

18267

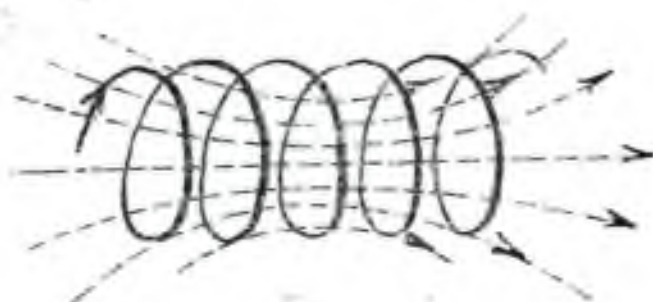
M. Plohl.



Jaka struja I.

Izvešt I.

ER INV 52



KNJIŽNICA
Elektrotehnčkog fakulteta
ZAGREB



Izdaje: Udruženje slusača tehn. fakulteta
u
Zagrebu 1927.

KNJIŽNICA
ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA
ZAGREB

Inv. br. 417 Signat Kf-50

417



0000000294942

1. Magnetično polje.

Po Coulomb-ovom zakonu, djeluje magnetične mase jedna na drugu silom, koja je proporcionalna, na produktu magnetičnih masa i obrnuto proporcionalna kvadratu međusobne udaljenosti.

Označimo li sa F silu, m_1 i m_2 magnetične mase, r međusobnu udaljenost, onda glasi Coulbov zakon:

$$F = \pm \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

Ako su magnetične mase međusobno jednake, onda je:

$$F = \pm \frac{m^2}{r^2}$$

Jakost m pola zovemo silu, kojom djeluje pol na pol jedinice jakosti u jedinici udaljenosti. Udaljenost mjerimo u cm, a silu u dinima.

Pol jedinice jakosti je pol, koji djeluje na isto takovu masu u udaljenosti jednoga cm silom jednoga dina. To je: Weber.

Ima li magnet jakost pola: m , i dužinu (udaljenost polova): l , zove se produkt: $m \cdot l$ magnetički momenat magneta:

$$M = m \cdot l \quad (2)$$

Tehnika ne radi sa magnetičnim točkama, ona računa sa poljem. Okolinu magneta, unutar koje se zamjećuje djelovanje magneta na magnetični pol zovemo magnetično polje. Silu, kojom djeluje magnetično polje na jedinicu

polu zovemo: intenzitet ili jakost polja na da-
tačnom mjestu.

U magnetskom polju moramo promatrati dvije pojave, i to:

1) Učinak sile

2) Učinak indukcije.

Silovite i sile indukcije nisu jedan te isti pojam

Gibamo li točkasti pol u magnetskom polju, moramo izvršiti radnju. Tomu polju pripadajući pol protivnog predznaka zamislimo si tako daleko, da nema učinka u promatranom prostoru. Radnja je pozitivna ako mičemo pol protiv jakosti polja, nega-
tivna, ako je gibanje u smjeru jakosti. Radnja je neovisna o obliku puta, nego samo o početnoj i krajnjoj točki puta. Radnja zatvorene krivulje mora radnja biti jednaka nuli. Radnju možemo smatra-
ti kao produkt dviju faktora, od kojih je jedan sila, a drugi izvršeni put u ili protiv smjera sile. Ako je gibanje bilo okomito na smjer sile, onda je jedan faktor t. j. sila jednaka nuli, te prema tome i produkt, radnja jednaka nuli.

Kod mičanja potrebna radnja, koja smo trošili sakuplja se kao magnetska energija, koja se opet u potpunosti iznosi pretvori u energiju gibanja, ako se magnetski pol vrati u početnu točku.

Potrebnu radnju za prenos pozitivne jedinice, se pola iz beskonačnosti prema jednoj točki polja zovemo potencijalom ove točke. Točke jednakog potencijala tvore niveau-plohu. Njihova je važ-
naka to, da se kod gibanja točkastog pola po niveau-plohi ne troši i ne dobiva nikakova radnja. Iz toga slijedi, da magnetsko polje može imati samo okomiti smjer na niveau-plohu.

Iz definicije potencijala točke polja slijedi definicija potencijalne diferencije ili magnetične napetosti dviju točaka magnetičkog polja. To je dakle radnja, koju se troši kod gibanja jedinice pola od jedne točke do druge.

Produkt sile puta put je radnja. Radijemo li radnju, koju treba trošiti na diferenciju puta protiv smjera sile, sa tim putem, dobimo kao rezultat postojeću silu, ili magnetičnu napetost kao jedinicu dužine, koja je jednaka intenzitetu ili jakosti magnetičnog polja. Intenzitetu ćemo označivati sa: J .

Intenzitetu možemo mjeriti silom na jedinicu pola, kako smo već spomenuli. Najjednostavnije se odredi intenziteta pomoću titranja male magnetične igle sa poznatim momentom: M .

Jedinicu intenziteta ima ono polje, koje djeluje na jedinicu pola silom od jednog dina. Mjera je dakle $\frac{\text{dina}}{\text{pol}}$. Djeluje li polje na pol m silom P dina, onda je intenziteta polja:

$$J = \frac{P}{m} \text{ dina} \quad (3)$$

Iz intenziteta polja slijedi magnetična napetost ili radnja za $\frac{1}{m}$ jedinice pola. Potencijalna diferencija dviju točaka, čija je međusobna udaljenost: l , u homogenom magnetnom polju jeste: Jl [cm om].



Slika 1

- Slika br. 1. - U prostoru, kojeg predstavlja naša slika, vlada između pojedinih točaka potencijalna diferencija. Posljedica ove diferencije jeste određena

magnetska indukcija.

La jedinicu indukcije B ili gustoće odabira, na je samovoljno indukcija u udaljenosti 1 cm od jedinice : 1 Gauss.

Indukcija ima slično kao i sila središnji smjer u prostoru. Ako se hoće sastaviti indukcije različite, tih polova na jednom mjestu polja, mora se ih geo. metrično sumirati. Indukcija i sila su istoimjerne osim u kristalima. Smjer indukcije lako se prikazuje na poznati način željanim pitotinama. Linije indukcije su krivulje, čije tangente daju u svakoj tački smjer indukcije.

Produkt površine i na površinu okomite komponente indukcije zovemo tok indukcije kroz površinu Φ . Jedinica toka je tok kroz 1 cm^2 kod okomite indukcije 1 Gauss na površinu. - Maxwell -

Ako je površina $F \text{ cm}^2$, a na tu površinu okomita indukcija B Gauss, onda imamo tok:

$$\Phi = B \cdot F \quad \text{Maxwella.} \quad (4)$$

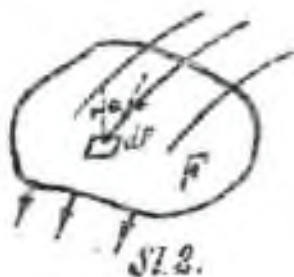
Tvori li indukcija u homogenom magnetskom polju sa okomicom na površinu kut α , onda je na površinu okomita komponenta $B \cos \alpha$, pa je tok

$$\Phi = B \cos \alpha \cdot F \quad \text{Maxwella} \quad (5)$$

Uzmemo li koju god zavinutu površinu u nejednolikom magnetskom polju, to onda predstavljamo $\oint$, označivši površine dF , to integriramo preko cijele površi,

ne. - slika 2. - Označimo li sa α kut indukcije i okomice na površinu dF , onda je tok kroz element površine dF jednak

$$d\Phi = B \cos \alpha \, dF \quad \text{Maxwella,}$$



a cijeli tok

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{F} \text{ kroz površinu } (6)$$

Φ je jedinstvena brojna vrijednost, koja nema smjera u prostoru. Želimo li dakle sastaviti različite tokove, treba ih algebarski sumirati.

Zamislimo si magnetsko polje razdijeljeno u sistem cijevi kojega god presjeka tako, da plašt istosmjernan indukciji, to dobimo cijevi indukcije. Karakteristično je svojstvo tih cijevi, da je tok kroz svaki dio plašta jednak nuli. Nadalje je (a to pokazuje pokus!) tok kroz svaki presjek jedne cijevi isti makar cijev prolazi različite medije: npr. zrak, željezo itd. Smisli li taj tok 1 Maxwell, onda imamo jedinicu cijevi.

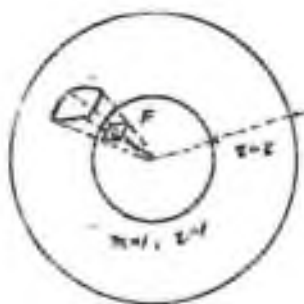
Prostor, kojega prodire tok nije fizikalna veličina, nego pomoćni pojam, kojim se lakše radi. Kod toga pomoćnog pojma nema nikakvog gibanja; — kada se govori o toku misli se uvijek na gibanje — nego stanje mirovanja, na koje se ne troši radnja.

Osobito je svojstvo toka njegova konstantnost kod prelaza kroz različite medije. Ako umemo namjesto toka indukcije tok siločeta, to imamo tok, koji se kod prolaska kroz različite medije promijeni. Tok dakle intenzitete imade također i drugih izvora, dok tok indukcije drugih ne — vora nema. U tome se sastoji bitna razlika između pojma indukcije i intenziteta.

Uz toga slijedi: mi si moramo predložiti, da indukcija izvire kod sjevernog pola, prodire kroz polje, ponire kod južnog pola, da se nastavi unutar magneta bez izvora od južnoga do sjevernoga pola, tako da su sve indukcije zatvorene

krivulje

Postavimo si jedinicu magnetizma $m = 1$ Weber kao središte Kugle polunijera $r = 1$ cm. - Slika 3. - Na



Slika 3.

oplošju Kugle ograniči, mo površinu F . Indukcija je na toj površini 1 Gauss. Ako povučemo sve linije indukcije duž R_{00} , ture površine F , dobimo cijelu indukciju. Tok indukcije, koji puni ovu

cijev, prodire na oplošju Kugle sa, radijem r cm površinom r^2 puta veću nego F . Iz toga slijedi: Indukcije točkavog pola su obratno razmjernu kvadratu udaljenosti od pola. Oplošje Kugle, polunijera r jeste $4\pi r^2$, indukcija $\frac{1}{r^2}$ Gaussa. Dakle je, prema tome tok indukcije kroz oplošje:

$$\Phi = 4\pi r^2 \cdot \frac{1}{r^2} = 4\pi \text{ Maxwella.} \quad (7)$$

To je također tok kroz Kružni god površinu, koja opkoljuje jedinicu magnetnog pola: $\Phi = 4\pi$ Maxwella. Za pol jakosti m slijedi:

$$\Phi = 4\pi m \text{ Maxwella} \quad (8)$$

Jednadiča 8. tvorí zakon Gauss- i Greona: Čitavi, kroz koja god zatvorenu površinu F prodirući tok Φ jednak je 4π puta suma svih magnetskih masa, koje se nalaze u unutrašnjosti ove površine.

$$\oint_L d\Phi = \Phi = 4\pi \cdot \Sigma(m) \quad (9)$$

Indukcija i intenziteta polja su istosmjernice crte, koje padaju zajedno. Za ove crte možemo u svakom upotrijebiti zajednički izraz: crte polja.

U udaljenosti 1 cm od jedinice (pola) pola imamo indukciju 1 Gauss. Na istom je mjestu indukcija 1 Gauss. Intenziteta i indukcija su dakle u zraku i numerično jednake. Ali nikada po pojmu.

Potencijal u udaljenosti r cm od pola defini-
ra radnja, koju treba trošiti za prenos pozitivne je-
dinice pola iz beskonačnosti do dotične točke magne-
tičnog pola. U udaljenosti r cm od jedinice pola je
indukcija i intenziteta polja $\frac{1}{r^2}$, od pola m je
 $\frac{m}{r^2}$. Prema tome imamo potencijal:

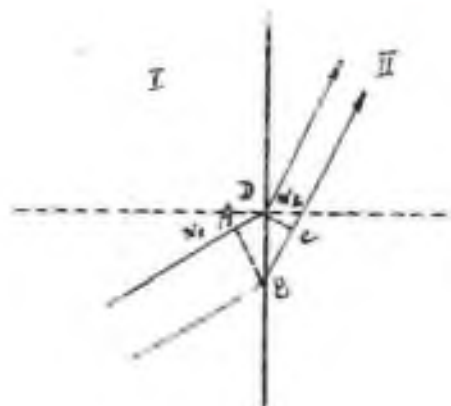
$$U = \int_{\infty}^r \frac{m}{r^2} dr = \int_{\infty}^r \frac{m}{r^2} dr = \frac{m}{r} \text{ Erg} \quad (10)$$

Ako su polovi jednake jakosti, ali protivnog
predznaka, onda je potencijal točke u udaljenosti
 r_1 cm od jednoga, r_2 cm od drugoga pola:

$$U = \frac{m}{r_1} - \frac{m}{r_2} \text{ Erg} \quad (11)$$

Spomenuli smo, da nemaju crte indukcije ni
početne ni krajne točke. Njihovo je polje bez izvora.
Prema tome moraju okomite komponente indukcije
neprekidno prelaziti iz jedne tvari u drugu.
Označimo li okomite komponente sa L_{n1} te L_{n2} ,
onda vrijedi za prelaz iz jedne tvari u drugu.

$$L_{n1} = L_{n2} \quad (12)$$



Sl. 4

U slici 4. mora biti:

$$AB \cdot L_1 = CD \cdot L_2$$

$$AB = BD \cos \alpha_1 \quad CD = BD \cos \alpha_2$$

$$L_1 \cos \alpha_1 = L_2 \cos \alpha_2$$

$$L_{n1} = L_{n2}$$

Izračunamo li raduju, koja moramo trošiti kod gibanja po, la jedinice jakosti između točaka granične ploštin, dobijemo istu vrijednost ako uzmemo tangencijalnu komponentu intenziteta jedne ili druge lare, jer jedna točka može imati samo jedan potencijal. Tangenci, jalne komponente su dakle međusobno jednake t.j.:

$$J_1 \sin \alpha_1 = J_2 \sin \alpha_2 \quad (13)$$

Stavimo li: $\frac{J_2}{J_1} = \mu_1$ te $\frac{J_2}{J_1} = \mu_2$ dobimo:

$$\frac{J_1 \sin \alpha_1}{J_1 \cos \alpha_1} = \frac{J_2 \sin \alpha_2}{J_2 \cos \alpha_2} = \frac{1}{\mu_1} \tan \alpha_1 = \frac{1}{\mu_2} \tan \alpha_2$$

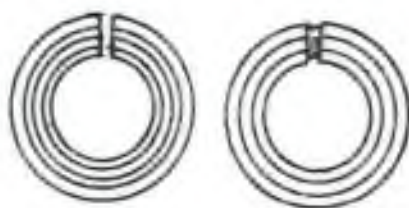
ili $\frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad (14)$

" μ " je permeabiliteta ili magnetsko propuštanje (Vidi malo Ravnice po 3.) Jer permeabilitet željeza mnogo veći nego permeabilitet zraka, ulaze crte polja iz zraka u željezo skoro okomito na površi, nu. Površina željeza tvori na praktične svrhe nivoan - plohu.

Okomita komponenta intenziteta ili jakosti polja mora na ploštinu rastavljanja skočiti od jedne vrijednosti na drugu.

$$J_{2n} = J_{2n} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad (15)$$

Za željezni kolut sa rasporom prikazuje nam slika 5. prelaz cijevi indukcije, a slika 6. cijevi intenziteta.



Sl. 5

Sl. 6.

2.) Elektromagnetizam.



Svaka električna struja
proizvoda magnetični tok,
koji je spojen sa strujom
/elektromagnetički spoj/ ili
El. magn. Verkettung / Os.,
nači li $\vec{F}$ od struje op.
kojenu ploštinu - slika 7.-
prolaze sve magnetne crte

M kroz ovu ploštinu, prema tome su spojene sa
strujom.

$$\Phi = \int_F B_n \cdot dF \quad (16)$$

gdje je : B_n okomita komponenta na ploštinu F , a
 dF element ploštine F .

Svakome smjeru struje pripada određeni smjer
magnetičnih crta, a taj se smjer može odrediti po
različnim pravilima.

a.) Zamislimo si vadičep, kojega zavijamo u
smjeru struje, onda nam daje smjer okretanja vadi-
čepa smjer magnetičnih crta.

Obnuto pripada od struje proizvedenim ma-
gnetnim crtama određeni smjer struje

b.) Zamislimo si vadičep, kojega okrećemo u
smjeru magnetičnih crta, onda nam daje smjer mi-
canja vadičepa smjer struje

c.) Gledamo li u smjeru struje na crte polja,
onda je smjer otnje kazala na uri, smjer crta
(pozitivan smjer) polja.

Jer sjeverni pol magnetne igle slijedi pozitivni
smjer crta polja, to možemo otklon magnetne
igle upotrijebiti za slijedeća pravila:

d) Položimo li desnu ruku nad vodič, dlan prema igli tako, da pokazuje prsti u smjeru struje, ot, klomit će se sjeverni pol igle pod vodičem na stranu kamo pokazuje palac. Ako je pol pričvršćen, a vodič pomičan, urme se lijevu ruku.

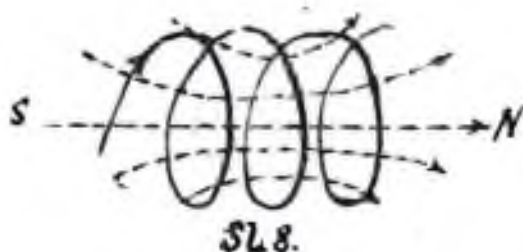
e) Položi li se kod otklonjene igle ruku nad vodič tako, da pokazuje palac u smjeru otklonjenog sjevernog pola, pokazuju prsti u smjeru struje. Izla je pod vodičem.

f) Obuhvatimo li desnom rukom vodič tako, da palac smjer struje, liče savinuti prsti u smjeru magnetskog polja.

zamislamo si vodič u obliku kruga, tada prolaze linije polja okomito na ravninu kruga.

g) Gledamo li okomito na ravninu kruga, pa ako struja teče u smjeru ^{vrtnje} kazala na uri, onda prolaze li, nije polja od promatrača prema van. Promatrani pol je južni pol.

h) Gleda li se u smjeru polja na krug, onda teče struja u smjeru vrtnje kazala na uri.



Namotaju li se zavoji u obliku mornice - slika 8. - sjedine se crte polja pojedinih zavoja u crte, koje su skoro paralelne sa osi cilindra. Ovako svi, tak zove se solenoid.

i) Gledamo li na krajnu ravninu solenoida, pa teče li struja u smjeru vrtnje kazala na uri, onda se gleda na južni pol.

A.) Biot - Savart - ski zakon.

Smjerna djelovanja magnet - električne struje, ja može se raspravljati računskim putem pomoću Biot - Savart - skog zakona. (elementarni zakon Laplace)

Označimo li - sl. 9. -

m [cgs] jakost pola

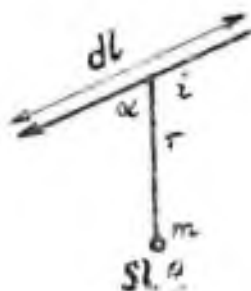
i [cgs] jakost struje

dl element vodiča

r (cm) udaljenost dl od m

α kut između r te dl

onda elementarni zakon glasi



$$dP = \frac{m \cdot i \cdot dl}{r^2} \sin \alpha \quad \text{dina} \quad (17)$$

Ako je $\alpha = 90^\circ$, dakle dl okomito na r vrijedi:

$$dP = \frac{m \cdot i \cdot dl}{r^2} \quad \text{dina} \quad (17a)$$

Jednadžba $P = \frac{m}{r^2}$ određuje intenzitet u udaljenosti r od pola m . Jer je u zraku $P = H$, dobimo

$$dP = H i dl \quad \text{dina}$$

Ako je H uzduž vodiča dužine l konstantno, može se ova jednadžba integrirati, pa je:

$$P = \int H i dl = H i l \quad \text{dina} \quad (18)$$

Jakost struje i mjerena u "cgs" jedinicama je 10 puta veća nego u običnoj jedinici amper. Mjerimo li dakle i u amp, H u Gauss-ima, l u cm, onda je:

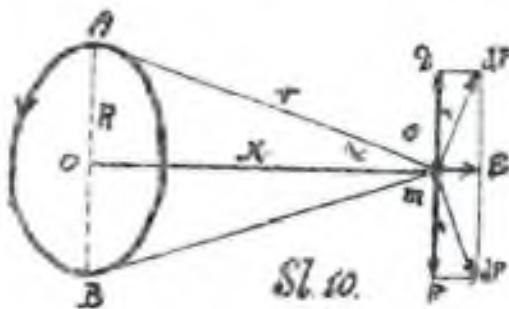
$$P = H \cdot l \cdot i \cdot 10^{-1} \quad \text{dina} \quad (19)$$

Smjer sile, t.j. smjer, u kojem sila tjera magnetsku masu m , slijedi m.p. iz pravila desne ruke.

Ako je m pozitivno, i struja teče u smjeru smjeru - sl. 9. - onda kaže pravilo (ono pod d) da djeluje dP protiv promatrača, i. j. iz ravnine ortogonalne prema van, okomito na ravninu.

B.) Kružni vodič i magnetska masa m .

Jakost struje mjerimo opet u cgs-jedinica, m - cgs - nabari se okomito na središtem kruga AB u točki C - sl. 10. -



r je okomito na dP , prema tome je sila, kojom djeluje element dP vodika na masu m po jednadžbi F_1 F_2 :

$$dP = \frac{m \cdot i \cdot dL}{r^2} \text{ dina}$$

dL je element luka u točki A , okomit na nacrtanoj ravnini. dP je okomito na AC u nacrtanoj ravnini.

Komponente su CD i CE . Označimo li kut, što ga tvore r i OC sa α , onda vredi:

$$CD = dP \cdot \cos \alpha$$

$$CE = dP \cdot \sin \alpha$$

Isto vrijedi za element luka u točki B . Komponente su CF i CE . CD i CF su jednake, ali suprotne komponente, pa se prema tome poništavaju. Komponente CE su istosmjerne, pa se sumiraju.

Na svaka dva elementa luka na jednoj prometnu dobimo isti rezultat. Totalno djelovanje sile P leži u smjeru OC , te rezultira iz sumacije svih komponenta CE , tj. integracijom preko kruga AB . Dobimo dakle:

mjera R . Dužina solenoida je l . U udaljenosti x položimo dva presjeka okomita na os solenoida u malenoj međusobnoj udaljenosti dx . Umedu ovih presjeka leži $\frac{w}{l} dx$ zavoja, koji djeluju na masu m silom (21)

$$dP = \frac{2\pi \cdot m \cdot i}{R} \sin^2 \alpha \cdot \frac{w}{l} dx$$

Jer je $\alpha = R \sin \alpha$, te $dx = -R \frac{d\alpha}{\sin^2 \alpha}$ imamo:

$$dP = \frac{2\pi m i}{R} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{w}{l} \cdot \left(-R \frac{d\alpha}{\sin^2 \alpha}\right) = \frac{2\pi m \cdot w i}{l} (-\sin \alpha d\alpha)$$

Da dobimo djelovanje čitavog solenoida, integriramo u granicama α_1 te α_2 :

$$P = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{2\pi m \cdot w i}{l} (-\sin \alpha d\alpha) = \frac{2\pi m \cdot w i}{l} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} -\sin \alpha d\alpha$$

Jer je $\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} -\sin \alpha d\alpha = \cos \alpha_2 - \cos \alpha_1$ slijedi konačno:

$$P = \frac{2\pi m \cdot w i}{l} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \text{ dina} \quad (22)$$

Leži li A u ravini BE , onda je $\alpha_1 = 90^\circ$ $\cos \alpha_1 = 0$, pa je

$$P = \frac{2\pi m \cdot w i}{l} \cos \alpha_2 \text{ dina} \quad (a)$$

Leži li A u središtu solenoida, onda je $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$, $\alpha_1 = 180^\circ - \alpha_2$ i $\cos \alpha_1 = \cos(180^\circ - \alpha_2) = -\cos \alpha_2$ prema tome:

$$P = \frac{2 \cdot 2\pi m \cdot w i}{l} \cos \alpha_2 = \frac{4\pi m \cdot w i}{l} \cos \alpha_2 \quad (b)$$

Jer je u tom slučaju $\cos \alpha_2 = \frac{l/2}{\sqrt{R^2 + (l/2)^2}}$ dobijemo:

$$P = \frac{4\pi \cdot m \cdot w i}{l} \cdot \frac{l/2}{\sqrt{R^2 + (l/2)^2}} \text{ dina} \quad (c)$$

Ako je solenoid velike dužine prema poluprečniku, to je $\frac{l/2}{\sqrt{R^2 + (l/2)^2}} \approx 1$, pa je:

$$P = \frac{4\pi \cdot m \cdot w i}{l} \text{ dina} \quad (d)$$



Mjerimo li jakost struje u superima, možemo još sa 10 dividirati: $1 \text{ EIT} = 10$

a) opć. jedn $P = \frac{0.2\pi m \cdot \omega i}{l} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$ dina

b) A u ravn BE $P = \frac{0.2\pi m \cdot \omega i}{l} \cos \alpha_2$ dina (25)

c) Za središte $P = \frac{0.4\pi \cdot m \cdot \omega i}{l} \cos \alpha_2 = \frac{0.4\pi \cdot m \cdot \omega i}{l} \cdot \frac{l/2}{\sqrt{R^2 + (l/2)^2}}$ dina

d) $l \gg R$ $P = \frac{0.4\pi m \cdot \omega i}{l}$ dina

Ako je $m=1$ onda je $P=J$ - intenzitet poja na promatranom mjestu. Intenzitet solenoida je prema tome:

a) Na osi izvan solenoida $J = \frac{0.2\pi \cdot \omega i}{l} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$ dina

b) U ravnini BE $J = \frac{0.2\pi \cdot \omega i}{l} \cos \alpha_2$ dina $J = \frac{\omega i}{l}$

c) U središtu $J = \frac{0.4\pi \cdot \omega i}{l} \cos \alpha_2$ dina (26)

ili $J = \frac{0.4\pi \cdot \omega i}{\sqrt{l^2 + D^2}}$ dina

d) Za $l \gg R$ $J = \frac{0.4\pi \cdot \omega i}{l}$ dina

U svim se jednačinama vidi, da sila P ili intenziteta J mogu ovisiti samo o jakosti struje, je niti o samom broju zavoja ω , nego o produktu ωi . Ovaj produkt zove se "Amperzavoji", i označuje se sa AW

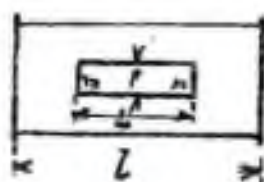
Isti načinak postigne se prema tome strujom od 2 amp i 500 zavoja, kao i sa strujom 1 amp. te 1000 zavoja.

3.) Magnetiziranje željeza.

U zraku padaju zajedno indukcija i intenziteta ne samo po smjeru, nego također i po veličini i to zbog izbora jedinica.

$$\underline{B = \mathcal{H} \quad \frac{B}{\mathcal{H}} = 1}$$

Položimo li u unutarnjost solenoida dužinu l - željezni štapi dužine L te presjeka F , onda prodiru erte



Sl. 12.

polja također štapi, te ga magnetiziraju. Željezni štapi postao je magnet, iz kojega izbijaju linije polja.

Označi li m jakost pola željeznog štapa, onda izlazi iz sjevernog pola $4\pi m$ linija polja. No i $F \cdot \mathcal{H}$ linija solenoida prolazi kroz sredinu štapa, pa je prema tome tok indukcije kroz štapi:

$$\Phi = F \cdot \mathcal{H} + 4\pi m \quad \text{te} \quad B = \frac{\Phi}{F} = \mathcal{H} + 4\pi \frac{m}{F}$$

Raširimo li razlomak $\frac{m}{F}$ dužinom L , dobimo u brojniku:

$m \cdot L$ = magnetički momenat štapa

u nazivniku:

$F \cdot L$ = volumen štapa.

Dakle:

$$\frac{m}{F} = \frac{mL}{FL} = \frac{\mu}{V} = \gamma \quad (27)$$

γ je magnetički momenat za jedinicu volumena,

Hoćemo li da broj volimena našeg štapa bude jednak jakosti polja, moramo napraviti magnet...

a zovemo ga intenzitetom magnetiziranja. Prema tome vrijedi:

$$\underline{B = J + 4\pi J} \quad (28)$$

Jakost pola m i veličina $\frac{m}{J}$ ovise su o intenzitetu J . Što veća je intenziteta solenoida, to veća je i jakost pola m , odnosno veličina $\frac{m}{J} = \chi$. Prema tome možemo staviti:

$$\underline{J = \chi J} \quad (29)$$

Jer je $B = J + 4\pi J$ dobimo:

$$\underline{B = J + 4\pi \chi J = (1 + 4\pi \chi) J = \mu J} \quad \text{gdje je} \quad (30)$$

$$\mu = 1 + 4\pi \chi$$

Koeficijent $\frac{B}{J}$ je sada veći od 1. Zato sada ne želje, to ne vrijedi više $\frac{B}{J} = 1$ nego $\frac{B}{J} = \mu$

$\chi = \frac{J}{J}$ je magnetična susceptibilnosta, a

$\mu = \frac{B}{J}$ je magnetična permeabilnosta, ili mag. netičko propuštanje.

Veličine χ i μ nisu za jednu te istu mag. netičnu supstancu konstantne veličine. Za nemagnetične / paramagnetične / stvari (npr. zrak) je

$$\mu = 1 \quad \chi = 0$$

Jednadžba 30. daje nam vezu između B i J , te μ i χ . Rezultate ovakvih proračuna, odnosno mjerenja, o kojima ćemo još govoriti, može se prikazati grafički u krivuljama, koje zovemo krivuljama magnetiziranja.

Ove krivulje daju nam za različite vrste želje, za približno isti prolazak, ali vrijednosti indukcije,

je $\mathcal{L}$, koje nanašamo u smjeru osi ordinata, te koje pripadaju jednoj te istoj intenziteti $\mathcal{J}$, u smjeru osi apscise, mnogo su veće za armaturnski lim i lijevani čelik, nego za lijevano željezo. Što je veća intenzitet $\mathcal{J}$, to je veća i indukcija, ali pri malim indukcijama $\mathcal{L}$ postaje povećanjem intenziteta $\mathcal{J}$ sve manji i manji, t.j. što je veća indukcija $\mathcal{B}$, to je manja permeabiliteta μ . Konačno prolaže krivulje magnetiziranja skoro paralelno sa osi apscisa. Kažemo skoro paralelno, ali ne sasvim, jer bi u tom slučaju bilo željezo već zasićeno.

Sljedeća tabela I. prikazuje krivulje magnetiziranja za lim, lijevani čelik i lijevano željezo.

Za praktične svrhe urame se često namjesto intenziteta $\mathcal{J}$ broj amperzavoja za 1 cm dužine, ne crta polja kao os apscisa, jer se onda može za svaku indukciju odmah odrediti potrebni broj amperzavoja. / Vidi II. - 5. /

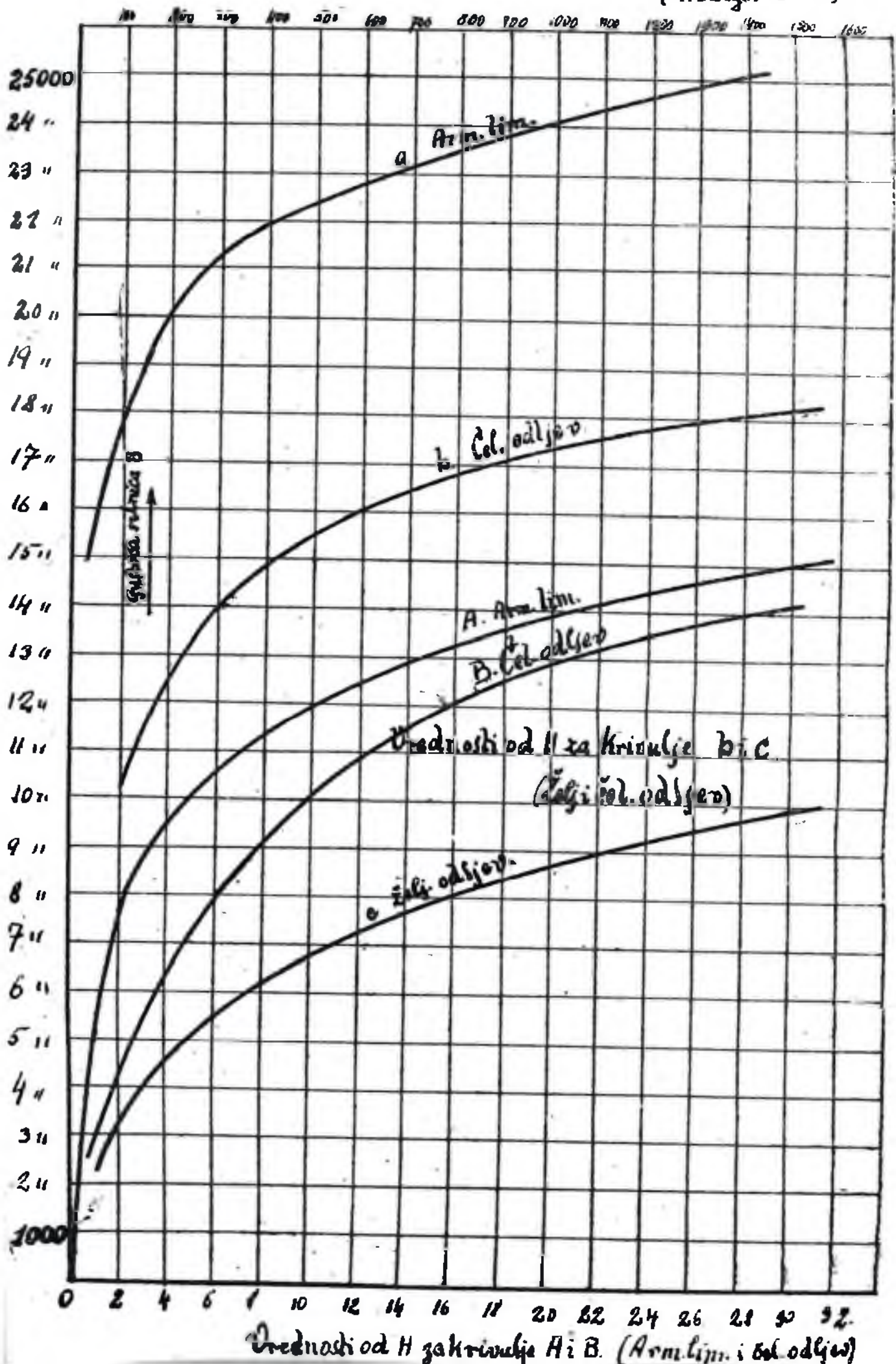
Tabela I. je na strani 19.

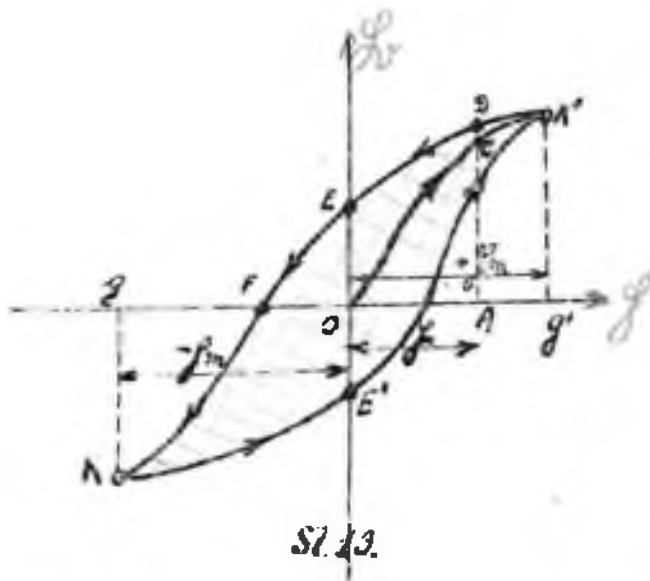
4. Histeresa.

Krivulje tabele I. imaju samo onda navrtani oblik, ako željezna jezgra nije kod početka polja imala nikakvog magnetizma, i ako raste intenzitet $\mathcal{J}$ neprekidno od nule do maksimuma, dakle do točke $K' + \mathcal{J}_m$ na slici broj 13. —

Raste li $\mathcal{J}$ postepeno od 0 do vrijednosti $+\mathcal{J}_m$, kojoj intenziteti neka pripada indukcija $\mathcal{B} = G'K'$, te slabimo li onda opet postepeno intenzitet $\mathcal{J}$, padat će indukcija $\mathcal{B}$, ali u sasvim drugom razmjeru. Jednoj te istoj vrijednosti od $\mathcal{J}$, pripada sada sasvim različita od prijašnje, ne,

(Viewegor 8ixd.)





ka nova indukcija B , koja je veća. U početku smo imali kod intenziteta H indukciju $B = AC$, a u drugom slučaju $B = AD$. Za $H = 0$ je $B = OE$, željezo ima remanentni magnetizam, veličina $OE = \text{remanencija}$. Želimo li, da željezo iz

gubi savim magnetizam, tj. želimo li, da je $B = 0$ moramo proizvesti polje suprotnog smjera. H mora dakle primiti negativnu vrijednost: OF . Ta veličina OF je mjera korektivne sile željezne jezgre. Kada li H u negativnom smislu do vrijednosti $(-H_m)$, postigne indukcija negativnu vrijednost BK .

Raste li kada bježi $(-H)$ do nule, zaostanu indukcije B . Za $H = 0$ je $B = OE'$ (remanencija!). Raste H dalje od 0 do $H = H_m$, postigne indukcija B vrijednosti prema krivulji $E'K'$. Na taj način rezultiraju dvije krivulje magnetiziranja, od kojih jedna odgovara porastu, a druga padanju intenziteta H . Od ovih krivulja opkoljena ploština je proporcionalna radu, koji treba trošiti za magnetiziranje željezne jezgre od pozitivnoga do negativnog maksimuma, te opet do pozitivnog maksimuma u suprotnom smjeru. Radnja magnetiziranja pretvori se u toplinu, te prouzroči uvisivanje temperature željezne jezgre.

Pojavu zaostajanja indukcije B zovemo „Histeresa“.

Steinmetz je postavio formule za radnju magnetskih strujanja, koja glasi:

$$A_k = \frac{\eta \cdot L^{1.6} \cdot V \cdot \omega}{10^7} \text{ watta} \quad (31)$$

L = maksimalna indukcija

η = Steinmetzov (o materijalu ovisan) koeficijent

= 0,0033 za obični lim za armature

= 0,0007 za legirani lim

= 0,0012 za transformatorski lim

V = volumen u cm^3

ω = (per) broj perioda u sec / frekvencija magnetskih strujanja /

Želimo li imati taj gubitak izražen za kg, treba imati na umu, da je $1 \text{ kg} = 1000 \text{ gr}$ i $1000 = V \cdot \mu$ ili $V = \frac{1000}{\mu}$, gdje je μ = spec. težina: 7,8. Dakle:

$$A_k = \eta \cdot L^{1.6} \cdot \frac{G \cdot \omega}{7.8 \cdot 10^4} \text{ watta} \quad (31a)$$

Tabela II. (strana 22.) daje nam kao ordinate nacrtane krivulje gubitak uslijed histereze za $\omega = 100$ i to kod različitih vrijednosti L kao apscise. Koeficijent smo uzeli $\eta = 0,0033$. Ako je V volumen u dm^3 , f gubitak za 1 dm^3 , te ako je $\omega = 100$, onda je:

$$A_k = \frac{V \cdot f \cdot \omega}{100} \quad (32)$$

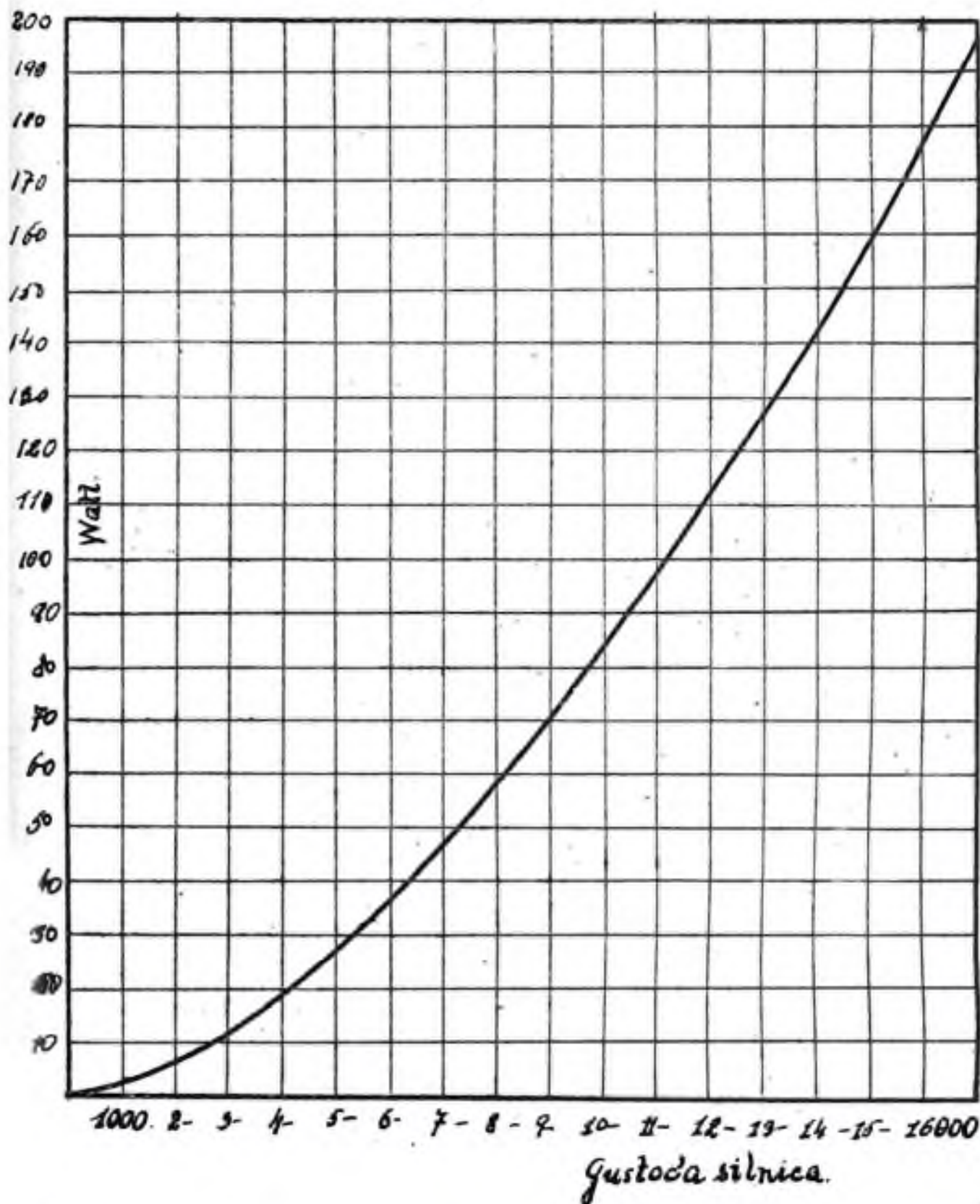
Ako je vrednost koef η koja drugu η' , a ne $\eta = 0,0033$ onda vrijedi:

$$A_k = \frac{V \cdot f \cdot \omega}{100} \cdot \frac{\eta'}{0,0033} \quad (33)$$

Istodobno sa histerezom nastane još drugi gubitak u željezu t.j gubitak zbog vrtložnih struja.

Gubitak na Histeretikod u čvrstom željezu

na 100 perioda za dm^3 i $\eta = 0,0033$



(Vierweger & Co.)

Da se taj gubitak, što je više moguće umanjuje, sastave se pojedini dijelovi d. sprava i strojeva, koji su pod, vrgnuti cikličnom magnetizirajuju in isoklranik tankih limenih pločica.

Označi li Δ debljinu limene pločice u mm
V volumen / u dm³

onda vrijedi za gubitak radi vrtložnih struja :

$$A_{wp} = (2 \div 2,5) \frac{(\omega \Delta \cdot B)^2}{10^{10}} \text{ watta} \quad (34)$$

B je maksimalna indukcija, kao što je bilo za radnju A_k . Počnije vidi V. $A = A_k + A_{wp}$

5. Magnetišni Krug.

Omotamo li željeznu jezgicu - slika 14. - u obliku koluta sa vodičem, onda vrijedi za kolut jednačina 26.d.) i to:



Sl. 14.

$$I = \frac{0,4\pi \cdot i \omega}{l} E \quad B = \mu \cdot I.$$

l je dužina, na kojoj djeluje magnetska napetost. Ova je dužina u slici 14.

srednji krug sa polumjerom : R . Pokusi pokazuju, da nije potrebno kolut jednoliko omotati, nego da se zavoji mogu također skupiti, i da l svejedno zadrži istu vrijednost, t.j. dužina, na kojoj djeluje magnetska napetost ostane krug polumjera R , i taj je krug jednak srednja dužina svih čita po. lja u kolutu.

Tok indukcije kroz kolut je:

$$\phi = F \cdot \mathcal{L} \quad \text{Maxwella}$$

Jer je: $\mathcal{L} = \mu \cdot F = \mu \cdot \frac{0,4\pi \cdot w i}{l}$; F - presjek, dobimo:

$$\phi = \mathcal{L} \cdot F = \frac{0,4\pi \cdot w i}{\frac{l}{\mu F}} \quad \text{Maxw.} \quad (35)$$

Jednadžba 35 tvori Ohmov zakon za magne-
tični krug. $0,4\pi \cdot w i$ je magnetomotorna sila, koja
u magnetskom otporu $\mathcal{W}$ (reluktancija) $\mathcal{W} = \frac{l}{\mu \cdot F}$
proizvodi tok ϕ . Recipročna vrijednost otpora jest
vodljivost:

$$\lambda = \frac{0,4\pi \mu F}{l} \quad (36)$$

Ohmov zakon glasi onda, ako stavimo:

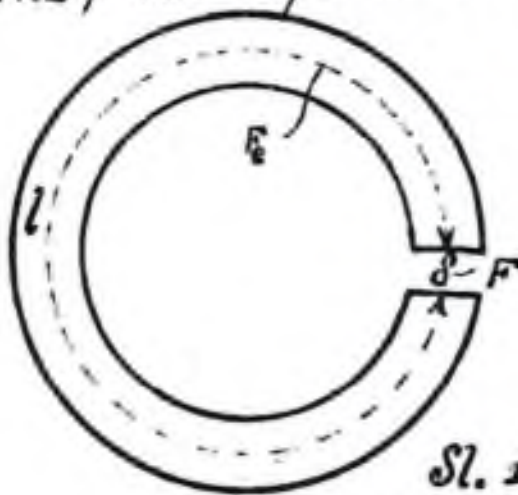
$$\mathcal{W} = 0,4\pi \cdot w i = \phi$$

$$\frac{l}{\mu \cdot F} = \mathcal{W}$$

$$\phi = \frac{\mathcal{W}}{\mathcal{W}} \quad \text{ili} \quad \phi = A W \cdot \lambda \quad (37)$$

Treba spomenuti, da za održavanje toka ϕ nije po-
trebno trošiti nikakovu radnju.

Jednadžba 37. vrijedi i tada, ako se otpor
 $\mathcal{W}$ ili vodljivost λ sastoji iz različitih pribroja
mika, kao n.pr u slici 15, koja nam predstavlja



kolut, na jednom mjestu
presječen. Totalni otpor
tvori u tom slučaju ot-
por željeza, i otpor ras-
pora. Ako je opet sred-
nja dužina crta in-
dukcije: l , s srednja
dužina crte u rasporu,

Sl. 15 F_c presjek željeza, a

F_r presjek raskora, onda je magnetični otpor:

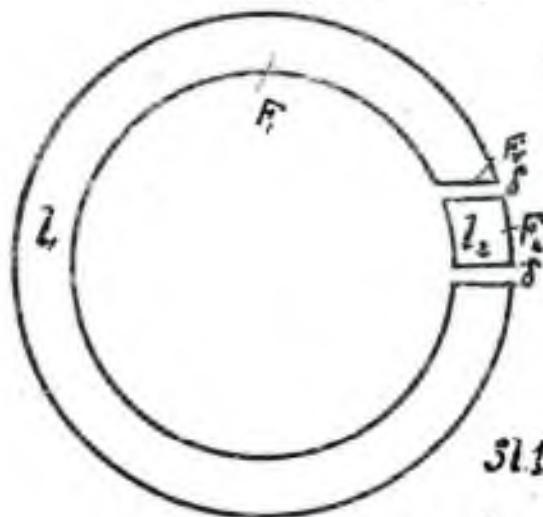
$$\frac{l}{\mu_1 F_e} + \frac{\delta}{F_r} \quad \text{jer je } \mu \text{ u zraku} = 1$$

Totalna vodljivost slijedi iz:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_e} + \frac{1}{\lambda_r}$$

Prema tome:

$$\phi = \frac{0,4\pi \cdot w_i}{\frac{l}{\mu_1 F_e} + \frac{\delta}{F_r}} = w_i \cdot \lambda = A W \lambda \quad (39)$$



U slici 16. imamo otpor:

$$\lambda = \frac{l_1}{\mu_1 F_1} + \frac{2\delta}{F_r} + \frac{l_2}{\mu_2 F_2},$$

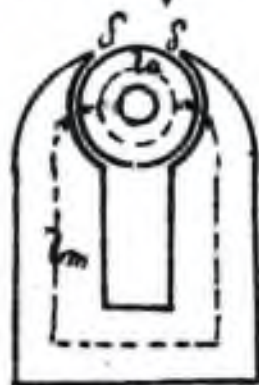
te vodljivost:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_r} + \frac{1}{\lambda_2}$$

Sl. 16. Prema tome:

$$\phi = \frac{0,4\pi \cdot w_i}{\frac{l_1}{\mu_1 F_1} + \frac{2\delta}{F_r} + \frac{l_2}{\mu_2 F_2}} = w_i \cdot \lambda = A W \cdot \lambda \quad (39)$$

Slika 16. odgovara potpuno magnetskom krugu dinamo stroja. - Slika 17. -



Sl. 17.

Otpor se odje sastoji iz otpora magneta, dužina: l_m , otpora raskora, dužina: 2δ , otpora armature dužina: l_a . Presjeci su: F_m , F_r i F_a . Ako je još:

μ_m permeabiliteta magneta
 μ_a permeabiliteta armature,
 onda vrijedi:

$$W = W_m + W_\pm + W_a = \frac{l_m}{\mu_m F_m} + \frac{2\delta}{F_\pm} + \frac{l_a}{\mu_a F_a} \quad \text{odnosno:}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_m} + \frac{1}{\lambda_\pm} + \frac{1}{\lambda_a} \quad \text{te}$$

$$\Phi = \frac{wi \cdot 0,4\pi}{\frac{l_m}{\mu_m F_m} + \frac{2\delta}{F_\pm} + \frac{l_a}{\mu_a F_a}} = wi \cdot \lambda = AW \cdot \lambda \quad (40)$$

Srednju dužinu mora se ili izračunati ili uzeti iz nacрта. F je kod nekonstantnog presjeka aritmetička sredina iz najvećeg te najmanjeg presjeka. μ slijedi iz jednadžbe $\mu = \frac{\Phi}{F}$.

Da se dobije u armaturi tok Φ , mora se u magnetu proizvesti tok $\Phi_m = v \cdot \Phi$, jer se ote polja ne prolaze kroz armaturu. Jedan se dio izgubi putem rasipanja. Faktor v , uvijek veći od jedinice, zove se faktor rasipa, nja, te je ovisan o obliku i konstrukciji dinamoostroja.

Jednadžbu 40. možemo pretvoriti:

$$Fl = 0,4\pi wi = \frac{\Phi \cdot l_a}{\mu_a F_a} + \frac{\Phi \cdot 2\delta}{F_\pm} + \frac{\Phi \cdot l_m}{\mu_m F_m} \quad (41)$$

Lijeva strana ove jednadžbe je magnetomotorna sila, napetost Fl proporcionalna uzbuđenju AW , koje proizvodi u magnetičnom krugu tok Φ .

Prema tome mora i svaki član desne strane biti magnetomotorna sila, i to:

prvi član, magnetomotorna sila, koja prouzroči tok Φ kroz armaturu,

drugi član, magnetomotorna sila, koja prouzroči tok Φ kroz raspor 2δ

koje je magnetski otpor $\frac{l_a}{\mu_a F_a}$ i $\frac{2\delta}{F_\pm}$
 i $\frac{l_m}{\mu_m F_m}$

treći član magnetomotorna sila, koja pro-
izvodi tok Φ kroz magnete

Jer je: $\frac{\Phi}{F_a} = L_a$ $\frac{\Phi}{F_r} = L_r$ $\frac{\Phi}{F_m} = L_m$
dobimo: $AW = iw = \frac{L_a l_a}{0,4\pi \mu_a} + \frac{L_r 2\delta}{0,4\pi} + \frac{L_m l_m}{0,4\pi \mu_m}$

Jer je dalje: $\frac{L}{\mu} = J$ sledi konačno:

$$AW = iw = \frac{J_a l_a + J_r 2\delta + J_m l_m}{0,4\pi} \quad (12)$$

Umesto intenziteta J urme se u praksi često za aps.
cislu pojedinih krivulja magnetiziranja broj po-
trebnih amperkavoja aw za 1 cm dužine orta
indukcije. Ordinata tvorice pripadajuća indukciji
ja: L .

Iz jednačine $wi = AW = \frac{Hl}{0,4\pi}$ sledi, da je
nabudenje ili amperkavoja: AW jednako:
 $\frac{1}{0,4\pi}$ ili 0,8 puta magnetična napetost: Jl .
Ova se napetost tvorice kako smo to nprimali za
svladavanje otpora pojedinih dijelova magne-
tičnog kruga. Zbog toga možemo također reku-
denje, $AW = iw$, koje je proporcionalno magnetičnoj
napetosti, razdijeliti u pojedine dijelove AW_m , AW_a
te AW_r , koji su potrebni za pojedine otpore w_m , w_a
i w_r . Da je to dozvoljeno, sledi jednostavno
u jednačine 42., koju možemo pisati:

$$0,4\pi wi = 0,4\pi w_a i + 0,4\pi w_r i + 0,4\pi w_m i$$

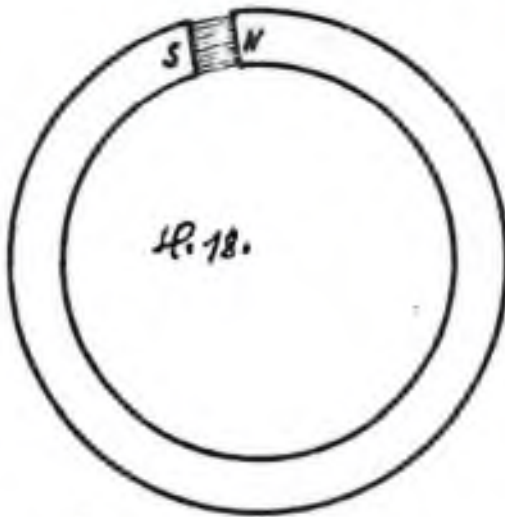
ili

$$AW = AW_a + AW_r + AW_m \quad (13)$$

Za AW_r dobimo:

$$AW_r = \frac{L_r 2\delta}{0,4\pi} = 0,8 L_r \cdot 2\delta = 1,6 \cdot \delta \cdot L_r \quad (14)$$

6) Nosiva jakost magneta.



Ako je m magnetična masa pozitivnog pola jed. koliko razdijeljena na čitavi presjek N - slika 18. - onda izlazi $4\pi m$ vrti, koje se vrti jednoliko razdijele na čitavi presjek, ako pretpostavimo, da je širi, na rasporu malena s ob. zonom na presjek. Na p.

dimici površine vlada onda indukcija $B = \frac{4\pi m}{F}$ Gausa. Jer je indukcija u rasporu jednaka m , teoriteti; to je gornja vrijednost B jednaka sili u dimima, kojom će biti jedinica pozitivne mase, se tjera u smjeru vrti polja. Malari li se prema tome u rasporu $N-S$ jedinica pozitivne magnetične mase, onda je ona podvrgnuta sili $\frac{4\pi m}{F}$ dina.

Ova se sila sastoji iz odbijanja pozitivnog i privlačenja negativnog pola. Jer je ova sila $\frac{4\pi m}{F}$ neovisna o udaljenosti jedinice magnetizma u rasporu od jednog ili drugog pola, imade sila tu vrijednost $\frac{4\pi m}{F}$ i tada, ako se malari jedinica točno u sredini raspora. U tom je slučaju odbijanje pozitivnog pola jednako privlačenju negativnog pola, i to: $\frac{2\pi m}{F}$. Nadomjestimo li $+ p$ dimicu sa negativnom, pretvori se odbijanje u privlačenje, ali veličina nile ostane ista i tada, ako leži negativna jedinica u površini S .

Površina S sastoji se iz m negativnih jedinica. Sila, kojom privlači sjeverni pol N ju,

ni pol S jeste prema tome:

$$P = \frac{2\pi m}{F} \cdot m$$

Imali smo: $L = \frac{4\pi m}{F}$, dakle $m = \frac{LF}{4\pi}$ odnosno:

$$P = \frac{2\pi}{F} \left(\frac{LF}{4\pi} \right)^2 = \frac{L^2 F}{8\pi} \text{ dina} \quad (45)$$

Hoćemo li silu P u kg , moramo navedi, da je
 $1 \text{ kg} = 981000 \text{ dina}$.

Prema tome:

$$P = \frac{L^2 F}{8\pi \cdot 981000} \text{ kg za svaki pol} \quad (46)$$

Faktor $\frac{L^2}{8\pi} \text{ din/cm}^2$ je Maxwell-ovo rlaćno i
 rlaćno naprezanje magnetičnog polja.

Kod permanentnog smagneta, npr. u obliku
 potkove, je broj svih crta indukcije uvijek jednak
 bez obzira na to, da li je armatura (kotva)
 prislonjena ili ne. U prvom slučaju prolaze
 skoro sve crte polja jednog pola kroz ar-
 maturu k drugome. U drugom slučaju prola-
 zi veliki dio svih crta putem rasipanja. To je
 uzrok, da je indukcija u armaturi mnogo veća
 kod prislonjene armature. Jer je nosiva jakost
 ovisna o L^2 mora nosiva jakost jednog pola biti
 bitno veća, ako armaturu prislonimo.

Još u mnogo većem razmjeru raste nosiva
 jakost elektromagneta za jedan te isti broj AN ,
 ako prislonimo armaturu. Magnetični je otpor
 u tom slučaju jednak otporu željeza, prema to-
 me veoma malen.

Što sledi iz jednačine $\Phi = \frac{NI}{R}$, $\frac{\Phi}{F} = L$,
 $\mu = \frac{L}{N^2 F}$. Prislonimo armaturu samo na jedan
 jedini pol, sastoji se otpor magnetičnog kruga iz

otpora željeza i otpora raspora. Ladujs otpor je mnogo veći, prema tome L u istom razmjeru manje. Ako je n.p.r otpor zraka samo 5 puta veći nego otpor željeza, dobimo u jednom slučaju $\phi = \frac{941000}{10}$, a u drugom $\phi' = \frac{941000}{6 \cdot 10}$, prema tome:

$$\phi' = \frac{\phi}{6} \quad L' = \frac{L}{6}$$

Nosiva jakost bila bi u prvom i drugom slučaju:

$$P = 2 \cdot \frac{L^2 \cdot F}{8\pi} \quad P' = \frac{(\frac{L}{6})^2 \cdot F}{8\pi} \quad \text{ili} \quad P:P' = 72$$

Magnetična sila igra veliku ulogu kod dizamo strojeva, ako armatura nije savim dobro centrirana.

Za permanentne magnete vrijedi Bernoulli-jeva jednačina, koja glasi:

$$P = a \cdot \sqrt{g} \quad \text{kg} \quad (47)$$

g je težina permanentnog magneta u kg
 a je konstantni faktor ovisan o čeliku, te jačosti magnetiziranja, koji postigne za magnete u obliku potkove vrijednosti do 23. Armatura je prislonjena na oba pola.

Stavimo li u jednačinu $P = \frac{L^2 \cdot F}{8\pi \cdot 981000} \text{ kg}$,
 $F = 1 \quad \frac{1}{8\pi} \approx \frac{1}{25} = 0,04 \quad 981000 \approx 1000000 = 10^6$ do-
 bijemo: specifičnu nosivu jakost magneta za
 1 cm^2

$$p = 0,04 \cdot \left(\frac{L}{1000}\right)^2 \text{ kg/cm}^2 \quad (48)$$

t.j. specifična nosiva jakost magneta imaša otprilike /: pogriješka ~ 1,6% / 4% kvadrata indukcije u rasporu, mjerene u Kiloortama, i to za svaki pol.

Obrnuto slijedi, da je potrebna indukcija za određenu nosivu jakost po cm^2 / dakle za spec. nos. jakost /:

$$L = 5000 \cdot \sqrt{\mu} \text{ Gauss} \quad (49)$$

radi sigurnosti računa se sa rasporom $\delta \text{ cm}$. Onda se dobije potrebni broj amperavoja za određenom specifičnu jakost iz jednačine:

$$AH = 4000 \cdot \left(\frac{l}{\mu} + 2\delta \right) \sqrt{\mu} \quad (50)$$

l u cm = mjereni srednji put u željezu
 μ je pripadajuća permeabiliteta.

Ova jednačina slijedi iz

a) Za željezo je srednji put l cm prema tome

$$\phi = L \cdot F = \frac{0,4\pi \cdot w_i}{\frac{l}{\mu}}$$

$$L = \frac{0,4\pi \mu \cdot w_i}{l} \text{ . A jer je :}$$

$L = 5000 \sqrt{\mu}$ Gaussa dobimo dalje :

$$w_i = \frac{5000 l}{0,4\pi \mu} \sqrt{\mu} = 4000 \frac{l}{\mu} \sqrt{\mu} \quad (a)$$

b) Za zrak je put : 2δ , prema tome po jedu.

$$w_i = 0,8 \cdot L_0 \cdot 2\delta = 0,8 \cdot 5000 \sqrt{\mu} \cdot 2\delta = 4000 \cdot 2\delta \cdot \sqrt{\mu} \quad (b)$$

Sumiramo li obe jednačine a) i b) dobijemo jednačinu 50. , dakle ukupni potrebni broj amper. zavoja.

7.) Zakon indukcije.

Faraday je prvi opazio, da u svitku ili zavoji nastane el. m. sila: napetost, ako se mijenja i dok se mijenja od svitka ili zavoja obuhvaćeni tok indukcije. Inducirana napetost ima uvijek takav smjer, da djeluje suprotno promjeni toka. Raste li prema tome tok u pozitivnom smjeru /vidi T-2./ nastane napetost u negativnom.

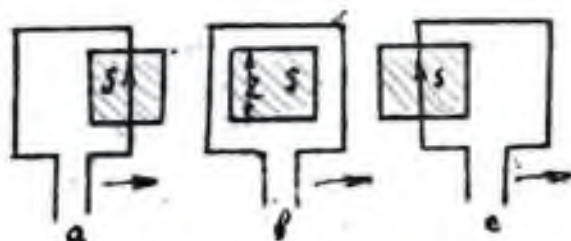
Inducirani napon je proporcionalan brzini promjene toka. Napon, što ga inducira promjena toka obuhvaćenog za 1 Maxwell u 1 sekundi, tvori apsolutnu jedinicu /c.g.s./ napona. 10^8 ovih cgs jedinica tvore 1 Volt.

Imademo li w u seriji spojenih zavoja, te promijenimo li u vrijeme dt obuhvaćeni tok ϕ za $d\phi$, onda dobimo inducirani napon:

$$e = -w \cdot \frac{d\phi}{dt} \cdot 10^8 \text{ Volta} \quad (31)$$

Promjeni li svitak ili zavoj vlastiti momenta, mi položaj u magnetičnom polju, bit će tako, det i tada inducirana el. m. sila. Zamislimo si petlju - slika 14. - koja se miče u smjeru strelice pred južnim polom. Tok izlazi iz sjevernog pola, koji leži pred nacrtanom ravninom, prodire petlju te ulazi u južni pol, koji leži odotraga nacrtane ravnine. Gledamo li na ravninu petlje u smjeru toka

Slika 14.



minom, prodire petlju te ulazi u južni pol, koji leži odotraga nacrtane ravnine. Gledamo li na ravninu petlje u smjeru toka

indukcije, djeluje inducirana el. m. sila u suprotnom smjeru vrtuže karala na uri - sl. a.) - U slici b.) ima obuhvaćeni tok najveću vrijednost, koja se u naortanom momentu ne promijeni. U slici c.) pada tok, pa inducirana napetost djeluje u smjeru vrtuže karala na uri.

U slici 19. kći pred polom dužina l vodiča, koji okomito sječe rta polja brzinom v super. Pretpostavit ćemo, da je indukcija L na dužini l konstantna. Smjer micauja neka je okomit na dužinu l , te magnetnu indukciju. Put s vremenom dt je ds , opisana plošina: lds , prema tome porast toka:

$$d\phi = L \cdot l \cdot ds$$

Ako se ne obaziremo na smjer inducirane napetosti, to je:

$$e = \frac{d\phi}{dt} \cdot 10^{-8} = \frac{L \cdot l \cdot ds}{dt} \cdot 10^{-8} = L \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8} \text{ Volta} \quad (2)$$

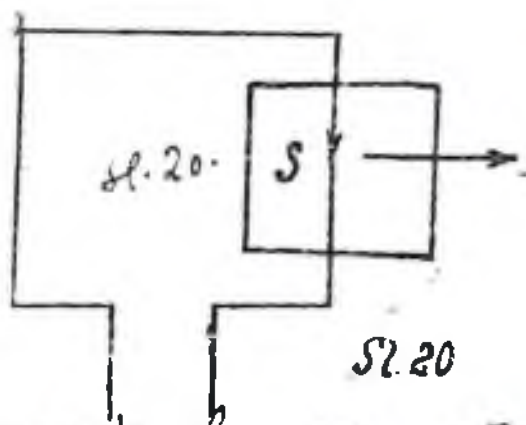
Jer je promjena obuhvaćenog toka jednaka broju prečićenih rta polja, možemo si misliti, da je ovo neka je varijanta inducirane el. m. sile. Jednakošću 52. možemo onda upotrijebiti za definiciju 1 Volta, od apsolutne jedinice napetosti.

Apsolutna jedinica el. m. sile bit će inducirana onda, ako L vodič dužine 1 cm giblje brzinom 1 cm/sec okomito na vlastiti smjer i okomito na rta polja jakosti 1 Gauss.

Ako dužina vodiča nije okomita na smjer magnetskog polja, od. na smjer pibauja, mora se uzeti za dužinu l i brzinu v okomite komponente.

Smjer inducirane napetosti može se odrediti po pravilu god od poznatih pravila, n-pr: po pravilu superarnog plivača. Plivamo li u pozitivnom

smjeru crta polja, licem okrenuti u smjeru micanja vodiča, onda djeluje proizvedena napetost na desnu stranicu. U sl. 19. plivamo od sprijeda prema otraga licem okrenuti na desnu stranicu.



U slici 20. miče se pol na desnu stranicu, vodič prema tome relativno na lijevu, napon djeluje prema dole.

Upravo se može smjer inducirane napetosti odrediti također

i pomoću Lenz-ovog zakona: Inducirana struja nastoji promjenu zaustaviti. Prema tome mora inducirana struja imati kod spajanja protivni smjer, a kod prekidanja isti smjer kao i primarna struja.

U mot. sila nastaje uvijek, kad imamo kojegod promjenu: svejedno je da li je drug zatvoren ili otvoren. Jačina struje određuje ohmov otpor kruga. Znači li i momentanu vrijednost struje, oada je od svitka ili od zavojice u vrijeme dt predana radnja:

$$dA = e i dt = - i \omega d\phi \cdot 10^8 \text{ joula} \quad (53)$$

Spojimo n.pr. svitak sa izvorom istosmjernne struje, naraste postepeno struja i od nule, te ima u određenom momentu vrijednost i. Ova struja proizvodi tok, koji raste, $d\phi$ je pozitivno. Od svitka za vrijeme dt predana radnja je prema tome po jednadžbi 53 negativna t.j. izvor struje daje svitku radnju.

Prekinemo li struju, onda struja pada i tok ϕ , t.j. $d\phi$ postane negativno, radnja prema tome pozitivna, svitak daje sada radnju, koja se pretvori u toplinu (Iskra)

3.) Množina elektricitete, srednja vrijednost struje i el. mot. sila.

Djeluje li el. m. sila $\mathcal{E}$ Volta kroz otpor R Ohma električnog kruga, u kojem djeluje ova el. m. sila, rezultira jakost struje u Amperima:

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R}, \quad \mathcal{E} = -\frac{d\phi}{dt} \cdot \frac{N}{T} \cdot 10^{-8} \text{ Volta}, \quad i = -\frac{d\phi}{dt} \cdot \frac{N}{R} \cdot 10^{-8} \text{ A}$$

ili :

$$i \cdot dt = -d\phi \frac{N}{R} \cdot 10^{-8} \text{ Coul} \quad (54)$$

i je množina elektricitete, koja teče u jednoj sek kroz presjek, idt množina, koja teče u vremenu dt kroz isti presjek. Odnosimo ovu množinu sa $d\phi$ onda vrijedi :

$$i dt = d\phi = -d\phi \frac{N}{R} \cdot 10^{-8} \text{ Coul}$$

Čitava množina elektricitete, koja nastane, ako se od svitka obuhvaćeni tok promijeni od ϕ_1 na ϕ_2 slijedi iz integracije goreše jednačine, i to u granicama ϕ_1 i ϕ_2 .

$$Q = -\int_{\phi_1}^{\phi_2} d\phi \cdot \frac{N}{R} \cdot 10^{-8} = -\frac{N}{R} \cdot 10^{-8} \phi \Big|_{\phi_1}^{\phi_2} = -\frac{N}{R} (\phi_2 - \phi_1) \cdot 10^{-8}$$

$$Q = \frac{N}{R} (\phi_1 - \phi_2) 10^{-8} \text{ Coul} \quad (55)$$

Svitak iz n zavoja obuhvati najprije tok ϕ_1 , koji se promijeni na koji pod način u tok ϕ_2 . Time se inducira neovisno o vremenu u električnom krugu otpora R množina elektricitete Q . Podijelimo li ovu množinu sa vremenom T u kojem se vršila promjena $\phi_1 \dots \phi_2$, dobijemo srednju jakost struje: i_m , to je dakle množina struje elektricitete, koja teče kroz presjek u jedinici vremena, ako zamislamo

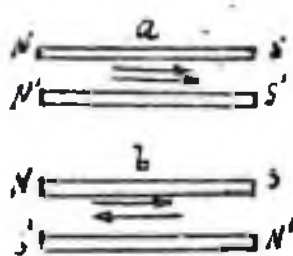
jakost struje konstantnom.

$$i_m = \frac{w}{r} \cdot \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{T_1} \cdot 10^{-8} \text{ Amp} \quad (56)$$

Množimo li sa t , dobijemo srednju el. m. silu:

$$e_m = i_m \cdot t = w \cdot \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{T_1} \cdot 10^{-8} \text{ Volt} \quad (57)$$

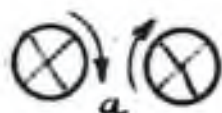
9.) Dinamično djelovanje el. struje.



Sl. 21.

U slici 21 a) odbija magnet NS magnet N'S', jer će se polovi istoga predznaka jedan protiv drugoga. Između magnetu su crte polja iste, smjerne.

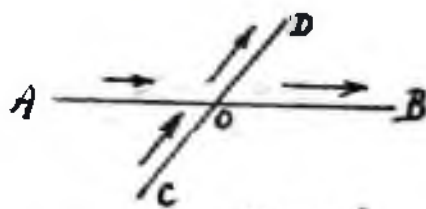
Pravilo: Istosmjerne crte polja se odbijaju.



Sl. 22.

Slika 21 b): Polovi protivnog predznaka leže jedan prema drugome, magneti se privlače. Crte polja između magnetima protivnog smjer

Pravilo: Crte polja, koje su protivnog smjera se privlače.



Sl. 23.

Slika 22 a): Paralelne struje proizvode crte protivnog smjera, prema tome se privlače. Sl. 22 b. Struje

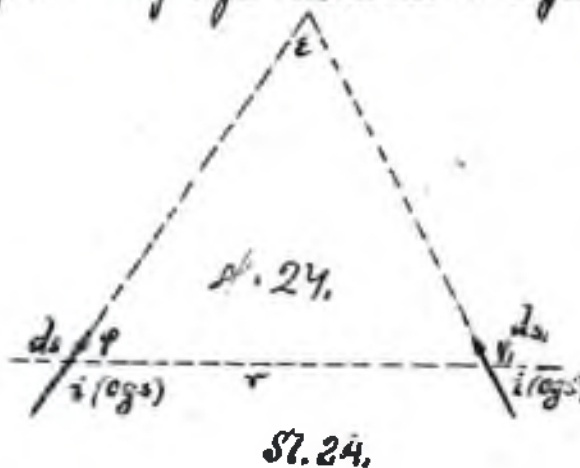
protivnog smjera proizvode istosmjerne crte polja, prema tome se odbijaju.

Vodiči unakrsni - slika 23. - se privlače, ako teku struje R točci križanja O, ili od nje prema van. A ako teče struja u jednom vodu od, a u drugome proti točke križanja - vodiči se odbijaju.

Po Ampere-ovom zakonu, kojeg je Ampere našao pokusima i razmišljanjem, jeste sila, kojom djeluje element struje na drugi - sl. 24. -

određena jednačinom

$$dP = \frac{i i_2 ds ds_2}{r^2} (\cos \epsilon - \frac{1}{2} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2) \quad (58)$$



Smjer dP pada najedno sa r . Negativni predznak vrijedi za privlačenje, a pozitivni za odbijanje.

Jednačinu 58. može se samo u rijetkim, jedinstvenim slučajevima integrirati. Ipak su i u tim slučajevima rezultati nepregledni i zamršeni.

Zauzmišmo si integraciju izvedenu, onda ima, demo pred znakom integrala i i i_2 kao konstantne faktore, a pod znakom r , ds , ds_2 , ϵ , φ i φ_2 . Rezultat mora ove veličine u kojoj god veri sa, državati. Ako se međusobni položaj ne promijeni, do, bje rezultat integracije određenom vrijednošću C . Sila, kojom djeluju vodiči jedan na drugoga dobije oblik:

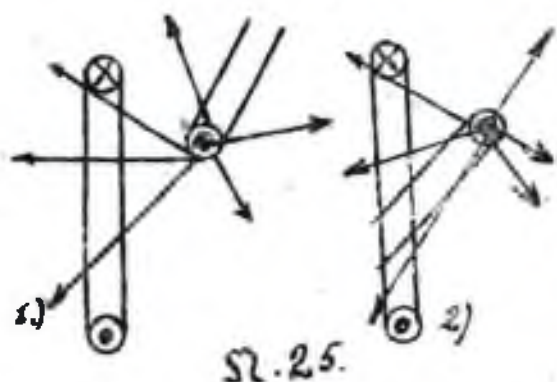
$$P = C \cdot i i_2 \quad (59)$$

Ako je $i = i_2$ t.j. oba vodiča protječe ista struja i , onda je

$$C \cdot i^2 \quad (60)$$

Ova jednadžba tvori princip dinamometra, u kojemu djeluju dva svitka jedan na drugi.

10.) Lakun proticanja.



Sl. 25.

U slici 25. nalazi se pozitivna jedinica magnetske mase u okolišici svitka od n zavoja, kroz koji svitak prolazi struja. Od toka 4π , što ga proizvodi jedinica pola, obuhvati svitak

dio ϕ / položaj 1: / kličemo li jedinicu pola na kojem god putu kroz ravninu zavoja od lijeve na desnu stranu, dok ne dođemo opet natrag u početnu točku, to se obuhvaćeni tok indukcije promijenio, pa u svitku nastane inducirana na-
petost. Konačno zamislimo si, da ova napetost ne prouzroči nikakvu promjenu struje i , što se uvijek dade ostvariti.

Kod gibanja jedinice izgubi se najprije tok indukcije ϕ kroz svitak, poslije nastaje tok $-\phi + 4\pi = 4\pi - \phi$ od druge strane. Proizvedena radnja slijedi iz jedu 83.

$$dA = -i\omega d\phi \cdot 10^8 \text{ joule}$$

$$A = - \int_{\phi}^{-(4\pi - \phi)} i\omega d\phi \cdot 10^8 = 4\pi i\omega \cdot 10^8 \text{ joule} \quad (61)$$

Za vrijeme gibanja moramo svladati silu, kojom djeluje struja na magnetsku masu. Ako je J komponenta sile u smjeru gibanja, te al dio opisane zatvorene krivulje, koja opkoljuje

vodič, ouda je očitava radnja $\int \vec{B} \cdot d\vec{l}$ Erga. Integrirati moramo preko cijelog puta, što smo ga izvorili. Uvažimo li, da je 10^7 Erga = 1 Joule dobimo:

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = 94\pi \cdot i \cdot l \quad (62)$$

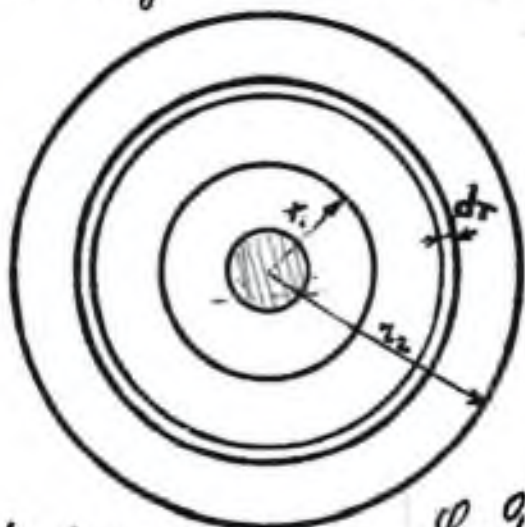
$\int \vec{B} \cdot d\vec{l}$ je integral magnetske intenzitete (Linienintegral der magn. Feldstärke) $i \cdot l$ suma oba, hvatanih struja, protičanije (Durchflutung). Zakon proticanja glasi dakle: Integral magnetske intenzitete u ergima za jedinicu pola jednak je 94π puta protičanije $i \cdot l$ (ili $\sum i$) u Amperima. Medasobni položaj od puta obuhvaćenih vodiča, te struja kojom su protjeceni se dolazi u obzir.

Kod gibanja u magnetskom polju magnetsa sakuplja se magnetska energija i troši mehanička radnja ili troši magnetska energija i dobije mehanička radnja. U polju struje pretvori se kod gibanja pola mehanička radnja u električnu ili obrnuto električna radnja u mehaničnu. U polju magnetsa je radnja nezavisna o putu, u polju el struje ovisna o broju prelaza kroz površinu zavoj. Padaju li zajedno početna i krajnja točka puta, je radnja kao u polju magnetsa jednaka 0 samo onda, ako nemamo preklaza kroz površinu zavoj.

11.) Struja i magnetsko polje.

Polje ravnog vodiča u kraku sastoji se iz krugova, koji su koncentrični R vodiču. U udaljenosti r od vodiča je intenzitet $\vec{B}$, i sila, kojom djeluje vodič na jedinicu pola, na

duži kruga sa sredinom u vodiču konstantna. Ako



je put gibanja jediničnog pola krug sa poluprijemom r , onda je radijusa: $\oint \cdot 2\pi r$. Zakon proticanja glasi:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0,4\pi \cdot i \cdot \epsilon_0 \mu_0$$

prema tome izlazi,

ili

da je:

Sl. 26.

$$\oint = \frac{0,4\pi i}{r}$$

$$\oint = \frac{0,2 i}{r} \text{ dina}$$

(63)

Rasporedimo li polje u magnetske cijevi, ovdje šuplji valjci, čija zajednička os pada zajedno sa vodičem - u slici 26 okružito na ravni naerta - te označi li r_1 unutarnji, r_2 vanjski poluprijem cijevi u cm, te l dužinu vodiča, onda vrijedi: μ raz. ko je intenzitet $\oint$ jednaka indukciji B . IZR kroz površinu ldr je $\oint_{ldr}$. Integriranjem u granicama r_1 i r_2 slijedi tok jedne cijevi

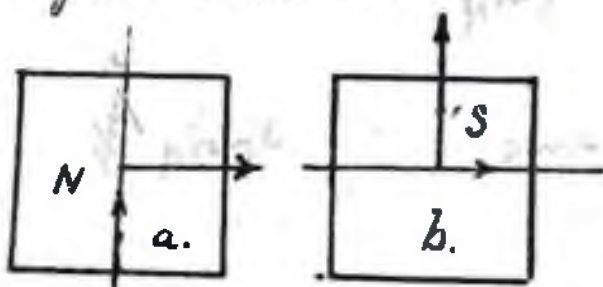
$$\Phi = \int_{r_1}^{r_2} \oint l dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{0,2 \oint}{r} \cdot l dr = 0,2 \oint l \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (64)$$

t.j. tokovi pojedinih cijevi su jednaki, ako je razmjer poluprijema redom slijedećih valjaka konstantan

$$r_1 : r_2 = r_2 : r_3 = r_3 : r_4 = \dots$$

Konačno ćemo još izračunati silu, kojom djeluje jednoliko magnetsko polje na ravni vodič. Ako je polje statno, i vodič pomičan, onda vrijedi pravilo plivača: Plivamo li se strujom, licem okrenuti prema sjevernom polu, djeluje sila na

sjeverni pol u smjeru lijeve ruke, a na vodič u smjeru desne ruke



Sl. 27: (a, b)

U slici 27 a.) plivamo od odo gore, licom o, krenuti prema sjevernom polu, koji leži otpramku ravine papira. Vodič se miče na desnu stranu. U slici 27 b.) plivamo od desne na lijevu stranu licem okrenuti prema sjevernom polu, koji leži pred papirnom. Vodič se giba na desnu stranu.

Sila, kojom djeluje polje na vodič narok je, da treba trošiti radnju kod rotacije armature dinamo stroja. Struja, proizvedena rotacijom odupire se gibanju, (benz-ov nakon) stroj za pogon mora silu upotrebiti, da nadulada protusilu.

Ako je vodič dužine l cm, struja i Amper, polje B Gaussa, pomaknuto u vrijeme dt za ds cm i to okomito na vlastiti smjer i okomito na smjer indukcije, bila je inducirana napetost: $\epsilon = B \cdot l \cdot \frac{ds}{dt} \cdot 10^{-8}$ Volta. Za vrijeme dt vršena električna radnja:

$$dA = \epsilon i dt = 10^{-8} B l ds \text{ i Joula}$$

Za vršenje ove radnje potrebna je jednaka mehanička radnja $P ds$. Podijelimo li radnju se putem ds , dobijemo silu, koja djeluje.

$$\text{Jer je } 1 \text{ joule/cm} = 10^7 \text{ erg/cm} = 10^7 \text{ dina} \text{ sledi:}$$

$$P = B i l \cdot 10^{-8} \text{ joule/cm} = B i l 10^{-1} \text{ dina}$$

namo već poznata jednadžba (19.), koju smo dobili iz Biot - Savart - shog zakona.

12. Samoindukcija.

Promjeni li se obuhvaćeni tok indukcije, proizvede se električna napetost, el. m. sila. Ali promjenu nemamo samo kod gibanja svitka u magnetskom polju; tu promjenu dobijemo i tada, kad se struja promjeni u jednoj te istom svitku, kroz kojega teče struja, te u kojem se proizvodi magnetski polje. Onu pojavu inducirane el. m. sile zovemo samoindukcijom. Napon, koji nastane, ima uvijek takav smjer, da protivuči struji, koja nastoji prebijeciti promjenu. Samoindukcijom proizvedena napetost ima struju protivan smjer ako struja raste, a ako struja pada isti smjer. Moć ima elektricitete, koja nastane kod spajanja ili prekidanja struje jeste po jedn 55

$$Q = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{10^9 \cdot T} \text{ w Coul}$$

Za prekidanje vrijedi $\Phi_1 - \Phi_2 = \Phi - 0 = \Phi$
za spajanje $\Phi_1 - \Phi_2 = 0 - \Phi = -\Phi$
prema tome proizvedena moćina

$$Q = \pm \frac{\Phi \omega}{T \cdot 10^9} \text{ Coul}$$

znak + vrijedi za prekidanje, a znak - za spajanje primarne struje. Moćine elektricitete su obim slučajevima jednake. Struje samoindukcije zove se također: Ekstra struja.

Prednja el. m. sila je $E_1 = \frac{\Phi \omega}{10^9 T_1}$ volta za spajanje, ako T_1 znači vrijeme potrebno, da primarna struja naraste do potpune jakosti.

Onači li T_2 vrijeme potrebno, da padne struja kod prekida do nule, onda je srednja el. m. sila samoindukcije kod prekidanja $\mathcal{E}_2 = \frac{\Phi \omega}{10^8 T_2}$ Volta. Jer je vrijeme T_2 bitno manje nego T_1 , izlazi da je srednja el. m. sila samoindukcije kod uključivanja pri manje struje bitno veća. El. m. sila u određenom momentu je

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \omega \cdot 10^{-8} \text{ Volta}$$

Za dugački svitak (solenoid), ili za Kolut, prsten vrijedi:

$$\Phi = F \cdot f = F \cdot \frac{0,4\pi \cdot \omega i}{l} = \omega i \cdot \lambda$$

ako F označi presjek u cm^2 , l dužinu u cm , ω broj zavojica svitka, te λ magnetsku vodljivost. Pretpostavimo, da je λ neovisno o indukciji, što uvijek vrijedi, ako nemamo željeza t. j. u zraku. Ima li svitak željezo, vrijedi ova pretpostavka dok željezo nije zasićeno ili ako nadmašuje otpor zraka. Jer ostane sve veličine kod spajanja i prekidanja iste, imamo:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{0,4\pi \omega F}{l} \cdot \frac{di}{dt}$$

Umetnemo li ovu jednu u vrijednost za e , dobijemo:

$$e = - \frac{0,4\pi \omega^2 F}{l} \cdot \frac{di}{dt} \cdot 10^{-8} = - \omega^2 \lambda \cdot 10^{-8} \frac{di}{dt} \text{ Volta.}$$

$$\text{Stavimo li } \frac{0,4\pi \omega^2 F}{l} \cdot 10^{-8} = L = \omega^2 \lambda \cdot 10^{-8} \quad (65)$$

dobijemo:

$$e = - L \frac{di}{dt} \text{ Volta} \quad (66)$$

L je koeficijent samoindukcije.

Jedinicu induktivitete imade onaj svitak, u kojem se proizvodi napon od 1 Volta, ako se struja u 1 sekundi

jednoliko promijeni za 1 Amper. Ovu jedinicu dovedemo 1 Henry. Absolutna jedinica je 1 cm, a praktična (kao otpor)

$$1 \mathcal{H} = 10^9 \text{ om} \quad 1 \mathcal{H} = 10^9 \text{ EIT} \quad (67)$$

Za dugачki svitak malenoga promjera ima L vrijednost:

$$L = \frac{0,4\pi \omega^2 \mathcal{F}}{\ell} \cdot 10^{-8} \mathcal{H} \quad (68a)$$

Kalazi li se željezo unutar svitka, onda je:

$$L = \frac{0,4\pi \mu \cdot \omega^2 \mathcal{F}}{\ell} \cdot 10^{-8} \mathcal{H} \quad (68b)$$

Kod konstantne struje i je po Ohmovom zakonu za magnetizam $\Phi = i \cdot \omega \cdot L$. Jednadžba 65: $L = \omega^2 \lambda \cdot 10^{-8}$ može se onda pretvoriti u:

$$L = \frac{\Phi}{i} \cdot \omega \cdot 10^{-8} \mathcal{H} \quad L = \frac{\Phi}{i} \cdot \omega \cdot 10^{-8} \quad (69)$$

$\omega \Phi$ je spoj toka (savijima). (Flussverlehnung). Ako je struja $i = 1 \text{ Amp.}$ vrijedi: Induktivitet u $\mathcal{H}$. jednaka je 10^{-8} puta spoj toka kod struje 1 Amp. t.j.:

$$L = \omega \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \mathcal{H} \quad (70)$$

Za cilindrične svitke (radio svitke) bez željeza može se koeficijent samoindukcije sa dostatnom točnošću računati po jedn. 68.a). L u cm slijedi onda iz:

$$L = \frac{\pi^2 \omega^2 d_m^2}{\ell} \text{ cm} \quad (71)$$

Ako je razmjer $\frac{\ell}{d_m} < 10$ mora se izračunati, da vrijednost još multiplicirati sa faktorom f kojega daje za razne razmjere $\frac{\ell}{d_m}$ tabela 1.

$$L = f \cdot \frac{\pi^2 \omega^2 d_m^2}{\ell} \text{ cm.}$$

Tabela: 1.

Faktor f.

$l:dm$	f	$l:dm$	f	$l:dm$	f	$l:dm$	f
0,01	0,035	0,15	0,262	0,80	0,638	3,00	0,874
0,02	062	0,20	315	0,90	665	3,50	891
0,03	084	0,25	362	1,00	688	4,00	909
0,04	104	0,30	403	1,25	735	4,50	918
0,05	123	0,35	440	1,50	771	5,00	920
0,06	141	0,40	471	1,75	798	6,00	932
0,07	158	0,45	498	2,00	818	7,00	941
0,08	174	0,50	520	2,25	835	8,00	948
0,09	189	0,60	559	2,50	850	9,00	954
0,10	203	0,70	606	2,75	863	10,00	959

Imademo li uske svitke / Flach - Schlitz - oder Korb - Spule / sa više slojeva jedan nad drugim, vrijedi jednačina:

$$L = f \cdot \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot d_m^2}{t} \text{ om} \quad (71a)$$

gdje je "t" visina / odn dubina / svitka u cm.
Ako su zavoji cilindričnih vitaka tačno je, da do drugoga motani, mogu se upotrijebiti ti sljedeće jednačine:

$$L = f \cdot \frac{l_s \cdot l_v}{d_s} \text{ cm} \cdot \text{ili} \quad L = f \frac{l^2 d}{t} \quad (71b)$$

l_s = očitava dužina žice u cm; l_v = dužina pred. njeg zavoja, d_s = debljina izolirane žice u cm.

Za kvadratišnu antenu, sa dužinom strana K cm, dužinom namotaja l cm te brojem zavoja n vrijedi:

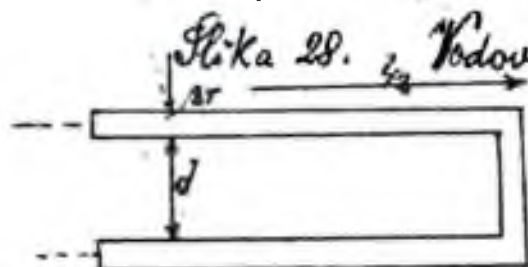
$$L = f \cdot \frac{4\pi \cdot n^2 \cdot K^2}{l} \text{ cm} \quad (71c)$$

Faktor: f' slijedi iz tabele 2 za različite razmjere: $\frac{\kappa}{L}$

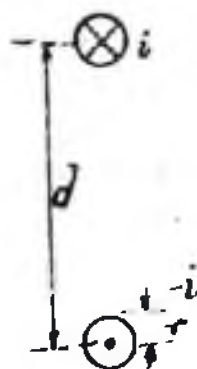
Tabela 2.

$\kappa:L$	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50
f'	0,305	0,232	0,192	0,150	0,118	0,099	0,083	0,064	0,051

a.) Koeficijent L dviju paralelnih vodova.



Sl. 28.



Sl. 29.

Kodovi su spojeni na jednom kraju. Ako govorimo o induktivitetu, treba spomenuti, da se uvijek tu radi o induktiviteti put, μ , a ne o induktiviteti jednogodi jednogodi voda ili njegovog dijela. Petlja se sastoji iz dviju dugih okruglih žica dužine $l \text{ km} = l \cdot 10^5 \text{ cm}$, poluprijeka $r \text{ cm}$ u međusobnoj udaljenosti $d \text{ cm}$. Žica je iz bakra. Teče li istosmjerna struja I

samo kroz jedan od ovih vodova, onda je od petlje obuhvaćeni tok prema jednačini 84:

$$\Phi = 0,2 I \cdot l \cdot \ln \frac{l}{r} \cdot 10^8 \text{ maxwella}$$

Teče li struja I u jednom vodu onamo, a u drugom natrag, onda je tok dva puta veći. Induktivitet, ta L petlje u Henrijima jednaka je: 10^{-8} puta



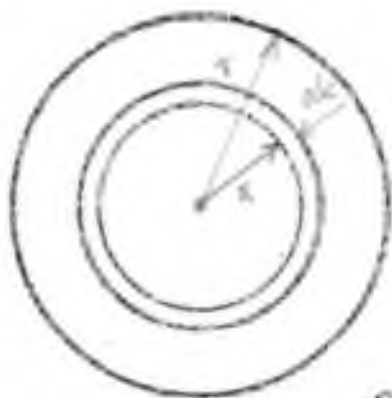
spoj toka kod struje od 1 Amp. ili 10^{-8} puta obn.
hvataćni tok kod struje 1 Amp. / vidi jednačinu 30. /

Prema tome:

$$L = 0,4 l \cdot \ln \frac{4}{\pi} \cdot 10^5 \cdot 10^{-8} = 4 \ln \frac{4}{\pi} l \cdot 10^{-4} \text{ Henry}$$

l je polovica totalne dužine = vod tamo ili natrag.

Induktivitet, koji smo izračunali je pravi, čena od polja u kraku. Dodati moramo još induktivitet radi polja u vodiču. Da ju možemo izračunati zamislimo si, da je gustota struje u elavom vodiču jednolika. Kod jakosti struje 1 Amp. je po slici 30. proticanje t.j.



obuhvaćeni broj ampera, koja od kruga polupjera x em jednaki: $1 \cdot \frac{x^2 \pi}{r^2 \pi} = \frac{x^2}{r^2}$
Onači li Φ (induktivitet) intenzitet polja na opsegu kruga, onda veli zakon proticanja:

$$2\pi x \cdot \mathcal{G} = 0,4\pi \frac{x^2}{r^2} \quad \mathcal{G} = 0,2 \frac{x}{r^2} \quad |i = 1 \text{ Amp}|$$

Licu pretpostavimo iz materijala permeabilite $\mu = 1$.
Ona je $\mathcal{G} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{d\Phi}{dx}$. Kroz površinu širine dx em. i dužine $l \cdot 10^5$ cm prolazi tok:

$$d\Phi = \mathcal{G} l \cdot 10^5 \cdot dx \text{ Maxwella.}$$

Spoj toka sa strujom, t.j. produkt iz toka i obuhv. čene struje / jakost 1 Amp. / je

$$d\Phi \cdot \frac{x^2}{r^2} = \mathcal{G} l \cdot 10^5 \cdot dx \cdot \frac{x^2}{r^2}$$

Umetnemo li za $\mathcal{G}$ vrijednost, koju smo izračunali pomoću zakona proticanja, te integriramo u gran,

came 0 i $\pm$, podvostručimo onda radi drugog voda dobivemo rezultat, te umnožimo još sa 10^{-8} , dobijemo 10^{-8} puta spoj toka Rod jakosti struje 1 Amp.

$$L'' = 2 \cdot 10^{-8} \int_0^{\frac{d}{2}} \frac{x}{x^2} \cdot l \cdot 10^5 \cdot dx \frac{x^2}{x^2} = 0,4 l \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{x^2} \cdot \frac{x^2}{4} \Big|_0^{\frac{d}{2}} = l \cdot 10^{-4}$$

Praveća induktiviteta:

$$L_1 = L' + L'' = (4 \ln \frac{d}{r} + 1) l \cdot 10^{-4} \text{ Henry} \quad (72)$$

l'' je ovdje polovica čitave dužine. Onači li l'' totalnu dužinu (tamo i natrag) voda, moramo još rezultat podijeliti sa 2, t.j

$$L = l \cdot 10^{-4} (2 \ln \frac{d}{r} + 0,5) \text{ Henry} \quad (73)$$

Umnožimo li naravno le sa 2,303 preformi se u Brigg-ov

$$L = l \cdot 10^{-4} (4,606 \log \frac{d}{r} + 0,5) \text{ Henry} \quad (73a)$$

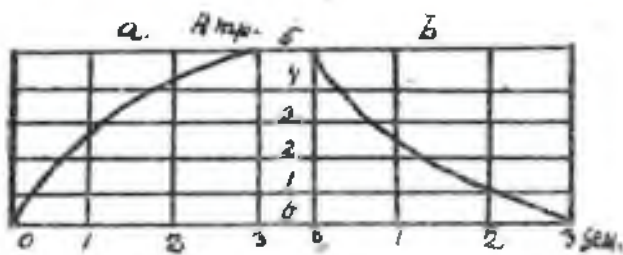
Tabela 3. sadrži L u Henryjima za dužinu 1 km.
Tabela 3.

$r =$	$d = 25 \text{ cm.}$	$d = 50 \text{ cm.}$	$d = 75 \text{ cm.}$	$d = 100 \text{ cm.}$	$d = 150 \text{ cm.}$	$d = 200 \text{ cm.}$
0,5 mm	0,001292	0,001451	0,001512	0,001570	0,001645	0,001705
1 "	1155	1282	1372	1431	1514	1570
1,5 "	1070	1209	1242	1348	1430	1487
2 "	1017	1135	1240	1342	1372	1430
2,5 "	0970	1110	1140	1247	1329	1386
3 "	0934	1070	1150	1219	1292	1346
3,5 "	0905	1040	1124	1183	1263	1320
4 "	0877	1017	1087	1155	1226	1282
4,5 "	0850	0990	1070	1129	1212	1270
5 "	0822	0971	1052	1110	1191	1249

B.) Postupci izjednačenja.



Sl. 31



Sl. 32.

Govorak sa koefici-
jentom samoindukcije
je L priključimo na
el. m. silu E . Otpor
zatvorenog kruga je R .
Slika 31. - Traži se
jakost struje i sek
poslije spajanja struje.
Kod spajanja raste
struja po slici 32a.)
a kod prekidanja ili
prestanaka napona pa,
da struja po sl 32b.)

U oba slučajeva bila je napetost 10 Volta. $R=2\Omega$
 $L=2H$. Slika b je slika xrcala slike krivulje a.
Vremu struje sa vremenom t dobimo sljedećim pro-
matranjem.

Označi li i traženu jakost struje, onda
vrijedi po Ohmovom zakonu:

$$i = \frac{E - L \frac{di}{dt}}{R} \quad \text{ili} \quad iR = E - L \frac{di}{dt} \quad \text{odn.} \quad L \frac{di}{dt} + iR = E \quad (I)$$

Stavimo $i = uv$, onda je $\frac{di}{dt} = u \frac{dv}{dt} + v \frac{du}{dt}$ te:

$$L \cdot u \cdot \frac{dv}{dt} + L v \cdot \frac{du}{dt} + uvR = E \quad \text{ili}$$

$$u \cdot (L \frac{dv}{dt} + vR) + L v \frac{du}{dt} = E \quad (II)$$

v odaberemo tako, da je izraz u zagradi = 0

$$L \frac{dv}{dt} + vR = 0$$

Prema tome je

Kod zatvaranja (a) struje
dole od nulte, trenut struje i
do EMS E koji se na induktivnosti EMS
funkcije — kod prekidanja, EMS
struja u krugu i struja postepeno pada od
najvećeg I do 0.

$$\frac{dv}{v} = -\frac{R}{L} dt \quad \text{te} \quad \int \frac{dv}{v} = -\int \frac{R}{L} dt \quad \text{odnosno} \quad \ln v = -\frac{R}{L} t$$

te e baza naravnih logaritama = 2,71828... vredi

$$v = e^{-\frac{R}{L} t} \quad (II)$$

Vrijednost $t = \frac{L}{R}$ zovemo vremenskom konstantom (Zeitkonstante)

Jednacište II. i III. daju s obzirom na a.)

$$L \cdot e^{-\frac{R}{L} t} \cdot \frac{du}{dt} = E \quad \text{ili} \quad du = \frac{E}{L} e^{\frac{R}{L} t} dt$$

Integriranjem dobimo: $u = \frac{E}{L} \cdot e^{\frac{R}{L} t} \cdot \frac{L}{R} + K \quad (IV)$

Iz jednačine III i IV slijedi

$$i = uv = \left(\frac{E}{R} \cdot e^{\frac{R}{L} t} + K \right) \cdot e^{-\frac{R}{L} t} \quad \text{ili} \quad i = \frac{E}{R} + K e^{-\frac{R}{L} t} \quad (V)$$

Za spajanje struje vrijedi: $t=0 \quad i=0$ dakle:

$$0 = \frac{E}{R} + K \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot 0} = \frac{E}{R} + K \quad K = -\frac{E}{R}$$

$$i = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L} t}) \quad (VI)$$

Faktor $\frac{R}{L}$ zove se faktor pridruženja.

Stavimo $t = \frac{L}{R}$, dobimo: $i = \frac{E}{R} (1 - \frac{1}{2,718}) = 0,63 \frac{E}{R}$
 Vremenska konstanta određuje u tom slučaju vrijeme, u kojem naraste struja do 0,63 konačne vrijednosti.

Za prekidanje vrijedi: Konačna vrijednost $\frac{E}{R} = 0$ prema tome obzirom na $i = \frac{E}{R} + K \cdot e^{-\frac{R}{L} t}$

$$i = K \cdot e^{-\frac{R}{L} t} \quad (VII)$$

Za vrijeme $t=0$ je $i = \frac{E}{R}$. Umetnemo ovu vrijednost u jednačinu VII) dobivamo:

$$K = \frac{E}{R} \quad \text{odn} \quad i = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L} t} \quad (VIII)$$

Za $t = \frac{L}{R}$ je $i = \frac{E}{R} \cdot e^{-1} = 0,37 \frac{E}{R}$. Vremenska konstanta određuje sada vrijeme, a kojim padne struja do 0,37 početne vrijednosti $\frac{E}{R}$.

Radnja, koja treba trošiti, da postigne jakost struje kod spajanja konačnu vrijednost: $\frac{E}{R} = I$ dobimo iz:

$$A = \int_0^I e i dt = \int_0^I L \frac{di}{dt} i dt = L \int_0^I i di \text{ Joule}$$

$$A = \frac{1}{2} L I^2 \text{ Joule} \quad (48)$$

Promijeni li se napetost odn jakost struje i to od vrijednosti i_1 na i_2 , onda odgovara ovoj promjeni množina elektricitete:

Dijelimo $e = -L \frac{di}{dt}$ sa R , dobimo:

$$\frac{e}{R} = i = -\frac{L}{R} \frac{di}{dt} \text{ ili } i dt = -\frac{L}{R} di \text{ odnosno:}$$

$$dQ = -\frac{L}{R} di \text{ t.j. } Q = -\int_{i_1}^{i_2} \frac{L}{R} di = \frac{L}{R} (i_2 - i_1) \text{ Coul} \quad (49)$$

Da se prepriječi samoindukcija: L-filarnus motaže.

13.) Međusobna indukcija.

Namotamo dva svitka na jednu jezgru, jed. noga do drugoga ili preko drugoga, te spojimo strujni provod, promijeni se tok u prvom i drugom svitku. Prema tome nastane i u drugom svitku struja i_2 , dakle, proizročena od el. m. sile

$$e_2 = -\frac{d\phi}{dt} \cdot w_2 \cdot 10^{-8} \text{ Volta}$$

w_2 označi broj zavoja drugoga svitka. Tok proizveden od struje i u solenoidu je:

$$\phi = \frac{4\pi \cdot I}{l} w_1 i_1 \text{ odnosno:}$$

$$\frac{q\sqrt{\pi}F}{l} \cdot w_1 i_2 = w_2 i_2 \lambda$$

π, w, F te l su konstantne veličine isto tako i μ , ako ispunimo uvjete navedene kod raspravljanja o samo, indukciji. Prema tome je:

$$e_{12} = -w_2 \frac{d\phi}{dt} \cdot 10^{-8} = -w_1 \cdot w_2 \cdot \lambda \cdot 10^{-8} \cdot \frac{di_1}{dt} \text{ Volta}$$

Stavimo: $M = w_1 \cdot w_2 \cdot \lambda \cdot 10^{-8} = \frac{q\sqrt{\pi}F}{l} \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot 10^{-8}$ in $\frac{q\sqrt{\pi}F}{l} w_1 w_2 10^{-8}$ gdje označuju M koeficient međusobne indukcije u H, dobimo konačno:

$$e_{12} = -M \cdot \frac{di_1}{dt} \text{ Volt} \quad e_{21} = -M \frac{di_2}{dt} \text{ Volt} \quad (81)$$

Ako je otpor sekundarnog kruga r_2 , vrijedi za sekundarni krug $i_2 = \frac{e_2}{r_2} = -\frac{M}{r_2} \frac{di_1}{dt}$ amp. Kod toga pretpostavljamo, da su ove linije polja primarnog kruga spojene sa svim zavojima sekundarnog. U istini se to ne slaže, jer imamo uvijek rasipanje. Da se ovo rasipanje, što je više moguće umanjiti, mora se sekundarni krug što bliže nad primarnom. U tom slučaju nenatnog rasipanja vrijedi:

$$e_1 = -L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}, \quad e_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} = -M \frac{di_1}{dt} \quad (82)$$

pa je:

$$M = \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (83)$$

Koeficijent međusobne indukcije je geometrička sredina koeficijenata samoindukcije primarnog i sekundarnog svitka, ako nema rasipanja. Jer inače uvijek nešto rasipanje izaći M nešto manje; t.j.:

$$M = \kappa \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (84)$$

$\kappa < 1$ zove se faktor el. magnetskog spoja /Kopplungsfaktor/.

Ako je spoj čvrst t.j. takav, da je rasipanje veoma malo, to je κ skoro = 1. Nije jedan svitak okomit na drugi, onda je

$$\kappa = 0 \quad M = 0$$

Za spoj u seriji dvaju vitaka sa koef. L_1 i L_2 vrijedi:

$$L_e = L_1 + L_2 \pm 2M \quad (85)$$

+ ako je smjer struje obih vitaka isti, - ako je suprotan. Za M vrijedi:

$$M = \kappa \cdot \sqrt{L_1 L_2}$$

Ako nema rasipanja, onda je: $M = \sqrt{L_1 L_2}$, te je:

$$L_e = (\sqrt{L_1} \pm \sqrt{L_2})^2 \quad (86)$$

Ovo je temeljna jednačina variometra.

Ako jedan vitak na drugi nema magnetskog uticaja, onda vrijedi općenito:

$$\begin{array}{l} \text{spoj u seriji} \quad L_e = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n = \sum_{i=1}^n L_i \\ \text{spoj paralelno} \quad \frac{1}{L_e} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i} \end{array} \quad (87)$$

Ove isto vrijedi za spajanje struje, vrijedi također i za prekidanje, samo sa razlikom, da se tada tok indukcije izgubi. Inducirana struja imaće kod prekidanja isti smjer, a kod spajanja protivan smjer primarnoj. Ili: inducirana struja ima takav smjer, da nastoji neprijeciti promjenu. (Lenz-ov zakon.)

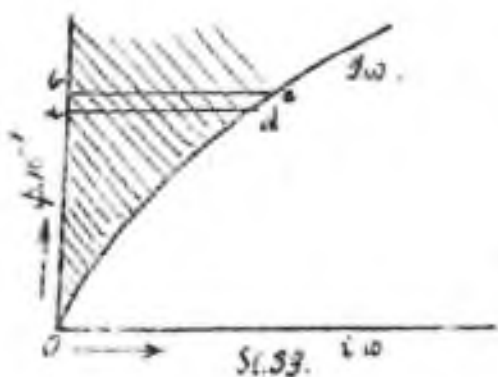
14.) El. radnja i magnetska energija.

Raste li struja u svitku, protivrede se napetost, (samoindukcijskom) koja suprotno djeluje te prirast uspo-
ti. Napon vanjskih strujlika mora nadvladati napon
samoindukcijske, on troši u veri sa strujom i vre,
menom d. radnju, koja se sabire kao magnetska
energija, te se pretvori kod prekidanja struje u
topljinu (luk ili iskra).

Struja i u w zavoja neka magnetizira
magnetični krug tako, da su svi zavoji w spojeni
sa jednakim tokom ϕ . Prirast struje u vremenu dt
je di. Tok raste pri tome za d ϕ , u svitku m,
inducirana napetost je $e = -w \frac{d\phi}{dt} \cdot 10^{-8}$ volta. Radnja
svitka kako je već poznato

$$dA = eiddt = -iw \frac{d\phi}{dt} \cdot 10^{-8} = -iw d\phi \cdot 10^{-8} \text{ joula.}$$

Kod prirasta struje te toka ϕ imaju i te d ϕ isti
predznak, radnja je negativna, bit će dakle trošena
od vanjskog izvora napetosti, te sabrana kao mag-
netska energija. Pada li struja te tok ϕ , ma-
du i te d ϕ protivni predznaci, od svitka
trošena radnja je pozitivna. Svitak dobavlja rad-
nju, magnetska energija, koja je prije bila sabrana
čuvim se istraši.



Struja neka raste od nule
do vrijednosti ϕ . momenta-
ne vrijednosti od iw
vrtamo u sl 33. kao aps-
cise, a momentane vrijed-
nosti $\phi \cdot 10^{-8}$ kao ordinate.
Onda je dovedena d
radnja: $i w d\phi \cdot 10^{-8}$ jedna.
Ka istoj plošini: abed.

Čitava radnja do konučne vrijednosti $\mathcal{I}$ jednaka je ispruganoj površini i to prema jedn. nadžbi

$$A = \frac{1}{2} L \mathcal{I}^2 = \frac{1}{2} \mathcal{I} \cdot w \phi \cdot 10^{-8} \text{ joule} \quad (88)$$

jer je po jedn. 70:

$$L = \frac{\Phi}{\mathcal{I}} \cdot w \cdot 10^{-8} \text{ Henry.}$$

Pri tome vrijedi uvijet, da je permeabiliteta μ konstantna t.j. neovisna o indukciji.

Ovisnost magnetske energije o intenzitetu $\mathcal{I}$ odnosno indukciji Φ , možemo naći na sljedeći način:

Željezni štap neka ima presjek $F \text{ cm}^2$ i dužinu $l \text{ cm}$. Pomocu $\mathcal{I} \cdot w$ amperkavoja magnetiziramo štap jednoliko na čitavoj dužini. Onda je za kojegod vrijeme ukopčanja — momentane vrijedno. shi: $\Phi, \mathcal{I}$ i —

$$\Phi = L \mathcal{I} \quad i = \frac{\mathcal{I} \cdot l}{0,4 \pi w}$$

Umetnemo li ove vrijednosti u jednadžbu:

$$A = \int i w \cdot d\Phi \cdot 10^{-8} \text{ joule}$$

onda je magnetska energija u promatranom vremenu o obliku na $\Phi = L \mathcal{I}$ t.j. $d\Phi = dL \mathcal{I}$

$$A = \int_0^{\mathcal{I}} \frac{L dL}{0,4 \pi} l \cdot \mathcal{I} \cdot 10^{-8} \text{ joule}$$

1 joule = 10^7 erga, $l \cdot \mathcal{I}$ je magnetizirani prostor u cm^3 energija za jedinicu volumena, ili gustoća energije

$$\mathcal{U} = \int_0^{\mathcal{I}} \frac{L dL}{4 \pi} \text{ erg/cm}^3 \quad (89)$$

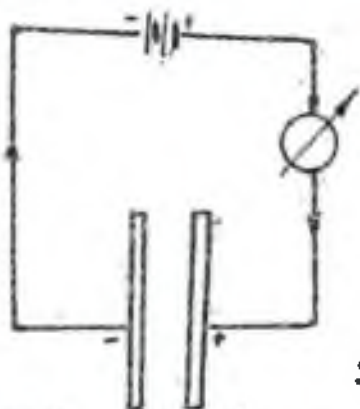
Ako je magnetiziranje nejednoliko, treba promatra,

ni volumen isprati tako malen, da još vrijedi ova jednačina. Ako je permeabilnosta μ nepromjenljiva, dobimo:

$$\sigma = \int_0^L \frac{L}{\mu \cdot 4\pi} dL = \frac{L^2}{8\pi\mu} = \frac{L^2}{8\pi} \text{ erg/cm}^3 \quad (90)$$

15.) Električno polje.

Nabijemo kondenzator - slika 34. - teče od + staze, ko izvora struje + elektriciteta k desnoj ploči, od negativne staze negativna k lijevoj ploči,



Sz. 34.

što je isto, kao da bi + elektriciteta tekla od lijeve ploče k izvornu struje natrag. Prema tome možemo si predstaviti zatvoreni krug, u kojemu teče struja, i ako je prekinut.

Fizička struja u vodi ima nastavak u dielektriku - Pomaćna struja: Verschiebungsstrom - Ako je naboj dovršen je također pomaćna struja = 0.

Ako ćemo mjerimo umožinu elektriciteta kod nabijanja ili izbijanja Kondenzatora. Ovu umožinu dijelimo sa ploštinom okomito na površinu prolazećom pomaćnom strujom u dielektriku te dobimo električnu indukciju ili pomaćnu struju u Coulombima/cm² = D

Električna indukcija ima slično magnetskoj u prostoru odredeni smjer, koji pada zajedno sa smjerom intenziteta

Tok električne indukcije ili pomaćni tok je pro-
dukt iz površine i na površinu okomite kompo-
nente indukcije. Tok indukcije je bez izvora.
Isti ista svojstva kod magnetične indukcije /.

Indukcija se mjeri u Coul/cm^2 , jedinica in-
dukcije je dakle 1 Coulomb ($10^{-6} \text{ Coul} = 1 \text{ microcoul}$)

Ako je $\mathcal{D}$ indukcija, α kut okonice na dF ,
onda je tok indukcije: Q

$$Q = \int \mathcal{D} dF \cos \alpha \text{ Coul} \quad (91)$$

Pomaćna struja, ili promjena množine elektriciteta
u jedinici vremena - 1 sek - određena je jedna-
činom:

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (92)$$

Ova struja djeluje isto tako, kao struja u zatvorenom
krugu.



Sl. 35.

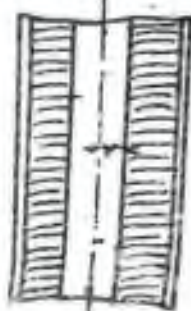
Kod pločastog kondenzatora su crte električ-
nog polja prema slici 35. su,
da paralelne / rubove zanema-
rimo / Indukcija $\mathcal{D}$ je onda
ovuda jednaka, tok ili ma-
đaj slijedi iz

$$Q = \mathcal{D} F \quad (93)$$

gdje je F ploština u cm^2 . Ako je n.pr. $F = 100 \text{ cm}^2$,
 $Q = 3 \text{ microcoul.} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Coul}$, onda je el. indukcija
u dielektriku $\mathcal{D} = \frac{3 \cdot 10^{-6}}{100} = 0,03 \cdot 10^{-6} \text{ Coul/cm}^2$.

Za Kondenzator iz paralelnih cijevi / kabel /

Sl. 36.



sl. 36. imamo istu sliku in-
dukcije - rubove zanemarimo.
Označi li l dužinu konden-
zatora, i to u cm , r polu-
mjer valjaka u cm , onda je

ploština $F = 2\pi r \cdot l$. Za tok ili naboj Q je induk-
cija u udaljenosti r od osi

$$D = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{2\pi r \cdot l} \text{ Coul/cm}^2 \quad (94)$$

Npr. $l = 2 \text{ km} = 2 \cdot 10^5 \text{ cm}$, vanjski promjer unutarnjeg vo-
da $2r = 2 \text{ cm}$ $Q = 1,025 \text{ Coul}$. Indukcija na površi
ni unutarnjeg voda $D = \frac{Q}{2\pi r \cdot l} = \frac{1,025}{2 \cdot 1,314 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,002 \cdot 10^{-6} \text{ Coul/cm}^2$

Jednadžba (4) vrijedi također za indukciju u
udaljenosti r od ravnoga, beskonačno tankog voda.

Za kondenzator u obliku kugle je indukcija
u udaljenosti r cm od središta:

$$D = \frac{Q}{4\pi r^2} \text{ Coul/cm}^2 \quad (95)$$

Jednadžba vrijedi također za indukciju u udaljenosti
 r cm od točkove množine elektricitete Q Coul u
jednoličnom mediju, ako pretpostavimo, da nemamo u
blizini vodiče, koji bi smetali jednoličkoj radijaciji.

Elektricitetom nabita tijela djeluju jedno na
drugo silom, koja određi Coul. zakon.

$$P = \pm \frac{1}{K} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \text{ Dina} \quad (96)$$

Ako su množine Q_1 i Q_2 istoga predznaka imamo odbi-
janje, imaju li Q_1 i Q_2 suprotni predznak, imamo
privlačenje. K ili ϵ je terdimenzionalni faktor,
koji uručuje električna svojstva rasporeda. Moćemo
li elektricitetom nabiti vodič u električnom polju, mo-
ramo trošiti mehaničku radnju. Radnja je pozitivna,
dok je nicanje suprotno sili polja na vodič. Kao
i kod nicanja pola u magnetnom polju je radnja ne-
potrebna u putu, te je određena samo početnom i konačnom
točkom. Prema tome imade također električno polje jaku-
ću, koji je u svakoj točki polja određen radnjom, koja

treba trošiti, da se pozitivna jedinica dovede iz beskonačnosti do ove točke.

Raduju, koji moramo trošiti kod gibanja jedinice elektricitete između dviju točaka jednaka je potencijalnoj diferenciji ili napetosti. Ispitamo li raduju u furlima, te umnožimo u Coul, dobijemo napetost u Voltima. Ako je udaljenost beskonačno malena, te dijelimo li potrebnu raduju kroz tu udaljenost, dobijemo jakost ili intenzitet električnog polja. Ova je jakost prema tome određena pojmom električne napetosti za jedinicu dužine. Ispitamo ju u Volt/cm. Označi li dE na-
pon u Voltima, dl dužinu u cm, onda je jakost električnog polja:

$$E = \frac{dE}{dl} \text{ Volt/cm} \quad (97)$$

Ako je n. pr. udaljenost ploša pločastog Kondenzatora $d = 0,1 \text{ cm}$ te napon 110 Volta, onda je jakost polja u dielektrikumu jednaka napetosti za jedinicu dužine:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{110}{0,1} = 1100 \text{ Volta.}$$

Veličina ploše i tvar, koja tvori dielektrikum ne dolaze u obzir. Jedn. 97 vri, jedn. 100 i 7a vodove, kroz koje prolazi el. struja.

Jer je raduju za jedinicu dužine jednaka sila, možemo jakost polja definirati kao silu na jedinicu umnožimo u jedinici udaljenosti:

Ispitamo li u tom slučaju silu u dinima, umnožimo u Coul, ne dobijemo intenzitet u Voltima, nego u jedinici, koji određuje jednadžba:

$$E = 1 \frac{\text{Volt}}{\text{cm}} = \frac{1 \text{ furl}}{\text{Coul} \cdot \text{cm}} = \frac{10^7 \cdot \text{cm} \cdot \text{din}}{\text{Coul} \cdot \text{din}} = \frac{10^7 \text{ din}}{\text{Coul}} \quad (98)$$

Jer se svaka napetost u vodi prve vrste momentano izjednači, imaju vodovi u polju uvijek isti potencijal, t. j. njihova površina je nivo ploha - sila u svakoj točki voda okomita na površinu.

Prema tome mora biti svaki vod potpuni kratki spoj na
 crte polja. Napetost dviju točaka površine jednaka je
 nuli, prema tome također jednak polja u unutrašnjosti
 jednaka nuli, i ako je vod šupalj. To je ukratku, da
 crte polja na jednoj strani završavaju - ova strana ima
 negativan naboj, te na drugoj strani na novo kviru,
 koja strana ima + naboj. Ova se pojava označivala prije
 kao „influenca“.

Razmjernost indukcije i intenziteta ima određenu
 vrijednost ne samo u zraku, nego također i za svaki drugi
 dielektrikum. Odnosaj sljede iz statične, apsolutne - i jedinice
 niti Coul.

Statična jedinica je množina elektricitete, koja
 djeluje u zraku na jednaku množinu silom 1 Dina, i
 to u udaljenosti 1 cm.

Apsolutna jedinica je množina elektricitete, koja
 daje radnju 1 Erg, ako je napetost jednaka apsolutnoj
 jedinici. Ova jedinica je $3 \cdot 10^{10}$ puta veća nego statična.

1 Coulomb je množina elektricitete, koja da-
 de radnju 1 Joule = 10^7 Erga, ako je napetost 1 Volt =
 10^9 aps. jedinica. Prema tome vrijedi 1 Coul = $10^7 \cdot 10^9$
 10^{-2} aps. jedinica = $10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{10}$ statič. jedinica = $10^{-2} \cdot v$
 stat. jedinica. $1v = 3 \cdot 10^{10}$ cm = brzina svjetla /.

Sila, kojom djeluje 1 Coul na 1 Coul u uda-
 ljenosti 1 cm je onda $(10^{-2} \cdot v)^2$ dina, intenziteta po-
 gla je dakle $10^{-2} v^2$ dina/coul. Izprimimo li intenzite-
 tu u Volt/cm dobimo prema jednakosti 98

$$f = 10^{-7} \cdot v^2 \cdot 10^{-2} = v^2 \cdot 10^{-9} \text{ Volt/cm} \quad (99)$$

Fok iz jedinice množine jedan Coul, jednak je
 jedinici / kod magnetizma 4 π f. Indukcija na
 površini kugle polupjera 1 cm - ako se u središtu

Kugle malari množina 1 Coul. — jeste :

$$D = \frac{1 \text{ Coul}}{4\pi \text{ cm}^2} \quad (100)$$

To je dakle indukcija u udaljenosti 1 cm od jedi-
nice množine. Za zrak dobimo prema tome izdeci,
to :

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{10^9}{4\pi v^2} \quad \text{ili} \quad D = \frac{10^9}{4\pi v^2} \cdot \epsilon \frac{\text{Coul}}{\text{cm}^2} \quad (101)$$

Nabijemo n. pr. pločasti Kondenzator - dielektričnu zrak -
l = 0,1 cm do napona 100 Volta, onda je intenziteta
polja ili napona za 1 cm $E = \frac{U}{l} = 1000 \text{ Volt/cm}$. Induk-
cija ili tok kroz jedinicu površine $D = \frac{10^9}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{20}} \cdot 1000 =$
 $= 8,9 \cdot 10^{-17} \text{ Coul/cm}^2$. Nadomjestimo li zrak sa drugim
dielektričnom, dobimo za istu intenziteta κ puta
veću indukciju. N. pr. za parafin je $\kappa = 2$, staklo
 $\kappa = 5,5 \div 9$ itd. Za koji god dielektričnu vrijedi opće,
niti :

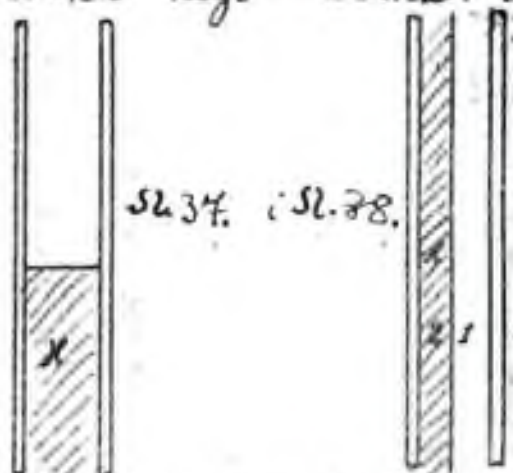
$$D = \frac{10^9 \cdot \kappa}{4\pi \cdot v^2} \cdot \epsilon \frac{\text{Coul}}{\text{cm}^2} \quad (102)$$

κ se zove dielektrična konstanta, te iznosi za :

zrak	1
parafin	1,9 ÷ 2,3
papir (parafiniran)	2
efomit i tvrda guma	2 ÷ 3
bakelit izolacija	2,5 ÷ 4,3
ulje (prve vrste)	3 ÷ 5
tinjaci	4 ÷ 8
lincenit	5 ÷ 6
staklo (prema vrsti)	5 ÷ 12

Imate li raspor kao u slici 37. za svaku polo-
vicu drugu konstantu n. pr. zrak i κ , onda je
napetost i jakost polja za obje polovice ista, induk-

cija sa polovicu sa diel. konstantom K jeste K puta tolika nego u zraku. Razdijelimo raspor po slici 38.



onda je indukcija svuda jednaka, ali je intenzitet u dielektrikumu K puta manja.

$$E_1 : E_2 = K$$

Općenito vrijedi:

$$C = \frac{4\pi}{9} \left(\frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2} + \frac{l_3}{K_3} \dots \right) \quad (103)$$

ako se raspor sastoji iz različitih medija debljine $l_1, l_2 \dots$ te diel. konstanta $K_1, K_2, \dots$

Tako, da smo u slici 38. umetnuli dielektrikum K , povedati smo jakost polja u zraku:

$$2K : (1+K) \text{ puta}$$

ako je debljina 1 jednaka debljini 2.

Ohmov zakon za magnetični krug možemo i ovdje upotrebiti. K odgovara veličini μ .

16.) Kapaciteta.

Paramjer množine elektricitete (kota) i napre, tosti zovemo kapaciteta C . Ako je E napon u Voltima, onda vrijedi:

$$Q = C \cdot E \text{ Coul.}$$

104

Jedinicu kapacitete ima kondenzator sa tokom kroz ploštinu 1 Coul, ako je napon 1 Volt. Množina 1 Coul. kod napetosti 1 Volt / Couu jedinicu zovemo Farad. Farad je dakle kapaciteta kondenzatora, kojega na, bije 1 Amper-sek na napetost 1 Volt.

BR INV 52

Po predavanjima g. prof. M. Ploble.

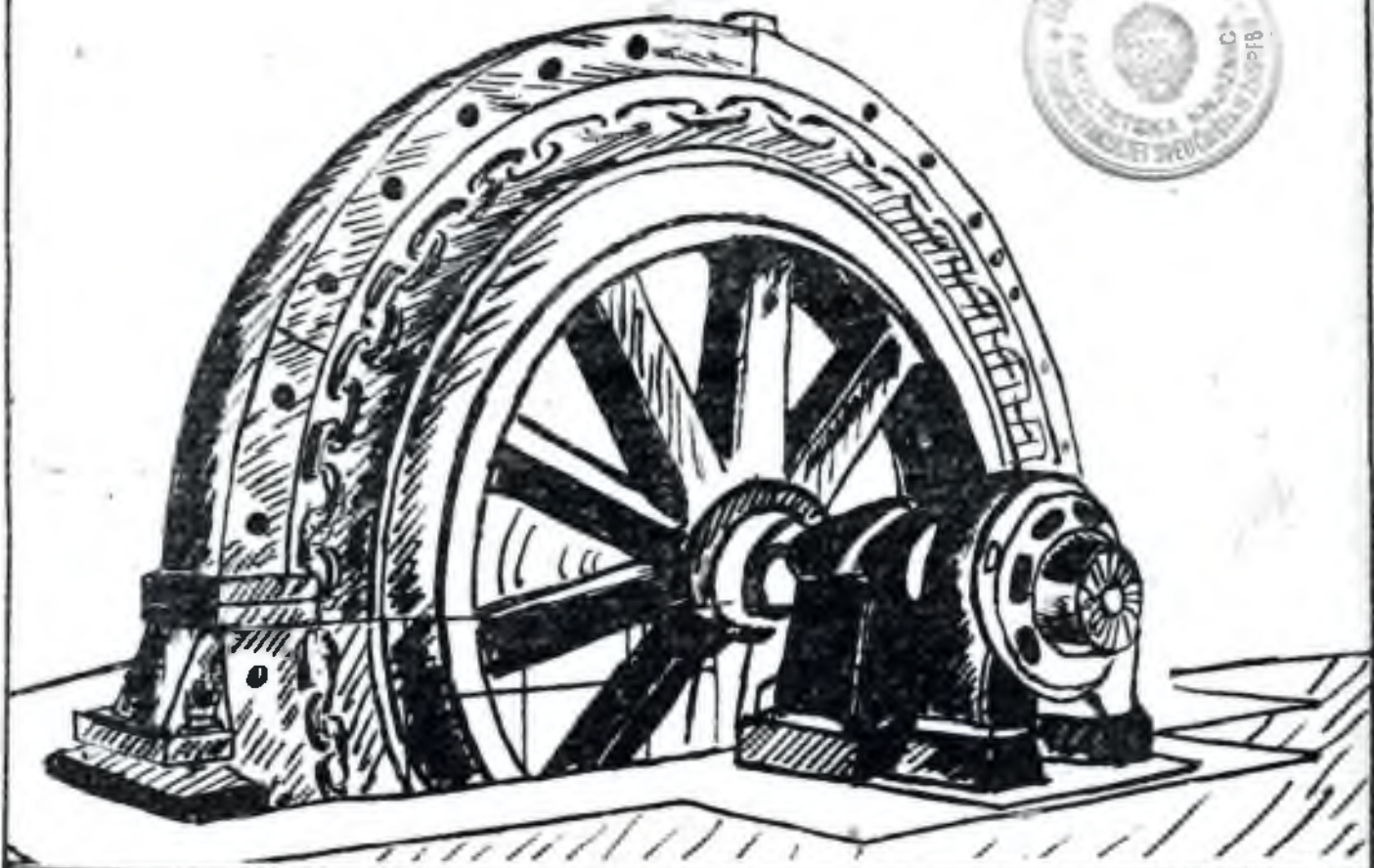


J A K A S T R U J A I.

/Istosmjerna struja/

Svez.II.

N A M O T A J I



I. Izdanje.

Izdalo Udruženje slušača tehničkog fakulteta

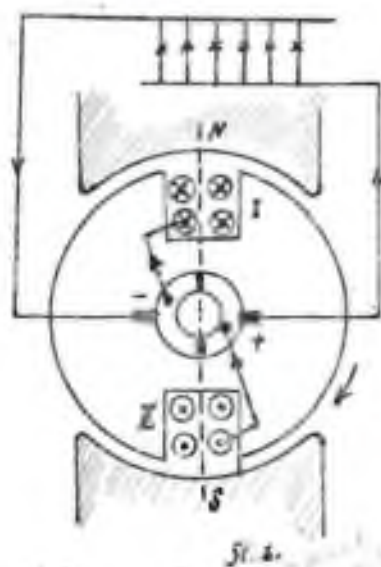
u

Z a g r e b u.

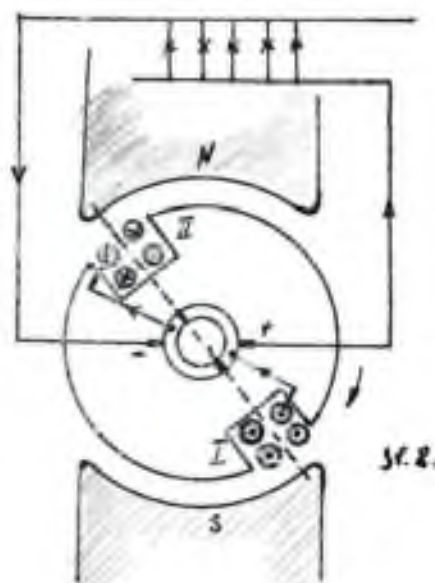
1927

1.) Proizvodnja el. motorne sile.

Faraday-ove glasovite radnje, koji je izdao g. 1831 i 1832, gdje je prvi puta govorio o tome, da se gibanjem vodiča u magnetskom polju može proizvesti elektromotorna sila - temelj su svih dinamo strojeva. Najvažniju upotrebu našla je ova pojava godine 1854. u Siemens-ovoj armaturi dvostruko T. Ova je armatura bila napravljena iz mekog željeza sa dva utora za omotku iz izolirane bakarne žice. U slici br. 1 nalaze se obje strane



omotke upravo pred polovima, te sijeklu ondje rter jednolikog magnet. skog. polja. Po kojem god od poznatih pravila možemo odrediti, ti smjer inducirane napetosti. Kod desno, kretnje je armature napetost vrtačeva kako se to vidi iz slike br. 1



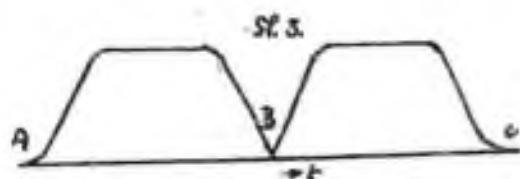
Napetosti u obim stranama jednoga zavoja djeluju u istom smjeru, te isto tako i napetosti svih zavoja. Izlazi li strana I omotke iz opsega sjevernog pola, pada napetost postepeno do nule. Uklazi li promatrana strana u područje južnog pola to napetost promijeni smjer. Rotacijom dakle dobijemo u svitku inducirane izmjenične napetosti i struje.

Krajevi svitka spojeni su sa komutatorom, kojeg si zamislimo iz dva dijela. Obje polovice komutatora spojimo pomoću četice sa vanjskim krugom. Ako radi jednostavnosti dijelimo komutator u ravnini zavoja, onda leže četice, kako je to u slici naznačeno, u neutralnoj zoni, t.j. u promjeru armature, koji je okomit na vrtulni smjer polova.

U isto vrijeme, kad promijeni napon svoj smjer, promijeni također i komutator spoj vanjskog kruga sa krajevima svitka. Prema tome ostane struja u vanjskom krugu ista.

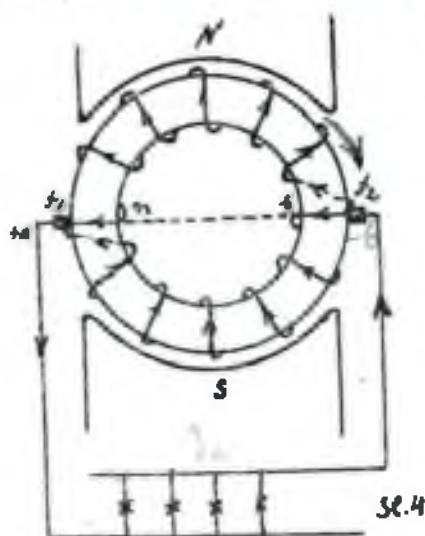
smjeru i tada, kada strujna I. omotke klasi u opseg
vremena pola, te struja u omotci promjeni vlastiti smjer, sl. 3.

Pomoću komutatora dobili smo
u vanjskom krugu iz izmjenične
struje pulzirajuću istosmjernu. Ako
utopi nisu prekomjerne brojevi, po,
kazuje slika br. 3 ovisnost jakosti
struje o vremenu.



2. Prstenaste armature.

Da imademo u vanjskom krugu ne samo istosmjernu struju, nego
struju konstantne jakosti, mora imati armatura mnogo zavoja,
duosno svilača, a kolektor ili komutator odgovarajući broj la-
mela. Prvi, koji je upotrijebio komutator sa mnogo lamela bio
je Pacinotti godine 1860. Prstenaste armature se danas više
ne rabe, jer su ih u tehnici jakih struja poče istisnule t.
zv. cilindrične armature.



Omotamo li željezni prsten jednoliko
zavojima - slika br. 4 - spojivši po-
četak i svršetak, onda nastane sam u
sebe zatvoreni namotaj. Rotira li
armatura u smjeru kazala na uri,
onda imadu struje u pojedinim za-
vojima označeni smjer; t.j. ispred sj-
vernim polom N prema tom polu, u
ispred južnim polom S - od toga
pola. Elektromotorne sile obiju polovi-
ca, se sumiraju, a kako su sume

ovih elektromotornih sila u gornjoj i donjoj polovici međusobno
jednake, ali suprotne, to u zatvorenom namotaju nema nikakve
struje.

Odstranimo li sada izolaciju na vanjskoj površini bakarnog
namotaja, a da je kod toga ne razorimo među žicama, te pri-
stavimo li kefire "f₁" i "f₂", koje truse na površini, onda teč-
struja kroz vanjski krug, koji je spojen sa točkama "a" i "b",
konstantne jakosti. Ta je struja jednaka sumi obiju polovica
prstena. Polovice su dakle prstena paralelno spojene. Promjen-
mo li smjer vrtanje, obrne se također i smjer elektromotorne
sile.

Označimo li sa: I_a struju armature u vanjskom krugu, a sa i_a struju u namotaju, onda vrijedi:

$$i_a = \frac{I_a}{2}$$

Elektromotorna sila, koja se pojavi u točkama a' i b' kao napetost steraljka jeste suma elektromotornih sila svih zavoja jedne polovice. Ako je R_a otpor armature, onda za napetost na steraljkama ova jednačina:

$$U = E - I_a \cdot R_a \quad (\text{za generator}) \quad (1)$$

otop: + u
sred: +

3) Elektromotor sa prostenastom armaturom.

Spojimo li generator nacrtan u slici 4. sa baterijom ili bilo ko-
jim izvorom istosmjernje struje i to tako, da se smjer struje
protudarn sa nacrtanim smjerom, to moramo spojiti pozitivni
pol izvora sa steraljkom b' , a negativni sa a' . Struja, koja
ulazi kroz keficu f_1 u zavoje dijeli se u 2 dijela. Jedan
dio teče kroz gornju, a drugi kroz donju polovicu, te se kod
kefice f_2 ove dve struje sjedine. Odatle teče struja natrag k
izvoru. Struja svake polovice namotaja magnetizira polovicu
prstena, tako da se kod kefice f_1 pojavi sjeverni pol n' , a
kod kefice f_2 južni pol s' . Učinak tih polova prouzroči mo-
menat volnje, koji nastoji okretati prsten suprotno smjeru kretala
na uri.

Okreće li se prsten u ovom smjeru, onda tok Φ proizvodi u za-
vojima elektromotornu silu, koja nastoji prouzročiti struje su-
protne onima, koje su označene u slici 4. Ova je dakle elektro-
motorna sila suprotna nametnutom naponu izvora struje, sa
kojim smo spojili armaturu. - Protuelektro-motorna sila. E -

Ovdje vrijedi: $I_a = \frac{U - E}{R_a} \rightarrow U = E + I_a R_a$ (za motor!) (2)

I_a imade maksimalnu vrijednost, kad je $E=0$ t.j. kada je
armatura u stanju mirovanja, pa ne proizvodi nikakvu protu-
elektromotornu silu. U tome je slučaju: $I_a = \frac{U}{R_a}$. Jer je otpor
armature nematan, bila bi dakle struja nedovoljno velika.
Da se kod upuštanja motora jakost struje ograniči na dovoljnu
visinu, ukopča se otpor, čija veličina X slijedi iz jednačine:

$$I_a = \frac{U}{R_a + X}$$

I_a je dovoljna jakost struje. Postigne li E vrijednost U , t.j.
imademo li neopterećeni hod stroja bez gubitaka, tada je:

$$I_a = \frac{U - U}{R_a} = 0$$

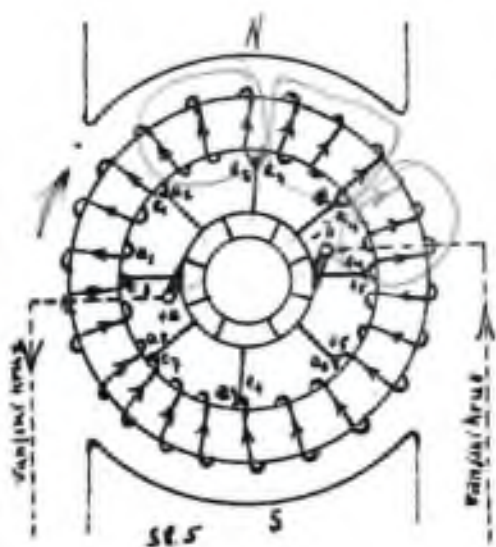
Iz jednačine (2) slijedi:

$$E = U - I_a \cdot R_a \quad (3)$$

Sa rastućim teretom raste primljena jakost struje, ako pretpostavimo konstantni napon steraljka. Po jednačini (3) mora prema tome protuelektromotorna sila padati. Ostane li tok indukcije isti, padne broj okreta, jer je E proporcionalno toku Φ i broj okreta. Iz toga slijedi pravilo: Sa rastućim teretom pada broj okreta; želimo li, da taj broj ostane isti - ili ako ga hoćemo povećati, treba umanjiti tok Φ .

4.) Komutator.

U praksi se je omotalo prsten cijelom serijom vitaka, koji su međusobno spojeni, tako da nastane tzv. "tekući" namotaj. Svjetak prvog vitka spoji se sa početkom drugoga i sa lamelom komutatora, - slika Br. 5. - svjetak drugoga sa početkom trećega, te opet sa jednom lamelom komutatora, i t. d. Spojevi: $e_1 a_2, e_2 a_3, e_3 a_4, \dots$ itd. idu dakle k lamelama kolektora. Broj lamela je u tom slučaju isti kao broj vitaka. Na lamelama bruse kefice koje su spojene sa vanjskim krugom.



Tok struje u omotci armature vidi se iz slike.

Dohće li se kefica istodobno dviju lamela, dovede time u kratki spoj vitke spojene sa dotičnim lamelama. U to su dakle vrijeme kratko spojeni svitci iskopčani iz vanjskog kruga. Za takog su broja lamela uvijek dva svitka kratko spojena, t. od svake kefice po jedan, dok je kod lihog broja lamela uvijek samo jedan svitak u kratkom spoju.

Elektromotorna sila prstena sastoji se prema tome u jednom momentu iz same elektromotornih sila polovice svih vitaka, a u drugom momentu iz ove sume - manje elektromotorne sile kratko spojenih vitaka. Uslijed toga imademo nešto sitniju struju, koje je titranje to veće, što je manji broj vitaka, te nadalje što je veći broj zavoja u svitku.

Iz tabele I. vidi se, da sa rastućim brojem vitaka titranje pada. Imademo li 15 lamela iznaša titranje 1%, a za 36 lamela tek 0,19% cijelog napona.

Tab. I

Broj svitaka	Srednj. kut.	Tiliranje %
2	180°	502
4	90	14
10	36	2,38
12	30	1,70
15	24	1,10
20	18	0,61
24	15	0,42
30	12	0,28
36	10	0,19
40	9	0,14
45	8	0,12
60	5	0,07



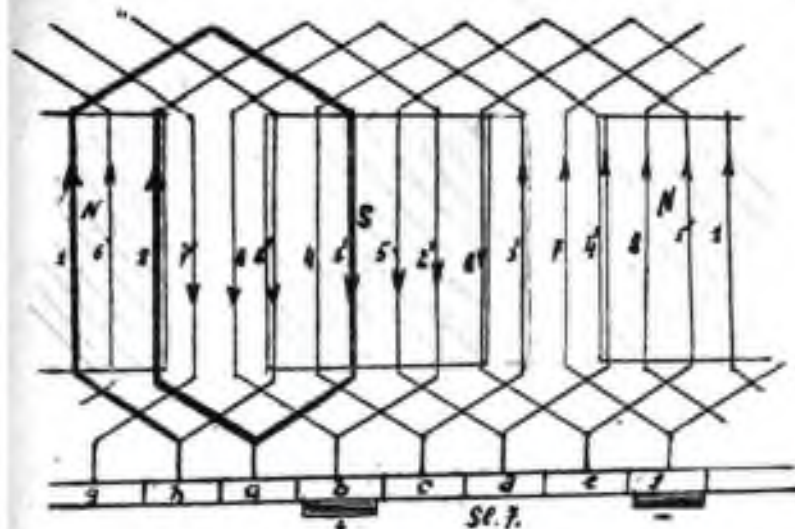
Ako bi se morali obzirati samo na ovo tiliranje, ne bi trebali imati više nego 36 lamela. No tu dolaze još drugi razni zahtjevi i pitanja, koja su odlučna kod određivanja broja lamela.

5.) Cilindrične armature.

Kod cilindrične armature leže žice na površini željeznog cilindra, koji je sastavljen iz limenih pločica. Slika 6. prikazuje shematično nacrtan bubanj sa kolektorom iz 8 dijela, i pripadajućim svitcima, koje smo radi jednogstavnosti crtali samo sa 1 zavojem. Vodiči nalaze se na površini armature, te si, jednako kod vrtanja u magnetskom polju vrte indukcije. U žicama biva inducirana elektromotorna sila, a njenim smjerom lako odredimo pravilom desne ruke. Krug sa križićem označuje nam struju, koja teče od posmatrača van, a krugovi sa točkicom struju prema posmatraču.

Vodiči, koji leže nad horizontalnim promjerom imaju istosmjernu elektromotornu silu. Isto tako i vodiči pod ovim promjerom, tek je smjer obih elektromotornih sila protivan. Spojimo li suprotno ležeće žice tako, da tvore tekuci namotaj, onda teče struja, koju pomoću kolektora možemo lako oduzeti armaturi. Namotaj ide ovako: Žicu 1 spojimo na stražnjem čelu armature sa približno diametralno suprotno ležećom žicom 1'; na prednjoj pak strani 1' sa 2, na stražnjoj 2 sa 2' na prednjoj 2' sa 3 i t. d. Spojnice nasuprot ležećih žica idu na prednjem čelu armature k lamelama komutatora.

Zamislimo si namotaj kod žice 1 presiječen, i to paralelno sa osi cilindra, te razvijen u ravninu, to dobijemo sliku broj 7. Smjer struje u vodičima 7'3 i 3'7 je ovisan o položaju kefice. U nacrtanom slučaju mogu se kefice pristaviti na lamela "b" i "f" ili "c" i "g".



Prislonimo li ih na lamele "b" i "f", onda teče struja "od kefice "b" kroz vanjski krug prema kefici "f", a odatle kroz:

7-7' 8-8' 1-1' 2-2'
6-6' 5-5' 4-4' 3-3'

kefici "b" natrag.

6.) Armatura sa utorima.

Omotka sastoji se iz pojedinih svitaka, elemenata namota, taja, koji su međusobno spojeni, takoda tvore takući namotaj. Spojnice pojedinih svitaka idu k lamelama komutatora. Broj svitaka "S" je uopće jednak broju lamela "K".

$$S = K$$

(4)

Kod velikih dinamostrojeva imade svaki element namota, taja obično samo jedan zavoj štapovog presjeka, a kod manjih više žica. Svaki element ima dvije strane, koje leže u utorima na plaštu cilindra. Leže li strane diagonalno suprotno, t.j. ako je razmak strana ili širina svitka jednaka promjeru - ili kod višepolnih strojeva razmak polova: $r_p = \frac{D_p}{2p}$, onda imademo omotku u promjeru, a ako je širina svitka manja ili veća / redovno manja radi manjeg otpora /, onda imademo omotku u tetivi. Ta mora dakako uvijek biti takova, da obuhvati što je više moguće čitavi tok indukcije.

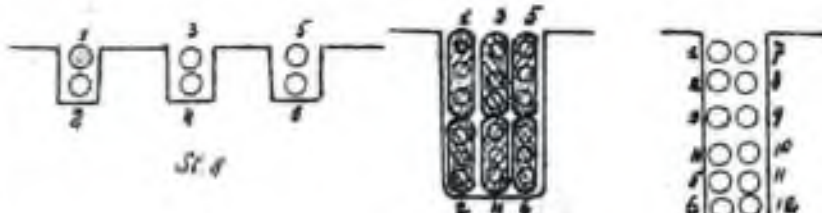
Kod običnog dvoslojnog namotaja leže u svakom utoru 2 strane ili 2 štapa, jedan preko drugoga. Od obija strana jednog elementa leži jedna strana - početak - gore, a druga strana - svršetak - dole u utoru, koji je od prvoga udaljen za približno razmak polova. Izumom čine rukom motanu armature, jer kod ovih leže strane elementa gore ili dole u utorima.

Broj strana u utoru je prema potrebi različit. Pojedine strane jednog sloja, ležeći jedna do druge u istom utoru, spojene su takoder sa lamelama, koje leže na komutatoru je, dva do dva.

Da se može sastaviti tabela namotaja, dade se svakoj

strani jedan broj. U gornjem sloju leže strane dobre tekuće like brojeve, a strane, koje su u donjem sloju tekuće take brojeve. Svaki element ima dakle dva broja, čija je razlika jednaka prvom koraku: $y_2 = \text{širina svitka}$. Taj korak je za svaki element jedoga te istoga namotaja konstantan. - Pojedine strane brojimo u pojedinim slučajevima, kako to prikazuje slika: broj 8. Označimo li sa " S " broj strana, dakle:

$$S = \frac{St}{2}$$



dobimo: U svakom utoru leži isti broj strana. Ako sa: " Z " označimo broj utora, onda mora biti

$$\frac{St}{Z} \text{ cio broj} \quad (5)$$

U svakoj neutralnoj zoni promijeni struja vlastiti smjer, prema tome imademo u svakoj neutralnoj zoni razgraničavanje struje. Zatvorena omotka ima dakle isti broj grana, koliko i neutralnih zona. Želimo li imati sve grane električki jednake, to mora broj strana biti cjelobrojno djeljiv sa brojem grana: 2a

$$\frac{St}{2a} = \frac{2S}{2a} = \frac{S}{a} = \text{cio broj} \quad (6)$$

Jer je $S = K$ možemo pisati: $\frac{K}{a}$ cio broj (6a)

Želimo li imati ekvivalentne grane, i to u svakom položaju armature, mora svaka strana jedne grane odgovarati jednoj strani druge, paralelne grane, t. j. u jednakom polju ležati. To je samo onda moguće, ako armatura ima " a " utora, koji leže u jednakom polju. Npr. za četveropolno polje: $2a = 4$ $a = 2$ moraju uvijek po 2 utora ležati u jednakom polju. Prema tome:

$$\frac{Z}{a} \text{ mora biti cio broj} \quad (7)$$

Želimo, da " a " utora mora ležati u jednakom polju, stoga da i broj polova " $2p$ " mora biti cjelobrojno djeljiv sa " a " t. j.

$$\frac{2p}{a} = \text{cio broj} \quad (8)$$

Ako su jednačine 6 i 8 ispunjene, onda je broj i položaj svih induciranih strana elementa, koji leže među kuficama za sve grane jednak. Temeljni dakle uvjeti simetrije glase:

$$\frac{K}{a}, \frac{Z}{a}, \frac{2p}{a} \text{ cijeli brojevi} \quad (9)$$

Ovi su najčešći kod dvopolnog stroja, jer je $u = 1$ uvijek ispunjen.

U neutralnoj zoni uzima se struja. Kefice možemo prikloniti na sve lamelle, koje su spojene sa neutralno ležućim svitcima. Broj neutralnih zona jednak je broju polova. Kod petglaste oмотke mora biti prema tome broj kefica jednak broju polova, dok kod valovite oмотke može biti broj kefica i manji. No općenito su ovi brojevi jednaki.

Širina svitka jednaka je približno razmaku polova: $2p$, da bi uhvati svitak, što je više moguće čitavi tok indukcije. Razmak $2p$ odgovara $\frac{2}{2p}$ utora. Širina svitka, ili korak u utorima je prema tome:

$$y_n \leq \frac{2}{2p} \quad \text{ili} \quad y_n = \frac{2}{2p} - \epsilon_n \quad (10)$$

Ukracivanje ϵ_n mjeri se kao korak u utorima u dijelovima utora. Npr. $2 = 45$, $2p = 6$, onda je $\frac{2}{2p} = 45:6 = 7\frac{3}{2}$. Odaberemo li $y_n = 7$, to je ukraćivanje $\epsilon_n = \frac{3}{2} = 1\frac{1}{2}$.

Mjerimo li ukraćivanje u dijelovima lamela, moramo navedi, da svakom svitku odgovara jedna lamela. Imade li utor u_n strana, t.j. $\frac{u_n}{2}$ svitka, to dobijemo, da je ukraćivanje mjereno u lamelama:

$$\epsilon_n = \frac{u_n}{2} \cdot \epsilon_n = u_n \cdot \epsilon_n \quad (11)$$

Dalje slijedi iz jednačine broj 10, 11 i 13 da je:

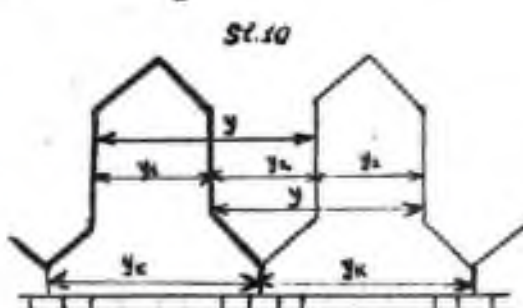
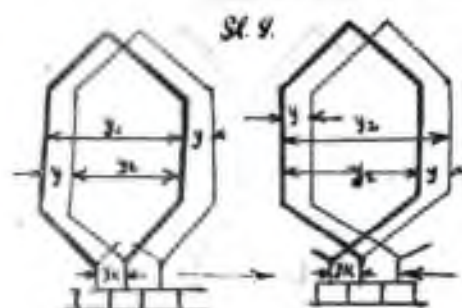
$y_1 = u_n y_{n+1} = u_n \cdot \frac{2}{2p} - u_n \cdot \epsilon_n + 1$. Jer je: $u_n \epsilon_n = 2 \epsilon_n$, i $\frac{u_n}{2} \cdot 2 = k$, to je:

$$y_1 = \frac{k}{p} - 2 \epsilon_n + 1 \quad \text{— odnosno } 2 \epsilon_n = \frac{k}{p} - y_1 + 1 \quad \text{i konačno}$$

$$\epsilon_n = \frac{k}{2p} - \frac{1}{2} (y_1 - 1) \quad (12)$$

Korak u utorima: y_n je obično cio broj. Samo kod st. namostrojeva sa veoma teškim prilikama komutiranja može se odabrati y_n kao veličina različita od cijelog broja.

Namotaj ide ovako: Od lamelle kolektora kroz utor (gornji vodič) prema natrag, zatim po stražnjem čelu armature do utora, što ga odredi korak u utorima, kroz utor (donji vodič) prema naprijed i opet R prijašnjem utoru, pa tako dalje, dok je svitak namotan. Svršetak spojimo sa onom lamelom komutatora, koju određuje korak u lamelama. Sa istom lamelom je spojen početak drugog svitka i t.d., dok se ne svršiv vratimo opet R početnoj lameli. Namotaj je onda zatvoren. y_1 , prvi korak, je broj strana svitaka napredovanja na stražnjem čelu armature. y_2 , drugi korak, je broj strana svitaka napredovanja ili nazadovanja na prednjem čelu armature. Napredovanje imamo kod valovite, a nazadovanje kod petglaste oмотke.



Slike br. 9 i 10 prikazuju ove veličine. Sl. 9. je shema petljasti a sl. 10 shema valovite omotke.

Kod prvog koraka y_1 smo napredovali za y_n utora, a jer svaki utar ima u_n strana svitaka, to je prema tome korak:

$$y_1 = u_n y_n \pm 1 \quad (13)$$

± 1 , jer smo kod toga napredovanja prešli iz gornjeg sloja u donji. Da je napredovanje samo: $u_n y_n$, morala bi i druga strana svitka ležati u istom sloju kao i prva. Ukupni je

$$\text{Korak: } y = y_1 \pm y_n \quad (14)$$

gdje $+$ vrijedi za valoviti, a $-$ za petljasti namotaj.

Ako je kod petljaste omotke $y_2 < y_1$ onda imamo napredovanje za ukupni korak y (desnohodna, nekržana omotka); a ako je $y_2 > y_1$ imamo napredovanje (lijevohodna, kržana omotka). Kržane se omotke, radi dužeg spoja po mogućnosti izbjegavaju.

" y " je ukupni korak. Mjeri se u stranama svitka, tj. y je cio, laki broj. Polovica ($\frac{y}{2}$) jednaka je broju elemenata napredovanja. A jer je broj elemenata jednak broju lamela, to je onda dakle $\frac{y}{2}$ jednako napredovanju na komutatoru. Dakle je korak mjeren u lamelama komutatora:

$$y_k = \frac{1}{2} y = \frac{y_1 \pm y_2}{2} \quad (15)$$

Ovdje znak $+$ vrijedi za valoviti namotaj, a $-$ za petljasti namotaj.

7.) Petljasti, paralelni namotaj:

Ovdje vrijede jednadžbe:

$$a = p, \quad k = S = \frac{St}{2}, \quad y = y_1 - y_2 = \pm 2, \quad y_k = \frac{y}{2} = \pm 1, \quad y_1 = u_n y_n \pm 1$$

Praki djelomični korak: y_1 te y_2 jednak je približno ravna polova, koji je mjeren u stranama: $\frac{St}{2p}$, prema tome je

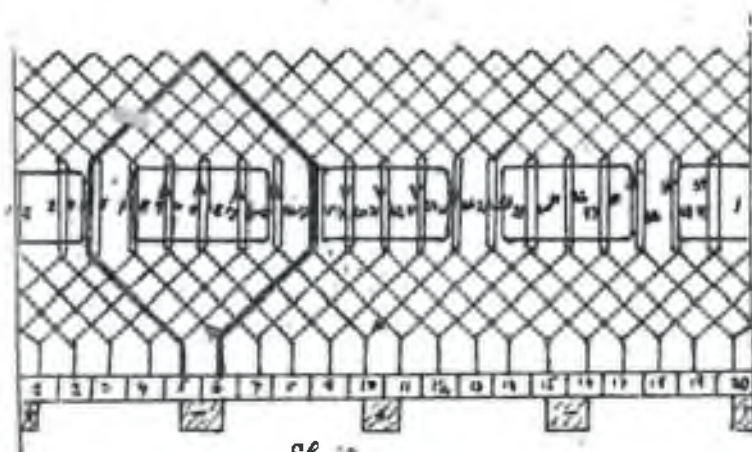
$$y_1 = \frac{St \pm b}{2p} \quad \text{i} \quad y_2 = \frac{St \pm b}{2p} \mp 2 \quad (16)$$

gdje nam: " b " označuje onaj broj, koji učini y_1 i y_2 cijelim brojevima.

Namotaj se daje izvršiti za koji god broj lamela komutatora. Kržani namotaj valja izbjegavati, a osobito su zgodni

ovaj namotaj, kojih je broj lamela, koji otpada na jedan par polova, cio lihi broj. — Kefice su prislonjene na lamele, koje su u neutralnoj zoni. Razgranjivanje struje je sasvim sitije, moramo uzeti toliko kefica, koliko stroj ima ogranaka (polova). Slika broj 11 prikazuje namotaj 2-polnog stroja:

$$\begin{aligned} 2p &= 2 \\ Z &= 23 \\ S &= 23 \\ K &= 23 \\ u_n &= 2 \end{aligned} \quad \begin{aligned} y_n &= \frac{Z}{2p} = \frac{23}{2} \text{ odabrano: } 11 \text{ pa je } \epsilon_n = \frac{1}{2} \\ y_2 &= 2y_n + 1 = 23 \quad \text{po jednačini (16)} \quad \frac{46 \pm 6}{2} = 23 \quad b=0 \\ y &= 2, \quad y_k = 1, \quad y_2 = y_1 - 2 = 21. \end{aligned}$$



Sl. 11

Slika br. 12: Četveropolni stroj

$$\begin{aligned} 2p &= 4 & a &= 2 \\ K &= S = Z = 20 & u_n &= 2 \end{aligned}$$

Namotaj je u tetivi $y_1 > 9$

$$y_1 = 13, \quad y_2 = 11, \quad y_k = 1.$$

Tabela namotaja:

$$5 - 5 - 13$$

$$6 - 7 - 20$$

.....

Opće se kod tetivnog namotaja odabera po mogućnosti y_1 manje nego prema polova: $y_1 = 9, \quad y_2 = 7$

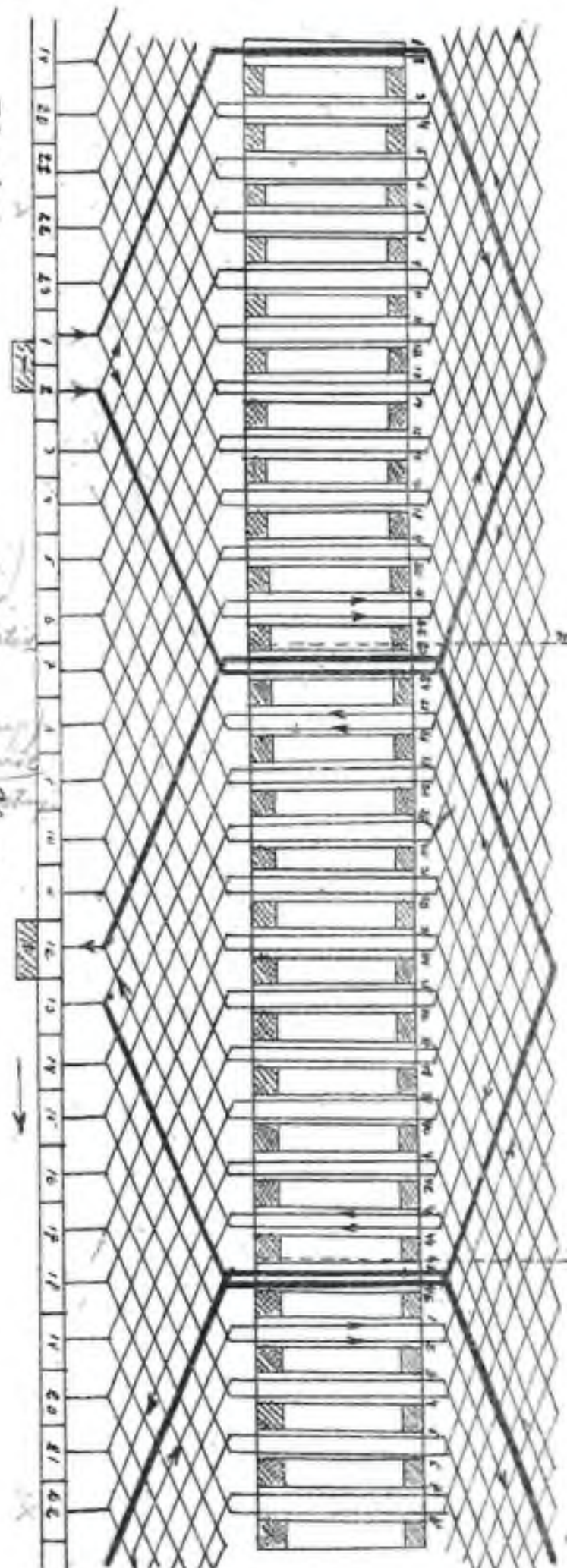
8.) Dvo (više) struki petljasti namotaj:

Kod dinamo strojeva velike snage, ali niskog napona, kakovi se rabe na pr. za elektrolitične svrhe, imali bi pojedini stepovi armature preveliki presjek. U tom slučaju može se na armaturi namotati dvije ili više (m) međusobno jednakih petljastih omotaka. Za ovaj namotaj vrijedi:

$$a = 2(m) \cdot p \quad (17)$$

Da su pojedini namotaji i njihove grane, koje su putem kefica paralelno spojene također međusobno u svakom položaju armature ekvivalentne mora svakome svitku jednog namotaja odgovarati u jednakom položaju ležeci svitak drugog namotaja. Ovaj se uvjet simetrije može postići samo kod $m=2$, dakle kod dvostrukog petljastog namotaja. Kod ove omotke umetnemo uz svaku stranu jednog svitka jednu stranu drugoga, te isto tako uz svaku lamelu komutatora jednog svitka, jednu lamelu drugog. Korak u lamela, ma je prema tome kod 2 - (m) struke omotke:

$$y_k = 2(m) \quad (18)$$



70 b. molanys.

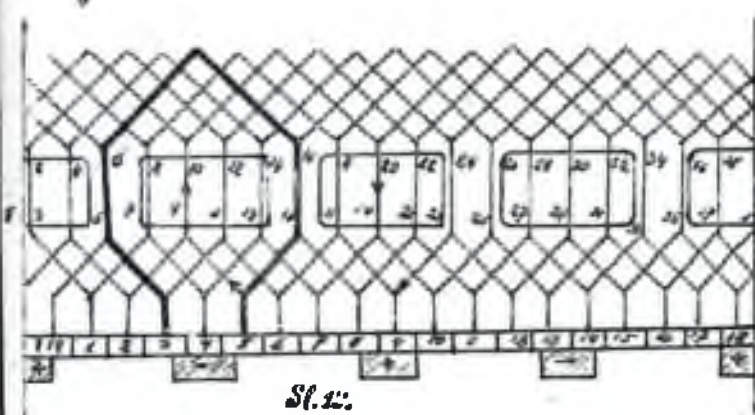
dem.	strong	strong	dem.	strong	strong
1	1	24	1	1	1
2	3	26	1/2	1/2	1/2
3	5	28			

with parallel flow
 stay dry & relative
 a surface had relative
 to strong
 with vertical flow
 stay had relative
 with had relative
 St. H.

Kod namatanja preskoćimo prema tome za $m=2$ uvijek jedan element ili 2 strane - ili jednu lamelu. Spojiti moramo: svršetak elementa 1 sa početkom elementa 3. Kad smo obišli tako armaturu, prekoračili smo polovicu (za $m=2$) ili općenito $\frac{1}{m}$ od svih elemenata, i takođe polovicu odnosno $\frac{1}{m}$ svih lamela. Ako je broj lamela djeljiv sa 2 odnosno sa m , to se namotaj zatvori već kad zbog ophoda. Čitavi namotaj je onda 2 ili m -puta zatvoren. Ako n nije djeljivo sa m , to se namotaj zatvori tek onda, kad smo sve svtke prekoračili. To je jednostavno zatvoreni namotaj. Savim simetrična je samo dvostruka, dva puta zatvorena omotka, koju je najbolje izraditi kada dođe ovakav namotaj u obzir i to zato, da se nema poteškoće sa spojnicama i jednodušenja. Prema tome vrijedi:

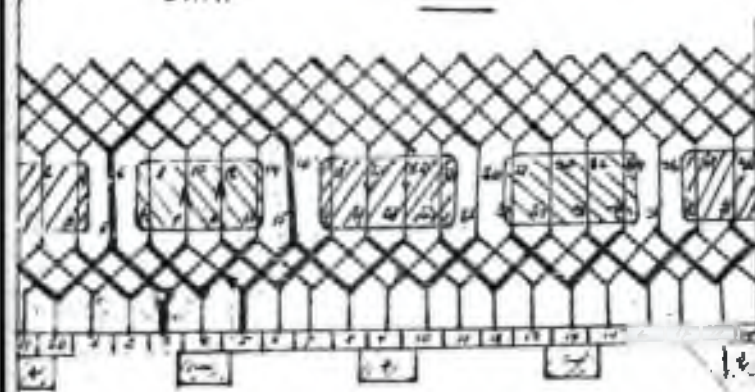
$$v=mp, K=S=\frac{S_1}{2}, Y=Y_1-Y_2=\pm 2m, Y_1=\frac{Y_1-Y_2}{2}=\pm m, Y_2=\frac{S \pm b}{2p}, Y_2=\frac{S \pm b}{2p} \pm 2m$$

Broj, koji nam kaže koliko puta je namotaj zatvoren, jednak je najvećem zajedničkom djelitelju od Y_1 i K . A najveći mogući je taj broj: m .



St. 12.

ser. =



Slika broj 13 prikazuje namotaj jednostavno, a sl. 14. dvostruko. Kod zatvoreni petljasti namotaj, širina refice mora biti veća nego širina lamela, da pokriva ponajmanje 2 lamela savim - ili djelomično.

Za sliku 13. $a=4, K=S=19,$

$Y=2 \cdot 2=4, Y_1=2, Y_2=11$ i $Y_2=\frac{N}{2}$. Y_1 i K nemaju zajedničkog djelitelja, dakle je omotica jednostavno zatvorena.

Za sliku 14. $a=4, K=S=20,$

$Y=2 \cdot 2=4, Y_1=2, Y_2=11$ te $Y_2=\frac{N}{2}$. Zajednički djelitelj je 2, pa je taj namotaj dvostruko zatvoreni.

3. Valovita omotka.

Karakteristika je ove omotke, da je: $Y=Y_1+Y_2$. Jednostavna valovita ili serijska omotka ima uvijek

$$a=1$$

valovita omotka nastane, ako počevši sa lamelom 1 vodimo žicu
 od gornji dio utora 1, zatim na stražnjem čelu za širinu
 elementa t.j. za korak y_2 unapred; zatim kroz donji dio utora
 ret na prednju stranu, strame komutatora. Mi sada se ne
 vratimo kao kod petgaste omotke k istom polu, gdje smo počeli,
 go idemo k drugom, susjednom polu do utora, koji leži što je
 više moguće u jednakom polju kao i prvi. Onda opet kroz gornji
 dio utora prema straga, po stražnjem čelu za korak y_2 naprijed
 i t.d. dok ne dođemo u blizinu početka. Iz toga se odmah
 vidi, da je serijski namotaj uopće moguć samo kod višepolnih
 trojeva. — Kod drugog koraka, t.j. kada smo kroz drugi
 utor po prvi puta od straga došli prema naprijed, na
 stranu komutatora, priključili smo se na lamelu, koja je
 od početne lamele udaljena za y_k lamela. Taj y_k jednak je
 polovici sume koraka y_1 te y_2 . Početak prvog ophoda moramo
 priključiti na lamelu, koja je susjedna početnoj. Radi kraćeg
 spoja, te jednostavnije izvedbe odabere se obično lamelu, koja
 bliže leži, t.j. ako smo išli od početne lamele na desnu stranu
 onda se priključimo na susjednu lijevu. Jer zaostanemo
 kod svakog ophoda za jednu lamelu od početne, to pslije y_k
 ophoda dođemo opet k prvoj početnoj; namotaj se zatvori.
 Kod jednog ophoda na armaturi napredovali smo za $k \pm 1$
 lamelu. Ili to $k+1$ ako smo uzeli desnu lamelu (desnohodna
 križana omotka) ili $k-1$, ako smo uzeli lijevu (lijevohodna
 nekrižana omotka) od prve ~~prve~~ početne kao početak drugog
 valovitog ophoda. Na to smo izvršili p puta korak u la-
 melama y_k . Prema tome: $p \cdot y_k = k \pm 1$ ili

$$y_k = \frac{k \pm 1}{p} = \frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{y}{2} \quad (20)$$

y_k mora biti cio broj, dakle mojet, koji mora biti spunjen jeste:

$$y_k = \frac{k \pm 1}{p} = \text{cio broj.} \quad (20a)$$

Zaborom y_k , te odredivši y_k imademo namotaj jednolično određen
 $\frac{p}{2}$ mora biti cio broj, ako želimo, da su grane ekvivalentne. To
 doduše kod serijskog namotaja nije apsolutno potrebno ali je na
 svaki način vrlo ugodno. Hoćemo li, da ne sve uture otpada
 isti broj strana elemenata, onda je mogućnost potpune simetrije
 ograničena.

$$\text{Imali smo: } y_k = \frac{k \pm 1}{p} = \frac{\frac{p}{2} \cdot \frac{2}{p} \cdot k \pm 1}{p}, \quad \frac{p}{2} \cdot \frac{2}{p} \cdot k = p \cdot y_k \pm 1, \quad \frac{2}{p} \cdot k = \frac{2}{p} \cdot y_k \pm \frac{2}{p}$$

te konačno:

$$Z = \frac{F_{m/2}}{2} \cdot Y_n \pm \frac{1}{2}$$

(21)

$\frac{1}{2n}$ ili $\frac{p}{u_n}$ je broj jednak jedinici, ili manji od jedinice.

Za

$$u_n = 2$$

je

$$\frac{2}{u_n} = 1$$

$$u_n = 3$$

$$\frac{2}{u_n} = \frac{1}{1,5}$$

$$u_n = 4$$

$$\frac{2}{u_n} = \frac{1}{2}$$

$$u_n = 6$$

$$\frac{2}{u_n} = \frac{1}{3}$$

$$u_n = 8$$

$$\frac{2}{u_n} = \frac{1}{4}$$

Jer mora "Z" biti cio broj, može po jednačini (21) prvi član t.j. $\frac{F_{m/2}}{2} \cdot Y_n$ biti cio broj samo za $u_n = 2$. U ostalim slučajevima mora se ovaj član sastojati iz cijelog broja i razlomka.

A razlomak mora imati vrijednost za:

$$u_n = 3 \quad \frac{2}{3} \text{ ili } \frac{1}{3}$$

$$u_n = 4 \quad \frac{1}{2}$$

$$u_n = 6 \quad \frac{2}{3} \text{ ili } \frac{1}{3}$$

$$u_n = 8 \quad \frac{1}{4} \text{ ili } \frac{3}{4}$$

Imadu li prema tome p i $\frac{u_n}{2}$ zajednički djelitelj, to ovi uslovi nemogu biti ispunjeni. Jednostavna valovita smotka je dakle samo onda moguća, ako p i $\frac{u_n}{2}$ nemaju zajednički djelitelja. — Sljedeća tabela sadrži vrijednosti Y_n u ovisnosti od "Z". Ota u pojedinim rubrikama znači, da je namotaj nemoguć. "Z" se mora tako odabrati, da je Y_n cio broj.

Medu susjednim lamelama leži "p" svitaka. Ako je kefic prislonjena istovremeno na dvije lamele, to imademo "p" seriji spojenih svitaka u kratkom spoju. Istovremeno kefice spojene sa međusobno također putem ovih elemenata, to leži u neutralnoj zoni, pa su prema tome sa namotajem parano spojene. Vanjsko paralelno spajanje putem kefica nije prema tome neophodno potrebno; moglo bi se ispustiti sve kefice osim jednog para. Ovu mogućnost reduciranja broja kefica nametnu u obzir samo onda, gdje iz različitih razloga nije moguće, ili je teško moguće zadržati sve kefice, kao n.p. kod motora sa četkicama. Nože treba na taj način provesti nesimetriju izbjegavati. Zbog toga automatičnog spajanja svih istovremenih kefica razdijeli se struja na pojedine kefice kako to već odgovara otporu. Ako su otpori različiti, daju kratko spojeni svitci kao vodiči izjednačenja. Struja se razdijeli na pojedine kefice tako, da je pad napetosti do vanjskih običnica svuda jednak. (Selektivni odvod!) Opasnost preopterećenja raste sa brojem kefica. Ako dademo spoju namotaja sa kolektorom, te spojnicama sa običnicom

razmjerno velike otpore, to se znatno poboljša jednolika raspodjela struje.

Karak y_n jednostavne valovite omotke. Tabela II.

$2p$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	$\frac{2+1}{2}$	$\frac{3+1}{2}$	$\frac{4+1}{3}$	$\frac{5+1}{4}$	$\frac{6+1}{5}$	$\frac{7+1}{6}$	$\frac{8+1}{7}$	$\frac{9+1}{8}$	$\frac{10+1}{9}$	$\frac{11+1}{10}$
3	$\frac{3+1}{2}$	$\frac{3+1}{4}$	$\frac{4+1}{3}$	$\frac{5+1}{8}$	$\frac{6+1}{10}$	$\frac{7+1}{14}$	$\frac{8+1}{16}$	$\frac{9+1}{20}$	$\frac{10+1}{20}$	$\frac{11+1}{20}$
4	$\frac{4+1}{2}$	$\frac{4+1}{4}$	$\frac{5+1}{3}$	$\frac{6+1}{5}$	$\frac{7+1}{5}$	$\frac{8+1}{7}$	$\frac{9+1}{8}$	$\frac{10+1}{9}$	$\frac{11+1}{9}$	$\frac{12+1}{10}$
6	$\frac{6+1}{2}$	$\frac{6+1}{4}$	$\frac{7+1}{3}$	$\frac{8+1}{4}$	$\frac{9+1}{5}$	$\frac{10+1}{7}$	$\frac{11+1}{8}$	$\frac{12+1}{9}$	$\frac{13+1}{10}$	$\frac{14+1}{10}$
8	$\frac{8+1}{2}$	$\frac{8+1}{4}$	$\frac{9+1}{3}$	$\frac{10+1}{4}$	$\frac{11+1}{5}$	$\frac{12+1}{7}$	$\frac{13+1}{8}$	$\frac{14+1}{9}$	$\frac{15+1}{10}$	$\frac{16+1}{10}$

u_n = broj strana

Određeno za taj namotaj vrijedi: $a=1$ $K=S=\frac{27}{2}$

$y = y_1 + y_2 = \frac{S \pm 2}{n}$ | sledi iz $y = \frac{2u_n}{n}$; $y_k = \frac{k \pm 1}{p} = \frac{y_1 + y_2}{2}$ | (cio broj)
 Krizani namotaj $(k+1)$ treba izbjegavati. y_1 i y_2 liči brojevi
 y_1 i k nemaju zajedničkog djelitelja, jer namotaj može biti samo
 jednostavno katvoren. " p " i " $\frac{u_n}{2}$ " nemaju zajedničkog djelitelja.
 Mogućnost izvođenja daje tabela II.

Šlika 15. prikazuje jedan primjer.

