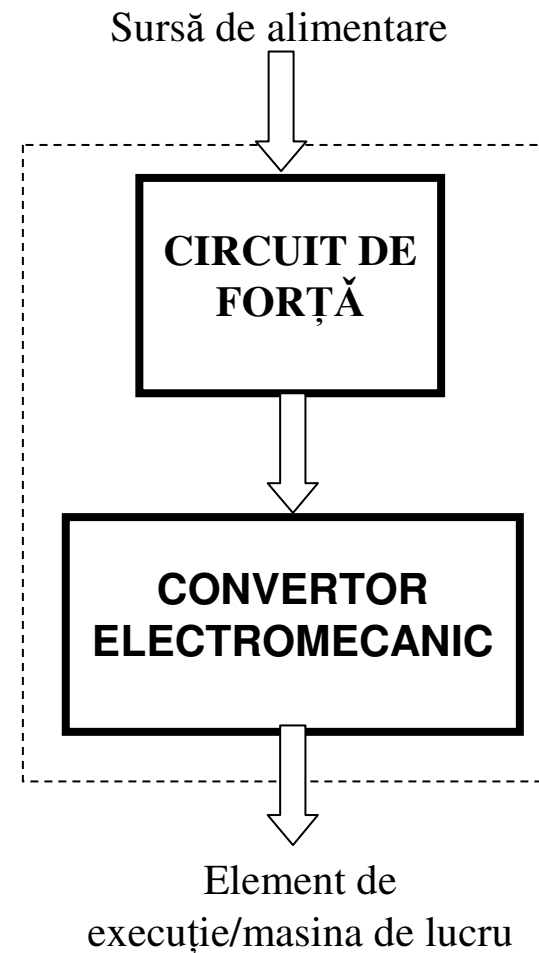
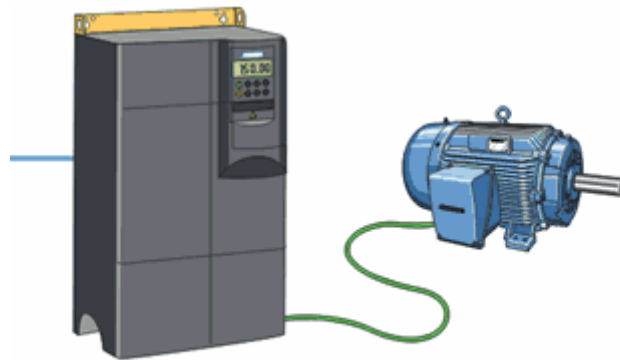


BLOCUL DE ACTIONARE

- ACTIONARI ELECTRICE -

SISTEME DE ACȚIONARE ELECTRICE

Din punct de vedere al performanțelor, sistemele de acționare electrică sunt mult superioare celor hidraulice și pneumatice și ocupă la momentul actual mai mult de 70% din sistemele de acționare utilizate pe plan mondial



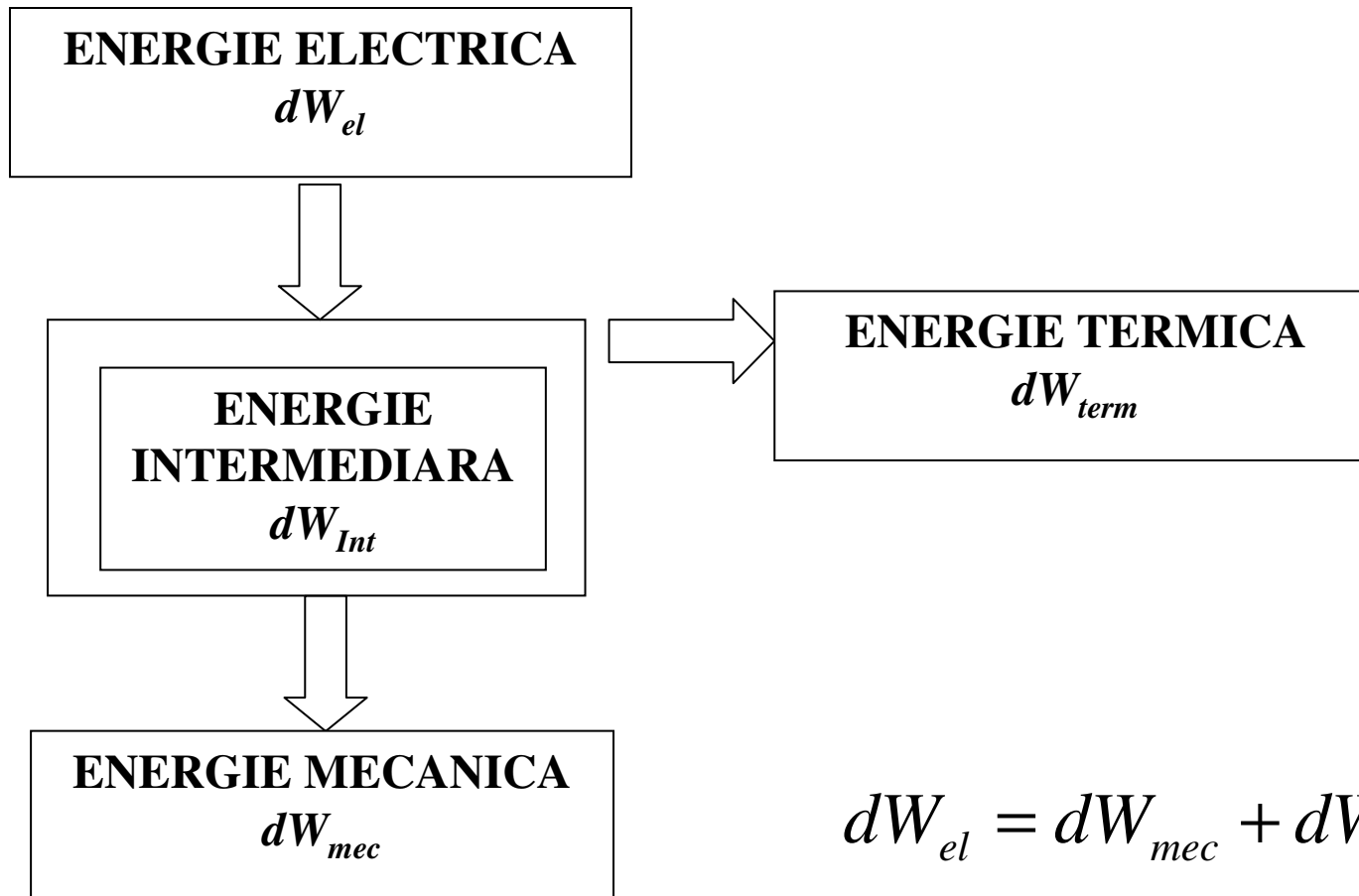
CONVERTORUL ELECTROMECHANIC

➤ **Conversie electromecanica de natura electromagnetica**

- **interactiunea intre campurile magnetice generate de doi curenti ce parcurg bobinaje situate pe armaturi diferite**
- **fluxul campului magnetic generat de un curent ce parcurge un bobinaj, flux ce se inchide pe un circuit magnetic cu reluctanta variabila**
- **interactiunea intre campul magnetic generat de un magnet permanent si cel creat de un curent sau un circuit feromagnetic**

➤ **Conversia electromecanica de natura electrostatica**

BILANTUL ENERGETIC PENTRU UN CONVERTOR ELECTROMECHANIC



$$dW_{el} = dW_{mec} + dW_{term} + dW_{int}$$

$$dW_{el} = \sum_{j=1}^k u_j i_j dt$$

$$dW_{mec} = \sum_{m=1}^n F_m dx_m$$

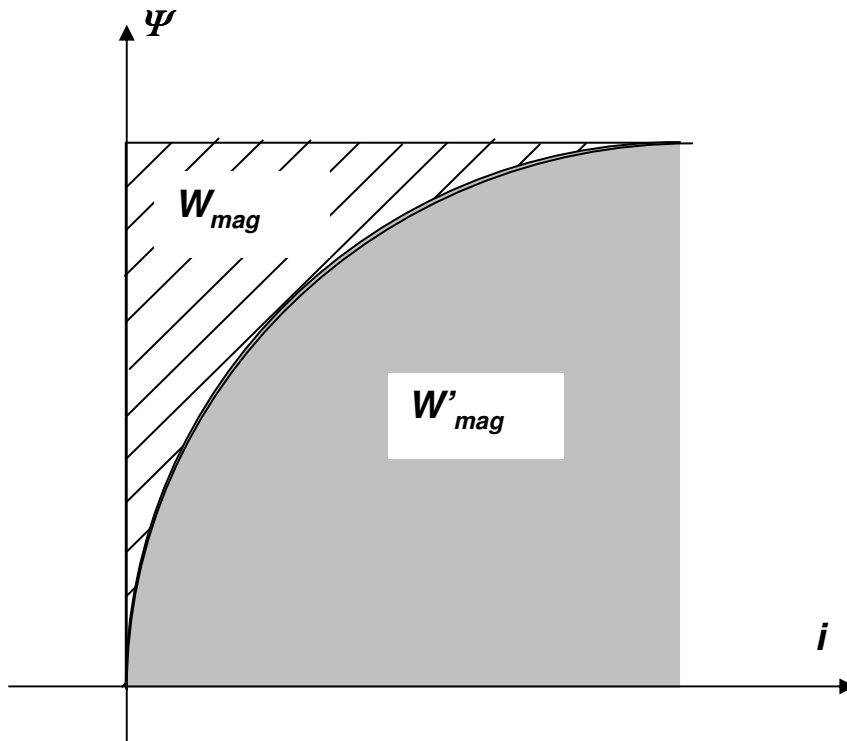
$$dW_{term} = \begin{cases} \sum_{j=1}^k R_j i_j^2 dt, & \text{sisteme electromag netice} \\ \sum_{j=1}^k \frac{u_j^2}{R_j} dt, & \text{sisteme electrosta tice} \end{cases}$$

$$dW_{mag} = \sum_{j=1}^k d\Psi_j i_j - \sum_{m=1}^n F_m dx_m$$

$$dW_{es} = \sum_{j=1}^k u_j dQ_j - \sum_{m=1}^n F_m dx_m$$

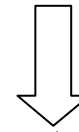
$$\frac{\partial W_{mag}}{\partial \Psi_j} = i_j \quad \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} = -F_m$$

$$\frac{\partial W_{es}}{\partial Q_j} = u_j \quad \frac{\partial W_{es}}{\partial x_m} = -F_m$$



COENERGIA MAGNETICA:

$$dW'_{mag} = \sum_{j=1}^k \Psi_j di_j + \sum_{m=1}^n F_m dx_m$$



$$\frac{\partial W_{mag}}{\partial i_j} = \Psi_j \quad \frac{\partial W_{mag}}{\partial x_m} = F_m$$

TEOREMELE FORTELOR GENERALIZATE

SISTEM ELECTROMAGNETIC

$$F_m = - \left. \frac{dW_{\text{mag}}}{dx_m} \right|_{\Psi_j = \text{cst}} = \left. \frac{dW'_{\text{mag}}}{dx_m} \right|_{i_j = \text{cst}}$$

SISTEM ELECTROSTATIC

$$F_m = - \left. \frac{dW_{\text{es}}}{dx_m} \right|_{Q_j = \text{cst}} = \left. \frac{dW'_{\text{es}}}{dx_m} \right|_{u_j = \text{cst}}$$

FORMA LOCALA DE ENERGIE

$$w'_{\text{mag}} = \frac{1}{2} \mathbf{B} \mathbf{H} = w_{\text{mag}}$$

$$w'_{\text{es}} = \frac{1}{2} \mathbf{E} \mathbf{D} = w_{\text{es}}$$

CONVERTOARE ELECTROMECHANICE

Convertoare de energie

Convertoare de semnal

Convertoare de energie si semnal

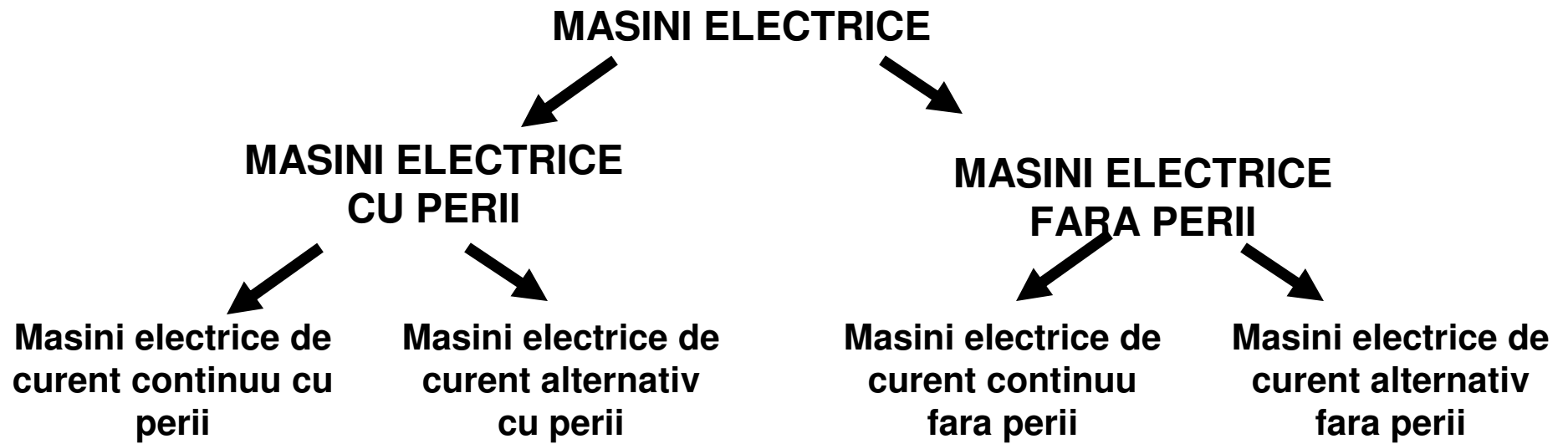
$$\mathbf{F}_m = \mathbf{F}_{mut} + \mathbf{F}_r + \mathbf{F}_{mag}$$

F_m – forta/cuplul dezvoltat de convertorul electromecanic

F_{mut} – componenta mutuala, care apare ca urmare a interactiunii intre doi curenti sau intre un curent si un magnet permanent ;

F_r – componenta reluctanta, care apare ca urmare a prezentei unui curent ce parcurge o bobina situata intr-un circuit magnetic variabil in timp ;

F_{mag} – componenta datorata prezentei unui magnet permanent intr-un circuit magnetic.

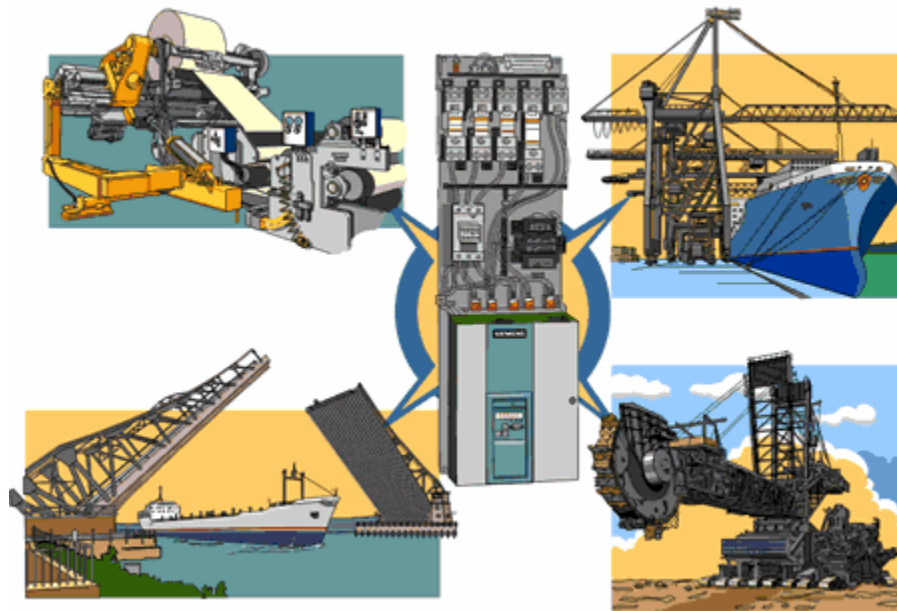


De curent continuu

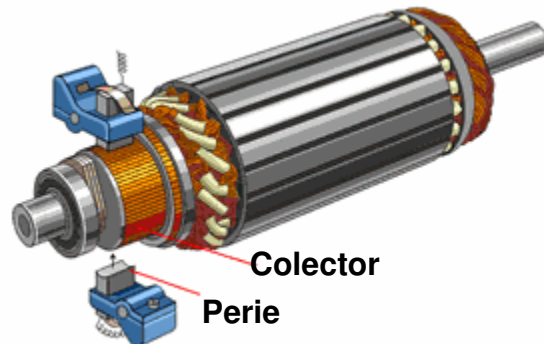
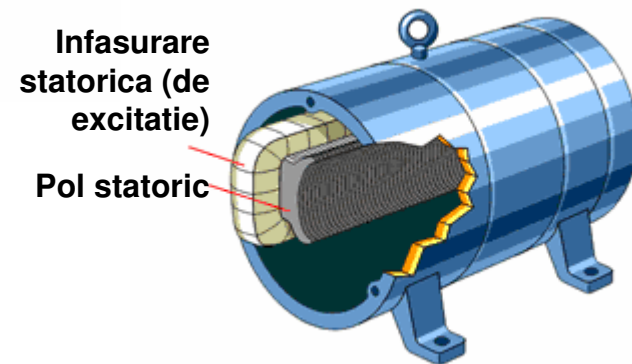
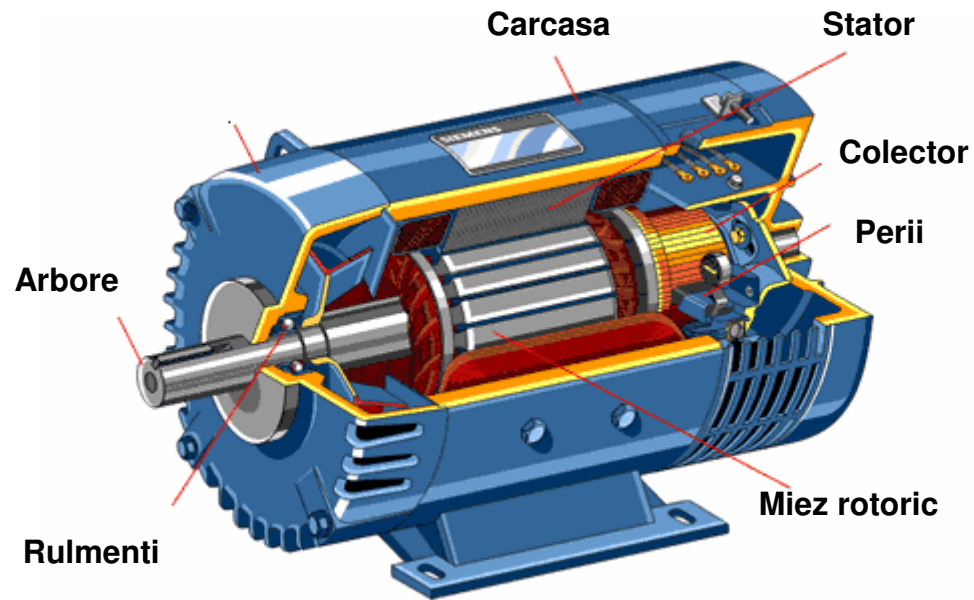
De curent alternativ

