

PROIECTAREA UNUI CONTROLLER DIGITAL PENTRU O CELULĂ DE TERMOMICROSCOPIE UTILIZÂND MATLAB/SIMULINK

prof. dr. ing. Cristian Dumitrache
Universitatea Valahia Târgoviște

Rezumat: Prezentăm în acest articol rezultatele proiectării unui regulator digital ce realizează funcția de regulator I-PD pentru o celulă de termomicroscopie [1]. Rezultatele sunt obținute utilizând pachetul de programe Matlab-Simulink [4].

Articolul urmează pașii:

- alegerea modelului termic al celulei prin identificare;
- proiectarea regulatorului PID analogic și apoi I-PD și acordarea sa cu metoda Ziegler-Nichols;
- discretizarea algoritmului utilizând metoda trapezelor (Tustin);
- alegerea frecvenței de eșantioane și studiul stabilității pe modelul liniar și pe cel neliniar

Cuvinte cheie: termomicroscopie, regulator PID digital, funcția de transfer, Simulink, frecvență de eșantionare.

1. Introducere

Celula de termomicroscopie este un dispozitiv adaptabil unui microscop optic, ce permite obținerea și determinarea dependenței de temperatură a unor procese fizice. Ea a fost descrisă în articolul nostru [1]. Tot aici, au fost prezentate elementele schemei termice echivalente, utilizabile pentru proiectare.

În articolul de față, vom prezenta deducerea funcției de transfer a celulei reale, precum și rezultatele proiectării unui regulator digital de temperatură.

2. Modelare și rezultate

Identificarea celulei de termomicroscopie în buclă deschisă s-a făcut utilizând aranjamentul experimental, reprezentat în figura 1.

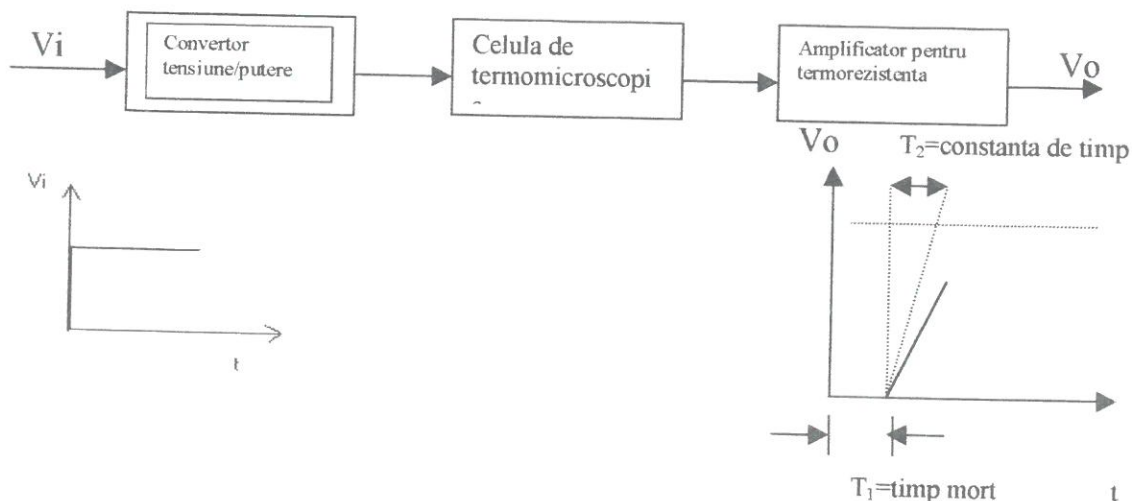


Figura 1. Identificarea celulei utilizând un semnal treaptă

Măsurătorile au fost efectuate pentru mai multe temperaturi inițiale ale celulei, ele fiind reluate atât pentru regimul de încălzire, cât și pentru cel de răcire.

Sistemul se comportă neliniar, caracteristicile răspunsului depinzând semnificativ de mărimea trepte de comandă a temperaturii, iar vitezele de răcire fiind dependente de temperatura de start de la care începe răcirea.

Ținând seama de domeniul curent de lucru al celulei, a fost luată în considerare curba specifică domeniului de temperatură 50°C-100°C deoarece indicele de refracție al sticlelor de identificat se egalează cu cel al uleiului de imersie de obicei în acest interval de temperatură.

Accastă curbă este caracteristică unui sistem de ordinul 1, având timpul de întârziere de $T_1 \approx 10$ s și σ constantă de timp $T_2 \approx 100$ s. Factorul static de amplificare este $K \approx 1,1$. Acest răspuns este reprezentat în figura 2.

