

# ALGORITM DE ACORDARE A REGULATOARELOR ÎN SISTEME DE REGLARE ÎN CASCADĂ LA MODELE DE OBIECTE CU INERȚIE, FAZĂ NEMINIMĂ ȘI TIMP MORT

**Irina COJUHARI, Bartolomeu IZVOREANU**

Universitatea Tehnică a Moldovei  
[irina.cojuhari@ati.utm.md](mailto:irina.cojuhari@ati.utm.md), [izvor@mail.utm.md](mailto:izvor@mail.utm.md)

**Abstract:** În lucrare se propune acordarea reguletoarelor tipizate P, PI, PID în sisteme de reglare în cascadă cu două bucle de reglare după metoda gradului maximal de stabilitate. Procesul condus se prezintă prin două subprocese cu inerție, faza neminimă și timp mort. În conturul interior se utilizează regulatorul P sau PI, iar în conturul exterior se propun reguletoarele P, PI, PID. Sunt prezentate expresii de calcul și se prezintă exemplu de simulare pe calculator în pachetul de programe MATLAB.

**Cuvinte cheie:** model de obiect, reglare în cascadă, regulator, contur interior și exterior, metoda gradului maximal de stabilitate.

## 1. Introducere

Pentru acordarea reguletoarelor tipizate de tipul P, PI, PID în structurile de reglare în cascadă (SRC) se practică aplicarea metodelor frecvențiale, metoda modulului etc. Metodele frecvențiale au dezavantajul care se referă la efectuarea calculelor și prezentarea grafică a funcțiilor în domeniul frecvență. Metoda modulului are dezavantajul că se utilizează numai legi de reglare care conțin mai multe binoame de gradul întâi cărora li se impune compensarea constantelor mari de timp din componența obiectului de reglare, ceea ce duce la dificultăți la realizarea acestor legi [1,2,3]. Pornind de la dezavantajele metodelor indicate, în lucrare se propune de a utiliza metoda gradului maximal de stabilitate (GMS) [4] la acordarea reguletoarelor tipizate în bucla interioară și exterioară. Procedura de acordare a reguletoarelor pornește de la conturul interior unu și apoi se acordează regulatorul în conturul exterior.

Admitem că procesul condus este prezentat prin două subprocese și structura sistemului de reglare în cascadă cu două contururi se prezintă în fig.1. În figură sunt utilizate însemnările:  $H_{R1}(s)$ ,  $H_{R2}(s)$  sunt funcții de transfer (f.d.t.) ale regulatorului principal și auxiliar respectiv, iar  $H_{F1}(s)$ ,  $H_{F2}(s)$  - prezintă f.d.t. ale subproceselor procesului condus,  $H'_{F2}(s)$  - f.d.t. conturului interior.

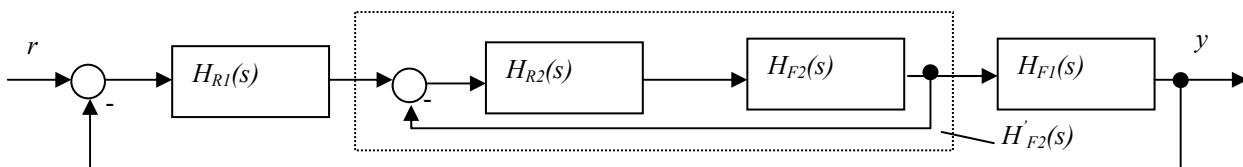


Fig.1. Schema bloc structurală al sistemului de reglare în cascadă.

Vom studia prezentarea subproceselor pentru cazul când subprocesele sunt elemente cu inerție, timp mort și faza neminimă cu f.d.t. de forma

$$H_{F1}(s) = \frac{k_1(-T_1s + 1)e^{-\tau s}}{(T_2s + 1)(T_3s + 1)}, \quad (1)$$

$$H_{F2}(s) = \frac{k_2(-T_4s + 1)}{T_5s + 1}, \quad \text{cu } T_5 < T_2 < T_3. \quad (2)$$

În expresiile (1), (2) avem însemnările:  $k_1$ ,  $k_2$  sunt coeficienții de transfer ai subproceselor,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  - constantele de timp ale subproceselor,  $\tau$  - timpul mort al subprocesului respectiv.

## 2. Algoritm de acordare a reguletoarelor

Procedura de acordare a reguletoarelor se pornește de la conturul interior, unde se propune de a acorda reguletoare P, PI și în continuare se trece la acordarea reguletoarelor P, PI și PID în conturul exterior.

**Acordarea reguletoarelor P, PI în conturul interior.** Se efectuează acordarea regulatorului cu f.d.t.  $H_{R2}(s)$  din conturul interior la subprocesul cu f.d.t.  $H_{F2}(s)$ . Admitem că se utilizează regulator de tipul P sau PI.

