CONTROLERUL

1. Introducere

Lucrarea are drept scop prezentarea noţiunii de ***controler*** în contextul reglării unui sistem, a modalităţilor de realizare teoretică şi fizică, a posibilităţilor de modelare şi simulare.

2. Consideraţii teoretice

În ansamblul sistemului mecatronic, controlerul ocupă un loc important fără de care nu se poate realiza automatizarea procesului pe care îl implică existenţa sistemului.

Într-o variantă simplă şi de generalitate extremă, ***controlerul*** are rolul de a prelucra, după o anumită lege, eroarea rezultată din comparaţia mărimii de intrare (de referinţă) X şi a celei de reglare R:

$$E = X - R \tag{6.1}$$

şi de a furniza la ieşire o mărime de comandă U care se aplică obiectului reglat (fig.6.1)

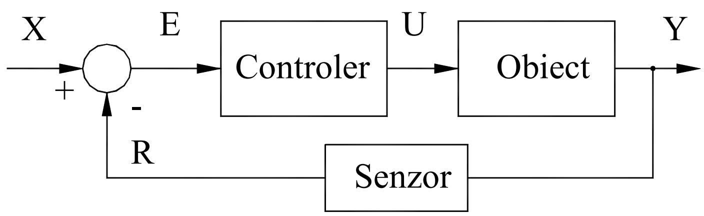


Fig.6.1

În absenţa elementului de reglare, – controlerul – mărimea de ieşire ar suporta modificări importante şi necontrolate datorită efectelor perturbatoare care acţionează în diverse puncte ale obiectului avut în vedere.

O clasificare a controlerelor poate fi realizată după diverse criterii:

- forma relaţiei dintre mărimea de comandă şi eroare: *controlere continue* (mărimea de comandă U este influenţată în mod continuu de eroarea E) şi *controlere discr*ete;
- natura fizică a mărimilor de la intrarea şi ieşirea controlerului: *controlere electrice, pneumatice şi hidraulice*;
- sursa de energie cu care funcţionează: *controlere directe* (funcţionează pe baza energiei preluate din proces prin intermediul traductoarelor de reacţie) şi *controlere indirecte* (cu sursă de energie auxiliară).

Controlerele cu acţiune continuă cu o largă utilitate se disting după dependenţa de regim dinamic care se stabileşte între mărimile de comandă U şi de eroare E:

- proporţionale (simbol P):

$$u(t) = K_P \cdot \varepsilon(t) \tag{6.2}$$

unde K_P este factorul de amplificare al controlerului

- integrale (simbol I):

$$u(t) = \frac{1}{T_I} \cdot \int \varepsilon(t) \cdot dt = K_I \cdot \int \varepsilon(t) \cdot dt \tag{6.3}$$

unde T_I are dimensiune de timp şi se numeşte constanta de integrare.

- derivative (simbol D):

$$u(t) = T_D \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt} = K_D \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \tag{6.4}$$

unde T_D are dimensiune de timp şi poartă denumirea de constantă de timp derivativă

- combinaţii: PI, PD, PID. Varianta PID este cea mai completă care permite performanţe superioare atât în regim staţionar cât şi regim dinamic. Relaţia de dependenţă a controlerului

PID poate fi scrisă sub forma:

$$u(t) = K_P \cdot \varepsilon(t) + K_I \cdot \int \varepsilon(t) \cdot dt + K_D \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \tag{6.5}$$

Scopul controlerului este de asigura un timp de creştere corespunzător, o supracreştere minimă, fără eroare staționară. Modul de influențare a performanțelor de către constantele controlerului este prezentat calitativ în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1

	Timpul de creştere	Supracreşterea	Timpul de răspuns	Eroare
K_P	diminuare	creştere	influență redusă	diminuare
K_I	diminuare	creştere	creştere	elimină
K_D	influență redusă	diminuare	diminuare	influență redusă

În cazul general, un regulator electronic continuu poate fi considerat de structura din figura 6.2. Regulatorul se compune dintr-un amplificator operațional AO, un circuit pasiv de intrare (1) şi un circuit pasiv de reacție (2).

