

ACORDAREA REGULATOARELOR TIPIZATE ÎN SISTEME DE REGLARE ÎN CASCADĂ LA MODELE DE OBIECTE CU AVANS ȘI INERȚIE

Irina COJUHARI

Universitatea Tehnică a Moldovei

A tuning algorithm of linear controllers P, PI, PID in multiple-loop feedback control systems is proposed in this paper. The control objects consist of two sub-processes, which are described by dynamical models with inertia and advance. A tuning algorithm of linear controllers in internal and external contour are tuning in conformity with the maximal stability degree method. In the internal contour are used controllers P and PI, in the external contour are used controllers P, PI, PID. There are using the iterative procedure, for determinate the optimal tuning parameters of controllers P, PI, PID. The procedure is used to solve a particular example of tuning controllers P, PI, PID in multiple-loop feedback control systems.

Introducere

Lucrarea se referă la domeniul de cercetare – automatică și informatică. În ea este expusă metoda de acordare a reguletoarelor tipizate în sisteme de reglare în cascadă la modele de obiecte cu avans și inerție.

În practica automatizărilor pentru procese lente și cu sau fără timp mort prezentate prin modele matematice cu mai multe constante de timp utilizarea structurilor convenționale de reglare se realizează cu dificultăți și obținerea performanțelor dorite ale sistemului automat proiectat este o procedură dificilă [1-3].

Pentru depășirea acestor dificultăți se utilizează structuri de sisteme de reglare în cascadă. Pentru acordarea reguletoarelor tipizate de tipul P, PI, PID în structurile de reglare în cascadă se practică aplicarea metodelor frecvențiale, metoda modulului etc. Metodele frecvențiale au dezavantajul care se referă la efectuarea calculului și la 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 generează dificultăți la realizarea acestor legi.

Pornind de la dezavantajele metodelor indicate mai sus, în lucrare se propune de a utiliza metoda gradului maximal de stabilitate (GMS) [4] la acordarea reguletoarelor tipizate în buclele de reglare interioare și exterioare ca sisteme de reglare independente. Procedura de acordare a reguletoarelor pornește de la conturul interior, apoi se acordează reguletoarele în conturul exterior.

1. Algoritm de acordare a reguletoarelor

Admitem că procesul condus este prezentat prin două subprocesse. Structura sistemului de reglare în cascadă cu două contururi este prezentată în Figura 1. Însemnările utilizate în figură: $H_{R1}(s)$, $H_{R2}(s)$ – funcții de transfer (f.d.t.) ale reguletoarelor principal și auxiliar, respectiv, iar $H_{F1}(s)$, $H_{F2}(s)$ – funcții de transfer ale subprocesselor procesului condus, I – conturul interior cu f.d.t. $H'_{F2}(s)$.

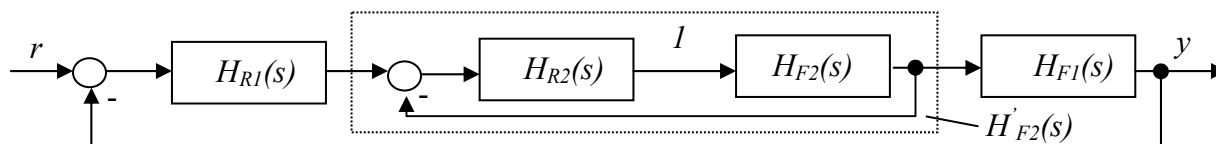


Fig.1. Schema structurală a sistemului de reglare în cascadă.

Vom studia cazul când subprocessele sunt elemente cu inerție de ordinul doi și avans cu f.d.t. de forma

$$H_{F1}(s) = \frac{k_1}{(T_1s+1)(T_2s+1)} = \frac{k_1}{g_0s^2 + g_1s + g_2}, \quad (1)$$

$$H_{F2}(s) = \frac{k_2(T_3s+1)}{(T_3s+1)(T_4s+1)} = \frac{c_0s + c_1}{d_0s^2 + d_1s + d_2}, \quad \text{cu } T_3, T_4 < T_1, T_2. \quad (2)$$

În expresiile (1), (2) însemnările prezintă: 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, iar $g_0 = T_1 T_2, g_1 = T_1 + T_2, g_2 = 1, c_0 = k_2 T_5, c_1 = k_2, d_0 = T_3 T_4, d_1 = T_3 + T_4, d_2 = 1$.

