

Determinarea parametrilor pentru reglarea vitezei acțiunilor electromecanice cu motor asincron

Datorită avantajelor constructive și de exploatare pe care le prezintă motorul asincron față de celelalte motoare, în ultimii ani s-au făcut ample cercetări privind reglarea vitezei acestora. Unele metode, devenite clasice, sunt în curs de extindere deoarece asigură indici de calitate comparabili cu cei ai acțiunilor cu motoare de curent continuu.

a) metode specifice motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit, la care comanda se face în stator

- modificarea numărului perechilor de poli ai statorului;
- modificarea amplitudinii tensiunii de alimentare a statorului;
- modificarea frecvenței tensiunii de alimentare a statorului;
- modificarea simultană și corelată a amplitudinii și frecvenței tensiunii de alimentare a statorului;
- modificarea impedanței statorice;

b) metode specifice motoarelor asincrone cu rotorul bobinat, la care comanda se face în rotor

- modificarea impedanței circuitului rotoric;
- introducerea unei tensiuni auxiliare în circuitul rotoric.

1. Alegerea metodei de reglare a vitezei

Pentru alegerea metodei de reglare a vitezei se consideră cunoscută caracteristica statică a mașinii de lucru $M_s=f(\Omega)$.

Se calculează viteza Ω_{nat} la care ar funcționa acțiunea pe caracteristica mecanică naturală a motorului asincron și se compară cu viteza Ω_s impusă prin procesul tehnologic.

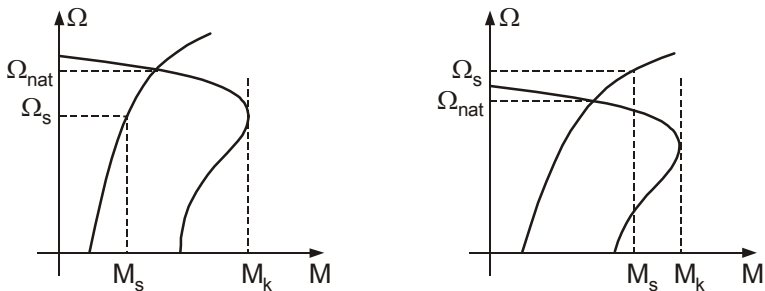


Figura 1. Explicativă pentru alegerea metodei de reglare a vitezei

Dacă $\Omega_{\text{nat}} > \Omega_s$ se va adopta una dintre următoarele metode:

- modificarea amplitudinii tensiunii de alimentare dacă $\frac{\Omega_{\text{nat}}}{\Omega_s} < 1,2$;
- modificarea numărului de perechi de poli dacă $\frac{\Omega_{\text{nat}}}{\Omega_s} \approx \left[\frac{\Omega_{\text{nat}}}{\Omega_s} \right]$;
- modificarea impedanței circuitului rotoric (rezistența sau reactanța) dacă $\frac{\Omega_{\text{nat}}}{\Omega_s} \leq 2$;
- introducerea unei tensiuni auxiliare în circuitul rotoric dacă $\frac{\Omega_{\text{nat}}}{\Omega_s} \leq 2$, iar tensiunea nominală a motorului este mai mare de 380 V;
- alimentarea motorului de la un convertor static dacă $\frac{\Omega_{\text{nat}}}{\Omega_s} > 2$.

Principial se pot adopta și alte metode (ex. cuplarea în cascadă a două motoare asincrone) dar acestea sunt cazuri particulare pentru a căror aplicare trebuie făcută o analiză specială.

Dacă $\Omega_{\text{nat}} < \Omega_s$ se va adopta una dintre următoarele soluții:

- se alege un motor cu turația de sincronism mai mare;
- modificarea numărului de perechi de poli dacă $\frac{\Omega_{\text{nat}}}{\Omega_s} \approx \left[\frac{\Omega_{\text{nat}}}{\Omega_s} \right]$;
- modificarea frecvenței tensiunii de alimentare;
- introducerea unei tensiuni auxiliare în circuitul rotoric.

