

CUPRINS PDE

Curs	Metode de predare	Observații
1. Introducere (0.5 ore) 2. Principii de baza in achizitia si prelucrarea datelor (1.5 ore) 2.1 Esantionare 2.2 Cuantificare 2.3 Conditionare 2.4 Conversie semnal 2.5 Codificare	Cu videoproiectorul; Tradițional	Interactiv
3. Placi de achizitie de date (2 ore) 3.1 Exemple de utilizare ale sistemelor de achizitii de date 3.2 Schema generala de achizitia si prelucrarea datelor. Exemplu.	Cu videoproiectorul; Tradițional	Interactiv
4. Limbajul de programare LabVIEW (1 ora) 4.1 Structura aplicatiilor LabVIEW 4.2 Instrumentatia virtuala.	Cu videoproiectorul; Tradițional	Interactiv
5. Convertoare (3 ore) 5.1 Conversia analog-numeric si numeric analogica. 5.2 Circuite de esantionare-memorare 5.2.1 Scheme generale 5.2.2 Exemple de circuite E-M. 5.3 Caracteristicile convertoarelor. Erorile convertoarelor. 5.3.1 Erorile statice 5.3.2 Erorile dinamice	Cu videoproiectorul; Tradițional	Interactiv
6. Convertoare analog/numerice (1 ora) 6.1 Scheme pentru CAN 6.1.1 Convertoare paralele 6.1.2 Convertoare analog-seriale si numeric paralele 6.1.3 Convertoare serie-paralel 6.1.4 Convertoare cu reactie	Cu videoproiectorul; Tradițional	Interactiv
7. Convertoare numeric/analogice (1 ora) 7.1 Scheme pentru CAN 7.1.1 Convertoare cu retele ponderate binar 7.1.2 Convertoare cu retele R-2R	Cu videoproiectorul; Tradițional	Interactiv
8. Senzori si traductoare (4 ore) 8.1 Definitie si clasificare. 8.2 Parametrii de performanta. 8.3 Solutii constructive. 8.3.1 Senzori capacitivi. 8.3.2 Senzori inductivi - transformatorul diferential variabil - traductorul inductiv variabil liniar 8.4 Senzori rezistivi. 8.4.1 Marca tensometrica 8.4.2 Termocuplul 8.5 Senzori piezoelectrics. 8.5.1 Accelerometrul 8.5.2 Senzori ultrasonici 8.6 Senzori magnetici. 8.7 Senzori optici 8.7.1 Senzori fotoelectrici 8.7.2 Senzori cu fibra optica	Cu videoproiectorul; Tradițional	Interactiv
9. Conditionarea semnalelor (6 ore) 9.1 Generalitati. 9.2 Analizoare analogice 9.2.1 Analizoare cu filtre discrete	Cu videoproiectorul; Tradițional	Interactiv

9.2.2 Analizoare paralele in timp real 9.2.3 Analizoare cu compresia timpului 9.3 Analizoare cu filtre numerice 9.4 Analizoare ce folosesc transformata Fourier 9.5 Analiza in domeniul timp 9.6 Analiza in domeniul amplitudine 9.7 Amplificatoare. 9.8 Integratoare si diferentiatore. 9.9 Detectoare de faza. 9.10 Cabluri, conexiuni, cutii de cuplare, dispozitive de multiplexare. Dispozitive de calibrare.		
10. Achizitia si transmiterea datelor la distanta (4 ore) 10.1 Transferul datelor. 10.2 Canale de transfer. 10.2.1 Canale ghidate. Sisteme prin fibre optice. 10.2.2 Canale neghidate. Sisteme prin satelit. 10.3 Efectele latimii de banda asupra canalului. 10.4 Protocoale si interfete pentru achizitia si transmiterea datelor. 10.4.1 Protocolul XMODEM 10.4.2 Protocoale half-duplex si full-duplex 10.4.3 Interfete 10.4.4 Exemple	Cu videoproiectorul; Tradițional	Interactiv
11. Prezentare media a achizitiei si prelucrării datelor cu ajutorul softului LabVIEW. Comentarea aplicatiilor din prezentarea anterioara. (4 ore)	Cu videoproiectorul	Interactiv
Bibliografie ▪ Carmen Bujoreanu, <i>Achizitia si prelucrarea datelor experimentale</i>, Ed. Tehnopress Iasi, 2006 ▪ C. Stefanescu, N. Cupcea, <i>Sisteme inteligente de masura si control</i>, Editura Albastra Cluj-Napoca, 2002 ▪ B.Drăgan, <i>Achiziția și procesarea semnalului vibroacustic</i>, Ed.Politehnia, 2004 ▪ F.Taraboanta, <i>Echipamente pentru prelucrare si comunicarea datelor</i>, Ed. Astel Design Iasi, 2000. ▪ F. Taraboanta, <i>Mecatronica generala</i>, Ed. Gh. Asachi Iasi, 2002 ▪ M. Gafitanu, S. Cretu, B. Dragan, <i>Diagnosticarea vibroacustica a masinilor si utilajelor</i>, Ed. Tehnica, 1989 ▪ V. Maier, C.D.Maier, <i>LabVIEW in Calitatea Energiei Electrice</i>, Editura Albastra Cluj-Napoca, 2000 ▪ F. Cottet, O. Ciobanu, <i>Bazele Programarii in LabVIEW</i>, Ed. Matrix Rom Bucuresti, 1998 ▪ ***<i>LabVIEW- Data Acquisition/Course Manual/Users Guide</i>, vol.I-IV, 2007 Edition.		
Laborator	Metode de predare	Observatii
1. Bazele mediului LabView. Consideratii teoretice. Caracteristicile mediului LabView. Structura unui program.	Calculator	interactiv
2. Prezentare optiunilor meniului afisat la lansarea mediului LabView. Consultarea exemplelor instalate. Rolul si componenta barei cu unelte. Meniuri contextuale.	Calculator	interactiv
3. Controale si indicatoare. Tipuri. Consultarea grupului de componente tip numeric; tip boolean; tip sir de caractere.	Calculator	interactiv
4. Consultarea grupului de componente tip tablou si grupare de date; grafice.Deschiderea unor IV.	Calculator	interactiv
5. Elementele limbajului G. Consideratii teoretice. Instructiuni pentru controlul executiei programelor. Formule de calcul	Calculator	interactiv
6. Functii pentru tipul numeric; pentru tipul boolean; pentru tipul sir de caractere; pentru tipul tablou si	Calculator	interactiv

grupare de date.		
7. Metode de realizare ale reprezentarilor grafice. Exemple.	Calculator	interactiv
8. Realizarea unui IV. Etape. Crearea panoului frontal. Realizarea semnăturii IV. Salvarea. Construirea diagramei bloc.	Calculator	interactiv
9. Realizarea unui IV cu ajutorul unei structuri de calcul. Exemple.	Calculator	interactiv
10. Studiul sintezei semnalelor periodice. Realizarea unui program complet.	Calculator	interactiv
11. Realizarea unui filtru numeric corespunzător celui analogic, aproximat prin derivare și integrare.	Calculator	interactiv
12. Aplicație la filtrarea unui semnal periodic dreptunghiular.	Calculator	interactiv
13. Aplicație de înregistrare automată a datelor în fișier text în cursul unui proces de măsurare	Calculator	interactiv
14. Discuții. Recuperări. Înscriserea cursanților în clubul utilizatorilor LabVIEW.	Calculator	interactiv
Bibliografie ▪ Carmen Bujoreanu, <i>Instrumentația virtuală cu LabVIEW</i>, Editura Tehnopress, ISBN 978-973-702-074-X, 155 pg., 2005 ▪ B. Dragan, <i>Achiziția și procesarea semnalului vibroacustic</i>, Ed. Politehnicum Iași, 2004 ▪ C. Stefanescu, N. Cupcea, <i>Sisteme inteligente de măsură și control</i>, Editura Albastră Cluj-Napoca, 2002 ▪ V. Maier, C.D.Maier, <i>LabVIEW în Calitatea Energiei Electrice</i>, Editura Albastră Cluj-Napoca, 2000 ▪ F. Cottet, O. Ciobanu, <i>Bazele Programării în LabVIEW</i>, Ed. Matrix Rom București, 1998 ▪ National Instruments, Edition 2010, accesat la http://zone.ni.com		

Evaluare

Tip activitate	Criterii de evaluare	Metode de evaluare	Pondere din nota finală
10.1 Curs	-Înțelegerea principiilor de bază în achiziția și prelucrarea datelor; -Cunoașterea tehnicilor de realizare a unui sistem pentru achiziția, transmiterea și analiza datelor.	Evaluare finală-examen <i>Sarcini:</i> dezvoltări tematice <i>Condiții de lucru:</i> test scris 1 oră	50%
10.2 Laborator	Abilitatea de a utiliza calculatorul și programul adecvat.	Evaluare continuă-la fiecare laborator în parte	50%
10.3 Standard minim de performanță: obținerea notei de promovare la laborator; obținerea a 50 % din punctajul evaluării finale			

CURS 1

1. INTRODUCERE

Pentru a putea controla un proces cu ajutorul tehnicii de calcul sunt necesare două operații de bază:

- ♦ preluarea din proces a unor informații referitoare la starea acestuia la un moment dat (parametri de proces, stări ale acestuia, semnale de avarie, evoluția unor mărimi în timp);
- ♦ furnizarea de către echipamentul de calcul a unor semnale de comandă sau reglare.

Pentru ca un sistem de calcul, utilizat pe post de calculator de proces, să poată îndeplini cele două sarcini esențiale prezentate anterior, este necesar ca acesta să fie echipat cu o placă de extensie specială, capabilă să realizeze interfațarea procesului cu sistemul de calcul. O astfel de placă este cunoscută în literatura de specialitate sub denumirea de *placă de achiziție*.

Deși denumirea acesteia ar sugera că o astfel de placă permite doar preluarea de informații din sistemul studiat, în cele mai multe cazuri plăcile de achiziție au posibilități de lucru mult mai largi. Astfel, cu ajutorul unei astfel de plăci se pot realiza o serie de operații cum ar fi:

- achiziții de semnale numerice de la senzori sau traductori numerici;
- achiziții de semnale analogice, care sunt transformate în semnale numerice cu ajutorul convertoarelor analog-numerice existente pe placă.

Intrările analogice se utilizează pentru cuplarea de senzori sau traductori ce furnizează semnale analogice (accelerometre, senzori optici, senzori magnetici, mărci tensometrice, senzori de temperatură, etc.);

- ieșiri numerice pentru comanda efectorilor de tip bipozițional (relee, comutatoare statice, pornirea și oprirea unor aparate);
- ieșiri analogice, obținute din semnalele numerice furnizate de echipamentul de calcul cu ajutorul convertoarelor numeric-analogice;
- temporizări și contorizări de mare precizie;
- sincronizarea unor procese (pornirea achiziției, oprirea acesteia etc.).

Modul în care pot fi utilizate plăcile de achiziție în sistemele de calcul poate diferi foarte mult, funcție de complexitatea și performanțele plăcilor, a sistemului de calcul și a programelor de prelucrare a datelor utilizate.

În cazul utilizării de sisteme relativ modeste, cu plăci cu performanțe reduse și un soft simplu, de regulă singura soluție aplicabilă este cea indirectă (off-line). Aceasta constă în faptul că informația achiziționată din proces este transferată de placă într-o memorie tampon sau pe disc, într-un fișier. După terminarea procesului de achiziție, se lansează în execuție programul de prelucrare a datelor culese din proces, iar acesta va furniza unele rezultate și informații referitoare la evoluția procesului pe parcursul achiziției de date.

Această metodă de prelucrare numerică a semnalelor este în general greoaie, presupunând multe intervenții manuale din partea operatorului. Ca urmare metoda este puțin aplicabilă în automatizarea proceselor ce necesită luarea de decizii în timp real. Astfel de sisteme, cu aplicabilitate în condiții de laborator, permit realizarea de prelucrări complexe a semnalelor cu cheltuieli modeste.

La cealaltă extremitate se află sistemele complexe de achiziție și prelucrare numerică a semnalelor. Acestea au în componența lor plăci de achiziție performante, cu un număr mare de intrări și ieșiri, iar calculatoarele utilizate au instalate pachete de programe complexe de prelucrare a informației prin metode numerice, programe ce pot lucra direct cu datele preluate din memoria tampon a plăcilor de achiziție.

Aceste date sunt prelucrate imediat cu algoritmi performanți și drept rezultat se elaborează un răspuns cu privire la evoluția sistemului, răspuns folosit pentru elaborarea de comenzi destinate procesului și care sunt transferate în exterior, către efectorii procesului, prin intermediul aceleiași plăci instalate în sistem.

Astfel de plăci de achiziție, împreună cu pachetele de programe aferente sunt produse și de firma National Instruments. Această firmă deține actualmente un loc privilegiat pe piața sistemelor de achiziție de date, datorită faptului că pune la dispoziție beneficiarilor soluții complete, atât hard cât și soft. Sistemele produse de National Instruments au o serie de caracteristici cum ar fi:

- modularitate;
- performanțe superioare;
- flexibilitate în configurare;
- plăci de achiziție programabile soft, etc.

Structura generală a unei plăci de achiziții de date (fig.1) include:

- ◆ Dispozitive de intrare cuprinzând:
 - intrări numerice pentru traductoare sau senzori de semnale numerice;
 - intrări analogice, dotate cu convertoare analog-numerice (CAN) pentru traductoare sau senzori de semnale analogice;
- ◆ dispozitive de ieșire formate din:
 - ieșiri numerice pentru acționari numerice;
 - ieșiri analogice dotate cu convertoare numeric-analogice (CNA) pentru acționari cu semnale analogice.

În afara legăturilor directe cu procesul fizic de controlat, calculatorul poate avea legături de tip numeric cu alte sisteme, cum ar fi unele instrumente de măsură (osciloSCOape, voltmetre, etc.) sau chiar cu alte calculatoare (aplicații distribuite). Legăturile de tip numeric sunt standardizate și anume:

- ◆ legătura serie (standard conform RS 232C);
- ◆ legătura paralelă (standardul IEEE 488).

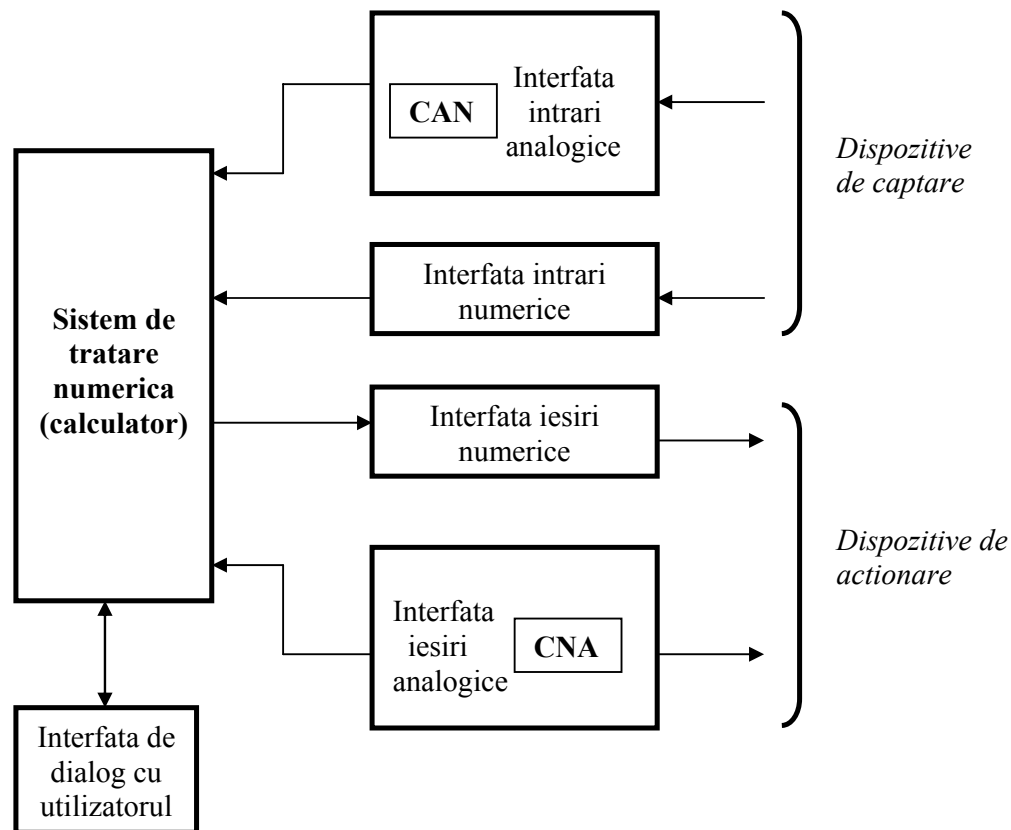


Fig. 1. Structura generală a unei plăci de achiziție

2. INSTRUMENTAȚIA VIRTUALĂ

Cu ajutorul plăcilor de achiziție de date, fluxul de date numerice sau analogice, provenite de la traductori, poate fi prelucrat sau analizat. Prelucrarea datelor numerice sau analogice prin intermediul limbajului de programare, permite crearea sau simularea unor aparate de măsurare și analiză (instrumente virtuale). Principalul avantaj al instrumentelor virtuale de măsurare și analiză constă în flexibilitatea acestora față de instrumentele clasice, putând fi foarte ușor transformate prin programare.

Interfața unui instrument virtual conține diverse dispozitive și aparate de măsură și analiza într-o formă grafică, asemănătoare aparatelor și dispozitivelor clasice reale. Un instrument virtual este un modul de program realizat sub formă grafică, astfel încât acesta să se apropie foarte mult de instrumentele fizice similare.

Un program performant, care permite realizarea instrumentației virtuale este programul LabVIEW. Programarea unei aplicații LabVIEW se face pe principiul fluxului de date, instrumentul virtual fiind în realitate un modul de program, care poate fi realizat și executat independent, sau poate fi inclus într-o altă aplicație.

3. PRINCIPII DE BAZA ÎN ACHIZIȚIA ȘI PRELUCRAREA DATELOR

Un sistem de prelucrare a semnalelor este un sistem care prin structura sa este capabil să preia o serie de informații din exterior, să realizeze o transformare a acestora după o serie de reguli bine stabilite și să ofere la exterior un rezultat (răspunsul sistemului) dependent de informația primită la intrare și de structura internă a sistemului.

Semnalul este o mărime măsurabilă, cu o anumită variație în timp. După natura mărimii, semnalele pot fi electrice, electromagnetice, optice, mecanice etc.

Semnalul analogic este un semnal a cărui variație în timp este continuă. În natură marea majoritate a semnalelor sunt analogice.

Semnalul discret se caracterizează prin aceea că are valori nenule la momente discrete de timp, iar în afara acestor momente are valoare nulă.

Semnalul numeric este un semnal reprezentat ca o înșiruire de numere ce indică valoarea semnalului la un moment dat.

Sistemul numeric este un sistem în care informația este transmisă și prelucrată în totalitate sau în cea mai mare parte sub formă de semnale numerice.

Ținând cont de faptul că, în marea majoritate a cazurilor, în procesele ce au loc în instalațiile industriale, în aparate electrice și electronice sau în alte procese ce se dorește a fi urmărite, semnalele sunt sub formă analogică, se pune problema transformării acestora în semnale numerice, pentru a putea fi prelucrate ulterior cu sisteme numerice de calcul. Această conversie se realizează cu circuite speciale, numite **convertoare analog – numerice (CAN)**.

Pentru obținerea semnalului numeric, dintr-un semnal analogic, trebuie realizate trei operații de bază:

- eșantionarea semnalului;
- cuantizarea (evaluarea semnalului eșantionat);
- codarea (transformarea semnalului cuantificat în coduri numerice).

EȘANTIONAREA

Constă în transformarea semnalului continuu de intrare $x(t)$ într-un semnal discret $x(nT)$, adică într-o succesiune de impulsuri ce se succed cu o frecvență constantă în timp și care au ca amplitudine valoarea semnalului analogic de intrare, la momentele de timp respective. Durata impulsurilor este foarte mică (teoretic zero), iar în intervalul de timp dintre două impulsuri succesive, valoarea semnalului eșantionat este nulă.

Pentru a obține un semnal eșantionat este necesar ca în circuitul prin care circulă semnalul $x(t)$ să se introducă un modul de eșantionare. Principial, un modul de eșantionare poate fi considerat ca un întrerupător normal deschis, care se închide pentru o perioadă foarte scurtă de timp, la momentele $t = nT$,

permițând astfel semnalului de intrare să treacă la ieșire, după care revine în poziția deschis.

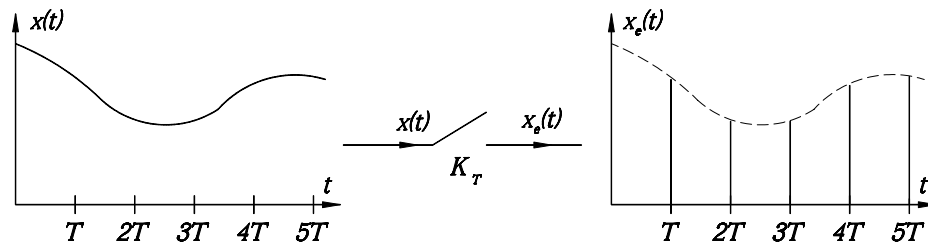


Fig. 2 Principiul esantionarii

După comutator se obține semnalul eșantionat:

$$x_e(t) = \{x(nT)\}$$

Valorile $x(nT)$ reprezintă eșantioanele prin care este reprezentat semnalul $x(t)$. Semnalul $x_e(t)$ din fig. 2 este idealizat, deoarece în realitate comutatorul rămâne închis un interval mic, dar finit Δt , astfel că impulsurile sunt de durată finită.

Eșantionarea prezentată în figură este periodică, deoarece K_T este acționat periodic. Intervalul de timp T reprezintă *perioada de eșantionare*, iar *frecvența de eșantionare* este dată de relația $f = 1/T$, și $\omega = 2\pi f$ se numește *pulsăția de eșantionare*. Semnalul eșantionat este un semnal discretizat în timp.

Acesta poate fi reprezentat ca o funcție de variabilă nT sau, raportând acest termen la T , ca o funcție de variabilă numerică n .

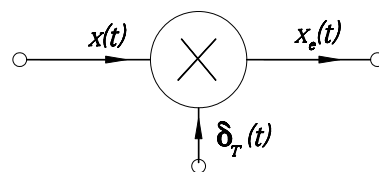


Fig. 3. Modelul de studiu al eșantionării

Deci eșantionarea periodică a unui semnal analogic constă în construirea secvenței de valori $x_e(t) = \{x(nT)\}$.

Modelul de studiu al eșantionării este prezentat în fig. 3

Conform acestui model putem scrie: $x_e(t) = x(t) \cdot \delta_T(t)$

Ținând cont de faptul că: $\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$ rezultă:

$$x_e(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) \cdot \delta(t - nT)$$

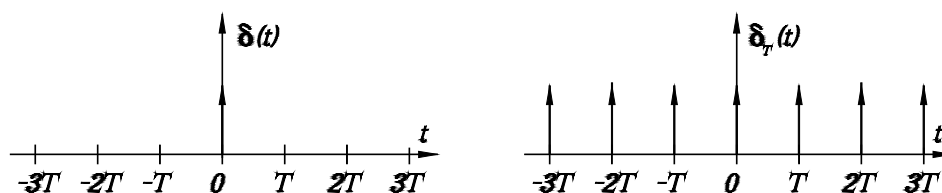


Fig.4. Impulsul Dirac și funcția pieptenele

În relațiile anterioare funcția $\delta(t)$ se numește funcție *impuls Dirac*. Această funcție ia valoarea 1 pentru $t = 0$ și se anulează în rest. Funcția $\delta_T(t)$ se numește funcție *delta periodică* sau *pieptenele lui Dirac*, având valoarea 1 pentru $t = n \cdot T$, $n \in \mathbb{Z}$ și valoarea 0 în rest. Reprezentarea grafică a acestor funcții este prezentată în fig. 4.

O problemă importantă, de care trebuie să se țină seama în cazul procesului de eșantionare, este frecvența minimă de eșantionare sau, corespunzător, perioada maximă între două eșantioane succesive, astfel încât semnalul eșantionat să descrie cu suficientă fidelitate semnalul inițial, și dacă este nevoie, să permită refacerea acestuia din urmă. Condiția care trebuie pusă, conform criteriului lui Nyquist, este ca frecvența de eșantionare să fie de cel puțin două ori mai mare decât frecvența maximă ce apare în semnalul ce urmează să fie eșantionat:

$$f_e \geq 2 \cdot f_{\max} \Leftrightarrow T_e \leq 2 \cdot \frac{T_{\max}}{2}$$

Dacă eșantionarea se realizează cu o frecvență de eșantionare cunoscută f_e , frecvența maximă a semnalului ce poate fi corect eșantionat este:

$$f_M = f_e / 2$$

Dacă semnalul nu satisface condiția $f_{\max} < f_M$ atunci eșantionarea nu se va realiza corect, apărând erori numite *erori de aliasing*. Pentru a elimina deformările semnalului datorate aliasingului, se practică o filtrare a semnalului înainte de intrarea în modulul de eșantionare cu un filtru trece jos, ce are frecvența de tăiere acordată la cel mult $f_e/2$. Un astfel de filtru se mai numește și *filtru de gardă*.

Deoarece filtrul de gardă nu poate fi realizat în practică în mod ideal, blocarea componentelor spectrale în vecinătatea frecvenței de tăiere nu este perfectă și este necesar să se lucreze cu filtrul acordat la o frecvență limită mai mică decât $f_e/2$.

CUANTIZAREA

Prelucrarea numerică a semnalelor cu ajutorul calculatorului presupune reprezentarea acestor semnale printr-un număr finit de valori discrete. Discretizarea este trebuie făcută nu doar în timp ci și în amplitudine, ceea ce se

realizează prin operația de cuantizare. Aceasta se efectuează prin alegerea unui număr corespunzător, dar finit, de niveluri de cuantizare.

Cuantizarea constă în aproximarea eșantioanelor cu niște trepte, cu amplitudine prestabilită. Fiecărui eșantion i se atribuie o treaptă căreia îi va corespunde ulterior o valoare binară dată. Acceptând o eroare convenabilă, ca și în cazul eșantionării, avem la dispoziție, printr-o succesiune de biți, o reprezentare binară aproximativă a semnalului analogic $x(t)$. Deci fiecare eșantion se exprimă numeric printr-un număr finit de biți, rezultând secvența $x_Q(n)$. Semnalul diferență:

$$e(n) = x(n) - x_Q(n)$$

se numește *zgomot de cuantificare*. Pentru ca secvența $x_Q(n)$ să aibă o semnificație corespunzătoare, este necesar ca semnalul analogic $x(t)$ să se încadreze într-o bandă limitată. Practic filtrul de limitare a benzii trebuie să aibă o atenuare de cel puțin 40 dB pentru frecvențe mai mari decât jumătate din frecvența de eșantionare.

Distribuția zgomotului de cuantizare este funcție de modalitatea concretă prin care se efectuează cuantizare. Deoarece există un număr finit de nivele de cuantizare, toate semnalele care depășesc valoarea maximă $E_{\max}$, sau care se situează sub valoarea cea mai mică ($-E_{\max}$), vor fi rotunjite la aceste valori.

În general, asemenea procese de depășire a valorilor maxime și minime sunt înlăturate prin alegerea corespunzătoare a treptei de cuantizare Q , precum și printr-o scalare corespunzătoare a semnalului de intrare $x(n)$.

În afara acestor cazuri limită, semnalul care dă eroarea de cuantizare $e_n(t)$ satisface relația:

$$-\frac{Q}{2} \leq e_n \leq \frac{Q}{2}, \quad n \in \mathbb{N}$$

Eroarea de cuantizare poate fi privită ca o secvență aleatorie. Secvența de valori $x_Q(n)$ se poate obține și prin utilizarea altor tipuri de cuantizări, ca de exemplu trunchierea, când semnalul este reprezentat prin cel mai mare nivel de cuantizare, care nu depășește semnalul. Trunchierea este echivalentă cu o rotunjire cu mai mult de jumătate din treapta de cuantizare.

Din observațiile anterioare, rezultă că eroarea de cuantizare are valoare medie nulă în cazul rotunjirii și egală cu $Q/2$ în cazul trunchierii.

Secvența de ieșire, presupusă cu frecvență infinită, se reprezintă astfel:

$$x_Q(t) = x(n) \cdot h(n) + e_n \cdot h(n)$$

unde $h(n)$ este răspunsul sistemului la impulsul unitate. Termenul drept din expresia anterioară poate fi interpretat ca o sumă de doi factori: o ieșire de semnal - $x(n) \cdot h(n)$ și o ieșire de zgomot - $e_n \cdot h(n)$.

Acești doi factori determină raportul semnal / zgomot. Funcție de numărul de biți, raportul semnal / zgomot (R_{SZ}) este dat de relația:

$$R_{SZ} = 6 \cdot b - 1,2 \text{ [dB]}$$

unde b este numărul de biți utilizați pentru reprezentarea unui eșantion.

CODAREA

Este operația în urma căreia, fiecărui eșantion cuantificat i se asociază un cuvânt de cod, adică un set de numere binare, în conformitate cu un cod stabilit.

Numărul de biți asociați fiecărui eșantion se numește *rezoluția eșantionării*.

Cu cât această rezoluție este mai mare, cu atât se obține un semnal numeric ce aproximează mai bine semnalul analogic de intrare.

Codarea este realizată de un circuit special, construit pe principiile logicii combinaționale. Un astfel de circuit, denumit *codificator zecimal-binar*, are un număr de 2^b intrări de date și un număr de b ieșiri. La ieșire se va obține numărul binar corespunzător intrării cu rang cel mai înalt activate.

CURS 2

4. LIMBAJUL DE PROGRAMARE LabVIEW

Pe lângă marea diversitate de plăci pentru achiziția de date, firma National Instruments a mai creat și un suport software foarte puternic pentru achiziția, prelucrarea și analiza numerică a semnalelor. Pe lângă performanțele deosebite și modularitatea acestor pachete de programe, ele sunt realizate astfel încât au un înalt grad de compatibilitate cu produsele hardware oferite de aceeași firmă.

Principalele produse software oferite de National Instruments sunt limbajele de programare *LabVIEW* și *LabWindows/CVI*.

Ambele sunt limbaje de programare vizuală, dar diferența esențială dintre ele este faptul că LabVIEW lucrează ca un interpretor și are o interfață de programare exclusiv grafică (atât în privința realizării interfeței utilizator cât și în privința descrierii algoritmului și a fluxului de date), pe când LabWindows/CVI este un compilator de limbaj *C*, al cărui mediu de programare permite realizarea interfeței cu utilizatorul (Front Panel) în mod interactiv, prin metode vizuale, dar algoritmi de calcul sunt implementați prin programare clasică, utilizând de regulă limbajul *ANSI C* (acesta asigurând o compatibilitate între diversele platforme).

Limbajul grafic LabVIEW a apărut într-o primă variantă în anul 1986. Denumirea acestuia provine de la o prescurtare din limba engleză “Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench”. Acest limbaj grafic este un mijloc de programare destinat controlului, analizei și afișării datelor.

Prin utilizarea lui, rapiditatea și ușurința realizării programelor crește considerabil, datorită modului intuitiv de programare bazat pe elemente grafice ce simbolizează subprograme (“subinstrumente grafice”). Pentru a realiza instrumentul virtual dorit, aceste elemente trebuie plasate într-o diagramă, iar transmiterea parametrilor și semnalelor între diferitele subinstrumente ale diagramei se face prin conectarea între ele a terminalelor elementelor grafice (operație denumită “*cablare*”).

Traseele astfel realizate, stabilesc și ordinea în care vor fi apelate subinstrumentele.

Un subinstrument virtual este un modul de program realizat sub formă grafică pentru a se apropia cât mai mult de instrumentul fizic.

Subinstrumentele virtuale pot fi realizate și testate independent, pentru ca mai apoi să fie integrate în alte instrumente mai complexe, asemănător cu limbajele de programare clasice, la care procedurile sunt integrate în programul principal. Mai mult, orice subinstrument poate lucra independent, fără a necesita prezența unui instrument virtual care să îl apeleze.

De asemenea, orice instrument virtual poate deveni, cu modificări minore care în realitate nu modifică structura acestora, un subinstrument.

4.1 Structura aplicațiilor LabVIEW

Finalitatea programării în limbajul de programare grafică LabVIEW este realizarea unui instrument virtual. Un *instrument virtual* este un modul de program realizat sub formă grafică, astfel încât acesta se apropie foarte mult de instrumentele fizice similare. Orice aplicație realizată cu programul LabVIEW este înregistrată pe discul magnetic cu numele de *Virtual Instrument* (sau *VI*). Utilizatorii programului LabVIEW utilizează și manevrează instrumentele virtuale într-un mod asemănător cu lucrul cu instrumentele reale.

Marele avantaj al utilizării instrumentației virtuale este faptul că acestea pot fi ușor transformate prin programare. În cazul instrumentelor fizice, structura, caracteristicile tehnice, modul de operare cu acestea sunt rigide, acestea fiind definite la fabricarea instrumentului, iar ulterior nu mai pot fi modificate de către utilizator.

Dacă se folosește instrumentația virtuală, utilizatorul primește o colecție (bibliotecă) de elemente separate, pe care le poate combina după propriile dorințe, obținând instrumentul dorit, cu caracteristicile cerute de problema concretă ce trebuie rezolvată. De asemenea, limbajul LabVIEW oferă o mare varietate de exemple, sub formă de instrumente deja implementate, care pot fi de asemenea modificate și aduse la forma dorită.

O aplicație LabVIEW este compusă în mare, din două părți (ferestre) distincte, dar care, în momentul rulării aplicației, realizează un schimb continuu de date între ele:

- o **fereastră panou** (Panel), pe care se afișează instrumentele virtuale necesare aplicației. Aceste instrumente pot fi indicatoare (grafice, numerice, text etc.) sau elemente de control (comutatoare, potențiometre, liste de selecție etc.).

Fereastra panou este de fapt panoul de comandă de la care se va comanda instrumentul virtual, atunci când este pus în funcțiune. Privind aplicația ca un program, fereastra panou conține variabilele de intrare și de ieșire necesare.

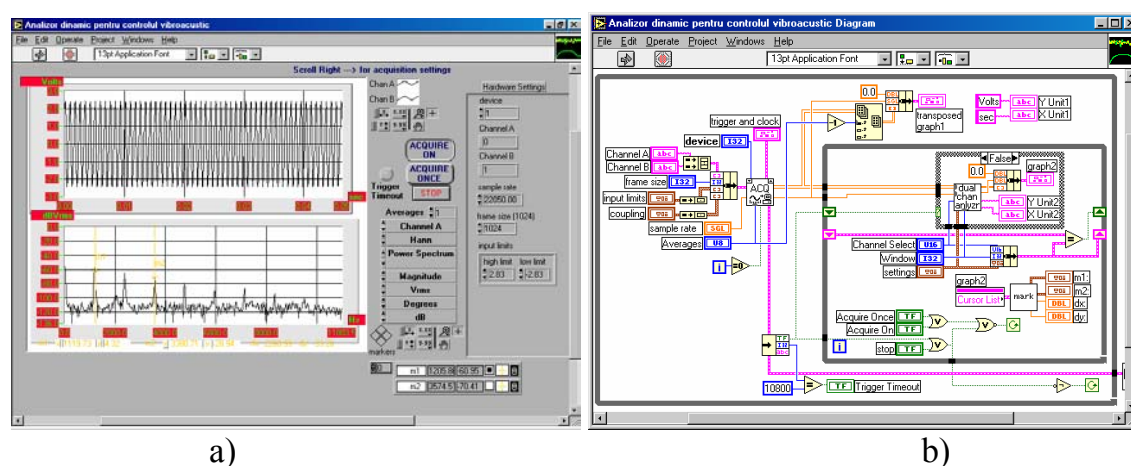


Fig. 1.

- o **fereastră diagramă** (Diagram) în care se realizează programul propriu-zis al aplicației, realizată sub forma unei diagrame a fluxului de date (asemănătoare unei scheme bloc) cu simboluri care reprezintă diverse funcții și subinstrumente virtuale și legăturile necesare între ele. Construirea modulelor se face pe principiul încapsulării.

În figura 1 este prezentat un analizor dinamic pentru controlul vibroacustic al sistemelor mecanice, compus din fereastra panou (fig.1a) și fereastra diagramă (fig.1b).

5. Schema generală pentru achiziția datelor

Un exemplu de sistem computerizat pentru achiziția datelor este prezentat în figura 2:

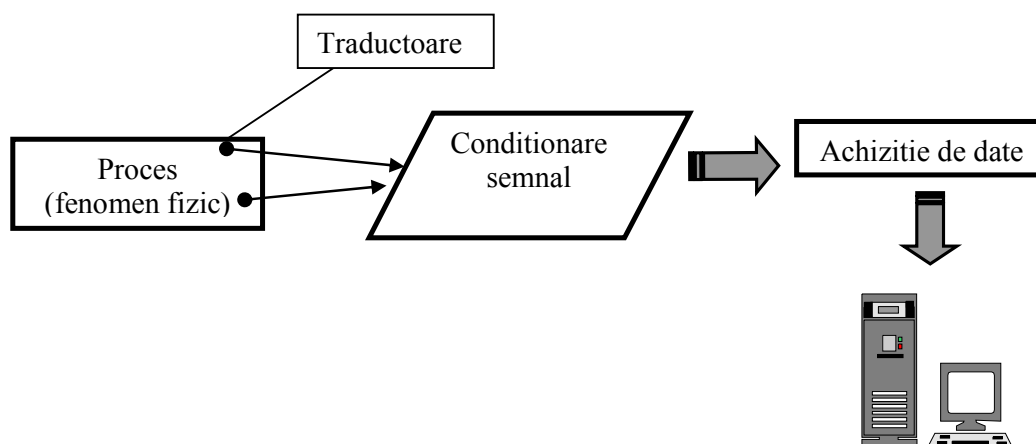


Fig.2

Semnalele care provin de la *traductoare* nu îndeplinesc toate condițiile pentru transmiterea lor direct către sistemele de prelucrare. Acest neajuns apare datorită nestandardizării, în totalitate, a componentelor care intră într-un lanț de măsură și poate fi eliminat prin conceperea unei interfațări speciale numită *conditionare*. Circuitele care materializează conditionarea pot realiza operații precum: amplificare, atenuare, sumare, integrare, dar, în cele mai multe cazuri, aceasta se reduce doar la filtrarea necesară eliminării fenomenului de aliasing.

Soluțiile tehnice de utilizare ale modulelor de conditionare sunt:

1. Conditionare la nivelul plăcii de achiziție de date; în această categorie intră acele circuite de conditionare care sunt dispuse direct pe modulul de achiziție.

Avantajele unei astfel de conditionări sunt simplitatea și prețul de cost redus, dar dezavantajele sunt mult mai importante. Unul din acestea rezidă în faptul că datele culese nu sunt separate în mod corespunzător de sistem, deoarece acestea sunt aduse direct de la placa de achiziție. În cazul în care semnalele de intrare

sunt de nivel mic exista posibilitatea afectarii lor de catre zgomotul propriu al sistemului de calcul. De aici rezulta un raport semnal/zgomot scazut.

2. Conditionarea cu transformare analog-numerica si cale de comunicatie numerica.

Aceasta solutie se poate folosi atunci cand modulul este amplasat in exteriorul sistemului de calcul, iar transferul datelor catre acesta se face prin interfete standardizate (legaturi serie RS 232 sau paralele IEEE 488). In acest fel se elimina o mare parte din dezavantajele prezentate la metoda precedenta. La acest circuit se pot conecta mai multe canale de intrare, putandu-se modifica usor configuratia, dar necesita circuite specializate precum si o logica de control sofisticata. De aici rezulta principalul dezavantaj si anume pretul de cost foarte ridicat.

3. Conditionare pentru transformare analog-numerica si prelucrare locala.

Utilizarea unor astfel de echipamente duce la eliminarea din sistemul de calcul central a operatiilor de achizitie de date si o parte din prelucrarea lor. Pentru a evita suprasaturarea comunicatiilor, fiecare procesor din componenta modulului de achizitie si de conditionare preia functiile de achizitie si procesare a datelor. In acest fel prin magistralele de comunicatie cu sistemul central de calcul circula numai rezultatele procesarilor locale. Principalul dezavantaj este dictat de costul foarte ridicat impus de necesitatea programarii fiecarui procesor in parte.

4. Conditionare prin module cu conectare directa.

Aceste circuite includ module de conditionare programabile, care se conecteaza intre traductoare si placa de achizitie a datelor plasata in sistemul de calcul central. Semnalele primare (neconditionate) sunt introduse in modulele de conditionare, care le adapteaza la necesitatile impuse sistemului de achizitie de catre calculatorul central. Avantajul principal consta in posibilitatea de interfatare cu mai multe placi de achizitie si se poate adapta la o varietate mare de traductoare.

Pentru buna functionare a modulelor trebuie avute in vedere o serie de cerinte care se pot rezuma in urmatoarele operatii:

a. Amplificarea este cea mai intalnita operatie de conditionare a semnalelor, care are scopul de a aduce nivelul mic al semnalului provenit de la traductor, in domeniul de lucru al sistemului de achizitie a datelor. In acest mod rezolutia convertorului analog-numeric este utilizata integral. Principalele avantaje ale amplificarii sunt:

- ◆ Creste rezolutia efectiva a sistemului de achizitie a datelor;
- ◆ Creste raportul semnal/zgomot atunci cand amplificatorul este plasat mai aproape de traductor.

b. Atenuarea se foloseste numai atunci cand nivelul semnalului este prea mare si depaseste nivelul de lucru al sistemului de achizitie. Pe de alta parte are si rol de protectie la supratensiune a circuitelor de intrare a placii de achizitie.

c. Conductoarele de legatura trebuie astfel alese incat sa micsoreze zgomotul exterior. In acest scop se utilizeaza numai conductoare ecranate sau, daca este posibil, micsorarea lungimii lor.

d. Izolarea, consta in separarea galvanica a traductorului de restul sistemului. Principalul scop al acestei operatii este protectia echipamentelor interconectate.

5.1 Exemplu de achiziție și prelucrare a datelor

Un exemplu de achiziție și prelucrare a datelor, in scopul controlului vibroacustic al sistemelor mecanice, necesită utilizarea unor lanțuri de procesare ale semnalului care cuprind următoarele componente de bază (fig. 3):

- traductor de semnal;
- dispozitiv pentru condiționarea semnalului;
- dispozitiv de analiză;
- înregistrator.

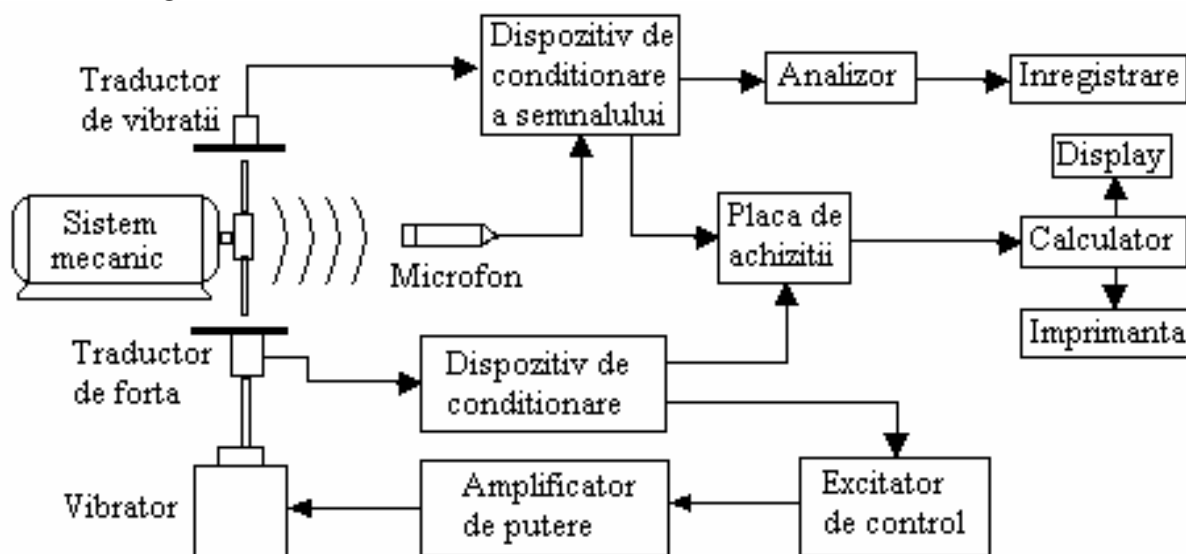


Fig. 3

Traductorul de semnal are rolul de a converti energia mecanică a vibrațiilor sau a undelor acustice, în energie electrică, oferind la ieșire un semnal electric care să poată fi procesat în continuare de lanțul de măsurare. Pentru măsurarea vibrațiilor mecanice pot fi utilizați traductori parametrici (rezistivi, capacitivi, electromagnetici) sau generatori (electrodinamici, piezoelectrics).

Realizările tehnologice din domeniul materialelor piezoelectrice, în paralel cu perfecționarea tehnicii electronice de procesare a semnalului, au făcut ca traductorul piezoelectric să fie preferat pentru măsurarea vibrațiilor, având în același timp și o serie de calități deosebite: domeniu de frecvență și dinamic extins, gabarit și masă redusă, construcție simplă și robustă etc.

În figura 4 este prezentată caracteristica tipică a unui accelerometru piezoelectric, a cărui domeniu de frecvență se limitează superior la cca. 30% din frecvența de rezonanță proprie traductorului.

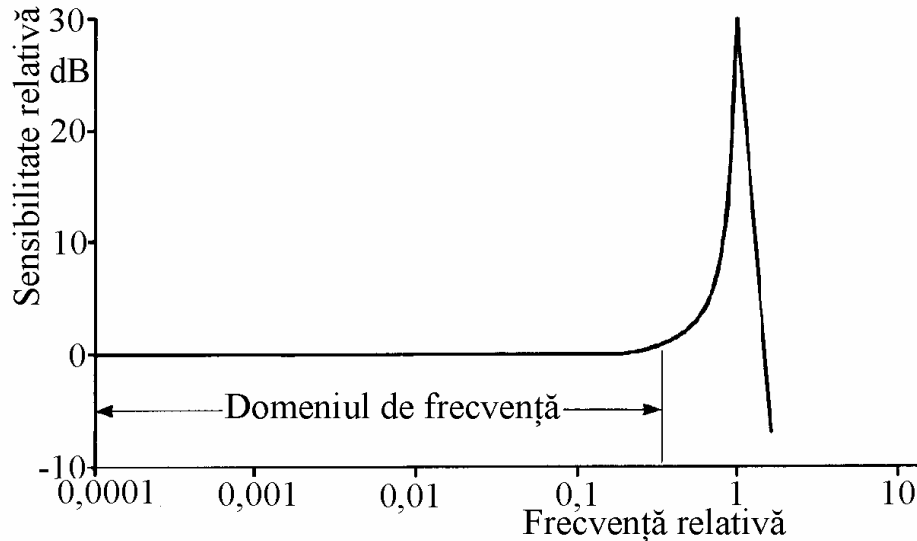


Fig. 4

Frecvența limită superioară a traductorului de accelerații depinde și de modul de fixare a traductorului care poate fi: cu suport magnetic, cu știft filetat, lipire cu adezivi. Cea mai bună metodă de fixare a accelerometrului piezoelectric este cu știft filetat, pe suprafață plană și netedă.

Alegerea corectă a tipului de traductor de vibrații se face în funcție de :

- parametrul măsurat (deplasare, viteză, accelerație);
- impedanța mecanică a sistemului mecanic;
- sensibilitatea și precizia traductorului;
- domeniul de frecvență;
- condițiile de mediu.

