

Capitolul 7

MASINA DE CURENT ALTERNATIV CU COLECTOR

Principiul care sta la baza realizarii acestor masini este transferul colectorului de la masina de curent continuu la masina de curent alternativ, în vederea obtinerii unor caracteristici de reglaj asemanatoare cu cele de la masina de curent continuu.

Dupa cum am vazut în subcapitolul [3.3], reglajul vitezei motorului se face fie prin pierderi de energie care cresc odata cu cresterea alunecarii (pierderi prin efect Joule), fie cu ajutorul unor instalatii exterioare relativ scumpe în comparatie cu pretul masinii reglate. De asemenea motoarele asincrone de viteza mica sau cele care functioneaza încarcate cu sarcina mica au un factor de putere scazut. Aceste inconveniente pot fi înlaturate folosind colectorul la masina asincrona.

Masina de c.a. cu colector este folosita, în practica, numai în regim de motor, atât ca motor monofazat cât si ca motor trifazat. Dintre motoarele de c.a. cu colector mai des întâlnite în practica, mentionam, motorul monofazat serie, motorul monofazat derivatie (cu repulsie), motorul trifazat derivatie etc.

Inductorul masinilor de c.a. cu colector poate fi monofazat sau trifazat, iar indusul este prevazut cu o înfasurare de c.a. si colector. Aceste masini, de obicei, se construiesc cu poli înecati, deci, au întrefier constant.

În masinile de c.a. cu colector, inductorul (monofazat sau trifazat) este alimentat de la o retea de c.a., obtinându-se un câmp magnetic pulsatoriu sau rotitor, care va induce în înfasurarea de c.c. de pe indus doua feluri de t.e.m.: statice (e_s) ca la transformator si de rotatie (e_r) ca la masina de c.c.

7.1 T.e.m. indusa în masinile de c.a. cu colector

Asa cum am mentionat mai sus, în aceste masini, câmpul inductor, care poate fi de tip pulsatoriu (ca la masina monofazata) sau de tip rotitor (ca la masina trifazata), induc în înfasurarea de pe indusul de c.c. doua feluri de t.e.m.:

- tensiuni electromotoare statice (e_s) care sunt asemenea cu cele de la transformator daca consideram inductorul analog primarului, iar indusul secundarul transformatorului;
- tensiuni electromotoare de rotatie (e_r) care sunt analoage cu cele induse în masina de c.c. si care se datoresc rotirii acestuia în câmpul inductor.

Vom prezenta, în continuare, modul de obtinere a acestei t.e.m., tinând seama ca, de obicei, inductorul se afla pe stator, iar indusul pe rotor.

7.1.1 T.e.m. induse de catre câmpul pulsatoriu

Vom considera cazul în care indusul este fix ($n_2 = 0$). În figura 7.1 se reprezinta trei situatii în ceea ce priveste pozitia periiilor pe colector.

