

# Acordarea Regulatorilor în Sisteme de Reglare în Cascadă cu Trei Contururi cu Inerție

Irina COJUHARI  
 Universitatea Tehnică a Moldovei  
 cojuhari\_irina@yahoo.com

**Abstract** — 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 three subprocesses, which are described by dynamical models with inertia (fourth order). The controllers in the internal contours first and second and in the external contour are tuning according the maximal stability degree method. In the internal contour first and second are used controllers *P* and *PI*, in the external contour is used controllers *P*, *PI*, *PID*. The maximal stability degree method represent the iterative procedure, for determinate the optimal parameters of controllers *P*, *PI*, *PID* in the multiple-loop feedback control systems .

**Index Terms** — maximal stability degree method, multiple-loop feedback control system, tuning of controllers, linear controllers *P*, *PI*, *PID*.

## I. INTRODUCERE

În practica automatizărilor pentru procese lente sau rapide 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 (SA) proiectat este o procedură dificilă [1,2].

Pentru depășirea acestor dificultăți se utilizează structuri de sisteme de reglare în cascadă (SRC) [1,2]. Pentru acordarea regulatorilor 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 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.

Pornind de la dezavantajele metodelor indicate, în lucrare se propune de a utiliza metoda gradului maximal de stabilitate (GMS) [3] la acordarea regulatorilor tipizate în buclele de reglare interioare unu și doi și buclei exterioare independente.

Procedura de acordare a regulatorilor pornește de la conturul interior unu, doi și apoi se acordează regulatorile în conturul exterior.

## II. ALGORITMUL DE ACORDARE A REGULATOARELOR

Admitem că procesul condus este prezentat prin trei subprocesse și structura sistemului de reglare în cascadă cu trei contururi se prezintă în fig.1.

În figură sunt utilizate următoarele însemnări :  $H_{R1}(s)$ ,  $H_{R2}(s)$ ,  $H_{R3}(s)$  sunt funcții de transfer (f.d.t.) ale regulatorului exterior și regulatorilor interioare respective:  $H_{F1}(s)$ ,  $H_{F2}(s)$ ,  $H_{F3}(s)$  - prezintă f.d.t. ale subprocesselor procesului condus, 1,2 - contururile interioare.

Vom studia prezentarea subprocesselor pentru cazul când subprocessele sunt elemente cu inerție de ordinul doi și unu cu f.d.t. de forma

$$H_{F1}(s) = \frac{k_1}{T_1s + 1}, \quad (1)$$

$$H_{F2}(s) = \frac{k_2}{T_2s + 1}, \quad \text{cu } T_1 > T_2. \quad (2)$$

$$H_{F3}(s) = \frac{k_3}{(T_3s + 1)(T_4s + 1)} = \frac{k_2}{l_0s^2 + l_1s + l_2}, \quad \text{cu } T_1, T_2 > T_3, T_4. \quad (3)$$

În expresiile (1), (2) și (3) avem însemnările:  $k_1, k_2, k_3$  sunt coeficienții de transfer ai subprocesselor,  $T_1, T_2, T_3, T_4$  - constantele de timp,  $l_0 = T_3T_4, l_1 = T_3 + T_4; l_2 = 1$ .

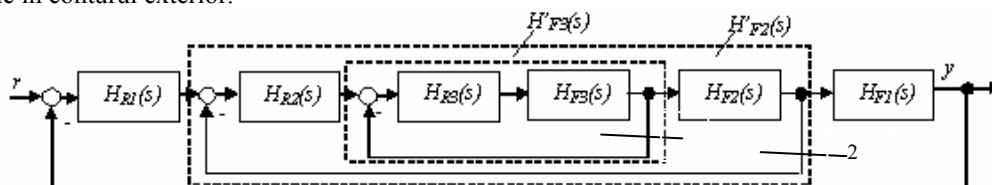


Fig.1. Schema bloc structurală a sistemului automat cu trei bucle de reglare.

### III. ACORDAREA REGULATOARELOR ÎN CONTURUL INTERIOR UNU

Se efectuează acordarea regulatorului cu f.d.t.  $H_{R3}(s)$  din conturul interior unu la subprocesul cu f.d.t.  $H_{F3}(s)$ . Admitem că se acordează regulator de tipul  $P$  sau  $PI$ .