Pentru conversia energiei acustice în energie electrică este utilizat microfonul, care poate fi: dinamic, piezoelectric sau tip condensator.

Microfonul trebuie să asigure fidelitate într-un domeniu dinamic și frecvență cât mai larg. În prezent microfonul tip condensator este cel mai des utilizat în măsurătorile de zgomot.

Sensibilitatea microfonului condensator scade odată cu micșorarea diametrului, întrucât crește rigiditatea diafragmei, iar variația de capacitate este direct proporțională cu suprafața diafragmei.

Microfoanele cu diametre mici sunt recomandate pentru măsurarea zgomotului în care predomină componentele de înaltă frecvență și atunci când se dorește obținerea unui răspuns omnidirecțional.

Pentru micșorarea capacității de cuplare a microfonului cu preamplificatorul și pentru eliminarea semnalelor parazite, microfonul se montează direct pe corpul preamplificatorului.

Alegerea microfonului pentru controlul acustic al sistemelor mecanice se face considerând următoarele caracteristici:

- domeniul de frecvență cu răspuns liniar;
- domeniul dinamic;
- directivitate;
- sensibilitate la vibrații, temperatură, variații de presiune atmosferică, etc.

Dispozitivele de condiționare ale semnalului vibroacustic sunt folosite în lanțurile de control vibroacustic în următoarele scopuri:

- preamplificare;
- adaptarea impedanțelor;
- derivarea sau integrarea semnalului;
- filtrarea semnalului;
- mediere în timp;
- transformare de frecvență;
- conversie de semnal analog-digital;
- limitare de suprasarcină, etc.

Preamplificatoarele pentru traductorii de vibrații trebuie să realizeze în special transformarea impedanței mari de ieșire a accelerometrelor piezoelectrice, la o valoare mică corespunzătoare impedanței de intrare în amplificatoarele de măsură, precum și amplificarea reglabilă a semnalului slab, generat de traductor, la o valoare acceptabilă. De asemenea ele trebuie să realizeze și integrarea sau derivarea semnalului, pentru a putea măsura cei 3 parametri caracteristici ai vibrațiilor (acelerație, viteză sau deplasare). Preamplificatoarele pentru microfoane au funcții similare ca preamplificatoarele pentru vibrații, cu excepția integrării.

Analizorul poate să lucreze în domeniul frecvență, domeniul amplitudine sau în domeniul timp. Dezvoltarea tehnicii de analiză în timp real și în special a tehnicii de prelucrare a datelor prin transformarea rapidă FOURIER, oferă posibilități de creștere a vitezei și preciziei de analiză.

Pentru stocarea semnalului, în vederea prelucrării ulterioare sau a realizării analizei în frecvență, se poate realiza înregistrarea acestuia pe bandă magnetică sau în memorie magnetică, cu înregistrare digitală. Înregistrarea rezultatelor analizei se poate face pe hârtie obișnuită sau sensibilă (foto), pe banda magnetică, înregistrarea în memorie magnetică, tipărirea pe imprimantă, afișarea pe ecran.

Introducerea în schema de măsurare a unui calculator, cu echipamente periferice corespunzătoare, permite prelucrarea automată a semnalului, realizând o precizie ridicată, posibilități multiple de comparație a rezultatelor.

Schema de excitație, pentru încercările la vibrații, conține: traductoare de forță, vibrator, amplificator de putere, generator de semnal.

Traductorul de forță poate fi: piezoelectric sau rezistiv.

Vibratorul poate fi : mecanic, hidraulic sau electrodinamic.

Vibratoarele mecanice și hidraulice sunt utilizate pentru realizarea unor excitații caracterizate prin forțe și deplasări mari și permit excitații într-un domeniu de frecvență limitat. Vibratoarele electrodinamice pot realiza un domeniu de frecvență larg, cu posibilități superioare de control electronic al caracteristicilor excitației.

Amplificatorul de putere trebuie să asigure amplificarea semnalului fără distorsiuni, în domenii de frecvență și dinamice cât mai largi.

Excitatorul de control trebuie să permită realizarea de semnal sinusoidal, cu frecvență variabilă și controlabilă.

Aparatele moderne sunt realizate în general în construcții compacte, care includ: condiționarea semnalului, analiza, măsurarea etc.

CURS 3

6. PLACI DE ACHIZITIE DE DATE

La alegerea corecta a unei placii de achizitie de date DAB (Data Acquisition Board) trebuie sa se aiba in vedere urmatoarele:

1. *Rezolutia*, care este dictata de convertorul analog-numeric. Aceasta defineste cea mai mica modificare masurabila care are loc in semnalul de intrare si se exprima prin numarul de biti al ratei de conversie. De exemplu, un convertor pe 12 biti poate genera cuvinte care contin 12 simboluri (litere). Un alt mod in care se poate exprima rezolutia este in procente, care indica cat de mare poate fi o modificare a semnalului de intrare astfel incat sa fie detectata de convertor. Procentul se determina prin dividerea lui 1 la numarul posibil de combinatii. Pentru convertorul de 12 biti exista $2^{12} = 4096$ combinatii posibile. In acest caz rezolutia este de $1/4096 = 0.024\%$, fiind o caracteristica foarte importanta in obtinerea unor esantioane de o calitate corespunzatoare aplicatiei respective.

2. *Viteza*, reprezinta un aspect important al achizitiei de date. Se mai intalneste sub denumirea de *rata de esantionare* si se exprima in Hz. Dupa cum este cunoscut, in conformitate cu teorema esantionarii, rata de esantionare trebuie sa fie egala cu cel putin dublul frecventei maxime ce urmeaza sa fie analizata ($f_e \geq 2 \cdot f_{\max}$). In aplicatiile practice esantionarea se efectueaza cu rate de 2.5...3 ori mai mari decat frecventa maxima.

Un alt proces care afecteaza viteza achizitiei de date consta in operatia de multiplexare; aceasta reprezinta procedeul prin care semnalele de pe mai multe canale sunt prelucrate cu un singur convertor analog-numeric. Convertorul esantioneaza pe primul canal, schimba pe canalul urmator si esantioneaza, procesul continuand pana la finalizarea esantionarii. Deoarece acelasi convertor este utilizat la esantionare pe mai multe canale, rata de esantionare pe fiecare canal este invers proportionala cu numarul de canale. Se observa ca alegerea corecta a unei DAB este strans legata de de aplicatia in care se va utiliza.

3. *Intrarile* pentru achizitiile de date trebuie sa indeplineasca trei caracteristici importante:

- a. intrarile analogice comparativ cu cele numerice. O intrare numerica stabileste daca valoarea marimii de intrare este mica sau mare. In general, DAB au mai multe intrari analogice si numerice, ceea ce inseamna ca pot lucra pe mai multe canale;
- b. intrarile singulare fata de cele diferentiale. Aceasta se refera la modul in care cablurile de legatura sunt conectate la intrarile analogice. Intrarile singulare au nevoie de un singur fir pentru fiecare canal, in timp ce canalele diferentiale necesita doua fire. In general, DAB au 16

canale singulare sau 8 diferențiale selectabile prin comutatoare (mai rar) sau prin program;

c. nivelul tensiunii. Semnalele generate de traductoare își modifică fie tensiunea, fie curentul. Acestea sunt măsurate de către intrările analogice. În funcție de intrările în DAB, valorile de tensiune pot fi de 0...10 V sau 0...100mV, schimbarea unităților de măsură ale intrărilor făcându-se prin program. Alegerea corectă a tensiunilor de intrare trebuie făcută în funcție de rezoluție, care trebuie să detecteze o modificare cât de mică a tensiunii. Tot din punctul de vedere al tensiunilor de intrare, DAB pot fi unipolare sau bipolare. Cele unipolare acceptă semnale care au nivele de tensiune pozitive sau negative, de exemplu 0...10 V sau -10...0 V; cele bipolare acceptă simultan nivele de tensiune pozitive și negative, de exemplu +/- 10 V. În general, aceste nivele sunt modificabile prin comutatoare instalate direct pe DAB, dar sunt cazuri când se pot selecta și prin program.

4. *Iesirile*, sunt necesare pentru a determina mărimea și felul semnalelor care ulterior se vor aplica și altor echipamente. Iesirile numerice sunt reprezentate prin semnale care pot avea un singur nivel mare, respectiv mic. Pe de altă parte, o ieșire analogică generează doar o aproximare a semnalului original datorită erorilor de reconstituire ale semnalelor. Mărimea acestor erori este invers proporțională cu numărul de biți pe care lucrează convertorul numeric-analogic. În cazul ieșirilor numerice datele pot pleca din DAB în două moduri:

- a. primul intrat/primul plecat FIFO (First In/First Out). În această situație datele se transmit serial în ordinea sosirii și metoda se utilizează atunci când sunt peste 2000 esanțioane/canal;
- b. accesul direct la memorie DMA poate realiza rate de transfer de peste 500 kHz. Iesirile analogice generează nivele diferite de tensiune (în funcție de locul în care se vor aplica în continuare) sau curenți care se încadrează între 4...20 mA.

Dintre marile firme producătoare de astfel de echipamente se pot aminti: National Instruments, Keithley Metrabyte, Burr-Brown.

6.1 Exemple de utilizare ale sistemelor de achiziția datelor

Un astfel de sistem este utilizat pentru controlul unui anumit proces sau activitate.

⇒ **Schema generală folosită pentru reglarea temperaturii unui cuptor** este prezentată în figura 1.

În cadrul unui astfel de sistem computerizat este necesar ca temperatura cuptorului, care trebuie măsurată, să fie transformată într-un semnal analogic de

catre un traductor de temperatura TT. Variatia acestui semnal poate fi in tensiune sau in curent, in functie de tipul sistemului cu care se lucreaza.

Dupa operatia de conditionare, semnalul este introdus in sistemul de achizitie unde este esantionat si cuantizat.

Apoi urmeaza prelucrarea propriu-zisa si, in functie de rezultatele obtinute, se trimite sau nu un semnal prin sistemul de generare. Atunci cand se impune stingerea sau aprinderea flacarii, semnalul numeric rezultat din prelucrare este trecut prin convertorul numeric-analogic, apoi este conditionat din nou pentru a diminua erorile de reconstituire si, in continuare, este folosit la actionarea motorului care inchide sau deschide supapa de gaz.

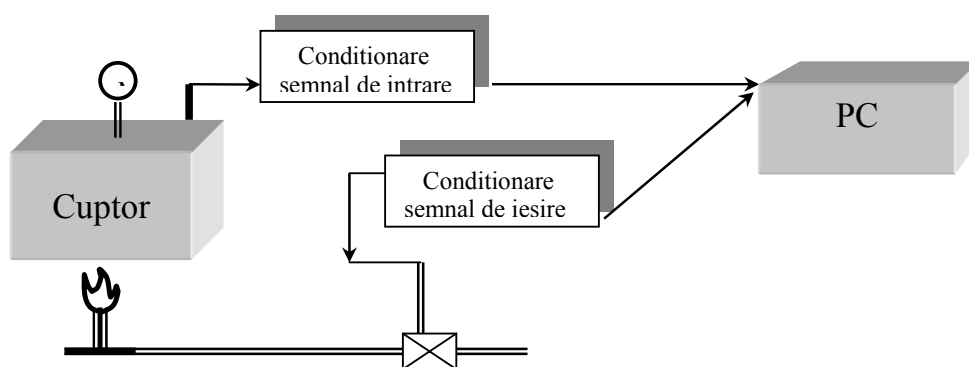


Fig.1 Controlul temperaturii

⇒ Schema generala folosita in monitorizarea unei mori de grau cu valturi reprezinta un alt exemplu prezentat in figura 2.

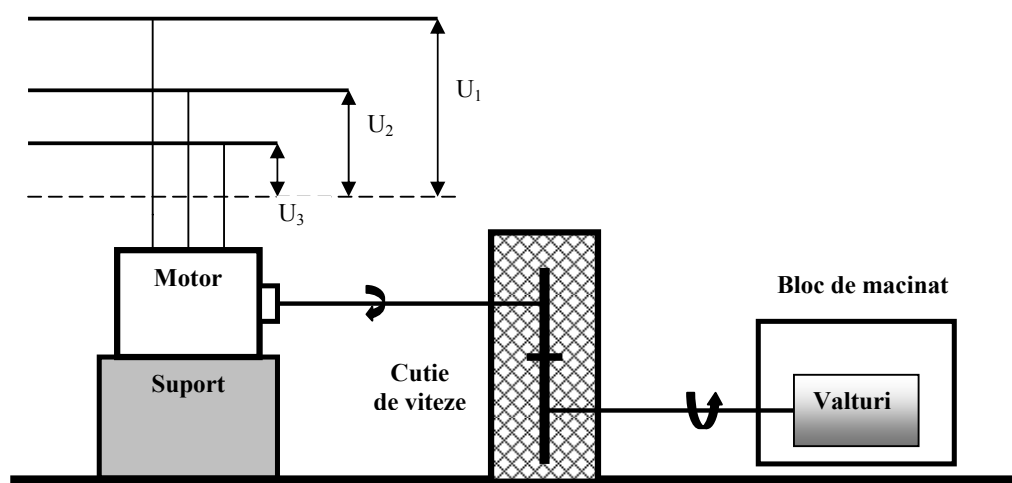


Fig.2 Schema simplificata a morii cu valturi

Parametrii care urmeaza a fi monitorizati sunt: consumul de curent al motorului de actionare, solicitarea mecanica la care este supus suportul motorului in timpul functionarii si temperatura uleiului din cutia de viteze.

In continuare, se va analiza modul in care se monitorizeaza suportul motorului.

Masurarea solicitarilor stalpilor care sustin motorul se face cu ajutorul unei punti tensometrice dupa cum se observa din figura 3. Marcile tensometrice sunt dispuse in doua brate adiacente ale puntii. Amplificatorul **A** aduce tensiunea semnalului la o valoare corespunzatoare pentru restul schemei de analiza si anume $U_{\sigma} = 5 \text{ V}$.

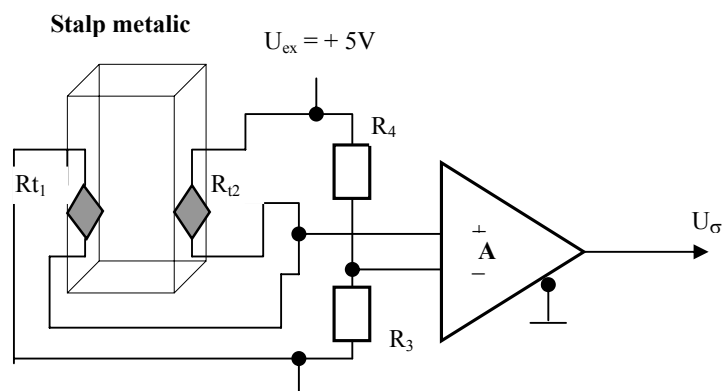


Fig.3 Masurarea solicitarilor stalpului

Deoarece solicitarile din timpul functionarii au si componente de frecventa ceva mai mari (de ordinul sutelor de Hz), rezulta ca esantionarea semnalului obtinut se va face cu frecvente cuprinse intre 2...10 kHz. Daca se amplaseaza punti tensometrice pe fiecare stalp va fi nevoie de inca patru canale de intrare, ceea ce implica si o crestere cu 20 kHz a frecventei de esantionare. Se mai poate utiliza si solutia inlocuirii marcilor tensometrice de pe stalpii de sustinere cu un traductor de tip accelerometru amplasat direct pe suportul motorului, caz in care se va masura acceleratia vibratiei generate de motor. In acest caz un singur traductor poate oferi informatiile necesare pentru alarmare daca s-au depasit valorile maxime admise.

Schema sistemului de masura este data in figura 4.

Multiplexorul analogic trebuie sa aiba cel putin 8 intrari analogice (6 pentru stabilirea consumului de energie, 1 pentru solicitarea mecanica, 1 pentru masurarea temperaturii barii de ulei) care sa aiba domeniul de lucru de 5 V tensiune alternativa. Scopul principal al acestui sistem fiind acela de a supraveghea instalatia, in cazuri limita facandu-se alarmarea, rezulta ca precizia

masurării poate fi de aproximativ 1%, caz în care convertorul analog-numeric poate să fie pe 8 biți.

Un exemplu de sistem de achiziție pe 8 biți cu 8 canale care pot eșantiona simultan și cu interfață pentru microprocesor este MAX 155 produs de firma MAXIM. Rata de conversie a acestui sistem este de maxim 250.000 de eșantioane/secundă. Domeniul de lucru al intrărilor este ± 5 V.

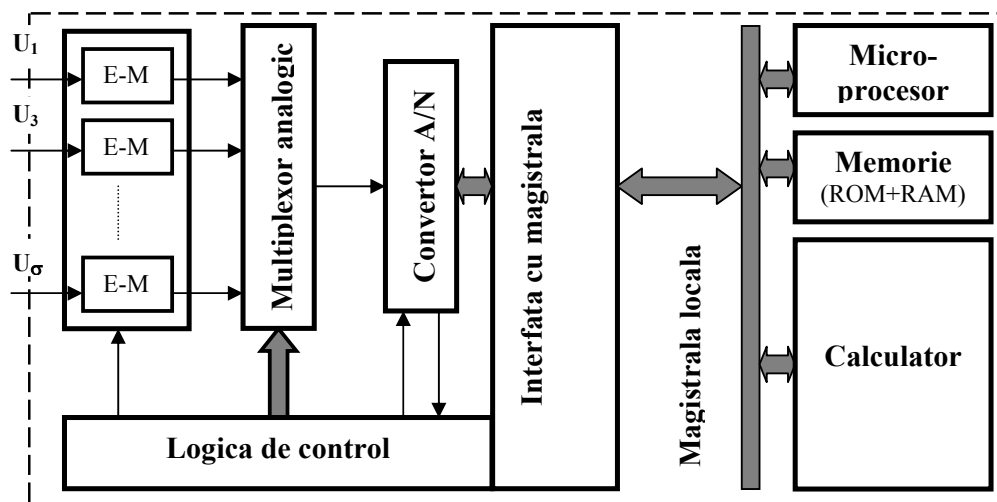


Fig.4 Schema sistemului de măsură

7. CONVERTOARE

Semnalele analogice sunt ușor de exprimat analitic, ușor de măsurat, dar sunt sensibile la imperfecțiunile căilor de transmisie și ale echipamentelor de prelucrare, ceea ce conduce la pierdere de precizie. Spre deosebire de acestea există semnale numerice care sunt mai puțin sensibile la erorile de transmisie. Din aceste motive, semnalele numerice sunt utilizate din ce în ce mai mult în toate domeniile de activitate.

Transformarea semnalelor analogice în semnale numerice se realizează prin intermediul operațiilor de eșantionare și cuantizare. Aceste două operații sunt cunoscute și sub denumirea de digitizare. Prin procesul de digitizare se pierde o serie de informații pe care le poartă semnalul analogic, din acest motiv fiind un proces ireversibil. Dacă această pierdere este situată între limite acceptabile, atunci se pot aplica metodele numerice de prelucrare ale semnalelor după care, în funcție de necesități, se poate realiza transformarea într-un semnal analogic prin operațiile de netezire (interpolare, filtrare, etc.)

Echipamentele care efectuează operațiile de digitizare și netezire se numesc convertoare.

7.1 Conversia analog-numerică și numeric-analogică

S-a aratat anterior ca transformarea semnalelor analogice in semnale numerice se face prin intermediul operatiilor de esantionare si cuantizare, cunoscuta sub denumirea de conversie analog-numerică. Esantionarea este efectuata cu ajutorul unor circuite de esantionare si memorare, in timp ce cuantizarea este efectuata cu circuite specializate, numite cuantizoare.

Pentru a respecta teorema esantionarii este obligatorie introducerea unui filtru anti-aliasing. In aceste conditii o schema bloc pentru un convertor analog-numeric (CAN) este prezentata in figura 5.

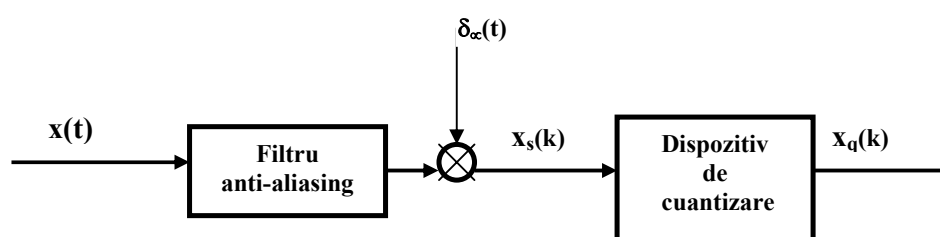


Fig. 5 Schema bloc pentru CAN

Transformarea inversa, din semnal numeric in semnal analogic poarta denumirea de conversie numeric-analogică. In realitate, aceasta operatie nu este exact inversa precedentei, deoarece prin esantionare se pierde o serie de componente spectrale datorita filtrului anti-aliasing. Acceptand ca acest efect este neglijabil, se poate reconstitui semnalul $x(t)$.

Prin cuantizare se pierde o parte de informatii, ceea ce poate fi pus in evidenta cu ajutorul erorii de cuantizare. Aceasta eroare poate fi diminuada dar niciodata eliminata. Deci semnalul reconstituit este o aproximare a semnalului initial. Aproximarea este cu atat mai corecta cu cat eroarea de cuantizare este mai mica. In practica se folosesc filtre de netezire care apropie foarte mult semnalul obtinut prin reconstituire de cel initial.

Un exemplu de schema bloc pentru un convertor numeric-analogic (CNA) este prezentat in figura 6.

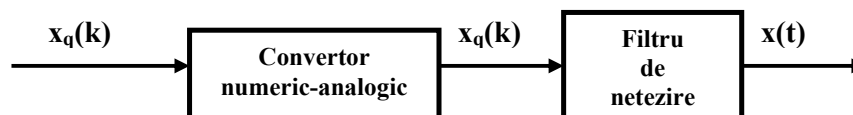


Fig. 6 Schema bloc pentru CAN

Semnalul numeric de intrare este transformat intr-un semnal "aproape" analogic la iesire cu ajutorul convertorului, dupa care este introdus intr-un filtru de netezire care are ordinul 1 sau 2.

7.2 Circuite de esantionare si memorare

Operatia de esantionare presupune aflarea valorii instantanee a semnalului la intervale discrete de timp cunoscute. Teoretic, timpul necesar pentru obtinerea unui esantion este suficient de mic dar, in realitate, aceasta perioada de timp este relativ mare. Din acest motiv, majoritatea convertoarelor au un timp de conversie suficient de mare care nu poate fi neglijat. In aceasta situatie este necesara utilizarea unui dispozitiv care sa poata achizitiona un esantion din semnalul de intrare si sa-l pastreze nealterat (memorat) pe toata perioada desfasurarii operatiei de conversie analog-numerica.

Prin circuit de esantionare si memorare se intelege un dispozitiv care are o intrare I si o iesire E , pentru semnale, precum si o intrare de control $E-M$ (esantionare-memorare). Un asemenea circuit poate lucra in doua regimuri:

- esantionare atunci cand semnalul de intrare este achizitionat si transmis la iesire;
- memorare atunci cand, cu ajutorul unei comenzi exterioare, semnalul de intrare este mentinut pe o anumita perioada de timp.

In figura 7 se prezinta principiul dupa care functioneaza un circuit de esantionare si memorare $E-M$ in care se observa ca cele doua regimuri se pot comuta prin intermediul intrarii $E-M$.

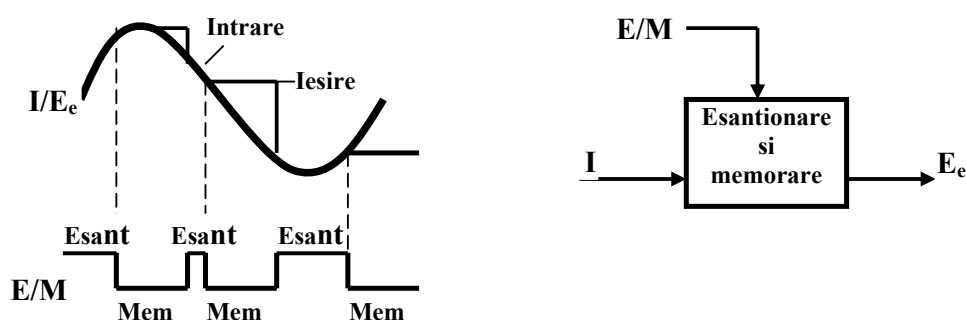


Fig.7 Schema bloc si principiul de functionare al unui circuit $E-M$

Presupunand ca exista un circuit $E-M$ ideal, acesta ar trebui sa execute instantaneu comutarea celor doua regimuri de lucru si astfel durata memorarii ar fi infinita. Circuitele reale sunt realizate din componente electronice, care le

indeparteaza de functionarea ideala, ceea ce duce la aparitia unor caracteristici functionale. Starile functionale in care se considera caracteristicile sunt:

- esantionare-urmarire;
- tranzitia esantionare-memorare;
- memorare-retinere;
- tranzitia memorare-esantionare.

1. Caracteristicile de urmarire sunt prezentate in figura 8, fiind reprezentate de:

- a. eroarea stationara, care reprezinta abaterea de la amplificarea prescrisa in datele de catalog;
- b. eroarea de decalaj, reprezinta valoarea obtinuta la iesire cand tensiunea de intrare este nula;
- c. timpul de stabilire, t_s , exprima intervalul de timp necesar pentru atingerea valorii dorite la iesire, avand o toleranta maxima specificata.

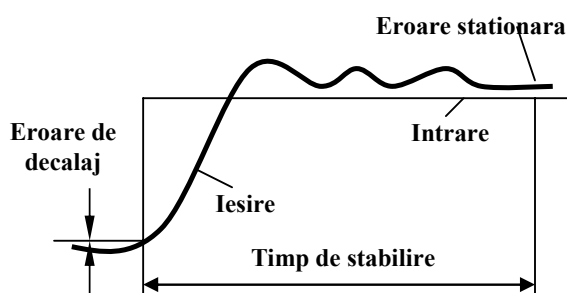


Fig.8 Caracteristicile de urmarire

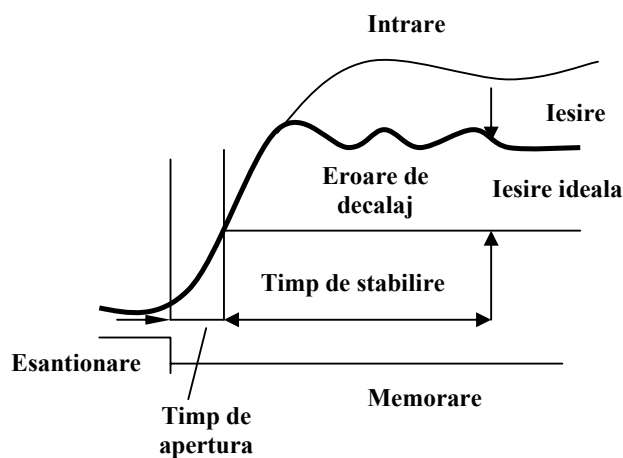


Fig.9 Caracteristicile de tranzitie E-M

2. Caracteristicile de tranzitie esantionare-memorare sunt prezentate in figura 9.

- a. incertitudinea timpului de apertura exprima variatia timpului de deschidere a comutatorului regimului de esantionare-memorare, dupa ce a fost primita comanda de memorare ($E-M = 0$);
- b. eroarea de decalaj isi face aparitia in cazul comutarii tarzii a circuitului de memorare.

CURS 4

3. Caracteristicile de memorare sunt descrise în figura 1, fiind reprezentate prin:

- caderea, reprezintă tendința scaderii nivelului de ieșire față de cel de intrare, fiind măsurată în mV/s;
- patrundera, exprimă influența exercitată de intrare asupra ieșirii datorită imperfecțiunilor, existente în circuitele analogice; măsurată în dB;

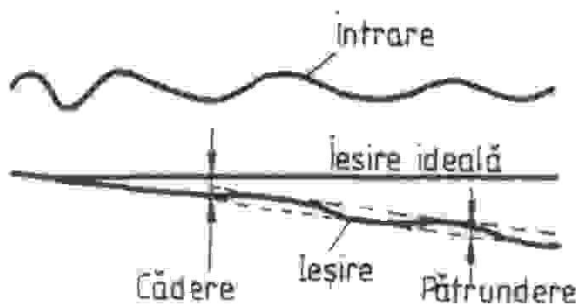


Fig.1 Caracteristicile de memorare

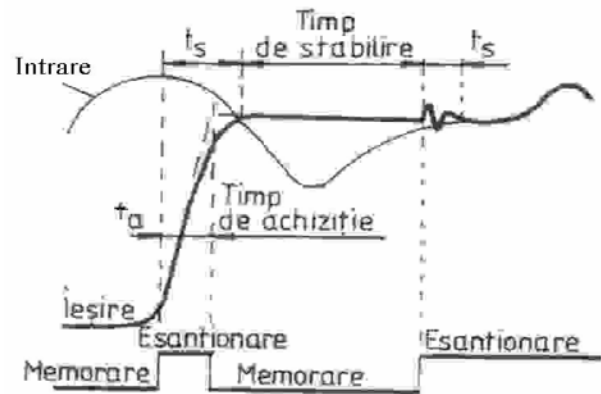


Fig.2 Caracteristicile de tranziție memorare-esantionare

4. Caracteristicile tranziției memorare-esantionare sunt date în figura 2, reprezentând:

- timpul de achiziție t_a reprezintă intervalul de timp minim necesar pentru esantionare astfel încât să se obțină la ieșire o tensiune dorită, care are valorile uzuale cuprinse între 1...5 μ s.
- timpul de stabilire apare în momentul comutării de la memorare la esantionare și este exprimat prin intervalul de timp dintre comutarea efectivă și atingerea unei valori la ieșire corespunzătoare intrării, având o toleranță maximă specificată. Este în strânsă legătură cu timpul de achiziție și caracterizează performanțele ieșirii circuitului.

Din analiza caracteristicilor prezentate rezultă că suma timpilor de apertură și de achiziție reprezintă un interval după care, la ieșirea circuitului, nu se mai obține valoarea reală a semnalului de intrare.

În consecință, lățimea esantionului trebuie să acopere acest interval dacă se dorește efectuarea unei esantionări corecte.

7.2.1 Scheme pentru circuite de esantionare-memorare

Aceste circuite se executa in doua variante: cu bucla deschisa si cu bucla inchisa.

1. *Circuite de esantionare si memorare cu bucla deschisa.*

O schema simplificata a unui astfel de circuit este dat in figura 3.

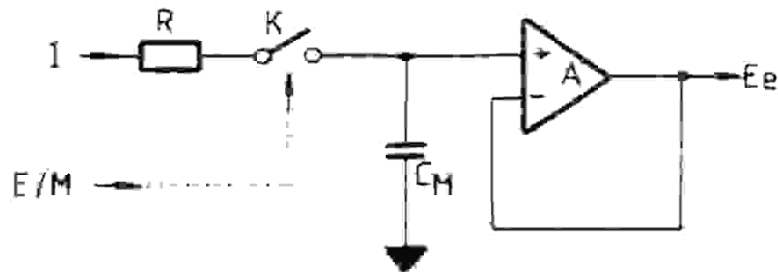


Fig. 3 Cel mai simplu circuit E-M

Se observa ca in componenta sa intra un comutator analogic K , un condensator de memorare C_M si un amplificator (repetor) de tensiune A . Cand K este inchis, C_M se incarca exponential la valoarea intrarii si A reproduce la iesire tensiunea de pe C_M . Timpul de achizitie depinde de valoarea rezistentei R a circuitului de intrare (inclusiv rezistenta lui K cand este inchis) si de valoarea curentului de incarcare. In momentul in care s-a atins nivelul intrarii, K se poate deschide chiar daca A nu a atins valoarea finala a iesirii, ceea ce nu afecteaza foarte mult rezultatul achizitiei. In general, K este realizat cu tranzistoare cu efect de camp, iar A are in componenta un etaj de intrare cu tranzistoare bipolare pentru a nu afecta prea mult sarcina de pe C_M .

Dezavantajul major al acestui circuit consta in incarcarea sursei de semnal la intrare, cand se poate intampla fie sa nu existe curent suficient pentru incarcarea C_M , fie sa apara oscilatii.

O schema mai evoluata este prezentata in figura 4.

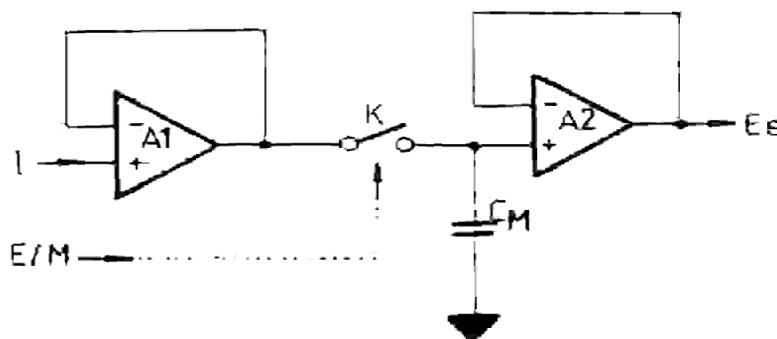


Fig. 4 Schema perfectionata pentru circuitul E/M

Perfectionarea adusa schemei consta in introducerea la intrare a unui alt amplificator de tensiune **A** care elimina dezavantajul mentionat. In cazul in care rezistenta la iesirea lui **A** este suficient de mica, timpul de incarcare a C_M si timpul de achizitie scad simtitor, nedepasind valori de $0.1 \mu s$.

Daca se doreste cresterea vitezei de achizitie, se poate utiliza circuitul din figura 5, la care precizia este relativ scazuta. In componenta circuitului exista o punte cu diode, comutarea curentilor realizandu-se tot cu diode. Daca E-M este cuplat pe esantionare, diodele D_1 si D_2 sunt blocate si sursele trimit curent in puntea formata din perechile D_3, D_4 si D_5, D_6 , care initial conduc.

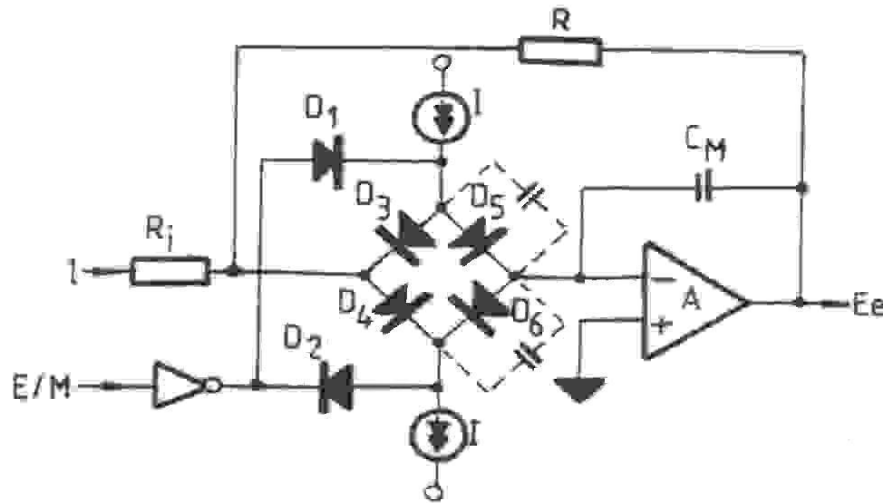


Fig.5 Circuit E-M de viteza ridicata

Condensatorul de memorare C_M se incarca pana cand se realizeaza echilibrarea puntii, moment in care curentul prin C_M devine nul si tensiunea de la bornele lui C_M ajunge la valoarea tensiunii de intrare. Cand semnalul este mic si sursa are impedanta redusa, se obtin frecvente de achizitie de $1...50$ MHz. Astfel de circuite se utilizeaza in special pentru prelucrarea semnalelor rapide, cum sunt cele video.

2. Circuite de esantionare si memorare **cu bucla inchisa**.

In situatia in care se impune o crestere a preciziei in defavoarea vitezei de achizitie, se poate folosi un circuit ca cel prezentat in figura 5*.

Cand **K** este inchis, iesirea (care are tensiunea de pe C_M) este aplicata la intrarea inversoare a lui A_1 , realizandu-se compensarea dintre tensiunea de intrare si cea de pe C_M . Aceasta bucla de reactie negativa micsoreaza erorile de mod comun si de decalaj prin compensarea automata a sarcinii de pe C_M .

Cand **K** este deschis, iesirea depinde numai de valoarea tensiunii memorate de C_M . Acest circuit asigura performante deosebite si se foloseste la constructia convertoarelor de uz general

Un alt circuit este prezentat în figura 6, în care C_M este plasat în bucla de reacție a amplificatorului A_2 ducând la formarea unui integrator. Aceasta schema permite lui K să lucreze la potențialul masei de semnal.

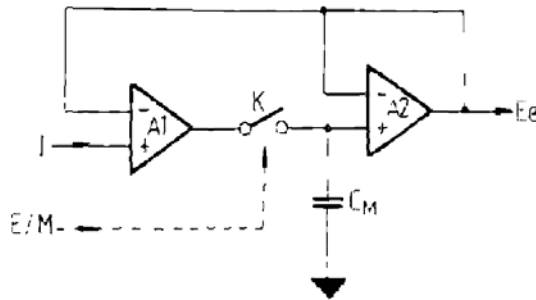


Fig. 5* Circuit E-M în buclă închisă

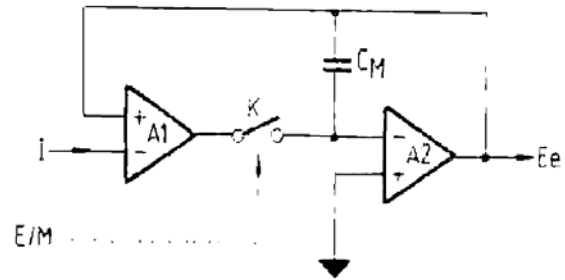


Fig. 6 Circuit E-M cu integrator

Pentru acele aplicații la care se cer timpi de memorare, dar și o viteză foarte mare de achiziție, se pot utiliza circuite E-M montate în cascada, după cum se poate observa în figura 7.

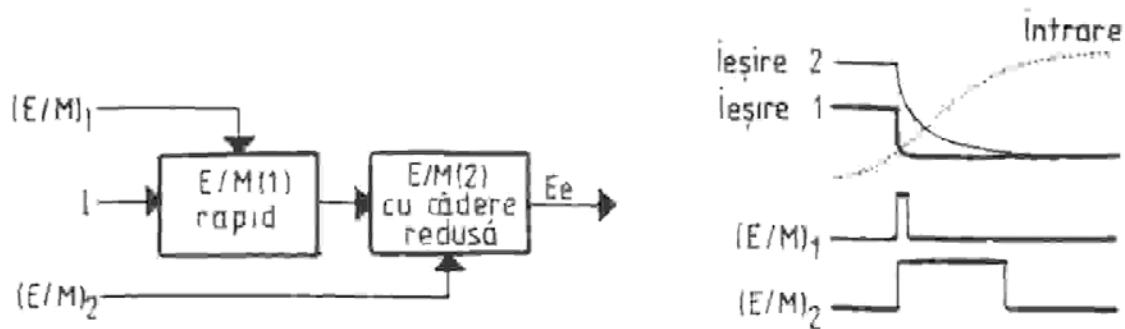


Fig. 7 Circuite de E-M montate în cascada

Circuitul de intrare trebuie să aibă timpul de achiziție foarte scurt (memorează intrarea doar pe durata achiziției efectuate cu al doilea circuit), în timp ce al doilea circuit trebuie să aibă o cadere foarte mică.

7.2.2 Exemple de circuite de esanționare și memorare

Aceste circuite sunt utilizate în construcția sistemelor de achiziție de date, un astfel de exemplu fiind prezentat în figura 8. În cadrul sistemului de achiziție, circuitul E-M menține intrarea convertorului analog-numeric la o valoare stabilită pe toată durata unei conversii, timp în care multiplexorul analogic MUX poate comuta pe un alt canal de intrare fără a afecta conversia. La terminarea conversiei E-M esanționează o nouă valoare la intrare, după care acest ciclu se

repetă. Un asemenea mod de lucru se numește *esantionare sincronă*, deoarece E-M lucrează în concordanță cu celelalte componente ale sistemului.

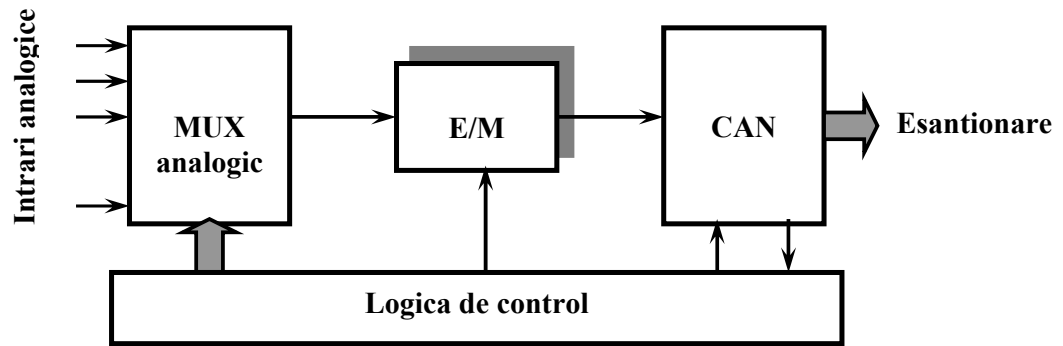


Fig. 8 Amplasarea circuitului E-M în cadrul unui sistem de achiziție de date

Un alt mod este *esantionarea asincronă*, care se întâlnește atunci când semnalele de intrare sunt necorelate. În acest caz este necesar un acces programat la acele canale care conțin semnale cu o cantitate mai mare de informații, pentru a realiza esantionarea lor mai frecventă. Pentru aceasta se folosesc mai multe circuite E-M, care sunt rând pe rând interogate de către multiplexoarele analogice.

Circuitele E-M se mai folosesc și în construcția sistemelor care generează date și care sunt echipate cu convertoare numeric analogice (CNA). Uzual, la ieșirea unui astfel de convertor sunt conectate mai multe circuite E-M pentru a produce mai multe semnale analogice, după cum se observă în figura 9.

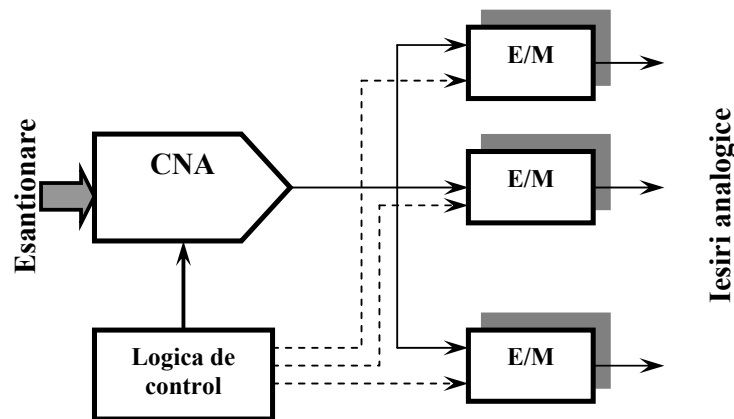


Fig. 9 Sistem de generare de date

7.3 Caracteristicile convertoarelor

Atat CAN cât și CNA prezintă următoarele caracteristici importante:

1. Domeniul de lucru, care reprezintă intervalul maxim în care poate varia mărimea analogică (în general aceasta este o tensiune).

Se exprima in V, mV sau in dB, care este o unitate de masura relativa, motiv pentru care domeniul de lucru se numeste dinamic.

2. Caracteristica de transfer, exprima dependenta care exista intre marimea de iesire si cea de intrare. Pentru un CAN ideal aceasta caracteristica este prezentata in figura 10a, iar pentru un CNA in figura 10b.

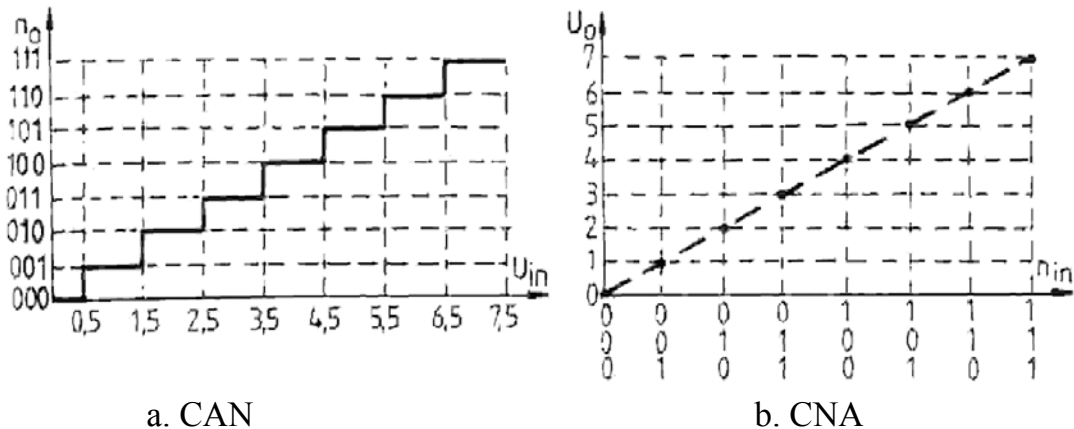


Fig.10 Caracteristicile de transfer pentru convertoarele ideale pe 3 biti

3. Rezolutia, exprima numarul total de nivele de iesire pentru CNA sau numarul total de coduri de iesire pentru CAN. Teoretic, rezolutia unui convertor pe N biti este de 2^N .

O alta categorie importanta de caracteristici le cuprinde pe cele dinamice, dintre care mai importante sunt:

1. Timpul de stabilire prin care se evidentiaza timpul de raspuns al unui circuit, adica perioada scursa de la aplicarea unei intrari ideale de tip treapta si pana cand se obtine la iesire o valoare dorita cu o aproximatie specificata. Un exemplu este prezentat in figura 11.

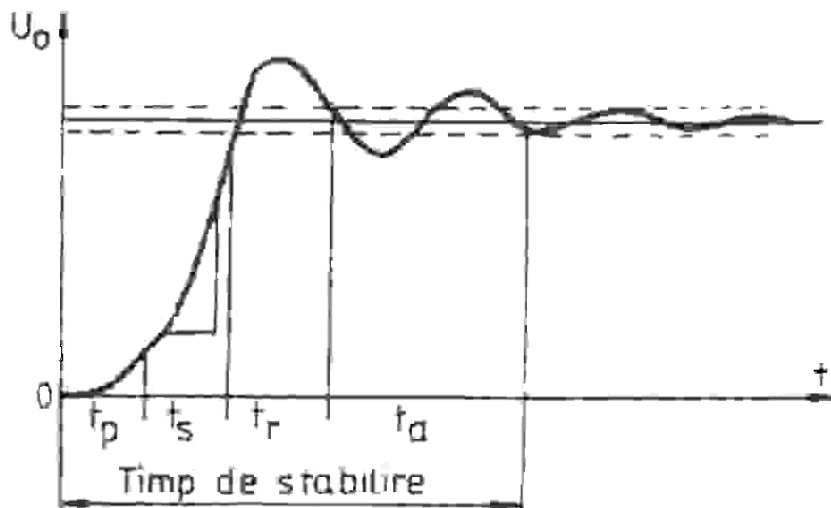


Fig.11 Timpul de stabilire

Notatiile din fig.11 au urmatoarele semnificatii:

- t_p timpul de propagare care reprezinta perioada scursa pana la inceperea unui efect observabil la iesire;
- t_s timpul de crestere reprezinta perioada scursa pana cand se atinge nivelul de iesire dorit;
- t_r timpul de restabilire care este determinat de supracresterea valorii iesirii;
- t_a timpul de amortizare cand are loc amortizarea oscilatiilor de la iesire.
 - b. Timpul de conversie reprezinta perioada de timp necesara convertorului sa obtina valoarea la iesire cand la intrare se aplica o marime data.
 - c. Timpul de relaxare exprima intervalul de timp necesar convertorului de a opera din nou corect.
 - d. Rata de conversie masoara viteza convertorului si se calculeaza cu relatia:

$$R_{\text{conv}} = \frac{1}{t_{\text{conversie}} + t_{\text{relaxare}}}$$

In functie de acest parametru convertoarele se clasifica in:

- de ultra viteza: $> 10\text{MHz}$;
- de foarte inalta viteza: $1 \dots 10 \text{ MHz}$;
- de inalta viteza: $0.1 \dots 1 \text{ MHz}$;
- de viteza medie: $5 \dots 100 \text{ MHz}$;
- de viteza scazuta: $< 5\text{kHz}$.
- e. Timpul de conversie pe bit este timpul echivalent pentru generarea unui bit, calculandu-se cu relatia:

$$t_{\text{cb}} = t_{\text{conversie}} / N$$

7.4 Erorile convertoarelor

In functie de parametrii care afecteaza buna functionare a convertoarelor exista doua mari categorii de erori: statice, care afecteaza numai caracteristica de transfer si erori dinamice care afecteaza si desfasurarea in timp a operatiei de conversie.