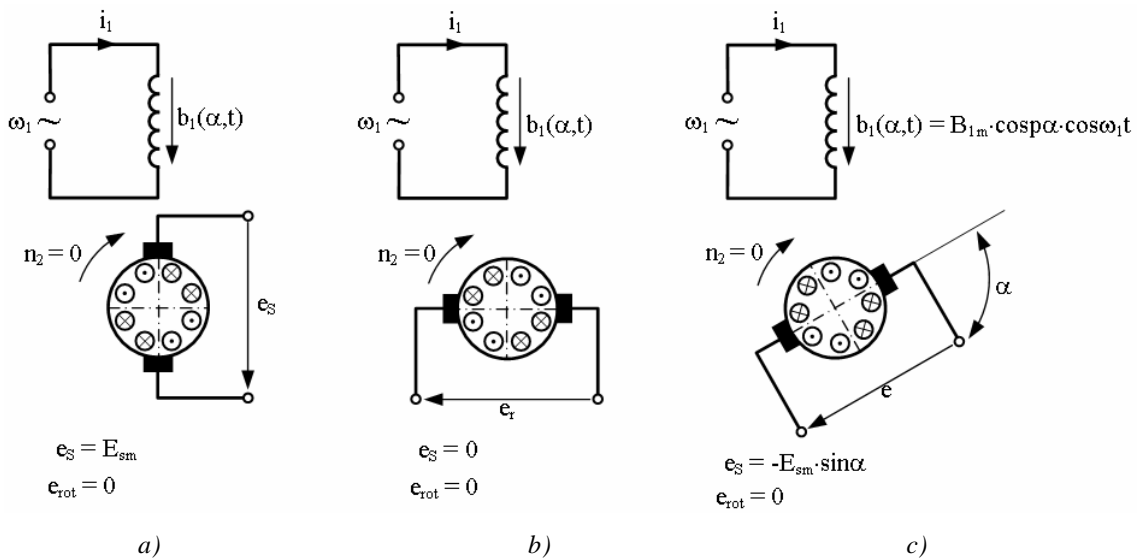


Figura 7.1

În toate cazurile din figura 7.1, t.e.m. de rotatie este nula ($n_2 = 0$), în schimb t.e.m. statica are valorile:

- figura 7.1, a, $e_s = E_{sm}$, deoarece cele doua înfasurari au axele paralele (ca la transformator);
- în figura 7.1, b, $e_s = 0$, deoarece axele celor înfasurari sunt normale (de altfel si sensurile t.e.m. induse în conductoarele unei cai de curent în paralel ne arata acest lucru);
- în figura 7.1, c, evident: $e_s = E_{sm} \cdot \sin \alpha$.

Din cele de mai sus, rezulta ca valoarea t.e.m. statice depinde de pozitia periilor pe colector. Expresia t.e.m. statice pentru un unghi oarecare α de înclinare a periilor, fata de axa neutra, este data de relatia:

$$e_s = E_{s_m} \cdot \sin \alpha, \tag{7.1}$$

în care:
$$E_{s_m} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot f_1 \cdot N_{2a} \cdot k_{N_2} \cdot \Phi_{2m}, \tag{7.2}$$

unde s-a notat:

N_2 – numarul de conductoare ale înfășurarii induse;

$2a$ – numarul de cai de curent în paralel ale indusului;

N_{2a} – numarul de spire pe o cale de curent: $N_{2a} = \frac{N_2}{2 \cdot 2a}$;

k_{N_2} – factorul de înfășurare (egal cu $\frac{2}{\pi}$);

Φ_{2m} – valoarea maxima a fluxului fascicular fata de înfășurarea indusa.

Relatia 7.2 se mai poate scrie:

$$E_{s_m} = f_1 \cdot \frac{N_2}{a} \cdot \frac{\Phi_{2m}}{\sqrt{2}}; \tag{7.3}$$

Trebuie precizat ca frecventa t.e.m. statice este aceeași cu frecventa câmpului magnetic inductor (ω_1).

Se considera acum cazul când rotorul (indusul) se rotește cu o viteza oarecare $n_2 \neq 0$.