2. Determinarea parametrilor pentru reglarea vitezei prin modificarea numărului de perechi de poli

Această metodă este utilizată în practică la mașinile de lucru care trebuie să dezvolte în timpul procesului tehnologic 2-3 trepte de viteză: ascensoare, mașini de găurit, mașini unelte cu avans tehnologic și avans rapid, etc.

Din analiza expresiei turației de sincronism

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p},$$

respectiv a vitezei

$$\Omega = \Omega_0 (1-s) = \frac{2\pi f_1}{p} (1-s),$$

rezultă că reglarea vitezei prin această metodă se face în trepte, putându-se aplica numai motoarelor electrice cu rotorul în scurtcircuit, de construcție specială, care au în stator două sau mai multe înfășurări independente, bobinate pentru perechi de poli diferite sau au o singură înfășurare cu mai multe bobine.

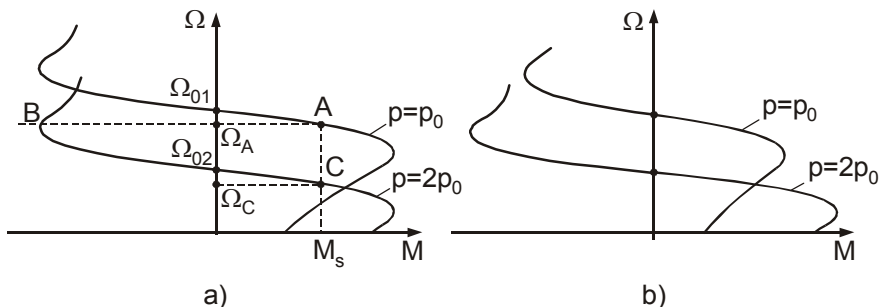


Figura 2. Caracteristicile mecanice: a) $M_k=ct$, b) $P=ct$, pentru $p=p_0$ și $p=2p_0$.

Cunoscând valoarea cuplului static M_s și a turațiilor n_{\min} , n_{\max} , respectiv vitezelor unghiulare Ω_{\min} , Ω_{\max} de funcționare staționară, se identifică cele mai apropiate turații de sincronism.

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p}; \quad \Omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$$

$n_0 = (3000 \text{ rot/min}, 1500 \text{ rot/min}, 1000 \text{ rot/min}, 750 \text{ rot/min}, 600 \text{ rot/min})$

$\Omega_0 = (314 \text{ rad/sec}, 157 \text{ rad/sec}, 104 \text{ rad/sec}, 785 \text{ rad/sec}, 62,8 \text{ rad/sec})$

Se calculează numărul de perechi de poli

$$p = \frac{60 f_1}{n_0}; \quad p = \frac{2\pi f_1}{\Omega_0}$$

Se aleg conexiunile adecvate pentru semiînfășurări ținând seama de numărul de poli obținuți și de variația puterii, respectiv a cuplului admisibil.