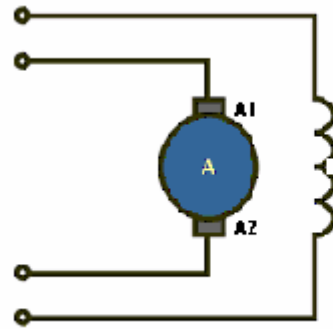
RETEAUA DE ALIMENTARE

Sisteme de actionare cu masini electrice de curent continuu cu sistem perie-colector

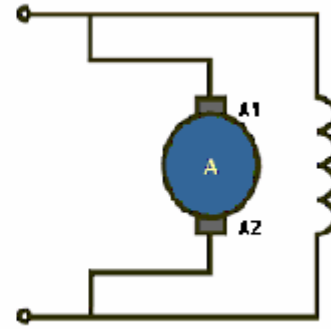


MOTOR DE CURENT CONTINUU – topologie clasica

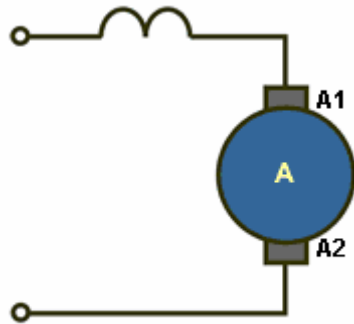




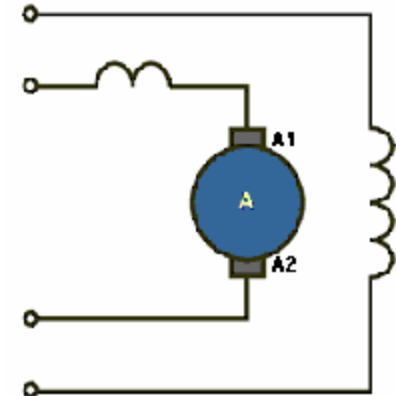
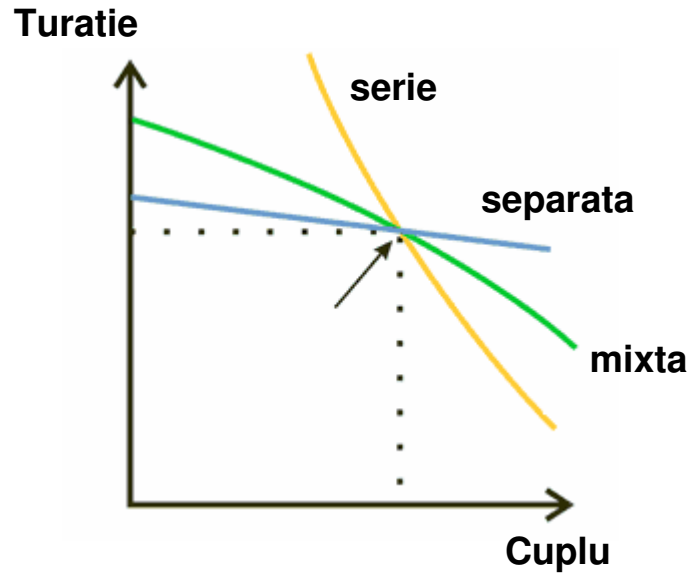
Cu excitatie separata



Cu excitatie derivatie

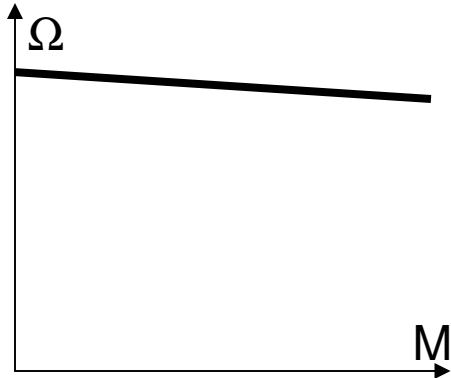


Cu excitatie serie



Cu excitatie mixta

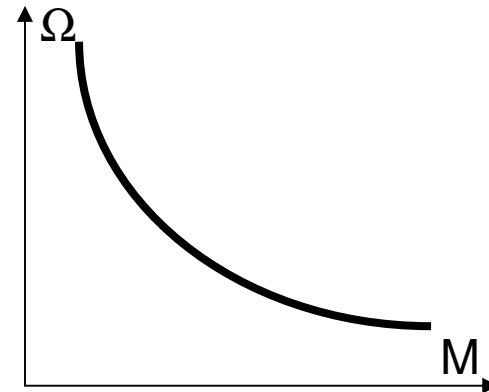
$$\Omega = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_a}{(K_e \Phi)^2} M$$



Caracteristica mecanica a motorului de c.c. cu excitatie separata

- Face parte din categoria caracteristicilor mecanice rigide
- acest tip de motor este utilizat in actionari electrice reglabile
- Reglarea vitezei si functionarea in regim de franare electrica nu pun probleme

$$\Omega = \frac{U - (R_a + R_E) I}{K_e \Phi}$$



Caracteristica mecanica a motorului de c.c. cu excitatie serie

- Face parte din categoria caracteristicilor mecanice moi
- De aceea acest tip de motor este utilizat in tractiunea electrica si in instalatiile de ridicat
- Pune probleme in regim de franare, recuperativa, dinamica sau prin contraconectare

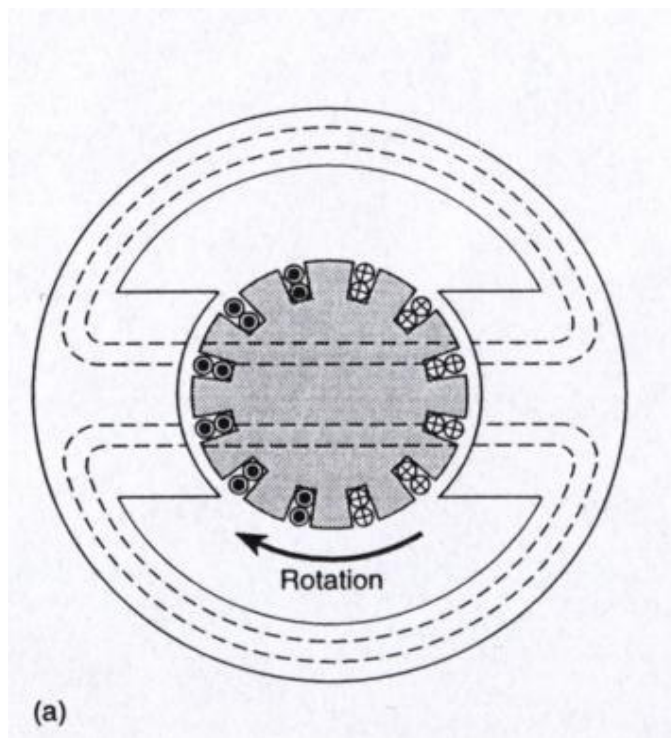
SERVOMOTOARE DE C.C.

- Excitație sub forma de magneti permanenti
- Rotorul are inerție redusă prin scoaterea elementului conductor de curent din creștatura și plasarea lui în întrefier

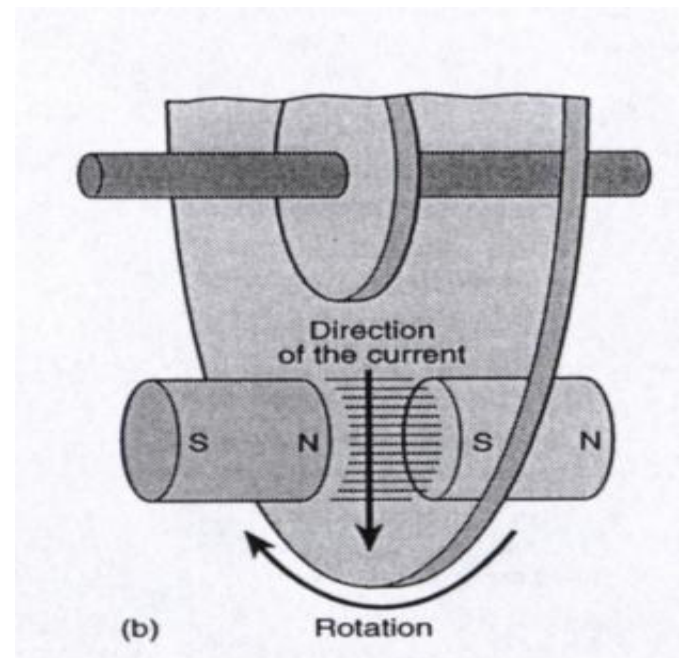


Servomotoarele de c.c. cu circuite imprimate

Mod de inchidere a liniilor de camp in masini de c.c cu magneti permanenti si sistem perii-colector



Motoare cu flux radial

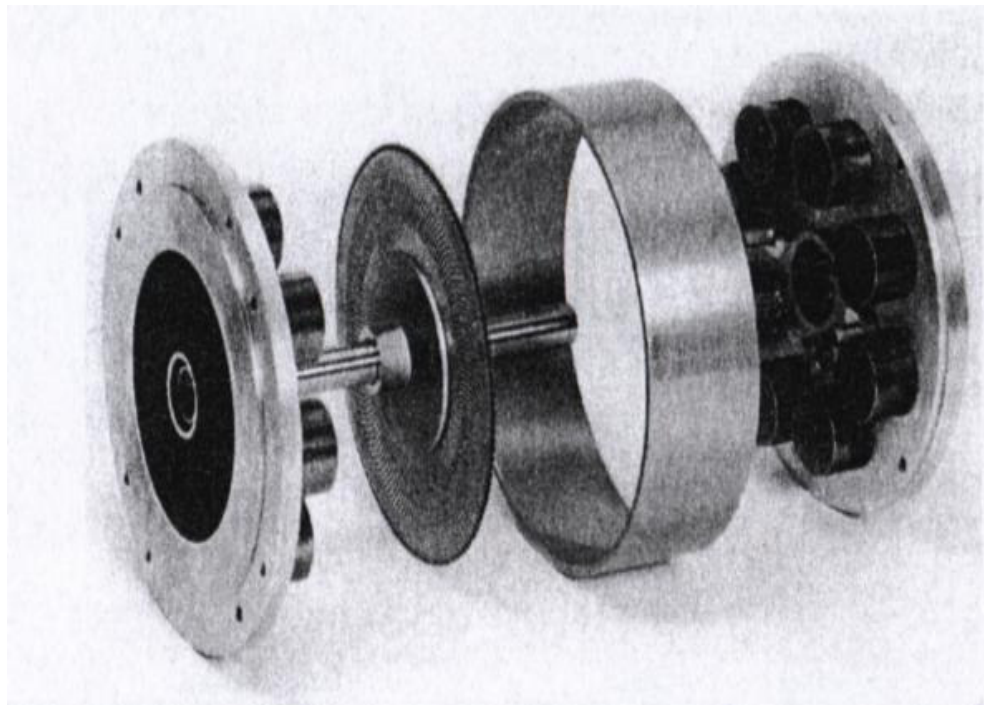


Motoare cu flux axial

Servomotoarele de c.c. cu circuite imprimate cu rotor disc

Rotorul este de forma unui disc pe care se afla imprimata infasurarea dupa tehnica realizarii cablajelor;

➤ Este un motor cu flux axial, cu un design foarte compact



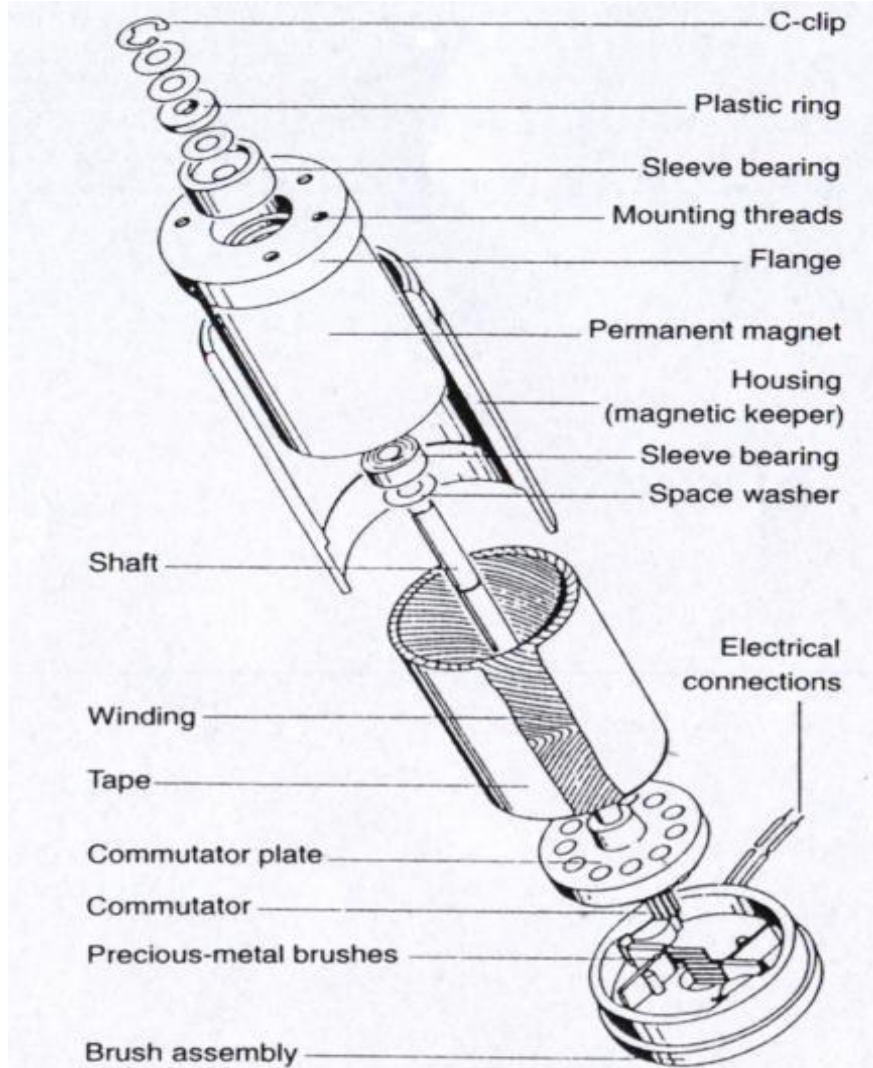
➤ Prin utilizarea unor magneti din pamanturi rare, dimensiunile motorului sunt reduse

➤ Au o inertie redusa, ceea ce duce la un raport cuplu/inertie foarte bun si cu atingerea rapida a vitezei de regim;

➤ Cu un numar mare de perii si segmente pe colector se obtine un cuplu neted;

➤ Inductanta redusa a masinii permite o viata lunga a periiilor, lucrul la viteza mare.

Servomotoarele de c.c. cu circuit rotoric obținut prin rigidizarea conductoarelor cu rășini epoxidice



-Construcție inversată, cu rotorul la exterior și statorul (realizat din material magnetic) la interior;

-Înfășurarea rotorică este realizată din conductoare rigidizate cu rășină, fără miez feromagnetic, ușor înclinate pentru reducerea riplurilor de cuplu și cuplate la colector.

-Periile sunt realizate din metal prețios asigurând astfel o rezistență de contact redusă;

OBSERVAȚIE.

