

Sistem Automat de Reglare a Temperaturii în Cuptor Electric

Irina COJUHARI, Bartolomeu IZVOREANU, Nicolai VICOL, Radu MELNIC

Universitatea Tehnică a Moldovei

cojuhari_irina@mail.utm.md, izvor@mail.utm.md, vikolnikolai@gmail.com, rmelnic@mail.utm.md

Abstract — În lucrare s-au utilizat metodele experimentale și analitice de acordare a regulatorului tipizat PID la proces industrial lent. S-a proiectat sistemul automat de reglare a temperaturii într-un cuptor electric, unde reglarea temperaturii a fost realizată pe baza regulatorului industrial OWEN TRM-151. Pentru procesul termic s-a ridicat curba experimentală pentru regimul de lucru. Modelul matematic al procesului s-a obținut prin utilizarea metodelor experimentale și de identificare. Pentru modelul matematic a procesului s-a efectuat acordarea algoritmului PID, utilizând metoda gradului maximal de stabilitate și metoda Ziegler-Nichols. Algoritmul PID s-a realizat prin configurarea regulatorului industrial. Verificarea rezultatelor obținute la proiectarea sistemului automat s-a efectuat prin simularea sistemului automat pe calculator în pachetul de programe MATLAB Simulink.

Index Terms — proces industrial lent, model matematic, funcție de transfer, identificarea procesului, PID regulator, metode analitice de acordare, metode experimentale de acordare.

I. INTRODUCERE

Problema reglării în aplicațiile industriale este una dintre cele mai importante, de aceasta depinzând buna funcționare a instalațiilor, siguranța în exploatare și obținerea performanțelor ridicate ale sistemului automat. La automatizarea proceselor industriale, indiferent de complexitatea acestor procese în care se reglează parametrii cum ar fi temperatura, presiunea, debitul, umiditatea ș.a., în majoritatea cazurilor se utilizează regulatoarele PID. Regulatorii de tip PID se utilizează pe larg în diferite domenii ale industriei datorită simplității deosebite și posibilității că sistemul automat va avea performanțe și robustețe bune [1 - 4, 6].

În lucrare se propune de a proiecta sistemul automat de reglare a temperaturii într-un cuptor electric, utilizând algoritmul PID și metodele gradului maximal de stabilitate și Ziegler-Nichols de acordare a parametrilor acestuia.

I. DESCRIEREA SISTEMULUI PROIECTAT

Schema de principiu a sistemului de reglare automată a temperaturii în cuptor electric este prezentată în figura 1. Elementele sistemului sunt: 1 – cuptorul cu elementul de încălzire, 2 – regulatorul industrial OWEN TRM-151, 3 – traductorul de temperatură termocplu TXK(L), 4 – interfața AC3-M, 5 – calculatorul. Cuptorul se alimentează cu energie electrică de rețea curent alternativ 220 V. Cuptorul electric a fost proiectat în baza următoarelor date tehnice: volumul cuptorului $V=500 \text{ cm}^3$, puterea electrică $P=300\text{W}$, temperatura maximală de lucru fiind $T=400 \text{ }^\circ\text{C}$.

În figura 2 este prezentată schema bloc structurală a sistemului automat, unde $H_R(s)$ reprezintă funcția de transfer a regulatorului, iar $H_{PF}(s)$ – funcția de transfer a obiectului de reglare.

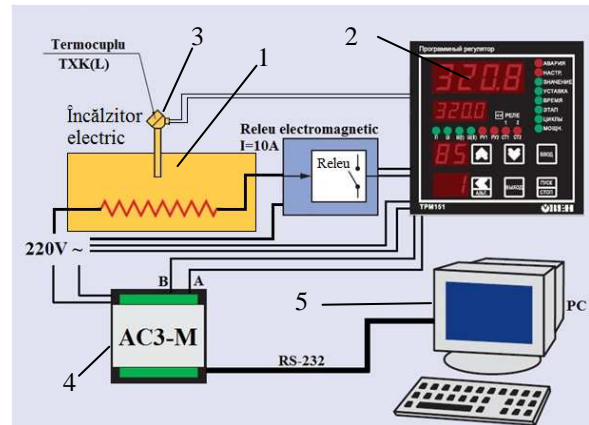


Fig. 1. Schema de principiu a sistemului automat.

