

Analiza Comparativă a Metodelor de Acordare a Reguletoarelor Tipizate

Irina COJUHARI, Ion FIODOROV, Nicolai VICOL, Radu MELNIC, Tamara TIHOLAZ

Universitatea Tehnică a Moldovei

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

rmelnic@mail.utm.md, tamara.sirbu@ti.utm.md

Abstract — În lucrare se propune de a efectua o analiză comparativă a metodelor de acordare a reguletoarelor tipizate PI și PID după metoda criteriului gradului maximal de stabilitate, metoda frecvențială și optimizarea parametrică. În calitate de obiect de reglare a fost luat procesul termic într-un cuptor. Rezultatele obținute sunt analizate și comparate în pachetul de programe MATLAB Simulink.

Index Terms — reguletoare tipizate, modele de obiecte, metoda frecvențială, criteriul gradului maximal de stabilitate, optimizare parametrică din MATLAB.

I. INTRODUCERE

Reguletoarele de tip PID se utilizează pe larg în diferite domenii ale industriei datorită simplității de utilizare, performanțelor și robusteții bune oferite sistemelor automate. Prin cele trei elemente componente (proporțională P, integrativă I și derivativă D), reguletoarele tipizate realizează următoarele funcții de bază: ajustează mărimea de ieșire a regulatorului în concordanță cu parametrul de acord al componentei P, elimină erorile în regim staționar prin prezența componentei I, anticipează comportarea viitoare al procesului prin componenta D. Aceste funcții sunt suficiente pentru un număr mare de probleme de conducere a proceselor industriale în sistemele automate.

Au fost propuse și dezvoltate multe metode și algoritmi, având la bază conceptul clasic de reglare PID astfel, încât în ultimii 70 de ani una din problemele principale în ingineria reglării sistemelor automate a devenit sinteza algoritmilor de conducere. La etapa actuală de dezvoltare a metodelor de proiectare a sistemelor automate s-au propus un șir de metode empirice, analitice, grafo-analitice și metode de acordare bazate pe tehnici de optimizare. Datorită complexității proceselor industriale metodele analitice au o utilizare limitată, metodele grafo-analitice sunt legate de realizări grafo-analitice care necesită calcule dificile, metodele empirice sunt metode care au la bază tehnici clasice de găsire a parametrilor de acord dezvoltate de Ziegler-Nichols [1-4].

În lucrare se propune de a face acordarea reguletoarelor PI, PID la modele de obiecte cu inerție în baza metodei frecvențiale, criteriului gradului maximal de stabilitate și optimizării parametrice din MATLAB.

I. IDENTIFICAREA OBIECTULUI DE REGLARE

În figura 1 este prezentată schema bloc structurală a sistemului automat (SA), unde $H_R(s)$ reprezintă funcția de transfer a regulatorului, $H_{PF}(s)$ - funcția de transfer obiectului de reglare.

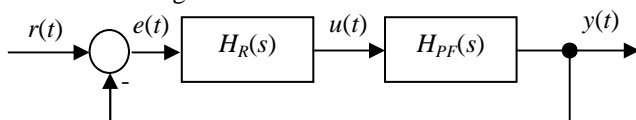


Fig. 1. Schema bloc structurală a sistemului automat.

Forma generalizată a unui regulator tipizat PID din care reiese și variațiile lui P, PD, PI se prezintă cu următoarea funcție de transfer

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

În relația (1) parametrii k_p , k_i , k_d reprezintă parametrii de acord ai regulatorului PID.

În calitate de obiect de reglare se consideră procesul termic într-un cuptor.

Curba experimentală ridicată este prezentată în figura 2, cu temperatura de referință 480°C.

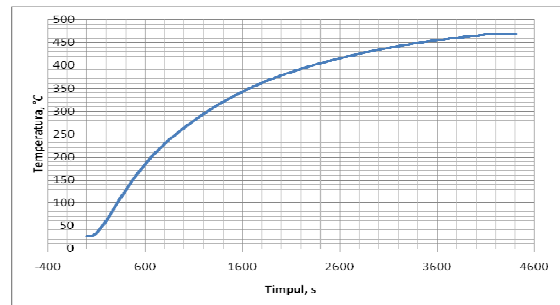


Fig. 2. Curba experimentală.

Pentru estimarea parametrilor modelului obiectului s-a utilizat Process Models din System Identification Toolbox (figura 3) și pentru identificare a fost ales modelul obiectului cu inerție de ordinul trei cu timp mort [4].

