

Frânarea mașinilor de curent continuu

Metode de frânare

Metode de frânare

- Scop
 - reducerea vitezei,
 - menținerea vitezei
- Rezultate
 - oprirea utilajului,
 - funcționare la viteză mai redusă,
 - funcționare la viteză constantă.

Metode de frânare

Cuplu variabil

Cuplu constant

În funcție de natura cuplului rezistent

FRÂNAREA

În funcție de circulația
energiei electrice

În regim de generator,
energia cinetică este
transformată în mașină
în energie electrică și
disponibilă la borne.

În regim de motor,
mașina primește și
energie electrică și
energie cinetică

Metode de frânare

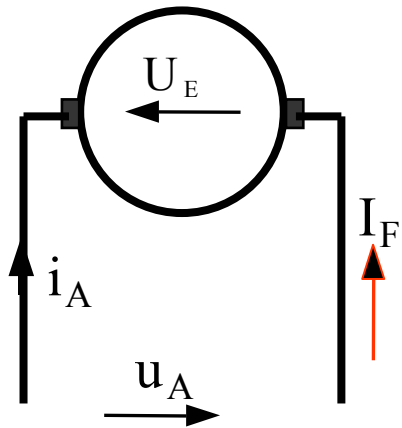
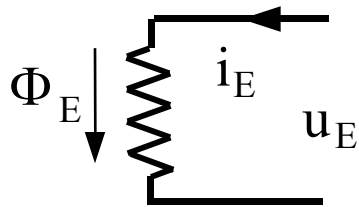
Posibilități de realizare

- Regim de generator
 - independent; energia electrică este consumată în rezistențe.
Frânare reostatică sau dinamică
 - cuplat la sursă; 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;



Mașina cu excitație separată

dacă $U_E > U_A$ $i_A \rightarrow i_F$

$$\frac{U_E}{c \cdot \Phi} = \Omega \geq \Omega'_0 = \frac{U_A}{c \cdot \Phi}$$

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

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

Frânare cu recuperare

Ecuțiile în regim staționar

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

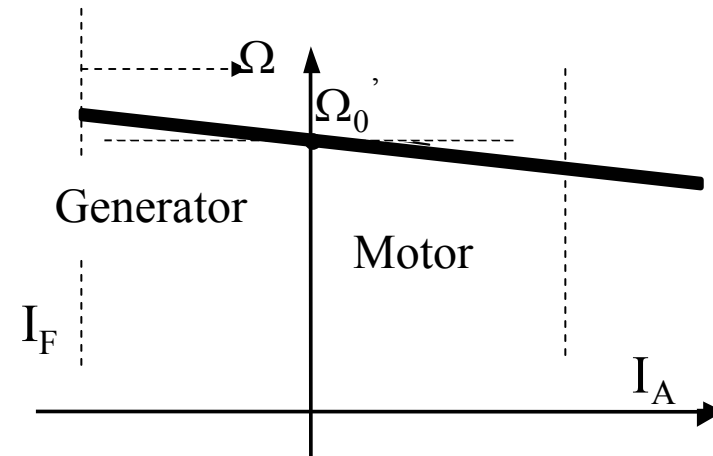
$$U_E = (R_E + R_c) \cdot I_E$$

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

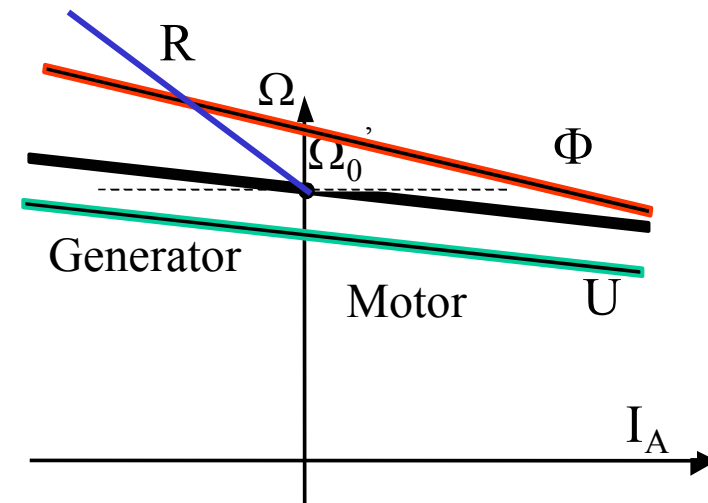
Viteza ideală de mers în gol se poate modifica prin metode cunoscute;

- modificarea tensiunii sursei,
- modificarea fluxului.

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

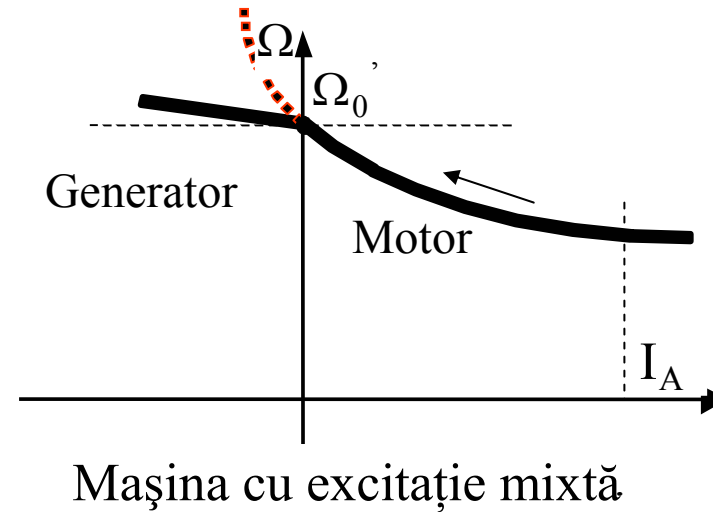
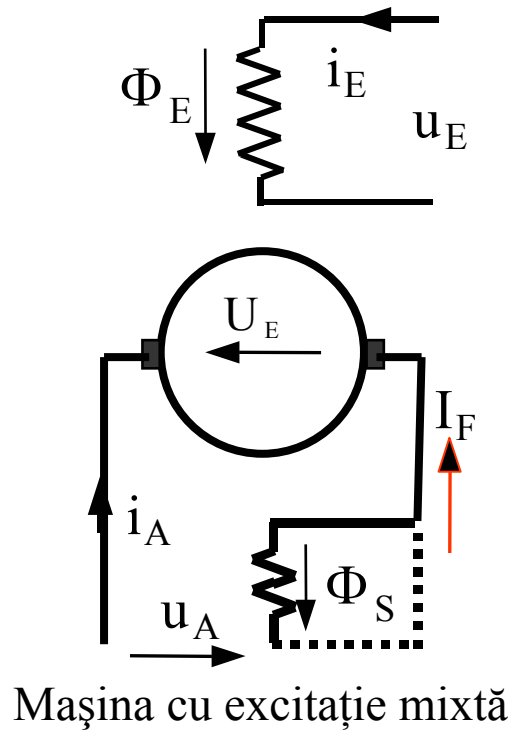