a) pentru conexiunea simplă stea

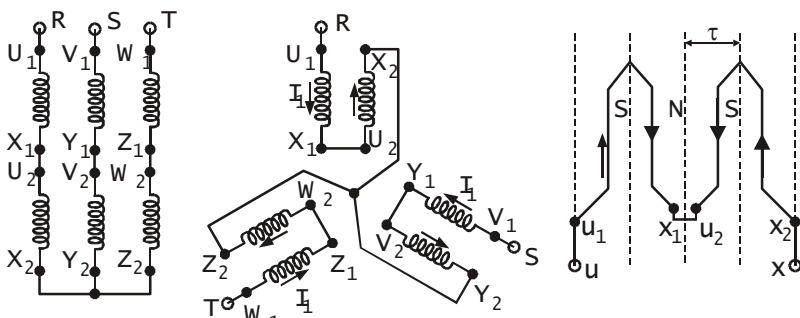
- puterea activă

$$P_Y = \sqrt{3} U_I I_1 \cos \varphi = \sqrt{3} U_I I_1 \cos \varphi$$

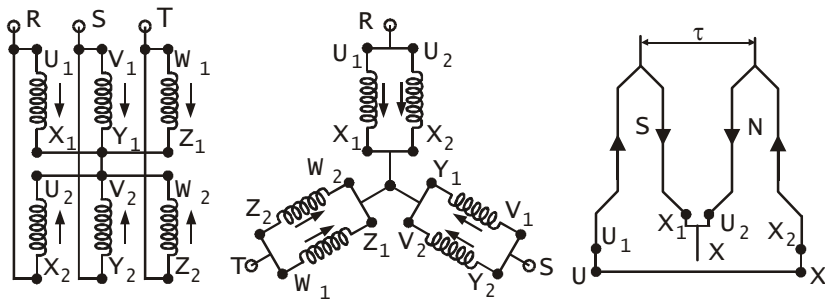
unde I_1 este curentul care trece printr-o semiînfășurare

- cuplul electromagnetic

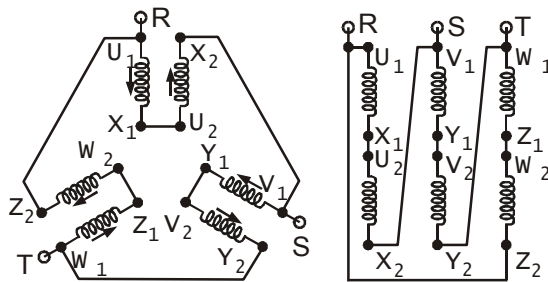
$$M_Y = \frac{P_Y}{\Omega_0} = \frac{P_Y}{2\pi f_1} \cdot 2p_0$$



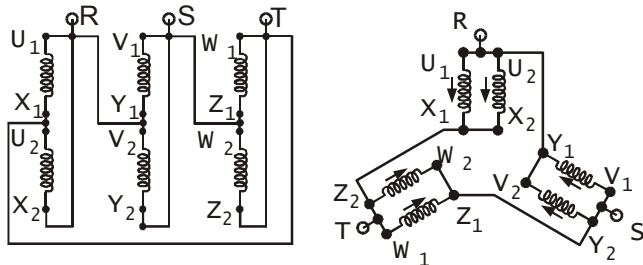
a) Schema de principiu pentru conexiunea simplă stea ($p=2p_0$)



b) Schema de principiu pentru conexiunea dublă stea ($p=p_0$)



c) Schema de principiu pentru conexiunea simplu triunghi ($p=2p_0$)



d) Schema de principiu pentru conexiunea dublu triunghi ($p=p_0$)

Figura 3. Scheme de principiu pentru diferite tipuri de conexiuni

b) pentru conexiunea dublă stea

- puterea activă

$$P_{YY} = \sqrt{3} U_1 2I_1 \cos \varphi = 2\sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi$$

- cuplul electromagnetic $M_{YY} = \frac{P_{YY}}{\Omega_0} = \frac{P_{YY}}{2\pi f_1} p_0$

c) pentru conexiunea simplu triunghi

- puterea activă

$$P_{\Delta} = \sqrt{3} U_1 \sqrt{3} I_1 \cos \varphi = 3U_1 I_1 \cos \varphi$$

- cuplul electromagnetic $M_{\Delta} = \frac{P_{\Delta}}{\Omega_0} = \frac{P_{\Delta}}{2\pi f_1} 2p_0$

d) pentru conexiunea dublu triunghi

- puterea activă:

$$P_{\Delta\Delta} = \sqrt{3} U_1 \cdot 2\sqrt{3} I_1 \cos \varphi = 2 \cdot 3U_1 I_1 \cos \varphi$$

- cuplul electromagnetic: $M_{\Delta\Delta} = \frac{P_{\Delta\Delta}}{\Omega_0} = \frac{P_{\Delta\Delta}}{2\pi f_1} p_0$

Din analiza acestor relații se constată că:

- reglarea vitezei prin comutarea conexiunii din dublă stea ($p = p_0$) în simplă stea ($p = 2p_0$) se face la cuplu constant deoarece:

$$P_{YY} = 2P_Y, \text{ iar } \frac{M_{YY}}{M_Y} = \frac{P_{YY}}{2P_Y} = 1$$

De asemenea trecerea punctului de funcționare din A în C se face printr-un regim de frână recuperativă și un regim de decelerare.

