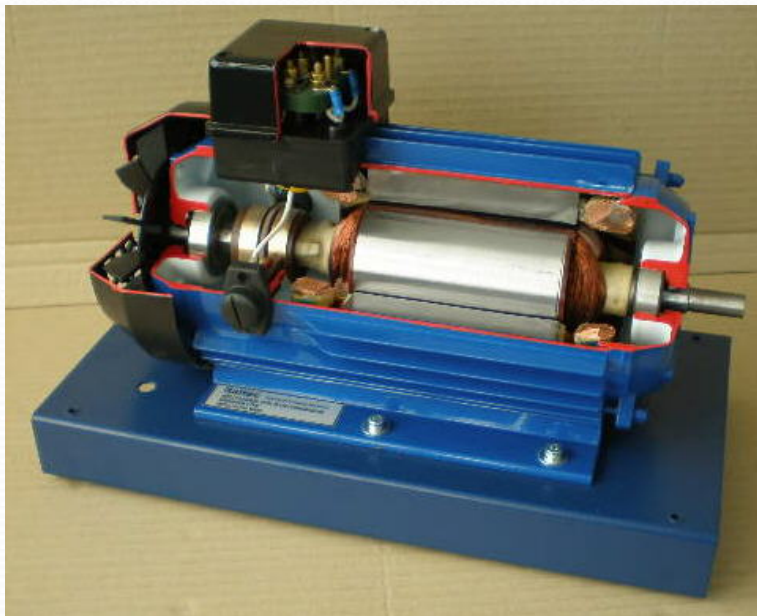


MAȘINI ELECTRICE II

șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu

Structură curs

Mașina asincronă



Mașina sincronă

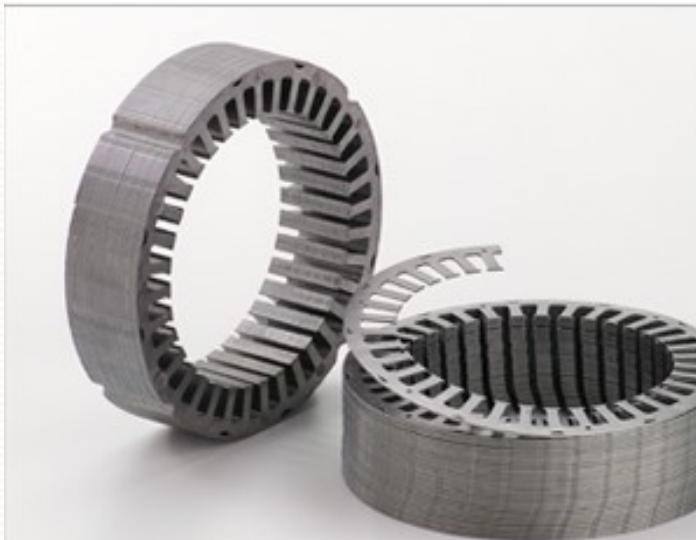
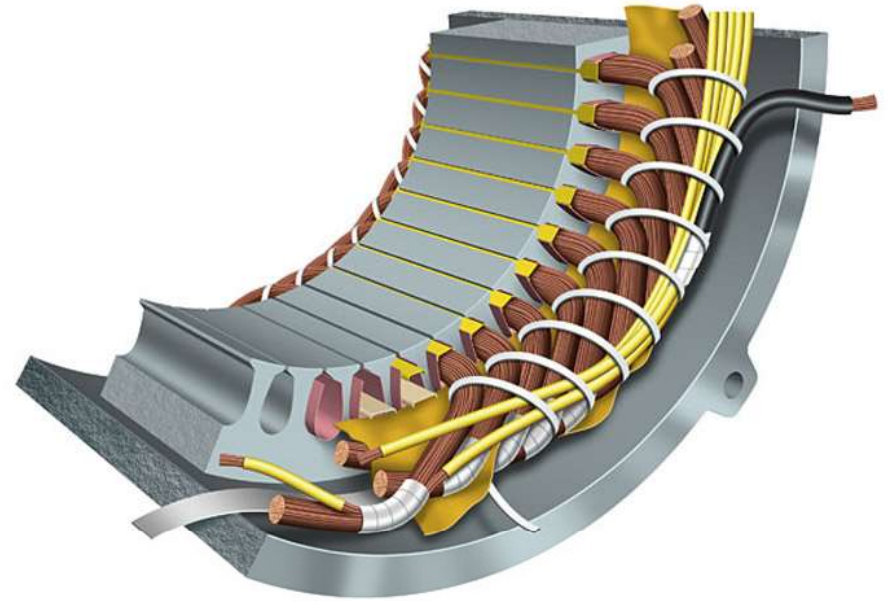
Bibliografie:

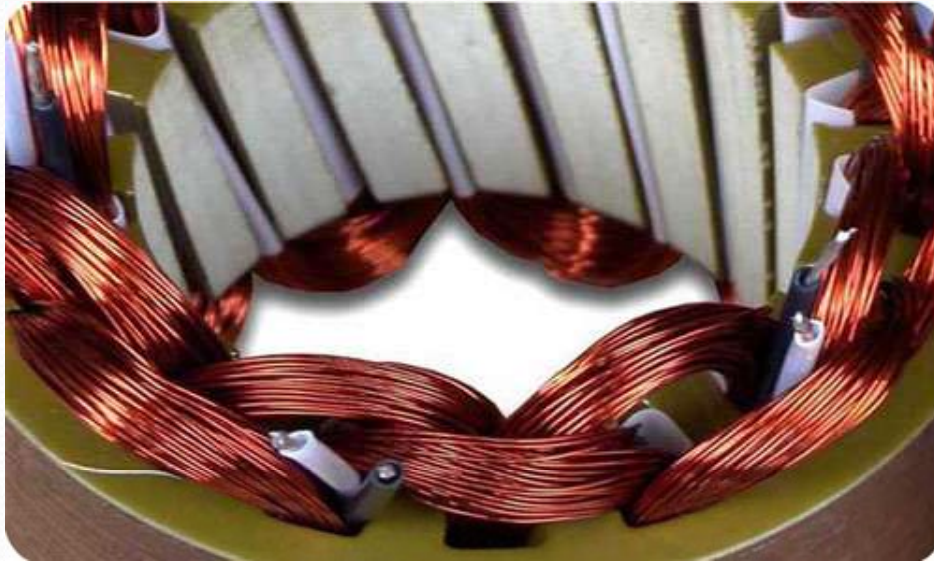
- Alecsandru Simion – Mașini electrice-vol.III (Mașina asincronă), Editura Politehniun IAȘI -2012
- Alecsandru Simion – Mașini electrice-vol.II (Mașina sincronă), Editura Gh. Asachi IAȘI -2003
- Constantin Bălă – Mașini electrice, Ed. Did. și Ped., București, 1979.
- Toma Dordea – Mașini electrice, Ed. Did. și Ped., București, 1977.
- Aurel Câmpeanu – Mașini electrice, Ed. Scrisul românesc, Craiova, 1988.

GENERALITĂȚI PRIVIND MAȘINILE ELECTRICE DE CURENT ALTERNATIV

- Def: Mașinile electrice de curent alternativ sunt construcții electrotehnice menite să transforme energia electrică în energie mecanică (*regimul de motor*) sau energia mecanică în energie electrică (*regimul de generator*).
- Toate mașinile electrice de curent alternativ sunt *reversibile* (aceeași mașină poate funcționa atât ca motor cât și generator).

- O mașină electrică are ca parte principală constructivă, un **circuit magnetic**, format din două miezuri feromagnetice, de obicei cu **înfășurări**, separate printr-un **întrefier**, aer, cu grosimi de zecimi de milimetru sau mai mult.

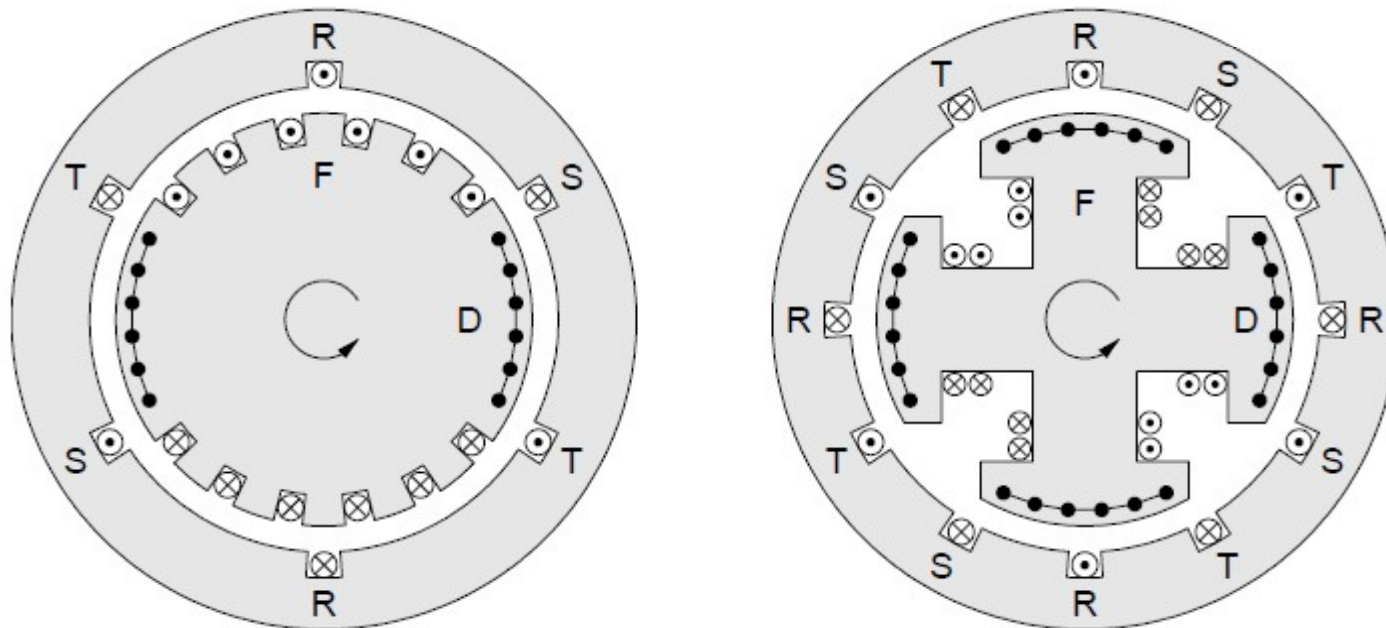




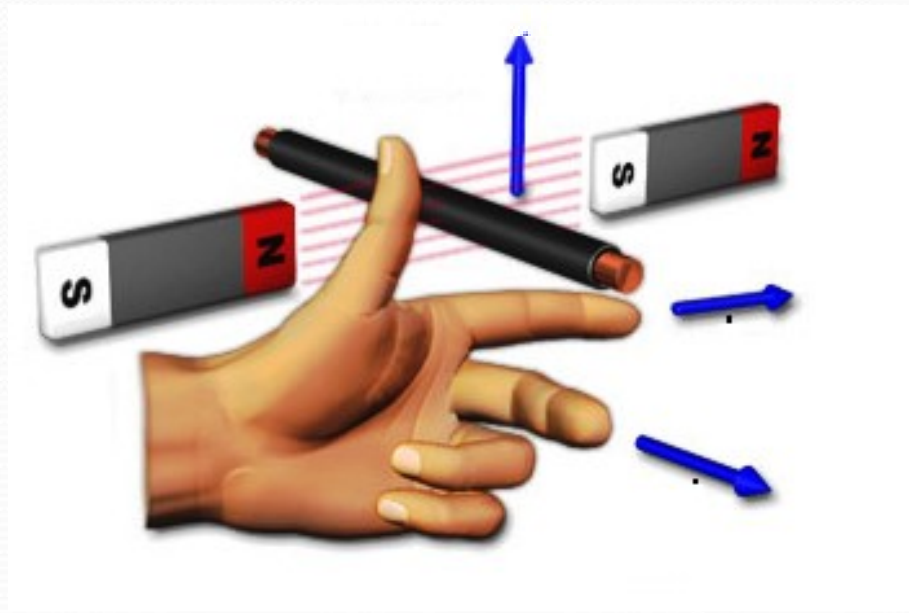
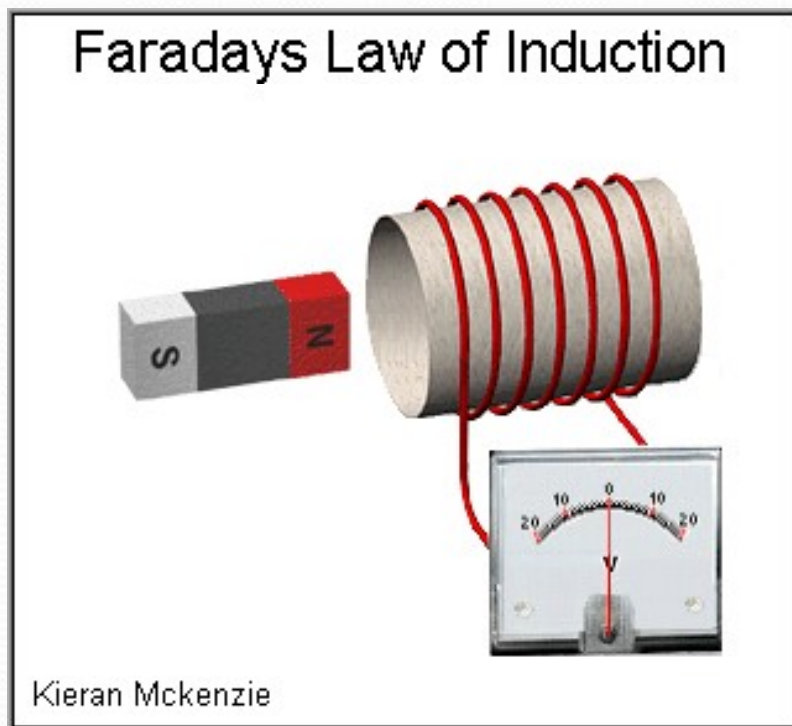
- Din punct de vedere electric o mașină cuprinde două categorii de înfășurări: una inductoare, care produce câmpul magnetic inductor și alta indusă, în care se induc tensiuni electromotoare.

Având în vedere construcția mașinilor electrice rotative de curent alternativ (c.a.) clasice, se disting două categorii:

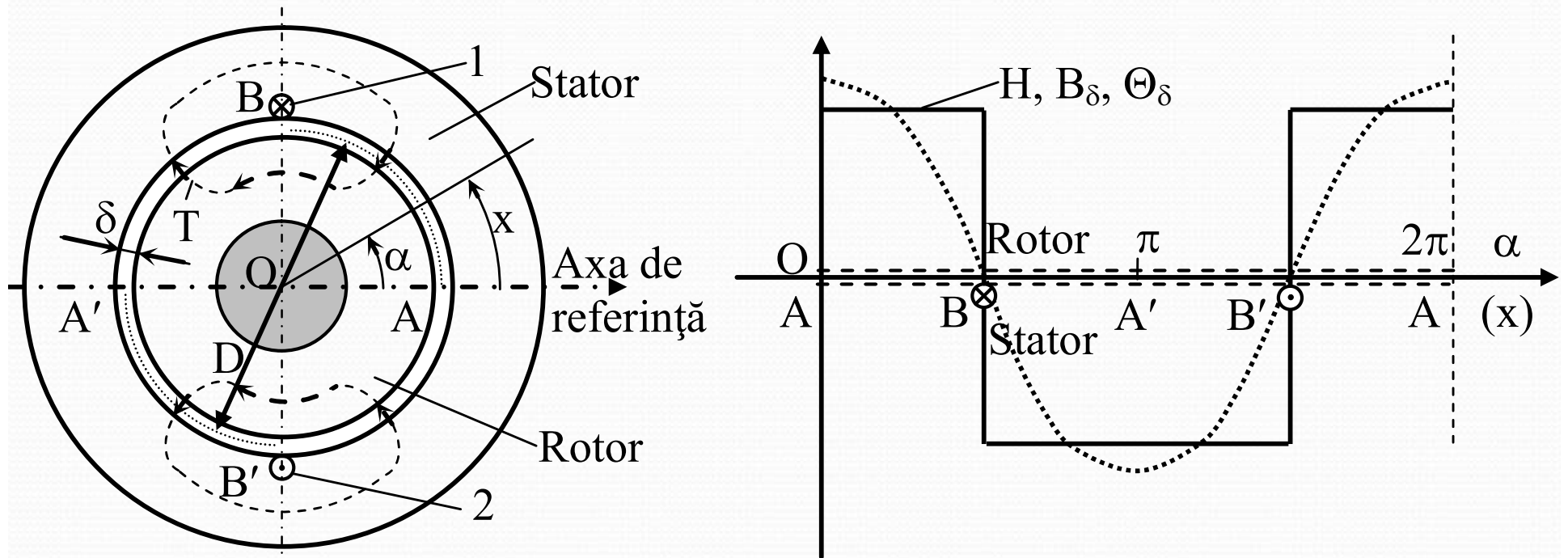
- mașini cu întrefier constant (cu rotor neted)
- mașini cu întrefier variabil (cu rotor cu poli aparenti).



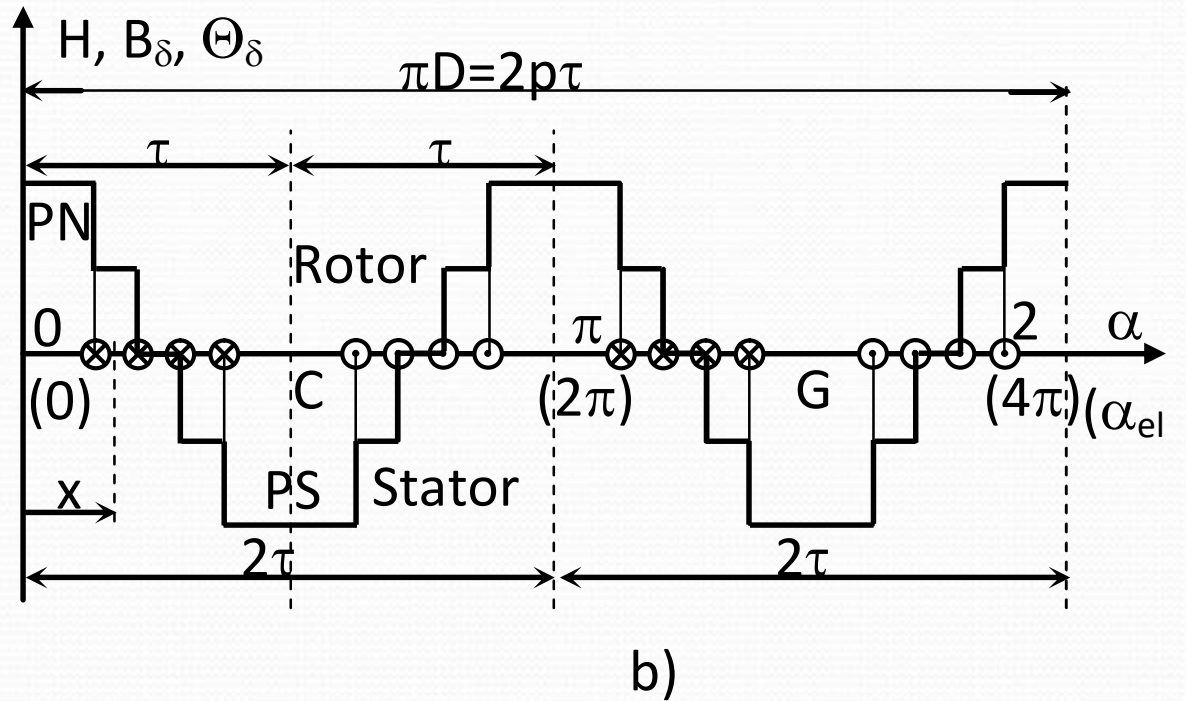
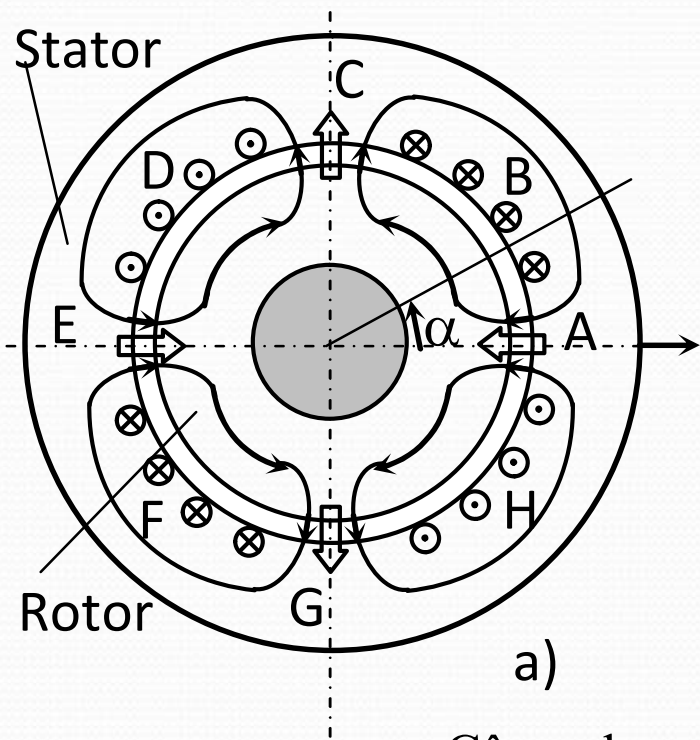
- Funcționarea mașinilor electrice de curent alternativ se bazează pe fenomenul inducției electromagnetice și al apariției forței electromagnetice, fenomene ce se manifestă simultan, indiferent de regimul de funcționare (motor sau generator).



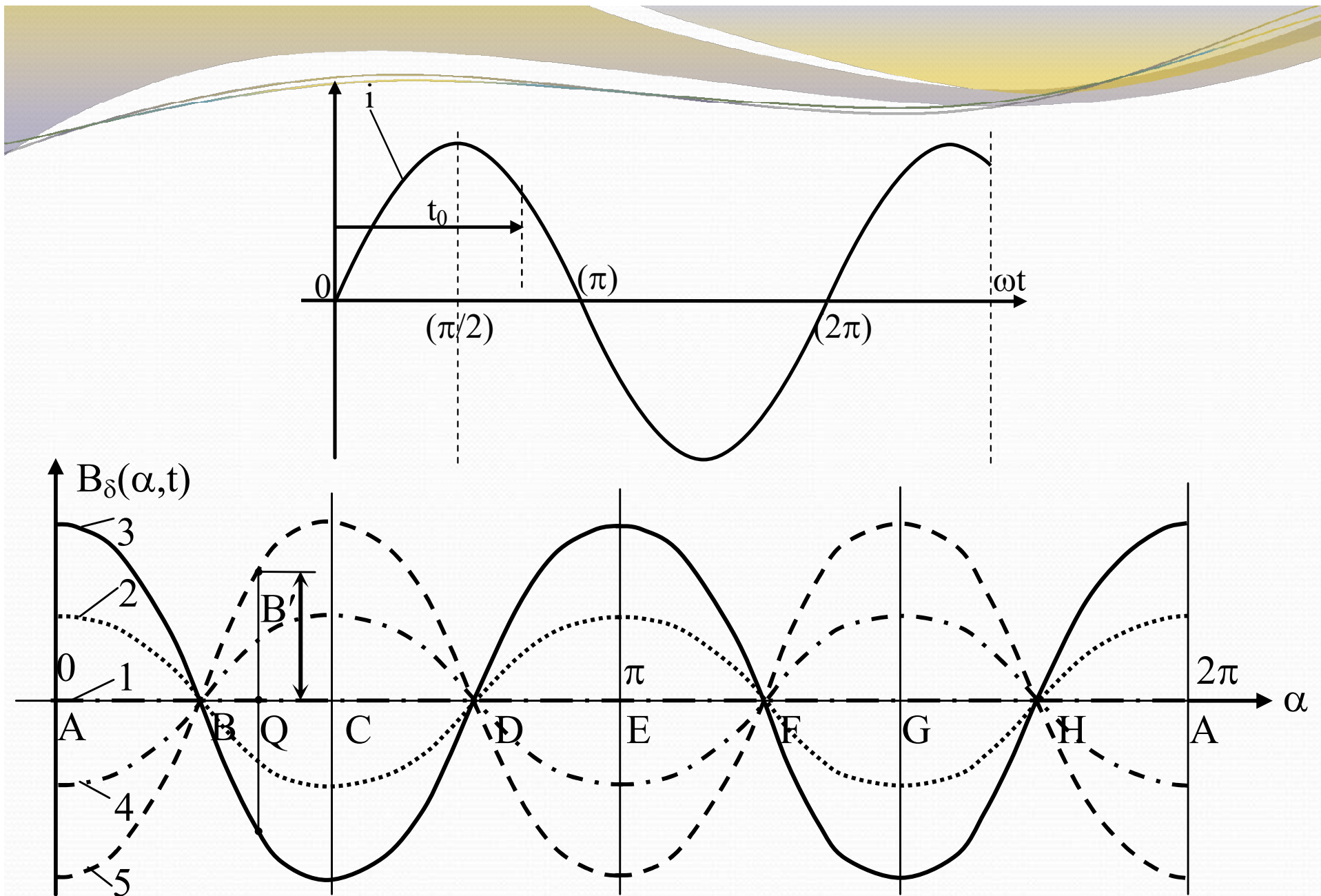
Câmpul magnetic alternativ creat de o înfășurare monofazată



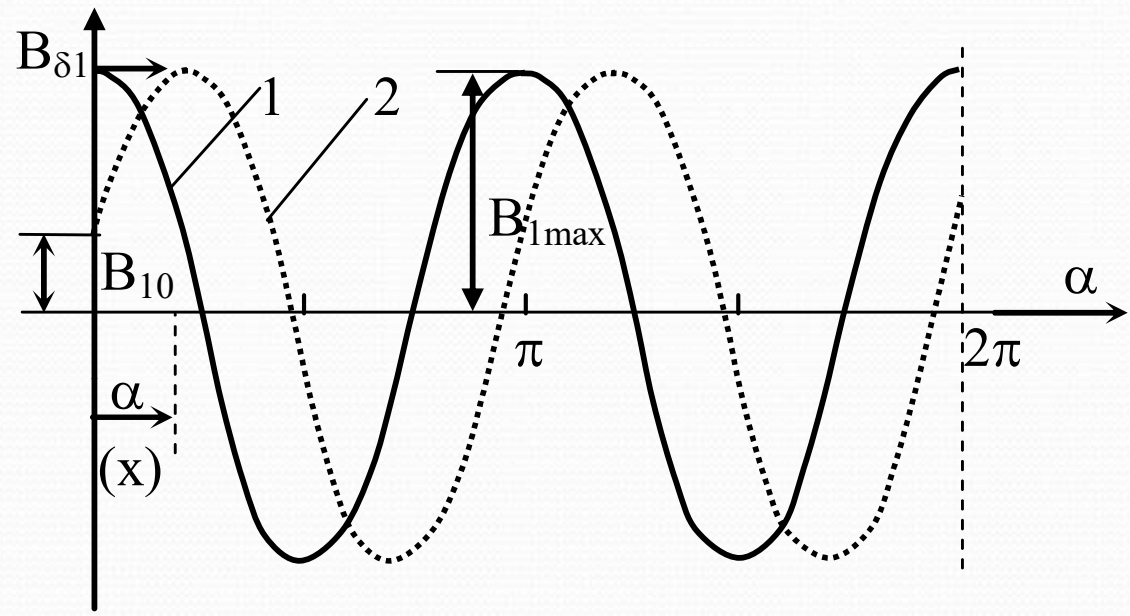
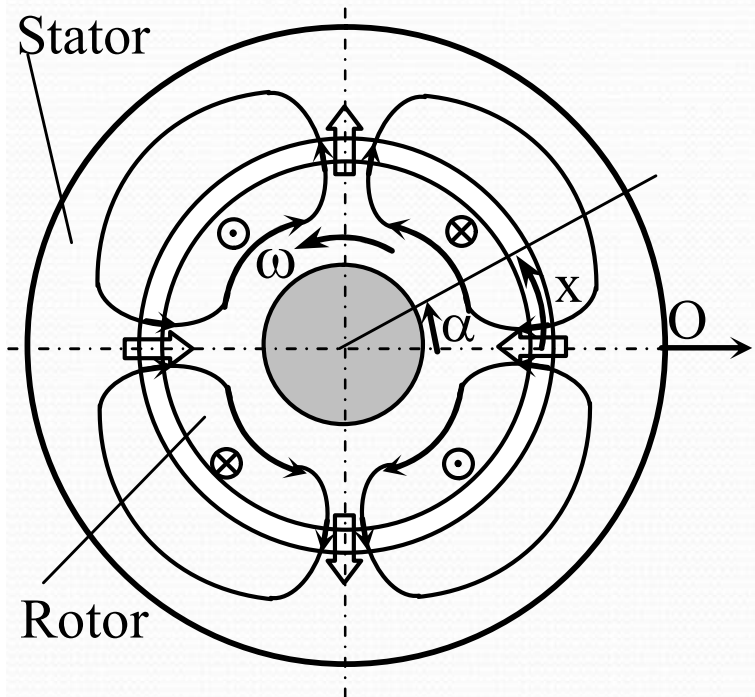
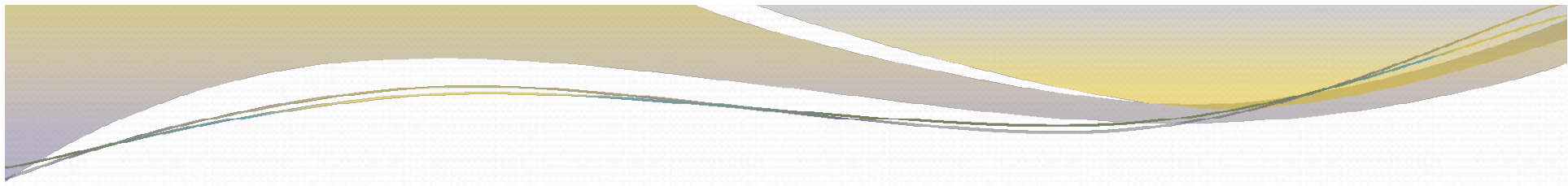
Câmpul magnetic creat de o înfășurare concentrată diametrală



Câmpul magnetic creat de o înfășurare tetrapolară

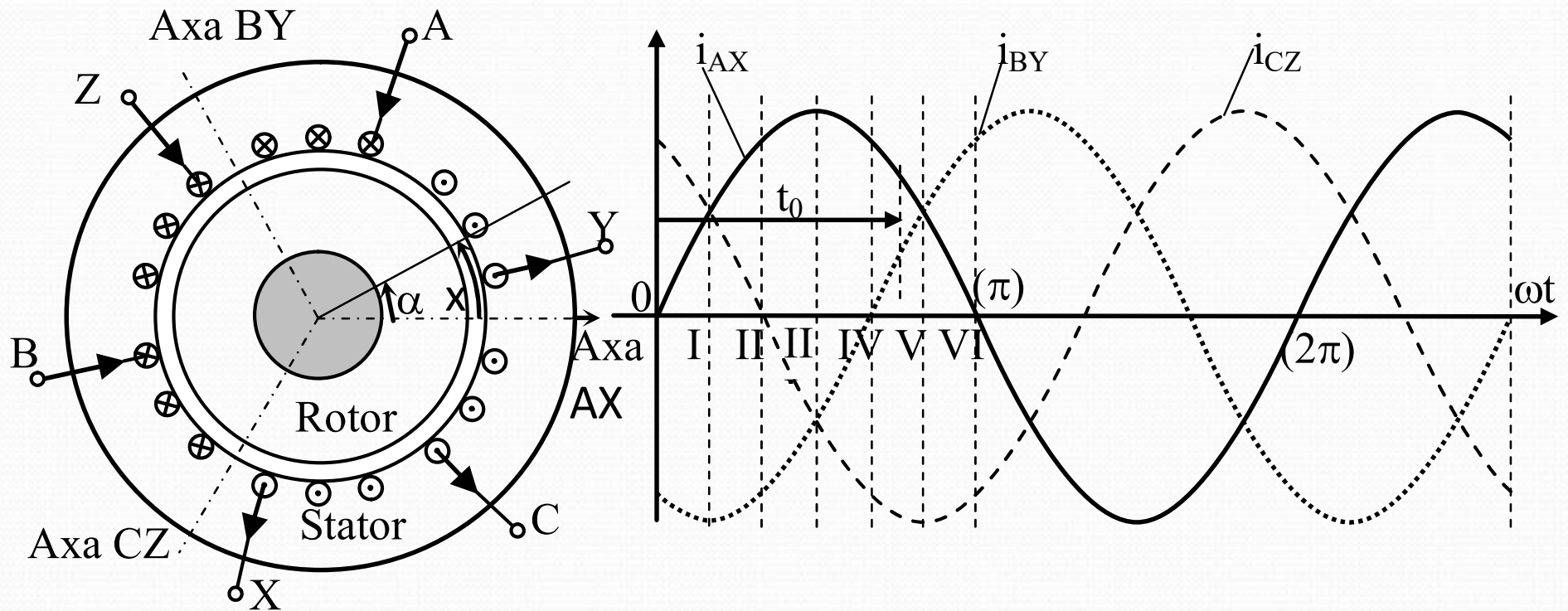


Câmp magnetic alternativ (pulsatoriu) creat de o înfășurare tetrapolară



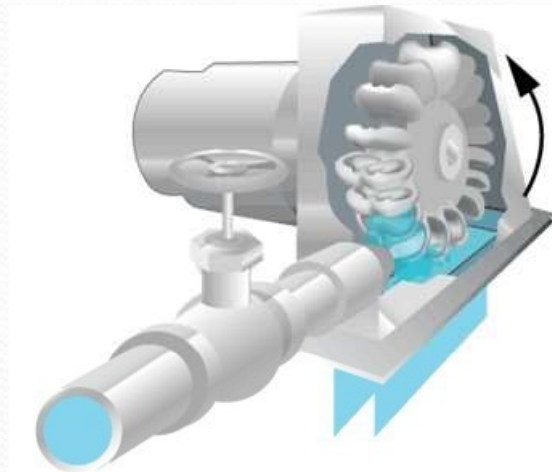
Câmpul magnetic al înfășurării tetrapolare rotorice în rotație (învârtitor)

Câmpul magnetic creat de o înfășurare statorică trifazată



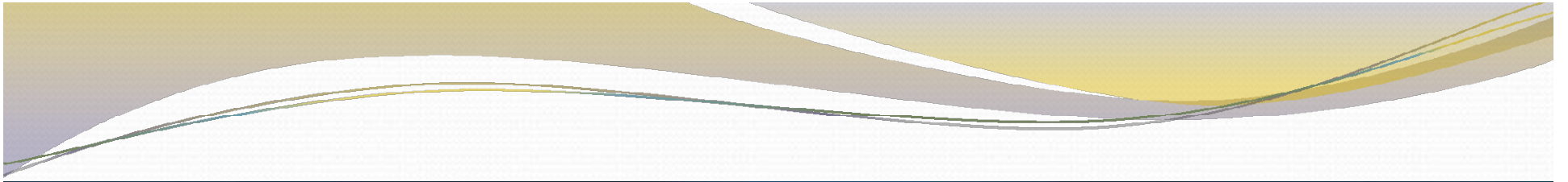
Câmpul magnetic creat de o înfășurare trifazată

Utilizari ale masinilor de curent alternativ



MAȘINI ELECTRICE II

șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu

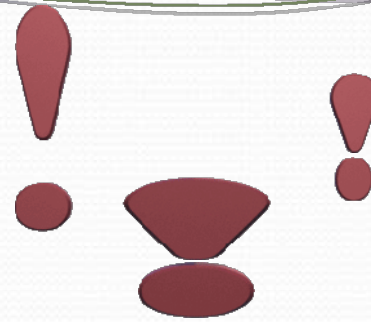




Cuprins

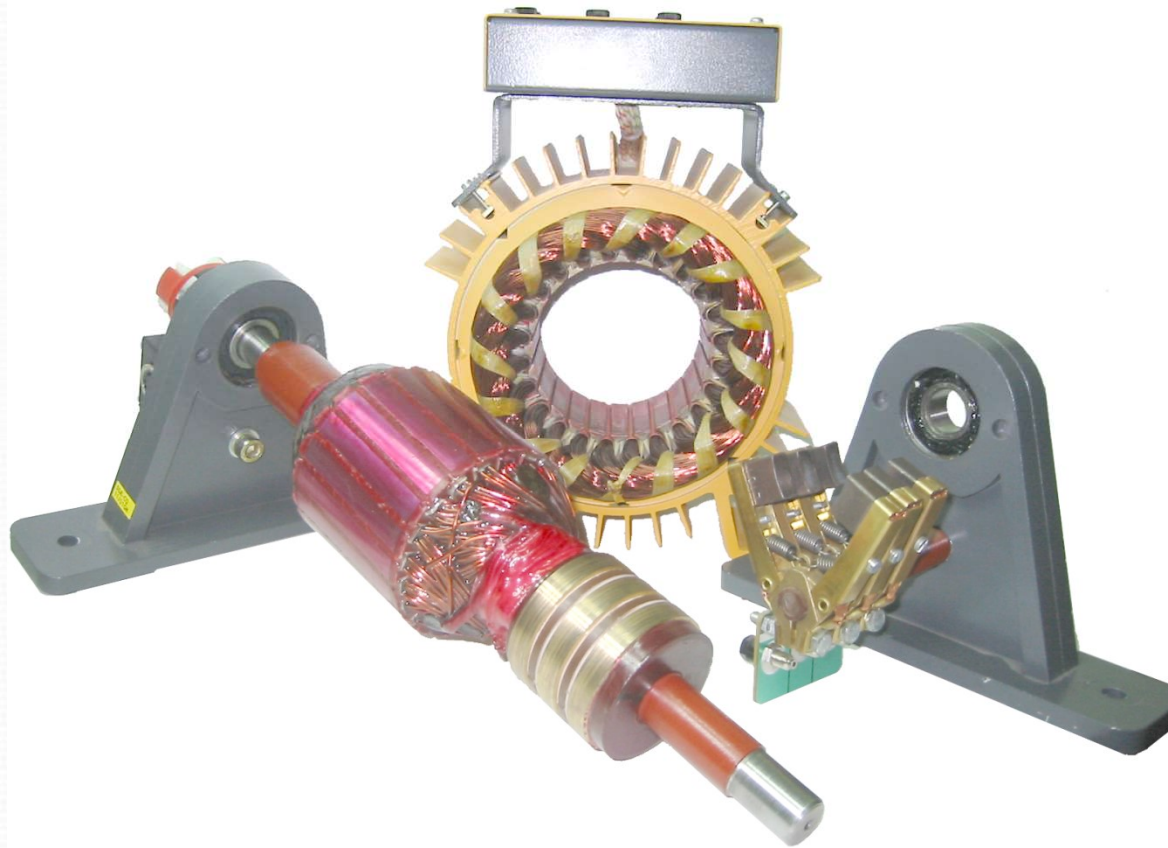
- Definitii
- Elemente constructive
- Variante constructive
- Principiul de functionare

Definiții!