Regulatorul P se acordează la obiectul cu f.d.t. (2) după metoda GMS și parametrul de acord al regulatorului se determină din relația [4,5,6]

$$k_{p2} = \frac{T_5 J - 1}{k_2(1 + T_4 J)}. \quad (3)$$

În relația (3)  $J$  este gradul maximal de stabilitate și care se alege (este o mărime  $J > 0$ ). Alegând valoarea lui  $J$  se va obține o valoare necesară a lui  $k_{p2}$  ca bucla de reglare să aibă performanțele dorite (în acest caz se alege durata impusă procesului tranzitoriu). Se determină f.d.t. a conturului interior închis cu regulatorul P în forma

$$H'_{F2}(s) = \frac{H_{R3}(s)H_{F3}(s)}{1 + H_{R3}(s)H_{F3}(s)} = \frac{-d_0 s + d_1}{c_0 s + c_1}, \quad (4)$$

$$\text{unde } d_0 = \frac{T_4 k_{p2} k_2}{1 + k_{p2}}; d_1 = \frac{k_{p2} k_2}{1 + k_{p2}}; c_0 = \frac{T_5 - T_4 k_{p2} k_2}{1 + k_{p2}}; c_1 = 1.$$

Regulatorul PI se acordează la obiectul cu f. d. t. (2) după metoda GMS și parametrii de acord se determină din relațiile [4,5,6]

$$k_{p2} = \frac{(T_4 T_5 J^2 + 2T_5 J - 1)}{k_2 (T_4 J + 1)^2}, \quad (5)$$

$$k_{i2} = \frac{-T_5 J^2 + J}{k_2 (T_4 J + 1)} + k_{p2} J. \quad (6)$$

F. d. t. a conturului interior închis cu regulatorul PI este

$$H'_{F2}(s) = \frac{H_{R3}(s)H_{F3}(s)}{1 + H_{R3}(s)H_{F3}(s)} = \frac{-d_0 s^2 + d_1 s + d_2}{c_0 s^2 + c_1 s + c_2}, \quad (7)$$

$$\text{unde } d_0 = \frac{k_2 k_{p2} T_4}{k_2 k_{i2}}; d_1 = \frac{k_2 k_{p2} - k_2 k_{i2} T_4}{k_2 k_{i2}}; d_2 = 1; c_0 = \frac{T_5 - k_2 k_{p2} T_4}{k_2 k_{i2}}; c_1 = \frac{k_2 k_{p2} - k_2 k_{i2} T_4 + 1}{k_2 k_{i2}}; c_2 = 1.$$

**Acordarea reguletoarelor în conturul exterior.** După efectuarea transformărilor echivalente schema bloc structurală a conturului exterior este prezentată în figura 2, a), b).

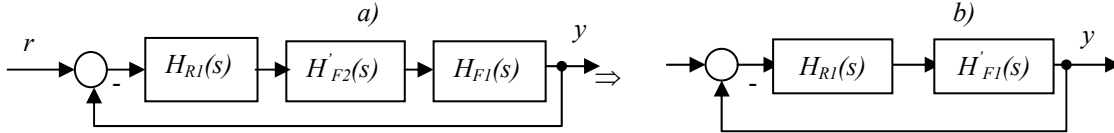


Fig. 2. Schema bloc structurală a buclei exterioare.

Pentru acordarea regulatorului P, PI, PID respectiv în conturul exterior se determină f.d.t. echivalentă a obiectului (4) cu conturul interior cu regulatorul P și subprocesul cu f.d.t.  $H_{F1}(s)$  (1)

$$H'_{F1}(s) = H'_{F2}(s)H_{F1}(s) = \frac{-d_0 s + d_1}{c_0 s + c_1} \cdot \frac{k_1(-T_1 s + 1)e^{-\tau s}}{(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)} = \frac{e^{-\tau s}(b_0 s^2 - b_1 s + b_2)}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3}, \quad (8)$$

$$\text{unde } b_0 = \frac{k_1 T_1 T_4 k_{p2} k_2}{1 + k_{p2}}; b_1 = \frac{k_{p2} k_1 k_2 T_1}{1 + k_{p2}} + \frac{T_4 k_{p2} k_1 k_2}{1 + k_{p2}}; b_2 = \frac{k_{p2} k_1 k_2}{1 + k_{p2}}; a_0 = \frac{(T_5 - T_4 k_{p2} k_2) T_2 T_3}{1 + k_{p2}};$$

$$a_1 = \frac{(T_3 + T_2)(T_5 - T_4 k_{p2} k_2)}{1 + k_{p2}} + T_2 T_3; a_2 = T_3 + T_2 + \frac{T_5 - T_4 k_{p2} k_2}{1 + k_{p2}}; a_3 = 1.$$

**Acordarea reguletoarelor P, PI, PID** respectiv la modelul obiectului (8) după metoda GMS se efectuează după relațiile [4,5,6]:

