

# SISTEME DE ACȚIONARE II

## 1) Aparate electrice de protecție

Curentul de acționare al releului termic se reglează la valoarea:

$$I_{rt} = (1,05 \dots 1,2) \cdot I_c$$

unde  $I_c$  este curentul cerut. Releele termice sunt construite pentru un curent nominal, cu posibilitatea de reglaj a limitei de declanșare în intervalul  $(0,6 \dots 1) \cdot I_n$ . Releele termice se reglează la valoarea curentului nominal al motorului protejat.

Ex.:

Un motor asincron cu rotorul în scurtcircuit având puterea  $P_n = 4 \text{ kW}$ , factorul de putere  $\cos \varphi_n = 0,87$ , randamentul  $\eta_n = 0,85$  și tensiunea de alimentare  $U = 380 \text{ V}$  are curentul nominal:

$$I = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,85} = 8,19 \text{ A}$$

Curentul de serviciu al contactorului este  $I_s = 10 \text{ A}$ . Conform relației  $I_{rt} = (1,05 \dots 1,2) \cdot I_c$  curentul de acționare al releului este  $(1,05 \dots 1,2) \cdot 8,19 = 8,6 \dots 9,8 \text{ [A]}$ . Utilizând un releu termic având curentul nominal de  $I_n = 10 \text{ A}$ , reglajul posibil este între  $6 \dots 10 \text{ A}$ , și se va realiza la valoarea  $0,83 I_n$ .

Alegerea siguranțelor fuzibile se face pe baza unor relații semiempirice, cu luarea în considerare a unei selectivități a protecției. În cazul siguranțelor rapide, pentru ca acestea să nu se topească la pornirea motoarelor, relația anterioară se completează cu condiția:

$$I_{nf} \geq \frac{I_p}{c}$$

unde  $I_p$  este curentul de pornire al motorului ( $\lambda I_n$ ) iar “c” un coeficient de siguranță egal cu 2,5 pentru porniri ușoare (durata pornirii este de  $5 \dots 10 \text{ s}$ ) sau 1,5 pentru porniri grele ( $10 \dots 40 \text{ s}$ ).

Ex.:

Pentru un motor asincron ASI –112 M / 4 kW curentul nominal este  $I_n = 8,19 \text{ A}$  iar valoarea relativă a curentului de pornire  $\lambda = 6,5$ . Curentul de pornire, identic cu curentul cerut, este:

$$I_p = 6,5 \cdot 8,19 = 53,15 \text{ A}$$

Condițiile anterioare impun ca:

$$I_{nf} \geq 8,19 \text{ A}$$

$$I_{nf} \geq \frac{53,15}{2,5} = 21,2 \text{ A}$$

Ca urmare se alege o siguranță ce are curentul nominal de  $25 \text{ A}$ .

