

Luchian ZAHARIA

**Sisteme de măsurare computerizate
pentru achiziția de date**

Iași 2005

Motto:

„Calculatoarele electronice nu sunt supraomenești. Ele se strică și fac greșeli –uneori periculoase. Nu au nimic magic și cu siguranță nu sunt spirite sau suflete din mediul înconjurător. Cu aceste rezerve ele rămân însă una din cele mai uluitoare și tulburătoare realizări ale omului, pentru că ne sporește capacitatea intelectuală..... și nu știm unde ne vor duce până la urmă propriile noastre minți.”

A. Toffler

Prefață

Omenirea se află astăzi în etapa celei de-a doua revoluții industriale, în care informația și calculatoarele electronice joacă un rol esențial. Dacă prima revoluție industrială a însemnat transferul forței fizice și îndemnării omului către mașină, ce-a de-a doua revoluție industrială implică transferul inteligenței umane către mașină prin intermediul calculatorului.

Până la apariția microprocesoarelor, prelucrarea informațiilor legate de măsurări se făcea exclusiv în exteriorul aparatului de măsurat de către operatorul uman. În ultimul timp, răspândirea și perfecționarea continuă a calculatoarelor a obligat marile firme producătoare de sisteme de măsurare să realizeze produse care să utilizeze PC-urile pentru:

- achiziția de date din procesele industriale;
- supravegherea și reglarea unor parametri;
- realizarea unor mijloace de măsurare mai precise etc.

În această nouă concepție, instrumentul de măsură comunică cu PC-ul prin intermediul unei interfețe. Utilizarea calculatorului în procesul de măsurare permite înlocuirea instrumentului de măsurare cu o simplă cartelă de achiziție a datelor, care poate fi comandată de la tastatura calculatorului iar rezultatele măsurătorilor pot fi vizualizate pe monitor sub formă numerică sau grafică. Aceste schimbări fundamentale în achiziția și analiza datelor au apărut ca urmare a prelucrării de către calculator a datelor primare. Astăzi instrumentele de măsurare au încorporate în interiorul lor un microprocesor astfel încât acțiunile operatorului sau ale calculatorului exterior sunt prelucrate parțial sau total de mijlocul de măsurare, acesta comportându-se ca un instrument de măsurare inteligent.

Aceste noi concepții conduc la tendința de a transla procesul de măsurare din mediul său tradițional – laboratorul de cercetare – în domeniul industrial, unde asigură controlul calității produselor, supravegherea desfășurării corecte a proceselor industriale, comanda operațiilor de reglare, creșterea siguranței în funcționare etc.

Perfecționarea mijloacelor de măsurare a permis noi descoperiri în știință și tehnică. Progresul științific s-a reflectat în mod direct asupra realizării unor mijloace de măsurare mai exacte, mai rapide, mai flexibile. Astfel, ca o reacție în lanț, dezvoltarea măsurărilor și progresul tehnic s-au stimulat reciproc în beneficiul civilizației umane.

În domeniul Științei și procesării materialelor, achiziția de date și-a găsit multe aplicații, de la analiza unor parametri din procesele de deformare plastică, turnare, sudare, tratamente termice etc. până la achiziția și prelucrarea de imagini în metalografie.

Acest curs este destinat studenților de la masterat care vor să se specializeze în tehnicile moderne de analiză experimentală din domeniul Științei materialelor și a fost conceput astfel încât să-i familiarizeze cu noțiunile de bază necesare achiziției de date cu ajutorul calculatorului personal. S-a insistat asupra prezentării mai detaliate a structurii unui sistem computerizat de achiziții de date, cu scopul înțelegerii rolului componentelor și modulelor acestuia. Prin aceasta s-a urmărit pe de o parte însușirea mai ușoară a programelor complexe cu care se lucrează iar pe de altă parte alegerea corectă a echipamentelor necesare unui sistem computerizat pentru achiziții de date.

Autorul aduce și pe această cale mulțumiri d-lui Prof.dr.ing. Ion Hopulele, referent științific al acestei lucrări, pentru ajutorul acordat la elucidarea unor aspecte legate de rolul unor componente electronice în sistemele de achiziții de date.

Cuprins

Prefață
Cuprins
Introducere

1. NOȚIUNI PRIVIND PRELEVAREA DATELOR

- 1.1. Procesul de măsurare
- 1.2. Sisteme de unități. Sistemul Internațional
- 1.3. Erori de măsurare
 - 1.3.1. Valorile unei mărimi
 - 1.3.2. Clasificarea erorilor de măsurare
- 1.4. Precizia instrumentelor de măsură. Clase de precizie
- 1.5. Tipuri de măsurări
- 1.6. Tehnici numerice de măsurare

2. SISTEME DE MĂSURARE

- 2.1. Clasificarea sistemelor de măsurare
- 2.2. Sisteme de măsurare computerizate
 - 2.2.1. Sisteme de instrumentație
 - 2.2.2. Sisteme de control
 - 2.2.3. Clasificarea sistemelor de măsurare computerizate

3. REPREZENTAREA DATELOR ÎN SISTEMELE DE MĂSURARE COMPUTERIZATE

- 3.1. Sisteme de numerație
- 3.2. Conversia datelor
 - 3.2.1. Conversia din zecimal în binar
 - 3.2.2. Conversia din binar în zecimal
 - 3.2.3. Conversia sistemelor de numerație în calculatoarele electronice
- 3.3. Operații efectuate de calculatoarele electronice
- 3.4. Coduri de reprezentare internă a datelor
 - 3.4.1. Coduri numerice
 - 3.4.2. Coduri alfanumerice
- 3.5. Informația digitală
 - 3.5.1. Avantajele informației digitale
 - 3.5.2. Codificarea informației

4. SEMNALE UTILIZATE ÎN SISTEMELE DE MĂSURARE COMPUTERIZATE

- 4.1. Tipuri de semnale
- 4.2. Reprezentarea semnalelor prin modele matematice
 - 4.2.1. Reprezentarea semnalelor analogice prin modele matematice
 - 4.2.1.1. Transformata Fourier
 - 4.2.1.2. Funcția de densitate spectrală
 - 4.2.1.3. Distribuții, funcții singulare și utilizarea lor în analiza semnalelor
 - 4.2.1.4. Convoluția semnalelor analogice
 - 4.2.1.5. Ferestre de timp

- 4.2.2. Reprezentarea semnalelor numerice prin modele matematice
- 4.3. Prelucrarea semnalelor
 - 4.3.1. Aspecte generale privind prelucrarea semnalelor
 - 4.3.2. Digitizarea semnalelor
 - 4.3.2.1. Eșantionarea
 - 4.3.2.2. Cuantizarea

5. STRUCTURA SISTEMELOR DE MĂSURARE COMPUTERIZATE

- 5.1. Structura generală a unui sistem de măsurare computerizat
 - 5.1.1. Sisteme de achiziții de date
 - 5.2.2. Sisteme de generare de date
- 5.2. Componentele principale ale sistemelor de măsurare computerizate
 - A. Traductoare
 - A.1. Rolul traductoarelor în sistemele de măsurare computerizate
 - A.2. Caracteristicile și performanțele generale ale traductoarelor
 - A.2.1. Caracteristicile metrologice în regim static
 - A.2.2. Caracteristicile metrologice în regim dinamic
 - A.2.3. Caracteristicile constructive
 - A.3. Clasificarea traductoarelor
 - A.4. Traductoare de temperatură
 - A.4.1. Termorezistoare metalice
 - A.4.2. Termistoare
 - A.4.3. Termometre cu cuarț
 - A.4.4. Termocupluri
 - A.4.5. Pirometre de radiație
 - A.5. Traductoare de forță
 - A.5.1. Traductoare de forță electrice rezistive
 - A.5.2. Traductoare de forță electrice capacitive
 - A.5.3. Traductoare de forță electrice inductive
 - A.5.4. Traductoare de forță piezoelectrice
 - A.6. Traductoare de moment
 - A.6.1. Traductoare de moment tensometrice
 - A.6.2. Traductoare de moment capacitive
 - A.7. Traductoare de deplasare
 - A.7.1. Traductoare de deplasare rezistive
 - A.7.2. Traductoare de deplasare inductive
 - A.7.3. Traductoare de deplasare capacitive
 - B. Condiționere de semnal
 - B.1. Rolul condiționerelor de semnal
 - B.2. Funcțiunile condiționerelor de semnal
 - B.3. Tipuri de condiționere de semnal
 - C. Plăci de achiziții de date
 - C.1. Funcții și criterii de performanță
 - C.2. Structura plăcilor de achiziții de date
 - C.3. Componentele principale ale plăcilor de achiziții de date
 - C.3.1. Multiplexorul
 - C.3.2. Amplificatorul programabil
 - C.3.3. Circuite de eșantionare-memorare

C.3.4. Converteoare

C.3.4.1. Generalități privind conversia analog-numerică și numeric-analitică

C.3.4.2. Caracteristicile convertoarelor

C.3.4.3. Erorile convertoarelor

C.3.4.4. Converteoare analog - numerice (CAN)

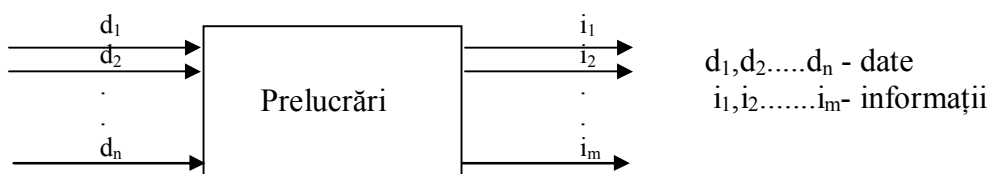
C.3.4.5. Converteoare numeric – analogice (CNA)

C.4. Alegerea unei plăci de achiziții de date

Introducere

Toate științele operează cu informații, ca elemente ale cunoașterii senzoriale sau raționale. Pentru a putea fi percepute informațiile trebuie exprimate într-o formă concretă. Datele pot fi considerate „materia primă” pentru informații. Ele reprezintă informații potențiale întrucât prin prelucrarea lor se obțin informațiile pe care le percepem (știri, imagini, semnale etc.).

În informatică, prin *dată* se înțelege un model de prezentare a informației, accesibil unui anumit procesor (om, unitate centrală, program etc.), model cu care se poate opera pentru a obține noi informații despre fenomene, procese și obiecte din lumea reală. Schematic, relația dintre date și informații se poate reprezenta astfel:



Datele sunt utilizate pentru:

- transmiterea informațiilor între oameni;
- păstrarea informațiilor pentru viitoare utilizări;
- obținerea de noi informații prin prelucrări.

Pentru a fi utilizate, datele trebuie mai întâi prelevate (culese), operație care este cunoscută sub numele de *achiziția de date*.

Computer Dictionary editat de Microsoft Press, definește noțiunea de achiziție de date astfel: „Procesul de obținere a datelor de la o sursă, de regulă exterioară sistemului, prin detectare electronică, prin introducerea datelor de la terminale sau de pe medii magnetice”.

La noi în țară „Achiziția de date” se referă mai ales la domeniul tehnic și constă în măsurarea unor mărimi pe cale electronică, urmată de prelucrarea acestora [1].

Achiziția de date este întâlnită astăzi în tot mai multe domenii:

- *în industrie* – la calculatoarele de proces care supraveghează și reglează instalații tehnologice;
- *în comunicații* – pentru supravegherea liniilor de comunicație;
- *în cercetarea științifică* – pentru măsurarea și prelucrarea unei game extrem de vaste de mărimi electrice și neelectrice;
- *în transporturi* – la calculatoarele de bord ce echipează automobilele moderne etc.

Se poate spune că prin utilizarea achiziției de date la automobile, aceasta a pătruns în viața noastră de zi cu zi, astfel încât se impune o cunoaștere, fie și sumară, a problemelor tipice acestui domeniu.

Un sistem de achiziție de date trebuie să poată executa trei funcții fundamentale:

- ☞ Convertirea fenomenului fizic într-un semnal (de cele mai multe ori electric) care poate fi măsurat;
- ☞ Măsurarea semnalelor generate de senzori sau traductori în scopul extragerii informației;
- ☞ Analiza datelor și prezentarea lor într-o formă utilizabilă.

Cele mai multe din sistemele moderne de măsurare utilizează un calculator personal pe post de controler, care are înglobat în interiorul său o placă de achiziție a datelor, cu rolul de a prelucra semnalele transmise de traductori.

Pentru a realiza cele trei funcții, un sistem computerizat de măsurare pentru achiziția de date trebuie să aibă în structura sa următoarele componente:

- *traductori* care convertesc fenomenul fizic într-un semnal electric;
- *dispozitive de adaptare a semnalului* pentru filtrarea și/sau amplificarea semnalului provenit de la traductori;
- *o placă de achiziție date* care poate include multiplexoare, circuite de eșantionare-memorare, convertoare analog-numeric și numeric-analogice;
- *un sistem de calcul*;
- *soft specializat pentru achiziția de date*.

1. NOȚIUNI PRIVIND PRELEVAREA DATELOR

1.1. Procesul de măsurare

În domeniul tehnic achiziția de date are două etape importante: măsurarea unor mărimi și prelucrarea rezultatelor obținute în urma măsurării. Acest capitol prezintă unele noțiuni legate de procesul de măsurare.

A *măsura* înseamnă a compara o mărime necunoscută (x) cu o alta de aceeași natură, luată drept unitate (u), folosind relația [2]:

$$x = n \cdot u \quad (1.1)$$

x – mărimea de măsurat

n – valoarea numerică a mărimii de măsurat

u – unitatea de măsură

Orice proces de măsurare conține patru elemente [4]:

- mărimea de măsurat
- aparatul de măsură
- metoda de măsurare
- etalonul

Prin *mărime* se înțelege o proprietate măsurabilă a unui corp sau fenomen fizic. Pentru a putea efectua o măsurare trebuie ca mărimea fizică să fie ordonabilă și să se poată stabili o corespondență biunivocă între mulțimea valorilor mărimii respective și mulțimea numerelor reale. Rezultatul unei măsurători este un număr care împreună cu unitatea de măsură caracterizează mărimea de măsurat.

Aparatul de măsură este instrumentul prin intermediul căruia este vizualizată mărimea de măsurat. Indicatorul aparatului de măsură arată valoarea n iar aceasta este percepută de un operator uman sau automat și utilizată practic. Rolul aparatului de măsură în procesul de măsurare este arătat în schema din Fig.1.1.

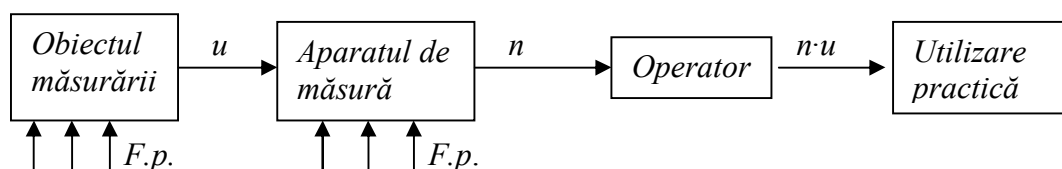


Fig.1.1: Locul aparatului de măsură într-un proces de măsurare

Atunci când mărimea de măsurat este o mărime neelectrică (de ex. temperatura), între obiectul măsurării și aparatul de măsură se interpune un dispozitiv numit *traductor*, care are rolul de a converti mărimea fizică într-o mărime electrică (de ex. o tensiune electromotoare). Schema bloc a unui proces de măsurare cu traductor este arătată în Fig.1.2.

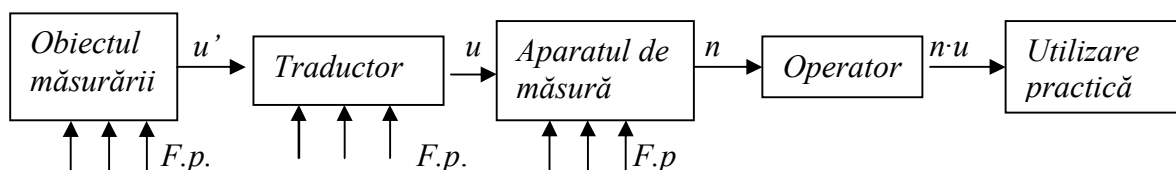


Fig.1.2: Locul traductorului într-un proces de măsurare

Metoda de măsurare reprezintă modalitatea în care se desfășoară procesul de măsurare. Măsurările pot fi *directe* atunci când rezultatul se obține cu rel.(1.1) sau *indirecte*, atunci când mărimea este definită de relația:

$$x = f(a,b,c...) \quad (1.2)$$

în care a,b,c....sunt mărimi măsurabile direct cu rel.(1.1).

Deoarece aparatele care dau mărimile a,b,c.... pot fi montate în mai multe moduri a apărut necesitatea unor *metode de măsurare* care au condus la rândul lor la apariția unor noi aparate care se bazează pe metodele respective. În prezent se constată tendința de materializare a unor metode de măsurare în instalații complexe, care includ și tehnici de prelucrare electronică a datelor, cunoscute sub numele de *sisteme de măsurare*. Dintre acestea se remarcă *sistemele de măsurare computerizate*, care se caracterizează prin aceea că într-un punct al sistemului semnalul electric purtător de informație este convertit din formă analogică în formă digitală.

Etalonul sau standardul de măsură reprezintă materializarea unei unități de măsură, a unui aparat sau sistem de măsură destinat definirii, realizării, conservării sau reproducerii unei unități sau a unor valori cunoscute ale unor mărimi, în scopul verificării prin comparație a altor unități, aparate, sisteme etc.

1.2. Sisteme de unități. Sistemul Internațional

Din rel (1.1) se vede că în procesul de măsurare este necesară și o unitate de măsură. În decursul timpului odată cu creșterea numărului mărimilor de măsurat a apărut necesitatea stabilirii unui grup de unități care să permită măsurarea tuturor mărimilor fizice. Un astfel de grup formează un *sistem de unități*. În decursul timpului au fost folosite mai multe sisteme de unități: CGS, Mks, MKfS, MKSA și altele.

În anul 1960 la cea de-a 11-a Conferință Generală de Măsuri și Greutăți a fost adoptat un sistem unic de măsuri, bazat pe 7 unități fundamentale. Totodată s-a stabilit ca acest sistem să se numească *Sistem Internațional* de unități de măsură (prescurtat S.I.) iar denumirile multiplilor și submultiplilor să se formeze cu prefixe.

Acest sistem a fost legiferat și în țara noastră în anul 1961, fiind în prezent singurul sistem de unități de măsură legal și obligatoriu. În prezent se poate vorbi de 4 tipuri de unități de măsură: *fundamentale, suplimentare, derivate și tolerate*.

Unitățile fundamentale sunt stabilite independent una față de alta și reprezintă unitățile de măsură ale mărimilor fizice cunoscute până în prezent. Cele 7 unități fundamentale sunt date în Tab. 1.1

Tab.1.1: Unitățile de măsură fundamentale

Denumirea unității de măsură	Simbol	Mărimea fizică	Aparate (instrumente) de măsură
metrul	m	lungime	riglă, ruletă, șubler, micrometru
secunda	s	timp	cronometru, ceas
kilogramul	Kg	masă	cântar
amperul	A	intensitatea curentului electric	ampermetru
gradul Kelvin	⁰ K	temperatura	termometru, pirometru
candela	cd	intensitatea luminoasă	luxmetru
molul	mol	cantitatea de substanță	

Unitățile suplimentare sunt:

- radianul (rad), unitatea de măsură pentru unghiul plan;
- steradianul(sr), unitatea de măsură pentru unghiul solid

Unitățile derivate sunt unități de măsură deduse din cele fundamentale, pe baza unor relații sau ecuații fizice, cum ar fi: Newtonul (N), Wattul (W), Jouleul (J) etc.

Unitățile tolerate sunt acele unități care, deși nu fac parte din SI, se mai folosesc în unele țări, inclusiv în țara noastră. Ca exemple se pot da gradul Celsius ($^{\circ}\text{C}$), țolul ($''$), kilogramul – forță (Kgf) etc.

Este important de reținut că de multe ori, pentru verificarea omogenității relațiilor care reprezintă legi ale fenomenelor fizice, se folosește analiza dimensională. Este evident că în formulele fizice nu pot fi adunați decât termenii de același fel (cu aceeași dimensiune), respectiv nu pot fi egalați decât termenii identici.

Multiplii și submultiplii din SI sunt multiplii și submultiplii zecimali ai acestor unități și sunt dați în Tab.1.2.

Tab.1.2: Multiplii și submultiplii zecimali ai unităților din SI

Factorul de multiplicare	Prefixul	Simbolul
1 000 000 000 000 = 10^{12}	tera	T
1 000 000 000 = 10^9	giga	G
1 000 000 = 10^6	mega	M
1 000 = 10^3	kilo	k
100 = 10^2	hecto	h
10 = 10^1	deca	da

0,1 = 10^{-1}	deci	d
0,01 = 10^{-2}	centi	c
0,001 = 10^{-3}	mili	m
0,0000001 = 10^{-6}	micro	μ
0,000000001 = 10^{-9}	nano	n
0,000000000001 = 10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

Pentru formarea multiplilor și submultiplilor zecimali ai unităților de măsură în SI, există două reguli:

- multiplii și submultiplii se formează cu un singur prefix; de ex., se spune nanometru și nu milimicrometru;
- în cazul unui produs sau raport de unități, unitatea de măsură se formează adăugând prefixul numai la prima unitate a produsului, respectiv la prima unitate de la numărător.

1.3. Erori de măsurare

În procesul de măsurare, oricât de corect ar fi executată, chiar dacă se utilizează cele mai precise metode și aparate, rezultatul diferă de valoarea reală.

Cauzele apariției erorilor sunt variate: unele sunt subiective, întrucât depind de operator (îndemânare, atenție, stare de oboseală), altele sunt obiective întrucât depind de aparatul sau instalația de măsurare sau de factorii perturbatori (*F.p.*) din mediul de lucru (temperatură, umiditate, prezența câmpurilor electrice și magnetice etc.)

Se poate afirma așadar că rezultatul măsurării este întotdeauna însoțit de o eroare iar mărimea acesteia definește *precizia* măsurării; cu cât eroarea este mai mică cu atât precizia este mai bună. Micșorarea erorilor și deci creșterea preciziei de măsurare este un obiectiv important al procesului de măsurare.

1.3.1. Valorile unei mărimi

În legătură cu valoarea unei mărimi există următoarele noțiuni:

- *Valoarea reală* sau *adevărată* (notată X_r) reprezintă valoarea unei mărimi fără erori;

- *Valoarea efectivă* (notată cu X) este valoarea obținută prin măsurarea acelei mărimi cu mijloace de măsurare;
- *Valoarea individuală* este valoarea obținută pentru mărimea respectivă printr-o singură operație de măsurare; într-un șir de măsurători efectuate în aceleași condiții asupra aceleiași mărimi, valoarea individuală se notează cu x_i .
- *Valoarea medie* (notată X_m) reprezintă media aritmetică a valorilor individuale x_i ale unui șir de măsurători efectuate în aceleași condiții:

$$X_m = \sum x_i / n \quad (1.3)$$

cu $i = 1, \dots, n$, n fiind numărul de măsurători efectuate

1.3.2. Clasificarea erorilor de măsurare

Există mai multe criterii de clasificare a erorilor de măsurare [2]:

a) după modul de exprimare există erori *absolute* și *relative*

Eroarea absolută (notată cu ΔX) se determină ca diferență între valoarea efectivă și valoarea reală

$$\Delta X = X - X_r \quad (1.4)$$

Eroarea relativă (notată cu ε) se exprimă ca raport între eroarea absolută și valoarea reală:

$$\varepsilon = \Delta X / X_r \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1.5)$$

Pe baza erorii relative se stabilește precizia măsurării. Întrucât în practică valoarea reală (X_r) este necunoscută se înlocuiește cu o valoare de referință (X_0) sau se determină o limită superioară pentru ΔX . Valoarea de referință se obține prin măsurători mult mai precise (de 5...10 ori) decât cele utilizate pentru determinarea valorii efective.

Ținând cont de aceste observații, eroarea relativă se poate exprima cu una din relațiile:

$$\varepsilon = \frac{X - X_0}{X_0} \cdot 100 \text{ [%]}; \quad \varepsilon = \frac{X - X_0}{X_0} \cdot 10^6 \text{ [ppm]} \quad (1.6)$$

Exprimarea în (ppm) este mai comodă atunci când erorile sunt foarte mici (sub 0,01%) Atunci când se cunoaște numai valoarea măsurată și limita superioară a erorii absolute, eroarea relativă se determină cu relația:

$$\varepsilon = \Delta X / X \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1.7)$$

b) după modul cum se manifestă erorile de măsurare pot fi: *sistematice*, *întâmplătoare (aleatoare)* și *greșeli (erori grosolane)*.

Erorile sistematice sunt acele erori care au o valoare determinată (constantă sau variabilă după o lege cunoscută). Ele cuprind erorile controlabile ale aparatelor de măsură, ale metodelor de măsurare și cele care depind de influențele controlabile ale mediului de lucru.

Ca exemplu de eroare sistematică se poate da decalajul dintre punctul de zero și indicația „0” la aparatele de măsurat cu scări gradate liniar.

Erorile întâmplătoare (aleatoare) sunt erorile a căror mărime și semn variază la întâmplare (aleator), într-un șir de valori măsurate asupra aceleiași mărimi, în aceleași condiții. Aceste erori provin din fluctuațiile indicatoarelor aparatelor de măsură, din neatenția operatorului sau din influențele necontrolabile ale mediului de lucru (variații de tensiune, vibrații, variații de temperatură etc.)

Greșelile (erorile grosolane) sunt erori care provin dintr-o manipulare greșită (de ex., citirea indicațiilor aparatului de măsură pe o altă scară), din alegerea nepotrivită a metodei de măsurare etc. și ele pot fi întotdeauna evitate.

Din această prezentare rezultă că erorile sistematice sunt cunoscute ca mărime și sens și deci ele pot fi eliminate prin corecții.

Se numește corecție (c) eroarea sistematică absolută cu semn schimbat, adică:

$$c = - \Delta X \quad (1.8)$$

c) după cauzele care le produc erorile pot fi: *de bază și suplimentare*.

Erorile de bază sunt erorile intrinseci ale aparatelor de măsură și reprezintă erorile totale determinate în condiții de referință (de ex. temperatura $20^0 \pm 1^0 \text{C}$), prescrise prin standarde sau norme.

Erorile suplimentare sunt erorile care apar datorită variației unui singur factor de influență. Acestea se prescriu separat pentru variația fiecărei mărimi de influență în intervale nominale.

1.4. Precizia instrumentelor de măsură. Clase de precizie

Prin *precizia* unui aparat se înțelege calitatea acestuia de a da rezultate cât mai apropiate de valoarea reală a mărimii de măsurat. Cantitativ, această calitate se exprimă prin *indicele de clasă* care reprezintă un număr (înscris pe cadranul aparatului) ce se stabilește după nivelul erorii de bază și al erorii suplimentare (de influență).

Clasa de precizie reprezintă un ansamblu de proprietăți metrologice ale unui aparat, în funcție de care acel aparat este „mai precis” sau „mai puțin precis”.

Valorile standardizate ale claselor de precizie sunt:

0,001; 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5.

Clasa de precizie nu reprezintă și precizia măsurării făcută cu acel aparat, întrucât aceasta depinde nu numai de precizia aparatului dar și de condițiile în care are loc măsurarea.

1.5. Tipuri de măsurări

Principalele tipuri de măsurări întâlnite în practică sunt: *de laborator, de control și de întreținere* [2].

Măsurările de laborator, după locul de desfășurare pot fi făcute în laboratoare de cercetare, didactice și uzinale:

- ✓ În laboratoarele de cercetare măsurătorile trebuie să se efectueze cu precizia cea mai ridicată, deoarece erorile pot influența semnificativ fenomenul investigat;
- ✓ În laboratoarele didactice accentul trebuie pus pe detalierea aparatului de măsură, pentru a înțelege mai ușor metodele de măsurare;
- ✓ În laboratoarele uzinale principala cerință a măsurătorilor care se fac asupra materiei prime și a procesării acesteia este rapiditatea, întrucât rezultatele trebuie să ajungă la timp pentru a fi utilizate în reglarea procesului tehnologic.

Măsurările de control sunt specifice proceselor de producție și se fac, de regulă, pe loturi de produse, urmărindu-se încadrarea caracteristicilor de calitate în limitele de toleranță prescrise. În procesele moderne de producție de multe ori se cere nu numai măsurarea unor mărimi dar și reglarea valorilor acestora, astfel încât acestea să se încadreze în limite prestabilite. În acest caz este necesar ca în schema măsurării, dată în Fig.1.1, să se introducă un element de decizie și reglare (un regulator), așa cum se arată în Fig.1.3

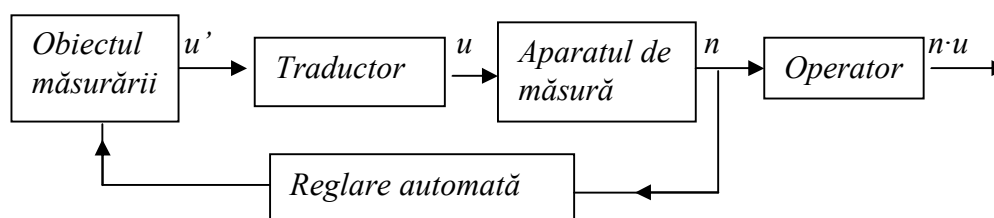


Fig.1.3: Schema bloc a procesului de măsurare cu reglare automată

Măsurările de întreținere se fac la anumite intervale de timp sau atunci când apar defectări. Pentru a desfășura în bune condiții aceste măsurări trebuie ca:

- să existe o dotare cât mai completă cu aparatură de măsurare; uneori este necesar ca echipamentul să fie mobil (pentru cazul când măsurătorile se fac pe teren);
- să se utilizeze metode de măsurare cât mai simple, pentru a permite intervenții rapide, astfel încât timpul de întrerupere în funcționarea instalației respective să fie cât mai mic.

1.6. Tehnici numerice de măsurare

De cele mai multe ori, în urma procesului de măsurare se poate exprima raportul dintre mărimea de măsurat și unitatea sa de măsură. Dacă aparatul de măsură indică direct, în cifre, acest raport, atunci măsurarea se numește numerică. Dacă informația despre valoarea mărimii se obține prin intermediul altei mărimi fizice, măsurările se numesc analogice.

Tehnicile numerice de măsurare au avantaje nete față de măsurările analogice și ca urmare au fost abordate numeroase cercetări legate de dezvoltarea și perfecționarea metodologiilor de lucru, de construcția aparatelor numerice etc. Tendințele actuale în domeniul măsurărilor numerice sunt îndreptate în două direcții:

- crearea unor componente care să permită proiectarea instalațiilor de măsurare numerică; rezultatele sunt materializate în perfecționarea amplificatoarelor, a convertoarelor analog - numerice și numeric - analogice, a multiplexoarelor etc.
- construirea unor instalații complexe de măsurare, în care partea numerică este dominantă, care să permită măsurări simultane în mai multe puncte, precum și prelucrarea mărimilor măsurate pentru utilizarea lor ulterioară în diverse scopuri; în această idee au apărut instalații de măsurare conduse cu microprocesoare și sisteme computerizate pentru achiziții de date.

2. SISTEME DE MĂSURARE

În condițiile actuale, când informatica a pătruns în toate domeniile de activitate, procesul de măsurare a suferit modificări importante, nu atât metrologic cât mai ales metodologic. Principala modificare constă în trecerea de la instrumentația clasică, preponderent analogică, la instrumentația preponderent numerică, în care calculatorul are un rol important. Au apărut noi instrumente, mai flexibile și mai ușor de integrat în sisteme complexe de măsurare, noi concepte cum ar fi cel de instrumentație virtuală, prin care folosind programe adecvate, utilizatorul poate construi singur aparatele de măsură de care are nevoie etc. Aceste idei novatoare, la care se adaugă avantajele oferite de utilizarea calculatoarelor, au schimbat complet modalitățile clasice în care se desfășura procesul de măsurare, astfel că utilizatorul are acum doar rolul de a realiza conexiunile între elementele aparaturii de măsurare, de configurare a sistemului de măsurare, de pornire și oprire a instalației.

Ținând cont de aceste evoluții se poate spune că:

Sistemele de măsurare reprezintă proceduri și metode de măsurare, care utilizează instalații complexe, în care prelucrarea datelor se realizează pe cale electronică, folosind calculatoare personale și programe adecvate.

Aceste sisteme realizează prelevarea mărimilor electrice sau neelectrice (dar convertite în semnale electrice) cu scopul prelucrării, afișării și/sau luării unor decizii asupra unor parametri dintr-un proces tehnologic.

2.1. Clasificarea sistemelor de măsurare

Există mai multe criterii după care se pot clasifica sistemele de măsurare [3]:

a) După obiectivul urmărit:

- *Sisteme de măsurare directă:* au ca scop prelevarea imediată a valorilor măsurate într-un proces pentru afișarea sau prelucrarea lor. Aceste sisteme se întâlnesc mai ales în laboratoare unde prezența operatorului este absolut necesară pentru luarea deciziilor bazate pe interpretarea mărimilor măsurate.
- *Sisteme de măsurare și reglare:* au ca scop atât măsurarea parametrilor unui proces cât și menținerea acestora între limite sau după legi impuse. Aceste sisteme sunt alcătuite dintr-un lanț de intrare destinat prelevării (achiziției) datelor, un modul de prelucrare a informației (calculator) care elaborează deciziile și un lanț de ieșire care transformă deciziile în comenzi aplicate procesului. Aceste sisteme se mai numesc și *sisteme de control al proceselor* și se întâlnesc, mai ales, în industrie.
- *Sisteme de măsurare cu parametri controlați:* prelevează mărimi din proces în condiții de mediu bine precizate pe care le controlează automat. Aceste sisteme sunt formate dintr-un subsistem ce menține parametrii de mediu în limite prescrise și un subsistem pentru măsurarea mărimilor din proces. Astfel de sisteme se folosesc pentru măsurări complexe de laborator.
- *Sisteme de control automat:* se folosesc la capătul liniilor de ansamblare pentru verificarea calității produselor.

b) După modul de coordonare al procesului de măsurare

- *Sisteme de măsurare manuale*, ce sunt conduse de operator și folosesc aparate de măsură analogice sau numerice. Aparatele de măsură analogice sunt controlate manual prin intermediul unor butoane și comutatoare aflate pe panoul frontal. Măsurătorile făcute cu aceste aparate sunt înregistrate și prelucrate tot manual de către operator. Astăzi aria aparatelor analogice se restrânge datorită extinderii aparatelor numerice care sunt mai ușor de utilizat chiar atunci când sunt controlate manual.
- *Sisteme de măsurare automate*, care folosesc instrumente numerice programabile, controlate de către dispozitive externe (calculatoare sau sisteme cu microprocesor). Utilizatorul își construiește un sistem cu mai multe instrumente, conectate la un calculator care guvernează procesul de măsurare, pe baza unui program adecvat. Conectarea instrumentelor cu calculatorul se face prin folosirea unor interfețe standardizate cum ar fi RS-232 sau IEEE488. La aceste sisteme intervenția operatorului este minimă, rolul său fiind doar acela de a iniția și opri procesul de măsurare.

Avantajele sistemelor de măsurare automate sunt:

- standardizarea procedurilor de măsurare;
- posibilitatea plasării traductoarelor și circuitelor de măsură lângă proces;
- comunicarea cu operatorul automat (calculatorul) se poate face pe distanțe mari, fără alterarea informației;
- creșterea vitezei operațiilor de măsurare;
- posibilitatea de a controla condițiile de mediu (temperatură, umiditate);
- creșterea preciziei de măsurare, ca urmare a eliminării erorilor datorate operatorului uman;
- realizare unor operații suplimentare (sortarea obiectelor măsurate, afișarea rezultatelor, etc.).

2.2. Sisteme de măsurare computerizate

Cunoscute sub diverse denumiri (sisteme de măsurare numerice, sisteme de măsurare digitale, sisteme computerizate de achiziții de date, sisteme de măsurare cu microprocesoare), sistemele de măsurare computerizate se caracterizează în primul rând prin faptul că dintr-un anumit punct al sistemului, semnalul electric purtător de informație este convertit din formă analogică în formă digitală (numerică). O parte din problematica sistemelor de măsurare computerizate se referă la preluarea și prelucrarea informației conținute în semnalele digitale, iar altă parte la controlul procesului. De aceea în cadrul sistemelor de măsurare numerice se face distincție între *sisteme de instrumentație* și *sisteme de control*.

2.2.1. Sisteme de instrumentație

Sistemele de instrumentație sunt sisteme de măsurare complexe, computerizate (sau dotate cel puțin cu un microprocesor), care au posibilitatea de a prelucra informația provenită din procesul de măsurare. Informația reprezintă date și detalii cu privire la un obiect sau eveniment și este purtată prin semnale electrice. Sistemele de instrumentație au ca scop prelucrarea informațiilor provenite dintr-un sistem de măsurare fără a le modifica. Informațiile sunt transformate în semnale electrice care descriu evoluția în timp a fenomenului fizic. Sistemele de instrumentație sunt sisteme deschise și sunt destinate atât efectuării măsurătorilor propriu-zise cât și analizei mărimilor prelevate (Fig. 2.1.)

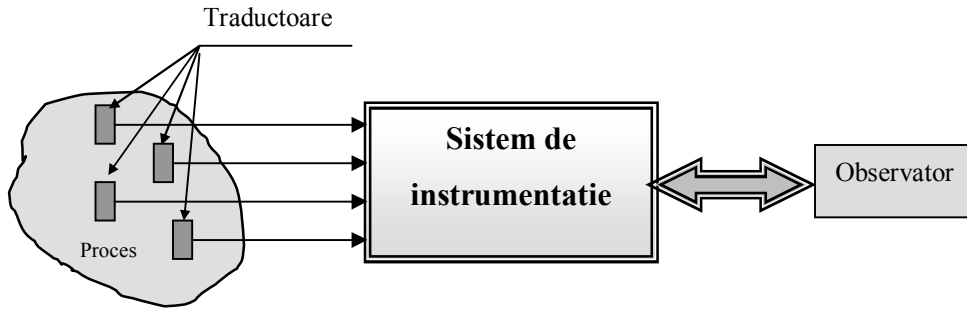


Fig.2.1: Locul sistemului de instrumentație în procesul de măsurare

Sistemele de instrumentație, ca parte a sistemelor de măsurare computerizate, au în componența lor unitați de prelucrare numerică (microprocesoare specializate sau sisteme de calcul) ceea ce conferă flexibilitate și performanțe ridicate. Tehnicile moderne de măsurare din diverse domenii sunt de neconceput fără sisteme de instrumentație și necesită cunoștințe din domenii diferite (electronică, măsurări, traductoare, calculatoare etc)

2.2.2. Sisteme de control

Sistemele de control se deosebesc de sistemele de instrumentație prin aceea că sunt destinate atât prelucrării informațiilor prelevate prin măsurare, cât și elaborării comenzilor pentru elementele de execuție care acționează asupra procesului supravegheat. Aceste sisteme sunt închise, întrucât generează corecții pentru a menține o anumită stare într-o evoluție prestabilă.

În unele situații determinarea valorii mărimii de măsurat trebuie făcută în condiții de mediu bine determinate, fiind deci necesară folosirea *sistemelor de măsurare cu parametri controlați*, care au atât caracteristici de instrumentație cât și de control. Schema bloc din Fig.2.2. descrie acest tip de sistem, în care partea de instrumentație asigură prelevarea și prelucrarea mărimilor de măsurat, iar partea de control stabilește condițiile de măsurare.