Mașina cu excitație derivație



Mașina cu excitație derivație

Frânare cu recuperare



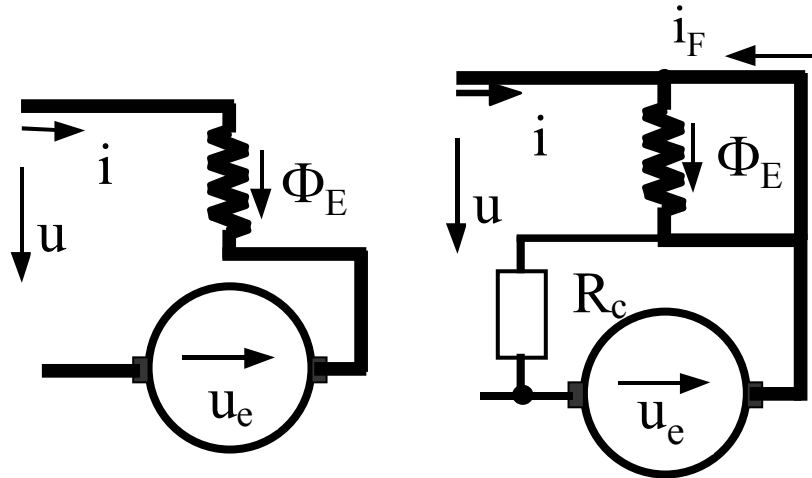
Fluxul se poate anula, turația crește foarte mult, cuplul de frânare mic

Deci în acest regim nu pot lucra mașinile cu excitație mixtă;

- excitația serie se deconectează sau se scurtcircuitază;

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

Frânare cu recuperare

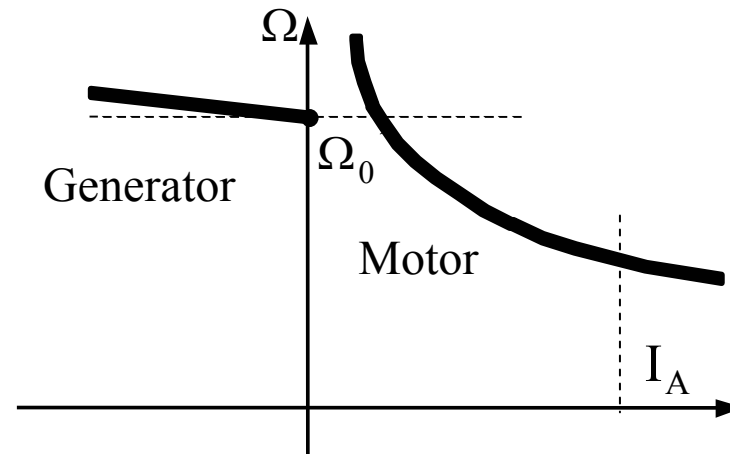


Mașina cu excitație serie

În timpul modificării schemei mașina nu dezvoltă cuplu.

Se folosește la viteza mari.

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.

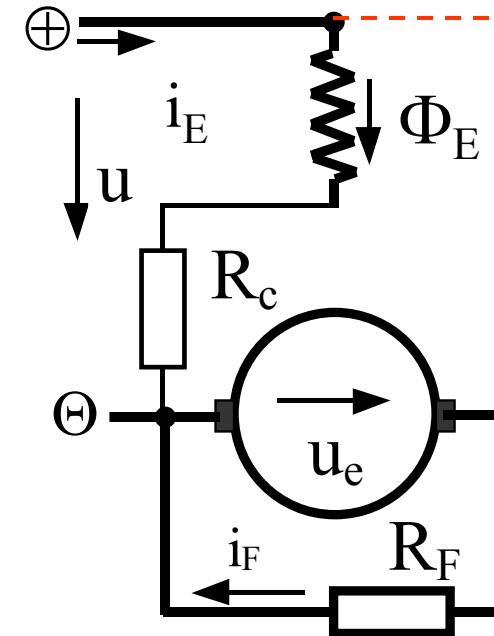
Toate tipurile de mașini se transformă, prin schimbarea conexiunilor, în generatoare cu excitații separate.

Ecuțiile în regim staționar

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

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

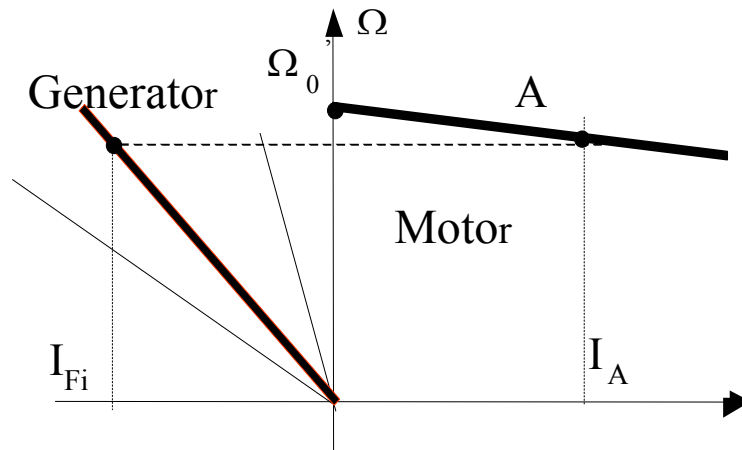
$$C = c \cdot \Phi \cdot I_F$$



Mașina cu excitație derivație

Energia electrică dată de mașina e transformă în energie termică în mașina și în reostatul de frânare.

