REGIMUL TRANZITORIU LA MAŞINA DE CURENT CONTINUU

Modificarea vitezei de rotație

Metode de modificare a vitezei

Modificarea:
- tensiunea de alimentare
- fluxul,
- rezistența circuitului rotoric

Ipoteze:
- se consideră un motor cu excitație separată
- modificările sunt de valori reduse,

$$\Delta u_E = (R_E + s \cdot L_E) \cdot \Delta i_E + \Delta R_E \cdot I_E$$

$$\Delta u_A = (R_A + s \cdot L_A) \cdot \Delta i_A + \Delta R_A \cdot I_A + M_{AE} \cdot \omega_0 \cdot \Delta i_E + M_{AE} \cdot I_E \cdot \Delta\omega$$

$$\Delta C = p \cdot M_{AE} \cdot (I_E \cdot \Delta i_A + I_A \cdot \Delta i_E)$$

$$s\frac{J}{p}\Delta\omega = \Delta C - \Delta C_r$$

Modificarea tensiunii de alimentare

Din relația:

$$\Delta u_E = (R_E + s \cdot L_E) \cdot \Delta i_E + \Delta R_E \cdot I_E$$

Pentru Δu_E şi $\Delta R_E = 0$ rezultă $\Delta i_E = 0$ deci curentul de excitație este constant

$$\Delta u_A = (R_A + s \cdot L_A) \cdot \Delta i_A + M_{AE} \cdot I_E \cdot \Delta\omega$$

$$\Delta C = p \cdot M_{AE} \cdot (I_E \cdot \Delta i_A) = s \frac{J}{p} \Delta\omega$$

întroducând viteza unghiulară mecanică

$$\Delta u_A = (R_A + s \cdot L_A) \cdot \Delta i_A + c \cdot \Phi \cdot \Delta\Omega$$

$$c \cdot \Phi \cdot \Delta i_A = s \cdot J \cdot \Delta\Omega$$

Modificarea tensiunii de alimentare

Rezolvând sistemul rezultă:

$$\Delta i_A = \frac{\Delta u_A}{R_A} \cdot \frac{s \cdot T_M}{(1 + s \cdot T_A) \cdot s \cdot T_M + 1}$$

$$\Delta \Omega = \frac{\Delta u_A}{c \cdot \Phi} \cdot \frac{1}{(1 + s \cdot T_A) \cdot s \cdot T_M + 1}$$

Dacă se aplică o tensiune constantă

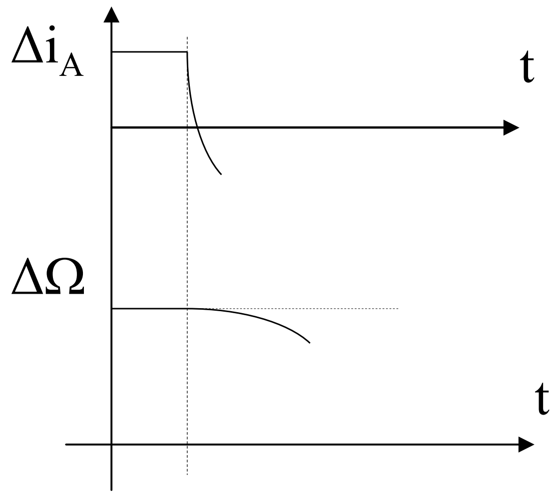
$$\Delta u_A \Rightarrow \frac{\Delta u_A}{s}$$

La începutul procesului tranzitoriu

La $t = 0$ $\quad s \to \infty$

$\Delta i_A = 0$ $\qquad \dfrac{d\Delta i_A}{dt} = \dfrac{\Delta u_A}{L_A}$

$\Delta \Omega = 0$ $\qquad \dfrac{d\Delta \Omega}{dt} = 0$



Modificarea tensiunii de alimentare

La sfârşitul procesului

La $t = \infty \qquad s \to 0$

$$\Delta i_A = 0 \qquad \frac{d\Delta i_A}{dt} = 0$$

Curentul revine la valoarea inițială.

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta u_A}{c \cdot \Phi} \qquad \frac{d\Delta\Omega}{dt} = 0$$

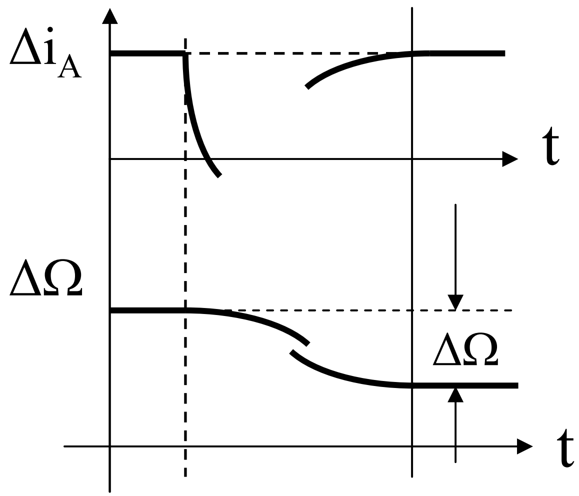
Turația se modifică
accelerația unghiulară este diferită
de zero în timpul procesului.

Caracterul procesului determinat
de rădăcinile ecuației

$$\left(1 + s \cdot T_M + s^2 \cdot T_M \cdot T_A\right) \cdot s = 0$$

$$s_1 = 0$$

$$s_{2,3} = -\frac{1}{2 \cdot T_A}\left(1 \mp \sqrt{1 - 4\frac{T_A}{T_M}}\right) = -\frac{1}{T} \pm \varsigma$$



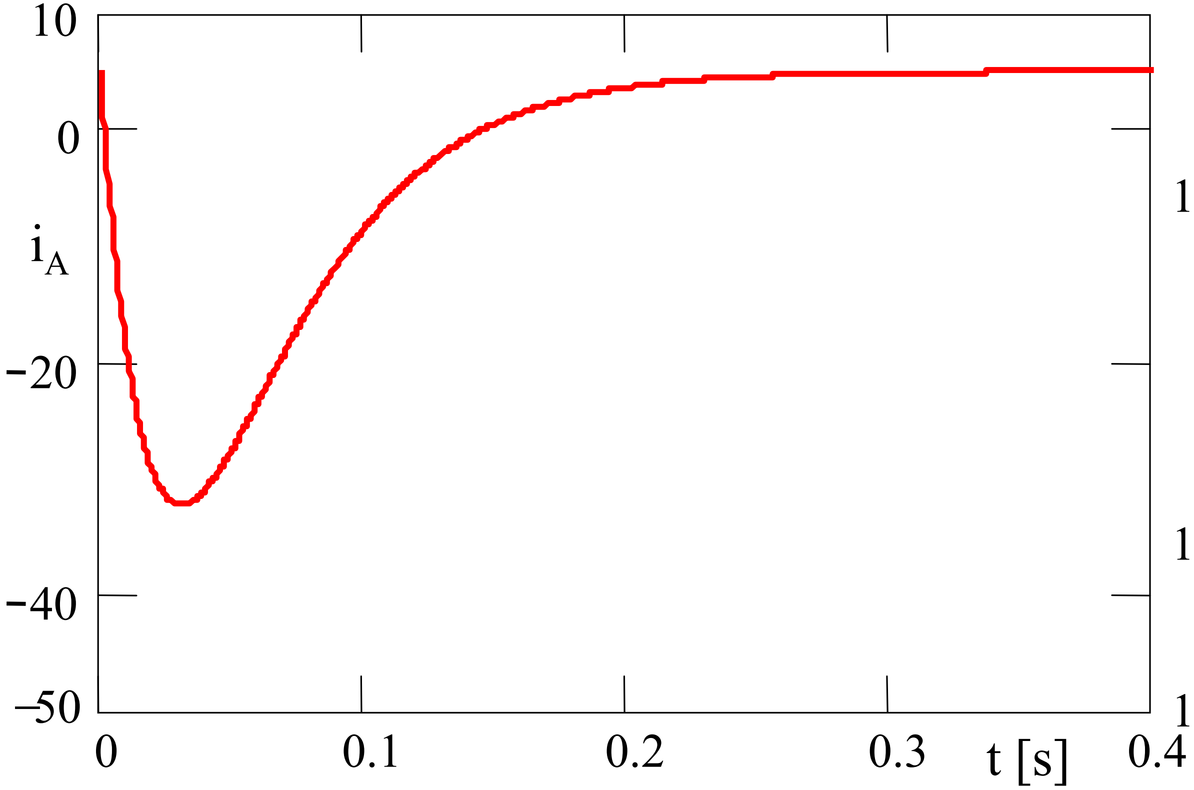
Modificarea tensiunii de alimentare

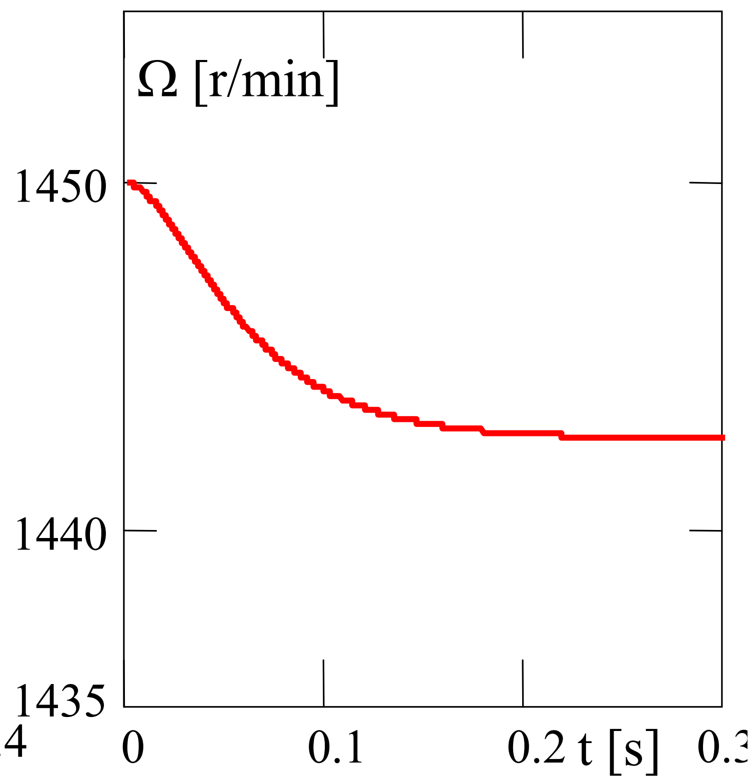
$$\frac{1}{s(s+s_2)(s+s_3)} \longrightarrow \frac{1}{s_2 \cdot s_3}\left(1-\frac{s_3 \cdot e^{-s_2 \cdot t} - s_2 \cdot e^{-s_3 \cdot t}}{s_3 - s_2}\right)$$

$$\Delta i_A = \frac{\Delta u_A}{L_A}\left(\frac{e^{-\left(\frac{1}{T}+\zeta\right)\cdot t} - e^{-\left(\frac{1}{T}-\zeta\right)\cdot t}}{2\cdot\varsigma}\right)$$