1.1. Acordarea regulatorului 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 relațiile [5,6]:

$$k_{p2} = (-d_0 J^2 + d_1 J - d_2) / (c_1 - c_0 J). \tag{3}$$

Se determină f.d.t. a conturului interior închis cu regulatorul P în forma:

$$H'_{F2}(s) = \frac{H_{R2}(s)H_{F2}(s)}{1 + H_{R2}(s)H_{F2}(s)} = \frac{n_0 s + n_1}{h_0 s^2 + h_1 s + h_2}, \tag{4}$$

unde $n_0 = k_{p2} k_2 T_5; n_1 = k_{p2} k_2; h_0 = T_3 T_4; h_1 = T_3 + T_4 + k_{p2} k_2 T_5; h_2 = 1 + k_{p2} k_2$.

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

$$k_{p2} = (2d_0 c_0 J^3 - J^2 (3d_0 c_1 + d_1 c_0) + 2d_1 c_1 J - c_1) / (c_1 - c_0 J)^2, \tag{5}$$

$$k_{i2} = (d_0 J^3 - d_1 J^2 + d_2 J) / (c_1 - c_0 J) + k_{p2} J. \tag{6}$$

Variind valoarea $J > 0$, se pot obține valori ale parametrilor k_{p2}, k_{i2} , pentru care performanțele SA sunt cele dorite. Funcția de transfer al conturului interior închis cu regulatorul PI se obține în forma:

$$H'_{F2}(s) = \frac{H_{R2}(s)H_{F2}(s)}{1 + H_{R2}(s)H_{F2}(s)} = \frac{l_0 s^2 + l_1 s + l_2}{r_0 s^3 + r_1 s^2 + r_2 s + r_3}, \tag{7}$$

unde $l_0 = k_{p2} k_2 T_5; l_1 = k_{i2} k_2 T_5 + k_{p2}; l_2 = k_{i2} k_2; r_0 = T_3 T_4; r_1 = T_3 + T_4 + k_{p2} k_2 T_5; r_2 = 1 + k_{i2} k_2 T_5 + k_{p2} k_2; r_3 = k_{i2} k_2$.

2.2. Acordarea regulatorilor în conturul exterior

După efectuarea transformărilor echivalente, schema-bloc structurală a conturului exterior este prezentată în Figura 2 a), b).

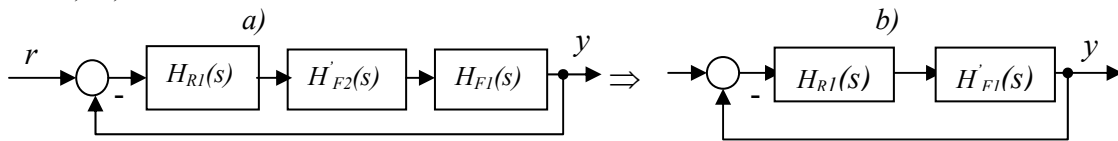


Fig.2. Schema-bloc structurală a buclei exterioare.

Pentru acordarea regulatorului P, PI, PID respectiv în conturul exterior se determină f.d.t. echivalentă a obiectului (4) ca conexiune serie conform Figurii 2, a) de forma:

$$H'_{F1}(s) = H'_{F2}(s)H_{F1}(s) = \frac{n_0 s + n_1}{h_0 s^2 + h_1 s + h_2} \cdot \frac{k_1}{g_0 s^2 + g_1 s + g_2} = \frac{b_0 s + b_1}{a_0 s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + a_4}, \tag{8}$$

unde $b_0 = k_{p2} k_2 k_1 T_5; b_1 = k_{p2} k_2 k_1; a_0 = \frac{T_1 T_2 T_3 T_4}{1 + k_{p2} k_2}; a_1 = \frac{T_1 T_2 (T_3 + T_4)}{1 + k_{p2} k_2} + \frac{T_3 T_4 (T_1 + T_2)}{1 + k_{p2} k_2};$

$$a_2 = T_1 T_2 + \frac{(T_1 + T_2)(T_3 + T_4)}{1 + k_{p2} k_2} + \frac{T_3 T_4}{1 + k_{p2} k_2}; a_3 = (T_1 + T_2) + \frac{T_3 + T_4}{1 + k_{p2} k_2}; a_4 = 1.$$

Acordarea regulatorului P, PI, PID respectiv pentru obiectul (8) după metoda GMS se efectuează după relațiile [5,6].

