

---

# Masini sincrone speciale

---

Motoare pas cu pas

# Definiții

Convertor electromecanic ce funcționează pe principiul reluctanței minime.

Mașină cu reluctanță variabilă

Deplasarea prin salturi a câmpului

Mișcarea discretă a rotorului



mașini pas cu pas

- realizează conversia impulsurilor de comandă într-o mișcare de rotație ce constă din deplasări unghiulare discrete, de mărime egală cu pasul  $\theta_p$  al motorului

Principalele aplicații sunt în domeniile:

- ◆ - mașini unelte cu comandă numerică,
- ◆ - echipamente periferice de calcul,
- ◆ - tehnică cinematografică și de televiziune,
- ◆ - roboți industriali,
- ◆ - dozatoare și cântare automate,
- ◆ - ceasuri electronice.

# Clasificarea

După **numărul de înfășurări** de comandă :

- ✓ o fază,
- ✓ două faze,
- ✓ trei faze,
- ✓ patru faze,
- ✓ cinci faze.

După **sistemul de alimentare și comandă**:

- ◀ durata alimentării,
- ◀ polaritatea tensiunii aplicate,
- ◀ numărul de faze alimentate la un moment dat.

După **tipul constructiv** în:

- cu reluctanță variabilă
    - monostatoric
    - polistatoric
  - cu reluctanță variabilă și magneți permanenți.
- cu poli pe ambele armături  
cu poli și dinți (reductor)  
pe stator  
pe rotor

# Constructia

**MPP cu reluctanța** se caracterizează prin următoarele :

**avantaje:**

- construcție mecanică simplă;
- frecvențele de comandă ridicate și viteze de rotație relativ ridicate.

**dezavantaje :**

- lipsa cuplului în absența curentului de comandă;
- efectuarea unghiului de pas cu oscilații importante în special în cazul alimentării în secvența simplă.

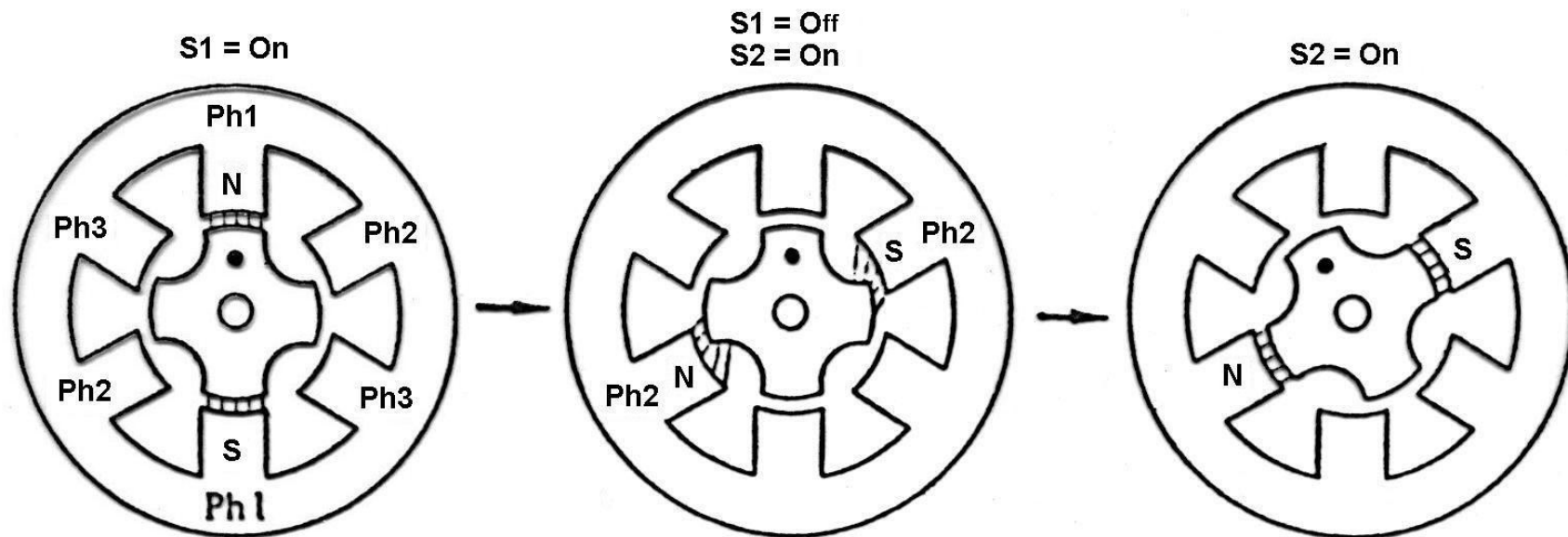
În general un MPP are un **circuit magnetic nesimetric** cu **poli aparenti** în **stator** și **rotor** a cărui **reluctanță variază în funcție de poziția relativă dintre cele două armături**.

Înfășurarea MPP este plasată **numai pe  $Z_s$  poli statorici** sub forma unor înfășurări deschise **m** fazate.

# Constructia

## MPP reluctant monostatoric

Rotorul are  $Z_R$  poli fără înfășurare și  $Z_R \neq Z_S$



MPP cu reluctanță variabilă, monostatoric, cu întrefier radial

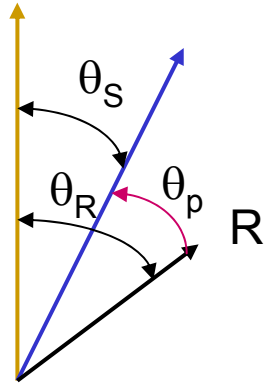
cu  $Z_S = 6$ ,  $Z_R = 4$ ,  $m = 3$

# Unghiul de pas

Modificarea poziției câmpului statoric la schimbarea alimentării dacă:

$$\frac{Z_s}{m_s} = n.i. \quad \text{Unghiul este:} \quad \theta_S = \frac{2 \cdot \pi}{Z_s \cdot \zeta}$$

$\zeta$  este un număr întreg ce depinde de sistemul de alimentare



Unghiul dintre doi poli rotorici:

$$\theta_R = \frac{2 \cdot \pi}{Z_R}$$

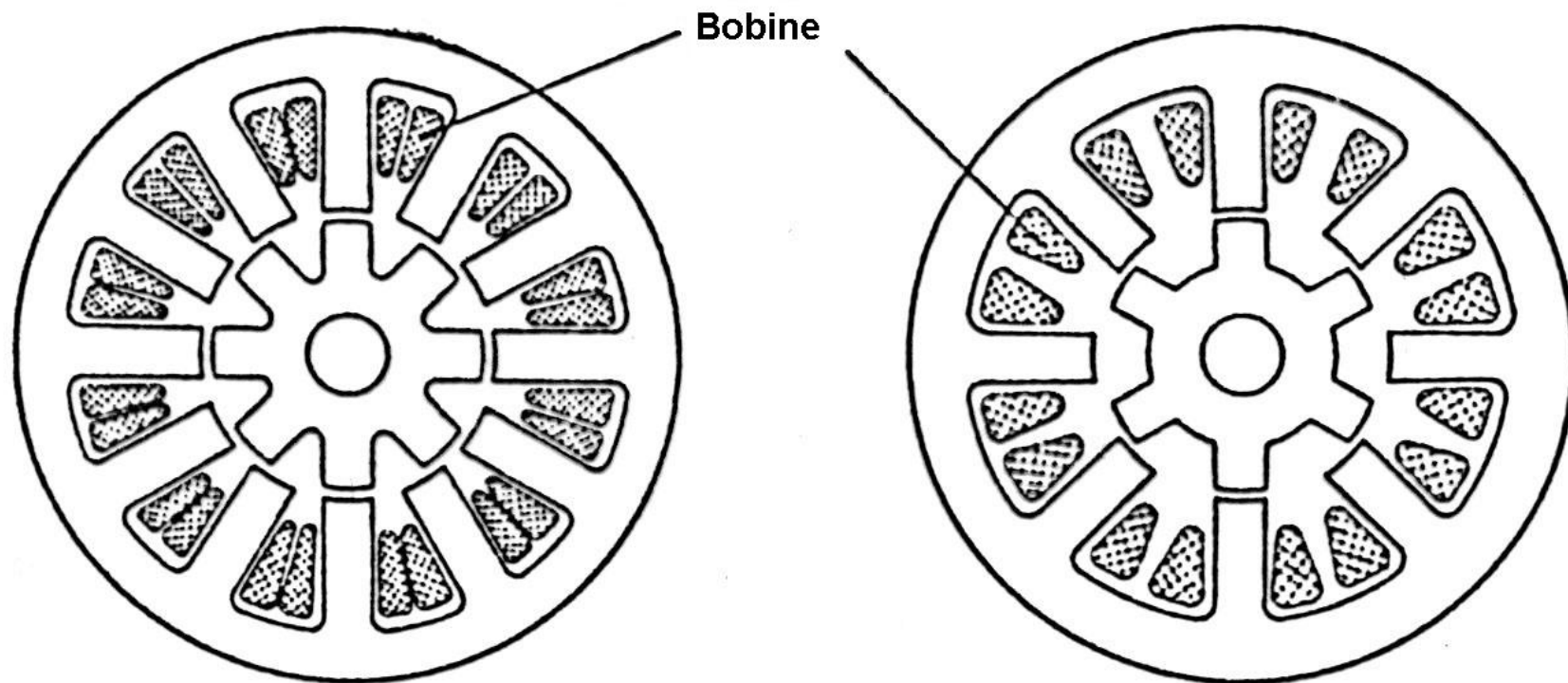
Unghiul de pas:

$$\theta_p = \theta_S - \theta_R = \theta_R \cdot \left( \frac{\theta_S}{\theta_R} - 1 \right) = \theta_R \cdot \left( \frac{Z_R}{Z_s \cdot \zeta} - 1 \right)$$

Exemplu :

$$\theta_p = \frac{2 \cdot \pi}{4} \left( \frac{4}{6 \cdot 1} - 1 \right) = -\frac{2}{6} \frac{2 \cdot \pi}{4} = -\frac{\pi}{6}$$

# Construcția



MPP monostatoric cu reluctanță variabilă pentru  $\theta_p = 15^\circ$ .  
cu  $m = 3$ ,  $Z_s = 12$ ,  $Z_R = 8$  și cu  $m=4$ ,  $Z_s=8$ ,  $Z_R = 6$ .

$$\theta_p = \frac{2 \cdot \pi}{8} \left( \frac{8}{12 \cdot 1} - 1 \right) = \frac{\pi}{12}$$

$$\theta_p = \frac{2 \cdot \pi}{6} \left( \frac{6}{8 \cdot 1} - 1 \right) = \frac{\pi}{12}$$

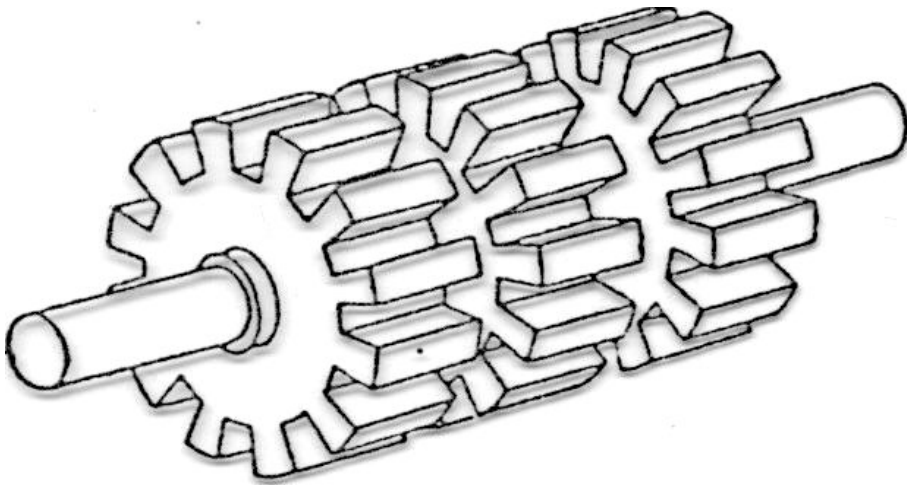
# Construcția

MPP reluctanț polistatoric numărul de dinți este același pe armături

Dinții celor  $m = 3$  statoare sunt aliniați

Infășurările polilor de pe un stator sunt înseriate.

Dinții celor  $m = 3$  rotoare sunt decalate cu unghiul de pas.



Rotorul unui MPP polistatoric cu  $Z_s$  dinți pe fiecare stator,  $Z_R = Z_s$  dinți pe fiecare rotor.

