

APROBAT

Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare

_____ 2023

L.Ș.

AGENȚIA NAȚIONALĂ PENTRU
CERCETARE ȘI DEZVOLTARE
COORDONAT

" 14 " intra 20 23

RAPORT ȘTIINȚIFIC

pentru anul 2022

privind executarea proiectului de cercetări științifice
Program de postdoctorat (2022-2023)

Universitatea Tehnică a Moldovei

Proiectul Modele și algoritmi de conducere și descriere
comportamentală a sistemelor interoperabile
Prioritatea Strategică Competitivitate economică și tehnologii inovative

termen de executare: 31 decembrie 2022

Directorul/Rectorul organizației

prof. univ., dr. hab Viorel BOSTAN

V. Bostan

Consiliul Științific/Senat

dr. hab. Vasile TRONCIU

V. Tronciu

Conducătorul proiectului (postdoctorand)

dr. Irina COJUHARI

I. Cojuhari

L.Ș.

Chișinău 2023

AGENȚIA NAȚIONALĂ PENTRU
CERCETARE ȘI DEZVOLTARE

Intrare Nr.

201

02

02 20 23

143

Scopul și obiectivele propuse spre realizare în cadrul proiectului în anul 2022

1. În cadrul proiectării sistemelor automate una din problemele principale este conducerea sistemelor. Problema de conducere a proceselor/sistemelor ocupă un loc semnificativ în teoria și practică de analiză a sistemelor dinamice și sinteză a algoritmilor de conducere. În acest context, un interes sporit prezintă metodele experimentale de acordare a reguletoarelor tipizate, care nu presupun identificarea prealabilă a modelului matematic de descriere a procesului.

Obiectivele propuse spre realizare în anul 2022 constau în:

1. Dezvoltarea algoritmilor experimentale de identificare a modelelor matematice în timp real.
2. Dezvoltarea algoritmilor de autoacordare a reguletoarelor tipizate la sisteme automate aperiodice în baza răspunsului tranzitoriu al sistemului automat deschis.
3. Dezvoltarea algoritmilor de autoacordare a reguletoarelor la sisteme automate oscilante în baza parametrilor: suprareglajul, coeficientul de amortizare, coeficientul de transfer.
4. Dezvoltarea procedurii de sinteză on-line a reguletoarelor în baza performanțelor impuse sistemului automat.

2. Etapele în anul 2022

1. Dezvoltarea de algoritmi de identificarea experimentală a modelelor matematice sistemelor automate.
2. Dezvoltarea de metode și algoritmi inteligenți de conducere a sistemelor automate.
3. Dezvoltarea algoritmilor de conducere a sistemelor în baza performanțelor impuse sistemului automat.

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor

1. Dezvoltarea algoritmilor de autoacordare a reguletoarelor tipizate la sisteme automate aperiodice în baza răspunsului tranzitoriu al sistemului automat în bucla închisă.
2. Dezvoltarea algoritmilor de autoacordare a reguletoarelor la sisteme automate oscilante în baza parametrilor: suprareglajul, coeficientul de amortizare, coeficientul de transfer.
3. Dezvoltarea procedurii de sinteză on-line a reguletoarelor în baza performanțelor impuse sistemului automat.

4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor

1. A fost obținut model orientat pe date experimentale (data-driven model) de identificare și control a sistemelor inerțiale. A fost dezvoltat algoritmul de identificare în timp real a

obiectelor de control inerțiale în buclă închisă. A fost propusă procedura de acordare a regulatorului PID în baza gradului maximal de stabilitate.

2. A fost dezvoltată algoritmi de identificare experimentală în buclă închisă pentru modele de obiecte: cu inerție de ordinul doi și timp mort; cu inerție de ordinul trei; cu inerție de ordinul doi și astatism; cu inerție de ordinul doi și timp mort.

3. A fost dezvoltată procedura de acordare a reguletoarelor tipizate în funcție de performanțele impuse sistemului automat.

