

---

# Mașina de inducție

---

Regimuri limită

Regimul de sarcină simetric

# Funcționare la mers în gol

Cuplul de sarcină nul

$$P_u = C_u \cdot \Omega_0 = 0$$

Mașina lucrează la

$$\Omega_0 \approx \Omega_S$$

Deci

$$C_u = C - C_0 = 0$$

Puterea absorbită în stator

$$P_S = m_S U_S I_{S0} \cos \varphi_{S0}$$

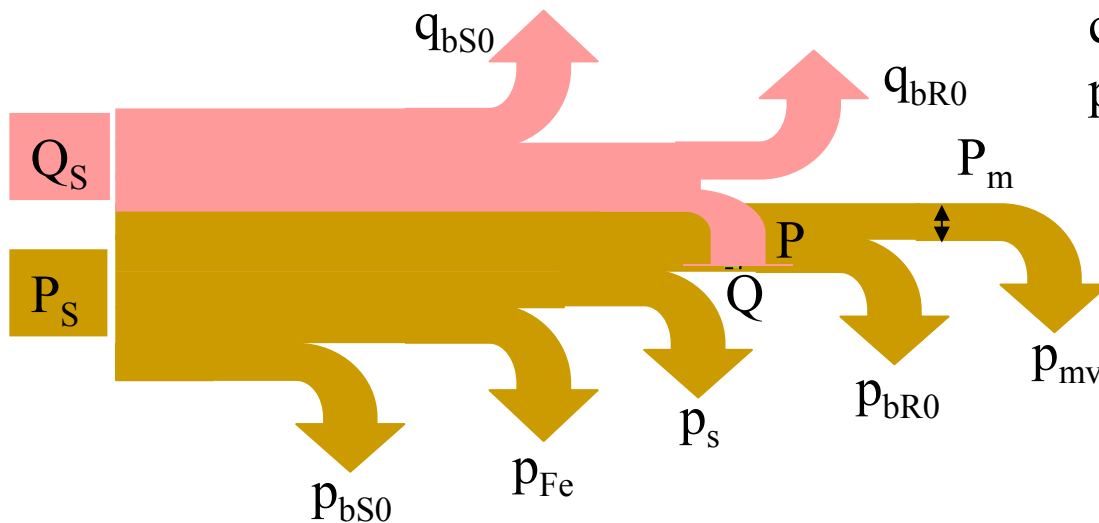
$$Q_S = m_S U_S I_{S0} \sin \varphi_{S0}$$

Cuplul electromagnetic este egal cu cuplul de frecări care acoperă pierderile mecanice și de ventilație.

Curentul în rotor este mic

$$I_{R0}'' \ll I_{ms}$$

$$P_S + P_{bR0} \ll P_{mv}$$



$$P_{S0} = P_{bS0} + P_{Fe} + P_{mv}$$

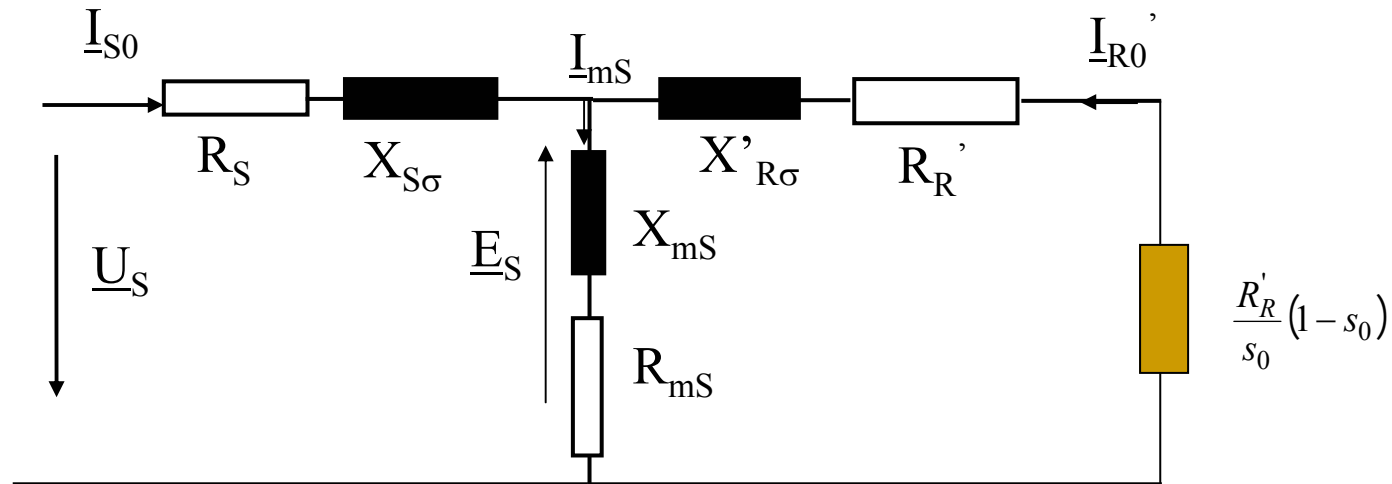
$$P_{Fe} + P_{mv} = P_{S0} - P_{bS0}$$

## Regimul de mers în gol

$$I_{R0}'' \ll I_{mS}$$

Deci

$$I_{S0} \cong I_{mS}$$



$$\underline{Z}_{S0} = \underline{Z}_S + \underline{Z}_{mS} = \frac{\underline{U}_S}{\underline{I}_{S0}}$$

$$i_0 = \frac{I_{S0}}{I_{SN}} \approx 20 \div 80 \quad \%$$

# Schema echivalentă în L

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

Ținând seama de mers in gol  $\underline{I}_{mS} \cong \underline{I}_{S0}$   $\underline{I}_{S0} = \frac{\underline{U}_S}{\underline{Z}_{mS} + \underline{Z}_S} = \frac{\underline{U}_S}{\underline{Z}_{S0}}$

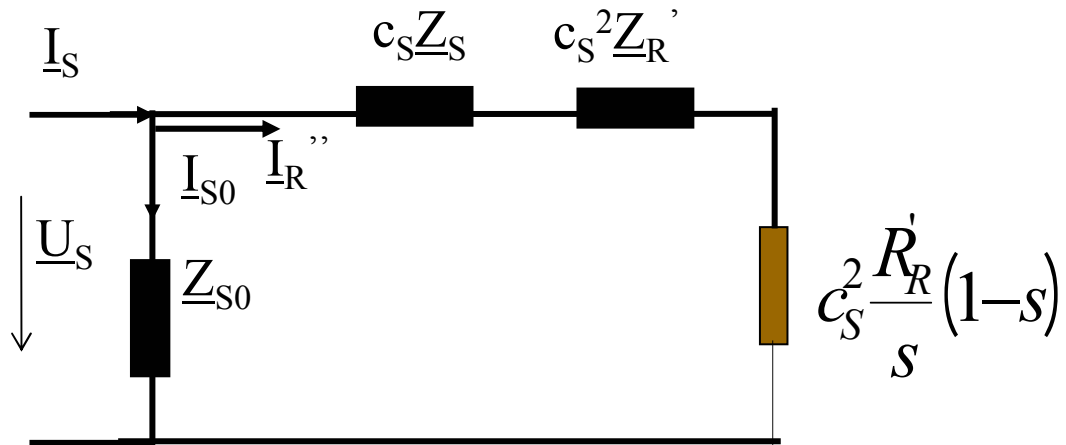
Rezultă:  $\underline{I}_S = \underline{I}_{S0} - \underline{I}'_R = \underline{I}_{S0} + \underline{I}''_R$  Două circuite în paralel

Din impedanțele echivalente  $\underline{Z}_S + \frac{\underline{Z}_{mS} \cdot \underline{Z}'_{Rs}}{\underline{Z}_{mS} + \underline{Z}'_{Rs}} = \frac{\underline{Z}_{S0} \cdot \underline{Z}'_X}{\underline{Z}_{S0} + \underline{Z}'_X}$

$$\underline{Z}'_X = c_S \cdot \underline{Z}_S + c_S^2 \cdot \underline{Z}'_{Rs}$$

