



Digitally signed by
Library TUM
Reason: I attest to the
accuracy and integrity
of this document

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

FACULTATEA CALCULATOARE, INFORMATICĂ ȘI MICROELECTRONICĂ CATEDRA AUTOMATICĂ ȘI TEHNOLOGII INFORMAȚIONALE

MODELARE ȘI IDENTIFICARE

Ghid pentru proiectarea de curs

**Chișinău
Editura „Tehnica-UTM”
2015**

CZU 681.5(075.8)

C 61

Acest ghid este destinat studenților specialității 526.3 - *Automatică și informatică*, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, pentru elaborarea proiectului de curs la disciplina *Modelare și identificare*, cu forma de studii la zi.

Ghidul include analiza unor procese industriale cu prezentarea modelelor matematice analitice și exemple de calcul. Sunt prezentate principiile teoretice de bază ale metodologiei de identificare parametrică cu aplicații în pachetul de programe MATLAB Simulink.

Autori: conf. univ., dr. Irina COJUHARI

conf. univ., dr. B. IZVOREANU

Redactor responsabil: prof. univ., dr. hab. A. GREMALSCHI

Recenzent: dr., conf. univ. V. ABABII

DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII

Cojuhari, Irina.

Modelare și identificare: Ghid pentru proiectarea de curs/ Irina Cojuhari, B. Izvoeanu; red. resp.. A Gremalschi; Univ.Tenh. a Moldovei, Fac. Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Cat. Automatică și Tehnologii Informaționale. – Chișinău: Tehnica-UTM, 2015. – 120 p.

Bibliogr: 105 (7 tit.) – 60 ex.

ISBN 978-9975-45-376-9.

681.5(075.8)

C 61

Redactor: Eugenia BALAN

Bun de tipar 08.05.15
Hârtie ofset. Tipar RISO
Coli de tipar 7,5

Formatul 60x84 1/16
Tirajul 60 ex.
Comanda nr. 43

2004, UTM, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 168
Editura „Tehnica-UTM”
2068, Chișinău, str. Studenților 9/9

ISBN 978-9975-45-376-9.

© UTM, 2015

INTRODUCERE

Scopul proiectului de curs este de a aplica în practică cunoștințele obținute în cadrul orelor de curs și de laborator la disciplina *Modelare și identificare* și de a căpăta noi cunoștințe și abilități practice în ceea ce privește obținerea modelelor matematice care descriu procesele industriale cu o precizie ridicată.

Modelarea și identificarea proceselor este o disciplină fundamentală din domeniul automatizării. Obiectul de studiu al identificării proceselor îl constituie modelarea matematică a proceselor fizice folosind datele experimentale obținute în cursul exploatării procesului fizic. A modela procese fizice înseamnă a determina un set de relații între variabilele fizice specifice sub forma unor structuri matematice de tipul ecuațiilor diferențiale. Prin determinarea unui model matematic al unui proces fizic se urmărește obținerea unei caracterizări cantitative a funcționării procesului cât mai aproape de realitate. Reprezentarea unui proces fizic printr-un model matematic a devenit o necesitate pentru proiectarea instalațiilor tehnologice, studiul comportamentului unui proces fizic sub acțiunea diverselor excitații sau pentru reglarea și optimizarea regimului de funcționare a procesului [4].

Identificarea proceselor industriale (fizice) reprezintă estimarea parametrilor și structurii modelului matematic, cu asigurarea coincidenței celei mai bune a semnalului de ieșire din model cu cel din cadrul procesului la antrenarea intrărilor cu același semnal de intrare.

Pe parcursul procedurii de identificare, procesul fizic este privit ca o entitate, unde entitatea este văzută ca o *cutie neagră*, structura internă a căreia nu este cunoscută în detalii. Modelele matematice utilizate în cadrul identificării proceselor sunt denumite *modele de identificare* și sunt determinate pe baza măsurărilor efectuate asupra variabilelor de intrare și ieșire ce caracterizează evoluția procesului într-un anumit regim de funcționare. Modelele matematice cu care se operează în procesul identificării sunt bazate

pe conceptele de *ecuație diferențială* (pentru procesele cu evoluție în timp continuu), *funcție de transfer* și *ecuație cu diferențe* (pentru procesele cu evoluție în timp discret). Construcția modelelor de identificare se bazează pe datele experimentale furnizate de cutia neagră (figura 1).

