

# Identificarea Modelului Matematic al Motorului de Curent Continuu în Baza LabView

Irina COJUHARI, Ion FIODOROV, Bartolomeu IZVOREANU, Dumitru MORARU,  
Radu MELNIC, Andrei CEBAN  
Universitatea Tehnică a Moldovei

[irina.cojuhari@ati.utm.md](mailto:irina.cojuhari@ati.utm.md), [ion.fiodorov@ati.utm.md](mailto:ion.fiodorov@ati.utm.md), [izvor@mail.utm.md](mailto:izvor@mail.utm.md),  
[dumitru.moraru@ati.utm.md](mailto:dumitru.moraru@ati.utm.md), [radu.melnic@fcim.utm.md](mailto:radu.melnic@fcim.utm.md)

**Abstract** — În lucrare dată se propune de a efectua identificarea experimentală în timp real a modelului matematic al motorului de curent continuu 2342L012, în baza instrumentarului virtual în mediul de programare LabView. Instrumentarul virtual permite în baza datelor achiziționate experimental în timp real de a obține modele matematice continue în forma funcțiilor de transfer și modelelor matematice discrete din clasa ARMAX.

**Index Terms** — identificarea experimentală, motorul de curent continuu, LabView, clasa ARMAX.

## I. INTRODUCERE

Simularea și modelarea modelelor matematice continue sau discrete ale proceselor industriale constituie o etapă importantă în proiectarea asistată de calculator a sistemelor industriale.

Simularea și modelarea proceselor industriale, folosind date experimentale achiziționate în cursul exploatarea acestora, reprezintă obiectul de studiu al identificării proceselor industriale. Identificarea proceselor industriale reprezintă estimarea parametrilor și structurii modelului matematic cu asigurarea coincidenței celei mai bune a semnalului de ieșire din model cu cel din proces la antrenarea intrărilor cu același semnal de intrare, unde procesul fizic este privit ca o entitate, văzută ca o cutie neagră despre structura internă a căreia nu sunt cunoscute detalii.

Avantajele modelării și simulării constau în primul rând în economicitatea energetică a experimentelor, în posibilitatea setării a unor regimuri care sunt greu de realizat pe instalația propriu-zisă și, nu în ultimul rând, în furnizarea de informații importante pentru algoritmul de conducere [2].

Există două categorii de tehnici de identificare a modelului matematic al procesului fizic supus identificării:

1. Identificarea analitică. În acest caz modelul de identificare se obține pe baza legilor fizico-chimice, care generează dinamica procesului.

2. Identificarea experimentală. Presupune obținerea modelului de identificare pe baza prelucrărilor variabilelor de intrare și ieșire asociate procesului.

În lucrarea dată s-a propus de a efectua identificarea experimentală a modelului matematic al motorului de curent continuu (MCC) în baza instrumentarului virtual LabView, care permite de a obține modele matematice în timp continuu și timp discret.

## II. IDENTIFICAREA PROCESELOR INDUSTRIALE

Problema de identificare se reduce, de obicei, la stabilirea structurii modelului matematic și estimarea parametrilor lui. Ca bază pentru estimarea parametrilor trebuie de știut gradul de cunoaștere apriorică a procesului.

Modelele matematice de identificare pot fi de două tipuri: neparametrice și parametrice. Modelele neparametrice sunt utilizate pentru obținerea descrierilor apriorice (preliminare). Aceste modele sunt descrise prin reprezentări grafice sau tabele, dar fără a apela la conceptul de parametru [2, 3].