Rezultatele obținute

❖ Manuscrisul tezei este realizat în volum de 40 %

Cele mai relevante rezultate obținute în perioada de raportare sunt expuse mai jos:

A fost dezvoltat algoritmul de identificare experimentală a modelelor matematice în buclă închisă, care constă din următoarele etape:

1. Colectarea informației apriorice despre procesul de control.
2. Asigurarea structurii de control în buclă închisă cu regulatorul P.
3. Variația parametrului de acord $k_p > 0$ până sistemul atinge limita de stabilitate.
4. Din răspunsul neamortizat se determină: perioada oscilațiilor - T_{cr} ; amplitudinea oscilațiilor - A_{cr} ; timp mort - τ ; coeficient de transfer - k .
5. Se calculează valoarea frecvenței naturale.
6. În baza expresiilor de calcul prezentate în tabelul 1, se calculează parametrii funcției de transfer pentru modele de obiecte cu inerție de ordinul trei; inerție de ordinul doi și timp mort; inerție de ordinul doi și astatism; inerție de ordinul doi, astatism și timp mort.

Tabelul 1. Expresii de a parametrilor obiectului de control.

Modelul de obiect	Funcția de transfer	Expresii de calcul
Modelul de obiect cu inerție și timp mort	$H(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$	$\begin{cases} a_0 = \frac{a_2 + k_{cr}k \cos \tau \omega_n}{\omega_n^2}; \\ a_1 = \frac{k_{cr}k \sin \tau \omega_n}{\omega_n}; \\ a_2 = 1. \end{cases}$
Modelul de obiect cu inerție și astatism	$H(s) = \frac{k}{s(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$	$\begin{cases} a_0 = \frac{1}{\omega_n^2}; \\ a_1 = \frac{k_{cr}k}{\omega_n^2}; \\ a_2 = 1. \end{cases}$
Modelul de obiect cu inerție, astatism și timp mort	$H(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{s(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$	$\begin{cases} a_0 = \frac{a_2 \omega_n - k_{cr}k}{\omega_n^3}; \\ a_1 = \frac{k_{cr}k \cos \tau \omega_n}{\omega_n^2}; \\ a_2 = 1. \end{cases}$

Modelul de
obiect cu
inerție de
ordinul trei.

$$H(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_3s + 1)}$$

$$\begin{cases} a_0 = \frac{(k_{cr}k+1)\sqrt{1-}}{A_{cr}\omega_n^3} \\ a_1 = \frac{k_{cr}k+1}{\omega_n^2}; \\ a_2 = \frac{(k_{cr}k+1)\sqrt{1-}}{A_{cr}\omega_n} \\ a_3 = 1. \end{cases}$$

Ca verificarea algoritmului de identificare propus, a fost făcută identificarea analitică și experimentală a modelului matematic motorului de curent continuu. Funcția de transfer identificată în mod analitic s-a obținut:

$$H(s) = \frac{\dot{\theta}(s)}{U_a(s)} = \frac{641.885}{0.00000177s^2 + 0.052s + 1} \quad (1)$$

Funcția de transfer identificată după algoritmul propus este:

$$H(s) = \frac{1}{2.698e-10s^3 + 1.839e-07s^2 + 0.008802s + 1} = \frac{B(s)}{A(s)} \quad (2)$$

În Figura 1 sunt prezentate rezultatele obținute la identificarea analitică și experimentală:

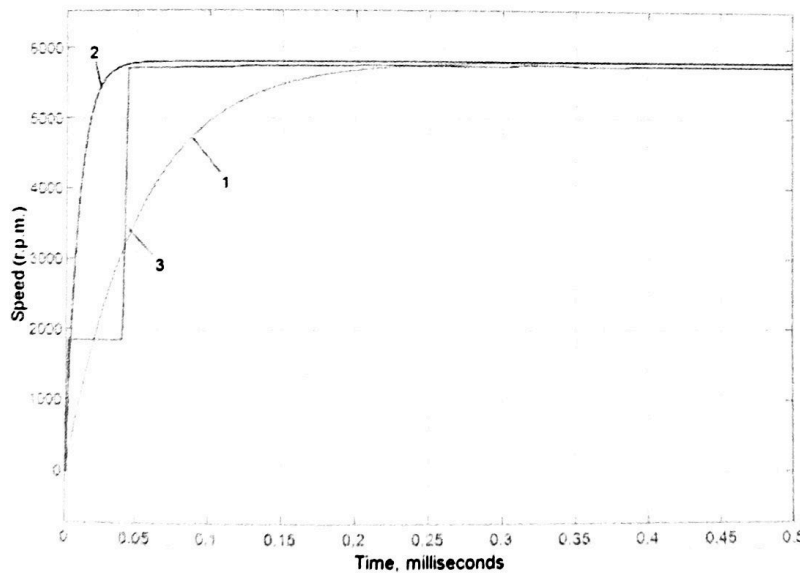


Figura 1. Compararea răspunsurilor sistemului: 1 – răspunsul tranzitoriu sistemului identificat pe calea experimentală; 2- răspunsul sistemului identificat după algoritmul propus; 3- curba experimentală reală de variație a turațiilor motorului de curent continuu.

Au fost obținute expresiile de calcul a parametrilor de acord regulatorului PID, în cazul când sistemul automat se descrie cu funcția de transfer de ordinul trei:

$$H(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_3s + 1)} = \frac{k}{a_0s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3} = \frac{B(s)}{A(s)}$$

Astfel, expresiile de calcul care au fost obținute sunt:

$$\begin{cases} k_p = \frac{(a_1 - a_3)(3a_1^2 - 8a_0a_2)}{16ka_0^2}; \\ k_i = \frac{(3a_1^2a_3 - 8a_0a_2a_3)}{4ka_0(a_1 + a_3)}; \\ k_d = \frac{3a_1^2 - 8a_0a_2}{8ka_0}. \end{cases}$$

A fost făcută comparația metodei propuse de acordare a regulatorului PID (curba 1) cu metoda gradului maximal de stabilitate cu iterații (curba 2), metoda Ziegler-Nichols (curba 3), optimizare parametrică din MATLAB (curba 4).

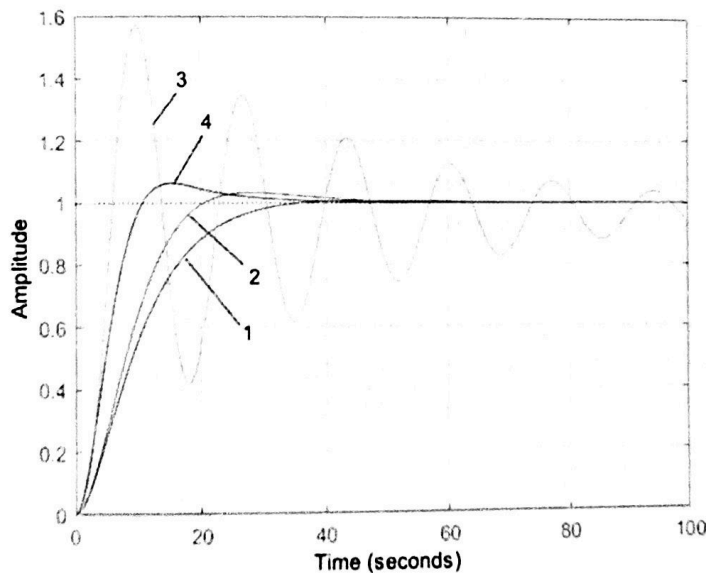


Figura 2. Compararea proceselor tranzitorii sistemului automat cu regulatorul PID.

6. Publicațiile la tema tezei de DH

1. COJUHARI, I. Closed-Loop System Identification Approach of the Inertial Models. In: *Journal of Applied Mathematics*, (acceptat spre editare în 2023).
2. COJUHARI, I. Data-Driven Model Identification and Control of the Inertial Systems. In: *Journal of Intelligent Control and Automation* (acceptat spre editare în 2023).
3. COJUHARI, I. The PID Tuning Procedure for Performance Optimization of the Underdamped Second-Order Processes. In: *Proceedings of the 12th International Conference on "Electronics, Communications and Computing" /IC-ECCO-2022, Chișinău, October 20 – 21, 2022*, pp. 226-229.
<https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/CE.02>

4. COJUHARI, I., FIODOROV, I., IZVOREANU, B., MORARU, D. Synthesis of PID Algorithm for Speed Control of the DC Motor. In: *Proceedings of the 2022 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, Suceava, România, 26-28 mai 2022, pp. 1-5. DOI: 10.1109/DAS54948.2022.9786125.

