

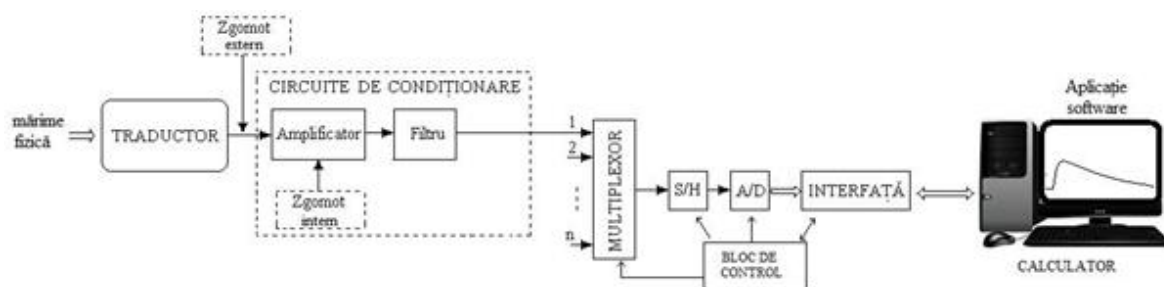
## 1. Considerații privind achiziția de date.

Măsurarea numerică, memorarea și reprezentarea semnalelor furnizate de marea majoritate a traductoarelor folosite în procesele fizice se poate realiza prin conversia acestor semnale analogice în semnale numerice folosind circuite speciale numite convertoare analog-numerice (CAN). În sens invers, un convertor numeric-analogic (CNA) este un circuit care transformă o mărime numerică (un număr reprezentat pe  $n$  biți) într-o mărime analogică sub forma unui curent sau a unei tensiuni. Un astfel de circuit este utilizat în sistemele de distribuție a datelor cu ieșiri analogice sau la realizarea convertoarelor analog-numerice cu reacție.

### 1.1. Măsurarea numerică a semnalelor cu calculatorul.

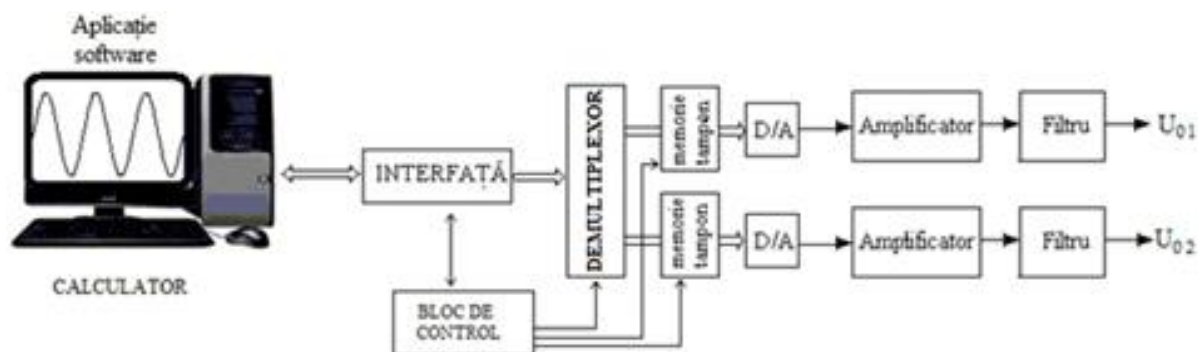
O structură tipică pentru un sistem de achiziție date utilizat în instrumentația virtuală este prezentată în figura 1.1, în care se observa principalele componente care realizează operațiile necesare:

- Condiționarea semnalelor (operații simple de prelucrare analogică asupra semnalelor preluate de la traductoare - pe partea de intrare);
- Multiplexarea semnalelor analogice (în cazul măsurării mai multor semnale);
- Eșantionare și memorare (preluarea periodică de eșantioane din semnalul de intrare);
- Conversia analog-numerică realizată de convertorul A/D (cuantizare eșantion și codare);
- Interfața pentru introducerea datelor în calculator;
- Bloc de control (pentru comanda și controlul circuitelor și a transferului de date către calculator).