Tabela motanja:

$$\begin{aligned} 2p &= 6 \\ u_n &= 2 \\ a &= 1 \\ K &= 28 \\ S &= 28 \\ L &= 28 \end{aligned} \quad \begin{aligned} y_n &= \frac{S}{2p} = \frac{28}{6} \sim 4 \\ \epsilon_n &= \frac{4}{6} \\ y_k &= \frac{k-1}{3} = \frac{2-1}{3} = 9 \\ y &= \frac{S-2}{p} = \frac{26-2}{3} = 18 \\ y_1 &= y_2 = 9 \end{aligned}$$

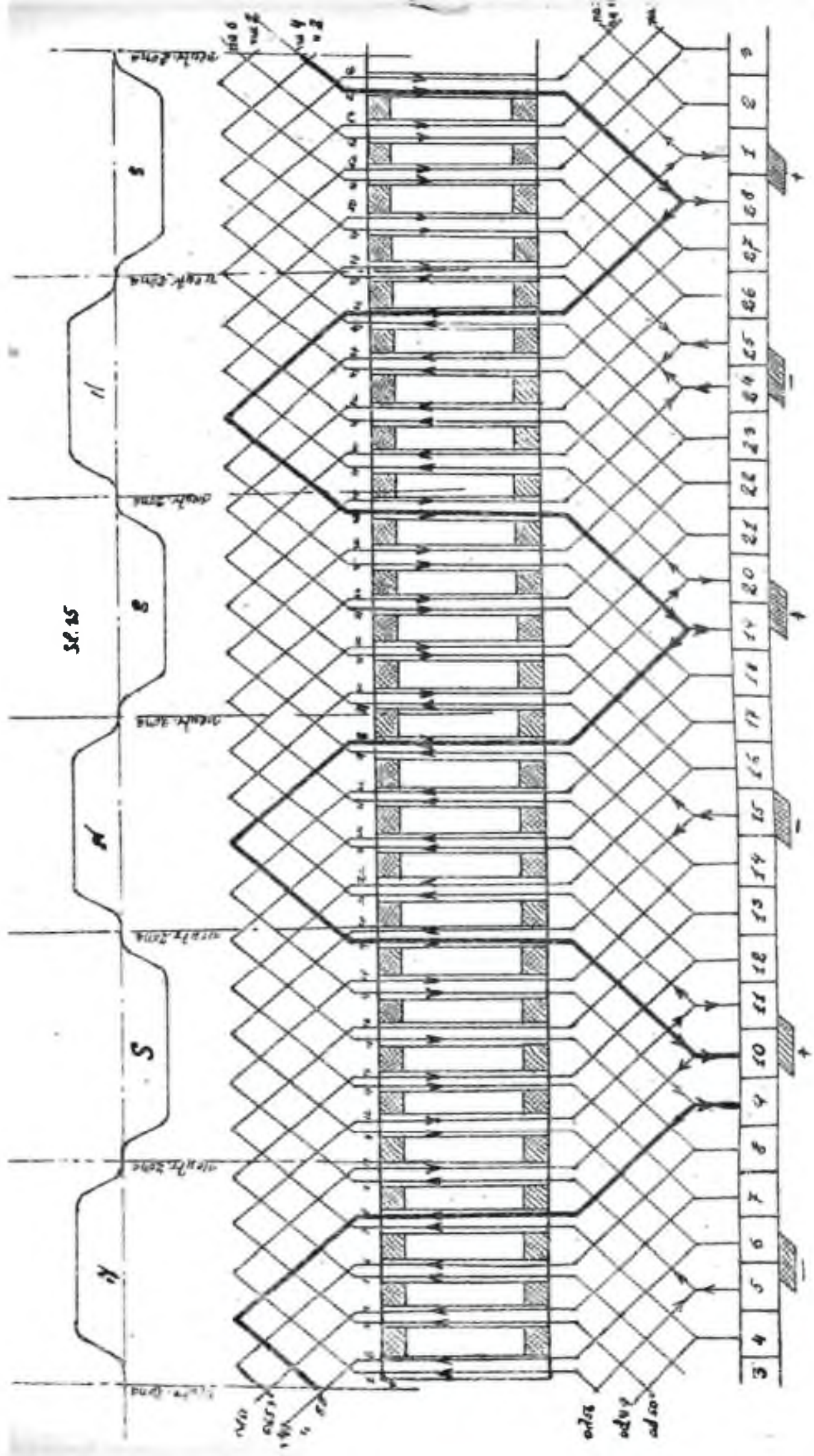
1	-	1	-	10
10	-	19	-	28
19	-	37	-	46
28	-	55	-	8
9	-	17	-	26
18	-	35	-	44

10.) Višestruka valovita omotka.

Ako bi kod jednostavne valovite omotke morali uzeti preveliki prenos, ili
 ako bi kod jednostavne petljaste omotke bio broj paralelnih grana veći,
 nego što je to potrebno, onda se može dobiti odgovarajući broj grana, ali
 se ne amaturu namota više jednostavnih valovitih omotki. To
 je onda: Višestruka valovita, ili serijsko-paralelna omotka. Da se
 može prosuditi izbor odgovarajuće omotke, prema se jednadžbe, koje
 imaju za određenu jakost struje: i_a u svakoj grani.

Petljasta omotka	$2a = 2$	$i_a = \frac{S}{2p}$
Višestruka petlj.	$2a = 2mp$	$i_a = \frac{S}{2mp}$
Valovita	$2a = 2$	$i_a = \frac{S}{p}$
Višestruka valov.	$2a = 2a_1$	$i_a = \frac{S}{2a_1}$

(22)



32.35

per imaju svaku svoju jednostavnu omotku $2a-1$, a možemo označiti omotku, koja ima „a“ para grana, ili 2a grana kao a-struku valovitu omotku.

Ovaj namotaj dobijemo, ako motamo najprije sa odgovarajućim y_n isto onako, kao što je to bilo rečeno da jednostavni namotaj, ali sada višetak svakog ophoda ne priključimo na susjednu lamelu, nego na nu, koja je od toliko lamela udaljena od početne, koliko jednostavna omotka treba, da dobije armaturu. Broj prekoračenih lamela je dakle „a“. Kod toga se namotaja križane omotke neće ne odati nu.

Kod jednog smo ophoda došli „p“ puta na čelo armature, i od togk izšli dakle „p“ koraka y_n . Suma svih tih koraka je: $p \cdot y_n$. U to smo uvijek na komutatoru došli od početne lamela, ili početnu prekoračili (križana omotka!) za „a“ lamela. Napredovali smo dakle za $K \pm a$ lamela. Shjedi da je: $p \cdot y_n = K \pm a$, ili

$$y_n = \frac{K \pm a}{p} \quad (23)$$

Jer je zahtjev, da y_n mora biti cio broj, imamo uvjet za ovu omotku:

$$\frac{K \pm a}{p} = \text{cio broj} \quad (24)$$

Namotaj može biti jednostavno ili višestruko zatvoren. Jer otpada i svaki pojedini zatvoreni namotaj isti broj lamela, mora broj lamela biti višekratnik broja spojeva. Broj spojeva je dakle najveći zajednički djeljitelj od K i y_n . — Također i ovdje imademo istovremene krefice međusobno paralelno spojene putem lamela, koje će kod dostatne širine krefca ispod krefica. Prema tome možemo osim jednog para sve ostale krefice spustiti. Ipak i ovdje vrijedi ono što smo i kod jednostavne omotke rekli, da se broj krefica u praksi odabere po mogućnosti jednak broju neutralnih zona.

Opći uvjeti simetrije, dobro je, da su uvijek ispunjeni, da ne bi bilo kakvih poteškoća. Mogućnost izvršenja je ograničena.

Tabela II. sadržava vrijednosti od y_n , i to za $a=2$ i $a=3$. Imamo li samo jedan par ^{krefica}, mora širina krefice biti najmanje $(a+1)$ puta veća od širine lamela.

Slika 16. prikazuje jedan primjer ove omotke. Jednadrabe sa:

$a > 1$, $K = S = \frac{Z}{2}$, $y = y_1 + y_2 = \frac{K \pm 2a}{p}$, $y_n = \frac{K \pm a}{p} = \frac{y_1 + y_2}{2}$
 $a=2$ $p=4$, t.j. omotka je dvostruko valovita. $S = K = Z = 26$.
 Istovni simetrije su ispunjeni. $y_2 = \frac{K-a}{p} = \frac{26-2}{2} = 12$ — dakle y_n i K imadu zajedničkog djeljitelja: 2, pa omotka dvostruko zatvorena
 $y_n \sim \frac{Z}{2p} = 6\frac{1}{2}$; $\epsilon_n = \frac{1}{2}$; $y_n = 6$; $y_2 = 11y_n + 1 = 13$; $y_1 = 2y_n - y_2 = 11$

Tabela namotaja :

1 - 1 - 14	2 - 3 - 16
13 - 25 - 38	14 - 27 - 40
25 - 49 - 10	28 - 51 - 12
11 - 21 - 34	12 - 23 - 36

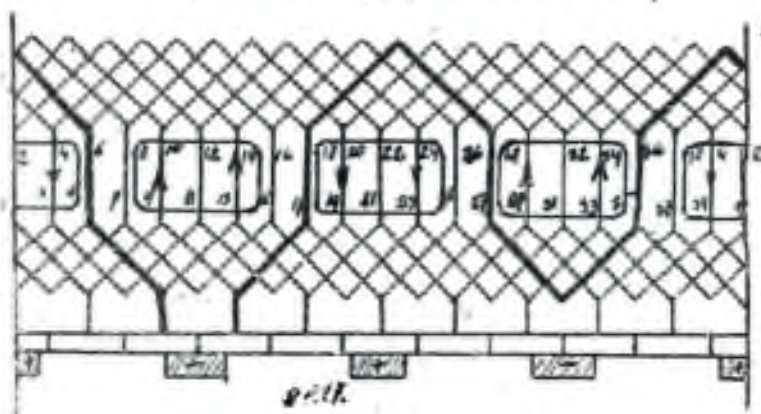
Tabela III.

za serijsko paralelni namotaj.										
$2p$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Broj strana: u_m za $2a=6; a=3$ za $2a=4; a=2$	2	$\frac{2+2}{2}$	$\frac{2+2}{3}$	$\frac{2+2}{4}$	$\frac{2+2}{5}$	$\frac{2+2}{6}$	$\frac{2+2}{7}$	$\frac{2+2}{8}$	$\frac{2+2}{9}$	$\frac{2+2}{10}$
	3	$\frac{3+3}{4}$	$\frac{3+3}{5}$	$\frac{3+3}{6}$	$\frac{3+3}{7}$	$\frac{3+3}{8}$	$\frac{3+3}{9}$	$\frac{3+3}{10}$	$\frac{3+3}{11}$	$\frac{3+3}{12}$
	4	$\frac{4+4}{5}$	$\frac{4+4}{6}$	$\frac{4+4}{7}$	$\frac{4+4}{8}$	$\frac{4+4}{9}$	$\frac{4+4}{10}$	$\frac{4+4}{11}$	$\frac{4+4}{12}$	$\frac{4+4}{13}$
	6	$\frac{6+6}{7}$	$\frac{6+6}{8}$	$\frac{6+6}{9}$	$\frac{6+6}{10}$	$\frac{6+6}{11}$	$\frac{6+6}{12}$	$\frac{6+6}{13}$	$\frac{6+6}{14}$	$\frac{6+6}{15}$
	8	$\frac{8+8}{9}$	$\frac{8+8}{10}$	$\frac{8+8}{11}$	$\frac{8+8}{12}$	$\frac{8+8}{13}$	$\frac{8+8}{14}$	$\frac{8+8}{15}$	$\frac{8+8}{16}$	$\frac{8+8}{17}$
	2	$\frac{2+3}{2}$	$\frac{2+3}{3}$	$\frac{2+3}{4}$	$\frac{2+3}{5}$	$\frac{2+3}{6}$	$\frac{2+3}{7}$	$\frac{2+3}{8}$	$\frac{2+3}{9}$	$\frac{2+3}{10}$
	3	$\frac{3+3}{4}$	$\frac{3+3}{5}$	$\frac{3+3}{6}$	$\frac{3+3}{7}$	$\frac{3+3}{8}$	$\frac{3+3}{9}$	$\frac{3+3}{10}$	$\frac{3+3}{11}$	$\frac{3+3}{12}$
	4	$\frac{4+3}{5}$	$\frac{4+3}{6}$	$\frac{4+3}{7}$	$\frac{4+3}{8}$	$\frac{4+3}{9}$	$\frac{4+3}{10}$	$\frac{4+3}{11}$	$\frac{4+3}{12}$	$\frac{4+3}{13}$
	6	$\frac{6+3}{7}$	$\frac{6+3}{8}$	$\frac{6+3}{9}$	$\frac{6+3}{10}$	$\frac{6+3}{11}$	$\frac{6+3}{12}$	$\frac{6+3}{13}$	$\frac{6+3}{14}$	$\frac{6+3}{15}$
	8	$\frac{8+3}{9}$	$\frac{8+3}{10}$	$\frac{8+3}{11}$	$\frac{8+3}{12}$	$\frac{8+3}{13}$	$\frac{8+3}{14}$	$\frac{8+3}{15}$	$\frac{8+3}{16}$	$\frac{8+3}{17}$

Imademo li jednostavnu zatvorenu smotku, za koju vrijedi $a=p$, priključimo svaki a^{ti} svitar (element) na lamelu, dobimo namotaj, koji je u različitim tokovima sličan petgastom. Broj paralelnih grana je:

$$2a = 2p$$

ali ove dobimo, ako pridodamo sve $2p$ jezice. Valovni namotaj sa smanjenim brojem lamela traži dakle isti broj jezica, koliko je polovina smanjenog broja lamela. Upravo električni broj stroja, ali ima slučajeva, n.p. maleni promjer kolektora, u kojima dolazi i ovaj namotaj u obzir. Napravu petgastom namotaju ima ovaj namotaj tu prednost, da su u pojedinim granama inducirane elektromotorne sile jednake, pa i onda, ako su pojedini tokovi različiti.



Namotaj prikazuje sl. 11.

$$S = Z = 20 \quad u_m = 2$$

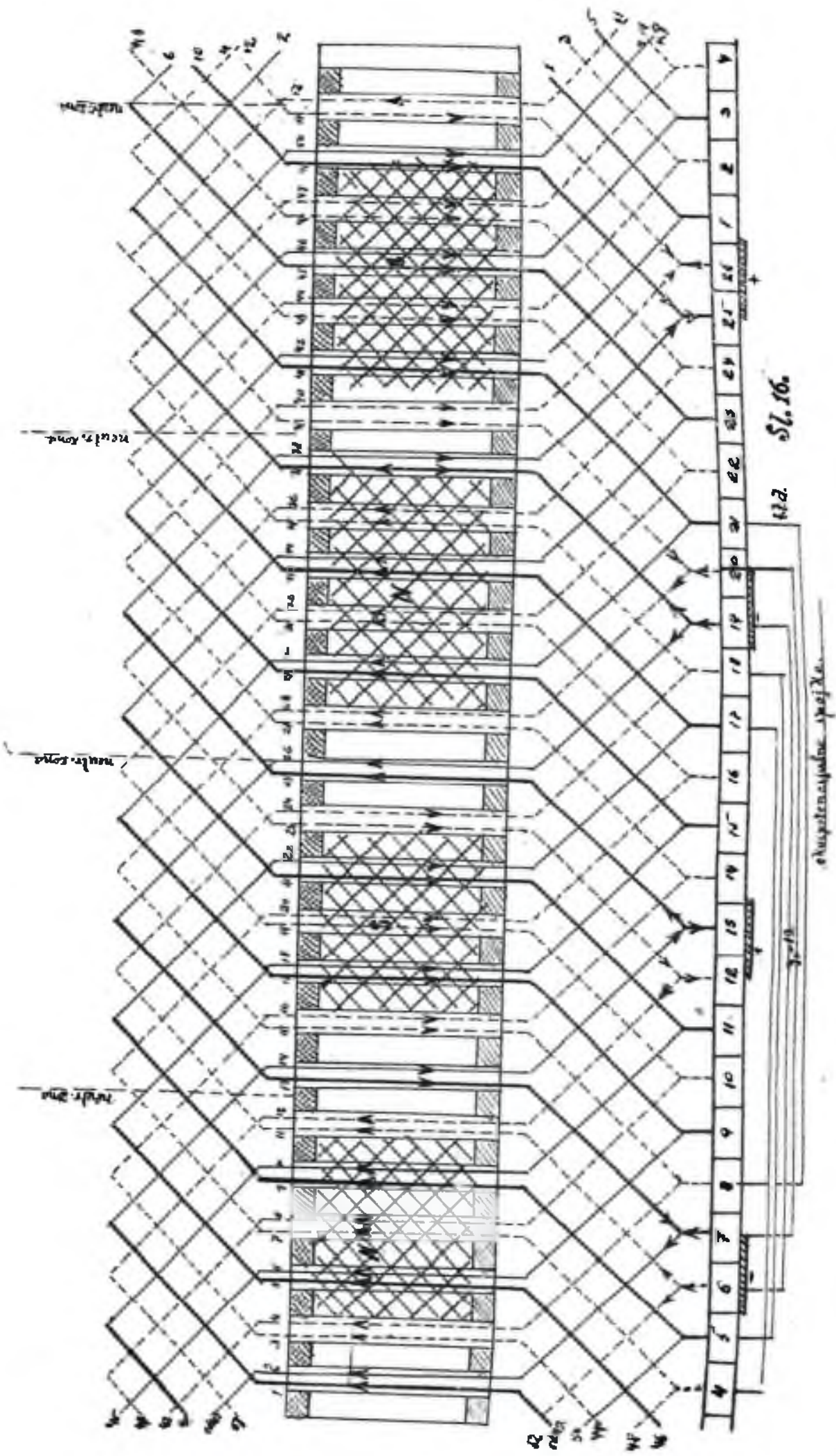
$$K = 10 \quad a = 2$$

$$y_K = \frac{K-2}{2} = 9$$

$$y_2 = 10$$

$$y_2 = 2 \cdot 9 - 10 = 8$$

$$2p=4, \quad a=2, \quad s=k=26, \quad y_1=12, \quad y_2=19, \quad y_3=11, \quad y_4=6$$



11.) Namotaj u stepenicama.

Imamo li u utoru više strana u svakom sloju, onda se može petljasti namotaj, a i valoviti izvršiti na 2 razna načina, i to: ili lijeve strane, ili lijeve u gornjem sloju jednog utora također u donjem sloju u drugom utoru, sl. 18, ili su ove strane razdijeljene na različite uture. Slike 19. a), b) i c)



U prvom je slučaju Korak: y_2 za sve elemente isti. Ovako se može namotati kod otvorenih utora, jer se može sve strane izolirati i namotati u utor. U drugom slučaju mora y_2 za svitke veće širine biti 2 L stranu veće, nego za elemente manje širine. Ovaj namotaj zove se namotaj u stepenicama, pomoću kojega možemo više puta prijeći na Komutatoru lakše prepriječiti. Kod toga je Korak u utorima razlomak ili kod motanja odabere se za njegovu vrijednost cio broj, koji će biti ispod ili nad ovim razlomkom. Za radionu vnaći se ovaj namotaj kako je to prikazano na slici 20 i 21. Slike 22, 23, 24, 25. prikazuju petljasti namotaj (22 i 23) i valoviti (24, 25) motan normalno (22 i 24), te motan u stepenicama (23, 25.)

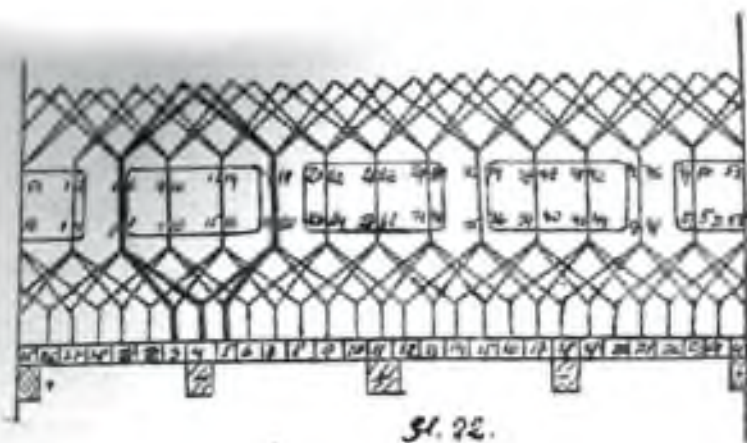
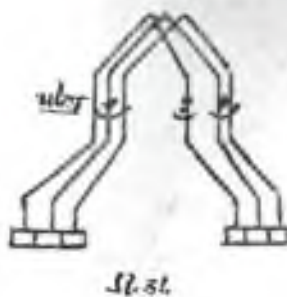
12.) Valovita omotka sa stepnim elementom.

Valoviti namotaj nije uvijek izvršiv, n.p.r. ako je $u_n = 4$, to se za $q_p = 4$ ne može namotati simetrični namotaj. Ali se može dogoditi, da hojiti, koji kod određenih strojeva moraju biti ispunjeni traže točno i kao namotaj, koji se ne daje simetrično izvršiti. U ovim se slučajevima mora namotaj ili umjetno zatvoriti, ili treba uvesti pojedine stepene strane. Za tumačenje neka nam posluži jedan primjer: Neka $u_n = 2$, onda broj utora L jednak je broju elemenata S.

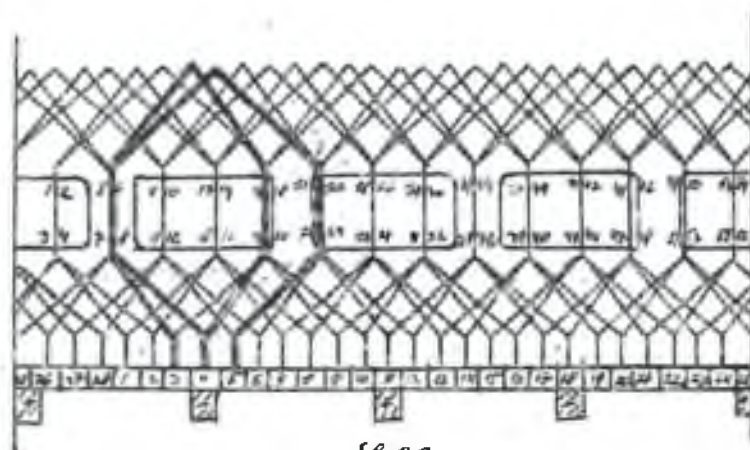
Pa $u_n = 20$ ne može se normalno namotaj izvršiti. Da dobimo namotaj sa stepnim stranama ispuštimo na sada svitak, što čini u utorima 20 : 4 - slika 26. - Onda je broj svitaka ili broj lamela i za koji slučaj može da se izvede obični namotaj. Korak je onda

$$y_k = \frac{19-1}{2} = 9$$

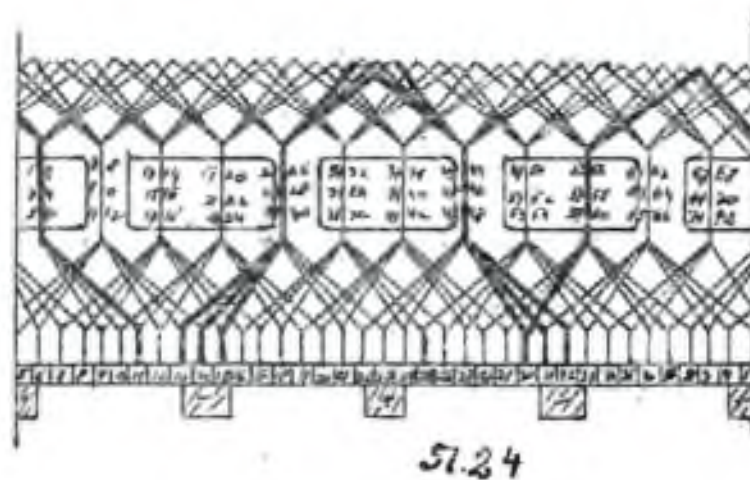
Brojimo li također i stepeni svitak, to moramo kod namota namotati sa jednim stepnim svitkom i umjetno napraviti rezult



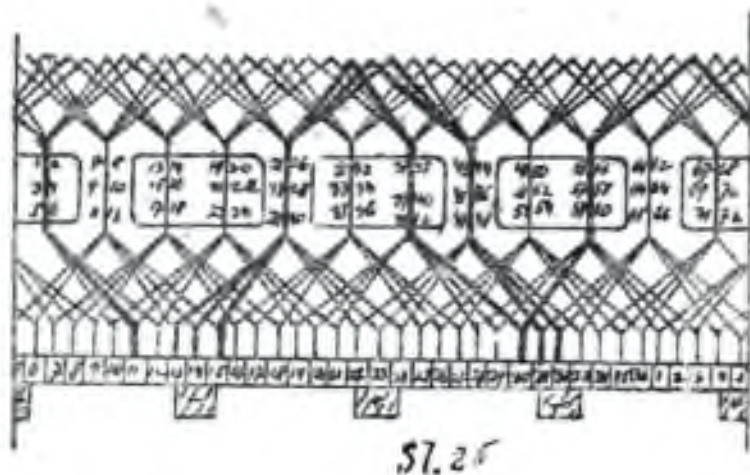
pečjasli norm.
 $u_n = 4$



pečjasli u step.
 $u_n = 4$



$a = 2$ $u_n = 6$
dvost. val. namotaj
norm.



$a = 2$, $u_n = 6$
dvost. val. namotaj
 $\approx 2 \times 2$

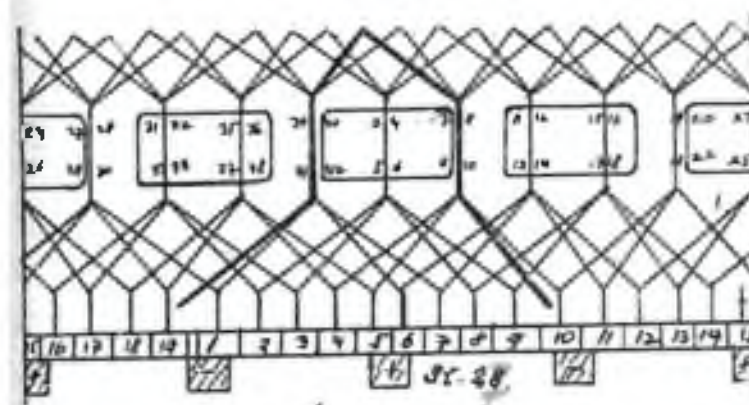
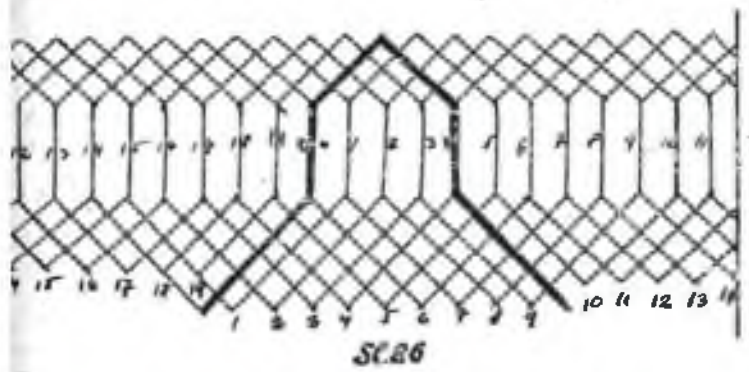
ajuci korak mjeren u lamelama (u stranicama mjereno je 2 puta toliki!):

$$y' = y_k + 1 = \frac{k+1}{p} + 1$$

u (p-1) korakci:

$$y_k = \frac{k+1}{p}$$

(25)



U slici je $p=2$ $y_k=9$. Prema tome moramo, ako brojimo i slijepi svitak izmjenice pravih rezultirajući korak 10 te 9. Počevši li sa svitkom 19 dobijemo sliku 26. U stranama mjereni koraci su dakle:

$$y'_2 = 2y'_1 - y_2 = 2y_k - y_2 + 2$$

$$y'_2 = 2y_k - y_2$$

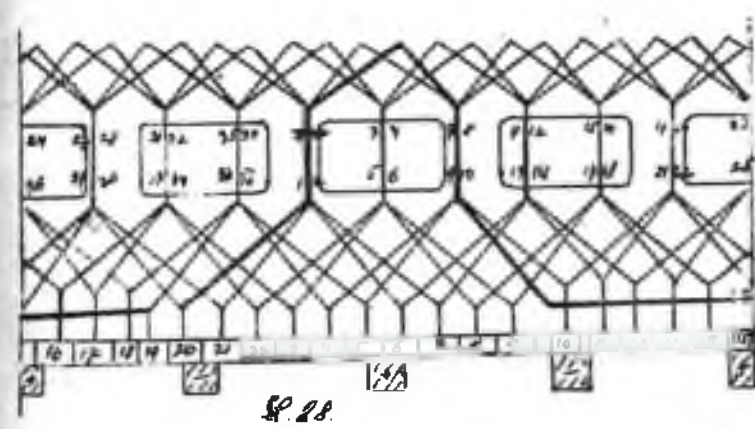
(26)

Barbika je u spojniciama u, opće tako malena, da krajevi za spajanje pojedinih elemenata mogu biti jednako dugački. Namotaji sa više slijepih elemenata se u praksi ne upotrebljavaju.

Ako je $n \geq 2$ imamo iste odnose. Slika 27. prikazuje namotaj za $n=4$, $p=2$, za koj veličine simetrični namotaj nije moguć.

Kao pravilo vrijedi, da treba kod istomjernih strojeva po mogućnosti izbjegavati svaki nesimetrični namotaj, dakle i ovaj sa slijepim elementom, odnosno i ove sa umjetno zatvorenom omoćkom.

13.) Umjetno zatvorena val. omoćka.



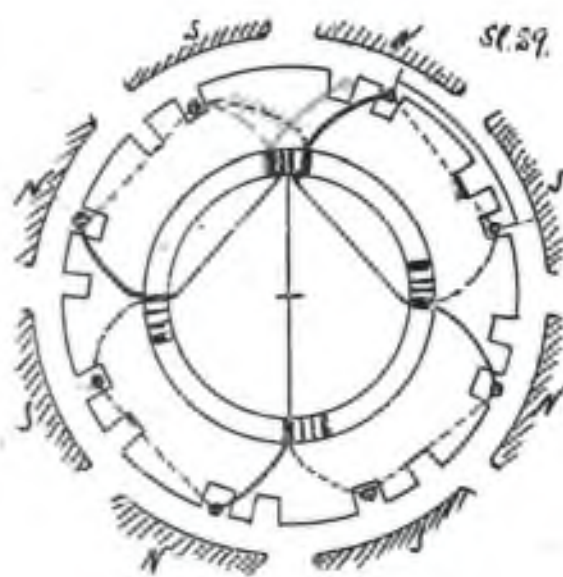
Umjetno zatvorenu omoćku dobijemo iz omoćke sa slijepim elementom tako, da raskrojimo ovaj namotaj, te umetnemo na zgodno mjesto slijepi element. Ovo mi se ne može se samovoljno odabrati. Mjesta moraju biti susjedna slijepom elementu.

Slika 28. prikazuje namotaj slike broj 27 sa umjetno zatvorenim namotajem.

Broj lamela mora biti jednak broju elemenata, t.j. dakle 20, a ne kao gore u slici broj 27 samo 19.

14.) Umnogavanje broja lamela.

Kod jednostavne serijske omotke leži među susjednim lamelama p svitaka. Zbog toga može se dogoditi, da napetost među lamelama postigne nedovoljnu veličinu, pa i tada, ako se broj zavoja pojedinih grana smanji. Potrebnu razliku napona možemo postići i na taj način - a da se kod toga omotka ne promijeni - da se među lamele kolektora umetnu još druge lamele, koje se spoje sa točkama, čiji napon leži među naponom susjednih susjednih lamela. Udaljenost spojevnih točaka na komutatoru je: y_k - korak prije umnožavanja. Bez daljnjega se ovdje može vidjeti, da je najveći mogući broj umetnutih lamela: $p-1$. Činimo li m - struko povećanje, mora biti $m \leq p$, osim toga mora biti ispunjen uslov: $\frac{p}{m} = n = \text{cio broj}$. (27)



Ako je n. pr. $p=4$, to možemo umetnuti ili 1 lamelu, jer smo onda broj lamela podvostručili: $m=2$; $\frac{p}{m} = \text{cio br.}$ ili 3 lamele, jer je $m=4$ a $\frac{p}{m}$ opet cio broj. Dvije lamele nemožemo umetnuti, jer je u tom slučaju $m=3$ a broj $\frac{p}{m}$ = razlomak.

Novi broj lamela je $K' = m \cdot K$
a novi korak: $y_k' = m \cdot y_k$
Spojevi lamela moraju se visiti korakom:

$$\frac{p}{m} y_k' \pm 1 \quad 2 \left(\frac{p}{m} y_k' \pm 1 \right) \quad 3 \left(\frac{p}{m} y_k' \pm 1 \right) \dots (m-1) \left(\frac{p}{m} y_k' \pm 1 \right) \dots (28)$$

+ vrijedi za desnohodnu, a -- za levohodnu omotku.

Slika 29. prikazuje goreni slučaj: $p=4$ $m=4$.

15.) Omotka sa dvostrukim kolektorom.

Za komutatoru upotrebljava se onda, ako je jakost struje, koja otpada na jednu skupinu četica tolika, da nije više osigurana komutacija bez škaraj ili kad dužina lamela postane prevelika komutatore postavimo simetrično: jednu na svaku stranu armature. U ovom slučaju upotrebi se obično pletastu omotku i to tako, da se 2, međusobno sasvim neovisna namotaja pletu na armaturi, te se svaki namotaj spoji sa jednim kolektorom. Jer su omotke u tom slučaju sasvim neovisne jedna od druge, možemo ih prema potrebi spojiti ili paralelno ili u seriju, što se više puta i

nećini kod motora velikih snaga, jer time dobije motor dva normalna broja okreta. Kod zadanoj napona u mreži imat će motor približno polovinu broja okreta, ako su omotke sklopljene u seriji, a puni broj, ako su spojene paralelno.

Generatori sa 2 kolektora osobito su zgodni za trovodni sistem. Omotke leže u seriji, a srednji je vod spojen na spojnicu komutatora.

16.) Spojke izjednačenja.

Otkar se namotaj odgovara svim uvjetima simetrije, ipak se može desiti, da razdioba struje na pojedine paralelne grane nije jednaka. Ova nejednolikost može biti prouzročena od malenih razlika u ohmovom otporu pojedinih grana, ili od razlika u toku indukcije pojedinih para polova. To je posljedica nepotpunog centriranja armature. Magnetička nesimetrija nastane također i kao posljedica različitog oblika pojedinih stopala polova, nejednolikosti rebara itd.

Kod petgane omotke inducira jedna te isto poje svitke jedne grane. Nesimetrično poje može dovesti prouzročiti razliku u el. motornoj sili pojedinih grana. Posljedica su struje izjednačuju između istaknutih kćica, koje se zatvore preko obirnice te prouzroče npr. npr. npr. npr. - ukraško gubitke. Prikladne spojke u unutrašnjosti namotaja mogu vanjske struje izjednačenja nadomjestiti sa unutarajim, tako da ove ne klu kroz kćice. - To su spojke izjednačenja - Kod valovitog su namotaja prilike drugačije. Tamo su svitke jedne grane inducirani od svoje poje, tako da razlike u pojedinih tokovima nemaju nikakva upliva. Ali kod višestrukog valovitog namotaja može se napon ispod jedne polove na komutatoru savim nejednoliko razdijeliti na pojedine grane i to, jer su paralelne grane namotaja sa pripadnim lamelama međusobno umetnute, a da nisu i međusobno spojene. Ova nejednolika razdioba napona na komutatoru kod višestrukog namotaja prouzroči više puta skre - i struje izjednačenja ispod kćica. Te se nepravilike mogu odstraniti prikladnim spojevima u unutrašnjosti namotaja: Ekvipotencijalne spojke.

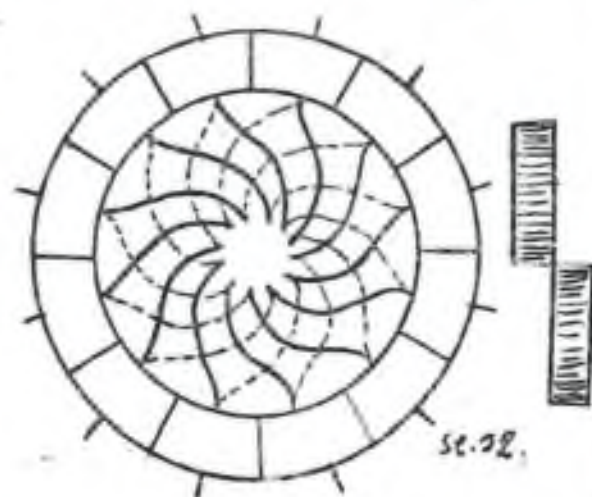
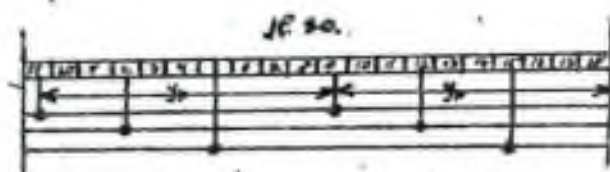
Kod spojke izjednačenja mora biti spunjen uslov da među tačkama, koje hoćemo spoiti, obično nema potencijalne diferencije, ako ide sve u redu. Ovakvih tačaka imade svaki namotaj, ako

su ispunjeni uslovi simetrije. "Onda imademo uvijek "a" savin
jednakih para grana, pa prema tome i po "a" točaka,
utóra na opsegu armature u sasvim jednakom položaju u
polju. Daje mora se također malaziti i na Komutatoru po
"a" točaka, koje imaju s obzirom na Režice isti položaj. One
točke možemo međusobno spojiti. Udaljenost ovih točaka je:
potencijalni korak: y_p . Prema tome vrijedi:

$$y_p = \frac{K}{a} \quad (\text{cio broj}) \quad \text{mjereno u lamelama, ili u utovima} \quad (29 \text{ i } 29a)$$

Imade li armatura više: m zatvorenih omotaka, ili omotaka
sa umnoženim brojem lamela /: Korak u lamelama: $y_p' = m y_p$ /,
onda vrijedi za Korak svakog namotaja za se /: t.j. spojke izjedna-
čavaju nesmiju spojiti namotaje međusobno! /:
 $y_p' = m \cdot y_p \quad (30)$

Najbolje smo izjednačenje postigli, ako spojimo sve točke, koje kod potp-
ne simetrije imaju istu potencijalnu diferenciju. Onda imamo
 $\frac{K}{a}$ sistema izjednačenja, svaki sa "a" priključaka. N.pr. $K=30$
 $p=3$ $a=3$ t.j. $\frac{K}{a}=10$ sistema. Komutator se razdijeli na 3 dijela
koji su međusobno jednaki, a svaki dio ima po 10 lamela; svaku
lamelu jednoga možemo spojiti sa jednom lamelom drugih dijelova.
Prema tome 10 sistema sa $a=3$ priključaka. Ovaj broj uvede se
samo kod turbogeneratora. Redovno se uzima kod neagotnih pri-
lika jednu spojku za svaki utór, tako da imamo $\frac{K}{a}$ sistema, a
svaki sa "a" priključaka. Imade li stroj normalne prilike komu-
tiranja, dostatac je jedan priključak za $\frac{K}{a} \div 3$ utora. Broj
sistema rijetko je manji od 6. Spojke se udele u kružni vod sl. 30
ili u poprečne spojke, sl. 31, a mora ih se metnuti i u kolektor, ako
ima dosta mjesta: sl. 32.



17.) Potencijalna spojke.

Imademo li $a > 1$, onda su spojke također da valoviti namotaj potrebni. Vode se spoji po "a" lamela, koje imaju jednaku udaljenost i jednaki relativni položaj prema polovima. Broj ovitaka ili lamela mora biti prema tome djeljiv sa "a" (uopit smetnje). Kod više strana svitka u jednom utoru je pogodno, ako je također i broj utora djeljiv sa "a", jer nije onda potrebno spojiti strane elementa, što imaju različiti položaj u utoru. Potencijalni korak: $y_p = \frac{K}{a}$, (a. m. $y_p' = m \cdot y_p$). - Historičnu vrijednost imaju otvoreni namotaji armature, te namotaji za unipolarne strojeve - a to pitanje još do danas nije riješeno.

B.) Odabiranje namotaja.

Valoviti namotaj ima tu prednost, da je u pojedinim granama inducirana elektromotorna sila neovisna o nejednakosti pojedinih tokova, prema tome nije potrebno kod jednostavnog valovitog namotaja veći spojke izjednačenja. Namotaj je jednostavan i jeftiniji. Međutim je opet da imaju veliki uticaj na razdioba struje kroz različite nejednakosti prelaznih otpora među Reficom i komutatorom. Elektromotorna sila komutacije podvrgnuta je mnogo većim promjenama, nego što to biva kod petglaste smotke, tako da je kod ove komutacije pogodnija. Uopće se u praksi pokazala najboljom petglasta smotka. Iz toga razloga radi se uopće ovaj namotaj, ako nije, što, višćenk utora mnogo neugodnije, nego kod valovitog namotaja.

Namotaj se uopće odabire tako, da se, što je više moguće iskoriste utori. Ako nema drugih naroka, ušet će se uvijek ovaj namotaj, koji se može iskoristiti sa najmanjim brojem zavojja u svakom elementu. Jer je obično broj u seriji zadanih vodiča zadan, odabere se namotaj, koji ima kod toga najmanji broj paralelnih grana, t.j:

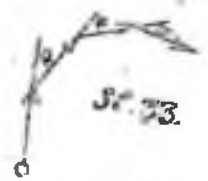
- 1) $p=1$ jednostavni petgasti namotaj $2a=2$
- " $p>1$ " valoviti " $2a=2$

2) Ako to ne odgovara, dolazi u obzir najprije: Kod malo polova: jednostavni petgasti namotaj: $2a=2p$, onda kod mnogo polova: višćestruki valoviti namotaj: $2a=2a'$.

3) Ako i to ne odgovara, nameće se kod mnogo para polova: jednostavni petgasti namotaj: $2a=2p$.

4) U osobitim slučajevima se nameće: dvostruki petgasti namotaj $2a=4p$

Potencijelni diagram namotaja služi nam za prikazivanje u namotaju inducirane razmjene elekromotorne sile. Od toga se polazi o sinusoidalnog polja, u kojem slučaju imade također i inducirana elekromotorna sila sinusoidalni oblik, tako da ju možemo grafički pomoću vektora nacrtati. Jer magnetsko polje djeluje induktivno na pojedine svitke jednoliko razdijeljenog namotaja u istom vremenskom intervalu, to su inducirane sinusoidalne el. m. sile u pojedinim svitcima ka isti kut u fazi odmaknute. Nacrtamo li za dvopolni stroj el. m. sile pojedinih svitaka armature po veličini i po smjeru i to vektorski, te ako ih geometrijski adiramo, onda se svi međusobno jednaki vektori redaju u jednakom kutu jedan za drugim, te tvore tako prekinutu črtu, koju možemo nadomjestiti ka kružni lukom: slika: 33. Jer je namotaj sam u sebi zatvoren, mora se također i prekinuta črta u sebe zatvoriti, da postane rezultirajuća el. m. sila jednaka nuli, inače imamo unutarnju struju.



Kružni luk pretvori se u krug, kojega stavimo potencijelni diagram. Za dvopolni je stroj potencijelni diagram poligon sa toliko strana, koliko stora ima armatura. Imade li stroj više polova, te ako je namotaj serijski, onda se daje reducirati na dvopolni. Što više stora ima armatura, to se više približava potencijelni diagram kružnici. Ako je namotaj simetričan, tvori potencijelni diagram pravilnog mnogokuta i to zato, jer su u stranicama svakog stora inducirane el. m. sile po fazi i veličini jednake, tako da tvori vektor u gornjem svitku stora inducirane el. m. sile jednu stranicu poligona, a vektor u donjem svitku stora ind. el. m. sile diametralnu stranicu mnogokuta. Imade li dvopolna armatura 2^p stora, onda su stovima odgovarajući vektori svi jednaki, te međusobno ka kut $\frac{360}{2^p}$ u fazi odmaknuti. To vrijedi također i onda, ako krivulja polja E_s nije sinusoidalnog oblika.

Ako smo spustili svitak, (nmetnuli lijevi svitak) onda ili otpadne jedna strana mnogokuta, ili postane manja, nego što su ostale. Poligon se ne zatvori, a suma u namotaju induciranih el. m. sila jednaka je sada el. m. sili: E_s , koja bi bila inducirana u svitku što smo ga spustili. Zatvorimo li nasrkos tome namotaj, onda napon E_s prouzroči unutarnju struju efektivne vrijednosti:

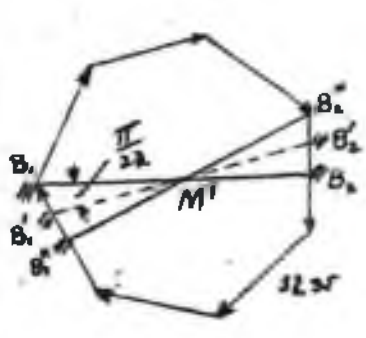
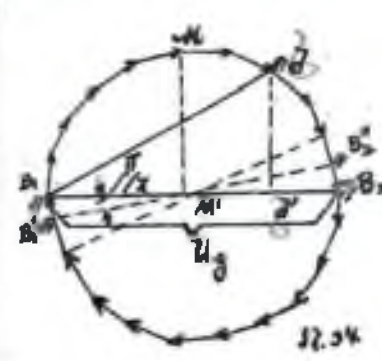
Ako smo spustili svitak, (nmetnuli lijevi svitak) onda ili otpadne jedna strana mnogokuta, ili postane manja, nego što su ostale. Poligon se ne zatvori, a suma u namotaju induciranih el. m. sila jednaka je sada el. m. sili: E_s , koja bi bila inducirana u svitku što smo ga spustili. Zatvorimo li nasrkos tome namotaj, onda napon E_s prouzroči unutarnju struju efektivne vrijednosti:

$$I_s = \frac{E_s}{\sqrt{R_a^2 + (L_a \omega)^2}} = \frac{E_s}{Z_a} \quad (31)$$

R_a = otpor svih u seriji svitaka
 L_a = Samoinducija svih svitaka
 Z_a = Prividni otpor svih svitaka.

Druga spojica dvojn točaka u potencijalnom diagramu tvor. geometričnu sumu svih el. m. sila induciranih u (sviteima) među spojnim točkama isto: po smjeru i po veličini.

Da se može iz diagrama odrediti momentane vrijednosti razmjernih napona, mora se (maksimalne vrijednosti, što ih predst. vjajni vektori, pročitati na os. Jer nas baš te momentane vrijednosti koje su jednake istosmjernim naponima na komutatoru najviše zanimaju, moramo uzeti kao os projekcije onaj pravac, koji pada zajedno sa neutralnom osom t. j. $B_1 B_2$ n slici 34. Promjer



$B_1 B_2$ potencijalnog diagrama jednak je isto, smjernom naponu među kćicama $B_1 : B_2$. Okreće li se armatura, okreće se i poligon. Središte je u M' , a napon kćica se mijenja sa položajem poligona. Ide li $B_1 B_2$ kroz dva diametralna ugla, onda je napon najveći, a čim $B_1 B_2$, onda u drugom momentu na stranama, to je vrijednost napona minimum.

Puknacija istosmjernog napona je to veća, što manje strana imaju poligon. Te se puknacije sasvim izbjegne, ako se poligon pretvori u krug.

Sl. 35. prikazuje promjenu za veoma mali broj strana. Nesmije li to mijenjati napona da je, koraci $1/2\%$, mora se uzeti najmanje 11 ili 22 utora za 1 par polova. (22 lazele Tab. I)

dućemo li pomoćnu kćicu b'' na komutatoru, onda dobijemo među b'' i između negativne kćice B_1 napon: $B_1 b''$ t. j. projekcija vektora $B_1 b''$ na

neutralnu os. Pada li b'' zajedno sa B_2 , onda imamo maksimalnu istosmjernu napetost, koja je jednaka maksimalnoj - u namotaju induciranoj el. m. sili. Oznacimo li efektivnu vrijednost ovog napona sa U_e onda je maksimalna vrijednost: $U_e \cdot U_e -$ (to je jednaka istosmjerna napetost: $U_g = \sqrt{2} U_e$ --- (32)

Ova nam jednakica daje razmjer istosmjernog i razmjernog napetosti kod jednoarmaturnog pretvarača u sinus-polu.

Postavimo li kćicu b'' točno ispod sredine polja u točku M' onda ima kćica potencijal, koji odgovara središtu: M' .

Prima tome smo napon $B_1 B_2$ razdijelili u polovinu.

Ali praktički nije moguće napon dijeliti na taj način, jer bi već kod najmanje strane imali iskre na komutatoru.

Spojimo li prema slici 36. diačetrabno leteće ^{točka} dvopolne armature pomoću t. no: pritomljača, koji rotira zajedno sa armaturom, onda imamo u sredini: M pritomljača potencijal, koji pada zajedno sa potencijalom M' . Priključimo li vod u sredini pritomljača, možemo armaturi naći napon, koji dijeli napetost Refica $B_1 B_2$ u polovinu.

U praksi se spoji točku A i C sa prostomina a Refica što brže po njima sa pritomljačem. Sredina M tvori onda početnu točku tr_n strukog voda. (Provodni sistem!)

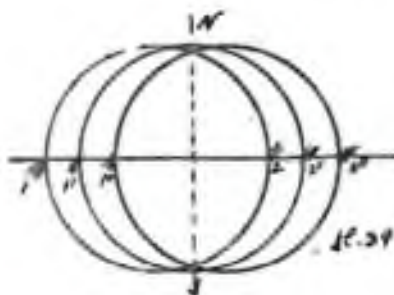
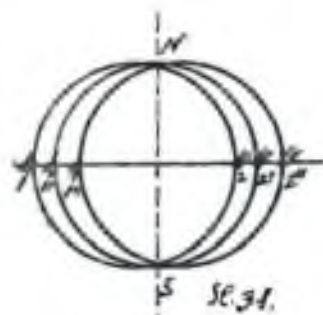
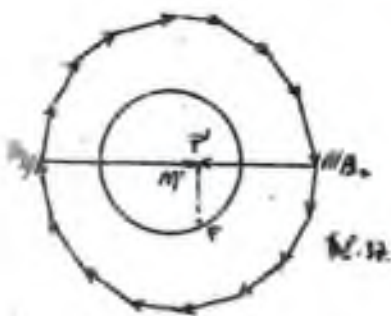
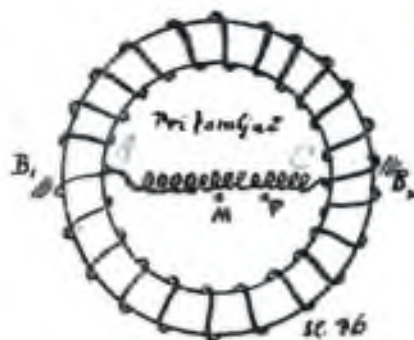
Priključi li se srednji vod na koja god drugu točku n. pr. P'' u sl. 37, dobi se pulsirajuća napetost među srednjim i vanjskim vodom. Ovu pulsirajuću napetost možemo prikazati pomoću dužine $B_1 P'$ i $B_2 P'$

ako si zamislimo, da rotira točka P na krugu sa središtem u M' i to istom brzinom kao i armatura.

Ima li namotaj više para grana, onda dobićemo za svaki par po jedan potencijalni diagram. U slici 38. crtani su potencijalni krugovi za namotaj sa 3 nezavisna para grana. Pri krugovi padaju zajedno, ako su u svakom paru inducirane el. m. sila točno jednake. Imademo li jednostavno zatvoreni namotaj, koji se sastoji iz više para grana, onda se i potencijalni diagram sastoji iz isto toliko međusobno jednakih krugova, koji tvore jednu jedinu u sebi zatvorenu liniju. Sl. 39.

Krugovi nacrtani u sl. 38. i 39. leže u zbilji točno jedan preko drugoga.

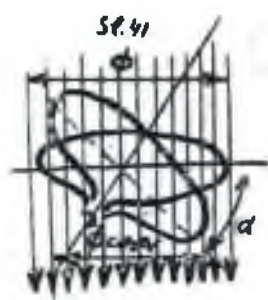
Ako parovi grana ne leže točno u istom polu, onda se potencijalni krugovi ne pokrivaju tačno. U tom su slučaju diagrami međusobno odmaknuti. Sl. 40. Prolazi li namotaji ispod Refica, onda dat grana sa momentano najvećim naponom napući dio struje. Zbog toga imamo između grana struje rjeđuću, koji mogu prouzročiti iskre pod Reficama. Vreme li se



Kod ovakve nesimetrične omotke, spojke rjeđuačenja, teklu kroz nju nepotrebno jaka struja. Zbog toga nije ugodno, da se kod namotaja sa više para grana nekroji svitci u utorima ispušte. Nemože li se sve utoru ispuniti, mora se za svaki par grana ispuštiti isti broj elemenata, i te ispuštene elemente simetrično raspodijeliti. Dalje, se mora gledati i na to, da svaki utor imade isti broj grana gornjem i u donjem sloju. Razlike u potencijalnom dijagramu imademo i onda, kada polja nisu pod polovima jednaka. To vrijedi osobito za petljasti namotaj. Za toga razloga mora- nadesiti to više spojka rjeđuačenja, što je stroj veći. Pomoću tih spojka prisilimo potencijalne diagrame, da padnu zajedno.

Da zaključimo: U pravilno konstruiranom stroju imademo jedini potencijalni diagram za sve parove grana i to i po veličini i po položaju. Poema tome možemo kod svih raspravljanja uzeti u obzir samo jedan jedini par grana, jer isto vrijedi i za sve druge.

20) Elektromotorna sila i otpor armature.



OKrećemo li armaturu - sl. 41. - u jednoličnom magnetskom polju, t.j. svitak iz jednog zavoja, onda je u svakom momentu od svog obuhvaćeni tok indukcije: $\Phi \cos \alpha$. Konstanta je dakle vrijednost toka: $\Phi_x = \Phi \cos \alpha$. Ako je okretanje jednoliko, to je kutna brzina:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

(133)

gdje: T znači potrebno vrijeme za jedan okret. Kod okretanja kut: α je potrebno vrijeme: t , pa je prema tome: $\alpha = \omega t$ i nadalje: $\Phi_x = \Phi \cos \alpha = \Phi \cos \omega t$. Inducirana e.m. sila je: $e = - \frac{d\Phi_x}{dt} \cdot 10^8$ Volta, pa iz gornjega izlazi da je:

$$e = - \frac{d(\Phi \cos \omega t)}{dt} \cdot 10^8 \text{ Volta} = \Phi \omega \sin \omega t \cdot 10^8 \text{ Volta}$$

Elektromotorna sila je sinusoidalno promjenljiva, a max. vrijednost je: $E_{\max} = \omega \cdot \Phi \cdot 10^8 \text{ Volta}$ za $\omega t = 90^\circ$

Ako je broj okreta u svakoj minuti " n " to je u svakoj sekundi: $\frac{n}{60}$; a vrijeme jednog okreta: $T = \frac{1}{\frac{n}{60}} = \frac{60}{n} \text{ sek}$, dakle je:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\frac{60}{n}} = \frac{2\pi n}{60}$$

pa je:

$$E_{\max} = \frac{2\pi n}{60} \cdot \Phi \cdot 10^8 \text{ Volta} \quad \dots (34)$$

Zavoj neka je spojen sa lamelama kolektora. Koje promjene smjer vanjskim krugom u ovom momentu, kada je e.m. sila = 0; te

mijenja smjer. Onda nije vrijednost el. m. sile sinusoidalno među θ i E_{max} . Srednja vrijednost svih ordinata sinusoidalne Krivulje među 0° i 180° je $\frac{2}{\pi}$ od maksimalne vrijednosti, t.j. jednaka je visini pravokutni-



ka sa osnovicom π - Sl. 42. Koji imaju istu ploštinu kao i sinusoidalna Krivulja.

$$E_{sr} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi E_{max} \sin x dx = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi E_{max} \sin x dx = \frac{2}{\pi} \cdot E_{max} \quad (35)$$

$$E_{sr} = \frac{2}{\pi} \cdot E_{max}$$

$$\text{odnosno: } E_{sr} = \frac{2}{\pi} \cdot E_{max} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{4\pi}{60} \cdot \phi \cdot 10^{-8} = \frac{4\pi}{60} \phi \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

Kod jednoliko razdijeljene omotke dinamostruja sa istosmjernu struju slijede jednaki, u seriji spojeni svitci u jednakoj udaljenosti jedan iza drugoga u kojim se jedine inducirane srednje vrijednosti el. m. sile pojedinih zavoja. Među kolicinama nalazi se praktički uvijek isti broj zavoja, koji su spojeni u seriji, također je napon kofica praktički konstantan. Ako je w broj zavoja, onda vrijedi

$$E = \frac{4\pi}{60} w \cdot \phi \cdot 10^{-8} \text{ Volta}$$

Ako je z čitavi broj vodiča armature i $2a$ broj paralelnih grana, onda je broj u seriji spojenih zavoja:

$$w = \frac{z}{2a} = \frac{z}{4a} \quad (36)$$

pa je prema tome

$$E = \frac{z}{60} \cdot \frac{\pi}{2a} \cdot \phi \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

U duopolnom stroju, kako je to bilo nacrtano u slici 41. protječe el. m. sile kod jednog okreta čitavu periodu. Imade li dinamostruj p para polova - dakle $2p$ pola, onda je broj perioda p puta toliki. Da vrijedi naša jednačina i za ove slučajeve, treba još množiti sa p - dakle je:

$$E = \frac{z}{60} \cdot \frac{\pi \cdot p}{2a} \cdot \phi \cdot 10^{-8} \text{ Volta} \quad \dots (37)$$

U dinamostruju ide tok indukcije ispod sjevernim polom iz ostolje, kroz raspor u armaturu, te ispod sljedećeg južnog polom opet iz armature kroz raspor u ostolje. Udaljeni raspor imademo dakle zamjenjivne jakosti polja, koje možemo smatrati kao funkciju opsega armature. Rezultirajuća Krivulja zove se Krivulja polja: (Feldkurve), koja se općenito znatno razlikuje od sinusoidalnog oblika: Sl. 43.

Ondje, gdje prolazi Krivulja vrijednost nule leže neutralne zone (Rarmar dvajm neutralni zoni) ili rarmar sredina dvajm sujed.



Sl. 43

mit polova zovemo: rarmar polova: $\tilde{r}_p$ (Polteilung) ispod polova su svitci jednoliko razmješteni, u svakom inducira

polje elektromotornu silu, koja odgovara indukciji na onom mjestu, gdje leži svitak. Sumiramo li el. m. sile, koje su inducirane u svitcima, među kojima Keficama, dobimo inducirana el. m. silu u čitavom namotaju.

Tako imamo u vodiču inducirana el. m. sila jeste:

$$E = L_2 \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8} \text{ Volta}$$

Među kojima Keficama leži $\frac{L_2}{2a}$ u seriji spojena vodiča. Ako sa L_m označimo srednju indukciju promatranih $\frac{L_2}{2a}$ vodiča, onda imamo: $E = \frac{L_2}{2a} L_m \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$, a jer je $v = \frac{\pi D \cdot n}{60} = \frac{2\pi \cdot n}{60}$ [naime: $\pi D = 2r \cdot p$] to dobimo, da je:

$$E = \frac{L_2}{a} \cdot \frac{\pi n}{60} \cdot l \cdot p \cdot L_m \cdot 10^{-8} \text{ Volt} \quad (37a)$$

Velicina: $l \cdot p \cdot L_m$ nije ništa drugo - nego Φ u jednadžbi 37, tako da su ove dvije jednadžbe identične. Prva odgovara obuhvaćenom toku, a druga rezanju crta polja.

Mehaničku silu: P , koja odgovara djelovanju na vodič, kroz kojeg teče struja I , te čija je dužina skraćena na smjer indukcije: l , daje nam jednadžba:

$$P = L \cdot I \cdot l \cdot 10^{-1} \text{ dina} = \frac{L \cdot I \cdot l}{9.81 \cdot 10^5} \text{ Kg}$$

Kod generatora miče se vodič proti sili P , koja predstavlja otpor, što ga moramo trošenjem radnje nadoladati. Ako je brzina vodiča: v cm/sec, onda je utrošena radnja:

$$A = P \cdot v = L \cdot I \cdot l \cdot v \cdot 10^{-1} \text{ erga} = L \cdot I \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8} \text{ Wata} \dots (38)$$

Jer je $10^8 \text{ erga} = 1 \text{ Watt}$. U vodiču ind. $E = L \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8} \text{ Volta}$. Struja i el. m. sila imaju isti smjer, jer tu struju proizvodi ista el. m. sila. Prema tome je djelovanje generatora, ako zanemarimo pad napetosti u armaturi: $N = E \cdot I \text{ wata} \dots (39)$

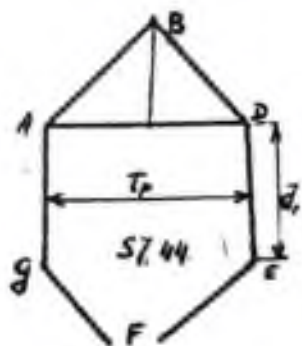
Kod motora miče se vodič u smjeru sile P , tj. u protivnom smjeru, nego što ga je imao generator. Motor vrši radnju, koja je opet određena jednadžbom: $N = E \cdot I \cdot \text{wata}$.

U vodiču inducirana el. m. sila je: $E_i = L \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8} \text{ Volta}$, te imade protivni smjer struje, koju proizvodi nametni napon. To je protuelektromotorna sila. Da može struja I postojati, mora nametni napon U biti jednak: $I = \frac{U - E_i}{R_a}$.

Ako je R_a otpor armature, a r_a otpor jedne grane vrijedi:

$R_a = \frac{r_a}{2a}$. Ako je još R forme: L_2 dužina namotane žice, onda je dužina žice jedne grane: $\frac{L_2}{2a}$, pa je: $r_a = \frac{c \cdot \frac{L_2}{2a}}{L} = c \cdot \frac{L_2}{2a^2}$, te

$$\text{Konačno: } R_a = \frac{r_a}{2a} = \frac{c \cdot L_2}{(2a)^2 \cdot l} \dots (40)$$



Sc. 44.

Kod namatanja bubnjeva upotrebljavaju se danas: šablone. Za sve je:

21.) Dužina namotane žice,

i to dužina jednog zavoja: opseg poligona ABDEFB. - d. 44. Strana DE udaljena je od strane AB skoro za razmak polovine: $\frac{a}{2}$. Prema tome je: $AD = \frac{a}{2}$, te $AB = \frac{a}{2}$. Visina BC je samovoljna, no uzima se, da je jednaka $AC = \frac{a}{2}$. Iz toga onda slijedi da je: $AB = \sqrt{AC^2 + BC^2} = \sqrt{(\frac{a}{2})^2 + (\frac{a}{2})^2} = \frac{a}{2} \sqrt{2}$. Cijela

dužina opsega toga mnogokuta jeste:

$$L_a = 4AB + 2b_2 = 2a\sqrt{2} + 2b_2 = 2b_2 + 2.8a,$$

gdje je b_2 dužina strane svitka. Ako je L_A dužina armature, onda možemo približno staviti, da je: $b_2 = L_A + 5\text{cm}$. Zaokružimo li 2,8 na 3,0, da time uračunamo relikvu među b_2 i L_A , onda rezultira: $L_a = 2L_A + 3a$. Namotana dužina je:

$$L_n = \frac{\pi}{2} (2L_A + 3a) \quad (41)$$

22.) Napon lamela.

Preduja el. m. sila je: $e_m = w \cdot \frac{\phi_1 - \phi_2}{T'} \cdot 10^8$ Volta. Za $w=1$ dobimo: $e_m = \frac{\phi_1 - \phi_2}{T'} \cdot 10^8$ Volt. Leži li zavoj ispod sjevernim polom, onda obuhvati tok: ϕ_0 , a kad dođe pod južni pol, onda obuhvati tok: $-\phi_0$, pa je prema tome: $\phi_1 - \phi_2 = 2\phi_0$, te je: $e_m = \frac{2\phi_0}{T'} \cdot 10^8$ Volt. T' je vrijeme, koje je potrebno, da zavoj dođe od sjevernog do južnog pola. Imademo li "2p" - polni stroj, to je $T' = \frac{T}{2p}$. Jer je: $nT=60$, $T = \frac{60}{n}$ je: $T' = \frac{60}{2pn}$. Zlati da je za svaki zavoj: $e_m = \frac{2\phi_0 \cdot 2p \cdot n}{60 \cdot 10^8}$ Volta

Imademo armaturu "z" žica i "K" lamela, onda je broj zavoja jednog svitka: $\frac{z}{2K}$, pa je preduja el. m. sila jednog svitka: $e_m = \frac{2\phi_0 \cdot 2p \cdot n}{60 \cdot 10^8} \cdot \frac{z}{2K}$ Volta

Napon dvaju žica suprotnog predznaka je: $E = \frac{\pi}{2} \frac{z}{60} \phi_0 \cdot 10^8$ Volt. Razmjer je: $\frac{e_m}{E} = \frac{z}{K}$ ili $e_m = E \cdot \frac{z}{K}$ (42)

Za sinusoidalnu krivulju vrijedi $e_m = \frac{2}{\pi} \cdot E_{\max}$, ili $E_{\max} = \frac{\pi}{2} e_m$. Onda je maksimalna vrijednost el. m. sile jednog svitka:

$$E_{\max} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{E \cdot z}{K} = \frac{\pi z}{2K} E \quad (43)$$

Označi li nam U_k potencijalnu diferenciju dviju susjednih lamela, onda vrijedi:

1) Za paralelni, petljasti namotaj: susjedne lamela spojene su sa početkom i završetkom jednog svitka:

$$U_k = E_{max} = \frac{p \cdot \pi \cdot E}{K} \quad |a = p|$$

2) Za serijski namotaj: među susjednim lamelama leži "p" u seriji spojenih svitaka:

$$U_k = p \cdot E_{max} = \frac{p \cdot \pi \cdot E}{K} \quad |a = 1|$$

3) Za serijsko paralelni namotaj: među susjednim lamelama leži $(\frac{p}{a})$ u seriji spojenih svitaka:

$$U_k = \frac{p}{a} \cdot E_{max} = \frac{a \cdot \pi \cdot E}{K} \cdot \frac{p}{a} = \frac{p \cdot \pi \cdot E}{K}$$

Nije li $(\frac{p}{a})$ cio broj, treba ga zaokružiti na najbliži veći. Opće, mito dakle vrijedi:

$$U_k = \frac{\pi \cdot a \cdot E}{K} \cdot \left(\frac{p}{a}\right) \quad 44$$

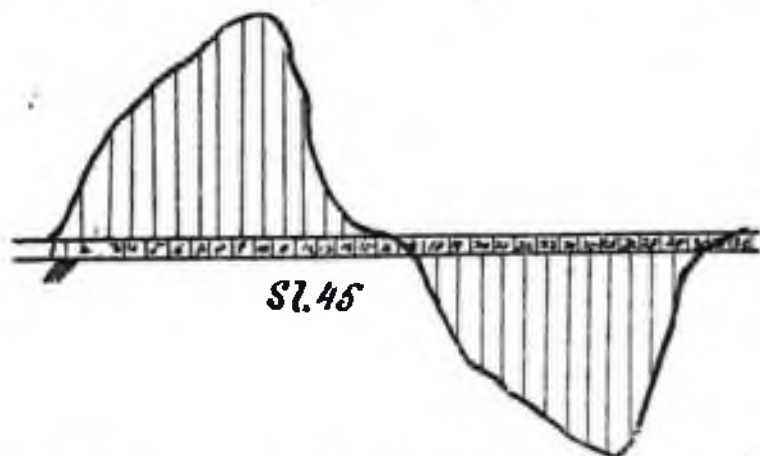
Kod toga je za: 1) paralelni namotaj: $a = p$
 2) višestruki paralelni namotaj: $a = mp$, 3) serijski namotaj: $a = 1$
 4) višestruki serijski namotaj: $a = a$.

Napon susjednih lamela promijeni se sa položajem lamela ili se položajem priključenog svitka u polju. Kod jednostavne petljaste omotke među susjednim lamelama jedan svitak, pa se prema tome promijeni napon lamela direktno sa naponom, koji je u svitku inducirano. Posmatramo li na komutator (malec, neke pomoćne kefice, koje su međusobno udaljene približno za širinu lamela; pa mjerimo li napon koji je proporcionalan naponu lamela na dotičnom mjestu komutatora. Ova je napetost jednaka u svitku induciranoj e.m.sili, prema tome je napetost također mjera intenziteta polja. Nacrtamo li mjereni napon kao funkciju položaja pomoćnih kefica na komutatoru, dobijemo krivulju, koja je identična sa krivuljom polja, te njedno daje sliku promjene napona susjednih lamela. Slika 45: Krivulj

Komutatora. Napon lamela varira precizno sa poljem, te se mijenja kao polje od neopterećenog do punog tereta.

Kod petljaste omotke se sumiraju naponi među lamelama sa istim predznakom od jedne kefice do

druge, Mo leže kefice u neutralnoj zoni.



Maximalna dozvoljena napetost lamela je 30-35 volta. Ova veličina nema za sve strojeve konstantnu vrijednost. Imademo li širinu: „mica“ izolacije: $0,8 \text{ mm}$, onda vrijedi za velike strojeve srednjeg napona maksimalno 28 Volta, i to za kompenzirane strojeve. Bez kompenzacije: 18-20 Volta. Za strojeve srednje veličine vrijedi granica: 30 Volta, a za male 35 Volta. - Neprikladno postupanje sa komutatorom n.p.r. oštiti komutator sa uljnom kupom - ili čišćenje komutatora sa 1.20 mjesti da komutator 1.4: / prouzroči štetu također i kod manje napetosti lamela.

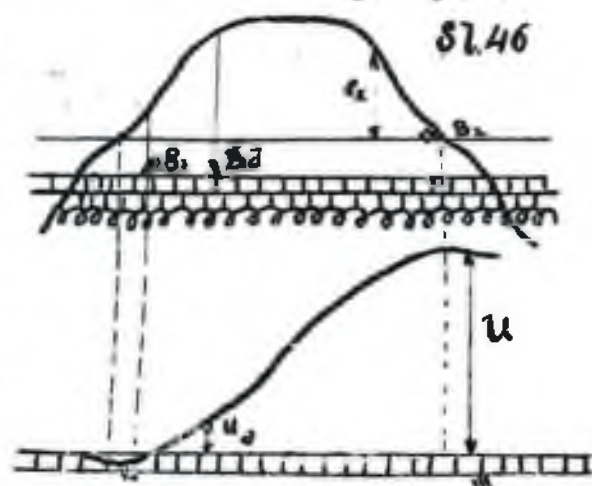
Kako su kefice odmaknute iz neutralne zone, onda se ne sumiraju svi naponi lamela od kefice do kefice, nekoliko ih je negativnih, koji se odbijaju. Zbog toga se napon steraljka ne ravno dijeli na sve lamele, nego samo na veći ili manji dio. Jer su krivulje polja i krivulja komutatora identične, to nam povećanje napona putem odumicanja kefice iz neutralne zone znači slabo skraćivanje toka indukcije armature. Φ_a je tok, to klari u armaturu, prema tome i mjera maksimalne indukcije u zraku. Φ je obuhvaćeni tok, te mjera napona na steraljkama.

Koeficijent: $\Phi_a = \frac{\Phi}{\Phi}$ je mjera skraćivanja armature, te je obično približno jednak 1. Kod pojedinih motora sa opširnom regulacijom brzine može Φ_a postići visoke vrijednosti, ako se dade, da glavno polje dosta oslabi. U tom slučaju prouzroči amperesvoji armature u raku mjeru sa glavnim poljem jako poprečno polje, koje odumakne neutralnu zonu daleko od kefice: Φ_a raste.

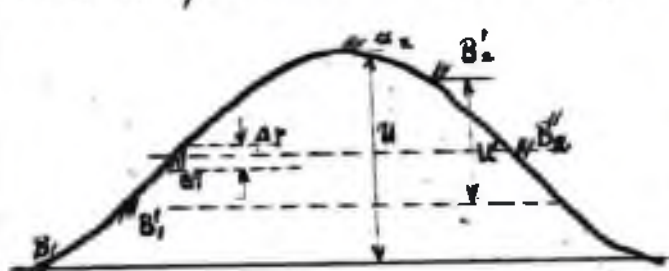
23.) Potencijalna krivulja komutatora.

Slika 45. prikazuje krivulju komutatora. Ovdje treba još spomenuti sljedeće. Sve strojeve radimo danas sa zatvorenim namotajem. Među kefikama B_1 i B_2 leži uvijek isti broj svitaka. U svakom svitku inducirana el.m. sila ima isti oblik kao krivulja polja.

U svakom vodiču armature inducirana el.m. sila ima isti oblik kao i krivulja polja, te je određena jednačinom: $E_x = L_x \cdot l \cdot v \cdot 10^{-8}$ Volta, dakle je proporcionalna brzini v dužini l te položaju u polju: L_x . U slici 46. nacrtani su svitci u relativnom položaju spram krivulje polja, tako da su ordinate krivulje



polja istovremeno mjeraz za inducirane d. m. silu i to u svakom svitku. Jer su svitci jednoliko razmješteni po armaturi, lobi se se među kćicama B_1 i B_2 uvijek istu konstantnu napetost, koja je jednaka sumi svih el. m. sila, što su inducirane u svitci, ma među B_1 te B_2 . Napetost kćica je prema tome proporcionalna sa ploštinom krivulje polja, koja leži među kćicama. Kod toga se mora uzeti dijelove nad osi apseisa kao pozitivne veličine, a one ispod osi kao negativne. Mjerimo li pomoću male kćice, "b" napon među raznim točkama komutatora i jedne kćice, tada dobijemo napon, koji je uvijek jednak sumi napona pojedinih svitaka među "b" i B_1 , ako smo počeli sa B_1 . Ovaj napon je proporcionalan ploštini nad bB_1 . Otvorimo li napon U_2 dotične točke



Sl. 47

tako, da umjesto x os apseisa os se armature, dobijemo t. zv. potencijalnu krivulju komutatora, koja nam predlaže napetost između točke komutatora. Potencijalna krivulja rezultira iz površine krivulje polja, koja leži nad apseisom bB_1 , toči dakle krivulja sumacije (integracije) krivulje polja. Ima da se krivulja polja dosta udaljuje od sinusoidalnog oblika, ipak je općenito potencijalna krivulja sinusoidalnog oblika.

Leže li kćice B_1 B_2 u neutralnoj zoni - Sl. 47. - tada liče na tjemenu potencijalne krivulje: napon U je maksimalan. Odmaknemo li ih istodobno za jednake udaljenosti iz neutralne zone, onda se promijeni napetost kćica, što se najbolje može prikazati; ako se nacrtaju položaji kćica na potencijalnoj krivulji. U položaju B_1 B_2 je napon kćica samo U . Dolaze li kćice u sredinu pola: položaji B_1' B_2' , onda je napon = 0.

Čak se daleko u polje nemogu kćice odmaknuti, jer bi napon Δp među rubovima bio preveliki, što bi prouzročilo iskre. Da se može odmaknuti kćice, mora gorjeti i donji dio potencijalne krivulje biti ravan. Onda se dobije veliku promjenu napona, tako, da je regulacija napona pomoću odmakivanja kćica od nikakve vrijednosti.

2.4.) Premotanje.
Čak puta se dogodi, da treba promijeniti namotaj, a da se kod toga ne promijeni

1.) broj okreta 2.) broj ϕ i 3.) djelovanje.

Ova kadaća dolazi u obzir kod premotavanja na drugi nap.
pon. Kod toga se mora gledati, ako je moguće, da se upotrijebi
i stari rotor. Ako se iz armature uzme stari namotaj, te
ako imamo stari broj žica: Z_1 i presjek žice: q_1 , to
treba onda odrediti novi broj žica: Z_2 i novi presjek: q_2 .

Djelovanje mora ostati isto: $E_1 I_{a1} = E_2 I_{a2}$ I.

Jakost struje u jednoj žici je: $i_{a1} = \frac{I_{a1}}{Z_{a1}}$ $i_{a2} = \frac{I_{a2}}{Z_{a2}}$

Da imamo iste gubitke u armaturi, mora gustoća struje
ostati ista, jer imamo također isti tećmu namotaja:

$i_{a1} = q_1 \cdot s$ $i_{a2} = q_2 \cdot s$ $I_{a1} = Z_{a1} q_1 s$ $I_{a2} = Z_{a2} q_2 s$
prema tome: $E_1 Z_{a1} q_1 s = E_2 Z_{a2} q_2 s$ pa je onda

$$q_2 = q_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{a_2}{a_1} \quad \dots \quad \text{II.}$$

Nadalje vrijedi: $E_1 = U_1 + I_{a1} R_{a1}$; $E_2 = U_2 + I_{a2} R_{a2}$ | + generator /
- motor
Umnoženjem sa I_{a1} odn. sa I_{a2} : $E_1 I_{a1} = U_1 I_{a1} + I_{a1}^2 R_{a1}$; $E_2 I_{a2} = U_2 I_{a2} + I_{a2}^2 R_{a2}$
3 obzirom na I. slijedi:

$$E_1 I_{a1} + I_{a1}^2 R_{a1} = E_2 I_{a2} + I_{a2}^2 R_{a2} \quad \dots \quad \text{III.}$$

Jer hoćemo iste gubitke uslijed topline mora biti: $I_{a1}^2 R_{a1} = I_{a2}^2 R_{a2}$
pa je $E_1 I_{a1} = E_2 I_{a2}$ IV.

Jednadžbe I. i IV. daju $\frac{U_1}{E_1} = \frac{U_2}{E_2}$ ili $\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2}$ V.

Prema tome glasi jedn. I. $q_2 = q_1 \cdot \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{a_1}{a_2}$ (45)

Jer je: $E_1 = \frac{Z_1}{a_1} \cdot \frac{\pi}{60} \phi \cdot 10^8$ Volt i $E_2 = \frac{Z_2}{a_2} \cdot \frac{\pi}{60} \phi \cdot 10^8$ Volta

vrijedi: $\frac{E_1}{E_2} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{a_2}{a_1}$ ili $Z_2 = Z_1 \cdot \frac{a_2}{a_1} \cdot \frac{U_1}{U_2}$ (46)

Premotavanje armature traži također i promjenu namota
ja magneta. Ovdje vrijedi:

1) Za poredni namotaj, gubici moraju ostati isti. To se postigne, ako
ostane gustoća struje ista:

$$U_1 \cdot i_{m1} = U_2 \cdot i_{m2}; \quad i_{m1} = q_{m1} \cdot s_m, \quad i_{m2} = q_{m2} \cdot s_m$$

$$\text{dakle: } U_1 \cdot q_{m1} \cdot s_m = U_2 \cdot q_{m2} \cdot s_m \quad \text{ili} \quad q_{m2} = q_{m1} \cdot \frac{U_1}{U_2} \quad \dots \quad (47)$$

Ova je jednadžba gotovo dostatna. Ipak potrebno drugo, nego sa
namotajem ispuniti isti prostor, što ga je tražio prvi namotaj.
Želimo li isti tor ϕ treba isti broj amper-zavoja. Prema tome:

$$i_{m1} \cdot w_1 = i_{m2} \cdot w_2 \quad \text{ili} \quad q_{m1} \cdot s_m \cdot w_1 = q_{m2} \cdot s_m \cdot w_2 \quad \text{ili}$$

$$w_2 = \frac{q_{m1}}{q_{m2}} \cdot w_1 = \frac{U_2}{U_1} \cdot w_1 \quad \dots \quad (48)$$

2) Serijski namotaj.

Poznat je presjek Q_{m1} , broj zavoja w_1 . Traži se Q_{m2} w_2 . Jer teče ista struja kroz namotaj, vrijedi:

$$Q_1 \cdot S \cdot \lambda a_1 = Q_{m1} \cdot S m, \text{ i } Q_2 \cdot S \cdot 2 a_2 = Q_{m2} \cdot S m$$

$$\text{ili: } \frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Q_{m1}}{Q_{m2}} \quad Q_{m2} = Q_{m1} \cdot \frac{a_2}{a_1} \cdot \frac{Q_2}{Q_1}$$

Prema jednačini VI. je $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{a_1}{a_2}$ pa je prema tome

$$Q_{m2} = Q_{m1} \cdot \frac{U_2}{U_1} \quad - - - (49)$$

Kod svih promjena namotaja mora se paziti; da li kolektor može ostati isti, te kakova je komutacija.

BK INV 52

Po predavanjima g. prof. M. Ploha.

JAKA STRUJA 1.

/Istosmjerna struja/

Svez. III.

MAGNETSKA POLJA.



I. Izdanje.

Izdalo Udruženje službača tehničkog fakulteta

u

Zagreb.

1927.

Chorow III - 951
ET Elektrownia
Dolba
7/III 1927



Do godine 1866. spotrebljavalo se je za proizvodnju magneti, žrog polja dinamo stroja: permanentne magnete, to su bili magneto-električni strojevi. Već godine 1854. našao je Sorin Njork vlastito arbutenje, koje je god 1866. Werner u Siemens upotrebio za konstrukciju dinamo stroja. Od tada je po, čeo vanredni napredak elektrotehnike, tako da ona dan, nas obkolji i ispunja čitav život.

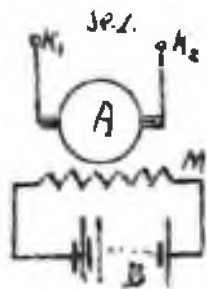
Vlastito arbutenje stroja sa elektromagnetom sastoji se u tome, da postane željezo uvijek nešto magnetično, ako je bilo jedanput magnetizirano. Prema tome nastaj, ne kod okretanja armature na kuficama napon, koji, ma da je u početku još malen - ipak može da tjera slabu struju kroz namotaj magneta. Ako je sada smjer te struje takav, da pojačava tok proizveden, al remanentnog magnetizma, mora naravno napon na sticaljkama rasti. Taj pak veći napon prouzroči ja, ču struju kroz magnete. Ovo međusobno pojačivanje: - napon - struja - tok - napon - itd., koje je Siemens nazvao: dinamo-električnim principom, traje tako du, go, dok ne postigne napon neku određenu konstantnu vrijednost, koja je ovise o otporu kruga arbutenja i zasićenosti željeza.

Oblik magneta bio je u početku dugački, sličan permanentnom. Hopkinson je našao, da vredi i kruter i za magnetički krug - kao i za električni - Ohmov zakon. Od toga momenta počelo se je tražiti i konstru, irati oblike za magnete, koji imaju, što je moguće ma, nji magnetički otpor: "reluktanciju." Konacno se došlo do okruglog oblika, koji je danas jedini naj, malni oblik kod više - i dob. polne strojeve.

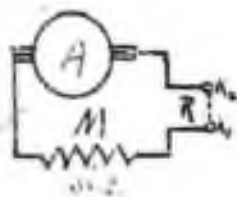
Materijal je danas obično ljevani čelik, a ako mo, najn biti ispunjeni osobiti uslovi može se uzeti i ljevano željezo. Stopalo i jezgre magneta prave se iz limenih pločica.

1. Uzbudenje magnetizma.

Karakteristična svojstva dinamostroja ovisna su u prvom redu o uzbudenju. Najprije se je upotre-
bljavalo nezavisno uzbudenje, gdje ne postoji nikakva
direktna ovisnost struje uzbudenja o naponu, koju
daje stroj. No također i danas rabi se više puta o-
vakav spoj - sl. 1. - i to onda, ako
se želi dati stroju osobita svojstva,
koja se ne mogu postići vlastitim uz-
budenjem, ili ako se za uzbudenje
mora učiti napon, koji ne odgovara
naponu stroja.



Kod prvih strojeva sa vlastitim uzbudenjem upo-
trebljavala se je ista struja za uzbudenje i to na taj
način, da je tokla vanjska struja (struja vanjskog kruga)
kroz nekoliko zavoja na magnetu.
To su t. xv. serijski dinamostroje-
vi - spoj je prema slici br. 2.

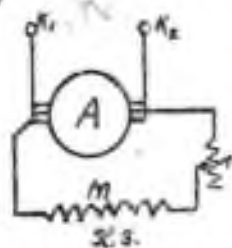


Prije nego se ovakav stroj prvi
puta stavi u pogon, magnetiziraju
se magneti pomoću struje iz bilo kojeg izvora. Time
dobije stroj toliko remanencije, da je u stanju vlastito
se nabaditi. Spojimo li streljke K_1 i K_2 sa otporom: R ,
onda će kod okretanja armature od remanencije in-
ducirana struja kroz čitavi krug, te pojača magneti-
zam. Napon raste, struja također, prema tome i br. i t.d.
dok ne postigne napon i struja određene vrednosti, koja
odgovara otporu i - naravno - magnetskoj karakteristi-
ci stroja. Vlastito uzbudenje može samo onda nastati,
ako struja pojačava remanenciju, t.j. ako struja teče
kroz omotku magnetu u pravilnom smislu.

Kod strojeva sa serijskim spojem su tok induk-
cije (t.j. magnetsko polje) i napon ovisni o jakosti
struje i to neposredno. Prema tome ovaj spoj nije ugodan

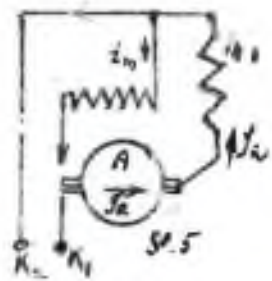
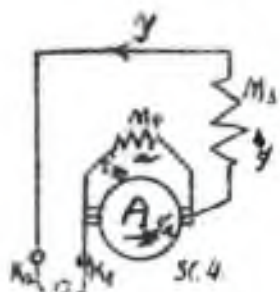
i ne odgovara, ako treba konstantni napon na stezaljci. Za motore se često upotrebljava serijski spoj, jer ima određena svojstva, koja su za određene svrhe veoma važna (železnice, prenosila i t.d.)

Ostato uzbudenje može se također tako urediti, da se za uzbudenje uzme samo mali dio čitave struje i to tako, da se magnet spoji posredno R vanjskom krugu - sl. 3. - Jakost struje u namotaju nije u ovom slučaju ovisna od vanjskog otpora: R , ona ovisi samo o naponu steraljke K_1 i K_2 , te otporu namotaja. U krug



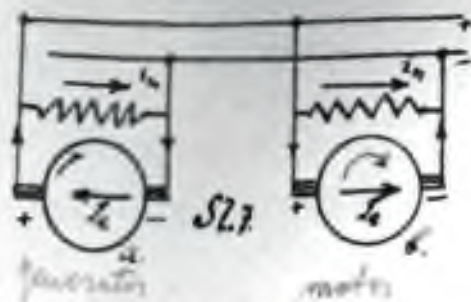
uzbudenja uklopa se još otpor za regulaciju: r . Kod porednog dinamo stroja pada napon samo polagano sa rastućim teretom i to zato, jer ohmov otpor armature ne prouzroči pad napona na steraljkama - pa prema tome umanjuje struje uzbudenja.

Paralelni i serijski spoj može se upotrebiti također i zajedno: - Kompandni strojevi. - Kod porednog stroja pada napon sa teretom, kod serijskog raste. Prema tome može se serijsko i paralelno uzbudenje tako namontirati, da ostane napon konstantan - ili da raste ili pada sa teretom. Spoj se može izvršiti ili po shemi 4. ili 5.



a.) Poredni namotaj priključuje se direktno na Refice /kratki spoj/ sl. 4. Onda teče u serijskom namotaju struja: $I = I_a - i_m$. Ako je napon konstantan na stex. K_1 i K_2 , to će napon porednog namotaja rasti sa veličinom $I R_k$, ako nam R_k znači otpor serijskog namotaja.

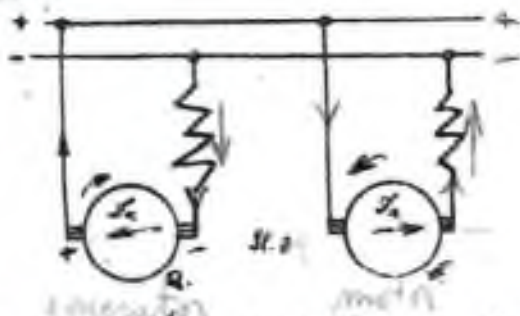
β.) Poredni namotaj priključuje se na steraljke K_1 i K_2 (dugi spoj)



Smjer struje armature i ma-
gneta odgovara strijelicama.

Radi li stroj kod nepro-
mijenjenog priključka na
mrežu kao motor - sl. 78.

to promjeni struja u armaturi smjer, a struja ma-
gneta ostane ista. Ako bi se promijenio smjer struje u
armaturi i u magnetima, bio bi smjer okreta mo-
toru suprotan onome od generatora. Jer se promijenio
smjer samo u armaturi, mora biti smjer okretanja mo-
toru isti kao i kod generatora, t.j. poredni stroj radi
u istom smjeru kao promjene spoja kao motor i kao
generator.



Kradi li mreža serijski
stroj - sl. 86 - promjeni
se smjer struje i u ar-
maturi i u magnetu t.j.
serijski stroj okreće se kao
promjene spoja kao motor

u suprotnom smjeru generatora.

Iz gore navedenog slijedi: Želimo li promijeniti
smjer struje, moramo promijeniti ili smjer struje u
armaturi ili u magnetu t.j. moramo promijeniti
ili spoj armature ili spoj magneta. Promjena
priključka na mreži ne promjeni smjer struje.

generator:

$$U = E - I_a R_a$$

3. Jednadžbe napona.

U generatoru je smjer struje i el. m. sile isti, na-
pon streljka prema tome uvijek manji nego što je el.
m. sila E i to sa velikom padu napona u armaturi:
za R_a , zatim za pad napona u prelaznom otporu ke-
fica - lamela: $2 \Delta U$ te pad napona u serijskom
namotaju $I_a R_x$. Iz toga slijedi da je:

$$U = E - I_a (R_a + R_k) - 2 s U \quad (1)$$

Kod motora je struja u armaturi protivnog smjera inducirane el. m. sile, napon stexalka je prema tome uvijek veći:

$$U = E + I_a (R_a + R_k) + 2 s U \quad (2)$$

Ako je: I struja mreže, i_m struja magnetiziranja u porednom krugu, onda vrijedi:

$$\text{za generator: } I_a = I + i_m \quad \text{za motor: } I_a = I - i_m, \quad (3)$$

4. Magnetični krug.

Svaki par polova magnetskog isteka tvori sa željeznom armature, te rasporom katvoteni magnetski krug. da „premotorna sila ili napetost, t.j. abudiranje ili amper, kavoji proizvode u armaturi tok indukcije: Φ . Uzmemo li amperekavoje za apscisu, a pripadajuće vrijednosti toka za ordinatu, onda dobimo krivulju magnetiziranja stroja. Ako je broj okreta konstantan, odgovara sve, komu toku: Φ određena, u armaturi inducirana el. m. sila: E

$$\text{Zakon proticanja glasi: } \oint H dl = 4\pi w J$$

Iz ove jednačice izjedi potrebni broj amperekavoja za armaturu bez struje, i to za jedini magn. krug:

$$AW_0 = w J = 0,8 \oint H dl = 0,8 \sum H_k l_k \quad (4)$$

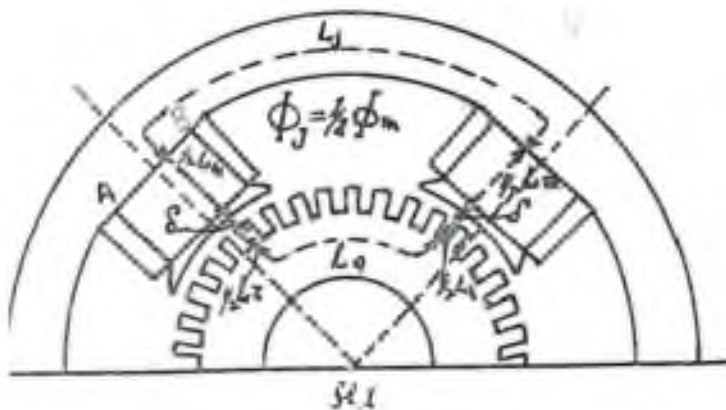
gdje znači: H_k srednja vrijednost intenziteta za dio puta l_k . Označimo li sa aw_k broj amperekavoja za 1 cm dužine puta onda imamo:

$$aw_k = 0,8 H_k, \quad (5)$$

te potrebni broj amperekavoja:

$$AW_0 = \sum aw_k l_k \quad (6)$$

Iz slike 1. vidimo: Polje svakog stroja može se raz-
dijeliti u magnetske krugove, te svaki krug u pojedine
dijelove, za koje je intenziteta H_x konstantna. Za ove
dijelove možemo također smatrati tok Φ_x te
presjek: Q_x konstantnim. Indukcija u presjeku odjela
 L_x je onda:
$$L_x = \frac{\Phi_x}{Q_x}$$



Ovoj indukciji odgovara određeni broj amper-
kavoja. Za dužinu L_x
je prema tome potreban
broj amperkavoja:

$$AW_x = a w_x L_x$$

Čitavi broj rezultira
iz sumacije pojedinih dijelova. Ako upotrijebimo zna-
ke slike 1 dobimo:

$$AW_0 = a w_2 \cdot 2\delta + a w_x L_x + a w_a L_a + a w_m L_m + a w_j L_j \quad (7)$$

Broj amperkavoja za 1 cm dužine: $a w$ dadu nam kri-
vu magnetsiziranja.

Iz jednačine 6. slijedi, da nam mora biti poznat
tok Φ_x za svaki presjek Q_x magnetskog (polja) kru-
ga. Kod dinamostroja ne ulazi čitavi tok indukcije Φ ,
tj. magnetska također u armaturu. Jedan se dio za-
tvara već prije putem rasipanja. Oznaci li nam: Φ_s
tok rasipanja, onda je totalni tok svakog pola:

$$\Phi_m = \Phi_a + \Phi_s \quad (8)$$

$$\text{Karmjer: } \frac{\Phi_m}{\Phi_a} = 1 + \frac{\Phi_s}{\Phi_a} = \sigma \quad (9)$$

Imamo koeficijentom rasipanja, koji je uvijek veći od jedinice

$$\sigma > 1 \quad (9a)$$

Ako je: U napon streljaka onda je: U također u

armaturi inducirana el. m. sila, jer smo pretpostavili, da armatura nema struje. Krivulju magnetiziranja stroja zovemo također krivuljom neopterećenog kruga ili neopterećena karakteristika. Na pronađenoj ravni točke ove krivulje odaberemo različite vrijednosti el. m. sile: E pod i nad normalnom veličinom, te ih računamo pomoću jednačine:

$$\Phi = \frac{60 \cdot a}{\pi \cdot n \cdot x} E \cdot 10^{+9} \quad (10)$$

p : broj žica armature /

tok Φ_a , koji stvara u armaturi.

Toku Φ_a , odnosno Φ_m , odgovara određena indukcija u različitim presjecima magnetskog kruga. Pomoću ove indukcije izračunamo AW . Dobivamo, t.j. pomoću AW izračunati tok Φ_a nije moguće, jer AW nije linearan integral, te nemože biti od početka već u pojedine dijelove razdijeljen, koji bi dijelovi odgovarali pojedinih dijelovima magnetskog kruga.

Kod svih naših budućih razmatranja upotrijebiti ćemo sljedeće oznake:

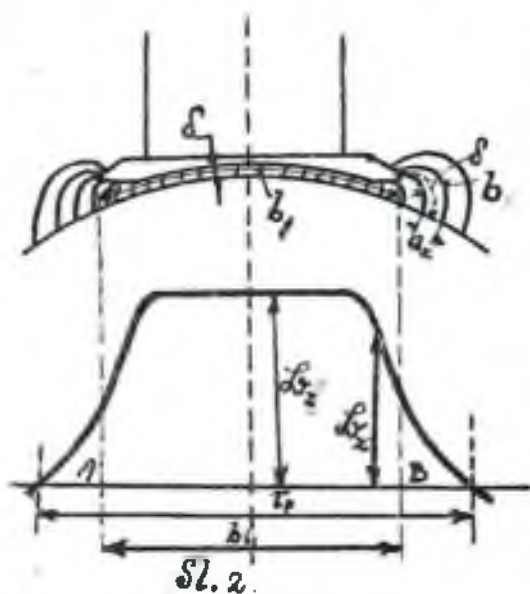
Dužina ceste indukcije: Presjek: Amperzavoji:

2δ	: za raspor	Q_l	AW_l ✓
$L_z = 2b_z$	: " zubove	Q_z	AW_z ✓
L_a	: " željezo armature	Q_a	AW_a ✓
$L_m = 2\delta_m$	: " jezgro magneta	Q_m	AW_m ✓
L_j	: " jaranu	Q_j	AW_j ✓

Velikim slovima: AW označeni amperzavoji potrebni su za cijelu dužinu L . Za 1 cm dužine potrebni amperzavoji označeni su sa malim slovima. Dakle:

aw_l, aw_z, aw_a, aw_m i aw_j .

a.) Ampereavoji: AW_2 za raspor.



Kod prelaza iz stopala u ar, matoru raširi se tok Φ na šitavu površinu jednoga rarmat, ka. Radioba toka odgovara najmanjem otporu.

Zamislamo si sliku indukcije za raspor nacrtanu kako to pri, kasnije slika b. 2, te radije, limo raspor medu polom i ar, maturom u cijevi indukcije, čija je dubina u smjeru okoni,

tom na raviniu papira 1 cm, onda rarmatranjem dobito slijedeće:

Ornači li b_x srednju širinu, L_x srednju dužinu jedne cijevi, onda je vodljivost proporcionalna izra, zu: $\frac{b_x \mu_r}{\delta_x} = \frac{b_x}{\delta_x}$, jer je $\mu_r = 1$. Indukcija L_x jednoga malenog diela površine armature širine: a_x te dužine 1 cm je proporcionalna: $\frac{b_x}{\delta_x \cdot a_x}$. Ornačimo li dalje maksimalnu indukciju na $\frac{b_x}{\delta_x \cdot a_x}$ najužem mje, stu raspora (δ) sa L_2 , onda je L_2 proporcional, no sa $\frac{1}{\delta}$, jer vrijedi za sredinu pola $a_x = b_x$. Na obe promatrane cijevi indukcije djeluje ista ma, gnetomotorna sila. Prema tome odnose se indukci, je kao vodljivosti t. j:

$$L_x : L_2 = \frac{b_x}{\delta_x a_x} : \frac{1}{\delta} \quad \text{ili}$$

$$L_x = L_2 \cdot \frac{\delta \cdot b_x}{\delta_x \cdot a_x} \quad (11)$$

Ortamo li vrijednosti jednadžbe 11 kao funkcija opsega armature, dobito krivulju polja armature. Od krivulje optočenar rarmatranja predstavja nam tok indukcije za 1 cm dužine armature.

Da odredimo srednju vrijednost indukcije pretvori-
mo ovu površinu u pravokutnik iste površine sa visi-
nom: L_2 . Pronađena osnovica AB zove se ide-
alni polni luk: b_i . Prema tome je:

$$\text{Tok za 1 cm dužine} = b_i \cdot L_2 \quad (12)$$

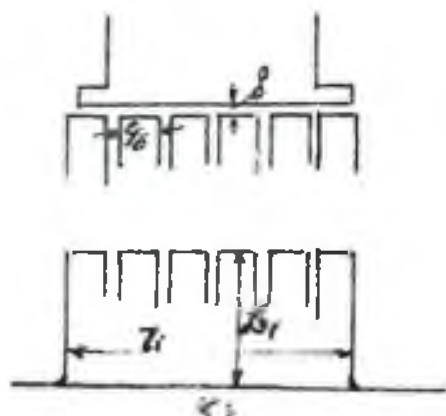
Krivulja polja ovisna je o obliku stopala. Kon-
strukcija stopala mora biti takova, da stroj dobro
komutira. Za ovu komutaciju je zgodna široka neu-
tralna zona, u kojoj je: L_2 po mogućnosti maleno.
Rubovi stopala moraju biti takvi, da indukcija po-
stepeno pada, da stroj tiho radi.

Razmjer idealnog polnog luka i armaturnih polova
 zove se idealni faktor napune α_i

$$\alpha_i = \frac{b_i}{\tau_p} \quad (13)$$

Taj faktor napune leži među 0,65 ÷ 0,75. Ima-
mo li pomoćne polove, ili male armaturne polove,
 odabere se za α_i također manja vrijednost, da ne
 bi nastalo preveliko rasipanje među stopalima.

Da odredimo za izračunavanje indukcije L_2
 pravilnu dužinu armature, napravimo pored kroz
 sredinu pola i armature. Također i ovdje možemo
 crtati sliku indukcije: L_2 , koju onda crtamo kao
 funkciju dužine armature. Od ove krivulje optoče,



nu površinu pretvorimo
u jednaki pravokutnik
visine: L_2 i osnovice:
 b_i . Ako je stroj u pogo-
nu proučimo crte polja,
sto ulaze u čela, te kroz
raspore ka vjetrenje vrtlo-
žne struje. Prohodjelova

nje tih vrtložnih struja umišti' opet skoro savim ove crte, tako da ih možemo zanemariti. Iz tog razloga možemo za praktične svrhe staviti idealnu dužinu l_i jednaku sumi dužina pojedinih smotke limenih pločica, iz kojih se sastoji armatura. Ovu dužinu označimo sa:

$$l_i = l_{\text{željezo}} + l_{\text{izolacija}} - \text{raspori za vjetrenje} :$$

Ako je l_p aksijalna skuzina stopala (u smjeru osovine!), te l prije označena dužina, može se staviti:

$$l_i = \frac{l_p + l}{2} \quad (14)$$

Čitavi tok jednog namotaja je:

$$\Phi_a = B_i \cdot l_i \cdot L_2 \quad (15)$$

i maksimalna indukcija u rasporu:

$$B_i = \frac{\Phi_a}{l_i l_i} \quad (16)$$

U zraku je: $\mu = 1$. Prema tome vrijedi za raspor:

$$L_2 = \mu L_2$$

te za 1 cm potrebni broj amperkavoja: $AW_2 = 98 L_2$

Za čitavu dužinu datu: $AW_2 = 98 L_2 \cdot 28 = 16 L_2 \cdot \delta$

Radi utora u armaturi imademo magnetsku vodljivost raspora manju, te indukciju u zubovima nešto povećanu. Za praćmanje potrebno povećanje broja amperkavoja, ako upotrebljavamo armaturu sa utorima, množimo amperkavosje gornje jednačbe još sa faktorom: K_1 (Carter-ov faktor!)

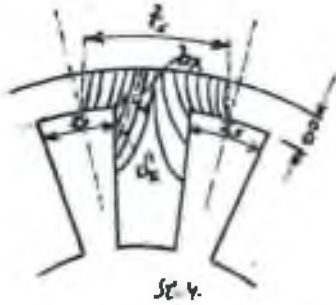
$$AW_2 = 1,6 \cdot K_1 \cdot \delta \cdot L_2 \quad (17)$$

6.) Određivanje Carterovog faktora: K_1 .

Vodljivost glatke armature, bila bi za namot. utora: t_1 i za 1 cm dužine: $\frac{t_1}{98\delta}$. Ako je: δ_x u slici 4.

$$\lambda = \frac{t_1}{98\delta} \cdot \frac{t_1}{\delta_x} = \frac{t_1^2}{98\delta\delta_x} = \frac{t_1^2}{98\delta^2} = \frac{t_1^2}{98\delta^2}$$

srednja dužina: S_x , a δ_x srednja širina cijevi m_x dukcije, onda je vodljivost armature sa utorima za armaturu utora t_1 kod dužine 1 cm: $\sum \frac{t_1}{\delta_x}$ ako su, miramo preko ravnog razmaka t_1 . Iz slike cijevi indukcije može se onda odre-
điti razmjera:



$$K_1 = \frac{t_1}{\delta \cdot \sum \frac{t_1}{\delta_x}} \quad (18)$$

Da nije uvijek potrebno crtati sliku indukcije, može se faktor K_1 izračunati također pomoću

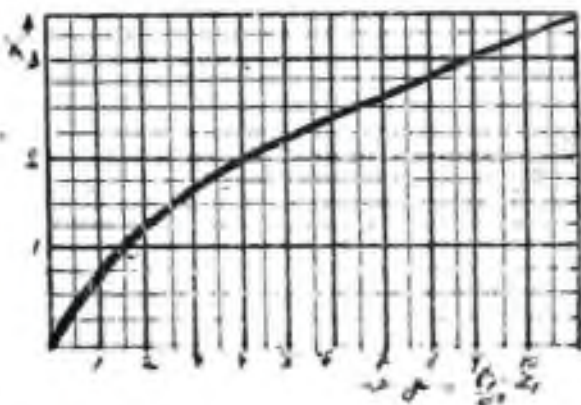
empirijske formule.

Razdijelimo naime vodljivost raspora u dva dijela, i to u jedan dio što leži prema glavi zuba proporcionalan x_1 i u drugi, koji leži prema utoru, te koji je ovisan o širini utora: $t_1 - z_1$.

Vodljivost raspora, koji leži prema utoru može, mo izraziti kao funkciju od δ , te širine: $t_1 - z_1$. Ovu funkciju označimo sa δX , gdje je X funkcija razmjera:

$$v = \frac{t_1 - z_1}{\delta} \quad (19)$$

Nacrtamo li i izračunamo cijevi za različite razmjere utora, koji često dolaze u upotrebu, onda rezultira krivulja X kao funkcija od v , što prikazuje slika br. 5. Vodljivost raspora kod armature sa utorima je dakle za armaturu utora t_1 proporcionalna veličini $z_1 + \delta X$,



a za glatku armaturu je proporcionalna sa t_1 .

Prema tome se je otpor povećao za:

$$K_1 = \frac{t_1}{z_1 + \delta X} \quad (19)$$

Vrijednosti X daje nam sl. 5.

2. $t_1 - x_1 \geq 2\delta$ daje nam također i jednačina:

$$K_1 = \frac{t_1}{x_1 + \sqrt{\delta(t_1 - x_1)}} \quad (192)$$

uporabine vrijednosti.

c.) Određivanje idealnog polnog luka: b_i



Veličinu idealnog polnog luka b_i za zadani oblik stopala propisuje se iz slike indukcije u rasporu:
- slika br. 6. - Kod crtanja odabere se

Kod crtanja odabere se postepeno raširenje crta indukcije. Ovdje treba napaziti, da su crte približno simetrične na površinu željeza. Želimo li biti sigurni, da slika zaista odgovara prolasku crta indukcije, crtamo sliku na više različitih načina, te izračunamo za svaku sliku b_i . Tada ćemo vidjeti, da je utjecaj oblika pojedinih dijelova na konačnu vrijednost b_i razmjerno veoma malen. Od svih izračunatih vrijednosti b_i uzme se najveća.

Jer odgovara luk b_i jednoliko razdijeljenoj indukciji B_0 namemo glatku površinu armature. Kod ljevnost željezne cijevi sa srednjom širinom b_x , dužinom δ_x kod dužine armature l jest: $\lambda = \frac{b_x l}{2\delta_x}$. Magneto, motorna sila među površinom pola te $2\delta_x$ Korjenom Zuba jest: $MMB = \frac{1}{2} (AW_L + AW_Z)$

Broj ampernavoja $\frac{1}{2} AW_Z$ trošimo u sredini polja za magnetiziranje već mnogo nasitjenih zuba, dok u rasporu polova ovi ampernavoji nisu potrebni. Ovdje ih trošimo za pojačavanje indukcije u krakovi. Pretpostavimo li armaturu sa zubovima, imamo središnje

polu $MMS = \frac{1}{2} AW_L = 0,8 K_1 \delta L_p$, među rubovima polova, te površinom armature $MMS = \frac{1}{2} AW_L + \frac{1}{2} AW_z$. Stavimo li razmjer:

$$\frac{\frac{1}{2} AW_L + \frac{1}{2} AW_z}{\frac{1}{2} AW_L} = 1 + \frac{AW_z}{AW_L} = K_z \quad (20)$$

onda je MMS za jednu cijev u zraku ispod ruba polva:

$$\frac{1}{2} K_z AW_L = 0,8 \delta K_1 K_z L_p$$

Tok jedne cijevi sa vodljivošću λ prema tome:

$$MMS \cdot \lambda = 0,8 \delta K_1 K_z L_p \cdot \frac{\lambda \cdot l}{0,8 \delta z}$$

Sumiramo li tokove pojedinih cijevi, dobimo tok armature Φ_a jednoga pola:

$$\Phi_a = b_i \cdot l \cdot L_p = l \cdot L_p \cdot 2 \left(\frac{b}{2} + \delta K_1 K_z \sum \frac{b_z}{\delta_z} \right)$$

dakle idealni polni luk:

$$b_i = b + 2 \delta K_1 K_z \left(\frac{b_z}{\delta_z} + \frac{b_z}{\delta_z} + \frac{b_z}{\delta_z} + \dots \right) \quad (21)$$

/: Napravi li se u naertu $b_x = \delta_x$, mora se samo zbrojiti cijevi i/

Za približni račun može se uzeti b_i jednako razmaku obija čipka stopala.

d.) Krivulja polja, pulzacije polja kod armature sa utorima.

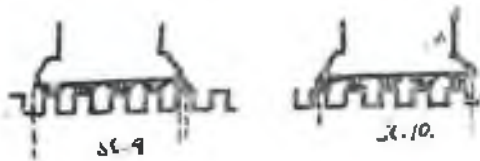
Či li armatura sa utorima u stanju mirovanja, onda se razdijeljuje polje u rasporu. Kako to odgovara zubovima - sl. 7.

Okrenemo li armaturu za polovicu razmaka utora - sl. 8. - promijeni se krivulja polja, isto tako i tok za svaki pol, ako nije otpor raspora za oba polova, ja jednak. Rotira li armatura, onda oscilira polje amo tamo u taktu sa prolaznim zubovima, tok u polu pulsira. Da možemo to zgodnije pre-



gledati položimo svitak širine, koja je jednaka pri-
bližno razmaku polova na armaturu. Oscilacije polja
induciraju u rasporu δ u svitku el. m. silu broja
perioda $\frac{2\pi}{\delta}$, koja može pod stopaloni postići pri-
lično velike vrijednosti. Pulziranje toka inducira
u svitku el. m. silu, koja je najveća, ako leži
svitak u položnom rasporu. No ovu zadnju poja-
vu ugodi masivno željezo statora, osim toga ni-
je za ove armature jednaka. Ako je broj utora za
razmak polova c/o broj, onda ćemo imati pulzacije
je polja osobito u onom slučaju, ako je broj utora
za polni luk c/o broj - slika 7, sl. 8. —

Oscilacije imademo osobito onda, ako broj utora
za polni luk nije c/o broj - sl. 9. i sl. 10. Ako je broj
utora za razmak polova c/o broj $+\frac{1}{2}$, onda imademo
samo male pulzacije polja, jer imamo ispod susjed-
nim polovima za 1 zub manje, ako je ispod jednim
polom najveći broj zuba.

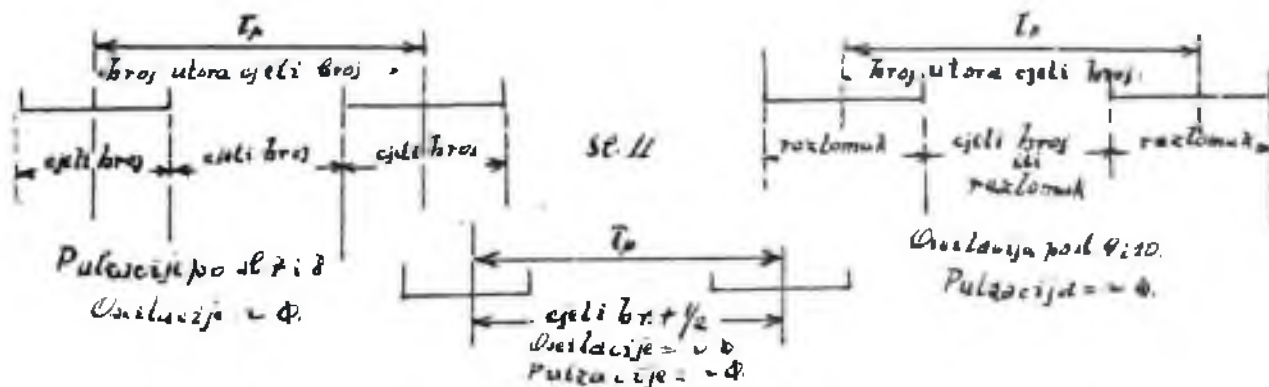


Pulziranje polja nema na
nas svitak uticaja, jer su
inducirane el. m. sile po-
stojnog smjera. Za toga vi-
dimo, da nećemo imati

nadnapone, ako je broj utora za razmak polova veći
od cijelog broja.

Želimo li dakle, da nemamo pulzacije napona na
statorj kama, napravimo broj utora za svaki par po-
lova jednak ličnom broju - ili broj utora za razmak
polova ne bude čiji broj. Ako to iz bilo kojih
razloga nije moguće, napravi se broj utora za polni
luk čiji broj, jer nam masivno željezo oduži
pulzacije polja. Oscilacije mora se izbjegavati.

Schematičnu sliku svega toga daje nam
slika br. 11.



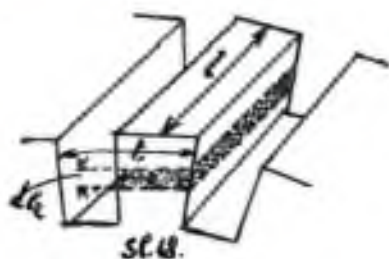
Oblik i broj zuba mjerodavan je za veličinu gubitka zbog vrtložnih struja u stopalima i to radi pulsacija. Kriterijum tvor. faktor vrtložnih struja:

$$f_p = (\kappa_2 - 1) Z \cdot \frac{L_p}{10^3} \cdot \frac{n}{60}$$

Ako je $f_p \geq 10$ mora se naći stopala in limenili izoliranih pločica.

e.) Broj amp. zavoja za zube: AW_z .

Kod armature sa statorima su zubi i utori ili bolje rečeno: presjek željeza zuba i presjek utora ma, magnetski paralelno spojeni. Što veća se odabere fiktivna indukcija: L_{zst} , to više treba uračunati vodljivost zraka.



Zamislamo si cilindrični presjek kroz zube - sl. 12. - Ako pretpo, stavimo, da prolaze sve cije toka jednog namaka utora kroz željezo zuba, onda je idealna, fiktivna indukcija u zubu:

$$L_{zi} = \frac{\text{Cijeli tok namaka utora}}{\text{Presjek željeza namaka utora}}$$

Označi li t_1 namak utora na opsegu armature, onda ulazi za svaki namak utora u armaturu tok:

$$\Phi_2 = t_1 l \Phi_1$$

Za kojegod presjek širine: x slijedi onda idealna indukcija u zubu:

$$B_{zi} = \frac{\Phi_{zi}}{K_2 z l} = \frac{t_2 \cdot \Phi_{zi}}{K_2 z} \quad (22)$$

gdje smo umetnuli faktor K_2 : faktor napune limom, obzirom na smanjenje dužine l armature radi iracionalne lima. Obično se računa 10%, t.j.:

$$K_2 = 0,9 \quad (23)$$

Razdijelimo li ^{li} tok jednog armaturnog t_1 u tok kroz željezo zuba, te tok kroz vrak, imamo:

$$\begin{aligned} B_{zi} &= \frac{\text{tok kroz željezo} + \text{tok kroz vrak}}{\text{presjek željeza zuba}} = \frac{\Phi}{\sigma_{Fe}} + \frac{\text{tok kroz vrak}}{\text{presjek željeza zuba}} \\ &= B_{zFe} + \frac{\Phi_w \cdot \text{presjek vraka}}{\text{presjek željeza zuba}} \end{aligned}$$

Ovdje znači:

B_{zFe} = faktična indukcija

$\Phi_w = \frac{a_w t_1}{9,8}$ odgovarajuća magnetska intenziteta μ ,
bova

Stavimo li konačno:

$$\frac{\text{presjek vraka}}{\text{presjek željeza zuba}} = K_3$$

onda dobimo:

$$B_{zi} = B_{zFe} + K_3 \Phi_w \quad (24)$$

$$K_3 = \frac{l_a \cdot t_1 - l K_2 z}{l K_2 z} = \frac{l_a t_1}{l K_2 z} - 1 \quad (25)$$

l_a je totalna dužina armature sa rasporeda za vrak, čenje.

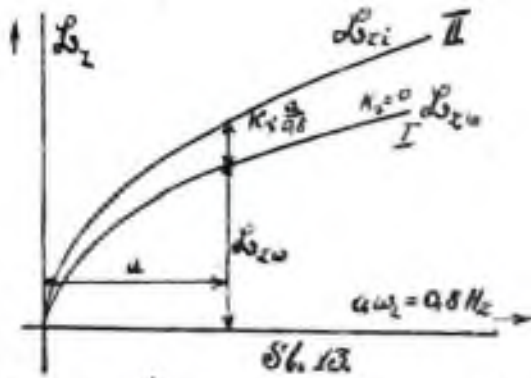
Da odredimo B_{zFe} pomoću B_{zi} nacrtamo krivulje na slijedeći način. Najprije crtamo faktičnu krivulju magnetske indukcije za lim armature - T. Krivulja u slici 13. - Za kojegod točke ove krivulje B_{zFe} sa apscisom $a_w t_1$ izračunamo za različite razmjere K_3 dužine: produkte:

$$K_3 \cdot X_{\Sigma} = K_3 \cdot \frac{a \omega_2}{0,8}$$

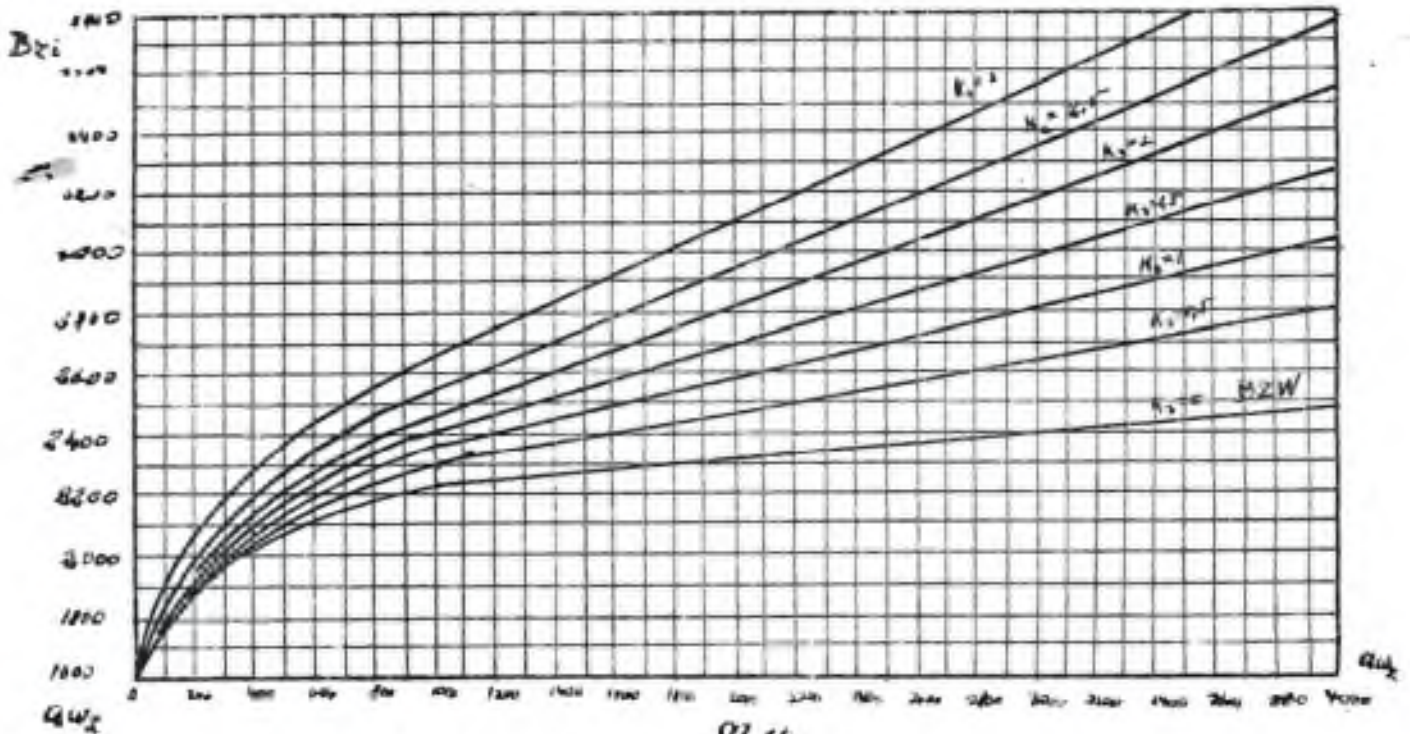
te približno ove vrijednosti k L_{Σ} , tako da po jednačini 24 uoimo ordinate krivulje $L_{\Sigma i}$ [Sl. 13.]

Da odredimo:

atk, izračunamo za dotični presjek zuba najprije idealnu indukciju: $L_{\Sigma i} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{K_{\Sigma i} l} = \frac{L_{\Sigma}}{K_3}$ i po jedn. 25. razmjern: K_3 . Sa $L_{\Sigma i}$ ulazimo u krivulje $L_{\Sigma i}$



teč. slike br. 14, i to sa odgovarajućim: K_3 . Onda dobimo kao apscisu traženi broj amperzavoja $a \omega_2$.



Sl. 14.

Jer nije presjek zubova na svim mjestima jednak, mora se $L_{\Sigma i}$ odrediti za više presjeka i to uopće za glavu, za sredinu i konjen t.j.

$$L_{\Sigma i \text{ glava}} = \frac{L_{\Sigma}}{K_3}$$

$$L_{\Sigma i \text{ sred}} = \frac{L_{\Sigma}}{K_3}$$

$$L_{\Sigma i \text{ konj}} = \frac{L_{\Sigma}}{K_3}$$

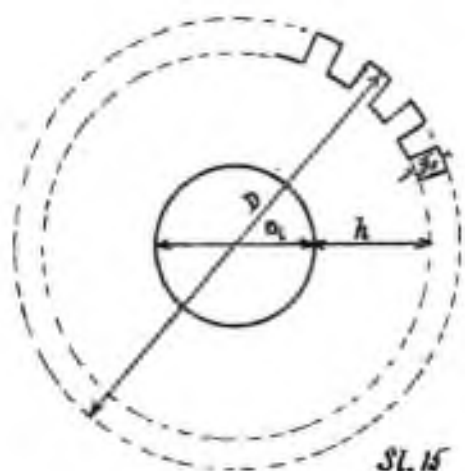
Za svaku od ovih indukcija radi se sa pripadajućim K_3 u slici 14. odgovarajući broj amperzavoja: aw_{zmin} , aw_{zred} i aw_{zmax} za 1 om dužine puta u zubu. Po Simpson-ovom pravilu izračunamo onda srednju vrijednost:

$$aw_z = \frac{aw_{zmin} + 4aw_{zred} + aw_{zmax}}{6} \quad (26)$$

Čitavi broj amperzavoja za zube jednog magnetskog kruga je onda:

$$AW_z = aw_z \cdot L_z = L_z \cdot \frac{aw_{zmin} + 4aw_{zred} + aw_{zmax}}{6} \quad (27)$$

f. Broj amperzavoja za željezo armature: AW_w .



Kroz presjek željeza armature ide maksimalno polovica toka: Φ_w . Označimo li sa D promjer armature, D_i unutarnji promjer, onda je visina željeza: $h = \frac{D - D_i}{2}$ - jednaka:

$$h = \frac{D - D_i - L_z}{2}$$

te je faktični presjek željeza:

$$Q_w = K_2 \cdot l \cdot h \quad (28)$$

$K_2 \approx 0,9$, l = dužina armature bez raspora za zračenje. Prema tome je indukcija B_w u željeznoj armaturi:

$$B_w = \frac{\Phi_w}{Q_w} = \frac{\Phi_w}{2hK_2l} \quad (29)$$

Na krivulje magnetiziranja uzmemo za izračunanu indukciju B_w broj amperzavoja aw_w za 1 om l za određeni lim l po je:

$$AW_w = aw_w \cdot L_w$$

g). Broj amperavolija za jergre i jaramu: AW_m i AW_j .

Tok ϕ_a , što ulazi u armaturu je samo dio toka magnetnog, jer svaki stroj ima rasipanje.

Tok magnetski ima u presjeku AB - L. 1. - najveću vrijednost: ϕ_m . Koefficient rasipanja je: $\sigma = \frac{\phi_m}{\phi_a}$.
Jer iskaze ote rasipanja na pojedinim stranama, to se ϕ_m umanjuje u praksi prema armaturi. Ipak to se možemo smatrati ϕ_m konstantnom veličinom. Uo općenito, to vrijedi:

$$\begin{aligned}\phi_m &= \sigma \cdot \phi_a \\ L_m &= \frac{\phi_m}{I_m} = \frac{\sigma \cdot \phi_a}{I_m} \\ \phi_a &= \frac{I_m}{\sigma} \cdot \frac{1}{L_m} \cdot E \cdot 10^8\end{aligned} \quad (31)$$

Krivulja magnetiziranja - slika 16. - daje odgovor indukciji L_m . Prema tome je:

$$AW_m = I_m \cdot L_m \quad (32)$$

U ovim strojevima sa više od dva pola, a također i u svim dipolnim strojevima moderne konstrukcije dijeli se tok u jarmu na dvije strane. Stoga je obično:

$$I_j = \frac{\sigma \cdot \phi_a}{2} \text{ odn. } L_j = \frac{\sigma \cdot \phi_a}{2 \cdot I_j} \quad (33)$$

Krivulja magnetiziranja daje nam za L_j pripadni broj amperavolija: AW_j . Prema tome:

$$AW_j = I_j \cdot L_j \quad 34.$$

5) Krivulja magnetiziranja stroja, neopterećena karakteristika

Formiramo li za svaki dio magnetnog kruga broj potrebnih amperavolija, onda možemo izdati broj za sve, ki par polova za neopterećeni kret sumiranjem.

$$AW_0 = AW_e + AW_z + AW_a + AW_m + AW_j$$

ili:

$$AW_0 = 16 \cdot I \cdot K_z \cdot L_z + a_w z L_z + a_w z L_z + a_w L_m + a_w j L_j \quad (35)$$

Imade li stroj p - parak polova onda je citavi broj amperavojaja za usrednjenje za neopterećeni hod

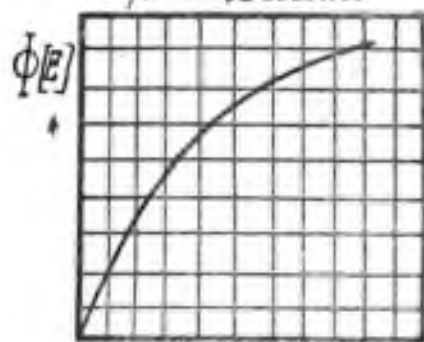
$$AW_{op} = p \cdot AW_0 \quad (36)$$

Da nacrtamo krivulju magnetiziranja uzmemo različne vrijednosti el. m. sile pod i nad normalnom vrijednošću te izračunamo za ove tok:

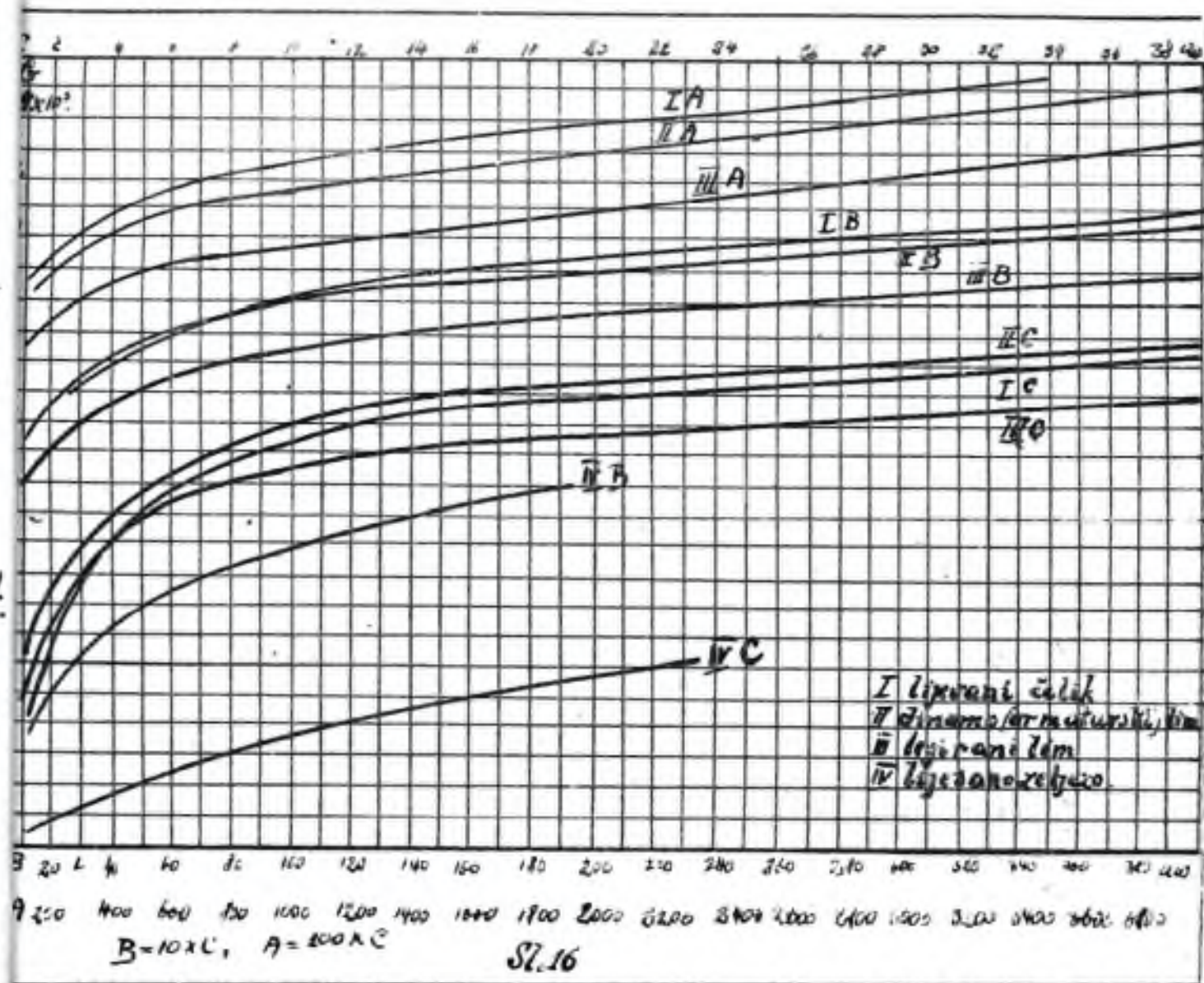
$$\phi = \frac{60}{p \cdot n} \cdot \frac{a}{2} \cdot E \cdot 10^8$$

te potrebni broj amperavojaja neopterećenog stroja. Onda

crtaemo tok ϕ kao funkciju amperavojaja AW_0 , te dobimo krivulju magnetiziranja sl. 17.



→ $AW_0 [Am]$ Sl. 17



Umjesto toka Φ možemo također uvesti odgovarajuću vrijednost elektromotornu silu: E kao ordinatu. Onda dobijemo karakterističnu neopterećenog kretanja. Za apsisu uzme se kod toka Φ broj amperavoja, kod resp. opterećenja, ne karakteristične struje magnetiziranja: I_m .

Jer je el. mot. sila proporcionalna toku Φ , imaju obje krivulje isti oblik, te padaju zajedno, ako samo odaberemo zgodno mjerilo ordinata.

6.) Rasipanje.

Da se može proračunati broj AW , mora se poznati koeficijent rasipanja. Današnji obični oblik strojeva ima koeficijent $\sigma = 1,2 \div 1,25$. Zna li stroj pomoćne polove može biti σ i veći nego 1,25.

Radi različitih pretpostavki proračun rasipanja nije tačan, ali ipak imade tu vrijednost, da se približno upotrijebi koeficijent, kojega se može očekivati, pa se na taj način kontrolira odabrana vrijednost.

Odabrati pak možemo taj koeficijent od poznatih vrijednosti koeficijenata sličnih strojeva, što rade pod sličnim prilikama.

Veličina Φ_s ovisna je o konstrukciji, obliku te veličini polova, zasićenosti željeza te veličini razpora δ . Za rasipanje je ugodno, da se dobro postavljaju ležaji, osnovne ploče i t.d., što može σ bitno povećati.

Tok rasipanja Φ_s razdijelimo u 6 dijelova:

- 1.) Φ_{s1} tok među unutarjim površinama stopala,
- 2.) Φ_{s2} tok obiju čela susjednih stopala,
- 3.) Φ_{s3} tok među unutarjim stranama jezgre,
- 4.) Φ_{s4} tok obiju čela susjednih jezgra,
- 5.) Φ_{s5} tok među jednom unutarjom stranom jezgre i jaramom,
- 6.) Φ_{s6} tok među jednim čelom jezgre te jaramom.

Očekano vrijedi:

$$\Phi_{sx} = P_m \cdot \lambda_x \quad (37)$$

gdje nam: P_m označuje magnetomotornu silu, a λ_x vodljivost među stranama rasipanja. Ako je: $a_x \cdot l_x$ veličina strane rasipanja, te ujedno također: presjek od toka: Φ_{sx} protičuće ploštine; te ako je: L_x srednja dužina puta orta rasipanja - onda vredi:

$$\lambda_x = \frac{a_x \cdot l_x}{0,8 \cdot L_x}$$

Magnetomotorna sila među površinama rasipanja raste od jarma, gdje je jednaka nubi postepeno sa namotajnim uzbudjenjima, te postigne maksimalnu vrijednost na kraju namotaja - t.j. na stopalu:

$$P_m = AW_L + AW_z + AW_a \quad (38)$$

Kod našega čuma proračuna pretpostaviti, da P_m raste proporcionalno sa visinom jergre.

a.) Tok rasipanja: Φ_{s1} .

Maleni gubitak na čipkama stopala zanemarimo. Magnetična napetost među stopalima je maksimalna t.j.:

$$P_m = AW_L + AW_z + AW_a$$

Upotrijebimo li znatkovu sliku 18, onda je vodljivost među među stopalima:

$$\lambda_1 = \frac{a_1 \cdot l_p}{0,8 \cdot L_1}$$

Ima li stroj pomoćne polove, to vrijedi namjesto $\frac{l_p}{L_1}$ izraz:

$$\frac{l_p - l_w}{L_1} + \frac{l_w}{L_1 - l_w} \quad \text{gdje je } l_w \text{ dužina stopala pomoćnog pola.}$$

Dakle je:

$$\Phi_{s1} = P_m \cdot \lambda_1 = P_m \cdot \frac{a_1 \cdot l_p}{0,8 \cdot L_1}$$

odnosno:

$$\Phi_{s1} = P_m \cdot \frac{a_1}{0,8} \left(\frac{l_w}{L_1 - l_w} + \frac{l_p - l_w}{L_1} \right) \quad (39)$$

b.) Tok rasipanja: Φ_{12} .

Ako je: F_p veličina čela stopala, onda je vodljivost:

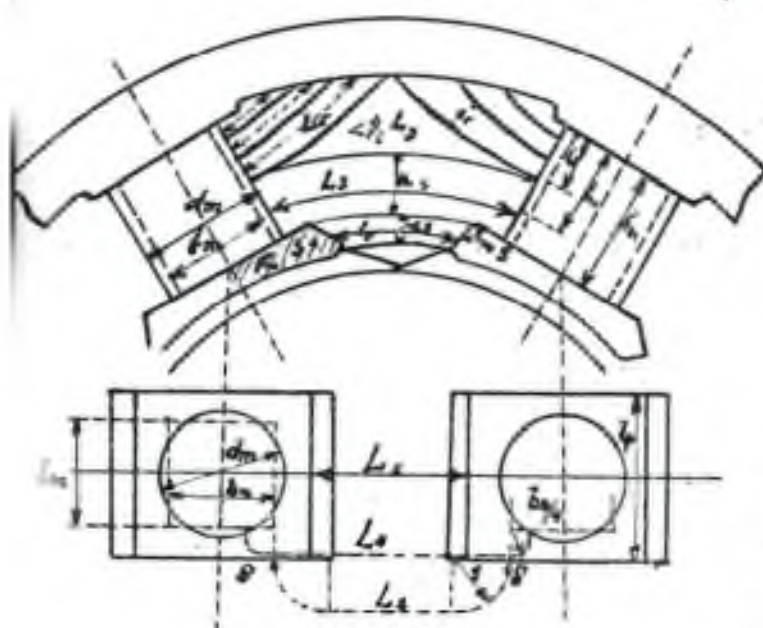
$$\lambda_2 = \frac{F_p}{0,8 L_2}$$

U ovoj formuli uzmemo dužinu crte indukcije, koja prolazi kroz težište S polovice čela stopala kao rednu dužinu toka rasipanja u račun. Ovdje možemo za izračunavanje veličine L_2 pretpostaviti, da prolazi L_2 na dužini L_1 ravno, a onda u krivini sa polu-mjerom S , tako da vrijedi: $L_2 = L_1 + 3\pi$.

Tok Φ_{12} je:

$$\Phi_{12} = P_m \cdot \lambda_2 = P_m \cdot \frac{F_p}{0,8(L_1 + 3\pi)} \quad (40)$$

c.) Tok rasipanja: Φ_{13} .



Sl. 18.

Najprije se nacrtaj sliku rasipanja, kako to prikazuje Sl. 18. - Kod toga pretpostavimo, da sve crte rasipanja, za koje je:

$$\frac{1}{2} L_3 > L_5$$

prolaze prema jarumu.

Imadu li jezgre jajolik ili okrugli presjek, pretvoriti se taj presjek u jednaki pravokutni sa dužinom: l_m , te širinom b_m . Za okrugli

presjek promjera d_m , dobimo jednaki kvadratični sa stranom:

$$b_m = \frac{d_m}{2} \sqrt{\pi}$$

Pretpostavimo li, da magnetska napetost P_m opada od od stopala do jaruma linearno, onda je Moll'sila, što djeluje na tok Φ_{13} :

$$Moll's = P_m \cdot \frac{L_3}{L_m}$$

Vodljivost je: $\frac{a \cdot l_m}{0,8 \cdot L_3}$, pa je prema tome tok:

$$\Phi_{13} = I_m \cdot A_3 = I_m \cdot \frac{h_3}{\mu_m} \cdot \frac{a_3 b_m}{0.8 L_3} \quad (41)$$

Ima li ovaj pomoćni polov:

$$\Phi_{13} = I_m \cdot \frac{h_3}{\mu_m} \cdot \frac{a_3}{0.8} \cdot \left(\frac{b_m}{b_3 - b_k} + \frac{b_m - b_k}{L_3} \right) \quad (42)$$

gdje je L_3 dužina jage pomoćnog pola, b_k širina te jage.

d.) Tok rasipanja Φ_{14} .

Φ_{14} dijeli se u 2 dijela. Jedan dio prolazi K čelu susjednih jagra (Φ_{14}) a drugi K jarnu: (Φ_{16}). Radi jednostavnosti pretpostavimo, da je ravni, ne radijalno ravna i okomita na os pola. Popriješka nije velika. Tok Φ_{14} prisloni se prema tome na tok Φ_{13} , to tvori nastavak toga toka, tako da djeluje takoder ovde MSH sila: $I_m' = I_m \cdot \frac{h_3}{\mu_m}$. Vodljivost je:

$$\lambda_4 = \frac{b_m a_3}{0.8 L_4}, \quad L_4 = L_3 + \frac{b_m}{4} \cdot \pi. \quad \text{Dakle:}$$

$$\text{tok: } \Phi_{14} = I_m \cdot \lambda_4 = I_m \cdot \frac{h_3}{\mu_m} \cdot \frac{a_3 b_m}{0.8 (L_3 + \frac{b_m}{4} \pi)} \quad (43)$$

e.) Tok rasipanja: Φ_{15} .

Na svaku cijev indukcije, što prolazi u udaljenosti h_5 od jarna iz pola izvodi, da je magnetomotorna sila: $I_m \cdot \frac{h_5}{\mu_m}$, a vodljivost: $\lambda_5 = \frac{a_5 b_m}{0.8 L_5}$

Tok rasipanja jedne cijevi je prema tome:

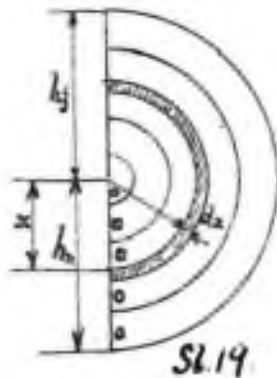
$$\text{d } \Phi_{15} = I_m \cdot \frac{h_5}{\mu_m} \cdot \frac{a_5 b_m}{0.8 L_5}$$

Integralnom sumacijom dobimo cijeli tok Φ_{15}

$$\text{tok: } \Phi_{15} = I_m \cdot \lambda_5 = I_m \cdot \frac{b_m}{0.8 \mu_m} \cdot \sum \frac{a_5 h_5}{L_5} \quad (44)$$

f) GOR rasipanja Φ_{s6} .

Ovdje pretpostavimo, da crte indukcije prolaze u ravni, ma, koje su paralelne k pravcu kroz sredinu pola. Put svih crta rasipanja ima oblik polukruga - Sl. 19. - Za uzmemo također u obzir i one crte, koje prolaze u magnetskom smjeru, zamislimo si, da imamo



Sl. 19



Sl. 20

u toku Φ_{s6} iz čitave površine ožla.

Na cijev vodljivosti $\frac{b_m}{0,8\pi x}$ u udalje,

nosti x od jarua dječak Malt. Sila:

$P_m \cdot \frac{b_m}{x}$. Prema tome tok jakne

cijevi jeste: $d\Phi_{s6} = P_m \cdot \frac{b_m}{x} \cdot \frac{b_m}{0,8\pi x}$

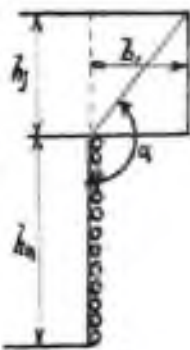
Sumacijom s obzirom na pred.

postavko dobijemo:

$$\Phi_{s6} = \frac{P_m}{2} \cdot \frac{b_m \cdot b_m}{0,8\pi \cdot h_m} = \frac{P_m \cdot b_m}{2 \cdot 0,8\pi} \quad (45)$$

Obično je visina jarua h_j različna od visine jezgre h_m , pa je:

$$\Phi_{s6} = \frac{P_m \cdot b_m}{1,6\pi} \cdot \frac{h_j}{h_m} \quad (45a)$$



Sl. 21.

Ako je jaruo širi od jezgre - Sl. 21. - onda možemo staviti sa dostatnom točnošću:

$$\Phi_{s6} = P_m \lambda_6 = P_m \cdot \frac{b_m}{1,6\pi} \cdot \frac{\sqrt{h_j^2 + b_1^2}}{h_m} \cdot \frac{180^\circ}{\alpha} \quad (45b)$$

Kod svih proračuna od $\alpha \div f$ uveli smo po jednu površinu rasipanja. Jer ima i drugi pol dvije istovredne površine rasipanja, to moramo još rezultat sumacije podvostručiti. t.j:

$$\Phi_s = 2(\Phi_{s1} + \Phi_{s2} + \Phi_{s3} + \Phi_{s4} + \Phi_{s5} + \Phi_{s6}) \quad (46)$$

$$= 2 \cdot P_m (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6) = 2P_m \sum \lambda$$

Jer je: $\sigma = \frac{\Phi_m}{\Phi_{s1}} = \frac{\Phi_s + \Phi_{s1}}{\Phi_{s1}} = 1 + \frac{\Phi_s}{\Phi_{s1}}$ slijedi:

$$\sigma = 1 + \frac{2P_m}{\Phi_{s1}} \cdot \sum \lambda$$

Jer je nadalje: $P_m = AW_L + AW_Z + AW_{av} = K_x \cdot AW_L = K_z \cdot 1,6 K_s S_L$

- budući da AW_a s obzirom na AW_b i AW_c možemo zanemariti - to jer je $\Phi_a = b_i l \cdot K_i$ slijedi konačno:

$$\sigma = 1 + \frac{2 \cdot K_2 \cdot 46 K_2 \cdot \delta \cdot L_2}{b_i \cdot l \cdot K_i} \cdot \sum \lambda = 1 + \frac{32 K_2 K_i \delta}{b_i l} \cdot \sum \lambda \quad (47)$$

Isk prolazi krivulja magnetiziranja ravnog, raste Φ proporcionalno sa Φ_a , σ ostane konstantno. Od točke zavijanja naprijed raste rasipanje t.j. σ .

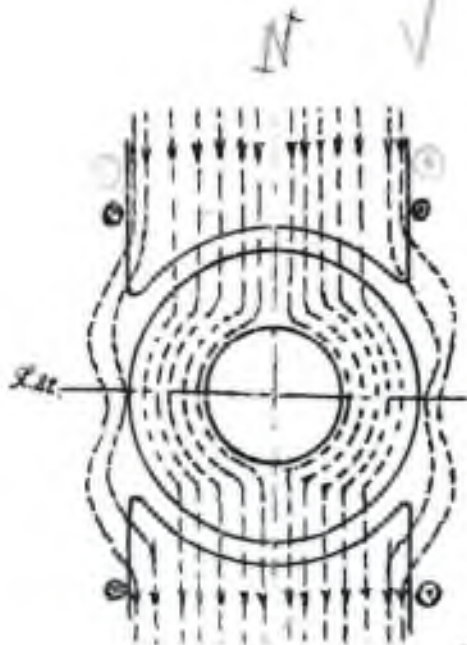
Kod proračuna presjeka magneta mora se σ najprije odabrati, jer je izračunavaju tek onda moguće ako se poznaju dimenzije stroja. Dobijemo li na koncu neke diferencije između odabranih te izračunavamo σ , moraju se dimenzije nešto promijeniti.

Ako broj amperzavoja, te mjere utora još nisu poznati, onda se za prvi približni proračun uzme:

$$K_2 = 1,2, \quad K_2 = 1,3 \quad \text{te} \quad \sigma = 1 + \frac{5\delta}{b_i l} \cdot \sum \lambda \quad (48)$$

7. Polje armature.

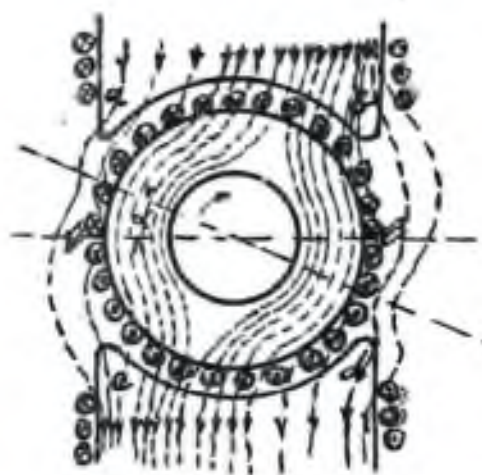
a) Protudjelovanje armature.



Teče li struja kroz namotaj armature, djeluju amperzavoji armature natrag na magnetsko polje - protudjelovanje armature (Posljedice toga protudjelovanja su rasterezanje i krivljenje polja. Neutralna zona stoji drugi položaj, uvjeti se ko, mutacija bez skara traže odmicanje kofice, ako stroj nema pomoćnih polova. Nema li armatura struje, imamo polje slike 22. - uzdužno polje glavnih magneta. Neutralna zona pada zajedno



S1.23.



S1.24.

sa geometrično neutralnim polo-
žajem, okomito na os polova

Imademo li samo u arma-
turi struju, dobimo polje arma-
ture po slici S3. Smjer polja
je okomit na os polova, te
pada kod nacrtanog položaja
kefisa zajedno sa geometrično
neutralnim položajem.

Ima li i armatura i
polovi struju, rezultira polje
po slici S4. Ovdje vidimo, da
radi protudjelovanja armature
imademo kod generatora oslab-
ljenje polja na stranama klara
a i d armature pod pol, u
ojačavanje polja na stranama
klara b i c. O rezultat,
jačeg polja odmakne se prema
tom kod generatora u smjeru
vrtanje. Isto odmicanje neu-
tralne zone imamo u slici S4
za kut α . Upotrijebimo li

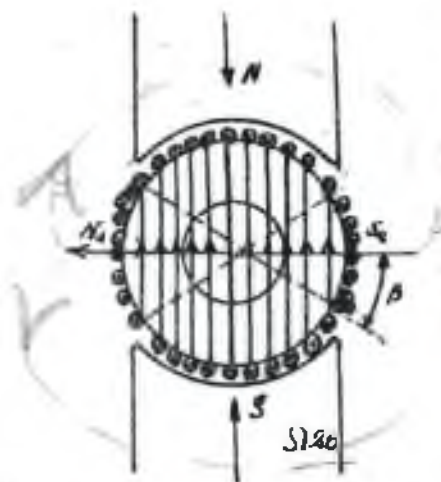
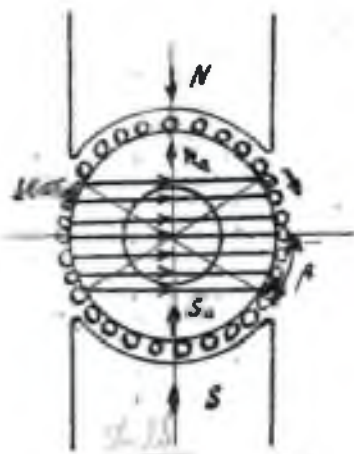
stroj kao motor, imamo za isti smjer polja i struje
suprotan smjer vrtanje armature. Kod motora dakle
imamo ojačavanje polja na strani klara - odmica-
nje polja protiv smjera vrtanje. Neutralna zona odma-
kla se također protiv smjera vrtanje za kut α .

Protudjelovanje armature prouzroči odmicanje ke-
fisa iz geometrično neutralne zone, ako želimo, da
bude u magnetski neutralnoj zoni — isto: kod ge-
neratora u smjeru vrtanje, a kod motora protiv
smjera vrtanje.

Da se podupre komutacija, nesmije se komu-
tacija vršiti u neutralnoj zoni, nego u primjer,

nom polju. Lato se moraju kefice odmaknuti za neki veći kut β ($\beta > \alpha$) iz geometrično neutralne zone.

b) Uzdunno i poprijечно magnetiziranje.



Ako odmaknemo kefice iz neutralne zone, možemo M.M.P. ampervavoja armature razdijeliti u dvije okomite komponente. Razmjer njihovih veličina određuje $\tan \beta$. Iz slika 25 i 26 vidimo, da s obzirom na smjer struje u vodičima armature, možemo cijeli namotaj armature razdijeliti u dva dijela, čiji je magnetske osi stoje jedna na drugu okomito.

Vodiči, što leže simetrično prema geometričnoj neutralnoj zoni u luku 2β , proizvode magnetomotornu silu u uzdužnom smjeru (uzdužni ampervavoji).

U slici 25, koja odgovara generatoru, kefice su odmaknute u smjeru vrtnje; djeluju uzdužni

ampervavoji nasuprot polju magnetu. To su t.j. razmagnetizirajući ampervavoji armature.

Slika 26. prikazuje, da možemo ostale zavojice smatrati kao vitak ili solenoid sa osi, koja pada uvijek zajedno sa geometričnom neutralnom zonom.

Ovi zavoji ne djeluju neposredno na polje armature.

Ako odricanje polja prouzroči poredno slabljenje polja, jer se umanjuje vodljivost željeza, na mjestima, gdje je pojačana indukcija mnogo jače, nego se povećava na mjestima, gdje je indukcija postala manja.

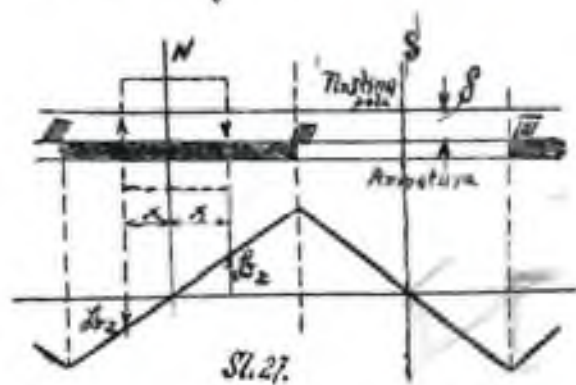
Odmaknemo li kod generatora kofice protiv smjera vrtaje, dakle negativno, onda pridruži Hall-ova poprečnog polja vlastiti smjer, ali se u sudužnim zavojima obine smjer struje. Prema tome podupiraju kod generatora sa nega, ti ovim odnicanjem kofica sudužni amperzavoji armature one amperzavoja glavnih magneta.

Stoga vidimo, da bi kod dostatnog odnicanja kofica bilo moguće raditi bez amperzavoja na magnetu. U praksi se to ne može upotrijebiti, jer bi kofice mogle komutirati bez skara, budući da kratko spojem svitci leže u neugodnom polju.

c) Oblik polja armature.

La određenje oblika i jakosti polja armature pretpostaviti ćemo, da je polje magneta konstantno - na pr: neravinsno, dakle, da je namotaj armature jednoliko razdijeljen na glatku površinu armature - t.j. na armaturu bez utora.

Kod ovih uslova možemo nadomjestiti namotaj sa jednoliko razdijeljenom mavlakom bakra. Kod toga je onda volam struje za 1 om opsega armature: linearno opterećenje armature: AS , jednako fiktivnom namotaju.



Ako je u Sl. 27. linearno opterećenje armature AS , onda djeluje na jednu cijelu indukciju u udaljenosti: x od polovine magneta, (dakle od osi) magneto-motorna sila $dHdS = B_z \cdot AS$. Zanimarimo li (magne,

tični otpor željeza) slijedi:

$$2x \cdot AS = 16 \delta \cdot L_x \quad (49)$$

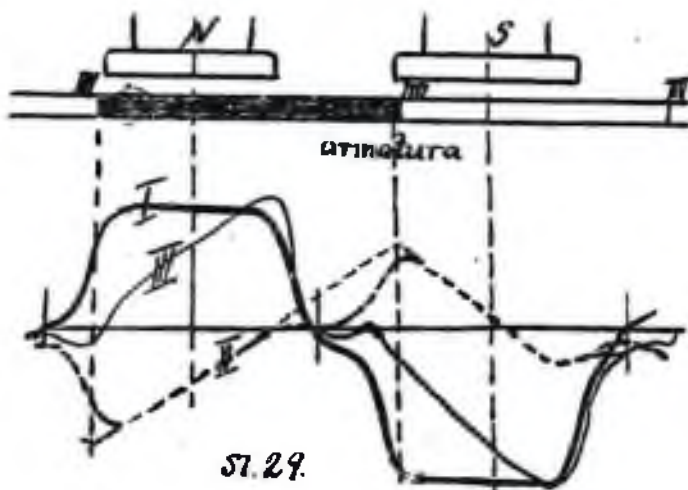
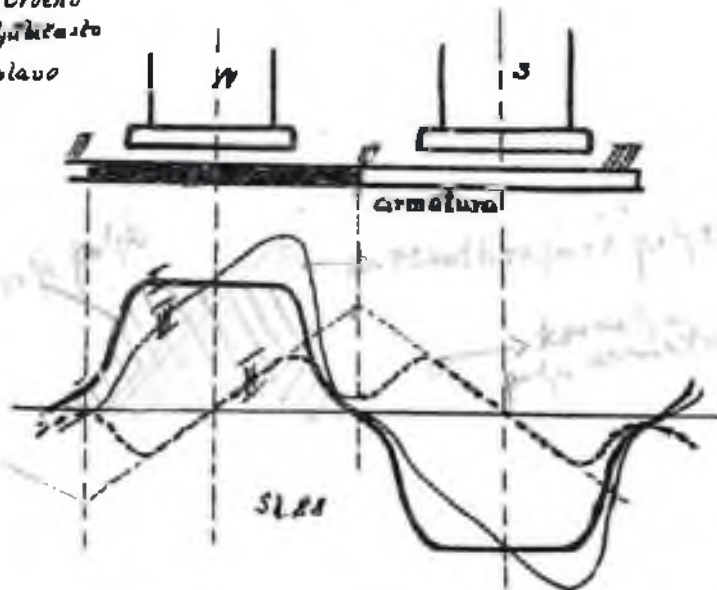
$$L_x = \frac{2x \cdot AS}{1,6\delta} \quad (50)$$

$$AS = \frac{7 \cdot 10^8}{100} = \frac{7}{10} \cdot \frac{10^8}{100}$$

L_m je proporcionalno veličini x ili interakcije - tj. broju amperzavoja, te raste linearno do osi kefice, tako da nastane trokutno polje sa vrhom u osi kefice. U specijalnom je slučaju slike 28. krivulja polja struje u armaturi identična sa krivuljom dlekt-
sile armature. Ordinata ove m.m. sile je $x \cdot R_S$.

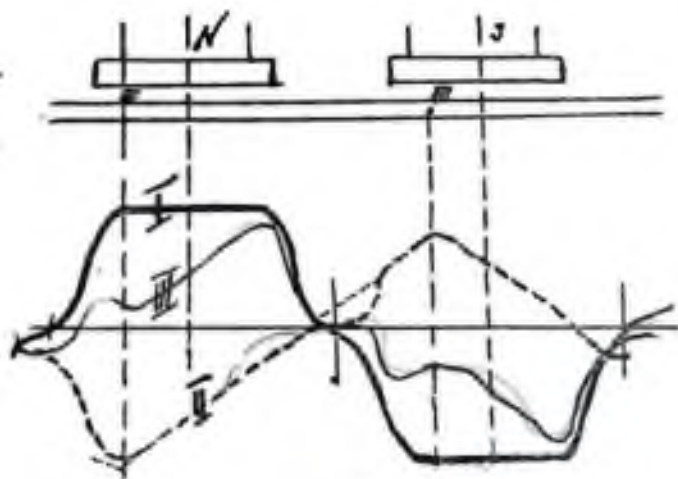
Obično nemamo neprekidnu ploštinu željeza, nego polovi imaju šupala. Radi toga prolazi krivulja polja armature ravno samo ispod pola. No ako su, čipke (vrhovi) pola - ili pak rubovi armature vrlo jako zasićeni magnetizmom, onda prolazak krivulje i na ovim mjestima nije sasvim ravan.

— crveno
— ljubičasto
--- plavo

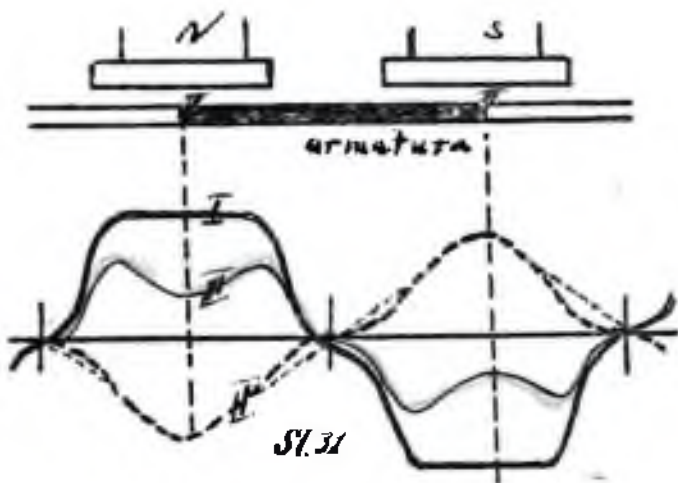


Jer je vrh trokuta polja armature uvijek u osi kefice, to je po, ložaj polja armature (II) spram krivulje polja I ovisan o položaju kefi-
ca - sl. 28. - Prema to, me imade i rezultirajuće polje III. prema po, ložaj kefice različit oblik. Sl. 29. 30. i 31.

U Slici 28 imamo kefice u geometrično neutralnoj zoni. Sred, njice polova međusobu rte simetrije ka polju armature. Iz toga slijedi, da je površina krivulje III. među ke, ficama jednaka po, vršini krivulje I. To vrijedi samo dotle,



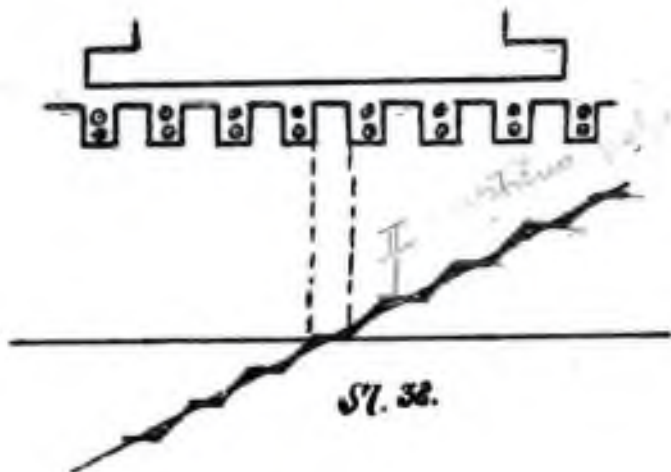
Sl. 30.



Sl. 31

izveden tok indukcije manji, nego što je onaj od istog broja zavoja na magnetima.

Ima li armatura utore, onda nije volumen struje jednoliko raspoređen na površinu armature, pa stoga



Sl. 32.

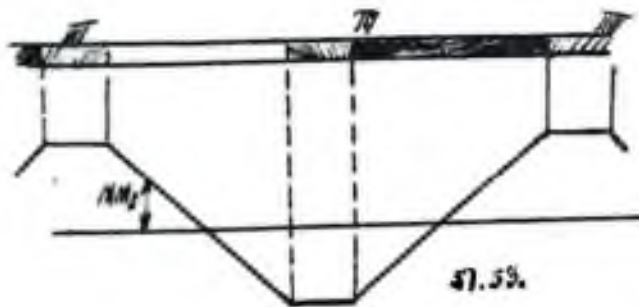
možemo dokazati otpor željeza. Raste li na, sice postaje krivulja polja armature ispod pola konična prema dole. Površina krivulje III. je onda manja nego površina krivulje I.

Iz slika 29. 30. i 31. vidi se, da površina krivulje III. postaje to manja, što više odmaknemo kefice iz neutralne zone.

Ako su kefice ispod sredine pola, to svi zavoji armature daju luku rasmagnetizirajuće. No svi amperzavoji daju trokutno polje II, a ne kao krivulja I. pravokutno, pa je zato od njih pro-

izveden tok indukcije manji, nego što je onaj od istog broja zavoja na magnetima. Ima li armatura utore, onda nije volumen struje jednoliko raspoređen na površinu armature, pa stoga nemamo za polje armature ravno dižanje krivulje polja, nego ovakovu stepeničastu. Kako to prikazuje sl. 32.

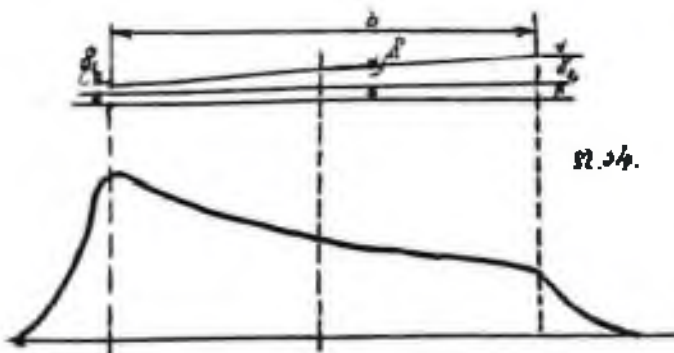
No mi smo to možemo si ovo polje namisliti nadomjestimo sa ravnom poljem, kako smo to u slici nacrtali.



Ovo polje slaže se sa poljem što smo ga imali kod glatke armature. Ako je širina svitka straćuna, onda imaju stepovi, što leže u istom zoni K_0 mutiranja struje suprotnog smjera, pa je krivulja m.b. nile armature u zoni K_0 mutiranja nešto ravna, sl. 33.

Ekscentrično stopalo.

Ako je polni luk ekscentričan, tako da imamo kod generatora δ_1 za rub ulaza manje nego δ_2 za rub izlaza, tada nema velikih deformacija krivulje polja, jer imade ona kod neopterećenog kreta deformaciju suprotnog smjera, no što prouzrokuje poprečni amperzavo, fi armature.



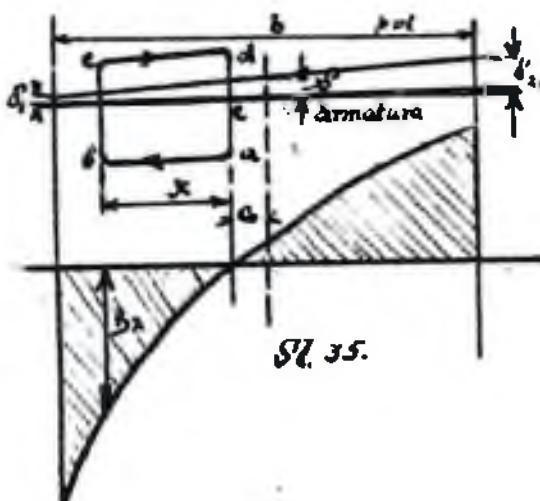
Deformacije radi ekscentričnosti, te deformacije poradi protudke, lovanja armature metu, potno su suprotne, pa se prema tome djelomično kompenziraju.

Krivulja je polja ispod stopala ka neopterećeni kret - ako zame, maximo kasiceuće zubova - dio istostrane hiperbole: slika 34. - jer je:

$$46 K_2 L_2 \delta = A W e$$

prema tome:

$$L_2 \delta = \text{konst.}$$



Navluka strujom, što leži pod stopalom - sl. 35. - daje nam krivulju: sl. 36., ako zanemarimo opet otpor željeza. Krivulja polja možemo izračunati, ako poznamo neutralnu zonu toga polja d-e. Onda vrijedi:

$$L_x = \frac{AS \cdot x}{q \delta \cdot \delta_2} \quad (51)$$

Ispravnost prolazivanja može se kontrolirati time, da moraju isprugane ploštice biti međusobno jednake. Za neutralnu zonu polja armature, - neutralni stroj - vrijedi:

$$(\text{udaljenost}): \quad S_0 = \frac{1}{2} b \left[\frac{\delta}{\delta_2 - \delta_1} - \frac{\delta_2 \delta_1}{(\delta_2 - \delta_1)^2} \ln \left(\frac{\delta_2}{\delta_1} \right) \right] \quad (52)$$

S_0 je udaljenost od sredine stopala. Neutralna zona leži na ovoj strani srednjice, gdje je manji raspor δ_1 . Ako se ne može zanemariti otpor željeza i rubova, onda se odmahne neutralna zona nešto prema strani većeg raspora: δ_2 . Ali pomak je minimalan. U ovom slučaju mora se također promijeniti koeficijenti K_1 i K_2 uvažiti: t. j. mora, mo namjesto δ_1 i δ_2 aeti: $\delta_1 K_1$, $\delta_1 K_1^I$ i $\delta_2 K_2^I$

Kgodno je $\delta_2 - \delta_1$ tako odabrati, da se ima na polovicu tereta polje u rasporu skoro konstantno. Onda je rasteranje polja za puni teret, te neopterećeni kret približno jednako. Za polovicu tereta imamo onda sve dubine ispod pola jednako kasice, prema tome:

$$\delta_2 K_2^I - \delta_1 K_1^I = \frac{b \cdot AS}{q \delta \cdot h_2} \quad 53.$$

b je kod toga udaljenost obiju točaka na polu, ko, jima pripada raspor δ_2 odnosno: δ_1 .

B) Proračun protudjelovanja armature.

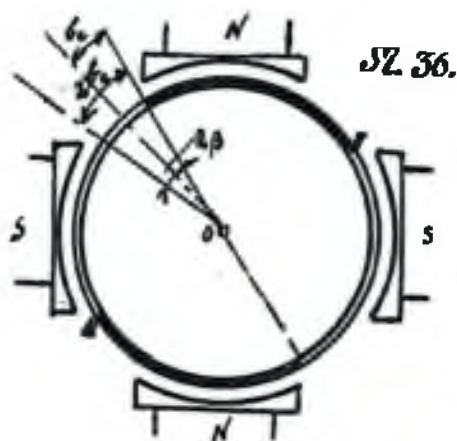
a.) Udvužni zavoji: AW_e

Zamislimo si armaturu sa jednoliko raspodjeljenom

navlakom bakra. Struja za svaki cm opsega, t.j. linearno opterećenje armature : AS jednako je veličini struje faktičnog namotaja za 1 cm opsega armature. Ako je struja jedne grane : i_a , onda vrijedi :

$$i_a \cdot z = \frac{Z_a}{2a} \cdot z = \pi D \cdot AS$$

$$AS = \frac{Z_a \cdot z}{2\pi D \cdot a} \quad (54)$$



Označuje li nam : b_a veličinu luka u cm - slika 36 - za koji smo odmaknuli kefice na : "opseg armature" iz neutralne zone, onda na jedan par polova djeluje AW_c amperavoga armature i to tako, da je njihovo magnetizirajuće djelovanje u udužnom smjeru. Od toga je :

$$AW_c = 2 \cdot b_a \cdot AS \quad (55)$$

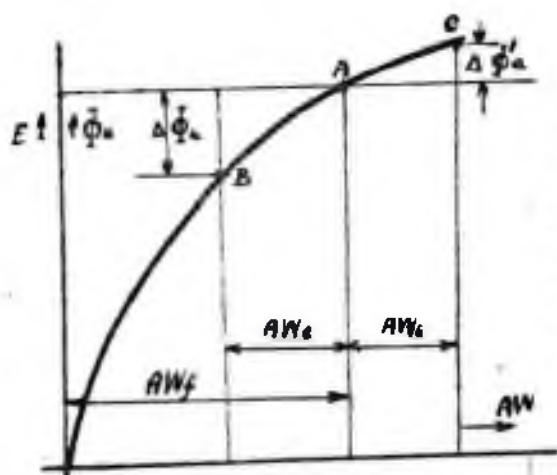
$$b_a = \frac{\beta \cdot \pi \cdot D}{360} \quad (56)$$

Kut β odgovara odmaknuću kefica, a mjeri se u geometrijskim stupnjevima.

Kod generatora sa odmaknutim keficama, razmagnetiziraju udužni amperavoji armature glavno polje. Isto vrijedi i za motor, ako odmaknemo kefice u pravilnom smjeru, t.j. protiv smjera vrtnje. Kod malih strojeva bez pomoćnih polova odmaknu se kefice obično toliko, da liže sa neopterećeni hod u polju jakosti 1500-2000 Gaussa. Ima li stroj pomoćne polove, ostane kefice u neutralnoj zoni, pa je veličina b_a i udužni amperavoji $AW_c = 0$.

Iz neopterećene karakteristike vidimo, da imamo - ako smo kefice odmaknuli - za nabudenje preostale amperavoge :

$$AW_f - AW_c$$



Slika 37.

Tok Φ_a padne pod uticajem razmagnetizirajućih ampersavoja armature kao i nos : $\Delta\Phi_a$. Isto tako se smanji u armaturi inducirana el. m. sila : E . Ako bi odmahnuti kefice kod gene, putova, proti smeru vrtanje, onda bi uzdužni ampersavoji armature ojačavali polje ma,

gneta. Radi ampersavoji bili bi u tom slučaju : $I_{aA} + I_{aB}$ u tok Φ bi se u tom slučaju povećao za veličinu : $\Delta\Phi_a'$ što radi iskara nije dozvoljeno ovo negativno odma,

cauje kefice. Da se kompenzira razmagnetizirajuće uzdužne ampersavoje I_{aB} mora se povećati broj ampersavoja na ma, gnetu. Potrebno povećanje toga broja je nešto veće nego I_{aB} , i to poradi rasipanja. Uzdužno polje, proizročno od razmagnetizirajućih ampersavoja armature nema na Krivulju (njegov oblik) polja nikakvi utjecaj.

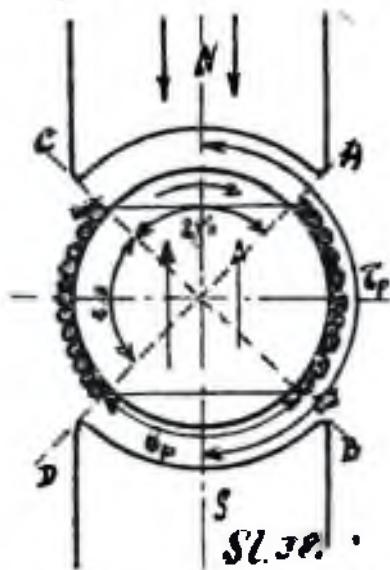
Broj ampersavoja određen je jednačinom :

$$I_{aB} = I_a \cdot \text{broj zavoja u kutu } 2\beta$$

Ako je : z broj zica na armaturi, onda je broj zavoja za $\frac{z \cdot 2\beta}{360}$.

$$\text{Prema tome :}$$

$$I_{aB} = I_a \cdot \frac{z \cdot 2\beta}{360}$$



Slika 38.

r_p : je razmak polova : $\frac{D}{2}$ /sl. 38/

r : je dužina lica mjerena na površini armature. Dakle je,

ako stavimo još : $r_p = r_i$ što u istini nije, ali razlika nije baš velika $\frac{r_p}{r} = \frac{r_i}{r} = \alpha_i$

Dakle: $\frac{c_p}{360} = \frac{B}{180} = \frac{z - b_i}{2r_p} = \frac{1 - \alpha_i}{2}$

Umetnemo li ovu vrijednost u jednadžbu za AW_e dobimo

$$AW_e = z \cdot i_a \cdot \frac{1 - \alpha_i}{2}$$

Rasirimo li desnu stranu sa πD , to dobijemo:

$$AW_e = \frac{\pi D}{2} \cdot \frac{z \cdot i_a}{\pi D} \cdot (1 - \alpha_i)$$

Jer je po jednadžbi 54. $\frac{z i_a}{\pi D} = AS$, te nadalje $\frac{\pi D}{2} = r_p$, to za naš dvopolni slučaj slijedi konačni izraz:

$$AW_e = r_p \cdot AS (1 - \alpha_i) = 2b_c AS \quad (57)$$

Netačnost ove jednadžbe leži u faktoru $(1 - \alpha_i)$. Druga netačnost je ta, što smo pretpostavili odvajanje kufica od ruba pola. Jednadžba vrijedi dakle samo za ovaj položaj. Obično se neće kufice tako daleko odmaknuti, tako da ćemo morati pomoću jednadžbe 57 izračunati tu vrijednost: b_c smatrati prevelikom. Želimo li uzeti prije spomenuto nasipanje, onda će izračunata veličina AW_e dobro odgovarati. Najbolje se odredi veličina b_c po moći optanjanja polja. I: Položaj: 1500-2000 Gaussa za neopterećeni kut!

b.) Poprečni amperazavoji: AW_2 .

Na poprečni tok armature, koji odgovara jednom paru polova djeluje Hellšila, koja je:

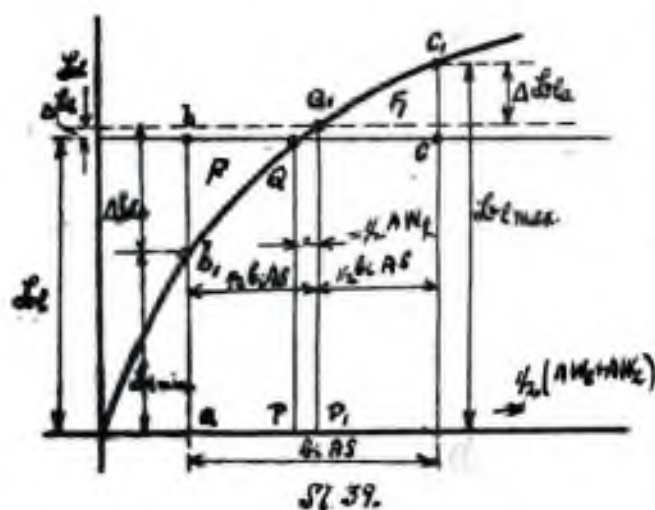
$$AW_2 = (c_p - 2b_c) \cdot AS \quad (58)$$

Ovi amperazavoji prouzroče rasturanje polja magnetskog. Na strani izlaza poprečnog polja iz stopala raste otpor željeza u većoj mjeri, no što pada na strani ulaza. Jer rezultira konačno povećanje magnetskog otpora, moramo polje magneta jačati, ako želimo imati tok Φ konstantan.

Da odredimo uticaj poprečnog polja na glavno
vrtimo krivulju magnetiziranja - slika 39. - Kod toga
možemo zanemariti amper zavojke, što su potrebni za
prijet poprečno kroz armaturu i stopalo. Uvažiti mo-
žemo dakle samo amperzavojke za raspor δ te
dubine l_2 . Za ordinatu odaberemo indukciju
u zraku L_2 namjesto toka Φ_a , što nam je doz-
voljeno, jer su obe veličine proporcionalne, naime:

$$L_2 = \frac{\Phi_a}{l_2 \cdot l}$$

Za različite vrijednosti L_2 izračunamo si:
 $\frac{1}{2} (AM_1 + AM_2)$, te nacrtamo L_2 kao funkciju ovih am-
perzavojaka - dobijemo krivulju magnetiziranja za po-
prečni tok armature (krivulja prelaza) Za krivul-
ju određuje potrebni broj amperzavojaka za prelaz
toka indukcije iz magneta u armaturu. U slici



broj 39 je ova kri-
vulja nacrtana. Budu-
ći se ova krivulja ne u-
daljuje mnogo od neopte-
rene karakteristike, to
možemo, ako nije potreb-
na osobita tačnost, i
ovu krivulju upotrebiti.

Za jednu: $L_2 = \frac{\Phi_a}{l_2 \cdot l}$,
gdje Φ_a odgovara indu-
kciji el. m. sili E kod
opterećenja (to je važno,

jer bez tereta nema protudjelovanja!) izračunamo
veličinu L_2 . Priпадgici broj amperzavojaka je OP.
Kod opterećenja djeluju ispod polja težeći amperzavo-
ji armature $l_2 \cdot B$ poprečno. Za jednaki raspor δ
razdijele se zavoji na rubove pola tako, da djeluje

na svaki rub $\frac{1}{2} b_1 AS$ amperokavoj. Na rubu izlaza (za generator) bi kod nepromjenjenog nabudivanja I_2 lovati amperokavoj: $OP + \frac{1}{2} b_1 AS$, a na rubu ulaza: $OP - \frac{1}{2} b_1 AS$. Krivulja $b_2 c_2$ vlade nam prema tome sli, ku radiobe toka indukcije pod pola, te prikazuje dio krivulje polja što leži pod polom za opterećeni stroj. Površina pravokutnika abcd je proporcionalna veličini $b_2 L_2$. Prema tome je također mjera to, ka za jedan pol (pro pol) $\Phi_a = b_1 b_2 L_2$.

Želimo li, da se taj tok zbog poprečnog magnetsiziranja ne promijeni, onda moraju biti ploštine $ab_1 c_1 d$ te abcd međusobno jednake ili:

$$b_1 b_2 = c_1 c_2 \quad (59)$$

Tok armature, koji ulazi mora biti jednak to, ku što izlazi. Namenu dakle dužinu $b_1 AS$, te ja nadesimo tako, da jednačina 59 isijedi, dade nam točka sredine bc točku P_1 za koju isijedi:

$$AP_1 = 2 PP_1 = 2P$$

$2PP_1$ jednako je nvisiraju nabudivanja za jedan magnetski krug, da ostane tok Φ kod opterećaja n potrebnog visini Φ_a . $P_1 Q_1$ je indukcija u zraku ispod sredine pola, $\Delta H_c = P_1 Q_1 - PQ$ iznos, za koji indukcija u zraku naraste, ako odstranimo poprečni tok.

Ispod ruba ulaza imamo za ΔH_c ostalo bljem indukciju B_{min} , a ispod ruba izlaza za ΔH_c povećanu indukciju B_{max} . Da se ispod ruba ulaza polje savim ne izgubi, nesmije broj amperokavoj:

$$\frac{1}{2}(AH_c + AH_z) \text{ biti manji od } (\frac{1}{2} b_1 g) AS$$

Prema tome mora se kod proračuna stroja paziti, da ne postane razmjern

$$K_2 = \frac{AH_c + AH_z}{b_1 AS} \quad (61)$$

manji od 1. Obično se odabere, da je:

$$K_g = 1,25 \div 2,0 \quad (62)$$

i to za nadopterećenje za koje se konstruira stroj.

c) Neutralna zona poprečnog polja.

U slici 39 je Q specijalne krivulje polja sa i bez poprečnog polja armature. Prema tome je Q neutralna zona poprečnog polja. Kako se to iz slike vidi, leži među neutralnom zonom poprečnog polja te sredinom pola na površini armature AW_2 zavojni:

$$AW_2 = 2p \cdot f \cdot s \quad (63)$$

$$\rho = P \cdot P_1$$

ρ je dakle udaljenost neutralne zone poprečnog polja od sredine pola. ρ bi, da nema zasićenja, bilo jednako nuli. Time bi onda također postalo i $AW_2 = 0$. To se slaže samo onda, kada imamo ispod pola svuda jednaki raspor δ . Vidili smo, da imamo kod ekscen, tričnih polova obično neutralne zone također onda, ako zanemarimo magnetični otpor željeza.