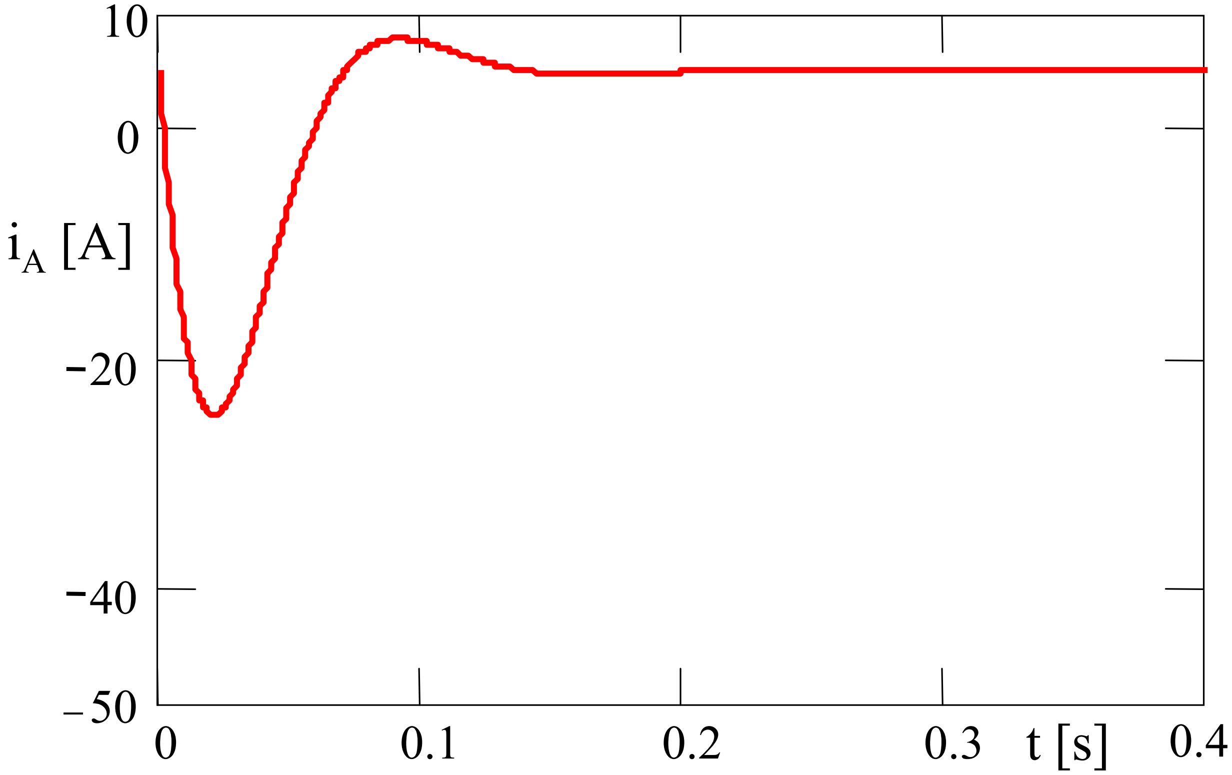
$$\Delta\Omega = \frac{\Delta u_A}{c\cdot\Phi\cdot T_A\cdot T_M}\left(1-\frac{\left(\frac{1}{T}+\zeta\right)\cdot e^{-\left(\frac{1}{T}-\zeta\right)\cdot t} - \left(\frac{1}{T}-\zeta\right)\cdot e^{-\left(\frac{1}{T}+\zeta\right)\cdot t}}{2\cdot\zeta}\right)$$