**SA cu regulatorul P**

$$k_{p1} = \frac{(a_0 J^3 - a_1 J^2 + a_2 J - a_3)e^{-\tau J}}{b_0 J^2 + b_1 J + b_2}. \quad (9)$$

**SA cu regulatorul PI**

$$k_{p1} = \frac{(l_0 J^6 + l_1 J^5 + l_2 J^4 + l_3 J^3 + l_4 J^2 + l_5 J - l_6)e^{-\tau J}}{(b_0 J^2 + b_1 J + b_2)^2}, \quad (10)$$

$$\text{unde } l_0 = -\tau a_0 b_0; l_1 = -\tau a_0 b_1 + 2a_0 b_0 + \tau a_1 b_0; l_2 = -\tau a_0 b_2 + \tau a_1 b_1 - a_1 b_0 - \tau a_2 b_0 + 3a_0 b_1; l_3 = \tau a_1 b_2 - 2a_1 b_1 + 4a_0 b_2 + \tau a_3 b_0 - \tau a_2 b_1;$$

$$l_4 = a_2b_1 + \tau a_3b_1 - 3a_1b_2 - \tau a_2b_2 + a_3b_0; \quad l_5 = \tau a_3b_2 + 2a_2b_2; \quad l_6 = a_3b_2,$$

$$k_{i1} = \frac{(-a_0J^4 + a_1J^3 - a_2J^2 + a_3J)e^{-\tau J}}{b_0J^2 + b_1J + b_2} + k_{p1}J. \quad (11)$$

### SA cu regulatorul PID

$$k_{d1} = \frac{(-r_6J^{10} + r_1J^9 - r_2J^8 + r_3J^7 - r_4J^6 + r_5J^5 - r_6J^4 + r_7J^3 - r_8J^2 + r_9J - r_{10})e^{-\tau J}}{2(b_0J^2 + b_1J + b_2)^4}, \quad (12)$$

$$k_{p1} = \frac{(l_0J^6 + l_1J^5 + l_2J^4 + l_3J^3 + l_4J^2 + l_5J - l_6)e^{-\tau J}}{(b_0J^2 + b_1J + b_2)^2} + 2k_{d1}J, \quad (13)$$

unde  $l_0 = -\tau a_0b_0; \quad l_1 = -\tau a_0b_1 + 2a_0b_0 + \tau a_1b_0; \quad l_2 = -\tau a_0b_2 + \tau a_1b_1 - a_1b_0 - \tau a_2b_0 + 3a_0b_1;$

$l_3 = \tau a_1b_2 - 2a_1b_1 + 4a_0b_2 + \tau a_3b_0 - \tau a_2b_1; \quad l_4 = a_2b_1 + \tau a_3b_1 - 3a_1b_2 - \tau a_2b_2 + a_3b_0; \quad l_5 = \tau a_3b_2 + 2a_2b_2; \quad l_6 = a_3b_2.$

$$k_{i1} = \frac{(-a_0J^4 + a_1J^3 - a_2J^2 + a_3J)e^{-\tau J}}{b_0J^2 + b_1J + b_2} - k_{d1}J^2 + k_{p1}J. \quad (14)$$

Pentru acordarea regulatorului P, PI, PID respectiv în conturul exterior se determină f.d.t. echivalentă a obiectului (7) cu conturul interior cu regulatorul PI și subprocesul cu f.d.t.  $H_{F1}(s)$  (1)

$$H_{F1}(s) = H'_{F2}(s)H_{F1}(s) = \frac{(-d_0s^2 + d_1s + d_2) \cdot k_1(-T_1s + 1)e^{-\tau s}}{(c_0s^2 + c_1s + c_2)(T_2s + 1)(T_3s + 1)} = \frac{e^{-\tau s}(b_0s^3 - b_1s^2 + b_2s + b_3)}{a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4}, \quad (15)$$

$$\text{unde } b_0 = \frac{k_2k_{p2}k_1T_1T_4}{k_2k_{i2}}; \quad b_1 = \frac{k_1k_2k_{p2}T_4}{k_2k_{i2}} + \frac{k_1T_1(k_2k_{p2} - k_2k_{i2}T_4)}{k_2k_{i2}};$$

$$b_2 = \frac{k_1k_2k_{p2} - k_1k_2k_{i2}T_4}{k_2k_{i2}} - k_1T_1; \quad b_3 = k_1; \quad a_0 = \frac{T_2T_3(T_5 - k_2k_{p2}T_4)}{k_2k_{i2}}; \quad a_1 = \frac{T_2T_3(k_2k_{p2} - k_2k_{i2}T_4 + 1)}{k_2k_{i2}} + \frac{(T_2 + T_3)(T_5 - k_2k_{p2}T_4)}{k_2k_{i2}};$$

$$a_2 = \frac{(T_2 + T_3)(k_2k_{p2} - k_2k_{i2}T_4 + 1)}{k_2k_{i2}} + \frac{T_5 - k_2k_{p2}T_4}{k_2k_{i2}} + T_2T_3; \quad a_3 = T_3 + T_2 + \frac{k_2k_{p2} - k_2k_{i2}T_4 + 1}{k_2k_{i2}}; \quad a_4 = 1.$$

Acordarea regulatorului P, PI, PID respectiv la obiectul (15) se efectuează după relațiile [4,5,6].

