

## Conducerea instalațiilor cu reglatoare cu model de referință.

*Prof. dr. ing. Sorin Larionescu - UTCB*

Schema bloc a unui sistem automat modern, cu reacție de la perturbație, folosit în construcții este prezentată în figura 1. Relația dintre ieșirea sa  $Y$  și cele trei intrări, referința  $R$ , perturbația  $P$  și zgomotul  $Z$ , este următoarea:

$$Y = \frac{BCF}{1+CF}R + \frac{D-FA}{1+CF}P - \frac{CF}{1+CF}Z \quad (1)$$

în care  $A(s)$  este compensatorul perturbației,

$B(s)$  : prefiltrul referinței,

$C(s)$  : compensatorul erorii,

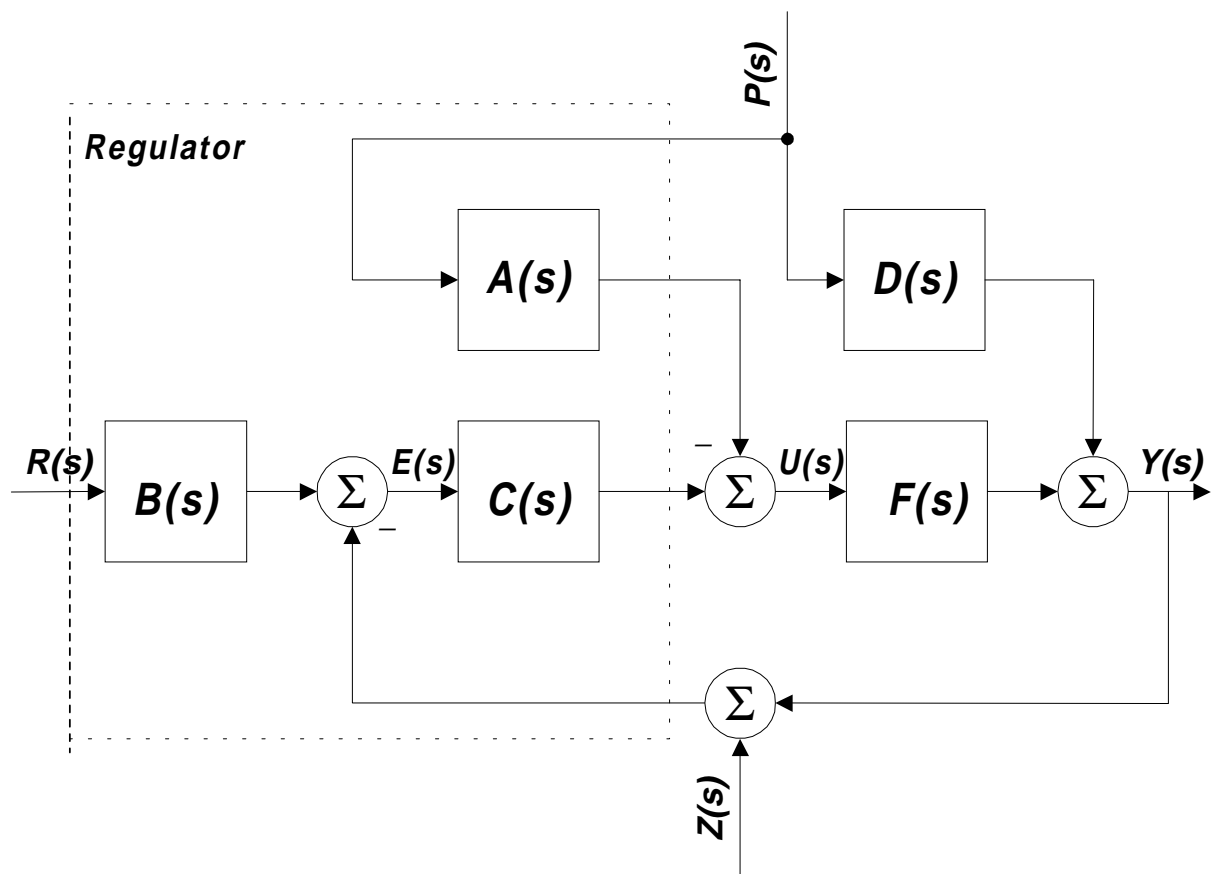
$D(s)$  : funcția de transfer perturbație – clădire,

$F(s)$  : funcția de transfer a părții fixe a instalației, incluzând elementul de execuție, procesul și traductorul.