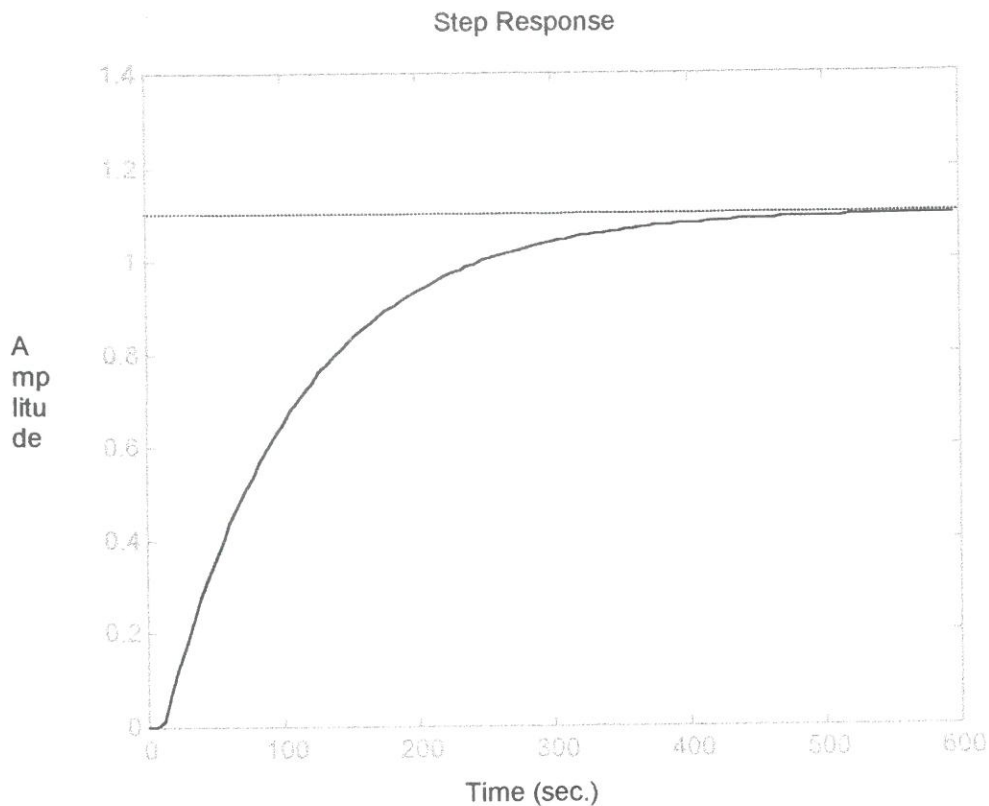


Figura 2. Răspunsul la treaptă al celulei de termomicroscopie pentru intervalul de temperatură 50°C-100°C (Buclă deschisă)

Timpul de creștere pentru lucrul în buclă deschisă este de aproximativ 220 s, deci, inacceptabil de lung.

Vom reține, deocamdată, că funcția de transfer a celulei este pentru domeniul temperaturilor 50°C-100°C:

$$G(s) = 1,1 \frac{\exp(-10s)}{100s + 1} \quad (1)$$

Formulăm cerințele de proiectări pentru comportarea sistemului în buclă închisă ca:

1. Pentru răspunsul la treaptă:
 - timp de creștere sub 20 s;
 - suprareglaj sub 15%.
2. Pentru răspunsul la rampa de temperatură cu panta 0,2° C/s:

O abatere este permisă între referința de temperatură și temperatura realizată de maximum 3°C.

Regulatorul PID este montat, inițial, în serie cu celula, iar reacția este unitară. Funcția de transfer a regulatorului este

$$G_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_D s}{\frac{T_D s}{N} + 1} \right) \quad (2)$$

iar coeficienții K_p , T_i și T_d se aleg conform metodei Ziegler-Nichols:

$$K_p = 1,2 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 12$$

$$T_i = 2 \cdot T_1 = 20s$$

$$T_D = 0,5T_2 = 50s$$

factorul de filtraj $N=10$

(3)

Pentru acest caz, schema de simulare este realizată în Simulink și reprezentată în figura 3.