**Regulatorul  $P$**  se acordează la obiectul cu f.d.t. (3) după metoda GMS și parametrul de acord al regulatorului se determină din relația [3]

$$k_{p3} = \frac{1}{k_3}(-l_0J^2 + l_1J - l_2) \quad (4)$$

În relația (4)  $J$  este gradul maximal de stabilitate și care se alege (este o mărime  $J > 0$ ). Alegînd valoarea lui  $J$  se va obține o valoare necesară a lui  $k_{p3}$  astfel 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  $P$

$$H'_{F3}(s) = \frac{H_{R3}(s)H_{F3}(s)}{1 + H_{R3}(s)H_{F3}(s)} = \frac{n_0}{h_0s^2 + h_1s + h_2} \quad (5)$$

unde  $n_0 = k_{p3}k_3$ ;  $h_0 = T_3T_4$ ;  $h_1 = T_3 + T_4$ ;  $h_2 = 1 + k_{p3}k_3$ .

**Regulatorul  $PI$**  se acordează la obiectul cu f. d. t. (3) după metoda GMS și parametrii de acord se determină din relațiile [3]

$$k_{p3} = \frac{1}{k_3}(-3l_0J^2 + 2l_1J - l_2) \quad (6)$$

$$k_{i3} = \frac{J^2}{k_3}(-2l_0J + l_1) \quad (7)$$

Variind valoarea  $J > 0$  se pot obține valori ale parametrilor  $k_{p3}$ ,  $k_{i3}$  pentru care performanțele SA sunt cele dorite.

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

$$H'_{F3}(s) = \frac{H_{R3}(s)H_{F3}(s)}{1 + H_{R3}(s)H_{F3}(s)} = \frac{n_0s + n_1}{h_0s^3 + h_1s^2 + h_2s + h_3} \quad (8)$$

unde  $n_0 = k_3k_{p3}$ ;  $n_1 = k_3k_{i3}$ ;  $h_0 = T_3T_4$ ;

$h_1 = T_3 + T_4$ ;  $h_2 = 1 + k_{p3}k_3$ ;  $h_3 = k_{i3}k_3$ .

### IV. ACORDAREA REGULATOARELOR ÎN CONTURUL INTERIOR DOI

Schema bloc structurală a buclei a doua interioare se prezentată în fig.2.

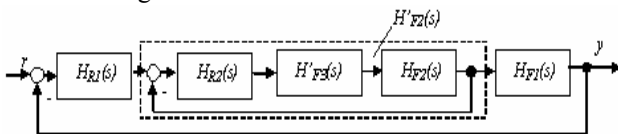


Fig. 2. Schema bloc structurală a buclei a doua interioare.

Pentru acordarea regulatorilor  $P$ ,  $PI$  respective în conturul interior doi se determină f.d.t. echivalentă a obiectului (5) obținută pentru cazul acordării regulatorului  $P$  în conturul interior unu și subprocesul cu f.d.t.  $H_{F2}(s)$  (2)

$$H_{\Sigma F2}(s) = H'_{F3}(s)H_{F2}(s) = \frac{b_0}{a_0s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3} \quad (9)$$

unde  $b_0 = k_{p3}k_3k_2$ ;  $a_0 = T_2T_3T_4$ ;  $a_1 = T_2(T_3 + T_4) + T_3T_4$ ;

$a_2 = T_2(1 + k_{p3}k_3) + (T_3 + T_4)$ ;  $a_3 = 1 + k_{p3}k_3$ .

**Regulatorul  $P$**  se acordează la obiectul cu f.d.t. (9) după metoda GMS și parametrul de acord al regulatorului se determină din relația [3]

$$k_{p2} = \frac{1}{b_0}(a_0J^3 - a_1J^2 + a_2J - a_3) \quad (10)$$

În relația (10)  $J$  este gradul maximal de stabilitate și care se alege mai mare ca zero. Alegînd 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  $P$

$$H'_{F2}(s) = \frac{H_{R2}(s)H_{F2}(s)}{1 + H_{R2}(s)H_{F2}(s)} = \frac{n_0}{h_0s^3 + h_1s^2 + h_2s + h_3} \quad (11)$$

unde  $n_0 = k_{p3}k_{p2}k_3k_2$ ;  $h_0 = T_2T_3T_4$ ;  $h_1 = T_2(T_3 + T_4) + T_3T_4$ ;

$h_2 = T_2(1 + k_{p3}k_3) + (T_3 + T_4)$ ;  $h_3 = (1 + k_{p3}k_3) + k_{p3}k_{p2}k_3k_2$ .

