

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

Autor (i): Veronica JINERENCO, Andrei PASTUSAC, Valintin VASILIEV, Alina GORE

Conducator: lect. univ. Irina COJUHARI

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 gradului maximal de stabilitate și metoda modulului. Procesul condus se prezintă prin două subprocese cu inerție de ordinul unu. În conturul interior se utilizează regulatorul P sau PI , iar în conturul exterior se propun reguletoarele P , PI , PID . Sunt prezentate expresii de calcul pentru fiecare metoda și se prezintă exemplul de simulare pe calculator în pachetul de programe MATLAB.

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

3. 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]. Pentru acordarea reguletoarelor tipizate de tipul P , PI , PID în structurile de reglare în cascadă se practică aplicarea metoda gradului maximal de stabilitate și metoda modulului.

Metoda gradului maximal de stabilitate

În cadrul acestei metode problema principală constă în garantarea pentru legile de reglare respective gradul maximal de stabilitate al sistemului automat proiectat. Pentru structura sistemului alcătuit din regulator și partea fixată se alcătuieste ecuația caracteristică al sistemului care se prezintă

$$A(p, q) = p^n + \sum_{i=0}^{n-1} a_i p^i + k \sum_{i=0}^m q_i p^{i-1} = 0. \quad (1)$$

În expresia (1) se introduce noțiunea de gradul maximal prin substituția $p = -J$, astfel încât expresia (1) devine

$$A(-J, q) = (-J)^n + \sum_{i=0}^{n-1} a_i (-J)^i + k \sum_{i=0}^m q_i (-J)^{i-1} = 0. \quad (2)$$

Expresia (2) se derivează a pe variabila J de $m - ori$ și în rezultat vor dispărea parametrii q_i - necunoscuți și în rezultat se obține o ecuație algebrică de un grad respectiv față de variabila J . Gradul maximal de stabilitate a sistemului se determină conform relației $J = I_{opt} = -\min \max \operatorname{Re} p_i(q)$, unde $\operatorname{Re} p_i$ sunt părțile reale de la rădăcinile complexe. Din expresia (2) și expresiile obținute prin derivare a expresiei (2) se obțin expresiile pentru determinarea valorilor optime ale parametrilor de acord al legii de reglare respective.

Metoda modulului

În cadrul acestei metode funcția de transfer a părții fixate la care se efectuează acordarea regulatorului se prezintă prin următoare formă

$$H_F = \frac{K_F}{\prod_{k=1}^n (T_k s + 1)(T_{\Sigma} s + 1)}, \quad (3)$$

constantele de timp T_K sunt constante de timp de valoarea mare, iar constantele de timp T_Σ sunt mici.

Se propune de a acorda regulatorul PI care are funcția de transfer prezentată în felul următor:

$$H_R(s) = \frac{\prod_{i=1}^n (\theta_i s + 1)}{\theta_s}, \quad (4)$$

cu valori ale parametrilor : $\theta_k = T_k$, $\theta_s = 2k_F T_\Sigma$. Parametrii regulatorului se aleg în așa mod ca polii obiectului cu constante mari de timp să fie compensați.

2. Algoritm de acordare reguletoarelor 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.

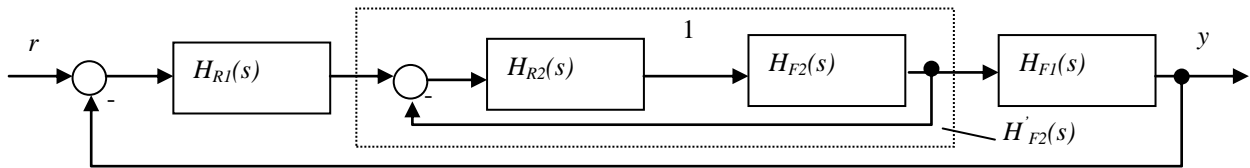


Fig. 2. Schema structurală a sistemului de reglare în cascadă.