SA cu regulatorul P:

$$k_{p1} = \frac{-a_0J^4 + a_1J^3 - a_2J^2 + a_3J - a_4}{b_1 - b_0J}. \quad (9)$$

SA cu regulatorul PI:

$$k_{p1} = \frac{d_0J^5 - d_1J^4 + d_2J^3 - d_3J^2 + d_4J - d_5}{(b_1 - b_0J)^2}, \quad (10)$$

unde $d_0 = 4a_0b_0$; $d_1 = 5a_0b_1 + 3a_1b_0$; $d_2 = 4a_1b_1 + 2a_2b_0$; $d_3 = 3a_2b_1 + a_3b_0$; $d_4 = 2a_3b_1$; $d_5 = a_4b_1$.

$$k_{i1} = \frac{a_0J^5 - a_1J^4 + a_2J^3 - a_3J^2 + a_4J}{b_1 - b_0J} + k_pJ. \quad (11)$$

SA cu regulatorul PID:

$$k_{d1} = \frac{-d_0J^6 + d_1J^5 - d_2J^4 + d_3J^3 - d_4J^2 + d_5J - d_6}{2(b_1 - b_0J)^4}, \quad (12)$$

unde $d_0 = 12a_0b_0^3$; $d_1 = 42a_0b_0^2b_1 + 6a_1b_0^3$; $d_2 = 50a_0b_0 + b_1^2 + 22a_1b_0^2b_1 + 2a_2b_0^3$;
 $d_3 = 20a_0b_1^3 + 28a_1b_0b_1^2 + 8a_2b_0^2b_1$; $d_4 = 12a_1b_1^3 + 12a_2b_0b_1^2$; $d_5 = 6a_2b_1^3 + 2a_3b_0b_1^2 - 2b_0^2b_1$;
 $d_6 = 2a_3b_1^3 - 2b_0b_1^2$,

$$k_{p1} = \frac{(d_0J^5 - d_1J^4 + d_2J^3 - d_3J^2 + d_4J - d_5)}{(b_1 - b_0J)^2} + 2k_{d1}J, \quad (13)$$

unde $d_0 = 4a_0b_0^3$; $d_1 = 5a_0b_1 + 3a_1b_0$; $d_2 = 4a_1b_1 + 2a_2b_0$; $d_3 = 3a_2b_1 + a_3b_0$; $d_4 = 2a_3b_1$; $d_5 = b_1$,

$$k_{i1} = \frac{a_0J^5 - a_1J^4 + a_2J^3 - a_3J^2 + J}{b_1 - b_0J} - k_{d1}J^2 + k_{p1}J. \quad (14)$$

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 $H_{F1}(s)$ (1):

$$H_{F1}^*(s) = H'_{F2}(s)H_{F1}(s) = \frac{l_0s^2 + l_1s + l_2}{r_0s^3 + r_1s^2 + r_2s + r_3} \cdot \frac{k_1}{g_0s^2 + g_1s + g_2} = \frac{b_0s^2 + b_1s + b_2}{a_0s^5 + a_1s^4 + a_2s^3 + a_3s^2 + a_4s + a_5}, \quad (15)$$

unde $b_0 = k_1k_{p2}k_2T_5$; $b_1 = k_1(k_{i2}k_2T_5 + k_{p2})$; $b_2 = k_1k_{i2}k_2$;

$$a_0 = T_1T_2T_3T_4; \quad a_1 = (T_1 + T_2)T_3T_4 + T_1T_2(T_3 + T_4 + k_{p2}k_2T);$$

$$a_2 = (T_1 + T_2)(T_3 + T_4 + k_{p2}k_2T) + T_3T_4 + T_1T_2(1 + k_{i2}k_2T_5 + k_{p2}k_2);$$

$$a_3 = (T_3 + T_4 + k_{p2}k_2T) + T_1T_2k_{i2}k_2 + (T_1 + T_2)(1 + k_{i2}k_2T_5 + k_{p2}k_2);$$

$$a_4 = (1 + k_{i2}k_2T_5 + k_{p2}k_2) + (T_1 + T_2)k_{i2}k_2; \quad a_5 = k_{i2}k_2.$$

