

Determinarea parametrilor pentru pornirea acționărilor electromecanice cu motoare asincrone

1. Alegerea metodei de pornire

La alegerea metodei de pornire se ține seama de:

- puterea instalată a rețelei de alimentare; se pot porni prin cuplarea directă la rețea motoarele asincrone trifazate cu puteri până la 5,5 kW dacă rețeaua de joasă tensiune a consumatorului nu este separată prin transformatoare de rețeaua furnizorului sau motoare cu puteri până la 10-20% din puterea instalată a transformatorului care separă cele două rețele.
- restricțiile impuse de buna funcționare a altor consumatori cuplați la aceeași rețea de alimentare: (tensiunea în rețea să nu scadă sub $0,9U_{IN}$).
- frecvența pornirilor;
- restricțiile privind șocul de pornire;
- tipul caracteristicii statice a mașinii de lucru;
- pierderile în timpul pornirii;
- costul echipamentului utilizat pentru pornirea acționării.

Determinarea parametrilor pentru pornire urmărește:

- determinarea cuplului de pornire dezvoltat de motor;
- calculul valorilor parametrilor care se modifică în timpul pornirii: tensiune, rezistență, tensiune și frecvență;
- timpul de pornire.

2. Determinarea parametrilor pentru pornirea prin cuplare directă la rețeaua electrică de alimentare

Este o metodă de pornire simplă care necesită un aparataj de comandă minimal. Limitele de aplicare sunt legate de puterea instalată a rețelei, curentul solicitat în momentul inițial al pornirii și perturbarea altor consumatori, valoarea cuplului static.

Determinarea parametrilor pentru pornirea prin cuplare directă la rețea presupune:

a) calculul cuplului de pornire dezvoltat de motor:

$$M_p = \frac{2 M_k s_k}{1 + s_k^2}$$

Dacă $M_s \neq 0$, pentru ca pornirea să poată fi realizată, atunci $M_p > M_s$ ($\Omega=0$).

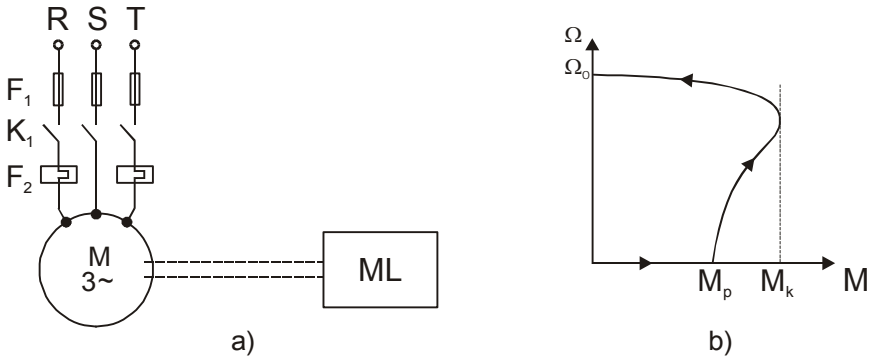


Fig.7.7. Pomirea prin cuplare directă la rețea:

a) schema de principiu; b) deplasarea punctului de funcționare.

b) calculul curentului de pornire, dacă se cunosc toți parametrii electromagnetici;

c) calculul timpului de pornire. Acesta poate fi aproximat sau calculat în mai multe variante în funcție de ipotezele simplificatoarele considerate.