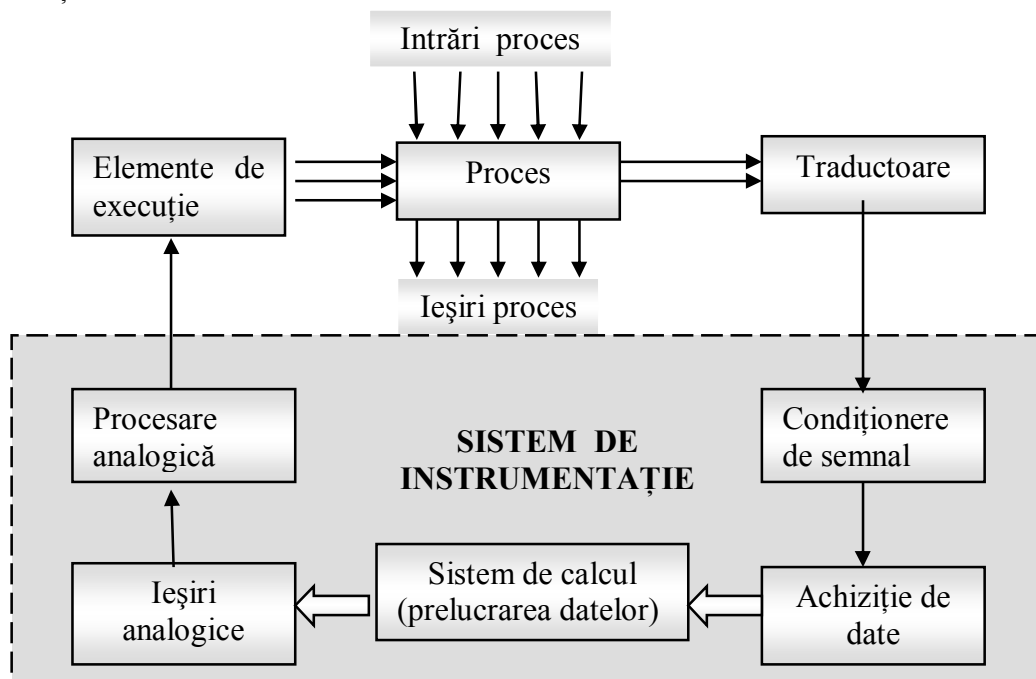


Fig. 2.2. Schema bloc a unui sistem de instrumentație / control

2.2.3. Clasificarea sistemelor de măsurare computerizate

Avantajele oferite în diverse domenii de modalitatea digitală de transmitere a semnalelor purtătoare de informații au condus la utilizarea acestora și în procesele de măsurare. Creșterea performanțelor calculatoarelor au făcut ca sistemele de măsurare computerizată să formeze o categorie distinctă care începe să fie utilizată preponderent comparativ cu sistemele de măsurare exclusiv analogice.

Una din cele mai utilizate clasificări ale sistemelor de măsurare computerizate, au la bază protocolul utilizat pentru transmiterea semnalelor digitale (numerice). Astfel în ordinea în care diverse protocoale au început să fie utilizate dar și în ordinea complexității lor, sistemele de măsurare computerizate se clasifică în:

- cu comunicație serială;
- cu comunicație paralelă;
- cu plăci de achiziții de date;
- cu calculatoare de uz industrial.

a) *Sistemele de măsurare computerizate cu comunicație serială* reprezintă una din primele categorii de astfel de sisteme. Apărute odată cu ideea utilizării calculatorului în măsurare, ele au fost formate prin dotarea aparatelor de măsurare cu convertoare analog-digitale și cu interfețe de comunicație serială prin intermediul cărora informația privind valorile măsurate să poată fi transmise la calculator.

Schema care evidențiază principalele componente ale unui sistem de măsurare computerizat cu comunicație serială este dată în Fig. 2.3.

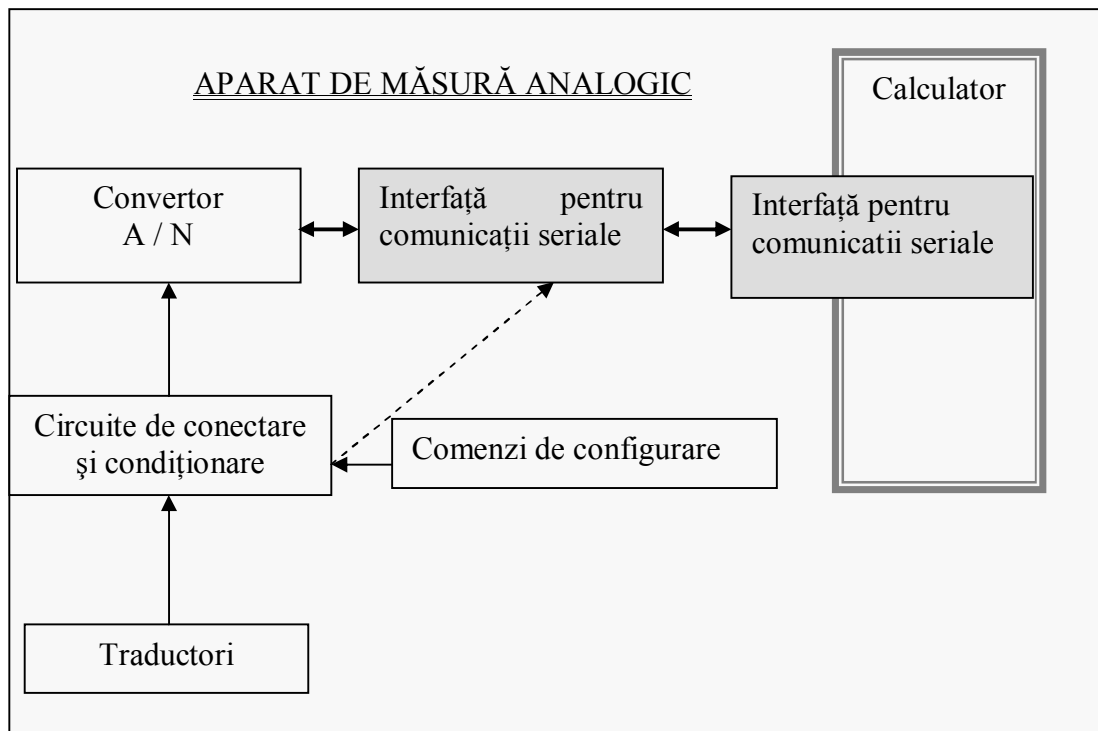


Fig.2.3: Structura unui sistem de măsurare computerizată cu comunicație serială

Dezvoltările ulterioare ale aparatelor de măsură analogice au permis ca modificarea unor parametri de configurare a acestora (domeniul de măsurare, factorul de amplificare etc) să poată fi efectuată la primirea unei comenzi date de către calculator și transmisă aparatului de măsură prin interfața de comunicație serială. Posibilitățile de

afișare pe monitorul calculatorului a valorilor măsurate, de prelucrare și de stocare în fișiere de date, precum și modificarea automată (comandată prin software) a parametrilor de lucru ai aparatelor de măsură analogice au condus la eliminarea unor funcții ale acestor aparate. Astfel componentele indicatoare (acul indicator) înregistratoarele, comutatoarele nu își mai justificau prezența datorită dublării funcțiilor respective de către calculator. Prin această simplificare aparatele de măsură analogice utilizate în sisteme computerizate cu comunicație serială pot fi reduse la circuite de conectare a traductoarelor, de condiționare a semnalului analogic, de conversie analog-digitală (numerică) și de realizare a comunicației seriale.

Avantajul acestei simplificări constă în eliminarea unor componente electronice sau electromecanice cu consum energetic relativ mare, care pot influența negativ procesul de măsurare.

Datorită vitezei relativ reduse de transmitere a informației în cazul comunicației seriale, acest tip de sisteme de măsurare computerizate poate fi utilizat atunci când interfața de comunicare serială a aparatului analogic nu transmite către calculator decât o parte din valorile măsurate.

b) Sistemele de măsurare computerizată cu comunicație paralelă au o structură similară celor cu comunicație serială, principala diferență constând în protocolul utilizat pentru transmiterea informației. Viteza sporită de transmitere a informației face ca această soluție să fie utilizată pentru conectare la calculator a unor aparate pentru măsurarea unor mărimi fizice cu variații foarte rapide. În plus, deși aparatele utilizate în aceste sisteme pot fi monitorizate sau configurate de calculator prin intermediul interfeței de comunicație paralelă, ele pot să conțină componente de vizualizare și stocare a semnalului sau componente de configurare. Păstrarea acestor componente pe aparatele de măsură face posibilă utilizarea lor, în situația în care nu sunt conectate la calculator. Schema unui sistem de măsurare computerizat cu comunicații paralele este aceeași cu cea serială (dată în Fig.2.3.), singura deosebire constând în înlocuirea interfeței pentru comunicații seriale cu una pentru comunicații paralele.

c) Sistemele de măsură computerizate cu plăci de achiziții se caracterizează în primul rând prin faptul că operația de conversie a semnalului purtător de informație din forma analogică în formă digitală nu mai este efectuată de aparatul de măsură analogic ci de o componentă electronică distinctă – *placa de achiziții date*- montată în calculator ca în Fig.2.4.

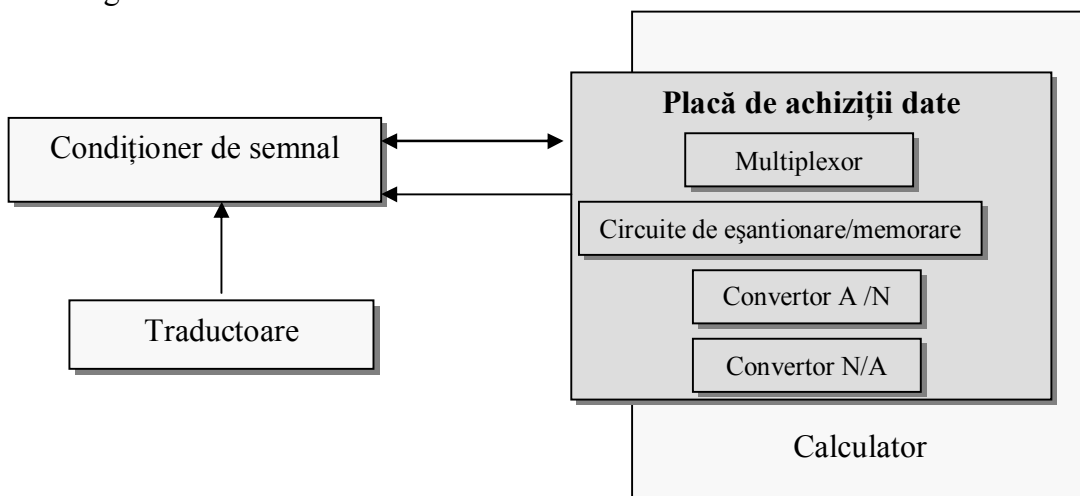


Fig. 2.4. Structura generală a unui sistem de măsurare computerizat cu placă de achiziție date

Plăcile de achiziții date necesită ca semnalul analogic să se încadreze între anumite limite pentru valoarea tensiunii și de aceea este necesară prezența unor aparate de condiționare a semnalelor. Acestea au rol nu numai de a satisface cerințele impuse de placa de achiziție ci și a celor rezultate din tipul și caracteristicile constructive ale traductoarelor utilizate. Majoritatea operațiilor de configurare a acestor aparate sunt comandate de calculator prin intermediul plăcii de achiziție.

Transferul de informație între aparatele de condiționare a semnalului și placa de achiziție de date are loc într-un mod complex.

O prima categorie de informații (informația conținută în semnalul măsurat și condiționat) este transferată sub formă analogică în sens unic către placa de achiziție de date și este dedicată convertorului analog-digital.

A doua categorie de semnale purtătoare de informație este de natură digitală. Acestea sunt dedicate fie comandării de către placa de achiziție a modului de lucru a condiționerului de semnal, fie transmiterii de către acesta a unor informații legate de starea în care se află. Prezența convertorului analog-numeric(digital) în placa de achiziții montată în calculator conferă sistemului de măsurare flexibilitate și performanțe sporite. Viteza de transmitere a informației provenite din măsurare către microprocesorul calculatorului este mult mai mare comparativ cu sistemele de comunicație paralelă. Modul în care placa de achiziție realizează transferul informațiilor către și de la microprocesor depinde de tipul de magistrală de date existent în structura calculatorului (AT, ISA, PCI, etc.).

Transmiterea sub formă analogică a semnalului de la modulul de condiționare la calculator ridică unele probleme în situația când distanța transmisiei este mare sau atunci când informația poate fi afectată de factori perturbatori. Evitarea alterării informației în aceste cazuri se poate face fie prin introducerea unor componente suplimentare în sistemul de măsurare (de obicei modulate), fie prin luarea unor măsuri suplimentare de izolare și ecranare a componentelor sistemelor de măsurare. Sistemele de măsurare computerizată cu plăci de achiziții sunt utilizate cu precădere în activități de cercetare experimentală (laboratoare, testări inițiale pentru sisteme de automatizare, etc.).

d) Sistemele de măsurare computerizată cu calculatoare de uz industrial utilizează de asemenea plăci de achiziții de date și aparate de condiționare a semnalelor. Deosebirea față de sistemele cu plăci de achiziție constă în faptul că aceste componente împreună cu calculatorul sunt realizate sub formă de module ce se montează pe un suport comun, ca în Fig.2.5. Suportul comun asigură atât o parte din comunicațiile digitale dintre componentele sistemului de măsurare, cât și etanșarea și izolarea acestora față de eventualii factori perturbatori din mediul de lucru (umiditate, praf, etc).

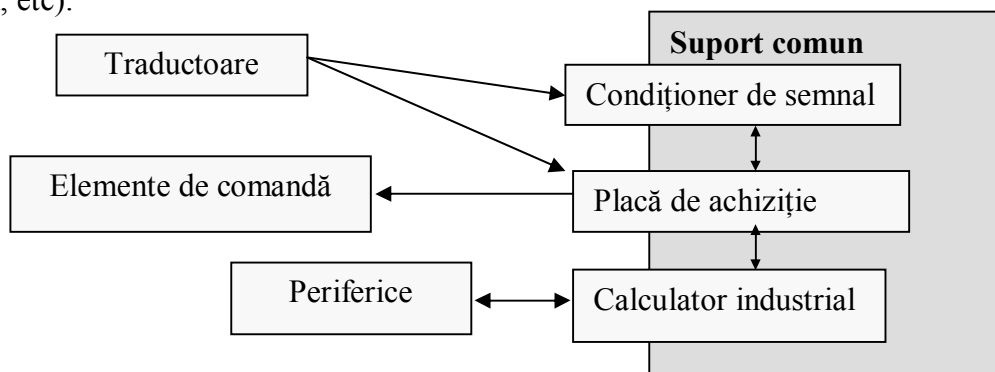


Fig.2.5. Structura unui sistem de măsurare computerizat cu calculator de uz industrial

Transmiterea informațiilor între componentele montate pe suportul comun se efectuează după protocoale specifice acestui sistem de măsurare (VXI, MXI, PXI, etc.).

Pe suportul comun pot fi montate în plus interfețe dedicate comunicației cu alte aparate de măsură externe, atât în serie cât și în paralel, care comunică, de obicei prin intermediul magistralei de date, cu calculatorul de uz industrial.

Sistemele de măsurare computerizată cu calculator de uz industrial sunt utilizate exclusiv în aplicații industriale de monitorizare, control și comandă în cadrul unor procese cu număr mare de locuri de măsurare și mărimi de controlat (de ex.: centrale electrice, combinate siderurgice și metalurgice etc.)

3. REPREZENTAREA DATELOR ÎN SISTEMELE DE MĂSURARE COMPUTERIZATE

3.1. Sisteme de numerație

Prin sistem de numerație se înțelege totalitatea regulilor de reprezentare a numerelor prin simboluri (cifre și litere).

Sistemele de numerație se împart în [5] :

- sisteme nepoziționale
- sisteme poziționale

În cadrul sistemelor nepoziționale valoarea numărului este obținută prin însumarea cifrelor din care este compus numărul, când cifrele au aceeași valoare sau când cifrele de rang mai mic sunt plasate la dreapta cifrei de rang superior și prin scădere atunci când cele de rang inferior sunt plasate la stânga celor de rang superior. Un astfel de sistem utilizat și la noi este sistemul roman (III, IV, VI, IX, X).

Sistemele poziționale sunt caracterizate prin baza sistemului, care reprezintă numărul total de cifre utilizate iar cifrele au o anumită semnificație în raport cu poziția din număr și de valoarea absolută atribuită.

Într-un sistem de numerație pozițional orice număr poate fi scris sub forma:

$$N = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i b^i \quad (3.1)$$

- în care:
- b - baza sistemului de numerație;
 - a_i - cifrele sistemului de numerație;
 - n - numărul de cifre de la partea întregă;
 - m - numărul de cifre de la partea fracționară
 - a_{n-1} - cifra cea mai semnificativă.
 - a_m - cifra cea mai puțin semnificativă.

În cazul numerelor naturale, reprezentarea lor se face printr-o expresie de forma:

$$N_b = a_n b^{n-1} + a_{n-1} b^{n-2} + \dots + a_1 b^0 \quad (3.2)$$

- în care:
- b - baza sistemului de numerație;
 - n - numărul de cifre;
 - a_1, \dots, a_n - cifrele sistemului.

Întrucât cifrele au ponderi (valori, semnificații) diferite se spune că sistemele reprezentate prin rel. (3.1) și (3.2) sunt sisteme ponderate.

Denumirea unui sistem de numerație se atribuie după baza b utilizată. Sistemele de numerație poziționale, utilizate frecvent în calculatoarele electronice sunt: binar, octal, zecimal și hexazecimal. Baza și simbolurile utilizate pentru aceste sisteme sunt date în tabelul 3.1.

Tab.3.1: Baza și simboluri utilizate în unele sisteme de numerație

Sistemul de numerație	Baza	Simboluri utilizate
binar	2	0; 1
octal	8	0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7
zecimal	10	0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9
hexazecimal	16	0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; A; B; C; D; E; F

Sistemul zecimal este sistemul în care lucrăm în mod curent, acest sistem fiind cel mai vechi și mai accesibil pentru operatorul uman.

Sistemul binar este cel mai adecvat sistem de numerație pentru prelucrarea datelor în interiorul calculatoarelor electronice, însă din motive legate de operatorul uman, obișnuit să lucreze cu sistemul zecimal, rezultatul măsurărilor trebuie afișat în

acest sistem. Sistemul binar cu doar două cifre, este cel mai simplu posibil, foarte fiabil și ușor de realizat. O cifră binară se numește *bit*.

Folosirea sistemului binar în domeniul aparatelor de măsură numerice, al calculatoarelor și echipamentelor periferice se bazează pe cele 2 stări (“închis” și „deschis”) care corespund celor două cifre: 1- “trece” și 0- „nu trece”. Cele două stări pot fi atribuite curentului electric atunci când acesta trece sau nu trece printr-un circuit electric. Această idee simplă a dus la dezvoltarea lumii informatice de astăzi.

Realizarea fizică a reprezentării datelor în sistemul binar se face utilizând circuite electrice, cu două stări, cum ar fi:

- un contact deschis (0) sau închis (1);
- un nivel scăzut (0) sau ridicat (1) de tensiune;
- un LED stins (0) sau aprins (1) etc.

Sistemele octal și hexazecimal sunt sisteme intermediare utilizate în anumite coduri de reprezentare.

3.2. Conversia datelor

Trecerea datelor dintr-un sistem de numerație în altul se numește conversie. Ca metodă de conversie se utilizează, de regulă, împărțirea și înmulțirea bazelor.

3.2.1. Conversia din zecimal în binar

Din relația (3.2) rezultă că un număr zecimal poate fi reprezentat în binar printr-o sumă de puteri descrescătoare a cifrei 2, la care coeficienții a_1, \dots, a_n pot lua numai valorile 0 și 1. Pentru reprezentarea unui număr în sistemul binar, prin convenție, se notează numai acești coeficienți.

Una din metodele cele mai folosite pentru trecerea din sistemul zecimal în sistemul binar este metoda împărțirilor succesive: se împarte numărul zecimal la 2, restul acestei împărțiri (0 sau 1) dă cifra a_1 din relația (3.2): Câtul obținut se împarte din nou la 2 s.a.m.d. până când ultimul cât este zero.

Exemple:

1⁰. Să se convertească în binar numărul 154.

Rezolvarea se face prin împărțiri succesive la 2 iar numărul binar se obține folosind procedura dată în tab 3.2

Tab. 3.2 Exemplu de conversie a unui număr zecimal în binar

Împărțiri succesive	154:2	77:2	38:2	19:2	9:2	4:2	2:2	1:2
Câtul	77	38	19	9	4	2	1	0
Restul	0	1	0	1	1	0	0	1
Citirea nr. binar	←							

Așadar $(154)_{10} \rightarrow (10011010)_2$

2⁰. Folosind procedura descrisă în Tab.3.2 să convertim numerele 0 10, 255 și 256 din sistemul zecimal în sistemul binar:

Zecimal→Binar	Zecimal→Binar	Zecimal→Binar
0 → 0 (1 bit)	5 → 101 (3 biți)	10 → 1010 (4 biți)
1 → 1 (1 bit)	6 → 110 (3 biți)	.
2 → 10 (2 biți)	7 → 111 (3 biți)	.
3 → 11 (2 biți)	8 → 1000 (4biți)	255 → 11111111 (8 biți)
4 → 100 (3 biți)	9 → 1001 (4biți)	256 → 10000000 (9 biți)

Observații :

1⁰. Pentru conversia numerelor 0 și 1 este necesar câte 1 bit, pentru 2 și 3 sunt necesari câte 2 biți, pentru 4...7 câte 3 biți, pentru 8...10 câte 4 biți ș.a.m.d.; pentru 255 sunt necesari 8 biți iar pentru 256 este nevoie de 9 biți;

2⁰. Calculatoarele moderne folosesc: „octeți”, care au deci o dimensiune de 8 biți, 16 biți numite „cuvinte”, 24, 32 sau chiar 64 de biți;

3⁰. Numerele de la 0 la 255 pot fi reprezentate prin 8 biți, adăugând 0 sau 1 (în funcție de codul utilizat) în fața numărului binar, atunci când numărul de biți este mai mic decât 8.

3.2.2. Conversia din binar în zecimal

Conversia numerelor din sistemul binar în sistemul zecimal se face prin înmulțirea cifrelor 0 și 1 care formează numărul binar cu cifra 2 la puterea dată de poziția cifrelor 0 și 1 în cadrul numărului ținând cont că la un număr de *n* cifre primul exponent al lui 2 este *n-1* conform relației 3.2.

Exemple:

Să se convertească din sistemul binar în sistemul zecimal numerele (101)₂ și (10001)₂

$$(101)_2 = 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = (5)_{10}$$
$$(10001)_2 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = (17)_{10}$$

3.2.3. Conversia sistemelor de numerație în calculatoarele electronice

Correspondența celor 4 sisteme de numerație utilizate în prelucrarea datelor prin intermediul calculatoarelor electronice este arătată în Tab 3.3

Tab. 3.3 Conversia sistemelor de numerație

Sistemul zecimal	Sistemul binar	Sistemul octal	Sistemul hexazecimal
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

Analizând Tab. 3.3 se observă că din punct de vedere matematic sistemul binar este sistemul cu baza cea mai mică posibilă și care simplifică mult operațiile fundamentale (adunarea și înmulțirea) pentru care există numai două reguli: $1+1=(10)_2$ și $1*1=(1)_2$. Dezavantajul sistemului binar este că necesită un număr mult mai mare de cifre decât celelalte sisteme (zecimal, octal, hexazecimal) și în plus anumite operații de calcul conduc la scheme numerice complicate. Pentru a elimina aceste neajunsuri și a realiza o

scriere mai compactă, se utilizează sistemele octal și hexazecimal. Trecerea dintr-un sistem de numerație cu baza egală cu o putere a lui 2 (octal și hexazecimal) în sistemul binar și invers, se face prin simpla grupare a cifrelor binare (puterea lui 2 dă numărul cifrelor din grup), ca în exemplele următoare:

Exemple:

1. Să se treacă numărul hexazecimal $15AF_{16}$ în sistem binar

Pe baza datelor din Tab. 3.3 se exprimă fiecare cifră utilizând grupuri de câte 4 biți ($16 = 2^4$).

$$\text{Așadar: } 15AF_{16} = \underbrace{0001}_1 \underbrace{0101}_5 \underbrace{1010}_A \underbrace{1111}_F$$

2. Să se găsească corespondentul numărului $1000 \ 1101 \ 0011 \ 0100$ în sistemul hexazecimal;

Folosind Tab.3.3 se obține numărul $8D34_{16}$

$$\begin{matrix} 8 & D & 3 & 4 \\ \underbrace{} & \underbrace{} & \underbrace{} & \underbrace{} \end{matrix}$$

Conversia octal \rightarrow binar și invers se face prin gruparea cifrelor binare câte 3 ($8 = 2^3$)

3.3. Operații efectuate de calculatoarele electronice

Pentru a fi util un calculator trebuie să facă multe operații, de la operații simple de matematică până la reglarea unor parametri ai unui proces tehnologic.

Toate informațiile (numere, cuvinte, imagini etc.) sunt formate din diferite combinații ale celor două cifre ale sistemului binar – 0 și 1 - și sunt prelucrate sau stocate de un PC tot sub formă de numere binare.

Așadar pentru un calculator totul – cifre, operații matematice, litere, cuvinte, imagini grafice și instrucțiuni software – reprezintă numere binare.

Cea mai simplă operație matematică pe care o poate efectua un calculator este adunarea. Dacă poate aduna numere atunci poate efectua orice operație matematică întrucât înmulțirea este o adunare repetată, scăderea poate fi considerată ca o adunare cu un număr negativ iar împărțirea este o scădere repetată

Deoarece există doar două stări posibile pentru un întrerupător, deschis (dezactivat) și închis (activat), pentru a manipula numerele binare sunt folosiți tranzistori pe post de comutatori de mare viteză. Un tranzistor deschis prin care nu trece curent electric reprezintă un 0 iar un tranzistor închis, care permite trecerea curentului electric reprezintă un 1(Fig.3.1).



Fig.3.1: Cele două stări posibile ale unui comutator

Trecerea unui impuls de electricitate este reglementat de ceasul PC-ului, care stabilește viteza cu care lucrează un calculator. Cu cât ceasul bate mai repede, cu atât calculatorul lucrează mai rapid. Viteza cu care lucrează un PC este măsurată în MHz, adică milioane de oscilații pe secundă.

Curentul care trece printr-un tranzistor poate fi folosit pentru a acționa asupra unui alt tranzistor, activându-l sau dezactivându-l, pentru a-i schimba poziția în care se găsește. Un astfel de aranjament poartă denumirea de *poartă*, întrucât este asemănător deschiderii unei porți care permite sau nu trecerea și stă la baza efectuării tuturor operațiilor. Prin conectarea întrerupătoarelor tranzistorizate în montaje numite *porți logice* este posibilă efectuarea operațiilor logice simple. Poarta preia un impuls electric reprezentând un număr binar ca intrare și produce o ieșire reprezentată printr-un alt număr binar. Milioane de porți sunt interconectate în microprocesoare, cu ajutorul cărora se pot efectua calcule complexe.

Principalele porți logice sunt[6]:

✓ *Poarta NOT* – reprezintă cea mai simplă operație care poate fi făcută cu un tranzistor. Această poartă este alcătuită dintr-un singur tranzistor și este concepută pentru a prelua o intrare de la ceas și una de la alt tranzistor și a produce o singură ieșire care este întotdeauna opusul intrării pe tranzistor (Fig.3.2). Când curentul de la un alt tranzistor (care reprezintă un 1) este trimis unei porți NOT, tranzistorul propriu al porții se comută pe poziția deschis, ceea ce face ca ieșirea din poartă să fie un 0. Când tranzistorul nu primește nici un semnal (intrarea este 0), tranzistorul porții NOT este închis, astfel că pulsul ceasului trece prin el și produce o ieșire de 1.

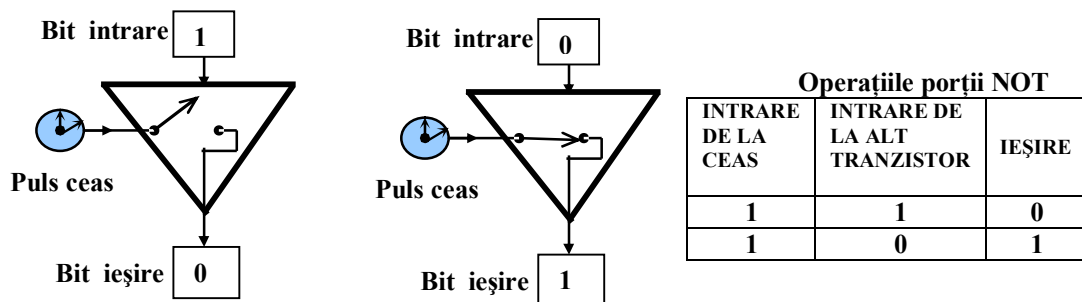


Fig.3.2: Configurații ale porții NOT și operațiile pe care le efectuează

Deoarece o poartă NOT inversează întotdeauna semnalul de intrare, aceasta mai este numită și *inversor*.

Porțile NOT grupate împreună în diferite combinații crează alte porți logice, fiecare dintre acestea având o linie de primire a pulsurilor de la ceas și alte două linii de intrare pentru pulsurile de la alte porți logice.

✓ *Poarta OR* – crează bitul 1 dacă fie prima fie a doua intrare este un 1 și bitul 0 atunci când ambele intrări sunt 0 (Fig.3.3).

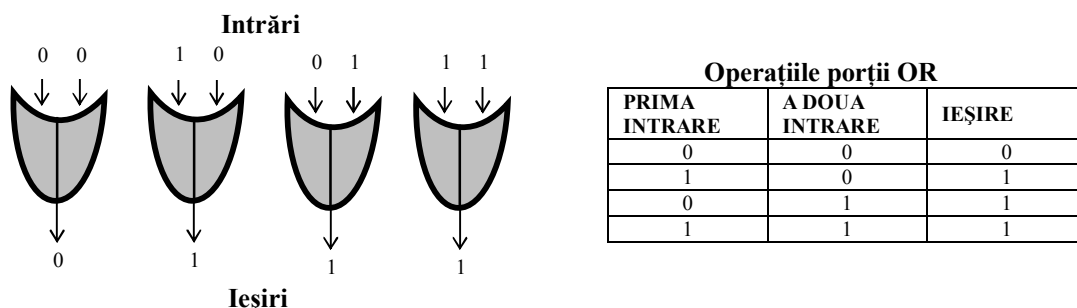


Fig.3.3: Configurații ale porții OR și operațiile pe care le efectuează

✓ *Poarta AND* – are o ieșire de 1 numai dacă ambele intrări sunt 1; pentru toate celelalte intrări ieșirile sunt 0 (Fig.3.4)

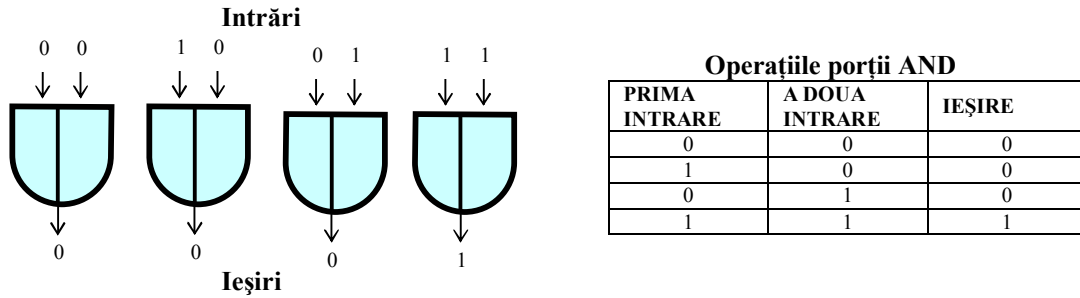


Fig.3.4: Configurații ale porții AND și operațiile pe care le efectuează

✓ Poarta XOR – are ieșirea 0 dacă ambele intrări sunt 0 sau 1 și generează un 1 atunci când una dintre intrări este 1 și cealaltă este 0 (Fig. 3.5)

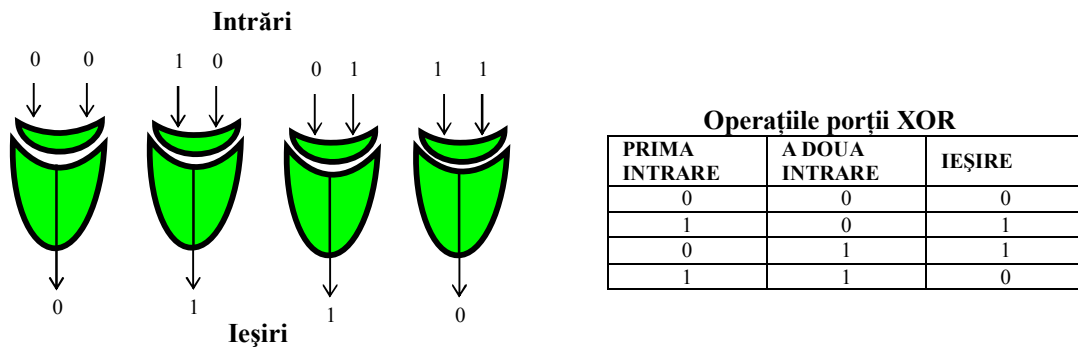


Fig.3.5: Configurații ale porții XOR și operațiile pe care le efectuează

Fundamentul tuturor operațiilor pe care le efectuează un calculator se bazează pe diferite combinații de porți logice.

Operațiile matematice pe care le execută un calculator sunt realizate prin aranjamente de porți diferite, numite *half-adders* și *full-adders* (Fig.3.6). Un half-adder este format dintr-o poartă XOR și o poartă AND, ambele primind aceleași intrări, reprezentând un număr binar cu o singură cifră. Un full-adder este alcătuit din mai multe half-adder-e și alte comutatoare.

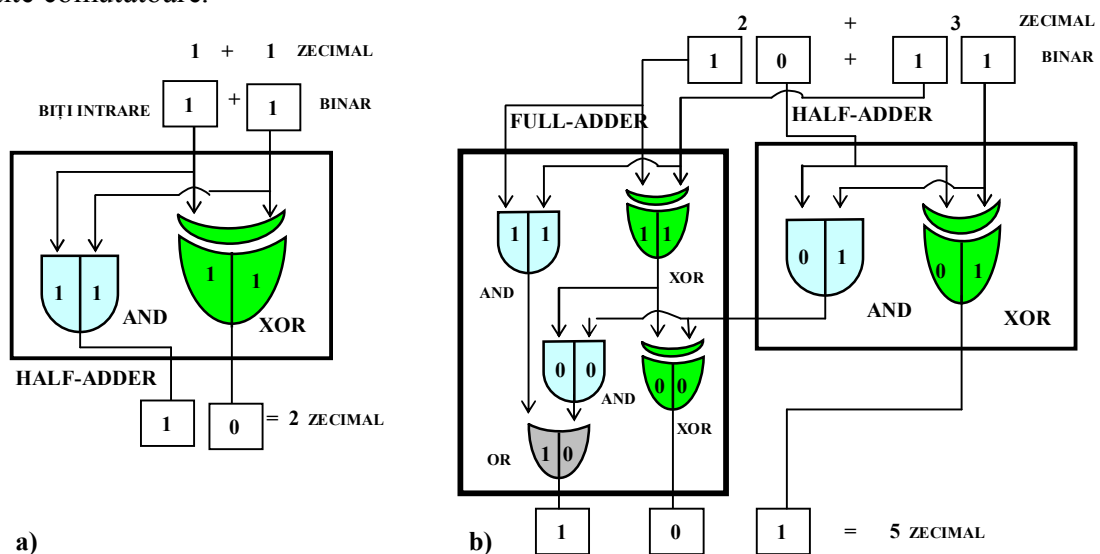


Fig.3.6: Operația de adunare efectuată de un calculator electronic
a) cu half-adder; b) cu full-adder

3.4. Coduri de reprezentare internă a datelor

Reprezentarea datelor în calculatoare se realizează prin succesiuni de cifre binare. În aplicații practice se utilizează date și informații exprimate prin numere reale sau litere ale unui alfabet. De aceea este necesar ca datele externe să fie transformate într-o formă accesibilă calculatorului. Această operație se numește în limbaj informatic *codificare* și se realizează prin coduri de reprezentare internă a datelor.

Prin codificare se atribuie fiecărui caracter extern o secvență de cifre binare. Pentru a se reveni la formatul extern al datelor, la ieșirea din sistemul de calcul se aplică un proces de *decodificare*.

Operația de codificare poate fi definită astfel:

Fiind date două mulțimi A și B, a codifica elementele mulțimii A prin elementele mulțimii B înseamnă a realiza o corespondență între fiecare element $a \in A$ și o secvență de elemente $b \in B$.

Codurile de reprezentare internă a datelor trebuie să asigure nu numai simpla conversie a datelor externe într-o formă accesibilă calculatorului ci și posibilități de gestionare ușoară în operațiile logice și de calcul, precum și protecție împotriva perturbațiilor accidentale.

După natura elementelor mulțimii de codificat (A) codurile pot fi *numerice* și *alfanumerice*.

Codurile numerice reprezintă cele 10 cifre zecimale iar cele alfanumerice reprezintă cifrele zecimale, literele alfabetului (mari și mici), semnele de punctuație și unele secvențe de comandă sau control.

3.4.1. Codurile numerice pot fi ponderate sau neponderate

Codurile ponderate sunt acele coduri în care fiecărei cifre zecimale i se asociază o secvență de cifre binare. Fiecare rang al secvenței are o anumită pondere. Deci fiecare cifră zecimală se exprimă cu relația $N = \sum_{i=1}^3 a_i q^i$ în care a_i poate lua valoarea 0 sau 1 iar q^i reprezintă ponderea poziției corespunzătoare codului.

Cele mai utilizate coduri ponderate sunt date în Tab 3.4

Tab.3.4: Coduri numerice ponderate

Cifra zecimală	Codul 8421	Codul 2421	Codul 5421
0	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001
2	0010	0010	0010
3	0011	0011	0011
4	0100	0100	0100
5	0101	1011	1000
6	0110	1100	1001
7	0111	1101	1010
8	1000	1110	1011
9	1001	1111	1100

Codul 8421 (zecimal-binar) are ca pondere puterile lui $2(2^3, 2^2, 2^1, 2^0)$. Fiecare tetradă binară reprezintă exprimarea unei cifre zecimale în sistemul binar.

Codul 2421 se caracterizează prin utilizarea ponderii 2 în două poziții din tetradă. Primele 5 numere au în poziția întâi cifra 0 iar următoarele 5 numere au în poziție întâi cifra 1.

Codul 5421 se caracterizează prin aceea că cifrele zecimale 5.....9 se deosebesc de cifrele zecimale 0....4 numai prin prima poziție (1 în locul lui 0).

Codurile neponderate se caracterizează prin faptul că trecerea de la o cifră zecimală la următoarea se face prin modificarea unui singur rang binar în tetradă. Aceste coduri nu respectă legea de compoziție dată de rel. (3.1) sau (3.2), însă prezintă anumite avantaje practice. Cele mai utilizate coduri neponderate sunt prezentate în Tab.3.5.

Tab 3.5 Coduri numerice neponderate

Cifra zecimală	Codul EXCES 3	Codul GRAY	Codul 2 din 5
0	0011	0000	00011
1	0100	0001	00101
2	0101	0011	00110
3	0110	0010	01001
4	0111	0110	01010
5	1000	0111	01100
6	1001	0101	10001
7	1010	0100	10010
8	1011	1100	10100
9	1100	1101	11000

Codul EXCES 3 se obține din codul 8421 prin adunare la fiecare tetradă a cifrei 3 în binar (adică 0011). Cifrei 0 îi corespunde o secvență de biți semnificativi ceea ce permite a se face distincție între o locație de memorie liberă și o locație care înmagazinează cifra 1. Este un cod rezistent la perturbații deci poate fi folosit pentru transmiterea datelor la distanță.

Codul GRAY se caracterizează prin faptul că trecerea de la o cifră zecimală la alta se face prin modificarea unui singur rang binar din tetradă. Acest cod se utilizează în domeniul instrumentației industriale.

Codul 2 din 5 utilizează pentru codificarea cifrelor zecimale 5 poziții binare, din care 2 cifre sunt semnificative (au valoarea 1).