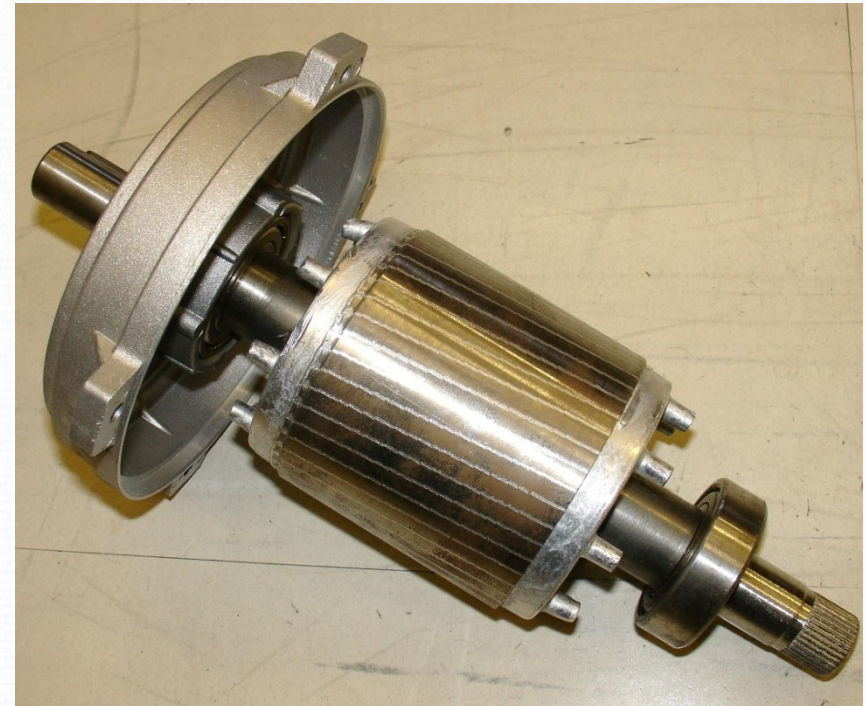
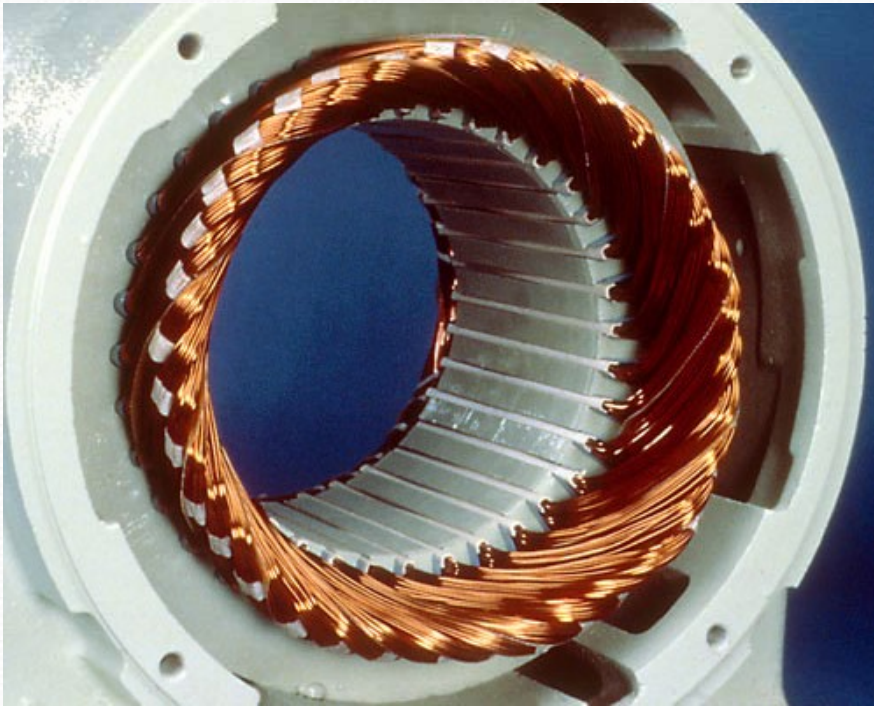
- *Mașina asincronă este o mașină de curent alternativ la care viteza în sarcină și frecvența rețelei la care este conectată nu sunt într-un raport constant.*
- *Mașina asincronă este mașina al cărei circuit magnetic este asociat la două sau mai multe circuite electrice, mobile unele în raport cu celelalte și în care energia este transferată de la partea fixă la cea mobilă sau invers, prin inducție electromagnetică.*

Elemente constructive

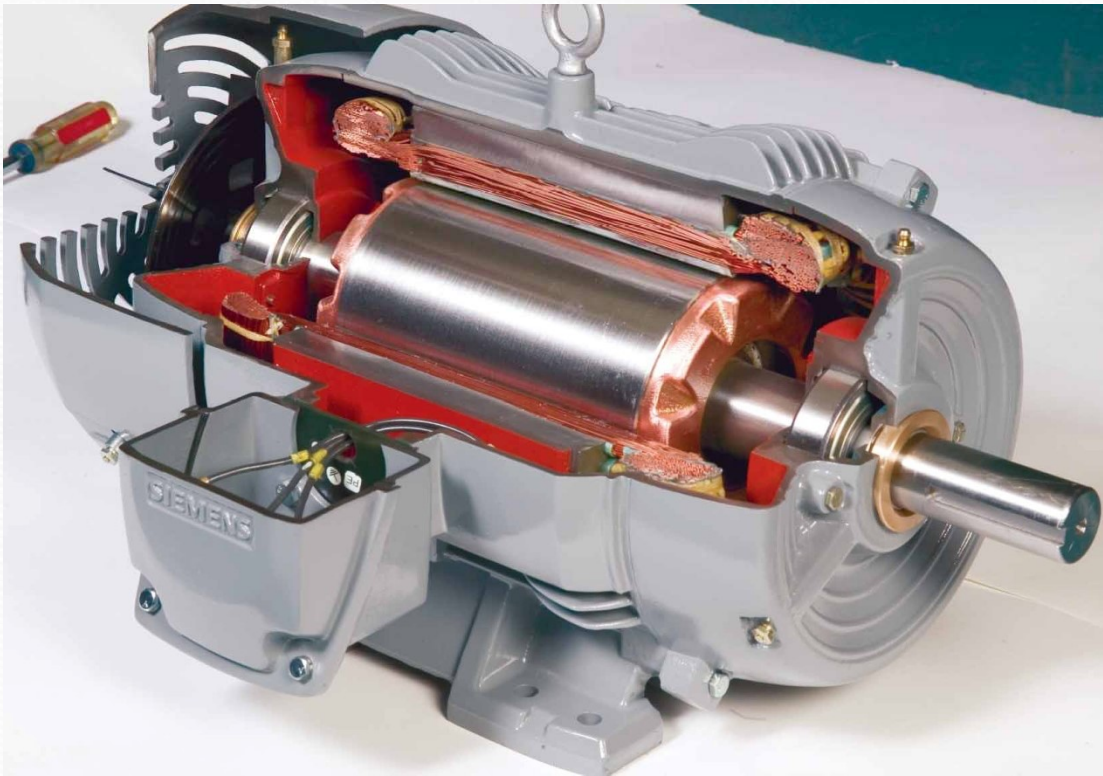


- Mașina asincronă *normală* cuprinde două armături, una fixă numită *stator* și alta mobilă, concentrică cu prima, numită *rotor*.

- La mașinile în construcție directă, statorul posedă o înfășurare, de cele mai multe ori trifazată, conectată la o rețea și îndeplinește rolul de *inductor*.
- Rotorul posedă de asemenea, o înfășurare trifazată sau polifazată (cel mai frecvent din bare scurtcircuitate la capete) și constituie *indusul*.



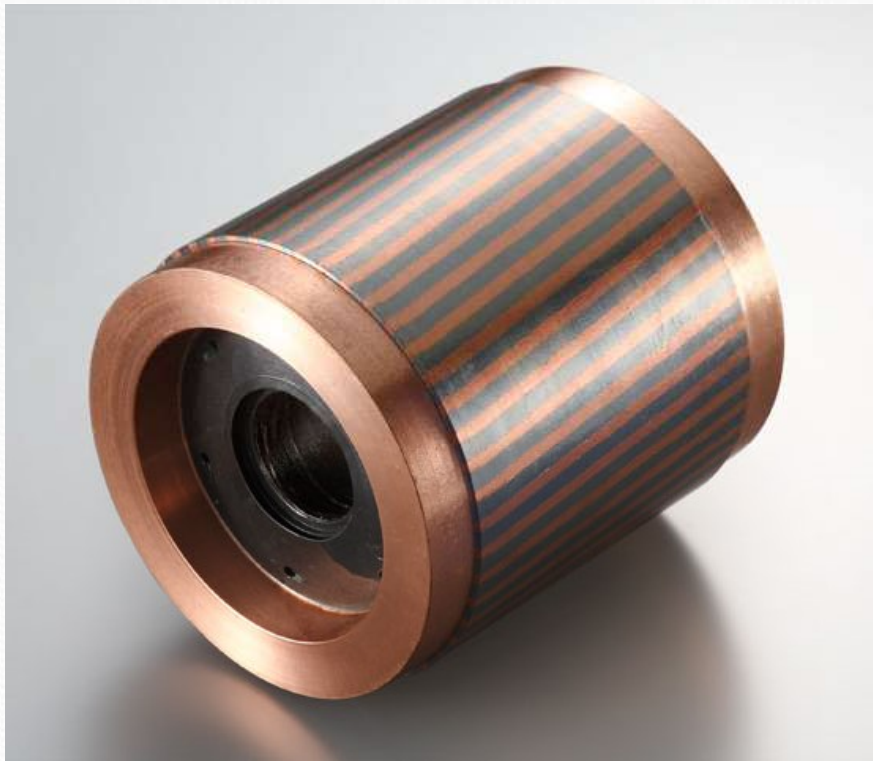
Variante constructive



- Construcție normală



- Rotor exterior



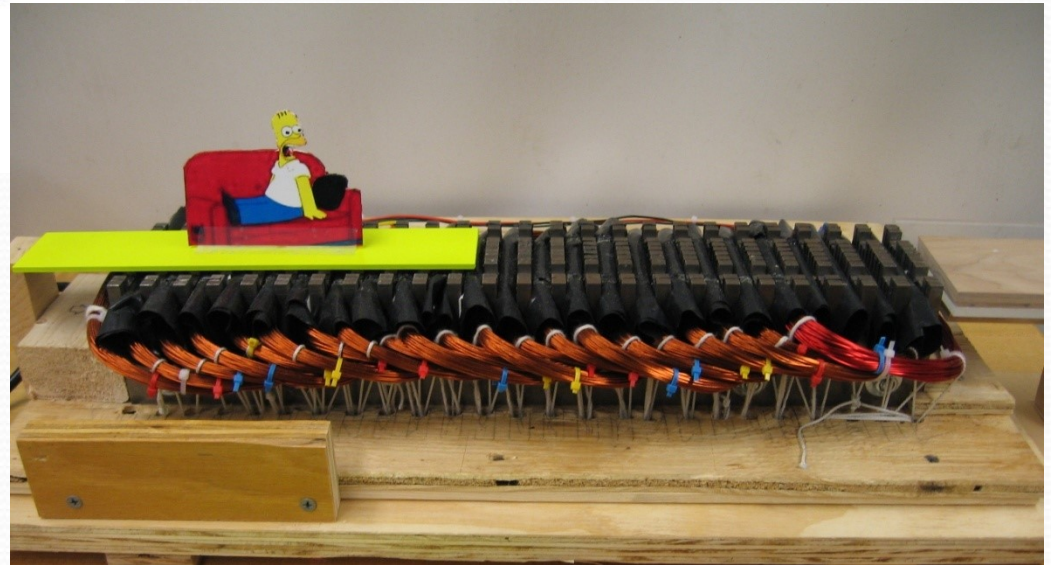
- Rotor în scurtcircuit



- Rotor bobinat



- Rotativ



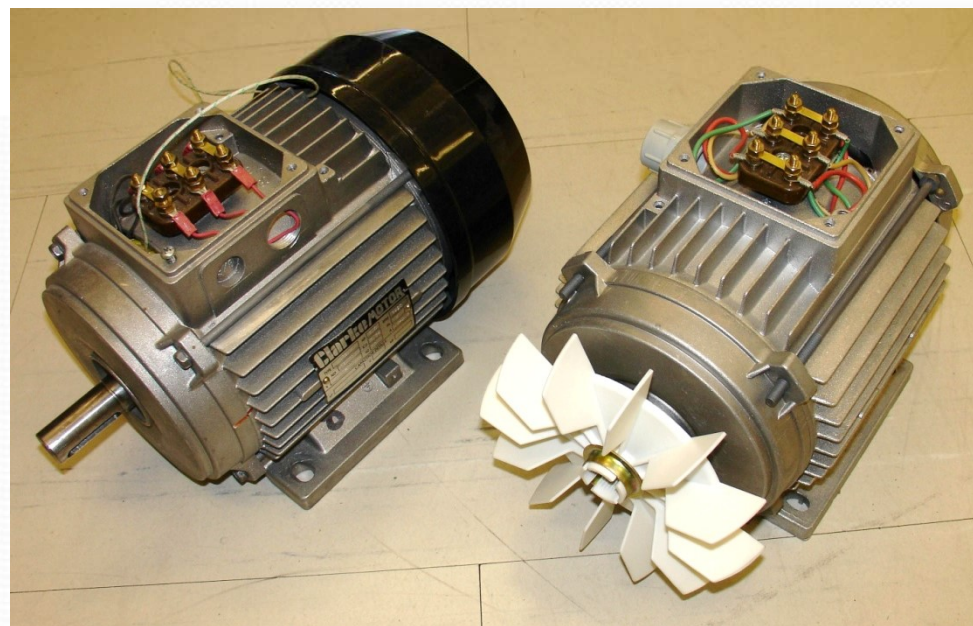
- Liniar

Motor asincron liniar

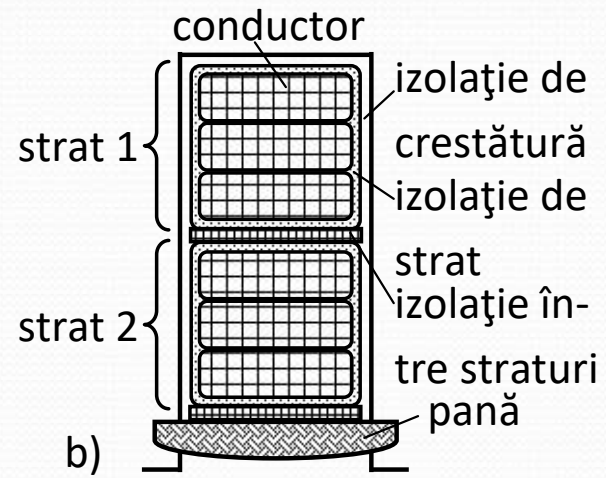
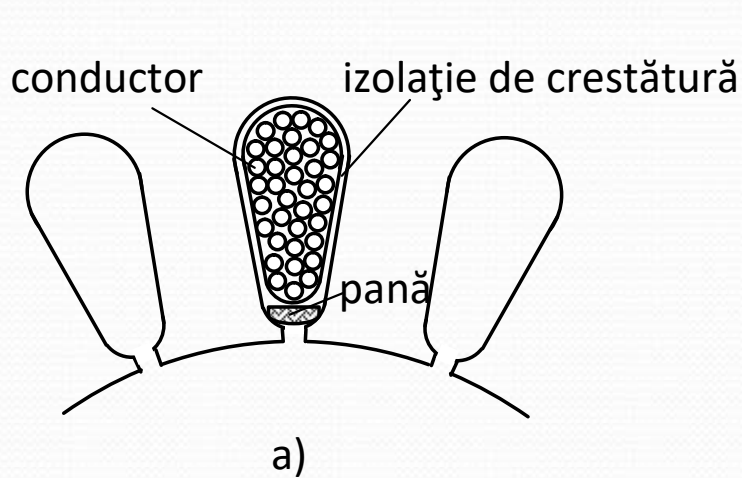




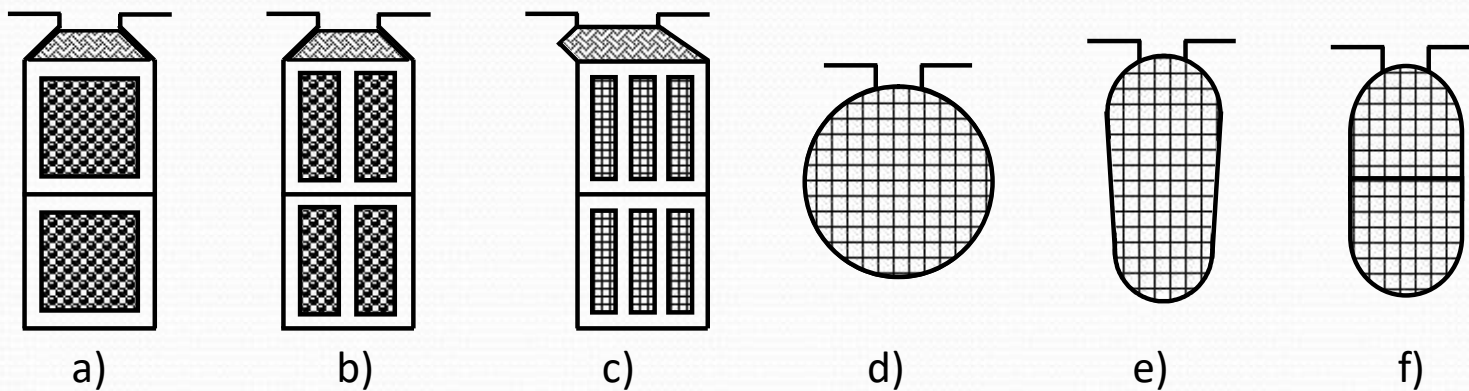
- Monofazat



- Polifazat

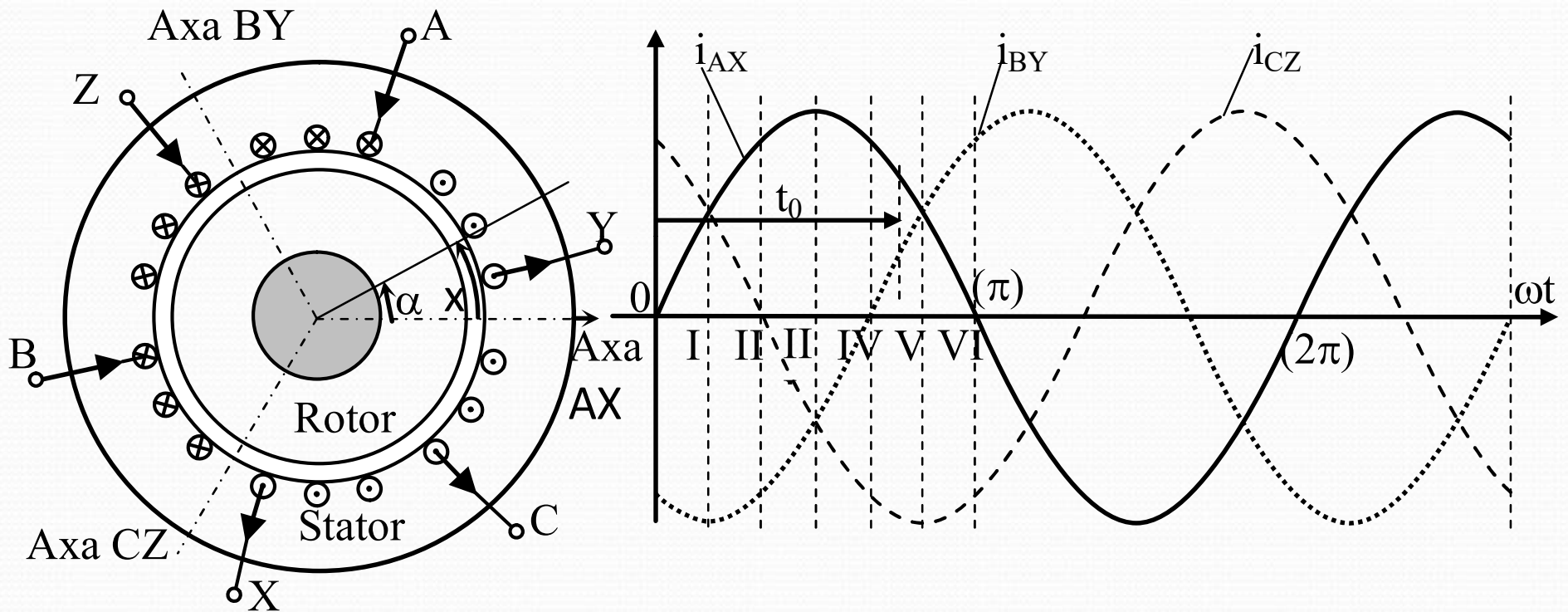


Crestături statorice pentru mașini asincrone: a) închisă, b) deschisă.

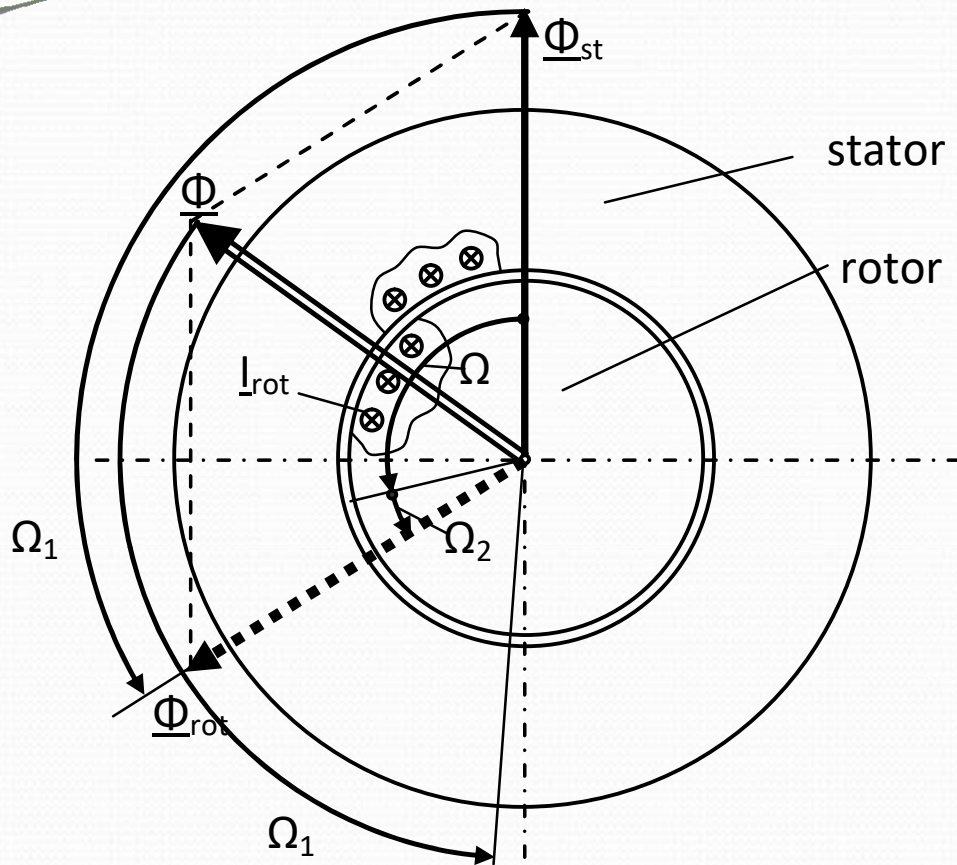


Crestături rotorice: a), b) închise; c) semideschise - pentru rotoare bobinate; d), e), f) – pentru rotoare cu colivie normală

Principiul de funcționare al motorului trifazat



Cîmpul magnetic creat de o înfășurare trifazată



Principiul de funcționare al motorului asincron trifazat

$$\Omega_1 = \frac{\omega_1}{p} = \frac{2\pi f_1}{p} [\text{rad} / \text{sec}];$$

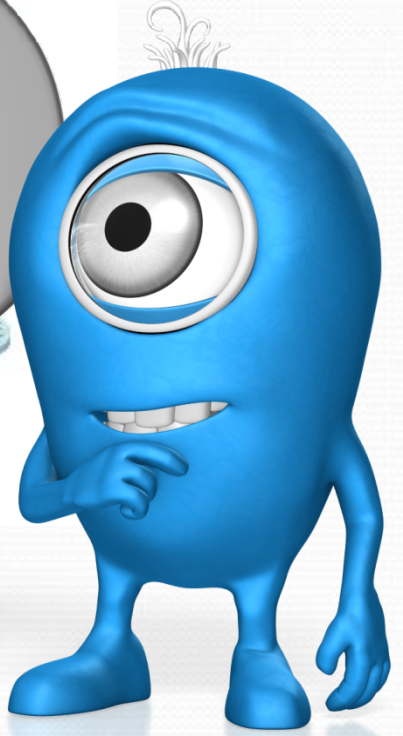
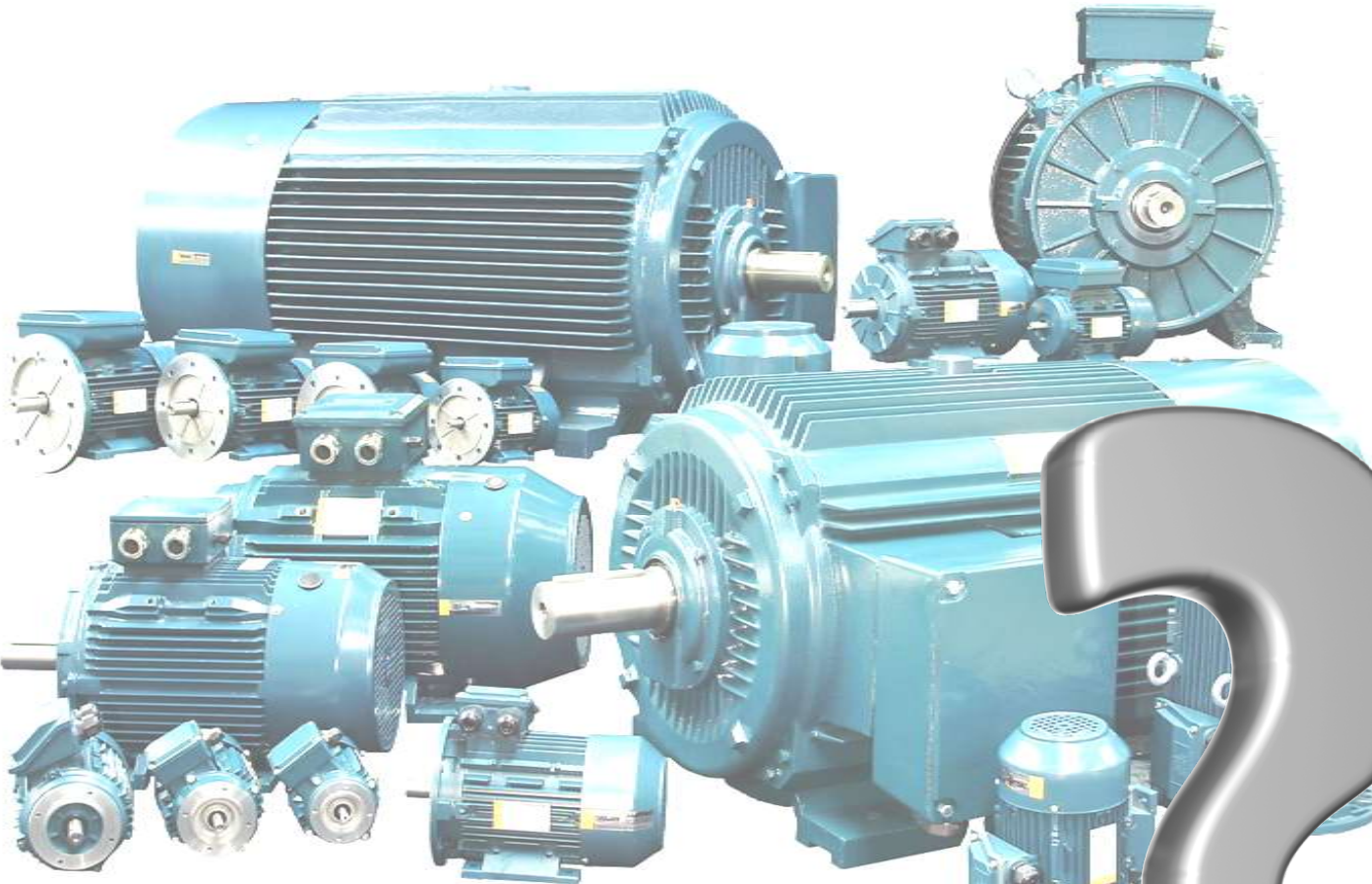
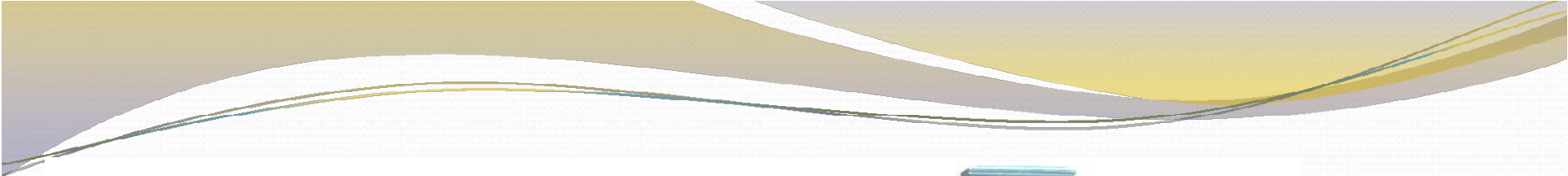
$$f_1 = \frac{pn_1}{60} = \frac{p\Omega_1}{2\pi} [\text{Hz}];$$

$$n_1 = \frac{30\Omega_1}{\pi} [\text{rot} / \text{min}]$$

$$s = \frac{\Omega_1 - \Omega}{\Omega_1} = \frac{\Omega_2}{\Omega_1} = 1 - \frac{\Omega}{\Omega_1};$$

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{n_2}{n_1} = 1 - \frac{n}{n_1}$$

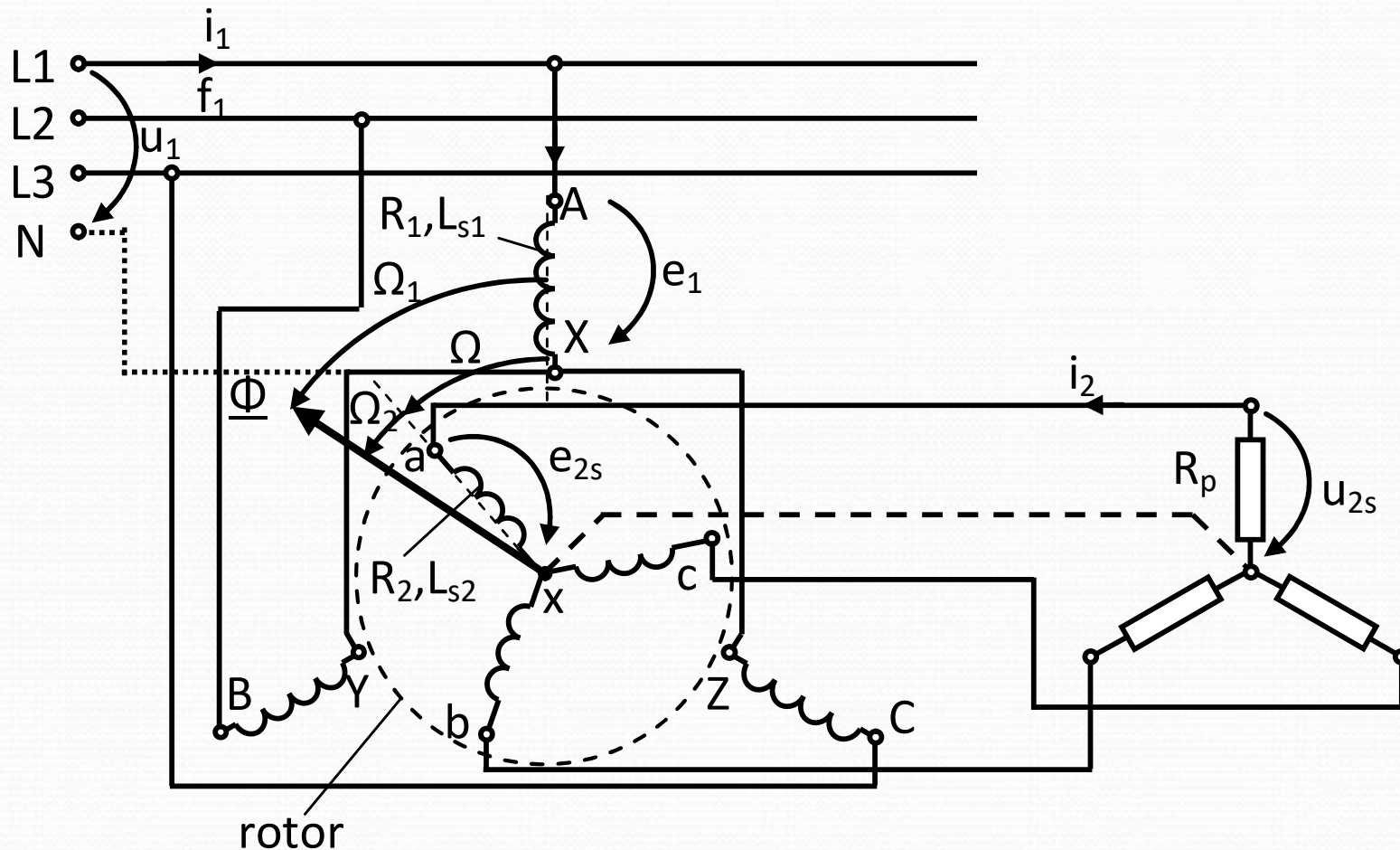
- Rotorul se va roti cu o viteză $0 < \Omega < \Omega_1$, astfel încât se poate introduce o mărime, numită *alunecare*, $0 < s < 1$



MAȘINI ELECTRICE II

șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu

Ecuatiile de funcționare ale mașinii asincrone trifazate



Schema electrică a mașinii asincrone trifazate

1. Funcționarea mașinii asincrone cu rotor imobil la gol

- Premise de funcționare:
 - se consideră rotorul fix,
 - circuitul rotoric este deschis (R_p este infinit)
 - statorul este conectat la rețeaua trifazată
 - curenții absorbiți pe cele trei faze constituie un sistem trifazat simetric
 - solenațiile, inducțiile și fluxurile polare fiind unde învârtitoare, rotitoare cu viteza de sincronism.
- Se poate considera că mașina este în regim de transformator trifazat cu secundarul în gol.

- Aplicând teorema a II-a a lui Kirchhoff pentru ochiul primar corespunzător fazei A – X, se obține ecuația

$$u_1 - e_1 - R_1 \cdot i_{10} - L_{s1} \frac{di_{10}}{dt} = 0;$$

unde:
$$e_1 = W_{1ef} \cdot e'_1 = k_{w1} \cdot W_1 \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

iar:
$$\phi = \Phi_m \cos \omega_1 t;$$

$$\Phi_m = \Phi \sqrt{2}$$

Valoarea efectivă a tensiunii induse pe fază, e_1 este:

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega_1 \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} k_{w1} W_1 = 4,44 f_1 \cdot (k_{w1} W_1) \cdot \Phi_m$$

- Reprezentarea în complex simplificat

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1 + R_1 \underline{I}_{10} + jX_{s1} \underline{I}_{10};$$

$$\underline{E}_1 = j\omega_1 (k_{w1} W_1) \underline{\Phi};$$

$$\underline{\Phi} = \Phi e^{j0}$$

S-a ținut seama de faptul că:

-derivatei unei mărimi îi corespunde, la reprezentarea în complex, înmulțirea cu $j\omega_1$,

-\omega_1 este pulsația mărimii respective,

-\mathbf{X}_{s1} = \omega_1 L_{s1} este reactanța de scăpări a înfășurării primare

-fluxul fascicular polar $\underline{\Phi}$ a fost considerat ca origine de fază

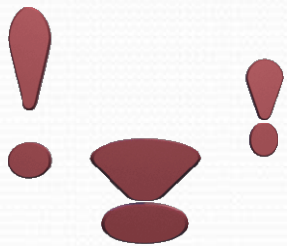


- În ceea ce privește rotorul, pentru faza a – x, lucrând în gol, se poate scrie:

$$e_{20} = u_{20}; \quad \underline{E}_{20} = \underline{U}_{20}$$

unde:

$$E_{20} = \frac{E_{20m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega_1 \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} (k_{w2} W_2) = 4,44 f_1 \cdot (k_{w2} W_2) \cdot \Phi_m$$



Se menționează că rotorul este imobil.

2. Funcționarea mașinii asincrone trifazate cu rotor în circuit închis în mișcare de rotație

- În ceea ce privește statorul

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1 + R_1 \underline{I}_1 + jX_{s1} \underline{I}_1$$

- Ecuația care caracterizează o fază rotorică este similară celei statorice, în care intră mărimile rotorice induse, având frecvența: $f_2 = sf_1$, sau pulsația $\omega_2 = s\omega_1$,

$$u_{2s} = e_{2s} + R_2 i_2 + L_{s2} \frac{di_2}{dt}$$

- Dacă se efectuează trecerea în complex și se împarte prin s , se obține:

$$\frac{\underline{U}_{2s}}{s} = \frac{\underline{E}_{2s}}{s} + \frac{R_2}{s} \cdot \underline{I}_2 + j \cdot X_{s2} \cdot \underline{I}_2$$

$$X_{s2} = \omega_1 \cdot L_{s2}$$

- Tensiunea indusă în faza rotorică

$$E_{2s} = \frac{E_{2sm}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega_2 \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} (k_{w2} W_2) = 4,44 \cdot s \cdot f_1 (k_{w2} W_2) \cdot \Phi_m = s \cdot E_2$$

unde: $E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot (k_{w2} W_2) \cdot \Phi_m \approx E_{20}$

este tensiunea indusă în faza rotorică, când acesta este imobil (cum ar fi, de exemplu, situația de la pornire)

- *Regimul normal* de funcționare al mașinii este cu circuitul rotoric scurtcircuitat, ecuația pentru rotor devenind în acest caz:

$$0 = \underline{E}_{2s} + \frac{R_2}{s} \cdot \underline{I}_2 + j \cdot X_{s2} \cdot \underline{I}_2$$

din care obține \underline{I}_2 în complex, precum și modulul său

$$\underline{I}_2 = -\frac{\underline{E}_2}{\frac{R_2}{s} + j \cdot X_{s2}}; \quad I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{s2}^2}}$$

- Așadar, funcționarea în sarcină a mașinii asincrone trifazate este descrisă de sistemul de ecuații, în complex simplificat

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{E}_1 + R_1 \cdot \underline{I}_1 + j \cdot X_{s1} \cdot \underline{I}_1 \\ 0 = \underline{E}_2 + \frac{R_2}{s} \cdot \underline{I}_2 + j \cdot X_{s2} \cdot \underline{I}_2 \\ \underline{I}_{10} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 / k_i \end{cases}$$

- unde k_i este raportul dintre numerele efective de spire



3 Ecuațiile mașinii asincrone trifazate în mărimi raportate

- Raportarea mărimilor rotorice (secundare) la cele ale statorului (primar):
 - tensiunile secundare se raportează prin înmulțire cu k_i
 - curenții secundari se raportează prin împărțirea la k_i
 - impedanțele se raportează prin înmulțirea cu k_i^2



$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{E}_1 + R_1 \underline{I}_1 + j \cdot X_{s1} \underline{I}_1; \\ 0 = \underline{E}'_2 + \frac{R'_2}{s} \underline{I}'_2 + j \cdot X'_{s2} \underline{I}'_2; \\ \underline{I}_{10} = \underline{I}_1 + \underline{I}'_2; \end{cases}$$



