

# ACORDAREA REGULATOARELOR DUPĂ METODA FRECVENȚIALĂ ÎN SISTEME DE REGLARE ÎN CASCADĂ LA MODELE DE OBIECTE CU INERȚIE

Irina COJUHARI, Bartolomeu IZVOREANU, Adrian ANDRIUȚĂ

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract:** În lucrare se propune acordarea reguletoarelor tipizate P, PI, PID în sisteme de reglare în cascadă cu două bucle de reglare după metoda frecvențială. Rezultatele obținute se compară cu rezultatele obținute pentru cazul acordării reguletoarelor în sisteme de reglare în cascadă după metoda gradului maximal de stabilitate și metoda Ziegler-Nichols. Procesul condus se prezintă prin două subprocese cu inerție de ordinul unu.

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

## 1. 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 proiectat devine o procedură dificilă [1,2]. Pentru depășirea acestor dificultăți se utilizează structuri de sisteme de reglare în cascadă [1,2]. În lucrare se propune de a face acordarea reguletoarelor tipizate în sisteme de reglare în cascadă în baza metodei gradului maximal de stabilitate, metoda frecvențială și metoda Ziegler-Nichols.

## 2. Metoda frecvențială

În cazul general de determinare a parametrilor optimali ai regulatorului se determină la început în spațiul parametrilor de acordare a regulatorului limitele domeniului, unde se respectă restricția asupra oscilațiilor procesului tranzitoriu, astfel încât se impune gradul de oscilație care se notează cu  $M$  și se construiește locul de transfer al procesului condus, pe care se construiesc circumferințe (fig. 1) cu centrele pe axa reală negativă  $u_M = M^2 / (M^2 - 1)$  și raza  $r_M = M / (M^2 - 1)$ , pentru un șir de valori ale lui  $M$ . Respectiva restricție asupra oscilațiilor proceselor tranzitorii poate fi formulată astfel, ca cerința, ca locul de transfer al sistemului deschis  $H(j\omega)$  să nu intre în domeniul restricționat de  $M = M_{admis}$ . După caracteristica locului de transfer al sistemului se construiesc o familie de locuri de transfer pentru valoarea lui  $k_p$  fixată și pentru diferite valori ale lui  $T_i$  pentru cazul acordării regulatorului PI sau pentru diferite combinații  $T_i$  și valoarea fixată a lui  $T_d$ , pentru cazul acordării regulatorului PID, astfel încât să fie satisfăcut indicele de oscilație impus pentru conturul respectiv [2].

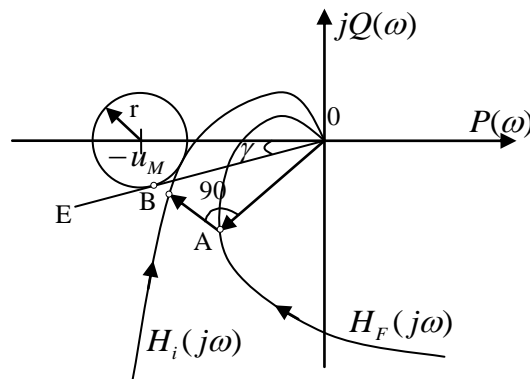


Fig. 1. Locul de transfer al sistemului automat.

### 3. Algoritm de acordare a reglatoarelor în sisteme de reglare în cascadă

Admitem că procesul condus este prezentat prin două subprocese și structura sistemului de reglare în cascadă cu două contururi se prezintă în fig. 2. În figură sunt utilizate însemnările:  $H_{R1}(s)$ ,  $H_{R2}(s)$  sunt funcții de transfer (f.d.t.) ale regulatorului principal și auxiliar respectiv,  $H_{F1}(s)$ ,  $H_{F2}(s)$  - prezintă f.d.t. ale subproceselor procesului condus,  $I$ - conturul interior.

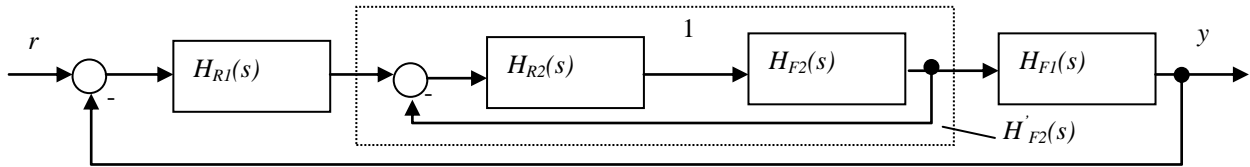


Fig. 2. Schema structurală a sistemului de reglare în cascadă.