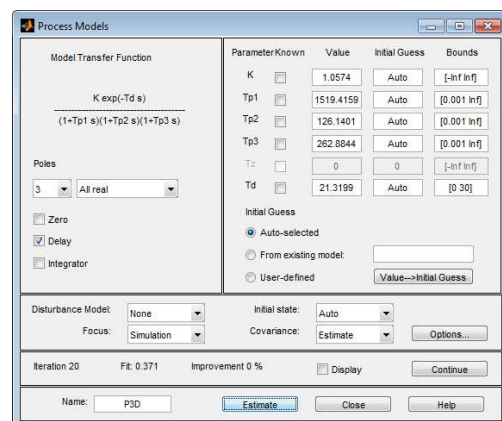


Fig. 3. Interfața de estimare a parametrilor prin opțiunea Process Models.

În urma identificării a fost obținută următoarea funcție de transfer al obiectului de reglare:

$$H_{PF}(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3} = \frac{1.0574e^{-21.31s}}{50383154.25s^3 + 624240.56s^2 + 1908.43s + 1} \quad (2)$$

În figura 4 este prezentată compararea procesului tranzitoriu al modelului obiectului identificat cu curba experimentală.

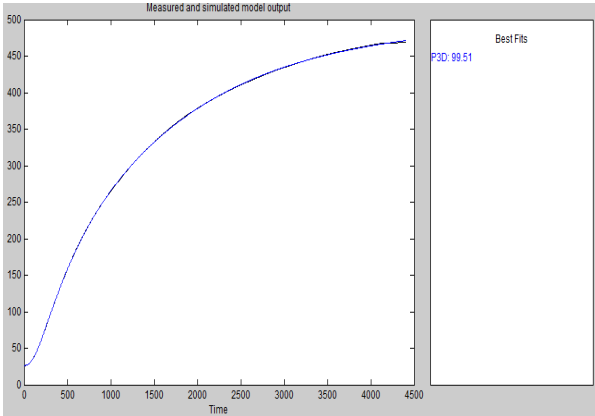


Fig. 4. Compararea rezultatelor obținute.

II. METODE DE ACORDARE A REGULATOARELOR

Metoda frecvențială.

Comportarea în frecvență a sistemelor de reglare automată poate fi apreciată prin indici de calitate, care pot fi utilizați pentru proiectarea structurii și parametrilor algoritmilor de reglare în cadrul unor structuri de sisteme automate prestabilite [2].

În cazul acordării reguletoarelor după metoda frecvențială sistemului automat se impune gradul de oscilanță a procesului tranzitoriu - M_a și se construiește locul de transfer al sistemului automat deschis (figura 5), pe care se indică circumferințele cu centrele $u_M = M^2 / (M^2 - 1)$ pe axa reală negativă și raza $r_M = M / (M^2 - 1)$, pentru un șir de valori ale lui M . În continuare, se determină spațiul parametrilor de acordare, unde se respectă condiția ca locul de transfer al sistemului automat deschis $H(j\omega)$ să nu intre în domeniul restricționat de $M=M_a$. Pentru determinarea domeniului admisibil al gradului de oscilanță, se procedează în felul următor:

1. Se construiește locul de transfer al procesului condus $H_F(j\omega)$.
2. Se construiește o dreaptă OE (figura 5) sub unghiul $\gamma = \arcsin(1 / M_{admis})$.
3. După caracteristica $H_F(j\omega)$ se construiește o familie de locuri de transfer $H_i(j\omega)$ pentru valoarea lui k_p fixată și pentru diferite valori ale lui T_i , în cazul acordării regulatorului PI, sau pentru diferite combinații T_i și valoarea fixată a lui T_d , pentru cazul acordării regulatorului PID. Aceste caracteristici se construiesc în limitele sectorului format de dreapta OE și axa reală negativă, astfel

încât să fie satisfăcut indicele de oscilanță impus. Volumul calculului pentru cazul acordării regulatorului PID crește, deoarece trebuie construită familia de caracteristici $H_i(j\omega)$ nu numai pentru diferite valori ale lui T_i , dar și pentru diferite combinații T_d și T_i .

4. Se construiesc circumferințe cu centrele pe axa negativă reală, astfel încât fiecare circumferință să atingă concomitent dreapta OE și una din caracteristicile $H_i(j\omega)$.

Valoarea limită a lui k_p pentru care gradul de oscilanță M va atinge valoarea M_{admis} poate fi determinat din expresia

$$k_p = (1/r) [M_a / (M_a^2 - 1)], \quad (3)$$

unde r este raza circumferinței.