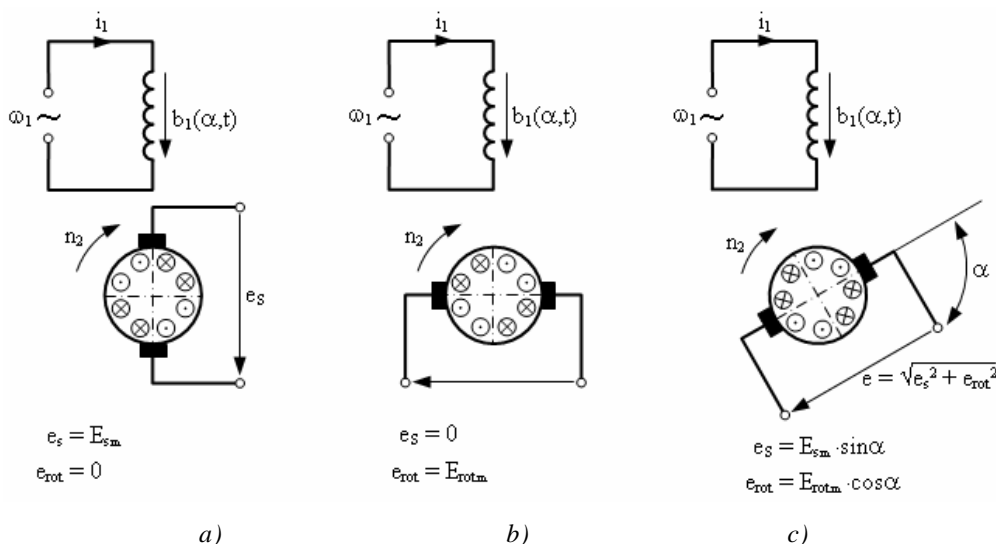


Figura 7.2

În figura 7.2 sunt reprezentate trei situatii privind pozitia axei periilor pe colector:

- în figura 7.2, a, când axa periilor este paralela cu axa câmpului inductor se induce numai t.e.m. statica;

- în figura 7.2, b, t.e.m. statica este nula, în schimb t.e.m. de rotatie are valoarea maxima (ca la masina de c.c.) $e_{rot} = E_{rot_m}$;

- în figura 7.2, c, se induce atât t.e.m. statica cât si de rotatie:

$$e_s = E_{s_m} \cdot \sin \alpha, \quad e_{rot_m} = E_{rot_m} \cdot \cos \alpha. \quad (7.4)$$

Cele doua t.e.m. pot fi reprezentate fazorial fata de fluxul inductor ca în figura 7.3: astfel, t.e.m. statica este în cuadratura cu fluxul inductor (în urma), iar t.e.m. de rotatie este în faza sau în opozitie cu acesta dupa sensul de rotatie al rotorului (n_2).

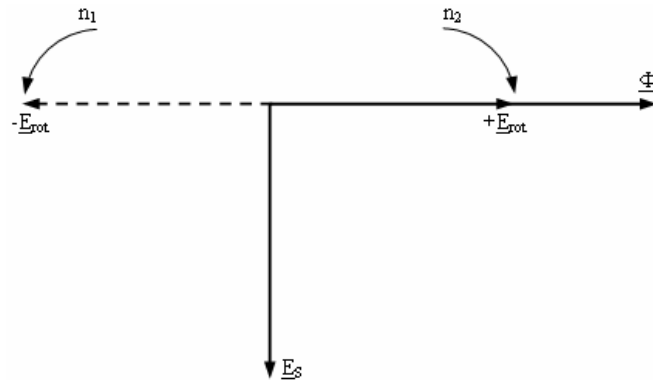


Figura 7.3

Valoarea efectivă a t.e.m. de rotatie este data de relația:

$$E_{rot} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot f_{rot} \cdot N_{2a} \cdot k_{N_2} \cdot \Phi_{2m}.$$

Cum: $f_{rot} = \frac{p \cdot n_2}{60}$ și $N_{2a} = \frac{N_2}{2 \cdot 2a}$; $k_{N_2} = \frac{2}{\pi}$, atunci:

$$E_{rot} = \frac{p \cdot n_2}{60} \cdot \frac{N_2}{a} \cdot \frac{\Phi_{2m}}{\sqrt{2}}. \quad (7.5)$$

T.e.m. rezultanta la perile masinii pentru un unghi oarecare se calculează cu relația:

$$E_{\alpha} = \sqrt{(E_{s_m} \cdot \sin \alpha)^2 + (E_{rot_m} \cdot \cos \alpha)^2}. \quad (7.6)$$

