

acțiuni de electrotehnică

Substanțe: conductoare, semiconductoare, izolatoare

Efectele curentului electric: termic, chimic, magnetic

Un curent electric continuu se caract. prin 2 elemente: sens și intensitate

$$Q = n \cdot e \quad Q - \text{cantitate de electricitate, } n - \text{nr. electroni, } e - \text{sarcina electrică}$$

Intensitatea curentului electric - mărimea fizică numeric egală cu cantitatea de electricitate care trece într-o secundă printr-o secțiune transversală a circuitului.

$$Q = I \cdot t \quad I - \text{intens. curentului electric, } t - \text{timpul } I - [A] \text{ amper}$$

Coulombul este cantitatea de sarcină electrică transportată în timp de o secundă de un curent continuu și constant cu intensitatea de 1A.

$$1C = 1A \cdot 1s \quad C - \text{coulomb (unitatea de sarcină electrică)}$$

Electronii pornesc de la borna negativă a generatorului trec prin receptor și ajung la borna pozitivă a generatorului fără să se acumuleze în vreun punct al circuitului $\Rightarrow I$ constantă pe tot circuitul electric

Tensiunea electrică determină deplasarea purtătorilor de sarcină (electroni și ioni) printr-un receptor legat la cele două borne, constituind astfel curentul electric.

Deplasarea sarcinilor în câmpul electric se face sub acțiunea forțelor electrice care efectuează un lucru dat de formula:

$$L = Q \cdot U, \quad Q - \text{sarcina electrică, } U - \text{tensiunea electrică} \Rightarrow U = \frac{L}{Q}$$
$$U = \frac{L}{Q} \quad \frac{L}{t} = P (\text{puterea electrică}) \quad \frac{Q}{t} = I \Rightarrow U = \frac{P}{I} \quad U [V] - \text{volt}$$

Voltmetrul se conectează în paralel, iar ampermetrul în serie.

Tensiunea la borne (U_0) este tensiunea care se măsoară la bornele generatorului

u - cădere de tensiune în generator

$$E = U_0 + u \quad E - \text{tensiune electromotoare}$$

Tensiunea electromotoare este o mărime electrică numeric egală cu lucrul produs pentru deplasarea unității de sarcină în întregul circuit.

Ohm-ul este rezistența electrică a unui conductor prin care trece un curent cu intensitatea de 1A când la capetele lui există o tensiune electrică de 1V. $R [Ω] \text{ Ohm}$

$$I = \frac{U}{R} - \text{legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit}$$

$$\begin{aligned} U_0 + u &= E \\ U_0 &= I \cdot R \quad u = I \cdot r \Rightarrow I \cdot R + I \cdot r = E \Rightarrow I = \frac{E}{R + r} \end{aligned} \quad \text{legea lui Ohm pentru circuitul întreg}$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad [\Omega] \quad [\rho] = \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} - \text{rezistivitate}$$

$$R = R_0(1 + \alpha t), \alpha - \text{coeficient de variație a rezistenței cu temperatura}$$

$$\frac{1}{\rho} = \gamma, \quad \gamma - \text{conductivitate}$$

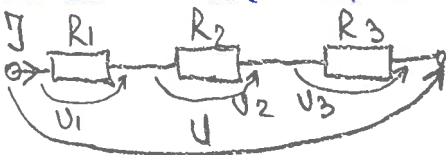
Măsurarea tensiunii electromotoare cu voltmetrul

$R_V \gg r$ pentru a obține o valoare a E a unui generator cât mai apropiată de valoarea reală, R_V - rezistența electrică a voltmetrului

$$I = \frac{E}{R+r} \quad \& \quad \frac{U_0}{R} = I \Rightarrow \frac{U_0}{R} = \frac{E}{R+r} \Rightarrow E = U_0 \frac{R+r}{R} = U_0 \left(1 + \frac{r}{R}\right) \text{ dar}$$

$$r \ll R_V \Rightarrow \frac{r}{R} \text{ neglijabil} \Rightarrow E \approx U_0$$

$$R \text{ serie } R_e = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m$$



$$I = \frac{U}{R_e}$$

$$U_1 + U_2 + U_3 = U = R \cdot I \quad U_1 = I R_1, U_2 = I R_2$$

$$I R_1 + I R_2 + I R_3 = R_e \cdot I \quad | : I \Rightarrow R_e = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R \text{ paralel } \frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_m}$$

Legea I Kirchhoff: $I = I_1 + I_2 + I_3$; Legea lui Ohm $I = \frac{U}{R} \Rightarrow$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \quad | : U \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Rezistența voltmetrului

Când se măsoară o tensiune electrică prin aparat trece un curent electric de intensitate I , aparatul are o rezistență electrică R_V și prin aparat poate trece un curent maxim $I_0 \Rightarrow$ voltmetrul nu poate măsura o tensiune mai mare ca $U_0 = I_0 \cdot R_V$ U_0 - limită de măsurare

Se pot măsura cu un voltmetru și tensiuni mai mari ca U_0 dacă se pune în serie cu aparatul un rezistor cu anumită rezistență.

Ampermetre

Limita de măsurare poate fi extinsă la curenti mai mari dacă se folosește șuntul. Șuntul este un rezistor conectat în paralel cu ampermetrul

$$\text{expl. Legea I K } I = I_A + I_S \Rightarrow I_A \cdot R_A = I_S \cdot R_S \Rightarrow R_S = R_A \frac{I_A}{I_S}$$

Legea lui Joule - transformarea energiei electrice în cantitate de căldură

Un curent electric încălzește conductorul prin care trece.

$$Q = W = R \cdot I^2 \cdot t, \quad Q - \text{cantitatea de căldură}, W - \text{energia electrică transformată}$$

Adică: cantitatea de căldură dezvoltată într-un conductor de un curent electric este proporțională cu rezistența conductorului, cu pătratul intensității curentului și cu timpul (legea lui Joule). $Q \in J$ - joule

Metalele prezintă o conductibilitate electrică ce se realizează prin electroni liberi.

Există substanțe care sunt conductoare la care conductibilitatea electrică se datorește ionilor. ex. acizii, bazele, sărurile și unii oxizi metalici.

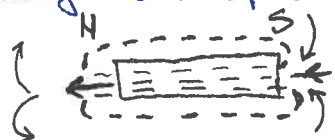
Electrodul legat la polul pozitiv - anod (A)
la polul negativ - catod (K)

Substanțele cu legături ionice se numesc electroliți.

Magneți - naturali (minerale de fier, oxizi sau sulfuri)
- artificiali (prin magnetizarea unor bare de oțel)

Materialul din oțel moale se magnetizează foarte ușor când sunt introduse într-o bobină parcursă de curent, dar care își pierde magnetizarea imediat ce încetează acțiunea de magnetizare. Se folosesc la construcția mașinilor electrice

Orientarea acului magnetic pe direcția nord-sud se datorește liniilor de câmp magnetic ale pământului. + cu + se resping, + cu - se atrag



- liniile de câmp magnetic sunt de la polul sud la polul nord

Forța electromagnetică: mărimea, direcția și sensul ei (F)

Un curent electric creează în jurul său un câmp magnetic. Conform principiului acțiunii și reacțiunii un conductor parcurs de curent va fi supus unor forțe din partea câmpului creat de un magnet, aceste forțe se numesc forțe electromagnetice.

Sensul forței electromagnetice depinde de sensul curentului electric și de sensul liniilor de câmp.

Câmpul magnetic creat de un curent ce circulă printr-un conductor sau de un magnet este caracterizat de o mărime vectorială numită inducție magnetică notată cu B . Este un vector tangențial în fiecare punct la liniile de câmp magnetic.

În cazul în care direcția vectorului inducției este perpendiculară pe direcția curentului, forța electromagnetică va avea valoarea maximă:

$$F = B \cdot I \cdot l \quad \text{- legea lui Laplace} \Rightarrow B = \frac{F}{I \cdot l} \quad B [T] \text{- Tesla}$$

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha \quad \text{dacă direcția lui } B \text{ face un unghi } \alpha \text{ cu direcția lui } I$$

Sensul forței electromagnetice se găsește folosind regula mâinii stângi:
- se așază palma stângă paralel cu conductorul cu degetele în sensul curentului astfel încât inducția magnetică să intre prin palmă, sensul degetului mare arată sensul forței electromagnetice.

Câmpul de inducție magnetică acționează asupra curentului electric, deci asupra electronilor sau sarcinilor în mișcare.

$$I = \frac{Q}{t} \Rightarrow F' = B \cdot \frac{Q}{t} \cdot l = B \cdot Q \cdot v \quad v \text{- viteza de deplasare a sarcinii}$$

$$F' = B \cdot Q \cdot v \cdot \sin \alpha \quad \text{- forța Lorentz}$$

Fluxul de inducție magnetică (Φ)

Fluxul magnetic Φ este constituit de totalitatea liniilor de inducție care intersectează o suprafață S .

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad \text{- când liniile de câmp sunt paralele și normale la } S$$

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad [\Phi] - \text{Wb} - \text{weber}$$

Permeabilitatea (μ)

Permeabilitatea este raportul dintre numărul liniilor câmpului magnetic pe unitatea de suprafață a unui material și numărul liniilor pe unitatea de suprafață în prezența aceluiași câmp în vid (măsură influența mediului material asupra câmpului magnetic).

μ_r - permeabilitate relativă a mediului

Substanțe feromagnetice $\mu_r \gg 1$ ex. fier, nichel, cobalt. Aceste substanțe introduse într-un câmp magnetic produc o modificare apreciabilă a liniilor de câmp magnetic. $\mu_r = \text{mii} \div \text{zeci de mii}$ (permalloy $\mu_r = 80.000 \div 100.000$)

- paramagnetice $\mu_r > 1$ ex. Mn, Al, Cr, Sn, O₂. $\mu_{r \text{ aer}} = 1,0000003$

Concentrează liniile de câmp ca și subs. feromagnetice, dar foarte puțin.

- diamagnetice $\mu_r < 1$ ex. Bi $\mu_r = 0,998$, Ag, sticla, H₂O

Ele răresc liniile de câmp ce trec prin ele, le împing.

Intensitatea câmpului magnetic (H)

- nu depinde de însușirile mediului

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad \mu = \mu_r \mu_0 \quad \text{- permeabilitate absolută a mediului, } [H] = \frac{A}{m}$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ - permeabilitatea vidului

Câmpul magnetic al curentului electric

- trecerea curentului printr-un conductor dă naștere în jurul conductorului unui câmp magnetic

- liniile de câmp sunt așezate în planul perpendicular pe conductor și au sensul dat de regula burghiului sau regula lui claxwell (dacă rotim burghiul astfel încât el să rămână în sensul curentului, sensul de rotație este sensul liniilor de câmp).

- măsurătorile au arătat că inducția câmpului magnetic (B) este proporțională cu intensitatea curentului (I) - această proprietate servește la măsurarea intensității curentului cu ajutorul galvanometrelor, ampermetrelor

Câmpul unei spire circulare

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2r} \quad \text{dacă avem } N \text{ spire} \Rightarrow B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{2r} \quad H = \frac{N \cdot I}{2r}$$

Câmpul magnetic al solenoidului

Un fir conductor înfășurat elicoidal pe o carcasă cilindrică, având sau nu în interiorul ei un miez de material magnetic sau o tola de transformator constituie o bobină sau un solenoid.

2) Linii câmpului magnetic din interiorul solenoidului sunt paralele și echidistante (câmpul magnetic este uniform), la capetele solenoidului linia câmpului magnetic se împrășteie.

$$B = \frac{\mu \cdot H \cdot J}{l} \quad H - \text{nr. de spire} \quad H = \frac{N \cdot J}{l} \quad l - \text{lungimea solenoidului}$$

Fluxul unui solenoid (Φ_s)

$$\Phi_s = B \cdot S - \text{pt. o spirală} \quad \Phi_s = H \cdot B \cdot S \quad H - \text{nr. de spire}$$

Inductanța solenoidului (L)

$$\Phi = L \cdot J \Rightarrow L = \frac{\Phi}{J} \left[\frac{Wb}{A} \right] \cdot L \quad [H] - \text{henry}$$

- inductanța este un flux magnetic raportat la intensitatea curentului

Forța electrodinamică

- forța (de atracție sau de respingere) dintre doi conductori parcurși de cureni aflați în vecinătate

$$F_1 = \frac{\mu \cdot J_1 \cdot J_2}{2\pi d} \cdot l - \text{forța electrodinamică ce acționează asupra conductorului 2}$$

$$F_2 = \frac{\mu \cdot J_2 \cdot J_1}{2\pi d} \cdot l \quad \text{conductorului 1}$$

$$F_0 = \mu \frac{J_1 \cdot J_2}{2\pi d} ; F [N] - \text{newton; dacă } J_1 = J_2 \Rightarrow J^2 = \frac{F_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot d}{\mu_0}$$

Ligurante automate (disjunctoare) (ex. de electromagnet)

- sunt prevăzute cu un electromagnet care atrage o armătură numai când curentul a atins o intensitate mai mare decât o anumită valoare, întrerupând astfel circuitul traversat de curent

Galvanometrele

- măsură curenti mici și foarte mici ($10^{-6} - 10^{-12} A$), dacă se montează un șunt se transformă în ampermetru (o rezistență montată în paralel cu o valoare mult mai mică decât rezistența internă a galvanometrului)

Ampermetrele și voltmetrele cu cadru mobil se numesc instrumente magnetoelectrice și nu măsoară decât curenti și tensiune continuă.

Aparatele cu eșchincajul mobil din fier moale se numesc electromagnetice.