9. Amperzavoji za opterećeni stroj.

Najprije izračunamo tok Φ_a za opterećenje,

$$\Phi_a = \frac{a \cdot 60}{f \cdot n \cdot x} \cdot E \cdot 10^9$$

koji je potreban, da dobimo u armaturi induciranu el. m. silu: $E = U \pm I_a (R_a + R_e) \pm 2 \Delta U$ /: vidi jednu 43 od II/3 /
 $\Delta U_{ak} +$ vredi za generator, a $\Delta U_{ak} -$ za motor. Za tok Φ_a pronademo potrebni broj amperzavoja: AW_a , AW_k i AW_e . Koeficijent rasipanja za opterećeni hod iz Koefi, cijenit za neopterećeni kret /: jednu 46 od II/6p /

$$\sigma_{tot} = 1 + \frac{2(AW_1 + AW_2 + AW_3 + 2(b_2 + g)AS)}{\Phi_a} \cdot \sum \lambda \quad (64)$$

σ_{ust} je veće od σ (za nept. hod), jer je magnetska napetost među stranama rasipanja veća i to za protu, djelovanje armature $2(l_2 + g)AS$. Za opterećenje vrijedi prema tome:

$$\Phi_m = \sigma_{\text{ust}} \cdot \Phi_a, \quad L_m = \frac{\Phi_m}{I_m}, \quad AW_m = a_m L_m, \quad L_j = \frac{\Phi_m}{2 I_j}$$

$$i \quad AW_j = a_j L_j$$

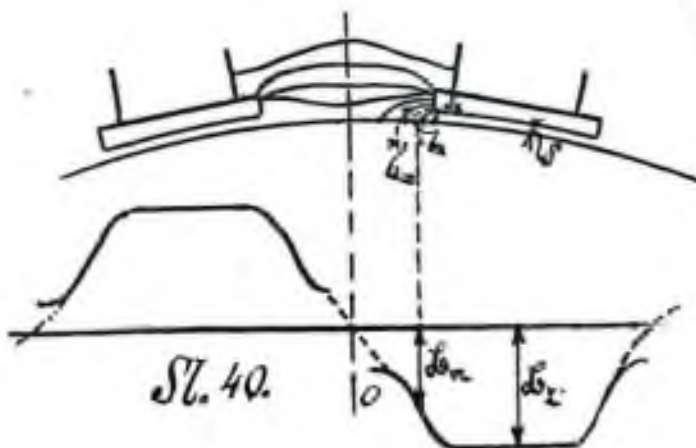
Konačno dobimo amperzavoje za jedan magnetski krug kod opterećenja:

$$AW_{\text{ust}} = AW_a + AW_z + AW_g + AW_m + AW_j + 2(l_2 + g)AS$$

Primjedba: Razlika među σ_{ust} i σ je tako mala, da se može računati sa σ , odnosno sa odabranom vrijednošću dobivenom iz skupa.

10. Crtanje krivulje polja.

a.) Neopterećeni kret.

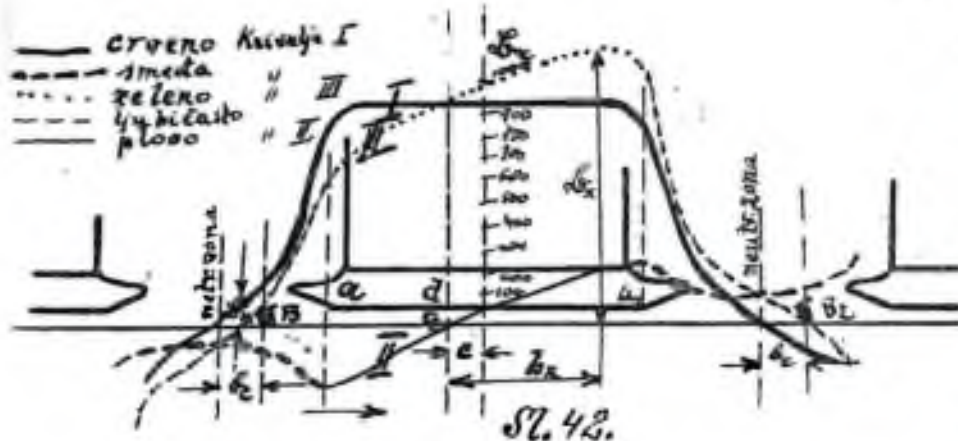


Na isti način kako je bilo razmatrano u točki 4. crtamo sliku in, dukcije - slika 40. - Gas, točn polja odredimo po, moću jednadžbe 11.

$$L_x = \frac{I \cdot l_2}{I_a \cdot a_x} L_e$$

U neutralnoj zoni 00 dobimo nešto prevelike

vrijednosti, jer nije uzet u prir smjernog pola, tako da dobimo polje, koje se asimptotički približuje nuli. Radi toga se, kako to slika 40. pokazuje, ispuše krakovi, nate vrijednosti L_x u blizini geometrične neutralne zone, te spoji pozitivni dio krivulje polja sa negativnim pravcem ili približno pravcem.



u udaljenosti g :
od sredine po-
la - slika 42. -
U točki O_2 djeluje
je ista Mollila:
 $AW_1 + AW_2 + AW_3$
i to bez obzira
na to, da li arma-
tura ima struju
ili ne.

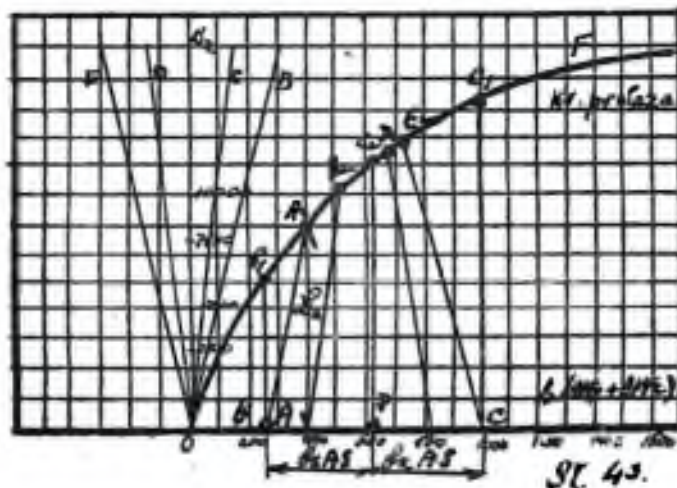
U udaljenosti b_2 od O_2 djeluje Mollila, koja se od ove raz-
likuje za $\pm b_2$ (amperavoj). Za sve točke, koje kod gno-
ratora leže udaljene u smjeru vrtnje od O_2 za dužinu
 b_2 se Mollila povećava za b_2 AS amperavoj, a za
točke na suprotnoj strani ona se za isti iznos umanjuje.
Nacrtamo li dakle u karakteristici prelaza, slika broj:
39. - vrijednosti b_2 AS od točke P, koja odgovara točki
 O_2 u slici 42. - i to na lijevu i desnu stranu, to nam daje
krivulju b_2 AS (sl. 39!), koja leži među ovim točkama kri-
vulje indukcije ispod stopala. Sada pak možemo vrijednosti
 ΔB_{21} i ΔB_{22} prenijeti i nacrtati u načinu slika 42 -
pa dobijemo krivulju III.

Suptrahiramo li krivulju polja I. za neopterećeni hod
od krivulje III., rezultira krivulja II. poprečnog polja.
Obrnuto dobijemo iz same I+II. krivulju IV. Ostane nam još,
da odredimo polje u polnom rasporu.

Ako raspor nije
vrhoda konstantan, iz-
rtamo vrhove A, B, C...
slika 43, koje apsise od-
govaraju jednačini:

$$g \delta B_2 (\delta K_2 - \delta_2 K_{21})$$

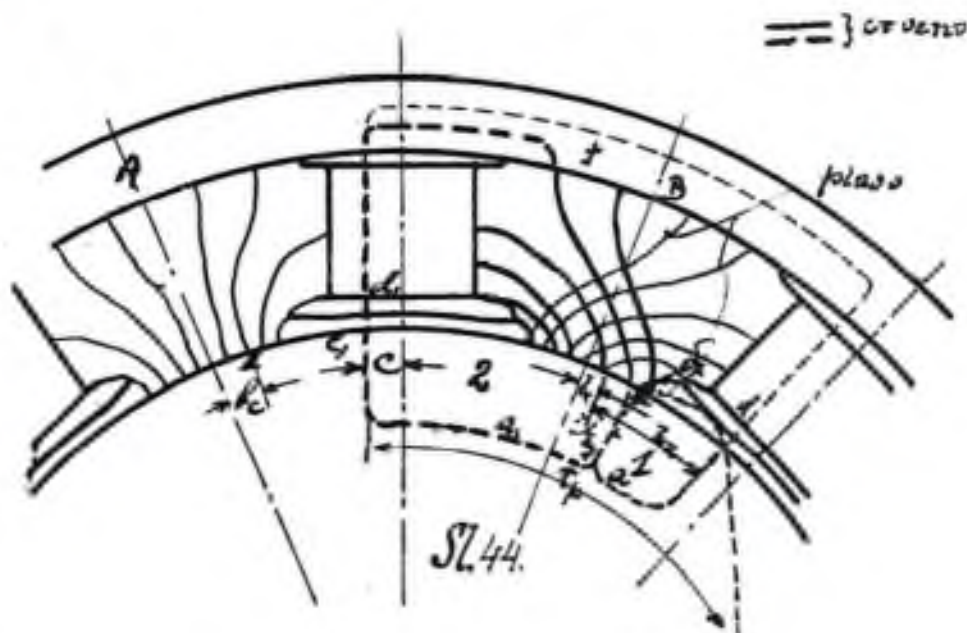
Imamo n. pr. u točki A
kod opterećenja Mollila,



koja je jednaka: $ob = A\vec{v}_1 + A\vec{v}_2 - b_x AS$, vučemo kroz b normalnu na zrakom A , koja siječe krivulju F u točki A_2 ($F =$ krivulja prelaza). U točki A imamo intenziteta B_2 namjesto b_2 . Na isti način dobijemo u točkama B, C, D intenziteta, koji odgovaraju točkama $B_2, C_2, D_2 \dots$ Krivulja $E_2 A_2$ predstavlja intenzitetu odnosno gustoću ispod polnog luka kod opterećenja. Iz slika 41 i 43 vidimo promjenu polja ispod ekscentričnog stopala od praznog voda do punog tereta. Iz ovih slika vidimo također, da se pomoću ekscentričnog stopala (pomoću ekscentričnog polnog luka) može kompenzirati u većem ili manjem stepenu poprečno djelovanje ampertravoja armature. Potpunu bismo kompenzaciju imali onda, ako zrake, čiji položaj određuje apscisa q, δ_2 ($\delta K_z - \delta_x K_{ex}$), dade takovo nagibanje, da se normalnice vučene iz pojedinih točaka sijeku na krivulji F u jednoj te istoj točki C_2 .
 / Tada ekscentrično stopalo, izjednačava sa $\frac{1}{2}$ tereta /

C. Krivulja polja u polnom rasporu.

Slika 44. A. prikazuje sliku cijevi indukcije poprečnog polja armature u rasporu gdje su magneti bez nabudjenja



Ako si zamislamo, da je ovo polje rezultirajuće polje dvaju polja, onda dobimo sliku 44.B. Indukcija su, pomiranih polja u slici B. neka je L_{g1} , te L_{g2} .

Otpor željeza možemo napraviti velikom otporu vrata zanemariti, te pretpostaviti, da je presjek cijevi u vratu približno konstantan. Kod ertanja mora se pariti, da nlate vte skoro skomito u željezo.

Indukcija poprečnog polja armature u poklon rasporedu jednaka je sumi indukcija obih supomira, mih poprečnih polja:

$$L_{g2} = L_{g1} + L_{g2}$$

U slici 44. tvorimo linearni integral $\oint H dl$ preko zatvorene linije: $x-f-d_1-e_1-a_1-x$, te preko linije: $x-d-e-a-x$. Zamemarimo li otpor na vrhovima stopala, te nvažimo li, da je $\oint H dl$ za raspore i zubove u neutralnoj zoni $d-e$ odnosno d_1-e_1 jednak 0:

$$\oint_1 H dl = 0,4 AS (b_2 - b_1) = L_{g1} \cdot I_x$$

$$\oint_2 H dl = 0,4 \pi AS (c - b_2 - b_1) = L_{g2} \cdot x f$$

- b_1 dolazi zato, jer su ovi AS ili zaozi protečeni od suprotne struje.

$$L_{g1} = \frac{AS(b_2 - b_1)}{0,8 \delta_x}$$

$$L_{g2} = \frac{AS(c - b_2 - b_1)}{0,8 x f}$$

(65)

Ako je: b_1 udaljenost promatrane točke x od sredine kefice, b_2 udaljenost sredine kefice od neutralne no, ne poprečnog polja armature:

$$b_2 = \frac{r}{2} - p - b_1$$

onda je indukcije poprečnog polja armature u pol, nom rasporedu:

$$L_{g2} = L_{g1} + L_{g2} = \frac{AS(b_2 - b_1)}{0,8 \delta_x} + \frac{AS(c - b_2 - b_1)}{0,8 x f}$$

(66)

Pomoću ove jednačine odredimo za odabrani p , broj kćica indukcije u različitim točkama polnog raspora, te dobijemo krivulju II. poprečnog preseka - sl. 42. - od koje možemo sa krivuljom I. rezultirajuću krivulju III.

U zoni komutiranja β : to je ona zona, koja obuhvaća srediniću utora, dok su strane svitka toga utora u kratkom spoju: je $\beta_y = 0$, poprečno preseka armature:

$$L_2 = \frac{\frac{I}{2} - (\varphi + \beta_c)}{q_1 \delta_2} AS + \frac{\frac{I}{2} + \varphi + \beta_c}{q_1 2f} AS \quad (67)$$

Stavimo li:

$$L_2 = (L_{21} + L_{22}) AS = 2 L_2 AS \quad (68)$$

onda sledi:

$$l_2 = \frac{L_{21} + L_{22}}{2} = \frac{\frac{I}{2} - \varphi - \beta_c}{1,6 \delta_2} + \frac{\frac{I}{2} + \varphi + \beta_c}{1,6 2f} \quad (69)$$

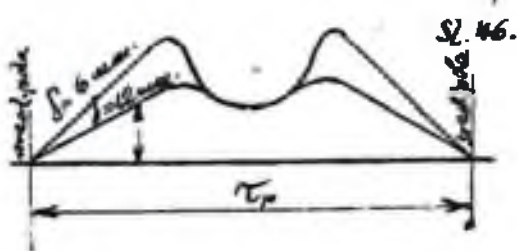
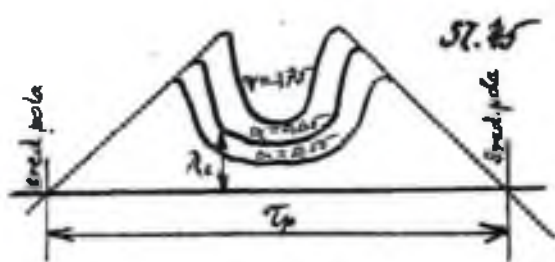
t. j. konstantna veličina, ovisna o stopalima i o položenju zone komutacije. jer ima dimenziju broja, možemo je smatrati kao specifičnu magnetsku vodljivost, za poprečni tok među oboda armature.

U slici 45. crtali smo l_2 za različite širine polnog raspora. t. j. za različite vrijednosti:

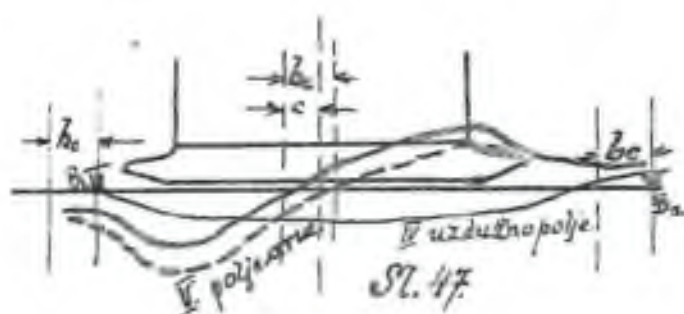
$$\alpha_i = \frac{\beta_i}{\tau_p}$$

Krivulje imaju sedlasti oblik, te vrede za $\beta = 0$. Iz slike 45. se vidi da je l_2 u sredini polnog raspora to manje, što je manji α_i . Slika 46. prikazuje l_2 za istu konstrukciju stroja - jer

je $\alpha_i = 0,65$. - samo za dvostruki raspor δ . U sredini polnog raspora je l_2 skoro nezavisno o veličini ras-



pore ispod ruba, i skoro obrnuto proporcionalno rasponu δ , ako ostanu sve druge mjere nepromijenjene.



Poprečno polje ne smije se identificirati sa totalnim poljem armature, koje se može dobiti kod ne, nabudernih magneta eksperimentalnim putem.

Čitavo polje armature sastoji se iz uzdužnog i poprečnog polja. Uzdužno polje imaće praktično isto prolazanje kao i polje neopterećenog stroja. Adiramo li uzdužno polje sa poprečnim, dobivamo totalno polje armature: V. slika 47, koje ima samo teoretsku važnost.

11. Promjenjiva polja i polje čeonih spojaka.

Struja, koja teče u namotaju armature proizvodi magnetsko polje, koje se može razdijeliti u različite dijelove, i ako tvorí savršenu cjelinu. Jedan dio toga polja (proizveden od razmagnetizirajućih uzdužnih amperzavoja), zatvorio bi se kroz magnetski krug glavnog polja, da nema kompenziraćeg djelovanja od jednakog broja amperzavoja na magnetima.

Drugi dio proizvode poprečni amperzavoji armature. Taj se dio zatvori kroz stopala armature. U zoni komutiranja ima po jednu. 61 intenzitetu: $L_2 = 2 \cdot \frac{1}{2} AS$. $\frac{1}{2}$ je dakle vodljivost, koja pripada ovoj polju konstantne veličine — dok je struja konstantna i konstantnog smjera.

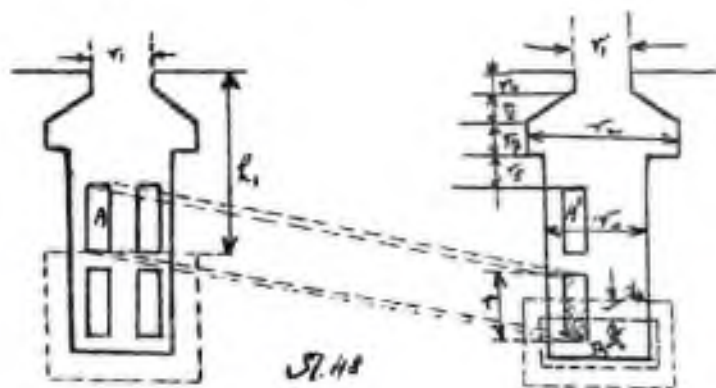
Konačno preostali dio polja armature ^{sastoji se} iz polja stora, u kojima leže vodiči, koji promjene predznak struje za vrijeme komutiranja — te iz polja čeonih spojaka.

Prvo polje, t.j. polje stora razdijelimo opet na 2 dijela. U to polje, što se zatvori kroz stor, vod,

ljivost: λ_m , te polje, koje se cijelo zatvori blizu površine utora preko glave zubova: vodljivost λ_k - odnosno, ako imamo pomoćne polove: vodljivost λ_{kv} . Vodljivost polja izomih spojka označimo sa λ_s

a. Vodljivost: λ_m .

Najprije ćemo pretpostaviti, da je $\varepsilon_k \neq 0$, t.j. da imamo korak skraćom. Onda imamo u utoru samo jednu stranu B sa proticajom D_e ampera u kratkom spoju:



slika 48. Za tok indukcije širine dx , te visine (oko, nito na ravnomu papiru!) 1 cm je

vodljivost, ako zanemarimo otpor željeza:

$$d\lambda_x = 0,4\pi \frac{dx}{\tau_3} = 1,25 \frac{dx}{\tau_3}$$

Magnetomotorne sile ili broj amperzavoja je:

$$D_e \cdot \frac{x}{\tau}$$

f. Nad kratko spojenim svitkom je m.m.sila konstantna, t. jest jednaka proticanju. Prema tome je tok indukcije:

$$d\phi_x = D_e \frac{x}{\tau} \cdot 1,25 \frac{dx}{\tau_3}$$

Ovo polje spojeno je sa: $\frac{x}{\tau}$ crta indukcije ili zavoja. Magnetično proticanje - ili spoj toka sa strujom je:

$$d\mathcal{W} = d\phi_x \cdot \frac{x}{\tau}$$

Dakle je spoj čitave strane svitka:

$$\mathcal{W} = \int d\mathcal{W} = \frac{1,25 \cdot D_e}{\tau^2 \cdot \tau_3} \cdot \int_0^x x^2 dx = D_e \cdot 1,25 \frac{x}{\tau_3} = D_e \cdot \lambda_B$$

Prema tome:

$$\lambda = 1,25 \cdot \frac{x}{\tau_3}$$

(70)

Za stranu B ne dolazi u obzir samo dio w ,
tara visine $\frac{p}{3}$, nego i onaj dio utora, što leži nad
stranom, dakle i dio h' .

Vodljivost utora za stranu B:

$$\lambda_{mB} = 1,25 \left(\frac{4}{3} \frac{t}{t_3} + \frac{p}{t_3} + \frac{t_1}{t_4} + \frac{2t_2}{t_1+t_4} + \frac{t_4}{t_1} \right)$$

Za stranu A, koja leži u drugom utoru vre-
di isto, kao u slučaju, da bi ležala na mjestu A' .
Vodljivost za visinu strane A je ista, kao za stranu
B, t. j. $\lambda_A = \lambda_B = 1,25 \frac{t}{3t_3}$, ali za ovu stranu ne
dolazi dio utora h' u obzir, nego samo onaj
dio, koji leži nad podicem A. Dakle:

$$\lambda_{mA} = 1,25 \left(\frac{t}{3t_3} + \frac{t_1}{t_3} + \frac{t_4}{t_4} + \frac{2t_2}{t_1+t_4} + \frac{t_4}{t_1} \right)$$

Za čitavi svitak imamo onda vodljivost, ako
uzmemo srednju vrijednost, t. j.:

$$\lambda_m = \frac{\lambda_{mA} + \lambda_{mB}}{2} = 1,25 \left(\frac{2,5t}{3t_3} + \frac{t_1}{t_3} + \frac{t_4}{t_4} + \frac{2t_2}{t_1+t_4} + \frac{t_4}{t_1} \right) \quad (71)$$

Leže li dvije strane kratkog spoja u istom utoru —
to je $\epsilon_K = 2$ — onda je kod iste struje kratkog spoja
djelovanje strane A, odnosno magnetomotorna sila
ista, kao da bi strana A ležala u položaju A' . Za
obje strane dobimo prema tome za visinu obje
strane: $2 \cdot 1,25 \frac{t}{3t_3}$

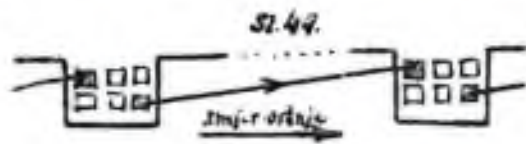
$$\lambda_{AB} = 1,25 \frac{2t}{3t_3}$$

te za čitavi utor:

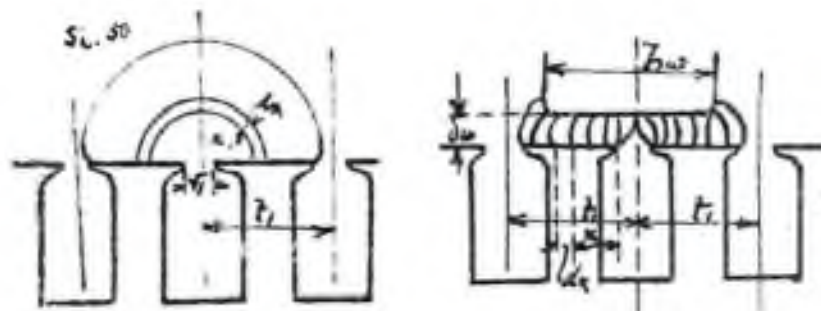
$$\lambda'_m = 1,25 \left(\frac{2t}{3t_3} + \frac{t_1}{t_3} + \frac{t_4}{t_4} + \frac{2t_2}{t_1+t_4} + \frac{t_4}{t_1} \right) \quad (71a)$$

Puklika napram jednadžbi 71 je circa 10%.
Zato se računa uvijek po jednadžbi 71. Ovu
jednadžbu možemo upotrijebiti također i onda, ako
leži više strana kratko spojenih svitaka u svakom sloju

jednoga utora. Za komutaciju je pogodno, ako izlazi goraju strana sa manjom vodljivošću kesnice iz kratkog spoja, nego donja. Stoga razloga polaže se ovako tako, da leže česne spojke koso prema gore u smjeru vrtanje. Slika 49.



6.) Vodljivost: λ_k (odnosno: λ_{kw}).



Pretpostaviti ćemo, da crta indukcije nad glavama prolazi u žrnjovima.

Slika 50. - Slika 51. - Za točnu širine da u nudi, česnosti α od ruba

vrijedi: $d\lambda_k = 1,25 \frac{dx}{t_2 + \pi x}$, te prema tome izlazi, da je:

$$\lambda_k = \int_0^{t_2 - \frac{t_1}{2}} \frac{1,25 dx}{t_2 + \pi x} = \frac{1,25}{\pi} \ln \frac{t_2 + \pi(t_2 - \frac{t_1}{2})}{t_2}$$

Pretvorimo li naravni logaritam u Briggsov, to nam, imo to sa 2,3, pa dobijemo:

$$\lambda_k \approx 0,42 \cdot \log \frac{\pi t_2}{t_2} \quad (72)$$

Ima li stroj pomoćne polove - sl. 51. - vredi za dio armature, koji leži ispod polova: $d\lambda_{kw} = 1,25 \cdot \frac{dx}{2\delta_w \cdot k_1}$. Ako je $b_w \approx 2t_1$, dobijemo:

$$\lambda_{kw} = 1,25 \int_0^{\frac{b_w}{2}} \frac{dx}{2\delta_w \cdot k_1} = \frac{1,25 \cdot b_w}{4\delta_w \cdot k_1} \quad (73)$$

Za $b_w < 2t_1$ možemo staviti, da je δ_w radi produženja crta poja jednak $1,25 \cdot \delta_w$, pa je prema tome:

$$b_w < 2t_2 \quad \lambda_{w2} \approx \frac{b_w}{4 \delta_w K_2} \quad (73a)$$

$$b_w > 2t_2 \quad \lambda_{w2} \approx \frac{t_2}{2 \delta_w K_2} \quad (73b)$$

U glavi zebra, što čine izvornu dužine l_{p0} po mećnog pola, odnosno za djelove utora izračuna se λ_x po jednadžbi 73. To je dakle u slučaju, da dužina pomoćnog pola nije ista kao dužina armature. Za dužinu name se u račun: $l_A - l_{p0}$, gdje l_A označava stvarnu dužinu armature sa rasporedom za zračenje.

c. Vodljivost čeonih spojka.

Vodljivost čeonih spojka sastoji se iz dva dijela, jedan dio je konstantan i to je: konstantno polje u stanju mirovanja u prostoru, a drugi je dio lokalno polje, polje rasipanja, koje obuhvaća vlasti, to vodove za vrijeme kratkog spoja. Ovo polje proizvedeno prema tome čeonu spojke, što promijene struju za vrijeme kratkog spoja.

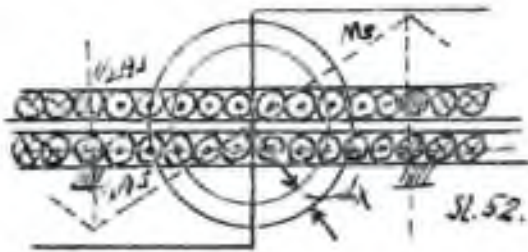
Vodljivost: λ_{s1} .

Čeone su spojke jednoliko razdijeljene u dvjema ravninama, od kojih svaka ima "navlačen struje": $\frac{1}{2} AS$. Slika 52. — Magnetomotorna sila pola, je isto tako, kao i magnetomotorna sila namota, ja armature, t.j. ima trokutni oblik sa vrhovima nad koficom. Pretpostavimo li tok u krugu, onda imamo u udaljenosti x od sredine mm-silu

$$M_{sx} = ASx \quad \text{i vodljivost} \quad \lambda_{sx} = \frac{1,25 dx}{2\pi \cdot x}$$

Prema tome je indukcija:

$$B_{sx} = M_{sx} \cdot \frac{\lambda_{sx}}{l_x} \approx 0,2 AS \quad (74)$$



Intenzitet polja je konstantna preko cijelog armaturnog presjeka. Ovo polje sijeku čelne spojke. Ako je l_s dužina jedne čelne spojke, a l_{w1} dvostruka udaljenost čelne spojke od jezgre armature

je dvostruka, jer moramo svaki kosi (nasklonjeni) dio nadomjestiti sa l_w s obzirom na vezanje čelne spojke - onda je u $\frac{2}{K}$ vodiča jednog svitka inducirana konstantna el. m. sila.

$$E_{s1} = \frac{2}{K} \cdot l_{w1} \cdot v \cdot (0,2 AS) \cdot 10^{-6} \text{ Volta} \quad (75)$$

gdje v = brzina u m/sec ; Obično vrijedi :

$$l_{w1} = \frac{3}{4} l_s \quad (\text{dužine jedne čelne spojke})$$

Stavimo:

$$0,2 \cdot l_{w1} \cdot AS = 0,15 \cdot l_s \cdot AS = 2 l \cdot AS \cdot \lambda_{s1} = l \cdot B_{s1} \quad (76)$$

onda je na 1 cm dužina armature reducirana vodljivost čelnih spojki:

$$\lambda_{s1} = 0,15 \frac{l_s}{2l} \quad (77)$$

te odgovarajuća intenziteta na opsegu armature:

$$B_{s1} = 2 \lambda_{s1} AS = 0,15 \frac{l_s}{l} AS \quad (78)$$

Polje u istini proizvedeno od čelnih spojki nema mesta zajedničkog sa dužinom armature; ali mi hoćemo ovo polje kompenzirati i to pomoću polja, koje proizvedemo na čitavoj dužini armature, jer

ne možemo variti (negdje izvan glavnih polova). t.j.:
nad ili pod čeonim spojka postaviti osobite mag-
nete za kompenzaciju toga polja. Prema tome nije
izračunata veličina: L_s polje čeonih spojka, nego
je to jakost polja, koje mi moramo nadući dužine
armature armature udesiti, da nam kompenzira
polje čeonih spojke. Iz toga slijedi, da moramo u,
koti kod redukcije dvostruku dužinu t.j.: $2l$, jer
nadodnadmo polje inducira obe strane svitka.

Vodljivost: L_{s2} .

Da odredimo vodljivost L_{s2} lokalnog polja,
koje obuhvaća čeonu spojku, promatramo od toga
polja u svakome vodiču armature inducirani el.
mot. silu. Imademo $\frac{b_r}{p_r}$ strana istodobno u
kratkom spoju. Kroz ove čeonu spojke teče ukup-
na struja: $\frac{1}{2} \cdot b_r \cdot AS$. Ta struja proizvodi tok
indukcije: $\frac{1}{2} b_r AS \cdot l_2 \cdot \frac{1}{s}$, koji u vrijeme: $\frac{b_r}{100v}$ pro-
mijeni jednoliko svoj smjer. $\therefore l_2$ je vodljivost jed-
nog vodiča. Promjena je dakle: $\frac{1}{2} \cdot AS \cdot l_2 \cdot \frac{1}{s}$; a
inducirana el. m. sila sledi onda iz sledećeg:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{d\phi}{\frac{b_r}{100v}} \quad \text{t.j.} \quad \frac{b_r AS \cdot v}{\frac{1}{2}} \cdot l_2 \cdot \frac{1}{s} = L_{s2} \frac{d\phi}{dt} = 2 L_{s2} AS \cdot l_2 \quad (79)$$

Odatle vrijedi ono isto, što je bilo spomenuto kod jednačine 78.
Iz 79. slijedi: na 1 cm dužine armature reducira-
na vodljivost:

$$L_{s2} = l_2 \cdot \frac{L_2}{2l}$$

Vodljivost L_2 slijedi iz vodljivosti ravnog vodiča:

$$L_2 = 946 \cdot \log \left(\frac{2a}{d_2} \right) + 905$$

gdje manv : d_s znači promjer kruga istoga opsega, što ga ima vodič, i a udaljenost dviju susjednih vodila. Za $\frac{a}{d_s}$ možemo uметnutи 2,5 ÷ 3, tako da re, zultira :

$$\lambda_3 \approx 0,25 \quad \text{to} \quad \lambda_{s2} \approx 0,25 \frac{l_s}{l} \quad (80)$$

Totalna je prema tome vodljivost čeonih spojaka :

$$\lambda_s = \lambda_{s1} + \lambda_{s2} = (0,15 + 0,25) \frac{l_s}{2l} = 0,2 \frac{l_s}{l} \quad (81)$$

Jer imadu čeonu spojku nešto manji srednji promjer od uz mature, to je za njih AS nešto veće. Istioci namotajazia lievanog željeza, željezni dijelovi armature itd. znatno po, većaja vodljivost λ_s . Stoga se naloga računa upće sa:

$$\lambda_s = 0,5 \frac{l_s}{l} \quad (82)$$

Ako je λ_N čitava vodljivost za 1 cm dužine armature, to je :

$$\lambda_N = \lambda_a + \lambda_{k(w)} + \lambda_s \quad \text{Maxwell/Amp} \quad (83)$$

12. Koefficient samoindukcije.

Induktiviteta je (u Henrymu) 10^{-9} puta spoj toka sa stru, jom 1 Amp.

$$L = \frac{Z}{2\pi} \cdot \frac{\Phi}{I} \cdot 10^9 \text{ H.} \quad (84)$$

$\frac{Z}{2\pi}$ = broj zavoja svakog vitka, $\frac{\Phi}{I}$ = spoj toka za jedan jedini zavoj kod jakosti struje: 1 Amp. Po ohmovom je zakonu $\Phi = Iw\lambda$, gdje znači w broj zavoja. Za 1 zavoj i 1 Amp je :

$$\text{vodljivost } \lambda = \phi_0 = 6 / \text{cm dužine.} \quad (85)$$

Prema tome prouaroci svaki cm dužine dužine vodiča n utonu tok ϕ_0 od 6 Maxwella. Svaki zavoj ima 2 vodiča u armaturi, prouaroci dakle tok : $\phi_0 = 2 \cdot 6$. Ima li vitak $\frac{Z}{2\pi}$ zavoja, onda je tok $\phi_0 = \frac{Z}{\pi} \cdot 6$. Možemo ovaj tok sa brojem zavoja $\frac{Z}{2\pi}$, to se to dobina induktivitet jednog vitka u Henryma :

$$L = \frac{Z}{\pi} \cdot \frac{Z}{2\pi} \cdot 6 \cdot 10^{-9} \text{ Henry} \quad (86)$$

13.) Pomoćni polovi i kompenzacija.

a) Općenito.

Najbolje sredstvo za povoljnu komutaciju su pomoćni polovi, te se oni danas gotovo uvijek upotrebljavaju.

Kod strojeva sa jednostavnom komutacijom opada po, je komutacije ako teret raste. Želimo li, da ostane komutacija pravilna, trebalo bi to polje rasti. Kod strojeva sa pomoćnim polovima može se postići polje komutacije, koje je uvijek proporcionalno struji armature, tako da za sve terete imamo povoljno komutiranje. Pomoćni polovi čine kao i kafiće u neutralnoj zoni. Kroz namotaj ovih polova teče struja armature tako, da djeluje nasuprot onim raznim armaturama, koji magnetiziraju armaturu u poprečnom smjeru. Da se kod toga ne samo kompenzira magnetični učinak armature, nego još proizvede potrebno polje za komutiranje, nameće se broj amperzavoja pomoćnih polova nešto veći. Polje komutacije mora biti u čitavoj zoni komutiranja konstantne indukcije i to takove veličine, da proizvede u kratko spojenom svitku, kod okretanja armature, toliki napon, koji je potreban za povoljnu komutaciju.

Kod proračuna treba pomoćne polove malo veće dimensionirati, da ne bi bilo potrebno ex. premotavanje. Ako se kod ispitivanja stroja vidi, da stroj ima nadkomutaciju, onda se to može lako udesiti na pravilnu na sljedeći način:

a.) Povećanjem raspora među pomoćnim polovima i armaturom. Da se to može izvršiti, umetnu se ispod polova limene pločice, koje se onda po potrebi odstrane.

b.) Ili se name određeni poredni otpor k namotaju. Struja u tom otporu ne smije prekoraciiti 10% normalne struje. Onakovo izjednačenje nije ugodno, ako je stroj u pogonu podvrgnut naglo promjenjivom teretu.

c.) Ili li nam komutacija tolika, da bi je post str.

↓ Imamo dva armature i dva komutatorna polja. Polja su namotana na dva komutatora. Polja su namotana na dva komutatora. Polja su namotana na dva komutatora.

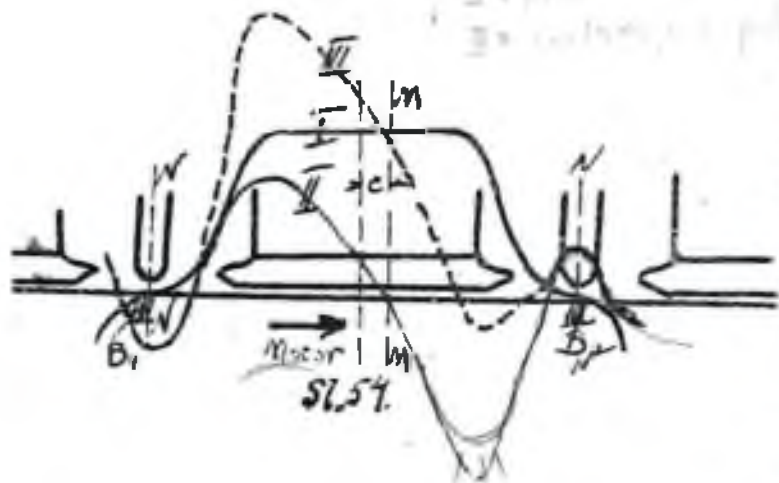
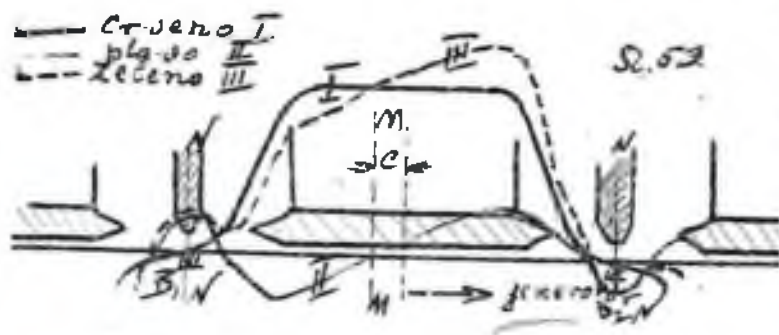
je u porednom stepenu prekoruila 10% struje u armaturi, te ako se nemože više primijeniti regulacija po a.), mora se odmotati potrebni broj zavoja od pomoćnih polova.

Strojevi istosmjernne struje sa pomoćnim polovima moraju komutirati sa polinjem kćica u neutralnoj zoni bezprikoru ka sve terete.

Polje komutacije pomoćnog pola mora slijediti po porcionalno struju Ia armature i to do najvećeg tereta. Stoga dobu pomoćni polovi uzbuđenj putem struje armature. I: u seriji sa armaturom, polje suprotno poprečnomj siljemo li kod neuzbuđenih glavnih polova struju kroz namotaj armature, koji je spojen u seriji sa namotajem po, moćnih pola, onda dobimo polje, prouvroćeno od glavne struje, koje se udaljuje od oćenog polja armature i to ka polje pomoćnih polova. Slika: 53. prikazuje u krivulji. II. ovakovo polje ka generatore, a slika 54. ka motore. Uzbuđimo li glavno polje, dobimo ka neopterećeni hod

sliku polja: I. Moćemo pretpostaviti, da je ovo polje ispod pomoćnih po, laza jednako nuli, jer crte indukcije, koje su došle do toga mjesta prolaze kroz pomoćni pol. Krivulja III. predstavlja konaćni rezult, tirajuće polje ka isto uzbuđenj, koje je bilo u neopterećenom hodu.

Kod strojeva sa pomoćnim polovima može se razmjer am,



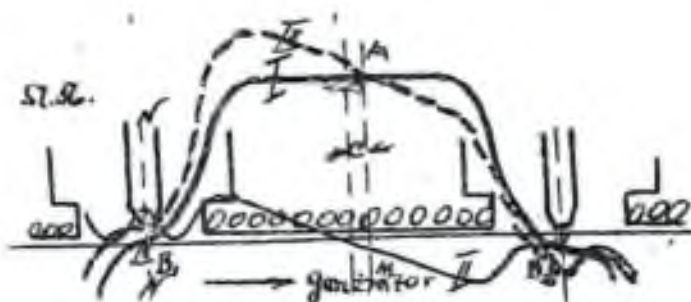
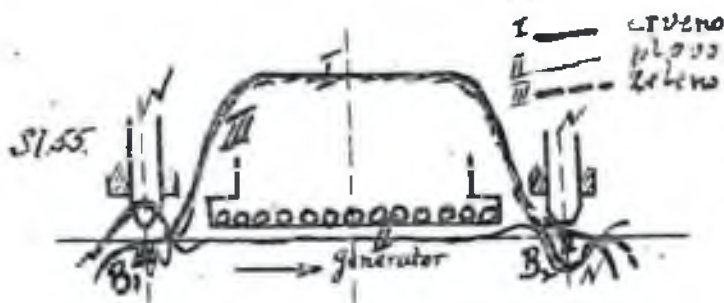
per-kavoja magneta i armature odabrati mnogo manji, nego što je to kod strojeva bez pomoćnih polova. Onda se može dogoditi, da polje ispod pola za vreme od prarnog hoda do punog tereta promjeni predznak, i to djelomice. Slika 54. prikazuje takav slučaj. Kod strojeva sa velikom regulacijom napona koji moraju još i kod najmanjeg napona raditi sa punim teretom, postane negativna površina prilično velika. Kod običnih strojeva to nije zgodno, jer kod toga može biti maksimalni napon la, mala veliki. U namotaju armature inducirana el. m. sila je onda proporcionalna sumi pozitivnih i negativnih djelova ploštine, što je opkolo Krivulja.

Dademo li stroju kompenzacioni namotaj, jednoliko razdijeljena površina polova, te ako imamo još i pomoćne polove, onda se ne može razviti poprečno polje armature, jer je kod pravilno odabranog namotaja savim kompenzirano. U slici 55. uvertane su Krivulje

za kompenzirani stroj sa pomoćnim polovima.

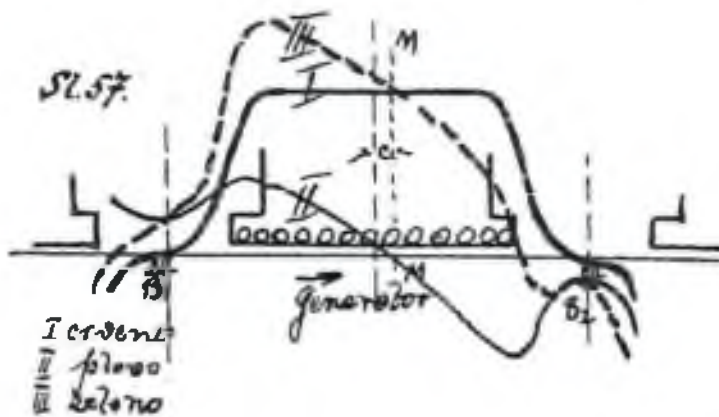
Polje armature je tačno kompenzirano. Rezultira, iuče polje II. ne promjeni oblik sa teretom. Može se dakle dobro iskoristiti armatura bez velike ka, rivenosti u zubovima i bez velikih zubitaka.

Jer pada magnetična os kompenzacionog namotaja zajedno sa namotajem pomoćnih polova i to u neutralnu zonu, određuje sumu obija am,



perzavoja obratno polje. Obitron na komutaciju može se dakle ova suma na koji god način raspodijeliti na pomoćna polova i na kompenzacioni namotaj. Kod običnih strojeva sa pomoćnim polovima je čitavi namotaj na pomoćnom polu, no može se ga smetnuti i na glavne polove.

Slika 56. prikazuje krivulje polja svakog kompenziranog stroja sa pomoćnim polovima bez namotaja. Broj AS kompenzacionog namotaja je za 20% veći kao broj AS za armaturu. Jer imaš pola luk $\sim 70\%$ razlika polova, imamo ispod pola broj stepova, koji je u sredini pola jednak 0, te koji raste odavle proporcionalno sa udaljenosti od sredine pola: $\frac{1}{2}(1,2 - 0,70) \cdot AS = 0,25 AS$. Na rubu postigne prema tome vrijednost: $0,25 \cdot AS$. Berujući razlici broj AS djeluje suprotno amperzavojima armature, koje također i nadmaši, te proizvede poprečnom polju armature suprotno poprečno polje Π . Tavan glavni polova padne ovo poprečno polje brzo do nule, jer raste magnetični otpor i broj zavoja armature, a broj



zavoja namotaja za kompenzaciju ostane isti. U krugu pomoćnog pola djeluje razlika razlici broj amperzavoja:

$$\frac{1}{2} 0,25 \cdot AS = 0,125 AS$$

jer smo za nametak bili dodali 20%:

Taj broj imamo samo

pod pomoćnim polom, na rubu je broj nešto veći, jer ovdje oduzimaju nešto amperzavoja armature.

Krivulja III. prikazuje krivulje polja za opterećenje.

Slika 57. prikazuje konačno krivulje kompenziranog stroja bez pomoćnih polova.

b) Polje i amperzavoji pomoćnih polova.

Nemogu li se ispuniti uvjeti za jednostavnu komutaciju ($B_k = 700 - 1600$), moramo odabrati pomoćne polove, koje se postavi u geometričkoj sredini između glavnih polova i to tako, da slijede u smjeru vrtnje:

Kod generatora: $N S S' N$

Kod motora: $N' N' S S$

Već je pogodno na pomoćne polove, da su armatura i jaram malo zasićeni, jer tada ostane potpuna proporcionalnost između polja armature i pomoćnih polova za svaki teret. Za motore je pak visoka zasićenost zubova ugodna, jer nemože poprečno polje kod momentane promjene opterećenja naglo narasti, prema tome se armatura može njihtati.

Raspor pomoćnog pola i armature ne smije se odabrati premalen, da ne bi bilo pulsacije i oscilacije polja komutiranja. Budje vrijedi općenito: $\delta_w > \delta$, ako je δ_w : δ_w = raspor pomoćnih polova.

Najugodnije polje komutacije - vidi IV. 49. - jeste:

$$B_k = 2AS \cdot \psi \cdot \lambda_N + \frac{e_k \cdot AS}{K_2 \cdot A} \quad (27)$$

gdje je:

$$\psi = \frac{t_1}{b_k} = \frac{t_1}{t_1 + b_2 + [E_1 - (1 + \beta_2) \frac{A}{\beta}] \beta_1}$$

e_k = napon kefice i lamele

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{\kappa} \cdot AS \cdot l \cdot v \cdot 10^{-6}$$

$$K_2 = \frac{b_k}{\beta} = \frac{\text{širina kefice}}{\text{širina lamele}}$$

l = dužina armature bez raspora.

Ako je dužina stopala pomoćnog pola $l_{p0} \leq l_A$ dužina armature sa rasporima na vraćenje, mora obratno polje imati indukciju:

$$B_{k0} = 2AS [\psi (\lambda_n + \lambda_w + \lambda_s) \frac{e_k}{l_{p0}} + \lambda \frac{l_1 - l_{p0}}{2 l_{p0}} + \frac{e_k}{2 K_2 A}] \quad (28)$$

$\lambda =$ vodljivost poprečnog polja / Kefice u m. x

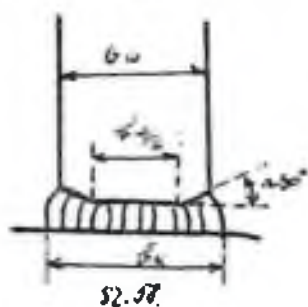
Preduji član uzima u račun poprečno polje izvan pomoćnih polova, ako stopalo nije iste dužine, kao armatura. Širina toga polja mora biti približno ista, kao i širina zone komutiranja: t.j.

$$b_k \approx \frac{t_2}{\psi} \quad (85)$$

Obično se (poradi širenja polja) odabere:

$$b_w \leq b_k$$

po mogućnosti: $b_w = c \cdot t_2$ c - cis broj. 90



Slika 58 - b_k = širina zone komutiranja, b_w = širina pomoćnog polja, t_2 = razmak utora.

Protudjelovanje utora [polja] slabi m. silu ispod sredine pomoćnog polja.

Želimo li imati jednoliko polje, moramo napraviti rubove stopala kose. Ako inače:

$$\begin{array}{ll} \beta_w & \text{faktor širenja polja} \quad |1,05 - 1,08| \\ \tau_w & \text{faktor napajanja} \quad |1,8 - 3,0| \end{array}$$

onda je tok indukcije u rasporu:

$$\Phi_w = \beta_w \cdot b_w \cdot l_w \cdot L_{w1} \quad (91)$$

te u jezgri p. pola:

$$\Phi_{w1} = \tau_w \cdot \Phi_w$$

Ormade li pol presjek: $Q_{w1} = b_{w1} \cdot l_{w1} = \frac{\pi d_{w1}^2}{4} \text{ cm}^2 \quad (92)$

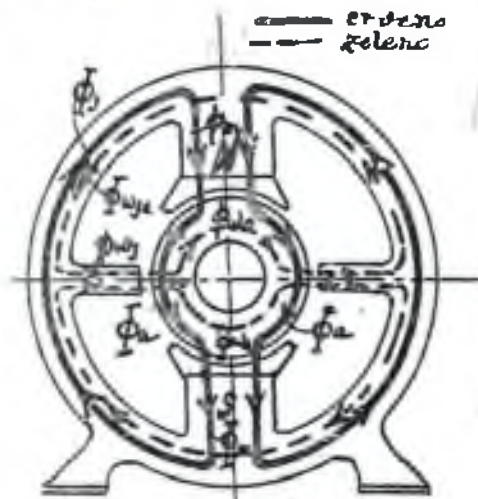
onda je indukcija:

$$L_{w1} = \frac{\Phi_{w1}}{Q_{w1}} = 2000 \div 6000 \text{ Gauss} \quad (93)$$

Magnetički krugovi stroja sa pomoćnim polovima tvore dva kruga: glavno polje i pomoćno, koji djeluju jedan na drugoga. Slika 59. prikazuje obični dvopolni stroj.

Zamislimo si uzbuđenje glavnih i pomoćnih polova svako za sebe, onda prolaze tokovi, kako je to u slici

naertano. Činademo li samo glavne polove ²⁰⁰¹urbuđenje, onda ne teče kroz pomoćne polove nikakav tok, jer je u ovom položaju magnetske napetost: jaram - armatura jednaka nuli. Iz stoga razloga nemamo tok



Slika 59.

kroz glavne polove, ako su urbuđeni samo pomoćni polovi. Jaram i armatura su djelovi obiju magnetskih krugova. Ako je zasićenje ovih djelova malo, te imamo urbuđene glavne i pomoćne polove, onda dobimo sliku rekurzivnog polja, ako polje žimo jedan tok na drugi.

Ako su zajednički djelovi zasićeni, upliva jedan tok na drugi. Slika 59. daje nam sledeće tokove:

$$\begin{aligned} \text{armatura:} \quad \phi_a' &= \frac{1}{2} (\phi_a + \phi_{wa}) & L_a' &= \frac{\phi_a'}{Q_a} \\ \phi_a'' &= \frac{1}{2} (\phi_a - \phi_{wa}) & L_a'' &= \frac{\phi_a''}{Q_a} \end{aligned} \quad (94)$$

$$\begin{aligned} \text{jaram:} \quad \phi_j' &= \frac{1}{2} (\phi_j + \phi_{wj}) & L_j' &= \frac{\phi_j'}{Q_j} \\ \phi_j'' &= \frac{1}{2} (\phi_j - \phi_{wj}) & L_j'' &= \frac{\phi_j''}{Q_j} \end{aligned} \quad (95)$$

$$\begin{aligned} \text{Zubovi:} & & & \\ \text{glava} & L_{Zw_1} = \frac{t_1 L_{Zw}}{K_2 Z_2} & | Z_2 &= \text{širina glave zuba} \\ \text{korjen} & L_{Zw_2} = \frac{t_1 L_{Zw}}{K_2 Z_2} & | Z_2 &= \text{širina zuba u korjenu} \\ \text{sredina} & L_{Zw_{\text{red}}} = \frac{t_1 L_{Zw}}{K_2 Z_{\text{red}}} = \frac{L_{Zw_1} + L_{Zw_2}}{2} & & (96) \end{aligned}$$

Obratni tok povećava u jednoj polovici povećanje, a u drugoj umanjivanje toka glavnih magneti. Imamo li zasićenje, onda obratno polje slabije glavno, jer je

za povećanje toka više amperazavoja potrebno kao za smanjivanje za isti iznos. Prema tome morali bi uzbuđenje glavnih magneta povećati za iznos: ΔAW_k . Ako označimo AW za pojedine tokove kako slijedi:

$$\begin{aligned} \phi'_a &= \frac{1}{2} (\phi_a + \phi_{\omega a}) = AW_{a+} & \phi'_j &= \frac{1}{2} (\phi_j + \phi_{\omega j}) = AW_{j+} & \frac{1}{2} \phi_a &= AW_{a-} \\ \phi''_a &= \frac{1}{2} (\phi_a - \phi_{\omega a}) = AW_{a-} & \phi''_j &= \frac{1}{2} (\phi_j - \phi_{\omega j}) = AW_{j-} & \frac{1}{2} \phi_j &= AW_{j+} \end{aligned}$$

onda dobijemo:

$$\Delta AW_k = \frac{1}{2} (AW_{a+} + AW_{a-} - 2AW_a) + \frac{1}{2} (AW_{j+} + AW_{j-} - 2AW_j) = \Delta AW_a + \Delta AW_j \quad (97)$$

Da se ne naruši uzbuđenje glavnih polova za ΔAW_k , onda bi rezultiralo oslabljenje polja, te padanje napona. To, retički je to tako, no u praksi je to ΔAW_k tako maleno (kako i mora), da u opće ne dolazi u obzir.

Da se izračuna potrebni broj amperazavoja za po, moćne polove, uzme se iz nacrtu dužine crta polja, pa se za 1 cm dužine odredi potrebni broj amperazavoja, te se za svaki dio tvori produkt [aw · dužina], kako je to bilo tumačeno za glavne polove. Produkti se sumiraju. Za aw služi nam slika 16, odnosno 14.

Kojim indukcijama se ima računati, slijedi iz jednačija: 92-96. Za kubove vrijedi:

$$\frac{aw_{zavz} + 4 aw_{zavod} + aw_{zavz}}{6} \quad (98)$$

Za raspor $\therefore L_{\omega}$ po jednačiji 88 $\therefore$

$$AW_{L_{\omega}} = 0,9 \cdot K_{L_{\omega}} \cdot \delta_{\omega} \cdot L_{L_{\omega}} \quad (99)$$

Prema tome se ima za 1 par pomoćnih polova, ako se ima isti broj pomoćnih i glavnih polova.

$$M_{L_{\omega}} = 1,6 \cdot K_{L_{\omega}} \cdot \delta_{\omega} \cdot L_{L_{\omega}} + AW_{mst} + AW_{j\omega} + AW_{a\omega} + AW_{z\omega} \quad (100)$$

Leže li Refice u neutralnoj zoni te nema stroj osobitog

namotaja za kompenzaciju poprečnog polja, moramo dodati još amperzavoje za kompenzaciju poprečnog polja armature bez obzira na kratko spojene svitke armature, t.j.

$$\tau AS = M_{\Sigma}$$

Označimo li sa M_{Σ} sumu:

$$M_{\Sigma} = M_{\Sigma_0} + M_{\Sigma_1} \quad (101)$$

onda mora biti, da pomoćno polje ima dostatnu stvarnu vrijednost:

$$\frac{M_{\Sigma_0}}{M_{\Sigma_1}} = 1,2 \text{ za motore} \quad = 1,3 \div 1,5 \text{ za gener.} \quad (102)$$

Za normalni proračun, ako se uzme broj amperzavoja za par polova /: broj polova = broj glavnih polova /: je.

$$M_{\Sigma} \approx 1,1 (\tau AS + 1,6 K_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma} \cdot L_{\Sigma}) \quad (103)$$

pa se ispita, dali to odgovara jednadžbi 102.

Ima li stroj samo polovicu pomoćnih polova, kadon se obratni tok kroz glavne polove. U tom se slučaju mora, jer odabrati dosta velike mjere stroja, da se nema preveti kod kasćenja. Noć se ne isplati uradi samo polovicu pomoćnih polova.

Zanemarimo li amperzavoje za željezo, to imamo, ako smo ispuštali polovicu pomoćnih polova za svaki pol:

$$\frac{1}{2} M_{\Sigma} \approx \frac{1}{2} \tau AS + 0,8 K_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma} \cdot L_{\Sigma} + 0,8 K_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma} \cdot L_{\Sigma} \quad (104)$$

Ladnji sumand moramo dodati, da nam tjera tok kroz raspor glavnog pola, jer se kroz ovaj raspor mora tok katvoriti. Broj amperzavoja po jedu. 10% je nešto veći od polovice amperzavoja, ako imamo dve polove.

Jaka promjena tereta, osobito kratki spoj može prouzročiti iskre na čitavom obodu kolektora, te oštećiti komutator osobito onda, ako radi stroj sa velikim AS.

Izre na obodu kolektora počinja kod napona od približno:

$$e_{kt \max} = 40 \div 50 \text{ Volta}$$

ali je ugodno uvijek razmjer $\frac{f_s}{f_m}$ i druge veličine odabrati tako, da je $e_{kt \max} \leq 10 \text{ Volta}$

Uopće je: $f_m = 1,0 \div 1,2$, $f_s = 1,1 \div 1,6$. f_{ps} odredi se po jednačini 88. Da postane $e_{kt \max}$ maleno, napravi se stopala pomoćnih polova nešto duža, kao stopala glavnih, te se vrijednosti: A , S_k , A_k i $\frac{f_s}{f_m}$ odaberu ne od više velike. Kod velike maslaka: AS napravi se na jezgri glavnih magneta uzdužni karek, da se smanji poprečno polje, ili se napravi čipke stopala nešto naginute.

Ugodno je odabrati razmjer:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\text{magnet. mot. sila za kret}}{\text{magnet. motor. sila poprec. polja}} \geq 1,3 \div 1,6$$

c.) Tok rasipanja, Koficijent T_w .

Protudjelovanje armature prouzroči povećanje polja rasipanja glavnih polova. Kod pomoćnih je polova ovo protudjelovanje u svom učinku još bitno veće, jer djela, ja svi amperavoji armature nasuprot amperavoji, ma pomoćnih polova; to je i razlog, da moraju pomoćni polovi imati veliki broj amperavoja.

Tokovi rasipanja pomoćnih polova nadmašuju nopus bitno končni tok. Koficijenti rasipanja $4 \div 5$ za pomoćne polove nisu vanredne veličine.

Tokove rasipanja pomoćnih polova računamo na isti način, kao što smo činili i kod glavnih polova.

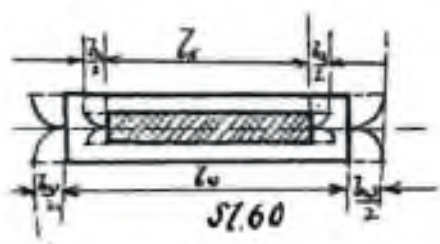
Razdijelimo tok u 3 dijela:

- 1) Φ_{w1} tok među stopalom i glavnim polom
- 2) Φ_{w2} " " jergrom i " "
- 3) Φ_{w3} " " " i jarnom.

Kod glavnih polova rade samo magnetičnu napetost a neposrednoj blizini jarma jednaku nuli. Pa tako i ovdje kod pomoćnih ona raste od jarma, kako to odgo-
vara namotaju, dok ne postigne na stopalu najveću
vrijednost:

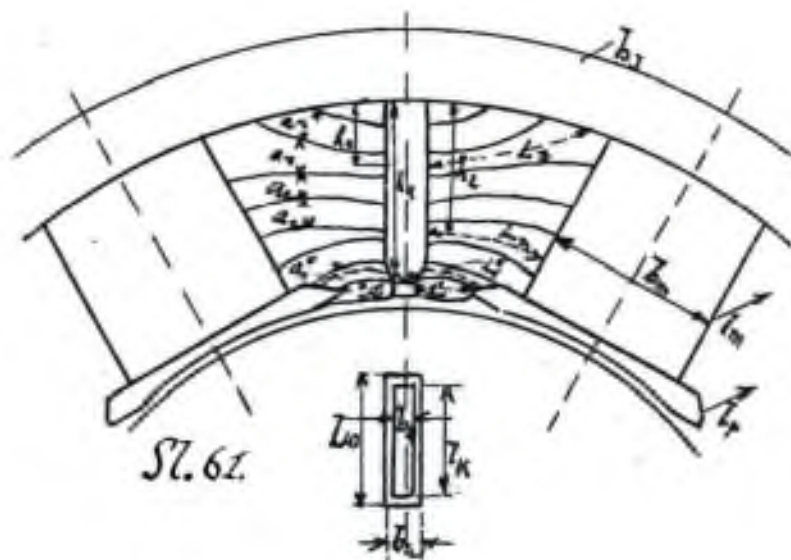
$$P_m = \frac{1}{2} AN_w$$

Pomoćni polovi su uspeć veoma uski s obzirom na
dužinu, a ova je dužina više puta manja od dužine
glavnih polova. Tokove razipanja čomih strana spojala
i polova može se tako nati n račun, da ih se prema
slici 60. uračuna n strane dužine l , t.j. svaku ravni,
nu strane povećanu na polovinu čone ploštine.



1.) Φ_{w2} . Tok između sto-
pala i glavnog pola.

Magnetični napon
prouzročen od zavoja pomoć.
polova je: $\frac{1}{2} AN_w$...



Udaljenost je određena jednačinom:

$$\lambda_{w_1} = \frac{a_1'(l_w + b_w + l_p)}{1,6 L_1'} \quad / \text{Presjek} = \frac{a_1'(l_w + b_w + l_p)}{2} /$$

Tok rasipanja:

$$\Phi_{w_1}' = \frac{1}{2} A W_w \cdot \frac{a_1'(l_w + b_w + l_p)}{1,6 L_1'} = \frac{a_1'(l_w + b_w + l_p)}{3,2 L_1'} A W_w$$

Ako su stopala dužja od jezgre imamo povećanje toka za onaj dio, koji izlazi iz gornje strane stopala. Udaljenost toga toka je:

$$\lambda_{w_1}'' = \frac{a_1''(l_w - l_k)}{0,8 L_1''} \quad \text{tok rasipanja: } \Phi_{w_1}'' = \frac{a_1''(l_w - l_k)}{1,6 L_1''} A W_w$$

Prema tome je čitavi tok rasipanja:

$$\Phi_{w_1} = \left[\frac{a_1'(l_w + b_w + l_p)}{1,6 L_1'} + \frac{a_1''(l_w - l_k)}{0,8 L_1''} \right] \cdot \frac{A W_w}{2} = \lambda_{w_1} \frac{A W_w}{2} \quad (106)$$

$$\lambda_{w_1} = \frac{a_1'(l_w + b_w + l_p)}{1,6 L_1'} + \frac{a_1''(l_w - l_k)}{0,8 L_1''} \quad (107)$$

2) Tok Φ_{w_2} .

Ovdje pretpostavimo, da sve raste, čija je dužina $L_{12} > L_1$ prolaze k jarnu. Imadu li jezgre jednak ili okrugao presjek, pretvorimo ovaj presjek u pravokutni iste površine sa dužinom l_k te širinom b_k . Pretpostaviti ćemo nadalje, da magnetski napon $\frac{1}{2} A W_w$ pada od stopala do jarnia linearno, pa onda iz toga slijedi, da na tok $d\Phi_{w_2}$ djeluje magnetska sila: $\frac{1}{2} A W_w \frac{l_k}{h_k}$. Udaljenost je:

$$d\lambda_{w_2} = \frac{a_2(l_k + b_k + l_m)}{1,6 \cdot L_{12}} \quad / \text{Presjek} = \frac{a_2(l_k + b_k + l_m)}{2} /$$

a tok:

$$d\Phi_{w_2} = d\lambda_{w_2} \cdot \frac{A W_w}{2} \cdot \frac{l_k}{h_k} = \frac{a_2(l_k + b_k + l_m) l_k}{1,6 L_{12} \cdot h_k} \cdot \frac{A W_w}{2}$$

Totalni tok:

$$\Phi_{w2} = \frac{AW_w}{2} \cdot \frac{l_k + b_k + l_m}{1,6 l_k} \cdot \sum \frac{l_2 a_2}{L_2} = \lambda_{w2} \cdot \frac{AW_w}{2} \quad (108)$$

$$\lambda_{w2} = \frac{l_k + b_k + l_m}{1,6 l_k} \cdot \sum \frac{l_2 \cdot a_2}{L_2} \quad (109)$$

3.) Tok Φ_{w3} .

Za svaku cijev, koja izlazi iz jarma i proteže se udaljenosti h_3 jeste magnetska napetost: $\frac{1}{2} AW_w \frac{l_3}{l_k}$, te vodljivost: $\frac{a_3(l_k + b_k + b_j)}{1,6 l_3}$ / Prejeren = $\frac{a_3(l_k + b_k + b_j)}{2}$

Prema tome tok:

$$\Phi_{w3} = \frac{1}{2} AW_w \cdot \frac{l_3}{l_k} \cdot \frac{a_3(l_k + b_k + b_j)}{1,6 l_3}$$

te nadalje:

$$\Phi_{w3} = \frac{AW_w}{2} \cdot \frac{l_k + b_k + b_j}{1,6 l_k} \cdot \sum \frac{l_3 a_3}{L_3} = \lambda_{w3} \cdot \frac{AW_w}{2} \quad (110)$$

i konačno:

$$\lambda_{w3} = \frac{l_k + b_k + b_j}{1,6 l_k} \cdot \sum \frac{l_3 a_3}{L_3} \quad (111)$$

Izračunali smo dijelove samo za jednu stranu, prema tome je totalni tok rasipanja jednog pomoćnog pola:

$$\Phi_{ws} = 2(\Phi_{w1} + \Phi_{w2} + \Phi_{w3}) = AW_w(\lambda_{w1} + \lambda_{w2} + \lambda_{w3}) = AW_w \sum \lambda_w \quad (112)$$

Ali tome pribrojimo tok pomoćnog pola, što ulazi u armaturu:

$$\Phi_{wa} = b_w \cdot l_w \cdot \sum \lambda_w$$

to dobimo totalni tok pomoćnog pola što izlazi iz jarma:

$$\Phi_{wma} = \Phi_{wa} + \Phi_{ws} = \sigma_w \cdot \Phi_{wa} \quad (113)$$

Prema tome je maksimalni koeficijent rasipanja po moćnih polova:

$$\sigma_w = 1 + \frac{AW_w}{\Phi_{wa}} \sum \lambda_w \quad (114)$$

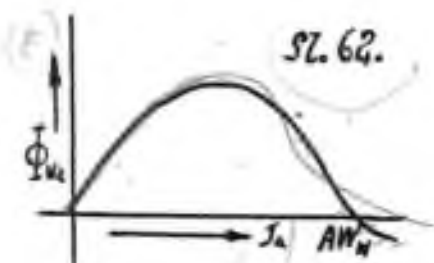
Da se umanjuje rasipanje, te da se dobije dovoljni prostor za namotaj, koji ide do armature, potrebno je većinom napraviti polni luk glavnih polova nešto manji, nego kod strojeva bez pomoćnih polova.

d.) Upliv pomoćnih polova na glavne.

Prolaženje krivulje magnetiziranja mora biti što je više moguće sve do najvećeg tereta ravno. Jer je prostor za pomoćne polove, a osobito i za njihov namotaj vrlo ograničen, to je više puta vrlo teško ispuniti ovaj uvjet osobito kod strojeva sa velikim nadopterećenjem.

Kad napusti krivulja magnetiziranja - slika 62. - svoj ravni prolazak, savine se veoma brzo, jer amperzavoji za raspor tvore samo mali dio ukupnog broja amperzavoja pomoćnih polova.

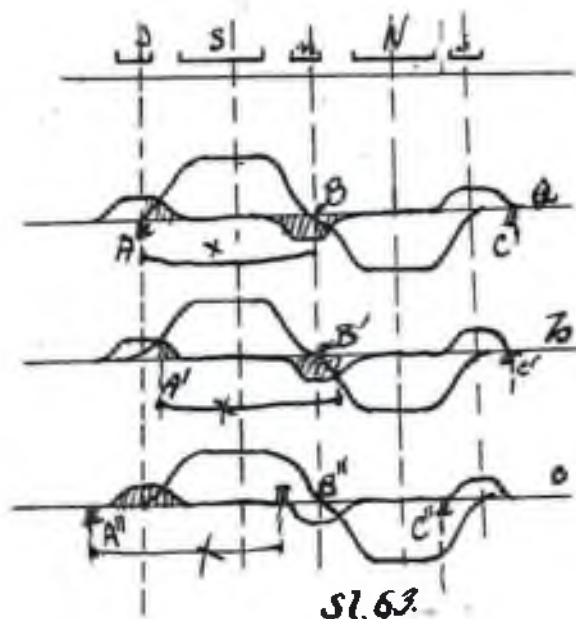
Krivulja magnetiziranja postigne sa rastućim teretom maksimalnu vrijednost, ako nije prirast razlike u amperzavojima AW_n i τAS veći od amperzavoja što se troše na željeno. Te amperzavoje upotrijebi za sebe tok rasipanja, što raste sa teretom.



Od toga opterećenja dalje pada tok pomoćnih polova, krivulja magnetiziranja naglo se prema apscisi, te postigne vrednost 0, kada je tok rasipanja postao tako veliki, da su za željeno potrebnii amperzavoji jednaki diferenciji: $AW_n - \tau AS$.

Ako su pomoćni polovi premali, može se to dogoditi već kod dvostrukog opterećenja. U tom su slučaju pomoćni polovi samo na šteti, a ne koriste ništa.

Pomoću odvajanja kofica iz neutralne zone može se uplivisati na veličinu napetosti. To se lako vidi iz slike 63. Tu smo pretpostavili, da je poprečno polje sasvim kompenzirano. U slici a.) leži sredina zone kratkog spoja simetrično k polju pomoćnih polova. U slici b.) su kofice odmaknute u smjeru vrtaje, a u slici c.) su kofice odmaknute protiv smjera vrtaje.



Sl. 63.

Medu kćica protivnog predznaka je inducirana e. m. sila proporcionalna toku, koji prolazi kroz kratko spo. jevi svitak. U slici a) je ovaj tok jednak površini krivulje glavnih polova medu A i B. Tok pomoćnog pola: n jednak je, ali suprotan toku pola S. Tokovi dakle nemaju učinka.

U slici b) je tok glavnog pola kroz kratko spo. jevi svitak manji, nego tok u sl. a), jer negativni tok pola

n nadmašuje. U tom slučaju imademo protukompauundiranje.

U slici c) prevladava pozitivni tok pola S, pa je to: nadkompauundiranje. Odmećuje u sl. c) djeluje kao slabo kompauundiranje.

Iz toga slijedi: odmaknemo li se iz položaja K_e, fice, u kojem je algebarska suma obratnih tokova, što ulaze u svitke jednaka nuli, to dobimo kod generatora, ako odmaknemo kćice u smjeru vrtnje: protukompauundiranje, odmaknemo li ih protiv smjera vrtnje, dobimo: nadkompauundiranje. Za motore vrijedi obrnuto.

Na taj se način može, ako to komutacija dozvoljava, napetost regulirati pomoću kćica, i to da ostane u odrećenim granicama konstantna — odnosao. može se povećati pod napona, ako stroj radi u paralelnom spoju sa baterijom, da preuzme udarce struje baterija.

Imademo pomoćne polove preuzbudenje, te kćice u neutralnoj zoni, dobimo u kratko spojenim svitcima dodatne struje, koje pospješuju komutaciju, pa prema tome magnetiziraju kod generatora, a razmagnetiziraju

Kod motora. Obrnuto vrijedi za premalo uzbuđene pomoćne polove. Preveliko uzbuđenje djeluje dakle kod generatora kao Kompoundiranje, a premaleno uzbuđenje kao proti-Kompoundiranje. Zgodniji je prvi slučaj nego drugi.

Motori, koji više puta promijene smjer okretanja, moraju imati kefice u neutralnom položaju. Kod motora sa određenim smjerom može se za povećanje stabiliteta kefice nešto odmaknuti iz neutralne zone i to za $\frac{1}{2}$ do 1 sekucenat u smjeru okretanja.

Motori mogu naima njihati, osobito onda, ako se kod motora sa pomoćnim polovima odmaknu kefice nešto proti smjeru vrtanje, i to: Kod jakog polja pomoćnih polova. Glavno naima polje i pomoćno induciraju u armaturi, ako su kefice dostatno odmaknute protiv smjera vrtanje: suprotne el. m. sile. Smeta li se stanje nestrainosti, tako da raste struja armature, pojačava se obratno polje. U armaturi inducirana el. m. sila, kao rezultanta obih (prije spomenutih) komponenti, padne nešto, pa struja armature mora opet nešto narasti - broj okreta također. Porast struje povećava pomoćno polje, broj raste opet itd - isto tako dugo, dok je manjivanje rezultirajuće inducirane el. m. sile zbog porasta obratnog polja veće, nego pri rast, što ga prouzroči komponenta glavnog polja, koja je proporcionalna broju okreta. To se dogodi, ako je došlo do određene zasićenosti pomoćnih polova.

Tada tek počinje rasti rezultirajuća el. m. sila sa rastućim brojem okreta. Struja armature i poprečno polje počinju padati, broj okreta pada. I sada se ono isto, što se događalo sa rastućim brojem okretanja, događa u obrnutom smjeru sa padajućim brojem okreta.

e) Kompenzacioni namotaj.

Da se polje poprečnih zavoja armature ispod glavnog polja sasvim kompenzira, mora se motniti na površinu pola toliko amperstapova: AS (AW_c) Koliko ih leži u armaturi ispod pola. Na pomoćne polove dje, ljuju onda samo amperstapovi, koji leže u polnom rasporu

$AW_c = (\tau - b) AS$ | b = dužina polnog luka | Potrebno obratno polje računa se na isti način kao u slučaju, da stroj nema kompenzacionog namotaja, smetniti se mora namjesto l_2 odnosno l_{20} na poprečno polje:

$$\frac{\tau - b}{\tau} l_2 = l_2 \left(1 - \frac{AW_c}{\tau AS} \right)$$

U pojedinim slučajevima ne daje se pomoćnom polu namotaj, nego se taj namotaj raspodijeli samo na površini glavnog pola. Onda se odabere $AW_c > \tau AS$, i poprečno polje obine smjer - sl. 56. -

$$AW_c = (\tau - b) AS \quad (115)$$

$$l_{2c} = l_2 \frac{\tau - b}{\tau} = l_2 \left(1 - \frac{AW_c}{\tau AS} \right) \quad (116)$$

Želimo li računati rasipanje armature, urme se za glavne polove za kompenzacija: broj amp. st. AW_{c2}

$$AW_{c2} = 1,05 \frac{\tau}{2} AS \quad \text{pro pol} \quad (117)$$

Jednadžba 117. vrijedi za strojeve sa pomoćnim polovima, kojima se daje namotaj za proizvodnju obratnog polja indukcije B_k po jedn. 87. Faktor 1,05 jedna, dže 117. računa rasipanje armature.

Za kompenzacioni namotaj bez pomoćnih polova - sl. 57. - vredi slijedeće.

Kompenzacioni namotaj dobije osim amperza,

voja /kompenzaciju još i napravljen za obratno po-
lje. U tom je slučaju potrebna m. m. sila za čitavi
stroj:

$$M_K = \frac{\pi \cdot D}{2} AS + M_{\text{po} \text{ } \text{Komutacije}}$$

Uvedemo li namjesto poja Komutacije odgovarajuću rasla-
gu bakra:

$$M_K = \frac{\pi D}{2} AS_K \quad (118)$$

dobimo:

Stavimo li slično jednačinama: IV. - 47, 49 za
najpogodniju komutaciju:

$$L_K = AS_K \cdot 2\psi \lambda_2 \quad |\lambda_2 = \text{vodljivost u rasporu}|$$

$$\text{Ako je |jedn st :|} \quad AS_K = \frac{L_K}{2\psi \cdot \lambda_2} = \frac{2AS(\psi \lambda_N + \frac{e_2}{2K_2 A})}{2\psi \lambda_2}$$

$$\text{odnosno:} \quad M_K = \frac{\pi D}{2} \cdot AS \cdot \left(\frac{\lambda_N}{\lambda_2} + \frac{e_2}{2K_2 A \psi \lambda_2} \right) AW \quad (119)$$

ili s obzirom na jednačinu za M_K

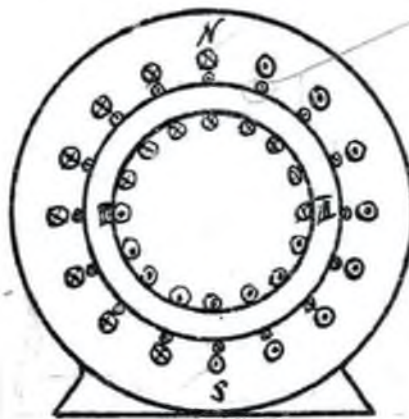
$$M_K = \frac{\pi D}{2} \cdot AS \left(1 + \frac{\lambda_N}{\lambda_K} + \frac{e_2}{2K_2 A \psi \lambda_2} \right) AW \quad (120)$$

Prema tome za jedan pol:

$$M_{K \text{ po pol}} = \frac{M_K}{2p} = \frac{\pi}{2} AS \left(1 + \frac{\lambda_N}{\lambda_2} + \frac{e_2}{2K_2 A \psi \lambda_2} \right) \quad (121)$$

Napće može se za λ_2 odabrati vrijednost 1,0 ÷ 2. Za
armature sa utorima postigne izraz u xagradi vri-
jednost 2. Za strojeve sa teškim prilikama komuta-
cije upotrebljava se Konstrukcija, koja je imao
Deri. Kod ove nema magnetski sistem ograničenih po-
lova, kao obični dinamo strojevi. -sl. 64. - Naprav-
ljen je slično kao stator trofaznog motora. Os glav-
nog namotaja je okomita na promjeru kefica, a os
Kompenzacionog namotaja leži u smjeru promjera

Refica, te tvoji sliku zrcala namotaja armature. U tom
je slucaju učinak armature sasvim točno kompenziran.
Za komutaciju metne se obratne zubove.



Sl. 64.

1934
Ep. 8/11/1934
L
1934

Po predavanjima g. prof. M. Plohla.

JAKA STRUJA I.

/ Istosmjerna struja. /

Svezak IV.

KOMUTACIJA.

BR INV 52



I. Izdanje.

Izdalo Udruženje slušača tehničkog fakulteta
u Zagrebu.

- 1927.

52

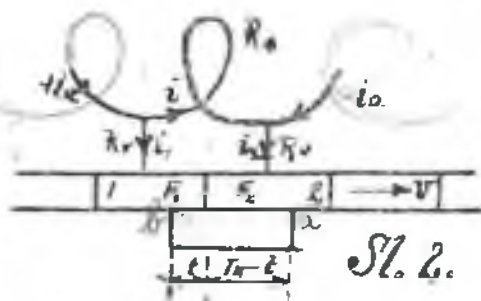
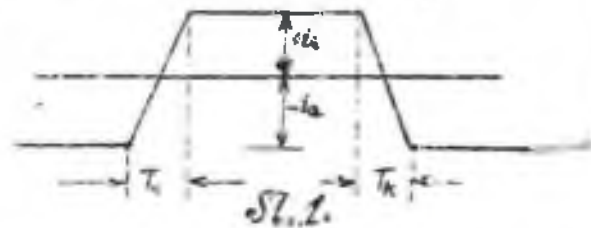
1. Komutacija

a.) Općeniti dio.

Ako je I^* mreži predana, odnosno od mreže primljena struja, I_a struja armature, onda je struja svakog vodiča ili svake grane:

$$i_a = \frac{I_a}{2a} \quad (1)$$

Prolazak struje u jednom elementu prikazuje slika 1. Kod prelaza od jedne grane do druge promijeni se struja od $+i_a$ na $-i_a$; za vrijeme prelaza T_k je svitak u neutralnoj zoni, te je od Refice kratko spojen. U



slici broj 2. nacrtan je detalj sa pripadajućim la, melama, širina Refice je jednaka razmaku lamela. U tom slučaju može Refica ponajviše spojiti kratko samo jedan jedini element mamo,

taj. U sl. počinje kratki spoj, kada rub Refice 2 do- lazi u doticaj sa lamelom 1, a završi, kad rub 2 napusti lamelu 2.

Pred početkom kratkog spoja je struja u promatra- nom svitku $+i_a$, Refica je naslonjena na lamelu 2, te ima struju 2 i_a . Gustoća struje je u čitavom presjeku Refice konstantna. Poslije završetka kratkog spoja je struja u svitku $-i_a$, Refica leži na lameli 1, te ima opet struju 2 i_a , gustoća je struje kao i kod početka, u čitavom presjeku konstantna.

U vrijeme prelaza, t.j. za vrijeme T_k ima svitak struju i , a veličina je te struje ovisna o položaju kefice, te još o nekim drugim uvjetima, koje ćemo kasnije još pobliže upoznati.

Od struje i dolazi samo jedan dio u vanjski krug, dok ostatak teče kao unutarnja struja u ra-
tornom krugu, koji se sastoji iz svitka, spajnica sa
lamelama, lamela te kefice. Gustoća struje nije više u
presjeku konstantna, jer teče u kefici i kroz keficu ne
samo struja i prema vani (odnosno od izvora),
nego i prije spomenuti ostatak struje i . Ako je
gustoća struje na rubu a , koji odlaže iz dolica,
ja u momentu prekida kratkog spoja prevelika,
imamo iskre ispod kefice. U tom slučaju izgori s vre-
menom komutator, iskre postanu sve jače i to pradi
pogoršavanja mehaničkih prilika na komutatoru i na
keficama. S toga razloga moramo nastojati, da iskre
prepriječimo.

6. Krivulja prelaza.

Da je moguće odrediti gustoću struje na rubu
kefice, koji napušta lamelu, mora se poznati kri-
vulja prelaza, t.j. prolazak struje u kratko spo-
jenom svitku oblikom na vrijeme. Prvo pitanje je,
što utječe na struju i ?

U vrijeme T_k odmahne se nešto kratko spojeni
svitak. Ovo micanje vrši se u poprečnom poju armature,
te - ako su kefice odmaknute - također u poju ma-
gneta. Poprečni tok, što ga proizvode svi vodiči ar-
matore ima određenu osovina, koja je kaduna po-
ložajem kefice, te je u stanju mirovanja isto tako,
kao i glavni tok. Poprečni tok i tok glavnih magneta indu-
ciraju prema tome određenu el. m. silu u kratko spojenom
svitku.

Još i teća d. m. sila djeluje u kratko spojenom svitku, i to d. m. sila samoindukcije radi promjene struje od $+i_a$ na $-i_a$ (ili obrnuto!)

Struja, što teče u vodičima armature proizvodi i tokove rasipanja i to u statorima, glavama sv. biva, te žonim spojka. Ovi tokovi rasipanja dolaze do djelovanja, ako se struja promjeni t. j. za vrijeme kratkoga spoja. Rezultirajući tok stroja, što ga proizvode zajedno superavoji magneta i armature nema upliva na veličinu d. m. sile samoindukcije, jer je konstantan. Za d. m. silu samoindukcije kratko spojenog svitka dolaze u obzir samo tokovi rasipanja, koji se računaju kroz strak. Ova je d. m. sila to veća, što je veća promjena struje, te što je kraće vrijeme kratkoga spoja.

Prolazak struje i u kratko spojenom svitku ovisan je prema tome - ako nemamo specijalno obratno polje: pomoćne polove - 0:

- | | | | |
|-----|----------------------|-----------------------------|----------|
| 1.) | Elektromotornoj sili | samoindukcije | ✓ |
| 2.) | " | poprečnog polja | armature |
| 3.) | " | glavnog polja | magneta |
| 4.) | ohmovom otporu | kefice - komutator | R_k |
| 5.) | " | spojnica svitaka sa lamelom | R_s |
| 6.) | " | kratko spojenog svitka. | R_a |

c.) Otporna komutacija.

Za prvo promatranje odaberemo idealni slučaj: t. j. namemo, da su d. m. sile samoindukcije poprečnog polja i glavnoga polja jednake nuli. Označimo E sa:

- R_s otpor kratko spojenog svitka (elementa)
 R_k otpor jedne spojke sa komutatorom.

R_k prelazni otpor "kefice" - komutator"
 i struja kratkog spoja t.j. promjenljiva struja u kratko spojenom svifku.

i_1, i_2 promjenljive struje u spijkama sa lamelom
 F_0 površina Kefice
 F_1 " doticaja Kefice sa lamelom 1
 F_2 " " " " " 2

Po slici 2, koja prikazuje međusobni položaj Kefice i Komutatora za vrijeme t po početku kratkog spoja vrijedi

$$\begin{aligned} i_1 &= i_a - i \\ i_2 &= i_a + i \end{aligned} \quad (2)$$



$$\begin{aligned} F_1 &= F_0 \cdot \frac{t}{T_k} \\ F_2 &= F_0 \cdot \frac{T_k - t}{T_k} \end{aligned} \quad (3)$$

Prelazni otpor Kefice i lamela 1 je : $R_k \cdot \frac{F_0}{F_1}$
 " " " " " 2 " $R_k \cdot \frac{F_0}{F_2}$ (4)

Jer smo pretpostavili, da nemamo d. m. sila u kratko spojenom krugu, mora po Kirchhoff-ovom zakonu, biti suma svih pada napona = 0 t.j.:

$$i R_s + i_2 R_k + i_2 \cdot R_k \frac{F_0}{F_2} - i_1 R_k \frac{F_0}{F_1} - i_1 R_k = 0 \quad (5)$$

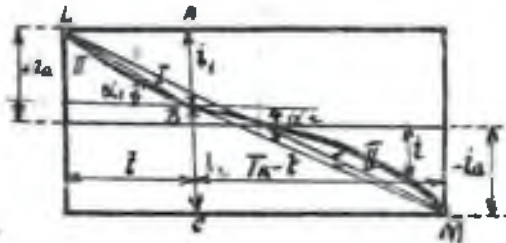
Izvedemo li u ovoj jednačini vrijednosti za i_1, i_2, F_1, F_2 iz jednačine 2-4 te stavimo

$$\frac{R_s + 2 R_k}{R_k} = K_1 \quad (6)$$

te dobijemo za struju kratkog spoja: i u ovisnosti od vremena računamo od početka kratkog spoja t .)

$$i = i_a - \frac{T_k (T_k - 2t)}{T_k^2 + K_2 L (T_k - t)} \quad (7)$$

Sl. 3.



Slika 3. prikazuje za $K_2 = \frac{1}{5}$ u krivulji II. prolazak struje je kratkoga spoja. Zanimljivo li otpor svitka i otpor spojnice sa lamelama ($K_2 = 0$), što je praktički uvijek do.

zvoljeno, onda prolazi krivulja prelaza ravno - to je krivulja I. Za vrijeme $t = 0$ (početak komutacije) slijedi iz jednačine 7. $i = i_a$; a za $t = T_k$ (svršetak komutacije) $i = -i_a$.

Viši li se takle komutacija jedino pod utplivom otpora kratko spojenog kruga (otporna komutacija) - onda je krivulja prelaza: pravac.

Za vrijeme t je gustoća struje na ploštini doticaja kefice sa lamelom 1:

$$s_1 = \frac{i_1}{F_1} = \frac{T_k}{F_1} \cdot \frac{i_1}{t} \quad (8)$$

a na ploštini doticaja sa lamelom 2:

$$s_2 = \frac{i_2}{F_2} = \frac{T_k}{F_2} \cdot \frac{i_2}{T_k - t} \quad (9)$$

Struju i_2 nađemo:

$$i_1 = i_a - i$$

$$i_2 = i_a + i$$

U slici 3. pronade se vrijednost i_1 kao razmak točka krivulje prelaza od gornje strane pravo, kutnika, koja leži u udaljenosti i_a od apscise.

Na isti način pronade se struju $i_2 = i_a + i$ kao razmak točka krivulje prelaza od donje strane pravokutnika, koje je također u udaljenosti i_a od osi apscisa. Tako je n. pr. za vrijeme t $i_1 = AB$, te $i_2 = BC$

jer je :

$$S_1 = \text{konst.} \cdot \frac{i_1}{t} \quad \text{te} \quad S_2 = \text{Konst.} \cdot \frac{i_2}{T_k - t}$$

vrjednosti :

$$\begin{aligned} \frac{S_1}{S_2} &= \text{konst.} \cdot \frac{i_1}{i_2} \equiv \text{tg } \alpha_1 \\ \frac{S_1}{S_2} &= \text{konst.} \cdot \frac{i_1}{T_k - t} \equiv \text{tg } \alpha_2 \end{aligned} \quad (10)$$

Odgovarajuće gustoće S_1 , te S_2 na ploštincima dotičaja sa lamelom dobiju se prema tome, ako se spoji dotične točke krivulje prelaza sa uglom α te α pravokutnika, te vuče horizontalu kroz točku. tg tako dobivenih kutova daje direktnu mjeru gustoće struje. Na slici 3 vidi se, da je gustoća struje za čitavu vrijeme komutacije po krivulji I. konstantna, t. j. ako je

$$K_2 = \frac{R_0 + L R_0}{R_2} = 0$$

Otpori kratko spojenih svitaka, te spojnice sa lamelom povećavaju, da postane gustoća na rubu, koji dolazi u doticaj, i na rubu, koji odlazi iz doticaja veća, nego to odgovara komutaciji po pravcu.

Pretpostavili smo bili širinu kefice jednaku širini lamele. Pokrije li kefica više lamela, te ima, mo $K_2 = 0$, može se na sličan način prikazati, da je također u ovom slučaju krivulja prelaza pravac, ako nemamo el. m. sila u kratko spoju, nom krugu.

d.) Uvijeti za gustoću = 0 na rubu odlaska.

U ovom slučaju moramo najprije odrediti rezul. tirajnu is el. m. sila, koje djeluju u kratko spojenom svitku, da dobijemo gustoću = 0 (rubu, koji napusti lamelu).

Uvažimo za sada ovu el. m. silu sa : e_p , te

zanemarimo li otpore kratko spojenog vitla i spojnice sa lamelama, onda slijedi iz jedn. 5:

$$i_2 R_0 \cdot \frac{F_0}{F_2} - i_1 R_0 \cdot \frac{F_0}{F_1} = e_r \quad (11)$$

Umetnemo li za i_2 , i_1 , F_2 i F_1 vrijednosti iz jedn. 2 i 4 te stavimo

$$\frac{e_r}{2 i_a R_0} = K_2 \quad (12)$$

dobimo za struju kratkoga spoja jednadžbu:

$$i = i_a \cdot \frac{2 K_2 (T_K - t) t - T_K (2t - T_K)}{T_K^2} \quad (13)$$

Za $t=0$ daje namu jednadžba $i = +i_a$, a za $t = T_K$: $i = -i_a$.

Struja i_2 , određena je jednadžbom

$$i_2 = i + i_a = 2 i_a \cdot \frac{K_2 (T_K - t) t + T_K (T_K - t)}{T_K^2}, \quad (14)$$

a gustoća struje:

$$s_2 = \frac{T_K}{F_2} \cdot \frac{i_2}{T_K - t} = 2 i_a \cdot \frac{K_2 (T_K - t) t + T_K (T_K - t)}{T_K \cdot F_2 (T_K - t)} \quad (15)$$

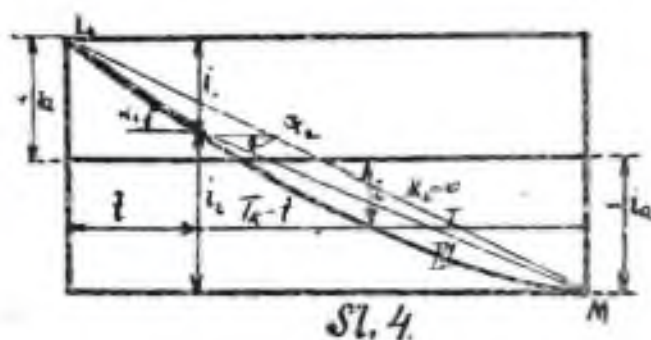
Da se odredi vrijednost gustoće na rubu odlaska, moramo u gornju jednadžbu staviti $t = T_K$. Time dobimo neodređenu veličinu $\frac{0}{0}$. Diferenciranjem:

$$s_{21} = s_{T_K} = \frac{2 i_a}{F_2} (K_2 + 1) \quad (16)$$

Ako je rezultirajuća el. m. sila svih sila, što djeluju u kratko spojenom krugu tako velika, da je:

$$K_2 = \frac{e_r}{2 i_a R_0} = -1 \quad (17)$$

ouda je gustoća struje na rubu odlaska ∞ . Rezultirajuća el. m. sila u kratko spojenom (svitku) krugu mora biti prema tome jednaka padu napona u otporu prelaza. Ovaj rezultat vrijedi u prvom redu za uslov, da je širina Refice jednaka širini lamele. No on, vrijedi približno i onda, ako je širina Refice veća nego širina lamele. Tok krivulje prelaza

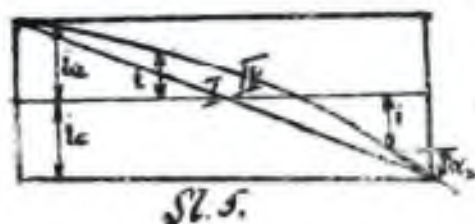


$i = f(t)$ za $K_2 = -1$ pri kašnjenju slike broj 4. Na sivičkom vremenu kratkoga spoja ima skoro tan, gancijski prolaz, te je jednaka $(-i_a)$. Prema tome sa i_2 , te $S_2 = K_{st} \cdot t_{p2}$ skoro ∞ . Za vrijeme

$$t = T_k \text{ je } S_2 = 0.$$

e. Upliv el. m. sile samoindukcije.

Za vrijeme T_k mora se struja u kratko spojenom svitku promijeniti od $+i_a$ na $-i_a$. To prouzroči odgovarajuću promjenu toka rasipanja, prema tome i el. m. silu samoindukcije u svitku. Jer je to el. m. sila samoindukcije, to nastoji svaku promjenu pre. priječiti, pa odgađa komutaciju. Prema komu-



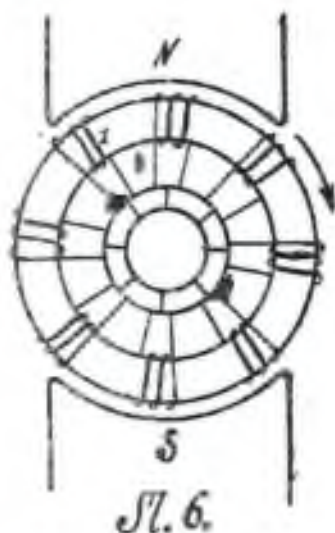
taciji u pravom, odmakne se krivulja prelaza u tom slučaju naprama gore - slika broj 5. - Krivulja IV. U svako vrijeme t je struja kratkoga spoja: i veća

nego to odgovara pravcu $\bar{I}$. Na kraju kratkoga spoja je apsolutna onijednost struje u kratko spojem svitku bitno manja nego i_a , a prema tome je

gustoća na rubu odlaska (γ_{d2}) velika. Glavni uzrok iskra leži u odgađanju, što ga prouzroči el. m. sila samoindukcije u kratko spojenom svitku.

f.) Upliv magnetičnog polja.

Od magnetičnog polja (glavnih polova) u kratko spojenom svitku, inducirana el. m. sila, može komutaciju ili odgađati ili pospješiti i to prema položaju kratko spojenog svitka u polju, tj. prema položaju četice na komutatoru. Slika broj 6.



prikazuje generator sa prstima, nastom armatarom. Četice su odmaknute tako daleko iz neutralne zone, da ima demokomutaciju u jakom polju. Svitar 1 prelazi od donje grane na gornju tj. smjer struje donje grane promijeni se u smjer gornje.

Na jer leži svitar za vrijeme komutacije pod utjecajem sje,

vernog pola, inducira ovaj pol u svitku već za vrijeme komutacije struju smjera, što ga ima struja poslije dovršene komutacije. Polje pospješuje prema tome komutaciju. Ako bi u slici 6 odmaknuli svitke protiv smjera struje, bio bi smjer u svitku za vrijeme komutacije inducirane struje suprotan smjeru, tu poslije dovršene komutacije. Onda bi polje odgađalo komutaciju. Uopće onijedi:

Odmaknu li se četice kod generatora u smjeru a kod motora protiv smjera vrtanje, pospješuje magnetsko polje komutaciju. Odukcije u suprotnom smjeru odgađa komutaciju

Pravilnim odvijanjem Refice može se odgata, nije radi samoindukcije djelovnice ili sasvim komutirati.

g. Upliv polja armature.

Da upotrebimo upliv treće el. m. sile u kratko spojenom svitku, koju inducira polje armature, promatrao sliku III-23. Kako je to već bilo spomenuto, polje je armature u stanju mirovanja usprkos okretanja armature. Vodiči armature miču se protiv polja armature istom brzinom, kako i napram polja glavnih magneta. U pojedinim granama, od polja armature, inducirane el. m. sile uništavaju se, jer su Refice u osovini toga polja. Prema tome nemogu ove el. m. sile prouzročiti struju. Ali el. m. sila, što ju proizvode polje armature može u kratko spojenom svitku prouzročiti struju i to u krugu, kojega tvori svitak, spojnice sa komutatorom i Refice.

Na lijevoj strani armature - sl 23. III - izlaze orte indukcije iz armature, isto tako kao na južnom polu S; t. j. u neutralnoj zoni na lijevoj strani ležće, kratko spojene svitke inducira polje armature u istom smjeru, kao što je bilo to od glavnog polja u ovoj grani, koju su svitci napustili. Polje armature odgata prema tome komutacija ista tako, kao i el. m. sila samoindukcije.

Djelovanje polja armature leži u tome, da odmakne neutralnu zonu i to kod generatora u smjeru vrtulj, tako da leže Refice, ako ih pustimo u geometrično neutralnoj zoni u sasvim nepravilnom polju, t. j. komutacija u opsegu južnog pola.

Prijeko polje armature je s obzirom na R_{Σ} mutaciju i na rasturanje polja neugodno. Pravilno odabranim razmjerom - polovnik: polovni razmak (otprilike $\frac{1}{3}$), te razmjerom - amperzavoji armature: amperzavoji magneta može se učinak armature ograničiti. Što je veći razmjer AM magneta: ista armatura, to je manji učinak armature. Pravilni razmjer može se postići dostatnim rasporedom δ .

k.) Naponi: e_k e_2 e_3 e_4

e_k je napon u kratko spojenom svitku, kojega prouzroči gibanje kratko spojenog svitka u magnetskom polju. Ovo polje rezultira iz glavnog i poprečnog polja armature $\frac{W-3\delta}{2}$. Dinamično ovaj dio el. m. sile e_k odmah srednje sniženost svoga dipola, što ga trošimo za kompenzaciju srednje sniženosti:

$e_2 = \frac{1}{T_k} \int_0^{T_k} e_k dt$ el. m. sile samindukcije / napon vlastitog polja - II-3. - Eigenfeldspannung / sa:

e_3 = napon komutacije (Stromerdespannung), ovak je napon, koji prouzroči iskre za jednu lamelu među napon iskra (Funkenpannung): (18)

$e_4' = e_k - e_3$
 e_4' je mjera za povoljnu komutaciju. Upravo mora biti

$$e_4' < 5 \div 7 \text{ Volta} \quad (19)$$

Pokrije li Refica više lamela, onda imamo

$$S_k = K_2 \frac{1}{a}$$

svitaka u kratkom spoju, gdje K_2 znači razmjer

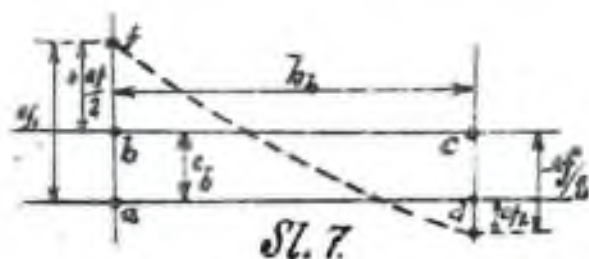
$$K_b = \frac{b_2}{\beta} = \frac{\text{širina kofice}}{\text{širina lamela}} \quad (20)$$

onda je napetost iskra čitave kofice (Bürstenspannung = spannung)

$$e_f \approx K_b \cdot e_b \quad \text{Volta} \quad (21)$$

Pomoću ove jednačine možemo odrediti gustoću struje s na rubovima - slika 7. - Vučemo li paralelno k pravcu ad u udaljenosti:

e_b = napon kofice
uzporednicu bc , onda nam taj pravac predstavlja krivulju potencijala kofice (Bürstenpotentialkurve) za slučaj, da je $e_f = 0$, i mjerna gustoća struje svuda jednaka, tj. da je krivulja prelaza pravac.



Slika 7.

Vučemo li od tačke c $ce = \frac{e_f}{2}$ napram dole, a od tačke b $bf = \frac{e_f}{2}$ prema gore, onda prolazi krivulja potencijala po Rostu. god. citi. fe. Napon

iskra na rubu, koji dolazi u doticaj (tačka 1) je onda:

$$e_{f1} = e_b + \frac{e_f}{2} = af$$

a na rubu, koji napušta lamelu:

$$e_{f2} = e_b - \frac{e_f}{2} = de.$$

Gustoća je struje na rubovima prema tome:

$$s_1 = s \cdot \frac{e_{f1}}{e_b}$$

$$s_2 = s \cdot \frac{e_{f2}}{e_b} \quad (22)$$

Ova gustoća mora ležati u dozvoljenoj granici /sve, ki materijal za kefice ima određenu maksimalnu vrijednost S_{max} /.

U određenom slučaju prolazi krivulja struje kratkoga spoja za vrijeme $t = T_k$ (Rako nam je to već poznato), horizontalno, isto ako je $e_2 = L e_1$. U tom je slučaju $S_2 = 0$, rub kefice, koji napusti lamu, tu nema napona.

Sajugodnije pođe komutacije imamo onda, ako leži krivulja prelaza između pravca i krivuljom, koja odgovara prelazu za $S_2 = 0$. U tome je slučaju napon iskra

$$e_1 \approx e_2 \quad (23)$$

2.) Vrijeme kratkoga spoja T_k , zona komutiranja L_k .

a.) Jednostavni petljasti namotaj

Među susjednim lamelama leži po jedan svitak. Lanemariamo li izolaciju među lamelama, jer je to mala veličina u razmjeru sa pogriješkom u položaju kefice, onda je vrijeme kratkoga spoja T_k jednoga svitka jednako vremenu, koje je potrebno, da protječe izolacija širinu kefice

$$T = \frac{b_k}{100 v_k} = \frac{b_r}{100 v} \quad (24)$$

gdje nam znači b_r na armature reduciranu širinu kefice

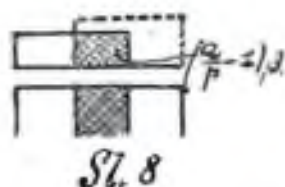
$$b_r = b_b \frac{D}{D_k} \quad 25$$

D = promjer armature D_k = promjer komutatora. Isto je tako na armaturu reducirana širina lamel:

$$\beta_r = \beta \cdot \frac{D}{D_k} \quad (26)$$

5.) Višestruka potijasta smotka.

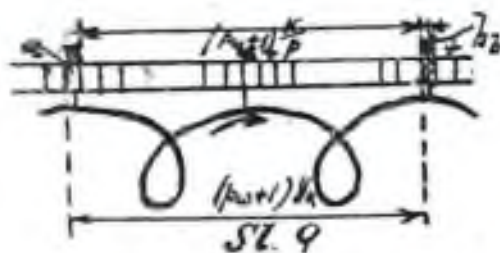
$\frac{a}{p}$ cio broj, onda leži jedan svitak armature između lamela 1 te lamela $1 + \frac{a}{p}$. Vrijeme kratkog spoja jednako je vremenu, koje je potrebno, da prođu lamela, što leže između lamela 1 i $1 + \frac{a}{p}$ t.j. $\frac{a}{p} - 1$ lamela od jednog ruba kefice do drugoga. Prema tome: slika 8



$$T_k = \frac{b_k - (\frac{a}{p} - 1) \beta}{100 \psi_k} \quad (27)$$

a) Serijski i serijsko-paralelni namotaji.

Između dviju istoimenih kefica leži $(p_k + 1)$ kratko spojenih svitaka, gdje nam p_k znači broj istoimenih kefica, koje smo isпустиili, i koje bi morale ležati između dvijema istoimenim keficama.



Između rubovima dviju kefica istoga predznaka, koje dolaze u doticaj - slika 9. - imamo udaljenost:

$(p_k + 1) \frac{\lambda_k}{p_k}$ lamela.

Udaljenost lamela,

sto leže ispod kefica, te koje su putem svitaka spojene jest:

$(p_k + 1) \gamma_k$ lamela

Dolazi li rub prve kefice A ravno u doticaj sa lamelom, onda leži već druga kefica B na

$(p_w + 1) \left(y_k - \frac{k}{p} \right) = \pm (p_w + 1) \frac{a}{p}$ širine lamele na lameli, jer moramo kod jednog ophoda ili za a lamela zaostati, ili prvi prekoračiti. Ako bi bilo $\frac{a}{p} = 0$, onda bi dvije istoimene kefice došle istodobno u doticaj, vrijeme kratkoga spoja bilo bi jednako vremenu, za koje su lamela a i b sa keficama A i B u doticaju. Ovo je vrijeme:

$$\frac{b_0 + \beta}{100 \nu_k}$$

Jer je $\frac{a}{p}$ uvijek različito od nule, su lamela a i b uvijek za $(p_w + 1) \frac{a}{p}$ lamela u svom položaju relativno ka keficama A i B jedna prema drugoj odmaknute, tako da je vrijeme kratkoga spoja termijerom odnicanja skraćeno. To skraćenje je neobisno o pozitivnom ili negativnom odnicanju. Prema tome je vrijeme kratkoga spoja vitaka kod serijskog namotaja:

$$T_k = \frac{b_0 + \beta - (p_w + 1) \frac{a}{p} \beta}{100 \nu_k} = \frac{b_0 + [1 - (p_w + 1) \frac{a}{p}] \beta}{100 \nu_k} \quad (28)$$

Ako je $p_w = 0$ onda je:

$$T_k = \frac{b_0 + (1 - \frac{a}{p}) \beta}{100 \nu_k} \quad (29)$$

Ova jednačina vrijedi također za jednostavni i višestruki petljasti namotaj, prema tome je općenita jednačina za sve namotaje.

Najveću važnost treba polagati na to, da su kefice apsolutno simetrično nastavljene; dafe, da je širina (kefice) β suda apsolutno jednaka.

Asimetrije prouzroče struje izjednačenja, koje mogu eventualno narasti i do velikih jakosti.

B.) Komutiranje volumena struje.



Jer su stepovi 1, 3, 5 slike broj 10 spojeni sa susjednim lamelama, to ulazi svaki step za vrijeme $\frac{\beta}{100 \cdot \omega_k}$ kasnije u kratki spoj nego prijašnji.

Imademo li u_k lamela t.j. stepova za širinu utora (u našoj slici 10. je 3) onda ulazi zadnji step gorijeg sloja za vrijeme $\frac{(u_k-1)\beta}{100 \cdot \omega_k}$ kasnije u kratki spoj nego prvi step. To vrijedi također i za donji sloj. Ulaze li stepovi 1 i 2 istodobno u kratki spoj, onda je vrijeme između početka kratkog spoja za prvi step i svršetka za zadnji step jednoga utora:

$$T_{m_0} = T_k + \frac{(u_k-1)\beta}{100 \cdot \omega_k} = T_k + \frac{(u_k-1)\beta_r}{100 \cdot \omega}$$

Jer je $u_k \beta_r = t_1$, i dalje $T_k = \frac{b_r + [1 - (1 + \mu_r)] \frac{a}{\mu} \beta_r}{100 \cdot \omega}$ dobimo za vrijeme komutiranja utora $- \epsilon_k = 0 -$

$$T_{m_0} = \frac{t_1 + b_r - (1 + \mu_r) \frac{a}{\mu} \beta_r}{100 \cdot \omega} = \frac{t_1 + b_r' - \beta_r}{100 \cdot \omega} \quad (30)$$

gdje je

$$b_r' = \left\{ b_r + [1 - (1 + \mu_r) \frac{a}{\mu}] \beta \right\} \frac{Q}{Q_k} \quad (31)$$

Širina zone komutiranja gorijega sloja jednoga utora za: $\epsilon_k = 0$

$$b_{k_0} = t_1 + b_r - (1 + \mu_r) \frac{a}{\mu} \beta_r \quad / \epsilon_k = 0 / \quad 32$$

Ako je korak u utovima za ϵ_k ravnaka b_r , mela prema ravnaku polova skraćena ili povećana, onda su gorije i donje strane svitka, ili stepova

koji su istodobno u kratkom spoju sa ovaj troj la, mela odmaknute, tako da dobijemo slijedeće opće, nite jednadžbe za vreme komutiranja, jednog a utora i za širinu zone komutiranja:

$$T_m = \frac{t_z + b_r + [\epsilon_k - (1 + \mu_w) \frac{a}{\lambda}] \beta_r}{100 \cdot \lambda} \quad (33)$$

$$b_k = t_z + b_r + [\epsilon_k - (1 + \mu_w) \frac{a}{\lambda}] \beta_r \quad (34)$$

$$\epsilon_k = \frac{k}{2p} - \frac{1}{2} (\gamma_z - 1) \quad (\text{vidi II -})$$

La ϵ_k nemoguće se uzeti koja god vrijednost, jer bi za prevelike vrijednosti ϵ_k jedan dio kratko spo, jenih vitaka leao izvan mrtve zone komutiranja, a jer nije moguće ϵ_k odrediti tako veliko, da iz, laze gornji stepovi prije iz kratkog spoja, nego li ulaze donji stepovi u kratki spoj. Zato je vrlo zgodno napraviti $\epsilon_k \beta_r < b_k$ (zona komutiranja za gornje stepove utora = b_k), jer ulaze onda donji stepovi u kratki spoj prije, nego li su izšli gornji iz toga spoja. Kopče se napravi ϵ_k još manji.

Polozaj kratko spojenih vitaka crisan je u prvom redu u koraku u utovima y_m . Ako je taj korak veći ili manji nego razmak polova, onda (za) su gornje i donje strane vitaka u utovima za isti iznos jedna napram drugoj pomaknute. Kratko spojene strane jednog a utora možemo i na taj način jednu napram dru, uoj pomaknuti, da odmaknemo sve pozitivne kofice relativno prema negativnim tako, da razmak kofice različite polaritete nije jednak razmaku polova.

Ovakovo odnicanje može biti ugodno, da ne izlaze istodobno dvije strane iz kratkoga spoja, jer je u tom slučaju napon stvaranja manji. U tu svrhu odmakne se pozitivne kefice za polovinu ili jednu lamelu naprijed, jer izlazi onda samo jedna strana kao kaduža utora iz kratkog spoja. Kratki se spoj u tom slučaju svodi na rubu pozitivne kefice /rub, koji odlazi iz doticaja/. Uopće vrijedi pravilo, da se odmaknu samo pozitivne kefice, a nikada negativne, jer su kod generatora negativne više osjetljive nego pozitivne, te prema tome ne podnose tako dobro iskrice stvaranja kao pozitivne.

3.) Za komutaciju potrebno polje.

Označimo li sa:

λ_k vodljivost polja rasipanja svitaka jednoga utora za 1 Amp i 1 cm dužine armature mjereno u Maxwell-ima (III. - 11)

Φ_k tok polja rasipanja jednoga utora

$b_r = b_s \cdot \frac{d}{d_k}$ na promjer armature reducirana širina kefice

$\beta_r = \beta \cdot \frac{d}{d_k}$ na promjer armature reducirana širina kefice.

$$\epsilon_k = \frac{k}{2\pi} - \frac{1}{2} (\psi_1 - 1) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{k}{\pi} - \psi_1 \right) \quad (\text{I.} -$$

k_w broj svitaka iste polaritete, koje smo spustili
 b_k širina zone komutiranja,

Onda imademo:

$$\Phi_N = t_2 \cdot AS \cdot l \cdot \lambda_N \text{ fluxwella} \quad (35)$$

gdje nam znači l dužina armature bez napora, t_2 razmak stora, AS volumen struje za 1 cm opsega armature.

Ovo se polje za vrijeme kratkoga spoja promijeni od $-\Phi_N$ na $+\Phi_N$ prema tome za $2\Phi_N$, te reče kod toga žice kratko spojenih vitaka. Broj žica je $\frac{p}{a} \cdot \frac{z}{k}$.

Inducirana srednja d.m. sila samoindukcije e_i jeste prema tome:

$$e_i = - \frac{2\Phi_N}{T_k} \cdot \frac{p}{a} \cdot \frac{z}{k} \cdot 10^{-8} \text{ Volta} \quad (36)$$

Ovoj vrijednosti jednaka, ali suprotnog predznaka mora biti napetost komutacije: e_s . Dakle:

$$e_s = -e_i = \frac{2\Phi_N}{T_k} \cdot \frac{p}{a} \cdot \frac{z}{k} \cdot 10^{-8} \text{ Volts} \quad (37)$$

Umetnemo li ovamo vrijednost Φ_N iz jednadžbe 35. dobivamo:

$$e_s = \frac{2t_2}{T_k} \cdot AS \cdot l \cdot \lambda_N \cdot \frac{p}{a} \cdot \frac{z}{k} \cdot 10^{-8} \text{ Volta} \quad (38)$$

Umetnemo dalje za T_k vrijeme potrebno za komutaciju volumena struje po jednadžbi 33. dobivamo:

$$e_s = 2 \left[\frac{p}{a} \cdot \frac{z}{k} \cdot AS \cdot l \cdot v \cdot 10^{-6} \right] \cdot \frac{t_2}{L_1 + L_r + [L_k - (1 + \mu) \frac{a}{k}] \beta_r} \cdot \lambda_N$$

Faktor: $\frac{p}{a} \cdot \frac{z}{k} \cdot AS \cdot l \cdot v \cdot 10^{-6} = A \quad (39)$

Zovemo konstantom armature. $A \leq 0,2$, za velike strojeve do 0,8, ako je $AW_1 + AW_2 \geq \tau \cdot AS$.

Kod strojeva sa velikim AS, ili sa velikom obodnom brzinom postane e_s 3 ÷ 5 puta veće, nego je dovoljeno za prostu komutaciju. Onda se mora uzeti pomoćne polove.

Faktor
$$\frac{t_s}{t_s + \bar{b}_r + [e_s - (1 + \gamma_{20}) \frac{q}{k}] \cdot \beta_r} = \frac{t_s}{b_k} = \psi \quad (40)$$

Kovemo faktorom vremena kratkog spoja (Leifaktor)

Prema tome je konačno:
$$e_s = 2 A \psi \lambda_r \quad (41)$$

Pokrije li kefica više lamela ($\kappa_b > 1$ vidi 20.), može se radi međusobne indukcije dodati 20%.

Dakle:
$$e_s' = 1,2 e_s \quad (41a)$$

Predviđa vrijednost $\lambda_r = 4 \div 6$ Maxwella / stupeni.
Za komutaciju bez iskra mora biti $e_s \leq 1 \div 3$ volta,

t. j. 1 za meki, 3 za tvrdi ugljen. Nadalje je

$e_s = 3,7$ maksimalno, ako se može kefice odmaknu, ti prema veličini tereta.

$e_s = 2,2$ dobra komutacija sa $\frac{1}{2}$ tereta, položaj stabilan

$e_s = 1$ ako moraju kefice ostati u neutralnoj zoni.

Za strojeve niskoga napona neka bude $e_s \leq 1$ Volt.
Da polase polja utora po mogućnosti jednolika, na, pravi se:

$$\frac{2\bar{b}_r}{\beta_r}, \quad 2e_k, \quad \frac{b_r + e_k \cdot \beta_r}{\beta_r} \quad \text{cijeli broj} \quad (42)$$

$$t_s \neq \bar{b}_r$$

6.) Napon e_K .

Jednadžba 41. odnosno 41a određuje veličinu e_s , koja je potrebna za kompenzaciju d. mot. sile e_a , indukcije e_i . Ali u kratko spojenom svitku in, inducira gibanje u magnetskom polju glavnih magnetâ i armature d. mot. silu kratkoga spoja: e_K [IV. - 1.k.] e_K će biti inducirano:

1) od polja u polnom namaku (III. - 10 c. j. 68)

$$e_K = 2 l_2 H S$$

l_2 se izračuna po jednadžbi II. 69 za ono mjesto, gdje leže kefice tj. neutralnoj zoni je $l_2 = l_{20}$ približno 2 ÷ 4. Ako su kefice odmaknute, je $l_2 = l_{20} = 3 \frac{1}{2}$.

2) Od promjene polja u kratko spojenom svitku, proizvedeno od struje kratkoga spoja, koja za vrijeme komutacije promjeni smjer. Prema tome radi se ovdje o polju onoga utora, u kojemu le, će kratko spojeni svitci. Prvim poljem saredili smo veličinu e_s .

Želimo li dakle dobiti induciranu d. mot. silu kratkoga spoja, t. j. e_K , moramo u jedw. 41 dodati još vodljivost l_2 .

Pokrije li kefica više lamela, moramo u, važiti i broj pokritih lamela, odnosno broj krat, Ro spojenih svitaka. Između rubova kefica leže $\frac{b_k}{\beta}$ lamela. A jer leži između lamela 1 te le, mele $(a+1)$ kod valovite omotke $\frac{p}{a}$ svitaka, to imamo između rubova kefica $\frac{b_k}{\beta} \cdot \frac{p}{a}$ svitaka armature, koji su istodobno u kratkome spoju. Ako $\frac{b_k}{\beta}$ nije cis broj, onda su izmjenice ili:

$\frac{1}{a} \cdot \left(\frac{b_2}{\beta}\right)_g$ ili $\frac{1}{a} \left[\left(\frac{b_2}{\beta}\right)_g - 1\right]$ svitaka istodobno u kratkome spoju. $\frac{1}{a} \left(\frac{b_2}{\beta}\right)_g$ znači sljedeći cio broj.

Imademo li kefice u neutralnoj zoni, onda vre,,
di:

$$e_{k_0} = 2 K_B \cdot \frac{1}{a} \cdot A (\psi \lambda_N + \lambda_{g_0}) \quad (43)$$

Odmaknemo li kefice iz neutralne zone i to tako daleko, da je e_x za puni teret jednako ali suprotno e_x za neopterećeni kret, onda je za odmaknute kefice:

$$e_k = K_B \frac{1}{a} \cdot A (\psi \lambda_N + \lambda_{g_0}) \quad (44)$$

Nakon je dakle kratkoga spoja e_x prema tome vri,,
san o opterećenju i položaju kefica. Dokuvljene su vri,,
jednosti 12 V za serijske strojeve (e_{x_0}), nadalje:

$e_{x_0} = 10$, $e_x = 9$ Volta za pojedne - ili općenito:

$$\begin{aligned} e_x &\leq 8 \text{ Volt za generatore} \\ e_x &\leq 10 \text{ " " motore} \end{aligned} \quad (45)$$

(Strojevi bez pomoćnih polova)

Po jednadžbi $E = -L \cdot v \cdot 10^{-8}$ mora biti e_s , jer je broj žica kratko spojenih svitaka, koji reću polje jednak:

$$e_s = -L \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{z}{k} \cdot l \cdot v \cdot 10^{-6} \text{ Volta} \quad / \text{ u metru} /$$

Iz jednadžbe 39. za faktor A slijedi:

$$e_s = -L \cdot \frac{A}{A_3}$$

Prema tome s obzirom na jednadžbu 41.

$$e_s = -L \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{z}{k} \cdot l \cdot v \cdot 10^{-6} = -L \cdot \frac{A}{A_3} = 2 A \psi \lambda_N \text{ Volta} \quad (46)$$

Iz ove jednačice irlari, da je napetosti e_s odgovara
rajuća indukcija:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_m = -L AS \psi \lambda_N \text{ Gaussa} \quad (47)$$

Želimo li, da je za krivoljnu komutaciju ispunjen
uvjet jednačice 43. $e_s \approx e_b$ t.j

$$e_s = \kappa_b (e_k - e_s) = e_b$$

ili što je isto:

$$e_k = e_s + \frac{e_b}{\kappa_b} \text{ Volt}$$

mora slično jednačici 46. $\therefore e_s = -L \frac{A}{AS} \therefore$ biti

$$e_k = -\mathcal{L}_k \cdot \frac{A}{AS}$$

ako označimo sa $\mathcal{L}_k$ indukciju, koja odgovara uslovu
jednačice 48. Jer je $e_s = 2A\psi\lambda_N$ (41) volimo:

$$-\mathcal{L}_k \cdot \frac{A}{AS} = 2A\psi\lambda_N + \frac{e_b}{e_k} \text{ odnosno:}$$

$$-\mathcal{L}_k = 2AS\psi\lambda_N + \frac{e_b}{e_k} \frac{AS}{A} \text{ Gaussa} \quad (49)$$

U tom slučaju vrši se komutacija po krivulji, koja
leži u medini između krivulje prelaza za ravnu, i za
komutaciju po tangenti. Hoće li se postići komutacija po
tangenti, mora se u jednačicu 49. umetnuti namjesto
 e_s veličina $2e_b$.

Kopće se računa sa poljem komutacije:

$$\mathcal{L}_k = 700 - 1600 \text{ Gaussa}$$

Ako je potrebno jače polje, mora se uvesti pomoć
ne polove, te komutaciju privoliti.

c.) Napon prelaza e_m .

Napon prelaza definiramo kao napon između kefice i lamele. Ako nije lokalna gustoća struje na čitavoj ploštini kefice svuda jednaka, to imamo na čitavoj ploštini ovim naponom e_b još i dodatni neki pad napona, tako da dobimo prelazni napon e_m , kojeg računamo po iskustvu po jednadžbi:

$$e_m = e_b + \frac{e_b^2}{12e_b} \quad (50)$$

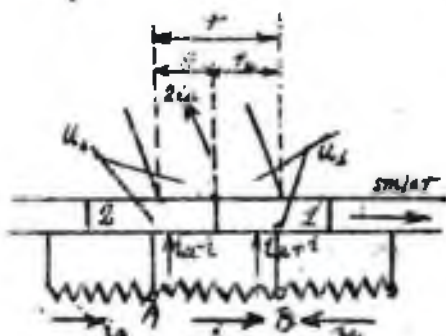
Obratom na gubitke zbog Jouleove topline, treba gledati, da je:

$$e_m < 6 \text{ Volta}$$

Dolazi li se sa naponom iskra e_f do dozvoljene granice, može se uložiti između namotaja i lamele komutatora otporne spojke. Za komutaciju je veoma ugodna velika indukcija u zubovima zbog upliva na poprečno polje armature. (1-g).

4. Prosudivanje komutacije, potencijalne krivulje.

Jednadžbe za linearnu komutaciju slijede iz Kirchhoff-ovog zakona: Zbroj svih el. m. sila u zatvorenom krugu jednaka je sumi svih produkata iz ja. kosi struje i otpora u pojedinim dijelovima kruga.



Sl. 15

Odabrani smjer u kratko spojenom krugu - slika 11 je: Svitak, točka B, lamela, kefica, lamela, točka A te svitak;

e_i , elektromotorna sila samoindukcije djeluje u smjeru i ; e_s , e.m. sila komutacije u protivnom. Suma je dakle e.m. sila $e_i - e_s$. Ova suma mora biti jednaka sumi svih produkata iz jakosti struje i otpora. U ovisnom smjeru vrijedi dakle, ako uzmemo znakove slike H odnosno 1-c:

Prelazni otpori r_1 te r_2 određeni su, ako je r otpor totalne ploštine doticaja:

$$r_1 = r \frac{T_k}{t} \quad r_2 = r \frac{T_k}{T_k - t} \quad (51)$$

$$e_i - e_s = iR_s + (i_a + i)r_1 + (i_a + i)r \frac{T_k}{T_k - t} - (i_a - i)r \frac{T_k}{t} - (i_a - i)R_s$$

Kdružimo li pojedine članove dobimo:

$$e_i - e_s = i(R_s + 2R_s) + (i_a + i)r \frac{T_k}{T_k - t} - (i_a - i)r \frac{T_k}{t}$$

Jer je $e_i = -L \frac{di}{dt}$ slijedi:

$$L \frac{di}{dt} + e_s + i(R_s + 2R_s) + (i_a + i)r \frac{T_k}{T_k - t} - (i_a - i)r \frac{T_k}{t} = 0 \quad (52)$$

Uслов za linearnu komutaciju glasi: Suma kvadrata svih članova mora biti jednaka nuli t.j.

$$(i_a + i)r \frac{T_k}{T_k - t} - (i_a - i)r \frac{T_k}{t} = 0 \quad (53)$$

U tome je slučaju

$$i = i_a \cdot \frac{T_k - 2t}{T_k} \quad (54)$$

jednadžba pravca. Diferenciranjem dobimo: $\frac{di}{dt} = -\frac{2i_a}{T_k}$

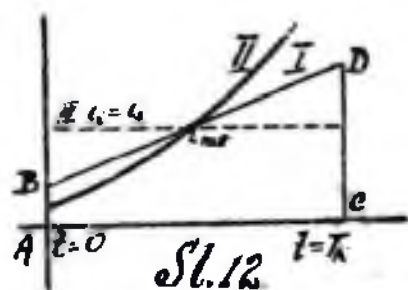
$$e_i = -L \frac{di}{dt} = i_a \cdot \frac{2L}{T_k} \quad (55)$$

Umetnemo li 55 u 52 dobimo:

$$e_s = i_a \left[L \cdot \frac{2}{T_k} - (R_s + 2R_v) + 2(R_s + 2R_v) \frac{t}{T_k} \right] \quad (56)$$

Za početak, i za vršetak kratkoga spoja vrijedi:

$$\begin{aligned} t=0 & \quad 1) \quad e_s = i_a \left[\frac{2L}{T_k} - (R_s + 2R_v) \right] \quad \text{tj. } AB \text{ u sl. 12} \\ t=T_k & \quad 2) \quad e_s = i_a \left[\frac{2L}{T_k} + (R_s + 2R_v) \right] \quad \text{tj. } CD \text{ " " " } \quad (57) \end{aligned}$$



a.) Jednadžba 56. je jednadžba pravca. Ordinare e_s nacrtane u ovisnosti vremena leže na pravcu BD, te označuju istodobno polje komutacije, jer je e_s tome polju proporcionalno: krivulja I. sl. 12.

β.) El. m. sila samoindukcije ima za linearnu komutaciju konstantnu vrijednost, jer imamo u jednadžbi 55. $e_i = L \frac{2i_a}{T_k}$ samo konstantne veličine.

γ.) Kopce se postigne samo približno linearno prolazanje polja, kao što ga pokazuje slika 12. To rodje je dostatno, ako je srednja vrijednost e_{sm} svih momentanih vrijednosti $e_s = f(t)$ između $t=0$ i $t=T_k$ jednaka teoretičkoj vrijednosti (5. sl. 12). U početku kratkoga spoja i. mademo onda prevelike, u vršetku prevelike el. m. sile e_s .

δ.) Zanemarimo li otpore R_s te R_v odnosno $(R_s + 2R_v)$, jer su to veoma malen otpori s obzirom na r_1 i r_2 , to slijedi iz jednadžbe 56

$$e_i = e_s$$

Polja komutacije moralo bi imati u zoni komutiranja konstantnu vrijednost (pravac II. slika 12.).
 Isto treba naglasiti, da mora biti ispunjena jedn. 53. za linearno komutiranje. Kako pak člano, vi jedn. 53. označuju potencijalne diferencije iz, među lamela i kefica, možemo pisati:

$$U_1 - U_2 = 0 \quad (58)$$

II.

Jedna kefica dovede više svitaka u krat. spoj.

Pretpostavili smo bili, da je širina kefice jednaka širini lamela. No ako je širina veća, onda dovede kefica više svitaka istodobno u kratki spoj. Samoindukaciji posmatranog svitka moramo dodati i međusobnu indukciju drugih kratko spojenih svitaka. Ali jer je sada vrijeme kratkoga spoja produženo, izjednači se većinom uticaj međusobne indukcije. Ovu bi dakle mogli sasvim zanemariti, ako T_k označuje kao i prije: vrijeme kratkoga spoja kod širine kefice, koja je jednaka širini lamela.

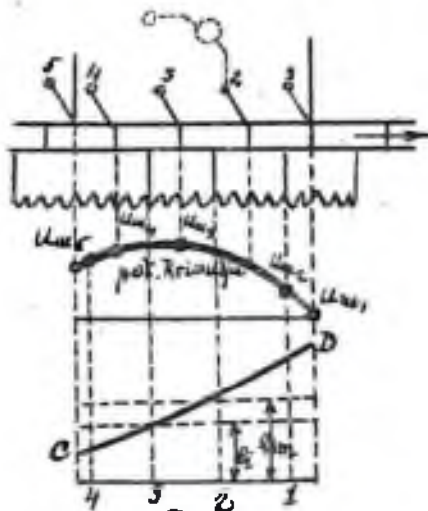
Prema tome razdijelimo čitavo vrijeme kratkoga spoja u toliko dijelova T_k , koliko imademo kratko spojenih svitaka. Tehičine R_s te R_o ćemo zanemariti, jer su male u odnosu na r_1, r_2 i r .

Izlaženje polja neće biti linearno; prema tome moramo računati sa srednjim vrijednostima napona e_s , koje su inducirane u svitcima za vrijeme $t=0$ do $t=T_k$; dakle sa: $e_{s1}, e_{s2}, e_{s3} \dots$ itd. Isto vrijedi za potencijalne diferencije U t.j: $U_{m1}, U_{m2}, U_{m3} \dots$ itd. Sl. 13.

U_{m2} je dakle srednja vrijednost na rubu, koji napusti lamelu, U_{m1} na rubu, koji dolazi u doticaj sa lamelom. El. m. silu e_i smatramo za konstantnu jer idemo za tim, da bude konstanta linearna i tom je slučaju $\frac{di}{dt} = \text{const.}$ Uvedemo potencijalnu diferenciju, te zanemarimo li R_s i R_v , pretvori se jedn. u:

$$L \frac{di}{dt} + e_s = U_2 - U_1$$

$$e_s - \frac{2ia}{T_k} L = U_2 - U_1 \quad (59)$$



Sl. 13.

Slične jednačine dobićemo i za više svitaka u kratkom spoju, samo moramo uvesti srednje vrijednosti i one T_k , kako je to bilo prije rečeno:

$$e_{sm1} - \frac{2ia}{T_k} L = U_{m2} - U_{m1}$$

$$e_{sm2} - \frac{2ia}{T_k} L = U_{m3} - U_{m2}$$

...

$$e_{sm(x-1)} - \frac{2ia}{T_k} L = U_{mx} - U_{m(x-1)}$$

(60)

Uzmemo li iz ovih srednjih vrijednosti opet srednjicu

$$e_{sm} = \frac{e_{sm1} + e_{sm2} + \dots + e_{sm(x-1)}}{x-1}$$

te nadalje sumiramo sve $x-1$ jednačine, slijedi:

$$U_{mx} - U_{m1} = (x-1) e_{sm} - (x-1) \frac{2ia}{T_k} L \quad (61)$$

$(x-1)$ je broj kratko spojenih (strana) svitaka. Jer je s_n s broj strana; $\frac{s_n}{2} = (x-1) = \frac{2}{x} \cdot \frac{n}{60} \cdot T_k$ te $e_i = -L \frac{di}{dt} = ia \cdot \frac{2L}{T_k}$ dobimo:

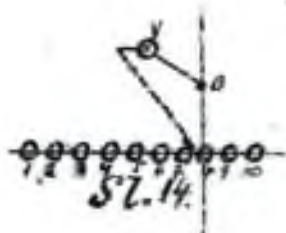
$$U_{m2} - U_{m1} = \frac{s}{2} \frac{n}{60} T_K e_{sm} - \frac{s}{2} \frac{n}{60} T_K e_i \quad (62)$$

(Ako je T' vrijeme jednog skretaja, to jest vrijeme potrebno, da prođu svi $\frac{s}{2}$ svitki armature jedan put ispod kefice, tada je: $T_K : T' = 1 : \frac{s}{2} = \frac{2}{s}$, ako je T_K vrijeme kratkog spoja jednog svitka. Jer je $T' = \frac{60}{n}$ jeste $T_K = T' \cdot \frac{2}{s} = \frac{60}{n} \cdot \frac{2}{s}$. Spoji li kefica $\frac{s_K}{2}$ svitaka istodobno kratko, onda je: $T_K = T' \cdot \frac{s_K}{2} = \frac{60}{n} \cdot \frac{s_K}{2}$. Prema tome: $\frac{s_K}{2} = \frac{s}{2} \cdot \frac{n}{60} \cdot T_K$).

Dobivanje potencijalnih krivulja.

Preduje vrijednosti $U_{m1}, U_{m2}, \dots$ leže na krivulji, koja zovemo potencijalna krivulja kefice. Možemo je dakle eksperimentalno odrediti.

Za mjerenje upotrijebi se voltmetar do približno 3 volta najbolje sa otklonom na obje strane. Voltme-
tar spoji se sa pojedinih točkama kratko spojenih la-
mela (u udaljenosti širine lamele) i sa Keficom (Spojka
sa šifkom). Obično se mjeri potencijalna diferencija na
rabu, koji dolazi u doticaj, na rabu, koji napušta lame-
lu, te u sredini kefice. Mjerene vrijednosti svine o po-
ložaju voltmetra kod dotičnog mjerenja, tove ordinate
potencijalne krivulje - sl. 13. - Pokus nam pokazuje,
da imaju sve točke kefice naprama jednoj točki komu-
tatora isti potencijal. Razlika je tako malena, da ne do-
lazi u obzir. Mjerimo li napon
između A na kefici i točka
1 ÷ 10 na komutatoru - sl. 14. -
dobimo sasvim različite nape-
tosti. Kod nad i pod Romu-
tacije dobiju se pozitivne
i negativne napetosti ispod
jedne te iste kefice. Pokus se



lako izvodi tako, da se kod neopterećenog kreta kofice odmaknu u polje (nadkomutacija) ili kod opterećenog kreta odmaknu iz polja (podkomutacija).

Prolaz obratne napetosti. (Umdespannung).

Pišemo jednačinu 60. oblikom na jednačinu 60 u obliku:

$$e_{sm1} = e_i + u_{m2} - u_{m1}$$

$$e_{sm2} = e_i + u_{m3} - u_{m2} \dots$$

Imademo jednostavni način konstrukcije e_i krivulje, jer prikazuje ordinate ove krivulje u drugoj mjeri polje komutiranja. Ako je e_i poznato (izračunato), onda do, bimo apsolutne vrijednosti e_i pomoću gornjih jednačina. Treba nam samo potencijalna krivulja kofice. Za ove namemo srednje vrijednosti $u_{m1}, u_{m2} \dots$. Želimo li upotrijebiti samo prolazak polja komutacije odnosno e_i krivulje, onda je dovoljno, da namemo za e_i kojegod vrijednost. Ovakvu konstrukciju prikazuje slika 13. e_i smo odabrali. Za apscisu 1, 2, 3... nađemo ordinate $e_i +$ diferenciju $u_{m2} - u_{m1}$ $u_{m3} - u_{m2} \dots$ te smo konačno dobili e_i krivulja.

Kod strojeva bez pomoćnih polova imademo najugodniju komutaciju, ako je:

$$u_{m2} - u_{m1} = u_{m3} - u_{m2} = u_{m4} - u_{m3} \dots = 0 \quad (63)$$

t. j. ako su srednje vrijednosti u_m međusobno jednake.

Onda je također $e_i = e_{sm1} = e_{sm2} \dots$

Ove jednačine pretpostavljaju konstantno polje komutiranja, što se kod proste komutacije bez pomoćnih polova ili bez namotaja za kompenzaciju ne može postići.

Kod problema komutacije govori se o:

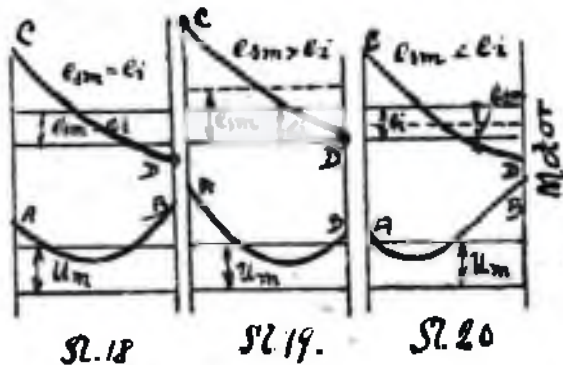
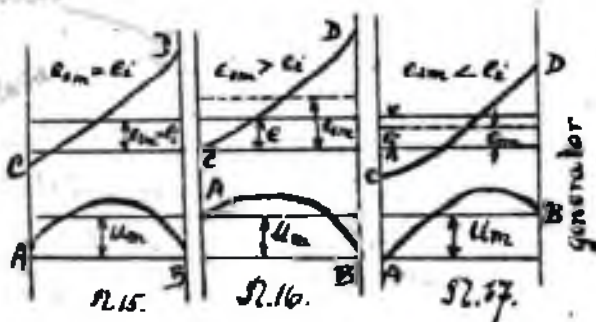
a) pravilnoj komutaciji, ako su srednje vrijednosti po-
tencijala na rubovima kefice međusobom jednake:

$$U_{m2} = U_{m1}, \quad e_{sm} = e_i$$

β) nadkomutaciji, ako je $U_{m2} > U_{m1}$ dakle $e_{sm} > e_i$

γ) podkomutaciji, ako je $U_{m2} < U_{m1}$ " $e_{sm} < e_i$

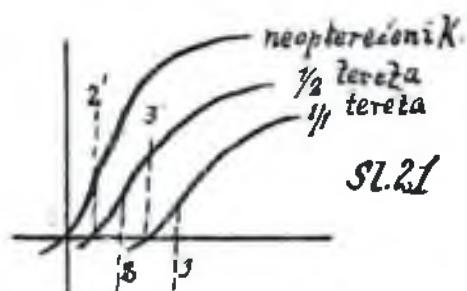
Slike 15 ÷ 20 prikazuju karakteristične polencijalne
krivulje za generator 15 ÷ 17, te za motor 18 ÷ 20 sa



prikladnim krivuljama
polja e identične sa e_s kriv/
Ovdje treba uzeti, da imamo
jače polje kod generatora na
rubu odlaska, jer smo
odmaknuli kefice u
smjeru vrtnje. Kod mo-
tora imamo na rubu od-
laska slabije polje. Točka
B odgovara u slici 15 ÷
20. rubu dolaza, D ru-
bu odlaska. Slike 16.
je osobito karakteristična.

Granicu nadkomutacije smo dostigli, ako krivulja
obzirom na rub odlaska pada bliže do nule. Tad
ispod nule nije dorasla. Važno je: Sa rastućom
strujom i_a tj sa rastućim opterećenjem raste napetost
samoindukcije e_i . Imali smo $e_i = L \cdot i_a \cdot \frac{1}{T}$. Iz jednad-
be 61. slijedi, da bi morali u tom slučaju također e_{sm} ras-
ti, prema tome i obratno polje, ako hoćemo, da osta-
ne komutacija pravilna.

Ako je polje komutacije konstantno, onda bi imali sa rastućim opterećenjem podkomutaciju, sa padajućim nadkomutaciju. Kefice moramo prema tome po teretu naručavati.



Sl. 21

a) Neopterećeni Kret: $i_a = 0$. Kefice moraju biti u neutralnoj zoni, jer je $e_i = 0$. Točka 1 slika 21.

b) Kod opterećenja je polje armature uspor, da se neutralna zona pomakne. Ali ovdje nije dostatno odmaknuti Kefice u novu neutr. zonu (2' od 3').

Da dobimo odgovarajuće polje komutiranja moramo Kefice još nešto dalje pomaknuti i to do točke 2 za $1/2$, a do točke 3 za puni teret.

c) Pustimo Kefice u jednom te istom položaju (slika 21.) te povećamo uzbuđenje magnetima, onda podignemo krivulju polja i time također polje komutacije. Posljedica je nadkomutacija. Isto se dogodi, ako se kod konstantnog položaja Kefica i uzbuđenja opterećenje umanjuje, jer se n. zona opet približi n. zoni za neopterećeni Kret, u kojem je slučaj dodatno i slabije polje komutacije.

d) Lično proučavati variranje tereta kod konstantnog uzbuđenja ili umanjivanje uzbuđenja kod konst. tereta podkomutaciju. U prvom slučaju bi nam trebalo jače polje komutacije, a u drugom slučaju se ovo polje umanjuje.

e) U praksi se traži konstantni položaj za sve terete. Onda se naravno Kefice tako, da stroj povaljno komutira za $2/3$ tereta. Za neopterećeni Kret imamo nadkomutaciju, a za puni teret podkomutaciju.

Br. inv. 74

Po predavanjima g. prof. M. Plohla.

J A K A S T R U J A I.

/ Istosmjerna struja. /

Svezak V.

STROJEVA I NJIHOV PRORAČUN.



I Izdanje.

Izdalo Udruženje slušača tehničkog fakulteta
u Zagrebu.

1. Gubitci u željezu.

Gubitci u željezu nastanu kod okretanja armature u magnetskom polju, teastoje iz gubitaka histerese H_h te gubitaka vrtložnim strujama H_v .

Za gubitke histerese imali smo Steinmek-ovu jednadžbu, / vidi I-1:

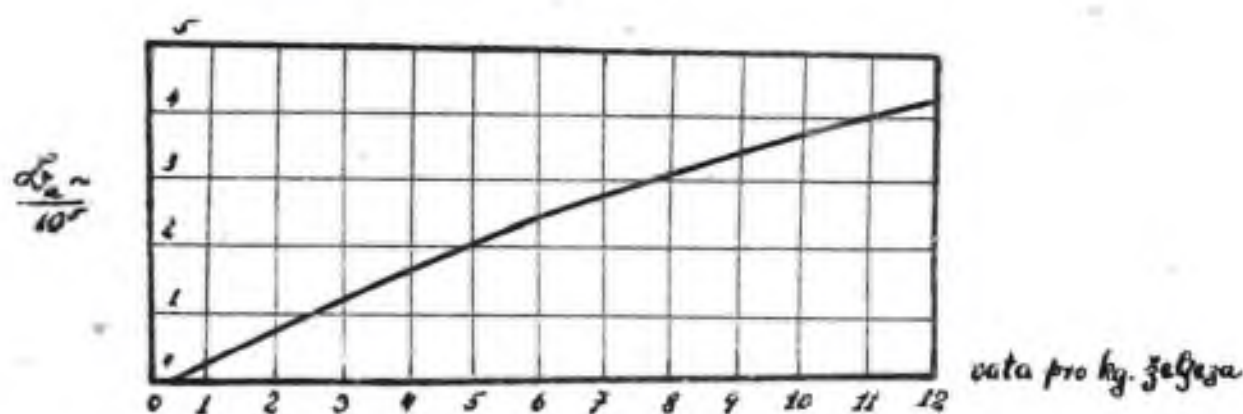
$$H_h = \frac{7 \cdot L^{1,6} \cdot v \cdot \nu}{10^7} \text{ vata} = \eta L^{1,6} \frac{G \cdot \nu}{7,8 \cdot 10^4} \text{ vata. (1)}$$

Do $L = 10000$ Gauss odgovaraju ove jednadžbe približno točno, iznad 10000 Gaussa daju nam premale vrijednosti.

Vrtložne struje nastanu u limu armature, u svorniku, u lamelama kolektora, u stopolu, osobito na rubu; da se ovaj gubitak što jače umanjuje prave se stopola iz lima ili lijevanog željeza, jer je spec. otpor lijevanog željeza bitno veći nego čelika ili lima.

Izračunavanje gubitaka vrtložnim strujama je tako netačno, da se obično upotrebi ili krivulje, koje odgovaraju velikom broju izvođenih strojeva te sadržavaju gubitke histerese i vrtložnih struja, ili se gubitke odredi pomoću specifičnog gubitka dotičnog materijala.

Krivulja iz slike 1 daje gubitke u vatima na kg željeza armature. Mas tvorí ordinata $\frac{L \cdot \nu}{10^5}$, to je indukcija u željezu armature L puta broj perioda ν kroz 10^5 , debljina lima 0,5 mm. Za armaturu je dostatno, ako se uzme tim debljine 0,5. Kod većeg broja perioda je zgodno odabrati lim debljine 0,3 mm.



Sl. 1

U konačnom rezultatu ima se veoma malene varijacije, koji su bez ikakvog uticaja, ako se odredi gubitke te ih kako spomenuto izračuna pomoću specifičnog gubitka σ , kojega se odredi posebnom sprovom (Eppstein) pomoću izmjenične struje; to u vatima za kg onog materijala koji dolazi u obzir.

Najprije se odredi broj perioda t. j.

$$\nu = \frac{p \cdot n}{60} \quad (2)$$

onda težinu jezgre armature

$$G_u = \pi (D_a - h) \cdot K_2 \cdot h \cdot l \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \quad (3)$$

i zubova

$$G_z = z \cdot K_2 \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} l_z \cdot l \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \quad (4)$$

D_a promjer jezgre armature (od dna do dna utora)

h visina jezgre

K_2 faktor radi izolacije = 0,85 ÷ 0,9

l dužina armature bez raspona za kraćenje

z broj utora (zubova)

z_1, z_2 širina zuba na glavi i korjenu

l_z dužina zuba ili dubina utora.

γ krivulja za spec. gubitak $f(\sigma, \nu)$ slike

2 ÷ 6 dolije se sa izračunanim brojem ν i

sa debljinom za pojedine indukcije B_a B_z ,

B_{z1} B_{z2} sred. specifične gubitke σ_a σ_{z1} σ_{z2} sred

za zube vrijedi onda

$$\rho_z = \frac{\rho_{z0} + 4\rho_{z1} + \rho_{z2}}{6}$$

(5)

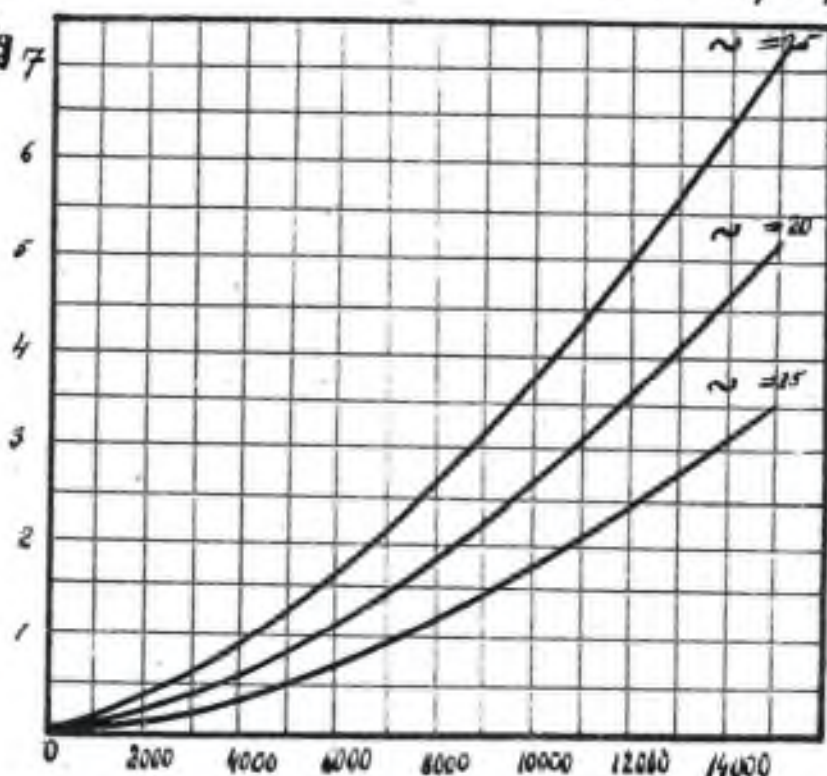
totalni gubitak u željezu

$$W_{Fe} = (1,2 \div 2) (G_a \rho_a + G_z \rho_z) \cdot 10^{-3} \text{ k vata} \quad (6)$$

faktor $1,2 \div 2$ uračuna dodatne gubitke prosvrtačar od promjene indukcije kod opterećenja, dalje gubitke radi nepotpune izolacije pojedinih ploča na rubu i t.d.

Obrisi lim debljine/papra.

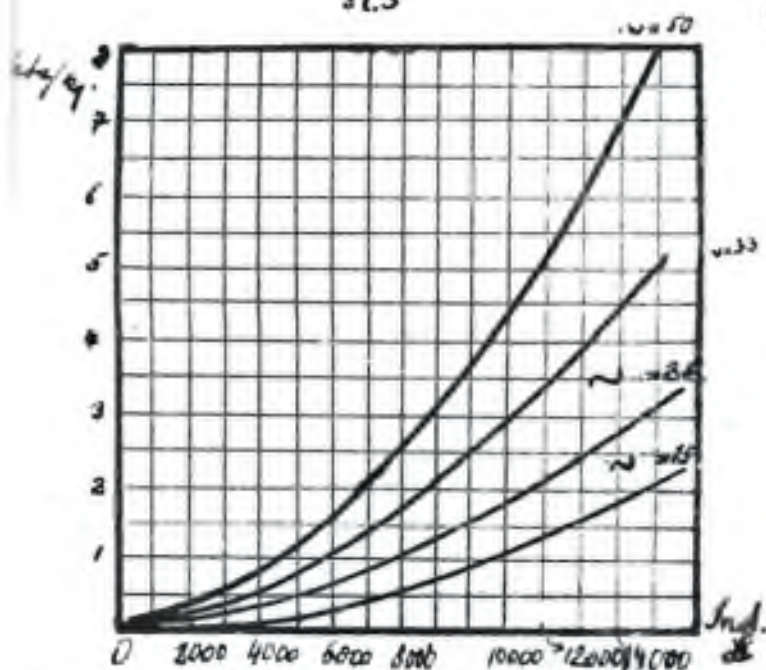
vata/kg



Indukcija

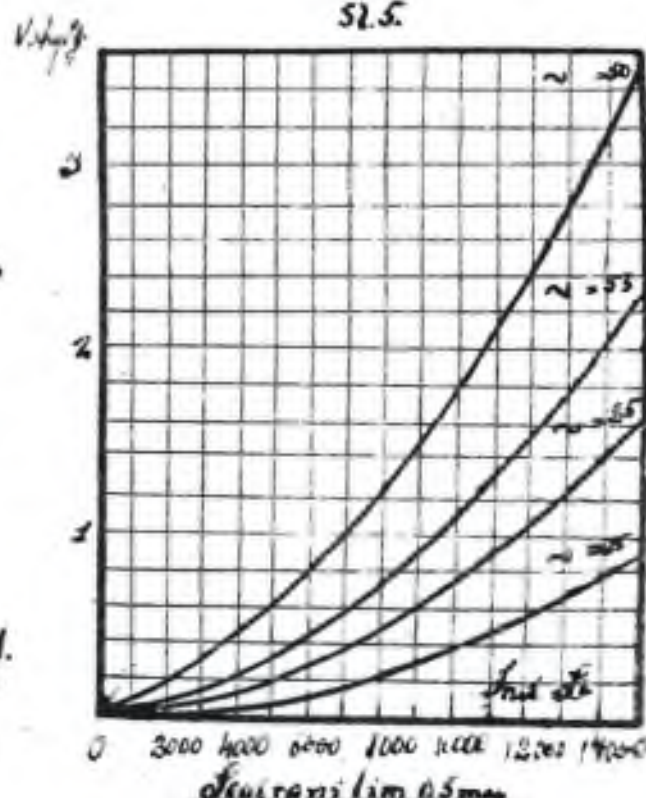
SL.2.

SL.3



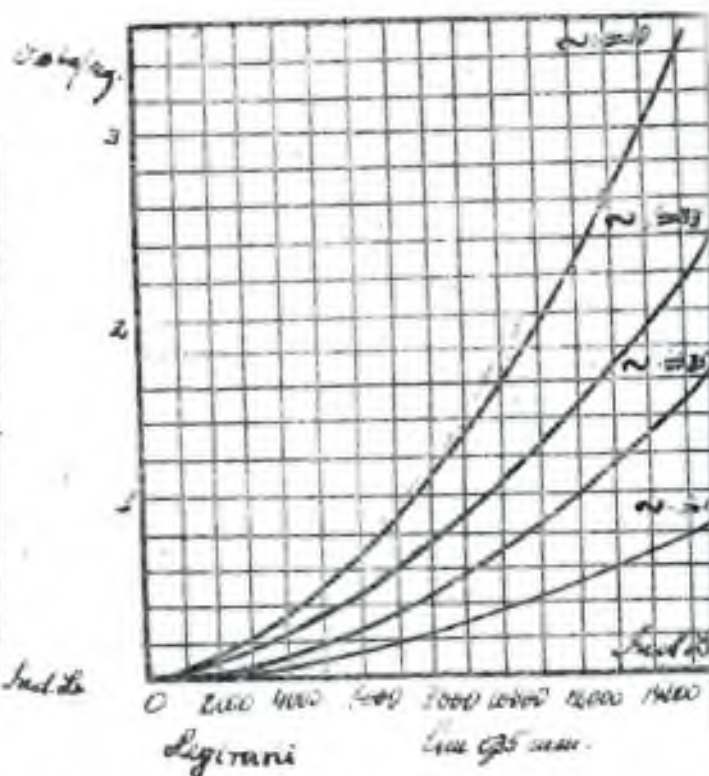
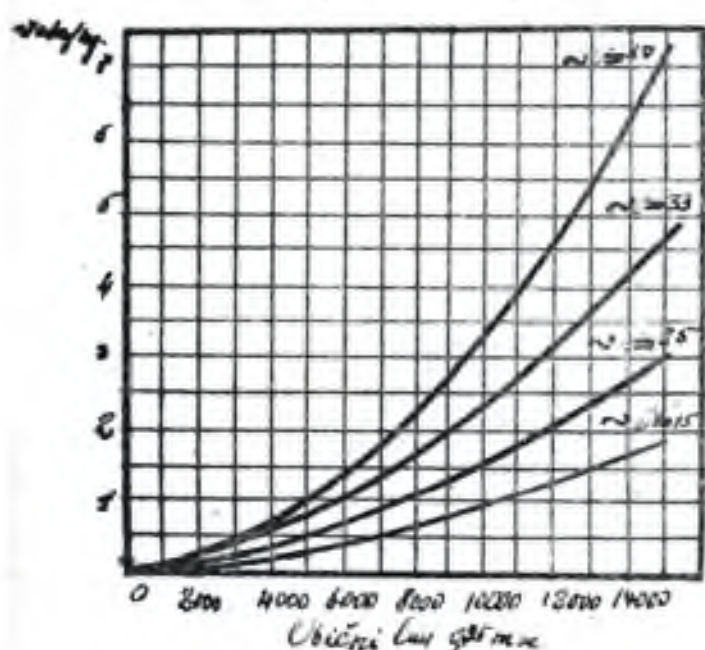
Obrisi lim 0.5mm.

SL.5



Obrisi lim 0.5mm

Sl. 4.



2. Gubici u bakru.

a. Namotaj:

znati li

$$l_a \approx l_n + 1,4l + 5 \text{ cm} \quad (7)$$

dužinu jednog štapa, ako uračunamo pripadajuću polovinu čeonih spojaka (dakle polovica jednog xavoja)

Δt_{ra} nadtemperaturu (iznad 15°C) onda je po jed.

$$R_a = \frac{\rho \cdot l_a}{(l_a)^2 q} \quad \text{/vidi / otpor armature}$$

$$R_a = \frac{x}{4a^2} \cdot \frac{l_a (1 + \alpha \cdot \Delta t_{ra})}{5700 q a} \quad (8)$$

5700 sledi iz spec. otpora $\rho = 0,0175 / (1 + 0,004 \Delta t_{ra})$

$\frac{1 + 0,004 \Delta t_{ra}}{57} \Omega$ za $\frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$. Pretvorimo dužinu

u cm moramo 57 množiti sa 100. $\alpha = 0,004$.

Opadajući napona je $I_a R_a$ Volt gubitak dakle

$$P_{Ra} = I_a^2 \cdot R_a \cdot 10^{-3} \text{ Kwata.} \quad (9)$$

b. Napreti.

Znati li za glavni pol odn. pomoćni pol / indeks s serijski, indeks u poredni namotaj:

$l_{s \text{ sred}}$ $l_{p \text{ sred}}$ srednji dužini zavoja u cm
 Q_s Q_p presjek svih žica paralelnih
 jednog zavoja.

ΔR_s ΔR_p ugrizanje na 15°C

w_s w_p broj zavoja na jednom magnetskom

onda imamo za serijski (S) namotaj i pomoćne
 polove (p)

Otpor

$$R_s = 2p \cdot w_s \cdot l_{s \text{ sred}} \cdot \frac{1 + 0,004 \Delta R_s}{5700 Q_s} \Omega \quad (10)$$

$$R_p = 2p \cdot w_p \cdot l_{p \text{ sred}} \cdot \frac{1 + 0,004 \Delta R_p}{5700 Q_p} \Omega \quad (11)$$

odnos gubitak

$$N_{R_s} = I_s^2 \cdot R_s \cdot 10^{-3} \text{ K vata} \quad (12)$$

$$N_{R_p} = I_p^2 \cdot R_p \cdot 10^{-3} \text{ K vata} \quad (13)$$

Za poredni namotaj:

$$R_n = 2p \cdot w_n \cdot l_{n \text{ sred}} \cdot \frac{1 + 0,004 \Delta R_n}{5700 Q_n} \quad (14)$$

$$N_{R_n} = I_n^2 \cdot R_n \cdot 10^{-3} \text{ K vata} =$$

$$= U \cdot I_n \cdot 10^{-3} \text{ K vata} \quad (15)$$

/K napon sterajka/

c. Komutator

Ako je R_n prelazni otpor, onda je prelazni gubitak

$$N_n = I_a^2 \cdot R_n \cdot 10^{-3} = 2 \cdot I_a \cdot e_n \cdot 10^{-3} \text{ Kwata} \quad (16)$$

/e_n vidi IV-

Označuje li:

$p_0 = 0,2 \div 0,3 \text{ kg/cm}^2$ specifični pritisak kefice

$\mu_0 = 0,2 \div 0,3$ broj trenja uzglenih kefice na kolektoru / koeficijent trenja za bakrene kefice

$\mu_0 = 0,3$, za uzgleno obično 0,227 /

F_0 ploština doticanja svih kefice jednog
 svornika /cm²/

v_n obodna brzina kolektora u m/sec, onda
 snijedi, ako imamo 2p svornika:

$$N_0 = 9,81 \mu_0 \cdot 2p \cdot F_0 \cdot p_0 \cdot v_n \cdot 10^{-3} \text{ K vata} \quad (17)$$

Totalni gubitak prema tome

$$N_k = N_u + N_o \quad (18)$$

3. Gubitak u ležaju i xratku.

Znači li:

P pritisak na ležaj - kg -

D_z promjer čepa - cm -

L_z dužina čepa - cm -

μ_z broj (koeficijent) trenja

$p_z = \frac{P}{D_z \cdot L_z} < 40 \text{ kg/cm}^2$ specij. tlak na ležaj

onda je $p_z \cdot \mu_z \approx 0,046$ konstantno.

Gubitak radi trenja:

$$N_g = 9,81 \cdot p_z \cdot \mu_z \cdot D_z^2 \cdot L_z \cdot \frac{\pi n}{6000} \cdot 10^{-3} \text{ kvata} \quad (19)$$

Za xraćenje računna se kod brzine $v \leq 30$ m/sk dodatak od 10-30% tako da je totalni mehanički gubitak

$$N_m = (1,1 \div 1,3) N_g \quad (20)$$

Ako je $p_z \cdot \mu_z < 15$ nije potrebno kladiti čepove.

Moć je

$$N_m = 3 \div 0,5 \% \text{ predanog, korisnog}$$

djelovanja N .

Kremeno sve gubitke u obzir dobijemo

konačno stepen djelovanja N

$$\eta = \frac{N}{N_e} = \frac{N}{N + N_v} = \frac{N}{N + N_{k1} + N_{R1} + N_{R2} + N_{R3} + N_{R4} + N_k + N_m} \quad (21)$$

4. Ugrijavanje.

a. Armatura.

Ugrijavanje armature slijedi iz empir. jednačine

$$\Delta t_{ra} = \frac{C N_a}{0(1 + 0,1v)} \quad (22)$$

u kojoj je uvaćena ventilacija radi okretanja,

v je obodna brzina u m/sec, N_a čitava dovedena toplina t.j. toplina histerese, vrtlošnih struja i Joule-ova toplina.

$$N_a = N_{hv} + N_{ra} \text{ u vatima} \quad (23)$$

O je površina hladjenja u cm^2 , C je konstantna veličina ovisna o konstrukciji. Za otvorene strojeve je $C = 400 \div 550$. Površinu O tvore plašt i čela. Ako armatura imađe raspore za hladjenje, računa se svaki ~~od~~ ^{od} raspored kao jedna ploština. Kod većih armatura računa se unutarnja površina $\pi \cdot D_o \cdot l$.

l dužina armature bez rasporeda / Prema tome vrijedi

$$O = \pi \cdot D_o \cdot l + \frac{\pi D_o^2}{4} + \text{rasporedi za xračenje} + \pi D_o \cdot l \quad (24)$$

Da se izbjegova poteškoćama u izračunavanju površine O , izračuna se O po Habarth-ovoj jednačini

$$O = \pi D (l + 0,7 l) cm^2 \quad (25)$$

te povišenje temperature po jednu.

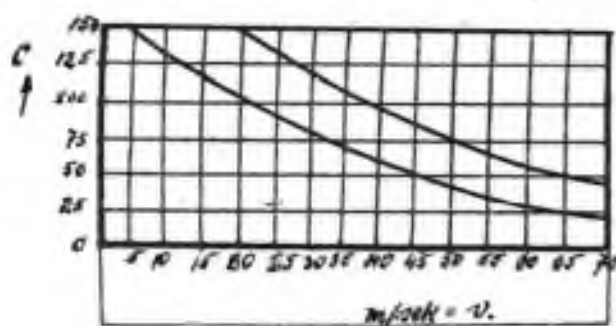
$$\Delta t_{ra} = \frac{N_a}{O} \cdot C \quad (N_a \text{ u vatima}) \quad (26)$$

C slijedi iz slike 7 u ovisnosti o brzini u

m/sec; donja krivulja vrijedi za veoma dobro ventilirane strojeve, gornja za normalno ventiliranje.

Povišenje temperature mjeri se pomoću termometra, kojega se položi

na armaturu. Po propisu neka ne prekorači povišenje $50^\circ C$. Točke uzimaju za normalno opterećenje (trajno opterećenje) $\Delta t_{ra} = 40^\circ C$.



Sl. 7.

6. Magneti

Ugrijanje prouzroči gubitke u magnetu N_{re} , mjereni u vatima. Povišenje temperature sledi iz

$$\Delta N_{re} = C \cdot \frac{N_{re}}{\theta} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (27)$$

Za konst. faktor C vrijedi:

- $C = 450 - 500$ savim otvoreni strojevi
 $550 - 650$ strojevi sa ležajem, pričvršćenim na osovljci (Loiznappfeld)
 $700 - 750$ polu zatvoreni strojevi

Površinu tvori plašt i jedna strana (gornja ili donja) namotaja.

Povišenje ΔN_{re} nesmiye kod namotaja, koji se ne miču - izolacija iz pamuka - prekoračiti 60°C . Ugrijanje odredi se promjenom otpora označaje li:

R_0 otpor namotaja u hladuom stanju

R_t otpor namotaja u toplom, onda vrijedi:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta N_{re}) \text{ odnosno } \Delta N_{re} = \frac{R_t - R_0}{\alpha \cdot R_0} \quad \alpha = 0,004 \quad (28)$$

Ugrijanje kutije može se kod zatvorenih strojeva računati po jednačiji:

$$\Delta \theta_g = \frac{2200 N_{og} \cdot 10^3}{(\theta_g + 273)(1 + 0,1 \theta_g)} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (29)$$

N_{og} suma svih gubitaka (u kW), koji prolaze kao toplina kroz kutiju.

θ_g prostor površina za hlađenje (cm^2)

F_g presjeci kutije koji odvođe toplinu

v_g relativna brzina zraka naprama kutiji

Uopće je djelovanje zatvorenog stroja

70-75% otvorenoga, ako se uzme za granicu isto ugrijanje.

c komutator.

Povišenje temp. računa se po jednadžbi $\Delta t_k = \frac{(120-150)N_k}{\pi \cdot D_k \cdot l_k (1+0,1v_k)}$ (jedn. 13) (30)

D_k promjer kolektora (cm)

l_k dužina kolektora (cm)

v_k obodna brzina m/sek

Granica povišenja kod olučnih strojeva je 60°C , kod motora za željeznice 80°C . Čim manje povišenje tim ugodnije za komutator. Prema tome težiti na što nižu temp.

d. čepovi i ležaj.

Označuje li:

β_0 konst. faktor ulja 1:2,4 ÷ 2,8

β_z " " ležaja: 25 ÷ 30 za $v_z \leq 5$ m/sek
60 ÷ 80 " $v_z = 10 \div 20$ "

ovisan o konstrukciji ležaja

v_z brzina čepa u m/sek

t_z temp. zraka

t_x temp. (ne povisivanja) čepa

$$t_x = t_z + \sqrt{t_z + 12,5 \beta_0 \beta_z v_z^{3/2}} \quad (31)$$

Dolje se rezultat $t_x \geq 60^\circ\text{C}$ mora se na-
činiti umjetno hladjenje čepa. Vidi sub 3.

5. Proračun čvrstoće.

a. Osovina.

Radi progiba (bucklinga) f osovine i to zbog težine armature, kolektora i namotaja dolazi još dodatna jednostrana

magnetična vlačna sila P_m u obzir. Za jedan jedini pol površine $F = b \cdot l$ te indukcije u xroku L_z bila bi sila po jedm. I -

$$P = \frac{F \cdot L_z^2}{8\pi \cdot 9,81} \cdot 10^{-5} \approx 4 \cdot F \cdot L_z^2 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \quad (32)$$

Imamo 2p polova, onda ima polovica p obzirom na manji raspor veću vlačnu silu

$$P_1 = p \cdot P \cdot \frac{\delta}{\delta - f} \quad (33)$$

druga polovica manju silu

$$P_2 = p \cdot P \cdot \frac{\delta}{\delta + f} \quad (34)$$

jer tvori fragib f razliku između raspona gore i dole.

Iz ove razlike rezultira jednostрана sila

$$P_m = K_f (P_1 - P_2) = K_f \cdot p \cdot P \cdot \frac{2f\delta}{\delta^2(1 - \frac{f^2}{\delta^2})} \quad (35)$$

faktor $K_f < 1$ uvažava (uzima u obzir), da se za sve p polove jedna strana jednako promjenio raspor δ za fragib f.

Postavimo $\frac{K_f}{(1 - \frac{f^2}{\delta^2})} \approx 1$ dobijemo

$$P_m = p \cdot P \cdot \frac{2f}{\delta} = 8p \cdot F \cdot L_z^2 \cdot \frac{f}{\delta} \cdot 10^{-8} \text{ kg} \quad (36)$$

Umetnemo u ovu jednadžbu

$$F \cdot L_z = \Phi = \frac{E_a \cdot 10^9}{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{p \cdot m}{\delta}}$$

te raširimo sa γ te $\pi \delta$, dobijemo u brojniku produkt

$\gamma \cdot E_a = N$ [djelovanje u kvatima], u nazivniku prod.

$\frac{2 \cdot \gamma}{\pi \delta} = AS$. Prema tome rezultira obratom na $\frac{\pi \delta}{60} =$

$= N \cdot 10^{-2} / m$

$$P_m = \frac{40 \cdot N \cdot L_z^2 \cdot f}{AS \cdot \pi} \text{ kg} \quad (37)$$

Iz težine G_A armature, vlačne sile P_m i težine komutatora G_K odredimo pritisk na ležaj A_1 i A_2

- sl. 8 - onda odredimo $G = G_A + G_K + P_m$

u udaljenosti a_1 odnosno a_2 i dobijemo fragib

$$f = G \cdot \frac{a_1^2 \cdot a_2^2}{3(a_1 + a_2) E_w \cdot \gamma_w} \text{ cm} \quad (38)$$

E_w - modul elastičnosti



J_w moment tromasti osovine

J_x jednadžba 38 slijedi konačno mom. tromosti

$$J_w = G \cdot \frac{a_1^2 \cdot a_2^2}{3(a_1 + a_2) E_w \cdot f} \text{ cm}^4 \quad (39)$$

Da progit može, se staviti srednju vrijednost

$$f = \frac{1}{10} \delta \cdot 1, \text{ uopće} \approx \frac{1}{10} \delta \quad (40)$$

ako se pravilno odabralo δ . Iz izračunatog mom. tromosti slijedi konačno promjer osovine

$$D_w = \sqrt[4]{\frac{64}{\pi} \cdot J_w} \approx \sqrt[4]{20 J_w} \text{ cm} \quad (41)$$

koji promjer se zaokružuje na slijedeći normalni. Kod velikog broja okretaja (turbogeneratora) mora se još izračunati kritičan broj okretaja.

Da kontrolu odn. kod manjih, običnih strojeva može se računati po

$$D_w = K \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n}} = (20 \div 32) \sqrt[3]{\frac{N}{n}} \text{ mm} \quad (42)$$

K = konstantni faktor 20-32

N = efekt, kojega se mora prevesti

Po Fischer Hinnen računa se sa

$$D_w = (30,8 \div 32,8) \sqrt[4]{\frac{N}{n}} \text{ mm} \quad (43)$$

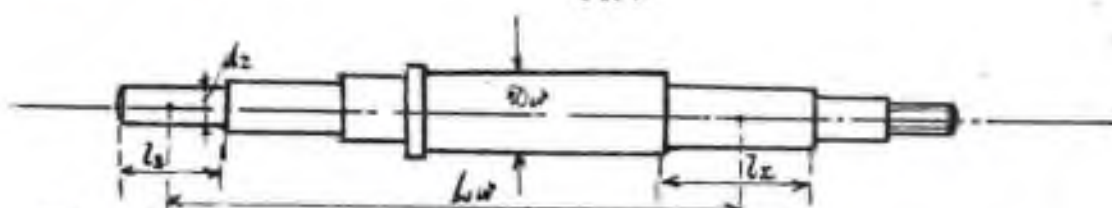
Promjer čepa dr. napravi se 0,7 do 0,8 D_w i to kod malih strojeva. Kod većih, uzme se 0,8 do 0,9 D_w . Čep je na strani remenice nešto jači nego na suprotnoj strani.

Širina b_z čepa računa se po S. Thomson

$$\frac{b_z}{d_z} = 0,63 \frac{\pi \cdot \sqrt{L_w}}{3500} + 2$$

L_w dužina od sredine čepa do sredine čepa. -sl.9-

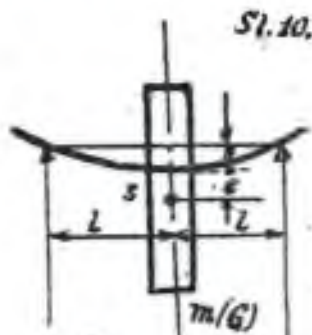
Sl. 9.



7. Kritični broj okretaja.

Također i kod dobrog izjednačavanja mase osovine i na osovini ostane još manja ili, veća

prosta sila. Zamislimo si iz totalne mase osovine te armature i kolektora napravljenu sjedini ploču debljine 1 cm, sa masom m - sl. 10 - koja se okreće oko osovine 2 l



kutnom brzinom ω , onda dolijemo kod ekscentričnog položaja težišta S za e cm, progib osovine y cm, tako da nastane centrifugalna sila

$$P_f = m(y+e)\omega^2 \quad (45)$$

Proizvodi li osovina elastičnu protutulu $P_w = \alpha \cdot y$, gdje α (u kg) označuje silu potrebnu za progib osovine za 1 cm, onda je

$$P_f = P_w \text{ ili } \alpha y = m(y+e)\omega^2 \text{ odn. } y = \frac{m \cdot e \cdot \omega^2}{\alpha - m\omega^2} \text{ cm} \quad (46)$$

Progib $y = \infty$ dovede osovinu do sloma i to kod kritične kutne brzine ω_k , za koju postane očividno nazivnik jednadžbe 46 jednak nuli. Prema tome vrijedi

$$\alpha - m \cdot \omega_k^2 = 0 \text{ ili } \omega_k = \sqrt{\frac{\alpha}{m}} \quad (47)$$

Imade li ploča težinu $G = m \cdot g$ te stavimo $\omega = \frac{\pi n}{30}$ odn. $\omega_k = \frac{\pi n_k}{30}$ te $g = 980,6 \text{ cm/sec}^2$ dobijemo

$$\frac{\pi n_k}{30} = \sqrt{\frac{\alpha}{m}} = \sqrt{\frac{980,6}{g}} \text{ te}$$

$$n_k = \frac{30 \cdot \sqrt{980,6}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{g}} = 300 \sqrt{\frac{\alpha}{g}} = 300 \sqrt{\frac{1}{f}} \text{ okret/min} \quad (48)$$

Za osovinu koja leži slobodno (frei aufliegend)

$$\text{vredi } y = \frac{1}{6} \frac{P l^3}{J_w E_w} \text{ ili } P = \alpha = 6 \cdot \frac{J_w E_w}{l^3} \text{ te } \omega_k = \sqrt{\frac{6 \cdot J_w E_w}{m l^3}}$$

J_w moment inercije osovine.

E_w modul elastičnosti osovine.

Zamislimo si armaturu i kolektor jednolike sa masom jednolike raspodjeljenom na dužini l , onda vrijedi

$$\omega_k = \sqrt{\frac{\pi^4}{16} \frac{J_w E_w}{m \cdot l^4}} \text{ za slobodno (prosto) ležće osovine} \quad (49)$$

$$\omega_k = \sqrt{\left(\frac{3\pi}{4}\right)^4 \frac{J_w E_w}{m \cdot l^4}} \text{ za upregnute osovine}$$

Postavimo čitavu masu armature i kolektora

$$m_{ak} = \frac{G_{ak}}{g} = m \cdot 2.7$$

dolijemo konačno

$$\omega_k = 3,489 \sqrt{\frac{T_w \cdot E_w \cdot g}{G_{ak} \cdot l^3}} \text{ za dobro tečenje}$$

osovine (50)

$$\omega_k = 7,851 \sqrt{\frac{T_w \cdot E_w \cdot g}{G_{ak} \cdot l^3}} \text{ za upregnute}$$

$$n_k = \frac{30}{\pi} \cdot \omega_k \text{ /min} \quad (51)$$

Ako je potrebno odrediti kritične brojeve okretaja visega reda, onda se upotrijebi jednačina

$$n_{k1} : n_{k2} : n_{k3} : \dots = 1 : 2^2 : 3^2 : \dots n^2 \quad (52)$$

c. Opterećenje pojedinih dijelova armature.

tiče li se masa m brzinom v u krugu onda je vlačna sila na spoj:

$$P = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

r je udaljenost težišta mase od sredine kruga.

Ako je G težina mase m u kg onda je $m = \frac{G}{9,81}$.

Jer je $v = \frac{2\pi n}{60}$ dolijemo

$$P = \frac{G}{9,81} \left(\frac{2\pi}{60} \right)^2 n^2 r$$

r moramo umetnuti u m . Za r u cm vrijedi

$$P = \frac{G}{9,81} \cdot \frac{\pi^2}{30^2} \cdot \frac{n^2 \cdot r}{100} \text{ kg ili } 9,81 \text{ naprama } \pi^2 \text{ crtano}$$

$$P = G \cdot r \cdot \left(\frac{n}{300} \right)^2 \text{ kg} \quad (53)$$

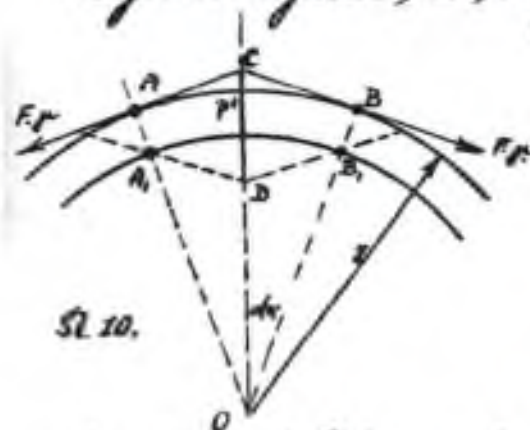
Ako je na pr.

$n = 3000$, $G = 1 \text{ kg}$, $r = 10 \text{ cm}$ slijedi

$$P = 10 \cdot \left(\frac{3000}{300} \right)^2 = 1000 \text{ kg.}$$

Ako je mrošina (mase) jednolike radijefijena na obodu valjka, te imademo prsten, koji prima čitavu centrifugalnu vlačnu silu - debljina malena obzirom na promjer - onda nastane u presjeku F prstena napetost σ , koje

koje dobijemo iz sljedećeg razmatranja:



Sl. 10.

