

---

# MASINI ELETTRICHE SPECIALE

---

Clasificare. Elemente costruttive.

# Definiții

O mașină electrică este un convertor electromecanic ce transformă energia electrică în energie mecanică când funcționează în **regim de motor**, sau invers energia mecanică în energie electrică când funcționează în **regim de generator**.

Transformarea energiei are loc prin intermediul câmpului magnetic care se închide într-un circuit realizat din materiale magnetice.

Câmpul magnetic poate fi produs prin:

**Magneți permanenți** – mașini magnetoelectrice ( excitație cu MP)

**Electromagneți** - curenți din **înfășurările** mașinii ( excitație electromagnetică)  
– cu **circuit de fier** -  
- fără fier, (supraconductoare)

# Proprietățile materialelor magnetice

Materiale magnetice neliniare {  
Materiale feromagnetice  
Materiale antiferomagnetice  
Materiale ferimagnetice

Magnetizația este ridicată și depinde de câmpul magnetic după o **curbă de histereză**.

Permeabilitate variabilă  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$

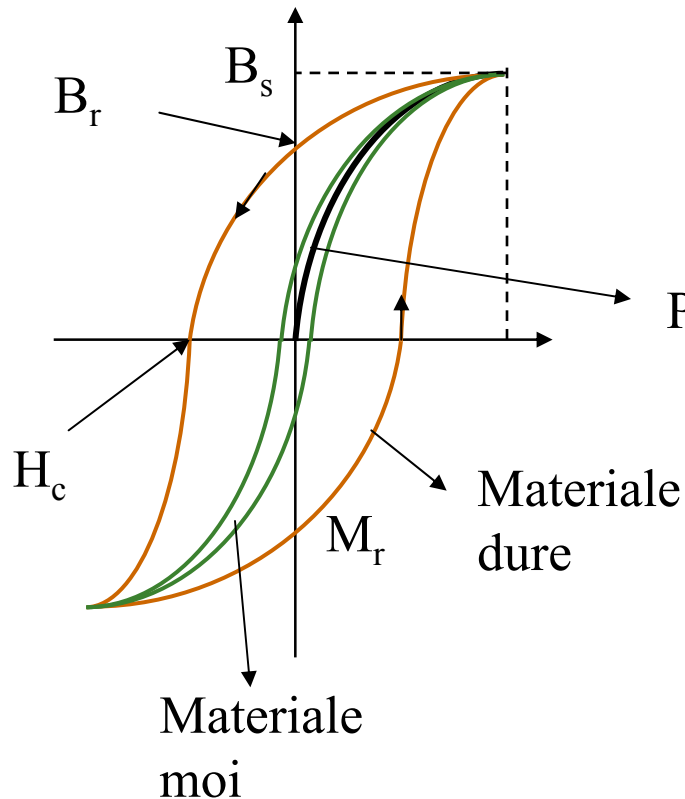
$\mu_r$  Permeabilitatea relativă

Prima curbă de magnetizare

$B_s$  – inducția de saturație

$B_r$  – inducția remanentă

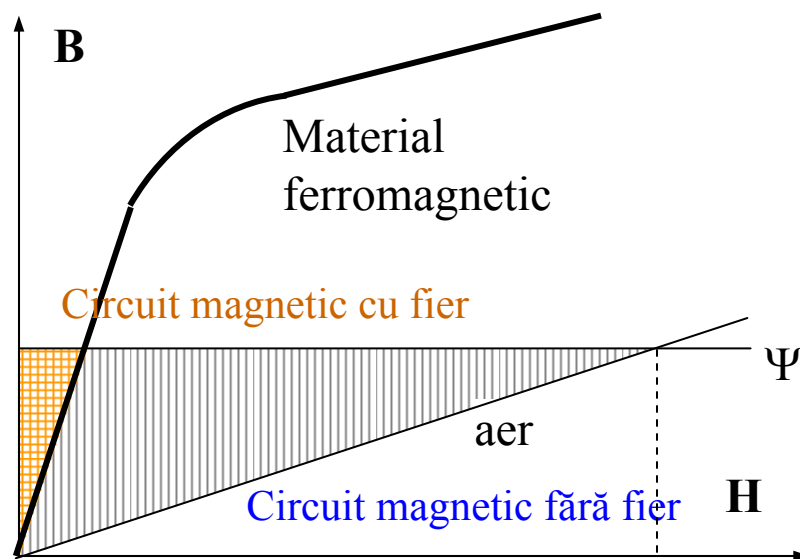
$H_c$  – câmpul magnetic coercitiv



# Crearea câmpului magnetic

Pentru a crea câmp magnetic este necesară o **energie**. Această energie se poate calcula pe baza relațiilor pentru circuit magnetic fără fier

$$W_m = \frac{1}{2} i \cdot \Psi = \frac{1}{2} U_m \cdot \phi = \frac{1}{2} H \cdot l \cdot B \cdot A = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H \cdot V$$



Unde volumul  $V = l \cdot A$

$$B = \mu_0 \cdot H$$

Energia necesară

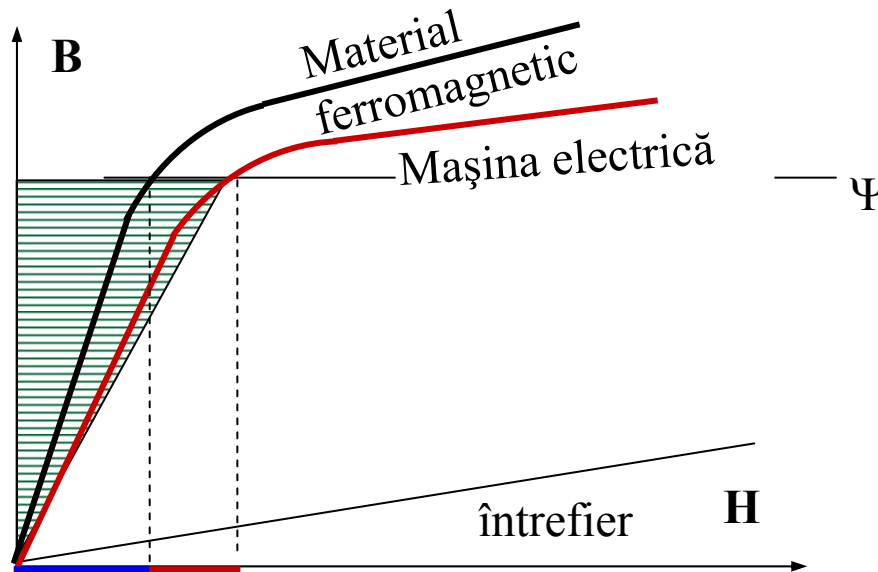
$B \cdot H / 2$  – suprafața hașurată

Consecință :

**Se limitează spațiile de aer în circuitele magnetice.**

# Crearea câmpului magnetic

## Circuit magnetic cu întrefier



$$F_{mFe} + F_{m\delta} = F_{mm} = \theta$$

Puterea necesară

$$\Delta u \cdot I$$

În curent continuu

În curent alternativ

Solenanția dată de magnet permanent

$$\theta = H_c \cdot l_{MP}$$

Solenanția dată de o înfășurare

$$\theta = w \cdot k_w \cdot I$$

Unde

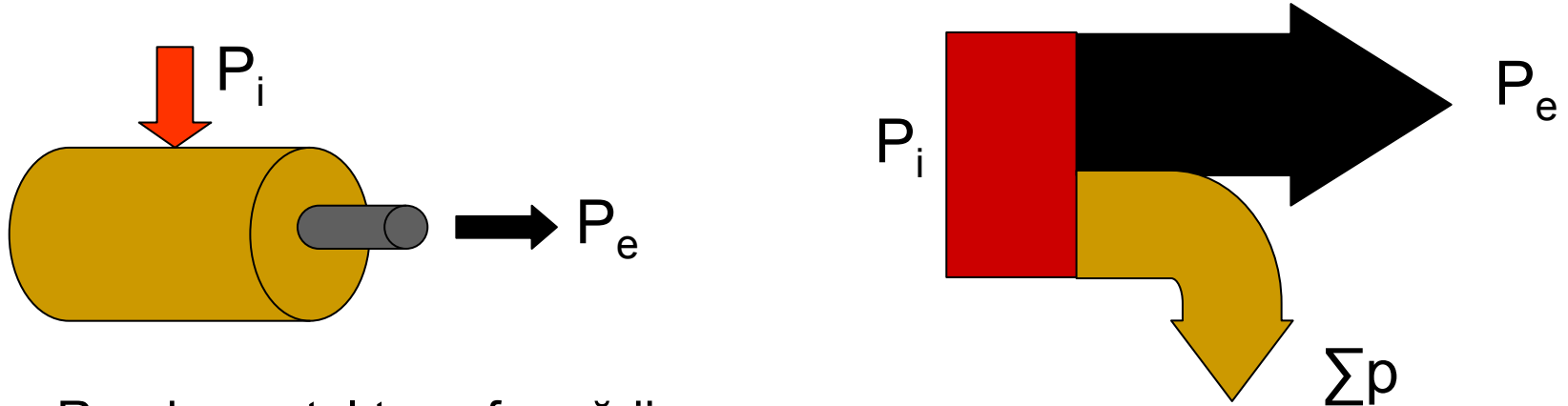
w- numărul de spire  
 $k_w$  – factorul de bobinaj

$$\Delta u = r \cdot I$$

$$\Delta u = \sqrt{r^2 + x^2} \cdot I$$

# Pierderi de energie

Orice transformare de energie este însoțită de pierderi.



Randamentul transformării

$$\eta = \frac{P_e}{P_i} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_i} = \frac{1}{1 + \frac{\Sigma p}{P_e}}$$

Categorii de pierderi în mașini electrice:

**Pierderi electrice** produse de curenți în conductoare,

**Pierderi magnetice** produse de variația câmpurilor în fierul mașinii,

**Pierderi mecanice** datorită deplasării unei părți din mașină.

# Definiții

Pierderile se transformă în căldură în interiorul mașinii  
este nevoie de un **sistem de răcire** pentru evacuarea căldurii.

Deci pentru realizarea transformării energiei electrice în energie mecanică –  
Mașina electrică trebuie să aibă:

- **sistem electric** – înfășurări,
- **sistem magnetic** – circuit de fier,
- **sistem mecanic și de răcire** – elemente constructive.

Transformarea energiei trebuie să se realizeze cu **randament maxim**

Pentru a avea pierderi minime este necesar:

- Câmp magnetic de anumită valoare, formă de variație în timp și spațiu

Un circuit magnetic realizat din materiale de calitate,  
de anumită formă și dimensiuni

- Tensiuni electromotoare induse maxime

Un circuit electric de anumită formă și dimensiune

Inducții magnetice și densități de curenți limitați

---

# Energia magnetică

Transformarea energiei **este posibilă** dacă **energia magnetică** **depinde de poziția relativă a armăturilor**.

Se consideră un sistem format din **m** circuite electrice

Energia magnetică

$$W_m = \frac{1}{2} \sum_{\lambda=1}^m i_{\lambda} \cdot \Psi_{\lambda}$$

Fluxul magnetic total

$$\Psi_{\lambda} = \Psi_{\lambda\lambda} + \sum_{\substack{v=1 \\ v \neq \lambda}}^{v=m} \Psi_{\lambda v}$$

Fluxul magnetic propriu

$$\Psi_{\lambda\lambda} = L_{\lambda\lambda} \cdot i_{\lambda}$$

Fluxul magnetic de cuplaj

$$\Psi_{\lambda v} = M_{\lambda v} \cdot i_v$$



# Cuplul electromagnetic

În funcție de rapiditatea mișcării cuplul se poate calcula cu una din relațiile:

$$C = \left. \frac{\partial W_m}{\partial \alpha} \right|_{i=ct.} \quad C = \left. \frac{\partial W_m}{\partial \alpha} \right|_{\Psi=ct.}$$

Transformarea energiei, producerea cuplului este posibilă dacă energia magnetică depinde de poziția relativă a armăturilor.