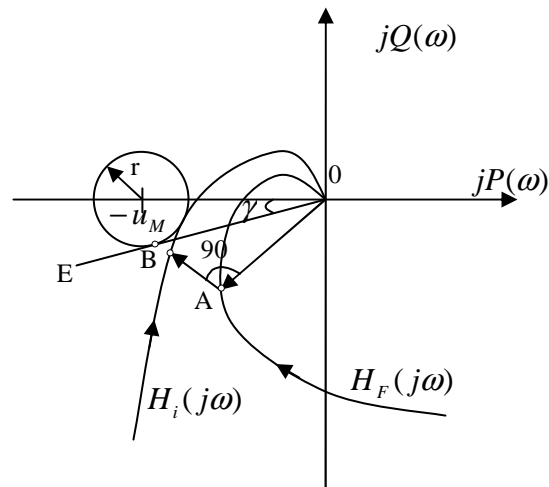


Fig. 5. Locul de transfer al sistemului automat.

Drept rezultat pot fi construite dependențele k_p^{pr} în funcție de T_i pentru PI regulator (figura 6) și familia dependențelor pentru diferite valori ale lui T_d/T_i pentru cazul acordării regulatorului PID.

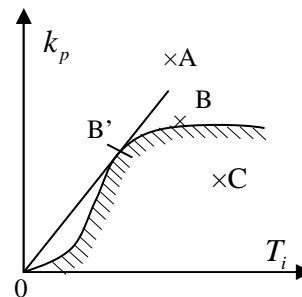


Fig. 6. Domeniul admisibil al valorilor parametrilor de acord ai regulatorului PI.

Metoda de acordare a reguletoarelor după criteriul gradului maximal de stabilitate.

În conformitate cu această metodă [5, 6], parametrii de acord ai regulatorului respectiv pot fi determinați în baza expresiilor de calcul prezentate în Tabelul 1.

TABELUL I. EXPRESIILE DE CALCUL ALE PARAMETRILOR DE ACORD AI REGULATORULUI

Funcția de transfer a obiectului reglat		
$H_F(s) = \frac{k \exp(-\tau s)}{a_0 s^r + a_1 s^{r-1} + \dots + a_{r-1} s + a_r}$		
Tip reglator	Expresia pentru determinarea gradului maximal de stabilitate	Expresiile pentru determinarea valorilor parametrilor dinamici de acord ai regulatorului
PI	$J = r^{-1} \sqrt{\frac{2a_{r-1}}{(r^2+r)a_0}}$	$k_p = \frac{\exp(-\tau J)}{k} [(r+1)a_0 J^r - a_r],$ $k_i = \frac{\exp(-\tau J)}{k} [a_0 J^{r+1}]$
PID	$J = r^{-2} \sqrt{\frac{6a_{r-2}}{(r^3-r)a_0}}$	$k_p = \frac{\exp(-\tau J)}{k} [(r+1)a_0 J^r - a_r],$ $k_i = \frac{\exp(-\tau J)}{k} [a_0 J^{r+1}],$ $k_d = \frac{\exp(-\tau J)}{k} [0,5a_0(r^2 + r)J^{r-1} - a_{r-1}]$

III. APLICAȚIE ȘI SIMULARE PE CALCULATOR

Pentru a efectua acordarea regulatorului PI, PID la modelul obiectului (2) după metoda frecvențială a fost folosit programul PID Controller Designer [7], cu ajutorul acestui program s-au construit domeniile admisibile de valori ale parametrilor de acord. În figura 8 este prezentată interfața grafică a programului. În conformitate cu acest program au fost obținute valorile parametrilor de acord, care sunt prezentate în Tabelul II.

TABELUL II. VALORILE PARAMETRILOR DE ACORD

Tip reglator	Nr. curbei	Valorile parametrilor de acord
PI	1	$k_p = 2.2934,$ $k_i = 0.001304$
PID	2	$k_p = 2.79, k_i = 0.0013,$ $k_d = 425.40$

Pentru verificarea rezultatelor obținute a fost efectuată simularea pe calculator în pachetul de programe Simulink MATLAB a sistemului automat cu regulatorul PI, PID. Schema de simulare este prezentată în figura 7. În figura 9 se prezintă procesele tranzitorii ale sistemului automat proiectat: curba 1 – regulatorul PI; curba 2 – regulatorul PID.

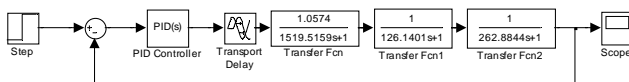


Fig. 7. Schema de simulare pe calculator a sistemului automat.

