

## ACHIZIȚIA DATELOR ÎN CADRUL SISTEMELOR DE MONITORIZARE

Perfecționarea mijloacelor de măsurare a făcut posibile noi și noi descoperiri în tehnică și știință, care, la rândul lor, s-au reflectat în mod direct asupra realizării unor mijloace de măsurare din ce în ce mai precise, mai rapide, mai flexibile. Astfel, ca o reacție în lanț, dezvoltarea măsurărilor și dezvoltarea diferitelor științe și tehnologii s-au stimulat reciproc în beneficiul progresului și civilizației.

Dacă, în trecut, în cea mai mare parte, măsurările erau concentrate în laboratoarele de cercetare sau de încercări, în ultimele decenii ale secolului nostru, măsurările au invadat domeniul industrial și joacă un rol activ în producție. Dezvoltarea foarte rapidă a electronicii și informaticii a pus la dispoziția inginerilor o multitudine de echipamente, având funcții noi și complexe, realizate sub formă monolitică sau modulară, ușor de instalat și de pus în funcțiune.

Dezvoltarea calculatoarelor personale, progresul lor spectaculos în ceea ce privește viteza de operare și capacitatea de stocare, asociate cu sisteme de operare și software din ce în ce mai performante, cu posibilități de prelucrare numerică din ce în ce mai complete și mai sofisticate constituie un suport stimulat pentru realizarea unor sisteme de măsurare tot mai performante.

În paralel, s-au dezvoltat circuite specializate, asociate microprocesoarelor, pentru a permite realizarea de sisteme de măsurare și prelucrare numerică complexă a semnalelor capabile de să lucreze în timp real. În ultimul timp, aparatele numerice cu  $\mu P$  și-au impus superioritatea față de toate celelalte mijloace de măsurare.

Avantajele acestor aparate nu se limitează numai la ușurința și flexibilitatea în prelucrarea semnalelor de măsurare, ci ele permit, în același timp, dezvoltarea și organizarea unor sisteme de măsurare raționale și eficiente pe care le necesită astăzi domeniul industrial.

După 1983, a apărut și s-a dezvoltat conceptul *instrumentației personale*, care permite transformarea calculatorului într-un instrument de măsurare deosebit de performant, spre exemplu, în osciloscop asociat cu voltmetru numeric.

Calculatorul personal devine astfel un aparat de măsurare complex și complet, care poate înlocui cea mai mare parte a aparaturii necesare unui laborator de măsurare din domeniul mărimilor electrice.

Se perfecționează continuu și cartelele de achiziții de date, adaptate nevoilor utilizatorilor din toate domeniile științei și tehnicii, concomitent cu standardizarea sistemelor de interfață și a mediilor de programare, trecându-se, și în domeniul software-lui pentru măsurări, la programarea vizuală (LabVIEW, LabWINDOWS, Test Point, HPVEE etc.) și la utilizarea pe scară largă a Instrumentelor Virtuale.

Dezvoltarea rețelelor informatice, a Internet-ului în ultimii ani, a făcut posibilă interconectarea la mare distanță a diverselor componente ale unui sistem de măsurare, dezvoltându-se un nou concept, acela de *sistem distribuit de măsurare*. În cadrul acestor sisteme distribuite, componentele sistemului posedă inteligență proprie, fiind capabile de acțiuni și prelucrări independente, subordonate sau lucrând în cooperare cu un computer master. Se poate vorbi deci de *inteligență distribuită* asociată cu conducerea la distanță a proceselor, de *BUS-uri inteligente* și de sisteme inteligente având traductorul asociat cu sistemul de prelucrare a datelor și cu elementul de execuție, sub numele de *traductoare inteligente*.

În domeniul echipamentelor, încorporarea prin construcție a unei rețele de senzori și a unei inteligențe proprii, conferă acestora posibilitatea de a monitoriza și autoevalua, putând lua decizii în sensul optimizării funcționării sau al protecției la avarii, apărând noțiunea de *echipamente inteligente (Smart Engine)*.

Mai mult, s-a trecut la încorporarea unei rețele de senzori în construcția unor structuri capabile deci să se autoevalueze cu ajutorul unui sistem inteligent și să semnaleze pericole de defectare înainte ca ele să producă sau să protejeze structura prin limitarea solicitărilor la care este supusă, devenind astfel *structură inteligentă*.

## **Aportul electronicii în domeniul măsurărilor**

Măsurarea are ca principal scop obținerea unei mărimi fizice direct accesibile utilizatorului, care să fie dependentă, după o lege cunoscută, de mărimea fizică ce trebuie măsurată.

În prezent, sunt utilizate semnalele electrice ca suport al informației metrologice, ca urmare a numeroaselor avantaje pe care le prezintă. Semnalele electrice se obțin, fie direct de la un traductor sau senzor activ (spre exemplu un termocuplu), fie indirect în cazul traductoarelor pasive cum ar fi marca tensometrică. Prelucrarea semnalelor electrice astfel obținute, prin utilizarea electronicii, conferă măsurărilor calități deosebite precum:

- a) **Sensibilitate ridicată.** Prin procedee electronice s-au ajuns la sensibilități imposibil de obținut pe alte căi;
- b) **Consum foarte scăzut.** Grație utilizării amplificatoarelor instrumentale sau de izolație, cu impedanță foarte mare se pot măsura semnale foarte slabe ca putere, spre exemplu în domeniul biologiei și al medicinei. Prin utilizarea amplificatoarelor cu izolare, impedanța crește spre infinit, iar consumul de putere de la senzor devine practic nul, ceea ce conduce la o perturbare aproape nulă a mărimii de măsurat;
- c) **Viteză mare de măsurare.** În multe domenii ale tehnicii, apar variații foarte rapide ale semnalelor de măsurat, pe care aparatele clasice nu le pot urmări datorită inerției. Electronica permite mii de măsurări pe secundă, deci poate fi folosită și în cazul regimurilor tranzitorii. În plus, electronica numerică se extinde vertiginos, o dată cu creșterea vitezei de lucru a componentelor numerice și a microprocesoarelor, datorită avantajelor de suplețe și inteligență pe care le oferă;
- d) **Transmiterea ușoară la distanță a informațiilor.** Problema transmiterii la distanță a semnalelor metrologice se pune ori de câte ori mărimea de măsurat se află într-o instalație situată la distanță mare de locul unde trebuie prelucrată și utilizată informația metrologică. În multe cazuri, metodele electronice sunt singurele ce pot fi folosite în acest scop.
- e) **Fiabilitate mărită.** Ca urmare a integrării pe scară din ce în ce mai mare, s-au obținut, într-un singur circuit integrat, toate componentele unui lanț de măsurare: senzor, amplificator, convertizor, filtru etc. sau chiar un sistem de achiziții de date conținând: amplificatoare, filtre, multiplexoare, circuite de eșantionare, convertizoare analog-numeric și numeric-analogice etc. Acest lucru conduce la un număr redus de conexiuni externe, deci la creșterea fiabilității măsurării;
- f) **Diversitatea posibilităților de rezolvare a problemelor de măsurare.** Metodele electronice de măsurare pot utiliza fie măsurări directe, ca în măsurările electrice (mărimea de măsurat să fie convertită într-o mărime electrică măsurabilă direct), fie măsurări indirecte, când se măsoară o mărime total diferită de prima în locul acesteia (de exemplu, măsurarea unei tensiuni prin intermediul unei frecvențe, sau a unei succesiuni de impulsuri în locul defazajului etc.).