Dacă fluxurile sunt produse de curenți, pentru o mașină cu câte o înfășurare pe fiecare armătură :

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot i_1 \cdot (i_1 \cdot L_1 + i_2 \cdot M_{12}) + \frac{1}{2} \cdot i_2 \cdot (i_2 \cdot L_2 + i_1 \cdot M_{12})$$
$$C = \frac{1}{2} \cdot i_1^2 \cdot \frac{dL_1}{d\alpha} + \frac{1}{2} \cdot i_2^2 \cdot \frac{dL_2}{d\alpha} + i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

# Mașina cu întrefier constant

Fluxul propriu al înfășurării statorice

$$\Psi_{11} = L_1 \cdot i_1$$

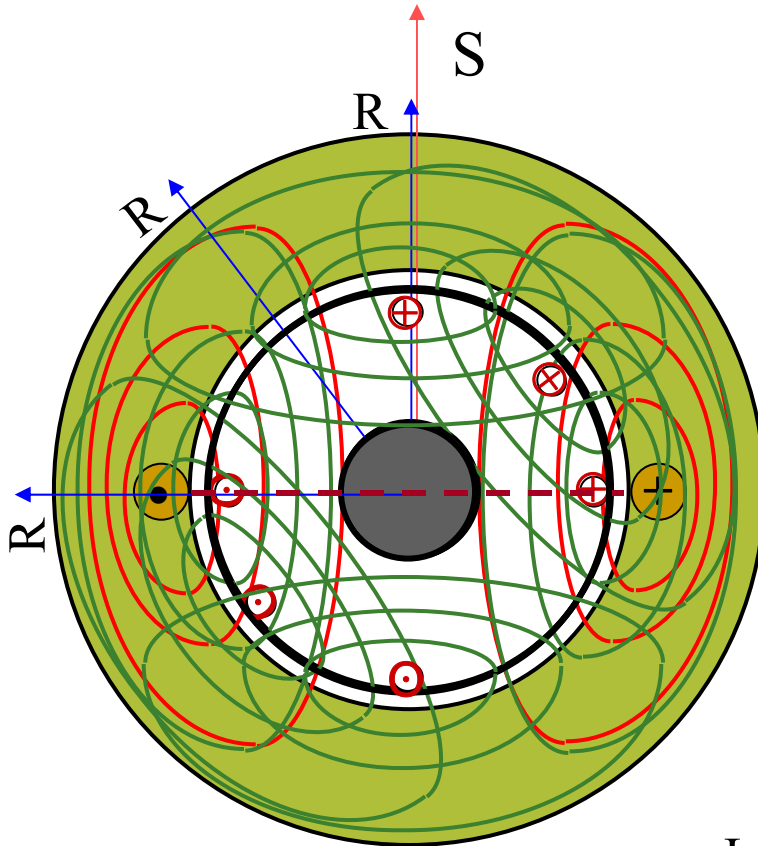
Fluxul propriu al înfășurării rotorice

$$\Psi_{22} = L_2 \cdot i_2$$

Fluxul de cuplaj

$$\Psi_{12} = M_{12} \cdot i_2$$

Inductivitățile proprii  $L_1 = \text{ct.}$  și  $L_2 = \text{ct.}$



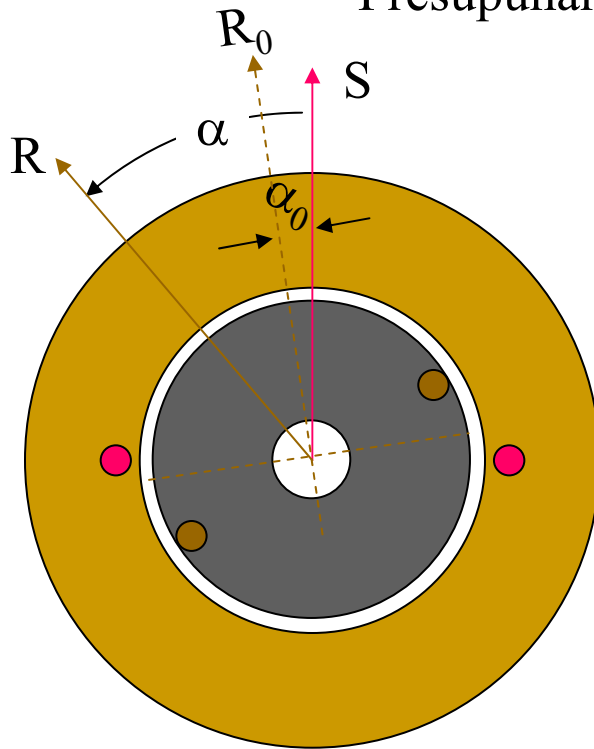
# Mașina cu întrefier constant

Inductivitățile proprii  $L_1 = \text{ct.}$  și  $L_2 = \text{ct.}$

Inductivitatea de cuplaj dintre înfășurări variază cu mișcarea rotorului.

Cum variază inductivitatea de cuplaj ?

Presupunând o distribuție spațială sinusoidală a câmpului magnetic,



$$M_{12} = M_{12m} \cdot \cos \alpha$$

unde  $\alpha = \omega \cdot t + \alpha_0$

$\omega$  - este viteza unghiulară electrică de rotație

$$\omega = p_p \cdot \Omega = p_p \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

$\alpha_0$  - este unghiul, poziția rotorului, la momentul inițial.

Cuplul

$$c = -i_1 \cdot i_2 \cdot M_{12m} \cdot \sin \alpha$$

# Cuplul electromagnetic mediu

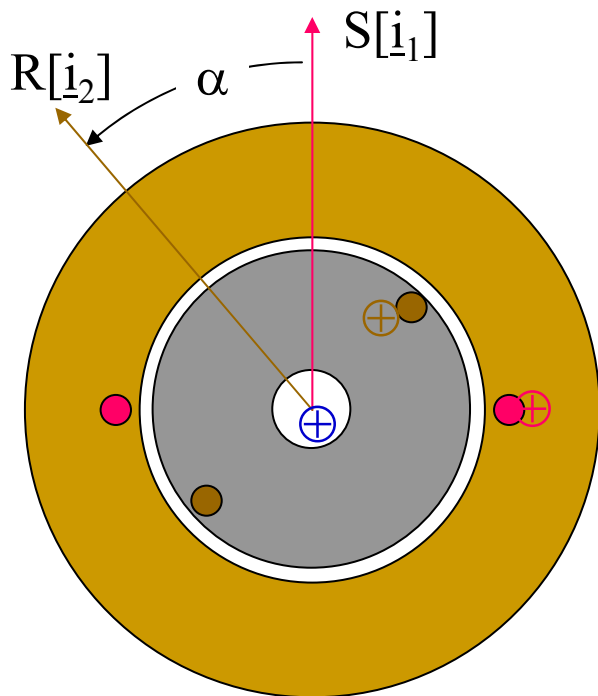
## Cuplul ca vector

Dacă se consideră solenațiile dirijate după axele armăturilor, atunci cuplul poate fi considerat produsul vectorial

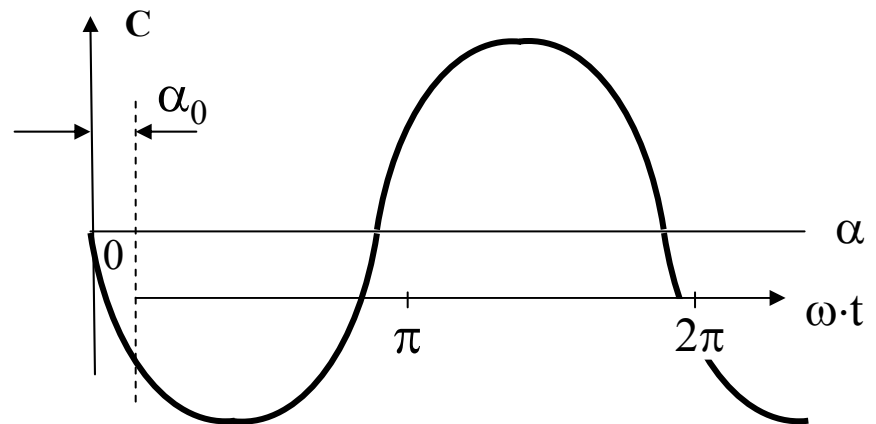
$$\underline{C} = M_{12} \cdot [\underline{i}_2 \times \underline{i}_1]$$

Deci un vector dirijat după axa de rotație

Dacă cei doi curenți sunt constanți



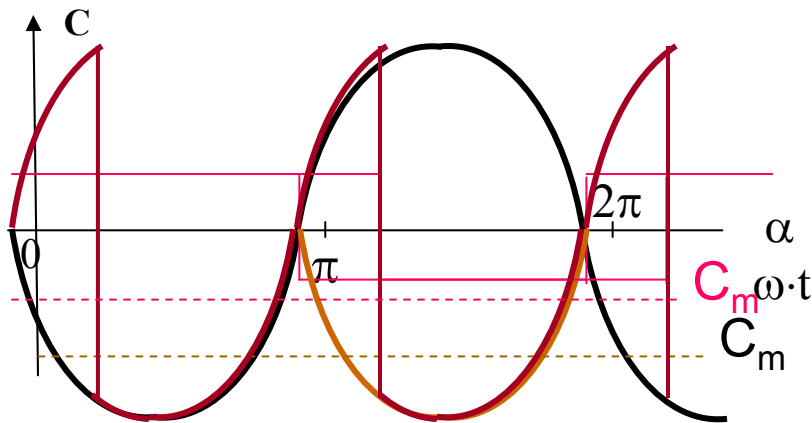
Cuplul mediu este nul.



# Pulsația curenților

Cuplul este maxim la  $\alpha = \frac{\pi}{2}$   $\omega \cdot t = \frac{\pi}{2} - \alpha_0$

Pentru cuplu mediu diferit de nul este necesar ca după  $\alpha = \pi$  să se schimbe sensul curentului la una din înfășurări



Deci unul din curenți trebuie să fie alternativ.

Frecvența curentului alternativ este dată de frecvența de rotație

Momentul schimbării sensului curentului determină valoarea medie a cuplului. Trebuie cunoscută poziția rotorului.

Dacă curentul din stator este continuu

frecvența curentului din rotor trebuie să fie :

$$\omega_2 = \omega$$

# Condiția de frecvență

Dacă curentul din rotor este continuu

frecvența curentului din stator trebuie să fie :  $\omega_1 = \omega$

Valoarea medie a cuplului

$$C = -I_1 \cdot I_2 \cdot M_{12m} \cdot \sin \alpha_0$$

În cazul mașinilor cu mișcare și  $\sin \alpha_0 \neq 0$

Prin generalizarea relațiilor

$$\pm \omega_1 \pm \omega_2 = \pm \omega$$

Relația reprezintă formularea matematică a **condiției de frecvență** pentru transformarea energiei.