Inst. electromagnetice: simple de construit, ieftine, precizie scăzută,

Inst. magnetoelectrice: instrumente de precizie, scală uniformă, sensibilitate mare cost ridicat, aparate de laborator și control

1,5 - magnetoelectric clasă de precizie 1,5; 2 - electromagnetic clasă de precizie 2

Ampermetrele cu rezistență internă mică și se montează în serie în circuit

Voltmetrele cu rezistență internă mare și se montează în paralel în circuit

Ampermetru

Voltmetru

- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| - măsură intensitatea | - măsură tensiunea |
| - conectare serie | - conectare paralel |
| - R proprie f. mică | - R proprie f. mare |
| - extindere c.c. șunt | - extindere c.c. R adițională |
| - " - c.c. înalta precizie | - " - c.c. înalta precizie |

Inductia electromagnetica

Ce se intampla daca miscam un conductor electric prin care nu trece curent in campul magnetic dat de un magnet sau de un alt conductor strabatut de curent? Raspuns

Prin conductorul respectiv va aparea un curent datorat inducției electromagnetice (transformarea lucrului mecanic necesar mișcării conductorului în energie electrică într-un câmp magnetic)

Pentru apariția unei tensiuni electromotoare (curent) indusă trebuie să se producă o variație a fluxului magnetic care traversează circuitul. (atât timp cât bobina se mișcă față de magnet apare un curent indus care dispare dacă nu mai există mișcare).

Rotirea unei bobine sau a mai multor înfășurări într-un câmp magnetic stă la baza construcției mașinilor electrice.

Modurile de producere a tensiunii electromotoare (t.e.m.) sunt foarte diferite, dar toate sunt bazate însă pe variația fluxului inducției magnetice ce traversează o bobină.

Legea inducției electromagnetice

Se numește inducție electromagnetice fenomenul prin care se produce o t.e.m. într-un circuit electric care se deplasează într-un câmp de inducție magnetică sau care este menținut într-un câmp de inducție magnetică variabilă în timp.

$\mathcal{E} \sim \Delta \phi$ t.e.m. proporțională cu variația fluxului $\Delta \phi$

Cu cât numărul de spire este mai mare cu atât fluxul magnetic este mai mare pentru același câmp ce traversează bobina. $\mathcal{E} \sim N$ N nr. de spire

$\mathcal{E} \sim \frac{1}{\Delta t}$ t.e.m. indusă în bobină este mai mare cu cât $\Delta t = t_2 - t_1$ este mai mic

$\Rightarrow \mathcal{E} = - \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ - legea lui Faraday; valoarea instantanee a t.e.m. induse $\left[\frac{Wb}{s} \right] = [V]$

$\mathcal{E} = - \frac{\Delta(N\phi)}{\Delta t} = - \frac{\Delta(B \cdot N \cdot S \cdot \cos \alpha)}{\Delta t}$

Sensul curentului indus ce traversează un circuit închis este astfel încât fluxul său propriu tinde să compenseze variația fluxului ce i-a dat naștere. - Regula lui Lenz

$\mathcal{E} = - B \cdot l \cdot v$ ($\mathcal{E} = - \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1}$; $t_2 - t_1 = t$ $\phi_2 - \phi_1 = B \cdot S \Rightarrow \mathcal{E} = - \frac{B \cdot S}{t} = - \frac{B \cdot l \cdot d}{t}$ $\frac{d}{t} = v$)

Autoinducția Inductanța

$\phi = L \cdot I$ ϕ - fluxul L - inductanța

Variația fluxului produsă de curentul circuitului va face să apară o t.e.m. indusă, numită tensiune autoindusă. T.e.m. autoindusă produce un curent în circuit care se suprapune peste cel care i-a dat naștere. După regula lui Lenz dacă t.e.m. autoindusă a luat naștere prin creșterea fluxului inductor curentul produs de această tensiune autoindusă are sensul în așa fel încât se opune creșterii fluxului.

1 Dacă de exemplu creșterea fluxului inductor al unei bobine s-a făcut prin creșterea curentului bobinei, atunci curentul autoindus va căuta să scadă curentul din circuit, adică va avea sens opus.

Sensimea electromotoare autoindusă sa mărim este dată de legea lui Faraday

$$e_a = - \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = - \frac{L \Delta I}{\Delta t} = - L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Autoinductia devine importantă când circuitul are inductanță mare, ea se opune oricărei variații a intensității curentului electric, se manifestă ca o inerție electromagnetice.

Pentru micșorarea inductanței unei bobine se pot face bobine cu înfășurare cu dublu fir (firele bobinei sunt parcurse de curenti de sens invers ce fac să se anuleze reciproc câmpurile magnetice).

Curentul alternativ

Una din cele mai importante aplicații ale fenomenului de inducție electromagnetice o constituie producerea curentului electric de către generatoarele de curent alternativ și generatoarele de curent continuu.

La un generator de curent continuu ar trebui să se deplaseze cu viteză constantă un conductor rectiliniu într-un plan perpendicular pe liniile de câmp de inducție magnetică \vec{B} uniform. În acest caz s-ar obține în conductor o t.e.m. constantă $e = B \cdot l \cdot v$ deoarece fiecare dintre cele trei mărimi care o determină sunt și ele constante.

Practic însă acest dispozitiv este aproape imposibil de realizat din cauza că este foarte greu să se creeze un câmp magnetic uniform într-o regiune foarte întinsă.

Este mult mai ușor de obținut o t.e.m. rotind o spira într-un câmp \vec{B} uniform care ocupă un spațiu restrâns. Un astfel de dispozitiv nu permite obținerea unei t.e.m. constante ci a unei t.e.m. variabile în timp și anume alternative.

Vezi explicații pag. 92-97

Regimuri de supra-curenți	
de scurtcircuit	de sarcină
- 6...10 Im	- 1,2...1,5 Im
- protecție instantanee	- protecție temporizată
- siguranțe fusibile	- relee termice
- relee electromagnetice	- sig. fus. de construcție specială
- apare la punerea în contact a două punete cu potențiale electrice diferite	- funct. în 2 fazea motoru
	- scăderea U aplicate la bornele motorului electric

Pericada și frecvența curentului alternativ

Curentul alternativ fiind un fenomen periodic este caracterizat prin:

- perioadă, frecvență, amplitudine, valoare instantanee

$$T - \text{perioada } \langle T \rangle = s$$

Intervalul de timp după trecerea cîrui a t.e.m. sau I frec succesiv prin aceleași valori și cu același sens s.m. perioadă a t.e.m. sau I.

Frecvența t.e.m. sau a I arată de câte ori se produce acest fenomen/s.
Valoarea frecvenței este dată de numărul de perioade dintr-o unitate de timp

$$f = \frac{1}{T} \quad \langle f \rangle = s^{-1} - \text{hertz (Hz)}$$

Clasimea $\omega = 2\pi f$ s.m. pulsația curentului alternativ. Ea este numeric egală cu viteza unghiulară cu care se rotește cadrul emei generator care are o singură pereche de poli și produce curent alternativ cu frecvența f .

- curenti de joasă frecvență (de ordinul zecilor de Hz - ex 50 Hz)
- curenti cu frecvență intermediară (100 Hz - 20000 Hz) - curenti de audiofrecvență din diferite dispozitive, - ex captoarele electrice
- curenti de înaltă frecvență > 100 kHz - transmisii radio, televiziune, radiolocație - ex sudarea maseilor plastice

Efectele curentului alternativ

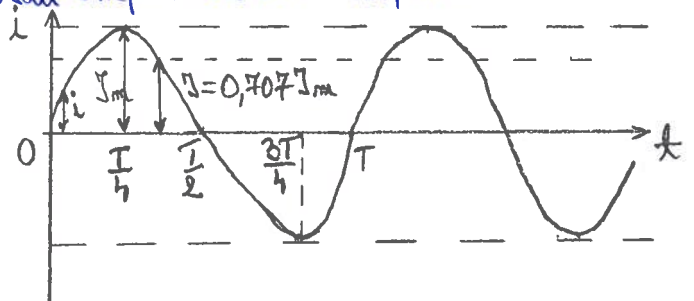
- efectul chimic (nu poate fi folosit deoarece I alternativ circulă succesiv în ambele sensuri schimbând tot de atâtea ori anodul cu catodul)
- efectul magnetic (la trecerea I alternativ printr-un electromagnet armătura acestuia vibrează întrucît intensitatea I nu este constantă și prin urmare nu rămâne constantă nici forța cu care este atrasă).

- efectul termic (are loc o degajare de căldură care variază în timp și dată cu schimbarea intensității I alternativ).

Valori instantanee, maxime, efective

Valoarea pe care o are o mărime la un moment oarecare s.m. valoare instantanee și se notează cu litere mici i (sau u), $i, p = u \cdot i$ - putere instantanee

Valoarea cea mai mare pe care o ia în timpul unei perioade o tensiune sau un I alternativ s.m. valoare maximă sau amplitudine. U_m, I_m



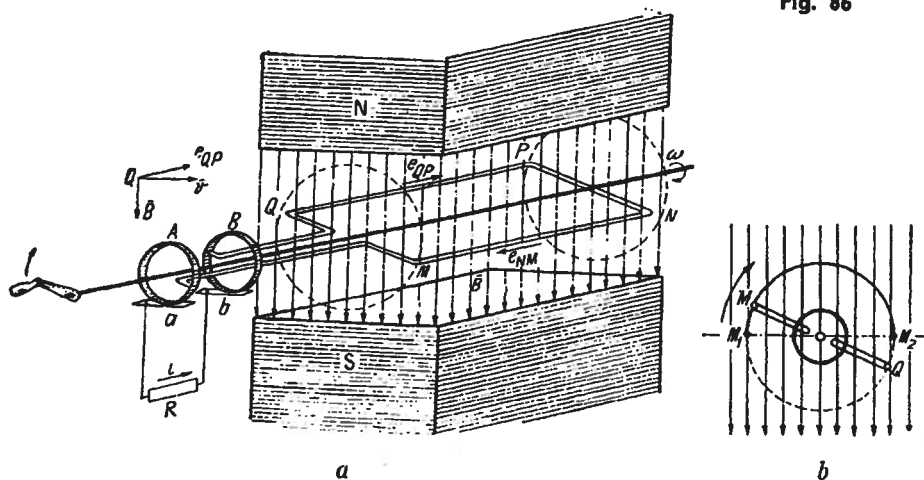


Fig. 86

la un inel metalic A , iar sfârșitul la un alt inel metalic B . Pe aceste inele apasă două perii a, b metalice (sau din cărbune). Spira se rotește cu o viteză constantă în câmpul uniform B creat, de exemplu de un magnet permanent. În timpul primei jumătăți de rotație a spirei, când M ajunge din M_1 în M_2 (fig. 86, b), în conductorul MN ia naștere o t.e.m. $e_{MN} = Blv$, unde v este acea componentă a vitezei periferice v' care produce t.e.m., adică componenta perpendiculară pe direcția lui \vec{B} . Aplicând regula mîinii drepte (fig. 86, a) se observă că această t.e.m. este îndreptată dinspre M spre N . Totodată se vede că în conductorul PQ ia naștere o altă t.e.m. e_{PQ} egală cu e_{MN} și cu un astfel de sens încît se însumează cu aceasta. Sensul opus al lui e_{PQ} se explică prin sensul opus al vitezei conductorului PQ față de viteza conductorului MN . Deși se rotesc, în conductoarele NP și MQ nu iau naștere t.e.m. de inducție, pentru că ele nu taie liniile cîmpului \vec{B} , ci se deplasează paralel cu ele.

Așadar în spirală ia naștere o t.e.m. totală $e_1 = 2Blv$; cum $v = v' \sin \alpha$ (fig. 87) rezultă că $e_1 = 2Blv' \sin \alpha$ (27). S-a notat cu α unghiul format de v' (perpendiculară pe planul spirei) cu direcția liniilor lui \vec{B} . Conectînd un rezistor R între periile a și b , prin spirală,

92 * Cealaltă componentă a vitezei v'' , nu taie liniile lui B , fiind paralelă cu ele și deci nu produce t.e.m. (fig. 87).

linele, perii și rezistor va circula un curent electric îndreptat (prin R) de la b spre a .

Din fig. 88, a se observă că în timpul celei de-a doua jumătăți de rotație (când M trece din M_2 în M_1 fig. 88, b) t.e.m. totală din spirală este de asemenea, e_1 , dar ea este orientată în sens contrar și face deci să treacă prin R un curent de sens contrar celui din cazul precedent. Așadar, t.e.m. variază în timp, schimbându-și periodic valorile (sinusoidal, v. relația 27) și sen-

sul; de aceea ea este denumită *t.e.m. alternativă sinusoidală*. Când $\alpha = 90^\circ$, adică planul spirei este paralel cu liniile lui B , $\sin 90^\circ = 1$ (relația 27) și e_1 are cea mai mare valoare: $E_{m1} = 2Blv'$ (28). De aceea t.e.m. indusă în spirală la un moment oarecare t este: $e_1 = E_{m1} \sin \alpha$.

Dacă în scopul obținerii unei t.e.m. mai mari se folosește un cadru care conține n spire, atunci se obține o t.e.m.: $e = ne_1 = nE_{m1} \sin \alpha = E_m \sin \alpha$ (29).

Când se leagă la perii un rezistor cu o rezistență R mult mai mare decât rezistența spirei, atunci prin el va circula un curent $i = \frac{e}{R} = \frac{E_m}{R} \cdot \sin \alpha = I_m \sin \alpha$ (30), care își schimbă și el periodic valorile și sensul, adică este un *curent alternativ sinusoidal*.