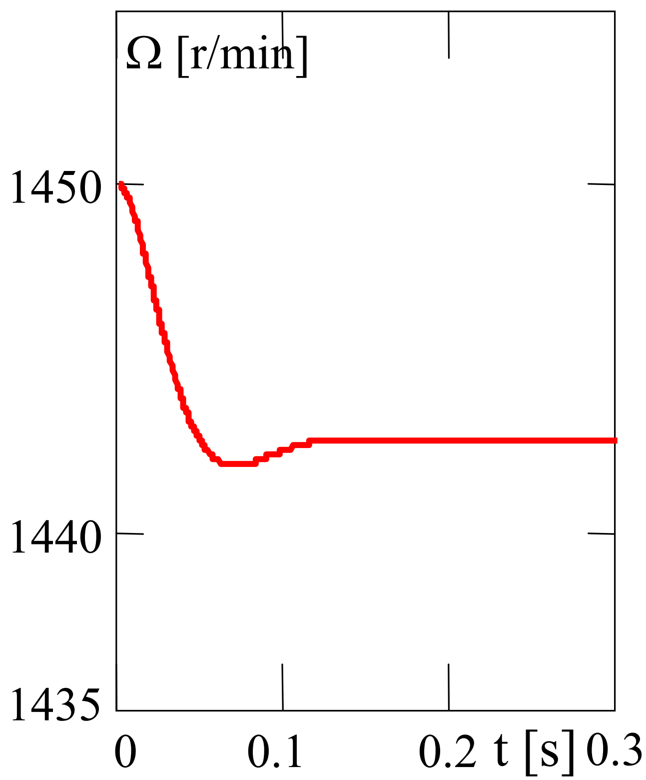
Modificarea tensiunii de alimentare





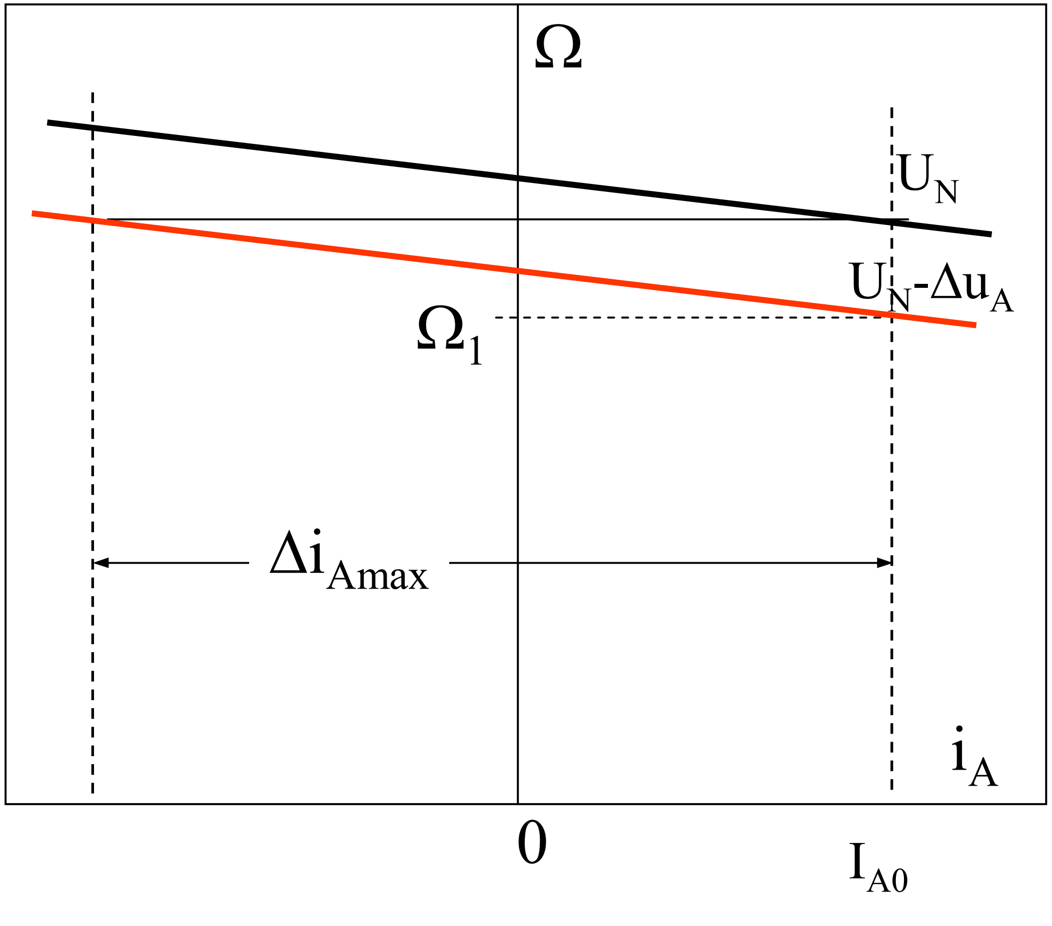
Modificarea tensiunii de alimentare





Modificarea tensiunii de alimentare

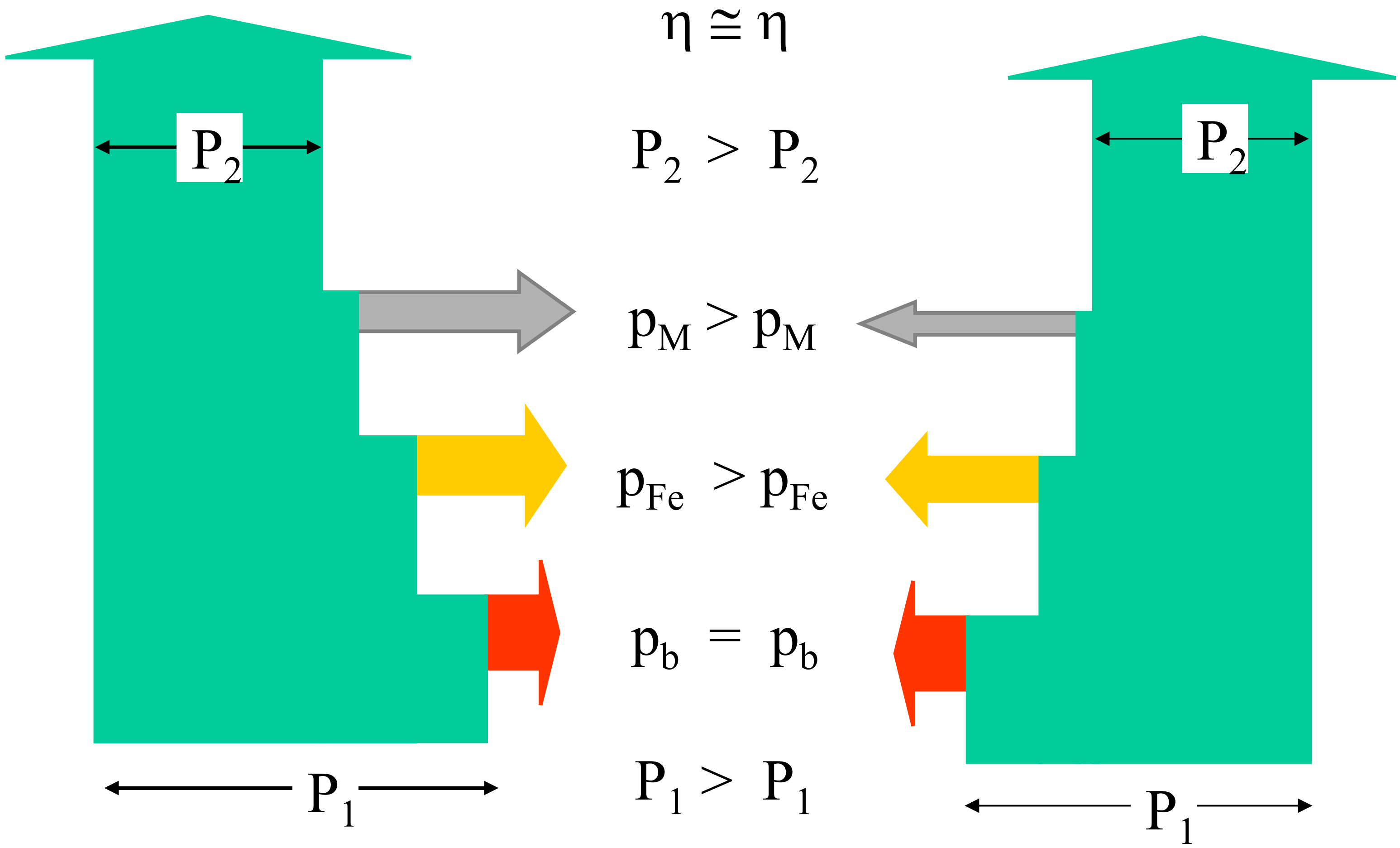
Valoarea şocului de curent se poate aproxima din caracteristicile statice



Modificarea tensiunii de alimentare

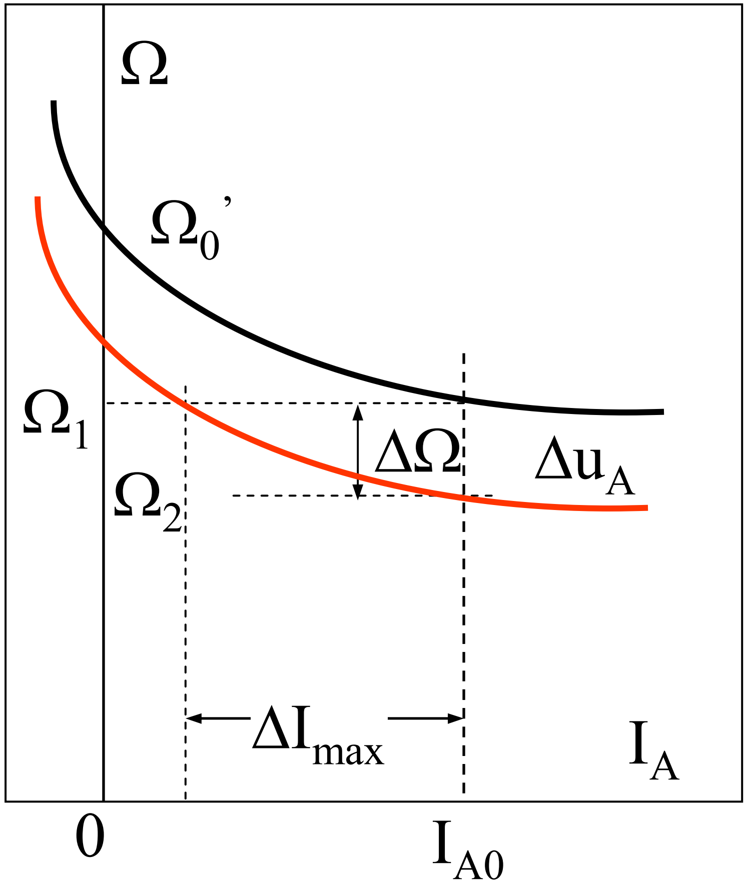
Bilanțul energetic la reducerea tensiunii de alimentare

Se presupune cuplul rezistent constant

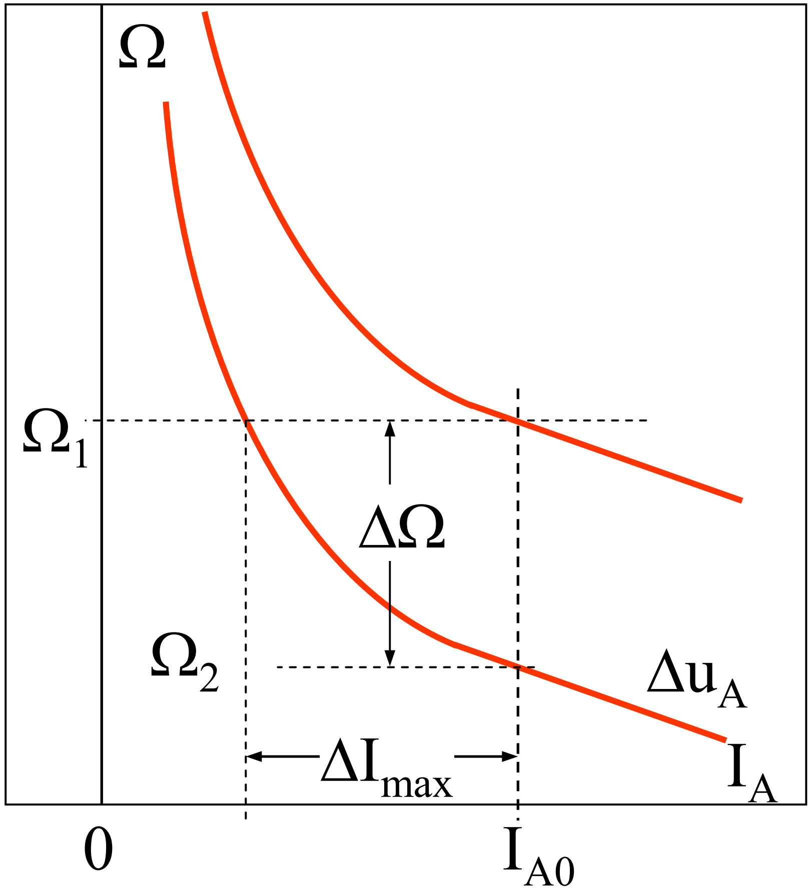


Modificarea tensiunii de alimentare

Caracteristicile statice



Motorul cu excitație mixtă



Motorul cu excitație serie

Modificarea tensiunii de alimentare

$$\Delta i_A = \frac{\Delta u_A}{R_A} \cdot \frac{s \cdot T_M}{(1 + s \cdot T_A) \cdot s \cdot T_M + 1}$$

$$\Delta \Omega = \frac{\Delta u_A}{c \cdot \Phi} \cdot \frac{1}{(1 + s \cdot T_A) \cdot s \cdot T_M + 1}$$

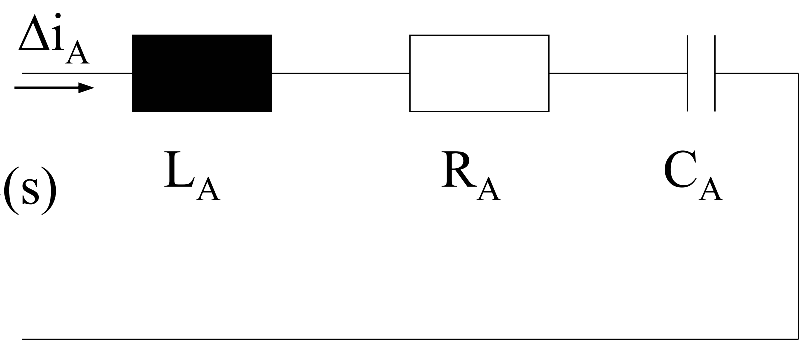
Se poate defini impedanța operațională

$$\frac{1}{s \cdot C}$$

$$Z(s) = \frac{\Delta u_A}{\Delta i_A} = \frac{R_A}{s \cdot T_M} + R_A + s \cdot L_A$$

Reprezintă impedanța unui circuit RLC serie

$$C = \frac{J}{(c \cdot \Phi)^2}$$



Modificarea tensiunii de alimentare

Tensiunea de alimentare prezintă oscilatii

$$\Delta \underline{U} = \Delta u_A \cdot e^{j\cdot\omega\cdot t}$$

- variator de tensiune continuă
- redresor mono- sau trifazat

$$\Delta \underline{I} = \frac{\Delta \underline{U}}{R_A + j\omega\left[L_A - \frac{(c\cdot\Phi)^2}{J\omega^2}\right]}$$

$$\Delta \underline{\Omega} = \frac{\Delta u_A \cdot (c\cdot\Phi)\cdot e^{j\omega t}}{j\cdot\omega\cdot J\cdot\left\{R_A + j\cdot\omega\cdot\left[L_A - \frac{(c\cdot\Phi)^2}{J\cdot\omega^2}\right]\right\}}$$

$$\Delta \underline{\alpha} = \int \Delta \underline{\Omega} dt = \frac{\Delta u_A \cdot (c\cdot\Phi)\cdot e^{j\omega t}}{-\omega^2\cdot J\cdot\left\{R_A + j\cdot\omega\cdot\left[L_A - \frac{(c\cdot\Phi)^2}{J\cdot\omega^2}\right]\right\}}$$

Modificarea tensiunii de alimentare

Poate apare rezonanța la

$$\omega_r = \frac{c \cdot \Phi}{\sqrt{L_A \cdot J}}$$

$$\Delta \underline{I} = \frac{\Delta u_A}{R_A} \cdot e^{j \cdot \omega_r \cdot t}$$

Exemplu: Tensiunea monofazată redresată, monoalternanță.