**Fig. 1.1.** Structura tipică pentru un sistem de achiziție de date utilizat în instrumentația virtuală.

În instrumentația virtuală utilizată pentru generarea de semnale, structura tipică pentru sistemul de generare de semnale cu calculatorul este următoarea (fig. 1.2.):



**Fig. 1.2.** Structura tipică a unui instrument virtual pentru generare de semnale cu calculatorul.

Componentele care realizează operațiile necesare unui sistem pentru generarea de semnale cu calculatorul, utilizat în instrumentația virtuală, sunt:

- Interfața de transfer de date, prin care datele calculate sunt transmise sub formă de semnale digitale către circuitele de conversie;
- Demultiplexarea digitală (în cazul utilizării mai multor ieșiri analogice);
- Conversia numeric-analogică realizată de convertorul digital-analogic D/A (transformarea codurilor binare în nivele de tensiune proporționale cu codul binar);
- Interpolarea eșantioanelor de tensiune generate prin integrare, cu ajutorul unui filtru trece jos (filtru de interpolare);
- Registru de memorie pentru memorarea codurilor binare la intrarea convertoarelor D/A (memorie tampon);
- Bloc de control (pentru comanda și controlul circuitelor și a transferului de date de la calculator).

În cazul unor instrumente virtuale utilizate pentru măsurare și generare de semnale simultan realizate ca instrumente virtuale cu același calculator, componentele din figurile 1.1 și 1.2 pot fi utilizate combinat, pe o singură structură hardware și utilizând aceeași interfață, sau pot fi utilizate pe structuri separate, conectate la calculator pe interfețe diferite

## **1.2. Condiționarea semnalelor**

Condiționarea semnalelor este o denumire generică ce se referă la toate prelucrările care se efectuează asupra semnalelor electrice culese de la traductoarele pentru diferite mărimi fizice, pentru a aduce acel semnal la forma și în parametrii optimi pentru conversia analog-digitală în sistemele de achiziție de date și instrumentație virtuală. Cum circuitele convertoare A/D operează cu tensiuni analogice pe intrare de ordinul voltilor, tensiuni care pot fi cu o singură polaritate sau bipolare, în format diferențial sau nediferențial (cu referință la masă), toate mărimile electrice aplicate pe intrarea sistemelor de achiziție și a

instrumentelor virtuale trebuie prelucrate și aduse în forma și în intervalul acceptat de convertoarele A/D.

În funcție de specificul fiecărui traductor, operațiile necesare pentru a aduce semnalul furnizat și preluat de la acesta sunt diferite, și rezultă deci și că circuitele necesare pentru prelucrarea semnalelor de la aceste traductoare sunt diferite de la o aplicație la alta. De aceea, într-un sistem de achiziție de date aceste circuite de dinaintea convertorului A/D se denumesc generic circuite de *condiționare a semnalelor*.

Având în vedere cele de mai sus, circuitele de condiționare includ circuite/funcții ca:

- *amplificarea și/sau atenuarea semnalelor* – Circuite de amplificare/atenuare;
- *filtrare analogică* – Filtre electrice active sau pasive;
- *izolare electrică (separare galvanică)* – Amplificatoare de izolare;
- *adaptare de impedanțe*;
- *conversii între mărimile electrice* – convertoare sarcină-tensiune (Q/U); convertoare curent-tensiune (I/U); convertoare frecvență-tensiune (F/U), etc.;
- *operații matematice (adunare, multiplicare, integrare)* - amplificatoare sumatoare, diferențiale, amplificatoare integratoare și derivatoare, multiplicatoare, etc.;
- *liniarizare* caracteristici traductoare – circuite de liniarizare, ca de exemplu amplificatoare logaritmice și exponențiale pentru caracterizarea traductoarelor cu caracteristică de tip logaritmă sau exponențial, cum sunt cele realizate cu materiale semiconductoare, etc.;
- circuite redresoare, detectoare de vârf, circuite de mediere și de calcul la valoare efectivă, etc.;
- circuite pentru excitarea traductoarelor parametrice (alimentarea punților, a traductoarelor rezistive, etc.).