7.4.1 Erorile statice ale convertoarelor

Din aceasta categorie fac parte:

1. Eroarea de cuantizare care apare doar la CAN si este specifica procesului de conversie dupa cum se observa in figura 12.

Deoarece functia de transfer este in forma de scara, precum si datorita codificarii unice a unui intreg nivel de cuantizare, apare o eroare de $\pm 0.5 \text{ LSB}$ (Least Significant Bit-bitul cel mai putin semnificativ), care este nula la mijlocul intervalului si maxima la capete. Aceasta eroare se calculeaza cu relatia:

$$\varepsilon_q = U_{in} - q \cdot n$$

unde n reprezinta codul binar asociat intervalului de cuantizare si q este marimea cuantei cu care se imparte intervalul de variatie al tensiunii de intrare U_{in} . Valoarea acestei cuante este:

$$q = \frac{U_{in(max)} - U_{in(min)}}{2^N}$$

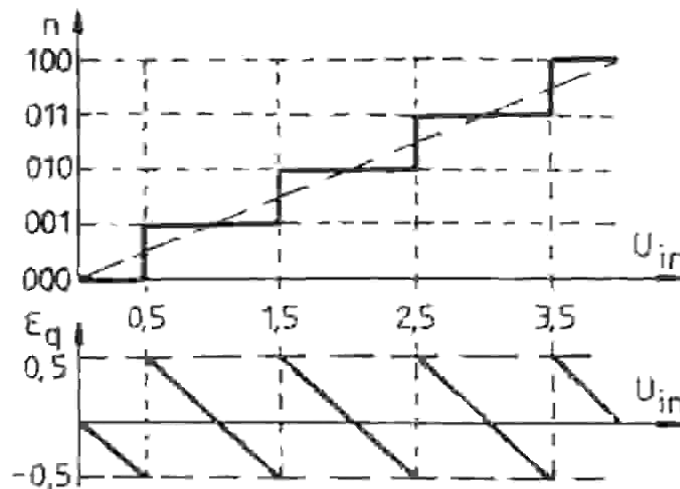


Fig.12 Eroare de cuantizare specifica CAN

2. Precizia reprezinta capacitatea circuitelor de a respecta caracteristica de transfer ideala si include doua notiuni: justetea, care exprima capacitatea convertorului de a nu fi afectat de erori sistematice si fidelitatea care exprima capacitatea convertorului de a nu fi afectat de erorile aleatoare. Aceasta precizie poate fi:

- a. absoluta, cand caracterizeaza functionarea globala a convertorului scotand in evidenta orice abatere a caracteristicii de transfer reala fata de cea teoretica;
- b. relativa care arata influenta liniaritatii caracteristicii de transfer.

3. Eroarea de gama (de castig) apare datorita modificarii caracteristicii de transfer reale fata de cea teoretica. Se determina prin aplicarea la intrare a valorii maxime a marimii respective si apoi se masoara valoarea la iesire, care trebuie sa coincida cu capatul de scara.

4. Eroarea de decalaj se obtine prin translatia caracteristicii de transfer reale fata de cea teoretica. Se evidentiaza prin aplicarea la intrare a unei valori nule si se masoara valoarea la iesire. Diferenta exprima aceasta eroare.

5. Nivelele si codurile omise apar atunci cand la intrare se aplica o marime uniform crescatoare, de exemplu a unei secvente de numere consecutive. Se observa ca la iesire o serie de nivele nu pot fi generate indiferent de marimea intrarii.

CURS 5

7.4.2 Erorile dinamice ale convertoarelor

Cele mai importante erori care fac parte din această categorie sunt următoarele:

1. Eroarea de stabilire, care apare în cazul unui CAN datorită nerespectării ratei de conversie, iar pentru un CNA poate denatura treptele generate.

2. Ciupiturile, care sunt prezente la toate CNA, fiind generate de modul în care comută bitii cuvântului de intrare. Aceste fenomene apar mai evident la schimbările de cod în jurul MSB (Most Significant Bit - bitul cel mai semnificativ).

Amplitudinea ciupiturilor poate fi de ± 0.5 MSB, dar aprecierea cantitativă se face prin măsurarea ariei ciupiturii și nu prin amplitudinea sa. Eliminarea acestei erori se poate face prin:

- asigurarea comutării simultane a tuturor bitilor din cuvântul de intrare;
- utilizarea codurilor de intrare, care schimbă un singur bit la trecerea prin valori consecutive;
- filtrarea analogică.

3. Zgomotul, reprezintă principala sursă de erori care duce la funcționarea incorectă a unui convertor și constă în suprapunerea peste mărimea analogică utilă a unei mărimi parazite, care poate fi aleatoare sau deterministă. Zgomotul poate fi :

- intern, când este generat de componentele electronice;
- extern, care apare datorită altor surse, una din ele fiind frecvența de 50 Hz a curentului electric.

Caracteristica de transfer a unui CAN afectat de zgomot conține o serie de benzi de incertitudine, ca în figura 1.

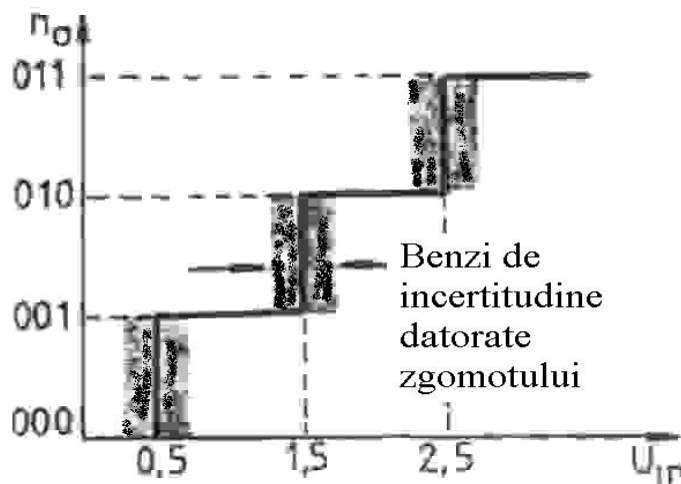


Fig.1 Benzile de incertitudine

Eliminarea zgomotului se poate face prin: - folosirea unor surse de alimentare nezmotoase (liniare) și care să aibă impedanță mică; - ecranarea circuitelor astfel încât să se evite buclele de masă; - ecranarea cablurilor și tuturor partilor susceptibile de a fi influențate de zgomot.

7.5 Convertoare analog-numerice (CAN)

CAN = circuit care transformă o mărime analogică aplicată la intrare într-o mărime numerică la ieșire.

Această transformare are loc prin intermediul esanționării (care definește modul de obținere a esanțioanelor cu ajutorul circuitelor E-M) și cuantizării (care stabilește modul de obținere a echivalentului numeric al mărimii analogice).

Clasificarea acestor convertoare se face după mai multe criterii, dintre care mai reprezentative sunt:

1. modalitatea de obținere a esanțioanelor
2. modalitatea de prelucrare a mărimii de intrare.

7.5.1 Scheme pentru CAN

În funcție de criteriile de clasificare mai sus menționate, din punct de vedere constructiv convertoarele pot fi: paralele, analog-serie și numeric-paralele, serie-paralel, cu reacție.

7.5.1.1 Convertoare paralele

La acest tip de convertor, conversia analog-numerică se realizează prin compararea mărimii de intrare cu un sir de valori de referință (limitele intervalelor de cuantizare).

Această comparație se face prin intermediul unei scheme paralele, care compară tensiunea la intrare, folosind un set de $2^N - 1$ comparatoare (N reprezintă rezoluția conversiei) cu valorile de referință, după cum se observă din figura 2.

Tensiunea de referință U_{ref} se aplică unui divizor de tensiune de precizie R , astfel încât fracțiunea care se aplică la intrarea inversoare a fiecărui comparator să fie cu un LSB mai mare decât la comparatorul de rang anterior. Comparatoarele C_i atribuie mărimea de intrare unui interval de cuantizare, astfel încât toate comparatoarele care au referință sub valoarea de intrare U_{in} nu dirijează valori de ieșire. Toate mărimile de la 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 dorit.

În cazul acestui tip de convertor, bitii numărului de ieșire se introduc simultan și independent de valoarea sau polaritatea mărimii de intrare. Viteza este foarte mare și timpul de conversie foarte mic (10...100ns), datorită simplității și numărului mic de operații.

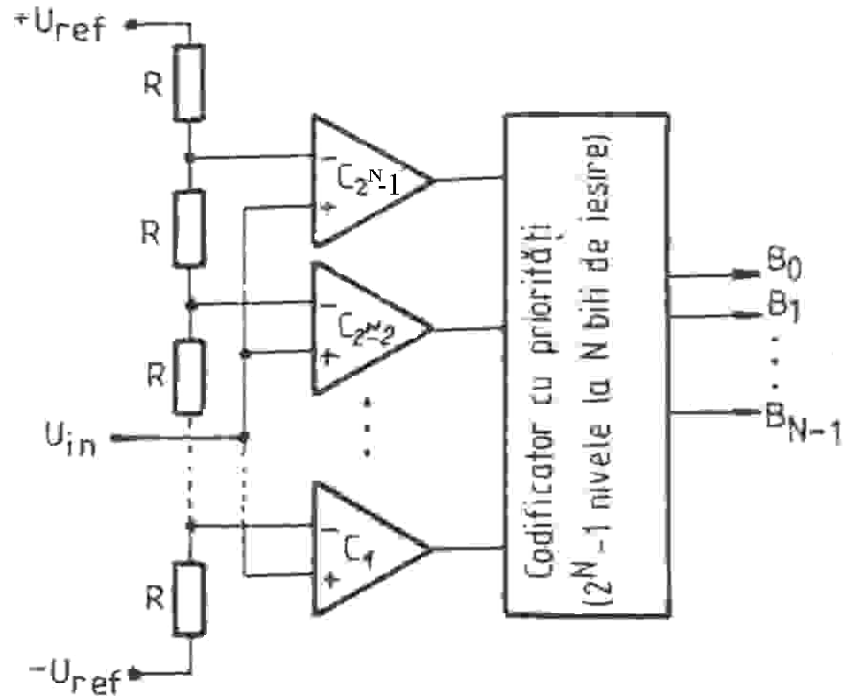


Fig. 2 Schema CAN paralel

Dezavantajul principal constă în rezoluția limitată, deoarece numărul de comparatoare necesare crește exponențial odată cu creșterea numărului de biți la ieșire. În general, rezoluția acestui convertor nu depășește 8 biți.

7.5.1.2 Convertoare analog-seriale și numeric-paralele

Aceste convertoare fac parte din categoria celor rapide și se obțin prin înlanțuirea unor celule care conțin amplificatoare și comparatoare, ca în figura 3.

Dacă se dorește realizarea unui convertor pe N biți, atunci se introduc în cascada N celule. Celula de bază (fig 3a) are în componența sa două amplificatoare diferențiale care generează la ieșire două mărimi cu variații contrare, adică $0 \dots 2 \cdot U_{ref}$ și $2 \cdot U_{ref} \dots 0$. Ieșirile acestora sunt selectate de un multiplexor analogic, comandat de un comparator cu rolul de a comuta la tensiunea $U_{ref} / 2$. Se obține un circuit ce are caracteristica de transfer din fig. 3b, de unde se observă că ieșirea comparatorului este

"0" daca valoarea de intrare este in intervalul $0 \dots 2 \cdot U_{ref}$ si este "1" pentru valori de intrare cuprinse in intervalul $2 \cdot U_{ref} \dots 0$.

Modul de legare a celulelor elementare este dat in fig. 3c. Cand la intrarea circuitului se aplica un semnal U_{in} el se va propaga de la un etaj la altul, ducand la obtinerea unei iesiri stabile atat pe liniile analogice U_0 cat si pe cele logice ale comutatoarelor B_i . Pentru ca valoarea marimii analogice de la intrarea in acest lant sa se mentina stabila, este introdus un circuit E-M.

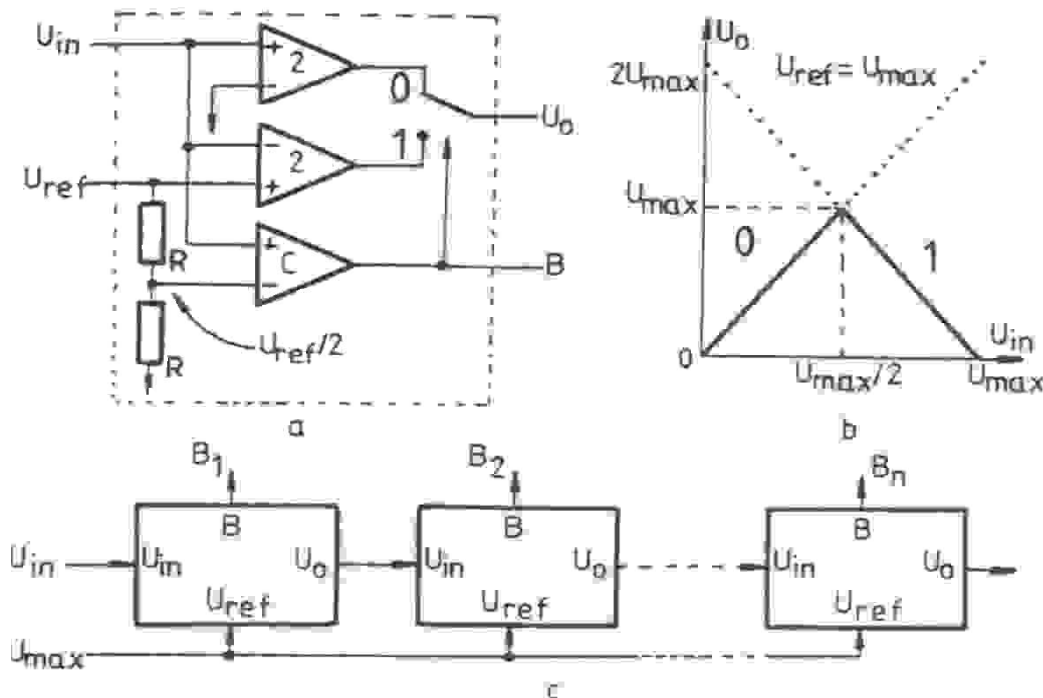


Fig. 3 Schema CAN de tip analog-serial si numeric- paralel

7.5.1.3 Conversoare serie-paralel

Una din problemele principale care apare la CAN este numarul mare de componente care intra in alcatuirea lor, ceea ce duce la cresterea costului. Exista o solutie tehnica in care costul se reduce si se obtin viteze si rezolutii mari, solutie care poarta numele de corectie de subdomeniu.

Un convertor pe N biti, care functioneaza pe acest principiu utilizeaza doua CAN paralele pe N/2 biti. Acestea furnizeaza initial partea cea mai semnificativa a numarului de iesire ai apoi pe cea mai putin semnificativa.

In figura 4 se prezinta schema unui convertor rapid pe 8 biti. Notatiile din figura reprezinta: U_{in} - semnalul de intrare; $U_{S(MSB)}$ - iesirea Buf₂ la momentul validarii MSB (Clk₁); $U_{S(LSB)}$ - iesirea Buf₁ la momentul validarii MSB (Clk₃); $\Delta U_{(MSB)}$ - eroarea de cuantizare MSB;

$\Delta U_{(LSB)}$ - eroarea de cuantizare LSB; ΔU_D - eroarea de conversie; **Clk** - semnalul de ceas intern (Clock); **DRDY** - semnal pentru data disponibilă.

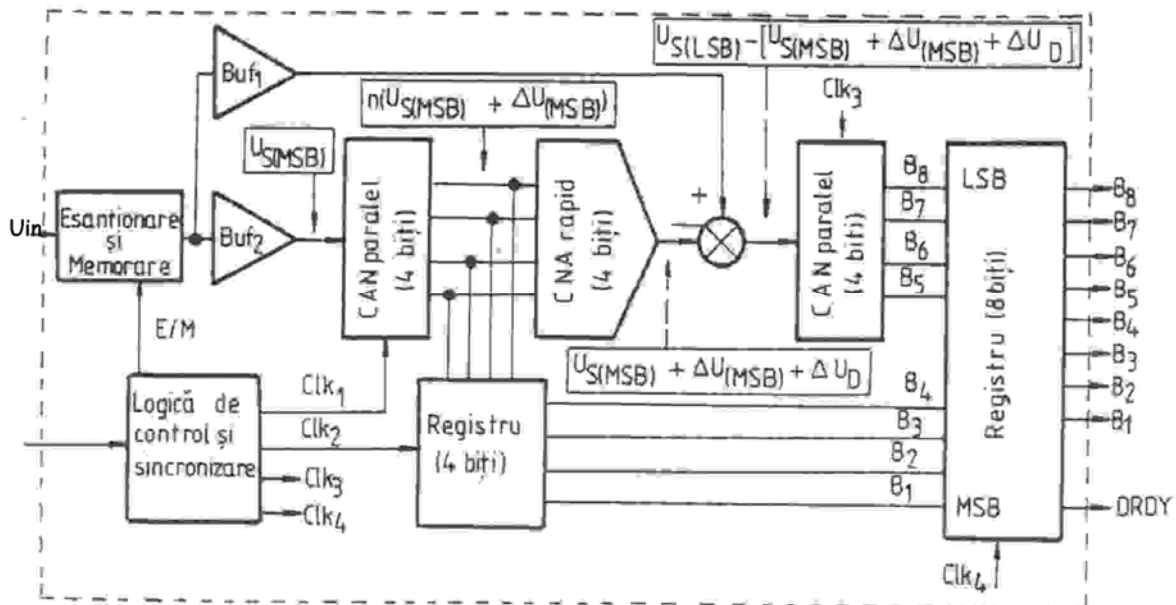


Fig. 4 Schema unui CAN serie-paralel pe 8 biti cu corectie de subdomeniu

Dupa ce semnalul de intrare U_{in} a fost esantionat și memorat, valoarea obtinuta este aplicata simultan la intrarile a doua amplificatoare tampon (buffer). Amplificatorul Buf_2 trimite aceasta valoare la intrarea unui CAN, din care vor rezulta bitii cei mai semnificativi, iar Buf_1 o trimite catre un circuit de scadere. Dupa ce au fost obtinuti cei mai semnificativi 4 biti, acestia sunt memorati intr-un registru intermediar și, concomitent, sunt aplicati la intrarea unui CNA care are precizia apropiata de cea a intregului convertor. Acest tip de convertor produce la iesire o valoare analogica apropiata de cea a intrarii, mai puțin eroarea de cuantizare. Valoarea obtinuta este aplicata circuitului de scadere, astfel incat diferenta dintre semnalul de intrare și valoarea sa cuantizata pe 4 biti reprezinta eroarea de cuantizare corespunzatoare rezolutiei de 4 biti. Restul obtinut din aceasta diferenta este aplicat unui nou CAN (identic cu primul), care stabileste cei mai puțin semnificativi 4 biti ai valorii de iesire. Corectiile de subdomeniu se fac in conformitate cu ecuatiile de pe figura 4.

Convertoarele serie-paralel sunt foarte sensibile la calitatea componentelor electronice folosite (necesita zgomot minim, timpi de lucru mici), dar reprezinta un compromis intre performante și cost. Aceasta deficiente poate fi rezolvata prin operatia de corectie numerica de subdomeniu.

7.5.1.4 Convertoare cu reacție

Plecând de la ideea comparării mărimii de intrare cu valori de referință, s-a ajuns la o soluție tehnică mult mai ieftină comparativ cu cea a convertoarelor paralele. Utilizând un singur comparator și un singur CNA se poate obține un CAN cu reacție, care lucrează după schema bloc din figura 5.

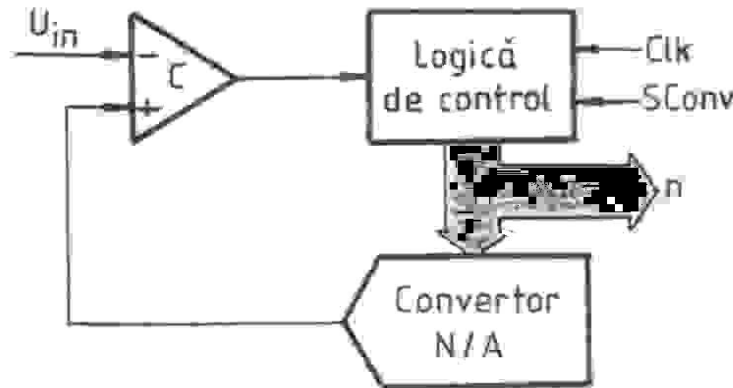


Fig.5 Schema CAN cu reacție

Indiferent de modul în care sunt generate treptele caracteristicii de transfer, în componența acestor convertoare intra trei blocuri:

-un CNA; - un comparator; - o logică corespunzătoare modului de lucru, care generează limitele intervalelor de cuantizare.

Marimea de intrare U_{in} este comparată cu marimea de referință generată de CNA cu logica de control corespunzătoare și, în funcție de rezultatul comparării, logica decide valoarea numerică ce se produce în pasul următor. Acest algoritm de conversie poate fi conceput în mai multe variante de unde rezultă și tipurile de convertoare cu reacție: cu numărare; cu urmărire; cu aproximații succesive.

a. Convertoare cu numărare

Schema unui astfel de convertor este dată în figura 6.

Denumirea provine de la faptul că funcționarea lor se bazează pe cel mai simplu algoritm de generare a treptelor, care constă în numărarea lor de la limita inferioară a gamei de lucru și până la depășirea valorii de intrare.

La începutul fiecărui ciclu de conversie se initializează un numărator care este inclus în logica de control. Semnalul de start al conversiei SC_{conv} aduce număratorul în starea "0" și validează ceasul Clk

prin punerea iesirii bistabilului BP in "1" logic. Simultan cu aceasta operatie, CNA produce o tensiune V_N la limita inferioara a domeniului de lucru. Numaratorul N incepe sa incrementeze valorile, ceea ce duce la cresterea tensiunii de referinta U_N treapta cu treapta. Cand se atinge valoarea intrarii U_{in} (fig. 6b), comparatorul C basculeaza, adica aduce BP la starea initiala si opreste Clk, finalizand conversia.

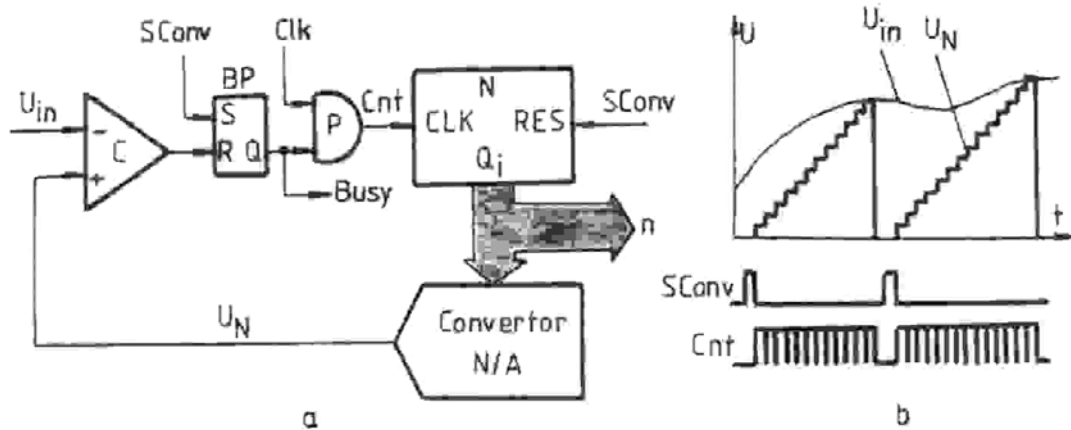


Fig. 6 Schema CAN cu numarare

Timpul de conversie nu este constant, avand valoarea maxima:

$$t_{conv(max)} = 2^N \cdot t_{Clk}$$

in care t_{Clk} reprezinta perioada numaratorului. Micsorarea timpului de conversie se poate realiza prin reducerea t_{Clk} .

Ca avantaj al acestui convertor se mentioneaza simplitatea constructiva, iar ca dezavantaj timpul de conversie mare.

b. Converteare cu urmarire

Schema acestui convertor se obtine din schema precedenta prin inlocuirea numaratorului cu incrementare N cu unul reversibil si prin comandarea sensului de numarare in functie de rezultatul compararii marimii de intrare cu treptele de referinta. Un exemplu este prezentat in figura 7.

Functionarea unui astfel de circuit este continua, motiv pentru care a primit denumirea "cu urmarire". Are o constructie simpla si rezultatele obtinute sunt satisfacatoare atunci cand semnalul de intrare nu are o variatie prea mare.

La iesirea comparatorului se obtine semnalul U/D, care reprezinta codificarea pe bit a tendintei de crestere sau descrestere a intrarii (fig. 7b), avand valorile:

$U/D = 1$ - semnalul creste; $U/D = 0$ - semnalul descreste.

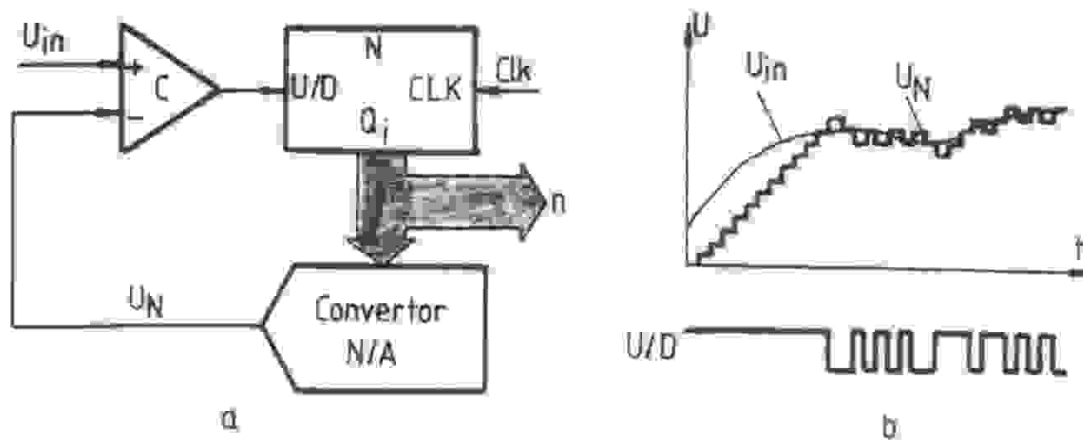


Fig. 7 Schema CAN cu urmarire

În general, acest tip de convertor este mai avantajos decât precedentul, garantând o funcționare fără distorsiuni. Dezavantajul principal constă în banda de frecvență limitată a semnalului de intrare.

c. Convertoare cu aproximatii succesive

O parte din dezavantajele convertoarelor precedente pot fi îmbunătățite prin înlocuirea număratorului din bucla de reacție cu un regim de deplasare special, care realizează aproximatii succesive. Acest principiu constă în împărțirea domeniului de lucru a intrării în părți egale, după care se determină în care din ele se găsește mărimea de intrare.

Intervalul care se obține este împărțit din nou și procedeul continuă până se ajunge la rezoluția dorită. Timpul afectat conversiei depinde de rezoluția impusă și nu de caracteristicile semnalului de intrare.

Schema unui astfel de convertor este dată în figura 8.

CURS 6

a. Convertoare cu aproximații succesive

O parte din dezavantajele convertoarelor precedente pot fi remediate prin înlocuirea număratorului din bucla de reacție cu un regim de deplasare special, care realizează aproximații succesive. Acest principiu constă în împărțirea în părți egale a domeniului de lucru a intrării, după care se determină în care din ele se găsește mărimea de intrare.

Intervalul care se obține este împărțit din nou și procedeul continuă până se ajunge la rezoluția dorită. Timpul afectat conversiei depinde de rezoluția impusă și nu de caracteristicile semnalului de intrare.

Schema unui astfel de convertor este dată în figura 8.

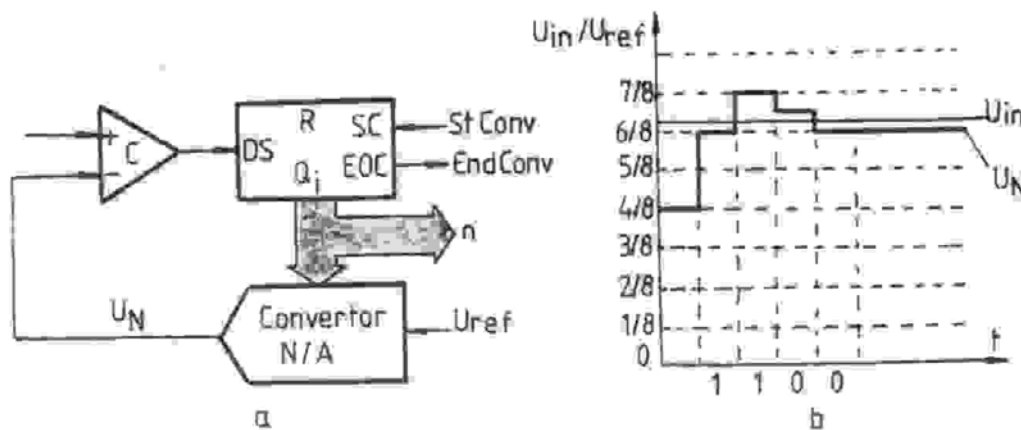


Fig.8 Schema CAN cu aproximații succesive

Avantajele pe care le prezintă acest tip de convertor l-au impus în fața celorlalte. În acest sens trebuie remarcat că durata fixă a conversiei și numărul redus de pași determină o viteză de lucru care poate fi ușor controlată. În general timpul de conversie este de $1\mu s$ la o rezoluție de cel puțin 12 biți.

7.6 Convertoare numeric-analogice (CNA)

CNA - transformă o mărime numerică care se aplică la intrare într-o mărime analogică la ieșire, care poate fi tensiune sau intensitate.

Această transformare se face cu ajutorul codurilor, care pot fi ponderate sau neponderate și poate fi considerată similară cu transformarea din sistemul de numeratie binar în cel zecimal. În acest mod se asociază fiecărei cifre binare "1" o anumită valoare a unei mărimi

electrice (tensiune sau intensitate), care se însumează ponderat în conformitate cu rangul ocupat în reprezentarea numerică. Ponderea crește de la dreapta la stânga (de la LSB la MSB). Pentru cifra binară "0" se asociază valoarea nulă a aceleiași mărimi electrice.

Schema bloc simplificată a unui CNA este prezentată în figura 9.

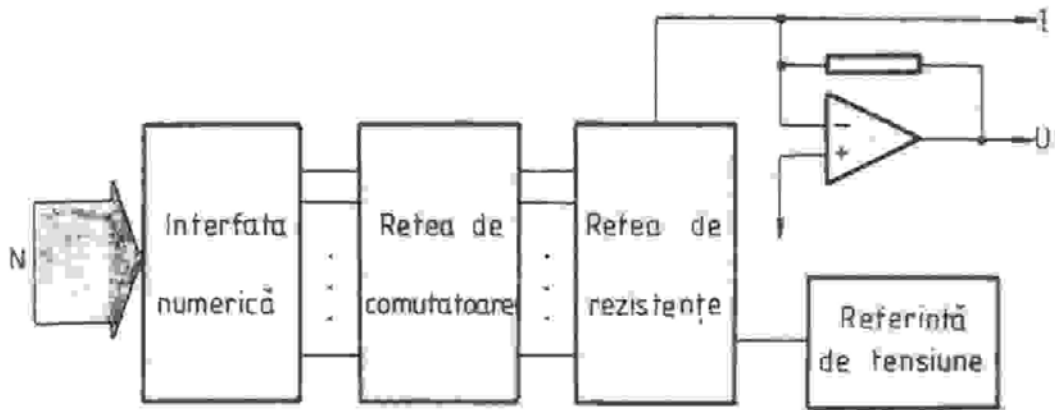


Fig.9 Schema bloc simplificată a unui CNA

Interfața numerică asigură compatibilitatea cu semnalele de intrare și generează o serie de semnale care comandă rețeaua de comutatoare analogice. Aceste comutatoare controlează semnalele care sunt aplicate rețelei de rezistențe, prin intermediul ei realizându-se ponderarea lor. Mărimea intensitatilor este determinată de valorile rezistențelor din componenta rețelei, precum și de tensiunea sau intensitatea de referință aplicată convertorului.

7.6.1 Scheme pentru CNA

Cele mai utilizate sunt CNA cu rețele rezistive în următoarele variante constructive: cu rețele ponderate binar; cu rețele R-2R.

a. Convertoare cu rețele ponderate binar

Aceste tipuri de rețele includ rezistoare care au valorile $2 \cdot R$, $2^2 \cdot R$, $2^3 \cdot R$, ..., $2^N \cdot R$, fiind conectate împreună la una din extremități, după cum se poate observa din fig.10.

Numarul de rezistoare este determinat de numărul N de biți ai cuvântului de intrare. Fiecare intrare logică B_i ($i = 1 \dots N$) comandă câte un comutator care conectează câte un rezistor la o sursă de tensiune de referință U_{ref} . Din fiecare rezistor se obține câte un curent I_i .

Avantajul principal al acestui tip de convertor constă în simplitatea sa. Dezavantajul major este faptul că stabilitatea și precizia sa depind de precizia absolută a rezistoarelor și de modul lor de combinare.

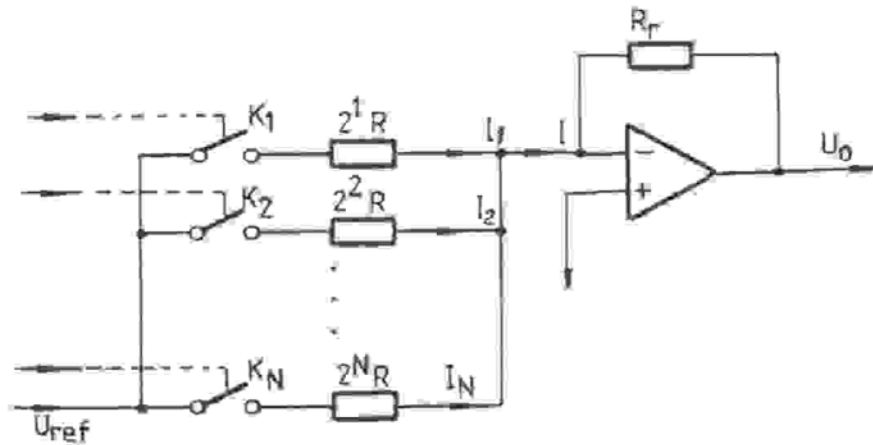


Fig.10 Schema CNA unipolar cu rețea ponderată binară

8. Senzori și traductoare

Literatura de specialitate atestă că performanțele globale ale unui sistem sunt limitate de performanțele traductoarelor, în special ale senzorilor. Măsurarea unei mărimi fizice presupune, în primul rând, detectarea sa.

8.1 Definiție și clasificare

Senzorul - elementul sensibil cu rolul de a detecta mărimea de măsurat aplicată la intrarea sa și de a o converti într-o altă mărime fizică, de aceeași natură sau de natură diferită, care poate fi ușor măsurată, cel mai frecvent pe cale electrică.

Conversia mărimii de intrare în mărime de ieșire se bazează pe efecte fizice sau chimice. De exemplu, termocuplul generează prin efect termoelectric o tensiune electromotoare (mărimea de ieșire), proporțională cu o diferență de temperatură.

Traductor - ansamblul format din elementul sensibil (senzorul) și elementele de adaptare și prelucrare (conditionare și tratare ale semnalului).

Traductorul poate avea în structură sa mai mulți senzori, capabili să efectueze conversia mărimii de măsurat într-o mărime electrică, indirect, prin mai multe etape intermediare. De exemplu, un manometru electric poate avea un element elastic- tub Bourdon sau membrana-care, în prima etapă converteste presiunea într-o deformare; apoi deformarea se converteste în continuare, în variație de rezistență electrică.

Pentru realizarea unui sistem unificat de semnale se utilizează un element funcțional, numit **adaptor**, care are rolul de a transforma mărimea de ieșire a traductorului în semnal electric unificat.

Progresul tehnologic cel mai semnificativ în domeniul traductoarelor îl constituie realizarea de *traductoare integrate*, care înglobează într-o unitate constructivă de mici dimensiuni (*chip*) atât senzorul cât și adaptorul, inclusiv elementele de liniarizare și compensare termică.

Clasificarea traductoarelor se realizează după următoarele criterii: domeniul de utilizare și principiile fundamentale de funcționare.

Tabel 1. Clasificarea traductoarelor după domeniul de utilizare

Tip traductor	Domeniul de utilizare
mecanici	• poziție (liniară și unghiulară); • deplasare (liniară și unghiulară); • viteză (liniară și unghiulară); • accelerație (liniară și unghiulară); • vibrații; • oboseală și tensiuni interne; • forță; • cuplu; • presiune; • starea suprafeței.
electrici și magnetici	• tensiune; • intensitate; • rezistență; • capacitate; • inductanță; • magnetism; • radiații.
acustici și biologici	• intensitate sonoră; • vâscozitate; • frecvență; • detecția nedistructivă cu ultrasunete
chimici și biologici	• ioni; • gaze; • pH; • concentrație; • umiditate; • efect Doppler
optici	• intensitate luminoasă; • lungime de undă; • fază; • aparate video-captoare; • interferență; • polarizare; • indice de refracție
termici	• temperatură; • raze infraroșii.

Tabel 2. Clasificarea traductoarelor funcție de principiile fundamentale de funcționare

Tip traductor	Domeniul de utilizare
capacitiv	• poziție (liniară și unghiulară); • deplasare (liniară și unghiulară); • câmp electrostatic; • substanțe chimice.
inductiv	• proximitate; • câmp magnetic; • câmp electric; • caracteristici electromagnetice.
ultrasonic	• testări nedistructive; • măsurarea grosimii; • scanarea imaginilor; • măsurarea fluxurilor.
fotoelectric	• deplasare/poziție; • temperatură; • intensitatea luminii; • aparate de fotografiat automate.
efect Hall	• detectarea câmpului magnetic; • senzori de proximitate.
piezoelectric	• presiune; • forță; • cuplu.

Pe lângă tipurile prezentate mai există și altele, cum ar fi traductoare cu rezonanță magnetică, magnetorezistivi, dar domeniile lor de utilizare sunt restrânse.

8.2 Parametrii de performanță

Acești parametri se împart în două mari categorii: statici și dinamici.

8.2.1 Parametrii statici

În regimul static de funcționare se presupune că mărimea de măsurat nu variază în timp. Senzorul reprezintă primul convertor de măsurare aflat în contact direct cu fenomenul studiat.

◆ Sensitivitatea

Este definită ca raportul dintre variația mărimii la ieșire și variația mărimii la intrare. Dacă ieșirea senzorului este y corespunzătoare unei intrări x rezultă $y = f(x)$. Sensitivitatea reprezintă deci: $S = \Delta y / \Delta x$

De exemplu, dacă pentru o variație a deplasării la intrare de 0.01 mm se obține la ieșire o creștere a tensiunii cu 0.5 V, atunci sensibilitatea este 50 V/mm.

◆ Linearitatea

Indică relația de dependență liniară între ieșire și intrare: $y = c \cdot x$ (c - constantă). Când sunt neliniarități, c devine o funcție de x , deci relația de mai sus devine $y = f(x)$. Linearitatea se exprimă în mai multe moduri:

- utilizarea erorii maxime absolute dintre valoarea preconizată la ieșire (printr-o ecuație liniară) și valoarea obținută efectiv. Termenul utilizat este *distorsiunea*, fiind definit de relația:

$$\text{distorsiunea} = \text{Max } |f(x) - c \cdot x|$$

Cu cât distorsiunea este mai mică, cu atât linearitatea este mai mare.

- utilizarea valorii relative a distorsiunii:

$$\text{distorsiunea} = (\text{Max } |f(x) - c \cdot x|) / c \cdot x$$

- ◆ **Domeniul.** Reprezintă diferența dintre valorile maxime și minime.

◆ Acuratetea

Indică diferența dintre valoarea măsurată și cea reală. Poate fi definită o valoare absolută (care reprezintă eroarea maximă a domeniului de lucru) sau o valoare relativă adimensională (reprezintă raportul dintre eroarea maximă și domeniul de lucru). O acurătate de ± 0.01 mm înseamnă că, în anumite condiții, valoarea măsurată de senzor trebuie să fie de ± 0.01 mm față de valoarea reală. Acuratetea reprezintă una din specificațiile tehnologice obligatorii indicate de producătorul senzorului.

♦ **Repetabilitatea.** Indica diferenta dintre doua valori consecutive masurate in aceleasi conditii.

♦ **Rezolutia.** Este definita ca fiind modificarea minima a intrarii, detectata la iesire sau modificarea minima a parametrilor de la iesire. Este unul din cei mai importanti parametri ai senzorilor.

8.2.2 Parametrii dinamici

♦ Latimea de banda

Este unul din cei mai importanti parametri dinamici. Ideal ar fi ca un senzor sa produca la iesire aceeasi amplitudine pentru toate marimile de la intrare care au amplitudini egale, independent de frecventa lor. In realitate, iesirea unui senzor este dependenta atat de amplitudine cat si de frecventa marimi de intrare, deoarece fiecare senzor are o latime de banda limitata.

Respectiva caracteristica dinamica se analizeaza cel mai bine in domeniul frecventa, unde poarte denumirea de *functie de transfer*. Raportul dintre iesire si intrare este definit ca fiind functia de transfer a senzorului. Daca se traseaza amplitudinea functiei de transfer se obtine o diagrama ca-n figura 11.

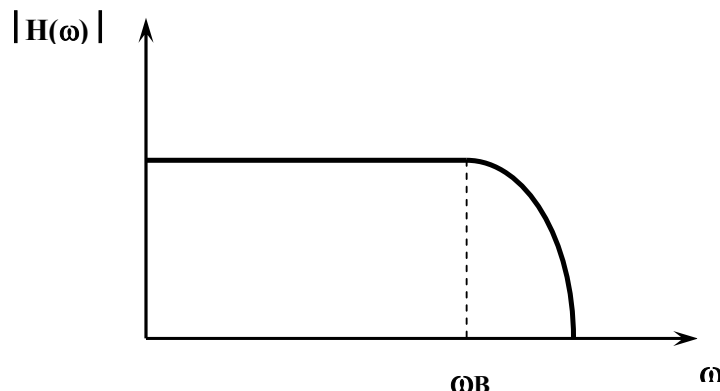


Fig.11 Latimea de banda a unui senzor

La stanga frecventei limita ω_B factorul de amplificare $|H(\omega)|$ este independent de frecventa de intrare. Pe masura ce aceasta frecventa creste amplitudinea semnalului de la iesire se va reduce.

Latimea de banda este definita ca fiind intervalul de frecventa in care factorul de amplificare sau amplitudinea functiei de transfer este aproximativ constanta.

♦ Timpul de raspuns

Este definit ca fiind timpul necesar pentru ca o modificare a intrarii sa devina sesizabila la iesire. In majoritatea cazurilor, semnalul de la iesire poate oscila pentru scurt timp inainte de a se stabili la valoarea finala.

◆ Ordinul senzorilor

Erorile aparute în timpul calibrării senzorilor sunt dependente de modificările de la intrare, mai ales la senzorii care conțin orice element unde se poate stoca energie. Dacă există un astfel de element senzorul este de ordinul întâi, iar dacă sunt două, senzorul este de ordinul al doilea. Energia electrică ajunge la senzor în două forme:

- sarcina electrică, stocată în condensatori;
- magnetică, stocată în bobine.

Energia mecanică are și ea două forme:

- potențială, stocată în arcuri;
- cinematică, stocată în masele aflate în mișcare.

Energia termică se prezintă stocată sub o singură formă.

8.3 Soluții constructive

8.3.1 Senzori capacitivi

Între armaturile unui condensator plan, de capacitate C , străbatute de tensiunea e , este generată o sarcină electrică q , în conformitate cu relația: $q = C \cdot e$

Pentru acest condensator capacitatea sa este în funcție de distanța d dintre cele două plăci cu aria A , între ele fiind un dielectric cu permitivitatea ε

$$C = \varepsilon \cdot A / d$$

În figura 12 se prezintă două moduri de utilizare, ca senzor, al unui condensator plan.

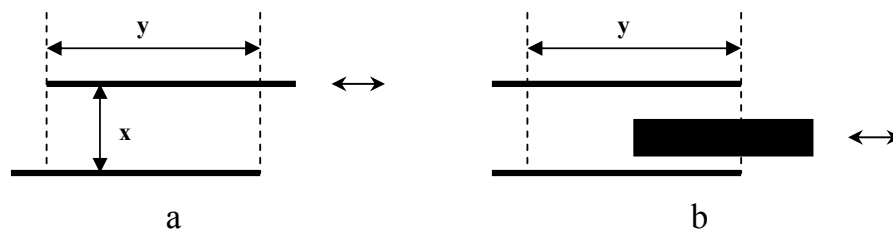


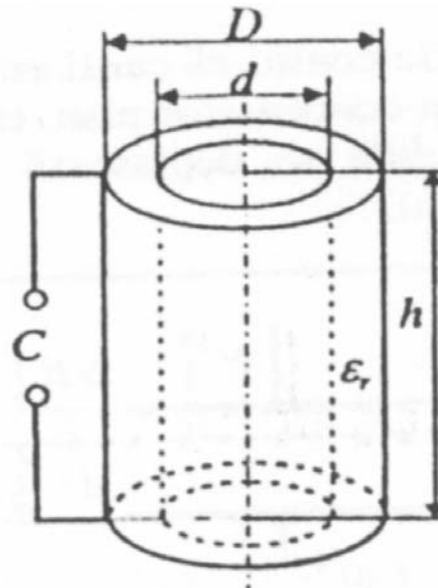
Fig.12 Utilizarea condensatorului plan ca senzor

Există deci următoarele configurații:

- o placă fixă și cealaltă se deplasează pe verticală ($y = \text{const.}$), caz în care tensiunea e este în funcție de distanța x (fig.12a);
- distanța între plăci este fixă ($x = \text{const.}$), placă inferioară fiind fixă iar cea superioară se deplasează lateral, aria efectivă $A = w \cdot y$ ($w = \text{latimea plăcii}$) se modifică în funcție de poziția laterală y .
- ambele plăci sunt fixe, constanta efectivă a dielectricului putând fi modificată numai prin deplasarea dielectricului între plăci (fig.12b)

CURS 7

♦ Un alt tip de senzor capacitiv este **condensatorul cilindric** prezentat in figura 1.



