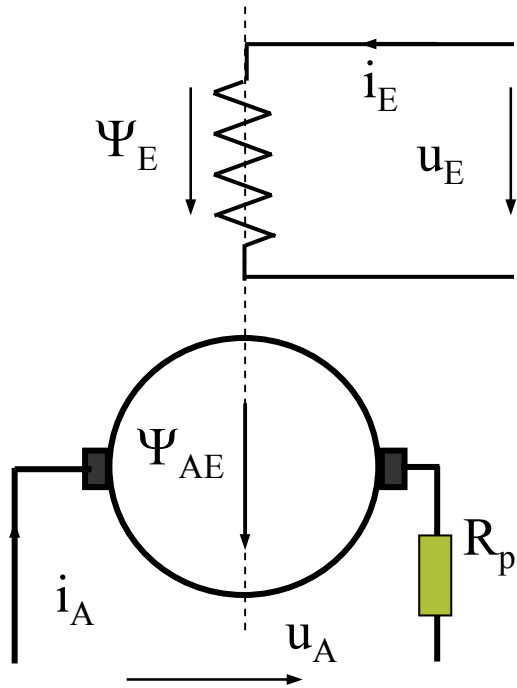

REGIMURILE TRANZITORII ALE MAȘINII DE CURENT CONTINUU

Pornirea motoarelor de curent continuu

Regimul tranzitoriu la pornire



Motorul cu excitație separată.

Viteza unghiulară mecanică

Se consideră excitația cuplată ,
curentul de excitație este constant

$$\Psi_{AE} = M_{AE} \cdot I_E = k_e \cdot \Phi = \frac{c}{p} \Phi$$

$$u_A = R_A \cdot i_A + L_A \frac{di_A}{dt} + \frac{\omega}{p} \cdot c \cdot \Phi$$

$$C = p \cdot \Psi_{AE} \cdot i_A = c \cdot \Phi \cdot i_A$$

$$\frac{J}{p} \frac{d\omega}{dt} = C - C_r$$

$$\Omega = \frac{\omega}{p}$$

Cuplarea directa la retea

$$I_A = \frac{1}{R_A + s \cdot L_A} (U_A - \omega \cdot M_{AE} \cdot I_E)$$

La pornire $\omega = 0$

$$I_A = \frac{U_A}{R_A + s \cdot L_A} = \frac{U_A}{R_A} \frac{1}{s(1 + s \cdot T_A)}$$

$$\frac{1}{s(s + \alpha)}$$

$$\frac{1}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t})$$

$$i_A = \frac{U_A}{R_A} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_A}} \right)$$

$$\frac{i_{A \max}}{I_{AN}} \approx \frac{U_A}{\Delta u} \cong 5 \div 20$$

Pornirea motoarelor electrice de cc.

Dezavantajul cuplării directe la rețea:

- șocul de curent foarte mare $5 \dots 20 \times I_N$
colectorul nu rezista decât la $2.5 \times I_N$
limitarea șocului de curent
- creșterea necontrolată a vitezei de rotație.

Metode de pornire - rezistența de pornire
- reducerea tensiunii de alimentare

Pornire cu rezistența înseriată în circuitul rotorului

Valoarea rezistenței

$$R_p = \frac{U_A}{I_{p \max}} - R_A \quad I_{p \max} \leq 2 \dots 2.5 I_N$$

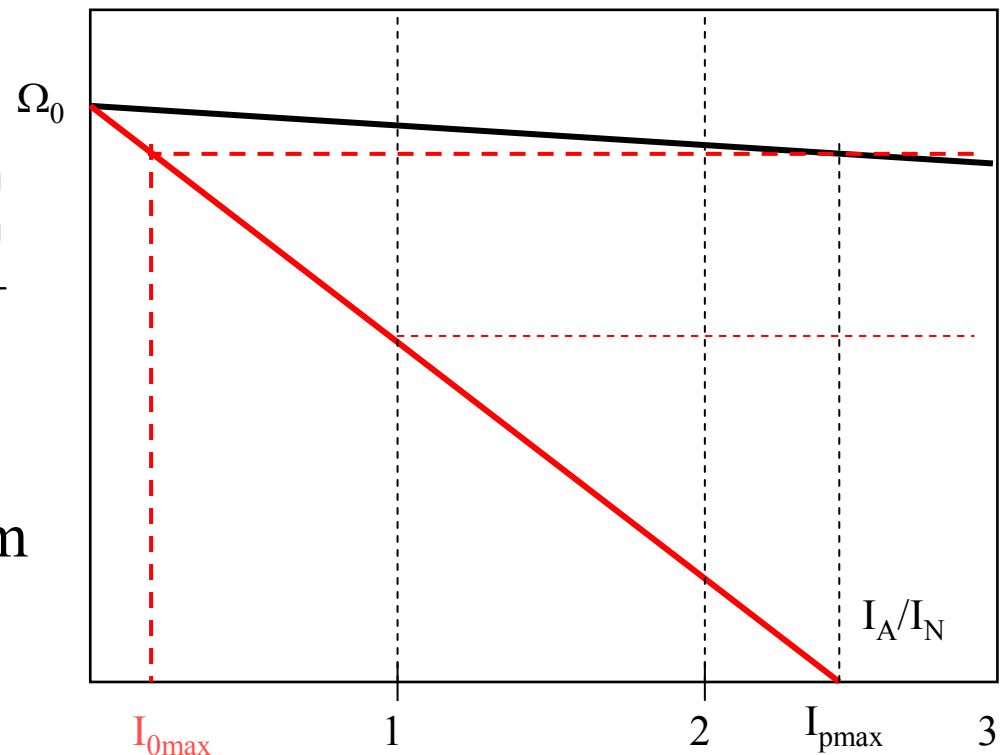
Pornirea motoarelor electrice de cc.

Curentul și turația la sfârșitul procesului tranzitoriu

$$I_A = \frac{C_r}{c \cdot \Phi}$$

$$\Omega = \frac{U_A}{c \cdot \Phi} - \frac{C_r \cdot (R_A + R_p)}{(c \cdot \Phi)^2}$$

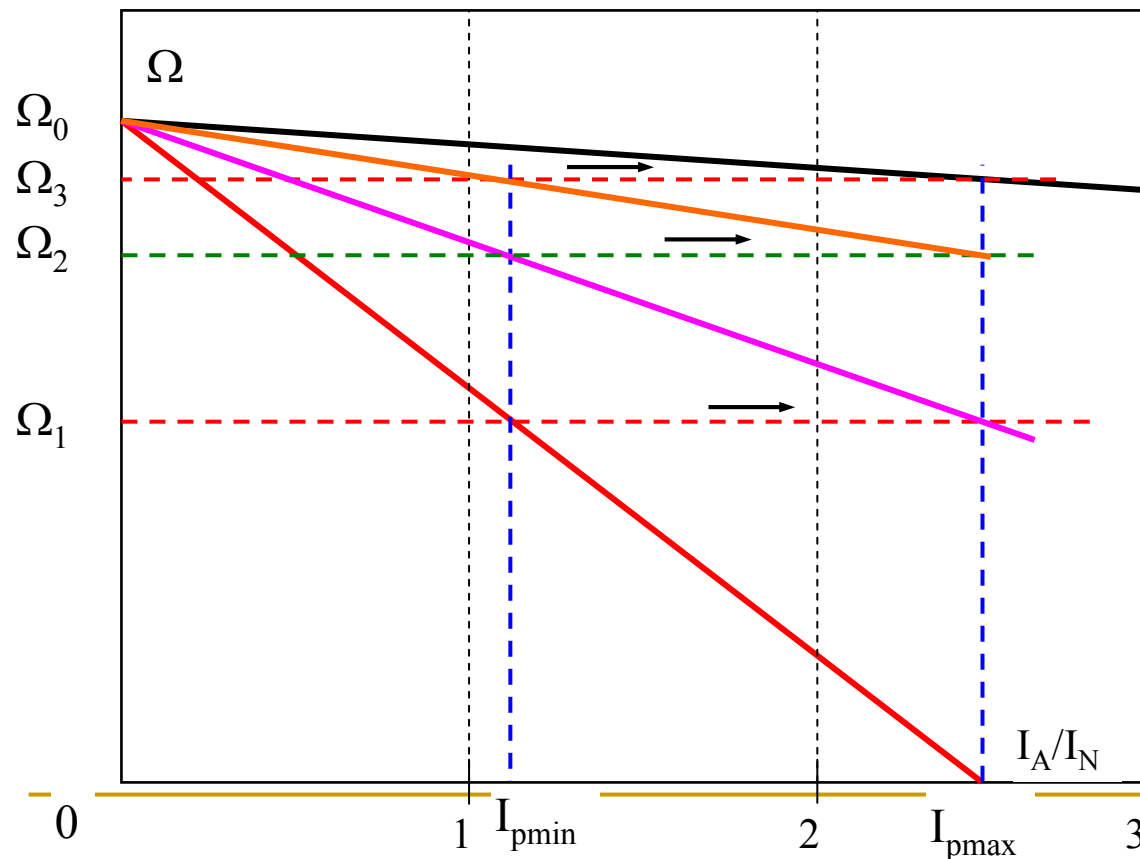
$I_{0\max}$ curentul de sarcină maxim la care se poate scurtcircuita rezistența R_p fără a depăși curentul maxim de pornire.



Pornirea motoarelor electrice de cc.

Soluția: **modificarea în trepte a rezistenței de pornire**

Numărul treptelor și valoarea treptelor de rezistență se determină astfel încât curentul să varieze între două valori I_{pmax} și $I_{pmin} > I_N$



$$\Omega_1 = \Omega'_0 - \frac{I_{pmin} \cdot (R_A + R_{p1})}{(c \cdot \Phi)}$$

$$\Omega_1 = \Omega'_0 - \frac{I_{pmax} \cdot (R_A + R_{p2})}{(c \cdot \Phi)}$$

$$\frac{I_{pmax}}{I_{pmin}} = \frac{R_A + R_{p1}}{R_A + R_{p2}} = \dots = \frac{R_A + R_{p3}}{R_A}$$

$$\left(\frac{I_{pmax}}{I_{pmin}} \right)^Z = \frac{R_A + R_{pZ}}{R_A}$$

Pornirea motoarelor electrice de cc.