- neglijând fenomenele tranzitorii electromagnetice, considerând că $M_s=0$ și admitând că regimul tranzitoriu mecanic se încheie după 3-4 constante de timp specifice atunci:

$$t_p = (3-4)T_M$$

$$T_M = \frac{J\Omega_0}{M_k} \quad \text{- constanta mecanică de timp}$$

J - momentul de inerție total al acționării (motor + mașină de lucru)

- neglijând fenomenele tranzitorii electromagnetice, considerând că $M_s=0$ și admitând că în timpul pornirii cuplul dezvoltat de motor urmărește caracteristica statică, timpul de pornire se determină prin integrarea ecuației mișcării.

$$m = J \frac{d\omega}{dt}$$

unde:

$$m = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

ținând seama că $\omega = \Omega_0(1-s)$, se obțin:

$$\frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} = -J\Omega_0 \frac{ds}{dt}$$

Explicitând diferențiala timpului:

$$dt = -\frac{J\Omega_0}{M_k} \frac{1}{2} \left(\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} \right) ds$$

și integrând de la s_{in} la s_{fin} se obține:

$$t_p = -\frac{T_M}{2} \int_{s_{in}}^{s_{fin}} \left(\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} \right) ds$$

Respectiv:

$$\begin{aligned} t_p &= \frac{T_M}{2} \int_{s_{fin}}^{s_{in}} \left(\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} \right) ds = \\ &= \frac{T_M}{2} \left[\frac{s_{in}^2 - s_{fin}^2}{2s_k} + s_k \ln \frac{s_{in}}{s_{fin}} \right] \end{aligned}$$

În procesul de pornire $s_{in}=1$, iar pentru alunecarea finală se adoptă valoarea $s_{fin}=0,01$. Rezultă astfel, pentru timpul de pornire în gol, relația:

$$t_{po} = \frac{T_M}{2} \left[\frac{1}{2s_k} + s_k \ln 100 \right]$$

3. Determinarea parametrilor pentru pornirea pe caracteristici de tensiune

Principiul metodei constă în alimentarea motorului cu tensiune redusă în momentul pornirii și creșterea în trepte sau progresivă a acesteia până la valoarea nominală.

Creșterea în trepte se obține prin conectarea stea-triunghi a înfășurărilor statorice sau alimentarea de la un transformator cu prize intermediare, iar creșterea

progresivă se obține prin alimentarea motorului de la un autotransformator sau variator de tensiune alternativă (VTA).

Pornirea stea-triunghi se utilizează în mod obișnuit pentru motoarele de joasă tensiune care funcționează cu înfășurările statorice conectate în triunghi, pornesc în gol sau antrenează mașini de lucru care dezvoltă cuplu static proporțional cu viteza (generatoare de sudură) sau cu pătratul vitezei (ventilatoare centrifugale, pompe centrifugale). Pentru schimbarea conexiunii din stea în triunghi, se folosesc comutatoare manuale sau scheme automate cu contactoare (fig.7.8).

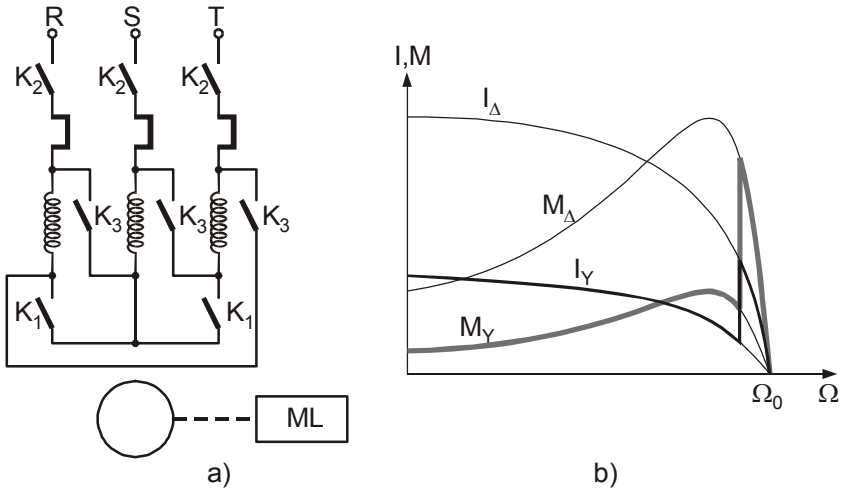


Fig.7.8. Pornirea stea-triunghi cu ajutorul unui comutator automat cu contactoare: a) schema de principiu; b) curbele curentului și cuplului.