R_A=0,2 Ω L_A=0,003 H J=0,2 ws^3 cΦ=1,36 Vs

Variația tensiunii

$$\Delta \underline{U} = 50 \cdot e^{j \cdot 628 \cdot t}$$

Impedanța motorului la 100 Hz

$$\underline{Z}(j\omega) = 0.2 + j \cdot 628 \cdot \left(0.003 - \frac{1.36^2}{0.2 \cdot 628^2} \right) = 0.2 + j1.87$$

Oscilația tensiunii de alimentare

Variația curentului

$$\Delta \underline{I} = \frac{50}{0.2 + j1.87} = (2.83 - j \cdot 26.43) = 26.583 \cdot e^{-j \cdot 1.464}$$

Frecvența de rezonanța

$$\omega_r = \frac{1.36}{\sqrt{0.003 \cdot 0.2}} = 55.52 \ \frac{rad}{s}$$

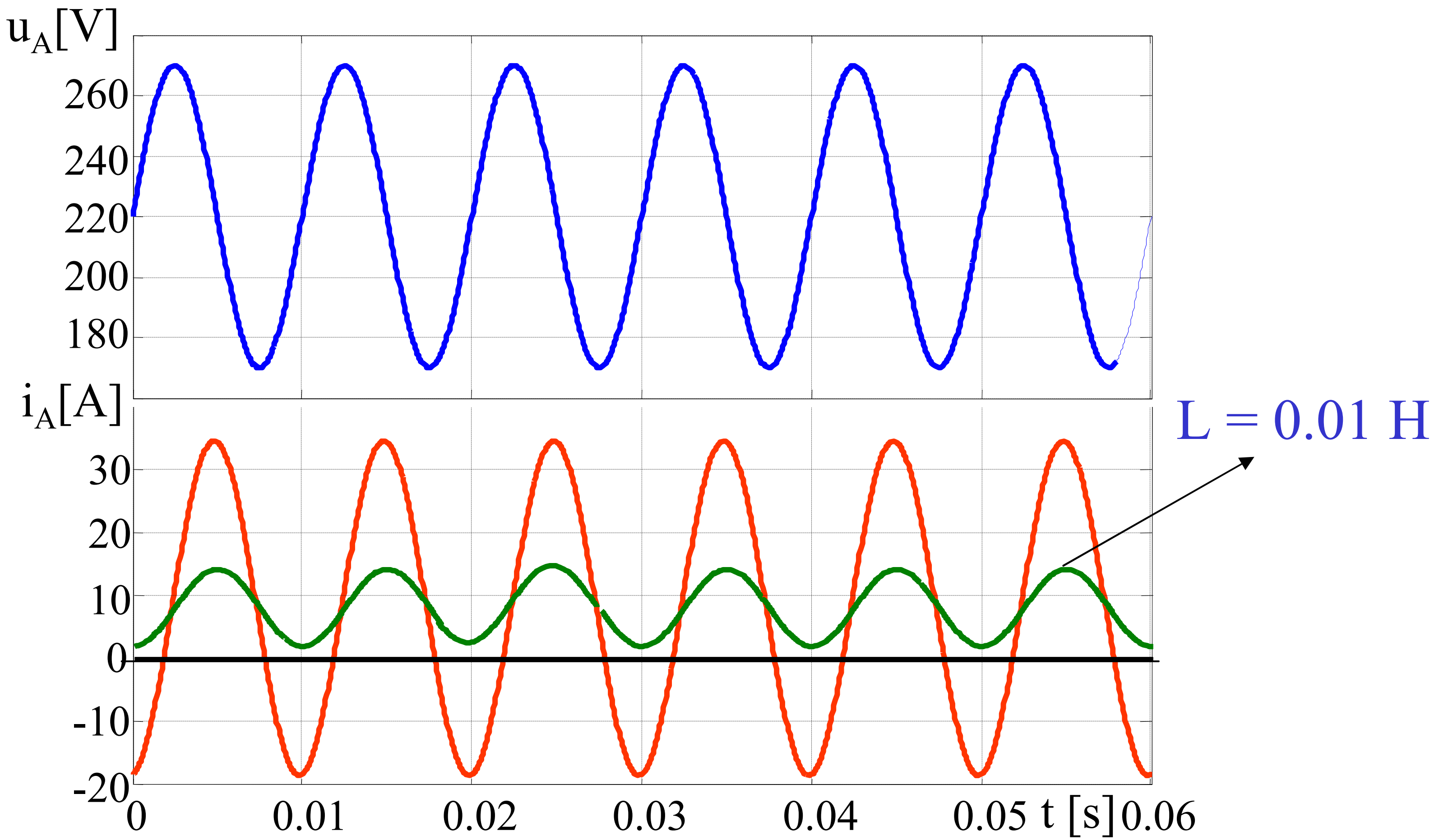
Amplitudinea maximă a curentului $\Delta I = \frac{\Delta u_A}{R_A} = \frac{50}{0.2} = 250 \quad A$

Este necesară reducera oscilațiilor curentului L = 0.01 H

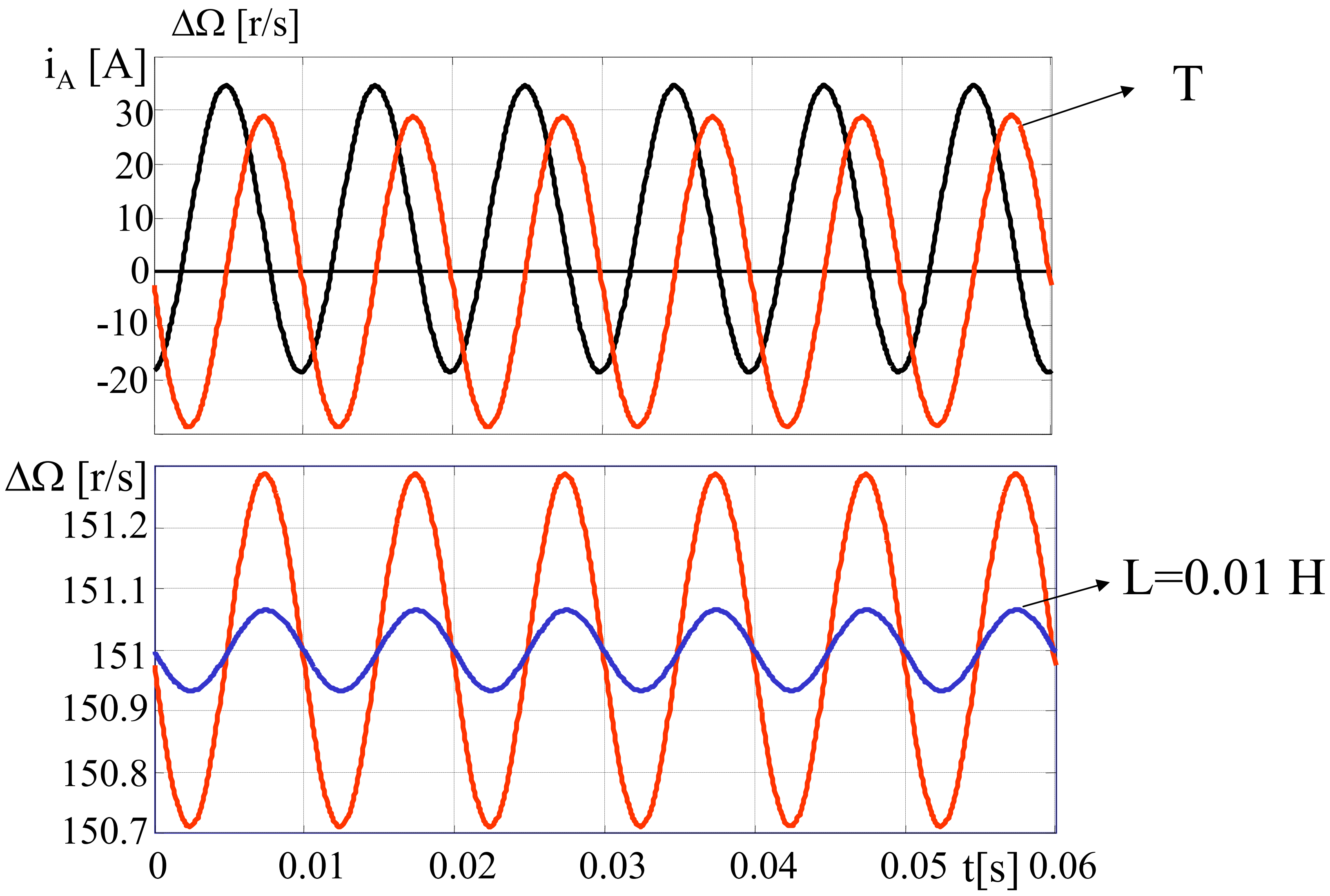
$$\Delta \underline{I} = \frac{50}{0.2 + j \cdot 8.153} = 6.131 \cdot e^{-j \cdot 1.546}$$

Oscilația tensiunii de alimentare

$$i_A = I_{A0} + \left|\Delta \underline{I}\right| \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_z) \qquad \Delta u_A = \Delta U \cdot \sin(\omega \cdot t)$$



Oscilația vitezei unghiulare rotorice



Modificarea rezistenței rotorice

Se consideră $\Delta u_E = \Delta u_A = \Delta c_r = \Delta i_E = \Delta R_E = 0$

$$0 = (R_A + s \cdot L_A) \cdot \Delta i_A + \Delta R_A \cdot I_A + M_{AE} \cdot I_E \cdot \Delta\omega$$

$$\Delta C = p \cdot M_{AE} \cdot (I_E \cdot \Delta i_A) = s \cdot \frac{J}{p} \cdot \Delta\omega$$

Întroducând viteza unghiulară mecanică

$$-\Delta R_A \cdot I_A = (R_A + s \cdot L_A) \cdot \Delta i_A + c \cdot \Phi \cdot \Delta\Omega$$

$$c \cdot \Phi \cdot \Delta i_A = s \cdot J \cdot \Delta\Omega$$

Soluțiile sunt:

$$\Delta i_A = -\frac{\Delta R_A \cdot I_A}{R_A} \cdot \frac{s \cdot T_M}{(1 + s \cdot T_A) \cdot s \cdot T_M + 1}$$

$$\Delta\Omega = -\frac{\Delta R_A \cdot I_A}{c \cdot \Phi} \cdot \frac{1}{(1 + s \cdot T_A) \cdot s \cdot T_M + 1}$$