Capacitatea unui astfel de condensator este:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot h}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}$$

cu ϵ_0 = permitivitatea aerului
($8.854 \cdot 10^{-12}$ F/m)

ϵ_r = permitivitatea
materialului din care
este confectionat dielectricul

Fig.1 Condensatorul cilindric

Analizand relatiile capacitatii electrice pentru condensatorul plan si pentru condensatorul cilindric, rezulta ca senzorii capacitivi convertesc in variatii de capacitate orice marime neelectrica care modifica:

- distanta dintre armaturi ;
- aria suprafetei de suprapunere a armaturilor;
- permitivitatea relativa a mediului dintre armaturi.

Valoarea capacitatii poate fi masurata cu ajutorul unui circuit sub forma de punte, ca-n fig.2

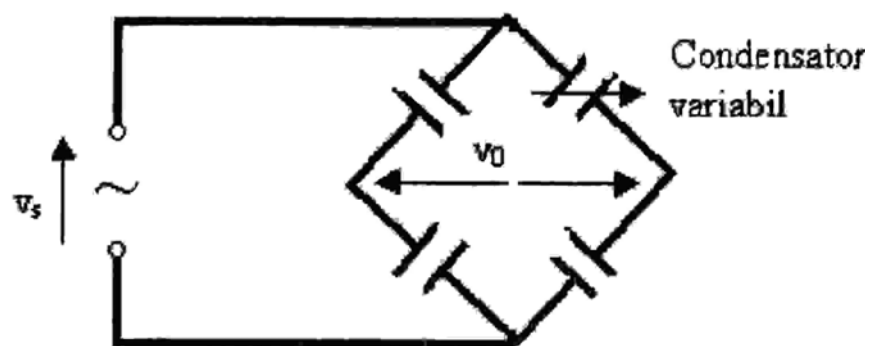


Fig.2 Circuit punte pentru masurarea capacitatilor

Tot pentru măsurarea capacității se poate folosi circuitul din figura 3, unde condensatorul ce trebuie măsurat constituie elementul de acordare al unui oscilator de frecvențe.

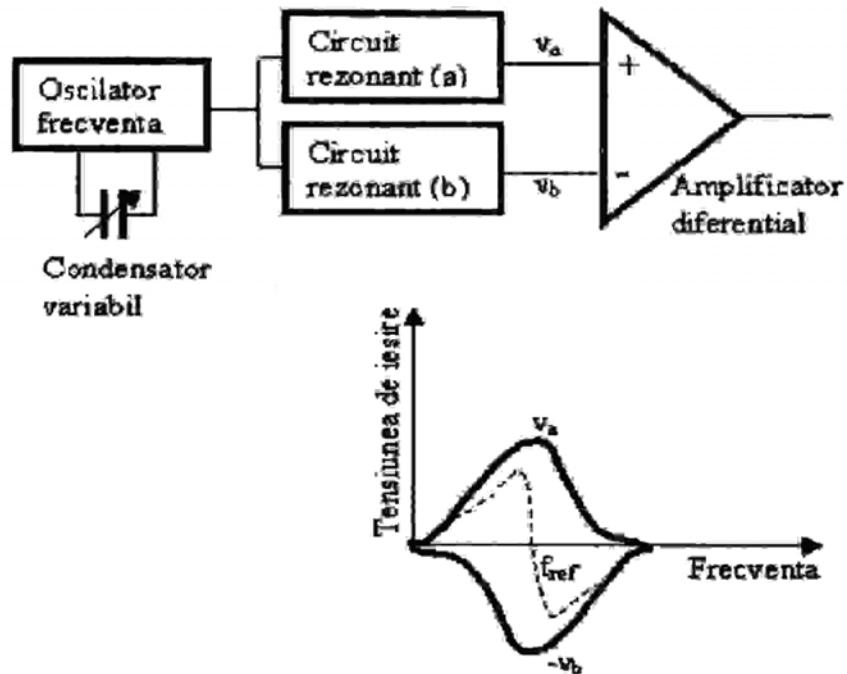


Fig.3 Detector pentru rezonanța frecvențelor

Orice modificare a capacității se regăsește în modificarea frecvenței oscilatorului. Aceasta schimbare poate fi determinată din diferența tensiunilor de ieșire ale perechii de circuite rezonante, având ușoare deplasări față de frecvența centrală, drept rezultat fiind variațiile din jurul frecvenței de referință f_{ref} .

Principalul avantaj al senzorilor capacitivi este reprezentat de precizia foarte bună. Dezavantajul principal este reprezentat de domeniul de lucru restrâns. Sunt folosiți frecvent la măsurarea deplasărilor și a vibrațiilor.

8.3.2 Senzori inductivi

Senzorii inductivi fac parte din grupa senzorilor parametrici sau modulatori; mărimea neelectrică de măsurat (deplasare, abatere dimensională, grosime, masă, forță, cuplu mecanic) aplicată la intrarea senzorului inductiv este convertită într-o mărime electrică pasivă: inductivitatea proprie sau inductivitatea mutuală.

Similitudinile existente între câmpul electric și cel magnetic conduc la obținerea unor relații simple pentru câmpul magnetic.

Energia stocata intr-un volum dat de material isotropic aflat in camp magnetic se calculeaza cu:

$$E = \frac{\phi^2}{2 \cdot C} \quad (1)$$

cu ϕ - fluxul magnetic; C - capacitatea magnetica.

Modul de lucru al unui senzor inductiv se explica cu ajutorul figurii 4, unde doua piese feromagnetice, avnd forma de bara, sunt dispuse fata in fata intr-un flux magnetic. Spatiul dintre cele doua miezuri feromagnetice joaca rolul unei capacitati magnetice dispuse in paralel cu cele doua miezuri. Se presupune ca elementul din stanga este fix, in timp ce cel din dreapta se poate misca pe verticala sau orizontala.

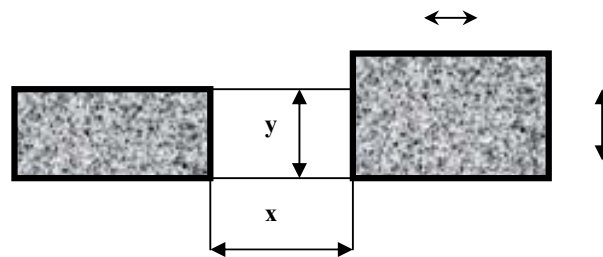


Fig.4 Principiul de functionare al unui senzor inductiv

Aria efectiva a sectiunii transversale este $A = w \cdot y$, capacitatea magnetica fiind:

$$C = \frac{\mu \cdot A}{x} \quad (2)$$

cu μ permeabilitatea magnetica a mediului isotropic.

Din relatiile (1) si (2) rezulta energia magnetica inmagazinata in spatiul dintre cele doua bare.

$$E = \frac{\phi^2 \cdot x}{2 \cdot \mu \cdot A} = \frac{\phi \cdot x}{2 \cdot \mu \cdot w \cdot y} \quad (3)$$

Derivand in raport cu timpul se obtine puterea pentru un sistem dinamic:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{\partial E}{\partial \phi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial t} \quad (4)$$

unde $d\phi/dt$ este viteza fluxului; dx/dt si dy/dt sunt componentele vitezei elementului magnetic aflat in miscare pe directie orizontala, respectiv verticala.

Puterea magnetica este egala cu produsul dintre viteza fluxului si forta magnetomotoare M . Forta magnetomotoare este:

$$M = \frac{\partial E}{\partial \phi} = \frac{\phi \cdot x}{\mu \cdot A} \quad (5)$$

Fora magnetomotoare pentru un element magnetic este in functie de campul magnetic H si de lungimea drumului strabatut l .

$$M = H \cdot l = N \cdot i \quad (5)$$

Ecuatia (4) reprezinta principiul de baza in functionarea unui senzor inductiv pentru determinarea pozitiei. O deplasare x sau y se traduce prin modificarea fortei M , aceasta putand fi masurata indirect prin masurarea curentului indus i in numarul de spire N al unei bobine plasata in acelasi camp. O alta metoda de modificare a fortei magnetomotoare consta in modificarea permeabilitatii μ .

O solutie constructiva este prezentata mai jos.

♦ **Traductorul inductiv variabil liniar -TIVL** se compune dintr-o combinatie de infasurari si un miez nemagnetic, plasat in interiorul infasurarilor sau in exteriorul lor, ca in figura 5.

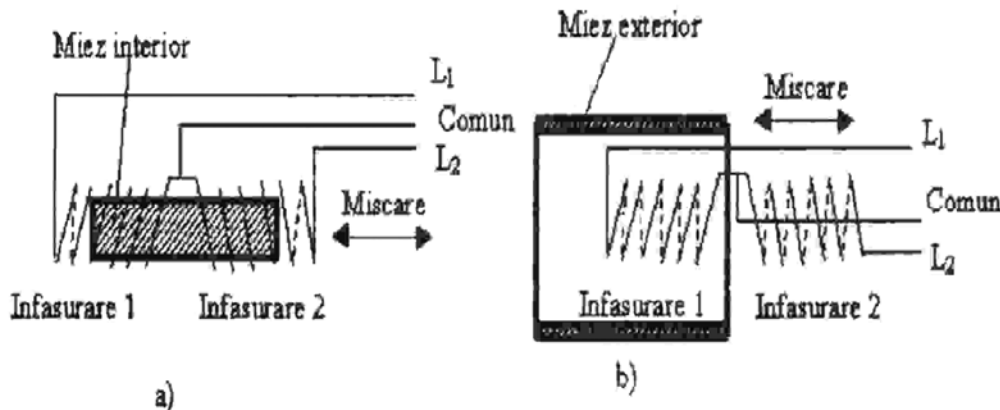


Fig.5 TIVL (a-miez in interior; b-miez in exterior)

In timpul functionarii, infasurarile sunt excitate cu frecvente de 100 kHz sau mai mari, iar curentii turbionari indusi in miez determina modificarea inductantei infasurarilor in functie de pozitia miezului. La constructia TIVL nu se folosesc materiale magnetice, ceea ce inseamna ca vulnerabilitatea acestui senzor fata de campurile magnetice este mult mai redusa comparativ cu alte tipuri de senzori inductivi.

8.3.3 Senzori rezistivi

Sunt inclusi in grupa senzorilor parametrici; functionarea lor se bazeaza pe faptul ca marimea de masurat produce o variatie a rezistentei electrice a senzorului.

♦ Potentiometrul.

Cea mai simpla solutie constructiva a senzorilor rezistivi este reprezentata de potentiometrul din figura 6. Majoritatea potentiometrelor sunt concepute cu mai multe rezistente rotative avand contacte alunecatoare.

Rezoluția potențimetrelor este în funcție de numărul de rotații efectuate de rezistențe pe unitatea de lungime a suportului. Pentru o rezoluție impusă se folosesc rezistențe ceramice.

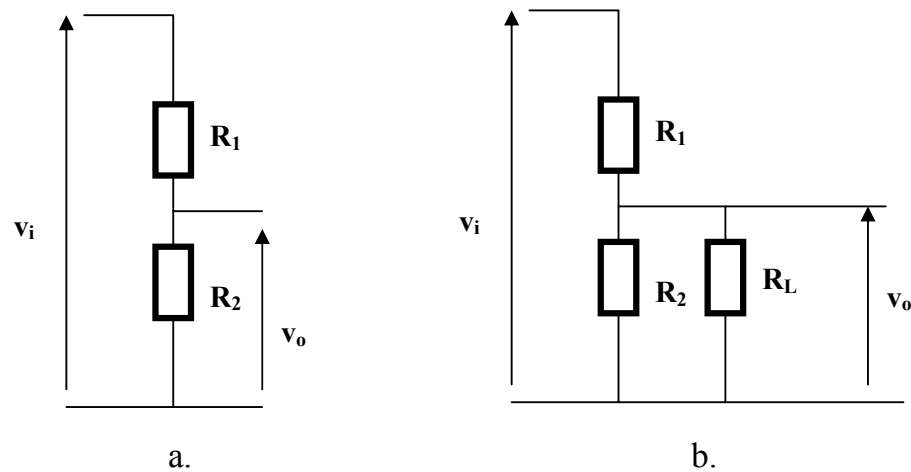


Fig. 6 Potentiometru

Tensiunea la ieșire este:

$$V_0 = \frac{V_i \cdot R_2}{R_1 + R_2} \text{ pentru fig. 6a;}$$

$$V_0 = \frac{V_i \cdot R_0}{R_1 + R_0} \text{ pentru fig. 6b}$$

unde: V_i este tensiunea la intrare; R_L -rezistența pentru încărcare; R_0 - rezistența echivalentă $R_L \cdot R_2 / (R_L + R_2)$.

♦ Marca tensometrică

O marca tensometrică este compusă din două folii foarte subțiri din material plastic, între ele fiind amplasată o bandă de metal dispusă în zig-zag. La capetele benzii există două placute prin intermediul cărora marca se leagă într-un circuit. Exemple de marci sunt prezentate în figura 7.

Marca se fixează pe piesă de metal cu un adeziv special, având proprietatea de a se deforma odată cu piesa, ceea ce conduce la modificarea lungimii și, implicit, a rezistenței electrice a benzii de metal. În funcție de dimensiunile și forma pieselor, marcele se pot folosi pentru a măsura: forțe (fig. 7c), cupluri (fig. 7d), încovoieri (fig. 7e). Pentru măsurarea presiunii cuplurilor se folosesc marci speciale (fig. 7b)

Marca este un senzor de ordinul al doilea deoarece ține cont de masă și elasticitatea pieselor. Se definește factorul de măsură G :

$$G = \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{\Delta l} \quad \text{cu} \quad R = \frac{\rho \cdot l}{w \cdot t}$$

unde ρ -rezistivitatea; l -lungimea benzii metalice; w -latimea benzii metalice; t -grosimea benzii metalice.

Se definește coeficientul piezorezistiv $E \cdot \alpha_L$:

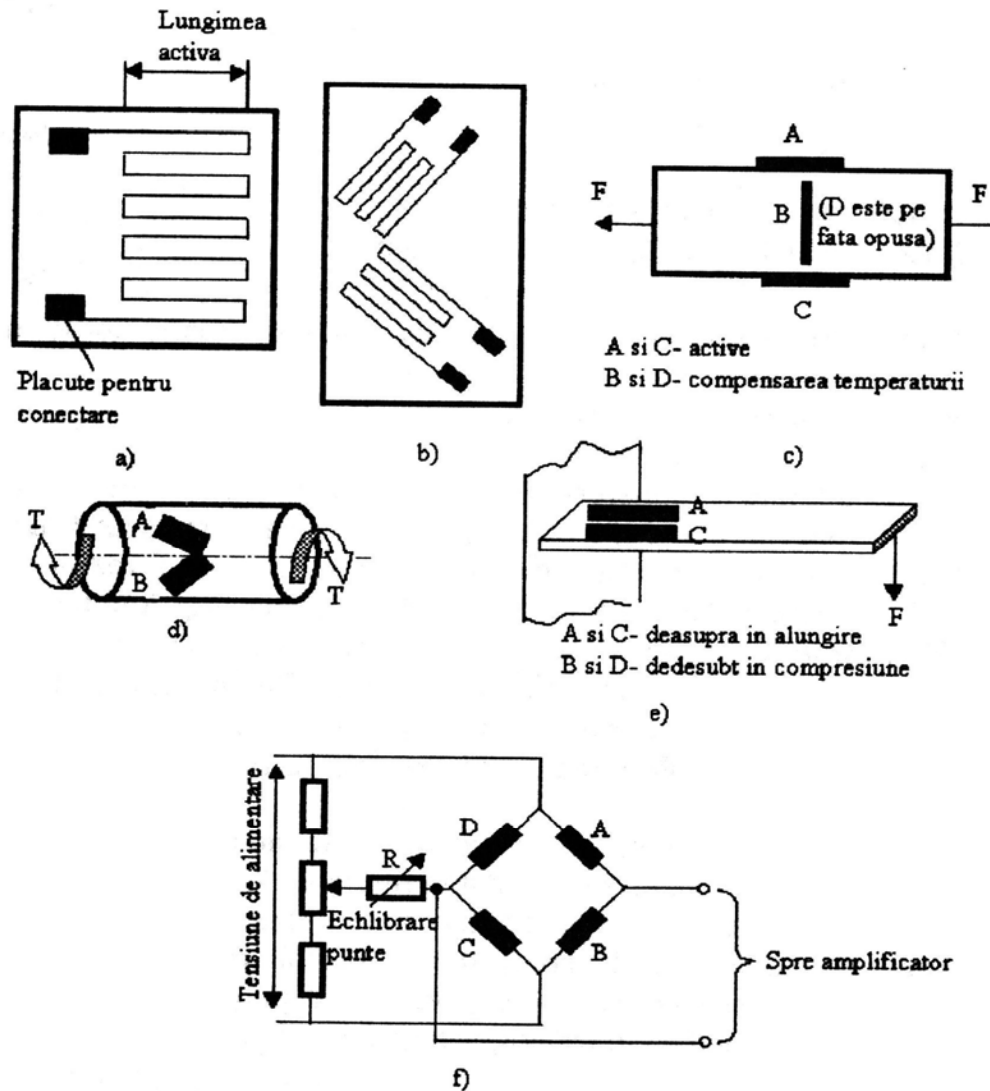
$$E \cdot \alpha_L = \frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot \frac{1}{\Delta l}$$

Cu α_L - valoarea cu care se modifica rezistivitatea corespunzatoare presiunii unitare exercitata pe marca; E -modulul de elasticitate.

Coeficientul lui Poisson ν este: $\nu = \frac{\Delta w}{w} \cdot \frac{l}{\Delta l}$ cu valoarea 0.33

pentru metale.

In concluzie, rezulta: $G = 1 + E \cdot \alpha_L + 2 \cdot \nu$



a) marca pentru intindere sau compresiune; b) pentru cuplu; c) aplicatie pentru a); d) aplicatie pentru b); e) aplicatie pentru a) la incovoiere; f) circuitul extern.

Fig.7 Tipuri de marci tensometrice si aplicatii

Cresterea temperaturii mediului afecteaza precizia masuratorilor prin: cresterea rezistivitatii, cresterea dimensiunilor marcii, cresterea grosimii adezivului.

Pentru a limita aceste erori, în circuitul exterior se folosesc două sau patru marci dispuse în punte (fig. 7f). Dacă A este marca activă, B va fi marca pentru compensarea temperaturii. Marcile C și D pot fi rezistori, dar pentru a obține sensibilitatea maximă, C va fi tensionată ca și A în timp ce D va fi ca B . Ca și în cazul compensării temperaturii, acest circuit poate separa efectele tensiunilor și încovoierii (fig. 7c și e). Rezistențele celor patru marci nu pot fi perfect egale, motiv pentru care se introduce un rezistor de ajustare folosit pentru echilibrarea punții. Rezistența R este mult mai mare decât rezistența marilor.

Sensitivitatea unui senzor tip marca tensometrică este direct proporțională cu intensitatea curentului de alimentare, dar în cazul în care acest curent este prea mare, căldura degajată va modifica echilibrul punții. Din acest motiv, producătorii de marci indică în catalog valoarea maximă a curentului pentru fiecare tip de marca.

◆ Termocuplul

Dacă în lungul unui conductor există un gradient de temperatură, obligatoriu apare și un gradient de potențial, fenomen cunoscut sub denumirea de *efect Seebeck*.

Amplitudinea gradientului de potențial depinde de natura materialului conductorului. În cazul în care un circuit confecționat dintr-un material omogen nu are aceeași temperatură, între porțiunea rece și cea caldă pe o ramură a circuitului, se induce o tensiune electromotoare (TEM), egală cu TEM indusă pe cealaltă ramură între porțiunea caldă și cea rece.

Pentru circuitele unde există două materiale A și B , o jonctiune fiind caldă și cealaltă rece, TEM în A de la rece spre cald nu este egală cu cea din B . Rezultatul este apariția unei TEM nete folosite pentru măsurarea diferenței de temperatură. Pe acest principiu este construit termocuplul. Termocuplul există în diferite forme și dimensiuni pentru utilizarea în aplicații practice.

Schema unui termocuplu este prezentată în figura 8.

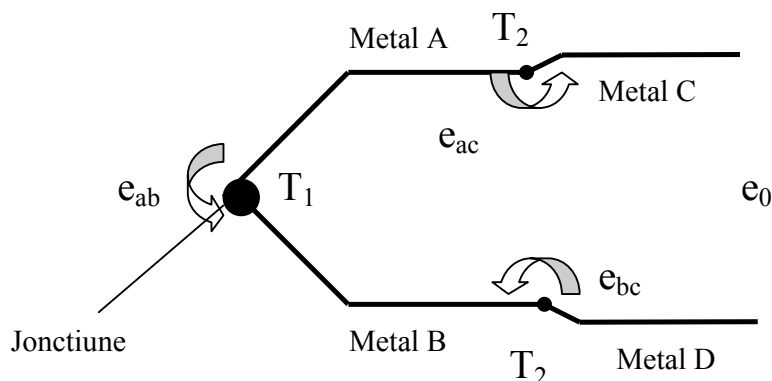


Fig.8 Termocuplu cu două perechi de materiale

Cand exista curenti de la un material spre celalalt, caldura este absorbita de catre jonctiune. De asemenea, caldura mai este absorbita si de curentul ce strabate conductorul, dar numai atunci cand exista un gradient de temperatura in lungul sau. Acesta se numeste efect Kelvin si insoteste efectul Joule prin care are loc degajarea de caldura.

Termocuplul din fig. 8 are trei jonctiuni care genereaza TEM e_1 , e_2 , e_3 , valoarea totala care se masoara fiind calculata cu relatia:

$$e_0 = e_1 + e_2 + e_3$$

Cand jonctiunile 1 si 2 au aceeasi temperatura se obtine valoarea de referinta dintre metalele A si B corespunzatoare acelei temperaturi.

CURS 8

8.3.4 Senzori piezoelectrice

Acești senzori fac parte din categoria senzorilor generatori la care mărimea neelectrică de măsurat este convertită direct în tensiune electrică. Senzorii piezoelectrice funcționează pe baza efectului piezoelectric (piezo = a apăsa) care constă în:

- ♦ *polarizarea electrică*, adică apariția unor sarcini electrice pe suprafața unor materiale solide, anizotrope, monocristaline în urma unor deformări mecanice (efect piezoelectric direct);
- ♦ *modificarea dimensiunilor* acestor materiale într-un câmp electric variabil (efect piezoelectric extern).

Deci există cristale care generează sarcini electrice atunci când sunt apăsată, cele mai întâlnite fiind sare Rochelle, turmalina, cuarțul. Acesta din urmă este un oxid de siliciu și cristalizează în sistemul hexagonal.

Forța aplicată pe două fețe opuse ale cristalului conduce la apariția de sarcini electrice, fie pe direcție normală la forța (secțiunea X) sau pe fețele paralele (secțiunea Y), după cum se observă în figura 1.

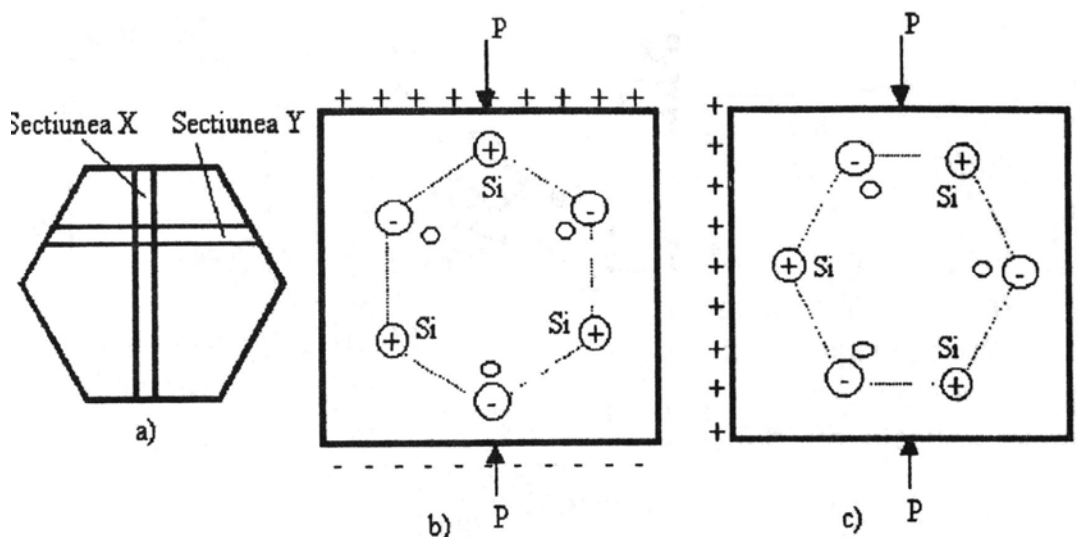


Fig.1 Efectul piezoelectric

- a) cristalul de cuarț; b) sarcinile electrice din secțiunea X;
c) sarcinile electrice din secțiunea Y

Explicarea apariției sarcinilor electrice este prezentată în figurile 1 b și c.

La efectul piezoelectric longitudinal (fig. 1b) forța acționează pe direcția secțiunii X și cristalul se deformează; ionii se deplasează, apar sarcini electrice. La efectul piezoelectric transversal (fig. 1c) sarcinile

electrice ce apar pe armături sunt de polaritate inversă față de cazul efectului longitudinal.

◆ Accelerometrul

Pentru măsurarea forțelor, atât în condiții statice cât și dinamice se folosește un senzor piezoelectric care, pentru determinarea accelerațiilor este cunoscut sub denumirea de accelerometru, având configurația dată în figura 2.

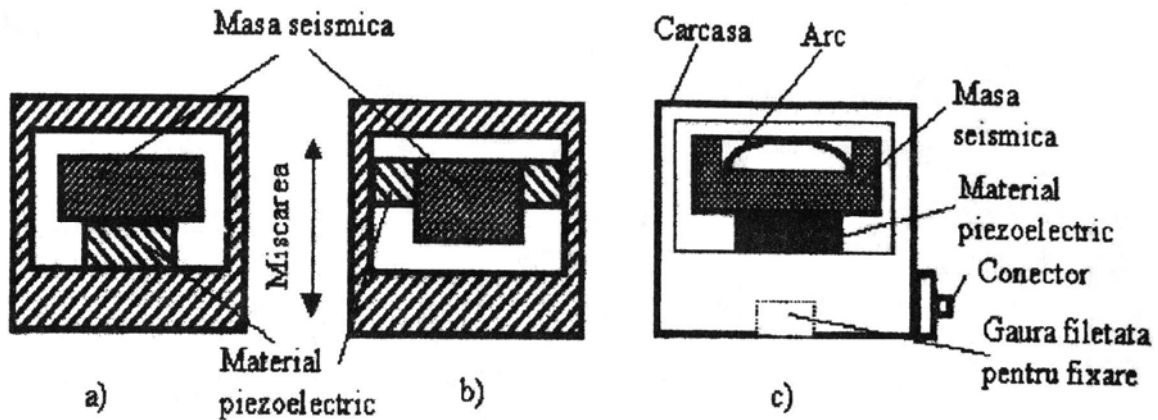


Fig.2 Accelerometru

a) material piezoelectric supus la compresiune; b) material piezoelectric supus la forfecare; c) elementele componente

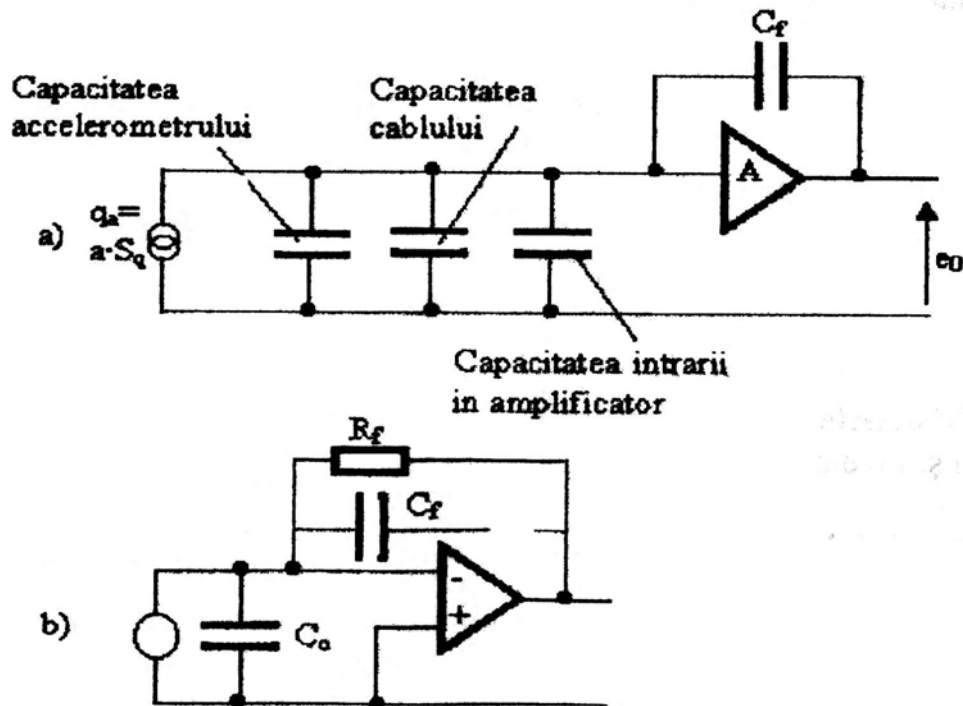


Fig.3 Amplificator de sarcină

a) pentru accelerometru; b) amplificator real

În fiecare din cele două configurații există o masă seismică care, sub acțiunea accelerației, exercită o forță asupra materialului piezoelectric ceea ce conduce la apariția sarcinilor electrice.

Această încărcare este măsurată cu ajutorul unui amplificator prezentat în figura 3. În cazul unui amplificator real (fig. 3b) se introduce un rezistor suplimentar R_f pentru a preveni supraincercarea condensatorului C_f din bucla de feed-back.

Ca o regulă generală, masa accelerometrului nu poate fi mai mare de 1/10 din masa structurii.

8.3.5 Senzorii optici

Lucrează în gama de unde de la infraroșu până la ultraviolet din spectrul electromagnetic. În cele mai multe cazuri nu există contact între senzor și obiectul măsurat, oferindu-se astfel posibilitatea de a lucra în medii agresive.

Principalele elemente componente ale unui sistem de măsură optică sunt arătate în figura 4.

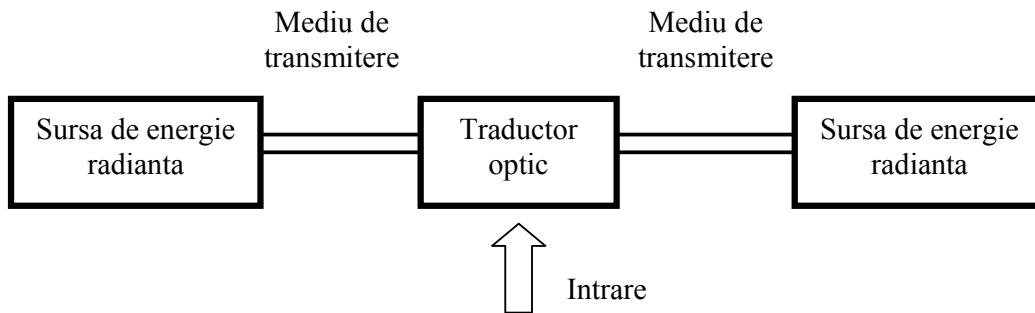


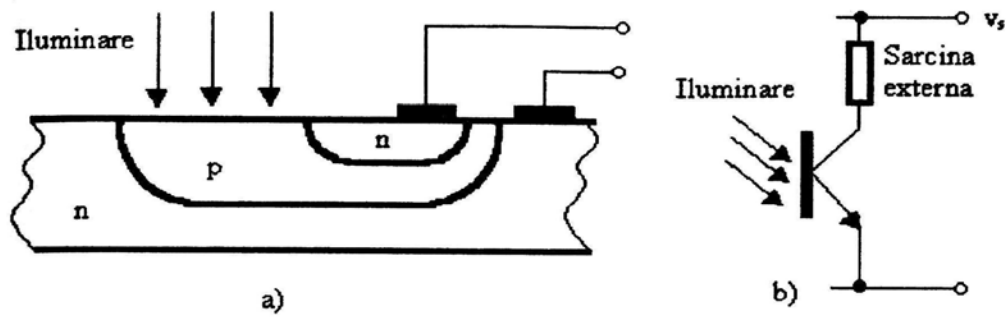
Fig. 4 Schema de bază a unui sistem optic de măsură

♦ **Senzorii fotoelectrici** sunt de mai multe tipuri: fotodetectori termici; fotovoltaici, fotodiode, fototranzistori, etc.

Detectorii fotovoltaici au în structura lor o joncțiune $p-n$; în momentul în care joncțiunea este iluminată se formează o diferență de potențial, intensitatea curentului fiind proporțională cu intensitatea luminii.

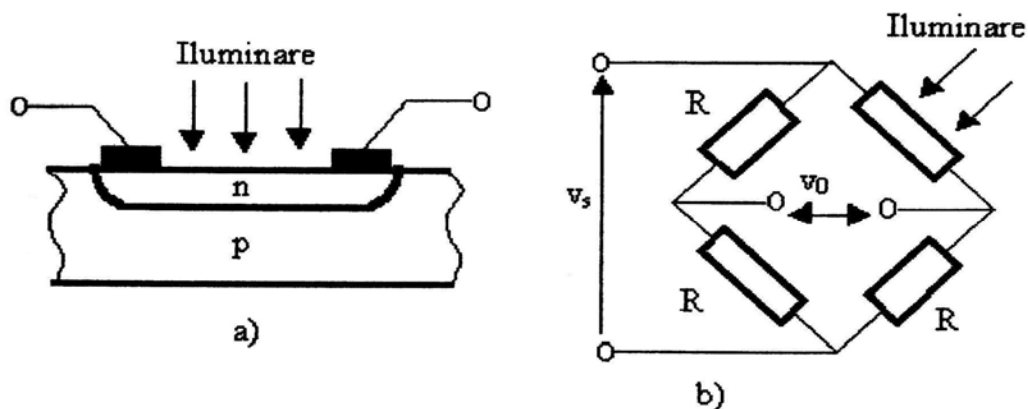
Fototranzistorul prezentat în figura 5 poate fi considerat ca fiind o fotodiodă dispusă în paralel cu joncțiunea bază-colector a unui tranzistor bipolar. Fata de fotodiodă, fototranzistorul contribuie la creșterea sensibilității prin introducerea unei procesări interne a semnalului.

Un fotoconductor din silicon este prezentat schematic în figura 6. Structura de bază este de tip p la care se inserează material de tip n . Când stratul n este iluminat se produce o modificare a conductivității, aceasta fiind detectată cu ajutorul circuitului punte.



a) structură; b) aplicație

Fig.5 Fototranzistor



a) structură b) circuitul punte

Fig.6 Fotoconductor

9. CONDITIONAREA SEMNALELOR

Această operație este necesară pentru a aduce semnalele provenite de la traductoare la o formă acceptabilă pentru prelucrarea lor ulterioară. În cele mai multe cazuri, semnalele transmise de traductoare nu îndeplinesc toate condițiile pentru transferul lor direct către sistemele de procesare. Acest neajuns a apărut datorită nestandardizării în totalitate a componentelor care intră într-un anumit lanț de măsură, poate fi eliminat prin conceperea unei interfățări speciale, numite condiționare.

Circuitele prin care se realizează condiționarea pot realiza amplificarea, atenuarea, sumarea, integrarea și filtrarea.

9.1 Filtre

Aceste filtre asigură o anumită porțiune nealterată din spectrul de frecvențe, în timp ce în afara acestei regiuni spectrul este atenuat cu o valoare care se poate calcula cu formula:

$$\text{atenuarea} = -20 \log_{10} \delta_s$$

unde δ_s reprezintă valoarea amplitudinii corespunzătoare frecvenței de tăiere.

Analiza semnalelor se poate face: în domeniul frecvență; în domeniul timp; în domeniul amplitudine; cu metode speciale de analiză.

Cel mai important aspect care trebuie avut în vedere la alegerea unui anumit tip de filtru este răspunsul său în frecvență, ceea ce reprezintă modul în care reacționează filtrul respectiv, în regim staționar, la un semnal de intrare sinusoidal.

9.1.2 Analiza în domeniul frecvență

Analiza în frecvență, urmărește descompunerea unui semnal complex în componente armonice, obținând spectrul de frecvență al semnalului.

Analiza în domeniul frecvență se realizează, clasic, prin trecerea semnalului de analizat printr-un sistem care conține următoarele blocuri funcționale (fig. 7):

- preamplificator de intrare;
- filtru de bandă;
- detector;
- înregistrator sau display.

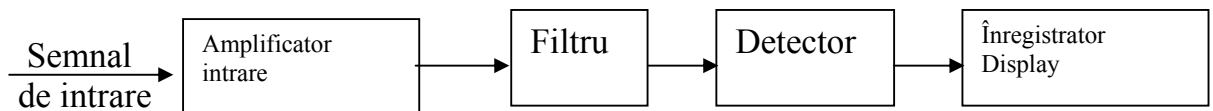


Fig. 7

Aparatele care realizează analiza de frecvență se numesc, uzual, analizoare. Analiza în domeniul frecvenței se poate clasifica astfel:

9.1.2.1 Analiza de frecvență cu filtre

Conform figurii 8 se efectuează cu filtre

- cu lățime de bandă constantă;
- cu lățime de bandă procentual constantă;

♦ **Analiza de frecvență cu bandă de filtrare constantă (3...1000 Hz)** este de preferat în cazul semnalelor staționare periodice, cu un număr mare de componente armonice stabile în spectru sau în cazul studiului transmisiei vibrațiilor, al producerii deteriorărilor prin oboseală sau uzură.

O recomandare generală indică banda de filtrare îngustă, cu lățime constantă, concomitent cu o scară liniară de frecvențe, pentru aprecierea semnalelor.

♦ **Analiza cu banda de lățime procentual-constantă** față de frecvență este indicată în același timp cu scară de frecvență logaritmică, pentru fenomenele la care primele armonici sunt importante și cu relativă instabilitate în frecvență datorită unor ușoare fluctuații de frecvență ale excitației, turatiei, etc.

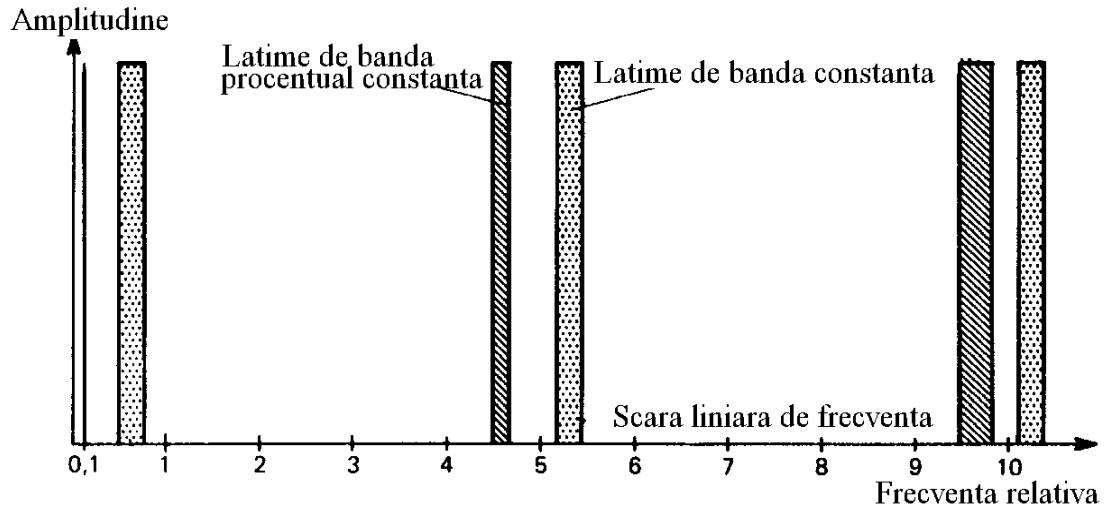


Fig. 8 Analiza spectrului de frecvență

În cazul analizei de frecvență cu filtre cu bandă cu lățime constantă, în fiecare secundă se pot studia $B^2/8 \dots B^2/4$ poziții de filtrare succesive (B este lățimea benzii în Hz). Reducerea timpului de analiză se poate realiza rotind cu viteză amplificată semnalul înregistrat. În felul acesta lățimea filtrului crește proporțional, ceea ce permite o viteză mai mare de baleiere a domeniului de frecvență și deci un timp de analiză mai redus, asigurând în același timp aceeași rezoluție.

9.1.2.2 Analiza de frecvență în timp real (REAL TIME)

Posibilități net superioare de reducere a timpului de analiză îl oferă analiza spectrală în timp real, care se preferă îndeosebi la semnalele nestationare în amplitudine sau frecvență. Această analiză se efectuează:

- cu filtre de tip analog în paralel;
- cu filtre de tip digital;

♦ **Analizările în timp real**, cu compresie de timp și filtrare digitală, după o conversie analog – digitală, înregistrează semnalul într-o memorie de tip digital. Memoriile se recirculează cu viteză mult mărită, cu o

amplificare deci a frecvențelor în scopul analizei digitale (1, 1/3, 1/12 octava).

Amplificarea frecvențelor, implicit posibilitatea de mărire a lătimii benzii de filtrare în acest mod, are ca efect o importantă reducere a timpului necesar analizei.

◆ Același efect îl are și **filtrarea prin prelucrarea digitală a datelor** din memorie sau dintr-o înregistrare continuă. În acest caz este de remarcat că prelucrarea semnalului se poate realiza în mod continuu, prin înregistrarea continuă de semnale noi, odată cu îndepărtarea celor vechi. Filtrarea digitală este indicată pentru filtrarea cu bandă de lățime procentual constantă și scară logaritmică în frecvență.

Tehnica de prelucrare a datelor, prin transformarea rapidă FOURIER (FFT – Fast FOURIER Transform), introdusă după 1965, a condus la dispozitive în care analiza unui fragment de semnal se realizează digital, concomitent, pentru toate componentele, desigur cu eficiență sporită în timp și în precizia datelor obținute, cu recomandare pentru bandă de filtrare constantă și scară liniară.

Este de remarcat de asemenea că la analizoarele de tip digital există posibilități de prelucrare la intervale și durate date de timp a unui număr prestabilit, în funcție de precizia dorită, de fragmente de semnal care sunt mediate și ulterior analizate sau prelucrate pentru determinarea spectrului, a funcțiilor de corelație etc.

Prelucrarea datelor în acest mod permite și efectuarea analizelor mai dificile în domeniul de amplitudine sau de timp, analize statistice etc. În efectuarea analizei într-o modalitate sau alta intervin o multitudine de parametri specifici care depind fie de caracteristicile generale ale semnalului, fie de aparatura de analiză sau înregistrare utilizată.

Pentru realizarea analizei de frecvență trebuie îndeplinite următoarele condiții generale:

- ◆ domeniul de frecvență analizat trebuie să acopere domeniul de frecvență al fenomenului studiat;
- ◆ puterea de rezoluție a filtrării trebuie să fie cât mai ridicată;
- ◆ timpul necesar analizei trebuie să fie cât mai redus;

Alegerea modalităților de analiză se realizează în funcție de caracteristicile semnalului studiat și de performanțele aparaturii.

CURS 9

9.1.3 Analizoare analogice

Filtrul de banda are rolul de a separa componentele spectrale. Caracteristicile importante ale unui filtru de banda sunt: frecvența centrală f_0 , latimea de bandă B și selectivitatea (fig. 1).

Latimea de bandă furnizează indicații privind capacitatea filtrului de a separa componente spectrale de frecvențe apropiate.

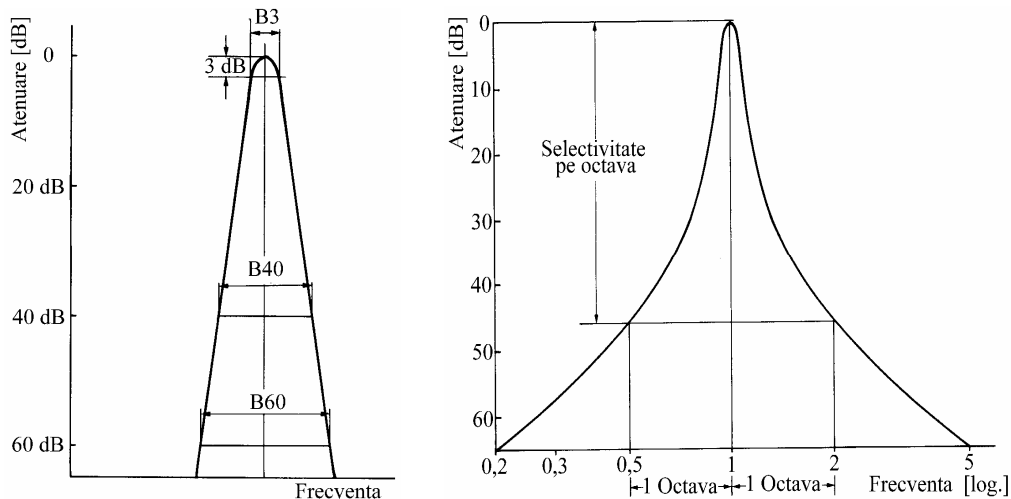


Fig. 1 Caracteristicile unui filtru

Selectivitatea indică capacitatea filtrului de a separa componente de nivele diferite. Pentru aprecierea selectivității filtrelor cu latime de bandă procentual constantă, care au o caracteristică simetrică pe scara logaritmică a frecvențelor, se utilizează adesea parametrul selectivitate la o octavă, care ne dă atenuarea caracteristicii filtrului pe o octavă.

De la aplicarea la intrarea unui filtru a unui semnal sinusoidal, având frecvența în interiorul benzii de trecere a filtrului, și până la realizarea semnalului la ieșire, la aceeași valoare finală a amplitudinii, este necesar un timp T_R , numit timp de răspuns (fig. 2).

◆ Între latimea de bandă a filtrului B și timpul de răspuns T_R , se poate scrie relația:

$B \cdot T_R \approx 1$ utilizabilă direct pentru filtre cu latime de bandă constantă.

◆ Pentru filtrele cu latime de bandă procentual constantă, este folosită relația:

$b \cdot n_R \approx 1$, în care $b = B/f_0$ este latimea procentuală de bandă, iar $n_R = f_0 \cdot T_R$ este numărul de perioade ale frecvenței centrale

f_0 în timpul T_R . Rezultă că timpul de măsurare cu un filtru de bandă de lățime B trebuie să fie minimum $1/B$.

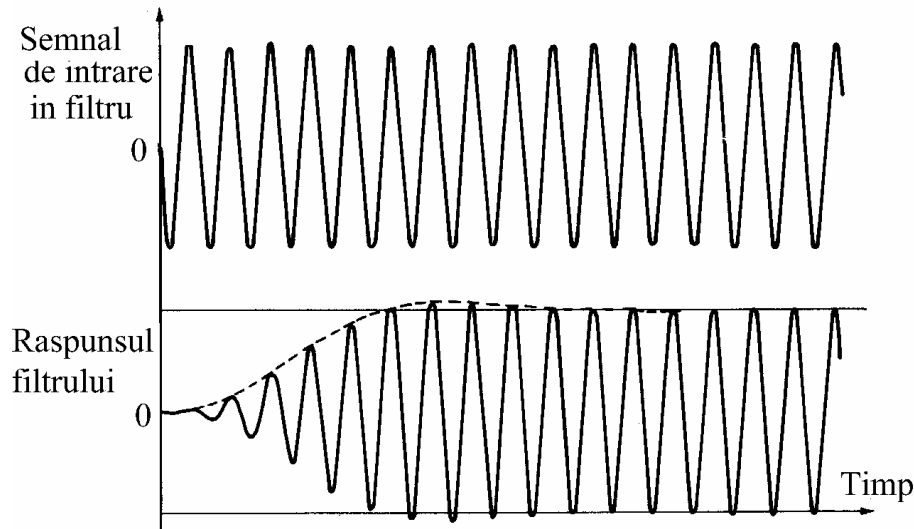


Fig.2 Raspunsul filtrului

Detectorul are rolul de a evalua puterea medie continuă în semnalul alternativ furnizat la ieșirea filtrului.

