

---

# Mașini de inducție speciale

---

Monofazate și bifazate

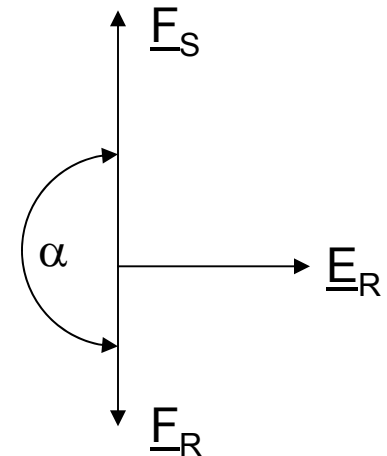
# Motoare de inducție cu o înfășurare

Sunt construite rar.

Construcția : - circuit magnetic clasic,  
- înfășurarea statorică ocupă 2/3 din creștăturile statorice,  
- înfășurarea rotorică în colivie, de obicei cu bare înclinate.

Funcționarea: - înfășurarea statorică alimentată produce o solenație pulsatorie.

- Câmpul statoric este pulsator
- Induce t.e.m. și în înfășurarea rotorică închisă,
- curenții rotorici determină o solenație pulsatorie, în opziție cu cel statoric,
- cuplul este nul.
- Motorul funcționează ca un transformator monofazat în scurtcircuit .



# Motoare de inducție cu o înfășurare

Câmpul magnetic pulsator este echivalent cu două câmpuri învârtitoare egale și care se rotesc în sensuri opuse cu viteze egale.

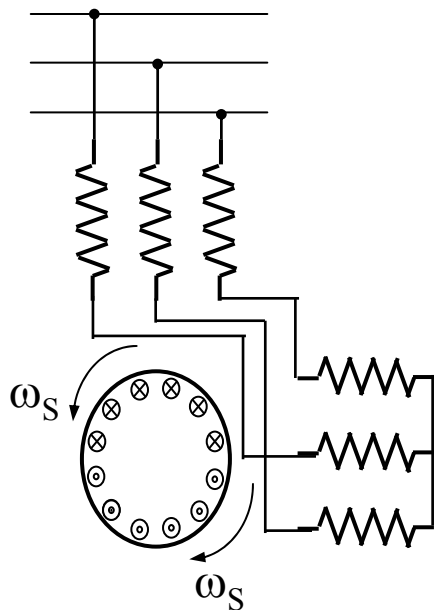
Mașina este echivalentă cu două mașini cu axele cuplate.

Trebuie creat un câmp învârtitor

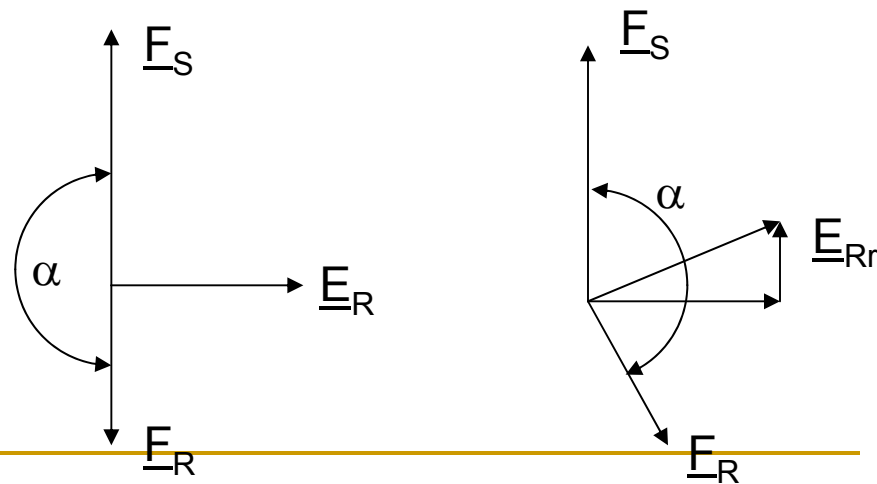
1- mișcarea mecanică a rotorului.

În rotor se induce și o componentă de t.e.m. de rotație, care este în fază cu fluxul.

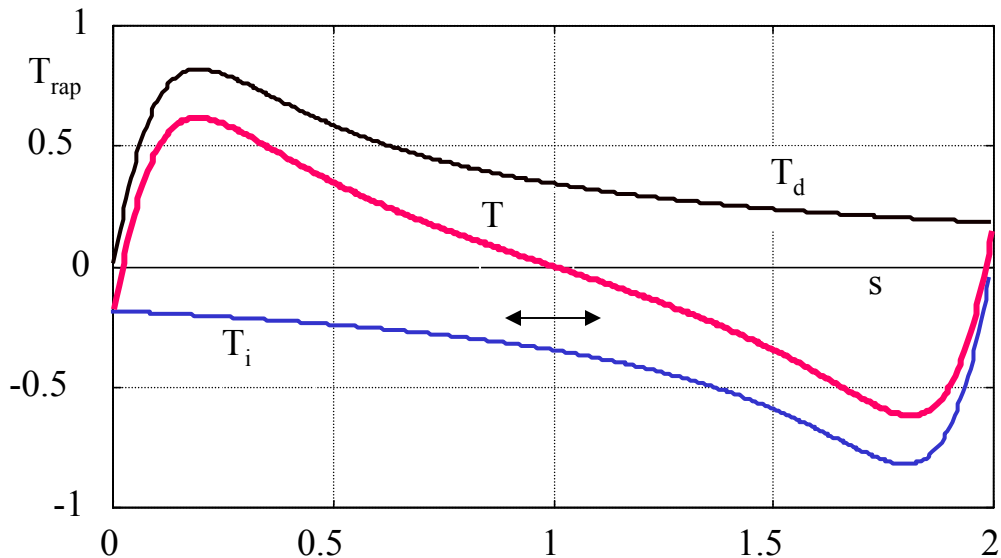
T.e.m. rezultantă în rotor determină curentul rotoric și solenația rotorică defazată față de cea statorică - deci se exercită un cuplu în sensul de mișcare al rotorului.



Cele două cupluri determinate sunt egale și de sensuri opuse. Cuplul rezultat este nul.



# Motoare de inducție cu o înfășurare



Cuplul electromagnetic tip asincron

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

- alunecarea ideală de mers în gol  $s'_o > 0$  deci motorul are o turație ideală de mers în gol  $n'_o < ns$ ;

-cuplul de pornire  $T_p$  al motorului monofazat este nul;

-motorul se poate roti spre dreapta sau spre stânga cu același cuplu, regimul de rotor este pentru alunecări  $0 < s < 2$ ;

- nu există regim de frână propriu zis, ci numai regim de generator, pentru  $s > 2$  și  $s < 0$

# Motoare de inducție cu două înfășurări statorice

## 2. Folosirea unei înfășurări suplimentare

**cu două înfășurări statorice identice** se execută cu rotor :

- clasic,

-nemagnetic sau masiv astfel încât alunecarea critică a rotorului  $sk > 1$ .

Aceste motoare cu rotor nemagnetic se mai numesc și **servomotoare bifazate.**

**cu două înfășurări nesimetrice** se execută:

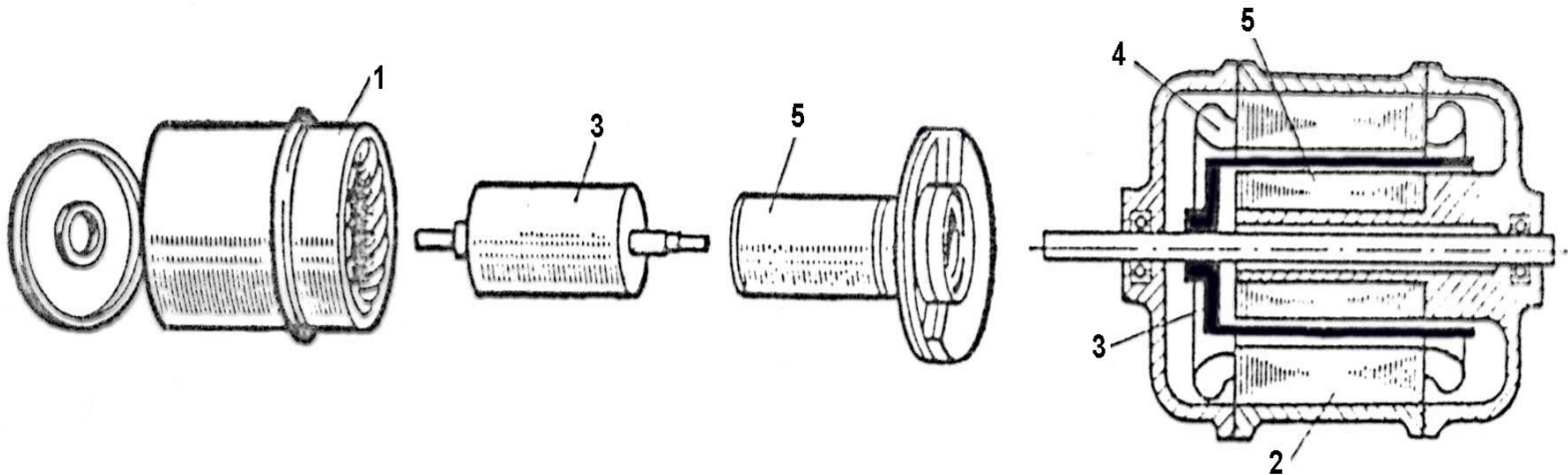
- cu poli înecați cu rotor clasic,

și se mai numesc și motoare monofazate cu fază auxiliară,

- cu poli înecați sau aparenti cu a doua înfășurare în scurtcircuit, numite și motoare cu poli ecranati sau cu spira în scurtcircuit.