Datorită inductanței rotorice reduse, utilizarea acestui tip de motor se va limita la sisteme de acționări liniare sau cu frecvențe de comutație foarte mari pentru a reduce riplurile de curent la minim.

Servomotoarele de c.c. – avantaje

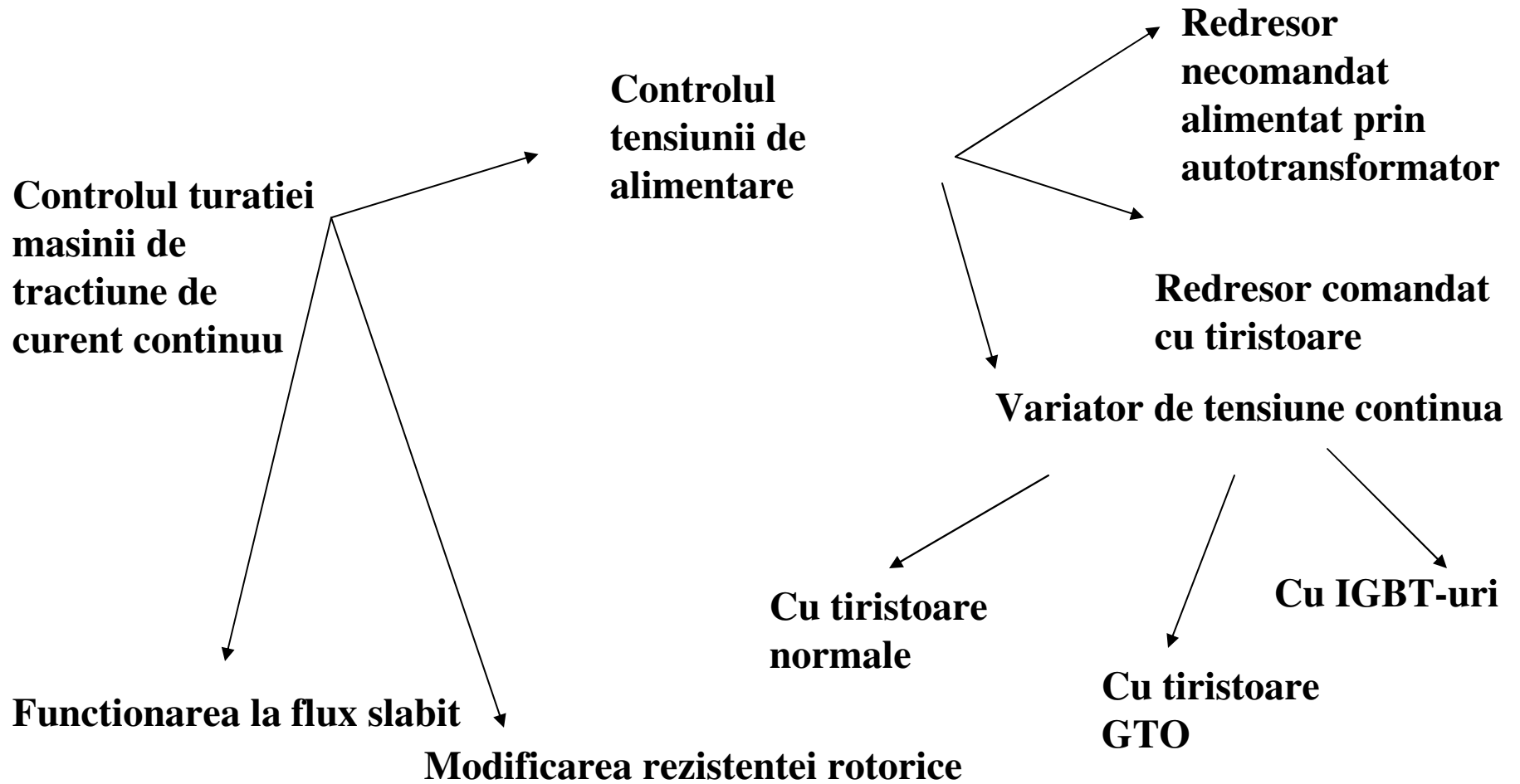
- Putere specifica relativ mare datorita utilizarii rationale a materialelor active;
- Caracteristici mecanica sunt riguros liniare din cauza inexistentiei saturatiei magnetice, a efectelor curentilor turbionari sau a histerezei;
- Constanta de timp electrica neglijabila din cauza inductivitatii extrem de reduse a indusului, iar cea mecanica este foarte mica din cauza greutatii mici a rotorului;
- Poseda camp magnetic de excitatie propriu, produs de magneti permanenti;
- Gama de viteze foarte larga, in ambele sensuri (1-6000 rot/min).
- Utilizarea periilor din metal pretios determina frecari reduse si un cuplu de pornire redus; datorita calitatii contactului perie-comutator emisiile perturbative sunt minime;
- Suporta bine suprasarcini din cauza densitatii admisibile a curentului in indus (45 A/mm^2 in regim de lunga durata si de 100 A/mm^2 in regim de scurta durata) precum si din cauza aerisirii mai bune a rotorului.

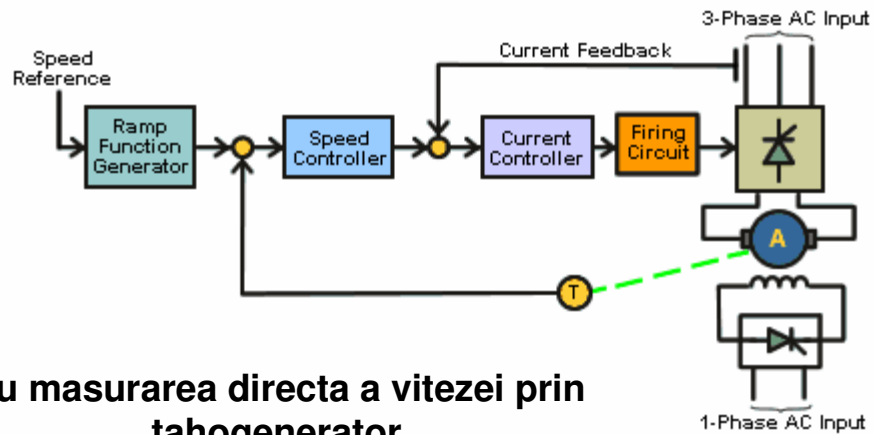
MOTOARE DE CUPLU



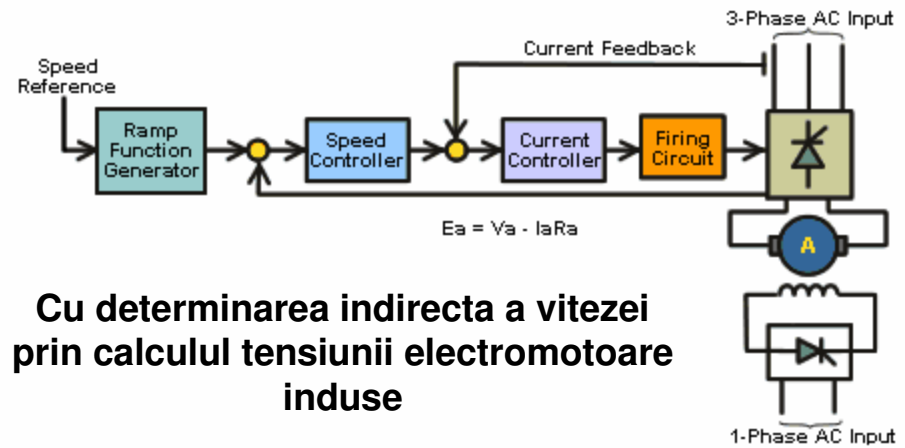
- Se refera la motoare de c.c. cu diametru mare, asa numitele motoare de c.c. cu magneti permanenti de cuplu
- Sunt motoare de cuplu mare si viteza redusa, pentru aplicatii necesitand miscare de precizie la viteze reduse (sisteme de actionare a telescoapelor, de exemplu);
- Numarul de segmente ale colectorului si numarul de perechi de perii este mult mare decat la un motor obisnuit pentru a asigura ripluri cat mai reduse ale cuplului;
- De cele mai multe ori se construiesc in varianta fara carcasa, direct pe sistemul mecanic, ceea ce presupune o mare atentie la asamblare (pentru a reduce excentricitatile si a pastra un intrefier constant)

Controlul vitezei la masinile de curent continuu





Cu masurarea directa a vitezei prin tahogenerator

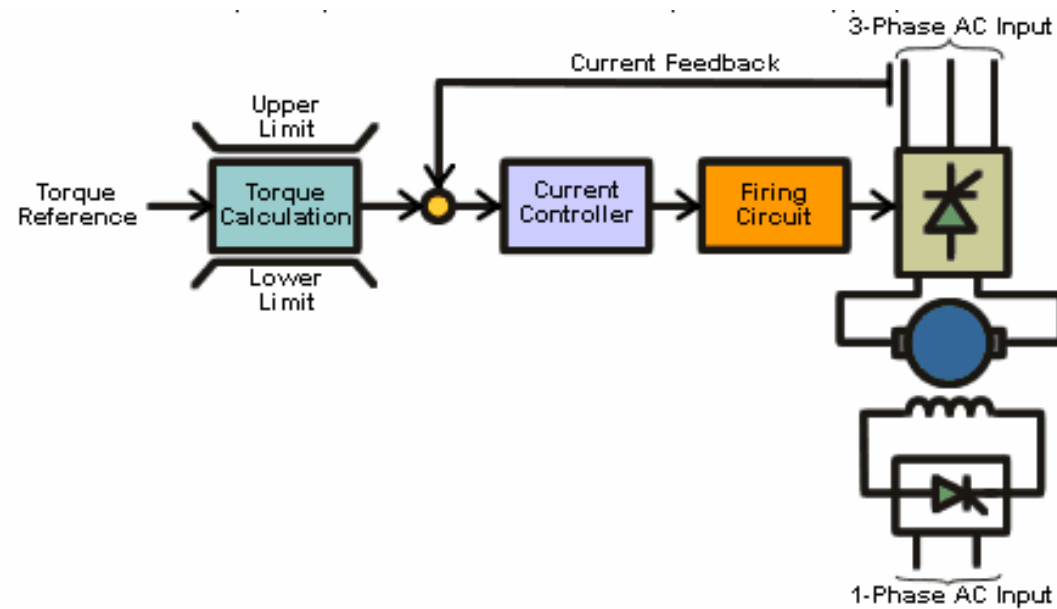


Cu determinarea indirecta a vitezei prin calculul tensiunii electromotoare induse

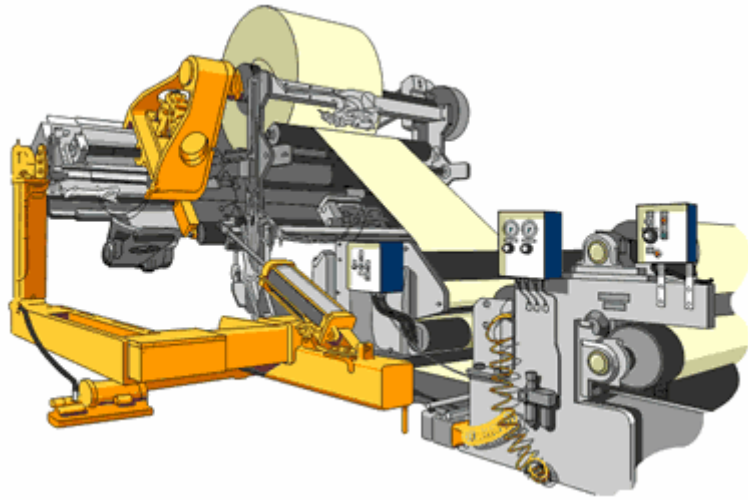
Controlul de cuplu la masinile de curent continuu

$$T = kI\Phi$$

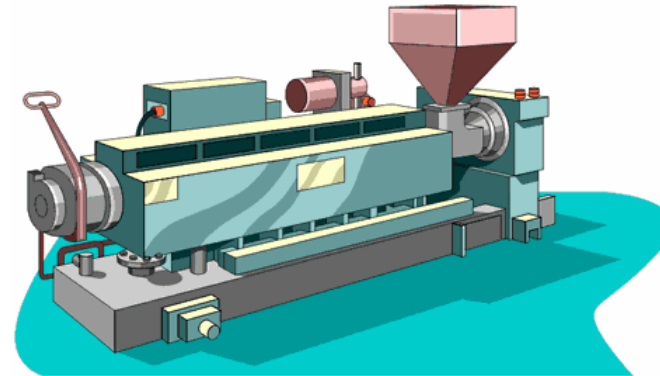
Prin controlul curentului in
circuitul rotoric



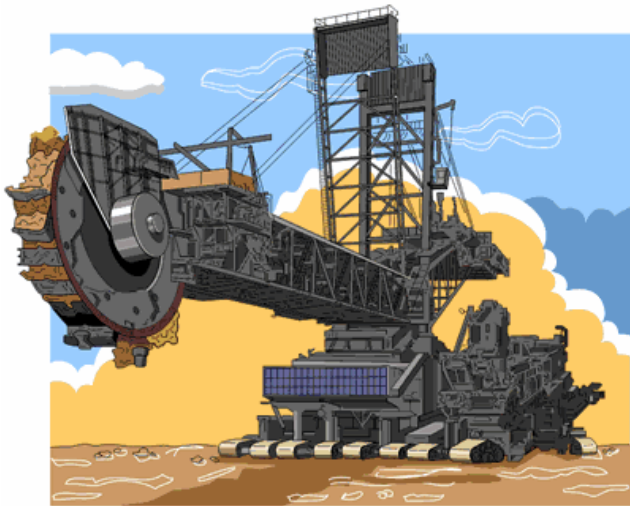
Exemple de aplicatii ale sistemelor de actionare de curent continuu



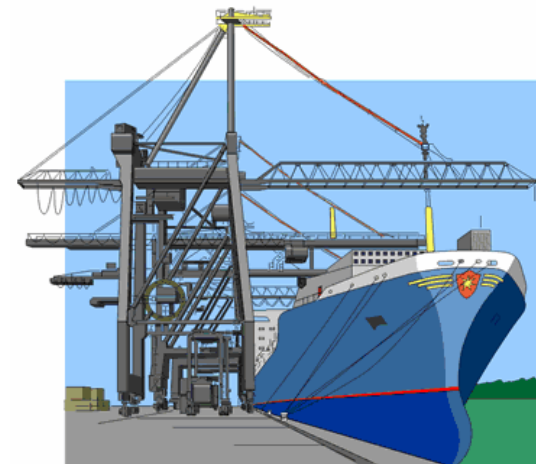
Masini de bobinat sau de intins



Masini de extrudat

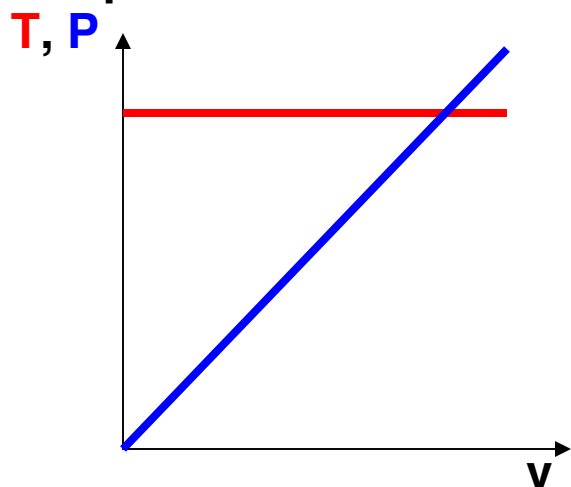


Masini de extragere a minereului

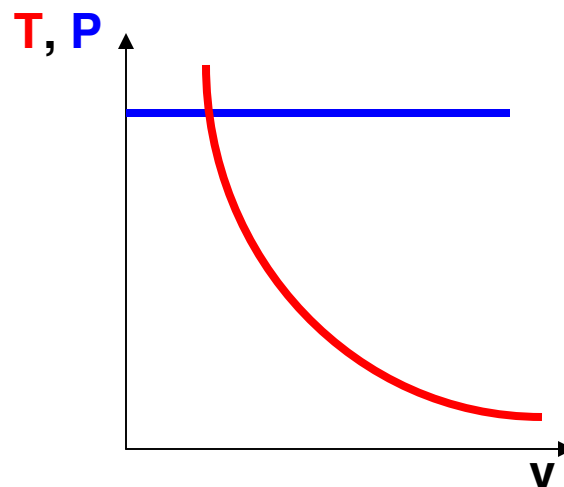


Macarale si poduri rulante

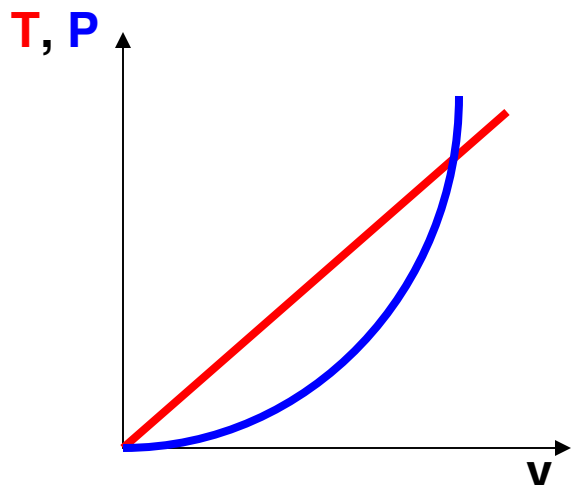
Tipuri de sarcini actionate cu sisteme de actionare de curent continuu