Frânare dinamică sau reostatică



Mașina cu excitație derivație

Expresia caracteristicii de frânare:

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

Caracteristicile trec prin originea sistemului de coordonate

Valoarea curentului inițial de frânare depinde de:

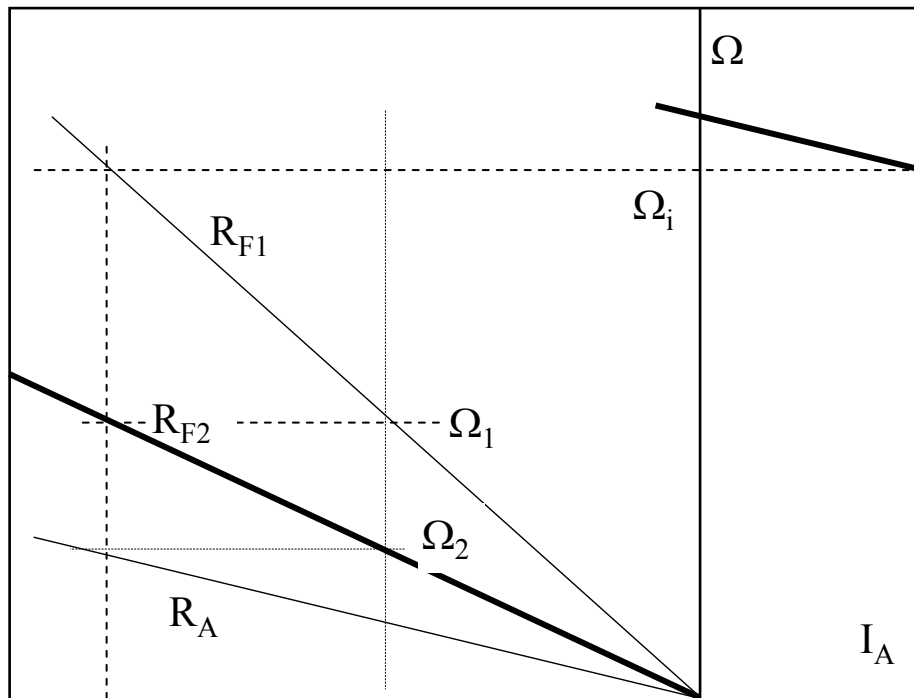
- valoarea inițială a vitezei,
- valoarea rezistenței de frânare.

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

Frânare dinamică sau reostatică

Modificarea în trepte a rezistenței de frânare

$$\Omega_1 = -\frac{(R_A + R_{F1})}{c \cdot \Phi} I_{F \min} = -\frac{(R_A + R_{F2})}{c \cdot \Phi} I_{F \max}$$



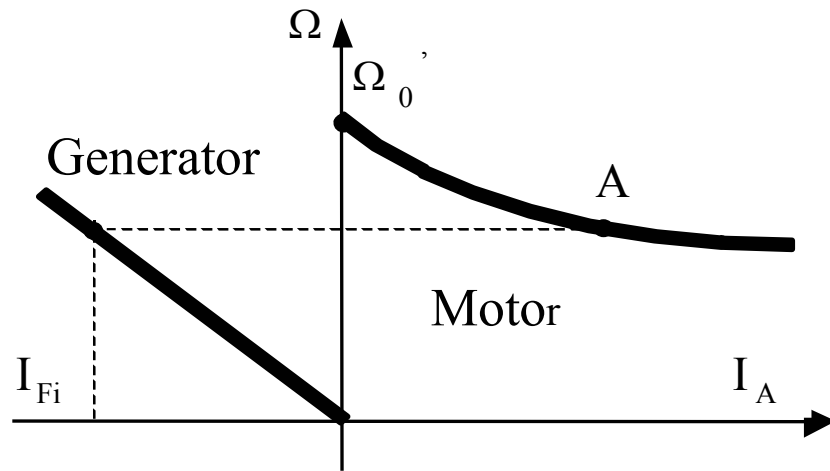
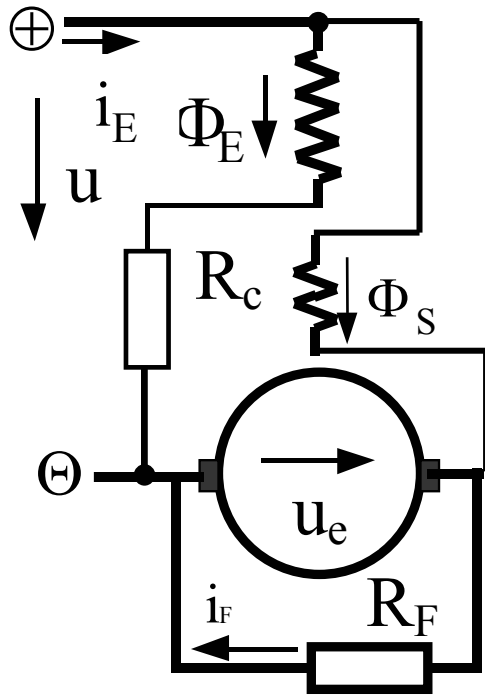
$$\frac{R_{F1} + R_A}{R_A} = \left(\frac{I_{F \max}}{I_{F \min}} \right)^z$$

Treptele de rezistență se determină ca la pornire

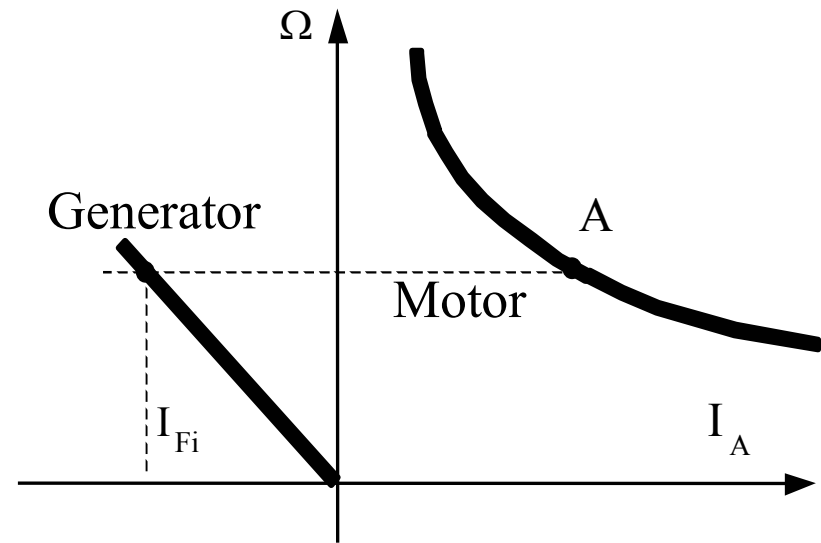
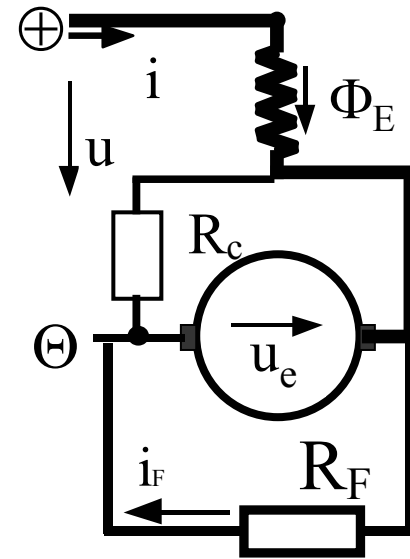
$$I_{F \max} = I_{p \max}$$