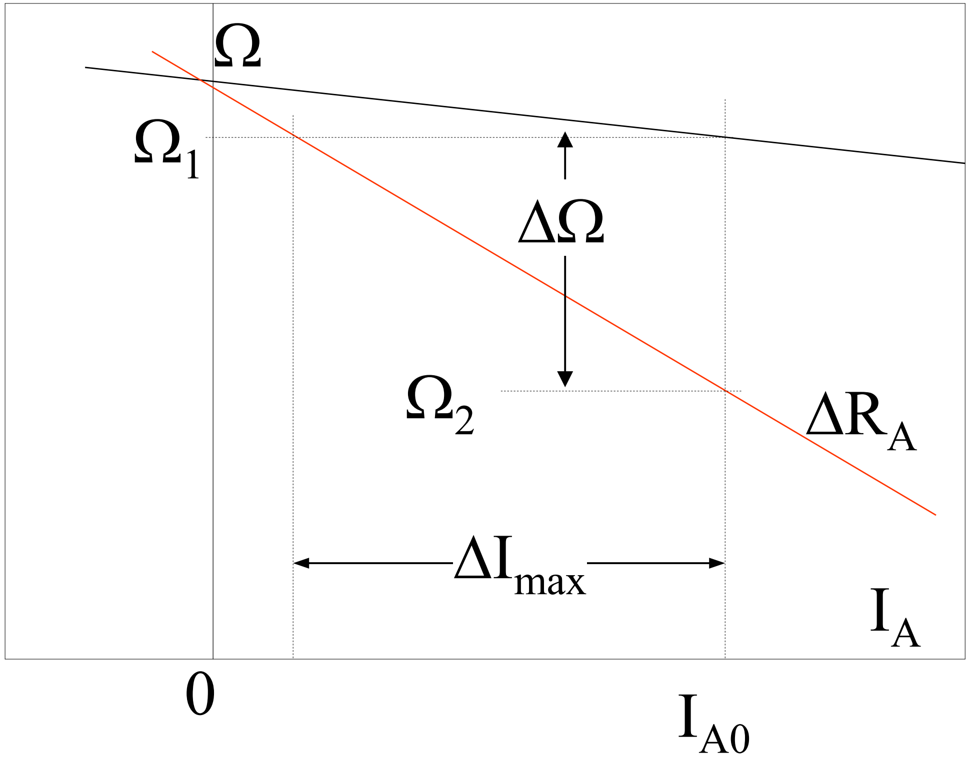
$$\Delta u_A \Rightarrow -\Delta R_A \cdot I_A$$

Modificarea rezistenței rotorice

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

Curentul revine la valoarea inițială.

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



Valoarea minima a curentului este pozitivă

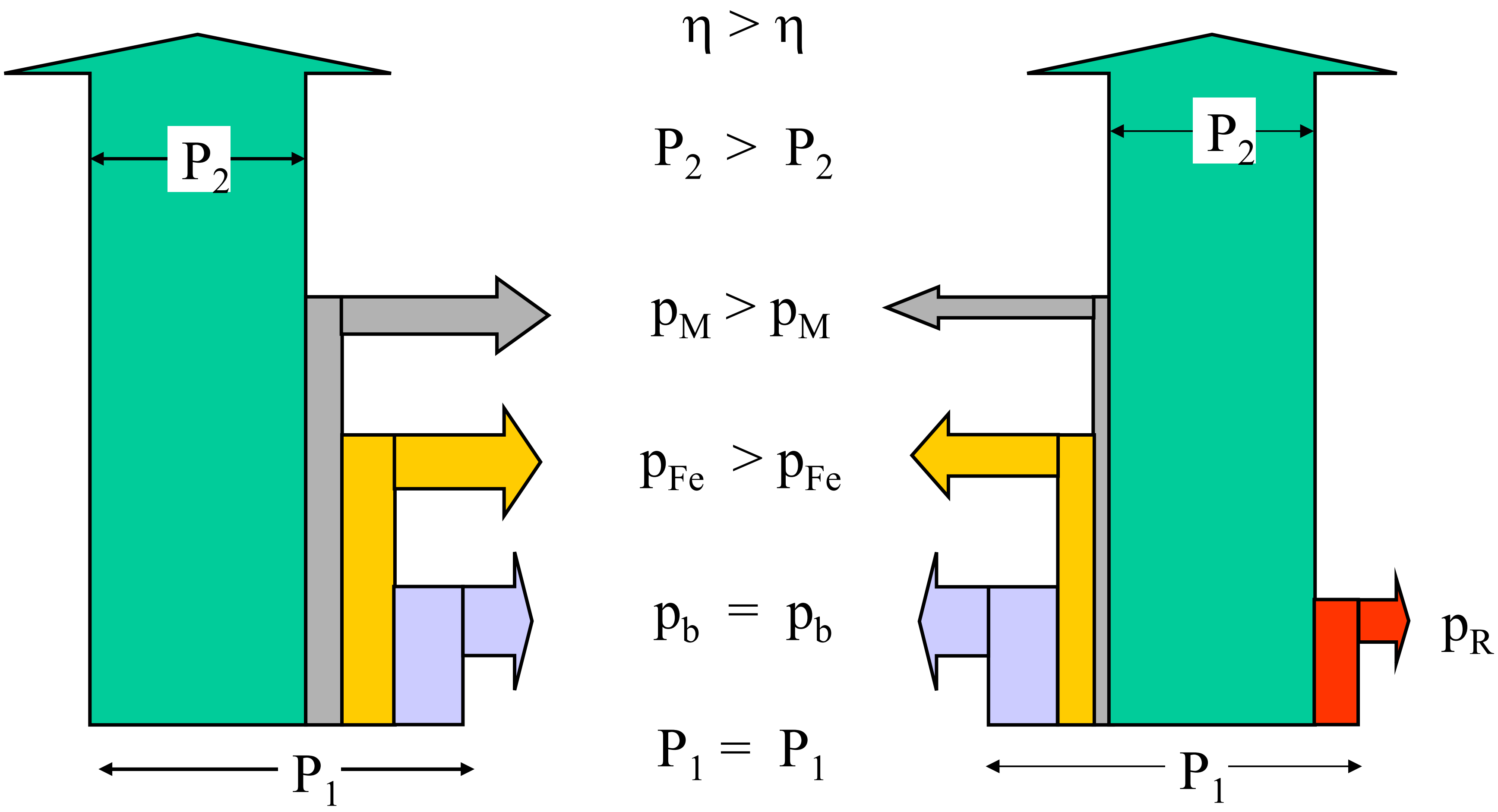
Șocul de curent este redus.

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

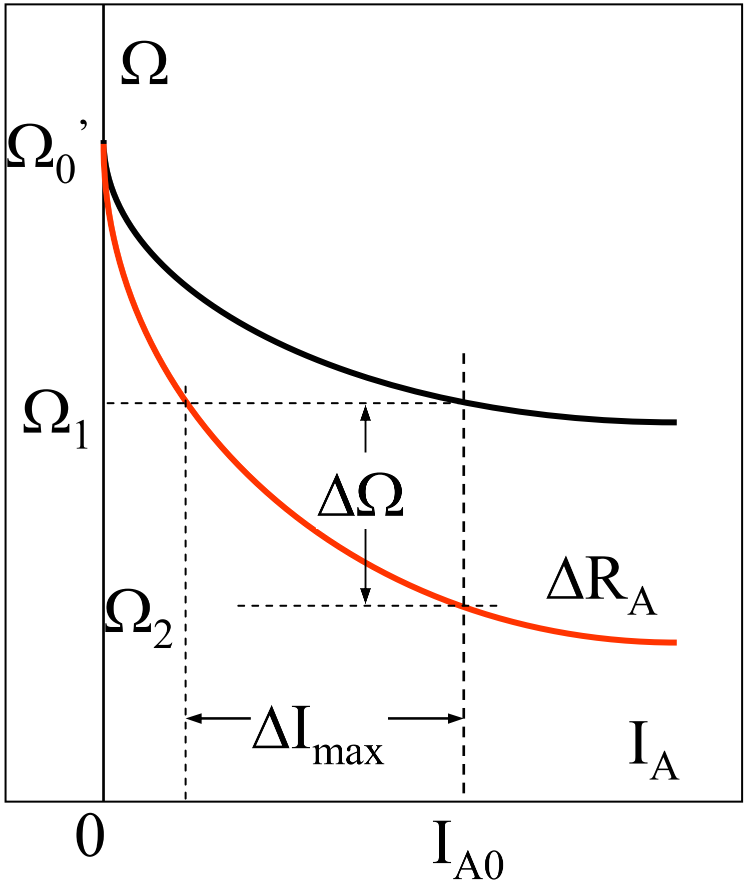
Modificarea rezistenței rotorice

Bilanțul energetic la creşterea rezistenței rotorice.

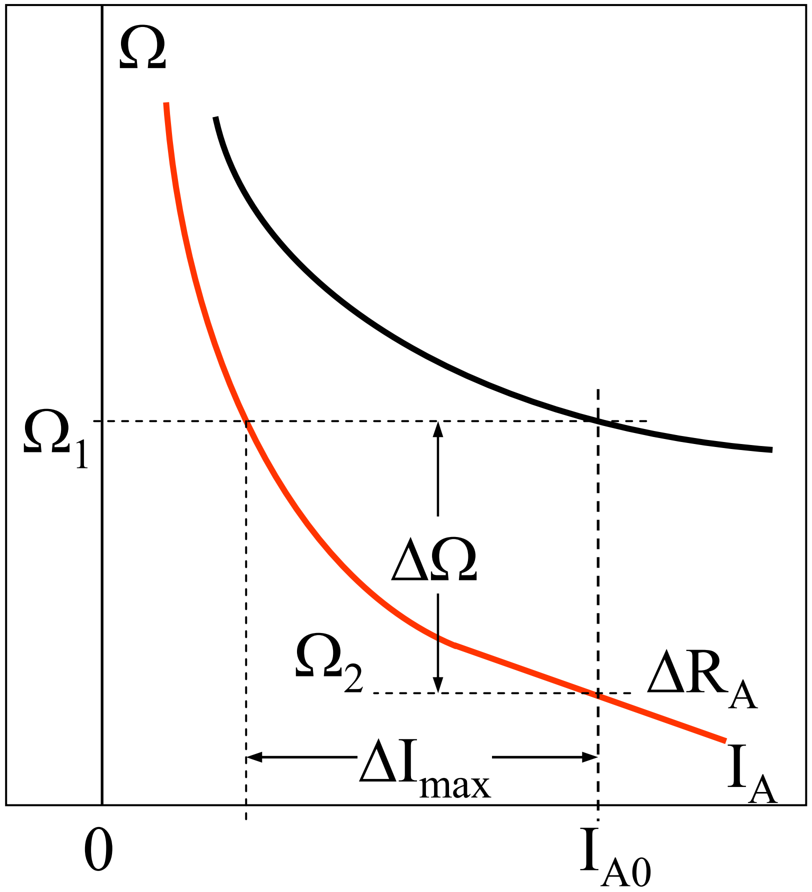
Se presupune tensiunea sursei constantă,şi cuplul rezistent constant.



Modificarea rezistenței rotorice



Motorul cu excitație mixtă



Motorul cu excitație serie

Exemplu

Un motor de curent continuu cu excitație separată, compensat, având datele nominale:

puterea $P_N = 10$ kW,
tensiunea $U_N = 220$ V,
curentul $I_N = 51$ A,
turația $n_N = 1800$ rot/min,
rezistența înfăşurării rotorice $R_A = 0.32\ \Omega$,
căderea de tensiune la perii $\Delta U_p = 2$ V.