Unghiul de pas:

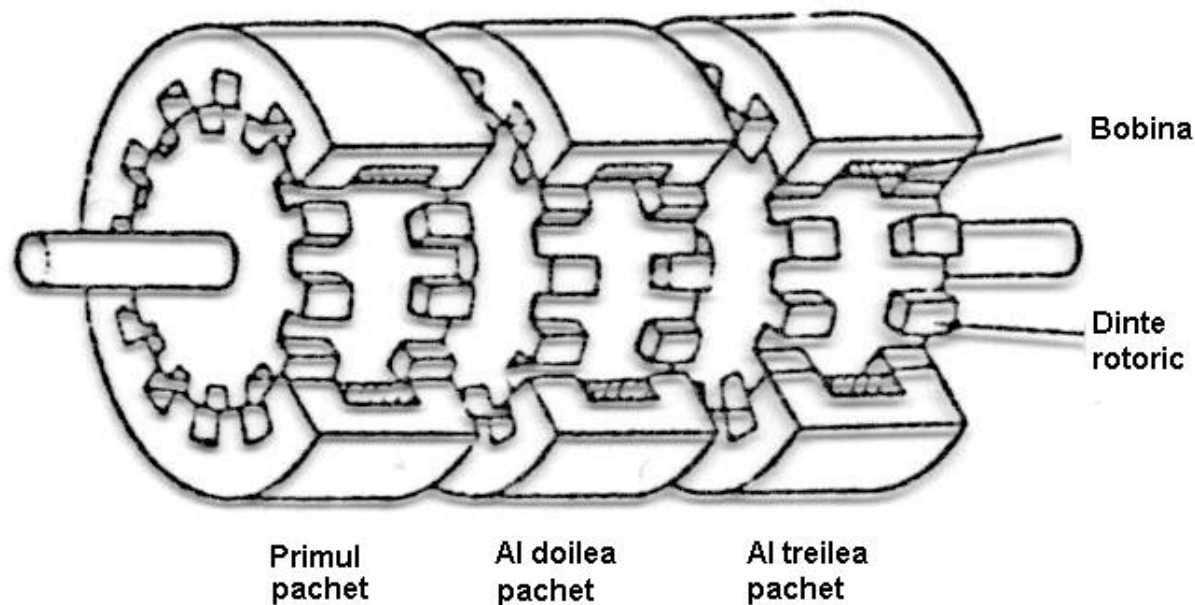
$$\theta_p = \frac{\theta_R}{m} \quad Z_R = 12$$
$$m = 3$$

$$\theta_p = \frac{2 \cdot \pi}{m \cdot Z_R} = \frac{2}{3} \frac{\pi}{12} = \frac{\pi}{18}$$



# Construcția

MPP polistatoric cu  $Z_s$  dinți pe fiecare stator și **înfășurări inelare**



MPP polistatoric cu  $Z_s$  dinți pe fiecare stator și  
 $Z_R = Z_s$  dinți pe fiecare rotor.

# Construcția

MPP cu reductor pentru unghiuri de pași  $\theta_p < 5^\circ$

Satorul are  $Z_S$  poli

rotorul are  $Z_R$  dinți

evitarea forțelor de atracție magnetică unilaterală

$$Z_R = \frac{Z_S}{b} (k \cdot b \pm a)$$

▶  $0 < a < b/2$

▶  $a$  și  $b$  sunt prime între ele;

▶  $k = 1, 2, \dots$  un număr întreg oarecare

Condiția:

$$Z_S \frac{a}{b} = n.i.$$

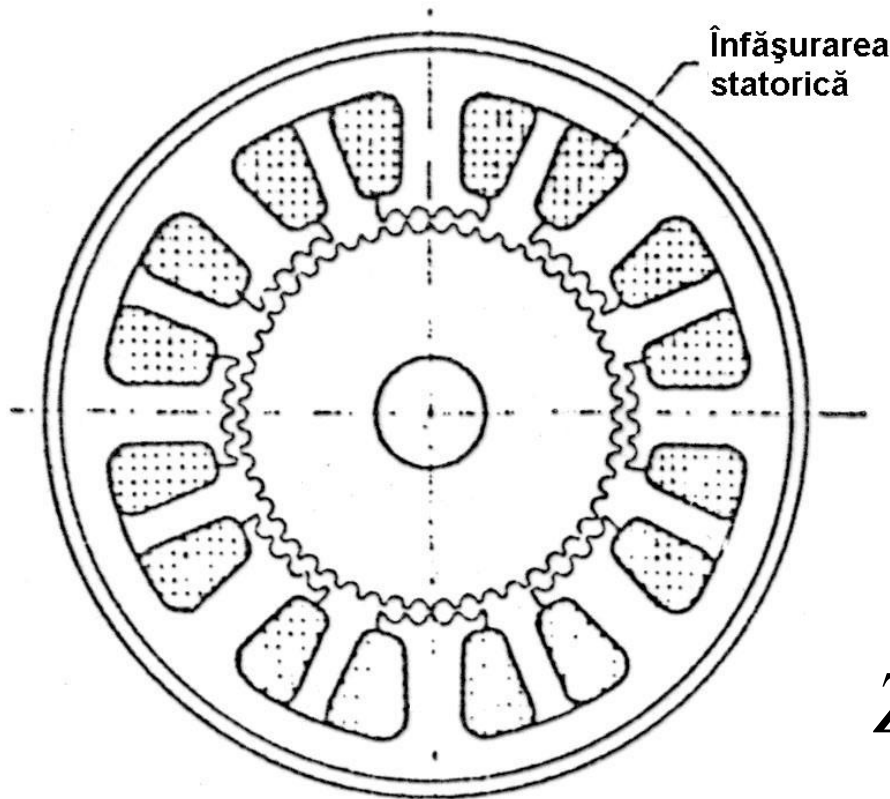
Exemplu:

$$Z_S = 8, \quad a = 1, \quad b = 4,$$

# Construcția

Exemplu:

$$Z_S = 8, \quad a = 1, \quad b = 4,$$



$$Z_R = \frac{8}{4} (4 \cdot k \pm 1)$$

$$Z_R = 6, 10, 14, 18, 22, \dots$$

MPP reductor cu  $m = 4$  faze,  $Z_S = 8$  poli

## Unghiul de pas

$$\theta_p = \theta_S - k_z \cdot \theta_R = 2 \cdot \pi \left( \frac{1}{Z_S} - \frac{k_z}{Z_R} \right) \quad k_z = \text{int reg} \left( \frac{Z_R}{Z_S} \right) = k$$

$$\theta_p = \frac{2 \cdot \pi}{Z_S} \left( \frac{1}{\zeta} - \frac{k \cdot b}{k \cdot b \pm a} \right)$$

Exemplu

$$Z_S = 8, a = 3, b = 8, k = 5$$

$$Z_R = \frac{8}{8} (8 \cdot 5 \pm 3) = 43$$

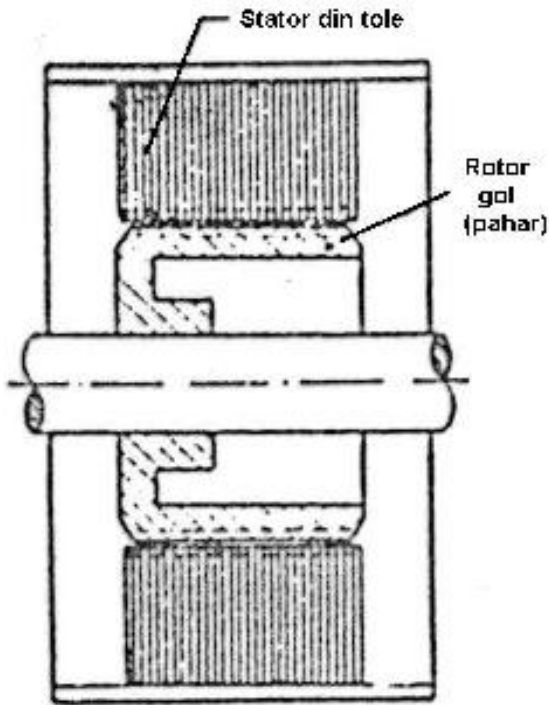
$$k_z = \frac{43}{8} \approx 5,4$$

$$\theta_p = \frac{2 \cdot \pi}{8} \left( \frac{1}{1} - \frac{5 \cdot 8}{5 \cdot 8 \pm 3} \right) = \frac{3 \cdot \pi}{172}$$

Nu se pot realiza motoare pas cu pas pentru orice unghi de pas

# Construcția

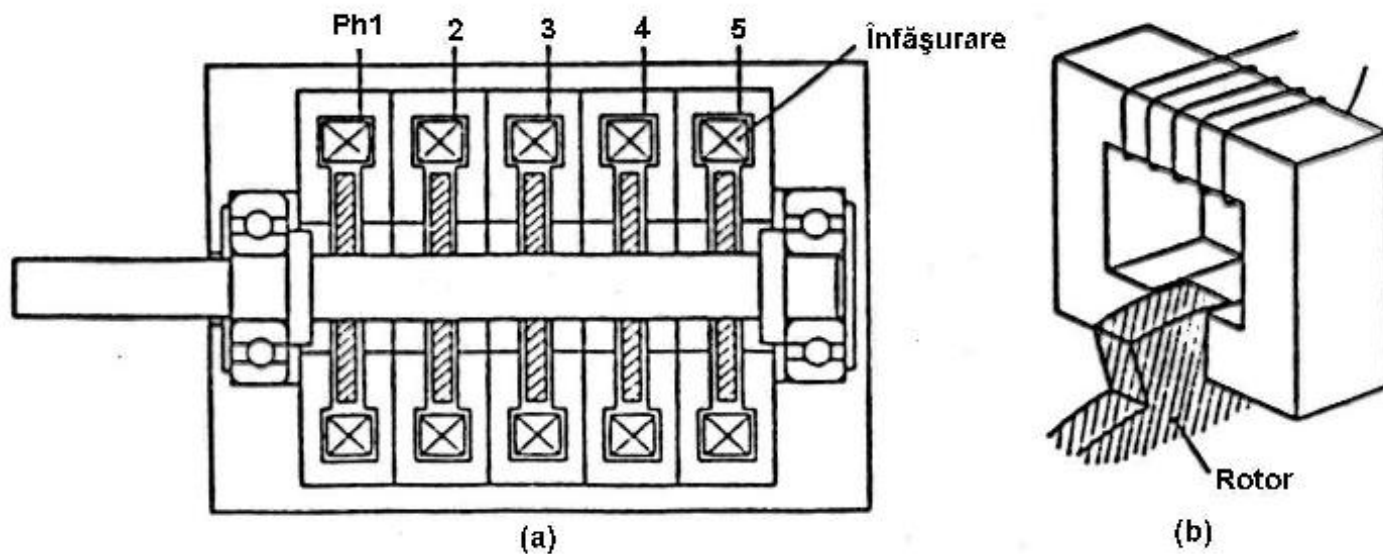
Rotor pahar cu dinți pe suprafața dinspre întrefier  
Stator cu poli



comanda acestui motor se face astfel încât liniile de flux se închid între doi poli alăturați pe calea cea mai scurtă

MPP reductor cu rotor gol

# Construcția



MPP polistatoric de tip sandwich compus din 5 statoare și rotoare.

# Construcția

## Tipuri constructive

- cu reluctanță variabilă;
- cu reluctanță variabilă și magneți permanenți.

se pot construi și cu o **singură înfășurare** (monofazată)

Prezența magnetului permanent determină următoarele avantaje față de tipul precedent:

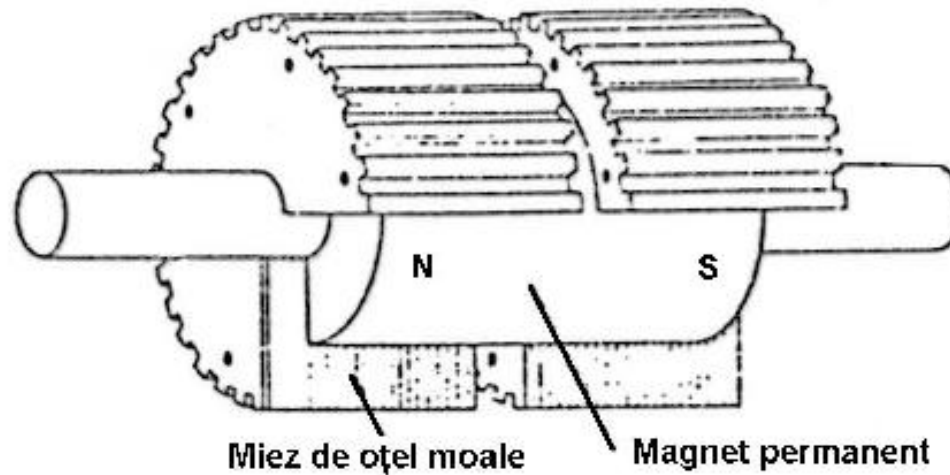
- motorul are cuplu și în repaus, deci poziția rotorului este reținută;
- cuplul motorului este mai mare datorită componentei de cuplu dat de magnet;
- pasul este executat fără prea mari oscilații.