În plus, semnalele pot fi prelucrate pe numeroase căi, ceea ce pune la îndemâna utilizatorului o varietate mare de procedee electronice pentru măsurări.

## Lanțuri de măsurare analogice și numerice

Măsurările analogice s-au dezvoltat primele din punct de vedere istoric, legate de evoluția analogică a majorității fenomenelor supuse măsurării.

O măsurare pe cale analogică presupune că semnalul metrologic depinde de mărime de măsurat printr-o funcție continuă.

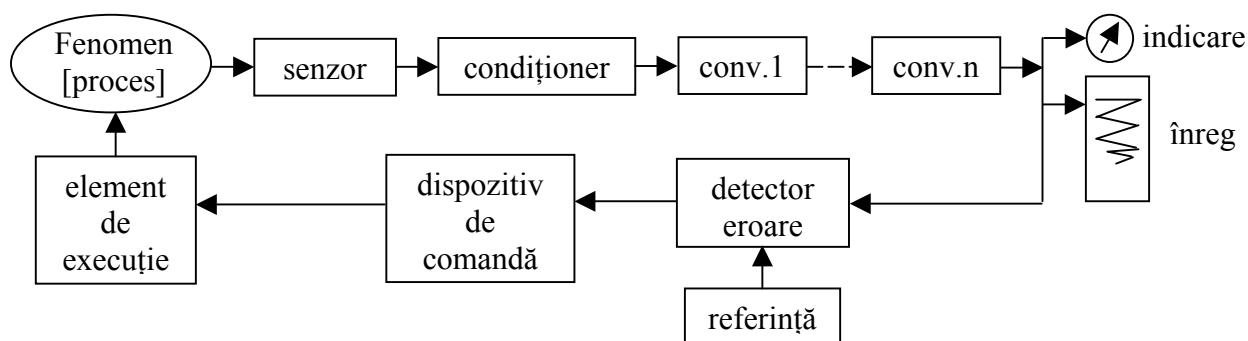


Fig.1. Lanț de măsurare analogic

Astfel, un lanț de măsurare analogic are în componența sa (Fig. 1):

- ♦ **captatorul sau senzorul**, care realizează prima transformare a mărimii fizice într-o mărime electrică;
- ♦ **condiționerul semnalului** – convertor de măsurare care transformă semnalul electric de la senzor pentru a fi adaptat prelucrărilor ulterioare sau transmisiei la distanță, îl amplifică, dacă este cazul, asigurând și alimentarea cu energie în cazul senzorilor pasivi;
- ♦ **convertoare de prelucrare** a semnalului obținut. Uneori prelucrarea poate fi un simplu filtraj care modifică evoluția în timp a semnalului (redresare, demodulare etc.), pentru eliminarea unor semnale parazite nedorite. Prelucrarea poate avea însă ca scop să adapteze semnalul în vederea mai buneii utilizării. Spre exemplu, se pot efectua: liniarizări, conversii logaritmice, conversie în valoare absolută, în valoare efectivă, în valoare de vârf, sau prelucrări mai complicate ca: extragerea unui semnal când este însoțit de zgomote puternice, corelarea a două semnale etc.;
- ♦ **convertoare de ieșire** ce au rolul de a prezenta informația metrologică utilizatorului sub forma dorită (afișare sau înregistrare).

În general, amplitudinea mărimii de ieșire urmărește variația amplitudinii mărimii măsurate. Lanțul de măsurare poate fi considerat **deschis**, dacă informația este numai citită, înregistrată și interpretată în vederea luării unor decizii ulterioare, eventual cu semnalarea depășirii unor valori limită, și **în buclă închisă** dacă informația este direct utilizată pentru a controla mărimea măsurată (numită și **buclă de reglaj** automat).

Progresele înregistrate în domeniul senzorilor și al traductoarelor, al electronicii și al informaticii au contribuit la organizarea în mod rațional și economic a numeroaselor măsurări necesare astăzi în industrie.

Spre exemplu, controlul, supravegherea și comanda unei centrale termoelectrice necesită în mod normal mii de măsurări. Această tendință explică dezvoltarea foarte rapidă a instrumentației numerice de măsurare. Numeroasele mărimi ce trebuie măsurate sunt desfășurate în spații largi și foarte diferite ca natură (temperaturi, presiuni, turații, eforturi etc.).

Semnalele de măsurare trebuie transmise la un centru de prelucrare și utilizare a informațiilor, aflate de asemenea la distanță. Pentru a evita diafonia dintre canalele de transmisie, dar și din motive de economie, se utilizează multiplexorul, care cuplează pe rând canalele de măsurare la linia de transmisie. El este comandat fie de o logică cablată, fie mai ales de un microprocesor sau microcalculator, după un program adecvat.

În funcție de cerințele sistemului de măsurare, o parte din componentele lanțurilor pot fi comune, de exemplu: amplificatorul, circuitul de eșantionare și memorare etc.

Utilizarea microprocesorului sau a calculatorului numeric presupune, obligatoriu, utilizarea unor convertoare analog-numeric (CAN) sau numeric-analogice (CAN) pentru trecerea de la mărimile analogice la semnale numerice și invers.

Se obține astfel un sistem de măsurare și achiziție de date a cărui arhitectură poate fi diferită, în funcție de cerințele impuse de sistemul industrial de supravegheat și controlat și în funcție de componentele utilizate în sistemul de măsurare.

Arhitectura unui lanț de măsurare numeric are componenta din Fig. 2. El conține o parte analogică, formată din traductor și condiționerul semnalului analogic, o parte de conversie analog-numerică, formată din circuitul de eșantionare-memorare (E&M) și convertorul analog-numeric (CAN), partea numerică propriu-zisă, formată din convertoarele de prelucrare numerică, microprocesor, afișaj numeric etc.

