

Reglarea Turațiilor Motorului de Curent Continu în Mediul de Programare LabView

Irina COJUHARI¹, Ion FIODOROV¹, Bartolomeu IZVOREANU¹, Simion BARANOV²,
Dumitru MORARU¹, Radu MELNIC¹

¹Universitatea Tehnică a Moldovei, ²Centrul de Știință și Inginerie SA Informinstrument
irina.cojuhari@ati.utm.md, ion.fiodorov@ati.utm.md, izvor@mail.ati.utm.md, sbaranov2002@yahoo.com

Abstract — În lucrare este descris sistemul proiectat de reglare a turațiilor motorului de curent continuu. S-a identificat pe cale experimentală modelul matematic al motorului de curent continuu ca obiect de reglare. Pentru modelul matematic al motorului ca obiect de reglare s-a sintetizat algoritmul de conducere tipizat PI în baza metodelor analitice. Algoritmul de reglare PI a turațiilor motorului de curent continuu se realizează în baza microcontrolerului Atmega328p de la stația tehnologică prin intermediul instrumentației virtuale elaborate în mediul de programare LabView, care permite setarea parametrilor regulatorului și vizualizarea în timp real a evoluției turațiilor motorului. Rezultatele obținute s-au verificat experimental pe instalație.

Index Terms— regulator PI, motorul de curent continuu, LabView, sinteza algoritmului de conducere.

I. INTRODUCERE

Procesul industrial sau tehnologic, îndreptat spre atingerea unui obiectiv precizat, reprezintă un set organizat și ordonat de activități, numite operațiuni, care se divizează în două categorii principale: operațiuni de lucru și operațiuni de conducere. Operațiunile de lucru includ activități nemijlocit necesare pentru realizarea unui proces în conformitate cu acele legi ale naturii, care determină desfășurarea lui și sunt efectuate pe instalații tehnologice ce implică transfer de masă și energie. Pentru a îndeplini corect operațiunile de lucru și a asigura o anumită calitate a producției de bunuri materiale sunt necesare și activități de conducere. Atât operațiunile de lucru, cât și cele de conducere, pot fi îndeplinite de echipamente tehnice de automatizare. Un element important în ceea ce privește acționarea asupra instalațiilor tehnologice sunt motoarele electrice, care se utilizează în calitate de elemente de execuție [1-4, 9].

Motorul de curent continuu (MCC) este frecvent întâlnit în cadrul sistemelor de reglare automată, fie ca element de execuție, fie ca proces supus automatizării, unde în ambele situații se impune problema reglării turațiilor, care se soluționează prin sinteza unui algoritm de conducere [3].

Datorită liniarității caracteristicilor sale și a metodelor relativ simple de reglare a turațiilor, MCC sunt cele mai utilizate motoare în acționările electrice reglabile și se încadrează în categoria proceselor rapide, caracterizate prin constante de timp proprii reduse.

În lucrarea dată se propune sinteza sistemului automat de reglare a turațiilor motorului de curent continuu, unde algoritmul de conducere este implementat prin intermediul instrumentarului virtual în mediul de programare LabView.

Pentru sinteza sistemului a fost identificat experimental modelul matematic al motorului de curent continuu, iar în calitate de algoritm de conducere s-a ales regulatorul tipizat PI.

II. DESCRIEREA SISTEMULUI PROIECTAT

Schema bloc funcțională a sistemului automat proiectat este dată în figura 1, elementele sistemului sunt: R-regulator (este aplicația LabView, care implementează algoritmul de reglare PI); EE – element de execuție, driver realizat pe microcontroler Atmega 328P; OR - obiect de reglare, motor de curent continuu seria 2342L012 encoderCoreless; Tr – traductor, tahogenerator - TGP-1; $r(t)$ – mărimea prescrisă; $u(t)$, – mărimi de comandă; $\varepsilon(t)$ – eroarea; $p(t)$ – semnal perturbător; $y(t)$ – mărimea de ieșire.

Scopul dispozitivului de reglare este de a calcula comanda astfel încât pe baza erorii ($\varepsilon(t) = r(t) - y(t)$) să se obțină la ieșirea procesului mărimea $y(t)$, care să urmărească valoarea prescrisă $r(t)$.