U slici 10 neka P' označi onaj dio sile P , koji otpada na maleni opseg $AB = r \cdot d\alpha$. U presjecima AA' te BB' djeluje onda sila $F \cdot 2$, koja je u ravnoteži sa silom P' . Sile $F \cdot 2$ tvore paralelogram sa diagonalom $CD = P'$

Jer je $\triangle CDH \sim \triangle AOB$ vrijede razmjeri:
 $CD : CH = AB : BO$ ili $P' : F \cdot 2 = r \cdot d\alpha : r$

$F \cdot 2 = \frac{P'}{d\alpha}$ P' je dio sile koji otpada na opseg $AB = r \cdot d\alpha$ t.j. $P' = \frac{P}{2\pi} \cdot r \cdot d\alpha = \frac{P}{2\pi} d\alpha$ prema tome

$$r = \frac{\frac{P}{2\pi} \cdot d\alpha}{F \cdot d\alpha} = \frac{P}{2\pi F} \text{ kg}$$

Uvrstimo za P vrijednost jedn. 53 dobijemo

$$r = \frac{G \cdot r \left(\frac{n}{300}\right)^2}{2\pi F} \quad (54)$$

Ako je G težina tankoga prstena onda je $G = \frac{2\pi F r}{1000} \text{ kg}$

Opterećenje prstena centrifugalnom silom je prema tome

$$r = \frac{2 \cdot r \cdot \pi \cdot F \cdot r \cdot \left(\frac{n}{300}\right)^2}{1000 \cdot 2\pi \cdot F} = \frac{r}{1000} \left(\frac{n}{300}\right)^2$$

Označije li v obodnu brzinu u metrima, onda je

$v = \frac{2\pi r n}{60 \cdot 100}$, ako uvrstimo r u cm. Onda dobijemo

konačno $\frac{r}{300} = \frac{10 v}{\pi} \text{ prema tome } \left(\frac{r}{300}\right)^2 = \frac{10^2 \cdot v^2}{\pi^2} \approx$

$\approx 10 v^2$ odnosno

$$r = 0,018 v^2 \quad (55)$$

Ovu jednačinu upotrebimo za različite slučajeve.

2.) Povoji, bandari.

1.) otvoreni utor: Bandari podvrgnute su centrifugalnoj sili vlastite mase i mase žica armature. Označije li G_{au} težinu bakrene žice na armaturi u kg, F presjek svih bandara u cm^2 onda je opterećenje

$$r = 0,018 v^2 + \frac{G_{au} \cdot D}{4\pi F} \left(\frac{n}{300}\right)^2 \text{ kg/cm}^2 \quad (56)$$

2) zatvoreni utori: K obrir dolazi samo težina G_{cs} ceonih spojka.

Ako je $2a$ dužina namotane žice u m, 2 presjek u mm,

onda je $G_{cu} = \frac{2 \cdot 2a \cdot 8,9}{1000} \text{ kg}$ te $G_{cs} = G_{cu} \cdot \frac{2a - 2l_a}{2a}$ (57)

$2a$ = dužina jednoga zavoja

$2l_a$ = dužina armature.

1 i 2) može se računati također ovako:

Centrifugalna sila micanja bakrene mase dužine l_c djeluje na banduše tangencijalnom silom

$$P_b = x \cdot g \cdot l_c \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{v^2}{R \cdot 1000} \text{ kg} \quad (58)$$

$g = 9,81$; $\gamma = 8,95 \text{ g/cm}^3$. Za čelone spojke uzmemo se otpadajući dio (jedn. 57)

Ako je K_2 čvrstoća materijala bandaze: 5000 kg/cm^2 za mjed, 7000 kg/cm^2 bronca, 12000 kg/cm^2 Duran-kovina; dolije se za S -struk (obično 10-12)

sigurnost presjek bandaze Q_b

$$Q_b = S \cdot \frac{P_b}{K_2} \text{ cm}^2 \quad (59)$$

B. Žubi.

Osim vlastite težine G_z opterećuje xube i težina G_{ce} bakra u željezu. Presjek F_z njih xubi sledi iz

$$F_z = \{ \pi (D - 2l_z) - L \cdot \pi_3 \} \cdot 9,8 \text{ cm}^2 \quad (60)$$

l_z dužina xube ili dubina utora

π_3 širina utora. Prema tome vrijedi:

$$\sigma_z = \frac{(G_z + G_{ce})}{4\pi F_z} \left(\frac{n}{300} \right)^2 \text{ kg/cm}^2 \quad (61)$$

8. Klinovi.

Klin za zatvor utora opterećen je na savijanju. Imatрати ga možemo balvanom (Balken) koji je na čitavoj dužini opterećen centrifugalnom silom u utorima ležućih žica. Opterećenje je - sl 11-



Sl. 11

$$P = \frac{16}{2} \frac{GCE \cdot D}{(300)^2} \quad (62)$$

moment savijanja

$$M = P \cdot \frac{L}{4} = \frac{GCE \cdot D}{2} \left(\frac{n}{300} \right)^2 \cdot \frac{L}{4} \quad (63)$$

ako je b dužina okomita na rav. papira, onda je mom. otpora

$$W = \frac{1}{6} b \cdot h_K^2 \quad (64)$$

maksimalno opterećenje je prema tome

$$\frac{M}{W} = \frac{P \cdot \frac{L}{4}}{\frac{1}{6} b \cdot h_K^2} = \frac{GCE \cdot D}{2} \left(\frac{n}{300} \right)^2 \cdot \frac{L}{4} \cdot \frac{6}{b \cdot h_K^2} \quad (65)$$

Primjedba:



Sl. 12.

moment savijanja (Biegemoment)

sile P u presjeku c je $= P \cdot x$

moment otpora je $W = \frac{I}{L}$ ako L

označuju udaljenost od neutralne osi.

moment preloma: $E =$ sila (numerično)

koja rastegne žicu presjeka 1 na dvostruku dužinu $P = E \cdot \frac{D \cdot Q}{L}$ je

sila, koja koja dovede žicu do granice elastičnosti,

D je sila, koja najveće elastično produženje,

Q najveće specifično produženje $= \frac{D}{E}$

$E \cdot D = T$ ili $P = T \cdot Q$. P je prema tome najveći teret, kojega preuša tijelo, da se nebi trajno promijenilo.

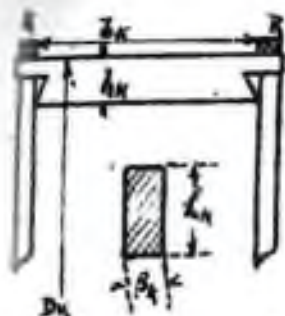
T zove se nosivi modul (Tragmodul)

Ako je P_2 najmanja sila, koja otrgne tijelo, onda je $P_2 = F \cdot Q$. F je modul preloma:

fosfor-bronza	spec. tež 8,8	modul preloma 4600 cm ²
bakar	8,9	4000 "
žica iz čelika	7,9	7500 "
lin (željezo)	7,8	3800 "

J. Lamelle.

Ako je g_K težina svih lamela, onda je težina jedne $\frac{g_K}{K}$, centrifugalna sila jedne lamelle



Sl. 13.

$$P_2 = \frac{q_k}{k} \cdot \frac{(2L_k - h_k)}{2} \left(\frac{n}{300} \right)^2 \quad (66)$$

Ako su lamelle pričvršćene samo na krajevima - sl. 13 - onda je najveći moment savijanja jedne lamelle $M = P_k \frac{b_k}{8}$ koment otpora $W = \frac{1}{6} b_k h_k^2$,

$$\sigma_b = \frac{M}{W} = \frac{6}{8} \cdot \frac{P_k}{b_k} \cdot \frac{b_k}{h_k^2} \quad (67)$$

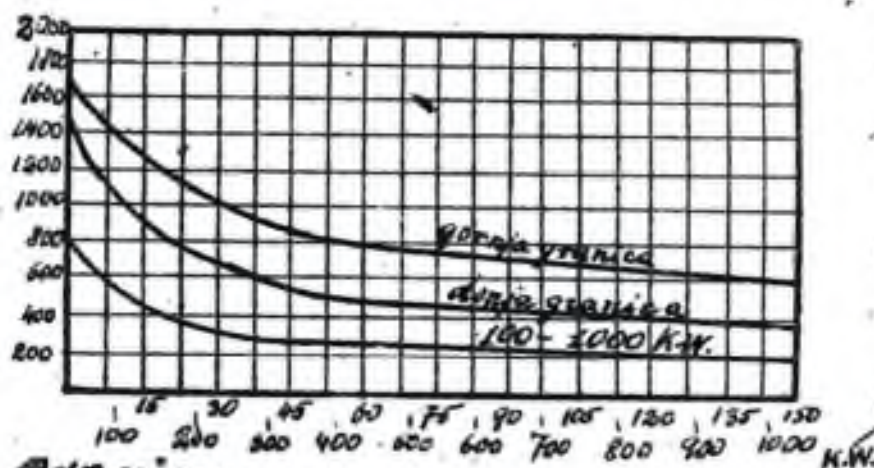
6. Proračun stroja.

A. Generatori.

Kopije je poznato: Djelovanje V kV
Napon statorna U volt
broj okretaja n /min

Osim toga spoj magneta i armature / poredni, serijski, komparadni / Ako neli bi ova dva

Sl. 14.



broj okretaja može ga se odabrati iz slike 14 koja vrijedi za obične strojeve. Gornja krivulja daje približno gornju srednju donju

granicu.

Iz traženog korisnog djelovanja $\eta = U \cdot I$ te odabranog električnog stepena η izračuna se efekt što ga mora proizvesti armatura.

$$N_i = E_a \cdot I_a = \frac{N}{\eta} \quad (68)$$

Gubici topline straje su onda

$$N_i - N = (1 - \eta) \cdot N_i \quad (69)$$

Ove gubitke raspodijeli se samovoljno na armaturu i magnete i to tako, da se

Jaka struja I , I_a , I_m amper.

vrme konstantne gubitke, to su neovisni gubitci o teretu, manje kao one, koji se promijene sa teretom. Oznaci je li

Ne gubitke u magnetu

N_a gubitke u armaturi /Vidi sub 1.2/

onda vrijedi za pojedini stroj

$$N_g = \frac{U}{I_m} \quad I_m = \frac{N_g}{U} \quad R_m = \frac{U}{I_m} \quad I_m = I_a - I \quad (70)$$

$$I_a = I + I_m \quad I_a^2 \cdot R_a = N_a \quad R_a = \frac{N_a}{I_a^2} \quad E_a = U + I_a R_a + 2sU \quad (71)$$

ΔU je opadajuće a prelaznom otporu kofica — lamela.

Za ovo opadajuće računa se:

veoma meke ugljene kofice $\Delta U = 0,4 \div 0,6$ Volt

srednje tvrde $\Delta U = 0,9 \div 1,1$ Volt

veoma tvrde $\Delta U = 1,2 \div 1,5$ Volt

Približne vrijednosti el. stepena djelovanja η za različite veličine dinamo stroja, sadržava sljedeća Tabela 1. /Vidi

El. stepen η .

Tab. I

KW	η	KW	η	KW	η	KW	η	KW	η
1	0,865	3.2	0,910	8.2	0,925	24	0,9375	46	0,95
1.6	0,89	5	0,915	10.6	0,93	28	0,94	100	0,955
2.4	0,905	6.5	0,92	14	0,935	36	0,945	200	0,96

Odabere li se slobodnu brzinu armature v , dobije se promjer armature D iz jednačine

$$D = \frac{6000 v}{v \cdot n} \text{ cm} \quad (72)$$

v u m/sec

Ugodne brzine jesu

$$Za \ 10 \leq D \leq 45 \text{ cm}$$

$$" \ 45 \leq D \leq 300 \text{ cm}$$

$$12 \leq v \leq 15 \text{ m/sec}$$

$$15 \leq v \leq 25 \text{ m/sec}$$

$v \leq 35$ m/sec za direktno spojene velike strojeve
 $v \leq 110$ m/sec za turbogeneratore.

Čim veći broj polova tim manja je za isto djelovanje težina bakra u armaturi i na

magnetu, te težina željeza. Gubitci i troš kovi
za konstrukciju postanu veći.

Ča strojeva srednjeg broja okretaja odabere
se lično.

4 pola $D \leq 40 \div 45 \text{ cm}$ ili $\frac{N_i}{\eta} \leq 100 \div 150$

6 " $D \leq 70 \div 75 \text{ cm}$ " $\frac{N_i}{\eta} \leq 500 \div 600$ (73)

8 " $D \leq 120 \div 130 \text{ cm}$ " $\frac{N_i}{\eta} \leq 2100 \div 2700$

10 i više $D \geq 120 \div 130 \text{ cm}$

Kazmak polova l_p neka ne prekorači 50 cm.

Promjer D može se također izračunati na slijedeći način, te nađenu vrijednost usporediti sa dosadašnjim pravilima.

$$\eta = \frac{\text{korisno djelovanje}}{\text{totalno djelov.}} = \frac{N}{E \cdot I_a} \quad N = \eta \cdot E \cdot I_a$$

$E = \text{el. m. sila armature} = E_a$

žabl. m. silu možemo uvrstiti / vidi II -

$$E = \frac{z}{a} \frac{p \cdot v}{60} \phi \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

Kamačije li Q_1 presjek raspore L_2 indukcijom u rasponu, onda je

$$\phi = L_2 Q_1$$

prema tome

$$N = \eta \cdot I_a \frac{n z}{60 \cdot 10^8} \cdot \frac{p}{a} \cdot Q_1 \cdot L_2$$

jer je $d_i = \frac{b_i}{l_p} = \frac{b_i}{\frac{D}{2p}}$ slijedi

$$b_i = d_i \cdot \frac{\pi D}{2p} \text{ te } Q_1 = l b_i = l d_i \frac{\pi D}{2p}$$

ako je dužina, stopala jednaka l . Onda dobijemo

$$N = \eta \cdot I_a \frac{n z}{60 \cdot 10^8} \cdot \frac{p}{a} \cdot L_2 \cdot l \cdot d_i \frac{\pi D}{2p}$$

Proširimo razlomak sa πD , slijedi

$$N = \eta \cdot \frac{n \cdot L_2 \cdot d_i \cdot l \cdot \pi^2 D^2}{60 \cdot 10^8} \cdot \frac{z \cdot I_a}{2a \pi D}$$

jer je $\frac{I_a}{2a} = i_a$, te $\frac{z i_a}{\pi D} = AS$ slijedi

$$N = \eta \cdot \frac{n \cdot L_2 \cdot l \cdot d_i \cdot \pi^2 D^2}{60 \cdot 10^8} AS$$

Dva jednadžbu riješimo po $D^3 l$ tako da dobijemo

$$D^3 l = \frac{N}{\eta} \cdot \frac{60 \cdot 10^8}{\eta \cdot L_2 \cdot AS \cdot Li \cdot \pi^2} \quad (74)$$

Desnu stranu možemo smatrati poznatom, N , η i γ su već određene veličine, Li odaberemo između 0,5 i 0,8 (za strojeve bez pomoćnih polova $\sim 0,7$ sa pomoćnim polovima $\sim 0,65$) L_2 te AS možemo uzeti iz slike 15. odnosno 16. za strojeve bez pom. polova, iz slike 17 za strojeve sa pom. polovima.

Sli. 15.

Ovdje treba naplatiti da se može također druge vrijednosti odabrati, ne samo one

što ih daju

slike 15, 16 odn. 17. Ove slike treba smatrati kao pomoć za odabiranje traženih veličina

Preraz

$$C = \frac{\eta \cdot d \cdot T^2 \cdot L_2 \cdot AS}{60 \cdot 10^8} \quad (75)$$

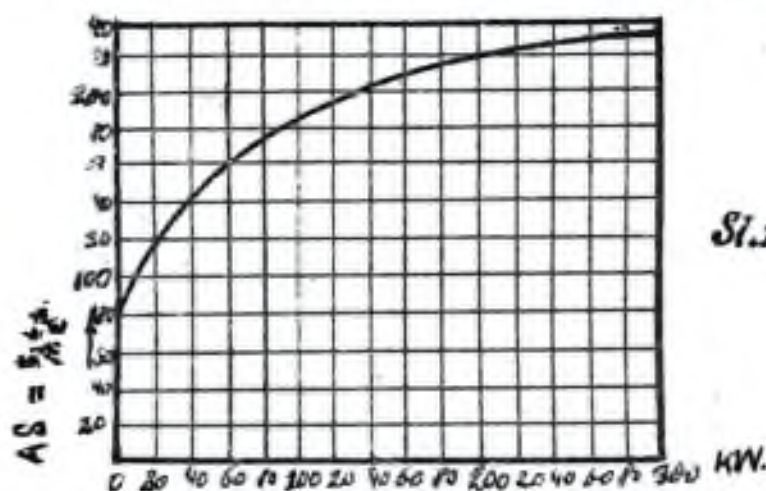
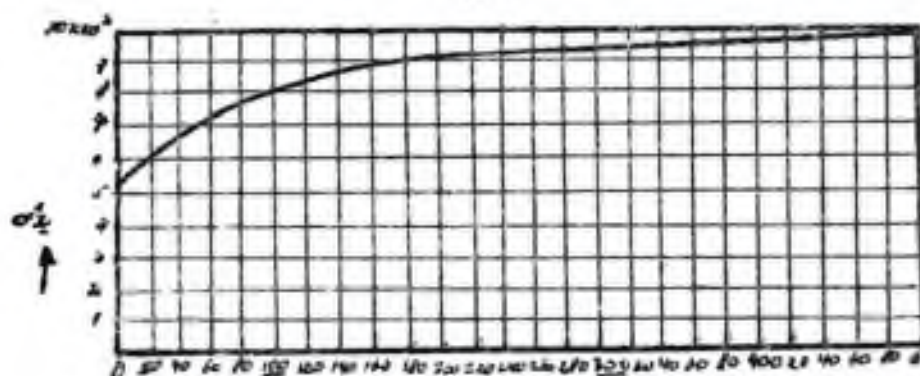
možemo odabrati

sada izračunati.

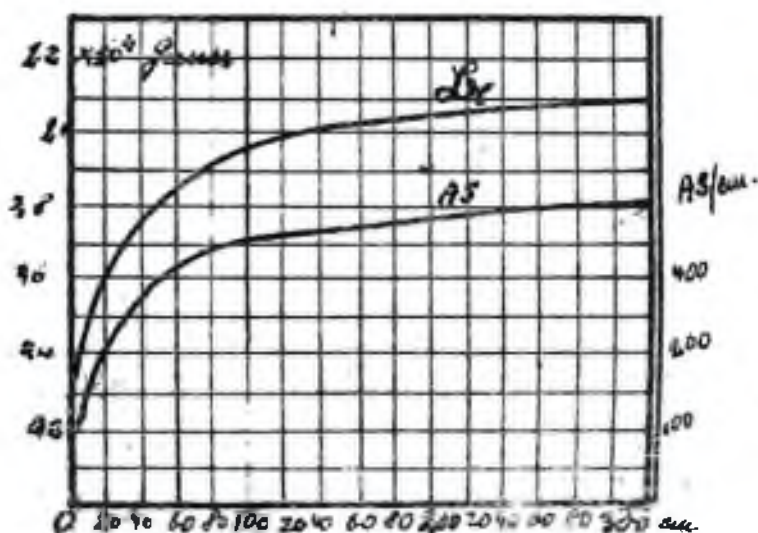
Jednadžbu 74 glasi onda

$$D^3 l = \frac{N}{C \cdot \eta} \quad (76)$$

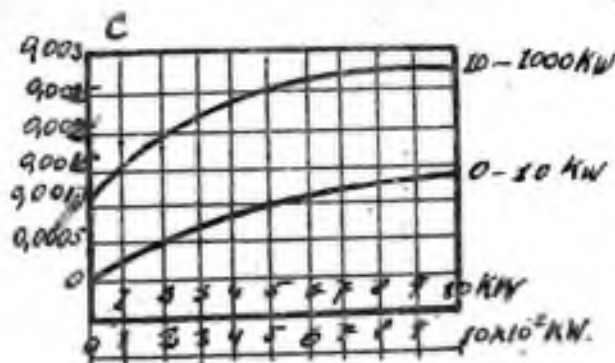
jer poznajemo veličine D , l , N i η , može se jednadžbu 76 rešiti također po veličini C .



Sli. 16.



Sli. 17.



Sl. 18.

Uta, je onda vrijednosti H kao abscisu, izračunane vrijednosti C kao ordinate. Doblje, se krivulja sl. 18. Pomoću ove slike, može se dakle jednostavno riješiti jednačina 76 kod

zadanih veličina N i n .

Izabire vrijednost t i D , koja odgovara jedn. 76 može se uzeti, ako ne prekorači u određene granice.

Imajući magneti okrugli oblik i presjek, onda je

$$b_i = b = t$$

Jednačina 74 glasi onda

$$D^2 \cdot \frac{\pi D}{2p} = \frac{b_i \cdot 60 \cdot 10^8}{n \cdot d_i \cdot \mu \cdot \pi^2 \cdot L_2 \cdot AS} \quad \text{te promjer armature}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{n \cdot 2p \cdot 60 \cdot 10^8}{n \cdot \pi^2 \cdot d_i^2 \cdot \mu \cdot L_2 \cdot AS}} = 730 \sqrt[3]{\frac{p \cdot n}{d_i^2 \cdot n \cdot L_2 \cdot 45 \cdot \mu}} \quad (77)$$

ako je t i D određeno, slijedi broj žica x iz jednačine

$$AS = \frac{x \cdot i_a}{\pi D} \quad x = \frac{\pi D AS}{i_a} \quad (78)$$

Što se tiče razmjera $d_i = \frac{b_i}{C_p}$ treba spomenuti slijedeće: čim je veći razmjer d_i , tim je stavnije poje u zoni komutiranja, komutiranje prema tome veoma je osjetljivo za promjene tereta. Samaindukcijska kratko spojena snižka i magnetsko rasipanje je također ovieno o razmjeru d_i te postane tim veće čim je veći faktor d_i .

Za strojeve bez pom. polova je d_i u med. $0,7 \div 0,75$ za strojeve sa pom. pol. $0,6 \div 0,65$.

Dužina l armature odn. idealna dužina l_i - vidi III. - leži uopis u granicama $10 \div 45$ cm za $v < 30$ m/sec.

l_i : slijedi također iz razmjera

$$l = \frac{l_i}{l_0} \quad (79)$$

Ovaj razmjer leži za male strojeve i strojeve srednje veličine - osim turbogenerators - obično u granicama

$$0,5 \leq l \leq 1,0 \quad (80)$$

Te je u presjeku približno $l = 0,75$.

Za dobru komutaciju i dobro hlađenje pogodno je maleni l_i prema tome i maleni razmjer $l_i : b_i$.

Suprotiv je težina bakra manja ako se odabere $\frac{l_i}{b_i}$ veliko. Prema tome se odabere normalno

$$\frac{l_i}{b_i} = 0,8 \div 1,3 \quad (81)$$

$\frac{l_i}{b_i} = 1,5$ imaju motori za tramvaji i turbogeneratori koji mogu prekoraciiti ovu vrijednost.

Strojevi velikog promjera, sa zamagljivom imaju $\frac{l_i}{b_i} < 0,8$

Za hlađenje dolije armature raspoređivine

$$b_3 = 1,0 \div 1,3 \quad (82)$$

Totalna dužina armature je onda, ako je a_3 broj ovih raspoređivanja

$$l_a = l + a_3 b_3 \quad (83)$$

Dužina pojedinih smotaka lima ne smije biti prevelika te prekoraciiti C_{em} . Obično se uzme 5-6 cm, tako da slijede pojedini raspoređivanja za hlađenje u udaljenosti od 5 ÷ 6 cm.

Za odabiranje navlake $\overline{AB}$ pomažu nam slike 16 i 17. Ovdje vrijedi slijedeće:

Broj grana odabere se tako, da je struja u žici

$$i_a = \frac{I_a}{z_a} < 100 \text{ amp za } U = 500 \div 2500 \text{ Volte}$$

< 150	"	"	"	< 500	"
< 200	"	"	"	< 250	"
< 250	"	"	"	< 120	"

(84)

Za struje iznad 60 amp, u jednoj žici uzme se štapove pravokutnog presjeka.

AS tvori mjernu iskorišćenja željeza i bakra te veličine gubitka. Za obične strojeve je

$$AS = (20 \div 30) \sqrt{D} \text{ Amp/cm} \quad (85)$$

Za jako opterećene strojeve i motore tramvaja

$$AS = (30 \div 40) \sqrt{D} \text{ Amp/cm} \quad (86)$$

AS leži dakle između $50 \div 300 \text{ A/cm}$

Primjedba.

Najugodnija vrijednosti L_z i AS daje proizvođač stroja. Veća indukcija L_z daje kod istoga materijala veću toplinu struje u namotu magneta, manju toplinu struje u namotaju armature. Obrnuto vrijedi ako se uzme manja indukcija L_z te veću navoloku AS. Veće L_z sa manjim AS daje veću napetost lamela ali manju el. m. silu komutacije. Radi toga odabere se kod strojeva bez pomoćnih polova manji AS nego kod strojeva sa pom. polovima.

Jedn. 78 daje nam broj žica na armaturi. Broj svitaka plijedi iz

$$S = \frac{Z}{2w} = \text{broj lamela } K. \quad (87)$$

ako je w broj zavoja svakoga svitka. Za S vrijedi relacija

$$S \geq 0,04 \cdot x \cdot \sqrt{I_a} \quad (88)$$

da se ne prekorači granice dozvoljene struje u žicama.

Jer je $S = K$, vrijedi jedn. 88 također za broj lamela.

Imade li armatura namotaj sa stepova, onda je uopće $S = \frac{z}{2}$ prema tome pojedin. 88

$$\frac{z}{2} = 0,04 \cdot x \cdot \sqrt{I_a} \quad \text{ili}$$

$$\sqrt{I_a} = \frac{1}{2 \cdot 0,04} \quad \text{a } I_a = \left(\frac{1}{0,08}\right)^2 = \sim 170 \text{ A.} \quad (89)$$

Jakošć struje jednoga stepa ne smije bitno prekoračiti 170 Amp. Jer je $I_a = \frac{I_{\text{fa}}}{2a}$ dobijemo

$$2a = \frac{I_{\text{fa}}}{I_a} = \frac{I_{\text{fa}}}{173} \quad (90)$$

pomoću koje jednadžbe možemo odrediti broj grana osu. odabrat ćemo namotaj kontrolirati.

Namotaj odabere se tako, da se po mogućnosti što bolje iskoristi prostor utora. Taj uslov mora se tim bolje ispuniti, čim je manji broj paralelnih grana. Stoga se mora uvijek najprije pokušati dati je moguć valoviti namotaj.

To je kod olienog broja okretaja skoro uvijek moguće za

500 Volt	napona	do	približno	250 kW	
220 "	"	"	"	90 kW	(91)
110 "	"	"	"	25 kW	

Ako valoviti namotaj nije moguć, dolazi u obzir najprije petgasti, onda višestruki valoviti i konačno višestruki petgasti ($m=2, m>2$ izbjegavati radi nesimetrije omota. Vidi II-

Glavne jednadžbe pojedinik namotaja jesu:

A.) Valoviti namotaj $a=1$

$$y = y_1 + y_2 = \frac{st \pm k}{p}$$

$$y_k = \frac{k \pm 1}{p}$$

y_1 i y_2 moraju biti lihi brojevi
 y_k i k nemaju zajedničkog djelitelja

B. Petgasti namotaj $a=p$

$$y = y_1 - y_2 = \pm 2 \text{ /strane/}$$

$$y_1 \approx \frac{st}{2p} \approx \bar{p}$$

$$y_k = y_s = \frac{y}{2} = 1$$

Radi udobne komutacije $\frac{p}{2}$ lihi broj.

C. Višestruki valoviti namotaj $a \approx p$

$$y = \frac{st \pm 2a}{p}$$

$$y_k = \frac{k \pm a}{p}$$

y_1 i y_2 lihi brojevi, $a > p$ izbjegavati
 $\frac{p}{a} = 2$ ugodno.

d. Višestruki petljasti namotaj $a = m$

$y = 2m$ strana

$$y_k = \frac{y}{2} = m$$

Broj lamela je kod svih namotaja obično jednak broju polova

$$K = S \quad (95)$$

Broj lamela mora biti takav, da je ispunjena jednačina za prednju napetost lamela

$$e_{mi} = \frac{2p \cdot U}{K} \leq 18 \text{ Volta} \quad (96)$$

Gustoća struje je kod malehik strojeva veća radi manjeg prostora za namotaj. Oznaiuje li se gustoća struje u armaturi, onda vrijedi:

Prodekt $AS \cdot \rho_a$ je proporcionalan toplini struje namotaja armature za jedinicu površine oboda armature. Ovaj prodekt može biti tim veći čim manja toplina željezo. Ovisan je također o vracanju armature. Za dobro ventilirane strojeve leži prodekt $AS \cdot \rho_a$ za namotaj iz bakra u granicama

$$1000 \leq AS \cdot \rho_a \leq 1800 \text{ Amp/cm/mm}^2 \quad (97)$$

Kauji vrijednost wame se kod velikih gubitaka u željezu, veću kod manjih.

Gustoća u vodičima armature leži u granicama

$$4,5 \leq \rho_a \leq 7 \text{ Amp/mm}^2 \text{ za } 25 \text{ cm} > D \quad (98)$$

$$3,5 \leq \rho_a \leq 6 \text{ Amp/mm}^2 \text{ za } D > 25 \text{ cm}$$

Jer nijesu uslovi za hladjenje kompenzacionog namotaja tako ugodni kao za armaturu, mora se uzeti manji vrijednost.

Za namotaj pomoćnih polova vrijedi gust. ρ_p

$$2,5 \leq \rho_p \leq 4,0 \text{ Amp/mm}^2 \quad (99)$$

Lim je ugodnije hladjenje, uzi presjek strana te izolacije, tim veća može biti gustoća.

Za namotaj magneta bez rasporeda za vracanje u presjeku vrijedi

$$1,2 \leq \rho_m \leq 2,5 \text{ kmp/mm}^2 \quad (100a)$$

Imali namotaj naspore za (kladuče) rnućenje može se računati, sa.

$$\rho \leq \rho_m \leq 3,5 \text{ kmp/mm}^2 \quad (100b)$$

Struja u namotaji magneta je

$$i_m = K_m \cdot I \quad (101)$$

K_m je faktor poredne struje jednak je $0,06 \div 0,015$, za turbogeneratore $\approx 0,004$.

Za izolaciju računa se $0,015 \div 0,05 \text{ cm}$ kao površnost promjera ili debljine žice. Odabrati treba tim veću vrijednost, čim veći je promjer. Za štapove uračunamo $2\delta_i = 0,06 \div 0,1 \text{ cm}$ / δ_i debljina izolacije. Veliki broj utora uvijek je ugodan za strojeve sa pom. pol. Čim je veći broj, tim manja je širina zone komitiranja, tim jivi polovni luk. Ako je broj utora premaleu, stroj neradi tiho. Ali ovdje treba uzeti u obzir, da se prostor utora tim slabije iskoristi, čim veći je broj, jer izolacija zauzima mnogo mjesta. Ovdje vrijedi: Ako je promjer armature iznad 25 cm nesmije biti $\frac{x}{2p} > 12$, npr. 12-16 i više. Kod malih promjera ($D < 25 \text{ cm}$) odabere se razmjer $\frac{x}{2p}$ više puta manji od 12, približno do 8, jer postane stroj jeftiniji.

Označuje li $k_n (= 2, 4, 6, 8, \dots)$ broj strana u utoru, odabere se broj utora

$$x = \frac{st}{k_n} \quad (102)$$

tako, da $\frac{x}{2p}$ nije cijeli broj odu. da postane $\frac{x}{p}$ lihi broj, jer se onda prepriječii fubracije i oscilacije poja. (vidi III) / Iz istoga razloga ugodno je ako je broj xubi, koji otpada na polovni luk cijeli broj. Kod toga mora se paziti, da ne prouzroči armature radi

odne promjene polja dodatne gubitke u željezu koji mogu eventualno prouzročiti prelivanje stroja. U tom se slučaju namotaj magnet na masivne nosioce iz bronce (ili čelika).

Najjednostavniji način da se postigne mirno hvatanje je sljedeći: Vrhove stopala napravi se ravne i to u tangencijalnom smjeru polovnog luka, tako da se postepeno povećava raspon do $\sim (3 \div 4) \delta$. Osim toga $\frac{L}{p} \geq 18 \div 20$.

Oblik i broj zubova (utora) je mjerodavan za gubitke vrtložnim strujama u stopalu. Gdje je faktor vrtložnih struja f_v

$$f_v = (k_1 - 1) \cdot \frac{L}{\delta} \cdot \frac{L_2}{10^5} \cdot \frac{n}{60} \quad (103)$$

ako je $f_v \geq 10$ (103a)

mora se uzeti stopala iz lima. Masivna su stopala dovoljna dok vrijedi

$$\frac{b_m}{\delta} \leq 2 \quad (103b)$$

b_m = širina utora.

U odabiru se tako - s obzirom na namotaj - da ne prekorači proticanje utora $U_n \cdot I_a$ i određenu granicu

$$U_n \cdot I_a < 900 \text{ Amp.} \quad (104)$$

Ako je $U_n > 2$ mora se uzeti u obzir, da prvi korak y_1 mora biti $y_1 = U_n y_n + 1$ ako se hoće sve strane utora zajedno izolirati.

Razmak utora određuje jednačina

$$t_1 = \frac{\pi D}{Z} \quad (105)$$

Izolacija utora širina 0,015 cm za napon 120 Volta. Štada li se širini utora 0,15 cm, dubini 0,08 - 0,1 cm dokije se širina utora b_m i dubinu t_2 . Debljina zuba na glavi je onda

$$Z_1 = t_1 - b_m \quad (106)$$

Za razmjernu širinu utora, razmak utora neka vrijedi

$$k_n = \frac{b_n}{t_s} \approx 0,5 \quad (107)$$

Kod motora za prenosila i dizala vrijedi napravi se $k_n \leq 0,5$ i to, da se može imati veliku indukciju B_z u zraku. U tom se slučaju povećava također navlaka AS. Povećanjem razmjera k_n raste težina bakra.

Dimenzije utora može se na slijedeći način odrediti:

Ako je namotaj i broj strana k_n odabran, pozna se broj utora $Z = \frac{4L}{k_n}$. Dužinu namotane žice izračuna se po jedn.

$$L_a = \frac{Z}{2} (2l_A + 3l_p) \quad (108)$$

Za pukom motane armature vrijedi:

$$L_a = \frac{Z}{2} (2l_A + \frac{3,2}{p} [D - l_r]) \quad (108a)$$

Otpor armature već je izračunao i to u početku proračuna pomoću el. stepena djelovanja η . Prema tome znamo presjek žice Q_a

$$Q_a = \frac{c \cdot L_a}{(Z_a)^2 \cdot R_a} \quad (109)$$

Indukcija $B_z \max$ ne smije prekoriti 22-23000 Gaussa. Imao onda, ako se mora konstruirati stroj osolito malenih dimenzija (n.pr. za tramvaj) može se ići do $B_z \max = 28000$ Gaussa.

Presjek žubi, što leži pod polom je na dan utora t.j. na najužem mjestu

$$Q_{z \min} = \frac{(D - 2l_r) T - Z \cdot b_m \cdot d_i \cdot 0,97}{2p} \quad (110)$$

Indukcija na ovome mjestu

$$B_z \max = \frac{\Phi_a}{Q_{z \min}} \quad (111)$$

Ako je obrnuto, kada su $B_z \max$, slijedi $Q_{z \min}$ iz

$$Q_{x \min} = \frac{\Phi_a}{L_{x \max}} \quad (111a)$$

Riješimo jednu. 110 po b_n , dolijemo jirinu utora, ako smo odabrali dubinu

$$b_n = (D - 2l_x) \pi - \frac{Q_{x \min} \cdot 2p}{L_i \cdot 0,91} \quad (112)$$

Tok Φ za određivanje presjeka $Q_{x \min}$ slijedi iz

$$\Phi_0 = \frac{E_a \cdot 10^8 \cdot 60}{n \cdot p} \cdot \frac{a}{x} \text{ ili } = L_i \cdot T_p \cdot L_i \cdot L_i$$

Da se pravilno odabere dubinu, uzme se sledeće jednu.

$$\begin{aligned} 1,0 \leq l_x \leq 1,5 \text{ cm} & \text{ za } D < 15 \text{ cm} \\ 1,2 \leq l_x \leq 3 \text{ cm} & \text{ za } 15 \leq D \leq 40 \text{ cm} \\ 2,5 \leq l_x \leq 4,5 \text{ cm} & \text{ za } D > 40 \text{ cm} \end{aligned} \quad (113)$$

Imade li stroj otvorene utore (t.j. bez zatvora ali sa povojem) mora se dobiti dubini i izolaciju kako je prije spomenuto i još 3 mm za povoj. Imade li stroj zatvorene utore (sa klinastim zatvorom) računa se 5 mm za zatvor.

Ako su mjere utora određene kontrolira se navlaku AS pomoću jednu.

$$AS = (1 - \frac{2l_x}{D}) \cdot b_n \cdot l_x \cdot f_n \cdot \sigma_a \cdot 100 \quad (114)$$

gdje označije

$$f_n = \frac{4n \cdot W \cdot L_a}{b_n \cdot l_x \cdot 100} = |0,6 \div 0,2| \quad (115)$$

faktor napune.

L_a umetne se u mm², W je broj zavoja jednogovitka.

Da dade ova jednačina AS manje nego je odabrano za proračun promjera D , onda je D preveliko te se može umanjiti.

Čaujski promjer jezgre armature slijedi iz

$$D_a = D - 2l_x \quad (116)$$

prema tome razmak xulova na dnu utora

$$t_2 = \frac{T \cdot D_a}{\pi} \quad (117)$$

i debljina xuba na korjenu

$$x_2 = t_2 - b_m > 0,3 \text{ cm} \quad (118)$$

fiktivna indukcija / vidi III - / prema tome

$$\text{glava xuba } L_{xi1} = \frac{t_1 \cdot L_2}{K_2 \cdot x_1} \text{ Gauss}$$

$$\text{korjen } L_{xi2} = \frac{t_1 \cdot L_2}{K_2 \cdot x_2} \quad (119)$$

$$\text{sredina } L_{i, \text{red}} = \frac{L_{xi1} + L_{xi2}}{2}$$

K_2 /: 0,88 kod izolacije iz papira, 0,95 kod izolacije šebojem: / xove se faktor napune limom.

Za izracunavanje jergre armature, odabere se

najprije indukciji u jergri L_{ax} , te broj perioda. Cim manji je broj perioda, tim vec se moze urati L_{ax} .

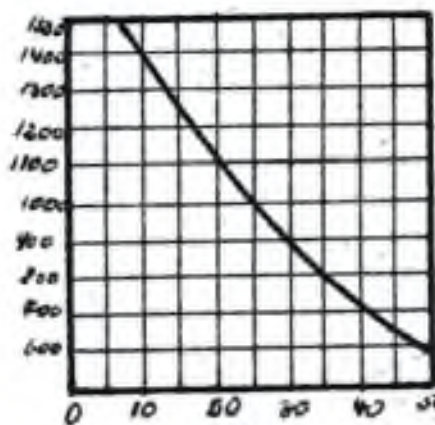
Priblizno pravilne vrijednosti daje slika 19, L_{ax} u ovisnosti o $n = \frac{n \cdot p}{60}$. Sl. 19 vrijedi u glavnome za strojeve bez pomoćnih polova. Ima li

stroj pom. polove mora se uzeti u obzir i toliko pomoćnih polova, da se neca prevelikoprasiceenja. Radijalna visina h jergre slijedi onda iz jedu.

$$h = \frac{\Phi_a}{2K_2 l L_{ax}} \text{ cm} \quad (120)$$

te unutarnji promjer iz

$$D_i = D_a - 2h \text{ cm} \quad (121)$$



Sl. 19.

Od rasporeda S ovisno je protudjelovanje armature, komutacija i težina bakra namotaja za magnet. Približno se može staviti

$$S \geq \frac{Q}{100+Q} \text{ cm} \quad (122)$$

Raspor može se računati po jedu.

$$S = 0,5 \frac{T \cdot AS}{L_1} \text{ cm} \quad (123)$$

za strojeve sa pom. pol., te po jedu.

$$S = 0,65 \frac{T \cdot AS}{L_1} \text{ cm} \quad (123a)$$

za strojeve bez pom. pol.

Imade li stroj kompenzacioni namotaj, S je bitno manje. U presjeku vrijedi da se name $\sim \frac{3}{4}$ širine koje daje jedu. 123.

$$S = 0,4 \frac{T \cdot AS}{L_1} \text{ cm} \quad (123b)$$

Konačno se može raspor kontrolirati pomoću relacije

$$S \geq \frac{(1,2 \div 2) B_m AS - AK_2}{1,6 \cdot K_3 \cdot L_1} \quad (124)$$

Kod izbora magnetskog opterećenja mora se pojedine dijelove magnetskog kruga napose promatrati. Rastućim opterećenjem željeza armature i zubova ne raste samo tok magnetu nego također toplina željeza. Ima li stroj pom. polove, nesmije biti opterećenje željeza armature i jarma previsoko. Opterećenje armature ovisno je također o konstrukciji. Kod četvero-polnih strojeva, t. j. do promjera armature od 45 cm udela se limene pločice armature neposredno na osovinu. Magnetično opterećenje je onda za strojeve nad 25 cm promjera armature do 45 cm maleno.

Presjek jarma je kod lijevanog čelika već iz razloga čvrstoće dostatan. Za opterećenje

pojedinih dijelova vrijede sljedeće granice.

Jezgra armature bez pom. pol.	do 15000 Gauss
sa pom. pol.	" 1300 "
Žubi, paralelne strane jetera	" 20 ÷ 23000 "
" " zubova	" 17 ÷ 19000 "
Jezgra glavnog pola, lim ili čev. čelike	" 12 ÷ 17000 "
" pomoćnog " " " "	" 12000 "
" glavnog pola, čevanog čelika	" 6 ÷ 8500 "
Jaram iz lima ili čevanog čelika	" 10 ÷ 15000 "
a) bez pom. pol.	" 15000 "
b) sa " "	" 10000 "
Jaram iz čevanog čelika	" 7 ÷ 10000 "
a) bez pom. pol.	" 10000 "
b) sa " "	" 7000 "

Mora li se generator (poredni) upotrijebiti za nabijanje akumulatora, onda treba u pogonu napetost povisiti do $\frac{2,6}{1,8} \cdot U$.

Vred. brojevi opterećenja za visoki napon, mora se za normalnu indukciju množiti sa $\frac{1,8}{2,6}$.

Na pr. za čevani čelik $12000 \cdot \frac{1,8}{2,6} = \sim 8000 \div 17000 \frac{1,8}{2,6} = \sim 12000$ Gaussa.

To vredi za jezgre magneta i jarama.

Radikalnu visinu jezgre magneta odabere se kod okruglog presjeka

$$h_m \approx \frac{d_m}{2} \quad (125)$$

Kod pravokutnog presjeka

$$h_m \approx (1 \div 1,5) \cdot b_m \quad (125a)$$

b_m = širina na čonoj strani.

Meduju debljinu stopala napravi se 0,8 ÷ 2,5 cm, dužinu u smjeru osovine $l_p = l_a - 2\delta$ i to, da se izbjegne ulazni crta indukcije u deblje pločine ploče armature.

Za se ne izgubi polje pod rubom ulaza mora biti

$$K_g = \frac{AW_b + AW_g + AW_a}{b \cdot AS} \geq 1 \quad (126)$$

Vidi III-

Čim veća $K_g(1,25 \div 2,0)$ tim veća mogućnost preopterećenja.

Za namotaj magneta vrijedi slijedeće:

A.) Serijski spoj.

Jer je struja uzbuđenja $I_n = I_a = I$ dobije se broj zavoja

$$W_n = \frac{AW}{I_n} \quad (127)$$

Označimo li

σ_n gustoću struje ($1,7 - 0,8 \text{ Amp/mm}^2$) onda je presjek

$$Q_n = \frac{I_n}{\sigma_n} \quad (128)$$

Za veće jakosti struje upotrebljuje se plosnate bakrene žice, koje se još rasidjeli; ako je potrebno u paralelne grane.

B. Poredni spoj.

Označimo li

R_n otpor totalnog namotaja

L_n totalna dužina u m

l_n prednja dužina zavoja u cm

$\rho = \left[\frac{1}{57} \Omega \cdot \text{m/mm}^2 \cdot 15^\circ \text{C} \right]$ spec. otpor

$\alpha = [0,004 \Omega / \text{pro } \Omega^\circ \text{C}]$ koef. temperature bakra

Δt_{tem} - povišenje temperature nad 15°C

Q_n presjek žice

onda imamo

$$U = I_n \cdot R_n \quad \text{jer je}$$

$$I_n = \frac{AW}{W_n}; \quad R_n = \frac{\rho \cdot L_n}{Q_n} (1 + \alpha \Delta t_{\text{tem}}); \quad L_n = 2p \cdot W_n \cdot \frac{l_n}{100}$$

dobijemo, ako uvažavamo 20% mogućnosti promjene jakosti struje presjek žice

$$Q_n = 1,2 \cdot \frac{2p \cdot AW(1 + \alpha \cdot \delta_{wm})}{5700 \cdot l_n} \cdot l_n \text{ mm}^2 \quad (129)$$

Odaberemo gustoću struje $\rho_n = 3 \div 1 \text{ stup/mm}^2$, onda slijedi

$$I_n = \rho_n \cdot Q_n \quad \text{te} \quad W_n = \frac{AW}{I_n} \quad (130)$$

Broj xavoja W_n razdijeli se na raspoloživi presjek za motanje

Ako je otpor porednog namotaja

$$R_n = \frac{2p \cdot l_n \cdot W_n(1 + \alpha \cdot \delta_{wm})}{5700 \cdot Q_n} \quad (131)$$

onda se izračuna otpor za regulaciju / 20 to promjene / po jednu.

$$r_n = \frac{1,2 \cdot l_n}{I_n \text{ min}} - R_n \quad (132)$$

Ovako treba spomenuti, da se poredni namotaj ne može ojačati time, da se doda još xavoja istoga presjeka žice, ako je broj AW prevelik. Dodamo li još xavoja istoga presjeka, raste prednja dužina xavoja, tako, da pada kod zadanoj napona jakost struje brže nego što raste broj xavoja. Prema tome oduzima broj AW xavoja. Odmota li se xavoje, onda se povećava broj AW. Kopče mora se u tom slučaju namotaj nadomjestiti drugim većeg presjeka.

Da se izjednači netočnost u namotaju položi se ispod pola pločice iz lima, koje se može izvući ili kojima se može još druge dodati, ako bi bilo potrebno ojačanje ili slabljenje namotaja.

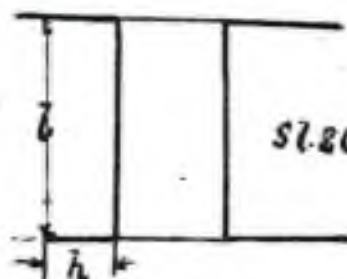
Iz istih razloga napravi se također namotaj pomoćnih polova obično nešto jače negoto dade točni proračun.

Struja se onda regulira porednim otporom, veličinu otpora odredi se pokusom i to za najugodniju komutaciju.

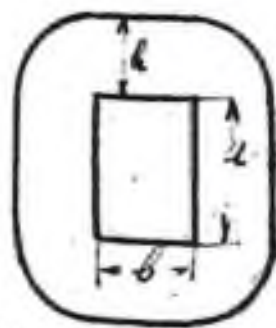
Provaćim namotaja magneta može se napraviti također na sljedeći način:

Zamislimo si pravokutni presjek magneta, žica namotana na nosilac iz cinka približne debljine 2 mm; moderni strojevi uopće nemaju nosilac namotaja i raspor nosilac - željezo magneta 0,5 mm. Gornja i donja ploča 4 mm, sve strane dostatno izolirane. Uvijek dobro izolirano nosilca neka budu a, b, t - slika 20, 21 - Označuju li dalje d debljinu gole žice α d izolirane žice ρ_n opterećenje za mm² onda vrijedi:

$$\frac{l}{\alpha \cdot d} \cdot \frac{h}{\alpha \cdot d} \cdot \frac{\rho_n \pi \alpha^2}{4} = AW_I \quad (133)$$



Sl. 20 gdje označuju AW_I broj amperzavoja jednog pola. α, l, h, AW_I su poznate veličine, h te ρ_n nepoznate.



$$\text{Sl. 21 I. } h \cdot \rho_n = \frac{4 AW_I l^2}{\pi l}$$

Označuju li q_n presjek žice, onda vrijedi

$$\text{II. } q \cdot \rho_n = I_n$$

Opor R_{nI} namotaja za jedan pol je bez obzira na ugrizanje

$$R_{nI} = \frac{\rho \cdot L_I}{q_n}$$

Da se računamo ugrizanje, uramo se za ρ 50 Ω mm².

L_I je dužina namotane žice u metrima i to na jedan jedini pol. Ovu dužinu može se lako izračunati. Dužina srednjeg zavoja je

$$l_m = 2a + 2b + \pi h \text{ mm} \quad (134)$$

Dužina na svitak namotane žice

$$L_I = \frac{w(2a + 2b + \pi h)}{1000} \text{ m} \quad (135)$$

a h i h mjeseui μ mm. Iz ovih jednačina sledi

$$\text{III. } R_{nI} = \frac{P}{Q_n} \cdot \frac{w(2a+2b+\pi h)}{1000} \quad (136)$$

odnosno $\frac{h}{I/II} \cdot \frac{Q_n}{Q_n} = \frac{4wL^2}{\pi L}$ ili jer je $Q_n = \frac{P}{R_{nI}} \cdot \frac{w(2a+2b+\pi h)}{1000}$

$$h \cdot \frac{P}{R_{nI}} \cdot \frac{w(2a+2b+\pi h)}{1000} \cdot \frac{4wL^2}{\pi L} \text{ te}$$

$$\frac{h}{2a+2b+\pi h} = \frac{P \cdot w^2 \cdot 4L^2}{1000 \pi R_{nI} \cdot L} \quad (136)$$

Ima li magnet okrugli oblik odn. presjek te označuju li D_s međurazj. promjer prvog sloja namotaja, pretvori se jedn. 136 μ

$$\frac{h}{\pi(D_s+h)} = \frac{P \cdot w^2 \cdot 4L^2}{1000 \pi R_{nI} \cdot L} \text{ odn. } \frac{h}{D_s+h} = \frac{P \cdot w^2 \cdot 4L^2}{1000 \cdot R_{nI} \cdot L} \quad (137)$$

Konačno neka bude spomenuto, da se može računati također na slijedeći način:

Visinu h pretpostavimo kao poznatu / h nesmije prekovati 50÷60 mm/, onda je poznata srednja dužina zavoja l_m . Za okrugli svitak vredi:

$$l_m = \frac{\pi(D_s+h)}{1000} \text{ m} \quad (138)$$

Ako je w još nepoznat, broj zavoja jedne jezgre, R_{nI} otpor toga namotaja onda imamo.

$$R_{nI} = \frac{P \cdot L}{Q_n} = \frac{P \cdot l_m \cdot w}{Q_n} \text{ te } R_{nI} = \frac{U}{I_m} = 2p \cdot R_{nI}$$

$$R_{nI} = \frac{l_m}{2p} \cdot \frac{e}{I_m} = \frac{P \cdot l_m \cdot w}{Q_n}$$

prema tome

$$Q_n = \frac{P \cdot l_m \cdot 2p \cdot w \cdot I_m}{U} \quad (139)$$

$w \cdot I_m$ je broj amperzavoja AW_I za jednu jezgru, koji je poznat, prema tome imamo konačno

$$Q_n = \frac{P \cdot l_m \cdot 2p \cdot AW_I}{U} \quad (140)$$

Struja u žici slijedi iz $I_m = I_n \cdot P_n$.

Za komutaciju je pod puna simetrija namotaja armature veoma pogodna. Da se ova simetrija postigne mora biti $K, Z, 2p$ kroz a cijelobrojno dijelivo, Z_n i K nesmije kod jednostravno xatvorenih namotaja imati xajedničkog djelitelja. Osim toga mora - ako se ima spojke izjednačenja / od $2p \geq 6$ unaprijed / - kod serijskog namotaja biti

$$K = p \cdot Z_n \pm a$$

Potencijalni korak je:

A.) petljasti namotaj $Z_p = \frac{K}{a}$; $\frac{K}{a}$ mora biti cijeli broj, svaki prsten izjednačenja ima p priključke.

B.) valoviti namotaj $Z_p = \frac{K}{a}$; $\frac{K}{a}$ mora biti cijeli broj, svaki prsten ima a priključke, sasvim točno izjednačenje samo je onda moguće, ako je $\frac{p}{a}$ cijeli broj.

Presjek spojka uopće $Q_v = \frac{1}{4} \div \frac{1}{2} Q_a$.

Broj prstena za izjednačenje odabere se tako, da se kod malenih strojeva priključi svaku $10 \div 8$ lamelu,

Kod velikih strojeva svaku $5 \div 4$.

Radioba komitatora za strojeve prednje veličine obično $\sim 7,5$ mm. Obično na čvrstoće ne manja od 5 mm / Sasvim maleni strojevi do 3 mm /

Širina izolacije iz mikanita ili mekog tinjca (Glimmet) uopće $0,6 \div 0,8$ mm, za napone iznad 500 V do 2 mm. Promjer komutatora obično za $4 \div 10$ cm manji od promjera armature, da se dolije ugodne spojke namotaja sa kolektorom. Najmanji broj lamela određuje jedn.

$$K \approx (0,038 \div 0,04) \cdot Z \cdot \sqrt{Z_a} \quad (141)$$

Isnačuje li q broj svornika, onda pripada svakom svorniku struja $I_a : \frac{I}{2}$. Isnačuje da je ρ_b dovoljna gustoća struje za svaki cm^2 ploštine doticaja / srednja vrijednost $11-4 \text{ temp/cm}^2$, maksimalna $20 \div 9 \text{ A/cm}^2$, F_b ploštinu doticaja svih kefica jednog svornika, onda je

$$F_b \cdot \rho_b = \frac{2I_a}{q} \quad F_b = \frac{2I_a}{\rho_b \cdot q} \text{ cm}^2 = \frac{I_a}{p \cdot \rho_b} \text{ cm}^2 \quad (142)$$

Ako je $q = 2p$, što je vrlo ugodno.

Ako je β širina lamele sa izolacijom / $4-8 \text{ mm}$, 4 mm za male strojeve / onda imamo

$$\pi \cdot D_k = \beta \cdot K \quad D_k = \frac{\beta \cdot K}{\pi} \quad (143)$$

$$v_k = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n}{60} \quad / 10-25 \text{ m/sek, uopće } 14 \text{ m/sek} / \quad (144)$$

Širina kefice je

$$b_b = (2-3) \beta \quad (145)$$

Dužina l_b u smjeru osovine, ako ima svaki svornik x_b kefica

$$l_b = \frac{F_b}{x_b \cdot b_b} \text{ cm} \quad (146)$$

Dužina L_k lamele jednaka je dužini svih kefica na jednom svorniku + $2 \div 3 \text{ mm}$ za svaku keficu, ako su držala iz lima, inače odgovarajućem mjeru za držala + $5 \div 10 \text{ mm}$ za xraćnost + prostor za priključak namotaja armature. Visinu lamele odredi gustoća $\rho_z = 80 \div 100 \text{ temp/cm}^2$, kod velike dužine kolektora potrebna je mjera sa mehaničkom čvrstoću.

Opadaanje napona unutar kefice je veoma maleno te ne dolazi u obzir. Bitno veće je opadaanje radi prelaznog otpora. Ovisno je o materijalu, smjeru struje, gustoći, temperaturi, pritisku, kemijskoj i mehaničkoj kakvoći te

o vrsti struje. Pritiskom pada prelazni otpor najprije brzo onda polako; od brzine je prelazni otpor skoro neovisan. Najveći upliv ima materijal. Kefice iz bakre koje se prave iz spletke imaju litno manji otpor nego ugljene kefice, kojih je otpor prelaza tim veći, čim bolje su tvrde kefice.

Prelazni otpor /prelazni napon/ mora biti prilično velik, jer su inducirane struje u kratko spojenom svitku tim manje, čim je veći otpor. Rastućim otporom povećava se toplina, koja je proporcionalna produktu iz prelaznog napona i gustoće struje. Za strojeve sa niskim naponom i ugodnim prilikama komutacije, uzimaju se kefice sa malim prelaznim otporom. Ovaj otpor odabere se tim veći, čim je veća napetost i čim ugodnije prilike komutacije. Velika brzina traži kefice sa malim faktorom trenja /mekke ugljene kefice sa grafitom./

Tabela 2 sadržava najvažnije vrste kefica, koje dolaze u obzir uopće. Za kratko opterećenje može se gustoću struje prekoraciiti za 50 %.

Djelovanje topline struje slijedi iz produkta ΔU . I ako ΔU označuje prelazni napon a I struju. Srednja vrijednost ΔU je ~ 2 Volta za obe kefice prema tome toplina $2 \cdot I$ vata.

Ako su kefice podvrgnute potresu, mora se pritisak podvlastiti. /Vidi tab. 2/

Širina kefice B_3 može se uzeti kod strojeva sa pom. pol. nešto veća nego kod strojeva bez pom. pol. Još šira može biti kefica kod strojeva sa komp. namotajem. Obično je širina 10-25 mm $\approx 2 \div 3$ lamela.

Sve ostale mjere kefice što moguće manje, da tešina bude malena. Za strojeve prednje veličine uzme se $l \approx 20 \div 25 \text{ mm}$.

Tab. 2.

Materijal.	spec. otpor $\Omega/\text{mm}^2 \cdot 15^\circ\text{C}$	Trajni pogon bez požara						Uporaba
		Gustoća g/cm^3	debljina mm	kefica u Volt.	pritisak kg/cm^2	obodna brzina m/sek	brzina trzanja m/sek	
bakrena spletko 9018	20-30	0,06	0,1		0,3	strojevi uoma mal. napona		
lisnata kef. sa bakra sa siloz. grafitom	÷ 20	1,2	0,1		0,25	" " " "		
Smjesa tuč-graf.	0,8 25-30	0,4	0,15	2,5	0,15	strojevi do 6 volta		
Smj. bakar-grafit	2 20	0,66	0,15	2,0	0,16	" " 6-20 "		
keke ug. kef.	18 12-15	1,5	0,1	4,5	0,17	Prsteni		
" " " " " " " " " "	18 12-15	1,4	0,1	4,5	0,15	strojevi pretvarači velike brzine 110 Volta		
" " " " " " " " " "	32 10-12	1,9	0,1	4,5	0,18	ditto, ali sa veću napet.		
Elektro. graf. ug. meki	20 "	1,6	0,125	10-15	0,27	Prsteni, komutatori 110V.		
" " " " " " " " " "	30 8	1,7	0,125	20	0,28	Komutatori 110-120V.		
" " " " " " " " " "	35 8	1,8	0,125	20	0,28	ditto, veća napetost		
" " " " " " " " " "	85 4-5	1,8	0,15	15	0,23	strojevi nad 500 Volte i		
veoma " " " " " " " " " "	105 3-4	2,1	0,15	15	0,25	strojevi, koji rado iskro		

7. Motori.

Zadane veličine su: Djelovanje N u Kvatinu
Napon stesajka U
broj okretaja n/min

Vajprije se odabere η' te odredi jakost struje

$$I = \frac{N \cdot 1000}{U \cdot \eta'} \text{ Amp.} \quad (147)$$

Za serijski spoj je $I = I_a$, za poredni vrijedi:

$$I_a = I - I_m = (1 - K_n) \cdot I \text{ Amp.} \quad (148)$$

$|K_u|$ faktor pojedine struje $0,06 \div 0,015$
 u armaturi inducirana protu el. m. sila je

$$E_a = U - I_a (R_a + R_k + R_n + R_w) = (1 - K_u) U \quad (149)$$

$|K_u| = 0,09 \div 0,01$

kojor se računa onda kao generator sa elektro-
 motornom silom E_a u armaturi.

8. Uputnik.

Odnašuje li r otpor upućivanja, I_a maksimalnu
 struju u armaturi, R_a otpor armature, U na-
 petost steraljka, onda vredi:

$$r + R_a = \frac{U}{I_a} \quad \text{ili} \quad r = \frac{U}{I_a} - R_a$$

Na pr. $U = 65V$, $I_a = 40A$, $R_a = 0,05\Omega$, onda je
 $r = \frac{65}{40} - 0,05 = 1,575\Omega$

Razdijelimo ovaj otpor na jednake dijelove,
 onda naraste jakost struje kod iskapčanja
 zadnjeg dijela do nedozvoljene visine.

Razdijelimo na primjer prijašnji otpor $1,575\Omega$
 u 8 dijelova, svaki po $\frac{1,575}{8} = 0,197\Omega$. Struja
 armature neka bude $I_{a, \min} = 40 \text{ amp.}$

Kod pojedinih položaja ručke postigne
 armatura brzinu koja odgovara struji $I_{a, \min}$.

Istokopča ručka prvi dio otpora, onda je još
 $E_a = 0$, ukopčani otpor $1,575 - 0,197 = 1,378\Omega$.

Jakost struje u armaturi $I_{a, \max} = \frac{U - E_a}{R} = \frac{65 - 0}{1,378 + 0,05} = 45,5 \text{ amp.}$
 Struja se je povećala od $40 - 45,5 \text{ amp.}$

Armatura se počne okretati, te postigne brzi-
 nu koja odgovara struji $I_{a, \min}$. Prema tome
 ima el. m. sila E_a u ovome momentu
 vrijednost

$$E_a = U - I_{a, \min} (R_a + 1,378) = 65 - 40 \cdot 1,428 = 7,88 \text{ Volta}$$

Postavimo $I=II$ to dobijemo

$$U - I_{a, \min} (R_a + r_1) = U - I_{a, \max} R_a \text{ ili}$$

$$R_a + r_1 = \frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} R_a \quad r_1 = R_a \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} - 1 \right) \quad (150)$$

Puška na kontaktu 3. Za stajanje us trajnosti
vrijedi

$$E_{a3} = U - I_{a, \min} (R_a + r_1 + r_2)$$

Kod prelaza na kontakt 2 imamo

$$E_{a3} = U - I_{a, \max} (R_a + r_1) \text{ ili}$$

$$R_a + r_1 + r_2 = \frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} (R_a + r_1) = \frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} \cdot \frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} R_a = \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} \right)^2 R_a$$

$$\therefore r_2 = \frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} (R_a + r_1) - (R_a + r_1) = (R_a + r_1) \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} - 1 \right)$$

$$R_a + r_1 = \frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} R_a \quad /$$

$$r_2 = \frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} R_a \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} - 1 \right) = \frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} r_1 \quad (151)$$

Na isti način slijedi

$$R_a + r_1 + r_2 + r_3 = \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} \right)^3 R_a \quad r_3 = \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} \right)^2 r_1 = \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} \right)^2 r_2 \quad (152)$$

Prema tome općenito za $n+1$ kontakt, t. j.
n pojedinih otpora

$$R_a + r_1 + r_2 + \dots + r_n = \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} \right)^n R_a \text{ odn.} \quad (153)$$

$$r_n = \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} \right)^{n-1} r_1 = \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} \right)^{n-1} r_{n-1} \quad (154)$$

$R_a + r_1 + r_2 + \dots + r_n$ je citavi otpor za upućivanje,
prema tome

$$R_a + r_1 + r_2 + \dots + r_n = \frac{U}{I_{a, \min}} \text{ ili } \left(\frac{I_{a, \max}}{I_{a, \min}} \right)^n R_a = \frac{U}{I_{a, \min}} \quad (155)$$

Iz ove jednačine se izračuna broj n potrebnih
otpora kod zadane vrijednosti $I_{a, \max}$.

$$\left(\frac{I_{a \max}}{I_{a \min}}\right)^n = \frac{U}{I_{a \min} R_a} \quad \text{ili} \quad n \cdot \log \frac{I_{a \max}}{I_{a \min}} = \log \frac{U}{I_{a \min} R_a}$$

$$n = \frac{\log \frac{U}{I_{a \min} R_a}}{\log \frac{I_{a \max}}{I_{a \min}}} \quad (156)$$

Umetnut ćemo izračunati otpor r iz jednačine

$$R_a + r = \frac{U}{I_{a \min}} \quad \text{ili} \quad U = I_{a \min} (R_a + r)$$

dobijemo

$$n = \frac{\log \frac{R_a + r}{R_a}}{\log \frac{I_{a \max}}{I_{a \min}}} \quad (157)$$

Ako je obrnuto n poznato, onda dobijemo iz jednačine 155

$$I_{a \max} = I_{a \min} \sqrt[n]{\frac{U}{I_{a \min} R_a}} = I_{a \min} \sqrt[n]{\frac{R_a + r}{R_a}} \quad (158)$$

Postavimo kao primjer n našem prijašnjem slučaju $n=8$, onda je

$$\left(\frac{I_{a \max}}{40}\right)^8 \cdot 0,05 = \frac{65}{40} \quad \text{te} \quad I_{a \max} = 40 \sqrt[8]{\frac{1,625}{0,05}} = 61,8 \text{ Amp}$$

Pojedini otpori slijede iz

$r_1 = R_a \left(\frac{I_{a \max}}{I_{a \min}} - 1 \right) =$	$0,05 \left(\frac{61,8}{40} - 1 \right) =$	$0,02725 \Omega$
$r_2 =$	$0,02725 \cdot \frac{61,8}{40} =$	$0,0423 \quad "$
$r_3 =$	$0,0423 \cdot \frac{61,8}{40} =$	$0,0654 \quad "$
$r_4 =$	$0,0654 \cdot \frac{61,8}{40} =$	$0,101 \quad "$
$r_5 =$	$0,101 \cdot \frac{61,8}{40} =$	$0,156 \quad "$
$r_6 =$	$0,156 \cdot \frac{61,8}{40} =$	$0,241 \quad "$
$r_7 =$	$0,241 \cdot \frac{61,8}{40} =$	$0,372 \quad "$
$r_8 =$	$0,372 \cdot \frac{61,8}{40} =$	$0,575 \quad "$

Kupno 1,57995 Ω

Ispustimo r_8 onda je $r = 1,5799 - 0,575 \sim 1 \Omega$.
Kod iskopaanja raste struja do $\frac{65}{1} = 65 \text{ A}$,

te pada u kratkom vremenu na 40 A. Kad bi bila ova jakost za prvo ukopčanje dozvoljena, mogli bismo ispuštiti otpor r_9 .

Više puta jakost normalne struje $I_{a \text{ min}}$ za prvo upuštanje pre visoka, tako da treba dodati još kontakte. Neka bude na pr. u našem primjeru dozvoljena jakost prvog ukopčanja 15 A onda je totalni otpor upuštanja $R_a + r = \frac{65}{15} = 4,33 \Omega$ ili $r = 4,33 - 0,05 = 4,283 \Omega$. Otpor r_9 morao bi biti $r_9 = 4,283 - 1,57995 = 2,70305 \Omega$.

Kod uputnika moramo dakle 3 slučaja razlučiti:

1.) Uputnici, koji imaju kod ukopčanja na pr. kontakt normalnu jakost struje punog tereta. Za ove uputnike vrede u prvom redu naše jednadžbe.

2.) Uputnici, koji imaju kod ukopčanja na pr. kontakt jaču struju od normalne kod punog tereta. Jednadžbe možemo upotrijebiti, ako izračunamo otpore za $n+1$ odjela te ispuštimo određujući izračunati otpor.

3.) Uputnici, koji imaju za prvo ukopčanje slabiju struju od normalne za puni teret. Imaju li u tom slučaju normalni uputnik $n+1$ kontakt (n odjela), izračunamo otpor za n odjela, te dodamo još otpor, koji manjka.

Za pravilno odabiranje razmjera $\frac{I_{a \text{ max}}}{I_{a \text{ min}}}$ vrijedi sledeća tabela broja vata, kojega se kod ukopčanja može ući iz mreže:

A. normalna vlačna sila	3500 vata	$0,5 \div 1 \text{ PS}$
	1500 "	$1 \div 2 \text{ "}$
	1250 "	$2 \div 15 \text{ "}$
	1000 "	iznad 15 "

B. velika plaina sila 2500 vata 1-15PS
2200 " nad 15 "

i to za svaku PS.

Za ft. Motor 10PS $\eta' = 0,85$
Pro PS potrebno je $\frac{736}{0,85} = 870$ vata, iz mreže do-
xvođeno 2500, prema tome $\frac{T_{\max}}{T_{\min}} = \frac{2500}{870} = 2,88$.

9. Izračunavanje otpora.

Dovede li se kojoj god tvari toplinu, raste tem-
peratura najprije brzo zatim polaganije dok
se ne približi konstantnoj veličini. Kad je posti-
gla ovu vrijednost, nemamo više porasta tempe-
rature, jer se čitava dovedena temperatura toplina
odvede u svak odn. okolišu. Predana toplina ras-
te proporcionalno razlici temperature tvar-okolica
i površini koja preda toplinu okolišu. Ali ne samo
o površini je određena toplina ovisna, nego također
kakvoća površine ima veliki uticaj. / Glatka,
rapava, crna, svijetla i t. d. / Oznakuje li C kon-
stantnu veličinu, koja sve razmjere uvađuje,
onda možemo staviti

Dovedena toplina = odvedenoj toplini = C.O.T.

O je površina u cm^2 , T povišenje temperature
prema okolišu.

Dovedena se toplina u obliku struje onda (glasi)
vredi

$$0,24 i^2 r = COT \text{ ili } T = \frac{0,24 i^2 r}{C.O} \quad (159)$$

Ako je C poznato, može se T izračunati: C odredi
se za svaku tvar, ako se mjeri O, T, te $i^2 r$.

A. Okrugle žice.

Za ove vrijedi: $O = \pi \cdot d \cdot l \text{ cm}^2$

d promjer, l dužina, cm /

Jer je $\alpha = \frac{c \cdot l}{2}$ odnosno ako mjerimo l u cm te Q u cm^2

$$\alpha = \frac{c \cdot l}{2 \cdot 100 \cdot 100} = \frac{4c \cdot l}{d^2 \pi \cdot 10000} \quad \text{dobijemo}$$

$$0,24 i^2 \cdot \frac{4c \cdot l}{\pi d^2 10000} = C \cdot T \cdot \pi d l \quad \text{ili}$$

$$d_{(\text{cm})} = \sqrt[3]{\frac{0,24}{10000} \cdot \frac{4c}{\pi^2} \cdot \frac{i^2}{C \cdot T}} = 0,02133 \sqrt[3]{\frac{c i^2}{C \cdot T}} \quad (160)$$

B. pravokutni presjek (trakovi)

Za trakove širine $b_{(\text{cm})}$ i debljine $\delta_{(\text{cm})}$ je

$$O = 2(b + \delta)l \quad \text{te} \quad \alpha = \frac{c \cdot l}{b \cdot \delta \cdot 10000} \quad \text{prema tome}$$

$$\frac{0,24 \cdot i^2 \cdot c \cdot l}{b \cdot \delta \cdot 10000} = C \cdot T \cdot 2(b + \delta)l \quad \text{odn.}$$

$$(b + \delta) \cdot b = \frac{0,24 \cdot i^2 \cdot c^2}{2 \delta \cdot C \cdot T \cdot 10000} \quad (161)$$

Jer se upotrebljuje uopće samo trakove, koji su obzirom na širinu b veoma tanki, može se δ zanemariti. Onda rezultira

$$b = \sqrt{\frac{0,24 \cdot i^2 \cdot c}{2 \delta \cdot C \cdot T \cdot 10000}} = 0,00346 i \sqrt{\frac{c}{C \cdot T \delta}} \quad (162)$$

Jednakošće za okrugle žice i trakove 160 i 162 služe za izračunavanje otpora, koji su trajno ukopčani. Više puta teče struja samo kratko vrijeme kroz otpor, tako da ne dolazi do ravnotežja topline. Onda se kod proračuna pretpostavi, da služi čitava dovedena toplota samo za povišenje temperature (najneugodniji slučaj)

Onda vrijedi

Q dovedena toplota u 1 sek.

c , spec. toplota t.j. toplota potrebna za povišenje temp. 1 grama za 1°C .

T porast ili porastuće temperature, onda vrijedi za q grama

$$Q = c_1 q T$$

$$Q = 0,24 i^2 r t \quad q = q \cdot l \cdot \gamma \quad (\gamma \text{ spec. težina, } q \text{ u mm}^2, l \text{ u m})$$

Yor je $r = \frac{c \cdot l}{q}$ dobijemo:

$$0,24 \cdot i^2 \frac{c \cdot l}{q} \cdot t = c_1 q l \gamma T \text{ ili}$$

$$T = \left(\frac{i}{q}\right)^2 \cdot \frac{0,24 c}{c_1 \gamma} t = p^2 \cdot \frac{0,24 c}{c_1 \gamma} t \quad (163)$$

p gustoća struje.

Sljedeća tabela sadržava za nekoliko tvari c_1 , C , $\frac{0,24 c}{c_1 \gamma}$, c , te γ .

Tab. 3

Tvar	C	$\frac{0,24 \cdot c}{c_1 \gamma}$	spec. tež. c_1	spec. tež. γ	spec. otpor c	Primjedba temp. taljenja
Olovo	0,000208	0,140	0,0314	11,35	0,2076	326°C
Željezo	0,0006	0,0304	0,1138	7,6 ÷ 7,8	0,11	
Bakar	0,0006 ÷ 0,0007	0,005	0,093	8,86 ÷ 9	0,01635	
Kupin	0,000244	0,21	0,12	8,1	0,85	
Nikelin	0,000146	0,119	0,1	8,63 ÷ 8,77	0,4	

Za uputnike / žica namotana na valjke iz porcelana / može biti $T = 450^\circ$. Za prosto obešene žice / spirale / $T = 300$. Za trajno ukopčane otpore / regulatori etc / $T = 100^\circ$.

Trajno od struje proticani svitci iz pamukom omotane žice moraju imati za svaki izgubljeni vat površinu $O = 8-10 \text{ cm}^2$, da ostane temperatura u dozvoljenim granicama.

Maksimalnu struju, koju prenosa ovakav jedan svitak izračuna se na sljedeći način:

d = promjer gole žice mm

d_1 = promjer izolirane žice mm

D_a = vanjski promjer svitka mm

D_i = unutarnji promjer svitka mm

H = visina prostora za namotaj mm

c = spec. otpor žice $\mu \Omega/m$, mm^2

N_v = Izgubljeno djelovanje ($i^2 \cdot t$)

$$i = \sqrt{\frac{N_v}{t}} = \sqrt{\frac{\pi d^2 \cdot N_v}{4 \cdot c \cdot t}} \quad N_v = \frac{Q}{\phi} = \frac{\pi \cdot D_a \cdot H}{0.102}$$

$$\gamma^m = \frac{V}{d_1^2} = \frac{\pi(D_a^2 - D_i^2) \cdot H}{4 \cdot d_1^2 \cdot 10^3}$$

V = volumen

$$\frac{N_v}{t} = \frac{4 \cdot d_1^2 \cdot D_a \cdot 10}{\phi(D_a^2 - D_i^2)} \quad \text{te konačno}$$

$$i = d \cdot d_1 \sqrt{\frac{10 \pi D_a}{\phi(D_a^2 - D_i^2)}} \quad (164)$$

Jer je gubitak N_v , te površina za hlađenje proporcionalna visini H , doznajemo maxim. trajna struja neovisna je o visini H .



1. Karakteristične krivulje generatora.

A. Generator sa nezavisnim urbudenjem.

a.) Karakteristika neopterećenog kreta.

Ova karakteristika prikazuje u armaturni inducirani d.m. silu E_a u zavisnosti od struje urbudenja i to za konstantan broj okretaja i opterećenje = 0. Od krivulje magnetiziranja razlikuje se u tome, da nam prikazuje umjesto toka Φ napetost E_a u zavisnosti od i_m . Jer je E_a proporcionalno toku Φ leži razlika samo u mjerilu.

Karakteristika neopterećenog kreta predstavlja nam magnetska svojstva stroja, ona tvori temelj svih karakterističnih krivulja. Za neopterećen stroj je napon U na stexaljkama jednak induciranoj d.m. sili E_a t.j.

$$U = E_a = \frac{2\pi n}{60} \Phi \cdot 10^{-8} \text{ Volta}$$

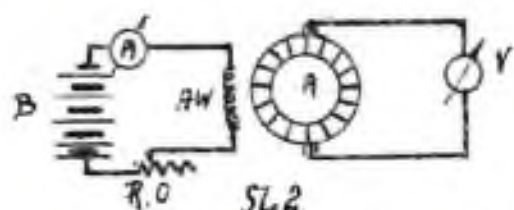
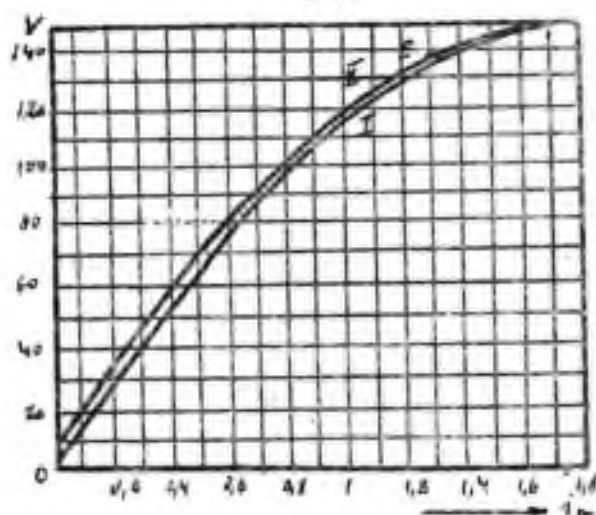
Predpostavimo li konstantan broj okretaja, onda je u ovoj jednačini jedina promjenljiva veličina Φ , koja je ovisna o broju amp. zavoja. Pošto je i broj zavoja konstantan, konačno je jedina promjenljiva veličina i_m , a to je struja u namotaju

magneta. E_a je dakle funkcija struje i_m

$$E_a = f(i_m) \quad (1.)$$

Sl. 1. prikazuje nam neopterećenu karakteristiku generatora sa nezavisnim uzbudjenjem.

SL. 1



SL. 2.

Za eksperimentalno određivanje upotrebljava se šema sl. 2. Kod pokusa je:

n - broj okreta konstantan
 ϕ - položaj kefice konstantan
 i_m - uzbudjenje promjenljivo
 $E_a = f(i_m)$ mjeri se počevši od $i_m = 0$ do $i_m = \text{maks.}$, malna jakost, koja odgovara stroju.

Krivulja ne počinje u

o točki, nego nešto više radi remanentnog magnetizma. Uzbudi li se magnet jeste, jeru, raste E_a u početku približno po pravcu. Nagib toga dijela karakteristike ovisan je o rasporu. Čim manji raspor, tim je strmija karakteristika. Dok željezo još nije zasićeno, troši se svi amp. zavoji za raspor. Raste li zasićenje, raste brzo i za željezo potrebni broj amp. zavoja, tako, da može konačno nadmašiti broj amp. zavoja za raspor. Krivulja dobije koženu; od koje, na raste samo polagano. -

Ako je uzbuđenje konstantno, mijenja se E_a proporcionalno broju okreta. Nije li kod primanja bio broj okreta konstantan, mora se mjeriti el. m. silu E_a' reducirano, tj. na određeni broj pomoću jednadžbe, koja slijedi iz jedn. za E_a

$$E_a = E_a' \frac{n}{n'} \quad (2.)$$

b.) Karakteristika opterećenja.

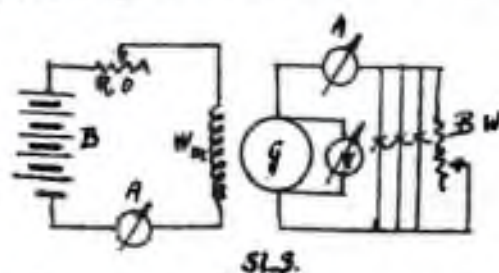
Ova karakteristika prikazuje napon U na stexaljkama u ovisnosti struje usbuđenja i_m , kod konstantnog broja okreta i konst. tereta.

$$U = f(i_m) \quad (3.)$$

Napon će biti uvijek manji, nego u armaturi inducirana el. m. sila E_a i to radi:

- 1.) ohmova otpadaja u armaturi i keficama
- 2.) protudjelovanja armature.

Otpadaje i protudjelovanje je tim veće, čim je veće opterećenje. Karakteristika opterećenja leži prava tome tim niže, čim je veća jakost struje. Ugodno je ovakove karakteristike crtati za razne terete.



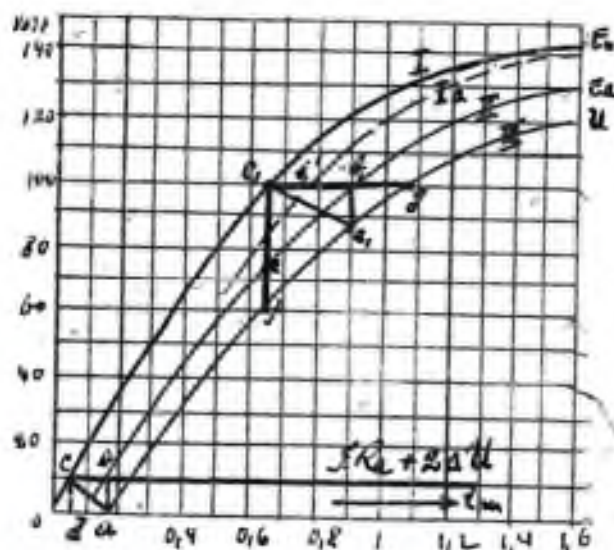
Kod primanja ove karakteristike konstantno je broj n , struja armature, položaj kefica. Promjen.

ljiva veličina je uzbuđenje (struja i_m). Sve se spoja na Sl. 3. Mijenja li se usbu,

stenoje postepeno, otpor se za reguliranje re-
glira tako, da ostane struja u armaturi
konstantna. Ako je R_a otpor armature, $2\Delta U$
otpadanje u prelaznom otporu, I struja ($=I_a$),
onda je u armaturi inducirana el. m. sila
 E_a

$$E_a = U + IR_a + 2\Delta U \quad (4)$$

Jer je I konst., mora biti konstantno faktor
i otpadanje. Iz karakteristike II. - sl. 4. - do-
bi se karakteristiku E_a u ovisnosti od i_m ,
ako se doda ordinati krivulje III. konst. veličina
 $IR_a + 2\Delta U$. - Krivulja IV. - Ona leži između ka-
rakteristike I za neopterećeni kret i karakti-
ristike III za opterećenje. e, f je totalno otpa-
danje napona. Ovo



Sl. 4.

otpadanje dijeli se u dio
 e, f - otpadanje u arma-
turi i krepicama - te
dio e, e t. j. otpadanje
radi protudjelovanja
armature. e, g je za
kompenzaciju otpadanja
potrebno fovićenje usku-
đenja ili broja amp.

zavoja na magnetu.

Spojimo li stenzalke stroja kratko, onda
moramo u armaturi induciranu el. m. silu
 E_a , koja je jednaka otpadaju $IR_a + 2\Delta U =$

$= a b = c d$, ako hoćemo imati u armaturi struju I . Ovaj el. m. sili odgovara broj amp. zavoja $od + za$ kompenzaciju protudjelovanja armature & potrebiti broj $cb = da$. Iako se ne obaziremo na promjenu otpora armature, zbog topline, ostane otpadajuće $I R_a + 2 s U = ab$ konstantno. Ali cb nije konstantno. -

Protudjelovanje sastoji se iz amp. zavoja $A W_e$ & $A W_g$ (vidi III. -). Prvi su kod konst. jakosti struje ovisni samo o položaju te, fika. $A W_g = 0$ dok željeno još nije zasićeno: ravni dio neopterećene karakteristike. Raste li zasićenje, raste i broj amp. zavoja $A W_g$. Suma

$$A W_k = A W_e + A W_g \quad (5)$$

raste prema tome sa zasićenjem.

Micemo li pravac cb ($= \frac{A W_k}{W_k}$ ili, jer željeno još nije zasićeno u ovom položaju $= \frac{A W_e}{W_e}$) paralelno sa osi abscisa tako, da ostane to, ika c na karakteristici neopterećenog kreta, onda točka b crta krivulju I.a), koja prema tome prikazuje samo uticaj amperzavoja $A W_e$. Horizontalna udaljenost b'b između krivulja I.a i II prikazuje sa zasićenjem rastući uticaj amperzavoja $A W_g$.

Može zauzima nas samo gornji dio krivulje. Ovaj dio može se na jednostavan način konstruirati. U tu svrhu odredi se $A W_k = A W_e + A W_g$ za normalnu jakost, onda

se izračuna otpadajući napon te konstruirati trokut c, b, a , i to tako da je

$c, b = \frac{AW_K}{W_K}$ $b, a = I_a R_a + 2 s U$. Onda se miče c, b, a , paralelno tako, da ostane točka c , na karakteristici neopterećenog kreta.

Točka a , crtat će onda Frañenu karakterističnu opterećenja. Pogriješila (AW_K nije u istini konstantno) nije velika.

c.) Vanjska karakteristika.

Radi li generator uspie sa promjenjivim teretom, i to pod običnim usjetima, to mora na, petost kod različitih tereta i nepromjenjenog uzbuđenja ostati što je moguće konstantnija.

Za posuđivanje stroja u tom pogledu služi vanjska karakteristika, koja prikazuje ovisnost napona U na statoru od struje I opterećenja i to za konst broj okreta i konst uzbuđenja.

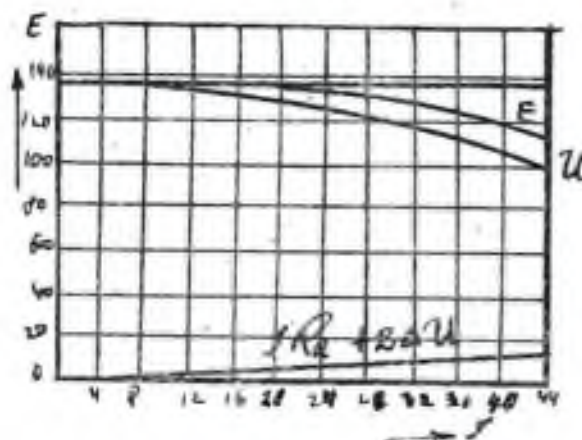
Prema tome je konstantno: broj okreta, uzbuđenje, položaj četke, a motriti moramo promjenjivi napon U kod promjene struje $I (= I_a)$.

$$U = f(I) \quad (6)$$

Otpadajući napon nije proporcionalan struji I , nego nešto veće. Krivulja je prema apscisi konkavna.

Pravac kroz 0 - sl 5 - prikazuje otpadajući napon u armaturi i četkama u ovisnosti

od I te je jednako $IR_a + 2aU$. Dodamo li ordinatu vanjske karakteristike vrijednosti $IR_a + 2aU$ dobijemo nutarnju karakteristiku t.j. u armaturi induciranu el.m. silu E_a u ovisnosti o jakosti struje I .

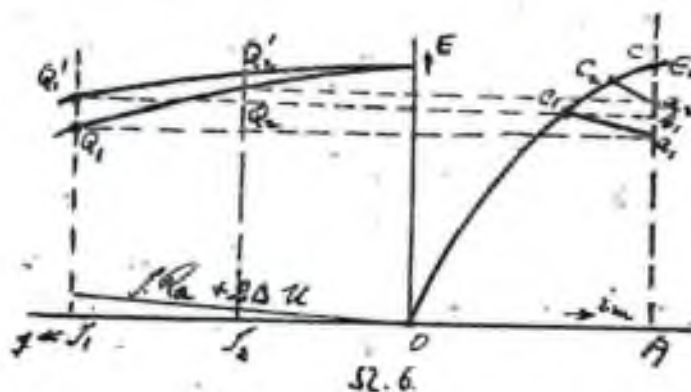


Sl. 5.

Rezika u ordinatama vodovaone este i nutarnje karakteristike jest otpadanje prouzročeno od protudjelovanja armature.

Pomoću neopterećene karakteristike može se konstruirati vanjsku karakteristiku kod zadanoj urbuđenja i_m .

Sl. 6. O A načinimo $= i_m$, a kroz A vučemo ordinatu. Za određenom struju I izračunamo pripadajuću vrijednost



Sl. 6.

$AW_k = AW_e + AW_g$ te otpadanje $IR_a + 2aU$, onda narišemo trokut c, a, b , koji odgovara uvjetima:

$$AW_k = AW_e + AW_g$$

te otpadanje

$IR_a + 2aU$, onda narišemo trokut c, a, b ,

koji odgovara uvjetima:

$$c, b_1 = AW_k \quad b_1, a_1 = IR_a + 2aU$$

Aa_1 je onda struji I , pripadajući napon te tvorila lijevoj strani ordinatu točke I_1 . Dobivena točka Q je točka vanjske karakteristike. Da postane konstruk. jednostavnija, zamislimo

da se je AW_k promijenio isto tako, kako i otpa-
dajće napona proporcionalno struji I . To ni-
je sasvim pravilno, ali razlika nije velika.
Prava c, a , miče se prema tome kod pro-
mjene struje I paralelno samom sebi.

Drugu točku neopterećene karakteristike
(vayške) dobijemo, ako uručimo na neopte-
rećenoj karakteristici kojegod točku, na pr.
 c_2 . Kroz ova točku crtamo usporednicu s c, a ,
i to do sjecišta sa ovom AC . Pošto je c, a ,
proporcionalno sa I , možemo pripadajuću struju
 I_2 izračunati. A a_2 je napon U_2 , koji odgovara
struji I_2 . Na taj način dobijemo točku Q_2
vayške karakter. i t. d. Dodamo li ordi-
natama $I, Q_1, I_2 Q_2$ struji I , odnosno I_2 pripa-
dajće otpadajće $IRa + 2aU$ dobijemo točku
 Q'_1 i Q'_2 nutarnje karakteristike.

Pošto napon pada skoro ujedno s rosta-
ćim opterećenjem, to je u praksi dostatno
odrediti promjenu napona od neopterećenog
kreta do novog kreta. Kod toga izlazi se
od normalnog napona U , a urbuđenje ostaje kod
promjene tereta konst. Promjena napona ovna,
čije se u %, a ne u Volt.

Sl. 7. Normalni napon je $U-U$, horizontalna
crta. U neopterećenom kretu imamo ovaj na-
pon za urbuđenje OA . (Krivuga je neoptere-
ćena karakter.) Tada crtamo trokut cba

B. Serijski generator

a.) Neopterećena karakteristika.

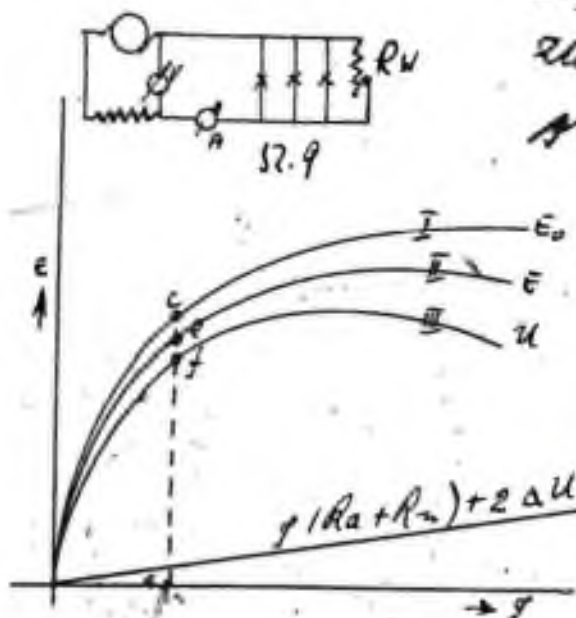
Kod serijskog generatora teče struja armature također kroz namotaj magneta. Iz toga razloga nemamo zapravo neopterećene karakteristike. Ali ova karakteristika je također ovdje temelj konstrukcije svih drugih karakteristika. Možemo je dobiti, ako namenu urbuđenju iz kojeggod izvora isto „mjerne struje“, kako je to bilo kod generatora, ra sa nezavisnim urbuđenjem. Ovim fokusom nađe se u armaturi inducirana el. m. sila za teret $\rightarrow 0$ u ovisnosti od I_m sa konstantan broj okreta. Pošto je otpor namotaja magneta veoma malen, mora se ta činjenica uzeti u obzir. Potrebna struja je eventualno veoma velika.

b.) Karakteristika opterećenja.

$U = f(I_m)$ Serijski stroj nema karakteristike opterećenja jer teče ista struja kroz armaturu i magnete, prema tome nije moguće međusobno nezavisno reguliranje struje I_a te $I_m (= I_h)$. Ali može se i ova karakteristika moći se snimiti isto tako, kao i neopterećena i to sa nezavisnim urbuđenjem.

c.) Vanjska, unutarnja karakteristika.

Ove karakteristike prikazuju nam karakteristična svojstva serijskog generatora. Zato što se upotrebljava citava struja za uzbudjenje magneta, mora sa rastućim te-
retom u armaturi inducirana el. m. sila, a isto tako napon U na stazama rasti.



Sl. 9. prikazuje šematski spoj za snimanje ove karakteristike. Sl. 10 prikazuje neopterećenu karakter. I, unutarnju karakter. II. $E_a = f(I)$, te vanjsku karakter. III. $U = f(I)$. Kod primanja je broj okreta konstantan. Motriti mora-
mo promjenjivu napetost $U = f(I)$ i to kod reguliranja

promjenjive veličine I . Sve krivulje počinju u točki O' , koja leži radi remanentnog magnetizma nešto više, nego O . Sa rastućom strujom I dižu se krivulje u početku prilično strmo.

ce je otpadajuće napona radi protudjelovanja armature,

ef je ohm-ovo otpadajuće $= I(R_a + R_n) + 2\Delta U$.

ef raste približno proporcionalno sa opterećenjem.

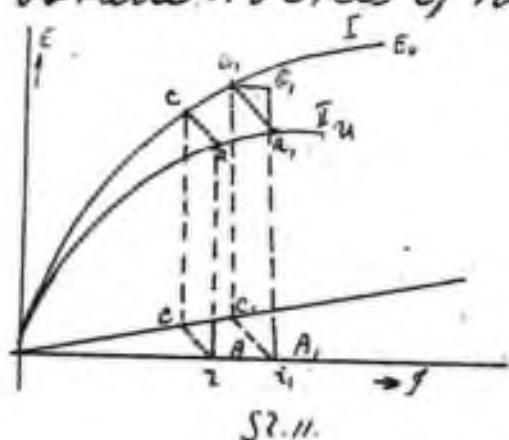
Napon U (III) dostigne posljednje koljeno maksimum vrijednost, te počne padati, ako teret I raste.

Ako je protudjelovanje jako, također i unutarnja

karakteristika prikazuje sličan odnos. Vajisku karakteristiku možemo iz neopterećene izračunati i konstruirati, ako pretpostavimo, da je protudjelovanje armature proporcionalno struji. (Netočnost nije velika.)

Za određen jakost struje izračunamo u tu svrhu $\Delta W_k = \Delta W_e + \Delta W_g$ t.j. kompenzaciju protudjelovanja, dalje otpadamo $I_1(R_a + R_k) + 2sU$, te nacrtamo posmat. nam trokut a, b, c , gdje vredi $a, b_1 = I_1(R_a + R_k) + 2sU$, $b, c_1 = \frac{\Delta W_k}{W_k} -$

sl. 11. - Promjenjuje li se teret I , onda sve strane trokuta promjenjuje dužinu proporcionalno I . Kod toga se miče trokut paralelno tako, da ostane točka c , na neopterećenoj karakter.



a točka a , crta vajisku karakteristiku. Konstrukcija je veoma jednostavna.

Kroz A , vučemo usporodnicu s c, a , te napravimo $A, c_1 = a, c_1$, onda spojimo c_1 sa O . Da nađemo za kojigod jakost I pri

zadane točku, napravimo $I = OA$, vučemo onda kroz A usporodnicu s A, c_1 za dobijemo točku c . Crta li se konačno paralelogram $CcaA$ dobije se traženu točku a vajiske karakter.

Tako konstruirana vajiska karakteristika ne odgovara sasvim istini. Za male zavisnosti dobijemo premale, a za velike prevelike vrijednosti napona U , ja raste učinak nešto

brže, nego proporcionalno s γ .

Poznamo li vanjsku karakter. $U=f(\gamma)$ za određen broj okreta n , možemo je izračunati za broj n' , jer je za jednu te istu jakost struje

$$E_a' : E_a = n' : n \quad (11)$$

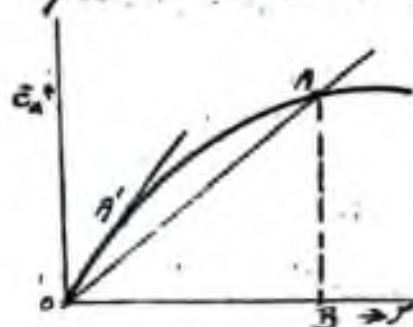
prema tome

$$\frac{E_a'}{E_a} = \frac{n'}{n} = \frac{U' + \gamma(R_a + R_h) + 2sU}{U + \gamma(R_a + R_h) + 2sU} \quad \text{odnosno}$$

$$U' = \frac{n'}{n} [U + \gamma(R_a + R_h) + 2sU] - [\gamma(R_a + R_h) + 2sU] \\ = \frac{n'}{n} U - (1 - \frac{n'}{n}) [\gamma(R_a + R_h) + 2sU] \quad (12)$$

Hoćemo li to grafički izvesti, onda odredimo iz U krivulje najprije unutarnju karakter., iz ove $E_a' = f(\gamma)$ te subtrahiramo odgovarajuće napona $\gamma(R_a + R_h) + 2sU$. Rezultat je tražena vanjska karakter. za broj n' .

Unutarnja karakteristika ima, kako je to bilo spomenuto za abscisu jakost struje γ , a za ordinatu d. m. silu E_a . Izjimo točku



Sl. 12.

A - sl. 12. - sa O onda je $\frac{AB}{OB} = \tan \angle AOB = \frac{E_a}{\gamma}$ t. j. čitavome otporu kruga. Prema tome $\tan \angle AOB = R_z = R_a + R_h + R$ (12) gdje R znači vanjski otpor.

Iz ove jednadžbe slijedi pravilo: Trig. tangenta kutu spojene jedne točke karakteristike sa izvorom koordinata i abscisom prikazuje totalni otpor kruga za ovu točku. Najveća vrijednost otpora je $\tan \angle A'OB$. Ako bi

ima koeficijent $\frac{E_a}{\omega}$ za svaki broj okreta istu vrijednost. Za različite brojeve okreta imamo različite krivulje $E_a = f(\gamma)$, ali samo jednu jedinu krivulju $\phi = f(\gamma)$.

e) Linije djelovanja (efekta)

Pomoću jedne metode S. P. Thompson-a možemo karakteristike također upotrebiti za određivanje efekta, koji odgovara određenoj jakosti struje i prikladnoj el. m. sili odnosno napetosti. Totalni efekt, kojega proizvodi stroj je

$$N_t = E_a I_a = \frac{E_a I_a}{736} \text{ PS} \quad (15)$$

Da prikazemo jednu konjoku silu ili jednu K. vat, možemo upotrebiti neograničeni broj kombina, cija E_a te I_a kojih svaki odgovara jednu $N_t = E_a I_a = 736$ vata ili $E_a I_a = 1000$ vata. Sve točke, što leže na krivulji, koja je određena ovom jedu.

$E_a I_a = \text{konst} = \text{istostrana hiperb.}$

odgovaraju 1 PS. Na slični način možemo citati svake linije za kojegod broj K.S.

Asimptote ovih linija jesu osi koordinata. Crtamo li nekoliko ovih linija u slici 13, možemo odmah uočiti koliko PS, ili vata odgovara svakoj točki karakteristike.

f. Stepu djelovanja.

Hoćemo li sa našim strojevima proizvesti struju, moramo imati raspoloživu energiju. Koeficijent

$$\eta' = \frac{\text{korisna el. energija}}{\text{mehanič. energ.}} = \frac{\text{korisni učin.}}{\text{potrošena radnja}}$$

Zove se totalni stepen djelovanja.

Mehanička energija sastoji se iz korisne el. energije i gubitaka na efektu. Ovi su: trenje u ležaju, trenje na kolektorima, otpor zraka, gubici zbog histerese i vrtložnih struja te konačno gubici zbog Joule-ove topline.

Gubici zbog trenja, histerese i vrtložn. struja označimo sa N_v (vanjski gubici). Ovi su po iskustvu za svaki test približno konst. Gubici zbog Joule-ove topline su visni o jakosti struje te određeni produktom I^2 otpor.

Korisna energija određena je produktom $U \cdot I$. Prema tome

$$\eta' = \frac{U \cdot I}{U \cdot I + I^2(R_a + R_h) + N_v} = \frac{U \cdot I}{I(U + I(R_a + R_h)) + N_v} \quad (16)$$

a jer je $U + I(R_a + R_h) = E_a$ slijedi konačno

$$\eta' = \frac{U \cdot I}{E_a I + N_v} \quad (17)$$

Izračunavanje veličine N_v je samo približno točno, a stvarna vrijednost može se samo pokušom odrediti. Iz toga razloga zavisima elektrotehničara više drugi stepen djelovanja i to električki stepen η , kojega određuje jedn.

$$\eta = \frac{\text{korisni učin.}}{\text{totalni el. učin.}} = \frac{U \cdot I}{E_a I} = \frac{U}{E_a} \quad (18)$$

brusajući li 2 otpor vanjskog kruga, vredi $U = I R$

Iz omotnog zakona $I = \frac{E_a}{R_a + R_h + R}$ slijedi
 $E_a = I(R_a + R_h + R)$. Prema tome

$$\frac{u}{E_a} = \eta = \frac{R}{R_a + R_h + R} = \frac{\text{vayski otpor}}{\text{totalni otpor}} \quad (19)$$

Važno je pitanje, sa kojim vayskim otporom mora raditi serijski generator, da postigne el. stepen djelovanja η određenom vrijednost.

Iz jedu. 19. slijedi $\eta \cdot R + \eta(R_a + R_h) = R$ ili

$$R = (R_a + R_h) \frac{\eta}{1 - \eta} \quad (20)$$

Kod stroja, koga se više proizvut, zadane su veličine u i I , a η može se odabrati; potrebno je da se prvotno odredi $R_a + R_h$. Iz jedu. 19. slijedi

$$R_a + R_h = R \frac{1 - \eta}{\eta} = \frac{u}{I} \cdot \frac{1 - \eta}{\eta} \quad (21)$$

$\therefore R_a$ je uvijek otpor armature i polara, t.j. totalni otpor armature :/

η	$R_a + R_h$
0,4	$\frac{3}{2}R = \frac{3}{2} \frac{u}{I}$
0,5	$R = \frac{u}{I}$
0,6	$\frac{2}{3}R = \frac{2}{3} \frac{u}{I}$
0,7	$\frac{3}{7}R = \frac{3}{7} \frac{u}{I}$
0,8	$\frac{1}{4}R = \frac{1}{4} \frac{u}{I}$
0,9	$\frac{1}{9}R = \frac{1}{9} \frac{u}{I}$
0,94	$\frac{3}{47}R = \frac{3}{47} \frac{u}{I}$

Tabela 1.

Tabela 1. daje nam vrijednosti $R_a + R_h$ za različite veličine η .

Konačno nas zanima kod generatora još pitanje, za koju jakost struje postigne totalni stepen η' maksimalnu vrijednost.

Djelimo li u jedu 16. brojnik i nazivnik sa I , dobijemo

$$\eta' = \frac{u}{u + (R_a + R_h)I + \frac{u}{I}}$$

η' postigne maksimalnu vrijednost, ako je na. xionik minimum. Nazivnik moramo dakle

diferencirati po I te koeficijent staviti = 0 t.j.

$$R_a + R_h - \frac{Nv}{I} = 0$$

$$Nv = I^2(R_a + R_h) \quad (22)$$

Prema tome totalni stepen je maksimum, ako su gubici radi Joule-ove topline jednaki varijabilnim gubicima radi treynja, histerese i mrtloinik struja.

Ako je na pr. el. stepen djelov. $\eta = 0,9$, onda to znači, da je gubitak zbog topline 91 ili 10%. Ovom gubitku morao bi biti jednak gubitak Nv ; prema tome čitavi gubitak $10 + 10 = 20\%$ ili $\eta' = 0,8$.
Uspjevredi: Ako je η električni stepen, η' totalni onda mora biti obrnuto na jedu 22.

$$2(1-\eta) = 1-\eta'$$

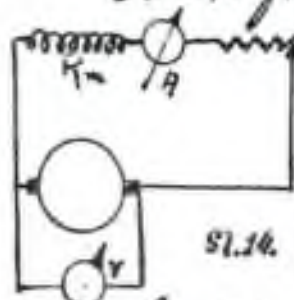
$$\eta = \frac{1+\eta'}{2} \quad \eta' = 2\eta - 1 \quad (23)$$

U tome je slučaju η' maksimum.

C. Poredni generator

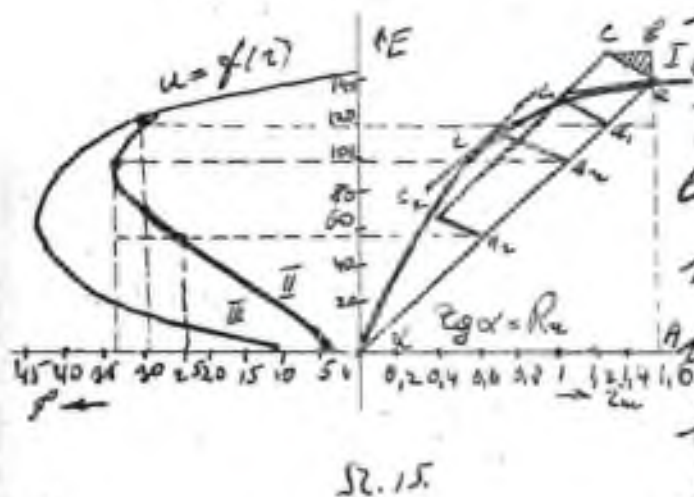
a.) Neopterećena karakteristika

Sl. 14. prikazuje šemu spoja. Armatura nije bez struje, jer dobiva struju uzbuđenja. Ali jer je ova struja 2-3% glavnog - onda je otpadajući napon u armaturi tako mal, no, da ga možemo zanemariti. Prema tome za da karakteristika, primjena sa vlastitim uzbuđenjem zajedno sa karakteristikom koja bi dobili neravnom uzbuđenjem. Isto smo



spomenuli ondje vredi dakle i ovdje.

Poredni generator ima vlastito urbuđenje, ako je otvor u magnetskom krugu tako malen, da siječe pravac Oa - sl. 15. - neopterećenom karak., teristiku Ea . Onda greis. vredi armatura dostatnu el. m. silu, koja tjera struju kroz namotaj. Napravimo li otvor namotaja veći, nego $\tan \alpha$, tako da pravac Oa ne ne siječe više krivulju, onda se izgubi napetost, a stroj nema urbuđenja. -



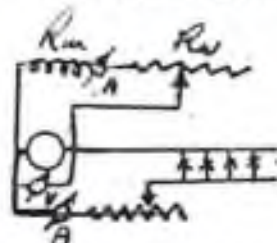
B.) Karakteristika opterećenja.

Ovu krivulju možemo snimiti sa nezavisnim i vlastitim urbuđenjem. Obe krivulje pada, je praktički zajedno. Ovdje vredi kao za generator sa nezavisnim urbuđenjem isto, što je bilo spomenuto sub A - B.

C.) Vanjska i unutarnja karakteristika.

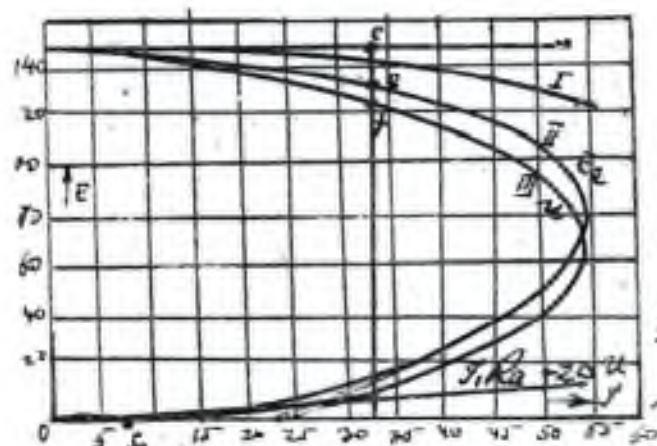
Ovu karakteristiku možemo snimiti ako opteretimo stroj potpuno u konstantu

otpor u krugu uzbudjenja i konst broj okreta.
 Iz ove slike mogu se uočiti karakteristična
 svojstva zorednog generatora.



Sl. 16.

Seu ugoja prikazuje sl. 16, sl. 17.
 prikazuje vanjsku karakterist.
 i to za nezavisno uzbudjenje -



Sl. 17.

- krivulja I - za vlastito
 uzbudjenje $U = f(I)$ - krivulja
 III - te unutarnju karakteri-
 stiku $E_a = f(I)$ - krivulja
 II - Kod zokusa je: broj ok-
 retaja konstantan, otpor
 kruga uzbudjenja konstantan,

i položaj kofica isto konstantan. Motriti mora-
 mo promjenjivi napon na stexafkama
 $U = f(I)$ kod promjene struje u armaturi.

Kavjska karakteristika - II. sl. 17. zoda
 sa restucim teretom brže, nego vanjska karakteri-
 stika nezavisnog uzbudjenja - I. Uvrok je
 taj, što struja I_m kod vlastitog uzbudjenja i
 konstantnog zorednog otpora nije konstantna
 kao kod nezavisnog uzbudjenja. Ona opada
 isto tako, kao i otpadanje napona u arma-
 turi. Za određenom jakost struje - kritičnu
 jakost - okrene se vanjska karakteristika
 te polari, ako se još dalje umanjiva vanjski
 otpor, prema natrag, te spče kod kratkog

spoja kefice osovinu abscisa u točki S_0 . Prema tome nije vażyška karakteristika jednodušačna krivulja, jer ima za jednu te istu točku odno-
sno određenom vrijednost I dvije vrijednosti za U . Iz krivulje vidimo, da stroj u kratkom spoju ne izgori.

Pomoću vażyške karakteristike konstrui-
ra se lako nutarinja III , ako se k naponu U
doda pripadajuća vrijednost $I_{Ra} + 2sU$. U
slici 17. vidi se cf totalno otpadanje od
neopterećenog kreta do tereta I . cf je otpadu-
nje $I_{Ra} + 2sU$; ce je protudjelovanje armature
i otpadanje zbog umanjivanja struje I_m .

Konstrukcija vażyške karakteristike:

I_m opada proporcionalno sa U . Ako je R_m otpor
namotaja magneta onda vredi za sve terete

$$I_m = \frac{U}{R_m} \text{ ili}$$

$$\frac{U}{I_m} = R_m = \text{fuga konst} \quad (24)$$

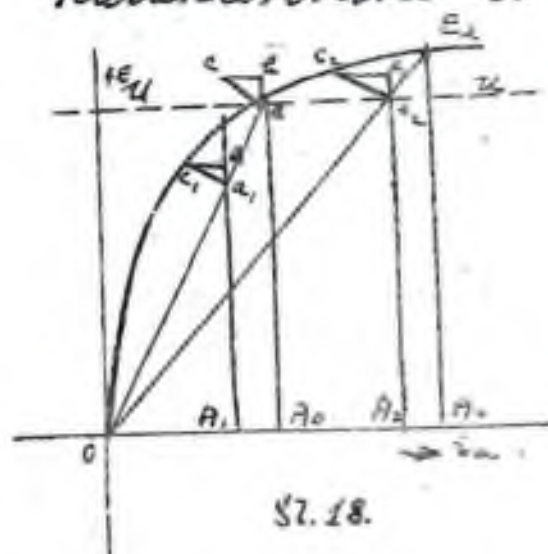
Pravae Oa - sl 15 - je prema tome napon stexaljka
 U u ovisnosti od uzbuđenja. Ovim pravcem te
neopterećenom karakteristikom možemo vażyšku
karakteristiku skoro sasvim točno konstruirati.
Za određenom strujom I , izračunamo trokut
 abc , $ab = I, Ra + 2sU$ $bc = \frac{AW_K}{W_K}$. Zamislimo
da se mijenja $2sU$ i AW_K proporcionalno struji
tereta I . U tom slučaju je ca proporcionalno
sa I , te ima za sve vrednosti I isti smjer.

Da dobijemo obje vrijednosti U , koji odgovara, razju struji I , vučemo kroz c usporednicu b Oa , za dobijemo specijite c_1 i c_2 ; kroz c_1 i c_2 crtamo onda usporednicu sca . Specijita a_1 i a_2 sa Oa su traženi naponi. Druge tačke karakteristike dobijemo, ako mičemo pra, vez c, a , paralelno sam sebi. Dužina je direk. Tna mjera jakosti struje, specijita sa pra, cemu Oa su pripadajući naponi U . Kritična jakost se dobije, ako se vučje paralelno s Oa tangentu krivulje neopterećenog kreta, t.j. $c_m a_m$.

Na lijevoj strani osi ordinata nacrtane su zonsadene vrednosti U u ovisnosti od I . Krivulja I . Krivulja II odgovara eksperimentalno nađenoj krivulji. U početku zadaju krivulje zajedno, i to u onom dijelu, koji dolazi u pra, ksu u obzir. Uvijek varlike je protudjelovanje armature, koje oduzima kod kočena brže, nego smo to pretpostavili.

Iz konstrukcije vidimo, da je maks. malna struja $a_m c_m$ kod zadanoj urbudet, nje OA tina veća, a otpadajuće napona tina manje, čim je stroj više zasićen. Kod strojeva sa premaleim zasićenjem može biti otpadajuće napona tako veliko, da se ne dobije normalna jakost struje, ako se naponsa urbudetuje, koji odgovara normalnomu naponu U za neo, ptereceni kret.

Za praktične svrhe je dostatno odrediti samo promjenu napona kod promjene tereta od neopterećenog stanja do punog tereta i obrnuto. U tom se slučaju poate od normalne napetosti U , otpor urbuđenja ostanu nepromijenjeni. Struja I_m promijeni se prema tome proporcionalno naponu U , koju se promjenu odredi pomoću neopterećene karakteristike - sl 18. -



Normalni napon U pri " kazuje horizontalna crta $U-U$. Za neopterećeni krak je pripadajuće urbuđenje $O A_0$. Trokut $c b a$ crtamo tako, da je $c b = A_0 A_1$; $b a = I A_0 + 2 \Delta U$ za norma, lnu jakost struje I , te mićemo trokut naduž

$a O$, koja crta prikazuje ovisnost struje I_m od napona U za nepromijenjivi otpor urbuđenja, u položaj c, b, a , tako, da ostanu c , na neopterećenom karakteristici, onda zadane urbuđenje do vrijednosti $O A_1$.

Procenatualno je otpadajuće za urbuđenje

$$\varepsilon_a = \frac{A_0 a - A_1 a_1}{A_0 a} 100 \% \quad (25)$$

Da odredimo zvišćuje napona mićemo trokut $c b a$ uduž abscise $U-U$ u položaj c_2, b_2, a_2 na neopterećenom karakteristici. Za puni je teret potrebno urbuđenje $O A_2$, da dobijemo napon U .

Rasterećimo li generator dignu se napon urduv
 0 a₂ do sjecišta a₃ sa neopterećenom karakteristikom.
 Urbudjenje se dignu do vrijednosti OA₃. Procentualno
 povišene kod rasterećanja je

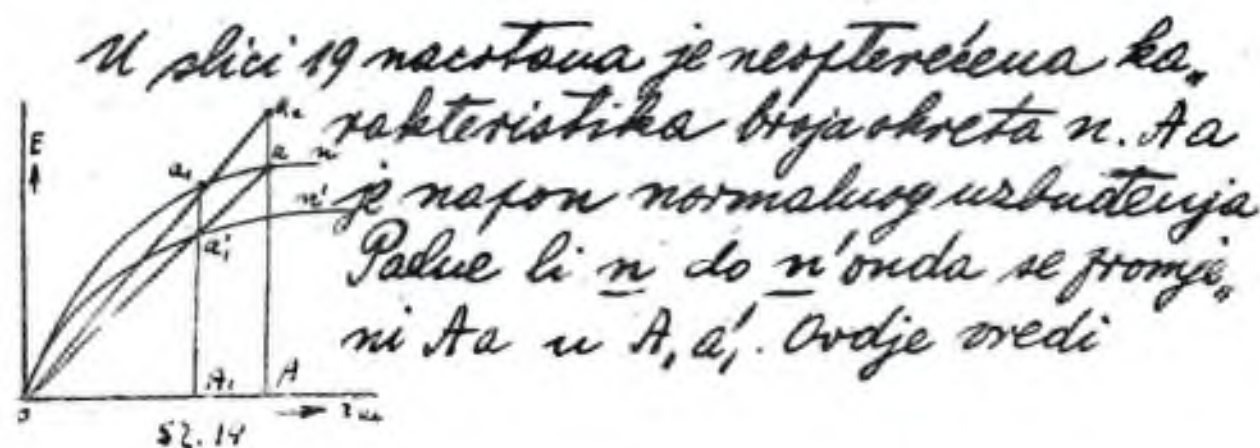
$$\varepsilon_a = \frac{A_3 a_3 - A_2 a_2}{A_2 a_2} 100 \% \quad (26)$$

Promjene su kod zorednog generatora veće, nego
 kod generatora sa nezavisnim urbudjenjem, jer
 struja I_m nije konstantna. Ona se mijenja u
 istom omjeru kao i napon.

d.) Krivulja reguliranja.

Ova krivulja prikazuje kod zorednog gene-
 ratora ovisnost struje I_m od struje tereta I kod
 konst. napona, prema tome I_m = f(I). Ovdje vredi
 isto kao i za stroj sa nezavisnim urbudjenjem,
 ako računamo maleu ofadaju, koje
 proizvodi struja I_m. Razmjer urbudjenja
 za puni teret i neopterećeni kret jest mjera
 potrebne regulacije.

e.) Napon u stikalika kao funkcija broja n.



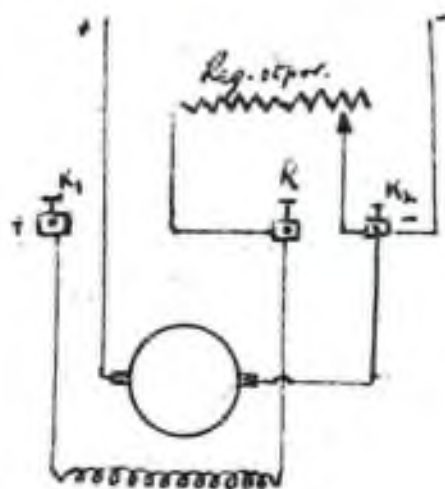
$$\frac{n'}{n} = \frac{A_1 a_1'}{A_1 a_1} = \frac{A a}{A a_2} \text{ ili } A_1 a_1' = \frac{n'}{n} A_1 a, \text{ odnosno}$$

$$A a_2 = \frac{n}{n'} A a \quad (27)$$

Točku a_1' možemo dobiti, ako si izračunamo $A a_2$, te spojimo a i a_2 sa 0. Od sjecišta a , vučemo onda okomicu na oa abscisa, te dobijemo a_1' . Kada promijenimo n' i izračunamo opet $A a_2$, te ponovimo ovu konstrukciju. Na taj način dobijemo za različite brojeve okretaja pripadajući napon, stereofka $U = f(n)$. —

f. Regulacija stroja.

Iz ovakve karakteristike vidimo, da napon pada od neopterećenog kreta do punog tereta. Ako je potrebna konstantna napetost na stereofkama i to za svaku jakost struje, uklopa se u namotaj magneta otpor za regulaciju. Otpor je tako određen, da proizvede stroj sa neopterećenim kretom - otpor uklopa - isti napon kao za puni teret - otpor izklapa. —



Sl. 20.

Tajim spojem prikazuje sl. 20. Treba 3 stereofke. K_1 , K_2 spoji, mo se kificama, a krajove namota, faja magneta sa $+K_1$ i R otpor za regulaciju sa $R_1 - K_2$.

g.) Stepen djelovanja

Električni stepen djelovanja η je

$$\eta = \frac{\text{korisni efekt}}{\text{tot. el. efekt}} = \frac{UI}{UI + I_a^2 R_a + I_m^2 R_m} = \frac{UI}{UI + I_a^2 R_a + UI_m}$$

$$= \frac{UI}{U(I + I_m) + I_a^2 R_a} \quad \text{jer je } I + I_m = I_a \text{ slijedi}$$

$$\eta = \frac{UI}{UI_a + I_a^2 R_a} = \frac{UI}{I_a(U + I_a R_a)} \quad \left| \begin{array}{l} U + I_a R_a = E_a \\ \text{onda:} \end{array} \right.$$

$$\eta = \frac{UI}{E_a I_a} \quad (28.)$$

Nadomjestimo u jedu. $\eta = \frac{UI}{UI_a + I_a^2 R_a + UI_m}$ I_a sa $I + I_m$
ili $I + \frac{U}{R_m}$, pa dobijemo

$$\eta = \frac{UI}{UI + (I + \frac{U}{R_m})^2 R_a + \frac{U^2}{R_m}} \quad \text{Struja u vanjskom krugu}$$

$$\text{je } I = \frac{U}{R} \text{ prema tome}$$

$$\eta = \frac{\frac{U^2}{R}}{\frac{U^2}{R} + (\frac{U}{R} + \frac{U}{R_m})^2 R_a + \frac{U^2}{R_m}} = \frac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{R_a}{R^2} + \frac{2R_a}{R \cdot R_m} + \frac{R_a}{R_m^2} + \frac{1}{R_m}}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{R_a}{R} + 2 \frac{R_a}{R_m} + \frac{R_a R}{R_m^2} + \frac{R}{R_m}} \quad (29.)$$

U ove jedu. slijedi da je η ovisno također o vanjskom otporu R . Da odredimo R za koji η ima maksimalnu vrijednost, diferenciramo po R te stavimo kvocijent $= 0$.

$$0 = -\frac{R_a}{R^2} + \frac{R_a}{R_m^2} + \frac{1}{R_m} \quad \text{ili} \quad \frac{R_a}{R^2} = \frac{R_a}{R_m^2} + \frac{1}{R_m}$$

$$\text{ili} \quad R = R_m \sqrt{\frac{R_a}{R_a + R_m}} \quad (30)$$

U tom slučaju imamo:

$$\eta_{\max} = \frac{1}{1 + \frac{R_a}{R_m \sqrt{\frac{R_a}{R_a + R_m}}} + \frac{2R_a}{R_m} + \frac{R_a}{R_m} \sqrt{\frac{R_a}{R_a + R_m}} + \sqrt{\frac{R_a}{R_a + R_m}}}$$

$$= \frac{1}{1 + 2 \frac{R_a}{R_m} + 2 \frac{R_a}{R_m} \sqrt{\frac{R_a + R_m}{R_a}}} \quad (31)$$

Za izvršeni stroj daje nam jedu. 30. vrijednost ovaj skiza otvora R , za koju postigne η maks. Jedu 31. daje opet vrijednost toga maks. stepena. Kool struja, što ga treba izračunati. Zadana je vrijednost stepenki U te jekost I_u u izvyskom krugu. Stepen djelovanja mora postici odredenu vrijednost η_0 , koja je za traženo djelovanje U i I_u maksimum. Pita se prema tome kako F_{ro} da odrediti otvore R_a i R_m , da postigne η maksimalna vrijednost?

Nadomjestimo u jedu 31. razmjern $\frac{R_a}{R_m}$ sa x te riješimo ovu jedu. po x ; dobijemo

$$\eta_0 = \frac{1}{1 + 2x + 2x\sqrt{1 + \frac{1}{x}}} \quad \text{ili} \quad \eta_0 + 2\eta_0 x + 2\eta_0 x \sqrt{1 + \frac{1}{x}} = 1$$

$$2\eta_0 x \sqrt{1 + \frac{1}{x}} = 1 - \eta_0 - 2\eta_0 x \quad \text{Ako kvadriramo:}$$

$$4\eta_0^2 x^2 \frac{1+x}{x} = (1 - \eta_0)^2 - 4\eta_0 x + 4\eta_0^2 x + 4\eta_0^2 x^2 \quad \text{ili}$$

$$4\eta_0^2 x + 4\eta_0^2 x^2 = (1 - \eta_0)^2 - 4\eta_0 x + 4\eta_0^2 x + 4\eta_0^2 x^2$$

$$x = \frac{(1 - \eta_0)^2}{4\eta_0} = \frac{R_a}{R_m} \quad (32)$$

Tabela 2. sadrjava za različite vrijednosti η_0 pripadajuće razmjere $\frac{R_a}{R_m}$ i $\frac{R_m}{R_a}$.

Tab. 2.

$\eta = 0,5$	$\frac{R_a}{R_m} = \frac{1}{8}$	$\frac{R_m}{R_a} = 8$
0,6	$\frac{1}{15}$	15
0,7	$\frac{9}{280}$	31,11
0,8	$\frac{1}{80}$	80
0,9	$\frac{1}{360}$	360
0,92	$\frac{1}{575}$	575
0,95	$\frac{1}{1520}$	1520

Iz ove Tabele upoređujemo, da se ne može postići zoređui stroj stepen $\eta = 0,9$, ako nije otvor R_m 360 puta veći, nego otvor armature. Ovdje treba spomenuti, da možemo ipak postići $\eta = 0,9$, ako odredimo, da mora otpadati 3% svih ga. bitaka u stroju na magnet, 7% na armaturu ili 7% na

magnete i 3% na armaturu, jer je $7+3=10$. Ali stroj ne radi kod toga efekta sa najvećim η , kojega bi mogli postići / naravno kod drugog efekta, koji odgovara tabeli 2./

Jednadiža $R = R_m \sqrt{\frac{R_a}{R_a + R_m}}$ dade se preina, čiti $R = R_m \sqrt{1 + \frac{R_m}{R_a}}$ Iz 32 sledi $\frac{R_m}{R_a} = \frac{4\eta_0}{(1-\eta_0)^2}$ prema tome:

$$R = R_m \sqrt{1 + \frac{4\eta_0}{(1-\eta_0)^2}} = R_m \sqrt{\frac{(1-\eta_0)^2}{(1-\eta_0)^2} + \frac{4\eta_0}{(1-\eta_0)^2}} \text{ ili}$$

$$R = R_m \left(\frac{1-\eta_0}{1+\eta_0} \right) \text{ odnosno } R_m = R \frac{1+\eta_0}{1-\eta_0} \quad (33)$$

$$\text{Iz } \frac{R_a}{R_m} = \frac{(1-\eta_0)^2}{4\eta_0} \text{ sledi } R_a = R_m \frac{(1-\eta_0)^2}{4\eta_0} = R \frac{1+\eta_0}{1-\eta_0} \cdot \frac{(1-\eta_0)^2}{4\eta_0}$$

$$R_a = R \frac{1-\eta_0^2}{4\eta_0} \quad (34)$$

Pomoću ovih jedu. za R_a i R_m dobijemo još slededeću jedu, koja se često upotrebljava:

$$\text{Iz } I_a = I + I_m = \frac{U}{R} + \frac{U}{R_m} = \frac{U}{R} \left(1 + \frac{R}{R_m} \right) = \frac{U}{R} \left(1 + \frac{1+\eta}{1-\eta} \right) \text{ sledi}$$

$$I_a = \frac{U}{R} \cdot \frac{2}{1+\eta_0} = I \cdot \frac{2}{1+\eta_0} \quad (35)$$

$$\text{Iz jedu } I_m = \frac{U}{R_m} \text{ sledi}$$

$$I_m = \frac{U}{R} \cdot \frac{1-\eta_0}{1+\eta_0} = \gamma \frac{1-\eta_0}{1+\eta_0} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \text{Iz } E_a &= U + I_a R_a = U + \frac{U}{R} \cdot \frac{2}{1+\eta_0} \cdot R_a = U + \frac{U}{R} \cdot \frac{2}{1+\eta_0} \cdot R \cdot \frac{1-\eta_0^2}{4\eta_0} \\ &= U + \frac{U(1-\eta_0)}{2\eta_0} = U \left[1 + \frac{1-\eta_0}{2\eta_0} \right] \text{ sledi} \end{aligned}$$

$$E_a = U \frac{1+\eta_0}{2\eta_0} \quad (37)$$

Gubitak radi Joule-ove topline u armaturi je $I_a^2 R_a$
 ili $I_a^2 R_a = \gamma^2 \left(\frac{2}{1+\eta_0} \right)^2 R \cdot \frac{1-\eta_0^2}{4\eta_0} = U \gamma \cdot \frac{1-\eta_0}{1+\eta_0} \cdot \frac{1}{\eta_0} \quad (38)$

Gubitak u magnetu:

$$I_m^2 R_m = U \cdot I_m = U \gamma \cdot \frac{1-\eta_0}{1+\eta_0} \quad (39)$$

Konačno

$$\frac{I_a^2 R_a}{U \gamma} = \frac{1}{\eta_0} \quad (40)$$

Totalni stepen djelovanja η' određuje se po du:

$$\eta' = \frac{\text{Koristan efekt}}{\text{Trošena radnja}} = \frac{U I}{U I + I_a^2 R_a + I_m^2 R_m + N_v} \quad (41)$$

Nu ovučinje gubitke trenja, histerexe i vrtložnih struja. Gubitke radi Joule-ove topline uračunavamo, ako uzmemo za R_a otpor armature i kefica.

Nu je skoro za sve terete konstantan, gubitak $I_m^2 R_m$ sastoji iz gubitaka neopterećenog kreta, te gubitaka, koji raste proporcionalno sa jakosti struje I , prema tome

$$I_m^2 R_m = U \cdot I_{m0} + C \cdot I \quad (42)$$

pr hoćemo, da napon ostane konstantan. C je konst. faktor. Stavimo li $I_a = I$ - razlika nije velika - onda dobijemo:

$$\eta' = \frac{U I}{U I + I^2 R_a + U I_{m0} + C I + N_v} = \frac{U}{U + I R_a + \frac{U I_{m0} + N_v}{I} + C}$$

Razlomak će biti maximum, ako je nazivnik minimum
 dakle $0 = R_a - \frac{U \cdot I_{m0} + N_v}{I^2}$ ili

$$\gamma^2 R_a = U I_{m0} + N v \quad (43)$$

Totalni stepen djelovanja zorednog motora je maksimum, ako je gubitak Joule-ove topline u armaturi i efikasno jednak gubitku usbuđenja za neopte, receni kret + gubici trenja, histerese i vrtložnih struja
 /: Promjenjivi gubici = nepromjenjivima /

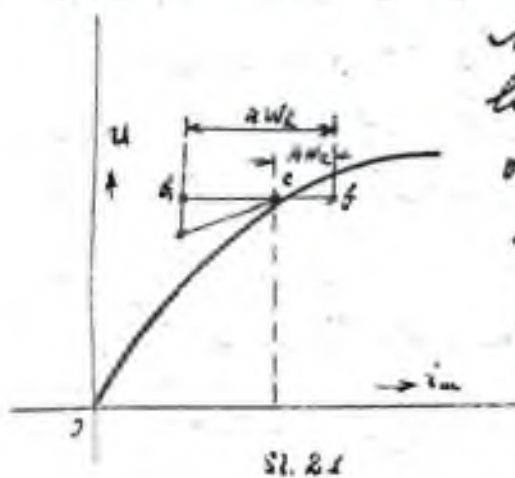
2. Kompaundni generator.

a.) Neopterećena karakteristika.

Ona je identična neopterećenoj karakteristici zorednog generatora, jer je serijski namotaj bez struje.

b.) Karakteristika opterećenja.

Ekperimentalno snimanje je isto kao kod zorednog generatora. Broj okreta i opterećenje je konstantno, usbuđenje promjenljivo, a motriti moramo napon sterački U u ovisnosti od usbuđenja t.j. $U = f(i_m)$. Ovu karakter. možemo izračunati odnosno konstruirati iz neopterećene - sl. 21.



Sl. 21

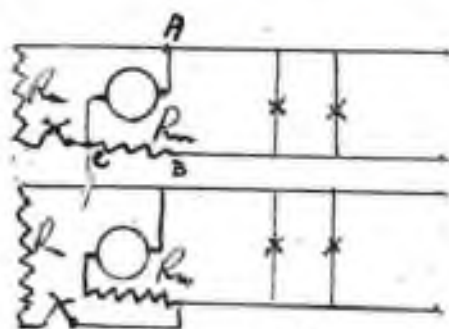
Najprije izračunamo AW_k za normalnu napetost i struju I , te ruciemo onda odgovarajuću točku c b - AW_k i to na desnu stranu karakter. U suprotnom smjeru nastamo serijske amperavoje $b b_1 = AW_k$. Razlika je $AW_k - AW_k = c b_1 = b b_1 - c b$

U točki b , ruciemo okomicu prema dole b_1 , a $a = I(R_a + R_k) + 2 \Delta U$ /: R_k otpor serijskog namot. / te dobijemo točku a karakter. opterećenja. Pretpostavimo, da je AW_k konst, onda možemo opterećenju

karakteristiku narisati, ako mičemo trokut c b, a paralelno tako, da ostane točka c na neopterećenoj karakter. Točka a čita onda traženu karakter.

c.) Tanjska karakteristika.

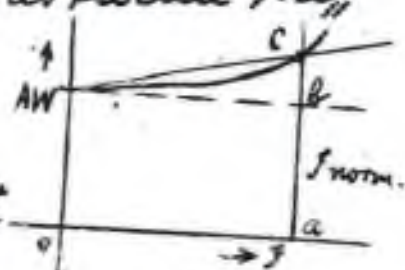
Ovu dobijemo na isti način, kao za zaredni generator. Broj okretaja je konstantan, otvor zarednog kruga izlaza je konstantan, a jačina struje I promjenjiva. Mjeriti moramo napon statorne U u ovisnosti od struje tereta I . $U = f(I)$



Sl. 22.

- a) Iz stroja može biti u kratkom ili dugom spoju sl. 22 a ili 22 b.
- b) Serijski namotaj pojačava napon, te je proporcionalno jačina struje.
- c) Izborom broja zavoja serijskog namotaja možemo kompenzirati pad napona u armaturi te

postići el. m. silu približno proporcionalnu obrt. brzini, tako da dobijemo približno konst. napon na statornim zavojima za sve terete / pravilno kompenzirani stroj. / U više slučajeva hoćemo imati isti napon na krajevima dužeg voda. To se može postići pravilno odabrom broja zavoja serijskog namotaja (nadkom. stroj). Kada li konačno napon sa rastućim I teretom, stroj je podkompenziran.



Sl. 23.

Sl. 23. prikazuje nam krivulju $U = f(I)$ za kompenzirani stroj. Za $I = 0$, maloj jačini struje potrebna su a zavoja, za $I = I_{norm}$ zavoja b , da dobijemo napon U . Prema tome mora biti od

raju struji $I = OF_3 = 48 \text{ A}$. Ako pretpostavimo takođe
 ovde, da su amp. zav. AW_k proporcionalni struji I te,
 reči, označimo nam pravac OC_3 rezultirajuće amp.
 zavojice. Pomoću toga pravca možemo pronaći od struje
 tereta proizvođene amp. zavojice, koji odgovaraju
 različitim teretima OF . Adiramo li ove amp. zav. k amp.
 zavojima preduke struje AW , dobijemo sumu svih amp.
 zavojica u generatoru kao npr. $A_1 a_1, A_2 a_2, A_3 a_3, \dots$ / to
 su sproveduće k osi Oa / Sapon, stepenak U_g
 generatora odredimo onda na taj način, da sab.
 Frakiramo svakom teretu pripadajuće otpadajuće napona
 $I(R_a + R_n) + 2\Delta U$ / okomice $b_1 a_1, b_2 a_2, b_3 a_3, \dots$ / iko-
 mice moraju biti imedeta neopter. karakter. i pravca
 $A_1 a_1, A_2 a_2, \dots$. Subtrahiramo li još svakom teretu
 pripadajuće otpadajuće do kraja dužeg voda: t.j.
 $a_1 a'_1, a_2 a'_2, \dots$ dobijemo napon U_p na kraju toga
 voda. Konacno crtamo tačke a te a' u ovisnosti od
 struje I na lijevoj strani osi ordinata te dobijemo
 traženi napon U_g odnosno U_p u ovisnosti od struje I .

Svoim konst. napon ne da se postići, jer se
 uvijava karakteristika. Promijena amp. zav. OA , što ih
 proizvoda struja I , te isto, tako otpadajućeg napona
 $b a$ te $a a'$ su proporcionalni teretu (struji I);
 prema tome bila bi napetost u određenoj tački kon-
 stantna, ako bi neopter. karakter. polazila od
 tačke a rano naprijed.

Izgledom konstruk. stroja može se ovakovo
 polazište postići, i to tako, da se veoma kratki dio
 puta crta, indukuje jako, a drugi manje
 brzo li se ne p. jezgri magneta tako, kako to prika,

duže sl. 25. onda se dobije neopt. karakter. na

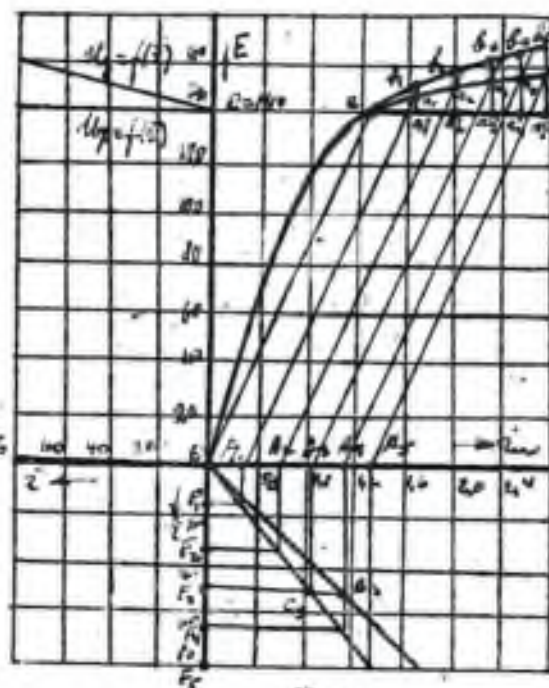


Sl. 25.

sl. 25. Ako je još slab, svi su dij. lvi željeza tako malo zasićeni, da tu možemo zavećariti. AW za željezo.

Amp. zavoj troši se samo na raspor, neopt. karakter. diže se rano.

Željezo na obim stransima karakter. je skoro zasićeno. Još nije nego postignemo normalni napon, zasićenje je na ovom mjestu tako veliko, da troši, mo za ovaj kratki put isto toliko amp. zav. kao da bi imali i ovdje raspor. Karakteristika se saopje kratko u 2. pravce sa manjim priklonom. Od ove točke naprijed ostane



Sl. 25.

karakter. pravac, dok postigne zasićenje u kubima i drugim dijelovima magn. kruga sigurnost, da se može zavećariti potrebn broj amp. zavoj. Tu dobije onda karakter. normalni polarsak.

d. Stepenu djelovanja.

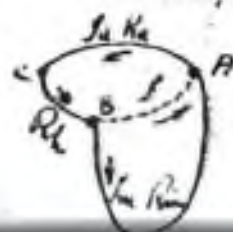
Dugi spoj: Armatura čini između točaka A i C sl. 27. - Vanjski krug između A i B. Struja armature I_a teče kroz armaturu, namotaj C B, a u točki B se dijeli u vanjski str. I te gredine I_m , tako da vredi $I_a = I + I_m$.

U napon između A i B imamo

$$U = E_a - I_a (R_a + R_h)$$

$$\eta = \frac{\text{korisni ef.}}{\text{tot. ef.}} = \frac{U I}{U I + I_a^2 (R_a + R_h) + I_m^2 R_m}$$

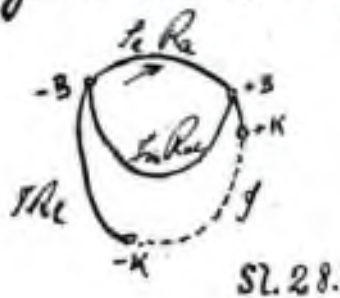
Sl. 27.



Zer je $I_m^2 R_m = U I_m$ sledi:

$$\eta = \frac{U I}{U(I + I_m) + I_a^2 (R_a + R_k)} = \frac{U I}{U I_a + I_a^2 (R_a + R_k)} = \frac{U I}{E_a I_a} \dots (45)$$

Kratki spoj: Ovdje su prilike nešto više razmotrene.
Struja armature dijeli se već kod kefice +B i -B u struju I i I_m - sl. 28., kroz serijski namotaj (-B-K) teče, struja I kao u vanjskom krugu.



Označimo li U napon +K-K, U' napon +B-B onda vredi $U' = U + I R_k$

$$E_a = U' + I_a R_a = U + I R_k + I_a R_a$$

$$\text{Pošto je } I_m = \frac{U'}{R_m} \quad I_a = I + I_m = I + \frac{U'}{R_m}$$

$$\text{dobijemo } \eta = \frac{\text{korisni efekt}}{\text{totalni el. ef.}} =$$

$$= \frac{U I}{U I + I_a^2 R_a + I^2 R_k + U' I_m} = \frac{U I}{I(U + I R_k) + I_a^2 R_a + U' I_m} =$$

$$= \frac{U I}{U' I + U' I_m + I_a^2 R_a} = \frac{U I}{U'(I + I_m) + I_a^2 R_a} = \frac{U I}{U' I_a + I_a^2 R_a} = \frac{U I}{I_a (U' + I_a R_a)}$$

$$\eta = \frac{U I}{E_a I_a} \quad (46)$$

t.j. ista jedn. kao i prije. Uračunamo li još gubitke N_v od trenja, histereze i vrtložnih struja, dobijemo potrošenu raduju stroja. Za sve strojeve vredi dakle.

$$\text{Potrošena radnja} = E_a I_a + N_v \quad (47)$$

$$\text{tot. stepen djelovanja} = \eta' = \frac{U I}{E_a I_a + N_v} \quad (48)$$

η' postigne max. vrijednost, ako su gubici, koji se mijenjaju s jakošću struje jednaki ostalim gubicima.

2. Strojevi istosmjernue struje za konstantnu struju.

A. Rosebergov generator.

Za rasvjetu željezničkih vagona trebamo dinamo, strojeve, koji moraju ispuniti osrbite uvjete. One strojeve goni os voka, pa je brojokreta veoma promjenljiva. Uspješ toga mora jakost struje biti približno konst. Ovom toga mora stroj bez obzira na smjer ntrnje dobavljati struji jednoga te istoga smjera.

Pl. 29. prikazuje nam šematski Roseb.

stroj sa psterastom armaturom

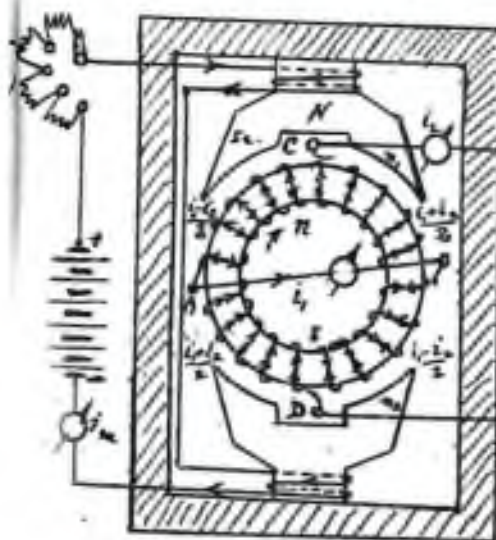
(u praksi uvijek bubanj). Stijala magneta su ravredno debela.

Za urbudenje služi u ovoj slici baterija.

Zamislamo, da je urbudenje slabo. Okreće li se armatura na desnu stranu, onda teče struja u navedenaj zveza pl. 29. -

Priklonimo u neutralnoj soni kofice A i B te spojimo ih kratko, onda teče kroz spoj struja i , koja povećava u rasponu iste indukcije, kako to prikazuje slika. -

Do sredine gola su iste indukcije supstne istama magneta, od sredine sredine istosmjernue. Broj, koji inlari iz magneta ostane nepromjenjen. U armaturi inducirana el. m. sila je za konst. broj.



okretaja orisna samo o urbudenju, tj. o broju amp.
zavoja toga urbudenja i to po jedu.

$$E_a = \frac{Z}{a} \cdot \frac{N \Phi}{60} \phi_0 \cdot 10^{-8} V$$

Broj el. m. sili odgovara struji $i_1 = \frac{E}{R_a}$

Ako je tok proizveden od struje u armaturi veći
nego tok magneta, onda imamo u stopala induci-
vane polove n, s , te n, s_2 . Pristavimo li na armatu-
ru još kefice C i D , koje priključimo na vanjski krug
(n. pr. žarulje) nastane pod utlivom polova n, s u
zavojima el. m. sila, koje se sumiraju u svima
zavojima između C i D , te koje proizvode struju i_2 .
Armatura postane magnetična i to kod točke
 C sjeverno, a kod točke D južno, ona djeluje dakle
suprotno ostaloj indukciji polova N i S . Struja
 i_2 slabi prema tome amp. zav. magneta; dakle
su amp. zavoji koji zaista rade diferencu amp.
zav. magneta i armature (struje i_2)

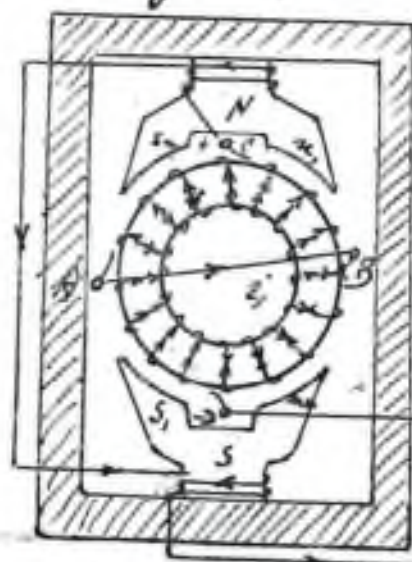
Da odredimo broj okretaja dade nam armatura
određenu konstantnu struju iz kefica C i D u vanjski
krug. Ova struja prouzrokuje magnetsko polje u smjeru
osovine CD . Polje ima takav smjer, da djeluje na
suprat magneta N i S . Rezultirajuće polje, koje
slijedi iz diference amp. zav. armature i magneta
inducira kod vrtuće armature u armaturi el. m.
sila između kefica A i B . Ova el. m. sila je brzo
spojena te prouzrokuje u armaturi struju, koja proi-
zvla zajedno polje. Kod vrtuće armature u ovom
zajedničkom polju dobivamo konačno induciranu
el. m. silu između kefica C i D .

Ostala struja ne može prema tome nikada

postići visinu, da kompenzira savim polje amp. kragja magneta $N S$. U tom slučaju ne bi bilo el. m. sile isme, du krepica A i B , prema tome također ni zoprečnog polja. Korisna struja ne može dakle prekoračiti odre, deno vrijednost i to bez obzira na brojokreta n .

Okreće li se armatura na lijevu stranu, onda ima stroj struju i_1 , suprotnog smjera. Sjeverni pol n_1 , nastane na mjestu južnoga s_2 te južni s_1 na mjestu sjevernoga n_2 . Struja i_2 ima prema tome isti smjer kao prije.

Stroj možemo konstruirati također i sa vlastitim urbuđenjem sl. 30. Posrtan je tako, der za nabijanje akumulatora te imade skoro ista svojstva kao stroj sa neravnom urbu, denjem.



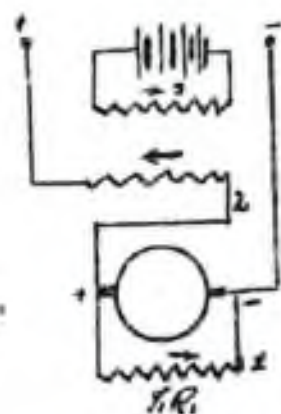
Uvedemo li struju u neravnom urbuđen stroj - 29. - i to kroz c. d, A i B ostane kratho spojen, ne će se armatura okretati, jer

ide odbijanje polova u smjeru kroz osovinu (ma, gnetiziranje armature po struji i_2). Okreće li se armatura na jednu ili drugu stranu, n. p. na desnu onda nastane struja i_1 , koja želi magnetizirati armaturu u smjeru $A B$. Pod utplivom obiju ma, gnetičnih polja nastane rezultirajuće, koje onda povrsi daljno trajno okretanje.

Ako upotreblimo stroj za nabijanje akumulatora, moramo udesiti automatsko iskopčanje tako, da ne bi struja iz akumulatora tekla u stroj.

Za ove svrhe veoma je zgodan Graetz-ov električni ventil-elemenat. U rastopinu natrij. bikarbon. ili amonij. fosfata ili kiselog amonij. borata name, Trecio ploču iz aluminija i ploču od kojeg drugog materijala (npr. željeza) te spojimo ploče s baterijom. Struja teče kroz elemenat samo tada, kad je spojena ploča iz aluminija s negativnim polom baterije.

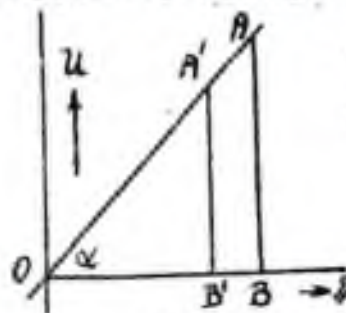
B. Krauerov stroj



Sl. 31.

Schema stroja prikazana je na sl. 31. Stroj se upotrebljava osobito za projektore i za el. svaroisanje. Stroj se tjera u opreci Rosenbergovom s konst. brojem okreta. Magneti imaju 3 namota, taja 1.) Poredni namotaj s. priključen je na kefice, kroz serijski namotaj 2. Teče glavna struja, namotaj 3. spojen je sa izvorom struje konst. napona.

Stroj je labilan t.j. sa neravnotežnim željezom. Zgodnom konstrukcijom u promjenom otpora namotaja postignemo ravni polazak neopterećene karakteristike - sl. 32. - koja je prema tome zbog



Sl. 32.

malenog nacićunja pravac te sasin odgovara odnosu

$$\frac{AB}{OB} = \frac{U}{I} = R,$$

budući je u svakom momentu prisiljeno, ni napon, upravo dostatan, da prevlada u otporu R , namoteje odgovarajuće otpadnje.

Dade li se ovome stroju dostatno neravino, urbudenje, onda se može postići kojegod napetost u određenim granicama. U svakome momentu proizvodi naime struja u zoreduom namotaju onu napetost, koja (odgovara) je potrebna da može struja u namota, je postojati.

Dodano urbudenje je u našem slučaju razlika između serijskog 2 i neprimjenjivog 3. Nadmaši li 2 onda ovo urbudenje zoreduo 1, napon za, due. Kadmaši li 3 ojača se zoreduo, napon raste dok ne postane struja tako jaka, da izgleda iz, te urbudenja 2 porast. Prema tome.

Kod zadavog otpora u vanjskom krugu opada glavna struja go ohrvom zakone tako dugo, dok ne postigne dodano urbudenje vrijednost 0 t.j. dok se ne izgubi razlika magnetskog djela, razja 2 i 3. U tom momentu imademo ravnotežje, jer je napon, što ga prouzrokuje zoredui namotaj upravo dostatan, da teie struja u zoreduom sklopu. Promijenili se upie napon u tom smjeru i to tako dugo, dok ne postane glavna struja obri, rom na brzoje ravoja namotaja 2 i 3 je, duakva neprimjenljivoj struji neravnog urbudenja /: Jednakost amper ravoja:/ Glavnu struju možemo dakle tako regu, lirati; da naravno neravnu na tran, ūem vrijednost.

Motori.

A. Općeniti dio.

Motori istomjane struje nemaju što se tiče konstrukcije i poraćuna razlike od generatora. Jedan te isti stroj može u jednom momentu raditi kao generator, a drugome kao motor.

Struja generatora zaustavlja kretanje armature. Da ovo zaustavljanje nadmašimo, moramo trošiti radnju, koja se petrovi u elek. efekt. U slici 33 okreće se generator u smjeru vrtulje karala na pri, struja u žici teče u označenom smjeru prema otvaga. Struja u žici i magnetsko polje djeluju tako, da traže okrenuti armaturu u suprotnom smjeru, t. j. u



smjeru trokacne strujelice. Iz toga slijedi, da se stroj mora okretati u suprotnom smjeru karala na pri, ako dovedemo struju iz kojeggod izvora struje tako, da teče u istom smjeru kao prije. - sl 34. Prema tome vredi pravilo: Kod istih polova, te istoga smjera struje okreće se stroj kao motor u suprotnom smjeru,

nego je to bilo za generator.

Ali to ne znači, da mora svaki generator promijeniti smjer vrtulje, ako počne raditi kao motor. Gornje pravilo vredi samo onda, ako ostane smjer vrtulje u armaturi i u magnetu nepromijenjen.

Promjena glavnih vodova uzroka upliva na smjer struje. Može li se promijeniti smjer struje; mora se promijeniti smjer struje ili u magnetu ili u armaturi.

Zamislimo si najprije glatki namotaj (armatura bez utora) označje li:

L indukcija p broj zara polova
 l dužinu armature u cm $2a$ broj paralel. grana
 I_a struja armature P sila u kg
 z broj žica (štazova) D moment struje,
 I_a struja armature

onda pređe sljedeće jedu:

Na širini dx armature leži dužina žice $z \cdot l \cdot \frac{dx}{2a}$.
 Pošto je struja u svakoj žici $\frac{I_a}{2a}$, onda je sila, koja djeluje na širinu dx je jednaka:

$$dP = \frac{L}{10} \cdot \frac{I_a}{2a} \cdot \frac{z \cdot l \cdot dx}{\pi 2a} \text{ dina}$$

$L \cdot l \cdot dx$ je tok kroz površinu $l \cdot dx$. Integriramo preko razmaka polova $\frac{2a \cdot \pi}{2p}$ dobijemo tok ϕ je, dužina pola, te vlačnu silu jednog razmaka P_p . Muozimo li sa $2p$, onda dobijemo totalnu vlačnu silu u dinima

$$P = 2p \cdot \frac{\phi}{10} \cdot \frac{I_a}{2a} \cdot \frac{z}{\pi 2a} \text{ dina} \quad (49)$$

Dijelimo li ovu jedu. sa 981000 te muozimo s polu. mjerom u m (polugom) / t. j sa $\frac{2a}{200}$ dobijemo moment struje u kgm

$$D = \frac{p}{a} \cdot \frac{\phi \cdot z \cdot I_a}{24 \cdot 9,81} \cdot 10^{-8} = \frac{10^{-8}}{24 \cdot 9,81} \cdot \frac{z \cdot I_a}{2a} \cdot p \cdot \phi \text{ mkg} \quad (50)$$

Ova jedu. je indukcija sa

$$g = \frac{\text{Broj amp. otačova} \cdot \text{totalni tok}}{\pi \cdot 9,81 \cdot 10^8} \text{ m kg (51)}$$

Stavimo nepromjenjive veličine

$$\frac{Z \cdot p \cdot 10^{-8}}{\pi \cdot 9,81 \cdot 2a} = C_2 \quad (52)$$

dobijemo

$$Q = C_2 \phi \cdot I_a \quad (53)$$

Ova jednadžba vredi također za armature sa stožima. Korisni moment vrtnje je za toliko manji, koliko troši motor za neopterećeni kret.

U stanju trajnosti odgovara moment vrtnje motora momenta tereta. Prema tomu ravna se proizvod ϕI_a uvijek go teretu b.j. go momentu, kojega troši teret. Prema tome ne možemo dati motoru, kojegod struju te na taj način raonati kojegod vlačnu silu. To se može napraviti, dok je motor u stanju mirovanja, te struju, koja smo regulirali gutem otvara još ne odgovara potrebnoj vlačnoj sili. Okreće li se motor jednoliko, mora biti ispunjena jednadžba 53. Onda se uvaćunati naraavno i moment vrtnje, koji odgovara neoptereć. kretu. Onda je moment sile = momenta tereta.

Ovdje se moramo pitati, kako da se u arma. Turi samo potrebna struja ^{koja odgovara teretu} i ne veća. Kako to, da se kod elektromotora ne upotrebljava regul. lator kao kod parnih strojeva. Uvijek leži u tome, što više motora rjeđe isto tako još, kao i više generatora, prema tome nastane

inducirana el. m. sila - protu el. m. sila -, koja je proporcionalna broju okretaja. Ova protu el. m. sila je regulator svakoga motora. Poveća li se na pr. opterećenje motora, onda nije više proizvedeni mom. utnje dostatan, motor ne može, da vlada teret, a broj okreta padne. Ali sa brojem okreta padne također i protu el. m. sila, a struja u armaturi postane veća, dok ne dođe opet do ravnotežja između mom. utnje motora i tereta.

Ako je mom. utnje konst. t.j. ako raste koeficijent efekta proporcionalno sa brojem okreta, onda ostane E_a , koeficijent uvedena jakost struje konstantna.

Efekt, što ga može armatura predati jest $N = E_a I_a$. Ovaj efekt sastoji se iz dva dijela: 1) korisni efekt $P \cdot 2\pi R \cdot n$; 2) efekt za polaganje gubitaka neopterećenog kreta. Prosto je karakter ovih gubitaka, samo malo različita od pravca, možemo ove gubitke staviti proporcijon. broju okreta t.j. jednake $n \cdot K$, gdje označuje K konst. faktor. Prema tome vredi

$$N = P \cdot 2\pi R \cdot n + K \cdot n = E_a I_a \quad (54)$$

Jer je $E_a = \frac{\phi_0 n \cdot z \cdot p}{60 \cdot 10^8 \cdot a}$ vredi

$$\begin{aligned} P \cdot 2\pi R \cdot n + K n &= \frac{\phi_0 n \cdot z \cdot p}{60 \cdot 10^8 \cdot a} \cdot I_a \text{ oduzemo} \\ I_a &= \frac{(P \cdot 2\pi R + K) \cdot 10^8 \cdot 60 \cdot a}{\phi_0 \cdot z \cdot p} \quad (55) \end{aligned}$$

Ja poredim motor, koji je prikazan na konst. naponu je sa konst mom. utnje tak ϕ konstantan, jer ostane broj amperzavoja isti. U jednadžbi 55, imamo dakle samo konst. veličine, prema

tome mora također I_a biti konstantan.

Za serijski motor vredi: ϕ_0 je ovirno o struji I_a tako, da možemo staviti: $\phi_0 = f(I_a)$ onda imamo

$$I_a = \frac{(P \cdot 2\pi R + K) 10^8 \cdot 60 \cdot a}{f(I_a) \cdot Z \cdot \tau} \quad \text{ili}$$

$$I_a \cdot f(I_a) = \frac{(P \cdot 2\pi R + K) 10^8 \cdot 60 \cdot a}{Z \cdot \tau} \quad (56.)$$

Ako je dema strana konst. mora biti i lijeva, a to je samo onda moguće, ako je I_a konst. Točna mjerenja pokazuju, da je konstantnost samo približna. Jakost struje raste sa brojem okreta t.j. sa rastućim naponom na statorima. Urok je taj, što nije neopterećeni efekt parac, nego brzina, kod koje raste uvijanje sa brojem okreta.

Broj okreta slijedi iz provedene prota el.m.s. E_a

$$E_a = \frac{\tau}{a} \cdot \frac{Z \cdot n}{60} \phi \cdot 10^{-8} V$$

Jer mora narinuti napon U i vladati prota el.m.s. E_a te ohm-ovo otpadanje $I_a R_a$ vredi

$$U = E_a + I_a R_a \quad (57)$$

odnosno

$$n = \frac{E_a \cdot 60 \cdot 10^8}{\frac{\tau}{a} \cdot \phi \cdot Z} = \frac{(U - I_a R_a) \cdot 60 \cdot 10^8}{\frac{\tau}{a} \cdot \phi \cdot Z} \quad (58)$$

Stavimo promjenljive veličine

$$\frac{60 \cdot 10^8 \cdot a}{\tau \cdot Z} = C_1 \quad (59)$$

$$\text{dobijemo} \quad n = C_1 \frac{E_a}{\phi} \quad (60)$$

Broj okretaja je prema tome proporcionalan onome dijelu napona U , koji je jednak prota el.m.s. sili E_a te obrnuto proporcionalan toku ϕ , koji ulazi u armaturu.

Da se odredi broj okretaja za različite testne

narasta se ovimost inducirane el. m. sile E_a te toka ϕ od jakosti struje I_a te iz obiju krivulja tih broj okreta po jedu (60). Slijedi iz ove jedu:

Pada li E_a brže nego tok ϕ , onda pada broj okreta. Pada li E_a isto tako brzo kao tok ϕ , onda raste broj okreta (konst.) sa rastućim. Zbog toga

bitaue li moment vrtnje sa rastućim brojem okreta, uvijek veći nego moment tereta, onda raste broj okreta brzo do visine, koju može oštetiti motor. Motor utedne. To se može samo onda dogoditi, ako raste u motoru proizvedeni moment sa brojem okreta. Motor nije obzirom na broj okreta konst., za praktične svrhe prema tome neupotrebljiv. Pada li mom. vrtnje sa rastućim brojem okreta, onda je motor uvijek stabilan. -

Amperravoj je proizvodi ili glavna ili zoredna struja ili obe. Prema tome imamo:

- 1.) Serijske motore. Amp. zav. proizvodi glavna struja I_a
- 2.) Zoredne motore. Vrtnutnje proizvodi zoredna struja I_n . Struja I_a uticuje samo putem zored. zav. na jače. Ako su kofice odmaknute pravilno t.j. prema smjeru vrtnje, onda protudjelovanje slabije magnetske.
- 3.) Kompanidne motore. Djelovanje zorednog namota, tj. zoredne serijske namotaj - Struja I_a .

Djelovanje motora slijedi iz mom. vrtnje i broja okreta. Ako je $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ kutna brzina u sek, onda je od motora predano djelovanje u kg-m-sek D.w. Da dobijemo djelovanje u vatima, množimo ovo djelovanje sa 9,81, prema tome:

$$N = D \cdot w \cdot 9,81 = D' \cdot 25 \cdot \frac{\pi}{60} \cdot 9,81 \text{ vata} = 1,03 D \pi \quad (61.)$$

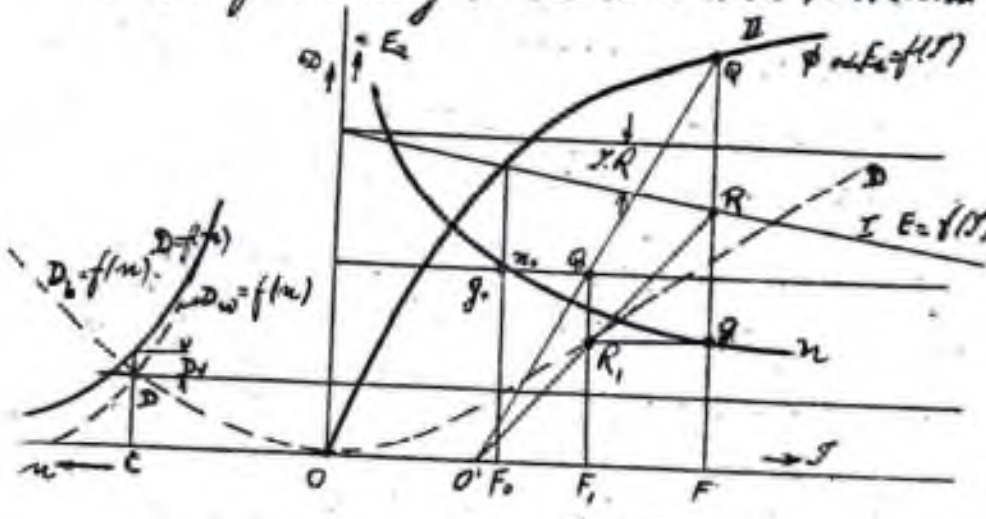
Zer je $U = E_a + I_a R_a$ dobijemo

$$U \cdot I_a = E_a I_a + I_a^2 R_a$$

$U I_a$ je u armaturnu uvođeni efekt, $I_a^2 R_a$ u armaturi da Joule-ovu toplinu trošeni, $E_a I_a$ je predano djelovanje, koje ne sadržava samo korisno djelovanje nego također djelovanje, što ga troši neopterećenim kret. -

B. Krivski motor.

Tok ϕ proizvoda samo struja armature, prema tome raste tok sa opterećenjem. Ako je napon U konst tada broj okreta broja rastućim teretom. To se vid.



Sr. 35.

Također iz sljedeće konstrukcije - sl. 35 - da konst napon U pada el. m. sila u arm. po pravcu I

$$E_a = U - [I(2a + R_a) + 2aI] = U - I \cdot R$$

Tok ϕ raste po krivulji II kao funk struje arm. najprije brzo, a onda polagano. Najveći tok ϕ ostane od toga toka induc. el. m. s. E_a - što je isto - te dobijemo u spisu krivulje I i II broj okreta n_0 za struju $O F_0$. Za kojegod struju $O F$ dobi, jemo pripadajući broj n na sljedeći način: Najprije uzmemo ordinatu kroz F , koja siječe E_a krivulju u točki Q te E krivulju u točki R . Iz kojegod točke O' na apscisi uzmemo onda vrtake kroz Q i R . Ostane

li broj n_0 kao ordinatu $F_0 G_0$ te vučemo kroz G_0 uspo, rednicu sa osi apscisa, onda dobijemo spasišta se x-akom $O'A$ a Q_1 . Okomica kroz Q_1 sjee x-ak u $O'R$ u toci R_1 . Traženi broj okreta je onda:

$$n = n_0 \frac{E}{E_0} = n_0 \frac{F R}{F Q} = n_0 \frac{F_1 R_1}{F_1 Q_1} = F G$$

F, Q_1 jednako je n_0

Ponovimo li ovu konstr. za različite struje I dobijemo krivulju broja okreta n . Ova krivulja raste sa padaju, com strujom I uvijek brže i brže. Bez obzira na penja, njeziju i padaju trenja postao bi broj okreta za struju I veoma malom beskonačno velik, za motor utekue. Serijski se motor ne smije prema tome uklopiti bez tereta na konst. napon.

Krivulju I u ovisnosti od struje I dobijemo ako izracunamo moment vrtuge po jedu $D = c, \phi, I$. Za male struje je ϕ proporc. struji, prema tome mom. proporc. kvadratu struje. Zbog toga brzga skoro kvadratičnog porasta momenta vrtuge D sa strujom serijski je motor osobito priroban za prenosila i dizala te za el. željeznice, gdje treba „poci“ tku velikih mom. vrtuge.

Iz dosadašnjih krivulja odredujemo D kao funk. cij u broja okreta te citamo ovu krivulju na lijevoj strani $D = f(n)$. Ispitujemo li od ove krivulje n , gubljenu mom. (neopt. kret.) D_v dobijemo kori, mi mom $D_w = f(n)$. Zamislamo, da ide mom. tereta po krivulji $D_b = f(n)$. Za broj $n = 0$ ima, mo spasište obje krivulje D_b i D_w . Broj okreta

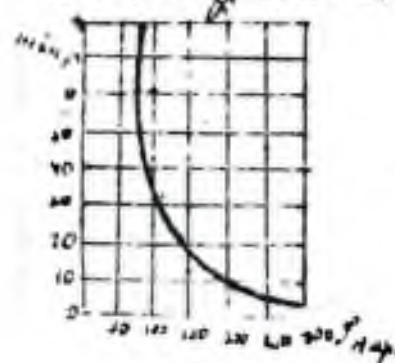
mora onda biti stalno 0C. Ako bi broj okreta bio mogući onda nadmaši Dw , ako veći onda Dz . Jerbo je mom. tereta obično konst. ili raste s brojem okreta to je serijski motor uvijek stabilan. Iz slike se tako, da vidi, da nije potreban veliki moment tereta, koji treba da spriječi opasan porast broja okreta.

Olaona karakter. serijskog motora je padanje tura sa rastućim teretom i porast mom. utuje te obrnuto. Poraj tura te mom. utuje postave se automatski prema teretu. Prietni mom. je vrlo velik, može se postaviti na kojegod vrijednost u granicama kada ne konstruk. Naravno da se veliki mom. utuje ne može postići bez promjene broja tura. Reduje jest i ota, je sila x jut. Ako je olaona sila velika može brzi, na biti samo maleu i obrnuto. I to padanje broja okreta i smanjivanje brine je veoma pogodno svojstvo motora, jer je n. pr. za centralu bezavjetno potrebno, da napunjena kola voze na brdo zlagano.

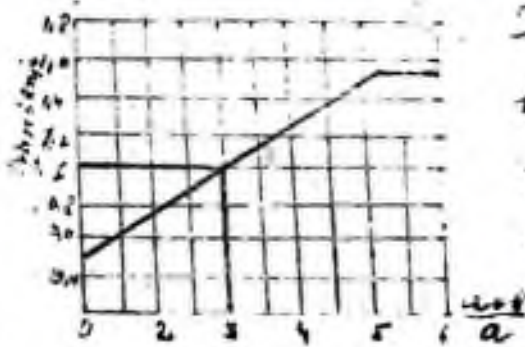
Olaina sila motora je, ako znači $\frac{D_a}{2}$ zolunje armature

$$P_v = \frac{2D}{D_a} \text{ kg} \quad (52)$$

Slika 36. pokazuje nam još jednu zanimljivu krivulju iz koje se može spoznati, koliko časa može motor raditi, sa određenom strujom, a da temperatura ne bi previsoko narasla. Ako upatje, glavno motore



Sl. 36.



Sl. 37.

tako, da ne rade trajno sa čitavim teretom kao na pr. pre-
nosila i dixała, onda može biti kratkotrajno optere-
ćenje mnogo veće, nego trajno, jer motor ima uz njih
nemenu na ohlađenje. Opterećenje može biti tim
veće, čim više nemene ostane stroj jošli je svake z
opterećenja u stanju mirovanja.

Da je hor veličine motora mjerođavanu je razujer
intermitence t.j. raduje i stanja mirovanja - Satno
djelovanje (Stundenleistung.)

Sl 36 i 37. prikazuju zato mjerođavne krivulje. Se
se razabire ugrizavanju, a iz druge dovoljeno opte-
rećenje. Ako je a vreme raduje, b vreme stanja miro-
vanja, onda je koeficijent $\frac{a+b}{a}$ njera intermitence.

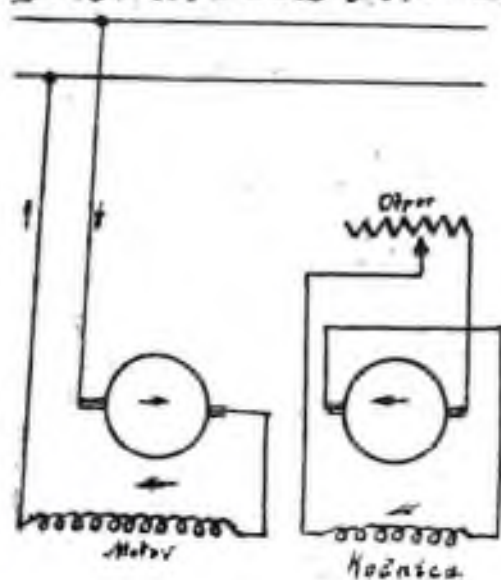
Ako je na pr. $a = 1, b = 2$ onda je intermitence = 3,
kojoj odgovara u našem primjeru mogućnost optereće-
nja 10, da ne bi temperatura prevrsko porasla. Ako
je intermitence manja, onda je također dovoljeno pr.
opterećenje manje, ako je intermitence veća, može se
više opteretiti, nego sa intermitencu 3.

a.) Strijski motor kao kočnica.

Ispušta li dixało teret ili ako voze kola niz
brdo, proizvodi se mehanička radnja koju se mora
kočiti, da ne postane brzina prevelika. Za kočenje
upotrebljava se često motor, i to tako, da u to
vreme radi kao generator u otpore ili u mrežu. U
redovnom slučaju su potrebni spojevi i sprave, tako
komplicirane, da se ovo korisno kočenje (radnja
u mrežu) nikada ne upotrebljava. Motor radi

prema tome može samo na otpore, ako ga u svrhu kočenja upotrebimo kao generator.

Živa sila pretvori se u kinetičku energiju, broj okreta pada kad se generator d. opteretiti i to toliko dok ne nastane ravnoteža mehaničke radnje i električne energije. Opterećenje se izvršuje putem otpora. Od motora koji radi sada kao generator, proizvedena struja te, će kroz otpor, koji se regulira. U početku je otpor najveći. Padanjem broja okreta iskaže se postepeno pojedine dijelove otpora u istom razmjeru u kojem pada od generatora radi zadanih broja okreta proizvedena d. m. sila. El. energija pretvori se u otporu u toplinu. Ako živa sila nije više u stanju od tereta generatora traženi mom. intenziteta generatora predati, padne broj okreta, a el. djelovanje se umanjuje, onom djelovanju odgovarajući otpor mora se uklopiti odusvno jednak dio prijašnjeg iskočiti. Prema tome ne bi se teoretički nikada moglo doći do totalnog stanja mirovanja. Ali praktično mora se ući u obzir još otpor trenja i t. d., koji faktično veoma brzo dovede do stanja mirovanja.



Sl. 38.

Sl. 38. prikazuje jednu stroja za kočenje. Vodi se moramo sjetiti, da serijski motor ne može kod nepromijenjenog omjera okreta raditi kao generator, jer bi proizvedena struja umnogostila remenice, ako se ne promjeni spjarmature sa

magnetom.

Da stvore upotrebu, se uvijek otvori uputnika.
bivajući li η' tot. stepen djelovanja - poigon
uračunau - D_g moment vrtne generatora, D_t teore.
taksi mom, onda vredi -

$$D_g = D_t \cdot \eta'$$

Ali to nije mom. vrtne kočnja. Zbog, što dola,
se za kočnje također u obzir jesu $D_t - D$ prema tome
mom. vrtne kočnja

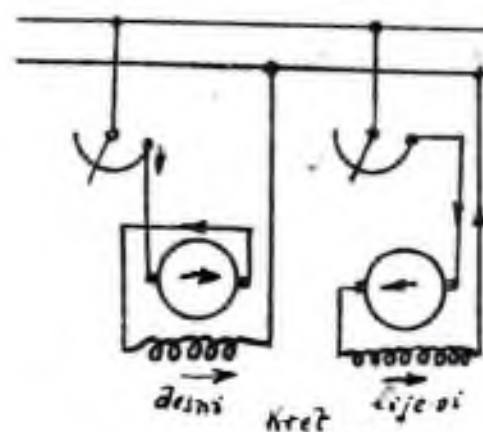
$$D_K = D_t + (D_t - D) = 2 D_t - D \quad (63)$$

Umetnemo li za D_t vrijednost iz gornje jedu $\frac{D_g}{\eta'}$
dobijemo $D_K = 2 \frac{D_g}{\eta'} - D = D \left(\frac{2 - \eta'}{\eta'} \right) \quad (64)$

Karakteristika kočnja i momenta vrtne ne
padaju zajedno.

B. Regulacija.

Smjer okretanja zavisa je o smjeru struje
u magnetu i u armaturi. Promijeni li se jedan
od tih smjerova motor promijeni smjer vrtne.
Može gledati li se kod određivanja smjera vrtne
na premienicu te označi smjer desnokretnu,
ako se premienica obrne na desnu stranu.



Kret
Sl. 39.

Promjena se smjera struje
u magnetu radi samood.
ne upotrebljava. Služi li
nam motor također i za
kočnicu, onda se ne smije
promijeniti struja u ma-
gnetu, i to da se ne uništi

neumanencu. Promjena smjera struje neka se prema tome izvrši uvijek u armaturi.

Sl. 39. daje nam šemu stroja, sl. 40. prikazuje šemu spoja sa svim aparatima te osobitom preklozkom za promjenu smjera - okretaja.

Iz jedu. što smo ih imali za broj okretaja n (58-60.) $n = \frac{Ea \cdot 60 \cdot 10^8}{\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Z} = C_1 \frac{Ea}{\phi}$ vidimo:

Da konst. napon na statorskama može se promjenom broja okretaja zadržati, ako se promjenom

1.) broj polova $2p$; 2.) broj vrtnica Z ; 3.) čitavi otpor

$R = R_a + R_n$ i 4.) tok indukcije ϕ .

Promjene sub 1 i 2 ne dolaze u obzir. U praksi se zadržane promjene uvijek pomoću 3 ili 4.

Za upuštanje upotrebi se daudacis samo promjena otpora R . Ukoliko li se otpor x , onda je broj okreta:

$$n = C_1 \frac{U - I_a (R_a + R_n + x)}{\phi} \quad (65)$$

$\frac{C_1 x \cdot I_a}{\phi}$ je mjera smanjivanja broja pomoću otpora x .

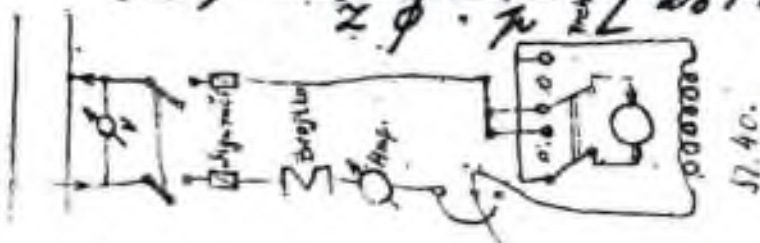
Iz ove jedu. se upućuje, da motor stekne ta, kodet i onda, ako je otpor x skrozian. Serijski motor se prema tome ne smije nikada upustiti bez tereta. Ako odaberemo x veoma veliko, tako da medu $\sqrt{(R_a + R_n + x)} = U$ onda je $n = 0$.

Struja u momentu upuštanja određena je mom. vrtnje

$$I_a = \left[\frac{p}{a} \cdot \frac{Z}{2\pi \cdot 9,81} \cdot \phi \cdot 10^{-8} \right] I_a > I_0 + I \quad (66)$$

Iz struja upuštanja

$$I_a > \frac{2\pi \cdot 9,81 \cdot 10^8 \cdot a^2}{Z \cdot \phi \cdot p} [I_0 + I] \quad (67)$$

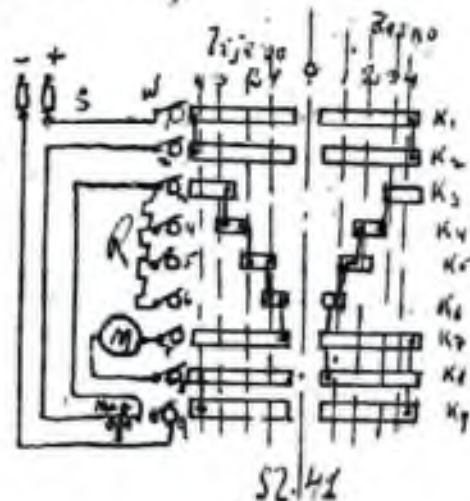


ako I_0 označuje moment inercije potreban za sula, davanje svih otvara neopt. kreta.

Kod upuštanja će biti struja uvijek jaka. Mo, moment $I_1 = I_0 + I$ uvijek je veći, nego moment I_0 u pogonu, ako se mora upustiti motor sa teretom, jer moramo ubrati veću masu. Ovo ubravanje prelazi polaganu u žonu silu svih masa. Na udarce struje kod ukopčavanja treba se obazirati t.j. o momentu kojega traži motor za sledavanje svih momenta tereta, te koji može postići kojigod višednost. Broj, stvo serijskog motora, kod upuštanja provesti se, liki moment inercije je jednak od najvećih svih svojstva toga motora.