### SA cu regulatorul P

$$k_{p1} = \frac{(-a_0J^4 + a_1J^3 - a_2J^2 + a_3J - a_4)e^{-\tau J}}{(-b_0J^3 - b_1J^2 - b_2J + b_3)}. \quad (16)$$

### SA cu regulatorul PI

$$k_{p1} = \frac{-l_0J^8 + l_1J^7 + l_2J^6 + l_3J^5 + l_4J^4 + l_5J^3 + l_6J^2 + l_7J - l_8}{(-b_0J^3 - b_1J^2 - b_2J + b_3)^2}, \quad (17)$$

unde  $l_0 = -\tau a_0b_0; \quad l_1 = -\tau a_0b_1 + 2a_0b_0 + \tau a_1b_0; \quad l_2 = 3a_0b_1 - a_1b_0 - \tau a_2b_0 - \tau a_0b_2 + \tau a_1b_1;$

$l_3 = 4a_0b_2 - \tau a_2b_1 + \tau a_0b_1 - 2a_1b_1 + \tau a_3b_0 + \tau a_1b_2; \quad l_4 = -5a_0b_3 + a_2b_1 - \tau a_1b_3 - \tau a_4b_0 - 3a_1b_2 + a_3b_0 + \tau a_3b_1 - \tau a_2b_2;$

$l_5 = -2a_4b_0 + \tau a_2b_3 + 2a_2b_2 + \tau a_3b_2 - \tau a_4b_1 + 4a_1b_3; \quad l_6 = -\tau a_4b_2 - a_4b_1 - a_3b_2 - \tau a_3b_3 - 3a_2b_3; \quad l_7 = 2a_3b_3 + \tau a_4b_3; \quad l_8 = a_4b_3,$

$$k_{i1} = \frac{(a_0J^5 - a_1J^4 + a_2J^3 - a_3J^2 + a_4J)e^{-\tau J}}{(-b_0J^3 - b_1J^2 - b_2J + b_3)} + k_{p1}J. \quad (18)$$

### SA cu regulatorul PID

$$k_{d1} = \frac{-r_0J^{14} - r_1J^{13} - r_2J^{12} - r_3J^{11} + r_4J^{10} + r_5J^9 + \dots + r_{12}J^2 + r_{13}J + r_{14}}{2(-b_0J^3 - b_1J^2 - b_2J + b_3)^4}, \quad (19)$$

$$k_{p1} = \frac{-l_0J^8 + l_1J^7 + l_2J^6 + l_3J^5 + l_4J^4 + l_5J^3 + l_6J^2 + l_7J - l_8}{(-b_0J^3 - b_1J^2 - b_2J + b_3)^2} + 2k_{d1}J, \quad (20)$$

unde  $l_0 = -\tau a_0b_0; \quad l_1 = -\tau a_0b_1 + 2a_0b_0 + \tau a_1b_0; \quad l_2 = 3a_0b_1 - a_1b_0 - \tau a_2b_0 - \tau a_0b_2 + \tau a_1b_1;$

$l_3 = 4a_0b_2 - \tau a_2b_1 + \tau a_0b_1 - 2a_1b_1 + \tau a_3b_0 + \tau a_1b_2; \quad l_4 = -5a_0b_3 + a_2b_1 - \tau a_1b_3 - \tau a_4b_0 - 3a_1b_2 + a_3b_0 + \tau a_3b_1 - \tau a_2b_2;$

$l_5 = -2a_4b_0 + \tau a_2b_3 + 2a_2b_2 + \tau a_3b_2 - \tau a_4b_1 + 4a_1b_3; \quad l_6 = -\tau a_4b_2 - a_4b_1 - a_3b_2 - \tau a_3b_3 - 3a_2b_3; \quad l_7 = 2a_3b_3 + \tau a_4b_3; \quad l_8 = a_4b_3,$

$$k_{i1} = \frac{(a_0J^5 - a_1J^4 + a_2J^3 - a_3J^2 + a_4J)e^{-\tau J}}{(-b_0J^3 - b_1J^2 - b_2J + b_3)} - k_{d1}J^2 + k_{p1}J. \quad (21)$$