Determinarea parametrilor de pornire stea-triunghi presupune:

a) calculul cuplului de pornire dezvoltat de motor

Deoarece tensiunea de fază scade de $\sqrt{3}$ ori la conexiunea stea, cuplul electromagnetic de pornire scade de 3 ori față de cel corespunzător pornirii directe cu conexiunea triunghi, indicat în catalog (tab.7.1)

$$M_{pY} = \frac{1}{3} M_{pd\Delta}$$

Pentru ca pornirea să poată fi realizată trebuie îndeplinită condiția:

$$M_{pY} > M_s \quad (\Omega=0)$$

Tab.7.1

P _N [kW]	1 ... 5,5	7 ... 30	30 ... 40	40 ... 100
---------------------	-----------	----------	-----------	------------

I_p/I_{1N}	7,2	6,5	6,5	6,5
M_p/M_N	1,6	1,2	1,1	0,9

b) calculul curentului de pornire I_{pY}

Curentul de pornire în stea este identic cu cel de fază:

$$I_{pY} = I_{fY} = \frac{U_1}{\sqrt{3} Z_f}$$

Curentul de pornire cu înfășurările statorice conectate în triunghi, este identic cu curentul de linie și este indicat în catalog.

$$I_{p\Delta} = \sqrt{3} I_{f\Delta} = \sqrt{3} \frac{U_1}{Z_f}$$

Făcând raportul celor două expresii, rezultă:

$$\frac{I_{pY}}{I_{p\Delta}} = \frac{1}{3}; \quad I_{pY} = \frac{1}{3} I_{p\Delta}$$

c) calculul timpului de accelerare pe caracteristica statică de tensiune corespunzătoare conexiunii stea

Acesta poate fi aproximat la:

$$t_{pY} = (3-4) T_{MY}$$

$$T_{MY} = \frac{J \Omega_0}{M_{kY}}; \quad M_{kY} = \frac{1}{3} M_{k\Delta}$$

sau poate fi calculat:

$$t_{pY} = \frac{T_{MY}}{2} \left[\frac{1 - s_{fin}^2}{2s_k} + s_k \ln \frac{1}{s_{fin}} \right]$$

Alunecarea finală s_{fin} se alege astfel încât saltul de curent să nu depășească I_{pY} . Experiența a arătat că, în aplicațiile practice, $s_{fin} = 0,05 \dots 0,01$.

Observație Metoda de pornire stea-triunghi oferă avantajul că permite reducerea tensiunii și în timpul funcționării la sarcini reduse (mai mici de 1/3 din valoarea nominală) îmbunătățindu-se astfel factorul de putere și randamentul.

Pornirea prin alimentare de la autotransformator (fig.7.9) se aplică mai rar pentru motoare cu puteri cuprinse între 75 și 100 kW, datorită curentului de magnetizare a autotransformatorului, volumului acestuia și schemei complicate.

Deplasarea cursorului autotransformatorului se face, pentru instalațiile industriale, cu ajutorul unui servomotor.