MPP pot fi construite cu **magnetul pe stator sau pe rotor**.

---

# Construcția

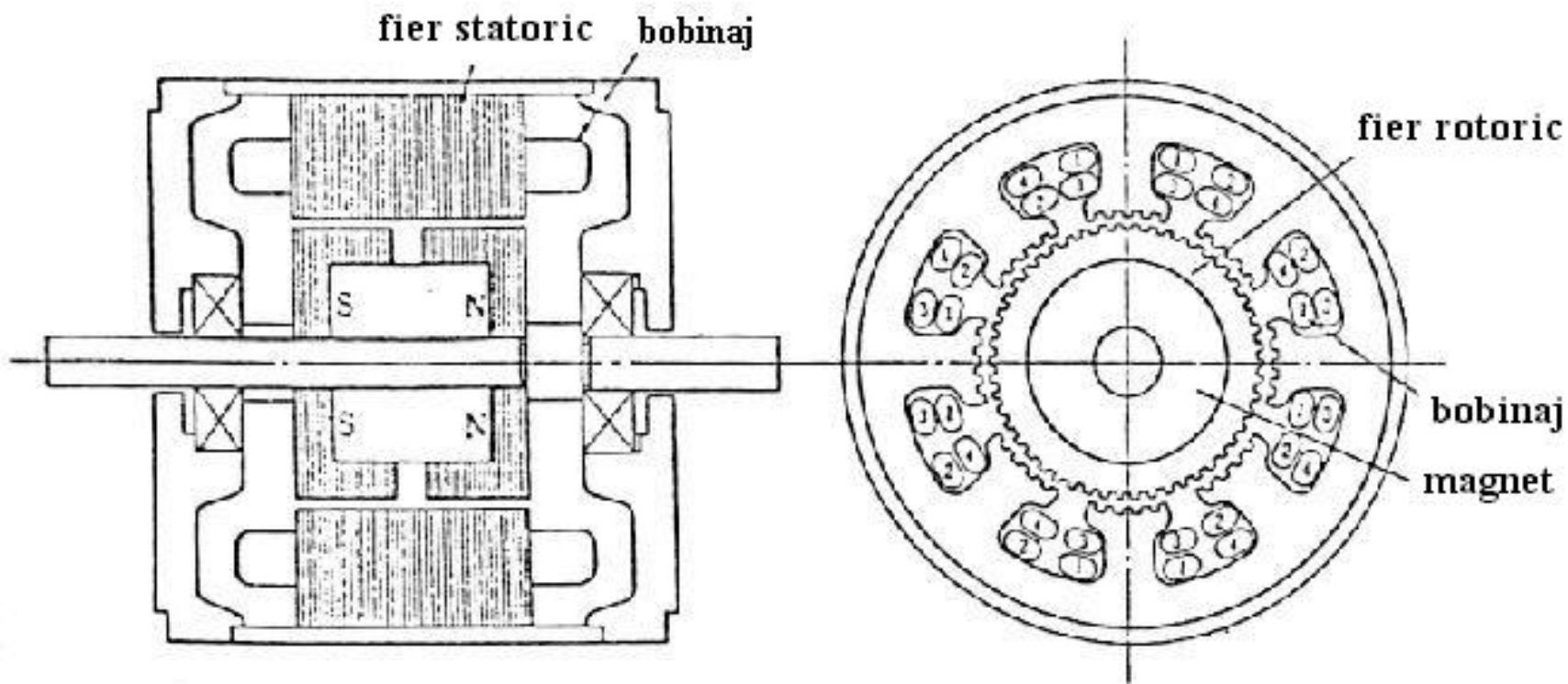
## MPP cu magnet permanent pe rotor



Rotor cu magnet permanent și câmp homopolar



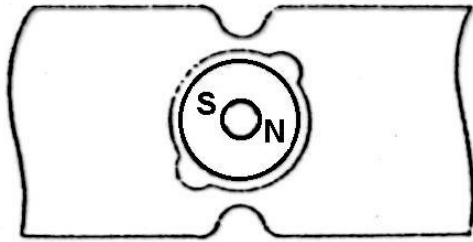
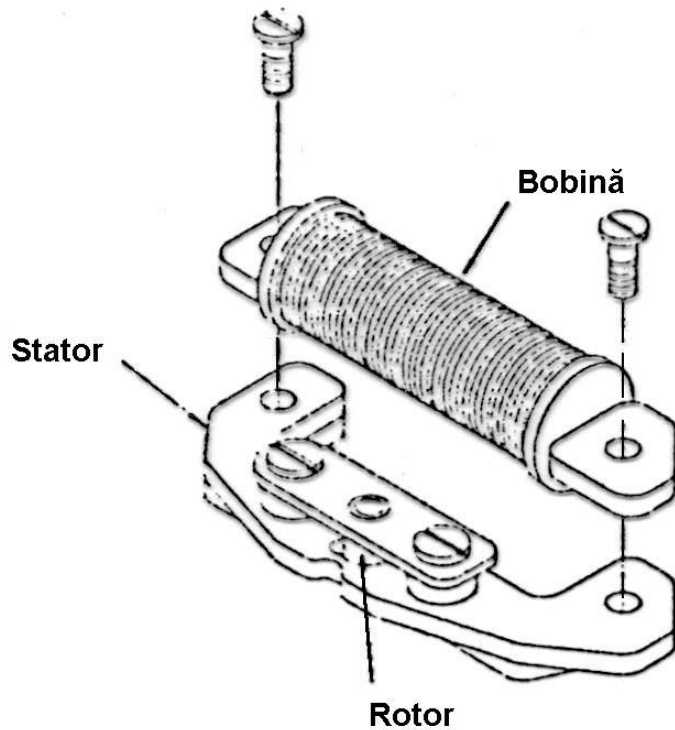
# Construcția



MPP cu magnet permanent pe rotor și câmp homopolar

# Construcția

## MPP cu magnet permanent pe rotor

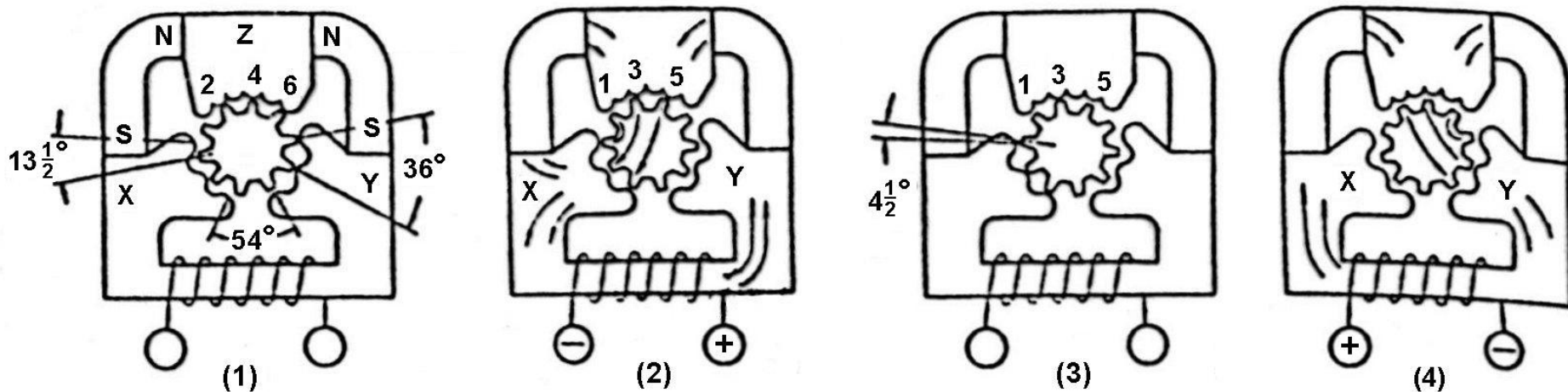


Micro MPP de tip Lavet

- Diametrul magnetului cilindric bipolar este de 1,5 mm.
- Statorul are o porțiune saturată.
- Poziția rotorului fără excitație este cea din figura.
- Durata impulsului (cca.8 ms) este importantă pentru efectuarea deplasării rotorului
- $\mu$ MPP este comandat cu impulsuri de polaritate alternativă.

# Construcția

## MPP cu magnet permanent pe stator

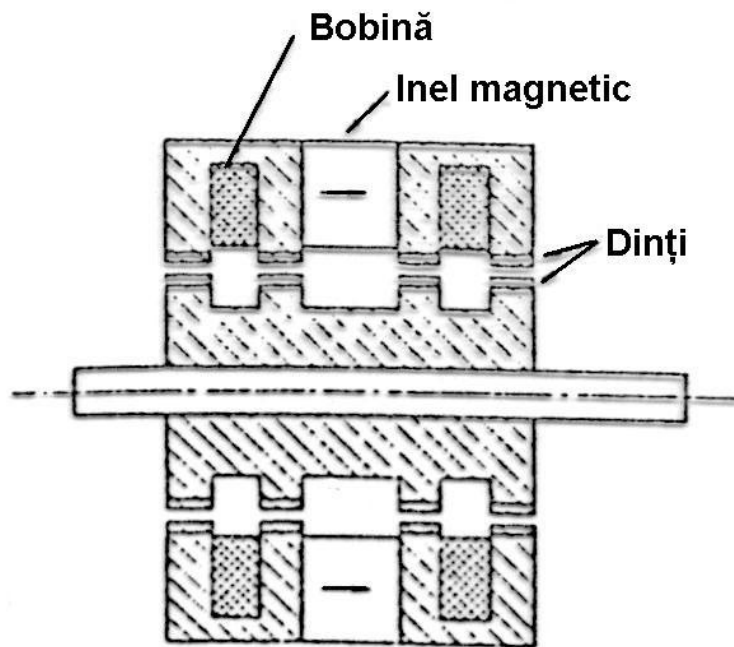


MPP monofazat cu magnet permanent pe stator (numit și ciclonome) având  $Z_R = 10$ , doi poli statorici  $X$  și  $Y$  cu  $n_s = 3$  dinți și un pol statoric dublu  $Z$  cu  $n_c = 6$  dinți.

În lipsa semnalului de comandă câmpul celor doi magneți permanenți din stator determină o așezare simetrică a rotorului față de polii  $X$  și  $Y$ . Un semnal de comandă anulează fluxul unui pol  $X$  sau  $Y$ , rotorul rotindu-se până când dinții rotorici la celălalt pol  $Y$  sau  $X$  vor fi față-n față cu cei statorici.

$$\text{Pasul} = \theta_p / 4$$

# Construcția

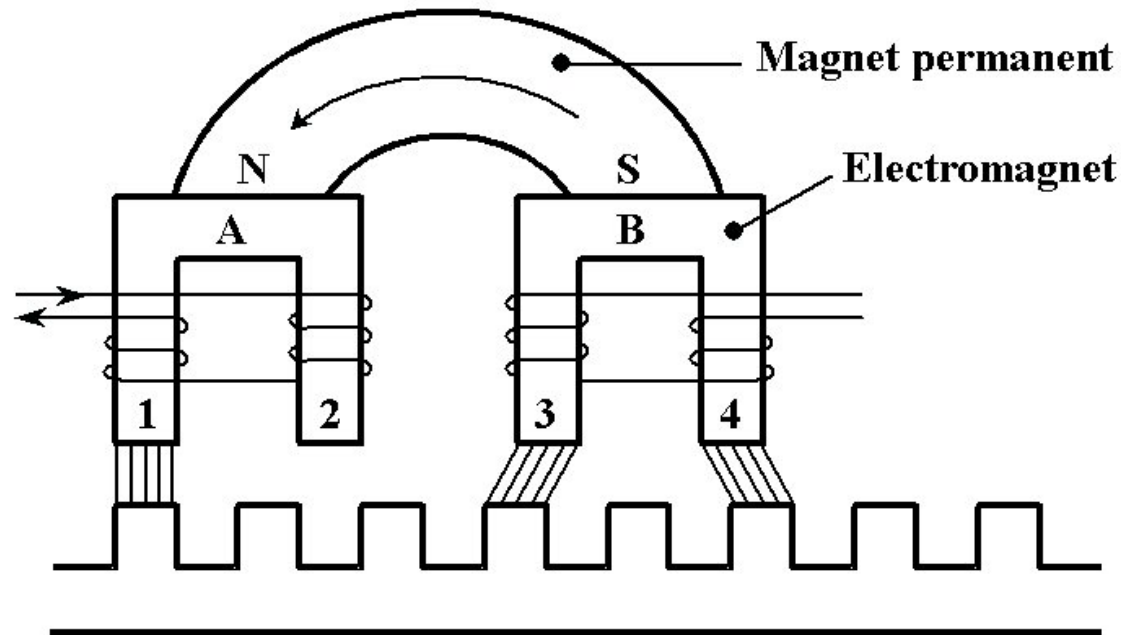


MPP cu magnet permanent pe stator de tip reductor cu două statoare

Dinții celor două statoare sunt decalate cu  $\theta_p/2$  iar cele două rânduri de dinți ale unui stator cu  $\theta_p/4$ .