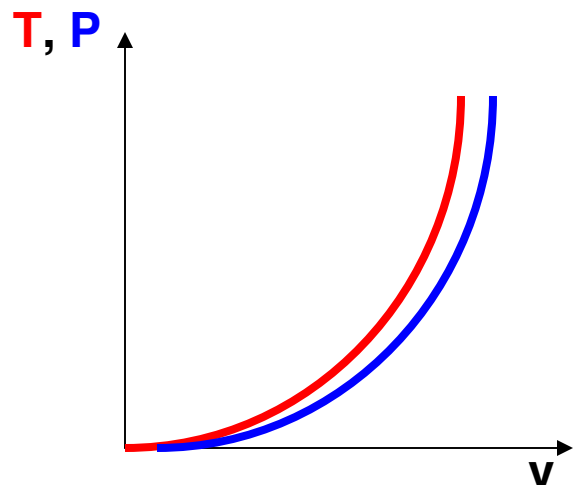
Macarale, benzi transportoare,
raboteze



Masini de bobinat, masini unelte
aschietoare, strunguri rotative

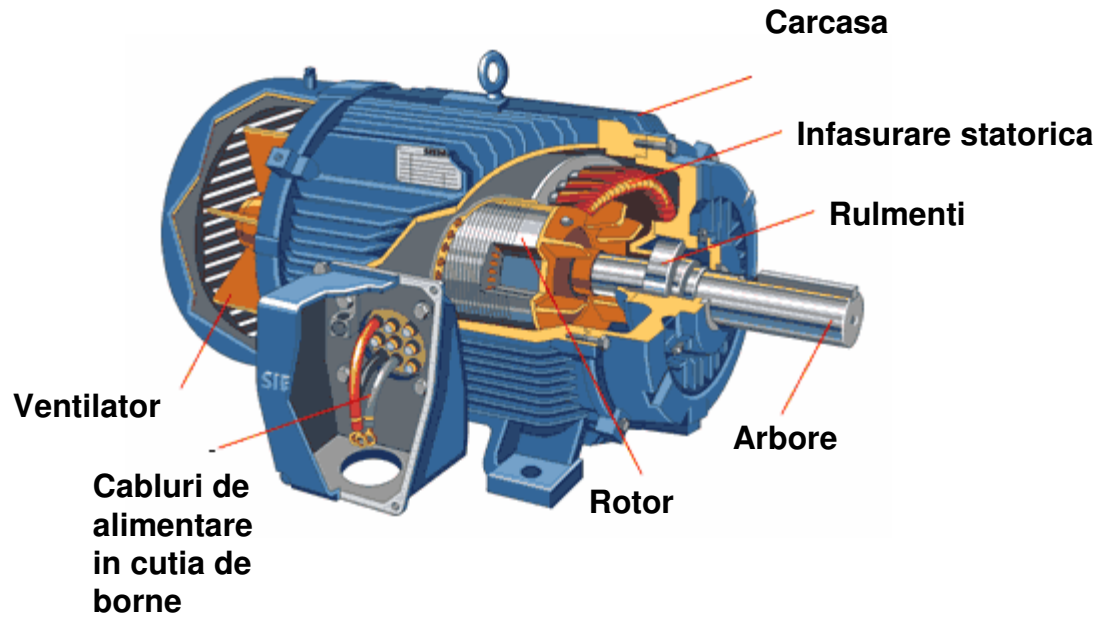


Calandre, frane pe baza de curenti
turbionari



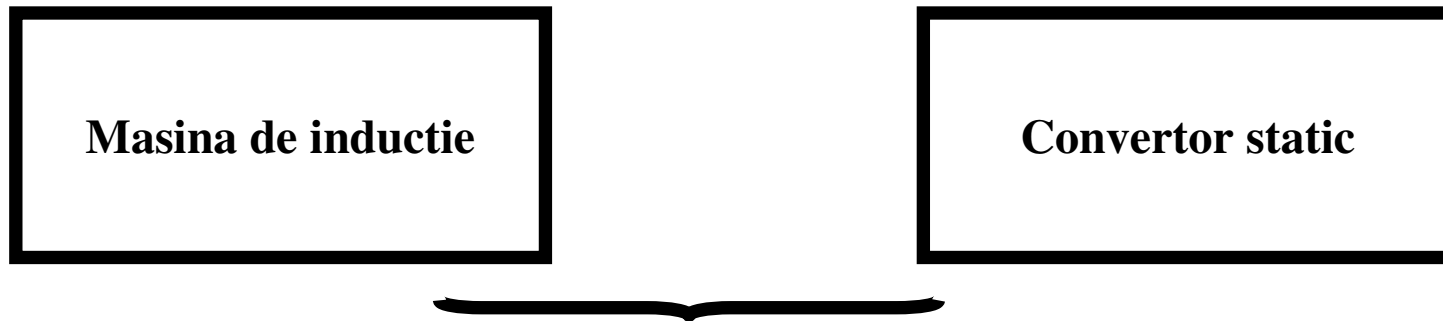
Pompe, Centrifugi

MASINI ASINCRONE TRIFAZATE



AVANTAJE ale utilizarii masinilor asincrone:

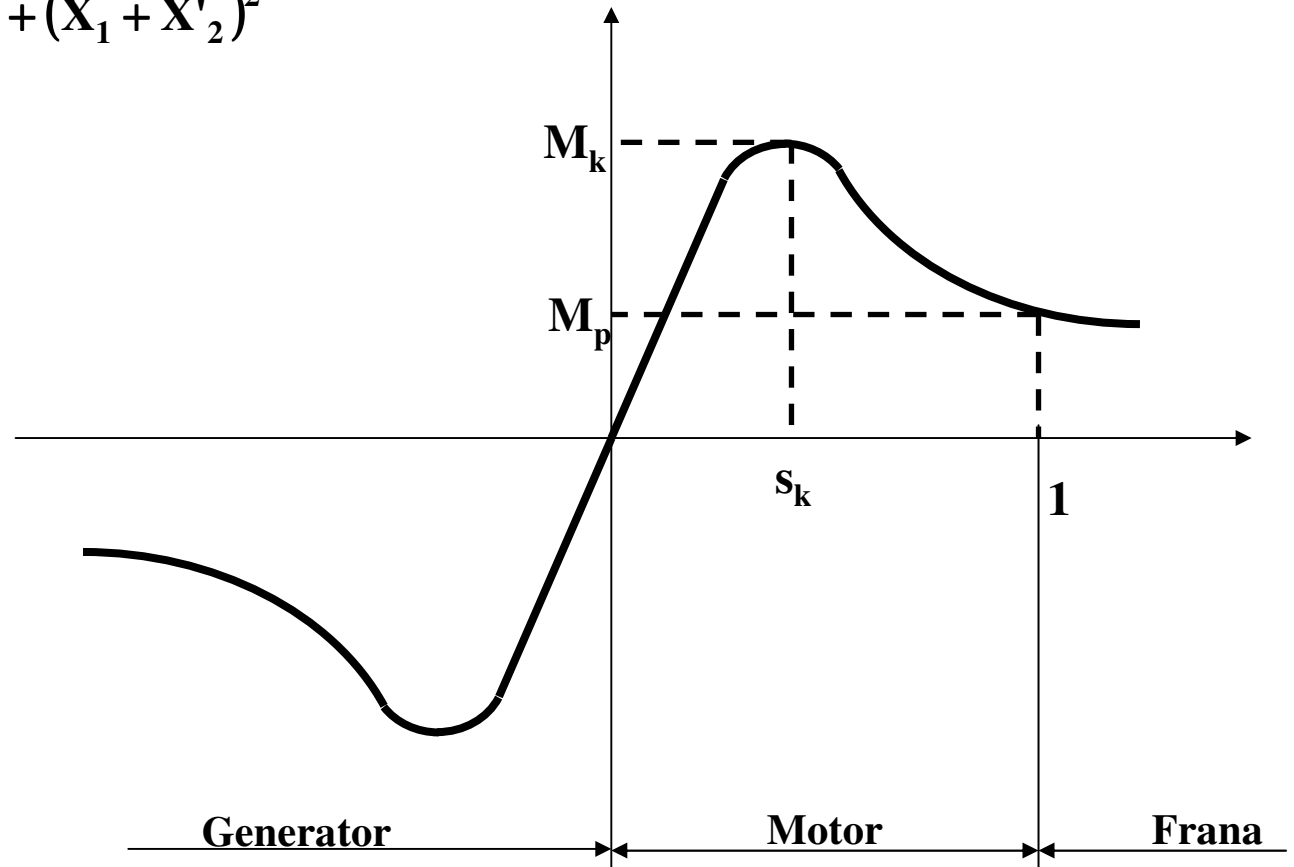
- **La puteri egale, au dimensiuni, greutate si cost mai redus decat masinile de c.c. cu colector;**
- **La acelasi gabarit, dezvoltata putere si turatie mai mari;**
- **Intretinerea este mult mai usoara;**
- **Fiabilitatea este mai mare.**



Permit obtinerea unor performante superioare masinilor de c.c.

CARACTERISTICA MECANICA A MASINII DE INDUCTIE

$$M = \frac{m_1 p R'_2}{2\pi f_1 s} \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}$$



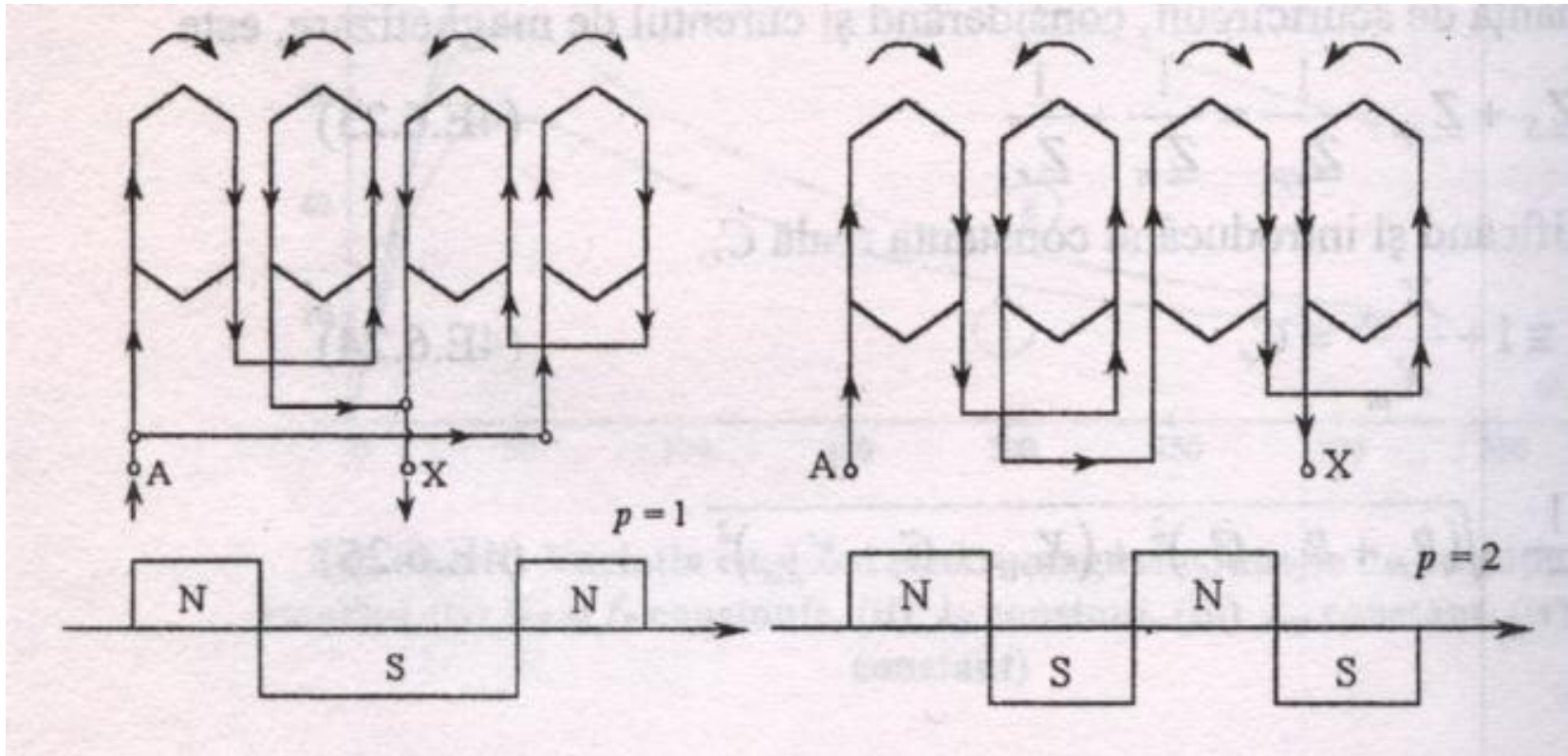
OBSERVATII.

- **Alunecarea nominala corespunzatoare cuplului nominal este cuprinsa in mod uzual intre 1% si 6% (valorile mai mari pentru motoare de puteri mici).**
- **Alunecarea critica ia valori in jur de 20%.**
- **In regim de motor, functionarea stabila este asigurata numai pe portiunea caracteristicii pentru care $0 < s < s_k$.**
- **Comportarea masinii de inductie la socuri de sarcina este caracterizata prin capacitatea de supraincarcare a masinii, definita ca raportul dintre cuplul maxim(critic) si cuplul nominal. La masinile de inductie de puteri mici si medii ia valori intre 2 si 2.4.**
- **Se constata ca la o masina de inductie viteza variaza putin de la functionarea in gol la functionarea in sarcina. Se spune ca masina de inductie are o caracteristica mecanica dura(rigida).**

REGLAREA VITEZEI MASINILOR DE INDUCTIE

$$\Omega [\text{rad/sec}] = 2\pi n [\text{rot/sec}] = 2\pi \frac{f_1}{p} (1 - s)$$

1. Reglarea vitezei prin modificarea numarului de perechi de poli – masini de tip Dahlander



2. Reglarea vitezei prin intermediul frecventei statorice

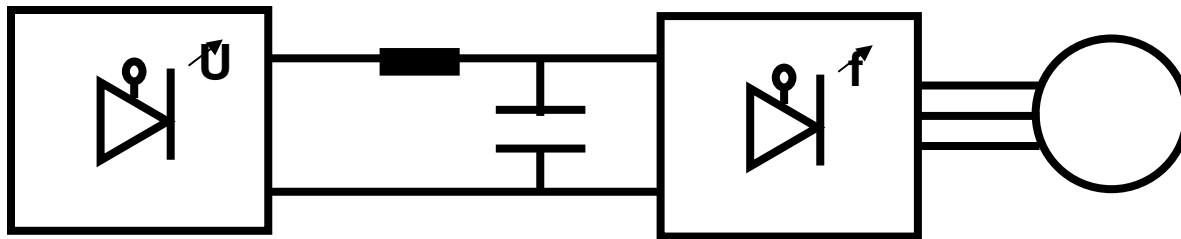
- **Modificarea frecventei se va face in asa fel incat fluxul magnetic maxim pe pol sa fie mentinut constant, ceea ce presupune ca, odata cu frecventa sa aiba loc si o modificare adecvata a tensiunii**

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1N}}{f_{1N}} = \text{const}$$

- **Realizarea practica a schimbarii frecventei implica prezenta unui convertor de frecventa**

- **Convertoare directe (cicloconvertoare)**
- **Convertoare indirecte (cu circuit intermediar de c.c.)**

Convertoare de putere cu circuit intermediar de c.c.

