

ANALIZA METODELOR DE ACORDARE A ALGORITMILOR TIPIZAȚI LA MODELUL OBIECTULUI CU ASTATISM ȘI TIMP MORT

Bartolomeu IZVOREANU, Ion FIODOROV, Irina COJUHARI, Dumitru MORARU
Univetsitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: În lucrare se prezintă o analiză comparativă a metodelor de acordare a algoritmilor tipizați PID la modele de obiecte de reglare cu astatism și timp mort. La automatizarea diferitor procese industriale și tehnologice, modelele matematice atașate acestor procese se consideră ca modele cu astatism și timp mort. Se analizează metodele care pot fi aplicate pentru acordarea algoritmilor la aceste tipuri de modele ale proceselor. Sistemele cu elemente de transfer cu timp mort nu au realizări sistemice finit dimensionale. În practică, din aceste considerente, aceste elemente se aproximează cu forme raționale cunoscute ca aproximații Pade. Se analizează un exemplu de model de obiect de reglare cu astatism și timp mort și utilizarea aproximațiilor Pade pentru elementul de transfer cu timp mort și acordarea algoritmilor tipizați cu aplicarea unor metode.

Cuvinte cheie: Modele de obiecte cu astatism și timp mort, algoritmi tipizați de reglare, aproximații Pade, metode de acordare, metoda gradului maximal de stabilitate cu iterații.

1.

2. Introducere

La automatizarea diferitor procese industriale și tehnologice, modelele matematice atașate acestor procese se consideră ca modele cu astatism și timp mort. Prezența în sistemul automat a elementului de transfer cu timp mort impune probleme dificile în conducerea proceselor care conțin timpi morți. Sistemele cu elemente de transfer cu timp mort nu au realizări sistemice finit dimensionale. În practică, din aceste considerente, aceste elemente se aproximează cu forme raționale cunoscute ca aproximații Pade [1, 2]. Pentru acordarea parametrilor reguletoarelor tipizate la modelul obiectului cu astatism și timp mort se pot utiliza astfel de metode ca: metode empirice, metode frecvențiale, optimizarea parametrică. Prin metodele empirice calculele sunt reduse, dar se obțin date aproximative. Metodele frecvențiale conțin un volum mare de calcule cu reprezentări grafice în domeniul frecvență. Metoda optimizării parametrică se realizează în MATLAB sau KOPRAS. În continuare, pentru elementul de transfer cu timp mort, vom utiliza aproximații Pade. Prezentăm modelul obiectului cu astatism și timp mort prin funcția de transfer (1) și modelul obiectului prin aproximații Pade cu fază minimă cu funcțiile de transfer (2)-(4):

$$H(s) = \frac{e^{-\tau s}}{T s} \quad (1)$$

$$H(s) \approx \frac{1}{T s(\tau s + 1)} = \frac{1}{a_0 s^2 + a_1 s} \quad (2)$$

$$H(s) \approx \frac{1}{T s(\tau s + 1)^2} = \frac{1}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s} \quad (3)$$

$$H(s) \approx \frac{1}{T s \left(1 + \tau s + \frac{s^2 \tau^2}{2}\right)} = \frac{1}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s} \quad (4)$$

unde coeficienții în (2)-(4) se exprimă prin parametrii obiectului din (1) timpul mort τ și constanta de timp de integrare T : în (2) $b=1$, $a_0 = \tau T$, $a_1 = T$; în (3) $b=1$, $a_0 = \tau^2 T$, $a_1 = 2\tau T$, $a_2 = T$; în (4) $b=1$, $a_0 = \tau^2 T/2$, $a_1 = \tau T$, $a_2 = T$.

Pentru comparație se va utiliza metoda gradului maximal de stabilitate cu iterații [3-5] de acordare a regulatorului tipizat PID la modelul inițial al obiectului de reglare cu astatism și timp mort (1) și modelele approximate prin aproximații Pade (2)-(4).

Pentru modelele (1)-(4) aplicăm metodele de acordare: empirică (numai pentru modelul (1)), gradului maximal de stabilitate și optimizării parametrică.

Se analizează un exemplu de acordare a regulatorului PID la model de obiect de reglare cu astatism și timp mort cu parametrii cunoscuți și la modelul aproximat cu aproximații Pade de fază minimă.

2. Algoritmii de acordare a regulatorului PID

În studiu se utilizează schema bloc structurală a sistemului automat (SA) alcătuită din regulator cu f.d.t. $H_R(s)$ și modelul obiectului cu f.d.t. $H_{PF}(s)$ dată în fig. 1.

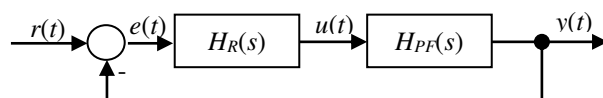


Fig. 1. Schema bloc structurală a sistemului automat.