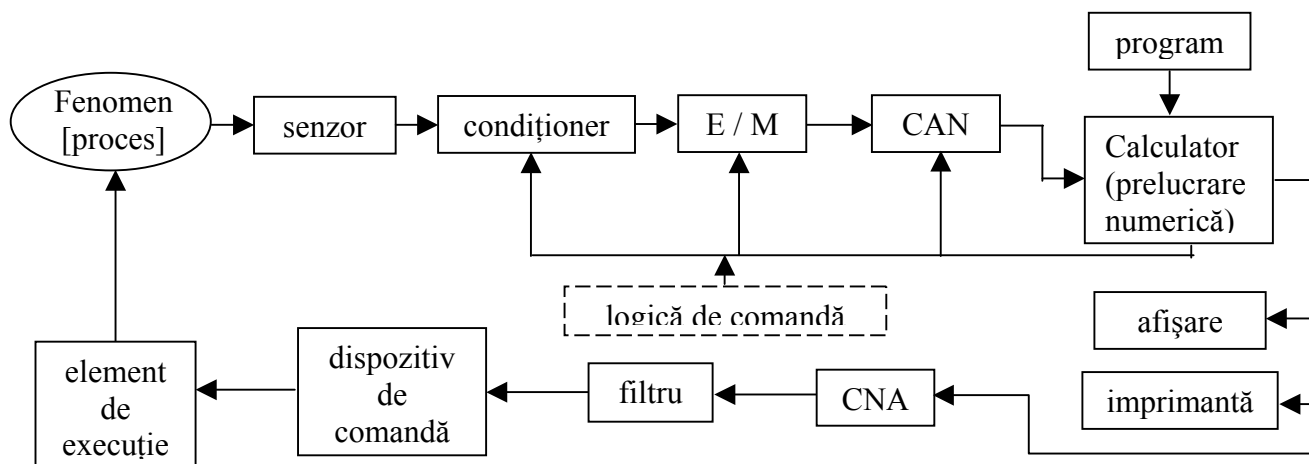


Fig.2. Lanț de măsurare numerică în buclă închisă

### Funcțiile microprocesoarelor și microcalculatoarelor în sistemele de măsurare

Creșterea complexității sistemelor de măsurare a condus la înlocuirea logicii cablate, ceea ce a permis creșterea performanțelor și scăderea costurilor.

Printre funcțiile caracteristice încredințate microcalculatoarelor, se pot enumera:

- ◆ gestiunea dinamică a semnalelor provenind de la mai multe canale, după un algoritm stabil;
- ◆ memorarea informațiilor în scopul utilizării lor ulterioare;
- ◆ supravegherea unor parametri și declanșarea unor alarme ierarhizate sau a unor comenzi;
- ◆ trimiterea rezultatelor pe o rețea telefonică sau informatică;
- ◆ extragerea unor semnale prin autocorelație, intercorelație, filtraje numerice;
- ◆ analiza în frecvență a semnalelor prin transformata Fourier rapidă (FFT);
- ◆ analize statistice: teste parametrice;
- ◆ domeniul de încredere, extrapolări, sinteze;
- ◆ prezentarea grafică a rezultatelor.

Aceste funcții pot fi realizate prin program sau utilizând componente numerice integrate specializate.

### Rolul multiplexării în sistemele de măsurare

Arhitectura unui sistem de achiziții de date pentru măsurări depinde de tehnica de calcul folosită și de interfețele cu care sistemul este dotat la intrare.

Utilizarea calculatoarelor numerice presupune conversia prealabilă a tuturor semnalelor analogice de prelucrat în semnale numerice. Reciproc, rezultatele furnizate de calculator sunt utilizate direct pentru comenzi sau reconvertite în semnale analogice când se dorește controlul continuu al unui proces fizic.

Pe de altă parte, calculatorul nu prelucrează în principiu decât un semnal și, de aceea, este necesar să fie conectat succesiv, după o succesiune bine definită și, în general, cu viteză mare, la fiecare canal de măsură. Aceasta este funcția multiplexorului (MUX).

În același timp, toate rezultatele furnizate de calculator în mod secvențial, pe aceeași ieșire, trebuie dirijate spre utilizatori, respectiv printr-un demultiplexor (DEMUX).

Multiplexorul (MUX) este o componentă electronică ce conține o baterie de comutatoare analogice cu ieșirile legate împreună, numărul de comutatoare determinând numărul de canale de intrare. Comanda închiderii și deschiderii comutatoarelor este efectuată printr-o intrare de selectare a canalului, care este o intrare logică, conținând unul sau mai mulți biți. Cu un bit, de exemplu, se pot comanda două căi, cu  $n$  biți,  $2^n$  canale.

MUX-urile curent întâlnite sunt cu 4, 8 sau 16 canale. Fiecare canal este comandat prin adresa sa, care este de fapt numărul canalului.

Adresarea poate fi făcută fie secvențial, fie aleatoriu. În ultimul caz, rolul de programator îl poate avea numai microprocesorul, care adresează direct fiecare canal, în timp ce, în modul secvențial, fiecare canal este adresat într-o ordine bine definită, unul după altul.

Dacă unele din mărimile de măsurat prezintă variații mai rapide, este posibil prin program să fie eșantionate mai des decât altele cu variație mai lentă. DEMUX are structură și funcționare similare.

### Arhitectura unui sistem de măsurare cu calculator de proces

Arhitectura unui sistem de măsurare și achiziție de date poate fi de mai multe tipuri, în funcție de cerințele aplicației și de hardware-ul utilizat.