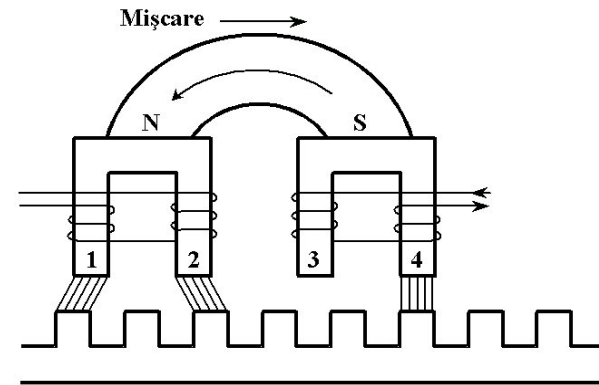
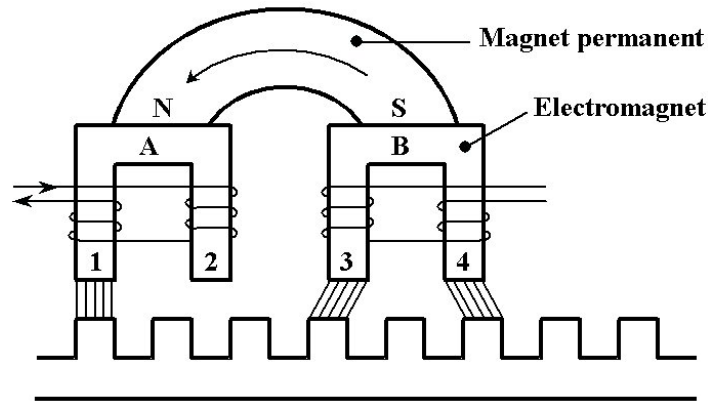
Mișcarea rotorului se produce datorită anulării câmpului magnetic într-o secțiune a statorului

# Construcția

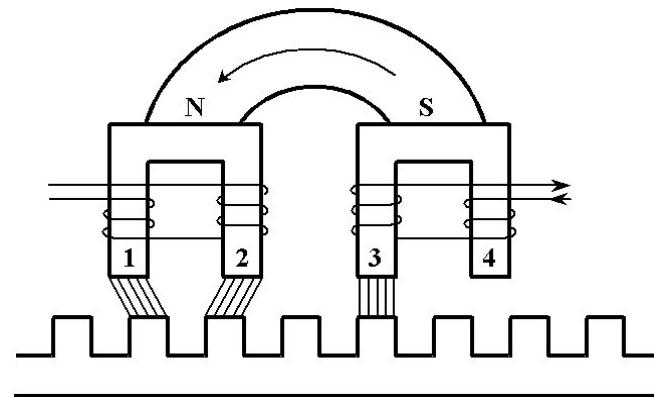
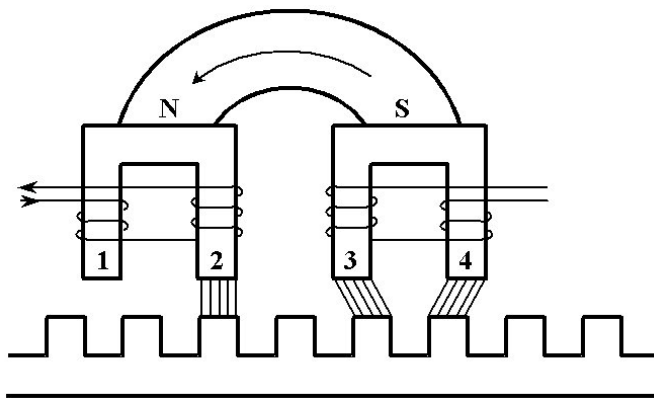


MPP linear tip Sawyer

# Construcția, funcționarea



## Efectuarea pasului MPP tip Sawyer



# Modelul matematic

Ecuția de tensiune

$$u_\lambda = R_\lambda \cdot i_\lambda + \frac{d\Psi_\lambda}{dt}$$

Expresia fluxului

fluxul maxim al magnetului permanent  $\Psi_{MP}$

$\theta_\lambda$  unghiul de poziție a rotorului față de înfășurarea  $\lambda$

$$\psi_\lambda = L_\lambda(\theta_\lambda) \cdot i_\lambda + \sum_{v \neq \lambda} M_{v\lambda} \cdot i_v + \psi_{MP} \cdot \cos \theta_\lambda$$

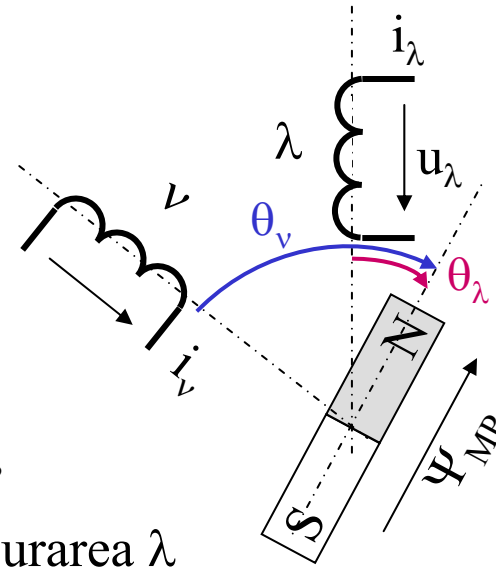
propriu

cuplaj

Magnet permanent

Inductivitatea proprie

$$L_\lambda(\theta_\lambda) = L_1 + L_2 \cdot \cos 2\theta_\lambda$$



# Modelul matematic

inductivitatea mutuala de cuplaj  $M_{v\lambda}$        $M_{v\lambda} = M \cdot \cos(\theta_v - \theta_\lambda)$

Fluxul de cuplaj depinde de alimentarea MPP


bilanțul energetic

$$u_\lambda \cdot i_\lambda = R_\lambda \cdot i_\lambda^2 + i_\lambda \cdot \frac{d \psi_\lambda}{dt}$$

energia magnetică a motorului este suma dintre:

energia mecanică și

variația energiei magnetice a înfășurării



$i_\lambda \cdot \frac{d \psi_\lambda}{dt} = T_\lambda \cdot \frac{d \mathcal{G}}{dt} + \frac{d W_\lambda}{dt}$



## Modelul matematic

expresia energiei magnetice

$$W_{\lambda} = \frac{1}{2} L_{\lambda} \cdot i_{\lambda}^2$$

rezultă expresia cuplului dezvoltat de motor la alimentarea fazei  $\lambda$

$$T_{\lambda} = - L_2 \cdot i_{\lambda}^2 \cdot \sin 2\theta_{\lambda} + i_{\lambda} \cdot \psi_{MP} \cdot \sin \theta_{\lambda}$$

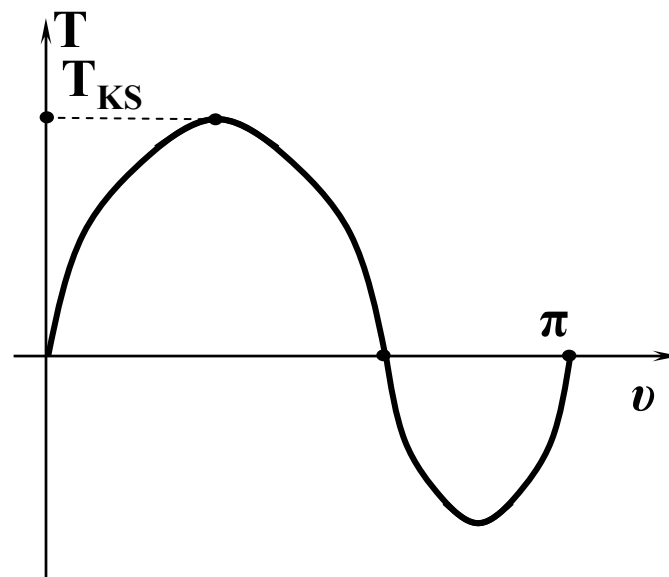
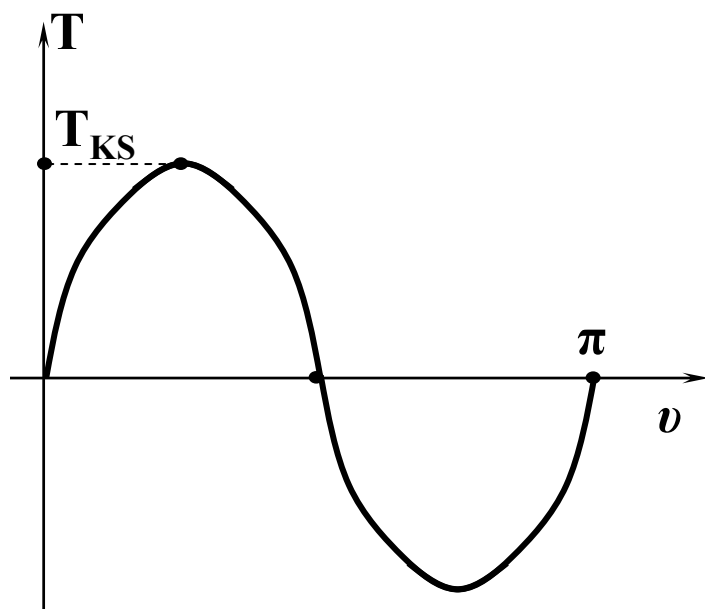
Dacă se alimentează  $p$  faze simultan, atunci cuplul rezultat

$$T = \sum_{\lambda=1}^p \left( -L_2 \cdot i_{\lambda}^2 \cdot \sin 2\theta_{\lambda} + i_{\lambda} \cdot \psi_{MP} \cdot \sin \theta_{\lambda} \right)$$

Cuplul dezvoltat are două componente: prima de reluctanță și a doua dată de fluxul magnetului permanent

## Modelul matematic

Variația cuplului la MPP cu reluctanță

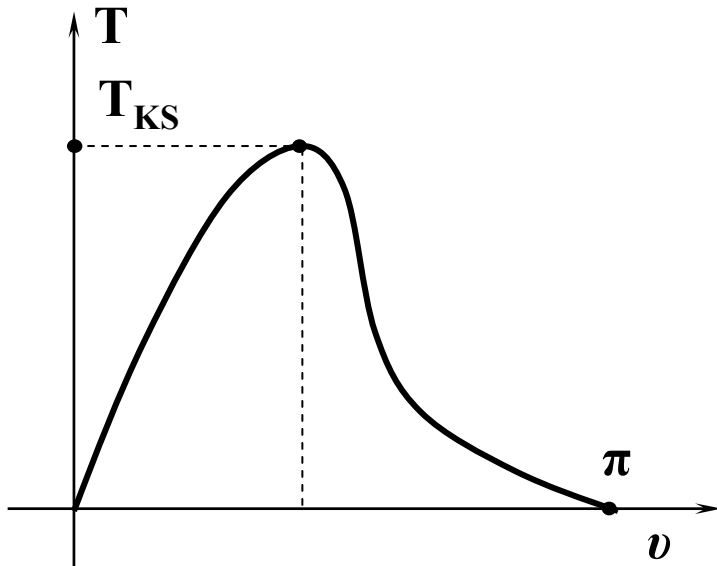


MPP cu dinți nesimetrice având  $m < 3$

*cuplul maxim static sincronizat  $T_{KS}$*

## Modelul matematic

cuplul motorului cu magnet permanent si reluctanta variabila



Ecuatia miscarii

$$T - T_{sr} = \frac{J}{p_r} \frac{d^2 \vartheta}{dt^2} + \frac{F_v}{p_r} \frac{d\vartheta}{dt}$$

$T_{sr}$  - este cuplul static rezistent,  
 $J$  - momentul de inerție polar al  
maselor în mișcare,