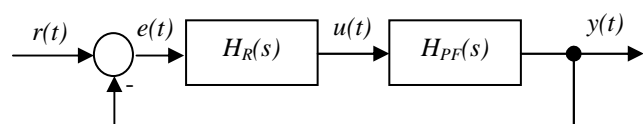


Fig. 2. Schema bloc structurală a sistemului automat.

Pentru a obține modelul matematic al cuptorului s-a ridicat curba experimentală de variație a temperaturii în cuptorul electric, aplicând la intrare semnalul de tip treaptă. Curba experimentală este prezentată în fig. 3.

Pe baza acestei curbe, utilizând interfața grafică System Identification Tool din Matlab, s-a obținut modelul matematic identificat prezentat prin următoarea funcție de transfer:

$$H(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{(T_1s+1)(T_2s+1)} = \frac{207.06e^{-1.15s}}{(2125.9s+1)(34.034s+1)} = \frac{207.06e^{-1.15s}}{72352.88s^2 + 2159.93s + 1} \quad (2)$$

În funcția de transfer (2) avem însemnările: k este coeficientul de transfer, T_1 , T_2 - constante de timp, τ - timp mort.

În lucrare se propune de a sintetiza algoritmul de reglare PID standard, care se descrie prin funcția de transfer:

$$H_{PID}(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right), \quad (2)$$

unde k_p , k_i , k_d – reprezintă parametrii de acord ai regulatorului respectiv.

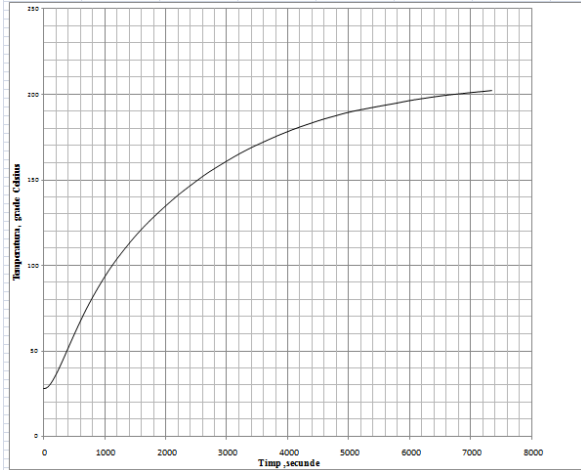


Fig. 3. Curba experimentală.

II. METODE DE ACORDARE A REGULATORULUI PID

Metoda gradului maximal de stabilitate

În cadrul acestei metode problema principală constă în garantarea pentru legile de reglare respective gradul maximal de stabilitate al sistemului automat proiectat.

În conformitate cu metoda gradului maximal de stabilitate expresiile de calcul a parametrilor de acord ai regulatorului PID se prezintă în forma [5, 6]:

$$k_p = (1/k) \exp(-\tau J) (a_0 \tau^2 J^4 - J^3 (\tau^2 a_1 + 5\tau a_0) + J^2 (\tau^2 + 3\tau a_1 + 3a_0) - \tau J - 1); \quad (5)$$

$$k_i = (1/(2k)) \exp(-\tau J) J^3 (a_0 \tau^2 J^2 - J (\tau^2 a_1 + 4\tau a_0) + \tau^2 + 2\tau a_1 + 2a_0); \quad (6)$$

$$k_d = (1/(2k)) \exp(-\tau J) (a_0 \tau^2 J^3 - J^2 (\tau^2 a_1 + 6\tau a_0) + J (\tau^2 + 4\tau a_1 + 6a_0) - 2\tau - 2a_1). \quad (7)$$

Din expresiile (5)-(7) se observă că parametrii de acord ai regulatorului PID k_p , k_i și k_d sunt funcții de parametrii cunoscuți ai obiectului și de gradul de stabilitate J necunoscut al sistemului de reglare automată: $k_p=f(J)$, $k_i=f(J)$, $k_d=f(J)$. După relațiile (5)-(7) la valorile cunoscute ale parametrilor obiectului și la variația gradului de stabilitate $J \geq 0$ în limitele respective se efectuează calculele și se construiesc curbele $k_p=f(J)$, $k_i=f(J)$, $k_d=f(J)$. În continuare, pentru determinarea parametrilor de acord ai regulatorului PID, se iau seturi de valori ale parametrilor J - k_p , k_i , k_d pentru valori optime și cuasioptimale ale lui J și pentru fiecare set de valori ale parametrilor J - k_p , k_i , k_d se simulează pe calculator sistemul automat cu regulatorul PID sintetizat. Se ridică procesul tranzitoriu a sistemului automat, după care se determină performanțele sistemului. În rezultatul calculelor respective se alege sistemul automat

care va avea cele mai ridicate performanțe (sau cele impuse).