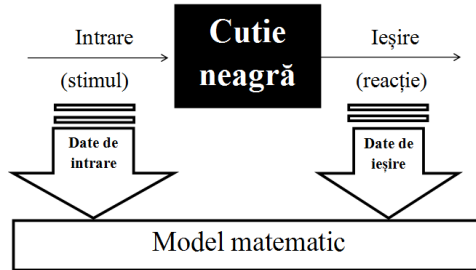


Figura 1. Principiul fundamental al identificării

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

În funcție de informația apriorică cunoscută, procesele se grupează astfel:

1. Procese pentru care sunt cunoscute ecuațiile ce descriu dinamica lor cu cunoașterea aproximativă a valorilor parametrilor lor.
2. Procese pentru care sunt cunoscute ecuațiile ce descriu dinamica lor, dar nu sunt cunoscute valorile parametrilor.
3. Procese pentru care nu sunt cunoscute ecuațiile și parametrii procesului, dar este cunoscută o anumită informație apriorică despre proces.
4. Procese despre care nu se cunoaște nimic și care sunt privite ca „cutie neagră”.

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

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

Pentru obținerea unui model de identificare pe cale analitică se impune parcurgerea următoarelor etape:

- a) stabilirea conexiunilor procesului cu mediul înconjurător;
- b) stabilirea ecuațiilor de bilanț pentru masele, energiile și impulsurile care apar în cadrul procesului;
- c) stabilirea ecuațiilor de stare fizico-chimice;
- d) stabilirea ecuațiilor fenomenologice, în cazul proceselor ireversibile (procese de propagare a căldurii, procese de difuzie, reacții chimice);
- e) obținerea modelului matematic sub forma ecuațiilor diferențiale sau funcții de transfer.

2. *Identificarea experimentală*, care presupune obținerea modelului de identificare pe baza prelucrărilor variabilelor de intrare și ieșire asociate procesului. Modelele de identificare obținute pe cale experimentală, în comparație cu modelele obținute pe cale analitică, au următoarele proprietăți:

- a) se caracterizează prin validitate limitată, fiind construite pentru un anumit punct de funcționare, un anumit tip de intare și un anumit proces;
- b) modelele obținute au semnificație fizică redusă, deoarece parametrii modelului obținut nu au legătură directă cu reacțiile fizice care decurg în proces;
- c) modelele obținute sunt relativ ușor de construit și de utilizat.

În procesul identificării modelului matematic nu poate fi utilizată doar o singură tehnică de identificare – analitică sau experimentală, ci se utilizează o combinație a acestor două tehnici.

Modelele matematice de identificare pot fi de două tipuri: *neparametrice* și *parametrice*. *Modelele neparametrice* sunt utilizate pentru obținerea descrierilor apriorice (preliminare), mai mult de ordin calitativ, ale procesului ce trebuie să fie identificat. În acest caz, datele achiziționate sunt privite ca date statistice

referitoare la dinamica procesului. Metodele statistice sunt aplicate datelor pentru obținerea modelelor atât în domeniul timpului, cât și în domeniul frecvențial. Aceste modele sunt descrise prin reprezentări grafice sau tabele, dar fără a apela la conceptul de parametru, fiind utile la analiza procesului din diferite perspective. Există patru metode de analiză care pot fi efectuate: analiza regimului tranzitoriu, analiza în domeniul frecvențial, analiza pe bază de autocorelație și analiza spectrală.