Se observă că dacă compensatorul perturbației are funcția sa de transfer  $A=D/F$  atunci influența perturbației este nulă. Din păcate funcțiile de transfer  $F$  și în special  $D$  nu sunt cunoscute și compensatorul  $A$  nu poate fi determinat cu precizie. Mai mult, ele se modifică în timp. Tot din relația (1) se constată însă, că dacă compensatorul erorii există și are o funcție de transfer  $C$  destul de mare, efectul perturbației este dramatic scăzut chiar în prezența unui risc de necunoaștere sau modificare a proceselor conduse. Creșterea lui  $C$  poate provoca însă pierderea stabilității.

Pentru înlăturarea efectelor modificării procesului condus mi-am propus să studiez un sistem automat cu regulator cu model de referință. Schema bloc a unui astfel de sistem aplicat la situația existentă în instalațiile pentru construcții este prezentată în figura 2. A apărut un singur bloc nou  $G$ , care reprezintă modelul dorit pentru funcția de transfer a sistemului automat. De data aceasta compensatorul  $C$  tinde să anuleze eroarea de modelare între ieșirea sistemului automat și ieșirea modelului. Ieșirea sistemului automat este:

$$Y = \frac{F(B+CG)}{1+CF}R + \frac{D-FA}{1+CF}P - \frac{CF}{1+CF}Z \quad (2)$$



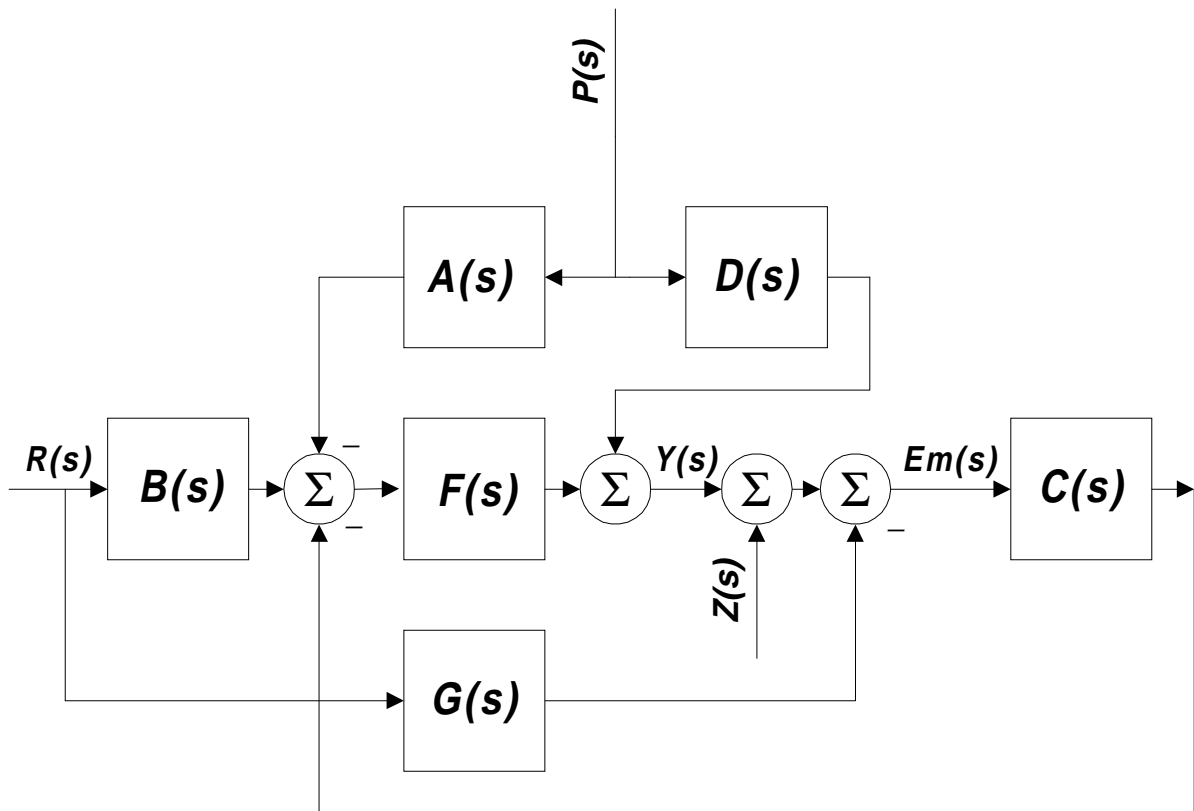
Comparând relațiile 1 și 2 observăm că sistemul cu regulator cu model de referință din figura 2 se comportă la fel cu sistemul modern din figura 1 în regim de reglare și în regim de filtrare. Se modifică comportarea în regim de urmărire. Dacă C este un compensator proporțional cu constanta de proporționalitate K foarte mare atunci perturbația P este înlăturată iar ieșirea sistemului automat va fi:

$$Y = GR + FZ \quad (3)$$

Funcția de transfer a sistemului automat în regim de urmărire va fi G, așa cum ne-am dorit, iar funcția de transfer în regim de filtrare va fi F.

Din păcate în practică K nu poate fi foarte mare deoarece sistemul devine instabil. O soluție constă în folosirea unui regulator industrial PID. În lucrare ne-am propus să proiectăm un regulator cu model de referință care folosește un compensator al erorii de modele tip PID și să studiem comportarea sa comparativ cu cazul ideal descris de relația (3).

Considerăm un sistem automat de reglare a temperaturii într-o clădire. Din relația (2) rezultă că modelul de referință influențează doar comportarea sistemului în regim de urmărire. Pentru simplificarea analizei nu mai studiem efectul reacției de la perturbație și efectul zgomotului. Deci  $A=0$ ,  $D=1$  și  $Z=0$ .



Relația (2) devine:

$$Y = \frac{F(B+CG)}{1+CF} R + \frac{1}{1+CF} P \quad (4)$$

În felul acesta se va studia în regim de urmărire influența regulatorului cu model de referință iar în regim de reglare influența compensatorului PID asupra stabilității.

Pentru partea fixă a instalației se acceptă funcția de transfer:

$$F(s) = \frac{1}{(1+Ts)^4} = \frac{1}{(1+s)^4} \quad (5)$$

Dacă toate cele patru constante de timp  $T$  sunt în această relație egale cu 1 oră rezultă prin simulare că durata procesului tranzitoriu este de 10 ore. Constanta de proporționalitate a părții fixe în (5) este  $K_f=1$  [V/V].

Instalația poate să urmărească modelul impus în condiții bune numai dacă este mai rapidă decât modelul. Pentru realizarea acestei condiții alegem un model cu o durată a

procesului tranzitoriu de zece ori mai mare decât a instalației (4), adică aproximativ 100 ore. Funcția sa de transfer va fi:

$$G(s) = \frac{0,03}{s + 0,03} \quad (6)$$

RASPUNSUL INDICIAL IN REGIM DE REGLARE

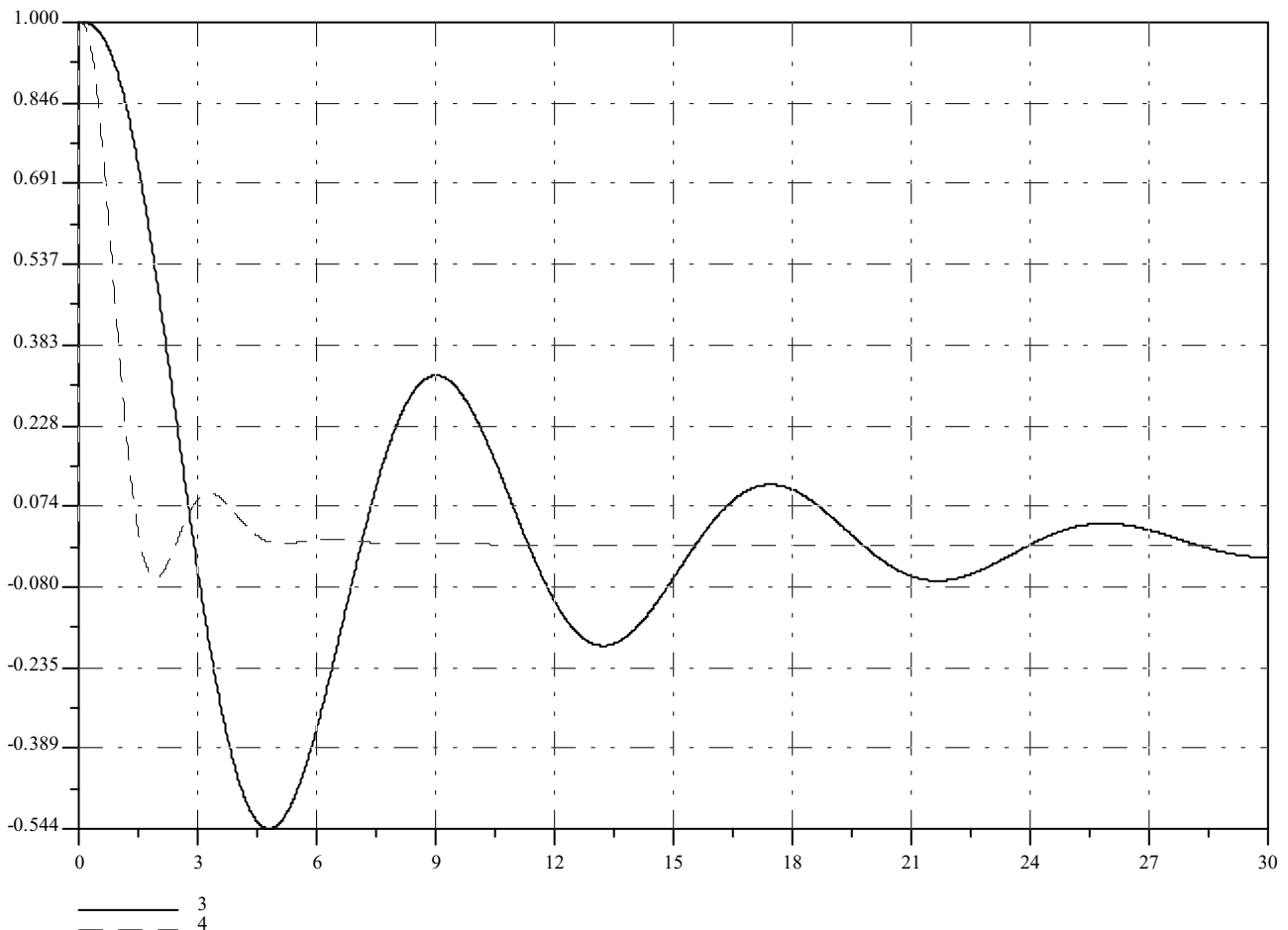


Fig. 3. Simularea sistemului automat cu regulator cu model de referință. Regimul de reglare. Curba 3 corespunde lui  $F(s)$  determinat de (4) cu  $T=1$  h iar curba 4 corespunde lui  $F(s)$  cu  $T=0,5$  h.

Proiectăm compensatorul PID al erorii de modelare prin metoda locului rădăcinilor pentru o suprareglare de 50% recomandabilă în regim de reglare. Dacă zerourile compensatorului sunt identice cu polii părții fixe  $F(s)$  pentru  $T=1$  h rezultă constanta de proporționalitate în buclă deschisă  $k_0=1$  și următoarea funcție de transfer pentru compensatorul PID al erorii de modelare:

$$C(s) = \frac{(s+1)(s+1)}{s} = 2\left(1 + \frac{1}{2s} + 0,5s\right) \quad (7)$$