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

$$H_{F1}(s) = \frac{k_1}{T_1 s + 1}, \quad (5)$$

$$H_{F2}(s) = \frac{k_2 e^{-\tau s}}{T_2 s + 1}. \quad (6)$$

În expresiile (5), (6) avem însemnările: k_1 , k_2 sunt coeficienții de transfer ai subproceselor; T_1 , T_2 , constantele de timp ale subproceselor; τ - timpul mort, care se aproximează cu aproximantul Pade de forma

$$e^{-\tau s} \approx \frac{1}{\tau s + 1} \quad (7)$$

Pe baza metodelor gradului maximal de stabilitate și modulului au fost acordate reguletoare P , PI și PID la subprocese procesului prezentate prin funcții de transfer (5) și (6). Algoritm de acordare constă în aceea că utilizând metode respective se efectuează acordare mai întâi în conturul interior și pe baza datelor obținute la acordare reguletoarelor în conturul interior se efectuează acordare reguletoarelor tipizate în conturul exterior.

3. Simulare pe calculator

Pentru a analiza eficiența metodelor de acordare a reguletoarelor tipizate la sisteme de reglare în cascadă la obiecte cu inerție de ordinul doi au fost aleși și dați parametrii pentru f.d.t. ale subproceselor respective: pentru f.d.t. $H_{F2}(s)$ - $k_2=0.5$, $T_2=3$ și $H_{F1}(s)$ - $k_1=0.2$, $T_1=7$, T . Pe baza metodei gradului maximal de stabilitate au fost efectuate calculele respective prezentate în [3]. Pe baza acestor calcule au fost obținute parametrii de acord ale reguletoarelor P , PI și PID . Pentru a efectua analiza datelor obținute a fost făcută simulare în pachetul de programe MATLAB.

Pentru acordare a reguletoarelor tipizate după metoda gradului maximal de stabilitate au fost determinate expresiile de calcul a parametrilor de acord, prezentate în [3] și pe baza expresiilor date au fost construite dependențele $k_{p2} = f(J)$ în cazul acordării regulatorului P în conturul interior și dependențele $k_{p2} = f(J)$, $k_{i2} = f(J)$ în cazul acordării regulatorului PI în conturul interior, dependențele obținute sunt prezentate în fig.3.

Conturul interior cu regulatorul P

Conturul interior cu regulatorul PI

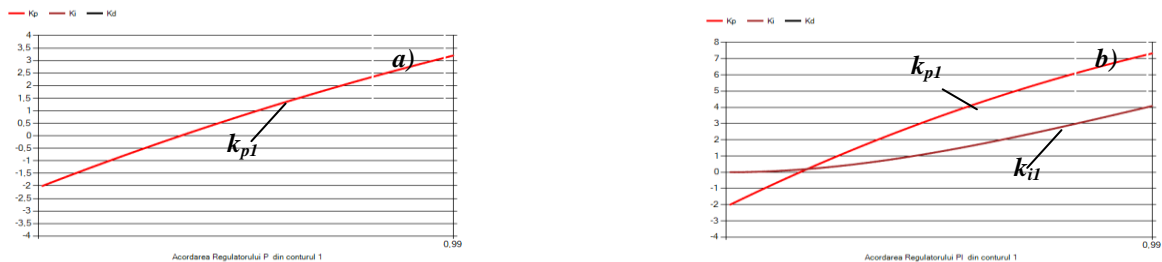


Fig. 3. Dependencele $k_{p2}=f(J)$, $k_{p2}, k_{i2}=f(J)$.

În conturul exterior pentru cazul cînd în conturul interior a fost acordat regulatorul P s-au acordat reglatoarele P, PI și PID și pentru determinarea valorilor optime ale reglatoarelor respective în dependența de valoarea gradului maximal de stabilitate J au fost construite dependențele $k_{p1} = f(J)$ 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 cînd în conturul interior a fost acordat regulatorul PI, în conturul exterior s-au acordat reglatoarele P, PI și PID, pentru determinarea valorilor optime ale reglatoarelor respective în dependența de valoarea gradului maximal de stabilitate J au fost construite dependențele $k_{p1} = f(J)$ 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).