Modelele parametrice cele mai utilizate fac parte din clasa ARMAX (Auto-Regressive Moving Average with eXogenous control). Modelul general al clasei ARMAX  $[na, nb, bc, nk]$  arată, de fapt, că semnalul de ieșire se obține ca rezultat al superpoziției dintre un semnal util, obținut prin filtrarea semnalului de intrare și un semnal parazitar, obținut prin filtrarea zgomotului alb

$$A(q^{-1})y[n] = B(q^{-1})u[n] + C(q^{-1})e[n];$$

$$E\{e[n]e[m]\} = \lambda^2 \delta_0 [n-m]; \forall n, m \in \mathbb{N},$$

unde  $A(q^{-1})$ ,  $B(q^{-1})$ ,  $C(q^{-1})$  - polinoame de grade finite:

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na};$$

$$B(q^{-1}) = (b_1 q^{-1} + \dots + a_{nb} q^{-nb}) q^{-nk};$$

$$C(q^{-1}) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + a_{nc} q^{-nc}.$$

Cu parametrii  $\{a_i\}_{i \in \overline{1, na}}$ ,  $\{b_i\}_{i \in \overline{1, nb}}$ ,  $\{c_i\}_{i \in \overline{1, nc}}$  care sunt indici structurali  $na$ ,  $nb$ ,  $nc$  și întârzierea  $nk$  necunoscute.

Tot necunoscută este și dispersia  $\lambda^2$  a zgomotului alb.

Cazurile particulare cele mai utilizate sunt modelele: ARX, AR, MA și ARMA.

Parametrii necunoscuți ai unui model de identificare se determină pe baza metodelor de identificare, care propun fie relații directe de calcul, fie proceduri iterative [7].

## III. DESCRIEREA MOTORULUI DE CURENT CONTINUU

Motorul de curent continuu este frecvent întâlnit în sistemele de reglare automată, fie ca element de execuție, fie ca proces supus automatizării. În ambele cazuri se pune problema reglării turajilor acestuia ceea ce implică cunoașterea modelului matematic al motorului.

În cazul dat motorul este privit ca obiect de reglare, unde reprezentarea schematică a circuitului electric pentru MCC

este dată în figura 1.

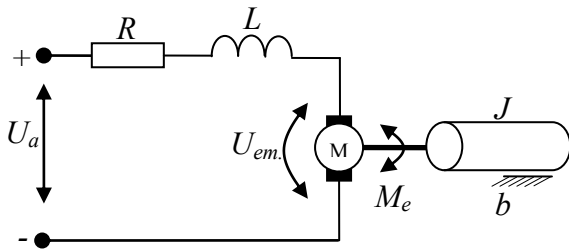


Fig. 1. Schema de principiu electrică a motorului de curent continuu cu magnet permanent.

Parametrii fizici ai unui MCC sunt următorii [4]:

- rezistența electrică a armăturii -  $R$ ;
- inductanța electrică a armăturii -  $L$ ;
- constanta tensiunii electromotoare induse -  $k_e$ ;
- constanta de cuplu a motorului -  $k_m$ ;
- momentul de inerție al axului rotoric -  $J$ ;
- coeficientul de frecare vâscoasă -  $b$ .

Mărimile de intrare și, respectiv, de ieșire pentru MCC sunt:

- mărimile de intrare  $U_a$ : tensiunea de alimentare;
- mărimile de ieșire  $\dot{\theta} = \omega$ : viteza axului rotoric;
- mărimile de ieșire  $\theta$ : poziția axului rotoric.

Relațiile dintre cuplu electromagnetic al motorului  $M_e$  și curentul înfășurării mobile (de armătură)  $i$ , poate fi exprimat prin relația:

$$M_e = k_m \cdot i(t),$$

iar din tensiunea electromotoare indusă  $U_{em}$  și viteza de rotație  $\dot{\theta} = \omega$  se poate scrie:

$$U_{em} = k_e \dot{\theta}$$

Funcționarea motorului se descrie prin ecuațiile, care s-au obținut aplicând legea a II-a a dinamicii a lui Newton și, respectiv prin aplicarea legii a II-a a lui Kirchoff.

$$J \ddot{\theta} + b \dot{\theta} = k_m i;$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = U_a - k_e \dot{\theta}.$$

Pentru identificarea experimentală a modelului matematic al motorului de curent continuu a fost propus de a utiliza motorul 2342L012 encoder Coreless. Sistemul este conectat la calculator prin intermediul modulului UART-USB, microcontrolerului Atmega8, care recepționează

datele de la tahogenerator, și le transmite spre instrumentarul virtual. În figura 2 este prezentată caracteristica statică a motorului de curent continuu 2342L012, ridicată pe baza datelor experimentale.