Pentru a acorda reguloarele P, PI, PID în conturul interior și exterior se propune metoda gradului maximal de stabilitate cu aplicarea iterațiilor. În acest caz utilizăm expresiile (3), (5), (6), (9) - (14), (16) - (21) ca funcții  $k_{p1} = f(J), \quad k_{i1} = f(J), \quad k_{d1} = f(J), \quad k_{p2} = f(J), \quad k_{i2} = f(J)$  pe variabila gradului maximal de stabilitate  $J$ . Variind gradul maximal de stabilitate  $J$  în limitele respective în funcțiile (3), (5), (6), (9) - (14), (16) - (21) se obțin curbele  $k_{p1} = f(J), \quad k_{i1} = f(J), \quad k_{d1} = f(J), \quad k_{p2} = f(J), \quad k_{i2} = f(J)$  pentru regulatorul P, PI,

PID respectiv în conturul interior și exterior. În continuare, se iau seturi de valori ale parametrilor  $k_{p1}$ ,  $k_{i1}$ ,  $k_{p2}$ ,  $k_{i2}$ ,  $k_{d2}$  pentru valori optime și cuasioptime ale lui  $J$  pentru curbele respective și pentru fiecare set de valori ale parametrilor  $k_{p1}$ ,  $k_{i1}$ ,  $k_{p2}$ ,  $k_{i2}$ ,  $k_{d2}$  ai regulatorului respectiv se simulează pe calculator sistemul automat cu regulatorul P, PI, PID ales și se determină procesul tranzitoriu al sistemului automat în conturul respectiv. Se alege procesul tranzitoriu al sistemului automat pentru care performanțele obținute corespund celor impuse.

### 3. Simulare pe calculator

Pentru a analiza eficiența procedurii de acordare a reguletoarelor tipizate în sisteme de reglare în cascadă la modele de obiecte cu inerție de ordinul trei, faza neminimă și timp mort conform relațiilor prezentate mai sus s-au efectuat calculele respective pentru acordarea reguletoarelor la subprocese cu parametrii dați: pentru f.d.t.  $H_{F2}(s)$ :  $k_2=1$ ,  $T_3=5$ ,  $T_4=2$  și  $H_{F1}(s)$ :  $k_1=1$ ,  $T_1=3$ ,  $T_2=10$ ,  $T_3=20$ ,  $\tau=2$ .

În conturul interior s-a acordat regulatorul P după relația (3) și regulatorul PI după relațiile (5), (6). Pentru determinarea valorilor optime ale parametrilor  $k_{p2}$  în cazul acordării regulatorului P și  $k_{p2}, k_{i2}$  în cazul acordării regulatorului PI din relațiile (3), (5), (6) au fost construite curbele  $k_{p2} = f(J)$  pentru regulatorul P (figura 3, a) și  $k_{p2} = f(J)$ ,  $k_{i2} = f(J)$  pentru regulatorul PI (figura 3, b).

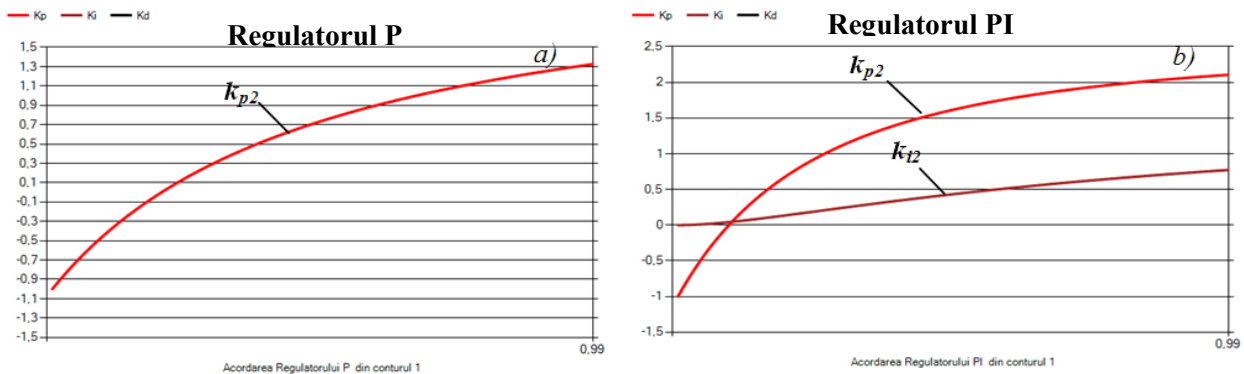


Fig. 3. Dependentele  $k_{p2}=f(J)$ ,  $k_{i2}=f(J)$ .

În conturul exterior pentru cazul când în conturul interior a fost acordat regulatorul P s-au acordat reguletoarele P, PI și PID după relații (9) – (14) și pentru determinarea valorilor optime ale reguletoarelor respective în dependența de valoarea gradului maximal de stabilitate  $J$  au fost construite dependentele  $k_{p1} = f(J)$  pentru regulatorul P (fig. 4, a),  $k_{p1} = f(J)$  și  $k_{i1} = f(J)$  pentru regulatorul PI (fig. 5, a) și  $k_{p1} = f(J)$ ,  $k_{i1} = f(J)$ ,  $k_{d1} = f(J)$  pentru regulatorul PID (fig. 6, a).