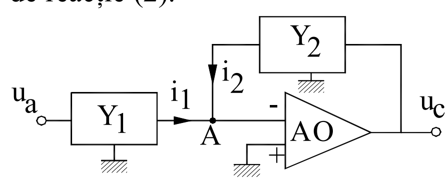
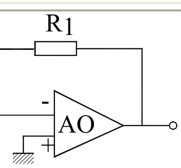
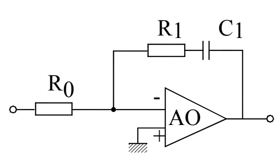
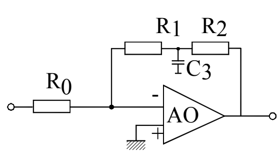


Fig.6.2

În tabelul 6.2 se prezintă modalități de realizare a unor tipuri de controlere.

Tabelul 6.2

Tip	Schemă	Echivalență impedanțe	Funcție de transfer
P		$Z_0(s) = R_0$ $Z_1(s) = R_1$ $Z_2(s) = 0$ $Z_3(s) = \infty$	$Y(s) = K_R$ $\lvert K_R \rvert = \frac{R_1}{R_0}$
PI		$Z_0(s) = R_0$ $Z_1(s) = R_1 + \frac{1}{s \cdot C_1}$ $Z_2(s) = 0$ $Z_3(s) = \infty$	$Y(s) = K_R \cdot \left(1 + \frac{1}{s \cdot T_i}\right)$ $\lvert K_R \rvert = \frac{R_1}{R_0}$ $T_i = R_1 \cdot C_1$
PD		$Z_0(s) = R_0$ $Z_1(s) = R_1$ $Z_2(s) = R_2$ $Z_3(s) = \frac{1}{s \cdot C_3}$	$Y(s) = K_R \cdot (1 + s \cdot T_d)$ $\lvert K_R \rvert = \frac{R_1 + R_2}{R_0}$ $T_d = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot C_3$

În construcția regulatoarelor electronice intervin şi probleme legate de precizia acordării parametrilor şi a realizării legii de reglare dorite, a asigurării posibilităților de cuplare cu sistemele de calcul. Stabilirea valorilor pentru parametrii componentelor pasive se poate realiza prin simularea funcționării regulatorului.

Un bloc component al regulatorului este *blocul de însumare;* acesta îndeplineşte rolul de a efectua o operație de adunare sau scădere a unei mărimi analogice (tensiune).

Amplificatorul operațional poate realiza suma sau diferența mai multor tensiuni utilizând o schemă asemănătoare cu cea din figura 6.3.

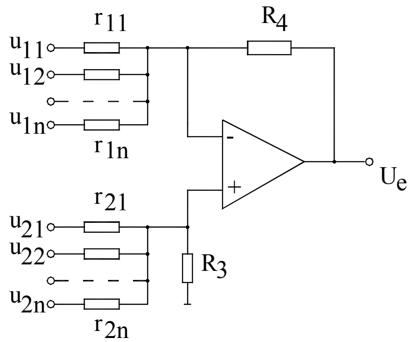


Fig.6.3

Tensiunea la ieşirea amplificatorului operațional va fi (R_3=R_4):

$$U_e = -\frac{R_4}{R_1} \cdot \left(\sum_i U_{1i} - \sum_i U_{2i} \right) \tag{6.6}$$

Elementul de comparație (EC) din schema de reglare are rolul de stabili eroarea existentă între mărimea de referință şi mărimea reglată (fig.6.1).

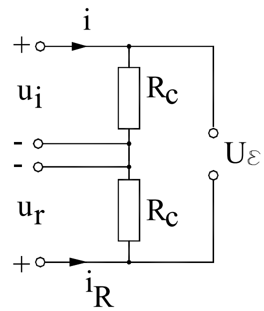


Fig.6.4

O posibilitate de realizare fizică a EC are la bază schema din figura 6.4. Două rezistențe egale R_c sunt străbătute în sensuri opuse de curenții i_R şi respectiv i; i_R este proporțional cu mărimea reglată, iar i este proporțional cu mărimea de intrare. Mărimea de intrare poate fi denumită mărime de referință, sau mărime prescrisă, dacă are valoare constantă. Tensiunea la ieşirea din elementul de comparație EC se poate exprima prin relația:

$$U_\varepsilon = R_c \cdot i - R_c \cdot i_R = R_c \cdot i_\varepsilon \tag{6.7}$$

şi va fi proporțională cu eroarea ε a sistemului de reglare.