Considerând că pierderile în fier şi mecanice variază liniar cu viteza de rotație să se calculeze bilanțul energetic al motorului în cazul înserierii unei rezistențe, dacă motorul dezvoltă cuplul electromagnetic $T = 30$ Nm la viteza de rotație $n = 1450$ rot/min.

Exemplu

Constanta de flux

$$C\phi = \frac{U_A - R_A I_A - \Delta U_p}{\Omega} = \frac{220 - 0{,}32 \cdot 51 - 2}{\dfrac{\pi \cdot 1800}{30}} = 1{,}070\ Vs$$

Pierderi şi puteri

Puterea absorbită $$P_a = U_A I_A = 220 \cdot 51 = 11.220\ W$$

Suma pierderilor $$\sum p = P_A - P_N = 11.220 - 10.000 = 1.220 W$$

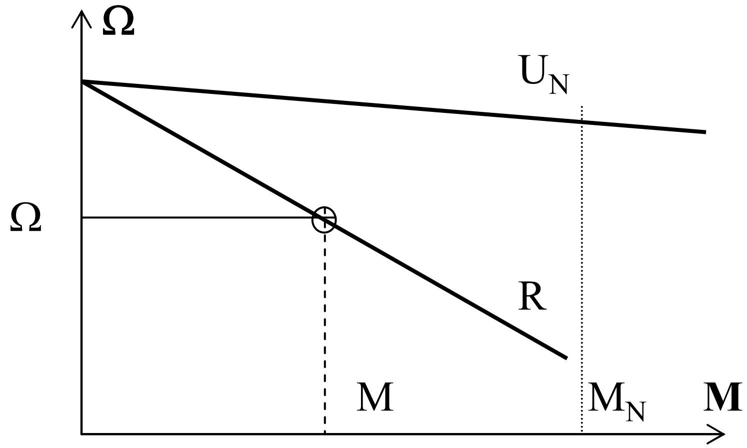
Pierderi în înfăşurări $$p_b = R_A I_A^2 = 0{,}32 \cdot 51^2 = 832{,}3 W$$

De trecere $$P_t = \Delta U_p I_A = 2 \cdot 51 = 102\ W$$

Exemplu

mecanice şi în fier

$$p_m + p_{Fe} = \sum p - p_b - p_t = 1220 - 832{,}3 - 102 = 285{,}7W$$



Caracteristicile mecanice ale motorului.

mecanice şi în fier la turaţia cerută

$$p_m + p_{Fe} = \frac{n}{n_N}\left(p_m + p_{Fe}\right)_N =$$

$$\frac{1450}{1800}285{,}7 = 230\,W$$

Curentul pentru cuplul cerut

$$I_A = \frac{M}{C\phi} = \frac{30}{1{,}07} = 28A$$

Rezistenţa necesară în circuit rotoric

$$R + R_A = \frac{U - \Delta U_p - C\phi\Omega}{I_A} = \frac{220 - 2 - 1{,}07 \cdot \dfrac{\pi \cdot 1450}{30}}{28} = 1{,}983\Omega$$

$$R = 1{,}983 - 0{,}32 = 1{,}663\Omega$$

Exemplu

Puterea absorbită $$P_a = U_A I_A = 220 \cdot 28 = 6160W$$

Pierderi în înfăşurări $$p_b = R_A I_A^2 = 0{,}32 \cdot 28^2 = 250{,}9\,W$$

Pierderi de trecere $$p_t = \Delta U_p \cdot I_A = 2 \cdot 28 = 56\,W$$

Pierderi în rezistență $$p_R = R I_A^2 = 1{,}663 \cdot 28^2 = 1303{,}8W$$

Pierderi totale $$\sum p = 230{,}1 + 250{,}9 + 56 + 1303{,}8 = 1840{,}8W$$

Puterea utilă $$P_U = P_a - \sum p = 6160 - 1840{,}8 = 4319{,}2\,W$$

Randamentul $$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{4319{,}2}{6160} = 0{,}701 << \eta_N = 0{,}891$$

Modificarea fluxului

Reducerea tensiunii excitației

Se consideră $\Delta R_A = \Delta u_A = \Delta C_r = \Delta R_E = 0$

$$\Delta u_E = (R_E + s \cdot L_E) \cdot \Delta i_E$$
$$0 = (R_A + s \cdot L_A) \cdot \Delta i_A + M_{AE} \cdot \omega_0 \cdot \Delta i_E + M_{AE} \cdot I_E \cdot \Delta\omega$$
$$s \frac{J}{p} \Delta\omega = \Delta C = p \cdot M_{AE} \cdot (I_E \cdot \Delta i_A + I_A \cdot \Delta i_E)$$

Rezultă :

$$\Delta i_E = \frac{\Delta u_E}{R_E + s \cdot L_E}$$
$$\Delta i_A = -\frac{\Delta u_E}{R_E + s \cdot L_E} \frac{p \cdot M_{AE} \cdot (c \cdot \Phi \cdot I_A + J \cdot \Omega_0 \cdot s)}{(R_A + s \cdot L_A) \cdot s \cdot J + (c \cdot \Phi)^2}$$
$$\Delta\Omega = -\frac{\Delta u_E}{R_E + s \cdot L_E} \frac{p \cdot M_{AE} \cdot (c \cdot \Phi \cdot \Omega_0 - (R_A + s \cdot L_A) \cdot I_A)}{(R_A + s \cdot L_A) \cdot s \cdot J + (c \cdot \Phi)^2}$$

Modificarea fluxului

La sfârşitul procesului

La $t = \infty$ $s \to 0$

$$\Delta i_E = \frac{\Delta u_E}{R_E}$$

$$\Delta i_A = -\frac{\Delta u_E}{R_E}\frac{p \cdot M_{AE} \cdot (c \cdot \Phi \cdot I_A)}{(c \cdot \Phi)^2} = -\frac{\Delta i_E}{I_E} I_A$$

$$\Delta\Omega = -\frac{\Delta u_E}{R_E}\frac{p \cdot M_{AE} \cdot (c \cdot \Phi \cdot \Omega_0 - R_A \cdot I_A)}{(c \cdot \Phi)^2} = -\frac{\Delta i_E}{I_E}\left(\Omega_0 - \frac{R_A \cdot I_A}{c \cdot \Phi}\right)$$

Se schimbă fluxul

$$c \cdot \Phi' = c \cdot \Phi \cdot \left(1 + \frac{\Delta i_E}{I_E}\right)$$

scade

curentul

$$i_A = I_A \cdot \left(1 - \frac{\Delta i_E}{I_E}\right)$$

creşte

T_M creşte

Regim oscilant

Modificarea fluxului

Modificarea rezistenței circuitului de excitație

Se consideră $\Delta R_A = \Delta u_A = \Delta C_r = \Delta u_E = 0$

$$0 = (R_E + s \cdot L_E) \cdot \Delta i_E + \Delta R_E \cdot I_E$$

$$0 = (R_A + s \cdot L_A) \cdot \Delta i_A + M_{AE} \cdot \omega_0 \cdot \Delta i_E + M_{AE} \cdot I_E \cdot \Delta\omega$$

$$s \frac{J}{p} \Delta\omega = \Delta C = p \cdot M_{AE} \cdot (I_E \cdot \Delta i_A + I_A \cdot \Delta i_E)$$

Rezultă:

$$\Delta i_E = -\frac{\Delta R_E \cdot I_E}{R_E + s \cdot L_E}$$

$$\Delta i_A = \frac{\Delta R_E \cdot I_E}{R_E + s \cdot L_E} \frac{p \cdot M_{AE} \cdot (c \cdot \Phi \cdot I_A + J \cdot \Omega_0 \cdot s)}{(R_A + s \cdot L_A) \cdot s \cdot J + (c \cdot \Phi)^2}$$

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta R_E \cdot I_E}{R_E + s \cdot L_E} \frac{p \cdot M_{AE} \cdot (c \cdot \Phi \cdot \Omega_0 - (R_A + s \cdot L_A) \cdot I_A)}{(R_A + s \cdot L_A) \cdot s \cdot J + (c \cdot \Phi)^2}$$

Modificarea fluxului

La sfsârşitul procesului

La $t = \infty$ $s \rightarrow 0$

$$\Delta i_E = -\frac{\Delta R_E}{R_E} I_E$$

$$\Delta i_A = \frac{\Delta R_E}{R_E} I_E \frac{p \cdot M_{AE} \cdot \left(c \cdot \Phi \cdot I_A\right)}{\left(c \cdot \Phi\right)^2} = \frac{\Delta R_E}{R_E} I_A$$

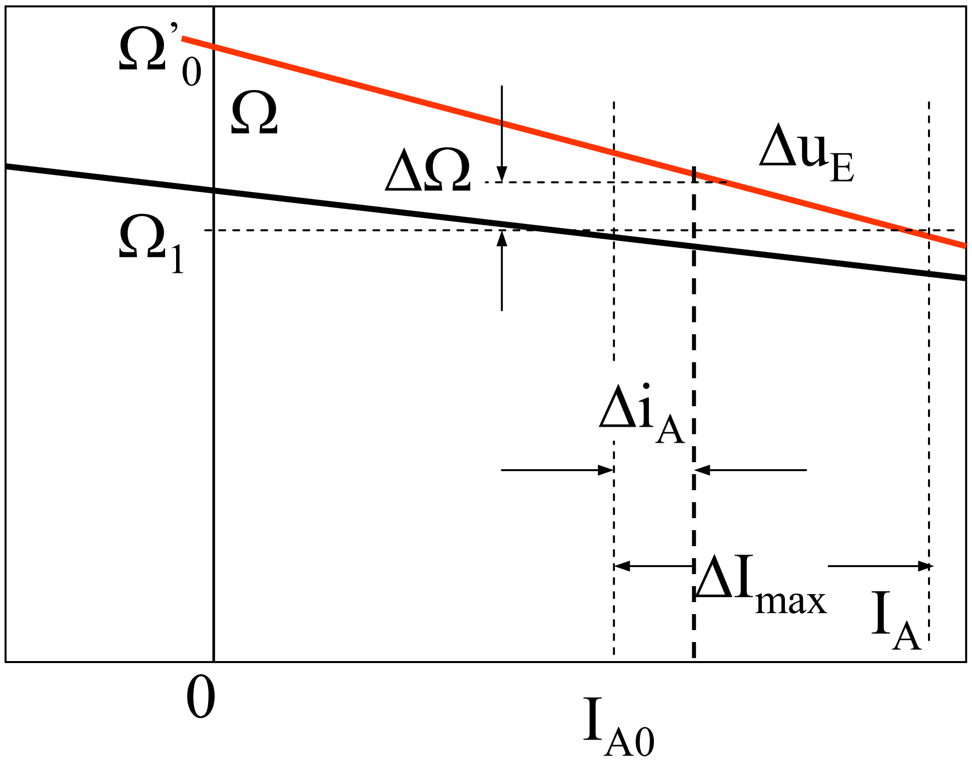
$$\Delta \Omega = \frac{\Delta R_E}{R_E} I_E \frac{p \cdot M_{AE} \cdot \left(c \cdot \Phi \cdot \Omega_0 - R_A \cdot I_A\right)}{\left(c \cdot \Phi\right)^2} = \frac{\Delta R_E}{R_E} \left(\Omega_0 - \frac{R_A \cdot I_A}{c \cdot \Phi} \right)$$