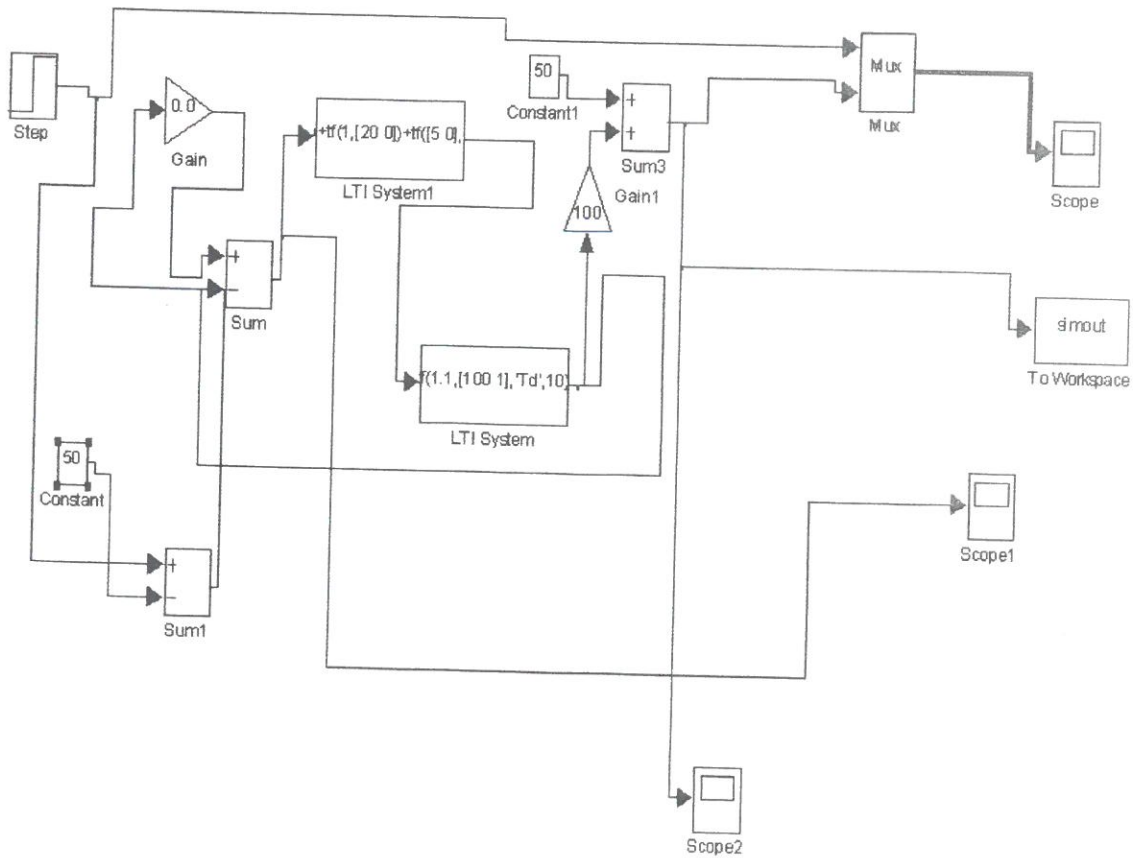


Figura 3. Model Simulink pentru regulator PID în serie cu celula de termomicroscopie

Răspunsul la treapta de temperatură de 100°C , obținut cu acest program, este reprezentat în figura 4.

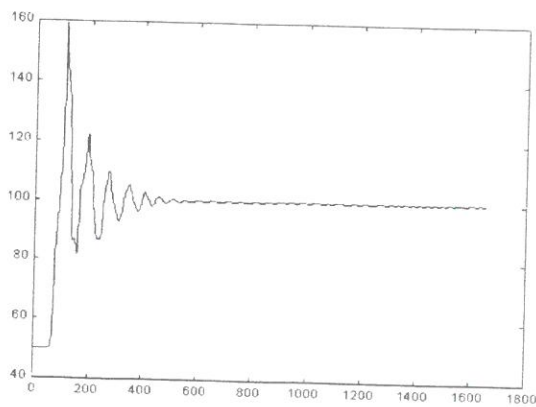


Figura 4. Răspunsul la treapta de 100° pentru regulatorul PID montat în serie cu celula de termomicroscopie

Deși scurt (cu un timp de creștere sub 100 s), acest răspuns este inacceptabil datorită suprareglajului de peste 50 %. În plus, această situație nu este fizic realizabilă deoarece tensiunea de comandă are și valori negative care, evident, nu pot să răcească elementul rezistiv.