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

Frânare dinamică sau reostatică



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;

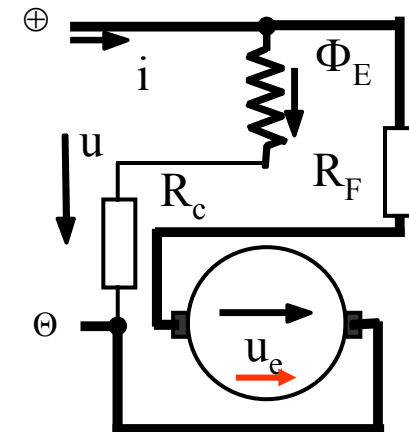
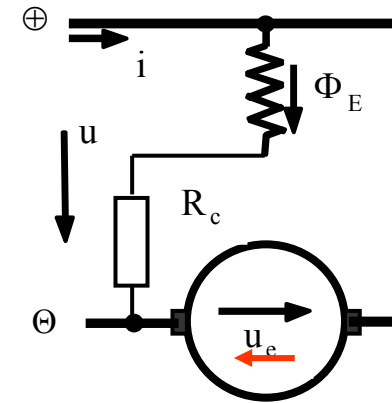
Ecuțiile în regim staționar

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

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

Expresia caracteristicii mecanice

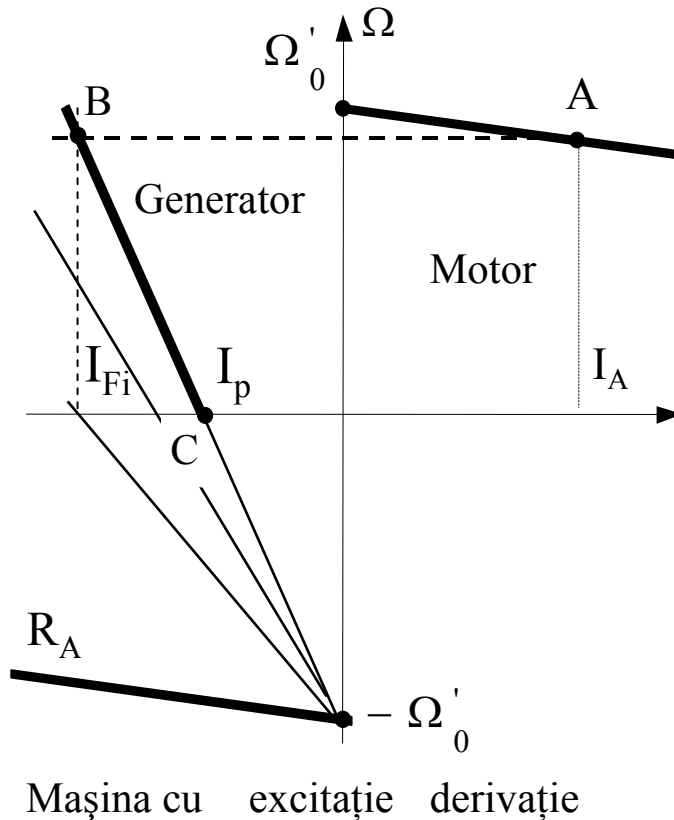
$$\Omega = - \frac{U + (R_A + R_F) \cdot I_F}{c \cdot \Phi}$$



Mașina cu excitație derivație

Frânare prin contraconectare

Curentul inițial de frânare



Este posibilă modificarea în trepte a rezistenței de frânare

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

Se înseriază cu rotorul reostatul de frânare;

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

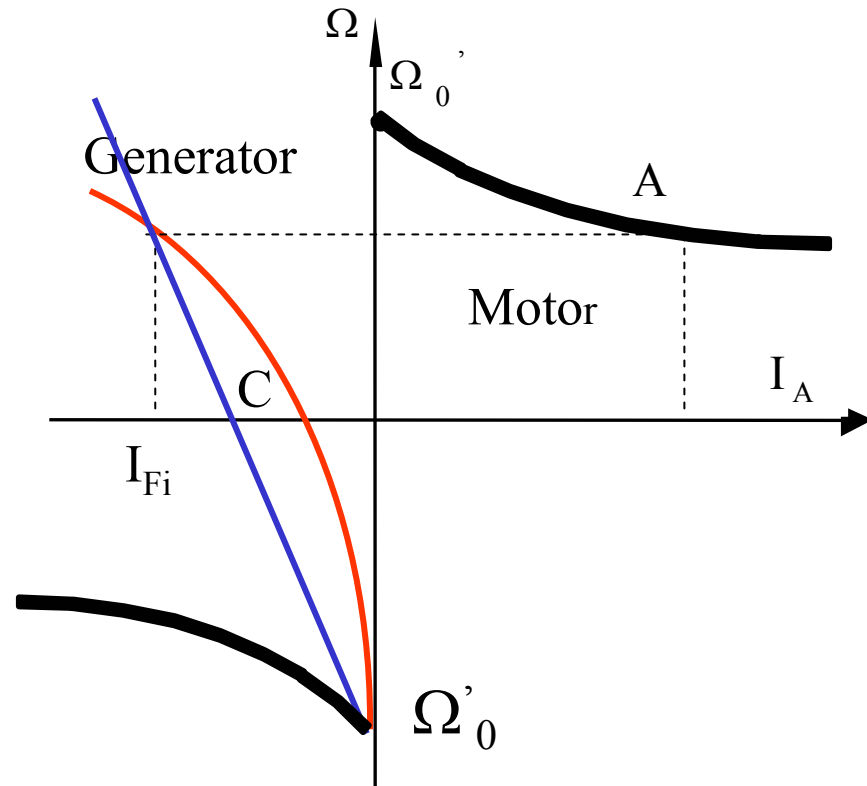
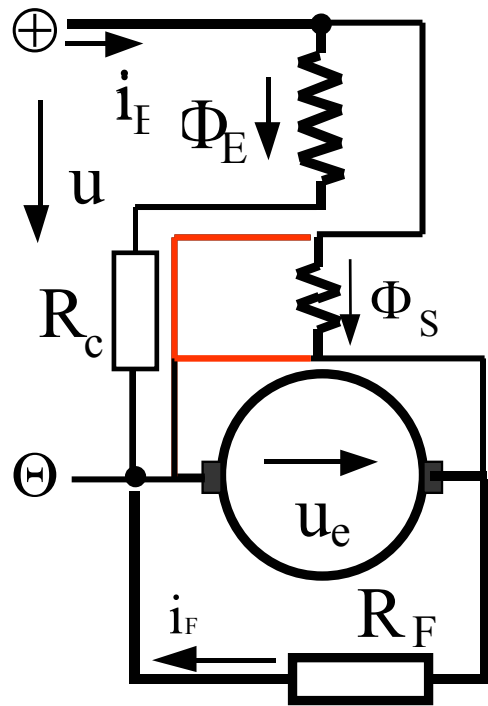
În punctul C mașina trebuie decuplată de la rețea.