5. IZVOREANU, B.; SECRIERU, A.; COJUHARI, I.; FIODOROV, I.; MORARU, D.; POTLOG, M. Modified Polynomial Method to Synthesize a Control Algorithm for a System with Second-Order Inertia and Time Delay. In: *Proceedings of the 2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)*, Iasi, Romania, 2022, pp. 489-493, doi: 10.1109/EPE56121.2022.9959850.

6. IZVOREANU, B.; COJUHARI, I.; FIODOROV, I.; MORARU, D.; SECRIERU, A.; POTLOG, M. Modified Polynomial Method to Synthesize a Control Algorithm for a System with Second-Order Inertia and Time Delay. In: *Proceedings of the 2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)*, Iasi, Romania, 2022, pp. 494-498, doi: 10.1109/EPE56121.2022.9959867.

7. **Protecția rezultatelor obținute în formă de obiecte de proprietate intelectuală (după caz)**
Nu sunt

8. **Diseminarea rezultatelor proiectului (obligatoriu)**

1. COJUHARI, I. conf. univ., dr.; The 2022 International Conference on Development and Application Systems (DAS), Suceava, România, 26-28 mai 2022; Synthesis of PID Algorithm for Speed Control of the DC Motor. (comunicare a lucrării în format online)

2. COJUHARI, I. conf. univ., dr.; The 12th International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), Iași, Romania, 19-21 octombrie, 2022; Modified Polynomial Method to Synthesize a Control Algorithm for a System with Second-Order Inertia and Time Delay (comunicare orală).

3. COJUHARI, I. conf. univ., dr.; The 12th International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), Iași, Romania, 19-21 octombrie, 2022; Modified Polynomial Method to Synthesize a Control Algorithm for a System Model with First Order Inertia and Time Delay (comunicare orală).

9. **Concluzii în limba română și engleză.**

Sinteza algoritmului de control reprezintă una dintre principalele probleme, cu care se confruntă inginerii în timpul proiectării sistemelor de control automat. Rezolvarea acestei probleme presupune a fi cunoscuți câțiva parametri cheie care caracterizează procesul de control, sau să fie cunoscut modelul matematic, care aproximează dinamica procesului. Frecvent modelul matematic al obiectului de control este obținut pe calea experimentală, sau analitică în buclă deschisă a sistemului automat, fapt ce presupune implicarea operatorului pentru identificarea sistemului.

Pe parcursul perioadei de raportare a fost dezvoltată procedura de identificarea experimentală a modelului matematic obiectului de control în bucla închisă și dezvoltat algoritmul de sinteză a algoritmului de reglare PID. Conform acestei proceduri, identificarea sistemului se realizează în bucla închisă în baza răspunsului periodic neamortizat al sistemului. Algoritmul de identificare presupune atingerea limitei de stabilitate a sistemului și pe baza parametrilor, care sunt extrași din răspunsul sistemului, sunt prezentate expresii simple de calcul a parametrilor modelului matematic. Algoritmul dat a fost propus pentru identificarea modelelor matematice prezentate prin funcții de transfer cu inerție de ordinul trei; inerție de ordinul doi și timp mort; inerție de ordinul doi și astatism; inerție de ordinul doi, astatism și timp mort.

La etapa de sinteză a algoritmului de reglare PID sunt prezentate expresii pentru calcularea parametrilor de acord, care au fost obținute în baza criteriului gradului maximal de stabilitate și alocării polilor dominați ai obiectului de control. Procedura de identificare și acordare a regulatorului PID a fost verificată prin simulare în pachetul de programe MATLAB.

Synthesis of the control algorithm is one of the main problem, with that is concerned engineers during the design of the automatic control systems. Solution of this problem supposes to be known some key parameters of the control process, or the mathematical model, that approximates the dynamics of the control process. Frequently the mathematical model of the control process is obtained in the experimental, or analytical way in the open loop. This implies to be involved the operator for system identification in the open loop.