Vom sintetiza algoritmul tipizat de reglare PID la modelul obiectului (1) cu parametrii cunoscuți, folosind metoda GMS cu iterații [4, 5].

Pentru sinteza regulatorului PID la modelele obiectelor (1)-(4) după metoda empirică și metoda GMS cu iterații relațiile analitice de acordare a parametrilor sunt date în tabelul 1.

Tabelul 1. Relațiile de acordare a parametrilor regulatorului PID la modelele de obiecte (1)-(4).

Model obiect	Metoda acordare	Parametrii regulatorului PID		
		k_p	k_i	k_d
(1)	GMS	$e^{-\tau J} T (-\tau^2 J^3 + 3\tau J^2) = 0,7836T/\tau$	$0,5e^{-\tau J} T (-\tau^2 J^4 + 2\tau J^3) = 0,21T/\tau^2$	$0,5e^{-\tau J} T (-\tau^2 J^2 + 4\tau J - 2) = 0,206T$
(1)	Empirică	$1,1T/\tau$	$1/2\tau$	$0,4\tau$
(2)	GMS	$3a_0 J^2$	$a_0 J^3$	$3a_0 J - a_1$
(3)	GMS	$3a_1 J^2 - 8a_0 J^3 = 0,5T/\tau$	$a_1 J^3 - 3a_0 J^4 = 0,063T/\tau^2$	$-6a_0 J^2 + 3a_1 J - a_2 = 0,5T$
(4)	GMS	$3a_1 J^2 - 8a_0 J^3 = 0,25T/\tau$	$a_1 J^3 - 3a_0 J^4 = 0,031T/\tau^2$	$-6a_0 J^2 + 3a_1 J - a_2 = 0,25T$

Parametrii de acord ai regulatorului PID - k_p , k_i și k_d sunt funcții analitice de parametrii cunoscuți ai obiectului și de gradul de stabilitate J necunoscut al SA: $k_p = f_p(J)$, $k_i = f_i(J)$, $k_d = f_d(J)$. După relațiile din tabelul 1 și la valorile cunoscute ale parametrilor obiectelor se variază gradul de stabilitate J și se calculează și se construiesc curbele $k_p = f_p(J)$, $k_i = f_i(J)$, $k_d = f_d(J)$ pentru regulatorul PID.

Pentru a obține performanțele dorite ale SA cu regulatorul PID pentru curbele $k_p = f_p(J)$, $k_i = f_i(J)$, $k_d = f_d(J)$ se aleg iterativ seturi de diverse valori ale variabilei J_i și a parametrilor k_{pi} , k_{ii} și k_{di} , se simulează pe calculator SA cu regulatorul respectiv și după procesul tranzitoriu al sistemului se determină performanțele acestuia. Procedura se repetă iterativ până când vor fi alese performanțele satisfăcătoare ale sistemului automat sintetizat.

3. Aplicații și simulare pe calculator

Pentru verificarea procedurii metodei propuse de sinteză a regulatorului PID la modelul obiectului (1)-(4) utilizăm valorile numerice ale parametrilor obiectului: $T=10$ s, $\tau = 2$ s și după valorile date calculăm parametrii generalizați: în (2) $b=1$, $a_0 = \tau T = 20$, $a_1 = T = 10$; în (3) $b=1$, $a_0 = \tau^2 T = 40$, $a_1 = 2\tau T = 40$, $a_2 = T = 10$; în (4) $b=1$, $a_0 = \frac{\tau^2 T}{2} = 20$, $a_1 = \tau T = 20$, $a_2 = T = 10$.

Conform relațiilor date în tabelul 1 și datele numerice ale parametrilor obiectelor (1)-(4) s-au efectuat calculele și s-au construit dependențele $k_p = f_p(J)$, $k_i = f_i(J)$, $k_d = f_d(J)$ pentru regulatorul PID pentru fiecare tip de model și care sunt date în fig. 2, a)- d) respectiv.

