

# 1 . Fundamentele procesului de măsurare

## Evoluții recente și previzibile

### Sisteme de măsurare programabile

Prin **măsurare** se înțelege ansamblul de operații experimentale prin care o mărime de măsurat  $x$  este comparată cu valorile unei scări de măsurare, exprimată în unități de măsură  $um$ , pentru a identifica valoarea din scară cea mai apropiată de valoarea reală a mărimii de măsurat sub forma raportului:

$$N = \frac{x}{um}, \quad (1.1)$$

care exprimă echivalentul valoric al mărimii măsurate [7].

Măsurarea este necesară pentru că stă la baza cvasitotalității activităților umane. Ea este indispensabilă în relațiile de vânzare / cumpărare, în conducerea proceselor de fabricație, în activități de cercetare ș.a.m.d.

Efectuarea unei măsurări implică următoarele operații:

- Definirea mărimii de măsurat (măsurandului);
- Precizarea scării de măsurare și a unității de măsură adoptate;
- Adoptarea și aplicarea unei proceduri / metode de măsurare;
- Precizarea mijloacelor tehnice (echipamentelor) necesare pentru efectuarea măsurării;
- Prelucrarea rezultatelor primare pentru a obține un rezultat final cât mai exact și sub formă convenabilă utilizatorului;
- Afișarea / înregistrarea rezultatului măsurării;
- Opțional, în afară de măsurare mai pot fi efectuate și alte operații și anume:
  - Calibrarea / etalonarea periodică a aparatului de măsurare;
  - Semnalizarea / alarmarea depășirii unei limite prescrise de către mărimea măsurată;
  - Memorarea / arhivarea rezultatelor măsurărilor anterioare și / sau a evenimentelor ce au avut loc în ultima perioadă de timp, ș.a.

Pentru măsurarea unor mărimi electrice precum tensiunea, curentul, frecvența, ș.a., se folosesc aparate de măsurare și vizualizare directă AMV (voltmetre, ampermetre, frecvențmetre, ș.a.).

Pentru măsurarea unor mărimi neelectrice precum presiunea, debitul, nivelul, vâscozitatea, densitatea, turbulența, ș.a., se recurge la folosirea unor sisteme de echipamente de convertire a mărimii neelectrice de măsurat într-o mărime electrică sau fotoelectrică (senzori, traductoare, convertoare), precum și la folosirea unor elemente de prelucrare a mărimilor intermediare pentru a obține rezultatul final al măsurărilor.

Senzorii și traductoarele sunt echipamente specifice mărimii neelectrice de măsurat. Sunt de preferat acele echipamente care au ca mărime de ieșire un semnal electric sau fotoelectric, deoarece aceste semnale sunt mai ușor de prelucrat în sistemele de măsurare moderne.

Convertoarele de mărimi intermediare, ca și echipamentele de prelucrare a semnalelor din cadrul sistemelor de măsurare, care se folosesc în prezent. sunt aproape exclusiv echipamente electronice sau fotoelectronice și se realizează îndeosebi sub formă de circuite integrate.

Schema unui sistem clasic de măsurare a mărimilor neelectrice este prezentată în figura 1.1, în care se disting tipuri de echipamente [7]:

- **Senzorul** sau traductorul T, care transpune valoarea mărimii de măsurat, X pe un semnal purtător de informație, Y;
- **Aparatul de măsurare și vizualizare**, AMV, care afișează / înregistrează rezultatul măsurării mărimii X;
- **Echipamente de conversie și adaptare**, ECA, care preia semnalul Y de la senzor / traductor și îl transformă într-un semnal electric compatibil cu caracteristicile de intrare ale AMV. Aceste echipamente pot fi folosite ca echipamente autonome, dar ele pot fi încorporate fie în structura senzorului, fie în structura AMV.
- **Dispozitiv de semnalizare optica si/sau acustica**, DS, -optional.

Aparatura și sistemele de măsurare a diverselor mărimi sunt de o foarte mare diversitate, atât în ceea ce privește natura mărimilor măsurate cât și mai ales natura, structura și complexitatea acestora. Există aparate foarte simple cum sunt unele termometre, manometre, ș.a., dar în ultima vreme au fost elaborate și realizate aparate și sisteme de măsurare performante foarte sofisticate, mai ales cele pentru determinarea compoziției chimice și structurii diverselor produse naturale sau fabricate.

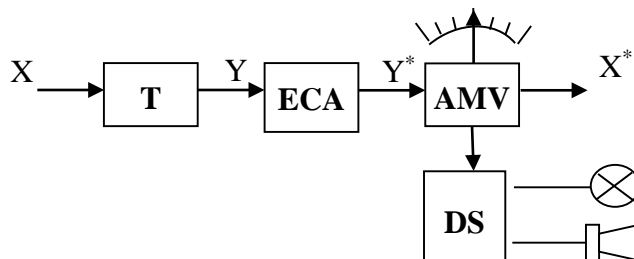


Fig. 1.1. Schema unui sistem clasic de măsurare [3]

O categorie aparte de aparate / sisteme de măsurare o constituie așa zisele **analizoare**. Sub denumirea generică de analiză și analizor se înțelege ansamblul de operații ce au loc în anumite echipamente (ale analizorului) în vederea determinării compoziției chimice a unui produs (amestec), a mediului sau a unui anumit indicator de calitate, ca de exemplu: puritatea apei, turbulența unui lichid, conținutul în toxine al unor alimente, etc.

Rezultatul unei analize, exprimat prin concentrațiile componentelor unui amestec sau printr-un indice de calitate, se determină într-un mod asemănător cu cel adoptat în sistemele de măsurare, prezentate mai înainte, dar sunt mai complicate și prezintă anumite particularități determinate de tipul de analiză, de complexitatea acesteia, de forma de prezentare a rezultatului analizei, ș.a.

Ceea ce diferă cel mai mult între sistemele de măsurare și cele de analiză este faptul că pentru analiză este necesar în cele mai multe cazuri să se preleve din mediul analizat o probă (eșantion) cât mai reprezentativă, care să fie supusă analizei în echipamente specifice ale analizorului.

În general, structura analizoarelor este mai complicată decât structura aparatelor de măsurare, întrucât în cadrul unui analizor există cel puțin un aparat de măsurare.

## 1.2. Structura și funcțiile sistemelor de măsurare

Atât sistemele de măsurare cât și cele de analiză au în componența lor două tipuri de echipamente și funcții:

- Echipamente cu funcții de bază, specifice măsurării;
- Echipamente cu funcții auxiliare, complementare, care facilitează, accelerează și măresc performanțele măsurării.

### 1.2.1. Echipamente cu funcții de bază

În categoria echipamentelor de bază intră acele echipamente strict necesare fără de care nu este posibilă măsurarea / analiza dorită și anume:

- **Unul sau mai mulți senzori** / traductoare pentru prelevarea mărimii de măsurat sau a mărimilor ce determină mărimea de măsurat și care transpun această mărime pe semnale purtătoare de informație;
- **Echipamente pentru prelucrarea primară a semnalelor** date de traductoare în vederea determinării mărimii măsurate sau analizate și transpunerea acestei mărimi pe semnal măsurabil (amplificatoare / atenuatoare, convertoare, filtre, etc.);
- **Echipamente de măsurare și de afișare / înregistrare** a semnalului asociat mărimii măsurate / analizate;
- **Optional -Echipamente suplimentare pentru semnalizare optică / acustică a unor evenimente critice:** depășiri de limite prestabilite, defecțiuni, etc.

În cazul analizoarelor mai sunt necesare, după caz, în funcție de metoda de analiză aleasă, unul sau mai multe din următoarele tipuri de echipamente:

- Dispozitive de prelevare și condiționare a probelor;
- Celule de analiză a probelor prelevare;
- Surse de excitație a probelor;
- Senzori și / sau receptori (detectoare) pentru identificarea componentelor amestecului supus analizei chimice;
- Dispozitive de separare a componentelor amestecului analizat;
- Elemente de comutare și dirijare a fluxurilor de radiații și de materiale, ș.a.

### 1.2.2. Echipamente cu funcții auxiliare

Echipamentele auxiliare îndeplinesc funcții ce vizează în principal facilitarea și accelerarea operațiilor de bază prin executarea automată sau măcar semiautomată a prelucrării datelor obținute de la echipamentele cu funcții de bază, în vederea determinării rapide și exacte a rezultatului măsurării / analizei, dar și funcții care vizează eșalonarea judicioasă a operațiilor interne de executat în conformitate cu procedura de măsurare / analiză adoptată, adică acele echipamente care asigură efectuarea automată a măsurării / analizei.

Până în urmă cu 2 – 3 decenii, diversitatea și ponderea echipamentelor cu funcții auxiliare erau relativ mici, funcțiile auxiliare erau executate de personalul de exploatare a echipamentelor de bază. În prezent, ponderea și diversitatea acestor echipamente este semnificativă, iar în unele cazuri este chiar preponderentă, deoarece performanțele aparatelor / sistemelor de măsurare / analiză moderne sunt determinate în mare măsură de aceste echipamente.

Echipamentele auxiliare pot îndeplini una sau mai multe dintre următoarele tipuri de funcții / operații:

- **Prelucrarea secundară a semnalelor primare** de la senzori / detectoare și memorarea temporară a datelor relevante asupra măsurării / analizei. Este vorba de una sau mai multe tipuri de operații ca: filtrarea semnalelor primare pentru a îndepărta componentele parazite; conversia semnalelor primare în semnale standard unificate și compatibilizarea caracteristicilor intrare-ieșire ale elementelor componente; calculul / evaluarea unor mărimi finale pe baza unor mărimi primare prelevate prin senzori; calcule de valori medii sau de alte mărimi statistice; comparări cu valori prestabilite; calculul concentrațiilor pe baza cromatografiei sau spectogramei ș.a.
- **Conversia analog – numerică și numeric – analogică** pentru a putea realiza comunicația între echipamente de tip analogic și cele de tip numeric / logic din componența sistemului, precum și conversia în unități de măsură a semnalelor interne (număr de cuante, curent, tensiune), asociate mărimilor măsurate;
- **Corecția automată a erorilor de măsurare / evaluare** care se poate face cu ajutorul unor dispozitive de corecție specializate pe funcție sau se face prin program de către un microprocesor / calculator. Se are în vedere corecția erorilor introduse de mediul ambiant (temperatură, presiune, umiditate, etc.) dar și erori de metodă sau instrumente precum eroarea de zero, eroarea de neliniaritate, de histerezis, ș.a.;
- **Autocalibrarea automată periodică sau la dorință** precum și testarea funcționabilității corecte a blocurilor componente ale sistemului în vederea depistării eventualelor disfuncționalități;
- **Comanda secvențială coordonată a operațiilor interne ale sistemului** de măsurare / analiză în conformitate cu algoritmul metodei de măsurare sau de analiză adoptat. Este vorba de operații ca: închiderea / deschiderea unor întrerupătoare sau comutatoare; poziționarea unor elemente mobile în puncte prestabilite; comanda afișării / înregistrării rezultatului măsurării / analizei; comutării de fluxuri de excitație; introducerea probei de analizat, ș.a.
- **Comunicația cu alte echipamente interconectate** într-un sistem pentru monitorizarea și / sau conducerea unor procese de complexitate medie sau mare.

## 1.3. Evoluții recente și previzibile

### 1.3.1. Relația tradiție – inovație

De-a lungul anilor au fost realizate și folosite o mare varietate de tipuri de mijloace de măsurare. Unele dintre acestea, cele care și-au dovedit eficiența, se folosesc și în prezent, ele devenind tradiționale, clasice [7].

Procesul de diversificare, de concepție și de realizare de noi timpuri de mijloace de măsurare cu performanțe din ce în ce mai bune continuă și în prezent, așa încât în faza de proiectare a unui obiectiv, care implică multe măsurări, factorii de decizie au de ales între a folosi mijloace de măsurare tradiționale sau a adapta mijloace de măsurare noi, inovative.

Alegerea unor mijloace de măsurare tradiționale este tentantă deoarece nu implică probleme de implementare de noi tipuri de aparate, pe când alegerea unor mijloace noi inovative este și ea atractivă prin performanțele superioare ale acestora, deși prezintă unele dificultăți și chiar riscuri de implementare, schimbări de gândire, implicații economice ș.a. Tocmai din aceste cauze anumiți factori de decizie manifestă rețineri sau întâzieri în aplicarea soluțiilor inovative.

În ciuda tendințelor conservatoare există suficiente foruri și întreprinderi temerare care își asumă responsabilitatea promovării soluțiilor inovative, care în final izbutesc. După primele implementări de succes încrederea generală în astfel de soluții crește, aplicațiile se înmulțesc și treptat, după câțiva ani de experiență, aceste soluții devin tradiționale. Prin urmare statutul de soluție inovativă se raportează numai la perioada de început a aplicării acesteia până când aceasta și-a cucerit recunoașterea cvaziunanimă a succesului.

### 1.3.2. Evoluții previzibile

Din analiza evoluției din ultimele decenii a mijloacelor de măsurare se conturează următoarele tendințe:

- Tendința de **modularizare și standardizare** a componentelor și sistemelor de măsurare după norme adoptate de organisme și asociații științifice și profesionale. În această direcție se remarcă existența unui sortiment relativ bogat de astfel de echipamente, care ușurează sarcinile proiectantului de sisteme de măsurare, reducându-le în principal la integrarea într-un sistem a unor astfel de componente.
- Tendința de **generalizare a compatibilității caracteristicilor** de interconectare ale echipamentelor și sistemelor și folosirea de semnale unificate, standardizate cu care acestea operează, așa încât să se poată realiza interconexiuni directe, sau reducându-se astfel necesitatea unor adaptări și conversii prin echipamente de interfațare.
- Tendința de **extindere a folosirii echipamentelor și sistemelor care operează cu semnale logice și numerice** pe seama restrângerii la strictul necesar a celor de tip analogic. Această tendință este justificată de tendința de a încorpora în echipamentele de măsurare / automatizare a unor microprocesoare numerice pentru prelucrări de date, pentru corecții de rezultate ale măsurării, pentru comanda eșalonării operațiilor interne ale sistemelor și în general pentru automatizarea operației de măsurare.
- Tendința de **lărgire / generalizare a folosirii echipamentelor / sistemelor programabile, pilotate de microprocesor dedicat**, dotat cu perifericele necesare, care poate fi programat să îndeplinească o gamă largă de funcții. Folosind un astfel de microprocesor este posibilă o reconfigurare, o dezvoltare și o perfecționare relativ ușoară a funcțiilor sistemului prin programe adecvate fără a modifica structura de echipamente;
- Tendința de **prelucrare a semnalelor de ieșire cât mai aproape sau chiar în cadrul sursei de semnal, deci cât mai aproape de senzori / traductoare și de transmitere a semnalului prelucrat sub formă numerică**. În cazul sistemelor multivariabile se preferă transmiterea prin magistrale de date sau pe canale radio și nu prin perechi de conductori pentru fiecare variabilă;
- Tendința / preferința de realiza **și folosi senzori / traductoare / convertoare și alte echipamente ale sistemului de măsurare sub formă de circuite integrate** de dimensiuni foarte mici, obținute prin nanotehnologii de ultimă generație;
- Tendința de folosire în cadrul unor sisteme de achiziție de date a unor **echipamente foarte performante pentru măsurări multiple** a zeci sau sute de mărimi prin multiplexare în timp;
- Tendința de a adopta în cadrul sistemelor de măsurare a unor **principii și soluții care sunt aplicate în cadrul sistemelor de calcul (calculatoarelor)** numerice pentru a optimiza circulația și prelucrarea datelor în timp real [7].

## 1.4. Sisteme de măsurare programabile

Un sistem complex de măsurare programabil cuprinde în general următoarele tipuri de echipamente [7]:

- un calculator coordonator, denumit controller, CC;
- echipamente emitente, EE;
- echipamente receptoare, ER;
- echipamente emitente și receptoare, EER;
- magistrala de comunicație standard, MS;
- interfețele cu echipamentele periferice ale sistemului.

Pentru ca elementele componente ale unui sistem programabil să poată funcționa corect, este necesară stabilirea unor mijloace de comunicare între ele, precum și între ele și utilizatorul sistemului. Mijloacele care asigură intercomunicația cuprind echipamente de interfață specifice fiecărui tip de aparat inclus în sistem, precum și o magistrală de comunicație pe care mesajele (date, adrese și comenzi) circulă conform unui anumit protocol de comunicație.

Pentru a se ușura activitatea de proiectare, realizare și exploatare a acestor sisteme complexe s-au realizat diverse tipuri de interfețe și de magistrale standardizate. Un standard de interfețe definește toate mărimile mecanice, electrice și funcționale care concură la asigurarea compatibilității tuturor elementelor componente ale sistemului. Unul din primele standarde cu aplicatie industrială este standardul IEC 624-1 care provine din standardul IEEE 488, apărut în 1975. În prezent există și alte standarde mai evolute, cum ar fi OPC, HART sa.

În figura 1.2 se prezintă modul în care elementele unui astfel de sistem se interconectează pe baza standardului IEC 625-1. Sistemul poate cuprinde maximum 15 echipamente distincte, inclusiv controllerul. Interconexiunile sunt asigurate de o magistrală standard de 16 biți cu o lungime maximă de 20 m și o viteză de transfer de 1 Moctet/s.

Într-un astfel de sistem pot fi incluse prin intermediul unor interfețe corespunzătoare diverse tipuri de aparate de măsurare (multimetre digitale, numărătoare universale, analizoare de spectru ș.a.), echipamente de memorare (cititoare și/sau înregistratoare de discuri, dischete sau benzi magnetice, memorii ROM, RAM, EPROM ș.a. ), echipamente de afișare și/sau înregistrare (display cu LEDuri sau cristale lichide, monitoare TV, osciloscop, imprimante ș.a.), echipamente de calcul (mini sau micro calculatoare, ș.a.), generatoare de semnale (generatoare de tact, ceasuri, generatoare de funcții, ș.a.), precum și alte echipamente (surse de tensiune programabile, convertoare A/N și N/A, echipamente de teletransmitere ș.a.).

Cu excepția controllerului care îndeplinește permanent funcția de coordonator, emitenț și receptor, celelalte componente ale sistemului pot îndeplini după caz numai funcțiile de emitenț și/sau receptor, cu precizarea că în orice moment poate fi activat un singur emitenț și unul sau mai mulți receptori. Fiecărui aparat din sistem i se asociază o adresă care servește la selectarea și activarea acestuia în vederea transmiterii sau recepției de date sau comenzi prin magistrala standard.

**Magistrala standard**, MS, asigură legătura în paralel cu toate elementele sistemului iar comunicația este reglementată cu ajutorul a trei submagistrale:

- **submagistrala de date** MD de 8 biți este cea pe care se efectuează transferul de octeți între elementele componente ale sistemului, octeți care pot reprezenta adresa unui aparat, o comandă generală pentru toate aparatele sistemului, un cuvânt de stare al unui aparat, instrucțiune de programare pentru un aparat, rezultatul unei măsurări sau al unui calcul. Prin funcția de protocol controllerul asigură fiecărui octet lansat pe magistrală un transfer corect între aparatul emitenț și aparatul sau aparatele receptoare prin celelalte submagistrale.

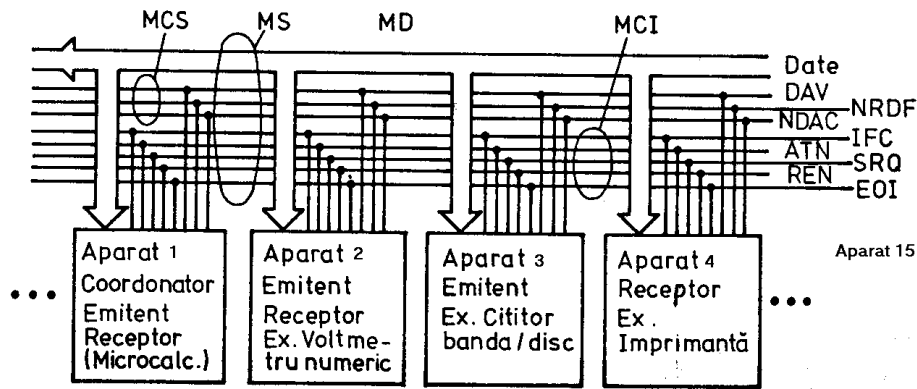


Fig. 1.2. Structura unui sistem de măsurare programabil conform standardului IEEE 488

- **submagistrala de control și sincronizare MCS** pe 3 biți asigură prin serviciul de protocol transmisia și recepția sincronă a octeților pe magistrala de date. Această funcție este realizată cu ajutorul a trei linii de semnal după cum urmează:

- semnalul DAV, când este pus pe L validează datele depuse pe MD, ceea ce înseamnă că în intervalul de timp cât  $DAV=L$ , octetul depus pe MD poate fi citit de către aparatul sau aparatele receptoare;

- semnalul NRDF, când este pus pe L, arată că nu toate aparatele receptoare sunt pregătite să accepte datele depuse pe MD;

- semnalul NDAC când este pus pe L, arată că nu toate aparatele receptoare au reușit să citească octetul depus pe MD.

Semnalele NRDF și NDAC sunt formate prin participarea tuturor serviciilor de acceptare de protocol de la toate aparatele receptoare. În acest fel se iau în considerare vitezele de răspuns diferite ale diverselor aparate, transferul realizându-se la viteza celui mai lent aparat receptor participant la transfer.

Algoritmul procesului de protocol pentru transferul unui octet între un aparat emitent și mai multe aparate receptoare este prezentată în figura 1.3.

- **submagistrala de control a interfeței** pe 5 biți dirijează semnale de comandă, active pe nivel L, pentru a realiza o anumită configurație a participării aparatelor la dialog, precum și o direcționare corectă a transferului de octeți în configurația realizată. Denumirea și efectele semnalelor de comandă sunt următoarele:

- semnalul ATN este emis de controller și are ca efect validarea datelor de pe MD; pentru  $ATN = L$  numai controllerul este activ, toate celelalte aparate din sistem fiind în stare de așteptare, iar pe MD sunt transferate comenzi pentru interfețe recunoscute de toate aparatele sistemului. Când  $ATN = H$  pe MD sunt transferate date dependente de funcționarea specifică a aparatelor: instrucțiuni de programare, rezultate sau calcule ale măsurării;

- semnalul IFC, emis de controller, are ca efect aducerea în stare de inactivare a tuturor componentelor sistemului atunci când  $IFC = L$ ;

- semnalul REN, emis de controller, face ca atunci când  $REN = L$  și se lansează adresa unui aparat, acel aparat primește comenzi de funcționare de pe MD;

- semnalul SRQ poate fi emis de orice aparat care formulează astfel către controller o cerere de întrerupere;

- semnalul EOI este emis de orice aparat emitent pentru a marca momentul emiterii ultimului octet din mesaj.

Interfața standard poate funcționa în două moduri:

- modul transfer de comenzi de interfațare;
- modul transfer de date.

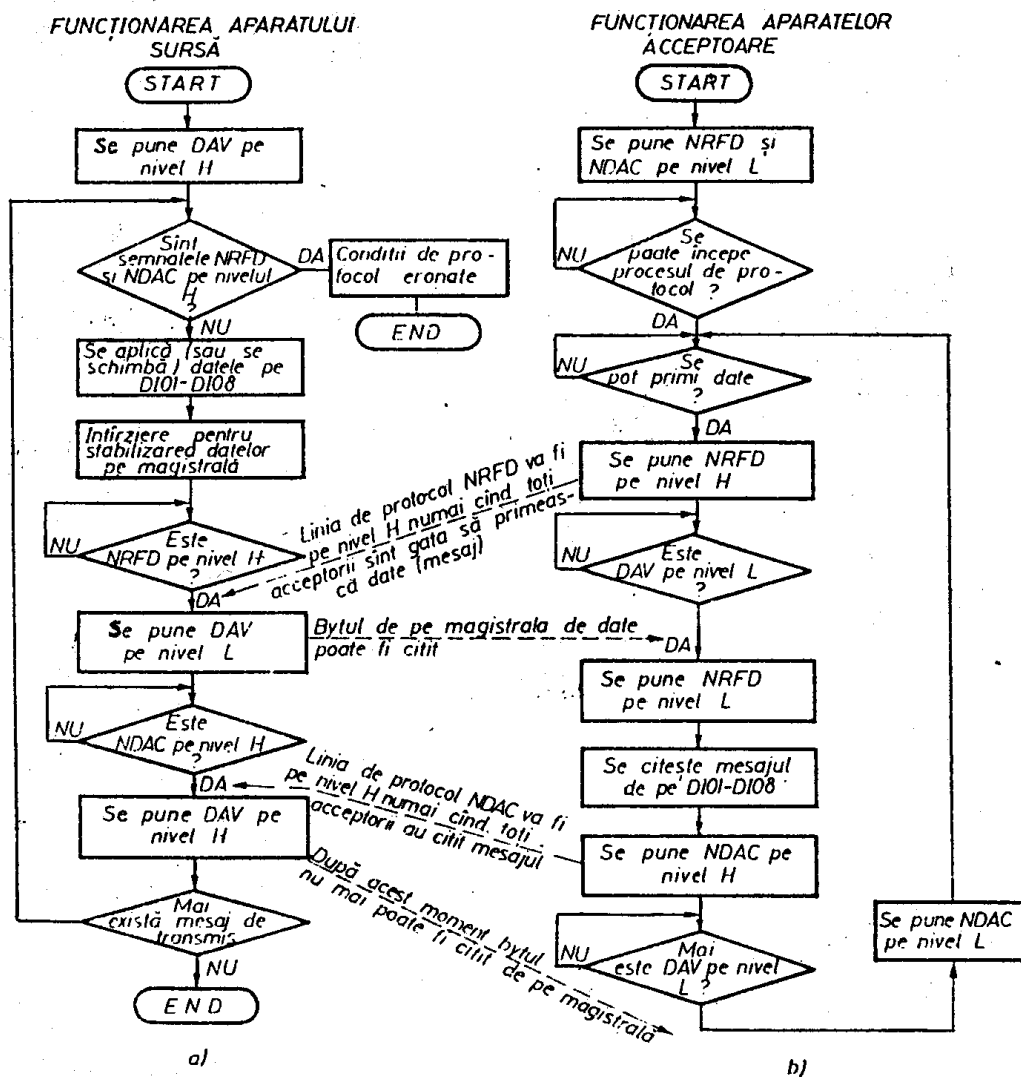


Fig. 1.3. Algoritm procesului de protocol

### Transferul de comenzi de interfațare

Legăturile necesare între componentele sistemului sunt stabilite de către controller prin activarea semnalului ATN (ATN = L). Pentru codificarea comenzilor de interfațare standardul IEEE 488 folosește caractere ASCII. Deoarece codul ASCII utilizează numai 7 din cei 8 biți ai octetului, al optulea bit este folosit ca bit de paritate.

Există 5 grupe de comenzi de interfațare.

**1. Comanda de adresare a emitentului, MTA.** Controllerul depune pe MD un octet de forma X10 a<sub>5</sub> a<sub>4</sub> a<sub>3</sub> a<sub>2</sub> a<sub>1</sub> în care a<sub>5</sub> – a<sub>1</sub> constituie adresa noului emitent. În mod automat se adresează emitentul actual. Trecerea în starea de emitent active este condiționată de îndeplinirea a trei condiții: ATN = L, aplicarea pe MD a comenzii ETA și îndeplinirea procesului de protocol prin semnale DAV, NRFD și NDAC.

**2. Comanda de adresare a receptorului, MLA.** Controllerul depune pe MD un octet de forma X01 a<sub>5</sub> a<sub>4</sub> a<sub>3</sub> a<sub>2</sub> a<sub>1</sub> în care a<sub>5</sub> – a<sub>1</sub> constituie adresa noului receptor. Din momentul lansării acestui octet aparatul adresat devine receptor activ. În sistem pot exista până la 14 receptori activi. Trecerea în starea de receptor este condiționată de: ATN = L, aplicarea pe MD a comenzii MLA și de îndeplinire a procesului de protocol prin semnale DAV, NRFD și NDAC.



**3. Comenzi generale.** La aceste comenzi răspund toate aparatele indiferent dacă au fost sau nu adresate. Astfel:

- prin LLD se blochează comenzile locale date de la panourile proprii;
- prin DCL toate aparatele sunt trecute într-o stare anterior stabilită pentru fiecare aparat, stare precizată în manualul de utilizare al aparatului în cauză;

- prin SPE se validează interogarea serie;

- prin SPD se devalidează interogarea serie.

Interogarea serie intervine când un aparat solicită intervenția controllerului. Aceasta activează semnalul de cerere de serviciu prin  $SRQ = L$ . Controllerul începe operația de interogare serie pentru identificarea aparatului solicitant, activează semnalul ATN ( $ATN = L$ ), validează interogarea serie prin  $SPE = L$  apoi se adresează primului aparat emitent prin MTA, după care pune  $ATN = H$  dacă a solicitat cererea de serviciu, ceilalți biți indicând serviciul solicitat.