**Regulatorul  $PI$**  se acordează la obiectul cu f. d. t. (9) după metoda GMS și parametrii de acord se determină din relațiile [3]

$$k_{p2} = \frac{1}{b_0}(4a_0J^3 - 3a_1J^2 + 2a_2J - a_3) \quad (12)$$

$$k_{i2} = \frac{J^2}{b_0}(3a_0J^2 - 2a_1J + a_2) \quad (13)$$

Se determină f.d.t. a conturului interior închis cu regulatorul  $PI$

$$H'_{F2}(s) = \frac{H_{R2}(s)H_{F2}(s)}{1 + H_{R2}(s)H_{F2}(s)} = \frac{n_0s + n_1}{h_0s^4 + h_1s^3 + h_2s^2 + h_3s + h_4} \quad (14)$$

unde  $n_0 = k_{p3}k_{p2}k_3k_2$ ;  $n_1 = k_{p3}k_{i2}k_3k_2$ ;  $h_0 = T_2T_3T_4$ ;

$h_1 = T_2(T_3 + T_4) + T_3T_4$ ;  $h_2 = T_2(1 + k_{p3}k_3) + (T_3 + T_4)$ ;

$h_3 = (1 + k_{p3}k_3) + k_{p3}k_{p2}k_3k_2$ ;  $h_4 = k_{p3}k_{i2}k_3k_2$ .

Pentru cazul acordării regulatorilor  $P$ ,  $PI$  în conturul interior doi cînd în conturul interior unu a fost acordat regulatorul  $PI$  cu f.d.t. echivalentă (8) și subprocesul cu f.d.t.  $H_{F2}(s)$  (2) a fost obținută funcția de transfer echivalentă (15)

$$H_{\Sigma F2}(s) = H'_{F3}(s)H_{F2}(s) = \frac{b_0s + b_1}{a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4} \quad (15)$$

unde  $b_0 = k_{p3}k_3k_2$ ;  $b_1 = k_{i3}k_3k_2$ ;  $a_0 = T_2T_3T_4$ ;

$a_1 = T_2(T_3 + T_4) + T_3T_4$ ;  $a_2 = T_2(1 + k_{p3}k_3) + (T_3 + T_4)$ ;

$a_3 = T_2k_{i3}k_3 + (1 + k_{p3}k_3)$ ;  $a_4 = k_{i3}k_3$ .

**Regulatorul  $P$**  se acordează la obiectul cu f.d.t. (15) după metoda GMS și parametrul de acord al regulatorului se determină din relația [3]

$$k_{p2} = \frac{-a_0J^4 + a_1J^3 - a_2J^2 + a_3J - a_4}{b_1 - b_0J} \quad (16)$$

Se determină f.d.t. a conturului interior închis cu regulatorul  $P$

$$H'_{F2}(s) = \frac{H_{R2}(s)H_{F2}(s)}{1 + H_{R2}(s)H_{F2}(s)} = \frac{n_0s + n_1}{h_0s^4 + h_1s^3 + h_2s^2 + h_3s + h_4} \quad (17)$$

unde  $n_0 = k_{p3}k_{p2}k_3k_2$ ;  $n_1 = k_{i3}k_{p2}k_3k_2$ ;  $h_0 = T_2T_3T_4$ ;

$h_1 = T_2(T_3 + T_4) + T_3T_4$ ;  $h_2 = T_2(1 + k_{p3}k_3) + (T_3 + T_4)$ ;

$h_3 = T_2k_{i3}k_3 + (1 + k_{p3}k_3) + k_{p3}k_{p2}k_3k_2$ ;  $h_4 = k_{i3}k_3 + k_{i3}k_{p2}k_3k_2$ .

**Regulatorul  $PI$**  se acordează la obiectul cu f. d. t. (15) după metoda GMS și parametrii de acord se determină din relațiile [3]

$$k_{p1} = \frac{d_0 J^5 - d_1 J^4 + d_2 J^3 - d_3 J^2 + d_4 J - d_5}{(b_1 - b_0 J)^2}, \quad (18)$$

unde  $d_0 = 4a_0 b_0^3$ ;  $d_1 = 5a_0 b_1 + 3a_1 b_0$ ;  $d_2 = 4a_1 b_1 + 2a_2 b_0$ ;  
 $d_3 = 3a_2 b_1 + a_3 b_0$ ;  $d_4 = 2a_3 b_1$ ;  $d_5 = b_1 a_4$ ;

$$k_{i1} = \frac{a_0 J^5 - a_1 J^4 + a_2 J^3 - a_3 J^2 + a_4 J}{b_1 - b_0 J} + k_{p1} J. \quad (19)$$