Dimensionarea treptelor de rezistență

- se alege

$$I_{p \max} \leq 2 \dots 2.5 I_N$$

- se calculează

$$R_p = \frac{U_A}{I_{p \max}} - R_A$$

- se alege numărul de trepte

Z

$$R_{pZ} = R_p$$

- se calculează

$$\left(\frac{I_{p \max}}{I_{p \min}} \right) = \sqrt[Z]{\frac{R_A + R_{pZ}}{R_A}}$$

- se verifică

$$I_{p \min} \geq 1.05 * \frac{C_r}{c \cdot \Phi}$$

- se modifică Z

- se calculează treptele

$$R_{pX} = \left[\left(\frac{I_{p \max}}{I_{p \min}} \right)^X - 1 \right] \cdot R_A$$

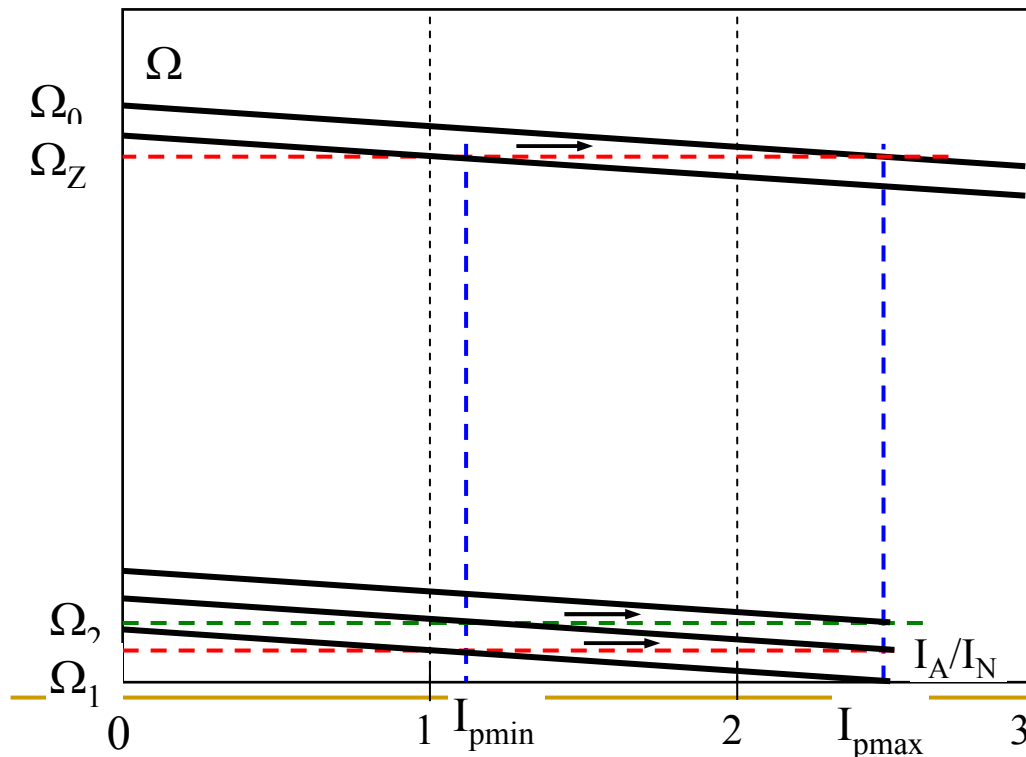
Pornirea motoarelor electrice de cc.

Pornirea prin reducerea tensiunii de alimentare

Valoarea minimă a tensiunii $U_{Amin} = R_A \cdot I_{pmax}$ $U_{Amin} = (0.1 \dots 0.2) * U_{AN}$

Creșterea tensiunii de la U_{Amin} la U_{AN}

- în trepte
- continuu



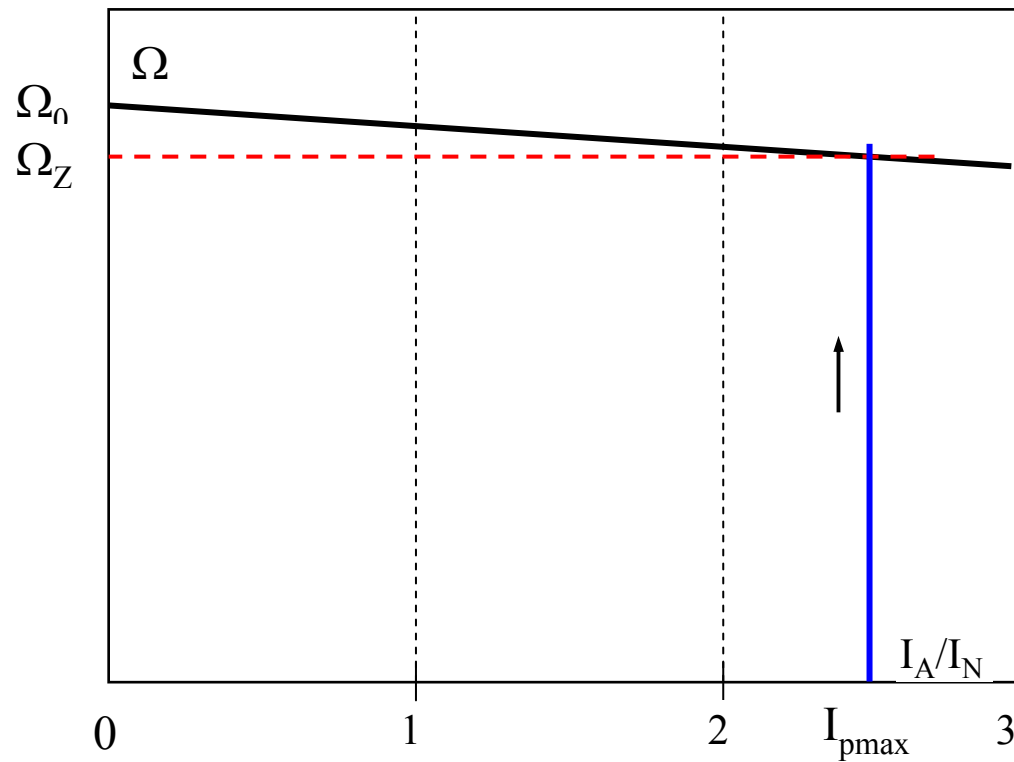
Foarte multe trepte de tensiune:

$$\Delta U_A = R_A \cdot (I_{pmax} - I_{pmin})$$

$$\Delta U_A \leq U_{Amin}$$

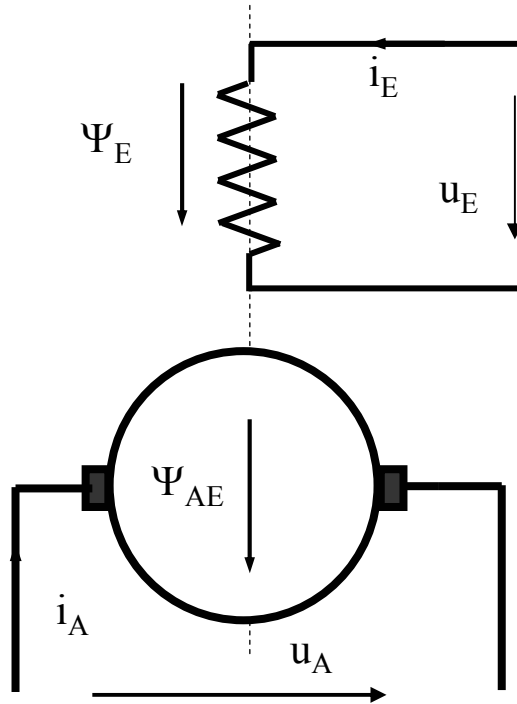
Pornirea motoarelor electrice de cc.