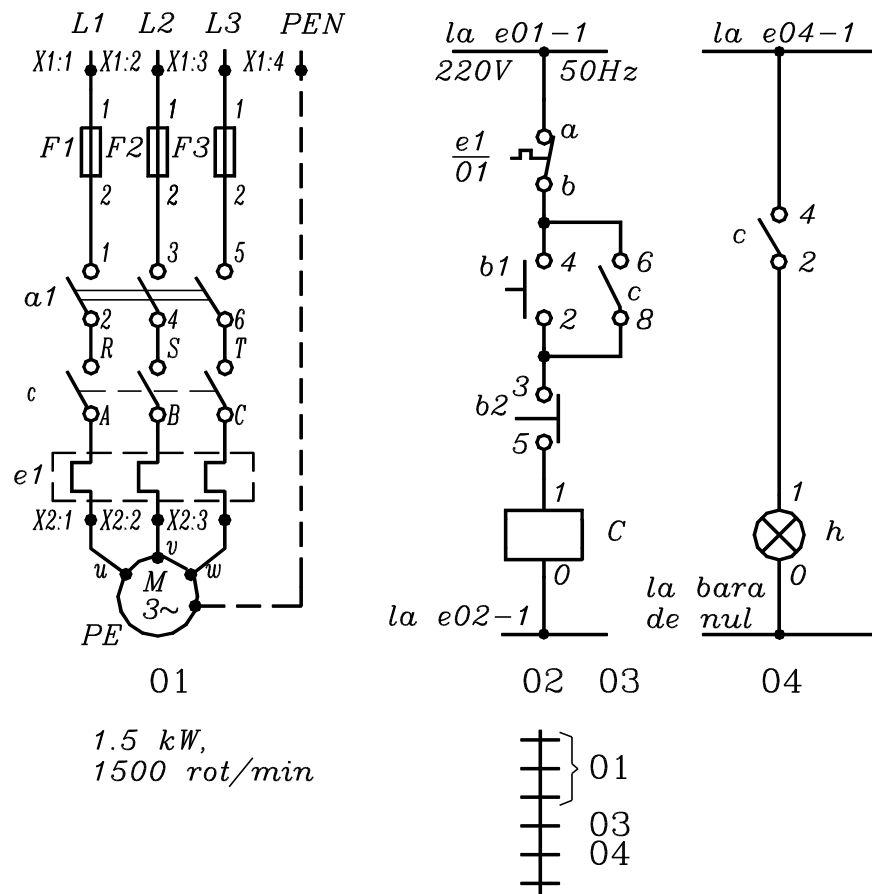
## 2) Scheme electrice

În figura se prezintă un exemplu orientativ de desenare a unei scheme desfășurate. Este schema electrică de pornire prin cuplare directă a motoarelor asincrone. Schema desfășurată cuprinde circuitul de alimentare (01) și circuitele de comandă (02), (03), (04). Rețeaua trifazată

de alimentare este materializată prin cablurile  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $PEN$ . Sunt puse în evidență elementele componente ale circuitului de forță: siguranțele  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ , întrerupătorul  $a1$ , contactorul  $c$ , releul termic  $e1$ , motorul trifazat  $M$ . Circuitele 02 și 03 corespund circuitului de comandă a pornirii și au în componență elementele corespunzătoare: butonul de pornire  $b1$ , butonul de oprire  $b2$ , bobina  $C$  a contactorului  $c$ . Circuitul 02 include și contactul releului termic (bornele  $a$  și  $b$ ) iar circuitul 03 include contactul de automenținere. Semnalizarea pornirii este realizată prin intermediul circuitului 04 în care este inclus un contact normal deschis al contactorului  $c$  și lampa de semnalizare  $h$ .

În cadrul schemei sunt scoase în evidență existența șirului de cleme ( $X1$ ,  $X2$ ,  $e01$ ,  $e02$ ,  $e04$ ) corespunzător conexiunilor, modul de notare a bornelor pentru fiecare aparat ( $1$ ,  $2$ ,  $R$ ,  $S$ ,  $T$ ,  $a$ ,  $b$ ), contactele acționate și circuitele în care acestea se află. Pentru a nu aglomera schema desfășurată, nu au fost numerotate cablurile de legătură dintre aparatele componente.

Schemele electrice echivalente reprezintă circuite echivalente, din anumite puncte de vedere, ale elementelor componente ale instalației. Schemele de calcul cuprind doar elementele de circuit care se iau în considerare în calcul (de ex. contactele, butoanele de comandă etc. nu se regăsesc într-o astfel de schemă) și se pot baza pe scheme echivalente.



Exemplu de schemă electrică

### 3) Punct de funcționare, stabilitate

În planul ( $\omega$ ,  $M$ ) se pot defini limitele admise pentru cuplu și viteză în cadrul unui sistem de acționare (SA) analizat. Această zonă va defini *domeniul admisibil* de funcționare. În acest sistem ( $\omega$ ,  $M$ ) în care s-au trasat caracteristicile mecanice motoare și rezistente, regimul de funcționare staționar pentru SA corespunde punctului A de intersecție al celor două caracteristici.

