

IOANA - GABRIELA SÎRBU

---

PRELUCRAREA NUMERICĂ A SEMNALELOR  
ÎN INGINERIA ELECTRICĂ

**Ioana - Gabriela SÎRBU**

**PRELUCRAREA NUMERICĂ  
A SEMNALELOR  
ÎN INGINERIA ELECTRICĂ**



**EDITURA UNIVERSITARIA  
Craiova, 2014**

Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Lucian MANDACHE

Conf.univ.dr.ing. Ileana - Diana NICOLAE

Copyright © 2014 Editura Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**SÎRBU, IOANA-GABRIELA**

**Prelucrarea numerică a semnalelor în ingineria  
electrică / Sîrbu Ioana-Gabriela. - Craiova : Universitaria,  
2014**

Bibliogr.

ISBN 978-606-14-0799-6

004.383.3:621.391.8

## PREFAȚĂ

Dezvoltarea accelerată a tehnologiilor electronice, coroborată cu tendința de miniaturizare a componentelor, a condus rapid la dezvoltarea de aplicații electronice variate, ce au invadat aproape toate domeniile științei. Inclusiv în ingineria electrică, tehnicile tradiționale de construcție și reglaj au fost înlocuite parțial de dispozitive electronice, comandate de echipamente automate de precizie.

În acest context a apărut nevoia imediată de a dezvolta programe specializate cu care să se urmărească funcționarea acestor structuri performante. Acestea trebuie să fie capabile să urmărească desfășurarea evenimentelor din sistem, să stocheze datele, uneori chiar să le interpreteze și să acționeze în anumite circumstanțe.

Toate aceste procese se coordonează în prezent prin intermediul microprocesoarelor, care urmăresc și intervin în activitatea întregului sistem pe baza unui software implementat de utilizator. Posibilitatea de a stoca datele permite evaluarea informațiilor și semnalelor interne și externe nu numai în timpul funcționării sistemului, dar și ulterior, în variantă offline. Așadar prelucrarea datelor se poate face în timp real sau nu, de fiecare dată apelându-se la programe de calcul și extragere a unor parametri necesari utilizatorului.

Datorită importanței acestor activități, lucrarea de față își propune să familiarizeze cititorul cu noțiunile de bază referitoare la prelucrarea semnalelor, cu referire imediată la utilitatea acestora și posibilități de implementare în aplicații din ingineria electrică.

Lucrarea, structurată pe 11 capitole, urmărește introducerea terminologiei specifice acestui domeniu și abordarea tehnicilor generale de analiză. S-a încercat sistematizarea informațiilor și împletirea noțiunilor teoretice cu exemple concrete, astfel încât cititorul să rețină informațiile de bază, chiar și în cazul în care nu deținea anterior cunoștințe aprofundate în domeniu.

Pe parcursul lucrării s-a urmărit compararea permanentă între semnalele analogice și semnalele numerice, atât în ceea ce privește sistemele ce le prelucrează, cât și tehnicile folosite pentru prelucrarea fiecăruia dintre ele. Acest demers este deosebit de util în special pentru viitorii ingineri, care pot fi nevoiți să implementeze în practică sisteme cu procesare numerică pentru prelucrarea semnalelor analogice, reale.

Lucrarea se adresează în special studenților de la secțiile cu profil electric ale Facultății de Inginerie Electrică din cadrul Universității din Craiova. Datorită caracterului său general, ea se poate dovedi utilă nu numai studenților, ci și inginerilor, cercetătorilor și tuturor celor ce doresc să se inițieze în domeniul teoriei semnalelor și sistemelor, și îndeosebi în cel al prelucrării numerice a semnalelor, cu aplicabilitate inclusiv în domeniul ingineriei electrice.

*Craiova, ianuarie 2014*  
*Autoarea*

## Capitolul 1

### NOȚIUNI INTRODUCATIVE

#### 1.1 SEMNALE ȘI SISTEME. DEFINIȚII

*Semnalele*, sub diferite forme, sunt elemente de bază ale vieții de zi cu zi. Cel mai întâlnit este semnalul *vocal*, cu ajutorul căruia se poate comunica între doi sau mai mulți oameni, aflați în același loc sau la distanță, prin intermediul telefonului. Alte semnale sunt cele *auzite*, la radio, sau *văzute*, la televizor, care permit informarea pe o anumită temă și luarea unor decizii într-un anumit domeniu; sau semnalele utilizate de medici pentru a afla starea de sănătate a unui pacient (ascultarea bătăilor inimii, verificarea reflexelor, etc.), în vederea stabilirii unui diagnostic. De asemenea semnalele care vin din spațiu de la sateliți sunt utile la colectarea datelor științifice despre univers. Se poate deci spune că semnalele utile omului sunt numeroase și diversificate [7]. În exemplele de semnale de mai sus acestea sunt funcții de o singură variabilă independentă: timpul. Deși sunt cel mai des întâlnite, aceste semnale nu sunt singurele întâlnite în practică. Vorbind despre un corp încărcat electric, de o formă oarecare, semnalul îl constituie sarcina electrică, o funcție ce depinde mai degrabă de poziția spațială [5].