constanta

$$c_S = \frac{\underline{Z}_{mS} + \underline{Z}_S}{\underline{Z}_{mS}}$$



## Regimul de mers în scurtcircuit

Rotorul este blocat  $n = 0$  ;  $s = 1$       cuplul de sarcină util este nul

Puterea absorbită

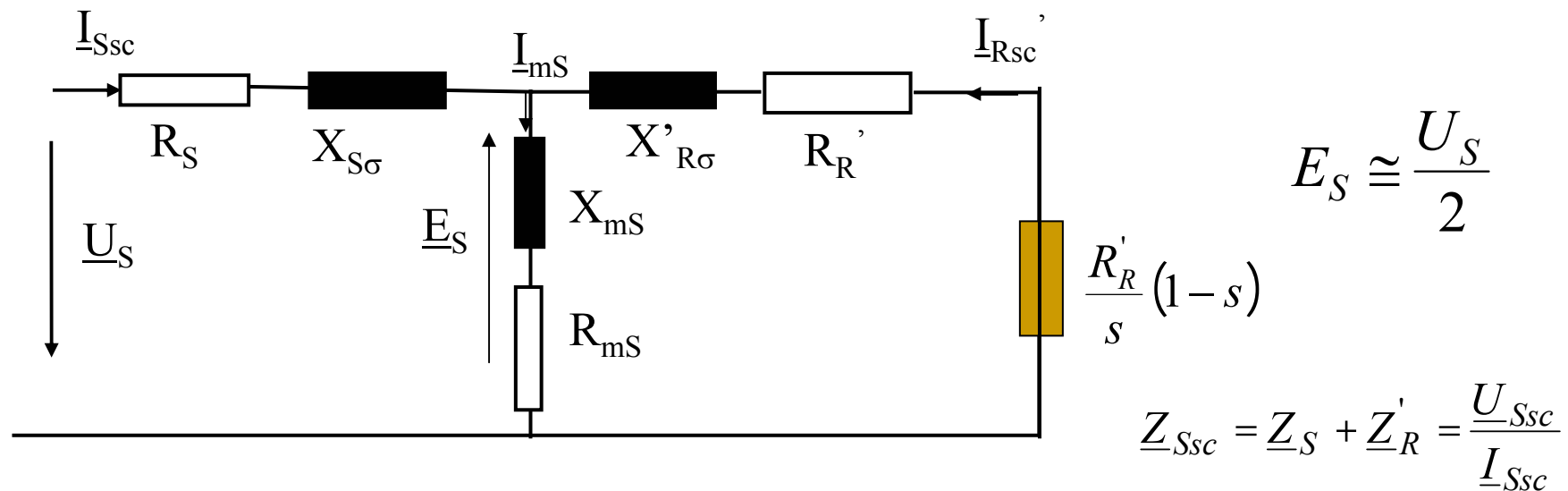
$$P_u = C_u \cdot \Omega = 0$$

$$C_u \neq 0$$

$$P_{Ssc} = m_S U_S I_{Ssc} \cos \varphi_{Ssc}$$

$$\frac{1-s}{s} R'_R = 0$$

$$I'_{Rsc} \gg I_{ms}$$

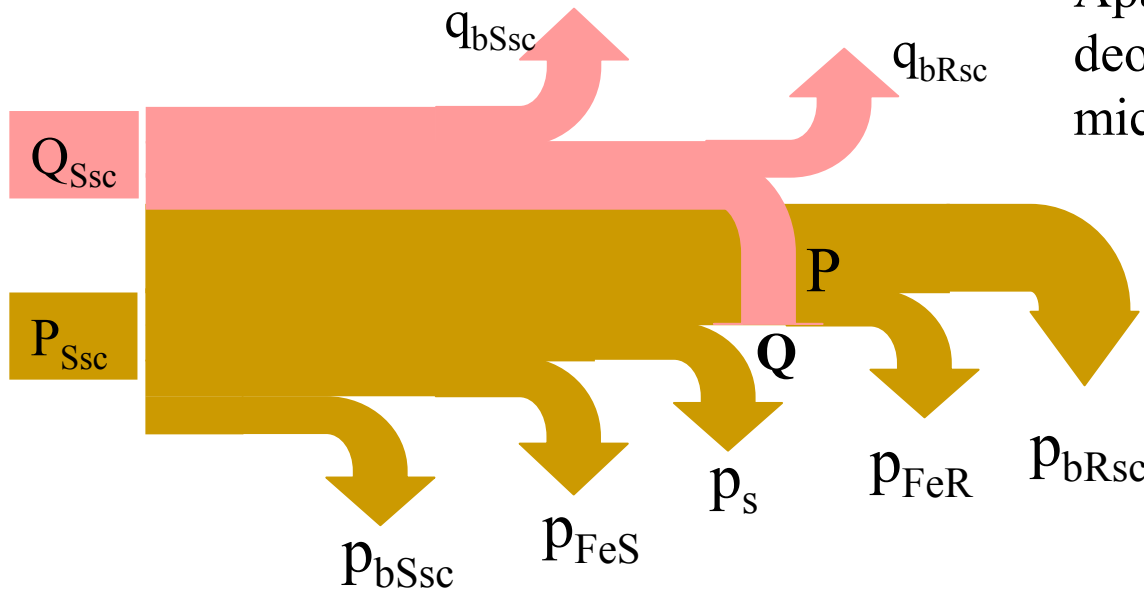


# Regimul de mers în scurtcircuit

Rotorul fiind blocat

$$p_{mv} = 0$$

Apar pierderi în fierul rotoric deoarece  $f_R = f_S$ , dar și acestea sunt mici



$$p_{Fe}(E^2) \ll p_{bSsc}$$

Rezultă:

$$P_{Ssc} = p_{bSsc} + p_{bRsc} + P_{ssc}$$

$$P = C \Omega_s \neq 0$$

Pentru tensiunea nominală rezultă

$$i_p = \frac{I_{SscN}}{I_{SN}} \approx 8 \div 3,5$$

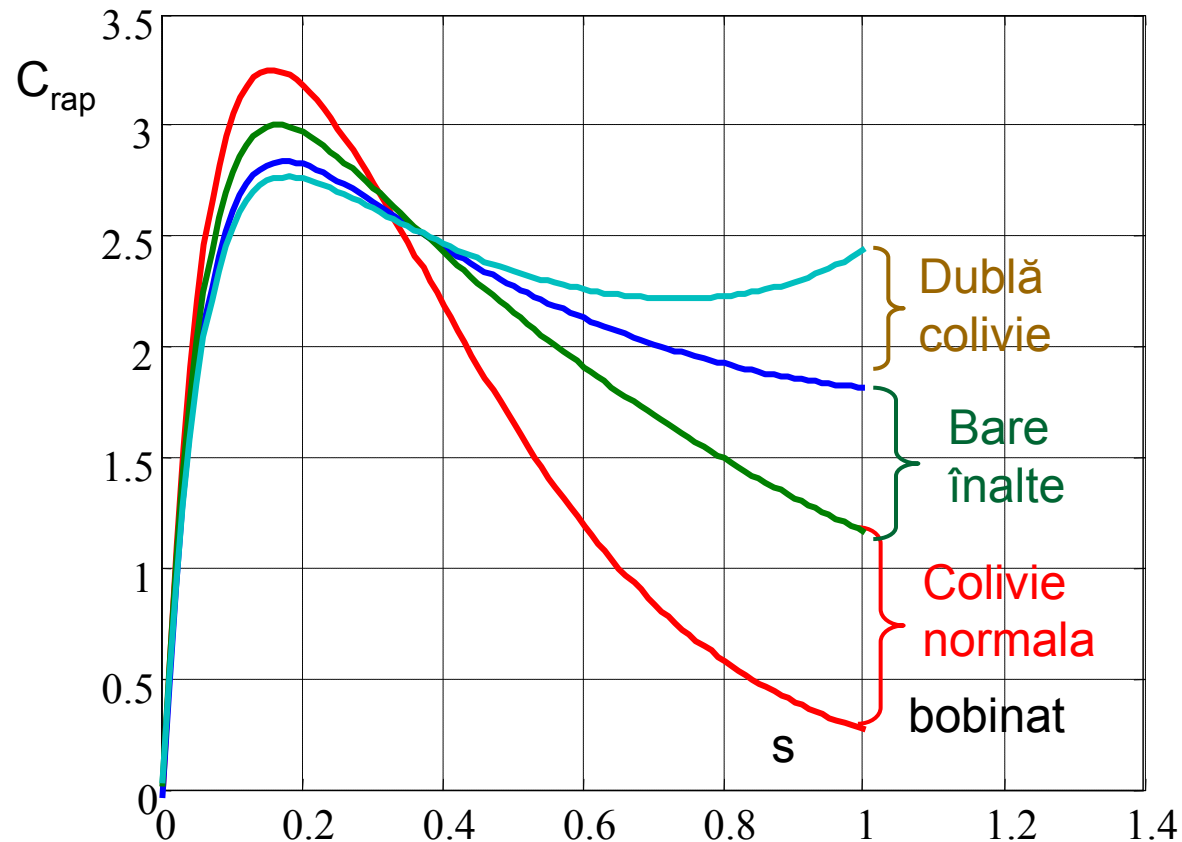
Depinde de tipul constructiv al rotorului.

Există cuplu electromagnetic

## Cuplul și curentul de pornire

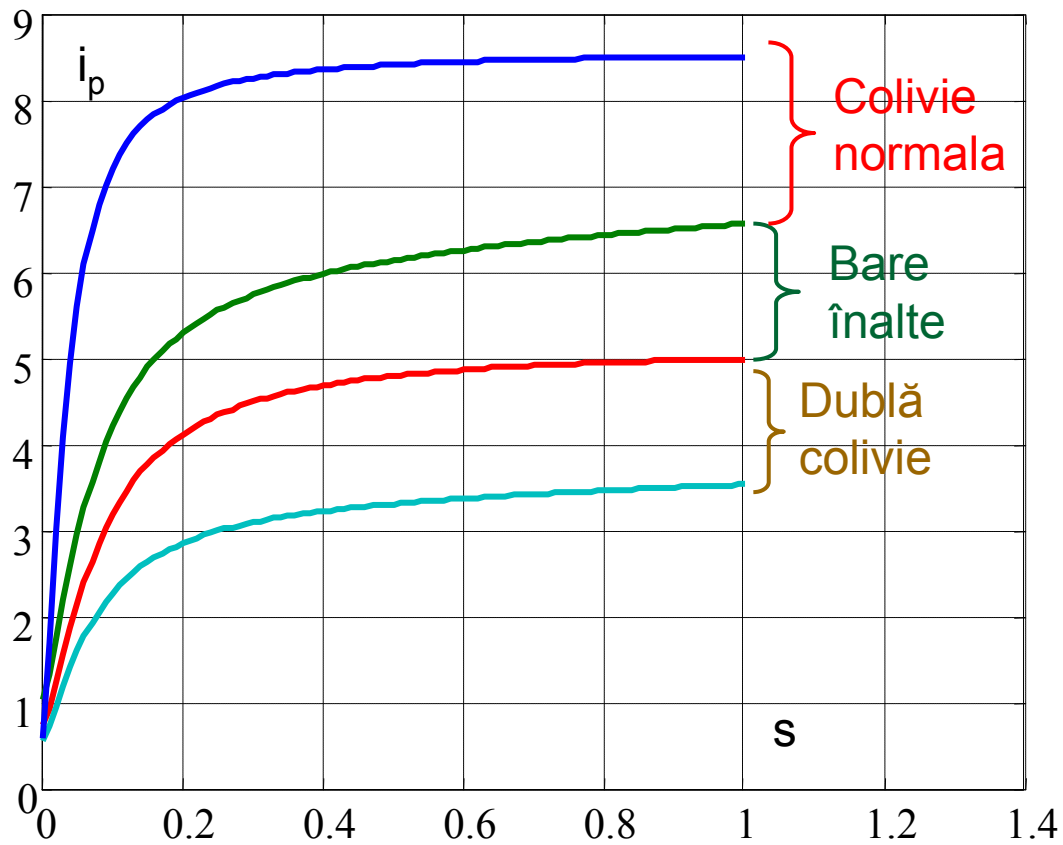
Pentru tensiune nominală rezultă cuplul de pornire  $C_p$

$$C_{prap} = \frac{C_p}{C_N} \approx 0.2 \div 3.5$$



$$C_p = \frac{P_{sc}}{\Omega_s}$$

# Cuplul și curentul de pornire



$$i_p = \frac{I_{SscN}}{I_{SN}} \approx 8 \div 3,5$$



## Calculul parametrilor din încercări

Datele măsurate la încercarea unei mașini de inducție trifazate, având  $2p=4$  poli și conexiunea stea a înfășurărilor statorice,

la mers în gol:

la tensiunea	$U_N=380 \text{ V},$
curentul	$I_{s0}=14,8 \text{ A},$
puterea	$P_0=1,3 \text{ kW},$

în scurtcircuit :

la tensiunea	$U_{sc}=145 \text{ V},$
curentul	$I_{sc}= 43 \text{ A},$
puterea	$P_{sc}= 5,2 \text{ kW}.$

Se consideră  $R_s=0,4 \Omega$ , și raportul  $R_s/R'R=X_{s\sigma}/X'R\sigma$ .