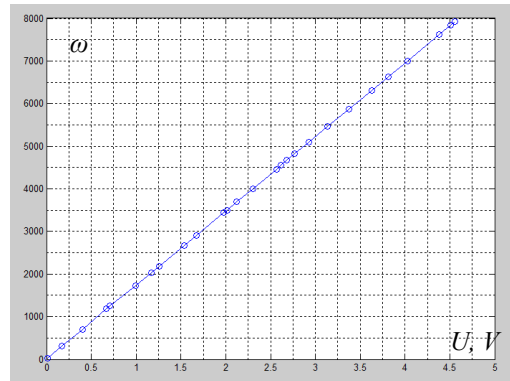


Fig. 2. Caracteristica statică a MCC.

#### IV. DESCRIEREA INSTRUMENTARIULUI VIRTUAL

În figura 3 este prezentat panoul frontal al instrumentației elaborate în mediul de programare LabView, care permite: 1 - setarea direcției de rotație a MCC, 2 - conectarea sistemului la aplicația și inițializarea interfeței, 3 - afișarea datelor numerice a semnalelor de intrare și de ieșire, 4 - afișarea evoluției semnalului de ieșire de la sistem suprapus cu semnalul de ieșire al modelului identificat, 5 - alegerea tipului de model de identificare, 6 - setarea ordinului modelului și 7 - afișarea modelului matematic identificat.

Instrumentarul virtual permite aproximarea curbei experimentale cu modelul matematic în forma funcției de transfer continue sau discrete pe baza clasei ARMAX (modelele ARX, ARMAX, OE, BJ) [1, 5, 6].

În figura 4 se dă diagrama bloc pentru interfața de identificare. Diagrama poate fi împărțită pe secțiuni care îndeplinesc diferite funcționalități, unde cea mai principală parte a diagramei este blocul de selectare a portului 2 și instrucțiunea ciclică while, unde sunt achiziționate toate datele în blocul 8. Următorul bloc 9 asigură conversia datelor din șirul de caractere în număr, care pe urmă sunt prelucrate. Datele prelucrate sunt stocate în șirul de date în blocul 10 pe panoul frontal 3, care în continuare se transmit blocului de identificare 11. Blocurile de transmitere a informației instalației 12 și de setare a direcției de rotație a motorului 13 finisează ciclul de lucru a acestei diagrame.

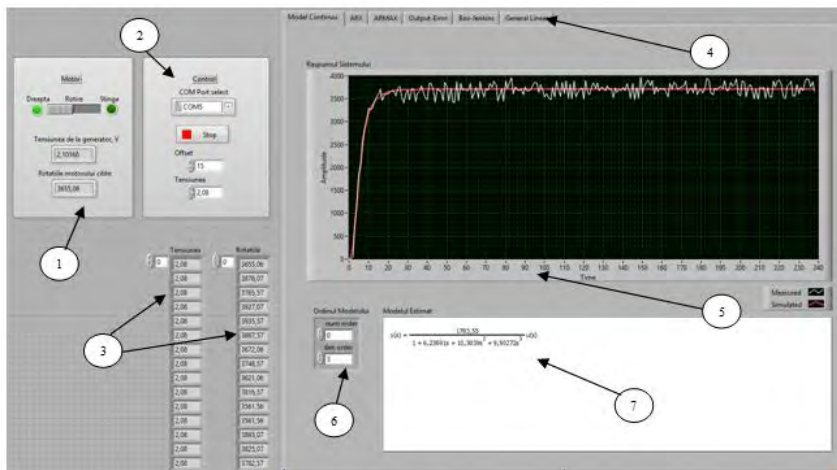


Fig. 3. Interfața instrumentarului virtual.