Așadar un semnal se poate defini ca fiind *o funcție de una sau mai multe variabile care transportă informație despre natura unui fenomen fizic* [7].

În general semnalele sunt legate de obiecte concrete care se numesc *sisteme*. Semnalele sunt generate de unele sisteme, iar alte sisteme le modifică sau extrag unele informații din ele. Un sistem este definit ca *o entitate care prelucrează unul sau mai multe semnale pentru a realiza o anumită funcție, deci în final pentru a genera noi semnale* [7]. Orice sistem are o intrare la care se aplică semnale de intrare și o ieșire la care se generează noi semnale.

Aplicațiile uzuale legate de noțiunile de semnal și sisteme se referă la [7]:

- sisteme de comunicație;
- sisteme de comandă și control;
- sisteme de monitorizare cu senzori situați la distanță;
- sisteme de procesare medicală a semnalelor biologice.

Pentru a înțelege mai bine noțiunile de semnal și de sistem, mai jos sunt prezentate câteva exemple.

Figura 1.1 are ca element central un receptor TV (sau un receptor radio), care constituie *sistemul*.

Pentru ca acesta să funcționeze are nevoie de alimentare cu energie electrică, deci de un semnal electric sub forma unei tensiuni. De asemenea, prin intermediul antenei, primește informație sub forma undelor electromagnetice care, la nivelul receptorului, este transformată tot într-un semnal electric. Aceste semnale constituie *semnalele de intrare* ale sistemului. Sistemul (receptorul) prelucrează semnalele de intrare primite, oferind utilizatorului *semnale de ieșire* într-o formă pe care acesta să le poată înțelege. În cazul televizorului, semnalele de ieșire sunt de două tipuri, vizuale și sonore, în timp ce la radio apare un singur tip de semnal, cel sonor.

Un al doilea exemplu este reprezentat de un filtru electric, analogic (figura 1.2). Acesta constituie sistemul. Mărimile de intrare și de ieșire ale sistemului iau forma unor tensiuni electrice: tensiunea de intrare  $u_i(t)$  este o mărime continuă în timp, care include, pe lângă semnalul util, semnale perturbatoare, parazite, apărute ca urmare a funcționării defectuoase a sistemelor anterioare

filtrului sau a lanțului de transmitere a semnalului; tensiunea furnizată la ieșirea filtrului  $u_o(t)$  este tot o mărime continuă în timp care reprezintă doar semnalul util, purtător de informație.