Modificarea continuă a tensiunii pentru a menține curentul constant



Modificarea vitezei de rotație

Modificarea vitezei de rotație



$$p \cdot \Psi_{AE} = c \cdot \Phi$$

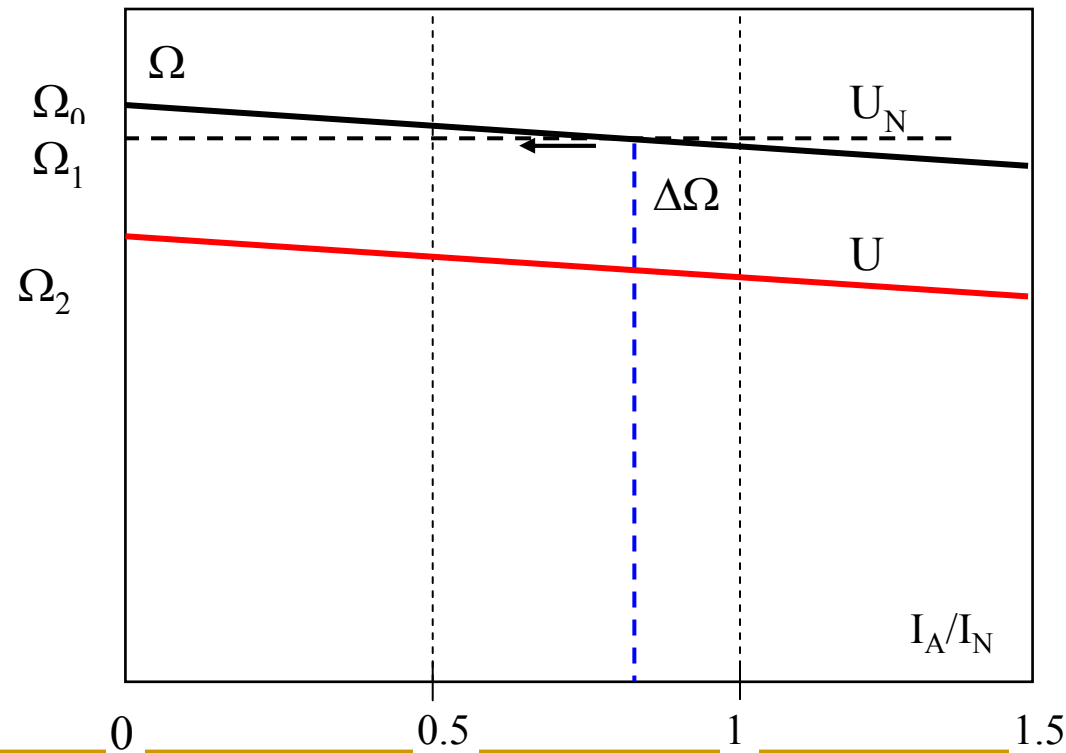
$$I_A = \frac{C_r}{c \cdot \Phi}$$

$$\Omega = \frac{U_A}{c \cdot \Phi} - \frac{C_r \cdot R_A}{(c \cdot \Phi)^2}$$

Modificarea vitezei de rotație

Motoare cu excitație separată și derivație

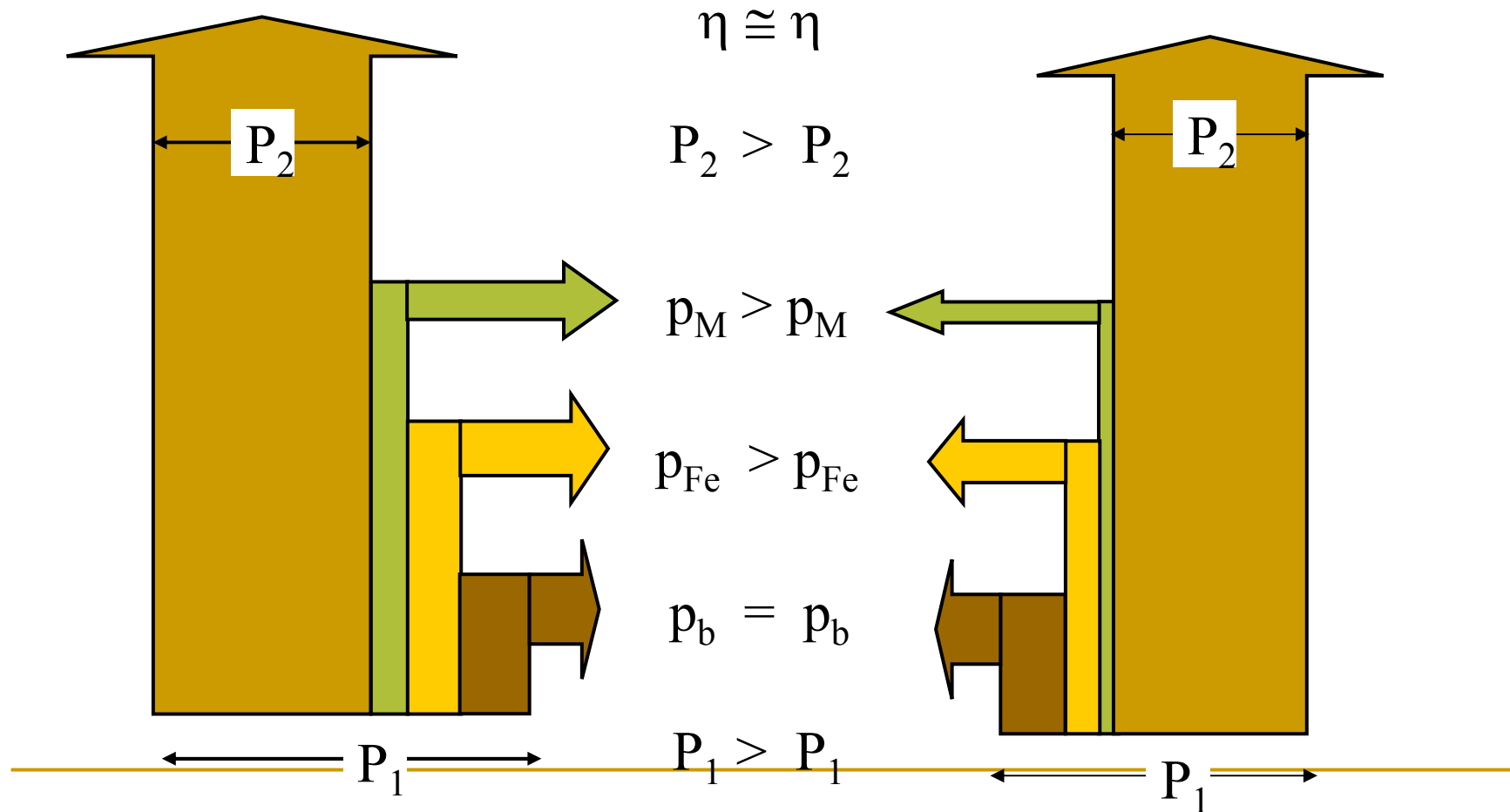
$$\Omega = \frac{U - \Delta U_p}{C \cdot \Phi} - \frac{R \cdot I}{C \cdot \Phi} = \Omega'_0 - \Delta\Omega$$



Modificarea tensiunii de alimentare

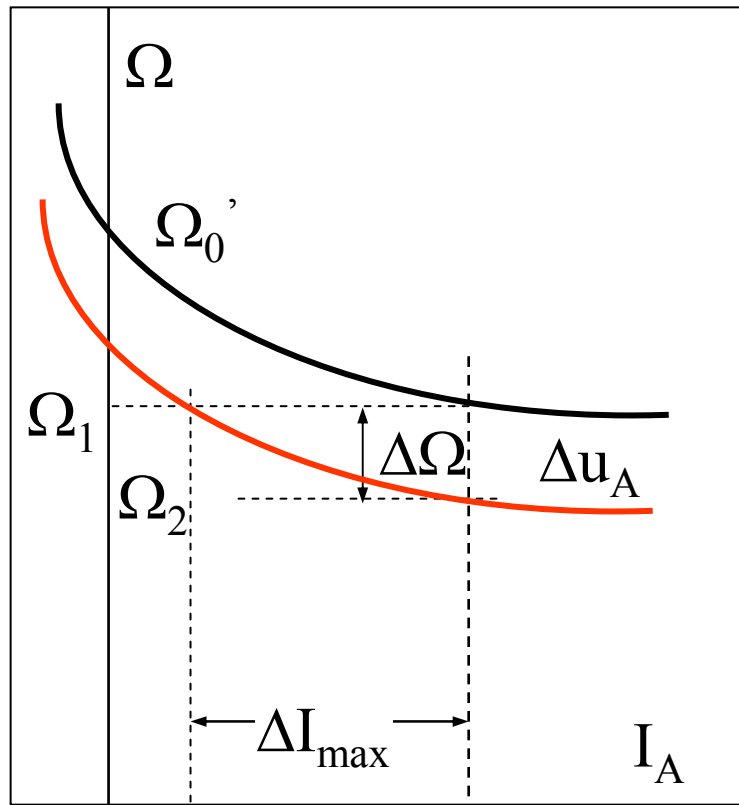
Bilanțul energetic la reducerea tensiunii de alimentare