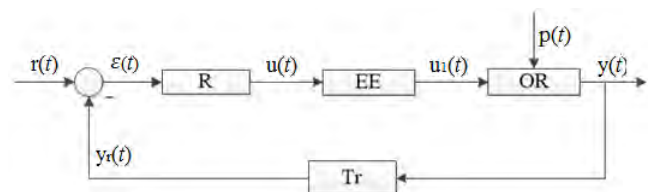


Fig. 1. Schema bloc funcțională a sistemului de reglare automată.

În calitate de EE a fost elaborat Driverul Universal pe baza plăcii Arduino, un produs ce reprezintă un driver de putere mică, ce poate conduce motoare ce consumă până la 2A de curent continuu, la o tensiune maximă de 12 V. Acest driver are următoarele caracteristici tehnice:

- Dimensiuni: 5x10 cm.
- Tensiune de alimentare motoare: 0 V– 12 V.
- Curent maxim motoare: 2 A.
- Frecvență maximă PWM: 250 kHz.
- Tensiune de alimentare, partea de logică: 1.8 V– 7V.

III. DESCRIEREA INSTRUMENTARULUI VIRTUAL

Pentru reglarea turațiilor MCC a fost elaborată instrumentația virtuală în mediul de programare LabView (Fig. 2), care permite: (1) - selectarea interfeței de comunicație, pornirea și oprirea motorului, (2) - setarea direcției de rotire a MCC, (3) - setarea parametrilor de acord ai regulatorului, (4) - afișarea datelor numerice a semnalului de ieșire, (5) - afișarea, în formă grafică, a evoluției mărimii de ieșire a sistemului, (6) setarea vitezei de rotație a motorului.



Fig. 2. Interfața instrumentarului virtual.

În figura 3 este prezentată diagrama bloc a programului elaborat în sistemul LabView.

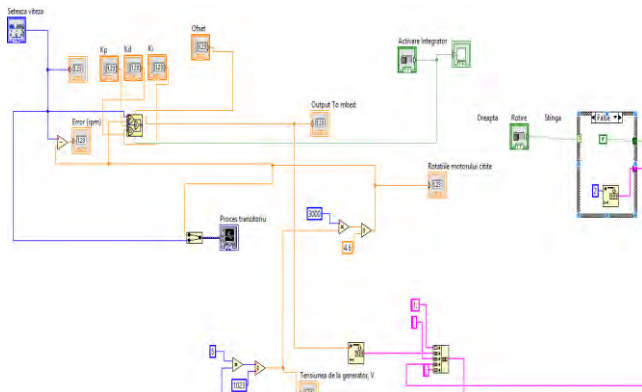


Fig. 3. Diagrama bloc.

IV. IDENTIFICAREA MODELULUI MATEMATIC AL MCC

Pentru reglarea turațiilor motorului de curent continuu este nevoie de a sintetiza algoritmului de conducere tipizat al regulatorului. În literatura de specialitate sunt elaborate mai multe metode de sinteză a algoritmilor de conducere, care pot fi clasificate în metode analitice, empirice, grafo – analitice și metode de acordare bazate pe tehnici de optimizare. Pentru a fi utilizate, majoritatea acestor metode necesită cunoașterea modelului matematic al procesului industrial supus automatizării. În lucrare s-a propus de a sintetiza algoritmul de conducere PI în baza metodelor analitice.

Pentru identificarea modelului matematic al motorului de curent continuu a fost ridicată curba experimentală a motorului de curent continuu la 3000 rotații/min (corespunde cu tensiunea setată de 1.7 V, fig. 4).

Pentru identificare s-a folosit mediul de programare LabView și în urma identificării a fost obținut modelul obiectului cu inerție de ordinul trei:

$$H(s) = \frac{k}{a_0s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3} = \frac{1786.75}{9.58829s^3 + 8.10317s^2 + 6.55789s + 1} \quad (1)$$

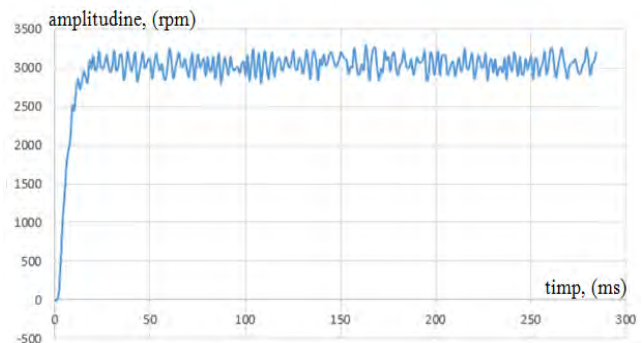


Fig. 4. Curba experimentală de variație a turațiilor MCC.