În acest scop, detectorul conține un prim etaj de ridicare la pătrat a semnalului, pentru a obține o mărime proporțională cu energia instantanee, urmat de un etaj de mediere pentru a furniza valoarea medie pătratică pe o anumită perioadă T_A .

Inregistratorul. În cazul înregistrării în curent continuu, semnalul este primit de la un detector analogic și se poate stabili întotdeauna o viteză de scriere suficient de mare care să permită înregistrarea la viteze permise de detector.

În cazul înregistrării în curent alternativ, semnalul este primit direct de la filtru, procesele de ridicare la pătrat și de mediere realizându-se în înregistrator.

Analizările analogice pot fi:

- ◆ cu filtre discrete;
- ◆ cu filtru acordabil;
- ◆ paralele în timp real;
- ◆ cu compresia timpului.

9.1.3.1 Analizările cu filtre discrete

Semnalul de la traductor este condiționat de un preamplificator și aplicat unui grup de N filtre, ale căror benzi de frecvență sunt alese astfel încât să acopere tot domeniul de frecvență dorit.

Detectorul este conectat succesiv la ieșirea fiecărui filtru, pentru măsurarea puterii semnalului pe fiecare bandă de frecvență (fig. 3).

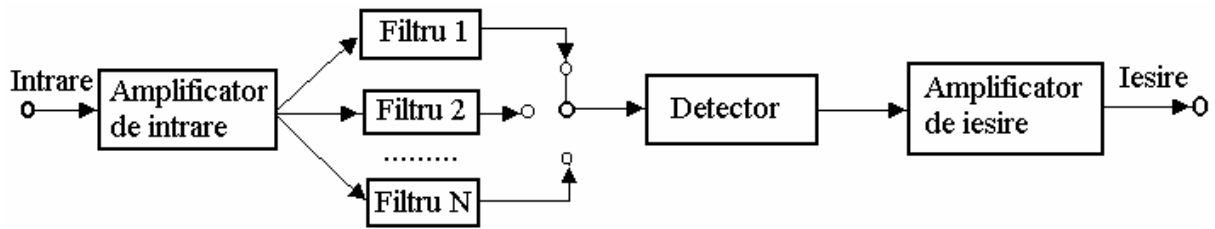


Fig. 3 Analizor cu filtru discret

Viteza de baleiere a filtrelor poate fi controlată și sincronizată cu viteza unui înregistrator de nivel care înregistrează spectrul. Din considerente economice numărul filtrelor într-un astfel de analizor este limitat.

9.1.3.2 Analizorul cu filtru acordabil

Acest analizor are un singur filtru cu frecvență centrală reglabilă, care poate fi baleiat, pe întreg domeniul de frecvențe utilizat (fig. 4). Filtrul acordabil poate fi realizat atât cu lățime de bandă constantă, cât și cu lățime de bandă procentual constantă.

Intrucât timpul de răspuns al unui filtru este cu atât mai mare cu cât lățimea de bandă este mai mică, viteza de baleiere trebuie corelată cu lățimea de bandă.

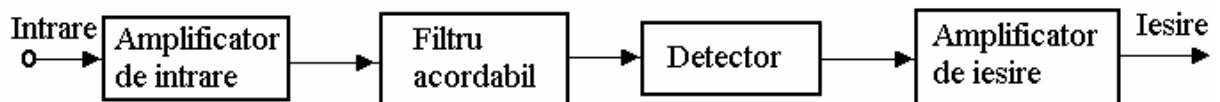


Fig. 4 Analizor cu filtru acordabil

Analizoarele cu filtre discrete sau cele cu filtru acordabil, pot analiza numai semnale staționare. În acest scop semnalul trebuie înregistrat pe o buclă de bandă magnetică sau într-o memorie numerică.

9.1.3.3 Analizorul paralel în timp real

Acesta obține întregul spectru de frecvențe în paralel, de la același semnal de intrare (fig. 5).

Analizoarele paralele, în timp real, permit obținerea mult mai rapidă a spectrului, fiind însă mai scumpe și cu rezoluție limitată.

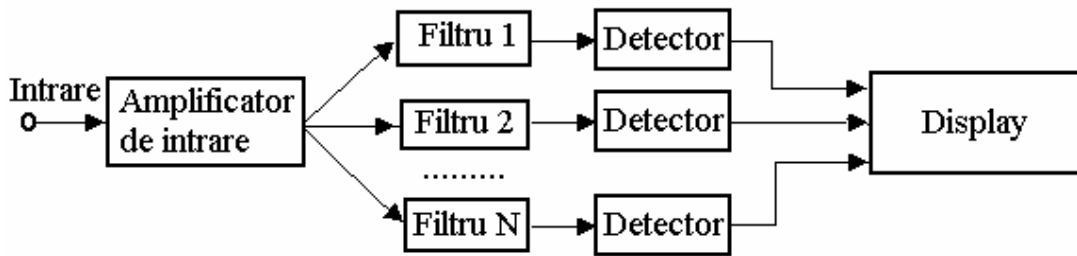


Fig. 5 Analizor paralel intimp real

9.1.3.4 Analizorul cu compresia timpului

Timul necesar realizării analizei în frecvență este limitat inferior de timpul de răspuns al filtrului, care este legat de lățimea de bandă. Mărirea vitezei de analiză se poate realiza prin creșterea lățimii de bandă B , ceea ce ar implica o micșorare a rezoluției analizorului. Pentru a menține aceeași rezoluție se realizează o înregistrare a semnalului la o viteză, după care, în scopul analizei, se redă semnalul cu o viteză de M ori mai mare, ceea ce face ca toate frecvențele să fie marite de M ori (fig.6).

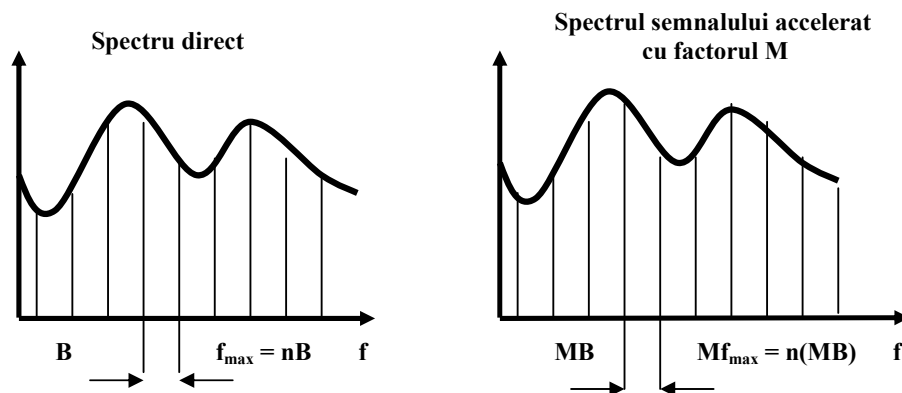


Fig.6 Analizor cu compresia timpului

În felul acesta, se obține aceeași rezoluție, cu un filtru cu lățimea de bandă de M ori mai mare, și deci un timp de analiză de M ori mai mic. O modalitate simplă de realizare a compresiei timpului este de a înregistra semnalul pe buclă de bandă magnetică (utilizând un magnetofon cu modulație în frecvență) la o viteză mai mică, iar redarea să fie la o viteză mai mare, obținându-se un factor maxim de accelerare $M = 10$. Utilizarea unei memorii numerice pentru înregistrarea semnalului permite însă, cu multă ușurință, creșterea vitezei de mii de ori.

Aceste analizoare nu pot realiza analiză în timp real.

9.1.4. Analizoare numerice

Un filtru numeric este un bloc de calcul numeric care primește la intrare o secvență de valori numerice (formată obisnuit din esantioane din semnalul obținut de la traductor în mod continuu), execută o serie de operații numerice asupra fiecărei valori de intrare și furnizează, la ieșire, câte un esantion pentru fiecare esantion primit la intrare.

In figura 7 este prezentata diagrama principiala a unui filtru numeric cu doi poli (Bruel&Kjaer) in realizarea unui analizor numeric.

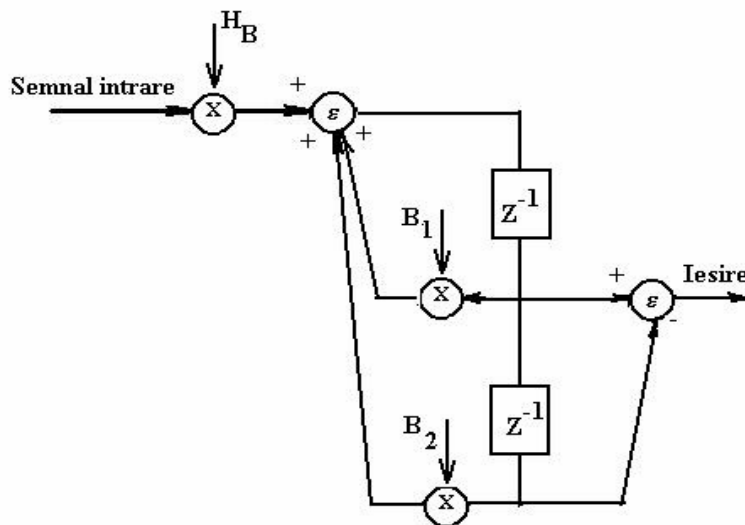


Fig. 7 Schema de principiu a unui filtru numeric

Exista doua posibilitati distincte de modificare a caracteristicii unui filtru numeric:

- a. pentru o frecvență de esantionare, caracteristicile filtrului numeric pot fi schimbate prin modificarea coeficienților utilizați în calcule (H_B , B_1 , B_2 pentru filtrul din figura 7), posibilitate utilizată pentru obținerea în cadrul fiecărei octave a caracteristicilor pe treime de octava.
- b. Pentru coeficienți impusi (H_B , B_1 , B_2), caracteristica filtrului este definită numai în raport cu frecvența de esantionare. Astfel, înjumătățirea frecvenței de esantionare va înjumătăți lățimea de bandă, frecvența centrală și frecvența de tăiere, menținând constantă caracteristica procentuală pe o octavă inferioară.

9.1.5 Analiza in domeniul timp

Analiza in domeniul frecventa, desi foarte eficienta, nu reprezinta un instrument universal capabil sa prelucreze orice semnal. In cazul unor excitatii prin soc, sau avand caracter impulsiv, raspunsul sistemului va fi

format din componente corespunzătoare frecvențelor proprii ale structurii. În astfel de situații defectele vor modifica mai puțin spectrul de frecvențe, dar mult mai probabil vor determina modificări sesizabile cât privește evoluția semnalului în domeniul timp.

Cea mai simplă modalitate de analiză în domeniul timp este medierea în timp și exprimarea corespunzătoare a rezultatelor fie ca mărimi globale fie în spectre de frecvență. Înregistrarea evoluției în timp a semnalului, implicit reținerea valorii maxime, constituie o altă metodă de analiză, iar compresia de timp oferă posibilități net sporite, în special la înregistrarea în memorie de tip digital.

Dispozitivele recente efectuează, în timp real, concomitent analiză în domeniul timp și frecvență. În vederea reducerii sau chiar eliminării componentelor nedorite, se poate realiza o operație de mediere în domeniul timp, înainte efectuării analizei în domeniul frecvență.

Analiza semnalului în domeniul timp se constituie ca o modalitate principală de studiu pentru semnale nestationare tranzitorii și chiar stationare aleatorii în ce privește punerea în evidență a unor frecvențe dominante.

Introducerea unor tehnologii superioare pentru prelucrarea datelor pe baza algoritmului FFT a permis perfecționarea metodelor de analiză existente, precum și introducerea unor metode noi, dintre care cele mai utilizate sunt: analiza prin funcția de autocorelație și analiza CEPSTRUM.

9.1.5.1 Analiza prin funcția de autocorelație

Analiza prin funcția de autocorelație în domeniul timp indică măsura în care un semnal $x(t)$ se corelează cu același semnal deplasat în timp, fiind definită prin relația :

$$\Psi(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot x(t + \tau) dt$$

Practic, funcția de autocorelație $\Psi(\tau)$ apreciază în ce măsură un semnal seamănă cu el însuși după o deplasare a timpului. Funcția de autocorelație și densitatea spectrală de putere formează o pereche de transformate Fourier. În general, funcția de autocorelație este utilizată pentru a depista existența unui semnal periodic ascuns de zgomot.

Reprezentarea grafică a funcției de autocorelație, în funcție de deplasarea τ , formează corelograma procesului, a cărei formă furnizează unele indicații asupra conținutului în frecvențe.

Corelograma admite pentru $\tau = 0$ un maxim, cu atât mai pronunțat, cu cât conținutul în frecvențe înalte este mai bogat.

- la limită, pentru un proces aleatoriu staționar ideal (zgomot alb), corelograma are aspectul din (fig. 8.a);
- proces aleatoriu de bandă largă (fig. 8b);
- proces aleatoriu de bandă îngustă (fig. 8c).

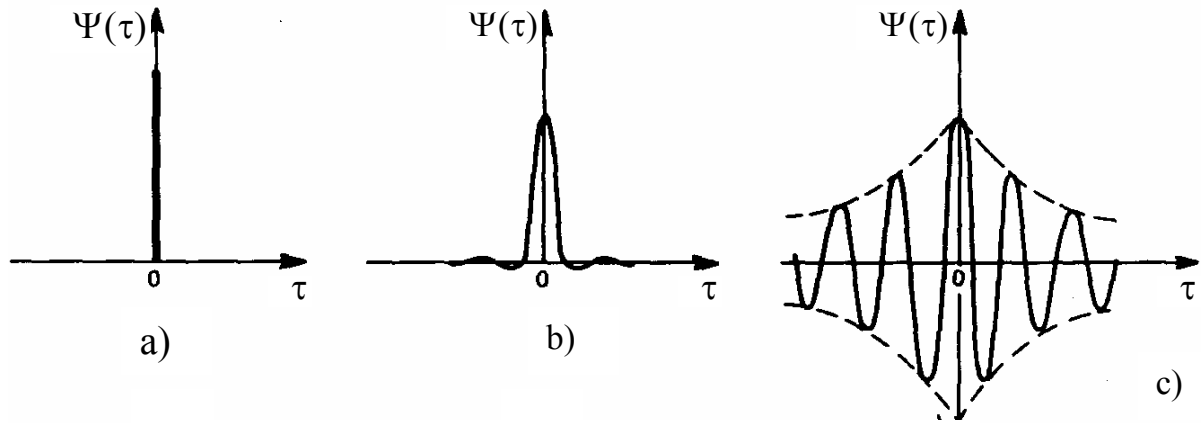


Fig.8 Analiza prin funcția de autocorelație

Din punct de vedere practic, aparatura care permite obținerea funcției de autocorelație, folosește tehnica FFT pentru transferul datelor din domeniul timp în domeniul frecvență și apoi din nou în domeniul timp. Rezultatele prezintă interes pentru studiul periodicității în semnale.

9.1.6 Clasificarea filtrelor

Filtrele utilizate în diverse aplicații trebuie să asigure o tranziție rapidă între banda de trecere și banda de blocare, fără să atenueze sau să modifice faza semnalului în banda de trecere și să realizeze o atenuare de 100% în banda de blocare.

Filtrele pasive se compun dintr-o rețea de condensatori sau bobine și rezistențe, în timp ce filtrele active includ amplificatoare operaționale. În aplicațiile practice sunt preferate filtrele active, deoarece caracteristicile lor sunt mult mai ușor de controlat și pot conține bobine cu caracteristici neliniare.

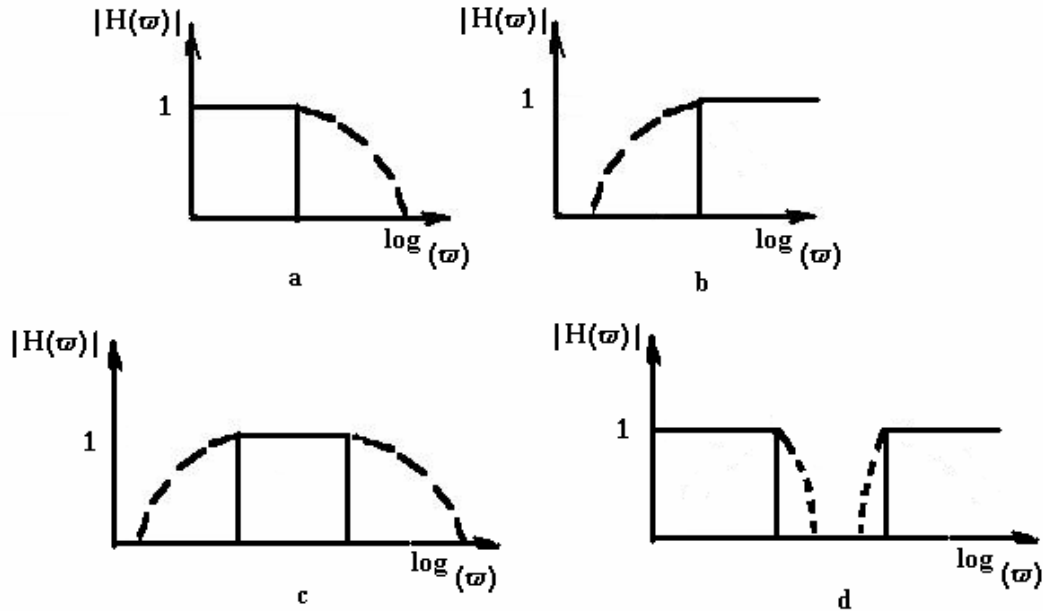
Funcția de transfer este definită prin:

$$H(\omega) = \frac{V_e}{V_i}$$

unde V_e este tensiunea la ieșire; V_i este tensiunea la intrare; $H(\omega)$ este o funcție complexă în domeniul frecvență.

Din punct de vedere al răspunsului în frecvență, filtrele se împart în: trece-jos; trece-sus; trece-banda; oprește-banda.

Aceasta clasificare este ilustrata in figura 9 unde, cu linie continua, este reprezentat raspunsul ideal, iar cu linie punctata este raspunsul real. In fiecare caz, filtrul ideal nu introduce modificari de faza in timp ce filtrele reale introduc aceste schimbari.



a. trece-jos; b. trece-sus; c. trece-banda; d. opreste-banda

Fig. 9 Raspunsul in frecventa pentru diferite tipuri de filtre

Pe de alta parte, filtrele reale se clasifica si in functie de marimea diferentei dintre raspunsul lor in frecventa si faza, fata de aceleasi raspunsuri ideale. Din acest punct de vedere exista trei tipuri de filtre mai des folosite: Butterworth; Bessel; Cebisev.

CURS 10

9.2. Amplificatoare

În cele mai multe cazuri, echipamentele pentru conditionarea semnalului trebuie să cuprindă și amplificatoare. Tipurile preferate sunt reprezentate de *"amplificatoarele de instrumentație"*. Sub această denumire sunt cunoscute circuitele operationale de amplificare care acceptă la intrare un semnal diferențial, având o singură ieșire. Figura 1a prezintă un amplificator diferențial simplu, având $R_1 = R_2'$, $R_2 = R_2'$, factorul de diferențiere R_2/R_1 , impedanța intrării diferențiale fiind $2R_1$.

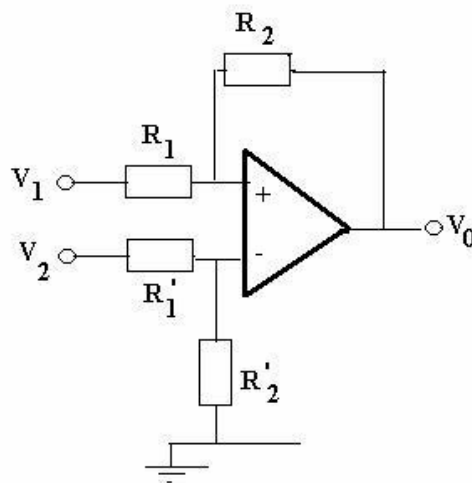


Fig.1 Amplificator simplu

Semnalul de la ieșirea unui senzor este sub formă unei tensiuni sau sarcini electrice. În general, rezistența internă a senzorului este foarte mare (aprox. $10^8 \Omega$), motiv pentru care trebuie să existe un amplificator cu impedanță mare la intrare. Orice tensiune de polarizare de la intrarea amplificatorului va încărca condensatorul senzorului cauzând, aproape sigur, defectarea acestuia. Este necesar să se prevadă butoane de resetare sau se va introduce o rezistență de ordinul $10^8 \Omega$ prin care să treacă acest curent.

Amplificatorul de tensiune prezintă dezavantajul dependenței sensibilității globale de capacitățile senzorului, cablului de conectare și a intrării amplificatorului. Dacă un senzor este reconectat cu un alt cablu trebuie reluată întreaga operație de calibrare.

Amplificatorul de sarcină este un circuit operational având tensiunea de la ieșire proporțională cu sarcina. În fig. 2 este prezentat un circuit simplu pentru realizarea unui amplificator de sarcină. Senzorul este conectat direct la intrare. În general, acest punct reprezintă o

impamantare virtuala, astfel incat intreaga sarcina generata de senzor este transferata condensatorului C_f .

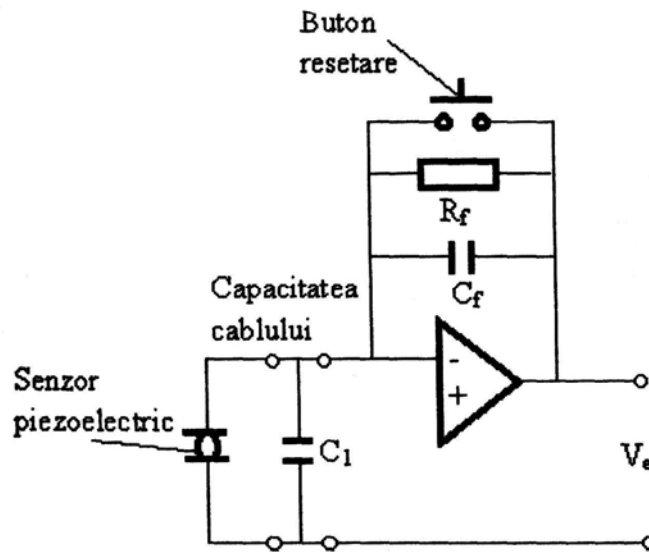


Fig.2 Amplificator de sarcina

9.3. Interconectarea echipamentelor

Tensiunea electrica a unui sistem se masoara in raport cu masa (impamantarea) sa. Capacitatea si rezistenta electrica dintre punctele cu diferenta de potential pot genera curenti nedoriti. Rezistenta firelor pentru impamantare este mica, dar nu egala cu zero, astfel incat acesti curenti determina caderi de potential in lungul lor. Campurile magnetice din jurul transformatoarelor pot, de asemenea, induce curenti in legatura cu masa. Exista si caderi de potential in lungul conductoarelor de alimentare cu energie electrica, motiv pentru care este indicata legarea tuturor circuitelor la un singur punct de impamantare care sa includa si sursa. Trebuie avut grija sa se realizeze impamantarea separata a circuitelor analogice de cele numerice.

Adesea apare si un camp electromagnetic parazit dispus in serie cu marimea electrica ce trebuie masurata. Acest camp este cunoscut sub denumirea de *modul normal de interferenta*. Curentul continuu este generat prin efect termoelectric (Seebeck) din jonctiunile metalelor din circuit, suprapunandu-se peste curentii normali. De asemenea, poate fi generat si curent alternativ parazit prin inductie intre polii sursei de alimentare. Efectul acestor curenti poate fi diminuat prin utilizarea unui convertor analog-numeric integrat.

De obicei, senzorii genereaza semnale de ordinul milivoltilor. Daca exista un semnal differential se poate defini *tensiunea de mod comun*, ca

fiind media tensiunilor de la cele două intrări. În semnal există așa-numita *componenta joasă* (LOW) având aproximativ potențialul împământării. Cele mai multe instrumente de măsură digitală sunt concepute cu două intrări marcate HI (High) și LO (Low). Componenta semnalului de la intrarea cu potențialul apropiat de împământare trebuie conectat la intrarea LO. În acest fel, tensiunea de mod comun este definită ca fiind diferența de potențial dintre intrarea LO și împământarea aparatului respectiv.

Pentru eliminarea erorilor de citire în cazul circuitelor digitale se prezintă în figura 3 o modalitate de legare la pământ. Toate firele de împământare sunt legate într-un singur punct aparținând sursei principale de tensiune.

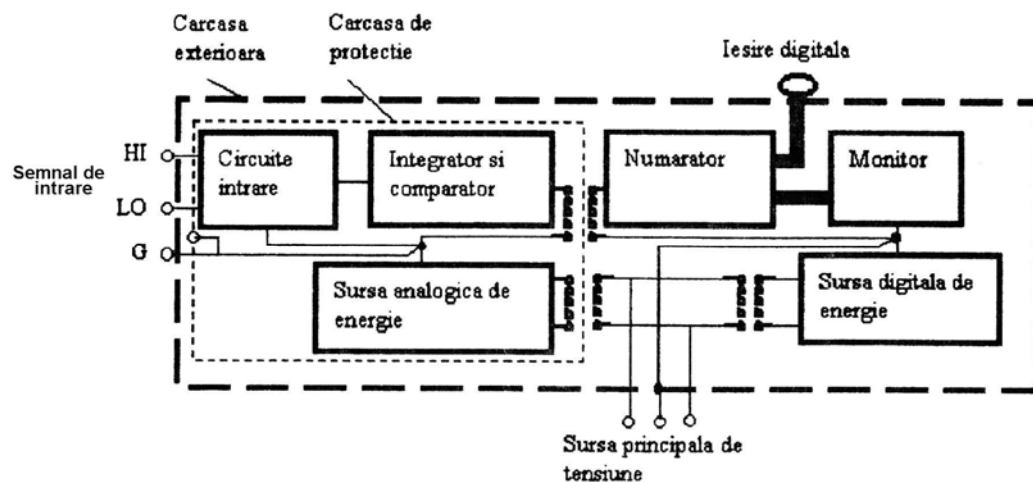


Fig. 3 Conectarea la pământ a unui instrument digital

9.4 Integratoare și diferentiatoare

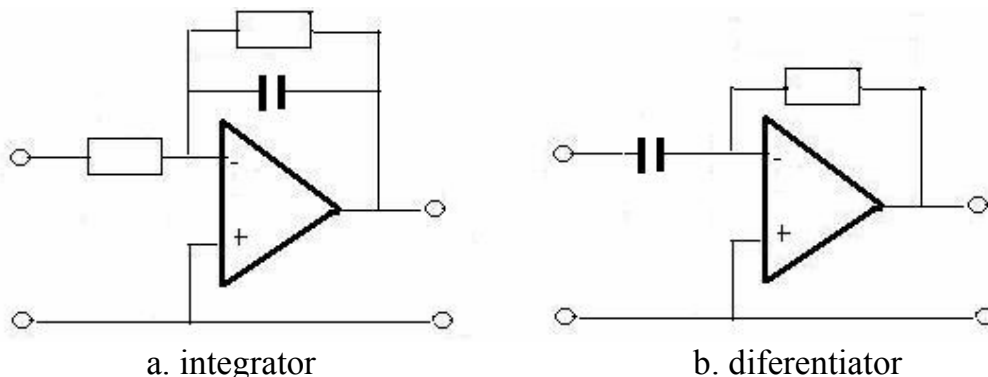


Fig.4 Circuite tipice pentru integrator și diferentiator

Integratorul este reprezentat printr-un filtru trece-jos unipolar ce lucrează peste frecvența de tăiere. Diferentiatorul este un filtru trece-sus

unipolar lucrând sub frecvența de tăiere. Circuitele tipice sunt prezentate în figura 4.

Integratorul conține o rezistență de valoare foarte mare cuplată în paralel cu condensatorul. Constanta de timp a acestei rezistențe precum și a condensatorului trebuie să aibă valori comparabile cu perioada semnalului ce urmează să fie integrat. Uneori este prevăzut și un buton de resetare pentru a descărca condensatorul.

Diferențiatorul nu este influențat de zgomote parazite, deoarece semnalul de frecvență este amplificat. În aceste condiții este necesar să se restricționeze lățimea de bandă a diferențiatorului și mutarea frecvenței de tăiere în spatele nivelului de lucru.

9.5 Detectoare de fază

Există senzori care generează un semnal modulată. Înainte de a fi introdus în convertorul analog-numeric, semnalul trebuie demodulat pentru a putea îndepărta purtătoarea, rămânând numai semnalul cu informații utile.

Detectorul sensibil la fază *PSD (Phase sensitive Detector)* compară semnalul preluat cu purtătoarea și produce, la ieșire, o deplasare pozitivă pentru o direcție și negativă pentru direcția opusă. Avantajul constă în faptul că, la ieșire, nu se produce nimic pentru alte frecvențe decât cea a purtătoarei.

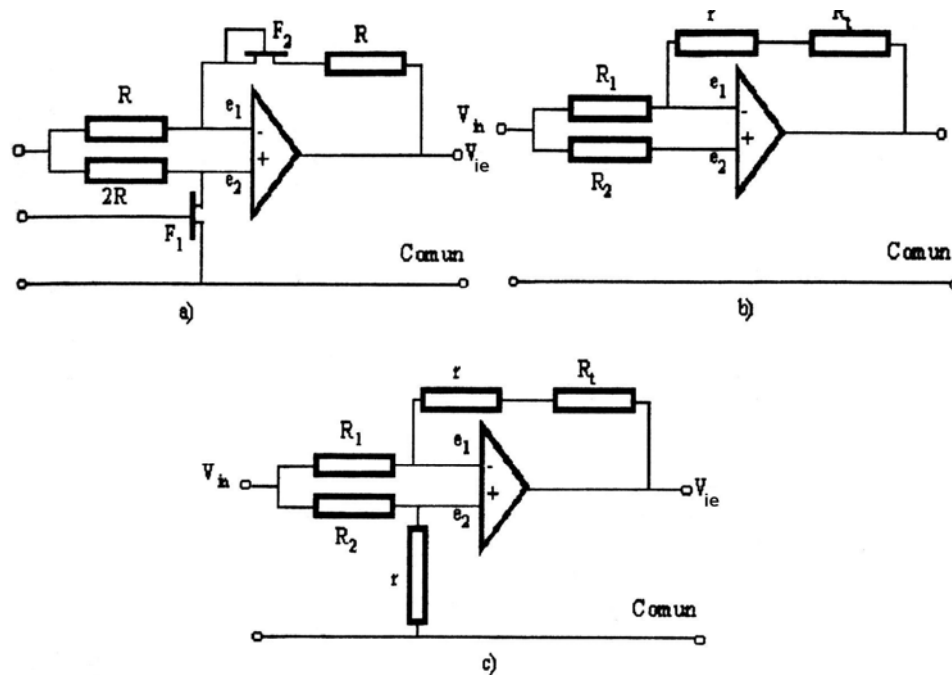


Fig.5 Detector sensibil la fază: a) circuitul de bază; b) circuitul echivalent când F_1 este OFF; c) circuitul echivalent când F_1 este ON

PSD conține două intrări, una pentru semnalul real și cealaltă pentru semnalul de referință, după care urmează un filtru trece-jos. Astfel ieșirea este, pe de o parte, proporțională cu semnalul și, pe de altă parte, este în funcție de unghiul de fază dintre semnal și referință. Amplitudinea referinței nu afectează ieșirea, deoarece, mai întâi, este convertită într-un semnal dreptunghiular cu amplitudinea constantă, după care este folosită pentru a controla direcția semnalului.

În figura 5 se prezintă diferite circuite pentru realizarea *PSD*.

În figura 5a, tranzistorul cu efect de câmp F_1 este comutat pe ON sau OFF de către semnalul de referință. Când este pe OFF ambele intrări ale amplificatorului sunt active, iar atenuarea este +1 (fig. 5b). Dacă este ON intrările în amplificator sunt conectate la împământare, iar atenuarea este -1 (fig. 5c).

Bucă pentru blocarea fazei este un circuit amplasat la ieșirea *PSD* cu rolul de a comanda frecvența unui oscilator pentru controlul tensiunii. Oscilatorul furnizează tensiunea de referință pentru *PSD* direct sau după divizorul de frecvență, așa cum se observă din fig. 6.

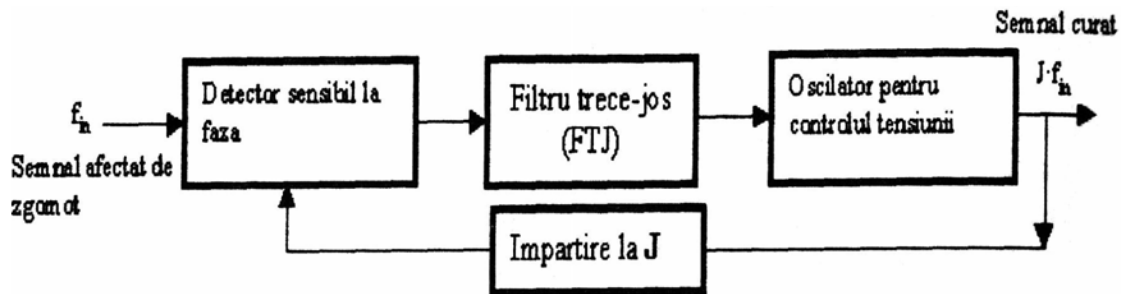


Fig. 6 Bucă pentru blocarea fazei

Dintre aplicațiile acestui circuit se amintesc:

- extragerea semnalelor foarte slabe din semnale impurificate cu zgomote parazite;
- generarea unui semnal sinusoidal, dreptunghiular sau triunghiular având aceeași frecvență cu zgomotul;
- filtrarea semnalelor cu frecvență variabilă;
- demodularea unui semnal modulat;
- amplasarea divizorului de frecvență pe calea de feed-back generează o frecvență multiplă a frecvenței semnalului ($J \cdot f_{in}$)

@. SISTEME DE MĂSURARE COMPUTERIZATE

Avantajele oferite în multiple domenii de modalitatea digitală de transmitere a semnalelor purtătoare de informație au condus la utilizarea acesteia și în cadrul sistemelor de măsurare. Creșterea performanțelor calculatoarelor și extinderea utilizării acestora au făcut ca sistemele de măsurare ce includ acest tip de componente să formeze nu numai o categorie distinctă ci să fie utilizate cu preponderență în comparație cu sistemele de măsurare exclusiv analogice.

Cunoscute sub diverse alte denumiri (sisteme de măsurare digitale, sisteme computerizate de achiziție de date, sisteme de măsurare pe bază de microprocesor etc), 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.

Prin însăși natura fizică a multor fenomene măsurate se impune ca traductoarele utilizate să genereze semnale analogice. Primele prelucrări (condiționări) ale acestor semnale (amplificări, liniarizări, anumite tipuri de filtrări) rămân încă apanajul unor circuite electronice lucrând în domeniul analogic. Din acest punct, începând cu o serie de tipuri de condiționare a semnalului (unele filtrări și liniarizări, multiplexări), continuând cu transmiterea acestuia, prelucrarea informației, stocarea acesteia și până la transmiterea informației către utilizatorul sistemului, toate operațiile dintr-un sistem de măsurare computerizat sunt efectuate de către componente electronice digitale independente sau aflate sub comanda unui calculator.

Prezentul capitol își propune să prezinte o clasificare succintă a celor mai utilizate categorii de sisteme de măsurare computerizate. Vor fi prezentate principalele tipuri de componente ale acestor sisteme, funcțiunile și performanțele acestora, astfel încât să se poată trage o serie de concluzii privind domeniile lor de aplicabilitate. Utilizarea calculatoarelor fiind implicit legată de existența unui software, vor fi descrise unele variante principale de programe utilizate în cadrul sistemelor de măsurare computerizate.

În finalul capitolului vor fi prezentate o serie de aspecte legate de înglobarea sistemelor de măsurare computerizate în aplicații din domeniul inteligenței artificiale și de utilizarea acestora în rețeaua Internet.

@.1. Clasificare

Deoarece o bună parte din problematica sistemelor de măsurare computerizate este reprezentată de către aspectele referitoare la transmiterea și prelucrarea informației conținute în semnale digitale, una dintre cele mai des întâlnite clasificări ale acestor sisteme este efectuată în funcție de protocolul utilizat pentru transmiterea semnalelor digitale.

Astfel, în ordinea în care diversele protocoale au început să fie utilizate, dar și în ordinea crescătoare a complexității acestora, sistemele de măsurare computerizate pot fi clasificate în următoarele categorii principale:

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

Sistemele de măsurare computerizate cu comunicație serială reprezintă una dintre primele categorii de astfel de sisteme. Apărute odată cu ideea utilizării calculatorului în măsurare, ele au fost formate prin dotarea aparatelor de măsură cu convertoare analog – digitale și cu interfețe de comunicație serială prin intermediul cărora informația privind valorile măsurate să poată fi transmisă unui calculator. O schemă care evidențiază principalele componente ale unui sistem de măsurare computerizat cu comunicație serială este prezentată în figura @.1.

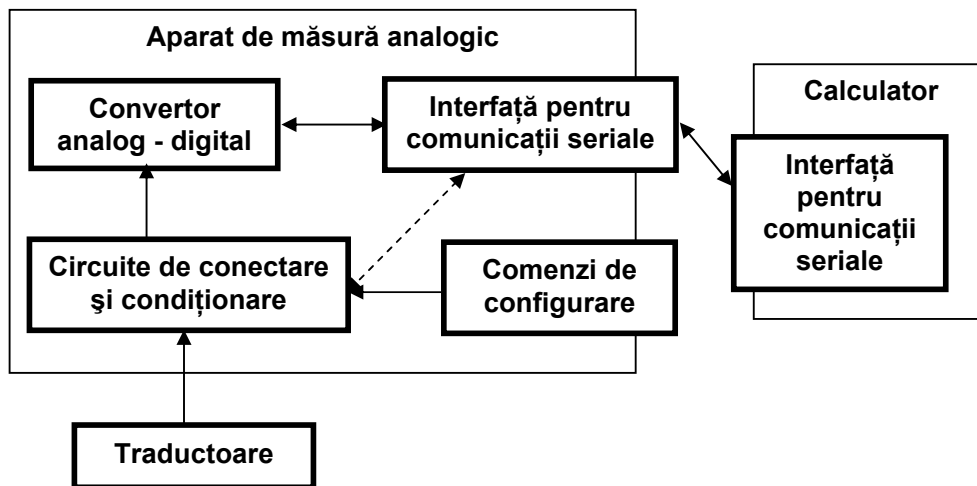


Figura @.1: Structura unui sistem de măsurare computerizat cu comunicație serială

Dezvoltări ulterioare ale aparatelor de măsură analogice au permis ca modificarea unor parametri de configurare a acestora (domeniul de măsurare, factorul de amplificare, indicele canalului activ, tipul de prelucrare a semnalului etc) să poată fi efectuată la primirea unei comenzi generate de către calculator și transmisă aparatului de măsură prin calea de comunicație serială.

Datorită vitezei relativ reduse de transmitere a informației în cazul comunicației seriale, acest tip de sisteme de măsurare computerizate poate fi utilizat fie în cazul în care valorile mărimilor măsurate variază relativ lent, fie în cazul în care interfața de comunicație serială a aparatului de măsură analogic nu transmite către calculator decât o parte din valorile măsurate sau indicatori statistici ai acestor valori.

Posibilitățile de afișare pe monitorul calculatorului a valorilor măsurate, de prelucrare a acestor valori și de stocare în fișiere de date, precum și de modificare automată (comandată prin software) a parametrilor de lucru ai aparatelor de măsură analogice au condus la eliminarea funcțiilor respective din cadrul posibilităților acestor aparate. Componentele indicatoare (cu ac indicator, cu tub catodic sau digitale cu cristale lichide), înregistratoarele și butoanele sau comutatoarele aparatelor de măsură analogice nu își mai justificau prezența datorită dublării funcțiilor respective de către calculator. În plus, modul în care calculatorul poate realiza aceste funcțiuni ale sistemului de măsurare nu necesită în aceeași măsură prezența operatorului uman, fiind de asemenea caracterizat prin viteză, acuratețe și fiabilitate sporite.

Astfel, aparatele de măsură analogice utilizate în sisteme computerizate cu comunicație serială pot fi reduse la circuitele de conectare a traductoarelor, de condiționare a semnalului analogic, de conversie analog – digitală și de realizare a comunicației seriale. Avantajul acestei simplificări constă în eliminarea unor componente electronice sau electro – mecanice cu consum energetic relativ mare, care pot influența negativ procesul de măsurare.

Viteza de transmitere a informației prin intermediul comunicației seriale fiind relativ redusă în comparație cu performanțele globale în continuă creștere ale calculatoarelor, a apărut posibilitatea ca un singur calculator să comunice simultan cu mai multe sisteme de măsurare, aceasta realizându-se prin montarea în calculator a unei interfețe de comunicație serială multicanal cu funcțiuni similare unui multiplexor.

Sistemele de măsurare computerizate cu comunicație paralelă au o structură similară celor în care comunicația se realizează în mod serial, principala diferență constând în protocolul utilizat pentru transmiterea informației. Viteza sporită de transmitere a informației face ca această soluție să fie utilizată pentru conectarea la calculator a unor aparate pentru măsurarea unor mărimi fizice cu variații foarte rapide.

Performanțele deosebite ale aparatelor de măsură utilizate în aceste sisteme fac ca, deși aparatele pot fi monitorizate sau configurate de către calculator prin intermediul interfeței de comunicație paralelă, ele să conțină totuși componente de vizualizare și stocare a semnalului sau componente de configurare de către utilizator. Păstrarea acestor componente face posibilă utilizarea independentă a aparatelor de măsură, în situațiile în care acestea nu sunt conectate la un calculator în cadrul unui sistem de măsurare computerizat.

Sistemele de măsurare computerizate cu plăci de achiziție de date se caracterizează în primul rând prin faptul că operația de conversie a semnalului purtător de informație din formă analogică în formă digitală nu mai este efectuată de către aparatul de măsură analogic ci de către o componentă electronică distinctă (placă de achiziție de date) montată în calculator (figura @.2).

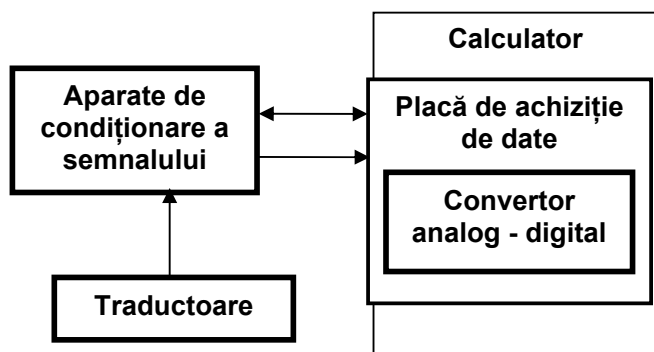


Figura @.2: Structura unui sistem de măsurare computerizat cu placă de achiziție de date

Faptul că plăcile de achiziție de date necesită ca semnalul analogic ce le este furnizat să se încadreze între anumite limite pentru valoarea tensiunii electrice face necesară prezența unor aparate de condiționare a semnalelor inserate în sistemul de măsurare între traductoare și placa de achiziție. Funcțiile pe care le îndeplinesc aceste condiționatoare nu sunt dedicate numai satisfacerii

cerințelor impuse de placa de achiziție ci și a celor rezultate din tipul și caracteristicile constructive ale traductoarelor utilizate.

Majoritatea aparatelor de condiționare a semnalelor utilizate în componența acestor sisteme sunt dedicate utilizării într-o configurație computerizată. Ele nu posedă componente de vizualizare sau stocare a semnalelor, iar majoritatea operațiilor de configurare a acestor aparate sunt comandate de către calculator, prin intermediul plăcii de achiziție de date.

Transferul de informație între aparatele de condiționare a semnalului și placa de achiziție de date are loc într-un mod complex. O primă categorie (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 al acesteia. A doua categorie de semnale purtătoare de informație transmise între componentele respective ale sistemului de măsurare este de natură digitală. Acestea sunt dedicate fie comandării de către placa de achiziție a modului de lucru al condiționatorului, fie transmiterii de către acesta din urmă a unor informații referitoare la starea în care se află.

Prezența convertorului analog - digital în placa de achiziție de date montată în calculator conferă sistemului de măsurare computerizat performanțe și flexibilitate sporite. Viteza de transmitere a informației provenite din măsurare către microprocesorul calculatorului este mult sporită în comparație cu sistemele cu comunicație paralelă. Modul în care placa de achiziție de date 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 aparatul de condiționare la calculator ridică unele probleme în situațiile în care distanța pe care se efectuează transmiterea este mare sau atunci când există posibilitatea ca informația conținută în semnal să fie afectată de perturbații exterioare sistemului de măsurare. Evitarea alterării informației se poate realiza fie prin inserarea în sistem a unor componente suplimentare (de obicei module) fie prin luarea unor măsuri suplimentare de izolare și ecranare a componentelor sistemului de măsurare.

Pe lângă conectarea condiționatoarelor de semnal (în majoritatea cazurilor în variantă multicanal), plăcile de achiziție de date oferă posibilitatea generării de către calculator a unor semnale analogice de comandă și posibilitatea măsurării sau generării de semnale logice sau sub formă de trenuri de impulsuri.

Datorită flexibilității în stabilirea structurii unui sistem de măsurare computerizat cu plăci de achiziție de date, acestea sunt utilizate cu precădere în activități de cercetare experimentală (laboratoare, testări inițiale pentru sisteme de automatizare etc).

Sistemele de măsurare computerizate cu calculatoare de uz industrial utilizează de asemenea plăci de achiziție de date și aparate dedicate de condiționare a semnalelor. Deosebirea în raport cu sistemele din categoria anterioară constă în faptul că aceste componente, împreună cu calculatorul care este de asemenea dedicat utilizării respective, sunt realizate sub formă de module ce se montează într-un suport (șasiu, rack) comun (figura @.3). Suportul comun respectiv asigură atât o parte din comunicațiile digitale dintre componentele sistemului de măsurare cât și etanșarea și izolarea acestora față de eventualii factori de mediu agresivi (umiditate, praf etc).

În situațiile în care traductoarele sunt dispuse la distanță relativ mare de suportul comun al sistemului de măsurare, pot fi utilizate condiționatoare de semnal externe, plasate în apropierea traductoarelor.

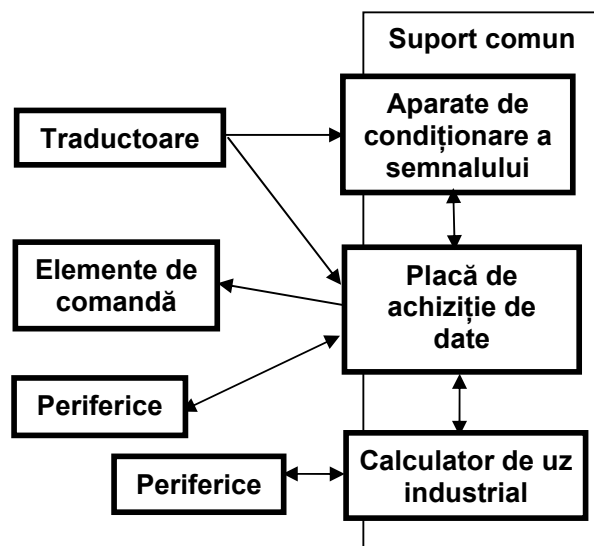


Figura @.3: Structura unui sistem de măsurare computerizat cu calculator de uz industrial

situațiile anterioare, la acesta adăugându-se prețul suportului comun și al accesoriilor acestora. Sistemele de măsurare computerizate din această categorie sunt utilizate în exclusivitate în aplicații industriale de control, comandă și monitorizare a unor procese cu număr mare de puncte de măsurare și mărimi comandate.