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

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

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

Frânare prin contraconectare



La mașina cu excitație mixtă se **scutcircuiează** sau **nu se leagă** excitația serie .

În punctul C mașina trebuie decuplată de la rețea.

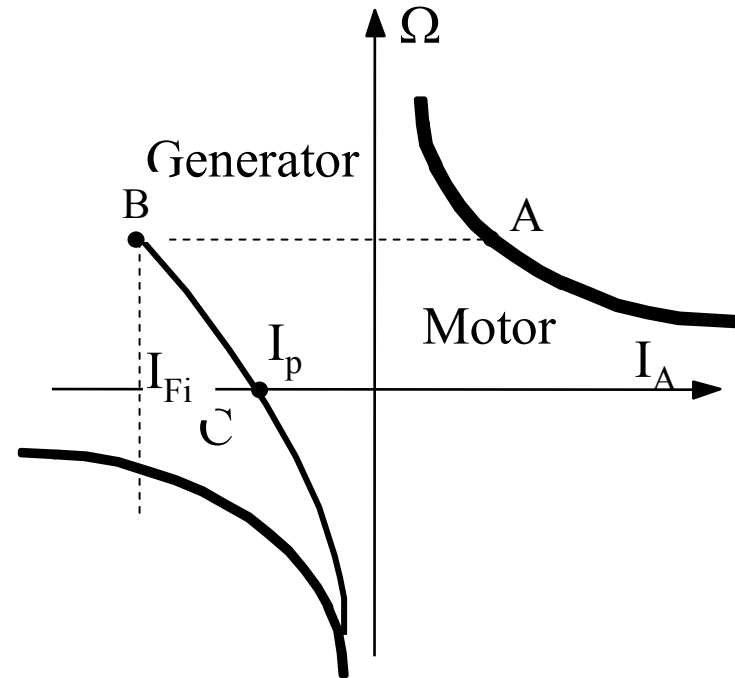
Frânare prin contraconectare

Ecuțiile în regim staționar

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

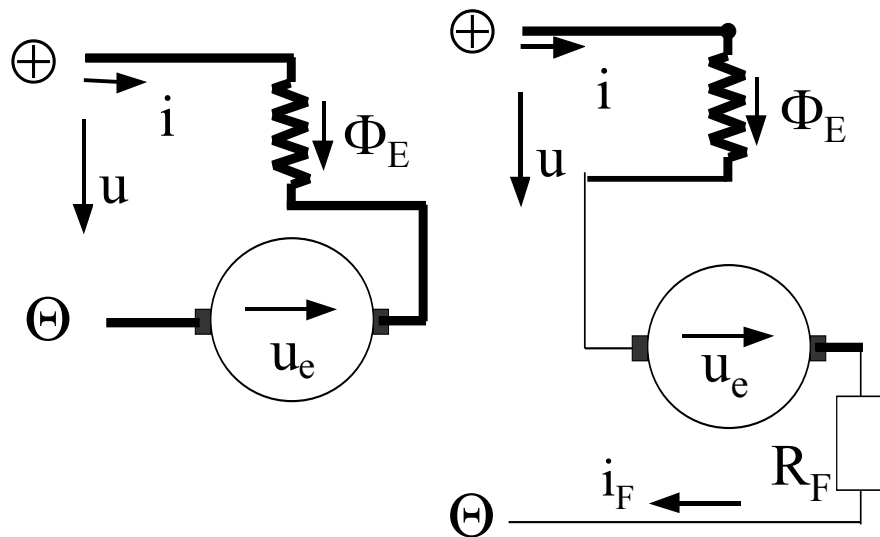
$$C = p \cdot M_{AE} \cdot I_F^2$$

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



Mașina cu excitație serie

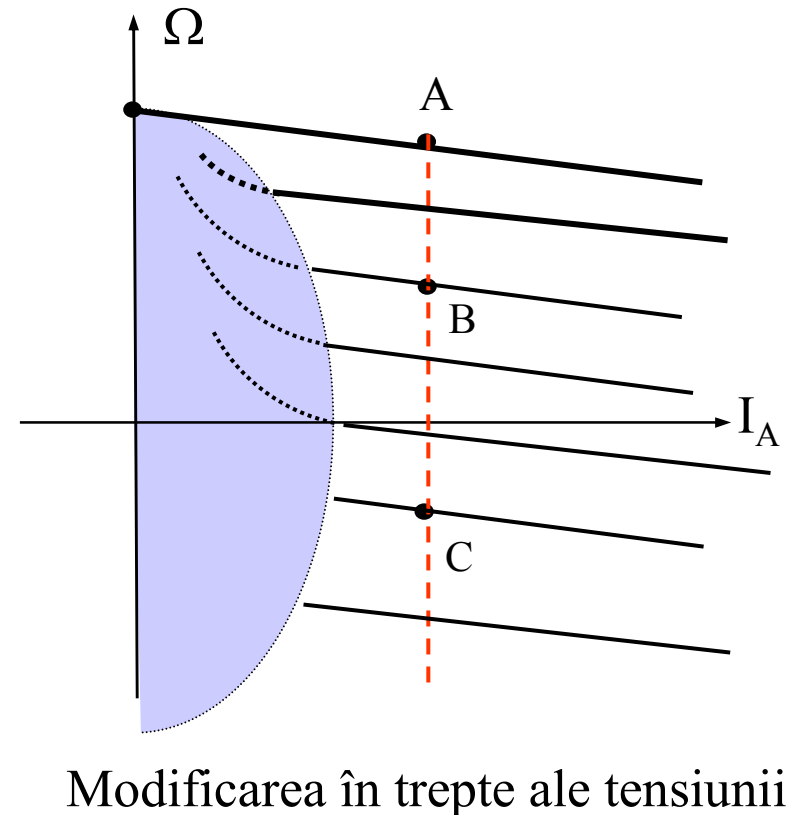
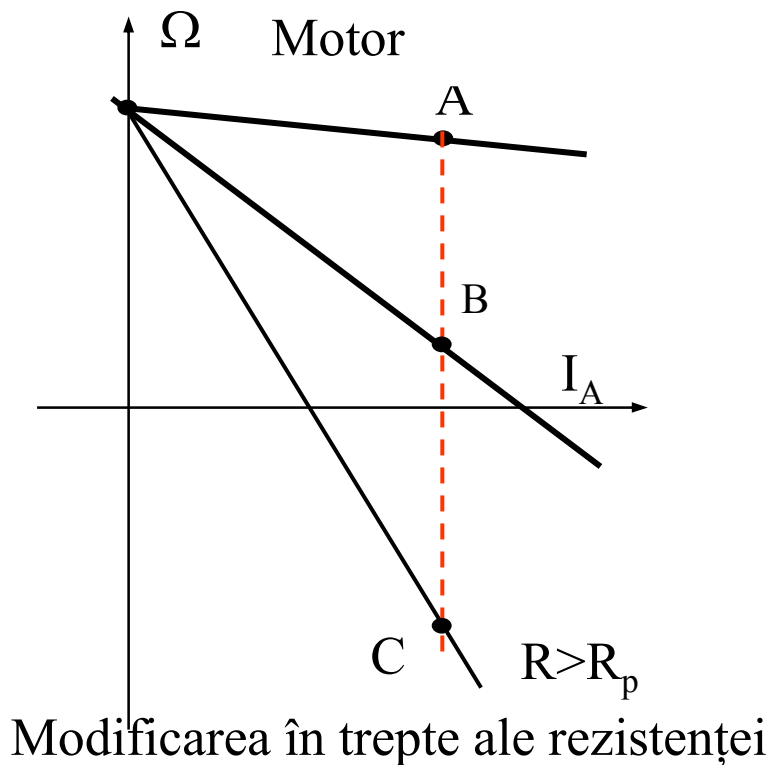
În punctul C mașina trebuie decuplată de la rețea.