Punctul A trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- a)- *să fie un punct real de funcționare*, adică să corespundă unui set de valori ( $\omega$ ,  $M$ ) care să asigure o funcționare sigură și corectă tehnologic, mecanic etc. și să aparțină domeniului admisibil;
- b)- *să fie un punct de funcționare stabil*. Din punct de vedere matematic, condiția de stabilitate a unui punct de funcționare se exprimă prin relația:

$$\left( \frac{dM_r}{d\omega} \right)_A > \left( \frac{dM_m}{d\omega} \right)_A$$

### **Exemplu de calcul**

Se consideră un sistem de acționare pentru care se cunosc ecuațiile celor două caracteristici:

- a) Ecuația caracteristicii mecanice motoare:

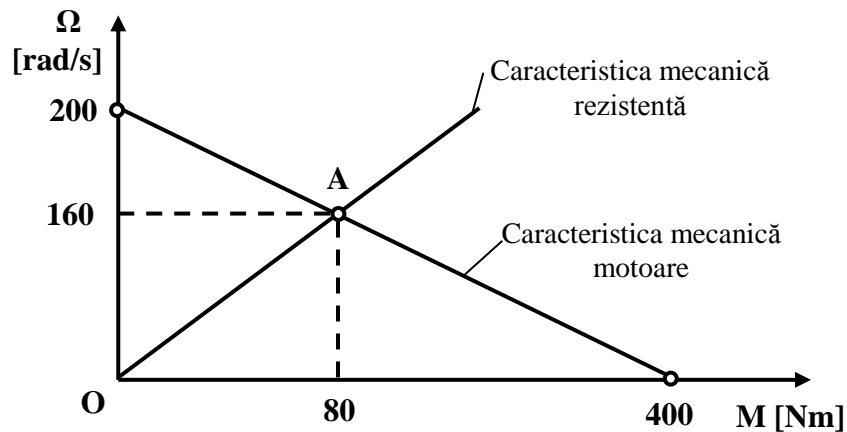
$$\Omega_m = 200 - 0.5 \cdot M_m$$

- b) Ecuația caracteristicii mecanice rezistente:

$$\Omega_r = 2M_r$$

Pentru analiza stabilității punctului de funcționare se parcurg următoarele etape:

1. *reprezentarea caracteristicilor în planul axelor ( $M$ ,  $\Omega$ ).*



**Caracteristica mecanică motoare, cea rezistentă și punctul de funcționare**

2. *determinarea coordonatelor punctului de funcționare*. Pe baza celor două ecuații ale caracteristicilor se definește sistemul de ecuații:

$$\begin{cases} \Omega_A = 200 - 0.5 \cdot M_A \\ \Omega_A = 2M_A \end{cases}$$

Prin rezolvarea sistemului de ecuații se determină coordonatele punctului de funcționare A (intersecția celor două drepte care definesc caracteristicile)  $A(80, 160)$ .

3. *determinarea pantei caracteristicii în punctul de funcționare și verificarea relației:*

Ecuația caracteristicii mecanice motoare se poate transforma sub forma:

$$M_m = 400 - 2 \cdot \Omega_m$$

și calcula apoi panta caracteristicii în punctul A:

$$\left( \frac{dM_m}{d\Omega} \right)_A = -2$$

În același mod, pentru caracteristica mecanică rezistentă se obține:

$$M_r = \frac{1}{2} \cdot \Omega_r$$

$$\left( \frac{dM_r}{d\Omega} \right)_A = \frac{1}{2}$$

În final se verifică simplu că  $\frac{1}{2} > -2$  și deci punctul A este punct de funcționare stabilă.

#### 4) Moment de inerție redus

Calculul dinamic al SA presupune determinarea ecuațiilor de mișcare pentru fiecare cuplă cinematică conducătoare în parte, ținându-se cont de eventualele influențe reciproce.

Pentru a simplifica expresia energiei cinetice a întregului mecanism se introduce noțiunea de masă redusă și moment de inerție redus. În acest mod studiul dinamic al SA pentru cuplele cinematice conducătoare se reduce la studiul dinamic al elementelor de reducere. Ca element de reducere se admite rotorul motorului electric, armătura mobilă a electromagnetului, pistonul cilindrului pneumatic sau hidraulic etc.

Prin definiție, momentul de inerție redus  $J_r$  al unui mecanism este echivalent cu momentul de inerție fictiv al unui volant, care rotindu-se ca element de reducere, dezvoltă aceeași energie cinetică ca întregul mecanism.