Dintre acestea, cele mai des întâlnite circuite de condiționare în sistemele de achiziție de date și instrumentație virtuală sunt amplificatoarele de instrumentație, amplificatoarele de izolare, amplificatoarele programabile și filtrele active și pasive, simple sau programabile.

### ***1.3. Eșantionarea semnalelor.***

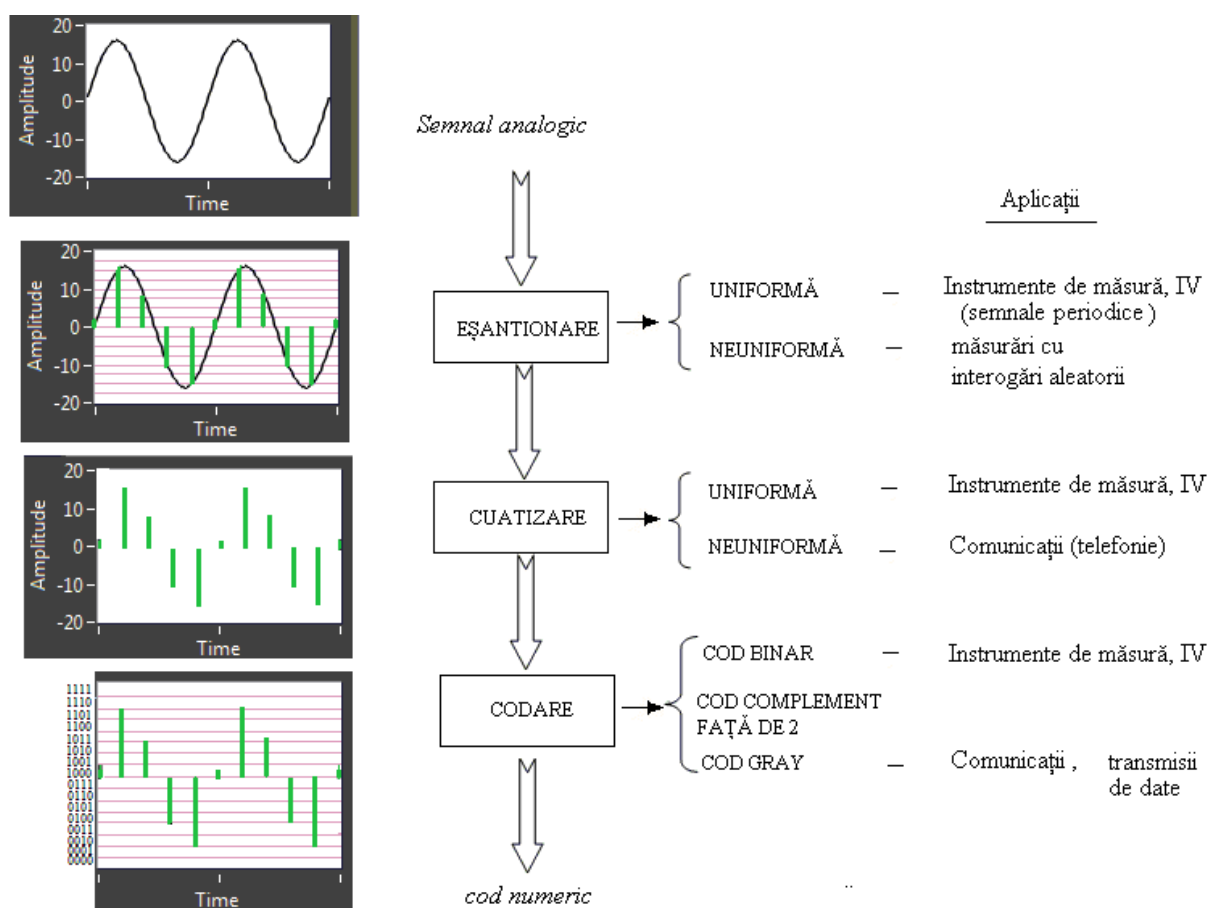
Măsurarea și prelucrarea semnalelor analogice cu sisteme numerice, cum sunt și instrumentele virtuale, nu se poate face continuu, deoarece circuitele numerice sunt circuite secvențiale în timp sau circuite discrete în timp. Acest fapt duce la necesitatea eșantionării semnalelor analogice, care înseamnă preluarea de eșantioane (probe, mostre) din semnalul analogic (care este continuu în timp) și convertirea în format numeric doar a acelor eșantioane. Prelucrarea acelor eșantioane înseamnă pierderea unor informații despre evoluția semnalului analogic de la intrare între două eșantioane succesive, și deci apariția unor erori în semnalul reprezentat numeric față de semnalul analogic de la intrare.