Metoda Ziegler – Nichols

Metoda Ziegler - Nichols bazată pe răspunsul indicial permite de a acorda regulatoarele tipizate P, PI și PID în modul următor: pe baza răspunsului sistemului deschis la semnalul treaptă unitară se determină parametrii k_f , L , T_f , a , figura 4. Unde L și T_f se calculează pe baza curbei experimentale în modul următor [4]

$$\begin{aligned} L &= t_1; \\ T_f &= t_2 - t_1; \\ a &= k_f \frac{L}{T_f}. \end{aligned} \quad (8)$$

Pe baza acestor parametri se fac calculele respective a parametrilor de acord ale regulatoarelor P, PI, PID după următoarele relații: pentru regulatorul P - $k_p=1/a$; pentru regulatorul PI - $k_p=0.9/a$, $T_i=3L$; pentru regulatorul PID - $k_p=1.2/a$, $T_i=2L$, $k_d=L/2$.

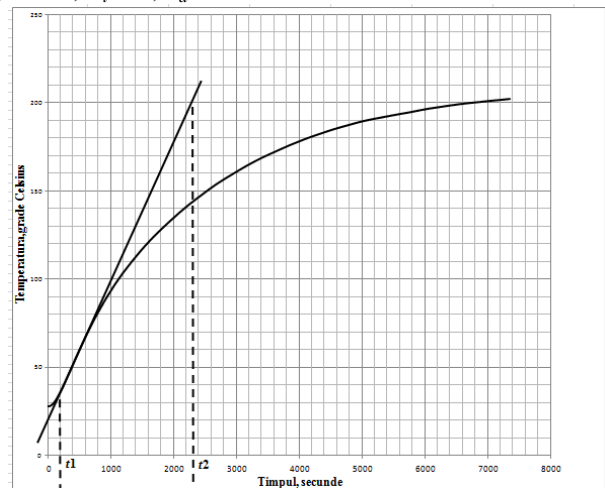


Fig. 4. Răspunsul sistemului la semnal treaptă unitară.

III. APLICAȚIE ȘI SIMULARE PE CALCULATOR

Pentru a analiza eficiența metodei de acordare a regulatorului PID la modelul obiectului identificat prezentat prin funcția de transfer (1) s-au efectuat calculele respective ale parametrilor de acord în baza expresiilor (5)-(7) și s-au construit dependențele $k_p=f(J)$, $k_i=f(J)$, $k_d=f(J)$, prezentate în figura 5.

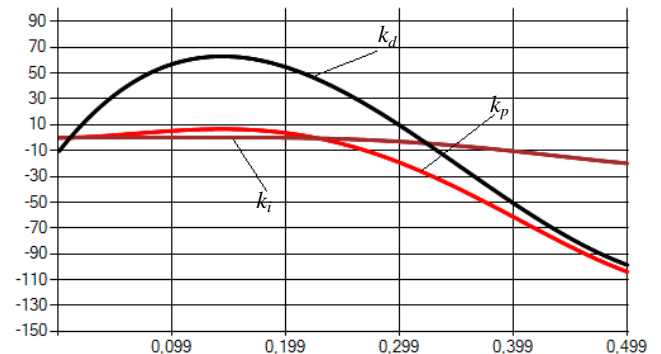


Fig. 5. Dependențele $k_p = f(J)$, $k_i = f(J)$, $k_d = f(J)$, pentru regulatorul PID.

Pe baza curbelor prezentate în figura 5 au fost alese seturi de valori $J - k_p, k_i, k_d$ ale parametrilor de acord ai regulatorului PID și valorile acestea sunt prezentate în Tabelul I.

TABELUL I. PARAMETRII REGULATORULUI PID

Tip regulator	Nr. iter.	J	k_p	k_i	k_d
Regulator PID	1	0,143	6,67	0,23	62,97
	2	0,02	0,39	0,0026	10,038
	3	0,03	0,83	0,0081	18,87
	4	0,195	4,12	0,0046	55,76

Pentru verificarea rezultatelor obținute la acordarea regulatorului PID la modelul obiectului (1) s-a efectuat simularea sistemului automat pe calculator în pachetul de programe Simulink MATLAB, iar schema de simulare pe calculator este prezentată în figura 6. Procesele tranzitorii ale sistemului automat sunt prezentate în fig. 7, numerotarea curbelor corespunde numerotării iterțiilor din tabelul 1.