Vom studia prezentarea subproceselor pentru cazul când subprocesele sunt elemente cu inerție de ordinul doi cu f.d.t. de forma

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

$$H_{F2}(s) = \frac{k_2}{(T_3s+1)(T_4s+1)} = \frac{k_2}{l_0s^2 + l_1s + l_2}, \quad \text{cu } T_3 < T_1, T_2, T_4 < T_1, T_2. \quad (2)$$

În expresiile (1), (2) avem însemnările:  $k_1, k_2$  sunt coeficienții de transfer ai subproceselor,  $T_1, T_2, T_3, T_4$  - constantele de timp ale subproceselor, iar  $g_0 = T_1T_2$ ;  $g_1 = T_1 + T_2$ ;  $g_2 = 1$ ;  $l_0 = T_3T_4$ ;  $l_1 = T_3 + T_4$ ;  $l_2 = 1$ .

Pentru a efectua acordarea reglatoarelor tipizate în sisteme de reglare în cascadă după metoda frecvențială se impune gradul de oscilație  $M_{admis}$  pentru fiecare contur de reglare și pornind de la conturul interior se face acordarea regulatorului respectiv după pașii:

1. Se construiește locul de transfer al subprocesului condus  $H_{F2}(j\omega)$ .

2. Se construiește o dreaptă OE (fig. 1) sub unghiul de  $\gamma = -\arcsin(1/M_{admis})$ .

3. După caracteristica  $H_{F2}(j\omega)$  se construiește o familie de locuri de transfer  $H_i(j\omega)$  ai sistemului automat deschis pentru valoarea lui  $k_p$  fixată și pentru diferite valori ale lui  $T_i$  pentru 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 oscilație impus pentru conturul respectiv.

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 oscilație  $M$  va atinge valoarea  $M_{admis}$  poate fi determinată din expresia

$$k_p^{pr} = (1/r)[M_{admis}/(M_{admis}^2 - 1)], \quad (3)$$

unde  $r$  este raza circumferinței

5. După ce au fost aleși parametrii de acord ai regulatorului respectiv în conturul interior, astfel încât să fie satisfăcut gradul de oscilație, se determină funcția de transfer echivalentă a conturului interior.

6. Se repetă pașii 1-5 de acordare a reglatoarelor respective în conturul exterior la modelul obiectului (1), astfel încât să fie satisfăcut gradul de oscilație.

### 3. Simulare pe calculator

Pentru a analiza eficiența metodei frecvențiale de acordare a reglatoarelor tipizate la sisteme de reglare în cascadă la obiecte cu inerție de ordinul doi au fost aleși parametrii pentru f.d.t. ale subproceselor respective: pentru f.d.t.  $H_{F2}(s)$ -  $k_2=0.2$ ,  $T_3=2$ ,  $T_4=0.1$  și  $H_{F1}(s)$  -  $k_1=0.5$ ,  $T_1=3$ ,  $T_2=5$ . Pentru a efectua calculele respective de acordare a reglatoarelor după metoda frecvențială, a fost folosit programul PID Controller Designer versiunea 2.5 [4], cu ajutorul acestui program a fost efectuată acordarea regulatorului PI în conturul interior și reglatoarele PI și PID în conturul exterior. În fig. 3 sunt prezentate domeniile admisibile de valori ale parametrilor de acord la acordarea regulatorului PI în conturul exterior (fig. 3, a) și la acordarea regulatorului PID (fig. 3, b).