@.4. Aparare de condiționare a semnalelor

@.4.1. Funcțiunile condiționatoarelor de semnal

Condiționatoarele de semnal, inserate într-un sistem de măsurare computerizat între traductoare și placa de achiziție de date, 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 achiziție (funcțiuni generale).

În cazul **mărcilor tensometrice**, traductoarele cele mai utilizate în măsurările din domeniul mecanic, variația relativă foarte mică a rezistenței electrice a traductorului la deformarea acestuia conduce aproape în toate cazurile la necesitatea utilizării unei punți Wheatstone. Aceasta asigură atât existența unei diferențe de potențial (tensiune electrică) pe fiecare traductor (excitarea traductorului), cât și amplificarea semnalului provenit de la traductoare și protejarea acestuia împotriva variațiilor de tensiune cauzate de modificări în condițiile de mediu exterior sistemului de măsurare.

Aparatele de condiționare a semnalului dedicate mărcilor tensometrice conțin, în consecință, surse de tensiune electrică necesare excitării traductoarelor și au posibilitatea de a li se atașa rezistențe electrice calibrate care să completeze laturile punții Wheatstone atunci când numărul de traductoare utilizate este mai mic de 4.

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

În suportul comun al sistemului de măsurare pot fi de asemenea montate interfețe dedicate pentru comunicația cu alte aparate de măsură externe, atât în modul serial cât și în cel paralel. Aceste interfețe comunică, de obicei prin intermediul magistrelor de date ale suportului comun, cu calculatorul de uz industrial.

Caracteristicile particulare ale componentelor utilizate în această categorie face ca prețul acestora să fie mai ridicat decât în

Necesitatea ca, în absența semnalului măsurat, diferența de potențial pe diagonala de măsură a punții Wheatstone să fie nulă, face ca unele tipuri de condiționatoare să permită echilibrarea punții înaintea efectuării măsurării.

În situația în care se efectuează o măsurare de temperatură utilizând **termocupluri**, datorită modului de funcționare al acestor traductoare, este necesar ca aparatul de condiționare a semnalului să asigure generarea unei tensiuni electrice care să compenseze tensiunea electromotoare produsă de joncțiunea rece a termocuplului (compensare hardware).

Deoarece prezența unei astfel de surse de tensiune ar fi necesară pentru fiecare traductor în parte, conducând la o soluție constructivă scumpă, o a doua modalitate de compensare (software) utilizează un traductor secundar (termistor sau semiconductor) pentru măsurarea temperaturii zonei din mediul ambiant în care se află joncțiunile reci ale mai multor termocupluri.

La utilizarea compensării software a temperaturii joncțiunii reci trebuie avut în vedere faptul 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 sau traductorul secundar necesare compensării, un condiționator de semnal dedicat utilizării termocuplurilor trebuie de asemenea să posede circuite de amplificare necesare datorită faptului că tensiunea electrică generată de către un astfel de traductor este extrem de redusă ($7 \dots 50 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$).

Condiționatoarele de semnal dedicate utilizării **termorezistențelor** trebuie să posede surse de tensiune care să asigure excitarea traductoarelor respective. Rezistența electrică relativ redusă a acestor traductoare ($\sim 100 \Omega$) și variația mică a acesteia cu temperatura ($< 0,4 \Omega / ^\circ\text{C}$) fac necesare capacitatea condiționatorului de a fi configurat pentru diverse moduri de conectare (cu 2, 3 sau 4 fire) și capacitatea acestuia de a amplifica semnalul primit de la traductoare.

În cazul utilizării unor traductoare care generează semnale **în curent** ($4 \dots 20 \text{ mA}$ sau $0 \dots 20 \text{ mA}$), condiționatoarele de semnal trebuie să dispună de rezistori calibrați, cu variații mici ale rezistenței electrice în raport cu temperatura, prin intermediul cărora să se realizeze exprimarea semnalului provenit de la traductor printr-o tensiune electrică. În mod uzual, pentru aceste situații se utilizează componente cu rezistența electrică de $249 \Omega \pm 0,5 \%$ și cu o variație maximă a rezistenței de $5 \text{ ppm} / ^\circ\text{C}$.

Indiferent de tipul de traductor conectat în sistemul de măsurare, pentru condiționatoarele de semnal se pot defini o serie de funcțiuni de ordin general:

- **Amplificarea** semnalului, atunci când este realizată imediat în apropierea traductorului, reprezintă una din modalitățile cele mai eficiente de a minimiza efectele interferențelor electrice din mediul exterior, contribuind de asemenea la creșterea preciziei măsurării. În cazul unor traductoare care generează semnale cu tensiuni electrice extrem de reduse ($50 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$ în cazul termocuplurilor de tip J), transmiterea semnalului de la traductor fără amplificare va duce la pierderea informației conținute de acesta datorită nivelului mult superior al tensiunii induse în cablurile de legătură de către interferențele din mediul exterior ($200 \mu\text{V}$ într-un cablu de 10 m care parcurge o zonă cu mașini unelte).

- **Filtrarea și medierea** unui semnal servesc la eliminarea din cadrul semnalului a unor interferențe de natură periodică, cu frecvența cuprinsă între limite cunoscute. Foarte multe sisteme de măsurare sunt afectate de interferențe cu frecvența de 50 Hz, datorate rețelei de alimentare cu tensiune electrică a clădirii în care sistemul este instalat. Condiționarea semnalului prin utilizarea unor filtre care elimină componentele periodice ale acestuia ce depășesc o anumită frecvență trebuie efectuată de o asemenea manieră încât simultan cu interferențele să nu fie eliminate și unele componente utile ale semnalului.

Deși multe tipuri de condiționatoare de semnal includ astfel de filtre, sunt deseori necesare măsuri suplimentare de protecție constând în utilizarea de filtre software care în majoritatea cazurilor realizează medieri ale semnalului măsurat.

- **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, condiționatoarele 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 a celei capacitive, semnalul este inițial transformat 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 ce pot fi provocate de defecțiuni în rețeaua de alimentare sau de iluminare sau de către echipamente ce lucrează sub înaltă tensiune.

- **Multiplexarea** reprezintă o modalitate de condiționare prin care mai multe semnale analogice, provenite din diverse puncte de măsurare, sunt trimise pe o aceeași cale mai departe în sistemul de măsurare, de obicei către un singur canal de intrare al unei plăci de achiziție de date sau către un emițător pentru transmiterea la distanță.

Condiționarea semnalelor digitale se referă în majoritatea cazurilor la izolarea în vederea protejării plăcii de achiziție de date de eventualele creșteri bruște de tensiune sau 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 de genul solenoidelor, surselor de iluminat sau motoarelor sau atunci când este necesară sesizarea unor semnale de înaltă tensiune.

În tabelul @.4 sunt prezentate, pentru principalele categorii de condiționatoare, tipurile de semnale pe care acestea le pot prelucra. Clasificarea semnalelor în tipurile de mai jos este simplificată, detalierea caracteristicilor semnalelor din fiecare tip urmând a fi prezentată pentru fiecare categorie de condiționatoare în parte.

Tabelul @.4: Funcțiunile principalelor tipuri de condiționatoare

Categorie	Semnale analogice							Semnale digitale	
	Intrări				Ieșiri				
	În tensiune				În curent	În tensiune	În curent	Intrări	Ieșiri
	Uz general	Mărci tensometrice	Termo rezistente.	Termocupluri					
SCXI	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5B	X	X	X	X	X	X	X		
SCC	X			X	X			X	X
SC-204	X	X	X						
SSR								X	X
SC								X	X
ER-8/16									X

@.4.2. Sistemul SCXI

Sistemul de aparate de condiționare a semnalelor SCXI (Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation) are structura generală formată dintr-o serie de module de condiționare multicanal montate într-un șasiu (rack) comun.



Figura @.5: Componentele sistemului SCXI

(plăcile) de achiziție de date. Alimentarea modulelor condiționatoare este de asemenea realizată dintr-o sursă comună de tensiune, aparținând șasiului.

Fiecare modul de condiționare SCXI este dedicat unor anumite tipuri de traductoare sau semnale. Modulele sunt capabile de a îndeplini atât funcțiuni de condiționare de ordin general cât și funcțiuni specifice.

După un prim criteriu de clasificare, modulele de condiționare SCXI pot fi grupate în:

- module pentru intrări analogice;
- module pentru ieșiri analogice;
- module pentru semnale digitale.

Conectarea traductoarelor la unul dintre modulele SCXI se realizează prin intermediul unui bloc terminal atașat modulului respectiv (figura @.5).

Transmiterea semnalelor de la modulele aflate într-un același șasiu către una sau mai multe plăci de achiziție de date este realizată prin intermediul unui conector al șasiului. Astfel, șasiul comun îndeplinește rolul unui multiplexor aflat între modulele condiționatoare de semnal și placa

În tabelul @.5 sunt prezentate, pentru diverse tipuri de traductoare și semnale, modulele de condiționare SCXI pentru intrări analogice corespunzătoare, numărul de canale de care acestea dispun și blocurile terminale necesare pentru conectarea traductoarelor.

În tabelul @.6 sunt prezentate modulele de condiționare SCXI pentru ieșiri analogice și pentru semnale digitale, numărul de canale de care acestea dispun și blocurile terminale necesare pentru conectarea traductoarelor.

Tabelul @.5: Module SCXI pentru intrări analogice

Tipul traductorului sau semnalului	Codul modului	Codul blocului terminal	Nr de canale
Termocupluri	SCXI-1102	SCXI-1303	32
Termocupluri, cu izolare	SCXI-1120	SCXI-1328	8
Termorezistențe, termistori, mărci tensometrice	SCXI-1121	SCXI-1321	4
Semnale de înaltă tensiune (± 250 V)	SCXI-1120	SCXI-1327	8
Semnale de tensiune medie (± 42 V)	SCXI-1104	SCXI-1300	32
Semnale de joasă tensiune	SCXI-1102B/C	SCXI-1303	32
Semnale de joasă tensiune, cu izolare	SCXI-1120	SCXI-1320	8
Intrări analogice de uz general	SCXI-1100	SCXI-1303	32
Semnale în curent, fără izolare	SCXI-1102	SCXI-1308	32
Semnale în curent, cu izolare	SCXI-1120	SCXI-1338	8
Semnale periodice de înaltă tensiune	SCXI-1126	SCXI-1327	8
Semnale periodice de joasă tensiune	SCXI-1126	SCXI-1305	8
Modul pentru achiziționare simultană multicanal	SCXI-1140	SCXI-1304	8
Modul cu filtre "trece - jos"	SCXI-1141	SCXI-1304	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 semnalele măsurate și condiționate sau de la care va primi comenzi referitoare la generarea de semnale.

Tabelul @.6: Module SCXI pentru ieșiri analogice și semnale digitale

Tipul traductorului sau semnalului	Codul modului	Codul blocului terminal	Nr de canale
Ieșiri în tensiune continuă, cu izolare	SCXI-1124	SCXI-1325	6
Ieșiri în curent continuu, cu izolare	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

Intrări digitale TTL și CMOS	SCXI-1162	SCXI-1326	32
Intrări digitale de înaltă tensiune	SCXI-1162HV	SCXI-1326	32
Ieșiri digitale TTL și CMOS	SCXI-1163	SCXI-1326	32
Relee electronice	SCXI-1163R	SCXI-1326	32
Numărătoare TTL	SCXI-CTC8	SCXI-1301	8
Măsurare frecvență TTL	SCXI-FRQ8	SCXI-1301	8

După acest al doilea criteriu, șasiurile SCXI pot fi dedicate lucrului în:

- sisteme locale, prin legarea directă la o placă de achiziție de date;
- sisteme aflate la distanță, transferul informației efectuându-se prin subsisteme de comunicație serială RS-232 sau RS-485;
- sisteme portabile, asigurându-se alimentarea cu tensiune electrică continuă;
- sisteme multi-șasiu, în care la o singură placă de achiziție de date pot fi conectate până la 8 șasiuri, fiecare incluzând până la 12 module de condiționare SCXI (până la maxim 3072 canale de măsurare);
- sisteme CompactPCI, în care șasiul SCXI dispune de slot-uri pentru inserarea de module caracteristice acestui sistem.

În tabelul @.7 sunt prezentate câteva tipuri de șasiuri, în funcție de numărul de module de condiționare SCXI ce pot fi montate în acestea și de tipul disponibil de alimentare cu tensiune.

Tabelul @.7: Șasiuri SCXI

Tipul șasiului	Număr de sloturi	Curent alternativ	Curent continuu
SCXI-MS100 SCXI-1000 PXI-1010 SCXI-2000	4	Da	
SCXI-1000DC	4		Da
SCXI-1001	12	Da	

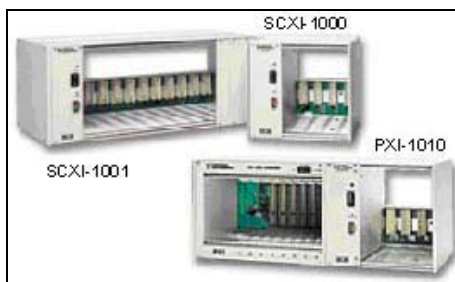


Figura @.6: Șasiuri SCXI

@.4.3. Seria de condiționatoare 5B



Figura @.7: Sistem de condiționatoare 5B

Sistemele de condiționare a semnalelor din seria 5B constau din module de condiționare unicanel montate pe un suport comun (riglă) care asigură conectarea traductoarelor la fiecare modul instalat, conectarea sistemului cu placa de achiziție de date (printr-un conector cu 26 de pini) și cu o eventuală sursă externă de alimentare cu tensiune.

Tipurile de rigle disponibile permit montarea a 8 sau 16 module de condiționare 5B, din care maxim două pot fi module de condiționare a semnalelor analogice de ieșire. Semnalul furnizat de fiecare modul de condiționare este trimis pe câte un canal distinct al plăcii de achiziție de date.

În tabelul @.8 sunt prezentate principalele tipuri de module de condiționare din seria 5B, împreună cu tipurile de traductoare sau semnale cărora le sunt dedicate și cu o serie de caracteristici funcționale.

Tabelul @.8: Module de condiționare din seria 5B

Modul	Tip traductor sau semnal	Caracteristici funcționale
5B31	Semnale analogice în tensiune	Interval de măsură: $\pm 1V, \pm 5V, \pm 10V$ sau $\pm 20 V$; Filtrare “trece-jos” 4 Hz
5B41		Interval de măsură: $\pm 1V, \pm 5V, \pm 10V$ sau $\pm 20 V$; Filtrare “trece-jos” 10 kHz
5B32	Semnale analogice în curent	4 ... 20 sau 0 ... 20 mA
5B34	Termorezistențe	Tip C, 10 Ω , cupru Tip N, 120 Ω , nichel Tip P, 100 Ω , platină: $\pm 100, 0...100, 0...200$ sau $0...600$ $^{\circ}C$
5B47	Termocupluri	Tip B: 500 ... 1800 $^{\circ}C$ Tip E: 0 ... 1000 $^{\circ}C$ Tip J: 0 ... 760, -100...300 sau 0...500 $^{\circ}C$ Tip K: 0...1000 sau 0...500 $^{\circ}C$ Tip R sau S: 500 ... 1750 $^{\circ}C$ Tip T: -100 ... 400 sau 0...200 $^{\circ}C$
5B38	Mărci tensometrice	Punte completă: 100 Ω ... 10 k Ω , 2 mV/V sau 3 mV/V Jumătate de punte: 100 Ω ... 10 k Ω sau 3 mV/V
5B39	Ieșire analogică în curent	4 ... 20 sau 0 ... 20 mA
5B49	Ieșire analogică în tensiune	$\pm 5 V$ sau $\pm 10 V$

Toate modulele din seria 5B posedă funcțiunile de izolare a semnalului, iar modulele de condiționare a semnalelor de la termocupluri realizează compensarea temperaturii joncțiunii reci.

Sursele externe de alimentare cu tensiune dedicate seriei 5B de condiționatoare trebuie să asigure o tensiune continuă de 5 V, la un curent de 1 A sau 5 A.

Riglele pe care se montează modulele de condiționare pot fi la rândul lor fixate într-un șasiu (rack) compatibil de asemenea cu multiplexoarele de tipul AMUX-64T și cu condiționatoarele din seria SCC.

@.4.4. Sistemele SCC și SC-204X



Figura @.8: Sistem de condiționare SCC

Un sistem de condiționare SCC (Signal Conditioning System) este compus dintr-o placă de bază (SC-2345), montată într-o carcasă ecranată, în ale cărei sloturi se pot monta până la 20 de module de condiționare de tipul SCC.

Placa de bază mai conține conectorul pentru legarea la placa de achiziție de date, un conector pentru atașarea unei eventuale surse externe de alimentare cu tensiune, precum și un conector

pentru accesarea directă a liniilor de comunicație digitală ale plăcii de achiziție.

Modulele de condiționare SCC ce pot fi montate în placa de bază sunt dedicate prelucrării semnalelor provenite de la termocupluri (SCC-TC) sau a semnalelor în curent (SCC-CI pentru 0 ... 20 mA), filtrării semnalelor analogice (SCC-LP), atenuării semnalelor de înaltă tensiune (SCC-A10 pentru 100 V) sau izolării semnalelor digitale de intrare sau de ieșire (SCC-DI și SCC-DO).

Prin anumite modalități de configurare, două module dedicate semnalelor analogice pot fi conectate în serie, semnalul rezultat (de exemplu atenuat și apoi filtrat) fiind ulterior trimis către un singur canal al plăcii de achiziție de date.

Pe carcasa ecranată a sistemului SCC pot fi montate până la nouă panouri frontale interschimbabile conținând conectori standard de diverse tipuri (BNC, SMB, pentru termocupluri, tip D cu 9 pini etc). Pot fi de asemenea montate panouri frontale conținând elemente de interfață de genul comutatoarelor, potențimetrelor și LED-urilor care să servească comutării semnalelor de intrare în modulele de condiționare, să inițieze excitarea anumitor traductoare sau să verifice starea operațională a anumitor canale de măsurare.

Condiționatoarele de semnal din seria SC-204X reprezintă soluții simple, cu cost relativ redus, dedicate aplicațiilor în care este suficientă o frecvență relativ mică de măsurare. Modulele sunt dedicate fie unui anumit tip de traductor, fie efectuării unei anumite funcțiuni de condiționare.

Cele mai utilizate condiționatoare din această categorie sunt cele referitoare la:

- achiziționarea simultană a semnalelor de pe mai multe canale (tehnica "sample and hold");
- condiționarea semnalelor primite de la termorezistențe;
- condiționarea semnalelor primite de la mărci tensometrice;
- multiplexarea semnalelor condiționate.

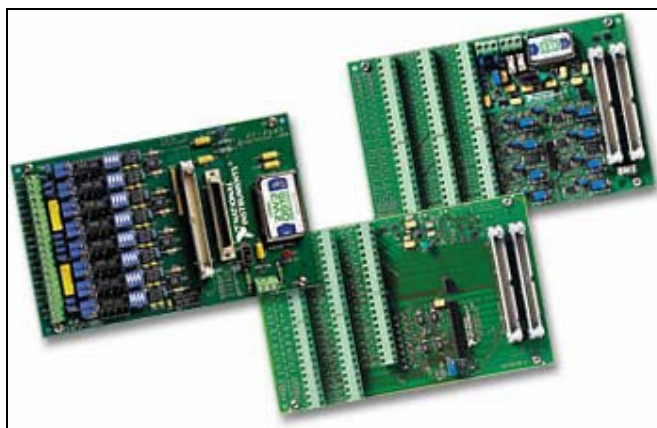


Figura @.9: Condiționatoare de semnal din seria SC-204X

@.4.5. Elemente dedicate condiționării semnalelor digitale



Figura @.10: Sistemul de condiționare SSR

Sistemul modular de condiționatoare SSR este dedicat sesizării tensiunilor electrice relativ ridicate și transformării acestora în semnale digitale TTL sau generării de tensiuni electrice pentru comanda echipamentelor.

Analog elementelor din seria 5B, sistemul SSR este format dintr-o placă de bază (riglă) comună pe care se pot instala 8, 16, 24 sau 32 de module de condiționare.

Placa de baza dispune de un conector cu 50 de pini pentru realizarea legăturii cu placa de achiziție de date sau cu altă componentă a sistemului de măsurare computerizat. Alimentarea sistemului se poate realiza atât dintr-o sursă exterioară de tensiune, conectată la placa de bază, cât și direct prin intermediul plăcii de achiziție de date.

Modulele de condiționare disponibile, cu izolare optică și sistem de protecție la supratensiune, sunt prezentate în tabelul @.9.

Tabelul @.9: Module de condiționare din seria SSR

Modul	Tip	Tensiune de lucru
SSR-IAC5	intrare	120 V c.a.
SSR-IAC5A	intrare	240 V c.a.
SSR-IDC5	intrare	3 ... 32 V c.c.
SSR-OAC5A	ieșire	240 V c.a.
SSR-OAC5	ieșire	120 V c.a.

SSR-ODC5	ieșire	3 ... 60 V c.c.
----------	--------	-----------------

Seria SC de condiționatoare de semnal este reprezentată de următoarele trei tipuri principale:

SC-2060: 8 canale pentru intrări digitale, izolate cu optocuploare până la 400 V, compatibile TTL și CMOS, conectate la intrările digitale ale plăcii de achiziție. Fiecare canal dispune de o tensiune de referință independentă, intrările digitale fiind considerate în starea "low" dacă sunt cu 9 V sub aceasta și în starea logică "high" dacă diferența este de 3 V. Intensitatea curentului la intrare este limitată la 20 mA.

SC-2061: 8 canale pentru ieșiri digitale, izolate optic pentru diferențe de potențial de până la 250 V între două canale sau de până la 400 V între un canal și masă, compatibile TTL și CMOS, conectate la ieșirile digitale ale plăcii de achiziție. Fiecare canal dispune de o tensiune de referință independentă. Modulul trebuie alimentat cu o tensiune de 5 V c.c. dintr-o sursă externă, iar pe fiecare canal trebuie montat un rezistor de 4,7 kΩ.

SC-2062: 8 relee electromecanice conectate la ieșirile digitale ale plăcii de achiziție, compatibile TTL și CMOS, fiecare putând suporta 6 A la 30 V c.c. sau 250 V c.a.

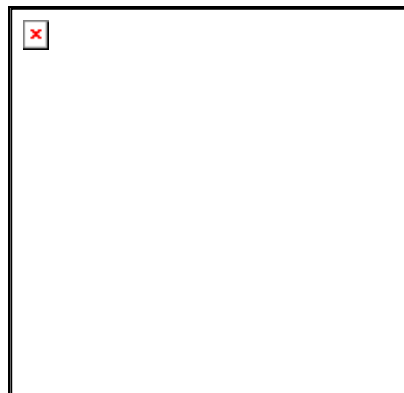


Figura @.11: Condiționator din seria SC

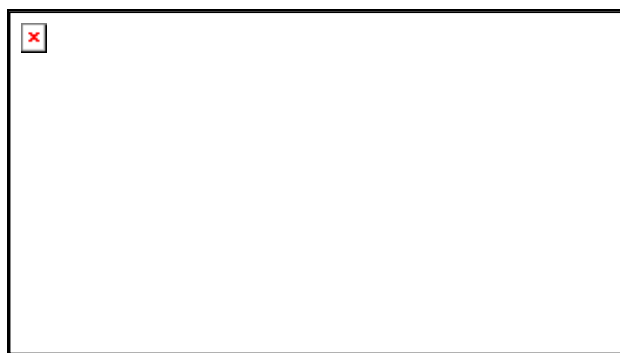


Figura @.12: Module de condiționare ER-8/16

Modulele ER-8/16 conțin câte 8 sau 16 relee electromecanice independente, conectabile la placa de achiziție de date și la o sursă externă de tensiune. Releele sunt de tipul C (SPDT), fără reținere, putând conduce curenți de până la 3 A la tensiuni de 30 V c.c. sau 250 V c.a., posedă terminale Normal Închis (NC), Normal Deschis (NO)

și Comun (COM) și pot fi comandate utilizând ieșirile digitale ale plăcii de achiziție.

@.5. Plăci de achiziție de date

@.5.1. Funcțiuni și criterii de performanță

Plăcile de achiziție de date utilizate în sistemele de măsurare computerizate pot îndeplini mai multe dintre următoarele funcțiuni:

- intrare analogică (măsurarea unui semnal, sub forma unei tensiuni electrice, provenit de la un traductor aflat în sistemul studiat);
- ieșire analogică (generarea unui semnal, 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 ale unor comenzi, transmise sub forma unor impulsuri TTL între placa de achiziție de date 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 funcționare descrisă de o stare logică binară (comutatoare cu două poziții, întrerupătoare, relee, diode electroluminiscente etc);
- numărare / cronometrare (primirea și emiterea de semnale sub formă de serii de impulsuri TTL în care informația este conținută în numărul de impulsuri din serie sau în frecvența acestora).

Toate tipurile de plăci de achiziție de date pot îndeplini ultimele două funcțiuni enumerate mai sus: comunicații digitale și numărare / cronometrare. Majoritatea tipurilor posedă toate cele patru funcțiuni (plăci multifuncționale). O serie de plăci de achiziție de date cu cost redus nu posedă funcțiunea de ieșire analogică iar o altă categorie (plăcile dedicate ieșirilor analogice) nu posedă funcțiunea de intrare analogică.

Printre parametrii care descriu performanțele cu care o placă de achiziție de date îndeplinește funcția de **intrare analogică** se pot enumera: numărul de canale de intrare analogică, rata maximă de eșantionare, intervalul de măsurare și rezoluția.

Numărul de canale de intrare analogică poate fi specificat (pentru plăcile care dispun de ambele tipuri) atât pentru configurația uni-polară cât și pentru cea diferențială. Intrările analogice în configurație uni-polară 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 achiziție de date. Acest tip de intrări analogice este utilizat de obicei pentru semnale cu amplitudini relativ mari (peste 1 V), în situația în care firele de legătură dintre sursa de semnal și placa de achiziție de date au lungimi mai mici de 5 m. În celelalte situații se utilizează configurația diferențială, în care fiecare tensiune electrică ce corespunde unui canal de intrare analogică este măsurată în raport cu un potențial de referință propriu. În configurație diferențială are loc reducerea erorilor datorate influențelor perturbațiilor electromagnetice din mediul exterior asupra firelor de legătură.

Rata maximă de eșantionare reprezintă numărul maxim de conversii analog – digitale (măsurări) pe care placa de achiziție de date le poate efectua în unitatea de timp (o secundă). Obținerea unui număr mai mare de valori ale semnalului măsurat în unitatea de timp permite descrierea mai precisă a acestuia și efectuarea unor prelucrări statistice mai complexe. De exemplu, semnalele măsurate în timpul studiului emisiilor acustice, utilizând un microfon, au frecvențe de până la 20 kHz. Prelucrarea adecvată a unor astfel de semnale necesită (conform teoremei lui Nyquist) o rată de eșantionare cel puțin dublă față de frecvența maximă a componentei ce se dorește a fi detectată în cadrul semnalului.

Unitatea de măsură pentru rata de eșantionare se notează S/s (samples / second, eșantioane pe secundă) și reprezintă efectuarea unei singure conversii analog – digitale într-o secundă.

Majoritatea tipurilor de plăci de achiziție de date, deși posedă mai multe canale de intrare analogică, utilizează un singur convertor analog – digital. Măsurarea semnalelor de pe mai multe canale este realizată prin multiplexarea acestora la intrarea convertorului. Astfel, rata de eșantionare corespunzătoare unui anumit canal este invers proporțională cu numărul de canale pe care se efectuează măsurări la un moment dat. De exemplu, în cazul unei plăci de achiziție de date cu rata maximă de eșantionare de 1 MS/s cu ajutorul căreia se măsoară 10 semnale, rata de eșantionare efectivă pe fiecare canal de măsurare nu poate depăși 100 kS/s.

Intervalul de măsurare este determinat de valorile minimă și maximă ale tensiunii electrice pe care convertorul analog – digital o poate cuantifica. Majoritatea plăcilor de achiziție de date au la dispoziție mai multe intervale de măsurare, unul dintre acestea putând fi selectat la un moment dat.

Rezoluția unei plăci de achiziție de date reprezintă numărul de biți utilizați de către convertorul analog – digital al acesteia pentru reprezentarea valorii măsurate a semnalului analogic. Dacă se notează valoarea rezoluției cu n , convertorul analog – digital va putea reprezenta numere întregi cuprinse între 0 și 2^{n-1} , fapt 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 partiționat în 2^n subintervale. Toate valorile semnalului măsurat aflate într-un același subinterval vor putea fi reprezentate doar 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 partiționat intervalul de măsurare, deci crește precizia de reprezentare (măsurare) a semnalului real.

În figura @.13 este reprezentat un semnal sinusoidal, împreună cu reprezentarea acestuia oferită de către un convertor analog – digital cu rezoluția de 3 biți care împarte intervalul de măsurare în $2^3 = 8$ subintervale. Este evidentă precizia scăzută a măsurării, echivalentă unei pierderi de informație. Utilizarea, de exemplu, a unui convertor cu rezoluția de 16 biți ar conduce la o reprezentare mult mai fidelă a semnalului original, intervalul de măsurare fiind partiționat în acest caz în $2^{16} = 65536$ subintervale.

Posibilitatea de selectare a intervalului de măsurare al unei plăci de achiziție de date permite alegerea unor limite ale acestuia cât mai apropiate de valorile extreme ale semnalului măsurat, astfel încât rezoluția disponibilă a convertorului analog – digital să conducă la o precizie cât mai bună a măsurării.

Valoarea preciziei de măsurare, echivalentă cu variația minimă detectabilă a semnalului măsurat, este denumită și **lățime de cod** și corespunde variației bitului cel mai puțin semnificativ (LSB) din numărul binar generat de către convertorul analog – digital în urma măsurării.

Precizia de măsurare a unei plăci de achiziție de date, calculată în funcție de parametrii constructivi descriși anterior, nu este întotdeauna respectată atunci când măsurarea se efectuează 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 rezoluția de doar 12 biți.

Caracterizarea completă a performanțelor unei plăci de achiziție de date aflate într-un regim de lucru solicitant nu poate fi efectuată fără luarea în considerare a unor parametri auxiliari ca: neliniaritatea convertorului analog – digital, precizia relativă, timpul de stabilizare și zgomotul.

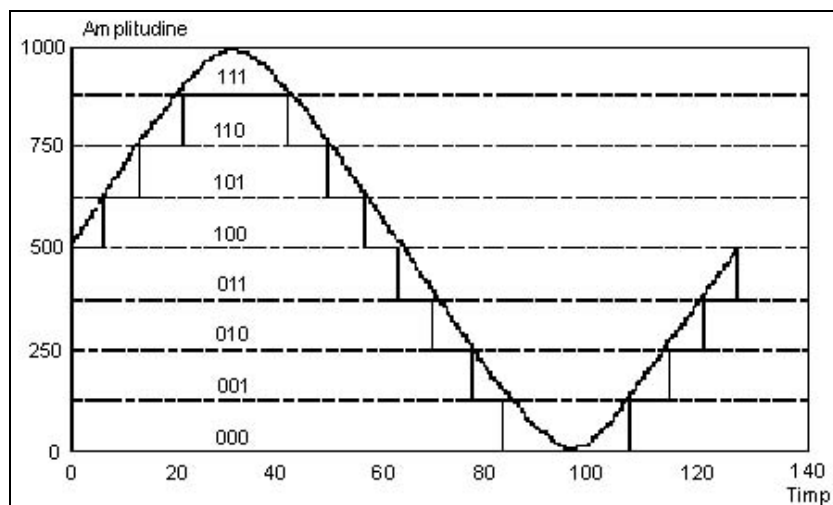


Figura @.13: Semnal sinusoidal discretizat de un convertor pe 3 biți

Într-un caz ideal, valoarea numerică generată de către convertorul analog – digital variază liniar cu valoarea tensiunii electrice aplicate la intrarea acestuia. Deviația de la o astfel de dependență poartă numele de **neliniaritate**. Parametrul care cuantifică neliniaritatea unui convertor analog – digital este notat DNL, și reprezintă diferența dintre valoarea lății de cod și valoarea corespunzătoare variației bitului cel mai puțin semnificativ. Parametrul DNL se exprimă în raport cu această a doua valoare (LSB), având, în cazul unor plăci de achiziție de date performante, valoarea de $\pm 0,5$ LSB.

Precizia relativă, exprimată în LSB, reprezintă valoarea maximă a deviației de la forma liniară a funcției de transfer a plăcii de achiziție de date. La o variație liniară a semnalului pe tot intervalul de măsurare, valorile numerice binare generate de către convertorul analog – digital depind aparent liniar de tensiunea electrică măsurată (figura @.14). Scăderea valorilor reale ale tensiunii măsurate din valorile numerice binare generate de către convertor (operație echivalentă cu o mărire a imaginii) nu conduce însă la obținerea unui segment de dreaptă suprapus peste abscisă (situație corespunzătoare identității celor două seturi de valori) ci la un grafic reprezentând variația abaterii valorii măsurate în raport cu cea reală. Precizia relativă a plăcii de achiziție de date este egală cu valoarea maximă a acestei abateri.

Deoarece transformarea în volți a valorilor binare se efectuează prin înmulțirea acestora cu o constantă, erorile datorate deviației de la forma liniară a funcției de transfer se păstrează.

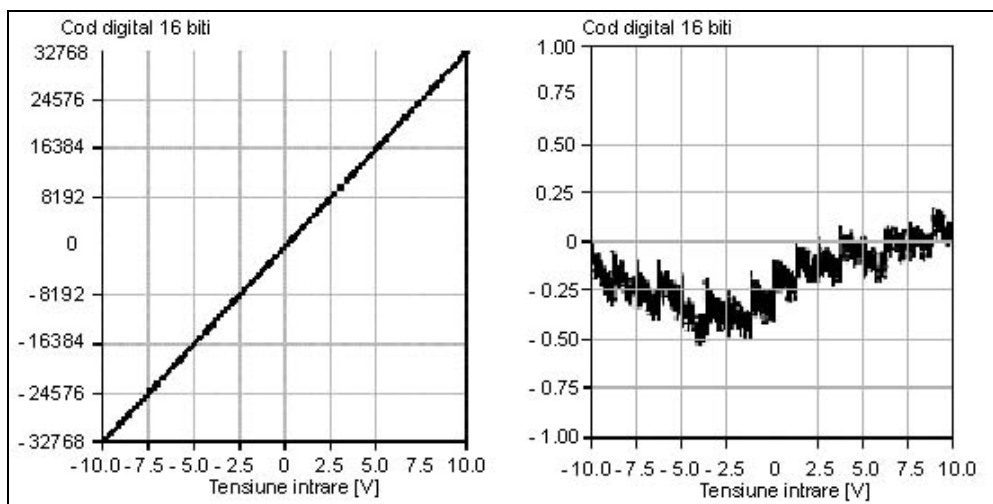


Figura @.14: Determinarea preciziei relative a unui convertor analog - digital

La majoritatea tipurilor de plăci de achiziție de date, semnalul de măsurat parcurge inițial circuitele unui multiplexor, apoi este amplificat înainte de a fi introdus la intrarea în convertorul analog – digital. Construcția circuitului de amplificare face ca acesta să necesite un anumit interval de timp, numit **timp de stabilizare**, pentru a efectua amplificarea semnalului ce a fost aplicat la intrarea sa. Dacă valoarea timpului de stabilizare este mai mare decât intervalul de timp dintre două conversii efectuate de convertorul analog – digital, acesta din urmă va prelua de la ieșirea amplificatorului un semnal a cărei amplificare nu a fost încă încheiată și va genera o valoare binară diferită de valoarea reală a semnalului măsurat.

Erorile generate de valoarea prea mare a timpului 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 electrice analogice ale plăcii de achiziție de date, fapt ce le face indetectabile și nu conduce la generarea de către placă a unui mesaj de eroare.

Riscul de preluare de către convertor a unui semnal insuficient amplificat crește atunci când multiplexorul baleiază un număr mare de canale. Tensiunea de la intrarea amplificatorului are în acest caz variații accentuate (figura @.15) la care amplificatorul se poate adapta cu dificultate.

Pentru majoritatea soluțiilor constructive de circuite amplificatoare utilizate în practică, în situația în care intervalul de măsurare este ales, de exemplu, la o sutime din intervalul maxim disponibil al plăcii de achiziție de date, o stabilizare a semnalului care să asigure o precizie corespunzătoare unei rezoluții de 12 biți nu se poate efectua într-un timp mai scurt de 2 μ s. Cum intervalul de 2 μ s între două conversii corespunde unei rate de eșantionare de 500 kS/s și cum această rată de eșantionare este întâlnită la multe plăci de achiziție de date cu rezoluția de 12 biți, este evident că aceste tipuri de plăci nu vor putea respecta parametrii declarați de precizie atunci când lucrează pe intervale de măsurare relativ reduse.

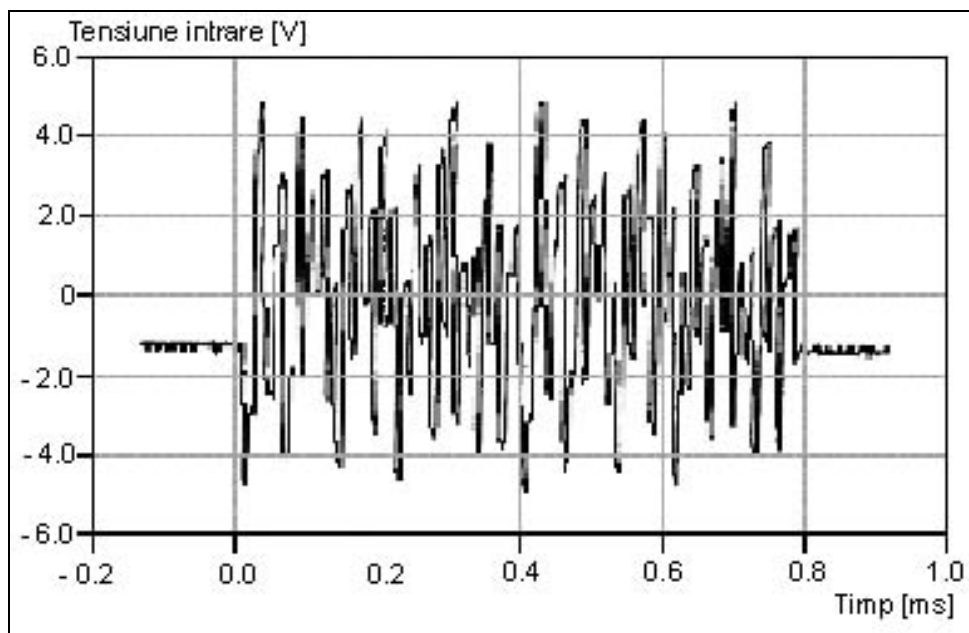


Figura @.15: Tensiunea la intrarea amplificatorului în cazul baleierii multicanal

Utilizarea în construcția unei plăci de achiziție de date a unor amplificatoare și convertoare analog – digitale foarte performante nu satisface de la sine toate condițiile pentru asigurarea unei precizii ridicate. Interiorul calculatorului în care este montată placa de achiziție fiind un mediu cu extrem de numeroase surse de perturbații electromagnetice, transmiterea semnalelor în circuitele plăcii trebuie efectuată prin căi ecranate care să elimine influența perturbațiilor externe.

În figura @.16 se prezintă graficele obținute în urma măsurării zgomotului în circuitele a două plăci de achiziție de date dotate cu același tip de convertor analog – digital. Dacă în cazul plăcii cu măsuri adecvate de ecranare distribuția zgomotului este gaussiană și restrânsă, conducând la erori de ± 3 LSB, în cazul plăcii neecranate perturbațiile externe generează erori de ordinul 20 LSB echivalente (pentru un interval de măsurare de ± 1 V) cu o tensiune de $620 \mu\text{V}$.

Utilizate pentru generarea de semnale de comandă sau acționare către sistemul la care este conectată placa de achiziție de date (atât în mod uni-polar cât și în mod diferențial), **ieșirile analogice** au performanțe determinate în principal de intervalul de generare, timpul de stabilizare al convertorului digital – analog, rata maximă de generare și rezoluție.

Intervalul de generare conține valorile posibile ale tensiunii electrice de la ieșirea convertorului digital – analog. Timpul de stabilizare și rata de generare determină împreună viteza cu care convertorul digital – analog poate modifica valoarea tensiunii electrice generate.

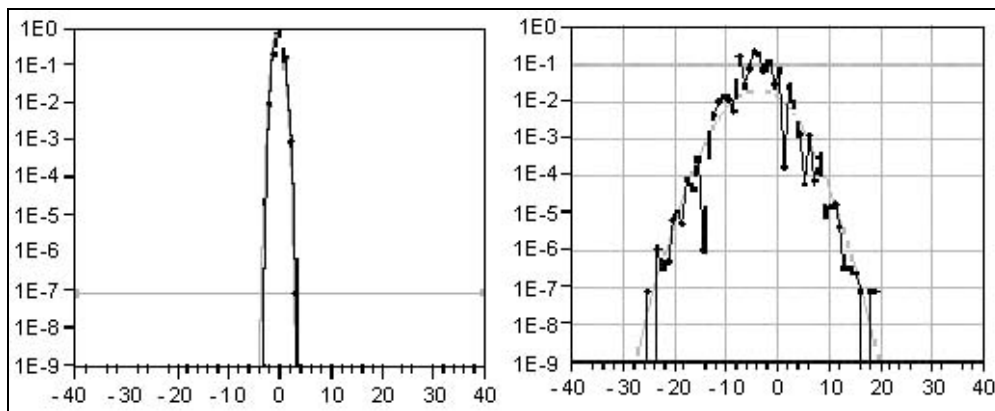


Figura @.16: Zgomotul în circuitele a două plăci de achiziție, cu respectiv fără ecranare

Timpul de stabilizare specificat pentru un convertor analog – digital este de obicei determinat în situația cea mai dezavantajoasă, în care modificarea tensiunii generate este egală în amplitudine cu intervalul de generare. Este evident că generarea unor semnale cu frecvențe înalte, de genul semnalelor audio, poate fi efectuată doar de către convertoare digital – analogice cu timpi de stabilizare reduși și rate mari de generare.

Având o definiție similară celei din cazul intrărilor analogice, rezoluția convertoarelor digital – analogice determină finețea cu care semnalele de ieșire pot fi generate.

O apreciere foarte precisă a performanțelor cu care o placă de achiziție de date îndeplinește funcțiunea de ieșire analogică trebuie să aibă în vedere, în special în cazul regimurilor de lucru solicitante, și aspectele legate de **neliniaritatea** convertorului digital – analog, parametru definit în mod similar cu cazul intrărilor analogice.

Comunicațiile digitale ale unei plăci de achiziție de date, servind controlului procesului monitorizat sau comunicării cu diverse echipamente periferice, au performanțe caracterizate în principal prin numărul de linii digitale disponibile, rata 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 electrică.

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

În situația în care placa de achiziție de date comunică, prin intermediul liniilor digitale, cu un echipament periferic (înregistrator, procesor de date, imprimantă), este necesară posibilitatea de a grupa din punct de vedere logic mai multe linii digitale într-un port de comunicație. Protocolul de comunicație digitală poate de asemenea necesita derularea unor operațiuni de sincronizare între emițător și receptor, în scopul reducerii riscului de transmitere eronată a informației.

În cazul generării unor semnale digitale de comandă sau acționare, sunt rare situațiile în care componentele din proces (motoare, valve, relee etc) acceptă direct semnalele TTL ale plăcii de achiziție de date. Majoritatea componentelor respective necesită prezența

intermediară a unor condiționatoare de semnale digitale care să realizeze amplificările corespunzătoare ale valorilor tensiunii sau intensității electrice.

Circuitele de **numărare și cronometrare** ale unei plăci de achiziție de date pot fi utilizate atât pentru sesizarea și numărarea unor evenimente digitale (semnale sub formă de impulsuri primite de la traductoare incrementale de deplasare) cât și pentru generarea unor astfel de evenimente (de exemplu, pentru acționarea motoarelor electrice pas cu pas).

Parametrii cei mai importanți pentru aprecierea performanțelor acestor circuite sunt rezoluția și frecvența maximă. Având, ca și în cazurile anterioare, semnificația numărului de biți utilizați, rezoluția 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 achiziție de date din categoriile cele mai evolute utilizează numărătoare cu rezoluții de 16 sau 24 de biți, lucrând la frecvențe maxime de 20 MHz.

Pe lângă căile de comunicație propriu-zise, prin intermediul cărora primesc sau generează semnalele corespunzătoare, majoritatea numărătoarelor posedă căi suplimentare de intrare prin intermediul cărora poate fi comandată activarea sau dezactivarea funcției principale de numărare.

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

@.7 Software pentru sisteme de măsurare computerizate

Clasificarea pachetelor software utilizate în cadrul sistemelor computerizate de achiziție de date poate fi efectuată atât în funcție de tipul de sistem computerizat (cu comunicație serială, cu plăci de achiziție de date etc) cât și în funcție de complexitatea cunoștințelor necesare pentru utilizarea software-ului respectiv.

Din punct de vedere al complexității, pachetele software disponibile acoperă toată gama nivelurilor de programare utilizate curent, de la seturi de funcții (drivere) apelabile din cadrul unor proceduri scrise într-un limbaj de programare de nivel înalt (C, Delphi, Basic etc) până la medii de programare grafică de mare complexitate.

În acest capitol nu vor fi prezentate decât o serie de aspecte des întâlnite în aplicațiile curente. Nu vor fi prezentate noțiuni legate de sistemele cu comunicație serială, datorită răspândirii relativ reduse ale acestora în raport cu celelalte categorii. În cazul utilizării unor sisteme cu comunicație paralelă sub standardul IEEE 488, sarcina programatorului este mult facilitată de pachetele de funcții adaptate fiecărui aparat analogic din cadrul sistemului de măsurare.

Se va face referire în special la situația utilizării sistemelor cu plăci de achiziție de date. Pachetele software dedicate acestei categorii depinzând de sistemul de operare instalat pe calculatorul din sistemul de măsurare, prezentarea va fi redusă la mediul de operare Windows, acesta beneficiind de răspândirea cea mai largă printre utilizatori.

@.7.1. Software pentru configurarea sistemului

Odată cu instalarea în unul dintre slot-urile plăcii de bază a calculatorului a unei plăci de achiziție de date, această placă trebuie făcută cunoscută (declarată) sistemului de operare, informațiile referitoare la parametrii săi de funcționare urmând a fi înscrise într-un fișier al acestuia din urmă, împreună cu informații despre alte componente ale calculatorului (placă video, placă de rețea, modem etc). Stocarea informațiilor despre placa de achiziție de date permite astfel apelarea acesteia din cadrul programelor ce urmează a fi realizate pentru comanda sistemului computerizat de măsurare.

În cazul utilizării mediului de operare Windows 95, placa de achiziție de date trebuie adăugată în lista de echipamente hardware disponibile pe calculator prin rularea programului **Add New Hardware** din cadrul grupului **Control Panel**. Transmiterea către mediul de operare a informațiilor referitoare la parametrii de configurare ai plăcii (interval de măsurare, mod de măsurare unipolar sau diferențial, adresă de bază, nivel de întrerupere etc) se realizează în sub-meniul **Device Manager** al programului **System** din cadrul grupului **Control Panel**. Programul respectiv verifică în același timp alocarea anumitor resurse ale sistemului de calcul către un singur echipament hardware.