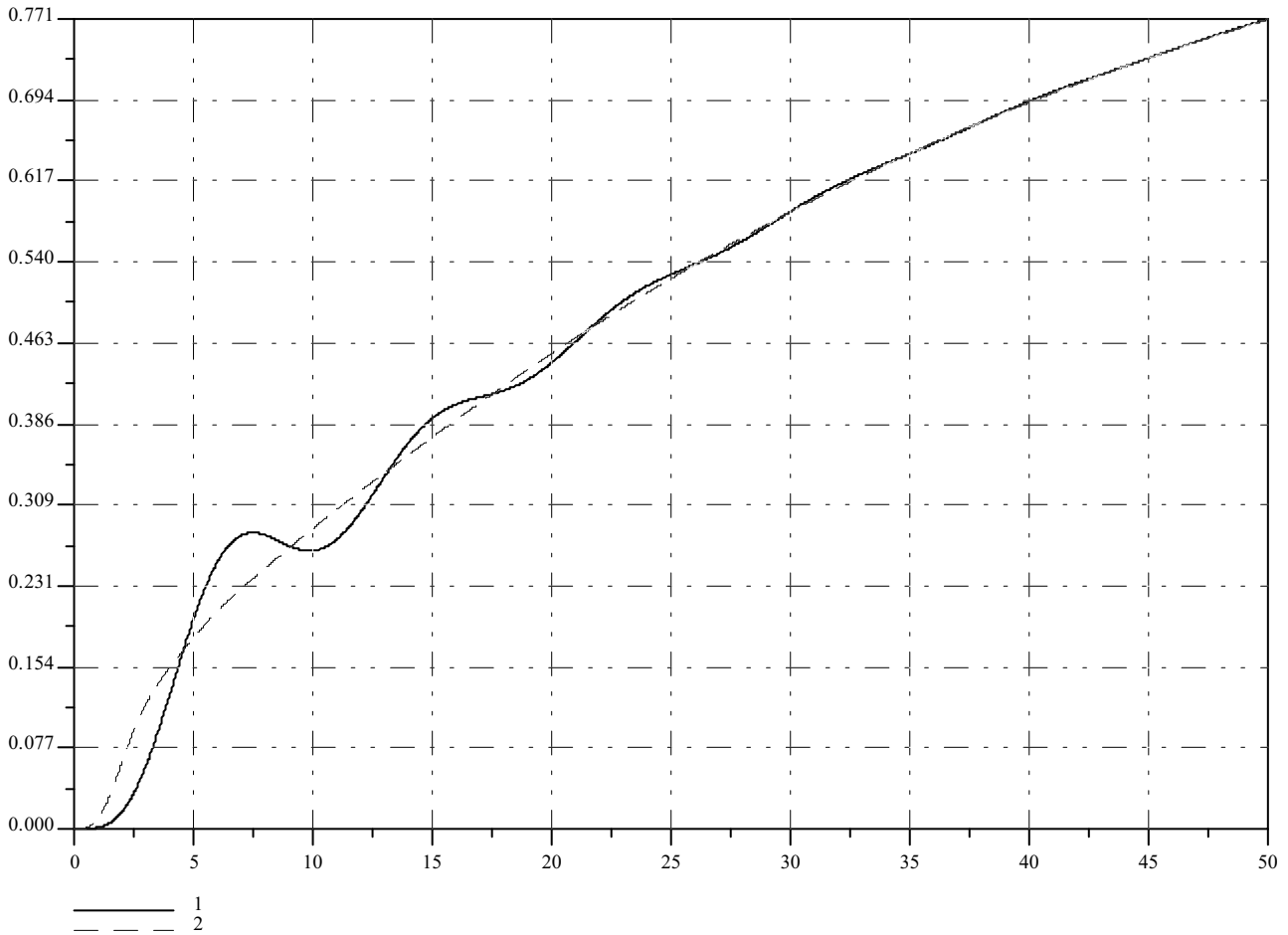


Fig. 4. Simularea sistemului automat cu regulator cu model de referință. Regimul de urmărire. Curba 1 corespunde lui  $F(s)$  determinat de (4) cu  $T=1$  h iar curba 2 corespunde lui  $F(s)$  cu  $T=0,5$  h. Modelul de referință este lent, relația 6.

Am elaborat un program de simulare al sistemului automat cu regulator cu model de referință în limbajul Scilab (lista 1). Răspunsul în regim de urmărire este prezentat în figura 3. Se observă că este îndeplinită condiția de suprareglare de 50%. Perioada oscilațiilor este de aproximativ  $T_0=10$  h. Pentru a împiedica apariția oscilațiilor și în regim de urmărire se introduce un prefiltru trece jos cu banda de trecere egală cu  $1/T_B=0,01$ . Funcția sa de transfer va fi:

$$B(s) = \frac{1}{1 + T_B s} = \frac{0,01}{s + 0,01} \quad (8)$$

Simularea în regim de urmărire este prezentată în figura 4. Curba 1, corespunzătoare instalației cu funcția de transfer 5, urmărește, cu unele oscilații la început, modelul 6.