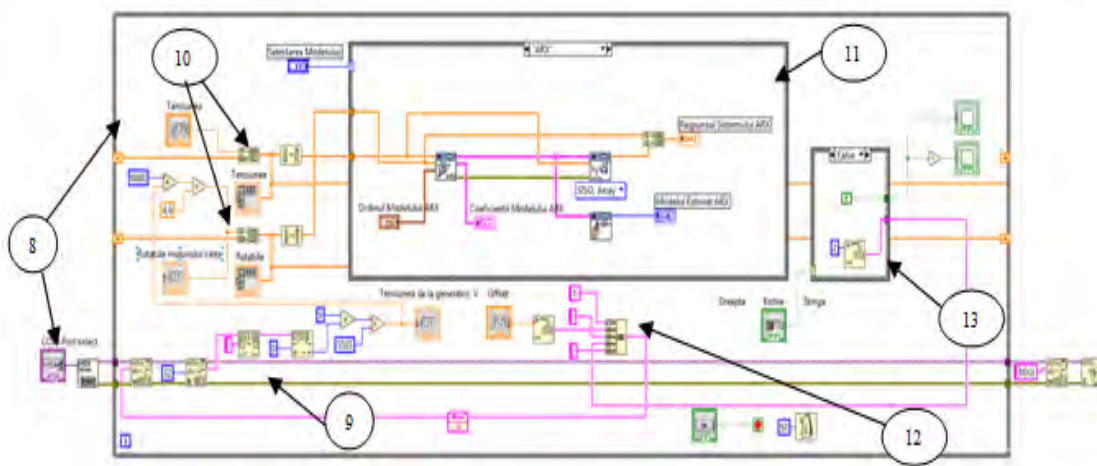


Fig. 4. Diagrama bloc.

### V. IDENTIFICAREA MODELULUI MATEMATIC AL MCC ÎN LABVIEW

Pentru identificarea modelului matematic a fost ridicată curba experimentală a turațiilor motorului de curent continuu pentru 3000 rotații/min (corespunde cu tensiunea setată de 1.7 V, fig. 5).

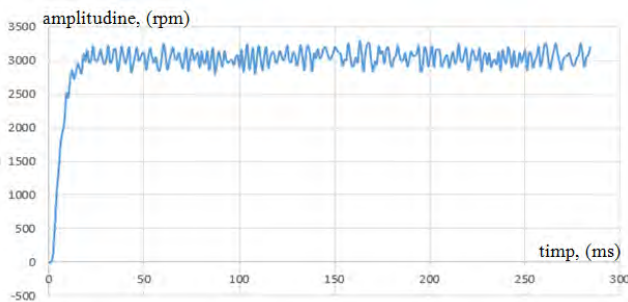


Fig. 5. Curba experimentală de variație a turațiilor MCC.

#### Aproximarea curbei experimentale a obiectului cu modele de ordinul II, III, IV

În continuare a fost efectuată identificarea experimentală pe baza instrumentarului virtual elaborat în LabView. A fost încărcată curba experimentală obținută pentru 3000 rot/min (fig. 6) și a fost aproximată cu funcții de transfer continue de ordinul II, III și IV.

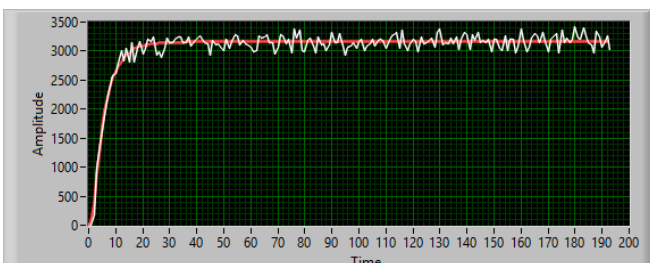


Fig. 6. Identificarea experimentală, la setarea semnalului de referință la 3000 rot/min.