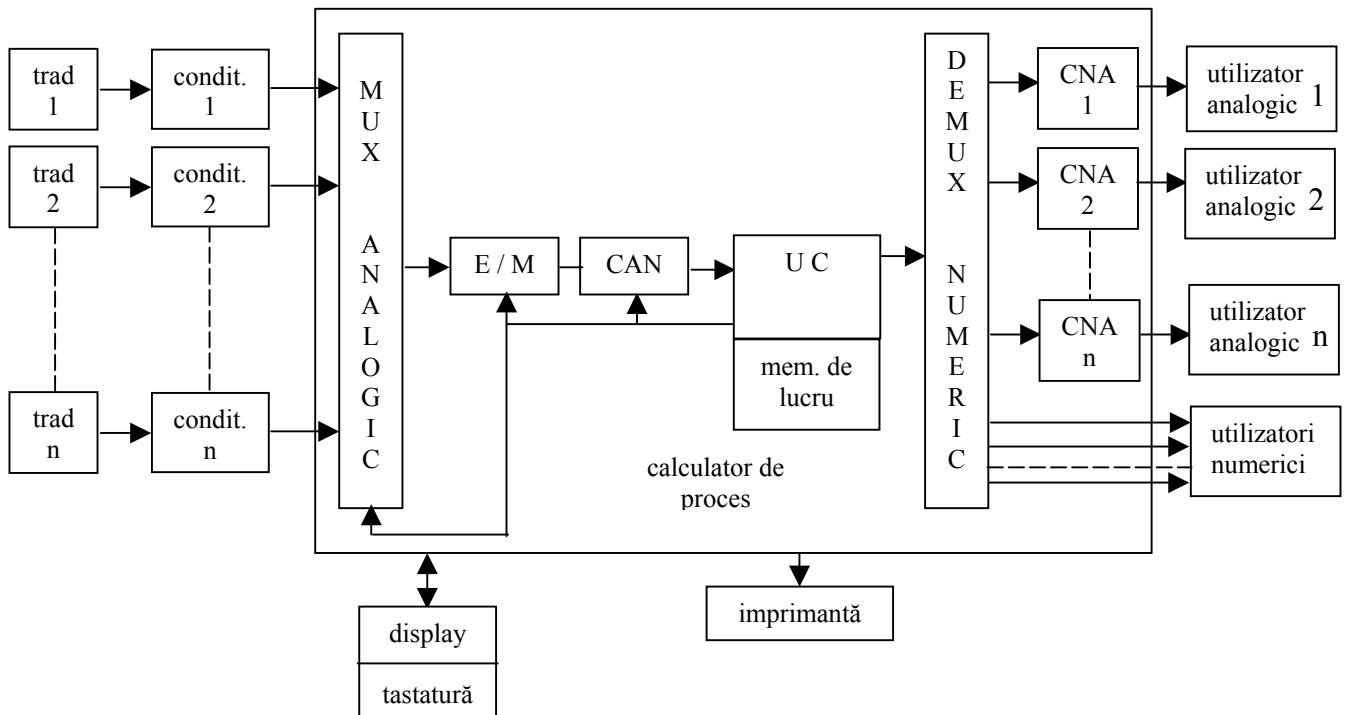


Fig.3. Sisteme de măsurare și achiziții de date cu calculator de proces

În fig. 3, este prezentată arhitectura unui sistem de măsurare cu calculator de proces dotat cu interfețe de intrare și ieșire analogice.

Prezența în calculatorul însuși a convertoarelor CAN și CNA simplifică sarcinile de conectare și programare ale MUX și DEMUX.

Semnalele de măsurare obținute la senzori, condiționate corespunzător în tensiune cu nivel standard (2,5 V, 5 V, 10 V), sunt aplicate multiplexorului analogic (MUX) care le comută pe rând, conform programului, la intrarea circuitului de eșantionare și memorare E&M și la convertorul analog-numeric (CAN), pentru a fi convertite numeric.

Unitatea centrală (UC) prelucrează numeric aceste eșantioane, conform programului implementat în memoria de bază (HDD), unde sunt transferate și rezultatele finale.

Pentru prelucrări numerice curente, este disponibilă și o memorie de lucru (RAM) mai rapidă.

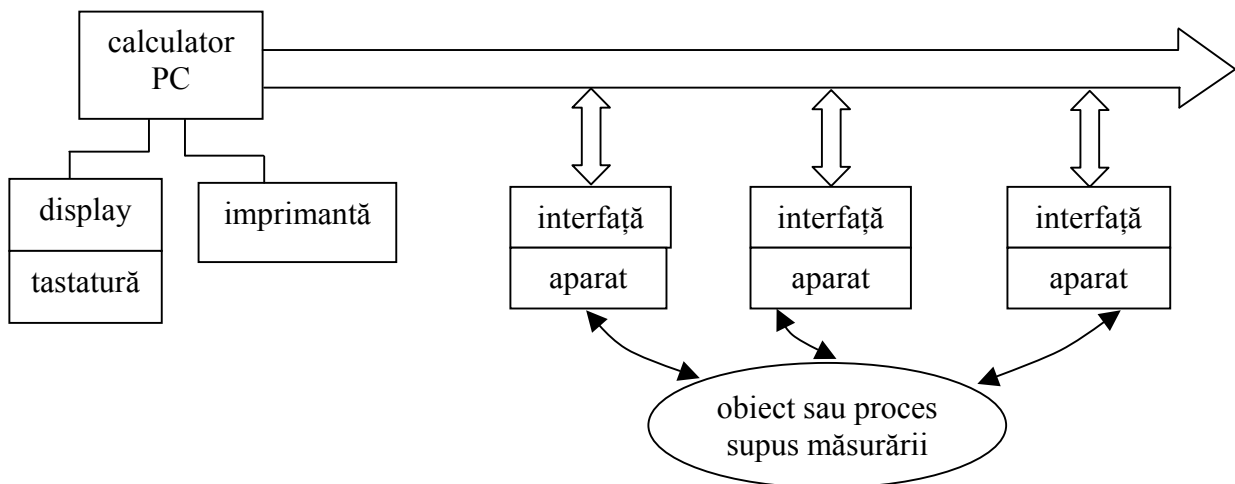
Pentru comenzi și controlul proceselor, este utilizat un DEMUX care dirijează informațiile spre utilizatorii digitali sau analogici (caz în care este necesară conversia numeric-analogică cu CAN).

Pentru implementarea și modificarea programelor, este prevăzută posibilitatea conectării, permanente sau ocazionale, a unei tastaturi și a unui display. De asemenea, pot fi conectate, opțional, o imprimantă pentru tipărirea de documente și un MODEM pentru transmisii la distanță.

Astfel de arhitecturi cu calculator de proces sunt curent utilizate în aplicații industriale, la linii tehnologice sau de prelucrare, la centralele electrice etc. Atunci când sistemul de măsurare este conceput și proiectat să monitorizeze un anumit proces, este implementat și realizat o dată cu aceasta și este optimizat în funcție de cerințele tehnice ale acestuia.

#### **Arhitectura sistemelor de măsurare formate din aparate conectate prin BUS**

În cazul utilizării unor aparate individuale, care au interfață specializată pentru calculator, conformă cu un anumit standard, de exemplu IEEE 488, se poate realiza un sistem de măsurare prin cuplarea prin BUS a aparatelor la calculator. Astfel, se pot cupla prin BUS multimetre, osciloscopae, generatoare de funcții etc.



**Fig.4.** Sistem de măsurare și achiziții de date cu calculator și aparate cu interfețe standard IEEE 488

### Arhitectura sistemelor de măsurare cu $\mu P$

A treia structură posibilă a unui sistem de măsurare și achiziție de date este tipică utilizării microprocesoarelor ( $\mu P$ ). Se regăsesc și aici convertoarele CAN și CAN, MUX, DEMUX, cu diferența că funcțiile corespunzătoare sunt realizate în general de circuite specializate și nu de microprocesorul însuși. De subliniat că  $\mu P$  este completat cu circuitele uzuale:

- I/O (Input / Output) – interfață de intrare – ieșire;
- ROM - (Read Only Memory) memorie implementată cu program;
- RAM – (Random Acces Memory) memorie de lucru și stocare intermediară;
- TIMER – ceas – bază de timp pentru derularea operațiilor.

Tastatura, display-ul, respectiv imprimanta sunt fie prezente tot timpul, la cerere, fie numai la punerea în funcțiune, după caz. Memoria externă și MODEM-ul nu figurează decât dacă este necesar. În majoritatea cazurilor, partea opțională lipsește.