3.4.2. Codurile alfanumerice utilizează de obicei 6,7,8 sau 16 biți. Aceste coduri reprezintă toate caracterele unui alfabet prin secvențe de cifre binare. Codurile care lucrează pe 8 biți oferă 256 de combinații distincte, ceea ce reprezintă mai mult decât numărul total al caracterelor ce apar pe tastatura unei mașini de scris.

Cele mai utilizate coduri alfanumerice în sistemele electronice de calcul sunt EBCDIC, ASCII și UNICODE.

Codul EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code) este pe 8 biți și deci poate reprezenta maxim 256 caractere. În acest cod cele 10 cifre zecimale sunt reprezentate - în primii 4 biți, invariabil prin 1111 (în hexazecimal F) iar următorii 4 biți arată cifra în succesiunea respectivă.

Literele alfabetului latin sunt împărțite în trei grupuri:

- de la A la I, la care primii 4 biți sunt invariabil 1100 (în hexazecimal C)
- de la J la R, la care primii 4 biți sunt invariabil 1101 (în hexazecimal D)
- de la S la Z, la care primii 4 biți sunt invariabil 1110 (în hexazecimal E)

Deși a cunoscut o largă răspândire acest cod nu este standardizat, fiind utilizat în prezent numai pe echipamentele IBM de mari dimensiuni.

Codul ASCII (American Standard Code for Information Interchange) se întâlnește în două variante: pe 7 și pe 8 biți. Cel pe 7 biți este standardizat și recomandat de ISO (International Standard Organisation). Cu acest cod (pe 7 biți) se pot realiza 128 de combinații, reprezentând caractere (adică litere), cifre și semne speciale (necesare unei mașini de scris). În plus, cu acest cod se pot executa și comenzi destinate mai ales

funcțiilor de terminal (retur de car la sfârșitul rândului, avans de linie, pagină nouă etc.). Codul ASCII se folosește și pe liniile de comunicație dintre calculator și periferice (tastatură, imprimantă etc.)

Spre deosebire de alte coduri ASCII face diferența dintre literele mari și cele mici. În acest scop bitul 6 se schimbă din 0 în 1.

Există și alte comenzi care pot fi realizate cu acest cod, cum ar fi SI (Shift In), SO (Shift Out) care realizează comutarea dintre setul ASCII și alte seturi de caractere din alte limbi, în afară de engleză.

În Tab. 3.6 sunt redate câteva exemple de simboluri și caractere codificate în EBCDIC și ASCII.

Tab.3.6: Exemple de coduri EBCDIC și ASCII

Caracterul extern	EBCDIC		ASCII	
	în binar	în hexazecimal	în binar	în octal
0	11110000	F10	0110000	60
1	11110001	F1	0110001	61
2	11110010	F2	0110010	62
3	11110011	F3	0110011	63
...
8	11111000	F8	0111000	70
9	11111001	F9	0111001	71
A	11000001	C1	1000001	101
B	11000010	C2	1000010	102
...
H	11001000	C8	1001000	110
I	11001001	C9	1001001	111
J	11010010	D1	1001010	112
...
R	11011001	D9	1010010	122
S	11100010	E2	1010011	123
...
Z	11101001	E9	1011010	132
Spațiu	01000000	40	0100000	40
...

Codul *UNICODE* este un cod alfanumeric pe 16 biți care tinde să înlocuiască codurile pe 8 biți. Astfel codul ASCII devine un subcod al *UNICODE*.

Principalul avantaj al acestui cod constă în faptul că are mai mult de 256 caractere.

Unele limbaje de programare, cum ar fi JAVA, folosesc deja caracterele *UNICODE*. În Tab 3.7 sunt prezentate câteva exemple de caractere codificate cu *UNICODE*.

Tab. 3.7 Exemple de caractere codificate cu UNICODE

Codificare UNICODE	Corespondent ASCII	Utilizare
\U0030-\U0039	0-9	cifre
...
\U0041-\U0050	A-Z	Litere mari latine
\U0057	-	Liniuța de subliniere
\U0061-\U0070	a-z	Litere mici latine
...

3.5. Informația digitală

3.5.1. Avantajele informației digitale

Cuvântul „digital” folosit în informatică și electronică are un înțeles exact însemnând „codificat sub formă de numere”. Revoluția digitală, care a schimbat multe

din aspectele vieții noastre, se bazează pe faptul că toate datele – texte, imagini, sunete, și chiar formele spațiale ale obiectelor – pot fi convertite într-un șir de numere binare, ce pot fi prelucrate și stocate în calculatoare. Numerele binare se potrivesc perfect stocării și transmiterii electronice a datelor, întrucât nu au nevoie decât de două stări: închis (1) și deschis (0). Un alt avantaj al folosirii informațiilor sub formă digitală constă în posibilitatea copierii și compactării (prin recodificare la dimensiuni mai mici). În plus, ele pot fi stocate și transmise folosind aceleași metode, indiferent de tipul de date (text, imagine, sunet etc.)

3.5.2. Codificarea informației

Pentru producerea datelor digitale, există două metode distincte [7]:

a) *metoda divizării* – constă în împărțirea unui obiect în părți foarte mici, măsurarea pe fragmente și înregistrarea măsurătorilor sub formă numerică. Cu cât obiectul este mai fragmentat, cu atât descrierea sa digitală este mai apropiată de cea reală, însă acuratețea depinde și de precizia de înregistrare. Astfel, o descriere care folosește 24 de biți (trei octeți) este mai precisă decât una care folosește doar 8 biți (un octet).

Digitizarea imaginilor este un bun exemplu de aplicare practică a metodei divizării: O fotografie este digitizată prin divizarea ei în mii de elemente de imagine, numite *pixeli*, urmată de codificarea culorii pentru fiecare pixel prin numere binare. Versiunea digitală a imaginii se numește *bitmap* (hartă de biți). De regulă culoarea fiecărui pixel este codificată prin trei numere de 8 biți, reprezentând culorile roșu, verde și albastru care, atunci când sunt combinate dau acea culoare.

Imaginile digitale de înaltă calitate folosesc 24 de biți (trei octeți) pentru a înregistra culoarea fiecărui pixel, ceea ce permite codificarea a 16 milioane de nuanțe („true colour”).

b) *metoda „rețetă”* – constă în realizarea unui obiect sub forma unor serii de instrucțiuni codificate digital. Această metodă este mult mai economică, întrucât ocupă un spațiu de stocare mic (ca dimensiune a fișierului).

De exemplu un sunet poate fi codificat prin fragmentarea și măsurarea formei de undă. În acest fel, muzica digitală poate fi creată prin abordarea „rețetă” folosind o Interfață Digitală pentru Instrumente Muzicale (MIDI) conectată la un calculator. Prin această metodă se înregistrează muzica sub forma unor secvențe de cod care reprezintă notele, durata lor, tăria sunetului etc.

4. SEMNALE UTILIZATE ÎN SISTEMELE DE MĂSURARE COMPUTERIZATE

4.1. Definiție. Tipuri de semnale

Se numește *semnal* variația în timp a unei mărimi fizice, capabilă să poarte o informație ce poate fi măsurată. Semnalele pot fi de natură neelectrică (acustice, mecanice, biologice) sau electrică (electromagnetică). Semnalele neelectrice pot fi modelate prin semnale electrice (tensiune sau curent) și, întrucât doar acestea sunt utilizate în sistemele de măsurare computerizate, în cele ce urmează prin noțiunea de semnal se va înțelege semnal electric.

De regulă, într-un sistem de măsurare computerizat, semnalele de intrare sunt analogice. Calculatoarele sunt concepute să manipuleze date digitale, sub formă de numere. Un sistem de măsurare computerizat trebuie să convertească toate *intrările* analogice pe care le primește în valori numerice (digitale), întrucât numai acestea pot fi prelucrate de calculatoare. În sens invers, multe dintre rezultatele prelucrării digitale efectuate de calculator trebuie să fie reconvertite în semnale analogice, atunci când acestea devin *ieșiri*. Rezultă așadar că sistemele computerizate lucrează cu două tipuri de semnale: *semnale analogice* și *semnale numerice (digitale)*.

Semnalele analogice sunt semnale măsurabile care variază continuu în timp; modelarea lor matematică poate fi făcută cu relația:

$$y = f(x) \tag{4.1}$$

unde y este o funcție continuă iar x este variabilă

Exemple de semnale analogice : semnalele sonore (sunetele), tensiunea dată de un termocuplu care măsoară temperatura dintr-un cuptor, semnalul electric aplicat pe bobina unui difuzor etc.

Semnalele analogice sunt simple, ușor de exprimat analitic și pot fi măsurate direct cu aparate relativ simple. O serie de neajunsuri, între care faptul că sunt sensibile la imperfecțiunile căilor de transmisie și prelucrare, fac ca aceste semnale să piardă din precizie după fiecare operație aplicată asupra lor (amplificare, multiplicare etc.). Aceste neajunsuri apar datorită faptului că informația purtată de semnalele analogice este grefată pe amplitudine și ca atare peste semnalul de bază-purtător de informație se pot suprapune cu ușurință și alte semnale, provenite din surse exterioare sau chiar interioare sistemului.

Semnale numerice (digitale) sunt semnale discrete, sub formă de impulsuri, la care informația nu este grefată pe amplitudine ci pe frecvență. Ca atare, aceste semnale sunt mai puțin sensibile la perturbații și la imperfecțiunile canalelor de transmitere. În comparație cu semnalele analogice, avantajele semnalelor digitale sunt evidente:

- informația este mult mai precisă, întrucât transmiterea ei se bazează pe timp și nu pe amplitudine (etalioanele de timp sunt mult mai precise decât cele de tensiune);
- asupra lor se pot aplica operații de calcul, memorare, multiplexare etc.;
- în cursul prelucrării lor precizia asupra mărimii primare se conservă.

Semnalele digitale sunt mai dificil de exprimat analitic, necesită benzi mai largi pentru transmisie și componente de electronică rapidă. În pofida acestor neajunsuri, semnalele numerice sunt tot mai mult utilizate în tehnica de calcul, achiziția și prelucrarea datelor, echipamente de comunicații, bunuri de larg consum etc.

În funcție de evoluția lor în timp semnalele pot fi **deterministe** (descrise de legi cunoscute și care au valori bine precizate) și **aleatoare** (care au valori ce pot fi măsurate cu o anumită probabilitate).

4.2. Reprezentarea semnalelor prin modele matematice

Prelucrarea semnalelor implică utilizarea unor modele matematice care trebuie să fie cât mai apropiate de realitate și să fie ușor de implementat pe echipamentele de calcul. În plus, aceste modele trebuie să fie cât mai simple, pentru a micșora volumului de calcul și deci timpul de prelucrare.

4.2.1. Reprezentarea semnalelor analogice prin modele matematice

Fie $x(t)$ o funcție prin care se modelează un semnal analogic. Pentru a putea efectua o serie de prelucrări asupra acestui semnal într-un sistem numeric, se caută o reprezentare analitică de forma:

$$x(t) = \sum_{n=1}^N a_n x_n(t); \quad t \in \mathbb{R} \quad (4.1)$$

astfel încât:

$$a) \text{ eroarea } \Delta = x(t) - \sum_{n=1}^N a_n x_n(t) \quad (4.2)$$

să fie cât mai mică și să scadă pe măsură ce N crește;

$$b) \text{ mulțimea funcțiilor } x_n(t): M(x) = \{x_n(t)\} \quad (4.3)$$

să poată fi reprodusă cât mai avantajos din punct de vedere tehnic;

c) coeficienții a_n să poată fi determinați ușor prin calcule simple.

Se observă că rel.(4.1) urmărește să exprime evoluția continuă a unui fenomen printr-o sumă de evoluții discrete. Acest lucru este posibil cu ajutorul seriilor de funcții ortogonale, dintre care cele mai cunoscute și utilizate sunt seriile Fourier, Walsh și Haar sau prin transformări integrale, dintre care cea mai cunoscută este transformata Fourier.

4.2.1.1. Transformata Fourier

Transformata Fourier reprezintă o transformare liniară din domeniul timp în domeniul frecvență, adică:

$$x(t) \xrightarrow{\text{Fourier}} X(\omega) \quad (\text{Transformata Fourier directă})$$

unde $x(t)$ este funcția ce reprezintă evoluția semnalului în timp (funcția reală) iar $X(\omega)$ este spectrul său (o funcție complexă, al cărui argument reprezintă spectrul de fază iar modulul său reprezintă spectrul de amplitudini sau conținutul în armonici).

Pentru o funcție $x(t)$ care descrie un semnal oarecare transformata Fourier este prin definiție:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad \forall \omega \in \mathbb{R} \quad (4.4)$$

și se notează simbolic $X(\omega) = F x(t)$ (4.5)

Transformata Fourier inversă face trecerea din domeniul frecvență în domeniul timp adică:

$$X(\omega) \xrightarrow{\text{Fourier}^{-1}} x(t) \quad (\text{Transformata Fourier inversă})$$

Această transformare este definită prin relația:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (4.6)$$

și se notează simbolic $x(t) = F^{-1} X(\omega)$ (4.7)

Este evident că $x(t) = F^{-1}[X(\omega)]$, adică transformarea este biunivocă:

$$x(t) \xleftrightarrow{\text{Fourier}} X(\omega)$$

cece ce conferă un mod convenabil de prelucrare a semnalelor în domeniul frecvență. Funcția $x(t)$ se numește *funcție original* iar $X(\omega)$ poartă denumirea de *funcție imagine*.

4.2.1.2. Funcția de densitate spectrală

Fie $x(t) \xrightarrow{\text{Fourier}} X(\omega)$ (semnalul și imaginea sa în frecvență).

Expresia energiei semnalului este:

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = \langle x(t) \cdot x^*(t) \rangle \quad (4.8)$$

Înlocuind pe $x(t)$ prin relația corespunzătoare transformatei Fourier și rearanjând termenii se obține:

$$E = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} x^*(t) e^{j\omega t} dt \right\} d\omega \quad (4.9)$$

Se observă că în paranteza acoladă din membrul drept al relației (4.9) se regăsește $X(\omega)$ astfel că egalând relațiile (4.9) cu (4.8) se obține:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |X(\omega)|^2 d\omega \quad (4.10)$$

Relația (4.10) este cunoscută sub numele de “Teorema Rayleigh a energiei”.

Reprezentarea grafică a funcției $X(\omega)$, respectiv $arg(\omega)$ constituie diagrama spectrală echivalentă a spectrului de amplitudini, respectiv de faze.

Funcția $|X(\omega)|/2\pi$ reprezintă *funcția de densitate spectrală* a energiei semnalului. Graficul acestei funcții dă informații asupra benzii energetice a semnalului, care cuprinde intervalul de frecvențe în care este concentrată cea mai mare parte din energia semnalului.

4.2.1.3. Distribuții, funcții singulare și utilizarea lor în analiza semnalelor

Se numește distribuție procesul de atribuire printr-o funcțională $f(t)$ a unor valori date $N_f(x)$ unei funcții $x(t)$, căreia i se pun prin ipoteză condiții suplimentare.

În cazul semnalelor, descrise printr-o funcție $x(t)$, $t \in \mathbb{R}$, procesul de atribuire de valori se definește prin relația:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x(t) f(t) dt = N_f(x) \quad (4.11)$$

Se numește distribuție Dirac (notată $\delta(t)$) o funcțională care atribuie unei funcții continuă în $t = 0$ valoarea $x(0)$.

Rezultă următoarea relație de definiție:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \delta(t) dt = x(0) \quad (4.12)$$

a cărei reprezentare grafică este dată în Fig.4.4.

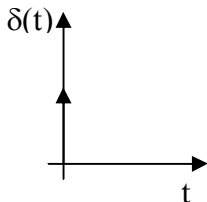


Fig.4.4: Reprezentarea distribuției Dirac

Cele mai importante proprietăți ale funcției $\delta(t)$ sunt:

$$\begin{aligned} - \delta(at) &= \frac{1}{|a|} \delta(t) \\ - \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \delta(t - \tau) dt &= x(t) \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$-F\delta(t) = 1$$

O succesiune periodică de impulsuri unitare conduce la funcția:

$$\delta(t) = \sum_{-\infty}^{+\infty} \delta(t - kt_0) \quad (4.14)$$

numită funcție periodică și care reprezentată grafic arată ca în Fig. 4.5:

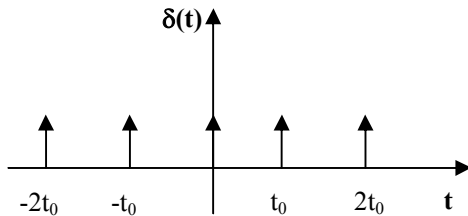


Fig.4.5: Representarea funcției δ periodică în timp

Aplicând transformata Fourier relației (4.14) se obține:

$$F\delta_{t_0}(t) = \frac{2\pi}{t_0} \sum_{-\infty}^{+\infty} \delta(\omega - n\Omega_0) \quad (4.15)$$

Comparând rel.(4.15) cu rel. (4.14) se observă că suma din rel. (4.15) reprezintă o funcție δ periodică în domeniul frecvenței; se notează:

$$\delta_{\Omega_0}(\omega) = \sum_{-\infty}^{+\infty} \delta(\omega - n\Omega_0) \quad (4.16)$$

Întrucât $\Omega_0 = 2\pi/t_0$, înlocuind în rel (4.15) se obține:

$$F\delta_{t_0}(t) = \Omega_0 \delta_{\Omega_0}(\omega) \quad (4.17)$$

Relația (4.17) arată că transformata Fourier a unei funcții δ periodică în timp este proporțională cu o funcție δ periodică în frecvență. Reprezentarea grafică a acestei funcții arată ca în Fig.4.6

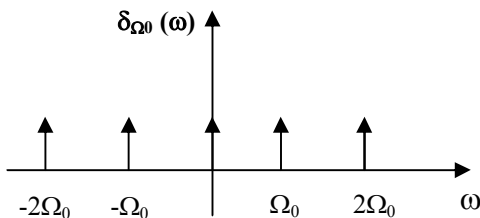


Fig.4.6: Representarea funcției δ periodică în frecvență

4.2.1.4. Convoluția semnalelor analogice

Fie două semnale $x_1(t)$ și $x_2(t)$. Se numește funcție de convoluție a celor două semnale integrala:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_1(\tau) \cdot x_2(t - \tau) d\tau \quad (4.18)$$

și se notează $x(t) = x_1(t) \otimes x_2(t)$ (4.19)

Există o teoremă care spune că transformata Fourier a funcției de convoluție este produsul algebric al transformatelor Fourier ale semnalelor din produs, adică:

$$X(\omega) = X_1(\omega) \cdot X_2(\omega) \quad (4.20)$$

Funcția de convoluție în frecvență în raport cu funcțiile de densitate spectrală $X_1(\omega)$ și $X_2(\omega)$ se definește prin integrala:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} X_1(\lambda) \cdot X_2(\omega - \lambda) d\lambda \quad (4.21)$$

și se notează $X(\omega) = X_1(\omega) \otimes X_2(\omega)$ (4.22)

În analiza semnalelor un aspect foarte important este legat de convoluția semnalelor cu funcția $\delta(t)$. Ținând cont de proprietățile acestei funcții, rezultă că:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)\delta(t-\tau)d\tau = x(t) \quad (4.23)$$

$$\text{sau } x(\tau) \otimes \delta(t) = x(t) \quad (4.24)$$

Transferând aceste funcții din domeniul timp în domeniul frecvență se obține:

$$F\{x(t) \otimes \delta(t)\} = X(\omega) \quad (4.25)$$

Relațiile (4.23) și (4.25) arată că produsul de convoluție dintre un semnal și funcția $\delta(t)$ conduce la semnalul considerat.

4.2.1.5. Ferestre de timp analogice

Să considerăm că semnalul $x(t)$ este cunoscut numai pe un interval finit de timp $-t_0/2 \leq t \leq t_0/2$ (cum se întâmplă în timpul eșantionării). În acest caz cea mai uzuală fereastră de timp este cea dreptunghiulară, definită prin relația:

$$\omega(t) = \begin{cases} 1 & \text{pentru } |t| \leq t_0/2 \\ 0 & \text{pentru } |t| > t_0/2 \end{cases} \quad (4.26)$$

Forma și durata ferestrelor de timp au efecte puternice asupra spectrului de frecvență al semnalului de intrare.

De exemplu să considerăm că semnalul $x(t)$ al cărui spectru de frecvențe, notat cu $X(f)$ este format din 3 funcții δ dispuse la frecvențele f_0, f_1 și f_2 așa cum se vede în Fig. 4.7.

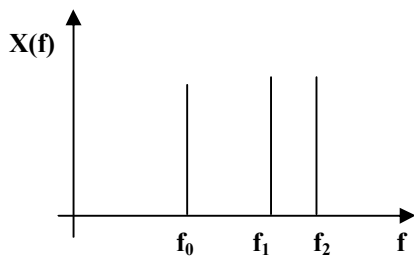


Fig.4.7: Spectrul frecvențelor semnalului de intrare

Să considerăm că distanța dintre frecvențele f_1 și f_2 este $1/t_0$. Dacă acest semnal este trecut printr-o serie de ferestre de timp de diverse forme (pătrate, dreptunghiulare, triunghiulare), ca cele din Fig.4.8, se constată că se obțin noi spectre a căror vârfuri sunt poziționate diferit în timp și spațiu (ca amplitudine).

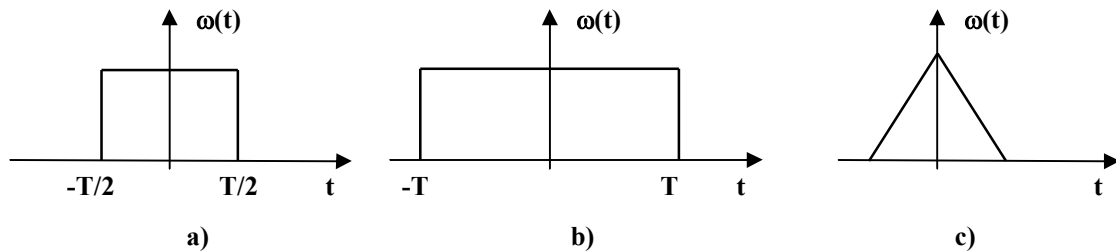


Fig.4.7: Tipuri de ferestre de timp

a) pătrate; b) dreptunghiulare; c) triunghiulare

Din analiza semnalelor prelucrate în urma trecerii lor prin ferestre de timp se constată că:

- ✓ prin utilizarea unei ferestre de timp de durată t_0 (pătrate) nu se pot selecta două vârfuri poziționate la distanța $f_2 - f_1 = 1/t_0$;
- ✓ în cazul ferestrelor dreptunghiulare, pentru a putea deosebi două vârfuri, fereastra de timp trebuie să aibă durată $t_0 = 1/(f_2 - f_1)$;
- ✓ pentru alte tipuri de ferestre (diferite de cea dreptunghiulară), pentru a putea deosebi două vârfuri, durată trebuie să fie $t_0 = 2/(f_2 - f_1)$.

4.2.2. Reprezentarea semnalelor numerice prin modele matematice

Modelele matematice pentru analiza semnalelor numerice sunt similare celor utilizate pentru semnalele analogice, utilizându-se aceleași transformări (Fourier, Walsh, Haar). În cazul semnalelor numerice se lucrează cu transformata Fourier discretă și rapidă, transformata Walsh discretă și rapidă sau cu transformata Haar discretă și rapidă. Detalii privind modelele matematice ale semnalelor numerice reprezentate prin aceste transformări pot fi găsite în lucrarea [5].

4.3. Prelucrarea semnalelor

4.3.1. Aspecte generale privind prelucrarea semnalelor

Prelucrarea semnalelor constă în transformarea semnalelor analogice în semnale numerice și invers din semnale numerice în semnale analogice.

Să considerăm un semnal analogic, care poartă o informație despre o mărime fizică (de regulă transformată într-o mărime electrică), care poate fi reprezentată printr-o funcție continuă în timp și care poate lua valori dintr-un domeniu de variație precizat:

$$x = f(t); \quad x : T \rightarrow M; \quad t \in T; \quad x \in M \quad (4.27)$$

în care: T – mulțimea momentelor de timp;

M – mulțimea eșantioanelor semnalului;

x – descrierea semnalului (asociază fiecărui element $t \in T$ un element $x \in M$ bine definit, numit eșantionul semnalului la momentul de timp t)

Dacă: $T \subset \mathbb{R}$, semnalul se numește continuu (Fig.4.8.a);

$T \subset \mathbb{Z}$, orice semnal definit pe T se numește discret (Fig.4.8.b);

$M \subset \mathbb{R}$, semnalele au valori reale și ele pot reprezenta măsuri ale mărimilor din natură; se spune despre aceste semnale că sunt analogice;

$M \subset \mathbb{Q}$, și este măsurabilă se spune că semnalul este cuantizat, caz în care este posibilă reprezentarea (codificarea) sa numerică.

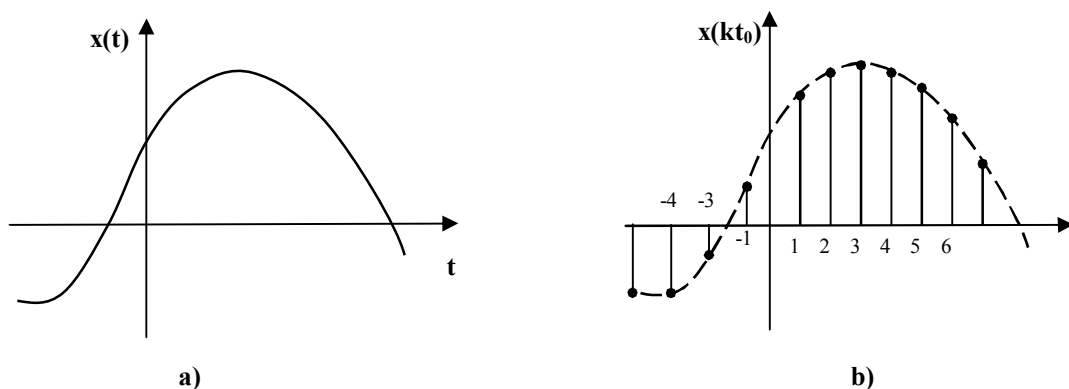


Fig.4.8: Reprezentarea grafică a unui semnal
a) semnal continuu; b) semnal discret

Pentru semnalele discrete se utilizează, de regulă, notația: $x(kt_0)$, $k \in \mathbb{Z}$

Exemple de semnale:

a) semnale continue: $x(t) = \sin(t)$; $x(t) = at + b$

b) semnale discrete: $x(nt_0) = \sin(nt_0)$

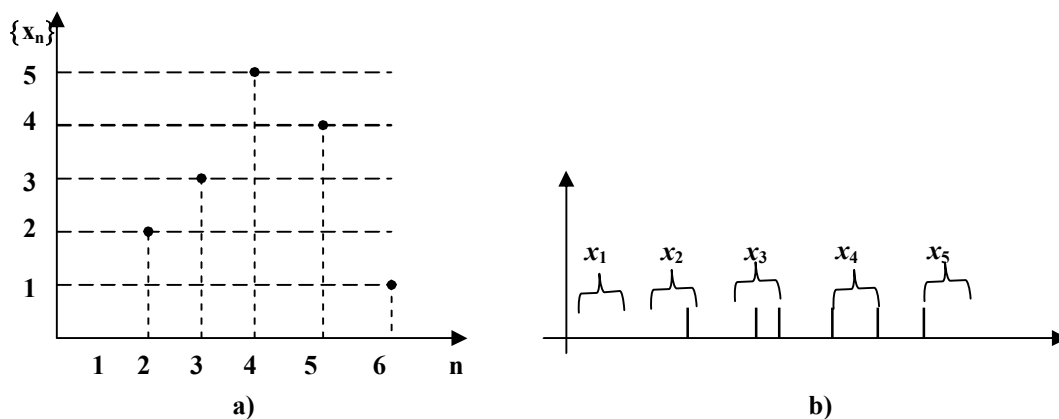
c) semnale cuantizate: $M = \{x | x = mq; q \in \mathbb{Q}, m \in \mathbb{Z}\}$

Un semnal *discret și cuantizat* se numește *semnal numeric (digital)*; un astfel de semnal poate fi prelucrat prin metode numerice, cu ajutorul calculatorului.

Se poate spune deci că semnalele numerice sunt acele semnale care la momente discrete de timp au valori nenule, fiind egale cu zero în afara acestora. Aceste semnale se pot obține dacă în circuitul prin care circulă semnalul analogic $x(t)$ se introduce un comutator care se închide pentru un interval scurt de timp, la fiecare moment kt_0 ($k \in \mathbb{Z}$). Semnalul $x(kt_0)$ se numește *eșantionat* sau *discretizat* și este constituit din eşantioane ale semnalului analogic $x(t)$. Este evident că semnalul $x(kt_0)$ nu reprezintă o copie fidelă a semnalului $x(t)$ și că gradul de apropiere depinde de mărimea intervalului t_0 . Cu cât intervalul t_0 este mai mic, precizia reprezentării este mai mare, însă mărirea excesivă a numărului de eşantioane duce la creșterea inacceptabilă a volumului de date ce trebuie prelucrate. În practică modificarea intervalului t_0 se face prin modificarea frecvenței de eşantionare ($f_e = 1/t_0$)

Pentru ca un semnal discretizat să poată fi prelucrat cu ajutorul calculatorului, mai este necesar ca pe lângă operația de eşantionare să se facă și o operație de măsurare în amplitudine, numită *cuantizare*, prin care amplitudinea eşantioanelor este reprezentată prin valori numerice. Operația de cuantizare se realizează prin alegerea unui număr de niveluri de cuantizare a amplitudinii eşantioanelor, număr care se stabilește în funcție de baza sistemului de numerație: zecimal 10^k , binar 2^k etc.

Pentru exemplificare să considerăm un semnal numeric reprezentat în sistemul zecimal și același semnal reprezentat în sistemul binar, așa cum se vede în Fig. 4.9.



**Fig.4. 9: Reprezentarea unui semnal numeric
a) în sistem zecimal; b) în sistem binar**

Reprezentarea în sistem binar s-a făcut utilizând trei biți pentru fiecare eşantion, ceea ce conduce la posibilitatea de a utiliza $2^3 = 8$ niveluri de cuantizare.

La operația de cuantizare apar erori, datorită aproximării amplitudinii eşantioanelor cu un număr întreg, deși în realitate mărimea acestora se găsește într-un interval de valori, rezultat prin discretizarea într-un număr finit de niveluri de cuantizare. Acceptând însă o eroare convenabilă se poate obține o reprezentare a semnalului analogic prin semnal numeric, suficient de precisă.

Este evident că prin creșterea numărului de biți utilizați în reprezentarea semnalului numeric în sistem binar, fidelitatea semnalului numeric, ca și copie a semnalului analogic, crește.

Semnalul digital, rezultat prin operațiile de eşantionare și cuantizare, poate fi prelucrat cu ajutorul calculatorului, după care, dacă este necesar, poate fi decodificat prin operații inverse eşantionării și cuantizării și transformat în semnal analogic.

Schema de principiu a unei prelucrări complete a semnalelor analogice și numerice este arătată în Fig. 4.10.

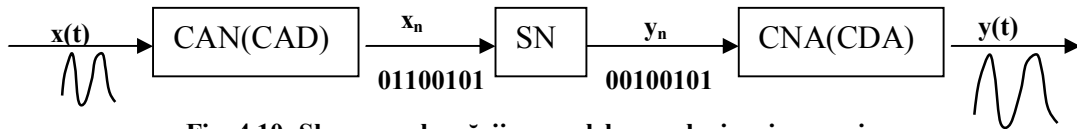


Fig. 4.10: Shema prelucrării semnalelor analogice și numerice

Semnalul analogic $x(t)$ este transformat în semnal numeric x_n de către un convertor analog-numeric(digital)-CAN(CAD). Semnalul numeric astfel obținut intră într-un sistem numeric (SN) de prelucrare, rezultând semnalul numeric y_n . Acesta poate fi readus la forma analogică $y(t)$ cu ajutorul unui convertor numeric(digital)-analogic

Pentru exemplificarea modului de prelucrare *semnal analog* → *semnal digital* → *semnal analog*, să considerăm procesele de înregistrare – redare a sunetelor folosind tehnologia digitală[7]:

Înregistrarea sunetelor folosind tehnica digitală este un proces de conversie a undelor mecanice care se propagă prin aer (sunete) în semnale electrice cu ajutorul unui traductor numit *microfon* (Fig.4.11).

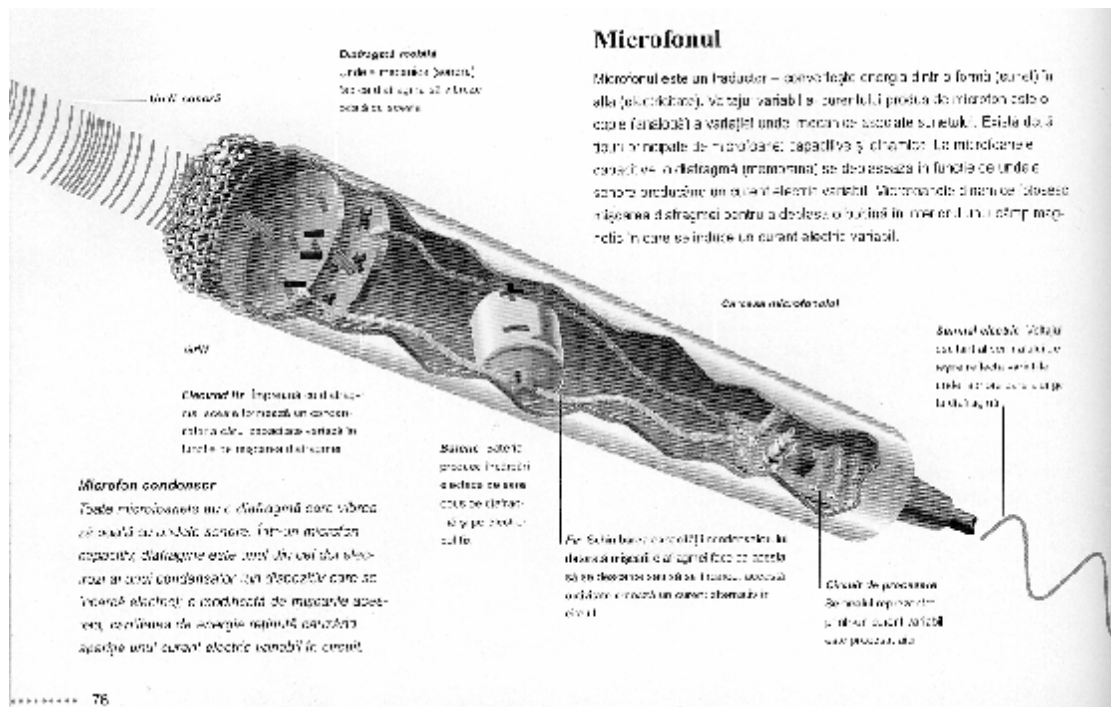


Fig.4.11: Transformarea unei sonore în semnal electric prin intermediul microfonului

Tensiunea variabilă a curentului produs de microfon este o copie fidelă (analogă) a variației unei mecanice asociate sunetului. Pentru a converti semnalul produs de microfon în semnal digital acesta trebuie eșantionat. Eșantionarea implică măsurarea amplitudinii (înălțimii) semnalului analogic la intervale de timp egale. Se obține astfel un semnal digital exprimat printr-un cod numeric (de regulă binar), ce poate fi prelucrat și memorat în calculator. Pentru redarea sunetului este necesară transformarea semnalului digital într-un semnal analogic care, după amplificare, este trimis unui alt traductor numit *difuzor* (inversul microfonului). Difuzoarele convertesc energia electrică în energie sonoră prin intermediul unei bobine și a unei membrane din hârtie sau plastic (Fig.4.12). Curentul electric variabil care circulă prin bobină produce oscilația acesteia și a membranei (de care este legată) rezultând astfel unde mecanice (sunete).

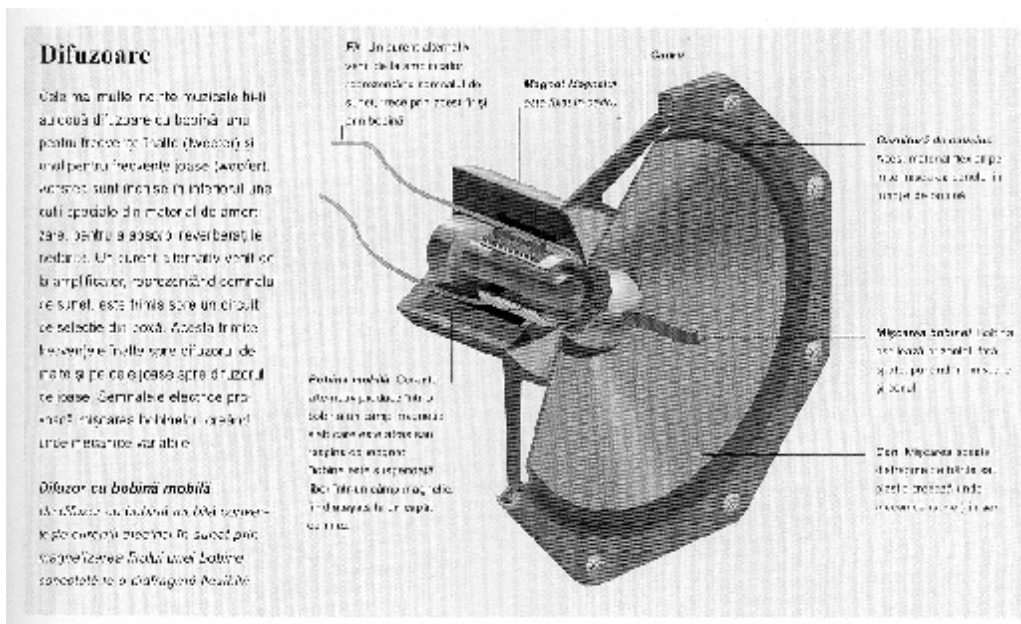


Fig.4.12: Transformarea semnalelor electrice în sunete prin intermediul difuzorului

Fidelitatea semnalului redat depinde de frecvența de eșantionare și de adâncimea de bit (care determină intervalele de valori de eșantionare posibile ale amplitudinii), așa cum se vede în Fig.4.13

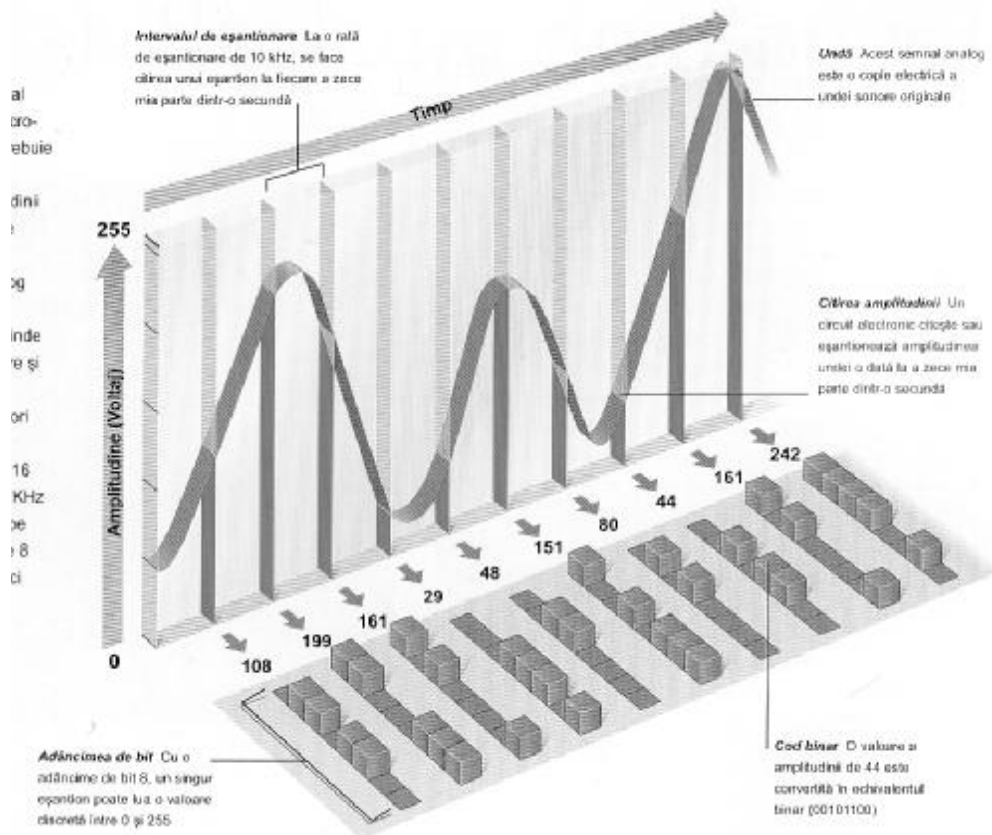


Fig. 4.13: Transformarea semnalului sonor în semnal numeric prin intermediul CAN

Pentru înregistrarea vocilor se recomandă eșantionarea pe 8 biți și la 10 kHz (situație redată în Fig.4.13). Cu o adâncime de 8 biți un singur eșantion poate lua o valoare

discretă între 0 și 255 iar la o rată de eșantionare de 10 kHz se face citirea unui singur eșantion la fiecare a zecea mia parte dintr-o secundă. Standardul audio CD este de 16 biți (65536 de nivele) și 44,1 KHz (măsurat de 44100 de ori pe secundă).