10 MINUTE

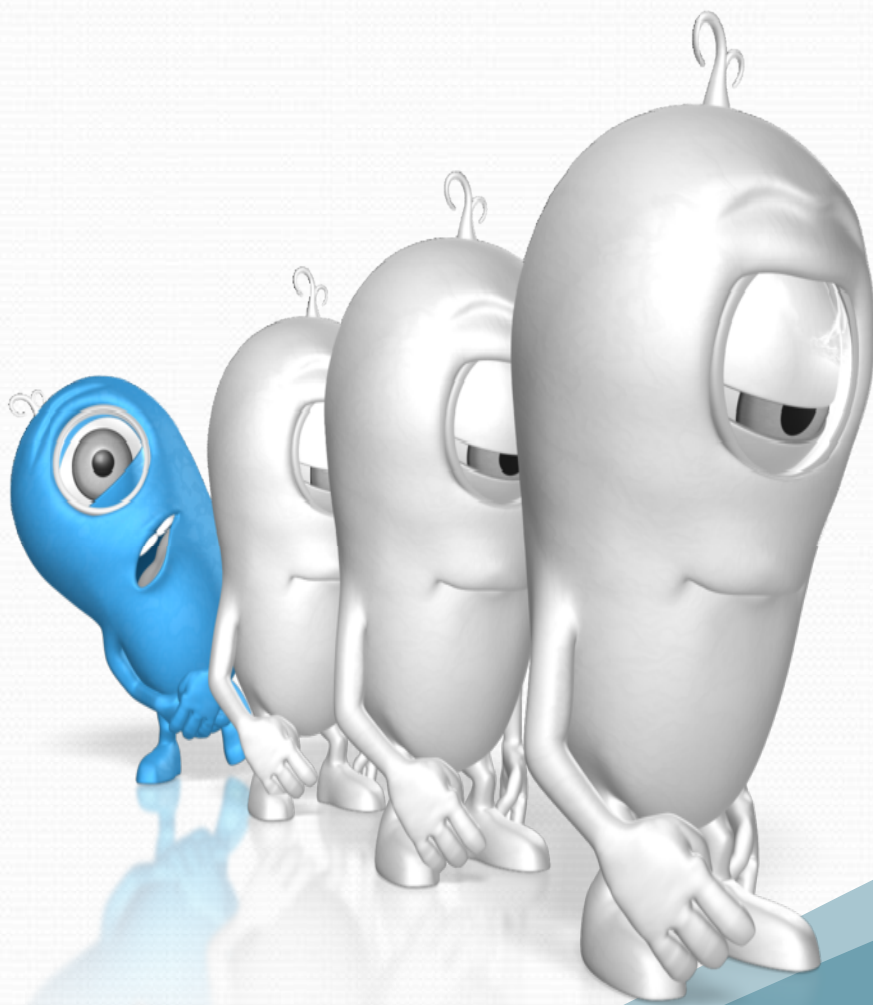
înfulecă ceva în grabă

9

MINUTE



savurează o cafea



8

MINUTE

rezolvă-ți problemele fiziologice

7 MINUTE



verifică-ți contul de
Facebook



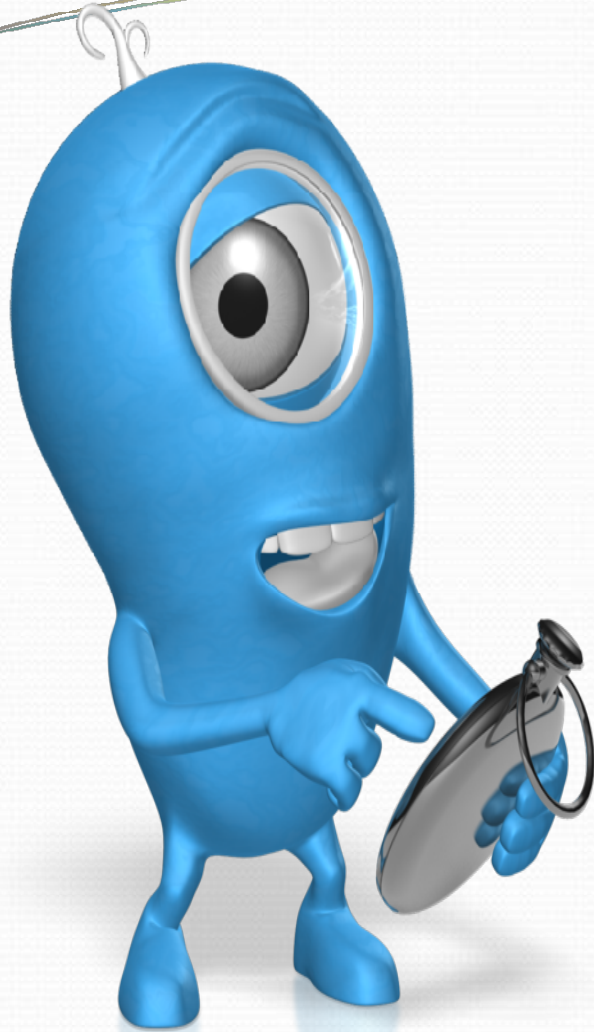
6 MINUTE

dă câteva telefoane

5 MINUTE



lucreaza puțin la
imaginea personală



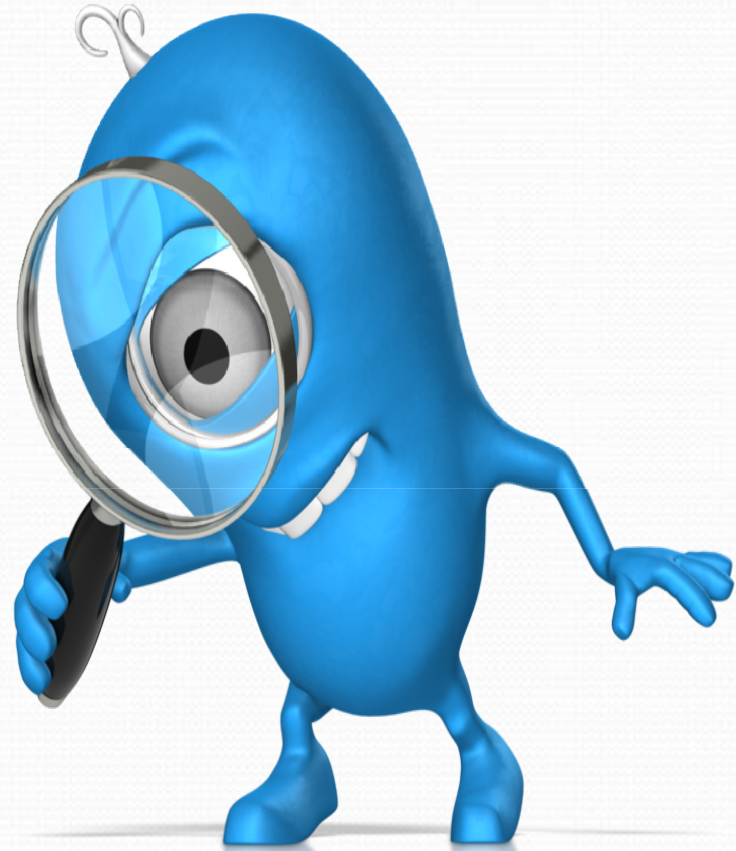
4

MINUTE

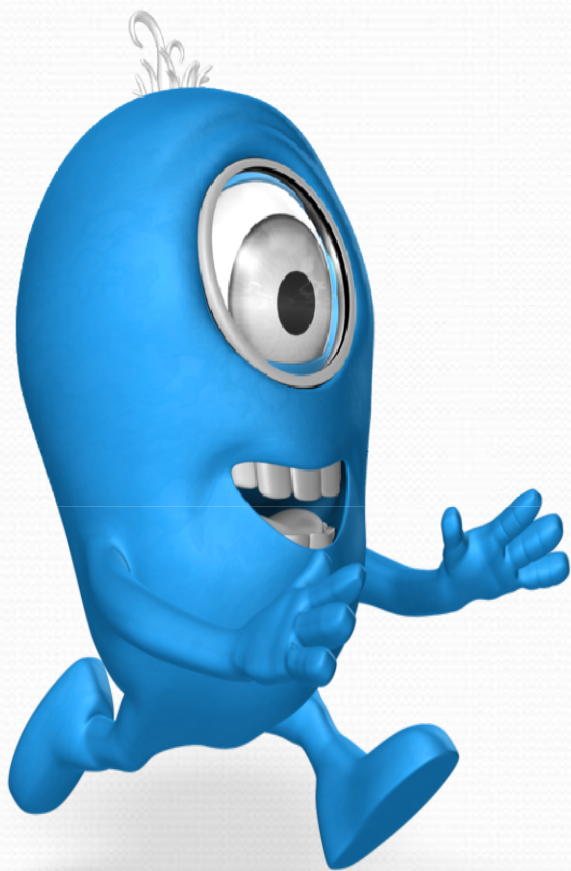
cât de repede trece timpul

3

MINUTE



găsește-ți locul



2

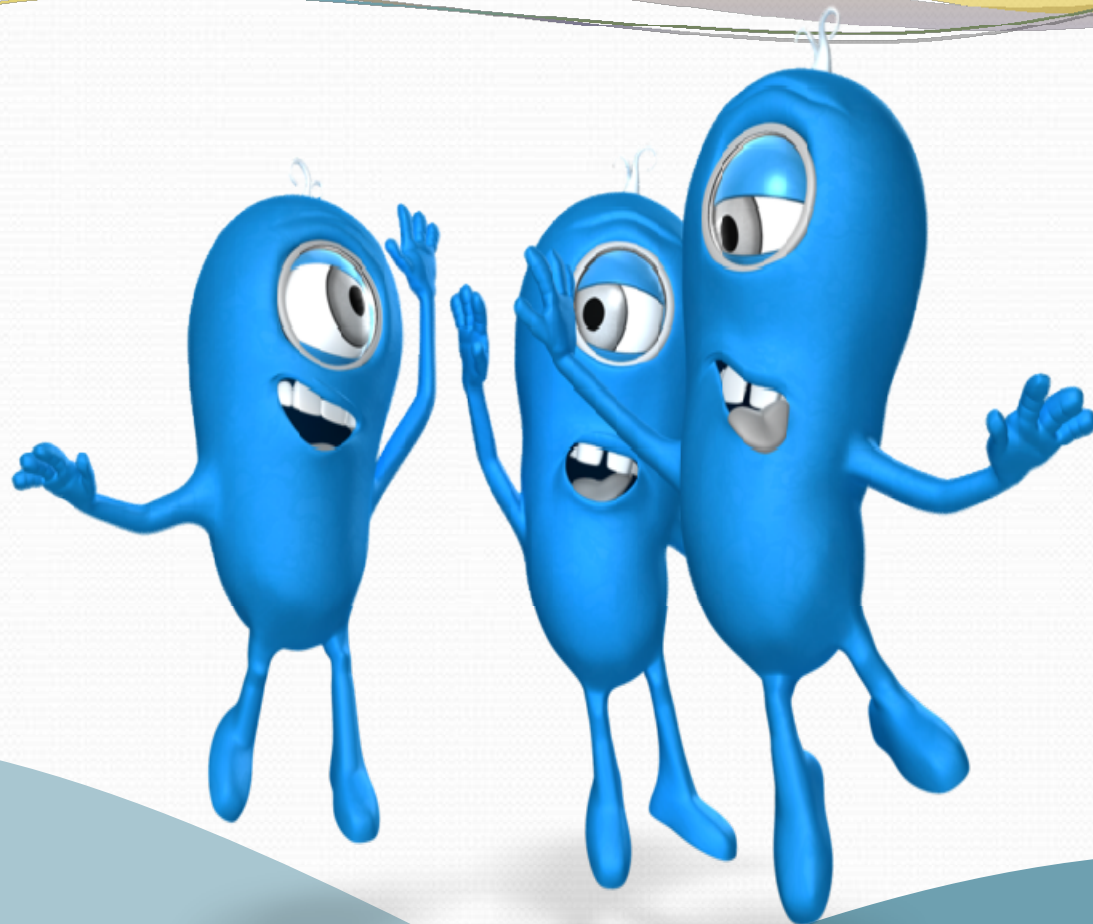
MINUTE

nu mai zăbovi!

1 MINUTE



suntem aproape gata!



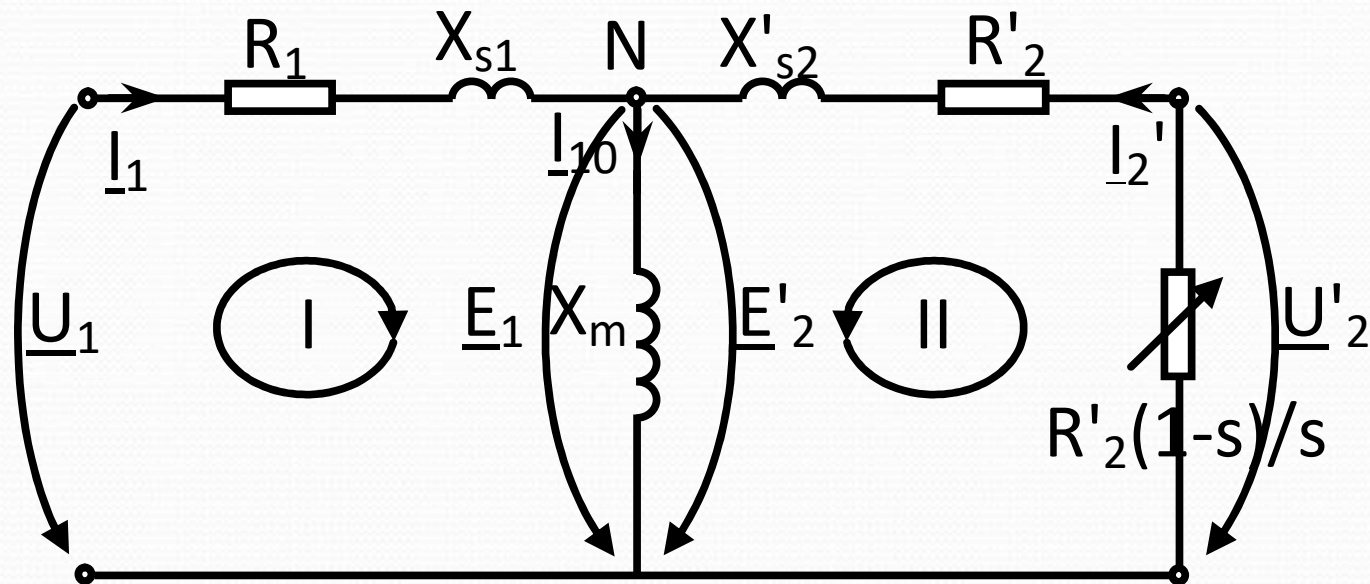
ne-am întors!



Scheme electrice echivalente ale mașinii trifazate

- 1 Scheme echivalente ale mașinii asincrone trifazate cu pierderi în fier neglijabile**
- 2 Scheme echivalente ale mașinii asincrone trifazate cu considerarea pierderilor în fier**
- 3 Diagrama fazorială a mașinii asincrone trifazate**

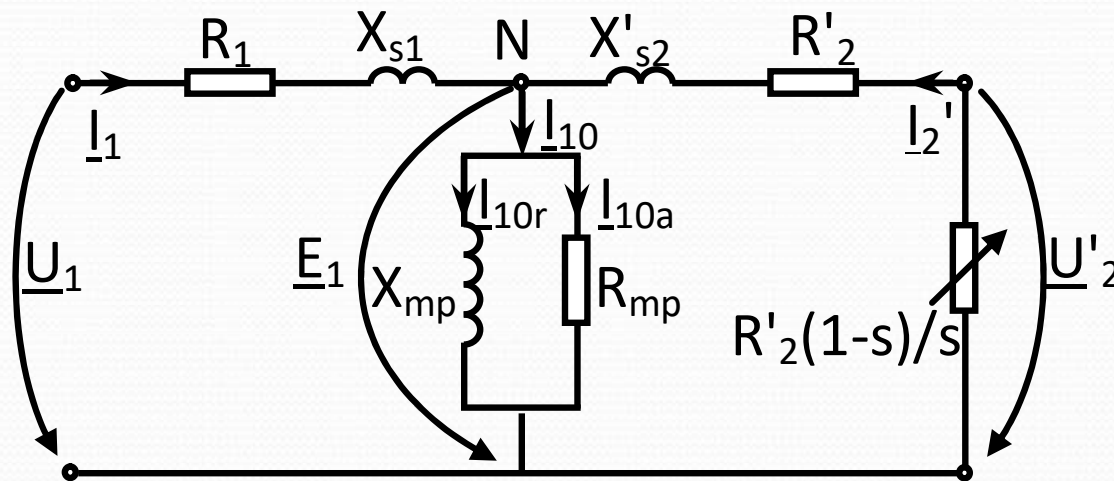
1 Scheme echivalente ale mașinii asincrone trifazate cu pierderi în fier neglijabile



Dacă $s = 1$, rezultă $U'_2 = 0$, ceea ce arată că la $n = 0$, puterea în secundar este nulă.

Pentru $s = 0$, rezistența de sarcină tinde la infinit, deci curentul este nul, puterea în secundar este nulă

2 Scheme echivalente ale mașinii asincrone trifazate cu considerarea pierderilor în fier

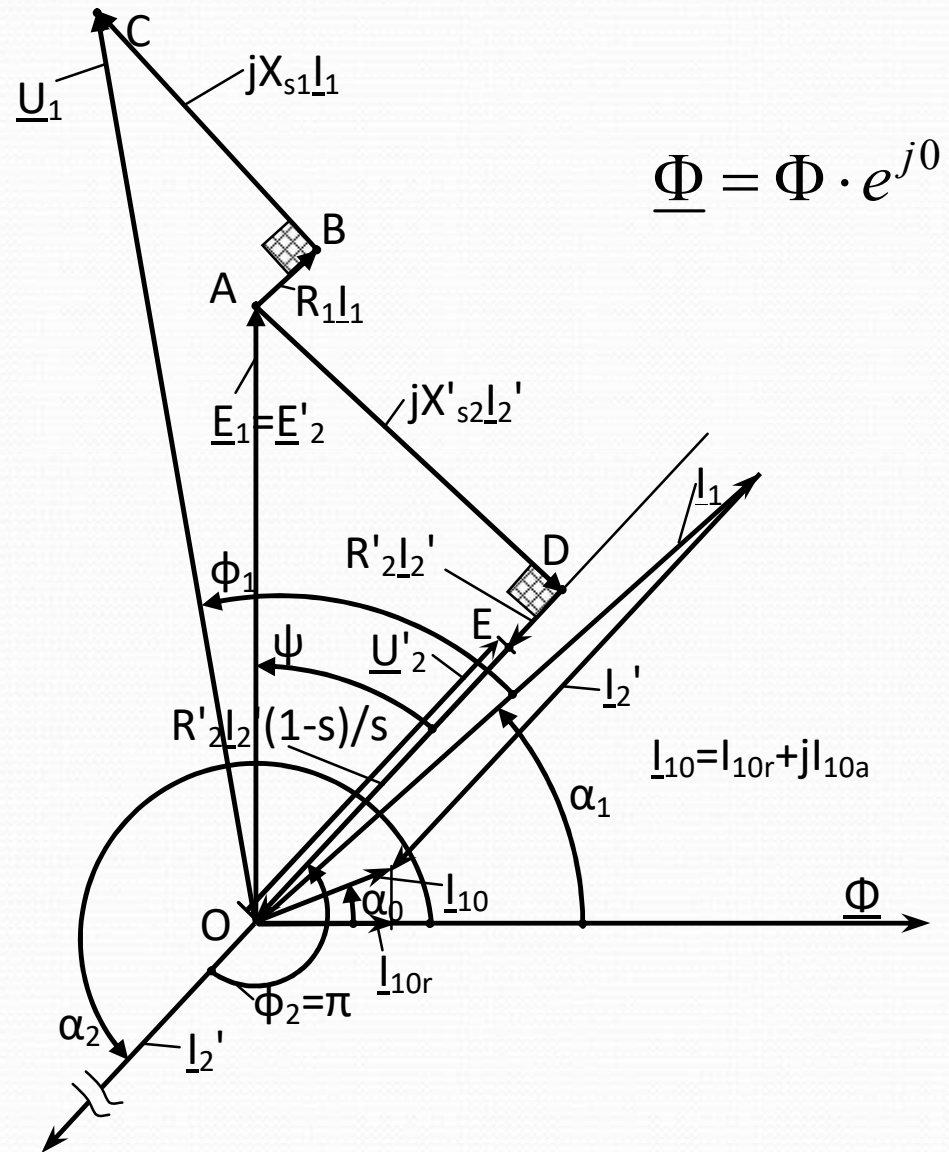


$$R_{mp} = \frac{3 \cdot U_1^2}{P_{Fe}}$$

$$I_{10a} \cong \frac{U_1}{R_{mp}} = \frac{P_{Fe}}{3 \cdot U_1}; \quad I_{10r} = \sqrt{I_{10}^2 - I_{10a}^2}$$

3 Diagrama fazorială a mașinii asincrone trifazate

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = \underline{E}_1 + R_1 \underline{I}_1 + j \cdot X_{s1} \underline{I}_1; \\ 0 = \underline{E}'_2 + \frac{R'_2}{s} \underline{I}'_2 + j \cdot X'_{s2} \underline{I}'_2; \\ \underline{I}_{10} = \underline{I}_1 + \underline{I}'_2; \end{cases}$$



MAȘINI ELECTRICE II

șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu

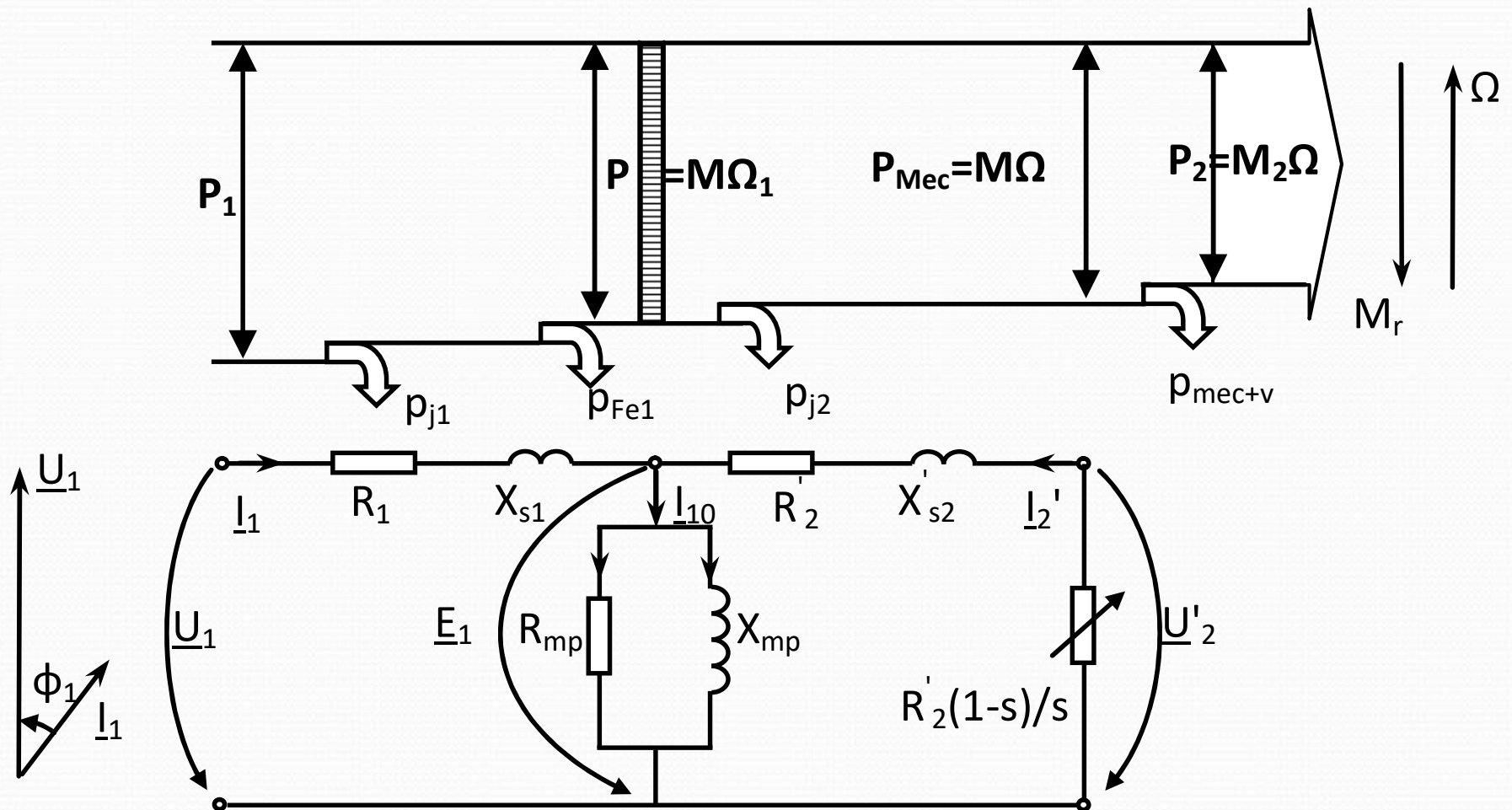
I. Bilanțul puterilor la mașina asincronă trifazată

- Bilanțul puterilor active
- Bilanțul puterilor reactive

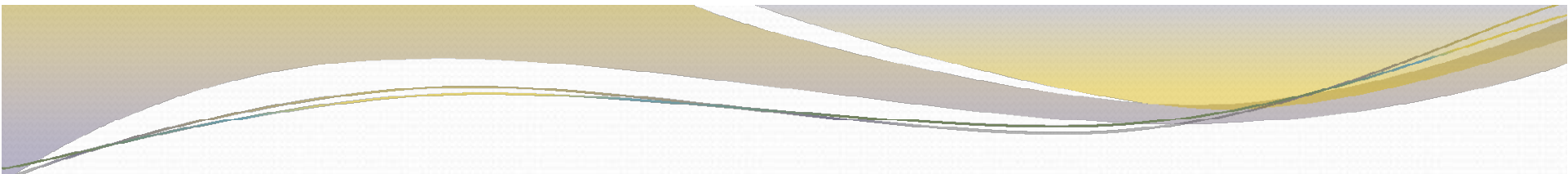
II. Dependența cuplului de alunecare, $M=f(s)$

- Funcționarea mașinii asincrone la tensiune și frecvență constante
- Funcționarea mașinii asincrone la curent statoric constant

1. Bilanțul puterilor active



bilanțul puterilor active pentru regimul de motor,

- 
- Această diagramă arată că puterea electrică activă absorbită de mașină prin stator

$$P_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1; \quad \varphi_1 \in (0, \pi / 2)$$

cuprinde:

- o componentă „consumată” prin efect electrocaloric în înfășurări


$$P_{j1} = 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2$$

- o altă componentă „consumată” prin încălzirea fierului statoric

$$P_{Fe1} = 3 \cdot R_{mp} \cdot I_{10a}^2$$

- o a treia componentă, importantă ca valoare numită și *putere electromagnetă*

$$P = M \cdot \Omega_1$$



- Din puterea electromagnetică primită de rotor, prin câmp, o parte se consumă prin efect electrocaloric în înfășurarea rotorică

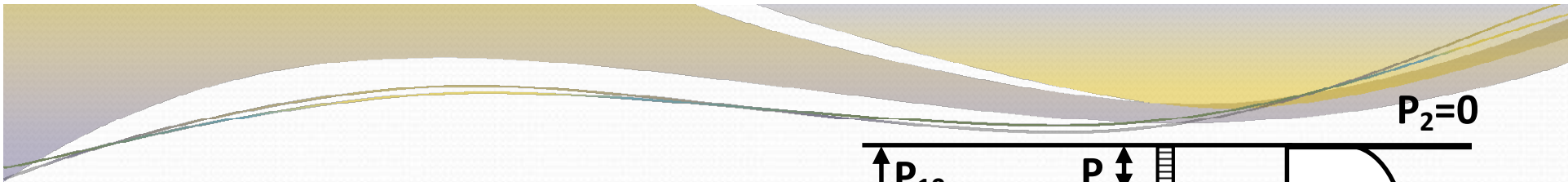
$$P_{j2} = 3 \cdot R'_2 \cdot I_2'^2$$

- o altă parte, însemnată, constituie *puterea mecanică* transferată rotorului

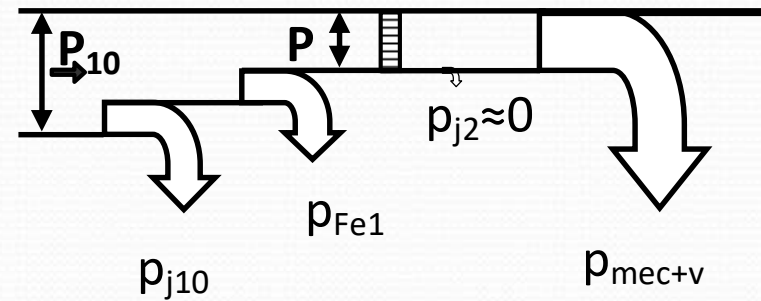
$$P_{Mec} = M \cdot \Omega$$

- din puterea mecanică P_{Mec} , o mică parte este cea corespunzătoare pierderilor mecanice prin frecări sau prin ventilație, iar o parte însemnată o constituie *puterea mecanică utilă* la arbore

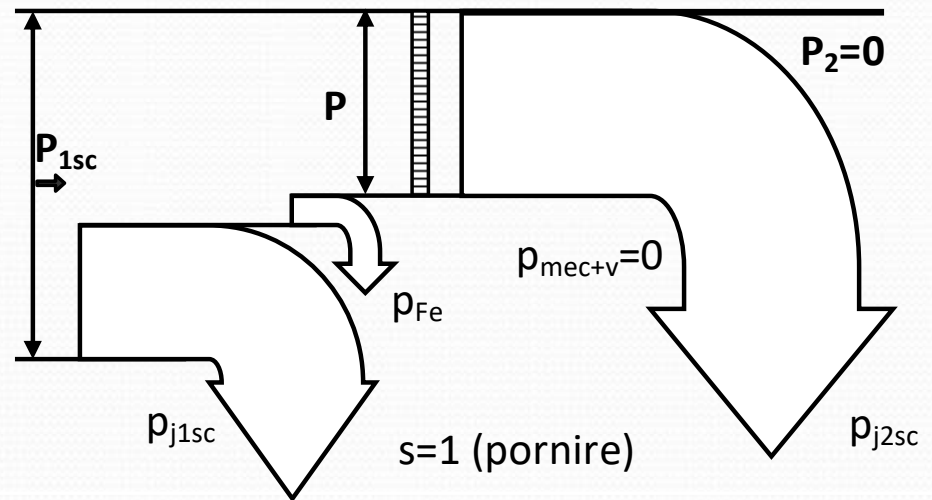
$$P_2 = M_2 \cdot \Omega$$



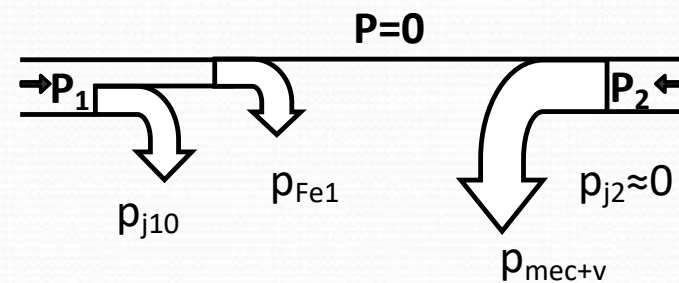
- Bilanțul puterilor active la gol



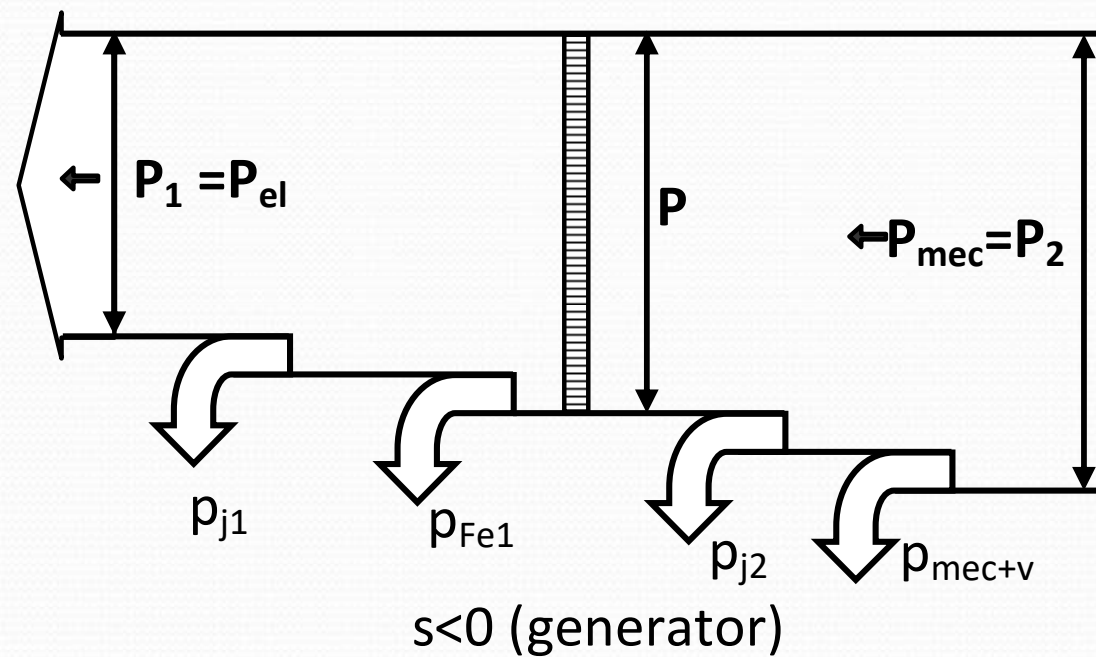
- Bilanțul puterilor active la scurtcircuit



- În cazul funcționării la sincronism



Bilanțul puterilor active în regim de generator



$$P_1 + P_2 = \sum p; \quad P_1 \geq 0; \quad P_2 \leq 0$$

- Randamentul mașinii se poate defini ca raport între puterea utilă – furnizată, luată în modul și puterea consumată – absorbită.

$$\eta = \frac{|P_2|}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma p}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1}$$

$$\eta_m = \frac{|P_{mec}|}{P_{el}} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_{el}} \quad \eta_g = \frac{|P_{el}|}{P_{mec}} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_{el} + \Sigma p}$$

pentru regimul de motor

pentru regimul de generator

2. Bilanțul puterilor reactive

- Puterea reactivă absorbită de la rețea se regăsește ca putere de magnetizare în reactanța X_m și ca puteri reactive în câmpurile de dispersie ale statorului și rotorului.

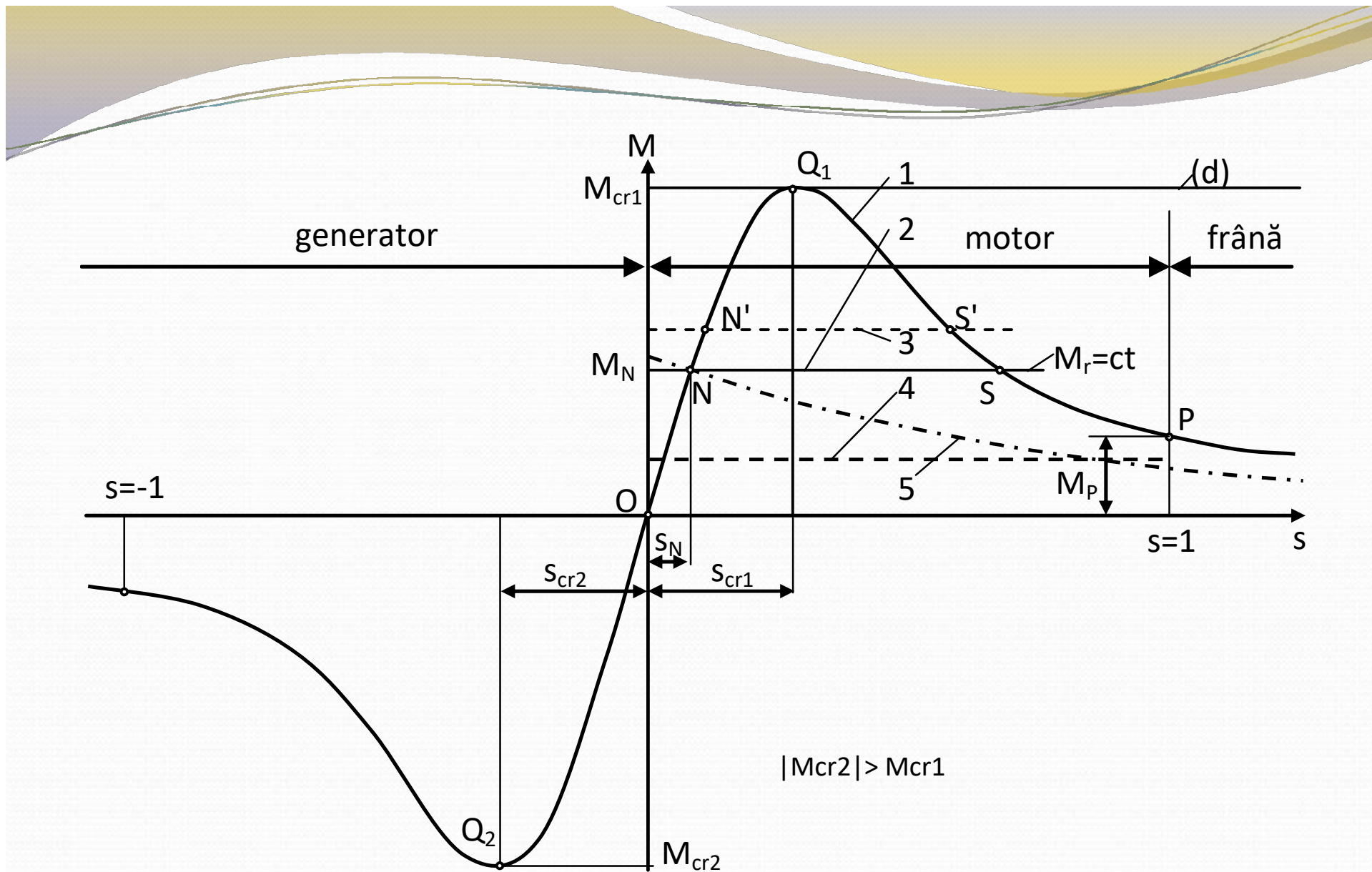
$$Q_1 = Q_m + Q_{s1} + Q_{s2}$$

- Mașina asincronă absoarbe, în funcționarea sa, putere reactivă de la rețeaua de alimentare, necesară în primul rând *menținerii unui flux magnetic $\underline{\Phi}$* (coliniar cu \underline{I}_{1or}) în mașină.

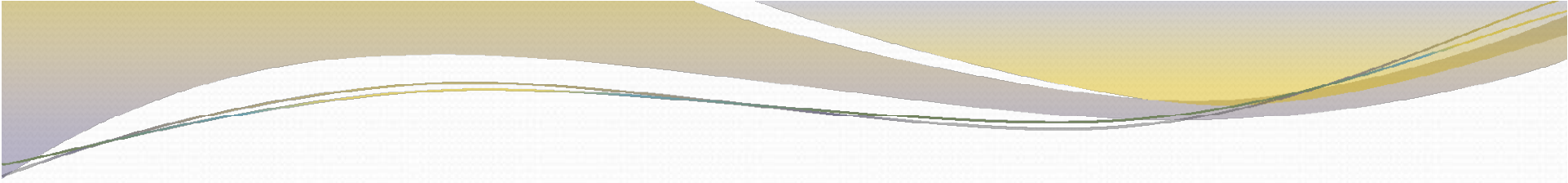
3. Funcționarea mașinii asincrone la tensiune și frecvență constante

- Este importantă, pentru caracterizarea funcționării mașinii asincrone, dependența cuplului electromagnetic M , mai ales de alunecarea s , în condițiile când se impune tensiunea aplicată statorului U_1 – pe fază și frecvența acesteia f_1 (sau pulsația ω_1).

$$M = \frac{3 \cdot p \cdot R'_2}{\omega_1} \cdot \frac{U_1^2}{s \cdot [R_1^2 + (X_{s1} + c_1 X'_{s2})^2] + 2 \cdot c_1 R_1 R'_2 + c_1^2 R_2'^2 / s}$$



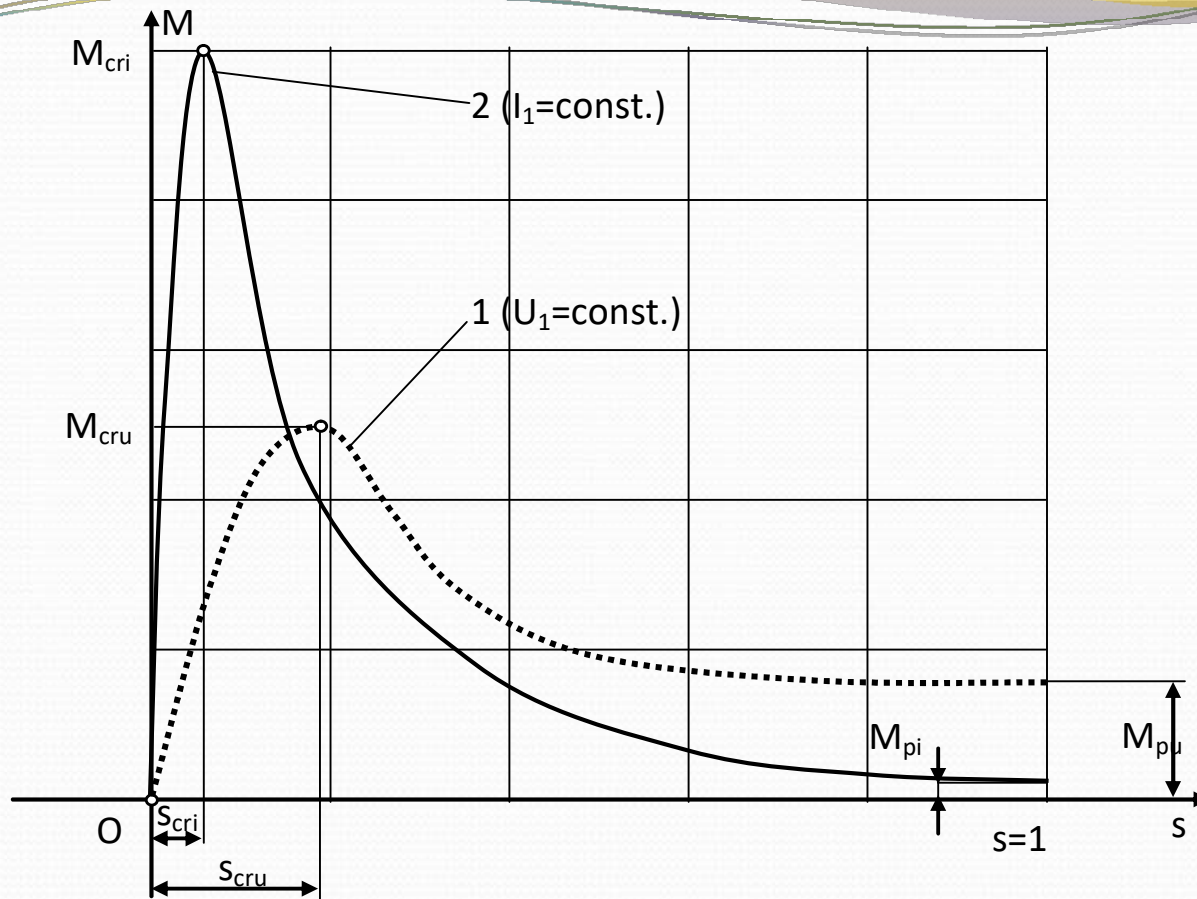
Caracteristica cuplu-alunecare, $M=f(s)$, a mașinii asincrone trifazate

- 
- Cuplul electromagnetic este proporțional cu *puterea activă* transmisă rotorului mașinii, mai exact este egal cu raportul dintre această putere și viteza unghiulară de sincronism, Ω_1 .
 - Valoarea cuplului critic nu depinde de rezistența rotorică, în schimb alunecarea critică depinde esențial, în sensul că valoarea sa crește odată cu rezistența rotorică.
 - Rezistența rotorică are o mare influență asupra alurii caracteristicii $M = M(s)$ sau mecanice, $n=f(M)$.

4. Funcționarea mașinii asincrone la curent statoric constant

- Această situație se întâlnește, în ultimul timp, în practică când se utilizează *invertoare de curent* pentru comanda motoarelor asincrone.

$$M = \frac{3p}{\omega_1} R'_2 I_1^2 \frac{1}{s \cdot c_2^2 + \frac{R_2'^2}{s \cdot X_m^2}}$$



- Alunecarea critică a mașinilor asincrone alimentate la curent constant este mult mai mică decât în cazul funcționării la tensiune constantă.
- Ca urmare, caracteristica $M = f(s)$ prezintă în domeniul alunecărilor mici o zonă liniară cu pantă deosebit de mare, adică valorile cuplului cresc mult la creșterea alunecării

MAȘINI ELECTRICE II

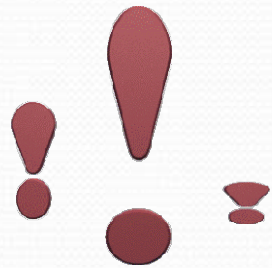
șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu



REGIMUL DE MOTOR AL MAȘINII DE INDUCȚIE

- **Definiții, alunecare**
- **Pornirea motoarelor asincrone trifazate**
- **Deconectarea de la rețea, inversarea sensului de rotație**

Definiții, alunecare



- Regimul de motor al mașinii de inducție este caracterizat prin faptul că statorul, cu înfășurare trifazată, absoarbe de la sursă o putere activă pe care o transformă în putere mecanică, furnizată pe la arbore, unei mașini de lucru.

- Alunecarea
$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$



Pornirea motoarelor asincrone trifazate

- Pornirea motoarelor asincrone este un proces tranzitoriu care se petrece atunci când viteza rotorului crește de la valoarea 0 până la o valoare apropiată de sincronism (sau valoarea nominală).
- În mod deosebit se pun probleme legate de mărimea *cuplului de pornire* și de valoarea *curentului absorbit* de la sursă pe timpul pornirii.
- În ceea ce privește valoarea curentului de pornire, aceasta trebuie să fie limitată.