La mașini fără mișcare

$$\omega = 0$$

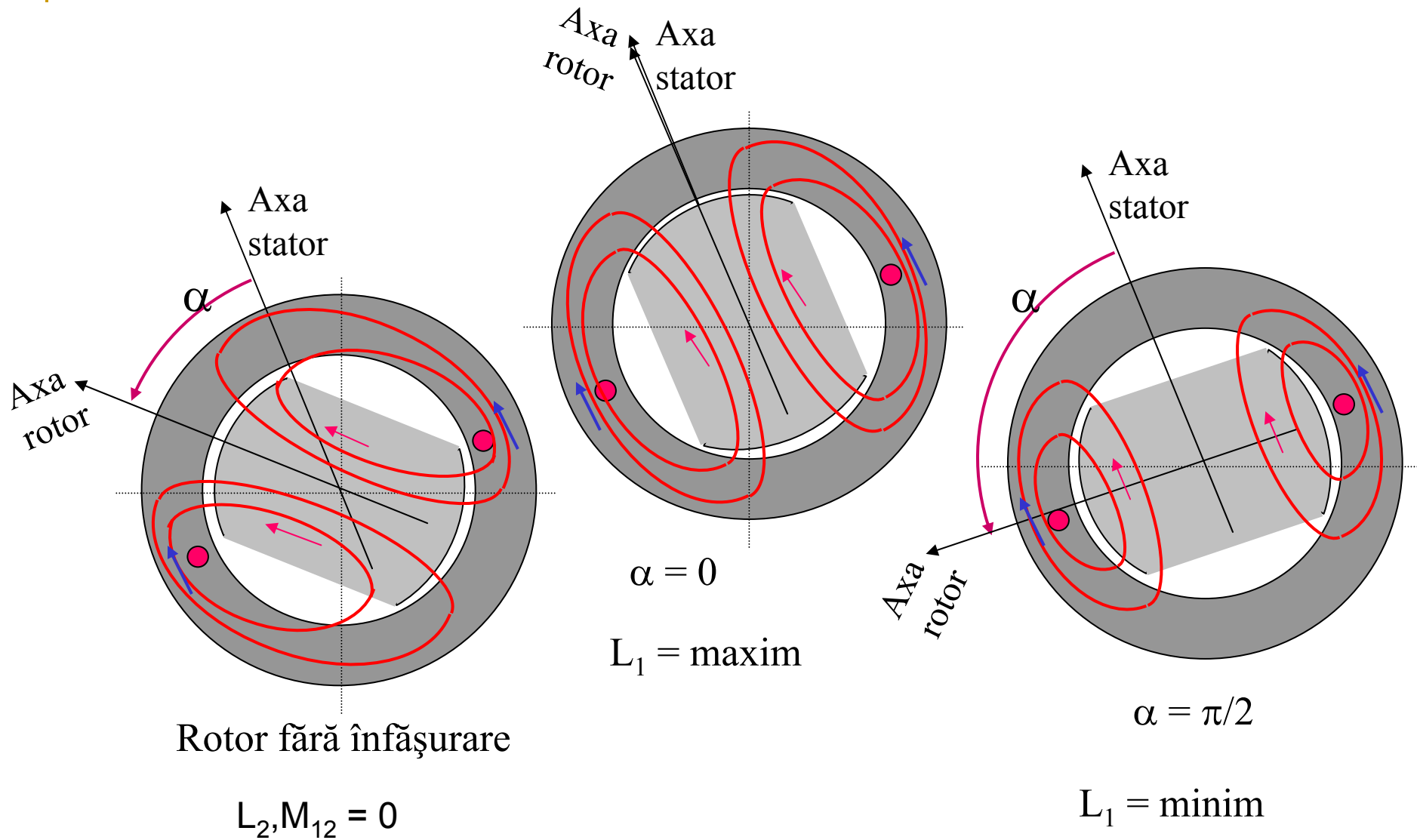
$$\omega_1 = \omega_2$$

transformator

La mașini cu mișcare

$$\pm \omega_1 \pm \omega_2 = \pm \omega$$

# Mașina cu întrefier variabil

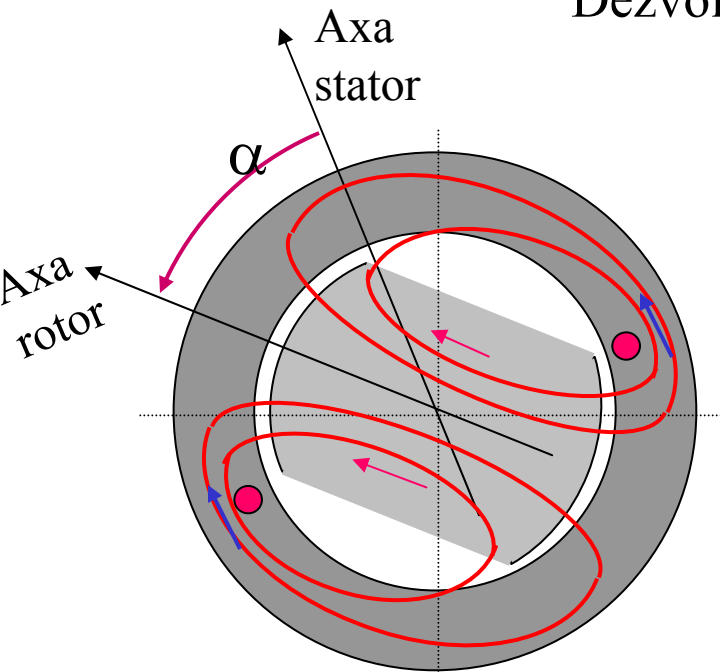


# Cuplul de reluctanță

Dezvoltat în serie

$$L_1(\alpha) = L_0 + \Delta L \cdot \cos(2 \cdot \alpha) + \dots$$

cuplul 
$$c = -\frac{I_1^2 \cdot \Delta L}{4} \sin(2 \cdot \alpha)$$



Rotor fără înfășurare

$L_1 = \text{variabil}$

Cuplu de reluctanță

Nu este suficientă schimbarea polarității curentului



# Cuplul de reluctanță

$$c = -\frac{I_1^2 \cdot \Delta L}{4} \sin(2 \cdot \alpha)$$

Schimbarea sensului curentului nu are influență

Pentru cuplu mediu diferit de nul este necesar ca:

1.- Curentul să fie întrerupt pentru

intervalul  $\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$

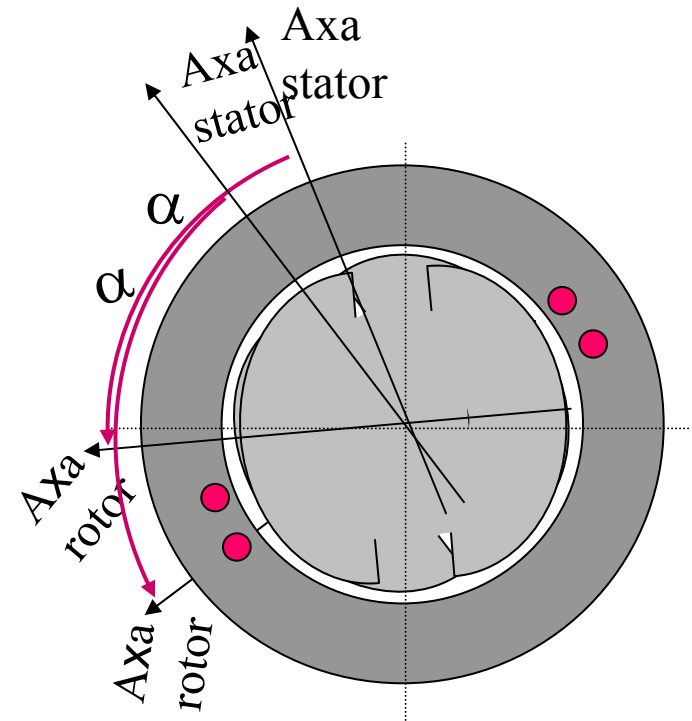
Trebuie să se cunoască poziția rotorului.

2.- Câmpul statoric trebuie să se deplaseze (rotească)

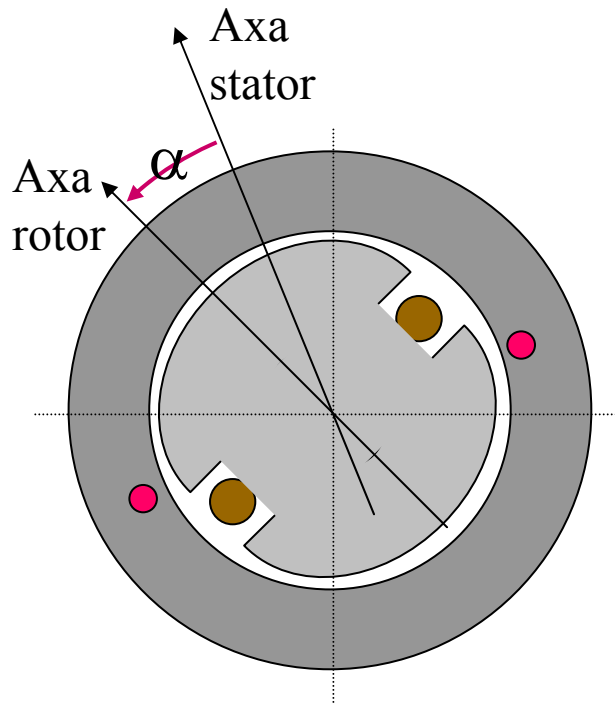
Astfel ca  $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$

Deci trebuie să existe cel puțin două faze și frecvența curentului statoric egal cu frecvența de rotație.

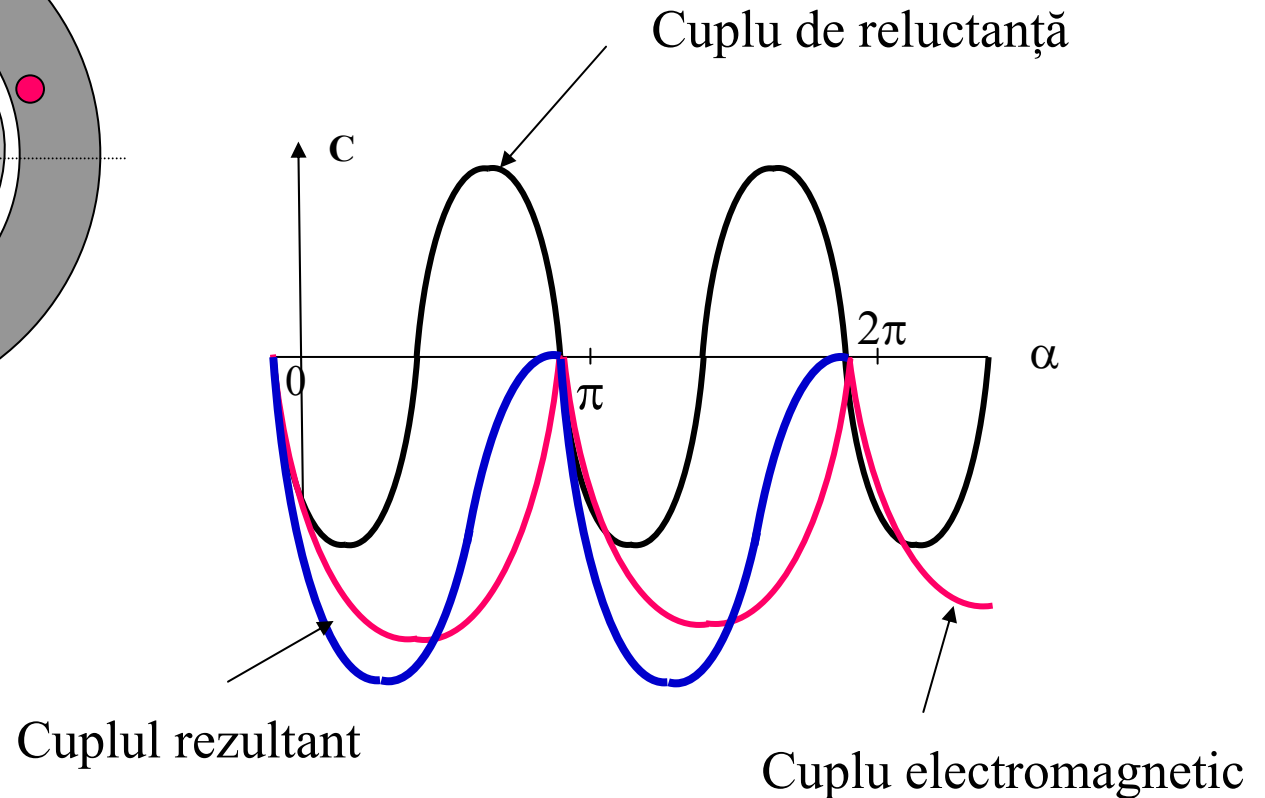
$$\omega_1 = \omega$$



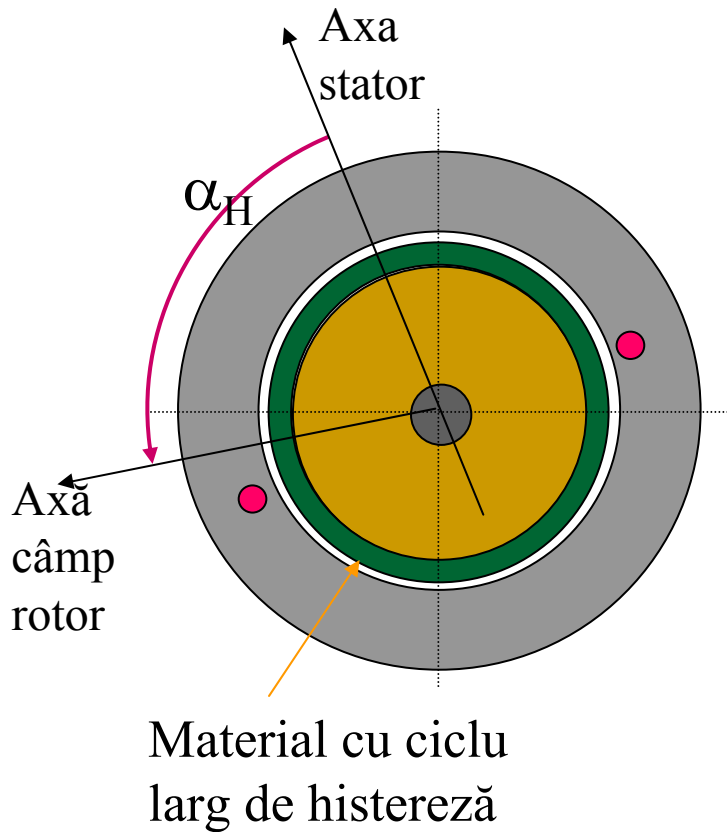
# Cuplul rezultat



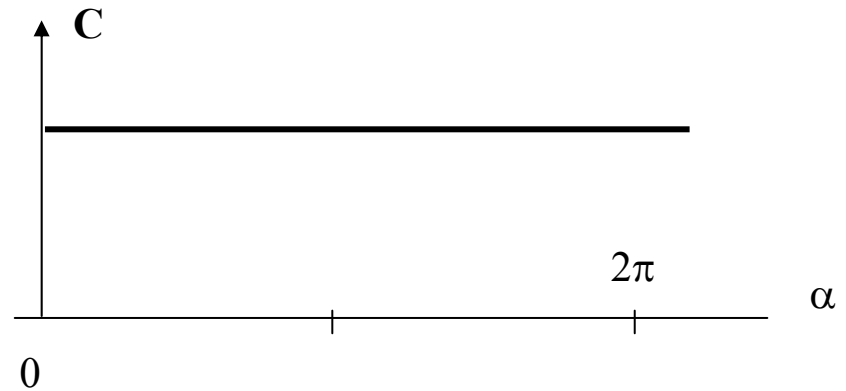
Mașina cu întrefier variabil și două înfășurări alimentate în curent alternativ respectiv continuu



# Cuplul de histerezis



$$c = -k \cdot B_1 \cdot H_2 \cdot \sin(\alpha_H)$$



Câmpul statoric trebuie să se rotească

# Cuplul

**Cuplul electromagnetic:** rezultatul interacțiunii a două câmpuri magnetice, produse de curenți de frecvență diferite

$$\pm \omega_1 \pm \omega_2 = \pm \omega \qquad C = -I_1 \cdot I_2 \cdot M_{12m} \cdot \sin \alpha_0$$

**Tip sincron-** cele două câmpuri sunt produse de surse diferite

Curent alternativ în stator	-	$\omega_1$	$\pm \omega_1 = \pm \omega$
Curent continuu în rotor	-	$\omega_2 = 0$	

Cuplul de tip sincron **este diferit de zero** numai la viteza de sincronism  
La viteza  $\omega_1 \neq \omega$  cuplul de tip sincron este **cuplu alternativ**.