Modelele parametrice cele mai utilizate fac parte din clasa ARMAX (Auto-Regressive Moving Average with eXogenous control). Modelul general al clasei ARMAX 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 parazitărilor obținut prin filtrarea zgomotului alb. Cazurile particulare cele mai utilizate sunt modelele: ARX, AR, MA și ARMA. Primul model este tipic aplicațiilor de control numeric optimal (sau de reglare automată), în timp ce ultimele 3 sunt utilizate în special pentru modelarea și predicția seriilor de timp [3].

Parametrii necunoscuți ai unui model de identificare se determină pe baza *metodelor de identificare*, care propun fie relații directe de calcul, fie proceduri iterative. Necunoașterea nu numai a valorilor parametrilor modelului, ci și a numărului lor atrage după sine adoptarea unei strategii iterative în care complexitatea structurală a modelului este crescută treptat, până la nivelul la care se obține modelul matematic cu o precizie ridicată. În procesul iterativ de calcul ai parametrilor modelului mai întâi se pleacă de la un model mai simplu cu un număr mic de parametri, se determină parametrii și după aceea este evaluată eroarea față de proces (cu ajutorul unui criteriu predefinit). Dacă eroarea scade în mod semnificativ, se reia procedeul iterativ, adică este crescut numărul de parametri ai modelului, apoi se reevaluează aceștia și eroarea față de proces. Altfel, procedeul iterativ este stopat atunci când se obține cea mai mică eroare față de proces și se reține ultimul model determinat. Acest model în continuare este validat, folosind teste specifice [2].

Determinarea parametrilor necunoscuți ai unui model matematic poate fi realizată folosind metodele extrase din Teoria Optimizărilor și/sau din Teoria Estimației (Statistice). Metodele de identificare utilizate mai mult sunt cele rezultate din combinația optimizării cu estimarea. Fiind implementabile, permit caracterizarea statistică a parametrilor estimați. Prototipul îl constituie *Metoda celor mai mici pătrate* (MCMMP).

Metodele de identificare se clasifică în funcție de următoarele principii:

1. După modalitatea de prezentare a caracteristicilor procesului: în domeniul timpului; în domeniul frecvențial; în domeniul spectral.

2. După metodologia de realizare a experimentului există următoarele metode: active (metode care prevăd aplicarea la intrarea procesului a semnalelor de stimul); pasive (metode care utilizează semnale de intare existente în proces); mixte.

3. După criteriul de identificare.

4. În funcție de comparare a modelului obținut cu procesul: deschise; închise.

În literatura de specialitate metodele de identificare se grupează în următoarele categorii:

1. Metode clasice de identificare neparametrică a proceselor liniare dinamice.

2. Metode directe de identificare parametrică.

3. Metode de identificare bazate pe algoritmi de căutare pe baza modelului adaptiv.

4. Metode de identificare bazate pe algoritmi din teoria estimării.

5. Metode de identificare bazate pe algoritmi recurenți de identificare.

La planificarea etapelor de construire a modelului matematic asociat unui proces industrial trebuie să fie luate în considerație următoarele elemente:

1. Clasa de operatori ai modelului (ecuații diferențiale liniare

sau neliniare).

2. Erorile care pot apărea la măsurarea, discretizarea sau clasa de perturbații posibil existentă.
3. Modelul și metoda de identificare.
4. Conținutul părții experimentale de soluționare a problemei de identificare și realizare a experimentului.

În procesul de identificare un rol important îl joacă criteriul de identificare ce caracterizează gradul de echivalență a semnalului de ieșire din proces $y(t)$ cu semnalul de ieșire din model $y_M(t)$. În practică cel mai răspândit criteriu este cel al erorii pătratice:

$$Je(i) = \sum_{i=1}^N [y(i) - y_M(i)]^2.$$

Principalele etape ale procesului de identificare a modelului matematic sunt date în figura 2. Procesul de identificare începe prin colectarea informației preliminare despre proces care trebuie să cuprindă următoarea informație: tipul de proces, tipul de variație, existența timpului mort, variabilitatea în timp a procesului, clasele de semnale de stimul acceptate de proces, clasele de perturbații la care este expus procesul, scopul cu care se efectuează identificarea. După colectarea informației preliminare se trece la organizarea experimentului de identificare și se efectuează achiziția și prelucrarea primară a datelor, în paralel poate fi precizată clasa de modele de identificare.