În lucrare se propune de a sintetiza algoritmul de reglare tipizat PI la modelul obiectului identificat (1), care se descrie cu funcția de transfer:

$$H_{PI}(s) = k_p + \frac{k_i}{s}, \quad (2)$$

unde k_p, k_i – reprezintă parametrii de acord ai algoritmului.

V. METODE DE ACORDARE A REGULATORULUI

În literatura de specialitate se găsesc mai multe metode de sinteză a algoritmilor de conducere, care diferă prin flexibilitate, complexitate și cantitatea informației necesare privind dinamica procesului.

În lucrare a fost propus de a acorda regulatorul PI în baza metodei gradului maximal de stabilitate cu iterații [5, 6] și algoritmilor analitici elaborați în baza criteriului gradului maximal de stabilitate [7, 8].

Metoda gradului maximal de stabilitate cu iterații

În cadrul acestei metode scopul principal constă în garantarea pentru legea de reglare a gradului maximal de stabilitate al sistemului automat proiectat. În baza acestei metode pentru sistemul automat închis cu regulatorul PI s-a obținut sistemul din două ecuații algebrice [5, 6]

$$k_p = (1/k)(4a_0J^3 - 3a_1J^2 + 2a_2J - a_3), \quad (3)$$

$$k_i = (1/k)(-a_0J^4 + a_1J^3 - a_2J^2 + a_3J) + k_pJ. \quad (4)$$

Din expresiile (3)-(4) se observă că parametrii de acord ai regulatorului PI k_p și k_i sunt funcții de parametrii cunoscuți ai obiectului (1) și de gradul de stabilitate J , necunoscut al sistemului de reglare automată: $k_p = f_p(J)$, $k_i = f_i(J)$. După relațiile (3) - (4) la valorile cunoscute ale

parametrilor obiectului și la variația gradului de stabilitate $J \geq 0$ în limitele respective se efectuează calculele și se construiesc funcțiile $k_p=f_p(J)$, $k_i=f_i(J)$ pentru determinarea parametrilor de acord ai regulatorului PI. În continuare, se iau seturi de valori ale parametrilor $J-k_p, k_i$ pentru valori optime și cuasioptimale ale lui J și pentru fiecare set de valori se simulează pe calculator sistemul automat cu algoritmul PI și se ridică procesele tranzitorii ale sistemului automat. Se alege procesul tranzitoriu al sistemului automat pentru care performanțele obținute corespund celor impuse.

Algoritmi analitici în baza criteriului gradului maximal de stabilitate.

În cazul acordării regulatorului PI la modelul obiectului identificat (1), în conformitate cu această metodă parametrii de acord se calculează după următoarele formule [7,8]:

$$J = \frac{a_2}{6a_0}; \tag{5}$$

$$k_p = \frac{1}{k}[4a_0J^3 - a_3]; \tag{6}$$

$$k_i = \frac{1}{k}[a_0J^4], \tag{7}$$

unde J - este gradul maximal de stabilitate, iar k, a_0, a_2, a_3 – parametrii obiectului (1).

VI. APLICAȚIE ȘI SIMULARE PE CALCULATOR

Pentru analiza eficienței metodei gradului maximal de stabilitate cu iterații de acordare a regulatorului PI la modelul obiectului identificat și prezentat prin funcția de transfer (1) s-au efectuat calculele respective ale parametrilor de acord în baza expresiilor (3)-(4) și s-au construit dependențele $k_p=f_p(J)$, $k_i=f_i(J)$ date în figura 5. Pe baza curbelor prezentate în figura 5 a fost ales setul de valori $k_p=0,00011$, $k_i=0,000034$.

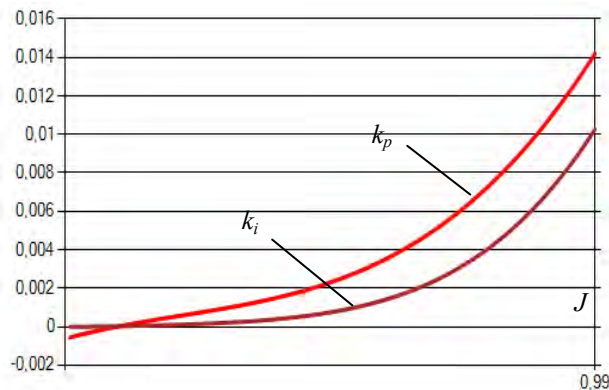


Fig. 5. Dependențele $k_p = f_p(J)$, $k_i = f_i(J)$ pentru regulatorul PI.