În versiunile de medii de operare Windows 3.1 și Windows NT, declararea unei plăci de achiziție de date și specificarea parametrilor de configurare ai acesteia se efectuează cu ajutorul unui pachet software dedicat, livrat împreună cu aceasta și instalat după montarea plăcii în calculator. Printre cele mai utilizate software-uri din această categorie se numără pachetul **NI-DAQ Configuration Utility**, dedicat și livrat împreună cu plăcile de achiziție de date produse de corporația americană **National Instruments**.

La lansarea sa în execuție, software-ul verifică existența în calculator a plăcilor de achiziție de date și afișează plăcile găsite, propunând pentru fiecare dintre acestea un număr de identificare (figura @.16).

După atribuirea numerelor de identificare, programul afișează resursele alocate de către mediul de operare (figura @.17) și parametrii de configurare pentru fiecare funcțiune îndeplinită de fiecare placă găsită:

- intervalul de măsurare și modul de măsurare (diferențial sau unipolar) pentru intrările analogice;

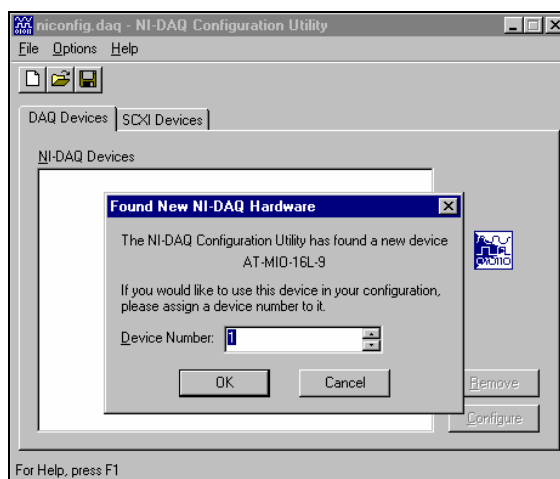


Figura @.16: Atribuirea numerelor de identificare

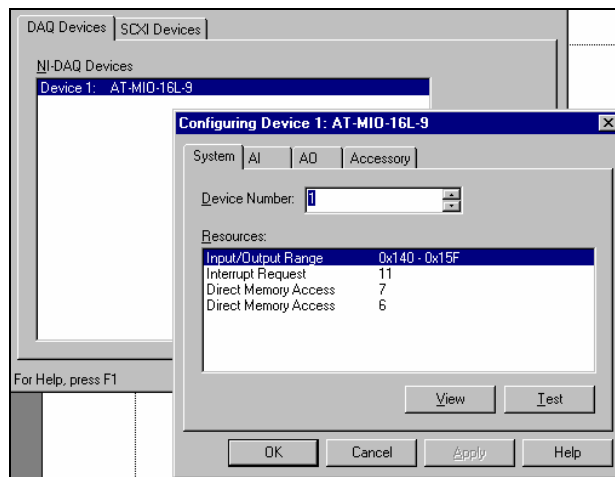


Figura @.17: Afișarea resurselor alocate

- modul de generare (unipolar sau bipolar, cu sau fără tensiune de referință externă) pentru ieșirile analogice;

Pot fi de asemenea declarate de către utilizator informații referitoare la accesorii, inserate între placa de achiziție de date și condiționatoarele de semnal, care modifică eventual relația implicită biunivocă dintre mulțimea intrărilor analogice ale plăcii de achiziție de date și mulțimea punctelor de măsurare (traductoarelor) din

sistemul studiat (multiplexoare, plăci de conectare multiplă etc).

Resursele alocate de către mediul de operare pot fi testate în scopul verificării nealocării acestora către alte echipamente hardware montate anterior în calculator. În situația în care construcția plăcii de achiziție de date nu permite modificarea acestor resurse decât prin repoziționarea unor microîntrerupătoare situate pe placă (unele tipuri de plăci permit modificări comandate numai prin software), programul afișează poziția necesară a microîntrerupătoarelor pentru alocarea unor anumite resurse disponibile (figura @.18).

După încheierea introducerii informațiilor referitoare la plăcile de achiziție de date, în situația în care în sistemul de măsurare sunt utilizate condiționatoare de semnal din seria SCXI, pot fi introduse informații referitoare la structura sistemului de condiționatoare:

- modelul de șasiu utilizat (figura @.19);
- numărul de identificare ce urmează a fi alocat șasiului respectiv și un cod cuprinzând adresa ce

va fi utilizată în comunicațiile dintre șasiu și placa de achiziție de date (figura @.20);

- codurile modulelor de condiționare SCXI existente în șasiu (figura @.21);

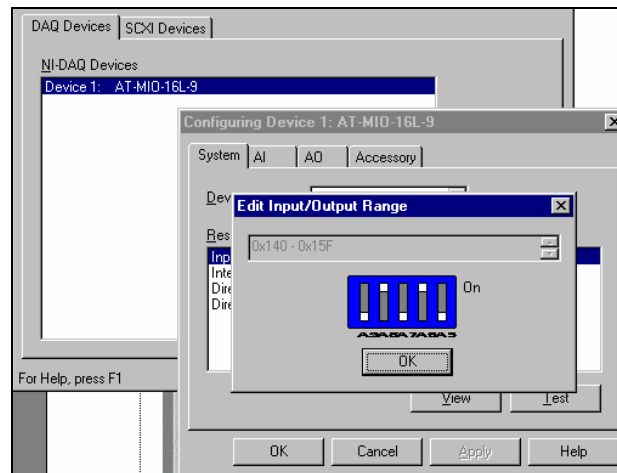


Figura @.18: Afișarea pozițiilor microîntrerupătoarelor

- informații privind modulele de operare ale modulelor de condiționare (figura @.22).

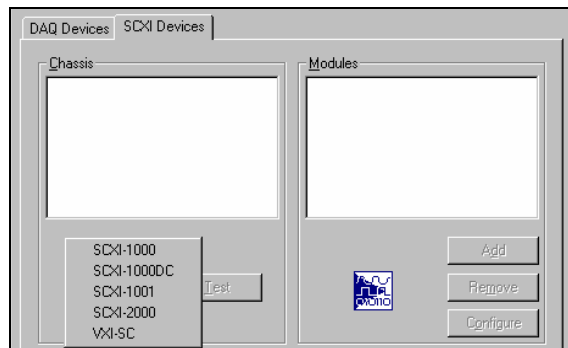


Figura @.19: Specificarea tipului de șasiu

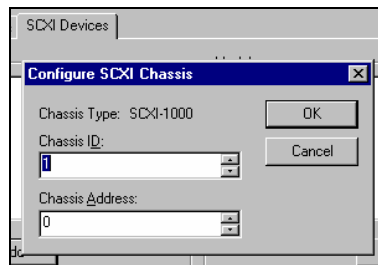


Figura @.20: Numărul de identificare și adresa pentru comunicații

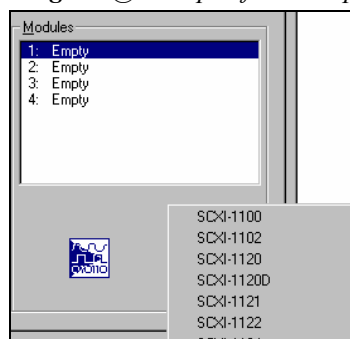


Figura @.21: Specificarea modulelor SCXI existente în șasiu

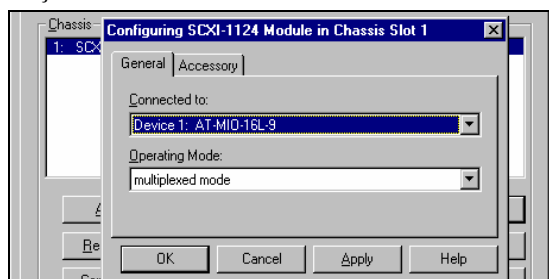


Figura @.22: Specificarea modulelor de operare ale modulelor SCXI

În momentul în care informațiile referitoare la plăcile de achiziție de date și la eventualele sisteme de condiționare a semnalelor au fost înregistrate în fișierele de configurare ale mediului de operare, viitorul utilizator al sistemului computerizat de achiziție de date poate lansa în execuție un alt software de configurare, dedicat de această dată stocării unor informații referitoare la porțiunea sistemului de măsurare cuprinsă între traductoare și intrările în placa de achiziție de date.

Programarea funcționării unui sistem de măsurare computerizat cu mai multe plăci de achiziție de date sau cu mai multe canale de măsurare (puncte de măsură) impune specificarea în cadrul software-ului a unor indici referitori la o anumită placă de achiziție sau la un anumit canal de măsurare. Chiar și în cazul unui singur canal de măsurare, deoarece placa de achiziție de date măsoară de fapt o tensiune electrică, unitatea de măsură respectivă trebuie transformată în cadrul software-ului în unitatea de măsură caracteristică mărimii fizice măsurate în proces.

Utilitatea acestui al doilea software de configurare constă pe de o parte în faptul că, atunci când se utilizează mai multe canale de măsurare, programul permite înlocuirea indicilor numerici aferenți plăcilor de achiziție de date și canalelor de măsurare cu denumiri sugestive, alese de către utilizator, care să micșoreze riscul erorilor de programare datorate specificării eronate a indicelui numeric al canalului pe care se efectuează măsurarea unei anumite mărimi fizice.

Pe de altă parte, acest software de configurare permite definirea separată și stocarea în fișiere de configurare a expresiilor analitice sau a legăturilor după care are loc transformarea unității de măsură a mărimii determinate experimental din volții oferii direct de placa de achiziție de date în unitatea de măsură caracteristică. Astfel, pe lângă efectul de modularizare și structurare a programării, în situația în care un același traductor este utilizat în mai multe sisteme de măsurare, la diverse momente de timp, procedurile de transformare a unităților de măsură nu mai trebuiesc reprogramate, informațiile necesare fiind preluate din fișierele create de software-ul de configurare.

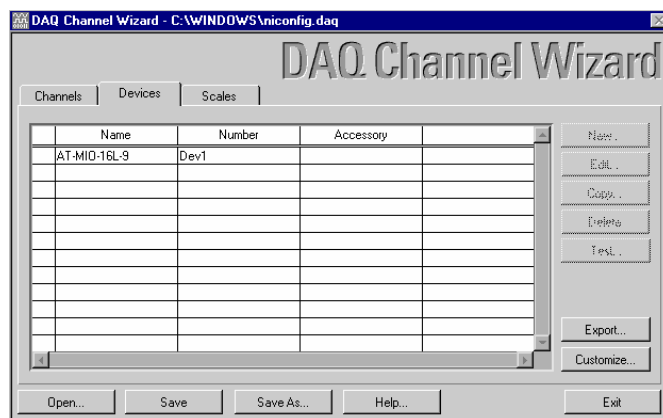


Figura @.23: Software-ul de configurare DAQ Channel Wizard

utilizatorul specifică un nume pentru acesta, precum și categoria din care traductorul utilizat face parte (rezistiv, cu semnal în tensiune sau curent, termocuplu etc).

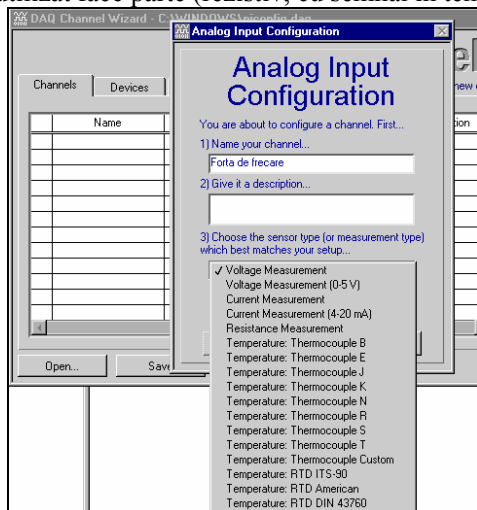


Figura @.24: Specificarea numelui canalului și a tipului traductorului

Un astfel de software de configurare, **DAQ Channel Wizard** (figura @.23), produs de asemenea de către corporația **National Instruments**, oferă și facilități de modificare a parametrilor de configurare ai plăcilor de achiziție de date, atunci când aceste modificări sunt permise prin software.

La inițierea definirii unui nou canal de măsurare (figura @.24),

Utilizatorul specifică apoi unitatea de măsură pentru mărimea fizică din proces și limitele intervalului în care se așteaptă ca aceasta să se încadreze (figura @.25).

În cazul în care anterior a fost specificată utilizarea unui termocuplu sau a unei termorezistente, programul nu mai permite decât definirea unei unități de măsură utilizată pentru temperatură (grade Celsius, Fahrenheit, Kelvin etc).

De asemenea, în cazul utilizării traductoarelor de temperatură, programul indică automat intervalul de măsurare în care traductorul specificat poate funcționa și mărimea semnalului pe care acesta îl poate genera.

Specificarea de către utilizator a intervalului de încadrare a tensiunii electrice la intrarea în placa de achiziție

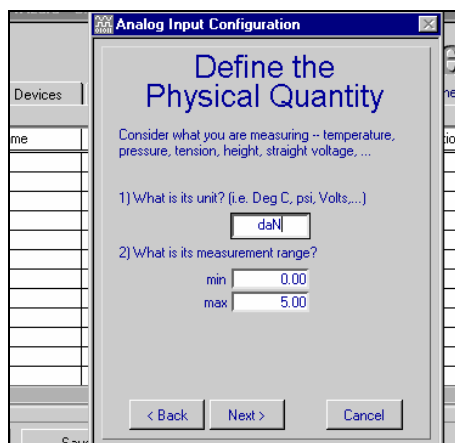


Figura @.25: Specificarea unității de măsură și a intervalului de măsurare

de date este urmată (figura @.26) de definirea tipului de relație (directă, proporțională, liniară, polinomială sau definită prin puncte) dintre valoarea mărimii măsurate (exprimată în unitatea de măsură caracteristică) și valoarea tensiunii electrice de intrare.

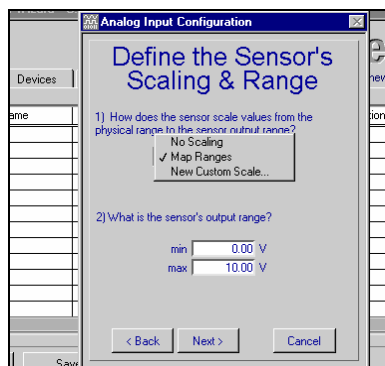


Figura @.26: Definirea relației de transformare a unității de măsură

În funcție de tipul de relație menționată, programul solicită ulterior introducerea coeficienților din cadrul unei eventuale expresii analitice sau a coordonatelor punctelor în care valorile corespunzătoare celor două mărimi sunt cunoscute.

În finalul acestei etape de configurare a sistemului computerizat de măsurare, utilizatorul specifică placa de achiziție de date și canalul de intrare al acesteia pe care se va efectua măsurarea mărimii fizice descrise.

@.7.2. Software pentru măsurare și prelucrarea datelor experimentale

Așa cum s-a menționat la începutul acestui subcapitol, există diverse niveluri de complexitate ale pachetelor software ce permit programarea sistemelor computerizate de măsurare, de la variante ce utilizează funcții specifice incluse în limbaje de programare de nivel înalt până la mediile de programare grafică, acestea din urmă constituind o soluție ce oferă, printre altele, posibilitatea obținerii unui raport maxim între performanțele aplicației realizate și volumul de muncă depus pentru obținerea acesteia.

Reprezentând probabil următorul pas decisiv în programarea calculatoarelor, mediile de programare grafică se caracterizează în principal, pe lângă posibilitățile deosebite de

realizare a interfeței grafice cu utilizatorul (figura @.27), prin aceea că programatorul nu mai este nevoit să descrie aplicația sub forma unui șir de instrucțiuni introduse într-un editor de texte, ci desenează diagrama acesteia (figura @.28) utilizând unelte dedicate puse la dispoziție de către mediul de programare.

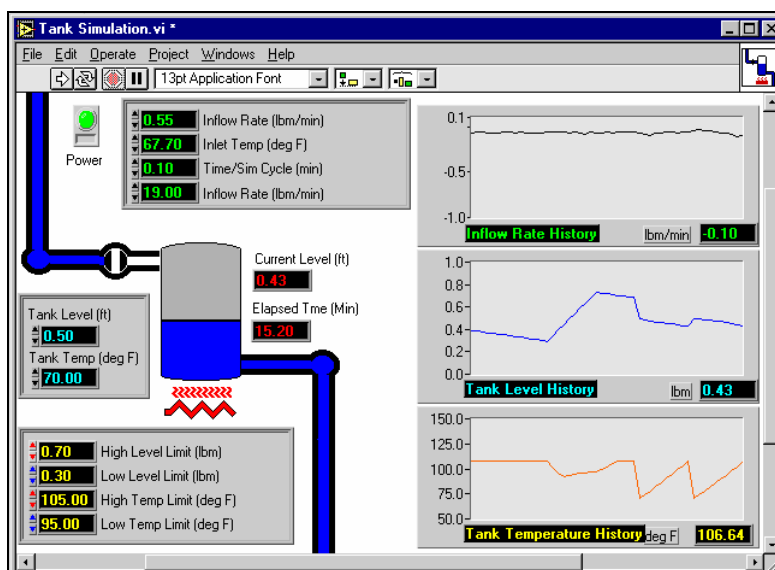


Figura @.27: Interfață grafică cu utilizatorul realizată într-un mediu de programare grafică

Vor fi descrise în continuare o serie de aspecte legate de utilizarea unuia dintre cele mai răspândite medii de programare grafică folosite în cadrul sistemelor de măsurare computerizate, pachetul software **LabVIEW**, realizat de corporația **National Instruments**.

Datorită utilizării lor în special în sistemele de măsurare computerizate, aplicațiile realizate în acest mediu de programare poartă denumirea de **instrumente virtuale**, prin analogie cu instrumentele de măsură utilizate în sistemele de măsurare clasice.

Fereastra în care programatorul definește viitoarea interfață grafică cu utilizatorul a aplicației poartă denumirea de **panou frontal**. Pe acest panou frontal, programatorul poate dispune elemente de control și indicatoare ce vor servi introducerii de date de către utilizatorul aplicației, respectiv afișării de valori calculate de către procedurile programului

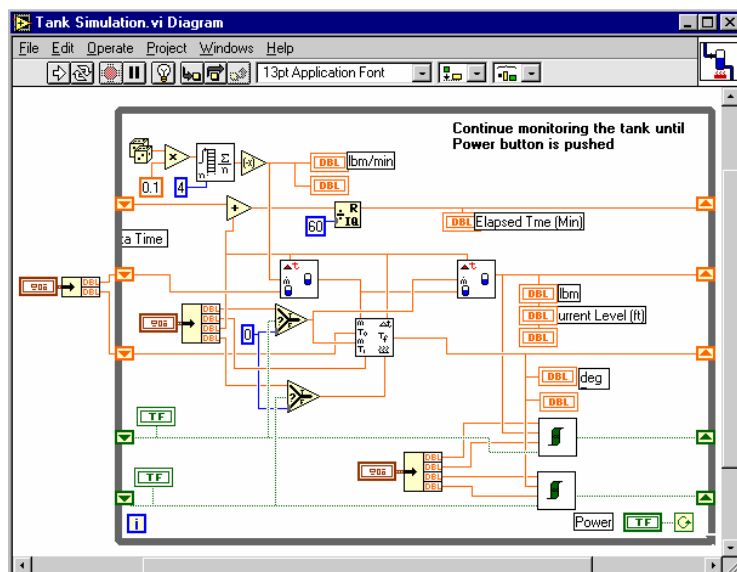


Figura @.28: Diagrama unei aplicații realizate într-un mediu de programare grafică

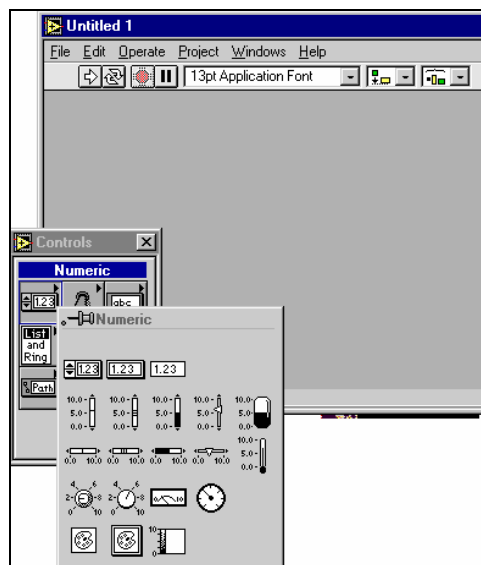


Figura @.29: Meniul cu elemente pentru manipularea datelor numerice

Elementele de control și indicatoare pe care programatorul le are la dispoziție sunt grupate în meniuri, în funcție de tipul datelor pe care urmează să le manipuleze: numerice, logice, șiruri de caractere, liste, șiruri uni- sau multidimensionale de valori de diverse tipuri, structuri ordonate conținând date de tipuri diferite ș.a.m.d.

În figura @.29 se prezintă meniul cu elemente pentru manipularea de date numerice (comutatoare, potențiometre, indicatoare grafice și cu ac etc.) iar în figura @.30 meniul cu elemente pentru date exprimate sub formă logică (butoane, becuri, LED-uri, comutatoare binare, întrerupătoare etc.).

Elementele de control sau indicatoare de pe panoul frontal dispun, indiferent de tipul de date pe care îl manipulează, de facilități oferite de programarea orientată obiect în mediul de operare Windows

(posibilități de re poziționare, scalare, modificare a tipului și dimesiunii caracterelor utilizate, modificare a culorilor etc.).

Fiecare element dispune de un submeniu propriu prin intermediul căruia se pot specifica aspecte particulare legate de precizia și formatul de afișare a datelor numerice, modalitatea de funcționare a comutatoarelor ș.a.m.d.

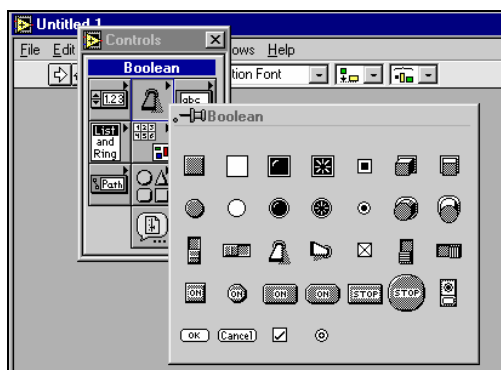


Figura @.30: Meniul cu elemente pentru manipularea datelor sub formă logică

Pe măsură ce programatorul dispune elementele de control și indicatoare pe panoul frontal, simbolurile acestora sunt inserate automat în fereastra ce va conține diagrama aplicației (figura @.31). Reprezentarea grafică a unui simbol depinde de natura elementului corespunzător (de control sau indicator) de pe panoul frontal și de tipul datelor manipulate de către acesta.

Pe lângă simbolurile elementelor din panoul frontal, în diagramă se mai pot introduce simboluri ale unor constante de diverse tipuri (numerice, logice, alfanumerice etc.), structuri specifice

limbajelor de programare (iterative, cauzale, secvențiale etc.), funcții matematice cu diverse grade de complexitate și proceduri pentru comanda sistemului computerizat de măsurare.

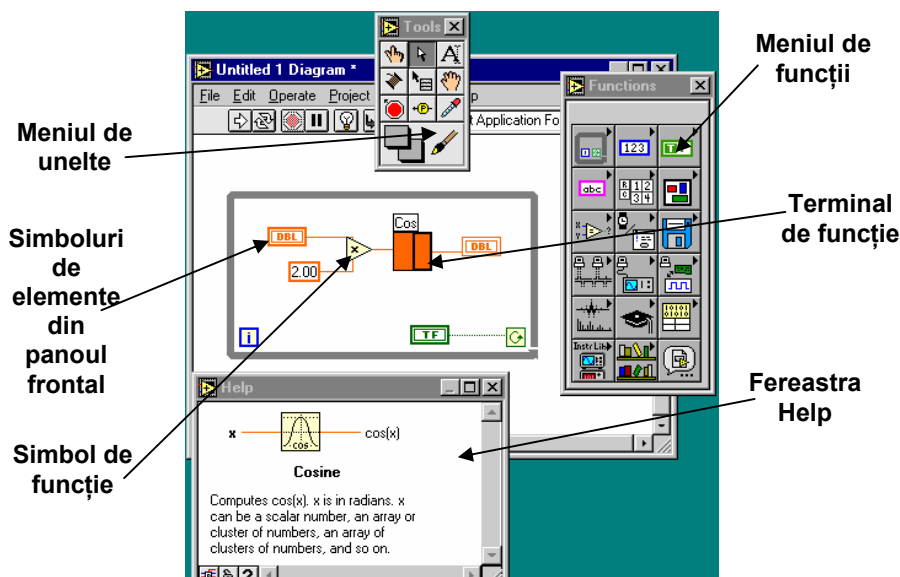


Figura @.31: Componente și meniuri ale diagramei

Fluxul datelor între diversele componente ale diagramei este descris de către programator prin trasarea grafică de legături între acestea, utilizând o unealtă din meniul specific.

Introducerea funcțiilor sau a comenzilor în diagramă poate fi realizată atât cu afișarea unor simboluri ale acestora cât și cu afișarea unor terminale, partajate în zone reprezentând variabilele de intrare și de ieșire din funcție sau din procedura de descriere comanda corespunzătoare.

Semnificația zonelor din terminalul unei funcții sau al unei proceduri poate fi vizualizată într-o fereastră **Help**, în momentul în care cursorul mouse-ului este poziționat deasupra terminalului respectiv.

Meniul de funcții al mediului de programare grafică pune la dispoziția utilizatorului:

- seturi de funcții matematice pentru prelucrarea valorilor numerice (inclusiv funcții trigonometrice și logaritmice) și logice, a șirurilor de caractere alfanumerice și a mulțimilor uni- sau multidimensionale de valori de diverse tipuri;
- funcții și proceduri pentru manipularea valorilor temporale, pentru lucrul cu fișiere în diverse formate, pentru generarea unor comenzi către sistemul de operare sau către procedurile de control ale mediului de programare grafică;
- funcții pentru comunicații în rețea, utilizând diverse standarde și protocoale de transfer al informației;
- funcții și proceduri complexe de prelucrare și analiză a valorilor experimentale, de la funcțiile pentru calculul indicatorilor statistici până la proceduri de calcul al transformatelor Fourier și al spectrelor de putere și frecvență, proceduri pentru calculul regresional, filtre digitale etc;
- proceduri pentru comanda plăcilor de achiziție de date.

În cadrul meniului de funcții al diagramei, procedurile pentru comanda plăcilor de achiziție de date sunt grupate în primul rând după cele patru funcțiuni principale pe care o astfel de placă le poate îndeplini (intrări analogice, ieșiri analogice, comunicații digitale și numărare / cronometrare).

Pentru fiecare funcțiune există mai multe grupuri de proceduri, corespunzătoare unor niveluri diferite de complexitate a programării, începând de la proceduri de nivel înalt care descriu procese complexe până la proceduri de nivel scăzut referitoare la comanda unor circuite particulare ale plăcilor de achiziție de date.

Astfel, în figura @.32 este prezentată o procedură de nivel înalt care realizează măsurarea unuia sau mai multor semnale aplicate la una sau mai multe intrări analogice ale plăcii de achiziție de date.

Programatorul trebuie să ofere informații despre indicele plăcii care va efectua măsurarea, indicii canalelor de intrare analogică la care vor fi aplicate semnalele măsurate, numărul de valori ce urmează a fi măsurate pe fiecare canal și rata de eșantionare cu care măsurarea urmează a fi efectuată. Opțional, programatorul poate specifica limitele intervalului de măsurare ce urmează a fi utilizat, în situația în care modificarea acestuia poate fi efectuată prin software.

Se observă, în acest caz al utilizării procedurilor de nivel înalt, că informațiile de care programatorul trebuie să dispună se referă la parametri specifici oricărui proces de măsurare computerizată, fără a fi necesar a fi cunoscute informații despre modalitățile concrete în care circuitele plăcii de achiziție de date vor funcționa pentru îndeplinirea procedurii de măsurare.

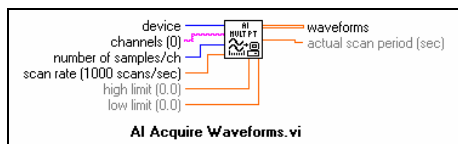


Figura @.32: Procedură de nivel înalt pentru intrare analogică

Procedurile de nivel scăzut (figura @.33) se referă la aspectele cele mai detaliate ale funcționării plăcii de achiziție de date. Astfel, pentru efectuarea operației de măsurare descrise anterior, programatorul va trebui să utilizeze proceduri separate pentru dimensionarea zonei de memorie în care vor fi stocate valorile măsurate, pentru programarea numărătoarelor interne care vor asigura baleierea canalelor de intrare și a celor care vor asigura rata prescrisă de eșantionare, pentru specificarea modului în care pornește și se încheie măsurarea propriu-zisă (conversia analog – digitală) ș.a.m.d.

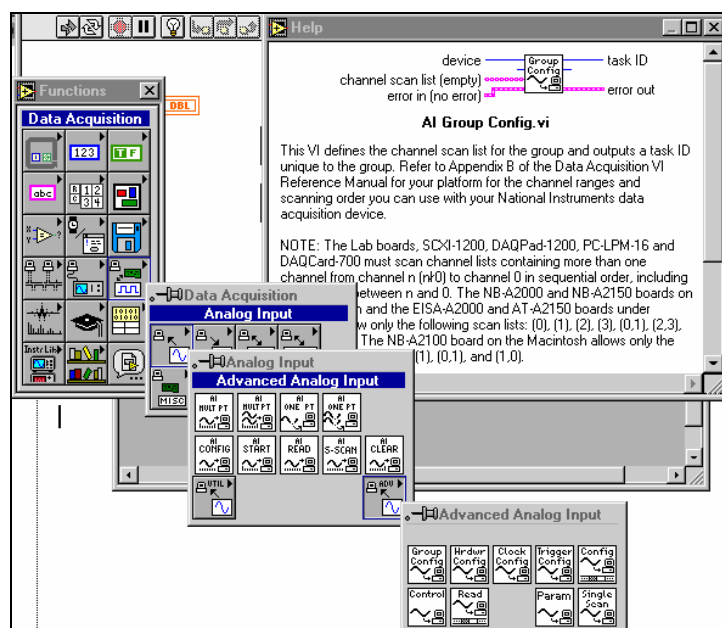


Figura @.33: Zonă din meniul de funcții al diagramei, conținând procedurile de nivel scăzut pentru intrări analogice

Diferențele între modalitatea de programare cu proceduri de nivel înalt și cea cu proceduri de nivel scăzut se manifestă în facilitatea dezvoltării aplicației dar și în performanțele acesteia.

Utilizarea procedurilor de nivel înalt este extrem de facilă pentru programator, conducând la valori extrem de reduse ale timpului necesar pentru realizarea unei aplicații (uneori de ordinul minutelor). Performanțele unei aplicații astfel realizate sunt însă mai reduse decât în cazul utilizării procedurilor de nivel scăzut, diferența putând deveni critică în cazul în care procesul ce urmează a fi monitorizat este rapid și necesită un volum mare de informații prelucrate în unitatea de timp.

Explicația diferențelor între performanțele obținute prin cele două modalități de programare rezidă în faptul că procedurile de nivel înalt sunt formate prin reunirea mai multor proceduri de nivel scăzut (figura @.34) și atribuirea de valori implicite unor parametri de configurare a funcționării circuitelor plăcii de achiziție de date.

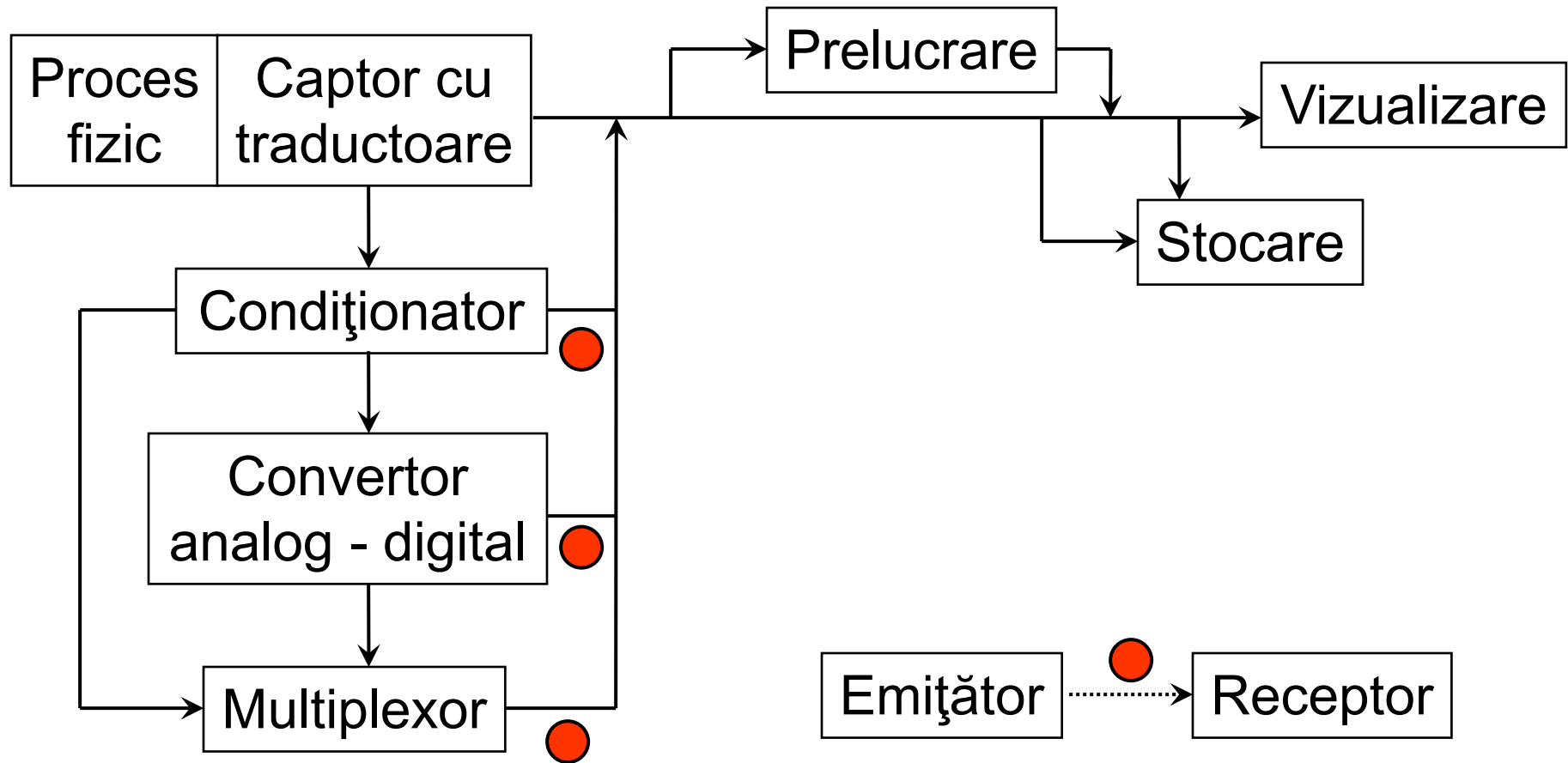
Astfel, în primul rând, funcționarea unei proceduri de nivel înalt implică transferul informației între mai multe proceduri de nivel scăzut succesive nu prin intermediul unor variabile simple ale aplicației realizate de utilizator ci prin modificarea proprietăților

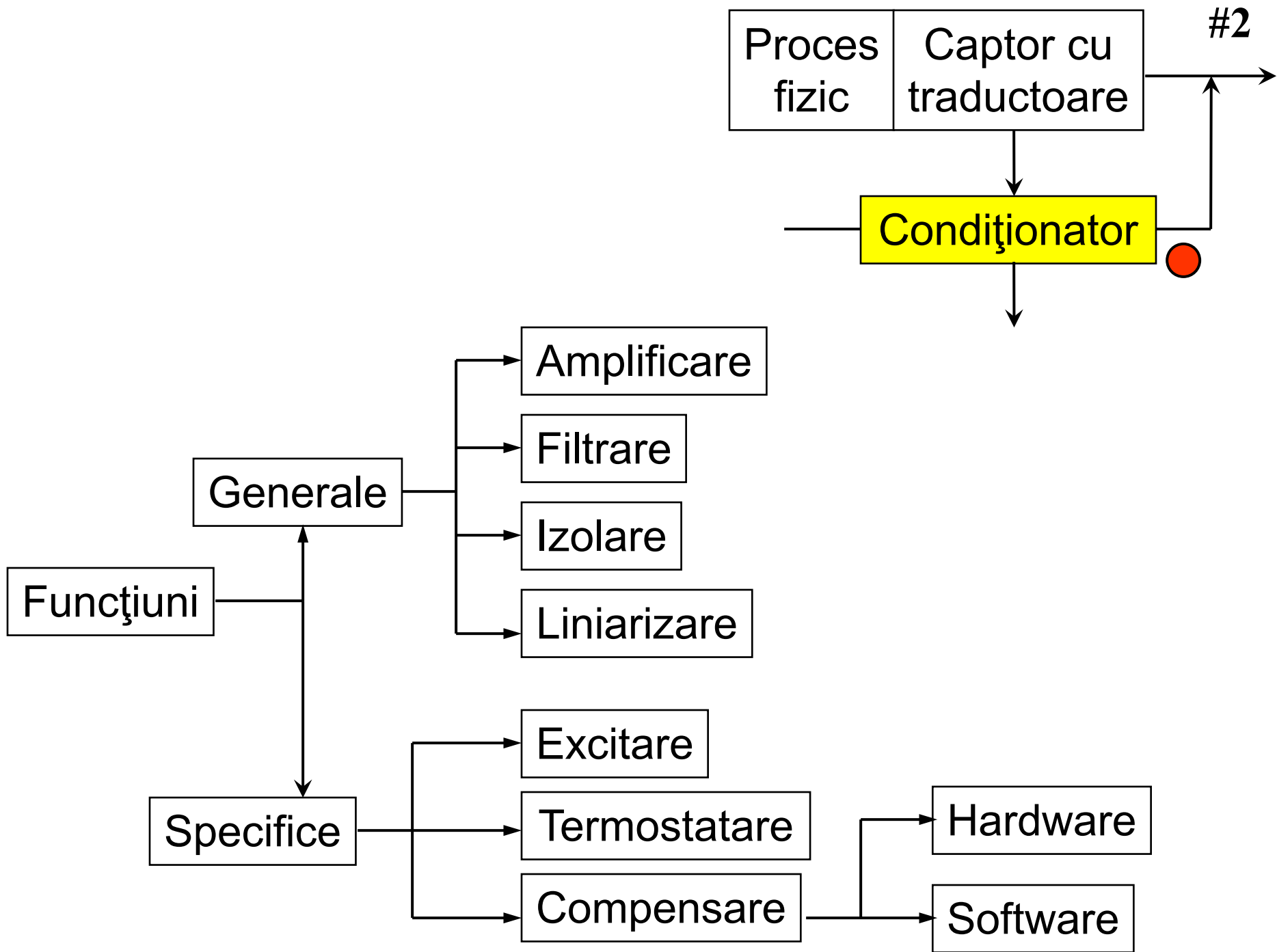
Pe de altă parte, în situația în care o procedură de nivel înalt este inserată într-o structură de programare repetitivă, configurările interne realizate de către procedurile de nivel scăzut vor fi reluate cu aceiași parametri la fiecare iterație, fapt ce va conduce la un consum inutil de timp de calcul, precum și la un consum de timp necesar pentru stabilizarea circuitelor plăcii de achiziție de date după fiecare reconfigurare.

[illegible]

Practica programării recomandă utilizarea procedurilor de nivel înalt în etapa inițială de realizare a aplicației, atunci când simplitatea acestora permite programatorului să se concentreze asupra altor aspecte ale dezvoltării și să utilizeze avantajele structurării și modularizării aplicației, oferind în același timp și un risc scăzut de apariție a erorilor de programare.

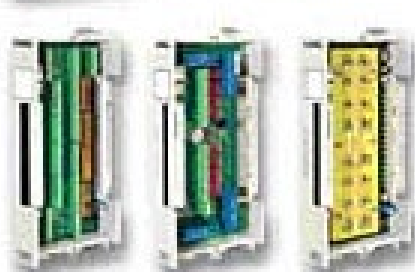
Trecerea inversă, de la programarea de nivel scăzut la cea de nivel ridicat, este permisă de mediul de programare grafică prin posibilitatea de înlocuire a unor zone din diagrama aplicației printr-o nouă procedură de nivel superior. Facilitatea (aplicabilă nu numai pentru cazurile de utilizare a procedurilor de comandă a plăcii de achiziție de date) permite dezvoltarea unor diagrame mai modularizate și mai lizibile, micșorând riscul erorilor de programare, însă conduce evident la scăderea vitezei cu care aplicația va fi executată, din motivele expuse anterior.