Cauza acestui răspuns oscilant stă în zerourile introduse de regulatorul PID, legat în serie cu celula. În consecință, vom apela la o structură de tipul I-PD, care este reprezentată în figura 5.

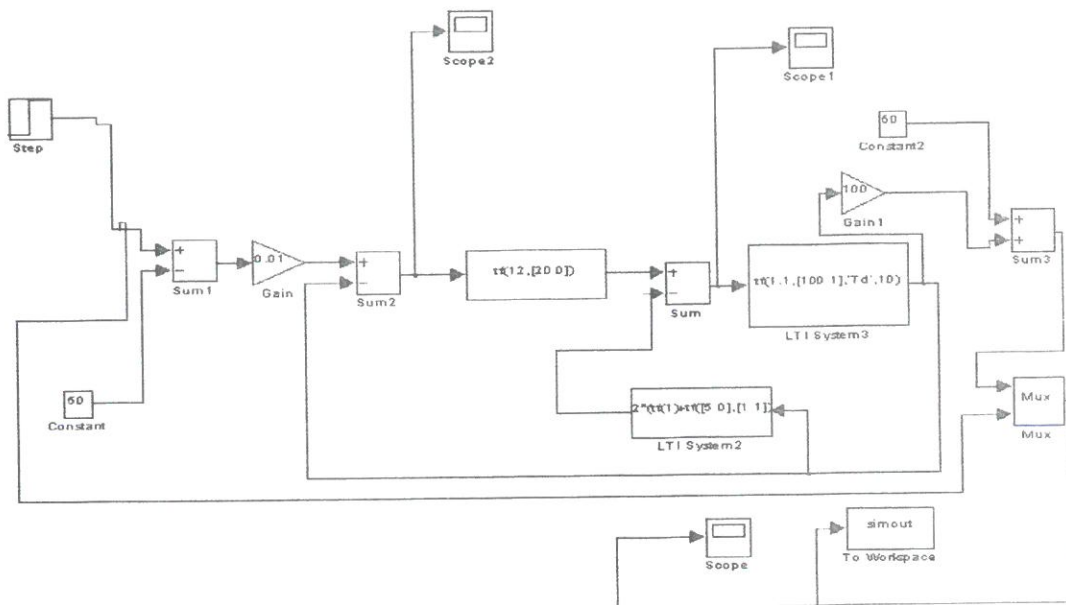


Figura 5. Modelul Simulink pentru regulatorul I-PD atașat celulei de termomicroscopie

Răspunsul la treaptă de temperatură de 100°, obținut cu acest montaj este reprezentat în figura 6.

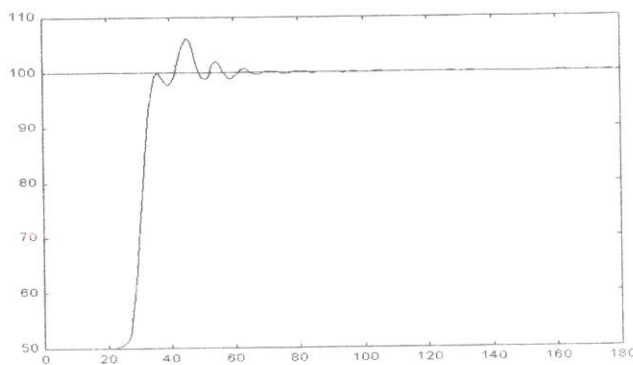


Figura 6. Răspunsul la treapta de 100° C cu regulator I-PD

Acest răspuns având timpul de creștere în jur de 10 s și un suprareglaj de sub 10% este acceptabil. În consecință, putem lua ca bază această schemă analogică pentru a găsi ecuațiile regulatorului numeric.

3. Proiectarea regulatorului I-PD numeric

Având fixată structura și constantele regulatorului analogic, putem trece la proiectarea regulatorului numeric corespunzător făcând substituția (Tustin).

(*T* este perioada de eșantionare)

Corespunzător, integratorul va fi descris de ecuația

$$I(z) = \frac{K_p}{T_i s} \quad s = \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1} \tag{5}$$

iar partea de regulator proporțional derivativ:

$$PD(Z) = K_p \left(1 + \frac{T_D s}{\frac{P_D s}{H} + 1} \right) \quad s = \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1}$$

(6)

Pentru a obține valorile numerice (deci coeficienții ecuațiilor (5) și (6)), singura necunoscută ce mai trebuie determinată este perioada de eșantionare T. Regulile pentru fixarea acesteia sunt [2], [3]:

$$\frac{1}{T} \geq 10 f_B$$

$$T < \frac{T_i}{4}$$

$$T < \frac{t_{stabilire}}{10}$$

(f_B este lărgimea de bandă la - 3 dB pentru sistemul în buclă închisă)

(7)

Rulând programul scris în Matlab și prezentat în Anexa 1, vom obține diagrama Bode din figura 7 ce furnizează $f_B \approx (0,11)/2\pi$, adică $T \leq 5,5$ s.