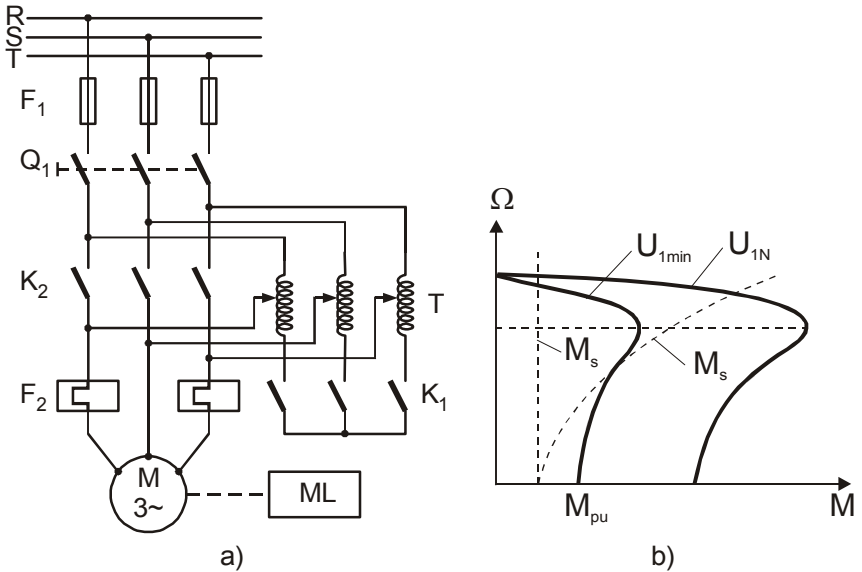


Fig.7.9. Pornirea prin alimentare de la autotransformator:

a) schema electrică de principiu; b) caracteristicile mecanice

Determinarea parametrilor la pornirea prin alimentare de la autotransformator presupune:

a) calculul tensiunii minime U_{1min} .

Pentru aceasta se calculează $M_{pu}=(1,1...1,2)M_s$ (fig.7.9.b), iar dacă pornirea se face în gol se adoptă $M_{pu}=0,5M_N$.

Ținând seama că:

$$\frac{M_{pu}}{M_p} = \left(\frac{U_{1min}}{U_{1N}} \right)^2$$

rezultă:

$$U_{1min} = U_{1N} \sqrt{\frac{M_{pu}}{M_p}}$$

b) calculul curentului de pornire I_{pu}

Știind că valoarea curentului pe fază la intrarea autotransformatorului I_{1p} va fi de k ori mai mică decât valoarea curentului la ieșire I_{up} atunci:

$$I_{1p} = \frac{I_{up}}{k} = \frac{1}{k} \cdot \frac{U_{1min}}{Z_f} = \frac{1}{k} \cdot \frac{U_{1N}}{k} \cdot \frac{1}{Z_f} = \frac{I_{pd}}{k^2}$$

c) calculul timpului de pornire

Timpul de pornire depinde, în acest caz, de viteza cu care se deplasează periile colectoare din poziția inițială (tensiune minimă) în poziția finală (tensiunea rețelei) (fig. 7.10).

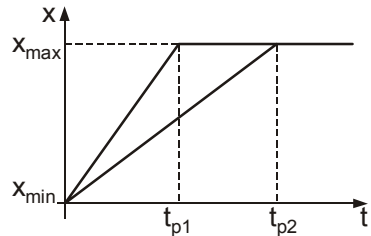


Fig. 7.10. Explicativă pentru timpul de pornire

Determinarea parametrilor la pornirea prin alimentare de la un variator de tensiune alternativă (fig.7.11) presupune, în principiu, aceleași calcule ca și în cazul autotransformatorului. Elementele specifice sunt tratate în cazul sistemelor de acționare electromecanică.

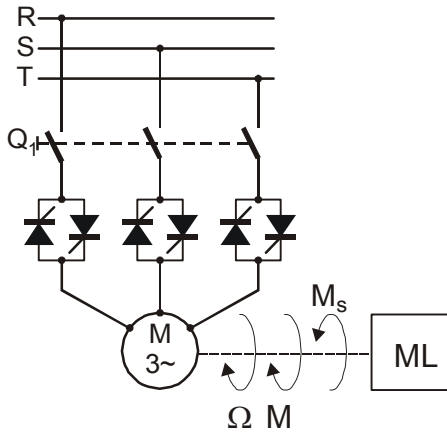


Fig.7.11. Schema de forță a acționării electromecanice cu motor asincron și variator de tensiune alternativă

4. Determinarea parametrilor pentru pornirea pe caracteristici reostatice

Pornirea pe caracteristici reostatice este specifică acționărilor cu motoare asincrone cu rotorul bobinat.