Se determină f.d.t. a conturului interior închis cu regulatorul  $PI$

$$H'_{F2}(s) = \frac{H_{R2}(s)H_{F1}(s)}{1 + H_{R2}(s)H_{F1}(s)} = \frac{n_0 s + n_1}{h_0 s^5 + h_1 s^4 + h_2 s^3 + h_3 s^2 + h_4 s + h_5}, \quad (20)$$

unde  $n_0 = k_{p3} k_{p2} k_3 k_2$ ;  $n_1 = k_{p3} k_{p2} k_3 k_2 + k_{p3} k_{i2} k_3 k_2$ ;

$n_2 = k_{p3} k_{i2} k_3 k_2$ ;  $h_0 = T_2 T_3 T_4$ ;  $h_1 = T_2 (T_3 + T_4) + T_3 T_4$ ;

$h_2 = T_2 (1 + k_{p3} k_3) + (T_3 + T_4)$ ;  $h_3 = (1 + k_{p3} k_3) + k_{p3} k_{p2} k_3 k_2 + k_{p3} k_{i2} k_3 k_2$ ;

$h_4 = k_{p3} k_{i2} k_3 k_2 + k_{p3} k_{p2} k_3 k_2 + k_{p3} k_{i2} k_3 k_2$ ;  $h_5 = k_{p3} k_{i2} k_3 k_2$ .

## V. ACORDAREA REGULATOARELOR ÎN CONTURUL EXTERIOR

După efectuarea transformărilor schema bloc structurală a conturului exterior este prezentată în fig.3, a, b.

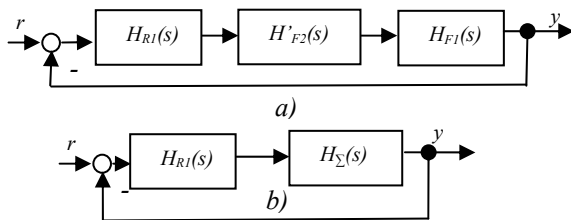


Fig. 3. Schema bloc structurală a buclei exterioare.

Acordarea reguletoarelor în conturul exterior se face pentru patru cazuri, când în conturul interior unu au fost acordate reguletoare  $P$ ,  $PI$  și în conturul interior doi au fost acordate reguletoare  $P$ ,  $PI$ .

**Cazul 1.** În primul caz este necesar de a determina f.d.t. echivalentă între f.d.t a subprocesului (1) și f.d.t (11) pentru cazul când în conturul interior unu s-a acordat regulatorul  $P$  și în conturul interior s-a acordat regulator  $P$

$$H_{\Sigma}(s) = H'_{F2}(s)H_{F1}(s) = \frac{k}{a_0 s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + a_4}, \quad (21)$$

unde  $k = k_1 n_0$ ;  $a_0 = T_1 h_0$ ;  $a_1 = T_1 h_1 + h_0$ ;  $a_2 = T_1 h_2 + h_1$ ;

$a_3 = T_1 h_3 + h_2$ ;  $a_4 = h_3$ ,

unde  $h_0, h_1, h_2, h_3, h_4$  sunt expresiile din (11).

**Acordarea reguletoarelor  $P$ ,  $PI$ ,  $PID$  respectiv pentru obiectul (21) după metoda GMS se efectuează după relațiile [3]:**

- SA cu regulatorul  $P$ :

$$k_{p1} = \frac{1}{k}(-a_0 J^4 + a_1 J^3 - a_2 J^2 + a_3 J - a_4). \quad (22)$$

- SA cu regulatorul  $PI$

$$k_{p1} = \frac{1}{k}(-5a_0 J^4 + 4a_1 J^3 - 3a_2 J^2 + 2a_3 J - a_4); \quad (23)$$