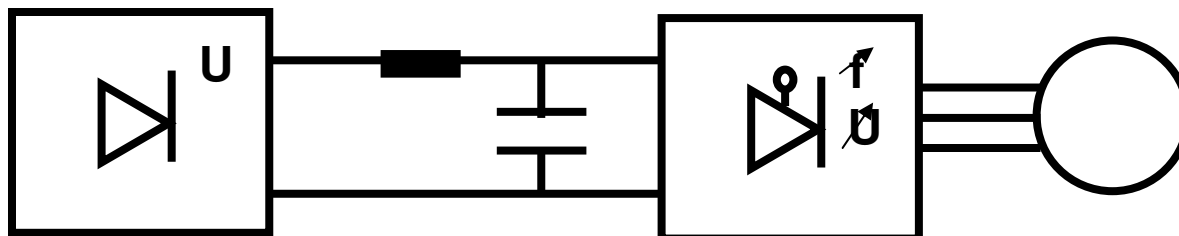


**Redresor
comandat**

Filtru

Invertor

Motor



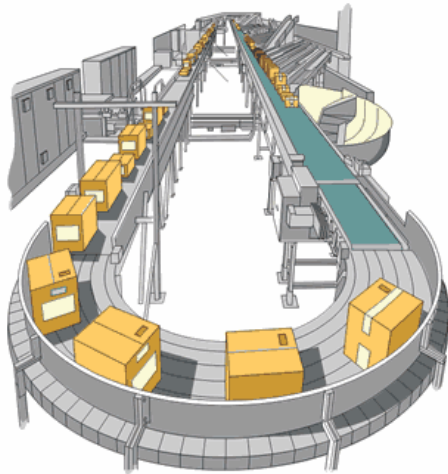
**Redresor
necomandat**

Filtru

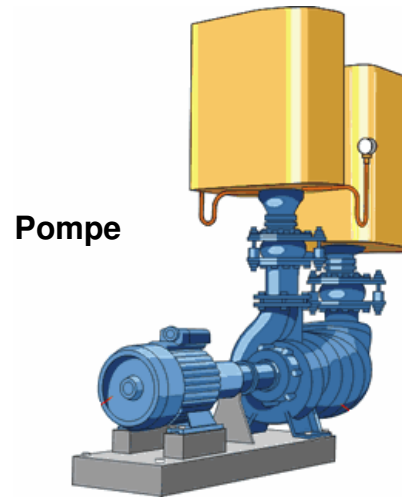
Invertor

Motor

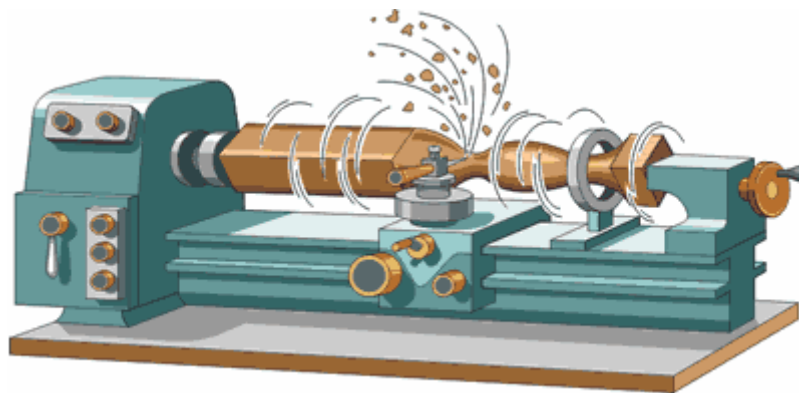
Exemple de aplicatii ale sistemelor de actionare de curent alternativ cu masini de inductie



Banda transportoare



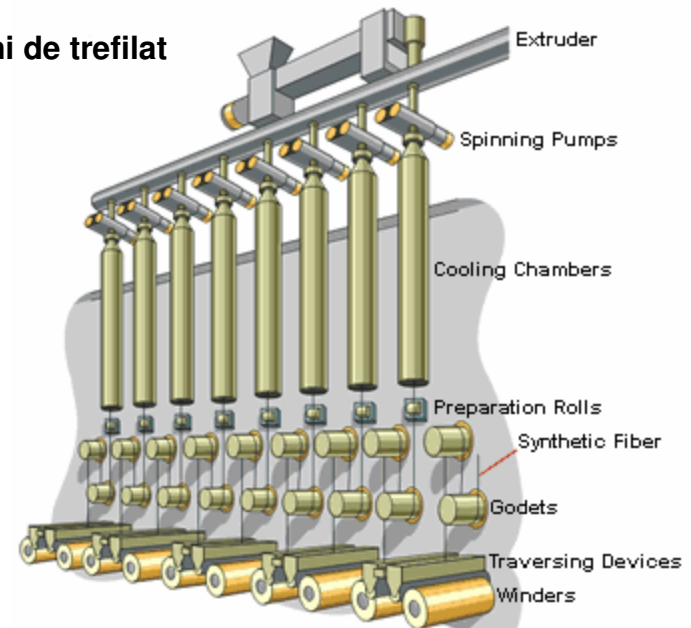
Pompe



**Strung pentru
prelucrarea lemnului**

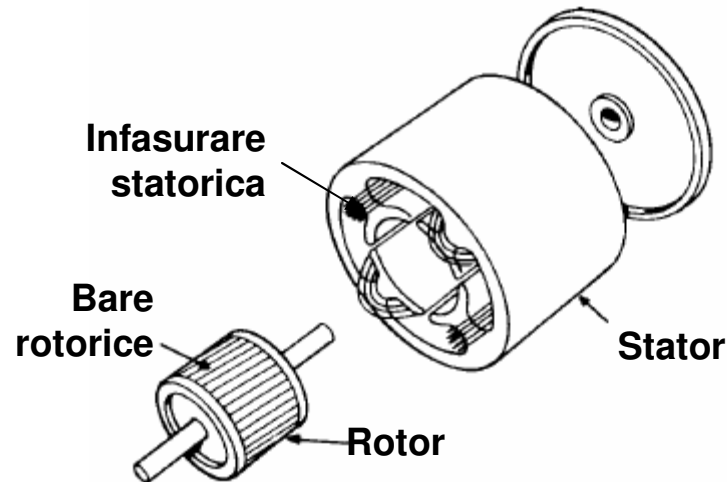
2007-2008

Masini de trefilat



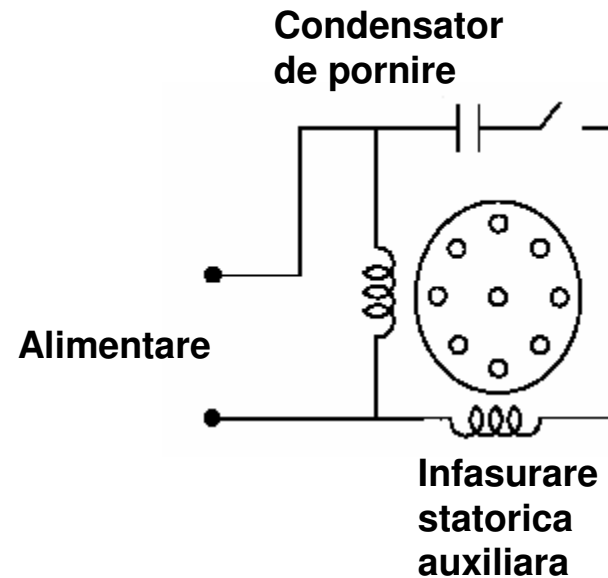
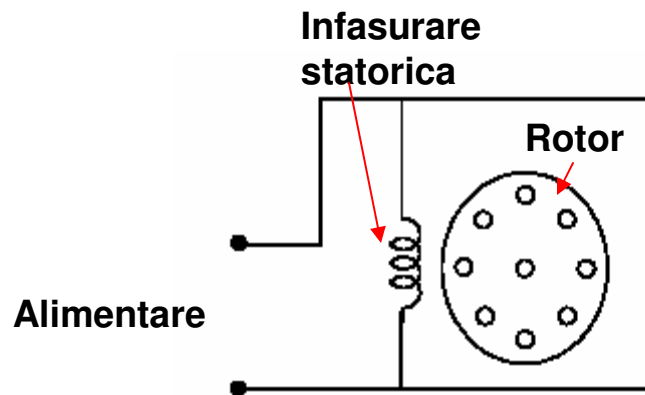
CET - CURS 3

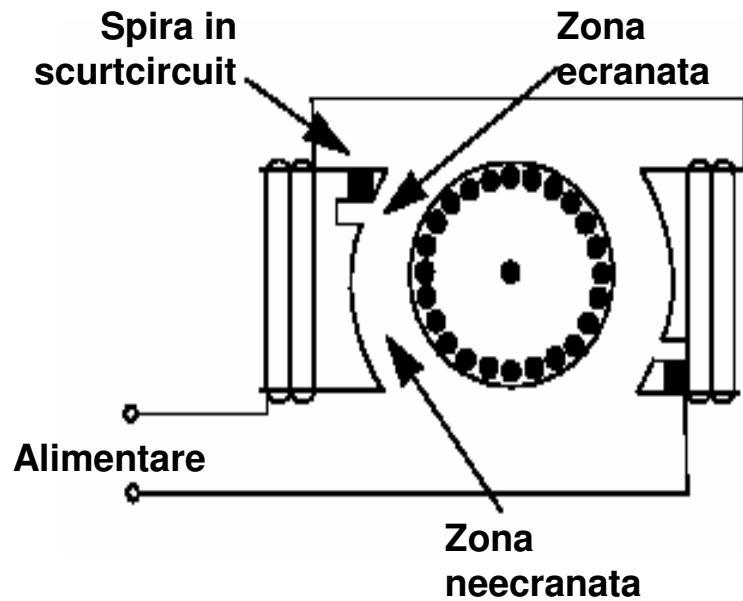
MASINI ASINCRONE MONOFAZATE



- Se alimenteaza de la o sursa monofazata de c.a.
- Se utilizeaza in sisteme ce functioneaza in medii in care nu exista c.a. trifazat (aparatura electrocasnica sau unelte de mana).
- Nu au cuplu de pornire.

Motor asincron monofazat cu infasurare auxiliara





**Motor asincron monofazat cu
spira in scurtcircuit**

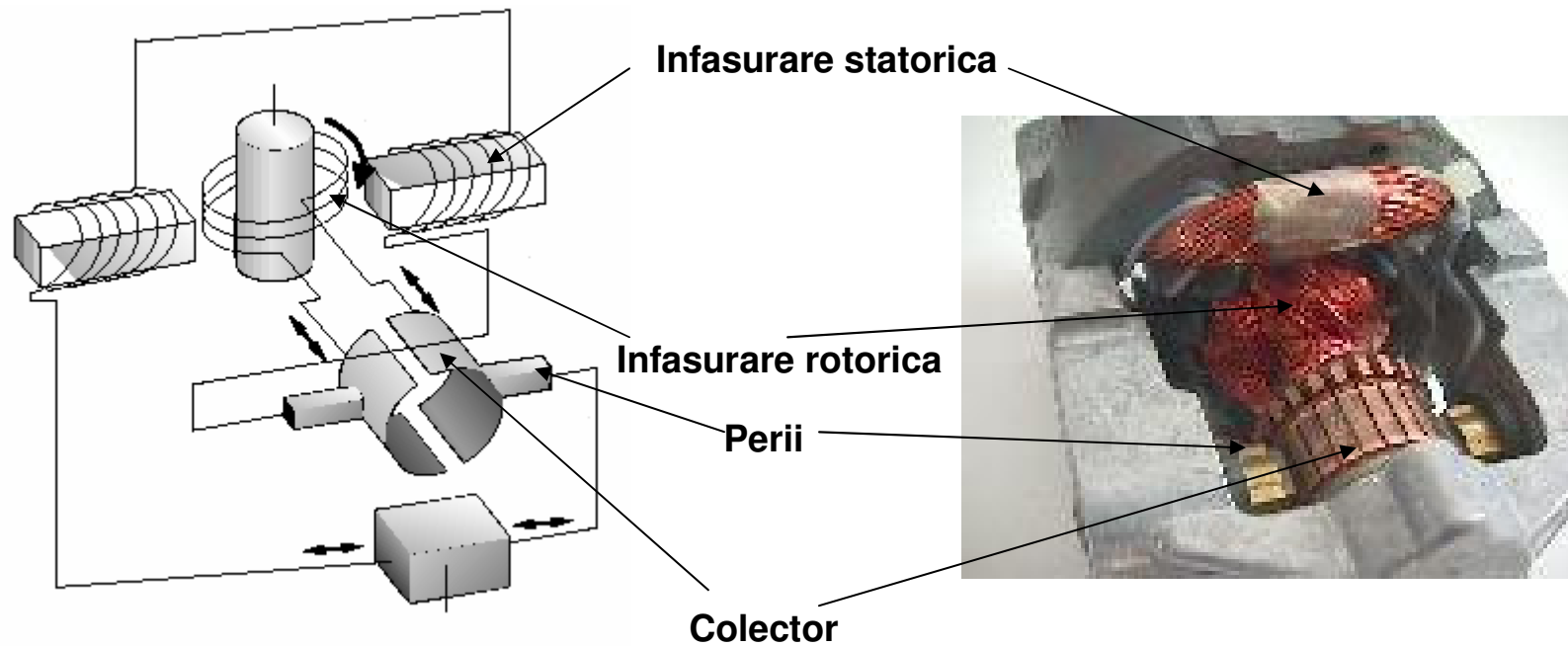
- **Cuplu de pornire de 25-75% din cuplul nominal.**
- **Randament mic.**
- **Cele mai dese aplicatii: ventilatoare de mica putere cu mai multe trepte de viteza.**

MOTOR UNIVERSAL

Aplicatii in care sunt necesare controlul vitezei si un cuplu mare

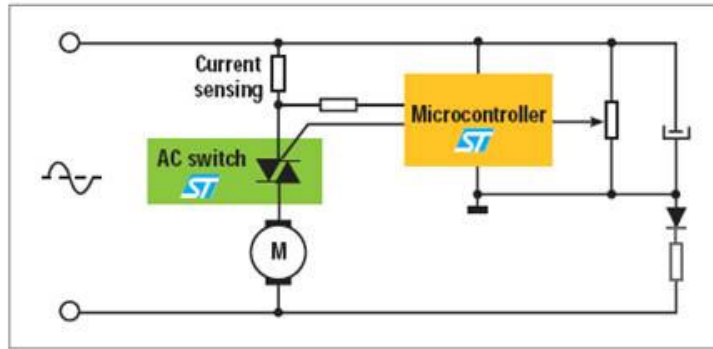
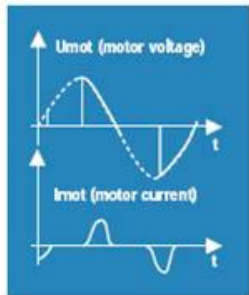
▶ Aparatura electrocasnica

▶ Unelte electrice



CONTROLUL VITEZEI

Prin controlul unghiului de faza



AC universal motor drive

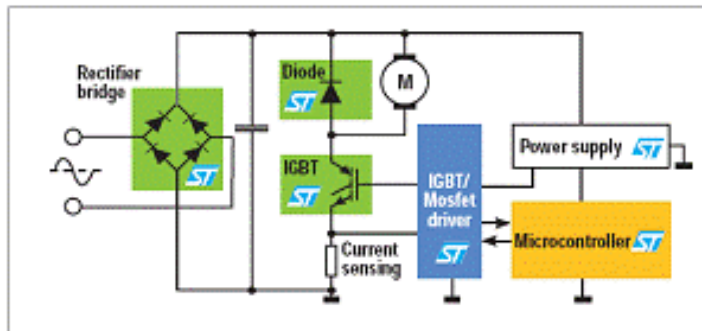
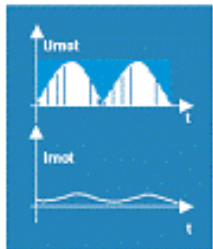
AVANTAJE

- simplitate,
- cost redus,
- control usor al vitezei

DEZAVANTAJE

- zgomot mare
- durata de viata redusa
- ripluri mari de curent
- probleme legate de compatibilitate electromagnetica

Utilizand tehnica PWM



High-frequency PWM universal motor drive

- ripluri reduse de curent
- zgomot redus,
- perturbatii reduse

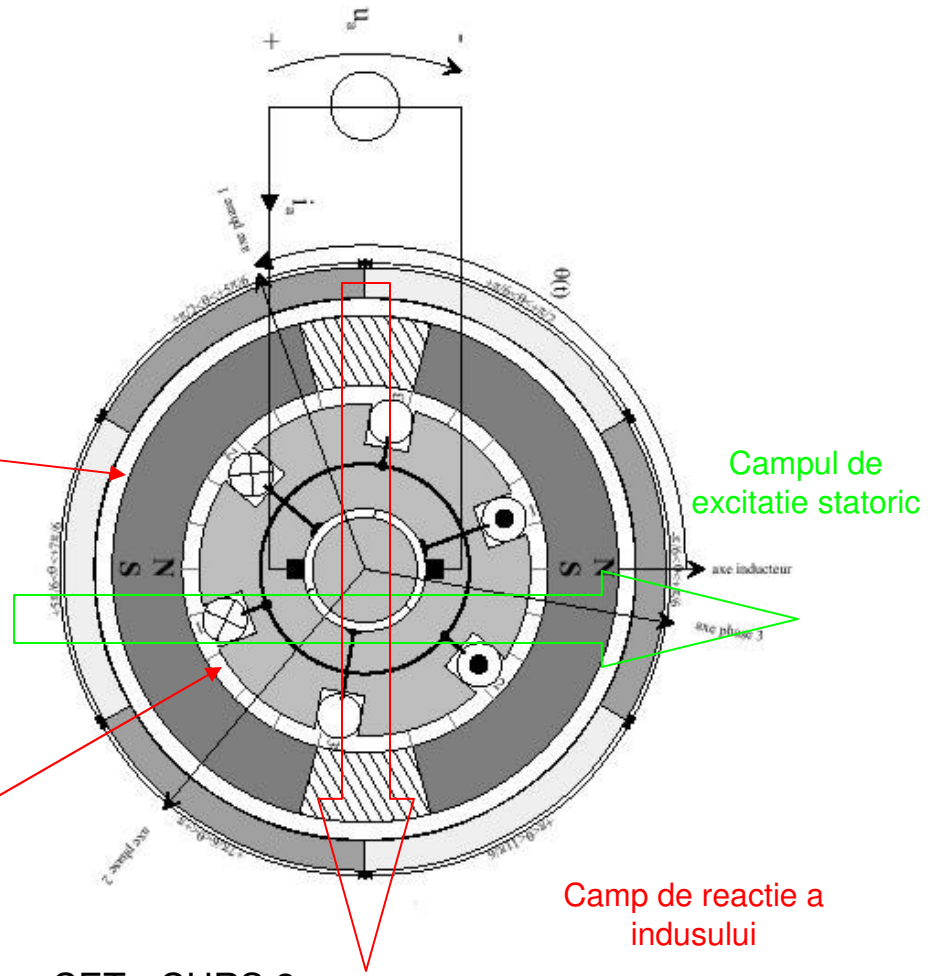
- mai multe componente
- pret mai mare
- necesita filtre de reducere a armonicelor



In **masina de c.c. clasica** excitatia este reprezentata de infasurari de c.c. instalate pe poli aparenti sau de magneti permanenti pe stator, in timp ce indusul este constituit de infasurari distribuite in crestaturi rotorice alimentate in c.c. printr-un sistem perii - colector.