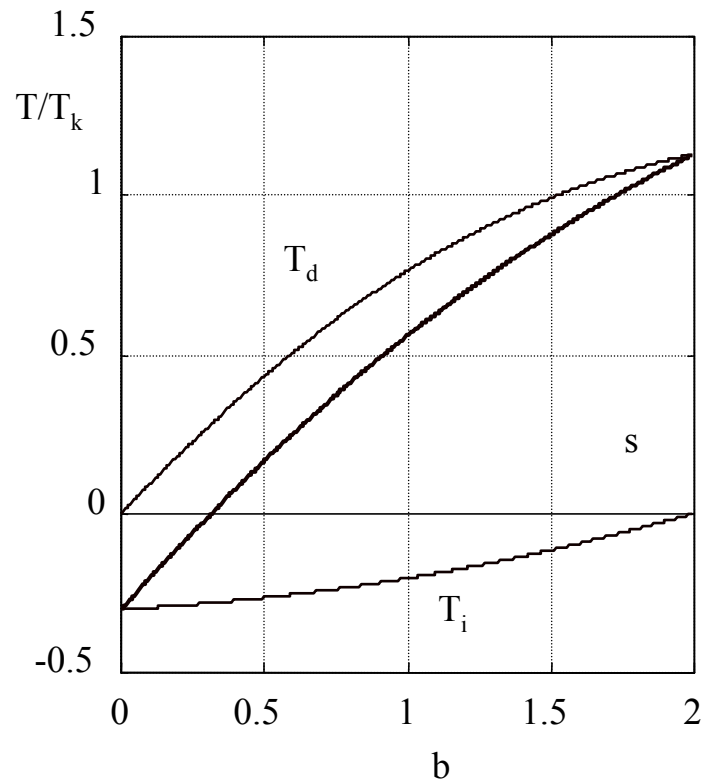
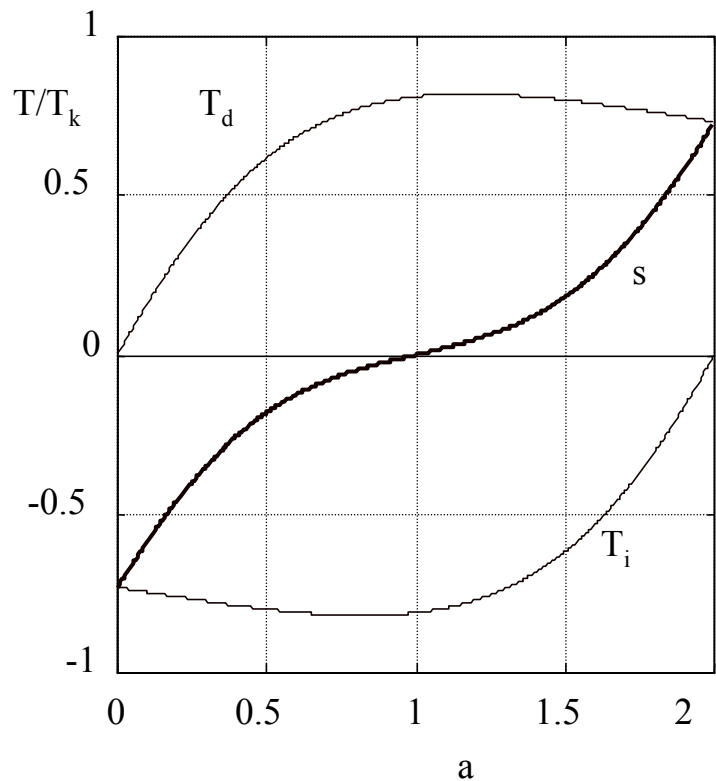
# Servomotoare de inducție bifazate

- Cerințe:
- moment de inerție redus,
  - cuplu de frânare,
  - caracteristici liniare



Construcția micromotorului de inducție cu rotor pahar.

# Funcționarea servomotoarelor de inducție bifazate.



Caracteristicile mecanice ale servomotoarelor bifazate.

# Modelul matematic

$$\underline{F} = \underline{F}_1 + \underline{F}_2 e^{j\alpha}$$

$\alpha$  - unghiul dintre axele înfășurărilor

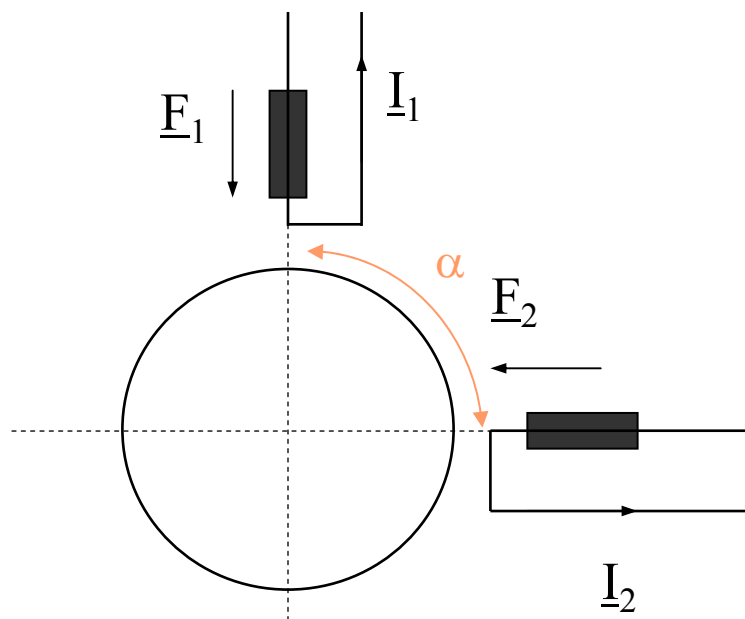
dacă  $k = 1$  și  $\alpha = \pi/2$

Motor bifazat cu înfășurări identice

Expresiile solenațiilor directe și inverse:

$$\underline{F}_d = \frac{1}{2} \underline{F}_1 (1 + jke^{-j\alpha})$$

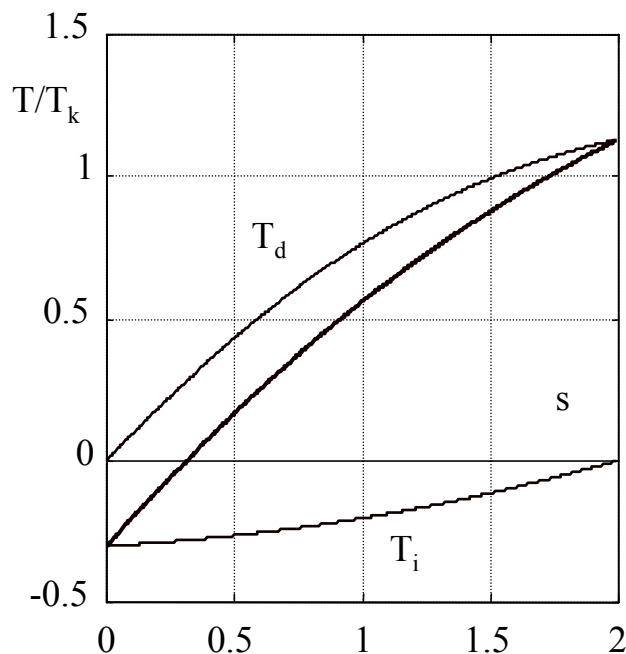
$$\underline{F}_i = \frac{1}{2} \underline{F}_1 (1 + jke^{j\alpha})$$



Schema electrică a mașinii  
bifazate simetrice



# Modelul matematic



Caracteristica mecanică

Se constata că:

i) Motorul are un cuplu de pornire cu atât mai mare cu cât câmpul invers este mai mic.

ii) Motorul are cuplu pozitiv în domeniul  $s_o < s < 1$ , deci lucreaza ca motor numai într-un singur sens de rotație.

iii) Caracteristica mecanică în domeniul de motor este aproape liniară (depinde de construcția rotorului).

# Comanda servomotoarelor de inducție bifazate.

Expresia caracteristicii mecanice cu condiția  $s \ll s_k$  rezultă:

$$T = 2 \cdot T_k \cdot \frac{s}{s_k} \quad \text{Cuplul critic}$$

Cuplul direct

$$T_k = \frac{3 \cdot p}{\omega} \frac{U_S^2}{R_R} s_k$$

$$T_d = 2 \frac{3 \cdot p}{\omega} \frac{U_d^2}{R_R} s = T_{md} \cdot s$$

Cuplul rezultat

$$T = T_d - T_i = T_{md} \cdot s - T_{mi} \cdot (2 - s)$$

Folosind notația

$$\frac{\underline{U}_d}{\underline{U}_i} = k \cdot e^{j\alpha} \quad T = T_{md} \cdot \left[ k \cdot \sin \alpha - \frac{1 + k^2}{2} (s - 1) \right]$$

## Comanda servomotoarelor de inducție bifazate.

notând  $\frac{T}{T_{md}} = T_{rap}$  și  $\frac{\Omega}{\Omega_s} = v = 1 - s$

Expresia cuplului raportat

$$T_{rap} = k \cdot \sin \alpha - \frac{1 + k^2}{2} v$$

din care rezultă:

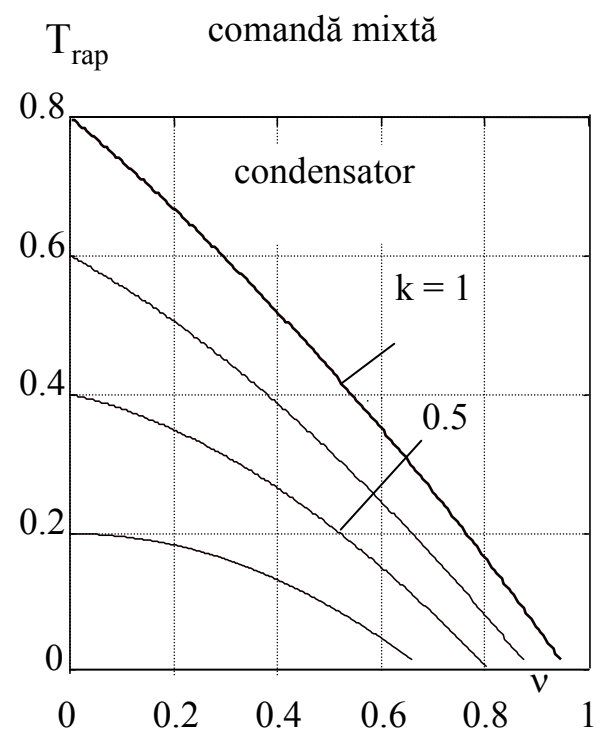
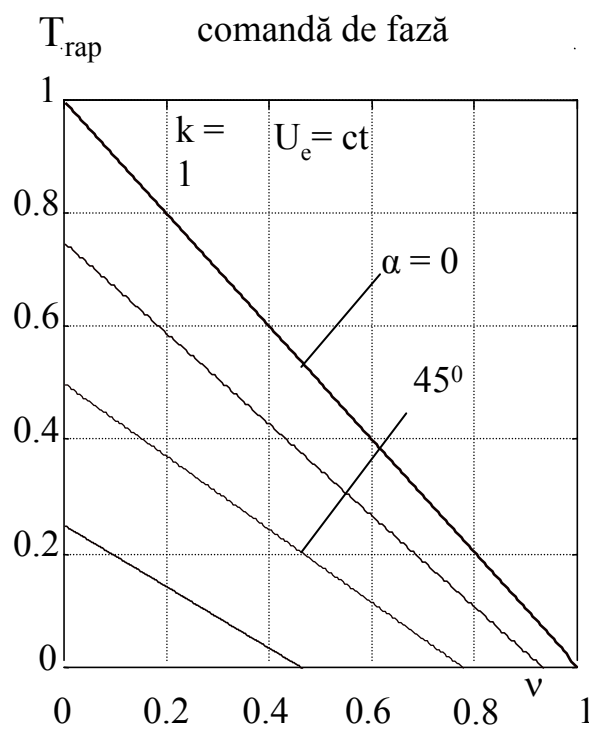
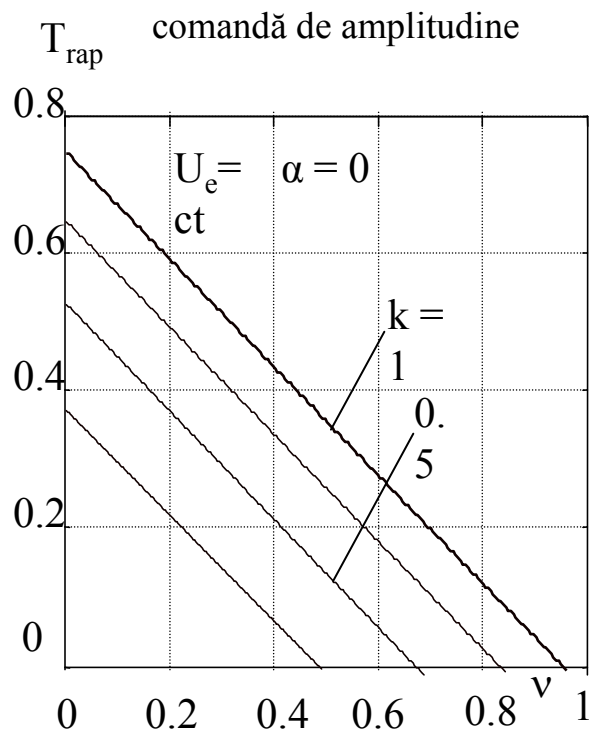
i) dacă tensiunile de alimentare sunt în fază  $\alpha = 0$  motorul are **câmp pulsator** și dezvoltă cuplu negativ la  $v \neq 0$ , deci **frânează**.  
Nu are cuplu de pornire;

ii) panta caracteristicii este determinată de raportul tensiunilor;

iii) **cuplul de pornire** depinde de amplitudinea și faza tensiunii de comandă;

$$T_{prap} = k \cdot \sin \alpha$$

# Comanda servomotoarelor de inducție bifazate.



Caracteristicile mecanice ale servomotorului bifazat cu rotor pahar pentru diverse procedee de comandă.