Variația t.e.m. $e = E_m \sin \alpha$ pentru diferite poziții ale spirei (cadrului) se poate urmări în figura 89 (curba trasată plin). Tot aici se poate aprecia și care este fluxul magnetic Φ îmbrățișat de spirală (cadru) în diferite poziții (regiunea umbrită) și deci felul în care variază Φ (curba trasată întrerupt). Din această figură se observă că în cursul primei jumătăți de rotație ($0^\circ - 180^\circ$), curentul i străbate

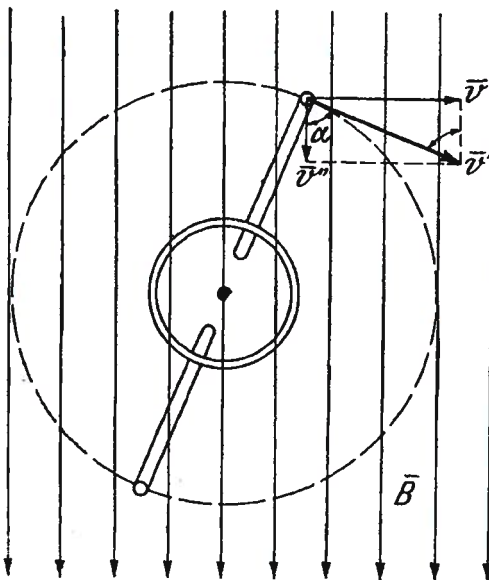


Fig. 87

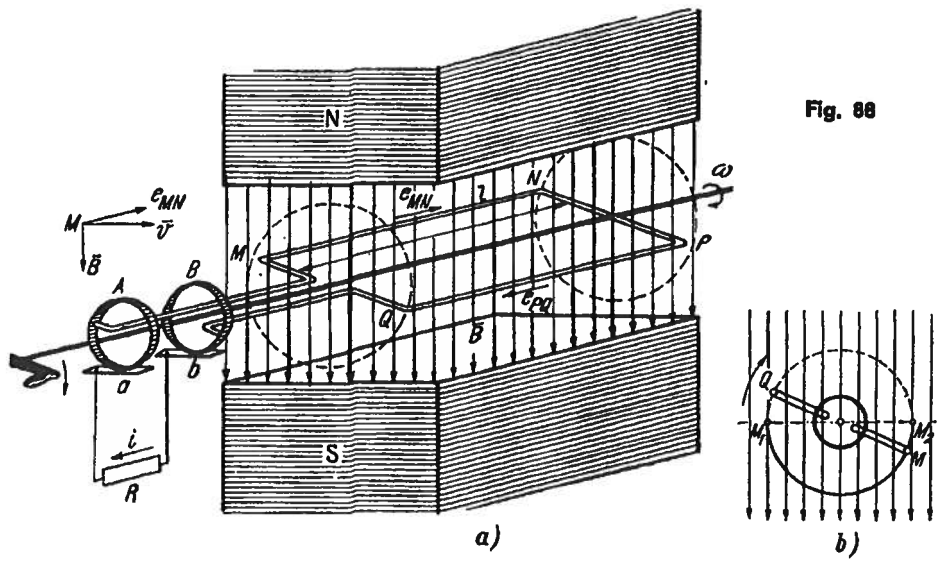


Fig. 88

rezistorul într-un sens care este determinat de sensul pe care îl are t.e.m. e ; în acest interval, e are valori pozitive (alese convențional). În cea de-a doua jumătate de rotație ($180^\circ-360^\circ$), sensul t.e.m. și al curentului se inversează, iar pe grafic aceasta corespunde valorilor negative ale t.e.m. e . Trebuie reținut că în cazul arătat, fiind între periile a și b se află un rezistor, graficul reprezintă în același timp variația t.e.m. cât și variația curentului, întrucât ele sînt determinate prin expresii de același fel (v. relațiile 29 și 30). Din grafic se mai observă că t.e.m. este maximă atunci cînd conductoarele MN și PQ intersecționează cu viteză maximă liniile cimpului \vec{B} , adică atunci cînd fluxul care străbate aria îmbrățișată de spiră trece prin zero.

Acest rezultat, precum și felul în care variază în timp t.e.m. poate fi regăsit raționînd în felul următor. Se consideră de exemplu, patru poziții succesive ale cadrului, care fac între ele unghiuri egale, deci care se succed la intervale de timp Δt egale (fig. 90). La rotirea din poziția 1 în poziția 2 are loc cea mai mare variație de flux $\Delta\Phi_{1,2}$, adică cea mai mare variație a numărului de linii ale lui \vec{B} ce trec prin aria îmbrățișată de cadru. La trecerea din poziția 2 în poziția 3 se obține o variație de flux $\Delta\Phi_{2,3}$ mai mică decît variația precedentă și în sfîrșit cea mai mică variație de flux are loc la tre-

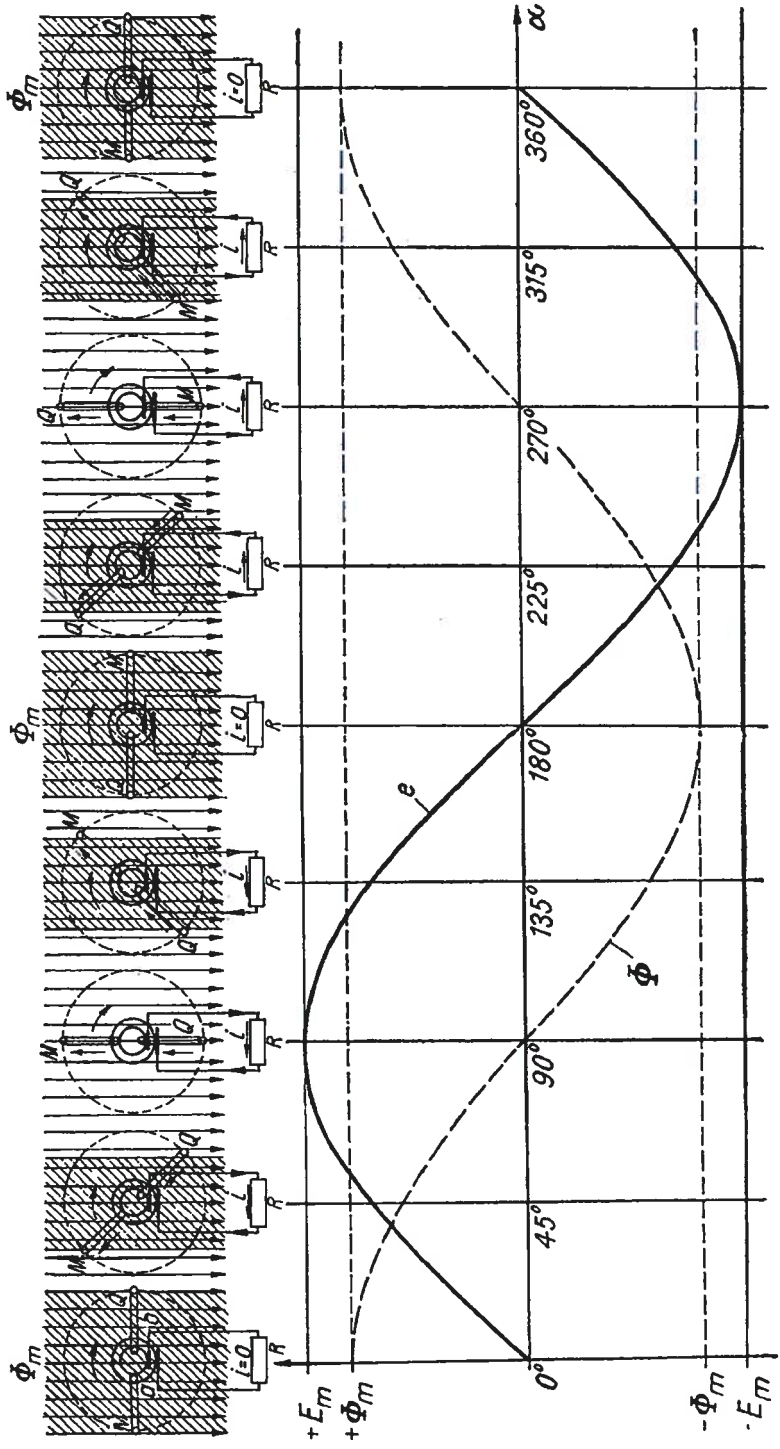


Fig. 89

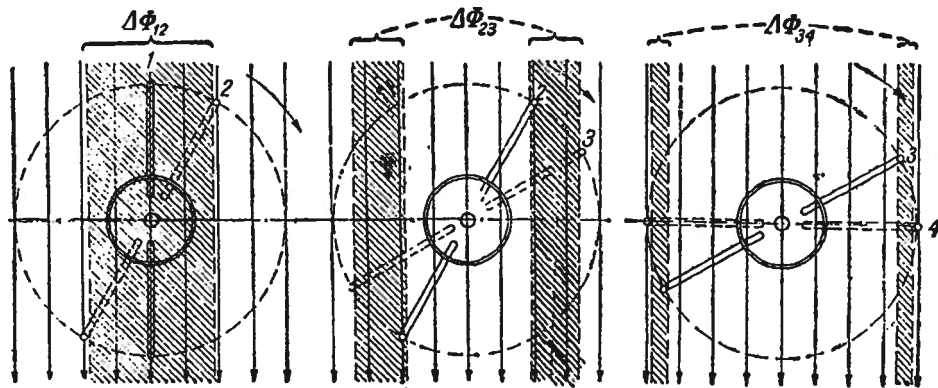


Fig. 90

cerea cadrului din poziția 3 în poziția 4 ($\Delta\Phi_{4,3}$). T.e.m. induse fiind date de viteza de variație a fluxului $e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ și Δt rămânând același, reiese că, așa cum arată și graficul din figura 89, e este maximă pentru poziția 1 ($\alpha = 90^\circ$) și este nulă pentru poziția 4 ($\alpha = 180^\circ$).

Intrucât mișcarea de rotație este uniformă $\alpha = \omega t$, așa încît t.e.m. alternativă și curentul alternativ date de ecuațiile (29) și (30) se exprimă prin formulele: $e = E_m \sin \omega t$ (31) și $i = I_m \sin \omega t$ (32) care sînt folosite adesea. De aici rezultă că, în graficul din figura 89 se poate considera că pe abscisă s-a reprezentat nu unghiul α , ci timpul t cu care acesta este proporțional. Bineînțeles că în acest caz în loc de 90° se va considera pe abscisă $\frac{T}{4}$, în loc de 180° , $\frac{T}{2}$, etc. Astfel graficul din figura 89 arată variația t.e.m. cu timpul conform ecuației (31).

Experiență. Se poate dovedi faptul că t.e.m. și deci și curentul alternativ circulă cînd într-un sens cînd în altul, conectînd un galvanometru suficient de sensibil la bornele unei spire sau mai bine ale unei bobine cu miez de fier, pusă în mișcare de rotație uniformă și aflată într-un cîmp magnetic produs de un electromagnet alimentat cu curent continuu (experiența se poate face cu dispozitivul realizat de către I.M.D., figura 91). În acest caz se va observa

că la fiecare jumătate de rotație a cadrului, sensul în care deviază acul galvanometrului se schimbă. Rotind cadrul uniform și destul de lent, se va putea urmări și modul în care variază curentul produs, și anume acesta are intensitatea maximă (acul galvanometrului deviază cel mai mult) când trece prin poziția în care planul său este paralel cu liniile lui \vec{B} . Dimpotrivă când planul cadrului este perpendicular pe \vec{B} , atunci acul galvanometrului trece prin poziția de zero.

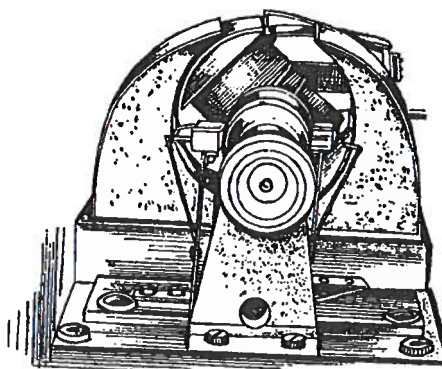


Fig. 91

Curba care arată cum variază în timp curentul alternativ (curba din figura 89) se poate obține folosind fie un oscilograf cu buclă și o oglindă rotitoare, fie un oscilograf catodic.

Dispozitivul descris pînă aici constituie cel mai simplu generator de curent alternativ care utilizează mișcarea de rotație. Funcționarea sa este ușor de înțeles. În practică însă, acest dispozitiv nu poate produce t.e.m. cu valori suficient de mari, pentru că nici fluxul maxim Φ_m nu poate avea valori ridicate.

Aceasta se datorește faptului că aerul are o permeabilitate magnetică foarte mică. În scopul măririi lui Φ , cadrul se așază pe un cilindru din fier moale, a cărui permeabilitate magnetică este cu mult mai mare, de exemplu de ordinul sutelor de ori mai mare; de tot atîtea ori mai mare va fi și B , deci și fluxul: $\Phi = BS$ (S =aria cadrului).

Fenomenele descrise în acest paragraf sînt deosebit de importante, întrucît pe baza lor are loc funcționarea atît a generatoarelor de curent alternativ cît și a celor de curent continuu.

45. Perioada și frecvența curentului alternativ. Generalități asupra curentului alternativ

Dacă după terminarea unei rotații cadrul continuă să se rotească uniform, atunci în intervalele de timp egale în care are loc fiecare dintre rotațiile următoare, t.e.m. și curentul alternativ recapătă ace-

La trecerea unui I alternativ printr-un rezistor se degajă o cantitate de căldură care depinde de amplitudinea I.

I.m. valoare efectivă a unui I alternativ sinusoidal valoarea pe care trebuie să o aibă un I continuu pentru ca strătând un rezistor cu o rezistență egală cu a rezistorului prin care trece I alternativ să dezvolte în același timp aceeași energie, respectiv aceeași cantitate de căldură

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m$$

Aparatele de măsură sunt gradate a.î. de măsurare valoarea efectivă.
ex. I măsurat = 1 A, amplitudinea = 1,41 A

Tensiunea, curentul, puterea și defazajul

a. Circuit de I alternativ cu rezistor

- U și I sunt în fază $\varphi = \frac{\pi}{2}$; rezistorul absoarbe energie de la sursă

b. Circuit de I alternativ cu inductanță

La conectarea unei bobine prin ea trece un I alternativ a cărui intensitate este variabilă în timp, apare un câmp magnetic, adică un flux magnetic variabil care produce o t.l.m. de autoinducție.