7.1.2 Tensiunea indusa de catre câmpul rotitor

Sa presupunem ca statorul joaca rol de inductor, în care se obtine un câmp rotitor, care se rotește cu viteza de sincronism $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$. Acest câmp poate fi considerat ca fiind obtinut din doua câmpuri pulsatorii de forma:

$$B_{1x} = B_{1xm} \cdot \cos p \cdot \alpha \cdot \cos \omega_1 \cdot t,$$

$$B_{1y} = B_{1ym} \cdot \cos\left(p \cdot \alpha - \frac{\pi}{2}\right) \cos\left(\omega_1 \cdot t - \frac{\pi}{2}\right)$$

adica doua câmpuri pulsatorii aflate în cuadratura în timp si spatiu, deci produse în doua înfasurari cu axele perpendiculare (figura 7.4) si strabatute de curentii:

$$i_{1x} = I_{1xm} \cdot \cos \omega_1 \cdot t,$$

$$i_{1y} = I_{1ym} \cdot \cos\left(\omega_1 \cdot t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Câmpul pulsatoriu B_x fata de perii va induce o t.e.m. de rotatie (care va avea valoarea maxima daca perile sunt normale pe axa acestui câmp), iar B_y va induce numai o t.e.m. statica care de asemenea va fi maxima. Aceste t.e.m. sunt reprezentate fazorial în figura 7.5, din care rezulta:

$$\underline{E} = \underline{E}_s \pm \underline{E}_{rot}. \quad (7.7)$$

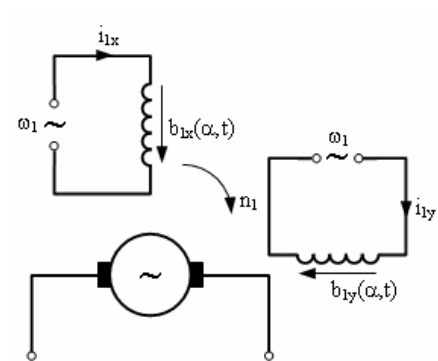


Figura 7.4

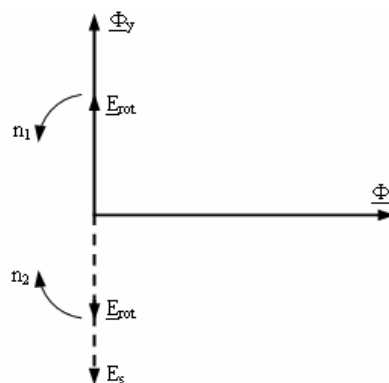


Figura 7.5

T.e.m. de rotatie va avea o frecventa:

$$f_{rot} = \frac{p \cdot n_2}{60},$$

în care n_2 este turatia rotorului (indusului).

T.e.m. statica are o frecventa:

$$f_{rot} = \frac{p \cdot n_1}{60},$$

în care n_1 este turatia de sincronism. Deci amplitudinea t.e.m. poate fi pusa sub forma:

$$E_m = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot (f_1 \pm f_{rot}) \cdot N_{2a} \cdot k_{N_2} \cdot \Phi_{2m}. \quad (7.8)$$

7.2 Expresia cuplului electromagnetic la masina de c.a. cu colector

Expresia cuplului electromagnetic se poate deduce în mod analog ca la masina de c.c. si are expresia:

$$m(t) = \frac{p \cdot N_2}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot i_2 \cdot \varphi_2, \quad (7.9)$$

în care i_2 si φ_2 sunt respectiv valorile instantanee ale curentului din indus si fluxului inductor.