## Comanda servomotoarelor de inducție bifazate.

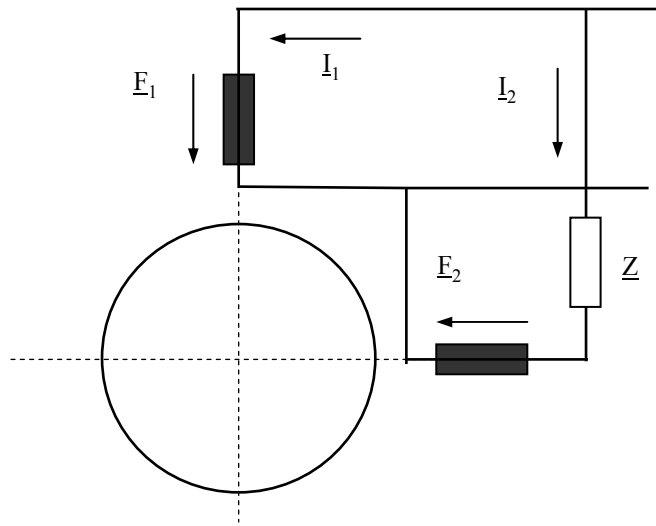
Caracteristicile de reglare

$$\nu = 2 \frac{k \cdot \sin \alpha - T_{rap}}{1 + k^2}$$

Regimul de generator. Una din înfășurări se alimentează

$$\underline{U}_c = - j \underline{U}_e \frac{\nu}{\underline{A} - \nu^2 \underline{B}}$$

# Construcția și funcționarea motoarelor de inducție monofazate cu fază auxiliară



$$\underline{I}_{aux} = \frac{U}{\underline{Z}_{sc\ aux} + \underline{Z}}$$

$$T_{p\ max} = K_T \cdot I_{pr} \cdot I_{aux} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi_{sc} - \varphi}{2}\right)$$

Schema electrica a masinii cu faza auxiliara

unde:  $K_T$  - este constanta de cuplu a mașinii,

$\varphi$  - este argumentul impedanței  $\underline{Z}$  .iar

$\varphi_{sc}$  -este argumentul impedanței de scurtcircuit al fazei principale  $\underline{Z}_{scpr}$ .

# Construcția și funcționarea motoarelor de inducție monofazate cu fază auxiliară

Cuplul de pornire este proporțional cu lungimea segmentului  $AB$ .

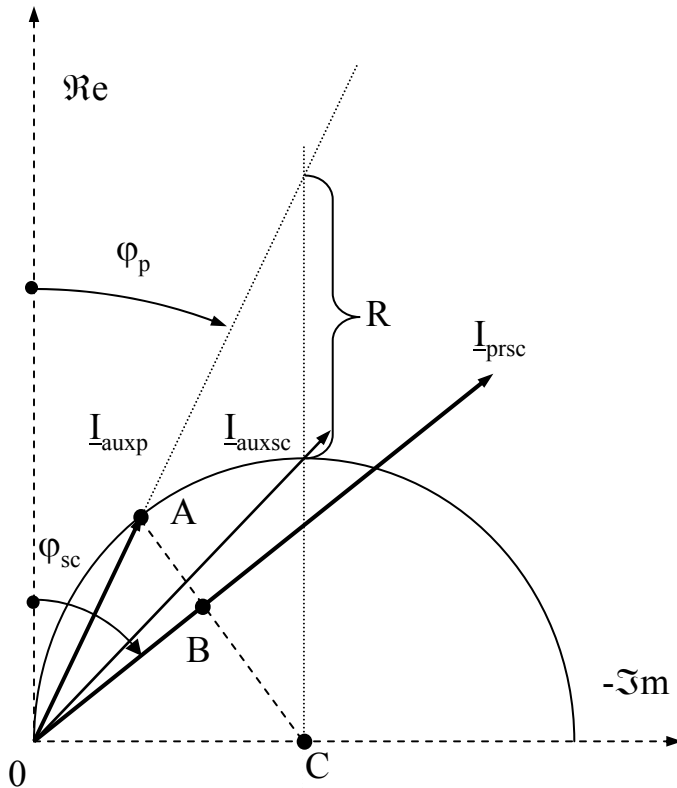


Diagrama curentilor la pornire cu rezistență.

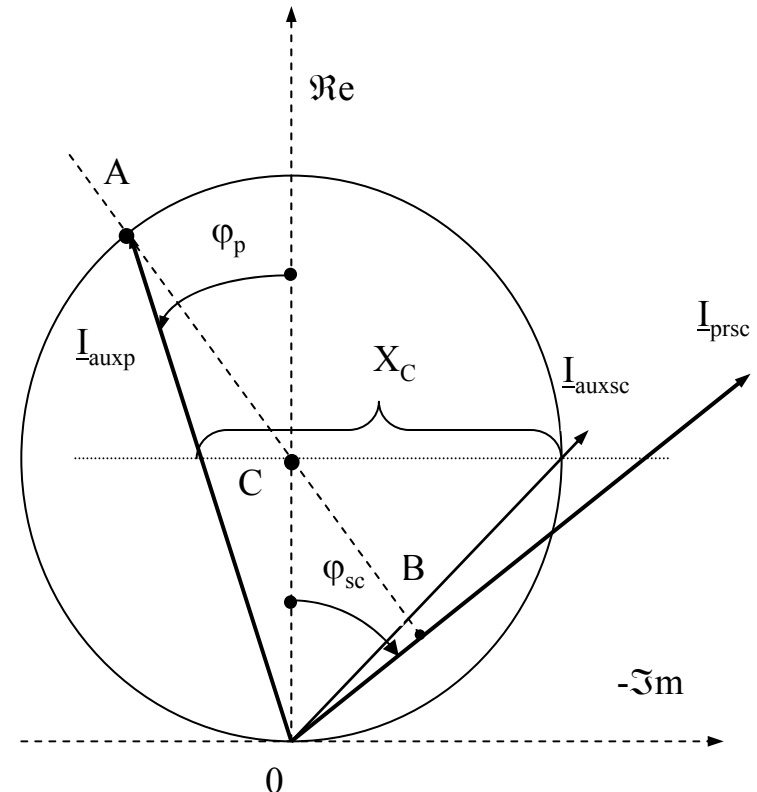
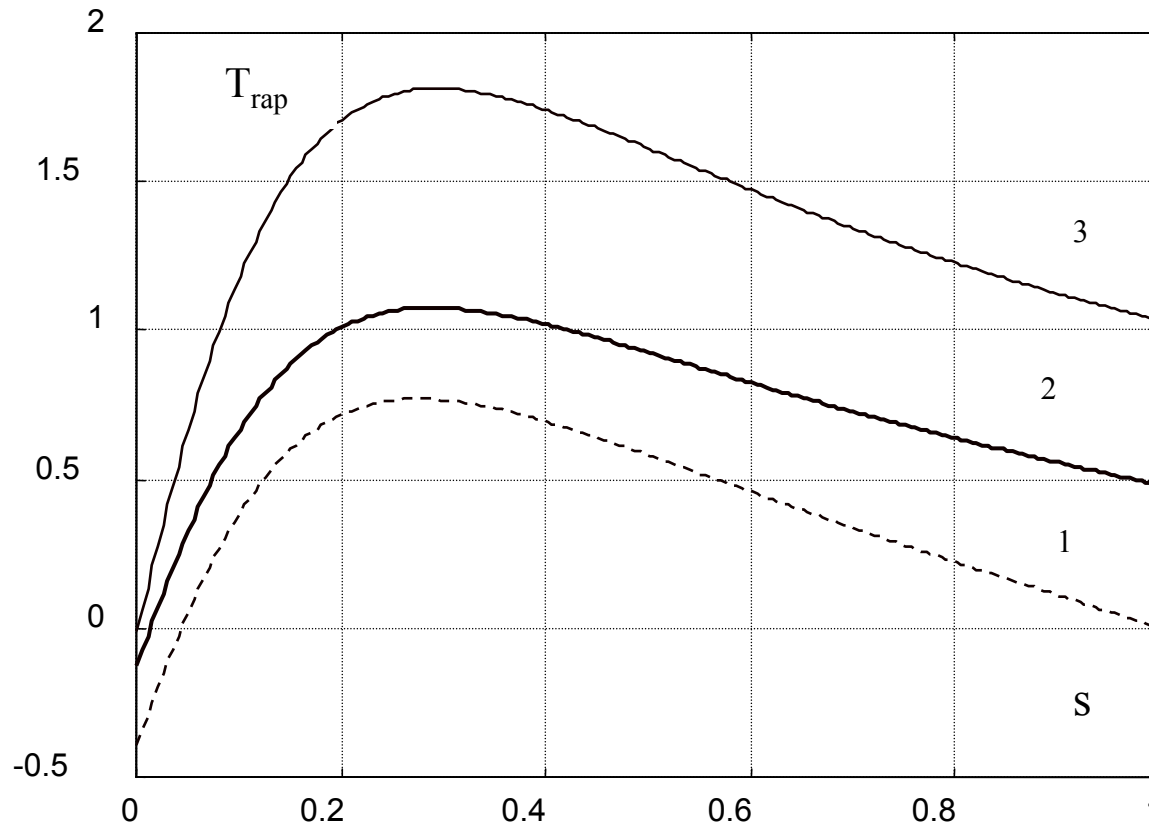


Diagrama curentilor la pornire cu condensator.