Excitatie statorica –
magnetii permanenti

Indusul





Pentru **masina de c.c. cu colector** sistemul perii-colector are doua functii:



Comutatie mecanica

Transforma c.c. furnizat de sursa in c.a. polifazat in sectiile rotorice. Frecventa curentilor rotorici este proportionala cu viteza de rotatie.



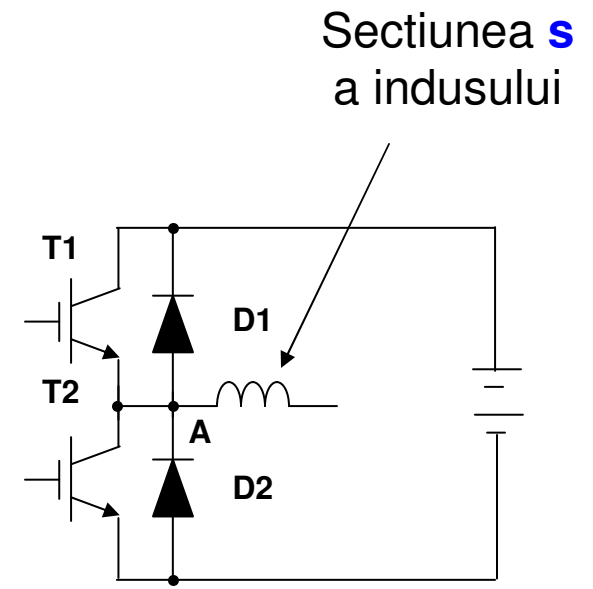
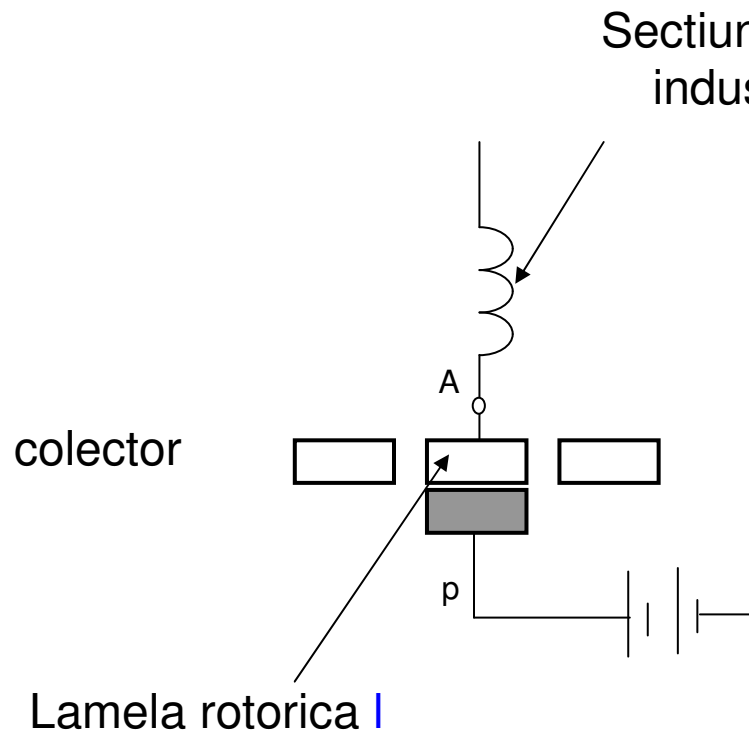
Detectia pozitiei rotorice

Detectia pozitiei axei campului magnetic rotoric.

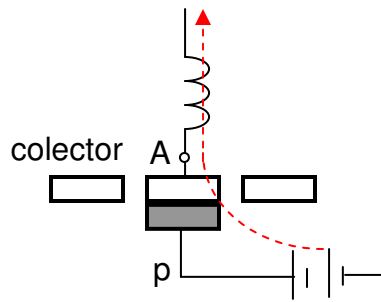


Pentru **masina de c.c. fara perii** sistemul perii-colector a fost inlocuit cu un circuit electronic de comutatie

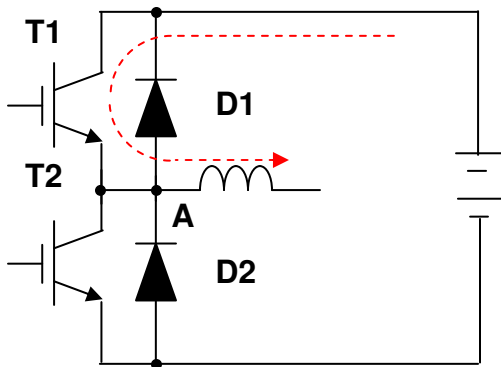
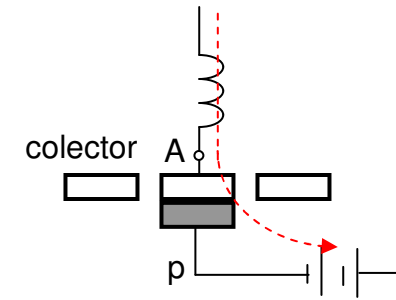
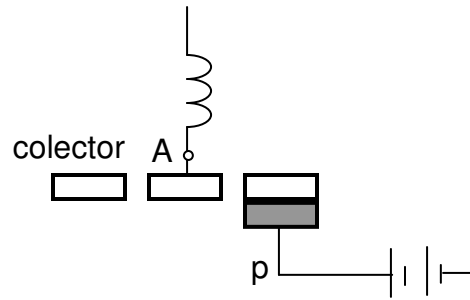
Echivalența între comutația mecanică și comutație electronică



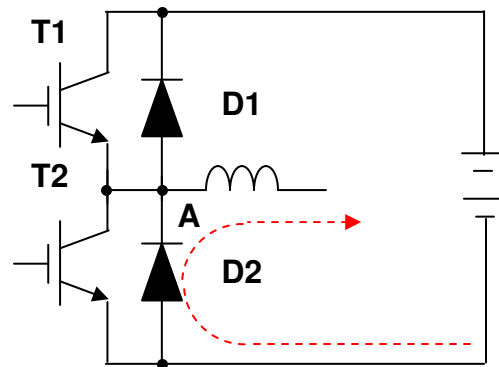
V_A pozitiv



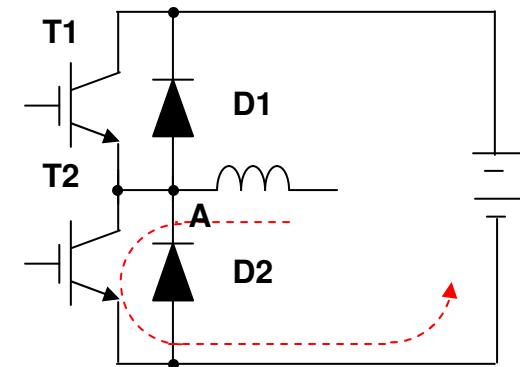
V_A negativ



**Prima stare:
conductie**

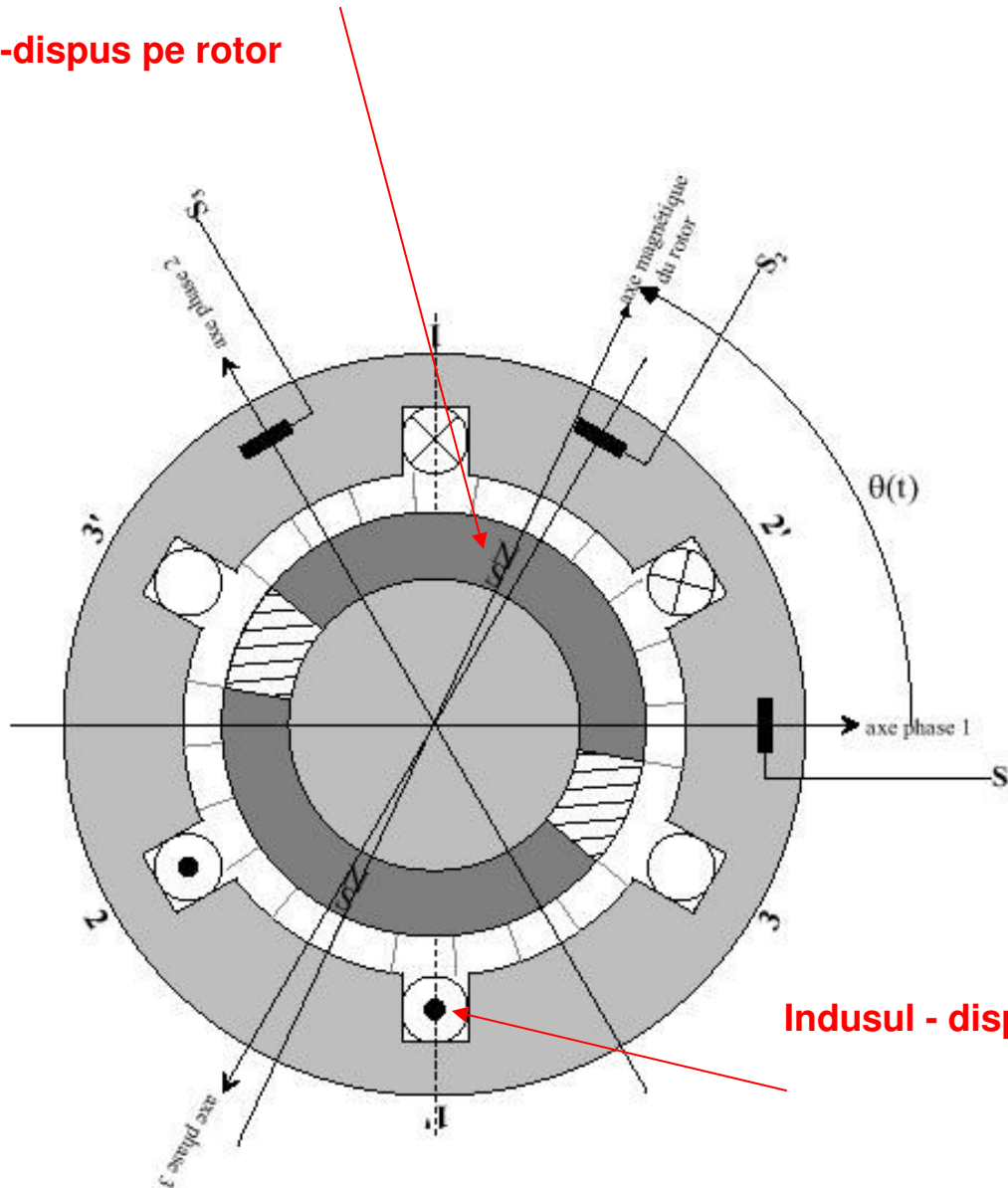


**A doua stare:
comutatie**



**Al treia stare:
conductie**

Inductorul
-dispus pe rotor



De precizat:

- Excitatie este instalata pe rotor, reprezentat de magneti permanenti
- Infasarile statorice sunt distribuite in crestaturi
- Colectorul este suprimat
- Este nevoie de un sistem de detectie a pozitiei partii mobile pentru alimentarea fazelor statorice

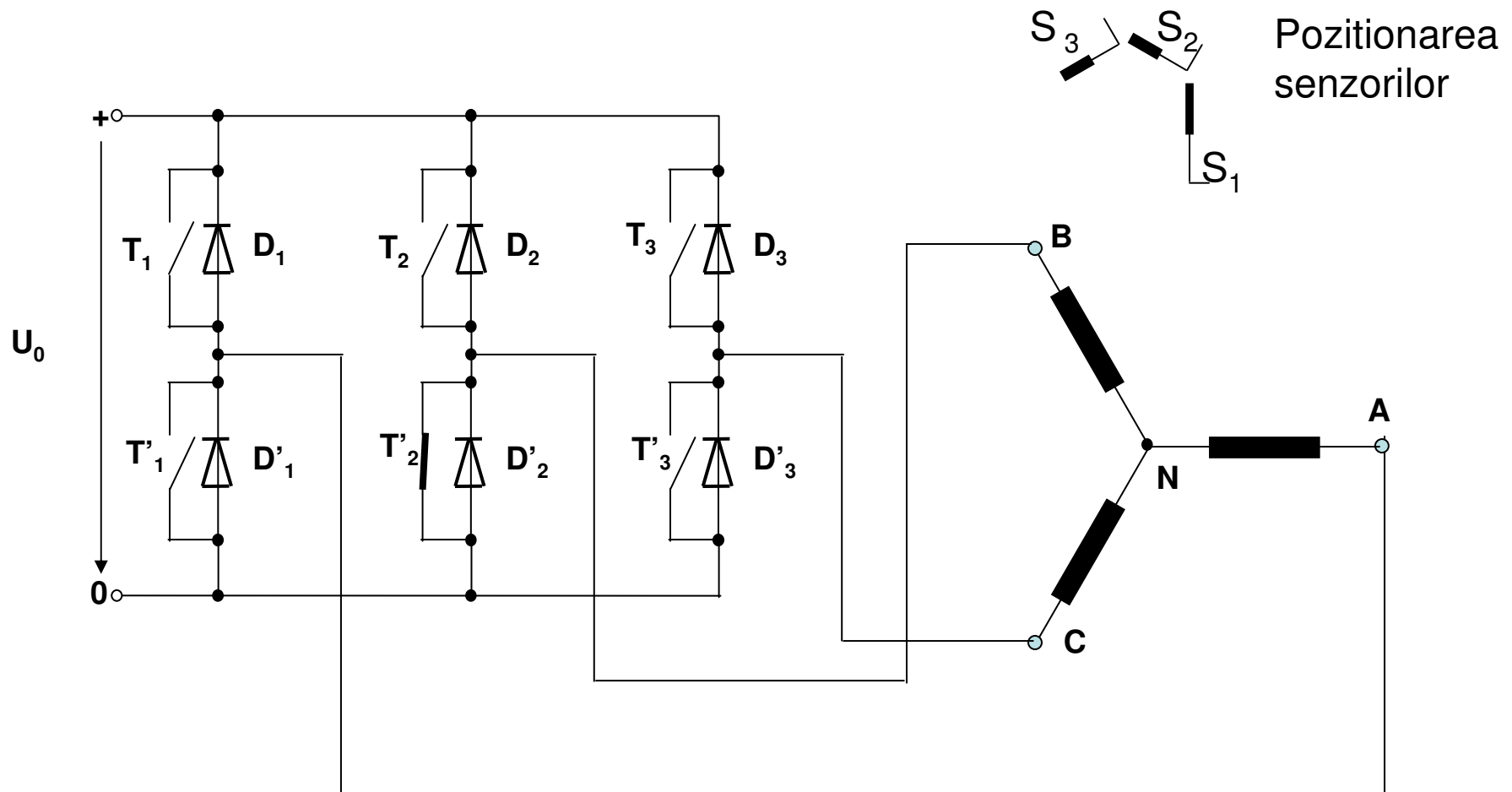
Indusul - dispus pe stator

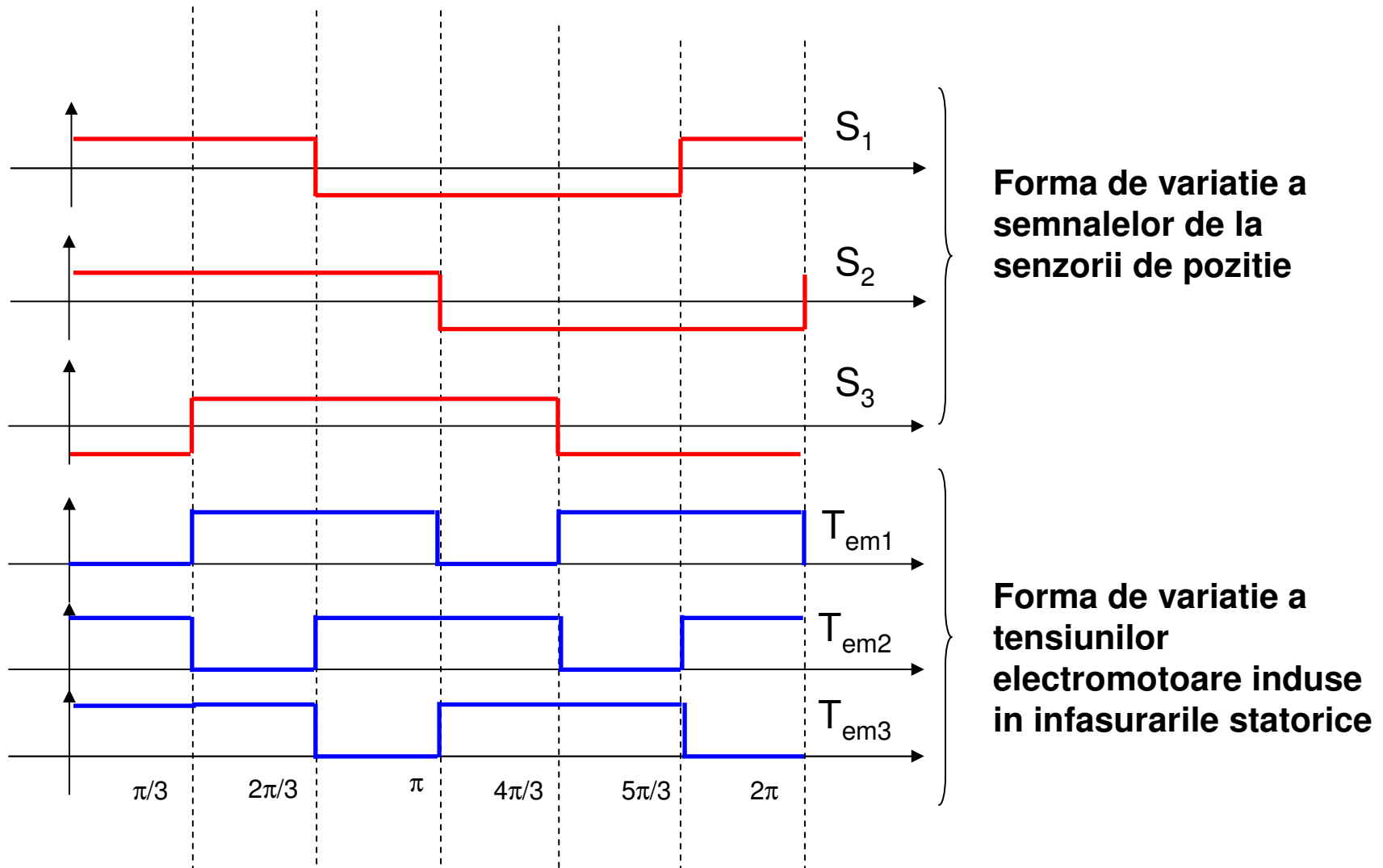
Detectia partii mobile



Directa – utilizand
traductori de pozitie

Indirecta – fara senzori
(sensorless)