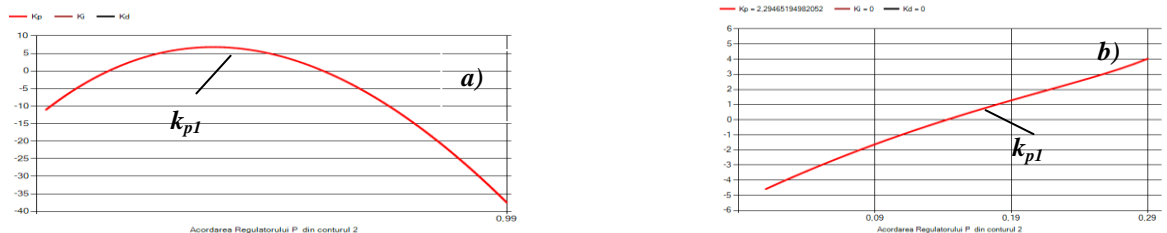


Fig. 4. Dependencele $k_{pI}=f(J)$.

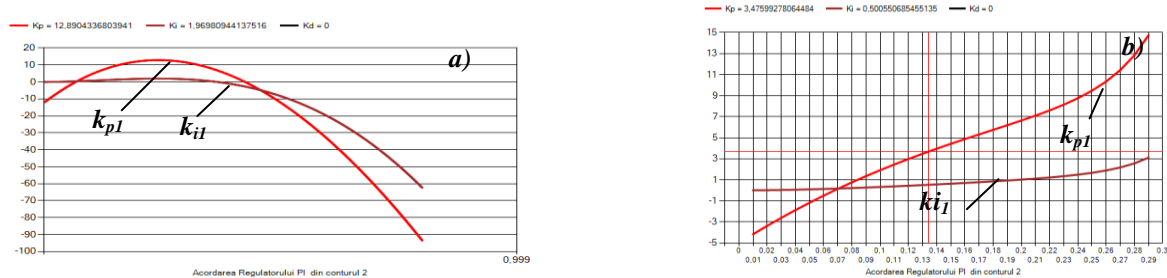


Fig. 5. Dependencele $k_{pI}, k_{iI}=f(J)$.

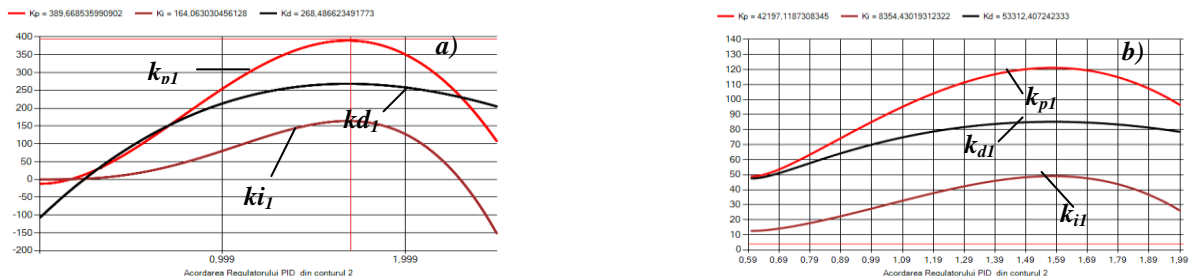


Fig. 6. Dependencele $k_{pI}, k_{iI}, k_{dI}=f(J)$.

În fig. 7 este prezentată schema de simulare pe calculator a sistemului de reglare în cascadă. În figura 8 sunt prezentate procesele tranzitorii al sistemului de reglare în cascadă: a) – procesele tranzitorii din conturul exterior pentru cazul cînd în conturul interior a fost acordat regulatorul P ($k_{p2}=1.41$): conturul exterior cu regulatorul P ($k_{p1}=6,802$) - curba 1; cu regulatorul PI ($k_{p1}=12,89$, $k_{i1}= 1,96$) - curba 2; cu

regulatorul $PID(k_{p1}=30,186, k_{i1}=4,406, k_{d1}=30,89)$ -curba 3 b) – procesele tranzitorii din conturul exterior pentru cazul cînd în conturul interior a fost acordat regulatorul $PI(k_{p1}=3,7, k_{i1}=1,4)$: conturul exterior cu regulatorul $P(k_{p1}=2,29)$ - curba 1; cu regulatorul $PI(k_{p1}=3,475, k_{i1}=0,5)$ - curba 2; cu regulatorul $PID(k_{p1}=49,127, k_{i1}=12,63, k_{d1}=47,72)$.