3. Mersul lucrării

3.1 Modelarea în mediul EWB a unor componente ale controlerului

a) Se consideră circuitul inversor din figura 6.5. Se modelează circuitul în mediul EWB considerând semnalul de intrare sinusoidal V_{in} = 1-5 V, 5Hz. Examinați semnalul de ieşire dacă rezistorul R_f ia valorile 100 K, 330 K, 1 M prin modificarea amplitudinii semnalului de intrare. Comentați rezultatele.

b) Considerați circuitul integrator din figura 6.6. Modelați circuitul în mediul EWB cu următoarele valori: C = 0.1 μF, R_1 = 100 K, R_2 = 0. Semnalul de intrare se consideră de amplitudine 1 V, 1 Hz. Observați semnalul de răspuns. Creşteți uşor frecvența de intrare şi determinați modul de lucru a circuitului. Consemnați rezultatele.

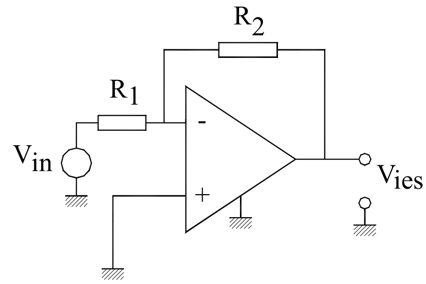


Fig.6.5

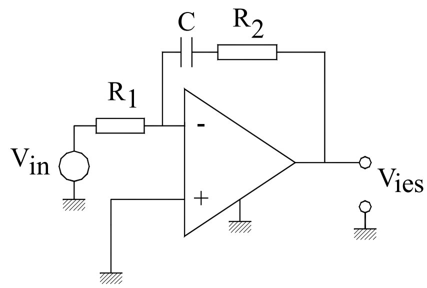


Fig.6.6

c) Modelați un circuit de comparare în mediul EWB şi notați concluziile.

3.2 <u>Simularea în Matlab a unui sistem mecanic cu controler</u>

Sistemul supus problemei de control este format dintr-o masă inerțială “m” aflată sub acțiunea forței “F” şi sub acțiunea unor legături elastice şi respectiv de amortizare (fig.6.7).

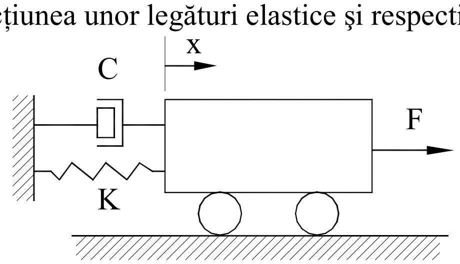


Fig.6.7

Modelul matematic al sistemului este descris de ecuația:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + C \cdot \frac{dx}{dt} + K \cdot x = F \tag{6.8}$$

permite obținerea funcției de transfer a sistemului de forma:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{m \cdot s^2 + C \cdot s + K} \tag{6.9}$$

Considerăm cazul numeric: m = 2 kg, C = 10 Ns/m, K = 25 N / m, F = 2 N

Răspunsul sistemului funcționând în circuit deschis este prezentat în figura 6.8 pe baza unei simulări în mediul Matlab (fişierul contr_1.m).

Contr_1.m

num=1;
den=[2 10 25];
step (num, den)

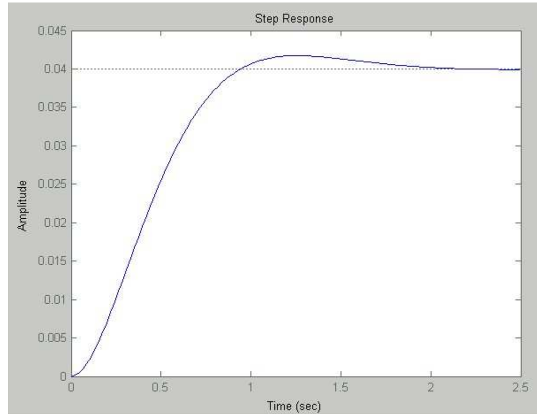


Fig.6.8

Analiza răspunsului evidenţiază o amplificare 1/25. existenţa unei supracreşteri şi atingerea valorii de regim staţionar după un timp de 2 s s.a.m.d.

Se urmăreşte proiectarea unui controler care să amerioleze performanţele sistemului.

CONTROL PROPORȚIONAL

Funcția de transfer a noului sistem este:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_P}{m \cdot s^2 + C \cdot s + K + K_P} \qquad (6.10)$$

Factorul de proporționalitate K_P reprezintă singurul parametru al regulatorului. Prin construcție, acest parametru se prevede a fi ajustabil în limite largi pentru a satisface o mare varietate de legi de reglare.