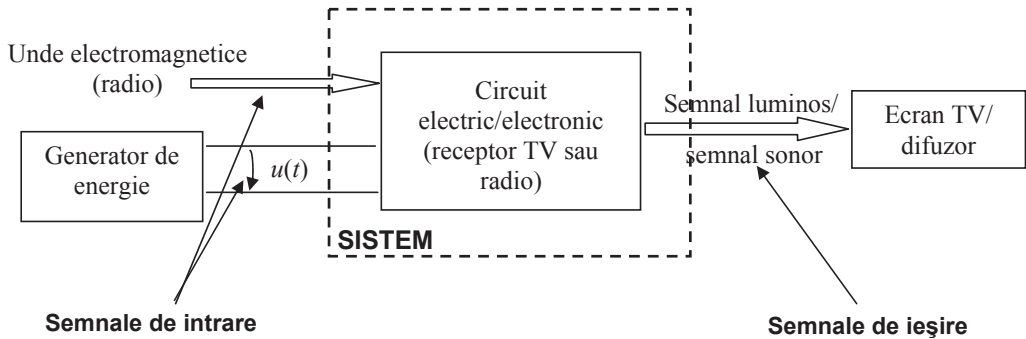


Fig.1.1

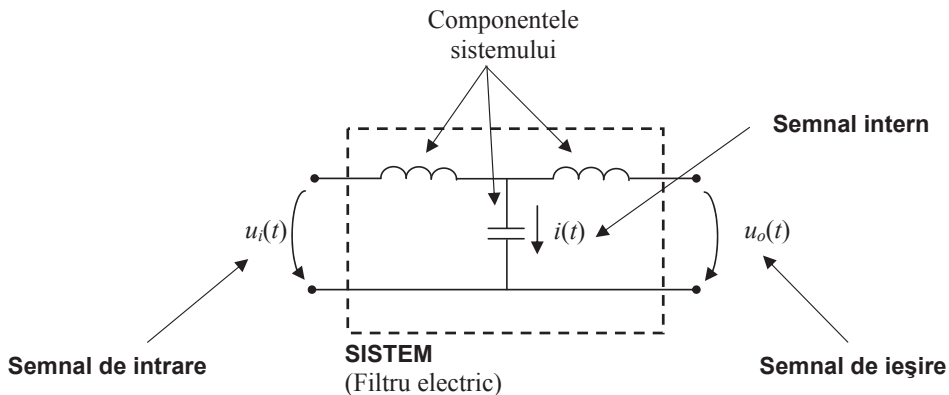


Fig. 1.2

În aceste exemple, circuitul electric sau electronic al filtrului, receptorului radio sau TV, constituie *sistemul*, fiind format în general din rezistențe, capacități, inductanțe, etc., elemente ce reprezintă *componentele sistemului*. Curenții și tensiunile variabile în timp care apar în aceste circuite reprezintă *semnale*.

Se observă așadar că sistemele sunt formate din *componente fizice* sau obiecte concrete, indiferent dacă e vorba de sisteme electrice, mecanice sau hidraulice. Dar sistemul poate fi și sub forma unei *componente software*, adică un algoritm care calculează un semnal de ieșire pe baza unui semnal de intrare [5].

De asemenea se remarcă faptul că semnalele sunt funcții de variabile independente, ca de exemplu timpul  $t$ . Conceptele prezentate se aplică însă pentru orice variabilă independentă, care poate fi diferită de variabila timp, ca de exemplu distanța, forța, temperatura, etc.

## 1.2 PROCESARE ANALOGICĂ. PROCESARE NUMERICĂ

În exemplele de mai sus sistemele și semnalele aferente sunt cunoscute sub denumirea de *analogice*. Semnalele analogice se întâlnesc peste tot în natură, precum și în corelație cu unele sisteme tehnice. Prelucrarea semnalelor analogice se realizează cu echipamente (sisteme) analogice, ca de exemplu [8]: emițătoare și receptoare radio și de televiziune; filtre analogice; sistemele

aferente distribuției energiei electrice (transformatoare, convertoare statice, etc.); regulatoare analogice, ce controlează valoarea unui parametru (viteză, temperatură, turație, etc.) dintr-un proces cu reglare automată. Aceste sisteme sunt construite cu rezistoare, condensatoare, diode, etc. și sunt alimentate cu energie electrică. Ele sunt străbătute de semnale analogice pe care le supune unor prelucrări numite *prelucrări analogice*.

Ca urmare a dezvoltării tehnicii de calcul moderne, calculatorul a fost inclus și tot mai mult utilizat în diferitele etape ale unui proces, inclusiv în ceea ce privește prelucrarea semnalelor. *Prelucrarea numerică* a semnalelor nu reprezintă altceva decât prelucrarea cu ajutorul calculatorului a semnalelor transformate în reprezentări numerice, cu scopul de a se realiza anumite obiective. Legătura dintre semnalul analogic inițial și procesarea numerică de semnal este reprezentată în figura 1.3 [8].

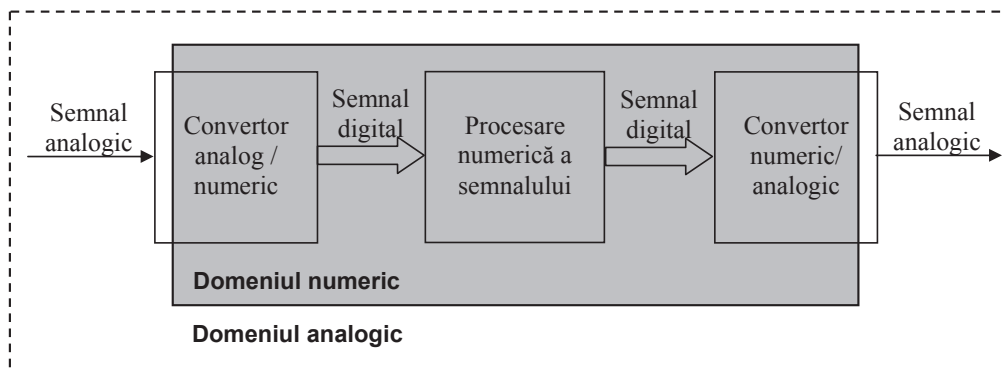


Fig. 1.3

Schema din figura 1.3 este una generală, în care se remarcă importanța includerii unor blocuri de conversie analog/numeric și respectiv numeric/analogic, ce realizează legătura dintre cele două domenii, analogic și respectiv numeric. Uneori, însă, nu este necesară reconversia semnalelor prelucrate, numerice, în semnale analogice, de exemplu atunci când se dorește doar analiza și memorarea rezultatelor; în acest caz blocul de conversie numeric / analogic poate lipsi.