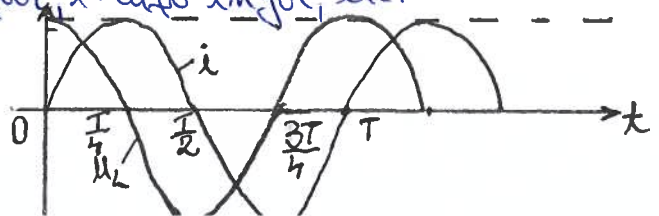
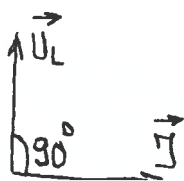
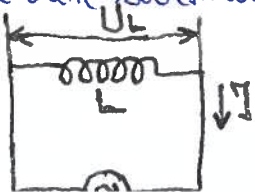
Regula lui Lenz arată că această t.l.m. \mathcal{E}_L se opune variației I. Pentru ca prin bobină să poată trece I alternativ trebuie ca sursa să aplice bobinei o U alternativă u_L egală și direct opusă $u_L = -\mathcal{E}_L$

Satorită întârzierii produse de fenomenul de autoinducție I alternativ la valoarea maximă mai târziu cu $\frac{T}{4}$ (90°) decât tensiunea u_L , deci tensiunea u_L este defazată cu 90° înaintea curentului. $\varphi = 90^\circ$

Bobina opune I alternativ o rezistență de un tip special denumită reactanță inductivă (X_L) $X_L = \omega L = 2\pi f L$ (Ω). $I = \frac{U_L}{X_L}$

Bobina primește un sfert de perioadă energie în câmpul său magnetic, iar în următorul sfert de perioadă readă această energie sursei, a.î. ea nu absoarbe energie de la sursa de I alternativ față de un rezistor care absoarbe energie.

Bobine apropiate de bobina ideală ($R \approx 0$) sunt: bobinele cu spire multe și din sârmă groasă fără miez de fier, trafo în gol, etc.



C. Circuit de T alternativ cu capacitate

Un condensator reprezintă o întrerupere pentru un circuit de curent continuu pentru că izolatorul dintre plăcile sale nu permite trecerea sarcinilor electrice.

Dacă se aplică unui condensator o T alternativă, atunci acesta se încarcă până când tensiunea u_c de la bornele sale devine egală cu amplitudinea U alternativă U_m dată de sursă, după aceea condensatorul se descarcă și deci în circuit apare un curent de sens contrar, iar ulterior condensatorul se reîncarcă, însă invers decât în primul caz.

Deoarece condensatorul nu se mai încarcă în momentul când u_c ajunge maximă (adică egală cu U_m) în acest moment T din circuit este nul, după un sfert de perioadă $u_c = 0$, iar condensatorul începe să se încarce, prin circuit trece în acel moment un T cu valoarea maximă.

Tensiunea u_c de la bornele unui condensator este decalată cu 90° în urma T alternativ i din circuit. $\varphi = -90^\circ$

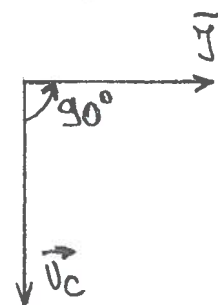
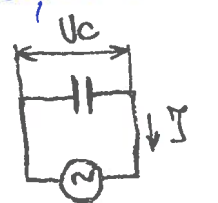
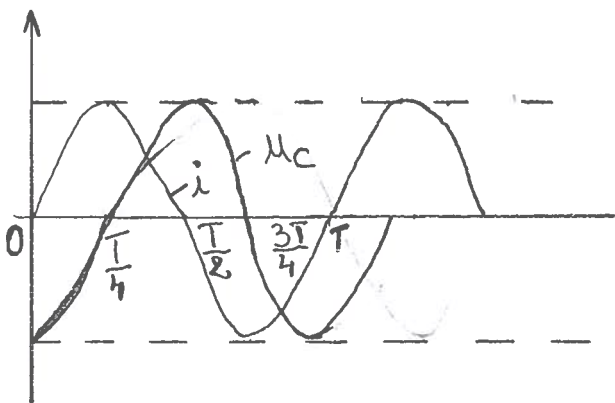
Prin încărcările și descărcările succesive condensatorul permite o mișcare de pendulare a electronilor din circuitul de T alternativ.

Condensatorul aflat într-un circuit de T alternativ joacă rolul unei rezistențe de tip special denumită reactanță capacitivă. $X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} < \Omega$

$$I = \frac{U_c}{X_c}$$

În timpul încărcării (un sfert de perioadă) condensatorul primește de la sursa de T alternativ energie care se înmagazinează în câmpul electric al condensatorului. În următorul sfert de perioadă condensatorul se descarcă și restituie această energie sursei.

Condensatorul nu absoarbe energie de la sursa de T alternativ, prin aceasta el se aseamănă cu o bobină dar se deosebește de un rezistor.



2] d. Circuit de T altermativ RLC serie

Un circuit RLC opune T altermativ o rezistență de un tip special diferită de rezistența din curent continuu denumită impedanță notată Z.

Impedanța nu se poate calcula adunând algebric rezistența R și reactanțele X_L și X_C întrucât acestor mărimi le corespund tensiunile U_R, U_L, U_C care nu sunt toate în fază cu curentul I.

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$$

Mărimea impedanței unui astfel de circuit este funcție atât de valorile R, L și C cât și de pulsația ω a T altermativ.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$I = \frac{U}{Z} - \text{legea lui Ohm pt. o porțiune de circuit} \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Decalajul φ dintre U și I este totdeauna mai mic de 90° , U putând fi decalat fie înaintea I, fie în urma lui, după cum X_L este mai mare sau mai mică decât X_C .

Puterea activă P dintr-un circuit de T altermativ reprezintă raportul dintre energia absorbită de circuit de la sursa de T altermativ timp de o perioadă și durata perioadei. P este o putere medie, are ca efect încălzirea rezistoarelor din circuitul de T altermativ.

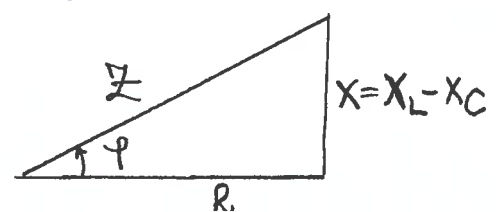
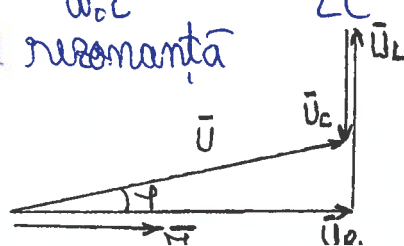
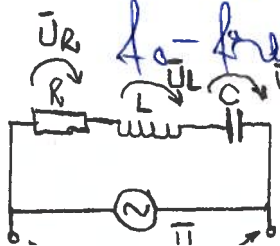
$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \varphi - \text{factor de putere}$$

Dacă în circuit avem numai inductanță sau numai capacitate atunci $\varphi = \pm 90^\circ$, $\cos 90^\circ = 0 \Rightarrow P = 0$, adică bobina și condensatorul nu absorb energie de la sursa de T altermativ. Că trebuie să se confunde puterea instantanee p cu puterea medie P.

Dacă $X_L = X_C$ impedanța circuitului scade rămânând egală doar cu rezistența acestuia $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$ $\cos 0^\circ = 1 (\varphi = 0) \Rightarrow Z_0 = R \Rightarrow$ I are valoare maximă $I_0 = \frac{U}{R}$; dacă $X_L = X_C$ circuitul este în rezonanță \Rightarrow la rezonanță puterea din circuit este maximă $\cos \varphi = 1 \Rightarrow P = U \cdot I$

$$\text{Dacă } X_L = X_C \Rightarrow \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \Rightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} - \text{formula lui Thomson}$$

f_0 - frecvența de rezonanță



Mașini electrice

Mașinile electrice permit transformarea energiei:

- mecanice în energie electrică (generatoare)
- electrice în energie mecanică (motoare electrice)

sau fac posibilă modificarea unor mărimi care determină energia electrică fără a o transforma în altă formă de energie (ex. modificarea U și I alternativ în transformatoare)

La baza funcționării mașinii electrice stau două fenomene:

- fenomenul de inducție electromagnetă
- acțiunea mecanică reciprocă dintre curenți (respectiv dintre curenți și câmpuri magnetice)

Transformarea energiei mecanice în energie electrică pe trecută într-un generator necesită existența unor bobinaje conductoare care trebuie deplasate într-un câmp magnetic, pentru ca în ele să ia naștere o t.l.m. de inducție, respectiv un I electric.

Transformarea inversă care are loc în motoarele electrice cere ca prin aceste înfășurări să se trimită curenți electrici pentru ca în ele înfășurări și câmpul magnetic să poată lua naștere o forță care să pună în mișcare rotorul.

Din punct de vedere constructiv (mecanic) mașinile electrice au două părți principale: una fixă (stator) și alta mobilă (rotor)

D. p. d. v. al elementelor electromagnetice mașinile electrice au două părți: circuite electrice (bobine făcute din cupru) și circuite magnetice (miezul din otel masiv sau din tole de otel). Înfășurările se așază pe miezul de otel pentru a mări câmpul de inducție magnetică B , o dată cu aceasta fluxul ($\Phi = B \cdot S$) și t.l.m. indusă $e = B \cdot l \cdot v$ (la generatoare), respectiv forța de interacțiune $F = B \cdot I \cdot l$ (la motoare).

Clasini electrice de curent alternativ

Generatoare sincrone

Se poate produce curent electric prin:

- rotirea unei spire în câmp magnetic fix
- mentinerea fixă a conductorului într-un câmp magnetic care se rotește (acesta poate fi dat fie de un magnet permanent, fie de un electromagnet alimentat cu curent continuu).

Explicație - vezi pag. 108-111 anexade

Generatoarele sincrone au următoarea structură:

- rotorul este inductor (el produce câmpul magnetic), rotorul este din oțel pe care se află o înfășurare străbatută de c.c. de la un acumulator sau redresor

- Statorul este indus (în înfășurările sale se induce t.e.m.)
el se folosește înfășurarea rotorului cu rol de indus pentru că ea ar fi greu de izolat în cazul producerii tensiunilor înalte iar inelele colectoare și perile ar trebui să fie foarte mari pentru a culege curenți cu intensități mari și ele s-ar uza repede.

Rotorul are un număr pereche de poli pe care se află bobinele legate în serie și înfășurate în așa fel încât sunt străbatute de curentul continuu. Megmele polilor succesivi să alterneze (N-S-N-S).

Capetele înfășurărilor sunt legate la două inele aflate pe ax, dar izolate de acesta și între ele.

Deoarece înfășurările rotorului sunt străbatute de curent continuu acesta se construiește din oțel masiv. Prin stator trece curent alternativ are miezul din table de oțel cu siliciu, izolate cu lac pentru a evita pierderile prin curenți turbionari și prin histererezis.

Rotoarele cu poli aparenti (pag. 111, fig. 101, b) lucrează doar la viteze de rotație relativ mici (sub 1.000 - 1.500 rot/min).

Rotoarele cu poli înecați cu înfășurările în miște crestături axiale ca la stator și lucrează la viteze mari (3000 rot/min).

Curentul care străbate înfășurările rotorului este dat de un mic generator de c.c., numit excitatoare, care este fixată pe axul rotorului și a cărei putere nu depășește 1% din puterea acestuia (pag. 111, fig. 101, b, sbrăpta).

Din punctul de vedere al *elementelor electromagnetice*, mașinile electrice posedă, de asemenea, două părți: *circuite electrice* (înfășurările, făcute din cupru) și *circuite magnetice* (miezul din oțel masiv sau din tole de oțel). Înfășurările se așază pe miezul de oțel pentru a mări câmpul de inducție magnetică B , o dată cu aceasta fluxul și deci t.e.m. indusă $e = Blv$ (la *generatoare*), respectiv *forța de interacțiune* $F = BIl$ (la *motoare*).

Față de alte tipuri de mașini de forță, mașinile electrice au numeroase *avantaje*: lucrează cu randamente mari, funcționează sigur și au o inerție redusă la comenzi (pornire, variația vitezei, oprire), ocupă un spațiu restrâns pentru o putere dată, și se pot construi într-o mare gamă de puteri (de la fracțiuni de watt, la sute de MW).

A. Mașini electrice de curent alternativ

48. Generatoare sincrone

Generatoarele sincrone (alternatoarele) sînt generatoare dintre cele mai larg folosite, în special în centralele electrice.

S-a arătat că se poate produce curent alternativ prin rotirea unei spire în câmp magnetic fix. Se poate produce curent alternativ și menținînd fix conductorul într-un câmp magnetic care se rotește. Acesta poate fi dat fie de un magnet permanent, fie de un electromagnet alimentat cu curent continuu.

Experiență. Un generator de curent alternativ este unul dintre modelele construite de I.M.D. (fig. 97, a). El se compune dintr-un magnet disc (cu polii vopsiți cel nord în albastru, iar cel sud în roșu), care se poate roti între piesele polare P_1 și P_2 din oțel ale statorului. Pe miezul de oțel al acestuia se află înfășurarea B în care se induce curentul alternativ (fig. 97, b).

Făcînd legătura între cele două borne ale generatorului și un galvanometru cu zero la mijloc și învîrtînd foarte lent și uniform rotorul-magnet în același sens, se pot urmări deviațiile acului, care au loc cînd într-un sens cînd în altul.