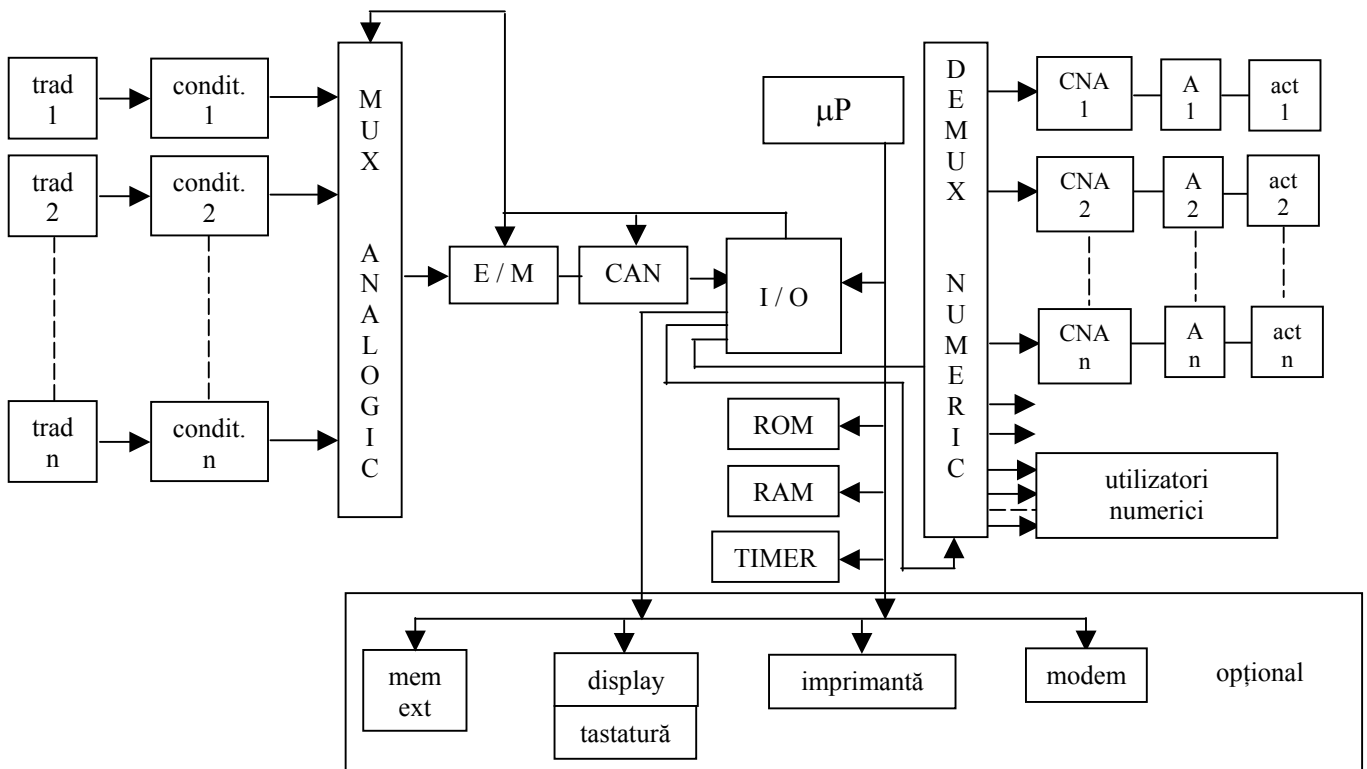


Fig. 5. Sistem de măsurare și achiziție de date cu microprocesor

În fig.5. se poate remarca că sistemul cu  $\mu P$  trebuie să genereze:  
**a** și **d** – semnale de adresare a canalului pentru MUX (a) și DEMUX (d);  
**b** – semnalul de comandă pentru circuite de eşantionare – memorare (S&H);  
**c** – semnalele de start al CAN. Aceasta, la sfârșitul fiecărei conversii, furnizează un semnal EOC (End Of Conversion) pentru a arăta că datele numerice sunt disponibile și stabile. Generând aceste semnale de comandă  $\mu P$  organizează măsurarea și girează funcționarea componentelor sistemului.

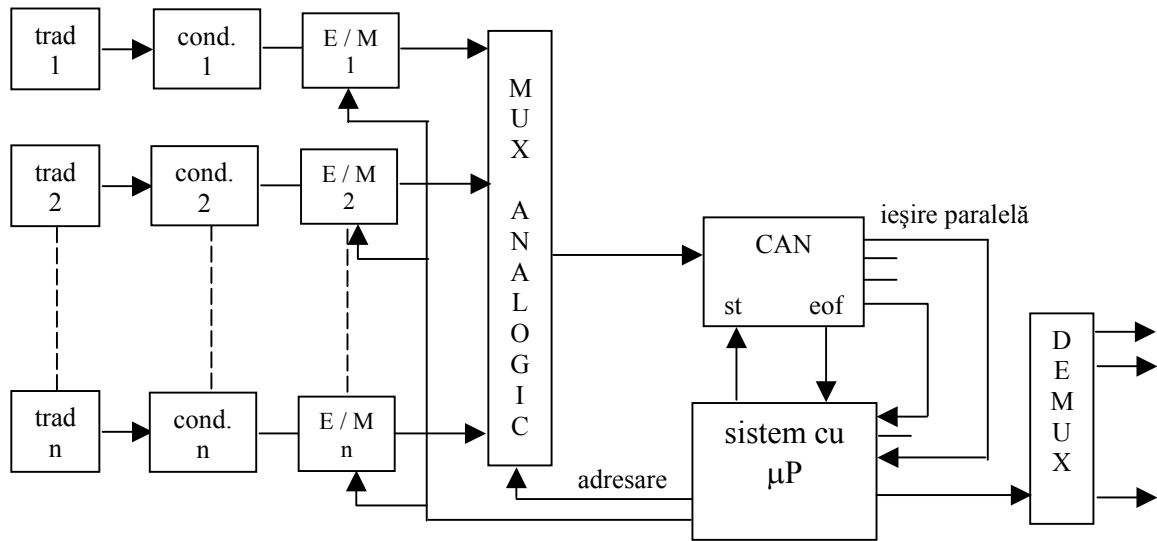
Ca urmare a evoluției integrării pe scară largă a componentelor electronice, sunt acum disponibile microprocesoare specializate care încorporează, în același chip, CAN, circuitul de E&M și uneori MUX, acestea numindu-se și microcontrolere.

Această arhitectură simplă și economică prezintă totuși un inconvenient. Deoarece circuitul E&M se află în aval de multiplexor, nu este posibilă măsurarea simultană a două sau mai multor mărimi. Viteza de măsurare este destul de redusă dacă numărul de canale crește.

## Arhitectura unor sisteme de măsurare specializate

### *Sisteme de măsurare pentru achiziția sincronă a mai multor semnale*

Pentru a remedia inconvenientele arătate, se poate plasa câte un circuit E&M pe fiecare canal, la intrarea pe MUX. Conversia analog numerică și citirea datelor pe fiecare canal se pot face atunci la momente diferite (Fig. 6).