# Construcția și funcționarea motoarelor de inducție monofazate cu fază auxiliară



1- fără condensator

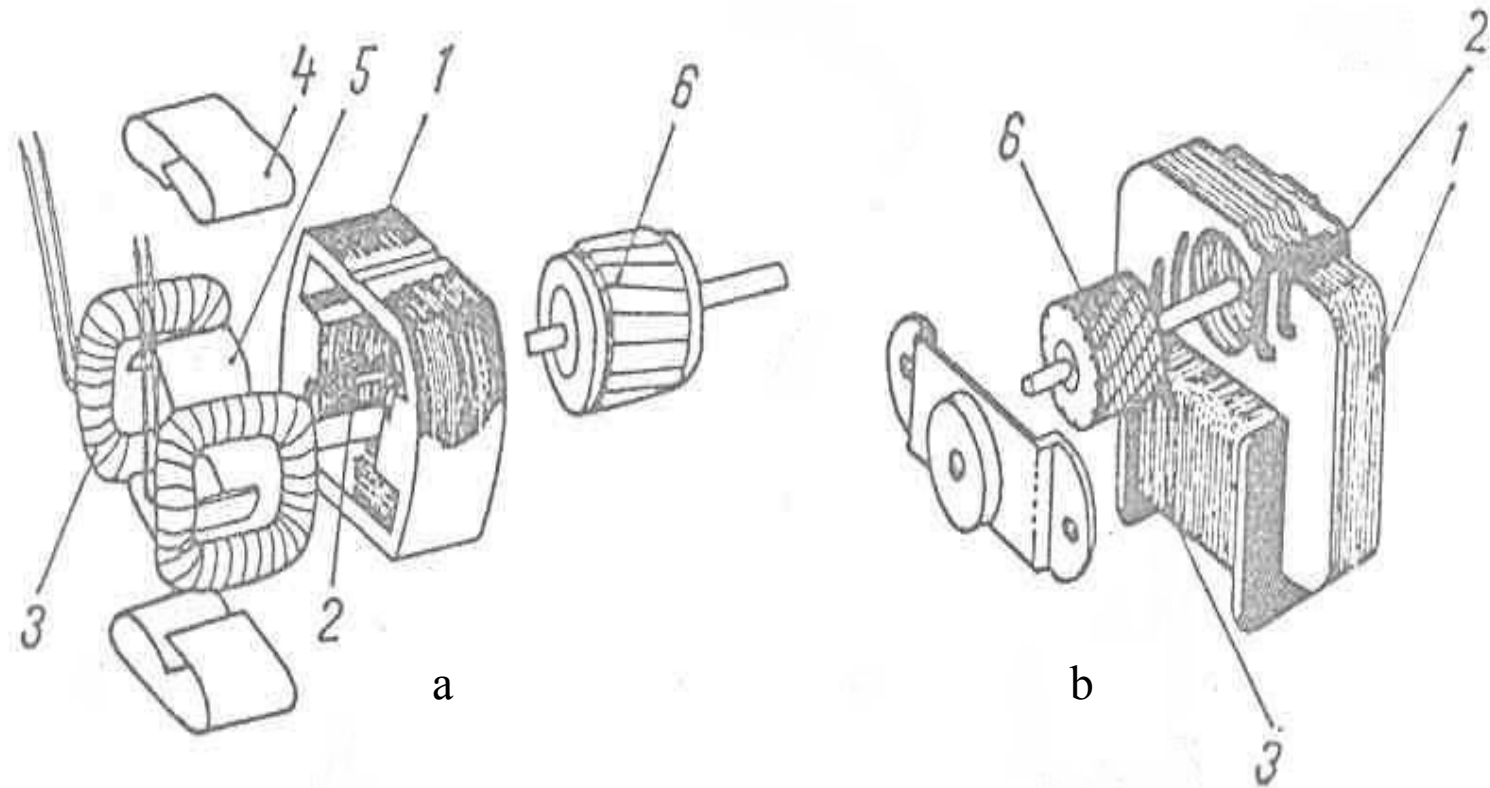
2-cu condensator  
de lucru

3- cu condensator  
de pornire

Caracteristicile tipice ale motoarelor monofazate cu condensator.

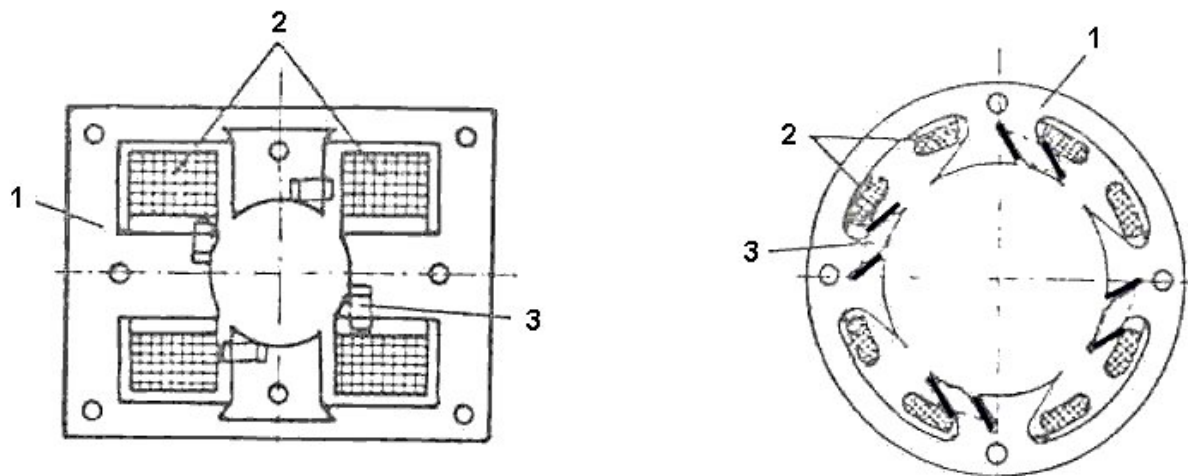


# Construcția și funcționarea motoarelor monofazate cu poli ecranati



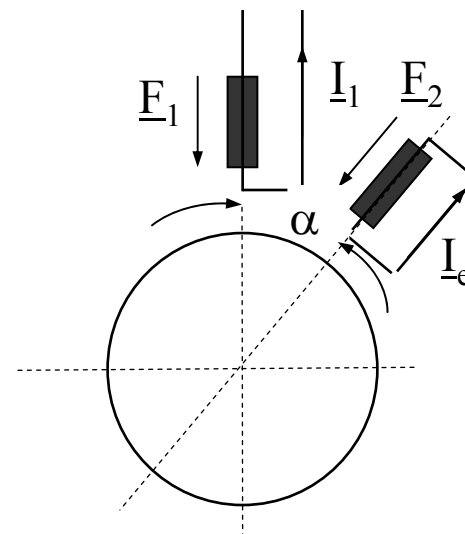
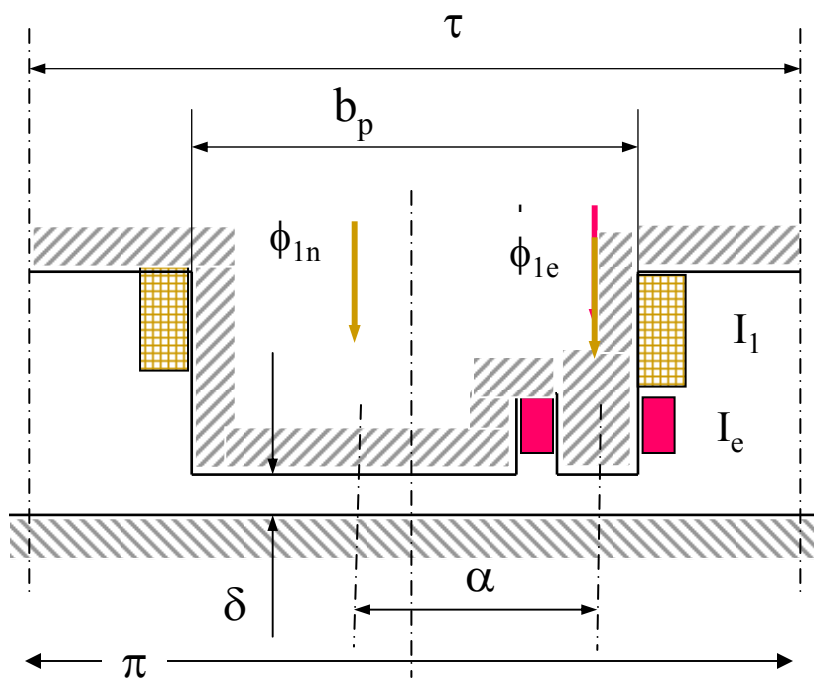
Construcția micromotoarele cu poli ecranati bipolare

# Construcția și funcționarea motoarelor monofazate cu poli ecranati



Construcția micromotoarele cu patru poli ecranati

# Construcția și schema micromotorul cu poli ecranati



Defazat în spațiu

$$\alpha < \pi/2$$

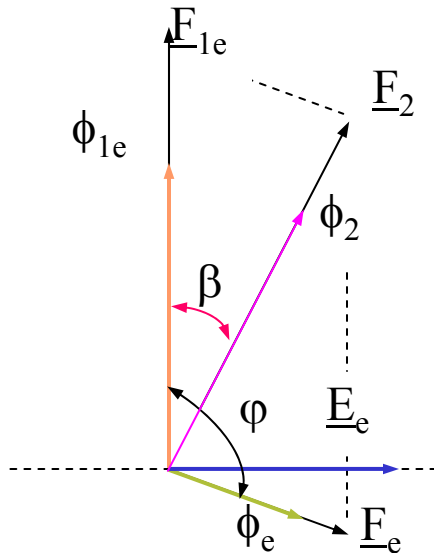
Solenația  $\underline{E}_1 = \underline{E}_{1n} + \underline{E}_{1e}$

$\underline{E}_{1n}$  determină fluxul  $\Phi_{1n}$

$\underline{E}_{1e}$  determină fluxul  $\Phi_{1e}$

Sunt în fază

# Compunerea solenațiilor motorului cu poli ecranati



Compunerea solenațiilor și fluxurilor în timp

$$\underline{F}_{1e} + \underline{E}_e = \underline{F}_2$$

Defazat în timp  $\beta < \pi/2$

Se presupun solenații sinusoidale

$$\underline{F}_{1n} = F_{1m} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$\underline{F}_2 = F_{2m} \cdot e^{j\alpha} \cdot \sin(\omega \cdot t - \beta)$$

Folosind:

$$\sin(\omega \cdot t) = \frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2 \cdot j}$$

Solenația rezultantă

$$\underline{F} = \frac{1}{2j} ( F_{1m} + F_{2m} e^{j(\alpha - \beta)} ) e^{-j\omega t}$$

$$- \frac{1}{2j} ( F_{1m} + F_{2m} e^{j(\alpha + \beta)} ) e^{j\omega t}$$

## Compunerea a două câmpuri pulsatorii.

$$\underline{F} = \frac{1}{2j} (F_{1m} + F_{2m} e^{j(\alpha-\beta)}) e^{-j\omega t} - \frac{1}{2j} (F_{1m} + F_{2m} e^{j(\alpha+\beta)}) e^{j\omega t}$$

Se poate scrie:

$$\underline{F} = \underline{F}_d e^{j\omega t} + \underline{F}_i e^{-j\omega t}$$

Ca suma a două solenații învârtitoare de amplitudini diferite, care se rotesc în sensuri opuse cu viteze egale.