În figura 3 este reprezentată schema-bloc a procesului de achiziție a datelor unde au fost utilizate următoarele notații: CNA – convertor numeric-analog; CAN – convertor numeric-analog.

Modelul matematic determină adesea și metoda pentru determinarea parametrilor modelului. Modelele obținute în continuare sunt evaluate folosind criteriile de adecvănță. În final, pentru ca un model de identificare adecvat să fie adoptat, acesta este supus testului de validare. Validarea constă în testarea funcționării modelului comparativ cu cea a procesului, atunci când este inițiată o nouă sesiune de stimulare a ambelor entități cu aceeași intrare.

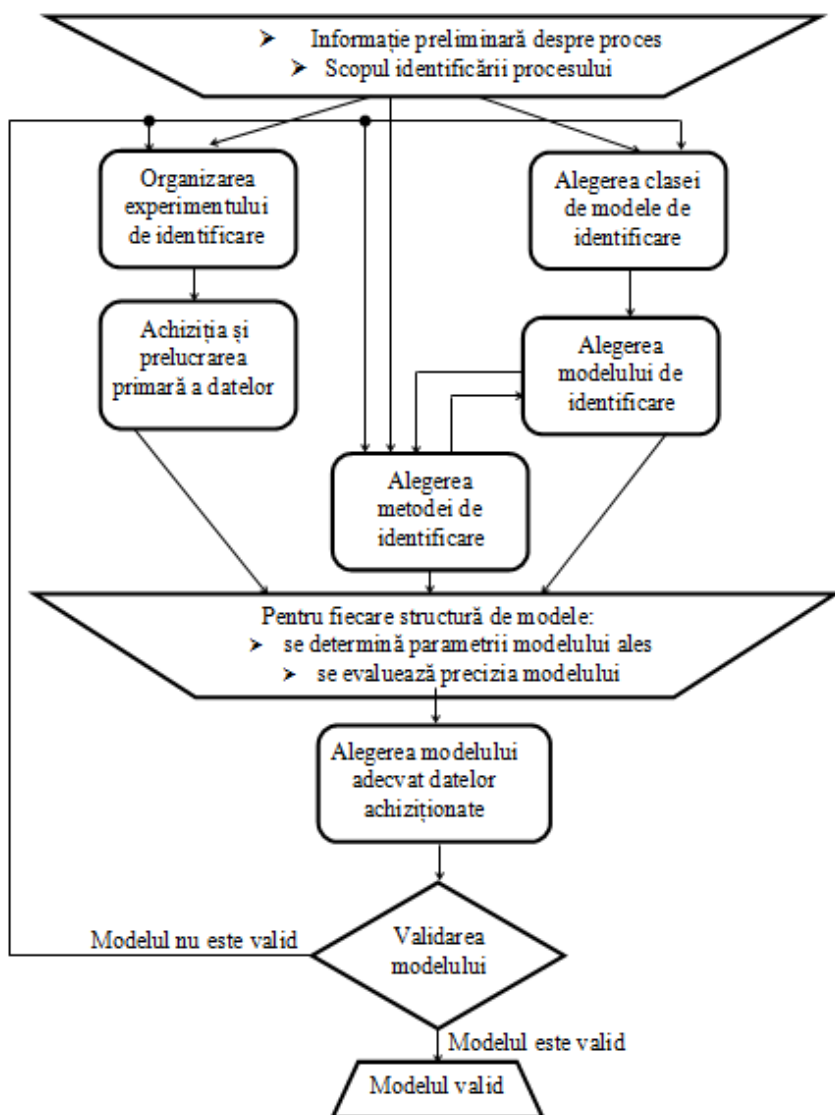


Figura 2. Principalele etape ale procesului de identificare

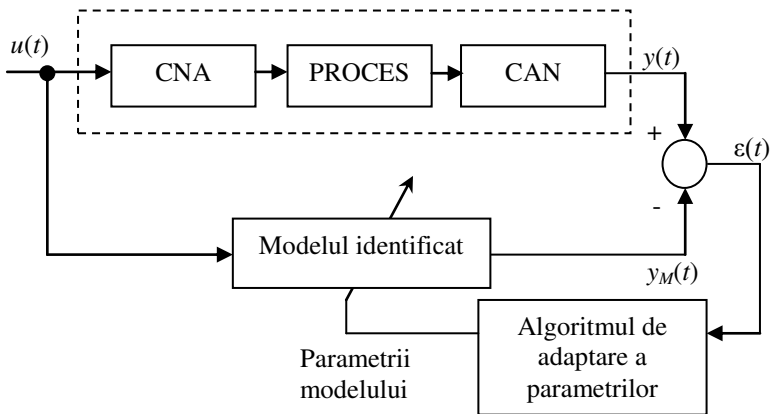


Figura 3. Schema-bloc a procesului de ridicare a curbelor experimentale

CUPRINS

INTRODUCERE.....	3
1. Ecuatii diferențiale și funcții de transfer.....	11
2. Modele ale proceselor industriale.....	16
2.1. Caracteristica generală a proceselor industriale.....	16
2.2. Modelarea proceselor de curgere.....	17
2.3. Modelarea proceselor de umplere-golire.....	22
2.4. Modelarea proceselor cu transfer de caldură.....	29
2.5. Modelarea proceselor de amestecare fără reacție chimică.....	33
2.6. Modelarea matematică a motorului de curent continuu.....	36
2.7. Performanțele proceselor.....	39
3. Identificarea procesului pe baza răspunsului tranzitoriu.....	43
3.1. Identificarea prin metoda Kùpfmuller.....	43
3.2. Identificarea prin metoda Strejc.....	45
3.3. Aproximarea procesului tranzitoriu cu funcție de transfer cu inertie de ordinul doi	47
3.4. Exemplu de identificare a procesului de umplere-golire pe baza răspunsului tranzitoriu.....	50