$$k_{i1} = \frac{J^2}{b_0}(-4a_0 J^3 + 3a_1 J^2 - 2a_2 J + a_3). \quad (24)$$

- SA cu regulatorul  $PID$

$$k_{p1} = \frac{1}{k}(15a_0 J^4 - 8a_1 J^3 + 3a_2 J^2 - a_4), \quad (25)$$

$$k_{i1} = \frac{J^3}{b_0}(6a_0 J^2 - 3a_1 J + a_2), \quad (26)$$

$$k_{d1} = \frac{1}{k}(10a_0 J^3 - 6a_1 J^2 + 3a_2 J - a_3). \quad (27)$$

**Cazul 2.** Este necesar de a determina f.d.t echivalentă între f.d.t a subprocesului (1) și f.d.t (14) pentru cazul când în conturul interior unu a fost acordat regulatorul  $P$  și în conturul interior doi a fost acordat regulator  $PI$

$$H_{\Sigma} = H'_{F2}(s)H_{F1}(s) = \frac{b_0 s + b_1}{a_0 s^5 + a_1 s^4 + a_2 s^3 + a_3 s^2 + a_4 s + a_5}, \quad (28)$$

unde  $b_0 = k_1 n_0$ ;  $b_1 = k_1 n_1$ ;  $a_0 = T_1 h_0$ ;  $a_1 = T_1 h_1 + h_0$ ;  $a_2 = T_1 h_2 + h_1$ ;

$a_3 = T_1 h_3 + h_2$ ;  $a_4 = T_1 h_4 + h_3$ ;  $a_5 = h_4$ .

unde  $n_0, n_1, h_0, h_1, h_2, h_3, h_4$  sunt expresiile din (14).

Acordarea regulatorului  $P$ ,  $PI$ ,  $PID$  respectiv la obiectul (28) se efectuează după relațiile [3].

- SA cu regulatorul  $P$

$$k_{p1} = \frac{a_0 J^5 - a_1 J^4 + a_2 J^3 - a_3 J^2 + a_4 J - a_5}{b_1 - b_0 J}. \quad (29)$$

- SA cu regulatorul  $PI$

$$k_{p1}^* = \frac{-d_0 J^6 + d_1 J^5 - d_2 J^4 + d_3 J^3 - d_4 J^2 + d_5 J - d_6}{(b_1 - b_0 J)^2}, \quad (30)$$

$$k_{i1} = \frac{-a_0 J^6 + a_1 J^5 - a_2 J^4 + a_3 J^3 - a_4 J^2 + a_5 J}{b_1 - b_0 J} + k_{p1} J. \quad (31)$$

- SA cu regulatorul  $PID$

$$k_{d1}^* = \frac{d_0 J^7 - d_1 J^6 + d_2 J^5 - d_3 J^4 + d_4 J^3 - d_5 J^2 + d_6 J - d_7}{2(b_1 - b_0 J)^4}, \quad (32)$$

$$k_{p1}^* = \frac{-d_0 J^6 + d_1 J^5 - d_2 J^4 + d_3 J^3 - d_4 J^2 + d_5 J - d_6}{(b_0 - b_1 J)^2} + 2k_{d1} J, \quad (33)$$

$$k_{i1} = \frac{-a_0 J^6 + a_1 J^5 - a_2 J^4 + a_3 J^3 - a_4 J^2 + a_5 J}{b_1 - b_0 J} - k_{d1} J^2 + k_{p1} J. \quad (34)$$

**Cazul 3.** În primul caz este necesar de a determina funcția de transfer echivalentă între f.d.t a subprocesului (1) și f.d.t (17) pentru cazul când în conturul interior unu a fost acordat regulatorul  $PI$  și în conturul interior doi a fost acordat regulator  $P$

$$H_{\Sigma} = H'_{F2}(s)H_{F1}(s) = \frac{b_0 s + b_1}{a_0 s^5 + a_1 s^4 + a_2 s^3 + a_3 s^2 + a_4 s + a_5}, \quad (35)$$

unde  $b_0 = k_1 n_0$ ;  $b_1 = k_1 n_1$ ;  $a_0 = T_1 h_0$ ;  $a_1 = T_1 h_1 + h_0$ ;

$a_2 = T_1 h_2 + h_1$ ;  $a_3 = T_1 h_3 + h_2$ ;  $a_4 = T_1 h_4 + h_3$ ;  $a_5 = h_4$ .

Acordarea regulatorului  $P$  la obiectul (16) se efectuează după relația (29); acordarea regulatorului  $PI$  la obiectul (16) se efectuează după relații (30), (31); acordarea regulatorului  $PID$  la obiectul (16) se efectuează după relații (32), (33), (34).

