Lucrarea 6

Sisteme de reglare convenţională în acţionarea roboţilor industriali

Lucrarea urmareşte studiul modelului motorului de curent continuu şi studiul buclelor de reglare a poziţiei cu motoare de curent continuu după legi **P** şi **PD**.

6.1 Introducere

Cel mai simplu sistem de control pentru roboţi industriali aplicat încă în practică în majoritatea cazurilor presupune că axele robotului nu sunt cuplate, acesta putând fi privit astfel ca o sumă de $\boldsymbol{n}$ axe independente. Elementul de execuţie cel mai folosit în acţionarea roboţilor industriali este motorul de curent continuu. Aceasta, în principal, datorită modului simplu de reglare a vitezei prin modificarea tensiunii aplicate pe rotor. Treptat însă, pe măsura dezvoltării tehnicii de calcul şi a circuitelor de comutaţie statică de putere motorul de curent continuu va fi înlocuit cu motoare asincrone, mai ieftine, mai uşor de întreţinut şi mai fiabile, dar mai dificil de condus.

În cazul motoarelor de curent continuu cele mai simple sisteme de reglare a poziţiei utilizează traductoare analogice de poziţie (rezistive sau inductive) şi regulatoare de tip **P** sau **PD**. O variantă mai avansată de reglare a poziţiei foloseşte o schemă de reglare în cascadă cu reacţie negativă atât după poziţie cât şi după viteză. Criteriul de bază care trebuie luat în considerare la acordarea regulatoarelor pentru roboţi industriali este asigurarea unui răspuns aperiodic, fără suprareglaj. Apariţia suprareglajelor nu este permisă la poziţionarea roboţilor industriali pentru că pot da naştere la coliziuni. În acelaşi timp, pentru a asigura cel mai rapid răspuns posibil se urmăreşte obţinerea unui răspuns aperiodic critic.

6.2 Modelul motorului de curent continuu

Se va considera cazul motorului de curent continuu cu excitaţie constantă (paralel sau cu magneţi permanenţi).

Tensiunea aplicată motorului trebuie să compenseze căderea de tensiune pe impedanţa motorului şi tensiunea contra-electromotoare:

$$U(s) = (R + Ls)I(s) + E(s) \tag{6.1}$$

Cuplul produs τ_a este funcţie de excitaţie şi curentul rotoric:

$$\tau_a(s) = K_r \cdot \phi \cdot I(s) = K_m \cdot I(s) \tag{6.2}$$

Acest cuplu activ trebuie să învingă inerţia şi frecările datorate rotorului şi sarcinii:

$$\tau_r(s) = J \cdot s \cdot \omega(s) + f \cdot \omega(s) \tag{6.3}$$

unde ω este viteza unghiulară. Rotaţia rotorului produce o tensiune contra-electromotoare E proporţională cu viteza unghiulară ω:

$$E(s) = K_r \cdot \phi \cdot \omega(s) = K_m \cdot \omega(s) \tag{6.4}$$

Ecuaţiile (6.1), (6.2), (6.3) şi (6.4) pot fi reprezentate sub forma schemei bloc de mai jos, în care se poate remarca existenţa unei bucle de reacţie negativă în interiorul motorului.

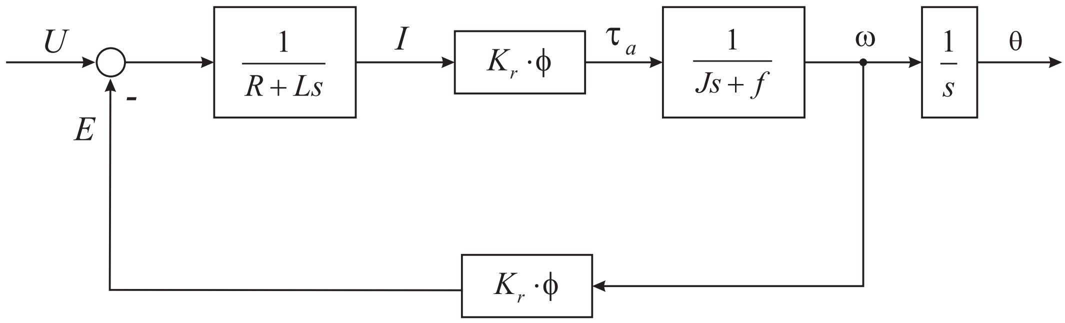

Figura 6.1: Modelul motorului de curent continuu

Funcţia de transfer este dată de:

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{\dfrac{K_m}{(R+Ls)(Js+f)}}{1 + \dfrac{K_m^2}{(R+Ls)(Js+f)}} \cdot \frac{1}{s} \tag{6.5}$$

şi după efectuarea calculelor:

$$H(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{K_m}{(R+Ls)(Js+f) + K_m^2} \tag{6.6}$$

Se pot pune în evidenţă două constante de timp:
- constanta de timp electrică:

$$T_e = \frac{L}{R} \tag{6.7}$$

- constanta de timp datorată inerţiei:

$$T_i = \frac{J}{f} \tag{6.8}$$

Pentru majoritatea motoarelor $T_e \ll T_i$ efectul inductanţei putând fi neglijat:

$$H(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{K_m}{R(Js+f)+K_m^2} = \frac{1}{s} \cdot \frac{\frac{K_m}{RJ}}{s + \frac{Rf+K_m^2}{RJ}} = \frac{K_0}{s(s+\alpha)} \tag{6.9}$$

unde $K_0 = \frac{K_m}{RJ}$ este amplificarea în buclă deschisă şi $\tau = \frac{1}{\alpha}$ este constanta de timp mecanică a motorului.

6.3 Reglarea poziției cu regulator **P**

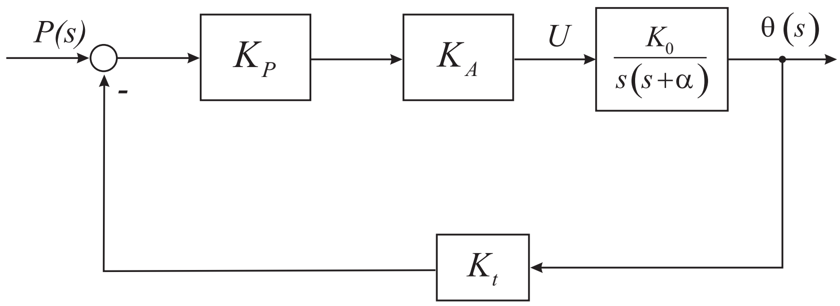

Figura 6.2: Axa de poziţionare cu regulator **P**

Schema de reglare este prezentată în figura 6.2, este unde s-a presupus că amplificatorul de putere şi traductorul de poziţie au funcţii de transfer de tip **P** (K_A respectiv K_t), iar K_p este funcţia de transfer a regulatorului. Pentru simplitate se consideră K_A=K_t=1.

Rezultă funcţia de transfer:

$$\frac{\theta(s)}{P(s)} = \frac{K_P \cdot K_0}{s^2 + \alpha \cdot s + K_P \cdot K_0} \tag{6.10}$$

deci o funcţie de ordinul II.

Regulatorul se calculează simplu identificând parametrii funcţiei de transfer

$$H_2(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{6.11}$$

şi punând condiţia obţinerii unui regim aperiodic critic: $\xi = 1$. Valori mari ale lui K_P conduc la răspunsuri oscilante, iar valori prea mici la răspunsuri lente supraamortizate.