**Tip asincron** – câmpul rotorice este determinat de t.e.m.( curenți) induse de câmpul statoric.

La viteza  $\omega_1 \neq \omega$  cuplul de tip asincron **este diferit de zero**.

La viteza  $\omega_1 = \omega$  nu se induce t.e.m. în rotor, deci cuplul asincron este zero.

# Cuplul

**Cuplul de reluctanță:** rezultatul deformării de către circuitul magnetic nesimetric rotorice a câmpului magnetic statoric

$$\omega_1 = \omega$$

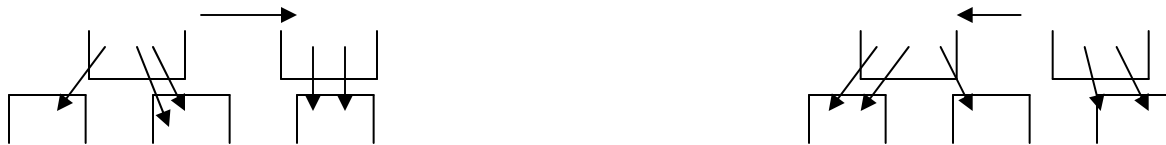
$$c = -\frac{I_1^2 \cdot \Delta L}{4} \sin(2 \cdot \alpha)$$

Câmpul statoric trebuie să-și schimbe poziția.

În mod **continuu** – câmp învârtitor

**Discret** - prin salturi- câmpul polilor succesivi

**Cuplul de dantură :** datorită deformării câmpului din cauza dinților armăturilor



**Cuplul de histerezis:** rezultatul defazării ,de către materialul rotorice al câmpului rotorice față de solenația statorică.

$$\omega_1 = \omega$$

$$c = -k \cdot B_1 \cdot H_2 \cdot \sin(\alpha_H)$$

Câmpul statoric trebuie să- și schimbe poziția, să se rotească.

## Expresiile cuplului

Dacă se consideră solenațiile dirijate după axele armăturilor, atunci cuplul poate fi considerat **produsul vectorial**

$$\underline{C} = M_{12} \cdot [\underline{i}_2 \times \underline{i}_1]$$

Deci un vector dirijat după axa de rotație

Notând:  $\underline{\psi}_{21} = M_{21} \cdot \underline{i}_1$  Fluxul produs **în rotor** de **curentul statoric**

$\underline{\psi}_{12} = M_{12} \cdot \underline{i}_2$  Fluxul produs **în stator** de **curentul rotoric**

Expresiile cuplului.

$$\underline{C} = k_c \cdot M_{12} \cdot [\underline{i}_2 \times \underline{i}_1] = k_c [\underline{i}_2 \times \underline{\Psi}_{21}] = k_c [\underline{\Psi}_{12} \times \underline{i}_1]$$

## Definiții

Ce este o mașină electrică specială ?

O mașină electrică transformă: **energia electrică** în **energie mecanică** când funcționează în **regim de motor**, sau invers **energia mecanică** în **energie electrică** când funcționează în **regim de generator**.

Toate tipurile de mașini electrice sunt reversibile, **principiu enunțat prima dată de Lenz în 1834**, regimul de funcționare depinzând numai de sensul de circulație al puterilor.

O mașină electrică :  
cu utilizare specială  
de construcție specială  
cu caracteristici speciale  
cu alimentare specială

# Clasificare

## □ După principiul de funcționare:

- Transformatoare speciale,
- Mașini de inducție speciale,
- Mașini sincrone speciale,
- Mașini de curent continuu speciale,
- Mașini de curent alternativ cu colector,
- Mașini cu reluctanță variabilă comutate electronic,
- Mașini cu câmp transversal,
- Mașini sonice

## După tipul constructiv:

- ✓ Mașini rotative,
- ✓ Mașini liniare,
- ✓ Mașini sferice și planare.



## Elemente constructive

Există trei sisteme de bază care reunite dau o mașină electrică și anume:

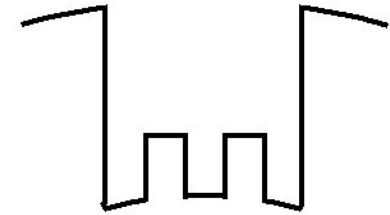
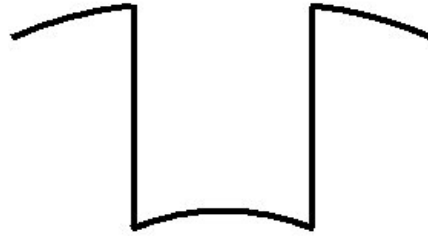
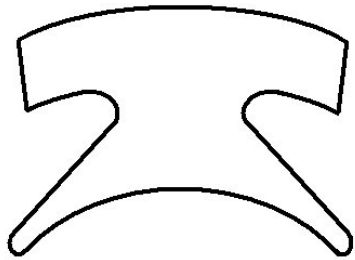
- Sistemul electric (înfășurări, conexiuni exterioare, placă de borne, contacte alunecătoare, colector, etc.)
- Sistemul magnetic (miezurile feromagnetice)
- Sistemul mecanic și de răcire.

### **Sistemul magnetic**

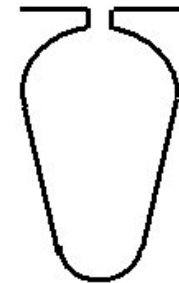
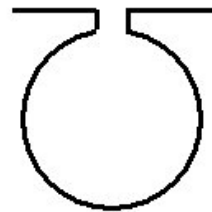
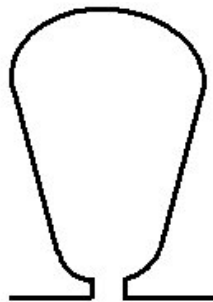
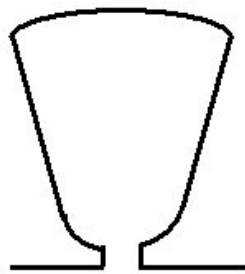
Rolul miezurilor feromagnetice:

- să asigure o inducție magnetică de valoare cât mai mare,
- să constituie suportul pentru înfășurări și/sau magneți permanenți,
- să modifice în mod corespunzător câmpul magnetic,
- să transmită la axul masinii cuplul dezvoltat,
- să participe la crearea cuplului electromagnetic.

# Sistemul magnetic



Tipuri de poli



Tipuri de creștături

# Sistemul electric

Rolul **sistemului electric** :

- produce câmpul magnetic necesar transformării energiei,
- permite închiderea curenților în circuitele interne ale mașinii,
- este sediul tensiunilor electromotoare induse ,
- realizează conversia frecvenței tensiunii sau curentului din circuitele interne ale mașinii , corespunzător necesităților proprii.

Sistemul electric poate fi compus din următoarele elemente:

- Înfășurări
- Conexiuni și plăci de borne,
- Contacte alunecătoare inel-perie,
- Comutator mecanic realizat din colector și perii,
- Convertor electronic cu sau fără detectare poziției rotorului.

## Sistemul electric

**O înfășurare** se obține prin conectarea între ele a mai multor bobine, formate din spire, și poate fi de diferite tipuri:

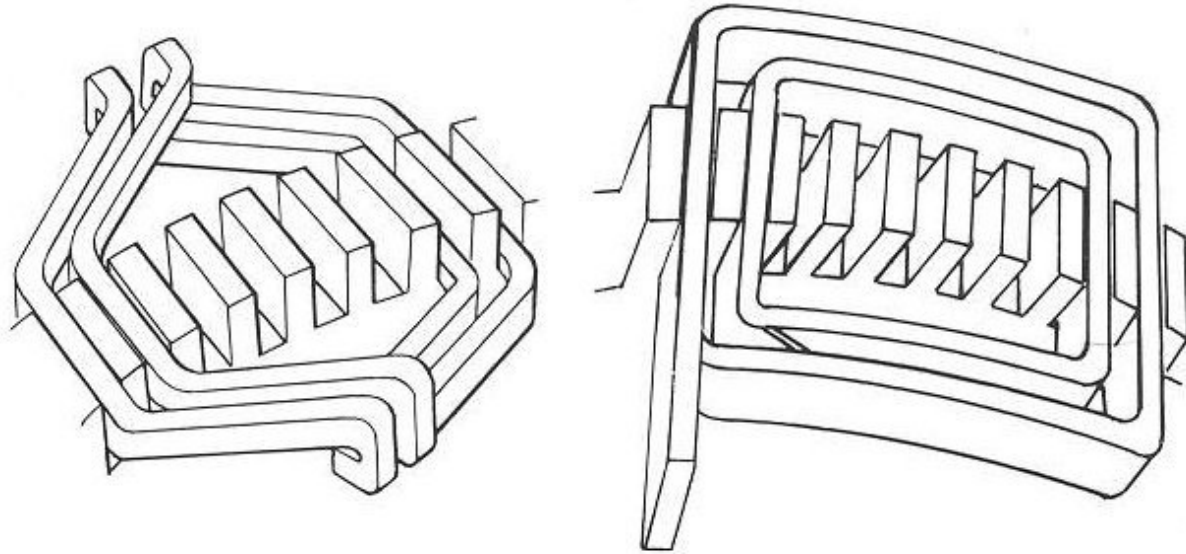
-înfășurare obișnuită, folosită și la mașinile electrice clasice,

- Înfășurare concentrată
- Înfășurare repartizată deschisă (de fază)
- Înfășurare repartizată închisă la colector
- Înfășurare în colivie.

-înfășurare specială.

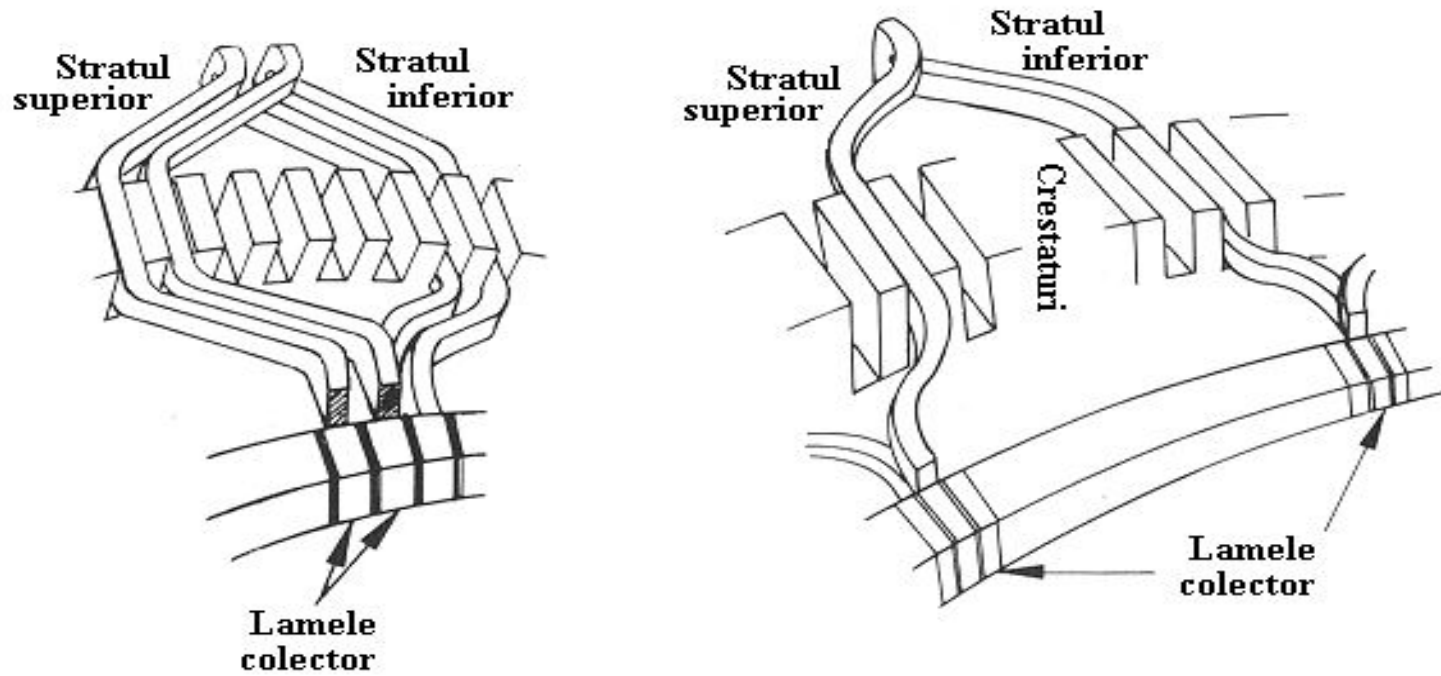
- Înfășurarea rotoarelor disc de curent continuu.
- Înfășurare rombică tip Fütterer
- Înfășurare oblică tip Faulhaber