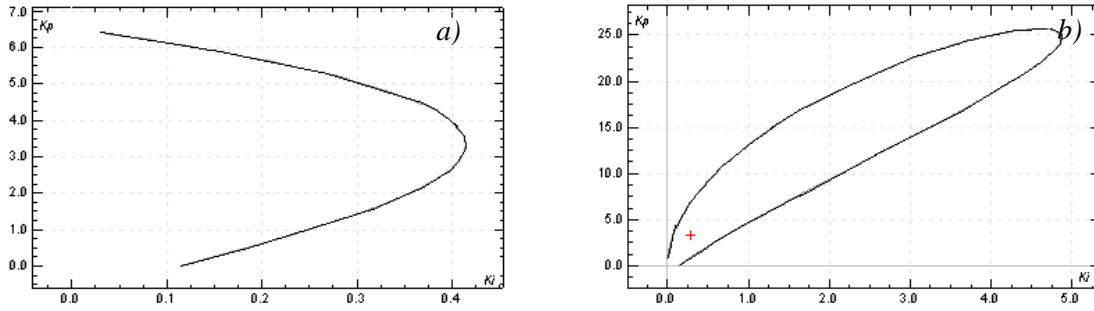


Fig. 3. Domenii admisibile de valori ale parametrilor de acord ai reguletoarelor.

În fig. 4 este prezentată schema de simulare pe calculator a sistemului de reglare în cascadă. În fig. 5 sunt prezentate procesele tranzitorii ale sistemului de reglare în cascadă pentru cazul când în conturul interior a fost acordat reglatorul PI ( $k_{p2}=52.6290$ ,  $k_{i2}=32.9864$ ,  $M_{admis}=1.28$ ): conturul exterior cu reglatorul PI ( $k_{p1}=3.4165$ ,  $k_{i1}=0.3644$ ,  $M_{admis}=1.32$ ) - curba 1; cu reglatorul PID ( $k_{p1}=14.29$ ,  $k_{i1}=1.59$ ,  $k_{d1}=2.32$ ,  $M_{admis}=1.38$ ) - curba 2.

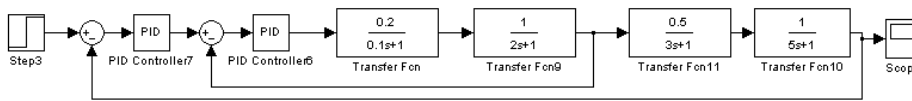


Fig. 4. Schema bloc structurală a sistemului automat.

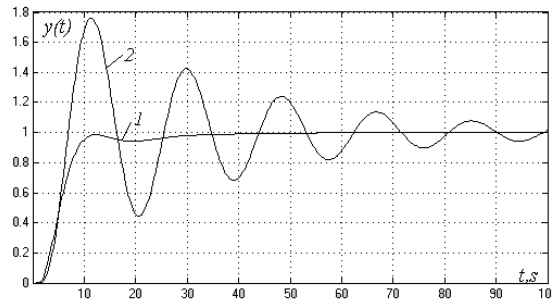


Fig. 5. Procesul tranzitoriu al sistemului de reglare în cascadă.

Pe baza metodei gradului maximal de stabilitate (GMS) au fost efectuate calculele respective prezentate în [3]. Pe baza acestor calcule au fost obținuți parametrii de acord ale reguletoarelor P, PI și PID. În fig. 6 sunt prezentate procesele tranzitorii ale sistemului automat în cazul acordării reguletoarelor după metoda GMS, valorile parametrilor de acord ale reguletoarelor respective sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Parametrii de acord ai reguletoarelor

Nr. curb.	Reg. con. ext.	Regulatorul P acordat în conturul interior $k_{p2}=2.58$	Regulatorul PI acordat în conturul interior $k_{p2}=10.202, k_{i2}= 5.957$
1	P	$k_{p1}=0.251$	$k_{p1}=0.1084$
2	PI	$k_{p1}=2.004, k_{i1}=0.397$	$k_{p1}=0.7462, k_{i1}=0.148$
3	PID	$k_{p1}=9.638, k_{i1}=1.245, k_{d1}=17.705$	$k_{p1}=2.047, k_{i1}= 0.274, k_{d1}=3.369$