- reglarea vitezei prin comutarea conexiunii din dublă stea ($p = p_0$) în triunghi ($p = 2p_0$) se face la putere constantă.

$$\frac{P_{YY}}{P_{\Delta}} = \frac{2\sqrt{3}}{3} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15 \approx 1 \quad \text{iar} \quad \frac{M_{YY}}{M_{\Delta}} = \frac{P_{YY}}{2P_{\Delta}} = 0,57$$

- reglarea vitezei prin comutarea conexiunii din dublu triunghi ($p = p_0$) în simplu triunghi ($p = 2p_0$) se face la cuplu constant deoarece:

$$\frac{P_{\Delta\Delta}}{P_{\Delta}} = 2 \quad \text{iar} \quad \frac{M_{\Delta\Delta}}{M_{\Delta}} = \frac{P_{\Delta\Delta}}{2P_{\Delta}} = \frac{2P_{\Delta}}{2P_{\Delta}} = 1$$

3. Determinarea parametrilor pentru reglarea vitezei prin alimentare cu tensiune variabilă.

Pentru determinarea tensiunii de alimentare U_{1X} , se particularizează ecuația caracteristicii statice pentru punctul de funcționare staționară impus (M_s, Ω_s).

Se calculează mai întâi alunecarea corespunzătoare:

$$s_s = \frac{\Omega_0 - \Omega_s}{\Omega_0}$$

apoi

$$M_s = \frac{2M_{ku}}{\frac{s_s}{s_k} + \frac{s_k}{s_s}}$$

unde s_k – alunecarea critică pe caracteristica mecanică naturală

De aici

$$M_{ku} = \frac{M_s}{2} \cdot \left(\frac{s_s}{s_k} + \frac{s_k}{s_s} \right)$$

Din proprietățile caracteristicilor mecanice rezultă

$$\frac{M_k}{M_{ku}} = \left(\frac{U_{1N}}{U_{1X}} \right)^2$$

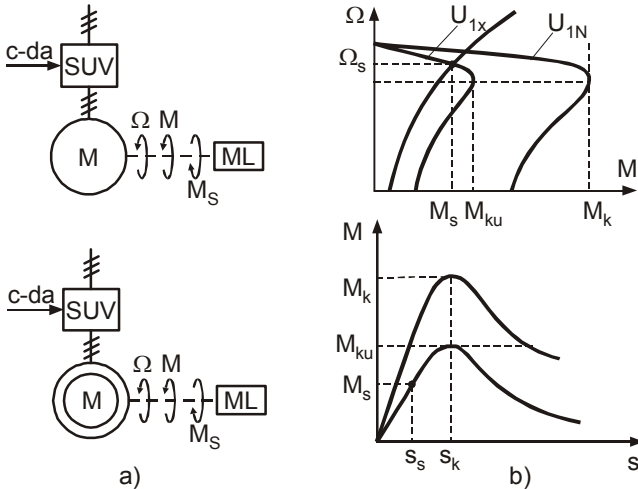


Figura 4. Reglarea vitezei pe caracteristici de tensiune
a) Schema de principiu; b) Caracteristicile mecanice.

iar în final

$$U_{1X} = U_{1N} \cdot \sqrt{\frac{M_{ku}}{M_k}}$$

Din condiția $M_{ku} = M_N$ sau $M_{ku} = M_s$ se obține cea mai mică tensiune cu care poate fi alimentat motorul pentru a exista un punct de funcționare staționară.

$$U_{1min} = U_{1N} \cdot \sqrt{\frac{M_N}{M_k}} = U_{1N} \cdot \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

sau

$$U_{1min} = U_{1N} \cdot \sqrt{\frac{M_s}{M_k}}$$

4. Determinarea parametrilor pentru reglarea vitezei prin alimentarea cu frecvență variabilă.

Dacă $\Omega_s > \Omega_{nat}$, reglarea vitezei se face prin alimentare cu frecvența $f_{1X} > f_{1N}$ (fig. 7.23)