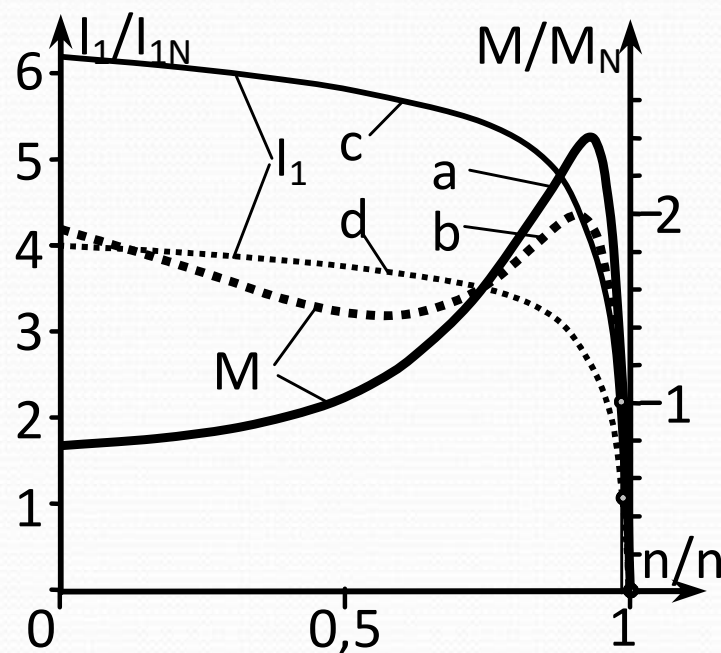
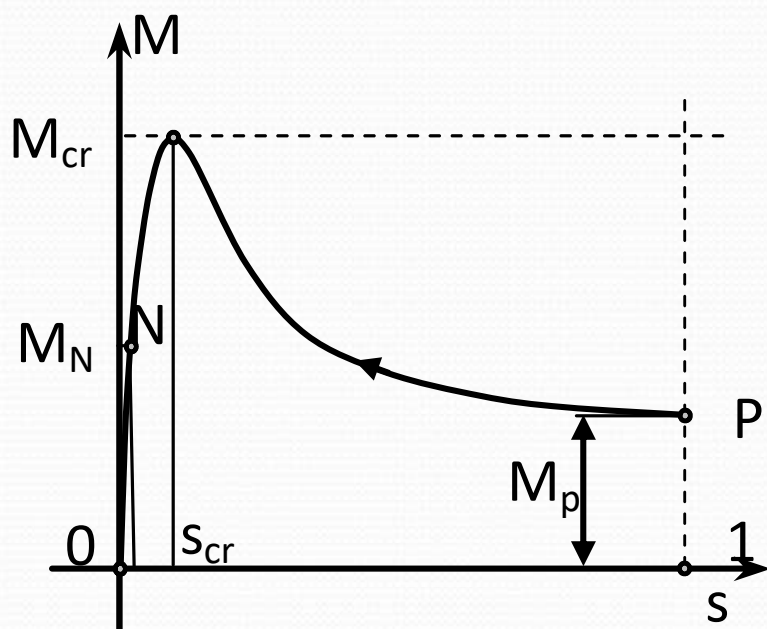
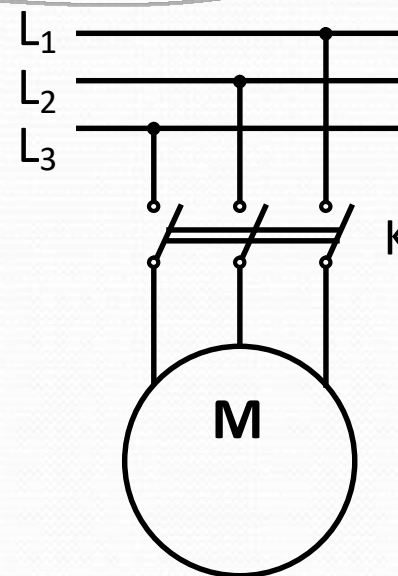


Pornirea motoarelor asincrone cu colivie

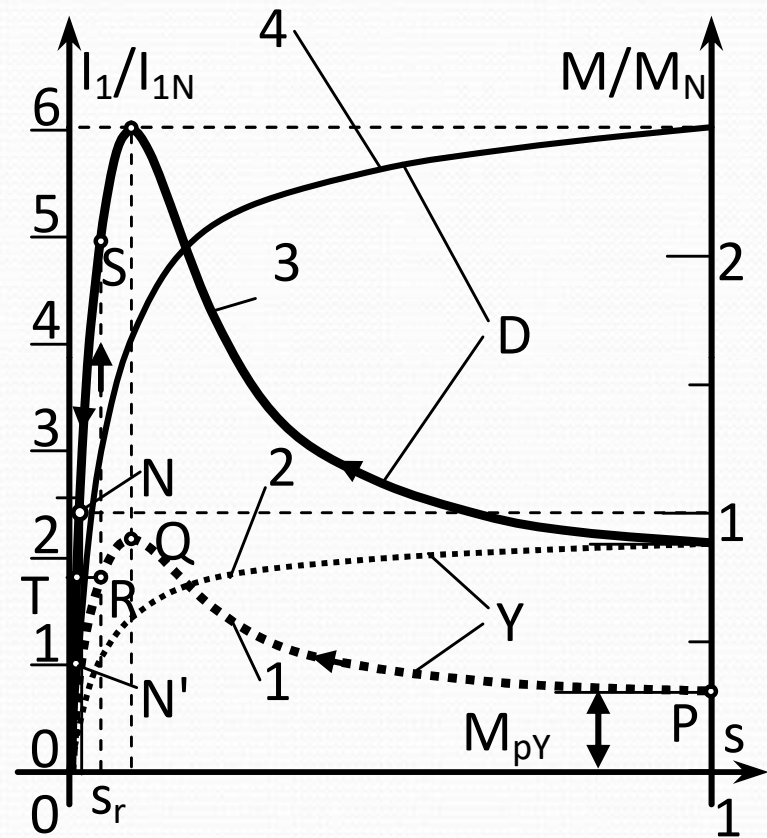
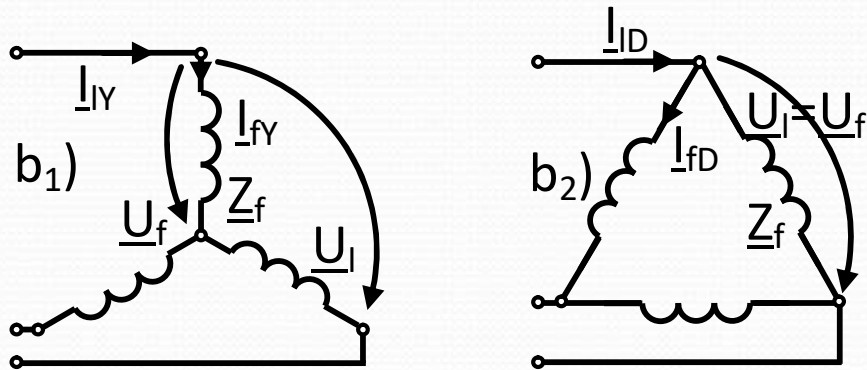
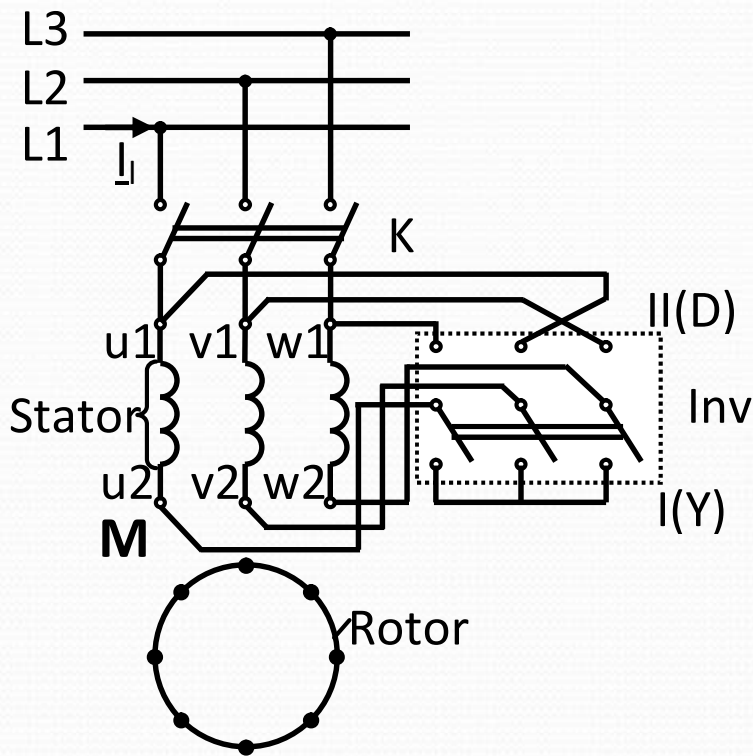
- Pornirea directă
- Pornirea cu tensiune redusă
 - Pornirea cu comutator stea – triunghi (Y-D)
 - Pornirea cu autotransformator sau/și bobină înseriată
 - Pornirea cu soft-startere

Pornirea directă

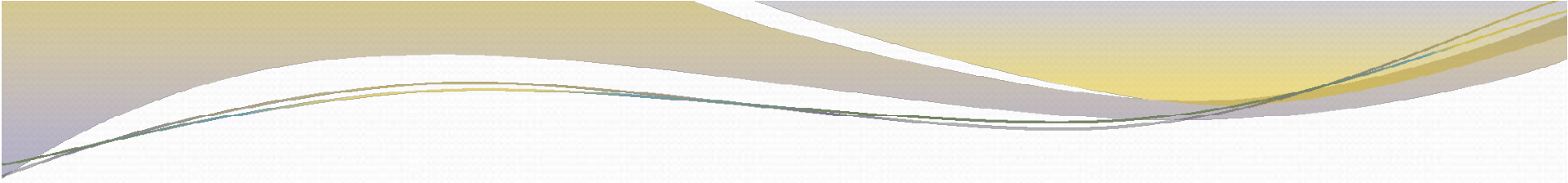
- Pornirea directă a motoarelor asincrone conduce la curenți mari prin înfășurări, care provoacă supraîncălziri ale acestora.



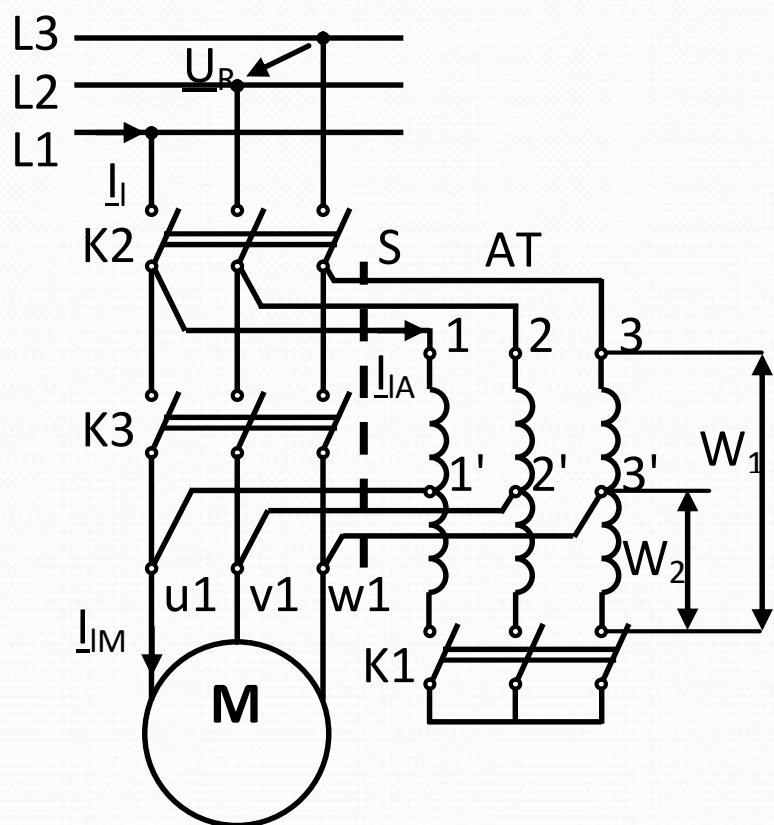
Pornirea cu comutator stea – triunghi (Y-D)



Δ/Y 400V/690V

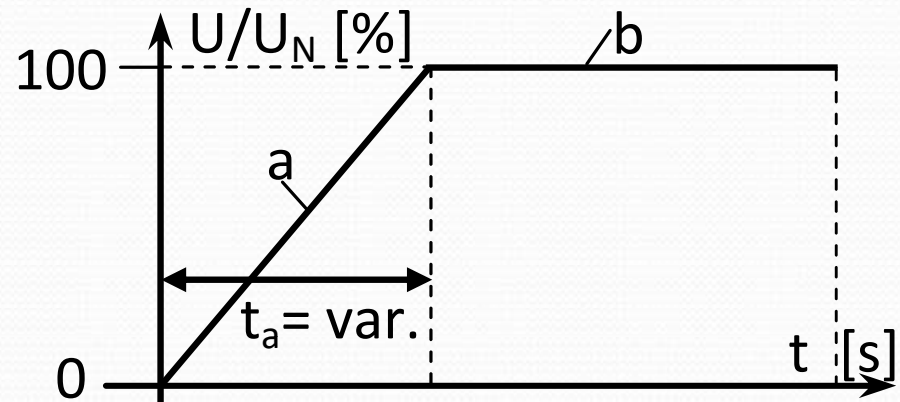
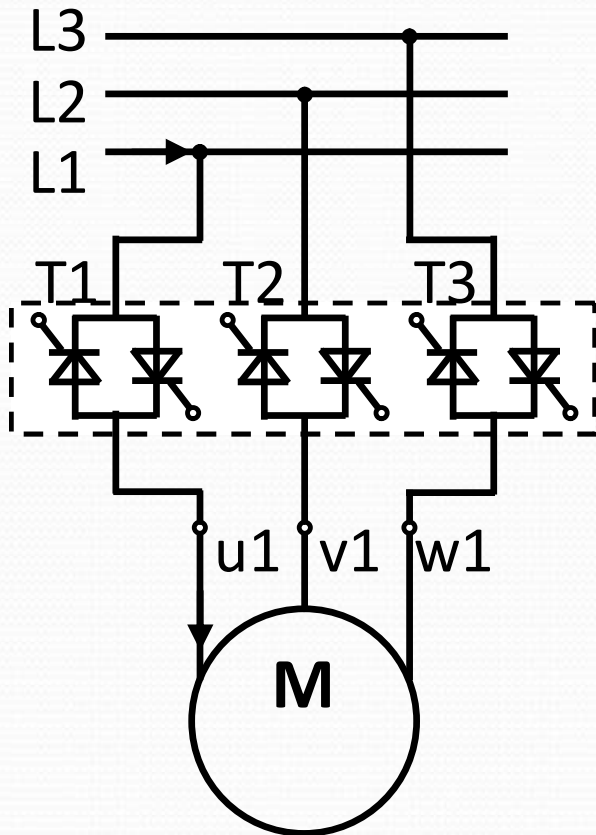
- 
- Dacă motorul este conectat în triunghi, curentul de linie de pornire este de aproximativ $6 I_{1N}$, iar dacă pornește cu conexiunea în stea acest curent este de $2 I_{1N}$.
 - La pornirea în stea cuplul de pornire M_{pY} este de trei ori mai mic decât $M_{p\Delta}$ când se pornește direct în triunghi.
 - Dacă pentru conexiunea normală – în triunghi, cuplul critic este $2,4 M_N$, pentru conexiunea în stea valoarea acestuia este $0,8 M_N$.

Pornirea cu autotransformator sau/și bobină înseriată



- Deoarece investiția în *AT*, întrerupătoare, separatoare etc. este consistentă (depășind uneori costul unui motor) este indicată această metodă dacă se cere pornirea mai multor motoare aproximativ identice.

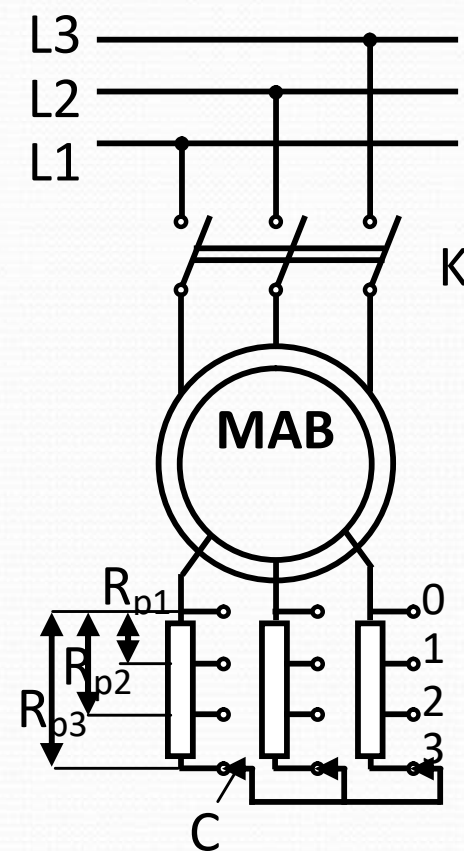
Pornirea cu soft-startere

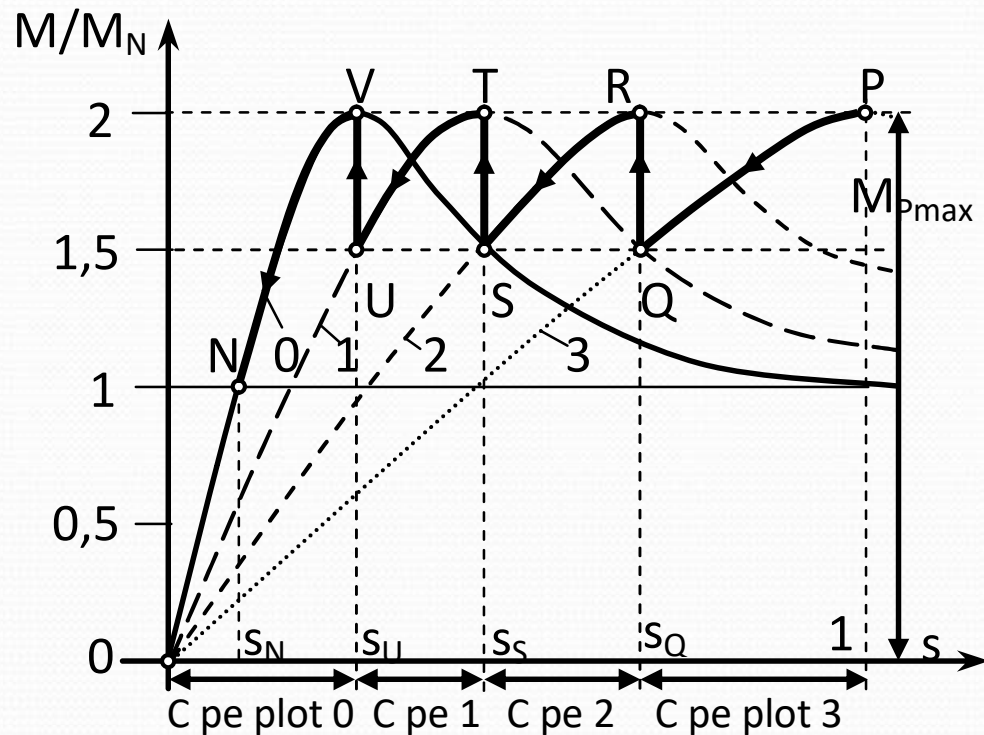


- Aceste echipamente efectuează o *pornire lină*, eliminând variațiile bruște ale vitezei (deci fără "pași de pornire") întâlnite în cazurile expuse anterior.

Pornirea motoarelor asincrone cu rotor bobinat

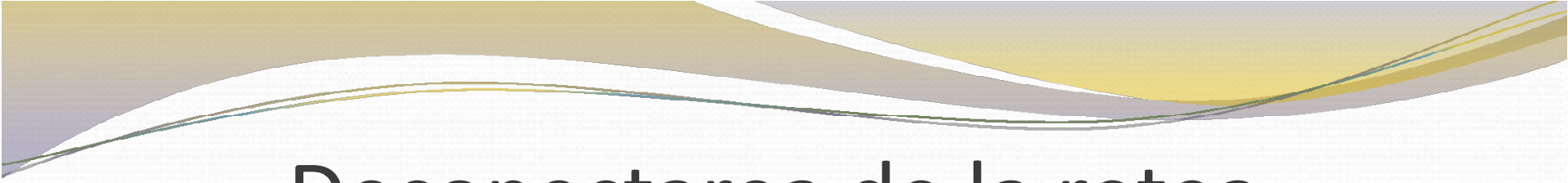
- Pornirea motoarelor asincrone cu rotor bobinat (*MAB*) se efectuează folosind rezistențe reglabile în circuitul rotoric.
- Prezența acestor rezistențe creează posibilitatea diminuării curentului absorbit de motor la pornire și menținerea sa la o valoare acceptabilă din punctul de vedere al rețelei.





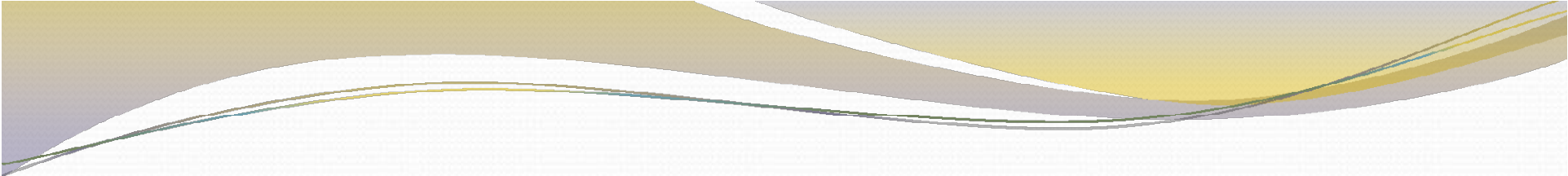
- Așadar, prin înserierea de rezistențe în circuitul rotoric, curentul de pornire devine $<70\%$ din valoarea curentului de la pornirea directă.

- În ceea ce privește cuplul de pornire M_p se poate dovedi că valoarea sa este mai mare decât M_N pentru un anumit domeniu de valori ale lui .



Deconectarea de la rețea, inversarea sensului de rotație

- *Deconectarea* motoarelor asincrone trifazate cu colivie de la rețeaua de alimentare se realizează în general prin întreruperea circuitului rețea – înfășurare statorică după descărcarea de sarcină a motorului sau diminuarea consistentă a sarcinii.
- La motoarele asincrone cu rotor bobinat este indicată întreruperea alimentării statorului numai când rotorul este conectat în scurtcircuit.

- 
- *Inversarea* sensului de rotație la motoarele asincrone trifazate se realizează prin inversarea legăturilor la rețea a două din fazele acestuia.
 - În această situație se inversează ordinea de succesiune a fazelor, deci sensul de rotație a câmpului magnetic învârtitor statoric.
 - Prin convenție, sensul de rotație la stânga se referă la cazul când privind dinspre exterior pe direcția axului spre capătul de ax al motorului acesta se rotește în sens trigonometric pozitiv (antiorar). Dacă rotirea este în sens orar se spune că motorul are sensul de rotație la dreapta.

MAȘINI ELECTRICE II

șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu



Reglajul turației motoarelor asincrone trifazate

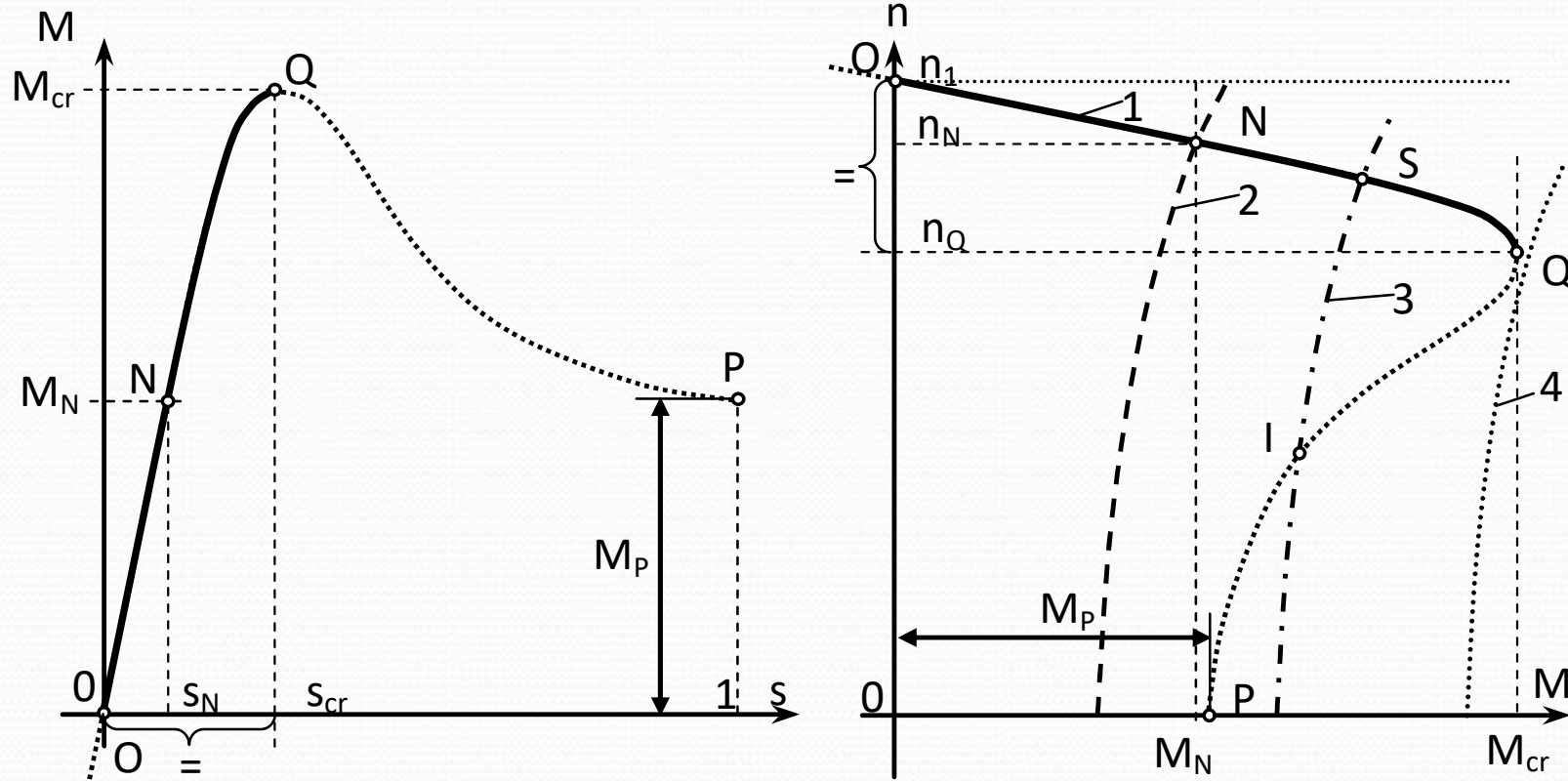
- **Generalități, caracteristica mecanică a motorului asincron**
- **Reglarea turației prin modificarea alunecării**
- **Reglarea turației prin modificarea numărului de perechi de poli**
- **Reglarea turației prin modificarea frecvenței de alimentare**



Generalități, caracteristica mecanică a motorului asincron

$$n = (1 - s)n_1 = (1 - s)\frac{60f_1}{p}$$

- Expresia turației mașinii asincrone sugerează care sunt modalitățile de modificare a acesteia, anume:
 - prin variația alunecării s ,
 - prin modificarea numărului de perechi de poli p ,
 - prin schimbarea frecvenței de alimentare, f_1 .



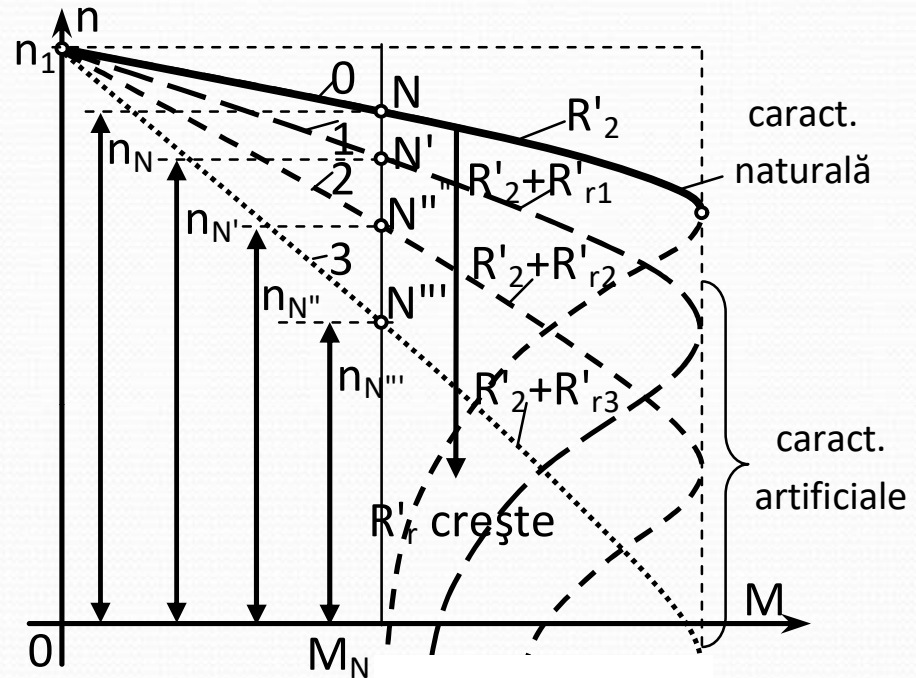
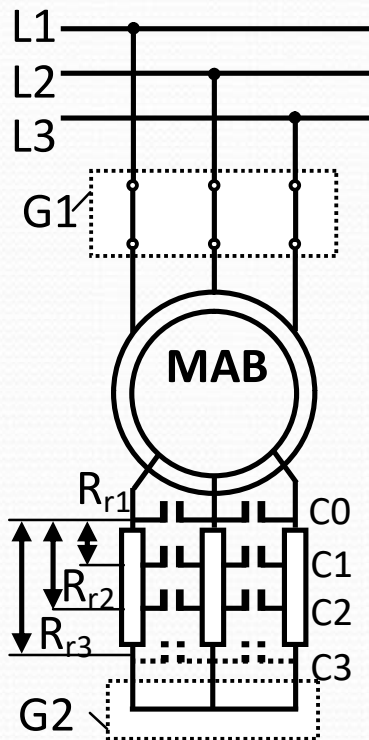
- Caracteristica mecanică a motorului asincron, definită ca dependență $n=f(M)$, în condiții de alimentare impuse, se deduce din funcția $M=f(s)$



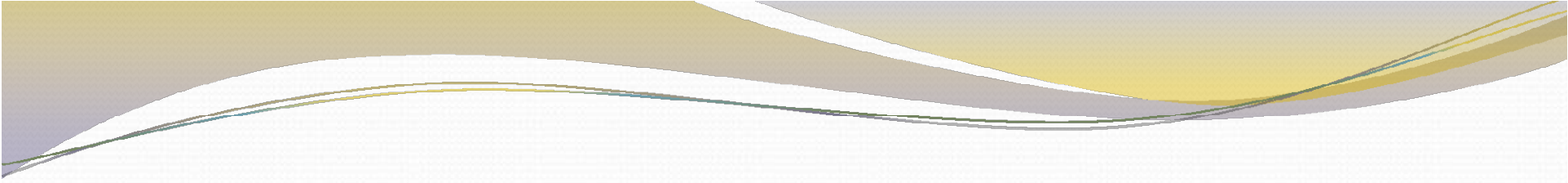
Reglarea turației prin modificarea alunecării

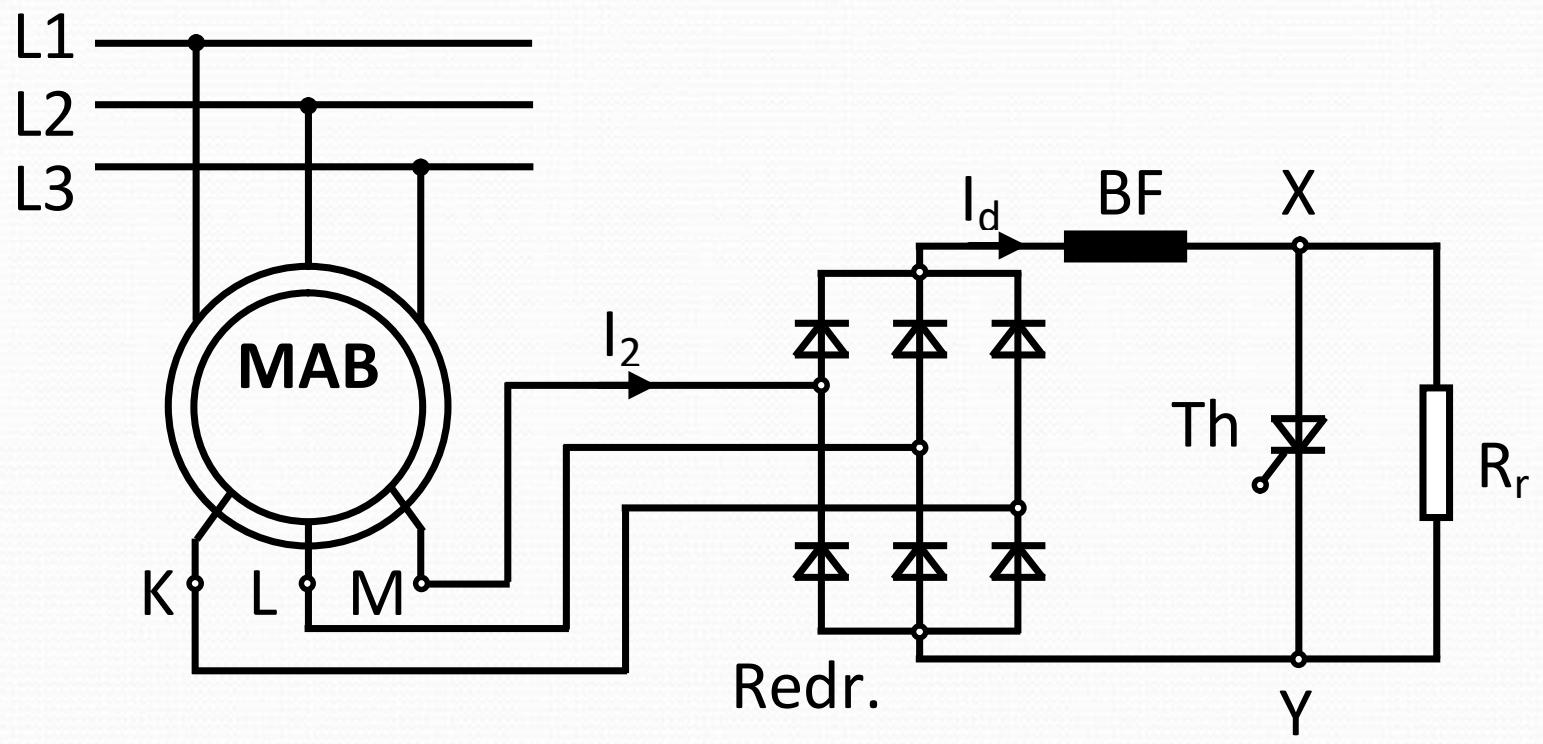
- ***Motorul asincron cu rotor bobinat***
 - *înserierea de rezistențe în circuitul rotoric*
 - *variază tensiunea de alimentare*
- ***Motorul asincron cu rotor în scurtcircuit (colivie)***
 - *variază tensiunea de alimentare*

Reglajul turației prin inserierea de rezistențe în circuitul rotoric



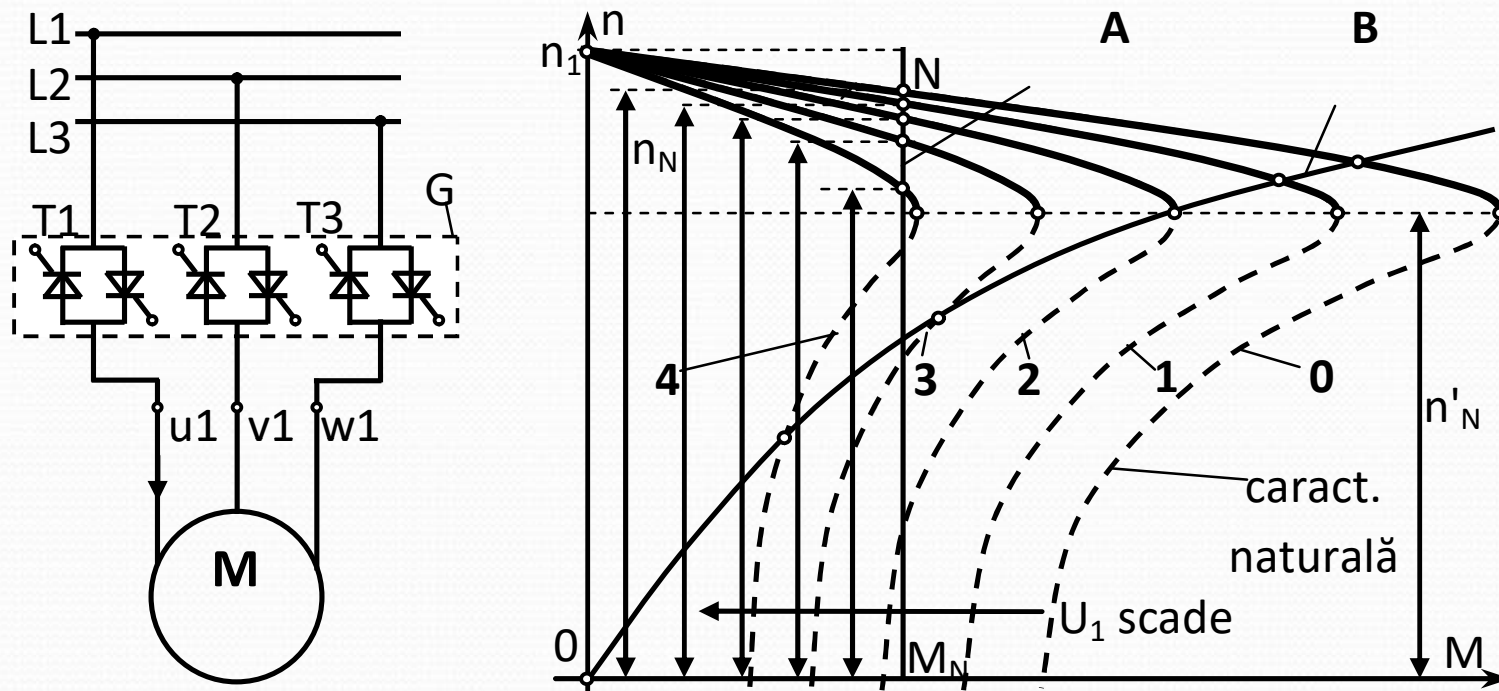
- Alunecarea critică este proporțională cu rezistența rotorică, ceea ce înseamnă că panta caracteristicii $n=f(M)$ pe porțiunea stabilă se modifică o dată cu variația rezistenței.
- Cuplul critic nu depinde de rezistența rotorică

- 
- Metoda are cel puțin două inconveniente:
 - nu poate fi considerată o metodă veritabilă de reglare întrucât la sarcini reduse, în apropierea vitezei de sincronism reglajul este ca și inexistent, fiind mai aproape de adevăr formularea: procedeu de variație a scăderii vitezei în sarcină;
 - prin creșterea alunecării, pierderile Joule în înfășurări cresc și se diminuează randamentul. De reținut este faptul că aceste pierderi sunt disipate preponderent pe rezistențele înseriate – situate în exteriorul rotorului.

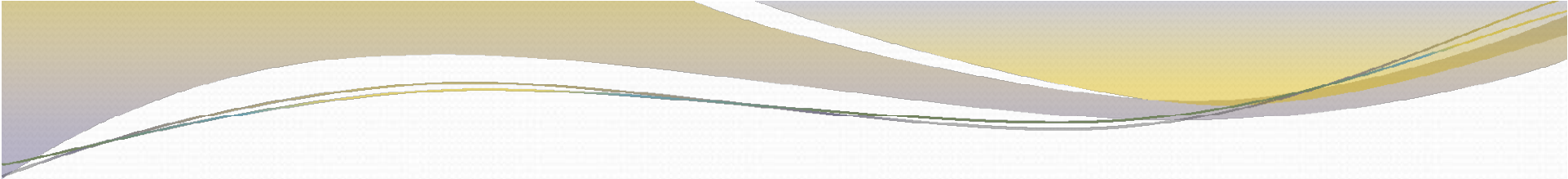


Reglarea vitezei MAB cu o rezistență în rotor

Reglajul turației prin variația tensiunii de alimentare




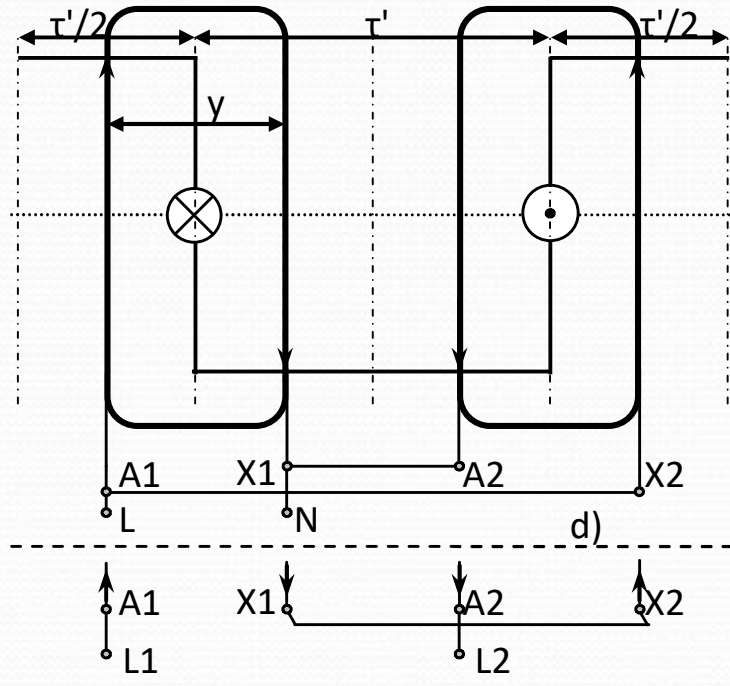
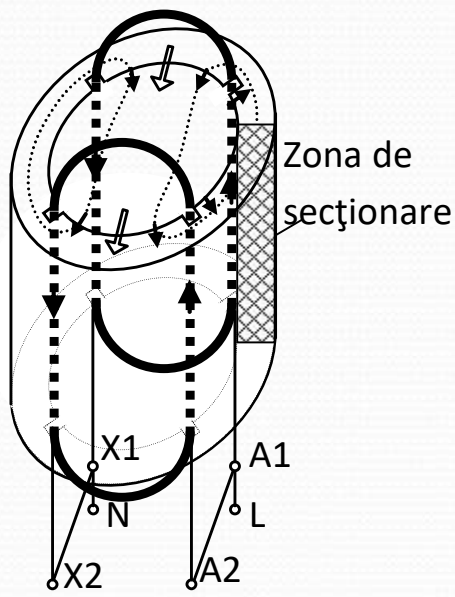
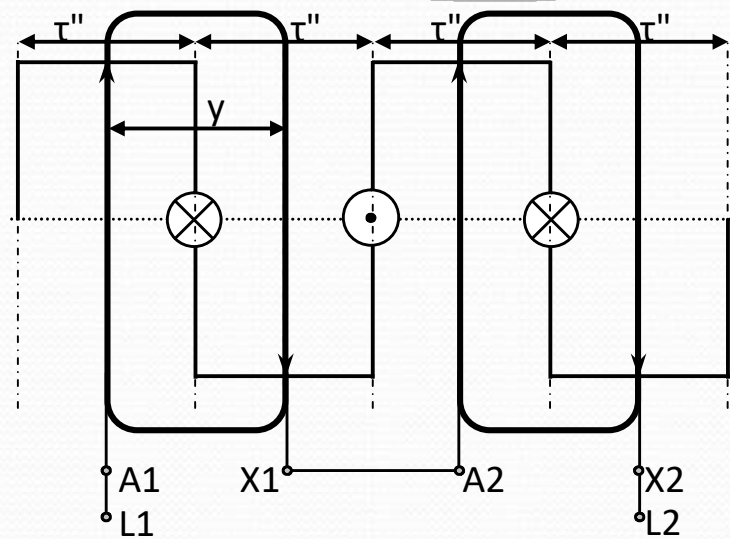
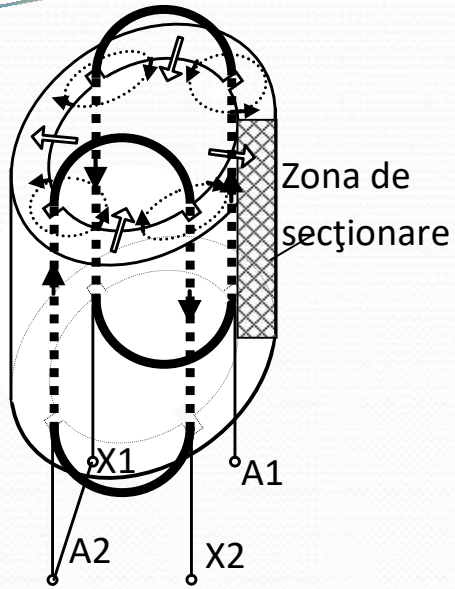
- Dacă se ține seama de faptul că expresia alunecării critice s_{cr} , nu depinde de tensiunea de alimentare, se obține familia de caracteristici la $U_1 = \text{variabil}$ având punctul critic la aceeași valoare a turației: $n = n_1(1 - s_{cr})$.