Cînd polul N se apropie de plesa polară P_2 a statorului, crește fluxul magnetic care o străbate pe aceasta; prin inducție electromagnetică în înfășurarea statorului ia naștere un curent cu un astfel de sens (fig. 98, a) încît P_2 să devină un pol N . Totodată polul S se

Explicație

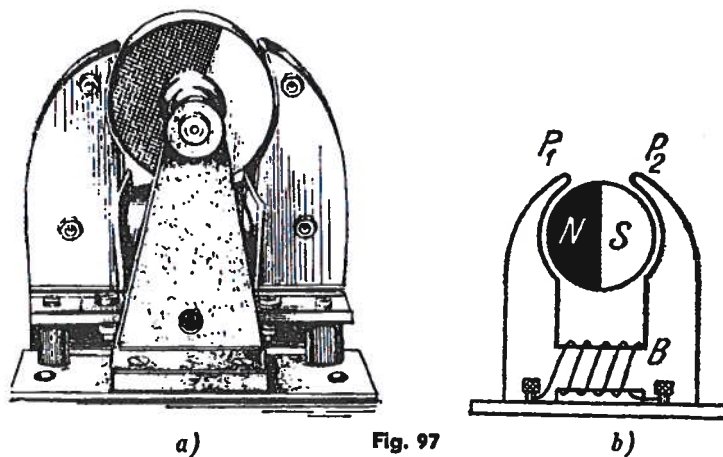


Fig. 97

apropie de piesa polară P_1 și aceasta devine un pol S . Urmărind sensul curentului produs se observă că acesta intră în galvanometru prin borna $+$ a sa și de aceea acul deviază spre dreapta. Pentru că, așa cum s-a arătat mai înainte la spira rotitoare, la trecerea prin această poziție fluxul care străbate piesele polare este minim, t.e.m. indusă și deci și curentul sînt maxime, iar acul deviază mult.

Dimpotrivă, cînd după ce se descrie ceva mai mult decît un sfert de rotație polul N se depărtează de P_2 , iar polul S se apropie de P_1 atunci P_2 devine pol S , iar P_1 devine pol N (fig. 98, b). Curentul circulă prin înfășurare în sens contrar cazului precedent. Fluxul care străbate piesele polare trecînd prin valoarea maximă, variația sa este minimă, iar intensitatea curentului are o valoare mai mică decît înainte.

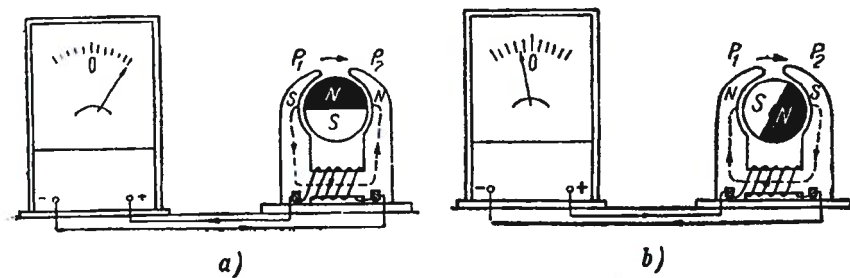


Fig. 98

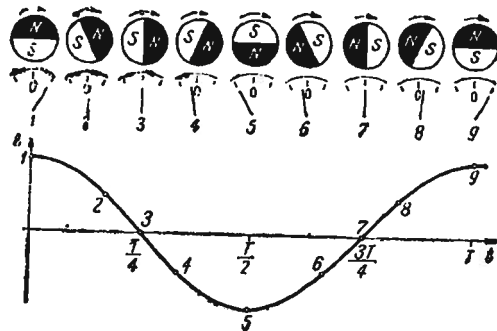


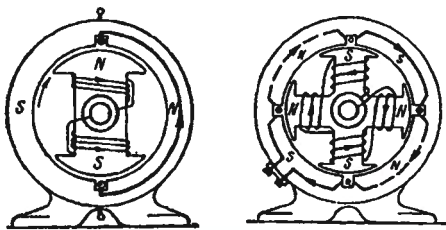
Fig. 99

Rotind în continuare magnetul-disc, se ajunge la o poziție în care polul N se află jos, iar polul S sus (invers decât în cazul figurii 98, a). Acum intensitatea curentului este mare și acul deviază în sens contrar celui din figura 98, a, ș.a.m.d. În figura 99 s-au arătat în mod simplificat câteva poziții

ale magnetului disc și ale acului galvanometrului conectat la înfășurare.

Experiența dă aceleași rezultate dacă în locul magnetului se folosește un rotor de oțel pe care se află o înfășurare străbătută de curent continuu de la un acumulator sau redresor. Generatoarele de curent alternativ folosite în practică au tocmai această structură: rotorul este inductor (el produce cîmpul magnetic), iar statorul este indus (în înfășurările sale se induce t.e.m.). Nu se folosește înfășurarea rotorului cu rol de indus pentru că ea ar fi greu de izolat în cazul producerii tensiunilor înalte, iar inelele colectoare și priile ar trebui să fie foarte mari pentru a culege curenți cu intensități mari și ele s-ar uza repede.

Rotorul are un număr pereche de poli pe care se află bobinele legate în serie și înfășurate în așa fel încît cînd sînt străbătute de curentul continuu numele polilor succesivi să alterneze (fig. 100, b).



a Fig. 100 b

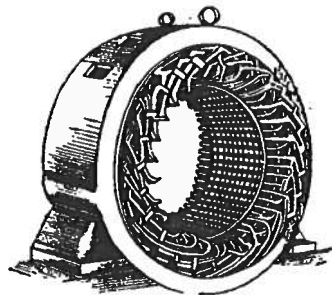


Fig. 101, a

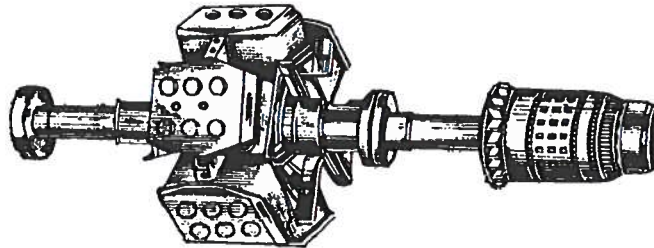


Fig. 101, b

Capetele înfășurărilor sînt legate la două inele aflate pe ax, dar izolate de acesta și între ele.

Înfășurările statorului sînt făcute în același mod, dar sînt situate în niște creștături aflate pe periferia interioară a miezului cilindric de oțel (fig. 101, a). În figura 100 s-au indicat acești conductori prin cerculețe în care punctul și semnul x indică sensul curentului; liniile punctate arată conductorii din partea posterioară, iar cele pline conductorii din partea anterioară. Curentul indus străbate întreaga înfășurare a statorului și poate fi cules la două borne situate pe placa sau în cutia de borne a generatorului. Un astfel de generator sincron care are pe stator un singur grup de înfășurări (o singură fază) terminate cu două borne se numește *generator sincron monofazat*. Avînd însă aceeași construcție ca și *generatorul trifazat* (care va fi tratat în paragraful următor), descrierea care urmează rămîne valabilă pentru ambele tipuri de generatoare sincrone.

Pentru că înfășurările *rotorului* sînt străbătute de curent continuu, acesta se construiește din oțel masiv. *Statorul* însă, prin ale cărui înfășurări trece curent alternativ, are miezul din tole de oțel cu siliciu, izolate cu lac pentru a evita pierderile prin curenți turbionari și prin histerezis.

Rotoarele generatoarelor din figura 100 și 101, b numite rotoare cu *poli aparenti* lucrează doar la viteze de rotație relativ mici (sub 1 000—1 500 rot/min). Alte tipuri de rotoare denumite cu *poli înecați* au înfășurările în niște creștături axiale ca la stator și lucrează la viteze mari (3 000 rot/min), pericolul datorit efectului forțelor centrifuge ca și pierderile prin frecări fiind mai reduse. Curentul care străbate înfășurările rotorului este dat de un mic generator de curent continuu, numit *excitatoare*, care este fixată chiar pe axul

1] Dacă generatorul are o singură pereche de poli ($p=1$) rotorul descrie o rotație în timp de o perioadă a curentului alternativ, cu alte cuvinte la viteză de o rotație / s, curentul alternativ, are o frecvență de 1 Hz.

Frecvența curentului electric este egală cu frecvența de rotație

$$f = \frac{n}{60} \quad n - \text{turația rotorului în rot/min}$$

Dacă generatorul are două perechi de poli ($p=2$) atunci este suficient ca rotorul să efectueze o jumătate de rotație pentru ca curentul alternativ să descrie un ciclu întreg.

Frecvența curentului alternativ produs de un generator sincron care are p perechi de poli este dată de relația $f = \frac{p \cdot n}{60}$

Generatoarele se numesc sincrone deoarece în timpul funcționării în înfășurările statorului se induc curenți al căror câmp magnetic se învârteste cu aceeași viteză ca și rotorul.

Întrucât câmpul magnetic al rotorului se învârteste odată cu acesta rezultă că vitezele câmpurilor magnetice învârtitoare ale statorului și rotorului sunt egale, adică se află în sincronism.

Când generatorul produce curent, datorită interacțiunii dintre câmpul statorului și curentul din înfășurarea rotorului acesta este frânit.

Cuplul de frâmare crește când curentul dat de generator se mărește.

Funcție de tipul motorului care antrenează generatoarele acestea pot fi: turbogeneratoare, generatoare ale grupurilor Diesel-electrice hidrogenatoare.

Generatoare sincrone trifazate

Au 3 grupuri de înfășurări (faze) pe stator decalate cu 120° între ele fiecare se numește bobină de fază a generatorului. Incepăturile bobinelor se notează cu A, B, C și sfârșiturile lor cu X, Y, Z.

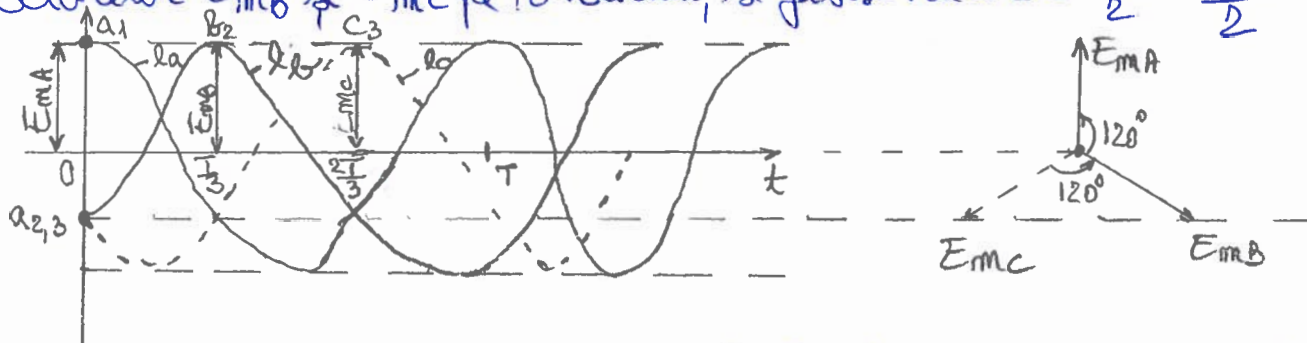
Când fluxul magnetic care străbate o bobină este minim (axa polilor este perpendiculară pe axa bobinei) t.e.m. indusă în această bobină este maximă, în schimb t.e.m. de pe celelalte 2 bobine vor avea valori mai mici decât pe prima bobină pentru că cele 2 bobine sunt străbate de un flux mai mare decât prima bobină.

După o treime de perioadă (o rotație cu 120°) t.e.m. pe a doua bobină este maximă și pe bobinele 1 și 3 este mai mică, la fel pentru a treia bobină.

Prin învârtirea rotorului, cu viteză constantă, în fiecare din cele trei bobine iau naștere t.e.m. alternative sinusoidale, dar decalate între ele în timp, cu $T/3$ (120°), ele formează un sistem trifazat simetric.

Celor trei t.e.m. decalate cu $T/3$ le corespund trei vectori de mărime egale \vec{E}_{mA} , \vec{E}_{mB} , \vec{E}_{mC} (valori maxime-amplitudini) decalati între ei cu 120° .

Diagrama vectorială permite să se obțină valorile instantanee ale tensiunilor la momentul $t=0$, în acest moment \vec{E}_{mA} este valoarea instantanee a bobinei 1 și t.e.m. din bobinele 2 și 3 se obțin luând proiectiile vectorilor \vec{E}_{mB} și \vec{E}_{mC} pe verticală, se găsește valorile $\frac{\vec{E}_{mB}}{2} = \frac{\vec{E}_{mC}}{2}$



Pe placa de borne a generatorului trifazat se vor regăsi șase borne la care sunt legate capetele A-X, B-Y și C-Z ale celor 3 bobine.

Indiferent de numărul de poli generatorul sincron trifazat va avea întotdeauna 6 borne (bobinele de pe fiecare fază se înseriează).

Motoare asincrone

Este un motor de curent alternativ a cărui funcționare se bazează pe existența forței de interacțiune dintre câmpul magnetic învârtitor produs de înfășurarea (fixă) a statorului și curenții induși de acest câmp în conductoarele rotorului (mobil).

Pe statorul motorului se fixează 3 bobine la unghiuri de câte 120° , ca urmare apare un câmp magnetic care intersectează bobinajul rotorului. Bobinajul fiind închis în el apar curenți de inducție.

Forțele electromagnetice dintre acești curenți și câmpul magnetic învârtitor rotește rotorul în același sens cu câmpul. Rotorul nu poate atinge viteză de rotație a câmpului magnetic, pentru că atunci nu se mai induce în conductor nici o t.e.m. și forța de antrenare se anulează. Viteza rotorului scade și astfel el rămâne în urma câmpului magnetic învârtitor.

2] Se spune că există o alune care între câmp și rotor.

Datorită variației în timp a intensităților curenților i_A, i_B și i_C se modifică câmpurile magnetice \vec{b}_A, \vec{b}_B și \vec{b}_C produse de ei, vezi fig. 106 pag. 112

Câmpul magnetic \vec{b} rezultat efectuează o rotație în timpul unei perioade a curentului alternativ, adică frecvența cu care se rotește câmpul magnetic este egală cu frecvența curentului alternativ care l-a produs.

Motoarele asincrone pot fi:

- motoare cu rotorul bobinat
- motoare cu rotorul în scurtcircuit (nebobinate)

Statorul tuturor motoarelor asincrone trifazate este identic cu cel al generatoarelor sincrone trifazate.

Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit

- au rotorul format dintr-un cilindru de țel, însă străbătut de canale prin care trec bare de cupru sau aluminiu scurtcircuitate la extremități cu câte un inel metalic. (de unde și denumirea de rotor încolțit)

La pornire rotorul se află în repaus ($n_2 = \text{turația rotorului} = 0$) viteza de rotație a câmpului magnetic față de rotor are cea mai mare valoare ($n_1/60 = f = \text{frecvența curentului alternativ}$) și deci t.e.m. ca și curenții induși sunt mari ceea ce atrage după sine o creștere a puterii absorbite provenită din stator și aceasta la rândul ei din rețeaua de alimentare. (de aceea acest tip de motor absorbe un curent mare de la rețea $I_f = 3 \div 7 I_N$)

În timpul funcționării rotorul are o turație n_2 (rot/min) mai mică decât a câmpului magnetic n_1 (rot/min), deci rotorul nu se rotește sincron cu câmpul magnetic, de aici și denumirea de motor asincron.

Pe măsură ce crește sarcina n_2 scade \Rightarrow crește viteza relativă a câmpului magnetic față de rotor \Rightarrow crește curentul indus în rotor, se mărește forța electromagnetă dintre câmpul magnetic și curentul rotorului și deci cuplul pe care îl dezvoltă iar motorul poate învinge sarcina care i se aplică.

astfel viteza rotorului crește ajungând aproape de viteza pe care o arăsesse mai înainte.

Așa se explică pentru ce motorul asincron își păstrează aproape neschimbată viteza deși sarcina variază în limite destul de largi.

Au avantajul unei construcții simple fără contacte alunecătoare, cu dezavantajul de a absorbi un curent mare la pornire și nu li se poate varia viteza decât în trepte folosind dispozitive și scheme speciale.

Turația motorului se calculează în funcție de alunecarea rotorului față de turația de sincronism:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}; \text{ unde: } n_1 - \text{turația de sincronism; } n_2 - \text{turația rotorului}$$

$$n_1 = 60 \cdot \frac{f}{p}; \text{ unde: } f - \text{frecvența U de alimentare, } p - \text{numărul de perechi de poli ai înfășurării statorice}$$

Turația motorului în funcție de turația câmpului magnetic învârtitor și în funcție de alunecare este: $n_2 = n_1(1 - s)$.

Se observă că alunecarea este aproape nulă (când turația este aproape egală cu turația câmpului magnetic învârtitor) și este egală cu 1 la pornire, sau când rotorul este blocat. Cu cât alunecarea este mai mare cu atât curentii induși în rotor sunt mai intensi.

Limitarea curentului de pornire al motorului se face prin creșterea rezistenței înfășurării rotorice sau prin diminuarea tensiunii aplicate motorului.

Creșterea rezistenței rotorului se face prin montarea unui rezistor la bornele rotorului (doar pentru motoare cu rotor bobinat).

Reducerea tensiunii aplicate se poate face astfel:

- folosind un autotransformator
- folosind un variator de tensiune alternativă (pornire lină)
- conectând inițial înfășurarea statorică în conexiune stea (pornire $1 - s$) (motoarele trebuie să poată funcționa în conexiune triunghi)
- inserarea de rezistențe la înfășurarea statorică

La reducerea U de alimentare trebuie avut în vedere că cuplul motorului este invers proporțional cu pătratul U, deci pentru valori mici ale U de alimentare maxima miș

la $t = \frac{T}{12}$ avem $i_A = -i_C$ și $i_B = 0$. Ținând seama de sensurile și mărimile curenților i_A și i_C prin bobinele A și C și aplicând regula burghiului drept, s reprezintă vectorii \vec{b}_A și \vec{b}_C ai câmpurilor corespunzătoare. Câmpul rezultat cu ajutorul regulii paralelogramului, este \vec{b} .

Din grafic se observă că la $5\frac{T}{12}$ (adică după $T/3$), curenții și deci și câmpul) prin bobina C este nul. Totodată, se...

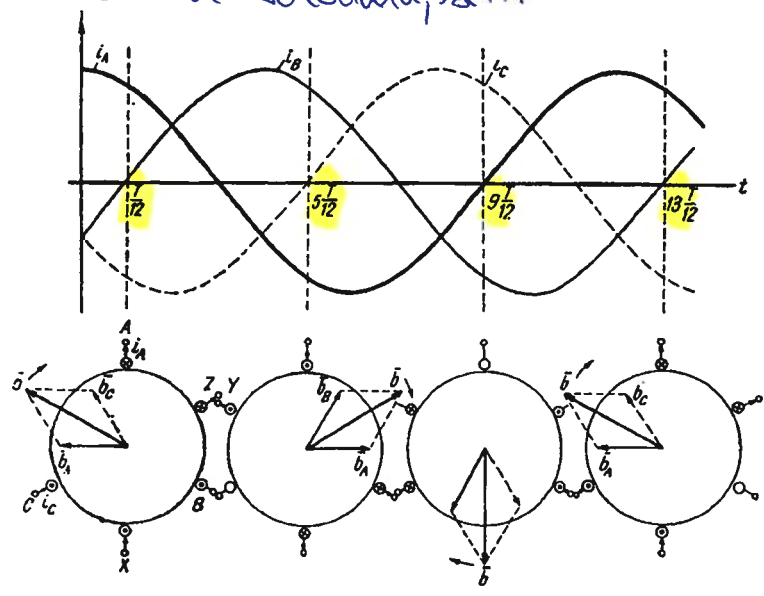


Fig. 106

... vede că $i_B = -i_A$. Pentru că sensul lui i_A este opus celui anterior, de aceea și b_A are sens opus. Câmpul rezultat \vec{b} are aceeași mărime ca înainte, pentru că și mărimile componentelor au rămas aceleași; el s-a rotit însă în sensul acelor de ceasornic cu 120° .

În mod asemănător se poate explica și rotirea cu încă 120° a câmpului \vec{b} și păstrarea mărimii sale la momentul $9 T/12$, apoi cu încă 120° la $13 T/12$ etc. Câmpul magnetic rezultat \vec{b} efectuează o rotație în timpul unei perioade a curentului alternativ (de la $T/12$ la $13 T/12$); așadar, frecvența cu care se rotește câmpul magnetic este egală cu frecvența curentului alternativ care l-a produs.

Motoarele asincrone pot fi de două tipuri: motoare cu rotorul bobinat și motoare cu rotorul în scurtcircuit (nebobinate). O largă folosire au motoarele de primul tip.

Statorul tuturor motoarelor asincrone trifazate este identic cu cel al generatoarelor sincrone trifazate.

Motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit au rotorul (fig. 107, a) format tot dintr-un cilindru de tole, însă străbătut de canale

103 poate forma.

O metodă de reglare a turatiei sunt cascadele de recuperare a puterii de alunecare. La bornele rotorice este conectat un redresor, iar la bornele acestuia este conectat un motor de c.c. aflat pe același ax cu rotorul (cascada Krammer cu recuperarea puterii de alunecare pe cale mecanică).

Tensiunea indusă în rotor este astfel redresată și aplicată motorului de c.c. astfel încât cuplul dezvoltat de motorul de c.c. se însumează cu cuplul dezvoltat de motorul asincron. Reglarea turatiei motorului asincron se face prin reglarea curentului prin înfășurarea de excitație.

În locul motorului de c.c. se poate folosi un invertor cu tiristoare și un transformator de adaptare (cascadă Krammer cu recuperarea puterii de alunecare pe cale electrică).

Tensiunea indusă în rotor este astfel redresată și prin intermediul invertorului și a transformatorului este reintrodusă în rețea.

Reglarea vitezei se face din unghiul de aprindere al tiristoarelor.

Turatia câmpului magnetic învârtitor se poate modifica din frecvența tensiunii de alimentare și din numărul de perechi de poli ai mașinii.

Numărul de perechi de poli se modifică folosind o înfășurare specială (înfășurarea Dahlander) și unul sau mai multe contactoare.

Frecvența de alimentare se modifică folosind invertorare. Pentru frecvențe mai mici decât frecvența nominală a motorului (50 Hz sau 60 Hz America) odată cu modificarea frecvenței se modifică și tensiunea de alimentare păstrând raportul U/f constant. Pentru frecvențe mai mari decât frecvența nominală la creșterea frecvenței tensiunea de alimentare rămâne constantă și reglarea vitezei se face cu slăbire de câmp (ca la motorul de c.c.)

Motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit nu are colector, cel cu rotorul bobinat are perii care se uzază și necesită întreținere.

Motorul asincron (de inducție) monofazat

Curentul electric monofazat nu poate produce câmp magnetic învârtitor și produce câmp magnetic pulsatoriu (fix în spațiu și variabil în timp). Câmpul magnetic pulsatoriu nu poate porni rotorul, însă dacă acesta se rotește într-un sens, atunci asupra lui va acționa un cuplu în sensul său de rotație.

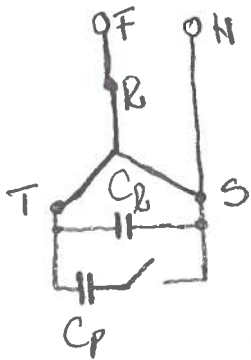
Problema principală o constituie obținerea unui câmp magnetic învârtitor la pornirea motorului și aceasta se realizează în mai multe moduri:

a. prin adăugarea pe statorul mașinii la un unghi de 90° a unei faze auxiliare înseriată cu un condensator se poate obține un sistem bifazat de curenți ce produce un câmp magnetic învârtitor. Sensul de rotație al motorului se poate schimba prin mutarea condensatorului din faza auxiliară în faza principală.

b. în locul fazei auxiliare se poate folosi o spirală în scurtcircuit plasată pe o parte din polul statoric pentru obținerea câmpului învârtitor. Curentul electric indus în spirală se va opune schimbării fluxului magnetic din înfășurarea astfel încât amplitudinea câmpului magnetic se deplasează pe suprafața polului creând câmpul magnetic învârtitor.

C_p - condensator de pornire

$$C_p = 2800 \times \frac{I_m}{U}; \quad C_p = 2,5 \cdot C_l \quad C_l - \text{condensator de lucru}$$



Alimentarea la 230V a unui motor trifazat (schimbarea sensului de rotație se face prin mutarea celor doi condensatori pe o altă fază)

Motorul sincron trifazat

Este o mașină electrică la care turația rotorului este egală cu turația câmpului magnetic învârtitor indiferent de încărcarea motorului.

Statorul este format dintr-o armatură feromagnetice și o înfășurare trifazată.

Rotorul - " - " - și o înfășurare rotorică de c.c.

Pot fi două tipuri de rotoare:

- cu poli înecați
- cu poli aparenti

1) Rotorul cu poli încați are armătura feromagnetică crestată spre exterior și în crestătură este plasată înfășurarea rotorică.

Rotorul cu poli aparenti are armătura feromagnetică sub forma unui butu poligonal pe care sunt plasate miezurile polilor rotorici și bobinele polare concentrate. În unele situații în locul bobinelor polare concentrate se pot folosi magneti permanenți.

Înfășurarea rotorică (de excitație) a motorului parcursă de c.c. creează un câmp magnetic fix față de rotor. Acest câmp „se lipsește” de câmpul magnetic învârtitor statoric și rotorul se rotește sincron cu acesta.

Datorită inerției, câmpul magnetic nu are timp să se lipsească de câmpul magnetic învârtitor și motorul sincron nu poate porni prin conectare directă la rețea.

Există 3 metode principale de pornire a motoarelor sincrone:

1. pornirea în asincron
2. pornirea la frecvență variabilă (o sursă de U cu f variabilă sau un convertor cu f variabilă)
3. pornirea cu motor auxiliar - necesită un motor auxiliar

Motorul sincron monofazat

Este realizat uzual ca motor sincron reactiv cu sau fără magneti permanenți pe rotor.

- necesită un câmp magnetic (ca la motoarele asincrone monofazate) ce poate fi obținut fie folosind o fază auxiliară și condensator fie folosind spiro în scurtcircuit pe poli statorici.

Motorul pas cu pas

Este un tip de motor sincron cu poli aparenti pe ambele armături. La apariția unui semnal de comandă pe unul din poli statorici rotorul se va deplasa până când poli săi se vor alinia în dreptul polilor opuși statorici.

Rotirea acestui tip de rotor se va face practic din pol în pol.

Mășini de curent continuu

Principiul de funcționare a generatorului de curent continuu

Vezi explicații + figură pag. 121-124

În deosebire de mașinile de c.a., la mașinile de c.c. rotorul este induitor iar statorul este inductor.

Fluxul magnetic inductor nu este dat de un magnet permanent ci statorul posedă unul sau mai mulți electro-magneți (poli) ale căror înfășurări se numesc înfășurări de excitație. Polii sunt făcuți din oțel masiv sau din tole de oțel și se fixează pe suprafața interioară a carcasei mașinii, cu bulboane.

Partea principală a carcasei, jugul, este un cilindru din oțel turnat sau forjat, care are nu numai rolul de a susține polii dar și de a conduce fluxul magnetic dat de poli. De o parte și de alta a carcasei se află fixate scuturile (capacele), având în centru lagărele. De lagăre ori de carcasă sunt fixate portperiile așezate pe o piesă de susținere comună. Portperiile susțin și opăsă perii pe colector.

Înălțimea rotorului are formă cilindrică și se face din tole de oțel (discuri cu creștături radiale izolate cu lac sau forță). Pachetul cilindric de tole prezintă creștături longitudinale în care se așează înfășurările făcute din sârmă sau bare de cupru izolate.