## Calculul parametrilor din încercări

### parametrii de mers în gol

$$Z_0 = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot I_{s0}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 14,8} = 14,864 \Omega$$

$$R_0 = \frac{P_0}{3I_{s0}^2} = \frac{1300}{3 \cdot 14,8^2} = 1,978 \Omega$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} = 14,732 \Omega$$

### parametrii de mers în scurtcircuit

$$Z_{sc} = \frac{145}{\sqrt{3} \cdot 43} = 1,947 \Omega$$

$$R_{sc} = \frac{5200}{3 \cdot 43^2} = 0,937 \Omega$$

$$X_{sc} = 1,706 \Omega$$

## Calculul parametrilor din încercări

calculul parametrilor ținând seama de influența impedanței de magnetizare

$$R_{sc} - R_s = 0,537\Omega$$

$$X_0 - X_{sc} = 13,026\Omega$$

$$R'_R = \frac{R_{sc} - R_s}{X_0 - X_{sc}} X_0 = \frac{0,537}{13,026} 14,732 = 0,607\Omega$$

$$X_{S\sigma} + X'_{R\sigma} = X_{sc} - \frac{(R_{sc} - R_s)^2}{X_0 - X_{sc}} = 1,706 - \frac{0,537^2}{13,026} = 1,684\Omega$$

$$\frac{X_{S\sigma}}{X'_{R\sigma}} = \frac{R_s}{R'_R} = \frac{0,4}{0,607} = 0,659$$

## Calculul parametrilor din încercări

rezultă

$$1,659 X'_{R\sigma} = 1,684\Omega \Rightarrow X'_{R\sigma} = \frac{1,646}{1,6} = 1,015\Omega$$

$$X_{s\sigma} = 0,669\Omega$$

$$R_m = R_0 - R_s = 1,578\Omega$$

$$X_m = X_0 - X_{s\sigma} = 14,063\Omega$$

constanta complexă a mașinii

$$\underline{C}_s \cong \frac{X_0}{X_m} \cong \frac{1,978 + j14,732}{1,578 + j14,063} = 1,050 - j0,022$$

# Calculul parametrilor schemei echivalente a motorului din datele de catalog și încercarea de mers in gol

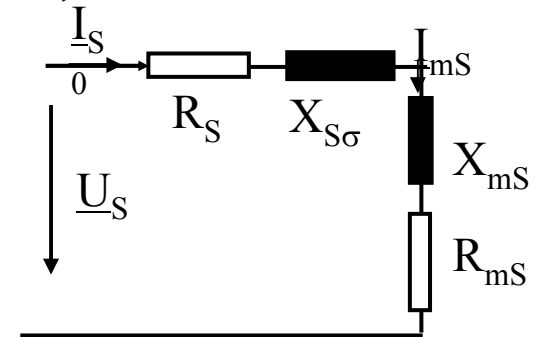
un motor de inducție cu **datele de catalog**:

puterea	$P_N=4 \text{ kW}$ ,
curentul	$I_N=8,57 \text{ A}$ ,
tensiunea	$U_N=380 \text{ V}$ ;
conexiunea statorului în stea;	
factor de putere	$\cos\varphi=0,865$ ,
randament	$\eta=0,80$ ,
turația	$n_N=1455 \text{ rot/min}$ ,

s-a efectuat **încercarea de mers in gol** la

tensiunea	$U_S=380 \text{ V}$ ,
curentul măsurat	$I_0=4,0 \text{ A}$ ,
puterea	$P_0=385 \text{ W}$ ,

și rezistența fazei statorice  $R_S=1,1\Omega$



## Parametrii de mers în gol

impedanța  $Z_0 = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 4} = 54,848\Omega$

rezistența  $R_0 = \frac{385}{3 \cdot 4^2} = 8,02\Omega$

reactanța  $X_0 = 54,258\Omega$

factorul de putere  $\cos \varphi_0 = \frac{385}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 4,0} = 0,1462$

pierderi de mers în gol în bobinaj  $P_{bs0} = 3 \cdot 1,1 \cdot 4,0^2 = 52,8W$

pierderi mecanice și în fier  $P_m + P_{Fe} = 332,2W$

curentul de mers în gol  $I_{s0} = 0,585 - j3,957 A = I_{s0} \cos \varphi_0 - jI_{s0} \sin \varphi_0$

## La sarcina nominală

alunecarea nominală  $s_N = \frac{1500 - 1455}{1500} = \frac{45}{1500} = 0,03$

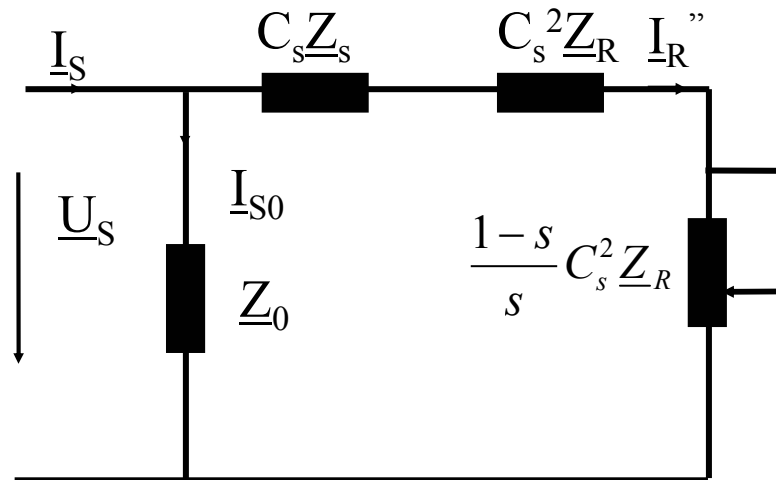
curentul nominal  $\underline{I}_{SN} = I_N \cdot \cos \varphi - jI_N \cdot \sin \varphi = 7,413 - j4,3 A$

$\underline{I}''_R = \underline{I}_S - \underline{I}_{S0} = 6,828 - j0,343 A$

curentul rotoric

$I''_R = 6,836 A$

Parametrii circuitului rotoric



$$\begin{aligned} \underline{Z}_S + C_S \frac{\underline{Z}'_R}{s} &= \frac{\underline{U}_S}{C_S \underline{I}''_R} \\ &= \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 1,018 \cdot (6,828 - j0,343)} \\ &= 31,484 + j1,581 \end{aligned}$$

se alege constanta complexă  $C_S = 1,018$

## Parametrii mașinii din schema echivalentă în L

rezistența  $R_S + C_S \frac{R'_R}{S} = 31,484 \Omega$

de unde rezultă: rezistența rotorică  $R_R = 0,895 \Omega$

raportul rezistențelor  $\frac{R_S}{R'_R} = \frac{1,1}{0,895} = 1,229$

reactanța  $X_{S\sigma} + C_S X_{R\sigma} = 1,581 \Omega$

de unde rezultă:

reactanțele de scăpări  $X_{S\sigma} = 0,864 \Omega; X'_{R\sigma} = 0,704 \Omega$

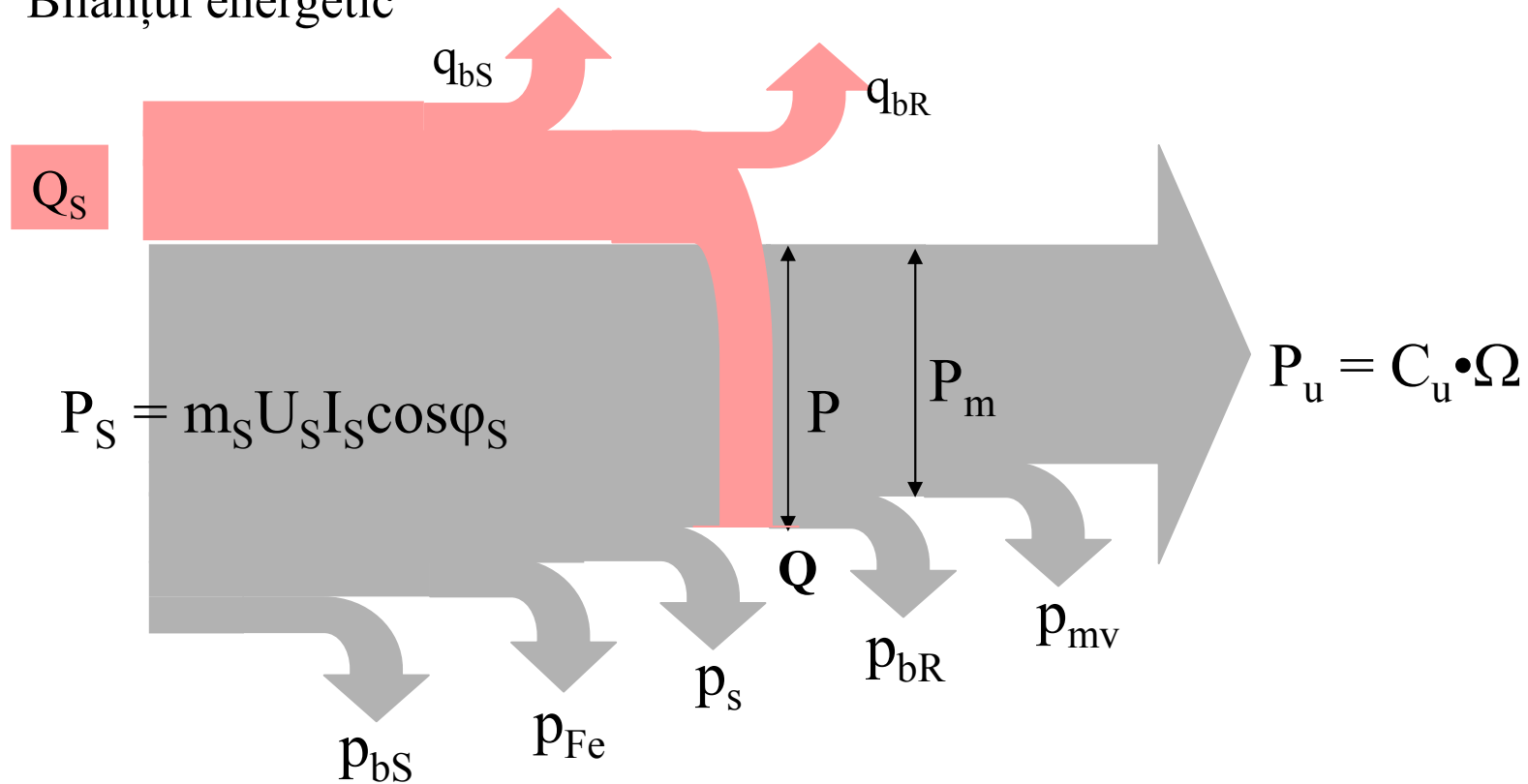
reactanța de magnetizare  $X_m = X_0 - X_{S\sigma} = 53,394 \Omega$

constanta mașinii  $C_S = \frac{X_0}{X_m} = 1,015 \approx 1,018$



# Funcționarea în sarcină

Bilanțul energetic



Suma pierderilor

$$\sum p = p_{bS} + p_{Fe} + p_s + p_{bR} + p_{mv}$$

## Funcționarea în sarcină

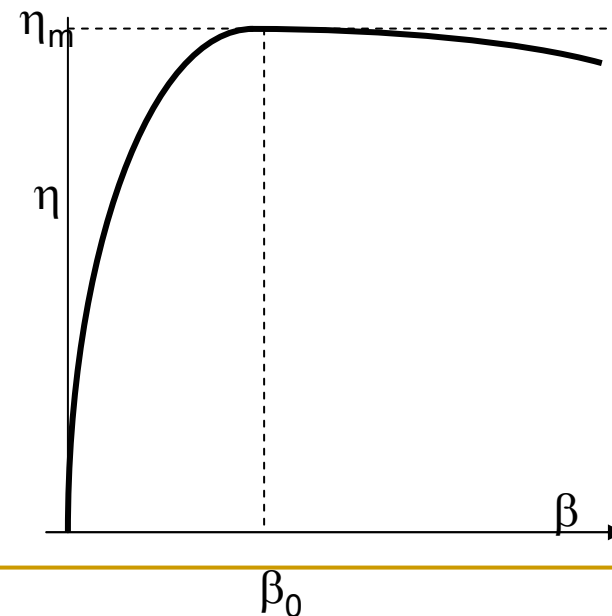
randamentul

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_a - \sum p}{P_a}$$

În domeniul alunecărilor mici se poate considera

$$\sum p = p_c + p_v = p_c + p_{vN} \cdot \beta^2$$

Rezultă variația randamentului cu sarcina  $\beta = I_S / I_{SN}$  la fel ca în cazul transformatorului.