Eșantioanele prelevate sunt apoi cuantificate și convertite în coduri binare reprezentate pe un număr finit de biți. Operația de cuantificare introduce și ea erori, deoarece sistemul

numeric operează cu un număr de semnale digitale finit, și deci și numărul total de valori distincte cu care acesta operează este finit, spre deosebire de semnalul analogic care are o infinitate de valori într-un domeniu dat și este continuu în timp.

Sintetizând cele de mai sus, putem spune că operația de conversie din semnal analogic în semnal numeric în sistemele de achiziție de date și instrumentație virtuală se face în **trei pași** (fig. 1.3), iar semnalul analogic suferă o *discretizare în timp* și o *discretizare în amplitudine* (ca număr de valori):

1. *Eșantionarea* - preluarea unui eșantion din semnal => discretizare în timp;
2. *Cuantizarea* - compararea eșantionului cu o cuantă în vederea stabilirii mărimii acestuia (câte cuante întregi încap în eșantionul respectiv);
3. *Codarea* – atribuirea unui cod digital reprezentat pe un anumit număr de biți, cod care corespunde mărimii eșantionului => discretizare în amplitudine.



**Fig. 1.3.** Etapele conversiei analog-numerice.

### Tipuri de eşantionare

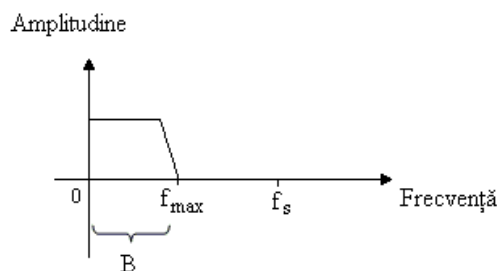
Eşantionarea poate fi făcută periodic (la intervale egale de timp  $T_e$ ) sau neperiodic (preluarea unui singur eşantion sau a mai multor eşantioane la intervalele de timp neegale între ele):

- *Eşantionarea periodică* sau *uniformă* se utilizează în sistemele de măsurare a mărimilor periodice sau în sistemele de monitorizare pentru mărimi lent variabile.
- *Eşantionarea neperiodică* sau *neuniformă* se utilizează în sistemele de măsurare a mărimilor neperiodice, lent variabile sau continue, în care măsurarea valorii mărimii de la intrare se face doar atunci când prezintă interes din partea operatorului instrumentului virtual. Ca exemplu, un astfel de sistem de măsurare poate fi un sistem pentru măsurarea temperaturii într-o locuință, în care utilizatorul măsoară rar și la momente aleatorii temperatura în cameră, doar atunci când vrea să știe cât este temperatura. Acest tip de eşantionare este utilizat rar în instrumentația virtuală.

**Eşantionarea periodică** se realizează prin preluarea periodică cu intervalul  $T_e$  a unor probe din semnalul continuu în timp  $x(t)$  și trimiterea acestora la convertorul analog numeric pentru cuantificare și generarea codului binar corespunzător valorii eşantionului. Prin eşantionare se face discretizarea în timp a semnalului continuu, rezultând semnalul  $x[n] = x(nT_e)$ .

$$x(t) \xrightarrow{\text{eşantionare}} x[n] = x(nT_e). \quad (1.1)$$

Pentru un semnal a cărui frecvență variază între  $f_{\min}$  și  $f_{\max}$ , se definește lăţimea benzii semnalului sau banda semnalului,  $B$ , ca diferența dintre frecvența maximă și frecvența minimă pe care o poate avea semnalul:  $B = f_{\max} - f_{\min}$ . În cazul în care frecvență semnalului variază de la zero la  $f_{\max}$ , semnal numit și în banda de bază, banda semnalului este dată de frecvența maximă a acestuia, adică  $f \in [0, B]$ .