Pe axul rotorului mai sunt fixate:

- colectorul, cu formă cilindrică alcătuit din lamele de cupru izolate între ele și față de ax
- ventilatorul

În funcție de modul de conectare a înfășurării de excitație motoarelor de c.c. pot fi clasificate în:

1. motor cu excitație independentă - înfășurarea statorică și înfășurarea rotorică sunt conectate la două surse separate de tensiune
2. motor cu excitație paralelă - înf. statorică și înf. rotorică sunt legate în paralel la aceeași sursă de tensiune
3. motor cu excitație serie - înf. st. și înf. rot. sunt legate în serie
4. motor cu excitație mixtă - înf. sta. este divizată în 2 înfășurări, una conectată în paralel și una conectată în serie

B. Mașini de curent continuu

51. Principiul de funcționare a generatorului de curent continuu

Cel mai simplu generator de curent continuu se obține folosind o spiră care se rotește într-un câmp \vec{B} (v. fig. 86) dar având în locul celor două inele un sistem de două plăci metalice C și D (semicilindri) izolate între ele și de ax, legate cu capetele spirei (fig. 108). Lamele C și D alcătuiesc un *colector*; pe ele apasă două *perii* s și t , care se conectează la rezistorul exterior R .

Curentul circulă în spiră într-un sens într-o jumătate de rotație și în sens contrar în a doua jumătate. Schimbarea sensului de rotație are loc, așa cum se știe, când spira trece prin pozițiile în care este străbătută de fluxul magnetic maxim (v. fig. 109 pozițiile 1, 5, 9 etc.). Când are loc trecerea prin aceste poziții se schimbă nu numai sensul curentului în spiră, ci și lamele colectorului în raport cu periiile.

Dacă în cursul primei jumătăți de rotație lama C a primit curent prin peria s , iar lama D a trimis curent prin peria t , în a doua jumătate de rotație, lama C vine în contact cu peria t prin care trimite curent, iar lama D vine în contact cu peria s și primește curent

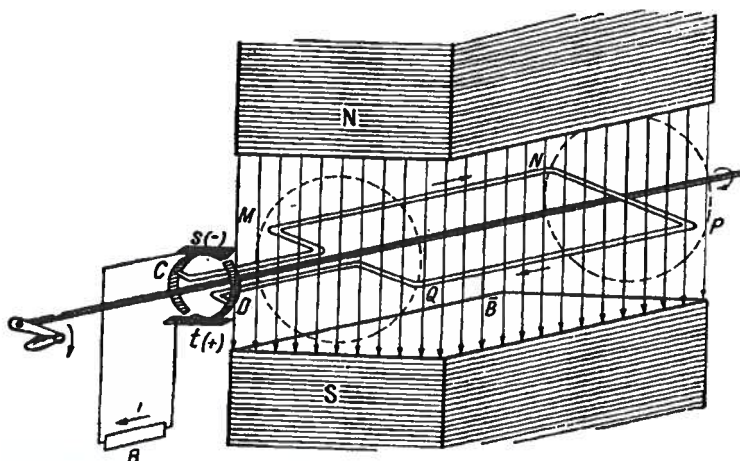


Fig. 108

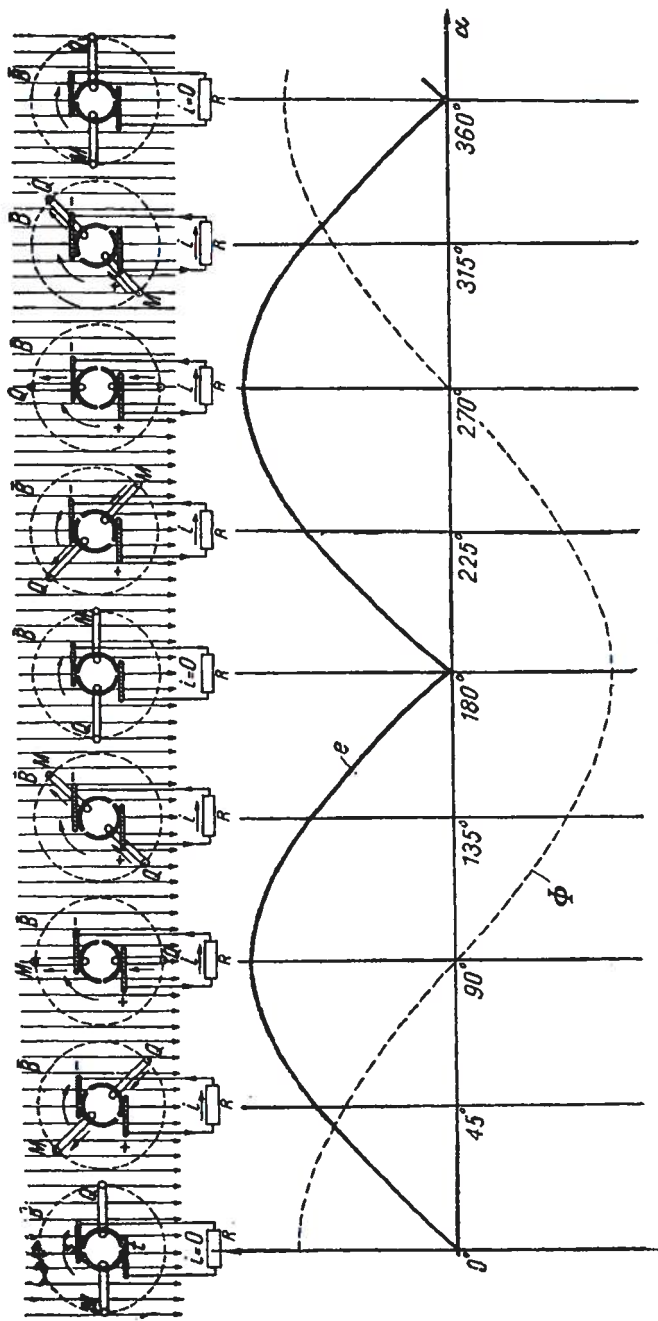


Fig. 109

prin aceasta. De aceea, tot timpul peria t constituie borna + a generatorului, în timp ce s este borna negativă; cînd spira se rotește, t.e.m. e de la bornele generatorului și curentul i din rezistența exterioară nu-și schimbă sensul (fig. 109). Totuși, valoarea t.e.m. și a curentului continuu produs nu este constantă, ci variază foarte mult (*curent pulsatoriu*). Pentru a se obține un curent continuu cu variații mai reduse, în locul unei singure spire se pot folosi două spire plane separate, care fac între ele unghiuri de 90° , la colector punîndu-se patru lame metalice (fig. 110, a). Fiecare dintre t.e.m. induse în cele două spire vor varia în timp, în modul descris în figura 109; t.e.m. indusă în spira 2 va trece prin aceleași valori ca t.e.m. indusă în spira 1, numai după ce va executa încă $1/4$ de rotație față de prima. De aceea, cele două t.e.m. vor fi decalate între ele cu 90° sau, în timp, cu $T/4$ (fig. 110, b). Din aceeași figură se observă că t.e.m. rezultantă e (obținută prin însumarea făcută pentru fiecare moment a ordonatelor t.e.m. e_1 și e_2) variază mai puțin decît fiecare dintre componente.

Experiență. Se poate arăta modul în care variază în timp t.e.m. și curentul produs de un generator electric de curent continuu, simplu, prevăzut cu o bobină așezată pe un miez de fier în formă de dublu T, conectînd un galvanometru la bornele unui model de generator I.M.D. (fie modelul mic cu stator din ferită, fie modelul mare cu stator din oțel, fig. 111, a) pus în mișcare de rotație uniformă, lentă. Acul galvanometrului indică o variație a curentului deplasîndu-se numai într-un sens și atingînd de două ori în cursul unei rotații valoarea maximă sau zero (fig. 109).

Cînd se înlocuiește acest rotor care are o bobină, cu rotorul cu două bobine perpendiculare între ele (fig. 111, b), t.e.m. și curentul

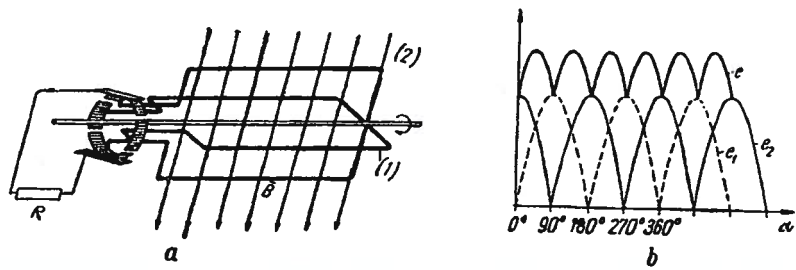


Fig. 110

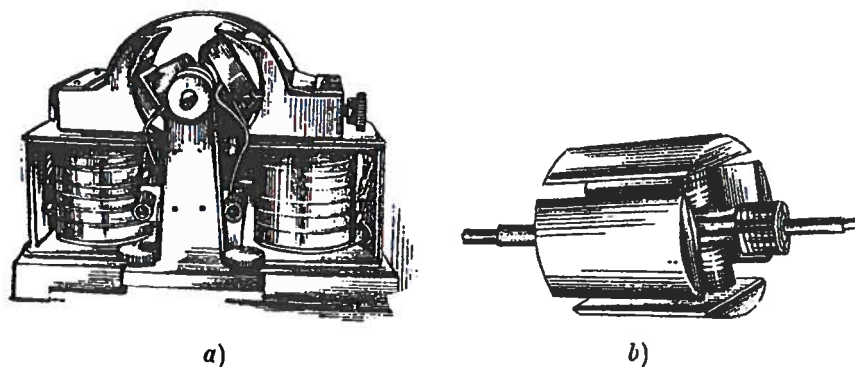


Fig. 111

dat de generator ating de patru ori valoarea maximă în cursul unei rotații; acum valoarea minimă nu mai este zero și de aceea variațiile curentului sînt mai reduse (fig. 110, b curba *e*).

Pentru a da t.e.m. mai mari și cu variații cît mai reduse, generatoarele de curent continuu folosite în practică au, în locul a două spire decalate cu 90° , mai multe bobine făcînd între ele unghiuri egale și un colector cu un număr de lame corespunzător. Astfel, folosind 16 bobine, variațiile tensiunii scad sub 1%, iar cu 30 de bobine, sub 0,1%, adică practic se obțin o tensiune și un curent continuu constante.

Dacă amplitudinea t.e.m. E_m dată de un cadru cu n spire este $E_m = nBlv'$ (rel. 28 și 29), atunci ținînd seamă de relațiile $v' = \omega r = 2\pi r \nu$ și $\Phi_m = BS = Bl2r$ se poate scrie că E_m este proporțională cu numărul de spire al cadrului, fluxul magnetic maxim Φ_m și frecvența ν de rotație: $E_m \sim n \Phi_m \nu$. Și în cazul producerii t.e.m. continue E de către un generator cu mai multe bobine pe rotor și mai multe perechi de poli pe stator este valabilă o relație asemănătoare, $E \sim n \Phi_m \nu$.

52. Construcția mașinilor de curent continuu

Spre deosebire de mașinile de curent alternativ, la mașinile de curent continuu rotorul este *indus*, iar statorul este *inductor* (fig. 112). La generatoare acesta se explică prin faptul că pentru obținerea curentului continuu (în circuitul exterior) din curentul
124 alternativ care străbate înfășurarea rotorului, este necesar ca înfășu-

↳ Într-o înfășurarea rotorică parcursă de curent va crea una sau mai multe perechi de poli magnetici echivalenți. Rotorul se deplasează în câmpul magnet de excitație până când poli rotorici se aliniaza în dreptul polilor statorici.

În același moment, colectorul schimbă sensul curentilor rotorici astfel încât polaritatea rotorului se inversează și rotorul va continua deplasarea până la următoarea aliniere a polilor magnetici.

Turația motorului este proporțională cu U aplicată înfășurării rotorice și invers proporțională cu câmpul magnetic de excitație. Turația se reglează prin varierea U aplicată motorului până la valoarea nominală a U , iar turații mai mari se obțin prin slăbirea câmpului de excitație.

Cuplul dezvoltat de motor este direct proporțional cu curentul electric prin rotor și cu câmpul magnetic de excitație. Reglarea turației prin slăbirea de câmp se face cu diminuare a cuplului dezvoltat de motor.

La motoarele serie același curent străbate înfășurarea de excitație și em. rai! Din aceste considerente se pot deduce 2 caracteristici ale motoarelor serie:
- pentru încărcări reduse ale motorului, cuplul acestuia depinde de pătratul curentului electric absorbit. Motorul nu trebuie lăsat să funcționeze în gol pentru că în acest caz valoarea intensității curentului absorbit este foarte redusă și implicit câmpul de excitație este redus, ceea ce duce la ambalarea mașin până la autodistrugere.

Schimbarea sensului de rotație se face fie prin schimbarea polarității U de alimentare, fie prin schimbarea câmpului magnetic de excitație.

La motorul serie prin schimbarea polarității U de alimentare se realizează schimbarea sensului ambelor mărimi și sensul de rotație rămâne neschimbat \Rightarrow poate fi folosit și la U alternativă, unde polaritatea U se inversează o dată în decursul unei perioade.

Un astfel de motor se numește motor universal și se folosește în aplicații casnice de puteri mici și viteze mari de rotație (aspirator, mixer).

ulatoare de curent continuu

Când se pune în funcțiune motorul, în spițele rotorului se induce o tensiune contraelectromotoare (t.c.e.m.), E , denumită astfel pentru că are sens contrar tensiunii U de alimentare.

Tensiunea U echilibrează t.c.e.m. E și acoperă căderea de tensiune pe rezistența înfășurării induse: $U = E + r_a I_a$. t.c.e.m. este proporțională cu fluxul magnetic și cu frecvența de rotație a indusului: $E \sim m \phi_m f$

Când motorul funcționează în gol și indusul are o viteză de rotație foarte mare t.c.e.m. E este mare \Rightarrow motorul absoarbe de la rețea un curent redus: $I = \frac{U - E}{r_a}$

Când motorul funcționează în sarcină indusul are o viteză mai mică, iar curentul de alimentare crește.

La pornirea motorului, rotorul aflându-se în repaus, $E = 0$, iar motorul absoarbe un curent foarte mare (r_a are o valoare deosebit de mică, zecimi sau sutimi de ohm), astfel pornirea motorului se face cu ajutorul unui reostat special care ulterior se scoate din circuit.