Fig. 6. Schema sistemului automat de simulare pe calculator.

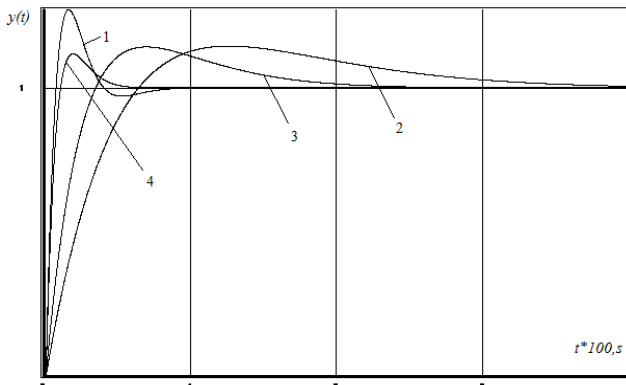


Fig. 7. Procese tranzitorii ale sistemului automat.

În continuare s-au efectuat calculele conform metodei Ziegler - Nichols bazată pe răspunsul indicial pe baza curbei experimentale (fig. 4) utilizând relațiile (8) s-au obținut valorile parametrilor de acord:

$$L = 189; T_f = 2211;$$

$$k_f = 1.56; a = 0.13;$$

$$k_p = 9.23;$$

$$k_i = 0.0026;$$

$$k_d = 94.5.$$

Pentru verificarea rezultatelor obținute la acordarea regulatorului PID după metoda Ziegler - Nichols sistemul automat cu modelul (1) s-a simulat pe calculator și procesul tranzitoriu obținut este prezentat în fig. 8.

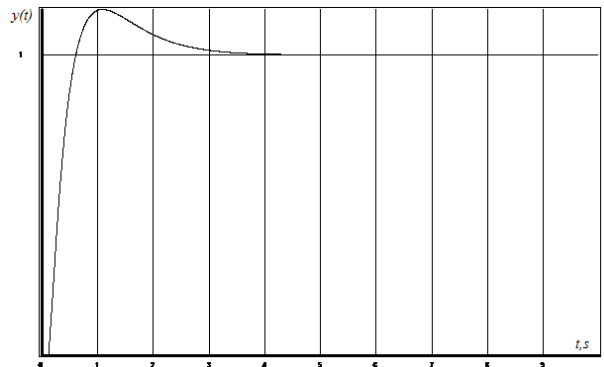


Fig. 8. Procesul tranzitoriu al sistemului automat.

În urma calculului valorilor parametrilor de acord ai algoritmului PID obținuti după metoda gradului maximal de stabilitate cu iterații și metoda Ziegler-Nichols au fost setați în regulatorul industrial TRM 151 și au fost obținute curbe experimentale: pentru cazul utilizării metodei gradului maximal de stabilitate (figura 9) și metoda Ziegler-Nichols bazată pe răspuns indicial (figura 10).

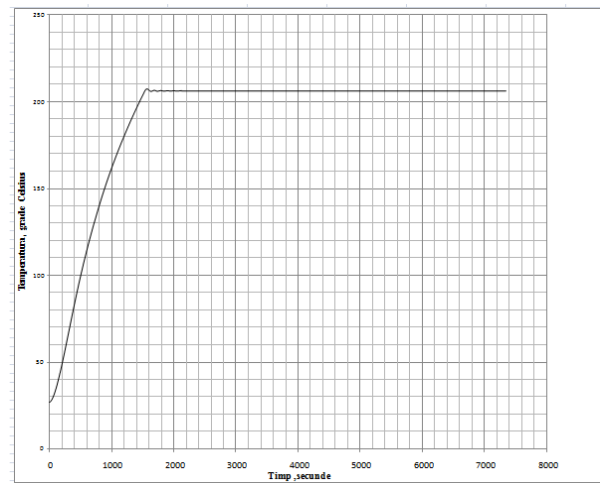


Fig. 9. Proces tranzitoriu a SA pentru cazul acordării regulatorului PID după metoda gradului maximal de stabilitate.