- 
- Un mare avantaj al acestei metode constă în faptul că schema de alimentare este deosebit de simplă, folosind doar 3 triacuri sau 6 tiristoare – câte 2 montate antiparalel, ale căror scheme de comandă nu pun probleme deosebite.
 - Metoda este aplicabilă cu oarecare precauție, întrucât sarcina trebuie să aibă la viteze reduse cuplu mic, dar care este necesar să crească mult cu viteza.
 - Se utilizează cu succes la antrenarea de pompe sau ventilatoare ale căror cupluri variază cu pătratul turației.
 - Micșorarea vitezei se face în detrimentul randamentului întrucât se mărește alunecarea.

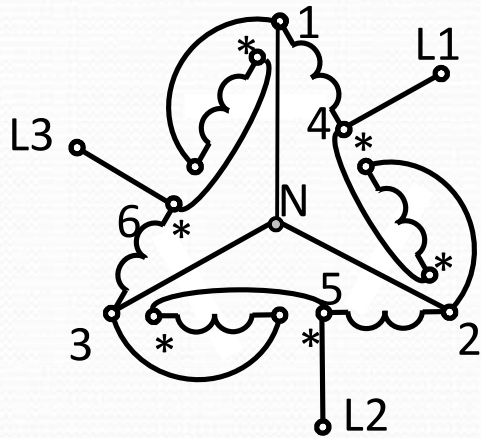
Reglarea turației prin modificarea numărului de perechi de poli

- Din expresia turației se remarcă faptul că modificarea lui p duce la modificarea în trepte a vitezei de sincronism n_1 .
- De obicei se modifică valorile turațiilor în raportul 2:1, iar motoarele respective se numesc cu două viteze.
- Abordând un principiu similar se pot obține motoare cu 3 sau 4 viteze (mai corect ar trebui specificat "de sincronism").
- Schimbarea numărului de poli ai înfășurării statorice la mașina asincronă cu rotor bobinat trebuie însoțită de schimbarea corespunzătoare a numărului de poli ai înfășurării rotorice.

- 
- Se întâlnesc în practică următoarele trei variante de obținere a două sau mai multe viteze de sincronism:
 - prin folosirea unei singure înfășurări care permite, prin conectări convenabile ale bobinelor componente, să se realizeze două numere de perechi de poli în raportul 1:2, (în general, dar pot fi 2:3; 3:4 ș.a.).
 - prin utilizarea a două înfășurări distincte introduse în creștăturile mașinii, realizate pentru 2 numere de perechi de poli diferite, raportul dintre aceste numere ajungând chiar la 1:6;
 - prin adoptarea a două înfășurări distincte cu numere de poli diferite, fiecare dintre acestea având posibilitatea de comutare la câte două viteze; se obțin astfel patru viteze în raporturile 1:2:3:4.

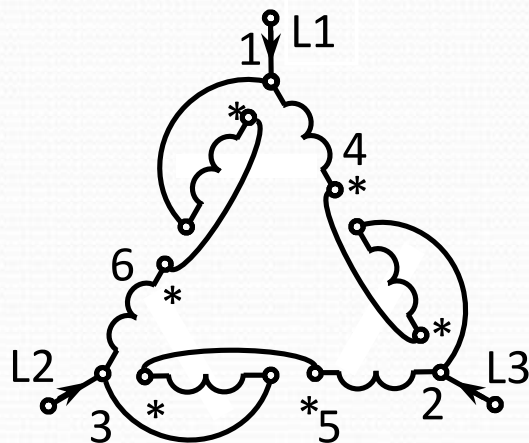
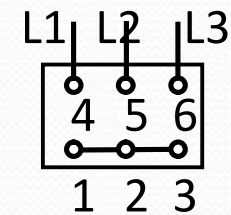


Scheme Dahlander



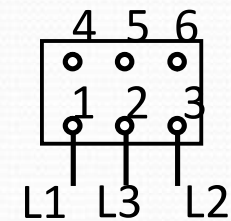
YY
 (dublă-stea)
 Viteza mică, p_2
 -mare

Conexiuni

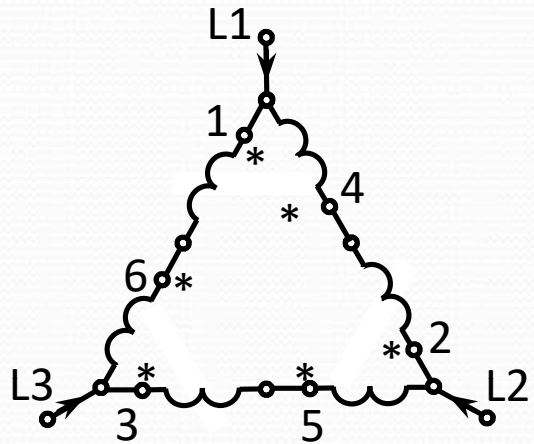


D
 (triunghi)
 Viteza mare,
 p_1 -mic

Conexiuni

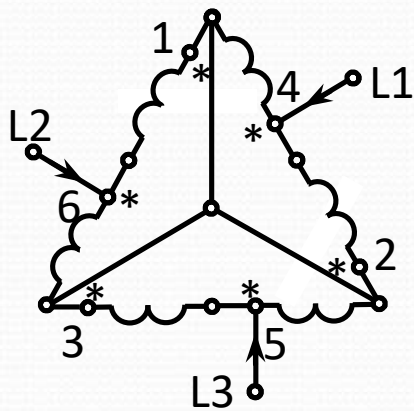
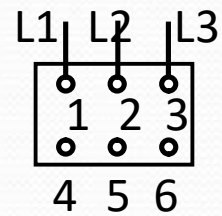


la putere constantă



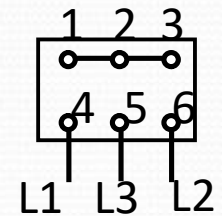
D
 (triunghi)
 Viteza mică,
 p_2 –mare

Conexiuni

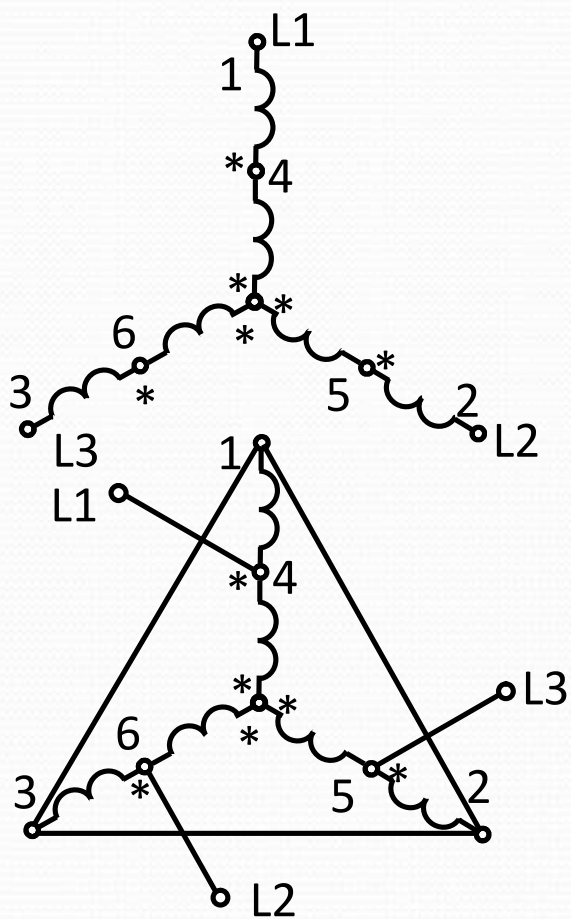


YY
 (dublă-stea)
 Viteza mare,
 p_1 –mic

Conexiuni

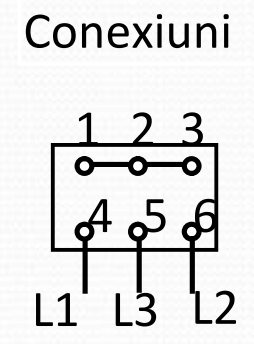
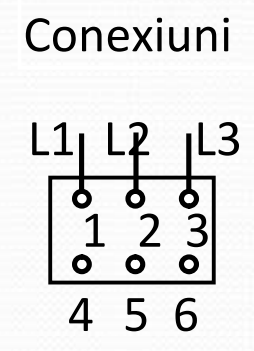


la cuplu constant

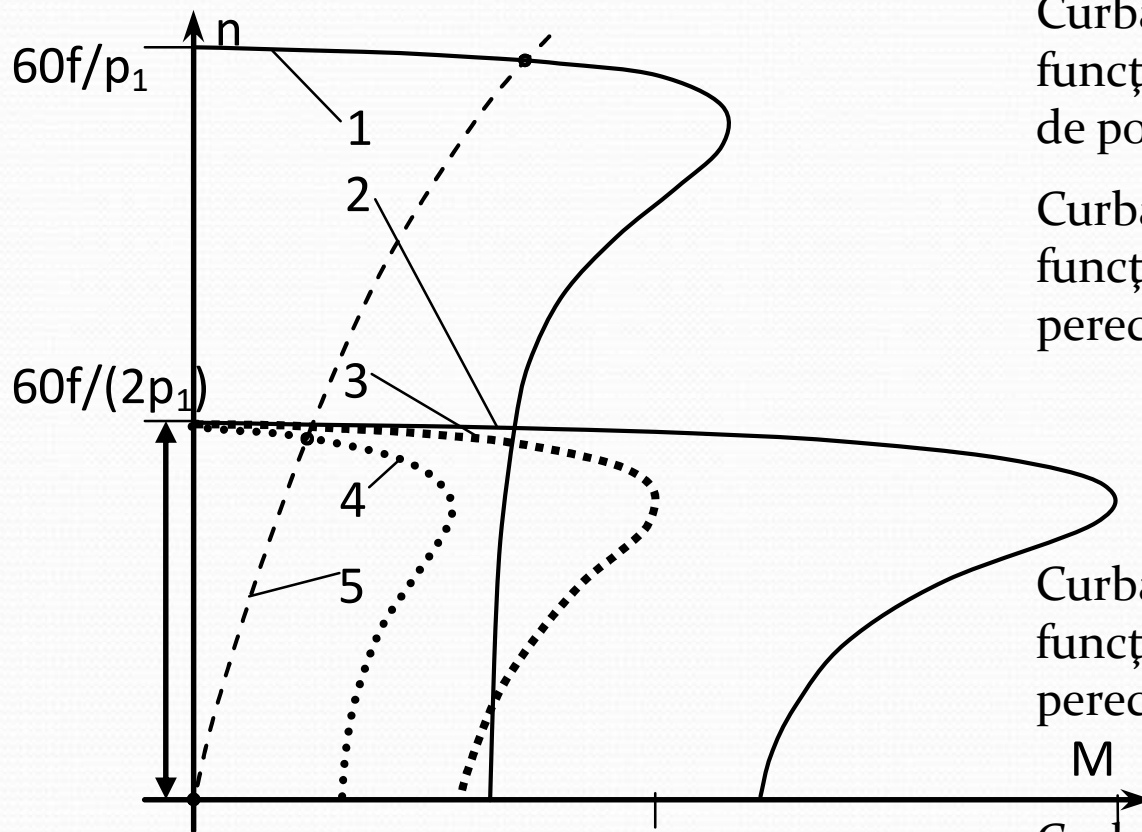


Y(stea)
 Viteza mică,
 p_2 –mare

YY
 (dublă-stea)
 Viteza mare,
 p_1 –mic



la cuplu variabil



Curba 1 este dependența $n=f(M)$ la funcționarea cu număr mic de perechi de poli p_1

Curba 2 este dependența $n=f(M)$ la funcționarea cu număr mare de perechi de poli $2p_1$ la putere constantă

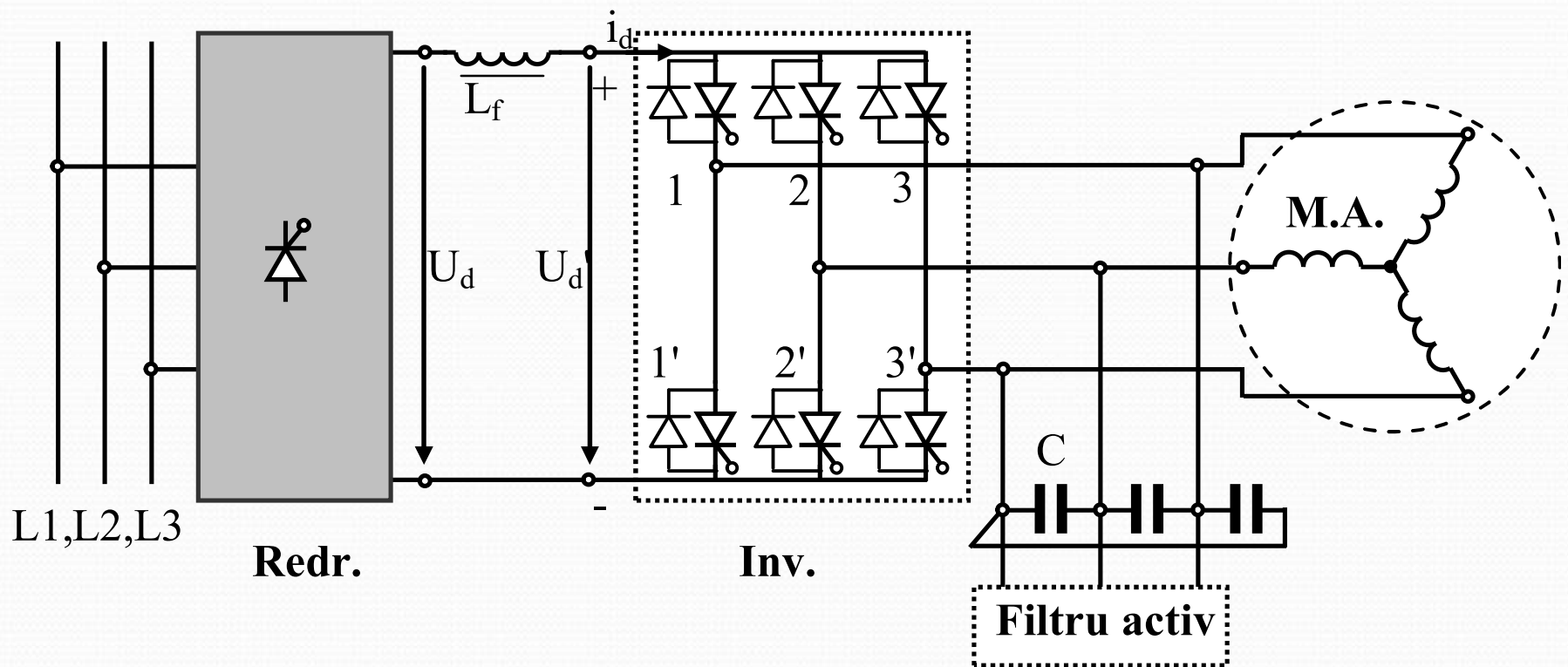
Curba 3 este dependența $n=f(M)$ la funcționarea cu număr mare de perechi de poli $2p_1$ la cuplu constantă

Curba 4 este dependența $n=f(M)$ la funcționarea cu număr mare de perechi de poli $2p_1$ la cuplu variabil

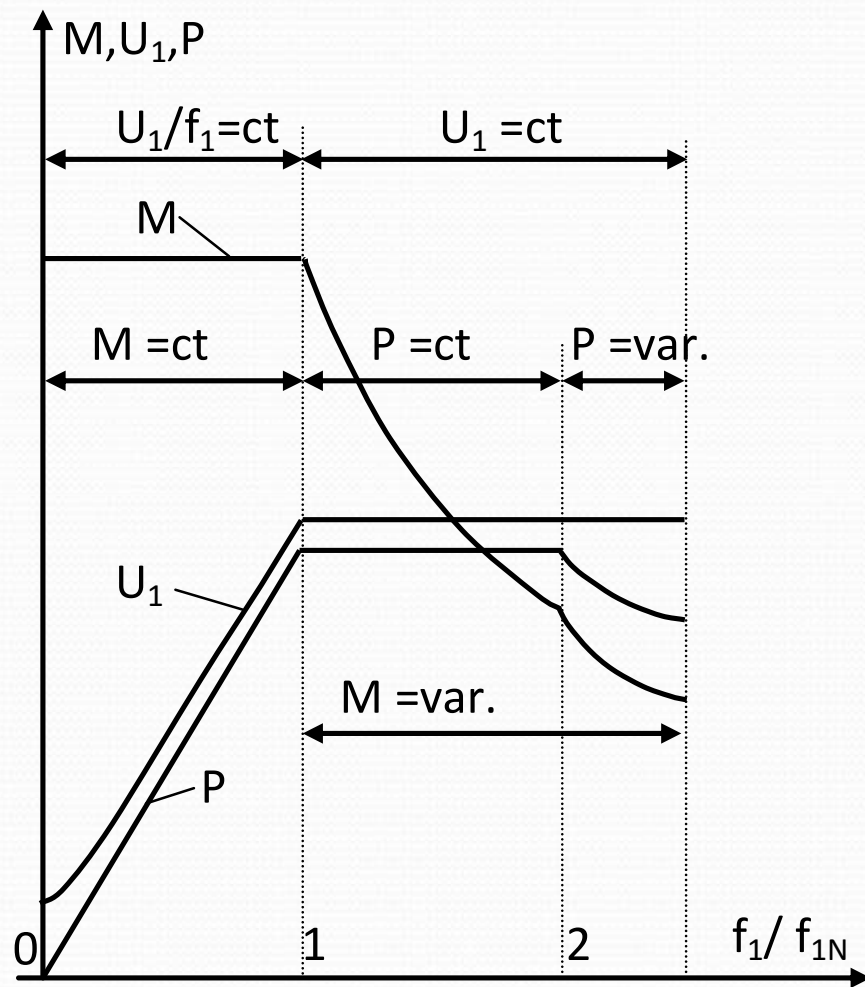
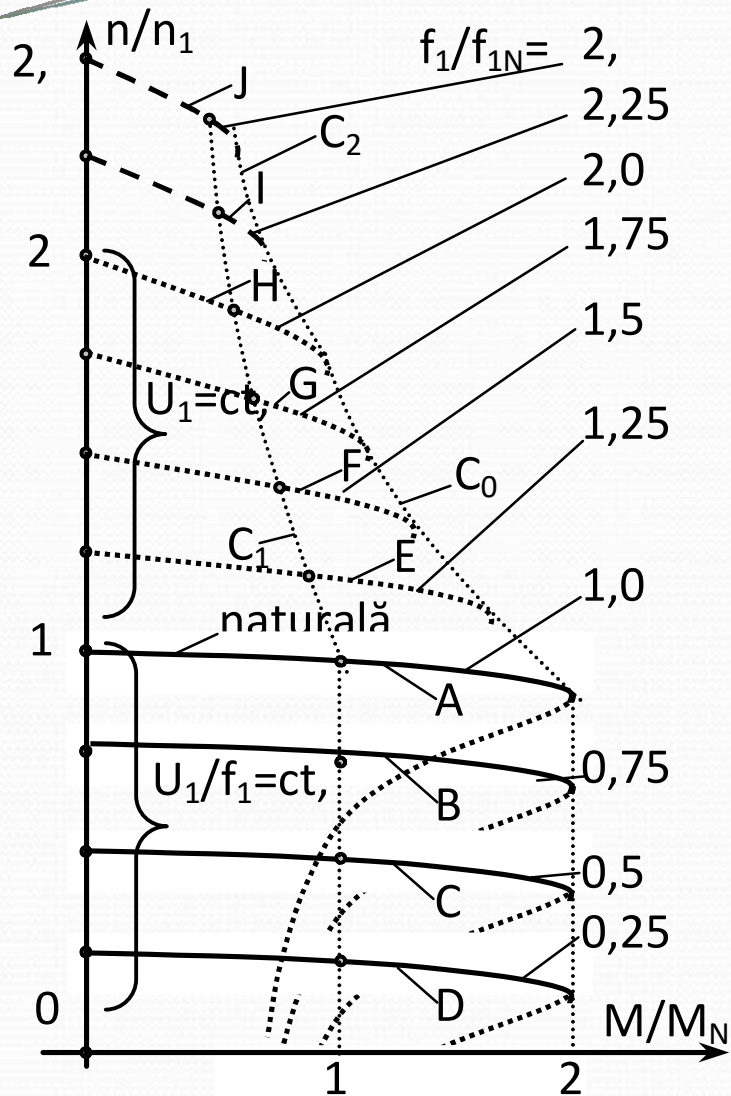
Curba 5 este o dependență tipică pentru ventilatoare

Reglarea turației prin modificarea frecvenței de alimentare

- Prin modificarea frecvenței tensiunii de alimentare a mașinii asincrone se poate obține o variație a turației de sincronism și, în funcție de cuplul rezistent, se modifică turația rotorului în scurtcircuit.
- Avantajele variației vitezei motoarelor asincrone cu rotor în colivie asociate cu convertoare de frecvență:
 - ameliorarea exploatării proceselor industriale prin creșterea supleței comenzii motorului de acționare,
 - optimizarea consumului de energie electrică,
 - creșterea securității și siguranței acționării.



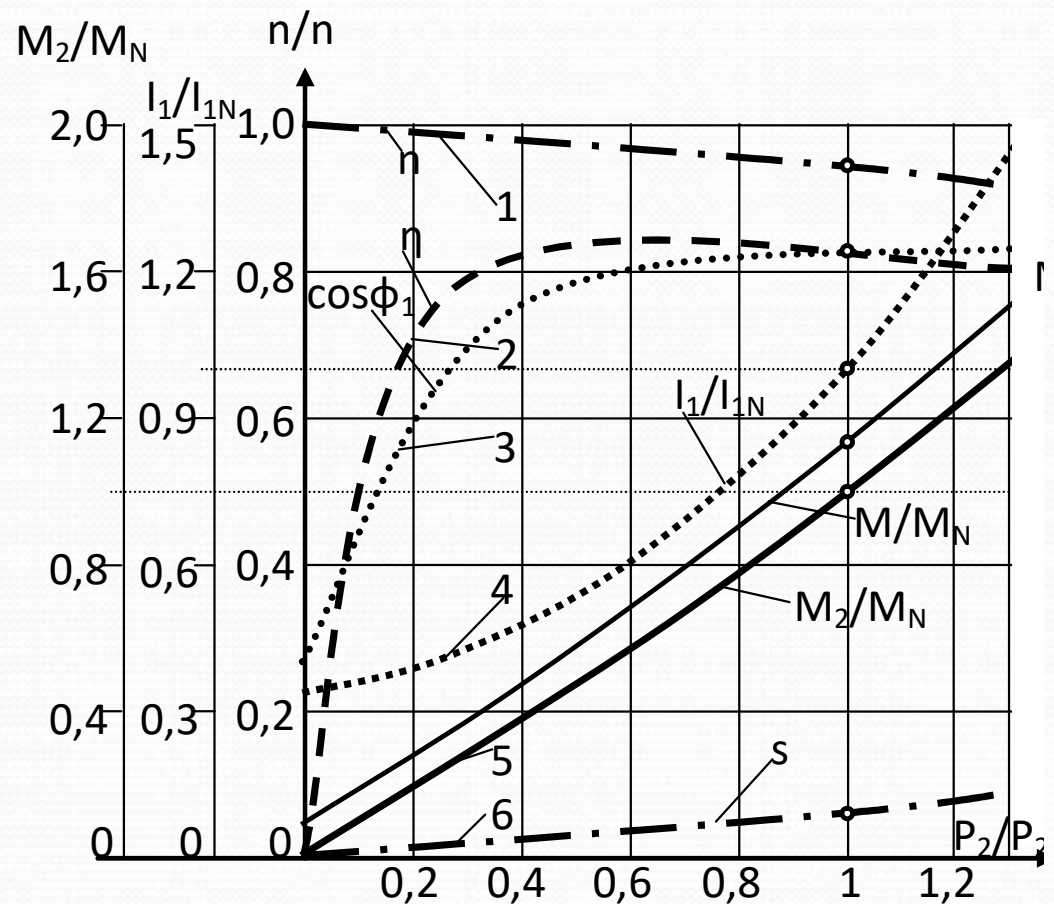
Schemă de alimentare a motorului asincron
cu inverter de curent



Caracteristicile motoarelor asincrone
la comanda în frecvență

Caracteristicile de funcționare a motoarelor asincrone trifazate

- În afară de dependența $M=f(n)$, pentru aprecierea performanțelor mașinilor asincrone în regim de motor se mai folosesc *caracteristicile de funcționare*, care sunt definite ca dependențe de P_2 – putere utilă, a diverselor mărimi de natură electrică sau mecanică ale mașinii.



MAȘINI ELECTRICE II

șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu

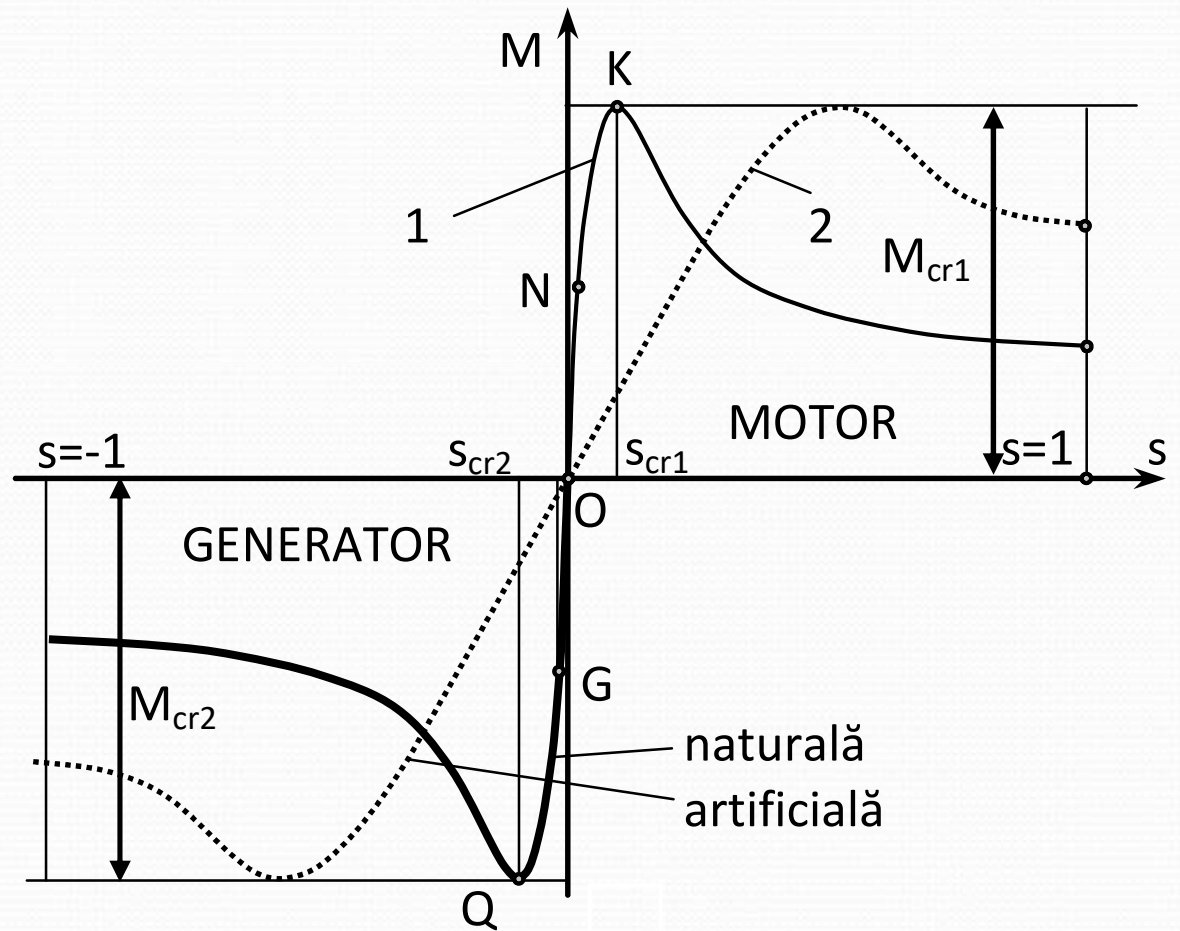
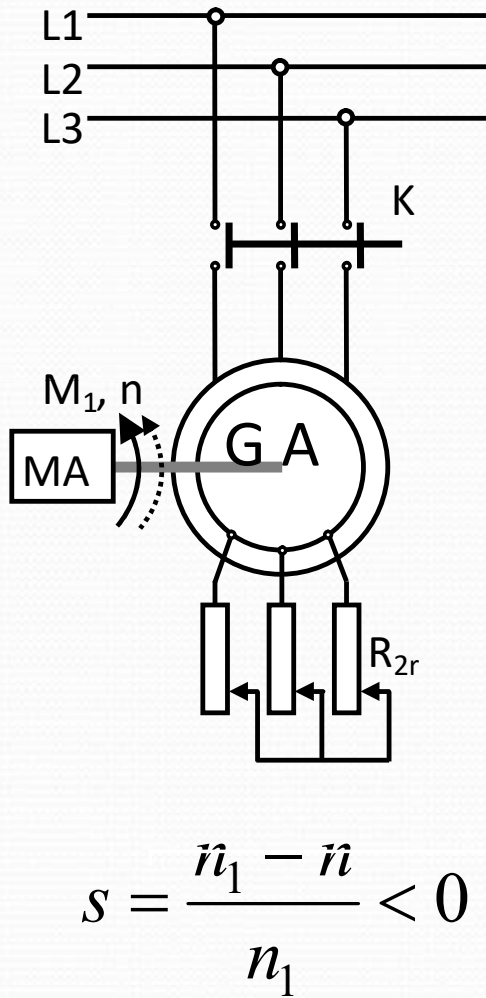


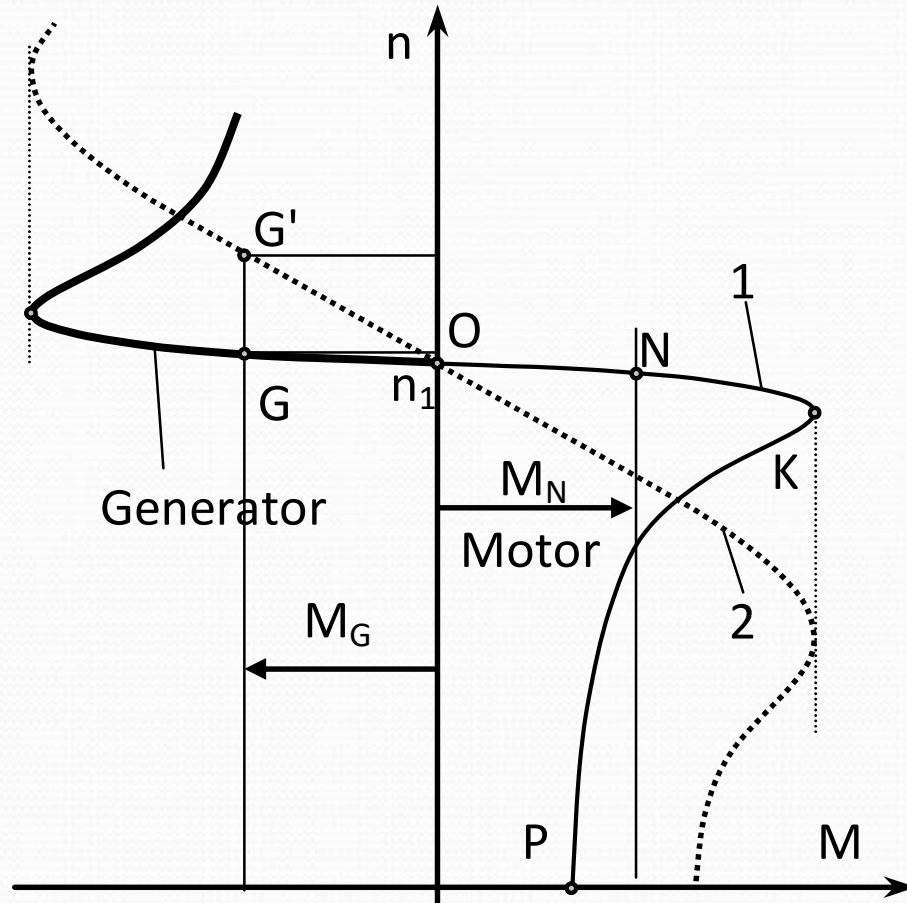
Regimul de generator al mașinii asincrone trifazate

- **Generatorul asincron conectat la rețea**
- **Generatorul asincron independent (autonom)**

Mașina asincronă trifazată funcționează în regim de generator de putere electrică activă dacă indusul (rotorul – la mașina în construcție directă) primește o putere mecanică (mai mare în modul decât suma pierderilor) de la un motor de antrenare.

Generatorul asincron conectat la rețea



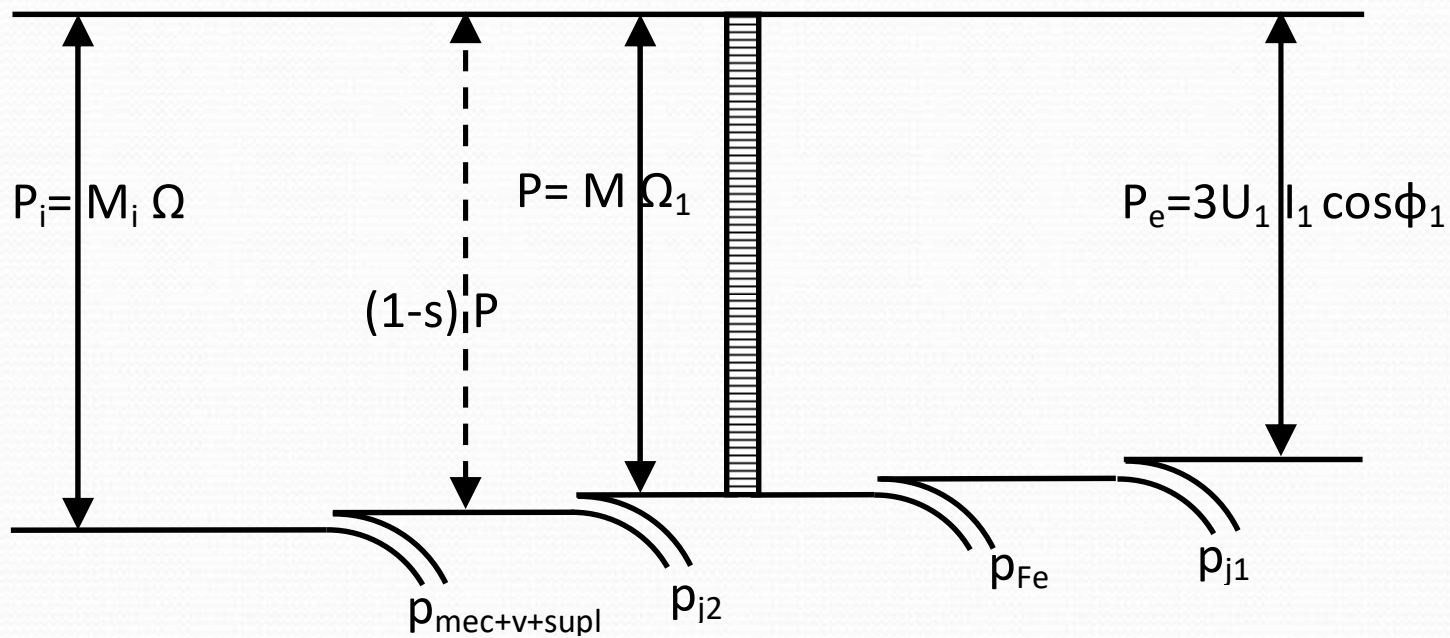


$$P_{1G} = 3U_1 I_{1G} \cos \varphi_{1G} < 0;$$

$$Q_{1G} = 3U_1 I_{1G} \sin \varphi_{1G} > 0$$

- Rețeaua de putere infinită nu este influențată, în ceea ce privește frecvența, de GA, adică $f_1 = ct$ sau $n_1 = ct$.

Bilanțul puterilor active la generatorul asincron

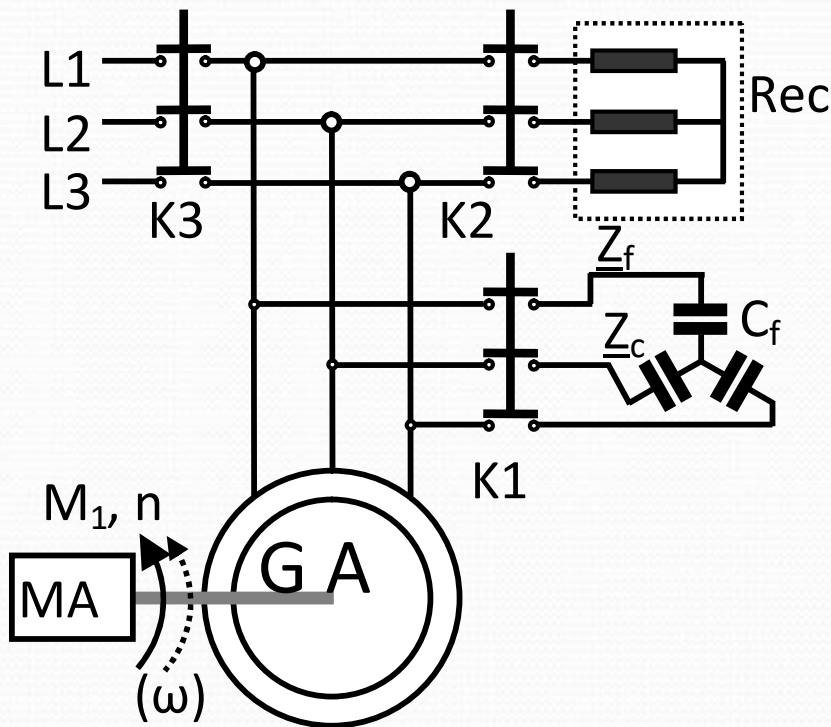


$$\eta = \frac{P_u}{P_c} = \frac{|P_e|}{P_i} = \frac{|P_e|}{|P_e| + \Sigma p} = \frac{|3U_1 I_1 \cos \phi_1|}{|3U_1 I_1 \cos \phi_1| + \Sigma p} < 1$$



Generatorul asincron independent (autonom)

- Cazurile cele mai frecvente unde se folosesc aceste generatoare asincrone (GA) sunt centralele de mică putere acționate de turbine pe cursuri de apă cu debite reduse și variabile sau de turbine eoliene.
- Componenta reactivă a curentului inductor este furnizată de o baterie de condensatoare conectată la bornele înfășurării statorice, unde se conectează și sarcina (considerată activ-inductivă).