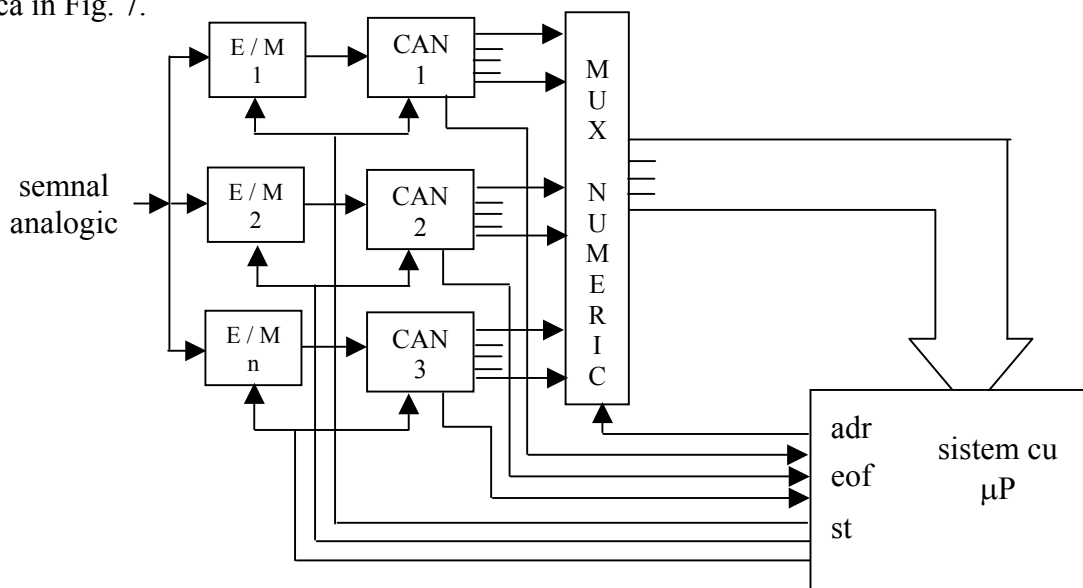
**Fig.6.** Sistem de măsurare și achiziție de date pentru măsurări sincrone

Astfel, după achiziția simultană a mărimilor dorite, conectarea circuitelor de E&M la CAN, pentru conversia eșantioanelor prelevate, va fi realizată succesiv.

În acest caz, trebuie avută în vedere eroarea suplimentară datorată degradării în timp (deriva) a ultimelor eșantioane convertite. Timpul de conversie trebuie să fie corespunzător de scurt pentru ca eroarea astfel introdusă să fie în limitele impuse.

### *Sisteme de măsurare pentru mărimi rapid variabile*

Pentru mărirea vitezei de achiziție a datelor, când fenomenele studiate variază rapid, utilizarea unui singur CAN, cu timp de conversie limitat, nu mai dă satisfacție. Este necesară utilizarea mai multor CAN în paralel pe același canal. Fiecare CAN este precedat de un circuit E&H ca în Fig. 7.



**Fig. 7.** Sistem de măsurare și achiziție de date pentru fenomene rapide



Ieșirile numerice ale convertoarelor (CAN) sunt multiplexate printr-un MUX numeric. Acesta funcționează principial, ca și cel analogic; el permite conectarea unui cuvânt de  $x$  biți de la o intrare, la ieșirea comună, care posedă același număr de biți.

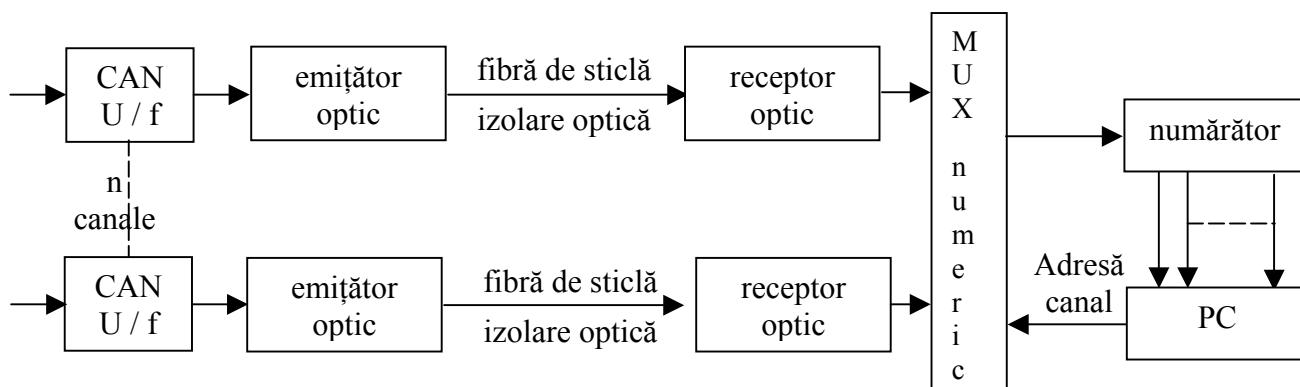
În Fig. 7, putem distinge trei intrări ale MUX, fiecare intrare fiind un cuvânt de 12 biți, iar ieșirea având, la fel, 12 biți. Adresarea intrării se realizează pe 12 biți. Deși montajul este mai scump, se poate arăta că viteza de achiziție este practic multiplicată cu numărul de canale, dacă acestea se eșantionează secvențial.

### **Sisteme de măsurare pentru sisteme aflate la distanță**

Dacă sistemul de prelucrare a datelor se află la distanță față de fenomenul sau instalația măsurată, transmisia semnalelor la mari distanțe, poate fi afectată de zgomote.

În acest caz, se utilizează conversia analog-numerică locală sau conversia în frecvență, transmițându-se la distanță semnale numerice sau modulate în frecvență, mult mai puțin afectate de zgomote decât semnalele analogice.

O soluție tot mai frecvent folosită, o dată cu scăderea prețului componentelor, este cea care utilizează transmisia pe fibre optice, semnalul optic fiind practic imun la zgomote. (Fig. 8)



**Fig. 8.** Sisteme de măsurare cu transmisia la distanță a semnalelor

Așadar, arhitectura sistemelor numerice de măsurare poate fi foarte diferită, în funcție de mărimile măsurate, de viteza lor de variație, de numărul de canale de măsurare, de tehnica de calcul disponibilă, de precizia de măsurare cerută și, nu în ultimul rând, de prețul de cost al componentelor utilizate.

### **Conversia numeric - analogică și analog – numerică**

Deși s-au făcut progrese importante în realizarea unor senzori și traductoare numerice sau cu ieșire în semnal numeric, majoritatea semnalelor obținute la senzori și traductoare sunt analogice.

Utilizarea calculatorului în sistemele de măsurare necesită conversia acestor semnale analogice în semnale numerice pentru a putea fi interpretate, prelucrate și valorificate cât mai eficient.

Această funcție este îndeplinită de convertoarele analog –numerice CAN (Analog to Digital Converter – ADC).

Comenzile date de calculator în vederea controlului unui proces sunt destinate, în cele mai multe cazuri, unor dispozitive de execuție cu intrare analogică (servomotoare, electrovalve etc.), ceea ce presupune conversia acestor comenzi numerice sub formă analogică.

Pentru aceasta, sunt necesare convertoare numeric-analogice CAN (Digital to Analog Converter – DAC).

CAN se mai folosesc și în compunerea unor CAN în bucla de reacție (CAN potențiometrice).

## 10.1. Principalele caracteristici ale CNA

### a) Rezoluția

Este definită ca:  $\frac{1}{2^n}$  (unde  $n$  - numărul de biți) și este legată de cuantă:  $q = \frac{U_{ref}}{2^n}$ .