4.3.2. Digitizarea semnalelor

După cum s-a arătat în paragraful anterior, transformarea semnalelor analogice în semnale numerice se face prin eșantionare și cuantizare, operații cunoscute sub numele generic de *digitizare*. Procesul de digitizare este ireversibil, întrucât prin cele două operații (eșantionare și cuantizare) se pierde o parte din informația purtată de semnalul analogic inițial.

Eșantionarea și cuantizarea se realizează prin circuite de conversie a datelor (convertoare analog-numerice), prin intermediul cărora semnalul inițial se transformă în semnal numeric după schema:

$$x(t) \xrightarrow{\text{eșantionare}} x_e(kt_0) \xrightarrow{\text{cuantizare}} x_q(kt_0)$$

Datorită importanței operațiilor de eșantionare și cuantizare în prelucrarea semnalelor, în cele ce urmează se prezintă unele aspecte generale privind aceste operații.

4.3.2.1. Eșantionarea unui semnal analogic constă în prelevarea valorilor mărimii acestuia la momente discrete de timp, de obicei echidistante – kt_0 ; t_0 se numește *interval* sau *perioadă de eșantionare*. În Fig. 4.14 se prezintă schematic modul cum se face eșantionarea

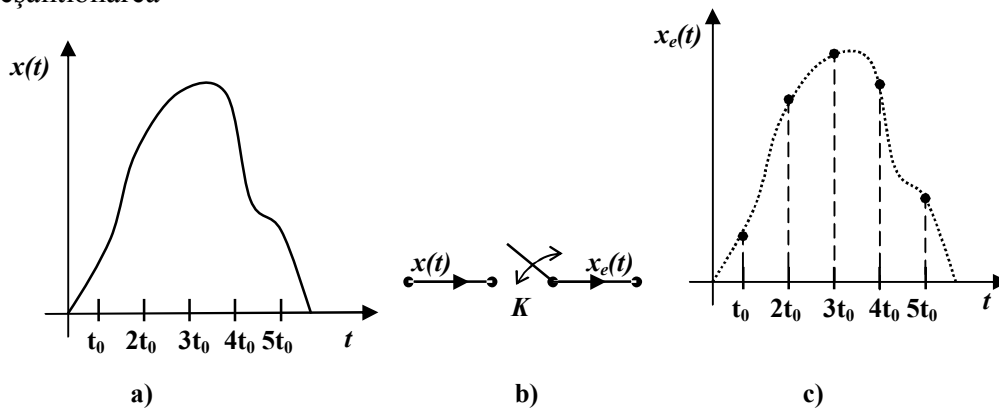


Fig. 4.14: Modul de realizare a eșantionării
a) semnal analogic; b) întrerupător; c) semnal eșantionat

Semnalul analogic $x(t)$ se aplică la intrarea întrerupătorului K ; acesta se închide la momente discrete de timp $t = kt_0$, $k \in N$, după care revine la poziția “deschis”. Se consideră că intervalul de timp cât întrerupătorul stă închis este infinit mic ($\Delta t \rightarrow 0$). La ieșirea din întrerupător se obține semnalul eșantionat $x_e(t) = \{x(kt_0)\}$. Semnalul $x_e(t)$ este idealizat deoarece timpul cât întrerupătorul stă închis este foarte mic dar finit Δt astfel că impulsurile sunt de durată finită (au o anumită lățime τ).

Atunci când întrerupătorul se închide periodic, eșantionarea se numește periodică.

Mărimea $f_e = 1/t_0$ se numește *frecvență de eșantionare* și legat de aceasta se mai definește *pulsăția de eșantionare* $\omega_e = 2\pi f_e$.

Așadar eșantionarea unui semnal constă în construirea unei secvențe de valori $x_e = \{x(kt_0)\}$.

Pentru studiul teoretic al eșantionării se folosește un model, prezentat în Fig.4.15

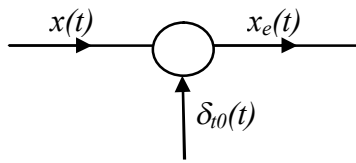


Fig.4.15: Model pentru studiul teoretic al eșantionării

Eșantionarea ideală se realizează prin înmulțirea semnalului $x(t)$ cu funcția periodică δ_{t_0} .

$$x_e(t) = x(t) \cdot \delta_{t_0}(t) \quad (4.28)$$

Funcția $\delta_{t_0}(t)$ reprezintă o secvență de impulsuri ideale, definită cu relația 4.14, astfel că semnalul eșantionat ideal capătă forma:

$$x_e(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(kt_0) \delta(t - kt_0) \quad (4.29)$$

Relația (4.39) exprimă forma de bază a semnalului eșantionat ideal.

Să considerăm semnalul $x(t)$ de bandă limitată, adică:

$$x(t) \xrightarrow{\text{Fourier}} X(\omega), \text{ cu } |X(\omega)| = 0 \text{ pentru } |\omega| \geq \omega_m \quad (4.30)$$

Aplicând transformata Fourier semnalului eșantionat (dat de rel.4.29) se obține:

$$X_e(\omega) = F[x_e(t)] = \frac{1}{t_0} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X(\omega - k\omega_0), \text{ cu } \omega_0 = \frac{2\pi}{t_0} \quad (4.31)$$

unde ω_0 este frecvența impulsurilor $\delta_{t_0}(t)$, care este practic frecvența de eșantionare ω_e . Relația (4.31) arată că funcția de densitate spectrală a semnalului eșantionat este o repetare periodică a funcției de densitate spectrală a semnalului neeșantionat. Cu alte cuvinte spectrul semnalului eșantionat $X_e(\omega)$ constă în repetări periodice axate față de frecvența ω_0 a semnalului original (Fig.4.16)

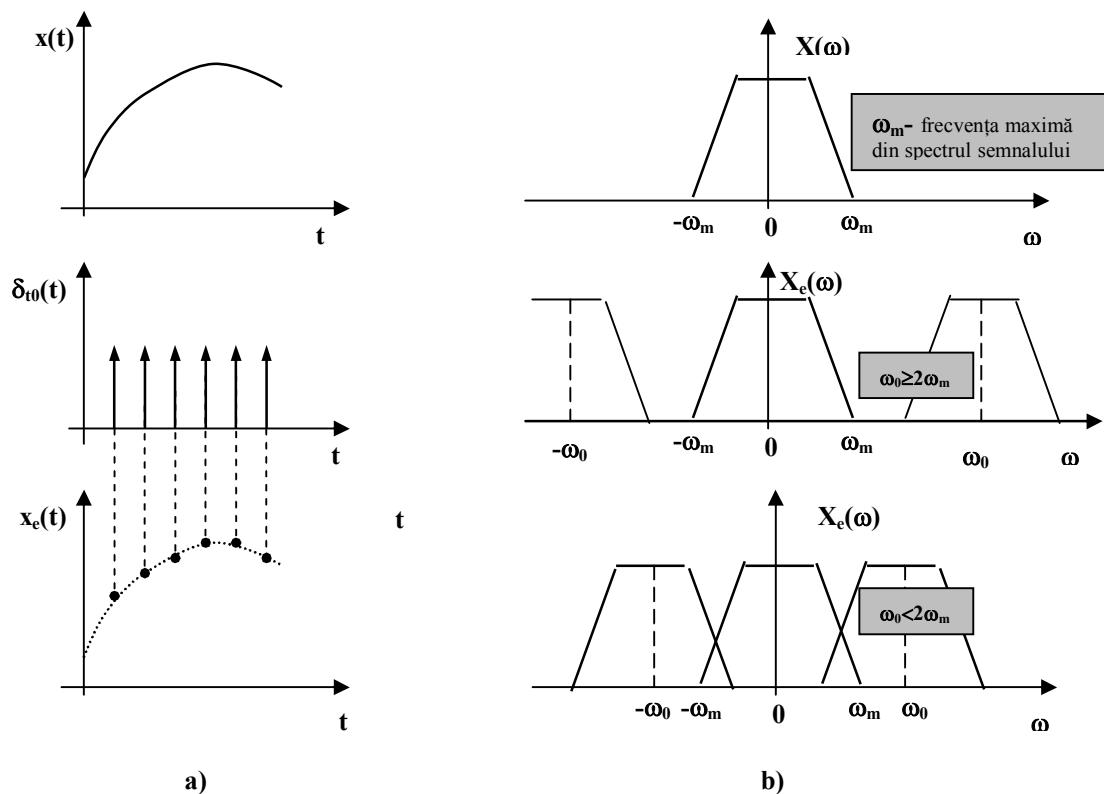


Fig.4.16: Eșantionarea ideală a semnalelor analogice
a) eșantionarea semnalului la momente discrete; b) eșantionarea cu diferite frecvențe

Pentru ca prin eșantionare să se reproducă semnalul inițial este necesar să se elimine spectrele secundare. Acest lucru este posibil prin utilizarea unor filtre ideale care să realizeze condiția $\omega_0 \geq 2\omega_m$. Dacă această condiție nu este realizată, semnalul inițial (analogic) este imposibil de reprodus sub formă numerică. Această condiție este cunoscută sub numele de teoria eșantionării și a fost enunțată de Shannon astfel:

“Pentru reconstituirea unui semnal de bandă limitată (la ω_m) din eșantioanele sale, preluate cu o perioadă de eșantionare t_0 , este necesar ca frecvența de eșantionare ($\omega_e \equiv \omega_0$), să fie cel puțin dublă față de frecvența maximă din spectrul semnalului ($\omega_0 = 2\pi / t_0 > 2\omega_m$)”.

Nerespectarea teoremei eșantionării conduce la apariția fenomenului de *aliasing error* (eroare de spectru suprapus) – prescurtat *alias* prin care în semnalul reconstituit apar componente inexistente în semnalul original, datorită suprapunerii semnalelor eșantionate (Fig. 4.16.b jos). Pentru a evita suprapunerea semnalelor, acestea trebuie trecute înainte de eșantionare printr-un filtru de *tip trece-jos* (FTJ), numit *filtru de gardă* sau *anti-alias*, care are rolul de a anula funcția $X(\omega)$ pentru $|\omega| > \omega_m$ (Fig. 4.17). Prin aceasta se elimină deformarea spectrului prin efect de aliasing. Utilizarea filtrului anti-aliasing se recomandă atunci când semnalul de măsurat conține componente cu frecvență mai mare decât jumătate din frecvența de eșantionare [1].

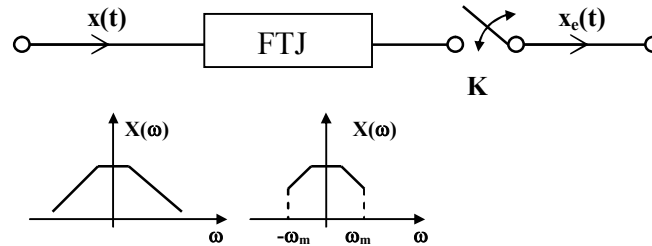


Fig.4.17: Eliminarea fenomenului de aliasing cu un filtru trece-jos

Teorema eșantionării nu este suficientă pentru a alege o frecvență de eșantionare satisfăcătoare. Filtrul ideal trece-jos (FTJ) este imposibil de realizat, întrucât un astfel de filtru trebuie să răspundă la un impuls care începe la timpuri negative (întrucât este simetric față de origine) înainte de aplicarea excitației. În plus eroarea de estimare a spectrului face ca delimitarea spectrelor secundare să nu fie fermă și de aceea este dorit ca distanțarea acestora să se facă peste limitele impuse de teorema eșantionării. De aceea, în practică se recomandă [3] ca frecvența de eșantionare ω_0 să fie de ordinul $(4...10)\omega_m$

4.3.2.2. Cuantizarea semnalelor constă în discretizarea acestora în amplitudine. Cuantizarea este o operație strict necesară în vederea conversiei semnalelor analogice în semnale numerice și implică reprezentarea semnalelor analogice printr-un număr finit de valori discrete.

Așadar prelucrarea semnalelor analogice cu ajutorul tehnicii numerice de calcul implică nu numai discretizarea acestora în timp (eșantionarea) ci și în amplitudine (cuantizarea). Pentru realizarea cuantizării se împarte domeniul de variație finit al amplitudinii semnalului analogic în clase (intervale) echidistante. Valoarea mărimii semnalului eșantionat la un moment kt_0 se va încadra în limitele unei clase, astfel:

$$iq - \frac{q}{2} < x \leq iq + \frac{q}{2}, \text{ cu } i = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3; \dots \quad (4.32)$$

unde x este valoarea semnalului iar q reprezintă mărimea cuantei care caracterizează clasa de apartenență i .

Prin cuantizare se înlocuiește valoarea semnalului x a semnalului eșantionat cu centrul clasei de apartenență cea mai apropiată. Este evident că prin aceasta apare o abatere a valorii semnalului de la valoarea sa reală, abatere numită *eroare de cuantizare* sau *zgomot de cuantizare*. Datorită acestei erori, orice valoare din intervalul $(x-q/2, x+q/2)$ va produce aceeași ieșire cuantizată x_q , astfel că mărimea semnalului cuantizat se poate scrie sub forma:

$$x_q = x + \varepsilon_q \quad (4.33)$$

unde ε_q reprezintă eroarea de cuantizare, care depinde de pasul ales pentru împărțirea domeniului amplitudinii semnalului în clase. De aceea, ca și în cazul eșantionării apare necesitatea găsirii unei valori optime, întrucât un pas prea mare va da o rezoluție slabă iar un pas prea mic va produce date în exces față de cele strict necesare.

Să considerăm că un semnal analogic $x(t)$ a fost convertit în semnal numeric descris prin mulțimea $\{x\} = \{x(n)\}$. Dacă se notează cu q cea mai mică treaptă de cuantizare și se reprezintă semnalul discretizat, se observă că între $x_q(n)$ și $x(n)$ se obține un anumit raport (Fig.4.18)

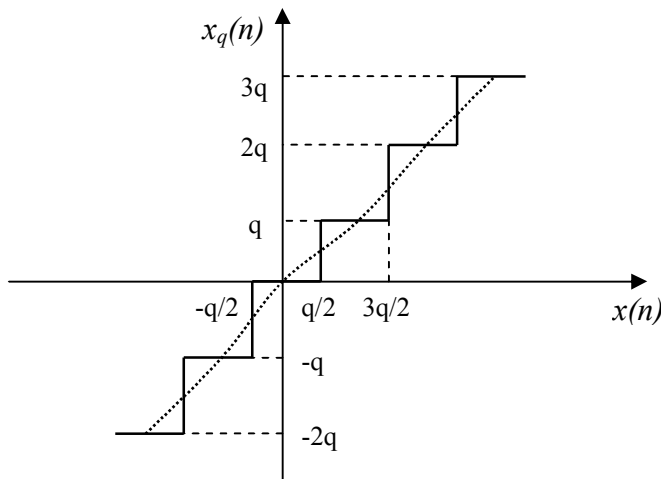


Fig.4.18: Reprezentarea grafică a raportului $x_q(n)/x(n)$

Secvența de valori $x_q(n)$ se poate obține și prin alte tipuri de cuantizări, cum ar fi trunchierea, atunci când semnalul discretizat este reprezentat prin cel mai mare nivel de cuantizare care nu depășește semnalul.

În practică, distribuția de amplitudine este echivalată cu histograme, aplicate direct pe semnalele eșantionate, prin numărarea eșantioanelor aflate în clase de cuantizare convenabil alese. Alegerea numărului de clase este corelată cu numărul de eșantioane prin folosirea relației:

$$N_{clase} = \sqrt{N_{eșantioane}} \quad (4.34)$$

Atunci când $N_{eșantioane} \rightarrow \infty$ rezultă $q \rightarrow 0$ și ca atare distribuția dată prin histograme conduce către distribuția de amplitudine teoretică.

5. STRUCTURA SISTEMELOR DE MĂSURARE COMPUTERIZATE

5.1. Structura generală a unui sistem de măsurare computerizat

Așa cum s-a arătat în Introducere și în Cap.2, orice sistem de măsurare computerizat are în structura sa următoarele componente (vezi Fig.2.4 și 2.5):

- traductoarele care culeg mărimile de măsurat și le transformă în semnale electrice;
- condiționere de semnal ce realizează preprocesarea analogică a semnalelor (amplificare, filtrare, etc.);
- placa de achiziții date, în care este înglobat convertorul analog-numeric (CAN), care transformă semnalul analogic de intrare într-o mărime numerică;
- sistemul de calcul care realizează analiza datelor și elaborează decizii, atunci când sistemul de măsurare este un sistem cu parametri controlați;
- ieșirile analogice care furnizează semnalele prelucrate;
- blocul de post-procesare analogică care permite interfațarea cu elementele de execuție.

Pentru exemplificarea structurii generale a unui sistem de măsurare computerizat, în Fig.5.1 se prezintă schema de principiu a unui sistem de măsurare și reglare numerică a temperaturii unui cuptor [3].

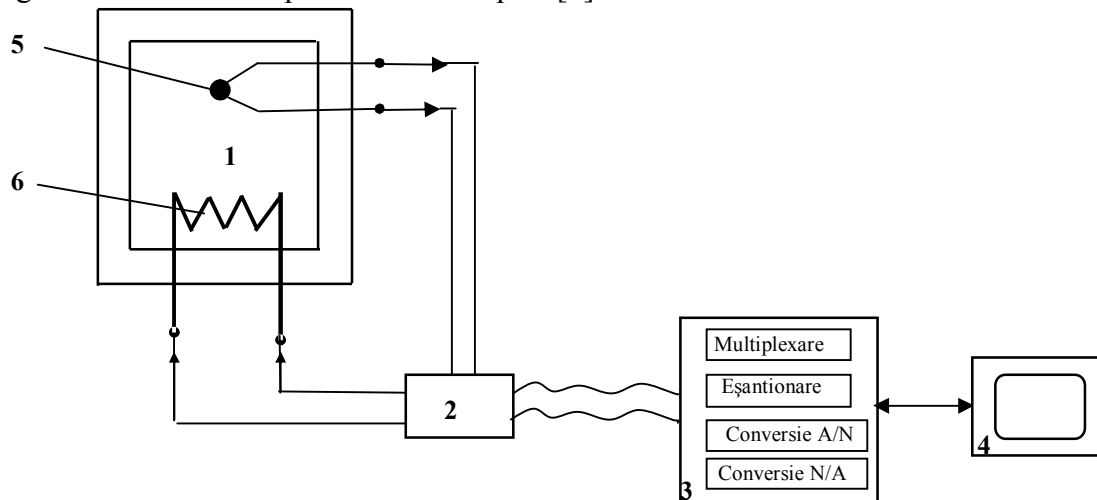


Fig.5.1. Componentele unui sistem de achiziții date:

1- cuptor; 2- condiționar de semnal; 3- placă de achiziții date; 4- calculator;
5- traductor de temperatură (termocuplu); 6- rezistență electrică.

Mărimea de măsurat (temperatura) este transformată într-un semnal electric cu ajutorul unui traductor de temperatură (termocuplu) și apoi aplicată unui bloc de condiționare a semnalului. În acest bloc semnalul electric analogic este preprocesat printr-o serie de operații pregătitoare (amplificare, filtrare, liniarizare, compensarea erorilor, etc.).

Semnalul analogic astfel pregătit este trimis către o placă de achiziții date, care îl eșantionează (cu ajutorul unor circuite de eșantionare și memorare) și apoi îl transformă în semnal numeric (cu ajutorul unui convertor analog-numeric), semnal ce poate fi prelucrat de un calculator (sau de un sistem cu microprocesor). Calculatorul poate realiza atât afișarea rezultatelor, cât și funcții mai complexe cum ar fi prelucrarea

acestora (monitorizarea temperaturii într-un interval prescris, cu semnalizarea depășirilor) sau *reglarea numerică* (de ex. menținerea unei temperaturi constante în cuptor).

Funcția de reglare se face pe baza unui algoritm, conform căruia valorile numerice, obținute prin programul de calcul, sunt transformate în semnale analogice printr-un *sistem de generare de date*, care conține un *convertor numeric-analogic (CNA)*. Cu ajutorul acestui convertor se dau comenzi unor *elemente de execuție* (în acest exemplu rezistenței electrice din incinta cuptorului) care să corecteze abaterile mărimii măsurate față de mărimea de referință stabilită. De cele mai multe ori, comanda elementului de execuție nu se poate face direct, fiind necesară o postprocesare a semnalului analogic rezultat din CNA (care constă de obicei în amplificarea semnalului).

Din acest exemplu rezultă că structura generală a unui sistem de măsurare computerizat se compune din următoarele blocuri funcționale:

a) *sistem de achiziții de date (SAD)* care are rolul de a preleva datele analogice care provin de la traductoare și de a le transforma în mărimi numerice (exprimate în sistem binar);

b) *sistem de generare de date (SGD)* care are rolul de a genera semnale analogice sau numerice pentru realizarea comenzilor elementelor de execuție;

c) *sistem de calcul (SC)* care execută prelucrarea datelor cu ajutorul unui microprocesor și transmite rezultatele pentru afișare pe monitor sau către SGD;

d) *intrări/ieșiri numerice (IIN)* care sunt folosite pentru cuplarea la echipamente numerice.

Atunci când se urmărește numai achiziția de date (ca în cazul cercetărilor de laborator), blocul SGD nu este necesar. În aplicații industriale, pentru reglarea unor parametri de proces sau de mediu, structura unui sistem de măsurare computerizat trebuie să fie completă.

Întrucât cele mai importante module din structura unui sistem computerizat sunt sistemele de achiziție și de generare a datelor, în cele ce urmează se prezintă succint aceste sisteme.

5.1.1. Sisteme de achiziții de date (SAD)

Aceste sisteme au ca scop principal preluarea și transformarea semnalelor analogice în mărimi numerice, întrucât acestea pot fi prelucrate de sistemul de calcul al unui computer. Componenta cea mai importantă a acestor sisteme este convertorul analog numeric.

Un SAD (în engleză DAS – Data Acquisition System) este caracterizat prin numărul de canale analogice de intrare, rezoluția conversiei, rata de eșantionare și rata de transfer. Rezoluția conversiei, rata de eșantionare și de transfer depind de performanțele convertorului analogic și vor fi analizate ulterior.

În funcție de numărul canalelor de intrare, sistemele de achiziții de date pot fi:

a) *monocanal*, care au doar o singură intrare analogică, așa cum se vede pe schema prezentată în Fig.5.2.

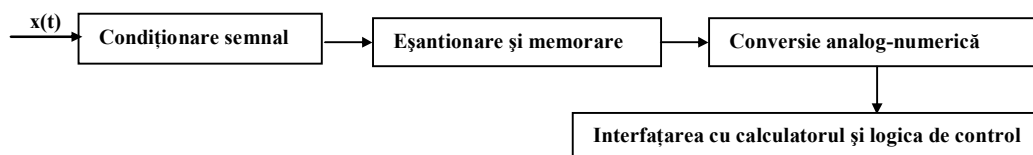


Fig.5.2. Schema –bloc a unui sistem de achiziții date monocanal

SAD monocanal este cel mai simplu sistem de achiziții de date și conține un condiționar de semnal (CS), circuite de eșantionare-memorare (CEM), un convertor analog–numeric (CAN) și o interfață minimală cu magistralele calculatorului (ICLC).

b) *multicanal cu multiplexare numerică*, conține mai multe SAD monocanal care pot funcționa independent sau corelate prin comenzi primite de la logica de control; schema de principiu este arătată în Fig.5.3.

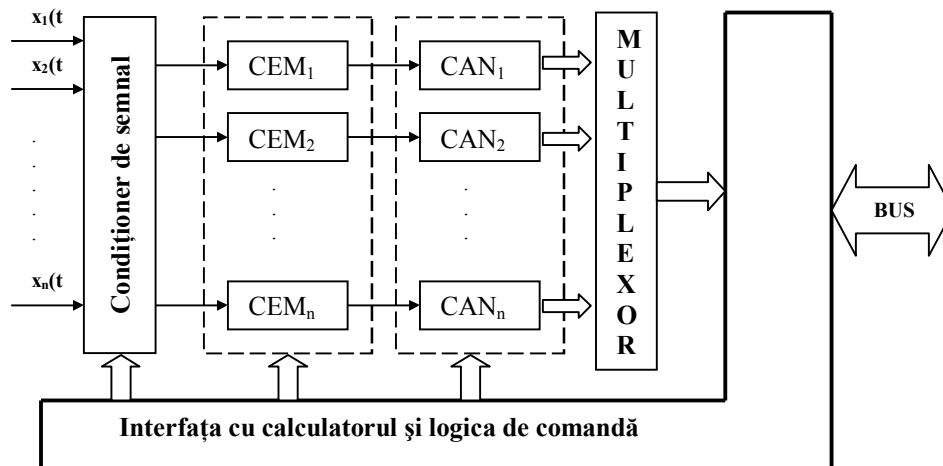


Fig. 5.3: Schema –bloc a unui sistem de achiziții date multicanal cu multiplexare numerică

Structura unui astfel de sistem este avantajoasă pentru transmiterea datelor la distanță.

c) *multicanal cu multiplexare analogică și eșantionare simultană*, lucrează după schema din Fig.5.4.

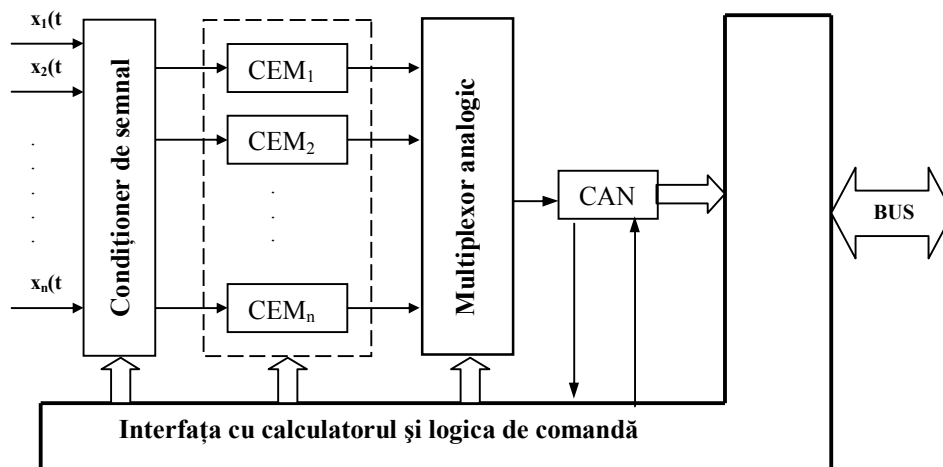


Fig. 5.4: Schema –bloc a unui sistem de achiziții date multicanal cu multiplexare analogică și eșantionare simultană

SAD din această categorie sunt utilizate pentru efectuarea conversiei analog-numerică cu viteză medie. Pentru a realiza eșantionarea simultană a semnalelor de intrare, convertorul analog-numeric trebuie să aibă o viteză mare de lucru. Principalul avantaj al acestor sisteme constă în utilizarea unui singur convertor analog numeric.

d) *multicanal cu multiplexare analogică și eșantionare secvențială* are schema de lucru ca cea din Fig.5.5.

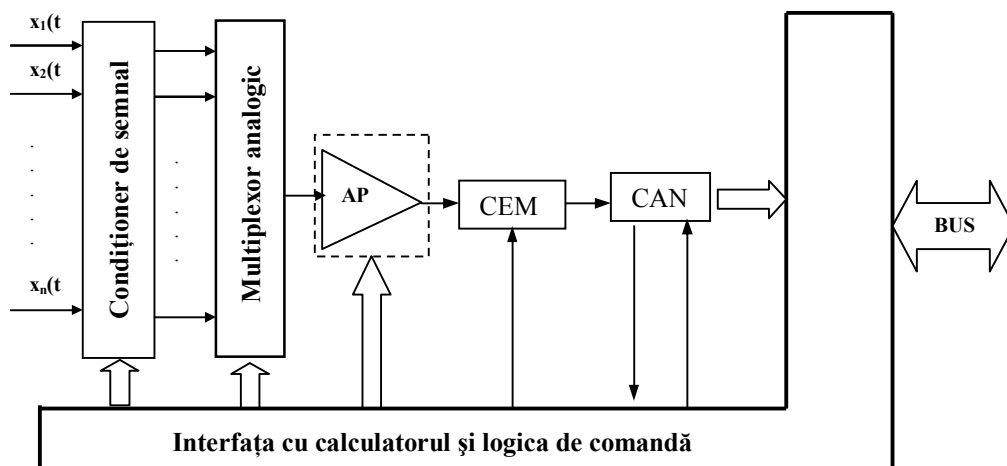


Fig. 5.5: Schema –bloc a unui sistem de achiziții date multicanal cu multiplexare analogică și eșantionare secvențială

Acest sistem se utilizează atunci când nu interesează corelația în timp a semnalelor analogice de intrare. Pentru creșterea vitezei de achiziție, în timp ce semnalul de pe un canal este convertit, multiplexorul selectează următorul canal pentru conversie. Desfășurarea corectă în timp a operațiilor de multiplexare, eșantionare și și conversie este asigurată de logica de control.

Acest SAD prezintă avantaje nete în privința raportului performanță/cost; în plus, acest sistem poate fi utilizat în multe aplicații din diverse domenii.

5.1.2. Sisteme de generare de date (SGD)

Sistemele de generare a datelor (în engleză Data Generated System-DGS) se folosesc pentru generarea unor semnale analogice sau numerice care să poată acționa elementele de execuție atunci când se impune reglarea unor parametri tehnologici.

Pentru a înțelege rolul acestor sisteme, să reamintim câteva aspecte generale privind elementele de execuție.

Din punct de vedere funcțional, elementele de execuție sunt formate, de regulă, din două părți:

- *elementul de acționare*, care reprezintă partea motoare, având rolul de amplificator de putere;

- *organul de execuție (sau de reglare)*, care acționează într-o formă specifică asupra instalației tehnologice pentru a modifica un parametru, astfel încât evoluția procesului să se încadreze între anumite limite, impuse de cele mai multe ori prin criterii de performanță.

Elementele de acționare pot fi *electrice* (electromagneți, motoare electrice, servomotoare, motoare pas cu pas etc.), *pneumatice* (membrane, pistoane etc.) și *hidraulice* (cilindri hidraulici, motoare hidraulice etc.).

Elementele de acționare electrice se recomandă mai ales pentru comenzi la distanță, fiind ușor adaptabile pentru procese în care regimurile tranzitorii au o pondere mare. Elementele de acționare pneumatice se pretează pentru comanda unor procese lente, cu viteze de răspuns și precizii reduse. Aceste elemente necesită surse de aer comprimat, rezervoare, conducte etc.

Elementele de acționare hidraulică se recomandă pentru forțe și puteri foarte mari; necesită surse de energie hidraulică de mare presiune.

Organele de execuție au rolul de a acționa asupra parametrilor de intrare din instalațiile tehnologice (cuplu, turație, debit, presiune, temperatură etc.) și pot fi electrice (tranzistoare de putere, tiristoare, amplificatoare magnetice, reostate, întrerupătoare etc.) și mecanice (șuruburi melcate, robineți, clapete etc.)

Sistemele de generare a datelor (SGD) se utilizează în cazul sistemelor automate, în care parametrii procesului tehnologic (și uneori chiar condițiile de mediu) trebuie monitorizați iar atunci când se impune modificarea acestora, elementele de execuție intră automat în funcțiune.

Componenta principală a SGD este convertorul numeric –analogic (CNA).

Ca și SAD, SGD au o serie de caracteristici specifice, cele mai importante fiind: numărul canalelor de ieșire, rezoluția semnalelor de ieșire, rata de generare a semnalelor etc.

Din punct de vedere constructiv pentru SGD există două tipuri de structuri:

a) *SGD cu distribuție numerică*, ce funcționează după schema din Fig. 5.6.

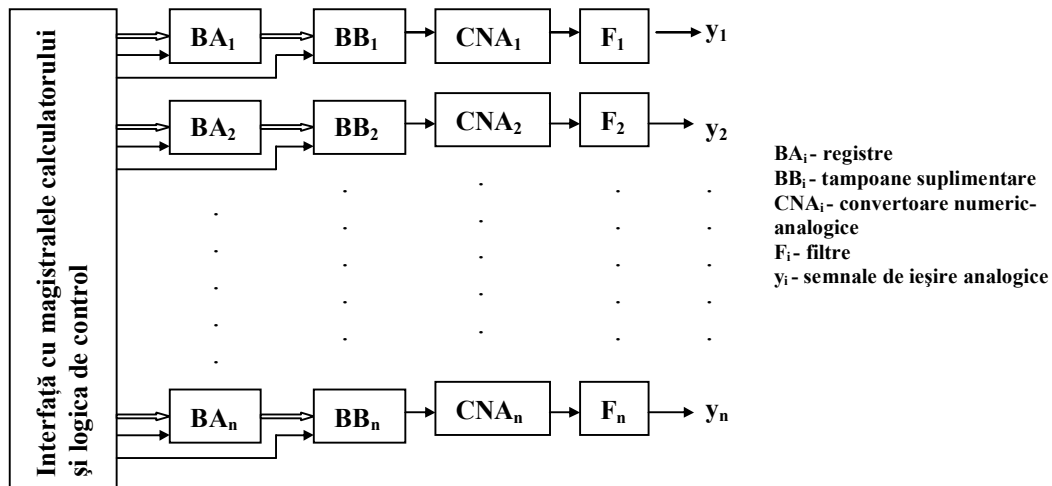


Fig.5.6: Schema-bloc a sistemului de generare a datelor cu distribuție numerică

Un astfel de sistem conține câte un CNA pe fiecare canal și o logică numerică care asigură distribuția eșantioanelor în registrele BA_i. Dacă momentul schimbării datelor trebuie să fie același pentru toate canalele se prevăd tamponi suplimentari BB_i pentru fiecare canal. Filtrele F_i amplasate la ieșire au rolul de a netezi semnalele obținute.

b) *SGD cu distribuție analogică*, care funcționează după schema din Fig. 5.7.

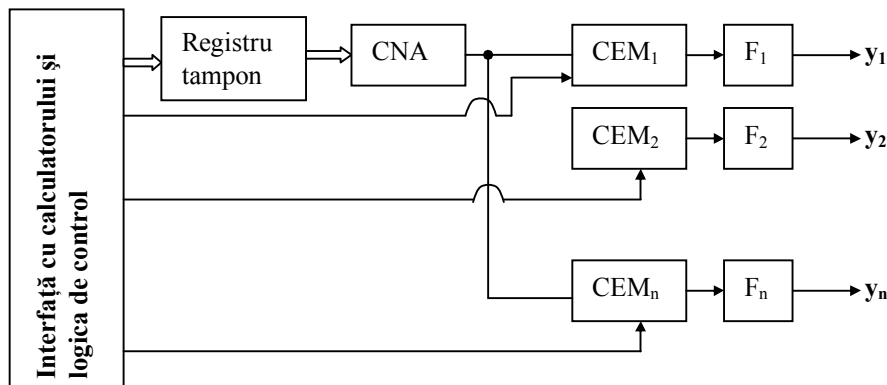


Fig.5.7: Schema-bloc a sistemului de generare date cu distribuție analogică

Acest sistem include circuite de eșantionare-memorare pentru menținerea valorii de ieșire până apare un nou eșantion. Trecerea de la un eșantion la altul trebuie să se facă suficient de repede pentru a permite obținerea de noi semnale analogice.

În general SAD și SGD se prezintă sub forma unor module care se cuplează cu sistemele de calcul de uz general prin intermediul unor interfețe cu magistralele calculatorului și cu logica de control. Intrările și ieșirile acestor sisteme pot fi analogice, numerice sau cu temporizare (timere). Marile firme producătoare de hardware, fabrică module complete având atât SAD cât și SGD, care au posibilitatea interfațării calculatoarelor personale cu o gamă largă de echipamente.

5.2. Componentele sistemelor de măsurare computerizate

Este evident că, în cazul unor configurații mai simple unele module ale SAD și SGD pot lipsi însă traductoarele, condiționerile și plăcile de achiziții sunt prezente în orice structură a unui sistem de măsurare computerizat.

De aceea, în continuare, vor fi descrise numai aceste componente.

A. Traductoare

A.1. Rolul traductoarelor în sistemele de măsurare computerizate

Parametrii fizici neelectrici, cum ar fi: temperatura, presiunea, debitul, forța, deplasarea, etc., pentru a fi măsurati și analizați cu aparate electronice, trebuie mai întâi transformați în semnale electrice (tensiune sau curent), corespunzătoare mărimii de măsurat.

Traductoarele au deci rolul de a genera un semnal electric, dependent de mărimea neelectrică de măsurat.

Semnalele electrice produse de cea mai mare parte a traductoarelor sunt de 3 categorii:

- tensiuni de nivel mare (de la 0 la câțiva volți, max. 10 V);
- tensiuni de nivel mic (de la 0 la câțiva mV);
- curenți (de la 0 la 50 mA).

Semnalele furnizate de traductoare sunt de obicei slabe și de aceea este necesară amplificarea lor.

Traductoarele sunt, de fapt, formate din *elemente sensibile* numite și *senzori*, *captori* sau *detectori*, care transformă mărimea neelectrică de măsurat într-o mărime electrică și *adaptatoare de semnal*, care produc o tensiune sau un curent într-o gamă care să permită o interfațare optimă cu alte dispozitive (aparate de măsură, sisteme de instrumentație sau de reglare etc.).

Senzorul permite detectarea mărimii fizice de măsurat, eliminând sau diminuând influențele pe care le exercită asupra sa celelalte mărimi fizice existente în mediul respectiv; sub acțiunea mărimii fizice are loc o modificare a stării sensorului, după legi teoretice sau experimentale cunoscute. Modificarea de stare a sensorului se poate produce fie datorită cedării unei energii din partea obiectului măsurării sau procesului, energie care se manifestă printr-un semnal electric la ieșirea sensorului, caz în care traductoarele se numesc *active*, fie modificării unor parametri de material pentru evidențierea cărora printr-un semnal este necesară o energie de activare externă – caz în care traductoarele se numesc *pasive*.

Adaptatoarele de semnal au rolul de a aduce informația dată de senzor la cerințele impuse de utilizator. Adaptatoarele realizează funcții complexe și asigură conversia modificărilor de stare ale senzorilor în semnale calibrate ce reprezintă valoarea mărimii de intrare. Cu alte cuvinte, am putea spune că adaptorul este elementul în cadrul căruia

se efectuează operația specifică măsurării, adică aceea de comparație a mărimii de măsurat cu unitatea de măsură. Comparația se poate face în raport cu o mărime etalon care exercită o acțiune permanentă și simultană cu mărimea de intrare. De cele mai multe ori, comparația este nesimultană, în sensul că mărimea etalon este aplicată din exterior printr-o operație inițială de calibrare, anumite elemente constructive măsurând efectele sale și utilizându-le ulterior pentru comparația cu mărimea de măsurat.