Funcțiile de transfer identificate obținute sunt:

$$1. H_{1,1}(s) = \frac{1832.91}{8.83372s^2 + 6.59233s + 1}$$

$$2. H_{1,2}(s) = \frac{1786.75}{9.58829s^3 + 8.10317s^2 + 6.55789s + 1}$$

$$3. H_{1,3}(s) = \frac{1801.92}{2.02s^4 + 1.91s^3 + 8.47s^2 + 6.50s + 1}$$

În figura 7 sunt prezentate procesele tranzitorii pentru modelele aproximare cu următoarele notații: 1 – curba experimentală originală, 2 – procesul tranzitoriu obținut pentru funcția de transfer identificată  $H_{1,1}(s)$ , 3 – procesul tranzitoriu obținut pentru funcția de transfer identificată  $H_{1,2}(s)$ , 4 – procesul tranzitoriu obținut pentru funcția de transfer identificată  $H_{1,3}(s)$ .

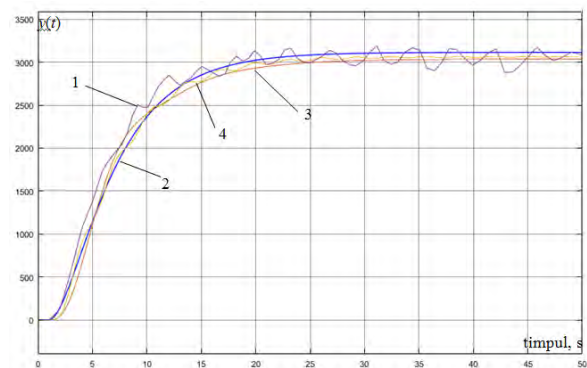


Fig. 7. Comparația proceselor tranzitorii obținute.

#### Identificarea parametrică pe baza clasei ARMAX

Pentru a efectua identificarea parametrică în baza modelelor din clasa ARMAX, a fost efectuată achiziția datelor de intrare și ieșire în baza instrumentarului virtual, figura 8.



Fig. 8. Curba experimentală, 3000 rot/min.

În continuare, curba experimentală a fost aproximată cu modele ARX și modelul ARMAX.

### Modelul ARX

Funcțiile de transfer identificate sunt:

$$H_{1,1}(z) = \frac{766.686z^{-1}}{1-0.25937z^{-1}+0.00819161z^{-2}-0.201254z^{-3}-0.122162z^{-4}}$$

$$H_{1,2}(z) = \frac{418.8z^{-1}+418.8z^{-2}}{1-0.174276z^{-1}-0.07967z^{-2}-0.154611z^{-3}-0.131219z^{-4}}$$

În figura 9 se dau procesele tranzitorii obținute pentru modelul ARX cu următoarele notații: 1 – curba experimentală originală, 2 – procesul tranzitoriu obținut pentru funcția de transfer identificată  $H_{1,1}(z)$ , 3 – procesul tranzitoriu obținut pentru funcția de transfer identificată  $H_{1,2}(z)$ .

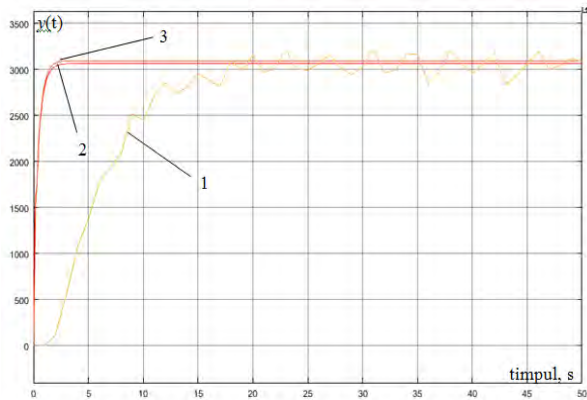


Fig. 9. Comparația proceselor tranzitorii, modele ARX.