Utilizând algoritmi analitici în baza criteriului gradului maximal de stabilitate (5)-(7) au fost calculați parametrii de acord $k_p=0,0021$, $k_i=0,00033$.

Pentru verificarea rezultatelor obținute la acordarea regulatorului PI la modelul obiectului (1) s-a efectuat simularea sistemului automat pe calculator în pachetul de programe Simulink MATLAB, iar schema de simulare pe calculator este prezentată în figura 6. Procesele tranzitorii

obținute ale sistemului automat sunt prezentate în fig. 7, unde curba 1 – procesul tranzitoriu al sistemului sintetizat în baza algoritmilor analitici, 2 – procesul tranzitoriu al sistemului sintetizat după metoda gradului maximal de stabilitate cu iterații. În Tabelul I sunt prezentate performanțele sistemului automat pentru cazul acordării regulatorului PI după aceste metode.

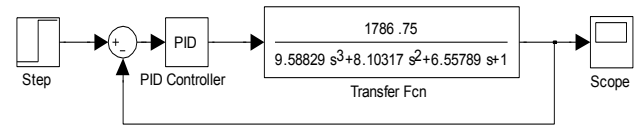


Fig. 6. Schema sistemului automat de simulare pe calculator.

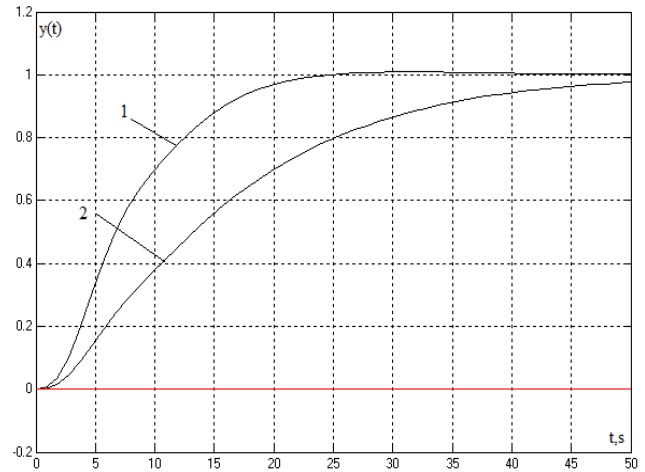


Fig. 7. Procesele tranzitorii ale sistemului automat.

TABELUL I. PERFORMANȚELE SISTEMULUI AUTOMAT

Performanțe S.A.	Nr. curbei	\mathcal{E} , %	t_s , s	σ , %	t_r , s	λ
Algoritmul analitic în baza criteriului gradului maximal de stabilitate	1	5	22	0	22	0
Metoda gradul maximal de stabilitate cu iterații	2	5	50	0	50	0

Din analiza proceselor tranzitorii prezentate în figura 7 și a performanțelor din Tabelul I, se observă că cele mai bune rezultate au fost obținute pentru cazul acordării regulatorului PI în baza algoritmilor analitici în baza criteriului gradului maximal de stabilitate (curba 1), în acest caz timpul de reglare este de 2,2 ori mai mic decât în cazul acordării regulatorului PI în baza metodei gradului maximal de stabilitate cu iterații (curba 2).

Rezultatele sintezei regulatorului au fost setați în cadrul instrumentației virtuale și verificate experimental. În figura 8 este prezentată curba experimentală a procesului tranzitoriu, pentru cazul acordării regulatorului PI după metoda gradului maximal de stabilitate cu iterații, iar în figura 9 este prezentată curba experimentală în cazul acordării regulatorului PI după algoritmi analitici în baza criteriului gradului maximal de stabilitate.

Din figurile 8 și 9 se observă că cele mai bune performanțe ale sistemului au fost obținute pentru cazul acordării regulatorului PI în baza algoritmilor analitici, unde timpul de reglare este de 2 ori mai mic decât în cazul

acordării regulatorului PI în baza metodei gradului maximal de stabilitate cu iterații.