## Diagrama vectorială a mașinii de inducție.

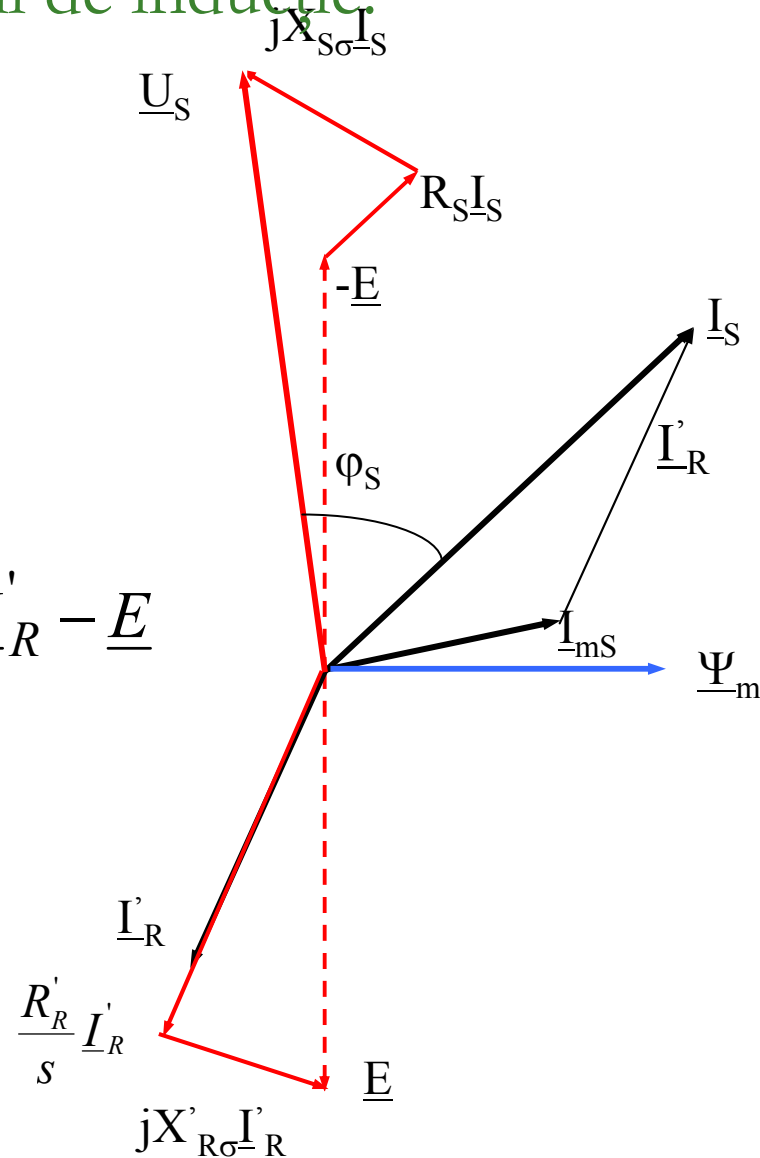
$$\underline{\Psi}_m = (L_m - jR_m) \cdot \underline{I}_m$$

$$\underline{E} = -j \cdot \omega_S \cdot \underline{\Psi}_m$$

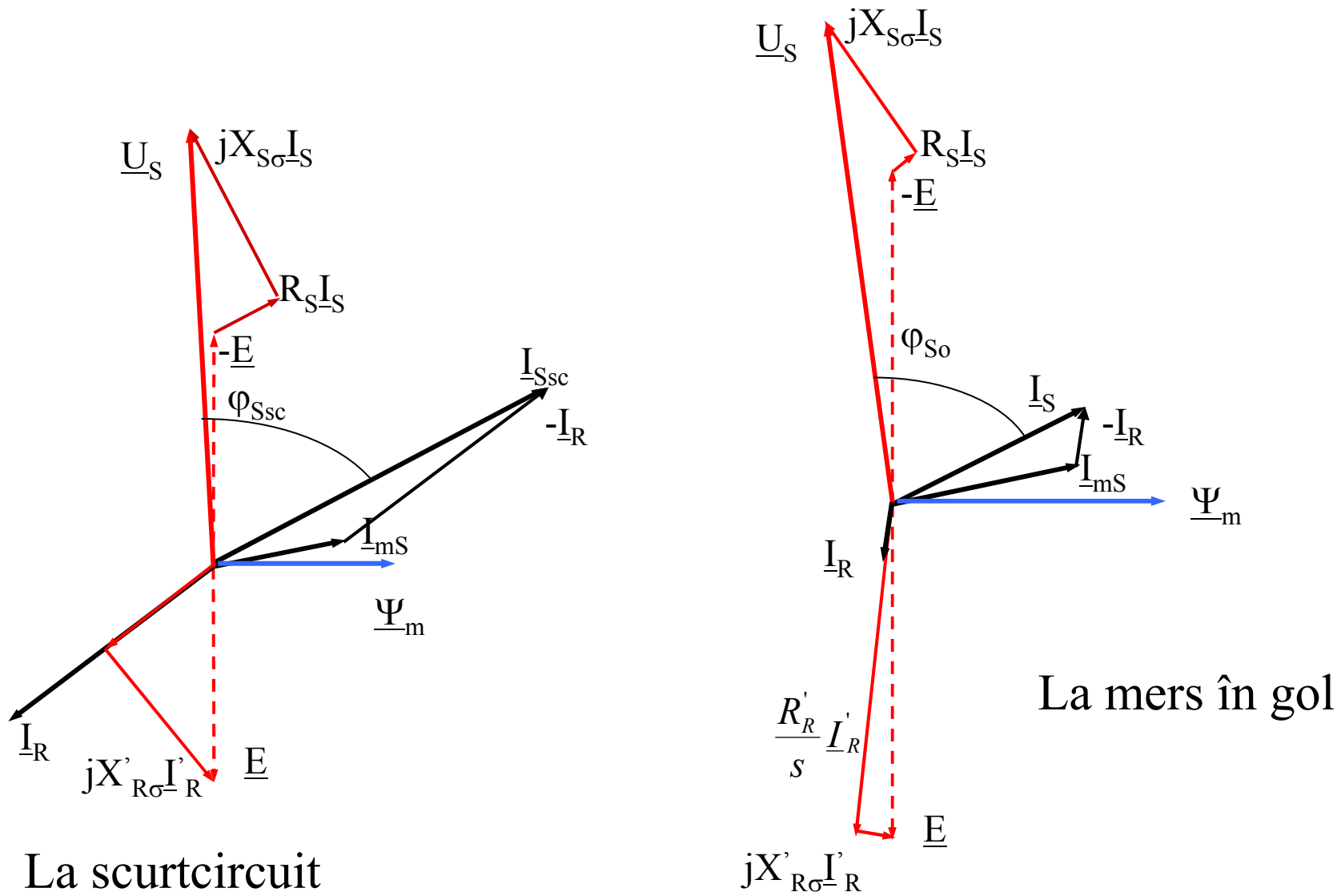
$$\underline{U}'_R = 0 = \frac{R'_R}{s} \cdot \underline{I}'_R + j \cdot X'_{R\sigma} \cdot \underline{I}'_R - \underline{E}$$

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

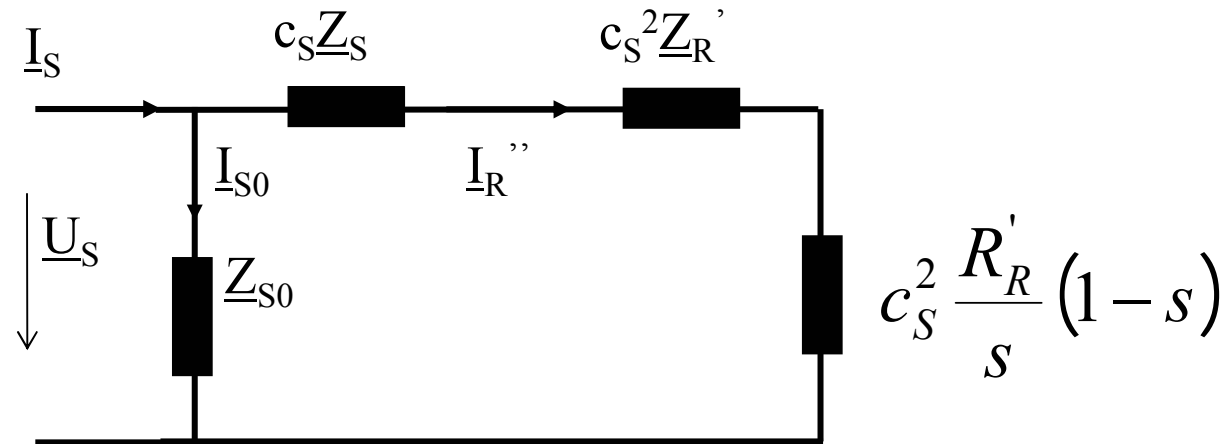
$$\underline{U}_S = R_S \cdot \underline{I}_S + j \cdot X_{S\sigma} \cdot \underline{I}_S - \underline{E}$$



# Diagrama vectorială a mașinii de inducție.



## Regimul de motor



$$\underline{I}_S = \underline{I}_{S0} + \underline{I}_R'' \quad \underline{I}_R'' = \frac{\underline{U}_S}{c_S \cdot (\underline{Z}_S + c_S \cdot \underline{Z}'_{Rs})} \quad \underline{Z}'_{Rs} = \frac{R'_R}{s} + j \cdot X'_{R\sigma}$$

Pentru  $-\infty < s < +\infty$  descrie un cerc.