Se presupune cuplul rezistent constant

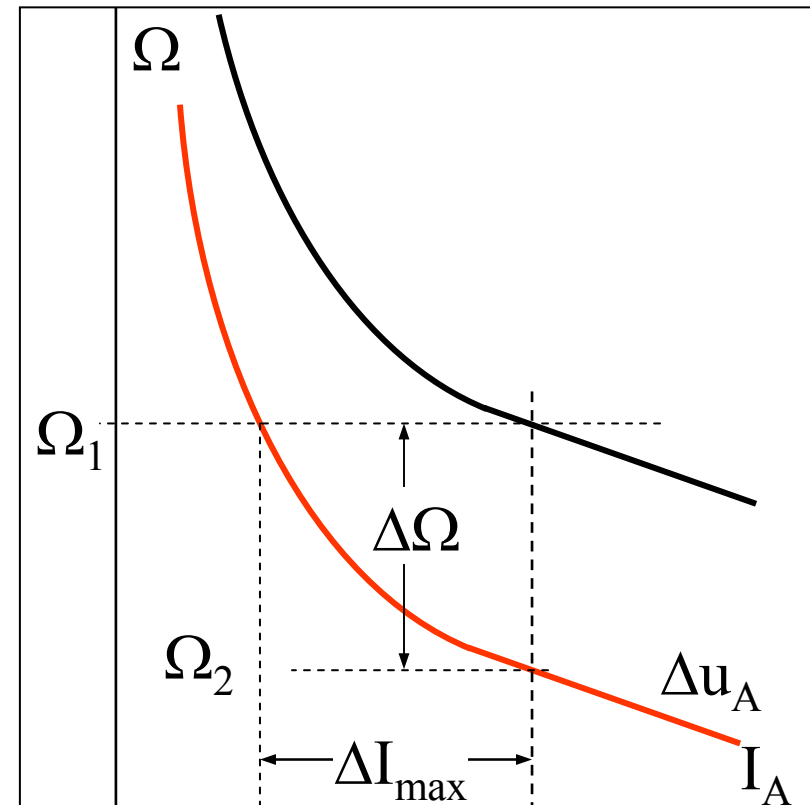


Modificarea tensiunii de alimentare

Caracteristicile statice



0 I_{A0}
Motorul cu excitatie mixta

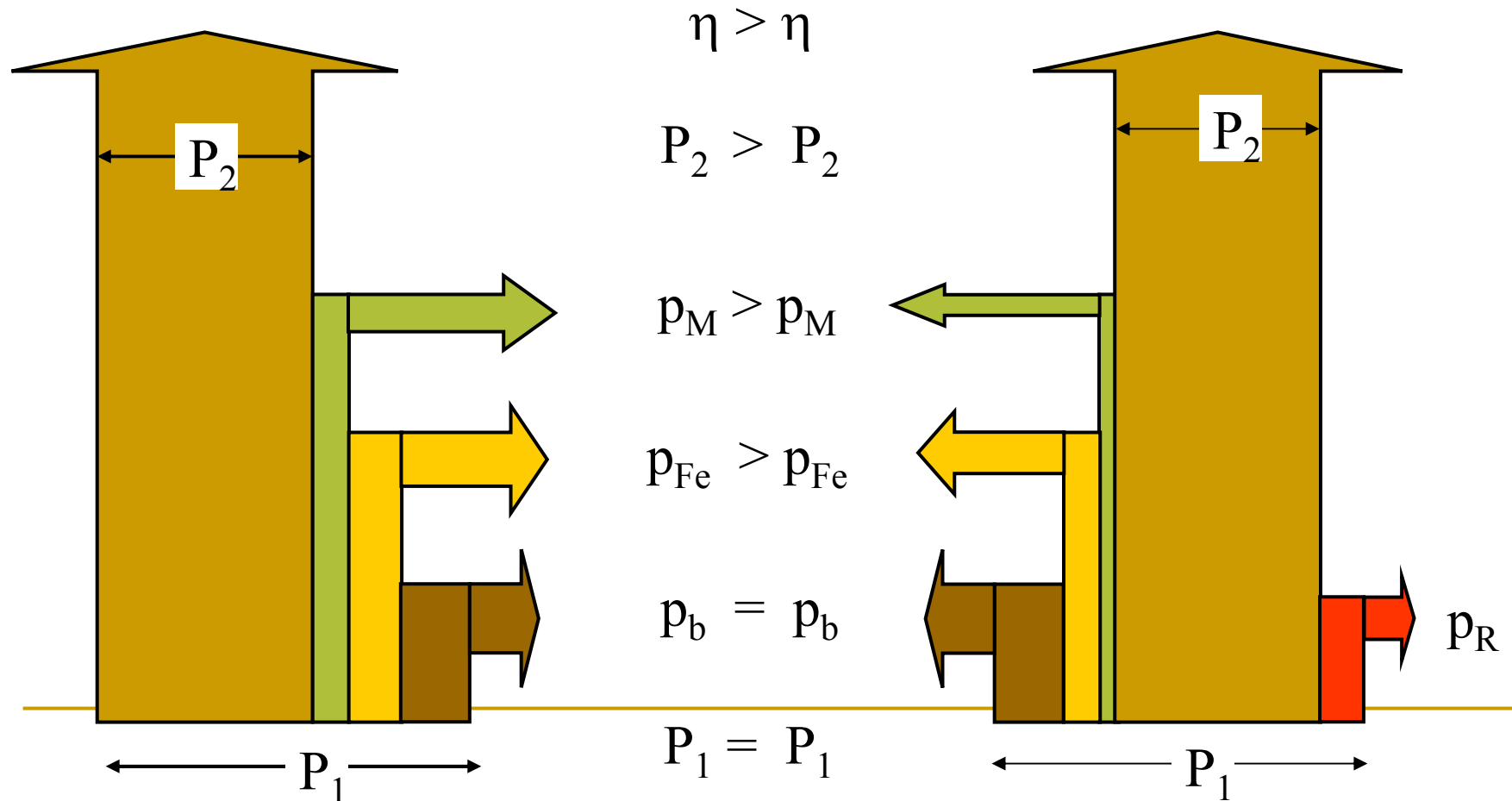


0 I_{A0}
Motorul cu excitatie serie

Modificarea rezistenței rotorice

Bilanțul energetic la creșterea rezistenței rotorice.

Se presupune tensiunea sursei constantă, și cuplul rezistent constant.

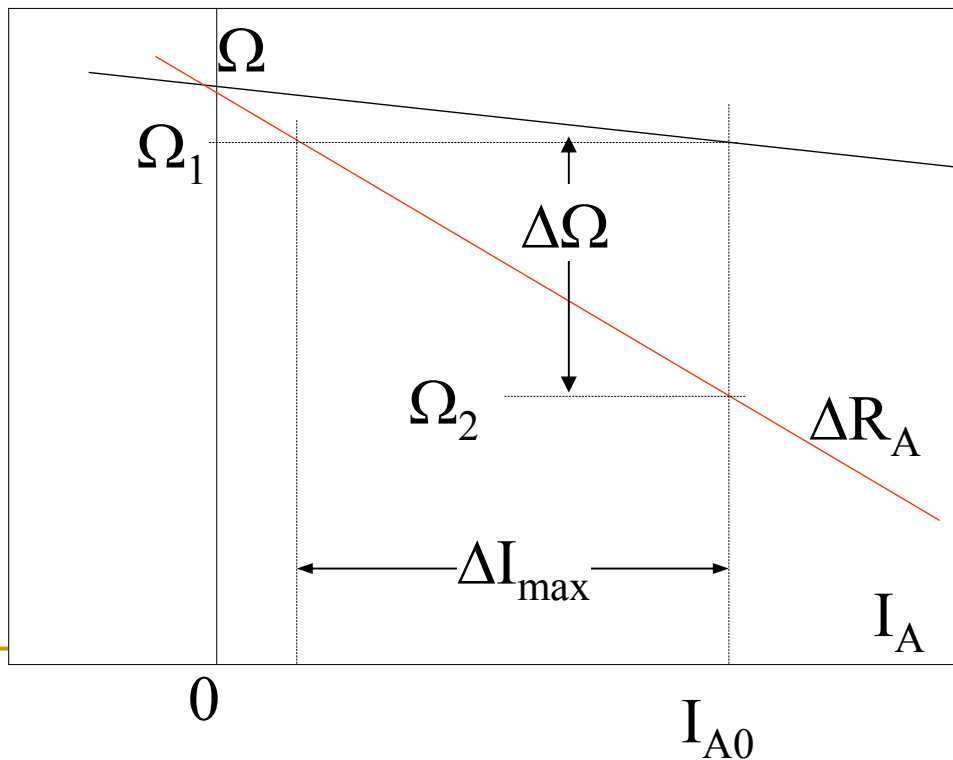


Modificarea rezistenței rotorice

$$T_A = \frac{L_A}{R_A + \Delta R_A} \quad \Downarrow \quad T_M = \frac{J \cdot (R_A + \Delta R_A)}{(c \cdot \Phi)^2} \quad \Uparrow$$

Curentul revine la valoarea inițială.

Turația se modifică ,acclerația unghiulară este diferită de zero în timpul procesului.

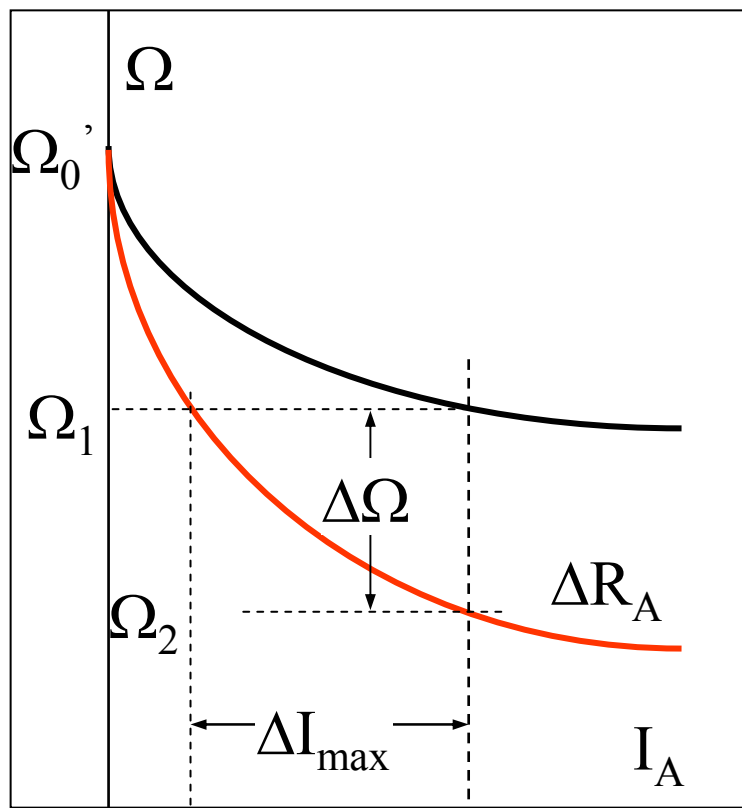


Valoarea minimă a curentului este pozitivă

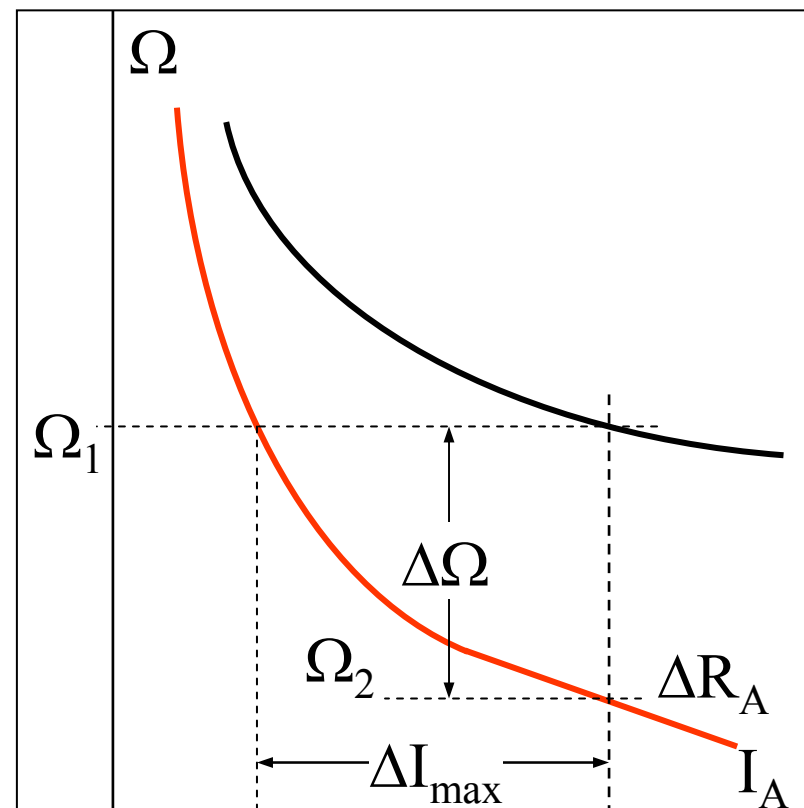
Șocul de curent este redus.