Mașina cu excitație serie

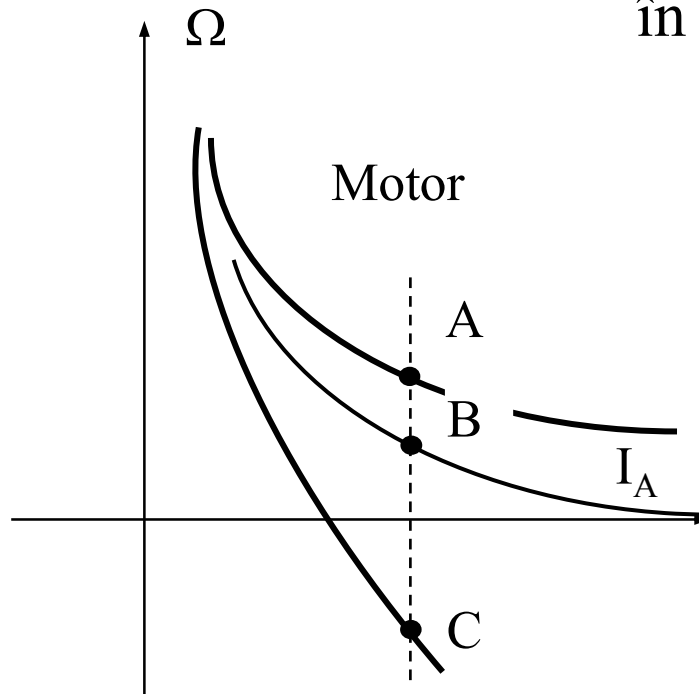
Frânarea la cuplu rezistent constant

- 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 și cuplului în timp dar cuplul staționar nu se modifică, deci nici valoarea staționară a curentului.



Frânarea la cuplu rezistent constant

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



Mașina cu excitație serie

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

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

Regimul tranzitoriu

- Ipoteze:
- se consideră o mașina cu excitație separată,
 - se consideră fluxul constant;
 - se consideră parametrii constanți;

Frânarea dinamică sau reostatică:

$$0 = (R_A + R_F) \cdot i_A + L_A \frac{di_A}{dt} + c \cdot \Phi \cdot \Omega$$

$$C_r = c \cdot \Phi \cdot i_A - J \frac{d\Omega}{dt}$$

$$T_A = \frac{L_A}{R_A + R_F}$$

$$T_M = \frac{J \cdot (R_A + R_F)}{c^2 \cdot \Phi^2} = \frac{J \cdot R_{AF}}{(c \cdot \Phi)^2} \quad \Rightarrow \quad 4T_A < T_M$$

Cel puțin la începutul procesului tranzitoriu

Regimul tranzitoriu

Aplicând transformata Carlson

$$0 = R_{AF} \cdot I_A + s \cdot L_A \cdot I_A - s \cdot L_A \cdot I_{A0} + k_E \cdot \Phi \cdot \Omega$$

$$C = k_C \cdot \Phi \cdot I_A - (s \cdot J \cdot \Omega - s \cdot J \cdot \Omega_0)$$

Aranjând

$$s \cdot L_A \cdot I_{A0} = I_A \cdot (R_{AF} + s \cdot L_A) + c \cdot \Phi \cdot \Omega$$

$$C_r - s \cdot J \cdot \Omega_0 = c \cdot \Phi \cdot I_A - s \cdot J \cdot \Omega$$

Soluțiile:

$$I_A = \frac{s^2 \cdot J \cdot L_A \cdot I_{A0} + c \cdot \Phi \cdot (C_r - s \cdot J \cdot \Omega_0)}{(c \cdot \Phi)^2 + s \cdot J \cdot (R_{AF} + s \cdot L_A)}$$

$$\Omega = \frac{c \cdot \Phi \cdot s \cdot L_A \cdot I_{A0} - (R_{AF} + s \cdot L_A) \cdot (C_r - s \cdot J \cdot \Omega_0)}{(c \cdot \Phi)^2 + s \cdot J \cdot (R_{AF} + s \cdot L_A)}$$

Regimul tranzitoriu

$$I_A = \frac{s^2 \cdot T_A \cdot T_M \cdot I_{A0} - s \cdot \frac{J}{c \cdot \Phi} \Omega_0 + \frac{C_r}{c \cdot \Phi}}{1 + s \cdot T_M \cdot (1 + s \cdot T_A)}$$
$$\Omega = \frac{s \frac{L_A}{c \cdot \Phi} I_{A0} + s \cdot T_M \cdot \Omega_0 \cdot (1 + s \cdot T_A) - \frac{C_r \cdot R_{AF}}{(c \cdot \Phi)^2} (1 + s \cdot T_A)}{1 + s \cdot T_M \cdot (1 + s \cdot T_A)}$$