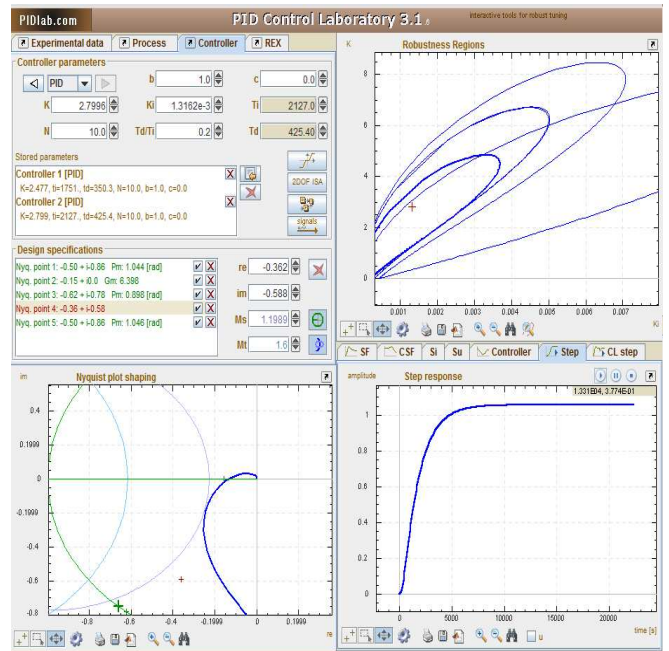


Fig.8. Interfața grafică PID Controller Designer.

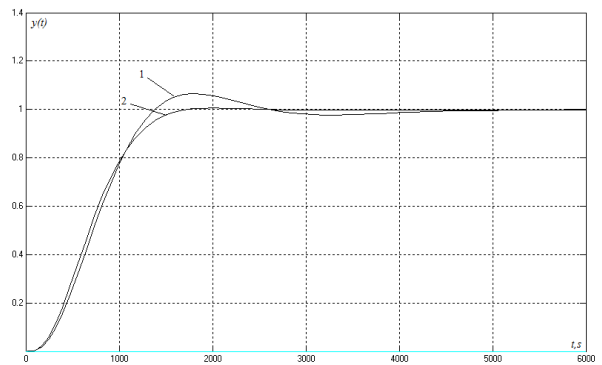


Fig. 9. Procese tranzitorii pentru cazul acordării regulatorului după metoda frecvențială.

În conformitate cu criteriul gradului maximal de stabilitate și relațiile prezentate în Tabelul I au fost determinate valorile parametrilor de acord pentru cazul acordării reglatoarelor PI și PID, valorile obținute sunt prezentate în Tabelul III.

TABELUL III. VALORILE PARAMETRILOR DE ACORD

Tip reglator	Nr. curbei	Valoarea gradului maximal de stabilitate	Valorile parametrilor de acord
PI	1	$J = 0.0025$	$k_p = 1.9269, k_i = 0.0018$
PID	2	$J = 0.0031$	$k_p = 4.4296, k_i = 0.0041,$ $k_d = 882.27$

În figura 10 sunt prezentate procese tranzitorii obținut în urma utilizării criteriului gradului maximal de stabilitate: curba 1 – sistemul automat cu regulatorul PI; curba 2 – sistemul automat cu regulatorul PID.

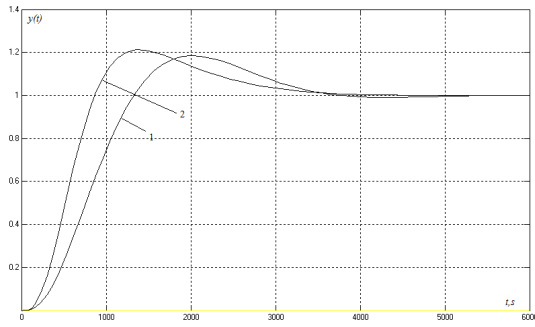


Fig. 10. Procese tranzitorii pentru cazul acordării regulatorului după criteriul gradului maximal de stabilitate.

A fost propus de a face optimizarea parametrică utilizând funcția de autotuning din blocul PID din pachetul de programe Matlab. În urma optimizării parametrică s-au obținut valorile parametrilor de acord prezentate în Tabelul IV.

TABELUL IV. VALORILE PARAMETRILOR DE ACORD

Tip regulator	Nr. curbei	Valorile parametrilor de acord
PI	1	$k_p = 3.9048, k_i = 0.0025$
PID	2	$k_p = 4.3413, k_i = 0.0025, k_d = 695.5854$

În figura 11 sunt prezentate procese tranzitorii obținute în urma utilizării optimizării parametrică: curba 1 – sistemul automat cu regulatorul PI; curba 2 – sistemul automat cu regulatorul PID.