Valoarea maximă rezultă pentru  $s = \infty$

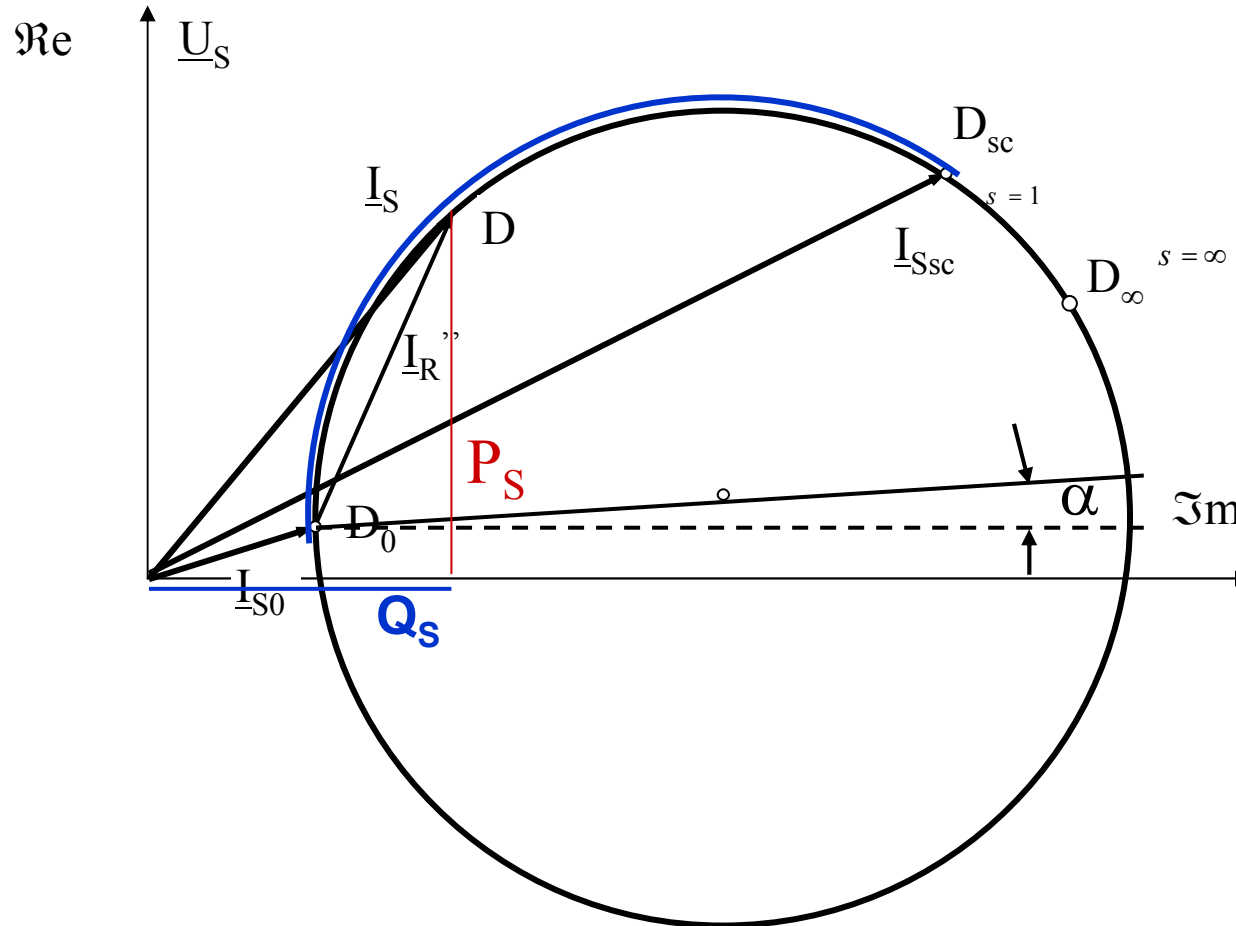
$$\underline{I}_{R \max}'' = \frac{\underline{U}_S}{c_S \cdot (\underline{Z}_S + c_S \cdot jX'_{R\sigma})}$$

Valoarea minimă rezultă pentru  $s = 0$

$$\underline{I}_{R \min}'' = 0$$

## Diagrama cercului

Locul geometric al vârfului vectorului curentului statoric



Permite determinarea caracteristicilor de funcționare

---

## Calculul bilanțului energetic pe baza datelor de catalog

Un motor asincron trifazat tetrapolar are datele de catalog :

puterea	$P_N=5 \text{ kW};$
tensiunea	$U_N=380/220 \text{ V};$
curentul	$I_N=10 \text{ A};$
randamentul	$\eta_N=0,842;$
factorul de putere	$\cos\varphi_N=0,9;$
rezistența înfășurării statorice	$R_s=0,85 \Omega;$
cuplul de mers în gol	$M_0=1,2 \text{ Nm};$
pierderi suplimentare	1%,
frecvența	$f_N=50 \text{ Hz}$

---

## Calculul bilanțului energetic pe baza datelor de catalog

Puterea absorbită

$$P_a = 3U_f I_f \cos \varphi = 3 \cdot 220 \cdot 10 \cdot 0,9 = 5940W$$

Puterea utilă

$$P_u = \eta P_a = 0,842 \cdot 5940 = 5000W$$

pierderi totale

$$\sum p = P_a - P_u = 940W = \frac{1-\eta}{\eta} P_u = \frac{1-0,842}{0,842} 5000 = 938,2W$$

- pierderi în înfășurări statorice

$$p_{bs} = 3R_s I_s^2 = 3 \cdot 0,85 \cdot 10^2 = 255W$$

- pierderi mecanice și în fier

---

$$p_m + p_{Fe} = \Omega_s M_0 = 2\pi \cdot 50 \cdot 1,2 = 377W$$



## Calculul bilanțului energetic pe baza datelor de catalog

pierderi suplimentare

$$p_s = 1\%5000 = 50W$$

pierderi in rotor

$$P_{bR} = \sum p - (p_{bs} + p_{Fe} + p_m + p_s) = 940 - (682) = 258W$$

puterea electromagnetica

$$P = P_u + P_{bR} + P_m = 5000 + 258 + \frac{377}{2} = 5467W$$

alunecarea

$$s = \frac{P_{bR}}{P} = \frac{258}{5467} = 0,0472$$

Cuplul electromagnetic și util

$$M = \frac{pP}{\omega_s} = \frac{5467}{100\pi} = 17,4Nm \quad M_u = \frac{pP_u}{(1-s)\omega_s} = \frac{5000}{0,9528 \cdot 100\pi} = 16,7Nm$$

## Calculul caracteristicii mecanice din datele de catalog

Datele de catalog ale unui motor de inducție sunt:

puterea	$P_N=3\text{kW};$
tensiunea	$U_N= 380 \text{ V};$
curentul	$I_N=8,5\text{A};$
turația	$n_N=940 \text{ r/min};$
factorul de putere	$\cos\varphi=0,69;$
randamentul	$\eta=0,75;$
cuplul maxim raportat	$\lambda=2,3;$
curentul rotoric	$I_R=26,3\text{A};$
tensiunea la inele	$U_{R0}=76\text{V};$
cuplul de pornire raportat	$\lambda_p=1,2;$
curentul de pornire raportat	$K_{ip}=8,2.$

## Calculul caracteristicii mecanice din datele de catalog

Alunecarea nominală

$$s_N = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 940}{1000} = 0,06$$

expresia caracteristicii mecanice la pornire

$$\frac{M_p}{M_K} = \frac{2(1 + \varepsilon)}{s_K + \frac{1}{s_K} + 2\varepsilon} = \frac{M_p}{M_N} \cdot \frac{M_N}{M_K} = \frac{\lambda_p}{\lambda}$$

dacă se neglijează  $\varepsilon$  la alunecari mici

$$\lambda = \frac{s_K + \frac{s}{s_K}}{2} \Rightarrow s_K^2 - 2\lambda s_N s_K + s_N^2 = 0$$

Alunecarea critică

$$s_K = \left( \lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) s_N = \left( 2,3 \pm \sqrt{2,3^2 - 1} \right) 0,06 = 0,2623$$

## Calculul caracteristicii mecanice din datele de catalog

din ecuația caracteristicii la pornire rezultă

$$\varepsilon = \frac{\frac{\lambda_p}{\lambda} \left( s_K + \frac{1}{s_K} \right) - 2}{2 \left( 1 - \frac{\lambda_p}{\lambda} \right)} = \frac{1,2 \left( 0,2623 + \frac{1}{0,2623} \right) - 2}{2 \left( 1 - \frac{1,2}{2,3} \right)} = 0,1319$$

se poate recalcula  $s_K$

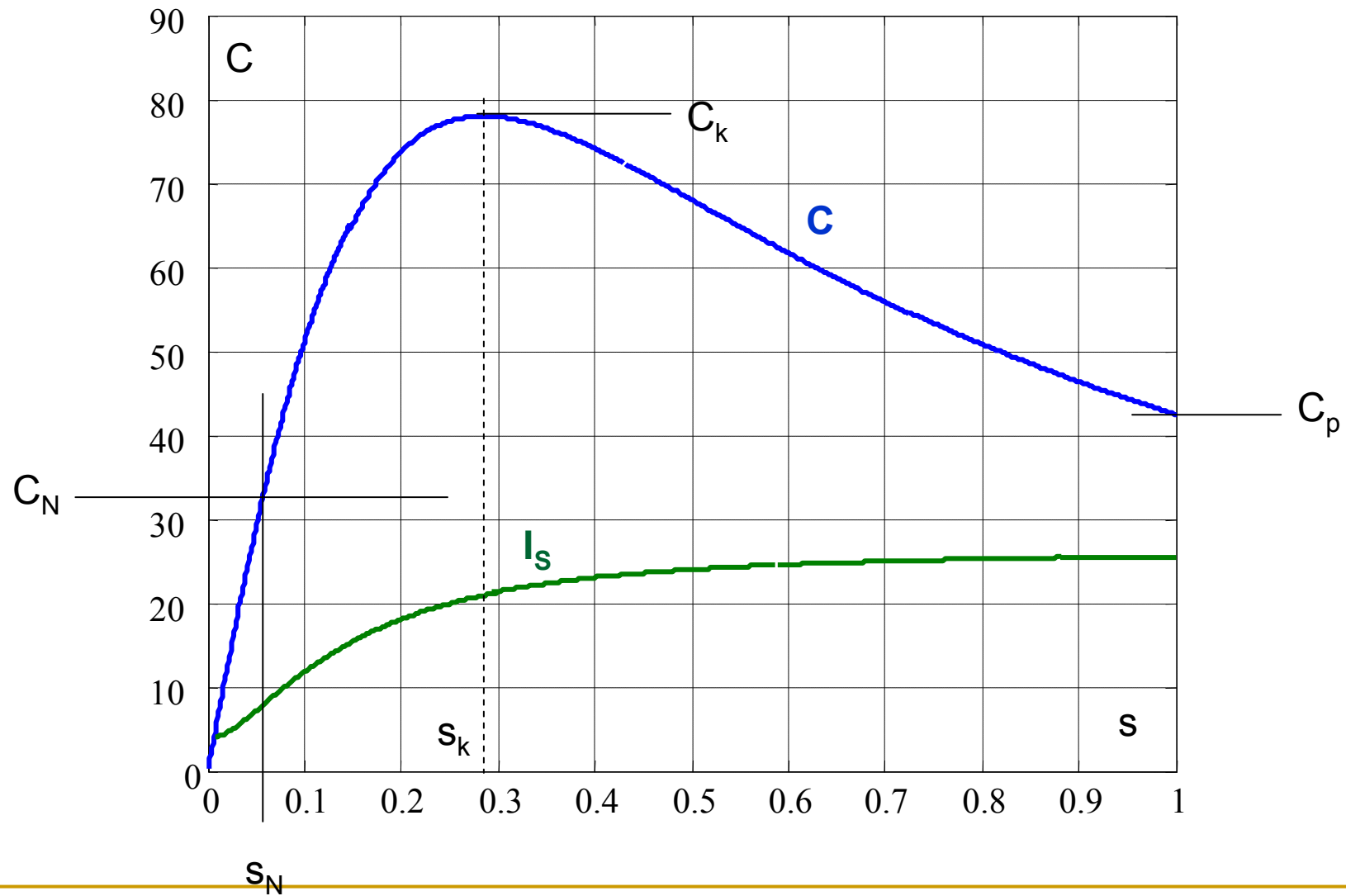
$$s_k^2 - 2[\lambda(1 + \varepsilon) - \varepsilon]s_N s_K + s_N^2 = 0$$

$$s_k = 0,2839$$

ecuația caracteristicii mecanice

$$M = \frac{2M_k(1 + 0,1319)}{\frac{s}{0,2839} + \frac{0,2839}{s} + 0,2638}$$

# Caracteristicile mecanice ale motorului de 3 kW



## Calculul caracteristicii mecanice din datele de catalog

puterea electromagnetă

$$P \cong \sqrt{3}U_R I_R = \sqrt{3} \cdot 76 \cdot 26,3 = 3462W$$

cuplul nominal e.m.