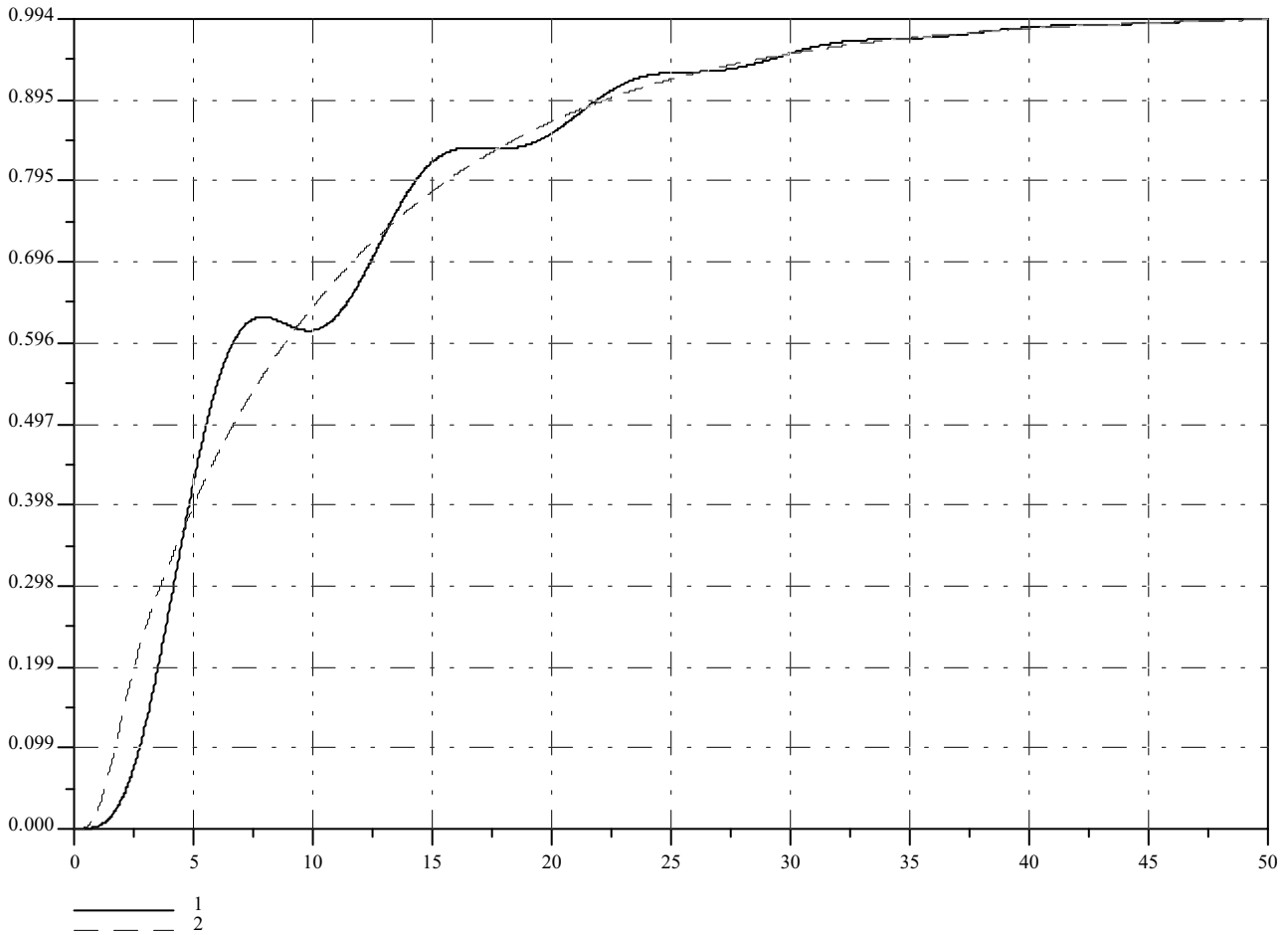


Fig. 5. Simularea sistemului automat cu regulator cu model de referință. Regimul de urmărire. Curba 1 corespunde lui  $F(s)$  determinat de (4) cu  $T=1$  h iar curba 2 corespunde lui  $F(s)$  cu  $T=0,5$  h. Modelul de referință este rapid, relația 10.

Deoarece sistemul proiectat are regulatorul adaptiv în regim de urmărire ne așteptăm ca o schimbare semnificativă a funcției de transfer a părții fixe să nu modifice mult curba 1 din figura 4. Să considerăm că partea fixă are următoarea funcție de transfer:

$$F(s) = \frac{16}{(s+2)^4} \quad (9)$$

Comparând relațiile (5) cu (9) se constată o modificare cu 100% a constantelor de timp  $T$ , de la 1 h la 0,5 h. Simularea instalației (9) cu regulator cu model de referință în regim de urmărire conduce la răspunsul indicial prezentat sub forma curbei 2 din figura 4. Diferențele față de curba 1 sunt minore. În schimb pentru regimul de reglare din figura 3 sistemul automat răspunde foarte diferit în cazul celor două instalații, caracterizate de funcțiile de transfer (5) și (9).