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

SA cu regulatorul P:

$$k_{p1} = \frac{a_0J^5 - a_1J^4 + a_2J^3 - a_3J^2 + a_4J - a_5}{b_0J^2 - b_1J + b_2}, \quad (16)$$

SA cu regulatorul PI:

$$k_{p1} = \frac{d_0J^7 - d_1J^6 + d_2J^5 - d_3J^4 + d_4J^3 - d_5J^2 + d_6J - d_7}{(b_0J^2 - b_1J + b_2)^2}, \quad (17)$$

unde $d_0 = 4a_0b_0$; $d_1 = 5a_0b_1 + 3a_1b_0$; $d_2 = 6a_0b_2 + 4a_1b_1 + 2a_2b_0$; $d_3 = 5a_1b_2 + 3a_2b_1 + a_3b_0$;

$$d_4 = 4a_2b_2 + 2a_3b_1; \quad d_5 = 3a_3b_2 + a_4b_1 - a_5b_0; \quad d_6 = 2a_4b_2; \quad d_7 = a_5b_2,$$

$$k_{i1} = \frac{-a_0J^6 + a_1J^5 - a_2J^4 + a_3J^3 - a_4J^2 + a_5J}{b_0J^2 - b_1J + b_2} + k_{p1}J. \quad (18)$$

SA cu regulatorul PID:

$$k_{d1} = \frac{-d_0 J^{10} + d_1 J^9 - d_2 J^8 + d_3 J^7 - d_4 J^6 + d_5 J^5 - d_6 J^4 + d_7 J^3 - d_8 J^2 + d_9 J - d_{10}}{2(b_0 J^2 - b_1 J + b_2)^4}, \quad (19)$$

unde

$$\begin{aligned} d_0 &= 2a_0 b_0^3; \quad d_1 = 42a_0 b_0^2 b_1 + 6a_1 b_0^3; \quad d_2 = 46a_0 b_0^2 b_2 + 80a_0 b_0 b_1^2 + 40a_1 b_0^2 b_1 + 2a_2 b_0^3; \\ d_3 &= 100a_0 b_0 b_1 b_2 + 20a_0 b_1^3 + 28a_1 b_0 b_1^2 + 24a_1 b_0^2 b_2 + 8a_2 b_0^2 b_1; \\ d_4 &= 64a_0 b_0 b_2^2 + 68a_0 b_1^2 b_2 + 64a_1 b_0 b_1 b_2 + 12a_1 b_1^3 + 8a_2 b_0^2 b_2 + 12a_2 b_0 b_1^2; \\ d_5 &= 78a_0 b_1 b_2^2 + 48a_0 b_0 b_2^2 + 52a_1 b_1^2 b_2 + 32a_1 b_0 b_1 b_2 + 16a_2 b_0 b_2 (b_1 + b_0) + 12a_2 b_1^3 + 4a_3 b_0 b_1^2 - \\ &\quad - 12a_3 b_0 b_2^2 - 6a_3 b_0^2 b_2 - 6a_3 b_1^2 b_2 - 4a_4 b_0 b_1 b_2 - 2a_4 b_0^2 b_1 - 2a_4 b_1^3 + 4a_5 b_0^2 b_2 + 2a_5 b_0 b_1^2; \\ d_6 &= 30a_0 b_2^3 + 50a_1 b_1 b_2^2 + 18a_2 b_2 (b_0 b_2 + b_1^2) + 2a_3 b_1 (2b_0 b_2 + b_1^2) - 2a_4 b_0 (b_1^2 + 2b_0 b_2) + 2a_5 b_0^2 b_1; \\ d_7 &= 20a_1 b_2^3 + 28a_2 b_1 b_2^2 + 4a_3 b_0 b_2^2 + 8a_3 b_1^2 b_2 - 8a_4 b_0 b_1 b_2 - 4a_5 b_0^2 b_2; \\ d_8 &= 12a_2 b_2^3 + 6a_3 b_2^2 (b_1 + b_0) + 2a_4 b_0 b_1 b_2 - 4a_4 b_0 b_2^2 - 2a_4 b_0 b_1^2 - 2a_5 b_0^2 b_2 - 6a_5 b_0 b_1 b_2; \\ d_9 &= 12a_3 b_0 b_2^2 + 6a_3 b_1^2 b_2 + 4a_4 b_0 b_1 b_2 + 2a_4 b_1^3 - 4a_5 b_0 b_2 (b_0 + b_2) - 2a_5 b_1^2 (b_0 + b_2); \quad d_{10} = 2a_4 b_2^3 - 2a_5 b_1 b_2^2, \\ k_{p1} &= \frac{d_0 J^7 - d_1 J^6 + d_2 J^5 - d_3 J^4 + d_4 J^3 - d_5 J^2 + d_6 J - d_7}{(b_0 J^2 - b_1 J + b_2)^2} + 2k_{d1} J, \end{aligned} \quad (20)$$