Deci: $i_2 = \sqrt{2} I_2 \sin \omega t$; $\varphi_2 = \Phi_{2m} \sin (\omega t - \varphi)$; atunci:

$$m(t) = \sqrt{2} \cdot \frac{p \cdot N_2}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot I_2 \cdot \Phi_{2m} \cdot \sin \omega t \cdot \sin (\omega t - \varphi) \quad (7.10)$$

Se poate calcula un cuplu mediu:

$$M = \frac{p \cdot N_2}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_2 \cdot \varphi_2 dt = \frac{N_p}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot \sqrt{2}} \cdot I_2 \cdot \Phi_{2m} \cdot \cos \varphi \quad (7.11)$$

7.3 Motoare monofazate de c.a. cu colector

În practica se întâlnesc mai ales motoare serie si derivatie monofazate de c.a. cu colector. La aceste motoare înfășurarea inductoare este monofazata, aflata pe stator si alimentata în c.a. Datorita comutatiei mai dificile si a reactiei indusului pe stator, avem si poli auxiliari (pentru combaterea fenomenelor care însoțesc comutatia), iar pe rotor înfășurare de compensatie.

7.3.1 Motorul serie monofazat

Acest motor este asemănător cu cel de c.c. serie, schema sa electrica este reprezentata în figura 7.6 din care rezulta ca toate înfășurarile sunt conectate în serie. Se noteaza:

ΣR – suma rezistentelor ohmice ale tuturor înfășurarilor conectate în serie;

ΣX – suma reactantelor tuturor înfășurarilor conectate în serie.

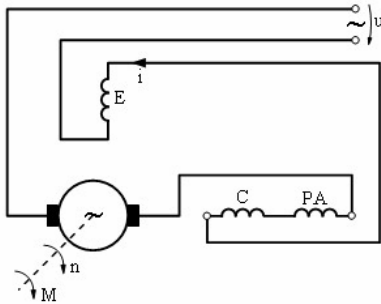


Figura 7.6

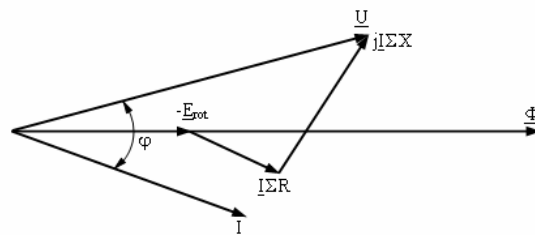


Figura 7.7

Se tine seama ca în rotor fluxul inductor induce numai t.e.m. de rotatie (axa periiilor este la $\frac{\pi}{2}$ fata de axa fluxului inductor).

Cu aceste notatii si precizari, se poate scrie:

$$\underline{U} = -\underline{E}_{rot} + \underline{I} \cdot (\sum R + j \cdot \sum X). \quad (7.12)$$

Ecuatia (7.12) este reprezentata prin fazori în figura 7.7. Din aceasta diagrama rezulta ca la o tensiune de alimentare constanta si la o sarcina la ax constanta ($I = \text{constant}$), unghiul φ , deci si factorul de putere al motorului, va depinde de t.e.m. de rotatie (E_{rot}). Cum E_{rot} depinde de viteza de rotatie n_2 este evident ca factorul de putere va depinde de aceasta (la turatii mari, factorul de putere este mai bun).

Caracteristica mecanica a acestui motor este asemanatoare cu cea a motorului de c.c. cu excitatie în serie. În figura 7.8 este reprezentata familia de caracteristici mecanice obtinute prin micșorarea tensiunii de alimentare, lucru posibil de obtinut practic cu ajutorul unui transformator.

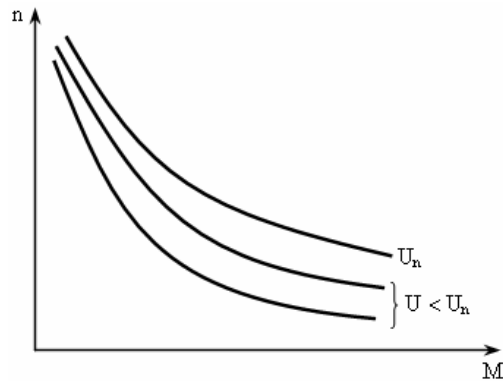


Figura 7.8

Din alura acestei caracteristici, rezulta ca motorul monofazat serie de c.a. cu colector, este un motor de putere aproximativ constanta, deoarece produsul $M \cdot n = \text{constant}$, de aceea acest motor poate fi utilizat în actionarile electrice din tractiune sau la masinile de ridicat.