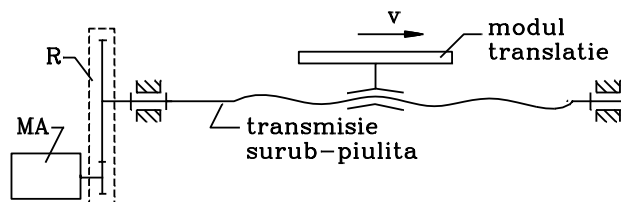
Pe baza definiției se poate scrie expresia pentru calculul momentului de inerție redus:

$$J_r = \frac{1}{\omega_A^2} \cdot \sum_{i=1}^n (m_i v_i^2 + J_i \omega_i^2)$$

unde notațiile au semnificația:  $\omega_A$  reprezintă viteza unghiulară a elementului de reducere;  $m_i$ ,  $J_i$  reprezintă masa respectiv momentul de inerție mecanic în raport cu o axă ce trece prin centrul de greutate al unui element "i";  $v_i$ ,  $\omega_i$  reprezintă viteza centrului de greutate respectiv viteza unghiulară a elementului "i";  $n$  reprezintă numărul de elemente mobile ale mecanismului.

#### Exemplu

Referitor la MGT care au în componență un modul de translație, considerăm că sistemul de acționare pentru cupla cinematică conducătoare are componența prezentată în figură:



Schema cinematică a sistemului de acționare

Considerăm drept element de reducere rotorul motorului de acționare "MA" care are viteza unghiulară  $\omega_m$ . Se cere determinarea momentului de inerție redus la arborele motorului.

Având în vedere expresia de definire a raportului de transmitere:

$$i = \frac{\omega_m}{\omega_{rc}} = \frac{\omega_m}{\omega_s}$$

și relația dintre parametrii transmisiei șurub - piuliță:

$$\frac{v}{\omega_s} = \frac{p}{2\pi}$$

expresia momentului de inerție redus este:

$$J_r = J_{rot} + J_p + \left( J_{rc} + J_s + m_r \cdot \left( \frac{p}{2\pi} \right)^2 \right) \cdot \frac{1}{i^2}$$

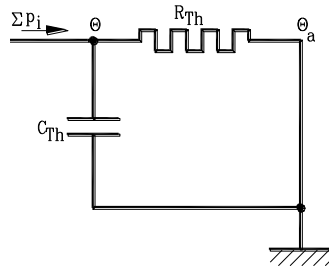
### 5) Verificarea la încălzire a motorului de c.c.

Pierderile în motorul electric de curent continuu se compun din:

- pierderi prim efect Joule în înfășurarea indusului și inductorului (dacă inductorul este pe bază de magneți permanenți, contribuția termică a acestuia este nulă);
- pierderi prin histereză (proportionale cu viteza) și prin curenți Foucault (proportionale cu pătratul vitezei)
- pierderi mecanice prin frecare uscată și ventilație.

La ora actuală se utilizează două scheme de calcul funcție de omogenitatea construcției motorului.

**Schema cu un singur nod** se aplică motoarelor omogene: motoare clasice și motoare cu magneți permanenți având indus bobinat pe circuit feromagnetic. Schema echivalentă este prezentată în figură:



Notățiile au următoarea semnificație:

- $C_{Th}$  – capacitatea termică a motorului [ $J/^{\circ}C$ ]
- $R_{Th}$  – rezistența termică a motorului [ $^{\circ}C/W$ ]
- $\tau_{Th} = R_{Th} C_{Th}$  - constanta de timp termică a motorului
- $\theta_a$  - temperatura mediului ambiant [ $^{\circ}C$ ].