Când funcționează în sarcină, motorul absoarbe o putere $P_1 = U \cdot I$ care servește la producerea puterii electromagnetice $P = E \cdot I_a$ și la acoperirea pierderilor din înfășurarea indusului și din înfășurarea de excitație.

O mică parte din puterea P acoperă pierderile mecanice (prin frecare) și în fier, în timp ce majoritatea constituie puterea mecanică utilă P_2 disponibilă la arborele motorului. $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ - randamentul industrial

P_2 - puterea utilă (mecanică); P_1 - puterea absorbită (electrică)

Randamentul electric al motorului: $\eta' = \frac{P}{P_1} = \frac{E \cdot I_a}{U \cdot I}$

P - puterea electromagnetice; P_1 - puterea absorbită

Motorul serie

Dacă $I_m = I$ atunci $\eta' = \frac{E}{U}$. Deoarece $P > P_2 \Rightarrow \eta' > \eta$. Deoarece puterea electromagnetice P este dată de produsul dintre cuplul M și viteza unghiulară ω a rotorului, se poate scrie că $P = E \cdot I_a = M \omega$. Cum $E \sim m \phi_m f \Rightarrow M = \frac{E \cdot I_a}{\omega}$ sau $M = \frac{m \phi_m f}{2 \pi f} \cdot I_a$ adică $M \sim \phi_m I_a$

2) De aceea motorul dezvoltă un cuplu mare când înfășurarea rotorului este străbătută de un curent intens și când fluxul magnetic al inducătorului este mare.

Motorul cu excitație serie

În acest caz curentul I_a din indus este egal cu curentul I absorbit de la rețea. Tensiunea de alimentare U echilibrează t. e. m. E și acoperă atât căderea de tensiune pe indus $r_a I_a$, cât și cea de pe înfășurarea de excitație $r_e I_a$: $U = E + (r_a + r_e) I$ (nu s-a ținut seama de rezistența reostatului de pornire R_p). La pornire, curentul este mare și străbătând înfășurarea de excitație produce un flux intens ($\Phi_m \sim I_a$). De aceea cuplul motor crește foarte mult cu curentul: $M \sim \Phi_m I_a$, adică $M \sim I_a^2$.

Acest tip de motor nu trebuie lăsat niciodată să lucreze fără sarcină (în gol), întrucât atunci viteza sa de rotație crește nepermis de mult (motorul se ambalasează).

Viteza de rotație se poate regla prin modificarea tensiunii de alimentare conectând rezistențe în serie cu motorul sau conectând 2 motoare în serie (revine fiecare la o tensiune $U/2$), exemplul locomotive și tramvaie electrice.

Motorul cu excitație derivată

Curentul de alimentare I se împarte în curentul I_a prin indus și curentul i_e prin înfășurarea de excitație: $I = I_a + i_e$.

Pentru a micșora curentul de pornire se folosește un reostat de pornire R_p . Pornirea se face cu reostatul așezat în poziția de rezistență maximă, astfel încât intensitatea $I = \frac{U - E}{r_a + R_p}$ este mică.

Au avantajul de a-și păstra viteza aproape constantă când variază sarcina, dacă sunt alimentate cu tensiune constantă.

Pentru pornirea motoarelor cu combustie internă a autovehiculelor se folosesc de obicei motoare serie denumite demaroare care se alimentează din acumulatori.

Inversarea sensului de rotație al oricărui tip de motor de c.c. cu autoexcitație se face fie schimbând sensul curentului din rotor, fie pe cel al curentului din stator.

Un motor de c.c. funcționează și dacă este alimentat cu c.a. pentru că el își păstrează sensul de rotație în decursul oricăreia dintre alternanțele care este avantajos și nu se utilizează astfel de motoare cu colector alimentate în c.a. decât pentru puteri mici (la masini de găurit manuale, aspiratoare de praf, mici ventilatoare, etc.).

Transportul energiei electrice

Este important să se realizeze linia de transport în așa fel încât o cât mai mare parte din puterea P_G dată de generator să ajungă la consumator (P_c), adică puterea pierdută pe linie P_L să fie cât mai mică ($P_G = P_c + P_L$)

$$P_L = R_L I^2 = U_L \cdot I$$

Dacă puterea este transmisă la o tensiune mică atunci va trebui ca prin conductori să treacă un curent cu o intensitate mare ($P = U \cdot I$) și atunci secțiunea lor trebuie să fie mare pentru a suporta acest curent mare, ceea ce ridică costul liniei de transport.

Dacă puterea este transmisă la o tensiune mare, atunci I are o valoare redusă. În acest caz căderea de tensiune pe linie, U_L , este mică și de aceea valoarea tensiunii la consumator se apropie de valoarea dată de generator.

În c.a. există posibilitatea de a ridica sau coborî tensiunea dată de o sursă de c.a. fără a se produce pierderi mari de energie, lucru greu de realizat în c.c..

Transformatorul

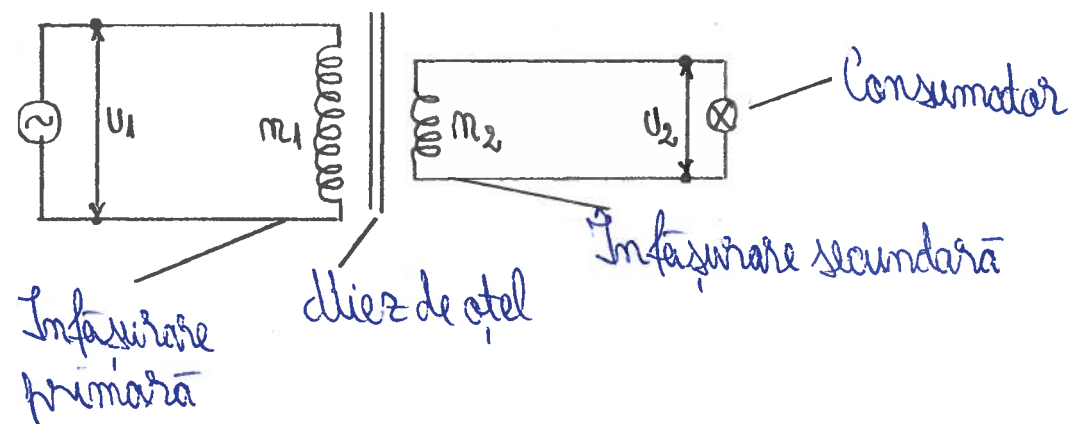
Este un aparat care folosește fenomenul de inducție electromagnetică și transformă (pe cale statică) energia dată de o sursă de c.a. cu o anumită tensiune în energie de c.a. cu aceeași frecvență însă cu o altă tensiune.

Înfășurările sunt așezate pe un miez din oțel special (cu siliciu) pentru micșorarea pierderilor de energie. Miezul este format din foi (table subțiri) subțiri care sunt izolate între ele cu lac. Miezul de oțel se introduce cu scopul de a strânge liniile câmpului magnetic (fierul are $\mu_r \gg 1$), de a nu le lăsa să se risipească, astfel încât ambele înfășurări să fie străbatele

2) de acceia flux magnetic.

Funcție de modul de așezare a înfășurărilor avem:

- transformator în manta: înfășurările se așază una peste alta și ocupă partea centrală a miezului;
- transformator cu coloane: înfășurările se așază fiecare pe câte o coloană (coloanele aparțin aceluiași miez de oțel).



Dacă se alimentează înf. primară a traf. de la rețeaua de c.a., iar bornele circuitului său secundar nu sunt legate la un consumator și spunem că traf. lucrează în gol.

Prin bobinajul primar circulă un c.a. de mică intensitate deoarece înfășurarea are un număr mare de spire și miez de fier are o inductanță ridicată. Acest c.a. produce un câmp magnetic alternativ și un flux magnetic alternativ care străbate întreg miezul de oțel. Fluxul variabil în timp este atât în înfășurarea primară cât și în cea secundară și conform legii inducției electromagnetice el induce tensiuni electromotoare atât în circuitul secundar (E_2) cât și în circuitul primar (E_1).

Tensiunile electromotoare vor fi cu atât mai mari cu cât vor fi mai

mari:

- viteza de variație în timp a fluxului (deci frecvența curentului)
 - numerele de spire m_1 și m_2 (aceasta deoarece se însumează t.e.m. din toate spirele fiecărui bobinaj, ele fiind legate în serie)
 - valoarea maximă ϕ_m a fluxului magnetic: $E_1 \sim m_1 \phi_m f$ și $E_2 \sim m_2 \phi_m f$
- Tensiunea electromotoare E_1 se opune tensiunii U , dată de rețea și fiind aproape egală cu ea tinde să o echilibreze: $U_1 \simeq E_1$.

Raportul dintre tensiunea U_1 a sursei de c.a. și tensiunea electromotoare E_2 (egală la mersul în gol cu tensiunea U_2 de la bornele emf. secundare) este:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = m$$

Raportul $\frac{n_1}{n_2}$ se numește raport de transformare al transformatorului.

Trafo. la care $m > 1$ au mai multe spire în primar decât în secundar și de aceea dau în secundar o tensiune mai mică, numindu-se trafo. coborâtore de tensiune.

Trafo. la care $m < 1$ dau în secundar o tensiune mai ridicată decât tensiunea de alimentare și se numesc trafo. ridicătoare de tensiune.

Când trafo. lucrează în gol, I din emf. primară este mult defazat față de U , astfel că aparatul absoarbe o putere foarte mică. Această putere acoperă pierderile de energie din miezul de oțel (prin curenți turbionari și histerezis, care produc încălzirea miezului) și pierderile din emf. primară (încălzirea acestuia).

Când trafo. lucrează în sarcină, în circuitul secundar t.e.m. E_2 producează în această emf. un curent I_2 cu o intensitate cu atât mai mare cu cât rezistența este mai mică.

Acum apar pierderi și prin încălzirea emf. secundare. Puterea P_2 dezvoltată de curentul I_2 în consumator provine din puterea P_1 absorbită de trafo. de la rețeaua de c.a.

Trafo. lucrează cu un randament $\eta = \frac{P_2}{P_1}$.

Deoarece trafo. nu are piese în mișcare (nu are pierderi de energie prin frecare) ele au η ridicat, ajungând la 95% la trafo. de puteri foarte mari.

Dacă se face abstracție de pierderile care au loc în transformator, întrucât $\eta \approx 1$, se poate scrie $P_1 = P_2 \Rightarrow U_1 I_1 = U_2 I_2 \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2} = m$

Asadar prin coborâtrea tensiunii de un număr de ori egal cu valoarea raportului de transformare, se obține o creștere de același număr de ori a intensității curentului care poate fi dat de emf. secundară a trafo. (ex. trafo. scut).

Trafo. pot avea mai multe emf. primare care se leagă în serie pentru a fi alimentate cu diferite tensiuni, sau mai multe emf. secundare pentru a alimenta în același timp sau succesiv, cu tensiuni diferite, câte unul sau mai mulți consumatori.

Autotransformatorul

Este un trafo. special care are o înt. făcută din conductori cu diametri diferite, la care se conectează atât sursa de c.a. cât și consumatorul.

Bobina de inducție

Este un tip de transformator special (bobina Ruhmkorff), este alcătuită dintr-o bobină primară P din sârmă groasă și cu spire puține, peste care este așezată bobina secundară S . Aceasta este făcută din sârmă extrem de subțire, cu un număr foarte mare de spire foarte bine izolate între ele.

Bobina se alimentează în primar cu c.c. întrerupt periodic și produce în secundar o tensiune alternativă foarte înaltă, având o formă specială, amplitudinea t.e.m. din cursul unei alternanțe fiind mult mai mare decât în cealaltă alternanță.

Câmp electro-magnetic

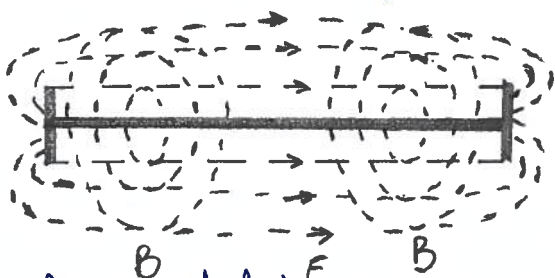
Câmpul electric variabil generat de sarcinile electrice care oscilează într-un dipol electric se resimte în spațiul din jurul dipolului.

Teoria electromagnetismului arată că:

a). un câmp electric variabil generează în jurul său un câmp magnetic variabil cu linii de câmp închise (ipoteza curentului de deplasare)

b). câmpul magnetic variabil creează în jurul său un câmp electric variabil cu linii de câmp închise (legea inducției electromagnetice).

În jurul dipolului vor exista concomitent atât câmp electric variabil E cât și câmp magnetic variabil B , perpendiculare unul pe altul: liniile de câmp electric E sunt în plane ce trec prin dipol, iar liniile de câmp magnetic B sunt în plane perpendiculare pe axa dipolului.



Ansamblul de 2 câmpuri variabile în timp, unul electric și altul magnetic, care se generează unul pe altul poartă numele de câmp electromagnetic.

Forma de propagare a câmpului magnetic, care variază periodic, poartă numele de undă electromagnetică. (λ). $\lambda = \frac{c}{f}$ c - viteza de propagare a luminii

În propagarea lor, undele electromagnetice se pot reflecta sau refracta.

În straturile superioare ale atmosferei se produc foarte mulți ioni de către radiațiile solare, se formează astfel un strat conductor, numit ionosferă, care reflectă în special undele electromagnetice scurte.

La trecerea printr-un mediu undele electromagnetice sunt parțial absorbite doar vidul este perfect transparent. Lumina este o undă electromagnetică.

Lucruri practice

Pentru a constata dacă un acumulator este încărcat sau descărcat se va măsura tensiunea la bornele sale cu circuitul exterior închis, deoarece variația foarte mică a tensiunii electromotoare E în cazul circuitului exterior deschis, nu este sesizată decât de instrumente de măsură precise.