Dacă aparatul interogat nu a solicitat serviciul bitul  $a_7 = L$  și interogarea continuă succesiv cu toate celelalte aparate din sistem după care prin SPD interogarea este încheiată iar ATN devine  $ATN = H$ .

**4. Comenzi adresate.** Aceste comenzi sunt similare cu comenzile generale cu singura deosebire că ele afectează numai aparatele care au fost adresate anterior ca aparate receptoare. Astfel, comenzile:

SDC aduce aparatul în starea fixată anterior;

GTL validează comenzile locale ale aparatelor;

GET face ca toate aparatele receptoare să înceapă executarea unor operații stabilite anterior;

TCT determină preluarea funcției de coordonare de către alt aparat dacă în sistem există două aparate coordonatoare;

PPC validează interogarea paralelă.

Interogarea paralelă este inițiată din când în când de către controller în felul următor: se activează semnalele ATN și EOI, iar pe magistrală se lansează comanda PPC. Aparatele care participă la interogare în număr maxim de opt au alocate fiecare câte o linie de MD. Dacă un aparat solicită intervenția controllerului acesta comută pe L linia alocată lui și astfel prin analiza semnalelor de pe MD controllerul stabilește care din aparate au solicitat intervenție. Integrearea se încheie prin punerea pe nivelul H a semnalelor ATN și EOI.

**5. Comenzi de adresare.** UML anulează funcția de recepție a tuturor aparatelor receptoare adresate anterior, iar UNL anulează funcția de emitent a actualului aparat emitent.

### **Transferul de date**

Pentru transferul de date controllerul dezactivează semnalul ATN ( $ATN = H$ ) după care pe MD sunt transmise mesaje alcătuite dintr-o succesiune de octeți  $DAB_1 \dots DAB_n$  a căror semnificație este dependentă de natura fiecărui aparat.

Acești octeți pot conține instrucțiuni de programare a aparatului respective, rezultate ale măsurărilor sau calculelor, date despre starea aparatului ș.a. Codul în care sunt prezentate aceste date nu este impus de standarde, dar se preferă codul ASCII sau alt cod recunoscut de controller.

Pentru a programa, de exemplu, un voltmetru numeric să efectueze o măsurare într-un anumit domeniu, controllerul va emite următoarele comenzi:

ATN = L  
UNL, MLA, MTA

ATN = H  
DAB<sub>1</sub>, DAB<sub>2</sub>...DAB<sub>n</sub>

EOI = L

În prima secvență, prin activarea comenzii ATN, sistemul lucrează în regim de transfer comenzi. Prin UNL este deadresat actualul aparat emitent, prin MLA este adresat ca receptor voltmetrul numeric, iar prin MTA controllerul este activate ca aparat emitent. În a doua secvență, prin ATN = H se intră în regim de transfer de date. Controllerul transmite octeții  $DAB_1, DAB_2 \dots DAB_n$  care cuprind instrucțiunile necesare programării voltmetrului pentru a efectua măsurarea în domeniul dorit. În final este activat semnalul EOI care marchează sfârșitul mesajului.

Același voltmetru poate fi programat de către controller să transmită rezultatul măsurării către un dispozitiv de afișare/înregistrare. În acest scop controllerul va emite următoarea secvență:

ATN = L	ATN = H	EOI = L
UNL, MLA, MTA	$DAB_1, DAB_2 \dots DAB_n$	

În prima secvență, prin UNL se deadresează toate aparatele receptoare din sistem, prin MTA se adresează aparatului emitent, în cazul de față voltmetrul numeric iar prin MLA se adresează aparatul receptor – în cazul de față, o imprimantă sau un display. În a doua secvență se realizează transferul rezultatului măsurării de la voltmetru către imprimantă sau display, ca operația de transfer să se încheie prin EOI = L.

### Interfața aparatelor numerice

Ca să poată funcționa într-un sistem programabil, orice aparat din sistem trebuie să fie dotat cu echipamente de interfață care să-i permită interconectarea cu orice element al sistemului. Prin urmare, pe lângă funcția lui fundamentală de măsurare aparatul trebuie să îndeplinească și funcția de interfațare cu celelalte elemente ale sistemului.

Cele două funcții ale aparatelor de măsurare programabile nu sunt complet independente, ci în bună măsură se întrepătrund. Funcțiile de măsurare ale diverselor tipuri de aparate au fost prezentate în paragrafele precedente.

Funcția de interfațare constă în procesarea semnalelor transmise prin magistrala sistemului pentru a face posibilă comunicația dintre un aparat și unul sau mai multe dintre celelalte aparate ale sistemului. Prin magistrală se transmit bidirecțional atât comenzi privind executarea funcției de măsurare, cât și comenzi privind interconectarea și intercomunicarea, așa cum se sugerează în figura 1.4.

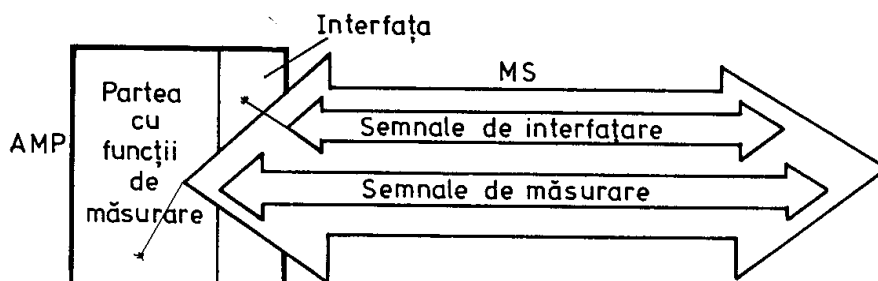


Fig. 1.4. Conectarea unui AMP la MS.

Funcția de interfațare trebuie să asigure toate capabilitățile cerute de sistem pentru a asigura intercomunicarea cât mai eficientă. În standardul IEEE 488 sunt definite 10 funcții de interfață. Cinci dintre ele sunt funcții de bază care formează grupul minim de capabilități cu care trebuie înzestrat orice aparat ca să poată funcționa în sistem. Este vorba de următoarele

funcții: generare de protocol, acceptare de protocol, funcția de emitent, funcția de receptor și funcția de coordonator.

Celelalte cinci funcții sunt menite să extindă capabilitățile sistemului și anume; funcția de “ștergere” a aparatului, de comutare aparat, de comandă externă/locală, cererea de întrerupere (servire) și cea de interogare paralelă. În figura 1.5 sunt prezentate cele 10 funcții de interfațare menționate mai înainte.

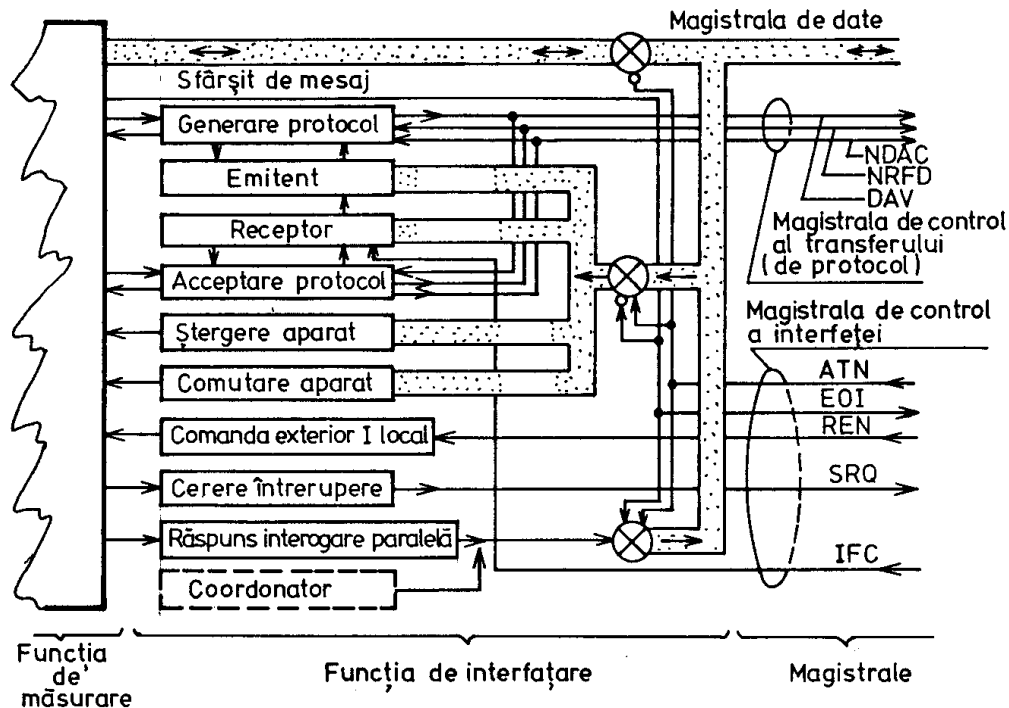


Fig. 1.5. Funcții de interfațare.

Funcțiile de generare și de acceptare protocol sunt realizate cu ajutorul semnalelor DAV, NRDF și NDAC. Funcțiile de emitent și de receptor generează, respectiv recepționează comenzile de interfațare de pe magistrala de date în corelare cu funcțiile de protocol și cu semnalul ATN = L.

Funcțiile de ștergere aparat și de comutare aparat se realizează, de asemenea, pe baza comenzilor date pe MD. După decodificare aceste comenzi transmit părții de măsurare un semnal pe o linie cu efect de ștergere dacă este dat prin comenzi DCL, SCL sau cu efect de comutare dacă este dat prin comanda GET.

Funcțiile de comandă exterior/interior și de cerere de întrerupere se exercită de către comenzile REN și SRQ atât de la sistem la interfață, cât și invers.

Funcția de răspuns la interogare paralelă se realizează prin transmiterea pe un singur bit pe o linie a MD sub efectul comenzii PPC.

Funcția de coordonator poate fi exercitată numai de către controller. Acesta activează pe magistrala de control semnalele de comandă ATN, REN, IFC și EOI iar pe magistrala de date activează mesajele de interfațare și de transmiterea datelor.

## 2. Atribute ale sistemelor de măsurare evaluate

### Traductoare inteligente

#### 2.1. Atribute ale sistemelor de măsurare evaluate

În general măsurarea nu este un scop în sine, ci face parte dintr-un ansamblu de operații / procese mai ample în care măsurarea constituie o componentă de mare importanță, deoarece în toate celelalte operații se folosesc rezultatele măsurării.

Cerințele și exigențele asupra măsurării și aparatelor / sistemelor de măsurare trebuie să fie tot atât de înalte și severe ca și cele ce se impun asupra ansamblului din care face parte măsurarea.

Deoarece în prezent proiectarea și realizarea obiectivelor / activităților se face după cele mai noi concepte, folosind echipamente moderne evaluate, inteligente, rezultă că și echipamentele / sistemele de măsurare trebuie să se situeze la același nivel de inteligență.

Despre un aparat / sistem se spune că este inteligent dacă este capabil să îndeplinească funcția / funcțiile pentru care a fost conceput cu suficientă inteligență și dacă poate conlucra direct prin conexiune cu alte echipamente / sisteme inteligente.

Prin inteligența unui sistem / aparat / echipament se înțelege aptitudinea acestuia de a se autoanaliza în raport cu factori (condiții) interni și externi și de a găsi și adopta cea mai potrivită / eficientă procedură de realizare a funcției / funcțiilor pentru care a fost creat – programat.

În general inteligența unui echipament / aparat / sistem se apreciază după o serie de atribute / proprietăți ale acestuia dintre care mai importante sunt următoarele [7]:

- **Aptitudinea de a recunoaște și folosi un limbaj (mod) de comunicație** cu alte aparate / sisteme ale structurii din care face parte, precum și cu cele din afara acesteia. Prin aceasta se înțelege că recunoaște simbolurile alfabetului limbajului și semnificația acestuia precum și semnificația semnalelor asociate acestor simboluri și cuvintelor alcătuite din simboluri. Un astfel de atribut îl au cele mai multe din echipamentele numerice de ultima generație, îndeosebi cele programabile, dotate cu microprocesor și programe corespunzătoare.
- **Aptitudinea de a executa o mulțime de operații / acțiuni precizate prin anumite comenzi (instrucțiuni)** formulate în conformitate cu regulile limbajului adoptat pentru a îndeplini anumite funcții programabile: operații logice / aritmetice, evaluări de funcții, raționament, clasificări, ș.a.
- Să aibă o **structură și o funcționare automată flexibilă și adaptabilă** și posibilitatea de a se reconfigura și de a-și modifica algoritmul de funcționare astfel încât să îndeplinească sarcinile programate în condiții optime.
- **Să dispună de mijloace moderne de comunicație** pentru a comunica direct sau prin intermediul unor interfețe cu entități de la același nivel ierarhic și de la nivel inferior și/sau superior. Este vorba de comunicații prin magistrale de date, de adrese și de comenzi, realitate din conductori optici sau metalici sau de comunicație prin radio. Relativ recent au apărut și se comercializează echipamente de comunicație prin canale radio pe frecvențe foarte înalte. Comunicația prin aceste canale ca și comunicație prin conductori se face după reguli stricte stabilite prin standarde și prin protocoale de comunicație:

- **Să poată comunica interactiv cu operatorul** / utilizatorul prin mijloace cât se poate de simple și prietenești, asemănătoare cu cele utilizate în domeniul calculatoarelor: tastatură / minitastatură. Display-uri cu LED-uri, cu LCD-uri sau cu tub catodic, imprimante, plotere, ș.a.
- **Să avertizeze utilizatorul asupra cauzelor care fac imposibilă măsurarea**, inclusiv asupra eventualelor disfuncționalități ale sistemului de măsurare și să îndrume / asiste utilizatorul în rezolvarea situației.

Majoritatea acestor atribute au fost dezvoltate la început în cadrul sistemelor de calcul logic și numeric, adică în domeniul calculatoarelor numerice, dar în prezent acestea sunt extinse și asupra altor tipuri de sisteme. *Prin urmare, o entitate cu adevărat inteligentă trebuie să aibă aptitudinea / capacitatea de a identifica evenimentele semnificative relevante din evoluția sa, de a le analiza și pe baza unui raționament să deducă și să aplice măsurile ce se impun în vederea derulării optime a proceselor ce au loc în cadrul acesteia.*

În termeni de specialitate aceasta înseamnă că *o entitate inteligentă trebuie să dispună de un mecanism (motor) de inferență și de o bază de date.*

În funcție de amplasarea și complexitatea evenimentelor și raționamentelor efectuate în cadrul unei entități: sistem, adică după puterea motorului de inferență rezultă anumite nivele sau grade de inteligență ale sistemului din care face parte. Prin urmare inteligența nu are o singură măsură ci ce urmează să fie apreciată după o scară de măsuri cu cel puțin trei măsuri = slabă, bună și foarte bună.

## 2.2. Traductoare inteligente

Progresele din domeniul tehnicii măsurării sunt strâns legate de progresele din domeniul senzorilor și traductoarelor și de cele din domeniul mijloacelor de prelucrare și transmitere a semnalelor asociate mărimilor măsurate.

În paralel cu perfecționarea senzorilor și traductoarelor tradiționale au apărut și s-au dezvoltat rapid noi tipuri de asemenea echipamente, bazate pe proprietăți, efecte și materiale speciale. Dintre acestea menționăm:

- Sensori și traductoare din materiale semiconductoare;
- Sensori și traductoare fotoelectronice;
- Sensori și traductoare electrochimice și biochimice;
- Sensori și traductoare cu microunde radar ;
- Sensori bazați pe efecte speciale, ș.a.

O tendință manifestată în ultimele decenii este aceea de a încorpora în structura senzorilor sau traductoarelor circuite și dispozitive de prelucrare primară a semnalelor prelevate pentru a furniza la ieșire un semnal cât mai bogat în informație și cât mai propice pentru transmitere către celelalte elemente ale sistemului de măsurare sau conducere. Este vorba de prelucrări care să facă posibilă transmiterea mărimilor prelevate pe semnale de ieșire standard acceptabile de aparatele de măsurare și/sau de microprocesoarele din structura senzorilor și traductoarelor sau de cele din structura sistemului de măsurare.

Cvasitotalitatea senzorilor și traductoarelor care se fabrică în prezent au ca mărime de ieșire curentul electric (4÷20 mA), trenul de impulsuri cu frecvențe de ordinul KHz÷MHz sau ieșire numerică serială sau paralelă pe 8-32 biți, transmisibile pe magistrale de tip HART, FIELDBUS, OPC ș.a.

Există, de asemenea, tendința de a folosi, acolo unde este cazul, **traductoare inteligente**, adică traductoare care să întrunească în totalitate sau parțial atributele (cerințele) echipamentelor inteligente.

Gradul de inteligență al traductorului este determinat, atât de inteligența metodei de măsurare adoptate cât și de inteligența sistemului care asigură derularea automată a procesului de măsurare.

Inteligența se materializează atât prin diverse funcții implementate prin echipamente, cât mai ales prin algoritmul sau programul de aplicație executat de o structură programabilă.

În figura 2.1 se prezintă schema unui model de traductor inteligent cu structură neprogramabilă. Principalele blocuri/module componente sunt următoarele:

**Blocul senzorilor**, BS, alcătuit din senzorul mărimii principale și din senzorul/senzorii mărimilor secundare, care influențează rezultatul măsurării;

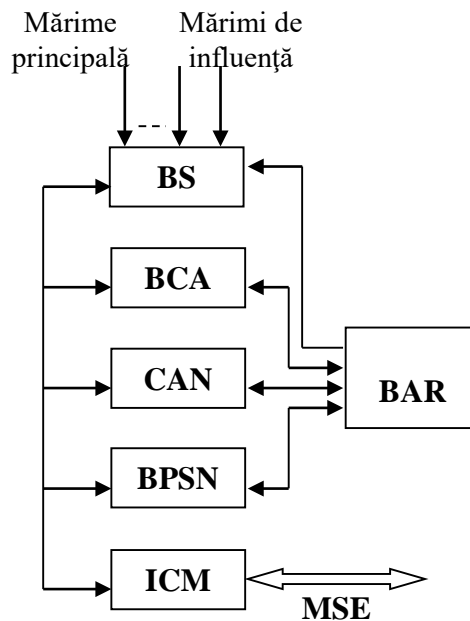


Fig. 2.1. Schema bloc a unui traductor inteligent [7]

**Blocul de conversie și adaptare**, BCA, care se mai numește și blocul de condiționare a semnalelor date de BS. Acesta convertește/ adaptează semnalele date de BS astfel încât acestea să fie acceptate de CAN.

**Convertorul analog numeric**, CAN, care are rolul de a converti semnalele analogice date de BCA în semnale numerice.

**Blocul de prelucrare secundară** a semnalelor numerice, BPSN, care determină semnalul final al traductorului inteligent pe baza unui algoritm prestabilit.

Săgeata de interdependență dintre BS, BCA, CAN și BPSN indică posibilitatea modificării configurației acestor blocuri în funcție de condițiile și scopul măsurării.

**Interfața de comunicație cu exteriorul**, ICM, prin intermediul unei magistrale standard externe MSE.

**Blocul de alimentare și referințe**, BAR, alcătuit din sursele de alimentare ale circuitelor electronice ale traductorului precum și din surse de semnal etalon de referință pentru CAN ș.a.

Dacă semnalul aplicat la intrarea CAN este liniar dependent de mărimea măsurată odată cu conversia analog-numerică se realizează de fapt și măsurarea, iar semnalul de la ieșirea BPSN este purtător al rezultatului măsurării. Acest semnal urmează a fi folosit pentru afișarea rezultatului măsurării și/sau în alte scopuri.

În figura 2.2 se prezintă un model de traductor inteligent mai evoluat, dotat cu microprocesor. În afară de BS, BCA și CAN, care au aceleași roluri ca și în schema precedentă, în această schemă sunt prezente și următoarele elemente componente:

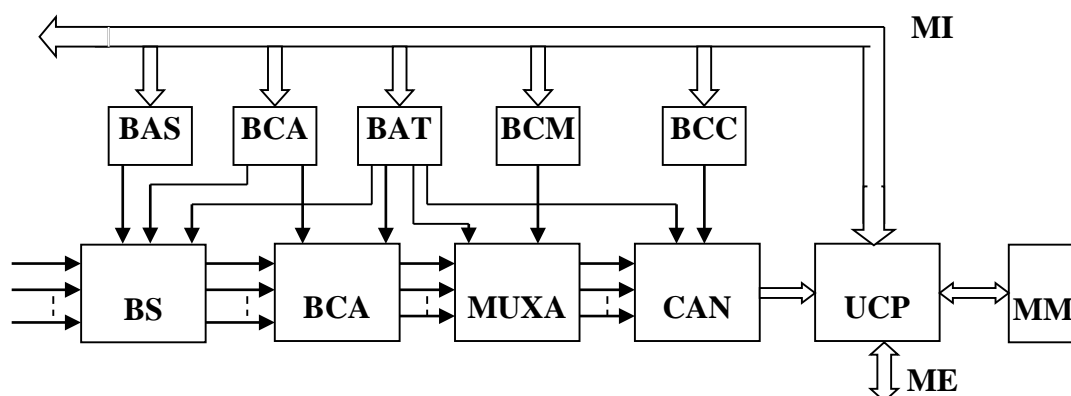


Fig. 2.2. Schema bloc a unui traductor inteligent dotat cu microprocesor [7]

➤ **Unitatea centrală de prelucrare, UCP**, alcătuită dintr-un microprocesor, numit și controler, care poate îndeplini o mulțime de funcții programabile, legate de elaborarea semnalului de ieșire al traductorului. Acesta dispune de un modul de memorie propriu MM, pentru memorare de date și programe.

➤ **Controlerul** nu are o consolă de operare proprie, dar poate fi conectat la un comunicator de câmp inteligent prin intermediul căruia pot fi executate în condiții de exploatare sau în atelierul metrologic o serie de operații precum, calibrarea, reconfigurarea ș.a.

➤ **Multiplexorul analogic, MUXA**;

➤ **Blocul de acționare asupra senzorilor, BAS**;

➤ **Blocul de comandă a conversiei/adaptării, BCA**, prin care se stabilește și domeniul de măsurare;

➤ **Blocul de autotestare a funcționalității blocurilor componente** ale traductorului, BAT;

➤ **Blocul de comandă a multiplexorului, BCM**;

➤ **Blocul de comandă a convertorului analog-numeric, BCC**.

O astfel de structură permite prelevarea și măsurarea mai multor mărimi independente prin multiplexare în timp (multimetru) sau măsurarea unor mărimi calculate, dependente de două sau mai multe mărimi primare prelevate prin senzori.

După cum se observă un traductor inteligent ca cel din figura 2.2 dispune de resursele necesare pentru realizarea următoarelor funcții: configurare, comunicare, prelevare, măsurare și validare.

Funcția de configurare/reconfigurare a structurii traductorului inteligent constă în alegerea și conectarea între ele a echipamentelor care fac posibilă transpunerea pe semnalul de ieșire a mărimii/mărimilor de intrare dorite.

Modificarea configurațiilor poate fi realizată de la o consolă portativă autonomă sau telecomandată și vizează:

➤ conectarea pe rând a senzorilor;

➤ stabilirea/schimbarea domeniului de măsurare;

➤ stabilirea/schimbarea frecvenței de eșantionare, ș.a.

Funcția de comunicare asigură comunicarea între blocurile componente ale traductorului și între acesta și mediul exterior. Prin canalele de comunicație care se formează se realizează un schimb bidirecțional de informație între componentele traductorului și între acesta și mediul exterior. În acest scop traductorul inteligent decodifică instrucțiunile și mesajele primite din exterior și emite comenzi interne în vederea executării operației cerute de utilizator.

Deoarece componentele inteligente operează cu timpi de eșantionare diferiți este necesar ca informațiile livrate de traductor să fie date, adică parametrul timp al acestuia să fie integrat în sistemul său de analiză. Această funcție se realizează de către ceasul intern al traductorului care trebuie sincronizat cu ceasul sistemului din care face parte traductorul.

Funcția de prelevare și prelucrare primară vizează aspectele metrologice și cele de prelevare a semnalelor asociate mărimii măsurate. Este vorba de obținerea unor date valide din prelevări auxiliare. În acest scop se ține seama de mărimile de influență cu ajutorul unor modele matematice mai mult sau mai puțin sofisticate sau de diferite neliniarități ce caracterizează interacțiunea mărime de măsurat-senzor.

În funcția de prelevare/prelucrare se încadrează și evaluarea erorilor de măsurare precum și compensarea acestor erori, fie prin intermediul unor echipamente, fie prin intermediul programelor.

Pentru îmbunătățirea calității măsurării se recomandă ca operația de conversie analog-numerică să fie realizată la nivelul traductorului pentru a evita transmiterea mărimii măsurate pe semnale analogice care sunt mai vulnerabile la factori perturbatori, precum și la filtrare numerică, mult mai eficace decât filtrarea analogică.

Funcția de validare vizează acele măsuri menite să asigure credibilitatea rezultatelor măsurării prin operații secundare, adesea destul de complicate. Este vorba de analiza și verificarea modului și condițiilor în care realizează funcția de prelevare-prelucrare primară de exemplu integritatea și continuitatea lanțului de măsurare.

**Avantajele** – senzorialor inteligenți:

- metrologice (precizie ridicată);
- funcționale (autotestare, autocalibrare, interoperabilitate);
- economice (reducerea timpului de etalonare și calibrare, fiabilitate crescută etc.)

**Autotestare / autosupraveghere**, prin semnale proprii de autotest:

1. depistarea eventualelor defecte sau stări care să favorizeze defectarea;
2. este recunoscută eventuala prezență a unor perturbații și anihilată acțiunea ei;
3. este detectată intervenția unor perturbații noi în procesul de măsurare;
4. dacă este asigurată *redundanța* - elementul parazitat se poate autodecupla din schemă;
5. gestiune a modului de funcționare - o evidență stocată pe un suport propriu sau extern de memorie nevolatilă:
6. numărul de identificare a elementului senzorial,
7. data punerii în funcțiune
8. datele de întreținere programată
9. caracteristicile metrologice și de funcționare (neliniaritate, histerezis, sensibilitate, dependență față de temperatură, ecuația de corecție în funcție de datele transmise etc.).

**Calibrarea clasică** presupune o serie de acțiuni practice prin care se urmărește:

- Definirea mai mult sau mai puțin explicit a valorii minime și maxime a domeniului de măsurare;
- Efectuarea unui număr de cicluri în sens crescător și descrescător a mărimii măsurate;
- Notarea valorilor rezultate și verificarea repetabilității măsurătorilor.



**Calibrarea senzorilor inteligenți** respectă algoritmul:

- Definirea unei relații bijective între ansamblul valorilor măsurandului și valorile semnalului furnizat, asociate unui sistem de unități de măsură;
- Definirea limitelor domeniului de măsurare;
- Definirea acțiunilor care se impun în cazul în care intervalul de măsurare este depășit;
- Definirea și activarea relației care caracterizează relația între măsură și măsurand;
- Validarea calibrării senzorului

**Interoperabilitatea** “senzorilor inteligenți” = schimb de informații între senzori diferiți

- comunicarea între senzori aflați în locuri diferite în scopul obținerii unor date care să permită funcționarea optimă.
  - stabilirea acțiunilor următoare, a unor decizii care se impun;
  - estimarea valorilor din proces
- 
- Pentru a fi *eficace*, trebuie îndeplinite o serie de condiții:
  - serviciul executat ca răspuns să fie exact cel cerut;
  - existența unor reguli de intercomunicare senzorială, a unor norme, pentru a realiza o comunicare unitară, și nu haotică;
  - crearea și utilizarea unui limbaj de interoperabilitate senzorială, care să permită comunicări între sistemele senzoriale destinate unor mărimi diferite;
  - definirea unor modele corespunzătoare pentru astfel de sisteme senzoriale.

## Studiu de caz

### Traductorul inteligent ST 3000

Traductorul inteligent cu transmițător ST 3000 este produs de compania Honeywell într-o varietate de modele pentru măsurări de presiune: presiune diferențială, presiune relativă și presiune absolută. Acesta transpune presiunea măsurată pe semnal de ieșire analogic liniar  $I = 4 \div 20$  mA, precum și pe semnal numeric pentru comunicație numerică cu sistemul TPS, Allen-Bradley PLC și alte sisteme de control.