unde

$$\begin{aligned} d_0 &= 4a_0 b_0; \quad d_1 = 5a_0 b_1 + 3a_1 b_0; \quad d_2 = 6a_0 b_2 + 4a_1 b_1 + 2a_2 b_0; \quad d_3 = 5a_1 b_2 + 3a_2 b_1 + a_3 b_0; \\ d_4 &= 4a_2 b_2 + 2a_3 b_1; \quad d_5 = 3a_3 b_2 + a_4 b_1 - a_5 b_0; \quad d_6 = 2a_4 b_2; \quad d_7 = a_5 b_2, \\ k_{i1} &= \frac{-a_0 J^6 + a_1 J^5 - a_2 J^4 + a_3 J^3 - a_4 J^2 + a_5 J}{b_0 J^2 - b_1 J + b_2} - k_{d1} J^2 + k_{p1} J. \end{aligned} \quad (21)$$

După relațiile (3), (5), (6), (9) - (14), (16) - (21) se calculează valoarea optimală a gradului maximal de stabilitate al SA cu regulatorul P, PI, PID respectiv. În cazurile când valorile parametrilor reguletoarelor P, PI, PID calculate după relațiile (3), (5), (6), (9) - (14), (16) - (21) nu permit a obține performanțele dorite ale sistemului automat, atunci se propune de a utiliza proceduri iterative de alegere a valorilor optime ale parametrilor reguletoarelor P, PI, PID, pentru care sistemul automat va avea performanțele dorite. Pentru determinarea valorilor optime ale parametrilor k_{p1} , k_{i1} , k_{p2} , k_{i2} , k_{d2} din relațiile (3), (5), (6), (9) - (14), (16) - (21), care sunt funcții de variabila gradului maximal de stabilitate J , se variază variabila $J > 0$ și se construiesc curbele $k_{p1} = f(J)$, $k_{i1} = f(J)$, $k_{d1} = f(J)$, $k_{p2} = f(J)$, $k_{i2} = f(J)$, pentru regulatorul P, PI, PID respectiv și conturul respectiv. În continuare, se iau seturi de valori ale parametrilor k_{p1} , k_{i1} , k_{p2} , k_{i2} , k_{d2} pentru valori optime și cvasioptime ale lui J . 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 cu seturile de valori numite ale parametrilor 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.

2. Aplicare și simulare pe calculator

Pentru a analiza eficiența procedurii de acordare a reguletoarelor tipizate la sisteme de reglare în cascadă cu obiecte cu inerție de ordinul patru și avans conform relațiilor prezentate mai sus, s-au efectuat calculele respective pentru acordarea reguletoarelor la subprocesele cu parametrii dați: pentru f.d.t. $H_{F2}(s)$: $k_2=2$, $T_3=3$, $T_4=7$, $T_5=10$, și pentru f.d.t. $H_{F1}(s)$: $k_1=3$, $T_1=15$, $T_2=20$.

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} , k_{i2} din relațiile (3), (5), (6), care sunt funcții de variabila gradului maximal de stabilitate J , au fost construite curbele $k_{p2} = f(J)$ pentru regulatorul P (Fig.3, a) și $k_{p2} = f(J)$, $k_{i2} = f(J)$ pentru regulatorul PI (Fig.3, b).