Solenația învârtitoare directă

$$\underline{F}_d = -j \frac{1}{2} (F_{1m} + F_{2m} e^{j(\alpha-\beta)})$$

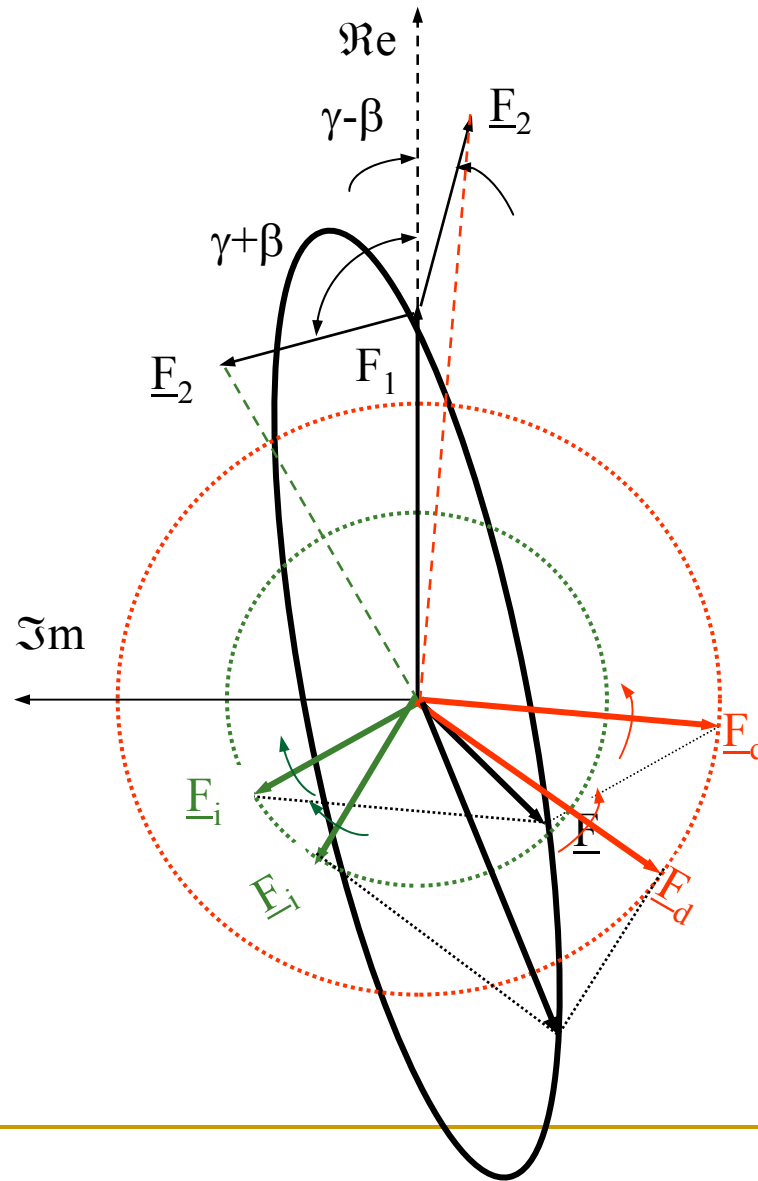
Solenația învârtitoare inversă

$$\underline{F}_i = j \frac{1}{2} (F_{1m} + F_{2m} e^{j(\beta+\alpha)})$$

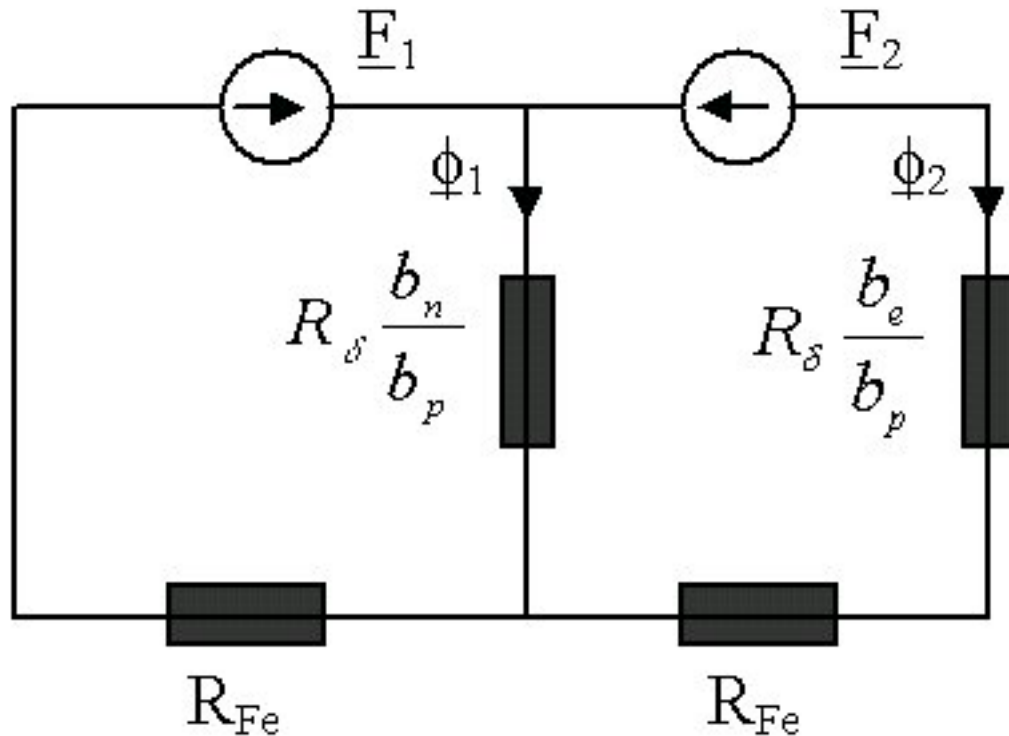
# Compunerea a două solenații pulsatorii.

$$\underline{E}_i = j \frac{1}{2} (F_{1m} + F_{2m} e^{j(\beta + \gamma)})$$

$$\underline{E}_d = -j \frac{1}{2} (F_{1m} + F_{2m} e^{j(\gamma - \beta)})$$



# Schema echivalentă a circuitului magnetic al motoarelor monofazate cu poli ecranati



$$\phi_{-1} = \frac{\underline{F}_1}{\mathfrak{R}_\delta} \frac{b_p}{b_n} \quad \text{si} \quad \phi_{-2} = \frac{\underline{F}_1 + \underline{F}_2}{\mathfrak{R}_\delta} \frac{b_p}{b_e}$$

# Cuplul motorului monofazat cu poli ecranati

Solenatia masinii contine **armonici de ordinul 3, 5, 7**, cele mai mari fiind cele de ordinul 3.

Solenatia invartitoare armonică de ordinul trei fiind spațiala și eliptică are viteza mai mică de trei ori decât solenatia invartitoare fundamentală.

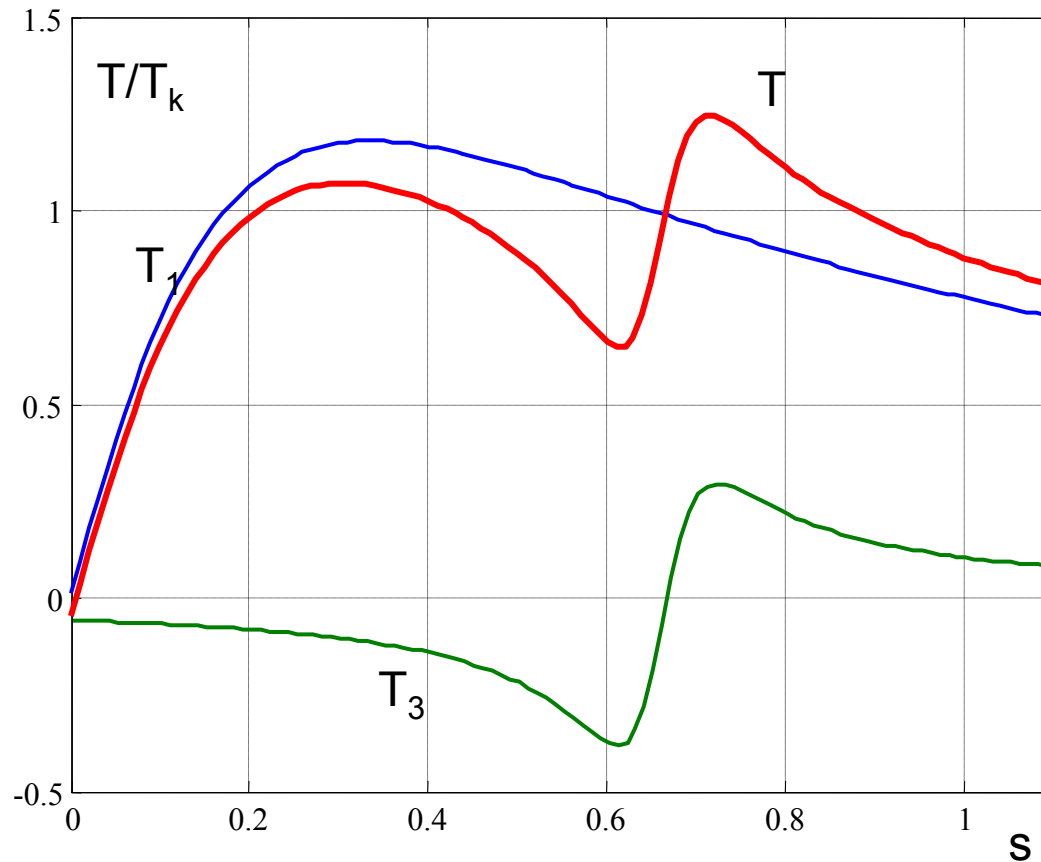
Alunecarea rotorului față de acest câmp armonică este:

$$s_3 = \frac{\frac{n_s}{3} - n}{\frac{n_s}{3}} = \frac{n_s - 3(1-s)n_s}{n_s} = 3s - 2$$