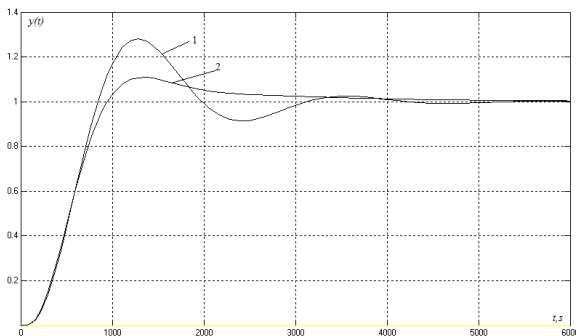


Fig. 11. Procese tranzitorii ale SA.

În figura 12 este prezentată comparația proceselor tranzitorii obținute în urma acordării regulatorului PID cu diferite metode, iar în figura 13 este prezentată distribuția poli-zerouri în planul complex, cu următoarele însemnări: 1- cazul acordării regulatorului PID după criteriul gradului maximal de stabilitate; 2- după optimizarea parametrică din MATLAB; 3 – după metoda frecvențială.

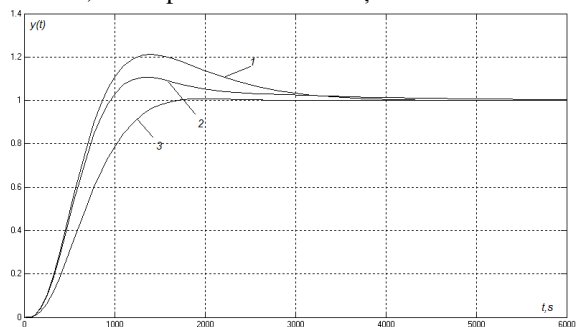


Fig. 12. Procese tranzitorii ale SA.

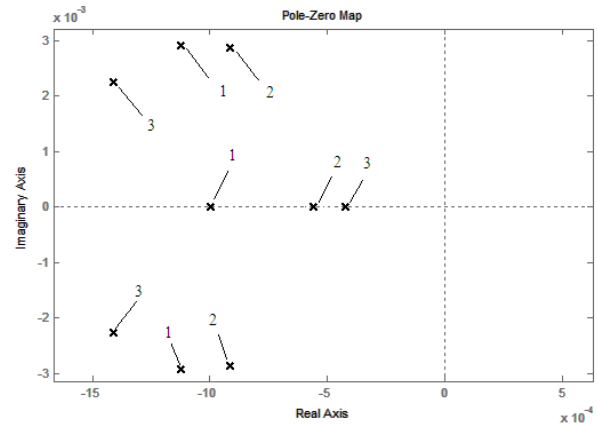


Fig. 13. Distribuția poli-zerouri în planul complex.

IV. CONCLUZII

În rezultatul analizei rezultatelor obținute pot fi făcute următoarele concluzii:

1. În lucrare au fost comparate trei metode de acordare a reguletoarelor tipizate: metoda pe baza criteriului gradului maximal de stabilitate, metoda frecvențială și metoda optimizării parametrică. Metoda frecvențială fiind o metoda grafică–analitică necesită un volum enorm de calculele, sau utilizarea unui software specializat. Metoda după criteriul gradului maximal de stabilitate este o metodă simplă de utilizat, necesită doar cunoașterea modelului matematic al obiectului de reglare.
2. În urma acordării regulatorului PID cele mai bune performanțe au fost obținute pentru cazul acordării regulatorului după metoda frecvențială.
3. Analizând distribuția poli-zerouri în planul complex, cea mai mare rezervă de stabilitate o are sistemul cu regulatorul PID acordat după metoda gradului maximal de stabilitate.

BIBLIOGRAFIE

- [1] В. А. Лукас, Теория автоматического управления. Москва: Недра, 1990. 416 с.
- [2] В. Я. Ротач, Теория автоматического управления. Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. 396 с.
- [3] С. Lazăr, D. Vrabie, S. Carari, Sisteme automate cu reguletoare PID. București: MATRIX ROM, 2004. 220 p.
- [4] I. Dumitrache și al., Automatizări electronice. - București: EDP, 1993.- 660 p.
- [5] I. Fiodorov, O. Fiodorov, Siteza SRA cu performanțe impuse în baza criteriului gradului maximal de stabilitate. În: Proceedings of the 6th International Conference on "Microelectronics and Computer Science" ICMCS – 2009, Chișinău, p. 328-329.
- [6] I. Fiodorov, Synthesis Algorithms of Controllers for Automatic Control Systems with Maximum Stability Degree. In: Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, No. 37, 2013; ISSN 1842-4805. pp. 139-143.
- [7] <http://www.pidlab.com/en/home>