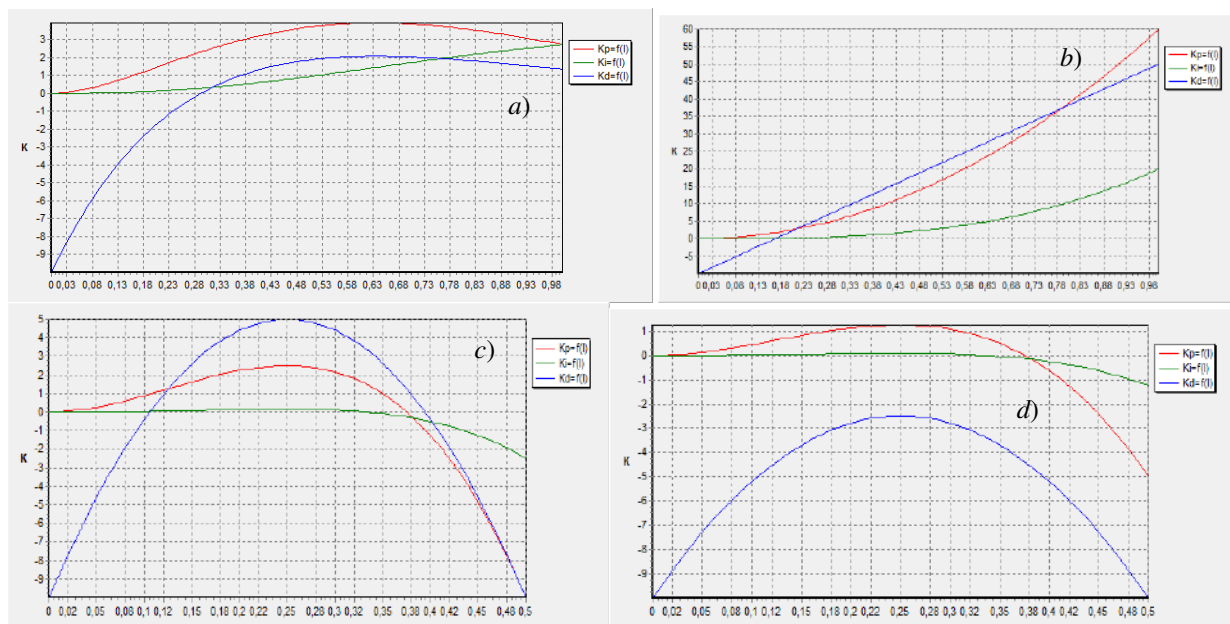


Fig. 2. Dependențele $k_p = f_p(J)$, $k_i = f_i(J)$, $k_d = f_d(J)$ ale algoritmului PID.

Pentru SA cu regulatorul PID s-au ales trei iterații ale parametrilor pe curbele din fig. 2, a)-d) respectiv și aceste date sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2. Parametrii regulatorului PID și performanțele SA

Nr. curbei	Model obiect	Metoda acordare	J	k_p	k_i	T_i, s	k_d, s	t_c, s	$\sigma, \%$	t_r, s	λ
1	(1)	GMS	0,43	3,2898	0,3835	2,6076	1,4126	4,2	44,8	16,7	1
			0,63	3,918	0,525	1,9048	2,06	3,71	47,29	14,56	1
			0,73	3,8321	0,4877	2,0504	1,9978	3,9	44,18	15,36	1
2	(1)	OP		3,616	0,2362	4,2337	1,025	2,05	32,6	33,5	1
	(1)	Empirică		7,0	0,3125	3,2	1,0	Foarte oscilant			
3	(2)	GMS	0,2	2,166	0,1372	7,2886	1,4	7,4	23,0	32,8	1
			0,25	3,75	0,3125	3,2	5,0	4,6	17,5	22,8	1
			0,3	5,046	0,4878	2,050	7,4	3,3	15,46	18,5	1
4	(2)	OP		3,44	0,01	100	1,0859	2,4	11,2	9,94	1
5	(3)	GMS	0,2	2,1371	0,118	8,4746	4,136	7,1	25,82	32,3	1
			0,25	2,5	0,1563	6,3979	5,0	6,7	27,0	30,1	1
			0,28	2,4494	0,1496	6,6845	4,904	7,2	24,27	33,8	1
6	(3)	OP		3,308	0,103	9,7087	0,7615	2,38	20	52,2	1
7	(4)	GMS	0,2	1,44	0,064	15,625	-2,8	9,3	45,56	44,4	1
			0,25	1,25	0,0781	12,804	-2,5	9,7	47,74	36,1	1
			0,3	1,08	0,054	18,518	-2,8	11,0	41,78	45,3	1
8	(4)	OP		3,305	0,103	9,7087	1,279	2,36	15,2	52,6	1

Pentru verificarea rezultatelor obținute la acordarea regulatorului PID la modelele obiectelor (1)-(4) s-a efectuat simularea pe calculator a SA cu regulatorul PID utilizând pachetul de programe MATLAB, iar schema de simulare este dată în fig. 3 și procesele tranzitorii – în fig. 4.

Pentru verificarea rezultatelor obținute la acordarea regulatorului PID la modelele obiectelor (1)-(4) după metoda GMS cu iterații se utilizează metoda optimizării parametrice (OP) și parametrii regulatorului calculați sunt dați în tabelul 2, iar curbele proceselor tranzitorii sunt date în fig. 4 (numerotarea curbelor corespunde numerotării din tabelul 2).