Variația în timp a curentului este la fel ca în cazul modificării tensiunii de alimentare.

Modificarea rezistenței rotorice

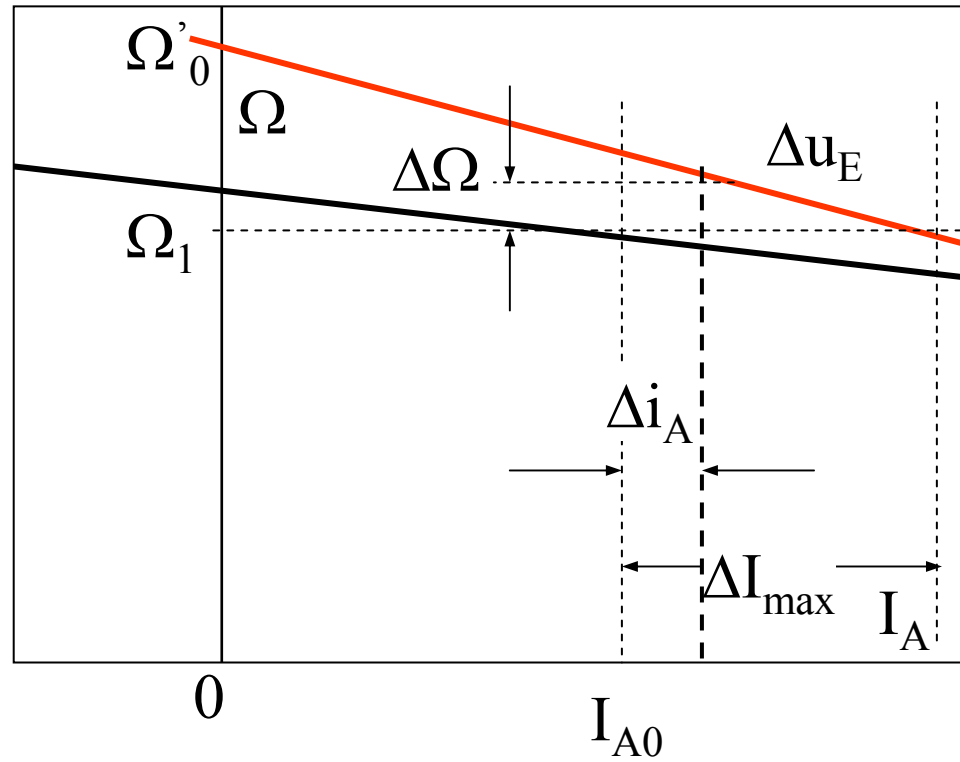


Motorul cu excitație mixtă



Motorul cu excitație serie

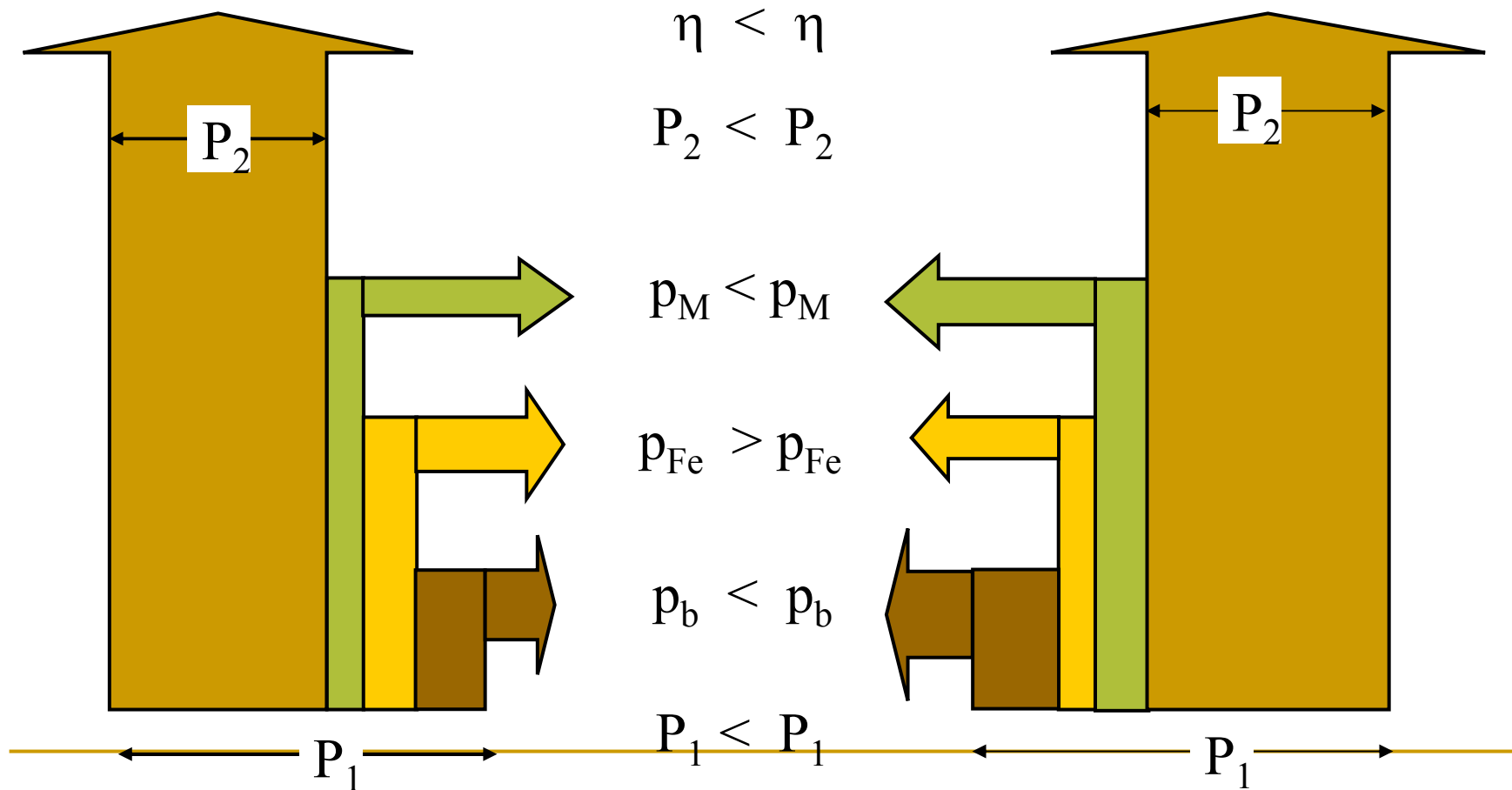
Modificarea fluxului



Modificarea fluxului

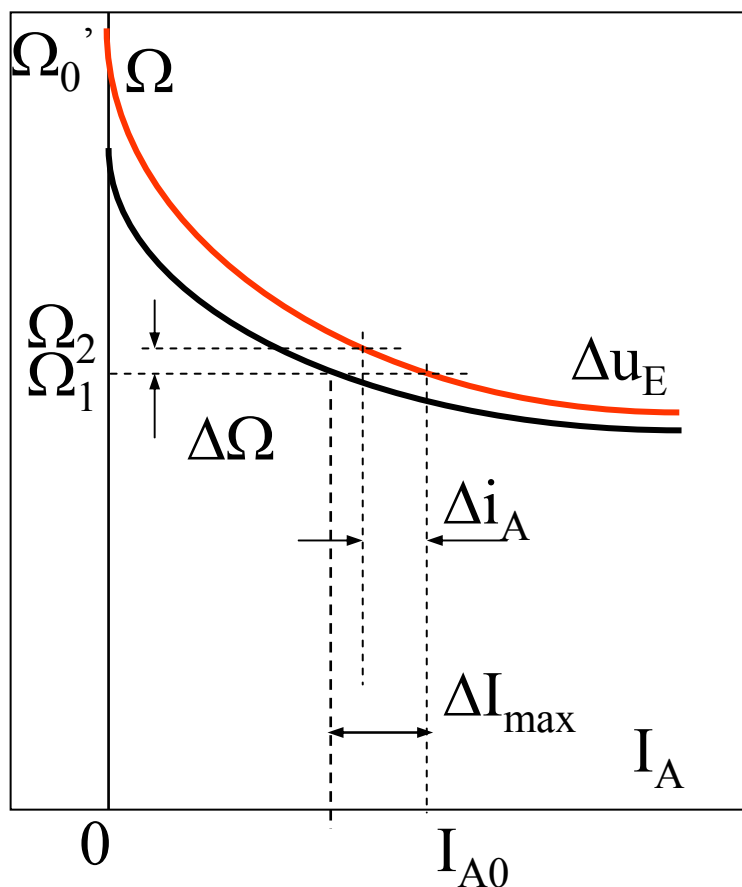
Bilanțul energetic la scăderea fluxului.

Se presupune tensiunea sursei constantă și cuplul rezistent constant.