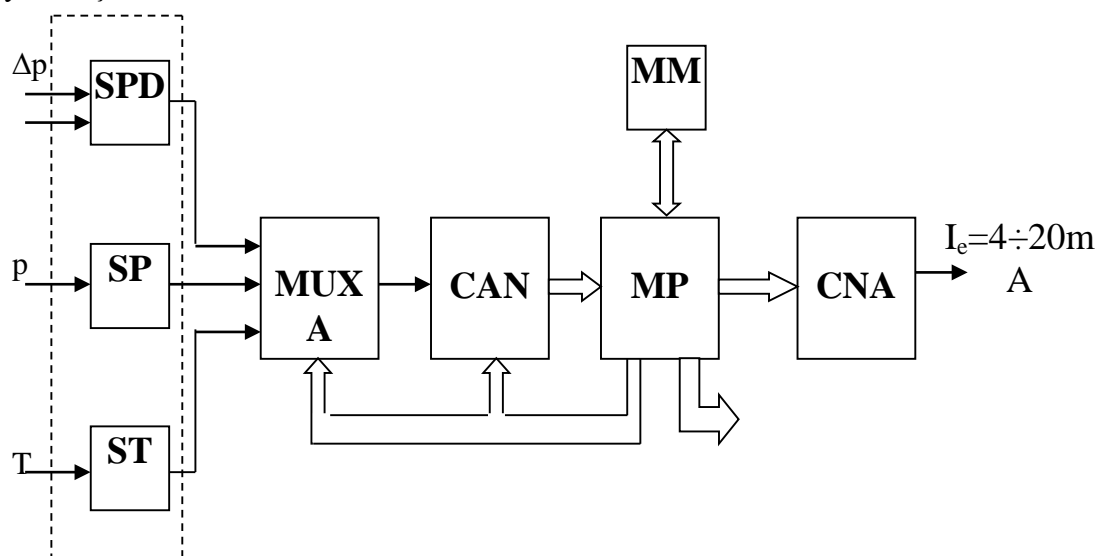


Fig. 2.3. Schema bloc simplificată a traductorului inteligent ST 3000 în mod de operare analogic

În afară de presiune, traductorul transpune pe semnal și temperatura câmpului de măsurat ca o variabilă secundară care este accesibilă numai ca parametru de citit prin intermediul comunicatorului de câmp inteligent (Smart Field Communicator, SFC) când traductorul funcționează în mod analog

Schema bloc simplificată a acestui tip de traductor este prezentată în figura 1.5 în care se păstrează aceleași simboluri ca și în schemele precedente.

Configurarea, monitorizarea, verificarea metrologică, schimbarea modului de operare (analogi/numeric) se face cu ajutorul comunicatorului de câmp inteligent SFC, care servește ca o interfață de comunicație cu toate traductoarele firmei Honeywell

Acest aparat se poate conecta cu orice tip de traductor prin intermediul unui port serial, iar comunicația se face după principiul cerere-răspuns. Cererea este adresată microprocesorului, iar răspunsul este dat de acesta – figura 2.4.

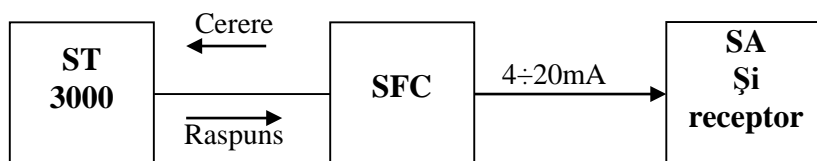


Fig. 2.4. Comunicația prin SFC.

Prin intermediul SFC pot fi realizate următoarele funcții:

➤ Configurarea traductorului pe baza introducerii parametrilor de operare ai acestuia și anume:

- domeniul de măsurare;
- conformitatea ieșirilor;
- alocarea de adrese de identificare;
- afișarea presiunii de intrare în diferite unități de măsură ingineresti și în procente;
- schimbarea modului de operare: mod analogic și mod numeric;
- verificarea condițiilor în care se fac măsurările pentru a diagnostica și afișa eventuale erori și defecțiuni prin mesaje corespunzătoare.

# 3 . Traductoare piezoelectrice și piezorezistive

## 3.1. Noțiuni generale

**Efectul piezoelectric.** Efectul piezoelectric este definit ca interacțiunea dintre efortul mecanic și câmpul /sarcinile electrice, care are loc în materiale cristaline fără centru de simetrie. El poate fi direct sau invers. În primul caz este vorba de producerea de sarcini electrice sau de potențial electric de către cristal ca efect al unei solicitări mecanice, (tensiune, forță, șoc), sau al unei deformări mecanice. În al doilea caz aplicarea unui câmp asupra cristalului produce o deformare reversibilă a acestuia din urmă sau un efort proporțional cu câmpul electric aplicat. Între deformația  $D$ , câmpul electric  $E$  și efortul mecanic  $F$  există o relație de interdependență:

$$D = \varepsilon \cdot E + d \cdot F, \quad (3.1)$$

unde  $\varepsilon$  este constanta dielectrică a cristalului iar  $d$  este constanta piezoelectrică a acestuia.  $D$  și  $E$  sunt vectori,  $\varepsilon$  este tensor de ordinul doi,  $d$  este tensor de ordinul trei, iar  $F$  este tensor de ordinul patru. Aceste mărimi conduc la concluzia că proprietățile piezoelectrice sunt amizotropice și că cei doi coeficienți  $\varepsilon$  și  $d$  sunt determinați de simetria cristalului [3].

În principiu, în traductoarele piezoelectrice se speculează efectul piezoelectric direct. Aceste dispozitive se folosesc pentru măsurarea presiunilor eforturilor și șocurilor și au în componență următoarele elemente de bază:

- **senzorul piezoelectric;**
- **circuitul pentru amplificarea sarcinilor electrice** și pentru formarea unui semnal de ieșire sub formă de tensiune sau curent;
- opțional – **circuit pentru conversie analog-numerică** a semnalului de ieșire.

Pentru măsurarea semnalului de ieșire traductorul se conectează la un aparat de măsurare și afișare/înregistrare cu impedanța foarte mare.

Cristalul piezoelectric generează sarcini electrice numai când se aplică sau se îndepărtează acțiunea mecanică. Aceste sarcini se pierd prin disipere relativ repede. Rata de încărcare a acestora este exponențială. Această particularitate face ca senzorii piezoelectrice să fie folosiți îndeosebi în măsurarea mărimilor care au variații mari și bruște. Totuși prin măsuri adecvate se pot obține senzori ce pot fi folosiți și pentru măsurarea mărimilor relativ lent variabile.

**Materiale piezoelectrice.** Caracteristicile și performanțele senzorilor piezoelectrice sunt determinate în principal de natura și dimensiunile cristalului folosit. Cel mai uzual cristal este cuarțul. Acesta este foarte stabil, are rezistență mecanică mare, poate fi folosit la temperaturi de până la 400° C, este relativ ieftin. Principalul lui neajuns este sensibilitatea relativ mică față de alte materiale descoperite mai recent.

Turmalita are sensibilitate mai mică decât cuarțul însă poate lucra până la 600° C.

Niobat de litiu și tantalat de litiu au sensibilități relativ mai mari dar sunt piezoelectrice și au rezistență de izolare mici ceea ce limitează folosirea lor numai la măsurări dinamice.

Cristalele de CGC ( $\text{Ca}_3$ ,  $\text{Ga}_2$ ,  $\text{Ge}_4$ ,  $\text{O}_{14}$ ) au sensibilitate și stabilitate mai bună decât cuarțul chiar și la temperaturi înalte.

Ortofosfatul de galiu are aceeași structură ca și cuarțul dar are sensibilitate de trei ori mai mare și constantă până la 500° C.

Piezoceramicile de tip PZT și de plumb au sensibilitate de până la 100 ori mai mare decât cuarțul, dar au o slabă liniaritate.

Piezoceramica pe bază de bismut și titan au sensibilitate de până la 10 ori mai mare decât cuarțul și temperatura limită de folosire 600° C.

**Pregătirea cristalelor piezoelectrice.** Pentru a obține un efect piezoelectric direct, cristalele sunt prelucrate în mod adecvat pentru a obține un efect de suprafață sau unul de volum.

Dacă din cristal se taie lamele/rondele perpendiculare pe axa mecanică de aplicare a efortului  $F$ , se obține un efect longitudinal, deoarece sarcinile  $Q$  apar pe fețele cristalului, așa cum se vede în figura 3.1. În acest caz, sensibilitatea senzorului este determinată de coeficientul piezoelectric longitudinal  $d_L$  și de efortul  $F$ , conform relației:

$$Q = d_L \cdot F \quad (3.2)$$

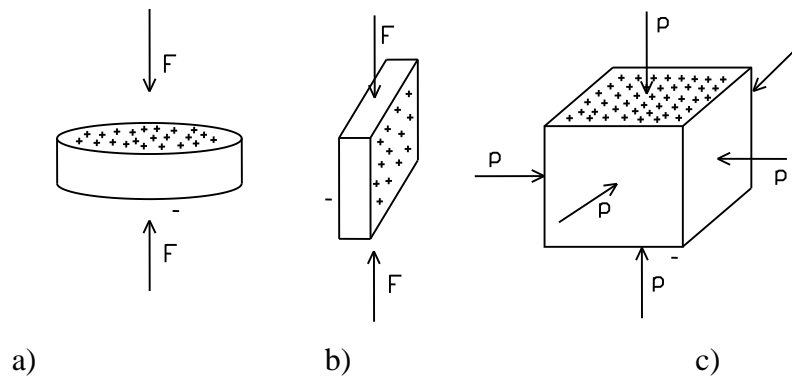


Fig. 3.1. Tipuri de cristale piezo-electrice :

- a) cu efect longitudinal; b) cu efect transversal; c) cu efect de volum.

Dacă din cristal se taie o lamelă din același plan cu efortul  $F$  se obține un senzor cu efect transversal, deoarece sarcinile  $Q$  apar pe fețele perpendiculare pe direcția efortului  $F$  (nu pe aceeași direcție). În consecință sensibilitatea este determinată de coeficientul piezoelectric transversal  $d_T$  și de raportul dintre aria  $A_Q$  de colectare a sarcinilor și aria  $A_F$  pe care se exercită efortul, adică [7]:

$$Q = d_T \cdot F \cdot \frac{A_Q}{A_F} = d_T \cdot F \cdot \frac{l}{g} \quad (3.3)$$

unde  $l$  este lungimea, iar  $g$  - grosimea lamelei.

Senzorii cu efect piezoelectric transversal au o sensibilitate dependentă de factorul  $\frac{l}{g}$ , prin urmare sensibilitatea poate fi mărită prin micșorarea grosimii și măririi lungimii de prelevare a sarcinilor.

Dacă lungimea, lățimea și grosimea cristalului piezoelectric sunt de mărimi comparabile se obține un cristal cu efect de volum, la care efortul se aplică pe toate fețele acestuia iar sarcinile se prelevă numai după o pereche de fețe, așa cum se arată în figura 3.1,c. În acest caz sensibilitatea senzorului este dată de relația:

$$Q = (d_L \cdot p + 2 \cdot d_T \cdot p) \cdot A_Q = d_n \cdot p \cdot A_Q \quad (3.4)$$

unde  $d_n$  este coeficientul piezoelectric hidrostatic.

Senzorii cu efect de volum sunt folosiți pentru măsurarea undelor de șoc, în structura hidrofoanelor ș.a. unde direcția de propagare a undelor de presiune nu este cunoscută.

### 3.2. Construcția senzorilor piezoelectrice

Traductoarele piezoelectrice de presiune, de efort, de accelerație și de șoc au în general o construcție asemănătoare și sunt alcătuite din următoarele părți componente:

- **corpul senzorului** care cuprinde în interior elementul piezoelectric;
- **elementele de prelevare a sarcinilor** electrice;
- **conectorul la circuitul electronic**;
- **diafragma separatoare de mediul ambiant**;
- **circuitul electronic de amplificare** și formare a semnalului electric de ieșire – de regulă, o tensiune sau curent electric standard.

**Construcția senzorilor piezoelectrice.** În fig. 3.2, a. este prezentată o schemă a unui senzor cu cristal piezoelectric cu efect longitudinal, iar în fig. 3.2, b. – schema unuia cu efect transversal. Principalele părți componente ale acestora sunt următoarele:

Corpul C, de regulă metalic, are rolul de a încorpora și proteja cristalul piezoelectric față de acțiuni mecanice și chimice nedorite. După caz el este prevăzut cu mijloace de montare la un punct de măsurare și cu conector și cablu de legătură cu circuitul electronic.

**Cristalul piezoelectric** al senzorului, din figura 3.2, a. este alcătuit din trei runde/discuri cu diametru de 6-12 mm, iar cel din figura 3.2.b, este alcătuit din segmente longitudinale de cilindru. Rondelile și segmentele de cilindru se montează în paralel, astfel ca suprafețele de pe care se prelevă sarcinile electrice să se însumeze. Fețele rondelilor cu aceeași polaritate se montează față în față, iar între ele se montează lamele colectoare de sarcini; una pentru sarcinile negative, care sunt conduse la corpul C iar cea pentru sarcinile pozitive, care sunt conduse la borna +, prin intermediul unui conductor central. La senzorii din figura 3.2, b sarcinile pozitive sunt colectate de un resort elicoidal.

**Diafragma D** are rolul de izolare a cristalului față de mediul furnizor de presiune și de a converti presiunea în efort mecanic, aplicat pe fețele active ale cristalului. Ea se confecționează din materiale metalice flexibile și rezistibile la acțiunea mediului cu care vine în contact. În majoritatea cazurilor ea se sudează la corp. De reținut că durabilitatea și alți indicatori de calitate ai senzorilor sunt în mare măsură determinați de calitatea diafragmei.

Pentru compensarea deformației cristalului datorită efectelor termice senzorii sunt prevăzuți cu inele de compensare, iar pentru compensarea efectelor induse de vibrații și accelerații parazite, care se manifestă îndeosebi pe direcția axială și la presiuni mici, senzorii sunt prevăzuți cu mase seismice de compensare, precum și cu un inel secundar din același material piezoelectric ca și cel principal, dar montat în opoziție cu acesta.

În principiu senzorii piezoelectrice au o construcție asemănătoare dar cu unele adoptări pentru corespunde cât mai bine scopului pentru care sunt creați. Astfel există senzori de presiune, efort sau șocuri cu ambele borne izolate față de masă, senzorii pentru măsurarea presiunii în camerele de ardere ale motoarelor cu explozie, senzori pentru măsurarea presiunii la armele de foc, senzori pentru măsurarea presiunii la mașinile de injectat mase plastice ș a.

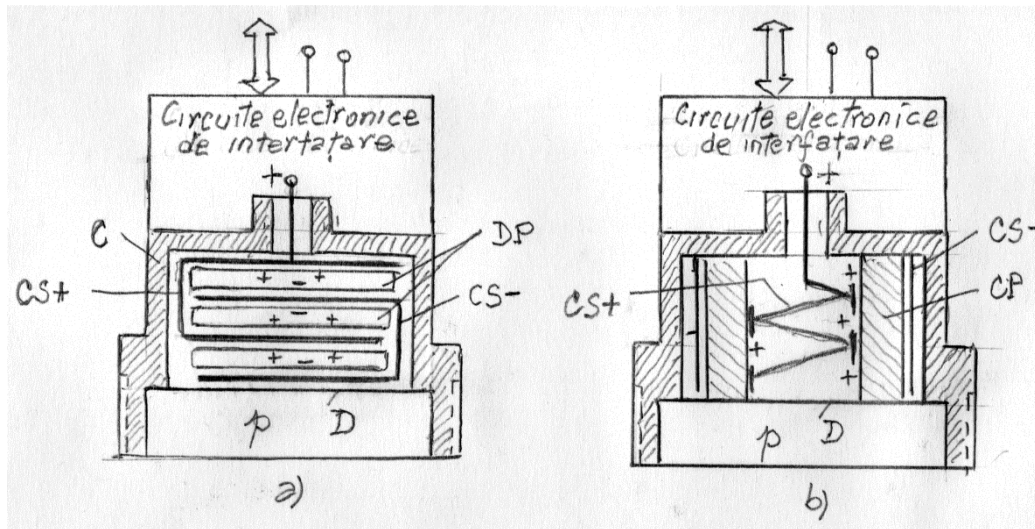


Fig. 3.2. Senzori piezoelectrici de presiune [7]:  
a) cu efect longitudinal; b) cu efect transversal.

### 3.3. Circuite electronice aferente

Pentru amplificarea sarcinilor produse de efectele mecanice se folosesc amplificatoare de sarcini sau convertoare de impedanță.

**Amplificatorul de sarcini electrice** este în principiu un amplificator de tensiune cu factor de amplificare și impedanță de intrare foarte mari, configurat ca un integrator. Schema electrică echivalentă a unui astfel de circuit este prezentată în figura 3.3.

Senzorul piezoelectric cu care este conectat este considerat ca o sursă de sarcini electrice în paralel cu condensatorul  $C_s$  (de  $10 \text{ pF} \div 100 \text{ nF}$ ) și cu rezistorul  $R_s$  (de  $1 - 100 \text{ G}\Omega$ ). Cablul de legătură și conectorul sunt modelate prin condensatorul  $C_c$  și rezistorul  $R_c$  iar amplificatorul este alcătuit din amplificatorul diferențial AO cu reacție prin rezistorul  $R_A$  și condensatorul  $C_A$  care îi conferă funcția de amplificare și integrare. Întrerupătorul I servește la punerea pe zero a semnalului de ieșire  $U_e$ .

**Convertorul de impedanță.** Funcția de amplificare și formare a semnalului de ieșire  $U_e$  poate fi realizată și de către un convertor de impedanță, denumit și electrometru, a cărui schemă este prezentată în fig. 3.4. Senzorul și cablul de conexiune sunt reprezentate ca și în figura precedentă. Electrometrul este constituit dintr-un MOSFET cu rezistență de intrare de peste  $100 \text{ T}\Omega$  și curenți de pierderi foarte mici, cuplat direct cu un tranzistor bipolar cu factor de amplificare egal cu 1 și cu rezistență de intrare de  $\approx 100 \Omega$ . Cuplorul de ieșire al electrometrului este modelat ca o sursă de curent constant de  $\approx 4 \text{ mA}$  cuplat cu condensatorul  $C_g$  care decuplează semnalul de ieșire de semnalul de zero al aparatului.

Spre deosebire de amplificatoarele de sarcini, tensiunea de ieșire a electrometrului depinde de impedanța totală de intrare conform relației:

$$U_e = \frac{Q}{C_s + C_c + C_A + C_g} \quad (3.5)$$

Deși amplificatoarele de sarcini sunt mai flexibile și semnalul lor de ieșire nu este influențat de impedanța de intrare oferind posibilitatea conectării cu senzori diferiți, convertoarele de impedanță au totuși utilizări largi în sistemele realizate cu circuite integrate.

Pentru reducerea zgomotului de fond se evită circuitele care au o bornă la masă recurgându-se la circuite diferențiale cu ambele borne izolate față de masă.

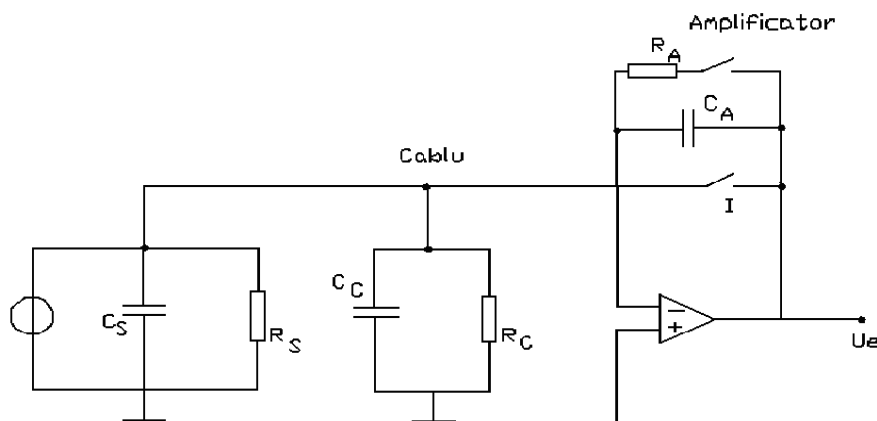


Fig. 3.3. Schema echivalentă a amplificatorului de sarcini

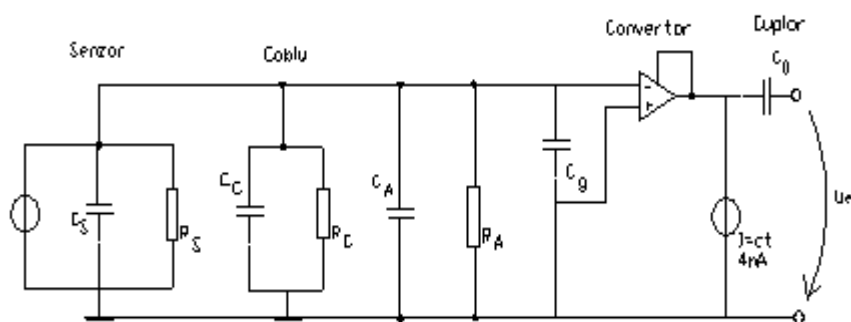


Fig. 3.4. Schema echivalentă a convertorului de impedanță

### 3.4. Traductoare piezorezistive

**Construcție.** Traductoarele piezorezistive au senzorii fabricați din siliciu după tehnologii folosite în fabricarea componentelor semiconductoare sub formă de circuite integrate și se folosesc pentru măsurarea mărimilor mecanice precum presiunea, șocurile, accelerațiile, vibrațiile ș.a.

Senzorii de presiune au elementul sensibil confecționat dintr-o plăcuță de siliciu sub formă de diafragmă circulară subțire având patru piezorezistori implantați simetric pe o suprafață a acesteia - figura 3.5. Sub efectul unei diferențe de presiune diafragma se deformează elastic, inducând în ea o stare de tensiune mecanică ce duce la modificarea rezistenței celor patru piezorezistori. Cu ajutorul unei punți de măsurare această modificare a rezistenței este transpusă pe semnal electric tensiune, dependentă de presiune [4].

Prima fază în realizarea senzorilor piezorezistivi constă în implantarea de ioni în membrana de siliciu în vederea îmbunătățirii performanțelor după care diafragma se creează prin gravarea chimică a unei configurații speciale pe cealaltă parte a acesteia (partea opusă piezorezistorilor). Forma gravată a diafragmei asigură o rigiditate pe contur a acesteia precum și posibilitatea montării concentrice.

Sensibilitatea diafragmei este dependentă de grosimea ei și descrește cu creșterea acesteia, dar nu liniar. De exemplu dublarea grosimii duce la reducerea sensibilității de patru ori. Grosimile uzuale sunt cuprinse între 5 și 200 micrometri în funcție de domeniul de măsurare.

Pentru măsurarea rezistenței senzorilor și pentru conversia rezistenței acestora în tensiune senzorii se conectează la o punte de măsurare. Diferența de potențial  $U_e$ , prelevată de pe diagonala de măsură a punții constituie semnal de ieșire asociat presiunii  $P$  (măsura acesteia) sau efortului aplicat pe diafragmă și este exprimat de relația :

$$U_e = U_a \cdot s - p \pm U_{e0} \quad (3.6)$$

unde  $U_a$  este tensiunea de alimentare a punții,  $s$  este sensibilitatea acesteia, iar  $U_{e0}$  este tensiunea de ieșire pentru  $p = 0$ .

Din nefericire semnalul de ieșire  $U_e$  este afectat de temperatură și de alți factori perturbatori. De aceea fabricanții oferă variante de senzori cu circuite electronice complementare de condiționare a acestui semnal, care să asigure compensarea efectelor perturbatoare și o calibrare precisă.

**Tipuri de senzori piezorezistivi.** Tipurile de senzori piezorezistivi sunt definite de tipul de presiune pe care o măsoară: presiune diferențială, presiune absolută, presiune supraatmosferică sau vid. În consecință un tip de senzor este definit de modul în care presiunea de măsurat acționează asupra diafragmei.

În principiu senzorii cu diafragmă sunt senzori de presiune diferențială pentru că aceasta este supusă unor presiuni aplicate pe ambele fețe, dar există particularități determinate de tipul de presiune de măsurat.

Astfel, în figura 3.6, a este arătat modul de solicitare a diafragmei și caracteristica de transfer a unui senzor de presiune diferențială,  $\Delta p = p_1 - p_2$ , care este un senzor cu cameră deschisă, cele două presiuni  $p_1$  și  $p_2$  fiind prelevate din locuri diferite.

Puntea de măsurare a rezistenței elementelor sensibile este astfel concepută și elaborată încât la  $\Delta p = 0$ , adică la limita de jos a domeniului de măsurare să dea semnalul  $U_{em}$ .

Dacă pe una din fețele diafragmei se aplică presiunea atmosferică  $p_0$  iar pe cealaltă față se aplică presiunea  $p$  traductorul pune în evidență de fapt suprapresiunea față de presiunea atmosferică, adică ceea ce în mod uzual numim presiune. În fig.3.6,b este prezentat modul de solicitare a diafragmei și caracteristica de transfer a acestui tip de traductori. În acest caz  $U_{em}$  se obține când  $p = p_0$  iar  $U_M$  se obține când  $p = p_M$ .

În cazul măsurării presiunii absolute presiunea de referință este vidul total. Prin urmare una din fețele diafragmei este supusă acțiunii vidului total dintr-o cameră închisă, iar cealaltă este supusă acțiunii presiunii de măsurat așa cum se vede în figura 3.6,c. În acest fel o presiune absolută de 0,3 bar reprezintă o presiune de 0,3 bar față de vidul total și implicit o depresiune de  $1-0,3 = 0,7$  bar față de presiunea atmosferică.

Limita superioară de măsurare a presiunii absolute poate fi mai mare decât presiunea atmosferică și în acest caz panta caracteristicii de transfer este mai mică.

Un senzor de vacum mijlocește o măsurare a presiunii în care vidul (depresiunea) se raportează la presiunea atmosferică. Modul de solicitare a diafragmei și caracteristica de transfer ale acestui tip de senzor sunt prezentate în figura 3.6,d.



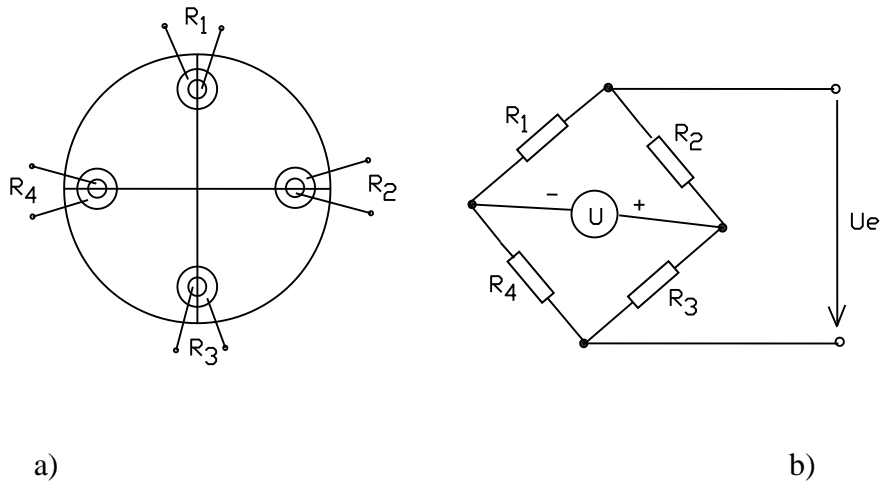


Fig. 3.5. Traductor piezorezistiv: a) plăcuță cu senzori piezorezistivi; b) puntea cu senzori.

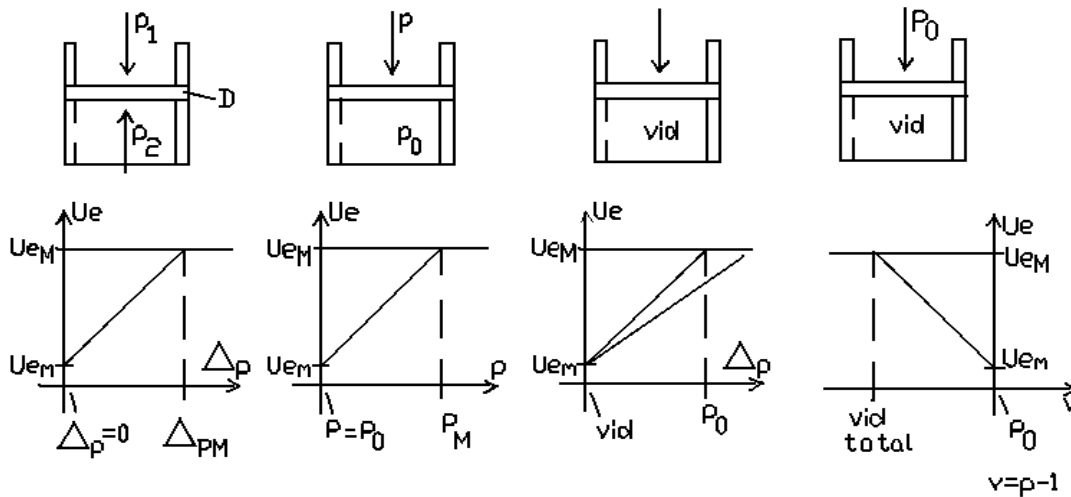


Fig. 3.6. Tipuri de senzori piezorezistivi: a) de presiune diferențială; b) de suprapresiune; c) de presiune absolută; d) de vid.