7.3.2 Motorul cu excitatie independenta monofazat de c.a. cu colector

Motorul cu repulsie. La acest motor (figura 7.9) înfasurarea inductoare este conectata în serie cu înfasurarea de compensatie si alimentata de la o sursa de c.a., iar periiile de pe rotor sunt conectate în scurtcircuit.

Principiul de functionare se aseamana cu comportarea unei spire în scurtcircuit, aflata într-un câmp magnetic alternativ (figura 7.10). Daca aceasta spira se rotește în jurul unui ax în sensul sagetii pline si se lasa libera, ea se va roti în sens contrar (sageata punctata) pâna când planul sau va deveni paralel cu al liniilor de câmp, pozitie în care curentul indus este nul (cuplul de rotatie se va

anula). Spira care se rotește în acest mod, prezintă un fenomen de “repulsie”. În mod asemănător se comporta și spirele rotorului, de aici și denumirea de *motor cu repulsie*.

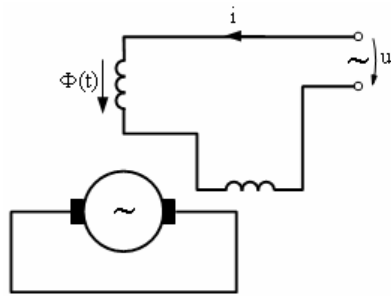


Figura 7.9

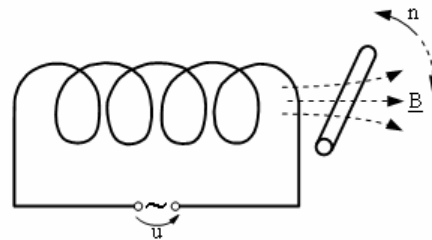


Figura 7.10

Caracteristica mecanică a acestui motor este rigidă, asemănătoare cu a motorului de c.c. cu excitație independentă.

Viteza de rotație a motorului depinde de poziția axei periiilor pe colector, deoarece în funcție de aceasta avem o anumită valoare a t.e.m. de rotație. Se poate, deci, regla turatia acestui motor prin schimbarea poziției axei periiilor pe colector.

Motorul cu repulsie este utilizat în acționari electrice la care viteza motorului trebuie să se mențină constantă într-un anumit domeniu de variație al sarcinii la ax (caracteristica mecanică rigidă).

7.3.3 Motorul trifazat de c.a. cu colector

Dintre motoarele trifazate de c.a. cu colector, o răspândire relativ mai mare, în practică o are cel de tip derivatie. Rotorul joacă rol de inductor, iar statorul de indus. Pe rotor (figura 7.11) se află două înfășurări distincte: o înfășurare trifazată de c.a. care joacă rolul inductorului (în această se obține un câmp rotitor pe cale electrică) și o înfășurare de c.c..

Înfășurarea trifazată este conectată la trei inele de bronz pe care calca trei perii prin intermediul cărora se face alimentarea de la rețeaua de c.a. trifazată. Înfășurarea de c.c. este conectată la un colector obișnuit, ca la mașina de c.c., care se află plasat la celălalt capăt al rotorului.

Pe colector calca două sisteme de perii trifazate cu ajutorul cărora se poate conecta în derivatie înfășurarea trifazată care joacă rolul de indus aflată pe stator. Conexiunea în derivatie, evident, se face față de înfășurarea de c.c., modalitate prin care peste t.e.m. induse în stator de înfășurarea trifazată se suprapun t.e.m. de aceeași frecvență din rotor.