***Lista 1. Programul Scilab pentru simularea sistemului automat.***

// Sistem automat cu regulator auoacordabil cu model de referinta

s=poly(0, 's');

pB=0.1/(s+0.1); // Prefiltrul de urmarire

pC=1\*(s+1)\*(s+1)/s; // Compensatorul PID al erorii de modelare

pG=0.03/(s+0.03); // Modelul sistemului automat in regim de urmarire

// Regim de urmarire cu T=1

pF=1/((s+1)^4); // Partea fixa a instalatiei

pHu=pF\*(pB+pC\*pG)/(1+pC\*pF);

tmax=50; timp=[0:tmax/2000:tmax];

Hu=syslin('c', pHu); Y1=csim('step', timp, Hu);

// Regim de reglare cu T=1

pHr=1/(1+pC\*pF);

tmax=30; timp=[0:tmax/2000:tmax];

Hr=syslin('c', pHr); Y1r=csim('step', timp, Hr);

// Regim de urmarire cu T=0.5

pF=16/((s+2)^4); // Parte fixa a instalatiei

pHu=pF\*(pB+pC\*pG)/(1+pC\*pF);

tmax=50; timp=[0:tmax/2000:tmax];

Hu=syslin('c', pHu); Y2=csim('step', timp, Hu);

xbasc(0); xset("window", 0); xselect(); xset("use color", 0);

plot2d([timp',timp'], [Y1', Y2'], [1,2], "121", "1@2");

xgrid(5); xtitle('RASPUNSUL INDICIAL IN REGIM DE URMARIRE');

// Regim de reglare cu T=0.5

pHr=1/(1+pC\*pF);

tmax=30; timp=[0:tmax/2000:tmax];

Hr=syslin('c', pHr); Y2r=csim('step', timp, Hr);

xbasc(1); xset("window", 1); xselect(); xset("use color", 0);

plot2d([timp',timp'], [Y1r', Y2r'], [1,2], "121", "3@4");

xgrid(5); xtitle('RASPUNSUL INDICIAL IN REGIM DE REGLARE');

În sfârșit, este interesant să urmărim cum funcționează sistemul automat dacă modelul de referință al regulatorului este mai rapid. În locul funcției de transfer (6) să adoptăm următorul model:

$$G(s) = \frac{0,1}{s + 0,1} \quad (10)$$

Simularea în regim de urmărire cu noul model este prezentată în figura 5. Comparând cu figura 4 se constată că proprietățile de autoacordare se păstrează, doar oscilațiile datorate regimului tranzitoriu sunt mai pronunțate.

În concluzie, regulatorul cu model de referință, două grade de libertate și compensator PID al erorii de modelare poate fi folosit cu succes în regim de *urmărire* pentru conducerea proceselor din instalațiile pentru construcții într-o structură de forma celei din figura 2. În regim de *reglare* s-au *filtrare* acest regulator nu este recomandabil. Regulatorul cu model de referință constituie o alternativă la regulatorul autoacordabil. În acest caz regulatorul este actualizat fără o operație intermediară de identificare. Oscilațiile amortizate care apar în răspunsul sistemului automat cu regulator cu model de referință pot produce dificultăți în practică prin excitarea unor moduri proprii nemodelate ale instalației. Pentru înlăturarea acestui efect este necesară o frecvență de eșantionare suficient de mare.

### Bibliografie

1. Dumitrache I., Automatizări electronice, Ed. didactică și pedagogică, Buc., 1993.
2. Dutton K., Thompson S., Barraclough., The art of control engineering, Addison-Wesley, New York, 1997.
3. Ionescu C., Vlădeanu V., Larionescu S., Ionescu D., Automatizări, Ed. didactică și pedagogică, București, 1982.
4. Scilab Group, Introduction to Scilab, Introduction To Scilab, INRIA, Unite de recherche de Rocquencourt, Projjet Meta2, France, <http://www-rocq.inria.fr/scilab/>.