Dintre domeniile în care se utilizează prelucrarea numerică a semnalelor se amintesc [8], [15]:

- comunicații: telefonia mobilă, multiplexarea mai multor convorbiri pe același fir, faxul, internetul, conferințele video;
- radioul și televiziunea digitală;
- conducerea automată a proceselor: roboți, servomecanisme, controlul proceselor industriale complexe;
- multimedia: procesarea și stocarea sunetului sau imaginii; compact-discul;
- medicină: diagnosticarea computerizată, monitorizarea funcțiilor vitale;
- militar: securitatea comunicațiilor, procesare radar, ghidarea proiectilelor.

Prelucrarea numerică a semnalelor prezintă unele *avantaje* față de prelucrarea analogică:

- ▶ *flexibilitate* - prelucrarea numerică se face prin implementarea unui algoritm de calcul, algoritm ce poate fi ușor schimbat sau actualizat, fără modificarea sistemului fizic de calcul;
- ▶ *fiabilitate* - aceasta depinde doar de partea hardware, în general foarte performantă; partea software nu suferă modificări în timp;
- ▶ *stocare și transmisie performantă a datelor* - datele numerice pot fi stocate rapid și cu densitate mare pe unitatea de volum. În transmisia datelor semnalele numerice nu sunt influențate semnificativ de zgomot;
- ▶ *integrabilitate* - sistemele numerice pot fi uneori realizate sub forma unui circuit integrat, cu impact pozitiv asupra fiabilității și costurilor;

► *eficiență economică* - dacă la sistemul analogic, pentru schimbarea comportării sale, se impune înlocuirea unor componente (fizice), ceea ce implică cheltuieli materiale, în cazul unui sistem numeric schimbarea comportării sistemului se face prin schimbarea unei părți din algoritmul de calcul, fără modificarea fizică a acestuia;

► *performanțe superioare* - există unele procesări ce pot fi realizate doar de către sistemele numerice (de exemplu, filtre de ordin ridicat sau filtre cu anumite caracteristici de frecvență).

Cu toate avantajele sale, procesarea numerică nu va înlocui niciodată complet prelucrarea analogică; însă în ultima vreme ea câștigă tot mai mult teren, fiind înglobată în tot mai multe produse, de la cele destinate tehnologiilor avansate până la cele de uz casnic [8]. Prin urmare, studiul semnalelor și al procesării numerice a acestora merită un interes deosebit.



## Capitolul 2

# SEMNALE

Așa cum s-a văzut în capitolul anterior, prin semnal se înțelege orice cantitate sau calitate fizică care variază cu timpul, spațiul sau cu oricare altă variabilă independentă și care transportă sau conține informație despre natura unui fenomen fizic. Matematic, semnalele sunt reprezentate ca funcții de una sau mai multe variabile independente [7], [15].

În continuare se va face o clasificare a semnalelor, urmată de o prezentare a semnalelor elementare, utilizate ca bază în descrierea semnalelor complexe, și a operațiilor de bază aplicate acestora.

### 2.1 CLASIFICAREA SEMNALELOR

Semnalele se pot clasifica în mai multe categorii în funcție de caracteristicile lor.

#### 2.1.1 Semnale unidimensionale și semnale multidimensionale

Dacă funcția care descrie semnalul depinde de o singură variabilă, semnalul se numește *unidimensional*. Semnale unidimensionale sunt semnalul vocal, sau tensiunile de intrare și respectiv de ieșire din figurile 1.1 și 1.2., acestea depinzând doar de variabila timp.

Dacă funcția care descrie semnalul depinde de două sau mai multe variabile se spune că semnalul este *multidimensional*. O imagine, reprezentată pe cele două axe de coordonate  $x$  și  $y$ , constituie un semnal bidimensional.

În domeniile ingineriei electrice și ingineriei electronice majoritatea semnalelor sunt dependente de timp, astfel încât aceste semnale sunt unidimensionale. Aceste semnale se mai numesc și „semnale cu o singură valoare”, deoarece la un anumit moment de timp pot avea o singură valoare. Valoarea semnalului la acel moment de timp poate să fie un număr real, caz în care semnalul este un *semnal real*, sau poate fi un număr complex, caz în care semnalul este *complex*. În ambele cazuri, însă, variabila timp este un număr real.