Pentru cazul când în conturul interior a fost acordat regulatorul PI, în conturul exterior s-au acordat reguletoare P, PI și PID după relații (16) – (21) și pentru determinarea valorilor optime a reguletoarelor respective în dependența de valoarea gradului maximal de stabilitate  $J$  au fost construite dependentele  $k_{p1}=f(J)$  pentru regulatorul P acordat (fig. 4, b),  $k_{p1}=f(J)$ ,  $k_{i1}=f(J)$ . pentru regulatorul PI (fig. 5, b) și  $k_{p1}=f(J)$ ,  $k_{i1}=f(J)$ ,  $k_{d1}=f(J)$  pentru regulatorul PID (fig. 6, b).

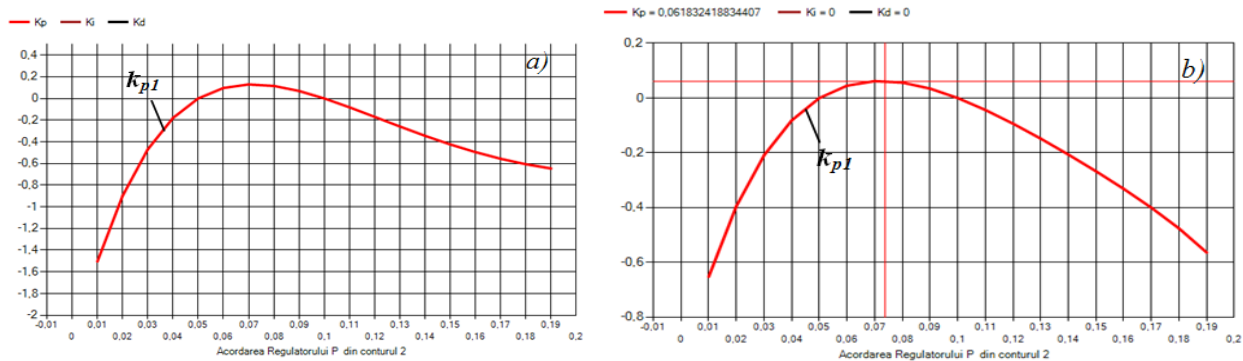


Fig. 4. Dependentele  $k_{p1}=f(J)$ .

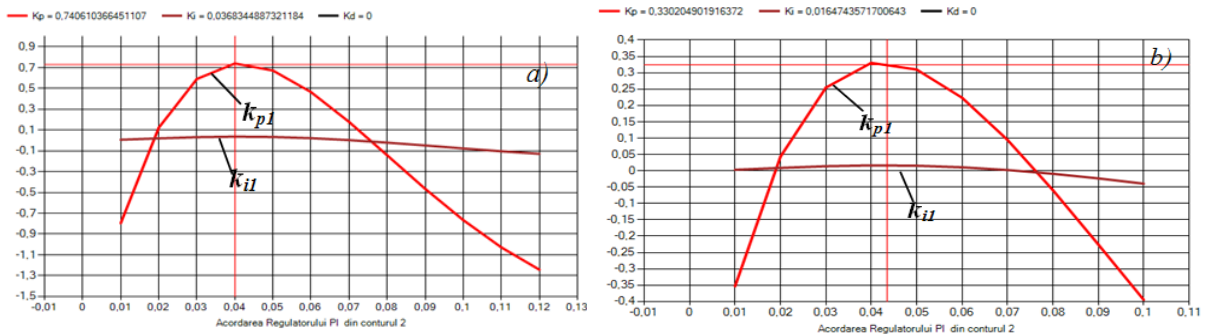


Fig. 5. Dependentele  $k_{pI}, k_{iI}=f(J)$ .

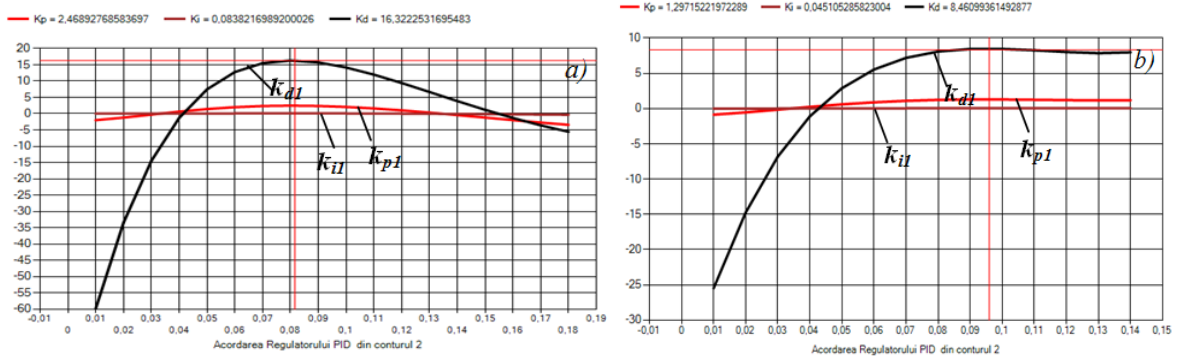


Fig. 6. Dependentele  $k_{pI}, k_{iI}, k_{dI}=f(J)$ .