**Scheme de măsurare.** Măsurarea variațiilor de rezistență  $\Delta R$ , care sunt în general mici, se realizează cu ajutorul punților de măsurare, deoarece acestea pot elimina influența temperaturii mediului asupra senzorilor și oferă ca semnal de ieșire o tensiune electrică  $U_e$ .

Pentru a obține o sensibilitate maximă a punții este necesar ca pe brațele acesteia să se conecteze rezistențe de aceeași valoare, adică în regim echilibrat relaxat când  $\Delta R=0$ ,  $U_e = 0$ .

Conectarea senzorilor piezoelectrice la brațele punții se poate face în următoarele moduri:

- Cu un sensor și trei rezistori cu rezistență fixă – montaj în sfert de punte;
- Cu doi senzori și doi rezistori (montaj în semipunte) în două variante:
  - Cu senzorii pe brațe opuse, dacă ambii au variații de același sens;
  - Cu senzorii pe brațe adiacente, dacă aceștia au variații diferite; unul cu  $R+\Delta R$ , iar celalalt, cu  $R- \Delta R$  ;
- Cu patru senzori pe toate cele patru brațe: doi câte doi senzori cu aceeași variație de rezistență conectați pe brațe opuse – montaj în punte totală – așa cum se arată în figura 3.7.

În regim relaxat, când  $\Delta x=0$ , puntea este echilibrată iar  $U_e = 0$ . Când apare solicitarea mecanică apare și variația de rezistență  $\Delta R$ , puntea se dezechilibrează și furnizează o tensiune  $U_e \neq 0$ , așa cum se arată în tabelul 3.1.

Pentru oricare din cele patru montaje prezentate în figura 3.7, relația dintre  $U_e$  și rezistențele brațelor (în ipoteza că rezistența internă a sursei de tensiune este nulă iar rezistența internă a voltmetrului este infinită) este următoarea:

$$U_e = \frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \quad (3.7)$$

Din analiza acestei formule se deduce că relația dintre  $U_e$  și rezistențele brațelor este liniară în cazul montajului în punte totală și al montajului în semipunte cu ambele tipuri de variație a rezistenței ( $+\Delta R$  și  $-\Delta R$ ) și este neliniară în celelalte cazuri.

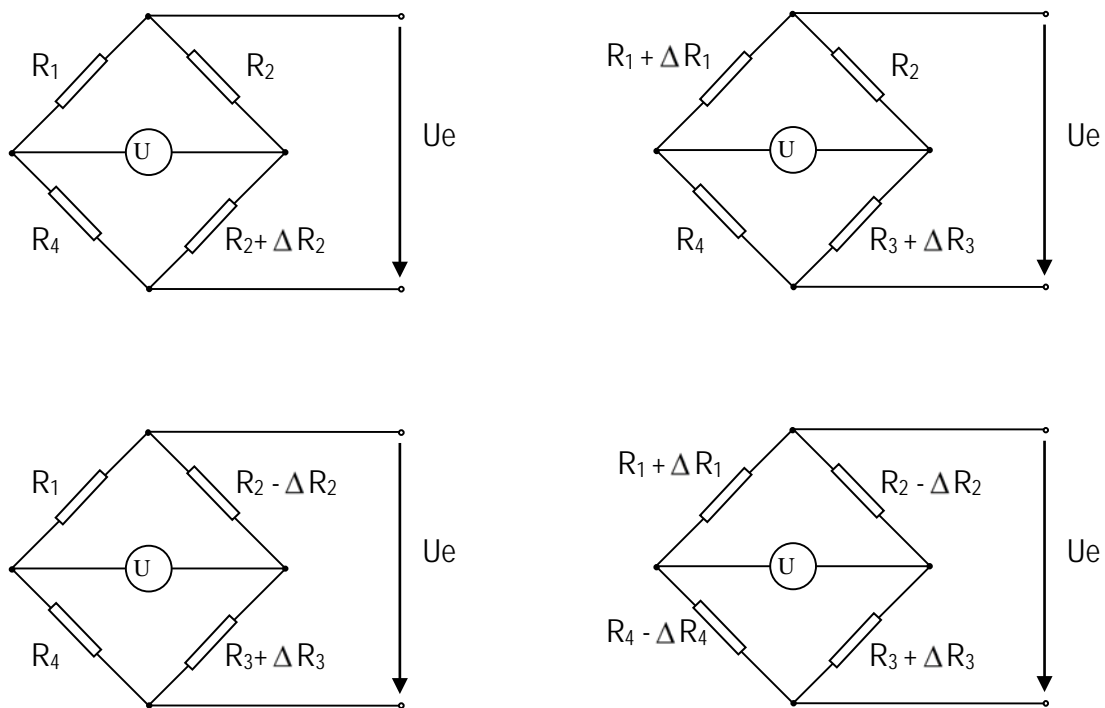


Fig. 3.7. Punți de măsurare piezoelectrice [7]

Tabelul 3.1. Caracteristici ale traductoarelor piezoelectrice

	Un senzor	Doi senzori pe brațe opuse	Doi senzori pe brațe adiacente	Patru senzori
Tensiunea de ieșire $U_e$	$U_e = \frac{U \cdot \Delta R}{4 \cdot R + \frac{\Delta R}{2}}$	$U_e = \frac{U \cdot \Delta R}{2 \cdot \left( R + \frac{\Delta R}{2} \right)}$	$U_e = \frac{U \cdot \Delta R}{2 \cdot R}$	$U_e = \frac{U \cdot \Delta R}{R}$
Eroare de liniaritate $\varepsilon$	$\varepsilon = 0,5\% / \%$	$\varepsilon = 0,5\% / \%$	0	0

### Punți de măsurare cu amplificare

Tensiunea de ieșire (dezechilibru) a oricărei punți poate fi amplificată cu ajutorul unui amplificator A, așa cum se arată în figura 3.8. Acest circuit produce o oarecare dezechilibrare a punții datorită curentului de polarizare a acestuia și nu înlătură neliniaritatea punții.

De reținut că rezistorul conectat la borna reinversoare nu este legat la masă, ci la tensiunea  $\frac{U_s}{2}$  pentru a putea amplifica atât variațiile pozitive cât și pe cele negative.

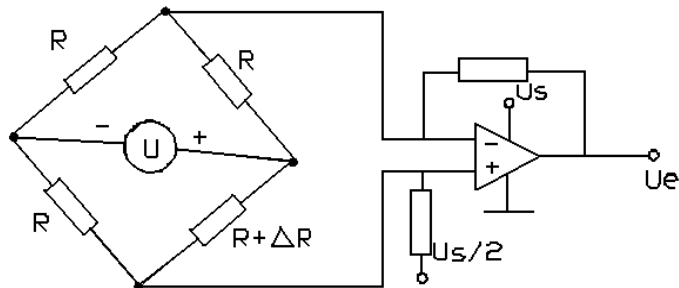


Fig. 3.8. Punte cu un senzor și cu amplificator [8]

### Punți cu dispozitive de liniarizare

Este important să se distingă neliniaritățile punții de neliniaritățile senzorilor legați la punte.

Există mai multe posibilități de liniarizare a punților și anume: prin variații mici ale rezistenței senzorilor; Prin introducerea unor dispozitive compensatoare pe unul sau pe mai multe brațe ale punții sa.

În figura 3.9. este prezentat un montaj cu amplificator care produce un nul forțat și adaugă/scade tensiune pe brațul cu senzori. Această tensiune este egală în mărime și de semn opus cu variația tensiunii din senzor și este liniară în raport cu aceasta.

Un astfel de montaj asigură un câștig de două ori mai mare decât varianta standard cu un singur senzor și liniaritate chiar și la variații  $\Delta R$  mari, dar are semnal de ieșire relativ slab și de aceea el ar trebui completat cu un amplificator.

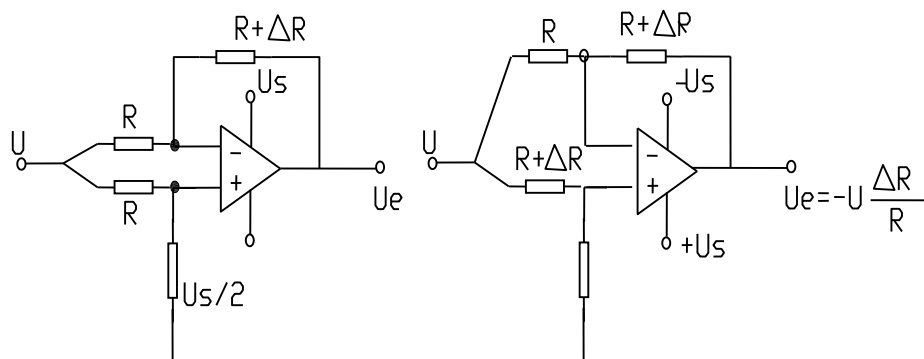


Fig. 3.9. Punte liniarizată [8]:  
a) cu un singur senzor; b) cu doi senzori.

### Punți cu senzori la distanță

Dacă senzorii rezistivi se află un alt loc față de locația punții conductorii de legătură a senzorilor la punte produc efecte/erori datorită variației parametrilor mediului dintre punte și senzori.

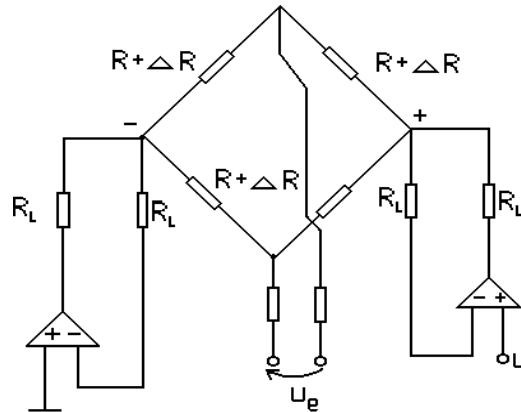


Fig. 3.10. Montajul Kelvin cu patru fire [8]

Dacă la punte se leagă un singur senzor soluția cea mai bună constă în legarea senzorului la punte nu cu doi conductori, ci cu trei conductori. Unul din conductori este legat la un braț al punții, unul este legat la brațul adiacent la primul iar al treilea conductor constituie prelungirea diagonalei de alimentare până la senzor. În acest fel influența mediului se manifestă egal și cu senzori opuse pe cele două brațe adiacente, lăsând puntea neafectată.

Dacă puntea conține doi sau patru senzori la distanță se recurge la soluții speciale de menținere a preciziei acestora prin legarea senzorilor la punte prin patru sau chiar șase conductori. Una dintre soluții este prezentată în figura 3.10.

# 4 . Traductoare fotoelectronice

## 4.1. Considerații preliminare

Radiațiile electromagnetice sunt purtătoare de energie dar sunt și purtătoare de informație privind nivelul energetic la care se află corpul emitent, structura și compoziția chimică a acestuia. Prin urmare traductoarele fotoelectronice pot fi folosite pentru măsurarea temperaturii, pentru determinarea compoziției chimice a substanțelor, pentru determinarea suspensiilor solide în lichide sau gaze ș.a.

Informația în cauză poate fi pusă în evidență de către un senzor/traductor adecvat, care pe baza unui anumit efect al radiațiilor asupra lui, produce un semnal de ieșire dependent de componența spectrului de radiații recepționate, sau numai de anumite lungimi de undă ale radiației din care, pe baza legilor radiațiilor se deduce temperatura și compoziția chimică a corpului emitent.

Sub influența radiațiilor electromagnetice un senzor/traductor poate reacționa, după caz, prin generarea unei tensiuni sau sarcini electrice dependente de intensitatea radiațiilor și de lungimile de undă ale acestora, sau prin modificarea valorii unui parametru de bază al acestuia, precum rezistența electrică, culoarea ș.a.

Semnalul de ieșire produs de radiații asupra senzorului se obține fără ca senzorul să fie în contact direct cu corpul emitent, adică preluarea de informație se face de la distanță chiar și când corpul țintă se află în mișcare, ceea ce constituie un avantaj remarcabil.

De reamintit că în conformitate cu teoria modernă a fizicii cuantice radiațiile sunt produse de fotoni, care se propagă cu o viteză  $c=3 \cdot 10^6$  km/ss, care au o lungime de undă  $\lambda$  și o frecvență  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot c/\lambda$ , fiecare foton dispunând de o energie  $E = h \cdot c/\lambda$ ,  $h$  fiind constanta lui Planck egală cu  $6,67 \cdot 10^{-34}$  J·s. Prin urmare între energia  $E$  și lungimea de undă  $\lambda$  există o relație de dependență pe care poate fi fundamentată concepția unui senzor / traductor fotoelectronic.

Există o mare varietate de senzori / traductoare fotoelectronice care pot fi clasificați după numeroase criterii. Pentru început vom încadra aceste dispozitive în trei categorii:

- Senzori / traductoare cuantice;
- Senzori / traductoare fototermice;
- Senzori / traductoare analitice complexe sau combinate.

În cele ce urmează prezentăm trăsăturile esențiale ale acestor dispozitive [7].

## 4.2. Senzori cuantici

În cazul senzorilor/traductoarelor cuantici fotonii incidenți sunt absorbiți de un material semiconductor și fiecare foton absorbit eliberează un electron din rețeaua semiconductorului numai dacă acesta dispune de un potențial energetic suficient de mare. Electronii eliberați se mișcă liber, dar cu ajutorul unui câmp electric cu care se polarizează senzorul aceștia formează un curent fotoelectronic dependent de intensitatea radiațiilor, adică dependent de nivelul energetic la care se află corpul emitent. Semnalul de ieșire astfel obținut fiind slab, este amplificat și condiționat pentru a putea fi aplicat la intrarea echipamentelor de măsurare standardizate.

## Tipuri de senzori cuantici

### Senzori /traductoare fotoelectronice monocanal

Cei mai uzuali senzori fotoelectronici monocanal sunt fotorezistoarele, fotodiodele, fototranzistoarele, fotomultiplicatorii electronici ș.a.

**Fotorezistorul** este cel mai simplu senzor fotosensibil, care are proprietate de a-și modula rezistența electrică în funcție de intensitatea radiațiilor incidente și anume, rezistența sa scade cu creșterea intensității fluxului, datorită generării unui număr sporit de perechi electron-gol, care măresc conductibilitatea electrică a fototranzistorului.

În principiu, un fotorezistor este alcătuit dintr-un suport de sticlă, SS, sau alt material transparent pe care este depus prin procedee speciale, un strat fin de material semiconductor fotosensibil, sulfură de plumb, sulfură de cadmiu, ș.a.

Pentru a putea fi conectat în circuite electronice de alimentare fotorezistorul este prevăzut cu plăcuțe sau fire terminale, PT, de pe care se poate preleva o cădere de tensiune dependentă de intensitatea fluxului incident – figura 4.1.

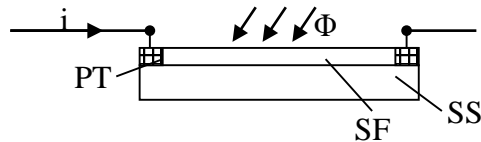


Fig. 4.1. Structura unui fotorezistor

**Fotodioda** este un dispozitiv semiconductor de tip ventil comandat prin flux de radiații (lumină). Este alcătuită dintr-o joncțiune p-n fotosensibilă, prevăzută cu terminale (fire) pentru conectare în circuite electrice. Dacă este polarizată pe sensul de conducție lucrează ca un conductor, iar pe sensul invers generează un curent comandat de fluxul de radiații incidente – figura 4.2.

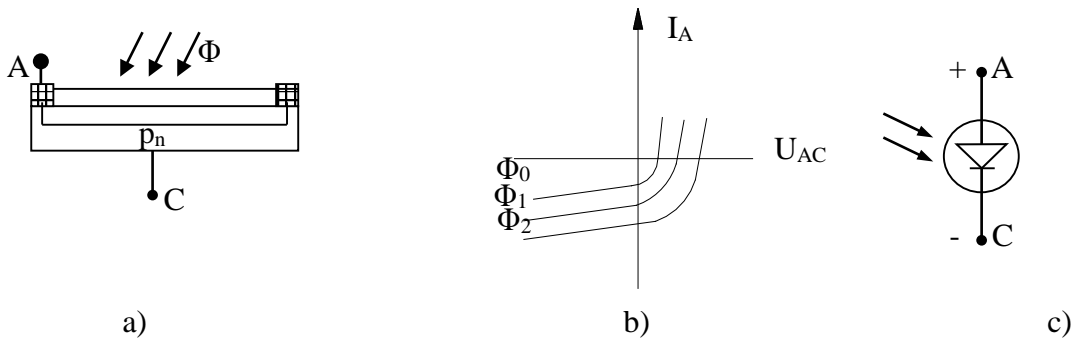


Fig. 4.2. Fotodioda;

a) structură; b) caracteristica  $I_{AC} = f(\Phi)$ ; c) simbol.

Când un foton este absorbit de o diodă, acesta eliberează un electron care poate trece peste bariera de potențial a semiconductorului și poate genera un curent electronic numai dacă are o energie mai mare decât cea necesară depășirii acestei bariere. Din această cauză se spune că o fotodiodă are o lungime de undă de tăiere specifică, în sensul că fotonii cu lungime de undă mai mare decât lungimea de tăiere nu vor trece de barieră pe când cei cu lungimea de undă mai mică vor depăși bariera și vor forma un fotocurent dependent de intensitatea radiațiilor recepționate.

În cadrul traductoarelor fotoelectronice diodele pot fi folosite într-un montaj fotovoltaic sau într-unul fotoconductiv.

În montaj fotovoltaic, dioda este inclusă într-un circuit de conversie și amplificare ca cel din figura 4.3. Sub efectul fluxului de radiații dioda produce o tensiune care este amplificată de către amplificatorul A care furnizează tensiunea de ieșire  $V_e$ .

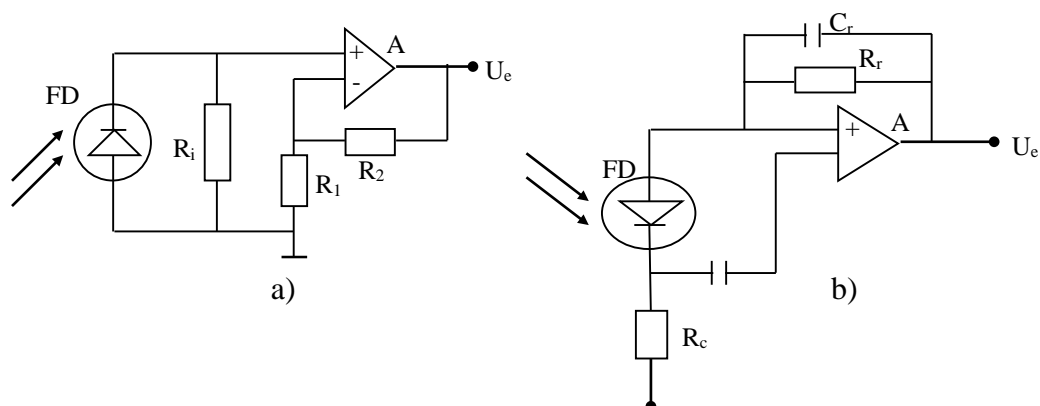


Fig.4.3. Senzori cuantici cu fotodiode [7]:  
a) montaj fotovoltaic; b) montaj fotoconductiv

Într-un astfel de montaj nu are loc o depolarizare a diodei și în consecință nu există pierderi de curent în diodă. Din aceste considerente aceste montaje se recomandă pentru aplicații de precizie.

Acest montaj are însă un răspuns relativ lent deoarece sarcinile generate trebuie să încarce capacitatea diodei.

În montajul fotoconductiv dioda este polarizată și încadrată într-un circuit electronic ca cel din figura 4.3.,b. Aici fotocurentul diodei de ordinul nano sau microamperilor este convertit în tensiune electrică de către rezistorul  $R_c$ , iar tensiunea este amplificată de amplificatorul A cu reacție negativă prin  $R_r$  și  $C_r$ .

Principalul avantaj al acestui montaj constă în faptul că polarizarea aplicată diminuează efectul capacității diodei și astfel se obține un răspuns mai rapid. Din nefericire polarizarea produce scurgeri de curent care devin supărătoare la limita de jos a domeniului de lucru.

## Diode laser acordabile

Diodele laser acordabile, DLA, sunt dispozitive semiconductoare alcătuite din cristale de arseniu și galiu, care atunci când sunt străbătute de un curent electric emit raze laser foarte pure din spectrul infraroșu inferior, raze ce pot fi transmise la distanță prin cabluri de fibre optice.

Lungimea de undă a razei laser emisă de o DLA este determinată de proporția tipurilor de cristale din componența acesteia. Rezultă deci că prin alegerea adecvată a compoziției chimice a DLA se pot realiza diode care să emită raze laser cu lungimi de undă dorite.

În limite relativ restrânse lungimea de undă a razelor laser este dependentă și de curentul diodei. Prin urmare o DLA poate emite raze laser cu lungimi de undă dependente de compoziția chimică a acesteia, dar și de curentul electric ce o străbate, comportându-se ca un generator de raze laser cu lungime de undă comandată de curent. Alegând în mod corespunzător un domeniu de variație a curentului diodei și variind liniar crescător acest curent în limitele domeniului ales, dioda va emite periodic raze laser cu lungimi de undă cuprinse în acel domeniu.

**Fototranzistorul** este un dispozitiv semiconductor cu trei electrozi, care oferă posibilitatea obținerii unui semnal de ieșire comandat de fluxul fonic mult mai puternic decât cel dat de fotodiode. Aici fotocurentul obținut în bază comandă curentul colector – emitor, care este mai mare decât curentul bazei – figura 4.4.

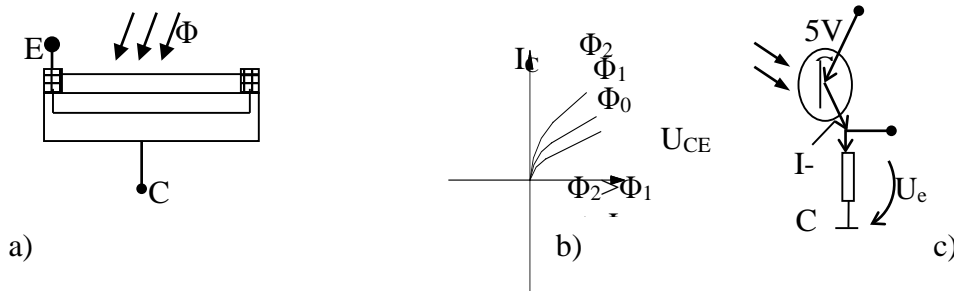


Fig. 4.4. Fototranzistorul [7] ;  
a) structura; b) caracteristica  $I_C = f(\Phi, U_{CE})$ ; c) simbol.

Cea mai ușoară cale de detecție a curentului colector-emitor constă în utilizarea unui rezistor pe care are loc o cădere de tensiune dependentă de acest curent.

Fotodiodele și fototranzistoarele se fabrică într-o mare varietate de dimensiuni la prețuri convenabile. Ele au numeroase aplicații în aparatura de analiză și măsurare fotoelectronică.

Cele mai multe fotodiode și fototranzistoare au vârful de sensibilitate în domeniul infraroșu apropiat, cu lungimi de undă de 900-1000 nm. Această localizare a sensibilității maxime este datorată bandei de energie a siliciului din care sunt fabricate fotoelectronicele. Există însă o mulțime de alte materiale folosite în acest scop.

În alegerea dispozitivelor fotoelectronice trebuie să se țină seama și de efectul termic ce are loc în acestea. Energia generată de procesele termice este determinată de termodinamica dispozitivului și de temperatura acestuia.

Creșterea temperaturii are ca efect o creștere a numărului de purtători termici generați. Astfel dispozitivele fabricate din siliciu funcționează bine la temperatura camerei dar la temperaturi mai mari de 100°C produc un curent de întuneric sesizabile. Senzorii fabricați din alte materiale decât siliciu au lungimi de undă de tăere mai mari, dar necesită răcirii sub temperatura camerei. Prin urmare ce se câștigă în domeniul sensibilitate se plătește prin asigurarea răcirii.

Un interes deosebit prezintă dispozitivele fotoelectronice cu lungimi de undă de tăere de 10-20μm care oferă posibilitatea vizualizării imaginilor în infraroșu pe timp de noapte sau pe întuneric. Este dovedit că vârful spectrului infraroșu pentru obiecte la temperatura camerei se află în această regiune și în consecință contrastul maxim în detecția termică se obține cu dispozitive având maximum de sensibilitate în această regiune.

Se știe că între temperatura  $T$  (în °K) a unei surse de radiații (infraroșii) și lungimea de undă de intensitate maximă  $\lambda_M$  a spectrului de radiații a corpului negru există relația:

$$\lambda_M = \frac{2989}{T} \quad (4.1)$$

din care rezultă că la temperatura camerei lungimea de undă de intensitate maximă este de aproximativ 10 micrometri.

Dintre materialele elaborate pentru confecționarea dispozitivelor fotoconductoare Mercur Cadmiu Telluride este cel mai bun. Acesta are lungimea de undă de tăere cuprinsă între 10 și 20μm, curent de întuneric și de zgomot mici absorbitanțe înaltă, ș.a. Din păcate este foarte greu de obținut și foarte scump.



**Fotomultiplicatorii** electronici sunt dispozitive electronice fotoemise (fotovoltaice) complexe care realizează și o amplificare foarte mare a semnalului primar fotoemis. Pentru conversia fluxului de radiații în curent electric se apelează la fotoemisia primară a unui fotocatom FC (ca și în cazul celulelor fotoelectronice), iar pentru amplificarea acestui flux primar se recurge la folosirea unei cascade de emitere E, care produce o emisie electronică secundară sporită, fluxul electronic astfel amplificat fiind captat pe un anod colector final A.

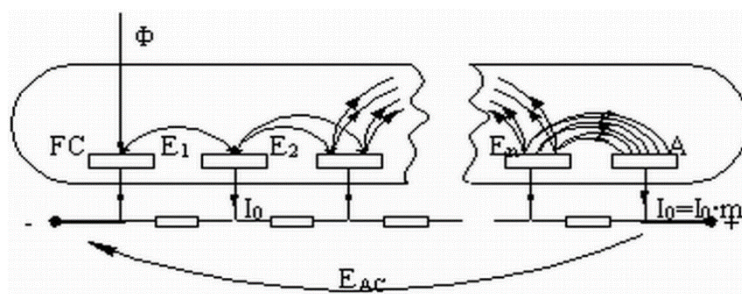


Fig. 4.5. Schema unui fotomultiplicator [7]

În figura 4.5. este prezentată schema de principiu a unui fotomultiplicator electronic în care se disting următoarele elemente componente: fotocatomul FC, emitoarele  $E_1, E_2, \dots, E_n$ , anodul A și divizorul de tensiune de polarizare, DT, prin care se polarizează toate elementele din interiorul fotomultiplicatorului. Cei mai uzuali fotocatozi sunt cei din stibiu și cesiu.

Fluxul de radiații  $\Phi$  care ajunge la fotocatom produce emisie electronică primară. Electronii rezultați sunt accelerați în câmpul electric dintre fotocatom și primul emitor pentru a căpăta o energie suficient de mare pentru a produce emisie secundară de electroni de către acest emitor. În continuare fluxul total de electroni este accelerat de câmpul electric dintre primul și al doilea emitor, care la rândul său produce o emisie secundară ș.a.m.d., astfel încât la anodul final ajunge un flux electronic multiplicat de fiecare emitor.

Presupunând că fotocatomul produce un curent electronic  $I_0$  iar coeficientul de emisie secundară (amplificare) a celor  $n$  emitere este  $m$ , rezultă că la ieșirea fotomultiplicatorului se obține un curent fotoelectronic.

$$I = I_0 \cdot m^n, \quad (4.2)$$

iar factorul de amplificare  $M$  al fotomultiplicatorului este

$$M = \frac{I}{I_0} = m^n, \quad (4.3)$$

care este de ordinul zecilor sau sutelor de mii.

Parametrii și performanțele fotomultiplicatorilor: coeficient de amplificare, liniaritate, stabilitate funcțională, ș.a. sunt dependente de construcția acestora, de proprietățile și calitatea suprafețelor emise, de calitatea vacuumului și de regimul electric de exploatare.