Se schimbă fluxul

$$c \cdot \Phi' = c \cdot \Phi \cdot \left(1 - \frac{\Delta R_E}{R_E} \right)$$

Constanta de timp mecanică, curentul din rotor, viteza de rotație

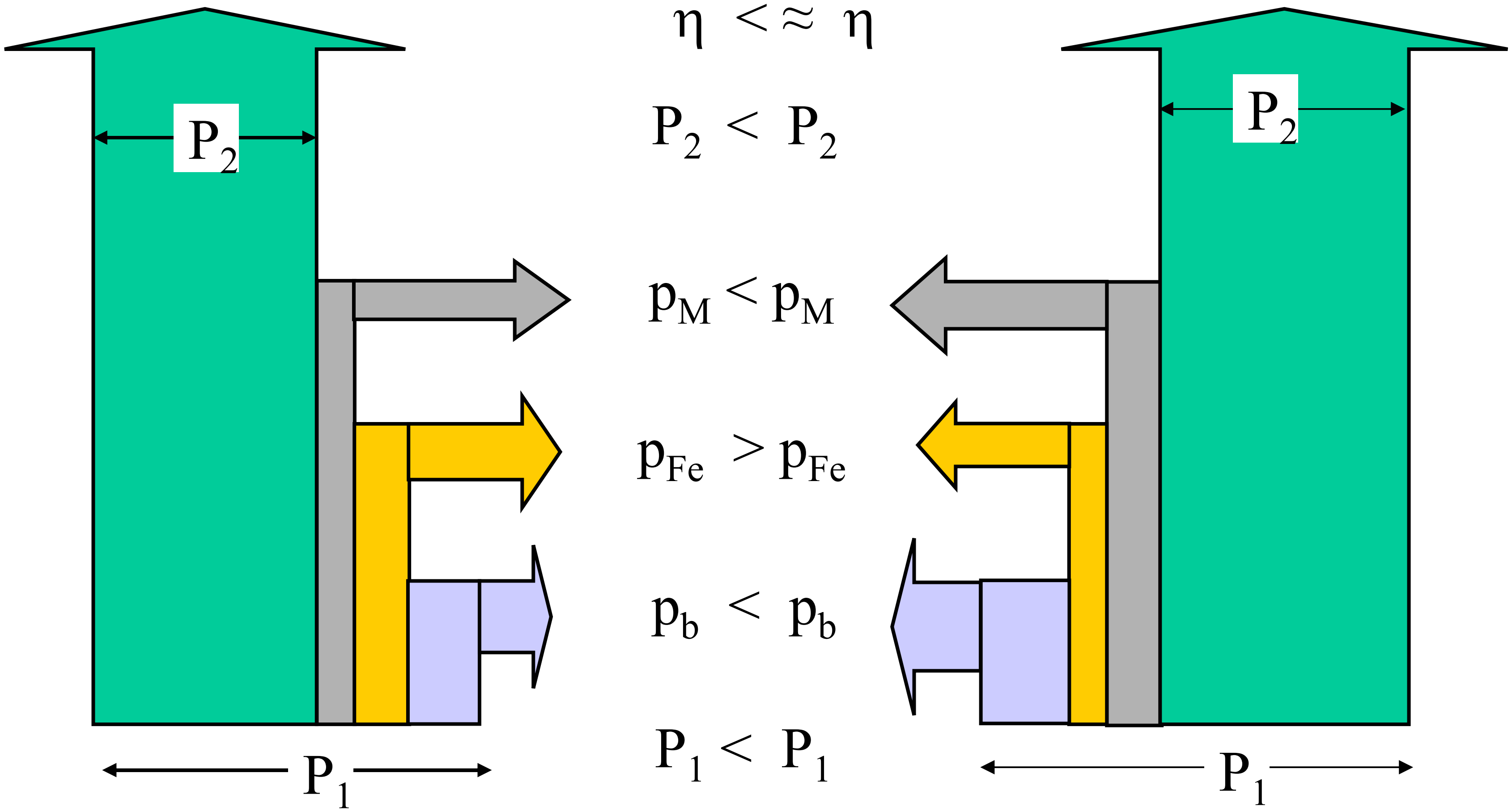
Modificarea fluxului



Modificarea fluxului

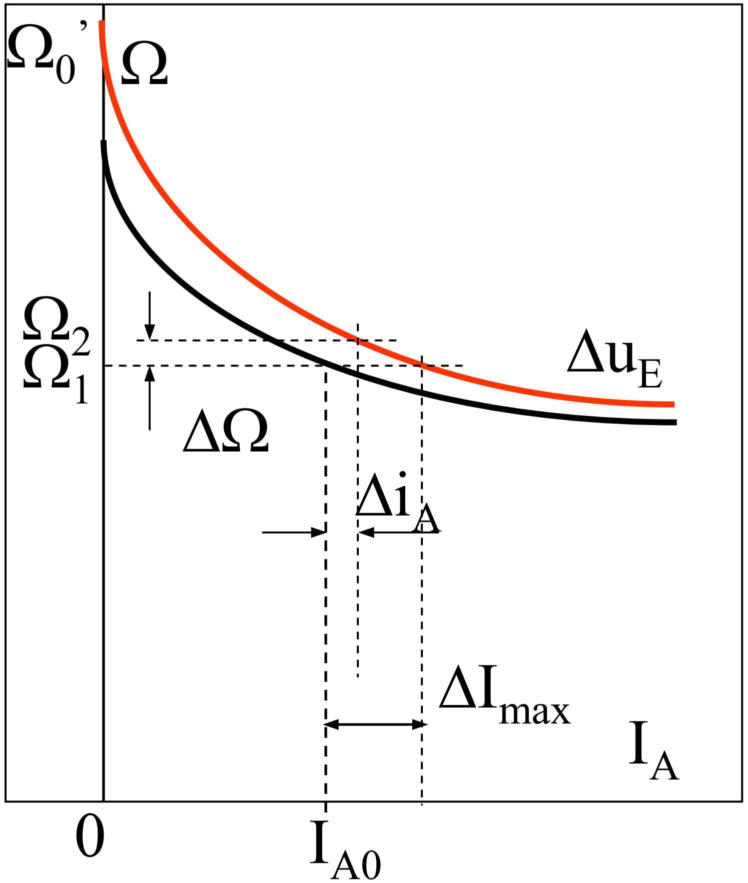
Bilanțul energetic la scăderea fluxului.

Se presupune tensiunea sursei constantă şi cuplul rezistent constant.



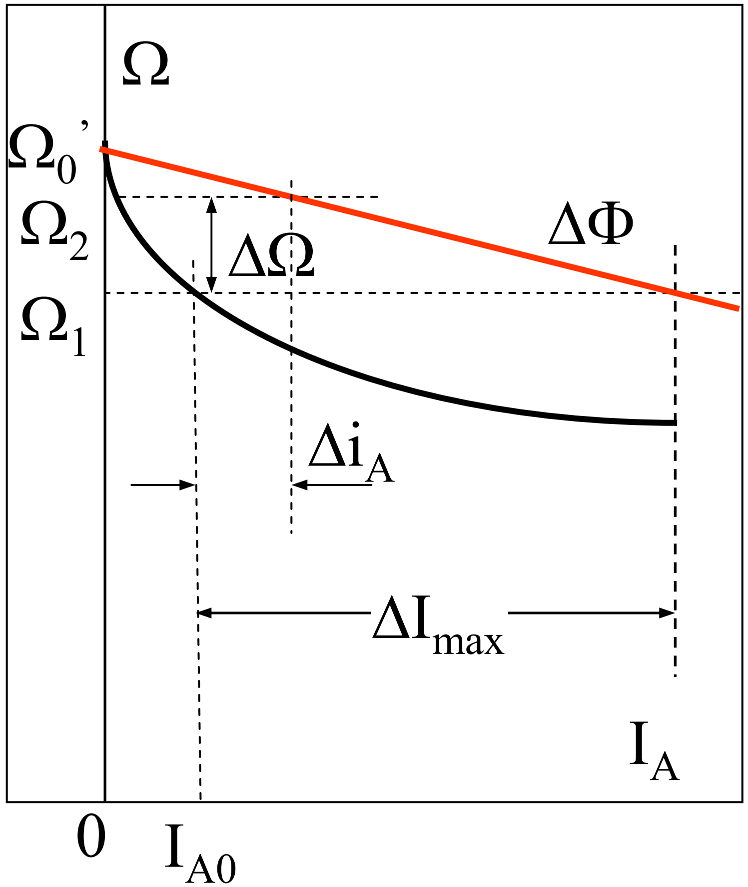
Modificarea fluxului

Reducerea tensiunii de excitaţie



Motorul cu excitaţie mixtă

Şuntarea excitaţiei serie

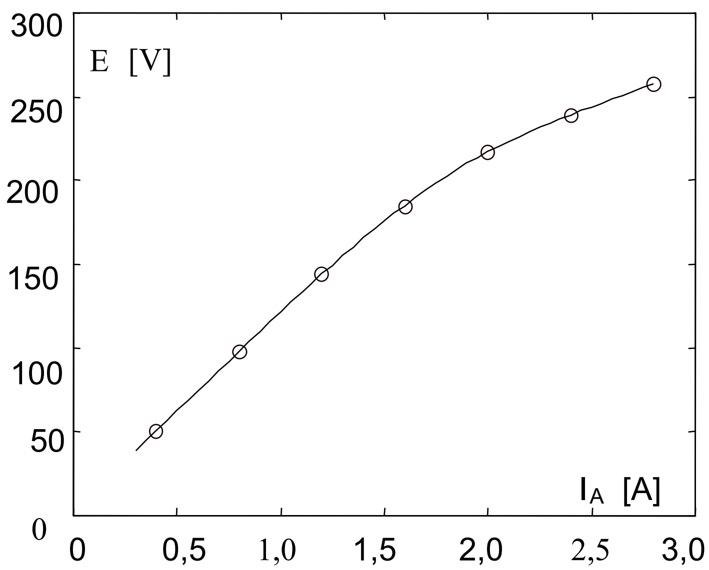


Motorul cu excitaţie mixtă

Exemplu

Un motor de curent continuu cu excitație derivație având 2p = 4 poli şi tensiunea U_N = 220 V; rezistenta R_A = 0,8 Ω , R_E = 110 Ω are caracteristica de mers in gol ridicată in regim de generator la turația n = 1500 rot/min