$$M = \frac{p \cdot P}{\omega} = \frac{3 \cdot 3462}{100 \cdot \pi} = 33,06Nm$$

cuplul maxim e.m.

$$M_K = \lambda \cdot M = 2,3 \cdot 33,06 = 76,04Nm$$

la  $s = 0,06$

$$M = \frac{152,08(1 + 0,1319)}{\frac{0,06}{0,2839} + \frac{0,2839}{0,06} + 0,2638} = 33,06$$

cuplul util nominal

$$M_N = \frac{p \cdot P_N}{(1-s)\omega_s} = \frac{3 \cdot 3000}{0,94 \cdot 100\pi} = 30,48Nm$$

## Bilanțul energetic la alunecarea $s$ cunoscând parametrii schemei echivalente

Alunecarea la turația  $n = 1461 \text{ r/min}$   $s = \frac{1500 - 1461}{1500} = \frac{39}{1500} = 0,026$

Parametrii circuitului rotorice la schema în L

$$R = R_S + C_S \frac{R'_R}{s} = 36,143 \Omega$$

$$X = X_{S\sigma} + C_S X'_{R\sigma} = 1,581 \Omega$$

curentul de sarcină rotorice

$$\underline{I}''_R = \frac{\underline{u}_S}{C_S \underline{Z}} = \frac{380 / \sqrt{3}}{1,018(36,143 - j1,581)} = 5,951 - j0,26 \text{ A}$$

$I''_R = 5,957 \text{ A}$

curentul statorice

$$\underline{I}_S = \underline{I}''_R + \underline{I}_{S0} = 6,536 - j4,217 \text{ A}$$

$$I_S = 7,778 \text{ A}$$

factorul de putere

$$\cos \varphi_S = \frac{\Re\{\underline{I}_S\}}{I_S} = \frac{6,536}{7,778} = 0,84 < \cos \varphi_{SN}$$

## Bilanțul energetic la alunecarea $s$ cunoscând parametrii schemei echivalente

Pierderi:      înfășurare statorică

$$P_{bS} = 3R_S I_S^2 = 3 \cdot 1,1 \cdot 7,778^2 = 200W$$

                  înfășurare rotorică

$$P_{bR} = 3(C_S^2 R'_R) I_R'^2 = 3 \cdot 1,018^2 \cdot 0,895 \cdot 5,957^2 = 99W$$

- pierderi totale       $\sum p = P_{bS} + P_{Fe} + P_m + P_{bR} = 200 + 332 + 99 = 631W$

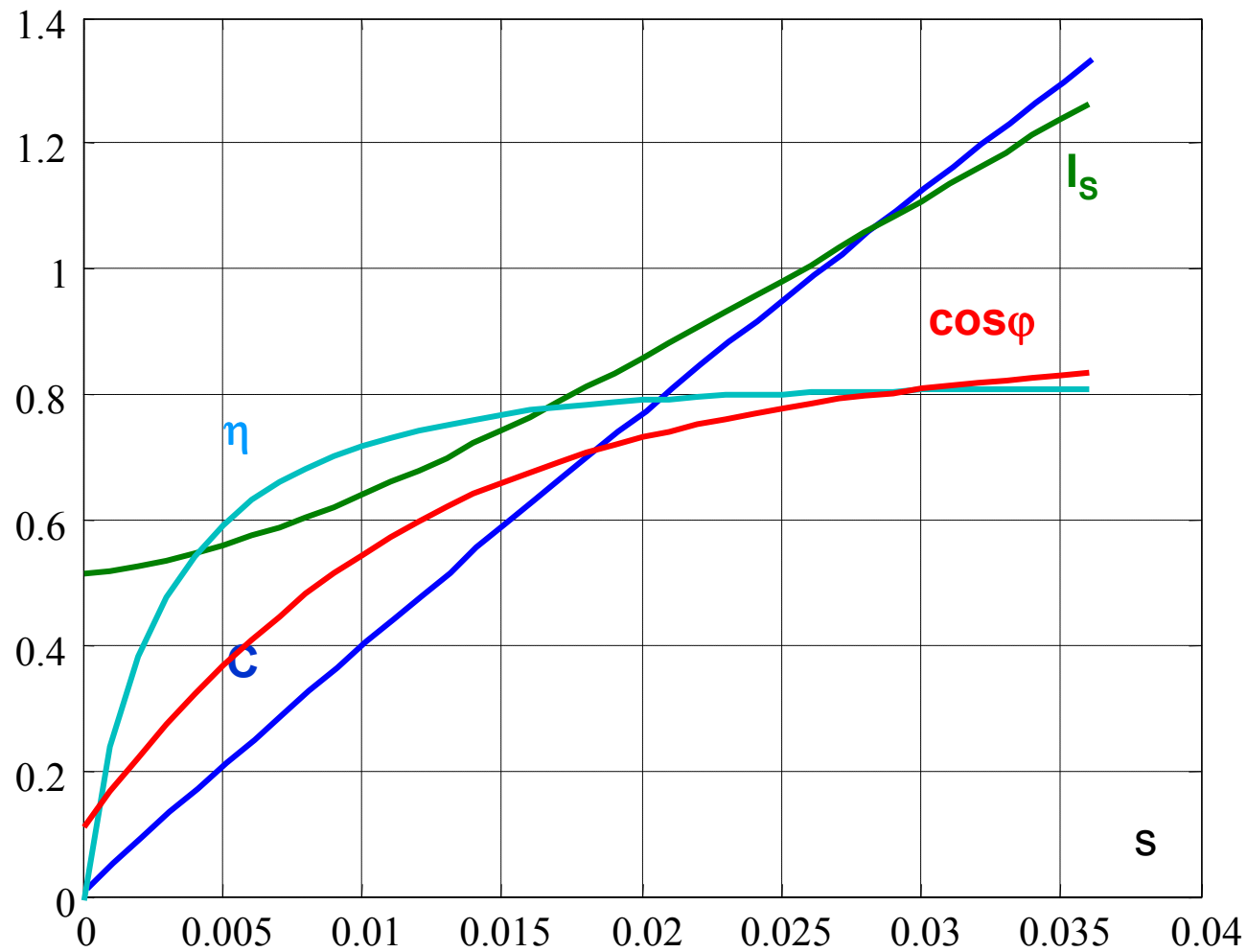
- puterea absorbită       $P_S = 3U_S \Re_e \{I_S\} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 6,536 = 4302W$

- puterea utilă       $P_u = P_S - \sum p = 3677W$

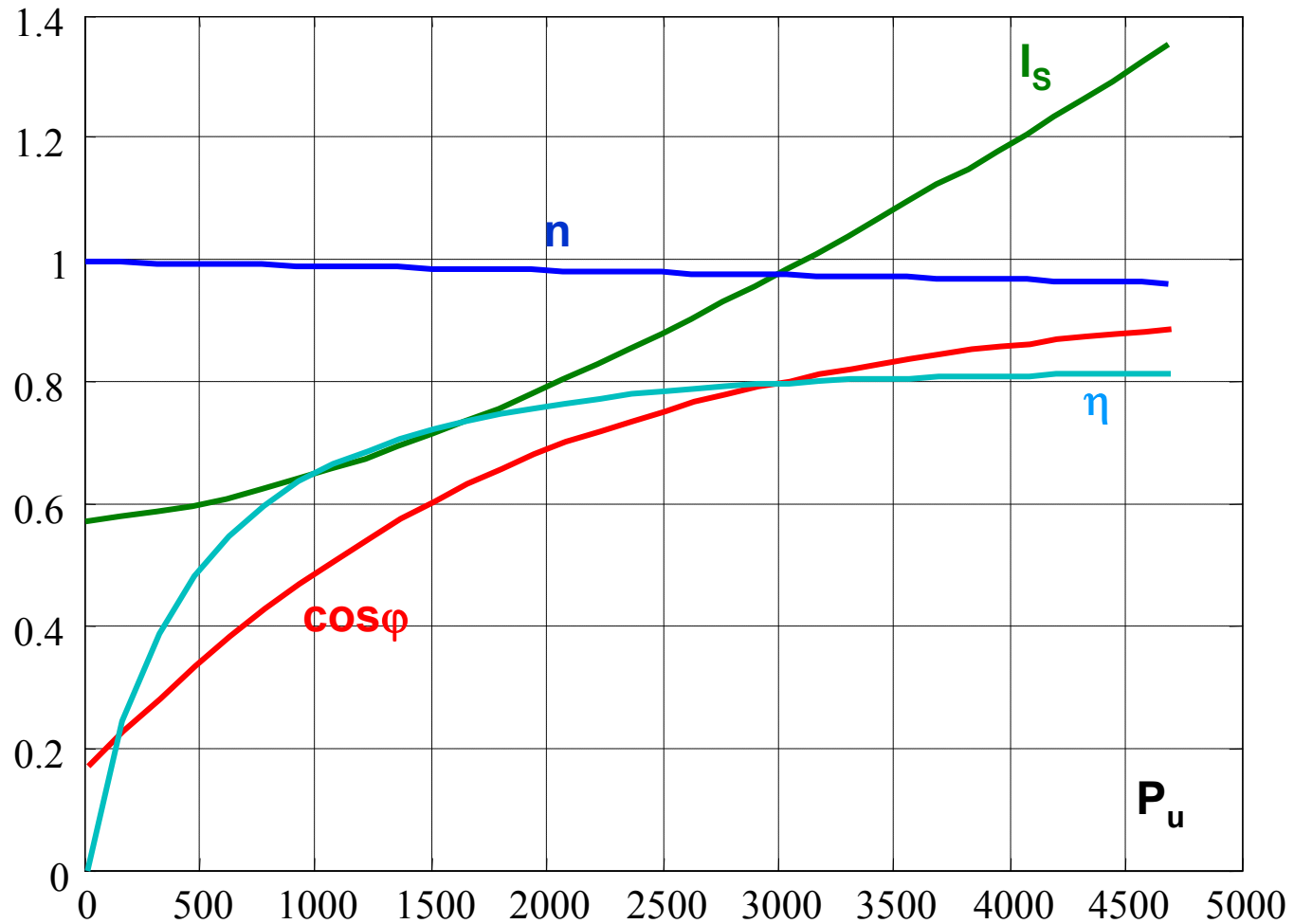
- randamentul       $\eta = \frac{P_u}{P_S} = \frac{3677}{4302} = 0,853 > \eta_N$