Caracteristicile spectrale ale fotomultiplicatoarelor sunt liniare în cazul fluxurilor de radiații mici și încep să devină neliniare în cazul fluxurilor care depășesc  $10^{-4} \text{lm}$ . Caracteristica de frecvență a acestor dispozitive are un palier paralel cu abscisa până în jurul frecvenței de 10MHz, iar la frecvențe mai mari are câte o cădere pronunțată. În domeniul de temperaturi  $-40 \div 50^\circ\text{C}$  caracteristicile fotomultiplicatoarelor nu sunt influențate de temperatură. Influența devine sesizabilă la temperaturi mai mari de  $50^\circ\text{C}$ , iar o încălzire excesivă poate duce la distrugerea fotomultiplicatorului. De remarcat și faptul că la fel ca și celelalte fotoelectronice fotomultiplicatoarele își modifică în timp caracteristicile inițiale datorită fenomenelor de îmbătrânire.

## Detectoare fotoelectronice multicanal – multisenzori

În aplicațiile ample de mare complexitate se folosesc detectoare de radiații multicanal – multisenzori sub forma unor matrici de senzori care pot realiza o detecție simultană și rapidă a cvazitotalității radiațiilor monocromatice care alcătuiesc un flux de radiații policromatice.

Aceste dispozitive sunt astfel concepute încât să poată identifica lungimile de undă monocromatice care alcătuiesc fluxul de radiații policromatice și să furnizeze un semnal de ieșire care să pună în evidență intensitatea fiecărei radiații monocromatice recepționate. În ultimii ani au fost realizate și perfecționate trei tipuri de detectoare multisenzori de înaltă sensibilitate și rezoluție.

### Detecția cu matrice fotoreceptoare

Folosirea dispozitivelor semiconductoare integrate în calitate de fotoreceptori într-o structură multisenzor a contribuit la ridicarea performanțelor spectrometrelor de emisie atomică și la reducerea dimensiunilor și prețului de cost. În ultimii ani s-au dezvoltat în paralel trei tipuri de detectoare multisenzori de înaltă sensibilitate și rezoluție și anume:

- **Dispozitive de tip rețea de fotodiode** (PDA – Photo Dyode Array);
- **Dispozitive de tip injecție de sarcini** (CID – Charge Injection Device);
- **Dispozitiv de tip cuplare de sarcini** (CCD – Charge Coupled Device).

Ultimele două tipuri de dispozitive se bazează pe proprietatea de sensibilitate la lumină a cristalelor de siliciu și formează o clasă largă de dispozitive denumite dispozitive de transport de sarcini – Charge Transfer Device, CTD.

Pentru a arăta principiul de funcționare al acestui tip de dispozitive ne vom referi la un substrat din cristale pure de siliciu, pe care, prin procedee adecvate, s-a depus un strat fin de bioxid de siliciu. În acest substrat, fiecare atom de siliciu este legat de atomii învecinați în cele trei direcții (x,z,z).

Legătura de siliciu-siliciu poate fi ruptă de energia transmisă prin bombardament de fotoni din spectrul vizibil sau ultraviolet, iar când o astfel de legătură este ruptă un electron din rețea este eliberat lăsând în locul de plecare un „gol” și astfel se pot forma o mulțime de perechi electroni – gol.

Dacă asupra stratului de siliciu se aplică o diferență de potențial, electroni liberi vor migra în direcția opusă diferenței de potențial, adică spre stratul de bioxid de siliciu, în timp ce golurile vor migra în direcția opusă formând astfel un curent electric proporțional cu intensitatea fluxului de fotoni. Cu cât cantitatea de energie fonică absorbită de siliciu este mai mare cu atât este mai mare cantitatea de electroni capturați la interfața siliciu-bioxid de siliciu.

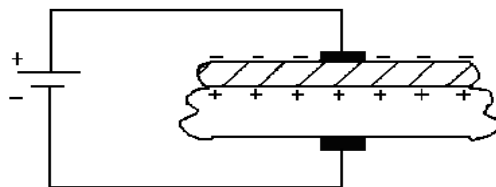


Fig. 4.6. Capacitor MOS [7]

Dispozitivele de transmitere de sarcini elementare, numite pixeli, au dimensiuni de la 30  $\mu\text{m}$  și sunt organizate în matrici bidimensionale de 512/512 sau 1024/1024 pixeli. Fiecare pixel este capabil să înmagazineze sarcini generate de fotoni, iar diferitele tipuri de dispozitive de acest fel pot fi diferențiate după modul în care se obțin, se înmagazinează și se „interoghează” sarcinile.

În cazul dispozitivelor de tip injecție de sarcini (CID) bidimensionale fiecare pixel poate fi accesat și interogată în mod aleator pentru a determina cantitatea de sarcini acumulate în timpul cât dispozitivul a fost supus radiației, adică timpul de interogare.

Cu ajutorul unor microprocesoare rapide fiecare pixel poate fi examinat chiar și în decursul timpului de interogare pentru a determina sarcinile acumulate. Procesul de examinare (citire) a pixelilor este nedistructiv în sensul că conținutul de sarcini nu este afectat, nu este distrus. Din nefericire, în condiții normale de temperatură, CID au un zgomot de fond foarte mare (mai mare decât CCD) și pentru a-l micșora ar fi necesară o răcire foarte intensă, ceea ce este foarte dificil și costisitor. Spectrometrele cu plasmă cuplate inductiv utilizează detectoare de tip CID cu peste 250000 pixeli capabili să se detecteze liniile spectrale dintr-un spectru larg de lungimi de undă.

În cazul dispozitivelor de tip CCD, sarcinile acumulate în pixeli pot fi citite secvențial iar procesul de citire este din păcate distructiv în raport cu sarcinile pixelilor citiți. În timpul expunerii fiecare pixel acumulează o sarcină electrică proporțională cu intensitatea fluxului care cade pe el. La sfârșitul ciclului de expunere, la o anumită comandă, pixelii urmează a fi citiți, adică goliți, pe rânduri sau coloane, toți dintr-odată, astfel încât la un moment dat în circuitul de citire se captează conținutul unui pixel al unei linii sau coloane.

Cu toate că citirea pixelilor este secvențială, ea se produce foarte rapid iar zgomotul de fond al CCD-ului este foarte redus. El poate fi și mai redus dacă dispozitivul este răcit cu ajutorul unui răcitor termoelectric bazat pe efect Peltier.

Recent a fost analizat un nou tip de detector denumit detector de cuplare de sarcini segmentat. Spre deosebire de CCD clasice, care conțin un singur set continuu de câteva sute sau mii de pixeli, noul tip de detector conține o colecție de aproximativ 200 matrici, relativ mici de la 20÷80 pixeli fiecare, submatrici care corespund liniilor spectrale a peste 70 de elemente detectabile cu spectrometre de emisie atomică în plasmă cuplată inductiv.

### 4.3. Senzori / traductoare fototermice

Senzorii/traductoarele fototermice denumite și **bolometre** transformă energia radiațiilor absorbite în căldura care este cuantificată prin temperatura obținută. În același timp sensorul transpune valoarea temperaturii pe semnal de ieșire cu ajutorul unui senzor de temperatură adecvat.

Pentru a obține performanțele superioare se aleg senzori de temperatură cu sensibilitate mare și capacitate termică mică, deci cu dimensiuni mici. De aceea este de dorit să se îmbine cea mai bună microtehnologie de fabricație cu cea mai bună integrare electronică.

Bolometrul din figura 4.7. este alcătuit dintr-un senzor rezistiv sub forma unei pelicule metalice aplicată pe un suport electroizolant. Pe fața peliculei este aplicat un strat fin de material termorezistent care transformă energia radiațiilor incidente în căldură.

Sub influența radiațiilor recepționate pelicula se încălzește până la o temperatură corespunzătoare echilibrului dintre căldura produsă și cea disipată. În acest fel, rezistența electrică  $R_b$  a peliculei care este dependentă de temperatură este în mod implicit măsura intensității radiațiilor incidente.

Rezistența peliculei poate fi transpusă pe semnal de ieșire – cădere de tensiune  $U_S$  pe un rezistor exterior  $R_S$  străbătut de curentul  $I$ , așa cum se arată în figura 4.7.,b.

În absența radiațiilor curentul bolometrului este  $I=U/(R_B+R_S)$ . În prezența radiațiilor acesta se modifică în funcție de intensitatea acestora și produce la ieșire tensiunea  $U_S$ .

Dacă radiația incidentă este de forma  $A \cos \omega t$  atunci sensibilitatea bolometrului este dată de relația:

$$S = \frac{dU_e}{dA} = \frac{k \cdot R_B \cdot R_S}{(R_B + R_S)^2} \cdot \frac{U \cdot \alpha}{(B^2 + h^2 \omega^2)^{1/2}} \quad (4.4)$$

unde  $U$  este tensiunea de alimentare,  $k$  este randamentul bolometrului adică raportul dintre energia radiației absorbite și cea a radiației incidente,  $B$  este curentul de pierderi termice ale bolometrului,  $h$  este căldura specifică a bolometrului iar  $\alpha$  este un coeficient de sensibilitate la temperatură asociat bolometrului.

Pentru a obține o sensibilitate mare este indicat să se aleagă un material cu  $\alpha$  mare și cu  $B$  și  $h$  mici, realizând astfel bolometre cu sensibilitate mare pentru suprafețe de detecție mici.

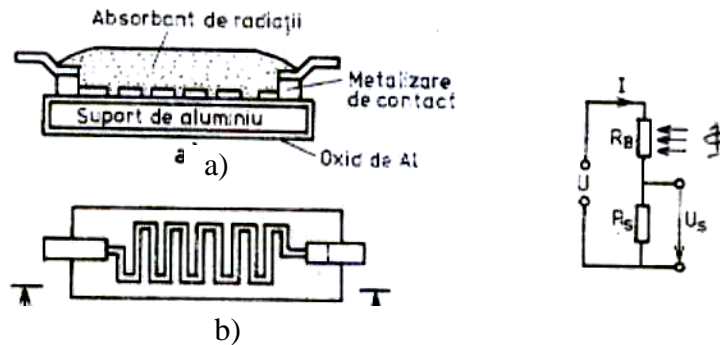


Fig. 4.7. Senzor de radiații de tip bolometru [8]

#### 4.4. Dispozitive piroelectrice

Relativ recent au fost realizate la prețuri convenabile detectoare de radiații în infraroșu care nu necesită răcire. Acestea sunt confecționate de materiale speciale care generează sarcini electrice atunci când sunt supuse unor variații de temperatură. Ele sunt sensibile nu la căldură ci la schimbări de temperatură.

Cel mai bun, dar și cel mai scump material piroelectric care este folosit în astfel de detectoare este Tri-glicin sulfuri deuterate (Deuterated Tri-Glicin Sulfide). Acesta are o bună sensibilitate în infraroșu fiind folosit în spectrometrie, în detecția obiectelor termoemiseive în mișcare, ș.a.

În general orice material este în oarecare măsură piroelectric, dar numai unele materiale oferă eficiență convenabilă. Astfel, în aplicațiile în care nu se cer performanțe înalte pot fi folosite filme din PVDF, deoarece acestea sunt foarte ieftine.

Dispozitivele piroelectrice pot fi folosite ca detectoare de mișcare în infraroșu fiind capabile să sesizeze închiderea/deschiderea unei uși, mișcarea unui obiect ș.a. Pentru a obține o imagine a obiectului în mișcare este necesară o rețea de elemente detectoare și o optică de focalizare.

# 5. Traductoare cu microunde

## 5.1. Caracterizare generală

Microundele sunt radiații electromagnetice cu lungimi de undă cuprinse între 3 mm și 3 m (100GHz ÷ 100MHz). Din acest spectru fac parte și undele radar (Radio Detection And Ranging) cu frecvențe cuprinse între 5 și 26 GHz. Când aceste unde ating suprafața unor corpuri ele suferă anumite efecte ce pot furniza informații despre distanța dintre sursă și corp și/sau despre viteza de deplasare a corpului față de sursă. Cel mai interesant efect este reflexia undelor de către corpul țintă, dar prezintă interes și fenomenele de polarizare, de difuzie, de refracție și de interferență.

Aceste radiații pot fi utilizate cu numeroase scopuri, unul foarte important fiind utilizarea lor în concepția senzorilor/traductoarelor de nivel, de viteză, de poziție ș.a.

În cele mai multe aplicații pentru măsurarea distanței și vitezei se recurge la un sistem de reflexie de către corpul/substanța țintă a undelor emise de către o antenă și recepționate de aceeași antenă. Prin urmare un traductor cu microunde de acest fel are în componența sa următoarele elemente esențiale:

- o sursă de radiații radar;
- o antenă de emisie/recepție;
- circuite de amplificare și prelucrare a semnalelor primare în vederea determinării semnalului de ieșire;
- dispozitive de afișare/înregistrare a mărimii măsurate;
- dispozitive de cuplare cu alte echipamente externe;
- optional -dispozitive de prelucrare secundara a datelor, precum si dispozitive de comanda si/sau de automatizare a functionarii aparatului

Pentru măsurarea distanțelor și vitezelor pot fi folosite unde radar continue sau unde discontinue sub formă de pulsuri în numeroase scheme de măsurare. Cele mai interesante și mai uzuale vor fi prezentate în cele ce urmează.

## 5.2. Traductoare de viteză de tip Doppler

Pentru măsurarea vitezei de deplasare se poate recurge la efectul Doppler, conform căruia unda radar reflectată de un obiect în mișcare are o frecvență modificată cu  $\pm\Delta f$ , dependentă de viteză. Astfel, dacă sursa de radiații și obiectul sunt staționare  $\Delta f$  este nulă. Dacă însă corpul se deplasează cu viteza  $v$  pe direcția sursă corp către corp  $\Delta f > 0$ , iar dacă se deplasează în sens opus  $\Delta f < 0$  – figura 5.1.

Creșterea/scăderea frecvenței undei reflectate  $\Delta f$ , datorate deplasării corpului țintă se numește frecvență Doppler și constituie o măsură a vitezei de deplasare a corpului țintă. Viteza de deplasare se determină din relația [4]:

$$v = \frac{a}{2} \Delta f = \frac{c \cdot \Delta f}{2f} \quad (5.1)$$

unde  $f$  este frecvența undelor emise,  $a$  este lungimea de unda iar  $c$  -viteza luminii.

În figura 5.1. este prezentată schema simplificată a unui traductor de viteză bazat pe efect Doppler.

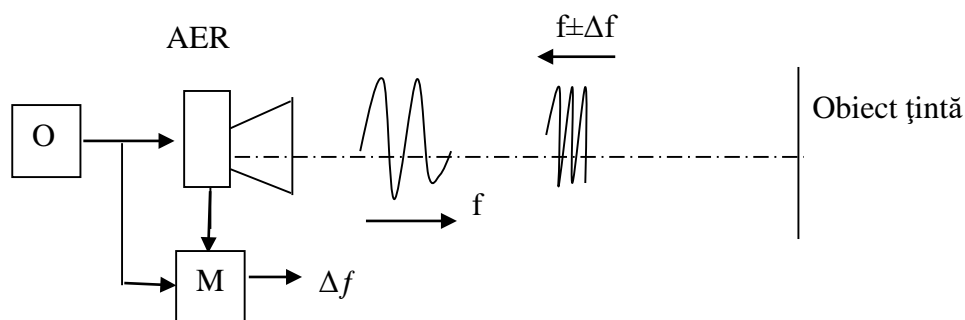


Fig. 5.1. Măsurarea vitezei pe baza efectului Doppler [4]:  
O - oscilator; AER - antenă de emisie-recepție; M - mixer

### 5.3. Traductoare de nivel cu unde radar

Măsurarea nivelului cu ajutorul undelor radar se bazează pe măsurarea directă sau indirectă a intervalului de timp  $\Delta t$  în care o undă radar emisă de o antenă fixă, AER, parcurge distanța  $d$  de la antenă până la suprafața lichidului, care o reflectă și ajunge înapoi la aceeași antenă – figura 5.2. În acest fel nivelul  $h$  din rezervor ( $h=H-d$ ) rezultă din relația:

$$h=(H-d)=H - \frac{c}{2} \Delta t, \quad (5.2)$$

unde  $c$  este viteza de propagare a undelor radar ( $c=295000$  km/s).

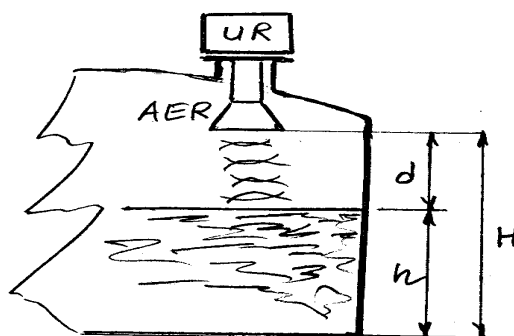


Fig. 5.2. Traductor de nivel cu unde radar [4]

Cea mai indicată bandă de frecvențe radar este banda cuprinsă între 5 și 30 GHz. La frecvențe mai mari apar și interferențe nedorite, iar la frecvențe mai mici se manifestă o influență puternică a vaporilor din rezervor, a spumei de la suprafața lichidului ș.a.

Măsurarea prin această metodă a nivelului prezintă următoarele avantaje:

- traductorul nu vine în contact cu lichidul din rezervor, nu conține piese în mișcare susceptibile la uzură;
- rezultatele măsurării nu sunt afectate de temperatura și presiunea din rezervor decât în mică măsură;
- traductorul poate acoperi domenii largi de măsurare;
- traductorul poate fi integrat direct într-un sistem de măsurare/conducere cu calculatoare numerice ș.a.

Există două principale metode de măsurare:

- ▶ metoda măsurării directe a intervalului de timp  $\Delta t$  adică a defazajului dintre semnalul emis și cel reflectat și recepționat de AER;
- ▶ metoda modulației frecvenței undelor radar continue, FM-CW (Frequency Modulated Continuous Wave).

În aplicarea primei metode cu unde radar continue apar dificultăți în măsurarea exactă a intervalului de timp  $\Delta t$ , care este extrem de scurt și greu de măsurat. Această metodă poate fi totuși aplicată cu succes dacă în loc de unde continue se folosesc unde discontinue sub forma unui tren de pulsuri.

## Traductoare cu modulație în frecvență a undelor radar continue

Conform acestei metode antena emite radiații continue ciclice, dar cu o frecvență liniar crescătoare între două limite  $f_m$  și  $f_M$ . După ce sunt reflectate aceste unde ajung la antenă cu întârzierea  $\Delta t$ , dependentă de distanța  $d$  dintre antenă și suprafața reflectorizantă – figura 5.3.

Deoarece la fiecare ciclu de măsurare antena mărește frecvența de la  $f_m$  la  $f_M$  în orice moment de timp undele emise de antenă vor avea o frecvență  $f_1$  iar cele reflectate și recepționate vor avea frecvența  $f_0$ , frecvența unei întârziate. Diferența dintre aceste frecvențe este liniar dependentă de intervalul de timp  $\Delta t$  și de distanța  $d$ .

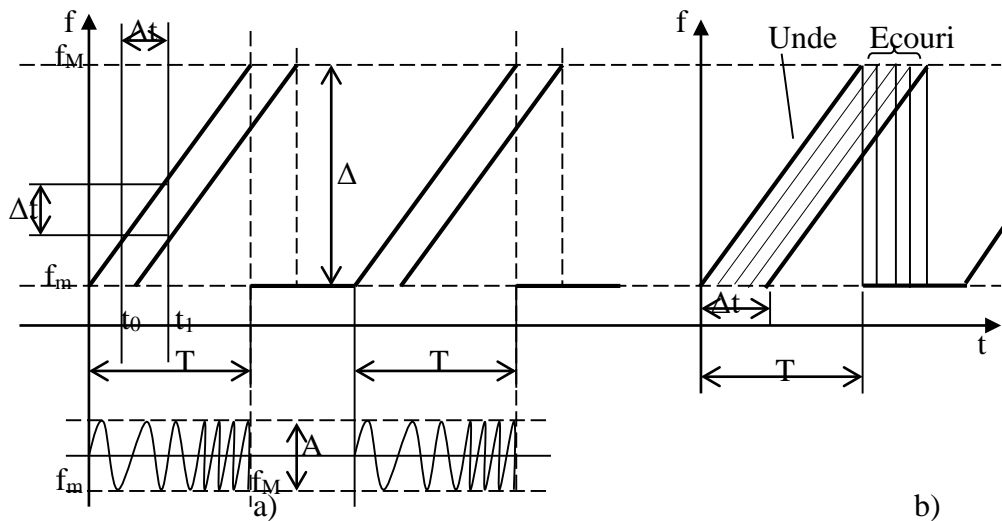


Fig. 5.3. Diagrama semnalelor conform metodei FM – CW [4]:  
a) fără ecouri parazite; b) cu trei ecouri parazite.

Într-adevăr din figura 5.3. se observă că:

$$\frac{\Delta f}{\Delta F} = \frac{\Delta t}{T}; \quad \Delta f = \frac{\Delta F}{T} \Delta t \quad (5.2)$$

Pe de altă parte:

$$\Delta t = \frac{2d}{c} \quad (5.3)$$

Prin urmare:

$$\Delta f = \frac{2d \cdot \Delta F}{c \cdot T} = kd \quad (5.4)$$

Pentru a aplica această metodă sunt necesare următoarele echipamente:

- un generator de semnal rampă GSR pentru comanda frecvenței;
- un generator de oscilații cu frecvență periodic liniar crescătoare GOFLC;
- o antenă de emisie-recepție, AER;
- un mixer M pentru determinarea diferenței de frecvență;
- un filtru F și un amplificator A;
- un microprocesor de semnal, MPS.

Schema bloc a unui traductor de acest fel este prezentată în figura 5.4.

Generatorul de semnal rampă comandă modificarea frecvenței semnalului generat de GOFLC pentru ca acesta să emită un semnal sub formă de dinți de fierăstrău cu amplitudine constantă dar cu frecvență liniar crescătoare. Acest semnal este transmis simultan către antena AER și către mixerul M.

Undele ecou sunt recepționate de aceeași antenă și dirijate către mixer, unde sunt amestecate cu undele emise. Semnalul de ieșire din mixer, reprezentând diferența de frecvențe  $\Delta f$  este filtrat pentru a îndepărta frecvențele parazite apoi este amplificat și aplicat la intrarea microprocesorului de semnal.

În cadrul microprocesorului au loc operația de eșantionare a semnalului complex recepționat, precum și operația de transformare Fourier rapidă pentru a obține frecvența din care să se deducă distanța parcursă de undele reflectate.

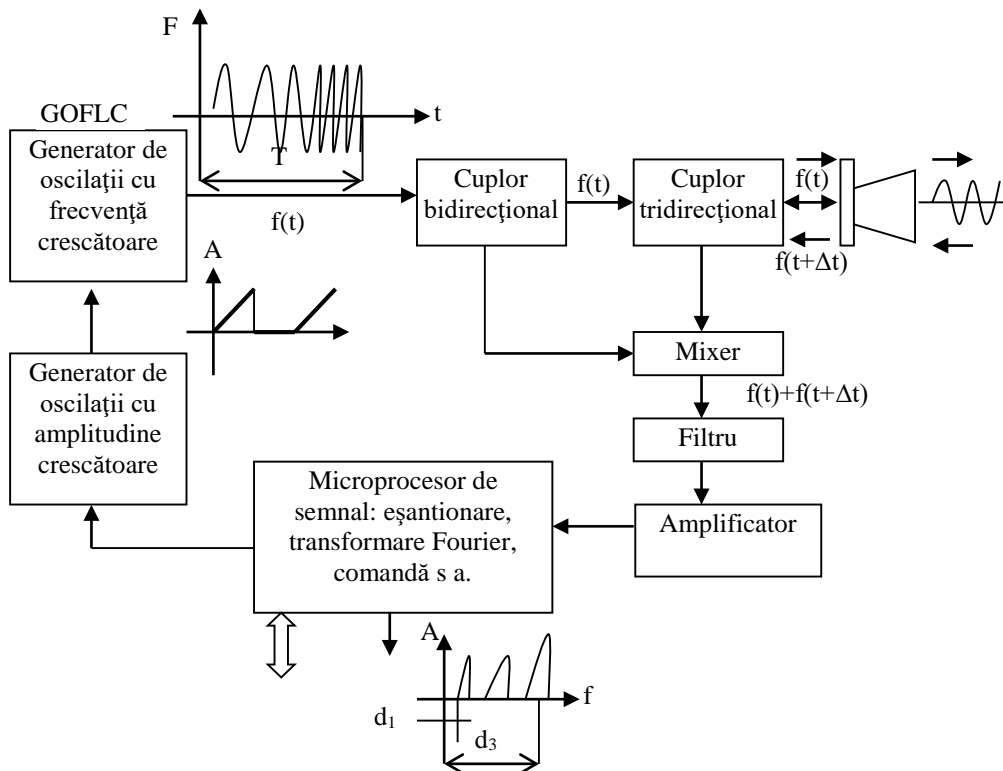


Fig. 5.4. Schema bloc a unui traductor de nivel cu modulație în frecvență a undelor radar [7]

În urma transformării Fourier se obține așadar un spectru de frecvențe, alcătuit din frecvența asociată ecoului util, dar și din frecvențe asociate ecourilor parazite. Prin urmare este necesar mai întâi să se identifice ecoul util și apoi pe baza acestuia să se determine distanța.

Rezultă deci că prin această metodă diferența de frecvențe  $\Delta f$  din domeniul timp este convertită în frecvență, ca apoi pe baza acesteia să se deducă distanța  $d$  care este asociată cu diferența de frecvențe. Amplitudinea componentelor este proporțională cu dimensiunile ecoului, iar frecvența componentelor este proporțională cu distanța  $d$ .



Din nefericire procedura de transformare Fourier este foarte complicată și necesită mijloace de procesare foarte puternice și rapide și deci foarte costisitoare.

Toate elementele prezentate în schema din figura 5.4 cu excepția antenei sunt încorporate într-o incintă numită Unitate Radar, UR, care se montează pe fața exterioară a capacului rezervorului, iar antena (cu unele excepții) se montează în interiorul rezervorului.

### Antene de emisie-recepție

Antenele de emisie-recepție au rolul de a transforma semnalele electrice periodice în microunde, de a dirija fasciculul de microunde către suprafața țintă și de a transforma microundele reflectate de țintă în semnale electrice.

Performanțele unui traductor cu unde radar sunt în bună măsură determinate și de tipul de antenă folosit. În prezent se folosește o mare varietate de tipuri de antene; unele de uz general, iar altele pentru cazuri particulare. Cele mai uzuale dintre acestea sunt:

- antene conice;
- antene cu tijă dielectrică;
- antene tubulare;
- antene cu reflector parabolic;
- antene planare, ș.a.

În figura 5.5 sunt prezentate două dintre cele mai uzuale tipuri de antene: cea conică și cea cu reflector parabolic.

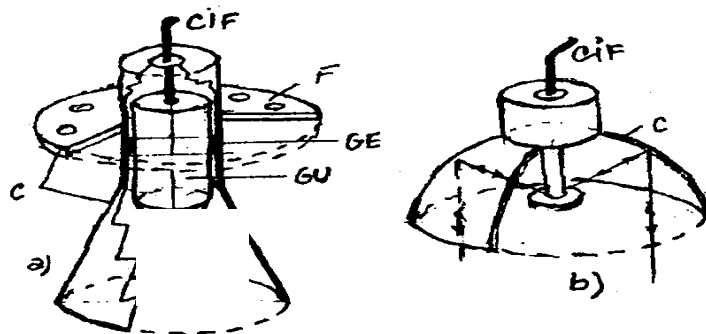


Fig. 5.5. Antene de emisie – recepție microunde [7]:  
a) conică; b) parabolică.

**Antena conică** din figura 5.5 este alcătuită din corpul C, prevăzut cu flanșa F de prindere de capacul rezervorului. În interiorul corpului se află un ghid de unde, GU, simplu sau combinat, care ghidează microundele primite printr-un cablu coaxial de înaltă frecvență, CIF, către conul antenei.

În cele mai multe variante GU este realizat dintr-un material cu constantă dielectrică foarte mică: sticlă, ceramică, PTFE (politetrafluoretilenă) care are extremitatea dinspre suprafața vizată sub formă conică. Această formă a ghidului de undă și forma conică a corpului antenei favorizează concentrarea și focusarea microundelor către suprafața vizată precum și captarea undelor reflectate de această suprafață.

Undele reflectate și recepționate de antenă sunt ghidate de GU către circuitele de prelucrare în vederea determinării intervalului de timp  $\Delta t$  dintre momentul emiterii și momentul recepției undelor.

Antenele conice sunt preferate pentru măsurarea nivelului în vase de dimensiuni moderate. Pentru măsurarea nivelului cu precizie mare în vase/rezervoare de dimensiuni mari se preferă antenele cu reflector parabolic.