A.2. Caracteristicile și performanțele generale ale traductoarelor

Caracteristicile funcționale ale traductoarelor reflectă modul în care este realizată relația de dependență între mărimea de intrare și cea de ieșire iar performanțele traductoarelor sunt indicatori care permit să se aprecieze măsura în care mărimile reale corespund cu cele ideale și care sunt condițiile necesare pentru a realiza o cât mai bună concordanță a lor.

A.2.1. Caracteristicile metrologice în regim static

Caracteristicile metrologice ale traductoarelor se referă la comportarea sensorului în raport cu mărimea de intrare, mediul ambiant și convertorul care urmează în lanțul de măsurare. Regimul static de funcționare presupune că mărimea de măsurat nu variază în timp. Cele mai importante caracteristici metrologice ale traductoarelor în regim static sunt[8]:

- *Caracteristica statică de transfer* – reprezintă dependența mărimii de ieșire (y) în funcție de mărimea de intrare (x); se exprimă în general prin relația:

$$y = f(x) \quad (5.1)$$

Deosebit de importante pentru calitatea măsurării sunt caracteristicile de transfer liniare, de forma:

$$y = kx \quad (5.2)$$

sau
$$y = y_0 + kx \quad (5.3)$$

În practică, de cele mai multe ori, caracteristica de transfer este neliniară.

În Fig. 5.8 sunt date 2 exemple de caracteristici statice:

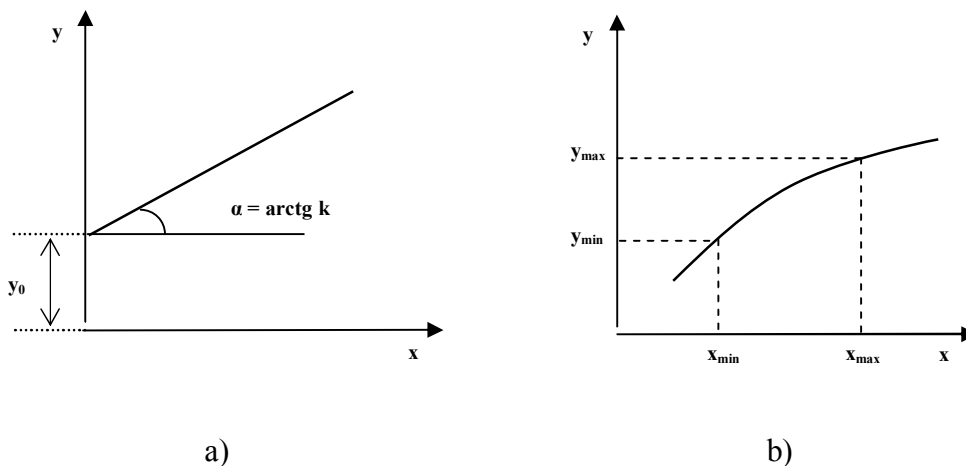


Fig.5.8: Caracteristici de transfer statice
a) caracteristică liniară; b) caracteristică neliniară.

- *Intervalul de măsurare* – reprezintă intervalul de variație al mărimii de intrare, pentru care un traductor poate furniza informații de măsurare, cu o incertitudine prestabilită. Intervalul de măsurare este cuprins între o limită inferioară și o limită superioară a valorilor de intrare și de ieșire.

- intervalul de intrare: $x_{max} - x_{min}$ (5.4)

- intervalul de ieșire: $y_{max} - y_{min}$ (5.5)

Intervalul de măsurare se specifică, de regulă, chiar în denumirea traductorului.

- *Sensibilitatea sau coeficientul de transfer* – reprezintă raportul dintre variația mărimii de ieșire și variația corespunzătoare a mărimii de intrare.

$$S = dy/dx \approx \Delta y/\Delta x \quad (5.6)$$

Dacă senzorul sau traductorul are o caracteristică statică de transfer liniară, atunci sensibilitatea este constantă pe intervalul de măsurare și reprezintă panta dreptei:

$$S = y/x = \operatorname{tg} \alpha \quad (5.7)$$

Coeficientul mediu de transfer este dat de raportul:

$$S_m = (y_{max} - y_{min})/(x_{max} - x_{min}) \quad (5.8)$$

- *Precizia* – reprezintă concordanța dintre valoarea măsurată a mărimii de ieșire și valoarea adevărată a acesteia și este cea mai utilizată caracteristică metrologică a unui traductor. Precizia traductoarelor este specificată prin intermediul unor indicatori definiți pe baza erorilor de măsurare care afectează valorile mărimilor măsurate și care exprimă global abaterile posibile ale caracteristicilor statice față de cele ideale.

Indicatorul esențial pentru exprimarea cantitativă a preciziei traductoarelor este *eroarea admisibilă sau toleranța*.

Ca și în cazul aparatelor de măsură, se utilizează și la traductoare indicatorul *clasă de precizie*.

- *Rezoluția* – reprezintă intervalul maxim de variație al mărimii de intrare necesar pentru a determina apariția unui salt al mărimii de ieșire. Această caracteristică este utilizată în special în cazul traductoarelor numerice a căror caracteristică variază în trepte.

Rezoluția poate să nu fie aceeași pe întreg domeniul de măsurare. În aceste cazuri se ia în considerare fie valoarea maximă, fie o valoare medie. (atunci când diferențele nu sunt prea mari).

- *Pragul de sensibilitate* – reprezintă cea mai mică variație a semnalului de intrare care produce o modificare sesizabilă a semnalului de ieșire. Principalii factori care determină pragul de sensibilitate sunt fluctuațiile datorate perturbațiilor interne sau externe (frecări statice, jocuri în angrenajele dispozitivelor mecanice etc.).

În concluzie, se poate spune că un traductor are o calitate mai bună atunci când sensibilitatea sa este mai mare iar rezoluția și pragul de sensibilitate sunt mai mici.

A.2.2. Caracteristicile metrologice în regim dinamic

Regimul dinamic de funcționare al unui traductor corespunde situației în care mărimea de măsurat (implicit și semnalul de ieșire) variază în timp. Variabila de ieșire (y) rămâne în urmă față de variabila de intrare (x) și ca urmare variația mărimii de ieșire nu poate fi urmărită instantaneu cu cea de intrare. Evoluția în timp a mărimii de intrare se transmite cu întârziere la ieșire și uneori cu deformații în raport cu valorile corespunzătoare caracteristicii statice.

Comportarea traductorului în regim dinamic se exprimă prin *caracteristica dinamică* a acestora, care se obține din ecuația diferențială care leagă variațiile mărimilor y(t) și x(t). Această ecuație este în general de forma unei ecuații diferențiale de ordinul n.

A.2.3. Caracteristicile constructive

Calitatea unui traductor este determinată, în afara concepției privind principiul de funcționare, de modul efectiv în care este realizată construcția sa.

Menținerea calității unui traductor depinde de montarea, exploatarea și întreținerea sa corectă.

Caracteristicile constructive ale traductoarelor, pe lângă aspectele legate de mărimea măsurată, sunt condiționate în mod esențial de natura aplicației.

Principalele caracteristici constructive ale traductoarelor sunt:

- *Robustețea* – reprezintă capacitatea traductoarelor de a funcționa corect în condiții de șocuri, vibrații, variații mari de temperatură, umiditate, agenți nocivi chimici sau biologici, precum și la variații bruște ale mărimii de măsurat.

Traductoarele robuste se disting printr-o foarte bună stabilitate a caracteristicilor statice și dinamice. Este evident că această caracteristică a traductoarelor poate fi asigurată în special prin soluții constructive.

- *Capacitatea de supraîncărcare* – reprezintă proprietatea unui traductor de a suporta valori ale mărimii de măsurat care depășesc limita superioară a intervalului de măsurare fără a se produce modificări ale caracteristicilor metrologice (sensibilitate, precizie) sau deteriorări constructive.

Pentru a proteja aparatura de înregistrare de suprasolicitări, unele tipuri de traductoare sunt prevăzute cu protecții care nu permit ca semnalul de ieșire să depășească limita superioară, chiar dacă se depășește limita superioară a semnalului de intrare.

- *Protecția climatică* – este constituită din ansamblul de măsuri constructive (în special ale carcasei), care se iau încă din faza de proiectare, pentru a asigura o etanșare a traductorului față de acțiunea complexă a factorilor climatici.

- *Protecția anticorozivă* – reprezintă ansamblul de măsuri care se iau pentru a proteja elementele sensibile ale traductorului, atunci când acestea vin în contact cu diferite fluide (acizi, baze) caracterizate printr-o puternică acțiune corozivă. Pentru a evita efectul corosiv se utilizează fie materiale rezistente, fie fluide de separare necorozive.

- *Protecția împotriva șocurilor și vibrațiilor* – se realizează prin rigidizarea pieselor și subansamblurilor, utilizarea unor elemente speciale de amortizare, miniaturizarea și compactarea atunci când acest lucru este posibil, etc.

- *Protecția generală* – se referă la protecția electrică, protecția contra pătrunderii corpurilor străine, pătrunderea apei, etc.

A.3. Clasificarea traductoarelor

Traductoarele pot fi clasificate după mai multe criterii [9]:

- După *principiul de funcționare*, pot fi:
 - *traductoare generatoare (active)*, care furnizează semnale electrice fără să fie alimentate (de ex. termocupluri, dispozitive fotoelectrice, traductoare piezoelectrice, etc.);
 - *traductoare parametric (pasive)*, care necesită alimentare electrică pentru a furniza semnalul de ieșire (de ex. traductoarele electrezistive și inductive, termorezistoare etc.).
- După *natura semnalului electric furnizat la ieșire*, există:
 - *traductoare analogice*, care furnizează un semnal continuu, dependent de mărimea măsurată;
 - *traductoare digitale (numerice)*, care furnizează un semnal discontinuu, o succesiune de impulsuri sau o combinație de tensiuni care după un anumit cod reprezintă valori discrete ale mărimii de măsurat.
- După *natura mărimii de intrare*, traductoarele pot fi:
 - *traductoare de temperatură*;
 - *traductoare pentru mărimi mecanice* (forță, presiune, debit, etc.);

- *traductoare pentru mărimi geometrice* (lungime, arie, volum, nivel, rugozitate, etc.);
- *traductoare pentru mărimi fotometrice*;
- *traductoare pentru caracteristici de material* (densitate, indice de refracție, vâscozitate, etc.);
- *traductoare de compoziție și concentrație*;
- *traductoare pentru radiații*, etc.
- După modul de convertire a mărimii neelectrice în mărime electrică:
 - *traductoare cu convertire directă* (de ex. traductorul de deplasare potențiomtric, traductorul de temperatură cu termocuplu, etc.);
 - *traductoare cu convertire indirectă*, în care se folosesc una sau mai multe mărimi intermediare (de ex. traductorul electrorezistiv – TER, care folosește ca mărime intermediară deformarea unui element elastic).

Data fiind marea varietate a traductorilor, în cele ce urmează se vor prezenta unele tipuri de traductoare folosite frecvent în domeniul studiului și procesării materialelor metalice, denumite după natura mărimii pe care trebuie să o măsoare. Pentru alte tipuri de traductoare se recomandă consultarea lucrărilor [8], [9].

A.4. Traductoare de temperatură

Măsurarea temperaturii se bazează pe diferite efecte fizice produse de variația temperaturii, cum ar fi: dilatarea solidelor, lichidelor și gazelor, variația rezistenței electrice, modificarea tensiunii la joncțiunea a două metale, variația frecvenței de rezistență a unui cristal, intensitatea radiațiilor emise etc.

Cele mai utilizate traductoare de temperatură, care necesită dispozitive electronice pentru măsurare și deci pot fi utilizate în sistemele de achiziții date, sunt:

- termorezistoare metalice
- termistoare
- termometre cu cuarț
- termocupluri
- pirometre de radiație

A.4.1. Termorezistoarele metalice se bazează pe variația rezistivității metalelor cu temperatura (după cum se știe, rezistivitatea metalelor crește odată cu creșterea temperaturii).

Variația rezistenței electrice se datorează pe de o parte modificării rezistivității, iar pe de altă parte modificării dimensiunilor.

Rezistența electrică apare în primul rând din cauza agitației termice, care la rândul ei depinde de natura materialului, de prezența impurităților, a defectelor din rețeaua cristalină, de lungimea și secțiunea conductorului.

Cele mai utilizate metale pentru construirea termorezistoarelor sunt: platina, nichelul, wolframul și cuprul.

Măsurarea se face, de regulă, cu ajutorul unei punți Wheatstone, realizată cu 2 sau 4 fire metalice.

În Fig.5.9. sunt arătate unele forme constructive ale traductoarelor cu termorezistoare metalice.

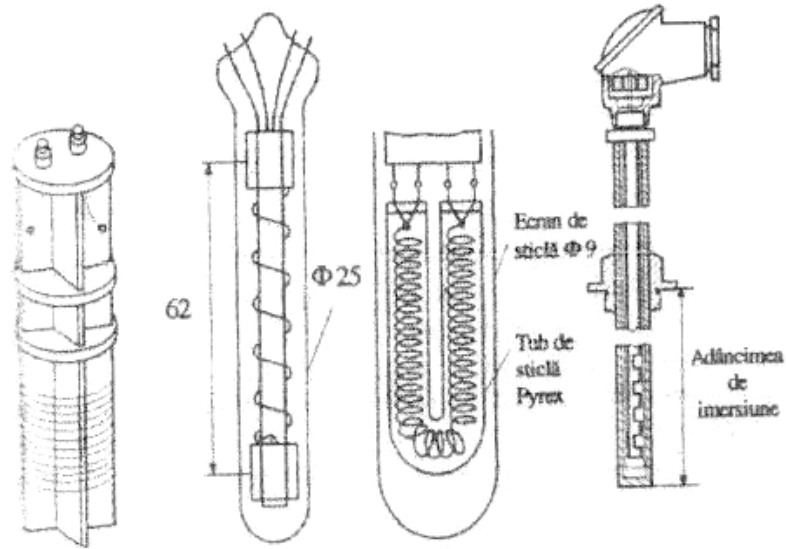


Fig.5.9: Forme constructive ale traductoarelor cu termorezistoare metalice

A.4.2. Termistoarele sunt materiale semiconductoare la care rezistivitatea se modifică (de obicei scade) odată cu creșterea temperaturii. Termistoarele sunt confecționate din oxizi de nichel, mangan, cobalt, fier, magneziu, titan, etc. sinterizate la temperaturi peste 1000°C.

În Fig.5.10 sunt prezentate câteva forme constructive de termistoare folosite la măsurarea temperaturii.

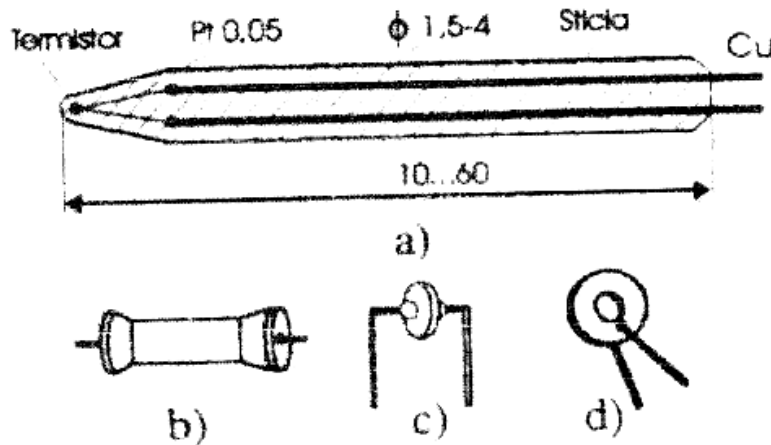


Fig.5.10. Forme constructive de termistoare

În comparație cu termorezistoarele metalice, traductoarele cu termistoare prezintă următoarele avantaje:

- variația mare a rezistenței cu temperatura;
- rezistivitate electrică mare (pot fi folosite chiar atunci când distanța dintre punctul de măsurare și locul de amplasare este mare, întrucât rezistența firelor de legătură devine neglijabilă);
- au dimensiuni foarte mici.

Cel mai mare dezavantaj al termistoarelor este acela că au caracteristici statice cu dispersie mare; din această cauză schimbarea unui senzor uzat este dificilă, fiind necesară o selectare severă.

Măsurarea se face de regulă cu ajutorul unei punți Wheatstone echilibrată sau neechilibrată. Varianta punții neechilibrate este cea mai des folosită, caz în care se face un reglaj de calibrare pentru compensarea variației tensiunii de alimentare a punții. Termistoarele pot fi combinate cu rețele rezistive, pentru a obține o îmbunătățire a caracteristicii rezistență-temperatură liniară și/sau egalizarea caracteristicilor unui lot de traductoare, folosind termistoare inegale.

Utilizarea acestor traductoare în practică este redusă datorită intervalului mic de temperatură măsurabil (între -100°C ... $+300^{\circ}\text{C}$). Ca atare, termistoarele sunt folosite la măsurări de temperaturi moderate, în unele aplicații industriale, de laborator și medicale, în special atunci când se cer dimensiuni mici ale traductorului, sensibilitate ridicată, răspuns rapid etc.

A.4.3. Termometrele cu cuarț se bazează pe dependența liniară dintre frecvența de rezonanță a unui cristal de cuarț cu temperatura. Aceste traductoare funcționează între -40°C ... $+250^{\circ}\text{C}$, au răspuns rapid, rezistă la accelerații foarte mari (până la 10.000 g) și presiuni de până la 300 atm.

A.4.4. Termocuplurile sunt cele mai răspândite traductoare de temperatură, întrucât acoperă un domeniu mare de temperaturi. Aceste traductoare se bazează pe apariția unei tensiuni termoelectromotoare (efect Seebeck) într-un circuit format din două metale diferite – tensiune dependentă de diferența de temperatură dintre două joncțiuni.

Termocuplurile sunt formate din două fire metalice, sudate între ele la capete pentru a forma joncțiunea de măsurare (joncțiunea caldă) și respectiv, joncțiunea de referință (joncțiunea rece), așa cum se vede în Fig.5.11. Temperatura măsurată este, de fapt, diferența de temperatură dintre cele două joncțiuni.

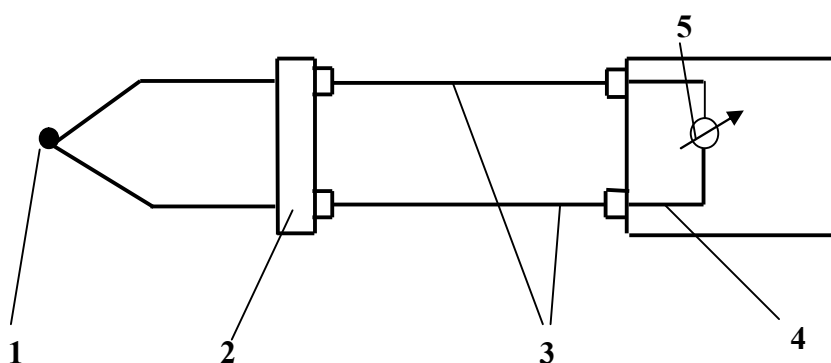


Fig.5.11: Schema de principiu a unui termocuplu

1- joncțiunea de măsurare; 2 – conector; 3 – conexiuni; 4 – joncțiunea de referință; 5 – aparat de măsură

Termocuplurile se introduc în învelișuri protectoare (teci), pentru a le izola de acțiunile fizico-chimice (ale mediului) sau mecanice.

Există o mare varietate de combinații ale unor metale sau aliaje pentru a forma termocupluri, dar cele mai uzuale sunt cele prezentate în Tabelul 5.1.

Tab.5.1. Tipuri uzuale de termocupluri

Tipul	Sensibilitatea mV/°C	Intervalul de temperatură	Proprietăți de utilizare
Cromel-Constantan	0.027...0.075	-200...+1000	cea mai mare sensibilitate
Fier-Constantan	0.025...0.063	-200...+780	cel mai ieftin
Cromel-Alumel	0.016...0.043	-190...+1400	cea mai bună liniaritate
Pt90Rh10-Platină	0.005...0.012	0...+1750	dimensiuni mici ; răspuns rapid ; costisitor
Cupru-Constantan	0.014...0.063	-190...+400	rezistent la umiditate
Wolfram-W74Rh26	0.002...0.021	0...+2300	rezistent la temperaturi înalte, casant și costisitor
Cupru-Aur și Cobalt	0.001...0.045	-265...0	sensibilitate bună la temperaturi joase

În comparație cu alte traductoare de temperatură, termocuplurile au următoarele avantaje: robustețe, simplitate, precizie relativ bună, răspuns rapid, interschimbabilitate, etc.

A.4.5. *Pirometrele de radiație* se bazează pe o proprietate universală a corpurilor, de a emite radiație termică, absentă numai în cazul gazelor inerte sau în apropiere de zero absolut. Aceste traductoare folosesc un sistem optic care colectează radiațiile infraroșii emise de un obiect și le concentrează asupra unui detector, așa cum se vede în Fig.5.12 [10].

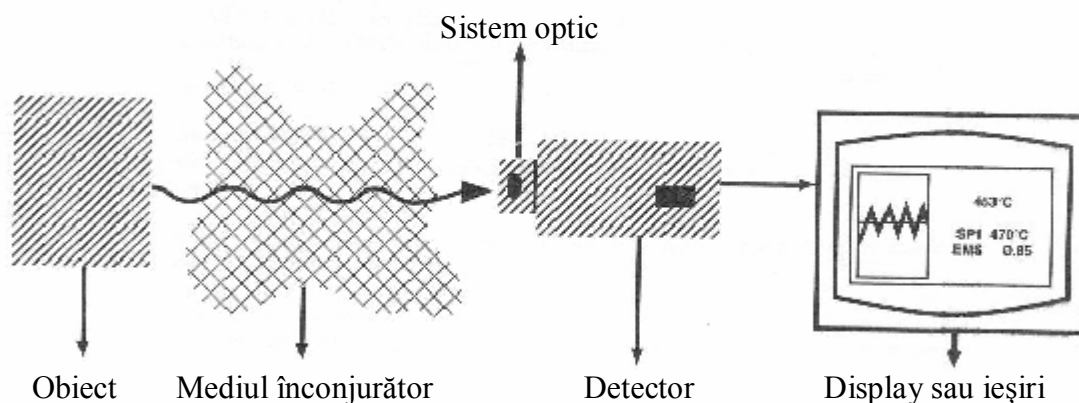


Fig. 5.12: Schema-bloc a unui sistem de măsurare în infraroșu

Pirometrele în infraroșu captează energia naturală a radiațiilor infraroșii, invizibile; această energie trece prin atmosferă, prin dispozitivul optic și este convertită de către detector într-un semnal electric, care este apoi afișat pe ecranul monitorului și/sau convertit într-un semnal de ieșire.

Avantajele folosirii pirometrelor în infraroșu sunt:

- măsoară temperatura fără contact fizic cu obiectul;
- se poate măsura temperatura unor obiecte foarte mici, aflate în mișcare;
- se poate măsura temperatura unor obiecte aflate în locuri inaccesibile sau periculoase;
- măsurătorile în infraroșu sunt mult mai rapide decât cele prin contact (max. 1 s față de câteva minute, în cazul metodelor de măsurare prin contact);
- se pot măsura temperaturi de până la 3000 °C.

Radiațiile infraroșii sunt o parte din spectrul electromagnetic, care conține: razele gamma, razele X, ultravioletele, lumina vizibilă, razele infraroșii și undele radio, după cum se vede în Fig.5.13

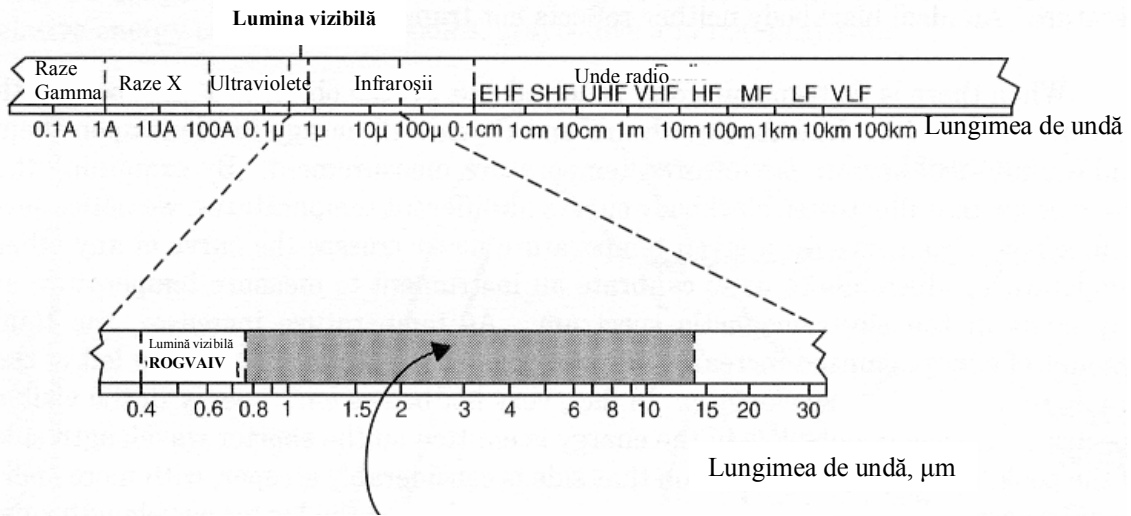


Fig.5.13: Spectrul electromagnetic

Din Fig.5.6 se vede că radiațiile infraroșii apar în banda de la 0,7...14 μm. Folosirea efectivă a unui sistem de măsurare în infraroșu necesită cunoștințe generale despre caracteristicile obiectului de măsurat, a mediului ambiant și a sistemului de măsurare (format din dispozitivul optic, detector și display).

a) *Obiectul de măsurat.* Energia absorbită de un obiect va produce încălzirea lui. Această energie este apoi emisă de suprafața exterioară a obiectului și poate fi măsurată cu un pirometru în infraroșu. Senzorul de infraroșu citește energia totală, care este suma energiilor reflectată, transmisă și emisă de obiect, așa cum se vede în Fig.5.14.

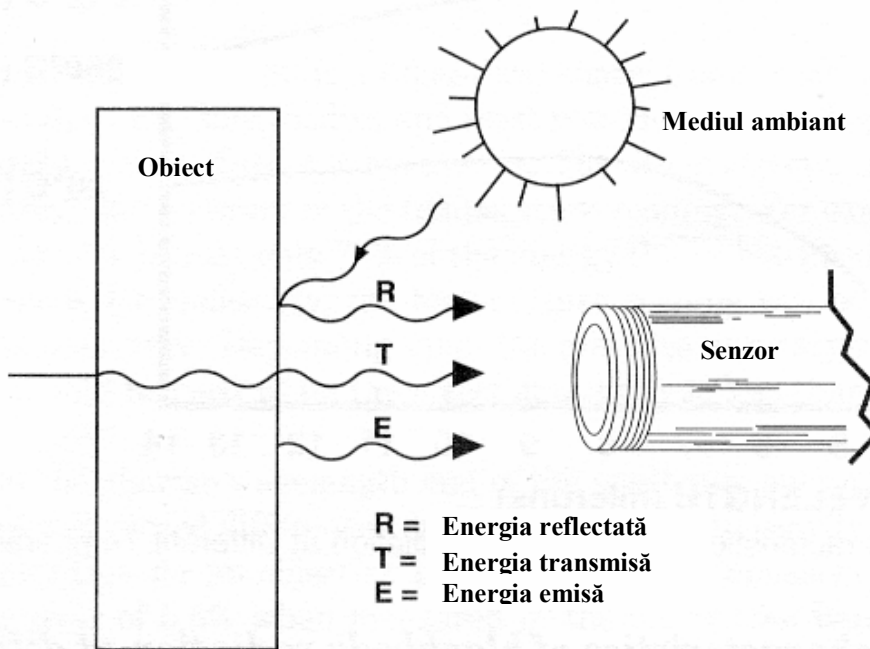


Fig. 5.14: Surse ale energiei radiațiilor infraroșii

Pentru a cuantifica energia emisă de diferite materiale se folosește noțiunea de *emisivitate*, definită ca raport între energia radiată de un corp la o anumită temperatură și energia emisă de un radiator perfect, numit *corp negru*, la aceeași temperatură.

Un obiect se numește corp negru atunci când nu transmite și nu reflectă energie.

Este evident că emisivitatea unui corp negru este 1.

Noțiunea de corp negru este importantă întrucât arată că acesta este cel mai eficient radiator și că puterea sa radiantă depinde de temperatură.

Cu excepția corpului negru, toate obiectele au valori ale emisivității mai mici decât 1.

Fig.5.15 arată curbele energiei relative pentru corpul negru, corpul cenușiu și non-cenușiu.

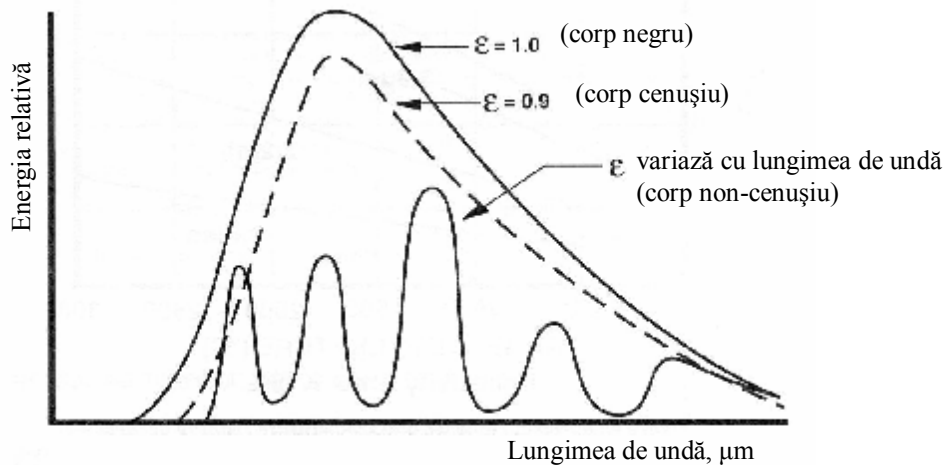


Fig.5.15: Curbele de distribuție spectrală relativă pentru corpul negru, cenușiu și non-cenușiu

Radiația corpului negru este un concept teoretic ideal; corpurile reale au emisivitatea mai mică decât 1. Corpurile cenușii și majoritatea nemetalelor au emisivități ridicate ceea ce permite măsurarea corectă a temperaturii lor cu pirometrele de radiație. Pentru celelalte materiale este necesară corectarea emisivității, pentru ca valorile citite să fie cât mai apropiate de cele reale.

Din cauză că metalele sunt în general reflective, au tendința de a avea emisivitate redusă, ceea ce se manifestă prin rezultate fluctuante și nesigure. Pentru majoritatea metalelor, acest aspect se accentuează cu creșterea lungimii de undă și de aceea este indicat să se folosească cea mai mică lungime de undă disponibilă. Lungimea de undă optimă pentru metale la temperaturi înalte este în infraroșu la valori cuprinse între 0,8 și 1 μm . Alte valori posibile sunt 1,6; 2,2 și 3,9 micrometri.

b) Mediul înconjurător influențează rezultatele măsurătorilor prin:

- prezența unor componente ale atmosferei care absorb energia radiațiilor infraroșii (vapori de apă, CO_2);
- prezența particulelor de praf și a condensului care poate să apară pe lentilele dispozitivului optic, influențează energia radiată către senzor;
- prezența unor alte surse de energie aflate în apropierea obiectului.

Prezența unor alte surse de energie în apropierea obiectului este foarte importantă întrucât acestea pot să transmită sau să reflecte energie. De exemplu măsurarea temperaturii unui corp aflat într-un cuptor este influențată de temperatura pereților cuptorului, așa cum se vede în Fig.5.16.

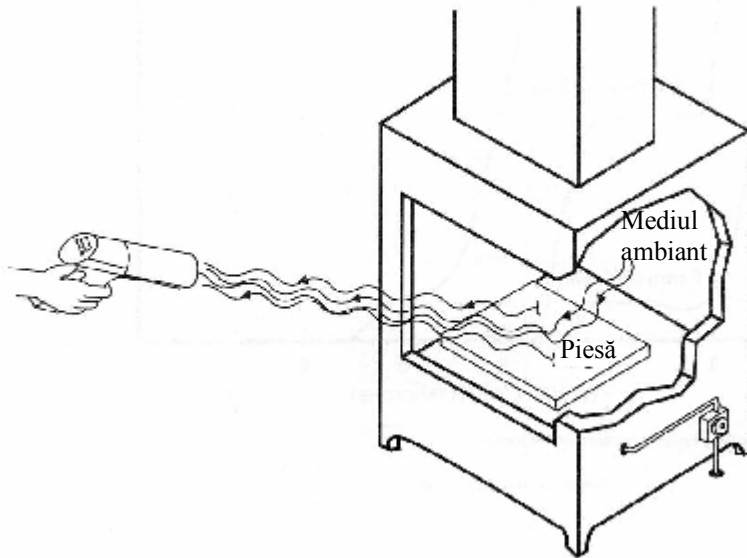


Fig.5.16: Influența energiei mediului asupra temperaturii măsurate cu un pirometru de radiație

O temperatură mare a pereților cuptorului poate să dea valori mai mari ale temperaturii piesei supusă măsurării cu un pirometru de radiație infraroșie. De aceea instrumentele de măsurare în infraroșu trebuie să conțină o funcție de corecție pentru energii mari ale mediului ambiant.

c) Sistemul de măsurare în infraroșu conține: dispozitivul optic, detectorul și display-ul (vezi Fig.5.12).

Dispozitivul optic este similar celui folosit în fotografiere și are rolul de a colecta radiația de pe un spot circular și de a o focaliza pe detector (Fig.5.17)

Raportul dintre distanța de la senzor la obiect (D) și mărimea spotului (S) se numește rezoluție optică.

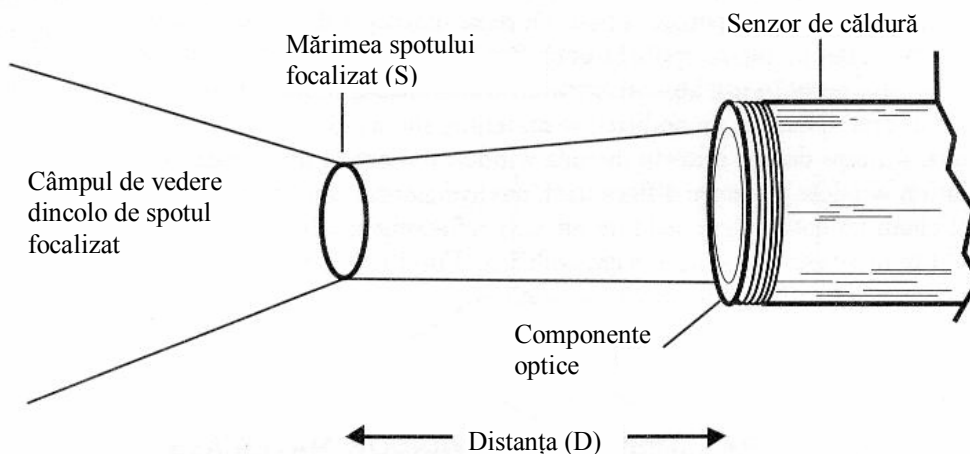


Fig. 5.17: Mărimea spotului măsurat cu dispozitivul optic

Detectorul are rolul de a converti energia radiațiilor infraroșii într-un semnal electric, dependent liniar de temperatura măsurată.

Există 4 tipuri de senzori folosiți în infraroșu: fotoconductivi, fotoelectrici, piroelectrici și termovoltaiici.

Display-ul și ieșirile pot fi folosite ca ieșire primară din sistem, în special în aplicații de monitorizare sau pot fi utilizate pentru a introduce parametri necesari unor reglaje, atunci când sistemul este cu parametri controlați.

Ieșirile pot fi trimise la înregistratoare, imprimante sau în programele calculatorului pentru examinare și analiză (Fig.5.18).

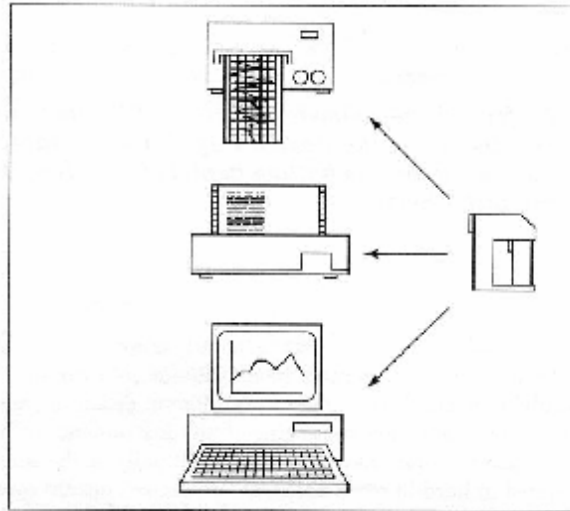


Fig. 5.18: Posibilități de utilizare a datelor de ieșire de la un pirometru în infraroșu

Există sisteme de măsurare în infraroșu care pot înregistra temperatura dintr-un punct sau din mai multe puncte. Datele obținute pot fi încorporate direct în proces sau monitorizate pentru reglaje ulterioare.

Firma Reytek fabrică o instalație de măsurare în infraroșu cu scanare liniară, care poate crea profile grafice ale temperaturii (Fig.5.19). Cu o astfel de instalație încorporată într-un sistem computerizat de achiziții date se poate analiza temperatura de pe suprafața unui obiect în timp real.

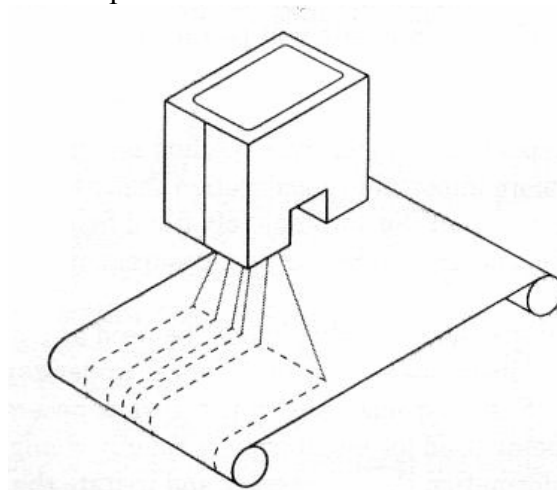


Fig.5.19: Dispozitiv de scanare liniară a temperaturii (REYTEK THERMALERT MP4)

Prin monitorizarea temperaturii folosind dispozitive în infraroșu, integrate în sisteme de măsurare computerizate se realizează o creștere a calității produselor și se reduce numărul de defecte.

A.5. Traductoare de forță

Există o mare varietate de traductoare de forță (mecanice, optice, hidraulice, electrice etc) însă în sistemele de achiziții de date se pot folosi numai cele care pot furniza la ieșire un semnal electric.

Traductoarele de forță electrice se bazează, în principiu, pe modificarea unor parametri electrice (rezistență, capacitate, inductanță) ca urmare a deformării elastice a unui captor-suport, sub acțiunea unei sarcini.