**cuplu  $T_3$**  de tip asincron care se anulează pentru  $s_3 = 0$ , respectiv  $s = 2/3$ .



# Cuplul motorului monofazat cu poli ecranati



$$s_3 = 3s - 2$$

$$s_3 = 3s - 2 = 0$$

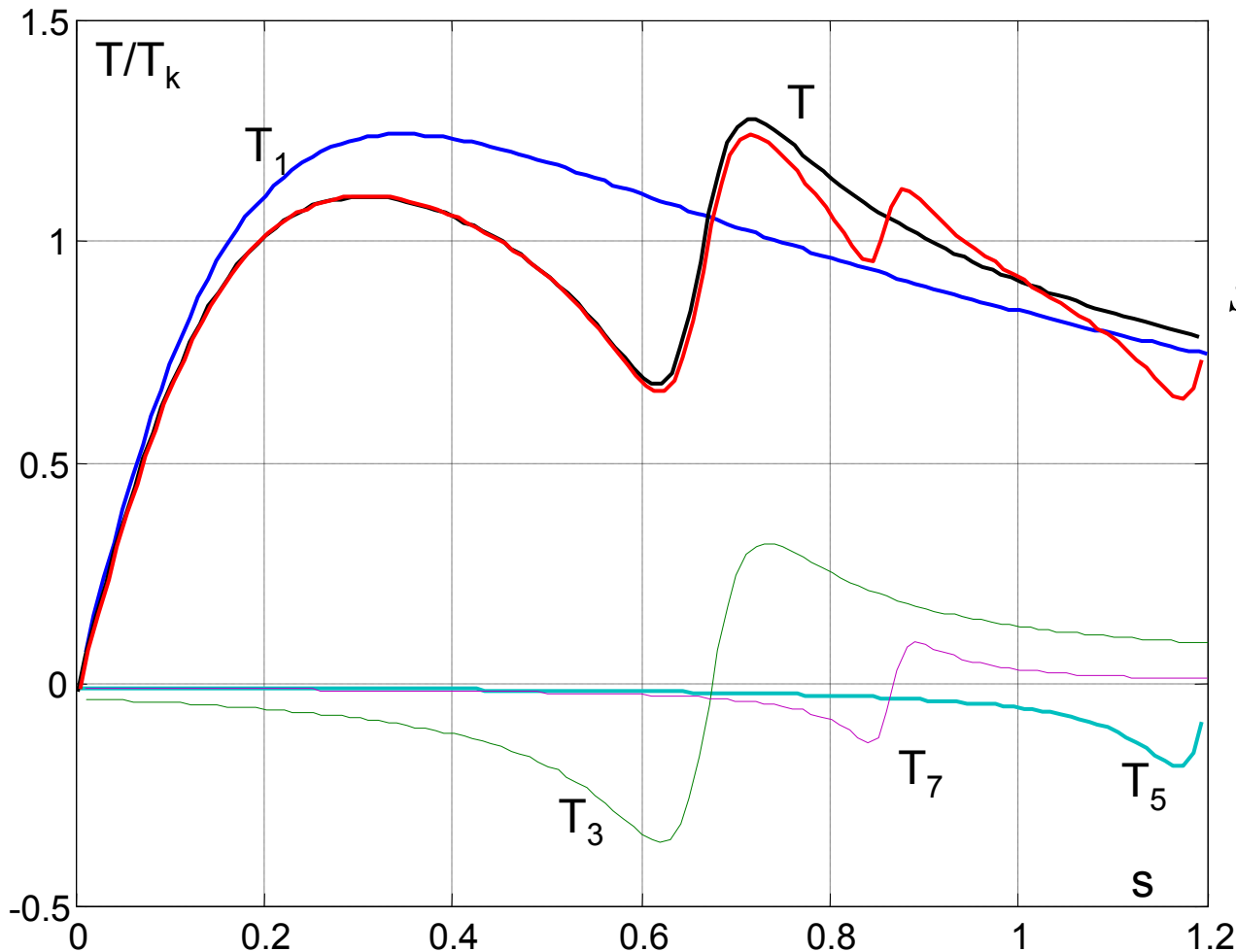
$$s = \frac{2}{3}$$

$$s_3 = 3s - 2 = 1$$

$$s = 1$$

Caracteristica mecanică a motorului cu poli ecranati

# Cuplul motorului monofazat cu poli ecranati



$$s_v = 1 \rightarrow s = 1$$

$$s_v = 0 \quad si \quad s_v \rightarrow \infty$$

$$s_5 = 6 - 5s = 0$$

$$v = 5$$

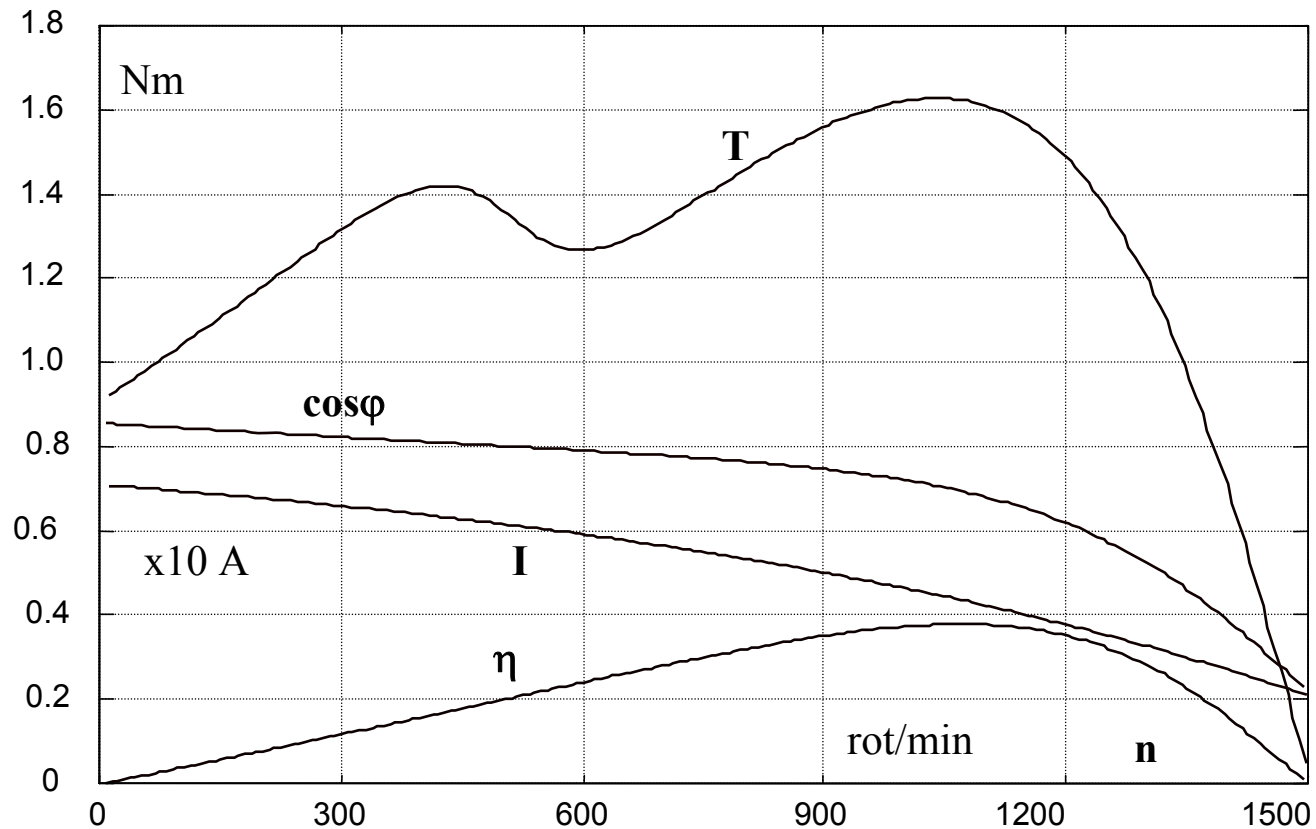
$$s_5 = 0 \rightarrow s = \frac{6}{5}$$

$$v = 7$$

$$s_7 = 0 \rightarrow s = \frac{6}{7}$$

Efectul armonicilor de ordinul 5 și 7 asupra caracteristicilor motorului cu poli ecranati

# Funcționarea motoarelor monofazate cu poli ecranati



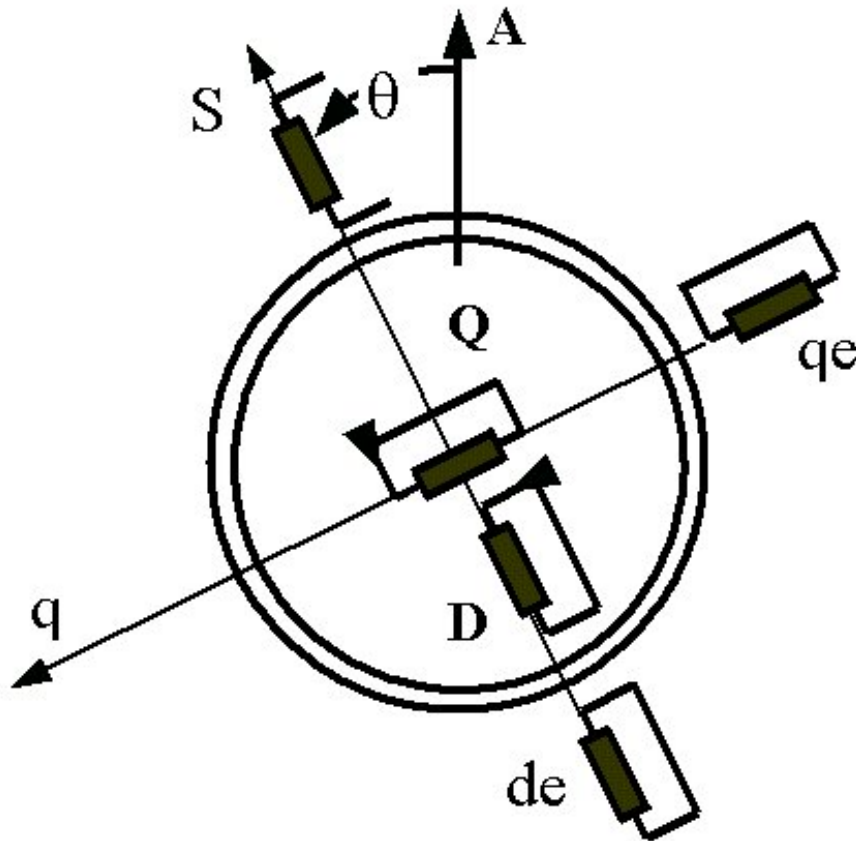
Caracteristicile de funcționare ale micromotoarelor cu poli ecranati.

$P_N = 40 \text{ W}$       $U = 220 \text{ V}$

# Modelul matematic al motoarelor monofazate cu poli ecranati

Pe stator: **înfașurarea principală**; S

- **înfașurarea ecran** ;  
echivalentă cu două  
înfașurări în scurtcircuit,  
qe și de.



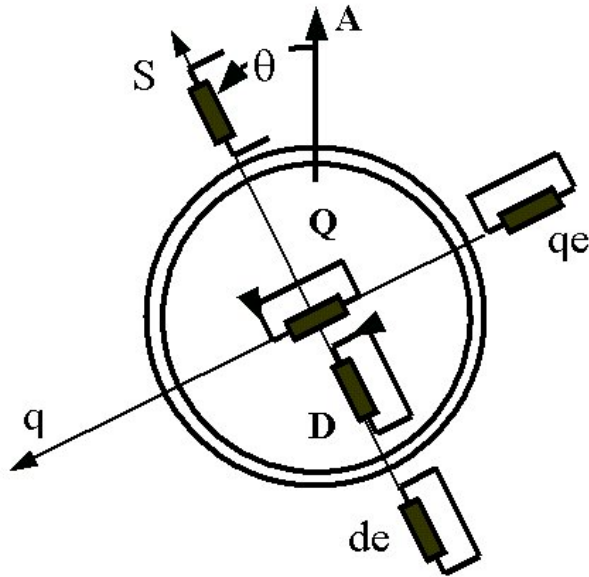
Pe rotor : **înfașurare în colivie**  
echivalentă cu două  
înfașurări în scurtcircuit,  
D și Q.