Pe baza schemei de calcul și utilizând notațiile anterioare, se poate scrie ecuația diferențială ce descrie procesul tranzitoriu al încălzirii motorului:

$$\sum p_i = C_{Th} \frac{d\theta}{dt} + \frac{\theta - \theta_a}{R_{Th}}$$

După rezolvarea ecuației și definirea condițiilor inițiale (motorul se găsește la temperatura mediului ambiant la momentul  $t = 0$ ) variația temperaturii motorului este:

$$\Delta\theta = \left( \sum p_i \right) \cdot R_{Th} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_{Th}}} \right)$$

### Exemplu

Se consideră un servomotor electric dintr-un echipament electronic. Puterea la arbore este 2 W iar

randamentul său este  $\eta = 0.76$ . Din datele de catalog se cunosc rezistența termică  $R_{th}=33\text{ }^{\circ}\text{C/W}$  și capacitatea termică  $C_{th}=0.895\text{ J / }^{\circ}\text{C}$ .

Să cere să se determine creșterea temperaturii servomotorului pentru un serviciu de lungă durată (  $t \rightarrow \infty$  ) și pentru unul de scurtă durată (  $t=10\text{ s}$  ). Creșterea admisibilă a temperaturii este  $\Delta\theta_a = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Pierderile de putere sunt definite de relația:

$$\Delta p = \frac{P_2}{\eta} - P_2 = \frac{2}{0.76} - 2 = 0.63\text{ W}$$

Pe baza relației de definiție a constantei de timp se determină:

$$\tau = R_{th} \cdot C_{th} = 33 \cdot 0.895 = 29.535\text{ s}$$

Creșterea temperaturii în cele două regimuri de funcționare este:

- Regimul continuu (rel.6.2.4):

$$\Delta\theta = 0.63 \cdot 33 \cdot (1 - 0) = 20.79\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Regimul de scurtă durată:

$$\Delta\theta = 0.63 \cdot 33 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{10}{29.535}} \right) = 0.63 \cdot 33 \cdot (1 - e^{-0.338}) = 5.97\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Se observă că în ambele cazuri este verificată condiția  $\Delta\theta < \Delta\theta_a$

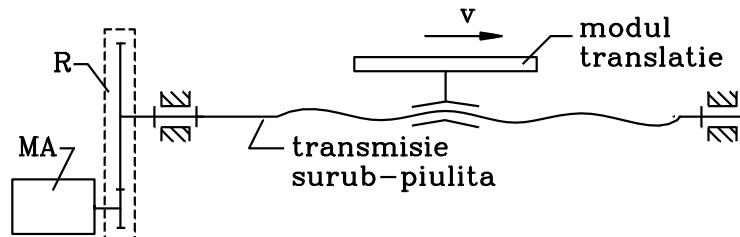
## 6) Probleme propuse

### A.

Se consideră sistemul de acționare electrică din figură pentru care se cunosc: masa modulului în translație  $m=10\text{ kg}$ ; pasul șurubului  $p=10\text{ mm}$ ; momentul de inerție al șurubului  $I_s = 0.04\text{ kg cm}^2$ ; momentul de inerție al rotorului motorului  $I_{rot}=31\text{ kg dm}^2$ . Roțile dințate se consideră de formă cilindrică: pinionul  $\Phi 40 \times 10\text{ mm}$  iar roata condusă  $\Phi 80 \times 8\text{ mm}$  ( $\rho = 7.8\text{ kg / dm}^3$ ).

a) să se determine momentul de inerție redus la arboreal motorului. Raportul de transmitere al reductorului se consideră  $i = 2$

b) să se determine momentul motor necesar realizării unei accelerații de  $30\text{ rad / s}^2$  dacă momentul rezistent din sistem (reduc la arboreal motorului) este  $M_R = 10\text{ Nm}$



### B.

Un sistem de acționare este compus dintr-un motor de c.c. cu magnet permanent a cărui caracteristică mecanică motoare are ecuația  $\Omega = 10 - 0.08 \cdot M_m$ . Momentul rezistent este impus de ridicarea unei mase  $m = 50\text{ kg}$ .

- să se determine momentul rezistent  $M_R$  creat prin ridicarea masei;
- să se determine momentul de pornire și viteza de mers în gol
- să se reprezinte grafic cele două caracteristici în sistemul  $(M, \Omega)$
- să se determine coordonatele punctului de funcționare;
- să se analizeze stabilitatea de funcționare a sistemului.