Cele două sisteme de perii de pe colector se pot roti unul față de altul (marind sau micșorând distanța dintre ele, deci, tensiunea de la colector aplicată statorului ca modul și fază).

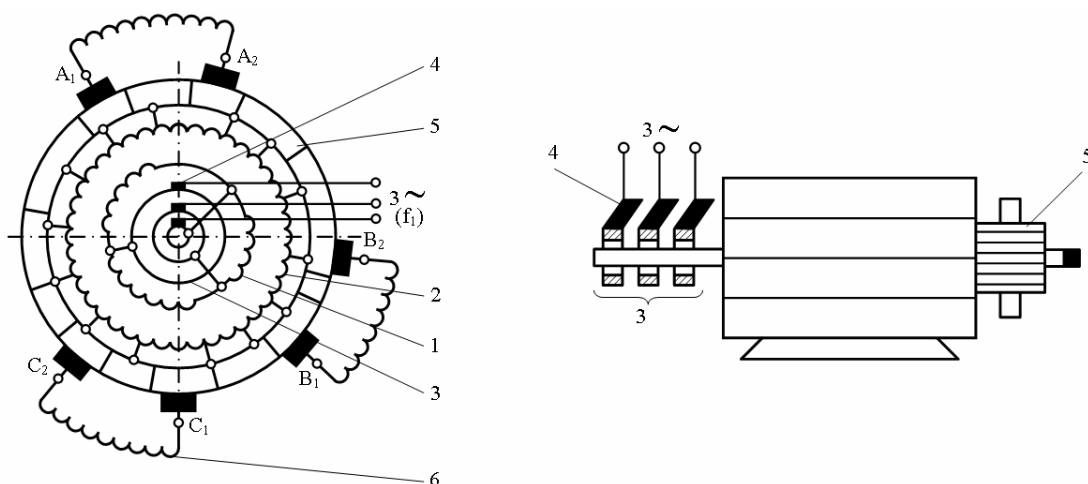


Figura 7.11

1 - înfasurarea trifazata inductoare; 2 - înfasurarea de c.c.; 3 - inele de bronz; 4 - perii de carbune grafitat;
5 - colector; 6 - înfasurare indusa trifazata de c.a.; $A_1, B_1, C_1; A_2, B_2, C_2$ - sisteme trifazate de perii.

Principiul de functionare

Alimentând rotorul prin inele de la o rețea de c.a. cu frecvența f_1 se obține un câmp inductor care se va roti cu viteza de sincronism $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$ dacă rotorul este în repaus. Pornind ca un motor asincron, rotorul va capata o viteză de rotație $n_2 < n_1$, deci, față de stator câmpul rotorului inductor se va roti cu turatia $n_1 - n_2$ și, deci, în stator se vor induce t.e.m. de frecvența $f_2 = s \cdot f_1$, unde s este alunecarea: $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$. Curentii din stator pe o fază vor fi:

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + s^2 \cdot X_{2d}^2}} = \frac{s \cdot E_2}{\sqrt{R_2^2 + s^2 \cdot X_{2d}^2}}, \quad (7.13)$$

sau dacă se neglijează reactanța de dispersie a statorului față de rezistența sa, avem:

$$I_2 = \frac{s \cdot E_2}{R_2}. \quad (7.14)$$

Peste t.e.m. $s \cdot E_2$ se suprapune t.e.m. suplimentară colectată de la înfasurarea de c.c. prin perii. Să presupunem mai întâi ca această t.e.m. suplimentară E_{2D} , este în fază cu t.e.m. E_s din stator (figura 7.12) și ca rotorul este alimentat la o t.e.m. constantă, având o sarcină constantă la ax ($U_1 = \text{const.}, M_r = \text{const.}$). Prin injectarea t.e.m. E_{2D} în stator, curentul va deveni:

$$I_2' = \frac{s_D \cdot E_2 + E_{2D}}{R_2}. \quad (7.15)$$

Cresterea curentului ($I_2' > I_2$) duce la o creștere a turatiei și, deci, o scădere a alunecării.