SCXI

Sasiuri SCXI



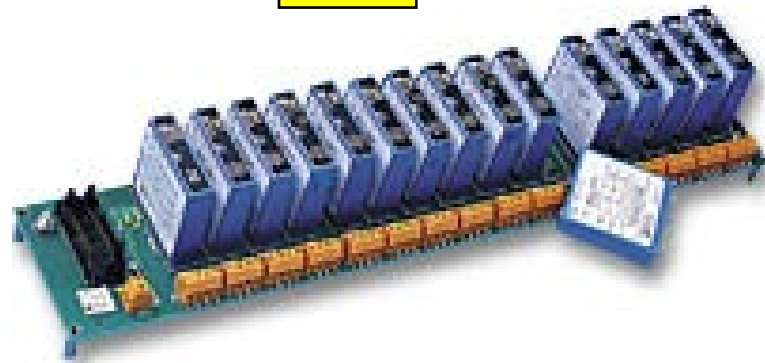
Blocuri terminale

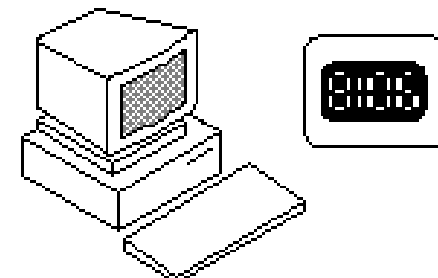
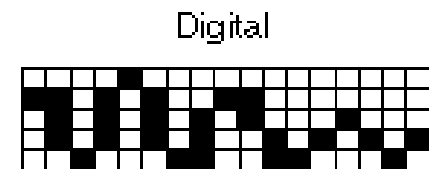
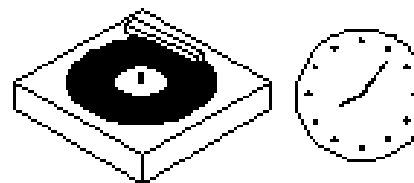
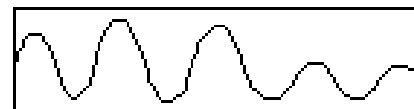
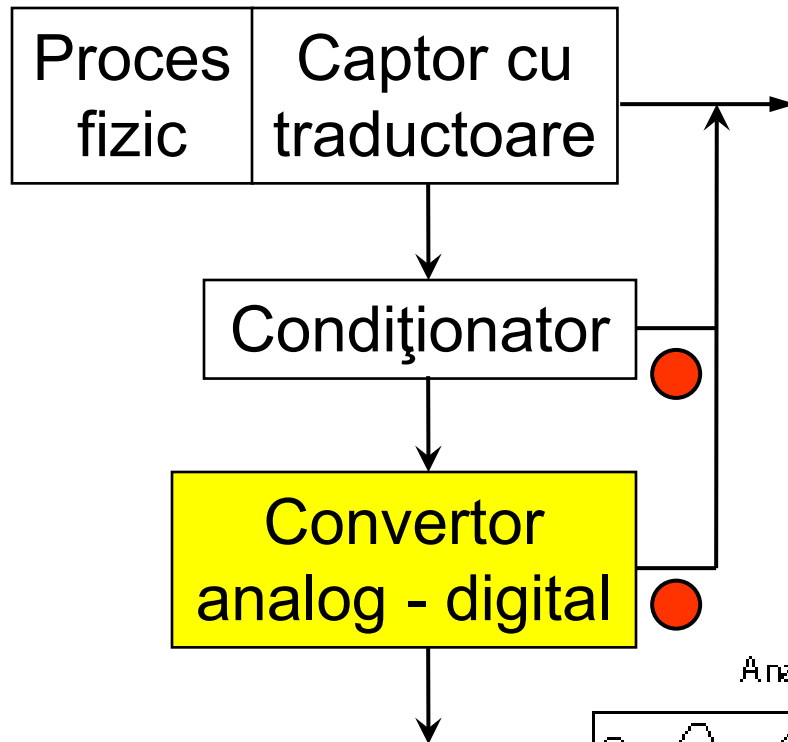


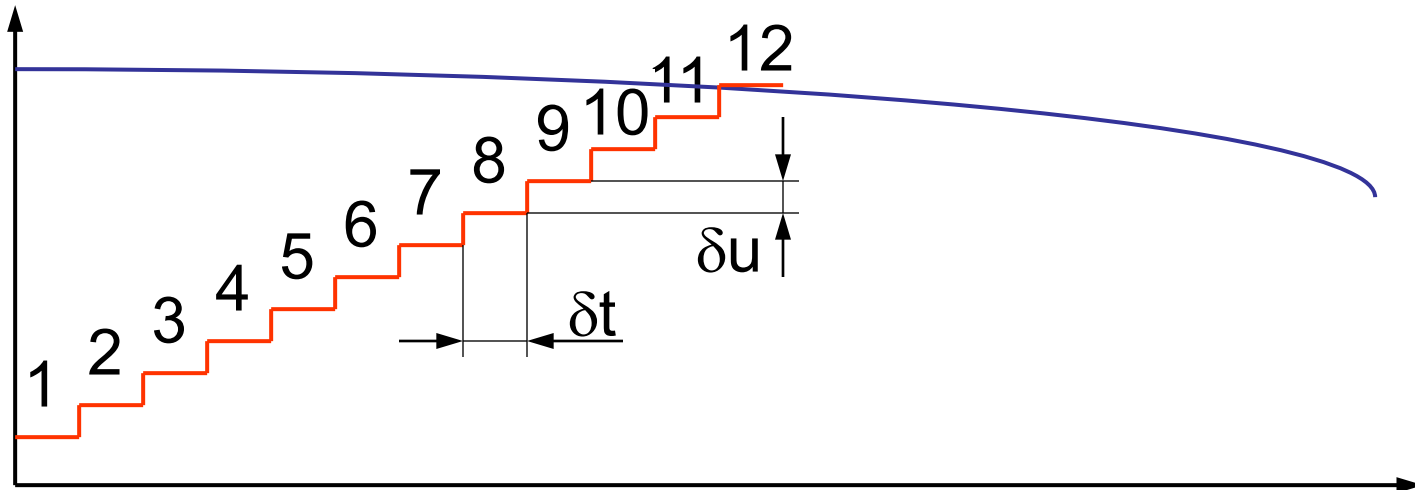
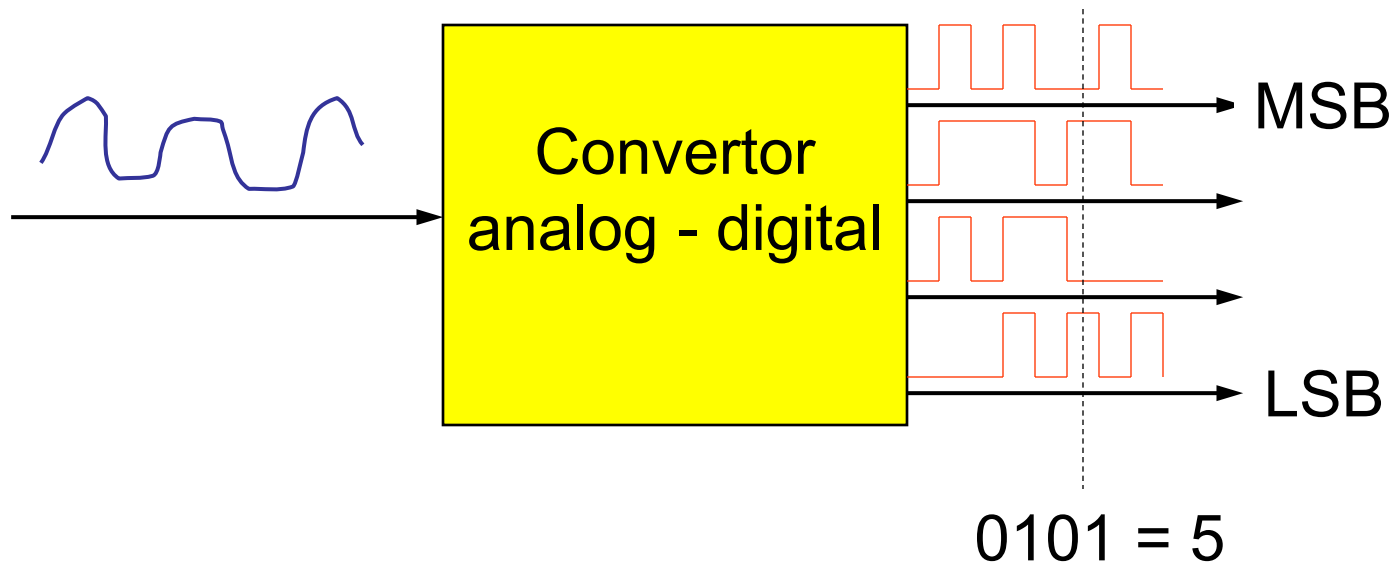
Module SCXI

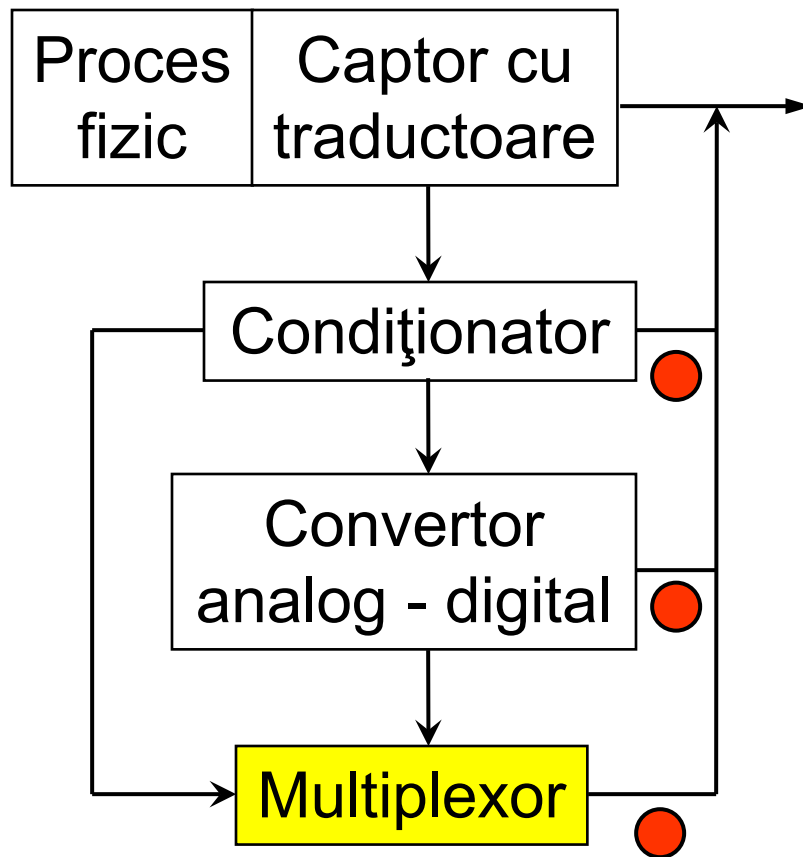


5 B

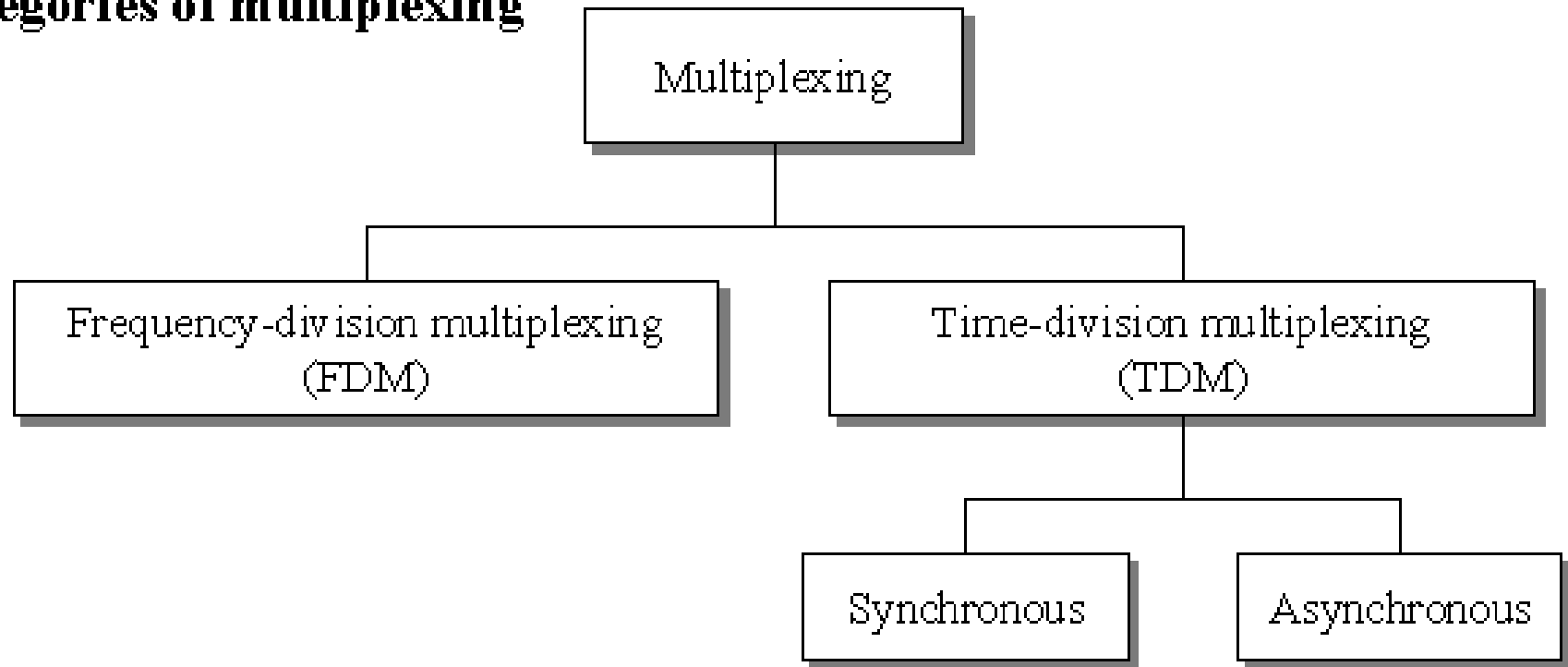




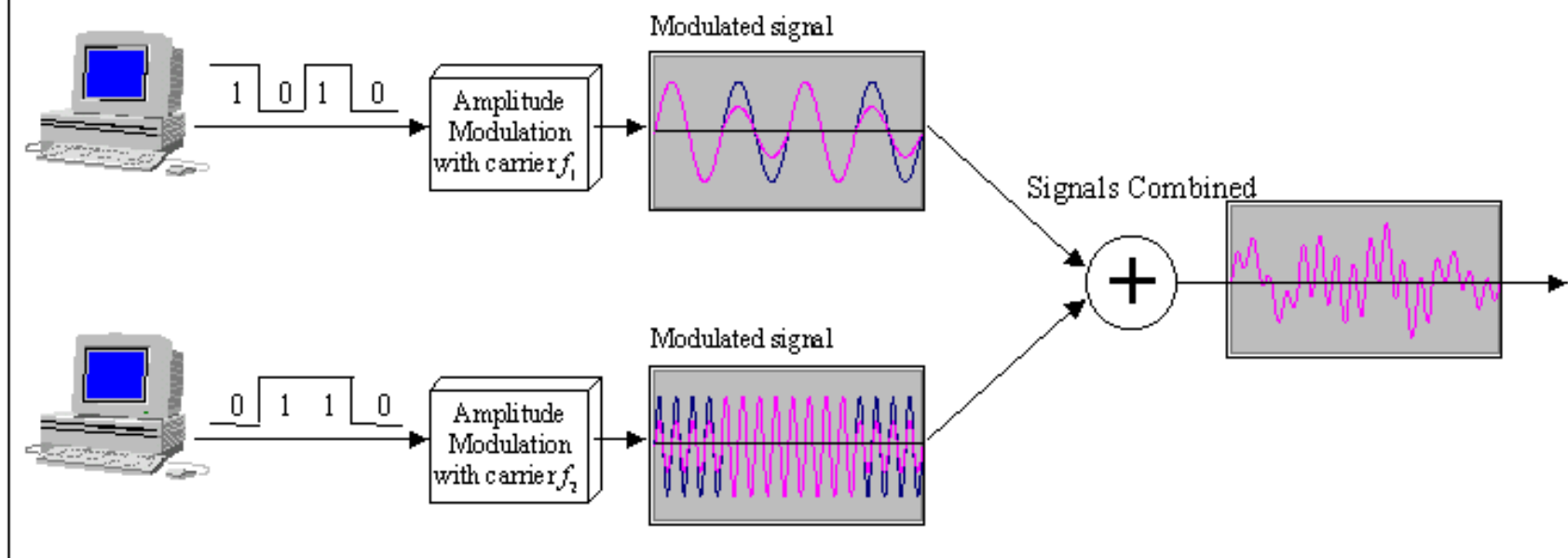




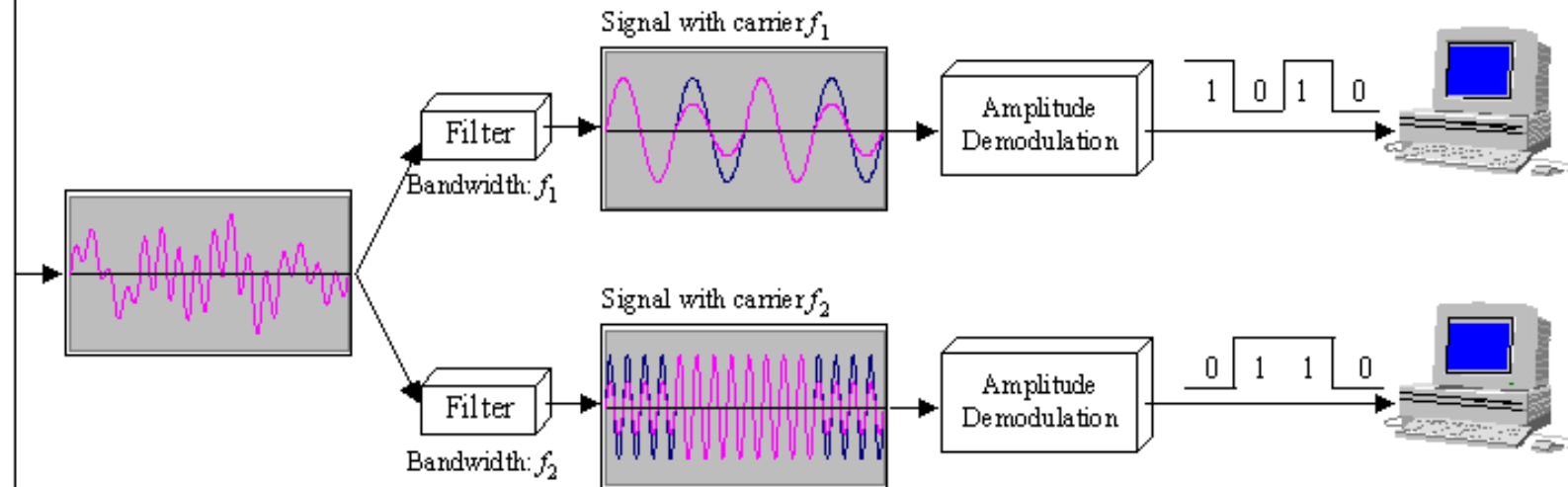
Categories of multiplexing



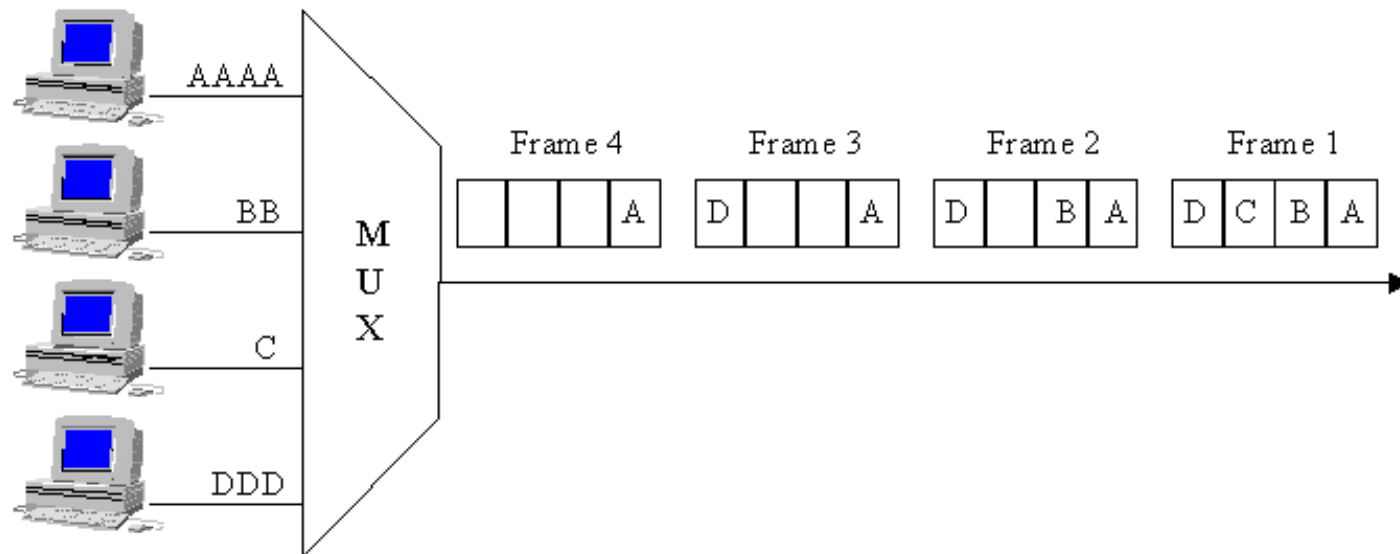
FDM multiplexing process



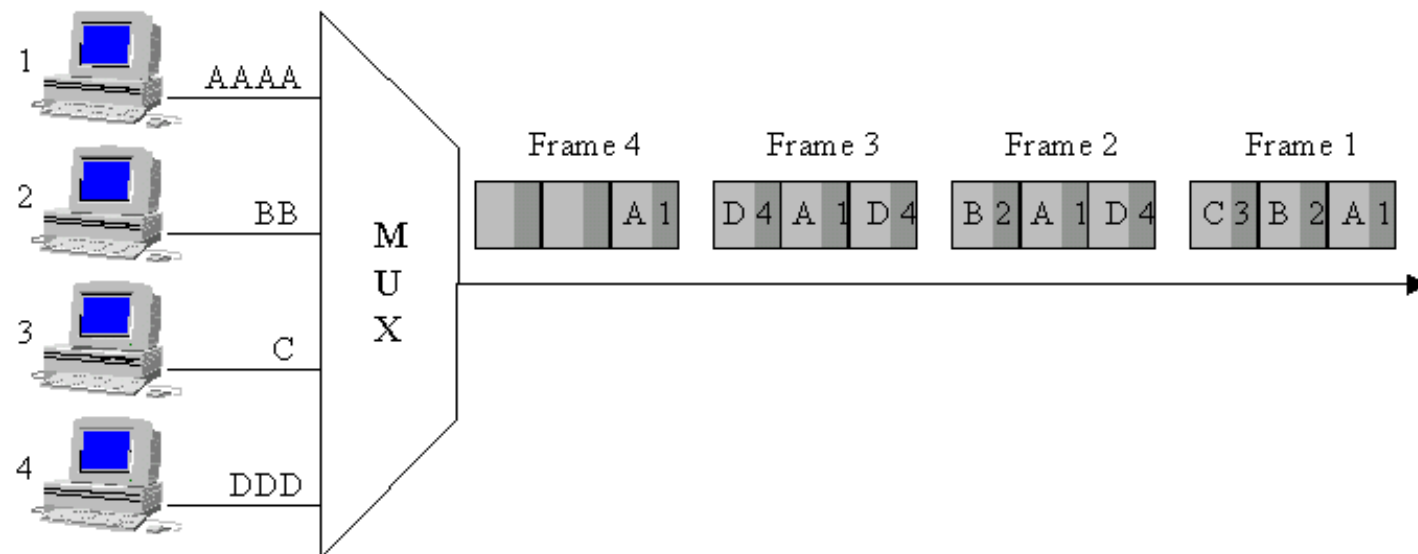
FDM demultiplexing process



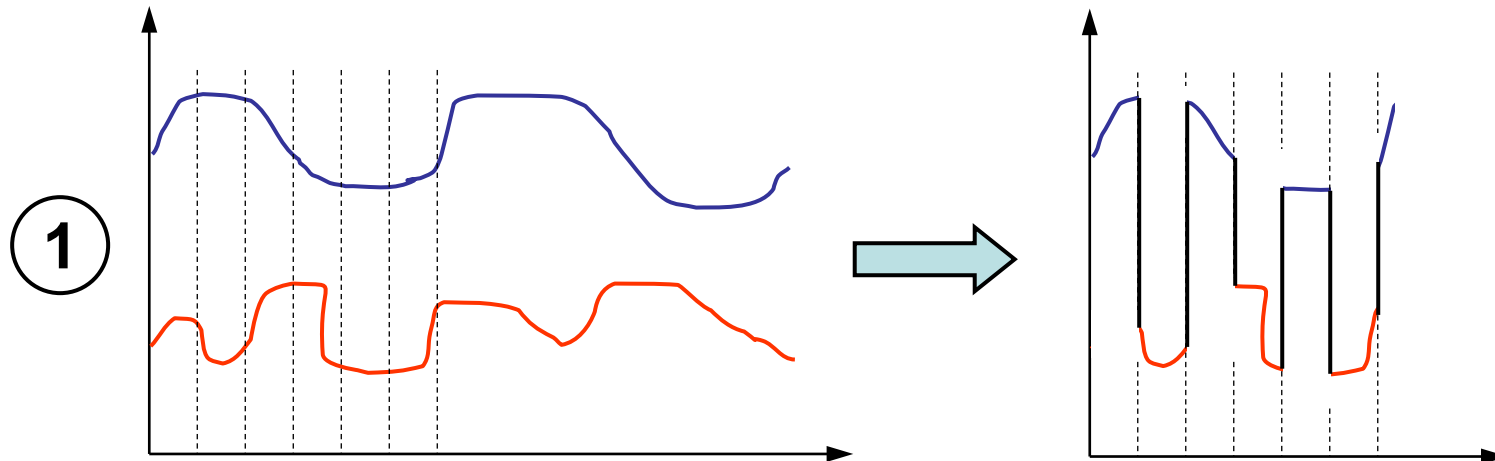
Synchronous TDM: multiplexing process



Asynchronous TDM: multiplexing process



Modalități de multiplexare

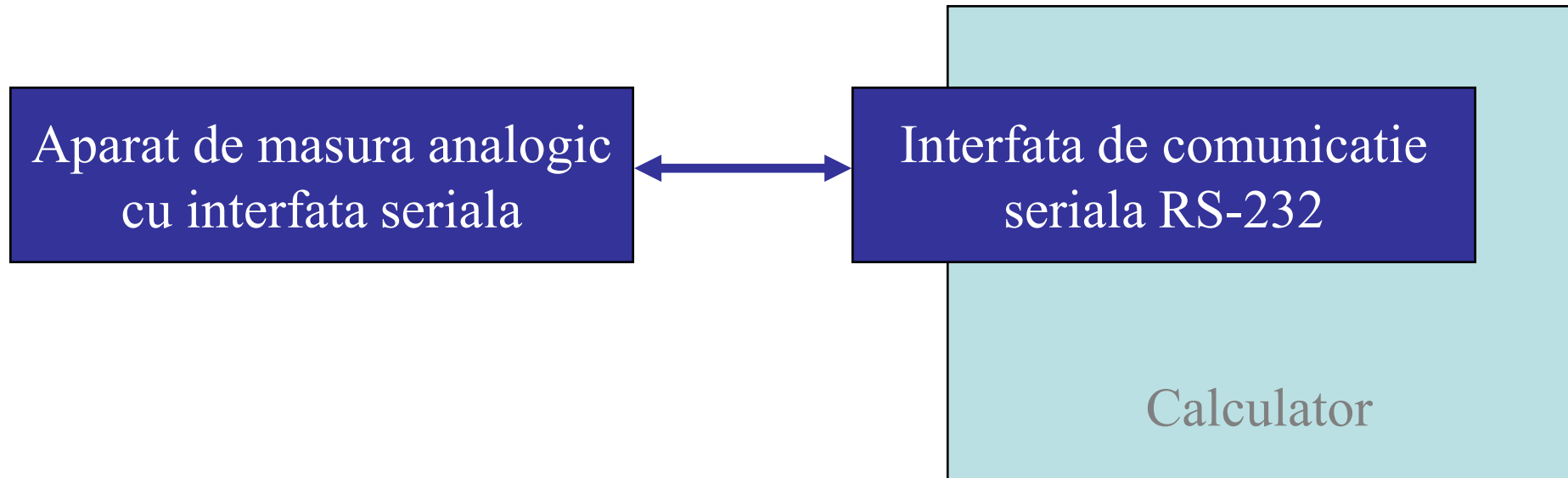


② Prin modulație în frecvență

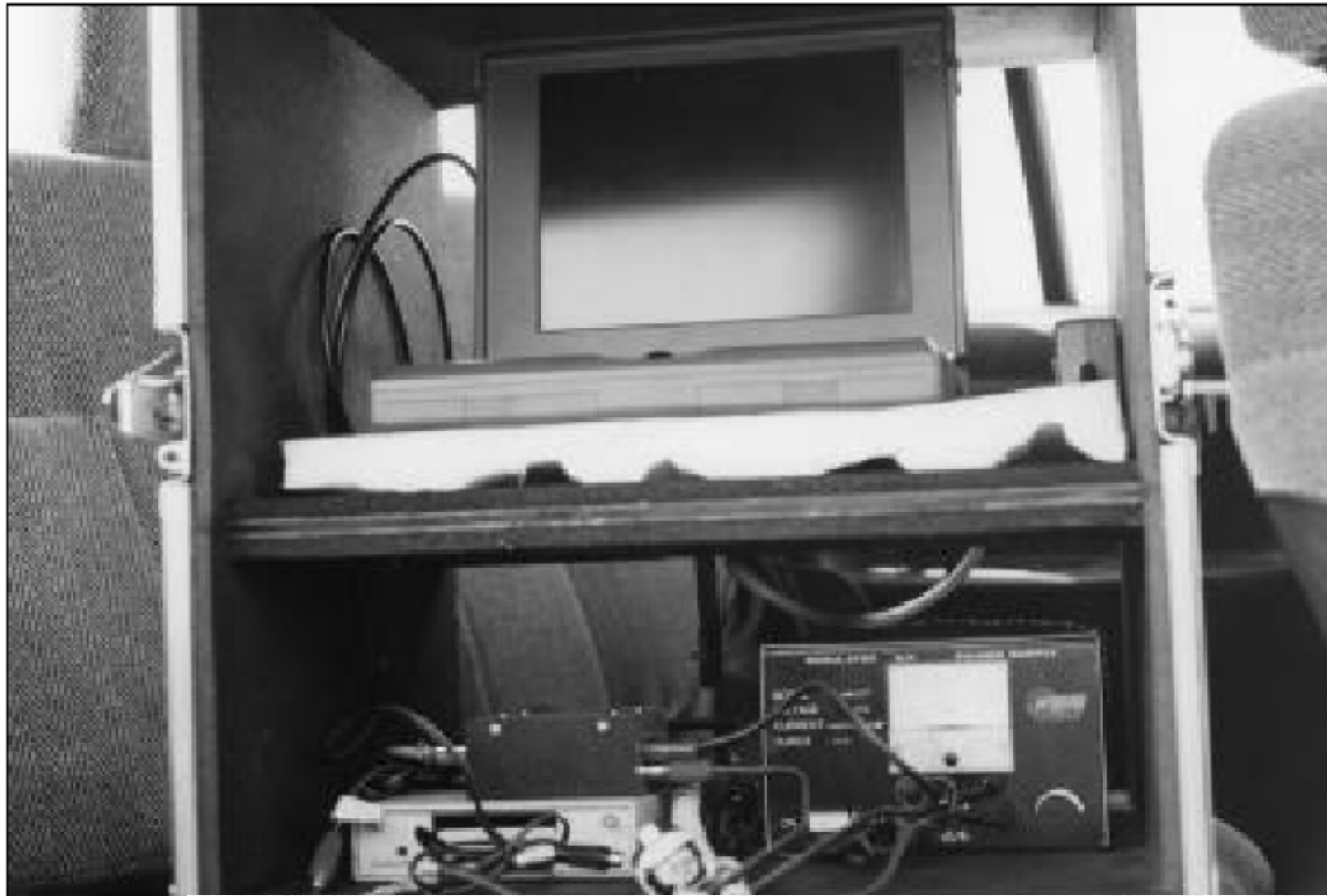
SISTEME COMPUTERIZATE DE ACHIZITIE A DATELOR



S.C.A.D. cu comunicatie seriala



**Pentru comanda aparatelor analogice simple
si pentru semnale lent variabile**



National Technical University of Athens
School of Electrical and Computer Engineering





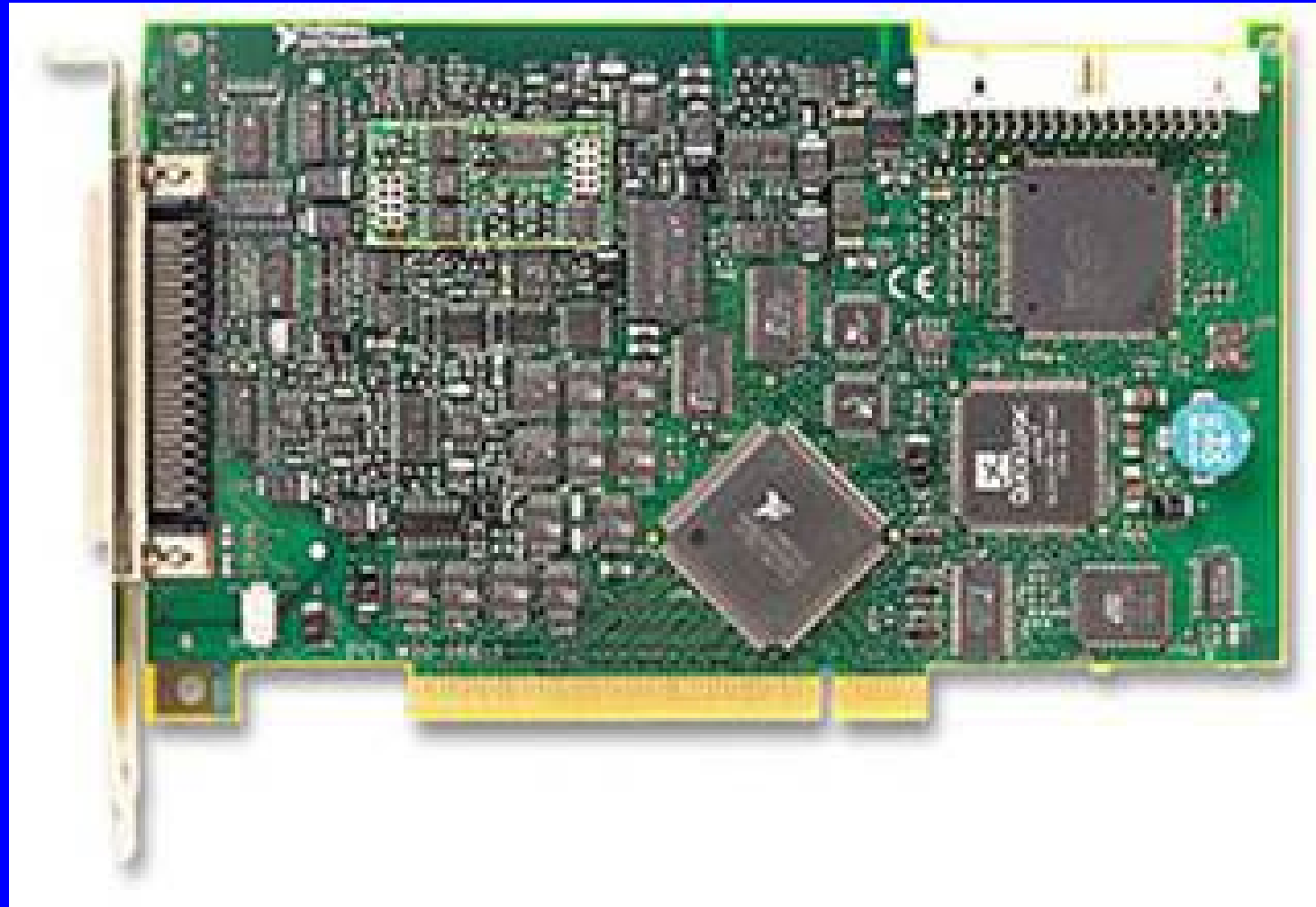
Bill Hewlett - 1938

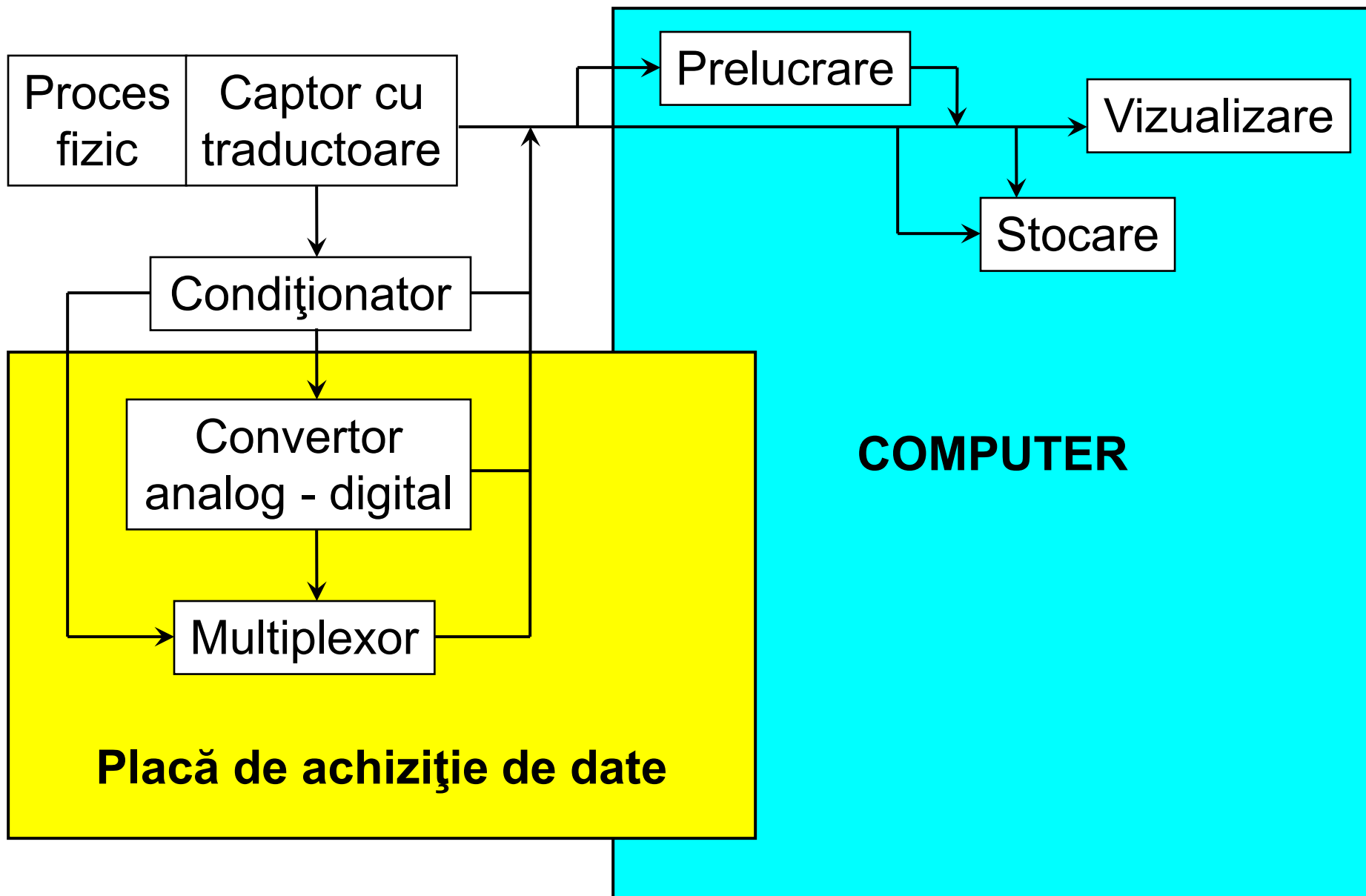




Fig. 1. Aparatul Trime-FM pentru măsurarea umidității solului (IMKO GmbH., Ettlingen, Germania), având cuplate traductorul de umiditate, cablul pentru comunicația serială cu calculatorul și cablul de alimentare.

PLACI MULTIFUNCTIONALE DE ACHIZITIE A DATELOR





Plăci de achiziție de date

Funcțiuni

Intrare analogică

Ieșire analogică

Comunicații digitale

Numărare / Cronometrare

Indicatori de performanță

Număr de canale

Rată maximă
de eșantionare

Interval de măsurare

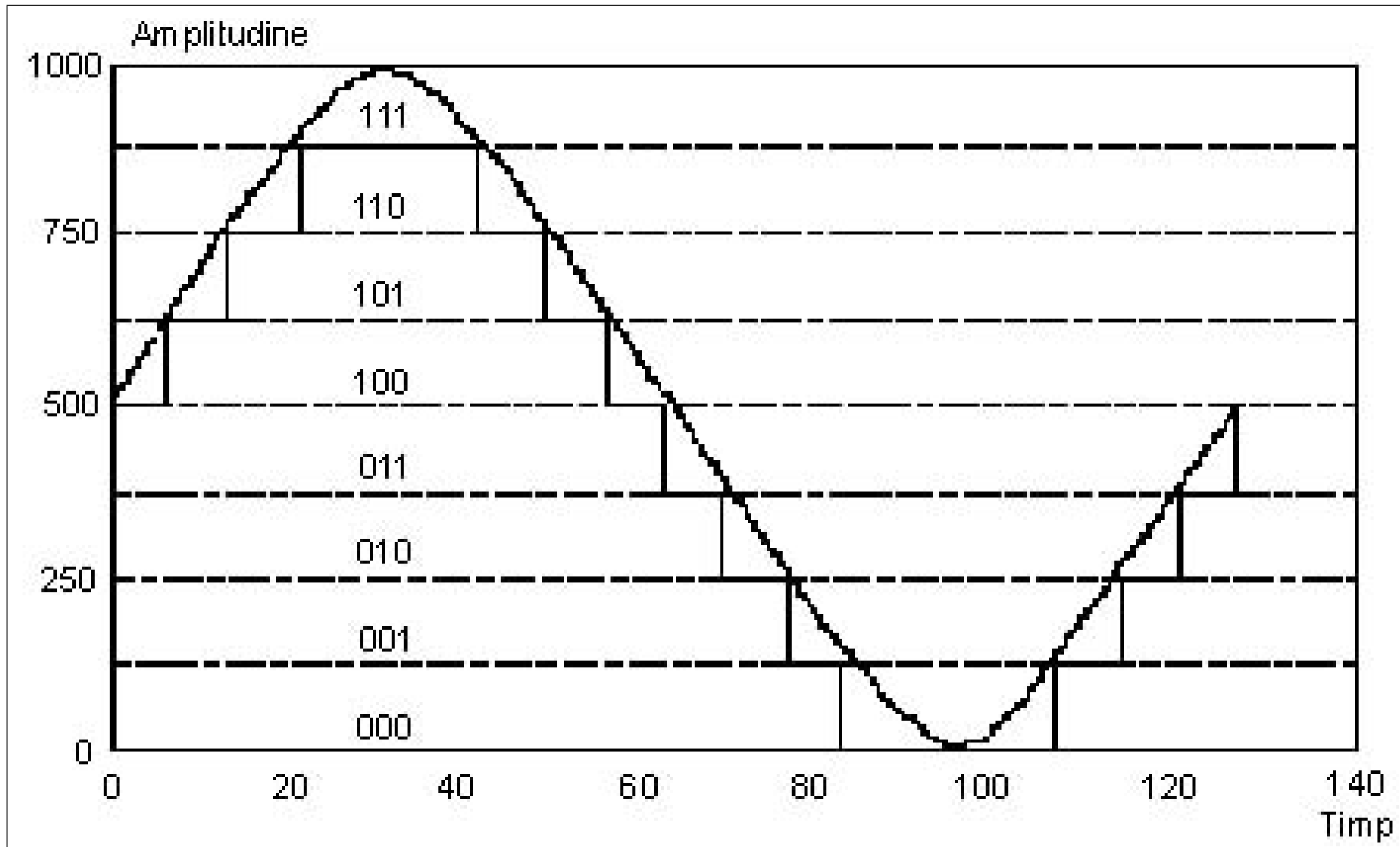
Rezoluție

Precizie de măsurare

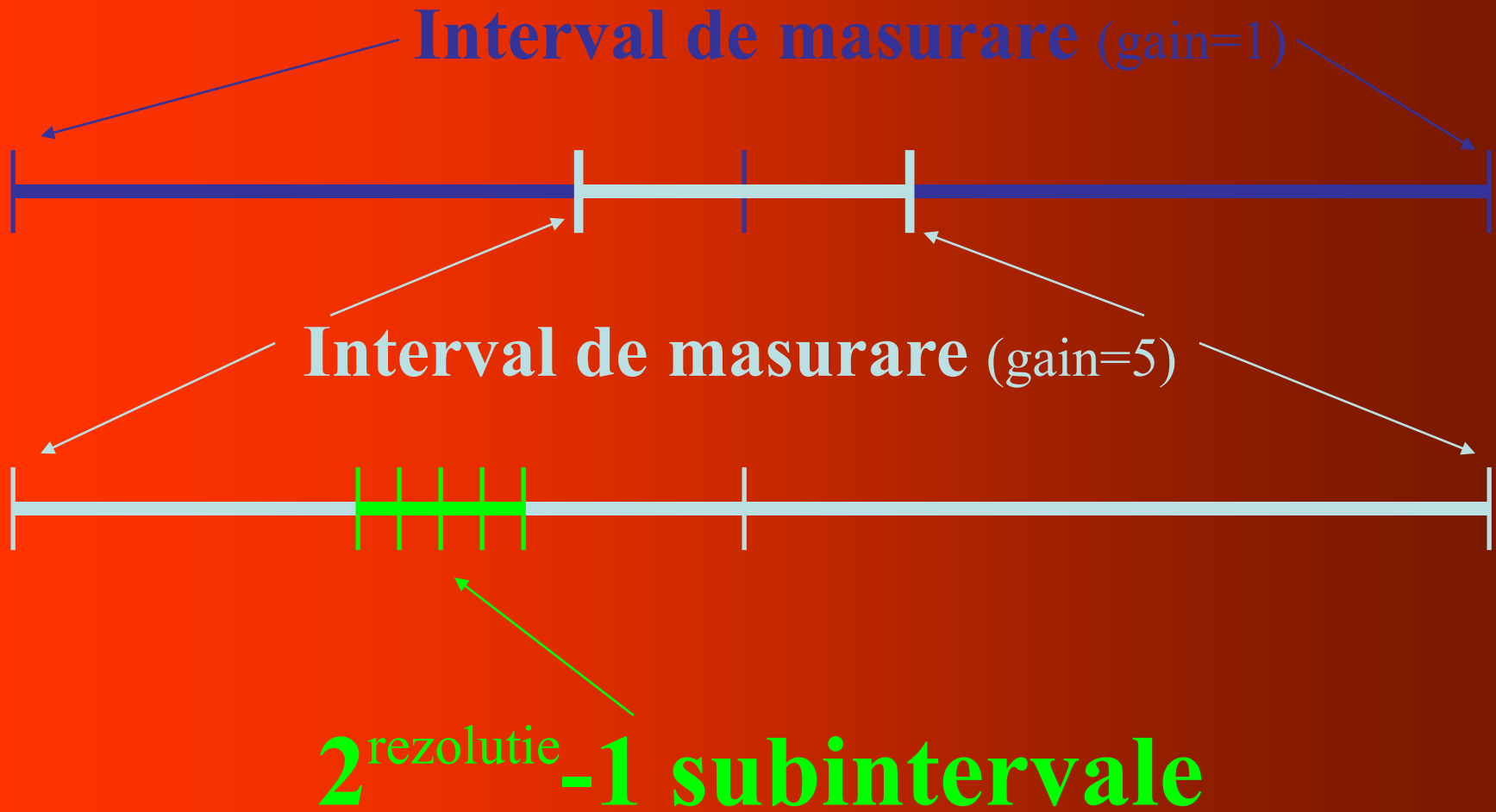
Neliniaritate

Timp de stabilizare

REZOLUTIA

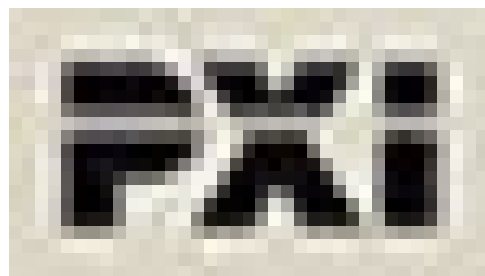


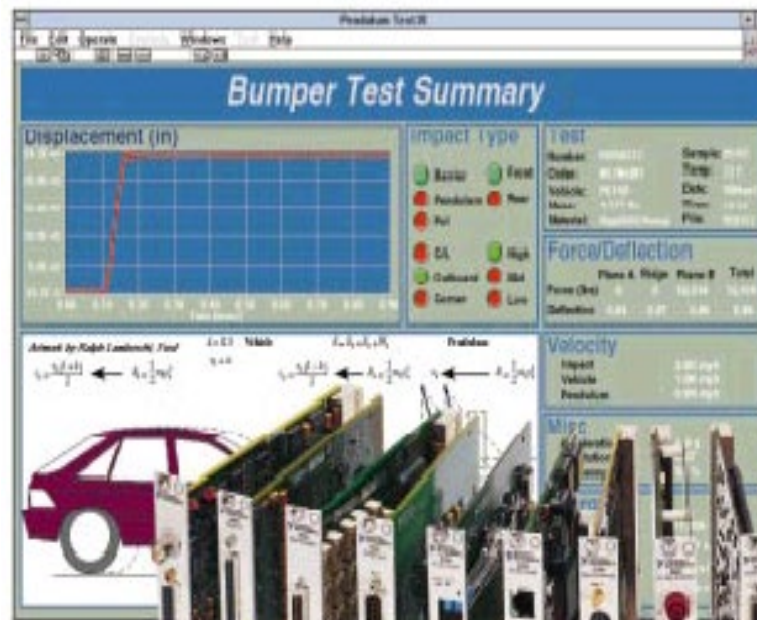
Precizia de masurare



FieldPoint









Sensor



Embedded



Handheld



Wireless



Networked I/O



PC Boards



Industrial Computer (PXI)



PC



Workstation



6.1

NATIONAL INSTRUMENTS™
LabVIEW™

**Quick Tip:**

Use auto-indexing of arrays at loop tunnels. For Loops and While Loops can process and accumulate arrays at their borders.

Next

☐ Do not show this window when launching

New VI

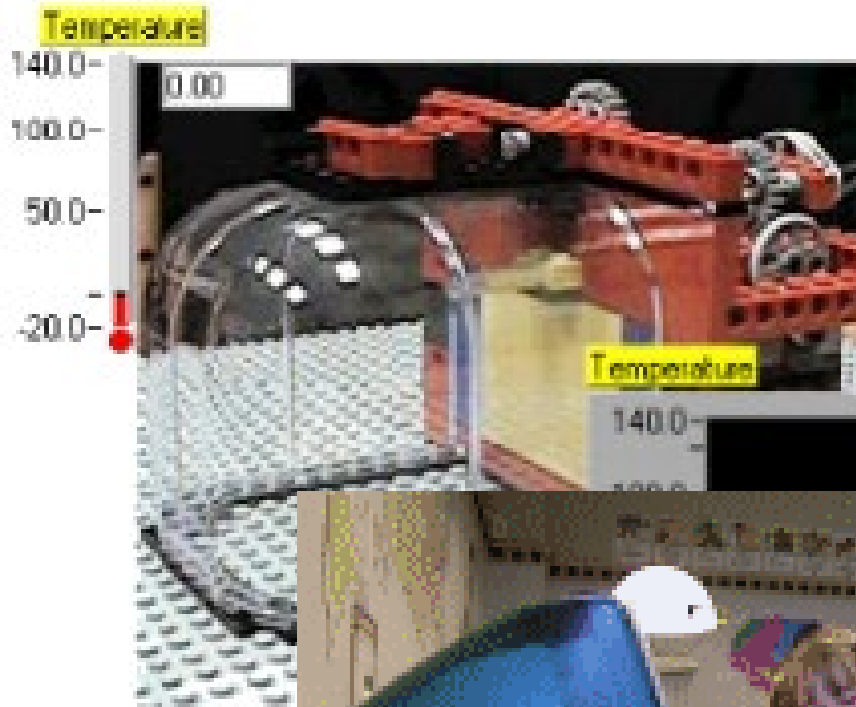
Open VI

DAQ Solutions

Find Examples

Execution Target

Exit





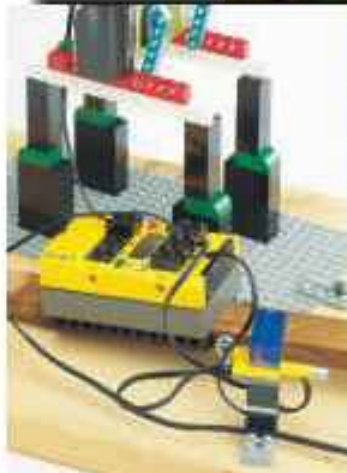
educational
division

ROBOLAB™

When the touch sensor is pressed the motor turns on and presses the button on the camera.



When the camera takes a picture, my program also logs the time of day by light and temperature.



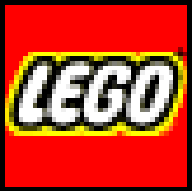
Wood supports the LEGO Frame and mechanisms and the plastic food holder.



Look at my graph. It shows the birds eat more at this time.



A bird lands here which presses a touch sensor. Then the food comes out and a picture is taken.



<http://mindstorms.lego.com/community/halloffame/default.asp>