În figura 7 este prezentată schema de simulare pe calculator a sistemului cu reglatoarele acordate după metoda GMS utilizând pachetul MATLAB.

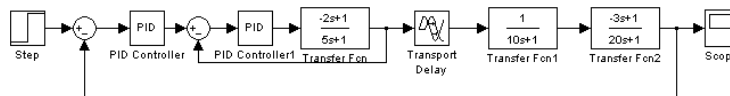


Fig. 7. Schema bloc structurală de simulare a sistemului automat.

În figura 8 sunt prezentate procesele tranzitorii ale sistemului automat a conturului exterior, pentru cazul acordării reglatoarelor după metoda GMS: a) regulatorul P acordat în conturul interior și reglatoarele P, PI, PID acordate în conturul exterior; b) regulatorul PI acordat în conturul interior și reglatoarele P, PI, PID acordate în conturul exterior. Valorile parametrilor de acord ale reglatoarelor respective sunt prezentate în tabelul 1. Valorile parametrilor de acord ale reglatoarelor respective pentru curbele 1-5 au fost obținute utilizând metoda GMS și curba 6 a fost obținută pentru cazul optimizării valorilor parametrilor de acord ai regulatorului PID utilizând blocul NCD Outport din pachetul de programe MATLAB.

Tabelul 1. Parametrii de acord ai reglatoarelor.

Nr. curb.	Reg. con. ext.	Reg. P acor. în cont. int. $k_{p2}=0.75$	Reg. PI acor. în cont. int. $J_{opt}=0.41, k_{p2}=1.443, k_{i2}=0.355$
1	P	$J_{opt}=0.07, k_{pI}=0.129$	$J_{opt}=0.07, k_{pI}=0.061$
2	PI	$J_{opt}=0.04, k_{pI}=0.74, k_{iI}=0.036$	$J_{opt}=0.04, k_{pI}=0.3302, k_{iI}=0.0164$
3	PID	$J_{opt}=0.08, k_{pIopt}=2.468, k_{iIopt}=0.08, k_{dopt}=16.32$	$J_{opt}=0.1, k_{pIopt}=1.29, k_{iIopt}=0.04, k_{dopt}=8.4$
4	PID	$J=0.05, k_{pI}=1.418, k_{iI}=0.0522, k_{dI}=7.458$	$J=0.07, k_{pI}=1.101, k_{iI}=0.037, k_{dI}=7.193$
5	PID	$J=0.12, k_{pI}=1.016, k_{iI}=0.0068, k_{dI}=9.41$	$J=0.05, k_{pI}=0.598, k_{iI}=0.022, k_{dI}=2.88$
6	PID	$k_{pI}=0.9784, k_{iI}=0.0589, k_{dI}=16.3222$	$k_{pI}=0.706, k_{iI}=0.0345, k_{dI}=8.45$

În figura 9 sunt prezentate procesele tranzitorii ale sistemului automat al conturului exterior pentru următoarele cazuri: în conturul exterior este acordat regulatorul PID și conturul interior cu regulatorul P acordat după metoda GMS – curba 1; în conturul exterior se efectuează optimizarea parametrică a parametrilor regulatorului PID în MATLAB – curba 2; în conturul exterior este acordat regulatorul PID și conturul interior cu regulatorul PI acordat după metoda GMS – curba 3; în conturul exterior se efectuează optimizarea parametrică a parametrilor regulatorului PID în MATLAB – curba 4.

Pentru cazurile respective în figura 10 este prezentată distribuția polilor în planul complex.

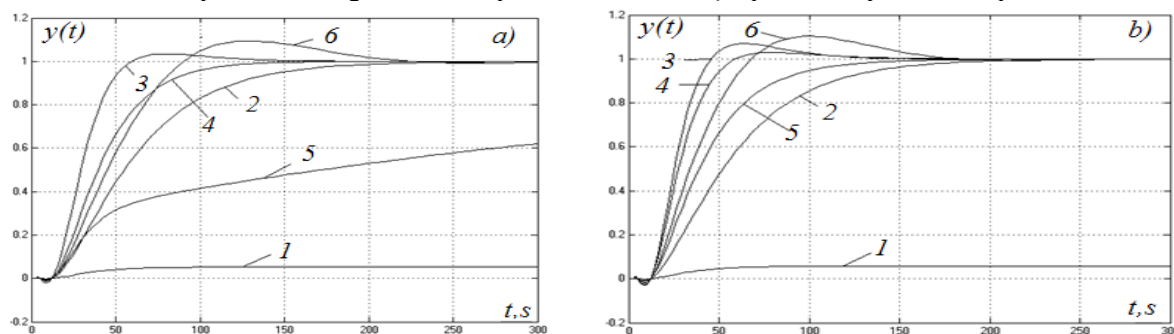


Fig. 8. Procese tranzitorii ale SRC.