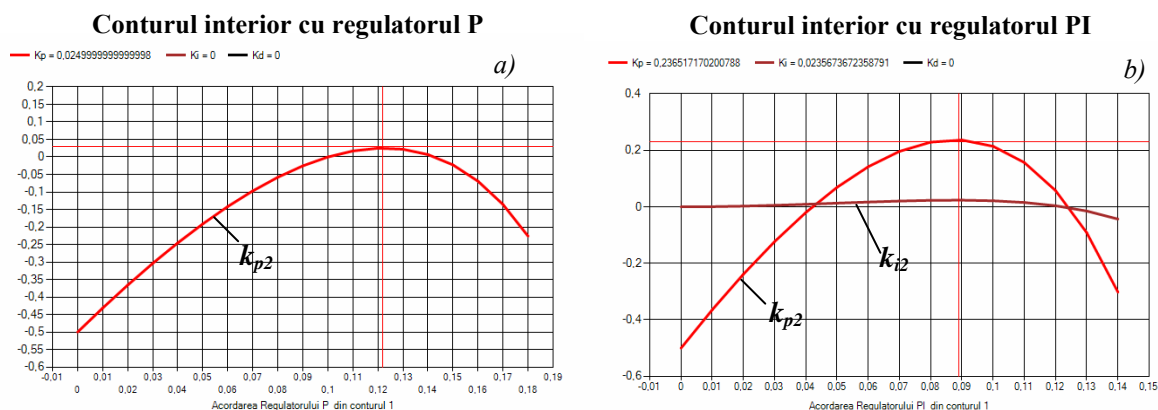


Fig.3. Dependentele $k_{p2}=f(J)$, $k_{p2}, k_{i2}=f(J)$.

În conturul exterior pentru cazul când în conturul interior a fost acordat regulatorul P s-au acordat reguletoarele P, PI și PID după relațiile (9)-(14) și pentru determinarea valorilor optime ale reguletoarelor respective, în dependență de valoarea gradului maximal de stabilitate J , au fost construite dependentele $k_{p1} = f(J)$ pentru regulatorul P (Fig.4, a), $k_{p1} = f(J)$, $k_{i1} = f(J)$ pentru regulatorul PI acordat (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 reguletoarele P, PI și PID după relațiile (16)-(21) și pentru determinarea valorilor optime ale reguletoarelor respective, în dependență de valoarea gradului maximal de stabilitate J , au fost construite dependentele $k_{p1} = f(J)$ pentru regulatorul P (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).

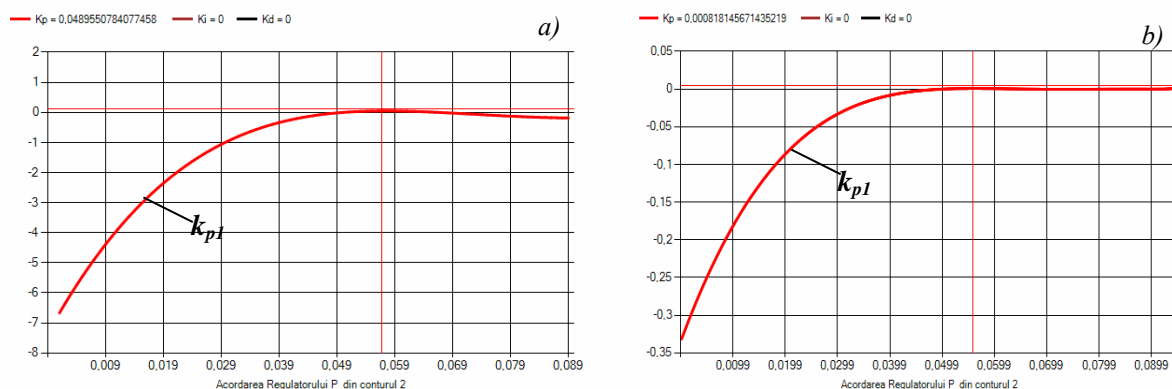


Fig.4. Dependentele $k_{p1}=f(J)$.