În principiu, antenele parabolice au o construcție asemănătoare cu antenele conice.

**Combaterea erorilor (parazite).** În general, dar mai ales în cazul rezervoarelor cu anumite amenajări interioare (rotoare cu palete, serpentine de încălzire/răcire, scări etc.) există posibilitatea formării de ecouri false. Pentru a elimina riscul recepționării acestor ecouri se recurge la folosirea de filtre sau la folosirea de programe pentru microprocesor care să identifice și să elimine efectul lor. În primul caz se folosește un filtru de prag, care înlătură orice ecou de intensitate mai mică decât o limită prestabilită și un filtru trece bandă în jurul frecvenței corespunzătoare suprafețelor vizate.

**Integrarea traductorului în sistemul de măsurare/monitorizare.** Orice traductor cu unde radar poate funcționa izolat sau poate fi integrat într-un sistem de monitorizare și gestionare automată a stocurilor de materiale depozitate în rezervoare. În prima variantă traductorul este dotat cu un display local și cu un dispozitiv local prin care se pot introduce opțiuni de operare, iar în a doua variantă traductorul devine parte componentă a unui sistem mai amplu de măsurare, de monitorizare și de control centralizat echipat cu mijloace specifice.

### Traductoarele de nivel cu pulsuri de unde

În traductoarele de acest fel nu se folosesc unde continue, ci unde discontinui sub formă de pulsuri periodice de câteva unde, la o distanță în timp suficient de mare ca să permită undelor reflectate să se întoarcă la antenă.

Timpul de dus - întors necesar pulsurilor ca să parcurgă distanța de ordinul metrilor este de ordinul nanosecundelor, deci foarte mic. Din acest motiv este necesară o procedură de expandare (dilatare) a timpului pentru ca acest timp scurt să poată fi măsurat cu suficientă precizie.

În acest scop se adoptă aceeași procedură ca și la stroboscoape și la osciloscoapele cu eșantionare, unde semnalele cu frecvență foarte înaltă sunt transformate în semnale cu frecvență mai coborâtă cu două trei ordine de mărime.

În figura 5.6 se arată modul în care este aplicat principiul eșantionării succesive la trenuri de pulsuri. Aici perioada  $T_1$  de repetiție a pulsurilor este mai mare decât perioada  $T$  a oscilațiilor, iar perioada  $T_2$  de eșantionare succesivă este puțin mai mare decât  $T_1$ . În acest fel

factorul de extensie a timpului este  $R = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$ .

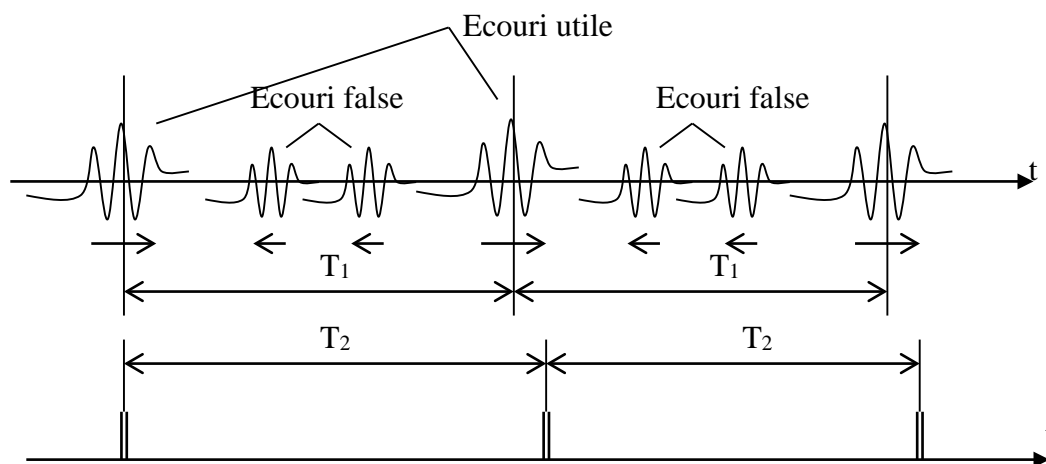


Fig. 5.6. Principiul eșantionării succesive clasice [7]

Trenul de impulsuri emis de antenă produce unul sau mai multe ecouri dintre care numai ecoul produs de suprafața lichidului este cel util, celelalte fiind false. Atât pulsurile emise cât și cele reflectate au aceeași perioadă de repetiție  $T_1$ , iar perioada de eșantionare  $T_2$  este  $T_2 > T_1$ .

În eșantionarea unor astfel de semnale de foarte înaltă frecvență apar probleme practice datorate timpului extrem de scurt, de ordinul picosecundelor, în care urmează să se extragă eșantioane. Pentru a ocoli aceste dificultăți se recurge la combinarea procedurii de eșantionare cu o procedură de intercorelare.

În loc de o eșantionare de foarte scurtă durată se recurge la o eșantionare printr-o procedură de intercorelare – în care pulsul de eșantionat este corelat cu un puls similar de eșantionare, emis la perioade de timp  $T_2 > T_1$ . Prin procedura de intercorelare fiecare punct al pulsurilor emise sau reflectate este multiplicat cu un punct corespunzător al pulsurilor de eșantionare și astfel se obțin unul după altul punctele unui semnal rezultat.

Procedura de eșantionare a pulsurilor de unde radar este destul de complicată dar oricum este mai simplă decât procedura transformării Fourier. Ea constă în generarea unui semnal de referință cu o perioadă de timp modificabilă. Acest semnal se multiplică cu semnalul reflectat recepționat, iar rezultatul multiplicării se integrează. Toate aceste operații pot fi efectuate de mijloace electronice relativ simple.

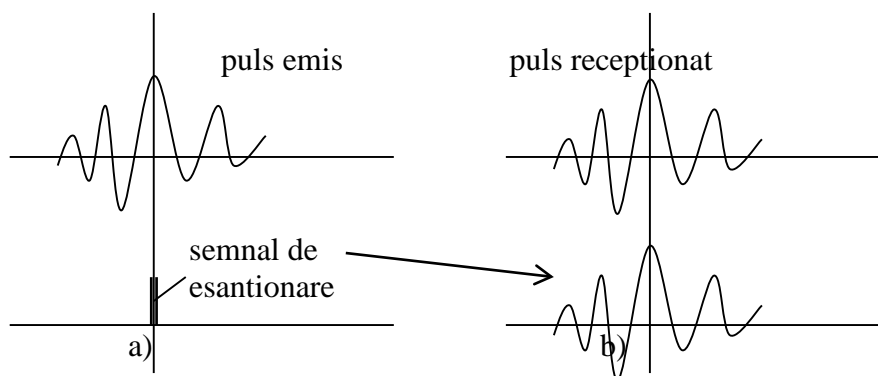


Fig. 5.7. Eșantionare prin intercorelare [7]:  
a) eșantionare clasică; b) eșantionare prin interblocare

Prin metoda descrisă semnalele de înaltă frecvență de ordinul GHz sunt transformate în semnale cu frecvență de ordinul KHz, iar frecvența de repetiție a pulsurilor este și ea redusă în același raport.

Operațiile în cadrul acestei metode sunt exclusiv în domeniul timp și vizează analiza ecourilor care apar ca pulsuri separate în timp, ceea ce face posibilă identificarea ecourilor utile și a celor false.

În figura 5.8 se prezintă schema bloc a unui traductor cu pulsuri de unde radar. În cadrul acestei scheme sunt generate două trenuri de pulsuri identice dar cu perioada de repetare puțin diferite. Unul din ele are perioada  $T_1$  și este generat de oscilatorul OM și de formatorul de pulsuri FPM, iar celălalt are perioada  $T_2 > T_1$  și este generat de oscilatorul OR și formatorul de pulsuri FPR.

Trenul de pulsuri emise de FPM este aplicat la intrarea antenei de emisie-recepție AER, unde este transformat în tren de microunde și este dirijat către suprafața țintă, care îl reflectă înapoi către antenă. Semnalele asociate celor două trenuri de pulsuri (cel direct și cel reflectat) ajung în mixerul M.

Celălalt tren de pulsuri, emise de FPR este aplicat, de asemenea, la intrarea mixerului M. Aici, în acest dispozitiv, au loc operațiile de divizare a frecvenței (dilatate în timp) prin tehnica intercorelării și de determinare a defazării în timp a pulsurilor reflectate față de pulsurile directe, astfel ca la ieșirea mixerului se obțin distinct pulsurile directe și cele reflectate într-o diagramă amplitudine-timp, dilatată în timp, defazarea în timp fiind o măsură a distanței dintre antenă și obiectul țintă.

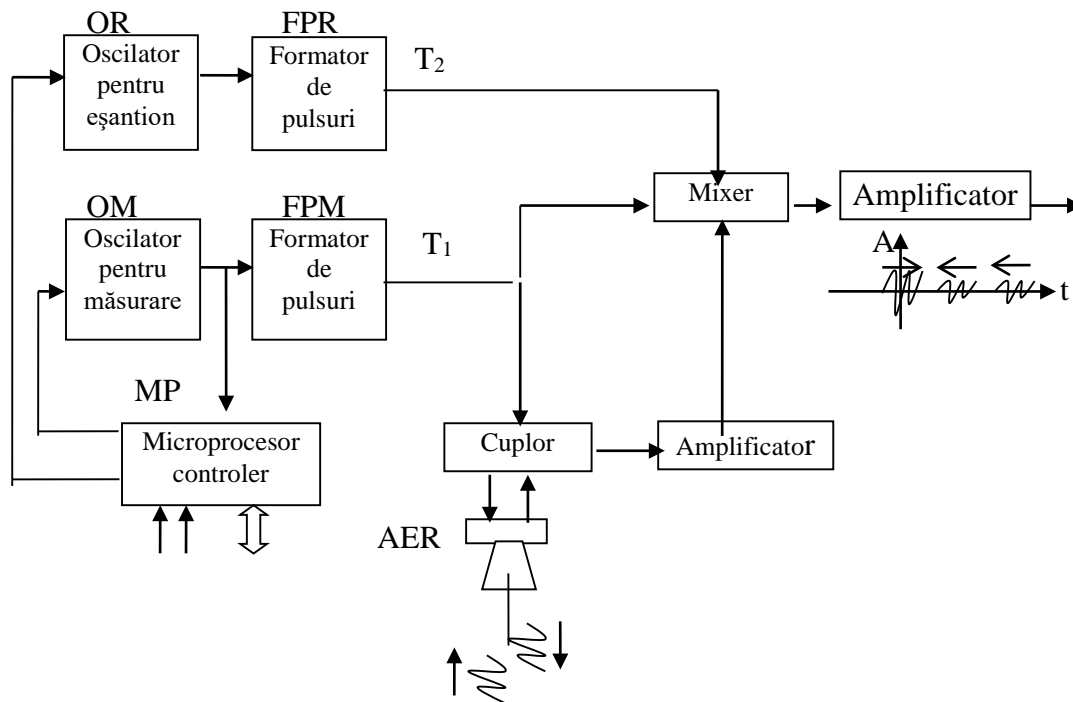


Fig. 5.8. Schema bloc a unui traductor de nivel cu pulsuri de unde radar [7]

În cadrul acestei scheme microprocesorul are rolul de a regla frecvența trenurilor de pulsuri și eventual - rolul de coordonare a acțiunilor interne ale traductorului.

### Aplicații

În principiu traductoarele de nivel cu microunde pot fi folosite în orice aplicație în care se dorește determinarea distanței dintre antena de emisie-recepție și o suprafață țintă, care întoarce undele dirijate spre ea înapoi către antenă.

Având însă în vedere faptul că echipamentele care operează cu unde radar sunt în general costisitoare dar cu performanțe foarte bune, aceste echipamente urmează să fie folosite în acele aplicații în care se impun exigențe înalte și unde alte tipuri de echipamente nu pot satisface aceste exigențe.

În consecință, echipamentele cu unde radar își justifică aplicabilitatea în măsurarea nivelului în următoarele cazuri:

- rezervoare mari pentru depozitarea produselor petroliere sau a altor produse cu riscuri pentru mediu și oameni;
- reactoare sau vase care operează cu substanțe agresive și la temperaturi și presiuni foarte mari;
- vase închise sau deschise care conțin metale sau alte materiale în sare topită;
- rezervoare ce conțin substanțe foarte nocive precum clorul, amoniacul, acidul sulfuric ș.a.;
- rezervoare de stocare a gazelor lichefiate (propan, butan ș.a.);
- silozuri de pulberi fine;
- cazane de produs abur, ș.a.

# 6. Traductoare electrochimice. Biosenzori

## 6.1. Caracterizare generală

Caracteristic pentru această categorie de senzori/traductoare este faptul ca la baza procesului de analiză stă o reacție electrochimică sau chimică, însoțită de anumite efecte, pe baza cărora se poate determina concentrația în anumiți componenți de interes, participanți la reacție. Unii dintre componenți produc efecte specifice, iar alții produc efecte comune [7].

Cele mai interesante efecte electrochimice, care sunt folosite la identificarea componenților participanți la reacție și la determinarea concentrațiilor acestora, sunt următoarele:

- Generarea unei diferențe de potențial electric, dependentă de caracterul și de concentrația în anumiți componenți ai soluției analizate;
- Emisia unor radiații luminoase, dependente de concentrația soluției analizate în componenți chemoluminiscenti. Este cazul analizoarelor bazate pe chemiluminiscență;
- Modificarea unui parametru al sensorului în funcție de concentrația mediului de analizat cu care acesta intră în contact. Un astfel de fenomen stă la baza analizoarelor chemoparametrice de tip chemorezistiv;
- Electroliza componentului de interes din cadrul amestecului și determinarea cantității (concentrației) acestuia pe baza cantității de electricitate consumate în acest scop.

## 6.2. Senzori și traductoare pentru lichide

Caracteristic pentru analizoarele electrochimice este faptul că senzorul acestor aparate este realizat sub forma unui cuplu de doi, trei sau chiar patru electrozi, ce vin în contact direct cu amestecul de analizat, care este de regulă o soluție electrolitică.

În urma contactului dintre electrozi și soluție se naște o tensiune electrochimică a cărei mărime este dependentă de compoziția chimică a soluției, dar și de temperatura acesteia, de fenomenul de polarizare a electrozilor, precum și de gradul de murdărire al acestora. Din aceasta cauză analizoarele trebuie prevăzute cu dispozitive de compensare a influenței temperaturii și eventual cu dispozitive de curățire periodică a electrozilor.

În această categorie de aparate putem încadra analizoarele pentru determinarea factorului pH, pentru determinarea potentialului REDOX (reducere-oxidare), pentru determinarea oxigenului și a altor gaze dizolvate în soluții apoase ș.a. În ultimele decenii au apărut și și-au găsit o largă aplicabilitate senzorii electrolitici de tip pile de combustie, care pot fi folosiți în analizoare simple de gaze sau în structura unor analizoare mai sofisticate.

### Senzori de Ph

Factorul pH al unei soluții este definit ca logaritmul cu semn schimbat al concentrației ionilor de hidrogen al acesteia. El arată cât de puternic este caracterul acid sau bazic al soluției analizate. O soluție cu factorul pH=7 este neutră, una cu pH>7 este bazică iar cea cu pH<7 este acidă [9].

Uzual, măsurarea factorului pH se face cu metode electrice pe baza efectului electrochimic al soluției analizate, asupra unei perechi de electrozi speciali. Potențialul electric al unui electrod, numit electrod de măsurare EM, este dependent de factorul pH al soluției, pe când potențialul electric al celuilalt electrod, numit electrod de referință, ER este practic constant.

Întrucât senzorii de pH clasici cu electrod de măsurare din sticlă sunt descriși de mai mult timp în literatura de specialitate, ei nu pot fi reprezentați în această lucrare. Aici vom prezenta numai noile tipuri de senzori de pH [9].

## Senzori de Ph de tip ISFET

Senzorii de tip tranzistor cu efect de camp ionoselectivi (Ion Selective Field Effect Tranzistor - ISFET) au apărut pe piață după 1970, primele lor aplicații fiind în domeniul măsurării factorului pH.

Prin structura lor acești senzori se aseamănă cu tranzistorii MOSFET (Metal Oxide Silicon Field Effect Tranzistor) în sensul că sunt dispozitive de comandă a curentului dintre sursă și drenă prin cel de-al treilea electrod - poartă. Spre deosebire de MOSFET în cazul ISFET poarta este comandată prin efectul electrostatic selectiv al ionilor din soluția în care se află tranzistorul.

În figura 6.1,a se prezintă structura și modul de polarizare al unui ISFET în care distingem: substratul de siliciu SS, stratul de oxid de siliciu SOS, contactele metalice CM ale sursei și drenei, sursa S, drenea D, poarta P, formată dintr-un strat de oxid sensibil la concentrația ionilor de hidrogen și sursa de polarizare a porții SP cu tensiunea variabilă.

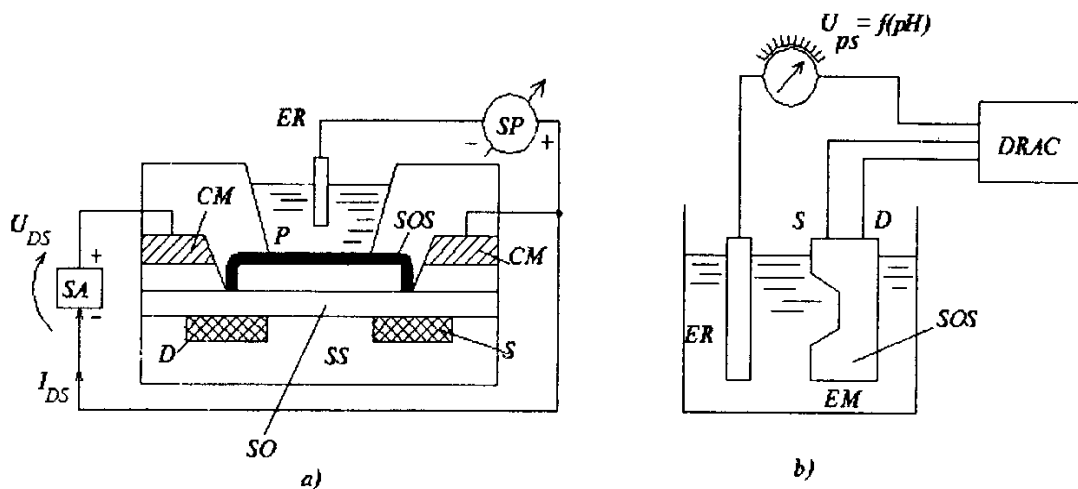


Fig. 6.1. Senzori de pH [9]:  
a) structura senzorului ISFET; b) sistem de măsurare.

Când un astfel de senzor se imersează în soluția de analizat, circuitul electric al porții se închide prin electrodul de referință ER și astfel concentrația ionilor de hidrogen din soluție influențează curentul drenă-sursă,  $I_{DS}$ .

Ionii și alte particule încărcate electric nu trec prin stratul sensibil de oxizi SOS, ci acționează exclusiv prin efectul electrostatic. În calitate de strat sensibil se folosește unul din următorii oxizi: oxid de aluminiu, oxid de tantal, dioxid de siliciu ș.a.

Senzorii de acest fel se realizează sub formă de teacă în care se amplasează atât tranzistorul cât și electrodul de referință. Teaca este prevăzută cu un orificiu prin care soluția ajunge la stratul sensibil, electrodul de referință fiind și el expus contactului cu soluția.

Schema de principiu a unui pH-metru cu senzori de tip ISFET este prezentată în figura 6.1.,b. În cadrul acestei scheme curentul  $I_{DS}$  se menține constant cu ajutorul unui dispozitiv de reglare automată a curentului, DRAC.

Dacă valoarea factorului pH al soluției se schimbă, se schimbă și potențialul porții și ca urmare se schimbă și curentul  $I_{DS}$ . În același timp însă DRAC modifică tensiunea de polarizare  $U_{PS}$  astfel încât  $I_{DS}$  să rămână constant. Tensiunea  $U_{PS}$  pusă în evidență de un aparat corespunzător constituie măsura factorului pH al soluției.

Din figura 6.2, care reprezintă dependența  $I_{DS} = f(U_{PS})$ , se observă cu cât se modifică  $U_{PS}$  în funcție de modificarea factorului pH, astfel că  $I_{DS}$  să rămână constant la valoarea  $I_{ps} = I_0$ . La același factor pH temperatura modifică panta dependenței  $I_{DS} = f(U_{PS})$ . Există însă un punct P de coordonate  $I_0$  și  $U_0$  numit punct izotermal.

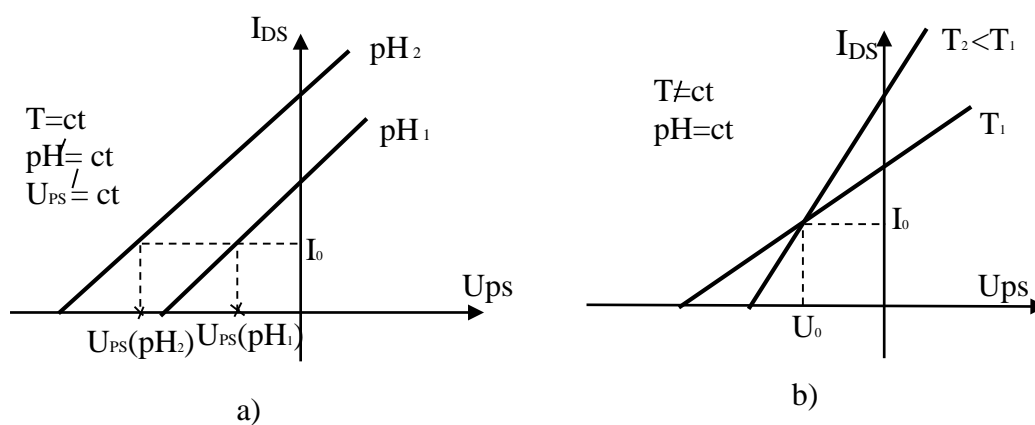


Fig 6.2. Dependența  $I_{DS}$  de pH și de temperatură  
a) Dependența  $I_{DS} = f(\text{pH})$ ,  $T = \text{ct}$ ; b) Dependența  $I_{DS} = f(T)$ ,  $\text{pH} = \text{ct}$ .

## Senzori de oxigen dizolvat

Dacă o pereche de electrozi din metale diferite este scufundată într-o soluție electrolitică între cei doi electrozi ia naștere un curent electric a cărui intensitate este dependentă, printre altele, și de concentrația în oxigen dizolvat în soluția respectivă. În mod uzual se folosesc catodi din oțel și anodi din zinc.

Mecanismul de formare a curentului are la bază reacția următoare:



Această reacție are loc numai în cazul când suprafața activă a electrozilor este netedă și curată. Pe măsură ce această suprafață se murdărește viteza de reacție scade, de aceea senzorii de acest tip trebuie dotați cu mijloace adecvate (perii) de curățire a suprafețelor active.

Calitatea măsurării cu astfel de senzori este determinată de natura electrozilor, de configurația și modul de curățire ale acestora precum și de modul de inprospătare și antrenare a soluției în jurul electrozilor. La viteze mici de curgere a soluției sensibilitatea senzorilor nu este afectată de viteza de curgere, însă la viteze mai mari de 5 m/s este dependentă de aceasta. În mică măsură sensibilitatea este dependentă de conductibilitatea soluției. Cele mai bune rezultate se obțin când conductibilitatea soluției este mai mare de 200  $\mu\text{s/cm}$ . Sub aspect constructiv, senzorii sunt alcătuiți dintr-un corp sub formă de teacă T, la capătul căreia se află cei doi electrozi  $E_1$  și  $E_2$  cu parte activă frontală sau laterală, iar în interiorul ei, la celălalt capăt

se află circuitele de prelucrare primară și de transmitere la distanță a semnalului electric, adică blocul CPTS.

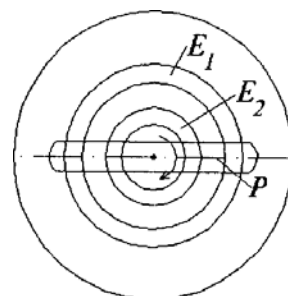


Fig.6.2. Structura unui senzor electrochimic cu doi electrozi [7]

Opțional, un astfel de senzor mai poate fi dotat cu o perie P de curățire a suprafețelor active ale electrozilor, perie antrenată de un micromotor și reductor de turație MMR, încorporat în teacă.

### 6.3. Senzori și traductoare pentru gaze

Există o categorie de senzori electrochimici care funcționează pe principiul pilelor de combustie și se folosesc pentru determinarea concentrațiilor multor gaze ca: CO; CO<sub>2</sub>; O<sub>2</sub>; NO<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>S; NH<sub>3</sub>; H; Cl și altele.

#### Senzori electrochimici cu 2 electrozi

Cel mai simplu senzor electrochimic este alcătuit din doi electrozi: unul de măsură, EM, și un contraelectrod CE, separați printr-un strat fin de electrolit, E, și conectați într-un circuit extern cu impedanță relativ mică – figura 6.3.

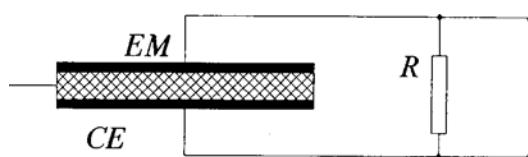
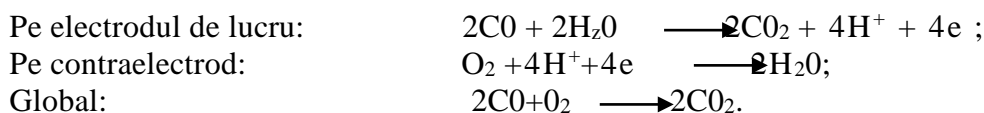


Fig 6.3. Schema unui senzor electrochimic cu 2 electrozi [7]

Amestecul de analizat difuzează în senzor printr-o barieră de difuzie, care controlează fluxul și asigură un semnal de ieșire proporțional cu concentrația.

În cazul unui senzor de CO au loc următoarele reacții:



În această reacție nu se consumă nici electrozi, nici soluție. CO împreună cu O<sub>2</sub> din aer difuzează în senzor, iar CO<sub>2</sub> difuzează în afara acestuia, senzorul funcționând ca un catalizator. Există însă și senzori în cadrul cărora are loc un consum de O<sub>2</sub> pe catod cu generare de curent pe anod.



Proportionalitatea dintre curentul generat și concentrația în CO se păstrează numai în limitele unui domeniu specific tipului de senzor. Depășirea acestui domeniu duce la fenomenul de saturație prin polarizare și la o dependență neliniară între curent și concentrație.

Curentul furnizat de senzor este foarte mic, de aceea el urmează să fie amplificat, transformat în tensiune și folosit într-un aparat de măsurare, de semnalizare, de protecție sau alte scopuri. Schema unui amplificator-converter asociat unui senzor electrochimic cu doi electrozi este prezentată în figura 6.4. Senzorul electrochimic SE se plasează în mediul de analizat, iar amplificatorul-converter, împreună cu aparatul de măsurat semnalul electric amplificat formează un bloc comun, care poate fi staționar sau portabil.

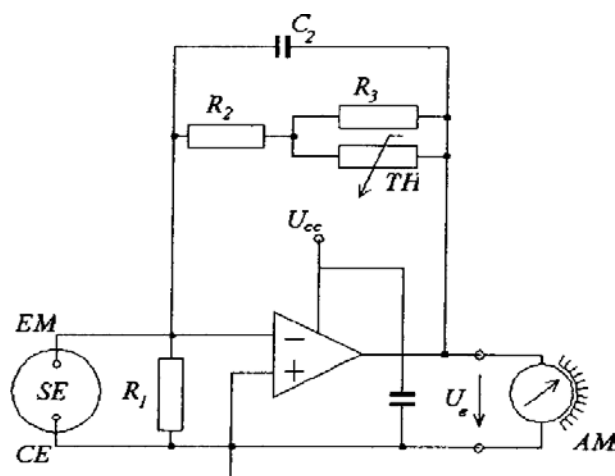


Fig. 6.4. Schema unui senzor electrochimic cu amplificator-converter [9]

### Senzori cu 3 electrozi

Lărgirea domeniului de proporționalitate al senzorilor poate fi realizată prin folosirea celui de al treilea electrod, electrodul de referință și a unui circuit extern potentiostatic. În acest fel potențialul electrodului de lucru poate fi limitat de către potențialul electrodului de referință, împiedicând astfel polarizarea. Electrocul auxiliar nu produce curent ci se menține la un potențial constant. Contraelectrodul este astfel eliberat de polarizare fără să afecteze electrodul de lucru și fără să impună limitări senzorului.