Mai poate fi definită în procente din scală (Full Scale Rate – FSR).

### b) Exactitatea (Precizia)

Este raportul dintre abaterea maximă a valorii citite față de cea adevărată și amplitudinea gamei de măsurare. Se ține cont de toate erorile arătate mai jos.

### c) Eroarea de decalaj (de offset)

Caracterizează diferența între tensiunea nulă (când  $N=000\dots0$ ) și tensiunea de ieșire reală. Ea poate fi, de obicei, reglată la zero cu circuite de corecție a offsetului și este exprimată în procente din scală sau fracțiuni de cuantă.

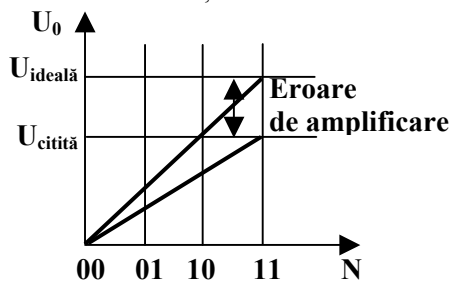


Fig.9. Eroarea de amplificare

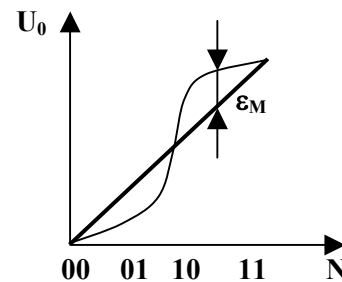


Fig. 10. Eroare de liniaritate

### d) Eroarea de amplificare

Este diferența dintre valoarea citită și cea ideală la cap de scară, eroarea inițială (de offset) fiind nulă. Ea se exprimă în procente din scală (FS).

### e) Eroarea de liniaritate

Erorile de offset și de amplificare fiind compensate, eroarea de liniaritate este diferența maximă  $\epsilon_M$  între curba reală și dreapta ideală.

Ea se exprimă în procente din scală sau în fracțiuni de cuantă.

### f) Eroarea de liniaritate diferențială

Tranziția de la un cod la altul adiacent la un CAN ideal produce la ieșire o variație de cuantă. Pentru un CAN real, variația poate fi diferită și poate avea valoarea  $\Delta V$ .

Eroarea de neliniaritate diferențială este:

$$\epsilon_d = |\Delta V - q|$$

### g) Monotonia

Creșterea monotonă a codului  $N$  trebuie să atragă o creștere monotonă a tensiunii la ieșirile  $U_0$ .

În caz contrar, avem eroare de monotonie, datorată numai neliniarității diferențiale.

### h) Timpul de stabilire

Pentru o variație a codului  $N$ , timpul de stabilire este necesar pentru ca tensiunea de ieșire să atingă valoarea finală, cu o eroare impusă  $\epsilon$ . În general, se consideră variația codului numeric de intrare de la zero la valoarea maximă.

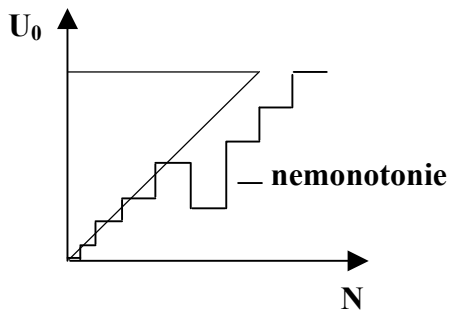


Fig. 11. Monotonia CAN

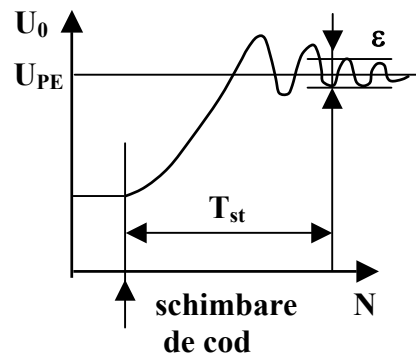


Fig.12. Definirea timpului de stabilire

### i) Cadența conversiilor (rata conversiilor)

Este numărul de conversii pe secundă pentru care specificațiile sunt respectate.

### j) Mărimi de influență

- influența temperaturii este dată printr-un coeficient de temperatură, exprimat în ppm/°C;
- influența derivei pe termen lung e datorată îmbătrânirii componentelor. Caracteristica cea mai afectată este eroarea de amplificarea. Ea poate fi dată în ppm/6 luni – 1 an.

## 10.2. Alegerea CAN pentru sistemele de măsurare

În funcție de cerințele de viteză și precizie ale sistemului de măsurare, se analizează parametrii ce caracterizează diferite CAN.

Se alege, în primul rând, rezoluția, prin numărul de biți, apoi celelalte performanțe ca: viteză, liniaritate etc.

La CAN de mare rezoluție se impun reguli deosebite de montare, cum ar fi:

- separarea masei analogice a semnalului de masă digitală;
- scurtarea conexiunii între ieșirea CNA și amplificator, pentru a micșora efectele capacitive, dacă se urmărește o mare viteză de stabilire;
- decuplarea cât mai aproape de CNA a celor două alimentări;
- alegerea judicioasă a AO pentru conservarea preciziei și a vitezei CAN.

Criteriile de alegere ale CNA pentru diferite aplicații sunt, în principal, legate de performanțele impuse de aplicația de unde trebuie folosit și de cost.

**a)** primul criteriu important, legat de **rezoluție**, îl constituie **numărul de biți** al semnalului numeric ce trebuie convertit (4, 8, 10, 12 biți etc.);

**b)** al doilea criteriu important îl constituie **viteza conversiei**, care impune rata conversiilor. Pentru aplicații cu variații lente, pot fi alese CNA mai lente și mai ieftine;

**c)** al treilea criteriu îl constituie **exactitatea**, legată de toate tipurile de erori menționate anterior și de mărimea acestora. În general, exactitatea este legată și de rezoluție, pentru că un CNA cu număr mare de biți nu poate avea o exactitate redusă, deoarece nu se justifică în acest caz rezoluția mare;

**d)** de asemenea, **criteriile de fiabilitate** trebuie avute în vedere pentru a obține siguranța în funcționare cerută de anumite aplicații. Alegerea unui tip sau altul de CAN, oferit de o firmă sau alta, se va baza deci pe o analiză atentă a raportului performanțe-cost, căutând să se asigure performanțele cerute la un preț de cost cât mai rezonabil.