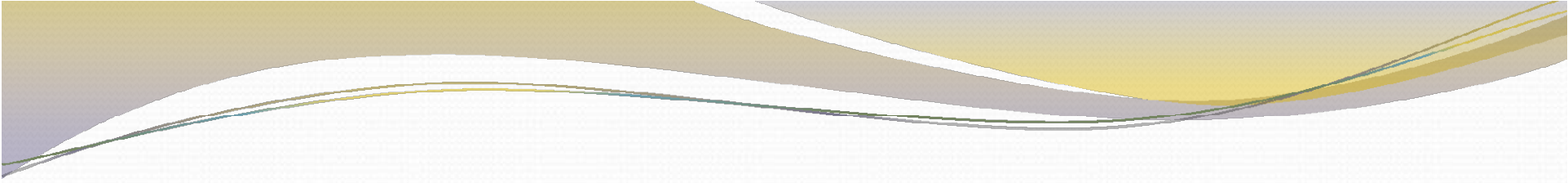


$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} < 0; \omega > \omega_1$$

$$\omega = (\pi / 30)n$$

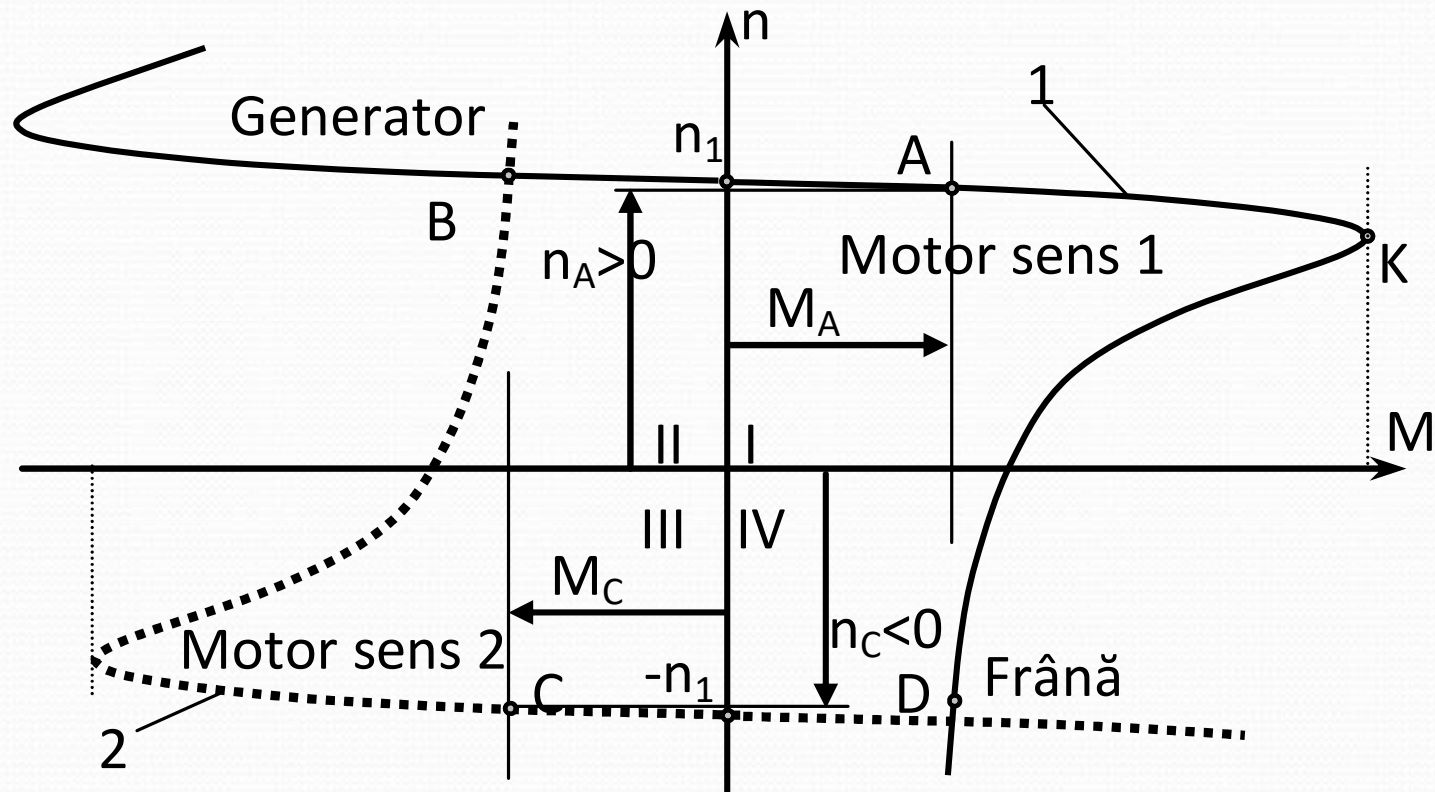
$$\omega_1 = (2\pi / p)f_1$$

Ținând seama că s este de câteva procente se poate considera că la GA independent, frecvența f_1 este cea care corespunde unei turații mai mici cu 1-5% decât cea cu care este antrenat rotorul GA de motorul primar.

- 
- Așadar, funcționarea mașinii asincrone în regim de generator are loc numai în condițiile existenței unei componente a curentului statoric defazate cu $\pi/2$ în urma tensiunii, care întreține starea de magnetizare a mașinii.

Regimul de frână al mașinii asincrone trifazate

- **Generalități**
- **Regimul de frână propriu-zisă al mașinii asincrone**
- **Frânarea mașinii asincrone prin trecerea în regim de generator**



- În general se înțelege prin frânăre un proces tranzitoriu pe parcursul căruia viteza de rotație este adusă la zero sau este menținută la o valoare controlabilă.

Regimul de frână propriu-zisă al mașinii asincrone

- Situații întâlnite frecvent în practică:

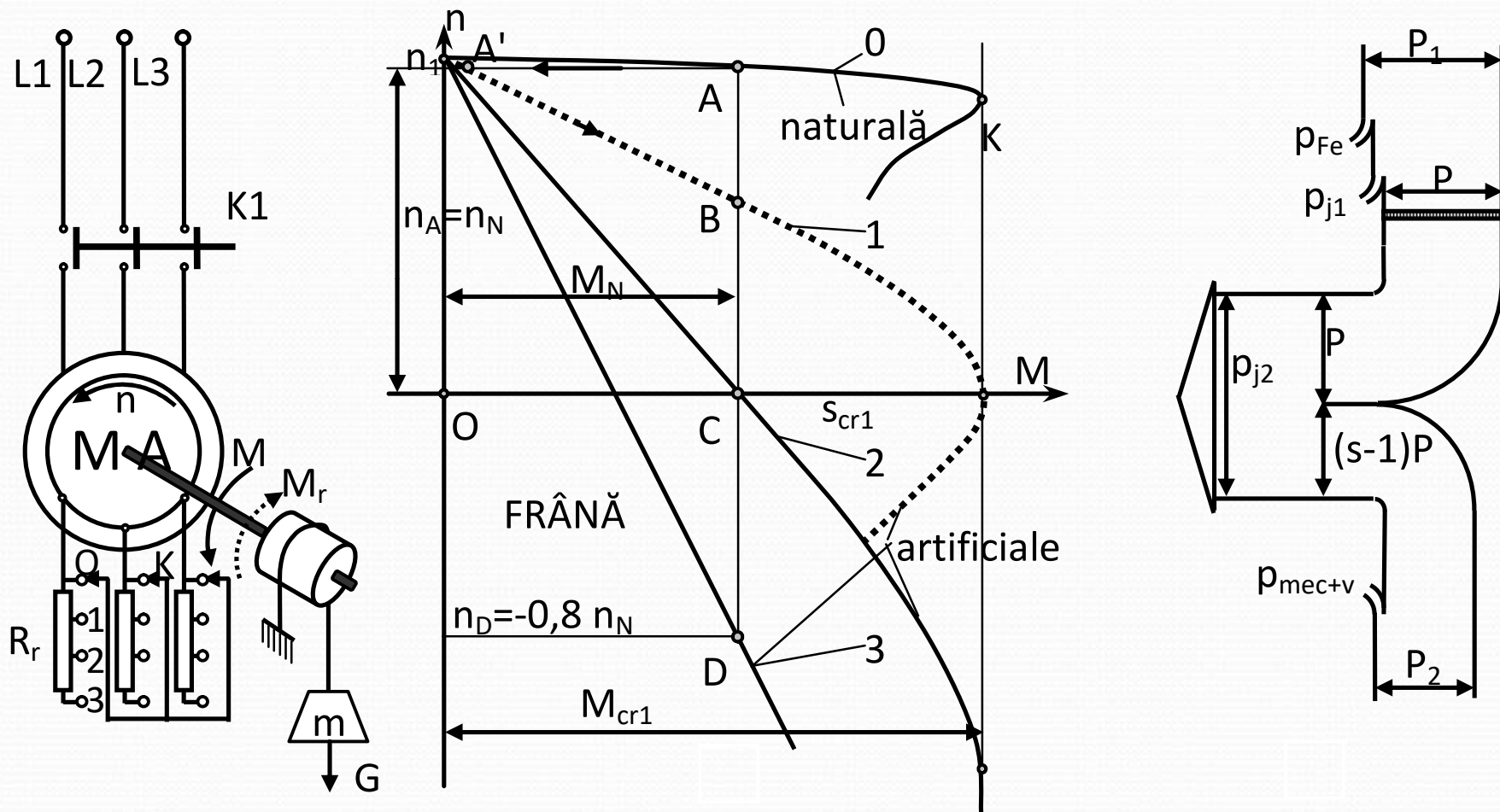
a) când se inversează sensul de rotație a rotorului, păstrându-se sensul de rotație a câmpului învârtitor

$$s_{f1} = \frac{n_1 - (-n)}{n_1} = 1 + \frac{n}{n_1} > 1$$

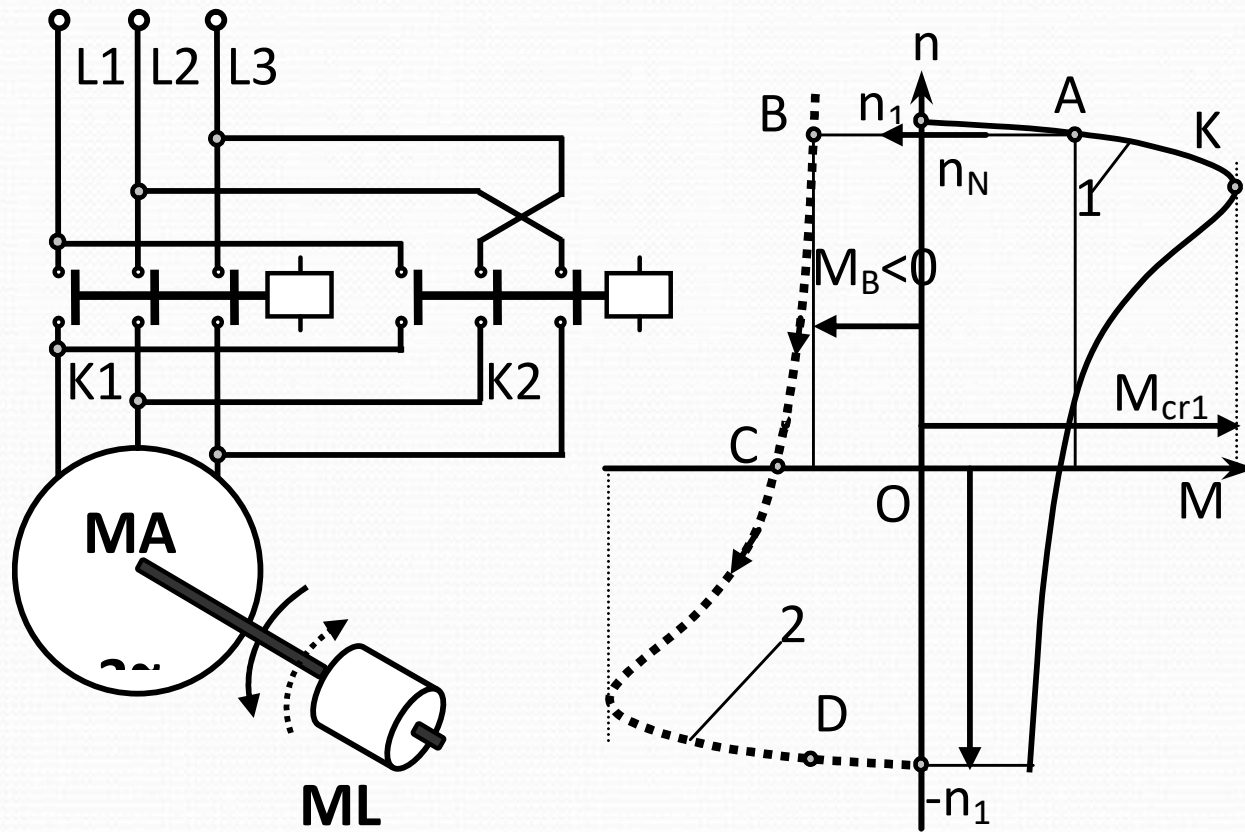
b) când se inversează sensul câmpului învârtitor păstrându-se sensul de rotație a rotorului

$$s_{f2} = \frac{-n_1 - n}{-n_1} = 1 + \frac{n}{n_1} > 1$$

Regimul de frânare la schimbarea sensului de rotație

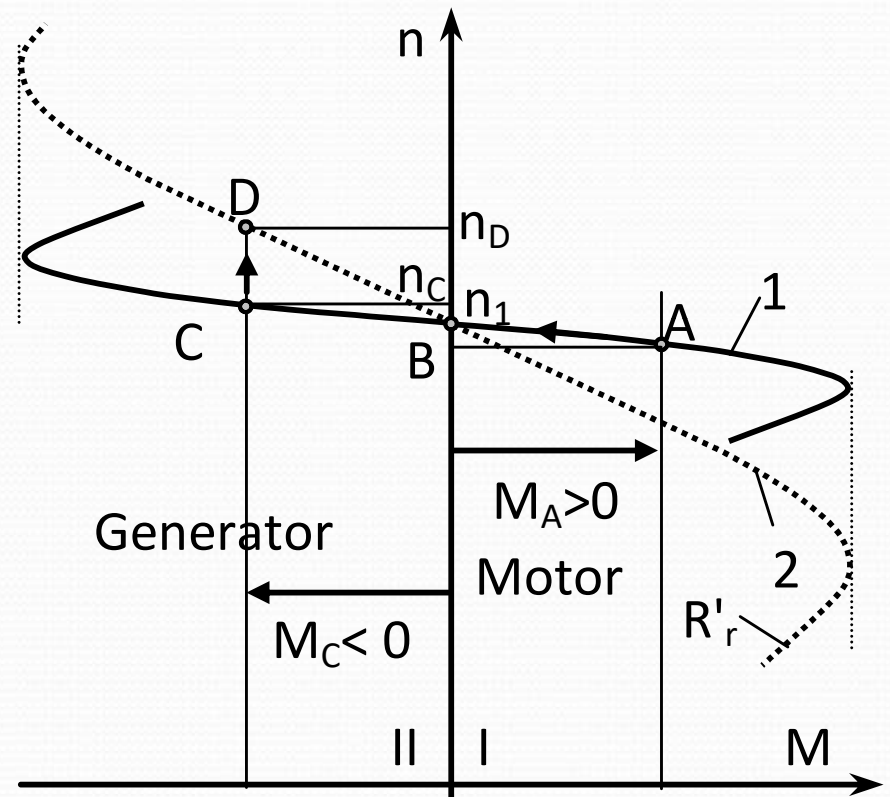


Regimul de frânare prin contraconectare

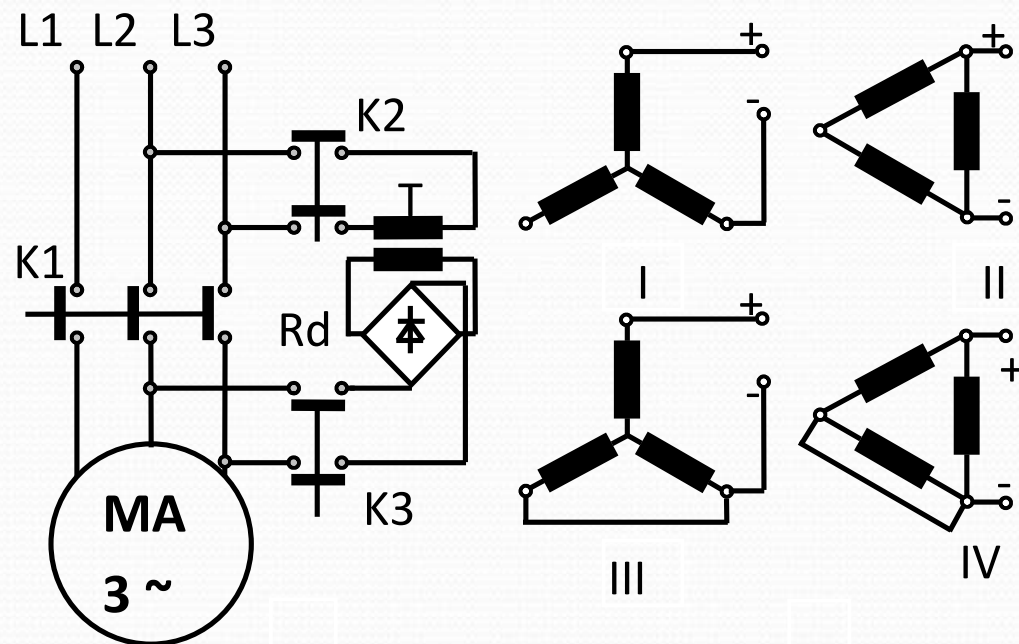


Frânarea prin trecerea în regim de generator cu recuperare (suprasincronă)

- Se cere însă o condiție: puterea electrică recuperată trebuie furnizată unui consumator!



Frânarea în regim de generator fără recuperare (dinamică)

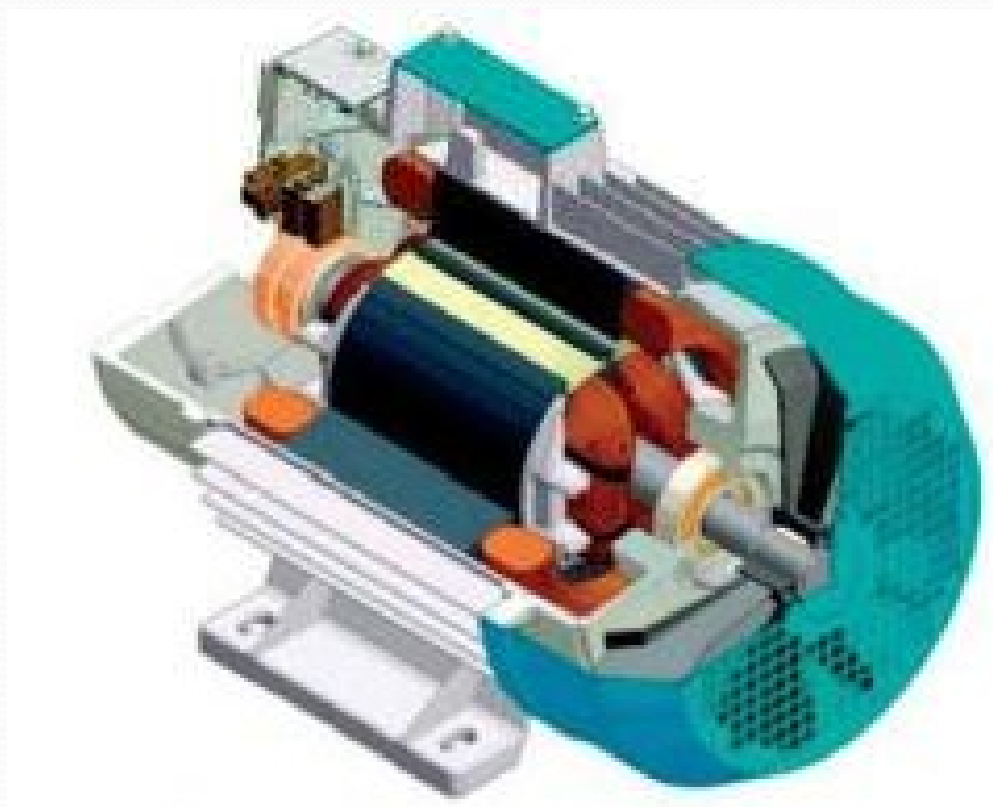


- Puterea electrică corespunzătoare celei mecanice, intrată prin rotor, se disipă pe rezistența proprie a înfășurării, provocând încălzirea acesteia.

MAȘINI ELECTRICE II

șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu

MAȘINA SINCRONĂ



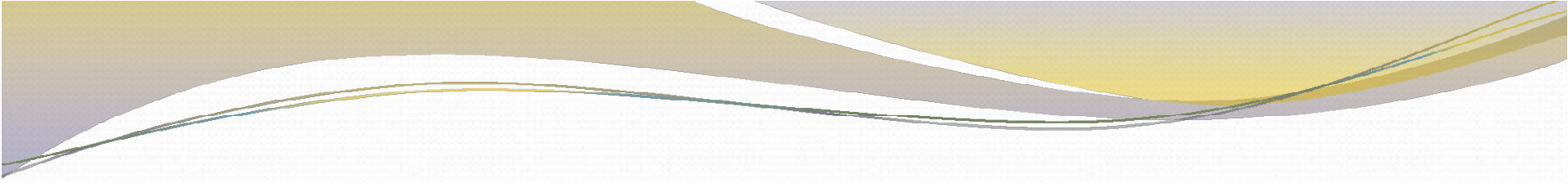


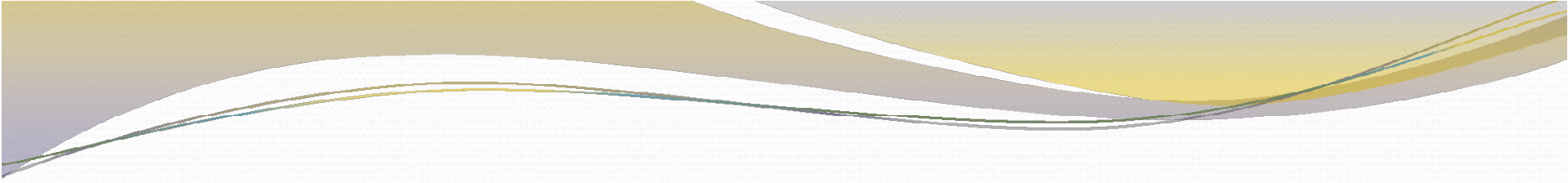
Definiții, date nominale, regimuri de funcționare

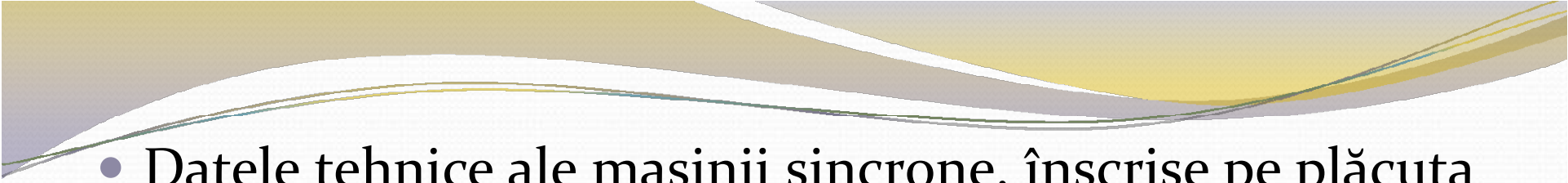
- **Mașina sincronă este o mașină electrică la care viteza de rotație a rotorului, în regim staționar, este legată rigid de frecvența tensiunii electrice la care este conectată înfășurarea sa de curent alternativ.**
- **Viteza de rotație a rotorului este egală cu viteza de sincronism a câmpului magnetic învârtitor creat de înfășurarea de c.a.**



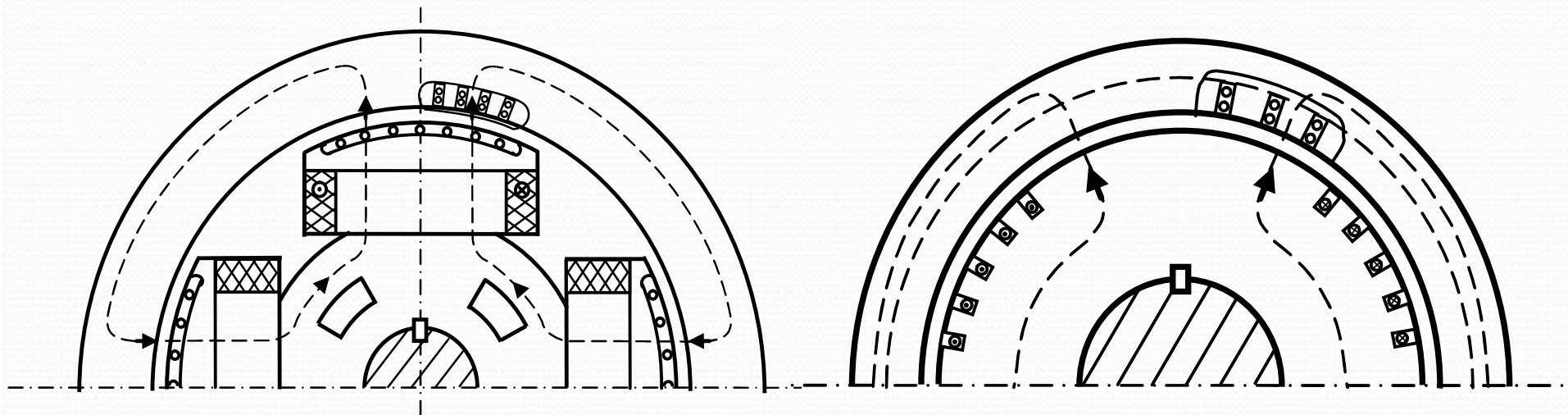
- O mașină sincronă cuprinde:
 - un ***stator***, asemănător cu cel al mașinii asincrone, pe care se găsește o înfășurare, în general trifazată și
 - un ***rotor neted*** sau cu *poli aparenti*, pe care este plasată o înfășurare de c.c.

- 
- Rotorul mașinii prezintă o **înfășurare de excitație**, care este alimentată de la o sursă de c.c.; câmpul magnetic creat, alternând ca polaritate pe periferia sa, constituie **câmpul magnetic inductor** al mașinii. Curentul continuu care parcurge înfășurarea rotorică se numește **curent de excitație**.
 - Statorul mașinii posedă o înfășurare de c.a., de obicei trifazată conectată în stea, în care câmpul magnetic rotoric induce tensiuni datorită rotației; înfășurarea statorului constituie **indusul** mașinii.

- 
- Mașinile sincrone funcționează în două regimuri de bază:
 - **generator sincron**, când rotorul este antrenat din exterior de un motor primar care furnizează puterea mecanică transformată de mașină în putere electrică generată unui receptor
 - **motor sincron**, când statorul este conectat la o rețea trifazată care furnizează puterea electrică, transformată de mașină în putere mecanică - obținută la arbore.
 - Mașina sincronă poate funcționa și în regim de **compensator sincron**, care este, de fapt, un regim de motor sincron mergând în gol.

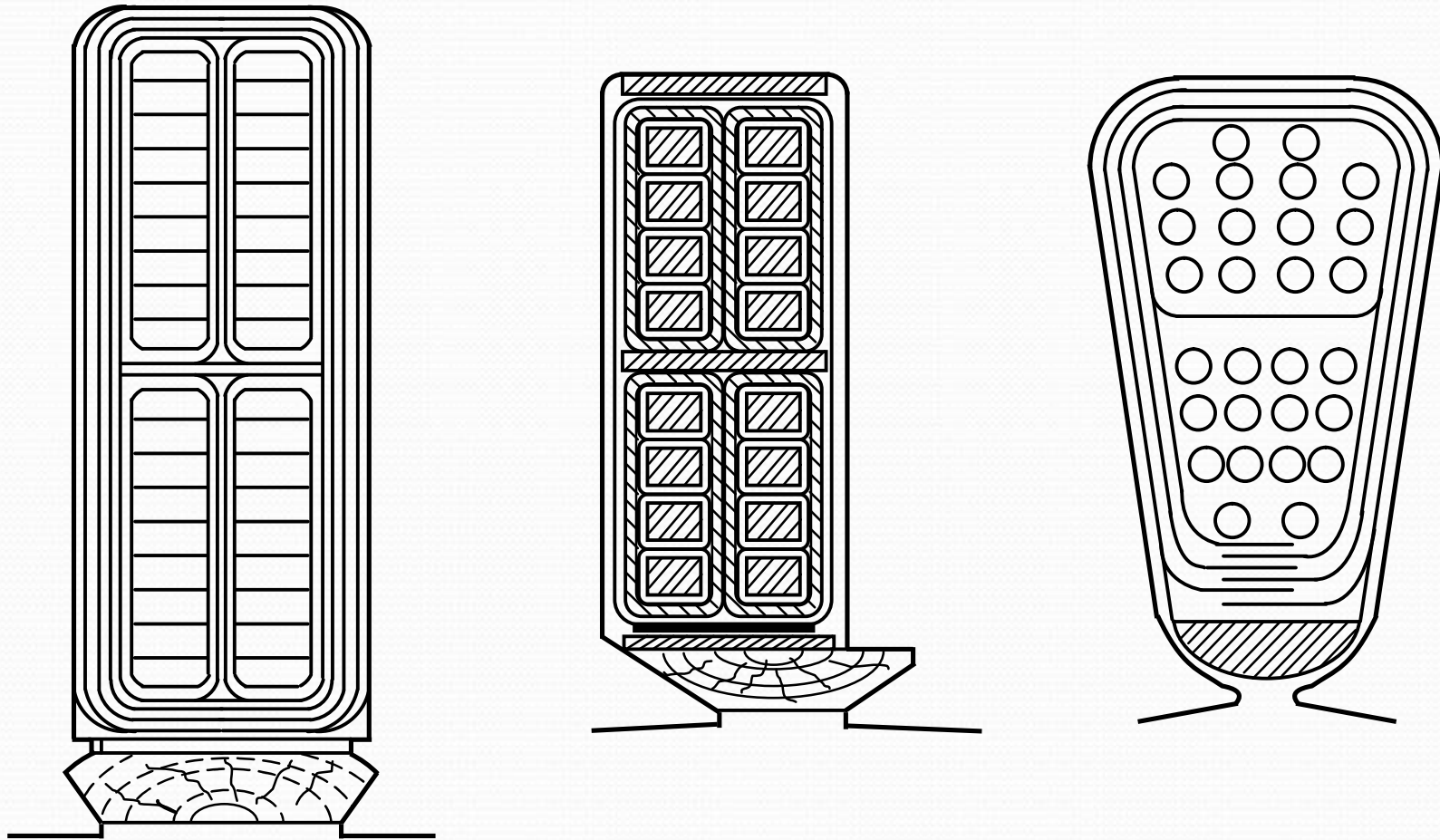
- 
- Datele tehnice ale mașinii sincrone, înscrise pe plăcuța indicatoare, de însoțire, se referă la:
 - regimul de funcționare (generator, motor sau compesator),
 - puterea nominală, adică puterea aparentă în [kVA] sau [MVA], la generatoare, respectiv puterea mecanică în [kW] sau [MW], la motoare și puterea reactivă în [kVar] sau [MVar] la compensatoare,
 - curentul nominal de linie în [A] sau [kA],
 - tensiunea de linie în [V] sau [kV],
 - factorul de putere,
 - numărul de faze,
 - conexiunea înfășurărilor de c.a.,
 - frecvența,
 - curentul de excitație

Construcția mașinii sincrone

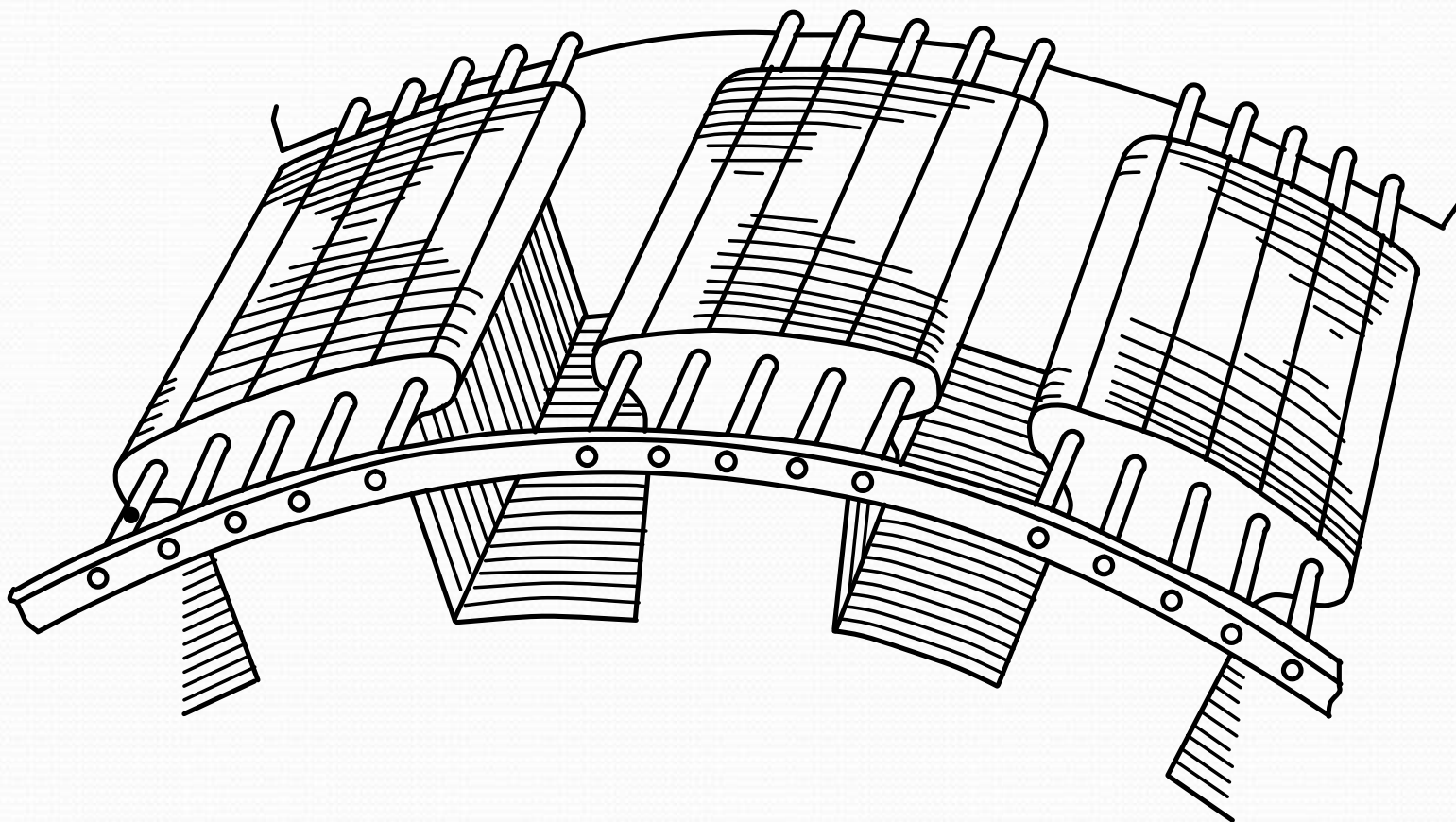


MS cu poli aparenti,

MS cu poli înecați.

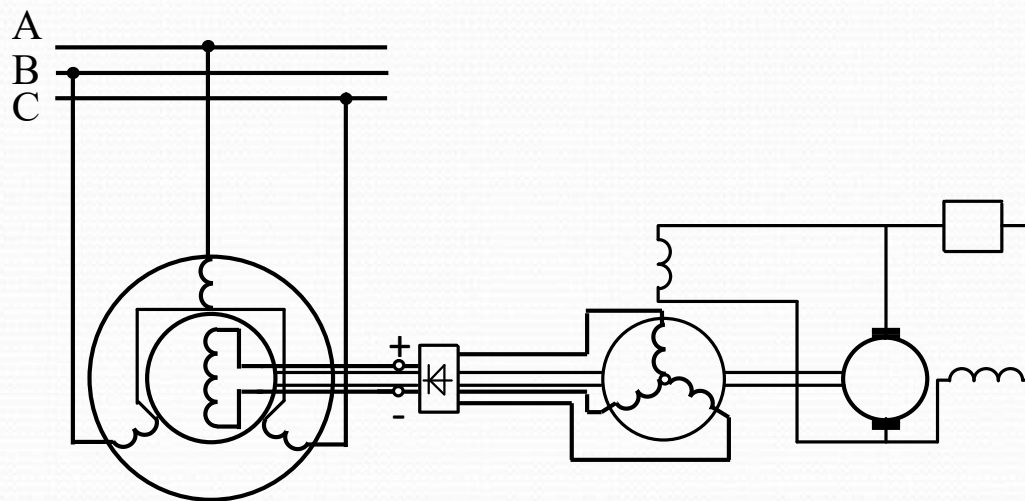
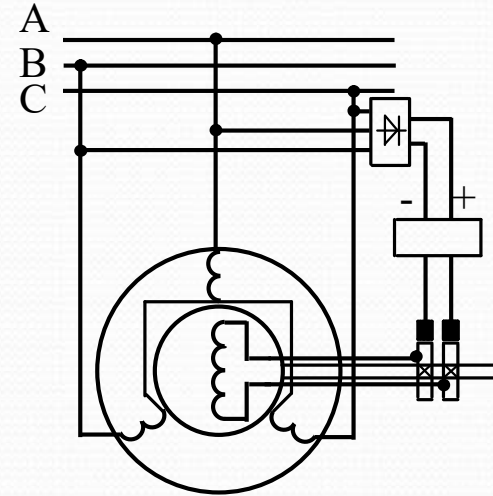
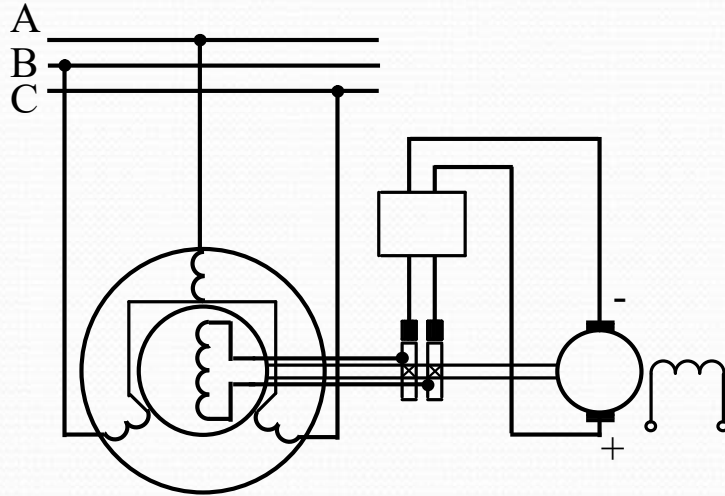


Crestături statorice: deschisă; semideschisă; închisă



înfășurare de amortizare

Sisteme de excitație a mașinii sincrone



MAȘINI ELECTRICE II

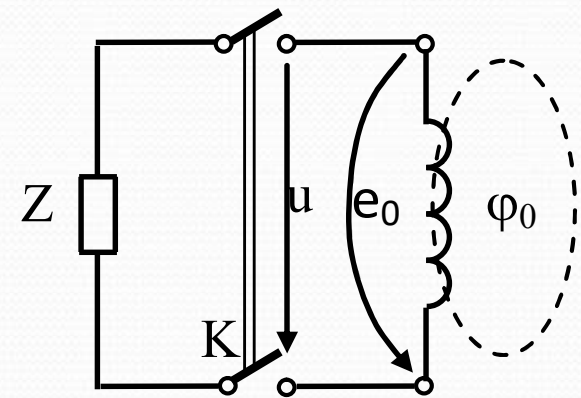
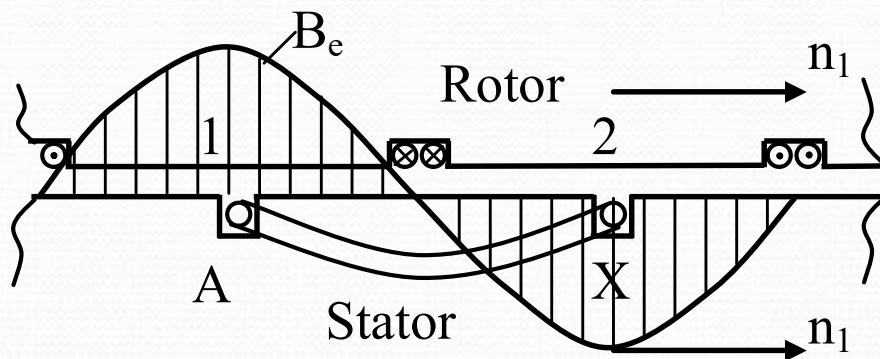
șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu



FUNCȚIONAREA MAȘINII SINCRONE ÎN REGIM DE GENERATOR

- Principiul de funcționare a generatorului sincron
- Funcționarea în gol a generatorului sincron
- Funcționarea în scurtcircuit a generatorului sincron
- Funcționarea în sarcină a generatorului sincron