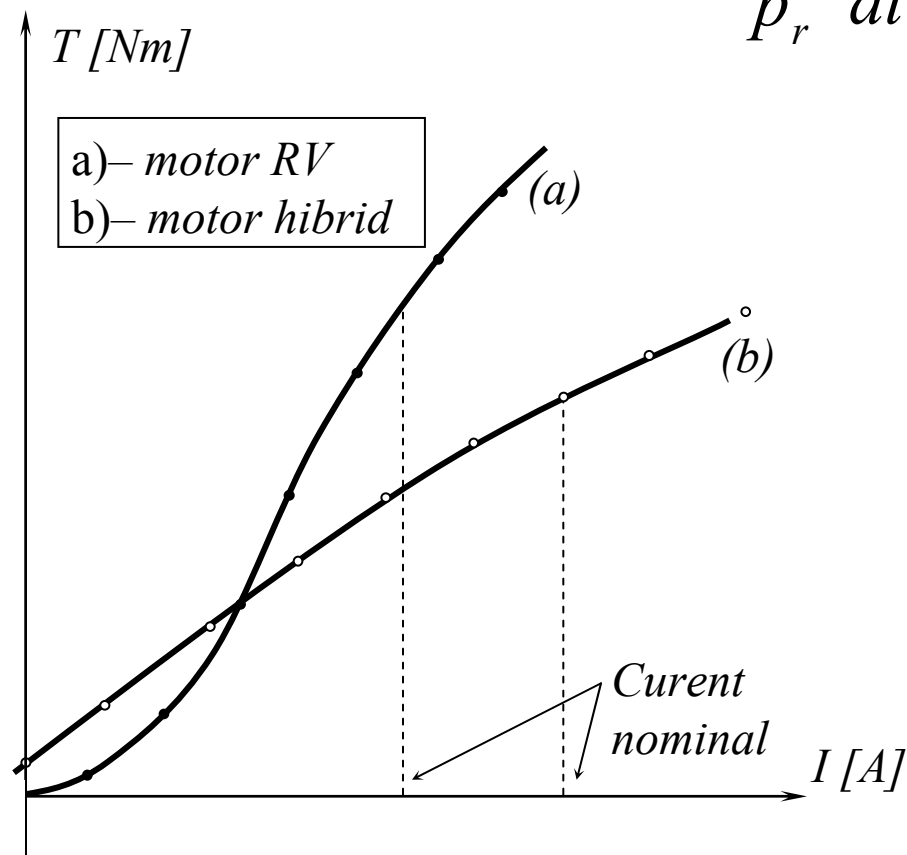
$F_v$  - este coeficientul de frecări vâscoase,  
 $p_r$  - număr de pași pe o rotație

$$p_r = \frac{2\pi}{\theta_p}$$

# Modelul matematic

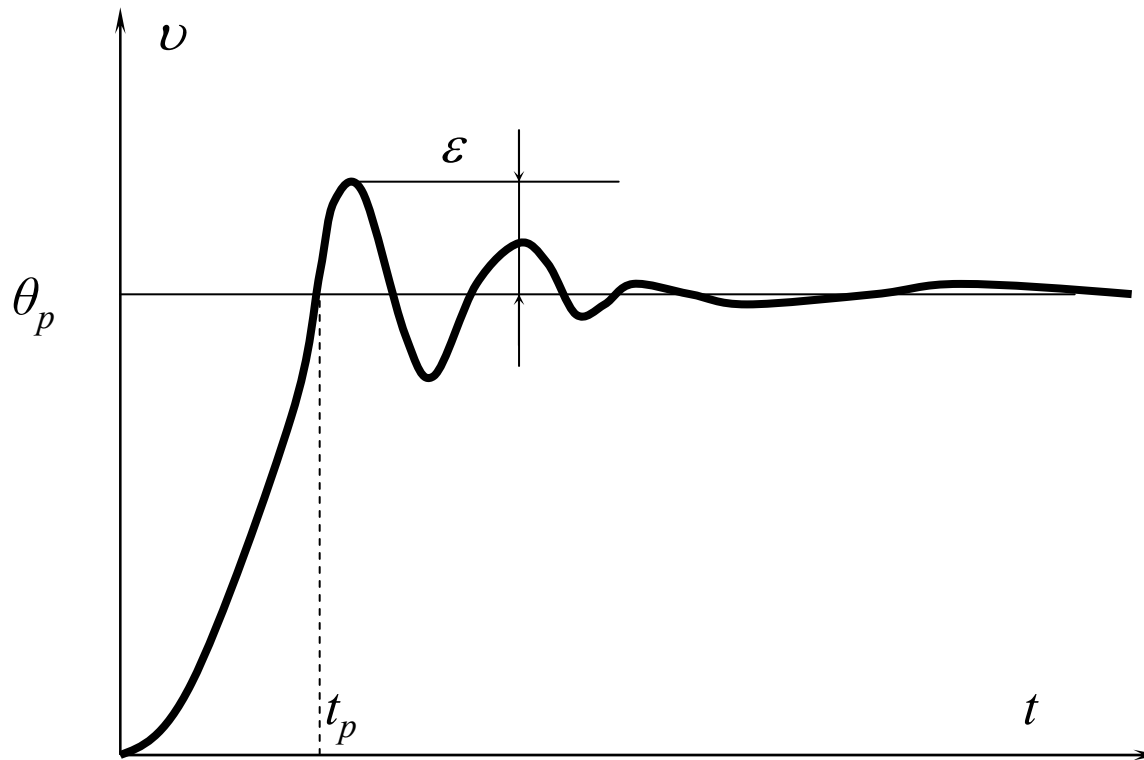
Viteza de rotație a MPP

$$\Omega = \frac{1}{p_r} \frac{d\vartheta}{dt}$$



Caracteristica cuplului static în funcție de curentul de comandă.

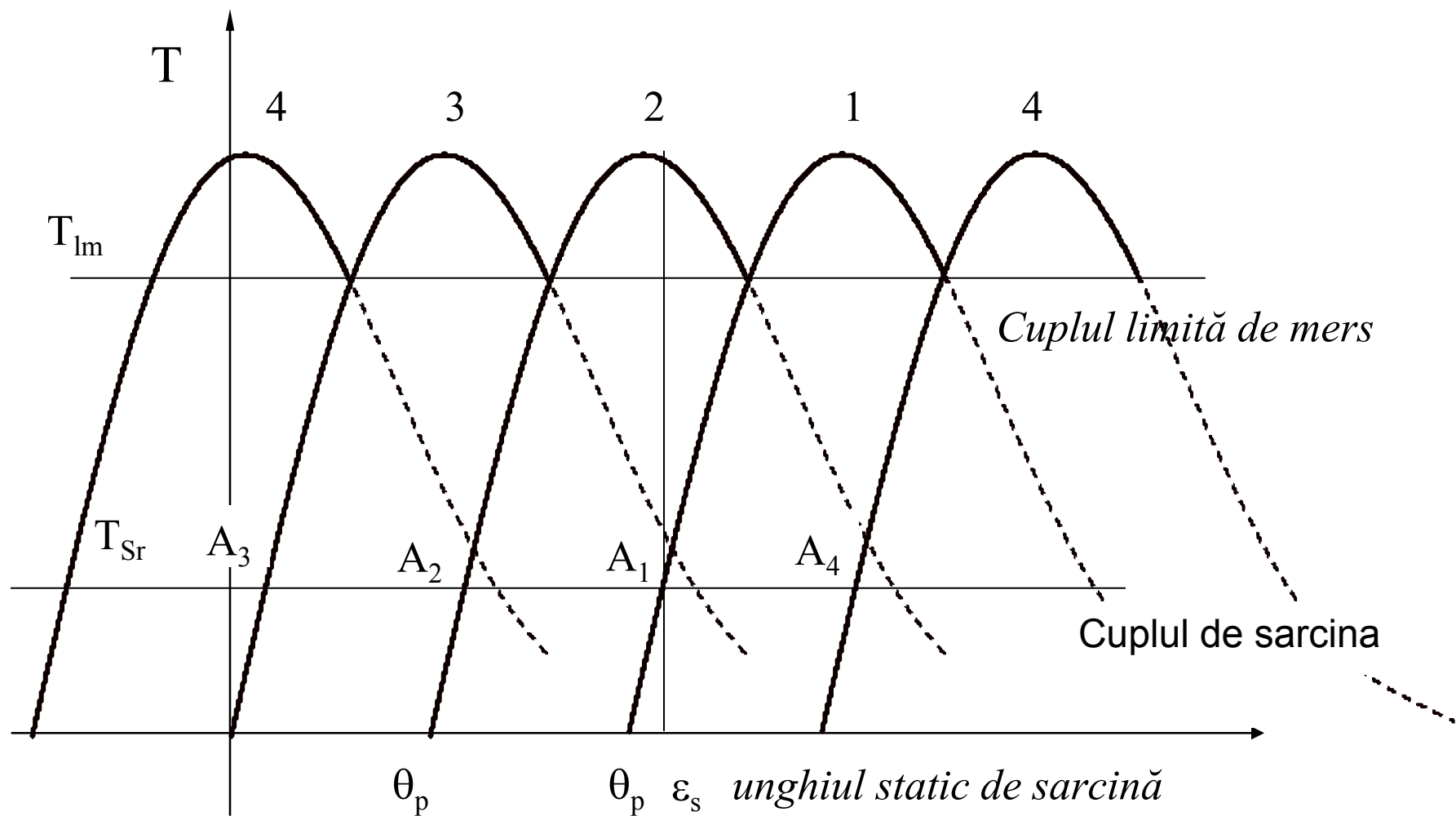
# Efectuarea pasului



*timpul de efectuare a unui pas  $t_p$*

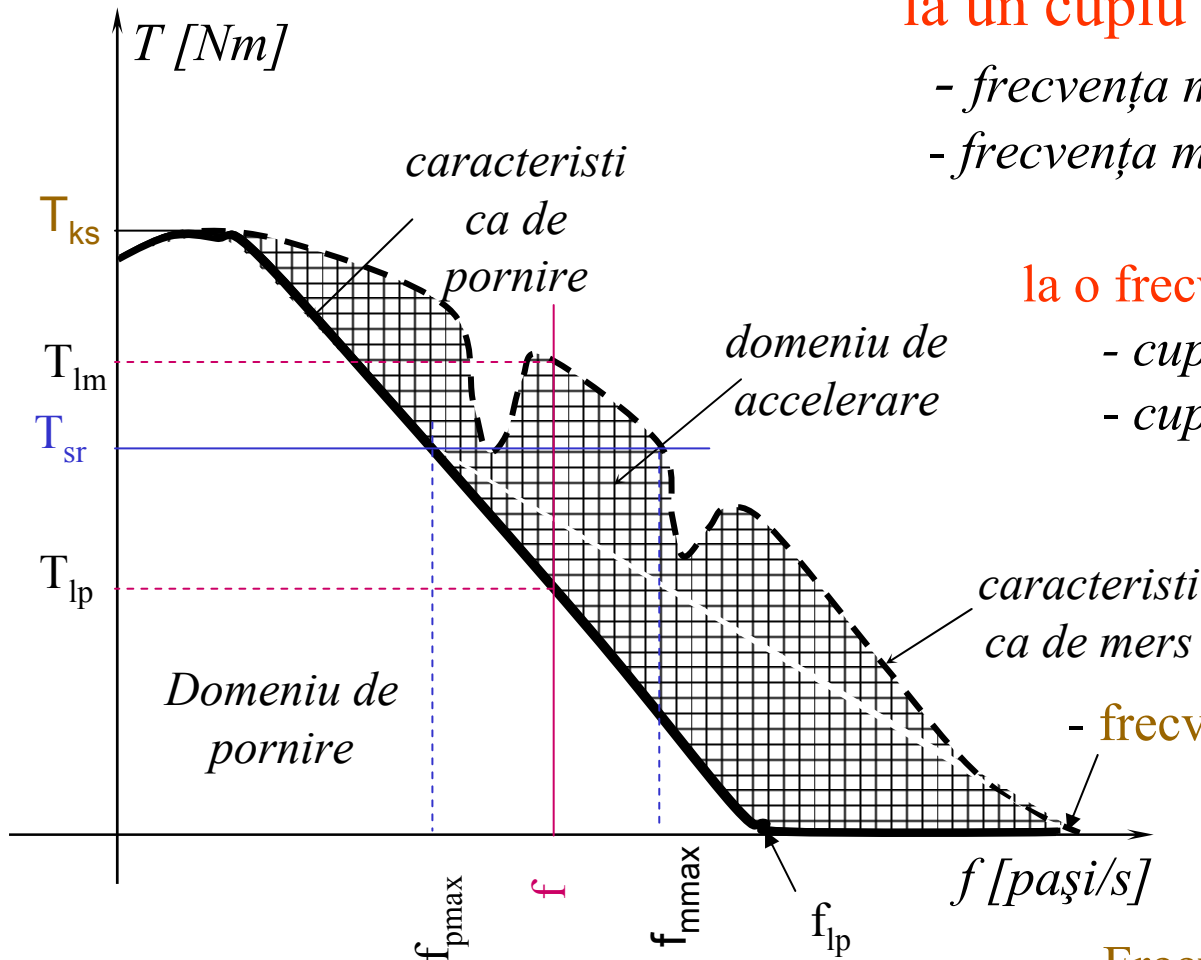
*unghiul dinamic de sarcină (denumit și unghi de suprareglare)  $\varepsilon$*