Deși metodele de pornire specifice motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit pot fi aplicate și motoarelor asincrone cu rotorul bobinat, ele nu se utilizează practic deoarece sunt însoțite de reducerea cuplului de pornire. Având în vedere creșterea cuplului de pornire cu creșterea impedanței rotorice, pornirea motoarelor asincrone cu rotorul bobinat se realizează prin modificarea impedanței pe fază a rotorului, care poate fi simetrică sau asimetrică.

Principiul pornirii cu rezistențe simetrice în circuitul rotoric

Este cea mai răspândită metodă de pornire. Rezistențele de pornire pot fi metalice (din fontă turnată, tablă silicoasă sau sârmă) sau cu lichid (soluție de carbonat de sodiu anhidru în apă distilată, etc.). Rezistențele metalice sunt împărțite în mai multe trepte și răcite cu aer, natural sau forțat, sau cu ulei, iar comanda de scurtcircuitare se realizează manual, cu controlere sau placă de

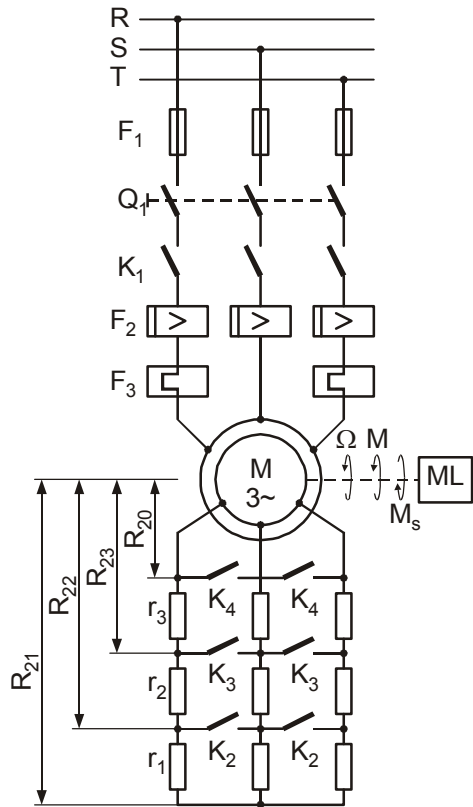


Fig.7.12. Schema electrică de pornire reostatică cu rezistențe simetrice în rotor

ploturi, sau automat cu contactoare. Reostatele cu lichid sunt prevăzute cu instalații de omogenizare și sisteme de răcire a soluției, comanda făcându-se manual sau automat cu servomotor.

Considerând o acționare cu motor asincron cu rotorul bobinat și reostat cu trei trepte de rezistențe (fig.7.12), care sunt scoase din circuit prin scurtcircuitarea lor cu contactele K_2 , K_3 și K_4 ale unor contactoare, se constată că alimentarea motorului cu tensiune se realizează prin închiderea întrerupătorului cu pârgă Q_1 și închiderea contactelor de linie K_1 . Motorul pornește pe caracteristica mecanică reostatică de rezistență $R_{21}=r_1+r_2+r_3+R_{20}$ punctul de funcționare deplasându-se de la punctul corespunzător cuplului M_{max} , spre punctul corespunzător cuplului M_{min} . La atingerea cuplului minim se scurtcircuitează prima treaptă de rezistență r_1 prin închiderea contactelor K_2 . Punctul de funcționare se deplasează la viteză, respectiv alunecare, practic constantă pe următoarea caracteristică mecanică reostatică de rezistență $R_{22}=r_2+r_3+R_{20}$. Funcționarea se desfășoară similar până la închiderea contactelor K_4 , punctul de funcționare deplasându-se pe caracteristica mecanică naturală până la intersecția cu caracteristica statică a mașinii de lucru (punctul A). Rezultă că în timpul pornirii cuplul dezvoltat de motor se modifică între limitele M_{min} și M_{max} accelerația medie de pornire fiind aceeași pentru fiecare treaptă. Dacă cele două limite nu se conservă se poate obține o accelerație medie variabilă în trepte, putându-se aproxima astfel diagrame trapezoidale sau parabolice pentru accelerație (fig.7.13).