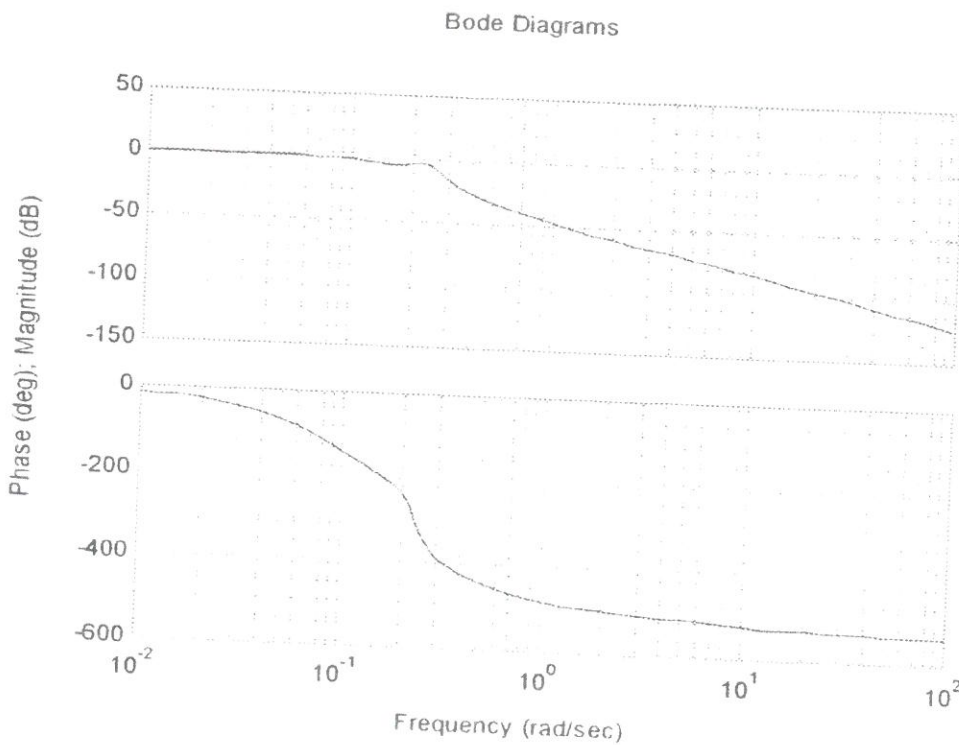


Figura 7. Diagrama Bode

Pentru a îndeplini toate cele trei condiții din (7), vom alege perioada de eșantionare $T=1$ s. Același program din Anexa 1 furnizează pentru sistemul numeric linear, ce corespunde acestei valori; un loc al rădăcinilor reprezentat în figura 8.

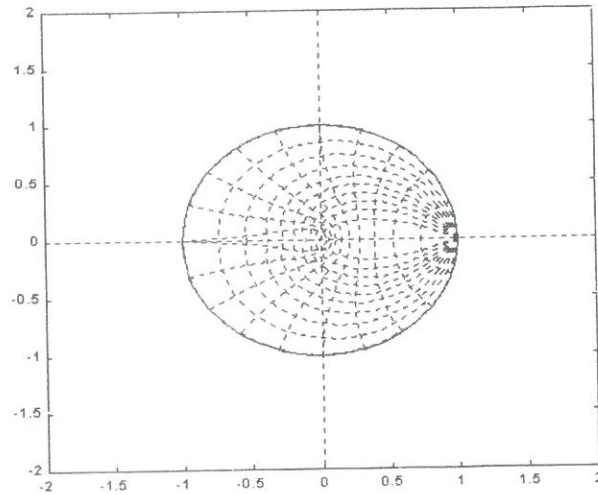


Figura 8. Locul rădăcinilor, regulator numeric I-PD, $T=1$ sec

Având determinată astfel perioada de eșantionare se poate trece la simularea sistemului neliniar, real, adică având convertorii A/D și D/A pe 10 biți și limitarea tensiunii de comandă la valori pozitive ($0 \div 5$ v). Schema Simulink corespunzătoare este prezentată în figura 9.