În prezent, cele mai utilizate traductoare de forță electrice sunt cele rezistive (notate prescurtat TER), care se bazează pe faptul că rezistența electrică a unui conductor este dependentă de lungimea sa, conform relației cunoscute: $R = \rho l/S$ (ρ - conductivitatea electrică, l - lungimea, S - secțiunea). Atunci când conductorul suferă alungiri sau scurtări (ca urmare a întinderii sau compresiunii), rezistența sa electrică se modifică, variația fiind:

$$\Delta R = k \cdot \varepsilon \quad (5.9)$$

unde: k - constanta traductorului;

ε - gradul relativ de deformare ($\Delta l/l_0$)

De obicei un TER este compus din elementele arătate în Fig. 5.20:

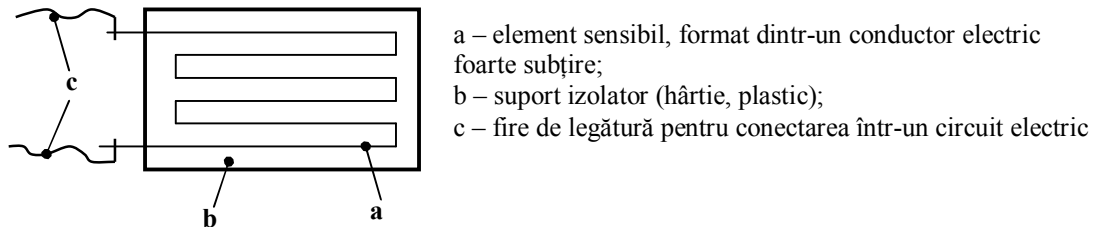


Fig.5.20: Elementele componente ale unui TER

TER se lipește cu un adeziv pe suprafața unui element elastic, capabil să reziste la forța aplicată. După uscarea adezivului, TER formează corp-comun cu elementul elastic și ca atare se va deforma elastic, odată cu acesta, atunci când se acționează cu o forță exterioară (Fig.5.21)

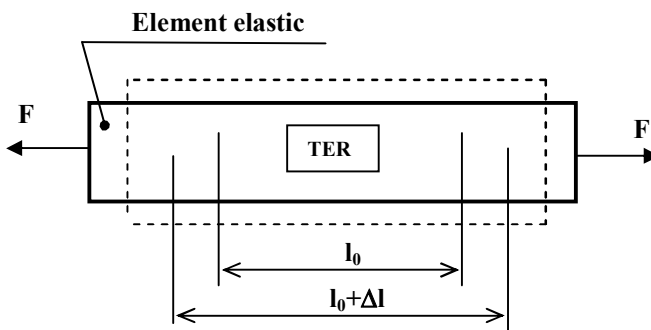


Fig. 5.21: TER fixat pe elementul elastic

Ca materiale pentru execuția elementelor elastice ale captorilor de forță se recomandă oțelurile cu limită mare de elasticitate (de ex. oțelurile de arc, unele oțeluri aliate ș.a.). Elementul elastic trebuie dimensionat în funcție de valoarea maximă a forței, astfel încât tensiunea care apare în interiorul său să nu depășească $1/3 \sigma_c$ a materialului din care este executat (pentru a preveni deformarea plastică). Atât timp cât elementul se află în domeniul elastic, tensiunea și deformația, apărute ca urmare a solicitării produse de forța F , sunt legate între ele prin relația lui Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (5.10)$$

unde: σ - tensiunea normală;
 E - modulul de elasticitate (modulul lui Young);
 ε - gradul relativ de deformare

Înlocuind în rel.(5.10) σ și ε cu relațiile cunoscute se obține:

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l_0} \quad (5.11)$$

De unde:

$$F = \frac{SE}{l_0} \Delta l = const. \cdot \Delta l \quad (5.12)$$

și deci: $F = f(\Delta l)$ (5.13)

Relația (5.13) arată că forța aplicată asupra elementului elastic este dependentă liniar de mărimea deformării Δl (alungire sau scurtare). Deformarea Δl apare atât în elementul elastic cât și în TER, ceea ce produce modificarea rezistenței electrice a conductorului electric (conform rel.5.9).

În practică, pe lângă TER, se mai folosesc și alte tipuri de traductoare electrice, între care mai utilizate sunt cele capacitive, inductive și piezoelectrice. Cu excepția traductoarelor piezoelectrice, care sunt active, celelalte traductoare electrice de forță sunt pasive, necesitând deci o energie de activare exterioară. De cele mai multe ori, această energie este furnizată de condiționerul de semnal.

În cele ce urmează se prezintă succint elementele constructiv-funcționale ale acestor captori electrice de forță.

A.5.1. Traductori de forță electrice rezistivi sunt cei mai utilizați întrucât, au o precizie mare de măsurare și o fiabilitate bună în exploatare, pot transmite și înregistra date la distanță etc. Acești captori sunt executați dintr-un element elastic(cilindri plini, cilindri tubulari sau plăci) pe care sunt lipiți traductori electrice rezistivi(TER), așa cum se vede în Fig.5.22.

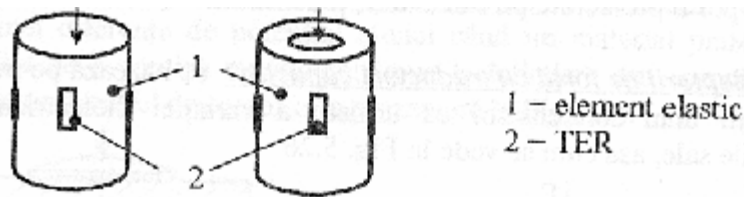


Fig.5.22: Captori de forță cu TER

Prin aplicarea forței F asupra captorului se produce deformarea elastică a elementului suport și implicit a TER; variația lungimii acestuia modifică rezistența sa electrică, conform relației (5.9).

Întrucât la trecerea curentului electric se produce și o încălzire prin efect Joule-Lentz, este necesar ca pe lângă traductoarele active să se folosească și traductoare de compensație care-și modifică rezistența numai datorită efectului termic; acestea se lipesc pe o direcție perpendiculară față de direcția traductoarelor active.

TER active și cele de compensație se montează într-o punte Wheatstone alimentată în curent continuu, așa cum se vede în Fig.5.23.

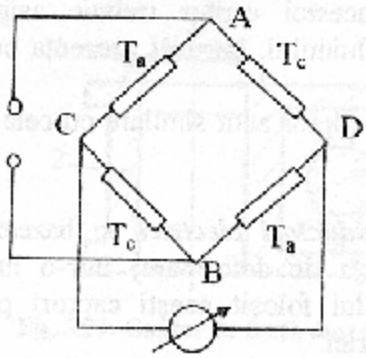
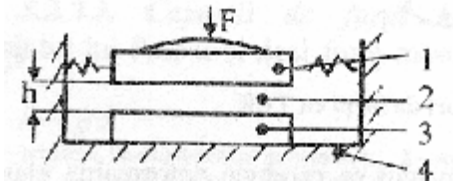


Fig.5.23: Montajul TER în punte Wheatstone

Alimentarea se face pe diagonala AB iar pe diagonala CD se obține un curent variabil, datorită deformării elementului elastic pe care sunt lipite TER. Semnalul astfel produs este amplificat și vizualizat pe un ampermetru. Este posibilă și înregistrarea pe un inscripator sau pe un osciloscop.

A.5.2. Traductori de forță electrici capacitivi se bazează pe modificarea capacității unui condensator ca urmare a variației dielectricului dintre armăturile sale, așa cum se vede în Fig. 5.24



- 1 – armătură mobilă
- 2 – dielectric
- 3 - armătură fixă
- 4 – suport

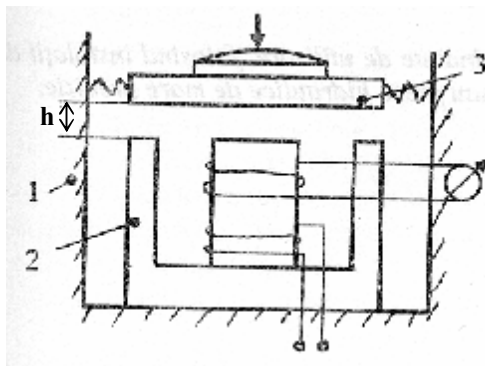
Fig.5.24: Captor de forță cu traductor capacitiv

La aplicarea forței F distanța h dintre armături se modifică ceea ce duce la modificarea capacității condensatorului , întrucât:

$$C = \epsilon \frac{S}{h} \tag{5.14}$$

unde: ϵ – constanta dielectricului
 S – suprafața armăturilor
 h – distanța dintre armături

A.5.3. Traductori de forță electrici inductivi se bazează pe modificarea reluctanței unui circuit magnetic atunci când se modifică întrefierul unei bobine cu armătură mobilă(Fig.5.25). Acești traductori sunt des utilizați atât pentru măsurarea forțelor cât și pentru măsurarea deplasărilor.



- 1 - suport
- 2 - bobină
- 3 – armătură mobilă

Fig.5.25: Captor de forță cu traductor inductiv

Funcționarea acestui captor este similară celui capacitiv; valorile tensiunii din circuitul secundar al bobinei sunt dependente de mărimea forței aplicate.

A.5.4. Traductori de forță piezoelectrici exploatează fenomenul apariției unei diferențe de potențial atunci când un material piezoelectric este sollicitat de o sarcină exterioară (supus la întindere sau compresiune). Construcția unui astfel de captor este prezentată în Fig.5.26.

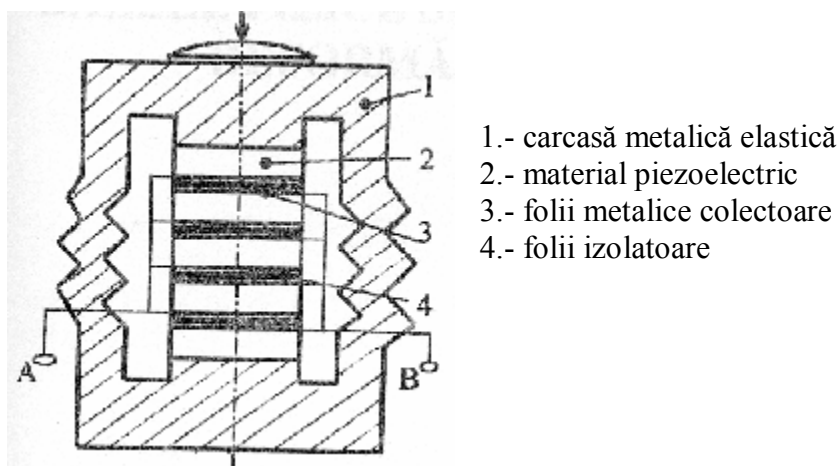


Fig.5.26: Captor de forță cu traductor piezoelectric

Corpurile piezoelectrice sunt în contact cu niște folii metalice colectoare, care preiau sarcinile electrice (de pe suprafețele de capăt) atunci când se aplică forța de măsurat. Foliile metalice sunt legate între ele prin două ramuri separate, conectate la bornele A și respective B, între care apare o diferență de potențial, dependentă de mărimea forței aplicate. Între foliile metalice colectoare se află folii izolatoare care separă partea superioară a unui corp piezoelectric de partea inferioară a următorului.

A.6. Traductoare de moment

Momentul de torsiune sau cuplul reprezintă un parametru funcțional important pentru diferite mașini și mecanisme (motoare electrice sau cu ardere internă, reductoare, utilaje prelucrătoare, vehicule, etc.), care au în structura lor elemente aflate în mișcare de rotație. Cunoscând și turația acestora se poate determina puterea (debitată sau absorbită), cu relația:

$$P = M \omega \quad (5.15)$$

unde: M – momentul de torsiune (cuplul);

ω - viteza unghiulară.

Puterea are un rol determinant asupra randamentului cu care funcționează o instalație și de aceea măsurarea cuplului permite stabilirea unor parametri de proces care asigură o funcționare optimă.

Față de traductoarele bazate pe metode clasice de măsurare (mecanice, optice, electromecanice), aparatele electronice pentru măsurarea cuplului – numite *torsiometre electronice* – au o serie de avantaje: sensibilitate ridicată, posibilitatea măsurării în regim tranzitoriu, posibilitatea transmiterii la distanță a rezultatelor măsurătorii, posibilitatea integrării într-un sistem de achiziții date.

Traductoarele de moment se bazează pe deformarea elastică a unui element supus cuplului de măsurat. De obicei, elementul elastic este un cilindru de o anumită lungime care se intercalează în sistemul mecanic de transmitere a cuplului.

Aplicarea momentului de torsiune produce o deformare a elementului elastic, proporțională cu mărimea cuplului aplicat.

Considerând că elementul (cilindrul) elastic are diametrul D și că asupra lui se aplică momentul M , atunci tensiunile tangențiale maxime apar pe direcțiile înclinate cu 45^0 față de direcția axială și au valoarea:

$$\tau_{max} = 16M / \pi D^3 \quad (5.16)$$

iar deformația unghiulară (unghiul de răsucire) θ între două secțiuni aflate la distanța l pe direcție axială este:

$$\theta = 32Ml / \pi G D^4 \quad (5.17)$$

unde G reprezintă momentul de elasticitate transversală.

Măsurarea cuplului folosind traductoare cu element elastic se reduce astfel la măsurarea deformațiilor produse de efortul tangențial sau la măsurarea unghiului de răsucire.

Plecând de la aceste principii, se construiesc următoarele tipuri de torsionetre electronice:

- | | | |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • traductoare tensometrice • traductoare magnetoelectrice | } | se bazează pe conversia
<i>cuplu → deformație → semnal electric</i> |
| <ul style="list-style-type: none"> • traductoare capacitive • traductoare inductive • traductoare fotoelectrice • traductoare cu impulsuri | } | se bazează pe conversia
<i>cuplu → unghi de răsucire → semnal electric</i> |

Pentru exemplificare, se prezintă în continuare traductoarele tensometrice și cele capacitive.

A.6.1. Traductoarele de moment tensometrice

La aceste traductoare, elementul sensibil este traductorul electric rezistiv (marca tensometrică), care se aplică pe elementul elastic. Se pot folosi 2, 4 sau mai multe TER, dispuse pe direcții care fac unghiuri de 45^0 cu generatoarea și conectate într-o semipunte, respectiv punte Wheastone, așa cum se vede în Fig. 5.27.

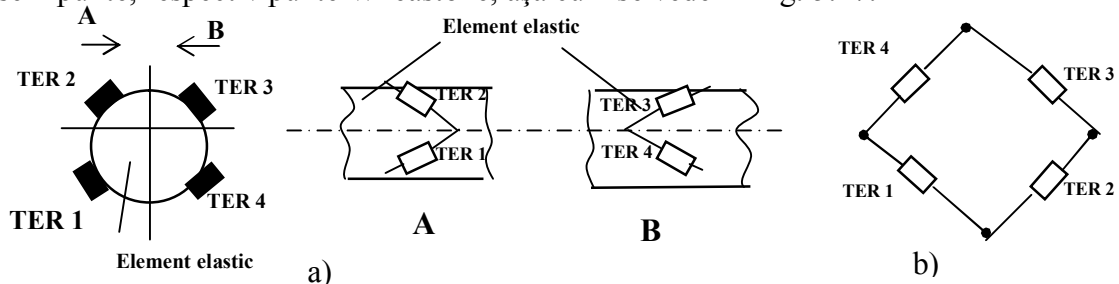


Fig.5.27: Dispunerea mărcilor tensometrice (TER) pentru măsurarea cuplului.
a) modul de dispunere a TER pe elementul elastic; b) legarea TER în punte Wheastone.

Pentru acest mod de dispunere a TER, relația dintre tensiunea tangențială maximă (pe direcția înclinată cu 45^0 față de direcția axială) și deformația produsă de cuplu pe suprafața elementului elastic (ϵ_s) este:

$$\tau_{max} = E \epsilon_s / 4(1 + \mu) \quad (5.18)$$

în care: ϵ_s – deformația liniară măsurată pe suprafața elementului elastic;

E – modulul de elasticitate longitudinal al elementului elastic;

μ – coeficientul contracției transversale (Poisson).

Înlocuind τ_{max} în relația (5.16) se obține:

$$\epsilon_s = [64 (1 + \mu) / \pi D^3 E] M \quad (5.19)$$

Relația (5.19) arată că tensiunea de dezechilibru a punții, care este proporțională cu deformația, variază liniar cu momentul de torsiune.

Pe acest principiu se pot măsura cupluri cuprinse între 1 și 10^5 Nm.

Există mai multe soluții pentru realizarea legăturii între traductorii aflați în mișcare de rotație și aparatura electronică imobilă: utilizarea unor colectoare cu contacte glisante (inele colectoare) sau cu mercur, utilizarea unor transformatoare rotative și utilizarea modulației de frecvență.

A.6.2. Traductoare de moment capacitive.

Elementul sensibil la aceste traductoare este un condensator, format din două piese concentrice tubulare, solidarizate pe elementul elastic în două secțiuni diferite (Fig.5.28).

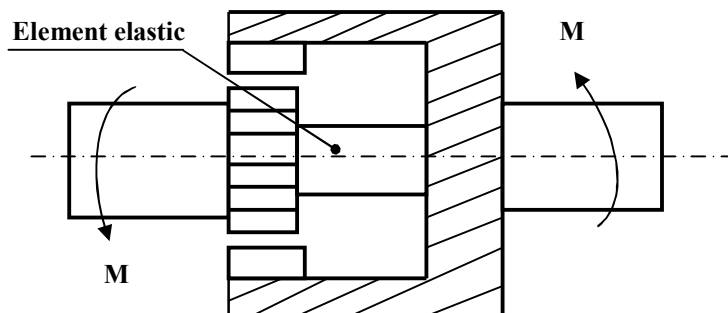


Fig.5.28: Schema constructivă a torsiometrului capacitiv

Piesa tubulară exterioară are pe suprafața sa interioară o serie de caneluri longitudinale, iar piesa tubulară interioară are caneluri similare practicate pe suprafața exterioară; cele două piese (între care există un joc de câteva sutimi de milimetru) reprezintă armăturile unui condensator.

În Fig.5.29 este reprezentată variația capacității traductorului în funcție de unghiul de răsucire, dependent de momentul de torsiune (conform relației 5.17).

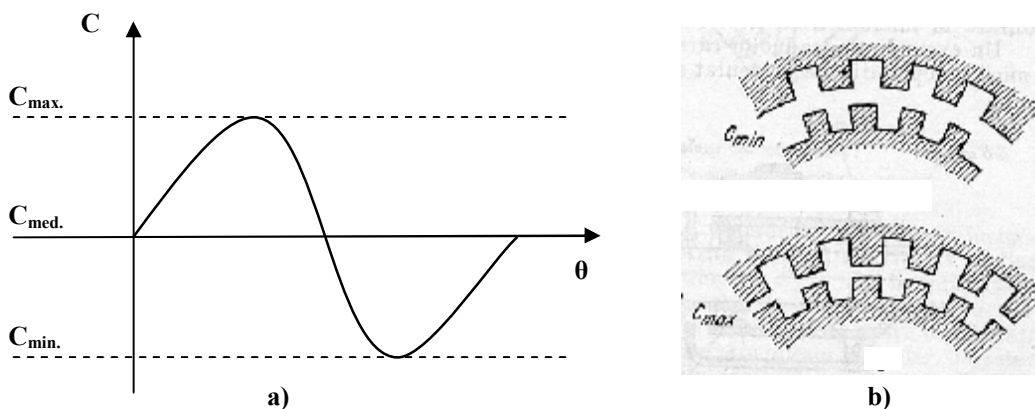


Fig.5.29: Variația capacității traductorului de torsiune capacitiv în funcție de unghiul de răsucire
a) curba de variație;
b) pozițiile relative ale armăturilor, corespunzătoare valorilor extreme ale capacităților

Acest traductor se montează pe elementul elastic, astfel încât, în absența momentului de torsiune, capacitatea condensatorului să corespundă valorii medii.

Traductoarele de moment capacitive sunt utilizate în special în cazul măsurătorilor la temperaturi ridicate.

Neajunsurile principale ale acestui tip de torsiometru constau în necesitatea executării prelucrărilor mecanice cu precizie ridicată și a dificultăților de realizare a schemelor electronice în care acesta trebuie integrat.

A.7. Traductoare de deplasare

Măsurarea cu precizie a deplasărilor este necesară atât în procese industriale, cât și în laboratoarele de cercetare. După mărimea deplasării de măsurat, aceste traductoare sunt utilizate pentru deplasări mici, de ordinul $10^{-2} \div 10^2$ mm și pentru deplasări mari, de ordinul metrilor sau zecilor de metri (la mașini-unelte cu comandă numerică, la laminoare, la benzi transportoare, etc).

Cele mai răspândite traductoare pentru deplasări mici sunt cele parametrice, de tip rezistiv, inductiv și capacitiv; pentru deplasări mari se folosesc traductoare de tip riglă (inductosinul liniar, rigla optică) sau cele bazate pe interferometrie cu laser.

În cele ce urmează se vor analiza doar traductoarele pentru deplasări mici. Structura acestora cuprinde în general două elemente de bază: elementul sensibil la deplasare - care are rolul de a converti deplasarea mecanică într-o mărime electrică și adaptorul format din blocul electronic care prelucrează semnalul electric dat de elementul sensibil.

Traductoarele electrice de deplasare pot fi clasificate după mai multe criterii:

- după *raportul dintre traductor și obiectul supus măsurării*, traductoarele pentru deplasări mici pot fi: *cu contact și fără contact* cu obiectul care se deplasează;
- după *mărimea electrică în care se convertește deplasarea*, traductoarele pot fi: *rezistive, inductive, capacitive, fotoelectrice, etc.*;
- după *caracterul semnalului de ieșire*, traductoarele de deplasare sunt: *analogice și digitale.*

A.7.1. Traductoarele de deplasare rezistive au ca element sensibil un rezistor variabil și se bazează pe dependența liniară care există între rezistența electrică R a unui conductor și lungimea l a acestuia (conform relației $R = \rho l / S$)

Elementul sensibil se obține prin bobinarea cu pas uniform a unui fir conductor (manganină, constantan, nicrom) pe un suport izolator (ceramică). Cursorul se execută sub formă de lamele sau perii din argint cu grafit.

Se pot realiza două scheme de conversie a deplasării în mărimi electrice, așa cum se vede în Fig.5.30.

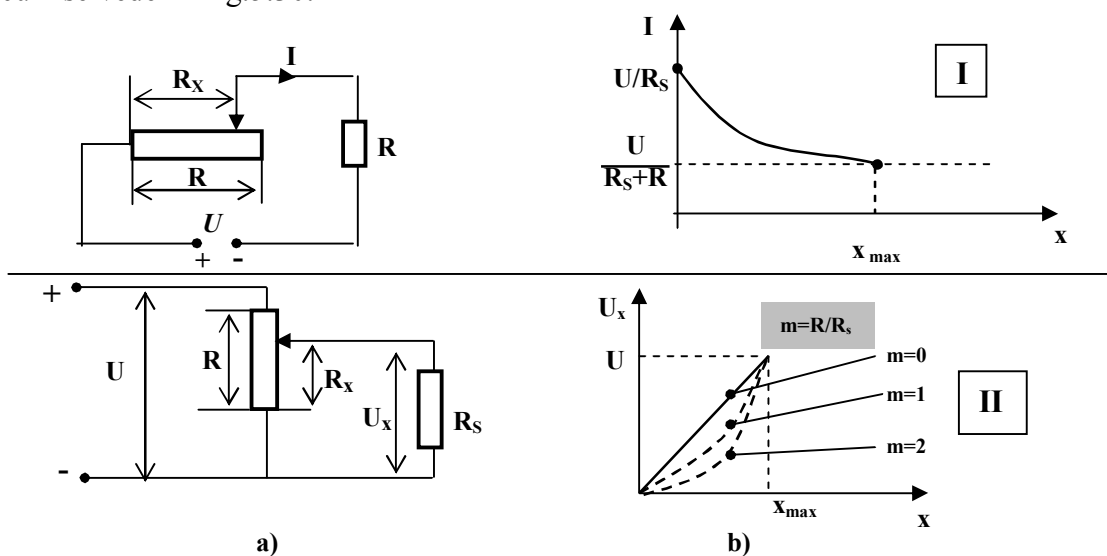


Fig.5.30: Scheme de montaj a elementului rezistiv: I – montaj reostatic; II – montaj potențiometric; a) schema electrică; b) caracteristica statică.

Atunci când rezistorul funcționează ca reostat (rezistență variabilă) produce o conversie în curent, iar atunci când funcționează ca potențiomtru furnizează la ieșire un semnal în tensiune. La ambele montaje caracteristica statică de transfer este neliniară.

Principalele avantaje ale traductoarelor de deplasare rezistive sunt:

- simplitatea constructivă;
- pot fi alimentate în curent continuu și ca atare nu sunt necesare circuite de demodulare a semnalului de ieșire;
- raportul favorabil dintre dimensiunea traductorului și deplasarea maximă de măsurat;
- pot fi utilizate și pentru deplasări unghiulare (atunci când rezistorul se montează pe un izolator circular sau elicoidal).

Ca dezavantaje se pot menționa:

- forță de acționare relativ mare;
- uzură rapidă, datorită frecării dintre cursor și rezistor;
- are o rezoluție scăzută.

Traductoarele rezistive de deplasare se construiesc pentru deplasări liniare în gama 20...400 mm și pentru deplasări circulare, când pot fi utilizate pentru deplasări unghiulare maxime de 300° iar pentru cele elicoidale la max. 3600° (10 ture).

A.7.2. Traductoarele de deplasare inductive folosesc ca element sensibil un miez feromagnetic mobil, numit inductor, a cărui deplasare modifică reluctanța magnetică a unei bobine, ceea ce are ca efect variația inductanței, conform relației:

$$L = \varphi / I = N^2 / \Sigma R \quad (5.20)$$

unde: φ - fluxul magnetic

I - intensitatea curentului care trece prin bobină

N - numărul de spire al bobinei;

ΣR - reluctanțele circuitului magnetic.

Traductoarele inductive de deplasare se construiesc fie cu întrefier variabil (armătură mobilă, asemănătoare cu cel prezentat în Fig. 5.25), fie cu miez mobil.

În Fig.5.31 este prezentat un traductor de deplasare cu miez mobil, format dintr-o bobină B , în interiorul căreia se deplasează miezul feromagnetic M , sub acțiunea mărimii de măsurat x ; această deplasare provoacă o variație a inductanței proprii L a bobinei.

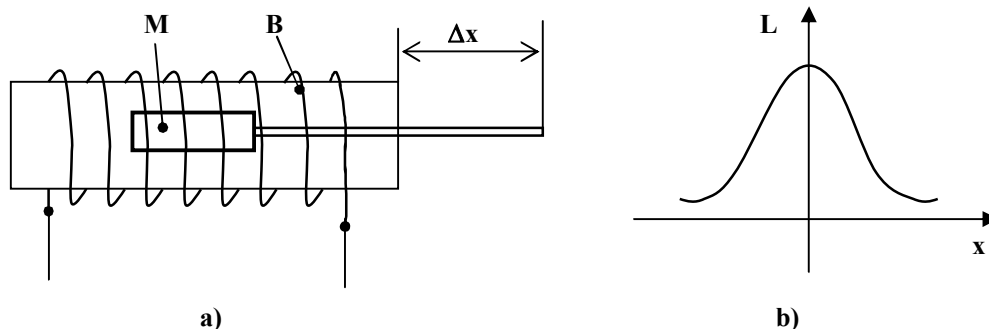


Fig.5.31: Traductor inductiv cu o bobină
a) schema constructivă; b) variația inductanței cu deplasarea.

Datorită câmpului magnetic neomogen creat în bobină, la deplasarea miezului mobil, caracteristica statică de transfer este pronunțat neliniară (Fig.5.31.b).

Pentru liniarizarea acestei caracteristici se folosesc două bobine coaxiale, identice ca număr de spire și separate, așa cum se arată în Fig.5.32 – traductorul numindu-se, în acest caz, *traductor diferențial*.

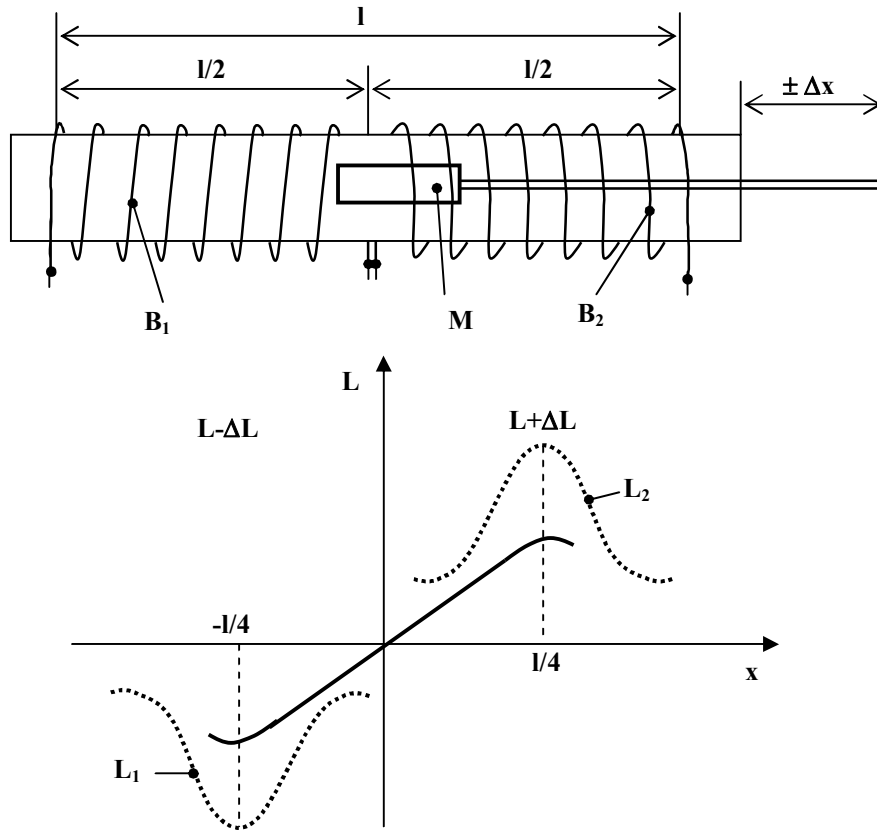


Fig.5.32: Traductor inductiv de deplasare cu două bobine (diferențial)
a) schema constructivă; b) caracteristica de transfer.

Când miezul mobil se găsește în poziție simetrică față de cele două bobine B_1 și B_2 (poziția 0 – de referință), tensiunea de alimentare a traductorului se divizează exact la 1:2 (Fig.5.33). Dacă din această poziție de referință miezul se deplasează spre stânga (intrând mai mult în bobina B_1), atunci valoarea inductanței L_1 crește, iar valoarea inductanței L_2 scade. Raportul de divizare se abate de la 1:2, abaterea fiind liniară cu deplasarea, cu o aproximație foarte bună în domeniul $(-l/4, +l/4)$.

Cele două bobine se montează într-o punte în care două brațe sunt formate din cele două inductanțe, iar brațele opuse din două rezistențe. Prin construcție, traductorul funcționează astfel încât atunci când miezul feromagnetic - aflat inițial în poziția de referință – se deplasează cu o mărime Δx , inductanța unei bobine va crește la valoarea $L + \Delta L$, iar a celeilalte se va reduce la $L - \Delta L$; ca urmare, tensiunea de dezechilibru va fi determinată de variația celor două impedanțe.

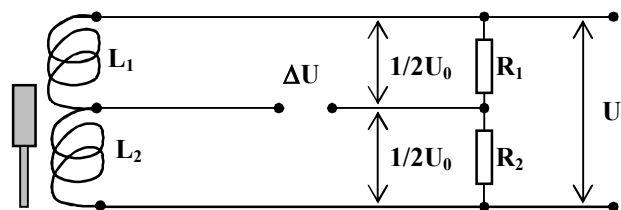


Fig.5.33: Conectarea în punte a elementelor traductorului diferențial

Traductorul de deplasare diferențial prezintă o serie de avantaje, care îl fac utilizabil în numeroase aplicații:

- caracteristică de transfer liniară și rezoluție bună
- domeniu de măsurare larg
- nu are contacte mobile, ceea ce îi conferă o durată mare de aplicație
- raport bun între lungimea traductorului și cursa miezului.

Ca dezavantaj, trebuie menționat faptul că prezintă o capacitate proprie ridicată datorită numărului mare de spire, dezavantaj care poate fi atenuat prin prelucrare electronică.

A.7.3. Traductoarele de deplasare capacitive utilizează ca elemente sensibile condensatoare plane, la care se pot modifica unul din următorii trei parametri: distanța dintre armături, suprafața armăturilor și permitivitatea dielectricului.

În Fig.5.34 este prezentată schema constructivă de principiu a unui traductor de deplasare capacitiv, format dintr-un condensator plan la care *distanța dintre armături se modifică* odată cu deplasarea x .

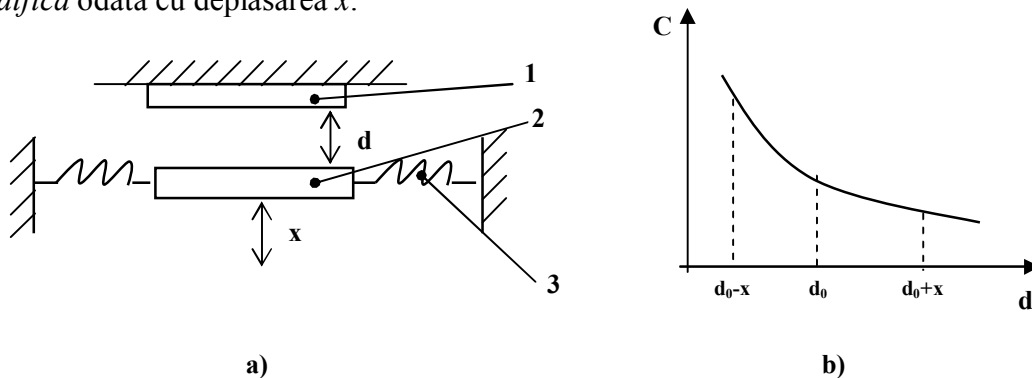


Fig.5.34: Element sensibil capacitiv cu modificarea distanței dintre armături
a) schema constructivă; b) caracteristica statică de transfer.
1-armătură fixă, 2-armătură mobilă, 3-element elastic.

Fig.5.34.b arată o variație neliniară a capacității condensatorului cu distanța dintre armături.

Caracteristica de transfer se poate liniariza printr-un montaj diferențial, utilizând două armături fixe între care se plasează armătura mobilă, așa cum se arată în Fig.5.35.

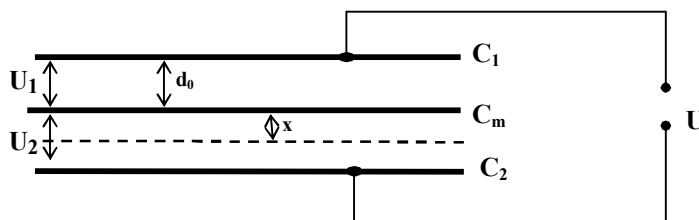


Fig.5.35. Element sensibil capacitiv cu armătură mobilă (diferențial)
 C_1, C_2 – armături fixe; C_m – armătură mobilă

Pentru conversia deplasării în semnal electric, se conectează capacitățile C_1 și C_2 într-o punte de tip Sauty (asemănătoare cu puntea Wheatstone), având în celelalte brațe capacitățile fixe C_3 și C_4 , de valori cunoscute.

B. Condiționere de semnal

B.1. Rolul condiționerelor de semnal

Semnalele care provin de la traductoare nu îndeplinesc în cele mai multe cazuri toate condițiile pentru transmiterea lor către sistemele de achiziții de date. Acest neajuns apare datorită faptului că adaptoarele traductoarelor nu sunt standardizate astfel încât să genereze un semnal unificat, la valoarea cerută de plăcile de achiziții. Din această cauză, este necesară o interfață specială plasată între traductor și sistemul de achiziții – numită *condiționer*. (Fig.5.36).

Așadar, condiționerul de semnal sunt echipamente indispensabile unui sistem computerizat de măsurare și au ca scop aducerea mărimii unui semnal electric (dat de elementul sensibil al traductoarelor) la caracteristicile necesare pentru a putea fi acceptat de placa de achiziții. La ieșirea din condiționer se obține un semnal condiționat, adică un semnal cu caracteristici bine precizate.

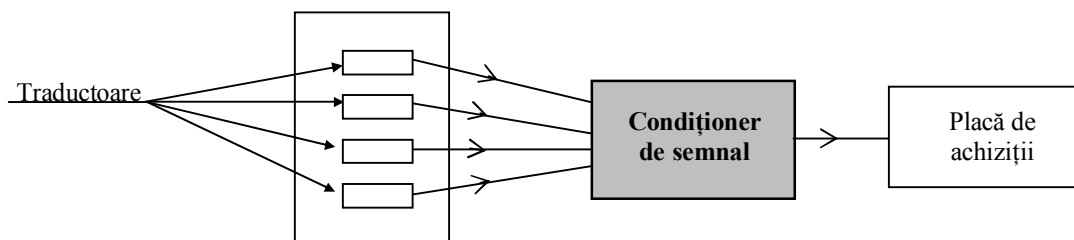


Fig.5.36. Locul condiționerului de semnal într-un sistem de achiziții de date

Principalele operații efectuate de condiționerul de semnal sunt: reducerea sau amplificarea, filtrarea, sumarea, integrarea, liniarizarea și altele. În multe cazuri, condiționarea se reduce numai la filtrare pentru eliminarea zgomotului (cu un filtru de rejecție) și limitarea benzii semnalului pentru a putea fi eșantionat (cu un filtru antialias).

Pentru alegerea modulelor de condiționare a semnalelor trebuie avute în vedere următoarele cerințe: sensibilitate ridicată, zgomot redus, flexibilitate, robustețe, raportul performanță / cost.

Soluțiile tehnice de condiționare a semnalelor sunt:

- condiționare folosind module cu conectare directă între traductoare și plăcile de achiziții (ca în Fig. 5.36)
- condiționare la nivelul plăcii de achiziții
- condiționare cu transformare analog-numerică și comunicație numerică
- condiționare cu transformare analog-numerică și prelucrare locală
- condiționare cu magistrale multiple.

Fiecare din aceste soluții are avantaje și dezavantaje, care trebuie cunoscute înaintea achiziționării echipamentelor.

Modalitatea de condiționare a semnalului depinde foarte mult de tipul traductorului folosit. În Tab.5.2 sunt date principalele caracteristici și cerințe de condiționare pentru unele traductoare des utilizate în aplicații practice.

Tab.5.2: Caracteristici și cerințe de condiționare pentru unele tipuri de traductoare

<i>Tipul rezistorului</i>	<i>Caracteristici</i>	<i>Cerințe de condiționare</i>
Termocuplu	- tensiunea mică la ieșire - sensibilitate scăzută - ieșire neliniară	- senzor pentru temperatura de referință - amplificare - liniarizare
Termorezistor	- rezistență redusă - sensibilitate scăzută - ieșire neliniară	- sursă externă de curent pentru excitație - circuite de intrare simple sau punți - liniarizare
Termistor	- rezistență mare - sensibilitate ridicată - ieșire neliniară	- sursă externă de curent pentru excitație - circuite de intrare simple sau punți - liniarizare
Elemente elastice pentru mărimi mecanice	- rezistență redusă - sensibilitate redusă - ieșire neliniară	- sursă externă de curent / tensiune - circuit de intrare tip punte - liniarizare

B.2. Funcțiunile condiționerelor de semnal

Condiționerile de semnal îndeplinesc funcțiuni a căror necesitate rezultă atât din tipul și caracteristicile constructive ale traductoarelor utilizate (funcțiuni specifice), cât și din caracteristicile de funcționare ale plăcii de achiziții (funcțiuni generale).

Funcțiuni specifice:

➤ În cazul măsurării temperaturii cu *termocupluri*, este necesar ca modulul de condiționare să asigure generarea unei tensiuni electrice care să compenseze tensiunea electromotoare produsă de joncțiunea rece. Deoarece prezența unei astfel de surse de tensiune este necesară pentru fiecare termocuplu, se utilizează un traductor secundar (de ex. un termistor) pentru măsurarea temperaturii zonei din mediul ambiant în care se află joncțiunile reci ale mai multor termocupluri. Evident că prin aceasta se obține o soluție constructivă mai ieftină. Trebuie avut în vedere că relația dintre temperatura măsurată și tensiunea electrică generată de către traductorul secundar nu este aceeași cu cea utilizată pentru conversia semnalului provenit de la termocupluri.

Pe lângă sursa de tensiune și traductorul secundar, necesare compensării, un condiționer de semnal pentru termocupluri trebuie să posede în plus circuite de amplificare întrucât tensiunea generată de aceste traductoare este extrem de redusă ($7...50\mu V/^{\circ}C$).

➤ Condiționerile de semnal, utilizate atunci când măsurarea temperaturii se face cu *termorezistențe*, trebuie să posede surse de tensiune care să asigure excitația acestor traductoare. Rezistența electrică relativ redusă a termorezistențelor ($\sim 100\Omega$) și variația mică a acesteia cu temperatura ($<0,4\Omega/^{\circ}C$) impun condiționerului necesitatea de a putea fi configurat pentru diverse moduri de conectare (cu 2, 3 sau 4 fire) și capacitatea acestuia de a amplifica semnalul primit.