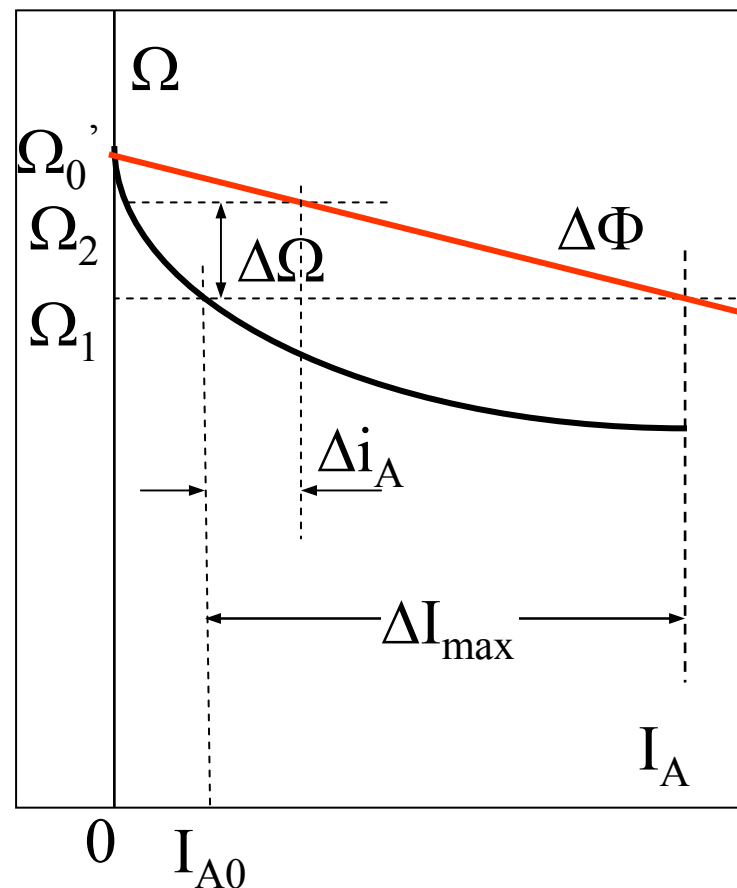
Modificarea fluxului

Reducerea tensiunii de excitație



Motorul cu excitație mixtă

Șuntarea excitației serie



Motorul cu excitație mixtă

Frânarea mașinilor de curent continuu

Metode de frânare

■ Scop

- reducerea vitezei,
- menținerea vitezei

■ Rezultate

- oprirea utilajului,
 - funcționare la viteză mai redusă,
 - funcționare la viteză constantă.
-

FRÂNAREA

în funcție de
circulația
energiei electrice

în regim de generator,
energia cinetică
este transformată în mașina în
energie electrică și disponibilă la borne

în regim de motor,
mașina primește și
energie electrică și
energie cinetica

Metode de frânare

Posibilități de realizare

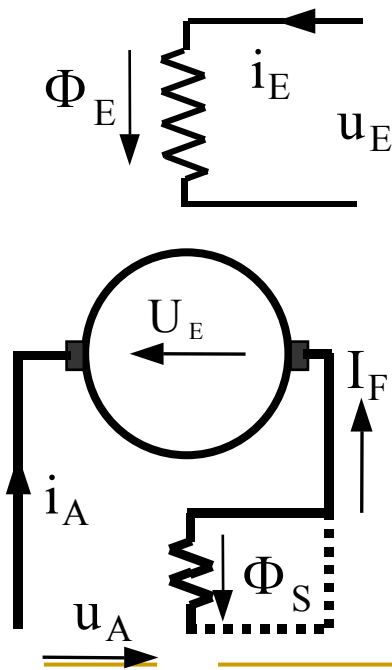
- Regim de generator
 - independent; energia electrică este consumată în rezistențe. **Frânare reostatică sau dinamică**
 - cuplat la sursa; energia electrică este recuperată. **Frânare cu recuperare**
 - Regim de motor
 - energia electrică consumată va determina micșorarea energiei cinetice a utilajului. **Frânare prin contra-conectare**
-

Frânare cu recuperare

Se folosește pentru micșorarea și limitarea vitezei;

Nu se modifică schema de conexiune a mașinii din regim de motor;

Rețeaua (sursa) de alimentare a mașinii trebuie să primească această energie electrică.



Frânarea cu recuperare are loc la viteza mai mare decât viteza ideală de mers în gol;

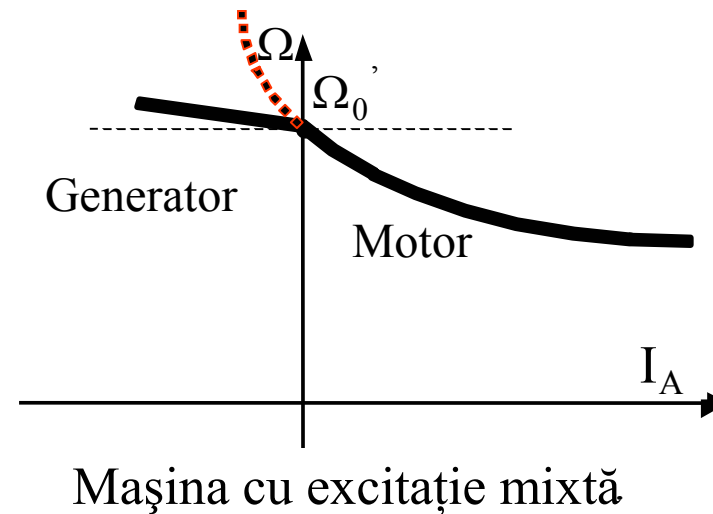
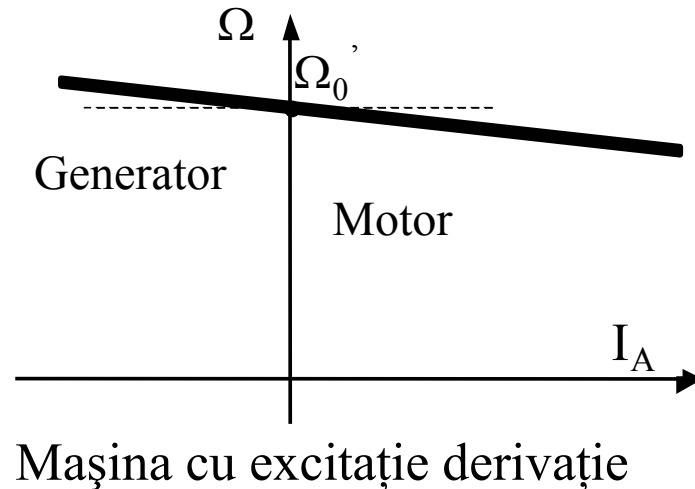
Ecuatiile în regim staționar

$$U_A = R_A \cdot I_F + c \cdot \Phi \cdot \Omega$$

$$U_E = (R_E + R_c) \cdot I_E$$

$$C = c \cdot \Phi \cdot I_F$$

Frânare cu recuperare

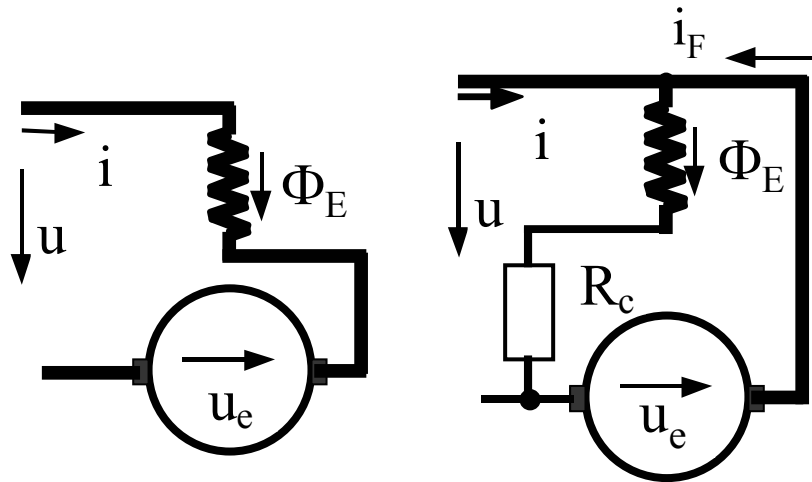


Deci în acest regim nu pot lucra mașinile cu excitație mixtă;
excitațiile serie suplimentare se deconectează sau se scurtcircuitază;
Viteza ideală de mers în gol se poate modifica prin metode cunoscute;

- modificarea tensiunii sursei,
- modificarea fluxului.

Viteza în regim de frânare se poate modifica și prin rezistențe inseriate în circuitul rotoric

Frânare cu recuperare

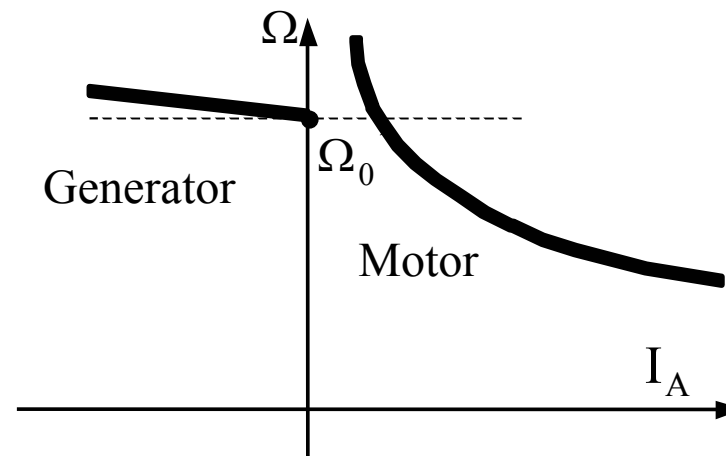


Mașina cu excitație serie

Se folosește la viteze mari.

In timpul modificării schemei mașina nu dezvoltă cuplu

La mașina cu excitație serie se modifică schema de conexiune a mașinii din regim de motor; Excitație rămâne conectată !



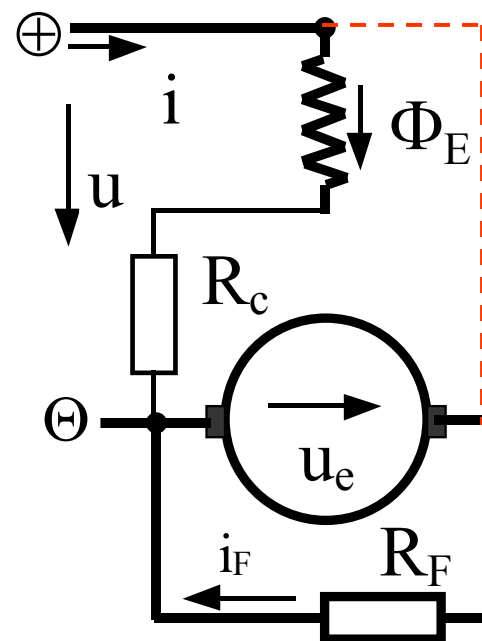
Mașina cu excitație serie .