Deseori se utilizează în locul factorului K_P factorul denumit bandă de proporționalitate BP definită procentual:

$$BP = \frac{1}{K_P} \cdot 100\ [\%] \qquad (6.11)$$

Dezavantajul regulatorului P constă în faptul că mărimea de acționare este cu atât mai mică cu cât factorul K_P este mai mare. Se urmăreşte ca factorul să aibă valori cât mai mari.

contr_2.m

KP=200;
num=[KP];
den=[2 10 25+KP];
t=0:0.01:2.5;
step (num, den, t)

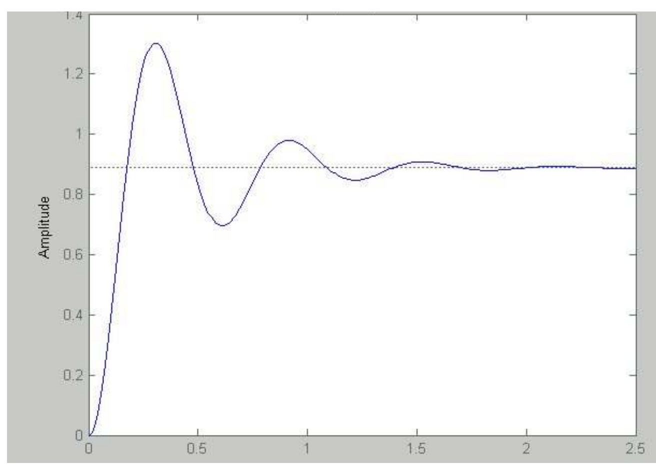


Fig.6.9

Analiza răspunsului sistemului în circuit închis confirmă influențele calitative datorate controlerului proporțional (tabelul 6.1). Pentru un K_P = 1000 se obține răspunsul din figura 6.10

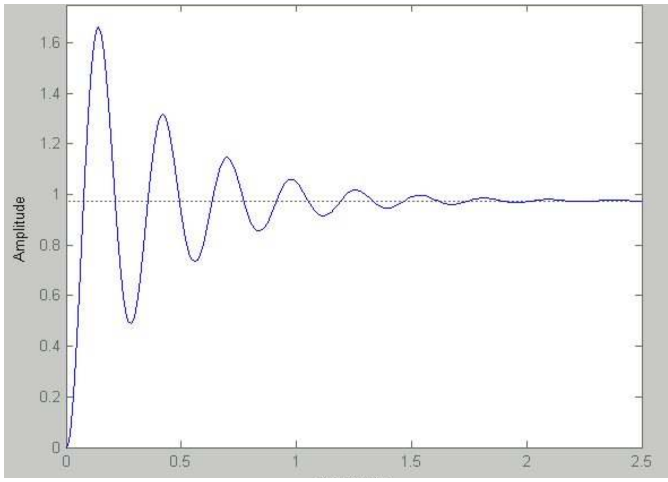


Fig.6.10

Fişierul - m de rezolvare a simulării poate fi creat în jurul funcției Matlab denumite **cloop** care permite obținerea funcției de transfer pentru sistemul în circuit închis pornind de la funcția sistemului în circuit deschis (figura 6.11).

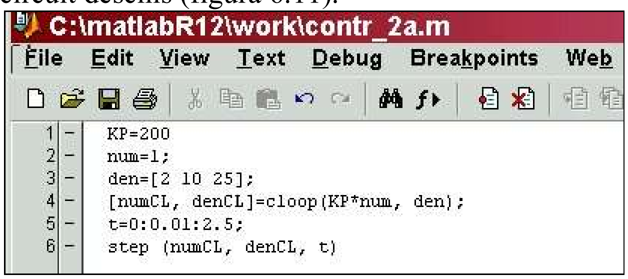


Fig.6.11

Controler proporțional – derivativ

Funcția de transfer este în acest caz:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{sK_D + K_P}{m \cdot s^2 + \left(C + K_D\right) \cdot s + K + K_P} \tag{6.12}$$

Fişierul contr_3.m permite simularea funcționării sistemului în circuit închis cu controler PD.

contr_3.m

```
KP=200;
KD = 15;
num=[KD KP];
den=[2 10+KD 25+KP];
t=0:0.01:2.5;
step (num, den, t)
```