## Caracteristici de funcționare în funcție de alunecare



# Caracteristicile de funcționare ale mașinii de inducție de 3 kW



## Armonicile superioare ale câmpului

Viteza sincronă a câmpului de armonică  $\nu$

$$p_\nu = \nu \cdot p$$

$$n_\nu = \pm \frac{n_s}{\nu}$$

Alunecarea rotorului față de câmp armonică  $\nu$

$$s_\nu = \frac{n_\nu - n}{n_\nu} = 1 \mp \nu \cdot (1 - s)$$

Frecvența t.e.m. induse în rotor de armonici de câmp statoric

$$f_{R\nu} = s_\nu \cdot f_s = [1 \mp \nu \cdot (1 - s)] \cdot f_s$$

armonicile rotorice sunt determinate de :

- ordinul armonicii statorice,

- construcția rotorului - bobinat

- în colivie

$$\mu = k \cdot p \cdot m_R \pm \nu$$

$$\mu = k \cdot \frac{N_{crR}}{p} \pm \nu$$

## Armonicile superioare ale câmpului

Numărul de poli al armonicilor induse :  $p_{\mu} = \frac{\mu}{\nu} \cdot p_{\nu}$

Turația armonicilor rotorice

$$n + \frac{f_{R\nu}}{p_{\mu}} = \frac{n_s}{\mu} \cdot [1 + (1-s) \cdot (\mu \mp \nu)]$$

Două armonici cu  $p_{\mu} = p_{\nu}$  pot avea aceeași turație

$$\pm \frac{n_s}{\nu} = \frac{n_s}{\mu} \cdot [1 + (1-s) \cdot (\mu \mp \nu)]$$

statoric

rotoric

## Cuplul armonicilor superioare

$$\pm \frac{n_s}{\nu} = \frac{n_s}{\mu} \cdot [1 + (1-s) \cdot (\mu \mp \nu)]$$

Interacțiune diferită de zero pentru orice  $s$  dacă :

$$\mu \pm \nu = 0$$

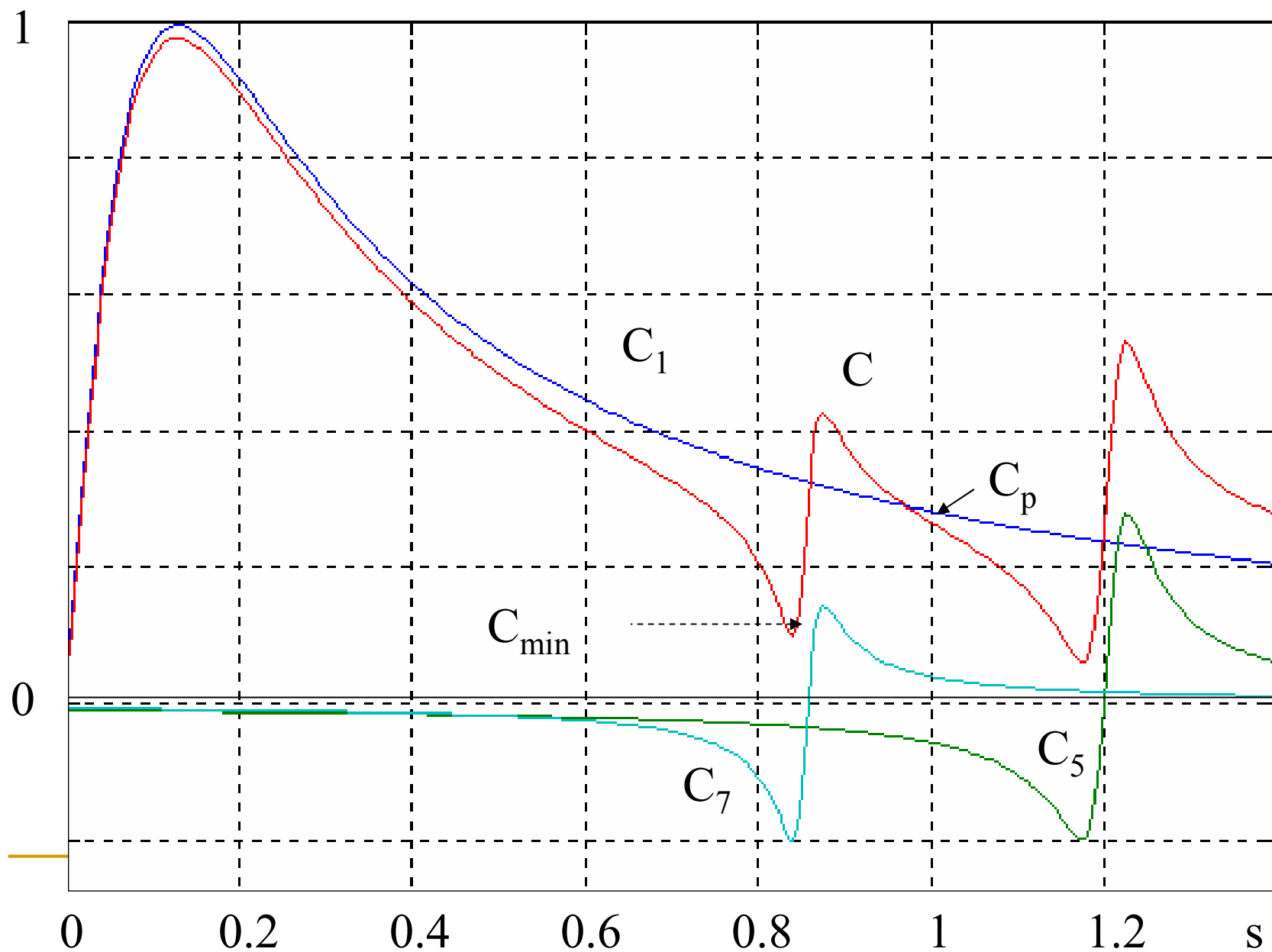
Se dezvoltă cuplu de tip asincron

$$s_\nu = 0 \quad \text{și} \quad s_\nu \rightarrow \infty \quad s = 1 \mp \frac{1}{\nu}$$

$$s_\nu = 1 \rightarrow s = 1$$

$$\nu = 5 \quad s_5 = 0 \rightarrow s = \frac{6}{5} \quad \nu = 7 \quad s_7 = 0 \rightarrow s = \frac{6}{7}$$

## Cuplurile parazite asincrone de ordinul 5 si 7

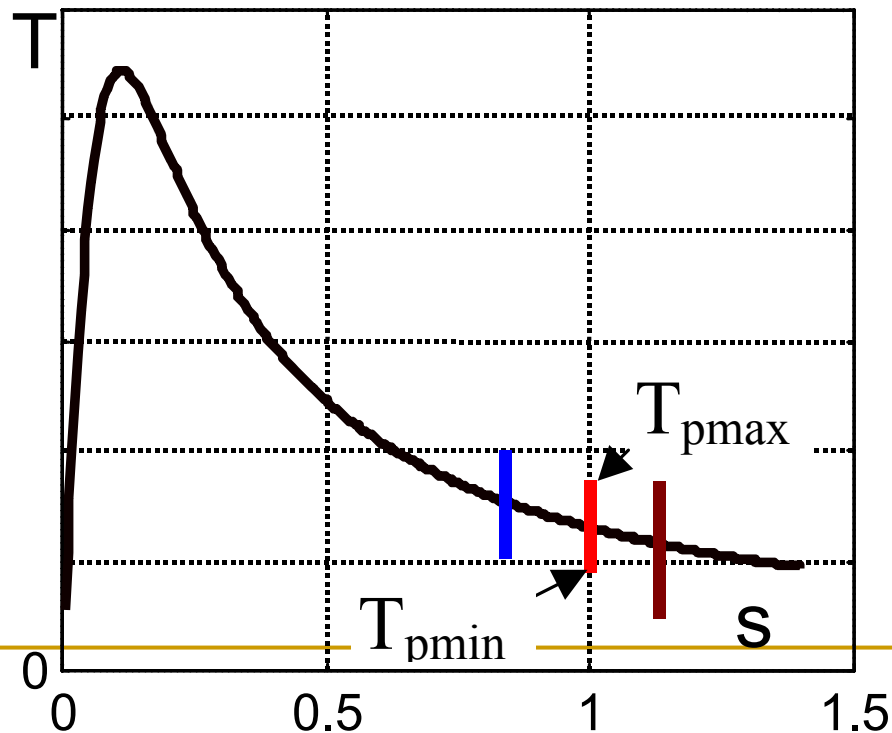


## Cupluri parazite sincrone

$$\pm \frac{n_s}{v_a} = \frac{n_s}{\mu_b} \cdot [1 + (1-s) \cdot (\mu_b \mp v_a)]$$

$v_a = \mu_b$       Apar la  $s = 1$ , deci la pornire

$v_a = -\mu_b$       Apar la  $s = 1 + \frac{2 \cdot p}{k \cdot N_{crR}}$



## Forțe de vibrații

$$p \cdot \mu_b \pm p \cdot v_a = \pm 1, \quad \pm 2$$

Există 1 sau 2, ... puncte în care câmpurile magnetice se adună și în opoziție puncte în care se scad.

Asupra rotorului se exercită după direcțiile în care câmpurile se adună forțe de atracție între stator și rotor.

Aceste puncte se rotesc cu viteza :

$$\Omega_{\mu_b} \cdot p_{\mu_b} - \Omega_{v_a} \cdot p_{v_a} = \Omega_f$$

Deci forțele acționează periodic pe o anumită direcție. Aceste forțe produc vibrații ale rotorului.

Reducerea efectelor armonicilor



# Regimul de generator

## Condiții pentru funcționare în regim de generator

- Energie mecanică disponibilă  
sub forma unui cuplu la o viteză de rotație
- Câmp magnetic învârtitor  
Crearea câmpului magnetic necesită energie reactivă

Două situații:

- **generator cuplat la rețea**- rețeaua furnizează energia reactivă
- **generator autonom**- o sursă externă; o baterie de condensatoare

Generator cuplat la rețea.