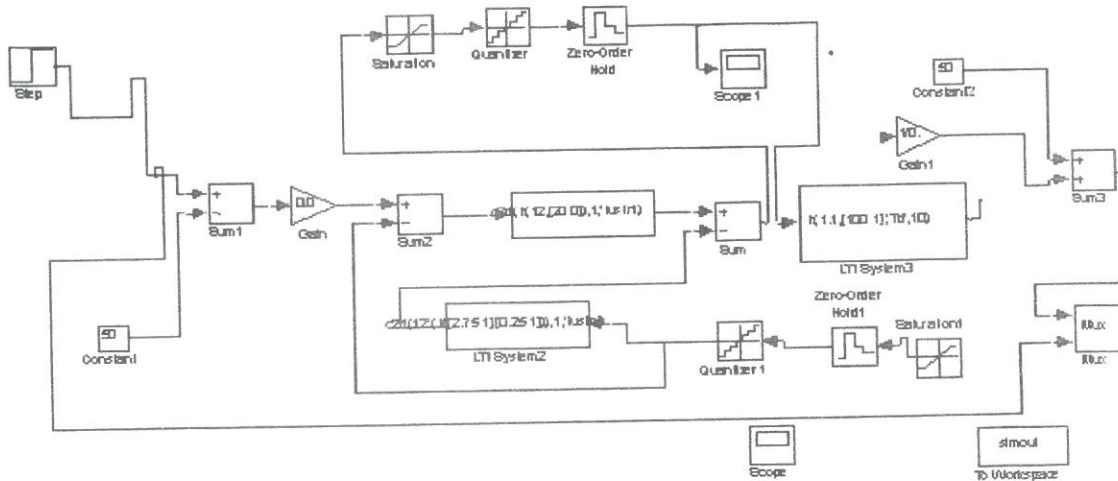


Figura 9. Modelul Simulink, neliniar (Conversii A/D și D/A pe 10 biți)

Răspunsul realizat la treapta de temperatură satisface condiția impusă prin temă. El este reprezentat în figura 10.