4. Modele parametrice utilizate la identificarea proceselor.....	54
5. Identificarea parametrică.....	59
5.1. Metoda celor mai mici pătrate.....	59
5.2. Metoda variabilei instrumentale.....	62
6. Mediul MATLAB pentru modelarea sistemelor dinamice.....	67
6.1. Caracteristicile principale ale mediului MATLAB.....	67
6.2. Modelarea în MATLAB a sistemelor dinamice liniar invariante în timp.....	73
6.3. Comenzile MATLAB pentru estimarea modelelor parametrice.....	82
6.4. Interfața grafică System Identification Tool.....	85
7. Descrierea sarcinii proiectului de curs.....	101
BIBLIOGRAFIE.....	105
ANEXE	106

BIBLIOGRAFIE

1. Dumitrache I., Dumitru S., Mișu I., Munteanu F., Muscă Gh., Calcev C. Automatizări electronice. București: Editura Didactică și Pedagogică, 1993. - 662p.
2. Popescu D., Ionescu F., Dobrescu R., Ștefănoiu D. Modelare în ingineria proceselor industriale. București: Editura AGIR, 2011. - 185 p.
3. Ștefănoiu D., Matei I., Stoica P. Aspecte practice în modelarea și identificarea sistemelor. București: Editura Printech, 2004. - 138 p.
4. Ștefănoiu D., Culița J., Stoica P. Fundamentele modelării și identificării sistemelor. București: Editura Printech, 2005. - 316 p.
5. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/ 7.0 Simulink 5/6 в математике и моделировании. Москва: СОЛОН-Пресс, 2005. - 576 с.
6. Ившин В., Перухин М. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами. Москва: Инфра-М, 2013. – 400 с.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 2. Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления. Под ред. Пупкова К.А., Егупова Н.Д. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 640 с.