➤ În cazul *mărcilor tensometrice (TER)* (traductoarele cele mai utilizate în măsurătorile din domeniul mecanic), variația foarte mică a rezistenței electrice la deformarea traductorului conduce aproape în toate cazurile la necesitatea utilizării unei punți Wheatstone. Aceasta asigură atât existența unei diferențe de potențial pe fiecare traductor (excitația traductorului), cât și amplificarea semnalului provenit de la traductor.

Ca atare, condiționerile de semnal destinate măsurătorilor cu mărci tensometrice trebuie să conțină surse de tensiune electrică pentru excitația traductoarelor și rezistențe

calibrate care să completeze laturile punții Wheatstone atunci când numărul de traductoare utilizate este mai mic decât 4.

Întrucât atunci când mărcile nu sunt deformate, diferența de potențial a punții Wheatstone trebuie să fie nulă, este necesar ca modulele de condiționare să permită echilibrarea punții înaintea efectuării măsurătorilor.

Funcțiuni generale:

Indiferent de tipul traductorului utilizat, condiționerea de semnal trebuie să realizeze o serie de funcțiuni generale:

➤ *Amplificarea* este cea mai întâlnită operație de condiționare a semnalelor și are ca scop creșterea mărimii semnalului dat de elementul sensibil al traductorului până la nivelul de lucru al plăcii de achiziții. Se recomandă ca, atunci când este posibil, această operație să se facă în imediata apropiere a senzorului pentru a minimiza efectele interferențelor electrice din mediul exterior. În cazul unor traductoare care generează semnale cu tensiuni electrice extrem de reduse (ca în cazul termocuplurilor) transmiterea semnalului de la senzor fără amplificare poate duce la pierderea informației conținute de acesta datorită nivelului mult superior al tensiunii induse în cablurile de legătură de către interferențele din mediul exterior.

➤ *Reducerea (atenuarea)* este operația inversă amplificării și deci se aplică atunci când mărimea semnalului depășește domeniul de lucru al plăcii de achiziții.

➤ *Filtrarea* este operația care servește la eliminarea din semnalul transmis de senzor a unor interferențe de natură periodică, cu frecvența cuprinsă între limite cunoscute. Majoritatea sistemelor de măsurare sunt afectate de interferențe cu frecvențe de 50 Hz, care provin din rețeaua de alimentare a clădirii în care sistemul de măsură este instalat. Condiționarea semnalului prin utilizarea unor filtre care elimină componentele periodice ale acestuia, ce depășesc o anumită frecvență, trebuie efectuată astfel încât simultan cu interferențele să nu fie eliminate și unele componente utile ale semnalului.

➤ *Izolarea* semnalelor este una din primele măsuri de prevenire a erorilor de măsurare cauzate de legături defectuoase la masă, acestea fiind uneori chiar cauza distrugerii sistemului de măsurare. Prin funcțiunea de izolare, condiționerea realizează transmiterea semnalului fără o legătură fizică directă între două puncte ale unui circuit electric, utilizând metode optice, magnetice sau capacitive. În cazul izolării magnetice sau capacitive, semnalul este inițial transferat dintr-o tensiune electrică într-un semnal periodic, transferat prin bariera de izolare, apoi reconvertit în forma inițială. Izolarea protejează de asemenea sistemul de măsurare împotriva creșterilor necontrolate de tensiune din rețeaua de alimentare.

➤ *Multiplexarea* este o operație de condiționare prin care mai multe semnale analogice, provenite din diverse puncte de măsurare, sunt trimise pe aceeași cale mai departe în sistemul de măsurare, de obicei către un singur canal de intrare al unei plăci de achiziție de date.

➤ *Condiționarea semnalelor digitale* se referă în majoritatea cazurilor la izolarea în vederea protejării plăcii de achiziții de eventuale creșteri bruște de tensiune sau de diferențe mari de tensiune între două legături la masă distincte.

Izolarea semnalelor digitale prin utilizarea de relee electronice sau electromecanice este aplicată în general în situațiile în care este necesară comandarea unor elemente cum ar fi surse de iluminat, motoare sau atunci când este necesară sesizarea unor semnale de înaltă tensiune.

B.3. Tipuri de condiționare de semnal

Principalele categorii de condiționare și tipurile de semnale pe care acestea le pot prelucra sunt prezentate în Tab. 5.3.

Tab.5.3: Principalele categorii de condiționare și recomandări de utilizare

Categoria	Semnale analogice						Semnale digitale	
	Intrări				Ieșiri		Intrări	Ieșiri
	În tensiune				În curent	În tensiune		
	Uz. general	Mărci tensometrice	Termorezistențe	Termocupluri				
SCXI	x	x	x	x	x	x	x	x
5B	x	x	x	x	x	x		
SCC	x			x	x		x	x
SC-204	x	x	x					
SSR							x	x
SC							x	x

Modulele de condiționare a semnalelor din categoria SCXI (Signal Conditioning eXtensions for Instruments) ale firmei National Instruments au structura generală formată dintr-o serie de module de condiționare multicanal montate într-un șasiu (rack) comun, prezentate în Fig. 5.37.

Conectarea traductoarelor la aceste module se realizează prin intermediul unui bloc terminal atașat modului respectiv.

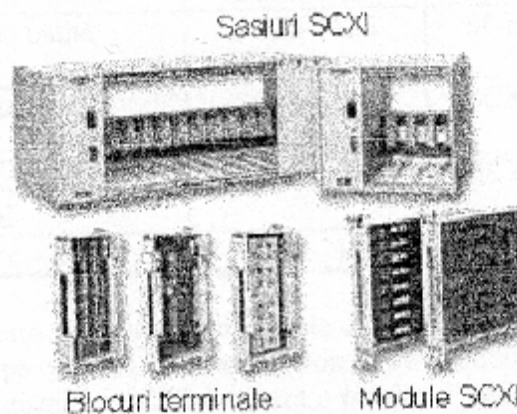


Fig. 5.37: Componentele sistemului SCXI

Transmiterea semnalelor de la modulele aflate într-un același șasiu către una sau mai multe plăci de achiziții date este realizată prin intermediul unui conector atașat șasiului. Șasiul îndeplinește rolul unui multiplexor aflat între modulele de condiționare ale semnalelor și placa (plăcile) de achiziții date. Alimentarea condiționerelor este realizată dintr-o sursă comună de tensiune, aparținând de asemeni șasiului.

Condiționerile din categoria SCXI sunt dedicate unor anumite tipuri de traductoare sau semnale și sunt capabile să îndeplinească atât funcții de condiționare de ordin general, cât și funcții specifice.

În Tab.5.4 sunt prezentate, pentru diverse tipuri de traductoare și semnale, modulele de condiționare SCXI pentru intrări analogice iar în Tab.5.5 sunt prezentate modulele de condiționare SCXI pentru ieșiri analogice și semnale digitale.

Tab.5.4: Module SCXI pentru intrări analogice

<i>Tipul traductorului sau semnalului</i>	<i>Codul modulului</i>	<i>Codul blocului terminal</i>	<i>Numărul de canale</i>
Termocupluri	SCXI-1102	SCXI-1303	32
Termocupluri, cu izolare	SCXI-1120	SCXI-1328	8
Termorezistențe, termistori, mărci tensometrice	SCXI-1121	SCXI-1321	4
Intrări analogice de uz general	SCXI-1100	SCXI-1303	32
Semnale în curent, fără izolare	SCXI-1102	SCXI-1308	32
Semnale periodice de joasă tensiune	SCXI-1126	SCXI-1305	8
Modul pentru achiziționare simultană multicanal	SCXI-1140	SCXI-1304	8
Modul cu filtru “trece-jos”	SCXI-1141	SCXI-1304	8

Tab.5.5: Module SCXI pentru ieșiri analogice și semnale digitale

<i>Tipul traductorului sau semnalului</i>	<i>Codul modulului</i>	<i>Codul blocului terminal</i>	<i>Numărul de canale</i>
Ieșiri în tensiune continuă	SCXI-1124	SCXI-1325	6
Ieșiri în curent continuu	SCXI-1124	SCXI-1325	6
Comutatoare de uz general pentru putere medie	SCXI-1160	SCXI-1324	16
Comutatoare de uz general pentru putere mare	SCXI-1161	-	8
Relee electrice	SCXI-1163R	SCXI-1326	32
Numărătoare TTL	SCXI-CTC8	SCXI-1301	8

Șasiurile în care se montează modulele de condiționare SCXI pot fi alese în funcție de numărul de module pe care le pot accepta și de caracteristicile componentelor din sistemul de măsurare către care sistemul SCXI urmează a trimite semnale măsurate și condiționate sau de la care va primi comenzi referitoare la generarea de semnale.

C. Plăci de achiziții

C.1. Funcțiuni și criterii de performanță

Plăcile de achiziții de date utilizate în sistemele de măsurare computerizate pot îndeplini mai multe funcțiuni:

- *intrare analogică*: constă în măsurarea unui semnal, de regulă sub forma unei tensiuni electrice, care provine de la un traductor aflat într-un SAD;

- *ieșire analogică*: constă în generarea unui semnal, în urma prelucrării într-un SGD, de regulă sub forma unei tensiuni electrice, care să comande un element de acționare din sistemul monitorizat;

- *comunicații digitale*: primirea și emiterea de valori în formă binară, reprezentând date sau coduri de comenzi, transmise sub forma unor impulsuri TTL între placa de achiziție și alte componente ale sistemului computerizat; comunicațiile digitale pot fi utilizate și pentru măsurări sau generări de semnale în cazul în care traductorul sau elementul de acționare au o funcție descrisă de o stare logică binară (comutatoare cu două poziții, întrerupătoare, relee, diode electroluminiscente etc.);

- *numărare/cronometrare*: primirea și emiterea de semnale sub forma unor serii de impulsuri TTL în care informația este conținută în numărul de impulsuri din serie sau în frecvența acestora.

Toate tipurile de plăci de achiziții de date pot îndeplini ultimile două funcțiuni din cele enumerate mai sus (comunicații digitale și numărare/cronometrare).

Majoritatea plăcilor de achiziții posedă toate cele patru funcțiuni, caz în care acestea se numesc *plăci multifuncționale*. O serie de plăci de achiziții de date nu posedă funcțiunea de ieșire analogică iar o altă categorie (cele dedicate ieșirilor analogice) nu posedă funcțiunea de intrare analogică. Este evident că prețul acestora este mai mic decât al plăcilor multifuncționale.

Analiza funcțiunilor descrise mai sus va scoate în evidență criteriile de performanță ale unei plăci de achiziție, care sunt utile la stabilirea celui mai potrivit tip de placă pentru o anumită aplicație practică.

a) Funcțiunea de intrare analogică. Printre parametrii care descriu performanțele cu care o placă de achiziții de date îndeplinește această funcțiune se pot enumera: numărul de canale de intrare analogică, rata maximă de eșantionare, intervalul de măsurare, rezoluția și precizia de măsurare.

✓ *Numărul de canale de intrare analogică* este specificat atât pentru configurația unipolară cât și pentru cea diferențială. Configurația unipolară se referă la tensiuni electrice de pe canale diferite, măsurate în raport cu un potențial de referință comun, aflat pe legătura la masă a plăcii de achiziții. Acest tip de intrări analogice este utilizat pentru semnale cu tensiuni relativ mari (peste 1 V), atunci când firele de legătură dintre sursa care generează semnalul și placa de achiziții au lungimi mai mici de 5 m. În celelalte situații se utilizează configurația diferențială, în care fiecare tensiune electrică de pe un canal de intrare este măsurată în raport cu un potențial de referință propriu. Configurația diferențială reduce erorile datorate influențelor perturbațiilor electromagnetice din mediul exterior asupra firelor de legătură.

✓ *Rata maximă de eșantionare* reprezintă numărul maxim de conversii analog – digitale pe care o placă de achiziții de date le poate efectua în unitatea de timp (o

secundă). O rată mai mare de eșantionare permite descrierea numerică mai precisă a semnalului inițial (analogic) însă necesită prelucrări statistice mai complexe.

Unitatea de măsură pentru rata de eșantionare este S/s (din engl. Samples/second – Eșantioane/secundă).

Deși posedă mai multe canale de intrare analogică, majoritatea tipurilor de plăci de achiziții utilizează un singur CAN (măsurarea semnalelor de pe mai multe canale este realizată în acest caz prin multiplexarea acestora la intrarea în convertor). Este evident că atunci când se utilizează un singur CAN, rata de eșantionare corespunzătoare unui canal se obține prin împărțirea ratei de eșantionare a plăcii la numărul de canale active.

De exemplu, în cazul unei plăci de achiziții de date cu rata maximă de eșantionare de 1MS/s, cu ajutorul căreia se măsoară 10 semnale, rata de eșantionare de pe fiecare canal nu poate depăși 100 kS/s.

✓ *Intervalul de măsurare* reprezintă diferența dintre valoarea maximă și minimă a tensiunii electrice pe care CAN o poate cuantifica. Majoritatea plăcilor de achiziții de date au la dispoziție mai multe intervale de măsurare, unul din acestea putând fi selectat la un moment dat, în funcție de domeniul de măsurare al aplicației.

✓ *Rezoluția* reprezintă numărul de biți utilizați de către CAN al plăcii de achiziții pentru reprezentarea numerică a valorii semnalului analogic. Dacă se notează valoarea rezoluției cu n , CAN va reprezenta numere întregi cuprinse între 0 și 2^{n-1} , ceea ce este echivalent cu aproximarea infinității de valori din intervalul de măsurare printr-o mulțime discretă de 2^n valori. Intervalul de măsurare este astfel divizat în 2^n subintervale. Toate valorile semnalului măsurat aflate într-un același subinterval vor fi reprezentate printr-un singur număr, deci vor fi toate approximate la o aceeași valoare comună. Cu cât rezoluția este mai mare, cu atât crește numărul de subintervale în care este divizat intervalul de măsurare și deci crește precizia de reprezentare numerică (binară) a semnalului real.

De exemplu prin utilizarea unui CAN cu rezoluția de 3 biți, intervalul de măsurare se va diviza în $2^3 = 8$ subintervale. Este evident că în acest caz precizia măsurării este scăzută datorită pierderilor de informații. Utilizarea unui convertor cu rezoluția de 16 biți ar conduce la o reprezentare mult mai fidelă a semnalului original, întrucât în acest caz intervalul de măsurare va fi împărțit în $2^{16} = 65536$ subintervale.

Posibilitatea de selectare a intervalului de măsurare al unei plăci de achiziții permite alegerea unor limite ale acestuia cât mai apropiate de valorile extreme ale semnalului de măsurat, astfel încât rezoluția convertorului să conducă la o precizie cât mai mare a măsurării.

✓ *Precizia de măsurare* se definește ca fiind variația minimă detectabilă a semnalului de măsurat. Valoarea preciziei de măsurare este denumită și lățime de cod și corespunde variației bitului cel mai puțin semnificativ (LSB) din numărul binar generat de CAN în urma măsurării.

Precizia de măsurare a unei plăci de achiziții de date nu este întotdeauna respectată atunci când măsurarea se face cu valori mari ale ratei de eșantionare. Există situații în care plăci cu rezoluția de 16 biți reușesc, la rate de eșantionare de 100 kS/s să redea semnalul măsurat cu o precizie corespunzătoare unei măsurări cu o placă având rezoluția doar de 12 biți.

Caracterizarea completă a performanțelor unei plăci de achiziții de date aflată într-un regim de lucru solicitant nu poate fi făcută fără luarea în considerare a unor

parametri auxiliari și a unor erori specifice, cum ar fi: timpul de stabilizare, zgomotele, erorile CAN etc.

- *Timpul de stabilizare.* La majoritatea tipurilor de plăci de achiziții de date, semnalul de măsurat parcurge inițial circuitele unui multiplexor, apoi este amplificat înainte de a fi introdus în CAN. Construcția circuitului de amplificare face necesară existența unui interval de timp – numit timp de stabilizare – pentru a efectua amplificarea semnalului. Dacă timpul de stabilizare este mai mare decât intervalul de timp dintre două conversii efectuate de CAN, acesta va prelua de la ieșirea amplificatorului un semnal la care amplificarea nu a fost încheiată și va genera o valoare binară diferită de valoarea reală a semnalului analogic. Erorile generate de valori prea mari ale intervalului de stabilizare cresc odată cu micșorarea intervalului de măsurare și cu creșterea ratei de eșantionare. Aceste erori, uneori însemnate, au loc în zona de circuite analogice ale plăcii de achiziții, fapt ce le face indetectabile și ca atare placa nu poate genera un mesaj de eroare. Riscul de preluare de către CAN a unui semnal insuficient amplificat crește atunci când amplificatorul baleiază un număr mare de canale. Tensiunea de la intrarea în amplificator are în acest caz variații mari, la care amplificatorul se va adapta cu dificultate.

- *Zgomotele.* În interiorul calculatorului în care este montată placa de achiziții există numeroase surse de perturbații electromagnetice care influențează amplitudinea semnalelor analogice. De aceea transmiterea acestor semnale prin circuitele plăcii trebuie efectuată pe căi ecranate care să elimine influența perturbațiilor externe.

- *Erorile CAN* vor fi analizate ulterior în detaliu, acestea fiind responsabile în mare măsură de precizia unei plăci de achiziții.

b) Funcțiunea de ieșire analogică. Ieșirile analogice sunt utilizate pentru generarea de semnale de comandă sau de acționare a elementelor de execuție. Pentru a genera astfel de ieșiri, placa de achiziție trebuie să conțină elemente ale SGD, în care rolul principal îl are CNA. Ca atare, ieșirile analogice au performanțe determinate în principal de intervalul de generare, timpul de stabilizare, rata maximă de generare și de rezoluția CNA.

- ✓ *Intervalul de generare* conține valorile posibile ale tensiunii electrice la ieșirea din CNA

- ✓ *Timpul de stabilizare și rata de generare* determină împreună viteza cu care CNA poate modifica valoarea tensiunii electrice generate.

Este evident că generarea unor semnale cu frecvențe înalte, de genul semnalelor radio, poate fi realizată doar de CNA cu timpi de stabilizare reduși și rate mari de generare.

- ✓ *Rezoluția* determină finețea cu care semnalele de ieșire pot fi generate.

O apreciere mai precisă a performanțelor cu care o placă de achiziții de date îndeplinește funcțiunea de ieșire analogică trebuie să aibă în vedere, în special în cazul regimurilor solicitante și aspectele legate de erorile CNA, care vor fi analizate ulterior.

c) Funcțiunea de comunicații digitale. Comunicațiile digitale ale unei plăci de achiziții de date, servind controlului procesului supus monitorizării sau comunicării cu diverse echipamente periferice, au performanțe caracterizate în principal prin numărul de linii digitale disponibile, viteza cu care datele pot fi recepționate sau emise prin intermediul liniilor respective precum și capacitatea acestor linii de a transmite semnale de o anumită intensitate.

Valorile necesare ale caracteristicilor enumerate mai sus sunt determinate în primul rând de caracteristicile echipamentelor din proces cu care placa urmează să comunice: numărul de semnale digitale ce trebuiesc recepționate sau emise, timpul de răspuns al unui echipament sau al unei mărimi din proces, puterea electrică necesară pentru comanda sau acționarea unor echipamente .

În situația în care placa de achiziții de date comunică prin intermediul liniilor digitale cu un echipament periferic (imprimantă, înregistrator, procesor de date), este necesară analiza posibilității de a grupa din punct de vedere logic mai multe linii digitale într-un port de comunicație.

În cazul generării unor semnale digitale de comandă sau acționare, sunt rare situațiile în care elementele de execuție din proces (motoare, valve, relee etc.) acceptă direct semnalele TTL ale plăcii de achiziții de date. În majoritatea cazurilor este necesară prezența unor condiționere de semnale digitale care să realizeze amplificarea tensiunii sau intensității electrice.

d) Funcțiunea de numărare și cronometrare. Circuitele de numărare și cronometrare ale unei plăci de achiziții pot fi utilizate atât pentru sesizarea unor evenimente digitale (de ex. semnale sub formă de impulsuri primite de la traductoare numerice de deplasare) cât și pentru generarea unor astfel de evenimente (de ex. pentru acționarea motoarelor pas cu pas).

Parametrii cei mai importanți pentru aprecierea performanțelor acestor circuite sunt rezoluția și frecvența maximă.

✓ *Rezoluția*, având semnificația numărului de biți utilizați, determină direct numărul maxim de evenimente pe care un astfel de circuit le poate număra.

✓ *Frecvența maximă* a unui numărător determină atât gama de semnale pe care acesta le poate măsura corect cât și frecvența maximă a semnalelor pe care numărătorul respectiv le poate genera.

Plăcile de achiziții de date din categoria celor mai evolute utilizează numărătoare cu rezoluții de 16 sau 24 de biți, lucrând la frecvențe maxime de 20 MHz.

Circuitele de numărare performante dispun de facilități de numărare crescătoare sau descrescătoare (în funcție de comanda primită pe o cale separată), de buffere de memorie pentru generarea trenurilor de impulsuri precum și de posibilitatea modificării instantanee a frecvenței de lucru.

C.2. Structura generală a unei plăci de achiziții de date

Placa de achiziții de date este componenta cea mai importantă și mai complexă a unui sistem de măsurare computerizat. Asocierea acesteia cu un calculator duce la obținerea unor instrumente de măsură performante.

Din punct de vedere constructiv, pentru SAD există o mare varietate de plăci de achiziții de date, cum ar fi: *monocanal* (doar cu o singură intrare analogică; în forma cea mai simplă conține doar un CAN și o interfață minimală), *multicanal cu multiplexare numerică* (conțin mai multe canale ce pot funcționa ca niște monocanale independente sau corelate prin comenzi adecvate furnizate de o logică de control), *multicanal cu multiplexare analogică și eșantionare secvențială* (care reprezintă o simplificare a tipului precedent, fiind utilizate atunci când nu interesează corelația în timp a semnalelor analogice de intrare).

Din considerente economice (raportul bun performanță/cost) și a faptului că pot fi utilizate în diverse domenii, majoritatea plăcilor de achiziții utilizate în SAD sunt realizate după structura unui sistem de achiziție multicanal cu multiplexarea semnalelor analogice la intrare și eșantionare secvențială, așa cum se vede în schema din Fig. 5.38.

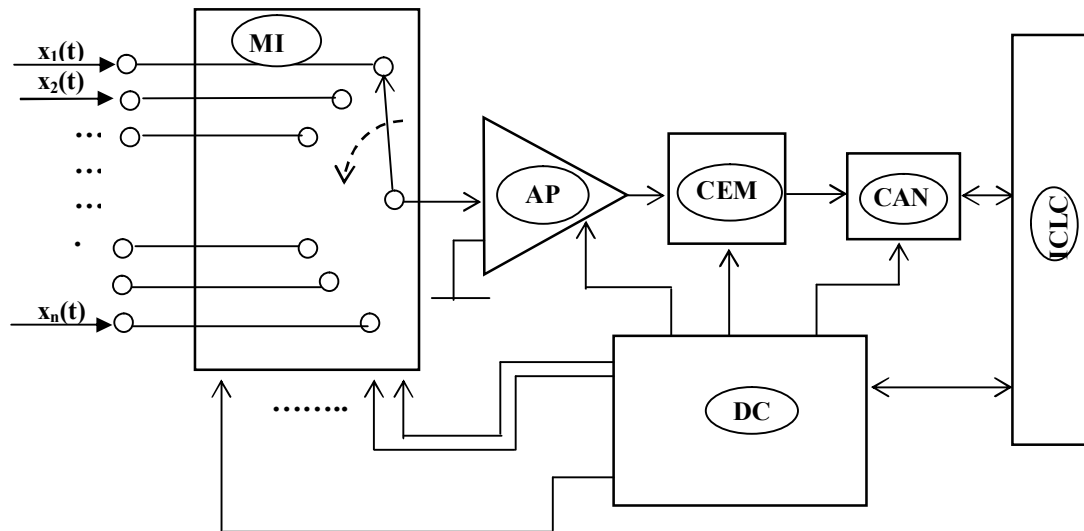


Fig. 5.38: Configurația și componentele principale ale unei plăci de achiziții multicanal cu multiplexare analogică și eșantionare secvențială:

Notățiile din Fig.5.38 au următoarele semnificații:

MI- multiplexor al semnalelor de intrare; AP- amplificator programabil; CEM- circuite de eșantionare și memorare; CAN- convertor analog-numeric; ICLC- interfață cu calculatorul și logica de comandă; DC- dispozitiv de comandă.

Plăcile de achiziție pot prelucra mai multe semnale analogice de intrare bipolare (+/- 5V) sau unipolare (0...10V) provenite de la diverse traductoare și pot furniza semnale de ieșire (analogice sau digitale) pentru reglarea parametrilor unui proces, afișarea rezultatelor etc. La intrarea în placă, semnalele analogice sunt mai întâi prelucrate electronic (amplificate, eșantionate), după care sunt convertite în semnale digitale și prin intermediul unei interfețe sunt trimise sub forma unui cod numeric spre magistralele calculatorului. Acesta preia codurile numerice corespunzătoare mărimii supuse măsurării la anumite momente (dictate de frecvența de eșantionare prescrisă) și le prelucreză sau le memorează pentru prelucrări ulterioare.

Calculatorul poate executa și alte operații cum ar fi: calculul erorilor cu care s-au determinat valorile parametrilor, generarea unor semnale de comandă către elemente de reglare (atunci când valorile parametrilor se abat de la o valoare prestabilită), generarea unor semnale de avertizare (în cazul depășirii unor valori limită impuse) etc. Toate aceste operații sunt realizate printr-un program prestabilit, în funcție de natura parametrilor de proces, de tipul traductoarelor etc. În aceste cazuri plăcile de achiziții trebuie să îndeplinească funcțiuni de intrare/ieșire analogice și ca atare sunt mai complexe, având atât module de achiziție date (vezi SAD) cât și module pentru generarea de date (vezi SGD); așa cum s-a arătat mai sus asemenea plăci se numesc plăci multifuncționale sau

module I/O (Input/Output). Plăcile de achiziții multifuncționale sunt mai scumpe dar au posibilitatea cuplării cu o gamă largă de echipamente, pentru a realiza operații complexe de monitorizare, control și reglare a parametrilor unor instalații tehnologice care lucrează în sisteme automate. Numărul canalelor de intrare/ieșire este impus de natura aplicației practice și de soluțiile adoptate pentru interfațare.

Schema - bloc a unei plăci de achiziții de date multifuncționale, capabilă să execute atât achiziții cât și generare de date arată ca în Fig. 5.39.

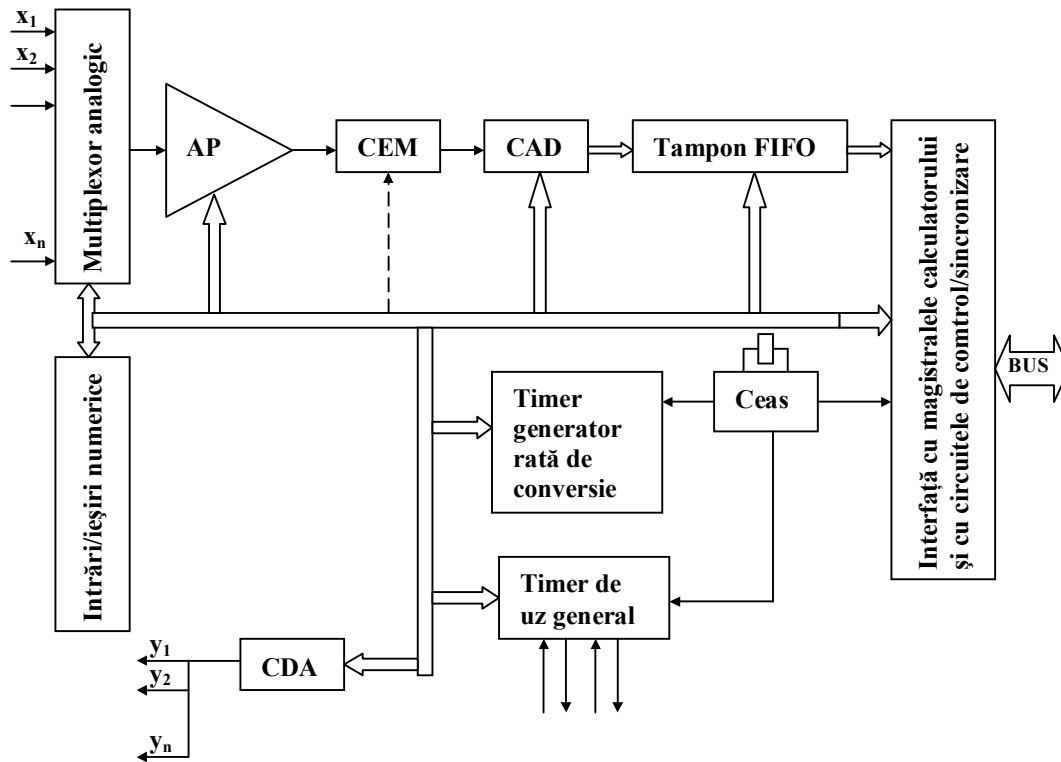


Fig.5.39: Schema bloc a unei plăci de achiziții multifuncționale:

AP-amplificator programabil; CEM-circuite eșantionare/memorare; CAD-convertor analog/digital; CDA-convertor digital/analogic; Tampon FIFO (First In/First Out – primul intrat/primul plecat)

C.3. Componentele unei plăci de achiziții de date multifuncționale

Principalele componente ale unei plăci de achiziții multifuncționale (Fig.5.39) sunt: multiplexorul, circuitele de eșantionare-memorare și convertoarele

C.3.1. Multiplexorul (MI) este un dispozitiv care dispune de mai multe canale de intrare, un singur canal de ieșire și de intrări/ieșiri digitale de control (care selectează canalul de intrare ce trebuie conectat la canalul de ieșire și în continuare la circuitele de conversie). Multiplexorul acționează deci ca un comutator care permite eșantionarea independentă a semnalelor aflate pe canalele de intrare, având rolul de a introduce *succesiv* semnalele de intrare în blocurile următoare de prelucrare.

C.3.2. Amplificatorul programabil (AP) are rolul de a aduce semnalul analogic de intrare în gama de măsură a plăcii de achiziții. Prin această operație se asigură o precizie bună a măsurării și protecția plăcii (prin evitarea depășirii limitei superioare a domeniului de măsurare).

C.3.3. Circuitele de eșantionare-memorare (CEM) sunt circuite care eșantionează mărimea semnalului analogic de intrare la momente discrete de timp și apoi o mențin (indiferent de evoluția ulterioară a mărimii de intrare) până când se comandă o nouă eșantionare. La intrarea în blocul cu circuite de eșantionare/memorare există un filtru anti-aliasing (FTJ) care are rolul de a limita frecvența de eșantionare astfel încât să se respecte teorema lui Shannon (vezi Fig.4.16 și Fig.4.17).

Schema de principiu a unui circuit de eșantionare/memorare este dată în Fig.5.40.

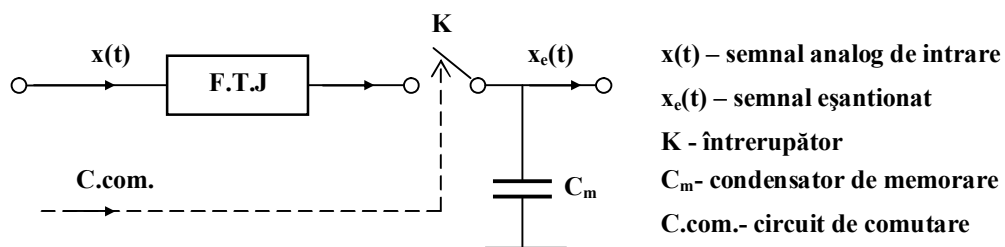


Fig.5.40: Schema de principiu a unui circuit de eșantionare-memorare:

Funcția de eșantionare este realizată de un circuit de comutare care deschide și închide întrerupătorul K la anumite momente de timp iar funcția de memorare este îndeplinită de condensatorul C_m , care are proprietatea de a menține sarcina pe armăturile sale, atunci când comutatorul K este deschis. În momentul închiderii comutatorului, condensatorul se încarcă la tensiunea de intrare.

Comutatorul K se realizează de obicei cu tranzistoare cu efect de câmp (TEC) datorită faptului că acestea prezintă o rezistență mică în regim de conducție și o rezistență mare în regim de blocare.

C.3.4. Convertoare

C.3.4.1. Generalități privind conversia analog-digitală și digital-analogică

După cum s-a arătat, transformarea semnalelor analogice în semnale numerice se face prin operația de digitizare (care cuprinde eșantionarea și cuantizarea). Procesul de digitizare este ireversibil, întrucât pe parcursul desfășurării sale se pierde o parte din informații. Pentru ca datele obținute să fie utile în aplicații practice, trebuie ca informațiile pierdute să fie în niște limite acceptabile. În funcție de necesități, semnalele numerice obținute prin digitizare, după prelucrarea lor în calculator, pot fi transformate în semnale analogice pentru acționarea elementelor de execuție. Trecerea informațiilor digitale în semnale analogice se realizează prin operații de netezire (care cuprind interpolare, filtrare, etc.).

Transformarea semnalelor analogice în semnale numerice prin intermediul operațiilor de eșantionare și cuantizare se numește *conversie analog-numerică*, iar transformarea inversă, din semnal numeric în semnal analogic poartă denumirea de *conversie numeric-analogică*. Modul de conversie al semnalelor este sugerat în Fig.5.41.

Echipamentele electronice care efectuează conversia semnalelor se numesc *convertoare* și ele sunt *analog-numeric (digitale)*, notate *CAN* (sau *CAD*) și *numeric (digital)-analogice*, notate *CNA* (sau *CDA*).

Convertoarele analog-numeric (CAN) transformă mărimile analogice aplicate la intrare (tensiune, curent, frecvență etc.) în mărimi numerice (digitale), compatibile cu calculatorul. Comenzile date de calculator sunt transformate de către convertoarele numeric-analogice (CNA) în semnale analogice care acționează asupra procesului prin intermediul elementelor de execuție (servomotoare, contactoare etc.).

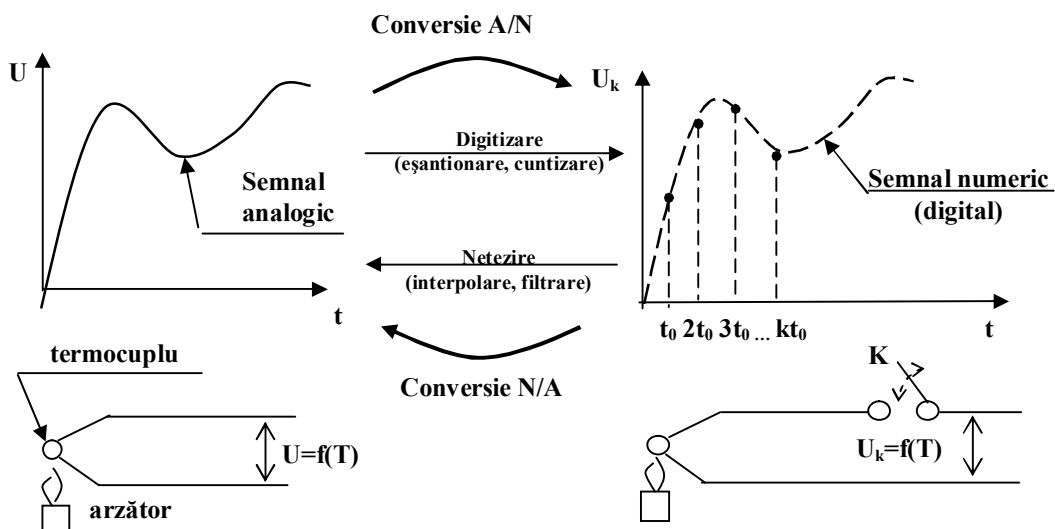


Fig.5.41: Conversia semnalelor

Conversia analog-numerică poate fi echivalată cu o ierarhizare a mărimii analogice realizată prin împărțirea domeniului maxim de variație a acesteia într-un număr de intervale distincte. Aceste intervale se numesc *clase* și sunt caracterizate printr-un număr întreg $k=0 \dots N$, ce reprezintă nivelul asociat fiecărui canal.

Convertoarele analog-numeric (digitale) realizează de fapt o comparație între două mărimi de aceeași natură (tensiune, intensitate etc), din care una este de referință. Rezultatul comparației este un număr exprimat într-un cod dat (de regulă binar). De fiecare dată când semnalul de intrare este măsurat, CAN generează un număr care reprezintă echivalentul valorii analogice în momentul respectiv. Pentru aceasta, conversia analog-numerică utilizează coduri binare din categoria celor prezentate în Cap.3 (zecimal-binar, Gray, Exces3) și altele.

Conversia numeric-analogică este necesară pentru majoritatea monitoarelor și a echipamentelor de execuție (care lucrează cu semnale analogice). Un convertor numeric-analogic (CNA) transformă un șir de valori digitale în curenți care se modifică rapid, printr-o matrice de rezistențe. Rezistențele sunt ponderate pentru a opune grade diferite de rezistență la trecerea curentului electric prin ele. Trimițând curentul prin rezistențe de diferite valori, semnalul analogic rezultat este variabil, corespunzător datelor digitale.

C.3.4.2. Caracteristicile convertoarelor

Principalele caracteristici ale convertoarelor sunt:

a) *Domeniul de lucru* – reprezintă intervalul maxim în care poate varia mărimea analogică de intrare. În funcție de numărul de biți în care se exprimă mărimea de ieșire, domeniul de lucru se împarte într-un număr N de intervale (canale) cu limitele (L_{k-1} , L_k).

Mărimii de intrare x_i i se atribuie valoarea k dacă:

$$L_{k-1} < x_i < L_k \quad (5.22)$$

Limitele (L_{k-1} , L_k) ale unui canal se exprimă în unități de mărimi de intrare analogice x_i (de regulă o tensiune).

Se numește lățimea canalului, diferența dintre cele două limite:

$$\Delta x = L_{k-1} - L_k \quad (5.23)$$

b) *Rezoluția* - reprezintă intervalul de valori analogice pe care un CAN sau CNA le poate manevra și deci arată cât de multe informații poate gestiona un convertor pentru un singur eșantion. Această caracteristică depinde de numărul de biți (numită adâncime de biți sau cuvânt logic) pe care convertoarele îl pot realiza în timpul conversiei.

Este evident că rezoluția cea mai slabă a unui convertor corespunde situației în care aceasta poate furniza un singur bit pentru a reprezenta orice eșantion al unui semnal analogic; în acest caz, convertorul poate arăta numai dacă circuitul de eșantionare este activat (corespunzător cifrei 1) sau dezactivat (corespunzător cifrei 0), așa cum se vede în Fig. 5.42.

De exemplu, eșantioanele pe un bit sunt suficiente pentru scanarea unui text tipărit pentru a fi convertit în text care să fie editat pe calculator (1- alb; 0- negru).

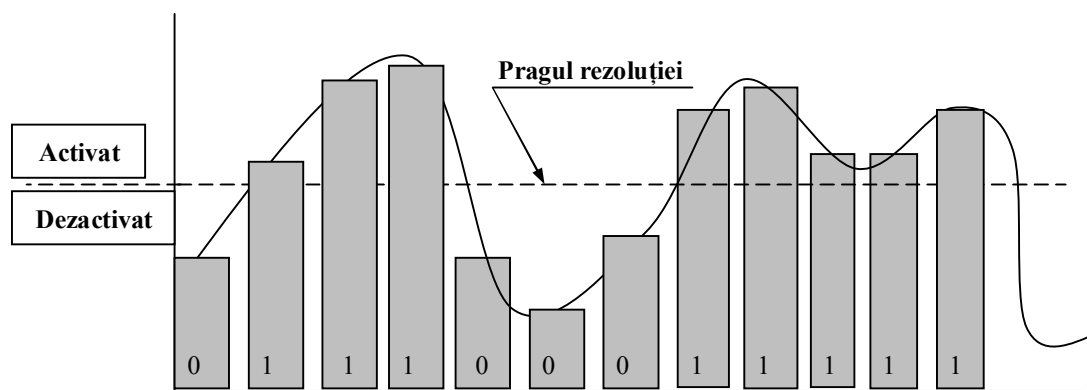


Fig.5.42: Rezoluția unui convertor cu eșantionare pe un bit

Dacă însă un convertor are posibilitatea de a furniza 8 biți pentru a exprima fiecare eșantion, valoarea poate reprezenta, de exemplu, oricare dintre cele 256 de nuanțe de roșu dintr-o imagine scanată. Cu cât este mai mare numărul, cu atât culoarea roșie este mai saturată. O valoare pe 8 biți de 11111111 (adică 255 în zecimal) corespunde celei mai intense culori roșii pe care monitorul o poate produce.