Frânare dinamică sau reostatică

Circuitul rotoric al mașinii se decuplează de la rețeaua (sursa) de alimentare și la bornele sale se conectează un reostat de frânare.

Toate tipurile de mașini se transformă prin schimbarea conexiunilor în generatoare cu excitații separate.

Energia electrică dată de mașină se transformă în energie termică în mașină și în reostatul de frânare.



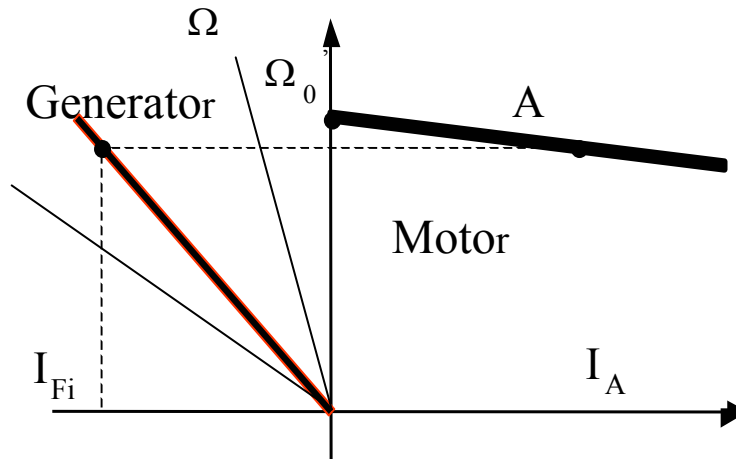
Mașina cu excitație derivație

$$0 = (R_A + R_F) \cdot I_F + c \cdot \Phi \cdot \Omega$$

$$U = (R_E + R_c) \cdot I_E$$

$$C = c \cdot \Phi \cdot I_F$$

Frânare dinamică sau reostatică



Mașina cu excitație derivație

Expresia caracteristicii de frânare:

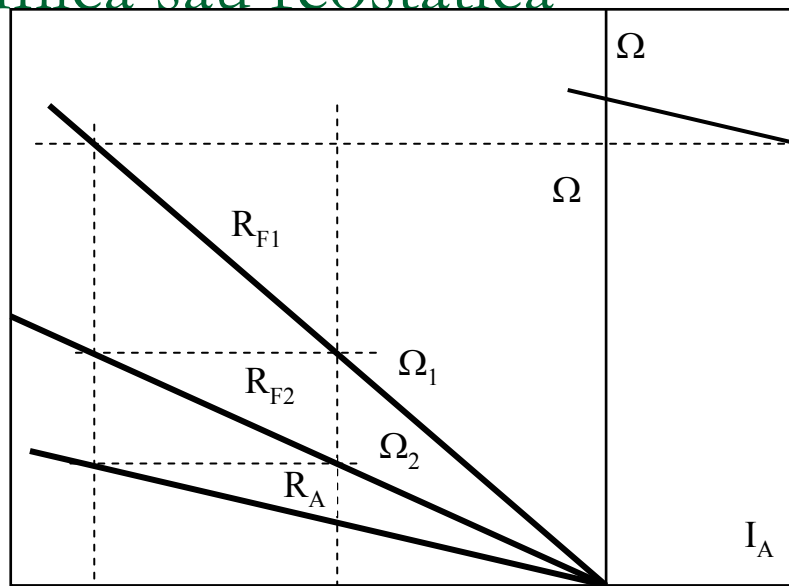
$$\Omega = -\frac{(R_A + R_F)}{c \cdot \Phi} I_F$$
$$I_{Fi} = -\frac{c \cdot \Phi \cdot \Omega_i}{(R_A + R_F)}$$

Valoarea curentului inițial de frânare depinde de:

- valoarea inițială a vitezei,
- valoarea rezistenței de frânare.

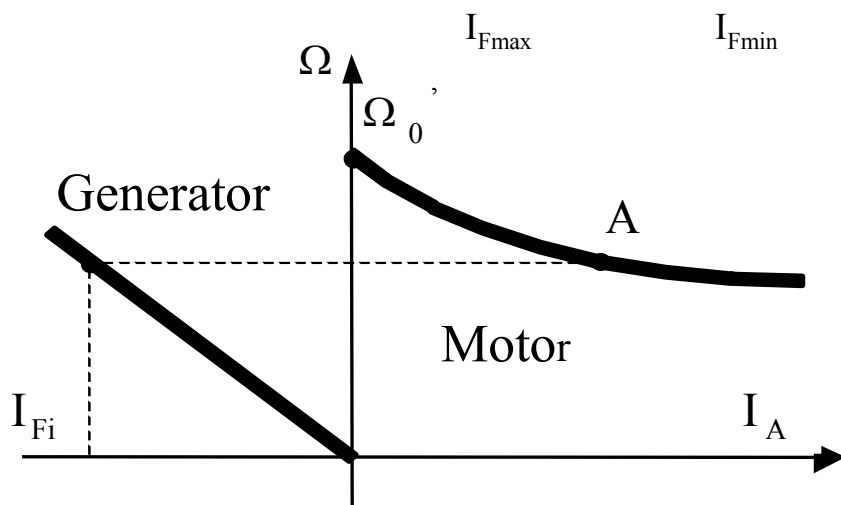
Cuplul de frânare se modifică prin schimbarea valorii **rezistenței**.

Frânare dinamică sau reostatică

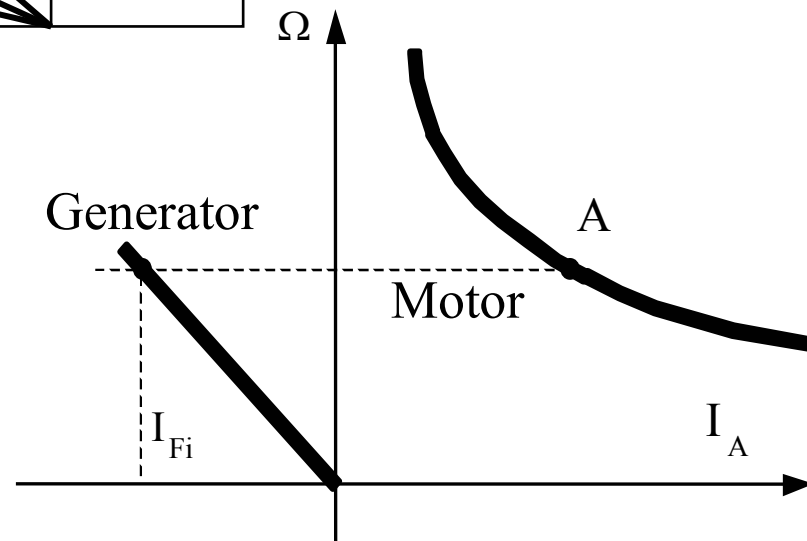


$$R_{F1} = \frac{c \cdot \Phi \cdot \Omega}{I_{Fmax}} - R_A$$

$$\frac{R_{F1}}{R_A} = \left(\frac{I_{Fmax}}{I_{Fmin}} \right)^z$$



— Mașina cu excitație mixtă



— Mașina cu excitație serie

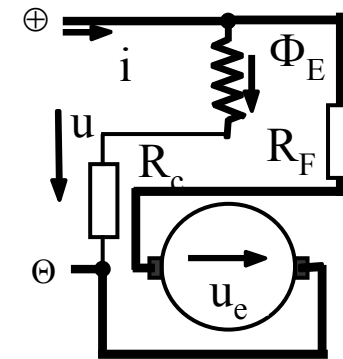
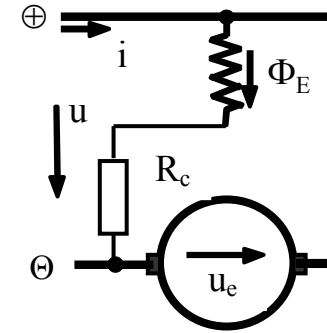
Frânare prin contraconectare

Se inversează sensul curentului prin indus,
iar excitație rămâne neschimbată;
Se fac modificări în schema de conexiuni;
Se înseriază cu rotorul reostatul de frânare;

$$-U = (R_A + R_F) \cdot I_F + c \cdot \Phi \cdot \Omega$$

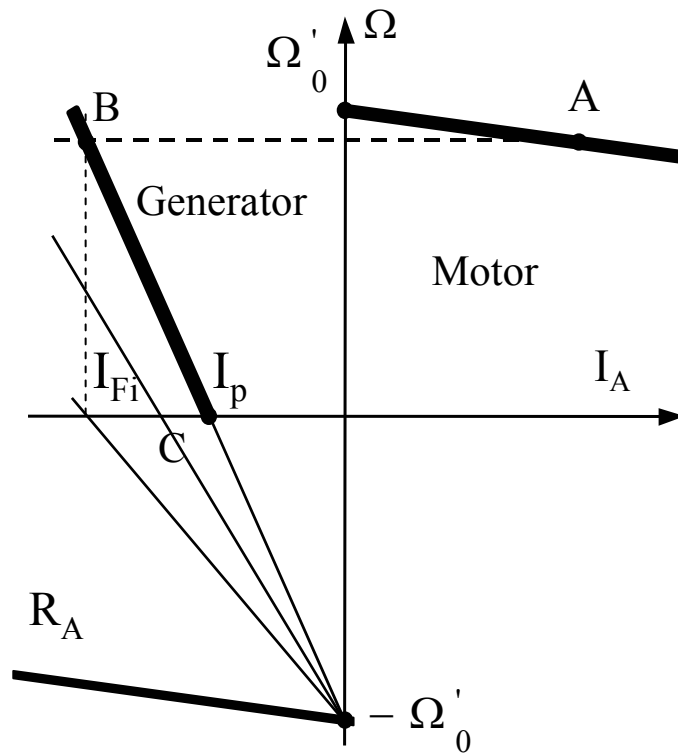
$$C = c \cdot \Phi \cdot I_F$$

$$\Omega = - \frac{U + (R_A + R_F) \cdot I_F}{c \cdot \Phi}$$



Motorul cu excitație derivație

Frânare prin contraconectare



Masina cu excitatie derivatie

$$I_{Fi} = \frac{U + c \cdot \Phi \cdot \Omega}{R_F + R_A}$$

$$R_{F1} = \frac{U + c \cdot \Phi \cdot \Omega}{I_{F \max}} - R_A$$

$$\frac{R_{F1} + R_A}{R_{Fz} + R_A} = \left(\frac{I_{F \max}}{I_{F \min}} \right)^Z$$