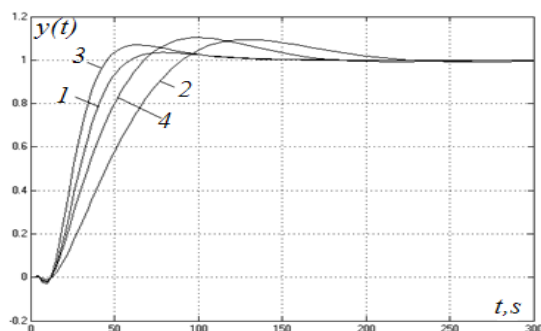


Fig. 9. Procese tranzitorii ale SRC.

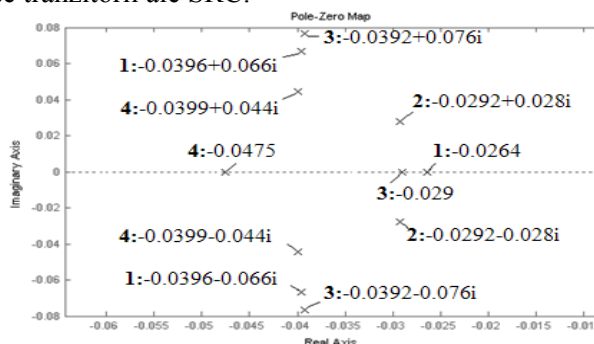


Fig. 10. Distribuția polilor a SRC închis.

Din figura 9 se observă că cele mai bune rezultate au fost obținute pentru cazul când în conturul interior a fost acordat regulatorul P și în conturul exterior regulatorul PID în baza metodei GMS. Analizând rezultatele obținute la acordarea regulatorului PID după metoda GMS la modelul obiectului prezentat prin funcțiile de transfer (1) și (2) se constată că alegând diferite seturi de valori  $J - k_p, k_i, k_d$  pentru regulatorul PID se permite de a alege performanțele optime ale sistemului automat acordat după metoda propusă.

#### 4. Concluzii

În rezultatul analizei rezultatelor obținute la acordarea reguletoarelor  $P, PI, PID$  în sisteme de reglare în cascadă cu modele de obiecte (1), (2) cu parametri cunoscuți facem concluziile:

1. Conturul interior cu regulatorul  $P, PI$  acordat după metoda GMS permite de a obține performanțe ridicate variind valoarea lui  $J > 0$  și alegând valoarea parametrilor regulatorului respectiv pentru a obține performanțele impuse conturului interior.
2. Conturul exterior cu regulatorul  $P, PI, PID$  acordat după metoda GMS permite de a obține performanțe ridicate variind valoarea lui  $J > 0$  și alegând valoarea parametrilor regulatorului respectiv pentru a obține performanțele impuse conturului exterior.

#### Bibliografie

1. Rotach, V. Ia. *Teoria avtomaticheskogo upravlenia termoenergheticheskimi protzessami*. – Moskva: Energoatomizdat, 1985.-292 s.
2. Lukas, V. A. *Teoria avtomaticheskogo upravlenia*. – Moskva: Nedra, 1990.- 416 s.
3. Dumitrache, I. și al. *Automatizări electronice*. - București: EDP, 1993.- 660 p.
4. Zagarii, G. I., Shubladze, A. M. *Sintez system upravlenia na osnove kriteria maximalnoi stepeni ustoiichivosti*. - Moskva: Energoatomizdat, 1998,198 s.
5. Izvoreanu, B., Fiodorov, I., Izvoreanu, F. The Tuning of Regulator for Advance Delay Objects According to the Maximal Stability Degree Method. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS-11)*, București, 1997, V.I. – pp. 179-184.
6. Izvoreanu, B., Cojuhari, I. Contribuții la acordarea reguletoarelor tipizate În sisteme de reglare în cascadă cu două contururi cu inerție. În: *Materialele Conferinței Tenico - Științifice a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, Chișinău, 2007, V.I.*
7. Izvoreanu, B., Fiodorov, I., Cojuhari, I. Tuning of Controllers to the Third Order Advance Delay Objects. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Microelectronics and Computer Science (ICMCS-2007)*, Chișinău, 2007, V.I. – pp. 250-253.