Valorile inițiale ale variabilelor: $t = 0 \quad \Rightarrow \quad s \rightarrow \infty$

$$I_A = I_{A0} \quad \Omega = \Omega_0$$

Valorile finale ale variabilelor: $t \rightarrow \infty \quad s \rightarrow 0$

$$I_A = \frac{C_r}{c \cdot \Phi} \quad \Omega = -\frac{C_r \cdot R_{AF}}{(c \cdot \Phi)^2}$$

Regimul tranzitoriu

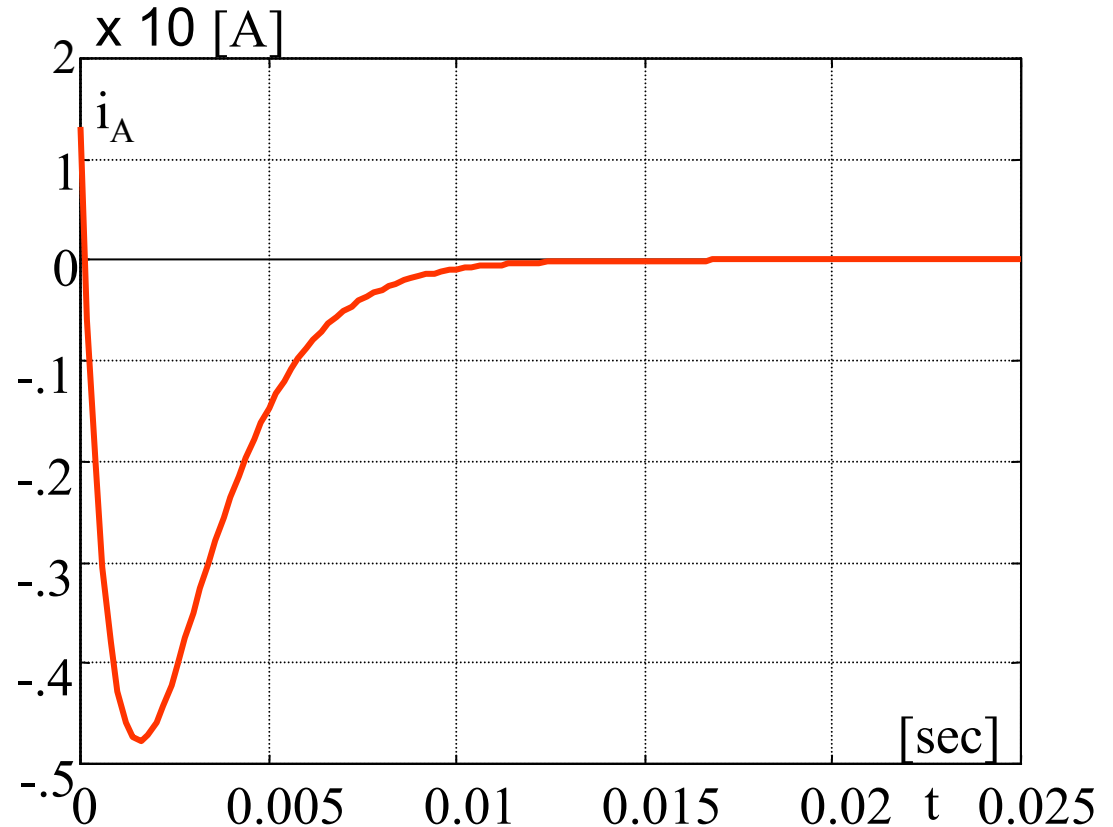
Frânare pur electrică are loc dacă se consideră $C_r = 0$

Expresia curentului:
$$i_A = -I_{A0} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \frac{sh(\rho \cdot t - \varphi_i)}{ch \varphi_i}$$

Cu notatiile:

$$s = -\frac{1}{T} \pm \rho$$

$$th \varphi_i = \frac{\rho \cdot T_A}{\frac{c \cdot \Phi \cdot \Omega_0}{R_{AF} \cdot I_{A0}} + \frac{1}{2}}$$



Exemplu

La un motor de curent continuu cu excitatie separata s-au masurat la mersul in gol : tensiunea $U_A = 440$ V; curentul $I_{A0} = 5,2$ A; turatia $n_0 = 2485$ rot/min. Cunoscind rezistenta circuitului rotoric $R_a = 1,48$ Ω ; caderea de tensiune la perii $\Delta U_p = 2$ V; Motorul lucreaza la curentul $I_A = 33$ A.

Sa se calculeze treptele rezistentei de franare in cazul franarii prin contraconectare cu 2 trepte de rezistenta, la curent maxim $I_{pmax} = 70$ A,

constanta de flux

$$C\Phi = \frac{U - \Delta U_p - R_A I_{A0}}{\Omega_0} = \frac{440 - 2 - 1,48 \cdot 5,2}{\frac{\pi \cdot 2485}{30}} = 1,653 \text{ Vs}$$

viteza unghiulara de rotatie

$$\Omega = \frac{U_A - \Delta U_p - R_A I_A}{C\Phi} = \frac{440 - 2 - 1,48 \cdot 33}{1,653} = 235,42 \text{ r/s}$$

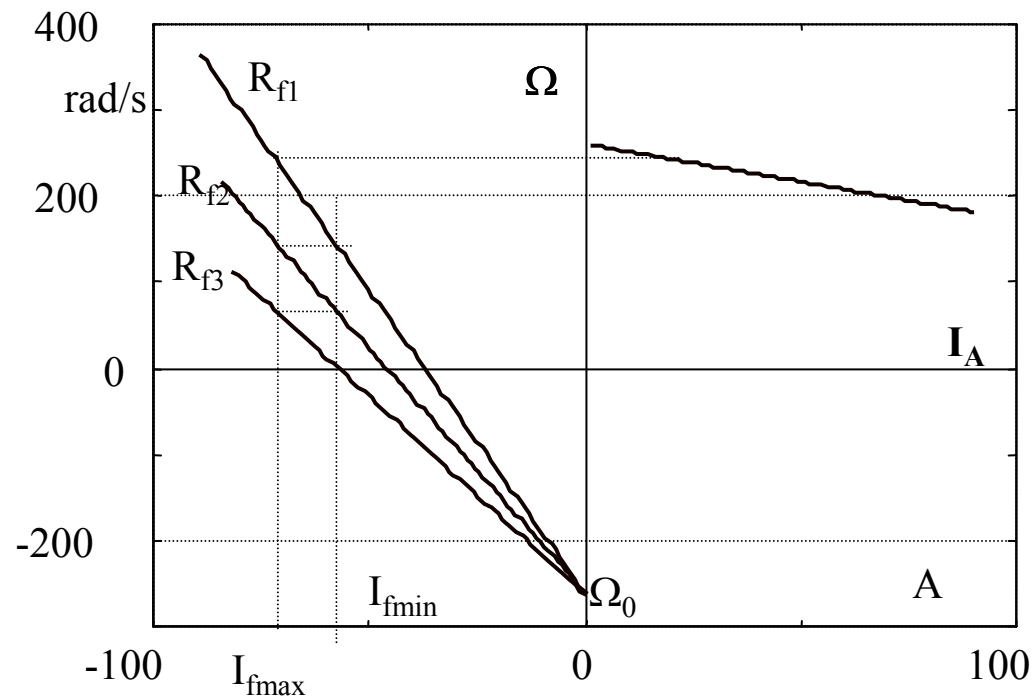
rezistenta totala a circuitului rotoric la franare