## Sistemul electric



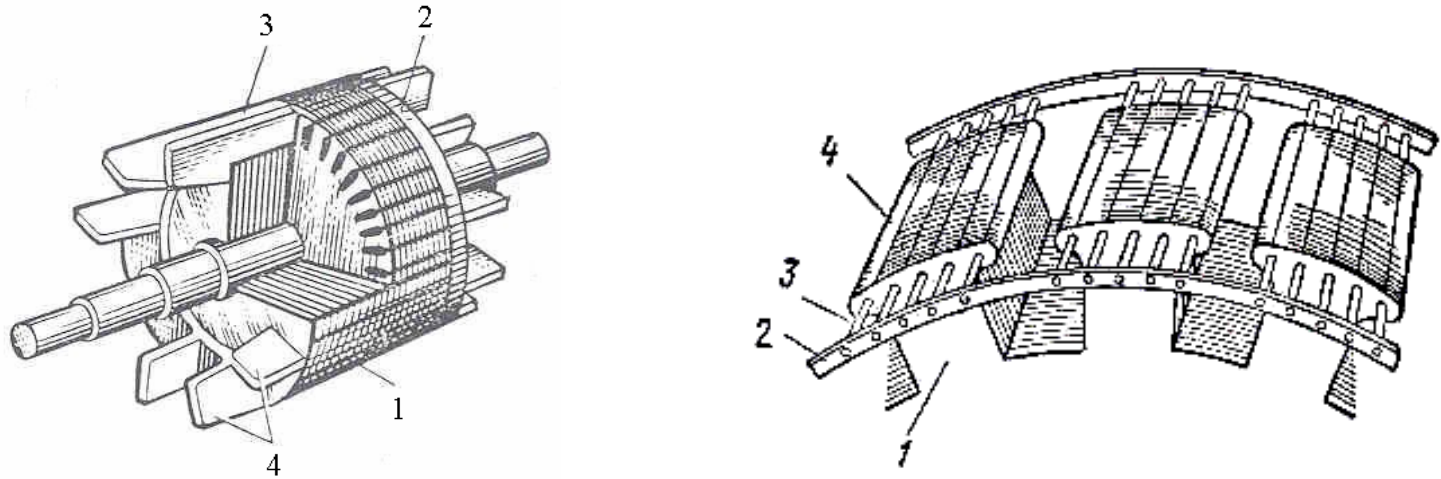
Înfășurare repartizată în dublu sau în simplu strat

# Sistemul electric



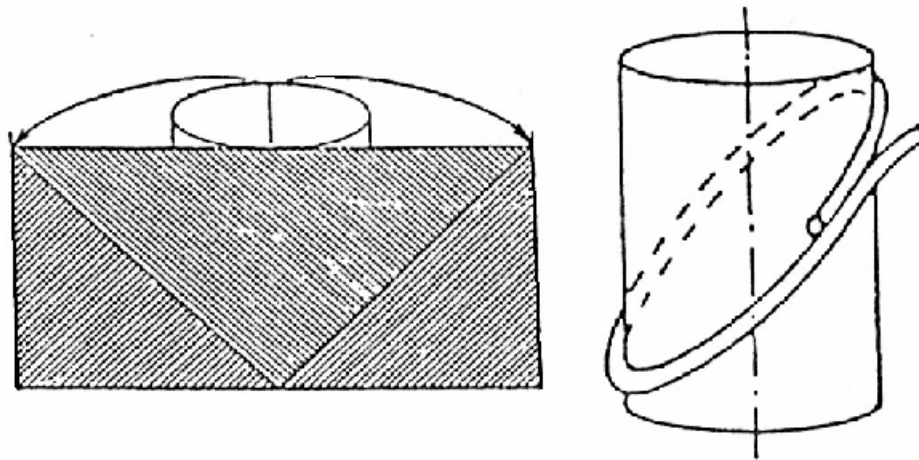
Înfășurări buclate (a), respectiv ondulate (b)

# Sistemul electric



Colivia simplă simetrică (a) și nesimetrică (b)

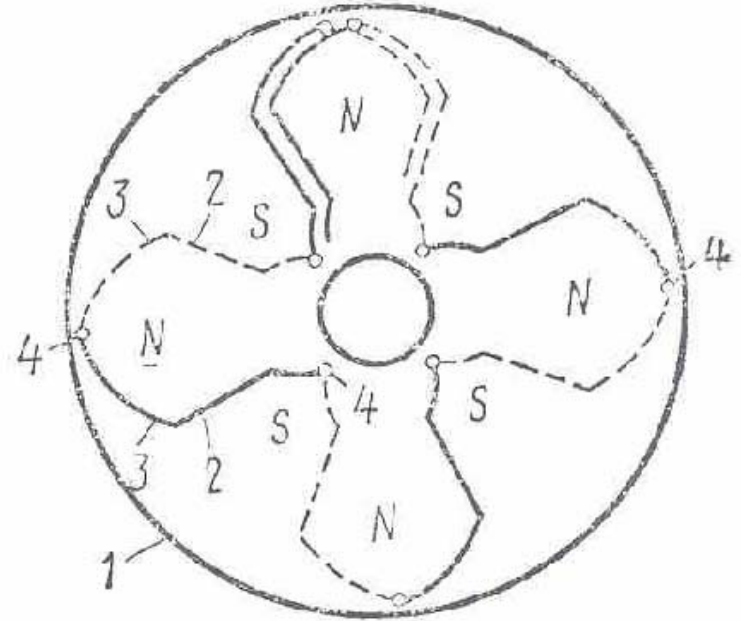
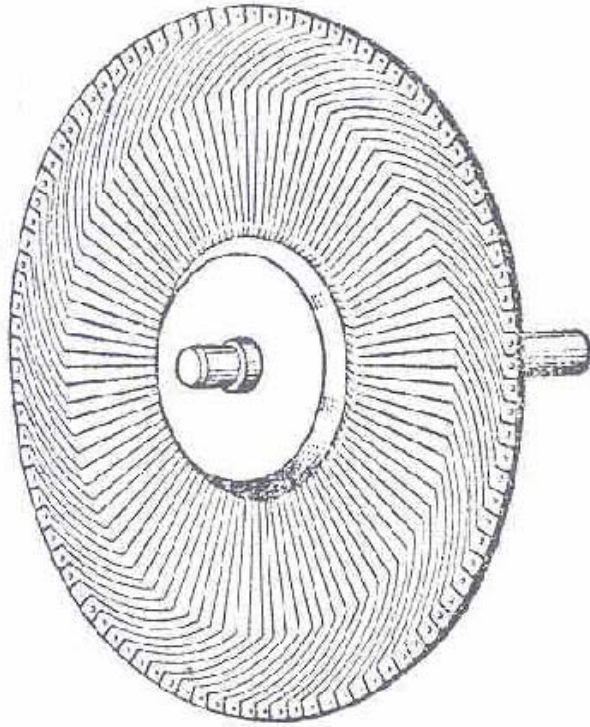
# Sistemul electric



Înfășurare rombică tip Fütterer

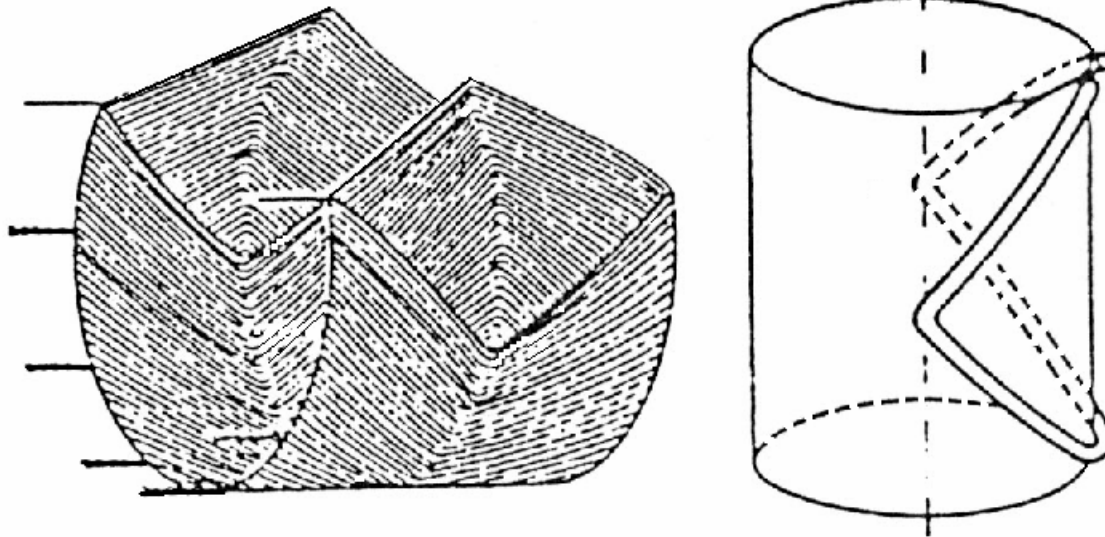


# Sistemul electric



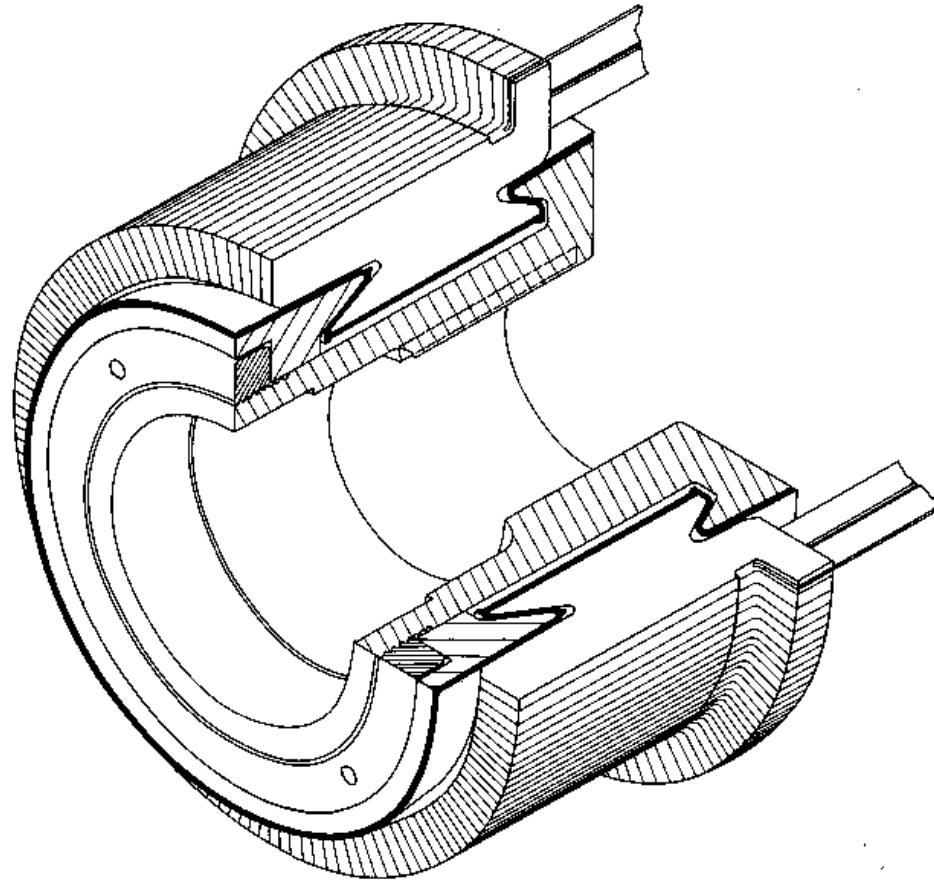
Înfășurarea rotoarelor disc de curent continuu.