$$R_{Fz} = \frac{U}{I_{F \max}} - R_A$$

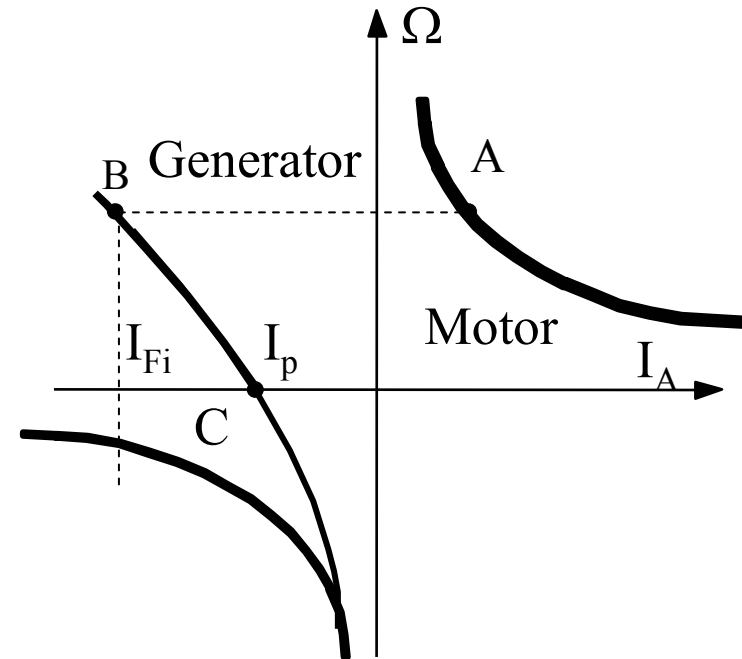
La motorul cu excitatie derivatie se scurtcircuituează excitația serie

Frânare prin contraconectare

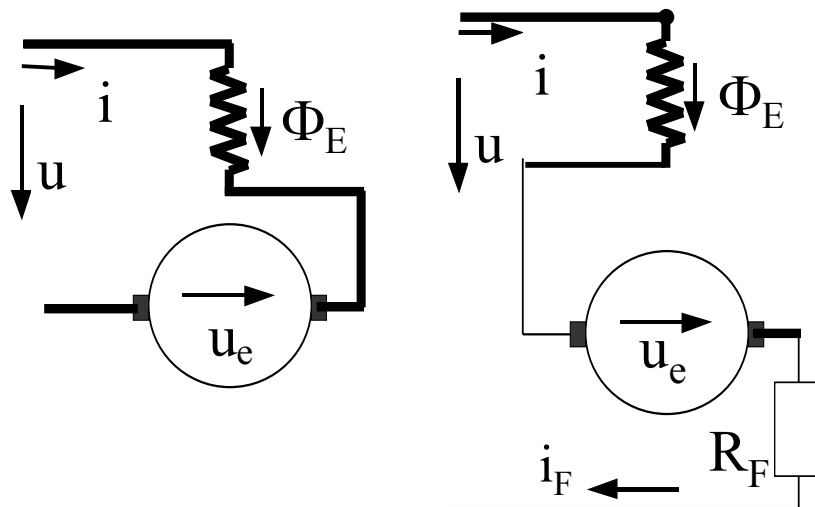
$$-U = (R_A + R_F) \cdot I_F + p \cdot M_{AE} \cdot I_F \cdot \Omega$$

$$C = p \cdot M_{AE} \cdot I_F^2$$

$$\Omega = -\frac{U + (R_A + R_F) \cdot I_F}{p \cdot M_{AE} \cdot I_F}$$



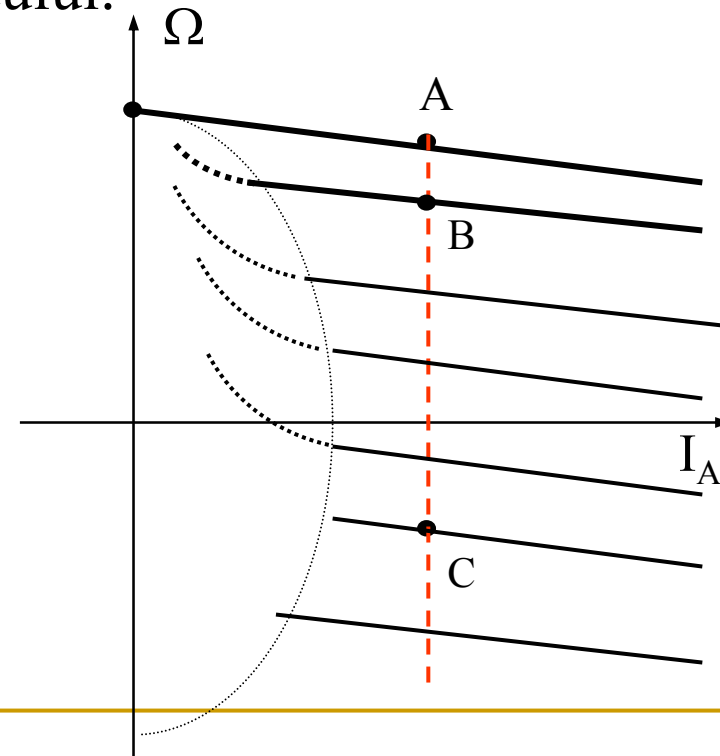
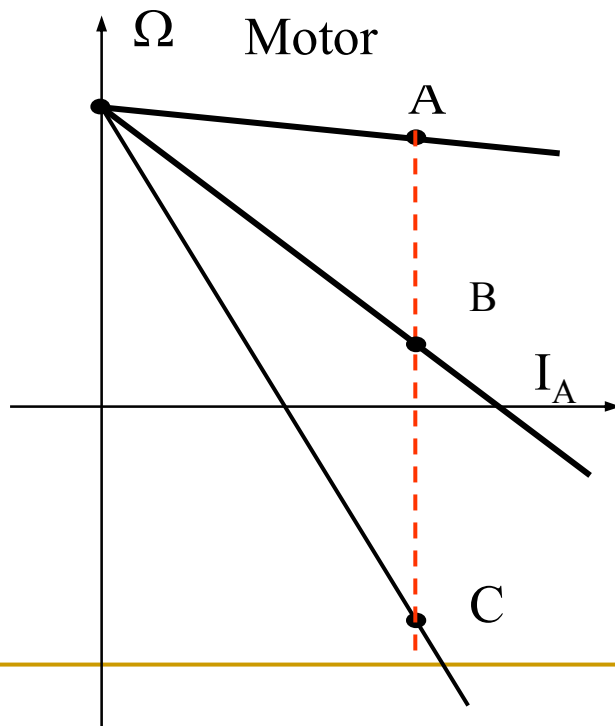
Mașina cu excitație serie



Mașina cu excitație serie

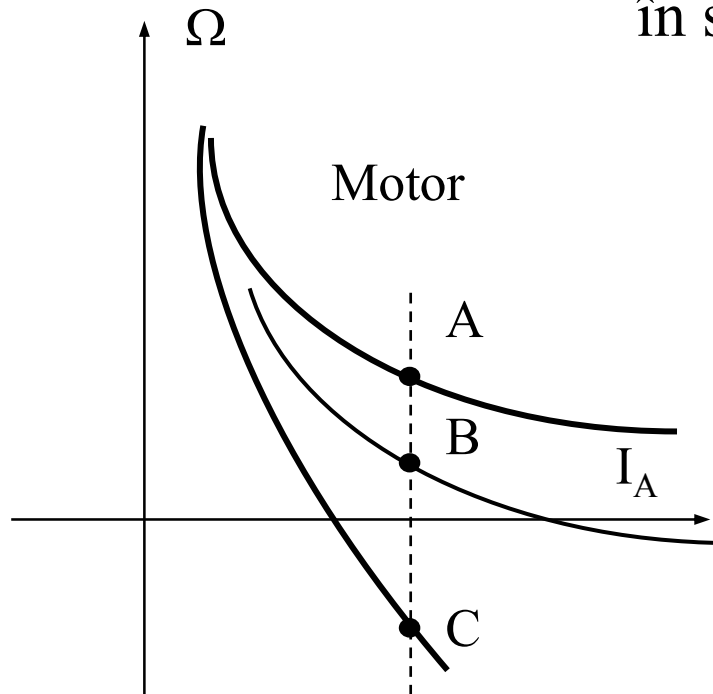
Frânarea la cuplu rezistent constant

- Se modifică tensiunea la bornele motorului sau se conectează în serie cu circuitul rotoric al mașinii un reostat reglabil.
- La modificarea în trepte ale tensiunii sau rezistenței se produc modificări ale curentului în timp dar cuplul nu se modifică deci nici valoarea staționară a curentului.



Frânarea la cuplu rezistent constant

Se modifică reostat reglabil conectat în serie cu circuitul rotoric al mașinii .



Mașina cu excitație serie

Reostatul se modifică între : R_{F1} (contra conectare) și 0.

La motorul cu excitație mixtă se poate modifica și tensiunea de alimentare.