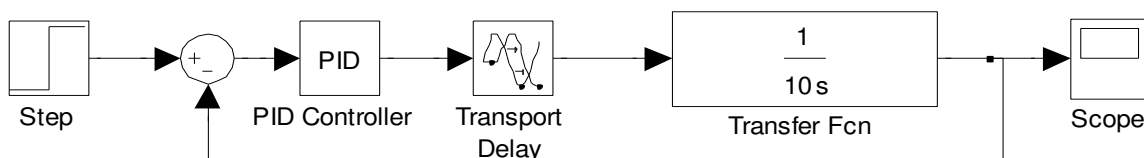


Fig. 3. Schema de simulare pe calculator a SA.

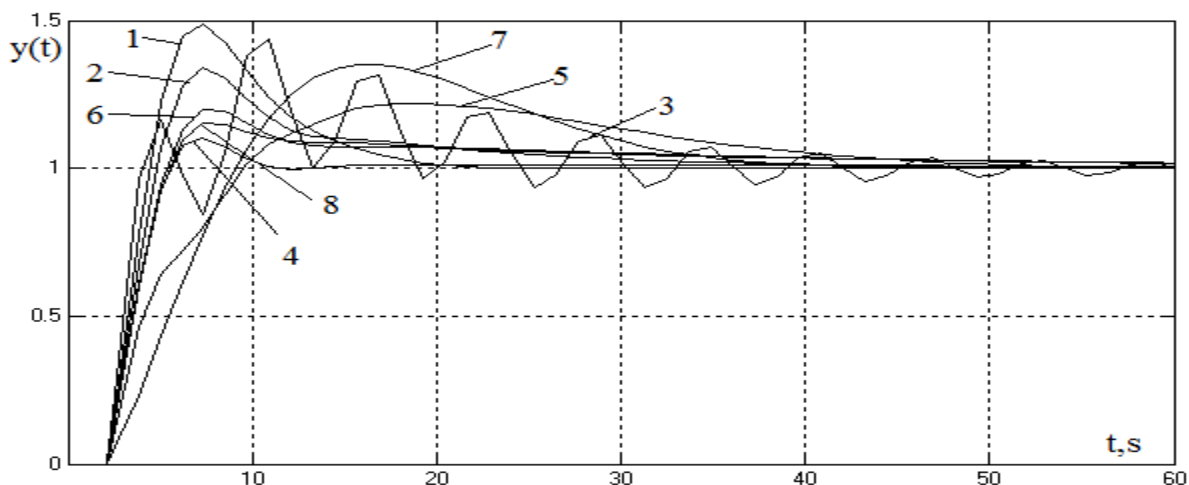


Fig. 4. Alurile răspunsurilor indiciale ale SA cu regulatorul PID.

Performanțele SA cu regulatorul PID sunt date în tabelul 2.

Analizând performanțele (la eroarea de 5 % a regimului staționar) SA cu regulatorul PID cele mai ridicate performanțe ale sistemului sunt evidențiate pentru fiecare model de obiect.

Comparând performanțele SA cu regulatorul PID cu modelele (1)-(4) rezultă că cele mai bune performanțe după timpul de reglare t_r sunt obținute pentru SA cu modelul original (1).

4. Concluzii

Analizând rezultatele studiului se constată:

- Pentru acordarea regulatorului PID la modelul obiectului cu astatism și timp mort se recomandă de utilizat metoda GMS cu iterații.
- Performanțele SA cu modelele approximate și regulatorul PID sunt mai reduse în comparație cu performanțele SA cu modelul original.

Bibliografie

1. Dorf, R.K., Bishop, R. X. *Sovremennîe sistemî upravlenia (Modern Control Systems)*. Moskva: Laboratoria Bazovîh Znaniî, 2004. – 832 s.
2. Șt. Preitl, Șt., Precup, R.E. *Introducere în ingineria reglării automate*. - Timișoara: Editura Politehnica, 2001. - 334 p.
3. Zagarii, G.I., Shubladze, A.M. *Sintez sistem upravlenia na osnove kriteria maksimalnoi stepeni ustoichivosti. (The Synthesis of the Control System According to the Maximal Stability Degree)*. Moskva: Energoatomizdat, 1998. - 198 s.
4. Izvoreanu, B., Fiodorov, I. The Synthesis of Linear Regulators for Aperiodic Objects with Time Delay According to the Maximal Stability Degree Method.//*In Preprints the Fourth IFAC Conference on System Structure and Control*. – București: Editura Tehnică, 1997, pp. 449 - 454.
5. Fiodorov, I., Izvoreanu, B., Pisarenco, M. Comparative Analysis of Regulators Tuning Methods to Models of Objects with Inertia. În: *Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Tomul L(LIV), Fasc.5A*, Electrotehnică, Energetică, Electronică, 2004, pp. 63-68.