### Modelul ARMAX

Funcțiile de transfer identificate obținute sunt:

$$H_{2,1}(z) = \frac{62.2884z^{-1}}{1-2.01241z^{-1}+1.21973z^{-2}-0.0541397z^{-3}-0.118681z^{-4}}$$

$$H_{2,2}(z) = \frac{433.204z^{-1}-174.905z^{-2}}{1-0.437174z^{-1}-0.786399z^{-2}+0.2544z^{-3}+0.11168z^{-4}}$$

În figura 10 sunt prezentate procesele tranzitorii obținute pentru modelul ARMAX cu următoarele notații: 1 – curba experimentală originală, 2 – procesul tranzitoriu obținut pentru funcția de transfer identificată  $H_{2,1}(z)$ , 3 – procesul tranzitoriu obținut pentru funcția de transfer identificată  $H_{2,2}(z)$ .

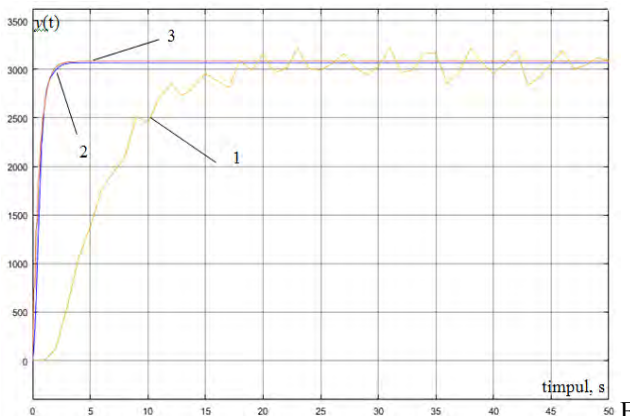


Fig. 10. Comparația proceselor tranzitorii, modele ARMAX.

Din figurile 7, 9 și 10 se observă că cele mai bune rezultate au fost obținute în cazul aproximării curbei experimentale cu funcții de transfer continue. În cazul aproximării curbei experimentale cu modele parametrice ARX și ARMAX se observă că se obține o eroare mare de aproximare.

## VI. CONCLUZII

În rezultatul studiului se constată următoarele:

- Pentru a obține modelul matematic al obiectului de reglare – motorului s-a ridicat curba experimentală ca răspuns la semnalul aplicat la intrarea motorului.
- S-a elaborat și descris instrumentarul virtual în mediul de programare LabView pentru identificarea experimentală a modelului matematic al obiectului de reglare.
- S-a efectuat identificarea modelului motorului în baza prelucrării curbei experimentale în LabView.
- S-a efectuat identificarea modelului motorului în baza prelucrării curbei experimentale și s-au obținut modele matematice continue în transformata Laplace și discrete în baza modelelor ARMAX și ARX.
- Modelele în LabView, ARMAX și ARX s-au simulat pe calculator și s-au ridicat procesele tranzitorii.
- Procesele tranzitorii ale modelelor în LabView, ARMAX și ARX s-au comparat cu curba experimentală.
- Analizând procesele tranzitorii ale modelelor în LabView, ARMAX și ARX în comparație cu curba experimentală se constată că cele mai bune modele matematice ale motorului s-au obținut prin modelele în LabView ca modele în transformata Laplace.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] B. Carmen, LabView, Prietenul Nostru. Iași: Editura CERMI, 132 p, 2015.
- [2] D. Ștefănoiu, J. Culiță, P. Stoica, Fundamentele modelării și identificării sistemelor. București: Editura Printech, 316 p., 2005.
- [3] E. Bobasu, Identificarea sistemelor. București: Editura Didactică și Pedagogică, 168 p., 2010.
- [4] I. Dumitrache, S. Dumitru, I. Mișu, ș. al. Automatizări electronice. București: Editura Didactică și Pedagogică, 662 p., 1993.
- [5] F. Cristian, Introducere în instrumentația virtuală. Iași: Editura CERMI, 160 p., 2010.
- [6] Compania NATIONAL INSTRUMENTS. LabView, System identification toolkit user manual. Ediția Septembrie 2004, 87 p.
- [7] I. Cojuhari, B. Izvoareanu, Ghid pentru proiectare de curs “Modelarea și identificarea”. Chișinău: Editura UTM, 120 p., 2015.