Da se može motor potpuno upustiti, ukopča se otvor, z kojega se tako menja da broj okreta raste postepeno, a ne da bi jakost struje narasla preko određene granice, se. otvor se razdijeli u više dijelova. Struja nije onda kod upuštanja iznad dođe granice I_{max} : struja pred povišenjem i I_{min} : struja po povišenju broja. Proračun vidi

Sl. 41. prikazuje jednu uputnika za upušta, nje motora u desnom ili lijevom kretu. Ordje se promijeni



kao obično, mjer struje a ampera, tari M. Kontakt K pričvršćeni su na valjku iz izolacionog materijala. Poredni kontakti su, kao na slici međusobno spojeni. Izij motora, sa otvori, ma upuštanje R, pregleduje, zera ili kojigod odgovarajućem

konstrukciju k. U položaju 0 (nulti položaj) nemaemo kon-
takta između K i R. Armatura M, namotaj S te ot-
vor R, su iskojčani. Okrenemo li valjak na desnu stranu
tako da dođe zero u položaj 1, ukoči se motor preko
otvora R. Struja teče od P kroz režišnicu S i preko zero K
izom kontakta desno, koji je spojen sa susjednim. Drugo
zero (od gore računano) posreduje uvd kroz namotaj
S te otvor R/3,4 i 5. zero nema kontakta u položaju 1./
i 6. zero K 6. kontakta, odođe do prednjeg konta-
kta, koji nas spaja s akumulatrom. Od armature
teče struja kroz 7. zero K 7. kontakta (desna strana)
od toga kontakta k zadnjem 9 i kroz zadnje zero
9 natrag k negotionom vodu v. Motor se počne okre-
tati na desnu stranu. U sljedećim položajima
2, 3, 4 iskoči se protezenu po jednu otvor R. U polo-
žaju 4 je motor direktno priključen na mrežu.

Kontakti na lijevoj strani razlikuju se samo u
spju od kontakta na desnoj (3 zadnja kont.) Okrenemo li valjak
na lijevu stranu, teče struja kroz armaturu u supro-
tnom smjeru, motor se okreće na lijevu stranu.

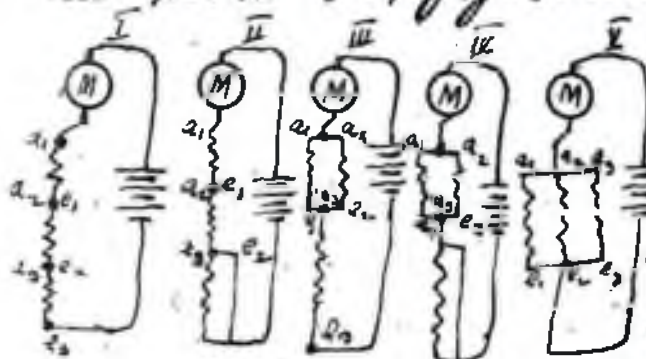
Za regulaciju broja okreta upotrebe se ili otvori (sniz-
nje broja) ili oslabljenje polja (povišenje broja) ili serijski
te serijsko-paralelni spoj dvaju motora.

Oslabljenje polja tj. povišenje broja okreta može se
kod serijskog stroja postići na 3 različita načina:

1.) Ukočavanjem otvora paralel namotaju. Struja Ia
djeli se onda u struju Ia', koja teče kroz namotaj
te struju Ia'', koja teče kroz otvor. Jer se struji odnose obrnuto
kao otvori, oslabimo polje tim više, čim manji odaberemo otvor.

2.) Oduvicanjem kofica u grotionom omjeru vrtuje. Ali jer mozeu kod prevelikog oduvicanja dobiti iskre na ko, mutatoru, ova se regulacija ne moze upotrebiti. -

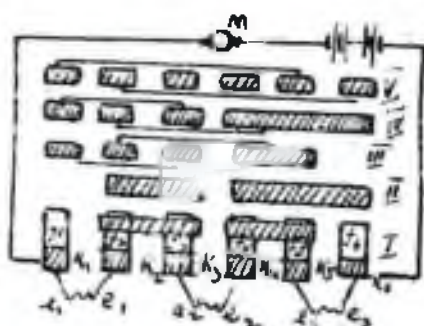
3.) U metodi Spragne razdijeli se namotaj u 3 dije, la - sl. 42 - te spoji ovako:



sl. 42.

- 1.) sve dijelove u seriji I.
- 2.) dva u seriji, treci kratko
- 3.) dva paralelno, treci u seriji
- 4.) dva paralelno, treci kratko
- 5.) tri paralelno.

sl. 43.



sl. 44.

Da se mogu ovi spojevi zgodno izvršiti umne se osobiti upravljač - kontroler.

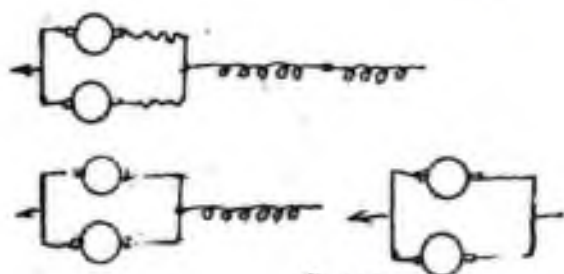
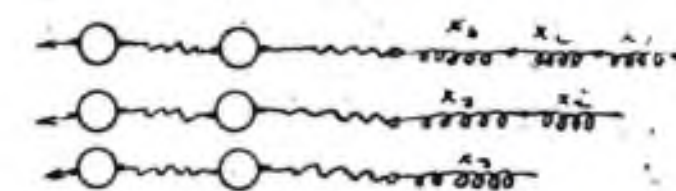
Na valjku iz izolatora - sl 43. - udešeni su kontakti I - VI, koje se dovede kod okretanja toga valjka do spoja sa ste, zaljkama $K_1 - K_6$ i to putem zecesa $f_1 - f_6$. Sl. 43 je sčma,

tski pogled sa strane, 44. sematski pogled kontakta, ako ih raširimo u ravninu. Kraj vi zvezdinih djelo, va namotaja spojeni su sa stezaljkama $K_1 - K_6$.

U polovici I su zecesa tako priklonjena na kontakte, da spajaju e_1 sa a_2 , e_2 sa a_3 . Okrenemo li valjak u tako, da dođu kontakti II. ispod zecesa f_1 , onda spojimo e_1 sa a_2 , e_2 sa a_3 , te a_3 tako da dođe e_3 u kra, tki spoj i t. d.

Ako imamo 2 motora za pogon jednog stroja, onda se moze upotrebiti za upustanje i regulaciju

serijsko paralelnog ukapčanja d. 45. Za valet spoji se motore u seriji struja je najjača, moment vrtnje najveći. Otpor upustanja može se odabrati manji, nego za jedan jedini motor, jer su otpori svih motora u seriji. Motori imaju samo polaricu na, zona, a broj okreta je polovica normalnoga. Da se, stignu motori žući broj spoji ih se paralelno. Za prelaz u paralelni spoj mora se



d. 45.

potrebiti otpore, čiju veličinu odredimo, da upstebi, mo otpore prvoga upustanja.

U serijskom spoju je protu. el. m. sila

$$E_s = \frac{U - 2\sqrt{(R_a + R_n)}}{2} \quad (68.)$$

u paralelnom spoju

$$E_p = U - \sqrt{(R_a + R_n)} \quad (69)$$

Pošto je broj okreta $n = C \frac{E}{\phi}$ ovisan o protu. el. m. sili E

$$\text{vredi} \quad \frac{n_s}{n_p} = \frac{E_s}{E_p} = \frac{U - 2\sqrt{(R_a + R_n)}}{2(U - \sqrt{(R_a + R_n)})}$$

a jer je radi malenih otpora $(R_a + R_n)$ razlomak $\frac{U - 2\sqrt{(R_a + R_n)}}{U - \sqrt{(R_a + R_n)}}$ približno jednak jedinici, dobijemo

$$\frac{n_s}{n_p} = \frac{1}{2}$$

Izolovanje obija motora je za serijski spoj

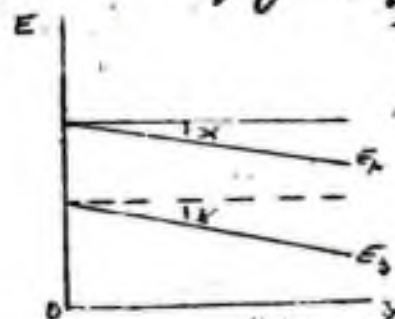
$$N_{ts} = \frac{U \cdot I_1 \cdot \eta_{M1} + U \cdot I_2 \cdot \eta_{M2}}{2 \cdot 1000} \text{ kW} \quad (70)$$

$$\text{Paralelni spoj } N_{tp} = \frac{U \cdot I_1 \cdot \eta_{M1} + U \cdot I_2 \cdot \eta_{M2}}{1000} \text{ kW} \quad (71)$$

Krivulja broja okreta može se naći; ako su poznate krivulje broja okreta za jednu napetost (n_1, n_2) te otpori $R = (R_1 + R_2)$. Karakteristika za serijski spoj E_s je usporedna s karakt. E_p te b. i. u golo, vići visine. Ona slijedi iz jedu:

$$E_s = \frac{U}{2} - IR \quad (72)$$

Sl. 46. Ova regulacija je veoma pogodna, jer se može upotrebiti ne samo za puštanje, nego također i za stalnu promjenu broja okreta, jer je sasvim ekonomična. Zbog toga upotrebljava se ova metoda za vježnace i Frauwaj. Ali tu treba spomenuti, da nemaju ova motora isti mom. uticaj. Ako nisu još sasvim jednaka, što se skoro nikada ne može postići, jer je uvijek nešto razlike, onda se kod paralelnog spoja struja ne dijeli jednako na ova motora. Motor sa jačim polom proizvodi veće djelovanje. Da se to popravi, mora se uklopiti motoru po potrebi zredne otvore odnosno otvore za nui, reije. To su otvori uklopau pred armaturu; obične spojeve pokazuje sl. 47.



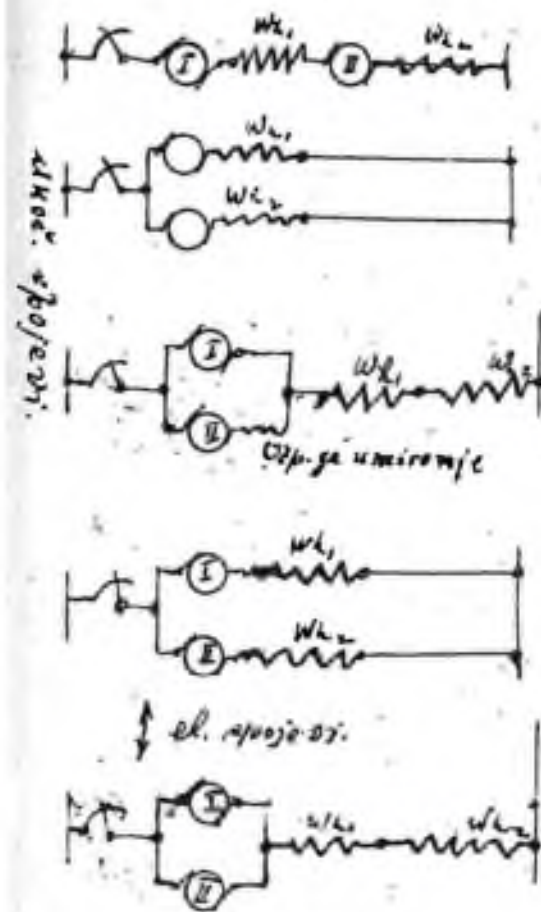
U slici a, b i c razumljivo, da su motori međusobno ukloeno ukopčani (n. j. osovine spojene) u slici

d i e motori su samo elek. spojeni.

Spoj a.) Momenti uticaja i brojevi okretaja obiju motora su jednaki, jer su motori ukloeno ukopčani. Svaki motor ima polovinu napona mreže. Daje li motor stalo u paralelnom spoju, upuste se sa jednim upatnikom sl. b.)

Slije tom slučaja mogu biti mom. utjeci različiti. Buda se mora zikozjati poredni otvor k namotaju

motora, se manjim djelova,



- a) njem, tako da dobije arma, tura jači struji, na koji se
- b) usim izjednači moment utuje obije motora.
- c) spoj c. Ako su armature za, ralelu, a namotaji u seriji spjeue, onda je teško postići isti moment u utuje za oba mo,
- d) tora. U tom se slučaju mora ueti otvore za umirenje te osim toga još ev. otvore k namo,
- e) taju. Radi ovih razloga ovaj spoj nije ugodan.

Sl. 47.

Ako su motori elek. spjeui - d - neravna se mom. utuje

po opterećenju, brojevi okreta mogu biti različiti. Isto vredi i za spoj po slici e, samo što su ovdje brojevi okreta približno jednaki, te mogu biti raznim izjednačeni pomoću porednih otvora k namotaju.

C. Dplovanje.

Za serijski motor vrede slične jdu. kao za generator. Zanimljivo, da nemamo gubitka zbog trenja; histerese te utlošnih struja, onda da bijemo el. stepen dplovanja:

$$\eta = \frac{\text{primljeni efekt}}{\text{uvedeni efekt}} \quad (73)$$

Uvedeni efekt je $U \cdot I$, primljeni $U \cdot I$ minus gubitke u unutarnjosti motora. Ovo su: gubici usled Joule-ove toplote u armaturi i kolicima te gubitak u magnetu t.j. $N_a = I_a^2 R_a = I^2 R_a$ $N_h = I^2 R_h = I^2 R_h$
 $N_a + N_h = I^2 (R_a + R_h) \quad (74)$

Od motora može se dakle dobiti efekt

$$U I - I^2 (R_a + R_h) = I (U - I [R_a + R_h]) \quad (75)$$

$I (R_a + R_h)$ je otpadanje napona u otporu $R_a + R_h$, dakle $U - I (R_a + R_h) = E = \text{protu. el. m. sila u armaturi}$.
 Električni stepen djelovanja prema tome

$$\eta = \frac{EI}{UI} = \frac{E}{U} \quad (76)$$

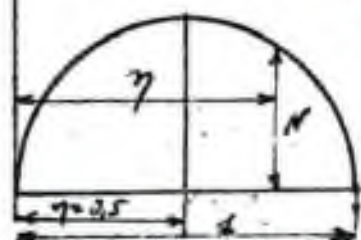
Jakost struje u armaturi sledi iz $I_a = \frac{U - E}{R_a + R_h}$. Ako vimo $E = \eta U$ dobijemo $I_a = \frac{U - \eta U}{R_a + R_h}$ ili

$$R_a + R_h = \frac{U}{I} (1 - \eta) \quad (77)$$

Jer je $\eta = \frac{N}{UI}$, ako označimo N djelovanje motora bez obzira na gubitke trenja, histerese i vrtložnih struja, sledi dakle

$$I = \frac{N}{\eta U}; R_a + R_h = \frac{U(1 - \eta)}{\frac{N}{\eta U}} \cdot \eta U \text{ ili} \\ N = \frac{U^2}{R_a + R_h} \eta (1 - \eta) \quad (78)$$

sl. 48



Izvoli li N ordinatu, a η abscisu, dobićemo sl. 48. N postigne max. vrednost za $\eta = 0.5$. Za $\eta = 1$ $N = 0$. To sledi također iz jedn. (76). Ako je $\eta > 0.5$ djelovanje N pada sa rastućim stepenom. Maximalna vrednost za $\eta = 0.5$ je

$$N_{\max} = \frac{1}{4} \frac{U^2}{R_a + R_n} \quad (79)$$

Iz jedu 77. sledi pripadajuća jakost struje

$$Y = \frac{1}{2} \frac{U}{R_a + R_n} \quad (80)$$

ili je $\frac{U}{R_a + R_n} = Y_0$ t.j. struja armature u stanju mirovanja $Y = \frac{Y_0}{2}$ (81)

Konačno sledi još iz jedu. 76. za max. djelovanje

$$E = \frac{U}{2} \quad (82)$$

d. Približno izračunavanje korisnog djelovanja. ~

Zamislimo si da je radnja neopt. kreta približno proporcionalna broju okreta, onda pripada svima i_0 , jer svima okreta približno konst. jakost struje za održavanje neopterećenog kreta. Označimo li ovu jakost struje sa i_0 , onda je $Y - i_0$ jakost struje, koja usrokuje korisni efekt N .

Ako je dale U napon steražka, E protud. m. s., onda $E - i_0$ efekt, kojega mora proizvesti armatura da vlada otpor trenja, E je totalni efekt, prema tome korisni $N = E(Y - i_0)$ (83)

e.) Maksimalni korisni efekt.

Da dobijemo max. korisni efekt moramo napraviti $N = E(Y - i_0)$ maksimum. Jer je $E = U - Y(R_a + R_n)$ sledi $N = [U - Y(R_a + R_n)](Y - i_0) = UY - Y^2(R_a + R_n) - U i_0 + Y i_0(R_a + R_n)$ - ovaj je raz. postigne max vrijednost ako je diferencijalni koeficijent po Y jednak nuli:

$$\frac{dN}{dY} = U - 2Y(R_a + R_k) + i_0(R_a + R_k) = 0 \text{ ili}$$

$$Y = \frac{U}{2(R_a + R_k)} + \frac{i_0}{2}$$

Jer je $\frac{U}{R_a + R_k} = I_0$ t.j. jakost struje armature u stanju mirovanja sledi:

$$Y = \frac{I_0 + i_0}{2} \quad (84)$$

Ova vrijednost mora postiti Y , da postane N max. U tom slučaju ima korisni efekt max. vrijednost, ali stepen djelovanja nije najbolji. (t.j. stepen η')

f. **Maksimalni stepen djelovanja η'**

Totalni stepen djelovanja η' je

$$\eta' = \frac{N}{U \cdot Y} = \frac{E(Y - i_0)}{U \cdot Y} = \frac{[U - Y(R_a + R_k)](Y - i_0)}{U \cdot Y} =$$

$$= \frac{UY - Y^2(R_a + R_k) - U i_0 + Y i_0(R_a + R_k)}{U \cdot Y}$$

$$\eta' = 1 - \frac{Y(R_a + R_k)}{U} - \frac{i_0}{Y} + \frac{i_0(R_a + R_k)}{U}$$

deriviranjem po Y dobijemo

$$\frac{d\eta'}{dY} = 0 = -\frac{R_a + R_k}{U} + \frac{i_0}{Y^2} \text{ prema}$$

Tome $Y = \sqrt{i_0 \frac{U}{R_a + R_k}} = \sqrt{I_0 i_0} \quad (85)$

η' je maximum za $I = \sqrt{I_0 i_0}$.

Ja /: krivulja II. $E_0 = f(I_a)$ /: odaberećemo kao konst. broj okreta n_0 broj za neopterećeni kret, onda iela, ni krivulja E_0 iz iste točke ordinate kao E krivulja.

Da odredimo polarak E_0 krivulje, primemo kri-
vulju magnetiziranja te estamo konst. struju i_m ,
tenzija $i_m = 0A_0 - sl. 50.$ - Ovaj struji odgovara el. m.
sila $E_0 = U = A_0 Q_0$

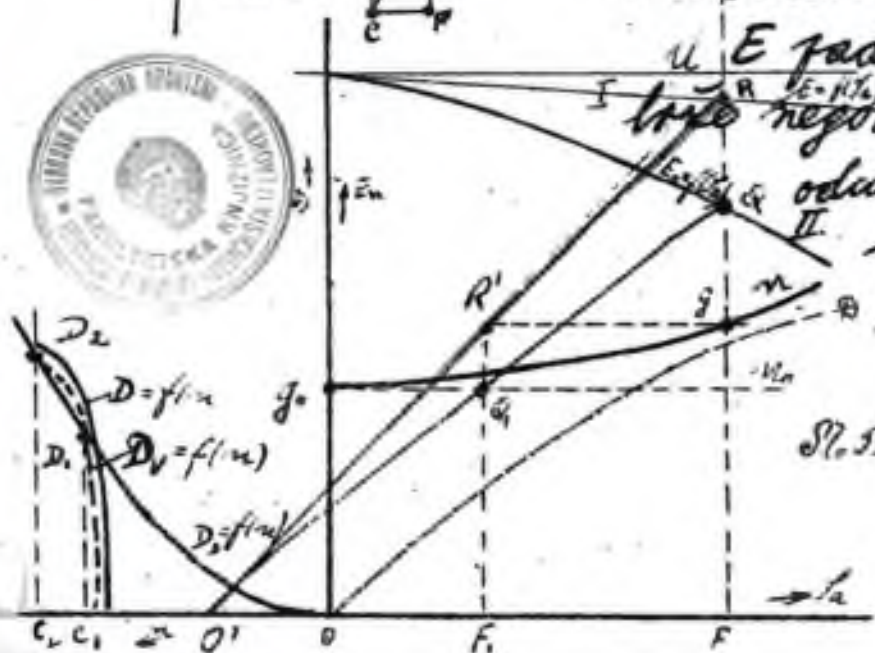
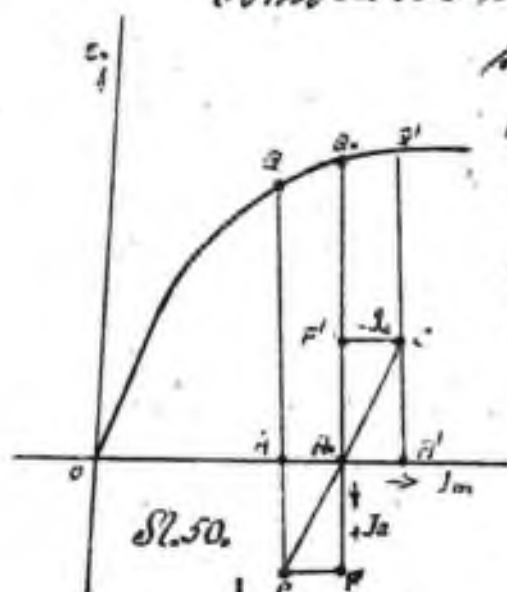
Produžimo stru $A_0 Q_0$ prema dole te napravimo
 $A_0 F = +I_a$ te izračunamo za određenu struju $I_a = A_0 F$
amperesavoji, što djeluju suprotno polju magneta i
napravimo konačnu $FC = \frac{A_0 W_c}{W_n}$ onda nam prikazu-
je $A_0 C$ oslabljenje toka ϕ u ovisnosti od struje I_a .
Za $I_a = A_0 F$ i el. m. sila prema tome $E_0 = A_0 Q$.

Pomoću ove slike određene vrijednosti E_0 u ovi-
snosti od I_a estamo u sl. 49 /: krivulja
 E_0 /: Pomoću krivulja I i II. estamo
krivulja n i D na isti način, kao
to bilo tumačeno kod serijskog
motora. Jer se krivulja E_0 samo
malo udaljuje od Q_0 u /: horizon.
esta /: je konstruk. n krivulje
nešto netočna.

U E pada u našem slučaju nešto
više nego E_0 . Iz toga razloga
oduzima $D = f(n)$

nešto sa rastućim brojem
n, motor je stabilan.

U slici 57 nastane
u iste krivulje kao
u sl. 49, ali još



pretpostavkom, da su kefice daleko odmaknute iz neutralne zone. Eo. sada sa teretom. Krivulja Eo. leži sada ispod krivulje

$E = f(\gamma_a)$. — Posljedica je, da broj okreta raste sa teretom, isto tako raste mom. vrtnje D i D_w sa brojem okreta. Motor u ovome slučaju nije stabilan, ako je mom. tereta konst. Raste li mom. tereta $D_0 = f(n)$ kvadratično sa brojem okreta, siječe se krivulja $D_0 = f(n)$ i $D_w = f(n)$ u točki D_1 odn. D_2 . Nad brojem $n = OC_2$ je motor stabilan, ispod OC_2 nestabilan. Kod zorednog motora se iz toga razloga ne može odmaknuti kefice predaleko iz neutralne zone.

b. Kočenje.

Momemt tereta možemo umanjiti, dok zosta, ne jednak nuli. Može se napraviti također negativnim, tako da postane negativan, smjer okretaja motora ostaje isti; jer se nije promijenio smjer toka u armaturi, el. m. sila ostane dakle uvijek suprotna naponu U . Negativni moment tereta djeluje sada u smjeru vrtnje, mom. tereta pretvorio se je u pokretni mom. D_p , stroj dobije mehaničku energiju, mora prema tome prvo, dati elek. Da se dobije ugodno kočenje, uruč se ako je moguće sa uzbuđenjem struja iz mreže, stroj radi sa nezavisnim uzbuđenjem. Naum, stroj ostane prema tome također sa vijenac kočenja prikopčan na mrežu. Jer se uzbuđenje

ne promijeni, inducirana je el. m. sila za jednaki
jedu. (60)

$$E_a = \frac{n \phi}{c} = k_1 n \phi \quad (87)$$

Jakost struje I_a ovisna je samo o otporu, što
možemo uključiti u krug. Padne li broj okre-
ta, padne napon i struja, a otpor se mora umna-
njiti. Također ovdje se upotrebljava za koče-
nje iste otpore, kao za upuštanje. Radi li motor
kao vijenac kočnja kao generator u mrežu,
ima mo korisno kočenje. Ovo se vezuje za upo-
trebu kod strujara za radnju, željeznica i t. d.
U tom se sluč. mora zavisiti broj okretaja mo-
tora, da postane inducirana el. m. sila veća
nego napon mreže, jer među

$$\text{za motor } E_a = U - I_a R_a$$

$$\text{za generator } E_a = U + I_a R_a$$

c. Regulacija pojednog motora

Posto li u navedenoj magnetu u pojednom
sklopu u armaturi ono je ovisno o jakosti stru-
je u armaturi te ovisno samo o naponu U .
Ako je U konst. imamo za jedu. 87.

$$E_a = k_1 n \phi, \text{ za jedu. 60 } n = \frac{E_a}{\phi} c_1$$

Tok ϕ nije stalno jednak. On pada sa rastu-
ćim teretom, jer raste protudjelovanje armature.

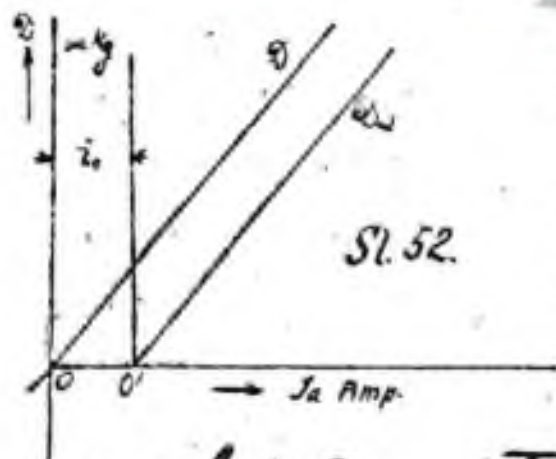
Pada li tok ϕ , raste broj n , ali je kao prije upo-
menuto n sa rastućim teretom pada radi otpa-
danja napona, ostane n približno sa sve tačte

konstantno, ako smo motor tako konstruirali, da je otpadanje napona γR_a u svome učinku jednak, kao protudjelovanje armature. Onda je dužina n

$$n = c \cdot E_a \quad (28)$$

c je konstantna određena veličina.

Teoretski mom. utuge je po pdu. 53. $D = c_2 \phi I_a$ u namislim kod toga konst. prema tome je ta, kođer ϕ konst, a mom. utuge ovisan samo o I_a , kođer I_a . Vrstama I_a horizontalna, D vertikalna, lino, dobijemo za D pravac slika 52. Koristi mom.



utuge je za iznos manji, koji odgovara trenju, hister. i t. d. Ako je i_0 struja za neopterećeno kretanje, onda je kođer, mi mom. utuge proporcionalna diferenciji $I_a - i_0$. Kod citanja dobijemo prema tome ijet pr,

vac, koji ima isti smjer, kao pravac D , te koji siječe abscisu u točki O' (struja i_0). Jedu 53. možemo prema tome pisati

$$D = c' I_a \quad (29)$$

Moment utuge je dakle ovisan samo o I_a , kođer struje I_a .

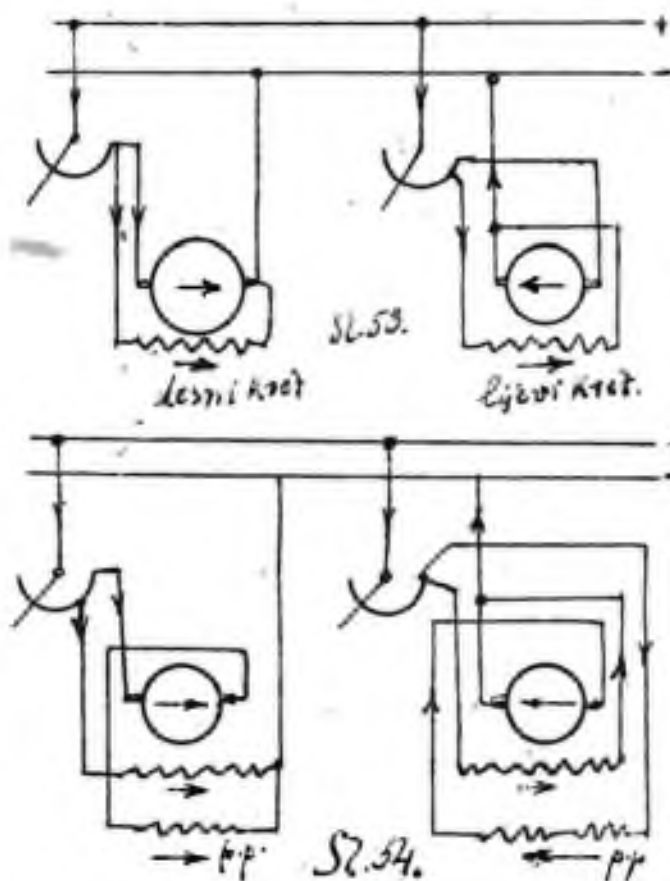
Promjene napona U imaju velik uticaj na broj okreta i mom. utuge odu. vlačnu silu.

Osobito svojstvo zoreduog motora je i broj okretaja za svaki teret (praktično kta, ako je napon U konst. Mom. utuge se me za sa opterećenjem, jer se može približno si

$\phi = K \cdot U / \omega$ konst. faktor / imamo za mom. struju

$$D: D_1 = U : U_1 \text{ ili } D_1 = D \frac{U_1}{U} \quad (90)$$

Hoće li se promijeniti smjer okretanja, mora se promijeniti struja samo u magnetu ili u armaturi. Nakon promjene li se smjer radi velike samoinduk. namotaja magnetu u armaturi. Sl. 53.



Ima li stroj pomoćne polove, mora se promijeniti ta, kodu smjer u pomoćnim polu - Sl. 54. - Ako su pomoćni polovi veoma jaki, mora se preći u obrat, da eventualno motor kod otkopavanja tereta utekne, jer mogu raditi pomoć. polovi kao polovi serij. motora / u tom slučaju ima motor još moćni namotaj /

U mom. upućenja je motor još u stajnu mirovanja.

Prikopča li se armatura na mrežu, onda teče veoma jaka struja kroz armaturu, jer ima armatura maleći otvor. Ovu struju armatura ne može preneti. Iz toga razloga mora se kod upućenja ukopčati u armaturu otvore, koje se posle iskopča. Uputnik mora biti ukopčan samo u krug armature, prema tome su potrebna 3 vodiča, jer ostane magneti bez otvara na mrežu prikopčani. -

Na isti način može se također regulirati broj okreta u prgonu. Otkor je ukopčan u krug ar. matice, a namotaj magneta direktno na mrežu. Zamislimo si da se teret ne promijeni. Promjena sada ukopčanog (tereta) otkora, ostane jakost struje ista i to po pda. 89: $I = C' \cdot I_a$, je p mom. struje ovisan samo o jakosti struje. / u prvom momentu promjene otkora promijeni se također jakost struje, ali ona padne u kratak vrijeme opet na prijašnja vrijednost, kad je broj okreta postigao pripadajući vrijednost. Raznaka je prot. el. m. sila. Napon mreže mora voladati ne samo prot. el. m. silu otpadaju napona u armaturi, nego također otpadaje u ukopčanom otkoru.

6. Prema Tome

$$U = E_a + I_a R_a + I_a \cdot X \quad (91.)$$

U te R_a su konst. I_a se ne promijeni dok je teret isti, prema tome je jedini uticaj X na E_a , odu broj n . Jer je otpadaj u armaturi tako malen, da ga možemo zanemariti. (R_a veoma malen) vidi se uticaj ukopčavanja otpora X na E_a odu broj n .

Na p. Pretpostavimo, da je prot. el. m. sila jednaka naponu na keficama, što se uvijek slaže, ako možemo zanemariti otpor armature. Onda je broj okreta n kod promjene otpora X , skoro točno proporcional. naponu kefica:

Za neptv. broj neka budu: $U = 110V$, $R_a = 0.2 \Omega$, $I_a = 2A$, $\frac{I_a}{I} = 1$, $X = 300$ onda sledi za $\phi = 2 \cdot 10^6$

/pda 52/ $n = \frac{(110 - 0.2) \cdot 60 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^6 \cdot 300} = 1094$

uklopićemo li u krug armature $27,5 \Omega$ ne pomje-
ni se struja od 2 Amp. Otpadanje napona u otporu
 x je $27,5 \cdot 2 = 55 \text{ V}$, napon kefice $110 - 55 = 55$, broj
okreta
$$n = \frac{(55 - 93 \cdot 2) 60 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^6 \cdot 500} = 544$$

t.j. skoro točno polovica. Brojevi okreta odnose se
kao naponi kefice. Iz toga slijedi pravilo:

Kod motora sa konst. usluđenjem je
jakost struje proporcionalna naponu kefice.
Promjenom napona kefice može se postići koja-
god promjenom broja okreta.

Ali predočiti ti moramo, da je kod ove regula-
cije potrebno konst. regulac. otpora, jer povećani
svaka promjena tereta promjenom struje i ova
opet promjenom otpadanja napona t.j. konačno
promjenom tura n . Dakle: ova regulacija nije
nije ekonomična previše energije se mora
uništiti. Stepen djelovanja pada u istom raz-
mjeru, kao broj okreta. Iz toga razloga, upo-
trebi se ova regulacija samo kod malenih mo-
tora i također ovdje samo onda, ako to nužno
treba. Boja je regulacija pomoću promjene toka
 ϕ , ali ovdje može se postići samo povećanjem broja
okreta. Ustrojstvo povećanja broja leži u tome, da
se zbog slabijeg polja mora broj automat. zavisi-
ti je otpadanje puta d.m.s. povećalo za rast struje
Ja, tako da nadmaši mom. motora mom. tereta.

Jedn 53 sadržava produkt ϕI_a , koji je po-
proportionalan teretu. Pada li ϕ mora se rasti, ali po-
rast struje I_a nije bez uticaja na broj okreta, jer

se povećava strujanje napona. Na π . $U = 110V$, $R_a = 0,3 \Omega$
 $Z = 300$ $\phi = 2 \cdot 10^6$, $\frac{I}{a} = 1$. Za $I_a = 10$ Amp. imamo

$$n = \frac{(110 - 10 \cdot 0,3) \cdot 60 \cdot 10^8}{300 \cdot 2 \cdot 10^6} = 1070$$

Umanjimo još u razmjeru 0,8:1, mora struja rasti u omjeru 1:0,8, da ostane produkt $\phi \cdot I_a$ isti, ja imamo isti teret

$$\phi = 0,8 \cdot 2 \cdot 10^6 = 1,6 \cdot 10^6 \quad I_a = 10:0,8 = 12,5 \text{ A te}$$

$$n = \frac{(110 - 12,5 \cdot 0,3) \cdot 10^8 \cdot 60}{1,6 \cdot 10^6 \cdot 300} = 1328$$

Ako bi armatura imala otpor, kojega bi mogli xaueti, mariti, dobili bi zvišene brojeve n također u razmjeru 1:0,8 povećani t.j. 1070 na 1328. -

Umanjivanjem toka ϕ ne može se broj zavisiti za kojegod veličinu. Konačno postane upliv strujanja napona tako velik, da zadane broj okreta nampe, sto da bi rastao, jer bi se u postionom sluč. morao motor okretati sa beskonačnim brojem okreta, ako bi oslabili još do nule. Faktično se motor xaus, tavi, jer postane jedan faktor produkta, koji nam određuje mom. struje: $D = C_r \cdot \phi \cdot I_a$ jednak nuli. Kako tome mora eksistirati ili sa tok ϕ ili sa strujom I_a vezanoost, za koju postigne broj okreta kod za, danog tereta maximum. Da pronađemo ovu vrijednost izademo iz jedu 61.

$$N = D \cdot 2\pi \cdot \frac{n}{60} \cdot 9,81 = E_a I_a - I_a^2 R_a \quad (61)$$

Koja nam kaže, da je mehančko djelovanje jednako električkom

Jer se teret ne promjenjuje ostane isti. Dife,

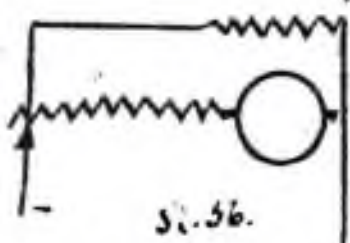
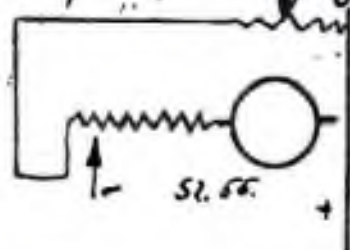
reuciramo demu stram go ta te stavimo kvocijant
jednak 8. dobimo

$$I_a \cdot R_a = \frac{U}{2} \quad (92)$$

t.j. broj n je naprvi; ako je još postalo tako slabo,
da je otpadanje napona jednako polovini napona
mreže. Stepen djelovanja je manji, nego 95, struja
ja tako velika, da on sluč. u praksi ne dolaze u
obzir. Povišenje n putem I_a & R_a je neugodnog
smisla i pomoću otvara, jer ne možemo velikih
bitaka. Ali ova regulacija mora se već kod
konstruk. uzeti, jer su motori sa regulacijom
 I_a & nešto veći, nego obični. Kod visokog broja
je rade ovi motori sa slabim gubim, prema
tome nisu magnetsko puno opterećeni. Kod
niskog normalnog broja tura je opt. mehanič.
ko opterećenje manje, nego to motor preuša.

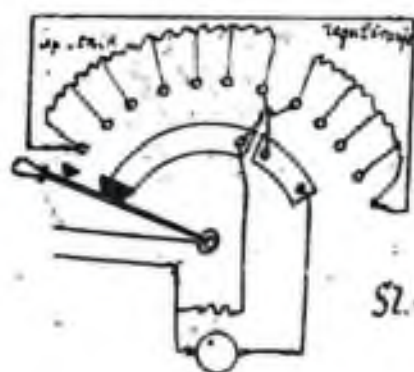
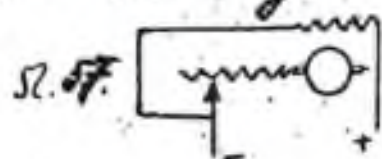
d. Spoj na regulaciju.

Momentarno iskapanje motora bez ikakve
vih priprave moglo bi oštetiti motor, jer bi mogla
napetost samind. u namotaju magneta prabi-
ti izolaciju. Sl. 55. prikazuje jednu spojnu uputni-
ku, kod koje je namotaj magneta trajno



spojen sa armaturom, tako da
ima samindukcija ugodan
put ispušćenja. Da je ukop-
čan otpor uputnika u namo-
taj magneta, i to kod optere-
ća, nema velikog uticaja,

je je ovaj otvor u razmjeru s otvorom magneta malen. Sl. 56. Broje je samo dio uputnika uklo-
ćen u krug magneta. Još ugodniji je spoj sl. 57.



Sl. 58

Sl. 58. prikazuje uputnik sa otvo-
rom za regulaciju broja okreta
formu oslabljenog pola. Dolazi
dvostruka poluga in leva,
nos segmenta na desni, uklop-
čava postepeno otvore u namo-
taj, tako da uvisi broj tura.
Početak otvora za upuštanje
spojen je sa početkom otvora

za regulaciju, da se nema kod iskačanja iskre.
Napon samoinduk. izjednači se ugodno preko u
seriji spojene dijelove: armatura - magneti - otvor
regulacije te otvor upuštanja.

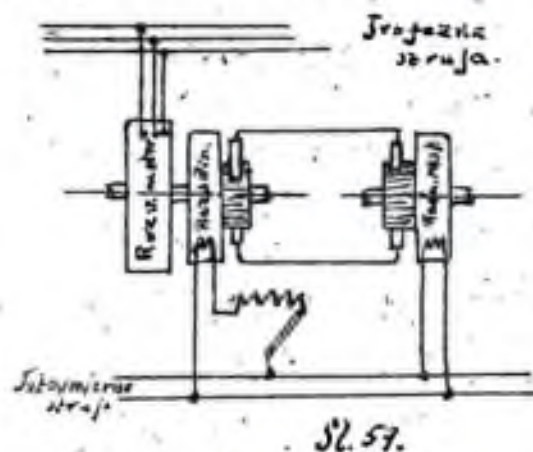
Prin ovih uputnika upravlja se još više
fata takve sa automatič. iskačanjem kod mini-
malne ili maksimalne struje i t. d.

C. Strojevi za regulaciju i upuštanje.

Uputnike za velike motore konstruirati nije lako.
Prin toga su gubici kod ubrzanja velikih masa
takvi, da dolaze tuu rno u obzir, čim se više fata
mora velike motore upustiti te opet zaustaviti. Zbog
toga prave se kod teskih pilika posebne strojeve
za regulaciju i upuštanje.

Leonardov spoj - sl. 59. - Armatura konst.
ustrojenog stroja dolaze struju od osobitog generat.

sa nezavisnim usudjenjem. Napon toga genera-



tora regulira se pomoću
statora, koji je spojen u
krug magneta. Generator
- parvodni dinamo, Steady
namo, drži se u pogonu pomo-
ću trifaznog motora - par-
vodni motor, Steadmotor u

jednom te istom smjeru. Parvodni generator je traj-
no direktno spojen sa radnim motorom. Kod
uspustanja motora usudi se najprije parvodni
generator samo malo. Ako se onda usuduje
postepeno povećava, povećava se također broj okreta
parvodnog motora, dok ne postigne puni broj
okreta. Na sličan način se zaustavi motor i
to pomoću umanjuvanja usudjenja parvodnog
generatora.

Kod strojeva koji se trajno upušta te za-
ustavlja, udesi se po Lignier-ovoj metodi na oso-
vinu parvodnog motora te parvodnog genera-
tora samostojak, koji sakuplja ili pada energiju.
Kod zaustavljanja radnog motora nadimati po-
stusila motora napon generatora, tako da rad-
ni motor kao generator na parvodni dinamo, koji
radi pada kao motor te sakuplja energiju
u samostojaku, kojega ubrzava. Pomoću ove me-
tode može se postići, da se usimna i izmjeri traj-
no skoro ista energiju t. j. opterećenje, centar-
le ostane skoro konstantno. Uslov pravilnom

djelovanje je dostatno otpadanje broja tura rasv.
duog motora kod opterećenja (12-15%), da može
zamatačnik sakupiti energiju predati. Radi toga
je spojen veliki otpor armature rasv. duog
motora. Ako bi ovaj otpor bio = 0, onda ne bi
mogao zamatačnik nikakve energije predati, jer
bi rasv. dui motor već sam podržao konstantni
broj okreta.

Imamo li rasv. dui motor sa istosmjernom
strujom, može se otpadanje frakci na taj način
da se doda foreduom namotaju još serijski
namotaj, kroz koji namotaj struja tako teče,
da opasava djelovanje foreduog namotaja.

Još bolje radi ovaj "Gen.-ov" pretvarač, ako
se uklopi automatično u krug armature rasv.
duog motora otpor. Kod upućenja pravi se
radi povećanja djelovanja radnog motora elek.
trično djelovanje rasv. duog generatora. Rasv. dui
motor, koji je direktno spojen sa rasv. duim gene.
ratorom koji veći potrošač iz mreže. Jer je uklop,
svoj otpor u armaturu, tako da ostane automa.
tično struja uvijek jednaka, ne dobije rasv. dui
motor više iz mreže, nego ono što otpor odgovara.
Radi toga mora predati broj okreta rasv. duog
generatora te zamatačnika. Sada pred
zamatačnik potrebno dodatno djelovanje. Dj.
lovanje, što ga dobije rasv. dui motor iz mreže
ostane prema tome isto bitno se unosi

kod nastavljanja nebudući, parovodnog generatora.
 Tora. Nakon zadue, potu d. m. sila radnog mo.
 Tora raduati, motor saž stuzi u generator.
 Motor se zaustavlja, ali generator skrzava, a
 namotajak sakuplja energiju. Da ne zadue
 struja u parovodnom motoru pregrješi se tako,
 da se automatski iskačja otvor is kruga
 armature. Radija namotajaka slijedi
 iz sledećeg posmatranja: Osnai li
 n. broj tura / min neopterećeni kret
 n. " " " opterećeni " "

D. promjer namotajaka u metrima mjeren u
 krugu težišta

M - masa namotajak sistema

G - težina " " " "

g - $9,81 \text{ m/sec}^2$ ubrzanje

v_0 u m/sec obodna brzina namotajaka obki-
 rom na promjer D

Kod neopterećenog kreta sakupljena energ.
 ja (potencijska energija namotajaka) je

$$H_0 \text{ mkg} = M \frac{v_0^2}{2} = \frac{G}{2g} \left(\frac{D \pi n_0}{60} \right)^2 \quad (93.)$$

Kod opterećenog kreta sakupljena energ.

$$H \text{ mkg} = M \frac{v^2}{2} = \frac{G}{2g} \left(\frac{D \pi n}{60} \right)^2 \quad (94)$$

Rad. namotajak predava prema tome

$$\text{radu datog} \quad H_0 - H = \frac{G}{2g} \cdot \frac{D \pi^2}{60^2} (n_0^2 - n^2) \quad (95)$$

pada korna pr. : $G = 1000 \text{ kg}$, $D = 2 \text{ m}$, $n_0 = 1000$

~78~

$n = 900$, onda je $\frac{1}{2} \pi = \sim 20$, $\pi^2 = \sim 10$!

$$A_0 - A = \frac{1000}{20} \cdot \frac{4 \cdot 40}{3600} (10^6 - 81 \cdot 10^4) = \frac{10}{18} \cdot 10^4 (100 - 81) =$$

$$= \frac{19}{18} \cdot 10^5 = 105600 \text{ mkg.}$$

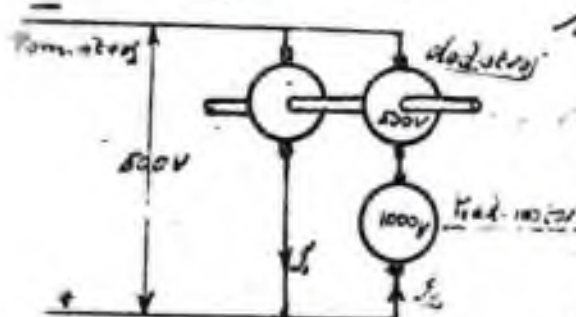
Upotrebili se za promjenu broja od 1000 do 900 vreme $t = 10$ sek, onda je srednje djelovanje kamajnyaka, koji on može predati $\frac{A_0 - A}{t} = 10560 \text{ mkg/sek}$, prema tome

$$N = \frac{10560}{75} = 141 \text{ PS.}$$

Ako je pomena $n = n_0$ 15% (1000 - 850) onda se uzviri predane radnja na

$$A_0 - A = \frac{10}{18} \cdot 10^4 (100 - 72,25) = \frac{27,75}{18} \cdot 10^5 = 154200 \text{ mkg.}$$

t.j. radnja se povećala većoj mjeri, nego promjena broja tura. Velike motore može se tako, bez dodatnog pomoćnog stroja, koristiti pomoću do



Sl. 60.

datog stroja (šestomarchine) Sl. 60. Radi motor sa konst. usudjenjem je na pr. konstruiran za 1000 V. napona.

Dodatni se pomoćni stroj sa 500 V, može i na takvu

na 500 V. Jer liči pomoćni stroj direktno na mreži, radi pomoću te dodatni stroj traje, no sa približno konst brojem okreta, saopisao koji od tih strojeva radi kao motor, a koji kao generator.

Pred upotrebom pr. radi motor u mreži nja mirovanja, te služi kao vod strujenja

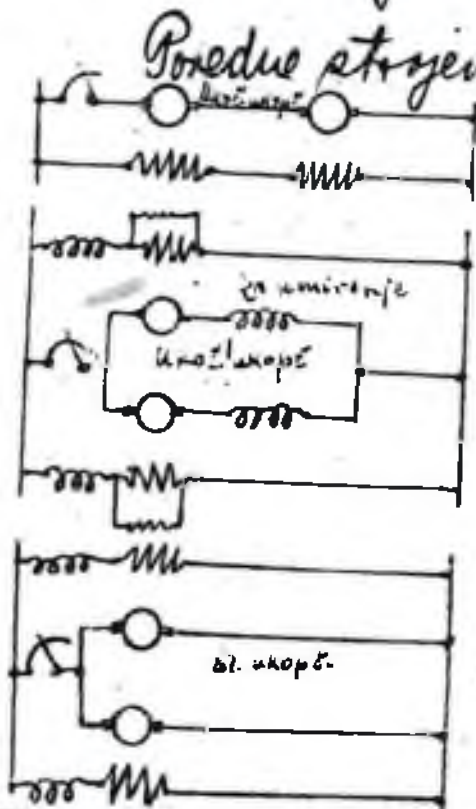
dodatni stroj. Ovaj stroj drži pomoćni u pogonu, ali djelovanje odgovara neopterećenom kretu, jer je zbog sporobnog usbuđenja od pomoćnog stroja proizvedena napetost jednaka te suprotna na-
znom mreže. Tada slabimo malo usbuđenje do-
datnog stroja, koji radi kao motor. Broj okreta
raste, napetost pomoćnog stroja također. U
mrežu teče struja I_1 . Djelovanje dodatnog stroja -
motor - raste, prema tome struja I_2 također. I u
istinu ne teče struja I_1 u mrežu, nego kroz armu-
turu radnog motora u dodatni stroj, mora da
de samo toliko, koliko odgovara gubitku obij
strojeva. Jer raste struja I_2 , postigne ona
konačno također jakost, da se poine radni
motor okretati. Jer imamo u jednoj strani dva
stroja u seriji, raspjeli se napon mreže na njih,
kojega ne možemo unaprijed odrediti. U našem slu-
čaju se okreće dodatni stroj se skoro nepomjerljivim
brojem tura. Proizvedeni napon toga stroja određen
je usbuđenjem. Za nadmašenje one potu el. m. sile
upotrebi se dio napona mreže, ostatak potroši radni
motor, tako da on postigne također određen broj ok-
retaja. Ako je radni motor počeo raditi, onda je jakost
struje I_2 ovijna također o teretu toga motora. Radi
toga neće struja rasti, ako slabimo još dalje usbu-
đenje dodatnog stroja, sada raste broj okretaja
radnog motora. Moment mrtve (radnog) do-
datnog stroja, određen je produktom toka ϕ_2 te
sada konst. struje I_2 poine radati, ako umanjimo

tok ϕ_2 t.j. urbuđenje, jer nemamo istodobno gona, sta struje I_2 . Okretanje još nije se odgastati. Odga-
taće je doduše malo, ali ipak dostatno, da pos-
tane struja pomoćnog stroja = 0.

Pože dodatnog stroja, prema tome proizvedenu
napetost te momentat niti napravi se postepeno
= 0. Pomoćni stroj radi ned kao motor, te drži nes-
pterećem dodatni stroj u pogonu. Radi motor
ima napon mreže 500 V.

Ukladi li se postepeno dodatni stroj u suprot-
nom smjeru, nego prije, tako da ima proizvedeni napon
isti smjer, kao struja I_2 , onda radi dodatni stroj
kao generator, čiji napon forsi napon mreže, ta-
ko, da raste napetost mreže na stepalaka radnog
motora do 1000 V, ako je postigla napetost dodatnog
stroja punu vrijednost 500 V. Radi motor dobije
prema tome polovicu djelovanja direktno iz mreže, po-
lovicu direktno putem dodatnog stroja.

f) Serijsko-paralelni spoj.



Poredne strujeve se upotrebljava pojedinačno.
Slika ima također ovde slučaj
jeva, da radi više motora na
jedan stroj. Ako su motori
b) mehanično spojeni moraju se
spojiti magnete i armature
po slici a ili b. U sl. a su ar-
mature te namotaji na se u
seriji, tako da teče kroz obe

armature ista struja, a broj namotaja također.

Ovo ukazivanje može se bez ikakvih poteškoća upotrebiti. Momenti vrtuge, te brojevi tura su jednaki radi ukrećenog sklopisanja. Napon motora jednak je polovici napona mreže. Ukop-

Slika na strani 80.

čamo motor paralelno, sl. b, onda je ako su motori ukrećeno sklopiani, teško postići jednaki moment vrtuge. Potrebni su otpori za umirenje te osim toga pojedini otpori namotaju. Brojevi tura su jednaki, ali radioba struje može biti kod maleno razlike u polju nejednakolika, tako da ima, mo jedan motor preopterećen. Svoj po slici nije prema tome ugodan.

Imamo li motore samo elek. paralelno ukopčane nema opasnosti za motore. Momenti vrtuge su po opterećenju. Brojevi tura nisu jednaki, ali mogu biti pomoću makulih sa neustojem u seriji sklopčanim otpora izjednačeni.

g. Djelovanje, stepen djelovanja.

Električni stepen djelovanja je

$$\eta = \frac{\text{uvedeni ef.} - \text{gubici na ef.}}{\text{uvedeni ef.}} = \frac{U \cdot I - I_a^2 R_a - \frac{U^2}{R_m}}{U \cdot I}$$

$$\text{jer je } I_a = I - I_m = I - \frac{U}{R_m}; \quad I_a = \frac{U - E_a}{R_a}; \quad E_a = U - I_a R_a$$

$$\eta = \frac{U(I - \frac{U}{R_m}) - I_a^2 R_a}{U \cdot I} = \frac{I_a(U - I_a R_a)}{U \cdot I} = \frac{E_a I_a}{U \cdot I} \quad (96)$$

Ea ta je korisni efekt motora, ako se ne obračunava na gubitke Freuja, histereze it. d.
Gornju jedu. možemo pretvoriti

$$\eta = \frac{uY - \frac{u^2}{R_m} - Ra(Y - \frac{u}{R_m})^2}{uY} = 1 - \frac{u}{Y R_m} - \frac{Ra(Y - \frac{u}{R_m})^2}{uY}$$

$$= 1 - \frac{u}{Y R_m} - \frac{Ra Y}{u} + 2 \frac{Ra}{R_m} - \frac{Ra u}{Y R_m^2}$$

Radi li motor sa konst. naponom u , onda je η ovisno samo od Y . Da pronademo struju Y sa maksimalni stepen η stavimo difer. kvocijent $\frac{d\eta}{dY} = 0$

$$0 = \frac{u}{Y R_m} - \frac{Ra}{u} + \frac{Ra u}{Y^2 R_m^2} \text{ ili}$$

$$Y = \frac{u}{R_m} \sqrt{\frac{Ra + R_m}{Ra}} \quad (97)$$

onda je

$$\eta_{\max} = \frac{\sqrt{\frac{Ra + R_m}{Ra}} - 1 - \frac{Ra}{R_m} (\sqrt{\frac{Ra + R_m}{Ra}} - 1)^2}{\sqrt{\frac{Ra + R_m}{Ra}}} \quad (98)$$

Kod proračuna novoga motora je $\eta_{\max}$ odabrana, poznata veličina, ^{tako} da možemo odrediti razmjerni $\frac{Ra}{R_m} = x$ tako, da postane $\eta = \eta_{\max} = \eta_0$

$$\eta_0 = \frac{\sqrt{1 + \frac{1}{x}} - 1 - x(\sqrt{1 + \frac{1}{x}} - 1)^2}{\sqrt{1 + \frac{1}{x}}}$$

ili

$$x = \frac{Ra}{R_m} = \frac{(1 - \eta_0)^2}{4\eta_0} \quad (99)$$

to je ista jedu. koju smo imali sa prethodni

generator (jedn 32)

$$I_2 \text{ jedn: } Y = \frac{U}{R_m} \sqrt{\frac{R_a + R_m}{R_a}} = \frac{U}{R_m} \sqrt{\frac{4\eta_0}{(1-\eta_0)^2} + 1} =$$

$$= \frac{U}{R_m} \frac{1+\eta_0}{1-\eta_0} \text{ sledi}$$

$$R_m = \frac{U}{Y} \frac{1+\eta_0}{1-\eta_0} \quad (100)$$

$$Y_2 \frac{R_a}{R_m} = \frac{(1-\eta_0)^2}{4\eta_0} \text{ sledi } R_a = \frac{U}{Y} \frac{1+\eta_0}{1-\eta_0} \cdot \frac{(1-\eta_0)^2}{4\eta_0}$$

$$R_a = \frac{U}{Y} \frac{1-\eta_0^2}{4\eta_0} \quad (101)$$

Kod motora nije una prijed struja I određena. Poznata nam je una prijed napet. U , djelov. motora u vatima ili PS. označimo li N djelov. vauje u vatima, η' totalni stepen djelovanja, onda vredi:

$$\eta' = \frac{\text{Koćeni ef.}}{\text{uvedeni ef.}} = \frac{N}{U Y}$$

$$Y = \frac{N}{U \cdot \eta'} \quad (102)$$

Pomoću ove jedn. izračunava se Y .

Također ovdje se može dokazati, da postoji one totalni stepen η' max. vrijednost, ako su gubici radi Joule-ove topline u armaturi i ke, fiksna jednaki gubicima zbog usbude, nja, trejja, hister. i ostloz. struja, onda

$$\eta' = \frac{U Y - I_a^2 R_a - \frac{U^2}{R_m} - N_v}{U Y}$$

Pretvorimo li ovu jedn., dobijemo

$$\eta' = 1 - \frac{u}{I R_m} - \frac{R_a \cdot I}{u} + \frac{2 R_a}{R_m} - \frac{R_a u}{I R_m^2} - \frac{N_v}{u I}$$

η' je max., ako je $\frac{d\eta'}{dI} = 0$, dakle

$$0 = \frac{u}{I^2 R_m} - \frac{R_a}{u} + \frac{R_a u}{I^2 R_m^2} + \frac{N_v}{u I^2} \text{ ili}$$

$$I^2 R_a = \frac{u^2}{R_m} + \frac{u^2 R_a}{R_m^2} + N_v$$

$\frac{u^2}{R_m} = u \cdot I_m$ je gubitak urbuđenja $\frac{u^2 R_a}{R_m} = I_m^2 R_a$ možemo zanemariti, jer je veoma malen. Prema tome ostane

$$I^2 R_a = N_v + \frac{u^2}{R_m} \quad (103)$$

u tom je slučaju η' maksimum

Korisni efekt može se računati po (83)

$$N = E(I - i_0)$$

Jedu. za maksim. korisni ef. i max. stepen djelovanja η' t.j.

$$\eta'_{\max} \text{ za } I = \sqrt{i_0 I_0} \quad (85)$$

$$N_{\max} \text{ za } I = \frac{I_0 + i_0}{2} \quad (84)$$

vrede također ovakve. To se vidi iz sledećeg posmatranja: Označi I_a struju armature, armature za opterećeni motor, I_{a_0} za neopter., onda je

$$\eta' = \frac{E(I_a - I_{a_0})}{u I} = \frac{(u - I_a R_a)(I_a - I_{a_0})}{u I} =$$

$$= \frac{I_a}{I} - \frac{I_a^2 R_a}{u I} - \frac{I_{a_0}}{I} + \frac{I_a I_{a_0} R_a}{u I}$$

Jer je $I_a = I - I_m$ sledi $\eta' = 1 - \frac{I_m}{I} - \frac{R_a I}{u} + 2 \frac{R_a I_m}{u} -$

$$-\frac{Ra I_m^2}{u Y} - \frac{I_{a0}}{Y} + \frac{I_a Ra}{u} - \frac{I_m \cdot I_{a0} Ra}{u Y}$$

$$\frac{d\eta'}{dY} = \frac{I_m}{Y^2} - \frac{Ra}{u} + \frac{Ra I_m^2}{u Y^2} + \frac{I_{a0}}{Y^2} + \frac{I_m \cdot I_{a0} Ra}{u Y^2}$$

Jer je $i_0 = I_{a0} + I_m$ sledi

$$Y = \sqrt{\frac{u i_0 + Ra I_m i_0}{Ra}} = \sqrt{i_0 \left(\frac{u}{Ra} + I_m \right)}$$

$\frac{u}{Ra}$ je struja armature u stanju mirovanja
t.j. $\frac{u}{Ra} + I_m = I_a$ ili $Y = \sqrt{i_0 I_a}$

Da imamo napreće N za $Y = \frac{Y_0 + i_0}{2}$

sledi iz:

$$N = u(Y - i_0) \text{ ili jer je } E_a = u - I_a Ra = u - (Y + I_m) Ra \\ = [u - (Y - I_m) Ra](Y - i_0) = uY - Y^2 Ra + I \cdot I_m \cdot Ra - \\ - u i_0 + I i_0 Ra - i_0 I_m Ra$$

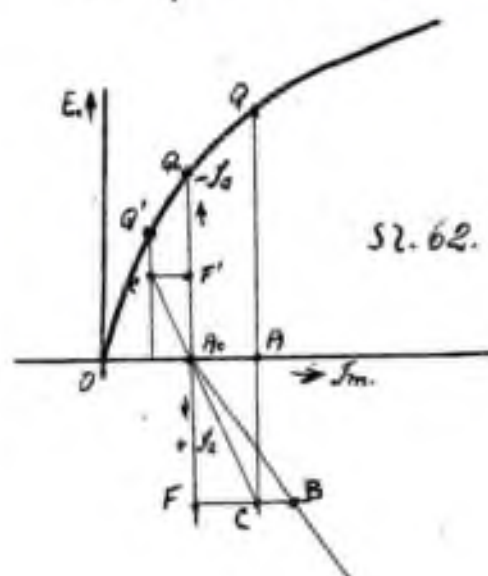
$$\frac{dN}{dY} = u - 2Y Ra + I_m Ra + i_0 Ra = 0$$

$$Y = \frac{1}{2} \frac{u}{Ra} + \frac{1}{2} I_m + \frac{1}{2} i_0 = \\ = \frac{1}{2} \left(\frac{u}{Ra} + I_m \right) + \frac{1}{2} i_0 = \frac{Y_0 + i_0}{2}$$

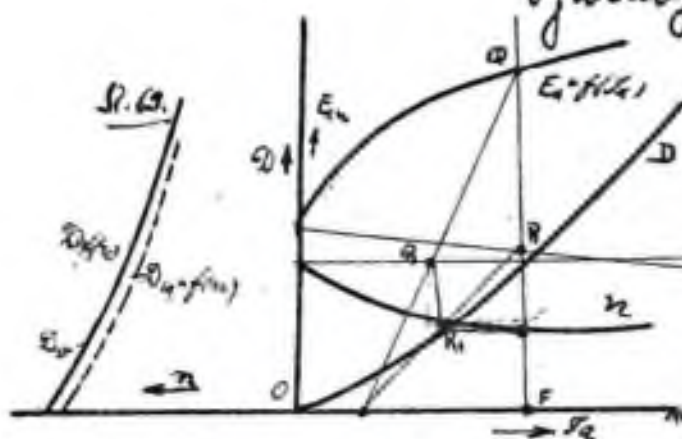
D. Kompaundni motor.

Tok indukcije proizvode u zvojni vrsti po-
redni namotaji, t.j. struja i_m . Glavna struja I
ima dostatan uticaj, te ojača tok. Ojačanje
je uopće tako određeno, da nadmaši smanjiva-
nje toka, prouzročenog od poprečnih kavoza. Prema
tome raste tok, ako raste opterećenje. Konstr.
karakteristika je ista, kao za poredni motor.
Da odredimo ovimost inducirane napetosti E_0 od

od jakosti struje I_a za broj n nespremenjenog kruga,
napravimo konstrukciju sl. 62. Za konstantnu struju
uslavljenja $I_m = 0A$ nastavimo sl.



uslabačenja $V_m = 0A$. nastanu el.
m. silu $E_0 = U = A_0 Q_0$. Za određenu
jakost $A_0 F$ iradijnog super
zavoje glave struje AW_n , te
superzavoje potrdjelovanja AW_T .
onda vučemo pravac $FB = \frac{AW_n}{W_n}$.
te napravimo na pravcu FB
dio $BC = \frac{AW_T}{W_m}$. $A_0 C$ je onda
ojačanje. Za struju $I_a = A_0 F$
dobijemo el. m. silu AQ .



$\frac{1}{2}$ sl. 63 sledi, da zada
broj tura, ako deset
raste, moment utaje
Dw zada, ako zada
broj tura. Motor je

Momenat intuje D raste brže, nego li po,
porcionalno struji I_a , ali ne tako brzo, kako
je to bilo kod serijskog motora.

Broj okreta ne prekorači određenu gra-
nicu, ako se rastereti motor. Kompanndui
motor ne utekne. Motor je vrlo sposoban
za pogone promjenjivog tereta. -

1. Primanje krivulje zolja.

Radiobu zolja na obodu armature može se eksperimentelno na taj način odrediti, da se izmjeri u svitku inducirani el. m. s. na radij, čijom mjestima zolja. Ako je brina konet, onda je jakost zolja na dotičnom mjestu pro. zorcionalna mjerenoj el. m. sili.

a.) Primanje pomoću dviju pomoćnih kefica

Na krajevima jednog svitka armature inducirani el. m. s. može se izmjeriti u kojim god položaju svitka pomoću dviju malenih uskih kefica, koje se miču na kolektoru. Mjerena intenziteta je meduja vrijednost intenziteta

zolja između luka a_1 - sl 1 - , koji odgo. vara meću u kojemu je svitak (ili svitci) spojeni sa la. meću.

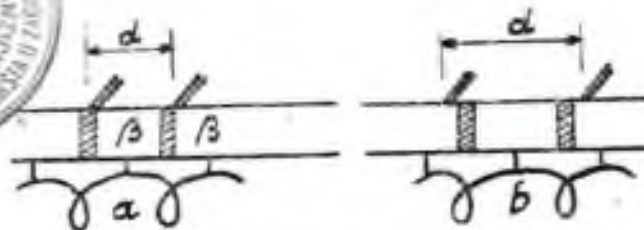
Pomoću kefice mora se nareonati u tako. voj udaljenosti d - sl 2 a i b - , da su priložene na onu lamelu, koja je spo.

jena sa početkom odnorno svjetkom svitka. Kda. ljuost odgovara prema tome koraku u lame. lama yu.

Imamo li kefice previše udaljene, onda se mjeri u intervalima napon dviju svitaka. Ako je $d < \beta$, onda se opet spoji krug voltmetra tuc duže



Sl. 1.



Sl. 2.



Kratko, čim je veća razlika $\beta - \alpha$. Debljina kofica mora biti manja, nego debljina izolacije (najbolje, nije tačak lim is čelika ili novog srebra).

Ima li armatura petljasti namotaj, mjeri se napon susjednih lamela, koje su udaljene za m lamela (m -struki petlj. namot.).

Ima li armatura valoviti namotaj, onda je udaljenost kofica ili y_k ili a lamela. U prvom slučaju leži između kofica jedan svitak, u drugom p svitaka. Za p svitaka ne mjerimo krivulju jednog pola, nego srednju vrijednost p polova. Da se dobije čitavu krivulju isključuje se iz neutralne zone te ide postepeno oko komutatora.

Mjerna napetost odgovara samo onda, ako armatura nema struje. Pone li kroz svitak namotaja struja, onda je inducirana el. m. s. jednaka mjerenoj $\pm$ stupanj u svitku. (+ gen. - mot.). Iz mjere, njih el. m. s. E_x dobije se indukciju B_x pomoću pile.

$$E_x = S' \frac{z}{k} l B_x \cdot 10^{-6} \text{ Volta}$$

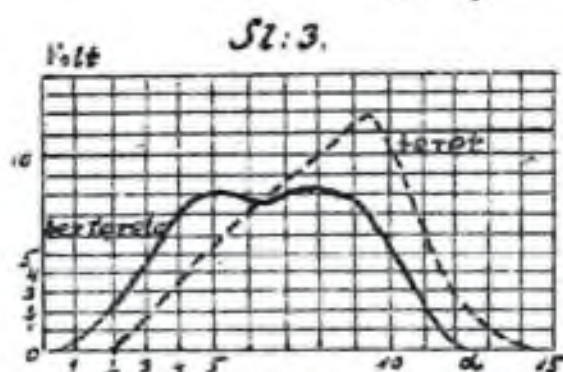
$$B_x = \frac{E_x \cdot 10^6}{S' \frac{z}{k} l v} \quad (1)$$

S' označava broj svitaka, koji leže između kofica, $\frac{z}{k}$ je broj induciranih vodiča jednog svitka, v obodna brzina armature, u m/sec. Iako je korak jako skraćeu, onda se na taj način ne može odrediti apsolutna, tj. veličina intenziteta polja. Može li se ovo mjeriti, nije točno navedeno; jer se svitak za ispitivanje, koji se metne na armaturu ili oscilograf. U ovo ispitivanje ne treba voditi zakačiti, jer su potrebne posebne sprave (vidi Arnold, Johu i d. s.).

Nacrtamo li krivulju, koja sadrživa vrijednosti $e = f(\alpha)$ (e u ovisnosti od α , odnosno od udaljenosti od početne točke) onda dobijemo krivulju komutatora, sl. 3. / vidi /

Polje dobijemo prema tome u volt-mjerilu. Odabere se udaljenost (ili) pomoćnih kofica za petljasti namotaj jednaku y_k , onda je mjereni

napon napetost dviju strana, koje uključuju
dva pola. Da dobijemo polu jednog pola, moramo ostati
$$e' = \frac{e}{2} = f(\alpha) \quad (2)$$

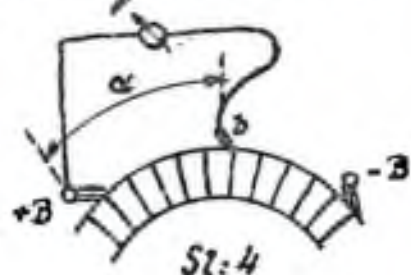


Za veloviti namostaj odgo-
vara e ep struanama, prema
Tome

$$e' = \frac{e}{2} = f(\alpha) \quad (3)$$

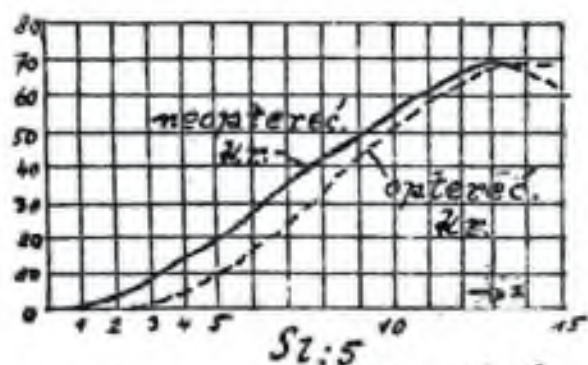
Primajući može se napraviti u
opterećenom i neopterećenom
kretu. Otpadajući napona

u svitaku ili sviteima, što će se između kefica,
može se kod generatora adirati, kod motora subtra-
hirati. Također iz potencijalne krivulje komutator-
a može se pronaći krivulja polja. Voltmetar sl
4. spojen je stalno s keficom +B te pomoć. keficom
b. K različitim položajima kefice b mjereći napon
e_x jednak je naponu strana, ako padne kefica b
zajedno s keficom -B. Postane li α veći, nego ran-
ije, mak polova onda poine e_x opet padati. Ostane
li e_x u ovisnosti od α = α, to

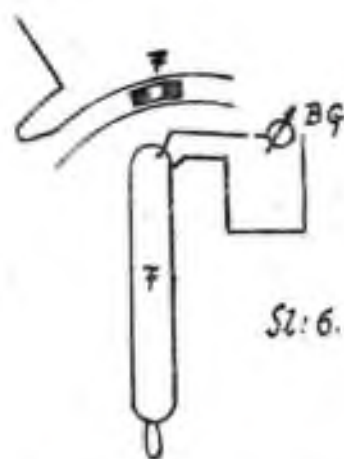


bijemo potencijalnu krivulju
komutatora, te na taj na-
čin također krivulju polja,
ako se subtrahira od svoje
ordinate prijašnja te ota di-
ferencu u ovisnosti od α.

3. Primajući krivulje
polja u stanju mirovanja.
Da se može primiti krivulja
polja također za položaje ke-
fica, u kojima bi stroj u



prigodu prejako iskrio upotrebi se sljedeća metoda
- sl. 6. - Maleni svitak F, koji je približno iste
dužine kao armatura udeseu je u raspor i to
tako, da ga se može u smjeru osovine micati.
Svitak se spoji sa galvanomet. (balistič. galo).



Stroj je u stanju mirovanja, a magneti normalno urađeni. Iznimno li se brzo svitak, dobije se otklon galvanometra, pomoću kojega se odredi induk. el. m. s.

Zgodnija je upotreba spirale u vismuta. Vismut ima svojstvo da promijeni u magne.

tičkom polja vraćivost. Promjena iznosi približno 5% za indukciju od 1000 cgs. Promjena je dalje ovisna o temperaturi. Koeficijent temperat. mijenja se, t. j. nije isti za svaku indukciju. Praka spirala vismuta ima svoju karakternu krivulju, koja prikazuje po. jedine veličine, tako da se može odmah odrediti tra. ženi indukciju. Najzgodniji je upotrebiti ovu spiralu kod iste temperature, kod koje je bila kalibrirana. U pogonu se spirala ne može upotrebiti, jer nije temper. formata.

Kod primanja krivulje nužno se spirala paralelno s osi postepeno sa polovicu razmakla radi, to tako, da se dobije polje u rasponu nad kutom i nad u. Torom. Udaljenost od prietnog položaja mjeri se u stupnicama na posebno udrećenoj ploči.

a.) Primajući polje neopten. kreća. magnet. ura. deni stupom koja odgovara neopten. kreća. smata. ra u stanju mirovanja bez struje.

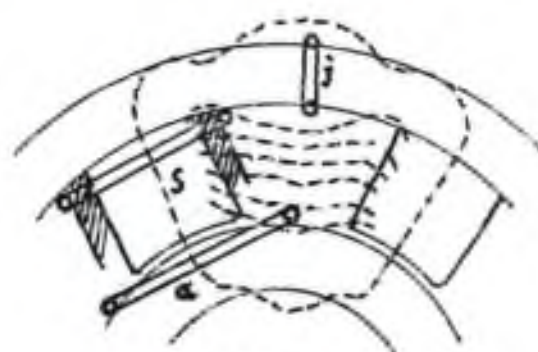
b.) Poprečno polje ormatore. Stroj bez urađenja, kefice u položaja prona, armatura u stanju mi. rovanja se normalnom strujom.

g.) Rezultirajući polje: Magnet. normalno ur. buđen; armatura u stanju mirovanja sa nor. malnom strujom. Ovu krivulju može se također dobiti sumacijom krivulji b i a.

2. Određivanje koefic. razijanja.

Na jednom d. j. magnetič. kruga ne čemo

imati sve iste vrijednosti, koji proizvodeja amperov.



Slika 7

je na magnetu. Jedan dio Φ_x izlazi se kroz zrak.

Razmjer svih ostala Φ_e i toka u kopirugod dijela kruga/armature Φ_a , yaram Φ_j (t.d.) zve. mo koeficijent razipanja [vidi III-6.] (Prema tome radi

$$\sigma_a = \frac{\Phi_e}{\Phi_a} \quad \sigma_j = \frac{\Phi_e}{\Phi_j} \quad (t.d.) \quad (4)$$

Koeficijent razipanja uvijek je veći nego jedinica. poredi li se ove koeficijente pomoću svitka za izpitivanje d. f. i to time, da se mjeri d. m. s., koja nastane, ako se broj pomjeri tak svitka.

Najvažnije je odrediti koefic. σ_a za armaturu magnetičnu otvor željeza armature resto sa savićenjem, a otvor razipanja ostave približno isti. Ako je željezo armature savićeno, onda povećanje porast amperovog porast toka (Φ_a). Koeficijent razipanja Φ_x , ali samo nerazmatu porast toka Φ_a . Koeficijent razipanja

$$\sigma_a = \frac{\Phi_e}{\Phi_a} = \frac{\Phi_a + \Phi_x}{\Phi_a} \quad (5)$$

reste prema tome sa savićenjem.

Struju magnetizirajuća ne smije se razviti nikom; mora se za samoza određeni iznos promijeniti. Ukidanje struje dalo bi nepravilne koefic. razipanja. Svitak sa mjerenje mora biti u ovom položaju, u kojemu obuhvati po mogućnosti najveći tok, koji dolazi u određenom dijelu kruga u okvir. Položaji su nastali u d. f. Za armaturu vredi još, da mora biti u položaju biti je, dužina razmaka polova i t. Struju magnetizirajuća mora se ponašati kao komponenta na svoju

magnetima, da odgovara radijska toka, radijski u naponu.

a.) Balistična metoda; Otvoriti li ϕ tok kroz svitak, koji je spojen s galvanometrom, u broj z_0 vojni svitka, onda je inducirana d. m. s.

$$\mathcal{E} = -w \frac{d\phi}{dt}$$

i muožina elektriciteta

$$Q = \int_{t=t_1}^{t=t_2} \frac{\mathcal{E}}{r} dt = - \frac{w}{r} \int_{\phi=\phi_1}^{\phi=\phi_2} d\phi = \frac{w}{r} (\phi_1 - \phi_2) = C \cdot \alpha$$

ako označimo s α otklon galvanometra (jrometra, ni zračnom i dalekozorom) / C konst. fak. instrum.)

Iz ove jila. sledi

$$\phi_1 - \phi_2 = \frac{C \cdot \alpha \cdot r}{w} \quad (6)$$

r je otpor čitavog kruga. S. s. prikazuj sećnu spaja, na kojim možemo odrediti slededeće ve. lice:

1.) Konstantni faktor C galvanometra. Za ove svrhe služi svitak w_1 i w_2 . w_2 je maleni svitak, zavoji od veoma tanke žice, njena svitka veoma malena prena w_1 . Dužina l svitka w_1 je najmanje 10 puta pomoci d. Onda imamo u sre. dnu svitka w_1 , koji jakosti / vidi I. - c)

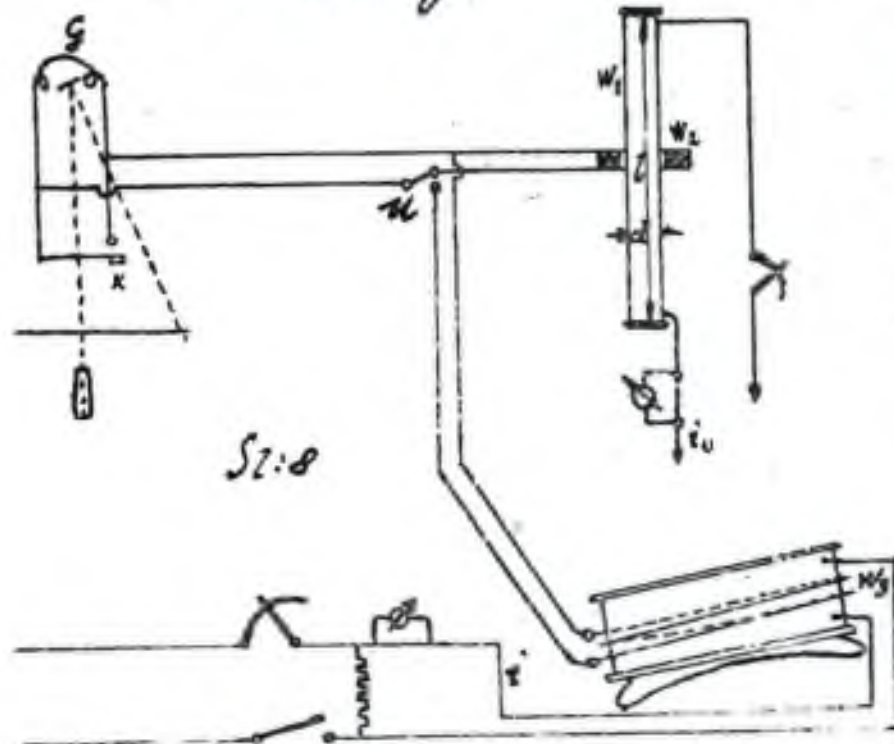
$$H_0 = \frac{945 \cdot w_1 \cdot i}{l} \quad (7)$$

io je struja u amf., što teče kroz svitak w_1 , dužine l cm sa brojem zavoja w_1 . Ispostiti se io, inducirane tok, što se izgubi - ϕ_0 - u svitku w_2 d. m. s. Iako p. 2. presjek svitka w_1 u cm^2 , w_2 broj zavoja svitka w_2 , to otpor kruga galvanometra, onda je

$$\phi_0 = H_0 \cdot Q = \frac{C \cdot \alpha_0 \cdot r_0}{w_2} \quad (8)$$

Narac struje prouzroči otklon α_0 . Iz jedu 7 i 8. odredi se faktor C. -

2. Određivanje toka Φ_e .



Kroz namotaj magne-
ta teče struja i .
Svitak se ispitivanja
 N_2 (broj zavoja w_2)
spojimo putem pre-
klopke K sa galva-
nometrom. Struju i
se prekine te mjeri
odklon α , gdje se
može struju savim
prekinuti, jer se
hoće odrediti broj
crta indukcije, a
ne parnjak.

Ako je p , otpor kruga se galvanomet.
onda slipiti iz jedu. 6., ako stavimo $\Phi_1 = \Phi_e$ $\Phi_2 = 0$
 $\alpha = \alpha_3$ $t = t_3$ $w = w_3$

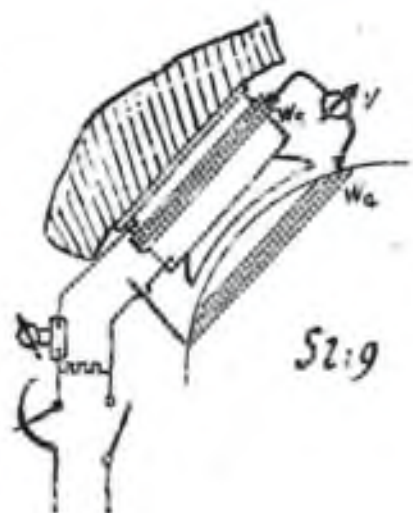
$$\Phi_e = \frac{C \alpha_3 t_3}{w_3} = \Phi_0 \frac{\alpha_3}{\alpha_0} \frac{w_2}{w_3} \cdot \frac{t_3}{t_0} \quad (9)$$

Čitavi tok indukcije može se na taj način odre-
điti samo (tako) kod malenih strujeva. Kod ve-
ćih mora se uvijek još uključiti otpor poredne
k kruga struje i , da se može isključiti u da-
rac namoi indukcije.

3. Određivanje koeficijenta varijacije. Ako
li se odrediti samo koeficijent varijacije,
nisu više potrebni svitci w_1 i w_2 . Galvanomet.
spoji se najprije sa svithom sonda u - al. f. -
Ako je broj zavoja svih svitaka jednak te
ima krug galvanomet. u običu slučajevima
isti otpor, odgovara promjeni struje (i_1 - i_2) u
prvom slučaju (galvanomet. na svithu s) pro-
mjena toka (Φ_{e1} - Φ_{e2}) te odklon α_s , u drugom
slučaju (galvanomet. sa svithom a) promjena
(Φ_{a1} - Φ_{a2}) te odklon α_a . Onda vredi

$$\bar{c}_a = \frac{\Phi_{e1} - \Phi_{e2}}{\Phi_{a1} - \Phi_{a2}} = \frac{\alpha_s}{\alpha_a} \quad (10)$$

6.) Goldschmidtova mala metoda.



Ova metoda je mnogo jednostavnija, nego metoda sa malim galvanometrom. Glavna je da je milivoltmetar istomjer, ne struje I - sl. 9. - bez struje, onda moraju naponi padu prema drugom spojenju svitaka w_s i w_a biti jednaki, li se se isjedusiti. Kod promjene struje magnetne, razlika inducirani naponi su proporcionalni produktu toka, Φ sa brojem zavoja. Ima li jedan svitak broj zavoja w_s , a drugi w_a , onda vodi, ako razumemo struju u voltmetru

$$\Phi w_s = \Phi_a w_a \text{ odu } \mathcal{E}_a = \frac{\Phi w_a}{w_s} \quad (14)$$

Instrumenta da se se čipkama, da se može poboljšati izolacija svitka te promijeniti odgovarajući broj svitaka odu zavoja w_a te w_s .

3. Mjerenje otpora el. strojeva.

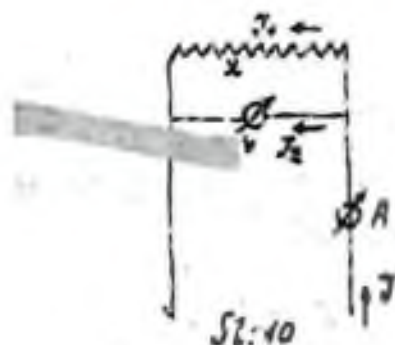
a.) Otpor namotaja.

1.) Stroj u stanju mirovanja. Otpori su obično srednje veličine te mogu biti izmjereni na sljedeći način.

Mjerenje struje i napona. Provede li struju I na krajovima otpora x otpada, napi E se 10 i onda je po Ohmovom zakonu $x = \frac{E}{I}$. Voltmetar V se vlastitim otporom r_v koji direktno na ista dva kraja otpora x . Ampermetar mjeri struju

$$I = I_1 + I_2$$

Iz čega $I_1 = I - I_2 = I - \frac{E}{r_v}$ sledi



$$x = \frac{E}{Y - \frac{E}{r_2}} \quad (12)$$

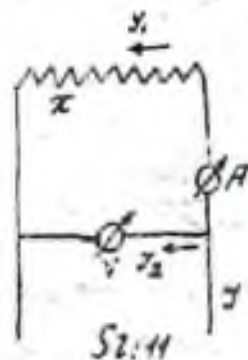
boja je pri upotrebi onda, kad je otpor x bitno manji, nego r_2 voltmetra. Ako je otpor r_2 , tako velik, da se može Y_2 napram Y_1 zanemariti može se računati po

$$x = \frac{E}{Y} \quad (12a)$$

Spoj sl. 11. Voltmeter V mjeri napon kao sumu stradanja

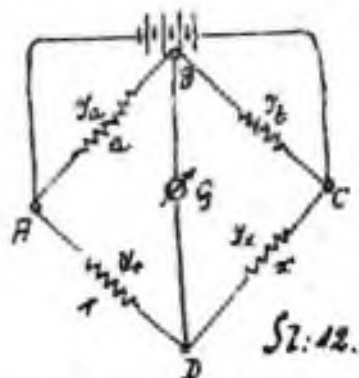
t. j. u otporu x te otporu ampermetra r_2 . Po jedu $Y_1 x = E - Y_1 r_2$ slijedi

$$x = \frac{E - Y_1 r_2}{Y_1} \quad (13)$$



boja spoj upotrebi se samo, gdje je stradanje u ampermetru veoma maleno. Možemo stradanje u ampermetru zanemariti; računa se po jedu. 12a. Upotrebi li se kod spoja sl. 10. statički voltmetar, onda ne-

maemo korekcije, jer nema voltmetar struje. To su najjednostavnije metode. Dake su sposobne sve mala-metode, ali kod ovih nema stihom ka-razlike ne daje njegov otpora. U tom slučaju približuje instrument, da smo svo sredstva pravilno odabrali i isprobavili; tako da možemo preračunati traženu veličinu. Najstarija je metoda Wheatstonovog mosta.



Iz imamo tri poznata otpora, a četvrti je nepoznat. Spojim su otpori u četverokutu - sl. 12. - U jednu diagonalu uklopa se baterija u drugu (most) gal. vauometar. Ako je most

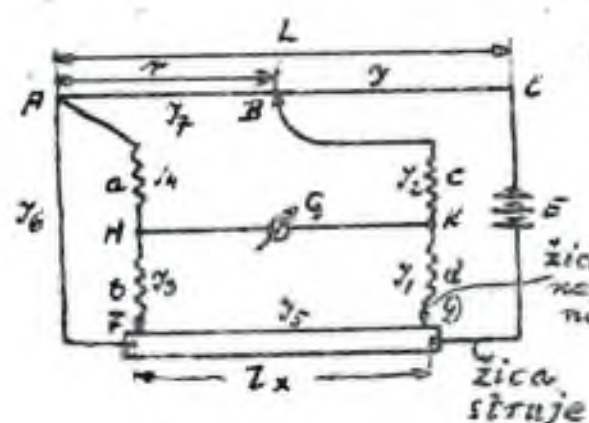
bez struje onda vadi:

$$a \cdot x = b \cdot r \quad x = r \cdot \frac{b}{a} \quad (14)$$

Otpor $a + b$ uzme se u obliku žice, vonda jedna, kog presjeka $b : a = l_2 : l_1$ (15)

Prema tome umemo namjestiti razmjera otpora, razmjera dužina. Kaduž ove žice ničemo kontakt. Za ova mjerenja imamo različite sprave: Universalni galvanometar SH, Most H. A. B. i t. d.

Za veoma male otvore na p. otpor armature, otpor zajednik svitaka uzme se Thomson-ov dvostruki most, jer bi sa Wheatstonov-im mostom mjereni male otpori bili radi dovođa pre netočni.



Sz. 13.

Princip mjerenja je sljedeći: U žici AC je otpor r i koeficijentom temperature. x je traženi otpor, a b c d su poznati otpori za upoređivanje, koji mo. dati odgovorati razmjera $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$.

Ako smo razmjere pravilno odabrali, onda ćemo imati kontakt B točku na žici mjerenja, na koja nema galvanometar struje. U tom je slučaju $\frac{x}{r} = \frac{b}{a} = \frac{d}{c}$ odnosno

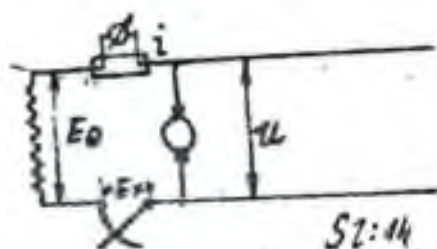
$$x = r \cdot \frac{b}{a} = r \cdot \frac{d}{c} = R \frac{AB}{AC} \cdot \frac{d}{c} \quad (16)$$

ako znači R otpor žice AC, x otpor dijela dužine l_x .

2.) Strujni pad. Predviđajući strojevi, spoj sl. 14. Mjeri se struja I i padanje E_c , prema tome

$$R_n = \frac{E_c}{I}$$

Isto tako može se odrediti otpor u regulatoru R, ako se ismjeri padanje E_R .



SZ: 14

$$R = \frac{E_R}{i}$$

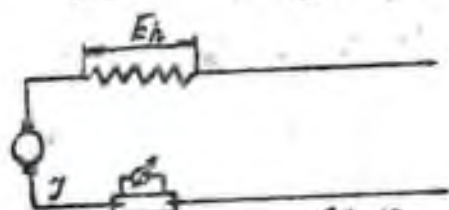
čitavi otpor zarednog kruga, dakle

$$R_n + R = \frac{E_0}{i} + \frac{E_R}{i} = \frac{U}{i} \quad (17)$$

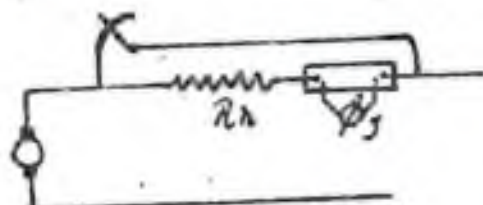
Serijski strojevi: spoj sl. 15.

Otpor R_n namotaja je

$$R_n = \frac{E_R}{i}$$



SZ: 15



SZ: 16

Ima li stroj otpor na regulaciju i to zaredno s namotajem, može se ampermetar spojiti po slici 16, tako da se mjeri samo struja u namotaju, a ne čitavu struju. -

samo struja u namotaju, a ne čitavu struju. -

6. Otpor armature.

Otpori se uvijek vrlo male, mjeri ih se sa Thomsonovim dvostranim mostom. Za ova mjerenja imaju dvije metode:

1.) Kefice se dovode struje čije na kolektor, a žice napona k mostu priključuju se na dvije lamelle, što leže iznad kefice potpornog predvodka. Onda se dobije efektivni otpor armature. Točnost rezultata umanjuje njezinica, da se raspršuje struja na popodne grane armature nepravilno, ako nije paralelni otpor kefice točno jednak (kod paralelnog i serijsko-paralelnog namotaja).

2.) Struja se mjerenje dovede se samo doima određene točkama (lamelama) na koje se priključuju tahoder žice napona k namotaju, budući nemamo nepravilno raspršuje. Točke-lamelle određuje se tako, da se rasprši namotaj armature u dvije paralelne polovine. Onda se mjeri $\frac{1}{4}$ otpor svih elemenata armature u seriji spojena prema tome redi: ako je r_n otpor mjeren po

ovoj metodi, te iina stroj da paralelnih grana,
onda je efektivni otpor armature:

a.) Za jednostavno rešavanje omotke

$$R_2 = \frac{r_x \cdot 4}{(2a)^2} = \frac{r_x}{a^2} \quad (19)$$

b.) Za višestruko rešavanje omotke

$$R_a = \frac{r_x \cdot 4}{m(2a)^2} = \frac{r_x}{m \cdot a^2} \quad (20)$$

Ovu metodu može se upotrebiti kod svih namotaja
bez ekvipotencijalnih spojka od spojka isjednačenja.
znači li:

p - broj zara polova

a - polovinu paralelnih grana

b - kojegod cijeli broj, kojeg summa sa p ili dife.
renea mora biti djeliva sa 2p.

K - broj lamela

S - broj radijnih strana pothla na obodu armat.

b_1 - broj radijnih strana pothla

m - broj zopidnih namot. kod višestruke rešavanje
omotke

y - korak namotaja

y_1, y_2 - diplomični koraci ($y = y_1 \pm y_2$)

y_K - korak u lamelama

y_p - potencijalni korak za ekvipotenc. spojke
(spojke isjednačenja)

x - broj, sto ga moramo pribijiti, početnoj la.
meli, da dobijemo lamelu, koja sa poe.
inom razdijeli namotaj u dvije jednake
polovice.

Imadu li k i y_K zajednički djelitelj m , onda
je omotka m -struko rešavanje. y_1 i y_2 mora
je biti lihi brojevi.

Da se pronađe fražena lamela, vede slije.
deća pravila:

1.) Armatura bez ekvipot. spojka (sp. isjedn.)

Za praki namotaj, vredi pravilo. Da se dobije lamela, koja razdijeli sa kojimgod odabranom lamelom namotaj u dvije jednake polovice, mora se korak u lamelama y_k toliko puta napraviti na kolektoru, koliko je broj polovice svih lamela, F , j $\frac{k}{2}$ puta. -

Napravi li se korak k puta, dođe se opet k početnoj lameli. Za taku odv. lihi broj k izračuna se broj x' , što se mora dodati početnoj lameli:

$$\text{tako broj: } x' = \frac{k}{2} y_k \quad \text{lihi broj: } x' = \frac{k-1}{2} y_k \quad (19)$$

Ako nije k taku broj, namotaj se ne razdijeli točno u dvije jednake polovice, jer imamo na jednoj strani više od polovine svih strana nego na drugoj. Obično je totalni broj induciranih strana velik, tako, da je mjereni otpor r_x kombinacije $\frac{S+2}{2}$ strana paralelno spoju s kombinacijom $\frac{S-2}{2}$ strana, samo malo različen od otpora $r_{x'}$, koji bi odgovarao točno $\frac{S}{2}$ stranama u svakoj grupi. U ostalom može se $r_{x'}$ izračunati pomoću razmjera.

$$r_{x'} : r_x = \frac{\frac{3}{2} \cdot \frac{5}{2}}{\frac{3}{2} + \frac{5}{2}} : \frac{\frac{5+2}{2} \cdot \frac{5-2}{2}}{\frac{5+2}{2} + \frac{5-2}{2}} ; r_{x'} = r_x \frac{5^2}{5^2 - 4} \quad (20)$$

Ako je na pr. $f = 2$, $K = 31$, $S = 62$. U jednoj polovini leži 32, a u drugoj 30 strana. Svaka strana ima otpor r Ω . Onda je mjereni otpor $r_x = \frac{32r \cdot 30r}{32r + 30r} = 15,48r$. Ako bi otpor točno razdijelili imali bi $r_{x'} = \frac{31r \cdot 31r}{31r + 31r} = 15,5r$. Kod toga ušli smo u pr. mjera najmanji broj lamela na kolektoru. Ako je $x' < K$, onda je broj x' također traženi broj x . - - - $x' > K$ mora se K puta oduzeti, da se dobije x ; n je broj, koji kaže, koliko puta je K cijelobrojno sadržano u x' . n dobijemo prema tome iz koeficijenta $\frac{x'}{K}$ taku broj

$$x = x' - nK = \frac{k}{2} y_k - nK \quad (21)$$

$$\alpha.) y_k = 1 \text{ onda je } x' < k, n=0, x=x'=\frac{k}{2} \quad (22)$$

$$\beta.) y_k > 1 \text{ /: lihi broj/}, \text{ onda je } x' > k \text{ te}$$

$$n = \frac{\frac{k}{2} \cdot y_k}{k} = \frac{y_k - 1}{2} \quad (23)$$

Množenjem li $n = \frac{y_k - 1}{2}$ u jednu, $x = \frac{k}{2} y_k - n k$
dobijemo

$$x = x' = \frac{k}{2} \quad (24)$$

Prema tome vredi za slučaj α i β pravilo: Za takvi broj lamela bare segmenti koji razdijele namo. Taj u dvije polovine uoijek za polovinu svih lamela međusobno udaljene, prema tome na promjeru k lihi broj

$$x = x' - n k = \frac{k-1}{2} y_k - n k \quad (25)$$

$$\alpha.) y_k = 1 \text{ ili } 2 \text{ onda je } x' < k$$

$$n=0 \quad x=x'=\frac{k-1}{2} y_k \quad (26)$$

$$\beta.) y_k > 2, \text{ onda je } x' > k$$

$$n = \frac{\frac{k-1}{2} y_k}{k} \quad x = \frac{k-1}{2} y_k - n k \quad (27)$$

Ne da li se ova dva izvoda isprovati, uzmemo n namo cijeli broj t. j. decimale se ispušte n. pr. $k=11, y_k=8$
 $n=3,63$ prema tome β . Kako treba ove pilna, držbe upotrebiti neke se vidi iz nekoliko primjera

Petljusti namotaj $y_1 = \frac{5 \pm b}{2p} \pm \frac{2a}{p} \quad y = y_1 - y_2 =$
 $= \pm \frac{2a}{2p} \quad y_2 = \frac{5 \pm b}{2p}; a = p, 2p, 3p, \dots$ jedna

staona, odn. višestruka omotka

$$y_k = \pm \frac{a}{p}$$

k takvi broj n. pr. $= 10 \quad 8 = 22 \quad p = 2 \quad a = 2$
 $y_1 = 9 \quad y_2 = 7 \quad y = 2 \quad y_k = 1$ jedn. 22

$$x = x' = \frac{k}{2} = 5. \text{ Broj je ujednak ili brojimo } n \text{ na lijevu ili desnu stranu}$$

4) Za jedinstveno rješenje namotaj nemaju k te y_k razdijel z. slitefa. Ako je k takvi broj, onda mora y_k biti lihi broj. Za dobijemo n cijeli broj moramo tvoriti $\frac{y_k - 1}{2}$.

K lihi broj na pr. = 11 $S=22$ $p=2$ $a=2$

$$y_1=9 \quad y_2=7 \quad y_k=1 \quad \text{pdu 23, 24}$$

$x = x' = \frac{k-1}{2} y_k = \frac{10}{2} \cdot 1 = 5$. Ovdje se dolazi na različne lamelke, koji leže jedna do druge, ako se broji na desnu odnosno lijevu stranu. Rezultat mjerenja će biti isti, ako ne uračunamo sredinu.

K lihi broj na pr. = 11 $S=22$ $p=2$ $a=2p$

$$y_1=9 \quad y_2=5 \quad y_3=4 \quad y_k=2 \quad \text{pdu 26.}$$

$x = x' = \frac{k-1}{2} y_k = \frac{10}{2} \cdot 2 = 10$ Točnik leže jedna do druge, jer imamo dvostruki namotaj, prema tome polovica i čitavi jednostrani namotaj.

Valoviti namotaj $y = y_1 + y_2 = \frac{S \pm 2a}{2}$

$a=1$ serijski $a=p$ serijsko-paralelni namot.

$$y_1 \approx y_2 \approx \frac{y}{2} \quad y_k = \frac{k \pm a}{p}$$

K lihi broj na pr. = 11 $S=22$ $p=2$ $a=1$

$$y_1=7 \quad y_2=5 \quad y_k=6 \quad \text{pdu 27}$$

$$n = \frac{\frac{k-1}{2} y_k}{k} = \frac{\frac{11-1}{2} \cdot 6}{11} = 2,73 \dots = 2$$

$$x = \frac{k-1}{2} y_k - nk = \frac{11-1}{2} \cdot 6 - 2 \cdot 11 = 8$$

Sukoder ovdje je svejedno na koja stranu se broji broj x .

K lihi broj na pr. = 13 $S=26$ $p=3$ $a=2$ (sr.-par. n.)

$$y_1=y_2=5 \quad y=10 \quad y_k=5 \quad \text{pdu 27.}$$

$$n = \frac{\frac{k-1}{2} y_k}{k} = \frac{\frac{13-1}{2} \cdot 5}{13} = 2,3 \dots = 2$$

$$x = \frac{k-1}{2} y_k - nk = \frac{13-1}{2} \cdot 5 - 2 \cdot 13 = 4$$

Višestruko katodreni namotaj: Jednadržbe:

$$x = x' - nk = \frac{k}{2} y_k - nk \quad (k \text{ lihi broj})$$

$$x = x' - nk = \frac{k-1}{2} y_k - nk \quad (k \text{ lihi broj})$$

mede također ovdje na pr.

$$k \text{ lihi broj} = 15, S=30, p=3, a=3, y_1=7, y_2=5, y=12, y_k=6$$

k te y_k imaju zajednički djelitelj 3, 3 puta katov, ne namotaj; odn. tri katovena namotaja.

$$k = k' \quad k k' = \frac{k-1}{2} y_k = k k' = \frac{15-1}{2} \cdot 6 - 2k = 12$$

$$k = \frac{k-1}{2} \cdot \frac{y_k}{k} = \frac{15-1}{2} \cdot \frac{6}{15} = 2,8 = 2$$

Sljedeća tabela sadrži sve veličine (k, n) za namotaje a) 1 bez potencijalnih spojeva
Tab. 1.

Namotaj	k	n	m	
Petljasti	liki broj	$\frac{k}{2}$	0	
Valoviti jedn. rat				
— " — višest. — " —				
Petljasti	liki b.	$\frac{k-1}{2}$	0	$y_k = 1$ ili 2
Petljasti	liki b.	$\frac{k-1}{2} y_k - n k$	$\frac{k-1}{2} y_k$	$y_k > 2$
Valov. jednost. zataoreni	liki b.	$\frac{k-1}{2} y_k - n k$	$\frac{k-1}{2} y_k$	
Valoviti višest. zataoreni	liki b.	$\frac{k-1}{2} y_k - n k$	$\frac{k-1}{2} y_k$	

2) Armatura sa ekvipotenc. spojkama.

Kod su spojk one lamel međusobno spojene, koje imaju isti potencijal. Udaljenost ovih lamela jednaka je potencijalnom koraku y_k otvor se ne može mjeriti a dometa goveduim go. lovicama. —

Kod namotaja sa ekvipotenc. spojkama je mjereni otvor r_k jednak otvora armature R_k
(28)
 $r_k = R_k$

ak, se mjeri otvor na sljedeći način:

a.) Petljasta omotka: Mjeri se ekvipotenc. spojke je $y_k = \frac{k}{2}$ cijeli broj. Tice struje i napona dvostrukog mosta leže na lamelama, koje su međusobno udaljene za $\frac{y_k}{2}$ odn. $\frac{y_k-1}{2}$ lamela.



i to: y_p , ako je y_p takvi broj, $y_p - 1$ ako je y_p lihi broj. Udaljenost može biti također ovisna o tom broju.

b.) Naloziti namotaj: Napiet za skriptore, s kojim je $a > 1$ $y_p = \frac{k}{a}$ (broj kefica predstavlja pđual broj paralelnih grana sa.)

Mjesto suprotne polaritete u kojima se odn. sima struji, su međusobno udaljena za $\frac{k}{a}$ lamela ili višekratnik toga broja. Da se 2. mjeri otpor koji se žice dvostrukog mosta na svim keficama suprotne polaritete, koji pokazuju jednoliko, a lamela. Sve druge kefice se dignu. Tice napona moraju se također do. Tihati ovih lamela. Mjereni otpor je po pd. nadzbi 18: $r_x = R_u$.

c.) Prelazni otpor.

Na otpor upliviše materijal, struja, pritisk, specifična jakost struje na mjestu prelaza, vrsta struje, mjer struje i brzina komutatora.

Da se ove prilike usme u okvir, mjeri se prelazni otpor za vrijeme pogona t.j. kod sk. tajace armature.

x.) Sve se kefice dignu. Na pđual svornik metne se pđual keficu normalno, pđual izolirano, koji se priloni. Ovda se usme kod normalnog broja skretaja struje $i = I_1 = \frac{3}{4} I_1 = \frac{1}{2} I_1$ (I_1 normalna jakost za svaku keficu.) Polje struje mora biti raskopčano. Mjeri se otpadajuće en između obli kefica. Voltmetar se priključi što bliže mjestu prelaza. Prelazni otpor je onda za svaku keficu:

$$r_0' = \frac{C_u}{2i}$$

Prelazni otpor u pogonu - jer dolazi uvijek
pozitivna i negativna koficijenta u obzir

$$r_u = 2 r_u' = \frac{e_u}{i} \quad (29)$$

B) Umjesto 2x svornika, svakoga, jednu
keficom, digne se od (2k - 2) svornika kefice,
prekine spoj još ostalih istoimenih kefica.
tada se odredi kao pri otpadanju e_u dviju
kefica kod struje i : $\frac{1}{2} I = \frac{1}{2} I$ i to za nor.
malni broj okreta i mjerenja struje.

prođe medij

$$r_u' = \frac{e_u}{2i}$$

Kod k svornika iste polaritete je totalni otpor
želaza

$$r_u = \frac{2 r_u'}{k} = \frac{e_u}{i \cdot k} \quad (30)$$

Kod ove metode uočimo pokušaj maleu
dio namotaja armature. Ali otpor toga
djela je tako maleu, da ne dolazi u
obzir. Rezultati može eventualno smetati
remanentno polje, koji inducira el. m. silu
u zavojima, što će se ismestiti kefice. Ugo.
dno je napraviti mjerenje dva puta, i to drugi
put sa obrnutim smjerom struje. Aritmetička
sredina je onda pravilna veličina otpora.

d. Otpor kefice.

Za kefice iz kovanice je otpor kefice r_k tako
maleu, da ne dolazi u obzir; Za neke kefice je
otpor nešto veći, jer je specifični otpor veći. Kod
mjerenja tog otpora na struji mora se paziti, da
se ne mjeri također prelazni otpor. Uopće se mjeri
 $r_{bu} + r_u$ i to tako, da se kod mjerenja sub c.
voltmeter tako priključi, da mjeri također otpa-
danje u kefici. blizina se može staviti:

$$r_u = r_{bu} + r_k \quad (31)$$

2. Totalni otpor.

Ako se nema oslobitih sprava na pr. Thomson-ov most, odredi se totalni otpor armature na sljedeći način.

1) $R_a = r_a + r_n + r_{\Sigma}$; Kod normalnog broja tuma, a neubudjenog stroja, mjeri se napon na stovafleksu, što ga proizvodi nemagnetska (U') želeli struja $i = Y_1 = \frac{1}{2} Y_2 = \frac{1}{3} Y_3$. kroz ampermetar, prikazuju voltme. Tada napon $U_1 = U' + Y R_a$ obrne li se smjer struje, onda se mjeri, jer ostane U' isto te $Y R_a$ promjenom smjer $U_2 = U' - Y R_a$. Iz ovih mjerenja slijedi

$$R_a = \frac{U_1 - U_2}{2Y} \quad (32)$$

4. Mjerenje izolacije.

Iako se odabere najbolji materijal za izolaciju, nije moguće postići potpun izolaciju električnih rasporeda. Mjeri li se otpor izolacije r , može se odrediti izgađeni struja Y iz jednačine $Y = \frac{U}{r}$. Otpor r je dosta, kad, ako Y ne prekorači 1 mili-amp. Kod napona pogona.

Za izolaciju mede propisi V.D.E § 5.

1.) Svaki raspored jakе struje mora imati odgovarajući otpor izolacije. Mjerenja se moraju staviti, ako je moguće s naponom pogona, a najmanje s naponom 100 Volta.

2.) Kod mjerenja izolacije istomjernom strujom prema zemlji, položi se negativni pol izvora struje na vod, kojeg izolaciju se mora mjeriti.

3.) Izolacija rasporeda niskog napona je dostatna, ako iznasa izolacija svakog dijela među dvjema sigurnosnicama ili ira sadrže sigurnosnice ponajmanje 1000 Ω puta broj Volta napona pogona /na pr. 220 x 1000 Ω za napon 220 Volta!)

O točki 3 može dake stvor izolacije totalnoga rasporeda, što ga toore različiti dijelovi, biti bitno manji. Prasenju otvor je prema tome ovisan ta, boder o rasporedu. Tema veliki odnomo optirni rasporedi unada više zate veim izgubljenu struju nego o, oot tmg te ipak savim odgovaraju propi, sima. Kim toga je otvor izolacije promjenljiv, ovisa o Toplini, vlažnosti i t. d.

Kod mjerenja moramo razlučiti:

a.) Ispitivanje izolacije. Vodi se ide zatim, da se ispita, dali ma objekt ili aparat, stroj i t. d. ona izolacija, koja odgovara, jonajmanje propisima.

3.) Mjerenje izolacije; kod nem mora dati, što je mogace točniju mjeduost otvora izolacije.

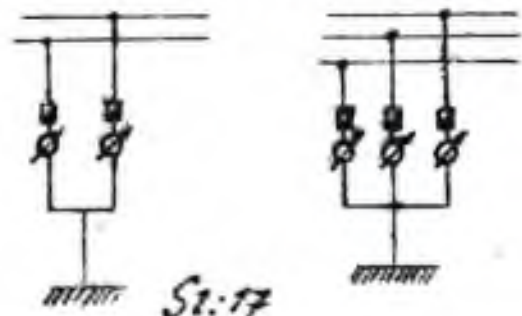
g.) Prasenje točke zognipiška t. j. odredenje mjesta, na kojim ma izolacija zognipišku.

Kod svih mjerenja izolacije mora se mjeriti izolaciju pojedinih vodova naprama zemlji, te međusobnu izolaciju tih vodova. Da se dobije pr. viliue rezultate mora se iskopčati, od noma savim otkopčati sve uprave, kop trose struju, sve žarake, motore i t. d. Ukopčane moraju biti sve sigurnosti, ce, a zatvorene sve pehloške.

α Ispitivanje izolacije.

Vodje upotrebinu nepon mreže i za ispitivanje izolacije osobito bardarene elektromagnetne ili precizne voltmetre, kop se ukopča između zemlje i voda. Pognipišku izolacije nadeimo tako, ako instrument nemaje pdaa to isti (napon) otklon

Sl. 7. Pognipišku ima onaj vod čiji voltmetar ima manji otklon. Kod rasporeda niskog napona upoji se instrumente tako, da ih se



može ispitivati i uklopiti za njegove mjerenja. Kod razporeda visokog napona upotrebljavaju se statički voltmetri, koji su trajno uklopljeni.

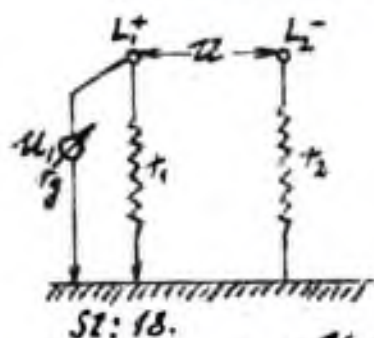
Za ispitivanje vodova, koji nemaju napona upotrebljavaju se galvanoškopi, to su maleni galvanometri sa iglom, koji odvrata stalnu svitaku iz smjera magnetičnog meridijana. Ako li se mjeriti izolacija prema zemlji, priključuje se svitak na vod, a sa drugom krajem na izvor struje (- pol), drugi pol izvora (+ pol) priključuje se na zemlju.

Izvor struje može tvoriti baterija ili napetost mjere. Za veličine otpora slijedi veličina otpora izolacije i to pomoću osobitih tabela, koje ima svaki takav instrument. Za ova mjerenja ima mo također osobite sprave (Isolation tester) Mjerenje se može također čim-metre.

B. Mjerenje izolacije.

1) Razpored u pogledu

Metoda it-risch. Otpori izolacije vodova $X_1 + X_2$ - te totalni otpor prema zemlji su $r_1 + r_2$. Za voltmere. From otpora r_2 mjeri se napon U_1 napon U_2 voda X_1 te U_2 voda X_2 - i napram zemlji. Onda mjeri U . i s.



Sr: 18.

$$r = r_1 + r_2 \quad \frac{U - U_1 - U_2}{U_1 + U_2} ; r_1 = r_2 \frac{U - U_1 - U_2}{U_2} ; r_2 = r_2 \frac{U - U_1 - U_2}{U_1} \quad (23)$$

To slijedi iz:

Suma struje voltmetra I_g te iznubijene struje I_1 na koji je priključen voltmetar jednaka je iznubijenoj struji drugog voda. Voltmetar I_2 priključimo na X_2 . Onda imamo:

$$I_g + I_1 = I_2 \text{ ili jer je } I_g = \frac{U_1}{r_1} ; I_1 = \frac{U_1}{r_1} \quad I_2 = \frac{U - U_1}{r_2}$$

$$\frac{U_1}{r_g} + \frac{U_1}{r_1} = \frac{U - U_1}{r_2} \quad \text{I.}$$

Leži li voltmetar na vodi L_2 (-) onda je $I_g + I_2 = I$,

$$I_g = \frac{U_1}{r_g} \quad I_2 = \frac{U_2}{r_2} \quad I_1 = \frac{U - U_2}{r_1}$$

$$\frac{U_1}{r_g} + \frac{U_2}{r_2} = \frac{U - U_2}{r_1} \quad \text{II.}$$

Iz jedna I te II. sledi jedu 33. Čitavi otpor ras-
poreda prema reumi je - otpori r_1 te r_2 paralelnu su
spojeni -

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad (34)$$

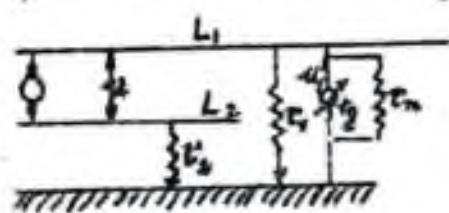
Ako je otpor r_g veoma malen obzirom na r_1 te r_2 ,
onda vredi približno

$$\frac{U_1}{r_g} = \frac{U - U_2}{r_2} \quad \frac{U_2}{r_g} = \frac{U - U_2}{r_1} \quad r_1 = r_g \frac{U - U_2}{U_2}$$

$$r_2 = r_g \frac{U - U_1}{U_1} \quad (35)$$

Iz toga sledi učenito, da je otpor izolacije jednak
ge voda napram reumi funkcije napona drugoga
voda prema reumi; tako da može dobiti mjerilo
razdoba, koja direktno prikazuje otpor (I_{mjerilo}
mentu AE g.)

Metoda Fröhlich Kod ove metode go-
vozi se između jednakog voda - u sl. 19 L₁ - i "zem-
lje" voltmetar, koji daje napon U_1 , onda se



Sl. 19.

uključa poredni otpor r_n , a
instrument daje napon
 U_1' . Iz U , U_1 , U_1' te otpora r_g i
 r_n izračuna se otpor izolaci-
je r_1 , r_2 i r go jednakosti:

$$r_1 = \frac{U(U_1 - U_1') r_n \cdot r_g}{U_1'(U - U_1) r_g - U(U_1 - U_1') r_n} \quad r_2 = \frac{U(U_1 - U_1') r_n}{U - U_1'}$$

$$r = \frac{(U - U_1') r_n \cdot r_g}{U_1'(r_n + r_g) - U_1 r_n} \quad (36)$$

Isto kao kod metode Frisch, medijetahoster i vodi:

I. Ako je ukopčan instrument (bez porednog otpora)

$$I_1 + I_g = I_2 \quad \frac{U_1}{r_1} + \frac{U_1}{r_g} = \frac{U - U_1}{r_2} \quad \text{I.}$$

II. Ako je ukopčan instrument sa porednim otporom

$$I_1 + I_g + I_n = I_2 \quad \frac{U_1'}{r_1} + \frac{U_1'}{r_g} + \frac{U_1'}{r_n} = \frac{U - U_1'}{r_2} \quad \text{II.}$$

Prijavimo ove jedu, dobijemo jedu. 36. Odaberemo $r_n = r_g$ onda vredi

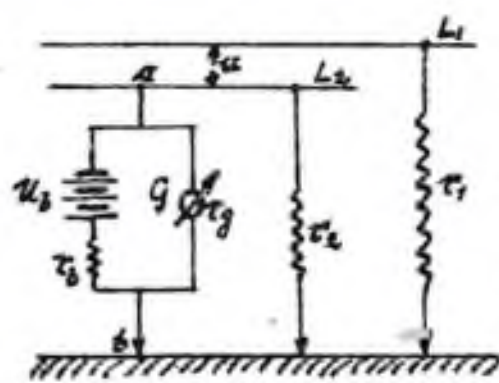
$$r = r_g \frac{U_1 - U_1'}{2U_1' - U_1} \quad (37)$$

Upotrebimo li statički voltmeter $r_g = \infty$ te odabere, mo r_n tako da postane

$$U_1' = \frac{U_1}{2}, \text{ onda je}$$

$$r = r_n \quad (38)$$

Metoda Bruger Dopravni sistem. Bateriju



Sl. 20.

napona U_2 sa otporom r_2 spajise u seriji s naponom mrese U . Neupotrebljeni pol otpora r_g spajen je sa zemljom. - sl 20 - Poredno k otpora i bateriji leži galvanometar. r_g regulira se tako, da galvanometar ne da skloniti.

onda vredi: a.) Pisto galva.

nometar nema straje, moraju trike a i b imati isti potencijal i. j. potencijal zemlje.

b.) Zmedad, te zemlje imamo napon mrese U , zgrajona straja I_1 sledi iz $I_1 = \frac{U}{r_1}$ (I)

c.) I_1 teći preko r_g k vodu L_2 natrag. Bateriju kruzje prema tome od struje I_1 u otporu r_g poure. čeno otpadajse $I_1 = \frac{U_2}{r_g}$ II. I_2 I i II. sledi

$$r_1 = r_g \cdot \frac{U}{U_2} \quad (39)$$

Či room principu konstruirano je mjerilo izolacije "H a B.

Vodovodi raspored bez voda spojenog sa saunom, svi vodovi jednakog napona U . Totalni otpor izolacije + daje nam jednu

$$r = r_0 (n-1) \frac{U}{U_0} \quad (40)$$

Kod toga spoji se bateriju U_0 te otpore $r_0 (r_0, r_0, \dots)$ i galvanometar redom sa n vodiča, te reguliraj otpor tako da galvanometar nema struje. Pojedine struje rade se iz napona baterije U_0 te otpora $r_0, r_0, r_0, \dots$

$$I_{01} = \frac{U_0}{r_0} \quad I_{02} = \frac{U_0}{r_0} \quad \dots \quad I_{0n} = \frac{U_0}{r_0} \quad (a)$$

Uve struje sa sumu svih struja izolacije $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ minus struja izolacije onog voda kojeg smo spojili sa saunom, jer nema ovaj vod otpora prema sauni. (Galvanometar bez struje) označi li $r_1, r_2, \dots, r_n$ otpore izolacije pojedinih vodova onda vrijedi:

$$I_{01} = \left(\frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} + \dots + \frac{U}{r_n} \right) - \frac{U}{r_1}$$

$$I_{02} = \left(\frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} + \dots + \frac{U}{r_n} \right) - \frac{U}{r_2}$$

$$\dots \dots \dots$$

$$I_{0n} = \left(\frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} + \dots + \frac{U}{r_n} \right) - \frac{U}{r_n}$$

$$I_{01} + I_{02} + \dots + I_{0n} = (n-1) U \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} \right) = (n-1) U \cdot \frac{1}{r_0}$$

$$I_{01} + I_{02} + \dots + I_{0n} = U_0 \left(\frac{1}{r_0} + \frac{1}{r_0} + \dots + \frac{1}{r_0} \right) = U_0 \cdot \frac{1}{r_0}$$

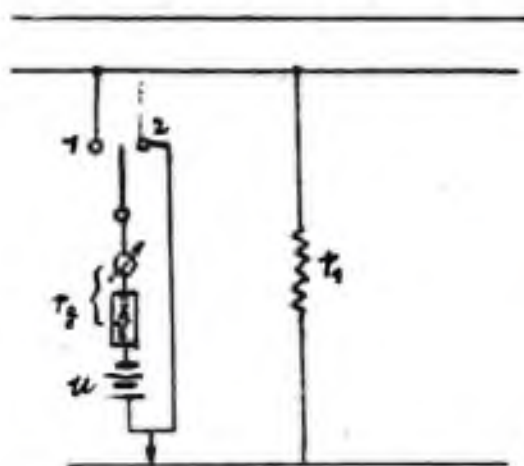
∴ $\frac{1}{r_0}$ te $\frac{1}{r_0}$ su odgovarajući rezultirajući otpori:

Iz ovih jednačina, skupiti jednačina 40:

$$r = r_0 (n-1) \frac{U}{U_0}$$

6.) Raspored ismjenične struje

Da se ismjeri otpor izolacije naprava saouzi, može se upotrijebiti isto instrumente (sa pomoćnim switchom) i to u vezi sa baterijom. Spoj prikazuje sl. 24.



Sl. 24.

Mjerilo se uklopi između voda i zemlje u seriju sa otporom (odnosno) od $\sim 100000 \Omega$ te baterijom. Onda se odredi otpor α_g te α_i i to tako, da se zatvori preklopnik pitamput na 2, pitamput na 1. Oznaci li r_g otpor instrumenta i otpora, vredi za otpor "kao" lacijske

$$r_i = r_g \left(\frac{\alpha_g}{\alpha_i} - 1 \right) \quad (41)$$

Ako je naime C konst. faktor instrumenta, u nase, test baterije, onda imamo

$$y_g = C \cdot \alpha_g \quad y_i = C \cdot \alpha_i \quad y_g = \frac{U}{r_g} \quad y_i = \frac{U}{r_g + r_i}$$

prema tome $\frac{y_g}{y_i} = \frac{\alpha_g}{\alpha_i} = \frac{r_g + r_i}{r_g}$

iz kojih podesite sljedeći (41)

Otpor mjerila i otpore mora biti tako velik, da može mjerilo struju prenositi. Zna li ras. pored visoki napon, predlozi se mjerilu pri tomjaci. U rasporedu trifazne struje sa nul-rodnom, koji je spojen sa zemljom, ova se mjerenja ne mogu praviti sa vrijeme pogona.

2. Raspored izvan pogona.

Mjerenja se vrše istom mjeruom strujom. Mjerila su preveći instrumenti (s pomoć. switchom)

Ponajprije se odredi napon U (otklon α_g) izvora struje. Onda se spoji positioni pol baterije sa zemljom, a neglioni preko instrumenta sa onim vodom, kojemu hoćemo mjeriti otpor izolacije. Otklon α_1 . Za proračun vrijedi jednačina.

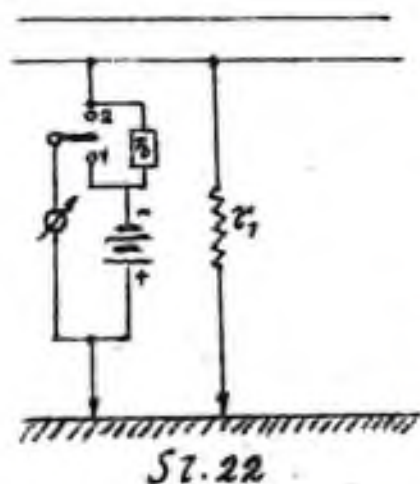
41. N. P.
 $r_g = 40000 \Omega$, napon izvora struje $\alpha_g = 21 = 440V$.
 Kod mjerenja dobili smo za vod 1 otklon $\alpha_1 = 20V$,
 za vod 2 otklon $\alpha_2 = 10$ Volta.

Za rač. mjerenja vrijedi:

$$r_1 = r_g \left(\frac{\alpha_g}{\alpha_1} - 1 \right) = 40000 \left(\frac{440}{20} - 1 \right) = 40000 \cdot 21 = 840000 \Omega$$

$$r_2 = 40000 \left(\frac{440}{10} - 1 \right) = 40000 \cdot 43 = 1720000 \Omega$$

3.) Upotreba statičkih voltmetara.



S1.22

Kod, kopija hoćemo ispitati spoji se jednozoruštop otpora r_0 sa baterijom i zemljom. Mjeriti se mora dva puta.

Ujednačut leži preklopka na 1, a drugi put na 2. U obim slučajevima p. straja, koja teče preko r_1 , baterije i r_2 jedna je ista I . Za napona, što ga priharupi mjerilo shi

jedi

$$U_1 = I(r_2 + r_1) \quad U_2 = Ir_1$$

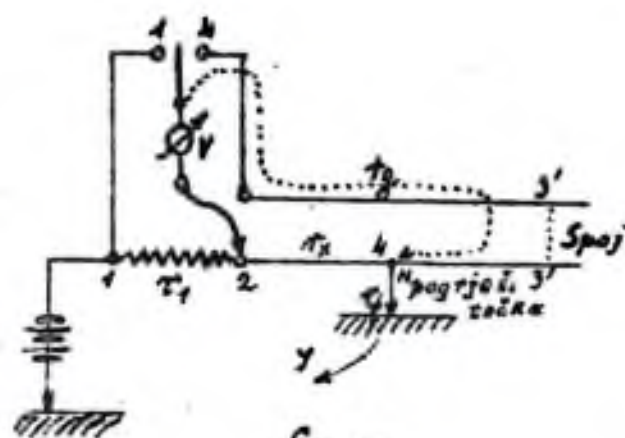
$$r_1 = r_2 \cdot \frac{U_2}{U_1 - U_2} \quad (42)$$

Da se dobije dostatna razlika $U_1 - U_2$, mora se odabrati r_2 dostatno veliko

4. Mjerenje pogriješne točke u vodi.

a.) Metoda upadanja napona. - Spoj se shi

23. Prietak voda (kabel) sa pogriješnom spojem



S. 23.

je u seriji sa otporom r_1 i baterijom. Drugi pol baterije leži na zemlji. Krajeve voda natrag /3' 3'/ spoji se međusobno. Voltmetar velikog otpora mjeri 1.) otpadanje E_1 na otporu r_1 , između 1 i 2 :

$$E_1 = I \cdot r_1$$

2.) E_x između 2 i 3 $E_x = I \cdot r_x$

Kod toga je r_x otpor voda od točke 2 do po, granične točke. Ovdje moramo računati, da možemo i padanje proučavamo od male struje, koja teče kroz voltmetar između 4 i 3 računavati, tako da odgovara E_x otpadaju, što je proučavamo pogriješna struja I_1 , koja teče kroz točku pogriješne u zemlji. onda vredi

$$r_x = r_1 \cdot \frac{E_x}{E_1} \quad (43)$$

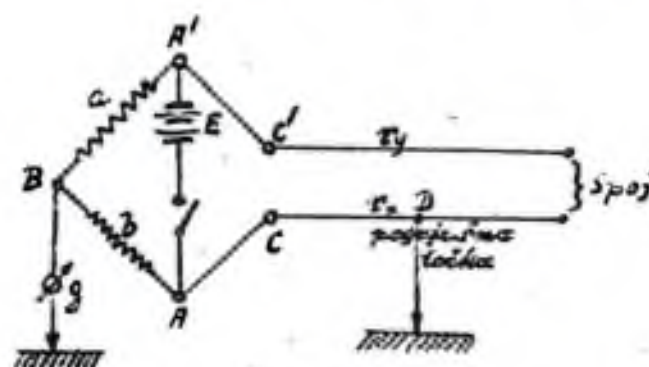
Ugodno je napraviti reči broj mjerenja te, ajeti međuju vrijednost. Ako se ne može do voda, koji ide natrag, mjeri se onda E_1 zatečenju između dife. računamo E_2 između 2 i zemlje, E_3 između 3' i zemlje /: 3' je svjetak voda tamo, u kojem se voda nalazi pogriješna točka: /

Ako je r_2 otpor između pogriješne točke i zemlje, onda vredi

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_1}{r_1 + r_2} \quad \frac{E_1}{E_3} = \frac{r_1}{r_2} \quad r_x = \frac{E_2 - E_3}{E_1} \cdot r_1 \quad (44)$$

/: Začnem računati li struju galvanometra, ima točka 3 nakon točke 4: /

β Metoda petlje. - Murray. Spoj po slici 24.
Krajnje pogrešnog voda spoji se što kra-



S. 2. 24.

ćim spojem sa AC, odnosno A'C. Galvanometar čini iz mesta B i xemlje; preko nje xatvor se struja mora I_0 sa pogrešnom tačkom D. Ova tačka razdijeli otvor voda u dijelove r_x te r_y . Iz r_x te r_y

pronaste se lahko pogrešno mjesto, i to na sljedeći način:

a i b se ispiduati tako da $p \cdot I_0 = 0$

$$r_y : r_x = a : b$$

onda se mjeri otvor $r_x + r_y = r'$ voda tamo i natrag;

$$r_x = \frac{b}{a+b} \cdot r' \quad r_y = \frac{a}{a+b} \cdot r' \quad (45)$$

γ.) Metoda Varley. - Spoj po slici 24.

Iz mesta A i C ukupni se otvor r te načini sljedeća mjerenja:

1.) Galvanometar se položi iz mesta B i xemlje. a i b se ispiduati tako, da galvanometar nema struje. onda vrijedi

$$a : b = r_g : (r_x + r)$$

2.) Galvanometar se položi na tačku B i C te opet ispiduati:

$$a_1 : b_1 = (r_x + r_y) : r$$

$$r_x = \frac{a_1 b - a b_1}{(a+b) b_1} r \quad (46)$$

5.) Metoda mjerenja izolacije akumul. baterije prema zemlji.

Pozajprije spoji se redom svaki pol baterije sa

seuljom preko sigurnosne malećne struje.
 Ako sigoni sigurnosna, izolacija je zogrpa.
 Postane li sigurnost u redu, onda se spoji struja,
 mjer malećnog otpora ismeću pola i seculje. Te
 mjeri struju I_1 za prvi I_2 za drugi pol. Struja
 I_1 odnosno I_2 sadržiavo onda pre dylomice stru-
 je, što teku kroz n malećnata napona e
 (za svaki malećnat) k saulji. Zamećnimo
 li otpadajući u strujomjeru, onda vredi:

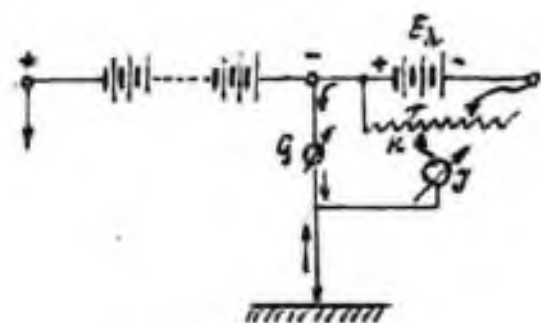
$$I_1 = \frac{e}{R_1} + \frac{2e}{R_2} + \dots + \frac{(n-2)e}{R_{n-2}} + \frac{(n-1)e}{R_{n-1}} + \frac{ne}{R_n}$$

$$I_2 = \frac{ne}{R_0} + \frac{(n-1)e}{R_1} + \frac{(n-2)e}{R_2} + \dots + \frac{2e}{R_{n-2}} + \frac{e}{R_{n-1}}$$

$$I_1 + I_2 = ne \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) = E \cdot \frac{1}{R}$$

$$R = \frac{E}{I_1 + I_2} \quad (47)$$

Da vidike otpor R mora se useti strujomjer redoga
 otpora za malećne struje I_1 te I_2 . Prekora li
 otpadajući kroz toga otpora 45% E , onda se
 napravi spoj po slici 25.



Sr. 25

Prmoćna baterija
 E_k je u seriji sa stru-
 jomjerom, a galvanometar
 taj zoredno spojen sa
 seuljom. Prmoćni mi-
 caulja n li promjene
 otpora (R) + može se
 zotici; da galvanometar

nema struje. Onda je prikljućeni pol (u slici
 - pol) istoga potencijala kao seulja. Kroz stru-
 jomjer teći struja I_1 . Ako nemanu galvanometar
 onda usmeću sklopku. Kod otvaranja i zatva-
 ranja nemić se I_1 promijećiti.

Na isti naćin ismjeri se drugi pol, te doljić
 struja I_2 , otpor R računa se konaćno po jedul. 47.

5. Primanje karakteristič. krivulja.

A. Generator. Vidi VI. — Ovim tačkom spomenutog nijedi još slijedeće:

2.) Položaj kefice. Stroji s pomoćnim polovima: kefice na svaki teret u neutralnoj zoni.

Stroji bez pomoćnih polova (prsta komutacija). Neutralna zona odmakne se tim više iz neutralnog položaja, čim je veće opterećenje, i to u smjeru vrtnje. Da se dobije dobru komutaciju, mora se kefice u prii okružnom smjeru odmaknuti i to još nešto dalje, nego to odgovara neutralnoj zoni. Za svaki teret imaju kefice neki najpogodniji položaj. Ali u praksi se ne mogu postaviti kefice uvijek prema teretu, stoga ih se odmakne toliko, da stroj komutira najbolje za $\frac{2}{3}$ Tereta. Tada bnda dobar stroj radi bez ikara na svaki, pa i sa puni teret.

3.) Navođenje neutralne zone.

1.) Stroju se daje nezavisno urbuđenje do statne jakosti. Kod konstantnoga broja okre. Taja i urbuđenja — Teret = 0 — miču se kefice puno i tačno, dok se ne pronađe 70.° položaj u kojemu prikazuje na stenskih prikazuju. ču voltmetar najveću napetost.

2.) Obična je metoda, koja radi induktionim putem. Stroj is kod toga u stanju mirovanja radi — nezavisno — slabo urbuđen. Kefice se miču puno i tačno, dok se ne pronađe položaj, u kojemu voltmetar, spojen s keficama ne pokazuje nikakvog odklona, ako se momentano mijenja jakost struje magnetizacije.

3.) Promjena napona. §§ 70-71 propisa

R. E. M., koji dolaze ovdje u obzir glasi: Pomijam napona kod zorednog generatora i generatora sa nezavisnim usbuđenjem čini povišenje napona, ako se prelazi od vršnog tog ta na neptare, čini loret.

- 1.) kod broja okretaja, jednakog vršnom
- 2.) kefice u položaju, koji odgovara vršnom teretu.
- 3.) kod vlastitog usbuđenja ostane otvor, a kod nezavisnog usbuđenja struja magnetiziranja konstantna.

Kako treba pomijati odrediti vidi $\Pi - C$ Za veličinu ove pomijati mjeri:

nezavisno usbuđenje	vlastito usbuđenje
bez pom. pol. 8-12%	15-20%
sa pom. pol. 6-10%	10-15%
turbogeneratori 5-8%	8-12%
komp. generatori $\approx 0\%$	

B. Motori: Vidi $\Pi - 3$. bitu tamo spomenuto, tog vredi još slijedeće:

a) Neutralna zona. Naraonanje kao kod generatora. Oduakum se kefice proti mjeru vrtaji, raste nešto broj okretaja. Oduakum li se kefice u smjeru vrtaji, onda pada broj okretaja, jer padajući savoji armature podupiru glavno polje. Gma li motor pomoćne polove, liše kefice u neutralnoj zoni. Za povećanje stabilizeta može se kefice odmaknuti iz ovoga položaja po $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{2}$ sekoneit u smjeru vrtaji. Ali kod motora što pomijaju u pogonu smjer vrtaji moraju kefice biti u neutralnoj zoni.

b) Stabilizeta motora. Gdji dolaze osobito u obzir motori sa nezavisnim usbuđenjem i zoredni motori t.j. motori, koji imaju kod

konstantnog napona statorne u konstantnu, struju
 pri navedenju. Iz jednačine II-57-60. slijedi,
 ako stavimo $C_1 = \frac{1}{C}$

$$n = \frac{n - I_a R_a}{C \cdot \phi_a} \quad (48)$$

C je konstantni faktor.

Iz ove jednačine slijedi, ako se motor
 jače optereći

1.) $E_a = n - I_a R_a$ postane manji: broj pada

2.) ϕ_a postane manji radi većeg protudjelova
 u armature i. j. broj raste.

Promjene su lakše, pozitivne. Motori sa velikim
 otpadanjem napona će uopće sa teretom umna-
 njiti broj okretaja. Povišenje samo onda re-
 zultirati, ako je protudjelovanje armature ve-
 ma jako. Jako usbudem strojevi imaju će
 padanje broja okretaja, a slabo usbudem
 porast broja okreta. To se može dogoditi
 kod motora sa velikim brojem okretaja odno-
 sno s velikim opsegom regulacije.

Da se isпита da li je motor dostatno stabilan
 - t. j. motor ne smije povinuti broj okretaja,
 ako se teret nešto poveća iznad nominalnoga
 napravi se slijedeći pokus:

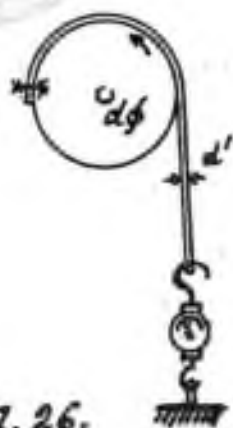
Motor se okreće normalnim brojem okretaja
 te normalnim teretom. Onda se teret poveća
 za približno 25%. Ako je motor stabilan
 broj okretaja pada. Još je fokus irrazitiji,
 ako se odabere broj okretaja 5-10% iznad
 nominalnoga.

8.) Moment zaleta (stazni moment) D_a

Za određivanje veličine D_a služi gra-
 nat na slici 26. Remen se pričvrsti na reme-
 niku i vuče na zero. Ovaj vrijedi:



$$D_a = P \cdot \frac{d}{2} = Q \cdot \frac{d+d'}{2}$$



S1. 26.

P je radijus obodna sila na ravnici promjera d .

Q je vlačna sila pera, koja djeluje na poluzi $\frac{d+d'}{2}$

d' dubljina, rezuena ili konopa.

P i Q u kg, d i d' u m, onda je D_a u kgm.

Kod ovog mjerenja mora se također uzeti u obzir težina

P_2 , koja je uvijek suprotna

smjeru okretanja. Q se prema tome odredi iz dviju mjerenja.

1.) Armaturu se miče nešto u smjeru istroja mašine, te onda ipasti, tako da pero povuče armaturu natrag. Vaga daje vlačnu silu Q , koja je za P_2 veća, dakle

$$Q_1 = Q + P_2$$

2.) Armaturu se miče nešto u suprotnom smjeru. Obodna sila P vuče armaturu opet u početni položaj, ali ne savinom. Vaga daje sada Q_2 , koji je manje, nego Q i to za P_2

$$Q_2 = Q - P_2$$

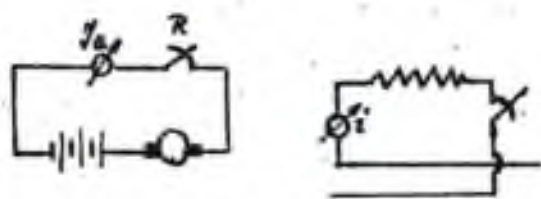
Konačno, shijedi

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad P_2 = \frac{Q_1 - Q_2}{2} \quad (50)$$

Mjerenje radijusa ovime su također o položaju armature, jer armatura trasi uvijek onaj položaj u kojemu je magnetični otpor najmanji. To se osobito opara kad strojeva sa malim brojem okretanja.

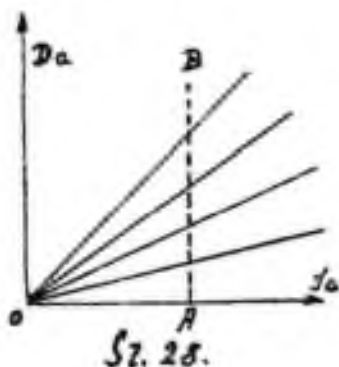
Spojevi. Motori su nezavisni i zoredni u obduncijem. - U obim slučajevima usve

se nezavisno uređuje, spoj je po slici 27. Pošto je armatura u stanju mirovanja, nemamo in-
ducirane el. m. sile, potrebni napon izvora je
prema tome malen.



Sli. 27.

Otporom R neregulirano se određuje (uređuje) struja u armaturi. Može se moment vrtanja proporcionalan produktu iz jakosti struje I_a te toka Φ_a .

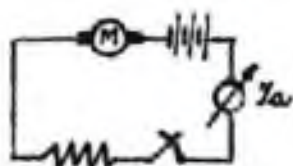


Sli. 28.

Uvodeći C konstantu faktora onda vrijedi:

$$D_a = C \cdot I_a \cdot \Phi_a \quad (57)$$

Mora se naći sljedeća mjere-
njenja:



Sli. 29.

1.) Struja polaganja je kon-
stantna, a I_a se promijeni
do približno dvostruke ozna-
čene struje; Φ_a se mjeri, kako
je to prije rastumačeno. D_a
se izračuna te se dobije
 $D_a = f(I_a)$; $i = \text{const.}$

Ista mjerenja na prvi se također sa druge
struje i te dobije različite krivulje - sl. 28. -
jer je za svaku krivulju i konstantno, pro-
čaraj je ovih krivulja skoro ravan. Kod
velikog zasigurno počinje protudijelovanje utlovi-
sati, tako da ove krivulje nešto padnu.

2.) I_a je konstantno, a mjeri se i . One kri-
vulje može se također dobiti iz svih. Sve
vrijednosti za konstantno I_a dade za različite
struje i na skomici AB sl. 28.

Serijski motor. Spoj po slici 29. Primanje
je kao i prije, jer je struja armature ista,

menuesi faktor struja magnetiziranja dobijemo sa D_a - dakle nemamo velikog rasti, čija - približno kvadratični polazak, koji postane linearni od $\sim 2/3$ brzine struje usporid.

Kompandui motori kao serijski, zoredu namotaj dobije neravnomernostima.

5.) Struja uputanja. Uputanje mora biti ovako, da se nema jakih udaraca struje. Razvijer struji uputanja / malom mehanizmu struja nemije prelaziti sljedeće vrijednosti:

brzina djelovanja KW $1,5 \div 5$ $5 \div 100$

Struja uputanja = $1,75$ $1,6$
brzina struja

6. Stepen djelovanja.

Brzina li N_1 dovedeno, N_2 odvedeno, a N_0 po gubitke trošeno djelovanju ($N_0 = N_1 - N_2$) onda je stepen djelovanja η' jednak kvocijentu odvedeno djelovanja. Obzirom na to da se dovedeno direktno N_1 i N_2 ili jednu od tih veličina, te gubitke N_0 moramo razlučiti sljedeće moguće, nosti:

1.) direktno mjereni stepen djelovanja $\eta' = \frac{N_2}{N_1}$ (52)

2.) indirektno - " - " - " - $\eta' = \frac{N_2}{N_1 - N_0} = \frac{N_2 - N_0}{N_1}$

Za direktno mjerenje može se upotrebiti sljedeće metode:

a.) mjerenje djelovanja

b.) kočenje

c.) opterećenje

Za indirektno mjerenje:

d.) djelovanje uatrag

e.) određivanje poplinskih gubitaka.

Prove tri metode unade neugodnu stranu, da su potrebne velike energije, da poprjake kod mjerenja ili u instrumenta jako uplivaju na rezultat. Ako je na pr. poprjaka 2%, dobijemo stepen djelovanja sa 2% nepisovilno. Mjerenja moramo prona tome risti sa osobitom pozornoscu. Dobar ovih metoda je taj, da se uraduna, ne gubitke.

Indirektno mjerenje je jednostavnije, jer ne troši mnogo energije. Cjeloviti se mora samo gubitke. Posim toga nemaju poprjake u mjerenju velicine N_2 velikog upliva. Ako je na pr. $N_2 = 109$. N_2 te N_2 poprjaka $\pm 2\%$ ili sa $(9,1 \pm 9,1 \cdot 902)$. N_2 onda unamo efektioni stepen djelovanja 99, odnosno 90%, te mjerenje η' sa 92% poprjaka.

$$\eta' = \frac{N_2 - N_1}{N_2} \cdot 100 = \frac{N_2 - (9,1 \pm 9,1 \cdot 902) N_2}{N_2} \cdot 100 =$$

$$= 99,8 \text{ odn. } 90,2\%$$

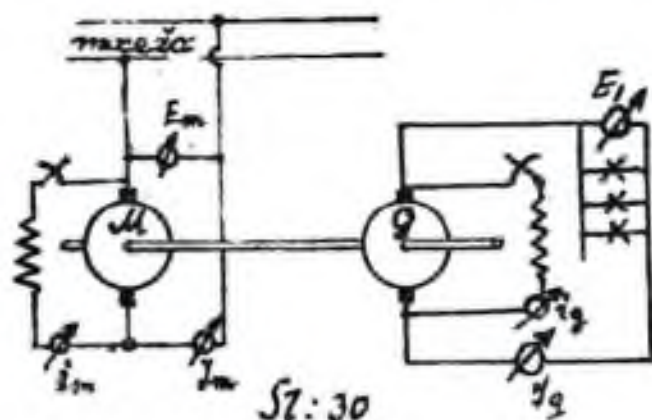
To je utvrditi, da popis kasa:

Stepen djelovanja je uopće stepen, kojega se indirektnim putem izvadi. Direktno se odredi samo sa strujom, kod kojih je velika ismetu dovedene i odvedene struje tako velika, da ne dolazi poprjaka u mjerenju u obrat.

2) Mjerenje djelovanja.

Dovedeno i odvedeno djelovanje mjiri se sa elektricnim mjernim. Ova metodu moze se upotrijebiti kod motor-generatora odvojno petvaranja.

Slika 30. prikazuje motor (indeks m), generator (indeks g) radi na



Stroje, žarulje : i. d. -

Motora dovedeno djelovanje $N_m = E_m \cdot I_m$

od generatora proizvedeno $N_g = E_g \cdot I_g$

Učelni stepen agregata

$$\eta' = \frac{N_g}{N_m} = \frac{E_g \cdot I_g}{E_m \cdot I_m} \quad (53)$$

Glavni se upornati stepen različitih strojeva, mora se točno upornati stepen djelovanja dijela agregata : i. j. ili motora ili generatora. Ima li jedan ili dva stroja nezavisno uspostavljeni, mora se još pre, čuvati gubitke u namotaju kao određenu energiju

3.) Kočnice.

Prilikom mjerenja mehaničnog djelovanja kočnicom, ili dinamometrom, električnog sa električnim mjerni. lima. Pru metoda upotrebi se sa malom mo. Tora i generatora, koji mogu raditi kao mo. Tori. Potrebno je u tom radu plućaji odabrati, razvijene tako, da je električno, magnetično i mehaničko opterećenje motora po mogućnosti što manje različito od onih veličina, koji vrijede sa plućaj, da radi stroj kao generator.

Radi li stroj sa nezavisnim ili vlastitim uspostavljenjem jedurat kao generator, drugurat kao motor sa istim naponom strajka, a odabere li se dalje opterećenje tako, da je od stroja, što radi kao generator predano djelovanje $N_g = E \cdot I_g$ jednako od stroja, što radi kao motor predanom mehaničkom djelovanju $N_m = \eta'_m \cdot E \cdot I_g$, onda vrijedi sljedeće :

Ostaje u obziru plućajstva isto. U armatani inducirana el. m. sila je kod motora manja, nego kod generatora. Stoga ima motor manje gubitke željeza i manji broj čestica.

Pretpostavili smo:

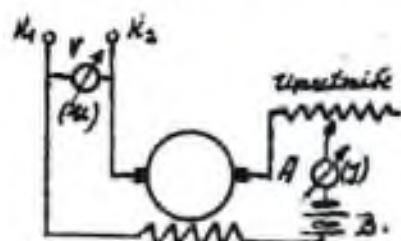
$$N a_m = N a_g \text{ ili } \eta'_m \cdot I_m \cdot E = I_g \cdot E = \text{ ili } \eta'_m \cdot I_m = I_g \quad (34)$$

Za $\eta'_m < 1$, mora struja motora biti veća, nego struja generatora. Stoga ima stroj kao motor opet veću gubitke radi Jouleovog topljenja. Međutim i prema tome sve navedeno u obrat može biti ispravnost, da su uopće čitavi gubici u oba slučaja isti. Bez velike pažnje može prema tome stepen djelovanja motora također onda, kad radi motor kao generator i obrnuto.

Da sumiramo dva principa:

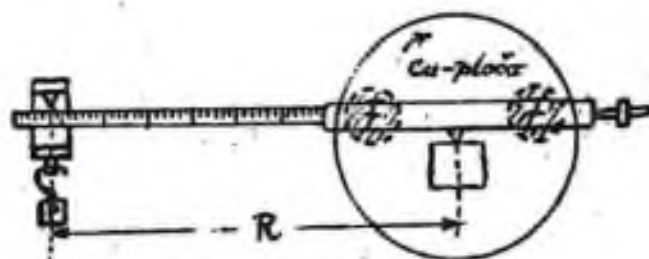
1.) Serijski motor.

Da istražimo odnosa elektromotora, namaknu na pr. košnicu sa vrtločnim strujama. Slika 31. prikazuje jednu shemu. U krug baterije ili kuglastog izvora istosmjerne struje uključamo reopremetar A, koji mjeri jakost struje I te voltmetar V , koji mjeri napon U na statoru kama. Otpor nam služi za upravljanje motorom, koji tjera bakrenu ploču krećuće - sl. 32. - Ploča koče magnetski.



Sl. 31.

Da pobliže vidimo magnetski sl. 32. Ploča koče magnetski. Služi za upravljanje motorom, koji tjera bakrenu ploču krećuće - sl. 32. - Ploča koče magnetski.



Služi za upravljanje motorom, koji tjera bakrenu ploču krećuće - sl. 32. - Ploča koče magnetski.

Mjeri se napon statorne k, ja, broj struje I , broj okretaja n , kod kočnice teret P , pripadajuća poluprava R te broj okretaja n , prema se dakle sve potrebne veličine.

Otpor $R_1 + R_2$ između K_1 i K_2 mjeri se pomoću

struji i napona. Armatura se ne smije kod toga pokretati, a oštari otpor se upotrebljuje pri uklopu.

Uprave napajanja su bile na pr.

$$R_a + R_z = \frac{U}{I} = \frac{11,6}{6} = 1,93 \Omega$$

Onda se priključi voltmetar tako, da mjeri samo stradanje u namotaju magneta i to u hladnom stanju. Dobili smo na pr. $\frac{5,9V}{6A} = 0,983 \Omega$. Po dovođenom kretanju ponovimo mjerenje otpora $R_a + R_z$ te R_z . Dobili smo na pr. $R_a + R_z = \frac{13,7V}{6A} = 2,28 \Omega$. $R_z = \frac{6,6V}{6A} = 1,1 \Omega$. Srednja vrijednost je onda za $R_a + R_z = \frac{1,93 + 2,28}{2} = 2,1 \Omega$. Veličine za R_z upotrebimo za izračunavanje porasta temperature.

Jer je $R_{zt} = R_{z0}(1 + \alpha t)$ sledi:

$$t = \frac{R_{zt} - R_{z0}}{\alpha \cdot R_{z0}} = \frac{1,1 - 0,983}{0,004 \cdot 0,983} = 30^\circ C$$

Rezultate kretanja sadrži sledeća tabela 2. pod oznakom, "mjerenje vrijednosti".

br. pokusa	Mjerenje vrijednosti						Izračunavanje vrijednosti						$\Delta t = E_0(t - t_0)$
	U	I	P	R	motor R_1	kretanje R_2	E	U/I	E/I	R_a	η	η'	
1	6V	2,1	0	-	3470	-	59,4	140	130	0	0,93	0	0
2	6V	6,2	0,25	0,45	1480	1860	51,3	390	316	108	0,96	0,534	210
3	6V	7,1	0,25	0,57	1390	1660	49,3	410	345	245	0,77	0,544	241
4	6V	8,2	0,375	0,48	1260	1560	46,7	525	384	287	0,73	0,547	265
5	6V	9,6	0,375	0,64	1100	1365	42,9	605	412	337	0,68	0,557	322
6	6V	10,7	0,5	0,57	1020	1250	41,1	690	445	368	0,65	0,54	358
7	6V	12	0,5	0,68	940	1140	38,8	770	465	402	0,61	0,48	384
8	6V	14	0,75	0,57	800	970	34,6	890	485	477	0,54	0,48	412
5a	6V	9,6	0,375	0,64	1125	-	43,9	615	422	344	0,68	0,56	329

Priznato nam je da postane kod neprimjenjivosti momenta utječe R jakost struje i tabore konstante.

Zaustaklini efekt raste prema tome proporcionalno
brzini okretaja. Pošto odgovara konstantnoj jačini
struje određena (gibnost) vrijednost toka Φ , vrijedi:

$$E_1 : E_2 = n_1 : n_2$$

Pomoću ove relacije može se za zadanom vrijednošću
 n_1 , izračunati pripadajuća vrijednost n_2 , koja od-
govara el. m. sili E_2 . Time možemo proučiti
naših pokusa reducirati, na konstantnu napetu
test II. Kao primjer pokazat. 5.

$$1.) E = U - Y (R_{ot} + R_n) = U - 2,1 Y = 63 - 2,1 \cdot 9,6 = 42,9 \text{ V}$$

$$2.) U \cdot Y = 63 \cdot 9,6 = 605 \text{ W}$$

$$3.) E \cdot Y = 42,9 \cdot 9,6 = 412 \text{ W}$$

4.) N_k je od kočnice primljeni efekt iz sfidnećeg forma-
trajanja. Ako je P_w realna jačina sila utlovnih
struja, R_w udaljenost hvatista od medine
osi onda je moment utroja kočnice $P_w \cdot R_w$ Te
primljeni efekt

$$N_k = P_w \cdot 2 \cdot R_w \cdot \pi \cdot \frac{n_2}{60} \quad \left(2 R_w \cdot \pi \cdot \frac{n_2}{60} = \text{puta} \right)$$

pa je $P_w \cdot R_w = P \cdot R$ slijedi, ako uzmemo P i R
u metrima

$$N_k = \frac{2\pi}{60} \cdot R \cdot P \cdot n_2 = 0,1046 P \cdot R \cdot n_2 \text{ mkg/sec (55)}$$

Ako brojimo silama dobivamo:

$$N_k = \frac{0,1046}{75} \cdot P \cdot R \cdot n_2 = 0,0014 R \cdot P \cdot n_2 \text{ PS (56)}$$

Gledamo li imati kočni efekt u vatima, moramo mkg
množiti sa 9,81, prema tome

$$N_k = \frac{2\pi \cdot 9,81}{60} \cdot P \cdot R \cdot n_2 = 1,03 \cdot P \cdot R \cdot n_2 \text{ W (57)}$$

A našim je dakle primjeru:

$$N_k = 1,03 P \cdot R \cdot n_2 = 1,03 \cdot 0,37 \cdot 0,64 \cdot 1365 = 337 \text{ W}$$

$$5.) \eta = \frac{E \cdot Y}{U \cdot Y} = \frac{412}{605} = 0,68$$

$$6.) \eta' = \frac{N_K}{U \cdot I} = \frac{337}{60} = 0,557$$

Misliću smo već kod napona 63 Vulta, ali kod još drugih faze bi pri naponu 64 Vulta. Bilo bi i u našem primjeru takoder najetot 64 Vulta napajati 63 : to kod istoga momenta rotacije, onda bi imali struju 9,6 Amp., ali el. m. silu $E = 64 - 9,6 \cdot 2,1 = 43,9$ Vulta. Razmjerni $E_1 : E_2 = n_1 : n_2$ t.j. $42,9 : 43,9 = 1100 : n_2$ (E_2) da bi se pripadajući broj $n_2 = 1125$. Korisni efekt raste proporcionalno sa brojem skretaja, prema tome

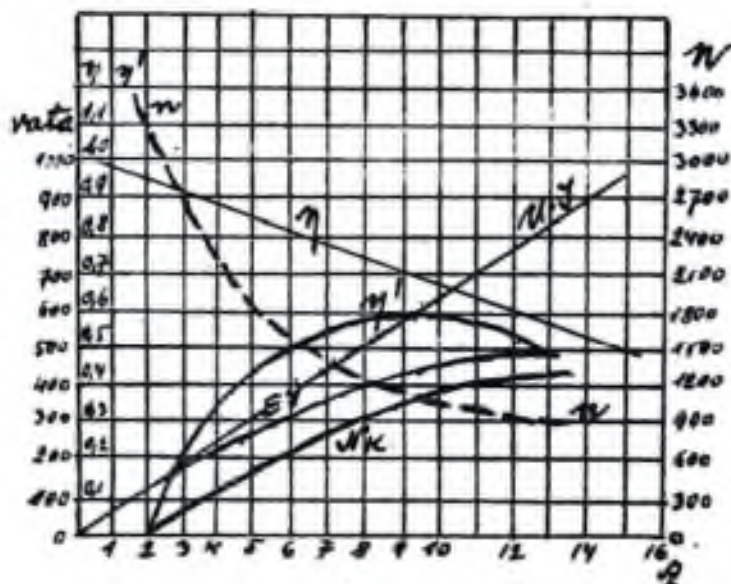
$$N_K = 337 \frac{1125}{1100} = 344 \text{ vata}$$

$$U \cdot I = 64 \cdot 9,6 = 615 \text{ vata}$$

$$\eta = \frac{422}{615} = 0,688$$

$$E \cdot I = 43,9 \cdot 9,6 = 422 \text{ vata}$$

$$\eta' = \frac{344}{615} = 0,56 / \text{odl. sa Tab. 2.}$$



Poznatost, reduiranje na konstantan na. jon na 64 Vulta arucano u slici 33 kao ordinata, tu vidljivu krivulju. Za specifikaciju ili konstantnog efekta ili jakost struje. U slici 33. From abscise, su jakost struje, sve druge velicine Toore ordinata popdizivih

krivulja. Za efekt i stepen djelovanja npr. nprilo na lijevoj strani, sa broj skretaja nprilo na desnoj.

Maksimalni korisni efekt imamo, ako je struja amplitudne $I = \frac{I_0 + i_0}{2}$ t.j. $I = \frac{14}{2} = 7,0 \text{ A}$ i $i_0 = 2,1 \text{ A}$

$$Y = \frac{30,4 + 2,1}{2} = 16,25 \text{ A}$$

$$E = 64 - 2,1 \cdot 16,25 = 29,875 \text{ V}; N_k = 29,8(16,25 - 2,1) = 422 \text{ vata}$$

$$\eta' = \frac{422}{64 \cdot 16,25} = 0,406$$

Maksimalni stepen djelovanja trazi struju $Y = I_0 = \sqrt{30,4 \cdot 2,1} = 8 \text{ A}$
 onda je $E = 64 - 2,1 \cdot 8 = 47,2 \text{ V}$; $N_k = E(Y - I_0) =$
 $= 47,2(8 - 2,1) = 278 \text{ vata}; \eta'_{\max} = \frac{278}{512} = 0,544$

2.) Poredni motor. Kočeni se ući na isti način.
 Poredno je ako se osim struje Y u vanjskom krugu
 imaju također struja im u magnetu. Električni stepen
 djelovanja shiziti iz formule

$$\eta = \frac{E \cdot Y_a}{U \cdot Y} \quad ; \quad Y_a = Y - I_m \quad E = U - I_a R_a \quad ; \quad \text{također}$$

stepen djelovanja iz
 $\eta' = \frac{N_k}{U \cdot Y}$. N_k odredi se na isti način,
 kako je to bilo pamićeno kod serijskog motora.
 Ali N_k može se također odrediti iz plusdžbe

$$N_k = E(Y - I_0) \text{ na pr.}$$

Stor armature / i kefica / $R_a = 0,35 \Omega$, $R_m = 42 \Omega$
 $U = 65 \text{ V}$. Jakost struje neopterećenog kreta
 $I_0 = 3 \text{ amp}$. onda vrijedi:

$$I_m = \frac{U}{R_m} = \frac{65}{42} = 1,55 \text{ A} \quad ; \quad Y_a = Y - I_m = Y - 1,55$$

$$E = U - I_a R_a = 65 - Y \cdot 0,35 \quad ; \quad N_k = E(Y - I_0) = E(Y - 3) \text{ vata}$$

$$\eta = \frac{E \cdot Y_a}{U \cdot Y} \quad ; \quad \eta' = \frac{N_k}{U \cdot Y}$$

Ako je na pr. $Y = 15 \text{ A}$. onda imamo:

$$Y_a = 15 - 1,55 = 13,45 \text{ A}; E = 65 - 13,45 \cdot 0,35 = 60,3 \text{ V}$$

$$N_k = E(Y - I_0) = 60,3(15 - 3) = 723,6 \text{ vata}$$

$$U \cdot Y = 65 \cdot 15 = 975 \text{ vata}; E \cdot Y_a = 60,3 \cdot 13,45 \text{ vata}$$

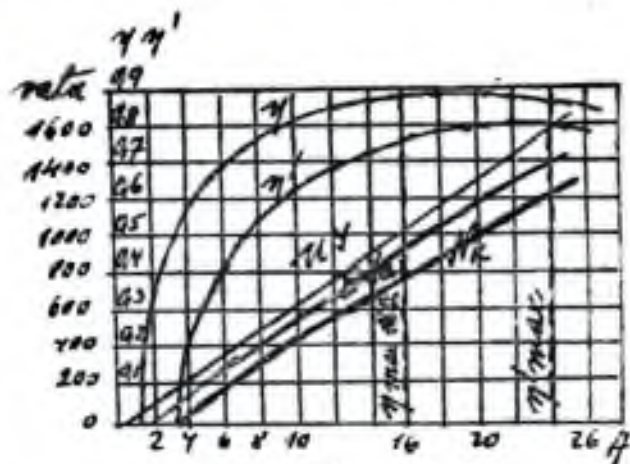
$$\eta = \frac{E \cdot Y_a}{U \cdot Y} = \frac{810}{945} = 0,833 \quad ; \quad \eta' = \frac{N_k}{U \cdot Y} = \frac{723,6}{975} = 0,741$$

Na ovaj način obraćunana je tabela 3. Slika
 34. prikazuje iste vrijednosti u obliku krivulje.

Jakost struje I kroz abscisu, druge veličine tab. 3. ordinatu. Kr. rafa $U \cdot I$ je par, vac, koji polazi kroz ishodište koordinata.

N_2	U	I	E	$U \cdot I$	$E \cdot I_a$	N_k	η	η'
1	65	3	64,5	195	94	0	0,482	0
2	65	6	63,4	390	182	190	0,725	0,49
3	65	9	62,4	585	465	374	0,824	0,64
4	65	12	61,3	780	640	550	0,893	0,706
5	65	15	60,3	945	810	724	0,934	0,744
6	65	18	59,2	1165	945	890	0,935	0,764
7	65	21	58,2	1364	1130	1040	0,935	0,765
8	65	24	57,1	1560	1280	1200	0,93	0,77
9	65	27	56,1	1750	1430	1350	0,92	0,77

Kruga $E \cdot I_a$ to N_k sa skoro rav, n cste, od čega se odabija kod jače struje. Kruga η počinje u točki $I=0$, te postigne maksimum za $I=30$ A. η' počinje sa $I=3$ A te ima maksimum za $I \sim 24$ A. η je maksimal, no za $I = \frac{U}{R_m} \sqrt{\frac{R_a + R_m}{R_a}} =$



SZ. 34.

η' je maksimalno za $I = 1,55 \cdot \sqrt{\frac{42,35}{0,35}} = 16$ A.

$I = \sqrt{I_0^2}$; I_0 je $\frac{65}{0,35} = 186$ A i $i_0 = 3$ A, prema tome $I = \sqrt{186^2 + 3^2} = 20,6$ A.

Za maksimalnu vrijednost N_k imamo:

$$I_a = 94,5 - 1,55 = 93 \text{ A}, E = 65 - 93 \cdot 0,35 = 32,5 \text{ V}$$

$$E \cdot I_a = 32,5 \cdot 93 = 3020 \text{ W}$$

$$N_k = E(I - i_0) = 32,5 \cdot 91,5 = 2960 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{3020}{65 \cdot 94,5} = 0,493 \quad \eta' = \frac{2960}{65 \cdot 94,5} = 0,483$$

Za $I = 24$ A je $U \cdot I - E \cdot I_a = 1560 - 1280 = 280 \text{ W} =$ gubitak zbog Jouleove topline u armaturi i magnetsu. Gubitak u magnetsu je $1,55 \cdot 65^2 = 100 \text{ W}$, gubitak u armaturi $280 - 100 = 180 \text{ W}$. Gubitak Henzija, histerese i utločinik straja je $E \cdot I_a - N_k = 1130 - 1000 = 80 \text{ W}$. Iz ovog se računa vidi, da η' postigne maksimum, ako su gubici radi Jouleove topline u armaturi i

kepicama pakuaki gubiciima, skladeujsa, Treujsa, historese i vrtlozima struja.

8.) Opterećenje.

Mehaničko opterećenje mijenja se basidareuim pomoćnim strojem, elektricno sa elektricnim mjerniima. Ista metoda može se upotrebiti sa klijgod motore i generatore.

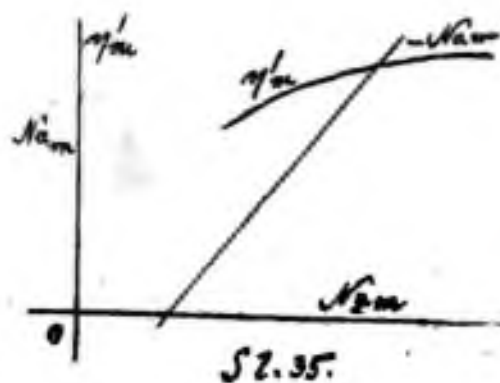
1.) Motori: Pomoćni stroj, uopće predviđena, tor služi sa opterećenje. Mjeri se od motora prim. ljevo djelovanja N_m , te od generatora predano N_g . Iz ovoga odredi se pomoću diagrama bas. darenja generatora dovedeno mehaničko djelova. nje N_{22} , kao i kod ukloćenja nje pakuaki od motora predvedenom N_m . Stepen djelova. nja motora p'onda:

$$\eta_m = \frac{N_{22}}{N_m}$$

2.) Generatori: Za generatore, napravi se nje, nje isto tako. Ali pomoćni stroj je točno bas. reu motor. Stroj po slici 30. Mjeriti se može:

a.) Kod konstantnog napona i konstantnoga broja okretaja, treći diagram koćenja pomoćnog motora. Od motora predano djelovanje N_m nasla se u diagramu u ovisnosti od dovedenog djelovanja. Isto tako, pta se η_m - sl. 35.

2.) Generator se p'iji sa motorom ukloćeno. Onda se uoback generator na napon, sterakha N_g te promijeni struja tereta od $I=0$ do $I=1,3 I_{norm}$. Ovoj n te napon N_m mota, na moraju biti isti kao,



kod prenosu. Onda napiši
od generatora predano djelovanje:

$$N_{ag} = N_g \cdot \eta$$

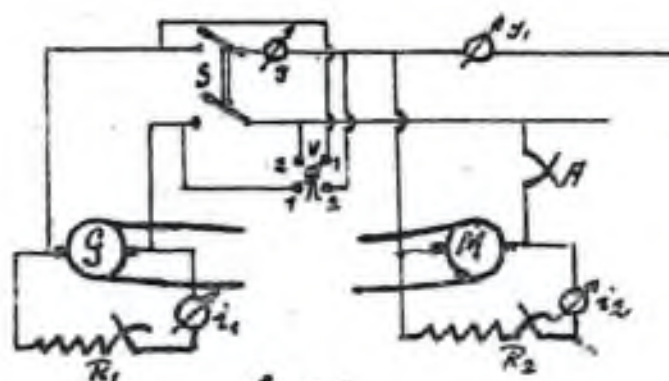
Generatoru dovedeno: $N_{ag} = N_{am} = N_{em} \cdot \eta'$

$$\eta' = \frac{N_{ag}}{N_{em}} = \frac{N_{ag}}{N_{em}} \cdot \frac{1}{\eta_m} = \frac{N_g \cdot \eta}{N_m \cdot \eta_m} \cdot \frac{1}{\eta_m} \quad (58.)$$

5.) Djelovanje ustraga.

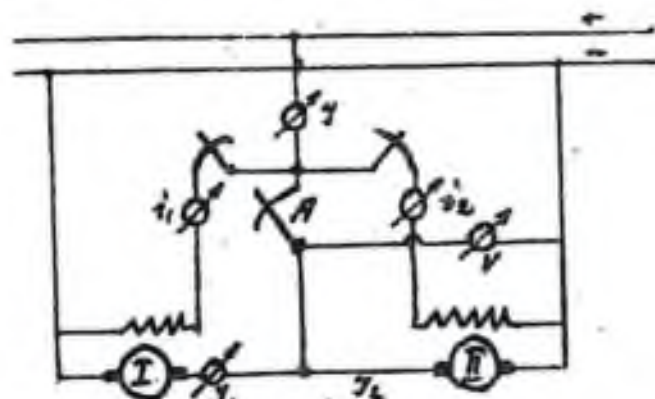
Kod ove metode mora se imati zapažanje
dva stroja iste konstrukcije, istoga napona
i djelovanja.

a.) Djelovanje potrebno za gabithe dovede se
električnim putem. Sl. 36. Sa generatorom G



Sl. 36.

zovećanjem i, jer onda daje G struju Y motoru
M. Se može se učiniti, samo struju Y, koja se



Sl. 37.

spojen u motoru,
koga se hoće moći
isklopiti i otvoriti.
Onda se uskladi G
te spoji po pravilima
paralelnog spajanja,
na mrežu odobro
motor M. Onda,
dimo li generator
zovećanjem i, jer onda daje G struju Y motoru
M. Se može se učiniti, samo struju Y, koja se
potrebna za gabithe
ke generatora i
motora. Drugi
spojnikaraj Sl. 37.
Struj I i II upaste se
kajdu is mreže
pomocu uputnika
H. tjaca li se utje.

Struja I, postane generator te dobija
struja II, struju II. Uje struja is mreže, potrebna

djelomice sa gubitke. Struja armature motora II.
je prema tome

$$I_2 = I_1 + I - (I_1 + I_2)$$

Napon II. strazjeka obijaju strojeva jednak je
naponu mreze. Kod istovremenovanja stepena
djelovanja pretpostavimo $\eta_m = \eta_g$

Stepen djelovanja $\eta = \eta_m = \eta_g$

Od generatora predano djelovanje $N_{ag} = I_1 \cdot U$

Cijeli motoru dovedeno djelovanje $N_{em} = N_{ag} + I_2 (I_1 + I_2) U$

Udalni stepen djelovanja $\eta = \eta_m \cdot \eta_g = \frac{N_{ag}}{N_{em}} = \frac{I_1}{I_1 + I_2}$

Stepen djelovanja stroja $\eta_m = \eta_g = \sqrt{\eta} = \sqrt{\frac{N_{ag}}{N_{em}}} = \sqrt{\frac{I_1}{I_1 + I_2}} \quad (59)$

Ako sa strojima zajedno radu mora se uzeti u
obzir još stepen prenosu η_R . Onda vrijedi

$$\sqrt{\eta} = \sqrt{\frac{I_1}{I_1 + I_2} \cdot \eta_R} \quad (60)$$

Imamo linearno usklađivanje, kao i u regulaciji,
sija seoma pogodno, onda je $I_2 = I_1 U$ t.j. djelova-
nje potrebno sa gubitke u armaturi, zbog te
frekvencije obijaju strojeva. Gubitak usklađivanja
 N_{mm} i N_{mg} mora se mjeriti te umetnuti u
jednadžbu 59. t.j.

$$\eta_m = \eta_g = \sqrt{\eta} = \sqrt{\frac{I_1 U}{(I_1 + I_2) U + N_{mm} + N_{mg}}} \quad (61)$$

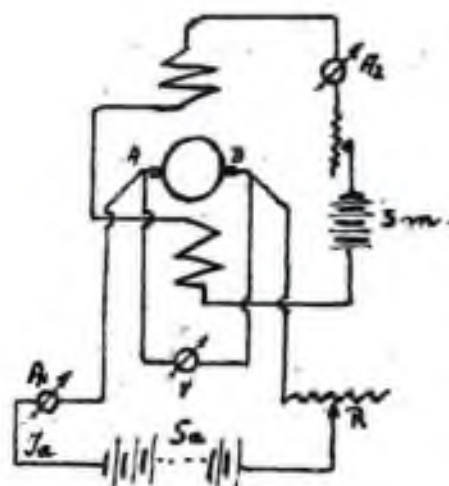
Jer sa brojem obijaja stroja - ako radi kao
generator odn. motor - različit - vidi sub β) - mora
se regulirati na mediji broj. Za serijske stro-
jeve se ne mogu neravno usklađivati.

b.) Ovom ovu metodu imaju još i nešto ismije-
nive; kod kojih se dovede sa gubitke potrebne
djelovanje električnim putem i mehaničkom rad-
njom (Blondel). Ali ove se strojevi upotreblja-
vaju vrlo rijetko, stoga nećemo ovdje aludirati
u sumještanje. (Vidi Jaku, Mrazuga, au d. mamb, ETZ 1909.
Str. 866. i t.d.)

E.) Metoda poplinskih gubitaka.

(Eisselverlustrverfahren)

1.) Opisni nespretnost kreta. Da odredimo gubitke zbog trenja, histereze i vrtložnih struja pomoću galvana usbudimo stroj iz nekog reda struje te uvedemo struju u armaturu i mjerimo jakost struje, te napon kofica. Sl. 38. prikazuje shemu spoja. Sm. je vrlo struje sa usbudavajući magneta, struju im mjeri ampermetar A_2 . Otporom R_2 možemo struju regulirati. Armatura, na dobije struju iz baterije S_a , jakost mjeri ampermetar A_1 , napon kofica mjeri voltmetar V , otpor R može se mijenjati te tako regulirati struju. Ako je armatura u stanju mirovanja te mjerimo U_0 i I_0 , onda je otpor armature + kofice



Sl. 38

$R_a = \frac{U_0}{I_0}$

Ako demu li u armaturu, koja se okreće struji I_a , koja proizvodi u njoj napon U , onda je uveden efekt $U \cdot I_a$. ovaj efekt smo upotrebili sa prvim, roduju Jouleove topline $I_a^2 R_a$ te se okreću, u armature, pri čemu su nastali gubici zbog trenja, histereze te vrtlož. struja.

benasimo li ove gubitke sa N_v , onda

$$U I_a = I_a^2 R_a + N_v; N_v = U I_a - I_a^2 R_a = I_a (U - I_a R_a) = E \cdot I_a \quad (62)$$

pa je $E = U - I_a R_a$ je sila armature, koja proizvodi rotaciju armature u magnet. polju. N_v možemo pronaći tome I_a

prvi put nađi: Mjerimo još broj okretaja n , onda možemo odrediti sa jednom te isto urbuđenje skupa spadajuće vrijednosti N te n . Mjerimo broj okretaja nije potrebno sa svaki fokus. Kod malih strujera bilo bi to dapače i škodljivo, jer nije pubitak na efektu nadi broja tako malen, da ga možemo računavati. Dok ostane urbuđenje ne promijenimo tok gpo isti, prema tome medijer $E_1 : E_2 = n_1 : n_2$. Mjeri se prema tome prvi put N te n , može se sa druge vrijednosti N te n računavati, ako ostane urbuđenje isto. Na taj način mjerne vrijednosti jednog fokusa prikazuje sljedeća tabela 4 i to sa različite struje urbuđenja im.

Za armatura u stajaju mjerovnja smo imali $N_0 = 24$ $N_0 = 2V$ $R_0 = \frac{1}{2} = 1\Omega$ kao primjer računavati fokus I. $\eta = 1$. Tab. 4.