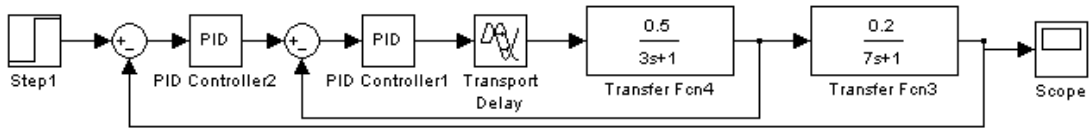


Fig. 7. Schema bloc structurală a sistemului automat.

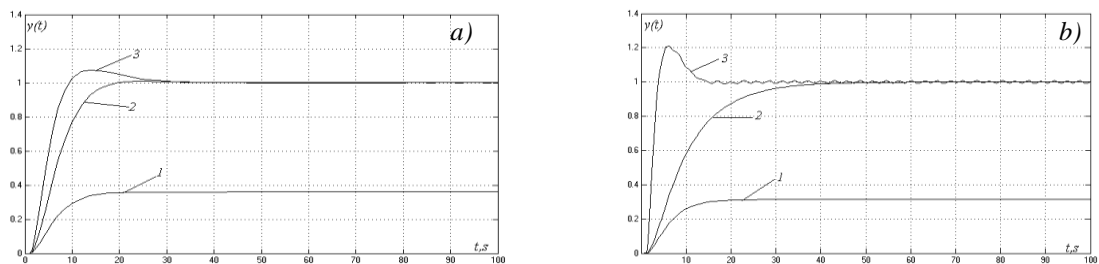


Fig. 8. Procese tranzitorii ale sistemului de reglare în cascadă.

Pentru a efectua acordarea reguletoarelor după metoda modului au fost efectuate calculele respective după metoda dată. Pe baza calculelor făcute funcțiile de transfer pentru regulator intern și regulator extern sunt prezentate în relații (4)

$$H_{R1}(s) = \frac{7s+1}{0.4s}, H_{R2}(s) = \frac{3s+1}{0.1s} \quad (8)$$

În figura 9 este prezentată schema de simulare pe calculator, iar în figura 10 este prezentat procesul tranzitoriu al sistemului de reglare în cascadă în cazul acordării reguletoarelor după metoda modului.

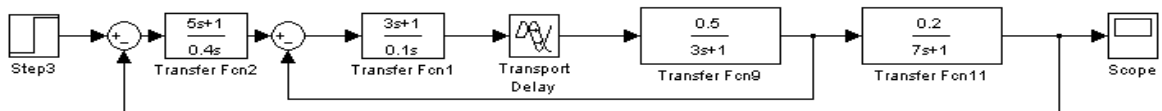


Fig. 9. Schema bloc structurală a sistemului automat.

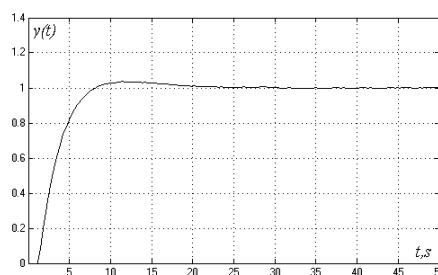


Fig. 10. Procesul tranzitoriu al sistemului de reglare în cascadă.

Concluzii

În rezultatul analizei rezultatelor obținute la acordarea reguletoarelor P, PI, PID după metodele gradului maximal de stabilitate, modului la sisteme de reglare în cascadă cu obiecte cu inerție de tipul (5), (6) cu parametrii cunoscuți pot fi făcute următoarele concluziile:

3. În cazul acordării reguletoarelor după metoda modului a fost obținut procesul tranzitoriu cu suprareglaj de 4% și timpul de reglare 17 de secunde.
4. În cazul acordării reguletoarelor P, PI și PID după metoda gradului maximal de stabilitate au fost obținute procese tranzitorii aperiodice cu performanțele procesului tranzitoriu destul de înalte.

5. În cadrul efectuării acordării reguletoarelor P , PI și PID după metode 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 upravleniia*. – Moskva, Nedra, 1990.- 416 s.
2. Dumitrache I. și al. *Automatizări electronice*. - București: EDP, 1993.- 660 p.
3. Загарий Г.И., Шубладзе А. М. *Синтез систем управления на основе критерия максимальной степени устойчивости*.- Москва: Энергомиздат, 1988.- 98 с.
4. 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, Suceava, România, 2008, p. 50-53.