#### 2.1.2 Semnale de intrare și semnale de ieșire

Din analiza exemplurilor prezentate în figurile 1.1 și 1.2 reiese un alt tip de clasificare a semnalelor, în funcție de poziția acestora în raport cu sistemul. Astfel, semnalele care intră într-un sistem se numesc *semnale de intrare* sau intrări, iar semnalele care sunt produse de către sistem se numesc *semnale de ieșire* sau ieșiri [7].

Natura acestor semnale depinde de tipul sistemului, putând fi: tensiuni, curenți, viteze, etc.

La cele mai multe sisteme există semnale care nu sunt nici semnale de intrare, nici semnale de ieșire; acestea sunt *semnale interne* ale sistemului (figura 1.2).

#### 2.1.3 Semnale continue și semnale discrete

O modalitate uzuală de clasificare a semnalelor se referă la modul de definire al acestora în funcție de timp.

Un semnal  $y(t)$  este *continuu* în timp dacă are o valoare specificată pentru orice valoare a variabilei timp. Nu este necesar să fie definit de o funcție continuă în timp, dar la fiecare moment de timp trebuie să aibă specificată o singură valoare [7]. În figura 2.1 s-a reprezentat un semnal continuu în timp la care amplitudinea variază continuu în timp.

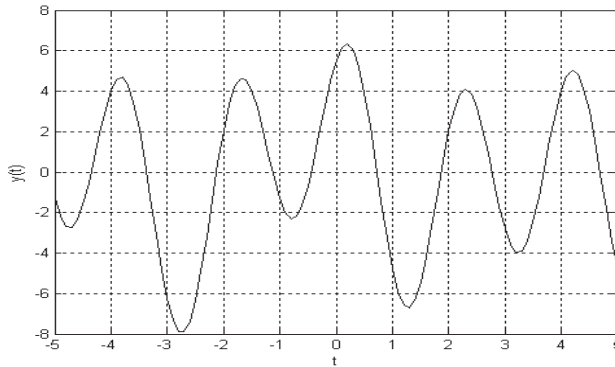


Fig. 2.1

Semnalele continue sunt semnale naturale care apar atunci când o mărime fizică (semnal vocal, luminos, presiune, etc.) este convertită într-un semnal electric. O asemenea conversie se face cu un traductor (de exemplu un microfon care convertește variația presiunii aerului în variație de tensiune). Semnalele continue au o singură valoare la un moment dat și variază între limite bine specificate, adică nu pot avea la niciun moment de timp valoarea infinită [7].

*Sistemele continue în timp* funcționează și prelucrează semnale continue în timp. Adică semnalele care se aplică la intrarea unui sistem continuu în timp trebuie să fie semnale continue în timp; în urma prelucrării acestor semnale de către sistemul continuu, la ieșirea acestuia se vor găsi de asemenea semnale continue în timp [7].

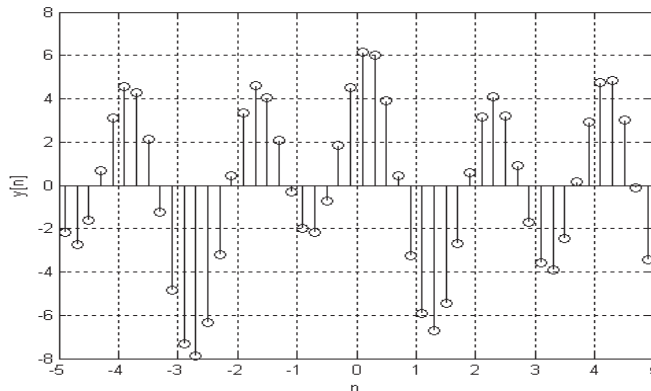


Fig. 2.2

Un semnal *discret* în timp are o valoare specificată numai la valori discrete ale variabilei timp. Un exemplu de semnal discret în timp este numărul de declanșări anuale ale unui întreruptor montat într-un post de transformare. Unele semnale discrete sunt obținute prin *eșantionarea* unor semnale continue. În figura 2.2 se prezintă semnalul discret obținut prin eșantionarea semnalului continuu prezentat în figura 2.1.

Un semnal discret în timp are o valoare specificată la fiecare valoare discretă a timpului, dar valorile între punctele discrete nu sunt specificate.

*Sistemele discrete în timp* funcționează și produc semnale discrete în timp.