Principiul de funcționare a generatorului sincron



$$e'_0 = \frac{d\phi_0}{dt}$$

- Frecvența și pulsația tensiunii induse

$$f_1 = \frac{1}{T} = \frac{pn_1}{60}$$

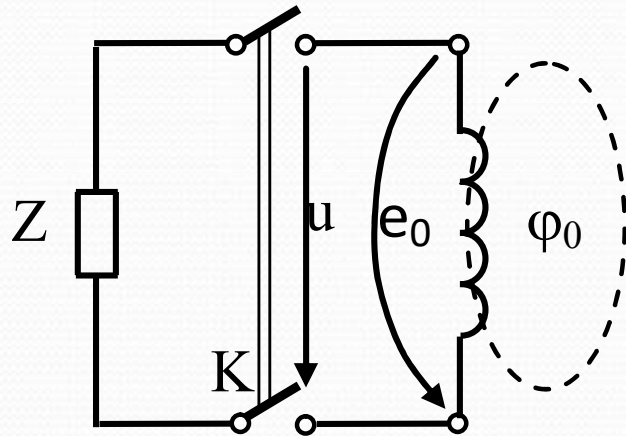
$$\omega_1 = 2\pi f_1 = \frac{2\pi pn_1}{60} = p\Omega_1$$

$$\Omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}$$

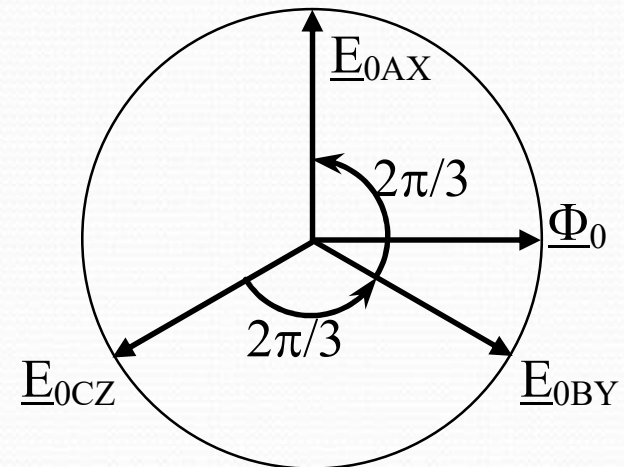
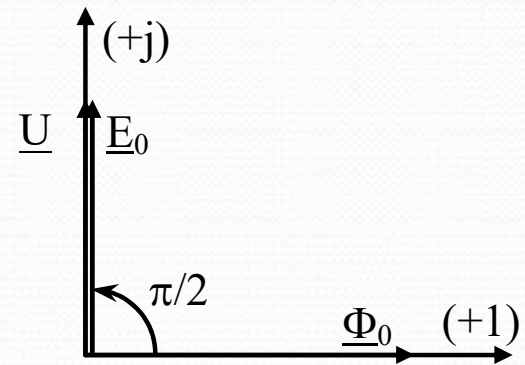
- Valoarea efectivă a tensiunii induse într-o fază a înfășurării

$$E_0 = \frac{\omega_1 \Phi_e k_W W_1}{\sqrt{2}} = 4,44 f_1 k_W W_1 \Phi_e$$

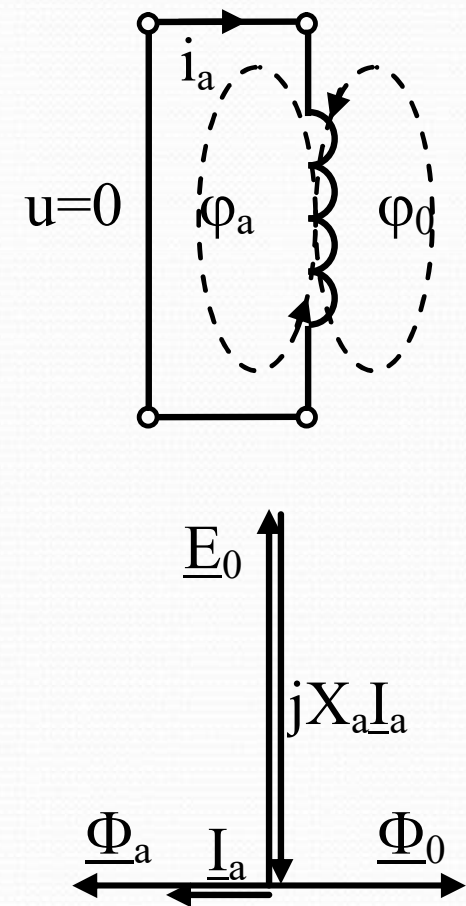
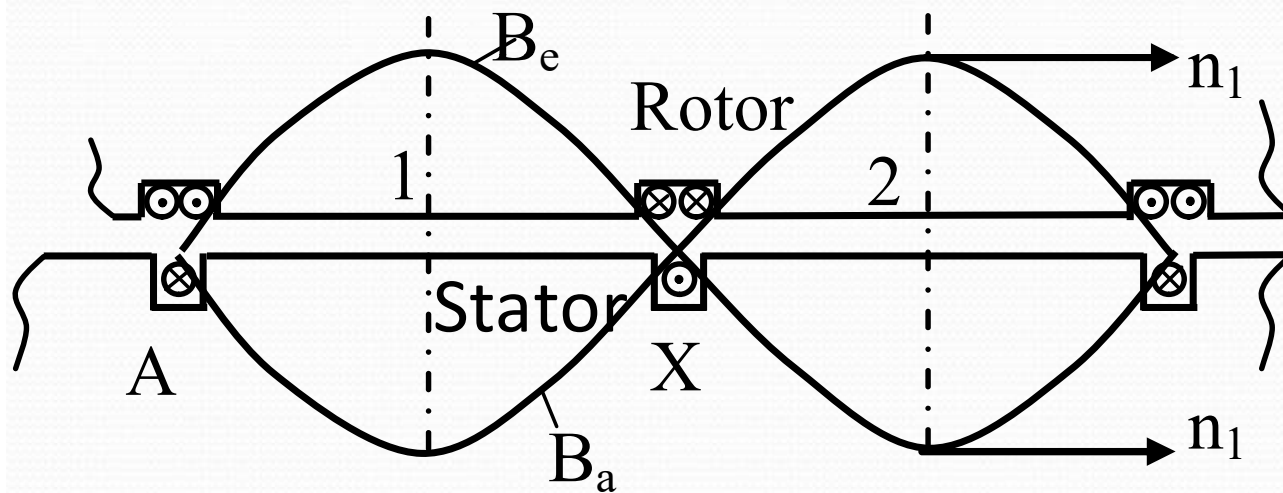
Funcționarea în gol a generatorului sincron



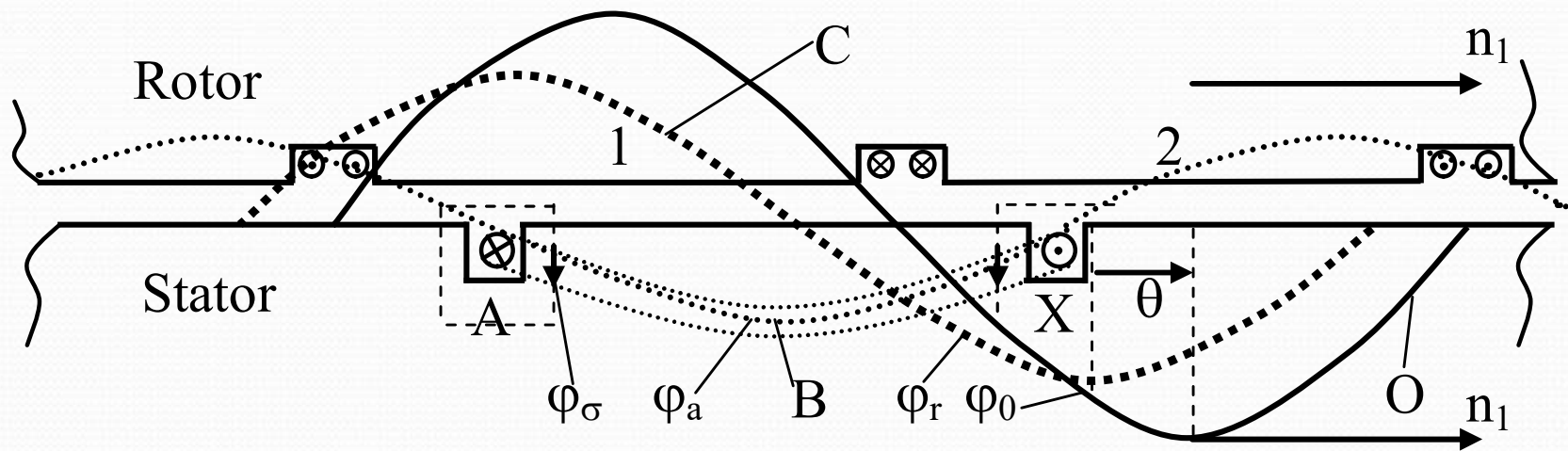
$$u - e_0 = 0 \quad \text{sau} \quad u = e_0$$



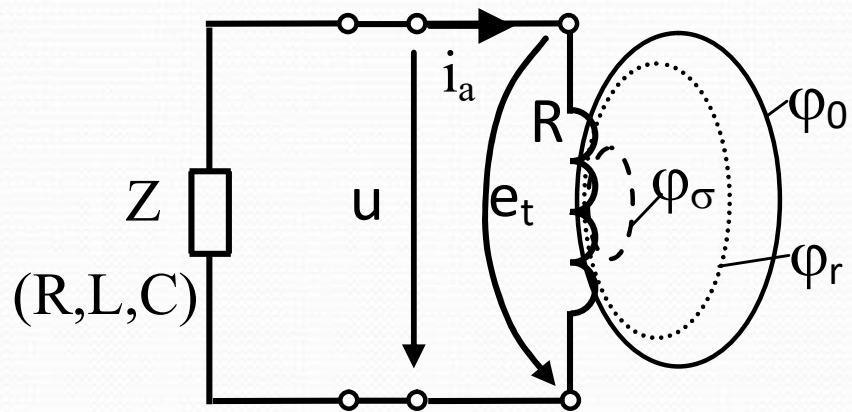
Funcționarea în scurtcircuit a generatorului sincron



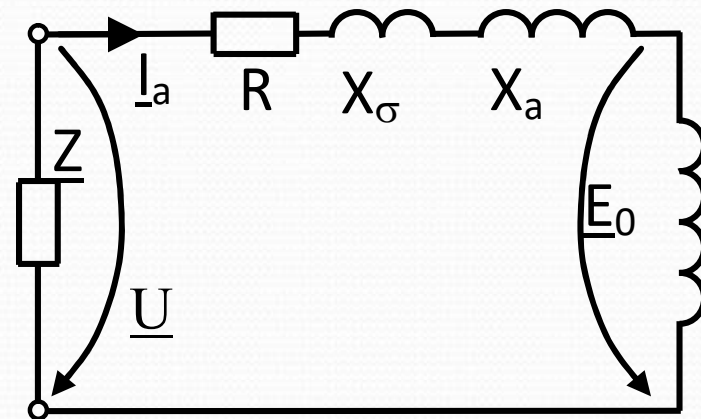
Funcționarea în sarcină a generatorului sincron cu poli înecați



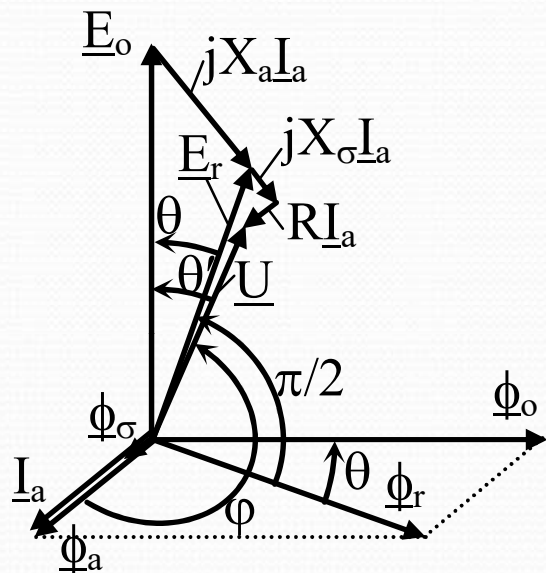
- Așadar, fluxul de reacție a indusului în cazul generatorului sincron în sarcină activ-inductivă are efect demagnetizant, diminuând fluxul în mașină față de mersul în gol.



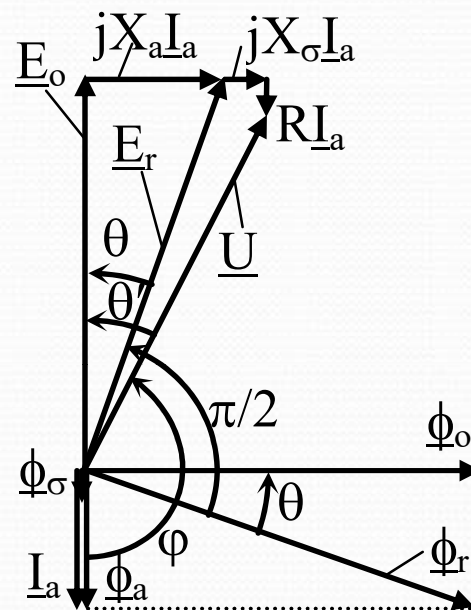
$$u - e_t - Ri_a = 0$$



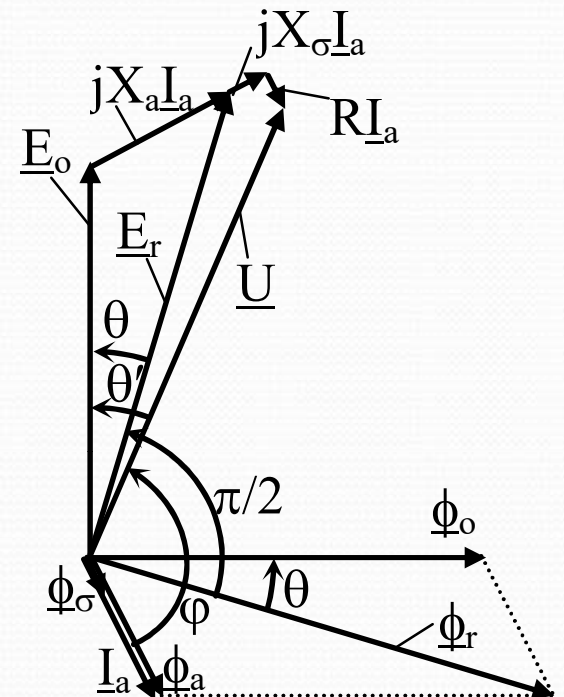
$$u = e_0 + L_a \frac{di_a}{dt} + L_\sigma \frac{di_a}{dt} + Ri_a$$



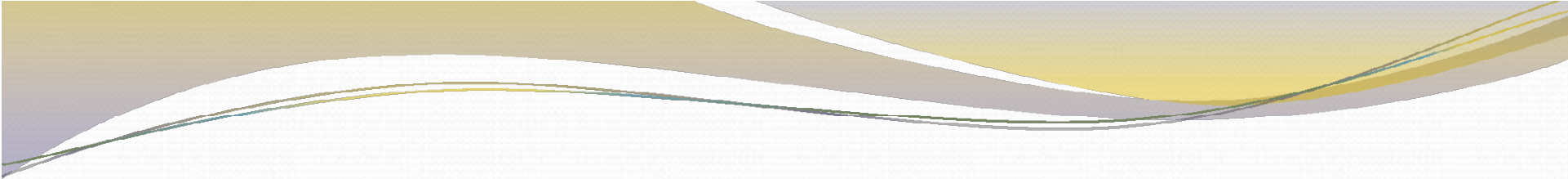
sarcină activ-inductivă



sarcină activă



sarcină
activ-capacitivă

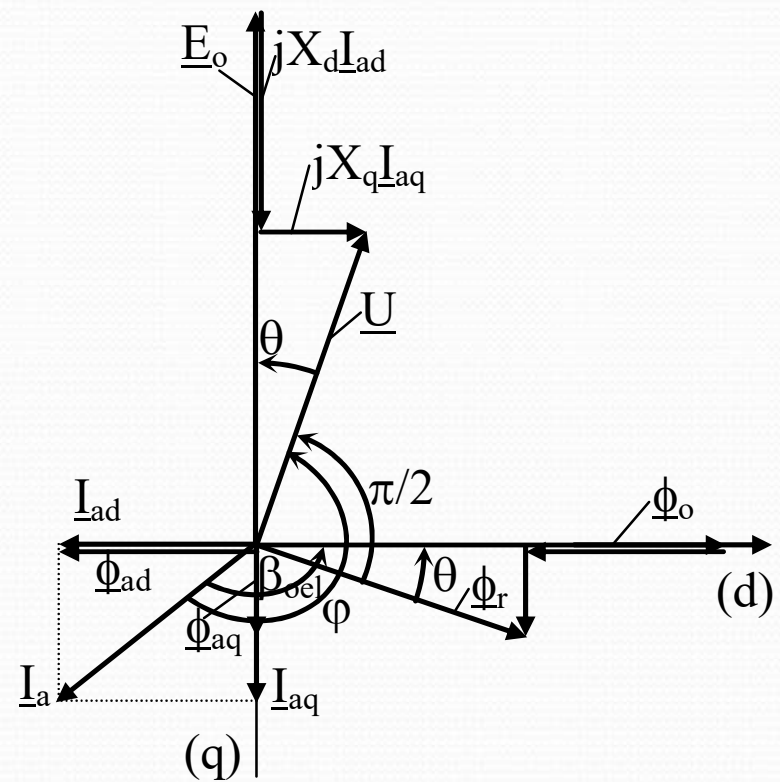
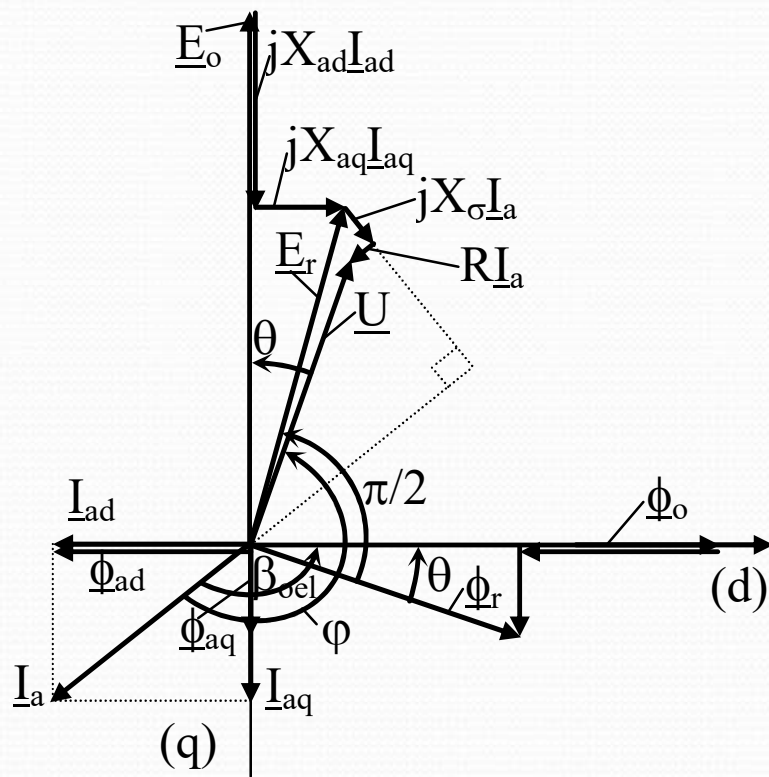
- 
- Unghiul dintre \underline{E}_o - la mersul în gol și \underline{E}_r - rezultantă, în sarcină, θ , egal aproximativ cu unghiul θ , dintre \underline{E}_o și \underline{U} , se numește unghi intern sau de sarcină a mașinii sincrone.
 - Unghiul θ arată că, în sarcină, fluxul de reacție a indusului se suprapune peste fluxul de excitație în așa fel încât fluxul rezultat în mașină rămâne în urma fluxului de excitație cu un unghi a cărui mărime depinde de sarcină.

Funcționarea în sarcină a generatorului sincron cu poli aparenti

- La generatorul cu poli aparenti reluctanța traseului pe direcția axei polului este mult mai mică decât pe direcția axului intervalului dintre poli.

$$\Theta_a = \Theta_{ad} + \Theta_{aq}$$

$$u = e_0 + L_{ad} \frac{di_{ad}}{dt} + L_{aq} \frac{di_{aq}}{dt} + L_{\sigma} \frac{di_a}{dt} + Ri_a$$

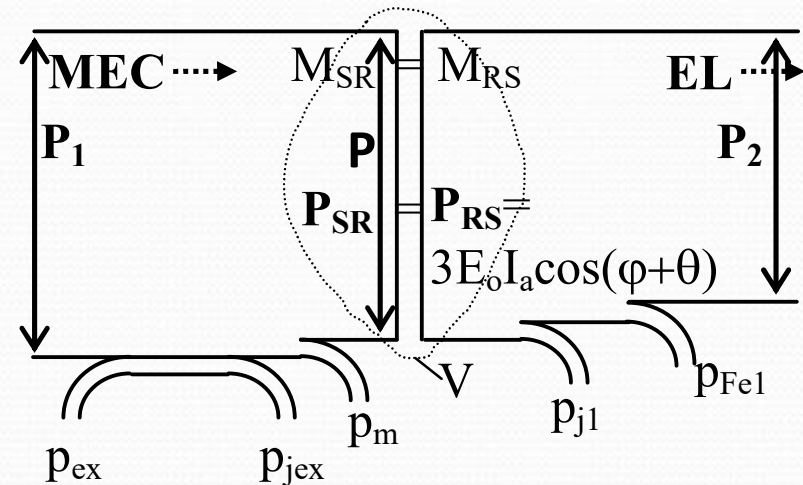
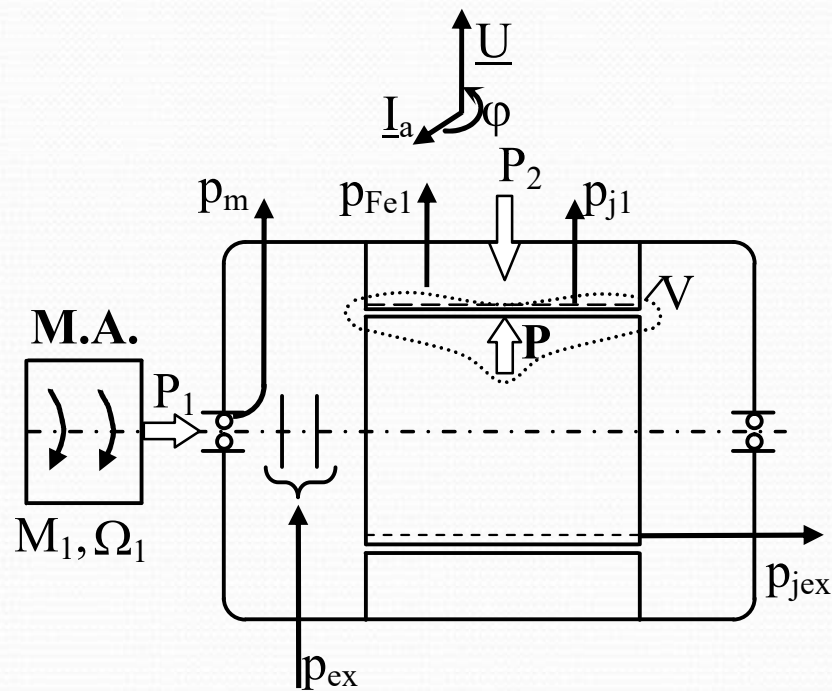


$$\begin{cases} \underline{I}_a = \underline{I}_{ad} + \underline{I}_{aq} \\ \underline{U} = \underline{E}_0 + jX_{ad}\underline{I}_{ad} + jX_{aq}\underline{I}_{aq} + jX_{\sigma}\underline{I}_a + R\underline{I}_a \end{cases}$$

MAȘINI ELECTRICE II

șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu

Expresia puterii electromagnetice și a cuplului mașinii sincrone



Circulația de puteri la un generator sincron

- Cuplul mediu al mașinii sincrone

$$M = -\frac{3}{2} p \cdot k_W W_1 \Phi_e \sqrt{2} \cdot I_a \sin \beta_{0el}$$

- Mașina sincronă prezintă **cuplu diferit de zero** numai dacă între viteza de rotație a rotorului și frecvența curenților, sau tensiunilor induse în stator există **relația de sincronism**.

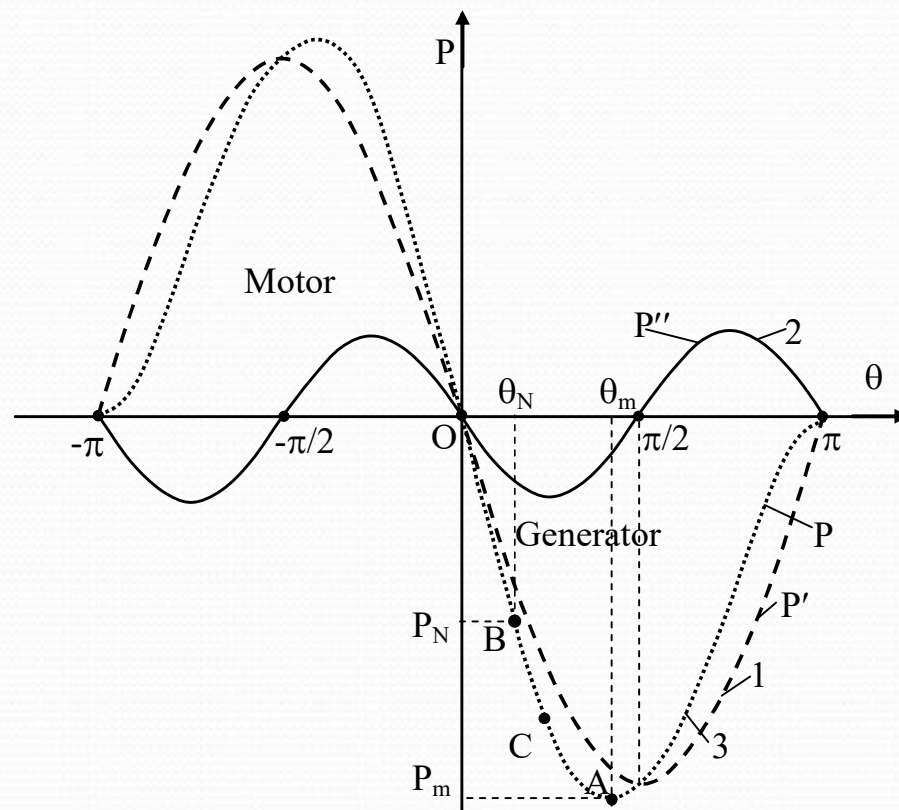
- Cuplul mediu al mașinii sincrone

$$M = \frac{3E_0}{\Omega_1} I_a \cos(\varphi + \theta) \quad \text{unde} \quad \varphi + \theta = \angle(\underline{E}_0, \underline{I}_a)$$

- Puterea electromagnetă a mașinii sincrone

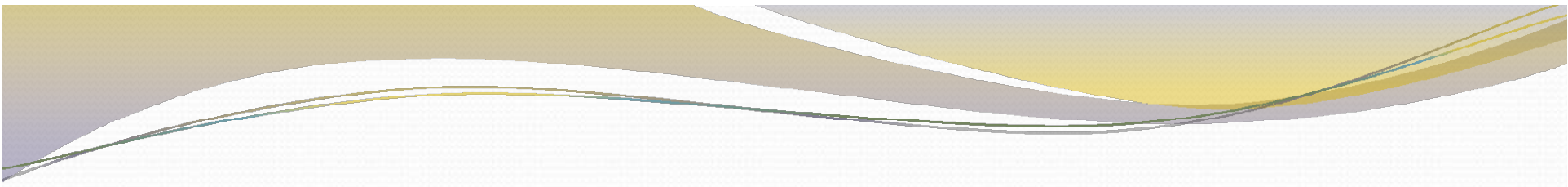
$$P = M\Omega_1 = 3E_0 I_a \cos(\varphi + \theta)$$

Caracteristica unghiulară, stabilitatea statică a mașinii sincrone



- Dependența puterii electromagnetice P de unghiul intern θ , care la altă scară este aceeași cu dependența cuplului de θ , se numește **caracteristică unghiulară**.

Caracteristica unghiulară a unei mașini sincrone cu poli aparenti

- 
- Capacitatea de sincronizare a generatorului depinde de valoarea creșterii puterii, ΔP , la o creștere cu o anumită valoare a unghiului intern $\Delta \theta$. Raportul $|\Delta P/\Delta \theta|$ se numește **putere sincronizantă**.

$$|P_S| = \frac{d|P|}{d\theta} = P_m \cos \theta$$

- Raportul dintre puterea maximă P_m și puterea nominală P_N definește și capacitatea de suprasarcină a mașinii sincrone.

Caracteristicile de funcționare a generatorului sincron trifazat

- De obicei aceste dependențe se studiază în condițiile când *viteza de antrenare, n* , a generatorului (deci și f) se consideră *constantă*.
- Situatii de functionare:
 - Generatorul debitează pe o rețea izolata de consumatori (autonom),
 - Generatorul este conectat la o rețea în care debitează și alte generatoare, deci rețeaua este de tensiune constantă și de putere infinită,.

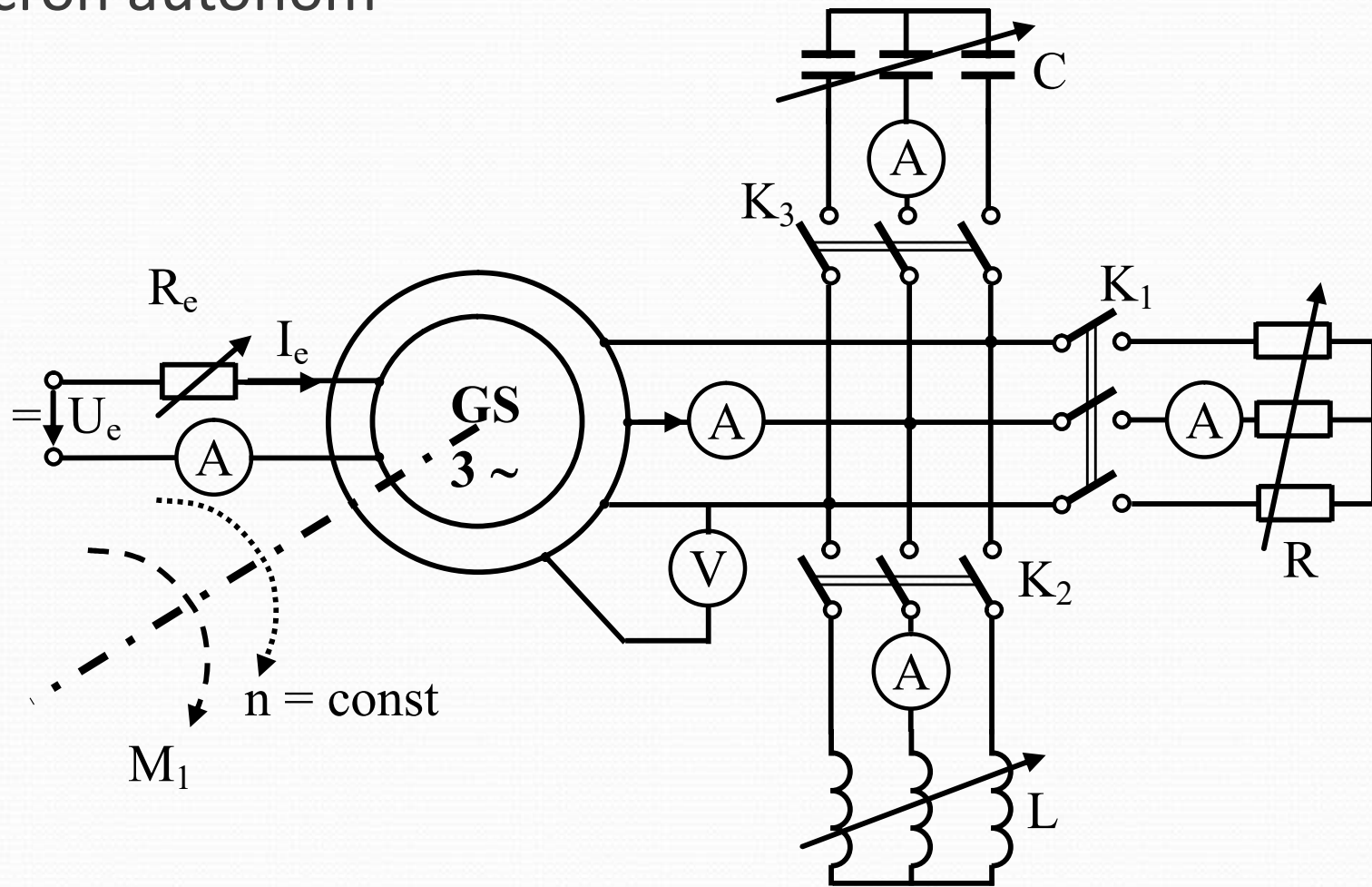
Caracteristicile generatorului sincron autonom

- caracteristica în scurtcircuit, $I_{sc} = f(I_e)$, pentru $U = 0$,
- caracteristicile în sarcină, $U = f(I_e)$, pentru $I = ct.$, $\cos \varphi = ct.$,
- caracteristicile externe, $U = f(I)$, pentru $I_e = ct.$, $\cos \varphi = ct.$,
- caracteristicile de reglaj, $I_e = f(I)$, pentru $U = ct.$, $\cos \varphi = ct.$

Caracteristicile generatorului sincron conectat la o rețea trifazată de mare putere

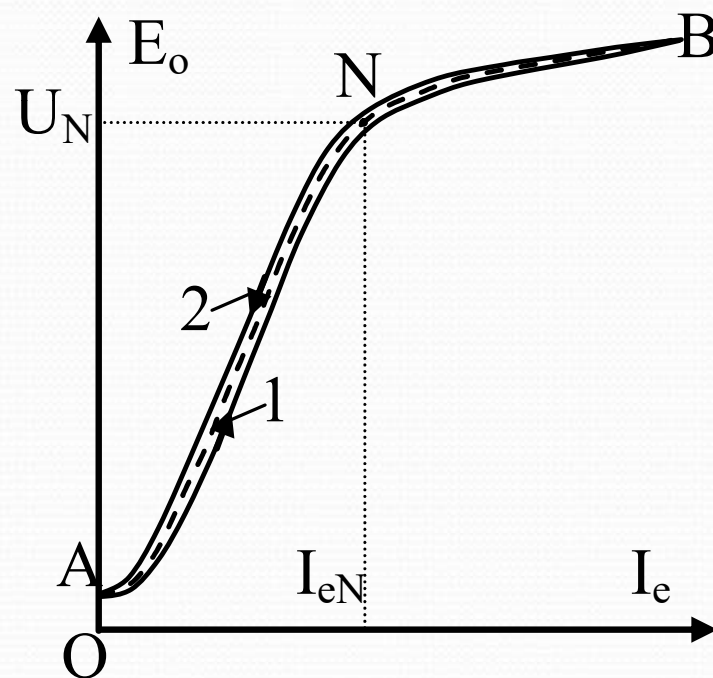
- caracteristicile în V , $I_a = f(I_e)$, $\cos \varphi = f(I_e)$, la $P = ct.$
- caracteristica unghiulară, $P = f(\theta)$, la $I_e = ct.$,

Schema de montaj pentru încercarea unui generator sincron autonom



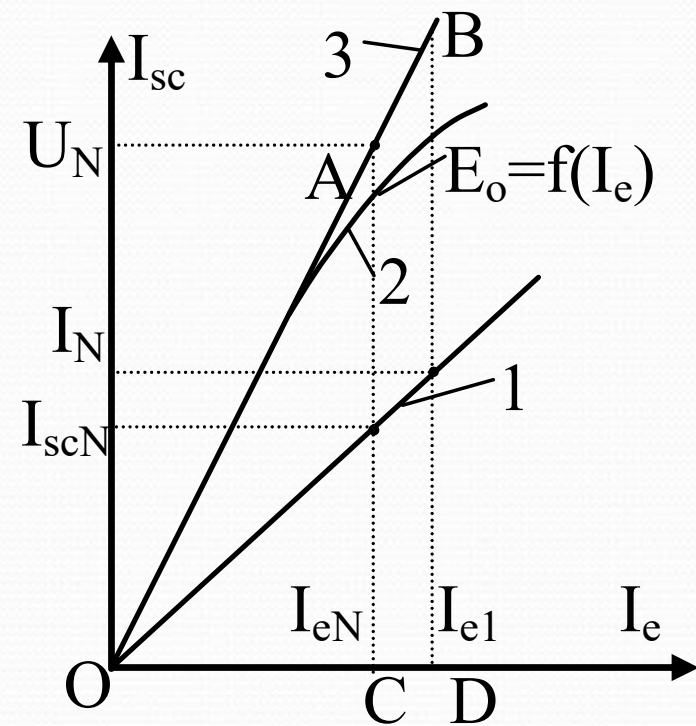
Caracteristica de mers in gol

- Această caracteristică reprezintă dependența $E_o = f(I_e)$ pentru $I = 0$



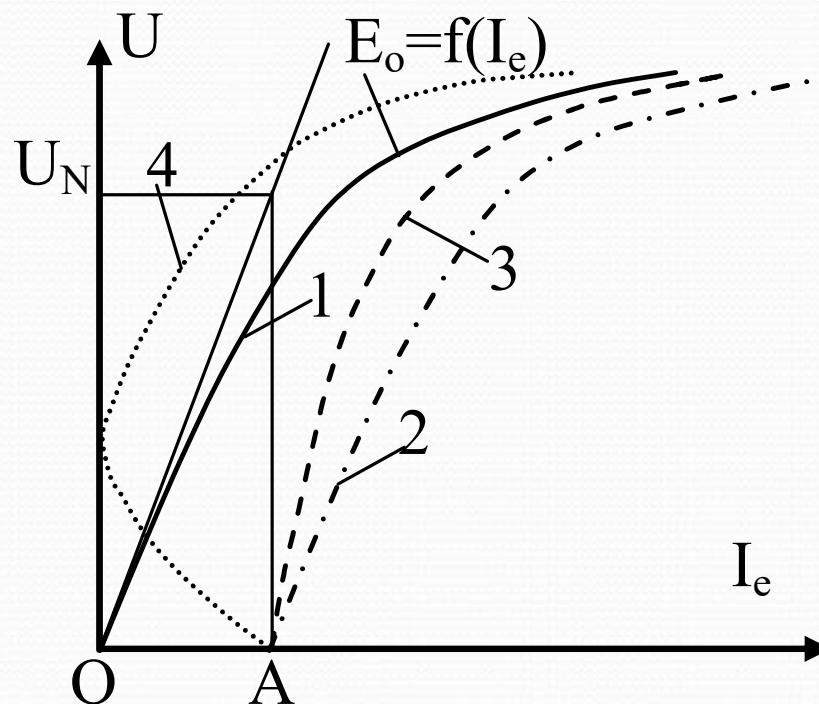
Caracteristica în scurtcircuit.

- Această caracteristică reprezintă dependența curentului prin indus, în condițiile unui scurtcircuit trifazat simetric ($R = 0$), funcție de curentul de excitație: $I_{sc} = f(I_e)$. În aceste condiții $U = 0$.



Caracteristicile în sarcină

- sunt definite prin dependențele $U = f(I_e)$ pentru $I = ct.$, $\cos \varphi = ct.$



- 1-gol
- 2-activ-inductiva
- 3-activ
- 4-capacitiva

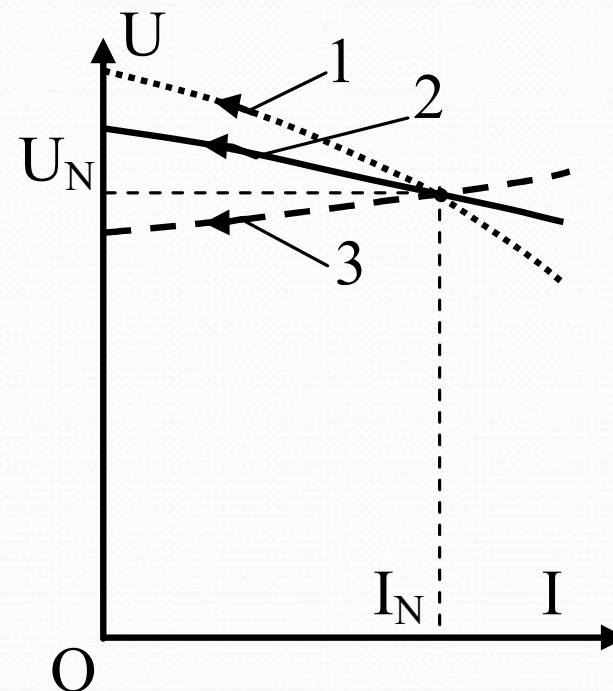
Caracteristicile externe

- Se definesc prin dependențele, $U = f(I)$ pentru $I_e = ct.$,
 $\cos \varphi = ct.$

1-inductiva

2-activa

3-capacitiva



Caracteristicile de reglaj

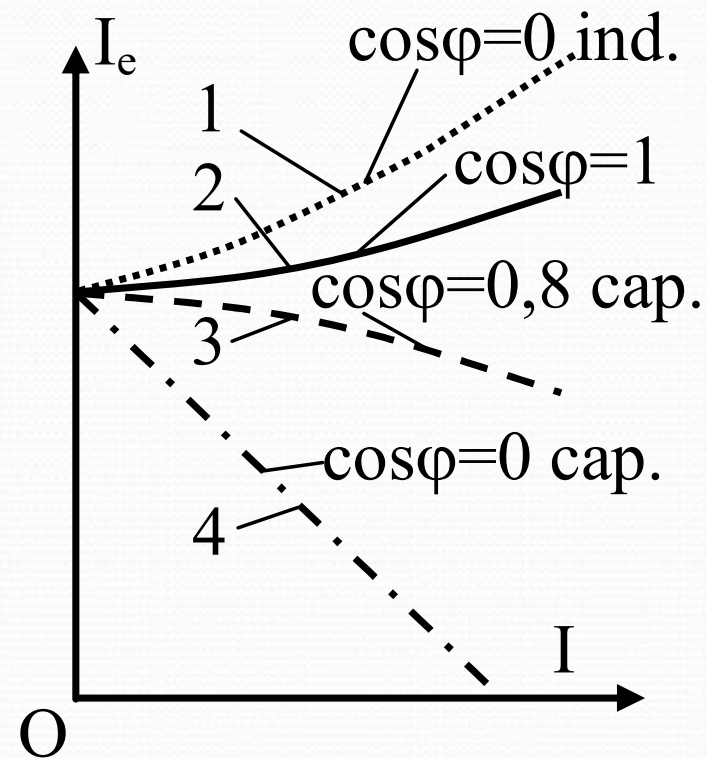
- Reprezintă dependențele $I_e = f(I_a)$, pentru $U = ct.$, $\cos \varphi = ct.$

1- $\cos \varphi = 0$ - ind.

2- $\cos \varphi = 1$

3- $\cos \varphi = 0,8$ - cap.

4- $\cos \varphi = 0$ - cap.