**Cazul 4.** În primul caz este necesar de a determina funcția de transfer echivalentă între f.d.t a subprocesului (1) și f.d.t (20) pentru cazul când în conturul interior unu a fost acordat regulatorul  $PI$  și în conturul interior doi a fost acordat regulator  $PI$

$$H_{\Sigma} = H'_{F2}(s)H_{F1}(s) = \frac{b_0 s^2 + b_1 s + b_2}{a_0 s^6 + a_1 s^5 + a_2 s^4 + a_3 s^3 + a_4 s^2 + a_5 s + a_6}, \quad (36)$$

unde  $b_0 = k_1 n_0$ ;  $b_1 = k_1 n_1$ ;  $b_2 = k_1 n_2$ ;  $a_0 = T_1 h_0$ ;

$a_1 = T_1 h_1 + h_0$ ;  $a_2 = T_1 h_2 + h_1$ ;  $a_3 = T_1 h_3 + h_2$ ;

$a_4 = T_1 h_4 + h_3$ ;  $a_5 = T_1 h_5 + h_4$ ;  $a_6 = h_5$ .

Acordarea regulatorului  $P$ ,  $PI$ ,  $PID$  respectiv la obiectul (16) se efectuează după relațiile [3].

- SA cu regulatorul P

$$k_{p1} = \frac{-a_0J^6 + a_1J^5 - a_2J^4 + a_3J^3 - a_4J^2 + a_5J - a_6}{b_0J^2 - b_1J + b_2} \quad (37)$$

- SA cu regulatorul PI

$$k_{p1}^* = \frac{-d_0J^8 + d_1J^7 - d_2J^6 + d_3J^5 - d_4J^4 + d_5J^3 - d_6J^2 + d_7J - d_8}{(b_0J^2 - b_1J + b_2)^2} \quad (38)$$

$$k_{i1} = \frac{a_0J^7 - a_1J^6 + a_2J^5 - a_3J^4 + a_4J^3 - a_5J^2 + a_6J + k_pJ}{b_0J^2 - b_1J + b_2} \quad (39)$$

- SA cu regulatorul PID

$$k_d = \frac{a_0J^{11} + a_1J^{10} - a_2J^9 + a_3J^8 - a_4J^7 - a_5J^6 + a_6J^5 - a_7J^4 + a_8J^3 - a_9J^2 + a_{10}J - a_{11}}{2(b_0J^2 - b_1J + b_2)^3} \quad (40)$$

$$k_{p1}^* = \frac{-d_0J^8 + d_1J^7 - d_2J^6 + d_3J^5 - d_4J^4 + d_5J^3 - d_6J^2 + d_7J - d_8 + 2k_{d1}J}{(b_0J^2 - b_1J + b_2)^2} \quad (41)$$

$$k_{i1} = \frac{a_0J^7 - a_1J^6 + a_2J^5 - a_3J^4 + a_4J^3 - a_5J^2 + a_6J - k_{d1}J^2 + k_{p1}J}{b_0J^2 - b_1J + b_2} \quad (42)$$

Pentru relațiile parametrilor de acord cu (\*) valorile coeficienților nu sunt prezentate datorită spațiului limitat.

Pentru determinarea valorilor optime ale parametrilor  $k_p, k_i, k_d$  din relațiile (22)-(27), (29)-(34), (37)-(42) se propune următoarea procedură cu iterații. Se variază variabila  $J$  și se construiesc curbele  $k_p = f(J)$ ,  $k_i = f(J)$ ,  $k_d = f(J)$  pentru regulatorul respectiv. În continuare se iau seturi de valori ale parametrilor  $k_p, k_i, k_d$  pentru valori optime sau cvasioptime ale lui  $J$ . Pentru fiecare set de valori ale parametrilor  $k_p, k_i, k_d$  se simulează pe calculator SA cu regulatorul P, PI, PID respectiv cu seturile de valori ale parametrilor alese și se determină procesul tranzitoriu al SA pentru care performanțele obținute.

## VI. APLICAȚII ȘI SIMULARE PE CALCULATOR

Pentru a analiza eficiența metodei de acordare a regulatorilor la SRC pentru cazul dat s-au efectuat calculele pentru f.d.t  $H_{F3}(s) - k_3=1, T_3=2, T_4=1; H_{F2}(s) - k_2=2, T_2=3; H_{F1}(s) - k_1=4, T_1=5$ .