No.	I					II					III				
	U	U_a	n	E_{indukta}	N_0	U	U_a	n	E	N_0	U	U_a	n	E_{indukta}	N_0
1	95	1,7	2770	93,3	-	87	1,65	2720	82,5	-	86	1,24	2735	74,26	-
1a	94	1,55	2740	92,15	143	85	1,5	2760	83,5	125	88	1,52	2805	76,48	116
2	90	1,5	2620	88,45	135	77	1,43	2500	75,57	108	83	1,5	2625	71,5	107
3	87	1,48	2360	79,52	118	68	1,3	2200	66,62	92	65	1,43	2340	63,57	91
4	68	1,25	1980	66,65	80	59	1,3	1910	57,7	75	56	1,38	2100	54,62	76,5
5	58	1,3	1685	56,7	70,8	53	1,26	1710	57,74	66,4	50	1,3	1790	48,7	63,4
6											48	1,3	1715	46,7	62,6
	$I_m = 1,57 \text{ ampere}$					$I_m = 1,33 \text{ amp}$					$I_m = 1,19 \text{ amp}$				

No.	IV					V					VI				
	U	U_a	n	E	N_0	U	U_a	n	E	N_0	U	U_a	n	E	N_0
1	62	1,62	2500	60,38	-	83	1,25	2550	57,25	-	42	2,06	2660	39,94	-
1a	62	1,53	2505	60,47	92,6	53	1,63	2580	57,37	83,6	44	1,88	2810	48,12	79,5
2	53	1,4	2140	61,6	78,4	46	1,13	2206	44,47	68	36	1,7	2280	34,7	58,3
3	46	1,32	1850	44,68	59	38	1,41	1920	36,89	57,6	31	1,69	1950	29,31	49,4
4	38	1,28	1590	36,72	47	31	1,4	1424	29,6	41,5	27	1,55	1695	25,45	39,5
	$I_m = 1 \text{ amp}$					$I_m = 0,8 \text{ amp}$					$I_m = 0,6 \text{ amp}$				

$U = 95V$ $U_a = 1,7 \text{ amp}$ $n = 2770$ (mjereno)
 Protutula $E_1 = U - U_a R_0 = 95 - 1,7 \cdot 1 = 93,3 \text{ Volta}$
 Kod ponovnog mjerenja - broj okreta - nismo
 mijenili - dobili smo vrijednosti 1a.



$$U = 94 \text{ V} \quad I_a = 1,55 \text{ A} \text{ prema tome } E_2 = 94 - 1,55 \cdot 20$$

$$= 92,45 \text{ Volta}$$

Prizadajući broj okretaja n : $E_1 : E_2 = n_1 : n_2$

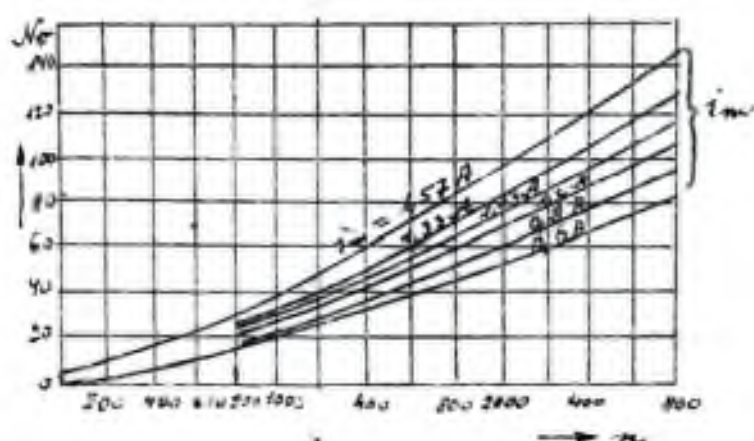
$$93,3 : 92,45 = 2770 : n_2 \text{ i. j.}$$

$$n_2 = \frac{92,45 \cdot 2770}{93,3} = 2740$$

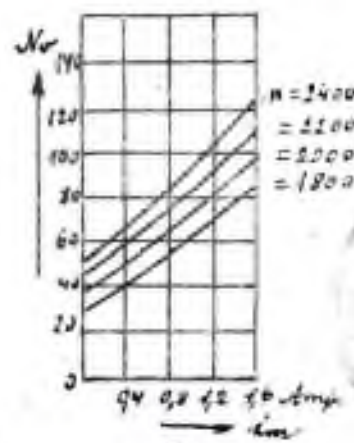
Efekt N_v , koji odgovara roome broju je $E \cdot I_a = 92,45 \cdot 1,55 = 143 \text{ wata}$.

Mjerenja se mogu poći; kad se vrijednosti i_m više ne mijenjaju, čipovi i čeraji moraju postići neprimoljivu temperaturu. / Kod većih strojeva biva to istom nakon nekoliko sati.

Rezultate mjerenja N_v - n sadržava sl. 39. u čini apscisu, N_v ordinatu. Ako se uzmue iz sl. 39, za jednu te istu abscisu na pr. 1800 pr. p. dajmo ordinate na različite struje i_m dobije se sl. 40. bodje su abscise gubasti i_m , a ordinate gubici, koji odgovaraju određenom broju okreta, n . Sl. 40. daje nam ove krivulje za $n = 1800, 2000, 2200, 2400$. Iz ove slike može se za svaki broj n svako preduzeće primiti gubitak na efektu N_v , te odrediti ve gubitke baremarnog stroja.



S1. 39.



S1. 40.

Primjer: kod motora Tj. rani baremarni stroj daje 65 V i 10 A u vanjski krug. $i_m = 1,5 \text{ A}$, $n = 2200$.

Preradi se djelovanje motora u vatima istekavodijelova, nja η generatora.

Koristi efekt generatora $p = N = 65 \cdot 10 = 650$ vatta. Gubici su 1.) Jouleova toplina u armaturi i kuficama

$$I_a^2 R_a = (10 - 1,5)^2 \cdot 1 = 72,25 \text{ W}$$

2.) — — — — — u magnetu $H \cdot I_m = 65 \cdot 1,5 = 97,50 \text{ W}$

3.) Gubici $N_v (H \cdot 40)$ ukriva 1,5 A krivulj = $2200 \cdot 100,00 \text{ W}$
 $\Sigma v = 269,75 \text{ W}$

Djelovanje motora: $650 + \Sigma v = 919,75$ vata

$$\eta \text{ generatora} = \frac{\text{korisni efekt}}{\text{trošeni efekt}} = \frac{650}{919,75} = 0,708$$

Ali ovdje nisu uočeni dodatni gubici. Točnu ekvipu, nimentalno odredjivanje više puta nije ni moguće. Hoćemo li se gubitke odrediti, moramo uzeti točnu baidarenu pomoćni motor. Stroj se spoji kratko, a pomoćni motor ga tjera sa vnašenjem brojem okretaja. U istenju se kreira tako, da teče normalna struja I_a u armaturu. Od motora predao djelovanje se izračuna. Ovo djelovanje se troši za gubitke trenja, gubitke u armaturi i kuficama te dodatne gubitke, koji se mogu odrediti.

Prava propisa mora se ove gubitke odrediti samo za sinkrone strojeve. Za druge strojeve uzme se nekoliko procenata u račun, tako, da se p'onda kod izračunavanja stepena djelovanja ne do takoder ove gubitke u obrat.

Ovdje medu:

- | | |
|--|-------|
| a.) kompenzacioni strojevi istomjerne struje | 1/2 % |
| b.) nekompenzacioni, sa i bez pomoc. jalova | 1 % |
| c.) pretvarač / Eisaukertransformer / | 1/2 % |
| d.) asinkronni strojevi | 1/2 % |
| e.) kaskadni pretvarač | 1 % |

Uvijek ovih gubitaka liči, u tome, da se razlikuje faza opterećenog stroja druge, nego kod neopterećenog.

Ustavu li u koziingod njeziku za amp. za waki broj n mjerenja jakost struje I_a kao ordinatu, do dobijemo krivulju III. Ova crta je linearna proporcionalna jakost struje. Ako je i_r ova struja - i ako je el. m. sila armature E - onda je

$$E \cdot i_r = c n^2 = W_r \quad i_r = \frac{W_r}{E} = \frac{W_r}{\left(\frac{n}{29,7}\right)} = 29,7 \frac{W_r}{n} \quad (65)$$

Pomoću ove jednadžbe nađemo struju i_r , ako znamo gubitke zbog trenja, koji odgovaraju broju n za 29,7. Krivulja I daje za $n = 2000$ $W_r = 38$ vata. Prema tome $\frac{29,7}{n} i_r = \frac{29,7 \cdot 38}{2000} = 0,564$ v. Na isti način izračunava se i_r za $n = 1800, 2200 \dots$ te dobije krivulju IV. Subtrahiramo li IV od III, dobijemo V, koja prikazuje veku ismeđtu broj okreta n i one jakosti struje, koju treba histerese i vrtložne struje. Stavimo li za $\frac{E}{n}$ i veličinu y , za $\frac{E}{n} \cdot i_r$ veličinu y_2 dobijemo:

$$\begin{aligned} y_1 &= a + b n + c \sqrt{n} \\ y_2 &= c \sqrt{n} \\ y_1 - y_2 &= y = a + b n \end{aligned} \quad (66)$$

To je jednadžba pravca, a krivulja V je prema tome pravac. Stavimo $n = 0$, onda dobijemo, ako V produžimo do osi ordinata $y = a$ ili u našoj mjeri u amp. $y = 0,7$ t t-j jakost struje potrebna za histerese: i_h

Nađemo li broj točaka 0,7 t usporednicu s abscisom, onda odgovaraju ordinatama ismeđtu ove uspo. redukcije te pravca V struji, koja je potrebna za skladavanje gubitaka zbog vrtložnih struja i_w . - Možemo li pronađene jakosti struje za E ili što je isto u našem slučaju za $\frac{E}{29,7}$ onda dobijemo tražene gubitke u vatima. Prema tome su:

Gubici zbog histerese $0,7 \frac{n}{29,7} = 0,0236 (= a) \cdot n$ vata, za $n = 1000$ dobijemo 23,6 vata, a za $n = 0$ dobijemo

gubitke = 0. Vraćamo li se korigirano izvor koordinata
te $N_k = 23,6$ vata na $n = 1000$ prava, rezultira kriv-
ulja N_k , čije ordinate odgovaraju gubicima, radi-
katerene.

Gubici vrtložnih struja daju se iz: $N_w = E \cdot i_w =$
 $\frac{n}{29,7} i_w$. Za $n = 2400$ je $i_w = 0,18$ A, prema tome
 $N_w = \frac{2400}{29,7} \cdot 0,18 = 14,6$ vata. Gubitak vrtložnih struja je
broj n^2 prema tome $N_w = \frac{14,6}{2400^2} = 0,00000254$. Za $n = 2000$
je $i_w = 0,15$ A $N_k = \frac{2100}{29,7} \cdot 0,15 = 10,1$ W i $\beta = \frac{10,1}{2000^2} = 0,00000253$.
Sleduje je vrednost, 0,00000253. Na taj način p'ostanu
krivulja N_k . Sledimo li još odrediti C onda, prema jedna-
cini
$$N_k = C \cdot n^{\frac{3}{2}}$$

Za $n = 2000$ je $N_k = 64$ vata (krivulja I) dakle
 $C = \frac{64}{2000^{\frac{3}{2}}} = 0,00043$. Totalni gubitak na efektu na
uradbenje $i_m = 1,57$ A određuje jednu:

$$N_k = 0,0236 n + 0,00000253 n^2 + 0,00043 n^{\frac{3}{2}}$$

ova metoda nema pogreške, jedino u tome što
možemo približno podati krivulju N_k za određivanje
gubitaka radi trenja. Da se ove vrednosti dobija
tačnije, može se uzeti u sl. kv. sa abscisa vrednosti
 $n^{\frac{3}{2}}$ namesto i_m . Onda bi se tačke krivulje približno
vale i ordinate, ovim toga imale bi približno po-
larni prava.

Gubitke trenja može se takođe naći na sl. 11,
deci način (Kuslaaf metode)

Otkopča se momentano armatura, koja se okreće,
od izvora struje, onda se troši u armaturi sakuplja
na energija za gubitke. Dok se još armatura
okreće, gubici su ovi:

- 1.) Trenje N_k , ako se iskopča armatura i još
- 2.) Trenje i gubici u režu, ako se iskopča samo
armatura.

Struju se daje broj tura na kojimod način, te
ga onda prepaš samom sebi. Prilik 5 oek nje

se broj tura, kod većih strojeva sa tahometrom
 a kod manjih pomoću el. m. m. koju proizvodi
 reosmerna. Ovdje vodi razumjevanje $E_1 : E_2 = n_1 : n_2$. Prve
 vrijednost n_1 se izmjeri tahometrom. Skapa spada
 juče vrijednosti n te vrijednost dadu nam kriva-
 lju (Auslaufkurve) Ponovimo li ovo mjerenje,
 ali sada kod uslužbenih magneta (norm. usluž-
 benje) dobijemo drugu krivulju. Ovom se puta est-
 se sa rasne brojke obrotaja krivulju gubitaka.
 No, koja se snimila prema prijašnjem tumačenju
 ($N_r = E \cdot Y_a$ Krivulja I u sl. 42.) To je krivulja, koja se do-
 biže sa koeficijent konstantne jakosti strujin-
 napon je promjenjiv: $N_r = f(n)$. Ispisana ta-
 bla 5 prikazuje nam rezultate ovakvog mje-

Tab. 5. Kružna, koji smo upotreabili sa
 ertanji krivulja I, II i III. u sl. 42.
 Za krivulju I. Izori n ordinata,
 ta, a gubitak N_r abscisa
 i to jedinici od onog momenta
 u kojem smo prešli sa
 Toru samoj sobi. Krivulja II.
 vodi na "bez uslužbenja" kri-
 vulja III. "za normalno usluž-
 benje." — "Izva sila obrotaja"

t	Broj tura na uslužbenju	Broj tura na uslužbenju	$N_r = E \cdot Y_a$
0	1440	1124	670
5	1016	884	446,2
10	884	640	261,3
15	774	438	144,7
20	670	267	64,6
25	580	132	19,7

Tab. 5. Kružna, koji smo upotreabili sa
 ertanji krivulja I, II i III. u sl. 42.
 Za krivulju I. Izori n ordinata,
 ta, a gubitak N_r abscisa
 i to jedinici od onog momenta
 u kojem smo prešli sa
 Toru samoj sobi. Krivulja II.
 vodi na "bez uslužbenja" kri-
 vulja III. "za normalno usluž-
 benje." — "Izva sila obrotaja"

(juče) se tjela je

30	490
35	430
40	346
45	280
50	222
55	172
60	122
65	72
70	32

$N = \frac{1}{2} K \omega^2$ (67)
 K je mom. Inercije obrotom na osi Fuge, ω
 kutna brzina. Provedeni efekt je

$$N = \frac{dE}{dt} = K \cdot \omega \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

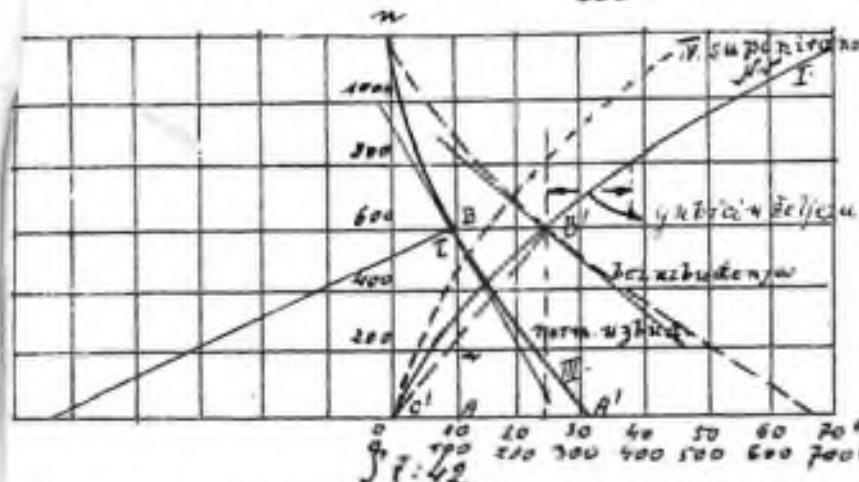
Uvedemo li za ω broj tura n /min onda
 vrijedi $\omega = \frac{2\pi n}{60}$, $\frac{d\omega}{dt} = \frac{2\pi}{60} \frac{dn}{dt}$

$$N = \frac{dE}{dt} = K \left(\frac{2\pi}{60} \right)^2 n \cdot \frac{dn}{dt} \quad \text{Istovremeno}$$

$$K \cdot \left(\frac{2\pi}{60} \right)^2 = C \quad (68)$$

dobivamo konaino

$$N = C \cdot n \frac{du}{dt} \quad (69)$$



Kafravo li morali na
donoj strani još dodati
svak —, jvrdgovara
povratu nauena t
padau je broj tura n.
Okreće li se aruata

u usbudeuom polju
onda je $N = N_0 = \text{gubitak}$

radi trenja, histerese i utločnuh struja. Kod okretanja
u neurbudeuom polju imamo samo gubitke trenja N_R
prema tome $N_R = C \cdot n \cdot \frac{du}{dt} \quad (70)$

Točki B krivulje III odgovara $n = 600$. Po krivulji I pripa-
da ovoj vrijednosti gubitak $N_R = 240$ vata. $\frac{du}{dt} = \frac{1}{t_p} \cdot \tilde{t}$
te $n \cdot \frac{du}{dt} = AC$, ako je CB normala u točki B. Dakle
 $N_0 = C \cdot AC \quad (71)$

Za različite brojeve okretanja $n_1, n_2, n_3, \dots$ dobije se
iz krivulje II pripadajuće subnormale, a iz krivulje I vrijed-
nosti brojeva odgovarajuće djelovanja. Faktor C služi i
jedn. 70, jer je geometrično

$$n \cdot \frac{du}{dt} = \text{subnormali krivulje } n = f(t)$$

a $n = f(t)$ je krivulja III.

Čitajući li se različite točke krivulje II subnormale
te istu pomoću ovih i faktora C različitim brojevima
tada pripadajuće gubitke zbog trenja $N_R = C \cdot n \cdot \frac{du}{dt} = f(n)$
dobije se krivulja IV. Diferencijalno alikova I te IV daje
nam krivulju sa gubitke u teku, koji se može
sada razdijeliti po pravilima, kako je to bilo prije
tamačeno.

Za krivulju II dobijemo za isti broj tura, t.j. $n = 600$
točka B' se normalom C'B'. Prema tome je

dividiraemo li jednu jednu sa drugom:

$$\frac{N_R}{N_V} = \frac{AC'}{AC} \text{ ili } N_R = N_V \cdot \frac{AC'}{AC} \quad (73)$$

Uvrstimo li naštane veličine, a kojipod mjeri na gr. mili-
metrima, da je nam naša slika $AC' = 21 \text{ mm}$ a $AC = 55,5 \text{ mm}$
 $N_R = 240 \cdot \frac{21}{55,5} = 91,0 \text{ vata}$

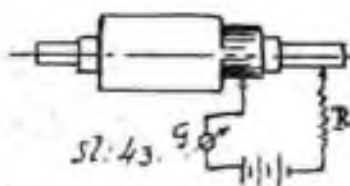
Na isti način možemo sa saski broj ohmeta odredi-
ti gubitak zbog trenja N_R . Točnost je ovjerna o
točnosti konstrukcije CD i $C'D'$.

7.) Prosvjedovanje komutacije.

Vidi IV. - 4.

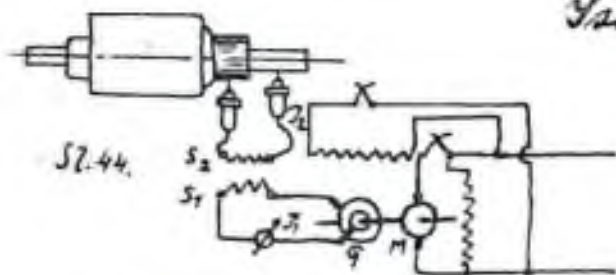
8.) Ispitivanje spoja s tijelom.

a.) Vetrompucom strujom. Spoj po slici 43.



Na isti način može se ispitati i so-
lacija pojedinih svitaka armature
prije montiranja kolektora
/: Grave sa ispitivanje izolacije
(Isol. Prüfer.)

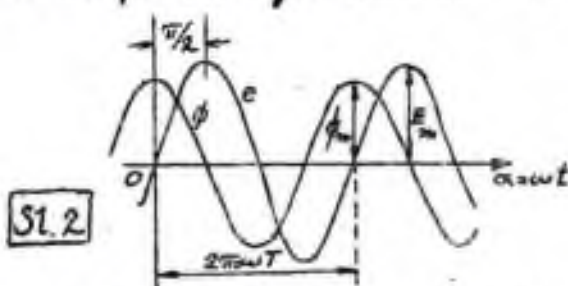
b.) Vetrompucom strujom



Sekundarni namotaj male,
nog transformatora spoji
se po slici 44. Primarni
svitak S_1 spojen je sa

malom generatorom, što ga tjera motor M.
Pomoću regulacije broja tura te primarnog napona
može se postići kojipod vrijednost sekundarnog napona.
Ako je u izolacija u redu ostane primarna struja I_1 uvijek
jednaka neopterećenoj struji. Šće li kroz svitak S_2 struju,
t.j. nije izolacija u redu, pojaća se struja I_1 . Umjesto struje
 I_1 može se mjeriti takodje napon sekundarnog svitka.
Sok nema spoja prikazuje voltmetar na krakovima
sekundarnog svitka potpuni napon, koji padne, ako
izolacija nije u redu, jer šće struja.

spojen sa ravojem, te u ravoju inducirane EMS, kao funkcije kuta $\alpha = \omega \cdot t$. Jer je inducirana EMS najveća kada je vremenska promjena sa ravojem spoje-



Sl. 2

noj toka najveća, to je (e) maksimalno za ($\phi = \pi/2$). (e) postigne vrijednost (π), ako

je tok (ϕ) maksimalan. Prema tome su maksimalne vrijednosti obiju valova međusobno odnosa kute za 90° . Tok i inducirana EMS čine fazni kut od 90° : tok leži za 90° ispred EMS, ili: EMS sledi tok za 90° .

Perioda sinusfunkcije je (2π), jer se vrijednosti opet ponavljaju posle je preobraćen kut (2π). Znači li: (T) vrijeme jedne periode, ($\sim$ = per) broj perijoda u sekundi – frekvencija, onda vrijedi:

$$2\pi = \omega \cdot T, \quad \frac{1}{T} = \sim, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \sim \dots \dots (2)$$

(ω) je frekvencija kruga; ona je jednaka broju perijoda u (2π)-sekunda. Jednadžbu (1) za EMS može se sada preinačiti:

$$e = 2\pi \sim \phi_0 \sin(\omega t) \cdot 10^{-8} = E_0 \sin(\omega t) \text{ V}$$

$$\text{vr: } E_0 = 2\pi \sim \phi_0 \cdot 10^{-8} \text{ V} \dots \dots \dots (3)$$

(E_0) je maksimalna vrijednost, amplituda u ravoju inducirane EMS, koju imamo u ravoju, ako je: $\omega t = \pm 1$.

Jednadžba (3) vrijedi za svitak iz jednog ravoja. Imali svitak (ω) ravoja, koji su motani tako, da su svi ti ravoji spojeni istim tokom, onda je inducirana EMS (ω) puta veća:

$$e = 2\pi \sim \omega \cdot \phi_0 \sin(\omega t) \cdot 10^{-8} = E_0 \sin(\omega t) \text{ V}$$

$$\text{vr: } E_0 = 2\pi \sim \omega \cdot \phi_0 \cdot 10^{-8} \text{ V} \dots \dots \dots (4)$$

Ako razdijelimo ovih (ω) ravoja tako, da svi ravoji nisu spojeni istim tokom ϕ , onda je (e), odnosno (E_0), manje. U tom se slučaju mora metnuti:

$$e = - \frac{d[\Sigma (w_k \cdot \phi_k)]}{dt} \cdot 10^{-8} \quad (5)$$

(ϕ_k) je tok spojen sa (w_k) ravoja. $[\Sigma (w_k \cdot \phi_k)]$ su spojeni toka sa ravojima kruga struje. (e) , odnosno (E_0) , je onda također manje, ako motamo sritak na mjesto u promjeru - (sl. 1) - u tetivi, jer u tom slučaju ne može biti nikada totalni tok spojen sa ravojima.

Kada sritak izvrši puni okret, onda kroz to postane tok dva puta $(= 2)$, odnosno postane dva puta $(= \phi_0)$, t. j.: jednom okretu armature odgo-vara jedna perijoda inducirane E.M.S. - Okreće li se armatura sa (n) okretaja u minuti, onda je broj perijoda u sekundi

$$\sim = \frac{n}{60} \quad (6)$$

Kod stroja, koji ima (p) pari polova, doviši sv. tok kod jednog okreta (p) perijoda; prema tome vrijedi općenito:

$$\sim = \frac{p \cdot n}{60} \quad (7)$$

2. Srednja, efektivna i maksimalna vrijednost.

Jer struja konstantno mijenja svoj smjer, mora biti srednja vrijednost sa cijeli broj perijoda jednaka nuli. Prema tome ne može se izmjenične struje upotrebiti za nabijanje akumulatora, jer ona ne prouzroči nikakvih električnih učinaka.

Kada se govori kod izmjenične struje o srednjoj vrijednosti, onda se ona odnosi samo na polovicu perijode. Za sinusoidalnu struju je

$$i = I_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) \dots (\text{moment. vrijednost})$$

Srednja vrijednost je

$$I_{\text{red}} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) \cdot dt = \frac{T}{2\pi} \cdot \frac{2I_0}{T} [-\cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right)]_{t=0}^{t=\frac{T}{2}} \\ = I_{\text{red}} = \frac{2}{\pi} \cdot I_0 = 0,636 \cdot I_0$$

t.j.: srednja je vrijednost jednaka visini pravok.,
trike jednake površine kao i ploštine u polovici
perijode omeđene sinusoidom i apscisom ($\frac{T}{2}$):

$$I_{\text{red}} = \frac{2}{\pi} \cdot I_0 = 0,636 \cdot I_0 \quad \dots \quad (8)$$

Ko srednja nas vrijednost ne zanima, jer nije
mjerodavna za djelovanje struje. —

Struja (i), u otporu (R), za vrijeme dt izvrši
radnju - po Joule-ovom zakonu -:

$$dA = i^2 \cdot R \cdot dt;$$

Prema tome je srednja vrijednost topline:

$$W = \frac{1}{T} \int_0^T dA = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 \cdot R \cdot dt = I^2 \cdot R \quad \dots$$

Pa (I) označimo jakost struje, koju mora imati
istosmjerna struja, da proizvede istu srednju
toplinu struje, kao i izmjenična struja.

Veličine

$$I = I_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 \cdot dt} \quad \dots \quad (9)$$

zove se efektivna jakost izmjenične struje.

Po ovoj jednadžbi je efektivna vrijednost kojom
iz srednje vrijednosti kvadrata momentanih
vrijednosti. Stoga možemo ovu jakost označiti
također kao kvadratičnu srednju vrijednost. - Ako je

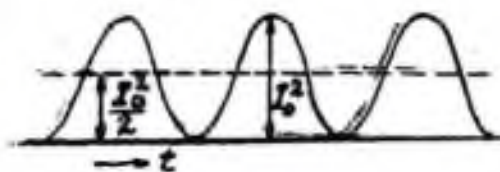
$$i = I_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

onda varira

$$i^2 = I_0^2 \cdot \sin^2\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) = \frac{1}{2} I_0^2 [1 - \cos\left(\frac{4\pi}{T} \cdot t\right)]$$

po krivulji u (sl. 3) kao funkcije vremena. Ova
krivulja je također sinusoida, ali ona ima dvostru,

ku frekvenciju, te varira samo
između (0) i (I_0^2), a ne ide
ispod osi apscisa. Prema tome



Sl. 3

$$I_{\text{ef}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 \cdot dt = \frac{I_0^2}{2},$$

odnosno

$$I = I_{\text{ef}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{I_0}{1,414} = I_0 \cdot 0,707$$

Iz jednadžbe (8) i (10) slijedi:

$$I = I_{\text{ef}} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 1,11 \cdot I_{\text{red}} \quad \dots \quad (11)$$

Faktor (1,11) zove se faktor oblika (form factor) sinusoidalne struje. - Slično vrijedi:

$$E = E_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2 dt} = E_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot E_0 \quad (12)$$

$$E = E_{ef} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cdot E_{m1} = 1,11 \cdot E_{m1} \quad (13)$$

U jedn.(4) imali smo:

$$E_0 = 2\pi \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot 10^{-8} \text{ V}$$

Iz jednačbe (12) slijedi, da je u svitku inducirana efektivna vrijednost:

$$E = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot 10^{-8} = 4,44 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot 10^{-8} \text{ V} \quad (14)$$

odnosno - obzirom na: $E_{m1} = \frac{2}{\pi} E_0$ - inducirana srednja vrijednost EMS je

$$E_{m1} = 4 \cdot \omega \cdot \phi_0 \cdot 10^{-8} \text{ V} \quad (15)$$

Ovu jednačbu možemo dobiti i na slijedeći način: Tok (ϕ) raste u svakoj perijodi dva puta do vrijednosti (ϕ_0), te pada dva puta do vrijednosti ($\ominus$). Prema tome je srednja promjena toka u jednoj sekundi jednaka $\frac{4\phi_0}{T} = 4 \cdot \omega \cdot \phi_0$, odavle direktno slijedi jednačba (15). Kod toga nismo napravili nikakvu pretpostavku obzirom na promjenu toka. Jednačba (15) vrijedi prema tome općenito, neovisno o obliku krivulje promjene toka, odnosno EMS.

3. Djelovanje izmjenične struje.

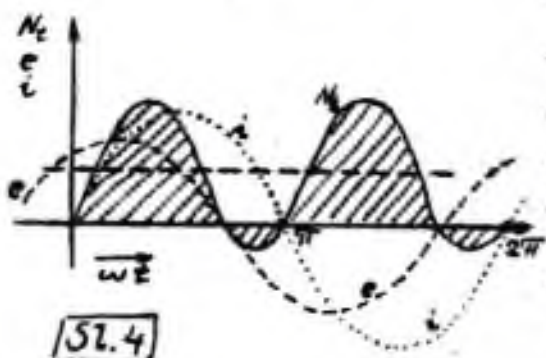
Ako (e) i (i) znače momentane vrijednosti napona i struje, onda je momentana vrijednost djelovanja ($e \cdot i$), te radnja za vrijeme (dt): ($e \cdot i \cdot dt$)

Prema tome je srednje djelovanje struje:

$$N = \frac{1}{T} \int_0^T e \cdot i \cdot dt \quad (16)$$

Ovo djelovanje mjeri vatmetar.

Uzmemo li da se struja i napon mijenjaju sinusoidalno, te - da dobijemo općeniti izraz - da struja



sa naponom nije u fazi, onda struja odgovara
jednadžbi: $i = I_0 \cdot \sin(\omega t)$, a napon odgovara
jednadžbi: $e = E_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$. To znači da je na-
petost za vrijeme ($t = 0$) jednaka: $e = E_0 \cdot \sin \varphi$,
dok je kroz to ($i = 0$) - sl. 4. Napon je dakle za
kut (φ) pred strujom. - U sl. 4. leži krivulja struje
pomaknuta na desno; no to dakle ne znači da stru-
ja leži pred naponom!

Načinimo li za svaki moment momentanu
vrijednost djelovanja: $N_t = e \cdot i$, te ako citamo ovu
vrijednost u koordinatni sistem (sl. 4) dobijemo
krivulju djelovanja (N_t). Površina ($e \cdot i \cdot dt$) je onda
radnja za vrijeme (dt); radnja za vrijeme jedne pe-
rijode je isprugana površina. Površina ispod osi
apscisa je negativna radnja, t.j. stroj kroz to vri-
jeme doliva radnju iz mreže - on radi kroz to vri-
jeme kao motor. - Sumiramo li pojedine radnje
($e \cdot i \cdot dt$) preko čitave površine polovine perijode (jer
 N_t ima dvostruku frekvenciju), uvaživši negativne
djelove površine, te ako čitavu površinu nadomje-
stimo površinom pravokutnika, kojemu je osnovica
jednaka polovini perijode, onda je visina pravo-
kutnika traženo srednje djelovanje (N).

Umetnimo u jednadžbu (16) vrijednosti
za (e) i (i): $E_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, odnosno $I_0 \cdot \sin(\omega t)$:
 $N_t = E_0 I_0 \sin(\omega t + \varphi) \cdot \sin(\omega t) = \frac{E_0 I_0}{2} \{ \cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi) \}$
[To slijedi iz relacije:

$$\cos(\alpha + \varphi - \alpha) = \cos(\alpha + \varphi) \cdot \cos \alpha + \sin(\alpha + \varphi) \cdot \sin \alpha$$

$$\cos(\alpha + \varphi + \alpha) = \cos(\alpha + \varphi) \cdot \cos \alpha - \sin(\alpha + \varphi) \cdot \sin \alpha$$

$$\cos \varphi - \cos(2\alpha + \varphi) = 2 \sin(\alpha + \varphi) \cdot \sin \alpha$$

Umetnimo za (α) (ωt) dobijemo gornji rez.]

Vremenska vrijednost djelovanja je prema
toje kosinus-funkcija dvostruke frekvencije, koja
oscilira oko srednje vrijednosti

$$N = \frac{E_0 I_0}{2} \cdot \cos \varphi \quad (17)$$

Umetnimo za (E_0) i (I_0) efektivne vrijednosti: $E = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$,
 $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$, dobijemo srednje djelovanje

$$N = E \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (18)$$

(EI) je prividno djelovanje mjereno u „volt-ampe-
 rimima“ (VA); $(\cos \varphi)$ je faktor djelovanja. Za sinus-
 soidalne je krivulje faktor djelovanja onaj
 između faktičnog i prividnog djelovanja:

$$\cos \varphi = \frac{N}{EI} \quad (19)$$

Ako su struja i napon u fazi, onda je:
 $\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$, djelovanje $N = E \cdot I$. Ako se struja i
 napon međusobno pomaknuli za $(\varphi = 90^\circ)$, onda
 je djelovanje $(N = 0)$.



Razdijelimo struju u dvije komponente (sl. 5):
 jednu u fazi sa naponom $(I \cdot \cos \varphi)$,
 drugu okomito na napon $(I \cdot \sin \varphi)$, onda
 je djelovanje pojednadrži (18) ovisno
 samo o prvoj komponenti u smjeru
 napona. Stoga se zove $(I \cdot \cos \varphi)$ - radna
 komponenta (vatna komp.), a $(I \cdot \sin \varphi)$
bezwatna komponenta (Blindstrom).

Za gubitke uslijed topline i za omovo opadanje
 napona u vodovima i strojevima, mjerodavna je
 totalna struja (I) , dok je za djelovanje mjerodavna
 radna komponenta.

Kao što je bilo spomenuto ranije

$E \cdot I$ prividno djelovanje u (VA)

$E \cdot I \cdot \cos \varphi$ vatno djelovanje u vatiima (W)

$E \cdot I \cdot \sin \varphi$ bezvato djelovanje.

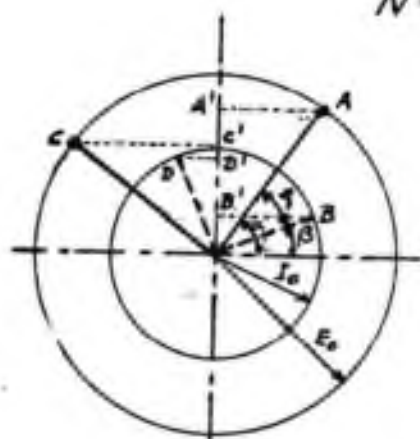
Za dimenzije strojeva je mjerodavno prividno
 djelovanje.

Jednadžbu (18): $N = E \cdot I \cdot \cos \varphi$ možemo dobiti
 također na slijedeći način: (sl. 6)

Djelovanje izmjenične struje je srednja vrijednost
 iz produkta između momentane napetosti i
 momentane struje, t. j.:

$$N = \frac{\sum(e \cdot i)}{m}$$

(20)



Sl. 6.

U dijagramu ruci: $\vec{OA}$ i $\vec{OC}$ konjugirane vrijednosti maksimalnog napona, $\vec{OB}$ i $\vec{OD}$ konjugirane vrijednosti maksimalne struje. Odatle slijedi

$$\vec{OA}' = \vec{OA} \cdot \sin \alpha = E_0 \cdot \sin \alpha$$

$$\vec{OB}' = \vec{OB} \cdot \sin \beta = I_0 \cdot \sin \beta$$

$$\vec{OA}' \cdot \vec{OB}' = E_0 I_0 \sin \alpha \sin \beta \quad \dots \text{I}$$

$$\vec{OC}' = \vec{OC} \cdot \sin(\alpha + 90^\circ) = E_0 \cdot \cos \alpha$$

$$\vec{OD}' = \vec{OD} \cdot \sin(\beta + 90^\circ) = I_0 \cdot \cos \beta$$

$$\vec{OC}' \cdot \vec{OD}' = E_0 I_0 \cos \alpha \cos \beta \quad \dots \text{II}$$

$$\text{I} + \text{II} = E_0 I_0 (\sin \alpha \sin \beta + \cos \alpha \cos \beta) = E_0 I_0 \cos(\alpha - \beta) = E_0 I_0 \cos \varphi$$

U izrazu $[\sum(e \cdot i)]$ ima se uvijek dva adenda, kojih je suma jednaka ($E_0 I_0 \cos \varphi$), prema tome

$$\sum(e \cdot i) = \frac{m}{2} \cdot E_0 I_0 \cos \varphi, \quad N = \frac{\sum(e \cdot i)}{m} = \frac{E_0 I_0 \cos \varphi}{2} = EI \cos \varphi$$

Iz ovog promatranja slijedi općenito:

$$\sum \frac{\vec{OA} \cdot \vec{OB}}{m} = \frac{\vec{OA} \cdot \vec{OB}}{2} \cdot \cos(\angle AOB), \text{ ili, ako metnomo:}$$

$$\frac{\vec{OA}}{\sqrt{2}} = [\vec{OA}], \quad \frac{\vec{OB}}{\sqrt{2}} = [\vec{OB}] \quad \sum \frac{\vec{OA}' \cdot \vec{OB}'}{m} = [\vec{OA}] \cdot [\vec{OB}] \cos(\angle AOB), \quad (21)$$

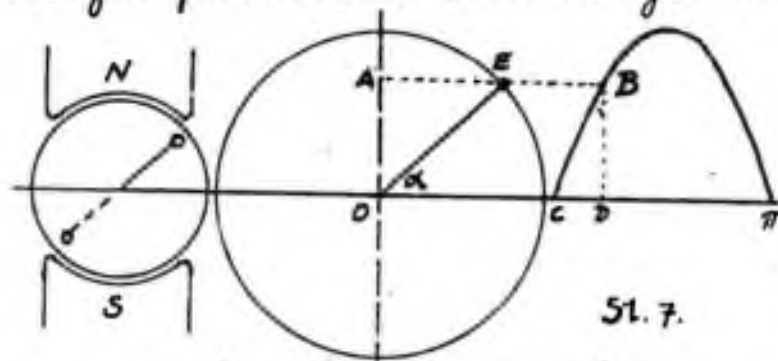
t.j.: Prednja vrijednost sume produkta dviju momentanih vrijednosti, od kojih maksimalne vrijednosti tvore kut (φ), jednaka je produktu efektivnih vrijednosti pomnoženom sa cosinusom toga kuta (φ).

4. Računanje sa vektorima.

Prihvaćanje izmjeničnih veličina pomoću vektora je vrlo zgodno za brzi pregled i računanje. Ovakvo prihvaćanje je sasvim tačno samo za sinus, idealni polar krivulja struje i napona.

U slici (7) okreće se vektor ($\vec{OE}$) sa kutnom brzinom: $\omega = 2\pi \cdot n$; njena duljina odgovara veličini (E_0). Kao pozitivan smjer okretanja odaberemo

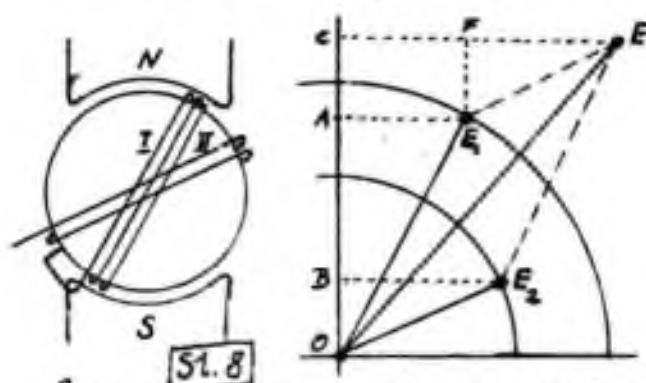
smjer protivno okretanju kazala sata. $z_q(t=0)$



51.7.

je ($\alpha = 0$); svitak leži u neutralnoj zoni; kraka napona pada zajedno sa pozitivnim smjerom osi apscisa. U kojem god

momentu rastrova kraka sa osovinom kut (α). Momentana vrijednost napona (ϵ) je onda ($E_0 \cdot \sin \alpha$) t. j. ona je jednaka projekciji (OA) krake (OE) na okomitu os. U nacrtanoj je krivulji maksimalna vrijednost jednaka (E_0); luk (CB) je razmjeritani moment jednak luku (α), te je (BD) jednako momentanoj vrijednosti (OA).



51.8

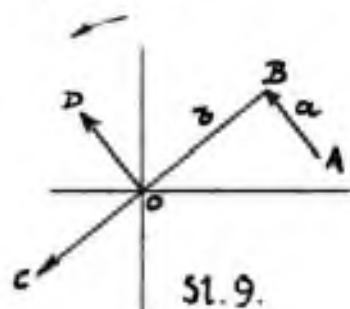
Ako su na armaturi stroja (sl. 8) dva u seriju spojena svitka, jedan nam prema drugomu odmaknuti za određeni kut, onda u sl. (8) nacrtane krake (OE_1) i (OE_2) odgovaraju ma-

kimalnoj vrijednosti inducirane napetosti. (Svitak I ima veći broj zavoja; maksimalni napon je u tom svitku veći nego li onaj u svitku II.) Smjerovi odgovoraju smjeru svitaka. Vektorskom sumacijom od (OE_1) i (OE_2) dobijemo sumu (OE); uz to projiciramo sve te veličine na vertikalnu os tako, da dobijemo dužine (OA), (OB) i (OC). Jer je $\Delta(OE_2 B) \cong \Delta(E, EF)$ bit će suma momentanik vrijednosti ($OA + OB$) jednaka momentanoj vrijednosti (OC), t. j. geometričnog sumi (OE). Napone i struje može se geometrično sastaviti: (OE_1) je u fazi ispred (OE_2), jer kraka (OE_1) prolazi prije kroz vertikalnu os (kod okretanja), nego li kraka (OE_2). Kut za kojega je (OE_1) ispred (OE_2) odgovara kutu što ga čine svitci I i II na armaturi. - Okrećeli se

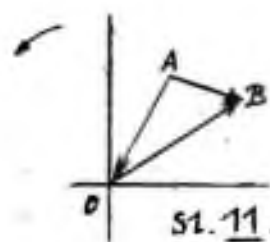
stroj u suprotnom smjeru, onda moramo zrake crtati tako, da (OE_2) leži u fazi ispred (OE_1) .

Namjesto maksimalnih vrijednosti (E_0) i (I_0) može se također uzeti efektivne. U tom se slučaju samo promijeni mjerilo.

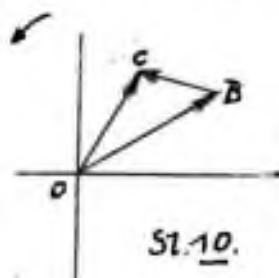
Kod crtanja dijagrama nije potrebno crtati sve zrake tako da idu kroz izvor koordinata. U tom se slučaju označi smjer strijelicom, te se postavi početne i konačne tačke tako, da odgovaraju smjeru zrake.



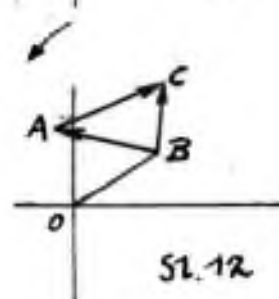
Sli. 9.



Sli. 11.



Sli. 10.

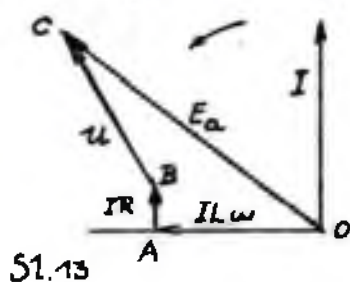


Sli. 12.

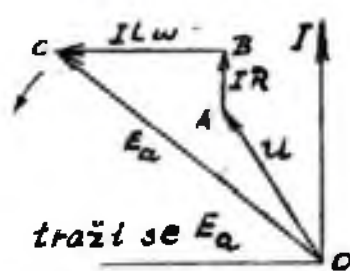
Sli. 9) Zraka (a) odgovara zraku (OD) , prema tome oznaka i oznaka (AB) , a ne (BA) . Zraka (b) je identična sa zrakom (OC) ; oznaka: (BO) , a ne (OB) . Zrake se crte uvijek jednom do druge. - U slici (10) daje suma $(OB + BC)$ zraku (OC) . - U slici (11) odgovara sumi $(AO + OB)$ zraka (AB) ; smjer je od (A) prema (B), jer smo počeli sa točkom (A), te došli u smjeru strijelice preko (O) u (B). - U slici (12) je suma $(BA + AC)$ jednaka (BC) , jer smo počeli sa (B), te smo išli u smjeru strijelice preko (A) do (C). Na isti se način može također subtrahirati jednu zraku od druge, i to tako, da se obrne smjer zrake, te da se onda sumira: ako izlaze vektori iz jedne tačke - kao u slici 10 - onda je diferencija jednaka spojnici konačnih kraćaka te čini nastavak subtrahirane zrake. U ovoj

slici je: $OB + BC = OC$, prema tome: $OC - OB = BC$, te: $OB = OC - BC$: Iz oznaka se vidi, da je diferen- cija nastavak subtrahirane zrake. —

Kirchof-ovi zakoni vrijede za izmješni krug isto tako kao i za istosmjerni, ako se umjesto algebarske sume geometrijske sume.



S1.13



S1.14.



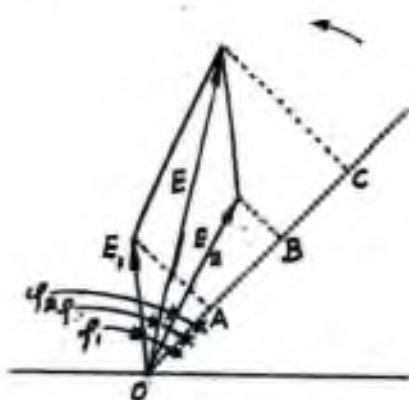
S1.15.

slici (14) crtali smo isto, samo smo promijenili red: $\overline{OA} = u$; $\overline{AB} = I \cdot R$ u fazi sa strujom, $\overline{BC} = I \cdot Lw$ za 90° pred strujom; $\overline{OC} = E_a$.

Namjesto opadanja $(I \cdot Lw)$ možemo uzeti proizvedeni napon samoindukcije (E_s) , koji razstaje za strujom za 90° . Onda vrijedi slika (15): $\overline{OA} = I \cdot R$, $\overline{AB} = u$; $\overline{OB}$ je totalno opadanje. Ovo opadanje mora biti jednako sumi proizvedenih napona. $(\overline{OC})$ je napon proizveden od polja; $(\overline{CB})$ je za 90° za strujom - napon samoindukcije.

Na isti način može se sastavljati djelovanja. Sl. (16) prikazuje napone (E_1) i (E_2) u seriji. Struja (I)

Za generator je na pr. proizvedena napetost (sl.13) - $EMS - (E_a)$ geom. trijuga suma između unutarnjeg opadanja napona, i napona na steraljkama (u) , koji je jednak trošenom naponu u vanjskom krugu. Kako ćemo kasnije vidjeti sastoji se unutarnje opadanje iz: omovog opadanja - koje ima istu fazu kao i struja, te od induktivnog opadanja $(I \cdot Lw)$, koje je u fazi za 90° pred strujom. Nacrtajmo to u slici (13); crtamo: $\overline{OA} = I \cdot Lw$ za 90° pred strujom, $\overline{AB} = I \cdot R$ u fazi sa strujom; $\overline{BC} = u$ je opadanje napona u vanjskom krugu; onda je vektor $(\overline{OC})$ jednak (E_a) - u



S1.16.

razstaje u fazi prema (E_1) za kut (φ_1), prema (E_2) za kut (φ_2), te napram totalnom naponu (E) za kut (φ). Ako Projiciramo zrake (E_1, E_2, E) na struju (I), onda dolimo:

Djelovanje je ($E \cdot I \cdot \cos \varphi$), t.j.: struje $\times$ onaj dio napona ($E \cdot \cos \varphi$), koji ima istu fazu sa strujom. Prema tome je suma pojedinih djelovanja:

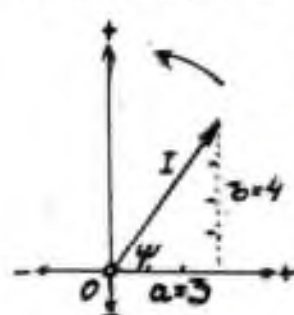
$$E_1 \cdot I \cdot \cos \varphi_1 + E_2 \cdot I \cdot \cos \varphi_2 = I \cdot \overline{OA} + I \cdot \overline{OB}. \text{ Jer je}$$

$$\overline{OA} + \overline{OB} = \overline{OC} = E \cdot \cos \varphi,$$

$$\text{dolijemo: } E_1 \cdot I \cdot \cos \varphi_1 + E_2 \cdot I \cdot \cos \varphi_2 = EI \cdot \cos \varphi \quad \dots (20)$$

Djelovanje totalnog napona jednako je sumi djelovanja pojedinih napetosti.

Zrake ili vektore struje i napona može sevesti također i u račun - simbolički račun.



Sl. 17

Traki vektor određen je dužinom i smjerom. Dužina odgovara ovdje efektivnoj vrijednosti struje ili napona; smjer odredi fazu, t.j. kut sa pozitivnim smjerom osi abscisa. - Označimo struju, odnosno napon, sa gotakim slovom (J), odnosno ($\mathcal{E}$), onda si kod toga uvijek ramišljamo da ima vektor (J) određenim jakost (I), te određenim kut, fazu (φ). Kut (φ) je visan o momentu za kojismo crtali ove vektore, prema tome on nije jednak kutu (ψ).

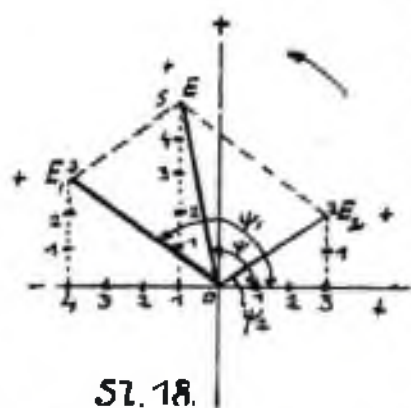
U slici (17) sastoji se struja (J) iz djelomične struje (a) - u smjeru pozitivne horizontalne osi, te struje (b) u smjeru okomice. Da naznačimo da (b) leži za (90°) u pozitivnom smjeru okrenuto prema (a), množimo (b) sa ($+j$) - imaginarnom veličinom ($\sqrt{-1}$). Ako je prema tome (I) efektivna vrijednost, te (φ) faza struje, onda vrijedi:

$$J = a + j \cdot b ; \quad \text{tg } \varphi = \frac{b}{a} ; \quad I = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \dots (21)$$

Kao što se vidi iz slike, možemo jednadžbu

($J = a + j \cdot b$) pisati također:

$$J = I \cdot \cos \psi + j \cdot I \cdot \sin \psi \quad (22)$$



Sl. 18.

U slici (18) imamo napone (E_1) te (E_2), kojima odgovaraju kutovi (ψ_1) i (ψ_2). Tuma ima efektivnu vrijednost (E), te fazu (ψ). Iz slike slijedi:

$$\underline{E}_1 = -4 + j \cdot 3; \underline{E}_2 = +3 + j \cdot 2$$

$$\underline{E} = \underline{E}_1 + \underline{E}_2 = -1 + j \cdot 5$$

$$E = \sqrt{(-1)^2 + 5^2} = \sqrt{26}; \quad \tan \psi = \frac{+5}{-1} = -5$$

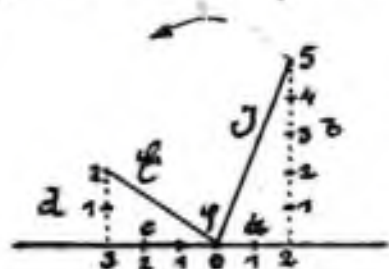
Okrenemo li vektor ($\underline{E}$) za (180°) dobijemo ($-\underline{E}$). Prema tome množenje sa (-1) okrene vektor za (180°). Prije smo odredili da množenje sa ($+j$) okrene vektor za (90°) u pozitivnom smjeru. Množenje sa ($-j$) okrene vektor za (90°) u negativnom smjeru. Dva puta množiti sa (j) ili sa (j^2), okrene vektor za $2 \cdot 90^\circ = 180^\circ$. Vektor ($\underline{E}$) pretvori se u vektor ($-\underline{E}$); prema tome vrijedi:

$$j^2 \cdot \underline{E} = -\underline{E}; \quad j = \sqrt{-1} \quad (23)$$

(j) je, što je rečeno, imaginarna jedinica: $i = \sqrt{-1}$

Jedn. (21) do (23) dade nam vektore u kompleksnom obliku. Komponente u smjeru negativne okomite osi uzmu se kao negativne imaginarne veličine u računu, a komponente u smjeru pozitivne okomite osi, kao pozitivne imaginarne veličine. - To je t. zv. "simbolični račun".

Napon i struju možemo simboličnim računom odrediti: Djelovanje se ne može, jer ima (sl. 4) dvostruku frekvenciju. Ipak se može srednju vrijednost (N) djelovanja iz simboličnog oblika struje



Sl. 19

struje i napona odrediti: U sl. (19) je: struja ($J = a + j \cdot b$), napon ($\underline{E} = c + j \cdot d$). Djelovanje totalnog napona jednako je sumi djelovanja pojedinih dijelova. Djelo,

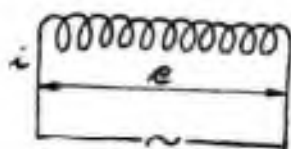
nični napon (c) daje sa strujom (a) djelovanje (a.c), a sa strujom (b) djelovanje (b), jer je pomak faza (90°). Isto tako daje djelomični napon (d) sa strujom (a) djelovanje (b), a sa strujom (b) djelovanje (b.d). Prema tome je totalno djelovanje

$$N = a.c + b.d$$

U slici je $I = 2 + j.5$, $E = -3 + j.2$; prema tome:

$$N = -3.2 + 2.5 = 4$$

5. Ohmov zakon.



Sl. 20

Spojimo svitak bez željeza - sl. 20 - sa izvo-
rom struje sinusoidalnog oblika
teći će kroz svitak u određenom
momentu struje (i), koju proizvodi
da napon (e) izvora struje. Struja
proizvodi magnetični tok, koji
se mijenja sa strujom. Ova promjena inducira
u zavojima EMF samoindukcije, koju moramo
dodati naponu stroja. Označimo sa (e_s) momen-
tarnu vrijednost ove EMF, a sa (R) otpor kruga,
onda vrijedi:

$$i = \frac{e + e_s}{R} \quad (24)$$

(e_s) nam daje jednačina: $e_s = -L \frac{di}{dt}$, ako (L) znači
koeficijent samoindukcije.

a. Otpor bez samoindukcije.

U tom je slučaju ($L = 0$), prema tome ($e_s = 0$),

$$i = \frac{e}{R} \quad (25)$$

Jer je ($e = E_0 \cdot \sin(\omega t)$), biti će: $i = \frac{E_0}{R} \cdot \sin(\omega t)$.

Za [$\sin(\omega t) = 1$] postane (i) maksimum:

$$i = I_0 = \frac{E_0}{R}$$

Dijelimo li desnu i lijevu stranu sa ($\sqrt{2}$) dobijemo

$$\frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{E_0}{\sqrt{2} R}$$

Jer je: $\frac{I_0}{\sqrt{2}} = I$, te: $\frac{E_0}{\sqrt{2}} = E$ (efektivne vrijednosti), sledi

$$I = \frac{E}{R}, \quad E = I \cdot R \quad (26)$$

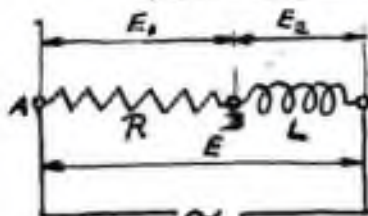
U jednadžbe: $I_0 = \frac{E_0}{L \cdot \omega}$ slijedi, ako dividiramo sa $\sqrt{2}$, sa efektivnom vrijednošću:

$$I = \frac{E}{L \cdot \omega} = \frac{E_2}{L \cdot \omega} \quad (30)$$

$$E_2 = I \cdot L \omega \quad (31)$$

$(L \cdot \omega)$ je induktivni otpor - reaktancija. —

C. Svitak sa otporom i samoindukcijom.

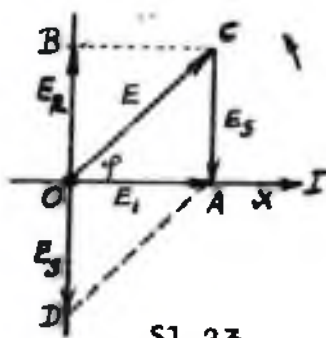


Sl. 22.

Kada imademo svitak sa otporom i samoindukcijom, možemo si zamisliti svitak sa otporom bez samoindukcije, spojen u seriju sa svitkom bez otpora (a sa samoindukcijom).

Sl. (22) prikazuje ovaj spoj: (AB) je otpor bez samoindukcije, (BC) je svitak bez otpora. Izvor izmjenične struje zamislimo si opet bez otpora i samoindukcije, i da daje struju sinusoidalnog oblika. Ako je (E) EMS stroja, koja je u našem slučaju je, jednaka naponu steraljke, onda teče struja (I), koja prouzroči između (A) i (B) napon (E_1), a između (B) i (C) napon (E_2). Već se iz slike vidi da mora biti:

$E = E_1 + E_2$, ali adiramo geometrijski!



Sl. 23

U slici (23) je (OX) smjer struje; $E_1 = \overline{OA}$ pada zajedno s tim smjerom; $E_2 = \overline{OB}$ je, kao napon na steraljki, na svitku bez otpora, sa (90°) pred strujom; dijagonala: $\overline{OC} = E$; sa (E) se vidi iz slike da leži sa kut (φ) pred strujom. Prema tome imademo pravilo:

Teče li izmjenična struja kroz svitak sa otporom i samoindukcijom, rastane u dijagramu vektor struje iz vektora napona sa kut (φ); struja i napon nemaju istu fazu.

Jer je ($E_2 = \overline{OB}$), a jer je ova napetost jednaka ali suprotna EMS samoindukcije, je: $\overline{OD} = \overline{BO} = E_2$. (E_2) rastane prema tome sa (90°) iz vektora struje.

Za napone (E_1), odnosno (E_2) vrijedi:

$$E_1 = I \cdot R \quad ; \quad E_2 = E_3 = I \cdot L\omega$$

($I \cdot R$) je napon radni napon (E_R). Zamislimo u slici (23) (A) i (O) spojene, onda je ($\vec{OA} = IR$) rezultirajući vektor dviju vektora: ($\vec{OD} = E_3$) i ($\vec{OC} = E$).

Fazni kut (φ) slijedi iz $\Delta(AOC)$:

$$\tan \varphi = \frac{AC}{OA} = \frac{I \cdot L\omega}{I \cdot R} = \frac{L\omega}{R} \quad (32)$$

Kut (φ) je prema tome neovisan o jakosti struje; on je ovisan samo o otporima (R) i ($L\omega$), jer i ($L\omega$) možemo smatrati kao otpor, koji je tim veći što je - uz isti (L) - veći broj perioda. - Najveća vrijednost kuta (φ) je (90°), t.j. kada je ($R=0$). Najmanja vrijednost je ($\varphi=0$), ako je ($L=0$). Iz trokuta $\Delta(AOC)$ slijedi dalje:

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 = (IR)^2 + (I \cdot L\omega)^2 = I^2 [R^2 + (L\omega)^2]$$

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \quad (33)$$

ovo je Ohmov zakon za krug s otporom i induktivitetom. ($\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$) je prividni otpor - impedansa, (Z_s).

Ohmov zakon dakle glasi:

$$\text{efektivna jakost struje} = \frac{\text{efektivni napon}}{\text{prividni otpor}}$$

$$\text{efektivni napon} = \text{efektivna jakost} \cdot \text{prividni otpor}$$

$$\text{prividni otpor} = \frac{\text{efektivni napon}}{\text{efektivna struja}}$$

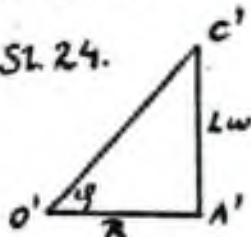
Pomoću jednadžbe: $Z_s = \frac{E}{I}$ može se ispitati, da li ima otpor induktivitet ili ne. Najprije se mjeri sa istosmjernom strujom napon i struja; s time se izračuna ohmov otpor: $R = \frac{E}{I}$. Zatim se ponovi mjerenje sa izmjeničnom strujom, te se dobije: $Z_s = \frac{E}{I}$. Ako je ($R = Z_s$) onda otpor nema induktiviteta. - Osim bifilarno motanih svitaka može se još i smatrati kao otpor bez induktiviteta: žarulje, luke, kratke ravne žice, te telurine.

Iz jednadžbe

$$Z_s^2 = R^2 + (L\omega)^2 \quad (34)$$

slijedi da (Z_s) nije ništa drugo nego hipotenuza pravokutnoga trokuta sa katetama (R) i $(L\omega)$.

Sl. 24.



Sl. (24) prikazuje taj "trokut otpora".

Iz tog se trokuta vidi, da je (Z_s) to veće što je veći broj perioda ($\omega = 2\pi \sim$).

Jer je: $\tan(\angle A'O'C') = \frac{L\omega}{R}$, odgovarajući $(A'O'C')$ kutu (φ). Prema tome mora

biti:

$$\Delta(A'O'C')_{sl.24} \sim \Delta(AOC)_{sl.23}$$

t.j. trokutu napona. Dakle: in trokuta otpora dolije se trokut napona, ako se sve strane multipli, cije sa (I).

Pretpostavimo konačno, da je od svitke obukva, deni tok indukcije proporcionalan struji, i da on ima istu fazu kao struja, koja proizvodi ovaj tok. Prema tome vrijedi pravilo:

Napon samoindukcije ne raste samo sa strujom sa (90°) , već i sa tokom, koji proizvoda ovu napetost.

Teče li dakle kroz vod koji ima samo ^{otpor otpora (R)} sinusoidalna struja ($i = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin \omega t$), onda je u svakom momentu napon steraljka:

$$e_R = i \cdot R = \sqrt{2} \cdot I_R \cdot \sin(\omega t) \cdot R = \sqrt{2} \cdot E_R \cdot \sin(\omega t) \quad (35)$$

$$E_R = I_R \cdot R$$

Za svitak sa samoindukcijom bez otpora vrijedi:

$$e_s = L \frac{di}{dt} = \sqrt{2} \cdot I \cdot \omega L \cdot \cos(\omega t) = \sqrt{2} \cdot E_s \cdot \cos(\omega t) \quad (36)$$

$$E_s = I \omega L = I \cdot X_s$$

Napon steraljka (e_s) leži sa (90°) pred strujom. Na, mjesto otpora imademo veličinu

$$X_s = \omega L = 2\pi \sim L \quad (37)$$

Ako imademo otpor i samoindukciju, onda vrijedi:

$$e_{zs} = e_R + e_s = \sqrt{2} \cdot I \cdot R \cdot \sin(\omega t) + \sqrt{2} \cdot I \cdot X_s \cdot \cos(\omega t) \quad (38)$$

$$\text{Uz: } Z_s = \sqrt{R^2 + X_s^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (39)$$

$$\frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{R}{Z_s} = \cos \varphi_s ; R = Z_s \cdot \cos \varphi_s \quad (40)$$

$$\frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{X_s}{Z_s} = \sin \varphi_s ; X_s = Z_s \cdot \sin \varphi_s \quad (41)$$

$$\frac{X_s}{R} = \frac{\omega L}{R} = \operatorname{tg} \varphi_s \quad (42)$$

dobivamo:

$$\begin{aligned} e_{zs} &= \sqrt{2} \cdot I \cdot Z_s \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos \varphi_s + \sqrt{2} \cdot I \cdot Z_s \cdot \cos(\omega t) \cdot \sin \varphi_s = \\ &= \sqrt{2} \cdot I \cdot Z_s \cdot \sin(\omega t + \varphi_s) = \sqrt{2} \cdot E_{zs} \cdot \sin(\omega t + \varphi_s) \end{aligned} \quad (43)$$

Efektivna vrijednost napona na steralkama je

$$E_{zs} = I \cdot Z_s \quad (44)$$

Napon leži pred strujom za kut (φ_s). Za momenta, u vrijednost struje dobijemo (iz napona):

$$i = \frac{\sqrt{2} \cdot E_{zs}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (45)$$

Uvedemo li napetost samoindukcije u sin., vilički račun, dobijemo slijedeće jednadžbe (vidi sl. 25):
 Jer napon samoindukcije raostane za (90°) iz struje (J), dobijemo ($\mathcal{E}_s$) ako množimo (J) ne samo sa ($L\omega$), nego također i sa ($-j$). Na isti način dobijemo - ako je otpor nula, ili skoro jednak nuli - napon ($\mathcal{E}$) napona na steralkama, koja prolazi za (90°) pred strujom, ako množimo (J) sa ($L\omega$) i (j). Prema tome

$$\text{vrijedi: } \mathcal{E}_s = -j \cdot L\omega \cdot J \quad (46)$$

$$\mathcal{E} = +j \cdot L\omega \cdot J \quad (47)$$

Neka je na pr. kao u slici (25):

$$J = 3 + 2j ; L\omega = 2 ; \text{ onda, jer je } j^2 = -1,$$

dobivamo:

$$\mathcal{E}_s = -j \cdot 2(3 + 2j) = 4 - j \cdot 6$$

$$\mathcal{E} = +j \cdot 2(3 + j \cdot 2) = -4 + j \cdot 6$$

Onda su efektivne vrijednosti:

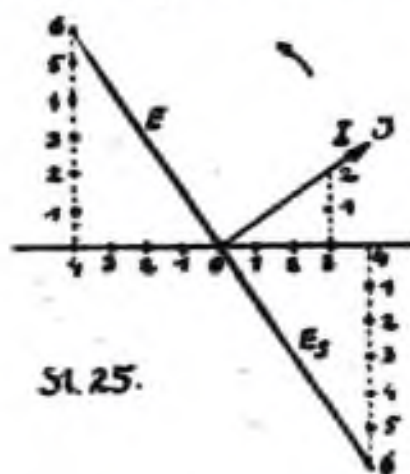
$$I = \sqrt{3^2 + 2^2} = 3,6 ; E_s = E = \sqrt{4^2 + (-6)^2} = 7,2$$

Tangens kuta između vrake i pozitivnog smjera abscise osi je:

za struju: $\frac{+2}{+3}$; za napon samoindukcije: $\frac{-6}{+4}$;

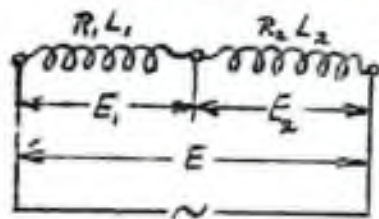
za napon steralka: $\frac{+6}{-4}$. - (J) leži prema tome u (1.)

($\mathcal{E}_s$) u (4.), a ($\mathcal{E}$) u (2.) kvadrantu.

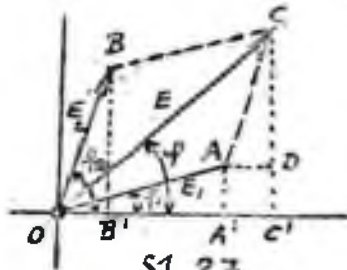


Sl. 25.

d. Serijski spoj više vitaka.



Sl. 26.



Sl. 27

zamislamo si vitke sa otporima (R_1) i (R_2), te koeficijentima samoindukcije (L_1) i (L_2), ukopčane u seriju u krug stroja bez otpora i induktiviteta. Kroz vitke teče efektivna struja (I), koja prouzrokuje na svakom od vitaka prvog vitka elektromotorni napon (E_1), a na svakom od vitaka drugog vitka ef. napon (E_2). Ukupni napon je (E). Svaki vitak ima svoj trokut napona i otpora. Iz trokuta otpora prvog vitka slijedi: $\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{L_1 \cdot \omega}{R_1}$; iz trokuta otpora drugog vitka: $\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{L_2 \cdot \omega}{R_2}$. Jer su sve veličine poznate možemo izračunati (φ_1) te (φ_2), i nacrtati dijagram napona od (E_1 , E_2 , E), jer (E) mora biti geometrijska suma od (E_1) i (E_2).

U slici (27) odaberemo struju (I) za abscisu; tada prolazi napon ($\overline{OA} = E_1$) pred strujom sa kut (φ_1), a napon ($\overline{OB} = E_2$) sa kut (φ_2). Dijagonala ($\overline{OC}$) je onda napon (E). - Vrtimo li okomice ($\overline{AA'}$) i ($\overline{BB'}$) onda je $\Delta(OAA')$ trokut napona prvoga, $\Delta(OBB')$ trokut napona drugoga vitka. - Okomice ($\overline{CC'}$) dođe nam $\Delta(OCC')$, t. j.: trokut napona cijelog vitaka. - Povučemo ($\overline{AD}$) paralelno s ($\overline{OC'}$) onda vrijedi:

$$\Delta(ADC) \cong \Delta(OB'B),$$

prema tome:

$$\overline{AD} = \overline{OB'}$$

$$\overline{CD} = \overline{BB'}$$

$$\overline{CC'} = \overline{AA'} + \overline{BB'}, \quad \overline{OC'} = \overline{OA'} + \overline{OB'}$$

($\overline{AA'}$) i ($\overline{BB'}$) su EMS samoindukcije; ($\overline{CC'}$) odgovara obim vitcima; prema tome:

EMS samoindukcije u seriji spojenih vitaka se sumiraju.

($\overline{OA'}$) i ($\overline{OB'}$) i ($\overline{OC'}$) su radne EMS vitaka. Jer je: $\overline{OC'} = \overline{OA'} + \overline{OB'}$.

vrijedi: Radne EMS u seriju spojenih svitaka se su-
miraju.

U trokutu (OCC') vrijedi jednačina:

$$\overline{OC}^2 = \overline{OC'}^2 + \overline{CC'}^2, \text{ ili - jer je:}$$

$$\overline{OC'} = I R_1 + I R_2 = I (R_1 + R_2), \text{ odnosno: } \overline{CC'} = I \omega L_1 + I \omega L_2 = I \omega (L_1 + L_2); \quad \overline{OC}^2 = E^2 = I^2 \{ (R_1 + R_2)^2 + [\omega (L_1 + L_2)]^2 \} - \text{dakle:}$$

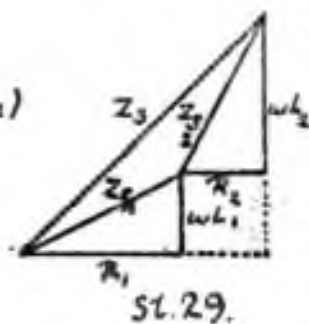
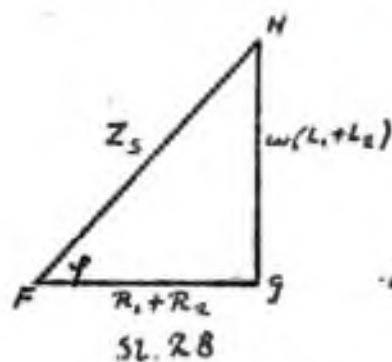
$$I = \frac{E}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + [\omega (L_1 + L_2)]^2}} \quad (48)$$

$\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + [\omega (L_1 + L_2)]^2} = Z_s$ - je prividni otpor oblika svitaka, to je jednak hipotenuzi trokuta, kojega su katete veličine $(R_1 + R_2)$ i $[\omega (L_1 + L_2)]$ - sl. (28). Gvaj trokut je trokut otpora oblika svitaka.

Iz ovog trokuta slijedi:

$$\text{tg } \varphi = \frac{\omega (L_1 + L_2)}{R_1 + R_2} \quad (49)$$

U slici (29) crtali smo trokut otpora još jedamputa; iz ove slike se vidi, da se radni i induktivni otpori aritme-



tički, a prividni otpori geometrijski sumiraju. Naponi slijede iz jednačina:

$$E_1 = I \cdot Z_{s1}; \quad E_2 = I \cdot Z_{s2}; \quad E = I \cdot Z_s \quad (50)$$

Djelovanje u pojedinim svitcima je:

$$N_1 = E_1 \cdot I \cdot \cos \varphi_1; \quad N_2 = E_2 \cdot I \cdot \cos \varphi_2;$$

$$\text{ukupno: } N = E \cdot I \cdot \cos \varphi = N_1 + N_2; \quad (51)$$

$$\text{jer je: } N_1 = I \cdot \overline{OA'}, \quad N_2 = I \cdot \overline{OB'}; \quad N_1 + N_2 = I \cdot (\overline{OA'} + \overline{OB'}) = I \cdot \overline{OC'} = N.$$

Ako imamo više svitaka u seriji, onda je prividni otpor (Z_s) svih svitaka hipotenuza pravokutnog trokuta sa katetama (ΣR) i $(\omega \Sigma L)$.

Prividni otpor možemo isto tako kao i napon i struju, smatrati sa veličinu određenu smjerom, koje formi kut (φ) nije promjenljiv. Načrtamo radni otpor u horizontalnoj osi, možemo pravokutno crtati i induktivnog otpora simbolički izraziti. Prividni otpor (Z) je onda:

$$Z_s = R + j \cdot \omega L \quad (52)$$

sa znakom (j) zamislimo spojenu veličinu

$$\frac{1}{6} = 73s$$

$$\mathcal{G} = \mathcal{I} \mathcal{Z}_s \quad \dots \dots \dots (53)$$

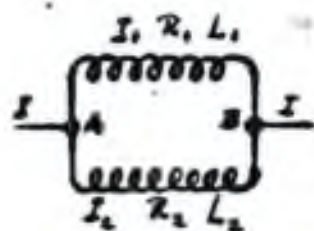
Je ovaj promatranja slijedi: Množenje veličina određenim smjerom, daje veličinu koja je jednaka produktu pojedinih veličina, koje je faza jednaka sumi pojedinih faza ($\varphi + \varphi$).

$E = 118$. Struja je: $\vec{I} = \frac{E}{\vec{Z}_S} = \frac{118}{10 + j \cdot 428}$. Nazivnik napro-
vimo realnim, ako množimo kvocijent sa $(10 - j \cdot 428)$:
$$\vec{I} = \frac{118}{10 + j \cdot 428} \cdot \frac{10 - j \cdot 428}{10 - j \cdot 428} = \frac{118}{10^2 + 428^2} \cdot (10 - j \cdot 428) = 4,5 - j \cdot 5,51$$

$$I = \sqrt{2,5^2 + 5,31^2} = 10; \operatorname{tg} \varphi = \frac{-5,31}{2,5} = -2,124$$

c. Paralelni spoj svitaka.

Trnjenična struja razgrani so u točki (A) - sl. (31)



Sl. 31.

u struje (I_1) i (I_2). U tački (B) spajanje se ponovno u struju (I). Otpor pojedinih grana je (R_1) i (R_2), koeficijenti indukcije (L_1) i (L_2). Ako je (E) napon između (A) i (B), onda vrijedi:

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}}; \quad I_2 = \frac{E}{\sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2}}$$

Divarijacija daje:

$$I_1 : I_2 = \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2} : \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}$$

t. j.: jakosti struje odnose se obrnuto kao otpori prividni. - Totalna struja

(I) je dijagonala paralelograma, stoga čine struje (I_1) i (I_2) - sl. 32. - Ako je (OA) smer napona (E), onda zatvara struja ($I_1 = OB$) kut (φ_1), struja ($I_2 = OC$) kut (φ_2) sa naponom (OA). (φ_1) i (φ_2) određuju jednačine:

$$\text{tg } \varphi_1 = \frac{\omega L_1}{R_1}; \quad \text{tg } \varphi_2 = \frac{\omega L_2}{R_2}$$

Za dijagonalu (I) vrijedi:

$$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (54)$$

f. Kondenzator u krugu izmjenične struje.

Spoj, koji se sastoji iz izvora izmjenične struje, voda i kondenzatora - može se smatrati zatvorenim krugom. Kod približavanja otjelo od negativne ploče kondenzatora ista množina elektriciteta, koja dotječe pozitivnoj ploči. Struja dovoda nastavlja se kroz dielektrikum /: pomaćuna struja - vidi: I-15:/. Isti smo slučaj kao kod kondenzatora ima svaki vod, i t. d., kapaciteta (C).

Ako raste napon na kondenzatoru kapaciteta (C) Farada u vreme (dt) za ($d\varphi$), onda je prirast množine elektriciteta:

$$dQ = C \cdot d\varphi,$$

prema tome je momentana vrijednost struje:

$$i = \frac{dQ}{dt} = C \cdot \frac{d\varphi}{dt}; \quad (55)$$

prema tome:

$$Q_c = \frac{1}{C} \int_{i=0}^{i=i} i \cdot dt \quad (56)$$

Oko je struja sinusoidalna: $i = I_0 \cdot \sin(\omega t)$, dolijemo:

$$e_c = \frac{1}{C} \int I_0 \cdot \sin(\omega t) \cdot dt = -\frac{I_0}{C\omega} \cdot \cos(\omega t) = \frac{I_0}{C\omega} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (57)$$

Maksimalna vrijednost napona:

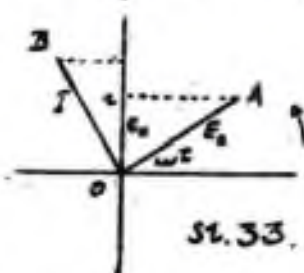
$$E_c = \frac{I_0}{C\omega} \quad (58)$$

Dijelimo lijevu i desnu stranu sa (12), dobiti ćemo električne vrijednosti:

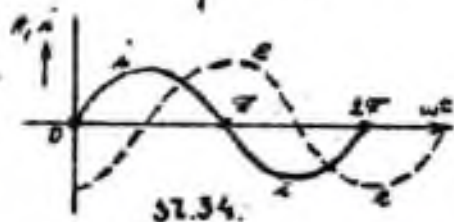
$$I = C \cdot E_c \cdot \omega, \quad E_c = \frac{I}{C\omega} \quad (59)$$

(Cω) možemo smatrati kao električnu vodljivost.

Jednadžba (57) nam kaže, da je napon kondenzatora za strujom za kut od (90°), t.j.: struja prolazi za (90°) pred naponom kondenzatora — sl. 33. — Uz:



Sl. 33.



Sl. 34.

($\omega t = 0$) je ($i = 0$), napon ima najveću vrijednost, negativni maksimum. Kondenzator je nabit, te se počne izbijati; ako počne padati napon — sl. 34. — Struja i napon imaju protivan smjer. — Za ($\omega t = \frac{\pi}{2}$) je promjena napona maksimalna, prema tome također i jakost struje, ... i t. d. Za prvi četvrtini p.

rijode — struja i napon suprotan smjer — je dovedeno djelovanje negativno, kondenzator dobiva energiju iz mreže. U drugoj četvrtini imamo nabijanje; dovedena energija postigne maksimalnu vrijednost koju možemo pomoću jednadžbe (55):

$$\int_{e_c}^{e_c} i \cdot dt = \int_{e_c}^{e_c} C \cdot e_c \cdot de_c = \frac{C \cdot e_c^2}{2} \quad (60)$$

Jer je pozitivna radnja jednaka negativnoj radnji, bit će srednja vrijednost djelovanja jednaka nuli.

U simboličnom računu izrazimo razostojanje napona kondenzatora za strujom tako, da pišemo:

$$Z_c = -j \frac{1}{C\omega} \quad J = j \cdot C\omega \cdot E_c \quad (61)$$

Zadnja jednadžba slijedi iz:

$Z_c = -j \frac{1}{C\omega}$, $J = Z_c \cdot \frac{C\omega}{(-j)} \cdot \frac{1}{j}$ ($\frac{1}{j}$ — da načinimo razvnik realan. Prema tome je: $J = j \cdot C\omega \cdot E_c$, jer je: $j^2 = -1$)

Mjerimo (E_c) u voltima, (I) u amperima moramo mjeriti (C) u faradima. Obično se uzme za mjernu "mikro-farad" (MF):

$$1 \text{ MF} = 10^{-6} \text{ F} \quad / \text{ farad:} \quad (62)$$

Spoji li se više kondenzatora u seriju, onda je rezultirajući kapacitet:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (63)$$

Za paralelni spoj kondenzatora vrijedi:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad (64)$$

1: Vidi I - 164

g. Serijski spoj kondenzatora sa otporom bez induktiv.

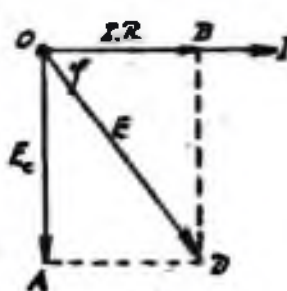
Otpor (R) spojimo u seriju sa kapacitetom (C).

Onda vrijedi:

$$e = i \cdot R + \frac{1}{C} \int i \cdot dt \quad (65)$$

Totalni napon sastoji se iz napona efektivne vrijednosti ($I \cdot R$), koji je sa strujom u fazi, te iz napona ($\frac{I}{C \cdot \omega}$), koji zaostaje za (90°) - kapacitivni napon. U slici (35) je: ($\overline{OA}$) napon (E_c) kondenzatora; ($\overline{OB}$) napon na krajevima otpora (R); totalni napon je dijagonala ($\overline{OD}$), koju određuje jednačina:

$$E^2 = \overline{OA}^2 + \overline{OB}^2 = \frac{I^2}{(C \cdot \omega)^2} + I^2 R^2, \text{ ili} \quad (66)$$



S1.35

Totalni napon sastoji se od strujom sa kut (φ), kojega određuje:

$$\tan \varphi = \frac{\overline{BC}}{\overline{BO}} = \frac{I \cdot \omega}{I \cdot R} = \frac{1}{C \cdot \omega \cdot R} \quad (67)$$

Dijelimo li u slici (35) sve vektore sa (I), dobijemo pravokutni trokut otpora - sl. 36. - u kojem je (R) radni otpor, ($\frac{1}{C \cdot \omega}$) kapacitivni, te ($Z_c = \frac{E}{I}$) prividni otpor, za kojega vrijedi

$$Z_c = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(C \cdot \omega)^2}} \quad (68)$$

S1.36.

U simboličkom računu moramo uvažiti da ($\frac{1}{C \cdot \omega}$) zaostaje za (90°) za otporom (R), prema tome množimo sa ($-j$)

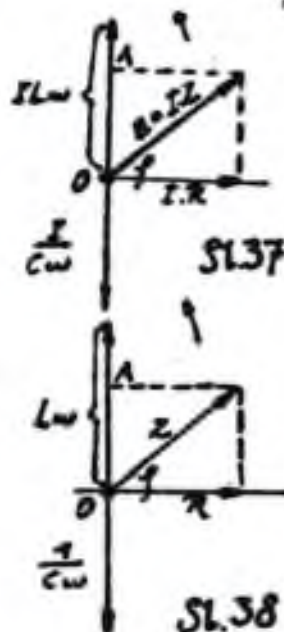
$$Z_c = R - j \cdot \frac{1}{C \cdot \omega} \quad (69)$$

Kapacitivni otpor možemo smatrati za negativni induktivni otpor.

h. Ohmov zakon za općeniti krug.

Spojimo u seriju radni, induktivni i kapacitivni otpor, onda slijedi totalni napon iz jednadžbe

$$e = i \cdot R + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i \cdot dt \quad (70)$$



Ima li struja sinusoidalnog oblika, onda je: (IR) u fazi sa strujom; napon $(I \cdot Lw)$ - koji je potreban da nadmaši samoindukciju - za (90°) pred strujom; napon kon. kapaciteta $(\frac{I}{Cw})$ za (90°) iza struje. Suma ovih napona je totalni napon (E) , sl(37). $(\overline{OA}) = I \cdot Lw - \frac{I}{Cw}$, prema tome suma iz $(\overline{OA})$ i (IR) je jednaka totalnom naponu po smjeru i veličini.

$$E^2 = (IR)^2 + (\overline{OA})^2, \text{ ili:}$$

$$E = I \cdot \sqrt{R^2 + (Lw - \frac{1}{Cw})^2} \quad (71)$$

$$\tan \varphi = \frac{Lw - \frac{1}{Cw}}{R} \quad (72)$$

Jednadžba (71) daje nam Ohmov zakon za krug izmjenične struje. Dijelimo sve strane u slici (37) sa (I) , dobijemo sliku otpora - 38-. Radni otpor (R) , te ker. i induktivni otpor $(Lw - \frac{1}{Cw})$ su djelomični otpori, $(Z = \frac{E}{I})$ je prividni otpor. Označimo kerativni otpor sa (X) , onda vrijedi:

$$X = Lw - \frac{1}{Cw} \quad (73)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (74)$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}; \sin \varphi = \frac{X}{Z}; \tan \varphi = \frac{X}{R} \quad (75)$$

Memoroli u obzir da množenje sa $(+j)$ okrene vektoru (J) za (90°) napred, množenje sa $(-j)$ za (90°) unatrag, možemo Ohmov zakon simbolički pisati:

$$\underline{E} = \underline{J} \cdot R + j \cdot \underline{J} \cdot X = \underline{J} \cdot \underline{Z} \quad (76)$$

(Z) je prividni otpor:

$$\underline{Z} = R + j(Lw - \frac{1}{Cw}) = R + j \cdot X \quad (77)$$

U jednadžbi (71) imamo (w) u izrazu u zagradi, i to u nazivniku i u brojniku. Prema tome mora biti neka frekvencija za koju izraz u zagradi postane jednak (0) .

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0,$$

$$\text{ili: } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \text{ odnosno: } \nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (78)$$

Za ovu vrijednost ω (ν) je: $I = \frac{E}{R}$. Jakost struje je onda isto tako velika kao da nema ni induktivnog ni kapacitivnog otpora.

Primjer: $E = 10000 \text{ V}$, $L = 0,4 \text{ H}$, $C_{\text{kabela}} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ F}$, otpor kabela tamno i matraz $R = 5 \Omega$, frekvencija: $\nu = 50$. Kapacitet kabela možemo nadomjestiti sa kondenzatorom u sredini kabela, t.j. u obliku polovine kabela, koja ima otpor $2,5 \Omega$. Za $\nu = 50$ je bezvratni otpor: $L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0,4 \cdot 2\pi \cdot 50 - \frac{1}{2,5 \cdot 50 \cdot 6,28} = 126 - 127,5 = -1149$; jakost struje: $I = \frac{10000}{\sqrt{2,5^2 + (-1149)^2}} = 8,7 \text{ A}$; to je struja koja teče u otvoreni kabel. Faza je približno (-90°) , ($\cos \varphi \approx 0$). Djelovanje ≈ 0 .

Pita se: na kojoj frekvenciji postigne (I) maksimum? Ova opasna frekvencija je $= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4}} = 160$. Za ovu vrijednost postane izraz u zagradi 0 , jakost struje je onda: $I = \frac{E}{R} = \frac{10000}{2,5} = 4000 \text{ A}$ - ma da je kabel otvoren. Napon induktiviteta i kapaciteta je: $\frac{I}{C\omega} = L\omega = 0,4 \cdot 2\pi \cdot 160 \cdot 4000 = 1,62 \cdot 10^6 \text{ V}$. Naravno da kabel ne podnese ove struje i napone. Opasna frekvencija, kod koje se slaže frekvencija mreže sa vlastitom frekvencijom $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ kuga zove se „rezonanca“ (napona). Kod rezonance je u svakom momentu od samoindukcije proizvedena napetost dostatna da dobarša visoki napon kondenzatora. Napon sterajka stroja ima, cirkulirajuće toga kuga.

U gornjem primjeru leži 160 toliko nad 50, da o rezonanci nije govora, dok je oblik struje sinusoidalna. Imali bi pak krivulje napona (E) harmonične, na pr. 3. reda sa frekvencijom 150, onda se ova frekvencija već dosta približi rezonanciji tako, da postane struja višeg reda 3. reda dosta jaka. Struji dajemo iz jednadžbe (71), ako uzmemo ω (ν) veličinu (3ω), a za (E) napon 3. nadvala.

Konstantne veličine kruga izmjenične struje jesu:

R - efektivni radni otpor, u Ohm-ima, Ω

$X = L\omega - \frac{1}{C\omega}$ - bezvratni otpor, efektivna reaktancija, u Ohm-ima, Ω

$G = \frac{R}{R^2 + X^2}$ - efekt. konduktancija, u Mho-ima, $\mathcal{S}$

$B = \frac{X}{R^2 + X^2}$ - efekt. susceptancija, u Mho-ima, $\mathcal{S}$

$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \frac{1}{Y}$ - prividni otpor, ef. impedancija u Ω

$Y = \frac{1}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{1}{Z}$ - ef. admitanca u Mho-ima $\mathcal{S}$

i. Upliv faze na djelovanje.

ako je između napona i struje fazi kut (φ) onda je djelovanje:

$$N = E \cdot I \cdot \cos \varphi$$

već poznata jednadžba. Onu si možemo tumačiti tako, da kod djelovanja dolazi u obzir samo dio napona ($E \cdot \cos \varphi$), koji ima istu fazu kao struja. Stavimo

$$E \cdot \cos \varphi = I \cdot R \quad (79)$$

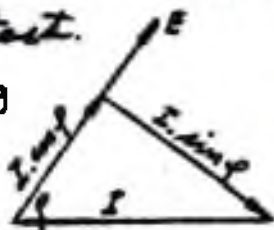
onda dobijemo za djelovanje izraz: ($I^2 R$), koji vrijedi prema tome za istosmjernu i za izmjeničnu struju.

$$N = I^2 R \quad (80)$$

($E \cdot I \cdot \cos \varphi$) je efektivno; ($E \cdot I$) je prividno djelovanje; ($E \cdot I \cdot \sin \varphi$) = ($I^2 X$) je prividno djelovanje.

Da je efektivno djelovanje generatora manje nego prividno, nije neposredni gubitak, jer se manji tokotes na generator prenese na djelovanje stroja sa pogon. Ipak je faza odmicanje neugodna, jer se ne stigne efektivno djelovanje kod radane struje samo putem nerazmjerno visokog napona, jer mora stići osim radnog napona dobaoljati i induktivno trošenje. Prema tome mora stići biti konstruiran sa čitavom potat.

SLJ9



Kam je to ($E \cdot \cos \varphi$) možemo tokotes ($I \cdot \cos \varphi$) uzeti za jedno. Iz slike (39) slijedi, da je ($I \cdot \cos \varphi$) onaj dio struje, koji

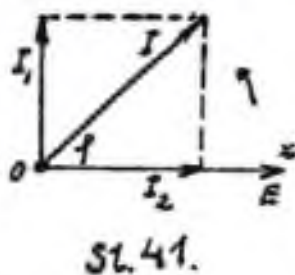
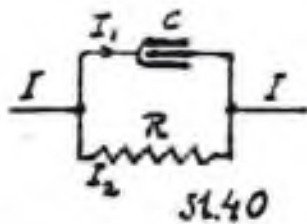
ima istu fazu kao i napon. Možemo ovaj dio sa naponom, dobiti čisto djelovanje. $(I \cdot \cos \varphi)$ je radna, vatna struja; $(I \cdot \sin \varphi)$ je bekvatna struja. Ovom radi, ovom nadomjestimo čitavi krug s dvije paralelne grane, od kojih jedna ima vatnu, a druga bekvatnu struju, premotane: prva radni, efektivni otpor, druga samo bekvatni otpor.

Priglasimo tumačili upliv faze tako, da je bilo po, trebno proizvoditi veću napetost nego li je potrebno za efektivno djelovanje. Tada moramo imati jaču struju, nego li je potrebno to efektivno, koja će proizvesti veću toplinu, koja radijeva veći priradi nego li je potre. Ono - ako je: $\varphi = 0$. Stoga se uvijek nastoji - koliko je mo, guće više smanjiti bekvatni otpor, jer se mora strojeve konstruirati: uvijek za prividno, a ne za efektivno djelovanje.

Prividno djelovanje mjeri se u volt-ampersi, ma (VA), a efektivno u vatima (W). —

k. Kondenzator u porednom sklopu.

a) Poredno s kondenzatorom priključen je otpor (R) bez induktiviteta - sl. 40 - Poznate su veličine: napon strajka, kapacitet i otpor. Traže se struje: I_1 , I_2 , I . (OK) znati - u sl. 41 - smjer napona. (I_1) je okomito na napon, te za (90°) pred naponom.



$$I_1 = E \cdot C \cdot \omega \quad (81)$$

$$I_2 = \frac{E}{R} \quad (82)$$

Dijagonala u sl. (41) daje struju (I), koja je pred naponom za kut (φ), koji nam kut određuje jednačina:

$$\tan \varphi = \frac{I_1}{I_2} = \frac{E \cdot C \cdot \omega}{\frac{E}{R}} = C \cdot \omega \cdot R \quad (83)$$

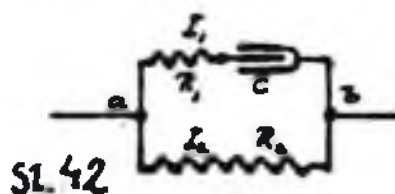
∴ Kod otpora (R) u seriji sa kondenzatorom (C) bilo je:

$$\tan \varphi = \frac{1}{C \omega R} \quad |$$

Rezultirajuća struja (I) je:

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} = \sqrt{(E.C.\omega)^2 + \left(\frac{E}{R}\right)^2} = \frac{E}{R} \sqrt{1 + (C.\omega R)^2} \quad (84)$$

β) Kondenzator u seriji sa otporom (R_1) bez induktiviteta, a koje paralelno k otporu (R_2) također bez induktiviteta. Sl. (42) prikazuje šemu tog spoja, a



Sl. 42

sl. (43) dijagram. - Za gornji gram (a b) vrijedi jedn. (67):

$$\tan \varphi = \frac{1}{C.\omega R_1}$$

gdje (φ) znači kut, za koji prolazi struja (I_1) pred naponom (OC). (OB) je dakle smjer struje kroz kondenzator.

Veličina slijedi iz jedn. (66):

Sl. 43

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{R_1^2 + \left(\frac{1}{C.\omega}\right)^2}}$$

Struja (I_2) u otporu (R_2) pada zajedno sa smjerom napona (E), te je: $I_2 = \frac{E}{R_2}$.

Rezultanta od (I_1) i (I_2) je dijagonala (I) u nera- zgranjenom dijelu.

γ) Kondenzator u paralelnom sklopu sa induktivnim svitkom. - U dijagramu vektora - sl. 44 - je

(OA) smjer zajedničkog napona. Vektor struje u kondenzatoru je okomit na smjer napona, za (90°) pred naponom. Jakost struje daje jednačina:

Sl. 44

$$I_1 = C.\omega.E$$

Struja (I_2) u induktivnom svitku raostaje za kut (φ_1) prema naponu (E); ovaj je kut određen sa:

$$\tan \varphi_1 = \frac{\omega L}{R}$$

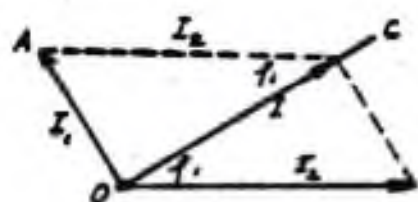
(I_2) slijedi iz:

$$I_2 = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

Dijagonala daje struju (I). Iz slike (44) se vidi da može biti (I) manje od (I_1) i (I_2). Isto tako je kut (φ) manji nego kutovi pojedinih struja prema naponu.

Tajni kut totalne struje može postati jednak nuli, ako pade (I) zajedno sa (OA). Slika (45) prikazuje ovaj slučaj. Trokut (AOC) postane pravokutan tako, da vrijedi:

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} \quad (85)$$



Sl. 45

Hipotenuza je uvijek veća nego ka-
tete, prema tome je: $I < I_2$.

(I) može postati također manje
nego (I_2). Uvjet, pod kojim pada
totalna struja ravnodušno sa napo-
nom strujalika, može se lako odre-
diti. Iz slike (45) slijedi:

$$\cos \phi_1 = \frac{OC}{AC} = \frac{I_2 \cos \phi_1}{I}$$

Jer je: $I_2 = \frac{E}{Z_2}$, te: $I_2 \cos \phi_1 = E \cos \phi_1$ (ako Z_2 znači prividni otpor),
dobjijemo:

$$\cos \phi_1 = E \frac{\sqrt{\frac{1}{Z_2^2} - (\omega L)^2}}{\frac{E}{Z_2}} = Z_2 \sqrt{\frac{1}{Z_2^2} - (\omega L)^2}$$

Iz trokuta otpora vitaka slijedi: $\cos \phi_1 = \frac{R}{Z_2}$, pa
prema tome također:

$$\frac{R}{Z_2} = Z_2 \sqrt{\left(\frac{1}{Z_2^2}\right)^2 - (\omega L)^2} = \sqrt{1 - (\omega L Z_2)^2}$$

odnosno: $\left(\frac{R}{Z_2}\right)^2 = 1 - (\omega L Z_2)^2$,

ili: $\omega L Z_2 = \frac{\sqrt{Z_2^2 - R^2}}{Z_2} = \frac{\omega L}{Z_2}$,

te konačno:

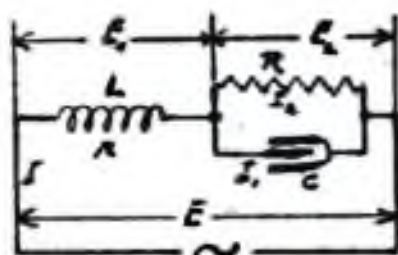
$$C = \frac{L}{R^2 + (\omega L)^2} \quad (86)$$

Ako je ovaj uvjet ispunjen, pada totalna struja raje-
dušno sa naponom. Uz ($R \neq 0$), dobijemo:

$$L\omega = \frac{1}{C\omega} \quad (87)$$

Struja (I) je u dovodu jednaka nuli, ali u granama
teče ipak struja. Naravno da se ovaj slučaj, rezonan-
cije struje, faktično može samo približno realizirati.

5) Kondenzator te otpor (R) bez induktiviteta
poredno spojeni, a ova kombinacija u seriji sa
induktivnim otporom. Sl. (46).

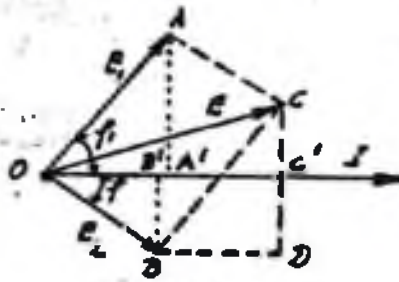


Sl. 46.

(E) mora biti geometrijska suma
od (E_1) i (E_2). - Za kondenzator i
s njime paralelni otpor (R) vri-
jedi dijagram slike (41), prema
kojem struja (I) prolazi pred
ravnodušnim naponom

$E_2 = OB$ sa kut (ϕ). U slici (47)

je (I) vektor struje, koja teče kroz vitak. Napon (E_1)
= (OA) prolazi pred strujom sa kut (ϕ_1), napon



Sl. 47.

($E_2 = OB$) razstaje ira. struje (I) na kut (φ). Dijagonala (OC) paralela grama ($OACB$) daje totalni napon (E), koji sa strujom (I) zatvara kut (COI).

Hoćemo li da (E) pade zajedno sa (I), morali bi ($CC' = 0$), $CC' = CD - C'D$ (CD) je projekcija od (BC), a jer je (BC) paralelna i jednako (OA), mora biti ($CD = AA'$). Dalje je ($C'D = B'B$), prema tome

$$CC' = AA' - BB' = L \omega I - OB \cdot \sin \varphi$$

- prema sl. 41 : $OB \cdot \sin \varphi = E_2 \cdot \frac{I}{I}$

Imamo : $E_2 = \frac{IR}{\sqrt{1 + (C\omega R)^2}}$, te : $I_2 = C\omega E_2 = C\omega \frac{IR}{\sqrt{1 + (C\omega R)^2}}$
 !: vidi jedn. (84), slučaj (x) !, olakšano:

$$OB \sin \varphi = \frac{E_2}{I} \cdot I = \frac{IR}{\sqrt{1 + (C\omega R)^2}} \cdot \frac{C\omega IR}{I \sqrt{1 + (C\omega R)^2}},$$

prema tome:

$$CC' = L \omega I - \frac{C\omega R^2 I}{1 + (C\omega R)^2}$$

ako postane $CC' = 0$, onda:

$$L = \frac{C \cdot R^2}{1 + (C\omega R)^2} \quad (88)$$

Jer je općenito ($C\omega R$) vrlo maleno, možemo pisati:

$$L = C \cdot R^2 \quad (89)$$

2. Općeniti slučajevi

Do sada smo raspravljali pojedine specijalne slučajeve. Postupak je mnogo jednostavniji, ako se polazi od radiolne struje u vatnu i bora. Tada struja. Ova radiolna nije ništa drugo nego nadomjestenje kruga sa dva paralelno spojena kruga, od kojih jedan sadržava samo radno otpor, a drugi bezvatan. Kad toga je:

$$\begin{aligned} I_n &= I \cdot \cos \varphi & I_b &= I \cdot \sin \varphi \\ I &= \sqrt{I_n^2 + I_b^2} & \tan \varphi &= \frac{I_b}{I_n} \end{aligned} \quad (90)$$

Leži li napon pred strujom, onda su (φ) i (I_b) pozitivni. Leži li napon iza struje, onda su (φ) i (I_b) negativni. Pozitivna bezvatan struja razstane na (90°)



ica napona, negativna leži na 90° pred naponom.

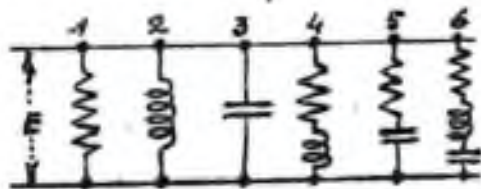
Imamo li više poredno spojenih grana, onda imadu sve grane isti napon. Za svaku granu možemo onda struju i fazni kut izračunati, te razdi-jeliti struju u vatu i bekvatu. Sumiranjem svih vatnih i bekvatnih struja, koje sastavimo po-volutno, dobijemo totalnu struju:

$$I = \sqrt{(\sum I_n)^2 + (\sum I_b)^2} \quad (91)$$

$$\cos \varphi = \frac{\sum (I_n)}{\sum (I)} \quad (92)$$

Na primjer:

Na naponu $E = 300$ V leže grane sl. (48). Poje-



Sl. 48.

Tab. 1.

Br.	R	Lw	$\frac{1}{Cw}$	Z	I	cos f	sin f	I_n	I_b
1	6	-	-	6	50	1	0	50	0
2	-	15	-	15	20	0	1	0	20
3	-	-	30	30	10	0	-1	0	-10
4	4	3	-	5	60	0,8	0,6	48	36
5	6	-	8	10	30	0,6	-0,8	18	-24
6	4	8	11	5	60	0,8	-0,6	48	-36

$$\sum = 164 \quad -14$$

$$I = \sqrt{164^2 + (-14)^2} = 164,5; \quad \cos \varphi = \frac{-14}{164,5} = -0,0855$$

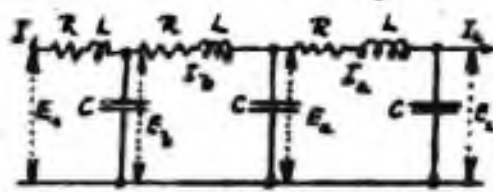
faza je negativna, struja prolazi pred naponom.

Ovu zadacu možemo riješiti također simbo-ličkom metodom. Za svaku granu izračunamo $Z = R + j(Lw - \frac{1}{Cw})$, te onda: $I = \frac{E}{Z}$. Nazivnik načinimo realnim. Položimo samo-voljno vraku napona u pozitivni smjer horizontalne osi, mo-ramo na (f) uvesti realnu vrijednost (300). Onda dobijemo:

Grana	Z	$J = \frac{G}{Z}$
1	$6 \quad \frac{1}{2} $	50
2	$j \cdot 15 \quad \frac{1}{j} $	$j \cdot 20$
3	$-j \cdot 30 \quad \frac{1}{-j} $	$j \cdot 10$
4	$4 + j \cdot 3 \quad \frac{4 - j \cdot 3}{4 + j \cdot 3} $	$48 - j \cdot 36$
5	$6 - j \cdot 8 \quad \frac{6 + j \cdot 8}{6 - j \cdot 8} $	$18 + j \cdot 24$
6	$4 - j \cdot 3 \quad \frac{4 + j \cdot 3}{4 - j \cdot 3} $	$48 + j \cdot 36$
		$\Sigma J = 164 + j \cdot 14$

Proračun $[\Sigma(J)]$ nema ništa sa radnim i bežnjačkim otporom. Ovo što smo dobili su djelomične struje obzirom na horizontalnu i vertikalnu osovinu. Komponente su pozitivne, t.j. kraka struje leži u (1.) kvadrantu, te prolazi pred naponom. Kut (ψ) je pozitivan, ali fazni kut među strujom i naponom - kut (φ) - je negativan.

Kod vodova i kabela nema svaki dio samo induktivitet i otpor, već i kapacitet. U tom je slučaju napon među vodovima tamo i natrag, te jakost struje po udaljenosti od početne tačke različita. Tačni proračun je kompliciran i neugodan. Stoga razlog, upotrebi se približni proračun i to tako, da se vod ili kabel razdijele u pojedine dijelove, te ota nadokna.

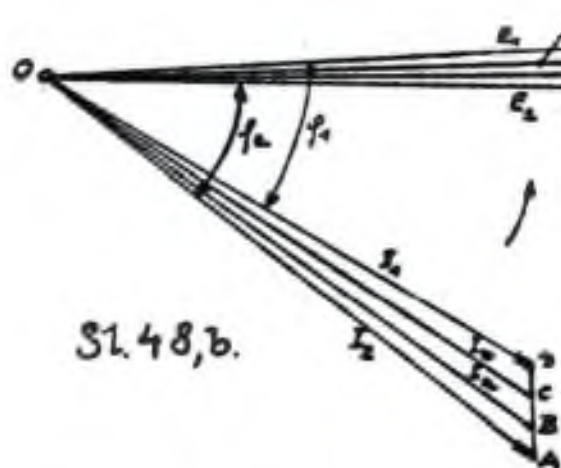


Sl. 48, a: doknadna shema

dva šema kao u slici (48. a). Isto je veći broj dijelova, tim je tačniji rezultat. Uzmeli se na pr. 3 dijela, onda su ($R, L, \omega, \frac{1}{\omega}$) veličine za svaku trećinu voda.

Za tumačenje uzmimo primjer:

Veća Ende na kraju voda zadana napetost $E_2 = 1000 \text{ V}$, $I_2 = 20 \text{ A}$, te faktor djelovanja: $\cos \varphi_2 = 98$; napon pred strujom. - Za trećinu voda $n=3$: vrijedi: $R = 2 \Omega$, $L = 1 \cdot 10^{-2} \text{ H}$, $C = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ F}$; $\omega = 50$. Prema tome je: $\omega = 2\pi \cdot 50 = 314$; $L \cdot \omega = 3,14$; $C \cdot \omega = 8,8 \cdot 10^{-4}$. Traži se ($E_1, I_1, \cos \varphi_1$)



Sl. 48, b.

U slici (48_b) crtamo samovoljni napon (E_2) na desnoj u ko- rizontalnu os;
vektor (OA) struje (I_2) razstojemo za zadani kut (φ_2) sa naponom (E_2). (E_2) tjera kroz dani kondenzator slike (48_a) struju, koja leži sa (90°) pred naponom (E_2)

Ova struja sledi iz

$$AB = E_2 \cdot Cw = 1000 \cdot 8,8 \cdot 10^{-4} = 0,88 \text{ A}$$

Vektor (AB) crtamo do (OA) tako, da leži (90°) pred (OE). Onda dobijemo struju (I_a) u vektoru (OB) po smjeru i veličini. Iz slike sledi: $I_a = 19,5 \text{ A}$.

Štada dodamo naponu ($E_2 = OE$) u smjeru struje (I_a) opadanje: $EF = I_a R = 19,5 \cdot 2 = 39 \text{ V}$, te sa (90°) pred naponom (E_2) induktivno opadanje: $FG = I_a \cdot Lw = 19,5 \cdot 3,14 = 61,2 \text{ V}$. Mogli bi to koster direktno napraviti:

$EG = I_a \cdot \sqrt{R^2 + (Lw)^2}$ i to pred vektorom (OE) sa kut (arctg $\frac{Lw}{R}$). Na taj način dobijemo napon (E_a) slike (48_a).

Napon (E_a) tjera kroz srednji kondenzator struju: $BC = E_a \cdot Cw = 1070 \cdot 8,8 \cdot 10^{-4} = 0,94 \text{ A}$. (BC) crtamo sa (90°) pred (OG) do (OB), te dobijemo (OC), tj. struju (I_b) po veličini i fazi. Iz slike sledi: $I_b = 18,9 \text{ A}$. K vektoru (OB) crtamo opet u smjeru (I_b) vektor: $GH = I_b \cdot R = 18,9 \cdot 2 = 37,8 \text{ V}$, te sa (90°) pred (OB) vektor: (HI) = $I_b \cdot Lw = 18,9 \cdot 3,14 = 59$. Onda dobijemo: $OI = E_b = 1130 \text{ V}$ (iz slike).

Napon (E_b) tjera kroz lijevi kondenzator usl. (48_a), struju: $CD = E_b \cdot Cw = 1130 \cdot 8,8 \cdot 10^{-4} = 0,99 \text{ A}$. Ovu struju dodamo sa (90°) pred (OI) vektoru (OC), te dobijemo ($OD = I_c$) po veličini i fazi = $18,35 \text{ A}$. K ($OI = E_b$) crtamo u smjeru (I_c) opadanje $IK = I_c \cdot R = 18,35 \cdot 2 = 36,7 \text{ V}$, te sa (90°) pred (OI) vektor $KL = I_c \cdot Lw = 18,35 \cdot 3,14 = 57,5$. Onda dobijemo napon strogijha ($E_c = OL$), što je - po slici - 1200 V . (I_c) je po slici: $18,35 \cdot \cos \varphi_c = 9,877$

6. Svitak sa željezom.

Dosada smo bili pretpostavili da svitak, što ga upotrebljavamo za induktivni otpor, nema u sebi željeza. Stoga razlozi mogli smo smatrati (L) konstantnim. Ima li svitak željezo u sebi, onda imamo osim gubitaka zbog Joule-ove topline još gubitke uslijed histereze i vrtložnih struja. Da se ove gubitke, što je više moguće, umanjuje, nema se laminirano željezo ili lim. Kako treba odrediti ove gubitke - vidi 7-1.

Gubitak uslijed vrtložnih struja može se tako, ako izračunati po jednadžbi:

$$N_w = (2 \div 2,5) \frac{(\pi \cdot \Delta \cdot L_0^2)}{10^{10}} \cdot V \quad (W) \quad (93)$$

Δ = debljina lima u mm

V = volumen u dm^3

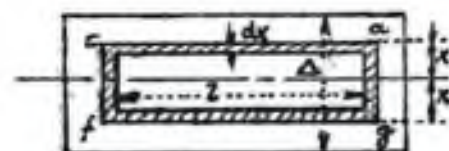
L_0 = maksimalna vrijednost indukcije

n = broj perijoda

Faktor $(2 \div 2,5)$ je uzet iz iskustva na transformatorima, te nije ovisan o limu, negori glavnome okrajevima lima te specifičnom otporu željeza ($0,1 \div 0,14$). Za uporabu kod izmjenične struje su zgodni legirani limovi, ali krivulja magnetiziranja nije tako ugodna kao kod običnog dinamo-lima.

Legirani lim ima $(3 \div 4)\%$ Si, te $\sim 1\%$ Al.

Jednadžba (93) dobije se na sljedeći način:



Sl. 49.

Sl. (49) je presjek kroz lim debljine (Δ cm). Indukcija stoji okomito na ravni papira. Kroz pravokutnik ($acfg$) prolazi magnetski tok (Φ_0) rta indukcije; Φ_0 - broj perijoda koji prolazi

($-\Phi_0$). Imamo li pravokutnik kao jedan zavoj, onda je srednja vrijednost inducirane EMS:

$$E_{\text{red}} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{T \cdot 10^8}, \text{ ili, jer je } \Phi_1 = \Phi_2, E_{\text{red}} = \frac{2 \cdot \Phi_0}{T \cdot 10^8} = \frac{4 \cdot \Phi_0}{10^8} \sim$$

jer je: $\sim = \frac{1}{T}$. Ako je (L_0) maksimalna indukcija, onda vrijedi: $\vec{F}_0 = L_0 \cdot 2 \times \ell$, prema tome:

$$E_{\text{red}} = \frac{L_0 \cdot 2 \times \ell}{10^8}$$

Ako je (R) otpor struji koja prolazi pravokutnik ($a \times b$), kojega je sining okomit na ravninu papira $= b$, onda je: $I_{\text{red}} = \frac{E_{\text{red}}}{R} = \frac{L_0 \cdot 2 \times \ell}{10^8 \cdot R}$. Gubitak radi Joule-ove topline je ($\frac{E^2}{R}$) (E = efektivna vrijednost). Znači li

(f) razmjer ($\frac{E}{E_{\text{red}}}$), onda je: $E = f' \cdot E_{\text{red}}$, i prema tome gubitak u tankom traku ($a \times b$): $\frac{E^2}{R} = \frac{L_0 \cdot 2 \times \ell \cdot f'^2}{10^8 \cdot R}$.

Otpor odredi jednadžba: $R = \frac{2\ell + 2x}{b \cdot dx} \cdot c$, gdje je (c) specifični otpor željeza. Jer je (x) u razmjeru sa (ℓ) možemo metnuti: $R = \frac{2\ell}{b \cdot dx} \cdot \frac{c}{100^2}$, ako pretvorimo (ℓ) u (cm) te (q) u (cm²). Gubitak u pravokutniku je dakle:

$$\frac{E^2}{R} = \left(\frac{L_0 \cdot 2 \times \ell \cdot f'}{10^8} \right)^2 \cdot \frac{x^2 \cdot 100^2 \cdot b \cdot dx}{2 \cdot \ell \cdot c}$$

Gubitak uslijed vrtložnih struja dobivamo za čitavu debljinu ako integriramo od ($x=0$), do ($x=\frac{b}{2}$), prema tome:

$$\begin{aligned} N_w &= \int_0^{\frac{b}{2}} \left(\frac{L_0 \cdot 2 \times \ell \cdot f'}{10^8} \right)^2 \cdot \frac{b \cdot 100^2}{2 \cdot \ell \cdot c} \cdot x \cdot dx = \\ &= \frac{64 \cdot L_0^2 \cdot \ell^2 \cdot f'^2}{10^{16}} \cdot \frac{b \cdot 100^2}{2 \cdot \ell \cdot c} \cdot \left| \frac{x^3}{3} \right|_0^{\frac{b}{2}} = \frac{32 \cdot L_0^2 \cdot \ell^2 \cdot f'^2}{10^{12}} \cdot \frac{b \cdot \ell}{3 \cdot c} \cdot \frac{\Delta^3}{8} = \\ &= N_w = \frac{4}{3} \cdot \frac{(L_0 \cdot \Delta \cdot f')^2}{10^{12}} \cdot \frac{b \cdot \ell \cdot \Delta}{c} \quad (W) \end{aligned}$$

Za željezo je: $c = 0,1$. - Produkt: $b \cdot \ell \cdot \Delta = V$ = volumen u (cm³), dakle:

$$N_w = 1,33 \cdot \frac{(L_0 \cdot \Delta \cdot f')^2}{10^{12}} \cdot V \quad W$$

Pretpostavimo sinusoidalnu EMS, onda je: $E = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$, te: $E_{\text{red}} = \frac{2}{\sqrt{2}} E_0$; prema tome: $f' = \frac{E}{E_{\text{red}}} = \frac{\sqrt{2}}{2} = 1,11$. Uzmemo (Δ) u (mm), te (V) u (dm³), moramo umetnuti za (Δ) ... ($\frac{\Delta}{10}$), a za (V) ... (1000 V), pa imamo:

$$N_w = 1,64 \cdot \frac{(\Delta \cdot L_0 \cdot V)^2}{10^{10}} \cdot V$$

Jedan dio vrtložnih struja nastane također na mjestima gdje se sastaju jezgre, jer tamo dolaze pojedine limene pločice do doticaja; da uračunamo i ove vrtložne struje, stavimo na mjesto faktora (1,64) faktor (2 ÷ 2,5). Onda rezultiraju jednadžba (93)

Označimo li sa (i) momentanu vrijednost struje, koja teče kroz rasjke, onda će indukcije prate struju. Proj. rta indukcije raste sa rastućom strujom. Pro. mijena indukcije prouzrokuje EMS samoindukcije, koju moramo dodati naponu na steraljka svitka. Označimo sa: $[e = E_0 \cdot \sin(\omega t)]$ napon steraljka, (R) otpor svitka, (e_s) momentanu vrijednost EMS sa. moindukcije, onda vrijedi:

$$i = \frac{e + e_s}{R}, \text{ ili: } i \cdot R = e + e_s$$

ako je $(R=0)$ imamo: $e_s = -e$

To su već poznate jednačbe članka (5).

Prema tome: ako teče izmjenična struja kroz svitak bez otpora, biti će napon steraljka u svakom momentu jednak ali suprotan EMS samoindukcije.

Jer je imamo $e_s = - \frac{d\phi}{dt} \cdot \omega \cdot 10^{-8}$

$$e_s = - \frac{d\phi}{dt} \omega \cdot 10^{-8} = - E_0 \cdot \sin(\omega t),$$

$$\text{ili } d\phi = \frac{E_0 \cdot \sin(\omega t) \cdot dt}{\omega \cdot 10^{-8}}$$

Integriramo li ovu jednačinu dolijemo:

$$\phi = - \frac{E_0 \cdot 10^8}{\omega \cdot \omega} \cdot \cos(\omega t) \quad (94)$$

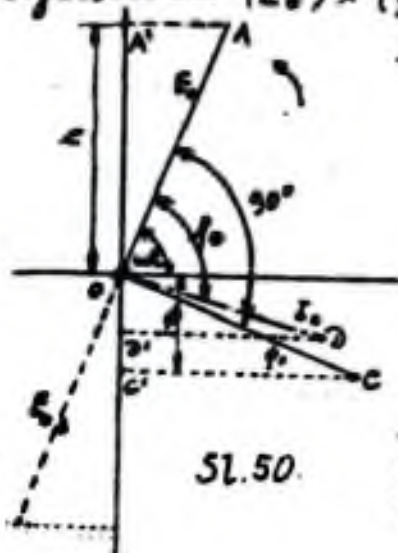
(ϕ) je tok kroz svitak sa vrijeme (t) . Maksimalna vrijednost imamo sa $\cos(\omega t) = 1, \pm j$.

$$\phi_0 = \frac{E_0 \cdot 10^8}{\omega \cdot \omega} \quad (95)$$

odnosno:

$$\phi = - \phi_0 \cdot \cos(\omega t) = \phi_0 \cdot \sin[\frac{\pi}{2} + \omega t] \quad (96)$$

ako vidimo (ϕ) i (ϕ_0) kao projekciju maksimalnih vrijednosti (E_0) i (ϕ_0) dolijemo dijagram predstavljen u



Sl. 50.

slici (50), koji nam daje pravilo:

Teče li struja izmjenična kroz svitak bez otpora, rastane vektor toka sa (90°) iz vektora napona na steraljka, ili: vektor toka prelazi sa (90°) pred vektorom samoindukcije.

To vrijedi također i sa svitak s otporom.

Tok pada zajedno sa strujom.

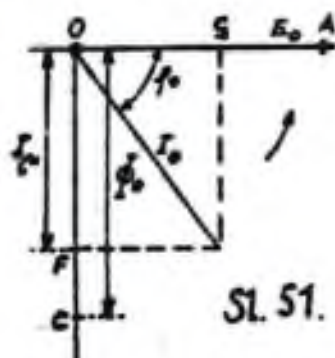
Po jednadžbi (37, I-5) je

$$\vec{I} = \frac{\vec{E}}{W} = \frac{94. \pi \cdot W \cdot \vec{A}}{W} = \lambda \cdot W \cdot \vec{A}$$

u kojoj jednadžbi moramo kao ($\vec{I}$) smatrati projekciju toka ($\vec{I}_0$), te stugu ($\vec{A}$) kao projekciju struje ($\vec{I}_0$) na okomitu os koordinata.

Kada dolaze i gubitezi radi histerese onda vrijedi da $i = \varphi$, $\vec{I} > \varphi$,

što se slaže samo onda, ako razmislimo da vektor struje ($\vec{I}_0$) prolazi pred vektorom toka ($\vec{I}_0$), ili, što je isto, vektor struje ($\vec{I}_0$) rastaje se sa vektorom napona sa kut (φ), koji je manji od (90°)



Okrćimo dijagram sl. (50) tako, da ($\vec{I}_0$) prolazi okomito prema dole - sl. 51-; onda je u tom sm., mentu ($\vec{I} = \vec{I}_0$), ali struja, koja proizvodi ovaj tok, ima vrijednost

$$\overline{OF} = I_0 \cdot \cos(90 - \varphi) = I_0 \cdot \sin \varphi.$$

$$\overline{OF} = I_m = I_0 \cdot \sin \varphi \text{ je struja magnetskiranja.}$$

Juduci da je efekt proizveden od ove struje jednak ($E_0 \cdot I_m \cdot \cos 90^\circ = 0$), je ova komponenta struje bezvratna. - $\overline{OS} = I_0 \cdot \cos \varphi$ je vratna, radna komponenta totalne struje.

Maksimalni tok ($\vec{I}_0$) proizvodi maksimalna struja (I_{0m}), prema tome vrijedi:

$$\vec{I}_0 = \lambda \cdot W \cdot I_{0m} = \frac{94. \pi \cdot W \cdot I_{0m}}{W}$$

Nadomjestimo maksimalnu vrijednost (I_{0m}) sa efektivnom, dolijemo - jer je $I_m \cdot \sqrt{2} = I_{0m}$ -:

$$\vec{I}_0 = \frac{94. \pi \cdot W \cdot I_m \cdot \sqrt{2}}{W} = \lambda \cdot W \cdot I_m \cdot \sqrt{2} \quad (97)$$

Porakom proticanja je

$$\vec{I}_0 \cdot W = \Sigma(H.E) = 94. \pi \cdot W \cdot I_m \cdot \sqrt{2} \quad (97a)$$

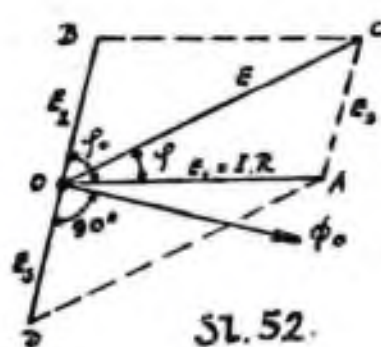
Imali smo ($\vec{I}_0 = \frac{E_0 \cdot 10^8}{W \cdot \omega}$). Metnimo da: $\omega = 2\pi \cdot$,

$E_0 = E_{0s} = E_s \cdot \sqrt{2}$, slijedi:

$$\vec{I}_0 = \frac{E_s \cdot \sqrt{2} \cdot 10^8}{W \cdot 2\pi} = \frac{E_s \cdot 10^8}{4.44 \cdot W \cdot \pi}$$

odnosno, već poznata jednadžba:

$$E_s = \frac{4.44 \cdot \vec{I}_0 \cdot W \cdot \pi}{10^8} \quad V \quad (98)$$



SL. 52.

Ako svitak ima otpor, možemo ga smatrati bez otpora, ali sa u seri-
ji uopćenim otporom bez indu-
ktiviteta. Dijagram napona os-
tamo - sl. 52 - tako, da uzmemo
vektor struje (I) za apscisu. Tada
pada ($\overline{OA} = I \cdot R$) zajedno s ovim
smjerom. Napon ($E_2 = -E_1$) prelazi

za kut (φ_0) pred naponom ($E_1 = I \cdot R$). Ako je veličina
($\overline{OB} = E_2$), onda dijagonala ($\overline{OC} = E$) prikazuje totalni
napon svitka. U slici (52) nacrtan je još smjer toka
($\vec{\Phi}_0$) okomito na ($E_2 = \overline{OB}$). - Spojivši (O) sa (A) dobijemo
($\overline{OA}$) kao rezultantu iz ($E = \overline{OC}$) i ($E_2 = \overline{OB}$). Trokut (OCA)
je trokut napona svitka, ali ^{više} više pravokutni tro-
kut, već je sada tupokutan.

U svitku traženi efekt je: $N = E \cdot I \cdot \cos \varphi$
ali ($\cos \varphi$) ne smije se (obzirom na tačnost) računati iz
izraza ($\frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$), već iz
$$\cos \varphi = \frac{N}{EI} \quad (99)$$

Željelo se umetnuti u svitke onda, kada se hoće
imati kod malog otpora veliku EMS samoindukcijske
(pritomljajši). U istinu je ($\overline{OA}$) - sl. 52 - veoma ma-
lenu u razmjeru sa ($\overline{AC}$) tako, da je (φ) približno
jednako (φ_0). Prema tome može se metnuti:

$$I_m = I \cdot \cos \varphi_0 \quad (100)$$

$$I_m = I \cdot \sin \varphi_0$$

Iz trokuta napona slike (52) slijedi:

$$E_2 = \sqrt{E^2 + (IR)^2 - 2EI \cos \varphi}$$

Metnimo (E) predznak korjen, te razvedemo ($\frac{I \cdot R}{E}$)²
dobijemo:

$$E_2 = E \sqrt{1 - \frac{2IR}{E} \cos \varphi}$$

Po binomnom pravilu
je ova jednačica približno:

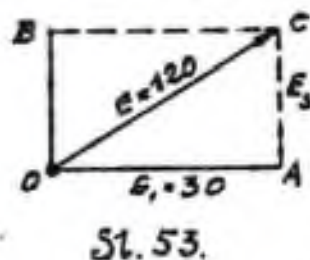
$$E_2 = E \left(1 - \frac{IR}{E} \cos \varphi \right) = E - IR \cos \varphi \quad (101)$$

Svitci sa samoindukcijom, daju nam moguć-
nost pomisliti dio napona bez velikih gubitaka.

Iz tog se razlaga ovi svitci i upotrebljavaju mnogo - namjesto čistog Ohm-ovog otpora - sa umirenje, ako se spoji paralelno lucne svjetiljke, ili da ih se doda kao doknadne otpore sa u seriji spojene žarulje. - Konacno su pritomljaci od bitne važnosti sa paralelni spoj generatora izmjenične struje, i to radi toga, da se preprizice struje izjednačavanja. Ovakav pritomljac traži vrlo malo ener- gije, jer je struja iz napona skoro sa (90°). Upadajće napona, t.j. gubitak napona je veoma malen, ako je pritomljac pravilno konstruiran. - Osim ove uporabe treba još spomenuti uporabu sa zaštite prema prenaponu.

Za primjer kako treba računati pritomljac neka služi sljedeći primjer:

Žarulja sa izmjeničnu struju, regulisanu na (12 A), (30 V), mora biti priključena na vod sa na- ponom od (120 V) i ($n=50$). Traži se potreban pito- mljac.



Otpor svitla nije poznat; naravno je da će biti što je moguće manji.

Za prvi proračun možemo da je ovaj otpor (= 0). Osim toga računamo još gubitak uslijed histerese i vrtlo- žnih struja. Uz ove pretpostavke daje

nam sl. (53) dijagram napona. Odatle slijedi:

$$E_s = \sqrt{120^2 - 30^2} = 116 \text{ V}$$

Odobrimo dalje samovoljno: $w=200$ kao danta, tri broj ravoja; tada možemo izračunati potrebnii tok (I_0) iz jednačine (98): $E_s = \frac{444 \cdot I_0 \cdot w \cdot n}{10^8}$, t.j.

$$I_0 = \frac{116 \cdot 10^8}{444 \cdot 200 \cdot 50} = 262 \text{ 000}$$

Odobrimo sa indukcijom: $L_e = 10000$, dobijemo:

$$Q_e = \frac{262 \text{ 000}}{10000} = 26,2 \text{ cm}^2$$

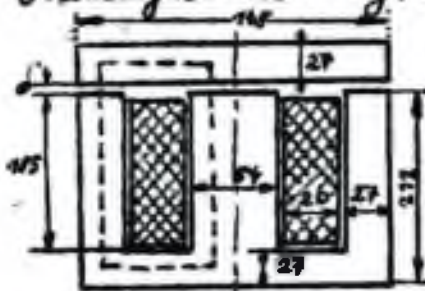
kao potrebnii presjek željeza. Uzmimo dalje da je presjek kvadratičan; radi izolacije limenik plo,

čica moramo ueti dužinu stranice kvadrata:

$$x = \sqrt{\frac{36,3}{9,9}} = 5,4 \text{ cm}$$

Opterećenje žice odaberemo: $1,8 \text{ A/mm}^2$, t.j. pre-
sjek žice: $q = \frac{1,8 \text{ A}}{1,8 \text{ A/mm}^2} = 1 \text{ mm}^2$, ili: $d = 3 \text{ mm}$, $d' = 3,5 \text{ mm}$
(ova izolacija je 2 puta pomnoženom omotanu žicu).

Razdijelimo broj zavoja ($w = 200$) u (4.50); onda mo-



Sl. 54.

ramo omotati: 50 žica - jedna do druge
i to u 4 sloja (4 žice - jedna pored druge).

Potrebna dužina za namotaj je onda:

$$l = 50 \cdot 3,5 = 175 \text{ mm}, \text{ a visina: } 4 \cdot 3,5 = 14.$$

Pomoću određenih mjera možemo
crtati željenim jergom - sl. 54 -

uračunavši prostor za potrebnu izolaciju.

Šrednja dužina zavoja je:

$$4 \cdot [56 (\text{radi izolacije jergre: } 1 \text{ mm}) + 14 (\text{visina})] = 280 \text{ mm}$$

Ukupna namotana žica: $L_2 = 200 \cdot 0,28 = 56 \text{ m} (\sim 3,5 \text{ kg})$

$$\text{Otpor te žice: } R = \frac{902 \cdot 56}{7} = 7,155 \Omega$$

$$\text{Gubitak toplinom: } I^2 R = 12^2 \cdot 7,155 = 22,3 \text{ W}$$

Iz jednadžbe (97, a) slijedi:

$$H_e \cdot l_e + H_z \cdot l_z = 94,7 \cdot w \cdot I_m \cdot \sqrt{2},$$

prema tome:

$$l_z = \frac{94,7 \cdot w \cdot I_m \cdot \sqrt{2} - H_e \cdot l_e}{H_z}$$

Indukciji ($l_e = 10000$) odgovara ($H_e = 4,7$) / vidi tab I, I-3: /

Dužina puta u željezu (l_z) slijedi iz slike: $l_e = 51,8 \text{ cm}$

(H_e) računamo se iz: $H_z = l_z = \frac{I}{q_z} = \frac{262000}{21,26,2} = 9100$; presjek

željeza omogućili smo sa (41) radi povećanja presjeka

toka u vratu. Prema tome je konačno

$$l_z = \frac{94,7 \cdot 200 \cdot 12 \cdot \sqrt{2} - 4,7 \cdot 51,8}{9100} = 0,44 \text{ cm}.$$

Volumen željeza pitomljenja je:

$$V = [14,8 (\text{širina}) \cdot 23,9 (\text{visina}) - 4,18,5 (\text{izolacije})] \cdot 99,54 =$$

$$= 1,36 \text{ dm}^3 (\sim 10,6 \text{ kg}).$$

Gubitak histerese (tab II, I-4) po (1 dm^3) i ($n = 100$)

je ($8,3 \text{ W}$), dakle:

$$N_h = \frac{83 \cdot 1,36 \cdot 50}{100} \cdot \frac{90015}{90033} = 25,6 \text{ W}$$

ako uzmemo da je za naš lim konstanta ($\eta = 90015$).

Debljina lima : $\delta = 0,3 \text{ mm}$; gubici uslijed vrto,,
 žnih struja jesu onda :

$$N_w = 2,5 \frac{(0,3 \cdot 10000 \cdot 50)^2}{10^{10}} \cdot 1,36 = 7,7 \text{ W}$$

Ukupni gubici : $N_w = 22,3 + 25,6 + 7,7 = 55,6 \text{ W}$

Iz jednadžbe : $E_2 \cdot I \cdot \cos \varphi_2 = 55,6 \text{ W}$, slijedi :

$$\cos \varphi_2 = \frac{55,6}{116,42} = 0,478 ; \varphi_2 = 87^\circ 40'$$

(φ_2) je tako velik, da nije potrebno računati (E_3) još jedan
 puta ; u početku smo lihi pretpostavili : ($\varphi_2 = 90^\circ$) ; no on
 se ... mnogo ne razlikuje od te vrijednosti.

Izgubljenik (55,6 W) pretvori se u toplinu, to povisuje tem,,
 peraturu pritomljača. - Maksimalna temperatura
 ovana je o površini. U našem slučaju tvorí povr,,
 šinu (O) plast = 1638 cm^2 , što daje svakom izgublje,,
 nom vatu površinu od : $O' = \frac{1638}{55,6} = 29,6 \text{ cm}^2$. Ako je
 pritomljač u perforiranoj kutiji možemo kod ove
 specifične površine (O') očekivati ugrijavanje od ($\sim 45^\circ \text{C}$)
 !: vidi kod transformatora !:

No pritomljač se može naćiniti ; jednostavnii,,
 je nego li što je to prikazano u slici (54). Dostatan
 je jezgra iz željeza omotana žicom. U tom se slučaju
 na jezgu umotuje žica iz željeza. Ako se pak ova jezga
 može iz omotke od žice izvlaćiti, dala nam je
 mogućnost optirne regulacije. U slici (54) reguli,,
 rano (E_3) tako, da povećamo ili umanjimo raspo((S))

Kako treba računati sasvim jednostavno pri,,
 tomljače neka tumaći slijedeći primjer :

Dužina jezgre iz željezne žice = 40 cm ; promjer =
 = 3,5 cm ; težina = 2 kg. Ova jezgra neka služi za pri,,
 tomljač, koji ćemo spojiti u seriju sa lućnicom od
 (8 A). Napon svjetiljke je (29 V) ; napon izvora izvora
 je (50 V) ; $n = 60$. - Traži se potrebiti broj zavoja.

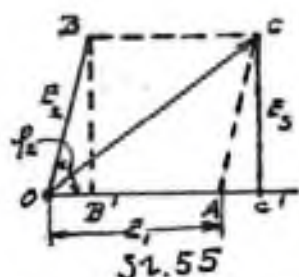
Metuimo u jednadžbu : $E_3 = \frac{444 \cdot \varphi_0 \cdot W \cdot n}{10^8}$
 za (φ_0) vrijednost : $\varphi_0 = 1 \cdot W \cdot I_m \cdot \sqrt{2} = \frac{44 \cdot 8 \cdot W \cdot I_m \cdot \sqrt{2}}{10^8}$;
 dobivamo :

$$E_3 = \frac{444 \cdot W \cdot n}{10^8} \cdot \frac{44 \cdot 8 \cdot W \cdot I_m \cdot \sqrt{2}}{10^8} = \frac{444 \cdot W \cdot n}{10^8} \cdot 1 \cdot W \cdot I_m \cdot \sqrt{2}$$

$$\text{ili: } E_s = \frac{7,88 \cdot w^2 \cdot I_m \cdot \lambda}{10^8 \cdot \mu_0} = \frac{6,23 \cdot w^2 \cdot I_m \cdot \lambda}{10^8} \quad (102)$$

$$w = \sqrt{\frac{E_s \cdot 10^8 \cdot \mu_0}{7,88 \cdot I_m \cdot \lambda}} = \sqrt{\frac{E_s \cdot 10^8}{6,23 \cdot I_m \cdot \lambda}} \quad (103)$$

Za (I_m) može se u početku uzeti itarova struja, t.j. u našem slučaju (8 A). Da možemo izračunati (E_s) mo-
ramo odabrati magnetični otpor (vodljivost) svi-
tka, te poznavati približno svitak. Uvažimo da teče



struje od (8 A), dobijemo najmanji pro-
sjek žice (3 mm^2). Udalje dužina jedne
ga ravoja otprilike ($3,5 \cdot \pi = 11 \text{ cm}$). Udo-
beremo ($w = 500$) možemo biti sigurni,
da će ovakvi broj ravoja biti dostatan.

Dužina žice je prema tome: $500 \cdot 0,11 = 55 \text{ m}$

Otpor je prema tome, približno: $R = \frac{9018 \cdot 55}{3} = 933 \Omega$

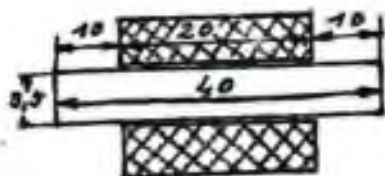
U slici (55) je dakle: $\overline{OB'} = 933 \cdot 8 = 7,464 \text{ V}$; $\overline{OA} = 29 \text{ V}$; konačno:

$$E_s = \sqrt{50^2 - (29 + 7,464)^2} = 33,7 \text{ V}$$

Magnetski otpor željeza naprama magnetokom-
otpor zraka možemo zanemariti. Otpor zraka,
odnosno njegovu vodljivost izračunavamo po empiri-
ičkoj formuli Feldmann-a, koja glasi:

$$\mu_0 = \frac{1}{2\pi a} ; \lambda = 0,8 \cdot \pi^2 \cdot a = 7,9 a \quad (104)$$

(a) označuje ovdje radijus kugle koja ima istu površi-
nu kao kraj jezgre, koji nije omota-
tan (koji struji van iz svitka). U



Sl. 56.

slici (56) nacrtan je prismojčac.
Za namotaj odredimo (20 cm). Pov-
ršina jezgre neomotanog kraja je
 $F = 3,5^2 \cdot \frac{\pi}{4} + 3,5 \cdot \pi \cdot 10 = 119,6 \text{ cm}^2$

Površina kugle polunijera (a) mora biti isto tolika,
prema tome je

$$4a^2 \pi = 119,6 \text{ cm}^2 ; a = 3,09 \text{ cm}$$

Magnetska vodljivost je onda: $\lambda = 24,4$, te poje-
dnadžli (103):

$$w = \sqrt{\frac{33,7 \cdot 10^8}{6,23 \cdot 8 \cdot 60 \cdot 24,4}} = 230 \text{ ravoja.}$$

Odaberemo za namotaj žicu promjera od (2 mm),
odnosno omotanu žicu od (2,5 mm) promjera ($=d'$),
onda imamo:

$$200 : 2,5 = 80 \text{ ravoja jedan do drugog}$$

$$230 : 80 = 2,9 \text{ sloja.}$$

Pa da li morali još jednom sve tačno izračunati,
jer smo u početku bili odabrali (500) ravoja, a sada smo
ih računom dobili manje.

Ali jer nam je sadana mogućnost regulacije putem
izvlačenja žegre, možemo također namotati nešto
veći broj ravoja, te onda izvuci žegru dok ne na-
ravno položaj žegre tako, da dobijemo pravilnu EMS
(E_s).

7. Istosmjerni generator za proizvodnju izmjenične struje.

Svaki generator istosmjernne struje može se upotrijebiti kao generator izmjenične struje, ako

se spoji određene lamelle kolektora sa prstenima. - Prema, trajno u tu svrhu slike (57 + 60) u sl. (57) sumiraju se EMS razvoja jedne polovice prstena; druga je k ovoj (prvoj) paralelno spojena. EMS ima najveću vrijednost.

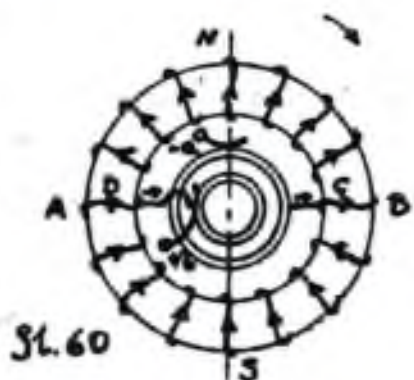
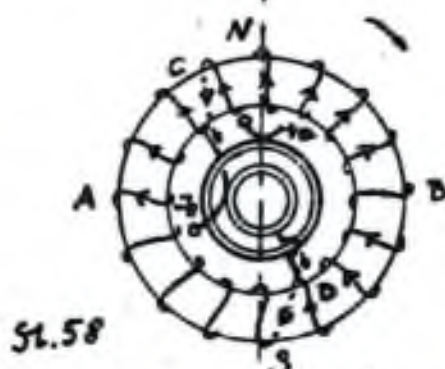
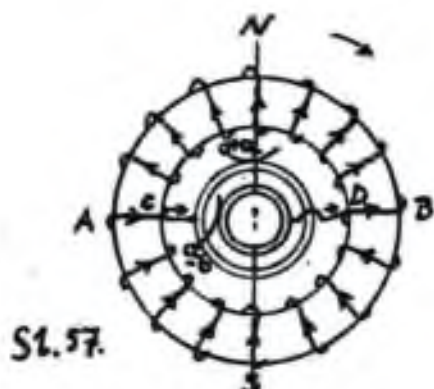
U sl. (58) pomaknula se armatura u smjeru vrtulje kazaljke na satu. U polovici prstena adiraju se samo EMS onih razvoja, koji imaju isti smjer, tj. od (C) do (D), te razvoji između (B) i (D), koji su ali suprotnog smjera tako, da dolazi do djelovanja samo razlika EMS : $(CB) - (BD)$.

U sl. (59) postalo je $(CB) = (BD)$, pa prema tome nemamo napona između (a) i (b).

U sl. (60) je EMS opet maks. malna, ali suprotnog smjera. Nakon polovice okreta postala je EMS od pozitivnog do negativnog maksimuma, tj. polovica perioda. Svaki okretaj odgovara prema tome jednoj periodi.

Da povećamo broj perioda, moramo povećati broj okretaja ili broj polova.

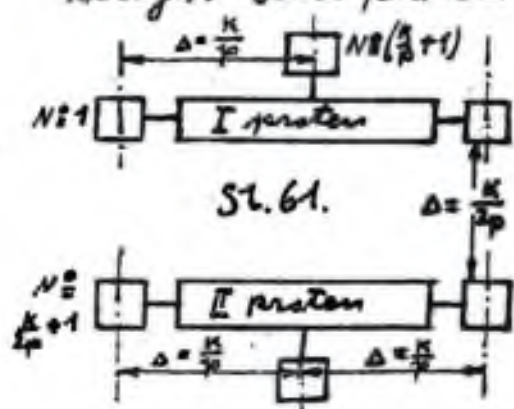
U slikama (57 + 60) spojili smo



suprotno ležeće tačke na armaturi direktno sa prstenima. Može se takođe, a da se ništa ne promeni, spojiti sa prstenima dirje suprotno ležećoj tački na kolektoru. Od ovakvog stroja možemo onda dobiti istosmjernu i izmjeničnu struju. Ako stroj ima poredno uključenje, može se istosmjernom strujom uključiti magnetsko, te na taj način dobiti stroj sa izmjeničnom strujom sa vlastitim uključenjem. Ovakve se strojeve upotrebljava samo za napone do (otprilike) 500 V, ali za veliku jakost struje. U tom se slučaju ispusti kolektor, te se umesto sa uključenjem poseban stroj istosmjerne struje.

Kod dvopolnog stroja uveli smo suprotno ležeće lamelle, koje smo spojili s prstenima. Ima li dakle kolektor (k) lamela, spojimo lamelu (1) sa jednim, a lamelu ($\frac{k}{2} + 1$) sa drugim prstenom.

Svaki višepolni stroj sa petljastim namotajem možemo smatrati kao da se sastoji od (više) dvopolnih strojeva. Prema tome: ako imamo (k) lamela, onda je ($\frac{k}{2}$) broj lamela odgovarajućeg dvopolnog stroja. Prvi prsten spojimo sa lamelom broj (1), drugi sa lamelom ($\frac{k}{2} + 1$). Ako imamo



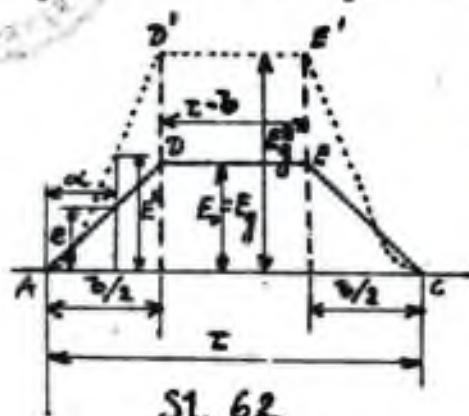
spojke izjednačenja, onda je lamela broj (1) spojena sa lamelom ($\frac{k}{2} + 1$). Najčešće da spojimo lamelle međusobno, spojimo tačku, kakve lamelu broj ($\frac{k}{2} + 1$) sa prvim prstenom, isto kao i lamelu broj (1).

Slika (61) prikazuje šematski spoj. Znati (Δ) označuju diferenciju. Sa jednim prstenom je spojeno (p) lamela.

Kod valovitog namotaja spoji se sa prstenom samo jedna lamela, jer ovdje nemamo spoje izjednačenja.

Ako umemo sa početak promatranja slike (59)

onda je oblik krivulje inducirane EMS prikazan na



sl. (62). Najprije raste EMS proporcionalno kutu okre-
tanja - dok leži (CO) pod polom,
[luk (B)], potom ostane kon-
stantna dok opet ne dođe
(CO) pod pol, te onda pada pro-
porcionalno, t.j. po pravcu
do nule, koja će vrijednost po-

stići onda, kada tačka (C) dođe u sredinu ispod južnog
pola.

Te srednju vrijednost polovice perioda vrijedi:

$$I E_{\text{red}} = \text{trapez (ADEC)} = \frac{T + (T - b)}{2} \cdot E_g$$

jer je (E_g) jednako EMS istosmjernog struje, jednako amplitu-
dini - maksimalnoj vrijednosti - inducirane EMS. / Za
istosmjernu struju su svi razvoji jedne polovice u seriji
spojeni, pa se prema tome sumiraju sve pojedine EMS
jedne polovice, koja suma odgovara amplitudi: /.

Prema tome imamo:

$$E_{\text{red}} = \left(1 - \frac{1}{2} \frac{b}{T}\right) E_g \quad \dots \quad (105)$$

$$\text{Za } \frac{b}{T} = 0,5 \quad 0,6 \quad 0,7 \quad 0,8 \quad \text{je}$$

$$\frac{E_{\text{red}}}{E_g} = 0,75 \quad 0,7 \quad 0,65 \quad 0,6$$

Da nađemo efektivnu vrijednost, moramo nad (AC)
u slici (62) nacrtati krivulju, kojoj su ordinate kvadrati
ordinate krivulje (ADEC) /: trikutna označena krivulja: /
Ako je (E^2) strana pravokutnika nad (AC) mora biti
ispunjena jednadžba:

$$I \cdot E^2 = \text{površini (AD'E'C)},$$

onda je (E) efektivna vrijednost. Prema tome

$$I \cdot E^2 = 2 \int_0^{\frac{b}{2}} e^2 \cdot d\alpha + (T - b) \cdot E_g^2$$

Jer je: $(e : E_g = \alpha : \frac{b}{2})$, a to je tako radi proporcional-
nog porasta u pravcu, liti će: $e = \frac{2 E_g \alpha}{b}$, dakle

$$\int_0^{\frac{b}{2}} e^2 \cdot d\alpha = \int_0^{\frac{b}{2}} \frac{4 E_g^2 \alpha^2}{b^2} \cdot d\alpha = \frac{4 E_g^2}{b^2} \cdot \frac{\alpha^3}{3} \Big|_0^{\frac{b}{2}} = \frac{4 E_g^2}{b^2} \cdot \frac{b^3}{24} = \frac{1}{6} E_g^2 b$$

$$z \cdot E^2 = 2 \cdot \frac{1}{2} E_g^2 \cdot b + (z-b) E_g^2 = E_g^2 \left(\frac{z}{2} + z - b \right) = E_g^2 (z - \frac{1}{2}b)$$

$$E = E_g \sqrt{1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{z}{b}}$$

$$z = \frac{z}{E_g} = \begin{matrix} 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 \end{matrix} \text{ je}$$

$$\frac{E}{E_g} = f_g = \begin{matrix} 0,815 & 0,775 & 0,73 & 0,685 \end{matrix}$$

Maksimalna vrijednost (E_g) je EMS istosmjerno struje, na kojoj vrijedi:

$$E_g = \frac{z}{a} \cdot \frac{p \cdot m}{60} \cdot \phi \cdot 10^{-8} \text{ V}$$

Prema tome je efektivna vrijednost izmjenične struje:

$$E = f_g \cdot \frac{z}{a} \cdot \frac{p \cdot m}{60} \cdot \phi \cdot 10^{-8} \text{ V} \quad (108)$$

Ako je (I) jakost izmjenične struje, koju hoćemo da nam daje armatura, onda je za petljasti namotaj jakost struje u žici ($\frac{I}{2p}$), a za valoviti namotaj ($\frac{I}{2}$), kao što smo imali kod istosmjernog generatora.

Otpor armature je za petljasti namotaj:

$$R_a = \frac{c \cdot L}{(2p)^2 \cdot 2}, \text{ a za valoviti namotaj: } R_a = \frac{c \cdot L}{4 \cdot 2}, \text{ ako smo } (L) \text{ dužinu čitavice na armaturi.}$$

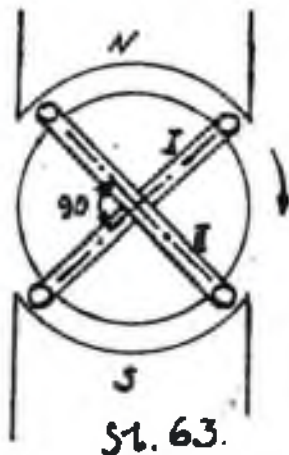
Proračun generatora istosmjerno struje na izmjeničnu ostaje isti kao proračun običnog generatora za istosmjernu struju, osim izračunavanja protudjelovanja armature. - Za EMS vrijedi jednadžba (108)

8. Polifazne struje.

Metinimo na armaturnu stroj slike (1) još druge svitke i to tako, da su svi svitci u prostoru međusobno odmaknuti jedan prema drugom, tada će biti takoder i u ovim svitcima kod rotacije inducirana izmjenična EMS. Sve ove EMS imaju isti broj perioda, ali su si u fazi međusobno odmaknute, jer svitci nisu nikada istodobno spojeni sa istim tokom.

Sistemu, kod kojega izvađa broj prostora, no međusobno odmaknutih svitaka isti broj vrhova, menita međusobno odmaknutih izmjeničnih struja iste frekvence, roveće polifazni sistem.

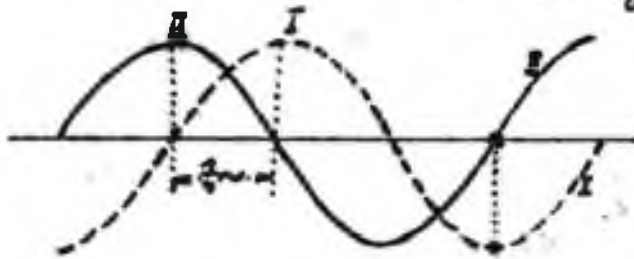
Od polifaznih sistema su najvažniji: dvo-fazni, četvero-fazni, te tro-fazni i šestoro-fazni sistem, koji mogu biti ili neovisni ili ovisni spojeni višefazni sistemi.



Sl. 63.

Na armaturu generatora namo-
tana dva svitka, koji čine kut od
(90°), dajuće dvostruko djelovanje i
dviije izmjenične struje, koje čine
fazni od (90°) - dvofazni sistem.

Uzmemo li kut kao apscisu, te jaost
struje kao ordinatu, dobijemo sliku
(64). Krivulja (I) odgovara svitku (I),
a krivulja (II) svitku (II) slike (63).

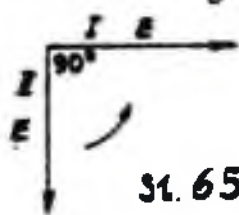


Sl. 64

Iz slike se vidi da dolje jedna
krivulja prolazi kroz ma-
ksimum, da druga prolazi
kroz nulu.

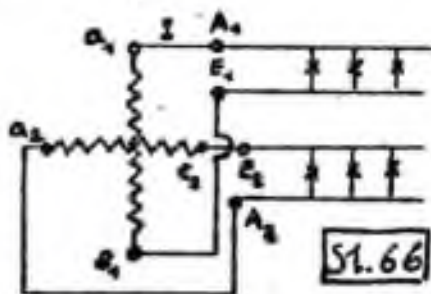
Dvofazna se struja sastoji
iz dvije jednofazne struje,
od kojih EMS tvore metu.

sobno kut od (90°)-ili ($\frac{1}{4}$) perijode. Vektori dvofaznih struja
su okomiti jedan na drugoga - sl. (65).



Sl. 65.

Za odvod struje može se uzeti četiri voda
i to tako, da se svaku fazu optereti sa
polovicom tereta - sl. (66); to je onda
neovisni, nespojeni sistem:



Sl. 66

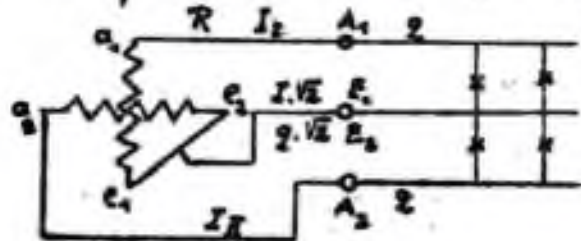
(a_1, e_1) je namotaj jedne faze, (a_2, e_2)
namotaj druge faze, (a, A_1) voda sa
otporom (R). - Ako su faze jednako
opterećene teče u svim vodovima
ista efektivna struja (I). U otporu
(R) jednoga voda imamo opada-

nje (IR), te imamo dva voda opadanje

$$S = 2 \cdot I \cdot R \quad (109)$$

(E_N) je napon na steralkama između (a_1) i (e_1); onda je

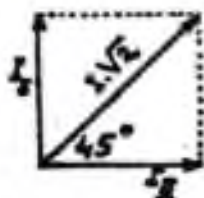
napon između (A_1) i (E_1) samo ($E_1 - 2 I R$).



Sl. 67.

Združimo vodove (e_1, E_1) i (e_2, E_2) -sl. (67) - ovise, spojeni sistem - onda teče u tom vodu geom. trična suma ovih struja. Jer stoje vektori dvofaznih struja okomito jedan na drugome -sl. 68 - biti će suma dijago.

nala kvadrata. Ako je dakle (I) struja u jednom vodu koji počinje kod (a_1), odnosno (a_2), onda teče u raje, dručkom vodu (e_1, E_1) struja ($I \cdot \sqrt{2}$).



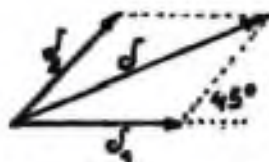
Sl. 68

Ako je (R) otpor voda (a_1, A_1) ili (a_2, A_2) onda je opadanje u jednom od ovih vodova $\mathcal{L}_1 = I \cdot R$

Ako pojedinički vod ima otpor (R_1) onda je opadanje u njemu

$$\mathcal{L}_2 = I \sqrt{2} \cdot R_1 \quad (110)$$

Opadanje u obim vodovima (a_1, A_1) te (e_1, E_1) je geom. trijska suma od ($\mathcal{L}_1$) i ($\mathcal{L}_2$). - Poznato nam je da okm-ovo opadanje mijek pada u smjer pripadajućeg vektora struje, prema tome opadanje ($\mathcal{L}_1$) u smjer ve, ktora (I_1), opadanje ($\mathcal{L}_2$) u smjer vektora ($I \cdot \sqrt{2}$). Opada, nja ($\mathcal{L}_1$) i ($\mathcal{L}_2$) ratiwaraju međusobno kut od (45°). U



Sl. 69.

sl. (69) je ($\mathcal{L}$) dijagonala odgovaraju, ćeg paralelograma. Za ovu dijagonalu vrijedi:

$$\mathcal{L} = \sqrt{\mathcal{L}_1^2 + \mathcal{L}_2^2 + 2 \mathcal{L}_1 \mathcal{L}_2 \cos 45^\circ} = \sqrt{\mathcal{L}_1^2 + \mathcal{L}_2^2 + \mathcal{L}_1 \mathcal{L}_2 \sqrt{2}} \quad (111)$$

$$\text{Uz: } \mathcal{L}_1 = \mathcal{L}_2$$

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_1 \cdot \sqrt{2 + \sqrt{2}} = 1,85 \cdot \mathcal{L} \quad (112)$$

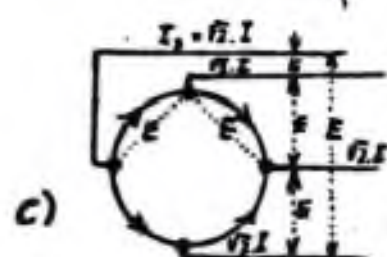
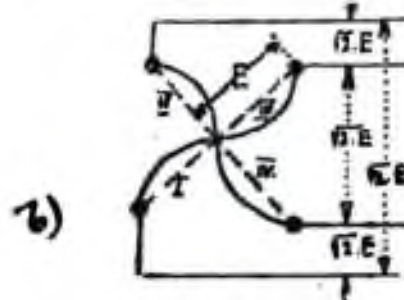
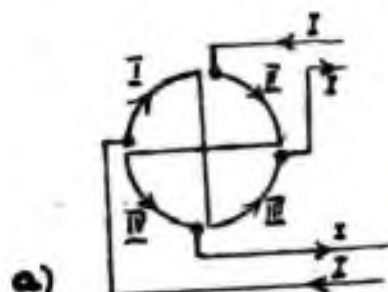
ili, ako metnemo u jednadžbu: $\mathcal{L}_1 = I \cdot R$

$$\mathcal{L} = 1,85 I \cdot R \quad (113)$$

Gili smo metnuli ($\mathcal{L}_1 = \mathcal{L}_2$), prema tome i: $I R = I \cdot \sqrt{2} \cdot R_1$, dakle: $R_1 = \frac{R}{\sqrt{2}}$. Jer je: $R_1 = \frac{c \cdot l}{2 \cdot a}$, a: $R = \frac{c \cdot l}{2}$, mora također biti:

$$\frac{c \cdot l}{2 \cdot a} = \frac{c \cdot l}{\sqrt{2} \cdot 2} \quad \text{tj.} \quad a = 2 \cdot \sqrt{2} \quad (114)$$

Ako je ova jednadžba ispunjena, onda je opadanje u pojediničkom vodu isto tako veliko kao u jednom vanjskom vodu. - Ako je u sl. (67) (E_K) napon stekaljke (a, c_1), onda je napon ($E_A A_A$): $E_K - 1,85 \cdot I \cdot R$



Četverofazni sistem prikazuje nam slika (a, b, c). U slici (a) i (b) imamo spoj u zvijezdi. Spojena struja (struja voda) jednaka je struji faze: $I_s = I$

Napon susjednih vodova (spojeni napon) je:

$$E_s = 2 \cdot \sin 45^\circ \cdot E = \sqrt{2} \cdot E$$

Spoj u krugu - sl. (c) - daje struju vodova (spojenu struju):

$$I_s = 2 \cdot \sin 45^\circ \cdot I = \sqrt{2} \cdot I$$

Napon vodova jednak je naponu faze. Dvoj spoj možemo označiti također kao dvofazni četverovodni sistem.

$$\left. \begin{array}{l} E_s = \text{napon} \\ I_s = \text{struja} \end{array} \right\} \text{faze}; \left. \begin{array}{l} E_s = \text{spojeni napon} \\ I_s = \text{spojena struja} \end{array} \right\}$$

Vidjeli smo da možemo dobiti iz stroja na isto, mjerenu struju također i vanjskičnu struju, ako spojimo kod dvopolnog stroja suprotne k.



Sl. 70.

reće tačke sa prstenima. Spojimo sa drugim prstenima nasuprot ležeće tačke, koje su udaljene od prijašnjih za 90° električnih stupnjeva, onda dođemo, kao i prije, na drugom paru prstena istu, ničnu struju, ali ova je za $(\frac{1}{4})$ perioda odmaknuta u fazi prema prvj.

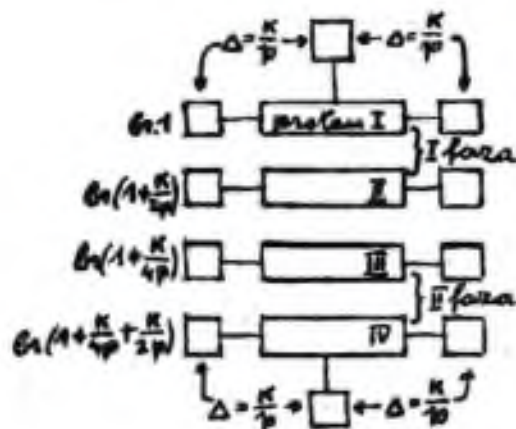
Odvod ove struje može se načiniti samo sa četiri voda, jer li spojili tačke (A) i (B) ako spojimo u slici (70) (c) sa (c), kao što to prikazuje slika (67). Među ovim ta,

čikama vlada sumnja EMS četvrtine prostena; struje koje toga spoja bile bi veoma jakе.

Na kolektoru dvopolnog stroja imamo (K) lamela. Za 1. fazu moramo spojiti lamelu (1) sa je, drugim, a lamelu $(1 + \frac{K}{2})$ sa drugim prostenom. Za drugu fazu spoji se lamelu $(1 + \frac{K}{4})$ sa trećim prostenom, a sa četvrtim prostenom lamelu koja je udaljena od ove sa $(\frac{K}{2})$ lamela.

Kod višepolnih strojeva sa petljastim namotajem imamo uvijek spojke izjednačujuće tako, da stroj radi kao dvopolni. Jer je prema tome (K) broj lamela

onda je $(\frac{K}{p})$ broj lamela istovremeno, drug dvopolnog stroja. Prema tome spojimo lamelu (br. 1) sa prostenom, te sve lamelle udaljene sa $(\frac{K}{p})$ od (br. 1) sa istim prostenom. Za drugim prostenom moramo spojiti lamelu br. $(1 + \frac{K}{2p})$, te opet sve lamelle od ove udaljene sa $(\frac{K}{p})$. Prvi prosten druge faze spojimo sa lamelom br. $(1 + \frac{K}{4p})$, te sa četvrtim prostenom lamelle udaljene od pri-



St. 71.

jeenje sa $(\frac{K}{2p})$ lamelle. Svrhu spoja prikazuje st. (71)

U slici (63) možemo namjestiti dva vrsta takozvanih svitaka, prostorno udaljene međusobno sa (120°) . Onda smo postigli trostruko djelovanje, te tri izmjenične struje udaljene međusobno sa (120°) . Na isti način može se na armaturu metnuti i više svitaka, te dobiti još veći broj faza.

Različite sisteme ovih polifaznih struja može se razdijeliti u slijedeće skupine:

- 1) simetrične - i asimetrične sisteme
- 2) ovise, vezane, spojene sisteme i neovise
- 3) balansirane - i nebalansirane sisteme.

Ad 1): Ako u višefaznom sistemu djeluje (n) napona iste veličine, koji su za ($\frac{1}{n}$) periode međusobno odmaknuti, onda imamo simetrični; inače nesimetrični sistem.

Za simetrične sisteme vrijedi prema tome:

$$e_1 = E \cdot \sin(\omega t); \quad e_2 = E \cdot \sin(\omega t - \frac{2\pi}{n}); \quad e_3 = E \cdot \sin(\omega t - 2\frac{2\pi}{n})$$

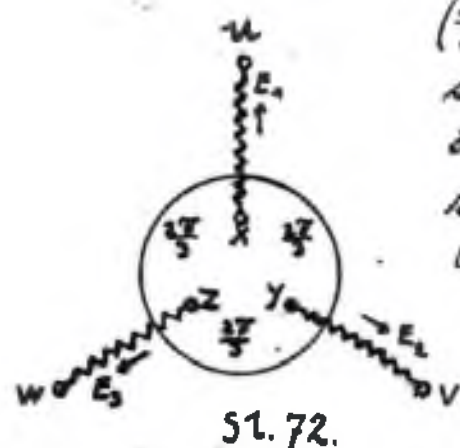
$$e_n = E \cdot \sin[\omega t - (n-1)\frac{2\pi}{n}] \quad (115)$$

Ad 2): Ako su pojedine faze međusobno spojene i to tako, da se kod ovih spojeva ne dolije rasklapanje krugova u kojima je suma inducirane EMS različna od nule, onda imamo vezane, spojene sisteme. Rezultirajuća EMS mora u ovom krugu biti ($\neq$), inače je spoj kratak spoj.

Ad 3): Ako je kod višefaznih sistema momentano djelovanje čitavog sistema uvijek konstantno, onda imamo balansirani sistem.

Najvažniji od višefaznih sistema je

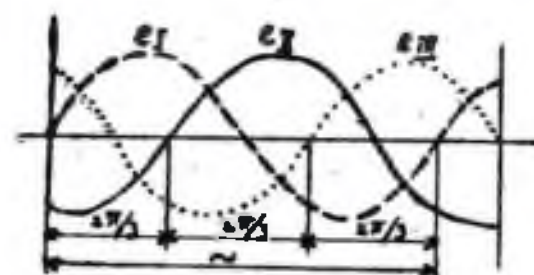
a) Trofazni sistem.



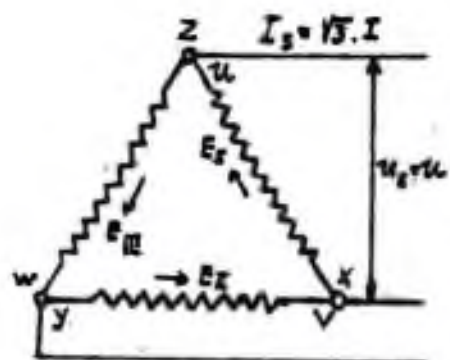
Tri namotaja su u prostoru za ($\frac{2\pi}{3} = 120^\circ$) električnih stupnjeva međusobno odmaknuta tako, da proizvode tri napona, koji su također za (120°) međusobno odmaknuti.

Ovi su naponi - sl. 72 -

$$\left. \begin{aligned} e_I &= E_0 \cdot \sin(\omega t) & \text{ili} & E_0 \cdot \sin(\omega t) \\ e_{II} &= E_0 \cdot \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \text{ili} & E_0 \cdot \sin(\omega t + 120^\circ) \\ e_{III} &= E_0 \cdot \sin(\omega t - 2 \cdot \frac{2\pi}{3}) & \text{ili} & E_0 \cdot \sin(\omega t + 240^\circ) \end{aligned} \right\} 116$$



Polazak ovih napona prikazuje slika (73). Načinimo li sumu ($e_I + e_{II} + e_{III}$), onda dođemo u svakom momentu kao sumu ($\neq$). To se vidi i iz slike (73). Ostale slijedi da se može namotaje međusobno

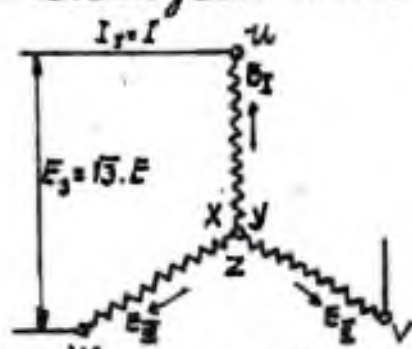


Sl. 74.

buo spojiti po slici (74) - u trokutu. U tom krugu nema unutarnjih struja, jer je suma EMS jednaka nuli. Ali u vanjskim vodovima teče struja, jer među tačkama diraju vodova imademo na petost.

Naponima (E_I, E_{II}, E_{III}) odgovara.

raju tri struje, od kojih je suma - uz pretpostavku da imademo simetrično opterećenje - u svakom momentu jednaka (0).



Sl. 75



Sl. 76.

Spojimo namotaje po slici (75) u zvijezdu možemo - od ir čvora - nul vod - ispuštiti, jer u tom vodu

(koji čini površ, tui vod sa tri namotaja) nema, mo struje. - Jer pripadno struje čine sa svojim EMS kut (φ) imamo:

$$\left. \begin{aligned} i_I &= I_0 \cdot \sin(\omega t - \varphi) = I_0 \cdot \sin \beta \\ i_{II} &= I_0 \cdot \sin(\omega t + 120 - \varphi) = I_0 \cdot \sin(\beta + 120) \\ i_{III} &= I_0 \cdot \sin(\omega t + 240 - \varphi) = I_0 \cdot \sin(\beta + 240) \end{aligned} \right\} (117)$$

$$i_I + i_{II} + i_{III} = 0$$

Ža isti tok, isti broj perijoda te isti broj ravoja svakoga namo,

taja je spojni napon (E_s) (napon vodova) kod spoja u zvijezdi veći nego kod spoja u trokutu. Iz slike (76) slijedi spojni napon:

$$E_s = 2 \cdot E \cdot \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cdot E \quad (118)$$

Ali struja u vodu jednaka je struji u fazi

$$I_s = I \quad (119)$$

Ža koji god m-fazni sistem dolije se spojni napon iz:

$$E_s = E_0 \cdot \sin(\omega t) - E_0 \cdot \sin(\omega t - \frac{2\pi}{m}) = E_0 \cdot \sin \frac{\pi}{m} \cdot \cos(\omega t - \frac{\pi}{m})$$

prema tome efektivna vrijednost:

$$E_s = 2 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{m} \quad (120)$$

Spojeni napon je dakle jednak diferenciji pojedinih napona. Diferenciji, a ne sumi, jer ne dolazi u obzir samo vremenska faza pojedinih napona, nego tako, da i vrsta spoja (vidi na pr. sl. (76)).

Za spoj u trokut je ($E_s = E$), ali struja u odu jednaka je diferenciji struje dviju faza, t.j.:

$$I_s = \sqrt{3} \cdot I \quad (121)$$

Na isti način kao što smo imali kod tri-faznog sistema za napon, dolijemo spojem struje tri-faznog sistema: $I_s = 2 \cdot I \cdot \sin \frac{\pi}{3}$ (122)

Efekt trofazne struje za spoj u zvijezdi i u trokutu je

$$N = 3 \cdot E \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot E_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi \quad (W) \quad (123)$$

Šestero fazni sistem slijedi iz trofaznog na isti način kao četverofazni iz dvofaznog: šest namota, ja proizvoda šest napona, od kojih su uvijek dva i dva za (180°) u fazi pomaknuti.



Kod šesterofaznog sistema imamo sistem zvijezde - sl. (a) -, te sistem kruga - sl. (b) -. Fazni kut je (60°). Spojena struja u odu kod spoja u krugu:

$$I_s = 2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot I = I,$$

prema tome, kao kod spoja u zvijezdi, jednaka je struji faze (I).

Napon vanjskih vodova je za spoj u zvijezdi:

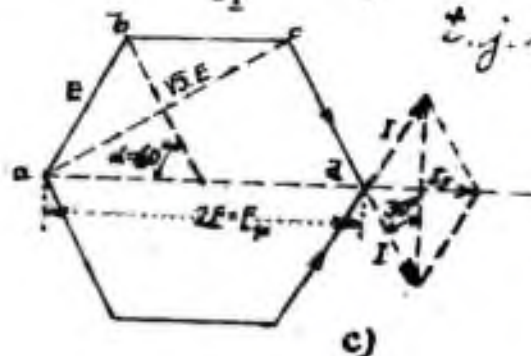
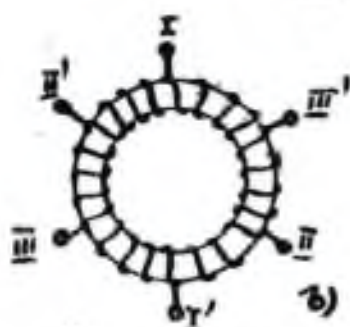
$$E_s = 2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot E = E,$$

t.j. isti kao za spoj u krugu.

Šesterofaznom sistemom možemo odvesti tri različita napona, i to - sl. (c) -:

$$ab = E; ac = \sqrt{3} \cdot E; ad = 2 \cdot E$$

Okoje napon promjera (E_p), onda su naponi: $E = 0.5 \cdot E_p; \sqrt{3} \cdot E = 0.866 \cdot E_p; 2E = E_p$



Dvofazni sistem upotrebljava se rijetko, u gla-
vnom za rotore asinkronih motora. Najveći broj ge-
neratora i jedinice struje je ili jedno- ili dvo- fazan.
Tretrofazni sistem upotrebljava se kod pretvarača.

Ako je (R) otpor voda kroz koji teče struja (I) , onda
je opadanje u vodu: $\mathcal{L}_1 = I \cdot R$. Imamo li sve faze je-
dnako opterećene, biti će u drugom vodu isto opada-
nje. Opadanje u obim vodovima je geometrijska di-
ferencija. Sl. (77): $\overline{OA}_1 = \mathcal{L}_1 = \text{opadanje u}$
prvom vodu; onda je $\overline{OA}_2 = \mathcal{L}_1$ opadanje
u obim vodovima, t. j.



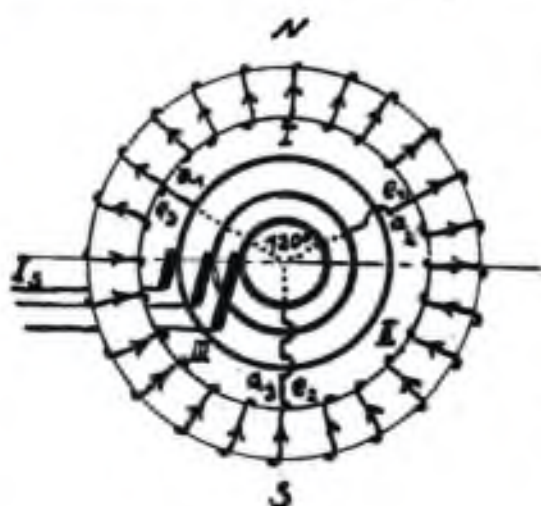
Sl. 77.

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_1 \cdot \sqrt{3} = I \cdot R \cdot \sqrt{3}$$

(124)

[Pregled raznih sistema vidi na str. (58)]

b. Istosmjerni generator za trofaznu struju.



Sl. 78.

Trofaznu struju dobiti ćemo
ako kod generatora za istosmjer-
nu struju /dvo polni stig/ tri
tačke namotaja spojimo sa
tri prstena; ove tri tačke mo-
raju biti za (120°) međusobno
udaljene. Na sl. (78) su faze
spojene u trokutu.

(I_s) je struja u jednom vodu,
ili, što je isto, jednog prstena;
onda je struja (I) u namotaju:

$$I = \frac{I_s}{\sqrt{3}}$$

Ako imamo petljasti namotaj sa (p) polova,
onda je (p) tačaka spojeno sistim prstenom, pa je
prema tome struja u dovodu od namotaja do prste-
na $(\frac{I_s}{p})$, te struja (I) :

$$I = \frac{I_s}{p \cdot \sqrt{3}} \quad (125)$$

Ako imamo serijski namotaj, onda ima svaki
prsten samo jedan dovod, prema tome za svaki stig-
-bor obzira na broj polova: $I = \frac{I_s}{\sqrt{3}}$ (126)

(nastavak na strani 39)

Sljedeća tabela sadrži različite sisteme izmjene
 one struje sa naponom i strujom.

E (E_s) i (I_s) spojne veličine; (E) i (I) faze veličine: /

Sistem	Skema	Napon i struja	
1 Jednofazni sistem		$E_s = E$	$I_s = I$
2 Jednofazni trovodni sistem		$E_s = \begin{cases} E \\ 2E \end{cases}$	$I_s = I$ $I_0 \neq 0$
3 Dvofazni nespojeni ili dvofazni četverovodni sistem		$E_s = E$	$I_s = I$
4 Spojeni dvofazni sistem ili dvofazni trovodni sistem		$E_s = \begin{cases} E \\ \sqrt{2} \cdot E \end{cases}$	$I_s = I$ $I_{\Sigma} = \sqrt{2} \cdot I$
5 Trofazni nespojeni ili trofazni šestovodni sistem		$E_s = E$	$I_s = I$
6a Trofazni četverovodni, spoj u zvijezdi		$E_s = \begin{cases} E \\ \sqrt{3} \cdot E \end{cases}$	$I_s = I$ $I_0 = 0$
6b bez nul-voda: trofazni trovodni, spoj u zvijezdi		$E_s = \sqrt{3} \cdot E$	$I_s = I$
7 Trofazni trovodni sistem; spoj u trokut		$E_s = E$	$I_s = \sqrt{3} \cdot I$
8 Dvo- i četvero-fazni sistem u zvijezdi		$E_s = \begin{cases} \sqrt{2} \cdot E \\ 2 \cdot E \end{cases}$	$I_s = I$
9 Dvo- i četvero-fazni sistem u krugu		$E_s = \begin{cases} E \\ \sqrt{2} \cdot E \end{cases}$	$I_s = \sqrt{2} \cdot I$
10 Tro- i šestero-fazni sistem u zvijezdi		$E_s = \begin{cases} E \\ \sqrt{3} \cdot E \\ 2 \cdot E \end{cases}$	$I_s = I$
11 Tro- i šestero-fazni sistem u krugu		$E_s = \begin{cases} E \\ \sqrt{3} \cdot E \\ 2 \cdot E \end{cases}$	$I_s = I$

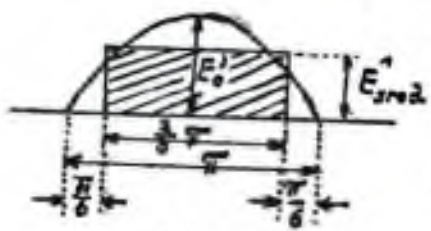
Osim ovih sistema imamo još kombinirane sisteme /: vidi pod (3):/

Maksimalnu vrijednost EMS u fazi 1 dobijemo ako ravoji ($a_1 - c_1$) leže pod polom, t.j. suma svih ravoja koji leže između ($\alpha = 30^\circ = \frac{\pi}{6}$) i ($\alpha = 150^\circ = \frac{5\pi}{6}$). Onu sumu možemo dobiti ako množimo srednju vrijednost jednoga ravoja sa brojem ravoja ($\frac{w}{3}$):

$$E_0 = \sum_{\alpha=30}^{150} E = E_{\text{red}} \cdot \frac{w}{3}$$

U slučaju da je u jednom ravoju moguća najveća EMS (E_0^1), onda je: $e = E_0^1 \cdot \sin \alpha$

Iz slike (79) slijedi:



Sl. 79.

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot E_{\text{red}}^1 &= \int_{30}^{150} E_0^1 \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \\ &= -E_0^1 \cdot \cos \alpha \Big|_{30}^{150} = -E_0^1 (\cos 150 - \cos 30) = \\ &= E_0^1 \left(\frac{1}{2} \sqrt{3} + \frac{1}{2} \sqrt{3} \right) = E_0^1 \cdot \sqrt{3}, \text{ ili:} \\ E_{\text{red}}^1 &= \frac{3}{2\pi} \cdot E_0^1 \cdot \sqrt{3}; \text{ prema tome} \\ E_0 &= \frac{3}{2\pi} \cdot E_0^1 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{w}{3} = \frac{E_0^1 \cdot \sqrt{3}}{2\pi} \cdot w \quad (127) \end{aligned}$$

Za jednofaznu struju dobijemo maksimum EMS ako načinimo sumu EMS ravoja jedne polovine prstena, t.j.: $E_0^I = E_{\text{red}}^I \cdot \frac{w}{2}$. Prema tome vrijedi za jednofaznu struju:

$$\begin{aligned} \pi \cdot E_{\text{red}}^I &= \int_0^\pi e \cdot d\alpha = \int_0^\pi E_0^1 \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = -E_0^1 (\cos \pi - \cos 0) = 2 \cdot E_0^1, \\ \text{ili} \quad E_{\text{red}}^I &= \frac{2}{\pi} \cdot E_0^1, \\ \text{odnosno} \quad E_0^I &= \frac{2}{\pi} \cdot E_0^1 \cdot \frac{w}{2} = \frac{E_0^1 \cdot w}{\pi} \quad (128) \end{aligned}$$

Dividiranjem jedn. (127) sa jedn. (128) dobijemo:

$$\frac{E_0}{E_0^I} = \frac{\frac{E_0^1 \cdot \sqrt{3} \cdot w}{2\pi}}{\frac{E_0^1 \cdot w}{\pi}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{ili} \quad E_0 = \frac{E_0^I \cdot \sqrt{3}}{2} \quad (129)$$

Podijelimo li još obe strane sa ($\sqrt{2}$), dobijemo na lijevoj strani efektivnu vrijednost EMS jedne faze - koja je ovdje jednaka spojenoj naponi -

$$E = \frac{E_0^I \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot \sqrt{2}} = 0,615 \cdot E_0^I \quad (130)$$

Jer je (E_0^I) EMS istosmjernne struje, t.j.