Noua generație de senzori electrochimici sunt senzori cu trei electrozi, deoarece controlând potențialul de referință se pot îmbunătăți, de asemenea, selectivitatea și răspunsul senzorilor față de componentul urmărit.

Schema unui amplificator-converter asociat unui senzor cu trei electrozi este prezentată în figura 6.5. În această schemă potențialul electrodului de referință și al electrodului de lucru este același. Aceasta este asigurată de către amplificatorul operațional AO, care comandă tensiunea contraelectrodului astfel încât să mențină electrodul de referință la același potențial cu electrodul de lucru.

Amplificatorul operațional trebuie să fie bipolar și alimentat de la o sursă duală pentru a putea da la ieșire semnal pozitiv sau negativ, după caz.

Semnalul de ieșire este căderea de tensiune pe rezistorul  $R_1$ , iar rezistorul  $R_7$  și termistorul TH sunt necesari numai în cazul senzorilor de CO pentru a compensa efectul temperaturii.

Rezistoarele  $R_3$ ,  $R_4$  și  $R_5$  preîntâmpină oscilațiile iar rezistorul  $R_6$  preîntâmpină polarizarea când circuitul nu este alimentat și asigură stabilizarea rapidă după conectarea sursei.

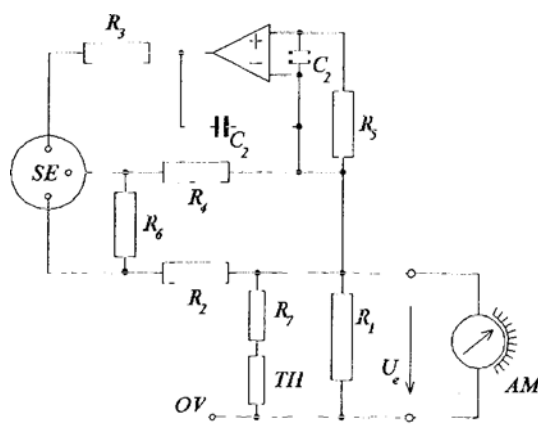


Fig 6.5. Schema unui amplificator-converter de pH [7]

### Combaterea interferențelor componentilor

Performanțele senzorilor electrochimici pot fi afectate de interferența încrucișată a unor componenți ai amestecului de analizat și de temperatura acestuia. De exemplu o concentrație de 100 ppm hidrogen produce același efect ca și o concentrație de 61 ppm oxid de carbon.

Interferența poate fi redusă sau eliminată cu ajutorul unor filtre chimice interne sau externe senzorului, sau se adoptă senzori cu patru electrozi.

În tabelul 6.1. sunt prezentate interferențele încrucișate în raport cu CO ale principalelor gaze ce pot fi detectate cu senzori electrochimici de CO ai firmei Sixth Sens.

Tabelul 6.1.

Gaz	Concentrație ppm	Echivalent CO ppm	Gaz	Concentrație ppm	Echivalent CO ppm
H <sub>2</sub>	100	61	CS	100	62
CH <sub>4</sub>	100	0	Cl <sub>2</sub>	100	- 19
CO	100	100	NO	100	18
CO <sub>2</sub>	100	0	NO <sub>2</sub>	100	- 92
H <sub>2</sub> S	100	400			

### Senzori cu patru electrozi

Pentru a elimina efectul interferenței încrucișate se recurge la folosirea senzorilor cu patru electrozi, cel de al patrulea electrod fiind numit electrod auxiliar.

Amestecul gazos, de exemplu aer cu CO și H<sub>2</sub> difuzează în senzor și reacționează mai întâi cu senzorul de lucru. Pe acest electrod reacționează tot oxidul de carbon și o parte din hidrogen, cealaltă parte din hidrogen reacționând ulterior pe electrodul auxiliar. În acest fel senzorul furnizează două semnale de ieșire: unul proporțional cu concentrația în CO și H<sub>2</sub>, iar celălalt - proporțional cu concentrația în H<sub>2</sub>.

Semnalul compensat, corespunzător concentrației în CO, se obține prin scăderea semnalului electrodului auxiliar din semnalul electrodului de lucru. Această operație se poate realiza cu ajutorul unui circuit analogic de scădere sau se poate realiza cu ajutorul unui calculator pe baza celor două semnale și a unui program corespunzător.

### Combaterea derivei provocate de temperatură

Semnalul unui electrod auxiliar poate fi folosit și pentru eliminarea derivei zeroului senzorului, provocată de variația temperaturii.

În cazul unui amestec fără componenți reactanți senzorul va furniza un semnal apropiat de zero, datorită unei mici diferențe între potențialele electrodului de lucru și contraelectrodului. În urma calibrării această diferență poate fi anulată, dar o altă diferență va putea apărea dacă temperatura senzorului și a amestecului se modifică și anume - crește exponențial cu temperatura.

Compensarea influenței temperaturii asupra rezultatului măsurării se face la fel ca și compensarea interferenței încrucișate.

Când se utilizează senzori cu patru electrozi, pentru compensarea efectului temperaturii se obțin de asemenea două semnale - unul furnizat de electrodul de lucru iar celălalt - furnizat de electrodul auxiliar. Ambele semnale sunt afectate de temperatură, dar semnalul dat de electrodul auxiliar nu este afectat de componentul reactiv urmărit.

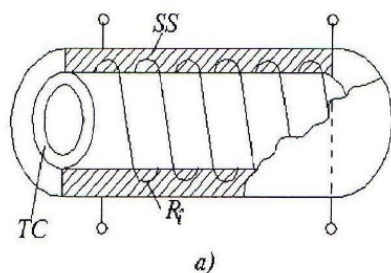
## 6.4. Senzori și microsenzori chemorezistivi

La baza acestui tip de senzori stă proprietatea unor materiale semiconductoare ( $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{NbO}_5$ ,  $\text{CeO}_2$  ș.a.) și a unor materiale organice de a-și modifica rezistența sau permitivitatea electrică atunci când vin în contact cu un anumit gaz. Ei pot fi, deci, chemorezistivi sau chemocapacitivi. Sensibilitatea lor poate fi marită prin dopare cu catalizatori specifici.

### Senzori chemorezistivi

Senzorii chemorezistivi de tip semiconductori se folosesc îndeosebi la determinarea concentrațiilor de gaze ca  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , ș.a.

Din structura acestui tip de senzori - figura 6.6. a fac parte: un suport de forma unui tub ceramic, TC, pe care se bobinează o rezistență de încălzire,  $R_i$ , cu terminale de conectare la o sursă de alimentare pentru a încălzi întregul senzor până la aproximativ  $400^\circ\text{C}$ . Peste acest bobinaj se depune un strat din material semiconductor SS, de tip n ( $\text{SnO}_2$  ș.a.) care devine activ atunci când este încălzit.



b)

c)

Fig. 6.6. Senzor chemorezistiv de tip semiconductor [7]:

a) structura; b) simbol; c) schema de montaj

În absența oxigenului și a altor gaze, electronii din structura poroasă din stratul semiconductor se mișcă liber. În prezența gazului de detectat, avid de electroni, acest gaz se absoarbe pe suprafața particulelor de semiconductor, formând o barieră de potențial, care împiedică mișcarea electronilor și duce astfel la creșterea rezistenței electrice.

Dimpotrivă, dacă atmosfera din jurul stratului semiconductor este reducătoare ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , alcool, ș.a.) stratul poros de semiconductor ( $\text{SnO}_2$  ...) absoarbe acest gaz, care în prezența

oxigenului oxidează, având ca efect scăderea barierei de potențial și micșorarea rezistenței electrice.

Sensibilitatea straturilor semiconductoare de SnO<sub>2</sub> ș.a. la acțiunea gazelor reducătoare poate fi îmbunătățită prin doparea cu Pa, Cd, ș.a. care au acțiune catalitică, favorizând interacțiunile chimice și electrice.

Un astfel de senzor se montează într-o schemă precum cea din figura 6.6.c. Bobina de încălzire se alimentează de la o sursă de ~5V iar circuitul de măsurare se alimentează de la o sursă de tensiune U<sub>a</sub> de 10-20V. Tensiunea de ieșire U<sub>e</sub> este dependentă de rezistența stratului semiconductor conform relației:

$$U_e = \frac{R}{R + R_s} U_a \quad (6.3)$$

Pentru a obține sensibilitate mare se alege o rezistență R egală cu R<sub>s</sub> de la mijlocul domeniului de interes al amestecului de gaze analizat.

### **Microsenzori chemorezistivi**

Microsenzorii de tip semiconductor pot fi realizați în tehnologia straturilor subțiri. Aceștia sunt alcătuiți dintr-un strat de oxid metalic, care urmează să fie încălzit la câteva sute de grade Celsius (100-400°C).

La suprafața încinsă a semiconductorului gazul de analizat intră în reacție cu oxigenul absorbit de acesta și ca urmare a acestei reacții se modifică rezistența semiconductorului.

### **Microsenzori cu strat de SnO<sub>2</sub>**

Structura unui astfel de microsenzor pentru CO, realizat în tehnologie integrată este prezentată în figura 6.7. În esență este vorba de un strat subțire de siliciu SS, pe care se crește prin oxidare un strat foarte subțire de SiO<sub>2</sub>. Pe acest strat se depune un strat foarte subțire de aur pe care prin fotolitografiere se realizează o rezistență electrică de încălzire R<sub>i</sub>. Peste stratul de aur se depune un alt strat de SiO<sub>2</sub>, iar peste aceasta se depune stratul semiconductor de SnO<sub>2</sub>. Prin procedee adecvate se depun cei patru electrozi cu conductori terminali; doi pentru rezistența de încălzire și doi pentru conectarea la circuitul de ieșire, din care face parte stratul de SnO<sub>2</sub>.

Fig. 6.7 Structura unui microsenzor chemorezistiv [7]

Acest tip de senzori sunt robusți, au dimensiuni foarte mici, aproximativ 1-2 mm<sup>2</sup>. Pentru temperatura de 300°C au un consum pentru încălzire de aproximativ 100mW, oferă posibilitatea integrării lor în circuite de amplificare și corecție a semnalului util. Din păcate, acești senzori nu sunt selectivi, de aceea ei sunt folosiți pentru detecția unor grupuri de gaze, cum este grupul de gaze combustibile CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S ș.a. De asemenea, sunt afectați de umiditatea amestecului de analizat și de posibile otrăviri produse de anumite gaze toxice.

Lipsa selectivității acestor senzori poate fi transformată în calitatea de detectori multigaz, recomandabili pentru detecție multicomponent în analizoare cromatografice, precum și în rețele de microsenzori pentru monitorizarea mediului, unde nu se cere o selectivitate înaltă.

### Microsenzori de gaze de tip TEC-MOS

Tranzistorul de tip TEC-MOS poate fi adaptat pentru a deveni senzor chimic prin tehnologii și substanțe dopante corespunzătoare. Structura unui dispozitiv TEC-MOS cu canal n indus, este prezentată în figura 6.8. Într-un substrat de siliciu de tip p, slab dopat, sunt create două zone de tip n, puternic dopate și anume regiunea sursei și respectiv, a drenii. Pe substratul de siliciu se creează prin oxidare un strat de  $\text{SiO}_2$ , iar acesta se acoperă cu un material conductor (metal) cu rol de poartă în toată zona dintre sursă și drenă. Dacă pe poartă se aplică o tensiune  $U_p$ , conductibilitatea ariei de siliciu de sub poartă poate fi modificată prin  $U_p$  care controlează curentul dintre sursă și drenă.

Pentru o tensiune mai mică decât o tensiune de prag, curentul este nul, pe când dacă tensiunea  $U_p$  aplicată depășește pragul respectiv apare un curent ca efect al potentialului pozitiv al porții.

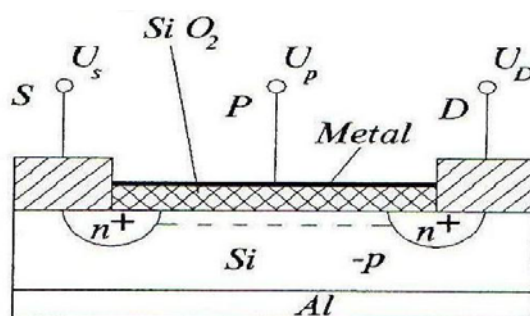


Fig. 6.8. Structura unui senzor de tip TEC-MOS [7]

Tensiunea de prag  $U_{pp}$  este determinată de gradul de dopare, de grosimea stratului de oxid, de materialul porții, de sarcinile mobile și fixe aflate în stratul de oxid, precum și de stratul de dipoli la interfața oxid-semiconductor.

Sensibilitatea dispozitivului TEC-MOS este dependentă de stratul de dipoli care se creează la interfața oxid-semiconductor, strat de care depinde, de altfel și tensiunea de prag  $U_{pp}$ . În funcție de modul de generare a acestui strat de dipoli pot fi realizate următoarele tipuri de senzori:

- senzori Pd TEC-MOS cu poartă din metal catalizator (Pd);
- senzori AD TEC cu strat foarte subțire de oxid;
- senzori TEC IS MOS cu sensibilitate la ioni (pentru pH)

### Senzorul de tip Pd TEC-MOS

Acesta este cel mai uzual tip de senzor TEC-MOS, adică un chemotranzistor, care folosește îndeosebi la analiza în fază gazoasă a  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  și a altor compuși simpli ai hidrogenului. Structura acestui tip de senzor derivă din structura clasică a tranzistorului TEC-MOS în care poarta de aluminiu este înlocuită cu una din paladiu. Stratul de dipoli de la interfața metal-oxid-semiconductor este creat prin difuzia în oxidul de siliciu a hidrogenului atomic, rezultat în urma disocierii moleculelor de hidrogen la suprafața metalului catalizator - paladiu.

Hidrogenul atomic difuzează prin stratul de paladiu, căruia îi modifică potențialul de lucru și este absorbit la interfața Pd- SiO<sub>2</sub>. Atomii de hidrogen absorbiți modifică diferența de potențial metal-semiconductor și structura de suprafață a oxidului de siliciu, deci și tensiunea de prag a senzorului.

Tensiunea de prag este o măsură a concentrației în gaze analizate, deoarece în stratul de paladiu, la o anumită presiune de hidrogen are loc un echilibru dintre procesul de disociere în atomi și procesul de recombinare în molecule ale gazelor analizate. Senzorii de tip Pd TEC-MOS sunt foarte sensibili la hidrogen molecular și la hidrogen sulfurat dacă se lucrează la 150°C. La temperaturi mai mari devin sensibili și la vaporii de etanol, de etilenă și de alți compuși organici.

Alegând în mod corespunzător structura porții se pot obține senzori sensibili la alte gaze. Astfel, un senzor cu poartă subțire de platină este sensibil la amoniac și etanol dacă lucrează la 150°C. La temperaturi mai mari este mai sensibil și devine sensibil și la etilenă. Încorporând pe o capsulă mai mulți senzori de tip TEC-MOS, precum și o rezistență de încălzire și un senzor de temperatură, se obțin senzori foarte preciși și eficienți la diverși componenți ai amestecului.

## 6.5. Biosenzori

### Caracterizare generală

Un **biosensor**, BS, este o entitate alcătuită dintr-un **bioreceptor**, BR, și dintr-un **bioconvertor**, BC. Bioreceptorul este constituit din biomolecule care recunosc un analit țintă și reacționează cu acesta, producând transformări fizice și chimice specifice, iar bioconvertorul transpune aceste transformări pe un semnal măsurabil - figura 6.9. Pentru a obține aceste transformări este suficient ca senzorul să intre în contact cu analitul.

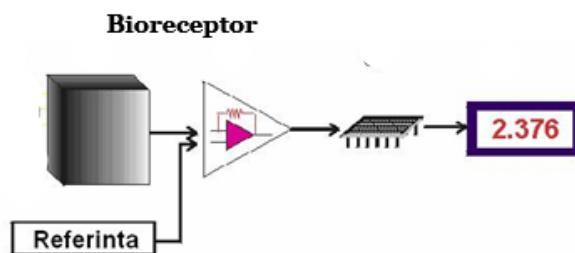
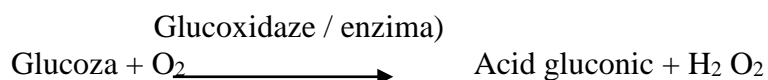


Fig. 6.9. Structura unui biosenzor [14]

Cei mai reprezentativi bioreceptori sunt enzimele, anticorpilor, ș.a. Enzimele sunt compuși chimici de natura proteică, prezenți în celulele vii, care dirijează procesele de sinteză și de descompunere din organismele animalelor, plantelor și microorganismelor. Se știe că reacțiile denumite *metabolism* sunt catalizate de diverse enzime și ca fiecare enzimă este capabilă să recunoască molecule țintă specifice și să faciliteze reacții specifice cu acestea.

O cerință esențială a orăru tip de biosenzori este aceea că bioreceptorul să fie imobilizat în vecinătatea bioconvertorului. Acesta se realizează cu ajutorul unor capcane fizice sau prin atașare chimică. Pentru măsurare se folosește o cantitate bine determinată de molecule bioreceptoare, care sunt folosite în mod repetat.

Procesul de biorecunoaștere este un proces de reacție biochimică, însoțit de efecte fizice și chimice specifice, iar aceste efecte sunt puse pe semnal purtător de informație de către bioconvertor. De exemplu reacția de oxidare a glucozei în prezența unei enzime, care acționează ca un catalizator, se desfășoară în conformitate cu următoarea ecuație :



Pentru a măsura conținutul de glucoză dintr-o soluție se pot folosi trei tipuri de bioconvectori;

- Bioconvectori de oxigen cu care se determină concentrația de oxigen ca rezultat al reacției glucozei;
- Bioconvectori de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> cu care se determină concentrația de peroxid rezultată din reacție;
- Bioconvectori de pH cu care se determină cantitatea de acid gluconic ca produs al reacției glucozei.

Cele mai importante caracteristici ale biosenzorilor sunt următoarele: sensibilitatea, adică răspunsul senzorului la schimbarea concentrației analitului cu o unitate de măsură; selectivitatea, adică abilitatea senzorului de a răspunde numai la analitul țintă; domeniul de măsurare; timpul de răspuns, adică timpul cât durează o măsurare sau o fracțiune din acesta (65%, 90% sau 95%); reproductibilitatea; limitele de detecție; timpul de funcționare, adică perioada de exploatare a senzorului, ș.a.

## 6.6. Construcția biosenzorilor

Primul biosensor a fost cel de tipul electrod-enzimă, descris de Clarie și Lyons în 1962. Este vorba de un biosensor de oxidare-reducere cu enzimă, alcătuit dintr-un electrod de platină, plasat în interiorul unei membrane cilindrice de tip sandwich. Anodul de platină polarizat cu +0.6 V răspunde la peroxidul produs de reacția enzimei cu substratul de analit – glucoză.

Primul model de biosensor bazat pe acest principiu a fost realizat în 1974, urmat de altele din ce în ce mai sofisticate.

### Membrana selectivă

Membrana selectivă este un element component important al biosenzorilor. Ea trebuie să constituie o barieră pentru substanțele nonțintă, să protejeze stratul imobil de enzimă și să asigure limitele de operare ale biosenzorului. Prin urmare ea trebuie să permită analitului țintă să intre în stratul de enzimă dar să împiedice trecerea produselor de reacție și a altor interferenți.

Dacă moleculele de analit sunt mici macromoleculele de interferenți, precum proteinele, pot fi împiedicate să intre în zona activă a senzorului de către o membrană cu pori mici. De asemenea, trecerea moleculelor încărcate electric poate fi modulată cu ajutorul unei membrane selective de ioni. Prin urmare, o combinație de diverse tipuri de membrane discriminative poate bloca trecerea diferitelor molecule nedorite [7].

De notat însă faptul că toate aceste membrane măresc inerția și timpul de măsurare din cauza rezistenței difuzive a acestora. De aceea grosimea lor trebuie aleasă în mod judicios.

O membrană care satisface aceste cerințe oarecum contradictorii este cea de tip sandwich cu enzima plasată între o membrană de acetat de celuloză și o membrană de policarbonat.

### Tipuri de bioreceptori

Specificitatea și sensibilitatea unui biosenzor sunt determinate de natura moleculelor bioreceptorului acestuia, cele mai uzuale fiind enzimele, anticorpii și unele proteine bioreceptoare.

**Enzima** este o proteină sintetizată în celula din amino-acizi în concordanță cu codul înscris în ADN. Ea acționează ca un catalizator în reacțiile care au loc în celulele vii. Pentru a menține o activitate înaltă a enzimei temperatura și factorul pH al acesteia, trebuie menținuți la un nivel adecvat.

**Anticorpii** reprezintă o clasă importantă de proteine, care alcătuiesc aproape 20% din totalul de proteina plasmă, și care sunt denumite imunoglobulină. Spre deosebire de enzime anticorpii nu acționează ca un catalizator. Menirea lor este să lege, să rețină substanțele străine – antigen și astfel acestea să nu pătrundă în sistemul circulator. Anticorpii monocelulari aparținând clasei de imunoglobulină sunt utilizați în structura biosenzorilor.

**Proteine receptive.** Proteinele receptive au o afinitate specifică față de compușii biologici activi. Ele sunt hormoni receptivi, receptori de gust, receptori olfactivi pentru miros, fotoreceptori pentru ochi ș.a. Acestea închid sau deschid canalele membranelor de transfer ale metabolismului specific. Orice proteină care recunoaște o entitate biologică poate fi folosită la măsurarea analitului țintă.

În principiu, orice biomoleculă sau ansamblul de molecule care are capabilitatea de a recunoaște un analit țintă, poate fi folosită ca un bioreceptor. De reținut că bioreceptorii necesită măsuri adecvate pentru menținerea integrității lor structurale și a activității de biorecunoaștere.

## 6.7. Tipuri de bioconvertoare

Convertoarele utilizate în construcția biosenzorilor aparțin uneia din următoarele tipuri:

- **Amperimetrice**, care furnizează la ieșire un semnal de tip curent dependent de concentrația produșilor rezultați din reacția de biorecunoaștere.
- **Potențiometrice**, care furnizează semnal de tip tensiune electrică dependentă de factorul pH al produșilor de reacție.
- **Fotometrice** (colorimetrice, fluorimetrice ș.a) care furnizează semnal dependent de structura radiațiilor recepționate.
- **Piezometrice**, care furnizează semnal dependent de modificarea masei mediului reactant. Acest semnal este dependent de modificări ale undelor de suprafață provocate de modificarea masei mediului prin care se propagă. De exemplu, cristalul de siliciu, denumit cristal de cuarț microbalansat este folosit pentru a măsura modificări ale masei de ordinul picogramelor ;
- **Conductometrice**, care furnizează semnal dependent de conductibilitate electrică a soluțiilor ionice;
- **Capacitive**, care furnizează semnal dependent de modificarea constantei dielectrice a mediului din vecinătatea bioreceptorilor;
- **Termometrice**, care furnizează semnal dependent efectele termice ale reacției de biorecunoaștere. Se urmărește modificarea entalpiei de reacție la diverse temperaturi, modificarea entropiei și energiei libere Gubbs;
- **Convertoare de tip TEC**, care au în structura lor un tranzistor special cu efect de câmp sensibil la schimbarea concentrațiilor de ioni ca efect al reacției de biorecunoaștere.

În tabelul 6.2 sunt prezentate date referitoare la câteva din cele mai uzuale tipuri de biosenzori [7].



## 6.8. Utilizări ale biosenzorilor

Biosenzorii pot fi utilizați în multe domenii dintre care cele mai importante sunt următoarele :

- medicina și îngrijirea sănătății;
- controlul proceselor biochimice industriale și de laborator;
- protecția mediului;
- securitatea și protecția civilă.

În domeniul medicinei, cele mai frecvente aplicații sunt cele de evaluare a metabolismului organismelor vii, îndeosebi a metabolismului omului. Este vorba de analize biochimice și biologice pentru determinarea compoziției sângelui, a urinei, a diferitelor țesuturi suspecte de îmbolnăvire, analize pentru determinarea diverselor contaminări cu substanțe nocive, ș.a.

În domeniul industrial și de laborator biosenzorii își găsesc utilizări în controlul proceselor biochimice de fabricare a multor produse alimentare și a băuturilor alcoolice sau răcoritoare, îndeosebi a produselor obținute prin fermentație. Monitorizarea în timp real a surselor de carbon, de oxigen dizolvat, de dioxid de carbon și a altor elemente chimice de metabolism din procesele de fermentație servește la determinarea stării și desfășurării acestor procese și pe această bază se pot stabili măsuri care să conducă la determinarea optimă a procesului tehnologic.

În domeniul protecției mediului (ecologiei) cele mai multe aplicații vizează analiza biochimică a aerului, a apei și a solului în vederea evaluării conținutului de substanțe dăunătoare sau nocive pentru vietăți, plante, ș.a. În acest scop se determină factorul pH; conținutul apei și solului în detergenți, ierbicide, îngrășăminte chimice ș.a.

În domeniul securității și protecției civile față de acțiuni teroriste sau de agresiune militară cu arme biochimice. Amenințările actuale justifică măsuri de implementare a mijloacelor de depistare și de anihilare a agenților biochimici precum și măsuri de combatere a efectelor acestora.

Tabelul 6.2. Date referitoare la biosenzorii uzuali [7]

Analit tinta	Bioreceptor	Produs detectat	Limita g/l
Biosenzori amperometrici			
Colina	Colinoxidaze	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,5
Etanol	Etanoloxidaze	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3,0
Metanol	F-dehidrogenati	NADH	2,5
Glucoza	Glucoxidaze	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	0-25
L-Glutamina	Oxoglutaminaze	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	10 mM
L-Glutamat	Oxoglutamaze	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	10 mM
Hipoxantine	Xantinoxidaze	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	180
Lactat	Oxolactaze	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	40
Zaharat	Glucoxidaze, invertaze	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	25
Oligazaharide	Glucamilaza	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2,5
Aspartamina	L-aspartaza	NH <sub>3</sub>	0,5
Grasimi	Lipaza	Acizi grasi	0,05
Glucoza	Glucoxidaza	Acid gluconic	2 g/l
Uree	Ureaza	NH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub>	10
Nitriti	Nitrit - reductaza	NH <sub>4</sub>	1
Peniciline	Penicilinaza	H <sup>+/-</sup>	70
Sulfati	Sulf oxidaza	HS	-

Antigeni, anticorpi	Partener de cuplu	Complex	100 ppn
Senzori enzime			mH
Etanol	Alcool dihidrogenaza	NADH	1
Glucoza	Glucoxidaza	O <sub>2</sub>	20
Ureaza	Ureaza	Amoniac	3
Lactati	Bertat-monooxidaza	Pyruvati	1
Penicilina	Penicillinaza	Acid penicilianic	10

Din analiza celor prezentate mai înainte rezultă că personalul implicat în alegerea, proiectarea sau exploatarea biosenzorilor trebuie să aibă suficiente cunoștințe multidisciplinare din domeniile: biologie, biochimie, chimie, fizică, electronică, ș.a., deoarece acesta urmează să decidă în următoarele probleme:

- alegerea celui mai potrivit biosenzor pentru analitul țintă;
- alegerea metodei optime de imobilizare a bioreceptorului;
- alegerea sau proiectarea bioconvertorului și a circuitelor electronice de formare a semnalului de ieșire;
- alegerea sau realizarea biosenzorului în ansamblu;
- exploatarea corectă a biosenzorului.

# 7. Structuri de AM dotate cu microprocesoare

## 7.1. Structura unui dispozitiv de comandă cu microprocesor

Presupunând că cititorul posedă suficiente cunoștințe despre structurile și funcțiile microprocesoarelor, în figura 7.1 este prezentată structura unui dispozitiv de comandă cu microprocesor, DCM [7]. Acesta este alcătuit dintr-un microprocesor, MP, conectabil cu anumite module prin intermediul unei magistrale de comunicație, MC, și al unor echipamente de interfață, EI.

Magistrala de comunicație este alcătuită din trei tipuri de magistrale: magistrala de date MD; magistrala de adrese, MA și magistrala de comenzi MC. Acestea pot fi realizate distinct sau pot fi unite într-o singură entitate.