### 10.3. Principalele caracteristici ale unui CAN

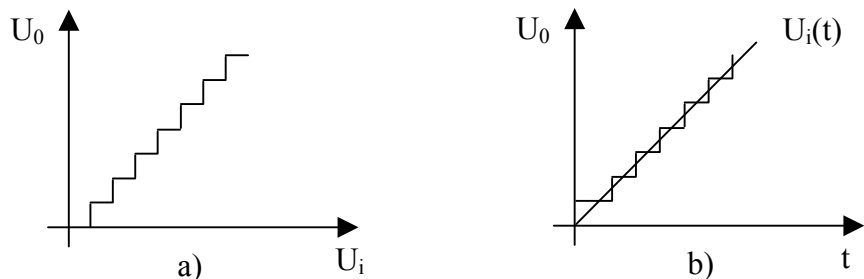
Anumite caracteristici sunt definite în mod identic, ca la CNA, acestea fiind: rezoluția, precizia, erorile de decalaj, de amplificare, de liniaritate, viteza conversiei, mărimile de influență. Alte caracteristici sunt specifice CAN și vor fi descrise în continuare.

#### a) Eroarea de histerezis

Această eroare provine de la comparator și ea nu trebuie să depășească  $\pm q/2$  ( $q$  – cuanta de numerizare).

#### b) Eroarea de cuantificare

Caracteristica de transfer a CAN este o funcție în trepte de scară. Cuantificarea introduce o eroare sistematică care poate fi centrată sau deplasată



**Fig. 13.** Caracteristica de transfer (a) și cuantificarea semnalului la ieșire (b)

În cazul unui semnal analogic  $U_x$ , evoluând sub forma unei rampe de tensiune, eroarea:

$$\varepsilon = U_0(t) - U_i(t)$$

este reprezentată în fig. 14.

Această eroare este considerată ca un zgomot dinamic suprapus cu semnalul. Se arată că

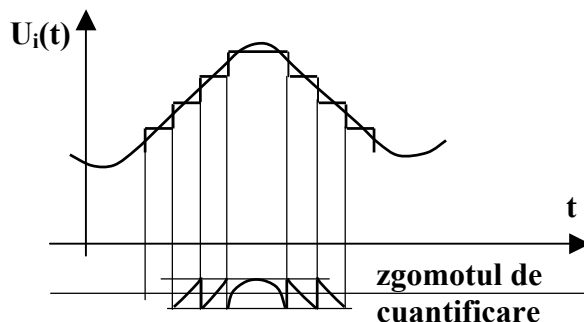
valoarea efectivă este egală cu:  $\sqrt{\frac{q^2}{12}}$  la eroarea centrată și  $\sqrt{\frac{q^2}{3}}$  la eroarea deplasată



**Fig. 14.** Erorile de cuantificare

Astfel, la un semnal sinusoidal, avem un zgomot cu alura din Fig. 15.

Zgomotul de cuantificare apare astfel ca valoarea pătratică medie datorată semnalului de eroare în funcție de timp.



**Fig. 15.** Zgomotul de cuantificare la un semnal sinusoidal

### c) Coduri lipsă

Dacă o eroare diferențială de liniaritate este superioară unui LSB, se produce un răspuns nemonoton. Această eroare este cauza codurilor lipsă.

De exemplu, dacă semnalul analogic este ușor inferior celui necesar codului 010, atunci el se convertește în 001, iar când este superior lui 010, se convertește în 011.

Codul 010 nu va exista deci în caracteristica de conversie.

### d) Rejecția semnalelor parazite

Rejecția semnalelor parazite poate fi în anumite aplicații foarte importantă, pentru că acestea pot afecta foarte mult precizia măsurărilor.

Se disting două feluri de zgomote: zgomote **serie** (sursă de zgomot în serie cu semnal util) și zgomote de **mod comun** care intervin în cazul intrărilor flotante.

Rejecția de mod serie va fi analizată în continuare la diferite tipuri de CAN.

Un exemplu concret se poate găsi la conectarea unui termocuplu cu un releu cu bobină alimentată la 50 Hz. Aceasta induce o tensiune parazită cu  $f=50$  Hz, în serie cu  $e_0$  dată de termocuplu.

Se definește ca **factor de rejecție de mod serie**, raportul în dB al valorii de vârf a semnalului parazit ce produce o variație a semnalului la ieșire cu valoarea semnalului de intrare analogic care produce aceeași variație.

Se poate elimina zgomotul de mai sus cu un filtru care va micșora cu atât mai mult viteza de răspuns cu cât el va fi mai eficace.

CAN care posedă, la intrare, un circuit integrator (CAN  $U \rightarrow f$ , dublă rampă, triplă rampă) asigură reducerea paraziților alternativi și a armonicilor lor, dacă perioada de integrare este convenabil aleasă.

### Alegerea CAN pentru sistemele de măsurare

Criteriile esențiale după care se aleg CAN pentru diferite aplicații sunt în principal trei:

- **timpul de conversie;**
- **precizia de conversie**, care cuprinde în fapt toate sursele de erori enumerate mai sus: histerezis, eroarea de cuantificare, rezoluția (prin numărul de biți) etc.;
- **rejecția zgomotelor.**

Se deosebesc, astfel, câteva situații distincte în care sunt preferate cu precădere una sau două din cele trei caracteristici importante ale CAN.

**1.** Aplicații în care semnalul metrologic variază lent, nivelul semnalului este mic, zgomotul de mod serie poate fi important, precizia cerută fiind relativ mare; în această situație, se preferă CAN cu integrare, la nivele mari de zgomote, sau CAN cu aproximații succesive, la nivele mici de zgomot.

Uneori, se preferă CAN tensiune-frecvență mai ales când semnalul trebuie transmis la distanță mare de senzor și conversia trebuie făcută la locul măsurării.

Ca exemple, se pot cita:

- domeniul măsurării temperaturilor;
- domeniul măsurării presiunilor și forțelor în regim static;
- domeniul măsurărilor de debite sau nivele;
- măsurarea pH în industria chimică.

**2.** Aplicații în care semnalul metrologic variază în domeniul frecvențelor joase (10 Hz...1 kHz), zgomotele sunt de nivel mic sau mediu, precizia cerută fiind relativ bună (0.5÷2.5 %).

Pentru aceste aplicații, sunt, de obicei, preferate CAN cu aproximații succesive, care asigură viteze bune de conversie, precizie bună, numărul de biți aleși fiind un compromis între viteză (invers proporțională cu numărul de biți) și precizie.

Exemple de asemenea aplicații se pot da:

- măsurări și achiziții din rețelele energetice (la  $f=50$  Hz);
- măsurări de presiuni în regim dinamic: accelerații, vibrații, turații, cupluri etc.

3. Aplicații în care semnalele variază cu viteze mari sau conțin frecvențe ridicate ( $f > 1\text{kHz} \dots 10\text{MHz}$ ), zgomotele sunt de nivel mic, datorită filtrelor trece-bandă, precizia dorită fiind modestă.

În aceste aplicații, sunt preferate CAN cu conversie directă.

Domeniile de aplicații: telecomunicații numerice, televiziunea numerică, osciloscoape numerice, comunicații spațiale.

În afara acestor aplicații tipice, se pot întâlni o paletă foarte variată de situații practice în care trebuie făcute compromisuri pentru alegerea soluției optime. Aceste compromisuri devin cu atât mai neînsemnate și mai ușor de depășit cu cât performanțele componentelor de care se dispune sunt mai bune.