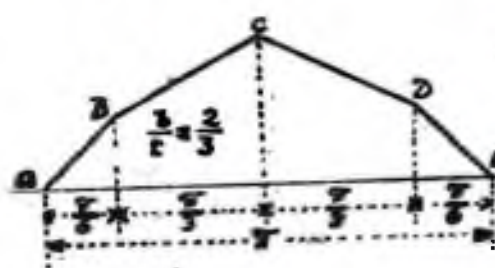
$$E_0^I = E_g = \frac{z}{a} \cdot \frac{p \cdot n}{60} \cdot \phi_0 \cdot 10^{-8} \text{ (V)} \quad (131)$$

slijedi konačno

$$E = 0,615 \cdot E_g = 0,615 \cdot \frac{\phi_0 \cdot z \cdot n}{60 \cdot 10^8} \cdot \frac{p}{a} \quad (132)$$

Ali ova jednačba vrijedi samo za sinusoidalni oblik krivulje, koji smo odabrali u sl. (79). Faktor (0,615), kojega smo došli za sinusoidalni oblik krivulje, ovisan je o ovom obliku.

Zamislimo si armaturu slike (78) tako okrenutu, da je EMS prve faze jednaka nuli, t.j. (a_1) leži u horizontalnom položaju; (a_1) je onda (30°) od kraja južnog, (a_2) na (30°) od početka sjevernog pola udaljeno, ili: polovica ravoja je iznad, a druga polovica iznad neutralne zone. Okrenemo li za jedan ravoj na desno, onda raste broj ravoja koji leže nad neutralnom zonom (osi) za jedan, a broj ravoja ispod neutralne osi se umanjuje za jedan ravoj; EMS faze se prema tome povećala za dva ravoja.



Sl. 80.

Kod daljnjeg okretanja raste EMS u istom razmjeru dok ne dođe (a_1) pod rub južnog pola, t.j. kad smo okrenuli armaturu na (30°). Odatle raste EMS kod istoga okretanja samo za polovicu, jer raste minimum

za 1 ravoj, ali suptrahand ostane jednak (3). Dođe li (a_1) do lijevoga ruba sjevernog pola (N), postigla je tada EMS maksimalnu vrijednost. Slika EMS odgo. vara slici (80), uz (uvid da je): $\frac{b}{c} = \frac{2}{3}$.

Ako se naćini slični račun - kao što je to bilo za sinusoidalni oblik - dođijemo za faktor (oblika):

$$f_g = \frac{E}{E_g} \quad (133)$$

vrijednost: $f_g = 0,647$.

Sljedeća tabela sadrži razne različite vrijednosti od ($\frac{b}{c}$) faktore (f_g)

$\frac{b}{c}$	95	96	966	97	98	za sinusoidalni oblik
$f_g = \frac{E}{E_g}$	0,7	0,66	0,64	0,62	0,619	0,615

Želimo li iz dvopolnog stroja istosmjernu struju dobiti trofaznu struju, mora stroj imati broj lamela djeljiv sa 3. Onda spojimo periprotetu sa lamelom br. 1, drugi protet sa lamelom br. $(\frac{p}{3} + 1)$, te treći protet sa lamelom $[(\frac{p}{3} + 1) + \frac{p}{3}]$ - ako stroj ima $(2p)$ polova, te na armaturi obični petljasti namotaj, onda je broj lamela istovrijednog dvopolnog stroja jednak $(\frac{p}{3})$. Time su takođe određeni spojevi. - ako armatura ima serijski namotaj, mora biti: $\gamma_1 + \gamma_2 = \frac{1 \pm 2}{p}$. U broj lamela: $K = \frac{4}{2}$ mora biti $(\frac{4}{2})$ djeljivo sa 3. Ovaj uslov ne može biti ispunjen ako je (p) mnogokratnik od 3, jer bi moralo biti takođe (1 ± 2) djeljivo sa 3.

Višefazne se sisteme može na različite načine kombinirati sa istosmjernim, odnosno sa razvorenim namotajem. Jer se tako istog potencijala uvijek spojiti, prikazuje nam potencijalni dijagram najbolje koje su kombinacije moguće.



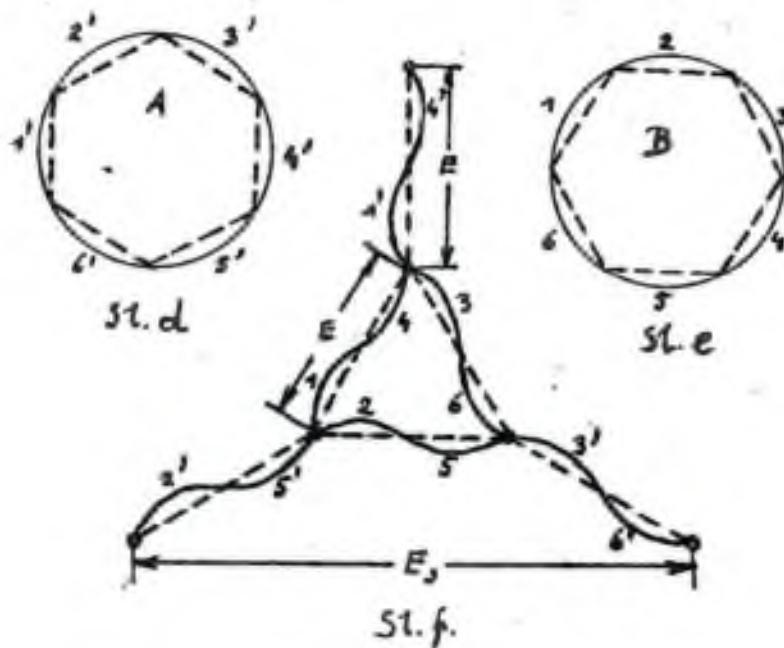
Zamislamo si armaturu koja ima dvije jednake razvorene smotke, od kojih svaku razdjelimo u šest jednakih dijelova; ovi (12) dobivenih dijelova možemo spojiti u spoj „zvijezda - trokut“ po slici (c). Za ova spoja (a) i (c) vrijedi:

$$E_s = 2,65 \cdot E$$

Odmaknemo sjecišta oblika namotaja (A) i (B) za 30 -
 st. (d, e, f) - dobijemo šemu slike (f). Spojeni napon
 (E_s) je ovdje nešto veći:

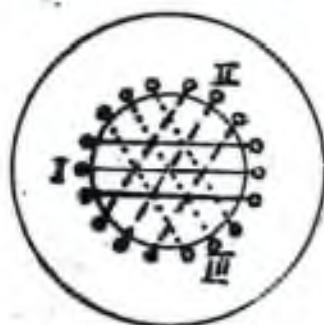
$$E_s = E + \sqrt{3} \cdot E = 2,73 \cdot E$$

Na slični se način mogu naćiniti još razne
 kombinacije.



9. Namotaji izmjenične struje.

Namotaj izmjenične struje naćini se - opće -
 nitotako, da se položi samo jednu stranu u svaki
 uter na armaturi (jednoslojni namotaj). Višefazna
 omotka (namotaj) ima toliko pojedinih dijelova,
 koliko ima faza (m).



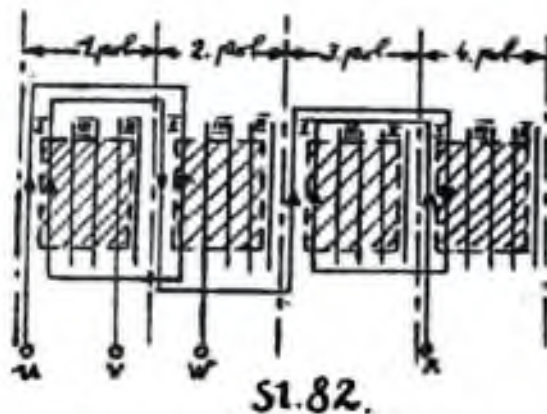
Sl. 81

Dvopolni trofazni namotaj prikazuje
 šematski slika (81), i to za tri utere
 po polu faze.

Slika (82) prikazuje šematski tro-
 fazni namotaj (kojeg ćemo prvo
 promatrati), za četveropolni stroj
 sa jednim vodom u svakom uteru.

Ukupno imamo 24 utera; prema tome po polu
 faze imademo: $(\frac{2}{m_{\text{f}}}) \cdot \frac{24}{3 \cdot 4} = 2$ utera. Vodiću dvije
 utere jednog pola čine sa vodićima pripadajućih utera (2)

susjednog pola jedan (dvostenk) svitak. Svaka faza ima toliko svitaka, koliko imamo par polova.



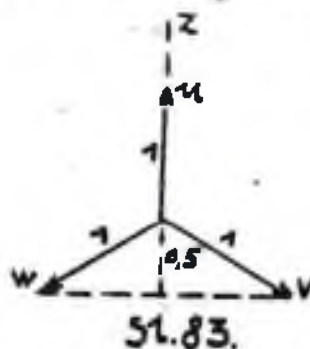
S1.82.

Po veličini napona što ga mora proizvesti generator, ter ili trošiti motor, spoji se svitke jedne faze međusobno ili paralelno ili u seriju. U slici (82) spojeni su svitci jedne faze u seriju. Početci i

svršeti pojedinih faza moraju biti udaljeni u prostoru za 120° električnih. Četveropolnom stroju odgovara $2.360 = 720^\circ$ električnih. - Kod 24 utora pripada prema tome jednemu razmaku utora: $720 : 24 = 30^\circ$ električnih. Početci triju faza (U V W) udaljeni su međusobno za: $120 : 30 = 4$ razmaka utora.

Za određeni momentat može se smjer struje, odnosno EMS u namotaju, isto tako odrediti; kao što smo imali kod istosmjernih namotaja. Kod to, ga se mora ueti u obzir, da su struje, odnosno EMS međusobno u fazi za 120° električnih odmaknute.

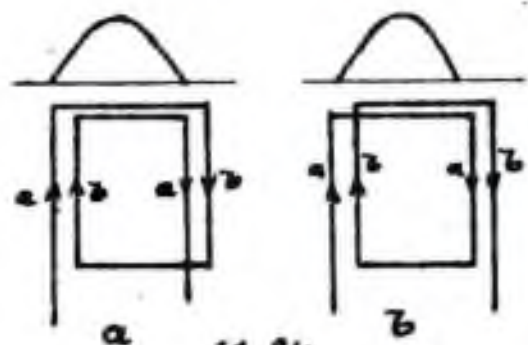
Oko se na pr. odabere momentat u kojem je struja u fazi (UX) maksimalna, onda je struja u ostalim fazama jednaka polovini te veličine - sl. 83 -, a teče u suprotnom smjeru, t.j.: struja u fazi (UX) teče u smjeru od (U) prema (X), a u fazi (VY) i (WZ) teče struja od (Y) prema (V), odnosno od (Z) prema (W).



S1.83.

U slici (82) odobran je za fazu (UX) određeni smjer. - Ako se svitke spoji u seriju, onda se mora ove krajeve spojiti tako da struja kada ika, što iz jednog, ulazi u drugi. Hoćemo li se svitke paralelno spojiti, mora se spojiti krajeve istog smjera.

Tovdje je - kao i kod istosmjernih namotaja - u ravoju inducirana EMS najveća, ako je širina svitka jednaka razmaku polova. U slici (84, a) crtan je još jedanput svitak namotaja slike (82). Širina unutrašnjeg ravoja je manja nego li, razmak polova, dok širina vanjskog ravoja veća. U slici (84, b) crtani su vodovi istoga svitka, ali spoj je



Sl. 84.

takav, da je širina oblika ravoja jednaka razmaku polova.

Nad svitcima nacrtana je sinusoidalna krivulja polova, koja nam služi kao mjera za tok spojen sa ravojima. Lako se vidi da je ra inducirana EMS svejedno ako se spoji

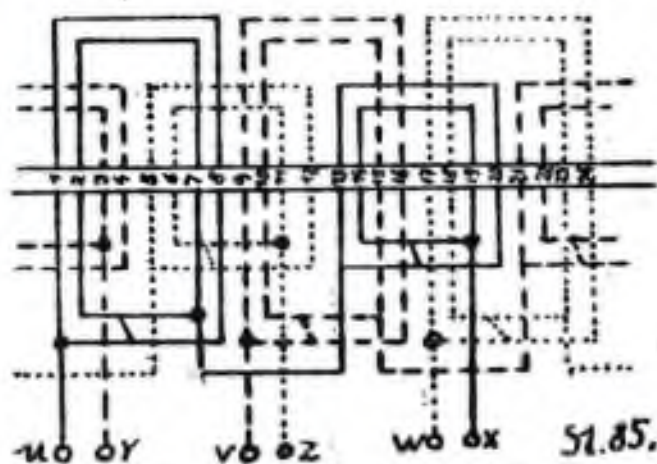
vodove po slici (a) ili (b). Suma spojnih toka sa ravojima je u oba slučaja jedna ta ista. Iz tehničkih razloga dolazi kod namotaja po slici (82) u obliku samo izvedba po slici (84, a), jer bi izvedba po slici (84, b) dala krivanja. —

a). Trofazni namotaj; nejednaki svitci i nejeđnake česne spojke; namotaj u dva sloja.

1: Zwei-Elagen-Wicklung!

Četveropolni trofazni namotaj; 2 utera po pol i fazi; više vodova u svakom uteru; — sl. (85).

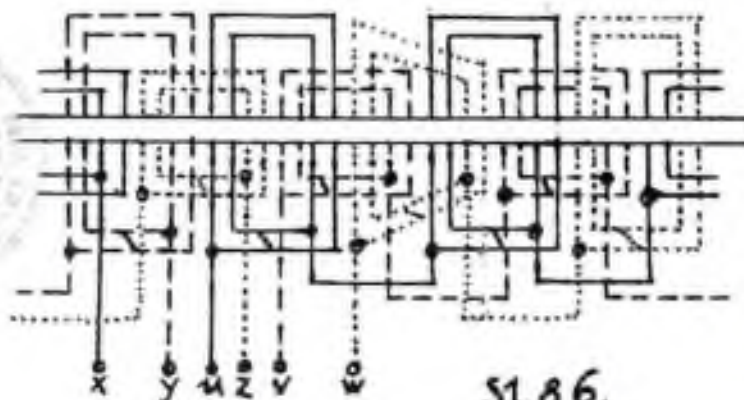
Faza: U X — kontinuirana linija; V Y — — — — — „
thana linija; W Z točkana linija. Početci



Sl. 85.

od (U V W) su sa (240°) , odnosno sa $(480^\circ = 120^\circ)$ el. stup. međusobno udaljeni. Za spoj u zvijezdi spoji se (X, Y) i (Z) skupa, a za spoj u trokut spoji se: X sa V, Y sa W, Z sa U.

Svaka fara ima jedan dugi i jedan kratki svitak, koji su spojeni u seriju. — Ako je broj polova (p) takvi broj, dolje svaka fara ($\frac{p}{2}$) dugih i ($\frac{p}{2}$) kratkih svitaka. Ako je (p) lihi broj dolje je dva fara jedan svitak, koji prelazi iz jednog



S1.86.

sl. 86. sloja u drugi (Ge. kröpfte Spule). Slika (86) prikazuje šestopolni namotaj sa dva utera po pol i faru. Fara (UX) sastoji se iz dva duga i jednog kra-



S1.87.

ćom se spojka daje oblik prikazan u slici (87, a); kod nje, skroz se napona čišće one izvedu kao na slici (87, b, c). Slike odgovaraju slučajima: 3 utera po pol i faru.

6. Trofazni namotaj; nejednaki svitci; čeonu spojke u tri sloja. (Drei- Stagen- Wicklung)

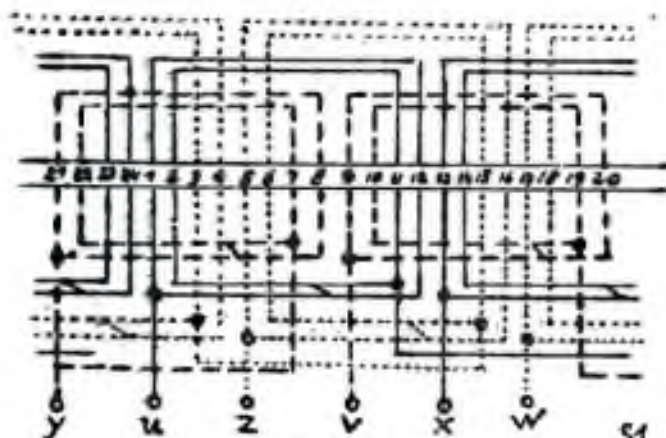


S1.88

Najviše razmjernih višepolnih namotaja izvedeno je u dva sloja. Kod dvopolnih strojeva imade, mo bolju radionicu čeonih

spojka, ako uzmemo tro-slojni namotaj; vidi sl. (89). Kod toga se razdijeljuju utere, koji pripadaju jednoj

faze i jednom polu, u dva dijela, te se ravine vo-



Sl. 89.

vodove jednog di-
jela na desnu, a
drugog dijela na
lijevu stranu. Takav
namotaj dvo-pol-
nog stroja, sa 4 uto-
ra po pol i fazi,
priказује слика (89).
Od četiri utora je

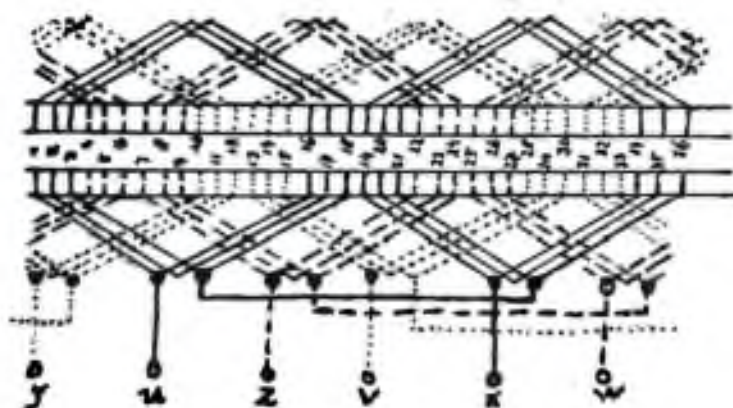
dve faze pripadaju 2 utora jednom svitku. Broj svit-
taka se kod toga namotaja podvostruči tako, da
ovako motani dvo-polni stroj ima 6 svitaka. Ali ovaj
se namotaj može upotrebiti i za višepolne strojeve, ako
je razmak polova, t. j. broj utora po pol i fazi, veći.
Troslojni namotaj je radi ove razdiobe čeonih spojka
veoma zgodan za kladenje. Osim toga je i rasipanje
manje nego kod dvoslojnog namotaja. -

c) Trofazni namotaj; duljina svitaka je ista.



Sl. 90.

Čeon se spojke udaci
slično kao i kod na-
motaja istosmjernih
strojeva. Svi svitci
imadu iste širine
i isti oblik. Oblik
čeonih spojka prika-
zuje слика (90), a -
šematski-namotaj
слика (91), i to za dvo-
polni stroj, 6 utora
po pol i fazi. Tri
na svitaka jednaka
je udaljenosti polova.



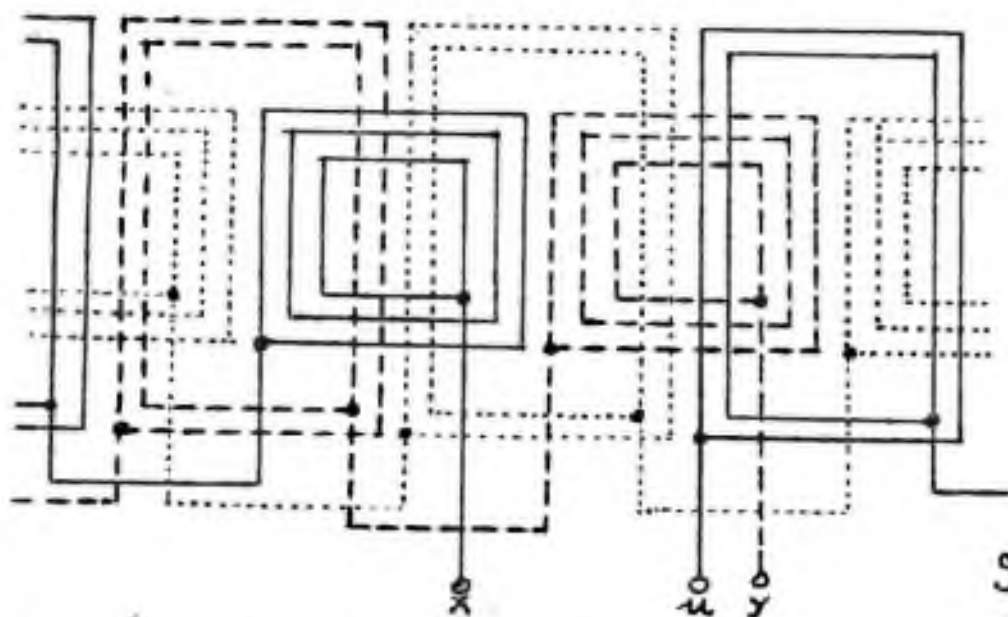
Sl. 91.

Isto kao i troslojni namotaj upotrebljava se ova omotka
često kod strojeva s velikim razmak. polova. (turbogen).

d) Razdijeljeni namotaji:

(Grucklockwicklung).

Obratom na oblik krivulje napona odgovarajuće strojeve sa malim brojem utora po pol i fazi, ako svi utori - koji pripadaju jednoj te istoj fazi - ne leže pod tačno svim polovima u tačno jednakom polju, jer se onda krivulja napona približi najjednostavnijem sinusoidalnom obliku. U ovom slučaju smanjuje se faktori motanja nadvalova / vidi kasnije / više nego faktori motanja osnovnog vala. Višepolne sinkronizatore sa malenim brojem utora po pol i fazi mota se radi toga tako, da se ne odabere ni, jeli broj utora po pol i fazi, t.j.: namotaj jedne faze leži djelomično u većem, a djelomično u manjem broju utora. Na primjer: 16-polo stoji



Sl. 92.

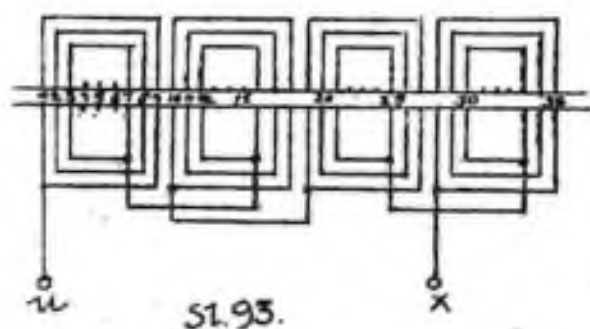
120 utora. Po pol i fazi otpada 2,5 utora, t.j.: redom slijedeći polovi imaju u svakoj fazi svitaka koji leže u 3 utora, te svitaka koji leže u 2 utora. Dio ovog namotaja prikazuje sl. (92). U svitcima, koji redom slijede jedan iza drugoga, jedne faze, misli u tom slučaju inducirane EMS u fazi. Premotanje se mora kod toga namotaja pariti na to, da su naponi čitave faze kod svih faza jednaki, sa istim

odmicanjem od (120°), jer li se inače došlo jako stru, je irjednačenja, ako ovako motan stroj radi u poro, duom spoju sa drugim strojevima, koji su simetri, čno motani. -

e) Dvo- i jedno-fazni namotaj.

Dvofazni se namotaji izvedu slično kao i tro, fazni, trofazni namotaj. Vodove jedne faze, koji pri, padaju jednom polu, razdijeli se u dva dijela, te ih se savine na suprotne strane. Čone spojke ima, du ouda isti oblik kao kod trofaznog namotaja (vidi pod: a), sl. (87)). Dvofazni se namotaj može izvesti također po slici (91), odnosno - kao što je to tumačeno pod c) - sa jednakom širinom svih svi, taka.

Kod jednofaznih namotaja ispunise se samo, motajem samo $\frac{2}{3}$ svih utora. Kasnije ćemo vi, djeti, da ispunjenje većeg dijela utora povećá induci, ranu EMS generatora, odnosno MMS (magneto-mot. sila) motora, samo nerazumno, dok se pak težina bakra i gubljeni u bakru stim povećávanjem ispunjenjem utora,



Sl. 93.

na povećá u snagu vo, cem razmjernu.

Dvije faze u svijerdi spojenog trofaznog namotaja može se bor dolnijek upotrebiti kao jednofazni namo, taj. Manje čone spojke

dobiti će se, ako se izvrši spoj po slici (93) /: četvero pol, ni stroj; 36 utora /: Namotajem je napunjeno 24 utora, t. j. 6 po pol. Slično kao i kod trofaznog, tro, slojnog namotaja je polovica vodova savinuta na desnu, a druga polovica na lijevu stranu. -

f) Izvedba namotaja u svitcima.

Za izolaciju služi pamuk. Utoro se kod niskih

napona izolira se „prešpan-om“, a za napone od $1500 \div 3000$ V, sa papirnom i izolacijom; za napone iznad 3000 V izoliraju se utorima sa tinjcem. Kod napona, koji su veći od 5000 V mora se izbjegavati prračne rasporede utorima, jer bi izjednačijej potetu, cijala u ovom prostoru oštetila izolaciju (asfalt). Kod napona većih od 4000 V izolira se još vodove što leže jedan nad drugim obririma na valove pre-napona sa „prešpanom“. Vodove do steralike mora se isto kao kod transformatora- bolje izolirati radi putnih valova.

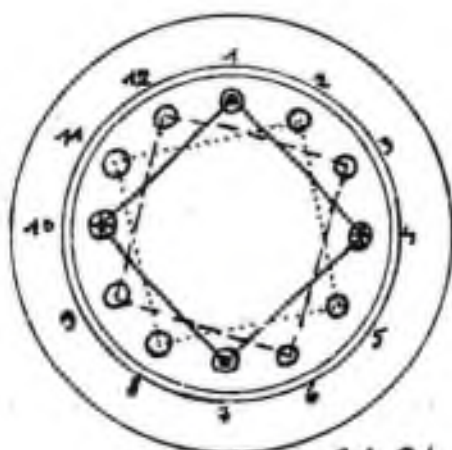
Kratki spojevi u mreži provroče u namotaju mo-
tera i generatora jako struje, koje bi mogle oštetiti
čione spojke. Stoga se kod strojeva sa velikim ra-
zmakom polova, prematame: kod strojeva sa du-
gim čeonim spojkama, mora čione spojke
posebno pričvrstiti: -

g. Namotaj na kavez.

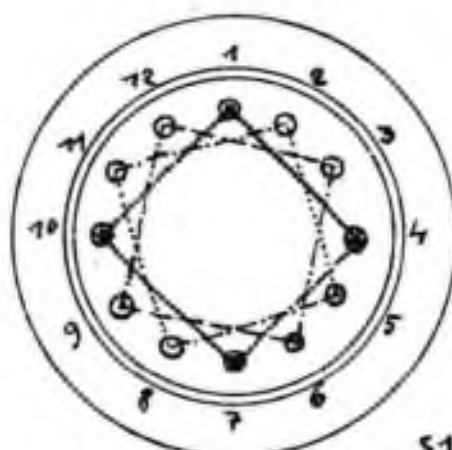
Kod asinhronih strojeva dovede se napon samo statoru; rotor dolije struji putem indukcije. Prema tome može rotor imati bilo koji višefazni namotaj. Najjednostavniji višefazni namotaj je „namotaj na kavez“. Svaki utor dolije samo jedan štap. Spoj ovih štapova može se izvesti na slijedeće načine:

1) Sve se štapove spoji na obim čeonim strana, na-pomoću naročitoz protena iz lakra - kratko /: Kurzschlussläufer /: U tom je slučaju broj faza jednak broju utora dvostrukoz razmaka polova.

2) Na svakoj čeonj strani spoji se štapove međusobno, koji imaju istu ili približno istu indukciju. Tako spojimo na pr. u slici (94) četvero-
polni stator - štapove 1-4-7-10. Spoj se napravi
sprijeda i straga tako, da su svi štapovi paralelno
spojeni. Na isti način spojimo 2-5-8-11, te 3-6-9-12.



SI. 94.



SI. 95.

3) Iste štapove iste ili približno iste indukcije spoji se u seriju, a zatim ih se spoji kratko. U slici (95) su štapovi 1-4-7-10 jednake indukcije - četve, nepolni stator -; ako u štapu 1 teče struja prema posmatraču, onda u štapu 4 teče od posmatrača prema natrag, u štapu 7 opet prema posmatraču ... i t. d. Prema tome spojimo spirijeda 1 sa 4, a straga 4 sa 7; dalje: spirijeda 7 sa 10, spirijeda 10 sa 1. Na isti način spoji se i druge štapove. Da se štapovi spirijeda i straga ne križaju napravi se spojke od savitog laksa, koje onda leže u različitim ravni, nana.

10. Inducirana EMS; faktor motanja f.

Efektivna vrijednost, u namotaju sa (w) zavoja, inducirane EMS je (jedn. 14):

$$E = 4,44 \cdot w \cdot \phi \cdot 10^{-8} \text{ V}$$

Kod toga smo pretpostavili da su svi zavoji u svakom momentu spojeni sa jednakim tokom, te da je promjena toka sinusoidalna. Žadnji uslov je kod električnih strojeva više ili manje ispunjen; prvi nije zbog radiolne namotaja na obodu armature. On se radiolno računa pomoću faktora motanja (f). Za jedan jedini zavoj vrijedi

$$E_w = 4,44 \cdot \phi \cdot 10^{-8} \text{ V}$$

Najprije promatramo jednu fazu višefaznog namotaja. Broj utora propol i fazu neka bude (q). Onda je broj utora jednog pola

$$Q = m \cdot q, \quad (134)$$

ako sa (m) označimo broj faza. Pojedini utori su u polju međusobno udaljeni električno za ($\frac{\pi}{q}$). Za namotaj sa (q) utora propol i fazu, možemo si nacrtati poligon napona na isti način kao što je to bilo za isto, smjernu struju (vidi: $\Pi-19$). Na pr.: slike (96); trofazni namotaj; $q=4$; u utoru jedan vodič. Jer utori jedne faze imaju pod svim parima polova isti položaj, posmatrat ćemo samo jedan jedini par. Kut štoga zatvaraju mo,



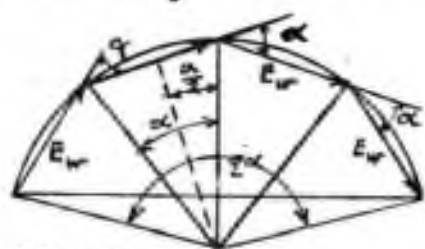
otusobno jednak je: $\frac{180}{4 \cdot 3} = 15^\circ$. Ovim 4 utovima odgovara 4 zavoja sa istim sinom svitke, koja je jednaka rasmanu polova. Poligon napona prikazan je u slici (96). Svaki vektor ($AB = BC = CD = DE$) prikazuje amplitudu EMS koja je inducirana u jednom zavoju. Amplituda rezultirajuće EMS je (AE). Ako li ova 4 zavoja ležalo u jednom utoru, onda li bile u svakom zavoju inducirane EMS u fazi, amplituda rezultirajuće EMS bila li ($4 \cdot AB$), tj. jednaka dužini isprekidane crte ($ABCDE$).

Razdioba namotaja u više utora prouzroči nejednakost faze u pojedinim zavojima inducirane EMS. Prema tomu je rezultirajuća EMS manja nego u slučaju da svi zavoji leže u jednom utoru.

Razmjer: $\frac{AE}{4 \cdot AB} = \frac{\text{rez. ef. EMS}}{\text{suma ef. EMS pojed. zavoj}} = \frac{E}{q \cdot E_0} = f \quad (135)$

zove se faktor motanja, koji je uvijek manji od jedinice. Faktor (f) određuje, koji se dio namotaja iskoristi kao radni dio obzirom na inducirane EMS. Što je faktor motanja veći, to je namotaj bolji,

to se bolje iskoristi stroj.



Sl. 97.

Metnimo

$$\frac{\pi}{2} = \alpha$$

∴ kut udaljenosti pojedinih utora u polju ∴, te uvažimo da su po jedinice EMS (E_w) tetive kruga

-sl. 97-, dobijemo:

$$\xi = \frac{E}{2 \cdot E_w} = \frac{2R \sin(\frac{\pi}{2} \alpha)}{2R \cdot 2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} \alpha)}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (136)$$

Jer je: $\frac{\pi}{2} = \alpha$, slijedi:

$$\xi = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\pi}{2})}{2 \sin(\frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{2})} \quad (137)$$

Ove jednadžbe vrijede za svaku fazu višfaznog namotaja, prema tome tokostes i za jednofazni namotaj, ako za (q) umetnemo broj omotanih utora po pol.

Pretpostavili smo bili po jedan utar u svakom.

Ako u svakom utoru imademo više vodova, onda su u svim vodičima jednog utora inducirane EMS u fazi.

Poligon napona ima isti oblik kao u slici (96), samo je dužina pojedinih vektora veća. Prema tome vrijede jednadžbe (135+137) općenito.

Kao i kod namotaja istosmjernne struje, olukvati se, ki odio namotaja veći dio polnog luka i kod namotaja sa mnogo utora.

Prekidana crta (ABCDE) približi se više luku, fa, ktor motanja može se metnuti da je jednak razmjeru između tetive (AB) i luka (AB), t.j.:

$$\xi = \frac{2R \sin(\frac{\pi}{2} \alpha)}{R \cdot 2 \alpha} = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} \alpha)}{2 \frac{\pi}{2}} \quad (138)$$

Neka znači: (τ) širinu zone t.j. luk što ga olukvate strane jednog odjela namotaja na obodu armature po pol; (τ_p) razmak polova, mjereno na obodu armature; onda je: $2 \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{\tau}{\tau_p} \cdot \frac{\pi}{2}$, i, prema tomu:

$$\xi = \frac{\sin(\frac{\tau}{\tau_p} \cdot \frac{\pi}{2})}{\frac{\tau}{\tau_p} \cdot \frac{\pi}{2}} \quad (139)$$

Kod istosmjernne struje je svaka grana armature razdijeljena na čitavu dužinu jednog razmaka, t.j.: $Z = Z_p$. Prema tome je faktor motanja za istosmjernu struju: $\frac{Z}{Z_p} = 0,637$. Kod istosmjernih strojeva iskorišćuje se prema tome (64 %) bakra armature.

Faktori motanja za trofazni i dvofazni sistem, za različite brojeve utora propol i faze 1:2:1 naznačeni su u tabeli (3).

Tabela 3.

Broj utora po pol i fazi $q =$	2	3	4	5	6	8
Trofazni m.	0,966	0,960	0,958	0,957	0,956	0,956
Dvofazni m.	0,924	0,910	0,906	0,904	0,903	0,903
Namotaji istosmjernne struje:						
	$\frac{Z}{Z_p} = \frac{1}{3}$		$\frac{Z}{Z_p} = \frac{2}{3}$		$\frac{Z}{Z_p} = \frac{1}{2}$	
Trofazni namotaj	0,956		0,930		—	
Dvofazni — " —	—		—		0,901	

Za trofazni namotaj je ($Q=3q$); za dvofazni ($Q=2q$). Faktori motanja trofaznog namotaja su veći nego kod dvofaznog. Radi toga odabere se u slučajevima gdje se može po volji odabrati broj faza - kao na pr. kod rotora asinkronih motora - najčešće trofazni namotaj.

Za jednofazni namotaj sa ($Q=6$), ($q=4$) je: $f=0,833$
($Q=9$), ($q=6$) $f=0,831$

Za razdijeljeni namotaj $\frac{Z}{Z_p} = \frac{2}{3}$ $f=0,83$

Faktori motanja jednofaznog namotaja mnogo su manji nego za dvofazni i trofazni, jer je odio namotaja razdijeljen uzduž većeg luka. Ako odaberemo: $Q=9$, $q=9$, t.j.: ispunjeni su svi utori, dolazimo po jednadžbi (137) : $f=0,644$

U slučaju da smo sve utore omotali (ispunili), to se efektivni brojevi ravoja napram broju efektivnih ravoja, ako omotamo samo ($\frac{2}{3}$) utora, odnose

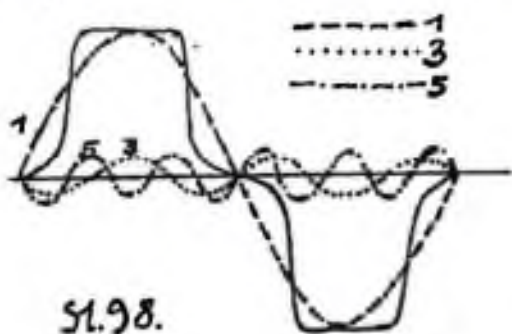
kao (9,0,644) napram (6,0,831), ili kao (1,17:1) t.j. trošimo (50%) više bakra, dakle i (50%) više gubitaka u bakru, dok nam se napon poveća samo za (17%). To je urok da se kod jednofaznih strojeva omota samo ($\frac{2}{3}$) od totalnog broja utora.

U namotaju, koji je na bilo koji način razdi-
jeljen, inducirana je EMS

$$E = 4,44 \cdot n \cdot W \cdot f \cdot \phi \cdot 10^{-8} \text{ (V)} \dots (140)$$

11. Upliv nadvalova.

Inducirana EMS biti će onda inducirana, ako je promijenjen spoj ravoja sa tokom po sinus-funkciji. To će biti onda, ako je tok u rasporedu razdi-
jeljen po sinus-funkciji ili, što je isto, ako je krivulja polja sinusoidalnog oblika.



Ako krivulja polja nije si-
nusoidalnog oblika, kao
na pr. u slici (98), onda je zgo-
dno da je pretvorimo u su-
mnu sinusoidalnih krivulja
radi toga, da li se moglo odre-
diti in ravoju induciranu
EMS. Po Fourier-ovom pravu,

li može se svaka periodična funkcija pretvoriti
u niz sinus- i cosinus-funkcija, od kojih se brojevi
perioda odnose kao cijeli brojevi. Ako je periodična
funkcija takova, da je svaka polovica vala

simetrična obzirom na središnjicu, to, dalje,
da je svaka polovica vala negativna slika pozitivne
polovice vala (- obzirom na općenu os), onda se
u nizu funkcija nalaze samo lihi članovi sinus-
funkcije. Sl. (98) odgovara ovim uslovima. Osnovni
val ima isti period kao i krivulja polja; u ovoga
(1), naertom je još (3.) i (5.) nadval. Na taj smo

način tok razdijeliti u tokove različitih polovnih razmaka (τ_p). Jednadrške (137, 139, 140) odnose se na osnovni val (1.). Ali također i nadvalovi (3.) i (5.) induciraju EMS, i to EMS trostrukke /: 3.:/, peterske /: 5.:/, ... i t. d., frekvencije od osnovnog vala. Ovdje ćemo se obazirati samo na treći nadval, jer je on najvažniji.

Ako je u namotaju I od osnovnog vala inducirana EMS ($\sqrt{2} \cdot E_1 \cdot \sin \omega t$) /: E_1 je efektivna vrijednost /:, onda u istom namotaju inducirana (3.) nadval momentarna EMS [$\sqrt{2} \cdot E_3 \cdot \sin(3\omega t)$]; (E_3) je obzirom na (E_1) maleno. Rezultirajuća inducirana EMS u namotaju I, prema tome i momentana vrijednost, je

$$e_I = \sqrt{2} \cdot E_1 \cdot \sin(\omega t) + \sqrt{2} \cdot E_3 \cdot \sin(3\omega t) \quad (141)$$

U namotaju II inducirana osnovni val EMS [$\sqrt{2} \cdot E_1 \cdot \sin(\omega t - 120^\circ)$], a treći nadval /: 3.:/ EMS [$\sqrt{2} \cdot E_3 \cdot \sin(3\omega t - 3 \cdot 120^\circ)$], jer za treći nadval nije samo frekvencija trostruka, već je također i prostorno međusobno odnicanje namotaja trostruko i to, jer je razmak polova za treći nadval ($\frac{1}{3}$) razmaka za osnovni val.

Prema tome je rezultirajuća EMS II namotaja, dakle i momentana vrijednost:

$$e_{II} = \sqrt{2} \cdot E_1 \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) + \sqrt{2} \cdot E_3 \cdot \sin(3\omega t) \quad (142)$$

Za III. namotaj je istotako rezultirajuća EMS momentana vrijednost:

$$e_{III} = \sqrt{2} \cdot E_1 \cdot \sin(\omega t - 240^\circ) + \sqrt{2} \cdot E_3 \cdot \sin(3\omega t) \quad (143)$$

Od osnovnog vala inducirane EMS čine pravilni trofazni sistem. Od trećeg nadvala inducirane EMS u namotajima su iste, jednake faze, to prema tome ne čine trofazni sistem. Ove EMS trostrukke frekvencije su prema tome takve, da je njihov smjer u svakom momentu ili od početka ovih namotaja do kraja, ili obrnuto: od kraja do početka. - Ako su namotaji spojeni u zvijezdu, EMS trostrukke frekvencije ne dolažu u obzir, jer se između dva voda poništavaju.

Dugačije je kod spoja u trokut, jer je ovdje svršetak je, „dne faze spojen s početkom druge faze. EMS trostru, ke frekvencije sumiraju se u nadval trostruke am, plitude, te prouzroče struju izjednač, ja, koja se zatvori kroz namotaj. Ova struja je skoro neovisna o teretu, te može prouzročiti znatno ugrijavanje namotaja. Radi toga se kod strojeva izbjegava spoj u trokutu.

12. Magnetiziranje izmjeničnom strujom.

Kod asinkronih strojeva i komutatorskih motora proizvode se magnetski tok pomoću /: jedno ili višefazne / izmjenične struje. Namotaj koji indu, cira je isto tako kao i inducirani namotaj - smješten u utore.

Izračunavanje amper-ravoja (AW_K) za ma, gnetički krug izvede se isto kao i izračunavanje ma, gnetiziranja za strojeve istosmjernom strujom.

Ali se mora uzeti u obzir, da maksimalnu vrij, e, dnost toka (Φ) proizvoda amplituda izmjenične struje, koja je mjerodavna za veličinu inducirane EMS. Jer se broj amper-ravoja (AW_K) mora izraču, nati za maksimalni tok, to se mora kod određi, vanja efektivne vrijednosti struje magnetiziranja, di, vidirati ne samo broj ravoja, već i kroz ($\sqrt{2}$)

$$I = \frac{AW_K}{\sqrt{2} \cdot W} \quad (144)$$

/: vidi također „6. Svrtak sa železom“:/

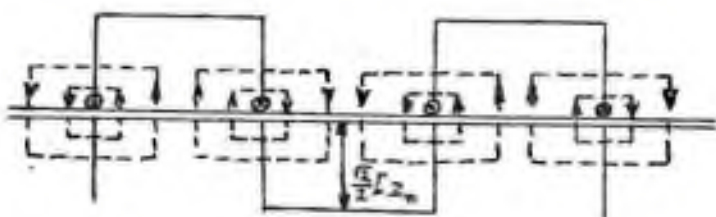
13) Krivulja magnetomotorne sile jednofaznog namotaja. Izmjenično polje.

Kod strojeva istosmjerne struje i kod sinkro, nih generatora, odnosno motora, te jednoarmatur, nog pretvarača, proizvodi se magnetsko polje pomoću

koncentrovanog namotaja, kroz koji prolazi istosmjerni, na struja. Jakost i radiolna toka ovisna je kod ra-
danih dimenzija stroja od amper-savoja na polovima,
te o obliku stopala.

Kod asinkronih strojeva, te strojeva izmjen-
ne struje sa komutatorom, proizvoda se polje sa
izmjeničnom strujom. Namotaj je uvrštenje - ien-
revši serijske komutator motore - razdijeljeni više-
ili jedno-fazni namotaj.

Posmatrati ćemo najprije jednofazni namotaj
sa jednim utorom pro pol, ili jednim fazu višefaznog
namotaja sa jednim utorom pro pol i fazu. Ova,
kao namotaj prikazuje šematski slika (99). Za



Sl. 99.

određeni momen-
at nacrtano su
također struje.
Veličina raspora
između rotora
i statora je kon-
stantna. Ovdje

su moguće samolinije indukcije, koje su spojene
sa jednim svitkom. Sa dva svitka one ne mogu biti
spojene, jer je MMS (magneto-motorna sila) za ove
jednaka nuli. Po zakonu proticanja je suma
okruženik struja u tom slučaju jednaka nuli.
Maksimalna vrijednost MMS je

$$\sqrt{2} \cdot I \cdot Z_m,$$

ako (Z_m) označuje broj vodiča za svaki utor, te (I)
efektivnu struju u jednom vodiču. Ove indukcije
čine dva simetrična dijela, od kojih svaki prolazi u
rasporu i rubovima u različnom smjeru. Prema tome
se razdijeli također MMS u dva dijela, kao što odgo-
vara jednom prolazu kroz raspor. Tada se dolazi kao
MMS jednofaznog namotaja sa jednim utorom pro
pol i fazu ili jedne faze višefaznog namotaja sa

jednini utorom propol i form: / pravokutnu krivu,,
 Gf. slike (99), sa maksimalnom visinom: $\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot I \cdot Z_m$
 Oni vrijednost imamo kada je struja u amplitudi. Pada li struja - padati će također i visina pravokutnika, koja će biti (0), kada bude struja jednaka nuli. Promijeni li struja smjer, pređe pravokutnik na drugu stranu.

(Gf. db) uočivši zatvorene krivulje ili linije jednak je MMS onih zavoja, sa kojima je zatvorena linija spojena. (Gf. db) razdijeli se u sumu, koja odgovara pojedinim dijelovima magnetskog kruga / vidi: III-4 :/. Uz pretpostavku, da je željezo malo zasićeno, možemo postaviti da je ovaj integral jednak (2. S. L₁), t.j.: kod malenog zasićenja u željezu je indukcija u zraku na svakom mjestu proporcionalna MMS. U našem je primjeru (S) konstantno, prema tome prikazuje pravokutna krivulja i jedna i krivulja polja stroja. Polje, koje se mijenja - kako je to bilo prije pr. tumačeno - sa strujom, zovemo izmjenično polje. Ovo je polje karakterizirano time, da mu je smjer u prostoru konstantan, ali mu je veličina promjenljiva od pozitivnog do negativnog maksimuma.

Za daljnje ispitivanje razdijeli se pravokutnu krivulju slike (99) u osnovni val i nadvalove. Slika



Sl. 100.

(100) prikazuje osnovni val, te (3.) i (5.) nadval. Amplituda osnovnog vala jednaka je visini pravokutnika pomnoženja sa $(\frac{4}{\pi})$:

$$\text{ampl.} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot I \cdot Z_m \cdot \frac{4}{\pi} = 0,9 \cdot I \cdot Z_m.$$

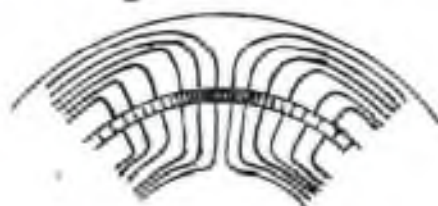
Amplituda trećeg nadvala je $(\frac{1}{3})$, a amplituda petog nadvala je $(\frac{1}{5})$ amplitude osnovnog vala.

Nadvalovine igraju bitnu ulogu, prema tome posma, transonajnije osnovni val. Položimo sistem koordinata kroz tjemne osnovnog vala; indukcija na kojem god mjestu u udaljenosti (x) od početne tačke koordinate, ta čiti će jednaka amplitudi pomnoženoj sa $\cos(\frac{x}{\tau_p} \cdot \pi)$, jer odgovara razmaku polova (τ_p) luk (π). Amplituda se sa stuyom promijeni po sinus-funkciji vremena, te ima sa vijeme (t) vrijednost $[0,9 \cdot I \cdot z_m \cdot \sin(\omega t)]$ $|\omega = 2\pi \cdot \nu|$. Prema tome je jednadžba izmjeničnog polja:

$$L_x = 0,9 \cdot I \cdot z_m \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\frac{x}{\tau_p} \cdot \pi) = L \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\frac{x}{\tau_p} \cdot \pi). \quad (145)$$

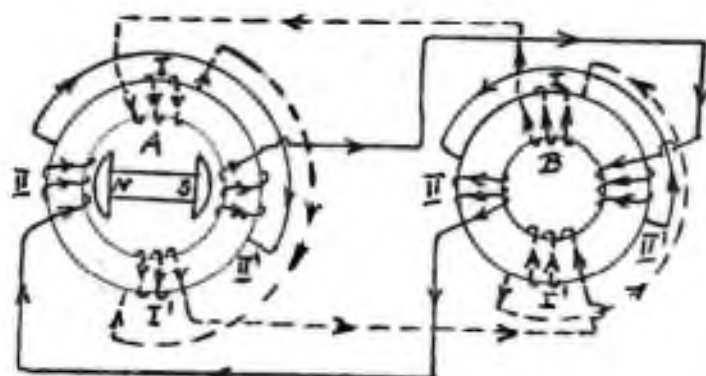
a: $L = 0,9 \cdot I \cdot z_m \cdot \dots \dots \dots (146)$

$1/z_m$ je broj žica jednog utara, $q=1$ je amplituda osnovnog vala. Indukcija u raku i sulkima je prema tome u svakom momentu razdijeljena po cosinus-funkciji (sl. 101).



Sl. 101.

14) Okretno magnetsko polje.



Sl. 102

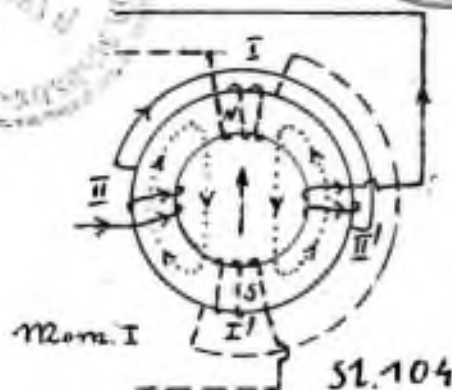


Sl. 103.

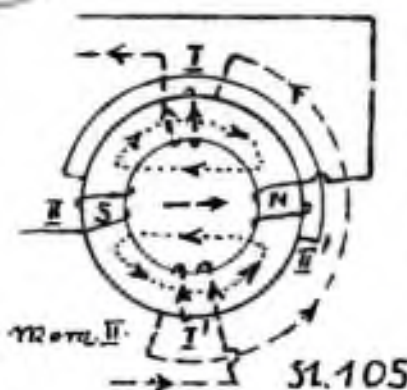
U slici (102) je (A) dvopolni generator spojen sa istenom (B). Da ispitamo što se događa u prstenu (B) kad kroz

pojedine svitke teče struja, nacrtajmo li ovaj kolut u četiri momenta.

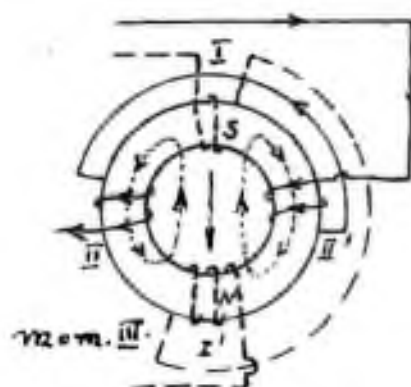
U momentu (I.) je



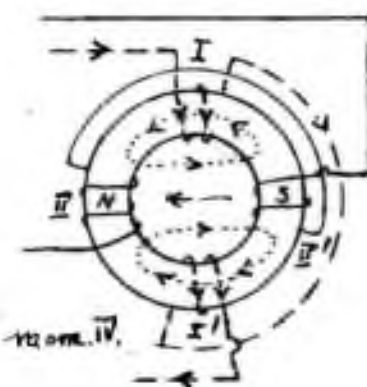
Sl. 104



Sl. 105



Sl. 106



Sl. 107

struja u svitku (I I') jednaka (0); u svitku (II II') je struja u nega-
tivnom maxi-
mumu. Polari-
tet odgovara
slici (104).

U momentu (II)
je struja u svitku
(I I') maksimalna,
a u svitku (II II')
je jednaka (0).
Polaritet odgo-
vara slici (105).

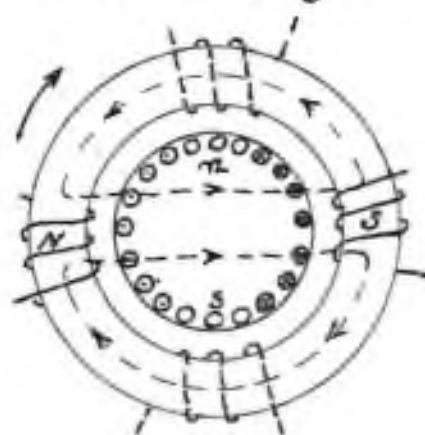
U momentu (III)
ima struja u

svitku (II II') maksimalnu vrijednost; u svitku (I I')
je jednaka (0). Polaritet odgovara slici (106).

U momentu (IV) imamo konačno polaritet po
slici (107).

Među pojedinim momentima - koje prikazuju slike -
prelazi polaritet od jednog do drugog položaja: po se
u kolutu okreće. Označimo li nad kolut bakrenu
ploču tako, da se ona može okretati, počne ploča ro-
tirati u istom smjeru kao i polje, jer u ploči nastanu
vrtložne struje koje - po de la Rive-ovom zakonu - nastoje
sujetiti okretanje polja. Ali jer se polje ne može ra-
ustaviti, mora ploča slijediti okretanje polja. - Za-
mijesimo li bakrenu ploču sa željeznom biti će
okretanje ploče mnogo intenzivnije, jer se umanjuje
magnetski otpor, pa su vrtložne struje mnogo jače.
Najbolji se učinak postigne, ako se umetne u kolut
rotor na kavez /: Knerschlag-, Käfig-anker /. Uvijek
se rotor sastoji iz limenih pločica kao i olinča as,

matura, te ima na oplošju smještena štapove bakra, koji su na čeonim stranama međusobno udaljeni 1:1 (vidi: 9-g). Slika (108) prikazuje presjek kroz



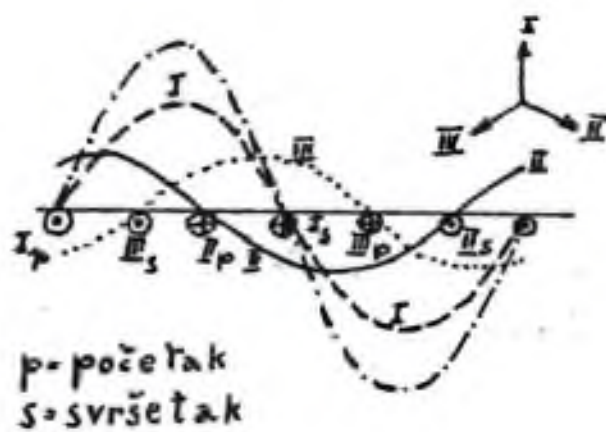
Sl. 108.

ovakav dvofazni motor.

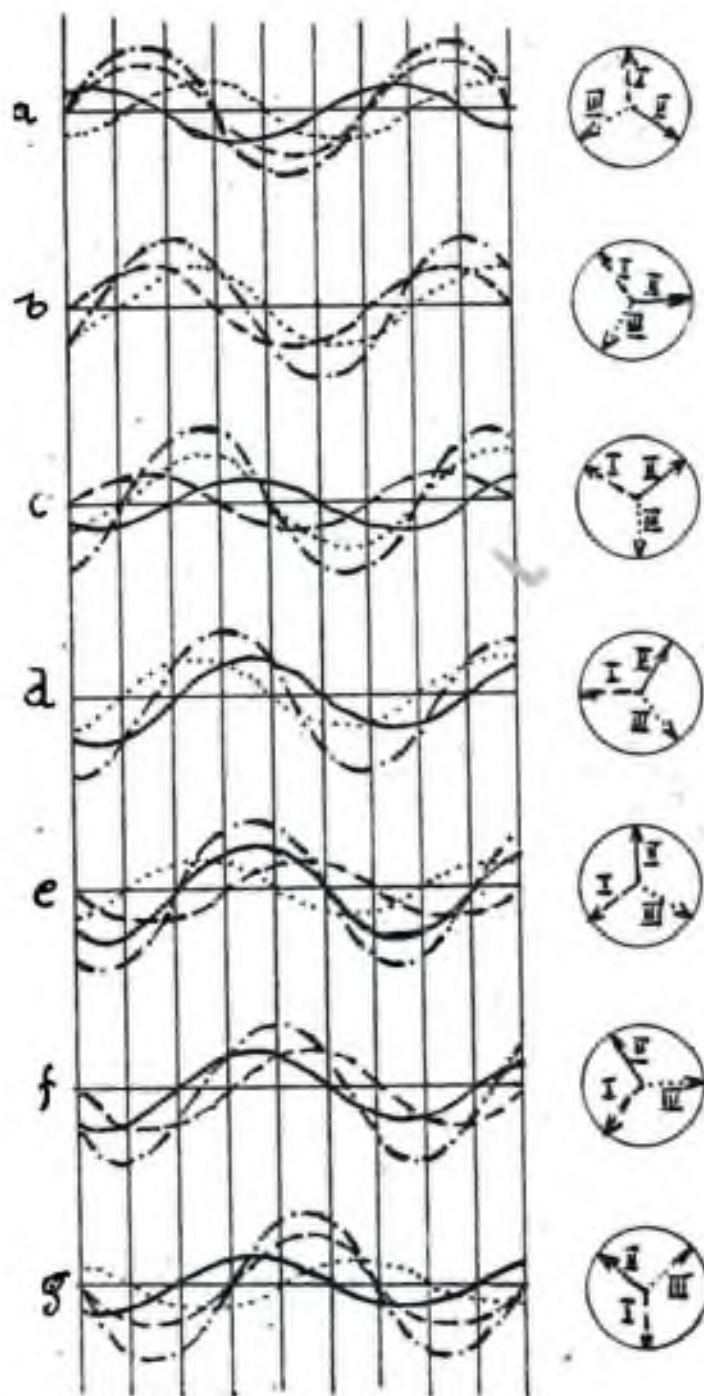
Pretpostavimo da u momentu koji prethodja slika, struja protječe kroz polove (N) i (S), koji neka se okreću u smjeru vrtuže kazala na satu. Ako je rotor u stanju mirovanja, tj. čije linije indukcije bakrene štapove, te u njima induciraju struje - na slici - ozna-

čenoj smjera. Polaritet armature, koji kod toga nastaje, ne namnačen je u slici sa (n) i (s); armatura se prema tome okreće istom smjeru kao polje. Kad bi brzina rotora postala jednaka brzini polja, ne bi više imali razliku crta indukcije, pa prema tome ne bi u štapovima više imali struje; u to bi moment vrtuže postao jednak nuli. Armatura dakle nastoji doći u sinhrono gibanje, ali do punog sinhronizma ne može nikako doći.

Posmatrajmo opet trofazni namotaj sa jednim rotorom pro polifazni. Pojedini namotaji međusobno su udaljeni sa (120° el.). Ako ovakvu smetku hrani sinusoidalna trofazna struja nastati će tri izmjenična polja, koja su u prostoru sa (120° el.) međusobno udaljena. Najprije ćemo u obzir uzeti samo osnovni val. Da odredimo momentalne vrijednosti triju polja obratim na fazni pomak, položimo liniju vremena u vertikalu. U slici (109) odabrana je momenta u kojem je struja u namotaju (I) najveća. U namotajima (II) i (III) je onda struja jednaka polovici najveće vrijednosti. Zamislimo si da struja teče u namotaju (I) od vr-



Sl. 109.



Sl. 110

šetka namotoja po, ma njegovom početku, onda struja u namota- ju (II) i (III) teče od po- četka prema svršetku. Slika (109) prikazuje također i rezultujuće polje. Radi faenog po- maka struje i prostora, mog razmaka triju namotoja, liti će amplituda resul- tujućeg polja ma- nja nego li trostruka amplituda jednog jedinog izmjenj- ičnog polja.

Slika (110, a ÷ g) pri- kazuje pojedina i rezultujuća polja za različite momen- te. Slika (b) vrijedi za momenat u kojem je struja u namotaju (I) jedna- ka (0,866) puta am- plituda. U namota- ju (II) je onda struja jednaka (0), dok je u namotaju (III) opet jednaka (0,866 x am- plituda). Među po- jedinim momentima, koje prikazuje slika (110), vremen-

ski je razmak ($30^\circ = \frac{1}{12} \tau$). Iz ovih slika slijedi:

A. amplituda rezultirajućeg polja je neovisna o fazi struje u namotajima, te je jednaka (15) puta amplitudi jednog polja.

B. Os rezultirajućeg polja miče se u odnosu na namotaje, i to tako, da uvijek leži nad onom fazom koja ima maksimum struje. Zbog toga da je namotaj smješten na plaštu valjka, dolijemo okretno polje.

Iz zadnje činjenice slijedi, da je broj okretaja toga polja proporcionalan frekvenciji. Vrijeme, koje je potrebno da dolijemo u bilo kojoj fazi dvije slijedeće amplitude istog predznaka, odgovara periodu struje. U to vrijeme pređe polje dvostruki razmak polova. Prema tome je, da dva okreta polja odgovaraju (p) perioda struje. Ako broj perioda struje jednak (τ), onda je broj okretaja u jednoj minuti:

$$n = \frac{60 \cdot \tau}{p} \quad (147)$$

Okretno je polje, prema tome, karakterizovano time, da se smjer indukcije okreće u prostoru sa konstantnom brzinom; veličina okretnog polja ostane nepromijenjena.

Jednako polje slijedi iz broja ^{trijih} izvijenih polja:

$$\begin{aligned} \vec{L}_x &= L \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos\left(\frac{x}{l_p} \cdot \pi\right) + L \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) \cdot \cos\left(\frac{x}{l_p} \pi - 120^\circ\right) + \\ &+ L \cdot \sin(\omega t - 240^\circ) \cdot \cos\left(\frac{x}{l_p} \pi - 240^\circ\right) = \\ &= L_x = \frac{3}{2} \cdot L \cdot \sin\left(\omega t - \frac{x}{l_p} \pi\right) \quad (148) \\ L &= 0,9 \cdot I \cdot Z_m \end{aligned}$$

- kao što smo to imali sa jednofaznom strujom i to sa: $2 \cdot 2$, Z_m = broj žica u jednom utoru.

Amplituda okretnog polja jednaka je polovici broja faza pomnoženoj sa amplitudom (L) izvijenih, čnog polja. Tome vrijedi samo za trofazni sistem, vel i za svaki višefazni sistem koji je simetričan. Dakle: Amplituda okretnog polja (1115) m-faznog siste,

ma uvijek je jednaka: $(\frac{m}{2}) \times (\text{amplituda izvjeničnog polja})$ (MMS jedne faze) -

15. Upliv nadvalova

Amplituda trećeg nadvala pravokutne krivulje je $(\frac{1}{3})$ amplitude osnovnog vala; ali također i razmak polova trećeg nadvala je jednak $(\frac{1}{3})$ razmaka za osnovni val /vidi točku 13/. Zamislimo si sinusoidalnu struju; tada vrijedi za izvjenično polje trostrukke frekvencije:

$$E_{x_3} = \frac{1}{3} \cdot E \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\frac{3x}{l_p} \cdot \pi) \quad (149)$$

Za izvjenično polje peterostunkke frekvencije vrijedi (peti nadval):

$$E_{x_5} = \frac{1}{5} \cdot E \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\frac{5x}{l_p} \cdot \pi) \quad (150)$$

Nacini li se kod trofaznog sistema sumu od tri nadvala trostrukog / peterostunkog / broja polova tako da se dobije rezultirajući nadval tro-/petero-/stunkog broja polova, vidi se da se nadvalovi $(3 \cdot K)$ -stunkog broja polova (K = koji god cijeli broj) savršeno izgnu. Dalje: da nadvalovi petero-, sedmero- i jedanaestero-stunkog broja polova daju okretno polje, ali da se okretin polja petero- i jedanaestero-stunkog broja polova u suprotnom, dok se polje sedmero-stunkog broja polova okreće u istom smjeru kao i polje osnovnog vala.

Dualitički se na smjer okretanja posredovanjem člana $(\frac{x}{l_p} \pi)$. Inprotui predznaci odgovaraju suprotnom smjeru rotacije.

Jer jedna te ista struja proizvodi osnovno polje i ostala polja većeg broja polova, slijedi - iz jednakosti: $n = \frac{p \cdot \omega}{2\pi}$ -, da ima okretno polje peterostunkog broja polova samo $(\frac{1}{5})$, sedmero-stunkog broja polova samo $(\frac{1}{7})$, ..., odn. brzine osnovnog polja. Praktično ne igraju ova polja nikakvu ulogu. - Promijeni li se sl. (150) duž faze, promijeni okretno polje smjer rotacije.

16. Namotaji sa više utora sa pol i fazu. Faktor motanja.

Ako ima jednofazni namotaj (q) omotanih utora pro pol ili pro pol i fazu višefaznog namotaja, onda je svaki q -struk svitak istovredan sa (q) jednostavnih svitaka sa širinom, koja je jednaka razmaku polova. Krivulja MMS ovakvog namotaja sastoji se iz (q) sinusoidalnih krivulja, koje su u prostoru odma- knute za kut ($\frac{\pi}{q}$). Kao što je poznato iz proračuna EMS za namotaj sa (q) utora sa pol i fazu, nije amplituda rezultirajuće MMS (q) puta amplituda MMS namotaja sa ($q=1$), već je manja i to u razmjeru dužine ($\overline{AE}$) pre- ma dužini prekidano crte (ABCDE) u slici (96), t. j. u razmjeru faktora namotaja (f).

Prostorna razdioba namotaja ima na veliči- nu amplitude MMS sasvim isti uticaj kao na ve- ličinu inducirane EMS. Faktori motanja imaju prema tome i ovdje istu vrijednost. Amplituda osno- vnog vala MMS jednofaznog namotaja sa (q) utora sa pol, ili višefaznog namotaja sa (q) utora sa pol i fazu, određena je jednačinom

$$L = 0,9 \cdot I \cdot Z_m \cdot q \cdot f \quad (151)$$

amplituda osnovnog vala MMS m -faznog namotaja sa (q) utora sa pol i fazu je

$$L = \frac{m}{2} \cdot 0,9 \cdot I \cdot Z_m \cdot q \cdot f \quad (152)$$

$$\text{ili: } L = 0,45 \cdot m \cdot I \cdot Z_m \cdot q \cdot f \quad (153)$$

($Z_m \cdot q$) je broj vodiča sa pol i fazu, prema tome je to ta- kođer broj zavoja sa pol i fazu, t. j.

$$Z_m \cdot q = \frac{W}{p} \quad (153)$$

Gornje jednačine onda glase:

$$L = 0,9 \cdot \frac{W}{p} \cdot f \cdot I \quad \text{za jednofazni,} \quad (154)$$

$$L = 0,45 \cdot m \cdot \frac{W}{p} \cdot f \cdot I \quad \text{za višefazni} \quad (155)$$

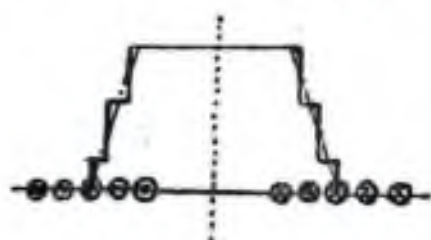
namotaj. Ove jednačine ne dolaze samo u obzir kod

određivanja struje magnetiziranja asinkronih strojeva, već također kod određivanja protudjelovanja armature sinkronih strojeva. —

17. Oblik krivulje MMS odnosno krivulje polja za razdijeljeni namotaj.

(Vidi također točku 7 :) Prije smo bili uveli i oblik samo osnovni val MMS od krivulje polja. Prema tome moramo još promatrati i upliv nadvalova.

Faktor motanja pada sa rastućim brojem omotajnih utora (q) propol, odnosno propoli faru. U još većem razmjeru padaju faktori motanja nadvalova sa rastućim (q), jer su razmaci polova sa nadvalove manji nego li oni sa osnovni val. Za veće vrijednosti od (q) približi se oblik krivulje MMS sinusoidalnom obliku od kojega se sad više, sad manje udaljuje.

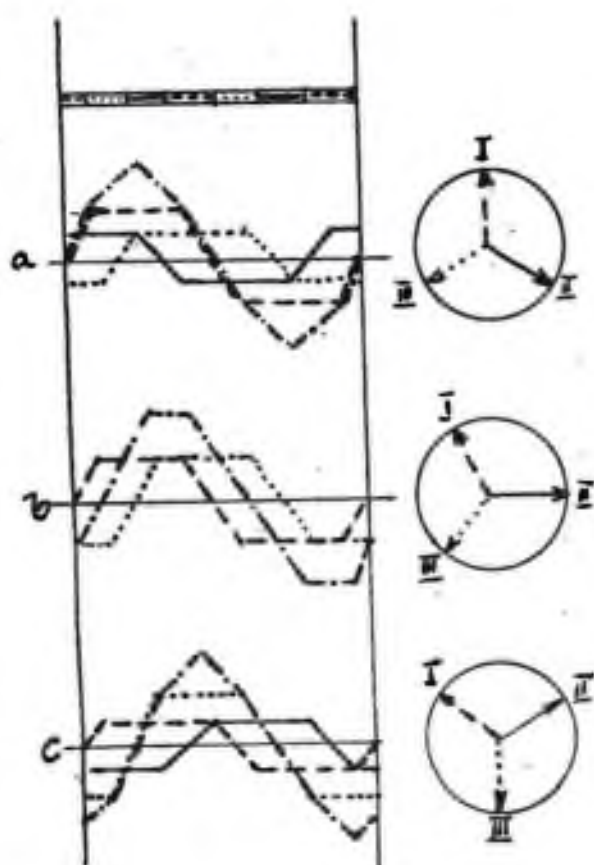


S1.111.

Slika (M1) prikazuje krivulju MMS jedne faze trofaznog namotaja sa (5) utora propoli faru. MMS nije utom slučaju sa sve crte indukcije iste veličine, jer ima čita koje su spojene samo sa jednim utorom, te čita, koje

su spojene sa tri utora. Krivulja MMS, odnosno magnetskog polja ima prema tome sa ($q > 1$) ste, pomicast oblik, kojega možemo nadomjestiti trapezom, kao što je to u slici načinjeno.

Okretus polja trofaznog namotaja sa više utora propoli faru prikazuje slika (M2) i to sa tri različita momenta. Krivulje stepenica oblika nadomjestene su trapezima. Iz slike se vidi da jakost polja nije konstantna. Amplituda nije između dvije vrijednosti, koje se ponavljaju uvijek poslije (60°), t.j.



Sl. 112

s frekvencija... sklopu
nije amplituda oklo-
pog polja jednaka je
šesterostrukoj frekven-
ciji struje. Ovo perijodi-
čna promjena sa šeste-
rostrukom frekvencijom
je svojstvenih trofaznih
namotaja.

Granične vrijednosti:
slijede iz slike (112, a+c).

U slici (a) je maksi-
malna vrijednost

$$\frac{\sqrt{2} \cdot I \cdot g \cdot z_m}{2} + 2 \cdot \frac{0,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I \cdot g \cdot z_m}{2} =$$

$$= \sqrt{2} \cdot I \cdot g \cdot z_m \quad (156)$$

U slici (b) je maksi-
malna vrijednost:

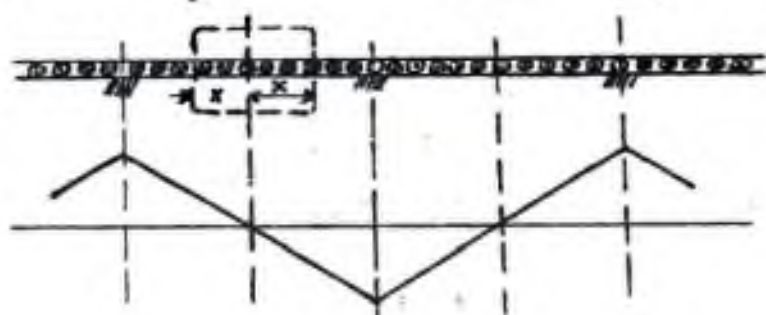
$$\frac{\sqrt{2} \cdot I \cdot g \cdot z_m \cdot \cos 30^\circ}{2} + \frac{\sqrt{2} \cdot I \cdot g \cdot z_m \cdot \cos 30^\circ}{2} = 0,866 \cdot \sqrt{2} \cdot I \cdot g \cdot z_m \quad (157)$$

Amplitude odnose se kao: 1:0,866; srednja je vri-
jednost prema tome:

$$0,933 \cdot \sqrt{2} \cdot I \cdot g \cdot z_m = 1,32 \cdot I \cdot g \cdot z_m, \quad (158)$$

dakle skoro jednaka vrijednosti amplitude osnovnog
vala /jedin. 152 : $\frac{1}{2} \cdot 0,93 \cdot I \cdot z_m \cdot g \cdot f$

Namotaji armature istosmjernog struje ili jednofaznih



Sl. 113.

komutator motora,
kod kojih teče kroz
sve vodice jedne gra-
ne struja istosmjernog
ra, imaju MFS,
odn. polje trok-
trog oblika — sli-
ka (113)

Položimo kroz sredinu grane sistem koordinata, onda je - ako (AS) znači naponsku struju za (1 cm) opsega armature - MMS na mjestu (x) jednaka (AS.x), ili, općenito:

$$(MMS)_x = \int AS \cdot dx \quad (159)$$

∴ Kidi: III-7, c-1, t.j.: ° Krivulja MMS je krivulja integracije naponske strujom. Prema tome se MMS nađe, a time krivulju polja kojeg god namotaja, ako se superpozicijom struje pojedinih grana odredi krivulju naponske strujom, te ovu (grafički) integrira. Jer je tok indukcije koji ulazi uvijek jednak toku koji izlazi, moraju ploštine ispod i iznad apscise biti tačno jednake. Integracijom se dakle može početi na kojemu god mjestu, t.j. položiti početnu tačku koordinata na koje god mjesto, te, konačno, os apscise tako odabrati, da rezultira ova jednakost ploština. -

18. Radioobra izmjeničnog polja u dva okretina.

Jednadžba izmjeničnog polja glasi:

$$L_x = L \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos\left(\frac{x}{l_p} \pi\right)$$

Rastavimo ovaj produkt u sumu:

$$L_x = \frac{L}{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{x}{l_p} \pi\right) + \frac{L}{2} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{x}{l_p} \pi\right) \quad (160)$$

U jednadžbi (160) su adendi jednadžbe okretinog polja, koja se okreću u suprotnom smjeru. Amplituda svake od okretinog polja je polovica amplitude izmjeničnog. Iz toga slijedi, da se djelovanje izmjeničnog polja može nadomjestiti djelovanjem dviju okretinog polja, koja se okreću u suprotnom smjeru. Ovo činjenicu upotreblili se kod jednofaznih asinkronih motora.

19. Rasipanje namotaja koji se nalazi u utorima.

Isto kao kod istosmjernne struje imamo također kod izmjenične struje, koja proizvodi tok indukcije, rasipanje. Ali crte indukcije imaju druge putove, jer namotaj leži u utorima. Crt rasipanja prolaze djelomično u utorima od jedne stromotora k drugoj, a djelomično od jedne glave ruba do druge, te konacno djelomično oko čeonih spojka, koje leže izvan reljeka.

Prema tome imamo tri vrste rasipanja, koje odgovaraju tri različita magnetska otpora, te koje možemo označiti sa

- 1) rasipanje u utoru,
- 2) rasipanje glava rubi,
- 3) rasipanje čeonih spojka.

Ove tri vrste daju zajedno rasipanje namotaja, koje je proporcionalno jakosti struje, jer put crta rasipanja leži gotovo sasvim u zraku, pa je dakle: $\mu = 1$.

Od izmjenične struje proizvedeni pulsirajući tok inducira u namotaju EMS samoindukcije, čija je efektivna vrijednost (I. w. L). Tok rasipanja, koji čini dio čitavog toka, sam se inducira u namotaju EMS indukcije rasipanja sa efektivnom vrednošću (I. w. S), ako sa (S) označimo koeficijent indukcije rasipanja. Dakle treba tražiti veličinu (S)

Kao što je poznato (vidi I-12) koeficijent samoindukcije jednak je spoju toka sa strujom kod struje od (1 A), t. j.

$$L = \frac{\sum w_x \cdot \phi_x}{i} \cdot 10^{-8} \text{ Henry} \quad (161)$$

jer je tok (ϕ_x) posljedica MMS (i. w. w_x), vrijedi

$$\phi_x = \frac{94 \cdot \pi \cdot i \cdot w_x}{400} \quad (162)$$

ako sa (M_x) označimo magnetski otpor djelomičnog

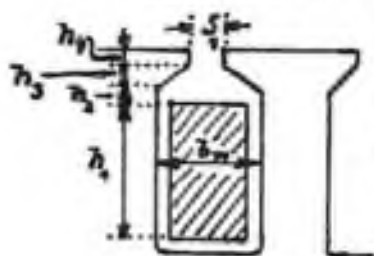
toka (ϕ_x). Prema tome vrijedi:

$$L = 0,4 \pi \sum \frac{w_x^2}{w_x} \cdot 10^{-8} \text{ Henry} \quad (163)$$

Na sasih istinačin vrijedi sa koeficijent indukcije je rasipanja:

$$S = 0,4 \pi \sum \frac{w_x^2}{w_x} \cdot 10^{-8} \text{ Henry} \quad (164)$$

a) Rasipanje utora.



Sl. 114

(Z_1) je broj u seriji spojenih vodiča jednoz utora; obratom na sliku (114) je sa ovaj dio utora nad vodičima, koji je označen sa indeksom (e)

$$w_x = Z_1, \text{ i } w_x = \frac{b_m}{h_2 \cdot Z_1},$$

gdje znači (Z_1) idealne dužine utora. Prema tome

$$S_2 = 0,4 \pi \cdot Z_1^2 \cdot Z_1 \cdot \frac{h_2}{b_m} \cdot 10^{-8} \quad (165)$$

Nesto su drugačiji razmjeri sa dio utora u kojem leži vodič. Ovdje je u udaljenosti (x) od dna utora, odnosno od donjeg voda

$$w_x = \frac{x}{h_1} \cdot Z_1, \text{ te } w_x = \frac{b_m}{dx \cdot Z_1}, \text{ pa, prema tome,}$$

$$S_1 = 0,4 \pi \cdot Z_1^2 \cdot Z_1 \cdot \frac{1}{b_m} \int_0^{h_1} \left(\frac{x}{h_1}\right)^2 \cdot dx = 0,4 \pi \cdot Z_1^2 \cdot Z_1 \cdot \frac{h_1}{3 \cdot b_m} \cdot 10^{-8} \quad (166)$$

1: Za slučajeve u kojima raste (w_x) ravno, te u kojima ima (w_x) sa sveate indukcije istu vrijednost, vrijedi pravilo: Iračuna se ($\frac{w_x^2}{w_x}$) tako, kao da bi bili svi saviji (w) spojeni sa tokom, te da se taj rezultat množi sa ($\frac{1}{3}$).

Za ove dijelove utora koji su označeni sa indeksom (3) i (4) dolije se na isti način

$$S_3 = 0,4 \pi \cdot Z_1^2 \cdot Z_1 \cdot \frac{2h_3}{b_m + h_3} \cdot 10^{-8} \quad (167)$$

odnosno

$$S_4 = 0,4 \pi \cdot Z_1^2 \cdot Z_1 \cdot \frac{h_4}{b_m} \cdot 10^{-8} \quad (168)$$

Konačnora sinitak koji leži u dva utora -sljede:

$$S_m = 2(S_1 + S_2 + S_3 + S_4) = 0,8 \pi \cdot Z_1^2 \cdot Z_1 \cdot 10^{-8} \left(\frac{h_1}{3b_m} + \frac{h_2}{b_m} + \frac{2h_3}{b_m + h_3} + \frac{h_4}{b_m} \right),$$

odnosno

$$S_m = 0,8 \pi \cdot Z_1^2 \cdot Z_1 \cdot \lambda_m \cdot 10^{-8} \text{ Henry} \quad (169)$$

1: Za okrugle utore vrijedi: $\lambda_m = 1,25 \left(0,625 + \frac{h_1}{b_m} \right) \dots (169a)$

(l_i, λ_m) možemo smatrati vodljivošću idealnog utora, sa u kojem je svaka ceta indukcije spojena sa svim vodičima koji leže u utoru. (λ_m) je onda vodljivost sa (1 cm) dužine stroja.

Koeficijent indukcije rasipanja je kao koeficijent samoindukcije uvijek proporcionalan kvadratu broja zavoja, jer je u produktu $(w_k \cdot \Phi_k)$ /: vidi jedn. 161:/ tok (Φ_k) proporcionalan broju zavoja.



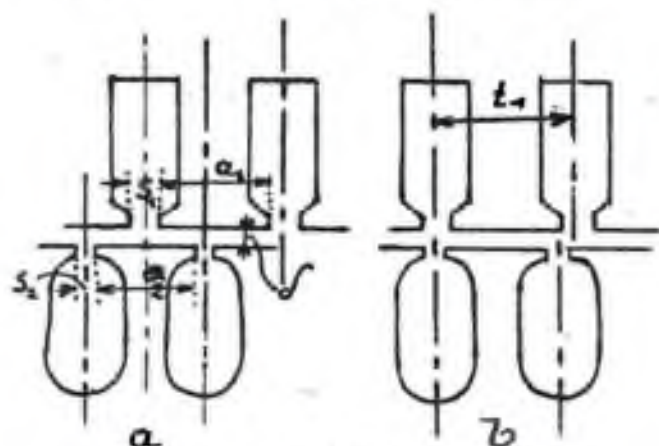
S1.115.

Ako strana svitka odn. kvadrata više utora, onda će se cete rasipanja smanjiti i polaziti približno prema slici (115). Ako je (q) broj utora jedne strane svitka, onda vrijedi za svaku fazu

(p) -polnog stroja

$$S_m = 0,85 \cdot p \cdot q \cdot z_i^2 \cdot l_i \cdot \lambda_m \cdot 10^{-9} \text{ Henry} \quad (170)$$

b) Rasipanje glava utora.



S1.115.

Rasipanje utora ne ovisi o položaju statora prema rotoru. Rasipanje glava pak se mijenja sa promjenom položaja rotora prema statoru. Kod asinkronih strojeva imamo dva na-

ročita položaja, u kojima je rasipanje maksimalno, odnosno minimalno. Slika (115) prikazuje ova dva slučaja.

U slici (a) leži utor napram glavi; rasipanje je najveće. U slici (b) leži utor nasuprot utoru, magnetski

stpor je velik, a jer kod asinkronih strojeva djeluju MMS statora i rotora jedna prema drugoj - rasipanje je najmanje.

U položaju slike (a) je vodljivost glave sa (1 cm) dužine stroja

$$\lambda_{Kmax} = \frac{a_2 - s_1}{2} \cdot \frac{1}{2\delta} \quad (171)$$

$(\frac{a_2 - s_1}{2})$ je presjek koji stoji rasipanju na raspolaganje; (2δ) je dužina rta indukcije. U položaju (b) možemo vodljivost rasipanja metnuti jednaku nuli. U svim drugim položajima rotora obziran na stator je vodljivost između svih vrijednosti. Srednja je vodljivost prema tome:

$$\lambda_{Kred} = \frac{\lambda_{Kmax} + \lambda_{Kmin}}{2} = \frac{a - s}{8\delta} \quad (172)$$

Polovica ove vodljivosti pripada statoru, a polovica rotoru. - Za stator vrijedi:

$$\lambda_K = \frac{a_2 - s_1}{16\delta} \quad (173)$$

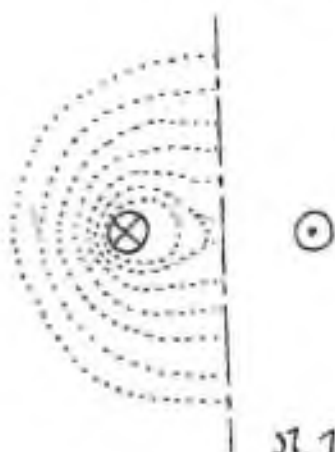
a za rotor:

$$\lambda_K = \frac{a_1 - s_2}{16\delta} \quad (174)$$

Ako rotor leži ispod pola ili ispod polnog sa, spora - kao što to liči kod asinkronih strojeva - onda su razmjeri različitiji. Isto vrijedi i za slučaj kada se ne kompenziraju međusobno namotaji statora i rotora.

Za sinhronne strojeve, t.j. - općenito - za strojeve izmjenične struje sa ograničenim polovima, vrijede za rasipanje glava kulji, odnosno za vodljivost, slijedeće jednačine 1: vidi Arnold - La Cour IV:

$q = 1$	$\lambda_K = 0,92 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot t_1}{2s_1}\right)$	} (175)
$q = 2$	$\lambda_K = 0,92 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot t_1}{2s_1}\right)$	
$q = 3$	$\lambda_K = 0,92 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot t_1}{2s_1}\right) + 0,275$	
$q = 4$	$\lambda_K = 0,92 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot t_1}{2s_1}\right) + 0,415$	
$q = 5$	$\lambda_K = 0,92 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot t_1}{2s_1}\right) + 0,670$	
$q = 6$	$\lambda_K = 0,92 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot t_1}{2s_1}\right) + 0,840$	
$q = 7$	$\lambda_K = 0,92 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot t_1}{2s_1}\right) + 1,080$	
$q = 8$	$\lambda_K = 0,92 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot t_1}{2s_1}\right) + 1,270$	

c) Rasipanje čeonih spojka.

Sl. 116.

Rasipanje čeonih spojka nastavi se u tlačnim pločama limenih ploča armature, u lećaju, osovini, itd. Tačni proračun je vrlo kompliciran, jer se ne zna put crta rasipanja.

Kod višefaznih strojeva dođe još u obzir i međusobni uticaj pojedinih faza.

Istotako uticaje stator na rotor i obratno.

Da dobijemo sliku rasipanja razmislimo da je čeonu spojku kružni vod željezne ploštine nadomjestimo drugom vodom - zrcalnom slikom - kroz koju teče ista struja - slika (116) -; onda prolaze crte polja kao što je nacrtano na slici. Iz ove slike vidimo, da na čeonu spojku djeluje vlačna sila. Kod strojeva sa malom polova i s dugaćkim čeonim spojkama - na pr. kod turbogeneratora - znade ova vlačna sila poprimiti znatne vrijednosti, koje se kod konstrukcije, odnosno kod pričvršćenja čeonih spojka, mora uzeti u obzir.

Vodljivost se može izračunati pojednostavljenim

Arnold-La Cour IV. 1/

$$\lambda_s = 0,46 \cdot l_s \cdot \log\left(\frac{2l_s}{u_s}\right) \quad (176)$$

gdje je: $u_s = 2(a+b)$
- slika (117).



Sl. 117.

Oko svi vodiči jedne faze nisu združeni u jednu čeonu spojku, t.j. vodiči se razdijele tako, da jedan dio

ide na jednu, a drugi na drugu stranu, računa se po jednostavnoj

$$\lambda_s = 0,46 \cdot l_s \left(\log \frac{2l_s}{u_s} + A \right) \quad (177)$$

gdje (q_s) znači broj čeonih spojka, koji leže jedna do druge; (A) je konstantni faktor srednje vrijednosti (0,3).

Koeficijent indukcije rasipanja jedne faze višefaznog stroja je prema tome

$$S = 98 \pi \cdot p \cdot q \cdot Z_1^2 \cdot (L_1 \cdot \lambda_m + L_1 \cdot \lambda_n + L_s \cdot \lambda_s) \cdot 10^{-9} \text{ Henry} \quad (178)$$

Obzirom na definiciju toka rasipanja (ϕ_x) mora, mo kod proračuna toga toka uzeti u obzir samo one polja koje ne ulaze u željeno magnetskog sistema. Da odredi, mo od toga toka inducirane EMF (E_{s1}) načinimo sumu svih spojeva onoga toka (ϕ_x) sa namotajem. Onda vrijedi:

$$E_{s1} = 2 \pi \cdot I \cdot \Sigma (w_x \cdot \phi_x) \cdot 10^{-8} = I \cdot x_{s1} \quad (179)$$

(ϕ_x) je od jednog ampere proizvedeni tok, koji je spojen sa (w_x) ravoja.

Reaktancija

$$x_{s1} = 2 \pi \cdot \Sigma (w_x \cdot \phi_x) \cdot 10^{-8} \quad (180)$$

je reaktancija rasipanja.

Netnulisimo

Z_1 = broj u seriji spojenih vodiča jednog utora

q = broj utora po pol i fazi

p = broj pari polova;

tada je: $w = p \cdot q \cdot Z_1$ broj ravoja jedne faze, koji su u seriji. Svaka faza ima dakle ($2pq$) strana u toku sa (Z_1) žica u seriji po utor.

λ_s = vodljivost magnetskog kruga sa svaki centimetar dužine ravoja;

$2L_x$ = dužina jednog ravoja u (cm),

$$\text{onda je } \phi_x = 2 \cdot L_x \cdot \lambda_x \cdot Z_1 \quad (181)$$

Reaktancija rasipanja je prema tome

$$x_{s1} = 4 \pi \cdot p \cdot q \cdot Z_1^2 \cdot \Sigma (L_x \cdot \lambda_x) \cdot 10^{-8} \quad (182)$$

Jer je ($p \cdot q \cdot Z_1 = w$) jednako broju ravoja jedne faze koji su u seriji, slijedi da je

$$x_{s1} = \frac{12,5 \cdot w^2}{p \cdot Z} \Sigma (L_x \cdot \lambda_x) \cdot 10^{-8} \text{ Ohma} \quad (183)$$

$$\Sigma (L_x \cdot \lambda_x) = L_1 \cdot \lambda_m + L_1 \cdot \lambda_n + L_s \cdot \lambda_s \quad (184)$$

Iz ove jednačbe vidimo da je kod kadavog broja kavoja (w) sa pol i faru reaktancija rasipanja tim manja, čim je veći broj utora sa pol i faru. Ali to vrijedi samo do određene granice. Kod kadave dubine utora koja kod modernih strojeva nema velikih promjena, raste (λ_m) sa brojem utora (q).

Ako konačno označimo sa (m) broj fara, te i sa, mislimo - kao što je to bilo kod strojeva istosmjernog struje [vidi III - 7 - c] - namotaj nadomjesten sa je, jednako razdieljenom naslagom bakra, koja ali ima isti volumen kao i namotaj, onda je volumen struje sa (λ_m) oboda armature

$$AS = \frac{2 \cdot m \cdot I \cdot w}{\pi \cdot D} \quad (185)$$

Jer je: $v = \frac{p \cdot m}{60}$, je

$$I \cdot x_{s1} = \frac{4 \pi \cdot w^2 I}{p \cdot q} \sum (\ell_x \cdot \lambda_x) \cdot 10^{-9} = \frac{2 \pi w^2 \sqrt{3} \pi D p m}{60 p q m} \sum (\ell_x \cdot \lambda_x) \cdot 10^{-9}$$

Umetnimo obodnu brzinu

$$v = \frac{2 \pi m}{60 \cdot 100} \text{ m/sec}$$

dobijemo

$$I_{x_{s1}} = 2 \cdot w \cdot v \cdot AS \cdot \frac{\pi \cdot \sum (\ell_x \cdot \lambda_x)}{m \cdot q} \cdot 10^{-6} \text{ Volt} \quad (186)$$

Napon reaktancije je prema tome direktno proporcionalan specifičnoj gustoći struje (AS).

Ako se imo rasviri rastvorene uture, onda se mora uzeti u obzir još tok kroz mostić prečoutora. Mostić je već rasiceu kod male jakosti struje. Ako sa ovo rasiceenje odaberemo (22500) gaussa onda ovaj tok proizvoda EMS

$$E_s' = \frac{4,44 \cdot v \cdot w}{10^8} \cdot 22500 \cdot l \cdot 2 \cdot \delta' = \frac{2 \cdot v \cdot w}{10^3} \cdot l \cdot \delta' \text{ Volt} \quad (187)$$

(δ') je debljina mostića m (cm) ($0,05 \div 0,1$ cm), (l) je dužina armature. Ovaj napon (E_s') neovisan je oja, koji struje radi već prije spomenutog rasiceenja. Totalni napon reaktancije je prema tome sa rasipa, nje kod koje god jakosti struje

$$E_s = I \cdot x_{s1} + E_s'; \text{ za } I = 0 \text{ je } E_s' = 0 \quad (188)$$

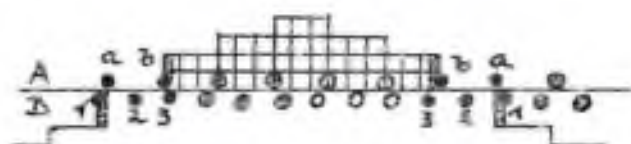
Velika indukcija u mostiću prouzroči kod jednake faze stuje i induciranje EMS tak, da je vodljivost raspora sa glavni tok kod tereta manja, nego li kod neopterećenog koda. Stoga se vidi više puta kod strojeva sa zatvorenim utorima prilično veliko opadanje napona kod prelaza od neopterećenog koda na normalni teret.

20. Dvostruko spojeno rasipanje.

Osim do sada spomenutih rasipanja imade, još dvostruko spojeno rasipanje, koje sadržava tako, der rasipanje glave rubova (cik-cak - rasipanje). Dvostruko spojeno rasipanje ovisi o geometrijskoj raspodjeli namotaja, te o međusobnom položaju utora u kojima leže zavoji.

Za određivanje ovog rasipanja mora se početi od efektivnih polja namotaja kao ishodišta /; polje u obliku stepenica, a ne polje osnovnog vala /.

Za primjer ćemo promatrati trofazni asinkroni stroj; namotaj statora: 2 utora sa pol i fazu; namotaj rotora: 3 utora sa pol i fazu. Čim je manji broj utora sa pol i fazu, tim veće je dvostruko spojeno rasipanje. - U slici (MS) označeni su primarni namo-



Sl. 118.

taj (A), te sekundarni namotaj (B) - krugovi, ma, i to: faza (I) crno, faza (II) bijelo, faza (III) isprekano. - Zamisli,

mo si najprije da struja teče samo u primarnom namotaju. U slici (MS) ortamo je polje sa moment u kojem je struja u fazi (I) maksimalna. Onda ima krivulja najvećih ploština - namotaj proizvoda najvećeg toka. Ovaj tok možemo u slici (MS) metnuti da je

M. PLOHL

JAKA STRUJA I. SVEZAK IX.

TRANSFORMATORI.



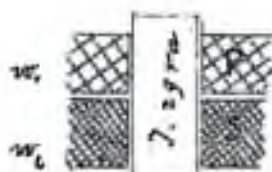
Izdalo. Udruženje slušača tehničkog fakulteta, Zagreb.

1928.

IX.

1. / O P Ć E N I T O.

sl. 1.



Poznato nam je, da u zavojima svitka nastaje el.m.sila, ako i dok se promjeni tok indukcije kroz svitak. Uzmemo na pr. željeznu jezgru, na koju namotamo dva svitka P i S

-sl. 1- te šaljemo kroz jedan- primarni P- struju, onda proizvodi ova struja tok indukcije kojom je spojen drugi -sekundarni- svitak S. Promjeni li se tok, imamo u sekundarnom svitku induciranu el.m.silu, koja prouzroči u zatvorenom krugu struju. Ali jer je spojen sa ovim tokom nesamo sekundarni nego također primarni svitak, nastane također u primarnom svitku inducirana el.m.sila, el.m.sila samoindukcije, koja djeluje suprotno narinutom naponu primarnoga svitka. Veličinu određuje jednadžba VIII-14, 98

$$I. / \quad E_1 = \frac{4,44 \phi \cdot w_1 \cdot \sim}{11} \quad \text{Volt.} \quad /1./$$

ϕ je maksimalni tok, koji prodire zavoje primarnoga svitka. Ali ovaj tok spojen je također kao što je to bilo spomenuto sa zavojima sekundarnoga svitka, prema tome prouzroči el.m.silu koju nam određuje ista jednadžba t.j.

$$II. / \quad E_2 = \frac{4,44 \phi \cdot w_2 \cdot \sim}{10} \quad \text{Volt.} \quad /2./$$

dijelimo jednadžbe I i II jednu kroz drugu dobijemo

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = u \quad /3./$$

Elektromotorne sile u primarnom i sekundarnom krugu odnose se kao brojevi zavoja.

Pošto je napon stezaljka samo za malo procenata različan

od el.m. sile, možemo kazati: Naponi stezaljka odnose se kao brojevi zavoja. Kvocijent $\frac{w_2}{w_1} = \frac{E_2}{E_1}$ u zove se prenosni odnošaj /Übersetzungs-verhältnis/. Pomoću zakona što ga određuje jedn. 3 može se kod izmjenične struje niski napon pretvoriti u visoki i obrnuto. Sprave koje ovu promjenu omogućuju zovemo "transformatore".

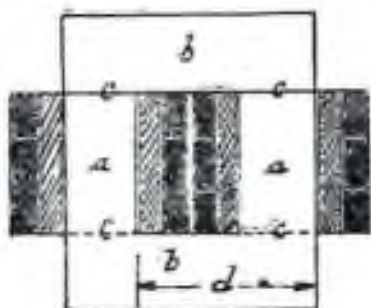
Transformatore za praktičnu upotrebu možemo razdijeliti u transformatore sa otvorenim i takve sa zatvorenim željeznim krugom.

Transformator koji na sekundarnoj strani ne dobavlja struju - t.j. sekundarni krug otvoren - nije drugo nego pritomljač / drossel/ / vidi VIII-6./ Za struju magnetiziranja pritomljača vrijedi jedn. VIII-97 t.j.

$$I_m = \frac{\Phi_m w}{0,4\pi w_1 \mu_2} = \frac{\Phi_m}{\lambda_{w_1 \mu_2}} \quad 141$$

λ je magnetični otpor transformatora. Iz ove jednadžbe slijedi da je struja magnetiziranja ili struja neopterećenog kreta - razlika nije velika - proporcionalna magn. otporu λ , koji je za otvoreni krug veći nego za zatvoreni magn. krug. Pošto otvoreni transformatori imaju prilično jaku struju magnetiziranja u razmjeru k zatvorenim, spojilo se više puta paralelno k namotaju kondenzator, koji bitno umanja struju u dovodu / vidi VIII-K- / Da se dobije što moguće manju struju magnetiziranja, mora ležati put toka skoro sasvim u željezu. To je uzrok iz kojeg se prešlo na zatvorene konstrukcije i to:

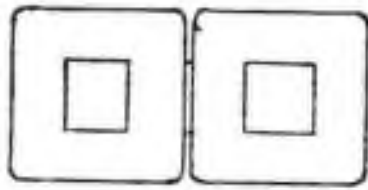
- a./ jezgraste transformatore /Kerntransformatoren/ danas obične
- b./ ogrnute transformatore /Manteltransformatoren/ ad a./



sl. 2.

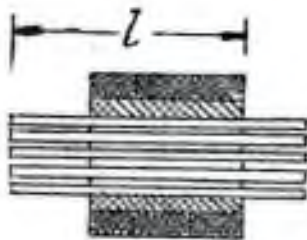
Zavoji primarnoga i sekundarnoga svitka obuhvate željezo. Sl 2 i 3 prikazuju jezgraste transformatore. Jezgra sastoji iz limenih pločica 0,3-0,5mm debljine, pojedine pločice međusobno papirom izolirane. Na jezgru namota se najprije primarni onda sekundarni namo-

taj, međusobno dobro izolirani.



sl. 3.

Da se nema prevelikih nazlika u napo-
nu /100-150 V/ pojedinih slojeva namotaja,
razdijeli se namotaj po potrebi u pojedine
svitke, koje se onda međusobno spoji. Na
jezgre a položi se djelove b, c, su tačno iz-
radjene strane sa izolacijom iz papira, da se prepriječi vrt-
ložne struje / razmak 0,035-0,05mm/



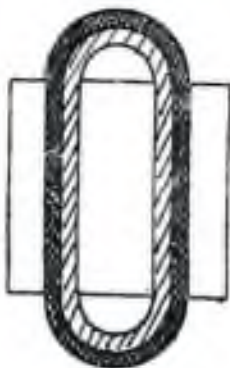
sl. 4.



sl. 5.

Drugi način sastavljanja prikazuje slika
4. Limene ploče dužine l položi se redom
ovako, kao što to slika prikazuje. To su
jezgre a sl. 2. Onda se sastavi na isti
način jezgre dužine d /sl. 2 / te udesi
jednu jezgru u drugu. Izolirani evornici
drže konačno ove jezgre skupa.

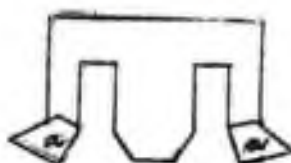
ad b./ Kod ogrnutih transformatora
sl. 5 i 6 moglo bi se kazati, obuhvati že-
ljezo zavoje. Sl. 5 i 6 prikazuju nam ova-
kovi transformator. Za sastavljanje uzme se
limene ploče sl. 7, koje se onda pres-
ječe po crti e te otvori kako to slika 8
prikazuje. Svitak udesi se na srednju
jezgru te onda zatvori rubove a.



sl. 6.



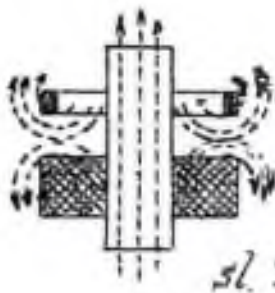
sl. 7.



sl. 8.

Zla strana ove konstrukcije je ta, da
se mora čitavu jezgru razdijeliti, ako se
hoće promijeniti jedan ili drugi svitak.

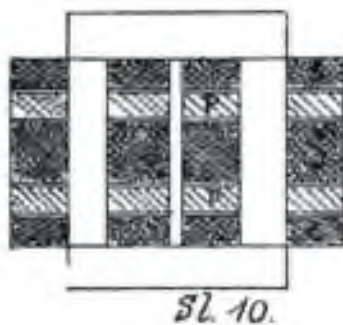
Nadomjestimo u slici 1 jedan svitak
kolutom iz bakra ili još bolje iz alumi-
nija, teče u kolutu jaka struja što se
odmah upozna, jer lebdi praten nad svitkom.
Prema tome moraju se struje u kolutu i
svitku-sl. 9- odbijati t.j. struje su pa-



ralelne ali protivnog smjera. Svaka struja ima svoje polje. Paralelne struje protivnog smjera proizvadjaju tok indukcije suprotnog smjera/vidi I-9/. Pošto suprotni tokovi traže po mogućnosti izlaz na stranama ,kao u slici9. nema sekundarni svitak isti broj crta kao primarni, prema tome neće biti tačna jednadžba 3

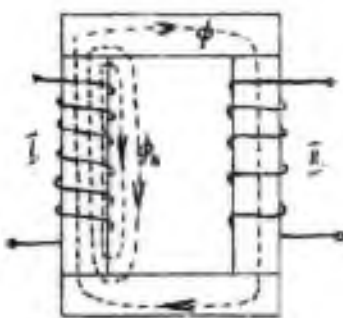
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = u, \text{ jer je tamo bilo zamošljeno,}$$

da su tokovi isti. Užrok je rasipanje. Ako je sekundarni svitak nad ili pod primarnim kao u sl.1 imamo sasvim drugi tok rasipanja nego kao onda ako udesimo svitke po sl. 2 ili 5./koncentrično motanje/. Opet drugačiji će biti tok rasipanja kod plosnatog namotaja sl.10 koja prikazuje primarni i sekundarni namotaj razdijeljen u pojedine dijelove,



koje se izmjenice udesi na jezgru.

El.m.silu samoindukcije razdijeli se shodno u dva dijela,kao što to odgovara dvima dijelovima toka. Najveći dio toka ,što ga proizvadjaja svitak I prolazi kroz željezo, jedan dio i ako malen obzirom na prvi, prolazi u porednom putu kroz zrak,kao što to prikazuje slika 11/ Dio toka što prolazi kroz zrak proporcionalan je struji, jer je magnetski otpor-koji je mjerodavan za ovaj tok - u glavnome u zraku.

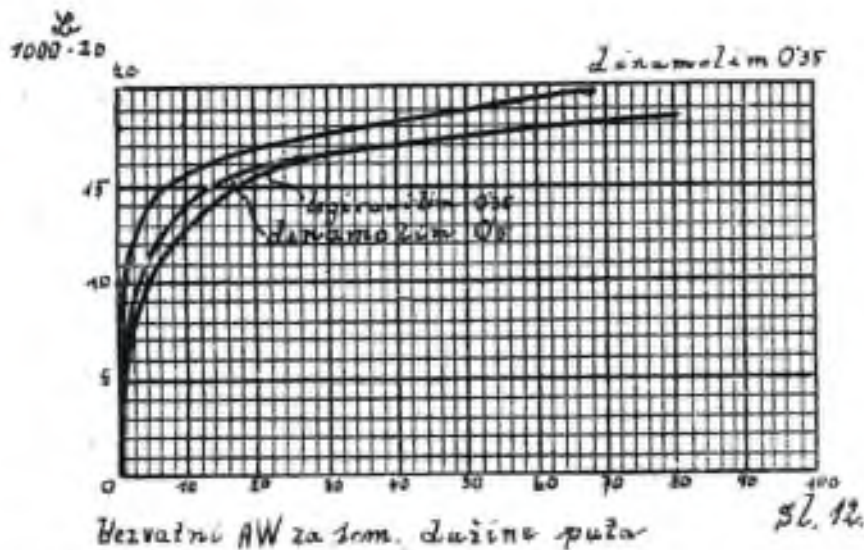


Za ovaj tok je dakle u konstantno./-1/. Za tok u željezu mjerodavan je snosaj medju strujom i tokom,kao što ga daje krivulja magnetiziranja dotičnoga lima -sl 12-. Tok koji prolazi kroz zrak,tvori tok rasipanja ϕ_s , tok u željezu glavni tok ϕ . Ovim tokovima mora razdioba el.m.sile samoindukcije koji smo prije spomenuli odgovarati.

Prema tome imademo. el.m.silu samoindukcije E , koju inducira

glavni tok te el.m.silu indukcije rasipanja, koju inducira tok rasipanja.

Napon, što ga primarnom svitku narinemo drži ravnotežje: a/ ohm-ovo otpadanje, b/ el.m sila indukcije rasipanja c/ el.m. sila E , samoindukcije, koju inducira glavni tok.



Vidjeti ćemo, da je za prenos energije od prirodnoga na sekundarni svitak koristan samo glavni tok ϕ , dok rasipanja ϕ_s je škodljiv. Prema tome je samo el.m. sila E , korisna el.m. sila, el.m. sila indukcije rasipanja je škodljiva.

2./ STEPEN DJELOVANJA.

Gubici u transformatoru su:

1./ Jouleova toplina u primarnom i sekundarnom namotaju $I_1^2 r_1$ te $I_2^2 r_2$, ako označuju I_1 te I_2 struje r_1 te r_2 otpore.

2./ Histereza i vrtložne struje. Gubitak histereze slijedi iz

$$W_h = \eta \cdot V \cdot f \cdot B_m \sim 10^7 \text{ vata} \quad /5/$$

/vidi I-4/ V je volumen željeza u dm^3 , f broj perioda/frekvenca/

B_m maksimalna indukcija u željezu. Za transformatore mora se upotrijebiti najbolji lim, broj gubitka/vidi V-

XIV-6/za $f = 50$

te $B_m = 10000$ nesmije prekoračiti vrijednost 2.3, η prema tome

0,0012 - 0,0015. Za legirani lim je broj gubitka 40-50 % normalnoga lima, η prema tome 0,0007 - 0,0008 /vidi V-

/

Gubici zbog vrtložnih struja. Ove se može veoma reducirati, ako se dobro izolira pojedine ploče papirom ili šebojem.

Gubitke može se računati po jednadžbi /vidi I-4, V-

XIV-6 VIII-6 /

$$N_{\text{Fe}} = 2 \div 2,5 \frac{(\sim \Delta \sigma_{\text{Fe}})^2}{10^3} \text{ V vata} \quad /6/$$

Δ je debljina lima u mm, V volumen u dm.³

Gubitke histereze i vrtložnih struja može se također zajedno izračunati pomoću specifičnog gubitka σ_{Fe} u voltima/kg na željezu i to za dotični broj $\sim$ /vidi V - / uračuna se još 20-50% dodatnih gubitaka, onda se dobije

$$N_{\text{hist}} = /1,2 \div 1,5 / \sigma_{\text{Fe}} \cdot G_{\text{Fe}} \cdot 10^{-3} \text{ K vata} \quad /7/$$

Da se što više umanju dodatne gubitke, uzme se za svakih 25 - 30 mm umetak 12 0,2 mm debelog pres-pana, koji se umetne između limenih pločica.

Stepen djelovanja transformatora je :

$$\eta = \frac{\text{sekundarni koristni efekt}}{\text{primarni uvedeni efekt}} \quad /8/$$

Stepen djelovanja te gubitke u željezu dobrih norm. transformatora sadržava sljedeća tabla 1./

Tabla 1./

KW.	Transformator za svjetlo		Transformator za silu	
	Step. djelovanja	Gubitak u želj	Step. djelovanja	Gub. u želj %
1	0,945 ÷ 0,955	0,95 ÷ 1,9	0,93 ÷ 0,94	3,7 ÷ 5,6
5	0,96 ÷ 0,97	0,86 ÷ 1,15	0,94 ÷ 0,955	2,1 ÷ 2,60
10	0,965 ÷ 0,975	0,77 ÷ 1,07	0,955 ÷ 0,965	1,6 ÷ 2,1
50	0,975 ÷ 0,985	0,49 ÷ 0,59	0,97 ÷ 0,98	0,97 ÷ 1,3

Za prosudjivanje transformatora dolazi često drugi stepen djelovanja u obzir, t.j. godišnji stepen /Jahreswirkungsgrad/

$$\eta_j = \frac{\text{koristno djelovanje u godini}}{\text{Uvedeno djelovanje u godini}} \quad /9/$$

Ako je $N_e = N_{\text{Fe}} \eta$ te transformator radi t_{pr} sati sa punim teretom od N_e K vata, i ako je dalje t_{e} sati jednako vremenu ukopčanja/obično se računa 8760^h / onda je

$$\eta_j = \frac{t_{\text{e}} \cdot N_e}{t_{\text{pr}} \cdot N_e + t_{\text{pr}} \cdot N_{\text{Fe}} + t_{\text{e}} \cdot N_{\text{hist}}} \quad /10/$$

gdje N_{Fe} označuje gubitak u bakru, N_{hist} gubitak u željezu. Transformatori centrale izmjenične struje rade u opće na primarnoj strani čitavu godinu, na sekundarnoj samo nekoliko stotina sati.

Gubitak radi histereze i vrtložnih struja ostaje isti svedjedno dali radi sekundarna strana ili ne. Gubitci u bakru su na primarnoj strani veoma maleni, ako transformator sekundarno nije opterećen/. Na taj način mogu dva transformatora imati isti stepen djelovanja η ali veoma različan stepen η_i . Uzmemo na pr. transformator od 10000 vat korisnog djelovanja sa sljedećom razdiobom gubitaka

1./ Gubitci u primarnom i sekundarnom bakru 1% + 1%

2./ Gubitci u željezu 3%

Stepen djelovanja je onda $\eta = 1 - 0,02 - 0,03 = 0,95$

Zamislamo da radi ovaj transformator godišnje 400 sati sa punim teretom, ostalo vrijeme bez tereta. onda dobijemo

Korisno djelovanje 400 sata $10000 \cdot 400 = 4000000$ vat sati

Citavi efekt transformatora je $\frac{10000}{0,95} \approx 10525$ vata

Gubitak Joul-ove topline $10525 \cdot 0,02 = 210$ vata

" histereze i vrtl.struja $10525 \cdot 0,03 = 315$ vata

Toplina struje za 400 sati je $400 \cdot 210 = 84000$ vat/sati

Histereza i vrtložne struje $8760 \cdot 315 = 2760000$

Primarno trošeni efekt $2760000 + 84000 + 4000000 = 68440000$

Stepen djelovanja $\eta = \frac{4000000}{6844000} = 0,585$

Iz toga primjera upozna se takodjer, kako treba razdijeliti gubitke, ako je transformator čitavu godinu prikopčan na centralu: gubitke u željezu mora se odabrati malene, a gubitke u bakru može se uzeti nešto veće. Ali kod toga nesmije se prekoračiti određene granice, jer se ima, ako su gubitci u bakru preveliki, veliko ohm-ovo otpadanje tako da se mora regulirati napon centrale.

Traži li se maleno otpadanje kod porasta tereta mora se uzeti gubitke u bakru malene, onda se odabere kod istoga stepena djelovanja nešto veće gubitke u željezu.

Transformatori koji su čitavu godinu ukopčani, koji služe u glavnome za rasvjetu zovu se transformatori za svjetlo

/Lichttransformatoren/, drugu vrstu tvore transformatori za silu /Krafttransformatoren/ koji rade samo nekoliko sati svaki dan, ali onda pod punim teretom.

3./ U G R I J A N J E T R A N S F O R M A T O R A .

Gubici u transformatoru pretvore se u toplinu te prouzrokuju povišenje temperature. Da ostane povišenje u određenim granicama mora transformator imati dostatnu površinu za prelaz topline u zrak.

Ozračimo li sa N_p čitave gubitke, O površinu, koja dolazi za prelaz topline u obzir, onda je specifična površina

$$O' = \frac{O}{N_p} \quad /11/$$

t.j. površina, koja otpada na svaki vat gubitka. Pokusi što ih je izvršio Kapp pokazuju, da se može očekivati za razne vrijednosti O' u sljedećoj tabeli 2 sastavljeno u grijanje.

Ako je zatvorena kutija

TABLE 2.

O'	Uzvisavljanje temperatur.	
cm ² vat	Kutija zatvorena bez ulja	bez ulja
15	62° C	89° C
20	55° C	76° C
25	49° C	67° C
30	45° C	61° C
35	42° C	55° C
40	38° C	52° C
45	35° C	48° C
50	33° C	44° C
55	31° C	41° C
60	28° C	38° C

perforirana, onda vrijede brojevi prve porovke. Također za male transformatore treba više sati, dok postigne temperatura maksimalnu vrijednost, za velike više puta nekoliko dana. Ako transformator nije čitavo vrijeme u pogonu, temperature su nešto niže kao što to daje tabla 2. Ove vrijednosti moramo smatrati kao gornju granicu.

Temperatura oviena je također o sredstvu, koje se za hladjenje upotrebljuje.

- 1./ naravno hladjenje zrakom
- 2./umnoženo hladjenje zrakom pomoću osobitih ventilatora
- 3./ naravno hladjenje uljem, transformator nalazi se u kutiji koja je napunjena mineralnim uljem; kutija treba da ima što veću povr-

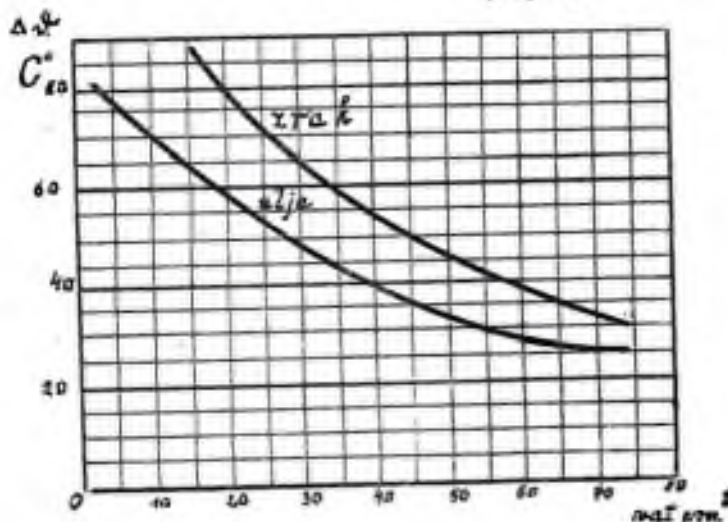
šinu /valovit lim./

4./ Umnoženo hladjenje uljem, hladjenje ulja u rashladnoj spravi. Ulje teče kod toga kroz cijevi, koje leže u vodi ili u zraku, nikad obrnuto.

Namjesto table 2 može se uzeti sliku 13 koja sli-

sl 13

jedi iz jednadžbe



$$\Delta T = \frac{K}{\alpha + \beta} \cdot 0 \quad /12/$$

označuje uzvisivanje tem-

perature. Konstanta K je jedna-

ka 10000 Za veličine α i β vredi

za zrak $\alpha = 62$ $\beta = 3,2$

za ulje $\alpha = 97$ $\beta = 4,1$

ΔT je podizanje temperature gornjeg sloja ulja, $0'$ površina

kutije u cm^2 , koja dolazi u doticaj sa uljem.

Imamo umnoženo hladjenje zrakom, tada moramo učiniti sljedeće posmatranje.

Tlak zraka neka bude $h_z/25 \div 30$ mm/vode, struja γ_z cbm/sec.

ΔT_z uzvisivanje temperature zraka. Specifična težina zraka je

$$\gamma_z = \frac{1,29 \cdot 10^{-3}}{1 + 0,00367 \Delta T_z} \text{ g/cm}^3 \quad /0,00367 = \alpha = \frac{1}{273} \quad /13/$$

/ 1,29 težina litre 0 760 mm/ Spec. toplina 0,238 cal/g Onda je toplina, koju odvede zrak u svakoj sekundi ili toplinsko djelovanje / 1 g cal = 4,189 vata/

$$N_z = 0,238 \cdot \gamma_z \cdot 10^6 \Delta T_z \cdot 4,189 = \gamma_z \cdot \gamma_z \cdot \Delta T_z \cdot 10^6 \text{ vata} \quad /14/$$

Nadomjestimo li sada N_z sa N_z u K vatima onda je $N_z = N_z \cdot 1000$

te stavimo $\Delta T_z = K_z \Delta T$ $K_z = 0,4 \div 0,5$ t.j. dio nadtemperature transformatora, za koji neka se ugrije trak.

$$\Delta T = \frac{N_z}{K_z \cdot \gamma_z \cdot \gamma_z} \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} \quad /15/$$

Umetnemo li dalje za K_z 0,4 ; za γ_z srednju vrijednost $1,26 \cdot 10^{-3}$ onda dobijemo potrebnu struju zraka, da ograničimo ugrijanje na vrijednost ΔT

$$\gamma_z = \frac{2 \cdot N_z}{\Delta T} \text{ cbm/sec} \quad /16/$$

Za sigurnost doda se 50% zraka, prema tome

$$\gamma_1 = \frac{3 \cdot N_g}{\Delta v} \text{ cbm/sec} \quad /17/$$

Potrebno djelovanje ventilatora slijedi iz jednadžbe

$$N_g = \frac{\gamma_1 \cdot h}{\eta_g} \quad 9,81 \cdot 10^{-3} \text{ K vata} \quad /18/$$

γ_1 u cbm/sec, h u mm vode $\eta_g = 0,3-0,4$ stepen djelovanja ventilatora.

Na isti način odredi se potrebna množina vode, ako se uporabi umnoženo hladjenje uljem.

Množinu ulja računa se po M. Vidmar-u /Volum/

$$V_n = K_n \cdot G^{\frac{2}{3}} \text{ dm}^3 \quad /19/$$

K_n je konstantni faktor, koji iznaša po iskustvu

Za glatke strane	5	} cilindrični	2,5	} pravokutni
Valoviti lim /plitko/	7		5	
" " /duboko/	10		8	
		} svitci		8

G je težina materijala transformatora, koji proizvadjja toplinu.

Kod glatke površine računamo 5 vata za svaki dm^2 što dolazi u doticaj sa uljem, onda je potrebna površina, koja mora dolaziti u doticaj sa uljem

$$Q_n = \frac{N_g \cdot 10^3}{5} \text{ dm}^2 \quad /20/$$

N_g u K vatima.

Konačno vrijede za težinu ulja koje je potrebno za hladjenje bez pomoćnih sredstava sljedeće jednadžbe /emp. jedn./

a./ posuda iz valovitog lima, jezgrasti transformatori

$$\frac{\text{težina ulja}}{\text{KVA}} = \left\{ \frac{30}{\text{KVA}} + 2,5 \right\} \text{ kg} \quad /21/$$

$$= \left\{ \frac{40}{\text{KVA}} + 3,6 \right\} \text{ kg za trofazni transf.} \quad /21a/$$

b./ Jezgrasti transformator do ~ 40 KVA, glavke posude iz ljevanog željeza

$$\frac{\text{težina ulja}}{\text{KVA}} = \left\{ \frac{50}{\text{KVA}} + 8 \right\} \text{ kg} \quad /22/$$

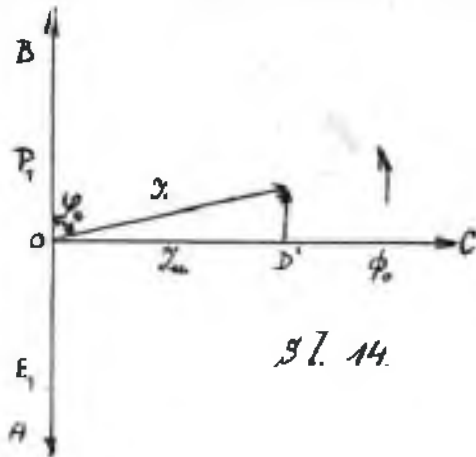
c./ Ogrnuti transformatori

$$\frac{\text{težina ulja}}{\text{KVA}} = 4,5 + 3,25 \text{ kg za napone do max. 3000 V} \quad /23/$$

$$\frac{\text{težina ulja}}{\text{KVA}} = \left\{ \frac{200}{\text{KVA}} + 4,5 \right\} \text{ kg do max. 25000 V} \quad /24./$$

4./ DIAGRAMI TRANSFORMATORA

Ponajprije zamislimo da transformator nema rasipanja. Sekundarni krug otvoren t.j. transformator neopterećen. U tom je



Sl. 14

slučaju primarni krug pritomljač /drossel/. Primarni svitak možemo smatrati kao otpor r_1 bez induktivite spojen u seriji sa svitlom u željezu bez otpora. /vidi VIII-6/ Kroz svitak teče struja I_1 , koja prouzroči el.m. silu samoindukcije E_1 . Vektor toka ϕ prolazi za 90° predovom el.m. silom samoindukcije. Prema tome je $OC = \phi$ smjer ovog vektora.

Radi histereze prolazi vektor struje pred vektorom toka /vidi VIII-6/ struju prikazuje prema tome pravac $OD = I_1$. Broj ampere zavoja primarnoga kruga je $I_1 w_1$, komponente struje su $I_0 = OD'$, $I_m = DD'$

Djelovanje neopterećenog transformatora je prilično veliko/. Ovo djelovanje pretvori se u djelovanje histereze i vrtložnih struja, ako zanemarimo Joule-ovu toplinu.

Zamislimo si da se čitavo djelovanje neopterećenog kreta pretvori u djelovanje histereze, onda slijedi struja histereze I_m , t.j. radna struja, vatna struja neopterećenog kreta, koja je u fazi sa naponom stezaljka - sl. 14- iz jednačbe

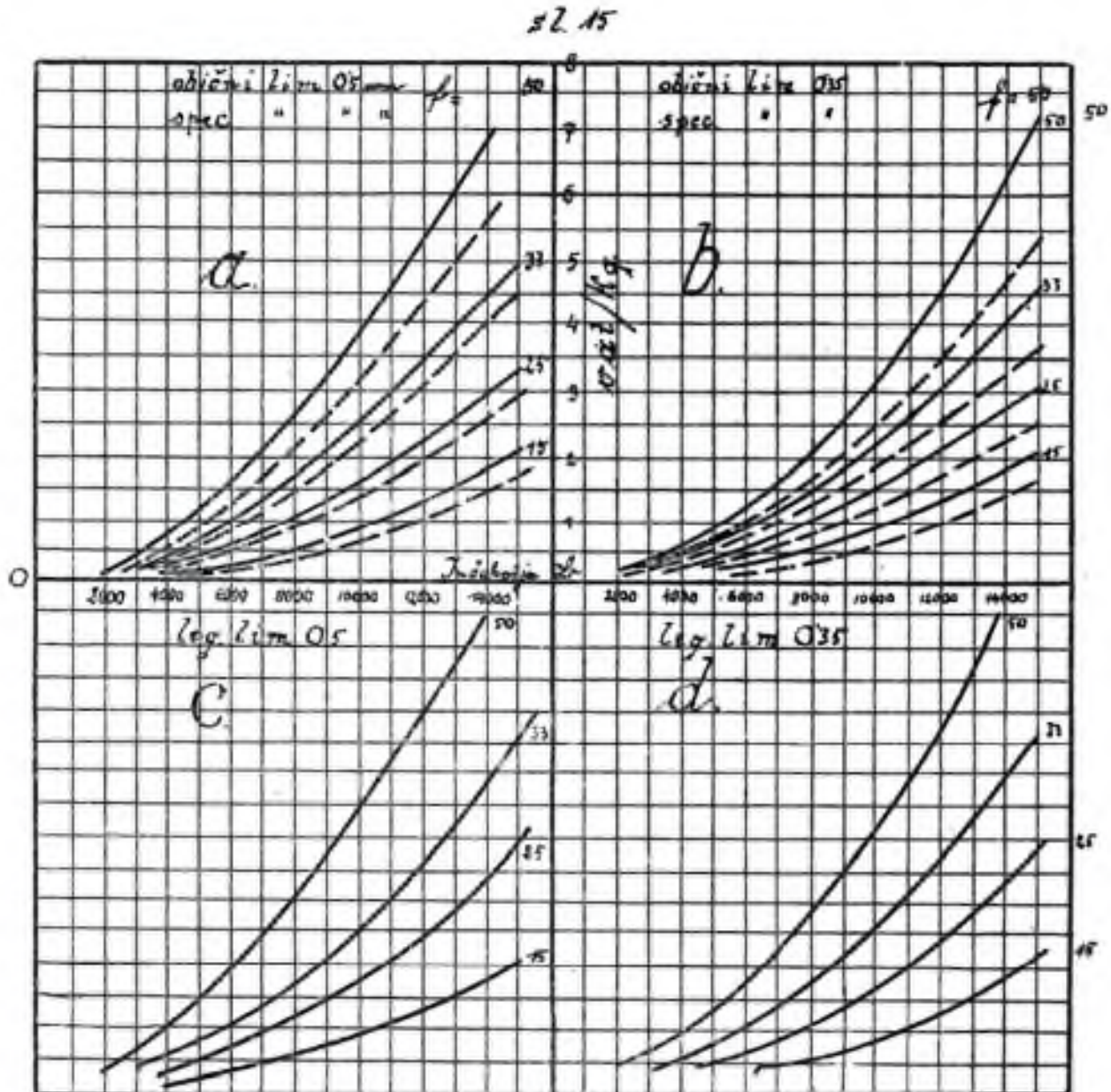
$$I_m = \frac{N_2}{E} \quad \cos \varphi = \frac{N_2}{E Z_m} \quad /25/$$

Za struju histereze I_m te struju magnetiziranja I_0 vrijede dalje jednačbe

$$I_0^2 + I_m^2 = I_1^2 \quad \text{tg } \varphi = \frac{I_m}{I_0} \quad /26/$$

/vidi VIII-6/ Istodobno slijedi, da zaostane magn. indukcija, koja je kod konstantnog propuštanja proporcionalna struji I_m , iza struje neopterećenog kreta za kut $90^\circ - \varphi$. Ona je u fazi sa

strujom I_m . Već smo više puta spomenuli, da imademo esim gubitka histerese još i gubitak vrtložnih struja. sl.15. prikazuje nam zavisnost totalnog gubitka o najvećoj indukciji.



a./ OPTEREČENI TRANSFORMATORI.

Zamislamo si sada transformator preko ohn-ovog otpora zatvoren t.j. opterećen. Jer imaju sekundarne stezaljke napon, mora u sekundarnom krugu teći struja, koja se zatvori preko sekundarnog namotaja. Po zakonu uzdržavanja energije mora - bez obzira na gubitke u transformatoru - od primarnoga svitka iz mreže primljeno

djelovanje jednako biti onomu djelovanju, što ga preda sekundarni namotaj. Opteretimo sekundarnu stranu mora prema tomu primarna primiti struju iz mreže i to tim više čim je veći teret sekundarne strane. Prenos djelovanja ili energije od primarnoga na sekundarni namotaj, posreduje glavni tok ϕ .

Od triju komponenata, što drže ravnotežje primarnom naponu to su: Ohm-ovo opadanje, el.m. sila indukcije rasipanja i od glavnoga toka inducirana el.m. sila samoindukcije postanu prve dvije radi porasta primarne struje nešto veće, prema tome el.m. sila samoindukcije E_1 nešto manja. Ali Ohm-ovo opadanje i el.m. sila indukcije rasipanja obzirom na el.m. silu E_1 tako su malene, da možemo kazati, da je el.m. sila E_1 za opterećeni i neopterećeni kret iste veličine t.j. glavni tok ϕ transformatora promjeni se samo malo medju opterećenim i neopterećenim kretom. Za proizvodnju glavnoga toka kod opterećenja je dakle skoro isti broj ampere zavoja

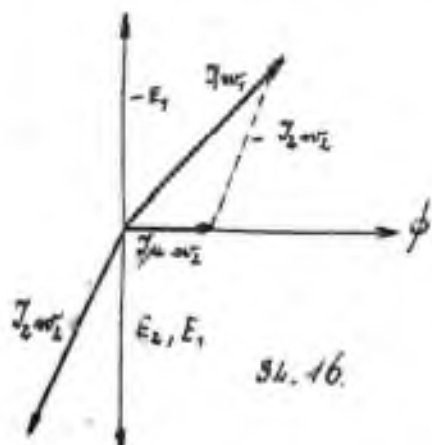
$$AW = \frac{1}{\mu} \cdot w, \quad /27/$$

potreban kao za neopterećeni kret.

Pomoću ove činjenice može se automatični prirast primarne struje sa povećanjem sekundarne tumačiti.

Ako je sekundarni krug opterećen, djeluju u transformatoru dvije M.M. sile t.j. magn.m. sila primarnoga i magnetsko motorna sila sekundarnoga kruga.

Za veličinu toka mjerodavna je rezultirajuća magn.m.



sila. Sl.16. prikazuje diagram ampere zavoja opterećenog transformatora pod pretpostavkom, da je sekundarna struja I_2 u fazi odmaknuta naprana el.m.sili sekundarnoga namotaja E_2 i to da ona zaostaje naprama E_2 . Isto tako slijedi kao E_1 tako i E_2 toku ϕ za 90° .

Jer prouzroči isti tok ϕ nesamo el.m. sila E_1 nego takodjer i E_2 .

E_1 te E_2 padaju dakle u smjeru zajedno. Kod opterećenog transforma-

tora mora tok ϕ ostati isti kao za neopterećeni kret, mora po jednadžbi 27 rezultirajuća M.M. sila biti $\mathcal{Z}_1 w_1$, AW. To je samo onda moguće, ako je primarni broj AW uvijek jednak geometričnoj sumi iz $\mathcal{Z}_1 w_1$ te $\mathcal{Z}_2 w_2$, t.j. jednak dijagonali paralelograma $\mathcal{Z}_1 w_1$. Čim voše se prema tome optereti sekundarni namotaj, tim jaču struju uzima primarni namotaj iz mreže, da može ostati tok ϕ nepromjenjen. Diferenca primarne M.M. sile $\mathcal{Z}_1 w_1$ te sekundarne m.m.sile $\mathcal{Z}_2 w_2$ mora dakle biti uvijek tako velika koliko je amperzavoja potrebno, da se uzdržava tok ϕ .

Samoindukcija primarnoga svitka umanjuje se dakle samo prividno. Struja primarnoga svitka ima bitno istu fazu, isti smjer kao narinuti napon mreže, prema tome približnu suprotnu fazu nego od promjene toka proizvedeni, inducirani napon. Prvi svitak radi dakle kao elektromotor. Struja u sekundarnom svitku, koji radi kao generator, ima bitno istu fazu kao napon, što ga inducira glavni tok. A jer su proizvedene napetosti posljedica istoga toka, imaju u obima svitcima istu fazu, prema tome struje faze od 180° . Magnetično djelovanje ovih struja je dakle skoro suprotno. Prividno padanje samoindukcije kod opterećenja ima dakle uzrok u tome, što upliva na primarni svitak međusobna indukcija sekundarnoga.

Pošto je magnetični otpor transformatora prilično malen iznašaju AW za magnetiziranje samo 5-10% normalne. Prema tome vrijedi približno

$$\mathcal{Z}_1 w_1 = \mathcal{Z}_2 w_2 \quad /28/$$

$$\text{odn.} \quad \frac{\mathcal{Z}_2}{\mathcal{Z}_1} \simeq \frac{w_1}{w_2} \simeq \frac{E_1}{E_2} \quad /29/$$

Struje u namotajima odnose se približno obrnuto kao inducirane el.m.sile. To odgovara principu uzdržavanja energije jer mora po ovome principu biti /bez obzira na gubitke/

$$E_1 \mathcal{Z}_1 \cos \varphi_1 = E_2 \mathcal{Z}_2 \cos \varphi_2 \quad /30/$$

Vidjeti ćemo da je kod transformatora sa teretom

$$\cos \varphi_1 \simeq \cos \varphi_2 \quad /40/$$

U sekundarnome namotaju od glavnoga toka inducirana el.m.sila E_2 je u fazi sa E_1 , jer inducira obe jedan te isti tok ϕ . Fazni kut φ između sekundarne struje I_2 te sekundarnog napona na stezaljkama P_2 ovisan je o vrsti tereta. Za svladavanje ohm-ovog otpora sekundarnog kruga potrebna komponenta el.m.sile E_2 je komponenta $E_{2s} = I_2 \omega L_2$ koja leži za 90° pred strujom.

Iz VIII-6 nam je poznato da prouzroče gubitci u željezu radnu komponentu struje magnetiziranja, koja nam množena sa el.m.silom E_1 daje gubitke u željezu. Geometrična suma ove radne komponente struje magnetiziranja daje neopterećenu struju transformatora I_0 . Označuje li V_{2c} gubitke u željezu transformatora onda vrijedi

$$I_{2c} = I_0 \sin \varphi \quad /41/$$

$$V_{2c} = E_1 I_{2c} \cos \varphi \simeq E_1 I_0 \cos \varphi \quad /42/$$

Kod crtanja daigrama pretpostavi se da je sekundarni broj zavoja jednak primarnome. Onda je $E_2 = E_1$, diagram amperezavoja postane diagram struje /sl.16/

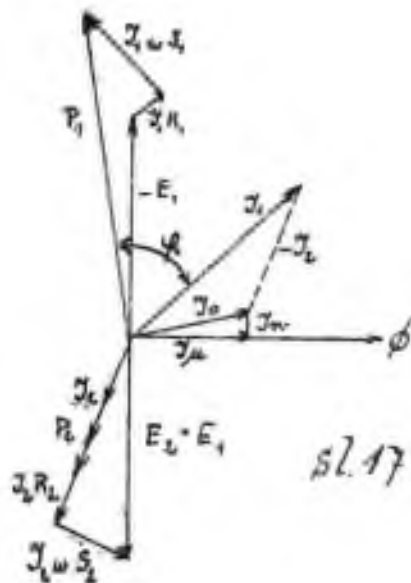
Predpostavka $w_2 = w_1$ znači, da se ne računa sa faktičnim vrijednostima sekundarne el.m.sile E_2 te sekundarne struje I_2 nego sa idealnim, na primarni krug reduciranim vrednostima $E'_2 = E_1$ te $I'_2 \simeq I_2$. Iz jednadžbe 3 te 29 sledi onda

$$E'_2 = E_2 \frac{w_1}{w_2} \quad \text{odn} \quad I'_2 = I_2 \frac{w_2}{w_1} \quad /43/$$

Jer je $E'_2 I'_2 = E_2 I_2$ te $I'_2 w_1 = I_2 w_2$ ostanu djelovanja te magnetični razmjeri u transformatoru isti kao kod računa sa E_2 odn. I_2 . Redukcija sekundarnoga kruga na primarni ne promjeni na postupcima u transformatoru ništa, ali ono napravi diagrame jednostavne i pregledne. Faktor redukcije je po jednadžbi 43 za el.m.silu jednak $\frac{w_1}{w_2}$ za struju $\frac{w_2}{w_1}$. Pošto je otpor razmjer napona i struje dobijemo za faktor redukcije za sekundarne ohm-ove otpor te sekundarni bezvatni otpor rasipanja

$$\frac{w_1}{w_2} : \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{\frac{w_2}{w_1}} \quad /44/$$

Ponajprije pretpostavimo si teret sekundarne strane
M. Flohl. Jaka struja I. /svezak 9 / / arak 2.

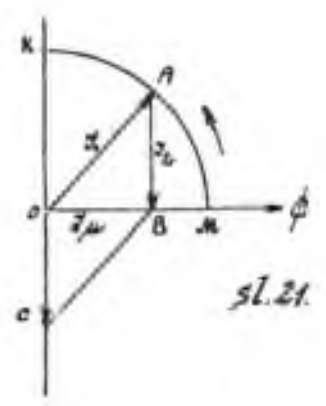
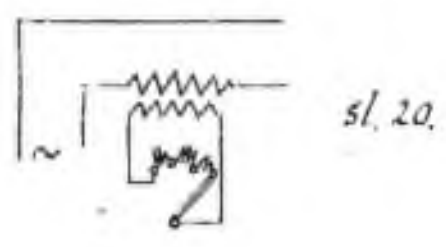
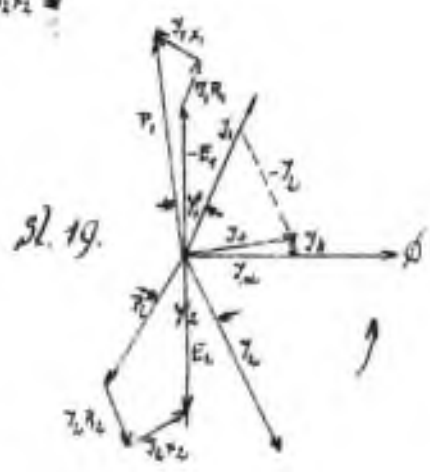
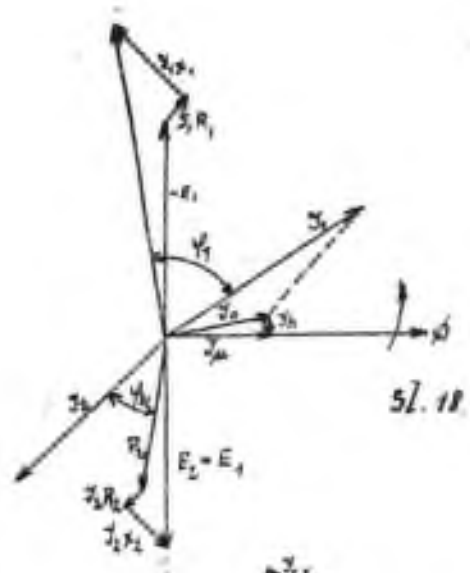


bez indukcije i kapacitete. Onda dobijemo diagram slike 17. Sekundarnu struju I_2 crtamo prema ozd. Pošto teret nema induktivitete i kapacitete fazno je odmicanje I_2 te sekundarnog napona P_2 jednako nuli. P_2 pada zajedno sa strujom I_2 . Adiramo u istome smjeru $I_2 P_2$ / u fazi sa strujom I_2 / te u ovome slučaju također sa P_2 / onda $E_2 = I_2 \omega S_2$ okomito na I_2 za 90° pred strujom, dobimo u sekundarnom namotaju od glavnoga toka induciranu el.m.silu E_2 .

U istom smjeru kao E_2 leži također E_1 jer je inducirano od jednog te istog polja. Tok ϕ je okomit na E_1 odn E_2 te za 90° pred ovim naponima. Struja magnetiziranja I_m je u fazi sa tokom ϕ struje histerize/gubitaka $I_h = I_m \cos \varphi$ okomita na I_m te za 90° pred strujom I_m . Rezultirajuća je struja neopterećenog kreta I_0 /vidi VIII-6/. Geometrična suma iz I_0 te I_2 daje primarnu struju I_1 . Onda crtamo prema gore okomito na tok ϕ dio napona što ga moramo narinuti stezaljkama, da svladamo E_1 t.j. dakle vektor- E_1 te adiramo u smjeru struje I_1 ohmovo otpadanje $I_1 R_1$. Dodamo konačno okom. to na smjer struje /ili smjer $I_1 R_1$ / primarni napon rasipanja $E_{1r} = I_1 \omega S_1$ i to za 90° pred strujom I_1 dobijemo primarni napon stezaljka P_1 . Primarni fazni kut je φ_1 .

Struja magnetiziranja te rasipanje obiju namotaja prouzroče, da imamo u primarnom krugu fazno odmicanje /kut φ_1 / uz prkos tome što pada u sekundarnome /napon E_2 zajedno sa strujom $I_2 \omega S_2$ te ωS_2 možemo označiti kao bezvatne otpore rasipanja / znak x_1 x_2 /

Ako je teret transformatora induktivan pretvori se diagram u diagram sl 18. Sekundarna struja I_2 sl. jedi sekundarnome naponu P_2 za kut φ_2 Čim je veći kut φ_2 tim veći postaje također kut φ_1 .



Nadmaši li kapacitetni teret, onda leži struja I_2 pred naponom P_2 , diagram se pretvori u diagram sl 19. Fazno odmicanje struje I_2 naprama P_2 se je umanjilo, ovo može postati i negativno, ako je kapaciteta sekundarnoga dosta velika.

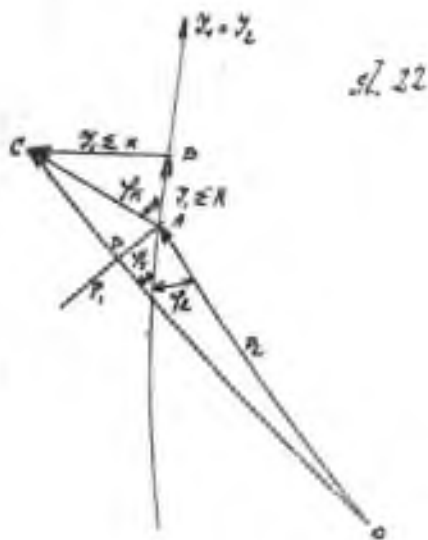
Pravilo da se odnose naponi kao brojevi zavoja, struje obrnuto nego ovi brojevi te da je geometrična suma primarne i sekundarne strane jednaka struji vrijedi također za transformator struje. Primarni svi-tak toga transformatora leži u dovodu kojeg god drugog mjesta trošenja sl 20. Zamislimo, da je napon prvoga svitka malen naprama naponu stroja, onda su promjene u krugu sekundarnoga svitka bez bitnog upliva na struju, koju dobavlja stroj. Ako nemamo promjene u mreži, možemo računati sa konstantnom strujom primarnoga svitka. Krajevi vektora struje primarnoga svitka leže na opsegu kruga-sl. 21- Geometrična suma $I_1 - I_2$ mora davati $I_{\mu}/u = 1/$

Dobavlja li drugi-sekundarni-svi-tak samo radnu struju, onda je I_2 u fazi sa naponom, zaostaje prema tome za 90° za strujom magnetiziranja. Ova je struja jednaka OB, kojoj je struji proporcionalan tok te naponi obiju svitaka. Za $R = \infty$ - sekundarni svitak otvoren- radi prvi, primarni svitak kao pritomljač, struja odgovara samo struji magnetiziranja, I_2

pada zajedno sa OM. Ako je $R = \infty$, sekundarni svitak kratko spojen, postaje napon obiju svitaka $= 0$. To znači da takodjer i tok ϕ je jednak nuli. Kratki spoj sekundarnoga svitka je isto-vrijedan kratkome spoju primarnoga. Struja sekundarnoga svitka je jednaka je jednaka KO te drži primarnoj struji OK ravnotežje. U blizini točke K promjeni se struja I_2 sa otporom R samo malo. Sekundarni svitak ima bitno struju konstantne jakosti.

b./ JEDNOSTAVNI KAPP-OV- DIAGRAM, PROMJENA NAPONA

Zanemarimo li struju neopterećenog kreta, koja iznaša obično 5 - 10 % primarne I_1 za puni teret, onda postane/u reduci-ranom 1:1 diagramu/ $I_2 = I_1$ / Okrenemo onda još donji dio diagrama sl.18 prema gore/t.j. za 180 / dobijemo jednostavni Kapp-ov dia-gram sl.22.



U ovome je diagramu potrebno osim sekundarnoga napona $P_2 = OA$, crtati su-mu obiju ohm-ovih otpadanja $I_1/R_1 + R_2/I_2 \leq R$ i to u fazi sa strujom $I_2 = I_1$ te sumu obiju napona rasipanja $I_1^2 \omega L_1 + I_2^2 \omega L_2 = I_2^2 \omega S = I_2^2 x$, i to okomito na stru-ju $I_2 = I_1$ te za 90° pred ovom strujom, da se dobije primarni napon $P_1 = OC$, te ϕ su primarni odnosno sekundarni kut faz-nog odmicanja.

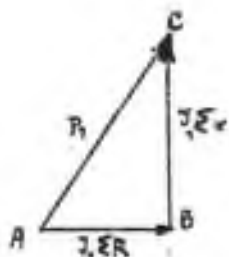
Nacrtamo li iz točke O krug sa $P_2 = OA$, onda je CD prom-jena napona. Ova promjena je tim veća kod zadanog kuta ϕ čim je veća $I_2 \leq R$ te $I_2 \omega S$. Upliv rasipanja je kod toga mnogo veći nego upliv ohmovog otpora. Hoće li se imati malene promjene napona, mora se odabrati maleno rasipanje. Promjena napona je dalje tim veća, čim je veće sekundarno fazno odmicanje. Iz diagrama slije-bez daljnjega, da imademo kod jednake faze za pozitivne faze /struja slijedi naponu/ uzdizanje napona na sekundarnim stezalj-

kama, ako rasteretimo transformator. Napon se umanjuje kod raste-
rećenje ako je faza negativna distatne veličine.

Kao promjena napona, tako je takodjer promjena faze
 $\varphi_1 - \varphi_2$ od primarnih do sekundarnih stezaljki tim manja, čim je
manje rasipanje. Primarno fazno odmicanje je ovisno takodjer o
struji magnetiziranja. Ako je ova struja majena, fazno je odmi-
canje primarne struje takodjer manje. /vidi točka 7/

c. / DIAGRAM KRATKOG SPOJA.

U jednostavnom Kapp-ovom diagramu ovisan je trokut ABC
sl.22 kod zadanog transformatora samo o jakosti struje. Stavimo
li $P_2 = Q$, t.j. transformator na sekundarnoj strani kratko spojen,
te dovedemo primarno takav napon, da prikazuje ampermetar struju
punoga tereta pada točka O u točku A, AC je primarno potrebni
napon, Diagram sl.22 pretvori se u sl.23.



/Zanemarili smo bili struju I_2 prema tome pada I_2
zajedno sa I_2' radi redukcije 1:1 je $I_2 = I_2'$ /

sl. 23.

Iz slike slijedi

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2} \quad \text{odnosno}$$

$$AC = \sqrt{(I_1 R_1 + I_2' R_2')^2 + [I_1 \omega L_1 + I_2' \omega L_2']^2} \quad \text{odnosno}$$

$$AC = I_1 \sqrt{R_1^2 + \omega^2 L_1^2} + I_2' \sqrt{R_2'^2 + \omega^2 L_2'^2}$$

Zanemarimo $R_1 + R_2' \approx R$ jer u opće veoma maleno, dobijemo

$$AC = I_1 \omega / L_1 + L_2' / = I_1 x_1 + I_2' x_2' \approx 2 I_1 x_1 = 2 E_1 \quad /45/$$

ako pretpostavimo $I_1 x_1 = I_2' x_2'$ što je dozvoljeno.

Ovim pokusom možemo na jednostavni način odrediti samo-
indukciju transformatora. Mjereni napon kod kratkoga spoja se
kundarne strane/ n pr. preko amperemetar/ jednak je sumi el.m.
sila samoindukcije u obima svitcima.

Za tumačenje jeda primjer.

Transformator ima primarno 2000, sekundarno 100 zavoja. Normalna
sekundarna jakost struje je 200 Amp. Pokusom smo pronašli, da
moramo kod $n = 50$ primarno uzeti 300 Volta da dobijemo sekundarno

200 Amp.

Iz ovih podataka izračunamo.

Zanemarimo struju $\mathcal{I}_2$ onda je

$$\mathcal{I}_1 \approx \mathcal{I}_2 \frac{w_2}{w_1} \approx 200 \frac{100}{2000} \approx 10 \text{ A}$$

$$E_{s1} = \frac{E_s}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{ Volt} = L_1 \omega \mathcal{I}_1 = \mathcal{I}_1 x \quad \text{ili}$$

$L_1 = \frac{150}{314 \cdot 10} = 0,0478 \text{ H}$. Istu vrijednost ima reducirani koeficient sekundarnoga svitka L_2' . Prema tome je nereducirani koeficient L_2 određen jednačinom

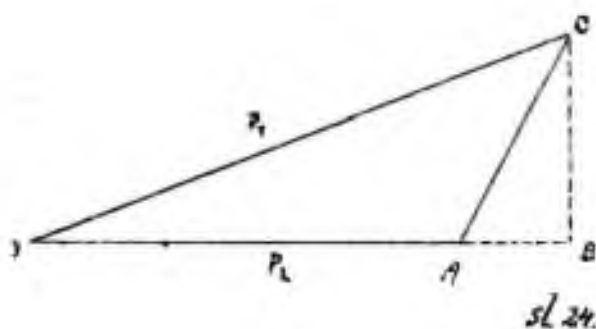
$L_2 = L_2' \sqrt{\frac{w_2}{w_1}} = 0,0478 \sqrt{\frac{100}{2000}} = 0,001195 \text{ Henry}$ jer vrijedi za redukciju toga koeficienta isto kao za otpor

$$L_2 \omega \mathcal{I}_2 = \mathcal{I}_2 x = 0,001195 \cdot 314 \cdot 200 = 7,5 \text{ Volt} = E_{s2}$$

Veličinu E_{s2} možemo naravno dobiti također iz jednačine

$$E_{s2} = 150 \frac{100}{2000} = 7,5 \text{ Volt} / \text{jedn. 3/}$$

Da ispitamo promjenu primarnoga napona transformatora, ako mora ostati sekundarni napon konstantan posmatramo još jedno sl. 22 koju si crtamo u nešto drugačijem položaju -sl.24/ neinduktivni teret.



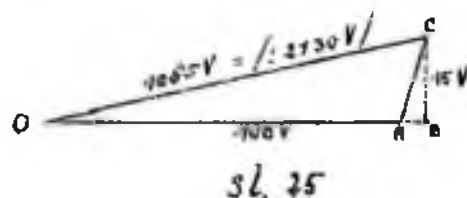
AB jednako je $\mathcal{I}_2 / R_1 + R_1 /$ te

$$BC \text{ jednako } L_2 \omega \mathcal{I}_2 + L_1 \omega \mathcal{I}_1 = \mathcal{I}_2' / L_2' \omega + L_1 \omega /$$

/Sa ' označimo reducirane veličine/ Obe veličine proporcionalne su jakosti struje, prema tome

je također AC proporcionalno struji odn. mi možemo u izvjesnoj mjeri smatrati AC kao mjeru struje. Mjerilo odaberemo tako, da odgovara AC jakosti punog tereta $\mathcal{I}_2$. Onda su OA te OC sekundarni te primarni napon stezaljaka u redukcionom odnošaju 1:1. Promjenili se prema tome sekundarna struja od $\mathcal{I}$ do vrijednosti AC, onda se promjeni primarni napon od OA do OC. Za gornji primjer prika-

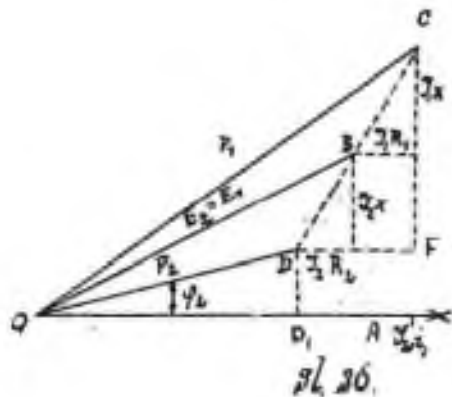
zuje nam sl. 25 razmjere



Ohmovo odpadanje kod punog te-

reta neka bude 1% ako je sekundarna napetost 100 Volt. AB je dakle 2 Volt /t.j. 1% primarno 1% sekundarno red. na sek. stranu/ Iz slike slijedi $OC = \sqrt{102^2 + 15^2} = 106,5$ Volt odn. primarno $106,5 \cdot \frac{2000}{100} = 2130$ V. Uzvišivanje primarnoga napona od neopterećenoga kreta do punog tereta iznaša 130 Volti.

Radi li transformator na indukcionni otpor t.j. zaostaje li struja za naponom za kut φ_2 odn. φ_2 - sl. 26- onda dobijemo

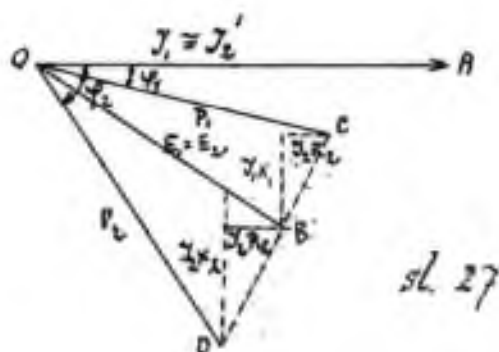


sljedeći diagram.

OA je vektor primarne odn. sekundarne struje/ obe struje tvore kut od približno 180° / OD je sekundarni napon stezaljka E_2 koji leži za zadani kut φ_2 pred strujom. $E_2 = E_1$ je el.m. silasamoindukciije, koja je rezultat napona

E_2 ohmovog otpadanja $I_2 R_2$ u smjeru struje I_2 te induktivnog otpadanja/otpadanje rasipanja 90° pred strujom/. Primarni napon P_1 dobijemo ,ako učinimo geometričnu sumu iz E_2 dalje iz ohmovog otpadanja $I_1 R_1$ te otpadanja rasipanja $I_1 X_1$, kut φ_1 CoA je traženi primarni kut faze φ_1 .

Iz konstrukcije se vidi, da je kod iste sekundarne struje i napetosti napon P_1 bitno veći nego



za induktivni teret Sl. 27 prikazuje diagram za slučaj, da radi transformator na na kapacitetni teret.

Sekundarna struja leži prema tome za kut φ_2 pred naponom P_2 .

CA je opet vektor struje I_1 ili I_2' OD = P_2 slijedi struja za kut φ_2 Napon rasipanja leži za 90° pred strujom, ohmovo ođpadanje crtamo u smjeru struje. Geometrična suma daje $E_1 = E_2 = CB$ / jer crtamo u odnošaju 1:1 / Primarni napon P_1 je geometrijska suma iz E_1 , $I_1 X_1$ te $I_1 R_1$ Kut AoC je kut φ_1 . Iz slike se vidi, da može postati primarni napon manji od sekundarnoga ili da može prouzročiti ukopčanje kondanzatora u sekundarni krug uzvišenje napona.

Hoće li se prema tome odrediti gubitak napona u transformatoru, nesmijsa se odabrati otpor iz tekućina za opterećenje, jer ova vrsta otpora ima veliku kapacitetu.. Struja leži pred naponom, namjesto pravilnog otpadanja dobije se eventualno povećanje napona.

5./ UDEŠENJE NAMOTAJA.

Kod transformatora imamo plosnati i cilindrični namotaj. Kod plosnatog namotaja razdijeli se primarni i sekundarni namotaj u pojedine dijelove, da se dobije manje induktivno otpadanje, Kod ove razdiobe slijede redom svitci sekundarnoga izmjenice sa svtcima primarnoga namotaja. Najugodnije je ako se uzme na krajevima jezgre svitke niskoga napona /vidi sl / jer je onda izolacija jednostavna. Kod struje velike jakosti i porednog sklopa pojedinih svitaka niskoga napona odabere se toliko pojedinih svitaka, koliko to traži potrebnii broj grana.

Kod cilindričnoga namotaja razdijeli se namotaj visokog napona radi unutarnjih sila napona u pojedine dijelove što takodjer olakšava zaštitu napram prenaponu. Induktivno otpadanje je zbog velikog magnetičnog otpora maleno.

Plosnati namotaj upotrebljava se s obzirom na sile struje i gubitke vrtložnih struja u velikim presjecima za srednja djelovanja od $\sim 100 - 500$ KW te naponima do ~ 10000 Volt. Cilindrični namotaj za malena / $1-100$ KW/ i velika djelovanja / >500 KW/ te naponima nad 10000 Volt.

Razdioba zavoja namotaja visokog napona mora se tako napraviti, da ne prekorači intenziteta polja E / vidi I-15/ susjednih zavoja dozvoljeno opterećenje izolacije.

Označimo li sa E_0 intenzitetu probijanja izolacije, sa n broj sigurnosti / $=4$ za niski, $=2$ za visoki napon/ sa E_d dozvoljeno opterećenje onda vrijedi

$$E_d = \frac{E_0}{n} \text{ Volt/cm}$$

Opterećenje prvih zavoja / zavoji ulaza/ je bitno veće nego opterećenje u nutarnjosti namotaja, prema tome mora ovdje biti izolacija jača.

Potrebnu debljinu izolacije δ žice odredimo na sljedeći način. U normalnome stacionarnom pogonu razdjeli se napon stezaljke P , jednoliko na w , zavoja. Na jedan zavoj otpada prema tome napon $E_1 = \frac{P}{w_1}$. Potencijalna krivulja je prema tome pravac. Kod ukopčanja naraste radi selekcije val napona skoro na dvostruku vrijednost, napon susjednih zavoja biti će $2E_1$. Radi napredovanja pozitivnog i negativnog vala napona od stezaljaka u unutarnji dio namotaja, imamo počevši od srednje točke namotaja superpoziciju obiju valova napona, tako da se opet podvostruči potencijalna diferencija. U najneugodnijem slučaju imamo prema tome u nutarnjosti namotaja napon

$$E_w \approx 4 \cdot E_1 \quad /47/$$

ako E_w označuje napon susjednih zavoja. Pošto izolacija žice ima raspore zraka, moramo ove uzeti u račun kao najslabija mjesta izolacije t.j. mi moramo smatrati zrak kao izolaciju. Onda vrijedi za dva paralelna valjka promjera d u udaljenosti δ za intenzitetu polja $\mathcal{E}$ -sl. 28-



$$\mathcal{E} = E_w \cdot \sqrt{\frac{d+\delta}{\delta}} \cdot \frac{1}{d \ln \frac{\sqrt{d^2 + \delta^2} + \delta}{\sqrt{d^2 + \delta^2} - \delta}} \text{ Volt/cm}$$

sl. 28.

$$\mathcal{E} = E_w \cdot \sqrt{1 + \frac{d}{\delta}} \cdot \frac{1}{d \ln \frac{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta}} + 1}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta}} - 1}} \quad /48/$$

odn. ako skratimo kroz δ

Pošto je $\sqrt{1 + \frac{d}{\delta}} > 1$ možemo staviti

$$\ln \frac{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta}} + 1}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta}} - 1} = 2 \cdot \left[\frac{1}{(1 + \frac{d}{\delta})^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{3(1 + \frac{d}{\delta})^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{5(1 + \frac{d}{\delta})^{\frac{5}{2}}} + \dots \right]$$

odn. ako uzmemo u obzir samo prvi član

$$\ln \frac{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta}} + 1}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta}} - 1} \approx \frac{2}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta}}}$$

Prema tome dobijemo konačno

$$\mathcal{E} \approx E_w \frac{1 + \frac{d}{\delta}}{2d} \text{ Volt/cm} \quad (49/)$$

Svaki sloj ima w_{s2} zavoje prema tome napon sloja E_{s1}

$$E_{s2} = w_{s2} \cdot E_{s1} = 4 w_{s2} \cdot E_{s1} = 4 w_{s2} \frac{P}{w_{s1}} \quad /50/$$

Kao najveći napon susjednih žica koje imamo na početku i svršetku slojeva što leže jedan nad drugim je $2 E_{s1}$ koju vrijednost moramo umetnuti u jedn 49. Ako je dalje dozvoljeno opterećenje

ℓ_d onda dobijemo

$$\ell_d = E_{s1} \frac{1 + \frac{d}{2}}{d} = \frac{4 w_{s2} E_{s1}}{d} \left(1 + \frac{d}{2}\right) \text{ Volt/cm} \quad /51/$$

ili debljina izolacije

$$\delta = \frac{4 w_{s2} \cdot d \cdot E_{s1}}{d \cdot \ell_d - 4 w_{s2} \cdot E_{s1}} \text{ cm} \quad /52/$$

Za zrak možemo staviti $\ell_d = 7000 \text{ Volt/cm}$. U opće se odabere za izolaciju pamukom

$$2\delta \geq 0,025 \div 0,05 \text{ cm}$$

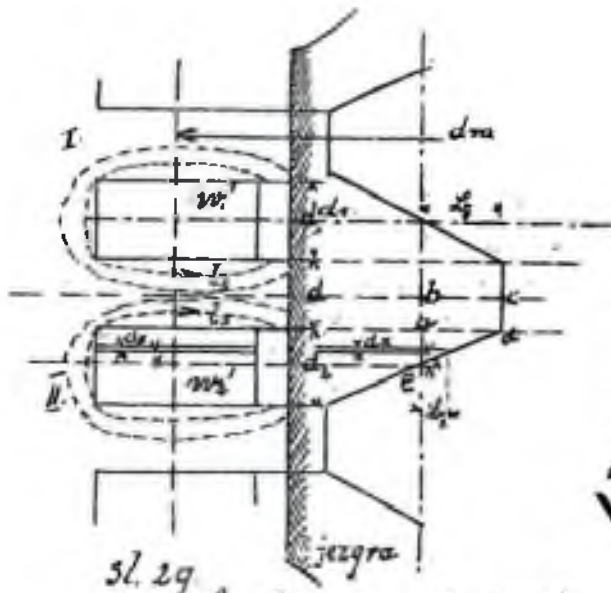
Na zavojne ulaza djeluje u momentu ukopčanja puni napon stezaljke E_1 . Prema tome se ove zavojne izolira kao osobito izolirane svitke/do 10% totalnoga broja zavoja/ ili se odabere nešto veći razmak kojega se ispuni sa izolacijom veće dielektrične konstante. Da se dobije dostatna sigurnost protiv probijanja odabere se napon pojedinih slojeva $E_{s1} \leq 100 \text{ Volt}$.. Od velike je važnosti sve zračne prostore što moguće bolje ispuniti šebojem ili drugim izolacionim materijalom.

6. RASIPANJE.

Pošto se ne zatvore sve crte indukcije jednoga namotaja kroz drugi t.j. jedan dio ovih crta spojen je samo sa jednim namotajem, pa označujemo ovaj dio kao crte rasipanja. Posljedica toga rasipanja je, da ne odgovara prenosni odnošaj točno razmjeru broja zavoja obiju namotaja te da se sa opterećenjem promjeni. Prema tome imamo osim ohmovog otpadanja još i induktivno, prouzročeno od rasipanja. Put rasipanja ide kroz zrak prema tome je otpor rasipanja konstantan te tok rasipanja jednoga namotaja proporcionalan je struji u dotičnom namotaju.

a. / Plošnati namotaj.

Namotaj se razdjeli u opće u pojedine svitke. Prama tome posmatramo jedan svitak primarnoga /I/ te jedan sekundarnoga /II/ namotaja. Sliku rasipanja prikazuje Sl. 29



Imamo svitak w_1 odn w_2 zavoja
te srednju dužinu puta rasipanja
 l_1 , onda proizvadj a svitak II- ef
struja $\mathcal{I}$ Amp- maksimalnu indukciju
rasipanja.

$$\mathcal{L}_1 = \sqrt{2} \cdot \mathcal{I} \cdot w_1 \cdot 0,4\pi \frac{1}{l_1} \text{ Gaus} \quad /49/$$

/alijadi iz zakona proticanja.

$$\mathcal{L}_1 l_1 = 0,4\pi \mathcal{I} w_1 / 2 \text{ jer je } u = 1, \mathcal{L}_1 = \mathcal{L}_2 \therefore$$

U udaljenosti x od sredine e je
indukcija

$$\mathcal{L}_1 = \mathcal{L}_2 \cdot \frac{x}{\frac{d}{2}} = \mathcal{L}_2 \cdot 2 \frac{x}{d} \quad \text{Gaus} \quad /50/$$

Tok rasipanja izvan svitka II je / ploština $a b c d$ /

$$\phi_1' = \mathcal{L}_1 \cdot \pi \cdot d_m \frac{d}{2} \quad \text{Maxwell} \quad /51/$$

Sa ovim zadnjim tokom spojeni su svi zavoji w_1 prema tome je
spoj zavoja sa tokom

$$\mathcal{M}' = \phi_1' \cdot w_1 \quad /52/$$

Sa tokom ploštine $a d e$ nisu svi zavoji spojeni. Na širinu dx
otpada broj zavoja $\frac{w_1}{d} dx$. Ovi zavoji spojeni su sa tokom

$$\phi_1 = \frac{1}{2} (\mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2) \cdot \pi \cdot d_m \left(\frac{d}{2} - x \right) \quad \text{Maxwell} \quad /53/$$

Spoj totalne širine $-\frac{d}{2}$ do $+\frac{d}{2}$ onda je

$$\mathcal{M}'' = \phi_1'' \cdot w_1' = \int_{-\frac{d}{2}}^{+\frac{d}{2}} \phi_1 \cdot \frac{w_1'}{d} dx$$

t.j. obzirom na jed. 50

$$\mathcal{M}'' = \frac{1}{2} \int_{-\frac{d}{2}}^{+\frac{d}{2}} \mathcal{L}_2 \left(1 + \frac{2x}{d} \right) \pi \cdot d_m \cdot \frac{d - 2x}{2} \cdot \frac{w_1'}{d} dx = \mathcal{L}_2 \cdot \pi \cdot d_m \cdot w_1' \frac{d}{6} \quad (54)$$

Za svitak II je dakle čitavi spoj toka sa zavojima

$$\mathcal{M}_2 = \mathcal{M}' + \mathcal{M}'' = w_1' \mathcal{L}_2 \cdot \pi \cdot d_m \left(\frac{d}{2} + \frac{d}{6} \right) \quad /55/$$

Na isti način dobijemo za svitak I spoj toka sa zavojima

$$\mathcal{M}_1 = w'_1 L_3 \pi d_m \left(\frac{d}{6} + \frac{d_0}{6} \right) \quad /56/$$

Zamislamo prenosni odnošaj $u = 1$ t.j. $w'_1 = w'_2 = w'_3$ onda je totalni spoj toka sa zavojima

$$\mathcal{M} = w'_3 L_3 \pi d_m \left(d + \frac{d_1 + d_2}{6} \right) \quad /57/$$

to je takodjer srednja vrijednost spoja toka sa zavojima jednog svitka obiju namotaja, koja dolazi u božir za izračunavanje totalnoga otpadanja.

Zamislamo si tok rasipanja jednoliko razdijeljen između svitaka, onda bi dobili reducirani raspor veličine

$$d_r = d + \frac{d_1 + d_2}{6} \text{ cm} \quad /58/$$

te prema tome spoj toka sa zavojima

$$\mathcal{M} = w'_3 L_3 \pi d_m d_r \quad /59/$$

Zakon indukcije /I-7/ veli, da je inducirana el.m. sila proporcionalna promjeni spoja toka sa zavojima t.j.

$$E = - \frac{d\mathcal{M}}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt} \quad /60/$$

Prema tome dobijemo, ako umetnemo u onu jednadžbu vrijednosti iz jednadžbe 59 te 49 /jedn 14-VIII faktor obl. za sinusoidalnu krivulju/

$$E_3 = 4,44 \omega \mathcal{M} \cdot 10^{-8} \text{ Volt} = 4,44 \omega w'_3 \sqrt{2} \frac{w'_3}{I_3} \cdot 0,4 \pi \cdot \pi d_m d_r \cdot 10^{-8} \quad /61/$$

Stavimo li $\frac{w'_3}{I_3} = 10$ dobijemo

$$E_3 = 25 \cdot \omega \cdot w'_3 \cdot \gamma \cdot \frac{d_m}{L_3} d_r \cdot 10^{-8} \text{ Volt} \quad /62/$$

Obzirom na niski napon /II/ P_2 transformatora dobijemo u procentima

$$E_{3\%} = \frac{E_3}{P_2} \cdot 100 = 25 \cdot \omega \cdot \frac{w'_3}{P_2} \cdot \gamma \cdot \frac{d_m}{L_3} d_r \cdot 10^{-6} \text{ Volt \%} \quad /63/$$

Ima transformator u svakoj fazi n svitaka ili 2n rasporeda onda je napon rasipanja n puta veći. U tome slučaju moramo uzeti za w'_3 broj $\frac{w'_3}{n}$ ako označuje w'_3 broj zavojja totalnoga sekundarnoga namotaja.

Za oba namotaja zajedno je onda

$$E_{3\%} = 25 \cdot \omega \cdot \frac{w'_3}{n} \cdot \gamma \cdot \frac{d_m}{L_3} d_r \cdot 10^{-6} \text{ Volt \%} \quad /64/$$

Ovu jednadžbu možemo nešto izmijeniti.

Raširimo zadnju jednadžbu sa P_2 te dijelimo kroz w_2' dobijemo jer je

$$P_2 \cdot \gamma_2 = \frac{N_2}{m} 10^{-3}$$

$/N_2$ djelovanje sek. strane u K vatima, m broj faza/te

$$\frac{P_2}{w_2} = E_2' \text{ v.j. napon susjednih zavoja}$$

$$E_{2\%} = 25 \frac{\gamma}{n} \frac{N_2'}{m/E_2'/\gamma} \frac{d_m}{\zeta_s} d_r \cdot 10^{-3} \% \quad /65/$$

Više puta mora se svitke plosnatog namotaja takomdesiti, da im se dade raspore od 10-25 mm za hladjenje. Ovi raspori nemaju upliva na $E_{2\%}$ jer nema u njima toka. Pošto je svaki svitak razdijeljen u x jednakih djelova sa širinom d_{rx} odn. d_{lx} onda vrijedi

$$d_r = d + \frac{x}{6}(d_{rx} + d_{lx}) \text{ cm} \quad /66/$$

Za ogrnute transformatore sa plosnatim namotajem vrijedi jedn.

$$E_{2\%} = 1,2 E_{2\%}' \text{ po jednadžbi 64 ili 65} \quad /67/$$

b./ Cilindrični namotaj.

Rasipanje prikazuje slika 30.

Svaka jezgra neka ima w'

zavoja u svakom namotaju onda

$$J_e = \sqrt{2} \cdot \gamma \cdot w' \cdot 0,4\pi \frac{1}{\zeta_s} \text{ Gaus} \quad /68/$$

$$J_e = \frac{J_s}{\zeta_s} \frac{x}{d_2} \text{ Gaus} \quad /69/$$

Svi zavoji w' za svitak II

spojeni su sa tokom rasipanja

$$\phi_s' = L_s \cdot \pi \cdot d_{m2} \cdot \frac{d}{2} \quad /70/$$

prema tome njihov spoj

$$\mathcal{N}' = w' \cdot \phi_s' \quad /71/$$

Iz vana zavoj obuhvata u udaljenosti x kao u jed. 53 tok rasipanja ϕ_x

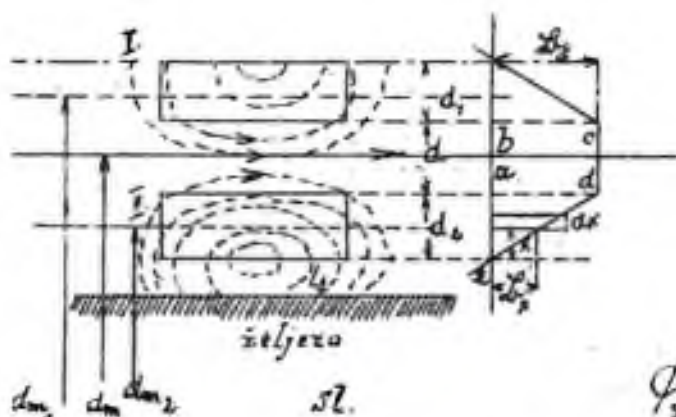
$$\phi_x = \frac{1}{2} \frac{L_s}{\zeta_s} \left(\frac{1}{2} + \frac{x}{d_2} \right) \pi \cdot d_{m2} / d_2 - x \quad /72/$$

zavoje $\frac{\pi}{d_2} dx$. Prema tome je spoj

$$\mathcal{N}'' = \frac{1}{2} L_s \pi \cdot d_{m2} \frac{w'}{d_2} \int_0^{d_2} (d_2^2 - x^2) dx = L_s \cdot \pi \cdot d_{m2} \cdot w' \cdot \frac{d_2}{3} \quad /73/$$

Čitavi spoj cijeloga svitka II jedne jezgre je onda

$$\mathcal{N}_2 = \mathcal{N}' + \mathcal{N}'' = w' \cdot L_s \cdot \pi \cdot d_{m2} \left(\frac{d}{2} + \frac{d_s}{3} \right) \quad (74)$$



Na isti način dobijemo za svitak I

$$\mathcal{W}_1 = w' \cdot l_s \cdot \pi \cdot d_m \cdot \left(\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{3} \right) \quad /75/$$

Oba svitka daju prema tome, ako postavimo $d_m = \frac{d_{m1} + d_{m2}}{2}$ te zakružimo

$$\mathcal{W} \approx w' \cdot l_s \cdot \pi \cdot d_m \cdot \left(d + \frac{d_1 + d_2}{3} \right) \quad /76/$$

ili

$$\mathcal{W} \approx w' \cdot l_s \cdot \pi \cdot d_m \cdot d_r \quad /77/$$

gdje je $d_r = d + \frac{d_1 + d_2}{3}$

Na isti način, kao što je to bilo tumačeno za plosnati namotaj dobijemo napostost indukcije rasipanja

$$E_s = 4,44 \sim w' \cdot l_s \cdot \frac{w_1}{l_s} \cdot 0,4 \pi \cdot \pi \cdot d_m \cdot d_r \cdot 10^{-8} \text{ volt} \quad /78/$$

odnosno

$$E_s = 25 \sim w' \cdot l_s \cdot \frac{d_m}{l_s} \cdot d_r \cdot 10^{-6} \text{ volt} \quad /79/$$

Obzirom na niski napon E_s dobijemo u procentima

$$E_{s\%} = 25 \sim \frac{w_1^2}{P_2} \cdot \frac{d_m}{l_s} \cdot d_r \cdot 10^{-6} \% \quad /80/$$

Nalazi li se čitavi broj zavoja w_1 na jezgrama onda je napon rasipanja n puta veći. Za w_1 moramo staviti $\frac{w_k}{n}$ prema tome

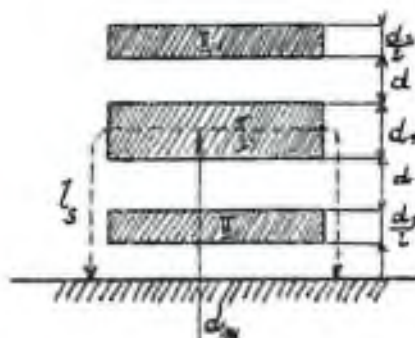
$$E_s = 25 \sim \frac{w_k^2}{n^2} \cdot \frac{d_m}{l_s} \cdot d_r \cdot 10^{-6} \text{ volt} \quad /81/$$

odnosno u procentima /po jednadžbi 65/

$$E_{s\%} = 25 \sim \frac{w_k^2}{n^2} \cdot \frac{d_m}{l_s} \cdot d_r \cdot 10^{-6} \% \text{ ili} \quad /82/$$

$$E_{s\%} = 25 \sim \frac{N_k^2}{m \cdot (E_s)^2} \cdot \frac{d_m}{l_s} \cdot d_r \cdot 10^{-3} \% \quad /83/$$

Nalazi li se voseki napon između obih po' vica niskoga napona



-sl. 31- onda vrijedi

$$E_{s\%} = 25 \sim 2 \cdot \left(\frac{w_k}{n} \right)^2 \cdot \frac{d_m}{l_s} \cdot \left(d + \frac{d_1 + d_2}{3} \right) 10^{-6} \%$$

$$= 25 \sim \frac{w_k^2}{n^2} \cdot \frac{d_m}{l_s} \cdot \left(d + \frac{d_1 + d_2}{3} \right) 10^{-6} \% \quad (84)$$

$$= 25 \sim \frac{N_k^2}{m \cdot (E_s)^2} \cdot \frac{d_m}{l_s} \cdot \left(d + \frac{d_1 + d_2}{3} \right) 10^{-3} \% \quad (85)$$

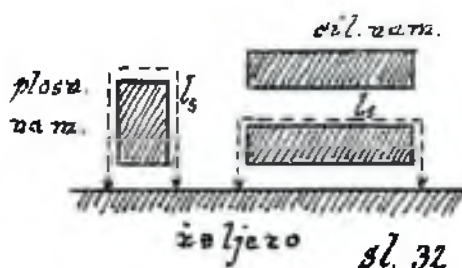
Poteškoću kod proračuna napona rasi-

panja pravi određivanje dužine l_s . Sto-

ga mora se računati sa netočnošću od

$\sim 10\%$ l_s mjeri se tako, da se uzme

najkraći put od željeza oko svitka



7 / OTPADANJE NAPONA

Obzirom na stranu niskoga napona je ohmovo otpadanje radi otpora u namotaju

$$E_{\Omega} = \frac{E_{\Omega_1}}{u} + E_{\Omega_2} = \frac{\gamma_1 R_1}{u} + \gamma_2 R_2 = \left(\gamma_1 + \frac{\gamma_2}{u} \right) \frac{R_1}{u} + \gamma_2 R_2 \text{ Volt} \quad /86/$$

Struja neopterećenog kreta γ možemo naprama $\frac{\gamma}{u}$ zanemariti/

Onda dobijemo

$$E_{\Omega} \approx \gamma / \frac{R_1}{u^2} + R_2 \approx \gamma \cdot R \quad /87/$$

Prenosni odnošaj u odredjen je jedn. $\frac{w_1}{w_2}$

Označimo li gubitke u bakru u primarnom od. sekundarnom namotaju

sa N_{K_1} odn N_{K_2} onda vrijedi kod transformatora za m-faznu struju

$$E_{\Omega} \cdot \gamma = \gamma^2 R = \frac{N_{K1} + N_{K2}}{m} \quad / N_{K1}, N_{K2} \text{ u vatima } / \quad /88/$$

$$\text{odn.} \quad E_{\Omega} \cdot \gamma = \gamma^2 R = \frac{N_{K1} + N_{K2}}{m} 10^3 \quad / N_{K1}, N_{K2} \text{ u K vatima } \quad /88/$$

$$\text{ili} \quad E_{\Omega} = \frac{N_{K1} + N_{K2}}{m \cdot \gamma} 10^3 \text{ Volt} \quad /89/$$

Obzirom na niski napon P_2 je ohmovo otpadanje u procentima

$$\begin{aligned} \frac{E_{\Omega}}{P_2} 100 = E_{\Omega\%} &= \frac{N_{K1} + N_{K2}}{m \cdot P_2 \cdot \gamma} 10^3 \cdot 100 = \frac{N_{K1} + N_{K2}}{m \cdot \frac{P_2}{\gamma} 10^3} 10^3 \cdot 100 \\ &= \frac{N_{K1} + N_{K2}}{N_L} \cos \varphi_2 \cdot 100 \% \quad /90/ \end{aligned}$$

Označimo li sa

$$n_{K1} = \frac{N_{K1}}{N_{K2}} \quad \text{sa} \quad n_{K2} = \frac{N_{K2}}{N_L} \quad /91/$$

dobijemo konačno

$$E_{\Omega\%} = \left(n_{K1} + n_{K2} \right) / \cos \varphi_2 \cdot 100 \% \quad /92/$$

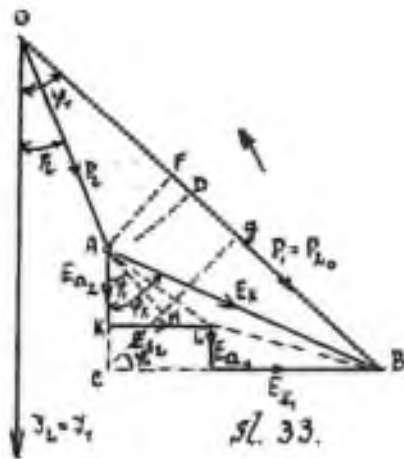
Totalno otpadanje jednako je razlici napona- na strani niskoga napona - za neopterećeni te opterećeni kret. t.j

$$\Delta P_2 = E_2 - P_2 \text{ Volt} \quad /93/$$

Da odredimo ovo otpadanje narišemo diagram za induktivni teret i prenosni odnošaj $u = 1$. Stavimo li $\gamma \approx \gamma_2$ te fazno odmicanje $\approx 180^\circ$ i $E_1 = E_2$ dobijemo već nama poznati Kapp-ov diagram sl.33. Ohmovo otpadanje leži u smjeru struje pa prema tome

$$AC = E_{\Omega} = E_{\Omega_1} + E_{\Omega_2}$$

Induktivno otpadanje crtamo okomito na struju 90° pred sru-



$$\text{jam } BC = E_2 = E_{2r} + E_{2x}$$

/u istinu za kut $\varphi_1, \varphi_2 \ll 180^\circ$ medjusobno odmaknuta./

Napon AB = E_k jednako

$$E_k = \sqrt{E_{2r}^2 + E_{2x}^2} \text{ Volt} \quad /94/$$

zove se napon kratkoga spoja, trokut

ΔABC karakteristični trokut transformatora.

matora.