E V	50	98	144	185	217	239	258
i_E A	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8



Motorul dezvoltă cuplul electromagnetic

$$T = 15 \text{ Nm}$$

Se modifică rezistența în circutul de excitație cu :

$$\Delta R_E = 40\ \Omega$$

Curentul de excitație devine :

$$i_E = \frac{U}{R_E + \Delta R_E} = \frac{220}{110 + 40} = 1{,}466\ A$$

Exemplu

Expresia t.e.m. induse

$$E = p \cdot \Omega \cdot \Psi_{AE} = p \cdot M_{AE} \cdot i_E \cdot \Omega$$

Tensiunea electromotoare pentru curentul de excitație i_E = 1,466 A

$$E = 144 + \frac{185 - 144}{1,6 - 1,2}\left(1,466 - 1,2\right) = 171,265\,V$$

Fluxul

$$p \cdot \Psi_{AE} = c \cdot \phi = \frac{E}{\Omega} = \frac{171,265}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1500}{60}} = 1,09\,Vs$$

curentul

$$I_A = \frac{T}{C\phi} = \frac{15}{1,09} = 13,76\,A$$

Viteza de rotație

$$\Omega = \frac{U - R \cdot I_A}{c \cdot \phi} = \frac{220 - 0,8 \cdot 13,76}{1,09} = 189,9\ rad/s$$

$$n = \frac{60 \cdot \Omega}{2\pi} = 1813,4\ rot/\min$$

Exemplu

Parametrii motorului înainte de modificarea rezistenței de câmp

Curentul de excitație devine :

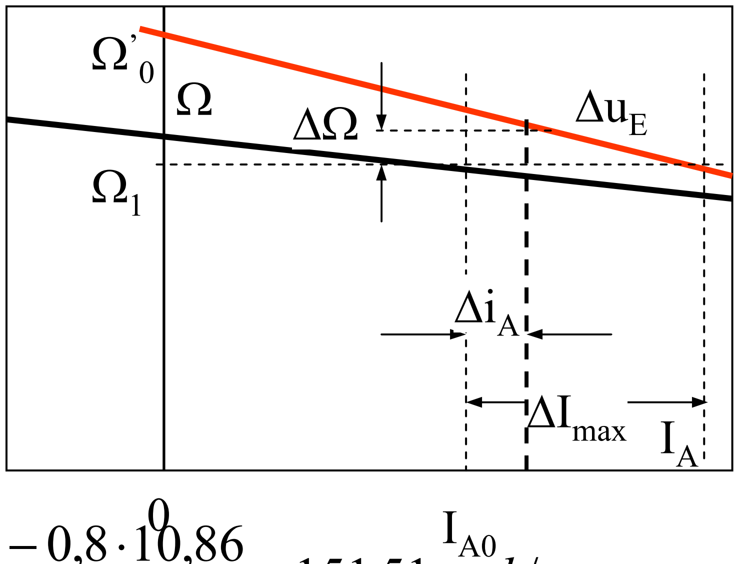
$$i_E = \frac{U}{R_E} = \frac{220}{110} = 2\ A$$

Tensiunea electromotoare pentru curentul de excitație $i_E = 2$ A

E = 217 V

Fluxul

$$p \cdot \Psi_{AE} = c \cdot \phi = \frac{E}{\Omega} = \frac{217}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1500}{60}} = 1{,}381\, Vs$$



curentul

$$I_A = \frac{T}{C\phi} = \frac{15}{1{,}381} = 10{,}86\, A$$

Viteza de rotație

$$\Omega = \frac{U - R \cdot I_A}{c \cdot \phi} = \frac{220 - 0{,}8 \cdot 10{,}86}{1{,}381} = 151{,}51\ rad/s$$

$$n = \frac{60 \cdot \Omega}{2\pi} = 1446{,}8\ rot/\min$$

Variația cuplului rezistent

Se consideră $\Delta R_A = \Delta u_A = \Delta R_E = \Delta u_E = 0$

Curentul de excitație, fluxul este constant

$$0 = \left(R_A + s \cdot L_A\right) \cdot \Delta i_A + M_{AE} \cdot I_E \cdot \Delta\omega$$

$$s\frac{J}{p}\Delta\omega = p \cdot M_{AE} \cdot \left(I_E \cdot \Delta i_A\right) - \Delta C_r$$

Întroducând viteza unghiulară mecanică şi constantele de timp

$$\Delta i_A = \frac{\Delta C_r}{c \cdot \Phi}\frac{1}{1 + s \cdot T_M \cdot \left(1 + s \cdot T_A\right)}$$

$$\Delta\Omega = -\frac{R_A \cdot \Delta C_r}{\left(c \cdot \Phi\right)^2}\frac{1 + s \cdot T_A}{1 + s \cdot T_M \cdot \left(1 + s \cdot T_A\right)}$$

Variația cuplului rezistent

La t = 0 $\quad s \to \infty$

$$\Delta i_A = 0 \qquad \frac{d\Delta i_A}{dt} = 0$$

$$\Delta\Omega = 0 \qquad \frac{d\Delta\Omega}{dt} = -\frac{\Delta C_r}{J}$$

La t = ∞ $\quad s \to 0$

$$\Delta i_A = \frac{\Delta C_r}{c \cdot \Phi} \qquad \frac{d\Delta i_A}{dt} = 0$$

$$\Delta\Omega = -\frac{\Delta C_r \cdot R_A}{(c \cdot \Phi)^2} \qquad \frac{d\Delta\Omega}{dt} = 0$$

Variatia cuplului rezistent

Modificarea tensiunii de alimentare

$$\Delta i_A = \frac{\Delta u_A}{R_A} \cdot \frac{s \cdot T_M}{(1 + s \cdot T_A) \cdot s \cdot T_M + 1}$$

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta u_A}{c \cdot \Phi} \cdot \frac{1}{(1 + s \cdot T_A) \cdot s \cdot T_M + 1}$$

Modificarea cuplului rezistent

$$\Delta i_A = \frac{\Delta C_r}{c \cdot \Phi} \frac{1}{1 + s \cdot T_M \cdot (1 + s \cdot T_A)}$$

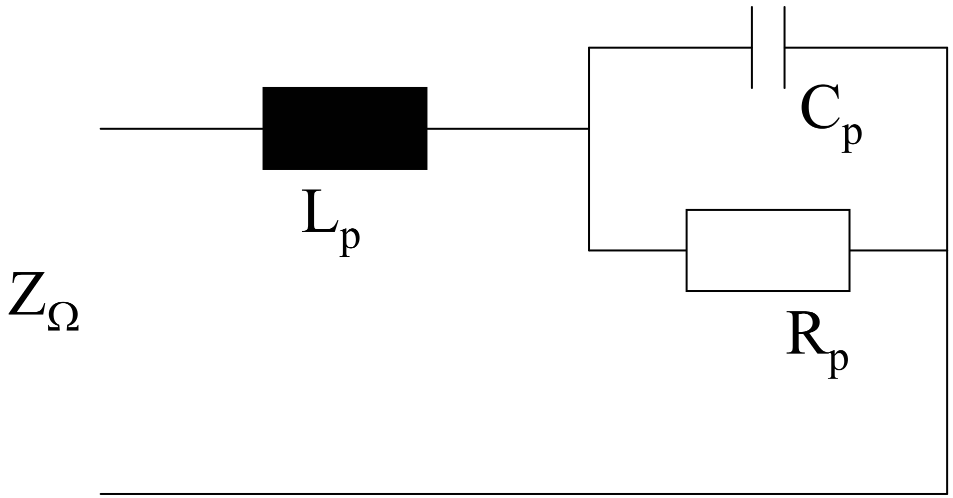
$$\Delta\Omega = -\frac{R_A \cdot \Delta C_r}{(c \cdot \Phi)^2} \frac{1 + s \cdot T_A}{1 + s \cdot T_M \cdot (1 + s \cdot T_A)}$$

Variația cuplului rezistent

Impedanța operațională

$$Z_\Omega = -\frac{\Delta C_r}{\Delta\Omega} = \frac{(c\cdot\Phi)^2}{R_A}\frac{1+s\cdot T_M + s^2\cdot T_A\cdot T_M}{1+s\cdot T_A}$$

$$Z_\Omega = s\cdot J + \frac{(c\cdot\Phi)^2}{R_A}\frac{1}{1+s\frac{L_A}{R_A}} = s\cdot L_p + R_p\frac{1}{1+s\cdot R_p\cdot C_p}$$



$$R_p = \frac{(c\cdot\Phi)^2}{R_A}$$

$$L_p = J$$

$$C_p = \frac{L_A}{(c\cdot\Phi)^2}$$

Variația cuplului rezistent

Cuplul rezistent oscilează

$$\Delta \underline{C}_r = \Delta C_r \cdot e^{j\cdot\omega\cdot t}$$

Impedanța operațională devine

$$Z_\Omega = j\cdot\omega\cdot J + \frac{(c\cdot\Phi)^2}{R_A}\frac{1}{1 + j\cdot\omega\cdot\frac{L_A}{R_A}} = j\cdot\omega\cdot L_p + R_p\frac{1}{1 + j\cdot\omega\cdot R_p\cdot C_p}$$

La rezonanță impedanța are valoarea minimă

$$\frac{dZ_\Omega}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \qquad \omega_r = \sqrt{\frac{1}{T_A\cdot T_M}\sqrt{1 + 2\frac{T_M}{T_A}} - \frac{1}{T_A^2}}$$

Frecvența de rezonanță

Variația cuplului rezistent

ω_r există , deci pot apare oscilații neamortizate dacă:

$$\frac{1}{T_A} \le \frac{1}{T_M}\sqrt{1+2\frac{T_M}{T_A}}$$

$$T_M \le \frac{T_A}{\sqrt{2}-1} \qquad \Rightarrow \quad J \le \frac{L_A}{\sqrt{2}-1}\left(\frac{c\cdot\Phi}{R_A}\right)^2$$

Dacă se consideră $$\Delta\underline{C}_r = 5\cdot e^{-j\cdot 50\cdot\pi\cdot t}$$

$$\Delta\underline{i}_A = 0.945\cdot e^{-j\cdot 2.69}$$

$$\omega_r = 17.845 \quad r/s$$

$$\Delta\underline{\Omega} = 0.356\cdot e^{j\cdot 1.621}$$