# Caracteristici statice



Caracteristicile statice ale unui MPP tip reductor cu magnet permanent

# Caracteristici statice



la un cuplu rezistent dat

- frecvența maximă de pornire  $f_{pmax}$ ,
- frecvența maximă de mers  $f_{mmax}$ .

la o frecvență dată

- cuplul limită de pornire  $T_{lp}$ ,
- cuplul limită de mers  $T_{lm}$

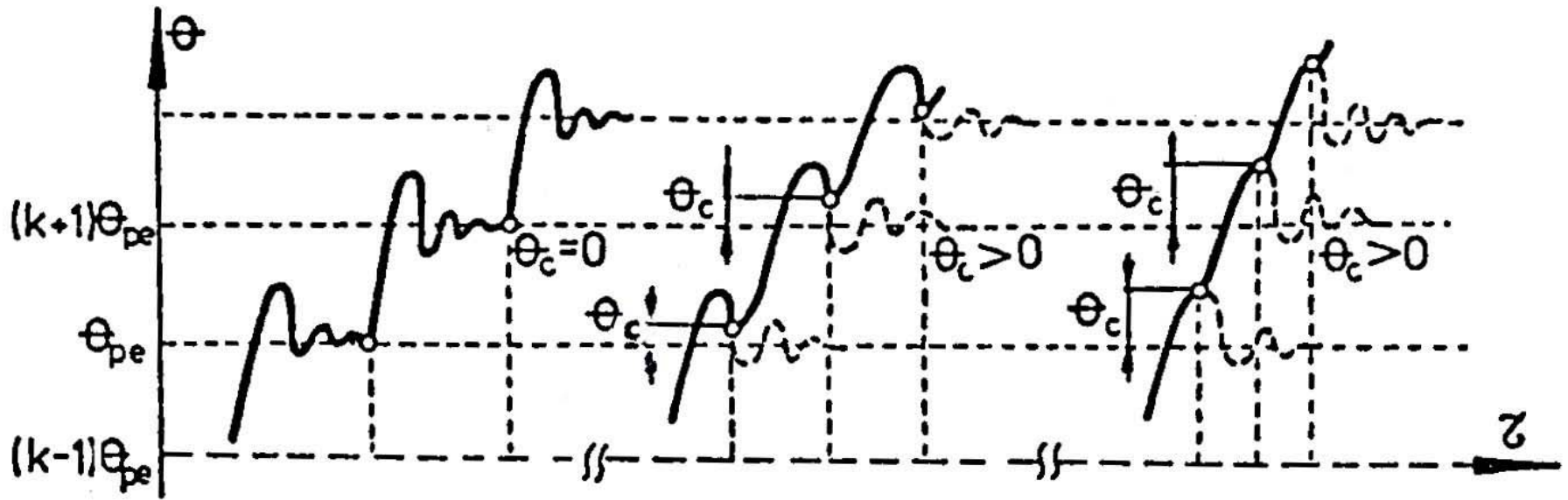
- frecvența limită de mers  $f_{lm}$ .

- Frecvența limită de pornire  $f_{lp}$

Caracteristicile de mers și de pornire

# Unghiul de comutație

**Unghiul de comutație** reprezintă decalajul între poziția reală a rotorului în momentul aplicării tactului de comandă și poziția corespunzătoare echilibrului stabil aferent stării electrice existente până în acel moment

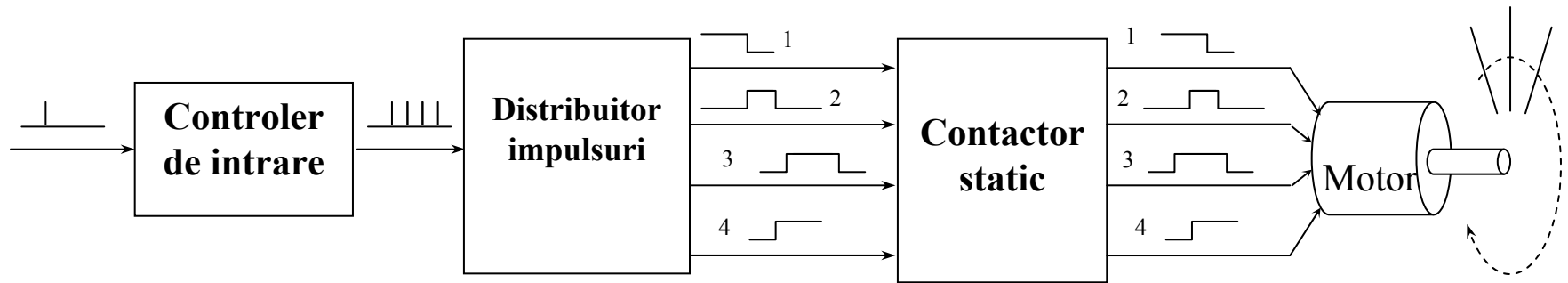


depinde de:      cuplul rezistent,  
frecvența de comandă,  
constante de timp

$$\theta_p > \theta_c > -\frac{\pi}{4}$$



# Comanda motorului pas cu pas



Schema bloc generală de comanda în circuit deschis a unui MPP

**Dificultăți:** numărul de faze : 1 fază → 5 faze

modul de comandă:

- tipul motorului,
- caracteristicii cerute,
- pasul ce trebuie realizat, etc.

Circuite integrate specializate pentru

- Controler de intrare
- Distribuitor de impulsuri

# Comanda motorului pas cu pas

Mărimi caracteristice ale comenzii:

- ▶ durata alimentării,
- ▶ polaritatea tensiunii aplicate,
- ▶ numărul de faze alimentate la un moment dat.

durata alimentării

☆ *comanda potențială*; durata alimentării este mare

- 🕒 *comanda prin impulsuri.*
- impulsuri singulare (puls cu puls)
  - cu tren de impulsuri.

polaritatea tensiunii aplicate

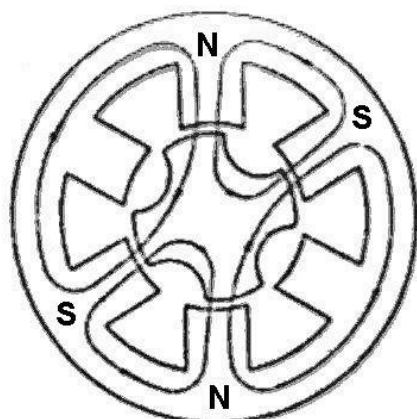
- *comanda monopolară* - numai într-un sens
- *comanda bipolară* - cu semn schimbat .

numărul de faze alimentate la un moment dat

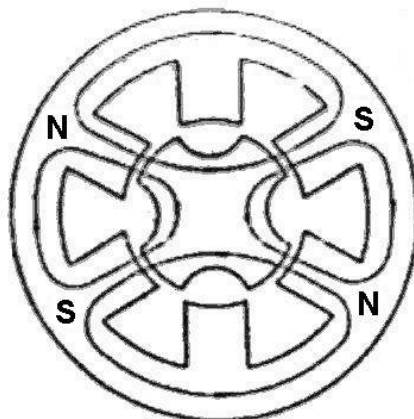
- ★ comanda simetrică, se alimentează același număr de faze.
  - comandă simetrică simplă*, pe rând fiecare fază.
  - comandă simetrică dublă*, în orice moment câte două faze.

★ *comandă nesimetrică*

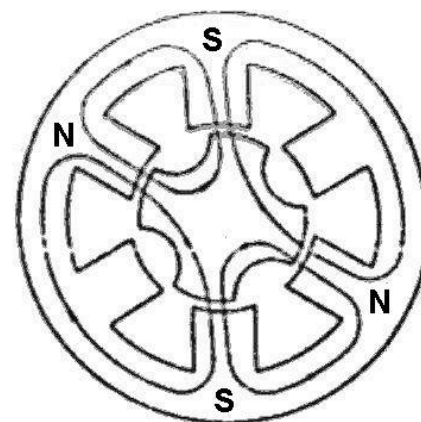
# Comanda motorului pas cu pas



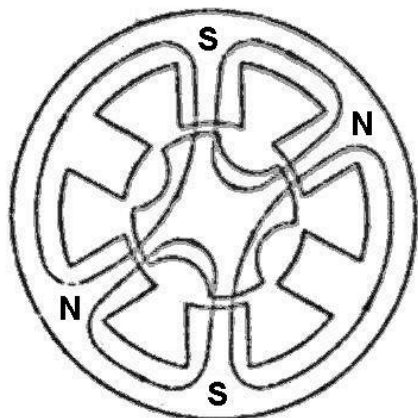
(R)



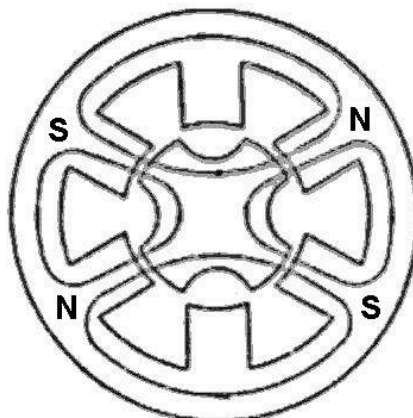
(1)



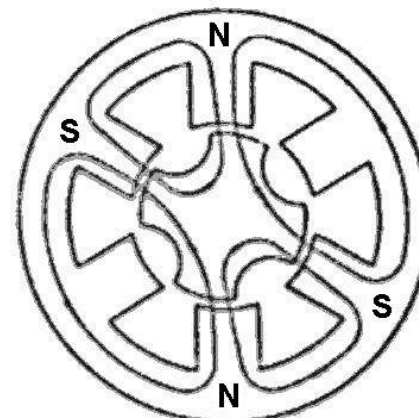
(2)



(3)



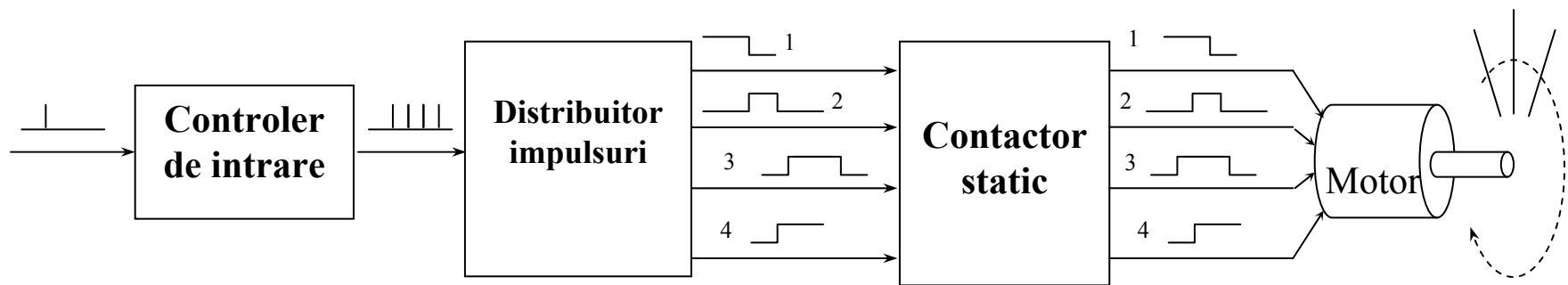
(4)



(5)

Modificarea câmpului magnetic într-un MPP reactiv  
comandat simetric dublu bipolar.

# Comanda motorului pas cu pas



Schema bloc generală de comanda în circuit deschis a unui MPP

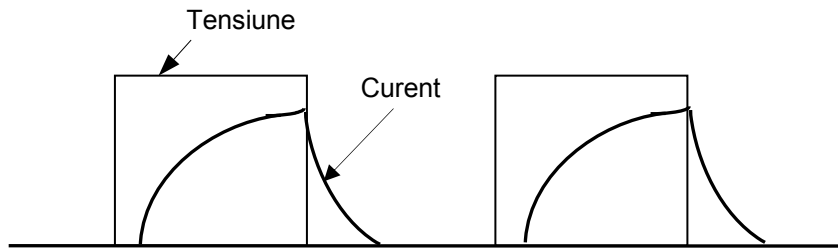
**Controler de intrare.** Are rolul de a genera impulsuri sau un tren de impulsuri în funcție de deplasarea necesară și ținând seama de caracteristicile de frecvență ale motorului

**Distribuitor impulsuri.** Preia trenul de impulsuri de comandă, împreună cu comenzile de sens și furnizează la ieșire  $m$  trenuri de impulsuri decalate unele față de altele cu unghiul  $\theta_s = 2\pi/m$

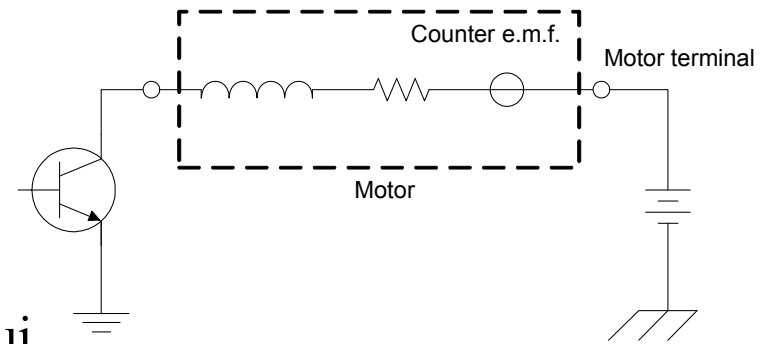
**Contactor static.** Are rolul de injectare unui curent dreptunghiular pe fazele motorului

# Contactor static

Injectarea unui curent **dreptunghiular** pe fazele motorului pentru a avea caracteristicile descrise anterior



Variatia in timp acurentului prin faza motorului



Schema echivalenta a alimentarii unei faze

înfășurarea MPP este o sarcină rezistiv inductivă cu:

- rezistența variabilă datorită încălzirii,
- inductivitate variabilă cu poziția rotorului și cu saturația,
- t.e.m., la unele MPP, variabilă cu mișcarea rotorului.