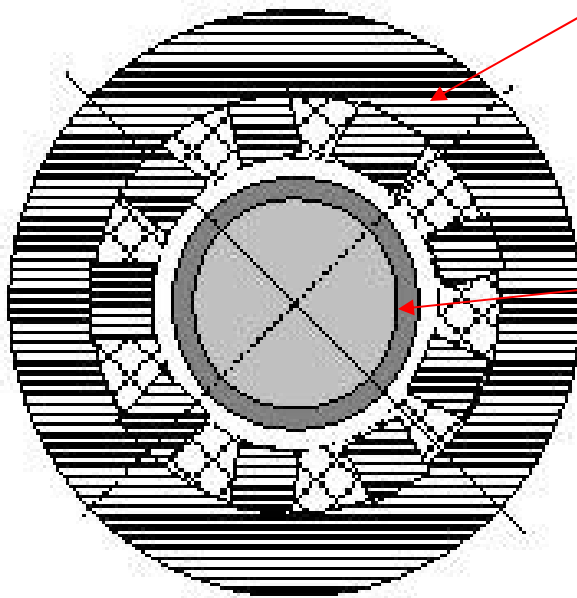


VARIANTE CONSTRUCTIVE

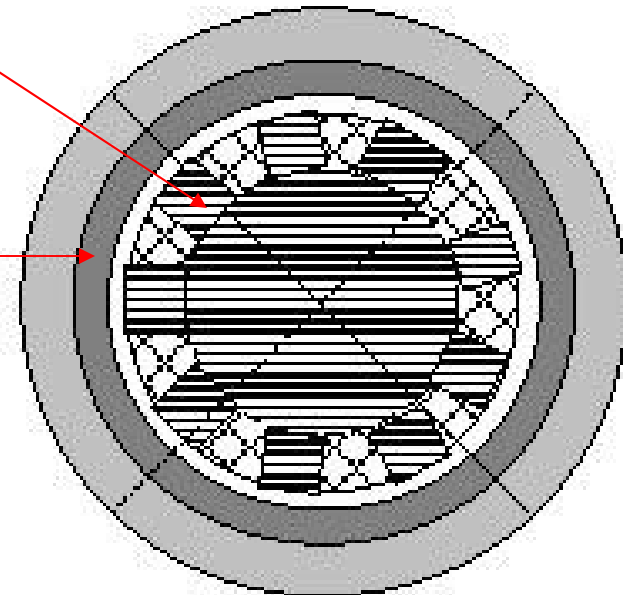
In functie de pozitia rotorului



Cu rotor interior



Cu rotor exterior

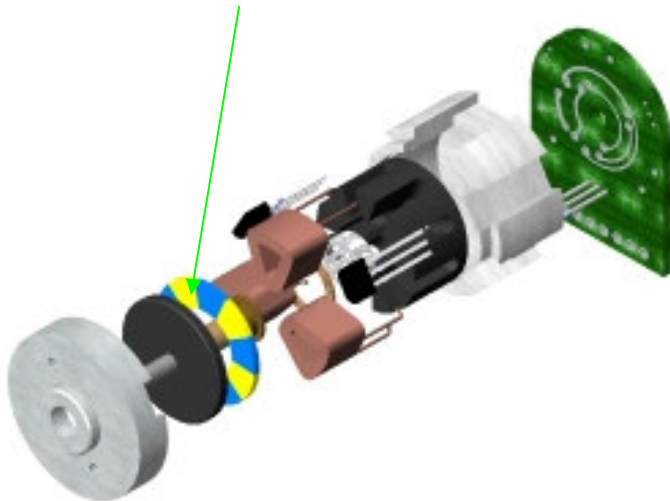


Cu rotor interior

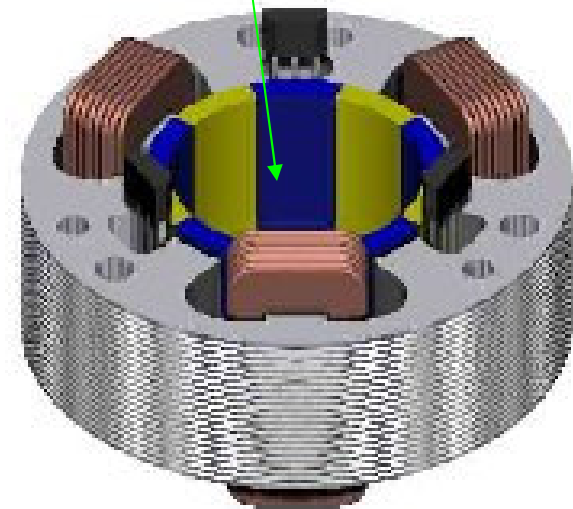
Prin forma partii mobile:



Cu rotor disc



Cu rotor inel



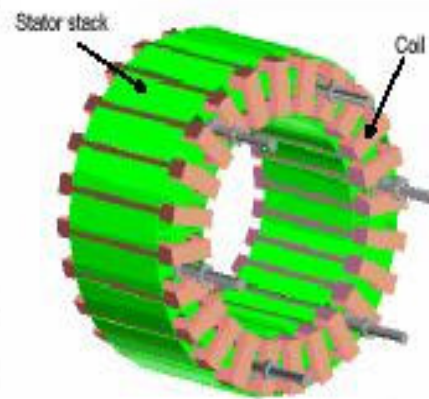
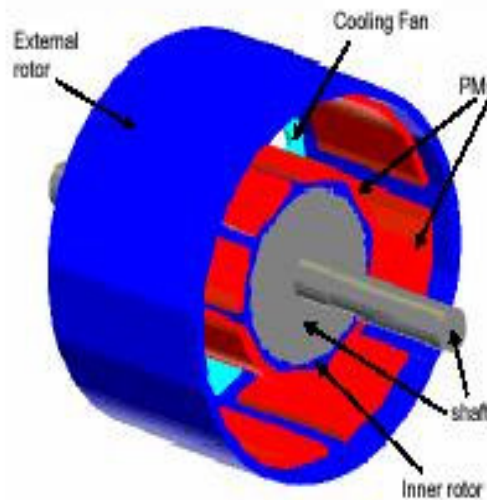
Dezavantaje:

- Suprafata curbata a magnetului permanent
- Consolidarea mecanica a magnetilor permanenti
- Intrefier relativ mare

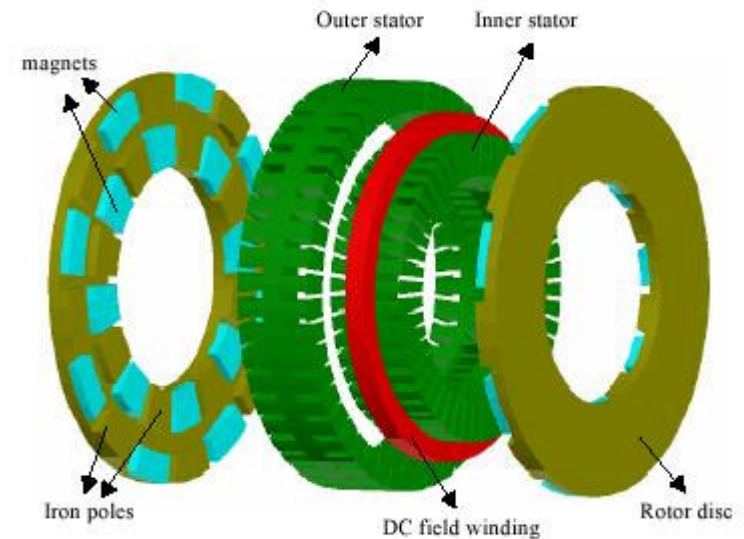
Cu rotor exterior

In functie de directia fluxului magnetic in intrefier

Cu flux radial

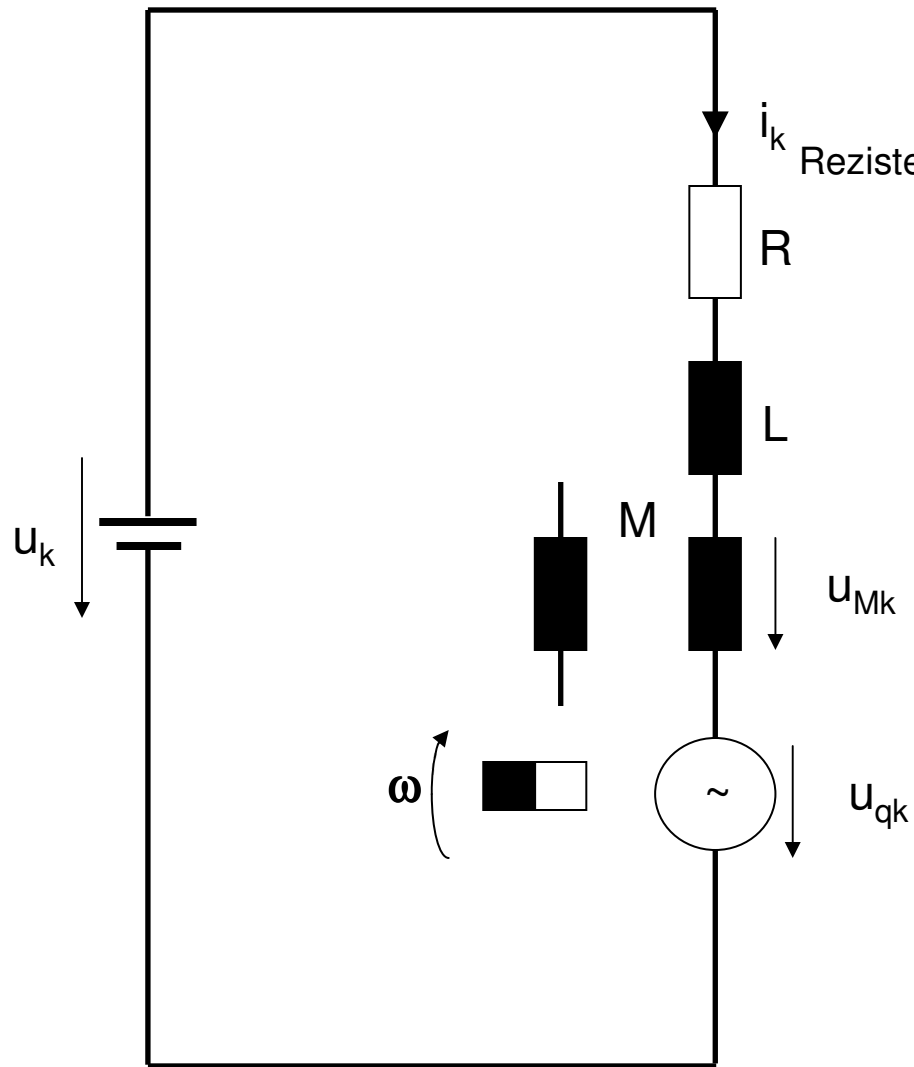


Cu flux axial



Avantaje:

- Moment de inerție ridicat, ceea ce permite utilizarea lor în sisteme de acționare cu viteză constantă
- Mod de instalare simplu al magnetilor permanenți
- Schimb termic mai bun
- Mult mai ușor de integrat într-un sistem



$$u_k = i_k R + L \frac{di_k}{dt} + u_{Mk} + u_{qk}$$

Rezistența fazei k
 Inductanța proprie a fazei k
 Tensiunea indusă de magnetul permanent
 Tensiunea indusă datorată inductanțelor mutuale



Pentru inductanțe mutuale nule sau pentru curenți constanți ea devine zero

Cuplul mediu determinat de o faza:

$$m_k = \frac{P_k}{\omega} = \frac{u_{qk} i_k}{\omega}$$

Cuplul total dezvoltat de o masina cu f faze:

$$M = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^f \int_0^T m_k dt = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^f \int_0^T u_{qk} i_k dt = f \frac{1}{2\pi} \int_0^T u_{qk} i_k dt$$

$\omega T = 2\pi$

Fiecare faza are o contributie egala

$$M = f \frac{1}{2\pi} \hat{u}_{qk} \int_0^T i_k dt = \frac{1}{2\pi} \hat{u}_{qk} T I$$

De-a lungul unei perioade in care i_k nu e zero u_{qk} este constanta cu valoarea maxima

$$I = \frac{1}{T} f \int_0^T i_k dt$$

Valoarea medie a curentului

Valoarea de varf a tensiunii induse de magnetul permanent:

$$\hat{u}_{qk} = \omega k \Phi$$

$$M = k I \Phi$$

O constanta dependenta de geometria motorului si de numarul de faze

Cerinte:



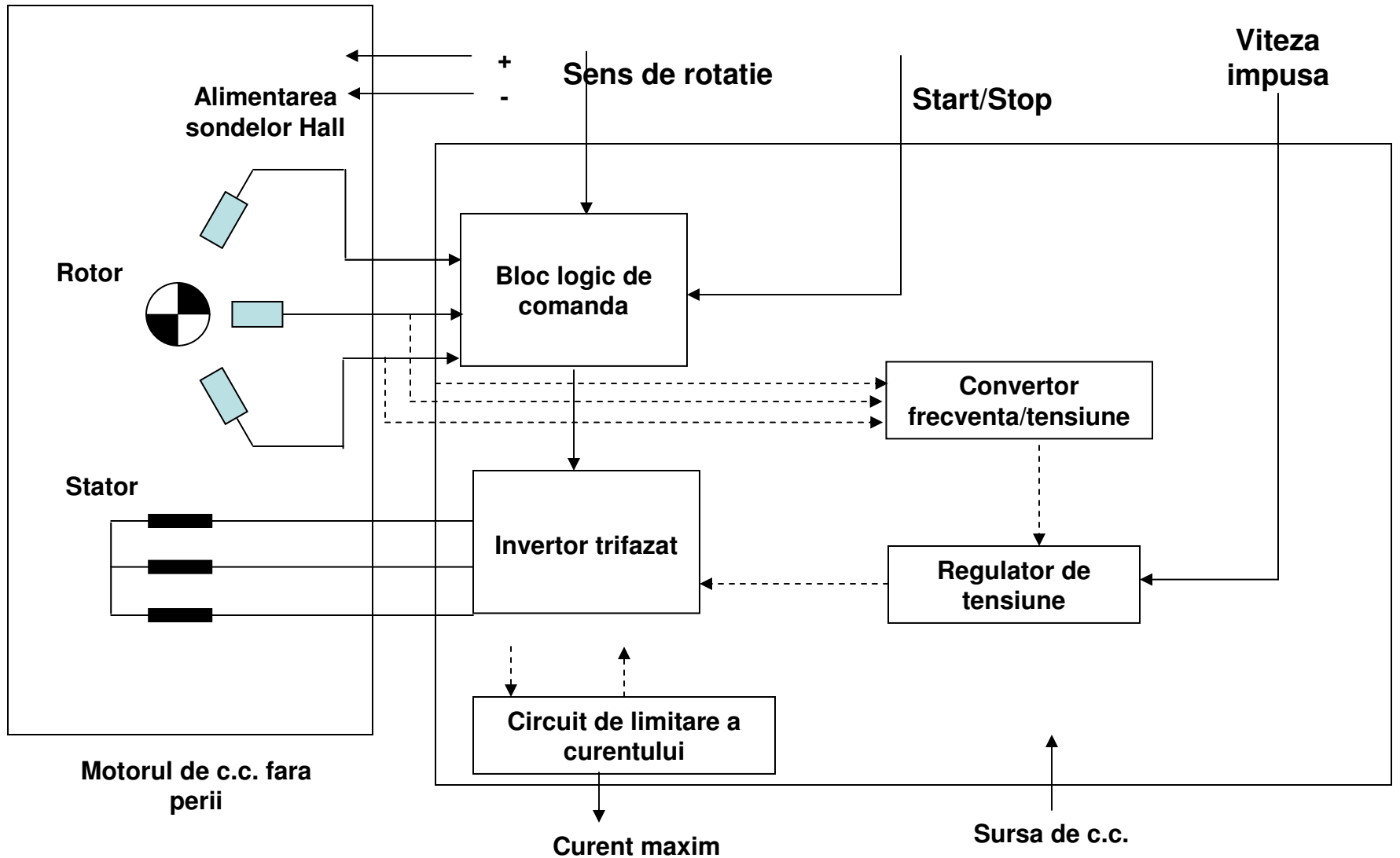
Magnetii permanenti trebuie instalati in circuitul magnetic astfel incat sa se obtina inductia magnetica necesara.