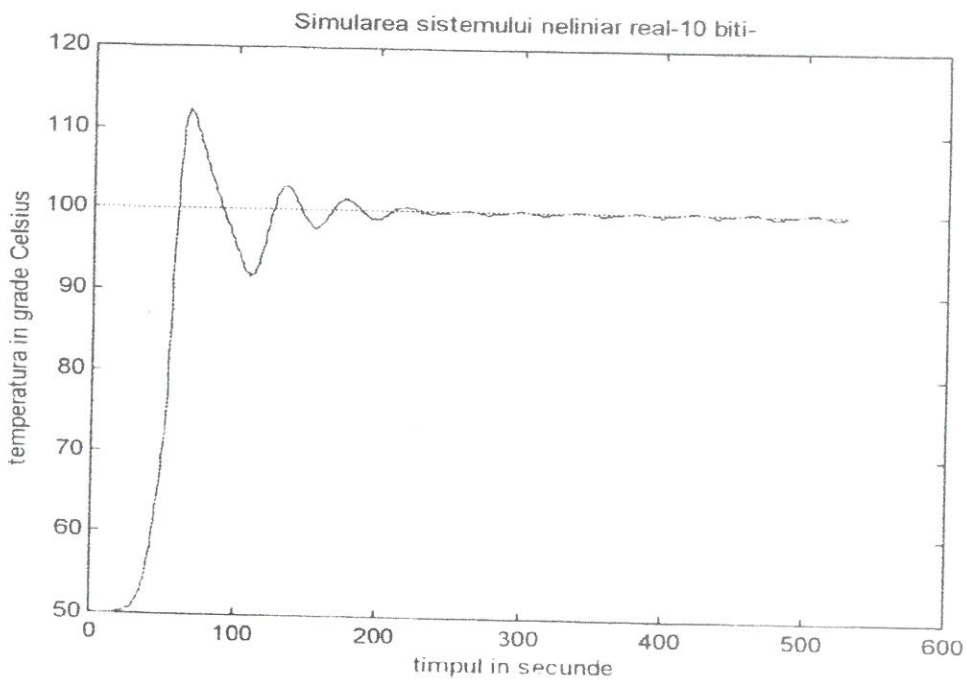


Figura 10. Răspunsul sistemului neliniar la treapta de temperatură de 100°C

În figura 11 este reprezentată tensiunea de comandă în acest caz, iar în

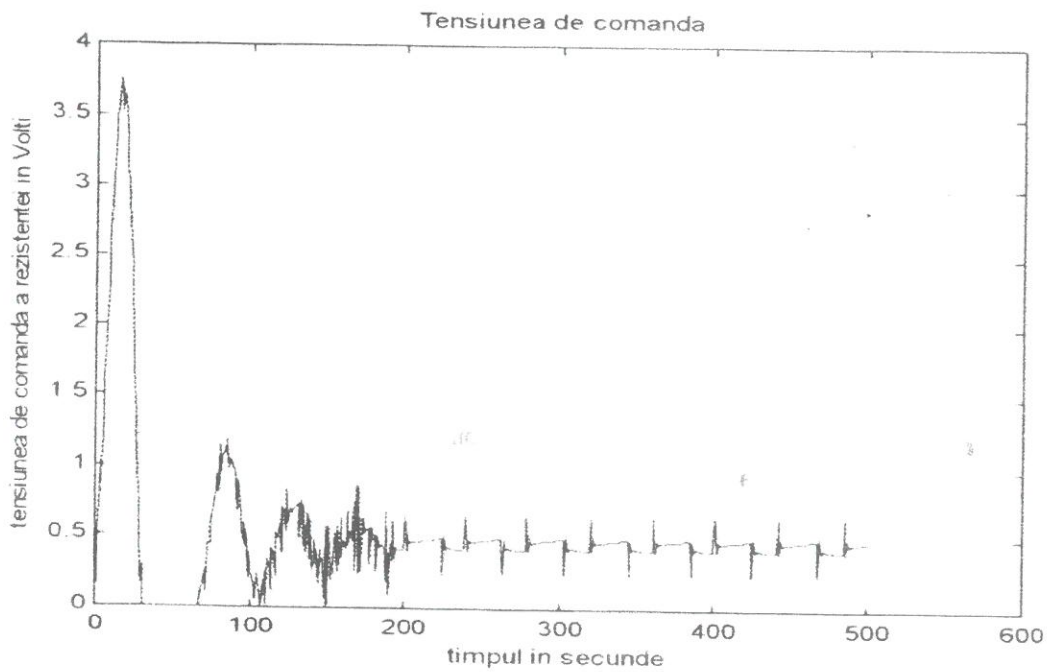


Figura 11. Tensiunea de comandă

Figura 12 răspunsul sistemului respectiv la rampa de temperatură cu panta 1/5 °C/s.

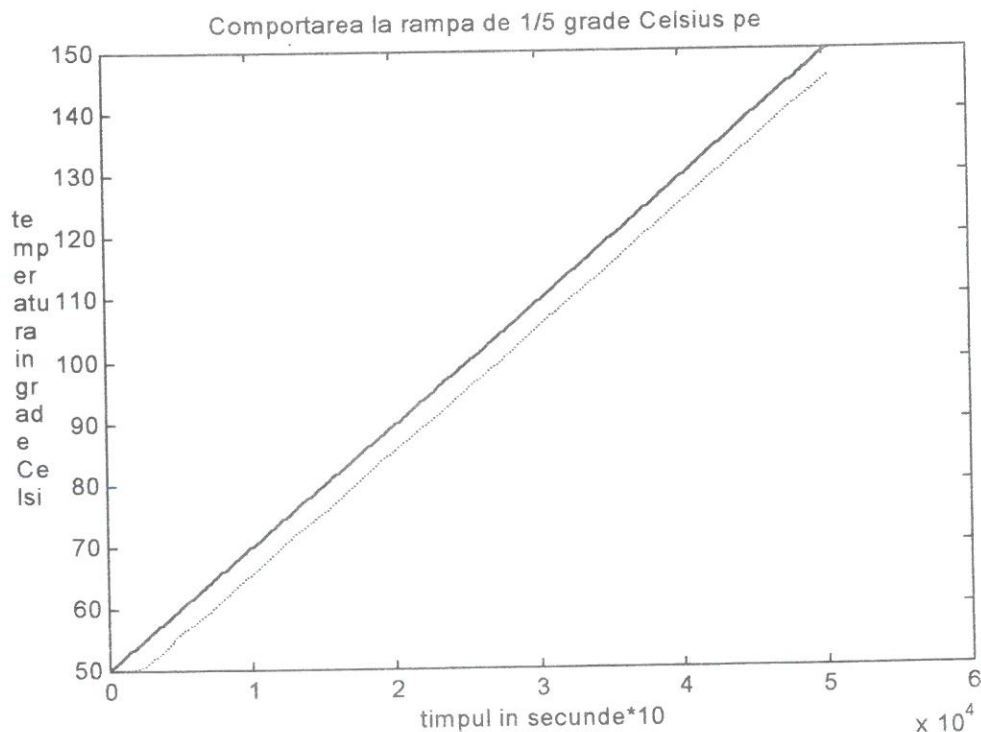


Figura 12. Răspunsul celulei de termoscopie la rampa în pantă de 1/5 °C/s.