Schema echivalentă a motorului monofazat cu spira în scurtcircuit

# Modelul matematic al motoarelor monofazate cu poli ecranati

Sistemul legat de câmp

Ecuatiile de tensiuni



$$u_S = R_S \cdot i_S + \frac{d\Psi_S}{dt} - \omega_S \cdot \Psi_{Sq}$$

$$0 = R_{de} \cdot i_{de} + \frac{d\Psi_{de}}{dt} - \omega_S \cdot \Psi_{deq}$$

$$0 = R_{qe} \cdot i_{qe} + \frac{d\Psi_{qe}}{dt} + \omega_S \cdot \Psi_{qed}$$

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

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

# Modelul matematic al motoarelor monofazate cu poli ecranati

expresia cuplului: 
$$T = p \cdot \left( -\Psi_{Sq} \cdot i_S \right)$$

expresiile fluxurilor sunt :

$$\Psi_S = L_{S\sigma} \cdot i_S + \Psi_{dm} = L_{S\sigma} \cdot i_S + M \cdot i_{md}$$

$$\Psi_{de} = L_{de\sigma} \cdot i_{de} + \Psi_{dm} = L_{de\sigma} \cdot i_d + M \cdot i_{md}$$

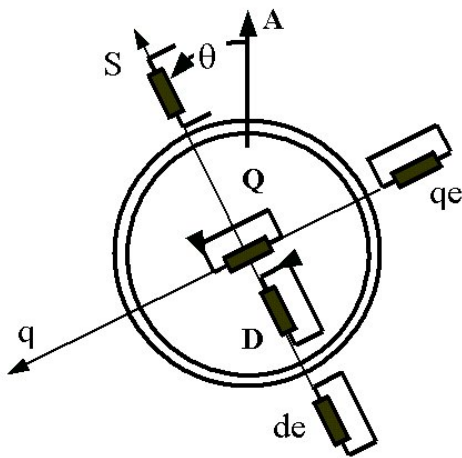
$$\Psi_{qe} = L_{qe\sigma} \cdot i_{qe} + \Psi_{qm} = L_{qe\sigma} \cdot i_q + M \cdot i_{mq}$$

$$\Psi_{Sq} = \Psi_{qm} = \Psi_{deq} = \Psi_{Dq} = M \cdot i_{mq}$$

$$\Psi_D = L_{R\sigma} \cdot i_D + \Psi_{dm} = L_{R\sigma} \cdot i_D + M \cdot i_{md}$$

$$\Psi_Q = L_{R\sigma} \cdot i_Q + \Psi_{qm} = L_{R\sigma} \cdot i_Q + M \cdot i_{mq}$$

$$\Psi_{qed} = \Psi_{Qd} = M \cdot i_{md}$$

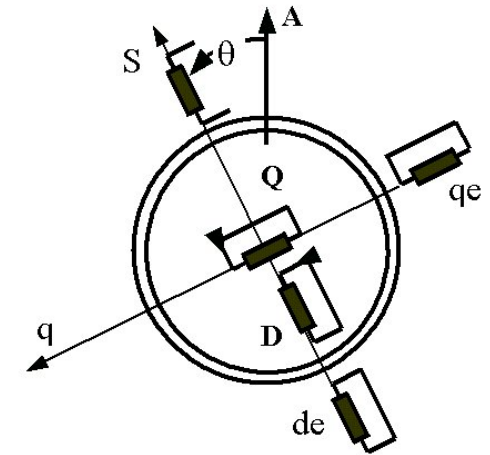


# Modelul matematic al motoarelor monofazate cu poli ecranati

Curenții de magnetizare sunt

$$i_{md} = i_S + i_D + i_{de}$$

$$i_{mq} = i_Q + i_{qe}$$



Ecuția de mișcare

$$T = \frac{J}{p} \frac{d\omega}{dt} - F_v \cdot \omega - T_{sr}$$

---

# Cuplaje electromagnetice

---

Cuplaje cu alunecare



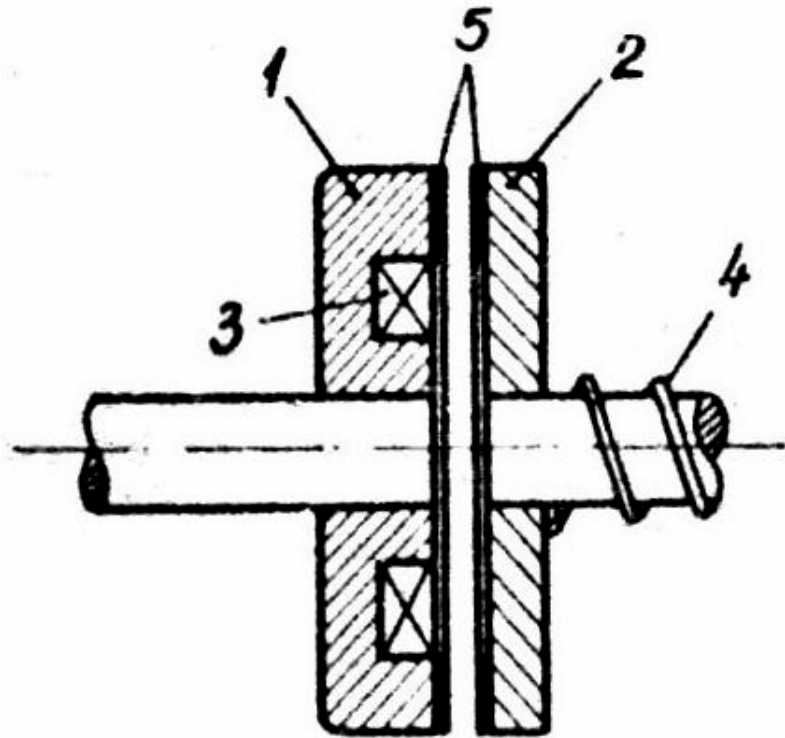
# Clasificare

- ❑ Cuplajele electromagnetice sunt constituite din două semicuple de forma variată (disc, cilindru etc.) dintre care
  - ❑ Semicupla conducătoare, este fixată pe arborele motor. Semicupla conducătoare se rotește continuu cu viteza unghiulară constantă.
  - ❑ Semicupla condusă , pe arborele mecanismului antrenat. În absența semnalului de comandă semicupla condusă se află în repaus.

La apariția semnalului de comandă, între cele două semicuple se realizează o legătura rigidă sau elastică prin care este antrenată și semicupla condusă.

- ❑ După modul de realizare a legăturii dintre semicuple avem:
  - cuplaje cu legătura mecanică – **cu fricțiune**
  - cuplaje cu legătura electromecanică – **cu pulbere**
  - cuplaje cu legătura electromagnetică – **cu alunecare.**

# Cuplaje electromagnetice cu fricțiune



1-Semicupla conducătoare

2- semicupla condusă

3- bobina

4- arc elicoidal

5- suprafețele de fricțiune

Caracteristici:

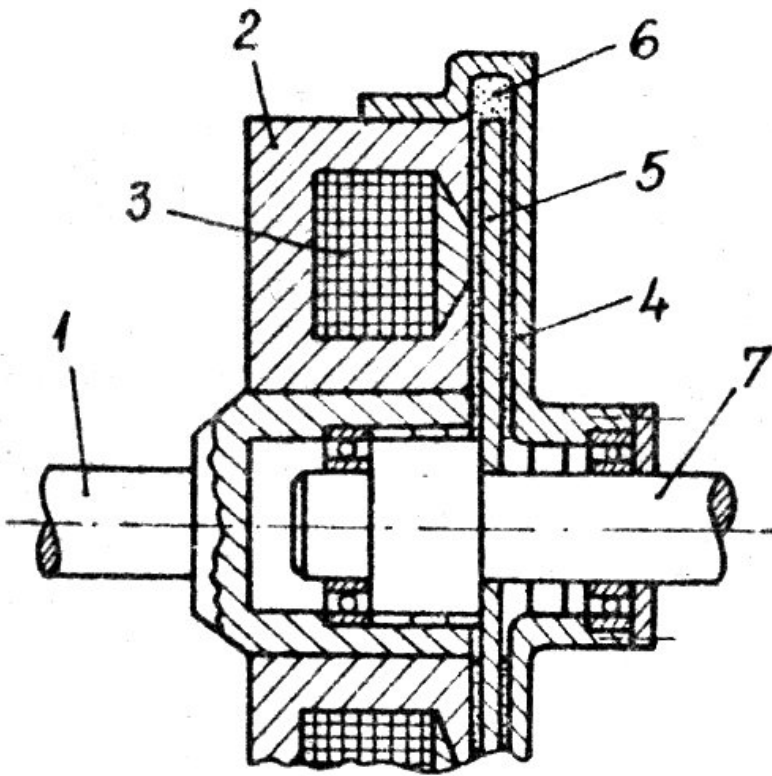
- valoarea constantă a cuplului, a vitezei de rotație și a puterii de excitație.
- Viteza de răspuns este relativ mică
- uzura suprafețelor este mare.

Reglajul vitezei de rotație se realizează prin comanda cuplei prin impulsuri .

# Cuplajele electromagnetice cu pulbere

- proprietatea unor amestecuri lichide sau sub forma de pulberi de a-și schimba starea fizică în prezența câmpului magnetic.

- se utilizează pulberea de fier carbonil, cu granule de 8-100  $\mu$ , în emulsie de ulei într-un raport de 5/1 sau în ameste de praf de grafit, în proporție de 85-95%.



1. arborele conducător,
2. miezul inductor,
3. înfășurarea de excitație,
4. carcasa, fixat de miezul inductor, care se sprijină și pe arborele condus. Carcasa formează o cameră închisă ermetic, camera fiind umplută cu
6. amestecul sau emulsia feromagnetică,
5. semicupla condusă sub forma de disc,
7. arborele condus.

# Cuplajele electromagnetice cu pulbere

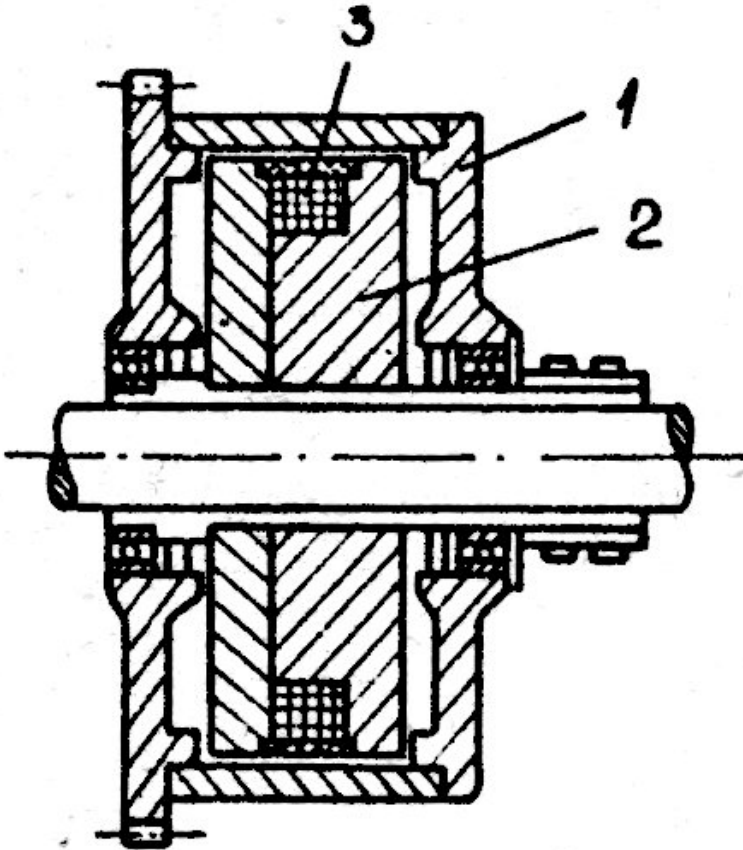
- Carcasa este astfel construită încât permite ca, în absența semnalului de comandă, pulbera feromagnetică să se adune, sub acțiunea forței centrifuge, în părțile ei periferice, fără să ajungă la lagăre.

dezavantaje :

- uzarea rapidă a rulmenților din cauza forțelor axiale și
- funcționarea nestabilă din cauza repartiției neuniforme a pulberii feromagnetice și, în special, prin aglomerarea ei la periferia discului, ceea ce poate provoca griparea discului .