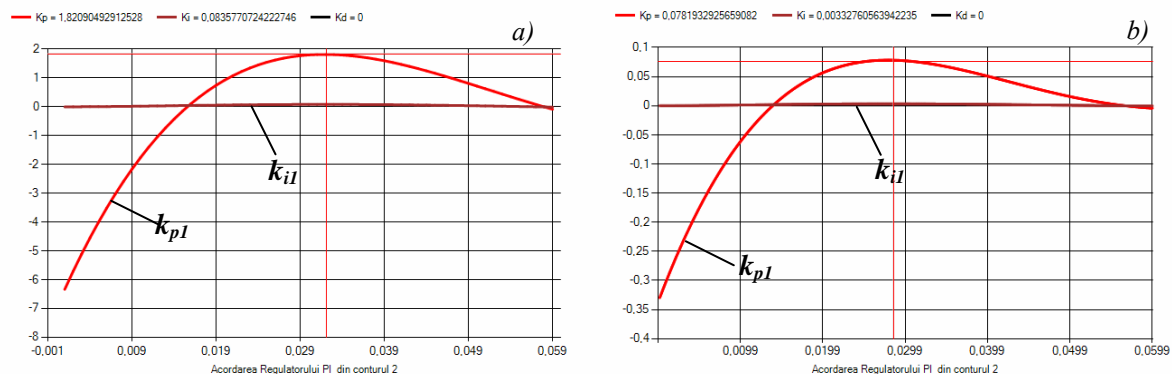
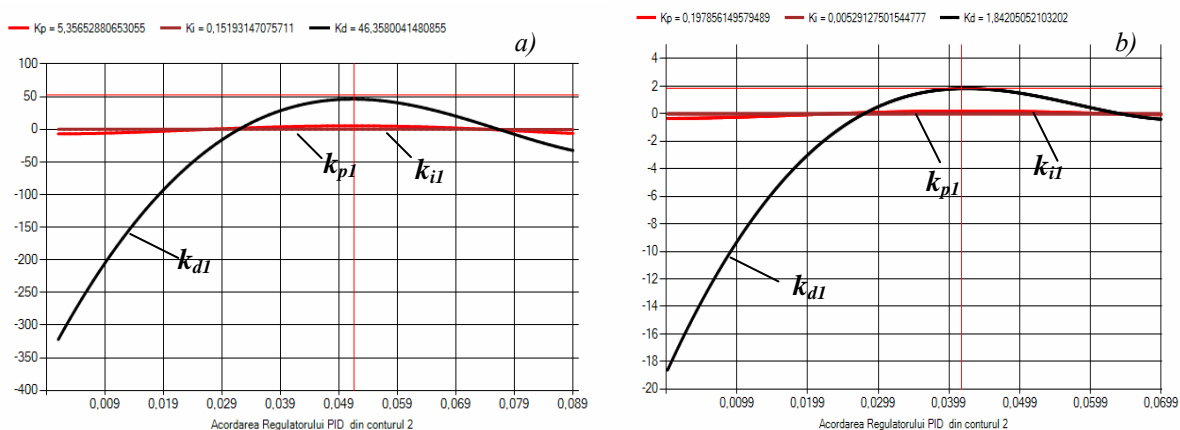


Fig.5. Dependentele $k_{p1}, k_{i1}=f(J)$.

Fig.6. Dependentele $k_{p1}, k_{i1}, k_{d1} = f(J)$.

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

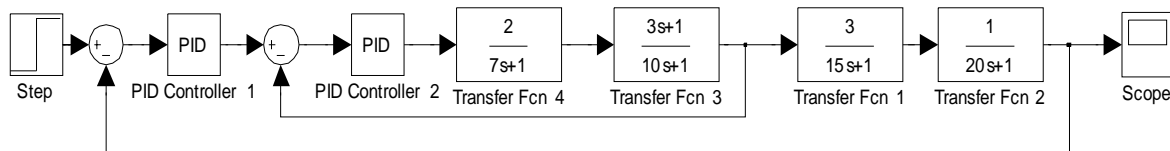


Fig.7. Schema bloc structurală de simulare a sistemului automat.

În Figura 8 sunt prezentate procesele tranzitorii ale sistemului automat al conturului exterior, pentru cazul acordării regloatoarelor după metoda GMS: a) – reglatorul P acordat în conturul interior și regloatoarele P, PI, PID acordate în conturul exterior; b) reglatorul PI acordat în conturul interior și regloatoarele P, PI, PID acordate în conturul exterior. Valorile parametrilor de acordare a regloatoarelor respective sunt prezentate în Tabel. Valorile parametrilor de acordare a regloatoarelor respective pentru curbele 1-3, 5-6 au fost obținute utilizând metoda GMS și curba 4 a fost obținută pentru cazul optimizării valorilor parametrilor de acordare a reglatorului PID utilizând blocul NCD Outport din pachetul de programe MATLAB.