**Fig. 1.4.** Alegerea frecvenței de eşantionare minimă.

- *Criteriul general pentru eşantionarea semnalelor periodice*

Frecvența minimă cu care se poate realiza eşantionarea pentru a se putea reface corect informația de *frecvență* a unui semnal periodic este dublul frecvenței acestuia (teorema Nyquist-Shannon). Această condiție înseamnă de fapt că pentru a reface corect din eşantioane

frecvența unui semnal periodic, trebuie luate minimum două eșantioane într-o perioadă, pentru a avea un eșantion din valorile pozitive și un eșantion din valorile negative (relația 1.2).

$$f_{es} \geq 2 \cdot f_{\max \text{ semnal}} \quad \text{sau} \quad T_{es} \leq \frac{T_{\max \text{ semnal}}}{2} \quad (1.2)$$

Această valoare critică pentru frecvența de eșantionare se mai numește și rata de eșantionare Nyquist, și este definită ca dublul benzii semnalului continuu în timp:  $f_s > 2B$ , unde B se mai numește și frecvența Nyquist a semnalului care poate fi eșantionat cu frecvența de eșantionare  $f_s$ .

Limita pentru frecvența de eșantionare dată de relația 1.2. se utilizează în comunicații pentru transmiterea semnalului de voce, și determină banda semnalului care poate fi eșantionat corect cu frecvența de eșantionare  $f_{es}$ . În practică se utilizează o frecvență de eșantionare cu 15-30% mai mare decât frecvența de eșantionare Nyquist.

- Frecvența de eșantionare minimă pentru achiziția și măsurarea semnalelor periodice în *instrumentația virtuală*:

Măsurarea semnalelor cu sisteme numerice sau instrumentație virtuală în aplicații de tip osciloscop necesită, pe lângă determinarea frecvenței semnalelor periodice, reprezentarea corectă a formei semnalului și determinarea altor parametri pentru semnal, cum ar fi amplitudinea, valoarea efectivă, valori minime și maxime, etc. Astfel, condiția minimală din relația 1.2. nu mai este suficientă. Pentru a se reface corect *forma semnalului* periodic, frecvența de eșantionare trebuie să fie de cel puțin 10 ori mai mare decât frecvența semnalului (1.3):

$$f_{es} \geq 10 \cdot f_{\max \text{ semnal}} \quad (1.3)$$

#### ▪ *Supraeșantionarea*

Supraeșantionarea reprezintă eșantionarea unui semnal cu o frecvență de eșantionare mult mai mare decât frecvența critică de eșantionare dată de relația 1.3. Ea se utilizează în aplicații de măsurare și reprezentare semnale sau în aplicații de comunicații, urmând ca unele prelucrări ale semnalului, cum ar fi demodularea, să se realizeze software.

#### ▪ *Subeșantionarea*

Subeșantionarea – subeșantionarea reprezintă eșantionarea unui semnal cu o frecvență de eșantionare mai mică decât frecvența critică dată de relația 1.3. În acest caz, semnalul reprodus din eșantioanele achiziționate nu mai păstrează corect informația de frecvență, transformându-se într-un semnal cu frecvența mai mică decât cel real (analogic). Acest fenomen se mai numește “aliasing” și trebuie evitat. De aceea, în toate aplicațiile de prelucrare numerică a semnalului, cum sunt și achiziția de date și instrumentația virtuală, se utilizează obligatoriu un filtru anti-aliasing, care este un filtru trece jos cu frecvența de tăiere de cel mult  $f_{\max \text{ semnal}}/2$ .