6.4 Reglarea poziției cu regulator **PD**

Se consideră un regulator **PD** ideal $(H_R(s) = K_1 + K_2 \cdot s)$, rezultând schema de reglare:

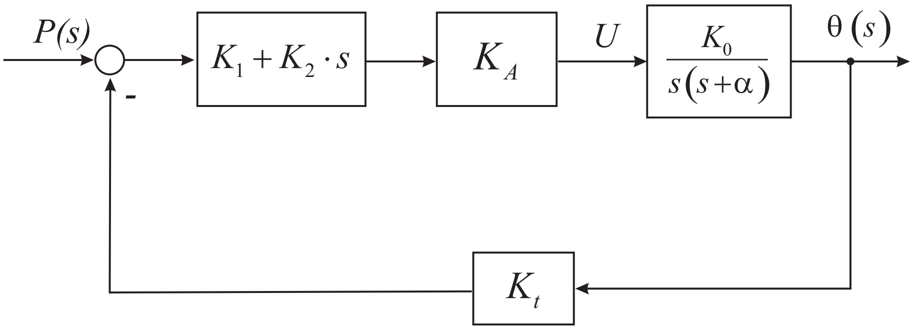

Figura 6.3: Axa de poziţionare cu regulator **PD**

cu funcţia de transfer a sistemului închis:

$$\frac{\theta(s)}{P(s)} = \frac{K_0(K_1 + K_2 s)}{s^2 + (\alpha + K_2 K_0)s + K_1 K_0} \tag{6.12}$$

Prin identificare cu relaţia (6.11) şi punerea condiţiei $\xi = 1$ se obţine o singură ecuaţie. Condiţia suplimentară care se pune pentru a determina K_1 şi K_2 este ca zeroul introdus de regulatorul PD să fie plasat imediat în stânga celui mai din stânga pol al sistemului deschis. Această condiţie îşi găseşte justificarea dacă se studiază locul rădăcinilor pentru sistemul dat. Deplasarea acestui zero mult în stânga pe axa reală măreşte şi mai mult viteza de răspuns a sistemului dar cauzează probleme. În primul rând efectul de derivare introdus face ca zgomotul electric existent în semnalul dat de traductor să fie mult amplificat putând cauza fluctuaţii nedorite ale poziţiei. În al doilea rând, răspunsul rapid al sistemului se obţine prin aplicarea unei tensiuni mari pe motor. Acest efect, numit **forţare** nu poate fi însă aplicat decât între anumite limite, existând pericolul distrugerii motorului. Pentru cele mai robuste motoare, de exemplu, tensiunea aplicată poate fi maximum dublul tensiunii nominale şi numai pentru perioade scurte de timp. Impunerea unor anumiţi parametri pentru regimul de forţare poate constitui un alt criteriu posibil de calcul al regulatorului **PD**.

O a treia problemă introdusă de folosirea efectului derivativ este posibila saturare a regulatorului (mai exact a amplificatoarelor operaţionale din componenţa acestuia), situaţie în care sistemul de poziţionare este pierdut de sub control. Saturarea poate apare şi la regulatoarele digitale fiind dată de limitarea la o anumită gamă numerică.

6.5 Probleme propuse

Se consideră o axă de robot industrial acţionată cu un micromotor cu următorii parametri:

- Rezistenţa rotorică $R = 4,5\ \Omega$;
- Inductanţa $L = 0,18\ mH$;
- Constanta tensiunii contra-electromotoare $K_m = 3,5\ \dfrac{V}{1000\,\frac{rot}{min}}$
- Momentul de inerţie (incluzând sarcina) $J = 32 \cdot 10^{-7}\ kg \times m^2$;
- Coeficientul de frecare $f = 10^{-6}\ \dfrac{N \cdot m}{\frac{rad}{sec}}$

1. Să se determine constanta electrică, constanta de inerţie şi constanta mecanică pentru motorul considerat.

2. Să se determine funcţia de transfer a motorului dacă se neglijează frecările.

3. Să se calculeze regulatorul pentru o buclă de reglare proporţională a poziţiei folosind motorul considerat.

4. Să se proiecteze un sistem de poziţionare cu regulator PD folosind acest motor.

5. Folosind MATLAB să se reprezinte grafic răspunsul sistemelor obţinute la punctele 3 şi 4 la semnal treaptă.

6. Să se reprezinte grafic tensiunea U aplicată motorului în cele două cazuri la variaţia treaptă a referinţei.

7. Să se studieze efectul constantei de derivare asupra răspunsului sistemului cu regulator PD.