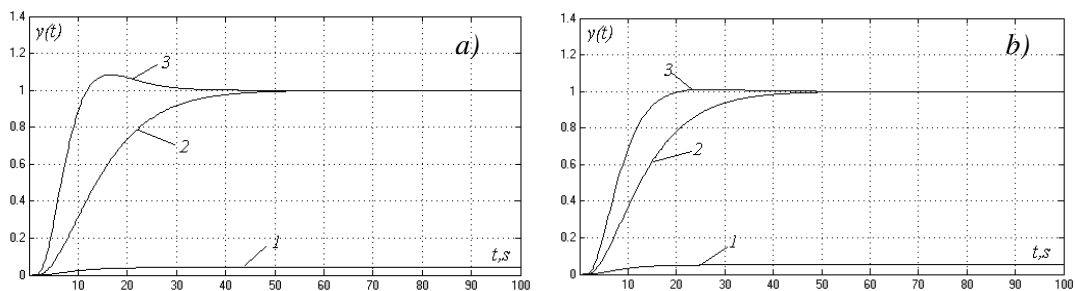


Fig. 6. Procesele tranzitorii ale sistemului de reglare în cascadă.

În fig. 7 sunt suprapuse procesele tranzitorii obținute în rezultatul acordării reguletoarelor după metoda GMS și metoda frecvențială unde: curba 1 este procesul tranzitoriu al sistemului automat în cazul acordării reguletoarelor PI în conturul interior și reguletoarelor PI în conturul exterior în baza metodei frecvențiale; curba 2 – procesul tranzitoriu al sistemului automat în cazul acordării reguletoarelor PI în conturul interior și reguletoarelor PID în conturul exterior în baza metodei frecvențiale; curba 3– procesul tranzitoriu al sistemului automat în cazul acordării reguletoarelor P în conturul interior și reguletoarelor PID în conturul exterior în baza metodei GMS; curba 4 – procesul tranzitoriu al sistemului automat în cazul acordării reguletoarelor PI în conturul interior și reguletoarelor PID în conturul exterior în baza metodei GMS; curba 5 – procesul tranzitoriu al sistemului automat în cazul acordării reguletoarelor PI în conturul interior după metoda GMS și reguletoarelor PID în conturul exterior în baza metodei Ziegler-Nichols (ZN).

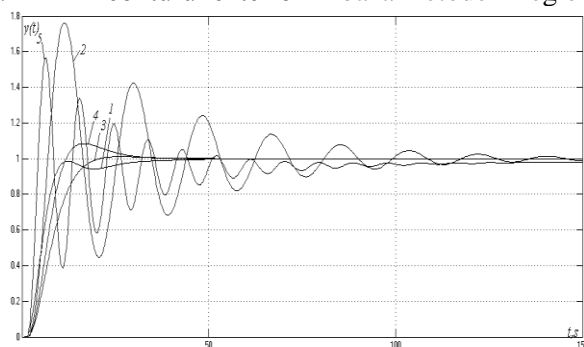


Fig. 7. Procese tranzitorii ale sistemului de reglare în cascadă.

În tabelul 2 sunt prezentate performanțele proceselor tranzitorii ale SA din figura 7.

Tabelul 2. Performanțele proceselor tranzitorii.

Nr. curbei	Metoda de acordare	$\varepsilon$ , %	$t_r$ , s	$\sigma$ , %	$t_c$ , s
1	Frecvențială	5	135	77	6
2	Frecvențială	5	30	-	15
3	GMS	5	20	-	20
4	GMS	5	26	8	8
5	ZN	5	82	58	3

### Concluzii

În rezultatul analizei rezultatelor obținute la acordarea reguletoarelor P, PI, PID după metoda frecvențială și metoda gradului maximal de stabilitate la sisteme de reglare în cascadă cu obiecte cu inerție de tipul (1), (2) cu parametri cunoscuți pot fi făcute următoarele concluzii:

1. Metoda frecvențială reprezintă o metodă grafico-analitică care necesită un volum mare de calcule pentru a efectua acordarea reguletoarelor în conturul interior și exterior.
2. În cadrul efectuării acordării reguletoarelor P, PI și PID după metodele respective cele mai bune rezultate au fost obținute în cadrul acordării reguletoarelor după metoda gradului maximal de stabilitate.

### Bibliografie

1. Lukas V. A. *Teoria avtomaticheskogo upravlenia*. – Moskva: Nedra, 1990.- 416 s.
2. Dumitrache I. și al. *Automatizări electronice*. - București: EDP, 1993.- 660 p.
3. Cojuhari I., Izvoeanu 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, Suceava, România, 2008, pp. 50-53.*
4. <http://www.pidlab.com/en/home> - 30.10.2010.