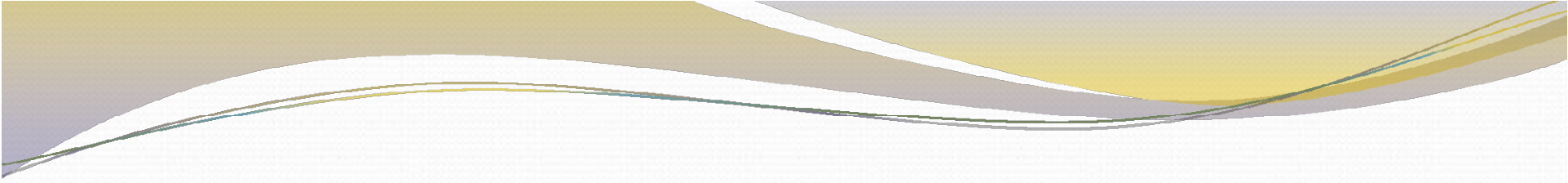


Conectarea la rețea a generatorului sincron

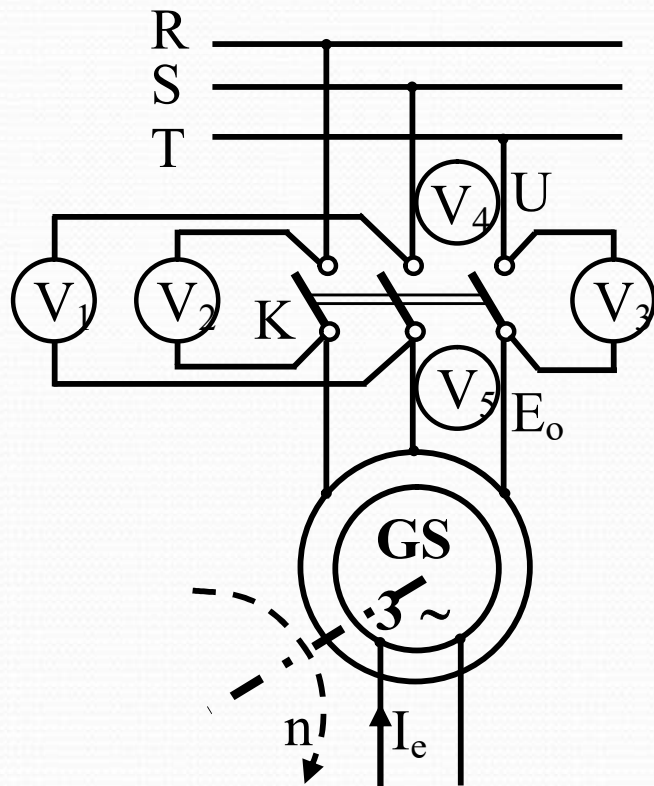
- Condiție pentru realizarea conectării la rețea a unui generator sincron, în așa fel încât să nu se producă perturbații în funcționarea sistemului generator-rețea.

$$e_o = u$$

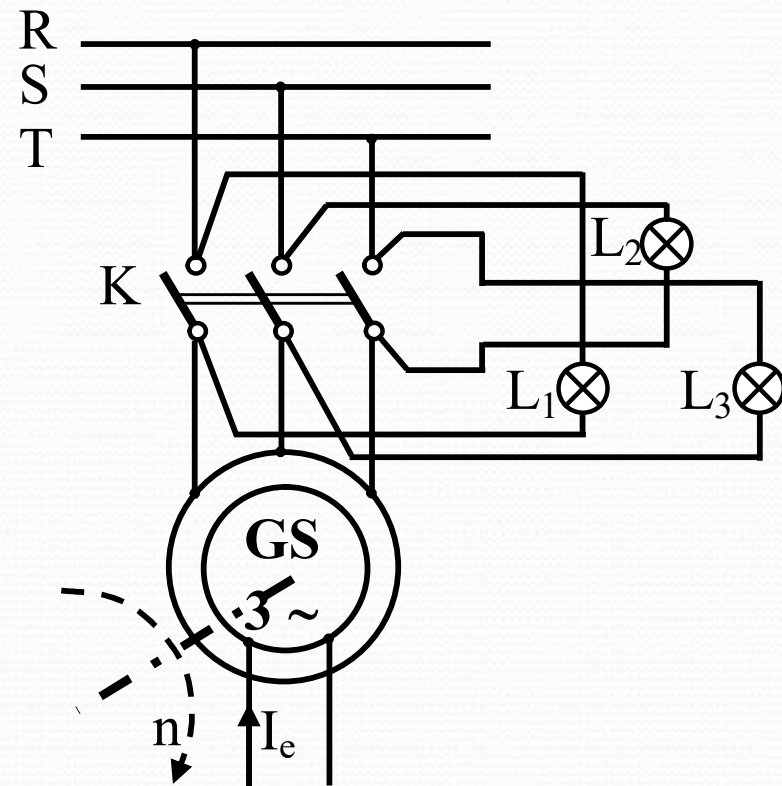
$$E_o \sin(\omega_e t + \varphi_{ei}) = U \sin(\omega_u t + \varphi_{ui})$$

- 
- Această egalitate, este îndeplinită dacă:
 - tensiunea indusă pe fază a generatorului este egală, ca valoare efectivă, cu tensiunea pe fază a rețelei, $E_o = U$,
 - frecvențele celor două tensiuni sunt egale,
 - ordinea de succesiune a fazelor este aceeași,
 - formele de undă sunt apropiate (se consideră, în general, satisfăcută).

Metode de sincronizare fină



Varianta cu voltmetre de zero



Varianta *sincronoscopului* cu lămpi

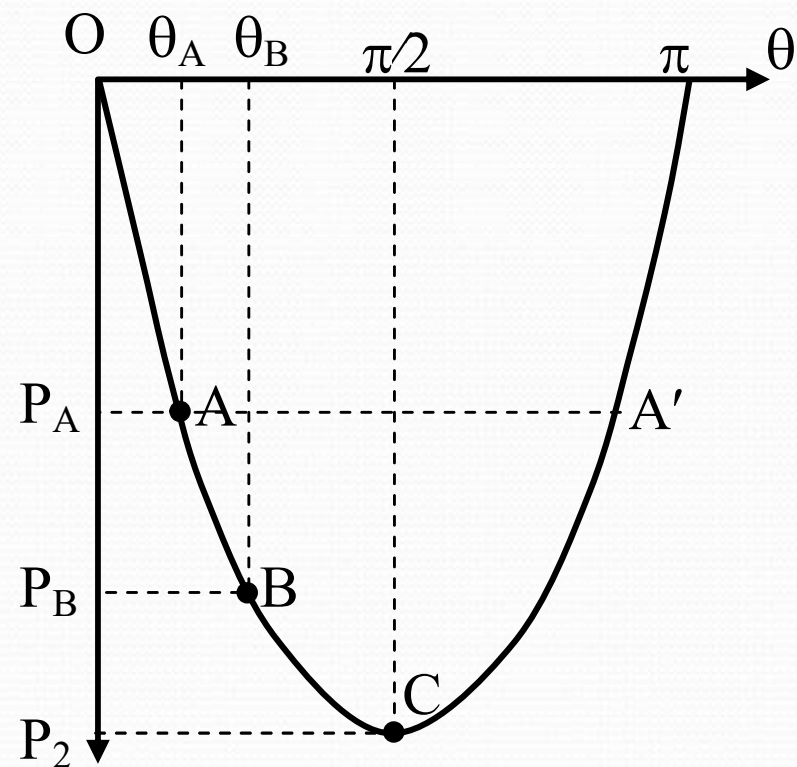


Caracteristicile generatorului sincron conectat la o rețea de tensiune constantă și putere infinită

- Funcționarea generatorului sincron conectat la rețea în regim de curent de excitație constant și putere activă variabilă.
- Funcționarea generatorului sincron, conectat la rețea, la putere activă constantă și curent de excitație variabil. Curbele în V.

Funcționarea generatorului sincron conectat la rețea în regim de curent de excitație constant și putere activă variabilă.

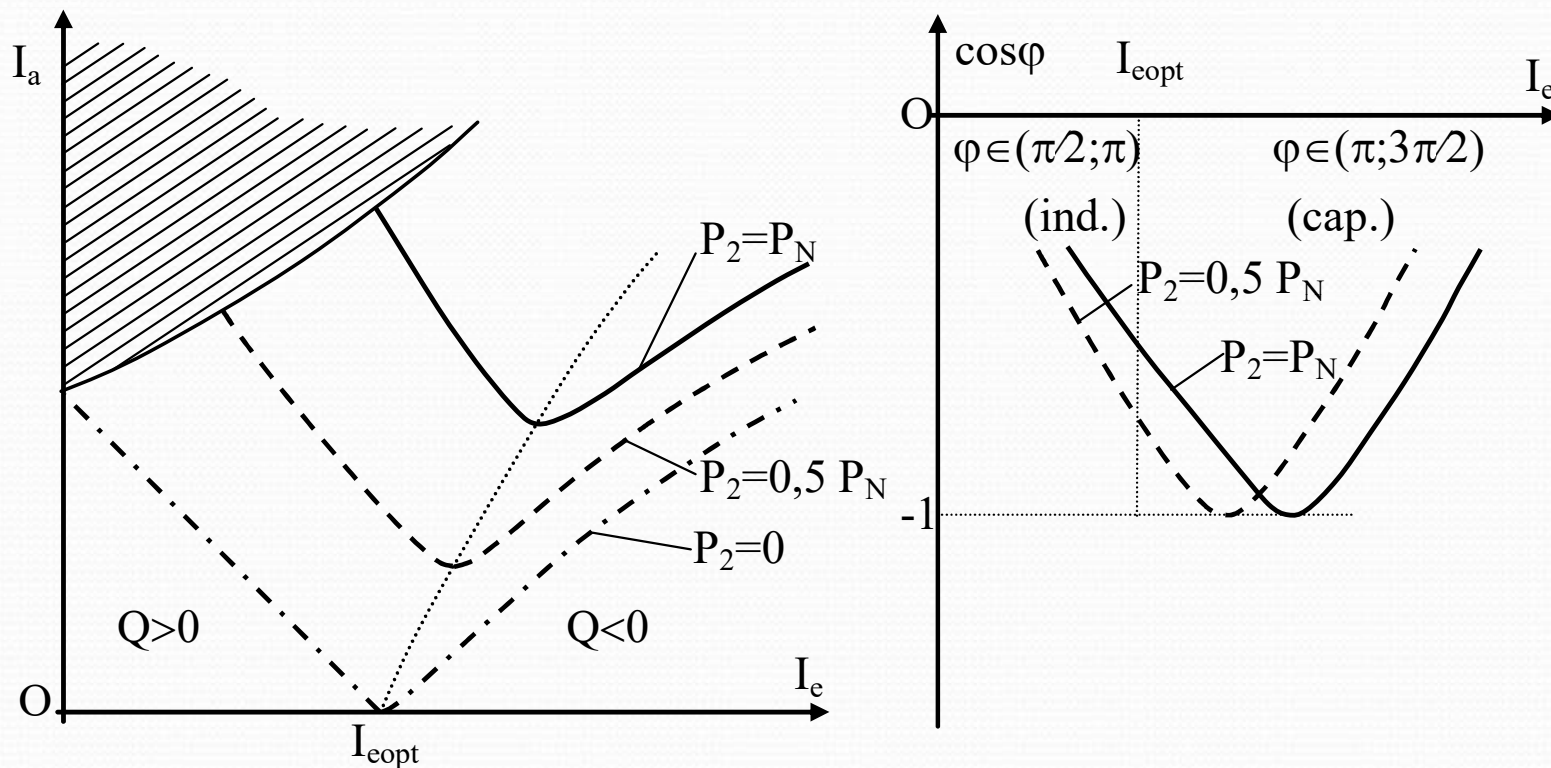
- Proprietatea mașinii sincrone de a funcționa normal la trecerea dintr-o stare staționară la alta, printr-o succesiune de stări staționare se numește **stabilitate statică**.
- Proprietatea mașinii de a rămâne în funcționare normală la variații bruște ale sarcinii se numește **stabilitate dinamică**.



Caracteristica unghiulară a G.S.

Funcționarea generatorului sincron, conectat la rețea, la putere activă constantă și curent de excitație variabil.

Curbele în V.



- Familiile de caracteristici $I_a = f(I_e)$, respectiv $\cos \varphi = f(I_e)$, pentru diverse puteri active constante

MAȘINI ELECTRICE II

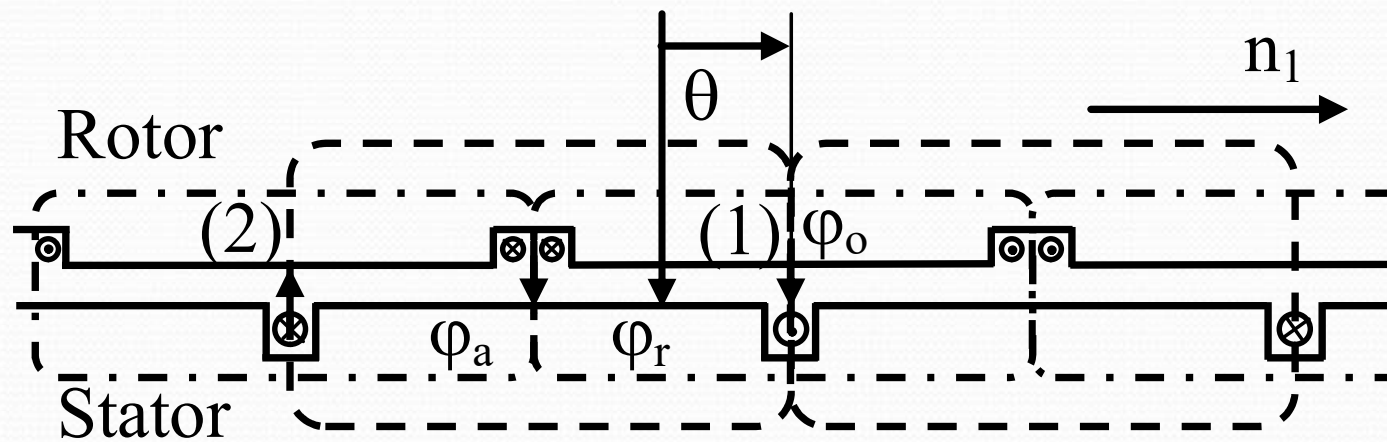
șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu



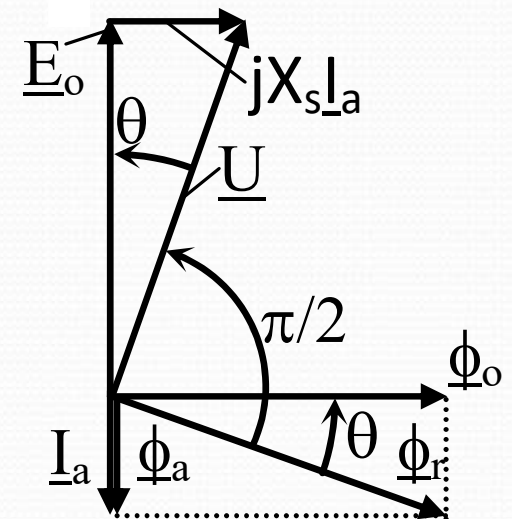
FUNCȚIONAREA MAȘINII SINCRONE ÎN REGIM DE MOTOR

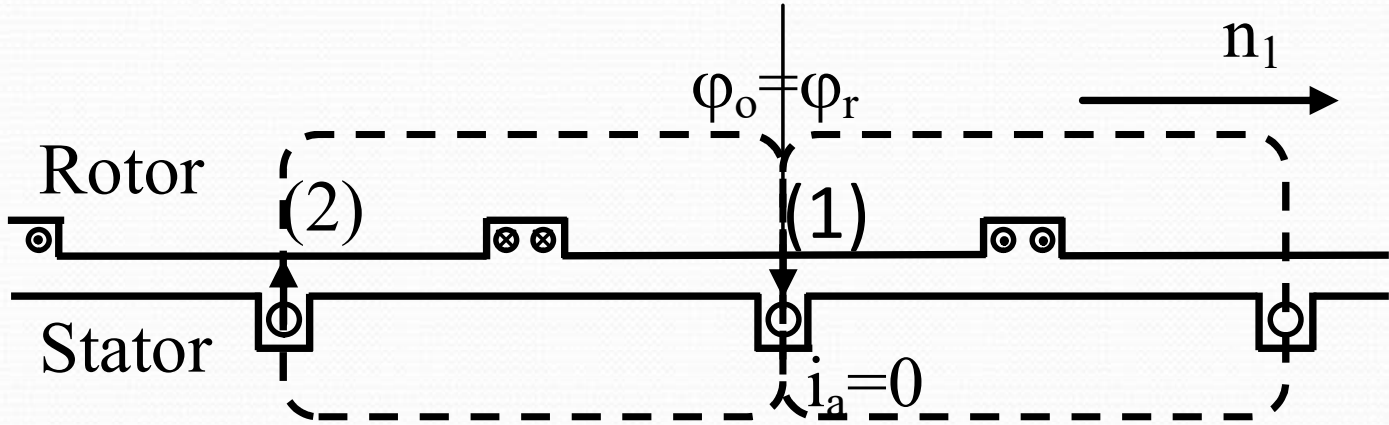
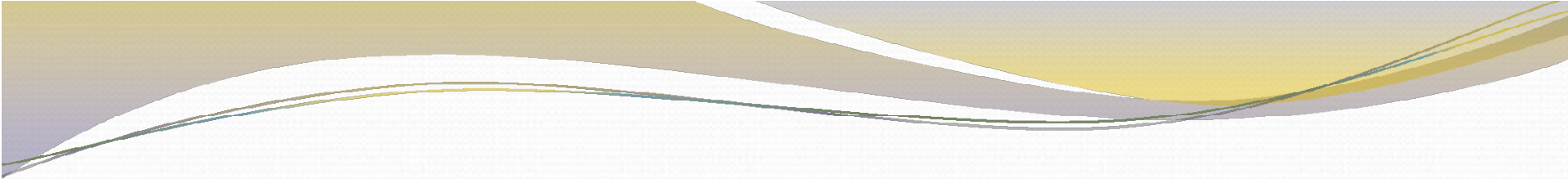
- **Principiul de funcționare a motorului sincron**
- **Expresia puterii electromagnetice și a cuplului motorului sincron**
- **Caracteristicile de funcționare a motorului sincron**
- **Pornirea, reglajul vitezei, frânarea motorului sincron**

Principiul de funcționare a motorului sincron

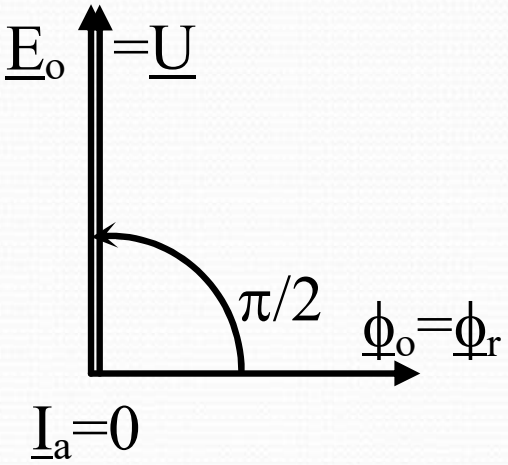


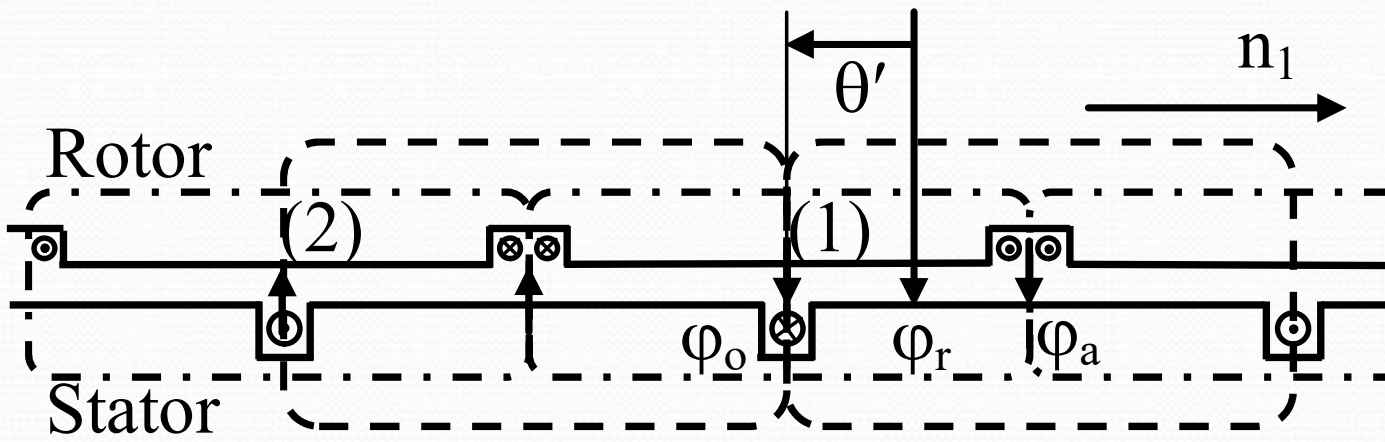
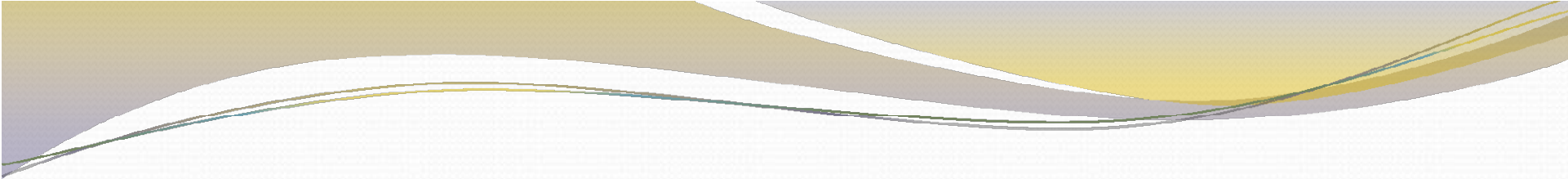
regim de generator



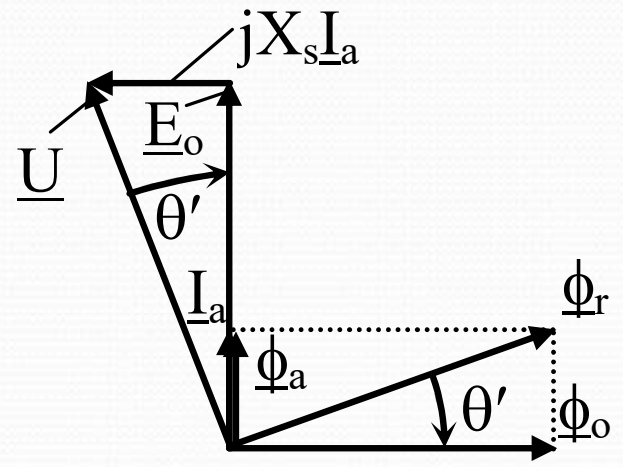


functionarea la gol ideal

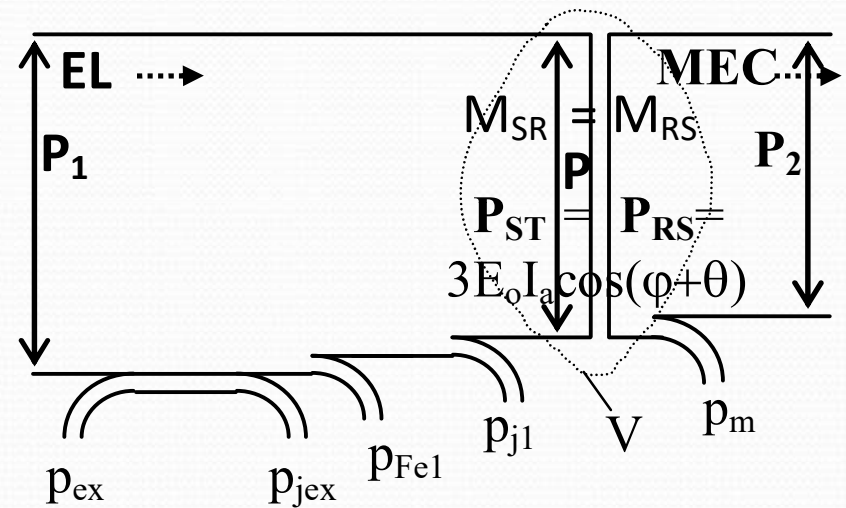
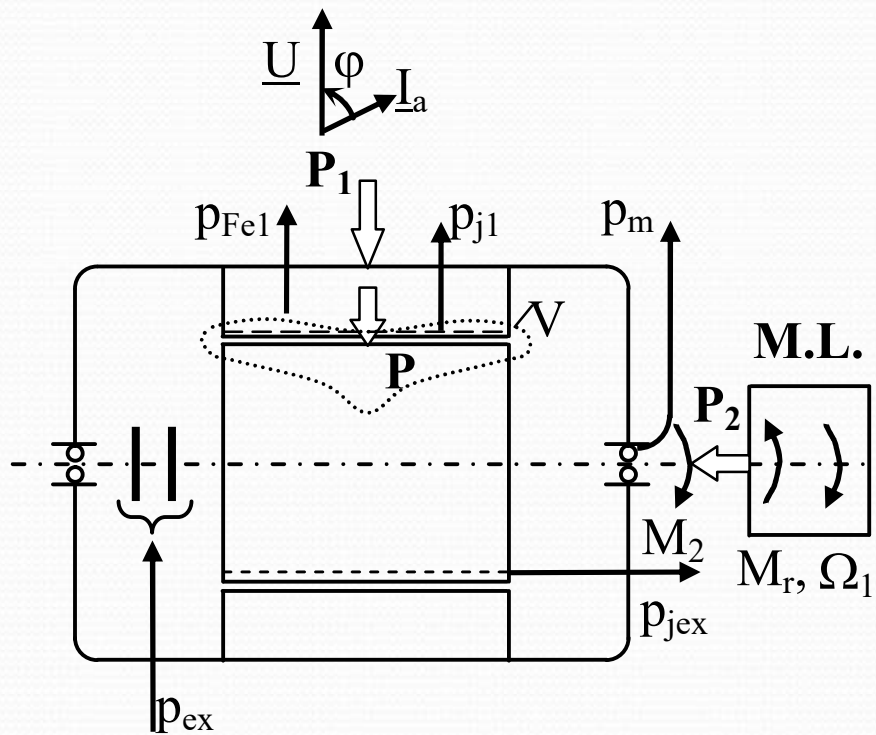




regim de motor



Expresia puterii electromagnetice și a cuplului motorului sincron



- Cirkulația de puteri la un motor sincron

- Bilanțul puterilor și randamentul motorului sincron

$$P_1 - p_{j1} - p_{Fe1} - p_m + P_2 = 0$$

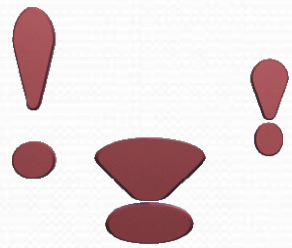
$$\eta = \frac{|P_2|}{P_1} = \frac{|P_2|}{|P_2| + \Sigma p}$$

- Expresia puterii electromagnetice a mașinii sincrone în regim de motor

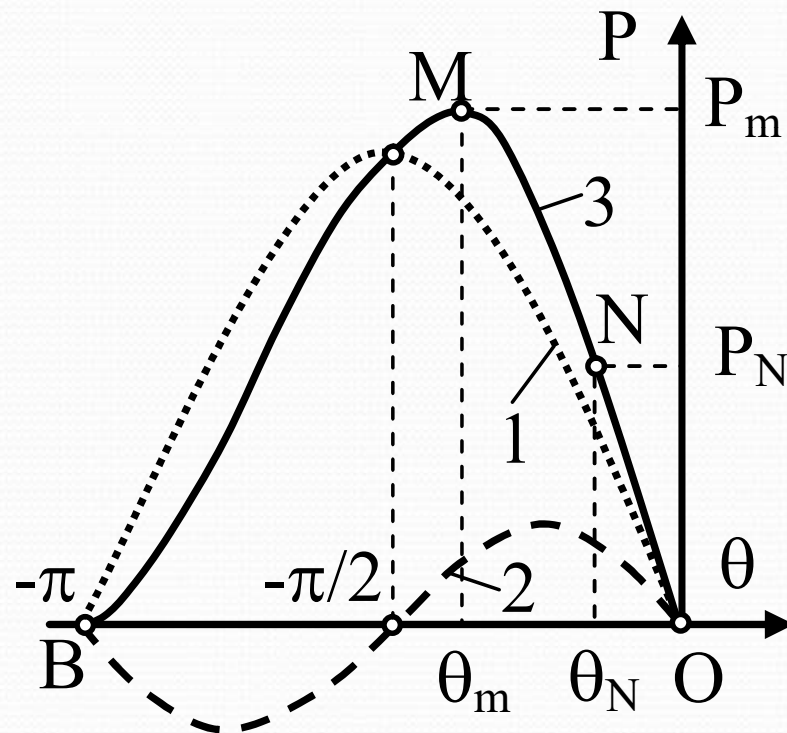
$$P = \frac{3UE_0}{X_d} \sin |\theta| + \frac{3}{2} U^2 \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2|\theta|$$

- Cuplul electromagnetic

$$M = P/\Omega$$

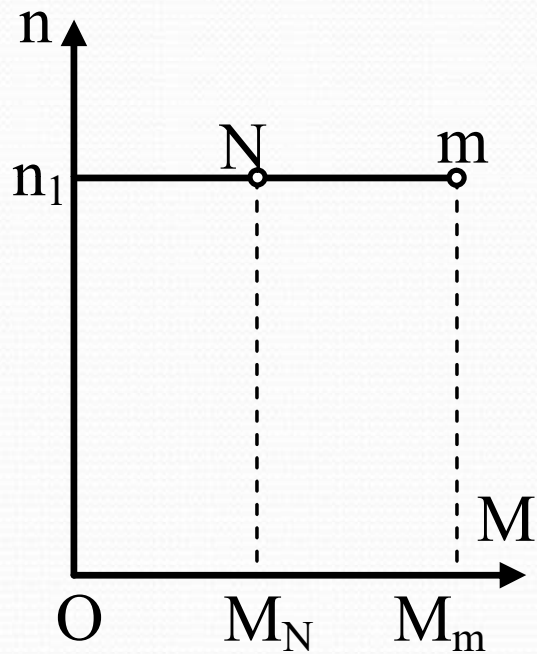


- Dacă viteza rotorului este diferită de viteza câmpului învârtitor statoric, rezultă o putere și un cuplu egal cu zero!

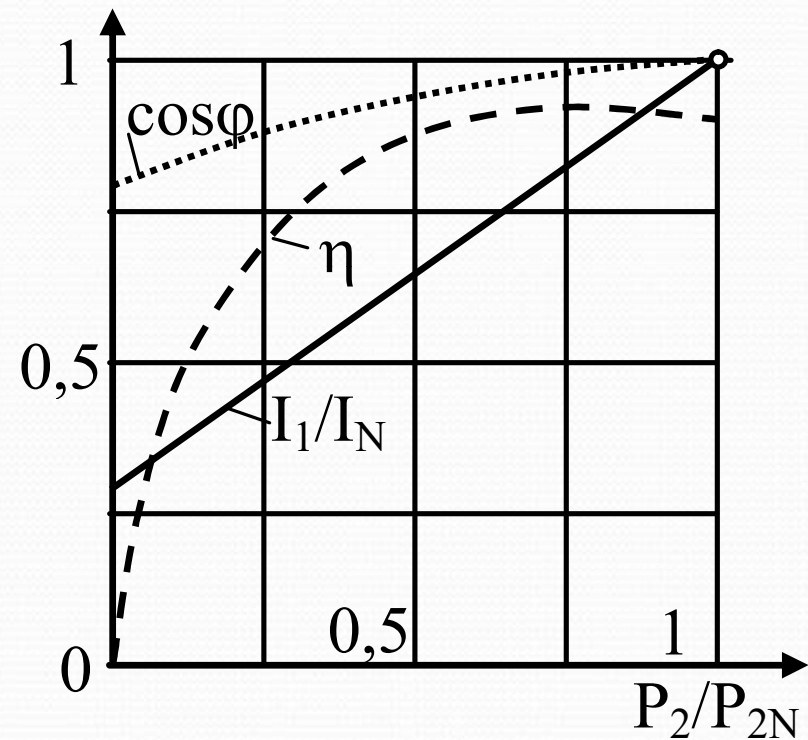


Caracteristica unghiulară

Caracteristicile de funcționare a motorului sincron



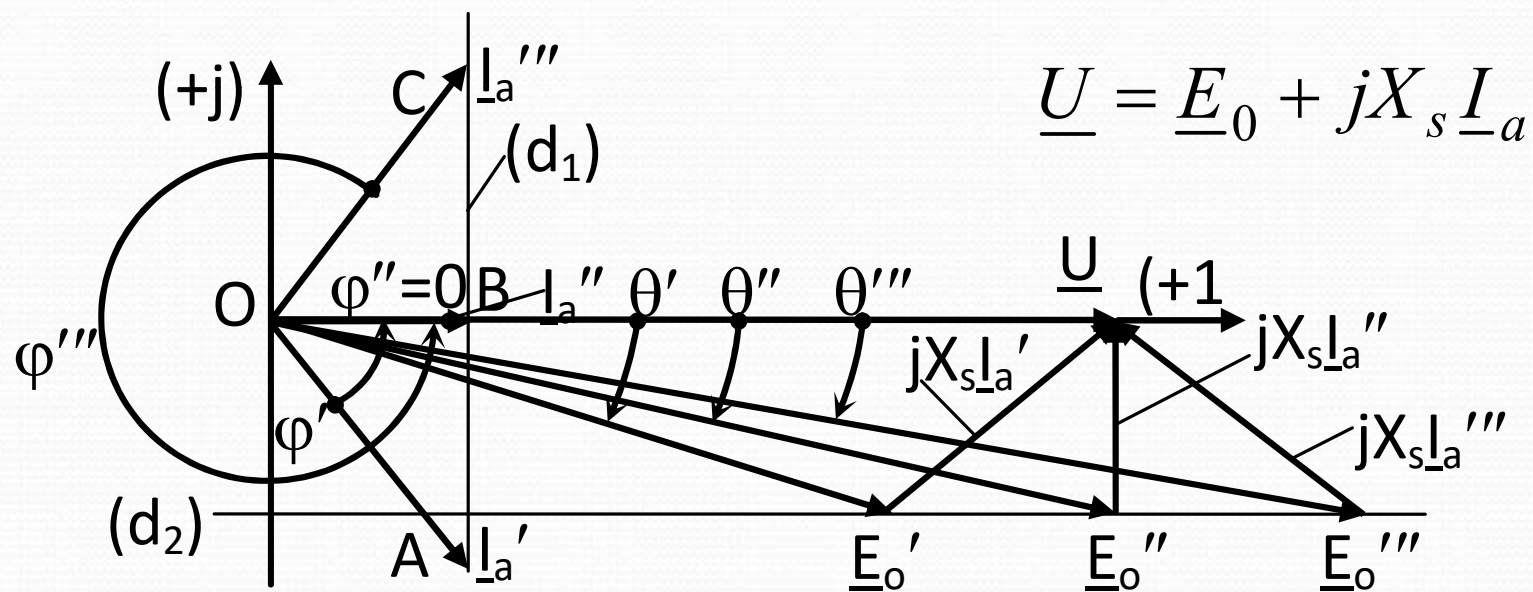
Caracteristica mecanică



Caracteristicile de funcționare în sarcină

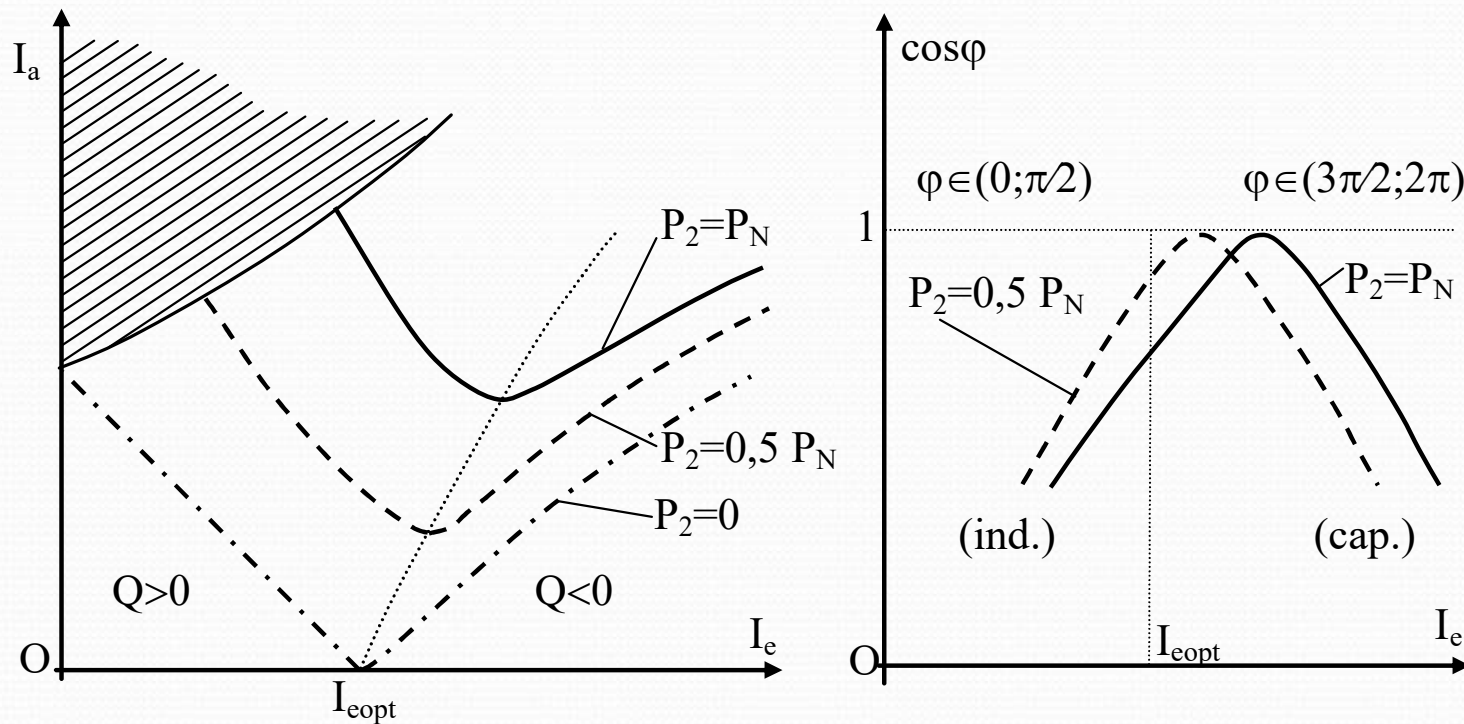
Funcționarea motorului sincron la curent de excitație variabil și cuplu constant

$$P_1 = 3UI_a \cos \varphi \approx P \approx |P_2| = \text{const}$$



Diagramele fazoriale ale unui motor sincron la I_e =variabil

Funcționarea motorului sincron la curent de excitație variabil și cuplu constant



- Curbele în V ale unui motor sincron

MAȘINI ELECTRICE II

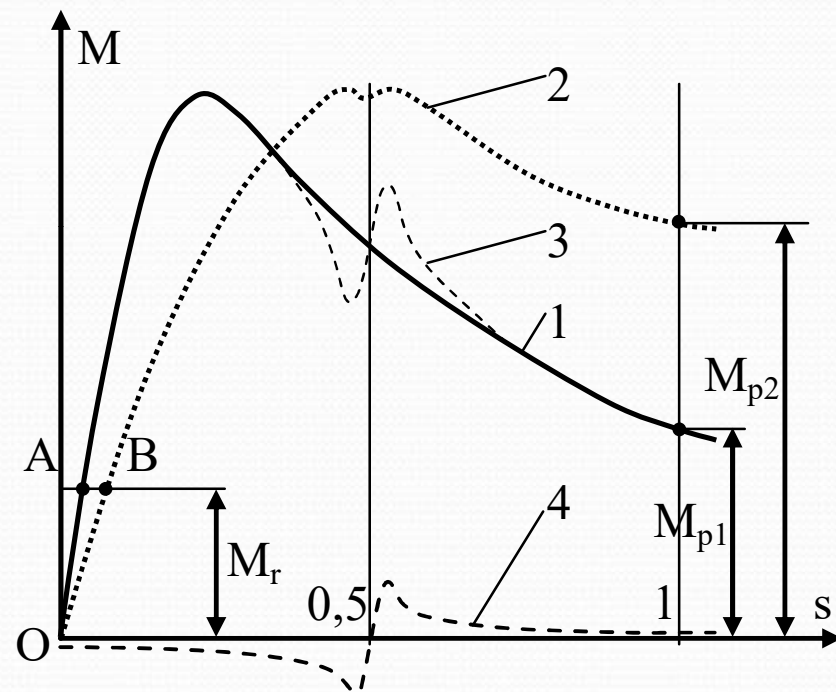
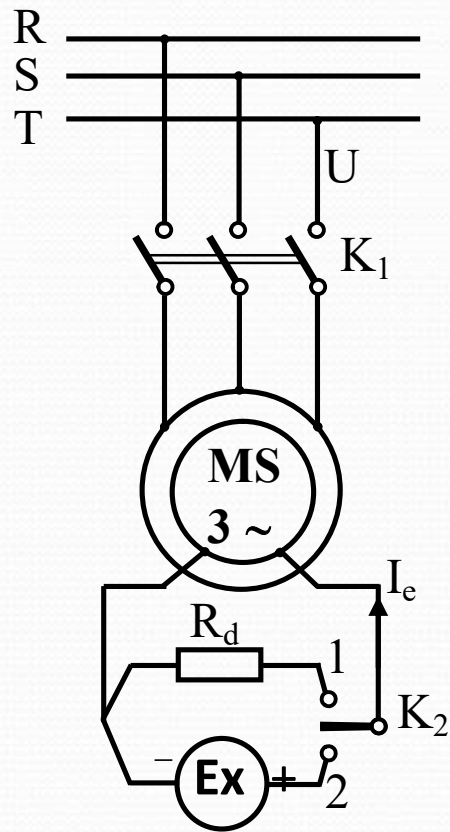
șef lucr.dr.ing. Adrian Munteanu



Pornirea, reglajul vitezei, frânarea motorului sincron

- ***Pornirea motoarelor sincrone***
 - **Pornirea cu ajutorul unui motor auxiliar**
 - **Pornirea cu frecvență variabilă**
 - **Pornirea în asincron**

Pornirea în asincron





- **Amplitudinea oscilațiilor rotorului și durata regimului tranzitoriu depind de:**

- valoarea cuplului asincron și a alunecării la care se efectuează conectarea la sursă a excitației,
- valoarea cuplului rezistent la arbore,
- unghiul intern existent în momentul cuplării,
- cuplul sincron,
- cuplul de reluctanță,
- momentul de inerție a sistemului motor-sarcină.



Reglajul vitezei motorului sincron

$$n_1 = 60f_1 / p$$

- Pentru o rețea de frecvență constantă singura posibilitate de reglare a vitezei constă în modificarea numărului de perechi de poli, când s-ar obține un reglaj în trepte.
- O dată cu dezvoltarea impetuoasă a electronicii de putere, se aplică tot mai des procedeul de reglaj al vitezei motoarelor sincrone cu ajutorul convertizoarelor statice de frecvență

Frânarea motoarelor sincrone

- Regimul de frânare nu este un regim specific motorului sincron, dar apare, de exemplu, în situația opririi, când se impune ca viteza sa să ajungă la zero într-un timp cât mai scurt.
- Frânarea motorului sincron se face fără recuperarea energiei, fiind o frânare dinamică.