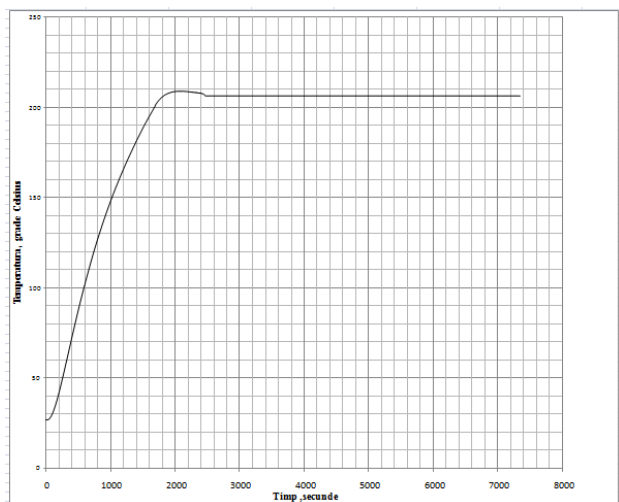


Fig. 10. Proces tranzitoriu a SA pentru cazul acordării regulatorului PID după metoda Ziegler-Nichols.

Analizând performanțele proceselor obținute din figura 9 și 10 se observă că în cazul acordării regulatorului după metoda gradului maximal de stabilitate avem timpul de reglare mai mic.

CONCLUZII

Analizând rezultatele obținute pot fi făcute următoarele concluzii:

1. În lucrare s-a comparat metodele analitice și experimentale de acordare a regulatorului PID. Metoda analitică a fost aleasă metoda gradului maximal de stabilitate, iar ca metodă experimentală a fost aleasă metoda Ziegler-Nichols bazată pe răspuns indicial.
2. S-a proiectat sistemul automat de reglare a temperaturii într-un cuptor electric, unde reglarea temperaturii s-a realizat în baza regulatorului industrial TRM 151.
3. Pentru utilizarea metodei analitice de acordare s-au utilizat procedurile de identificare a obiectului GUI System Identification Tool.
4. Pe baza datelor experimentale obținute s-au determinat valorile parametrilor de acord ai regulatorului PID după metoda Ziegler-Nichols bazată pe răspuns indicial.
5. La modelul obiectului identificat s-a acordat regulatorul PID pe baza metodei gradului maximal de stabilitate. Metoda gradului maximal de stabilitate este o procedură grafo-analitică, care permite de a obține o gamă largă de valori a parametrilor de acord și aplicând o procedură iterativă se alege acei parametri care ar satisface performanțele impuse sistemului automat.
6. În urma acordării regulatorului PID după aceste metode cele mai bune rezultate au fost obținute pentru cazul acordării regulatorului PID în baza metodei gradului maximal de stabilitate.
7. Rezultatele obținute au fost verificate prin setarea parametrilor de acord în regulatorul industrial TRM 151. În urma comparării rezultatelor s-a observat că pentru ambele metode au fost obținute procese aperiodice fără suprareglaj cu eroarea staționară de $\pm 5\%$.

REFERENCES

- [1] V. Ia. Rotach, Teoria avtomaticheskogo upravlenia termoenergheticheskimi protzessami. Moskva: Energoatomizdat, 292 s., 1985.
- [2] V. A. Lukas, Teoria avtomaticheskogo upravlenia. Moskva: Nedra, 416 s., 1990.
- [3] I. Dumitrache și al., Automatizări electronice. București: EDP, 660 p., 1993.
- [4] C. Lazăr, D. Vrabie, S. Carari, Sisteme automate cu reglatoare PID. București: MATRIX ROM, 2004. 220 p.
- [5] B. Izvoreanu, I. Fiodorov, F. Izvoreanu. "The Synthesis of Linear Regulators for Aperiodic Objects with Time Delay According to the Maximal Stability Degree Method" In: Preprints of the 4th IFAC Conference of Systems Structure and Control, București: Editura Tehnică, 1997, v. 1 - pp. 449 – 454.
- [6] B. Izvoreanu, I. Fiodorov, Cojuhari Irina. "A Tuning Algorithm of Digital Controller to the Object's Models with Inertia and Time Delay" In: Proceedings of the 8-th International Conference on Development and Application Systems DAS-2006, Suceava, 25-27 May, pp. 61-64, 2006.
- [7] N. Tan, D. P. Atherton, "Design of stabilizing PI and PID controllers". In: International Journal of Systems Science, Vol. 37 Issue 8. pp. 543-554, 6/20/2006.