Magnetii trebuie sa aiba:

- **Stabilitate a caracteristicilor magnetice**
- **Rezistenta la socuri si la agenti chimici.**
- **Rezistenta electrica suficienta**
- **O temperatura de functionare superioara celei a circuitului magnetic.**

ALIMENTARE SI COMANDA PRIN TENSIUNI CVASI-DREPTUNGHIULARE



OBSERVATII



Invertorul este de tip trifazat, cu 6 celule de comutatie, permitand alimentarea bidirectionala a fiecărei faze a motorului.



Comutatoarele statice sunt tranzistoare MOSFET sau IGBT avand ca avantaje:

- **Comanda in tensiune cu consum redus de putere**
- **Frecventa inalta de comutatie**
- **Posibilitatea integrării diodei in tranzistor**



Pentru comanda Start/Stop se poate utiliza un circuit de tip ‘latch’



Pentru controlul vitezei se poate utiliza:

- **Un control de tensiune la intrarea inverterului prin variator de tensiune continua**
- **Control al tensiunii prin utilizarea unui inverter PWM**

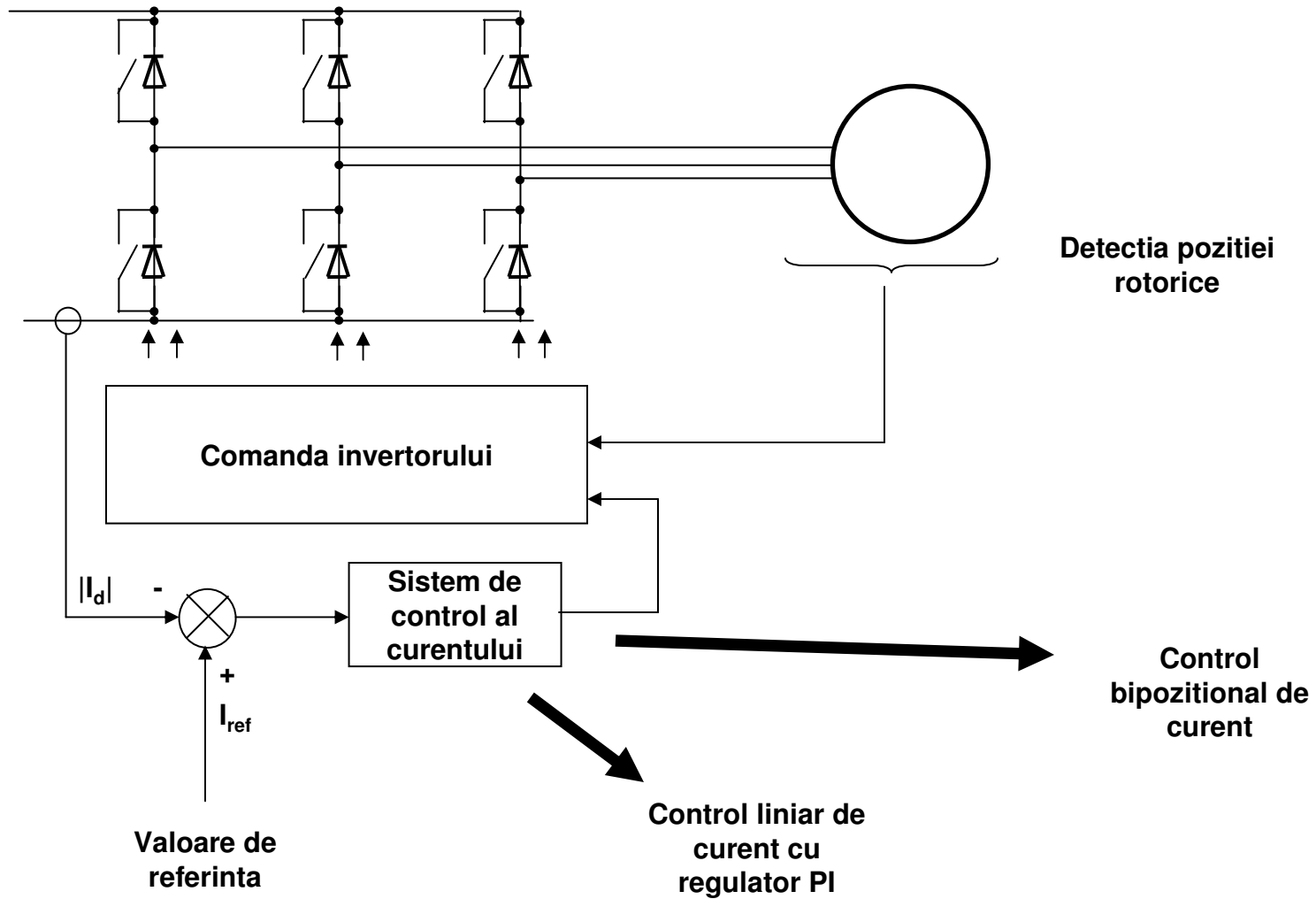
! Trebuie prevazut un circuit de limitare a curentului pentru a evita curentii periculosi in timpul comutatie!



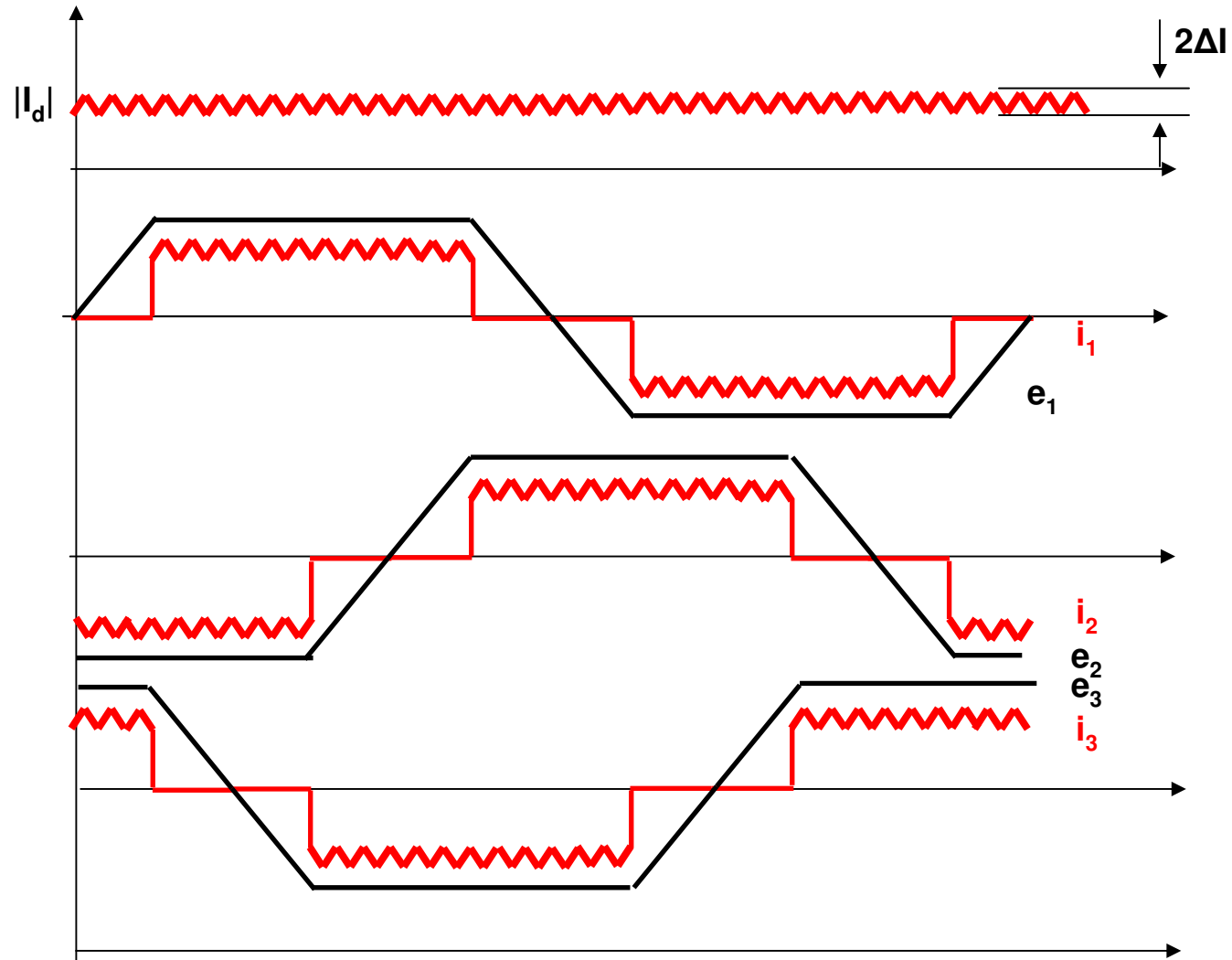
Pentru controlul cuplului trebuie stabilita o lege de variatie tensiune/frecventa.

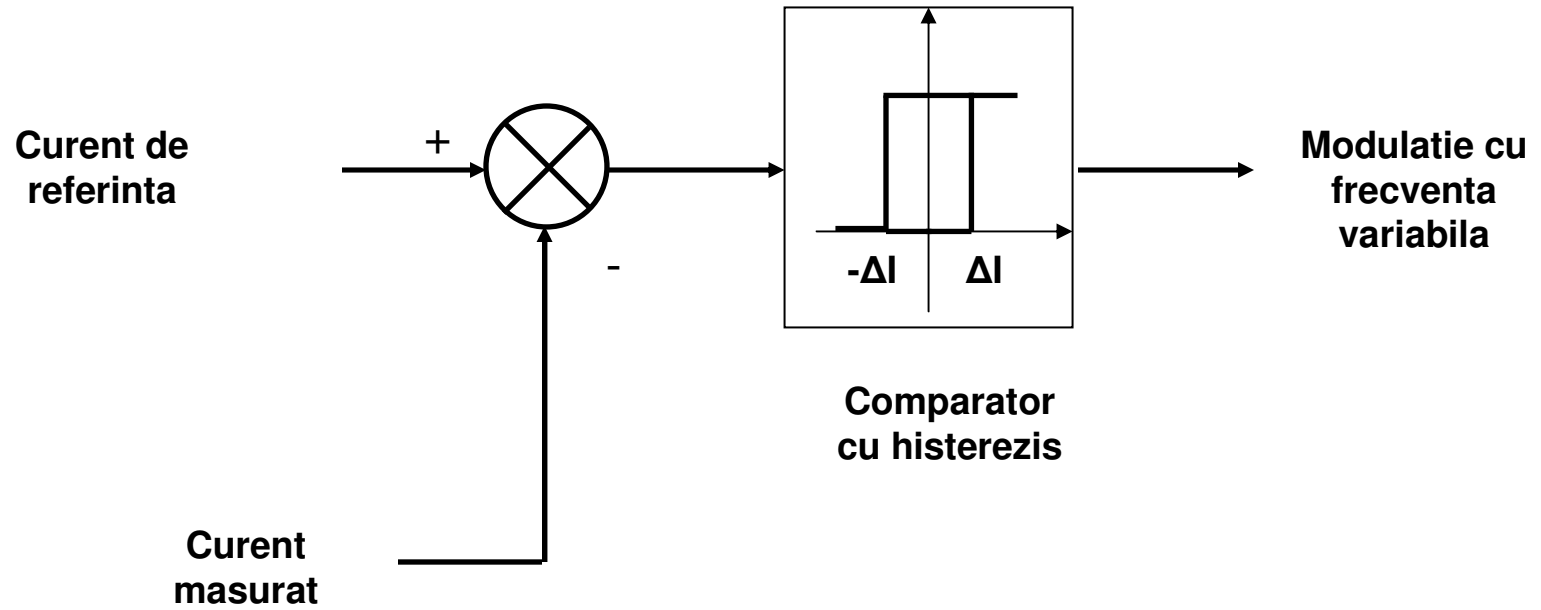
! Motorul trebuie alimentat printr-un inverter controlat in curent.

ALIMENTARE SI COMANDA PRIN CURENTI CVASI-DREPTUNGHIULARI

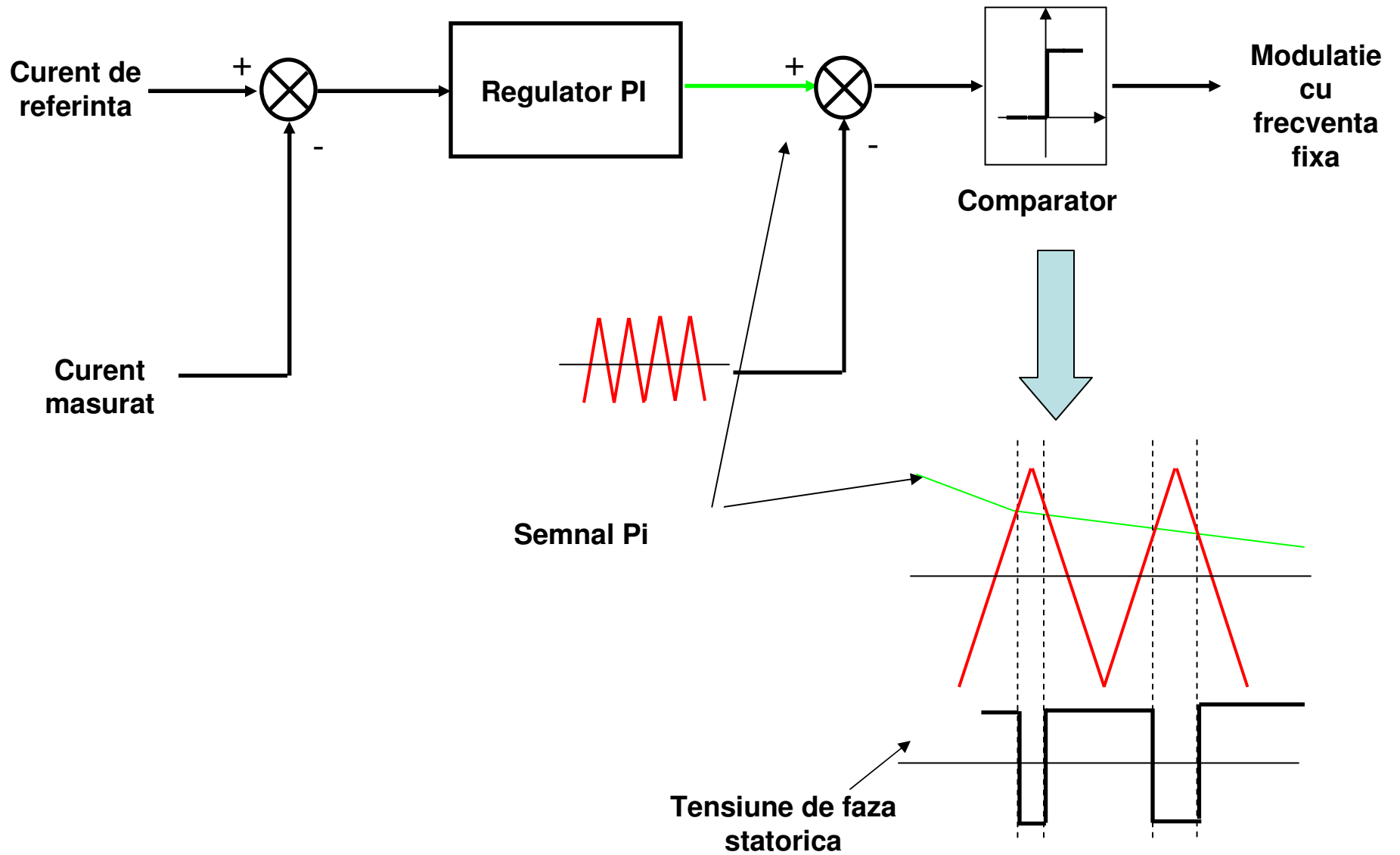


Control bipozitional de curent





Control liniar de curent prin regulator PI



CONCLUZII



Avantaje ale masinilor de c.c. fara perii:

- **Fiabilitate, robustețe și simplitate structurală**
- **Neajunsurile comutației mecanice sunt eliminate**
- **Control ușor de viteză**
- **Mult mai mici din punct de vedere al gabariturii**
- **Posibilitatea alimentării de la o sursă de c.c. pentru echipamente portabile**

**Aplicatii ale MCC
fara perii**

roboti

Masini unelte

**Vehicule echipate cu motor de tractiune
in roata**

Scule portabile

Sisteme de calcul