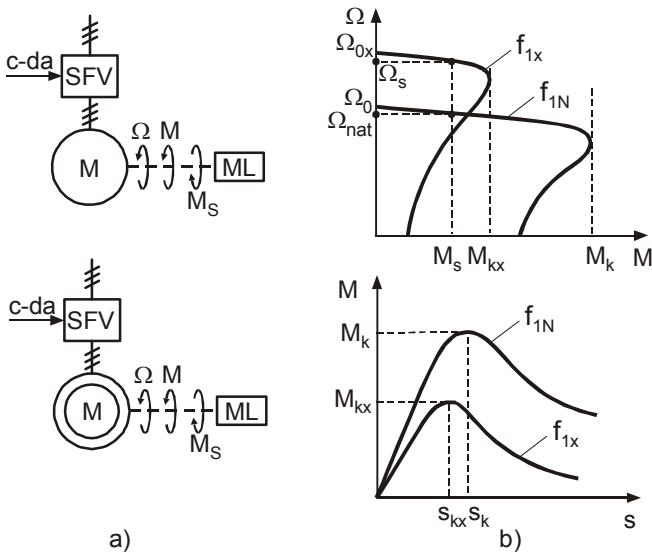


Figura 5.Reglarea vitezei pe caracteristici de frecvență
a)Schema de principiu; b)Caracteristicile mecanice.

Din ipoteza că cele două caracteristici mecanice sunt paralele între ele,se pot scrie rapoartele:

$$\frac{\Omega_{0x}}{\Omega_0} = \frac{\Omega_s}{\Omega_{nat}}$$

De aici

$$\Omega_{0x} = \frac{\Omega_s}{\Omega_{nat}} \Omega_0 = \frac{2\pi f_{1x}}{p}$$

În final

$$f_{1x} = \frac{p\Omega_0\Omega_s}{2\pi\Omega_{nat}}$$

Dacă $\Omega_s < \Omega_{nat}$ atunci $f_{1x} < f_{1N}$. Deoarece reducerea frecvenței determină saturarea mașinii, este necesară reducerea simultană și a tensiunii de alimentare,reglarea vitezei făcându-se pe caracteristici combinate de tensiune și frecvență.

5. Determinarea parametrilor pentru reglarea vitezei prin alimentarea cu tensiune și frecvență variabilă.

Principiul de determinare a parametrilor se bazează pe ipoteza că cele două caracteristici mecanice sunt paralele în porțiunea liniară și deci

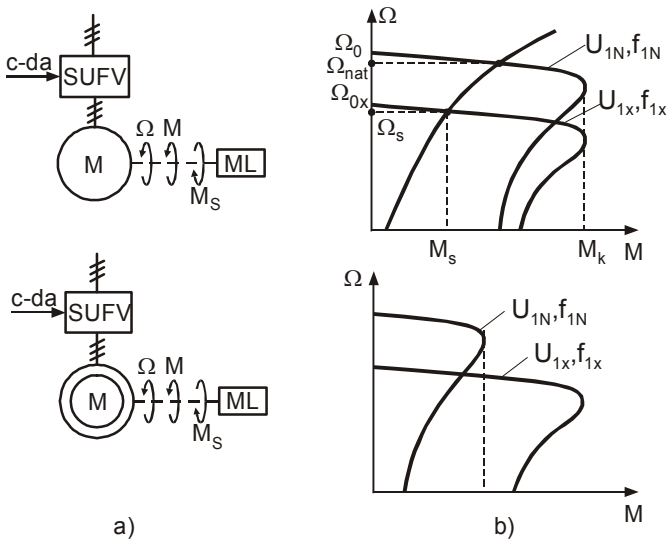


Figura 6.Reglarea vitezei pe caracteristici de tensiune și frecvență
a)Schema de principiu; b)Caracteristicile mecanice.

$$\frac{\Omega_{\text{nat}}}{\Omega_s} = \frac{\Omega_0}{\Omega_{0x}} = \frac{f_{1N}}{f_{1x}}$$

De aici

$$f_{1x} = f_{1N} \frac{\Omega_s}{\Omega_{\text{nat}}}$$

Dacă reglarea vitezei se face la cuplu constant, atunci

$$\frac{U_{1N}}{U_{1x}} = \frac{f_{1N}}{f_{1x}}$$

În final

$$U_{1x} = U_{1N} \frac{f_{1x}}{f_{1N}}$$

Pentru a obține rezultate mai exacte se poate utiliza o metodă iterativă (în care rezultatele de mai sus reprezintă primul pas) și expresii analitice în care frecvența apare explicit.