Tabel

Parametrii de acordare a regloatoarelor după metoda GMS

Nr. curbei	Reg. conturului exterior	Regulatorul P acordat în conturul interior $k_{p2}=0.0249$	Regulatorul PI acordat în conturul interior $k_{p2}=0.2365$ $k_{i2}=0.02356$
1	P	$k_{p1}=0.0489$	$k_{p1}=0.000818$
2	PI	$J_{opt}=0.032, k_{p1}=1.8209,$ $k_{i1}=0.0835$	$J_{opt}=0.028, k_{p1}=0.078,$ $k_{i1}=0.00332$
3	PID	$J_{opt}=0.051, k_{p1opt}=5.356,$ $k_{i1opt}=0.151, k_{d1opt}=46.358$	$J_{opt}=0.0424, k_{p1}=0.197,$ $k_{i1}=0.00529, k_{d1}=1.842$
4	PID	$k_{p1}=1.7534,$ $k_{i1}=0.1674, k_{d1}=7.4726$	$k_{p1}=0.0705,$ $k_{i1}=0.0203, k_{d1}=5.144$
5	PID	$J=0.04, k_{p1}=4.063,$ $k_{i1}=0.123, k_{d1}=31.55$	$J=0.035, k_{p1}=0.165,$ $k_{i1}=0.00468, k_{d1}=1.4122$
6	PID	$J=0.06, k_{p1}=4.544,$ $k_{i1}=0.128, k_{d1}=39.243$	$J=0.05, k_{p1}=0.161,$ $k_{i1}=0.00442, k_{d1}=1.4612$

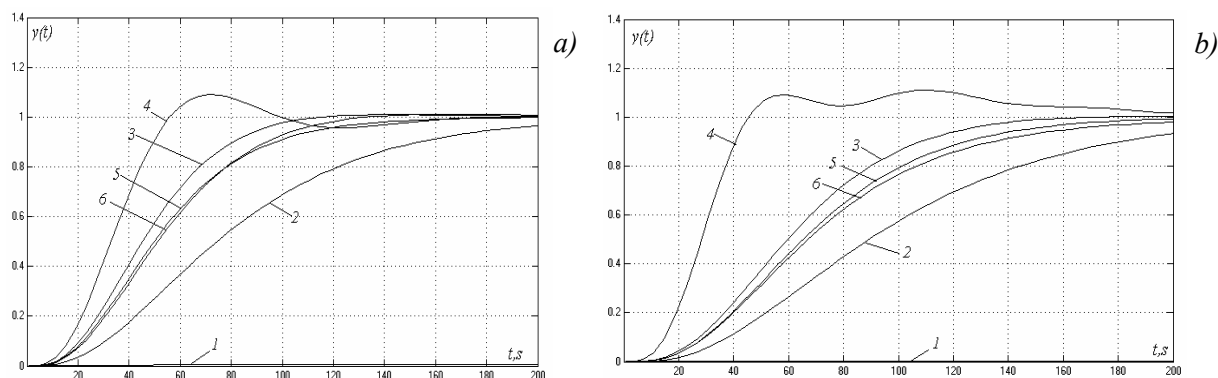


Fig.8. Procese tranzitorii ale sistemului de reglare în cascadă.

Concluzii

În rezultatul analizei rezultatelor obținute la acordarea regloarelor P , PI , PID în sisteme de reglare în cascadă cu modele de obiecte (1), (2) cu parametri cunoscuți, concluzionăm următoarele:

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.

Referințe:

1. Dumitrache I. și al. Automatizări electronice. - București: Editura Didactică și Pedagogică, 1993.
2. Preitl Ș., Precup R.E. Introducere în ingineria reglării automate. - Timișoara: Editura Politehnica, 2004.
3. Tan N., Atherton D. P. Design of stabilizing PI and PID controllers // International Journal of Systems Science, vol.37, Issue 8, 2006, p.543-554.
4. Загарий Г.И., Шубладзе А.М. Синтез систем управления на основе критерия максимальной степени устойчивости. - Москва: Энергомиздат, 1988.
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). Vol.1. - București, 1997, p.179-184.
6. Cojuhari I., Izvoreanu B. Contributions of controllers tuning in the multiple - loop feedback control system with two contours with inertia. In: Proceedings of the 9 International Conference on Development and Application Systems DAS-2008, România, Universitatea Ștefan cel Mare, Suceava, 22-24 May 2008, p.50-53.

Prezentat la 20.09.2010