S-au efectuat acordările respective conform schemei:

a)  $P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1, PI_1, PID_1$ ; b)  $P_3 \rightarrow PI_2 \rightarrow P_1, PI_1, PID_1$ ;  
c)  $PI_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1, PI_1, PID_1$ ; d)  $PI_3 \rightarrow PI_2 \rightarrow P_1, PI_1, PID_1$ , unde însemnările  $P_1, P_2, P_3, \dots, PID_1$  prezintă algoritmul respectiv a regulatorului  $R_3$  – contur interior 1,  $R_2$  – contur interior 2,  $R_1$  – contur exterior. Valorile parametrilor de acord ai regulatorilor  $R_1, R_2, R_3$  sunt prezentate în tabelul 1.

S-a simulat pe calculator în MATLAB și procesele tranzitorii ale SRC cu regulatorii P, PI și PID acordate după metoda propusă sunt prezentate în fig.4, a, b, c, d.

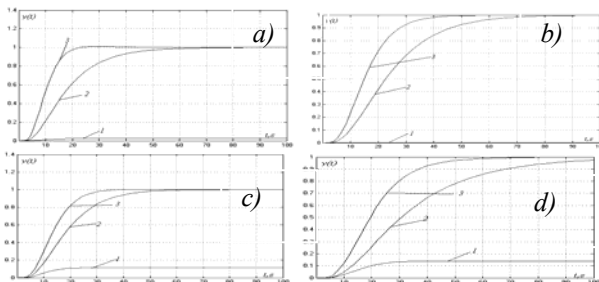


Fig. 4. Processe tranzitorii ale SRC.

Tabelul 1. Valorile parametrilor de acord ai regulatorilor.

Varianta	Reg. $R_3$		Reg. $R_2$		Reg. $R_1$			GMS $J$	Nr. curbă
	$k_{p3}$	$k_{i3}$	$k_{p2}$	$k_{i2}$	$k_{p1}$	$k_{i1}$	$k_{d1}$		
a	0.12		0.25		0.12			0.26	1
						1.27	0.24	0.15	2
					4.08	0.51	7.67	0.26	3
b	0.12		1.53	0.5	2.19			0.25	1
						0.13	0.08	0.13	2
					0.11	0.006	3.86	0.07	3
c	0.5	0.25	0.04 3		0.40			0.54	1
					0.84	0.16		0.15	2
					1.73	0.24	2.65	0.21	3
d	0.5	0.25	0.9	0.3	1.97			0.02	1
					0.05	0.01		0.37	
					0.72	0.15	0.81	0.44	

## VII. CONCLUZII

În rezultatul analizei rezultatelor obținute la acordarea regulatorilor P, PI, PID la SRC cu trei bucle de reglare la modele de obiecte (1), (2), (3) se fac următoarele concluzii:

1. Contururile interioare cu regulatorul P, PI acordate după metoda GMS permit de a obține performanțe ridicate. Pentru regulatorul PI se obțin parametrii optimați.
2. Conturul exterior cu regulatorul P, PI, PID acordat după metoda GMS permite de a obține performanțe ridicate pentru SRC variind setul de valori ai parametrilor regulatorului respectiv.
3. În urma analizei curbelor obținute se poate face concluzia că cele mai bune rezultate s-au obținut pentru cazul acordării regulatorului PID în conturul exterior din figura 5 a), b), c) și d) (curbele 3).

## BIBLIOGRAFIE

- [1] V. Ia. Rotach, Teoria avtomaticheskogo upravlenia termoenergheticheskimi protzessami. – Moskva, Energoatomizdat, 1985.-292 s.
- [2] V. A. Lukas, Teoria avtomaticheskogo upravlenia. – Moskva, Nedra, 1990.- 416 s.
- [3] I. Dumitrache și al., Automatizări electronice. - București: EDP, 1993.- 660 p.
- [4] B. Izvoreanu, I. Fiodorov, F. Izvoreanu, 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.
- [5] B. Izvoreanu, I. Cojuhari, Contribuții la acordarea regulatorilor tipizate În sisteme de reglare în cascadă cu două contururi cu inerție / În: Materialele Conferinței Tenico - Științifice a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, Chişinău, 2007, V.I.
- [6] B. Izvoreanu, I. Fiodorov, I. Cojuhari, Tuning of Controllers to the Third Order Advance Delay Objects / In: Proceedings of the 5th International Conference on Microelectronics and Computer Science (ICMCS-2007), Chişinău, 2007, V.I. – pp. 250-253.