Alunecarea este negativă

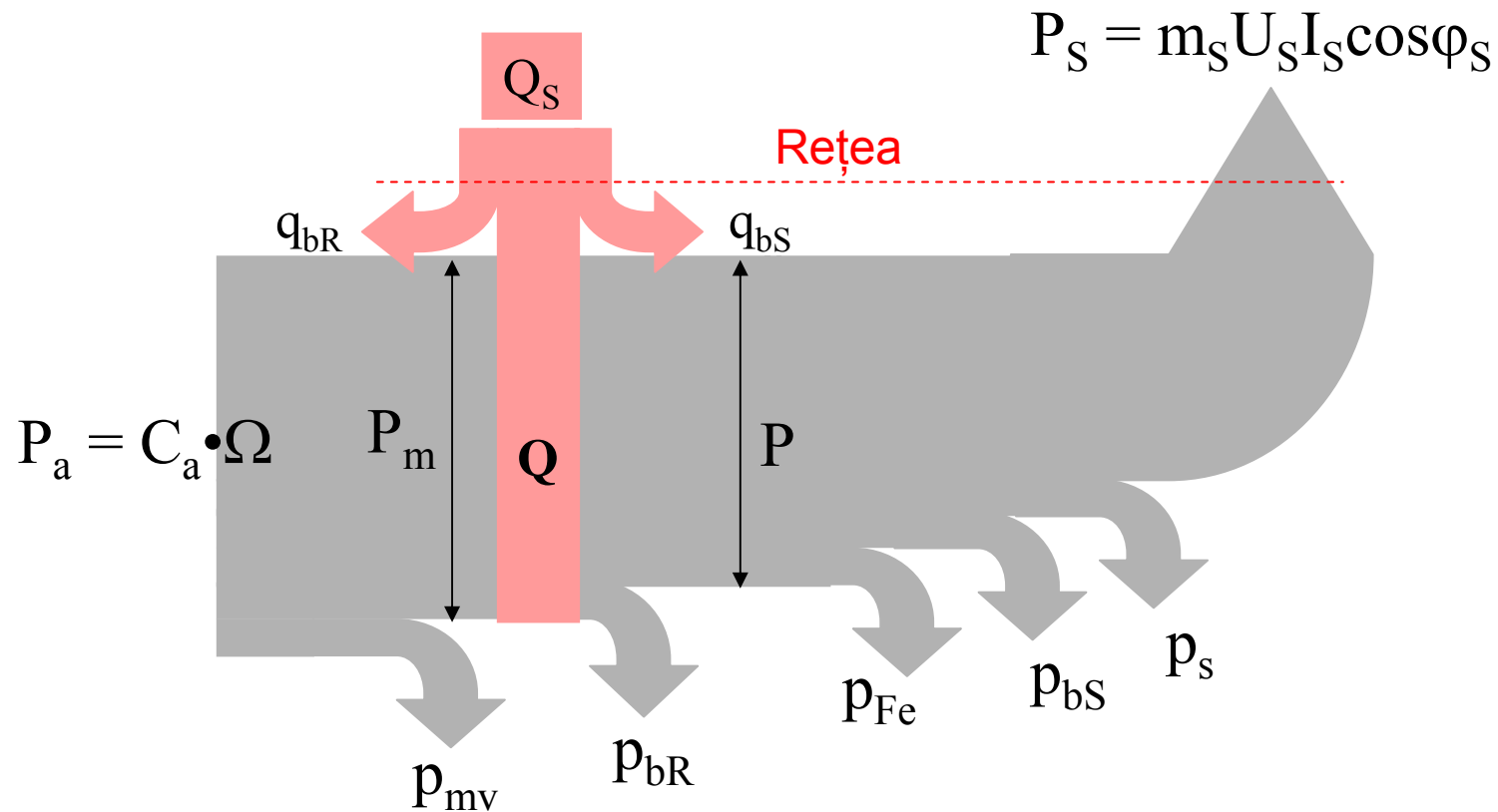
$$s = \frac{n_S - n}{n_S}$$

Turația este mai mare decât turația de sincronism

$$n > n_S$$

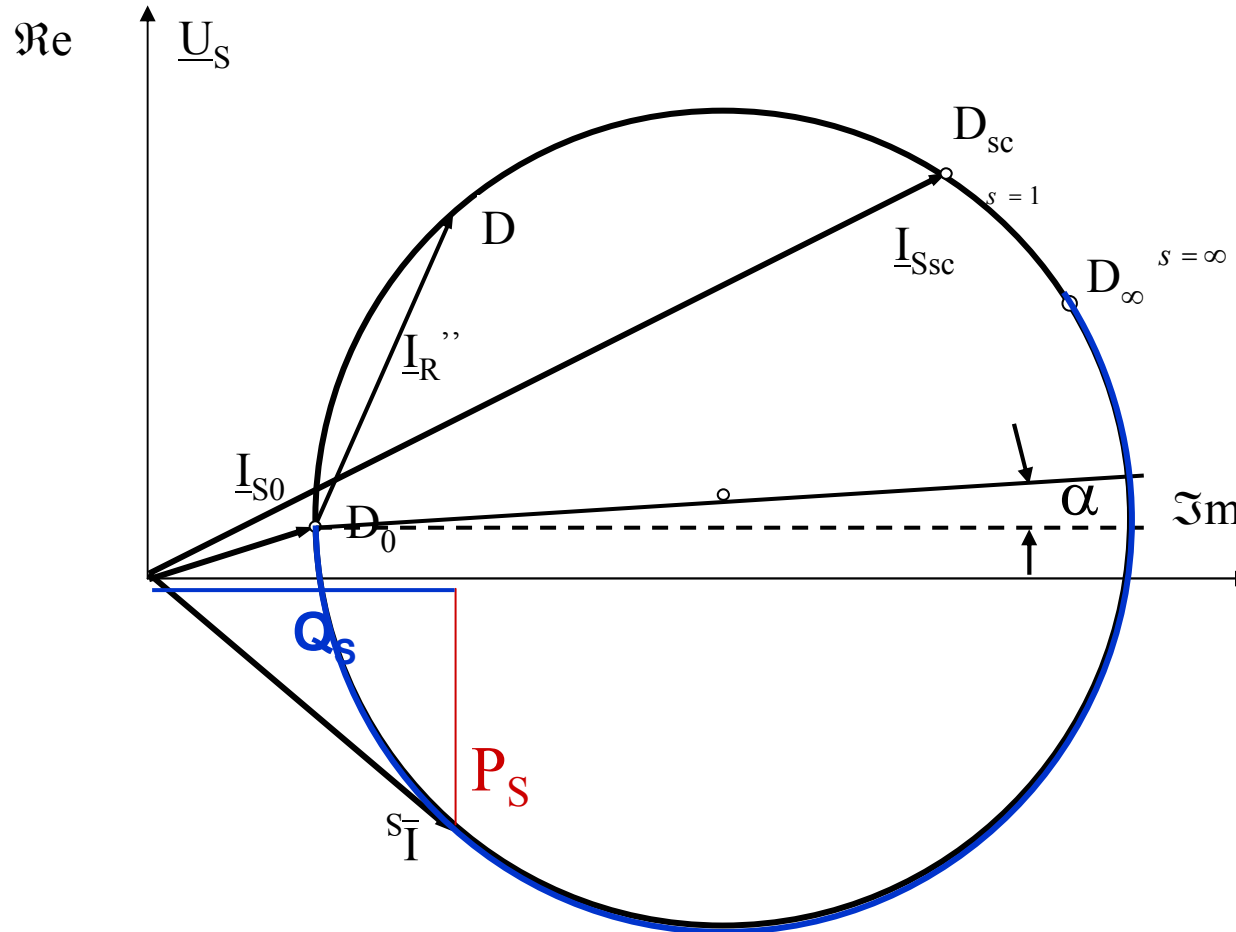
# Regimul de generator

Bilanțul energetic

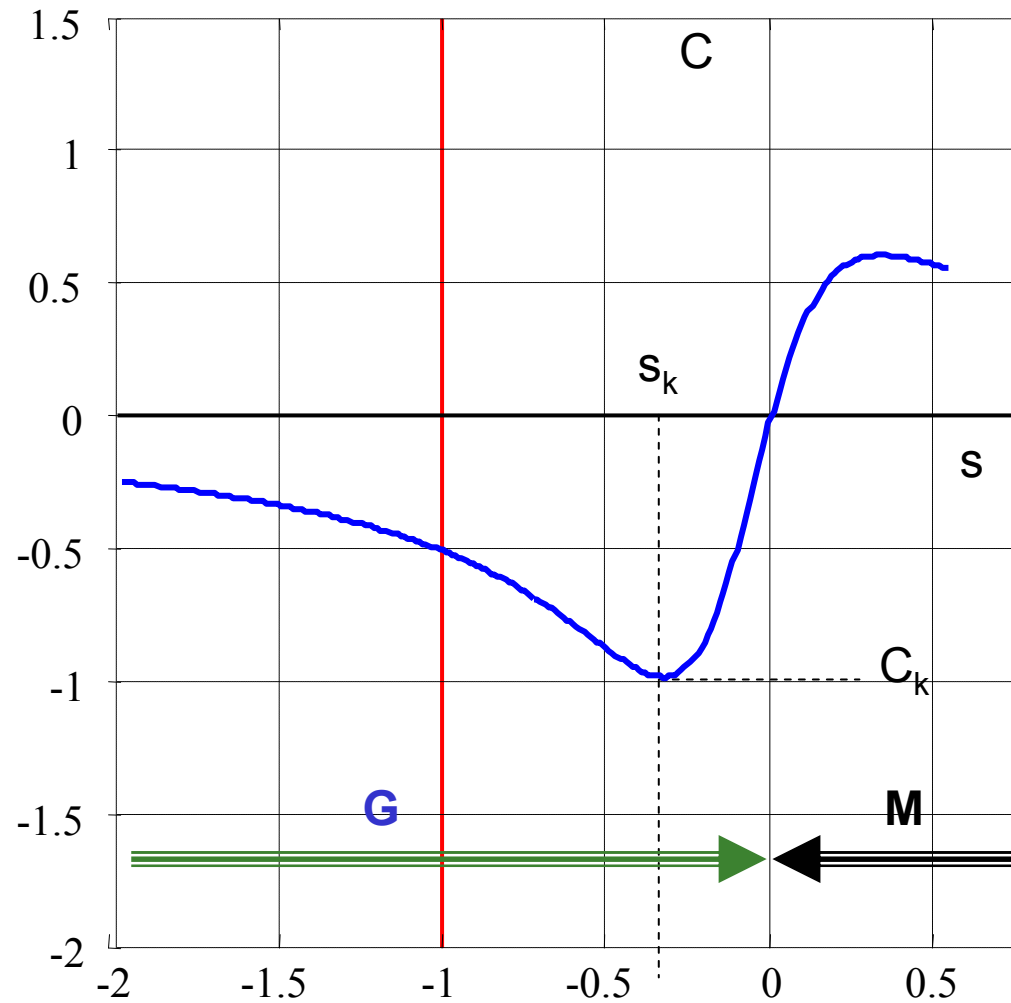


# Diagrama cercului

Locul geometric al vârfului vectorului curentului statoric



## Variația cuplului cu alunecare



Cuplul critic este mai mare decât în regim de motor

# Regimul de generator

Bilanțul energetic