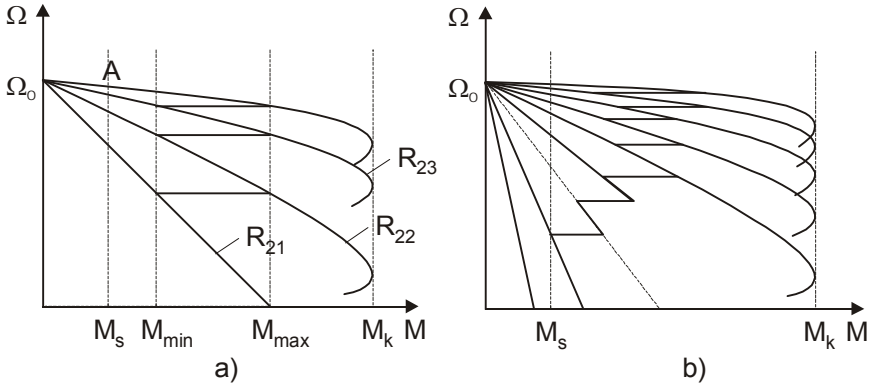


Fig.7.13. Caracteristicile mecanice reostatice de pornire:
a) accelerație medie constantă; b) accelerație medie variabilă.

Determinarea parametrilor pentru pornirea reostatică
presupune:

- a) determinarea numărului de trepte de pornire;
- b) calcularea rezistențelor de pornire;
- c) calcularea rezistențelor treptelor de pornire;
- d) alegerea rezistoarelor și conectarea lor serie-paralel pentru a obține parametrii necesari pornirii: rezistență, curent admisibil;
- e) calculul vitezelor corespunzătoare cuplului M_{\min} pentru comanda automată în funcție de viteză;
- f) calculul timpului de accelerare pe fiecare treaptă pentru comanda automată în funcție de timp.

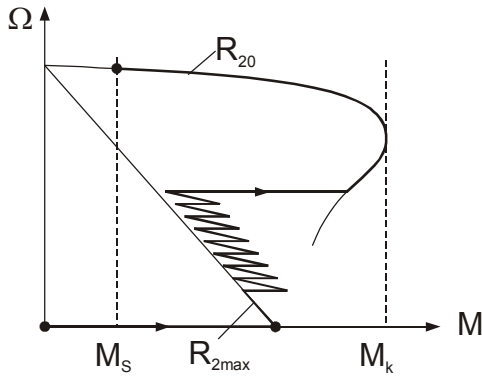


Fig.7.17. Deplasarea punctului de funcționare în cazul modificării parametrilor de pornire.

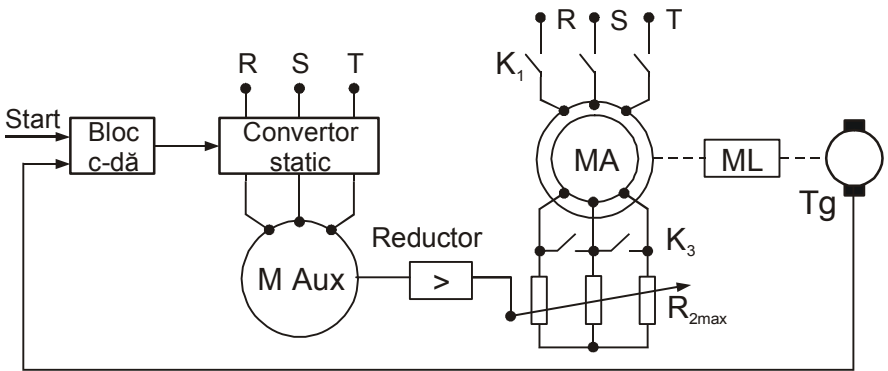


Fig.7.18 Schema de principiu pentru pornirea automată în funcție de viteză.