# Sistemul electric



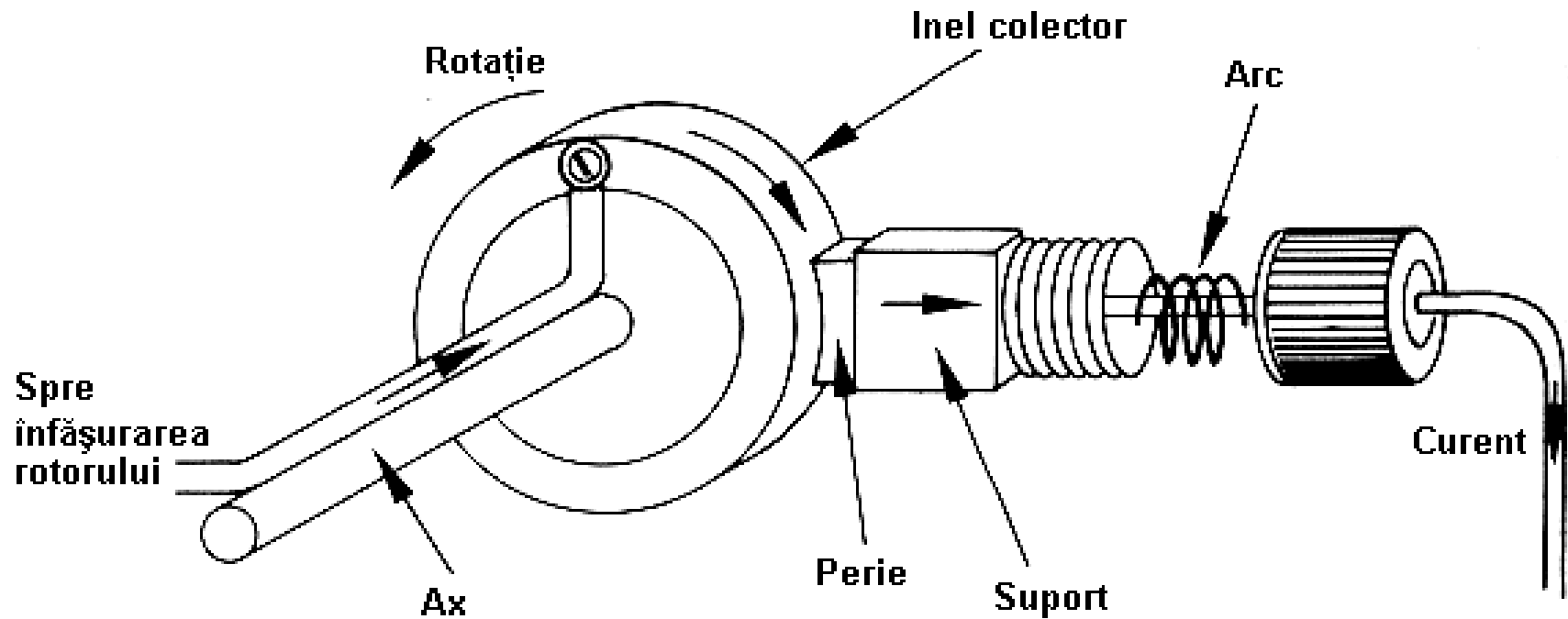
Înfășurare oblică tip Faulhaber

# Sistemul electric



Construcția colectorului

# Sistemul electric



Sistemul de contact alunecător

# Sistemul mecanic și de răcire.

**Sistemul mecanic** are rolul de a asigura:

- funcționarea mașinii,
- evacuarea căldurii,
- protecția mașinii și a personalului.

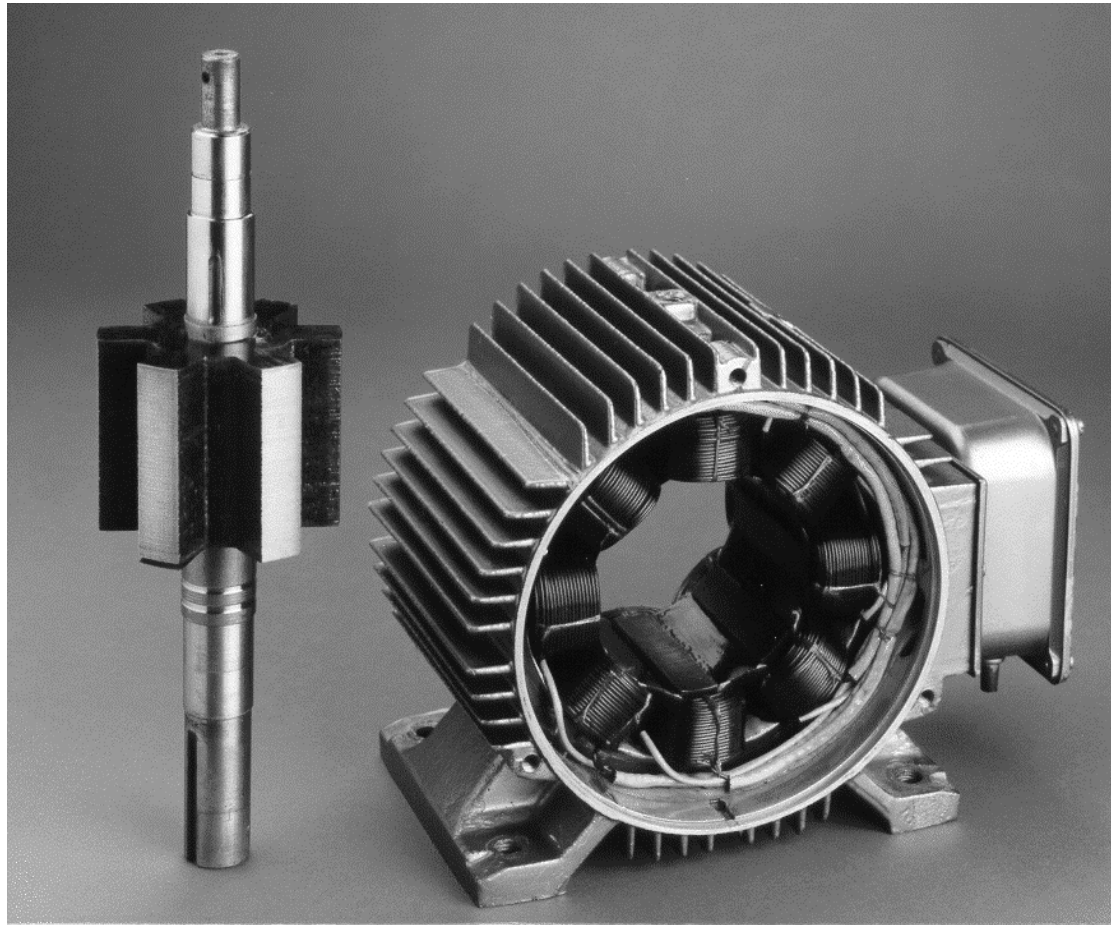
Structura mecanică a unei mașini electrice rotative constă în principal din trei părți:

- **Carcasa**, cu sau fără aripioare de răcire,
- **Arborele rotoric**, cu sau fără butuc,
- **Scuturile frontale cu lagărele** pentru ax.

✓ Elementele constructive pot fi diferite ca aspect la diferite tipuri și puteri de mașini dar vor avea totdeauna aceeași utilitate și funcție.

❖ La mașini de putere mică rolul carcasei poate fi preluat de miezul statoric.

## Sistemul mecanic și de răcire.



Elemente componente, stator și rotor, ale unui motor cu reluctanță variabilă comutat electronic, SRM [H7]

# Răcirea masinilor electrice

Din punctul de vedere al răcirii mașinile electrice se pot împărți în :

- Mașini cu răcire **naturală** ,
- Mașini cu răcire **forțată**,

Răcirea naturală se produce prin **deplasarea naturală a agentului de răcire**, **aer sau ulei**, în jurul ansamblului miez-înfășurare sau mașină.

În cazul mașinilor rotative această deplasare naturală a agentului de răcire este suplimentată cu o **ventilare** asigurată de un ventilator montat pe axul mașinii sau de forma specifică a capetelor de bobină.

La răcirea forțată **agentul de răcire este circulat forțat** prin exteriorul carcasei sau prin interiorul mașinii. El poate fi aer, ulei mineral sau altă substanță cu proprietăți corespunzătoare.

Răcirea forțată înseamnă un consum de energie suplimentar, dar o răcire mai eficientă și o reducere a dimensiunilor la aceeași putere.



## Răcirea forțată

Răcirea forțată prin interiorul mașinii poate fi:

**indirectă** când agentul de răcire circulă prin canale prevăzute în miezul feromagnetic al mașinii,

**directă** când agentul de răcire circulă prin canale prevăzute în miezul feromagnetic al mașinii și prin interiorul conductoarelor care sunt construite special cu spațiu gol în interior.

Dacă răcirea se face cu aer se numește și ventilare. Dacă ventilația este realizată de un ventilator montat pe axa mașinii - **autoventilație**

Autoventilația este mai eficientă la turații mari și practic inoperantă la turații mici.

Autoventilarea reprezintă un procedeu foarte utilizat la mașinile de putere mică și medie cu turație destul de ridicată, fiind un procedeu ieftin prin care se consumă foarte puțină energie; un procedeu simplu.



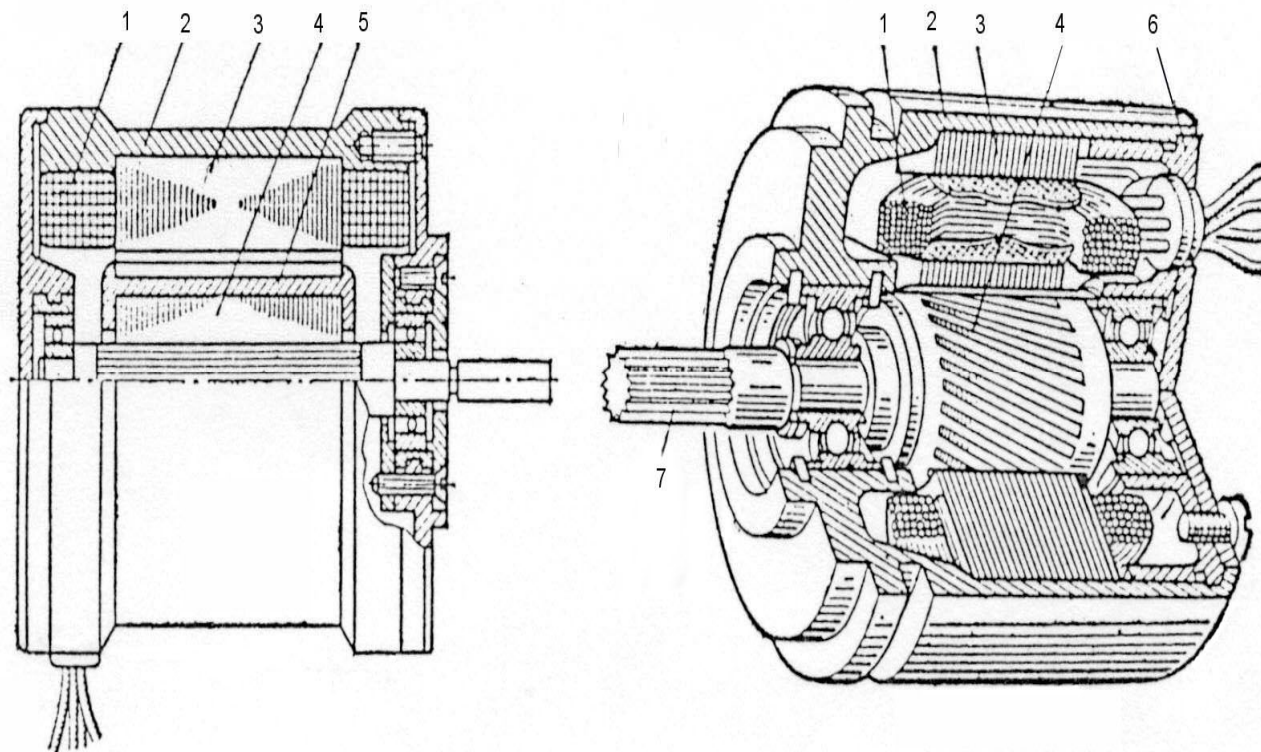
---

# Masini de inductie speciale

---

Masini trifazate

# Mașini de inducție trifazate



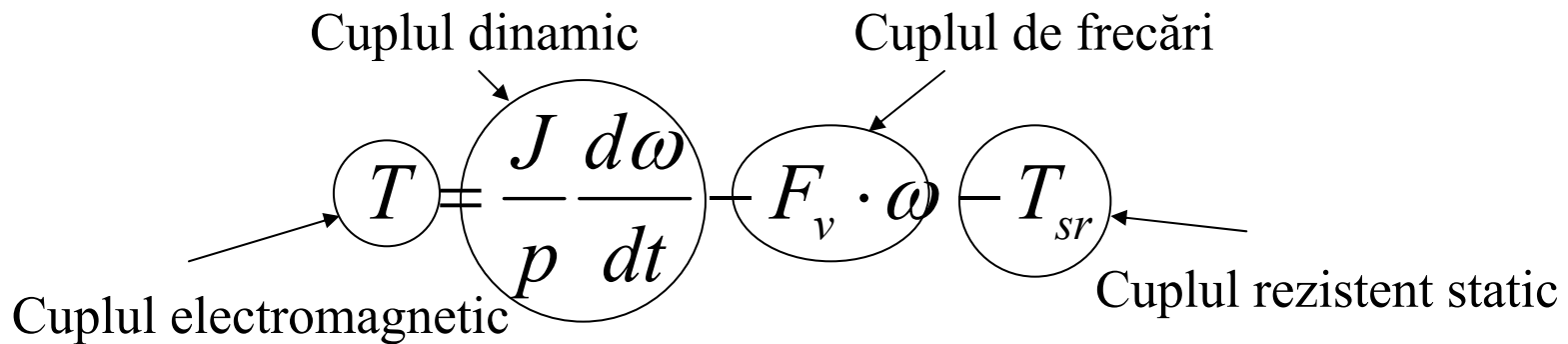
Construcția micromotorului trifazat  
cu colivie.