During the reporting period, it was obtained the procedure for data-driven model identification and control of the inertial systems. According to this procedure the first step involves to be done the system identification, based on the undamped step response of the closed-loop system. The algorithm of identification supposes to be achieved the limit of stability of the closed-loop system and based on the parameters, that are extracted from the undamped step response, there are presented some simple expressions for calculation the parameters of the model. It was developed an algorithm for experimental identification in the closed-loop of the inertial systems with or without time delay and astatic systems with or without time delay.

At the second step, there are presented the expressions for calculation the tuning parameters of the PID controller. This expressions were obtained based on the value of the maximum stability degree criterion and the tuning procedure of the PID controller ensures to the system the critically damped step response. The procedure of the data driven identification and control was verified by computer simulation for the different systems models.

DEVIZUL DE CHELTUIELI PE ANUL 2022-2023

Conducătorul proiectului conf. univ., dr. Cojuhari Irina
(numele, prenumele)

Denumirea codurilor economice	Codul economic	Total mii lei	Inclusiv		
			Buget I an 2022 (resurse generale), mii lei	Buget II an 2023 (resurse generale), mii lei	Cofinanțare (venituri colectate inteme), mii lei
Bunuri și servicii	22	219.0	109.5	109.5	
Servicii energetice și comunale	2221				
Energia electrică	222110				
Energia termică	222113				
Apă și canalizare	22211				
Servicii de telecomunicații	222220				
Deplasări de serviciu	2227	9.8	4.9	4.9	
Deplasări de serviciu în interiorul țării	222710				
Deplasări de serviciu peste hotare	222720	9.8	4.9	4.9	
Alte servicii	2229	61.0	30.5	30.5	
Servicii de cercetări științifice contractate	222930				
Servicii editoriale	222910				
Servicii neatribuite altor linii	222990	61.0	30.5	30.5	
Burse	281200	209.2	104.6	104.6	
Bursele pentru studenții autohtoni	281211	209.2	104.6	104.6	
Majorarea valorii materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	3351				
Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	335110				
Majorarea valorii materialelor de uz gospodăresc și rechizitelor de birou	3361				
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizitelor de birou	336110				
		280.0	140.0	140.0	

Rector U.T.M.
Directia
Investiții
Științifice
Director al proiectului
Economist (contabil)

prof. univ., dr. hab. Bostan Viorel
(numele, prenumele)

conf. univ., dr. Cojuhari Irina
(numele, prenumele)

Iouvu Victoria
(numele, prenumele)

V.F.
(semnătura)

[Signature]
(semnătura)

[Signature]
(semnătura)

DEVIZUL DE CHELTUIELI PE ANUL 2022

Denumirea codurilor economice	Codul economic	Total	Inclusiv	
			Buget (resurse generale), mii lei	Cofinanțare mii lei
Burse de studii a studenților autohtoni	281211	104,6	104,6	
Deplasări de serviciu în interiorul țării	222710			
Deplasări de serviciu peste hotare	222720	4,9	4,9	
Servicii de editare	222910			
Servicii neatribuite altor aliniate	222990	30,5	30,5	
Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	335110			
Procurarea altor materiale	339110			
Total		140,0	140,0	

Rector U.T.M.

dr. hab. Viorel BOSTAN

(numele, prenumele)

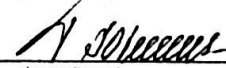


(semnătura)

Contabil (economist)

Victoria IOVU

(numele, prenumele)



(semnătura)

Conducătorul proiectului
(postdoctorandul)

Dr. Irina COJUHARI

(numele, prenumele)



(semnătura)

NOTĂ:

- În Devizul de cheltuieli se includ doar cheltuielile referitoare la proiect.
- La codul economic 222910 Servicii de editare – nu se acceptă suma mai mare de 25,0 mii lei pentru editarea unei monografii și mai mare de 5,0 mii lei pentru alte tipuri de publicații, cu excepția articolelor științifice în reviste internaționale.
- La codul economic 222990 – pot fi incluse cheltuielile pentru abonamentele Zoom sau alți furnizori utilizați în cadrul evenimentelor.
- La codul economic 335110 Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri – Se includ procurări de materiale doar științifice pentru realizarea cercetărilor strict la proiect. Nu se includ procurări de literatură, produse de igienă etc.