**Curentul nu are forma dreptunghiulară și este defazată față de tensiune.**

# Contactator static

⌚ Tensiunea nominală a MPP rareori depășește 48 V, de obicei este 12 sau 24 V.

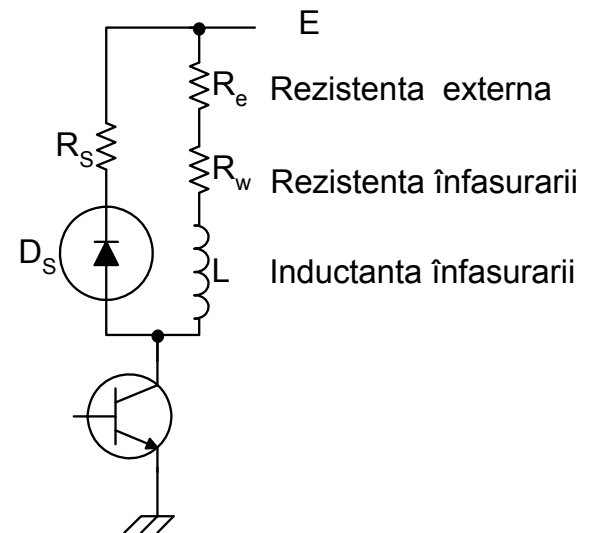
Curentul determină pe inductivitatea înfășurării motorului apariția unor supratensiuni, de obicei de zeci de ori tensiunea nominală.

⌚ Îmbunătățirea formei curenților

- forțarea curentului pentru reducerea timpului de creștere a curentului;
- întreruperea rapidă a curentului în faza deconectată

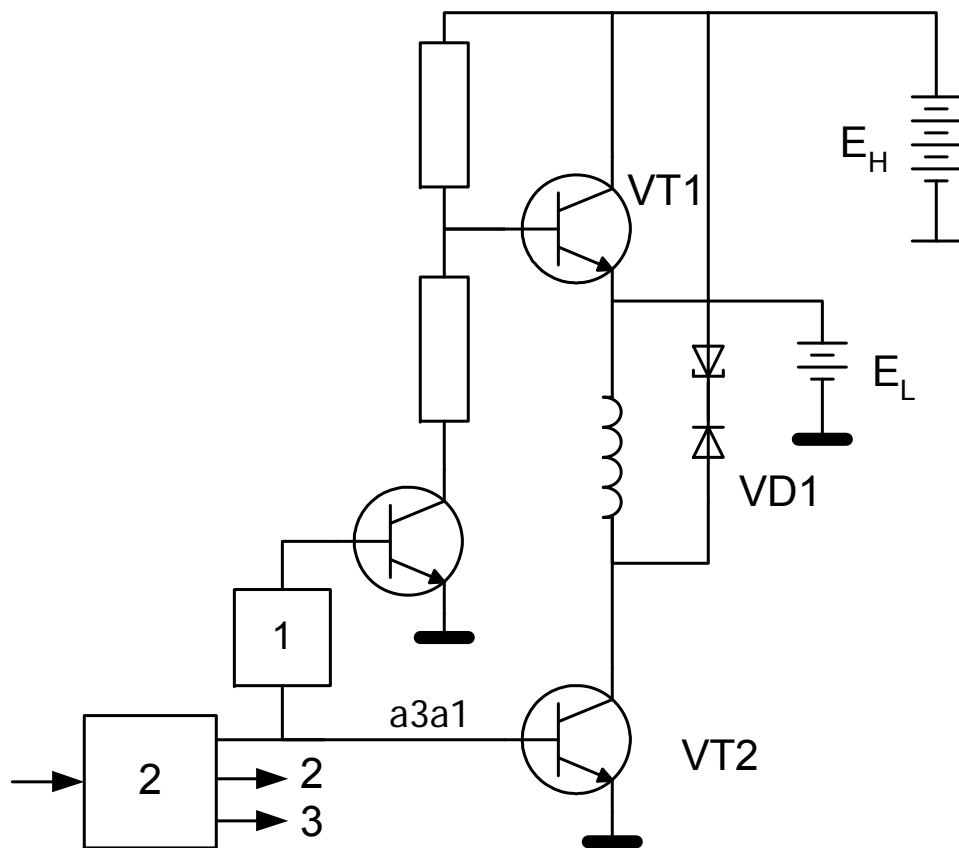
## Forțarea pantei de creștere a curentului

- schimbarea constantei de timp a circuitului motorului - prin conectarea unei rezistențe externe în serie cu fazele motorului,



# Forțarea pantei de creștere a curentului

- forțarea prin tensiune.

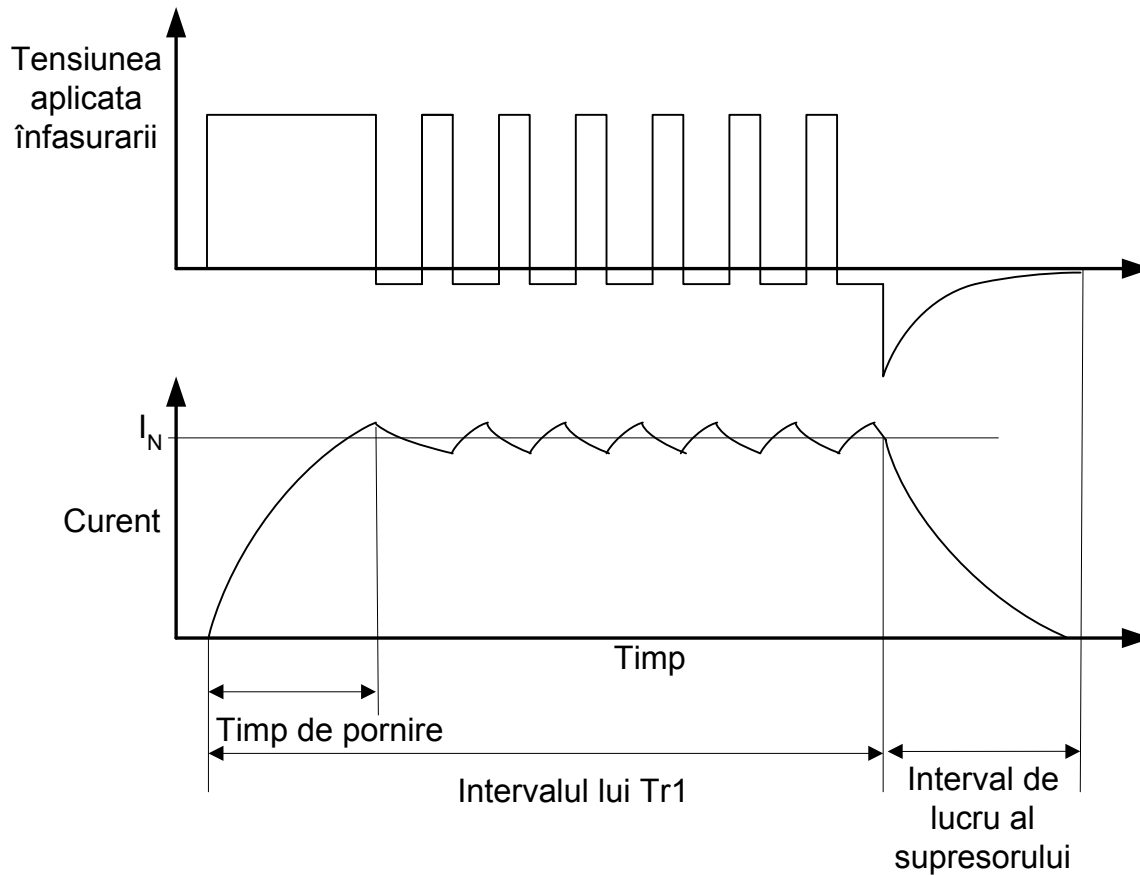


sunt necesare:

- două surse de tensiune;
- un senzor de curent, de obicei o rezistență;
- un circuit monostabil (1),
- diode rapide pentru protecția surselor

# Forțarea pantei de creștere a curentului

- *fortarea de tip chopper*



Necesită:

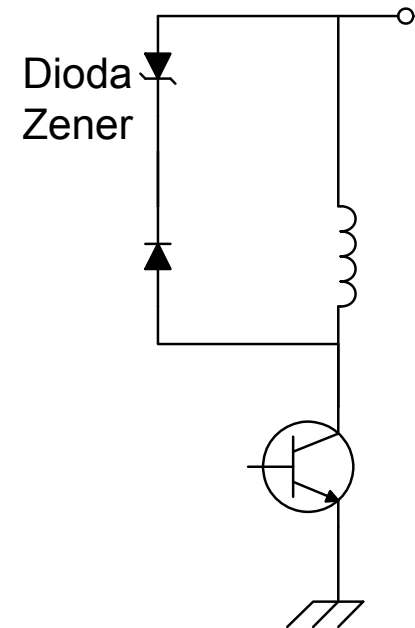
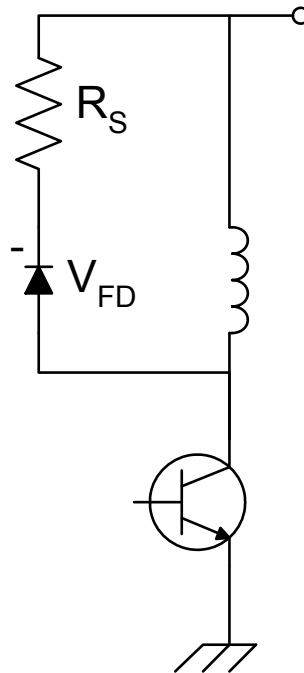
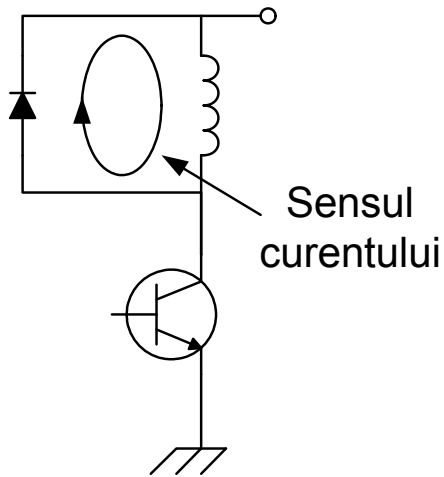
- o sursă de tensiune mult mai mare decât tensiunea nominală,
- două contactoare pentru fiecare fază a motorului,
- un oscilator cu frecvență  $1 \div 30 \text{ kHz}$