6. Determinarea parametrilor pentru reglarea vitezei prin modificarea rezistenței rotorice

Pentru determinarea rezistenței suplimentare R_{2S} se particularizează ecuația caracteristicii mecanice reostatice pentru punctul de funcționare impus (M_S, Ω_S). Se calculează alunecarea

$$s_S = \frac{\Omega_0 - \Omega_S}{\Omega_0} = \frac{n_0 - n_S}{n_0}$$

și se particularizează ecuația ecuația caracteristicii statice

$$M_S = \frac{2M_k}{\frac{s_S}{s_{kR}} + \frac{s_{kR}}{s_S}}$$

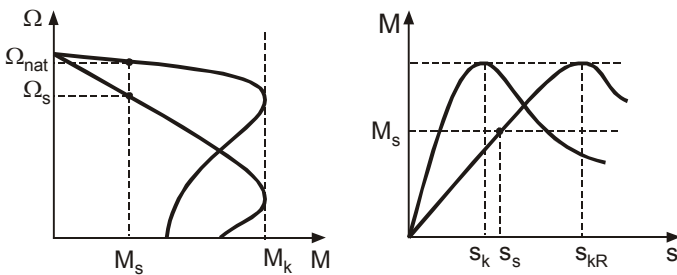


Figura 7. Reglarea vitezei pe caracteristici reostatice

De aici

$$S_{kR} = S_S \left(\frac{M_k}{M_s} \pm \sqrt{\left(\frac{M_k}{M_s} \right)^2 - 1} \right)$$

Din proprietățile caracteristicilor statice se obține rezistența suplimentară

$$R_{2S} = \frac{S_{kR}}{S_S} R_{20}$$

Deși metoda prezintă o serie de dezavantaje, dintre care cel mai important este legat de pierderile de energie pe rezistența suplimentară, ea se utilizează în multe aplicații pentru motoare de putere mare alimentate la 6 kV dar și pentru motoare de joasă tensiune. Unele dezavantaje clasice, legate de dimensiunile de gabarit, fiabilitatea redusă datorită conexiunilor multiple, dificultățile de introducere într-un sistem automat au fost diminuate sau eliminate prin soluții tehnologice moderne, cum ar fi „reostatul electronic”.

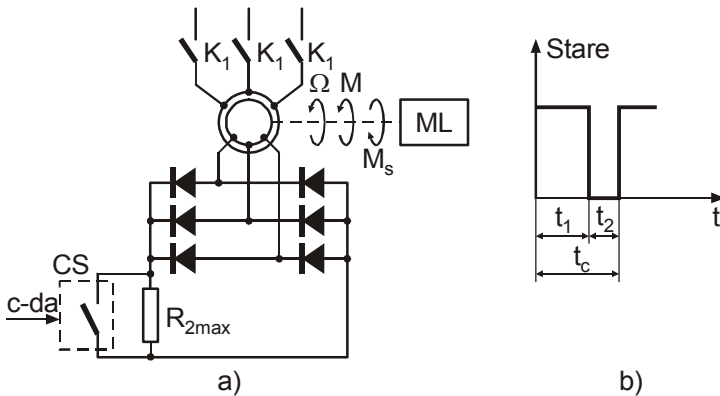


Figura 8. Reglarea vitezei cu reostat electronic
a) schema de forță; b) legea de comandă a contactorului static

Contactorul static este comandat cu factor de semnal variabil

$$\alpha = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

iar rezistența medie

$$R_{2med.} = (1 - \alpha) R_{2max.}$$

Rezistența \$R_{2max}\$ se calculează pentru a asigura pornirea, iar factorul de semnal \$\alpha\$ pentru reglarea vitezei din condiția:

$$R_{2S} = (1 - \alpha) R_{2max.}$$

Rezultă

$$\alpha = \frac{R_{2max} - R_{2S}}{R_{2max}}$$