Colivia rotorică cu bare înclinate ; rezistența rotorică mărită



# Modelul matematic

Ecuția de mișcare



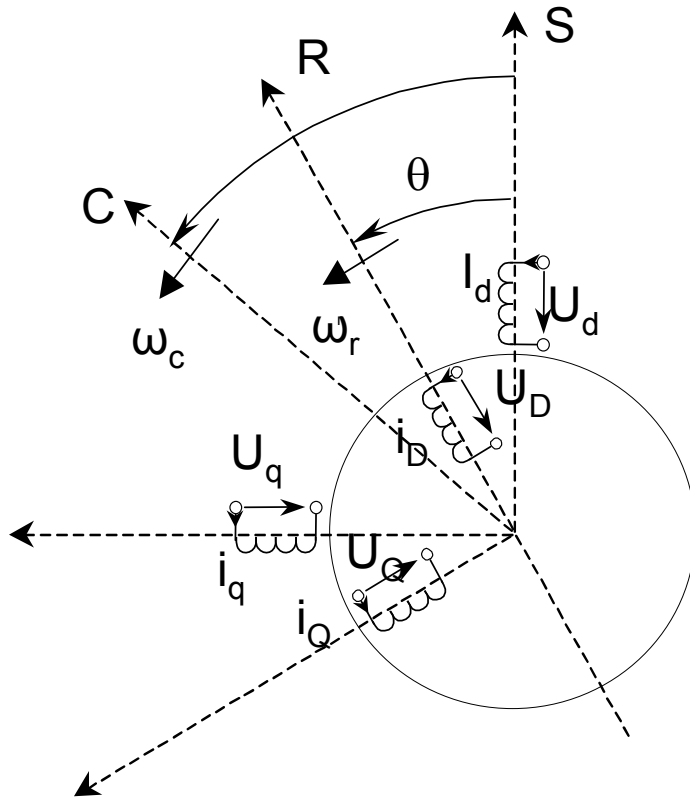
$F_v$  coeficientul de frecări

Definiție fazori:

$$\underline{i}_S^* = i_d - j \cdot i_q$$

$$\underline{\psi}_S = \psi_d + j \cdot \psi_q$$

# Modelul bifazat ortogonal



Modelul bifazat ortogonal

Se descompun ecuațiile fazoriale în componente ortogonale.

$$u_d = R_S \cdot i_d + \frac{d\Psi_d}{dt} - \omega_S \cdot \Psi_q$$

$$u_q = R_S \cdot i_q + \frac{d\Psi_q}{dt} + \omega_S \cdot \Psi_d$$

$$0 = R_R \cdot i_D + \frac{d\Psi_D}{dt} - (\omega_S - \omega) \cdot \Psi_Q$$

$$0 = R_R \cdot i_Q + \frac{d\Psi_Q}{dt} + (\omega_S - \omega) \cdot \Psi_D$$

# Modelul matematic

Cuplul electromagnetic

$$T = p \cdot (\Psi_d \cdot i_q - \Psi_q \cdot i_d)$$

Curentul de magnetizare  $\underline{i}_m = \underline{i}_S + \underline{i}_R$

$$\Psi_m = M \cdot i_m \quad \text{Inductivitatea de magnetizare} \quad M = \frac{3}{2} M_{SR} = \frac{3}{2} L_{Sm}$$

$$M = f(i_m) \quad \frac{d\Psi_m}{dt} = \frac{d\Psi_m}{di_m} \frac{di_m}{dt} = M_t \frac{di_m}{dt}$$

Expresiile fluxurilor

$$\begin{aligned} \underline{\Psi}_S &= \underline{\Psi}_{S\sigma} + \underline{\Psi}_{Sm} = L_{S\sigma} \cdot \underline{i}_S + M \cdot (\underline{i}_S + \underline{i}_R) \\ \underline{\Psi}_R &= \underline{\Psi}_{R\sigma} + \underline{\Psi}_{Rm} = L_{R\sigma} \cdot \underline{i}_R + M \cdot (\underline{i}_S + \underline{i}_R) \end{aligned}$$

# Modelul matematic

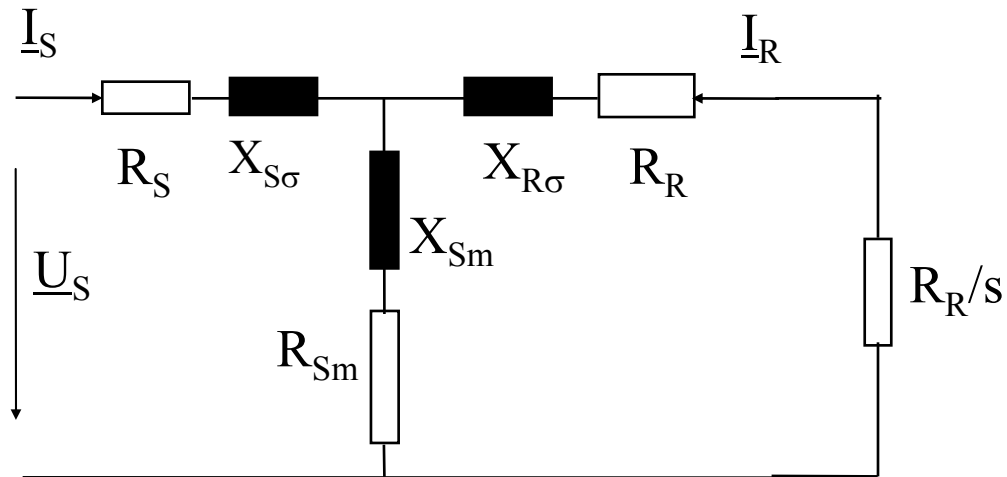
În regim permanent sinusoidal  $X_{S\sigma} = \omega \cdot L_{S\sigma}$   $X_{Sm} = \omega \cdot M$

$$\underline{U}_S = R_S \cdot \underline{I}_S + j \cdot \omega_S \cdot L_{S\sigma} \cdot \underline{I}_S - \underline{E}$$

$$\underline{U}'_R = 0 = \frac{R'_R}{s} \cdot \underline{I}'_R + j \cdot X'_{R\sigma} \cdot \underline{I}'_R - \underline{E}_S$$

$$\underline{I}_{mS} = \underline{I}_S + \underline{I}'_R$$

$$\underline{E}_S = -(R_{mS} + j \cdot X_{mS}) \cdot \underline{I}_{mS}$$



Schema echivalentă a mașinii de inducție

# Modelul matematic

Alunecarea critică

$$s_k = \frac{R_R}{\sqrt{R_S^2 + X^2}}; \quad \varepsilon = \frac{R_S}{\sqrt{R_S^2 + X^2}}$$

Expresia cuplului

$$X = X_{S\sigma} + X_{R\sigma}$$

Cuplul critic

$$T = \frac{P}{\Omega_S} = \frac{p \cdot P}{\omega_S} = \frac{p \cdot m_S}{\omega_S} \cdot \frac{U_S^2 \cdot \frac{R_R}{s}}{\left[ \left( R_S + \frac{R_R}{s} \right)^2 + (X)^2 \right]}$$

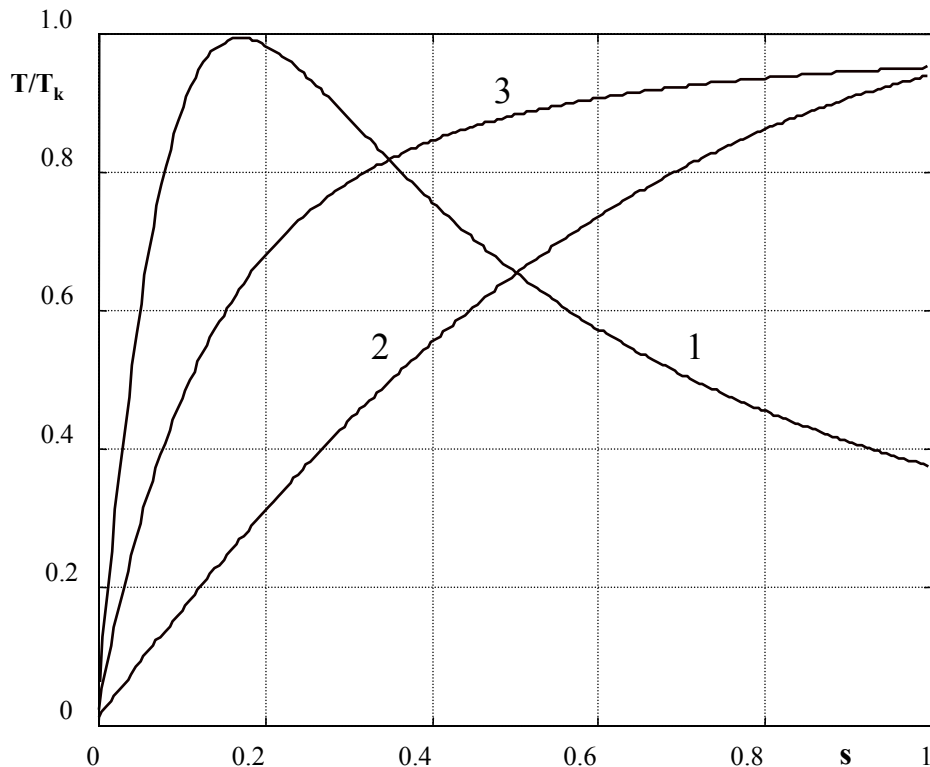
$$T_k = 3 \frac{p}{\omega_S} \frac{U_S^2}{(\varepsilon + 1) \sqrt{R_S^2 + X^2}}$$

Formula lui Kloss

$$\frac{T}{T_k} = \frac{2(1 + \varepsilon)}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k} + 2\varepsilon}$$

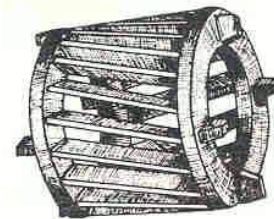


# Caracteristici



Caracteristicile mecanice tipice ale motoarelor de inducție de mică putere.