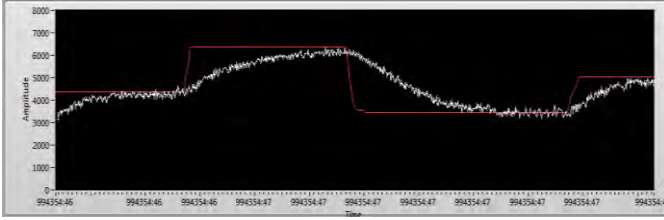


Fig. 8. Acordarea regulatorului PI în baza metodei gradului maximal de stabilitate cu iterații.

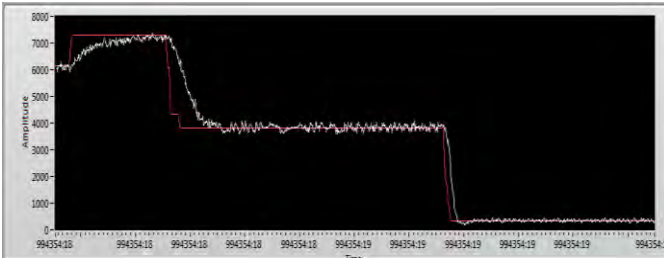


Fig. 9. Acordarea regulatorului PI în baza algoritmului analitic.

VII. CONCLUZII

Analizând rezultatele studiului se constată:

- S-a identificat experimental modelul matematic al motorului de curent continuu ca model al obiectului de reglare de ordinul trei.

- S-au acordat parametrii algoritmului de reglare PI la modelul obiectului de reglare a motorului după metoda gradului maximal de stabilitate cu iterații.

- S-au acordat parametrii algoritmului de reglare PI la modelul obiectului de reglare a motorului după algoritmi analitici în baza criteriului gradului maximal de stabilitate.

- S-a simulat pe calculator sistemul automat cu modelul obiectului și algoritmul de reglare PI cu parametrii acordați după metoda gradului maximal de stabilitate a sistemului și algoritmi analitici în baza criteriului gradului maximal de stabilitate.

- Analizând performanțele sistemului automat cu regulatorul PI cu parametrii acordați după metodele respective, rezultă că performanțele sistemului cu regulatorul PI acordat după algoritmi analitici în baza criteriului maximal de stabilitate sunt mai ridicate – timpul

de reglare este de 2,2 ori mai mic în comparație cu timpul de reglare al sistemului cu algoritmul PI acordat după metoda gradului maximal de stabilitate cu iterații.

BIBLIOGRAFIE

- [1] V. Ia. Rotach, Teoria avtomaticheskogo upravlenia termo energheticheskimi protzessami. Moskva: Energoatomizdat, 292 s., 1985.
- [2] V. A. Lukas, Teoria avtomaticheskogo upravlenia. Moskva: Nedra, 416 s., 1990.
- [3] I. Dumitrache și al., Automatizări electronice. București: EDP, 660 p., 1993.
- [4] C. Lazăr, D. Vrabie, S. Carari, Sisteme automate cu reglatoare PID. București: MATRIX ROM, 220 p., 2004.
- [5] B. Izvoreanu, I. Fiodorov, F. Izvoreanu, "The Synthesis of Linear Regulators for Aperiodic Objects with Time Delay According to the Maximal Stability Degree Method," In: Preprints of the 4th IFAC Conference of Systems Structure and Control, București: Editura Tehnică, v. 1 - pp. 449 – 454, 1997.
- [6] B. Izvoreanu, D. Moraru, Irina Cojuhari, I. Fiodorov, "Analiza comparativă de acordare a algoritmilor PID și PIDD2 la modele de obiecte cu inerție de ordinul trei," În: Materialele Conferinței Tehnico –Științifice a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM. Chișinău: UTM, 2014.
- [7] I. Fiodorov, B. Izvoreanu, I. Cojuhari, "Synthesis of Robust PID Controller by the Maximum Stability Degree Criterion," In: Proceedings of 2015 20th International Conference on Control Systems and Computer Science-CSCS-2015, București, UPB, România. Volume 1, pp. 57-64, 2015.
- [8] I. Fiodorov, "Algoritmi de sinteză a reglatoarelor pentru sisteme automate cu grad maximal de stabilitate," In: Proceedings of the 9th International Conference on Electromechanical and Power Systems SIELMEN-2013, 17-18 octombrie, Chișinău, Moldova, p. 116, 2013.
- [9] N. Tan, D. P. Atherton, "Design of stabilizing PI and PID controllers," In: International Journal of Systems Science, Vol. 37 Issue 8. pp. 543-554, 6/20/2006.