Accelerarea motorului are loc până când $I_2 = I_2'$.

$$s \cdot E_2 = s_D \cdot E_2 + E_{2D}. \quad (7.16)$$

De aici:

$$s_D = s - \frac{E_{2D}}{E_2}. \quad (7.17)$$

Introducerea în stator a unei t.e.m. suplimentare de aceeași frecvență, duce la modificarea turatiei. T.e.m. E_{2D} poate fi introdusă și în opoziție (figura 7.12), în acest caz:

$$s_D = s + \frac{E_{2D}}{E_2}, \quad (7.18)$$

în felul acesta putându-se obține turatii suprasincrone.

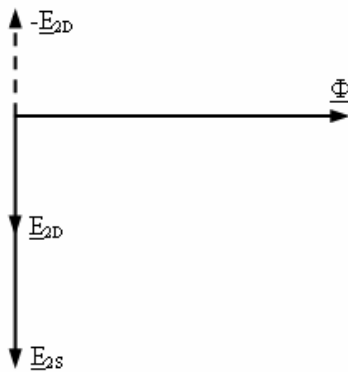


Figura 7.12

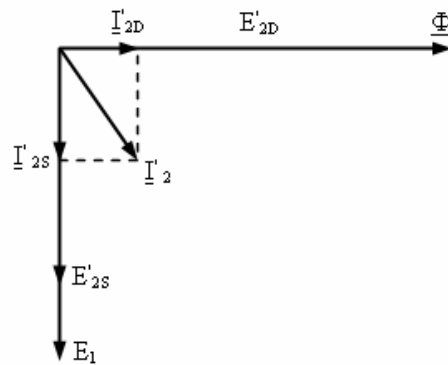


Figura 7.13

Dacă t.e.m. E_{2D} se injectează sub o anumită fază de E_{2s} , atunci va avea două componente (una în fază cu E_{2s} și alta în cuadratură). Componenta în fază va duce la modificarea turatiei, iar cea în cuadratură, la modificarea factorului de putere (figura 7.13).

În figura 7.13, E_{2D} este aplicată în cuadratură. Notând marimile raportate la indus, se va scrie:

$$\underline{I}'_2 = \underline{I}'_{2s} + \underline{I}'_{2D}, \quad (7.19)$$

unde: \underline{I}'_2 – curentul rezultat pe o fază din stator;

\underline{I}'_{2s} – curentul pe fază din stator produs de E'_{2s} ;

\underline{I}'_{2D} – curentul de fază din stator produs de E'_{2D} .

Cum: $\underline{I}'_1 + \underline{I}'_2 = \underline{I}'_{10}$ (relația dintre solenatii de la motorul asincron), atunci:

$$\underline{I}'_1 + \underline{I}'_{2s} + \underline{I}'_{2D} = \underline{I}'_{10} \text{ sau } \underline{I}'_1 + \underline{I}'_{2s} = \underline{I}'_{10} - \underline{I}'_{2D}. \quad (7.20)$$

Relația (7.20) ne arată că \underline{I}'_{2D} micșorează curentul de mers în gol, deci mărește factorul de putere. Motorul trifazat de c.a. cu colector are proprietatea de a funcționa la un factor de putere

ridicat și, totodată, i se poate regla turatia în limite largi. Practic reglajul turatiei și a factorului de putere se poate face prin deplasarea celor două sisteme de perii. Dacă se efectuează deplasarea simultană a celor două sisteme de perii se obține numai o variație a modulului lui E_D , deci, se modifică numai turatia; dacă se deplasează numai un sistem de perii, iar unul se menține fix, atunci se modifică atât modulul cât și faza, deci, se reglează atât turatia cât și factorul de putere.