1- colivie simplă turnată



2.-rotor pahar

Grosimea mică a pereților paharului  
Rezistență echivalentă mare, constantă  
Reactanța echivalentă mică, constantă

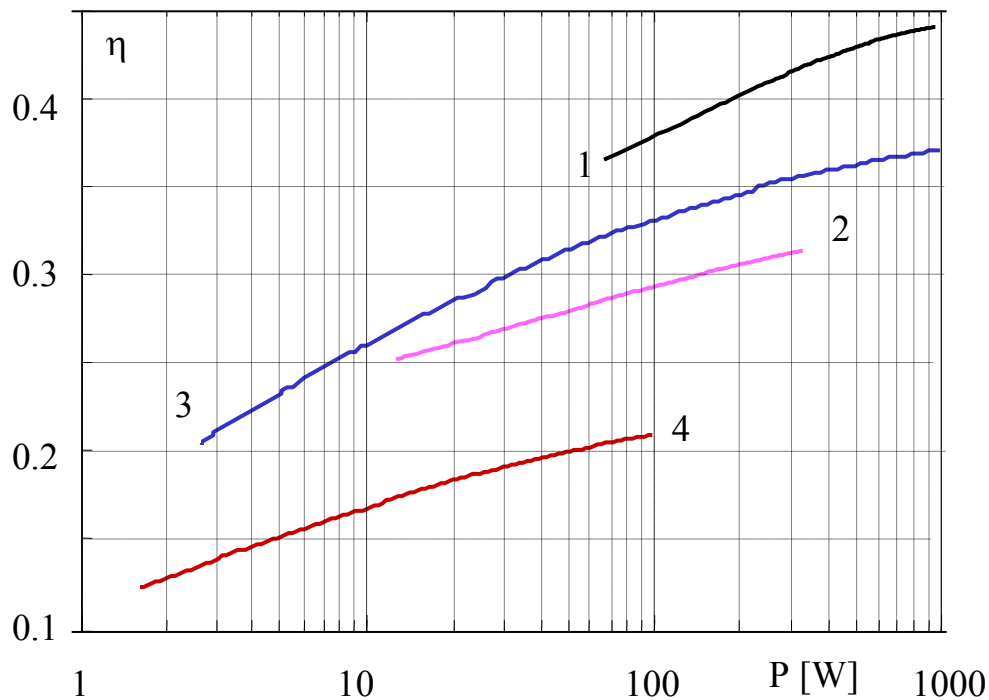
Alunecarea critică  $s_k \gg 1$

3- rotor masiv

Grosimea zonei active, adâncimea de pătrundere, parametrii echivalenți dependenți de frecvența rotorică, de alunecare.

Alunecarea critică variabilă la  $s = 1$   $sk \gg 1$  la  $s < 1$  scade

# Randamentul micromotoarelor de inducție.



1- inducție trifazată clasică

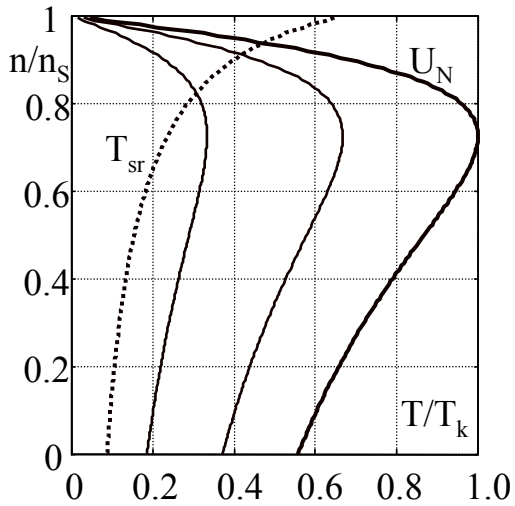
2- inducție trifazată cu rotor special

3- inducție monofazată cu faza auxiliară

4- Inducție cu spira ecran

# Modificarea vitezei

## 1- Modificarea tensiunii de alimentare

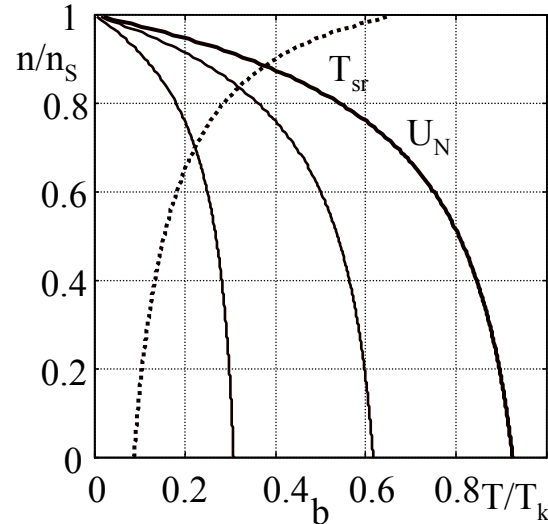


Rotor clasic

Domeniu restrăns

$$s_0 < s < s_k$$

$$1 > n/n_s > 0,7$$



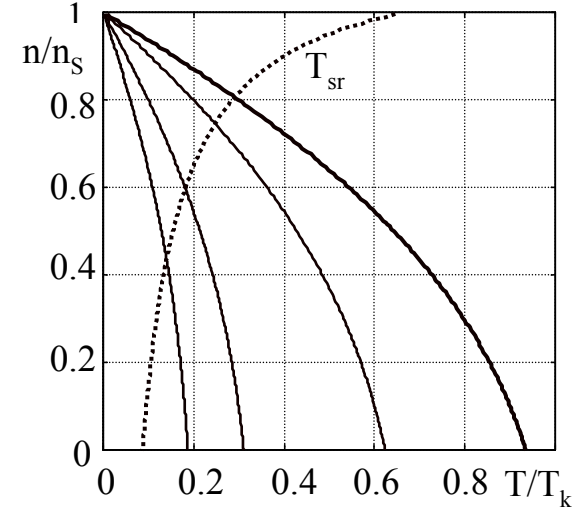
Rotor masiv

Domeniu mai larg

$$s_0 < s < 0,5$$

$$1 > n/n_s > 0,5$$

Pierderi mari



Rotor pahar

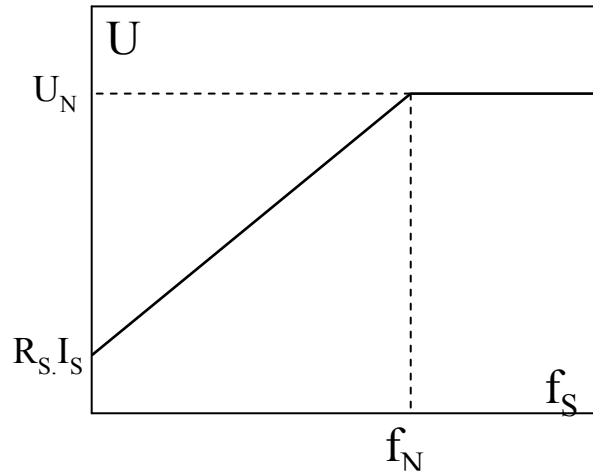
Domeniu și mai larg

$$s_0 < s < 1$$

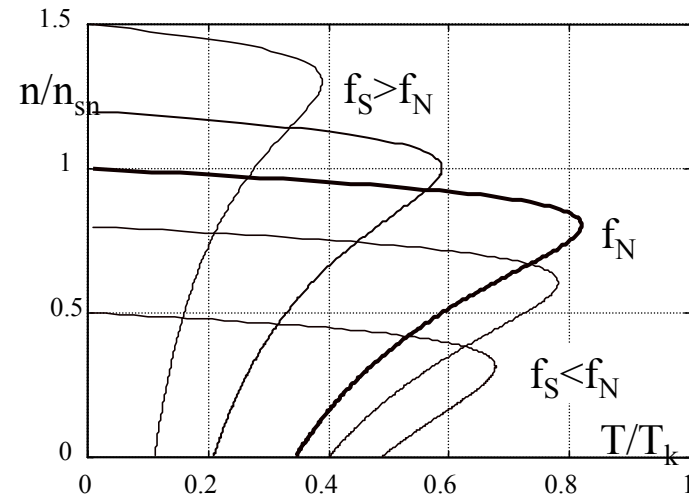
$$1 > n/n_s > 0$$

Pierderi mari

# Modificarea vitezei



Variația tensiunii cu  
frecvența.



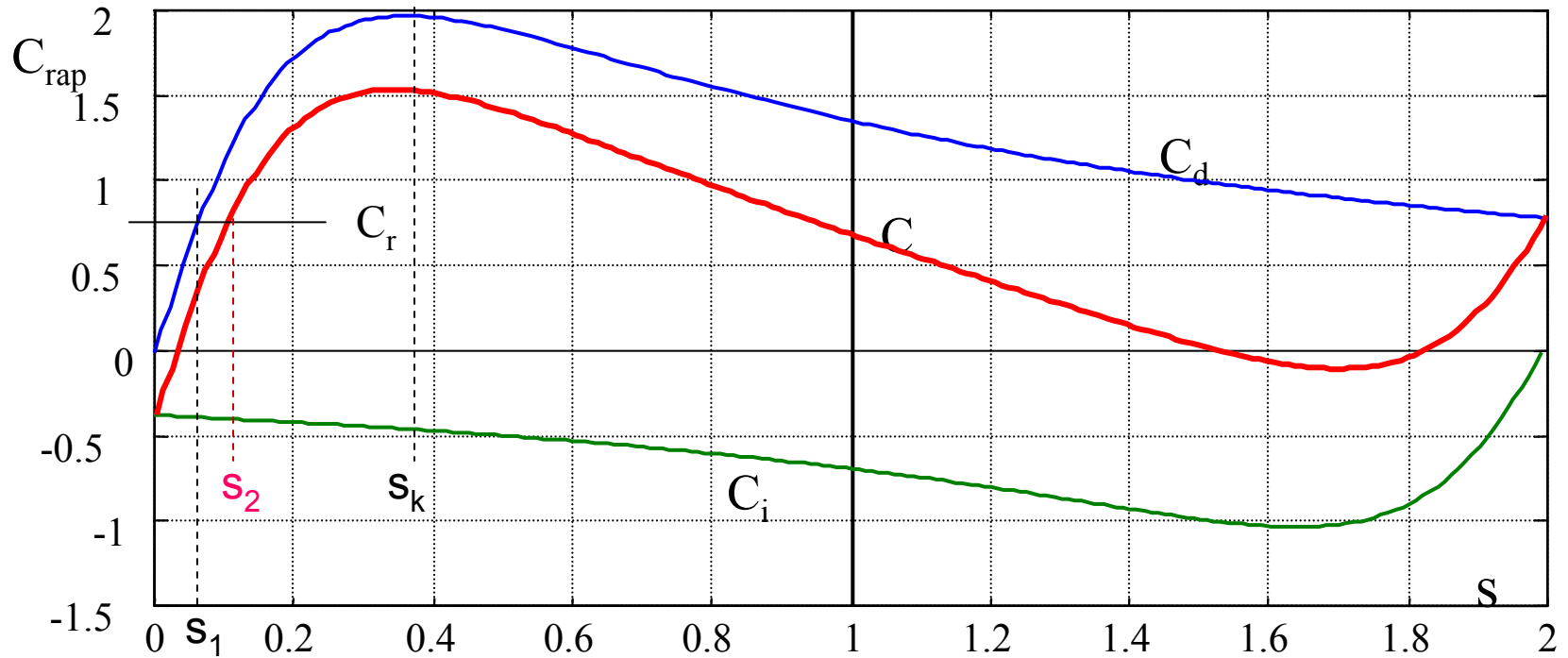
Caracteristicile mecanice ale motoarelor  
de inducție pentru diferite frecvențe în  
cazul  $U_s / f_s$  constant.

## 1.3-Modificarea nesimetrică a tensiunii

Regimul nesimetric de alimentare și funcționare

Două câmpuri magnetice învârtitoare - succesiuna directă  
- succesiune inversă

# Cuplul motorului de inducție la alimentare nesimetrică



Domeniul de modificare al vitezei

$$s_0 < s < s_k$$

$$1 > n/n_s > 0,7$$

# Bibliografie

**Armensky E.V., Falk G.B.**, "*Fractional horsepower electrical machines*", MIR Publisher, Moscova, 1978.

**Bart S.F. et al.**, "Measurements of electric micromotor dynamics", *Proc. of ASME Winter Annl. Meeting*, Dallas, vol. 19 (1990), pp. 19-29.

**Boldea, I.**: "Reluctance synchronous machines and drives", Clarendon Press, Oxford, 1996

**Biro K.A.,Viorel I.A.,Syabo L.,Henneberger G.** " Mașini electrice speciale ", *Editura MEDIAMIRA*, Cluj-Napoca, 2005.

**Galan N.**, "*Motorul electric cu histerezis*", Ed. Tehnică, București, seria Mașini și aparate electrice, 1974.

**G. Henneberger, I. A. Viorel**: "*Variable Reluctance Electrical Machines*" Shaker Verlag, Aachen, Germania 2001

**Măgureanu R., Vasile N.**, "*Servomotoare fără perii tip sincron*", Ed. Tehnică, București, seria Mașini și aparate electrice, 1990.

**Miller, T.J.E.**: „*Switched reluctance motors and their control*”. Clarendon Press, Oxford 1993.

---

## Bibliografie

**Moczala H. et al.**, "*Elektrische Kleinmotoren. Wirkungsweise, Bauformen, Eigenschaften- Hinweise für den Einsatz*", Expert Verlag, 1993.

**Simion A.**, "*Mașini electrice speciale pentru automatizări*", Ed. Universitas, Chișinău, 1993.

**I.A. VIOREL – G. Henneberger – R. Blissenbach – L Lövenstein**: "*Transverse Flux Machines. Their behavior, design, control and applications*", MEDIAMIRA, Cluj-Napoca, 2003,

**Yeadon P.W.H., Yeadon A.W.**, "*Handbook of small electric motors*", McGraw-Hill, New York, 2001.

---