Obzirom na niski napon P_k dobijemo napon kratkoga spoja u procentima

$$E_{k\%} = \sqrt{E_{2r\%}^2 + E_{2x\%}^2} \% \quad /95/$$

OB je napon P_k koji je približno jednak / u=1/ naponu P_1 . OA

je napon P_k opterećenog transformatora. Subtrahiramo OA od OB

dobijemo DB tj. otpadanje ΔP_k . Pošto je φ_2 samo malo manji od

φ_1 možemo staviti $FB \approx DB = \Delta P_k$ koje bi bilo sada nešto preve-

liko. Iz slike slijedi

$$FB = FG + GB = \Delta P_k \approx E_{2r} \cos \varphi_1 + E_{2x} \sin \varphi_1$$

$$E_{2r} = E_k \cos \varphi_k \quad E_{2x} = E_k \sin \varphi_k$$

$$\Delta P_k \approx E_k / \cos \varphi_k \cos \varphi_1 + \sin \varphi_k \sin \varphi_1 / \approx E_k \cos / \varphi_k - \varphi_1 / \text{ Volt} \quad /96/$$

Stavimo li $\varphi_2 \approx \varphi_1$ dobijemo za $\cos / \varphi_k - \varphi_2 /$ nešto manju vrijednost,

i izjednačili bi prema tome prijašnje povećanje od ΔP_k . Iz ovoga posmatranja slijedi konačno jednačba

$$\Delta P_k \approx E_k \cos / \varphi_k - \varphi_2 / \text{ Volt} \quad /97/$$

Obzirom na napon P_k u procentima

$$\Delta P_{k\%} = E_{k\%} \cos (\varphi_k - \varphi_2) \% \quad /98/$$

Po propisima za transformatore /RET 16 VDE str. 185/ računa se promjena napona po jednačbi

$$\Delta P_{k\%} = \Delta P_{k\%}' + 100 - \sqrt{10000 - \Delta P_{k\%}'^2} \quad /99/$$

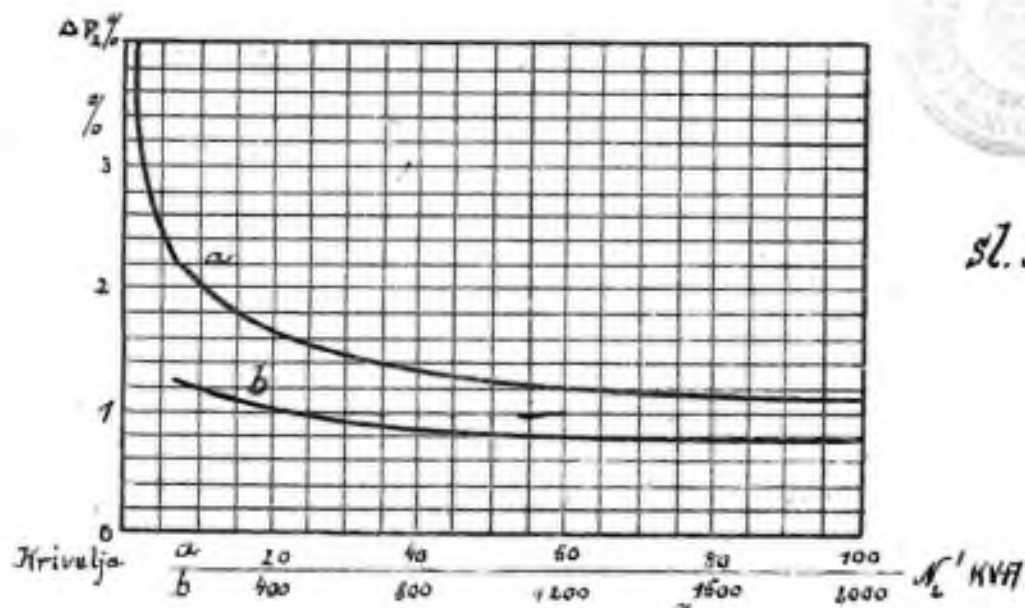
$$\Delta P_{k\%}' = E_{2r\%} \cos \varphi_k + E_{2x\%} \sin \varphi_k$$

$$\Delta P_{k\%}' = E_{2r\%} \sin \varphi_k - E_{2x\%} \cos \varphi_k$$

i to ako je $E_{2x\%}$ veće od 4 %

Slika 34 prikazuje normalno otpadanje $\Delta P_{k\%}$ u ovisnosti sekundarnog

djelovanja N'_2 izmjenične struje /KVA/



sl. 34

Poznavanje promjene napona sa teretom potrebno je za proaudjivanje transformatora radi paralelnog spoja sa drugim transformatorima. Teoretički morao bi biti ispunjen uvjet da moraju odpadanja E_2 te E_3 pojedinih transformatora, koji se hoće paralelno spojiti biti jednaka t j naponi kratkoga spoja E_k morali bi po veličini i fazi biti jednaki. Praktično je dostatno ako je razlika u naponima E_k nije veća od $\pm 10\%$ /Propisi VDE/

Primjer.

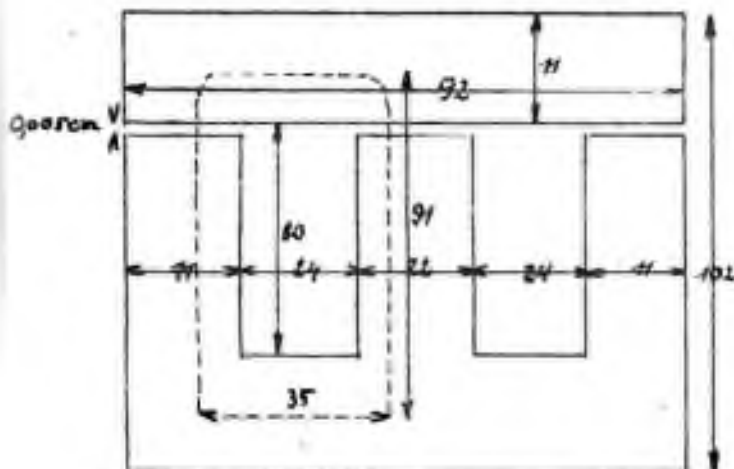
Željezna jezgra ogrnutog transformatora slike 35 omotana je primarno sa 150 zavoja od $0,5\Omega$ otpora, sekundarno sa 400 zavoja od 2Ω otpora. Priključenje na 20 Volt. $\sim$ 54.

Traži se:

- a / sek. el. m. s neoptarećenog kreta.
- b / tok indukcije
- c / struja magnetiziranja, raspor 0,005 cm.

d. / gubitak na efektu lim 0,5 mm $\eta = 0,002$

M Plohl. Jaka struja I. /vezak 9//arak 3./



sl. 35

e./ struja neopterećenog kreta, te radna komponenta.

a./ Jedn.3 : $E_1 : E_2 = w_1 : w_2$ $E_2 = E_1 \frac{w_2}{w_1} = 20 \frac{400}{150} = 53,3$ Volt

b./ Jedn. 1: $E_1 = \frac{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \phi}{10^8}$ $\phi = \frac{E_1 \cdot 10^8}{4,44 \cdot w_1 \cdot f} = \frac{20 \cdot 10^8}{4,44 \cdot 150 \cdot 54} = 55700$

c./ Presjek željeza je kvadrat dužine 2,2 cm, prema tome

$Q_e = 2,2 \cdot 0,9 \cdot 2,2 = 4,36$ cm. Indukcija u željezu slijedi iz toka

$\mathcal{L}_e = \frac{55700}{4,36} = 12800$ Gaus. Ovoj indukciji pripada intenziteta f po tabli 1-I 13,4 cgs. Srednja dužina crte polja je $/3,5 + 9,1/.2 =$

$= 25,2$ cm. Pošto svaka crta indukcije mora dva puta kroz raspor to je $2\mathcal{L} = 2 \cdot 0,005 = 0,01$ cm. Za ovaj maleni raspor možemo staviti $\mathcal{L}_e = \mathcal{L}_t = 12800$. Prema tome imamo po jednadžbi 97a-VII

$$\mathcal{L}_e \mathcal{L}_t + \mathcal{L}_t \mathcal{L}_e = 0,4\pi \cdot w_1 \cdot \mathcal{L}_t \sqrt{2}$$

$$\mathcal{L}_t = \frac{13,4 \cdot 25,2 + 12800 \cdot 0,01}{0,4\pi \cdot 150 \cdot \sqrt{2}} = 1,75 \text{ Amp.}$$

d./ Gubitak na efektu zbog topline struje je, ako stavimo najprije

$$\mathcal{L}_u = \mathcal{L}_o$$

$$N_k = 1,75^2 \cdot 0,5 = 1,54 \text{ vata.}$$

Za srenje gubitke radi histereze, izračunamo najprije volumen željeza

$$V = /10,2 \cdot 9 \cdot 2 = 4,8 \cdot 8/.0,9 \cdot 2,2 = 109 \text{ cm}^3$$

Tabla 2-I daje nam za $\mathcal{L}_t = 12800$ gubitak od 123 vata prema tome

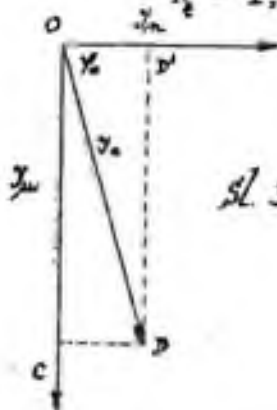
$$N_h = \frac{123 \cdot 0,109 \cdot 54}{100} \frac{0,002}{0,0033} = 4,4 \text{ vata}$$

Gubitak radi vrtložnih struja je - jedn. 93-VIII.

$$N_w = 2,5 \frac{0,5 \cdot 54 \cdot 12800}{10^8} 0,109 = 3,3 \text{ vata}$$

totalni gubitak

$$N_t = 1,54 + 4,4 + 3,3 = 9,24 \text{ vata}$$



Iz ovoga gubitka slijedi po jed. 99-VIII

$$\cos \varphi = \frac{9,24}{20 \cdot 1,75} = 0,266$$

U trokutu OCD slike 36 je $OC = I_u = 1,75$ A,

$OD = I_e$ te $\angle DOD' = \varphi$ prema tome

$$I_k = I_u \sin \varphi / \sin \varphi = \frac{1,75}{0,965} = 1,81 \text{ A.}$$

Radna komponenta $I_k = I_e \cos \varphi$ ili

$$OD' = 1,81 \cdot 0,266 = 0,476 \text{ A.}$$

Transformator opteretimo sekundarno žaruljom od 0,7 A koja troši 50 Volta. Traži se.

a./ Primarna jekost struje

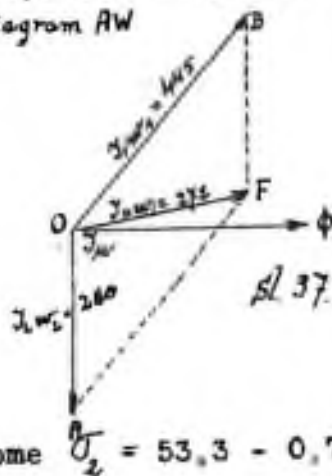
b./ Sekundarna napetost stezaljka, ako pretpostavimo da možemo rasipanje zanemariti.

c./ Primarni napon stezaljka

d./ Napon kratkoga spoja

e./ Stepen djelovanja.

Pošto je transformator sekundarno opterećen neinduktivnim teretom vrijedi diagram slike 17. U slici 37 napravimo $CA = I_w = 0,7 \cdot 400 = 280$ AW. U smjeru OD, t.j. neopterećene struje crtamo diagram AW



OF = $1,81 \cdot 150 = 272$ AW. Spojimo A sa F te dopunimo paralelogram dobijemo

AF odn. OB = 445 AW = I_w , te

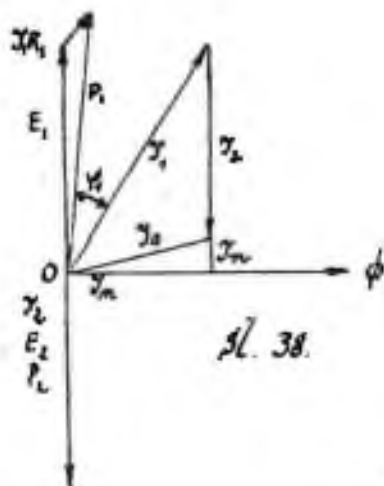
$$I = \frac{445}{150} = 2,97 \text{ A.}$$

b./ Za $E_2 = 53,3$ V je P_2 samo za ohmovo otpadanje manje /rasipanje zanemarimo/ prema

tome $U_2 = 53,3 - 0,7 \cdot 2 = 51,9$ Volt

c./ Primarna el. m. sila je $E_1 = 53,3 \cdot \frac{150}{400} = 20$ Volt

Ohmovo otpadanje /zanemarimo rasipanje/ u primarnom svitku $I R_1 = 2,97 \cdot 0,5 = 1,49$ Volt. Diagram po slici 38 DO vektora $E_1 = 20$ Volt crtamo u smjeru struje I /ili što je isto u smjeru primarnih ampere zavoja/ $R_1 = 1,49$ onda dobijemo vektor $E_1 = 21,25$ Volt kao napon što ga moramo stezaljkama narinuti.



d./ Osim mjera sl.35 nemamo zadanih veličina.

Prema tome moramo veličine za izračunavanje

napona kratkoga spoja odabrati $d_1 = d_2$

/jedn. za cil, namotaj/ = 10 mm, α , prostor

među obim svitcima 2mm, l po slici 35 = 110mm.

d_m je po istoj slici 46mm $d_m = 2 + \frac{10 + 10'}{3}$

= 9 mm prema tome po jednačbi 82.

$$E_{sc} = 25 \cdot \frac{w_1^2}{A} \cdot \frac{X}{P_1} \cdot \frac{d_m}{l} \cdot d_m \cdot 10^{-6} \% =$$

$$= 25 \cdot 54 \cdot 400 \cdot \frac{0,7}{51,9} \cdot \frac{4,6}{11} \cdot 0,9 \cdot 10^{-6} \% = 1,08 \%$$

Za ogrnute transformatore moramo još množiti sa 1,2 prema tome

1,08. 1,2 = 1,3 % ili $E_s = \frac{P_s \cdot 1,3}{100} = \frac{51,9 \cdot 1,3}{100} = 0,67$ Volt
veličina, koju možemo sasvim zanemariti.

e./ Stepen djelovanja je $\eta = \frac{\text{sekund. efekt}}{\text{prim. efkt}}$

Primarni efekt jednak je sekundarnome + svi gubici.

Imali smo prije $N_A = 4,4$ vata $N_{\Sigma} = 3,3$ vata. Gubici Joule-ove top-
line $N_A = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = 2,97^2 \cdot 0,5 + 0,7^2 \cdot 2 = 4,4 + 0,98 = 5,38$ vata
a prema tome

$$N_p = 5,38 + 4,4 + 3,3 = 13,08 \text{ vata te}$$

$$\eta = \frac{0,7 \cdot 51,9}{0,7 \cdot 51,9 + 13,08} = 0,738$$

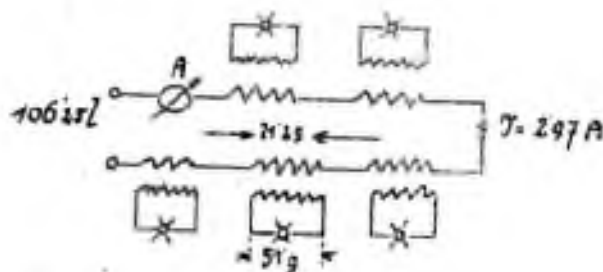
5 ovakvih transformatora spojimo primarno u seriji _ sl.39_ i
to na napon $5 \cdot 21,25 = 106,25$ V/ traži se

a./ Primarni napon ako se ugasi jedna žarulja/jednog transforma-
tora/ te regulira izvor struje na konstantnu struju.

b./ Napon struja ako se redom ugasi, 2, 3, 4, žarulje.

a./ Umetne se jednu žarulju, postane transformator, jer nije se-

kundarna strana više opterećena,
pritomljač. Kroz primarni namotaj
teče struja od 2,97 Amp. koja je
veća nego neopterećena struja
 $I_u = 1,75$ Amp./ Prema tome mora
takodjer tok u ovome transforma-
toru biti veći nego onaj kojim smo



sl. 39.

bili do sada računali.

Tok bi morali računati po jedn. 97-VIII $\phi = I_u \sqrt{2}$

Hoćemo li za zadanu struju I izračunati pripadajući tok ϕ , moramo
poznavati λ . Ali vodljivost nije nam poznata. Prema tome je jednos-
tavnije obrnuto računati t.j. odabrati ϕ te računati I , jer toku ϕ
pripada određena vodljivost λ . Za odabrane vrijednosti ϕ izraču-
namo pripadajuće struje te nacrtamo krivulju, čije ordinate tvori
tok ϕ te abscisu struja I . Iz ove krivulje može se onda lahko pro-
naći tražena veličina. Za ovaj proračun uzmemo jedn 97a-VIII

$$I = \frac{H_1 \lambda_1 + H_2 \lambda_2}{5,4 \pi \cdot w \cdot \sqrt{2}}$$

/zakon proticanja/

Ugase li se dvije žarulje dobijemo napon $OD = 106$ Volt i t.d.

8 / Proračun Transformatora.

a. / Gubici u bakru. Ako je m broj faza, R Ohmov otpor γ struja onda vrijedi za jedan namotaj obično

$$N_k = m \cdot \gamma^2 \cdot R \cdot 10^{-3} = m \cdot \gamma^2 \cdot \frac{(1 + \alpha \cdot \Delta \theta) \cdot L \cdot w \cdot 10^{-3}}{q \cdot 100} \text{ K vata} \quad /100/$$

α je specifični otpor bakra = 0,0172, α = koeficijent = 0,004

w broj zavoja, L dužina srednjeg zavoja u cm. Postavimo li

$$m \cdot w \cdot \frac{L}{100} = \gamma_k \text{ cm}^3 \quad G_k = \gamma_k \cdot \gamma_k \cdot 10^{-3} \text{ kg} \quad \gamma = \gamma_k \cdot q \quad \gamma_k = 3,9 \text{ spec težina}$$

bakra onda dobijemo

$$N_k = \frac{G_k}{\gamma_k} \cdot \frac{1 + \alpha \cdot \Delta \theta}{q} \cdot \gamma_k^2 \text{ K vata} \quad /101/$$

Računamo li ugrijanje $\Delta \theta$ u granicama $95^\circ - 15^\circ = 80^\circ \text{ C}$ te stavimo

za α i γ_k prije navedene vrijednosti dobijemo

$$N_k = \sim 2,5 \cdot G_k \cdot \gamma_k^2 \cdot 10^{-3} \text{ K vata} \quad /102/$$

Radi dodatnih gubitaka vrtložnih struja osobito u plosnatom namotaju, koje prouzroči rasipanje, mora se gornju jednadžbu množiti još sa faktorom vrtložnih struja $K_{vr} = 1,05 \div 1,3$, prema tome

$$N_k = 2,5 \cdot K_{vr} \cdot G_k \cdot \gamma_k^2 \cdot 10^{-3} \text{ K vata} \quad /103/$$

Za oba namotaja dobijemo dakle, ako stavimo

$$G_{k1} = m \cdot w_1 \cdot \frac{L_1}{100} \cdot q \cdot \gamma_k \cdot 10^{-5} \text{ kg} \\ G_{k2} = m \cdot w_2 \cdot \frac{L_2}{100} \cdot q \cdot \gamma_k \cdot 10^{-5} \text{ kg} \quad L \text{ u cm.}$$

Totalni gubitak u bakru

$$N_k = 2,5 \cdot K_{vr} \cdot m \cdot \gamma_k \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{L_1}{100} \cdot q \cdot \gamma_k^2 + \frac{L_2}{100} \cdot q \cdot \gamma_k^2 \right) \text{ K vata} \quad /104/$$

$$\text{odn. } N_k = 22,25 \cdot K_{vr} \cdot m \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{L_1}{100} \cdot q \cdot \gamma_k^2 + \frac{L_2}{100} \cdot q \cdot \gamma_k^2 \right) \text{ K vata} \quad /104a/ \\ L \text{ u cm}$$

Za jedan kg žice dobijemo, ako uzmemo namjesto 2,5 radi vrtložnih struja 2,6 jednadžbu

$$N_k = 2,6 \cdot \gamma_k^2 \text{ vata} = n_k \quad /105/$$

b. / Gubici u željezu radi histereze i vrtložnih struja.

Potrebne vrijedosti/specifični gubitak σ_k vata po kg daje nam slika 15. Uračunamo radi dodatnih gubitaka 20 - 50 % dobijemo

$$N_{hw} = 1,2 \div 1,5 \cdot \sigma_e \cdot G_e \cdot 10^{-3} \text{ K vata} \quad /106/$$

ako označimo G_e težinu željeza.

Ako ne poznajemo brojeve gubitka σ_e možemo računati po jednadžbi 31,31a-I odn. upotrijebiti Tab. II-I te jedn. 93-VIII.

Imademo na primjer.

Debljina 0,35 mm $\sim = 50 \cdot \mathcal{L}_e = 6000$, dobijemo za $\eta = 0,0015$

Za $\mathcal{L}_e = 6000$ daje tabla II-I gubitak 35,5 vata pro dm^3 $\nu = 100$

$\eta = 0,0033$ prema tome za gornji lim pro $\text{kg} / \nu = \frac{1}{7,8} \text{ dm}^3 /$

$$N_h = \frac{35,5 \cdot 50 \cdot 0,0015}{100 \cdot 7,8 \cdot 0,0033} = 1,04 \text{ vata / kg}$$

$$N_w = 2,5 \cdot \frac{0,35 \cdot 50 \cdot 6000}{10^3} \cdot \frac{1}{7,8} = 0,35 \text{ vata / kg}$$

$$N_{hw} = 1,04 + 0,35 = 1,39 \text{ /kg vata}$$

Legirani lim, $\eta = 0,0008$, debljina 0,35 mm $\mathcal{L}_e = 10000$ Gaus

$$N_{hw} = 1,69 \text{ vata / kg}$$

c. / Gubici neopterećenog kreta.

Ovi se sastoje iz gubitaka u bakru i željezu. Jer je neopterećena struja transformatora malena - vidi sub d - možemo gubitke u bakru zanemariti prema tome

$$N_o \propto N_{hw} \quad /107/$$

ili u postotcima obzirom na sekundarno djelovanje N_2

$$N_o = \frac{N_o}{N_{w2}} 100 \% \quad /108/$$

Sljedeća tabela 3 sadržava gubitke N_o za različna djelovanja N_2

Tabla 3

N_2	10	20	100	250	500	1000	1500	2000	KW
$N_o \%$	1,8	1,6	1,2	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	%

d. / Struja neopterećenog kreta $\mathcal{I}_o$

Ova struja sastoji se iz struje $\mathcal{I}_m$, koju tražimo za histerezu i vrtložne struje te iz $\mathcal{I}_\mu$ za magnetiziranje. Ovdje vrijedi već poznata nam jednadžba /vidi 6-VIII/

$$\mathcal{I}_o = \sqrt{\mathcal{I}_m^2 + \mathcal{I}_\mu^2} \quad \text{Amp} \quad /109/$$

kod toga je

$$\mathcal{I}_\mu = \frac{N_{hw}}{m \cdot P_i} \cdot 10^3 \text{ Amp.} \quad /110/$$

/ N_{hw} u K vatima / Oačimo li dalje za jednu fazu

M_k magnetomotornu silu jezgre
 M_l " " raspora između jezgre i jarma
 M_j " " jarma, onda vrijedi

$$I_\mu = \frac{M_k + M_l + M_j}{\sqrt{2} \cdot w_1} \quad \text{Amp.} \quad /111/$$

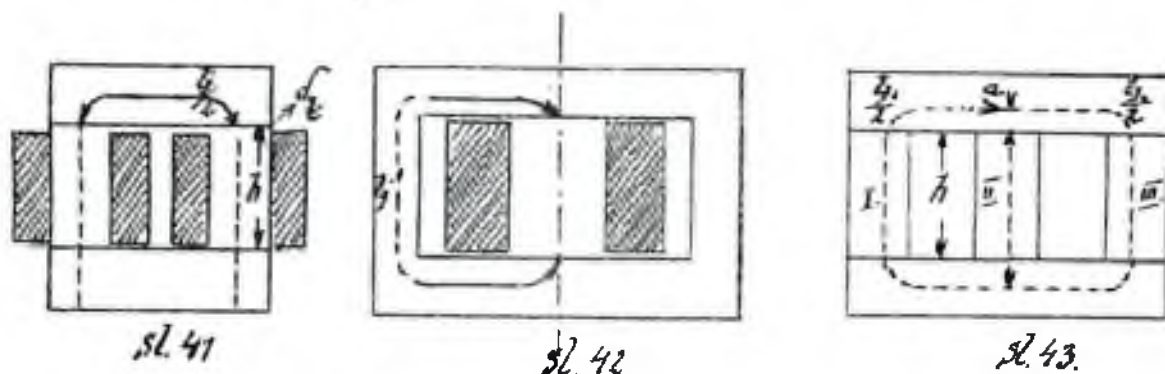
./ Jednofazni transformator.

Odredilo se po slici 41 te 42 dužinu pojedinih putova te pojedinih indukcijama $\mathcal{L}_{odn}$, $\mathcal{L}_j$ pripadajuće intenzitete $\mathcal{I}_k$ te $\mathcal{I}_j$ /tab. I-II/ računa se

$$M_k = a \cdot h \cdot \mathcal{I}_k \quad \text{Amperezavoja} \quad /112/$$

$$M_l = 1,6 \cdot a \cdot \mathcal{L}_l \cdot \mathcal{I}_k \quad " \quad \mathcal{L}_l = 0,005 \text{ cm} \quad /113/$$

$$M_j = \mathcal{L}_j \cdot \mathcal{I}_j \quad /114/$$



./ Trofazni jezgrasti transformatori

Leže li sve tri jezgre u jednoj ravni, onda su struje magnetiziranja triju faza različite/nesimetrični transformator/, struja srednje faze II - sl. 43 - je skoro polovica struje u fazi I te III.

Predpostavimo tok $\mathcal{I}_{max}$ u svima fazama jednak onda vredi

$$M_{k1} = h \cdot \mathcal{I}_k = M_{k2} = M_{k3} = M_k \text{ Awt} \quad /115/$$

$$M_l = 1,6 \cdot \mathcal{L}_l \cdot \mathcal{I}_k \text{ Awt} \quad /116/$$

$$M_{j1} = \mathcal{L}_j \cdot \mathcal{I}_j \text{ Awt} \quad /117/$$

$$M_{j2} = \mathcal{L}_j \cdot \mathcal{I}_j \text{ Awt} \quad /118/$$

Za struje magnetiziranja imamo

$$I_{\mu_1} = \frac{M_k + M_l + M_{j1}}{\sqrt{2} \cdot w_1} \quad \text{Amp. u fazi I te III.} \quad /119/$$

$$I_{\mu_2} = \frac{M_k + M_l + M_{j2}}{\sqrt{2} \cdot w_1} \quad \text{Amp. u fazi II} \quad /120/$$

Struja neopterećenog kreta je dakle

$$y_{01} = \sqrt{y_{m1}^2 + y_n^2}$$

Amp u fazi I ili III

/121/

$$y_{02} = \sqrt{y_{m2}^2 + y_n^2}$$

Amp. u fazi II

/122/

Srednja vrijednost

$$y_a = \frac{2 \cdot y_{01} + y_{02}}{3}$$

Amp.

/123/

Obzirom na označenu struju y , imademo onda

$$x_2 = \frac{y}{y_a} 100 \%$$

/124/

U opće neka bude. za malene transformatore za svjetlo $x_2 \% < 20 \%$.

Za djelovanje od 10 - 2000 KVA $< 15 - 5 \%$, kod većih transformatora $< 5 \%$

e. / Faktor napune bakrom f_k

/125/

$$f_k = \frac{w_1 q_1 + w_2 q_2}{f \cdot l} = \frac{Q_k}{f \cdot l}$$

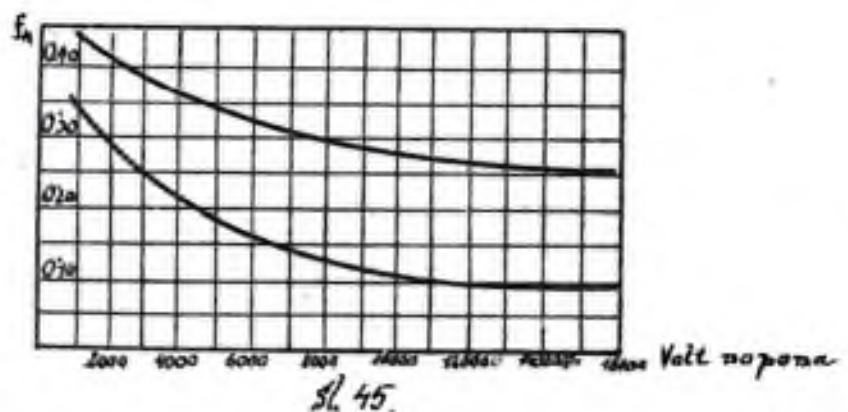
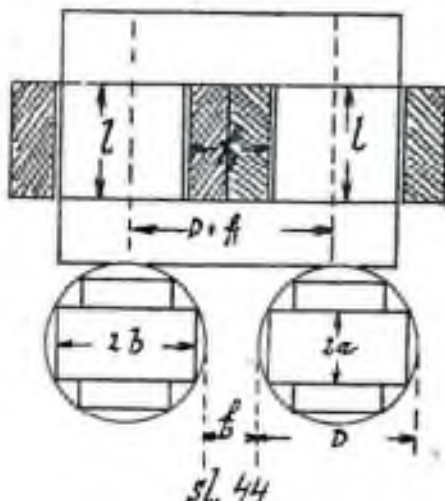
w_1 = broj zavoja primarne, w_2 sekundarne strane

q_1 = presjek primarne žice, q_2 presjek sekundarne u mm

f udaljenost u mm po slici 44

l visina jezgre u mm

Faktor napune f_k ovisan je o naponu transformatora. Sl. 45 sadržava vrijednosti po iskustvu.



Kod faktora napune f_k mora se uzeti u obzir još sljedeće.

Ako je a broj omotanih jezgra jedne faze, l visina jezgre, onda je opterećenje odn. navlaka strujom pro cm visine l

$$B = \frac{2 \cdot y \cdot w_1}{a \cdot l} \text{ Amp/cm}$$

/a/

Obzirom na dozvoljeno ugrijanje vrijedi

$B = 300 \div 450$ Amp/cm pravno hladjenje zrakom

$450 \div 600$ " " uljem /b/

$600 \div 800$ " umjetno hladjenje uljem

Debljina izolacije željezo-namotaj niskoga napona za napone do 6000 Volt zadana je jednačbom

$$\delta = 0,008 \sqrt{\sigma_2} \quad \text{cm za fiber, presspan}$$

$$= 0,006 \sqrt{\sigma_2} \quad \text{cm za tinjac, mika} \quad /c/$$

Udaljenost svitaka susjednih jezgra: Označuje li δ_s srednju uda-

ljenost susjednih svitaka s broj sigurnosti = 4 /za niski/ = 2 /za visoki napon l cm udaljenost probijanja za zrak odn. ulje onda je

$$\delta_s = s \cdot l \quad /d/$$

l daje slika 46. Ulaz tvori ordinata t.j. najveći napon E_z u KVoltima, koji vlada medju susjednim svit-

cima. Abscisa daje u krivulji a udaljenost probijanja za zrak u krivulji b za ulje.

Uzbirom na navedeno daje sljedeća tabla vrijednosti faktora napune bakrom f_k za različne napone.

$\sigma_2 = u$ KVoltima	f									
	2	4	6	8	10	15	20	30	40	100 KV DT
1 ÷ 100 KW	0,27	0,21	0,18	0,16	0,15	0,14	0,135	0,13	0,12	0,1
1000 ÷ 2000 KW	0,52	0,47	0,37	0,32	0,30	0,27	0,25	0,22	0,20	0,14

Ugodna je vrijednost $f_k = 0,35$. Gornju krivulju biti će teško prekoračiti.

f_s / faktor napune željezom f_e

Presjek željeza odabere se rado po slici 46 Onda vrijedi

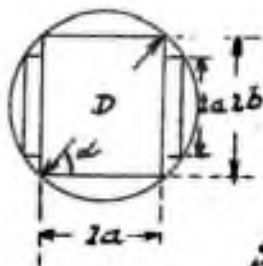
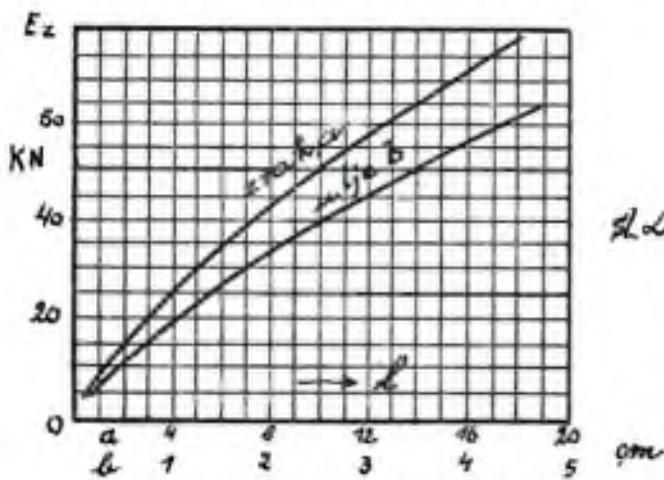
$$F = 4ab + 2a/2b - 2a/ = 8ab - 4a^2$$

$$2a = D \cos \alpha \quad 2b = D \sin \alpha$$

$$F = 2D^2 \cos \alpha \sin \alpha - D^2 \cos^2 \alpha = D^2 \sin 2\alpha - D^2 \cos^2 \alpha$$

Ovaj presjek neka bude maximum

$$\frac{dF}{d\alpha} = 0 = 2 \cos 2\alpha + 2 \cos \alpha \sin \alpha$$



sl 46

Iz ove jednačbe slijedi $\operatorname{tg} 2\alpha = -2$; $2\alpha = 180^\circ - 63^\circ 30' = 116^\circ 30'$
 $\alpha = 58^\circ 15'$ pa prema tome

$$a = 0,263 D \quad b = 0,425 D \quad /126/$$

$$F = 8 \cdot 0,263 D \cdot 0,425 D - 4 \cdot 0,263^2 D^2 = 0,616 D^2 \quad /127/$$

Jer su pojedine limene pločice međusobno izolirane, je presjek

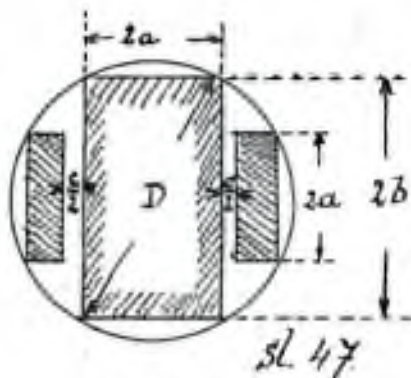
$$Q = 0,9 F \quad /128/$$

$$f_e = \frac{\text{Presjek željeza}}{\text{Ploština opisanog kruga}} = \frac{Q_e}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad /129/$$

Stavimo li $Q_e = 0,9 \cdot 0,616 D^2$ dobijemo

$$f_e = \frac{0,9 \cdot 0,616 D^2 \cdot 4}{\pi D^2} = 0,71 \quad /130/$$

Više puta uzme se presjek po slici 47 sa dvima rasporeima za zračenje širine $\frac{c}{2}$ Ploština šrafirane slike je.



$$F = 2a \cdot 2b + 2a/2b - c/-4a^2 = 4ab + 4ab - 2ac - 4a^2 \\ = 8ab - 4a^2 - 2ac.$$

$$\text{Stavimo li } a = 0,263 D \text{ te } b = 0,425 D$$

$$\text{onda je } F = 0,616 D^2 - c \cdot 0,526 D \quad /131/$$

Presjek željeza je $Q_e = 0,9 F$ te faktor napone

$$f_e \frac{Q_e}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{0,9/0,616 D^2 - c \cdot 0,526 D/4}{\pi D^2} = \frac{1,14/0,616 D - 0,526 c/}{D} \quad /132/$$

Ako je na pr. $D = 10 \text{ cm}$ $c = 1$ dobijemo

$$f_e = \frac{1,14/6,16 - 0,526/}{10} = 0,643$$

Raspor za zračenje širine c može se udesiti takodjer u sredinu i to po slici 48. Kod toga je po jedn. 126

$$a = 0,263 D \quad b = 0,425 D \quad \text{prema tome presjek}$$

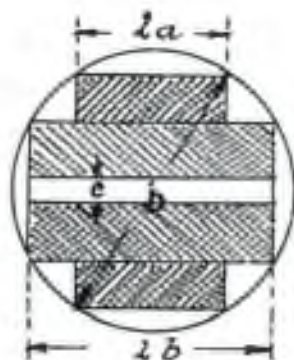
$$F = 8ab - 4a^2 - 2bc = 0,616 D^2 - 0,85 D \cdot c$$

$$f_e = \frac{0,9F}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{3,6F}{\pi D^2} = 1,146 \cdot \frac{F}{D^2}$$

Ako računamo raspore kao dužinu $2b$ onda je opseg slike 48

$$U = 8 \cdot \frac{2b - 2a}{2} + 4 \cdot 2a + 2b = 10b \quad /b = 0,425 D/$$

Označuje li



sl. 48.

$$f_o = \frac{U}{D} = \frac{4,25 D}{D} = 4,25$$

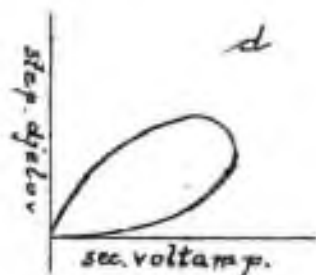
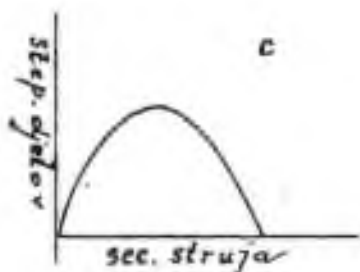
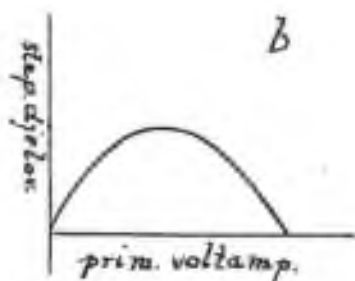
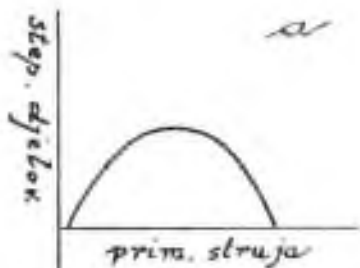
onda je u slici 48 $f_o = \frac{100}{D}$ odu. $U = \xi D = 4,25 D$

u slici 46 $U = 8b = 20,425 D$; $f_o = 3,40$

u slici 47 $U = 8b + 4a = 3,4D + 1,052D = 4,452D$
 $f_o = 4,452$

g. / Uslovi da postane stepen djelovanja maximum, ako se prikljuci transformator na konstantni napon te sekundarno opteretiti neinduktivno.

sl. 49.



Krivulje stepena djelovanja moraju početi sa nulom, jer je za neopterećeni kret djelovanje jednako nuli. Raste li struja, raste unajprije također djelovanje. Uzvisimo struju do vrijednosti kratkoga spoja, pada djelovanje do nule jer je za kratki spoj jednako nuli.

Djelovanje mora prema tome imati maximum za određene razmjere.

Nacrta li se stepen djelovanja u ovisnosti primarnih Volt-ampera, onda rastu ovi Voltamperi sa primarnom ili sekundarnom strujom do kratkoga spoja. Druga vrijednost stepena djelovanja jednaka nuli mora biti prema tome udaljena od prve /sl. b/

Nacrtamo li stepen djelovanja u ovisnosti od sekundarnih Voltampera onda postanu i ovi kod kratkoga spoja jednaki nuli, jer je sekundarni napon jednak nuli. Prema tome imaju sekundarni Voltamperi sa rastućom strujom određeni maximum. Krivulja stepena djelovanja vrati se u tome slučaju k početnoj točki natrag sl. d Maximum sekundarnog Voltampera ne može padati zajedno sa maksimalnim stepenom djelovanja.

Stepen djelovanja je

$$\eta = \frac{P_2 \gamma_2}{P_2 \gamma_2 + \gamma_2^2 R_1 + \gamma_2^2 R_2 + N_r}$$

Zamislamo si prenosni odnošaj 1:1 onda je $\gamma_2 \approx \gamma_1$ prema tome

$$\eta = \frac{P_2 \gamma_2}{P_2 \gamma_2 + \gamma_2^2 / R_1 + R_2' / + N_r} = \frac{P_2}{P_2 + \gamma_2^2 / R_1 + R_2' / + \frac{N_r}{\gamma_2}}$$

Izraz postane maximum, ako je nazivnik minimum. Prema tome moramo diferencirati nazivnik po γ_2 te rezultat staviti = 0

$$R_1 + R_2' - \frac{N_r}{\gamma_2^2} = 0 \text{ ili } N_r = \gamma_2^2 / R_1 + R_2' /$$

Stepen djelovanja neinduktivno opterećenog transformatora je maksimalan, ako su gubitci topline jednaki gubitcima u željezu ili gubitak u bakru jednak gubitku u željezu.

$$N_e = N_k \quad /133/$$

Za transformatore za rasvjetu je ugodno napraviti gubitke u željezu nešto manje nego gubitke u bakru t.j.

$$\alpha = \frac{N_e}{N_k} < 1 \quad /134/$$

h / Površina hladjenja, specifična površina hladjenja.

Specifična površina hladjenja je kao što nam je poznato površina koja odpada na 1 vat gubitka. Uzmimo sliku 50.

Površina za hladjenje sastoji iz vanjskoga plašta bakra obiju jezgra, iz 4 krajnih ploština svitaka te površine željeza.

$$\text{Plašt obiju svitaka } 2\pi D + f_1 \cdot \ell$$

$$\text{Krajne ploštine } 4 \cdot \left[\frac{\pi}{4} D + f_1 \cdot \frac{1}{4} D^2 \right] = \pi D + f_1 / f_2$$

Tačno izračunanje željeza t.j. površine željeza je veoma neugodno. Površinu može se pronaći približno ako se množi opseg jezgre sa srednjom dužinom željeza. Prema tome je

$$O_e = \pi / 2 \ell + 2 D + 2 f_1 + 4 b /$$

Stavimo još $\pi = f_2 D$ te $4 b = 4.0.425 D$ dobijemo

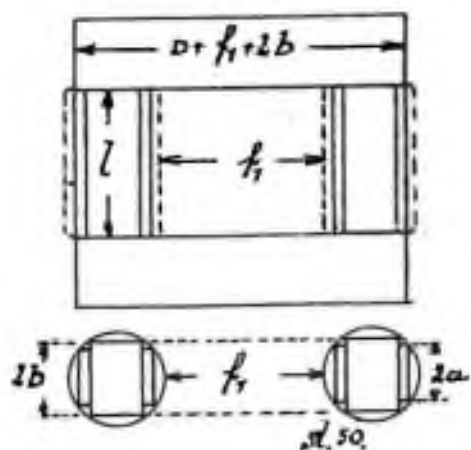
$$O_e = 2 f_2 D + D + f_1 + 0.85 D / \quad /135/$$

Specifična površina

$$O' = \frac{O_e}{N_r} \quad /136/$$

1./ Jezgrasti transformatori.

Označuje li Q_e presjek željeza, onda je $f_2 = \frac{Q_e}{\pi D^2}$ faktor



napune željezom $f_1 = \frac{Q_1 w_1 + Q_2 w_2}{f_1 l} = \frac{Q_k}{f_1 l}$

faktor napune bakrom Q_k je totalni presjek bakra među jezgrama. /Vidi sub e/i f/

Težina željeza G_e sastoji se iz težine

jezgara i jima pa prema tome

$$G_e = 2 \left\{ Q_e l + Q_e / D + f_1 + 2b \right\} \frac{7.7}{1000} \text{ kg}$$

$$b = 0.425 D \quad Q_e = f_1 \frac{\pi D^2}{4}$$

$$G_e = \frac{2.7.7}{1000} f_1 \frac{\pi D^2}{4} / l + f_1 + 1.85 D / = 0.012 f_1 D^2 / l + f_1 + 1.85 D / \text{ kg} /137/$$

Težina bakra G_k je

$$G_k = 2 \left\{ \frac{\pi}{4} / D + f_1 / l - \frac{\pi}{4} D^2 \right\} f_1 \frac{8.9}{1000} \text{ kg odn.}$$

$$G_k = 0.014 f_1 l f_1 / 2D + f_1 / \text{ kg} /138/$$

Stavimo li, što je približno pravilno $E_2 = E_1$ onda je sekundarno prividno djelovanje $N = E_2 I_2$ Voltampera. Pošto je

$$E_2 = \frac{4.44 \phi_m w_2}{10^8} \quad \text{te } \phi_m = Q_e \mathcal{L}_e \text{ dobijemo}$$

$$N = \frac{4.44 w_2}{10^8} Q_e \mathcal{L}_e I_2$$

Ako je $\mathcal{G}$ gustoća struje za mm presjeka / $\mathcal{G}$ srednja vrijednost iz $\mathcal{G}_1$ te $\mathcal{G}_2$ / onda je $I_2 = 100 q_2 \mathcal{G}$, jer moramo sve veličine pretvoriti u cm odn. cm^2 da imamo jednostavne mjere. Jer vrijedi približno $I_1 w_1 \approx I_2 w_2$ je takodjer $q_1 \mathcal{G} w_1 \approx q_2 \mathcal{G} w_2$ ili $q_1 w_1 \approx q_2 w_2$. Totalni presjek Q_k je jednak $q_1 w_1 + q_2 w_2 \approx 2 q_2 w_2$ ili

$$q_1 w_1 \approx q_2 w_2 \approx \frac{1}{2} Q_k /139/$$

Prema tome imademo

$$N = \frac{4.44 \cdot \sim \cdot Q_e \cdot \mathcal{L}_e \cdot Q_k \cdot \mathcal{G} \cdot 100}{2 \cdot 10^8}$$

$$Q_e \cdot Q_k = \frac{2 N \cdot 10^6}{4.44 \cdot \sim \cdot \mathcal{L}_e \cdot \mathcal{G}} \quad \text{Stavimo}$$

$$Q_e = \frac{\pi D^2}{4} f_1 \quad Q_k = f_1 l f_1 \text{ onda vrijedi}$$

$$D^2 f_1 l = \frac{2.4}{4.44 \pi} \frac{N \cdot 10^6}{\sim \cdot \mathcal{L}_e \cdot \mathcal{G} \cdot f_1 \cdot f_1} \quad \text{ili}$$

$$D^2 f_1 l = \frac{0.57 \cdot 10^6 \cdot N}{\sim \cdot \mathcal{L}_e \cdot \mathcal{G} \cdot f_1 \cdot f_1} = R /140/$$

Ako smo odabrali $\mathcal{L}_e$ te $\mathcal{G}$ desna strana jedn 140 je poznata, je R

Označuje li kao i do sada N_e gubitak u željezu, N_k gubitak u bakru n_e , n_k iste gubitke pro kg onda vrijedi

$$N_e = n_e G_e \quad /141/$$

$$N_k = n_k G_k \quad /142/$$

$$\frac{N_e}{N_k} = \alpha = \frac{n_e G_e}{n_k G_k} \quad /143/$$

Za maksimalni stepen djelovanja - neinduktivni teret- imali smo $\alpha = 1$. Kod transformatora za rasvjetu odabere se $\alpha = 0,9 \div 1$

Od razmjera $\beta = \frac{G_e}{G_k} \quad /144/$

ovisni su troškovi. Ovi igraju najveću ulogu, uzima se po iskustvu $\beta = 3$ za obični dinamolim, $\beta = 2$ za legirani. Ali ima i tvornica koje uzimaju $\beta = 1,2$. U prvom je redu veličina β ovisna o tome dali služi transformator za rasvjetu ili radnju, jer su o ovoj uporabi ovisni gubici u željezu i bakru koji uplivaju na godišnji stepen djelovanja. /vidi sub 2 / Razmjer gubitaka radi histereze i vrtložnih struja N_{hst} te gubitaka u bakru N_k odabere se po iskustvu.

$$\frac{N_{hst}}{N_k} = \begin{matrix} 0,85-1,5 & 0,65-0,85 & 0,5-0,65 \\ \text{obični lim} & \text{leg. lim} & \text{visoko leg. lim} \end{matrix} \quad /145/$$

Uzmemo li ovaj razmjer onda dobijemo za β vrijednosti table 4. koja vrijedi do približno 20000 Volt te $f_k \geq 0,25$

$$\beta = \frac{G_e}{G_k}$$

Tabka 4.

N_k Kilovata	Obični lim		legirani lim		vis. leg. lim	
	svjetlo	radnja	svjetlo	radnja	svjetlo	radnja
1 ÷ 50	18 - 25	3 - 35	18 ÷ 18	18 - 20	15 - 17	17 ÷ 19
50 ÷ 100	÷ 30	÷ 40	÷ 20	÷ 21	÷ 18	÷ 20
100 ÷ 1000	÷ 35	÷ 45	÷ 21	÷ 22	÷ 19	÷ 21
1000 ÷ 10000	.	÷ 50	.	÷ 24	.	.
> 10000	.	÷ 65	.	÷ 30	.	.

Za veće napone / do 150000 Volta/ mora se uzeti u obzir, da proizroči faktor $f_k < 0,25$ povećanje prostora za namotaj, tako da mogu vrijednosti β porasti za 80 %.

Druga veličina koju moramo odabrati je gustoća struje. Ovi je vrijedi približno

$\sigma = 1,6 \div 2 \text{ A/mm}^2$ malena spec. površina za hladjenje

2,2 - 2,6 uopće za srednje djelovanje

2,8 - 4 kod velike spec. površine za hladjenje odn. odnosno umjetno umnoženim hladjenjem.

Kod odabiranja gustoća σ_1 te σ_2 neka se odabere za pravilo.

Gubitci u djelovanju u namotaju visokog i niskog napona moraju biti što je moguće više jednaki, da se ima totalne gubitke u bakru malene.

Za magn. indukciju $\frac{1}{2} - \lim 0,4, 0,5, 0,8 \text{ mm}$ debljine - vrijede sljedeće veličine iz iskustva

Tabla 5.

	Obični lim		leg. lim.		vis. leg. lim	
	svjetlo	radnja	svjetlo	radnja	svjetlo	radnja
50	8-10.000	10-15.000	9-11.000	11-13.000	10-12.000	12-14.000
16 $\frac{2}{3}$	9-12.000	12-17.000	.	.	.	.

Kod indukcije nad 14000 Gaus za legirani lim postane magn. vodljivost malena, struja neopterećenog kreta prevelika.

Ako smo odabrali α i β može se odrediti n_k

$$n_k = \frac{n_e}{\alpha} \beta \quad /146/$$

jer je po jedn. 105 $n_k = 2,6 \sigma^2$ dobijemo

$$\sigma = \sqrt{\frac{n_k}{2,6}} \quad /147/$$

Dijelimo li jednadžbe sa G_e i G_k / 137 , 138 / jednu kroz drugu dobijemo

$$\frac{G_e}{G_k} = \beta = \frac{0,012 \frac{D^2}{l} + f_1 + 1,85 \frac{D}{l}}{0,014 \frac{D^2}{l} + f_1 / 2 + f_1 /} \frac{f_e}{f_k} \quad /148/$$

odnosno

$$\frac{D^2}{l} + f_1 + 1,85 \frac{D}{l} = \frac{\beta \cdot f_e}{f_k} \frac{0,014}{0,012} \frac{D^2}{l} + f_1 / 2 + f_1 / \quad /149/$$

Stavimo obzirom na jednadžbu 146

$$\frac{\beta \cdot f_e}{f_k} 1,165 = S = \frac{\alpha \cdot n_k}{n_e} \frac{f_e}{f_k} 1,165 \quad /150/$$

dobijemo

$$D^2/\ell + f_1 + 1,85 D/\ell = 3,2 f_1/2D + f_1/ \quad /151/$$

Izračunamo f_1 iz jednačbe 140 $f_1 = \frac{R}{D^2}$ te umetnemo ovu vrijednost u jednačbu 151 dobijemo

$$D^2/\ell + 1,85D + \frac{R}{D^2} / = \frac{SR}{D^2} / 2D + \frac{R}{D^2} / \quad \text{ili}$$

$$D^4/\ell^2 + 1,85D\ell + \frac{R}{D^2} / = SR / 2D\ell + \frac{R}{D^2} / \quad \text{ili}$$

$$\ell^2 D^4 + 1,85D^2\ell + RD^2 = 2SRD\ell + \frac{R^2S}{D^2} \quad \text{te}$$

$$\ell^2 - 2D\ell / \frac{SR}{D^2} - 0,925 / = \frac{R}{D} / \frac{RS}{D^2} - 1 / \quad \text{odnosno}$$

$$\ell = D/\frac{SR}{D^2} - 0,925 / + \sqrt{D^4/\frac{SR}{D^2} - 0,925 / + \frac{R}{D} / \frac{RS}{D^2} - 1} / \quad \text{te konačno}$$

$$\ell = D \left\{ \frac{SR}{D^2} - 0,925 + \sqrt{\frac{SR}{D^2} - 0,925 + \frac{RS}{D^2} \frac{1}{S} \frac{RS}{D^2} - 1} \right\} \quad /152/$$

$\frac{SR}{D^2} = K$ je za transformatore najmanje težine približno konstantno
 $= 1,8$

Račun transformatora izvrši se na sljedeći način:

Izračunaj R po jednačbi 140

S po jednačbi 130 onda je

$$\frac{RS}{D^2} = K \quad \text{ili} \quad D = \sqrt{\frac{RS}{K}} \quad /153/$$

po jedn. 152

$$f_1 = \frac{R}{D^2} \quad \text{po jedn. 140}$$

G_c po jedn. 137

$$G_s \text{ slijedi iz } G_s = \frac{G_c}{\beta}$$

Gubitci su $N_c = n_c G_c$ te $N_s = n_s G_s$ stepen djelovanja

$$\eta = \frac{N}{N + N_c + N_s} \quad /154/$$

Površinu za hladjenje dade točka h . Ako je specifična površina O' dostatna, počne se sa udešenjem žica/ vidi primjer/. Ako je O' premaleno mora se opterećenje $\Sigma \sigma$ te ΣG umanjiti. Cim se veće odabere $\Sigma \sigma$ te σ tim manja je težina, a tim manja i površina O' .

Općenita pravila kod konstrukcije jesu.

1 / Jarmi iste težine kao jezgre. 2 / Gubitci u željezu jednaki

gubitcima u bakru. 3./ Aktivno željezo neka stoji toliko koliko namotaj. 4./ Radialnu visinu svitka tako odabrati, da stoji namotaj dva puta toliko, koliko jezgra. 5./ Gubici topline u obim namotajima što je moguće više jednaki. 6./ Kod veoma velikog djelovanja neka se odnose troškovi za željezo i bakar obrnuto kao gubici.

Konačno još jednu tabelu izvršenih transformatora, koja sadržava pojedine zanimive veličine

Tabla 6.

KVA	β	L_e	$\mathcal{Q}_j$	$\sim$	$\mathcal{L}$	η %
5	2,6	7200	1,36	50	1,25	93,3
10	1,6	5500	1	50	0,6	96,49
15	1,19	6500	0,84	50	1,1	97,4
40	1,19	6000	0,82	50	1,035	97,6
75	1,21	7000	1,28	57,5	0,65	97,25
100	2,17	11000	1,8	50	1	97,68
150	3,58	11300	1,695	50	1,1	97,2
1500	3,64	17000	2,1	25	1,5	98,25

k./ Primjer.

Transformator za rasvjetu 15 KVA $f = 50$ 2080/230 Volt

$\mathcal{L}_e = 6500$ odabrano

$\mathcal{Q}_j = 0,84$ Amp /kao srednja vrijednost $\mathcal{Q}_j$ te $\mathcal{Q}_k$ / odabrano

Jezgri dademo oblik slike 44 Po jednadžbi 130 je onda $f_e = 0,71$

Željezo transformatora mora biti dostatno takodjer za veće napone,

f_k odaberemo po slici 45 $= 0,35$

Jednadžba 140. $k = \frac{0,57 \cdot 10^6 \cdot 15000}{50 \cdot 6500 \cdot 0,84 \cdot 0,71 \cdot 0,35} = 0,126 \cdot 10^6$

Za $\mathcal{Q}_j = 0,84$ dobijemo po jedn. 105 $n_k = 2,6 \cdot 0,84^2 = 1,8$ vata

Za konstr. odaberemo lim debljine 0,35 $\eta = 0,0012$ onda je po tabli

I - II pro kg $N_k = \frac{41 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 0,0012}{100 \cdot 7,7 \cdot 0,0033} = 0,97$ vata

$N_{\Sigma} = 2,5 \cdot \frac{10 \cdot 35 \cdot 50 \cdot 6500}{10^3} \cdot \frac{1}{7,7} = 0,44$ vata $n_k = 0,97 + 0,44 = 1,41$ vata

Istu vrijednost dobijemo iz slike 15 b

$\beta = \frac{\mathcal{Q}_k}{\mathcal{Q}_j} = 1,2$ odabrano. Onda je

$\alpha = \frac{n_2}{n_1} \beta = \frac{1,41}{1,8} \cdot 1,2 = 0,94$. t.j. najbolji stepen djelovanja postigne naš transformator kod djelovanja nešto manje od 15 KVA, jer odgovara najboljem djelovanju $\alpha = 1$. Da dobijemo $\alpha = 1$ moramo umanjiti n_1 t.j. jakost struje

$$\text{Jedn. 150. } \beta = \beta \cdot \frac{I_k}{I_1} \cdot 1,65 = 1,2 \cdot \frac{0,35}{0,71} \cdot 1,65 = 0,69$$

$$SR = 0,69 \cdot 0,126 \cdot 10^6 = 8,7 \cdot 10^4$$

Račun izvršimo sada za različite vrijednosti razmjera $\frac{RS}{D^2} = K$ i to za $K = 1,4, 1,6, 1,8$ te 2

Tabla 7.

$K = \frac{RS}{D^2} = \frac{8,7 \cdot 10^4}{D^2}$	14	16	18	20
$D^4 = \frac{8,7 \cdot 10^4}{K}$	$62 \cdot 10^4$	$5,44 \cdot 10^4$	$4,83 \cdot 10^4$	$4,35 \cdot 10^4$
$D^2 = \sqrt{D^4}$	249	233	220	209
$D = \sqrt{D^2}$	157	153	148	144
$f_e = 0,71 \quad Q_e = 0,71 \cdot \frac{\pi D^2}{4}$	136	130	122,5	116,4
Jedn. 140: $L, l = \frac{R}{D^2} = \frac{0,126 \cdot 10^6}{D^2}$	515	540	57,3	605
$l = D \left\{ \frac{RS}{D^4} - 0,935 + \sqrt{\left(\frac{RS}{D^4} - 0,935 \right)^2 + \frac{RS}{D^2}} \right\} \cdot \frac{RS}{D^2} \cdot \frac{1}{5} \left(\frac{RS}{D^2} - 1 \right)$ jedn. 152	262	313	398	455
$l = \frac{R}{D^2} \cdot l$	196	168	144	133
Jedn. 137: $g_e = 0,012 \cdot 0,71 \cdot D^2 (l \cdot f_e + 1,05 D)$	156	1535	152	152
$\beta = \frac{g_e}{g_k} = 12 \quad g_k = \frac{g_e}{12}$	130	128	126,5	126,5
$n_e = 141 \text{ vata} \quad K_e = 141 \cdot g_e$	220	217	214	214
$n_k = 18 \text{ vata} \quad K_k = 18 \cdot g_k$	234	231	228	228
$\eta = \frac{15000}{15000 + K_e + K_k}$	0,97	0,973	0,975	0,975

Iz table 7, koja sadržava sve izračunane veličine, uvidimo, da imamo najzgodnije vrijednosti za $d = 14,8 \text{ cm}$ te $Q_e = 122,5 \text{ cm}^2$.

Daljnji proračun daje:

$$\phi = 122,5 \times 6500 = 0,795 \cdot 10^6$$

Pošto je $\eta = \frac{15000}{2080 \cdot 0,975} = 7,4 \text{ Amp.}$ te $I^2 R_e = \frac{K_e}{2} = \frac{228}{2}$ dobijemo

$$I_1 R_1 = \frac{228}{2 \cdot 7,4} = 15,4 \quad \text{prema tome}$$

$$E_1 = 2080 - 15,4 = 2064 \text{ volt odn.}$$

$$W_1 = \frac{2064 \cdot 10^3}{4,44 \cdot 50 \cdot 795 \cdot 10^3 \cdot 50} = 1170$$

$$I_2 = \frac{15000}{230} \approx 65,5 \text{ A} \quad I_1^2 R_2 = \frac{228}{2} \quad I_2 R_2 = \frac{228}{2 \cdot 65,5} = 1,74 \text{ Volt te}$$

$$E_2 = 230 + 1,74 = 231,74 \approx 232 \text{ Volt prema tome}$$

$$W_2 = \frac{232}{2064} \cdot 1170 \approx 132$$

U prvom približavanju možemo staviti

$$q_1 = \frac{7,4}{0,84} = 8,80 \text{ mm}^2$$

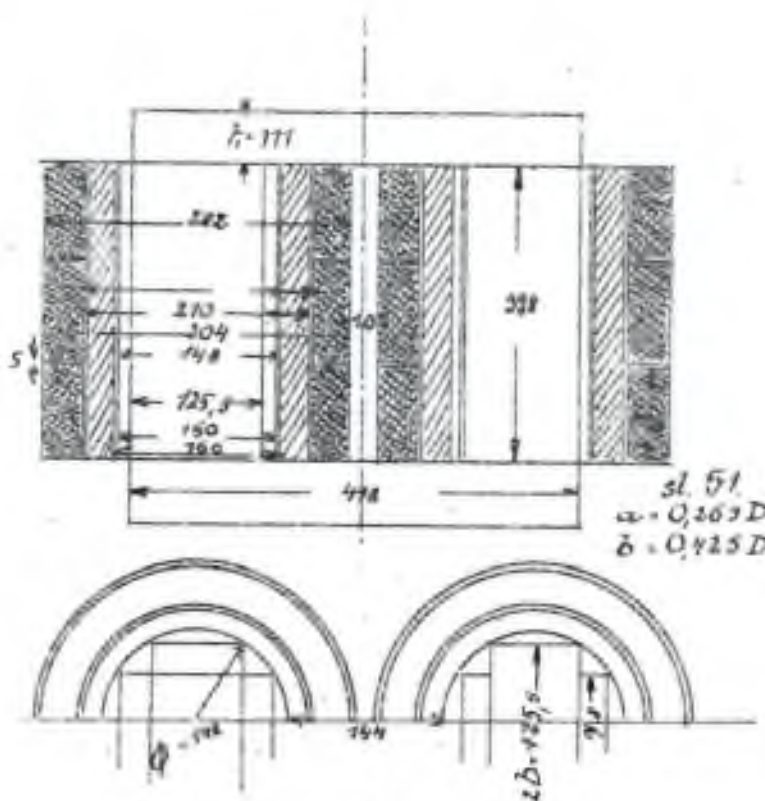
$$q_2 = \frac{65,5}{0,84} = 78 \text{ mm}^2$$

Primarno imamo dakle $d = 3,4$, dva puta omotana žica $d = 4 \text{ mm}$.

Sekundarno uzmemo presjek $2/3 \cdot 13 = 78 \text{ mm}^2$ te spojimo paralelno dvije dvije žice paralelnog presjeka. Izolirani presjek ima onda mjere $4 \times 14 \text{ mm}$.

Na jezgru namotamo najprije svitak niskoga napona i to

na cilindar iz papira. Nutarnji promjer je $148 + 2 = 150 \text{ mm}$ vanjski $D_n = 160 \text{ mm}$. Sl. 51. Pošto dolazi na jednu jezgru radi paralelnoga spoja 132 zavoja kojih svaki troši $\sim 14 \text{ mm}$ možemo motati jedan do drugoga $132 : 20 = 6,6$ = 378 : 14 = 27 zavoja jedan preko drugoga $132 : 27 = 5$ slojeva 27 zavoja troše u visini $27 \cdot 14 = 378 \text{ mm}$. Ostatak na 398 uporabimo za krajne ploče. Visina namo-



taja u radijelnom smjeru je $s_2 = 5 \cdot 4 = 20 \text{ mm}$. Dovršeni svitak omota se još tri puta sa vrpcom iz pamuka, onda namaže šebojem, tako da postane visina još za 2 mm veća. Prema tome je vanjski promjer toga svitka $160 + 20 + 2/2 = 204$

Svitak visokog napona motamo na cilindar iz prespuna debljine 4 mm, unutarnji promjer 210 mm, vanjski $210 + 8 = 218$ mm. Napon susjednih žica ne smije biti veći od 100 - 150 Volt. Ako nebi razdijelili svitak visokoga napona, mogli bismo položiti 75 zavoja jedan do drugoga, da ostane 98 mm za izolaciju. Nad žicu 1 dolazi prema tome žica 150. Transformator ima 2080 Volt napona te 1170 zavoja, prema tome odgovara svakome zavoju napon 1,75 Volt. Razlika između 1 te 150 bila bi $1,75 \times 150 = 263$ Volt, što nije dozvoljeno.

Dijelimo 100 sa 1,75 dobijemo 57. Prema tome ima 57mi zavoj nad prvim razliku u naponu od ≈ 100 Volt. Prema tome nemožemo položiti veći broj zavoja jednog do drugog od 28. Mi odaberemo 25 te razdijelimo zavoje u tri svitka na jednoj jezgri 75 zavoja. Broj slojeva je $\frac{1170}{2} : 75 = 8$. Debljina $a_s = 4,8 = 32$ mm. Među svitke položimo papir 5 mm te izoliramo na krajevima naprama željezu sa 44 mm jakim pločama, koje se sastavi iz više pojedinih pločica

Jarmi imaju pravokutni presjek od 122,5 cm, visina jarma slijedi iz $0,9 \times 12,55 = 122,5$ $\times \frac{122,5}{0,9 \cdot 12,55} = 11,1$ cm. Težina željeza sastoji se iz jezgre i jarma. Težina obiju jezgara je $2 \cdot \frac{122,5 \cdot 39,8 \cdot 7,7}{1000} = 75$ kg, obiju jarama $\frac{2 \cdot 122,5 \cdot 41,8 \cdot 7,7}{1000} = 79$ kg, prema tome $G_s = 75 + 79 = 154$ kg. Izračunali smo bili po tabli 7/ 152 kg. Razlika leži u tome, da smo bili odabrali faktor napune f_s za jezgre i jaram jednak, što se u istinu ne slaže.

Gubitci. Vanjski promjer cilindra iz para za svitak niskoga napona bio je 160 mm, visina 20 mm, prema tome srednji promjer 180 mm, srednja dužina zavoja $\frac{\pi \cdot 180}{1000} = 0,565$ m. Sekundarno na

obim jezgarama namotana žica je $L_s = 0,565 \cdot 132 = 75$ mm

Težina $\frac{78 \cdot 75 \cdot 8,9}{1000} = 52$ kg otpor $R_s = \frac{0,023 \cdot 75}{78} = 0,0222 \Omega$ /c = 0,023, da uračunamo vrtložne struje u bakru /.

Gubitak zbog topline prema tome $65,5^{\circ} \cdot 0,0222 = 95$ vata. Vanjski promjer svitka iz papira za visoki napon bio je 218 mm debljina namotaja $a_1 = 32$ mm, srednji promjer $218 + 32 = 250$, srednja dužina $0,25 \cdot \pi = 0,785$ m. Namotana žica $L_1 = 0,785 \cdot 1170 = 920$ m. Težina $\frac{3,4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 920 \cdot 8,9}{1000} = 74$ kg $R_1 = \frac{0,023 \cdot 920}{0,1} = 2,32 \Omega$

$$\gamma_1^2 R_1 = 7,40^2 \cdot 2,32 = 126 \text{ vata}$$

$$\text{faktor napune } f_k = \frac{q_1 W_1 + q_2 W_2}{f_1 L} = \frac{9,1 \cdot 1170 + 78 \cdot 132}{144 \cdot 393} = 0,365.$$

Gubitci primarne i sekundarne strane nisu jednaki. Da ih izjednačimo stavimo

$$\gamma_1^2 R_1 = 114 \quad \text{te} \quad \gamma_2^2 R_2 = 114 \text{ vata}$$

$$\text{prema tome } R_1 = \frac{114}{7,44^2} = 2,07 \Omega \quad R_2 = \frac{114}{65,5^2} = 0,0267$$

Dužine će se samo veoma malo promijeniti, prema tome uzmemo

$L_1 = 920$ m $L_2 = 75$ m kao prije te dobijemo

$$q_1 = \frac{0,023 \cdot 920}{2,07} = 10,2 \text{ mm}^2 \quad d_1 = 3,6 \text{ mm} \text{ omotana } 4,1 \text{ mm}$$

$$q_2 = \frac{0,023 \cdot 75}{0,0267} = 64,5 \text{ mm}^2 \text{ za presjek odaberemo } q_2 = 2/3 \cdot 11/ \text{ odn.}$$

sa izolacijom 4.12 mm

$$\text{Onda je } \mathcal{I}_1 = \frac{7,4}{10,2} = 0,720 \text{ A} \quad \mathcal{I}_2 = \frac{65,5}{66} = 0,99 \text{ Amp.}$$

Ugrijanje. Površina hlađenja je

$$\text{Plašt svitka } 2 \cdot 28,2 \cdot \pi \cdot 33 = 5800 \text{ cm}^2$$

$$\text{Čeone ploče/prsteni} / 4 / \frac{\pi}{4} 28,2^2 - \frac{\pi}{4} 14,8^2 / = 1812 \text{ "}$$

$$\text{Pov. jarma } 2/12,6 \cdot 41,8 + 2 \cdot 11,1 \cdot 41,8 + 2 \cdot 11,1 \cdot 12,9 / = 3469 \text{ "}$$

$$\bullet \text{ jezgra } 8 \cdot 39,8 = 2 \cdot 8 \cdot 6,27 \cdot 39,8 / \quad \text{Ukupno } \frac{4000}{15081} \text{ cm}^2$$

Gubitci su: $N_1 = 228$ vata $N_2 = 1,41 \cdot 155 = 219$ vata Suma 447

Specifična površina $O' = \frac{15081}{447} = 34 \text{ cm}^2$ što daje po tabli 2./

u zatvorenoj kutiji bez ulja uzvišenje za $\sim 58^{\circ}$, sa uljem 44° C

Rasipanje.

Po jedn 82 je percentualno rasipanje.

$$E_{\frac{3}{2}} = 25 \frac{\omega}{a} w_1 \frac{L_1}{P_1} \cdot \frac{d_m}{L_2} \cdot d \cdot 10^{-6} \text{ Kod toga je}$$

$$\sim = 50, \quad a \approx 2, \quad w_2 = 132, \quad \gamma_2 = 65,5 \text{ Amp} \quad P_2 = 230$$

$$d_{\text{po slici 51}} = 21,4 \text{ cm} \quad \zeta_2 \text{ po slici 32} = 42,8 \text{ cm}$$

$$d_{\text{po slici 51}} = d + \frac{d_1 + d_2}{3} = 0,7 + \frac{3,2 + 2}{3} = 2,4$$

$$R_{\text{po slici 51}} = 25 \cdot \frac{50}{2} \cdot 132 \cdot \frac{65,5}{230} \cdot \frac{21,4}{42,8} \cdot 2,4 \cdot 10^{-4} = 4,1 \%$$

Percentualno rasipanje prema tome je 4,1 % sek-napona P_2

Da odredimo otpadanje napona uzmemo jednostavni Kapp-ov diagram po slici 22 samo da pada ohmovo otpadanje zajedno sa smjerom P_2 , jer smo zamislili neinduktivni predmet. Prema tome vrijedi slika 24.

Otpadanje napona.

U slici 52 je.

$$OD' = P_2 = 230 \text{ Volti}$$

$D'F = \gamma_2 / R_2 + R_2' / g$ gdje smo reducirali otpor R_2' na sekundarni napon 230 Volt pa prema tome.

$$R_2' = R_2 / \frac{w_2}{w_1} = 2,07 \sqrt{\frac{132}{1170}} = 0,027 \Omega$$

$$D'F = 65,5 / 0,0267 + 0,027 / \approx 3,5 \text{ Volt}$$

$$FL = 0,41 \cdot 230 \approx 9,4 \text{ Volt}$$

$$\text{Reducirani primarni napon } P' = \frac{w_2}{w_1} P_2 = OL = \sqrt{233,5^2 + 9,4^2} \approx 233,8$$

$$\text{Primarni napon } P_1 \text{ je } 233,8 \cdot \frac{1170}{132} = 2071 \text{ Volt}$$

Uzmemo obrnuto $P_2 = 2080$ Volt bila bi primarna reducirana napetost stezaljka 2080 $\frac{132}{1170} = 235 \text{ Volt}$ prema tome

$$OF = 235 \text{ Volt te } P_1 = OF - D'F = 235 - 3,2 = 231,8 \text{ Volt}$$

Struja neopterećenog kreta.

Struja magnetiziranja slijedi iz jednačbe 97a-VIII

$$H_1 L_1 + H_2 L_2 = 0,4 \pi w_2 \gamma_2 / 2 \text{ / zakon proticanja/}$$

$$L_1 = 6500. \text{ Ovoj indukciji pripada } \gamma_1 = 1,6$$

$$L_2 = 2l + 1/D + f_1 / 2 + 2h = 2,39,8 + 14,8 + 14,4/2 + 2 \cdot 11,1 = 162,2 \text{ cm}$$

$$L_1 = L_2 = L_3 = 6500 \quad L_2 = 4 \cdot 0,005 = 0,02 \text{ cm Za raspor računamo}$$

0,005 cm ,vidi sub d/ Iz ovih podataka slijedi

$$\gamma_2 = \frac{1,6 \cdot 160,2 + 6500 \cdot 0,02}{0,4 \pi \cdot 1170 \cdot \sqrt{2}} = 0,103 \text{ Amp.}$$

Po jedn. 110 je

$$y_n = \frac{N_e}{P_r} = \frac{214}{2080} = 0,103 \text{ Amp.}$$

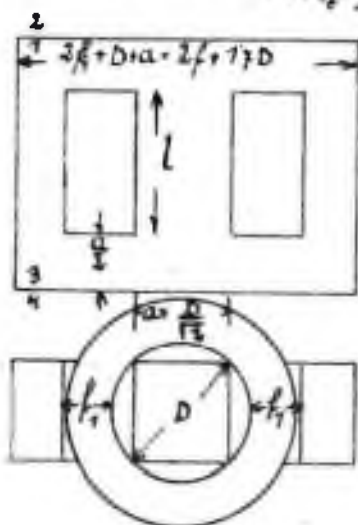
Prema tome po jedn. 109 neopterećena struja

$$y_o = \sqrt{0,186^2 + 0,103^2} = 0,212 \text{ Amp.}$$

/ Ogrnuti transformatori.

Takodjer vrijedi i za ove jednadžba 140 t.j.

$$D^2 L = \frac{0,57 \cdot 10^6 \cdot N}{f_e \cdot f_n} = R \quad /140/$$



Zamislamo li kvadratični presjek sa cilindričnim svitkom. Onda vrijedi

$$f_e = \frac{0,9 \cdot a^2}{\pi D^2} = \frac{0,9 \cdot l^2 D^2}{\pi D^2} = 0,575 \quad /155/$$

$$f_n = \frac{Q_e \cdot w_e + Q_n \cdot w_n}{f_n \cdot L} = \frac{Q_e}{f_n \cdot L} \quad /156/$$

Težina transformatora je slika 53.

$$G_e = 2 \left\{ Q_e \cdot l + \frac{Q_e}{2} (2f_n + 1,7 D) \right\} \frac{7,7}{1000} =$$

$$= \frac{10}{4} f_e \left\{ 2l + 2f_n + 1,7 D \right\} \frac{7,7}{1000}$$

$$G_e = 0,012 D^2 / l + f_n + 0,85 D / f_e \quad /157/$$

Težina bakra je

$$G_k = \left\{ \frac{\pi}{4} (D + 2f_n)^2 - \frac{\pi}{4} D^2 \right\} \frac{1}{4} \frac{L \cdot 8,9}{10^3} = \frac{\pi}{4} \frac{8,9}{10^3} L \frac{1}{4} \left\{ 4Df_n + f_n^2 \right\} = \frac{\pi \cdot 8,9}{10^3} L f_n (D + f_n) \frac{1}{4}$$

$$G_k = 0,028 \cdot f_n \cdot L \cdot f_n / D + f_n / \quad /158/$$

Stavimo li opet $\frac{G_e}{G_k} = \beta$ onda je

$$\beta = \frac{0,012 \cdot f_e / l - f_n + 0,85 D / D^2}{0,028 f_n \cdot L \cdot f_n / D + f_n /} \quad /159/$$

$$\text{ili } D^2 / l + f_n + 0,85 D = \frac{0,028}{0,012} \frac{f_n}{f_e} L f_n / D + f_n / \quad \text{Stavimo}$$

$$S = \beta \frac{f_n}{f_e} 2,34 \quad /160/$$

$$\text{dobijemo } D^2 / l + f_n + 0,85 D = S L f_n / D + f_n / \quad /161/$$

Iz jedn. 140 slijedi

$$f_n = \frac{R}{D^2 L} \quad /162/$$

prema tome

$$D^2 / l + \frac{R}{D^2 L} + 0,85 D = S L \frac{R}{D^2 L} / D + \frac{R}{D^2 L} /$$

$$D^4 / l^2 + \frac{R}{D^2} + 0,85 D l / = SR / D l + \frac{R}{D^2} /$$

$$l^2 - D l / \frac{SR}{D^4} - 0,85 / = \frac{SR^2}{D^6} - \frac{R}{D^2} = \frac{R}{D^2} \left(\frac{SR}{D^4} - 1 \right) /$$

$$l = \frac{D}{2} \left(\frac{SR}{D^4} - 0,85 \right) + \sqrt{\frac{D^2}{4} \left(\frac{SR}{D^4} - 0,85 \right)^2 + D^2 \frac{RS}{D^6} \cdot \frac{1}{S} \left(\frac{SR}{D^4} - 1 \right)} \text{ te kon.}$$

$$l = \frac{D}{2} \left\{ \frac{SR}{D^4} - 0,85 + \sqrt{\left(\frac{SR}{D^4} - 0,85 \right)^2 + 4 \frac{RS}{D^2} \cdot \frac{1}{S} \left(\frac{SR}{D^4} - 1 \right)} \right\} \quad /163/$$

Kao primjer uzmemo transformator primjera sub K, kojega računamo kao ogrnuti transformator kod istih pretpostavka.

Primjer /vidi sub K podatke /

R ostane isto t.j. $0,126 \cdot 10^6$

$$S = \beta \cdot 2,34 \frac{f}{f_1} = 1,2 \frac{0,35 \cdot 2,34}{0,575} = 1,71$$

$$RS = 0,216 \cdot 10^6 = 21,6 \cdot 10^4$$

Tabela 8.

$K \cdot \frac{RS}{D^2} = \frac{21,6 \cdot 10^4}{D^2}$		1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3
$D^4 = \frac{21,6 \cdot 10^4}{K}$		$21,6 \cdot 10^4$	$18 \cdot 10^4$	$15,4 \cdot 10^4$	$13,5 \cdot 10^4$	$12 \cdot 10^4$	$10,2 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^4$
D^2		465	425	392	368	346	328	269
D		21,6	20,5	19,8	19,2	18,6	18,1	16,4
$Q_e = 0,575 D^2 \frac{\pi}{4}$		210	192	176	166	156	148	122
$l^2 = \frac{R}{D^2} = \frac{0,126 \cdot 10^6}{D^2}$		271	296	322	343	365	385	470
l		3,24	12,0	18,2	23,2	28,0	32,4	53
$R_1 = \frac{R}{D^2} \cdot l$		83,7	246	177	148	13	11,9	8,85
$Q_k = 0,012 \cdot 0,575 D^2 (l + f_1 + 0,15 D)$	kg	537	158	143	137	136	135	139
$g_k = \frac{Q_e}{f_2}$	kg	280	137,5	119	114	113	112	116
$N_k = 1,41 g_k$	$vata$	478	223	202	193	192	190	196
$N_k = 1,8 g_k$	"	505	237	216	206	204	202	210
$\eta = \frac{25000}{15000 + N_k + N_k}$		0,94	0,972	0,974	0,975	0,975	0,975	0,974

U ovom primjeru ima se odabrati $D = 18,1 \text{ cm}$ $f_1 = 11,9 \text{ cm}$

$$l = 32,4 \text{ cm} \quad a = \frac{D}{\sqrt{2}} = 12,85 \text{ cm} \quad 2f_1 + 1,7 D = 41,9 \text{ cm.}$$

Površina za hladjenje je

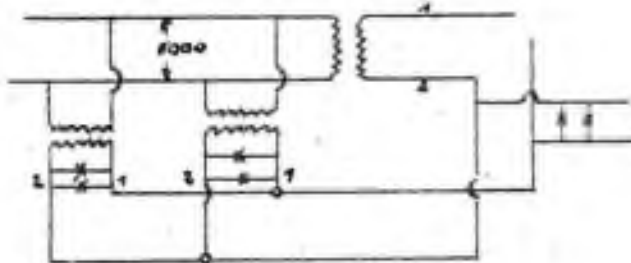
Plast vanjskog svitka $\frac{D+2\delta}{\pi} l = \frac{18,1+2 \cdot 11,9}{\pi} -$	4250	cm ²
Čeone ploštine/kolut/ $2 \cdot \frac{\pi}{4} 41,9 - \frac{\pi}{4} \cdot 18,1^2 /$	2228	"
Površina jarma/ploštine 1 + 3 dva puta + gornje ploštine 2 i 4 -sl 53-4.12.85.54,6 + 4 $\frac{12,85^2}{2}$	3140	"
Površina jezgre 4.12.85.32,4	1640	"
Svega	11258	cm ²

Specifična površina Q' prema tome $\frac{11258}{392} = 28,8$ Cm² Povišenje temperature po tabeli 2 46° odn. 63° C

Odabrane mjere bi prema tome odgovarale. Udešenje namotaja kao u primjeru sub K.

9./ Spojevi jednofaznih transformatora.

Redovito spoji se transformatore primarno i sekundarno paralelno sl.54. Vodove sa momentano istim predznakom može se još međusobno spojiti.

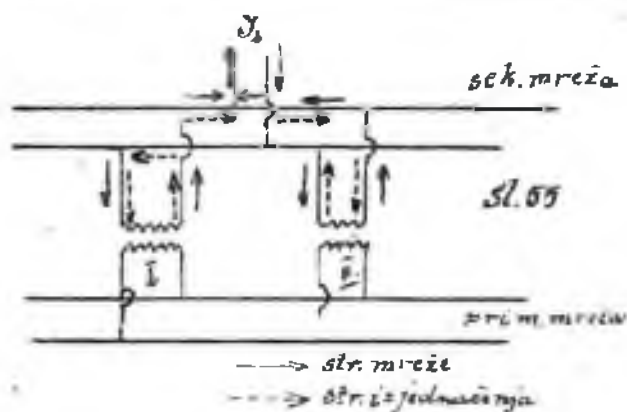


sl.54.

Spoji li se transformatore u seriji na pr. za rasvjetu veoma dugih cesta i t.d., onda se spoji primarne strane seriji vidi sl.39- U tom slučaju mora se transformatore za ove svrhe osobito izraču-

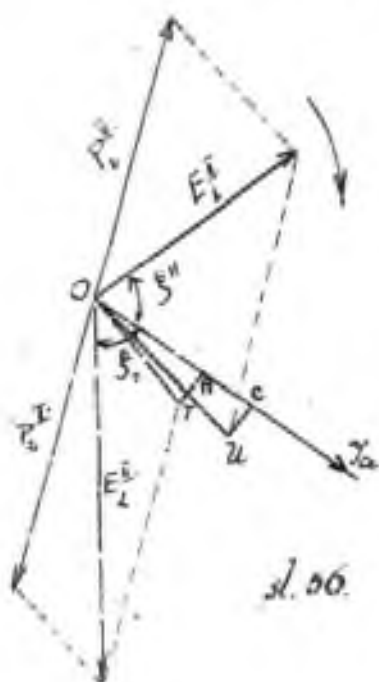
nati. /vidi primjer sub 7 -/ da se kod jednoga sekundarnoga kruga nema prevelikog porasta napona primarnih stezaljka.

Spoji li se primarne svitke paralelno, mogu sekundarne ili svaka zase hraniti mjesta trošenja ili su sekundarne strane takodjer paralelno spojene na zajedničku sekundarnu mrežu. U prvom slučaju mogu sekundarne el.m. sile biti koje god veličine, u drugom moraju po veličini i fazi biti jednake, inače se dobije struje izjednačenja, koje naprave iz nejednakih el.m. sila jednake napone stezaljka. Struja izjednačenja - sl. 55 - teče od transformatora veće el.m. sile - u slici transformator I kao od generatora te hrani transformator manje el.m. sile / ovdje trans-



formator II / Smjer struja je označen. U krugu struje izjednačenja su el. m. sile transformatora spojene jedna proti druge. Obzorom na mrežu spojene su paralelno t.j. u istom smjeru.

Najprije posmatramo slučaj neopterećene sekundarne mreže, t.j. mreže bez struje. Kod toga si zamislimo, da su sekundarnim svitcima naših transformatora I i II inducirane el. m. sile E_1^I te E_2^I različne veličine te različenog smjera. SL 56



Ako P_2 napon sekundarne mreže, imadu transformatori isti napon stezaljka P_2 . Struja izjednačenja ima prema tome jakost i smjer koji je takav, da napravi iz različnih el. m. sila E_2^I te E_2^F isti napon stezaljka.

Ako je E_2^F veće od E_2^I leži struja I_a za prvim za kut ξ' a pred drugim za kut ξ'' . U svakom transformatoru razdijeli se od zajedničkog polja inducirana el. m. sila u dvije komponente, to su otpadanje te sekundarni napon

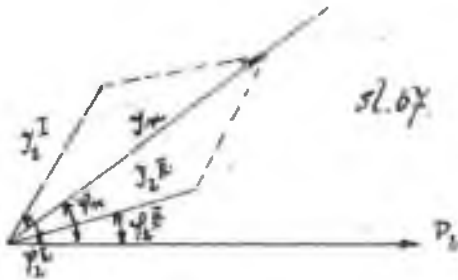
stezaljka. E_2^F razdijeli se u P_2^F te OT . OT je totalno otpadanje u ovom sekundarnom namotaju te sastoji iz ohmovog otpadanja OA u istom smjeru kao struja izjednačenja I_a te induktivnog otpadanja /napon rasipanja/ OB okomito na I_a .

U drugom transformatoru razdijeli se E_2^F u P_2^F te čitavo otpadanje OU , koje opet sastoji iz ohmovog otpadanja OC te napona rasipanja CU . Iz diagrama doznajemo, da može biti struja izjednačenja za neopterećeni kret samo onda jednaka nuli, ako su E_2^I te E_2^F indentični sa P_2 . Ako su transformatori takodjer primarno spojeni na zajednički napon P_1 , onda je prije navedene uvjet ispunjen, ako je prenosni odnošaj jednak, ako su jednaka otpadanja

radi ohmovog otpora i induktivna otpadanja u primarnom svičku.
Ako se to ne slaže, imamo takodjer kod istog napona P , različne
primarne el.m. sile E_1' te E_1'' , prema tome nejednaka polja te ne-
jednake el.m. sile E_2' te E_2'' .

Opteretimo li sekundarnu mrežu sa strujom 2 onda nije

E_2 odn. E_2' identično sa P_2 . Obzirom na mrežu su naponi stezaljka P_2 obiju transformatora identični. Prema tome imamo u diagramu Sl.57 P_2 samo jedan put u opreci sa diagramom sl. 56, gdje smo imali jednake napone P_2 , ali u smjeru suprotne.



Struja mreže sa $\frac{1}{m}$ sa fazom $\frac{1}{n}$ razdijeli se u grane $\frac{1}{2}$ te $\frac{1}{2}$ sa fazama $\frac{1}{2}$ te $\frac{1}{2}$. Ove struje odnose se obrnuto kao prividni otpori t.j.

$$Y_2^f: Y_2^{\bar{f}} = \sqrt{R_2^{\bar{f}^2} + (\omega L_2^{\bar{f}})^2} : \sqrt{R_2^{f^2} + (\omega L_2^f)^2} \quad /164/$$

Ako je razmjer obiju transformatora obzirom na djelovanje 1:5, moraju se i prividni otpori sek. namotaja odnositi kao 5:1, ako je struja pravilno razdijeljena. Ali to još nije dostatno. Imamo naime pravilni razmjer, može algebarska suma biti veća od struje mreže γ_n . Onda je totalni gubitak topline struje u obim namotajima $R_2 \bar{\gamma}_2^2 + R_1 \bar{\gamma}_1^2$ veći nego u slučaju $\gamma_0^2 + \gamma_0^2 = \gamma_n$. Totalna je toplina minimum samo onda ako je ispunjen uvjet

$$y_1^L + y_2^L = y_n \quad /166/$$

To se slaže, ako nemamo faznog kuta medju pojedinim strujama te strujom u mreži t.j.

$$Y_0^{\bar{I}} = Y_0^{\bar{R}} = Y_n \quad \text{ili} \quad \frac{\omega L_{\bar{I}}}{R_{\bar{I}}} = \frac{\omega L_{\bar{R}}}{R_{\bar{R}}} \quad /166/$$

Jedn. 164 - 166 moraju biti ispunjene, ako je razdioba opterećenja pravilna. Ove jednadžbe možemo združiti pomoću otpadanja napona. Iz jedn. 164 slijedi

$$1/R_2^I \cdot y_2^I / z^2 + 1/\omega L_2^I \cdot y_2^I / z^2 = 1/R_2^{\bar{I}} \cdot y_2^{\bar{I}} / z^2 + 1/\omega L_2^{\bar{I}} \cdot y_2^{\bar{I}} / z^2$$

Množimo li jedn. 166 sa jakostju struje dobijemo

$$\frac{\omega L_0^I J_c^I}{R^I J^I} = \frac{\omega L_0^{\bar{I}} J_c^{\bar{I}}}{R^{\bar{I}} J^{\bar{I}}} \quad \text{prema tome.}$$

Uслови su ispunjeni ako vrijedi

$$R_2^I J_2^I = R_2^E J_2^E$$

$$\omega L_2^I J_2^I = \omega L_2^E J_2^E$$

/167/

Ohmovo te induktivno otpadanje u obim transformatorima mora biti međusobno jednako.

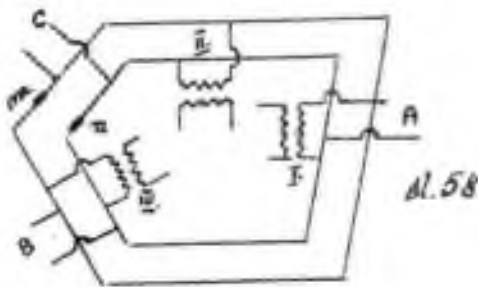
Struja izjednačenja može nastati takodjer onda, ako prenosni odnošaj u obim transformatorima nije jednak ili ako nemamo jednakog otpadanja u primarnom namotaju. Ako hoćemo u svakom pogledu besprikorni pogon u paralelnom spoju moraju biti ispunjeni uslovi.

Jednaki prenosni odnošaj, jednako ohmovo, jednako induktivno otpadanje u primarnim i sekundarnim namotajima. Iz toga uvidimo da nije dostatan jednaki napon kratkoga spoja i jednaki prenosni odnošaj.

Prije navedeni uslovi su samo onda ispunjeni, ako se ima transformatore jednake konstrukcije te iste veličine. Ako je konstrukcija ista a veličina različita, onda ima redovito veći transformator manje otpadanje. Ako su razlike bitne, mora se, da se spriječiti jaku struju izjednačenja te da se postigne pravilni razmjer u jakostima struje, u sekundarni krug među obe transformatore ukopčati ili ohmov otpor ili induktivni otpor /i to u krug transformatora sa manjim otpadanjem/. Hoće li se dobiti najmanju toplinu struje, ne može se odatrati ili ohmov otpor ili induktivni, u tom se slučaju mora od svakog toliko uzeti da se izjednači u obim transformatorima jedno i drugo otpadanje. Isti uvjeti vrijede takodjer za paralelno spajanje svitka jednog te istog transformatora.

Nešto drugačiji su razmjeri, ako nisu paralelno spojeni transformatori jeda do drugoga, nego na pr. razdijeljeni u mrežu -el. 58. Onda imamo među pojedinim transformatorima dulje vodove. U tom se slučaju umanje struje izjednačenja radi otpora vodova, opterećenje pojedinih transformatora nije ovieno samo o prije navedenim uslovima, nego takodjer o jakosti struje u najbližem mjestu trošenja. Vidi li se da postane opterećenje

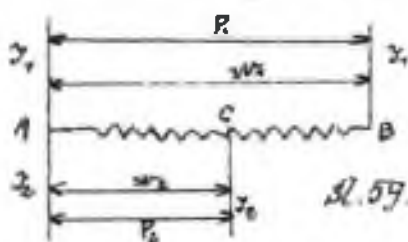
jednog transformatora preveliko, može se ovu nepriliku odstraniti time, da se ukopča medju kružni vod i stezaljke ohmov ili induktivni otpor. Ako je na pr. transformator II. premalo opterećen obzirom na druge i to još manje nego najbliže mjesto traženja, može se transformator III. odtereti ako se ukopča na mjestima m te n otpor u kružni vod/ohmov ili induktivni/ Više puta je dostatna zamjena sa transformatorom druge veličine.



10. / Transformatori u štednom spoju /Spartransformatoren/

Ove transformatore zove se takodjer autotransformatorima. Imadu samo jedan

jedini namotaj -sl.59-. Označuje li w_1 broj zavoja te narinemo



stezaljkama napon P_1 , otpada na svaki zavoj napetost $\frac{P_1}{w_1}$. Spojimo točke A i C sa sekundarnim krugom, i ako leži w_2 zavoja izmedju A i C onda imamo u tom krugu napon P_2 koji je jednak

$$P_2 = w_2 \cdot \frac{P_1}{w_1} \quad /168/$$

Iz ove jednadžbe slijedi kao za obični transformator-bez obzira na otpadanje

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{P_2}{P_1} \quad /169/$$

Ako su I_1 te I_2 jakosti struje opterećenja, mora biti po zakonu uzdržavanja radnje

$$P_1 I_1 \cos \varphi_1 = N_p = P_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad /170/$$

ako označimo sa N_p totalne gubitke. Zanimarimo ove te struju magnetiziranja onda je $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2$ prema tome $P_1 I_1 = P_2 I_2$ odn.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1} \quad \text{ili} \quad I_1 w_1 = I_2 w_2 \quad /171/$$

To su iste jednadžbe koje smo imali za obične transformatore pod istim uslovima. Da vrijedi jednadžba 171 mora biti fazni kut medju strujama 180° t.j. struje su u svakom momentu suprotne. Struja I_1 teče izmedju A i B, struja I_2 izmedju A i C. Prema tome

je faktična, rezultirajuća struja I_2 u w_2 zavojima između A i C

$$I_2 = I_1 - I \quad /172/$$

ili pomoću prije navedenih jednažba

$$I_2 = \frac{w_1}{w_2} I_1 - I = I \left(\frac{w_1}{w_2} - 1 \right) \quad /173/$$

Ako je na pr. $w_1 = 150$, $w_2 = 30$, $E_1 = 300$ Volt, $I_1 = 10$ A onda je $E_2 = 300 \frac{30}{150} = 60$ Volt, $I = 10 \frac{30}{150} = 2$ Amp $I_2 = 10 - 2 = 8$ Amp.

21/I. Kod običnih transformatora je struja u sekundarnim zavojima identična sa strujom u sekundarnom krugu. Označimo li ovu struju sa I_{dob} u opreci k autotransformatoru onda vrijedi

$$I_{\text{dob}} = I \frac{w_1}{w_2} \quad /174/$$

Obzirom na obični transformator istog broja zavoja, iste napetosti te iste vjenjske struje vidi se, da je struja I_2 u w_2 zavojima manja od I_{dob} . Prema tome je gubitak u zavojima manji, i to tim manji, čim je manja struja I_2 . Autotransformator je napram običnome tim ugodniji, /istoga djelovanja/ čim je manja struja I_2 naprama I_{dob} . Tvorimo razmjer

$$\frac{I_2}{I_{\text{dob}}} = 1 - \frac{w_2}{w_1} = 1 - \frac{U_2}{U_1} \quad /175/$$

onda vidimo u koliko je autotransformator ugodniji nego obični. On je tim ugodniji, čim bliže leži U_2 do U_1 . Čim je veća razlika, tim manje su prištede.

Ako je P visoki napon, onda se nemože upotrijebiti autotransformator, jer je sekundarni krug neposredno spojen sa U_1 prema tome ima isti napon naprama zemlji bez razlike kako god maleno se odabere U_2 .

Dalje se upozna, da se pretvori samo djelovanje izmjenične struje $U_2 I_2$, ali iz mreže uzme se direktno $U_2 I$.

Predano djelovanje ili prolazno djelovanje /Durchgangsleistung/ $N_{w_2} = U_2 I$ je prema tome veće nego vlastito djelovanje /Eigenleistung/ $N_{w_2} = U_2 I_2$. Promjena djelovanja je

$$n_w = \frac{N_{w_2}}{N_{w_2}} = \frac{I}{I_2} = \frac{I}{I - I} = \frac{1}{1 - \frac{I}{I}} \quad /176/$$

Jer smo imali $\frac{I_2}{I} = \frac{w_2}{w_1} \approx \frac{U_2}{U_1}$ dobijemo

$$N_2 = \frac{1}{1 - \frac{W_2}{W_1}} = \frac{1}{1 - \frac{Q_2}{Q_1}} = \frac{N_{w_2}}{N_{w_2}'} \quad /177/$$

$$\text{ili } N_{w_2}' = N_{w_2} / 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = N_{w_1} \cdot \eta / 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad /178/$$

Pošli smo od pretpostavke, da je narinuti napon $\overline{Q_1}$ veći nego oduzeti $\overline{Q_2}$. Ali isto vrijedi i ako je $\overline{Q_2}$ veće od $\overline{Q_1}$. Ako je $\overline{Q_2}$ dovedeni napon, prouzroči u w_2 zavojima odgovarajuće polje u željezu. Leže li zavoji između B i C na istoj jezgri, ima svaki zavoj istu el.m. silu kao zavoji između A i C. Napon $\overline{Q_2}$ se povisi između B i C na vrijednost $\overline{Q_1}$.

To dolazi u obzir ako se hoće na pr. odstraniti otpadanje napona u dugačkom i dalekom vodu. /Booster-transf. Kapp /
Tako bi bilo na pr. potrebno kod prelaznog djelovanja $N_{w_2} = 1000 \text{ KW}$ za povišenje napona od $\overline{Q_1}$ 14500 Volt na kraju voda na $\overline{Q_2}$ 15000 Volt transformator sa vlastitim djelovanjem

$$N_{w_2}' = 1000 / 1 - \frac{14500}{15000} = \sim 35 \text{ KW.}$$

Proračun za prolazno djelovanje N_{w_2} K vata te prenosni odnošaj $u = \frac{\overline{Q_1}}{\overline{Q_2}}$ izvrši se prema tome tako, da bi se moralo izračunati transformator sa razdijeljenim namotajem za djelovanje N_{w_2}' te prenosni odnošaj $u' = \frac{\overline{Q_1} - \overline{Q_2}}{\overline{Q_2}} = u - 1$

Slike 60 te 61 prikazuju spoj za trofaznu

struju u zvijezdi odnosno trokutu.

Priključiti se možemo u točkama U

V W odn. u v w ili između U te u.

V te v, W te w. Leži li u u sredi

dini između U i V, odnose se naponi

kao 2:1. Veći razmjer se kod ovoga

spoja nemože postići. Sl. 62 pri-

kazuje nam autotransformator kao

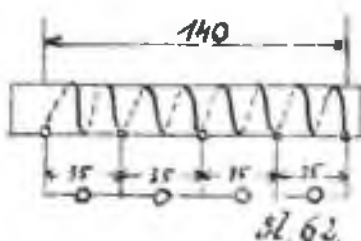
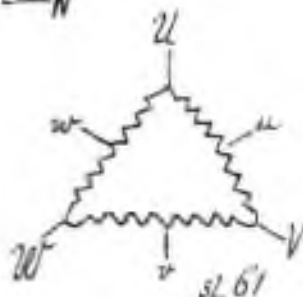
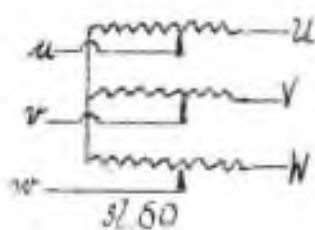
djelitelj napona. Ovdje se može napraviti

na pr. veći broj u seriji spojenih žaru-

lja međusobno neovisne. Žare li sve ža-

rulje pravilno, onda teče kroz transfor-

mator samo struja magnetiziranja, koja je



veoma malema, žarulje dobe struju direktno, na pr. 10 Amp. Žari li samo jedna, mora biti 140. $\gamma = 10.35$, prema tome struja magnetiziranja $\gamma = \frac{350}{140} = 2.5$ Amp. Kroz svitak žarulje koja žari, teče struja

$$10 - 2.5 = 7.5 \text{ Amp.}$$



11. / Transformatori za regulaciju.

Autotransformatore napravi se više puta tako, da ih se mo-

že regulirati. Zavoje između B i C spoji se

sa kontaktima sl. 63, na kojima brusi poluga H.

Ako poluga leži na desnoj strani, onda je

$P_1 = \sigma_1$. Najveću razliku imamo, ako leži poluga

na lijevoj strani. Poluga H nesmije ležati

dulje vremena na na dvima kontaktima, jer bi u tom slučaju zavo-

ji između ovih kontakta bili u kratkom spoju, struja je prejak,

izolacija izgori. Poviše-

nje napona u dovodu sl. 64-

za određeni iznos K /do-

vatni napon/ može se pos-

tići dodatnim transforma-

torom. To je obični trans-

formator, kojega sekundarni namotaj leži u vodu/ spojen u seriji/

primarni na mreži K / paralelni spoj/. Dodatni napon može se na

taj način takodjer regulirati - sl. 65-.

Transformiramo u mreži od visoke na nisku

naprtost ili obrnuto, može se regulacija

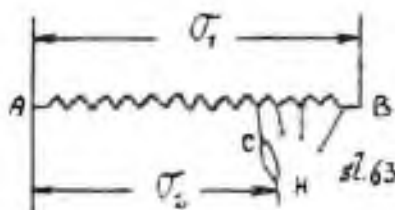
sekundarnoga napona postići takodjer na taj

način, da se poveća ili umanja rasipanje

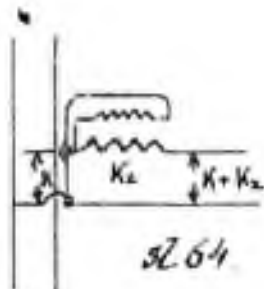
transformatora. Namotaj niskoga napona N_1

-sl. 66.- napravi se tako, da ga se može mi-

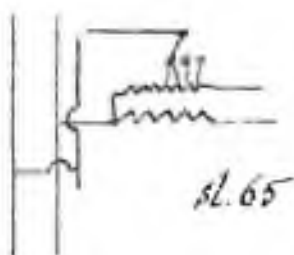
cati. Čim je veća udaljenost od svitka N_1 ,



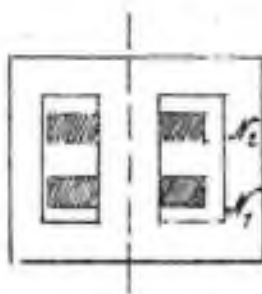
sl. 63



sl. 64



sl. 65

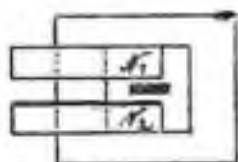


sl. 66

tim je veće rasipanje. Ali ovdje je samo umanjivanje napona moguće, prema tome mora prenosni odnosaj biti odabran tako, da se ima kod najmanje udaljenosti N_1, N_2 najveći potrebni napon. Pomoću pripravnih sprava može se regulacija napraviti i automatična.

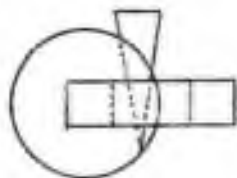
/ Regulacija na konstantnu jakost struje /

Medju obim svitcima imamo odbijanje, jer su struje u fazi udaljene za skoro 180° . Ako jakost struje u svitku N_2 padne, odbijanje je manje, svitak se približi, napon i jakost raste, jer oduzima rasipanje i t.d. Ovdje su sposobni samo ogrnuti transformatori, jer bi inače dobili jednostranske vlačne sile.



sl. 67

Namjesto micanja svitka napravi se ova regulacija tako, da se umetne trokutni lim izmedju oba namotaja. Čim se dalje umetne lim - sl. 67 - tim veći postane poradni sklop M , tim je veće rasipanje.

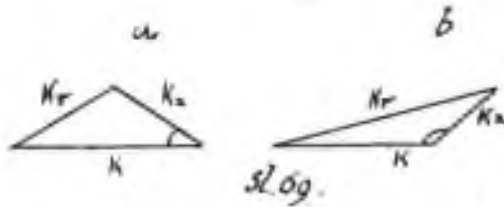


sl. 68

Za regulaciju sposobna je takodjer sljedeća konstrukcija - sl. 68 - Namotaj primarne ili sekundarne strane udesi se tako, da se može medjusobni položaj namotaja promjeniti. Primarni namotaj namotan je na nutarnjem dijelu, koji se može okretati, sekundarni udesi se na vanjski dio /ili obrnuto/. U nacrtanom položaju prolaze crte indukcije kroz

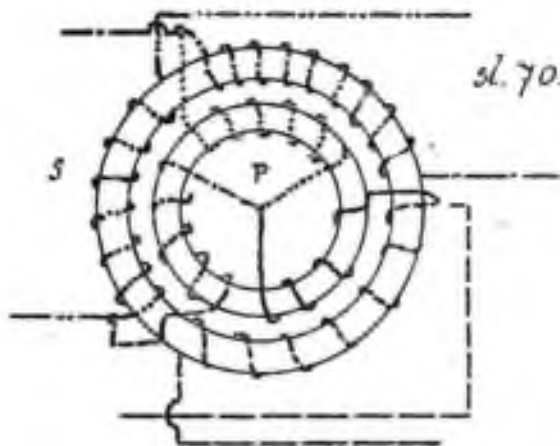
omotku sekundarnoga namotaja. Okrenemo primarni dio, okrenemo takodjer i tok, jedan dio toga toka ne djeluje više. Ako je unutar-nji dio okomit na nacrtani položaj, onda nemamo sekundarne el. sile, jer prolazi čitavi tok paralelno k ravnini namotaja.

Ze regulaciju uzima se takodjer dovatni napon sa promjenljivom fazom - sl. 69 - Slika a. / prikazuje kako umanjuje do-datni napon K_2 zadani K na iznos K_1 , naravno sa sasvim drugim ciljem. Veo zgodno je da se ovom regulacijom promjeni takodjer



rezultirajuća faza. Ova promjena ne igra u opće velikoj ulogu.

Za regulaciju trofazne struje po ovoj metodi uzme se namotaj trofaznog motora sl 70./Dreh-transformator/Primarni dio spojen je paralelno na mrežu te udešen na motor. U mrežu ukopčani sekundarni namotan je na stator.



se promjeni od $0 \div 360^\circ$

U slici smo nacrtali prstenasti namotaj, u praksi odabere se bubnjaasti. Nacrtana sprava sposobna je također za regulaciju faze/Phasenschieber/. U tom se slučaju mota oba namotaja međusobno neovisno za dotični napon kao za obične transformatore. Sekundarni napon je kod svakog položaja rotora skoro jednak primarnom ali faza

se promjeni od $0 \div 360^\circ$. Upotrebi li se za ove svrhe motore trofazne struje sa pravilnim nametajem, rezultira jaki moment vrtnje, kojega se mora protutlakom paralizirati. Ukopča li se dva ovakova motora ukopčeno te spoji tako, da rezultiraju suprotni momenti vrtnje, nije potrebna paralizacija protutlakom. Pošto se motor ne okreće mora se paziti na dobro hladjenje.

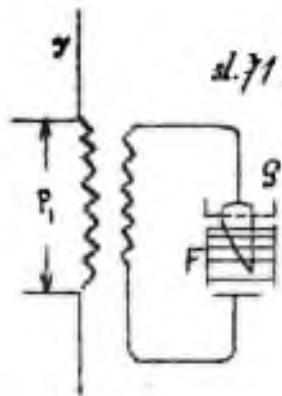
Regulacije po slikama 66 do 70 povećavaju bezvatnu struju mreže za iznos, koji odgovara struji magnetiziranja.

12./ Transformator kao otpor za regulaciju.

Transformator odnosi se kao pritomljivać ohmovog otpora R te induktivnog ωL . Zadnji promjeni se sa teretom. Kratko spojeni transformator bez rasipanja je neinduktivni otpor veličine

$$R_k = R_1 + R_2 \quad /179/$$

Priključimo li takav transformator u vod -sl 71- imamo ohmovo



otpadanje $P = R_x \cdot I$. Spojimo u sekundarni krug otpor iz tekućine, onda je transformator neinduktivno opterećen, prema tome također faza primarne struje i napona U skoro jednaka φ . Transformator prouzroči u vodu samo ohmovo otpadanje. U je primjerno sekundarnome teretu, t.j. položaju elektrode G u tekućini F te veće za napon kratkoga spoja. Izvučemo li sasvim elektrodu, onda nema sekundarna strana tereta, prouzročeno otpadanje je maksimalno $U = I / \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$. U tom je slučaju transformator pritomljač sa željeznom jezgrom. Fazno odmicanje između U te I je: $\tan \varphi = \frac{\omega L}{R}$ najveće. Promjeni li se teret od kratkoga spoja do neopterećenog kreta, raste zagušeni napon od vrijednosti kratkoga spoja do vrijednosti neopterećenog kreta. Otpor je u kratkome spoju neinduktivan, te postaje uvijek bolje induktivan, čim je manji teret sekundarne strane. Od transformatora trošeno djelovanje je $\cos \varphi$.

B. / Transformatori za mjerenje.

Ovi nam služe za transformiranje visokog napona na niski, da se može ukopčati sprave za mjerenja. Prenosni odnosaj je obično takav, da se ima na sekundarnoj strani 100 Volt, tako da se može uporabiti obične instrumente. Baždari li se mjerilo i transformator, može se uzeti za svrhe mjerenja također transformatore, koji nemaju najbolja svojstva.

Hoćemo li prikopčata koje god instrumente ili vatmetre kod kojih vlada proporcionaliteta među primarnim i sekundarnim veličinama te kod kojih mora fazno odmicanje biti što je moguće manje, mora se uzeti i transformatore sa najbiljim svojstvima t.j. najbolji materijal, dostatne mjere, nikakvi raspori. Proračun je isti kao za transformatore sa malenim teretom ili bez tereta. A da se umanji upliv promjene tereta, odabere se visoku indukciju $> 10000 \div 14000$ Gauss /

Za $\sqrt{25} = 50$ je opterećenje pojedinih mjerila.

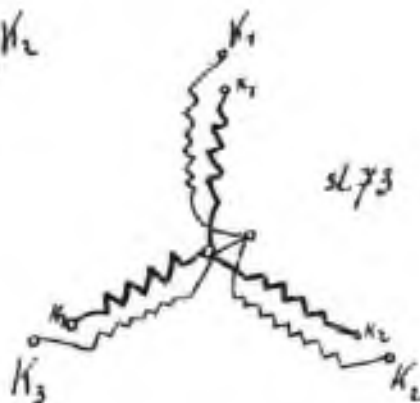
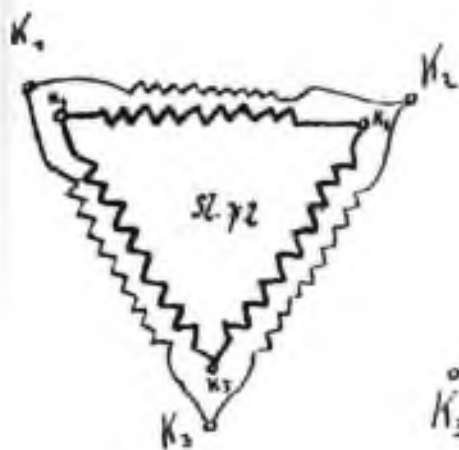
Voltmetar do 130 Volt.precizna tipa	4,5 - 5 vata
obična/meko železo/	6,3 "
Vatmetar,svitak napona za 90 Volt.precizna tipa	2,5 vata
obična	3,5 "
Mjerilo frekvence 1 faze	2 "
Regulator napona	10 8 12 "

Osigurače mora se metnuti na strani visokoga napona za kratki spoj, na strani visokoga za preopterećenje. Za napone nad 10000 V treba još sprave za obranu putnih valova. Kod trafazne struje istoga tereta upotrebljuje se transformatore sa spojenim magnetskim krugom ili 3 jednofazna transformatora.

Transformatore za struju upotrebljava se za njerenje veoma jakih struja te u opće kod visokog napona. / vidi 4-a-el 20,21 / Namotaj visokog napona leži na vanjskoj strani ili ako se uzme samo jednu žicu odgovarajućeg presjeka, u nutarnjosti željeznog ostolja. Na strani niskoga napona je struja maksimalno 5 Amp. Pošto ova strana radi samo sa veoma malenim otporom, /otpor mjerila/transformator je normalno u kratkome spoju. Čim više instrumenata prikopčamo,tim veći postane vanjski otpor. Prema tome raste takodjer napon sekundarne strane,opterećenje se povećava. Transformatore za struju nesmije se ukopčati,ako je sekundarna strana otvorena, jer bi bila indukcija u željezu prevelika,mjerenja radi velikog ugrijanja nepravilna. Stoga razloga ima sekundarna strana spravu za kratko spoj,ako bi se moralo odstraniti ili promjeniti mjerilo.

14./ Transformatori trofazne struje.

Za transformatore trofazne struje upotrebi se skoro isključivo jezgrasta tipa. Jezgre leže ili u jednoj ravni ili za 120 odmaknute u krugu. Primarni i sekundarni namotaj može se



spojiti ili u trokutu-sl 72- ili u zvijezdi-sl 73- Ako je P zadani napon stezaljki, onda je el. m. sila, koju moramo putem magnetskog toka proizvesti, za spoj u trokutu

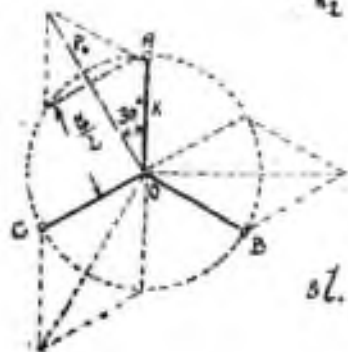
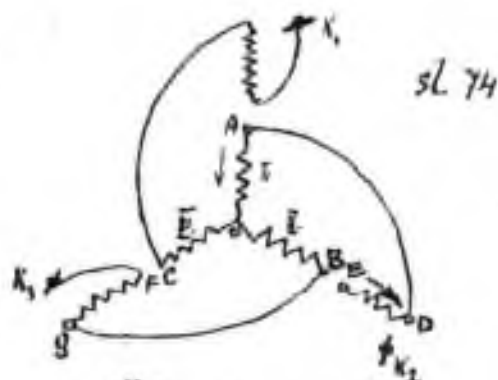
$$E = P \pm \sqrt{3} R \quad /180/$$

za spoj u zvijezdi

$$E = \frac{P}{\sqrt{3}} \pm \sqrt{3} R \quad /181/$$

+ vrijedi za sekundarni, - za primarni namotaj. Imamo li spoj u trokutu onda teče struja kroz svitak $i = \frac{I}{\sqrt{3}}$, kod spoja u zvijezdi, struja I , ako označuje I struju u dovodu.

Iz ovih jednačica doznajemo, da se mora kod spoja u trokutu za visoki napon bolje izolirati, radi česa se uzima radje spoj u zvijezdi. Hoćemo li sekundarni spoj, u zvijezdi sa nula vođom, uperabiti, moramo primarno odabrati spoj u trokutu, jer imamo samo kod toga spoja dostatno izjednačenje napona kod nejednakog tereta pojedinih faza. Ako je primarni napon 10000 Volt i više, napravi se sekundarno "Zick-Zack" spoj, da se može uperabiti takodjer primarno spoj u zvijezdi.



Ovaj spoj anstoji u tome, da se razdjeli sekundarni namotaj je. ne jezgre u dva jednaka dijela te spoji u seriji dva svitka različnih jezgara.-sl 74-. Onda se adira k el. m. sili, induciranoj u zavojima AO el. m. sila ED, koja tvori sa AO kut od 60° . U slici 75 su AO, BO, CO el. m. sile u zavojima sl 74. Napon je geometrina suma iz AO te EO te BO . Isto tako dobije se napon K₁O kao sumu iz CO te AO te K₂O kao sumu iz BO te CO . Ako je P₀ tražena napetost faze t.j. $P_0 = \frac{P}{\sqrt{3}}$

te x napon kojega moramo proizvesti po fazu u zavojima AO BO te CO onda je po slici 75

$$\frac{E_L}{2} = x \cdot \cos 30 = \frac{1}{2} x \sqrt{3} \text{ ili}$$

$$x = \frac{E_L}{\sqrt{3}}$$

/182/

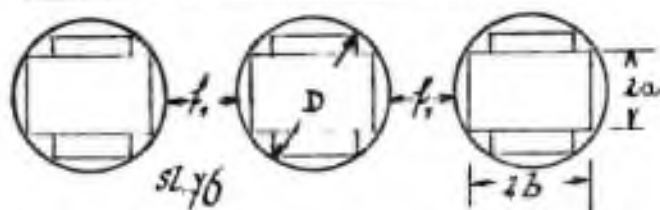
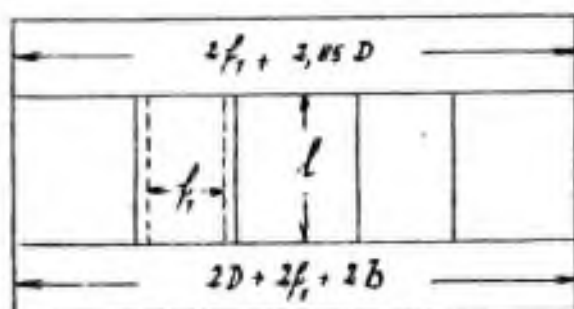
/Vidi spojevi transformatora kap.17/

15./ Proračun trofaznih transformatora.

/Jezgre u jednoj ravnini/

Za proračun uzmemo postolje slike 76. Ako je Q_e presjek

željeza jedne jezgre, onda je težina



$$\frac{2e \cdot l \cdot 7,7}{1000}$$

težina triju jezgara

$$\frac{3 \cdot Q_e \cdot l \cdot 7,7}{1000}$$

Dužina jednoga jarma je

$$2D + 2f_1 + 2b = 2f_1 + 2,85D$$

ako stavimo $b = 0,425D$ Jer

je presjek jarma isti kao i

jezgre težina jarma je $2Q_e / 2f_1 + 2,85D / \frac{7,7}{1000}$ kg te težina željeza za transformatora

$$G_e = \frac{3Q_e \cdot l \cdot 7,7}{1000} + \frac{2Q_e \cdot 7,7}{1000} / 2f_1 + 2,85D / = \frac{7,7 \sqrt{3} Q_e}{1000} (3l + 4f_1 + 5,7D)$$

Definiramo opet $f_2 = \frac{Q_e}{\sqrt{3}D}$ onda je $Q_e = f_2 \frac{\sqrt{3}D^2}{4}$ prema tome

$$G_e = \frac{7,7 \sqrt{3} D^2}{1000 \cdot 4} / 3l + 4f_1 + 5,7D / \text{ ili konačno}$$

$$G_e = 0,006 D^2 f_2 / 3l + 4f_1 + 5,7D / \quad /183/$$

Težina bakra je $G_k = 3 \left(\frac{I}{4} / D + f_1 / - \frac{I}{4} D \right) \frac{l \cdot f_2}{1000} 8,9 \text{ kg odn.}$

$$G_k = \frac{3 \cdot I \cdot 8,9}{4 \cdot 1000} \cdot f_1 f_2 l / 2D + f_1 / = 0,021 f_1 f_2 l / 2D + f_1 / \quad /184/$$

Označuje li P_2 napon jedne sekundarne faze, I_2 struju u žici ove faze, onda je djelovanje transformatora u kilo Volt-Amperima

$$3 \cdot P_2 I_2 = N. \text{ Jer je } P_2 = \frac{4 \cdot 44 \cdot \phi \cdot \omega \cdot n}{10^8} \text{ je } N = \frac{3 \cdot 4 \cdot 44 \cdot \phi \cdot \omega \cdot n \cdot I_2}{10^8}$$

Označuje li dalje $\mathcal{L}$ indukciju u željezu, onda vrijedi $\phi = Q_e \mathcal{L}$

Ako je opet $\mathcal{G}$ srednja vrijednost iz $\mathcal{G}_1$ te $\mathcal{G}_2$ /gustoća struje/ onda je $\gamma = q_e \cdot \mathcal{G} \cdot 100$ /100, jer moramo umetnuti presjek q u cm^2 /. Pomoću ovih jednažba dobijemo

$$N = \frac{3.4.44. q_e \cdot \mathcal{G} \cdot \pi \cdot w_e}{10^6} \cdot q_2 \cdot 0.100$$

Pošto vrijedi takodjer za višefazni transformator $\gamma_{\pi_1} = \gamma_{\pi_2}$

ili $q_e w_e = q_2 w_2$ imamo totalni presjek bakra medju dvim jezgrama

$2/w_e q_e + w_2 q_2 = q_k$ ili $4 w_e q_e = q_k$ odn.

$$w_e q_e = \frac{q_k}{4}$$

Prema tome dobijemo

$$N = \frac{3.4.44. q_e \cdot \mathcal{G} \cdot \pi \cdot \mathcal{G}}{10^6} \cdot \frac{q_k}{4}$$

$$q_e q_k = \frac{4. N \cdot 10^6}{3.4.44. \mathcal{G} \cdot \pi} \quad q_e = \frac{\pi D^2}{4} f_e \quad q_k = f_1 \ell f_k$$

$$D^2 \ell f_1 = \frac{4.4 N \cdot 10^6}{3.4.44. \pi \cdot f_e \cdot f_k \cdot \mathcal{G} \cdot \pi \cdot \mathcal{G}} \quad \text{odn. konačno}$$

$$D^2 \ell f_1 = \frac{0.385 N \cdot 10^6}{f_e \cdot f_k \cdot \mathcal{G} \cdot \pi \cdot \mathcal{G}} = R \quad /185/$$

Stavimo li kako je to bilo kod jednofaznog transformatora, gubitak u željezu $N_e = n_e G_e$ u bakru $N_k = n_k G_k$ onda dobijemo

$$\frac{N_e}{N_k} = \frac{n_e}{n_k} \frac{G_e}{G_k} = \frac{n_e}{n_k} \beta \quad /186/$$

$$\beta = \frac{G_e}{G_k} \quad /187/$$

β možemo smatrati kao poznatu veličinu. Zamislimo si takodjer veličinu α kao ponatu

$$\alpha = \frac{N_e}{N_k} \quad /188/$$

možemo iz jednažbe $\alpha = \frac{n_e}{n_k} \beta$ za jednu veličinu n_e ili n_k drugu izračunati. Iz jednažbe 183 te 184 tvorimo kvocijent

$$\beta = \frac{0.006. D^2. f_e / 3\ell + 4f_1 + 5.7D/}{0.021 f_e f_k / 2D + f_1 /}$$

onda dobijemo

$$D^2 / 3\ell + 4f_1 + 5.7D/ = \frac{0.021 \beta f_k}{0.006 f_e} f_1 \ell / 2D + f_1 / \quad \text{Stavimo}$$

$$S = \frac{3.5. f_k}{f_e} \beta \quad /189/$$

$$\text{eliji} \quad D^2 / 3\ell + 4f_1 + 5.7D/ = S. f_1 \ell / 2D + f_1 / \quad /190/$$

Iz jednažbe 185 izračunamo f_1 koju vrijednost umetnemo u jednažbu 190

$$D^2 / 3\ell + 4 \frac{R}{D^2} + 5,7 D / = \frac{SR}{D^2} / 2D + \frac{R}{D^2} /$$

$$3\ell^2 + 4 \frac{R}{D^2} + 5,7 D \ell = \frac{SR}{D^2} / 2D \ell + \frac{R}{D^2} /$$

$$\ell^2 - \frac{2D\ell}{3} \left(\frac{RS}{D^2} - 2,85 \right) = \frac{R}{3D^2} \left(\frac{SR}{D^2} - 4 \right) \text{ odn. konačno}$$

$$\ell = \frac{D}{3} \left\{ \frac{RS}{D^2} - 2,85 + \sqrt{\left(\frac{RS}{D^2} - 2,85 \right)^2 + \frac{3RS}{D^2} \cdot \frac{1}{3} \left(\frac{SR}{D^2} - 4 \right)} \right\} \quad /191/$$

Stavimo li si opet $\frac{RS}{D^2} = K$ gdje vrijedi za K približno 7 ÷ 8, je daljnje širenje jednostavno.

Iz $\frac{RS}{D^2} = K$ slijedi $D = \sqrt{\frac{RS}{K}}$ Jedn. 191 daje dužinu ℓ , iz jednadžbe

$f_1 = \frac{R}{D^2}$ slijedi f_1 Jedn 183 daje težinu željeza G_e , jedn 184

odn. $G_k = \frac{G_e}{\beta}$ težinu bakra. Gubitci N_e , N_k su poznati. Prema tome

se može izračunati stepen djelovanja te površena za hladjenje.

Kad bi bila ova premalena, mora se odabrati ℓ odn G nešto manje.

16./ Primjer.

Trofazni transformator 20 KVA $\sim = 50 \quad 3000/220$

Sekundarno ukopčava se žarulje između vod jedanta nula Sekundarni spoj prema tome u zvijezdi, primarno moramo uzeti spoj u trokutu. Osobitog hladjenja nećemo pretpostaviti, transformator umetne se u posudu sa uljem.

Upotrijebiti ćemo legirani lim 0,35 mm, $\alpha_e = 11000$

$n_2 = 2$ vata Odaberemo dalje $\eta = 1,75$ onda je po jedn. 105 $n_1 =$

$= 2,6 \cdot 1,7^2 = 8$ vata $f_2 = 0,64$ ako odaberemo presjek po slici

48. c neka bude 13,4 mm $f_1 = 0,35$ Jednadžba 185.

$$R = \frac{0,385 \cdot 10^6 \cdot 20000}{0,64 \cdot 0,35 \cdot 11000 \cdot 1,75 \cdot 50} = 0,036 \cdot 10^6 \quad \text{zamislamo } = 2,2$$

onda je po jednadžbi 189

$$S = \frac{3,5 \cdot 0,35}{0,64} \cdot 2,2 = 4,23$$

$$R \cdot S = 0,036 \cdot 4,23 \cdot 10^6 = 15,2 \cdot 10^4$$

Za daljnji proračun uzmemo

opet tabelu /tabla 9/

Tabla 9.

$\frac{RS}{D^2}$	4	5	5,34	6	8
D^2	$3,8 \cdot 10^4$	$3,04 \cdot 10^4$	$2,86 \cdot 10^4$	$2,53 \cdot 10^4$	$19 \cdot 10^4$
D^2	195	174	169	159	138
D	13,9	13,2	13,0	12,6	11,75
ℓ	10,65	22	23	31,2	47,7
f_1	17,3	9,44	9,3	7,3	5,46
g_c	121	119	117,5	119	123
g_k	55	54	53,6	54	56
$N_c = n_c g_c$	242	238	235	238	246
$N_k = n_k g_k$	440	432	428,8	432	448
$N_c + N_k$	686	670	663,8	670	694
η		0,968			
O po jedn. 192			16575		
O'			23,5 mm ²		

1) Površina može se računati približno po jedn.

$$O = 3\pi \ell / D + f_1 / + \frac{3\pi f_1}{4} / 2D + f_1 / + D \cdot f_1 / 3\ell + 4f_1 + 5,7D / \quad / 192 /$$

$$f_1 \text{ vidi 8f: } f_1 = \frac{U}{D}$$

Mi odaberemo $D = 13 \text{ cm}$ $\ell = 23 \text{ cm}$ te $f_1 = 9,3 \text{ cm}$ Specifična površina tog transformatora je po tabeli 2 dostatna jer daje povlašćenje u ulju od 51°C

Gubici u bakru su 428,8 vata, na primarni dio otpadaju dakle 215 vata. Gubitak na efektu je $3 \cdot \gamma_R^2 = 215$ ili $\gamma_R = \frac{215}{3}$

Primarna jakost u jednoj fazi za spoj u trokutu slijedi iz

$$\gamma_R \cdot \gamma = \frac{N_1}{\eta} = \frac{20000}{0,968} \quad \text{ili} \quad \gamma = \frac{20000}{0,968 \cdot 3 \cdot 3000} = 2,3 \text{ AMP}$$

Prema tome $\gamma_R = \frac{215}{3 \cdot 2,3} = 31,2 \text{ Volt}$ te primarna el. m. sila

$$E_1 = 3000 - 31,2 = 2969 \text{ Volti}$$

Sekundarna jakost struje jedne faze /spoj u zvijezdi/ je

$$I_2 = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 52,5 \text{ Amp} \quad \text{Iz } 3 I_2^2 R_2 = 215 \text{ sledi } I_2 R_2 = \frac{215}{3 \cdot 52,5} = 1,365 \text{ Volt}$$

R_2 dakle jer možemo računati. Gubitak napona u dvjema fazama

$$I_2 R_2 / \sqrt{3} = 2,36 \text{ Volt} \quad 220 + 2,36 = 222,4 \text{ Volt}$$

Presjek željeza je $q_c = \frac{P D^2}{4} f_c = \frac{11 \cdot 13^2}{4} \cdot 0,64 = 85 \text{ cm}^2$, dakle

$$\Phi_0 = 85 \cdot 11000 = 935000 \text{ Maxvele} / \text{Iz jedn. } E_1 = \frac{4,44 \cdot \Phi_0 \cdot w_1}{10^8}$$

slijedi primarni broj zavoja za svaku fazu

$$w_1 = \frac{2960 \cdot 10^8}{4,44 \cdot 935000 \cdot 50} = 1435$$

Sekundarni napon pro fazu je $\frac{222,4}{\sqrt{3}}$ prema tome imamo prenosni

$$\text{odnošaj } 2969 : \frac{222,4}{\sqrt{3}} = 1435 : w_2 \text{ ili}$$

$$w_2 = \frac{222,4}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1435}{2965} = 62 \text{ zavoja}$$

Presjek q_2 ovih zavoja je približno $\frac{52,5}{1,75} = 30 \text{ mm}^2$. Hoćemo li mota-

ti u dvim slojevima tada je širina bakrenog traka ponajviše

$$210 : 31 = 6,8 \text{ mm i to omotana. Visinu obiju slojeva možemo uze-}$$

ti $\sim 10 \text{ mm}$.

Uzmemo svitak iz ljepenke 3 mm debljine, onda je vanjski

promjer $130 + 6 = 136 \text{ mm}$. Srednji promjer omotanog svitka

$$\sim 146 \text{ mm ili srednja dužina zavoja } \frac{\pi \cdot 146}{1000} = 0,458 \text{ m. Namotana}$$

dužina žice je onda $L_2 = 0,458 \cdot 62 = 28,4 \text{ m}$. Jer je $I_2 R_2 = 1,365 \text{ V}$

$$\text{je } R_2 = \frac{1,365}{52,5} = 0,026 \Omega \text{ te konačno definitivno } q_2 = \frac{0,023 \cdot 28,4}{0,026} =$$

$$= 25,2 \text{ mm}^2 = 5,8 \times 4,4 \text{ mm}^2 \text{ odn. omotana žica } 6,8 \times 5,4 \text{ mm}^2.$$

Vanjski promjer omotanog sekundarnog svitka je $136 + 2 \cdot 10,8 \sim$

$\sim 158 \text{ mm}$. Prvi svitak motamo na cilindar iz ljepenke 5 mm deo,

nutarnji promjer 160 mm vanjski 170. Promjer omotanog svitka

nesmije prekoračiti $D + f_1 = 130 + 93 = 223 \text{ mm}$. Prema tome imamo

$$\text{na raspoloženje visinu } \frac{220 - 170}{2} = 25 \text{ mm /promjer srednjega za-}$$

$$\text{voja je } 170 + 25 = 195 \text{ mm, srednja dužina } \frac{195 \cdot \pi}{1000} = 0,614, \text{ te total-}$$

na dužina primarnoga svitka $L_1 = 0,614 \cdot 1435 = 880 \text{ m}$. Jer je

$$R_1 = \frac{31,2}{2,3} = 13,5 \Omega \text{ postane definitivno } q_1 = \frac{0,023 \cdot 880}{13,5} = 1,49 \text{ mm}^2$$

$$d = 1,38 \text{ ili zaokružimo } 1,4 \text{ mm odn } d' = 1,7 \text{ mm}$$

Razlika napona dviju žica, jedna preko druge nesmije prekoračiti 100 V. Svaki zavoj ima $3000:1435 = 2,1$ V, prema tome nad žicom 1 žica 50 t.j. 25 žica jedna do druge. Primarni namotaj razdijelimo u 6 svitaka te motamo svaki sa $1435:6 = 240$ zavoja. Jer je dozvoljena visina maksimalno 25 mm, položimo $25:1,7 = 14$ slojeva, prema tome broj zavoja jedan do drugoga $240:14 = 17,2$. Pustimo prostor za 18 zavoja, onda je dužina svitka $18 \cdot 1,7 = 30,6$ mm te dužina 6 svitaka $30,6 \cdot 6 = 183,6$ mm 230 mm imamo. Položimo među svitke izolaciju od 2 mm, ostane nam za krajne ploče $230 - 194 = 36$ mm što je dostatno. Jarmi imaju pravokutni presjek širine $2b$ te visine x . Jer je $b = 0,425 D$, je širina $2 \cdot 0,425 \cdot 13 = 11,1$ cm. Visina elijedi iz $x/11,1 = 1,4$ /raspor za hladjenje// $0,9 = 85$

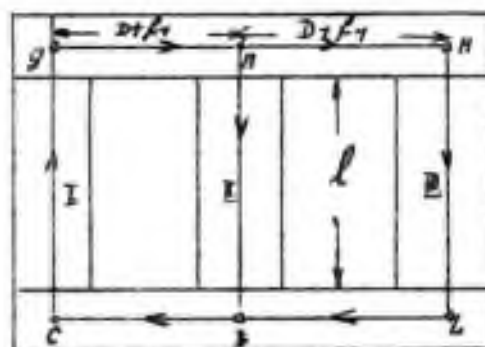
$$x = \frac{85}{0,9 \cdot 9,7} = 9,75 \text{ cm}$$

Proračun neopterećene struje.

Tok , koji prodire jezgre, posljedica struja, koje tvore međusobno kut od 120° . Pošto leže vektori struje za maleni kut pred vektorima toka, tvore također tokovi kut od 120° . Sl 77..



sl. 77



sl. 78

Ako je prema tome tok u jezgri I -sl.78- maximum prikazuje sl 77 da ima u tome momentu II i III samo polovicu toka. Indukcija u prvom I je maksimalna $\mathcal{L}_e$. Ovoj

indukciji pripada sila magnetiziranja ili intenziteta $\mathcal{L}_e$. U jezgri II te III imamo $\frac{\mathcal{L}_e}{2}$, kojoj indukciji odgovara $\frac{\mathcal{L}_e}{2}$. Dužina crta polja sa indukcijom $\mathcal{L}_e$ je $BCGA = l + 2/D + f_1 / + 2x$ Indukciji $\frac{\mathcal{L}_e}{2}$ pripadaju paralelno spojeni putevi AB te AHLB. Srednja je vrijednost

$$\frac{1}{2} \{ l + x / + 1/2D + 2f_1 + x + l / \} = l + x + D + f_1$$

Magnetomotorna sila za raspore od 0,005 cm je

$$2.0,005 \cdot \frac{L}{2} + 2.0,005 \cdot \frac{L}{2} = 0,015 \cdot \frac{L}{2}$$

Za jedan magnetski krug vrijedi prema tome jednačba

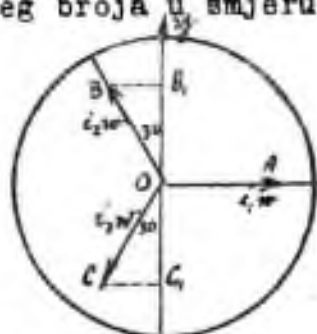
$$L/l + 2D + 2f_1 + 2x/l + L/l + x + D + f_1/l + 0,015 \frac{L}{2} = 0,4 \pi AW \quad /193/$$

AW je radni broj amperezavoja. Ovaj broj rezultira iz amperezavoja svih faza. Njegova vrijednost prema tome

$$AW = \frac{3}{2} \cdot w_1 \cdot Y \cdot \sqrt{2} \quad /194/$$

w_1 je primarni broj zavoja jedne faze, Y struja kroz žicu jedne faze. Jedn.194 slijedi iz posmatranja:

U kojem god momentu je broj amperezavoja prve faze $i_1 w$ ako je i_1 momentana struja te w broj zavoja. Amperezavoji 2.i 3. su onda $i_2 w$ te $i_3 w$. Nacrtamo momentane vrijednosti amperezavoja putem projekcije vektora, onda moraju ovi vektori imati takav smjer, da tvore međusobno kut 120° . Da dobijemo rezultirajući broj amperezavoja razdijelimo zavoje $\frac{w}{2}$ u komponente, koje padaju u os abscise te ordinate. Ako je X - sl.79 - komponenta rezultirajućeg broja u smjeru osi X dobijemo



sl.79

$$X = OA - BB' - CC' \text{ ili}$$

$$X = i_1 w - \frac{1}{2} i_2 w - \frac{1}{2} i_3 w = w \left(i_1 - \frac{1}{2} i_2 - \frac{1}{2} i_3 \right)$$

Za vrijeme t vrijedi

$$i_1 = Y \sin \omega t$$

$$i_2 = Y \sin(\omega t + 120^\circ) = Y \left[\frac{1}{2} \cos \omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t \right]$$

$$i_3 = Y \sin(\omega t + 240^\circ) = Y \left[-\frac{1}{2} \sin \omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t \right]$$

$$\text{Prema tome } X = w \cdot Y \left[\sin \omega t - \frac{1}{2} \left(-\frac{1}{2} \sin \omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t \right) \right] = \frac{3}{2} w Y \sin \omega t$$

Za komponentu u smjeru Y osi vrijedi

$$Y = 0 + OB' - OC'$$

$$Y = i_2 w \frac{\sqrt{3}}{2} - i_3 w \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} w Y \cos \omega t = \frac{3}{2} w Y \cos \omega t$$

Rezultirajući broj amperezavoja slijedi onda iz

$$X^2 + Y^2 = AW^2 = \left(\frac{3}{2} w Y \right)^2 \text{ ili } AW = \frac{3}{2} w Y$$

Uzmemo li namjesto maksimalne efektivnu struju, dobijemo po jednačbi 194.

Rezultirajući broj svih faza je dakle $\frac{3}{2}$ tolik kao maxi-

malni broj amperazavoja jedne faze. Umetnemo li ovu vrijednost u jednadžbu 193 te uvažimo da moramo za γ uzeti struju magnetiziranja a ne neopterećenu struju, dobijemo

$$\gamma = \frac{L_2 / l + 2D + 2f + 2x + \frac{L_2'}{l} x + D + f_1 + 0.015 L_2'}{0.4 \pi \cdot 1.5 \cdot w \cdot \sqrt{2}} \quad /195/$$

U našem primjeru je 20 KVA transformatora dobijemo za $\gamma = 11000$
 $w_1 = 1435$ $l = 23$ cm $D = 13$ cm $f = 9,3$ cm $x = 9,75$ cm. Iz table I-1 dobijemo $L_2 = 4,4 / L_2' = 11000 / L_2' = 1$ $L_2' = 5500$. Prema tome

$$\gamma = \frac{4,4 / 23 + 2 / 13 + 9,3 + 9,75 + 1 / 23 + 9,75 + 13 + 9,3 + 0,015 \cdot 11000}{0,4 \pi \cdot 1,5 \cdot 1435 \sqrt{2}} = 0,157 \text{ Amp}$$

Gubitak neopterećenog kreta odgovara gubitku željeza, u našem slučaju 235 vata. γ prema tome γ vatna struja, onda vrijedi

$$\gamma_n = 3000 = 235 \text{ vata } \gamma_n = \frac{235}{3000} = 0,0261 \text{ A te neopterećena struja}$$

$$\gamma_o = \sqrt{0,157^2 + 0,0261^2} = 0,159 \text{ A.}$$

Posuda za hladjenje: Odaberemo valoviti lim, težina ulja je po jedn. 21a. / $\frac{\text{Težina ulja}}{\text{KVA}} = \left\{ \frac{40}{\text{KVA}} + 3,6 \right\} \text{ kg } \frac{40}{20} + 3,6 = 5,6 \text{ kg odn}$

totalna težina $20 \cdot 5,6 = 112$ kg. Ako je specifična težina 0,89 onda je volumen $\frac{112}{0,89} = 126$ dm.

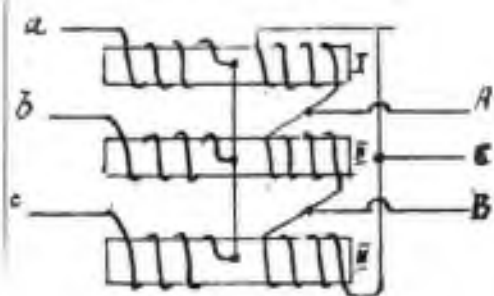
Težina aktivnoga željeza je $G = 118$ kg volum $\frac{118}{7,7} = 15,4$ dm³
 " bakra $G = 53,6$ kg " $\frac{53,6}{8,9} = 6$ dm³

Volum željeza i bakra prema tome ~ 22 dm. Visina transformatora je ako uzmemo jezgre vertikalno $l + 2x = 23 + 2 \cdot 9,7 = 43$ cm. Sadržaj posude do granice ulja mora biti $126 + 22 = 148$ dm³. Visina ulja od 50 cm biti će dakle dovoljna. Presjek posude mora biti $\frac{148}{5} \approx 30$ dm². Najveća je širina transformatora $3 / D + f_1 / = 3 / 13 + 9,3 / = 67$ cm. Prema tome posuda ponajmanje 70 cm. Debljina svitka je $D + f_1 = 22,3$ cm, za posudu imamo $\frac{30}{7} = 4,3$ dm

17./ Spojevi trofaznog transformatora.

Transformator za jednofaznu struju ima primarno i sekundarno jedan namotaj, posebiti spojevi nisu ovdje mogući. Kod tro-

sl 80



faznog imamo sistema spoj u trokutu Δ spoj u zvijezdi Λ te cik-cak spoj/ili dvostruka zvijezda/. Kod Δ spoja je napon između krajeva svake grane namotaja / I, II, III sl 80 desna strana/ istovrijedan sa naponom vanjskih vodova A B C , to jest sa naponom mreže.

Kod Λ spoja / sl 80 lijeva strana/ je napon vanjskih vodova / na pr. a i b / diferencija napona namotaja I i II, koji su za 120° međusobno odmaknuti. Prema tome je spojeni napon / verkettete Spannung/

$$\begin{aligned} e_u &= e_I - e_{II} = E_m \left[\sin \omega t - \sin (\omega t + 120^\circ) \right] \\ &= E_m \left[\sin \omega t - \sin \omega t \cos 120^\circ - \cos \omega t \sin 120^\circ \right] = E_m \left[\frac{1}{2} \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t \right] \\ &= \sqrt{3} E_m \left[\frac{1}{2} \sin \omega t - \frac{1}{2} \cos \omega t \right] \end{aligned}$$

Jer je $\frac{\sqrt{3}}{2} = \cos 30^\circ$ te $\frac{1}{2} = \sin 30^\circ$ dobijemo

$$e_u = \sqrt{3} E_m \sin (\omega t - 30^\circ) \quad \text{amplituda spojenog napona}$$

$$E_{u, \text{ampl}} = \sqrt{3} E_m \text{ odn. ef. vrijednosti } E_u = \sqrt{3} E_m \quad /196/$$

Fazni kut spojenog napona e_u te napona namotaja e_I je -30° jer je faza između e_I te e_{II} 120° je faza e_u te e_I 150°

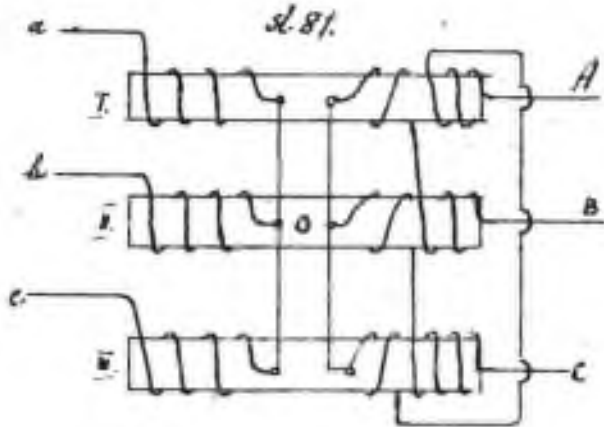
Hoće li se kod Δ spoja imati isti napon mreže E_m kao kod Λ spoja, mora kod istoga toka ϕ svaki namotaj imati $\sqrt{3}$ puta toliko zavoja. Kod spoja Δ imamo spoenu struju I_u jednaku diferenciji struja I namotaja, prema tome

$$I_u = \sqrt{3} I \quad /197/$$

Kod iste gustoće upotrijebi Δ spoj samo $\frac{1}{\sqrt{3}}$ dio presjeka žice za namotaj kao spoj u Λ ; Težina žice je prema tome za oba spoja ista. Ohmov otpor jedne grane namotaja je za spoj u Δ tri puta toliko kao za spoj u Λ , jer ima $\sqrt{3}$ puta toliko zavoja te $\sqrt{3}$ manji presjek. Isto vrijedi također za ohmovo otpadanje X u namotaju. Ali u praksi ne dolazi ovo otpadanje u obzir. U praksi ide se za otpadanje u naponu mreže obzirom na struju I_u jednome vodu, t.j. za otpadanje X_u . Ovo otpadanje je za spoj u Δ i Λ jedne te iste veličine, jer je za spoj Λ $\sqrt{3}$ puta otpadanje jedne grane namotaja

Također toplina struje je ista. Praktično ima spoj u Δ neugodnu stranu, da se mora izolirati svaki namotaj za potpuni napon mreže, međutim otpada kos spoja u $\frac{1}{\sqrt{3}}$ dio napona na svaki namotaj. Za veliku jakost struje ima spoj u Δ opet dobit manjega presjeka, ali uvijek neugodno svojstvo, da nema neutralne točke.

Zik-zak spoj sl. 81. desna strana - je također spoj u zvijezdi sa neutralnom točkom. Ovdje vrijedi



prema tome isto kao za spoj u Δ . Ali napon zvijezde E_* t.j. napon između B te O nije isti kao napon namotaja, jer imamo polovicu namotaja jedne jezgre spoјenu u seriji sa polovinom namotaja druge, koja zaostaje za 120° gradi, tako

da slijedi napon zvijezde iz difference polovice napona namotaja t.j. $e_* = \frac{e_1}{2} - \frac{e_2}{2}$ Kod toga je $e_1 = E \sin \omega t$ $e_2 = E \sin \omega t - 120^\circ$ prema tome dobijemo kao prije/vidi raspravljanje jedn. 196/

$$e_* = \frac{\sqrt{3}}{2} E \sin \omega t + 30^\circ \quad E_* = \frac{\sqrt{3}}{2} E \text{ odn}$$

$$E_* = \frac{\sqrt{3}}{2} E \quad /198/$$

Jer je E totalni napon namotaja jedne jezgre, slijedi, da se mora kod ovoga spoja imati $\frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1,15$ puta veći broj zavoja $\sim 15\%$ nego kod spoja u Δ , ako hoćemo imati isti napon. Spojeni napon je

$$E_* = \sqrt{3} E_* = \frac{3}{2} E \quad /199/$$

Slijedeća tabela sadržava sve vrijednosti od važnosti za spoj u trokutu, zvijezdi te zik-zak spoju.

Zik-zak spoj ima veće rasipanje nego obočni spoj u Δ , jer imamo među amperzavojima obiju polovica namotaja svake jezgre fazni kut $180^\circ - 120^\circ = 60^\circ$ Iz toga razloga slijede kod plosnatog namotaja svitci u redu. svitak primarnoga, prva polovica te onda druga polovica sekundarnog namotaja. Kod cilindričnog namotaja leže polovice jedna nad drugom a ne jedna do druge.

Odabere se primarni namotaj u cik-cak spoju, povećava se također struja magnetiziranja 1,15 puta, jer vrijedi za amperezavoje



Tabla 10.

	Δ	Δ	Δ
Spojni napon E_v	$= \sqrt{3} E$	$= E$	$= \sqrt{3} E$
Spojna struja I_v	$= I$	$= \sqrt{3} I$	$= I$
Djelovanje transformatora	$3 E I \cos \varphi$ $\sqrt{3} E_v I_v \cos \varphi$	$3 E I \cos \varphi$ $\sqrt{3} E_v I_v \cos \varphi$	$3 E I \cos \varphi$ $\sqrt{3} E_v I_v \cos \varphi$
Broj zavojica jedne obmotke po mto E_v te Φ	n	$\sqrt{3} n$	$\frac{n}{\sqrt{3}}$
Težina žice	$8 \pi n^2 l g$	$8 \pi n^2 l g$	$8 \pi n^2 l g$
Otpor jednog namotaja	$\frac{c \cdot \pi \cdot l}{2}$	$3 \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2}$	$\frac{1}{3} \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2}$
Presek po istu struju I_v	2	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	2
Ohmovo opadanje u jednom namotaju	$X = \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v$	$X = 3 \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v$ $\sqrt{3} \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v$	$X = \frac{1}{3} \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v$
Ohmovo otpadanje obzirom na napon mreže	$X_v = \sqrt{3} X = \sqrt{3} \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v$	$X_v = X = \frac{1}{3} \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v$	$X_v = \sqrt{3} X = \frac{1}{3} \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v$
Toplina struje	$\frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v^2$	$3 \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v^2$ $\frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v^2$	$\frac{1}{3} \frac{c \cdot \pi \cdot l}{2} I_v^2$

isto sastavljanje kao za napone.

Dobavlja li generator simetričnu trofaznu struju, onda je neutralna točka spoja u zvijezdi točka napona nula. Priključimo li žarulje imamo u opće nejednaki teret pojedinih faza. Nejednako protudjelovanje armature u generatoru prouzroči nejednakost el. m.sila. Neutralna točka onda nije točka napona nula, ona ima određeni napon naprama zemlji. Imamo li isti spoj na obim stranama transformatora, prenese se nejednakost sekundarnoga kruga na primarni te generator. To se ne dogodi, ako je jedna strana u zvijezdi druga u tokutu spojena. Uopće spoje se u tome slučaju primarnu stranu u trokutu sekundarnu u zvijezdi da se može iskoristiti ul vod. /trofazni četverovodni sistem/Razdioba struje voda A sl.80-81-

na dvije jezgre/I i III/ ne vrijedi samo za spoj u trokutu/razdoba na I i II/nego takodjer za cik-cak spoj. Ovaj spoj ima primarno istu dobit kao spoj u Δ i osim toga još neutralnu točku.

Iz ovih 3 glavnih spojeva nastali su miješani spojevi, koje možemo razdijeliti u 3 glavne kombinacije.

1./ zvijezda trokut 2./ zvijezda cik-cak 3./ cik-cak trokut.
Zadnja kombinacija nema prekičnu vrijednost jer radi kao prva ali troši više žice za namotaj.

Kod spoja : zvijezda-trokut-sl 80- odnose se naponi namotaja kao $\frac{E_L}{E_r} = \frac{w_L}{w_r}$ ako spojimo primarnu stranu u trokutu. Spojeni naponi odnose se kao $\frac{E_{Lk}}{E_{rk}} = \frac{w_L}{\sqrt{3} w_r}$ što treba uvažiti kod proračuna transformatora.

Za spoj zvijezda-cik-cak-sl 81- vrijedi

$$\frac{E_{Lk}}{E_{rk}} = \frac{E_{Lk}}{E_{rk}} = \frac{\sqrt{3} w_L}{2 w_r} \text{ ako je sekundarni spoj cik-cak.}$$

Svaki istovrsni spoj može se tako napraviti, da je smjer namotaja za oba namotaja jedne jezgre isti ili suprotan. U prvom slučaju imamo medju primarnim i sekundarnim spojem svake jezgre fazni kut 0° u drugom slučaju 180° . Prelaz od jedne vrste na drugu može se takodjer tako postići, da se položi primarne ili sekundarne svitke obrnuto na jezgru ili da se obrne priključke. U tabli 11 dolazi ova promjena položajem slova u w v naprama slovima U W V do izražaja. Isti fazni kut imamo takodjer kod mešanog spoja trokut-cik-cak. Jer dolaze nazbir samo ovi razmjeri u fazi, ako se ima paralelni pogon, je razlika izmedju mješanoga i jednostavnoga spoja za pogon bez upliva. Stoga se zazdijeli spojeve samo po faznom odmicanju izmedju primarnog i sekundarnog napona. Onda se dobije 4 skupine.

Skupina A: Svi jednostavni spojevi te mješani spoj trokut-cik-cak sa istim smjerom motanja.

Skupina B: Isti spojevi sa suprotnim smjerom motanja.

Skupina C: Mješani spojevi sa faznim odmicanjem primarnoga i sekundarnoga napona od 30° , jer je jedna strana u zvijezdi druga u

trokutu spojena. Sime pripada takodjer spoj zvijezda oik-oak, jer daje fazni kut 30° . Skupina D nastane iz skupine C kao B iz A. Fazni kut $180-30 = 150^\circ$.

Tabla 11.

Fazni kut medju primarnim i sekund. naponom	Skupina		Slike veštira		Slike spoja	
			Prim.	Sek.	Prim.	Sek.
0°	A	A_1				
		A_2				
		A_3				
180°	B	B_1				
		B_2				
		B_3				
30°	C	C_1				
		C_2				
		C_3				
$150^\circ / 210^\circ$	D	D_1				
		D_2				
		D_3				

Što se tiče paralelnoga spoja vrijedi prije spomenuto /vidi 9./

Osim toga za trofazne transformatore.

1./ Paralelno spojiti se može transformatore svake skupine međusobno i to spajanjem istaimenih kefica.

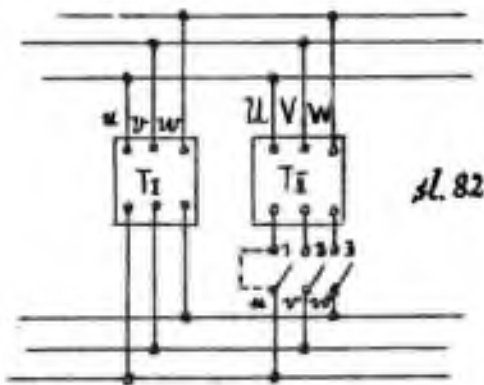
2./ Transformatore skupine A sa transformatorima skupine B poslije izmjene početka sa svršetkom svake faze primarne ili sekun-

darne strane.

3./ Transformatore skupine C sa transformatorima skupine D kao što vrijedi za 2./

4./ Paralelno nemože se spojiti transformatore skupine C i D sa transformatorima skupine A i B .

Da se ispita mogućnost paralelnoga spoja, spoji se primarno transformatore paralelno-sl 82- na sekundarnoj strani spoji se samo dvije stezaljke na pr. 1 sa u. Sekundarne stezaljke II.

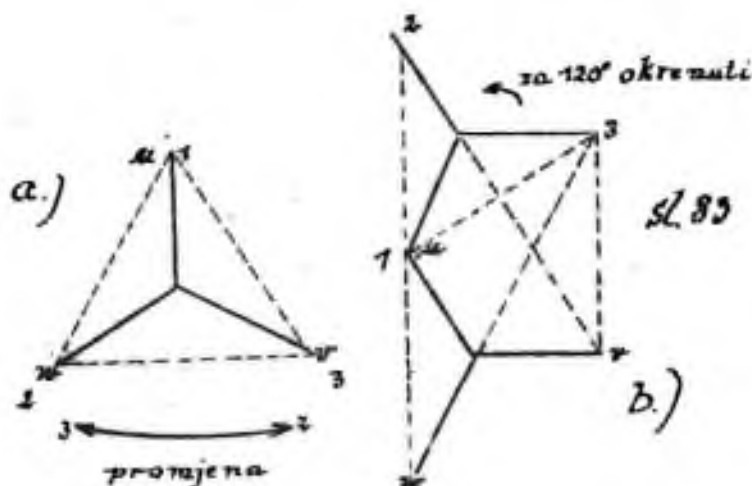


transformatora označene su sa 1 2 3 a ne u v w jer još neznamo, jeli dozvoljeno istoimene stezaljke spojiti te dali odgovaraju medjusobno znakovz stezaljaka.

Poslije spajanja 1 sa u mjeri se napone u-2, v-2, w-2, u-3, v-3, w-3. Ovim mjerenjem može se relativni položaj sekundarnih slika

vektora crtati te iz slike odrediti fazno odmicanje. Na taj način može se dakle odrediti, dali se ima transformatore iste ili različne skupine.

1./ Ista skupina. Zvijezde napona su usporedne. Primjere pri-



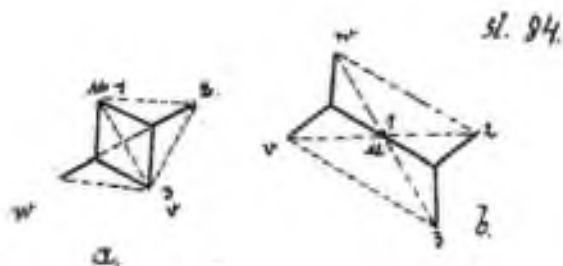
kazuje slika 83a i b. U slici a mora se zamijeniti 2 sa 3 t.j. zamjenjuje se dvije faze. U slici b napravi se cikličnu promjenu na sekundarnoj ili primarnoj strani/diagram okrene se za 120° tako da leži 3 naprama v , 2 naprama u , 1 napramaw/

Okrenemo li kod toga diagram na nepravilnu stranu, okrene se diagram još jednoć za 120° .

2./ Paralelni spoj transformatora skupine A i B .

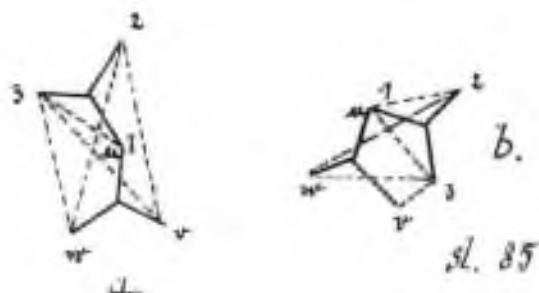
Sistemi napona medjusobno su odmaknuti za 180° . Prim- je ovog slučaja prikazuje slika 84 a i b. Paralelni spoj je samo

moćuć ako se promjenipočetak i svršetak svake faze primarnog ili sekundarnog namotaja jednoga transformatora.



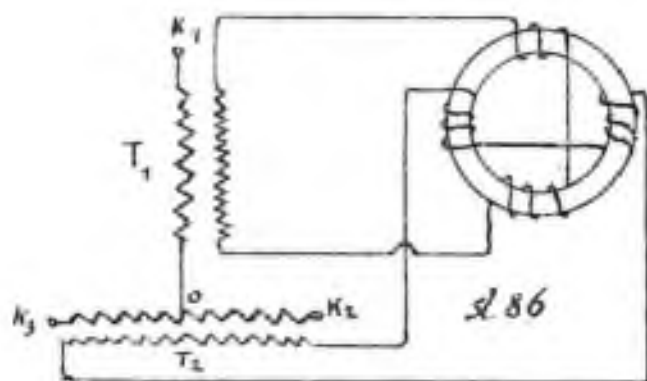
3./ Paralelni spoj transformatora skupine C i D. Slika 84 a i b vrijedi takodjer i za ovaj slučaj.

4./ Paralelni spoj transformatora skupine C ili D sa transformatorima skupine A ili B. Sistemi napona međusobno su odmaknuti za 30° -sl.85 a i b. Transformatore ne može se paralelno spojiti.

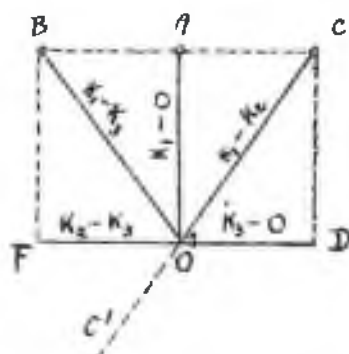


18 /Sistem Scott za promjenu dvofazne struje u trofaznu

Po ovome sistemu može se pretvoriti dvofaznu struju

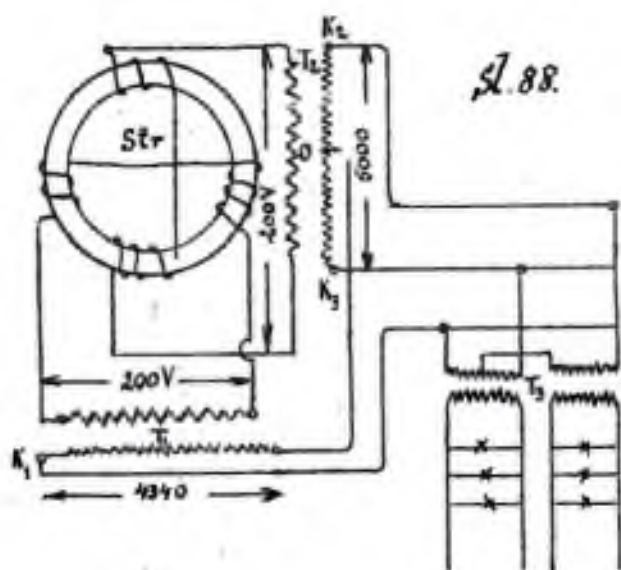


koji proizvadj stroj u trofaznu. Stroj se spoji sa dviam jednakim transformatorima T_1 te T_2 sl.86. Sekundarni namotaj jednoga transformatora T_1 spojen je sa sredinom O sekundarnoga namotaja T_2 , krajevi sa stezaljkama K_1 , K_2 te K_3 . Napon izmedju K_1 te K_2 je razlika napona izmedju K_1 O te K_2 O. Ako je slici 87 crta AO' napon izmedju K_1 te O te $O'D$ napon izmedju K_3 te O, onda je diferenc napona rezultirajuća $O'E$ iz AO' te $O'F = - O'D$



Na isti je način $O'C$ rezultirajuća iz $O'D = - O'F$ te AO' , tako da je $O'C$ napon stezaljka izmedju K_1 te K_3 . Napon izmedju K_1 te K_3 pri-

kazuje nam crta FD. Crte FD O'B te O'C tvore kuteve od 60° . Spoji se prema tome stezaljke K_1, K_2 te K_3 sa stezaljkama trofaznog motora, ali u jednoj fazi na pr. O'C zamjeni početak sa svršetkom svitka, tako da teče u ovome svitku struja u suprotnom smjeru, dobije se motoru struje, koje prikazuju vektori O'C' O'B te 2.O'D te koji tvore međusobno kuteve od 120° . Da postanu u sl. 87 veličine O'C O'B te FD međusobno jednake mora biti $AO' = O'C \sqrt{3}$ t.j. AO' mora se napraviti ovoj vrijednosti jednako. Time je određena sekundarna el.m. sila transformatora. T_1 /sl. 86./



Slika 88. prikazuje uporabu Scott-ovog sistema. M je dvofazni stroj, koji proizvadj a na pr. 200 Volt pro fazu. Napon uvede se u primarni namotaj obiju transformatora T_1 te T_2 , gdje ga se transformira i to u transformatoru T_1 na 5000 V, u transformatoru T_2 na $\frac{5000}{2} \sqrt{3} = 4340$ Volt. Stezaljke K_1, K_2 te K_3 spojene su sa vodom.

Uvažiti se mora da je napon među vodovima 5000 Volt. Visoki napon pretvori se u Scott-ovom transformatoru opet u običnu dvofaznu struju niskoga napona $/T_2/$ te uporabi za tražene svrhe.

Osim ove metode ima se još druge sisteme, ali koji ne igraju osobite uloge.

19. Mehanične sile u transformatoru.

Na izolaciju djeluje el.m. sila tako, da traži kod dostatne jakosti izolaciju razoriti. Ovo nastojanje bismo također u homogenom polju, u kojem je el.m. sila na svim mjestima jednaka. Razorenje počinje u pojedinim točkama, u kojima izolacija nije sasvim homogena ili čista. Na ovome mjestu počne postepeno izjednačivanje napona, dok nije put pripravljen za iskru.

Osim električne sile imamo među vodovima magnetsku, ako teče kroz vodove struja. Imadu li struje istisamjer, onda se vodovi privlače, imadu li struje suprotni smjer, odbijaju se vodovi. Leže li faze između 0 te 180° imamo za određeno vrijeme odbijanje, za određeno privlačenje/za fazu 90 nadmaši privlačenje za fazu > 90 odbijanje. Ova sila je okomita na vodove. Crte polja su zatvorene krivulje. Ove magnetske sile u i među svitcima mnogo su veće nego električne. Ali ove također nemaju za normalni pogon nikakve osobite važnosti. Dodje li transformator u pogonu u kratki spoj, onda su razmjeri sasvim drugačiji.

Za prosudjivanje najveće jakosti struje u kratkom spoju, dolazi za obični transformator u obzir jedn.

$$\gamma_{K_1} = \frac{G_1}{R_1 + \frac{R_2}{\frac{N_1}{N_2}} R_2} \quad \text{odn.} \quad \gamma_{K_2} = -\gamma_{K_1} \quad /200/$$

R_2 te R_1 su za obične transformatore tako maleni otpori da je γ_{K_1} 10 - 15 puta normalna struja punog tereta. Ovdje može naravno doći do veoma jakih sila, koje nastanu kod kratkoga spoja t.j. one dolaze naglo i to kao udarac, te djeluju toliko vremena koliko traje kratki spoj.

Privlačne sile nemogu oštetiti transformator jer tlače zavojce jednoga na drugi. Isto tako je sila odbijanja među svitcima koncentričnoga namotaja bez opasnosti, jer djeluje u radijalnom smjeru. Samo krajni su zavoji podvrgnuti sili odbijanja u smjeru osovine, ali ta sila je samo malena komponenta čitave sile, ako su zavoji iste dužine. Ako je dužina različna, postane sila tim veća, čim je veća razlika. Imamo plosnati namotaj, djeluje sila na pojedine svitke u smjeru osovine. Kod srednjih svitaka se sile uništavaju, krajne svitke može ova sila iskriviti, ako nisu dobro pričvršćeni.

Sila između dva svitka slijedi iz općenite jednačbe magnetske radnje/magn. potencijala/ dviju struja

$$A = - i_1 i_2 M$$

/201/

ako označuje M koeficient međusobne indukcije. Jer dolazi u obzir samo najveća sila, umetnemo amplitude kartkoga spoja y_1 te y_2 . Smatramo li svaki svitak kao jedan zavoj, onda je radna struja u primarnome svitku $w_1 y_1$ u sekundarnom $w_2 y_2$. Ako označimo sa w_1 te w_2 broj zavoja svakoga svitka plosnatog namotaja. Ako je w_1 te w_2 totalni broj, onda je $w_1' = \frac{w_1}{n_1}$ $w_2' = \frac{w_2}{n_2}$, ako označuje n_1 n_2 broj svitaka primarnoga odn. sekundarnoga namotaja. Onda vrijedi

$$A = \frac{w_1 w_2}{n_1 n_2} y_1 y_2 M \quad /202/$$

Koeficient M je za dva zavoja u obliku kruga /radius r , udaljenost a /

$$M = 4\pi r / \log \text{nat} \frac{8r}{a} - 2/ \quad /203/$$

prema tome

$$A = - \frac{4\pi r w_1 w_2}{n_1 n_2} y_1 y_2 / \log \text{nat} \frac{8r}{a} - 2 / \quad /204/$$

Iz magnetičnog potencijala slijedi sila, ako tvorimo negativni diferencijalni kvocijent u smjeru sile/ temeljni zakon magnetičnog potencijala/ Odbijanje djeluje u smjeru razmaka "a" prema tome je sila u tome smjeru

$$F = - \frac{dA}{da} = - \frac{4\pi r w_1 w_2 y_1 y_2}{a n_1 n_2} \quad /205/$$

Za apsolutni kratki spoj je

$$w_2 y_2 = -x w_1 y_1$$

jer imaju amplitude kao momentane vrijednosti protivan smjer.

slijedi iz jednadžbe $M = x y_1 y_2$ /faktor spoja, Kopplungsfaktor/

Iz jedn. 204 te 205 slijedi

$$F = \frac{4\pi r x w_1^2 y_1^2}{a n_1 n_2} \quad /206/$$

Mjerodavan je kvadrat amperezavoja. Opasnost sile raste sa veličinom transformatora. Sila je tim manja, čim je veći broj n_1 te n_2 , čim veća udaljenost a , čim veće rasipanje δ , jer vrijedi

$$\delta = 1 - x^2 \quad /207/$$

Sa udaljenostju a raste δ . Upliv povećanja a je dakle veoma velik.

Povećanje a djeluje prema tome također na veličinu χ .

Kod ogrnutih transformatora mora se osobito paziti na ovu silu, jer su glave svitaka dosta udaljene od jezgre.

20. / Ukopćanje transformatora.

Veoma jaka, brzo na normalnu jakost neopterećene struje padajuća struja može nastati u primarnom svtku, ako se transformator momentano kod otvorene sekundarne strane ukopća, te ako je imala jezgra od zadnjega ukopćanja remanencu iste polaritete, koju prouzroči prva polovica vala po ukopćanju. Cvakav udarac struje može narasti do 30 puta normalne neopterećene struje. U ovom slučaju čuje se kod ukopćanja kratko gundjanje transformatora, zbog jakih sila, koje su nastale.

Udarac struje može prema tome samo onda nastati, ako su ispunjeni prije navedeni uslovi. Primarni namotaj dobije u tome slučaju udarac, koji tlači zavoje jednoga na drugi. Odbijanje između primarnog i sekundarnog namotaja nemože nastati, jer nemamo sekundarne struje. /krug otvoren/ Ako je pred ukopćanjem primarnoga kruga sekundarni već ukopćan, ne može nastati udarac. Sekundarna struja ga uguši.

Spomenuti momentani porast primarne struje uvidimo iz sljedećeg posmatranja. - Uzmimo, da je rasklopac blizu transformatora i da se ima ukopćati transformator. Vlastita indukcija neopterećenog transformatora je dosta velika $= L$. Ohmov otpor može se u tome slučaju, jer je malen zanemariti. Napon se upotrebljuje samo za svladavanje vlastite indukcije.

$$e = L \frac{di}{dt} = E_0 \sin \omega t = \frac{w \cdot d\phi}{dt}$$

Jer je $d\phi = \frac{E_0}{w} \sin \omega t / dt$ je $\phi = - \frac{E_0}{\omega \cdot w} \cos \omega t + C$. Dalje imamo

$E_0 = \omega \cdot w \cdot \phi$ t. j. $\phi = - \phi_0 \cos \omega t + C$. Da odredimo C odaberemo $t = 0$

onda je $\phi = 0$ prema tome $0 = - \phi_0 + C$ ili $C = \phi_0$ te $\phi = \phi_0 / 1 - \cos \omega t$

Iz ove zadnje jednadžbe se vidi, da je za $\cos \omega t = -1$ porast

toka moguć na vrijednost $2\phi_0$. Ali za proizvodbu ovog toka $2\phi_0$ treba više nego dvostruka struja magnetiziranja, jer nije krivulja magnetiziranja proporcionalna struji za totalni svoj prolazak, kao što to odgovara početku.

Imamo željezo u početku remanence, onda je za određivanje konstante C mjerodavna ova momentana vrijednost ϕ_r .

Onda je

$$\begin{aligned} - \quad \phi_r &= -\phi_0 + C && \text{ili} \\ C &= \phi_r + \phi_0 && \text{te} \\ \phi &= -\phi_0 \cos \omega t + \phi_0 + \phi_r \end{aligned}$$

Teoretski može dakle postati $\phi = 3\phi_0$

Ove udarce struje može se pobijati samo dobrim rasklopcom u ulju, koji ima 2 kontakta, među kojima je ukopčan otpor tako, da se ukopča strujom dva dijela. U tome slučaju struja nemože visoko narasti.

Izolaciju može napetost razoriti, ako ima pogriješna mjesta. U opće se za normalni pogon nema nikakvih smetanja, ako je bilo sve u redu. Ali ovdje dolaze još drugi naponi u obzir i to kod ukapčanja te izkapčanja, jer nastanu u tome momentu putujući valovi. Često nije ni potrebno, da bude baš ukopčanje ili iskopčanje, dostatna je velika promjena pogonskog stanja obzirom na jakost struje. Ako ta promjena nastane časovito, ona može biti uzrokom previsoke napetosti. Ukopča li se kakav veći vod na izvor struje, tada se pojavljuje u čitavomevodu neko titranje napona. Broj titranja i jačina same napetosti ovisna je o veličini otpora, samoindukcije te kapacitete voda.

Ali pošto u ovakovomevodu ima pretežno ohm-ovog otpora, biva to titranje brzo ugušeno. U svome početku može dotjerati napetost na dvostruku vrijednost. Pomoću kopčala na ulje mogu se izbjeći te previsoke napetosti kod ukopčanja te iskopčanja. Ali uvijek se ne radi o redovitome kopčanju. Jedan kratki spoj

ili spoj sa zemljom odgovara momentanome ukopčanju, koje rasklopac na ulje ne ublažuje. Naponi koji nastanu u tim slučajevima su oscilatorne naravi. Titranje rasprostire se po čitavome sistemu, dok ne nadje induktivni otpor, koji reflektira valove. Stoga oni ni nemogu prodrijeti duboko u omotke transformatora, nego već prvi zavoji reflektoraju natrag. Dodje li do probijanja izolacije, dogodi se to odmah na prvim zavojima, po čemu se i prepozna prenapon oscilatorne naravi.

Dodje li do kratkoga spoja na kraju dugačkog voda, te uslijed istoga nagli prekid struje, pretvori se sva magnetična energija u električnu.

$$L \frac{I^2}{2} = C \frac{E^2}{2}$$

pa može taj E dosegnuti opasnu visinu.

Protiv tih unutarnjih previsokih napona kao i proti atmosferskim oscilatornim naponima rabe se obrambene naprave. Tačnije vidi pod "Prenos".

./.

KNJIŽNICA
Elektrotehničkog fakulteta
ZAGREB