# Supresarea curentului prin faza deconectată

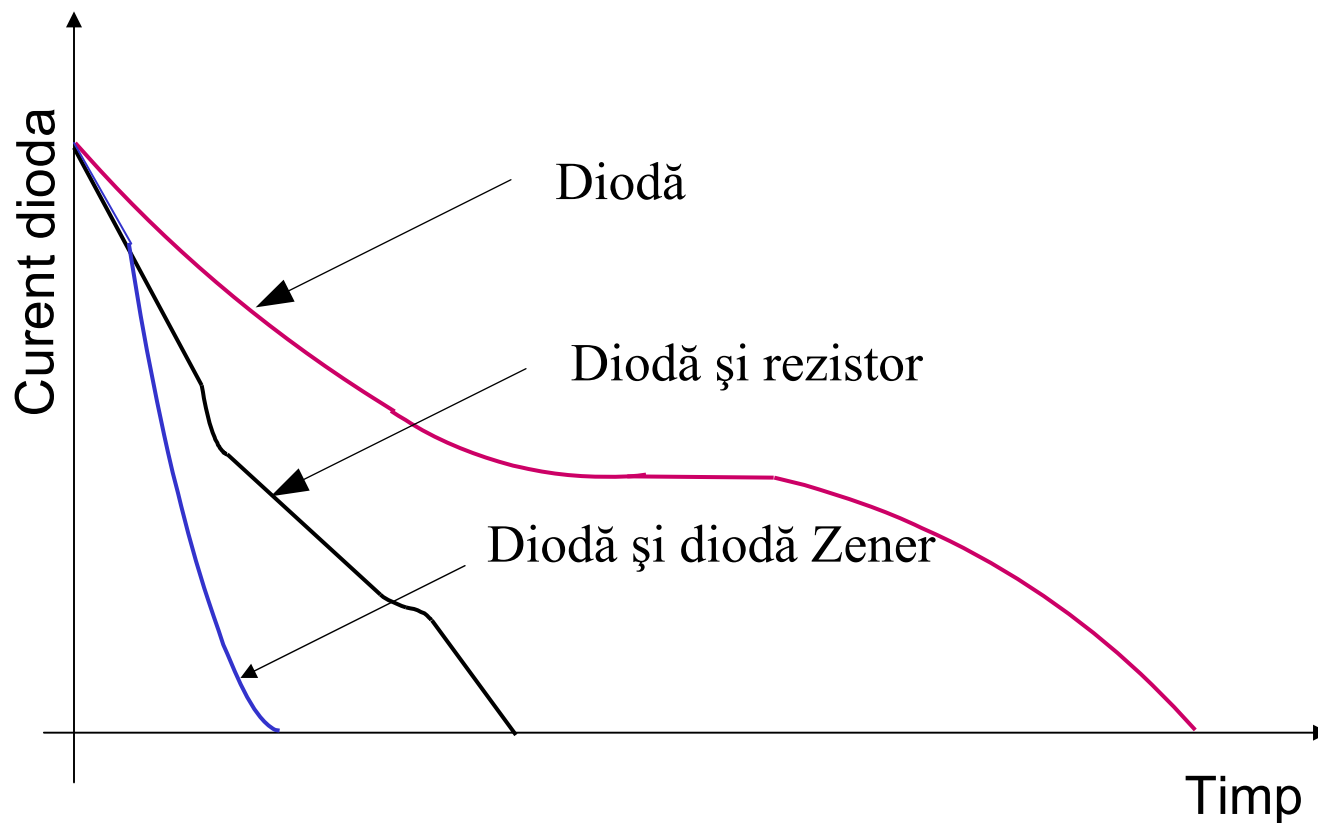
## Supresarea curentului prin faza deconectată

- ✓ diodă;
- ✓ diodă și rezistență;
- ✓ cu dioda Zener.



# Supresarea curentului prin faza deconectată

Compararea celor trei metode de supresare





## Contactor static

Metodele de supresare prezentate au următoarele dezavantaje:

- energia magnetica a fazei este totdeauna disipată;
- apare un cuplu negativ care produce frânarea;
- supratensiunea admisibilă a comutatorului limitează valorile rezistențelor, deci tipul de supresare;
- toate acestea determină o viteză relativ mica pentru motor.

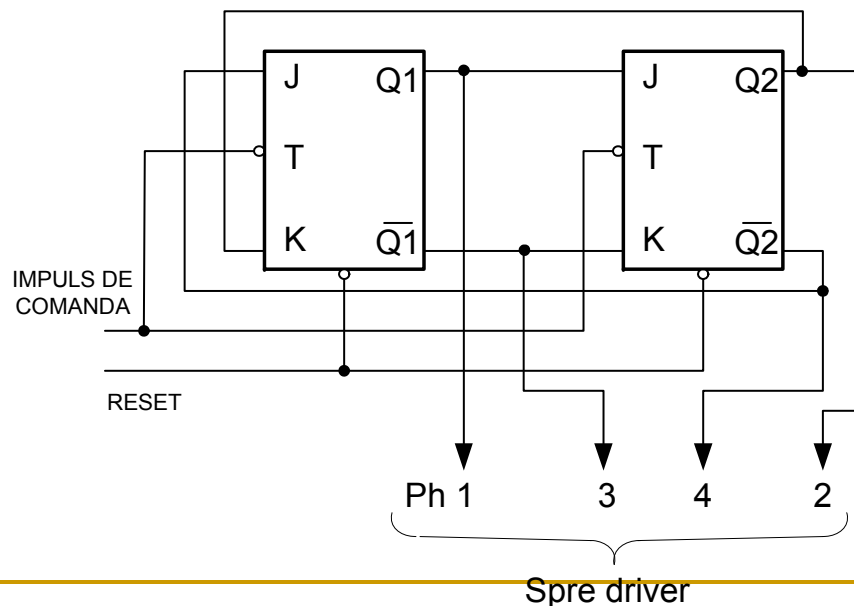
**Supresarea activă** elimină aceste neajunsuri.

În principiu configurația de baza a comenzii este asemănătoare cu comanda bipolară pentru MPP cu deosebirea că schema în puncte conține numai două comutatoare și din acest motiv permite o comandă monopolară.

# Distribuitoare de impulsuri

Preiau trenul de impulsuri de comandă, împreună cu comenzile de sens și furnizează la ieșire  $m$  trenuri de impulsuri decalate unele față de altele cu unghiul  $\theta_s = 2\pi/m$

Distribuitoarele pot fi *nereversibile* sau *reversibile*. Cele nereversibile asigură mișcarea rotorului numai în sens orar (CW - clockwise) sau numai în sens antiorar (CCW - counterclockwise).



	R	1	2	3	4	5	6	..
Ph1.Q1	0	1	1	0	0	1	1	..
Ph2.Q2	0	0	1	1	0	0	1	..
Ph3.Q1	1	0	0	1	1	0	0	...
Ph4.Q2	1	1	0	0	1	1	0	...

---

## Controlerul de intrare

Are rolul de a genera impulsuri sau un tren de impulsuri în funcție de deplasarea necesară și ținând seama de caracteristicile de frecvență ale motorului

Pentru funcționare cu tren de impulsuri oscilatoarele trebuie să-și modifice frecvența după diferite legi altfel pot apare pierderi de pași

Se folosesc în general următoarele tipuri de oscilatoare

- oscilator cu poartă.

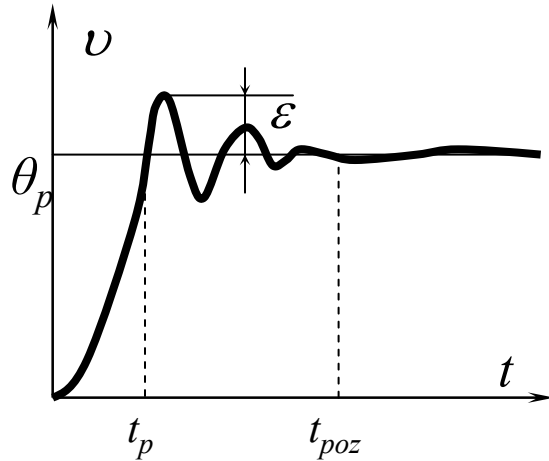
- oscilator cu rampă liniară, sau exponențială,

- oscilatoare digitale pe bază de multiplicatoare de frecvență

---

# Amortizarea oscilațiilor MPP

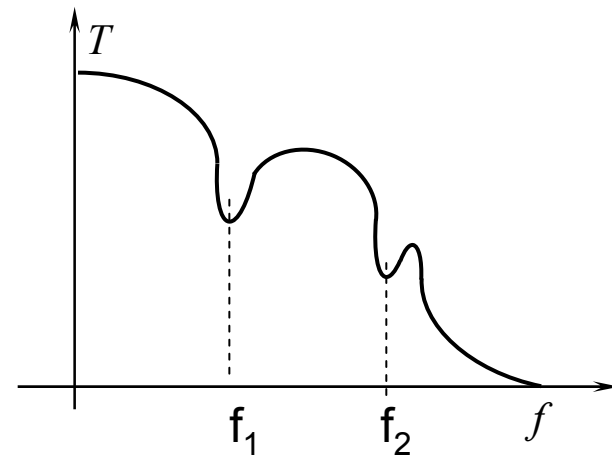
Efectuarea pasului- apar oscilații



Suprareglare -  $\varepsilon$

Crește timpul de poziționare -  $t_{poz}$

Crește frecvența proprie de oscilație a MPP



Se constată că oscilațiile se reduc cu creșterea cuplului rezistent.

# Amortizarea oscilațiilor MPP

## - amortizoare mecanice externe;

realizarea unui cuplu de frânare, prin modificarea momentului de inerție și realizarea unui cuplu de frecări vâscoase .

- lungesc MPP,
- sunt supuse uzurii,
- măresc inerția sistemului reducând frecvențele limită de pornire și de lucru.

## - amortizoare electrice;

Au la bază: folosirea unor elemente de circuit (R,C) prin care se pot asigura curenți și prin fazele necomandate, și modificarea comenzii motorului.

- se poate aplica numai anumitor tipuri de motoare.
- măresc pierderile în motor, și
- reduc frecvențele limită.



# Amortizarea oscilațiilor MPP

## - amortizoare electronice.

Au la bază modificări în partea electronică de comandă a motorului

- metoda întârzierii ultimului pas, care consta în aplicarea ultimului impuls, atunci când motorul se găsește în poziția de suprareglare maximă a penultimului pas,

- comanda *bang-bang* sau *alimentarea fazei precedente*. înainte de a atinge poziția finală corespunzătoare fazei  $\lambda$  se decuplează pentru un timp scurt faza  $\lambda$  și se recuplează faza  $\lambda-1$ .

## Regimul de micropășire al MPP

Regimul de micropășire se obține alimentând simultan 2 faze ale MPP prin variatoare de curenți. Astfel pasul mare  $\theta_p$  poate fi divizat prin factorul de divizare  $K_v$  în micropași.

Factorul de divizare depinde de numărul de trepte realizabile pentru curenții de fază cu ajutorul variatoarelor de curenți.

Schimându-se valoarea curentului într-o fază se obține modificarea poziției câmpului statoric.

# Avantaje, dezavantaje

## **Avantaje:**

- asigură univocitatea conversiei impuls-deplasare, ceea ce permite folosirea MPP în circuit deschis de poziționare;
- precizie și putere de rezoluție, ceea ce simplifică lanțul cinematic de acționare;
- procese tranzitorii fără pierderi de pași;
- compatibilitate cu tehnica numerică;
- unele tipuri dezvoltând cuplu și în repaus-memorează poziția.

## **Dezavantaje:**

- schema de alimentare și comandă trebuie adaptată la tipul MPP;
  - randament scăzut;
  - viteza de rotație relativ scăzută.
-

## Bibliografie

**Armensky E, V., Falk G. B. :**” *Fractional Horsepower Electrical Machines*”  
MIR Publiser, Moscow,1978.

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

**Imecs M., Kelemen A., Rusu C., Marschalko R.,** - “*Vector control of PM hybrid stepping motor with tracking torque*”. The 7th International Conference IMACS-TC1’93

**Jufer, M. , G. Heine,** “*Hybrid Stepper Motor Torque and Inductance Characteristics with Saturation Effects*” June 1986, Proceedings of IMCSD 15th Annual Symposium, pp. 207-212.

**Kelemen A., Crivii M.,** “*Motoare electrice pas cu pas*” –Ed. Tehnica Bucuresti, seria Masini aparate electrice, 1975.

**Kelemen A., Imecs M., Marschalko R., Rusu C.** – “*Torque and Speed Control Systems for PM Hybrid Stepping Motor*”. ICEMA, Adelaida, Australia, vol. 3, pp.506-512, 13-15 Sept 1993.

## Bibliografie

**Kellermann H. et al.** –“ *Field Oriented Position Control of a Hybrid Stepper Motor*”, European Power Electronics EPE 95, Sevilla, Spain, vol. 3, pp. 908 – 913.

**Kiyonobu Mizutani, Shigero Hayashi, Nobouky Matsui** – “*Modeling and Control of Hybrid Stepping Motor*”, IEEE /IAS Annual Meeting, 1993, pp. 289-294

**Kuo, B.C., U.Y. Han**, “*Permeance Models and their Applications to Step Motor Design*”, June 1986, Proceedings of IMCSD 18th Annual Symposium, pp. 351-369.

**Matsui Nobouky, Makoto Nakamura, Takashi Kosaka** – “*Instantaneous Torque Analysis of Hybrid Stepping Motor*”. IEEE /IAS Annual Meeting, 1995, pp. 701 – 706.

**Trifa V.**, "*Servomecanisme*", Litografia Institutul Politehnic din Cluj-Napoca, 1981.

**Viorel I.A., Szabó L.**, "*Hybrid linear stepper motors*", Ed. Mediamira, Cluj-Napoca, 1998.