Se poate spune așadar că rezoluția unui CAD reprezintă tensiunea minimă care trebuie aplicată la intrare pentru a se obține la ieșire o modificare de cod numeric iar în cazul CNA se definește ca fiind cea mai mică creștere care trebuie aplicată mărimii la intrarea convertorului pentru a se obține o modificare a valorii tensiunii la ieșire.

Cu alte cuvinte, rezoluția unui CNA exprimă numărul total de nivele de ieșire, iar a unui CAN, numărul total de coduri de ieșire. Teoretic, rezoluția unui convertor pe N biți este 2^N .

c) *Caracteristica de transfer* – exprimă dependența dintre mărimea de ieșire și cea de intrare. Pentru un CAN ideal pe 3 biți aceasta este arătată în Fig. 5.43.a, iar pentru un CNA în Fig.5.43.b.

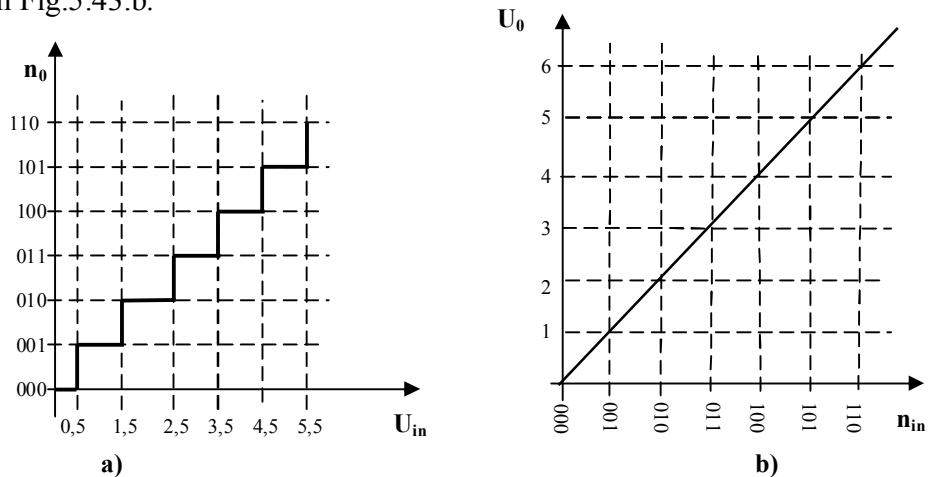


Fig.5.43: Caracteristica de transfer pentru convertoare ideale pe 3 biți
a) CAN; b) CNA

d) *Precizia unei conversii* – reprezintă capacitatea unui convertor de a respecta caracteristica de transfer. Precizia unei conversii (realizată de un CAN sau un CNA) este dependentă de frecvența cu care este eșantionat semnalul și de sensibilitatea convertoarelor, așa cum se observă în Fig.5.44. Două părți ale unui semnal analogic pot diferi atât de puțin încât un CAN nu poate detecta diferența dintre ele și de aceea asociază ambelor aceeași valoare digitală.

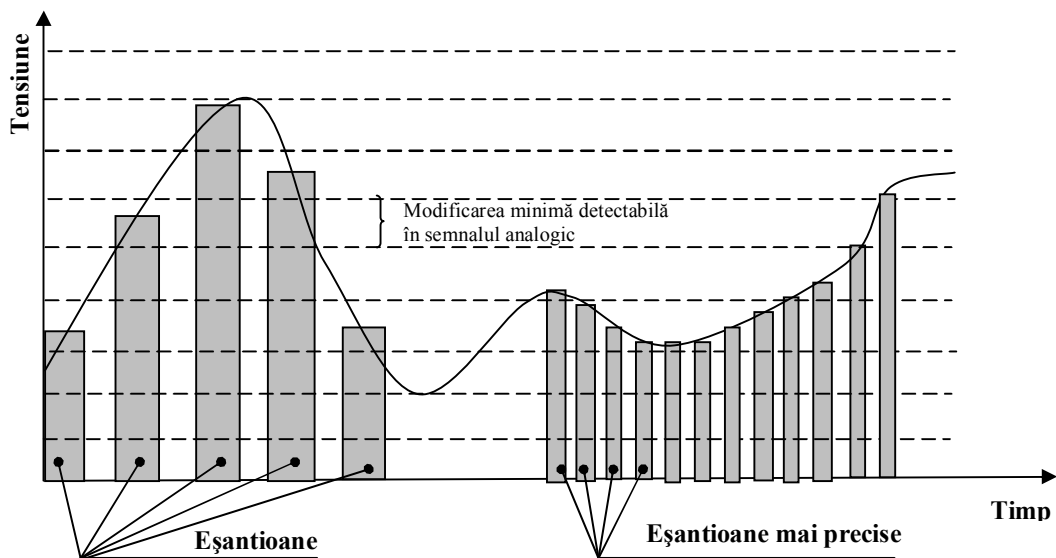


Fig.5.44. Dependența preciziei unei conversii de frecvența de eșantionare și de sensibilitatea convertorului

e) *Timpii caracteristici* – se referă la dinamica funcționării convertoarelor și cuprind:

- *Timpul de conversie* reprezintă durata necesară ca un convertor să efectueze o conversie. Pentru CAD, timpul de conversie reprezintă timpul dintre momentul aplicării semnalului de intrare și momentul în care datele sunt stabile la ieșire.
- *Timpul de stabilire* - reprezintă timpul necesar pentru stabilirea valorii de ieșire
- *Rata de conversie* este o măsură a vitezei cu care lucrează un convertor și se exprimă prin numărul maxim de conversii pe secundă.

În funcție de această caracteristică, convertoarele se clasifică în:

- de ultra viteză: >10MHz
- de înaltă viteză: 1...10MHz
- de viteză medie: 5...100KHz
- de viteză mică: < 5KHz
- *Timpul de conversie pe bit* reprezintă durata necesară pentru generarea unui bit, fiind egal cu timpul de conversie raportat la numărul de biți.

C.3.4.3. Erorile convertoarelor

În timpul funcționării convertoarelor pot să apară erori, care pot fi:

- *statice*, cele care afectează numai caracteristica de transfer;
- *dinamice*, cele care afectează desfășurarea în timp a conversiei.

Din categoria *erorilor statice* fac parte:

- *Eroarea de cuantizare* apare numai la CAN și se datorează formei în scară a caracteristicii de transfer (vezi Fig.5.43.a) și codificării unice a unui nivel de cuantizare. Prin această codificare toate semnalele de intrare care satisfac condiția de apartenență la un canal sunt repartizate canalului respectiv, chiar dacă nu toate au aceeași mărime. Prin această repartiziție apare o eroare a conversiei – numită eroare de cuantizare – ce nu poate fi eliminată oricât de bun ar fi convertorul.

Eroarea de cuantizare este cuprinsă în limitele $\pm 0,5$ LSB (Least Semnificant Bit-bitul cel mai puțin semnificativ) și este nulă la mijlocul intervalului și maximă la capete (Fig.5.45).

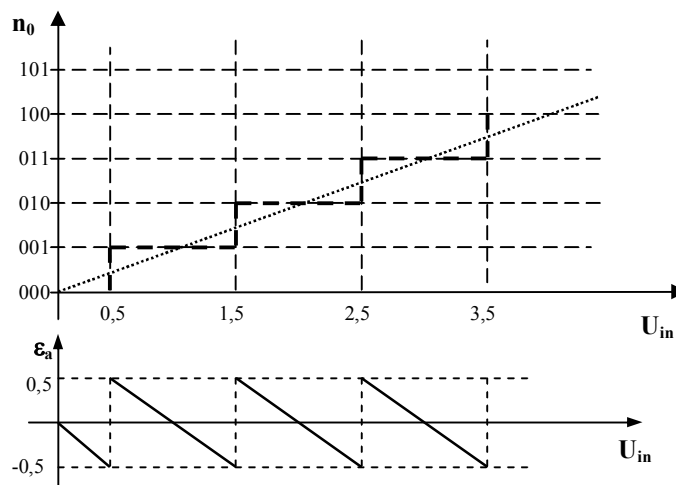


Fig. 5.45. Eroarea de cuantizare

Micșorarea acestei erori se poate face prin creșterea frecvenței de eșantionare astfel încât domeniul de lucru să fie împărțit în cât mai multe intervale, pentru ca lățimea lor să se micșoreze (vezi Fig.5.44).

- *Eroarea de scală* reprezintă diferența dintre panta caracteristicii de transfer ideală și cea reală (Fig.5.40), presupunând că ambele pleacă din origine. Această eroare se măsoară prin aplicarea valorii maxime a mărimii de intrare și determinarea valorii de ieșire, care trebuie să coincidă cu capătul de scală.

- *Eroarea de deplasare (decalaj)*, reprezintă numărul de la ieșire atunci când valoarea mărimii de intrare este zero (Fig.5.46).

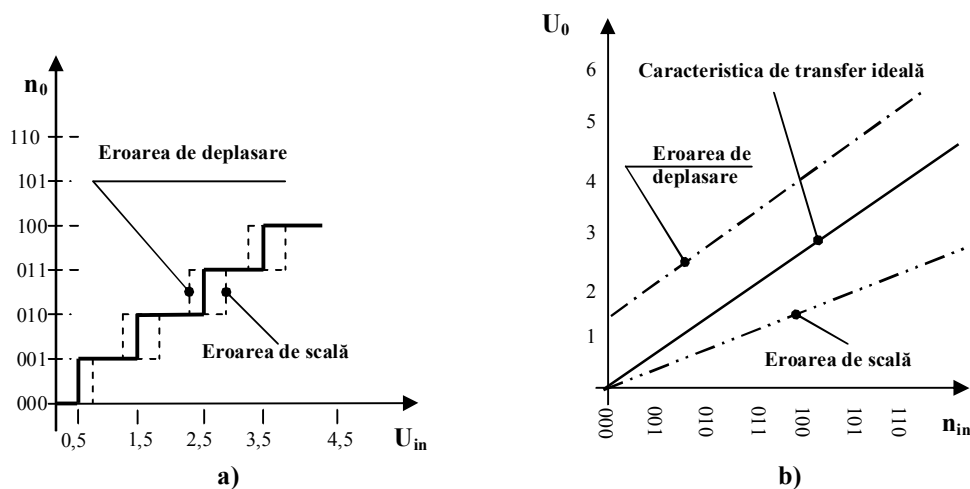


Fig.5.46: Erorile de scală și de deplasare ale convertoarelor
a) CAN; b) CNA

Cele mai importante *erori dinamice* sunt:

- *Eroarea de stabilire* care reprezintă abaterea de la timpul de stabilire. La CAN această eroare apare atunci când nu se respectă rata de conversie; în cazul CNA această eroare poate denatura treptele generate.

- *Ciupiturile* sunt erori specifice CNA, fiind generate de modul în care convertorul comută biții de intrare și apar mai evident la schimbările de cod în jurul MSB (Most Significant Bit-bitul cel mai semnificativ). Eliminarea acestei erori se poate face prin comutarea simultană a tuturor biților la intrarea în convertor, prin utilizarea codurilor care schimbă un singur bit la trecerea prin valori consecutive (de ex. codul Gray) sau prin filtrare analogică.

- *Zgomotele* reprezintă cea mai importantă sursă de erori care duc la funcționarea necorespunzătoare a convertoarelor și apar datorită suprapunerii peste semnalul analogic a unor semnale parazite (care pot fi aleatoare sau deterministe).

Există cauze interne (trecerea curentului prin circuitele electronice) și externe (alte surse, în special cele din încăperea unde se află convertorul) care produc zgomotele. Diminuarea sau chiar eliminarea zgomotelor se poate face prin ecranarea cablurilor, evitarea buclilor de masă și prin folosirea unor surse de alimentare cu impedanță mică.

C.3.4.4. Conversoare analog-numeric (CAN)

Există mai multe tipuri de CAN care pot fi clasificate din punct de vedere funcțional după mai multe criterii[3], [4]:

a) în funcție de forma semnalului generat în interiorul convertorului, cu care se compară semnalul analogic de intrare, CAN pot fi:

- *integratoare*, când conversia se realizează asupra valorii medii a mărimii de intrare;
- *neintegratoare*, când conversia se realizează asupra mărimii instantanee preluată de la circuitele de eșantionare-memorare.

b) după felul în care este prelucrată mărimea de intrare CAN pot avea două metode de conversie:

- *directe*, când semnalul de intrare este transformat direct în mărimi numerice, prin compararea mărimilor de intrare (tensiune, curent), cu o mărime de referință divizată foarte precis;
- *indirecte*, când conversia se realizează printr-o mărime intermediară (timp, frecvență), ce poate fi convertită ușor într-o mărime numerică.

c) după modul de desfășurare în timp a conversiei, CAN pot fi:

- *cu ciclu programat*, când etapele conversiei au loc într-o succesiune dictată de logica conversiei într-un timp fixat de frecvența impulsurilor și numărul etapelor de parcurs;
- *cu ciclu neprogramat*, când etapele conversiei se desfășoară asincron, imediat ce precedentă a fost realizată.

d) după modul de comparație între mărimea analogică și cea numerică, CAN sunt:

- *fără reacție*, când nu există comparație între mărimea analogică și echivalentul ei numeric;
- *cu reacție*, când conversia se realizează prin compararea mărimii analogice cu cea numerică transformat analogic.

e) după felul în care este realizată schema de conversie, CAN sunt:

- *cu buclă închisă*, când informația circulă într-un singur sens, de la intrare la ieșire, biții numărului de la ieșirea din convertor fiind generați independent;
- *cu buclă deschisă*, când informația are posibilitatea de a circula și de la ieșire spre intrare, caz în care biții numărului de la ieșire se obțin printr-o iterație.

f) după modul de eșantionare, există CAN:

- *cu eșantionare*, caracterizate prin aceea că mărimea de intrare este măsurată la intervale de timp prestabilite iar mărimea de la ieșire reprezintă o măsură a intrării în momentul începerii eșantionării;
- *cu supraeșantionare și decimare în timp*, caracterizate printr-o viteză foarte mare de prelevare a mărimilor de intrare, cu rezoluții mici și comprimarea acestora în timp pentru a mări rezoluția.

Din punct de vedere constructiv, CAN pot fi grupate în:

- *CAN paralel*
- *CAN serie*
- *CAN serie-paralel*

- CAN cu reacție $\left\{ \begin{array}{l} \text{cu numărare} \\ \text{cu urmărire,} \\ \text{cu aproximații succesive} \end{array} \right.$

Pentru exemplificare în Fig.5.47 se prezintă schema CAN paralel.

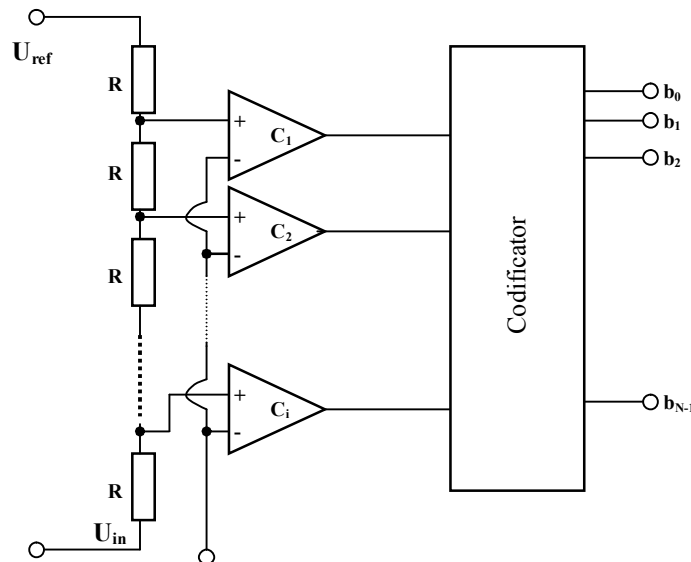


Fig. 5.47. Schema CAN paralel

La acest tip de convertor, conversia analog-numerică se obține cu ajutorul unui număr de 2^{N-1} comparatoare (N - rezoluția conversiei, adică numărul de biți ce se pot obține la ieșire), legate în paralel cu un divizor de tensiune format din rezistențele înseriate R , foarte precise ca valoare. Mărimea de intrare (tensiunea) este comparată cu un șir de valori de referință care reprezintă limitele intervalelor de cuantizare. Tensiunea de referință U_{ref} se aplică divizorului de tensiune. Pe fiecare comparator se aplică o fracțiune din tensiunea de referință. Presupunând $U_{in} \in (kU_{ref}/2, (k+1)U_{ref}/2)$, atunci comparatoarele până la k vor avea ieșirile în 0 logic, iar celelalte vor fi în 1 logic. Ieșirile comparatoarelor se introduc într-un codificator numeric cu priorități, care are rolul de a transforma mărimea obținută cu un pas anterior într-un cod numeric. CAD paralel determină toți biții simultan cu o viteză foarte mare și un timp de conversie foarte redus (10...100ns). În schimb, rezoluția este limitată (în general nu depășește 8 biți) deoarece numărul de comparatoare crește exponențial cu numărul de biți. În plus, logica de codificare se complică odată cu creșterea numărului de biți. De aceea în practică se folosesc în special CAN cu reacție, care elimină aceste neajunsuri.

C.3.4.5. Convertoare numeric-analogice

CNA este un circuit electronic care furnizează la ieșire o mărime analogică proporțională cu numărul aplicat la intrare sub formă de combinații de cifre binare (cuvinte). Conversia numeric-analogică poate fi considerată similară transformării din sistemul binar în cel zecimal. Majoritatea CNA conțin rețele rezistive de precizie, comutatoare (de tensiune sau curent), surse de tensiune de referință și amplificatoare operaționale.

În practică se utilizează câteva soluții constructive, în funcție de care CNA pot fi:

- rezistive $\left\{ \begin{array}{l} \text{cu rețele ponderate binar} \\ \text{cu rețele R-2R} \end{array} \right.$
- cu multiplicare
- cu transformare intermediară în timp

Convertoarele cu rețele rezistive sunt cele mai utilizate. În Fig. 5.48 se prezintă schema de principiu a unui CNA cu rezistoare având valori ponderate binar.

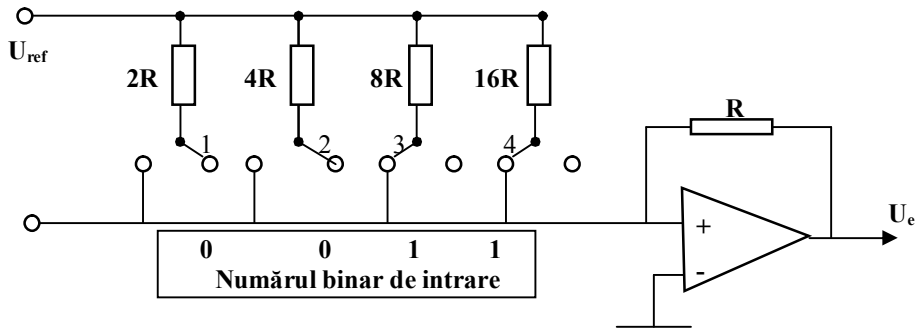


Fig.5.42: Schema de principiu a unui CNA cu rezistoare având valori ponderate binar

Schema din Fig. 5.48 este formată din comutatoarele (1-4), un amplificator operațional utilizat ca circuit de însumare și rezistențe cu valori ponderate. Comutatoarele sunt închise atunci când bit-ul numărului binar este 1 și deschise atunci când bit-ul este 0. În situația din figură cuvântul logic introdus este 0011. Se observă că rezistoarele au valorile $2R$, 2^2R , 2^3R , 2^4R (ponderate binar), fiind conectate împreună la una din extremități. Numărul de rezistoare este determinat de numărul N de biți al cuvântului de intrare. Fiecare intrare logică b_i ($i=1..N$) comandă comutatoarele respective pe poziția "închis" sau "deschis", conectând sau deconectând rezistoarele la o sursă, având tensiunea de referință U_{ref} . Când sunt conectate, prin fiecare rezistor trece un curent I_i , mai mare sau mai mic în funcție de mărimea rezistorului. Prin sumarea curenților se obține un semnal de ieșire (U_e), variabil, dependent de numărul binar introdus la intrare.

CNA cu rețele ponderate binar sunt simple, însă au dezavantajul că stabilitatea și precizia depind de precizia rezistoarelor.

În practică, este mai utilizată schema R-2R dată în Fig.5 49.

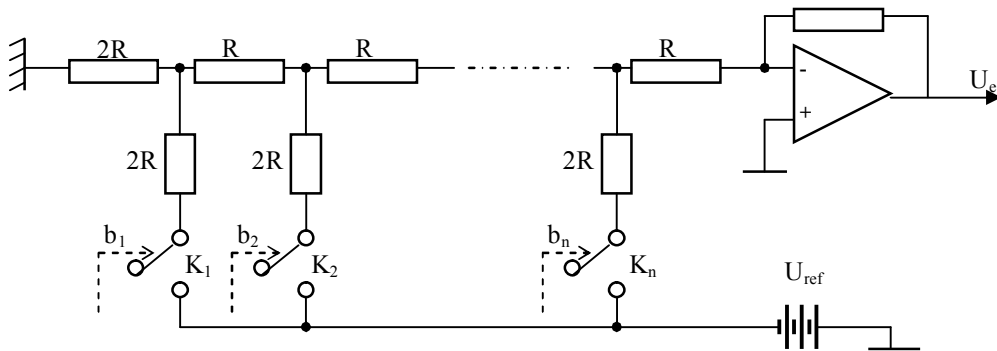


Fig.5.49: Schema de principiu a unui CAN cu rețea R-2R

În schema CNA cu rețele R-2R intră rezistoare cu valoare R, legate în serie și rezistoare cu valoarea 2R legate în paralel. Pentru fiecare bit de intrare există comutatoarele $K_1, K_2 \dots K_n$, care pot conecta rezistoarele 2R la masa comună ($b_i = 0$) sau la tensiunea de referință ($b_i = 1$). La ieșire se obține un semnal (tensiune sau curent) dependent de valoarea numărului binar introdus prin poziția “deschis” (0) sau “închis” (1) a comutatoarelor.

Un parametru important al unui CNA este timpul de stabilire care reprezintă timpul necesar pentru stabilirea valorii de ieșire și el trebuie să aibă o valoare cu atât mai mică cu cât aplicația este mai rapidă.

Un alt parametru important este viteza de creștere care reprezintă viteza maximă de modificare a mărimii de ieșire.

Un exemplu de aplicație în care este necesar ca acești parametri să se încadreze în limite de performanțe maxime este cel al generării semnalelor sonore. La polul opus al pretențiilor de viteză se poate menționa controlul tensiunii unei rezistențe de încălzire.

Mai multe detalii privind convertoarele pot fi găsite în lucrările [4], [5], [11] și pe site-ul www.howstuffworks.com[12].

C.4. Alegerea unei plăci de achiziții de date

Pentru alegerea corectă a unei plăci de achiziții de date trebuie analizate următoarele:

a) *aplicația în care se va utiliza*: în acest sens este foarte important de știut dacă placa va lucra într-un SAD (numai pentru achiziții de date) sau într-un sistem complet SAD+SGD (de achiziții și generare de date). De regulă, în activități de cercetare se utilizează plăci de achiziții integrate numai în SAD iar în sistemele automate se folosesc plăci de achiziții multifuncționale cu mai multe canale de intrare/ieșire;

b) *numărul de canale de intrare/ieșire* este legat de numărul parametrilor care trebuie monitorizați la intrarea într-o aplicație, respectiv de numărul parametrilor care trebuie reglați în proces (la ieșire).

c) *intrările* pentru achiziții de date trebuie să fie analizate din următoarele puncte de vedere:

☞ *intrările analogice comparativ cu cele numerice*: de cele mai multe ori intrările, provenind de la traductoare sunt analogice dar sunt și situații în care semnalele de intrare sunt numerice;

☞ *intrările singulare (simple) față de cele diferențiale* se referă la modul în care cablurile de legătură sunt conectate la intrările analogice; intrările simple au nevoie de un singur fir pentru fiecare canal, în timp ce intrările diferențiale necesită două fire. Intrările simple se utilizează atunci când măsurătorile analogice trebuie să fie făcute față de o masă externă comună și nu există posibilitatea de a aduce la sistemul de achiziție de date atât masa de la distanță cât și masa analogică. Configurația diferențială este indicată în următoarele situații: când se măsoară semnale care au tensiuni de nod comun ridicate (ca în cazul mărcilor tensometrice), când trebuie efectuate măsurători de la mai multe traductoare care nu au o masă comună (prin conectarea tuturor terminalelor LOW ale traductoarelor la un punct comun se pot produce curenți

de masă care pot genera erori de offset și zgomote) și atunci când traductorul este amplasat la o distanță mare de sistemul de achiziție de date.

Deși intrările diferențiate sunt ceva mai scumpe și mai complicat de utilizat decât cele cu masă comună, ele asigură o protecție la zgomote mai bună.

În general plăcile de achiziții de date au 16 canale singulare sau 8 diferențiale, selectabile prin comutatoare sau prin program.

☞ *nivelul tensiunii*: valorile tensiunii la intrarea într-o placă de achiziții pot fi de 0...10 V sau 0...100 mV; tensiunile de intrare pot fi unipolare sau bipolare. Cele unipolare acceptă semnale care au tensiuni pozitive sau negative (0...10 V sau -10...0 V); cele bipolare acceptă simultan tensiuni pozitive și negative (de ex. ± 5 V).

d) *ieșirile* trebuie cunoscute pentru a determina mărimea și tipul semnalelor care se vor aplica ulterior pe alte echipamente și pot fi analogice sau numerice.

Ieșirile analogice au valori diferite ale tensiunii (în funcție de natura aplicației) sau curenți care se încadrează între 4...20 mA.

În cazul ieșirilor numerice datele pot pleca din placa de achiziții în două moduri:

☞ folosind întreruperile;

☞ folosind accesul direct la memorie (în engleză DMA = Direct Memory Access) care poate realiza viteze de transfer de peste 500 Hz.

În cazul transferurilor inițiate de întreruperi, apariția unei întreruperi determină oprirea programului care rula în acel moment și saltul la o rutină de tratare a întreruperii, care preia datele de la interfețele de achiziție, le depune în memorie și execută alte eventuale procesări înainte de a reda controlul programului întrerupt.

Transferurile prin acces direct la memorie se fac prin preluarea datelor de la interfețele de achiziții și punerea lor direct în memoria calculatorului. După transferarea a 66 kB de date este necesară reprogramarea controlerului DMA. Pentru a se evita pierderea de date se poate folosi un tampon de memorie FIFO (în engleză FIFO = First In/First Out - primul intrat/primul plecat), care fiind amplasat chiar pe placa de achiziție, poate memora datele citite pe durata reprogramării. O altă soluție poate fi și instalarea unui al doilea canal DMA, ceea ce permite ca un canal să transfere date în timpul reprogramării celuilalt.

Se recomandă ca pentru transferuri lente să se folosească întreruperile iar pentru transferuri foarte rapide să se folosească DMA.

e) *rezoluția* unei plăci de achiziții de date este dependentă direct de rezoluția CAN (definește cea mai mică modificare detectabilă în semnalul de intrare) și se exprimă prin numărul de biți care rezultă din conversia analog-numerică.

Rezoluția poate fi exprimată și în procente, ca fiind inversul numărului posibil de combinații ce se pot realiza cu biții rezultați din conversie. De exemplu un convertor de 8 biți poate realiza $2^8 = 256$ de combinații posibile. În acest caz rezoluția exprimată în procente este $1/256 \times 100 = 0,39\%$. Dacă vrem să măsurăm un semnal de 10 V folosind acest convertor, rezoluția cu care vom putea măsura semnalul de intrare va fi $10/256 = 0,039$ V. Folosind un convertor pe 12 biți, numărul de combinații posibile crește la $2^{12} = 4096$ de combinații posibile iar rezoluția în procente va fi $1/4096 \times 100 = 0,024\%$. Rezoluția cu care putem măsura un semnal de intrare de 10 V va fi în acest caz 0,0024 V, deci net superioară.

În general convertoarele cu rezoluții ridicate sunt mai scumpe și mai lente decât cele corespunzătoare cu rezoluții mai mici.

f) viteza (rata) de eșantionare reprezintă o caracteristică importantă a unei plăci de achiziții și arată viteza cu care placa poate să realizeze conversia analog-digitală a unui semnal de pe un canal de intrare și să identifice valoarea discretă a acestuia în momentul eșantionării. Se exprimă de obicei în eșantioane/secundă și mai rar în Hz. Conform teoriei, un sistem de achiziție de date trebuie să eșantioneze cu o frecvență de cel puțin două ori mai mare decât cea mai mare frecvență care există în semnalul de intrare (conform teoremei lui Shannon). În practică se recomandă ca frecvența de eșantionare să fie de cel puțin patru ori mai mare ca frecvența maximă a semnalului, pentru a preveni fenomenul de aliasing. Trebuie ținut seama și de faptul că vitezele mari de eșantionare ocupă rapid memoria calculatorului. Aceasta înseamnă că timpul cât sistemul poate să eșantioneze date este la fel de important ca și viteza de eșantionare. Pentru a asigura suficient timp de eșantionare poate apărea necesitatea de a instala RAM suplimentar pe calculator sau soft de acces foarte rapid la disc (numit “disk streamer”). Nu trebuie uitat și faptul că frecvența de eșantionare pentru un canal este dată de rata maximă de eșantionare a CAN împărțită la numărul de canale active (care conțin semnale de eșantionat).

g) modul de declanșare (în enleză *triggering*). Conversia analog-digitală trebuie să fie inițiată direct de către ceasul din hard-ul calculatorului sau de către un ceas extern. Sistemele care folosesc rutine soft pentru declanșarea conversiei sunt pasibile de erori. Declanșările din hard permit un control mai bun al achiziției de date și reduc consumul de memorie.

Trebuie avut în vedere și modul de eșantionare: în unele cazuri achiziția de date trebuie să înceapă atunci când se primește un semnal de declanșare, alteori achiziția se încheie la primirea unui semnal; sunt și situații în care datele se achiziționează înainte și după un semnal de declanșare. Aceste două ultime moduri de declanșare, pre-trigger și post-trigger, sunt utile atunci când datele ce trebuie achiziționate cuprind și starea experimentului înainte și după producerea unui eveniment.

h) prețul de cost al unei plăci de achiziții de date este dependent de toate aspectele enumerate mai sus. Acesta crește cu cât placa are mai multe canale de intrări/ieșiri, rezoluția este mai ridicată, rata de eșantionare este mai mare și are mai multe posibilități de adaptare la diverse echipamente și facilități de lucru.

Bibliografie

- [1]. V. Naghi – Achiziția de date. In: Revista PC Report nr. 41, februarie/1996
- [2]. M. Antoniu – Măsurări electrice și electronice, vol.1- Editura Satya 2001
- [3]. M. Antoniu – Măsurări electrice și electronice, vol.2 - Editura Satya 2001
- [4]. E. Vremeră ș.a. – Măsurări electrice și electronice. Indrumar de laborator
U.T. Iași 1996
- [5]. Fl. Tărăboanță – Echipamente pentru prelucrarea și comunicarea datelor.
Editura Astel Design Iași 2000
- [6]. R. White. – Cum funcționează calculatoarele. Editura B.I.C. ALL, București 2002
- [7]. * * * - Evoluția tehnologiei. Editura Aquila'93, Oradea 2001
- [8]. G. Ionescu ș.a. – Traductoare pentru automatizări industriale, vol.1
Editura Didactică și Pedagogică, București 1985
- [9]. E. Nicolau ș.a. – Manualul inginerului electronist. Editura Tehnică, București 1979
- [10]. * * * - Noncontact Temperature Measurement Using Infrared Technology
Prospect al firmei Raytek
- [11]. St. Gârlașu ș.a. – Electronică și automatizări industriale
Editura Didactică și Pedagogică, București 1982
- [12] * * * - www.howstuffworks.com

NOȚIUNI DE ELECTRONICĂ. COMPONENTE ELECTRONICE

Electronica este o ramură a științelor tehnice care se ocupă de curenți electrici care reprezintă de regulă semnale de date, cum ar fi semnale audio sau video sau operații logice din circuitele unui calculator.

Materiale conductoare și izolatoare. Unele materiale, mai ales cele metalice, sunt bune conducătoare de curent electric, adică permit deplasarea liberă a sarcinilor electrice. În metalele solide purtătorii de sarcină sunt electronii care se mișcă prin structura cristalină. Aceste materiale se numesc *conductori*. Există și materiale care nu permit trecerea curentului electric, cum ar fi materialele plastice și nemetalice. Acestea se numesc *izolatori*.

Semiconductoare. Conductivitatea unor materiale poate să se modifice semnificativ în funcție de condițiile externe, astfel că un material conductor poate să devină izolator. Aceste materiale se numesc *semiconductoare*.

Siliciul este un exemplu de material semiconductor; în stare pură este slab conductor și devine bun conductor dacă se adaugă o cantitate mică de impurități printr-un proces numit *dopare*. Se pot folosi două tipuri de impurități:

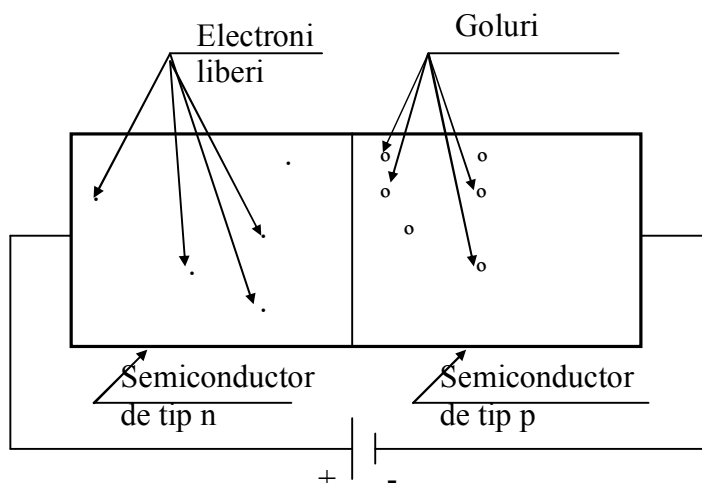
- *impurități donatoare*, de ex. fosforul care cedează electroni liberi, transformând siliciul într-un semiconductor de tip N (N de la negativ);
- *impurități acceptoare*, cum ar fi borul care are în structura sa "goluri" ce pot accepta electroni, făcând din siliciu un semiconductor de tip P (P de la pozitiv).

Dacă cele două materiale astfel create sunt puse în contact, unii electroni liberi vor migra de la semiconductorul N spre semiconductorul P. În același timp unele goluri vor migra în sens invers, creând astfel o diferență de potențial pe joncțiunea *n-p*. Dacă pe o astfel de joncțiune se aplică din exterior o diferență de potențial externă, atunci în funcție de polaritate, curentul va trece sau nu va trece prin joncțiune.

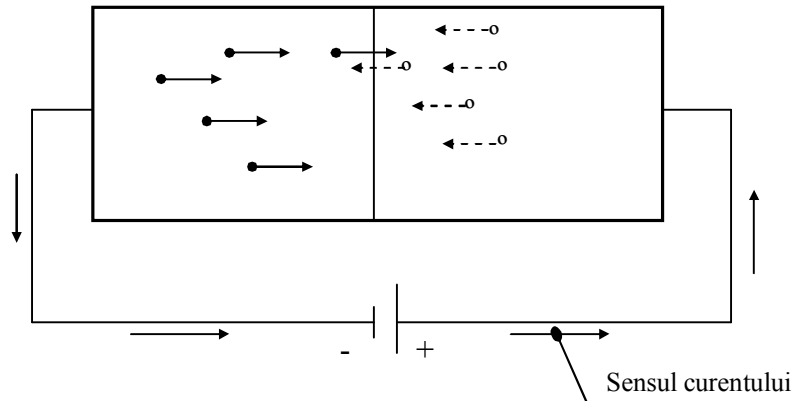
COMPONENTE ELECTRONICE

Cele mai importante componente electronice sunt:

1. Dioda este o joncțiune semiconductoră care permite trecerea curentului electric numai într-un singur sens.



a)

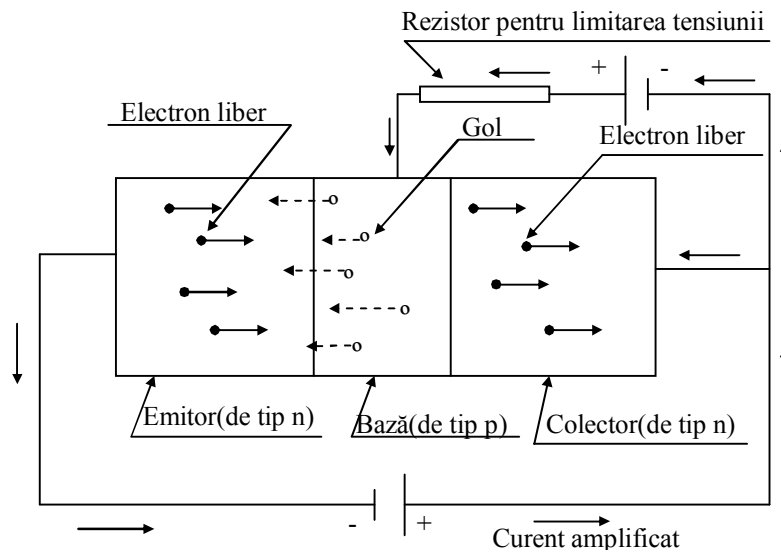


b)

Dioda semiconductoră

O diodă semiconductoră se obține prin unirea unui semiconductor de tip N (care conține electroni liberi) cu unul de tip P (care conține goluri). Atunci când se aplică o diferență de potențial ca în Fig.a nu apare curent electric. Dacă însă se aplică o tensiune cu polaritate schimbată, ca în Fig.b, electronii și golurile se deplasează producând curent electric. Diodele pot fi fabricate la dimensiuni foarte mici, ceea ce permite "montarea" lor în circuite integrate.

2. **Tranzistorii** sunt formați dintr-o diodă semiconductoră de tip N sau P, prinsă între două diode de tip opus, așa cum se vede în figura următoare. Dioda din centru se numește bază iar cele exterioare acestea se numesc emitor și colector.



Schema tranzistorului

Prin această construcție se poate realiza o amplificare a curentului sau o blocare a acestuia. De aceea tranzistorii sunt folosiți ca dispozitive electronice de amplificare (amplificatoare) sau ca întrerupătoare.

3. **Fotodiodele** sunt diode fotosensibile care permit trecerea curentului electric în prezența unor fotoni pe joncțiunea $p-n$, fiind deci componente electronice care transformă lumina în curent electric (ca la aparatele foto digitale, CD-playere etc.)

4. LED-urile sunt componente electronice în care se petrece un proces opus celui din fotodiode, adică prin aplicarea unei tensiuni pe o joncțiune $p-n$ se obține o emisie de fotoni.

5. Rezistoarele sunt componente electronice care opun o rezistență la trecerea curentului electric și de aceea se folosesc pentru a limita tensiunea din circuitele electrice sau electronice.

6. Condensatoarele sunt formate din două plăci metalice separate printr-un izolator. Dacă pe plăci se aplică o diferență de potențial, apare o acumulare de sarcini negative pe o placă și pozitive pe cealaltă placă. Această acumulare dispare dacă cele două plăci se leagă între ele printr-un fir conductor. Condensatoarele au aplicații numeroase în circuitele electronice, între care cea mai importantă este aceea de stocare prin încărcare în cipurile de memorie (vezi circuitele de eșantionare-memorare).