$$R_A + R_{f1} = \frac{U_A + C\Phi\Omega}{I_{fmax}} = \frac{440 + 1,653 \cdot 235,42}{70} = 11,845 \text{ } \Omega$$

Exemplu

La frinarea prin contraconectare se poate considera ca la $n = 0$ in circuitul rotoric este rezistenta de pornire.

$$R_A + R_p = R_A + R_{f3} = \frac{U_A}{I_{f \max}} = \frac{440}{70} = 6,285 \Omega$$



Caracteristicile turatie – curent la frinarea prin contraconectare a motorului de c.c.

Exemplu

raportul treptelor de rezistenta formeaza o progresie geometrica

$$\frac{R_A + R_{f1}}{R_A + R_{f2}} = \frac{R_A + R_{f2}}{R_A + R_{f3}} = \rho = \frac{I_{f \max}}{I_{f \min}}$$

de unde rezulta

$$\rho^2 = \frac{R_A + R_{f1}}{R_A + R_{f3}} = \frac{11,845}{6,285} = 1,8846$$

$$\rho = \sqrt{1,8846} = 1,3728$$

valorile rezistentelor

$$R_A + R_{fx+1} = (R_A + R_{fx}) \cdot \rho$$

Treptele de rezistenta vor fi

$$R_A + R_{f1} = 11,845 \Omega$$

$$R_A + R_{f2} = 11,845/1,3728 = 8,628 \Omega$$

$$R_A + R_{f3} = 8,628/1,3728 = 6,285 \Omega$$

$$R_1 = R_{f1} - R_{f2} = 11,845 - 8,628 = 3,217 \Omega$$

$$R_2 = R_{f2} - R_{f3} = 8,628 - 6,285 = 2,343 \Omega$$

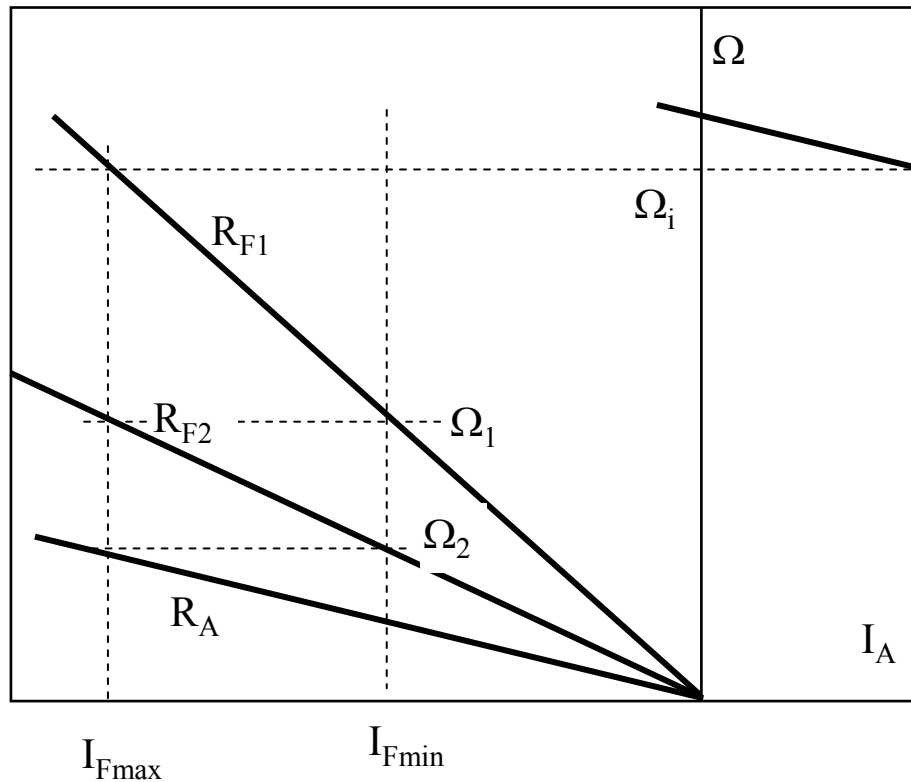
curentul minim in procesul de frinare

$$I_{f \min} = \frac{I_{f \max}}{\rho} = \frac{70}{1,3728} = 50,99 A$$

Exemplu

Franare dinamica

rezistenta totala a circuitului rotoric la franare



Valoarea minima a curentului

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

$$R_{F1} = \frac{1,653 \cdot 235,42}{70} - 1,48 = 4,079 \Omega$$

Treptele de rezistență
se determină ca la pornire

$$\frac{R_{F1} + R_A}{R_A} = \left(\frac{I_{Fmax}}{I_{Fmin}} \right)^2 = \rho^2$$

$$\frac{5,559}{1,48} = \rho^2 = 3,756$$

$$\rho = \sqrt{3,756} = 1,938$$

$$I_{fmin} = \frac{I_{fmax}}{\rho} = \frac{70}{1,938} = 36,12 A$$

Exemplu

valorile rezistentelor

$$R_A + R_{fx+1} = (R_A + R_{fx}) \cdot \rho$$

$$R_A + R_{f1} = 5,559 \Omega$$

$$R_A + R_{f2} = 5,559 / 1,938 = 2,868 \Omega$$

$$R_A + R_{f3} = 2,868 / 1,938 = 1,48 \Omega$$

Treptele de rezistenta vor fi

$$R_1 = R_{f1} - R_{f2} = 5,559 - 2,868 = 2,691 \Omega$$

$$R_2 = R_{f2} - R_{f3} = 2,868 - 1,48 = 1,388 \Omega$$