Concluzii

Am prezentat în acest articol:

- Obținerea funcției de transfer a celulei de termomicroscopie pentru domeniul curent de lucru 50°C-100°C
- Structura regulatorului I-PD analogic
- Alegerea perioadei de eșantionare
- Funcțiile de transfer ale regulatorului numeric
- Rezultatele simulării incluzând efectul convertoarelor analog-digital și digital-analog precum și al limitatorului tensiunii de comandă
- Răspunsul la treaptă și rampă pentru structura proiectată.

Într-un articol ce va urma, vom discuta efectul rezoluției de conversie și al timpului de eșantionare, precum și realizarea efectivă a schemei.

Bibliografie

1. DUMITRACHE, C.: Model termic liniar pentru o celulă de termomicroscopie (în curs de apariție).
2. LANDAU, I.D.: Identificarea și comanda sistemelor”, Ed. Tehnică, București, 1997.
3. LEIGH, J.R.: Applied Digital Control”, Prentice-Hall, 1992.
4. * * * Matlab și Simulink sunt mărci înregistrate ale “MathWorks Co”.


```

%Artmat2
%pentru determinarea perioadei de esantionare trebuie
%determinata intai banda de frecventa a sistemului
%inchis
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Constantele celulei obtinute prin identificare %%
K=input('Castigul celulei Vo/Vi =')
T1=input('Timpul de intarziere in sec. =')
T2=input('Constanta de timp a celulei in sec.=')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Acordarea regulatorului continuu %%
%% cu metoda Ziegler-Nichols %%
Kp=1.2*T2/T1;
Ti=2*T1;
Td=0.5*T1;
Gc=Kp*(tf(1)+tf(1,[Ti 0])+tf([Td 0],[Td/10 1]));%regulatorul
G=tf(K,[T2 1],'Td',T1)%celula
I=Kp*(tf(1,[Ti 0]))%Integratorul
Pd=Kp*(tf(1)+tf([Td 0],[Td/10 1]))%Regulatorul prop.deriv.
Gpade=pade(G,2);%Aproximatia de ordinul 2 pt. exp.
G1=feedback(Gpade,Pd);%Bucla interioara
Gtot=feedback(G1*I,1);%Bucla exterioara
w=logspace(-4,1,50000);
[ma,ph]=bode(Gtot,w);figure(1)
bode(Gtot)
ib=min(find(ma(:)<1/sqrt(2)));
wb=w(ib)
fs=10*wb/2/pi %Frecventa de esantionare in Hz
Ts=1/fs %Timpul de esantionare
%O rotunjim la cel mai apropiat multiplu de 10
%Ts=round(Ts/10)*10
%Si o comparam cu conditia Tss=T1/4
Tss=T1/4
figure(2)
%step(G)
%Valoarea lui Ts o vom stabili apoi prin incercari pe siste
%mul discret
%Sa evaluam efectul diferitelor valori ale timpului
%de esantionare
pause
for Tsp=[0.50 1 2 3 4 5 10 15 20 25 30 40]
Idig=c2d(I,Tsp,'tustin')%Integratorul numeric
Pddig=c2d(Pd,Tsp,'tustin')%Regulatorul PD numeric
%sim('art2')%Vafi reprezentat raspunsul sistemului neliniar
%apoi al celui liniar....
Gdig=c2d(G,Tsp)%Al celulei cu EOZ
Gldig=feedback(Gdig,Pddig);%Prima bucla
G1Intdig=Gldig*Idig; %Adaug integratorul
Gtotdig=feedback(G1Intdig,1);%Reactia rigida
clp=eig(Gtotdig);
rlocus(G1Intdig)
title('Locul radacinilor pt.Tsp=1 secunda')
disp(Tsp)
axis([-2 2 -2 2])
hold on
plot(real(clp),imag(clp),'rs')
zgrid
hold off
echo on
pause%Apasa o tasta
echo off
end

```