# Cuplajele electromagnetice cu pulbere

- cuplaje cu pulbere de tip cilindric



semicupla condusă (1) are forma unui cilindru gol, în interiorul căruia se învârtete semicupla conducătoare (2) cu înfășurare de comandă (3).

În absența semnalului de comandă, granulele feromagnetice sunt dispersate în masa amestecului fluid.

granulele de material se orientează după liniile de câmp, formând cordoane de legături între suprafețele dinspre întrefier ale celor două semicuple.

# Cuplajele electromagnetice cu pulbere

- Dacă cuplul rezistent nu depășește cuplul maxim, semicupla condusă se rotește cu aceeași viteză ca și cea conducătoare.
- Dacă cuplul rezistent depășește cuplul maxim, semicupla condusă se poate roti cu o viteză inferioară semicuplei conducătoare, sau
- dacă cuplul rezistent este prea mare, semicupla condusă se poate opri.

Cuplajele electromagnetice cu pulberi : **Avantaje**

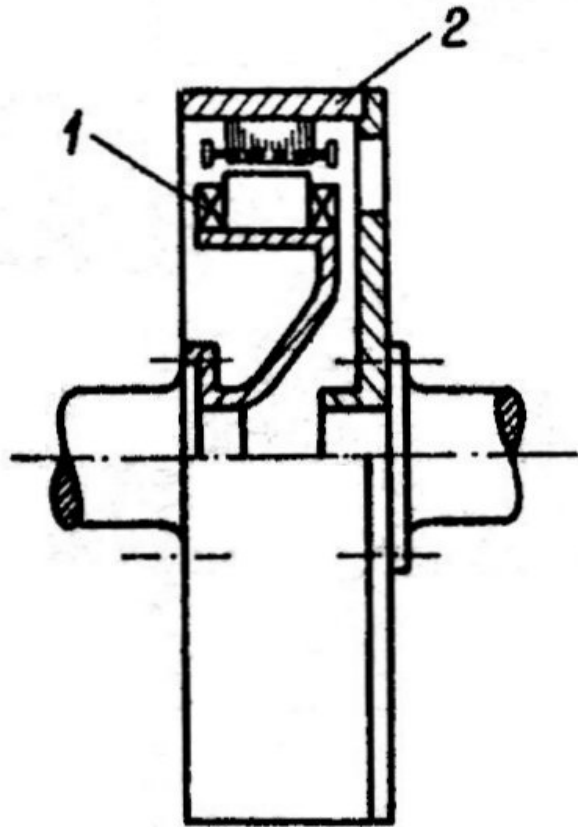
sunt mai sigure,

au o viteză de răspuns mai mare,

uzura redusă și

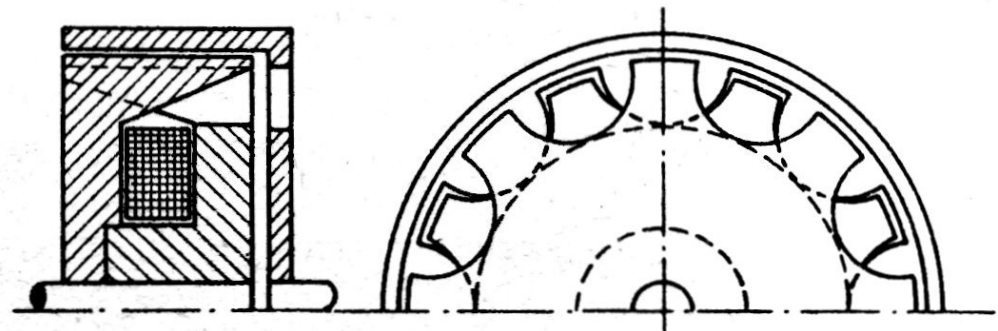
randament mai ridicat în comparație cu cuplajele cu fricțiune.

# Cuplajele electromagnetice cu alunecare



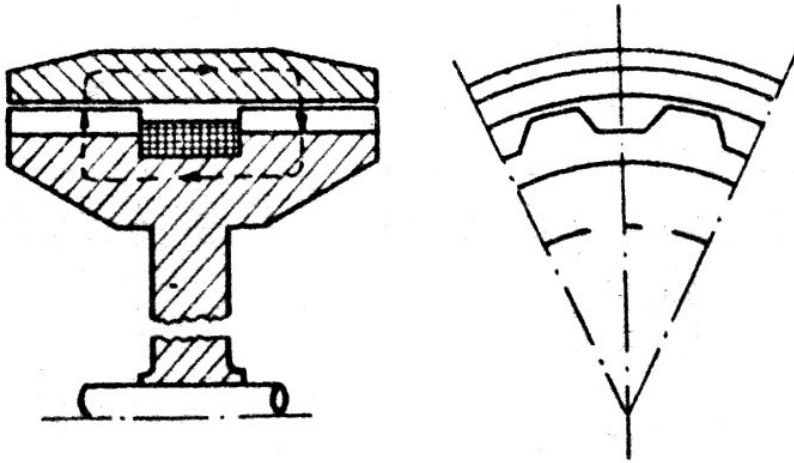
cuplaj cu alunecare cu poli aparenti și indus lamelat cu o înfășurare în scurtcircuit.

Inductorul (1) este dispus în interiorul indusului (2), ceea ce asigură condiții de răcire mai bune, gabarit și greutate mai mici.



cuplaj cu inductor blindat, cu indus masiv heteropolar

# Cuplajele electromagnetice cu alunecare



Cuplaj electromagnetic cu alunecare homopolar cu indus masiv.

față de indus câmpul homopolar apare ca un câmp învârtitor.

Din cauza variației mai mici a fluxului, utilizarea materialelor active la cuplajele homopolare este inferioară celei de la cuplaje heteropolare.

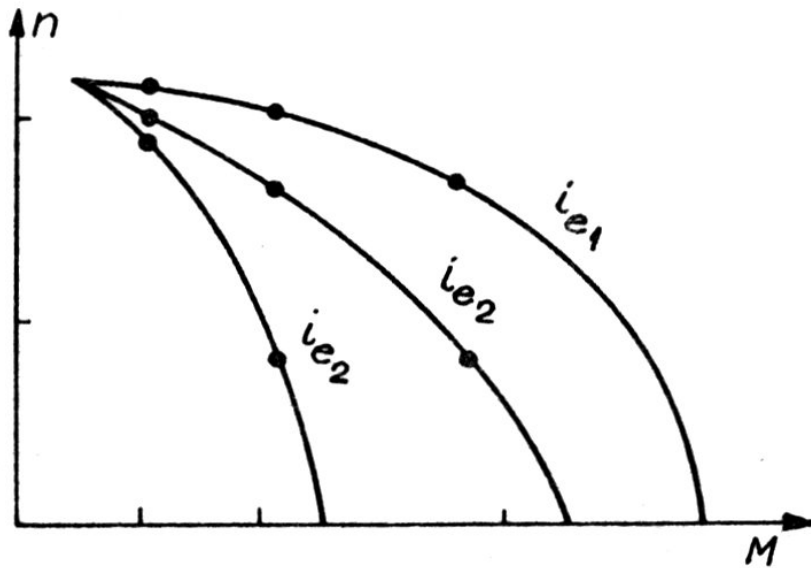
utilizarea cuplajelor:

- de construcție heteropolare pentru puteri mici și medii, și
- de construcție homopolare la puteri mari,

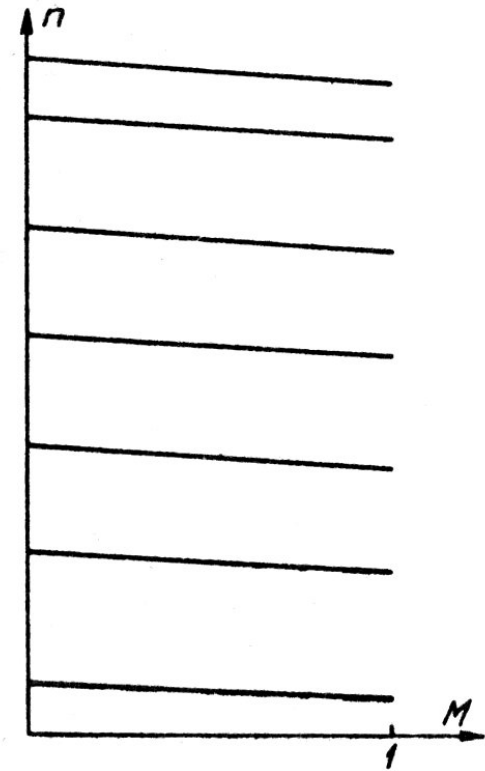


# Cuplajele electromagnetice cu alunecare

- Caracteristicile cuplajului cu alunecare



caracteristicile mecanice pentru  
diferiți curenți de excitație.



caracteristici mecanice rigide

# Cuplajele electromagnetice cu alunecare

- ❑ **avantaje** în comparație cu celelalte tipuri de cuplaje :
  - construcție simplă,
  - comandă ușoară,
  - putere de comandă redusă,
  - lipsa pieselor supuse uzurii și întreținerea simplă
  
- ❑ **dezavantaje** în comparație cu celelalte tipuri de cuplaje :
  - dimensiuni și greutate considerabil mai mari,
  - inerție mare,
  - stabilitate mai mică a caracteristicilor la variația temperaturii,
  - pierderi mari.

# Cuplajele electromagnetice cu alunecare

Cuplajele electromagnetice cu alunecare pot fi utilizate :

- ❑ în construcția de mașini unelte,
- ❑ la mașinile de trefilat,
- ❑ la ventilatoare cu debit de aer variabil,
- ❑ la mecanismele de acționare cu inerție mare,
- ❑ la ameliorarea proceselor de pornire și oprire,
- ❑ ca frâne pentru măsurarea cuplurilor

Alimentarea înfășurării de excitație se realizează prin două perii, care calcă pe două inele de contact. Se pot executa și cuplaje fără aceste contacte alunecătoare.