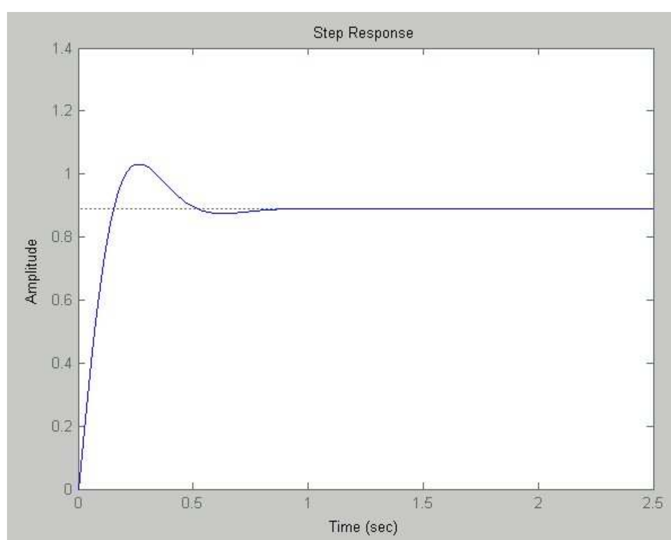


Fig.6,12

Se remarcă efectele pozitive ale introducerii componentei derivative asupra sistemului.

Control proporțional – integral (PI)

Funcția de transfer are forma:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{sK_P + K_I}{m \cdot s^3 + C \cdot s^2 + (K + K_P) \cdot s + K_I} \tag{6.13}$$

contr_4.m

```
KP=35;
KI = 80;
num=[KP KI];
den=[2 10 25+KP KI];
t=0:0.01:2.5;
step (num, den, t)
```

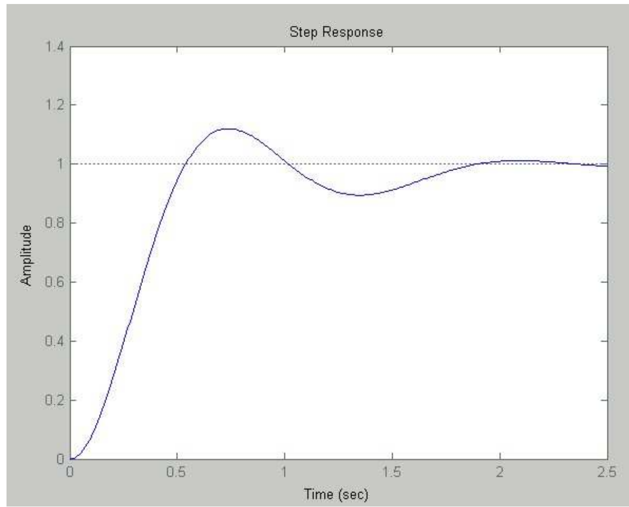


Fig.6.13

Controlerul PID

Funcția de transfer a sistemului este în acest caz definită de ecuația:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_D \cdot s^2 + sK_P + K_I}{m \cdot s^3 + \left(C + K_D\right) \cdot s^2 + \left(K + K_P\right) \cdot s + K_I} \tag{6.14}$$

iar rezultatul simulării este prezentat în figura 6.14. Se constată că cerințele de pornire referitoare la parametrii impuşi au fost atinse, răspunsul sistemului apropiindu-se de un semnal treaptă.

Contr_5.m

```
KP=300;
KI = 200;
KD=100;
num=[KD KP KI];
den=[2   10+KD   25+KP
KI];
t=0:0.01:2.5;
step (num, den, t)
```

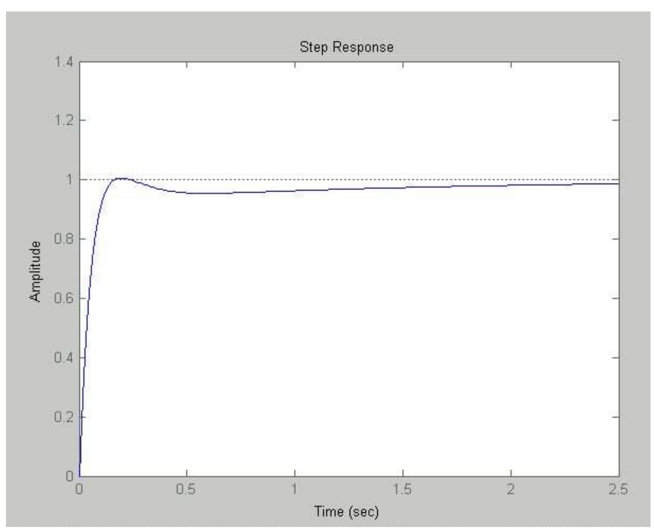


Fig.6.14

Consemnați concluziile finale în referat.