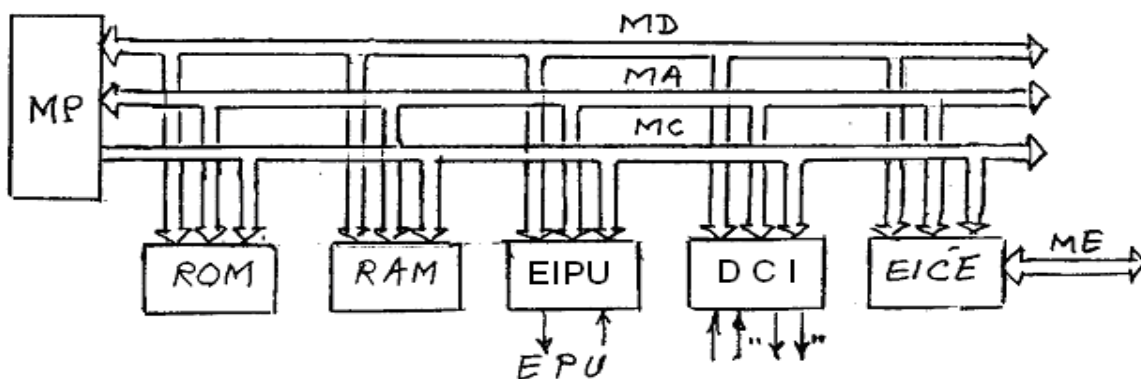


Fig.7.1. Schema bloc a unui DCM cu microprocesor [7]

Cele mai importante module conectabile la DCM sunt următoarele :

- **Module de memorie ROM** sau EPROM în care se memorează pe termen lung programe și date de referință specifice aplicației ;
- **Module de memorie RAM** în care se depozitează pe termen scurt date operative ale aplicației;
- **Echipamentele periferice interactive** ale utilizatorului, EPU, care sunt conectate la microprocesor prin intermediul unor echipamente de interfață specifice, EIPU. Cele mai importante și uzuale sunt : tastatura, displayul cu LEDuri, cu LCDuri sau cu tub catodic, plotere ș.a.
- **Echipamente de interfață** pentru comunicația cu alte aparate/sisteme externe, EICE;
- **Dispozitive/circuite de comandă** a componentelor interne ale aparatelor de măsurare, DCI. Prin aceste componente se realizează operațiile de măsurare pe baza unui algoritm/procedură stabilită prin programul de aplicație, memorat în ROM sau EPROM. Comanda acestor componente se face direct sau prin intermediul unor codificatoare, al unor elemente de execuție și/sau selecție.

Configurația concretă și detaliată pentru un anumit tip de aparat de măsurare se stabilește în funcție de specificul aparatului, dar și de disponibilitățile oferite de piața de produse electronice.

## 7.2. Structuri de AM cu microprocesor

Există numeroase moduri de a realiza funcțiile și efectele enumerate mai înainte. În figura 7.2. prezentăm structura simplificată a unui aparat pentru măsurarea unei singure mărimi.

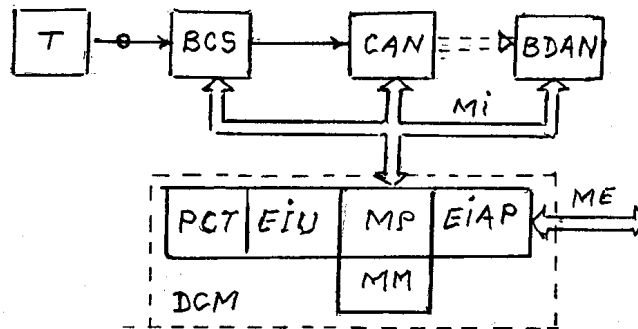


Fig.7.2. Schema bloc a unui AM cu microprocesor [7]

Pe lângă componentele cu funcție de bază precum : traductorul mărimii măsurate, T, blocul de condiționare a semnalului dat de traductor, BCS, convertorul analog-numeric, CAN și blocul de decodificare și afișare numerică, BDAN, aparatul mai conține și componente specifice tehnicii de calcul numeric programabile, încorporate într-un dispozitiv de comandă și control DCM, dotat cu microprocesor MP [11].

Comunicația dintre microprocesor și celelalte componente ale AM se realizează prin intermediul magistralei interne MI.

Pentru a îndeplini funcțiile de comandă și control DCM, are în structura sa un panou de comandă cu tastatură, PCT, echipamente de interfață între MP și PCT, precum și echipamente de interfață, cu alte echipamente programabile, EIAP, conectate la magistrala externă ME [11].

În această structură microprocesorul este cel mai important element al DCM, deoarece el îndeplinește rolul de coordonator și de participant la cvazitotalitatea operațiilor legate de prelucrarea semnalelor de la traductor, de conversia analog-numerică și de transferul de date în interiorul aparatului, inclusiv vizualizarea rezultatului măsurării, precum și de transferul de date dintre aparat și alte aparate cu care acesta este conectat prin ME. Toate aceste operații sunt executate în conformitate cu programul rezident în memorie DCM.

## 7.3. Structura unui multimetru monoprosesor

În figura7.3. se prezintă, ca exemplu, structura unui multimetru monoprosesor cu care se poate măsura tensiunea continuă  $U_x$ , tensiunea alternativă  $\tilde{U}_x$ , curentul electric  $I_x$  și rezistența electrică  $R_x$ .

Partea de echipamente analogice cuprinde cinci blocuri după cum urmează; blocul de adaptare a tensiunii continue, BATC; blocul de conversie și adaptare tensiune alternativă-tensiune continuă, BCTATC; blocul de conversie și adaptare curent-tensiune, BCCT; blocul de conversie și adaptare rezistență-tensiune, BCRT; blocul de filtrare, BF și convertorul analog-numeric, CAN.

Aceste blocuri comunică cu CAN și cu microprocesorul printr-o magistrală analogică MA precum și prin două magistrale numerice MN1 și MN2, care sunt izolate galvanic prin optocuplorul OC.

Partea de echipamente numerice are în componența sa: microprocesorul MP, panoul/pupitrul operatorului cu tastatura, POT, dispozitivul de decodificare și afișare numerică, DDAN, modulul de memorie MM și o interfață de comunicație cu alte aparate, conectate la o magistrală numerică externă ME, notată cu ICE.

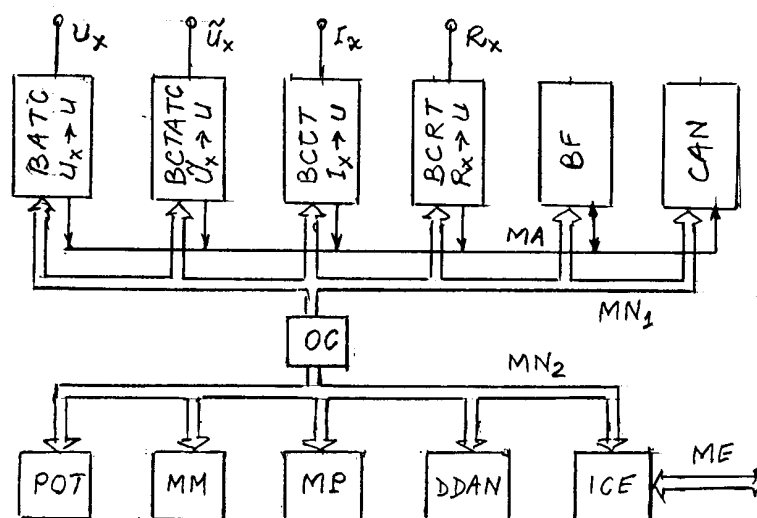


Fig.7.3. Schema bloc a unui multimetru cu microprocesor [7]

Comunicația între microprocesor și echipamentele numerice se face prin intermediul magistralei MN2.

În funcție de sarcinile de îndeplinit, de volumul și de complexitatea prelucrării datelor, precum și de rapiditatea cu care se dorește a fi efectuate toate aceste operații, aparatul de măsurare poate fi echipat cu un singur microprocesor sau cu mai multe, prin urmare structurile programabile pot fi mono sau multiprocesor.

În cadrul fiecărui bloc/dispozitiv component al aparatelor de măsurare există elemente/circuite/dispozitive de execuție a comenzilor emise de microprocesor și expediate prin magistrala de comenzi precum și elemente de comunicație cu microprocesorul așa încât să se poată realiza o buclă închisă prin microprocesor, de exemplu între CAN și microprocesor, între PCT și microprocesor ș.a.m.d.

## 7.4. Structura unui multimetru biprocesor

Într-o structură bi sau multiprocesor sarcinile microprocesoarelor se repartizează pe două sau mai multe nivele ierarhice sau se distribuie pe diverse echipamente de la același nivel ierarhic.

În figura 7.4. se prezintă o structură biprocesor cu sarcini repartizate la două nivele:

- > nivelul ierarhic inferior, asociat operațiilor ce au loc în echipamentele de tip analogic, inclusiv conversia analog-numerică;
- > nivelul ierarhic superior, asociat operațiilor de prelucrare a datelor de la nivelul inferior și de comunicație cu utilizatorul uman și cu alte aparate.

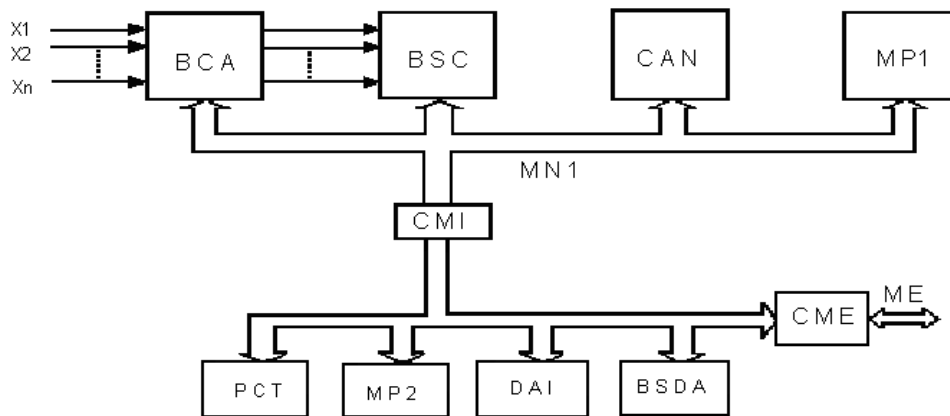


Fig.7.4. Schema bloc a unui AM cu două microprocesoare [7]

DCM de la nivelul inferior determină conexiunile și regimul de funcționare a blocului de condiționare a semnalelor, declanșează ciclurile de conversie analog-numerică și transferă rezultatele conversiei către DCM de la nivelul superior. Din componența acestui DCM, fac parte blocul de conversie și adaptare BCA, blocul de selecție a canalului de intrare BSC, convertorul analog-numeric CAN și microprocesorul MP<sub>1</sub>.

DCM de la nivelul superior recepționează datele de la DCM inferior, efectuează calculele necesare pentru a determina rezultatul final al măsurării și transferă acest rezultat către dispozitivul de afișare și/sau către alt destinatar. De asemenea, la acest nivel sau chiar și la nivelul inferior poate fi realizată și funcția de semnalizare a evenimentelor deosebite legate de măsurare cum ar fi depășirea unor limite admise, defecțiuni ale blocurilor componente și altele. Această funcție poate fi realizată de un bloc de semnalizare optică și acustică, BSOA, sau de către microprocesor, prin program și prin perifericele acestuia.

DCM de la nivelul superior are în componența sa microprocesorul MP<sub>2</sub>, panoul de comandă (operare) cu tastatura, PCT, modulul de memorie, MM, dispozitivul de afișare/înregistrare a rezultatului măsurării DAÎ, blocul de semnalizare optică și acustică, BSOA, și altele.

În acest sistem, magistrala de comunicație internă MN<sub>2</sub>, este conectată cu magistrala internă MN<sub>1</sub> prin intermediul cuplorului de magistrală, CMI, precum și cu magistrala externă ME, prin intermediul cuplorului, CME.

Principalele secvențe în funcționarea unui astfel de aparat sunt descrise în organigrama din figura 7.5.

## 7.5. Structura unor analizoare spectrofotometrice de absorbție

Analiza chimică a amestecurilor de gaze sau de lichide pe baza absorbției radiațiilor electromagnetice din spectrul UV, vizibil în infraroșu, este o metodă foarte rapidă și eficientă prin care se pot identifica componenții amestecului și determina concentrațiile acestora.

La baza acestei metode stă proprietatea diversilor componenți ai amestecului de a absorbi în mod diferențiat radiații cu anumite lungimi de undă și de a fi transparente la celelalte lungimi de undă. Procesul de absorbție diferențiată are loc într-o celulă de analiză adecvată care este supusă unui flux de radiații cu intensitate cunoscută [9].

La ieșirea din celulă, radiațiile cu lungimi de undă care coincid cu lungimile de undă ale benzilor de absorbție, specifice componenților prezenți în amestec, vor suferi o atenuare a

intensității lor, proporționale cu concentrația acestor componente, constituind astfel o măsură a concentrațiilor acestora.

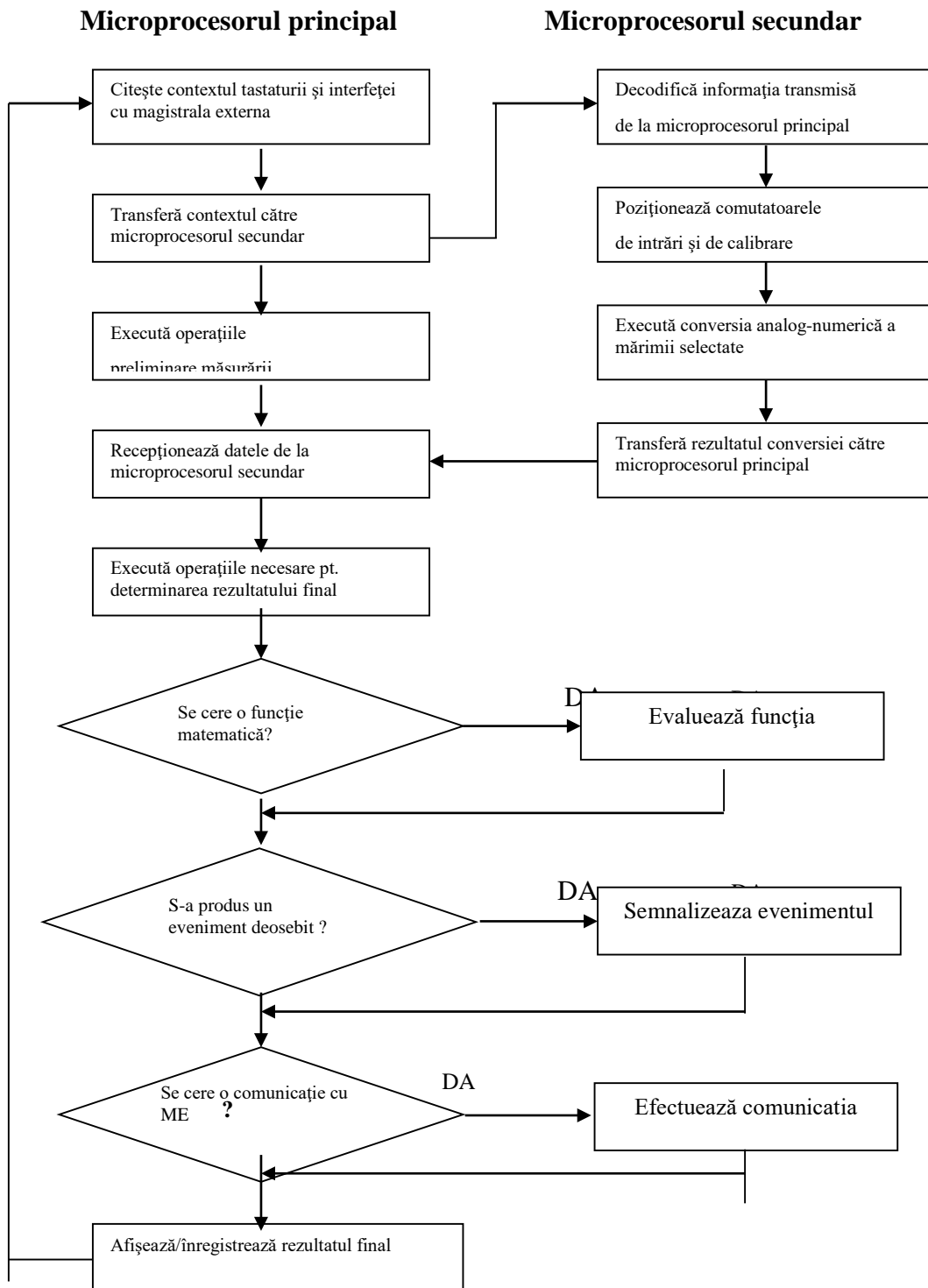


Fig.7.5. Principalele secvențe de funcționare a unui AM cu două microprocesoare [7]

Determinarea compoziției chimice cu această metodă necesită aparatură specifică de generare a radiațiilor, de detecție a gradului de atenuare a acestora la ieșirea din celula de analiză precum și un mare volum de calcule de determinare a concentrațiilor.

Detecția și analiza radiațiilor la ieșirea din CA poate fi făcută secvențial pe benzi de absorbție înguste sau poate fi făcută simultan pe întreg spectrul de radiații.

**Analizare cu descompunerea spectrului.** În figura 7.6 se prezintă structura unui analizor cu detecție simultană a fascicolului de radiații policromatice. Acest flux este descompus de către o rețea de difracție în fluxuri cu lungimi de unda aproape monocromatice care sunt apoi recepționate de către o rețea de câteva sute de fotoreceptori miniaturali [9].

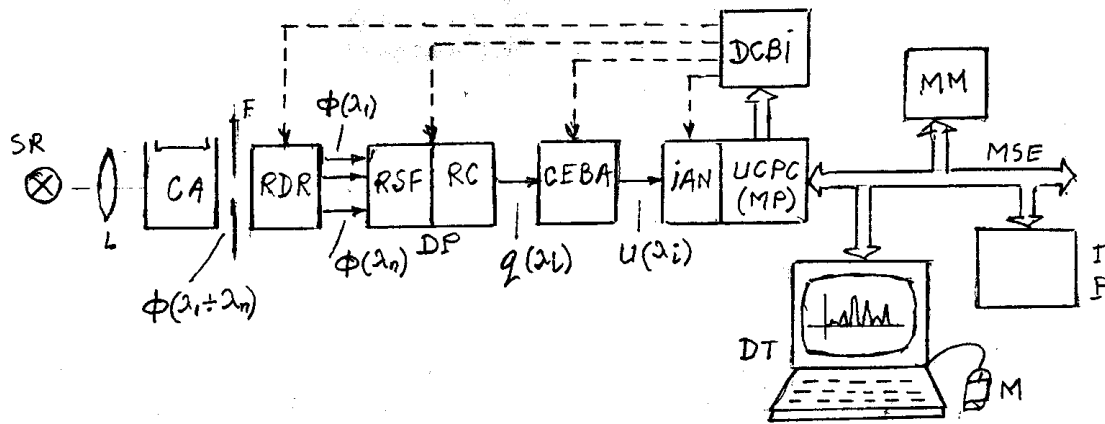


Fig.7.6. Schema simplificată a unui analizor multicomponent cu absorbție în UV și detecție cvazisimultană [9]

Aici, fluxul de radiații policromatice, emis de sursa, SR, traversează celula de analiză CA, lentila și fanta F și ajunge focalizat pe rețeaua de difracție prin reflexie, RDR, care dispersează acest fascicol în fascicule aproape monocromatice, ordonate după lungimile de undă. Fascicolul astfel dispersat cade pe rețeaua de senzori fotoelectronici, RFE, de tip fotodiode, care îl transformă în semnale electrice. Fiecare fotodiodă are o fantă de intrare dreptunghiulară cu lățimea de  $\sim 15\mu\text{m}$  și înălțimea de  $\sim 25\mu\text{m}$  și este conectată la un mic condensator al rețelei de condensatoare RC. Sarcina individuală a fiecărui condensator este măsurată secvențial de către un circuit electronic de baleiere și amplificare, CEBA și constituie o măsură a intensității fascicolului monocromatic recepționat, care însă este afectată de absorbția diverșilor componenți ai amestecului. Semnalele electrice asociate fiecărei lungimi de undă sunt prezentate grafic cu ajutorul unui display cu tub catodic, DT sau a unui ploter.

Răspunsul spectral al întregii rețele de fotodiode este determinat de concentrațiile diverșilor componenți absorbantți prezenți în amestec dar și de caracteristicile fotodiodelor, iar rezoluția este limitată de dimensiunile acestora, îndeosebi de dimensiunile fantelor.

Un asemenea detector policromatic, DPC, asociat cu circuite electronice corespunzătoare, inclusiv cele pentru afișare / înregistrare poate realiza o detecție rapidă a întregului spectru de radiații și permite punerea în evidență a acestui spectru sub formă analogică sau numerică.

Pe baza comparării spectrului de radiații obținut de la detectorul policromatic în absența din amestec a componenților urmăriți cu spectrul obținut în prezența acestor componenți se determină gradul de absorbție al fiecărei lungimi de undă și pe această bază se identifică.

În cadrul analizatoarelor moderne toate operațiile legate de analiza chimică sunt eşalonate și coordonate de către o unitate centrală de prelucrare și coordonare, UCPC, dotată cu microprocesor, vezi figura 7.6.

Intrucât UCPC este de tip numeric iar semnalele provenite de la CEBA sunt de tip analogic este necesar ca aceste entități să fie intermediare de o interfață analog-numerică, IAN.

Pe baza programelor rezidente în MM unitatea centrală emite comenzi de eşalonare și coordonare a blocurilor interne (RDR, RSF, RC, CEBA, IAN) prin intermediul unor dispozitive



de comandă a acestor blocuri, DCBI. De asemenea, execută calculele necesare evaluării concentrațiilor componentelor amestecului analizat și expediază rezultatele calculelor către un display pe tub catodic, DT, pentru a fi vizualizate sub formă de spectrogramă și/sau forma unui bulletin de analiză, redactat de o imprimantă, I.

Omunicația interactivă a utilizatorului/operatorului cu UCPG se realizează prin intermediul display-ului cu tastatură DT într-un mod similar cu cel de comunicație cu orice calculator de uz general.

**Analizoare cu detecție interferometrică.** Spectrometria interferometrică Fourier în infraroșu este o metodă modernă foarte rapidă și eficientă, care constituie o aplicație ingenioasă a conceptului de multiplexare în frecvență. Prin această metodă se determină simultan amplitudinea tuturor undelor din spectrul infraroșu.

Această metodă, relativ nouă, îmbină un aparat optic – interferometrul cu un principiu matematic – dezvoltarea în serie Fourier într-o abordare oferită de tehnica de calcul modernă, materializată în calculatoare numerice de mare performanță.

Recentele realizări în domeniul detectoarelor de radiații în infraroșu, folosirea laserului în structura interferometrului, realizarea de convertoare analog-numerice rapide și folosirea unor periferice moderne au condus la aplicarea din ce în ce mai largă a acestei metode.

Caracteristic pentru această metodă este faptul că prelevarea și prelucrarea mării cantități de date necesare trasării interferogramei și apoi a spectrogramei de absorbție se face într-o singură etapă cu ajutorul unui sistem alcătuit dintr-un interferometru cuplat cu un fotomultipliator ca detector de ieșire, capabil să recepționeze un spectru larg de frecvențe și să producă la ieșire un semnal complex, care cuprinde toate lungimile de undă.

Graficul acestui semnal pentru diversele poziții ale oglinzii mobile a interferometrului se numește interferogramă și reprezintă o amprentă spectrală codificată a compoziției chimice a mediului analizat, materializată în componența fascicului de radiații aplicat la intrarea interferometrului și care conține informații despre toate lungimile de undă prezente în acest fascicul. În figura 7.7 se prezintă schema de principiu a unui analizor interferometric cu multiplexare în frecvență, bazată pe analiza Fourier.

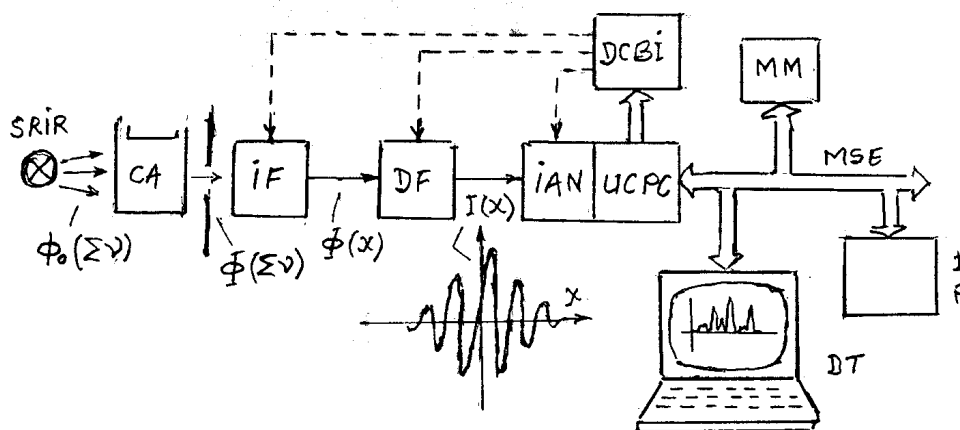


Fig.7.7. Schema simplificată a unui analizor multicomponent cu absorbție în IR și cu detecție simultană interferometrică [9]

Sursa de radiații infraroșii, SRI, focalizează un fascicul policromatic  $\Phi_0(\Sigma\nu)$  de intensitate relativ mare către celula de analiză CA. Trecând prin mediul de analizat, radiațiile emise de sursă suferă o absorbție diferențiată de energie a unor frecvențe specifice componentelor prezente în amestec. Acest fenomen se reflectă în spectrograma  $\Phi_0(\Sigma\nu)$  a fluxului la ieșirea din mediul de analizat.

Fluxul policromatic  $\Phi_0(\Sigma\nu)$  controlat prin apertura  $A$  pătrunde în interferometrul IF, cuplat cu detectorul policromatic DP, unde prin modificarea poziției oglinzii mobile a interferometrului se produce o codificare spectrală, care se materializează în forma semnalului de ieșire din detector  $I(x) = I[x, \Phi(\Sigma\nu)]$ . Acest semnal este deci dependent de diferența de drum optic  $x$  al celor două oglinzi față de oglinda semitransparentă, precum și de spectrul de radiații infraroșii aplicat la intrare. Graficul acestui semnal pentru diverse valori ale lui  $x$ , adică :

$$I(x) = f[x, \Phi(\Sigma\nu)], \quad (7.1)$$

reprezintă interferograma asociată mediului din celula de analiză.

Intensitatea fascicolului  $\Phi(x)$  modulată în interferometru prin deplasarea oglinzii mobile depinde de valoarea diferenței de drum optic a celor două fascicule interne și se determină din relația :

$$\phi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\Sigma\nu) \cdot \cos(2\pi \cdot \nu \cdot x) \cdot d\nu, \quad (7.2)$$

iar semnalul electric furnizat de fotomultiplicator are o formă similară :

$$I(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\Sigma\nu) \cdot \cos(2\pi \cdot \nu \cdot x) \cdot d\nu. \quad (7.3)$$

Extragerea informației spectrale  $\Phi(\Sigma\nu)$  din interferograma  $I(x)$  se face pe baza calculului transformatei Fourier a ecuației (3.3.3) conform relației :

$$\Phi(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} I(x) \cdot \cos(2\pi \cdot \nu \cdot x) \cdot dx. \quad (7.4)$$

Această operație este foarte laborioasă și necesită foarte mult timp. Recent însă, în 1965, Cooleg și Tucey au elaborat un algoritm care reduce substanțial timpul de calcul față de alți algoritmi clasici.

Pentru a avea date despre intensitatea fiecărei lungimi de undă a radiației analizate, semnalul  $I(x)$  se eșantionează și se digitizează la intervale foarte mici ale deplasării oglinzii mobile. Numărul de date ce trebuie colectate pentru a obține o rezoluție și o precizie fotometrică mulțumitoare este foarte mare. Este vorba de cel puțin 10 000 de date care se colectează în memoria unui calculator, ca apoi să fie imediat transformate prin calcul în date ale unui spectrogramă normale  $I = \varphi(\nu)$  sau  $I = f(\lambda)$ , care urmează a fi înregistrată sub una dintre forme.

Prelucrarea, calculul și gestiunea semnalelor  $I(x)$  și  $\Phi(\Sigma\nu)$  sunt realizate de către o unitate centrală de prelucrare și comandă UCPC a unui calculator dedicat, programat corespunzător și dotat cu interfețele și perifericele necesare: display cu tastatură, DT, plotter, P, module de memorie, MM ș.a.

Pentru a obține pe cale experimentală spectrul de radiații în transmitanță al unei probe se înregistrează mai întâi spectrul de fond de absorbție parazită  $I_0 = f(\lambda)$  fără probă, al aparatului folosit și se depozitează în memorie interferograma obținută fără proba de analizat. După această operație se ridică experimental interferograma probei analizate  $I = f(\lambda)$ . În final se calculează spectrul convențional pe baza raportului  $R=I/I_0$  pentru fiecare lungime de undă. În acest fel se elimină influența negativă a mediului ambiant (absorbție  $\text{CO}_2$  și  $\text{H}_2\text{O}$ ) într-un mod asemănător cu cel din aparatele cu două canale optice.

**Partea a II-a**

# **Aplicații**



# 1 . Studiul unui sistem de achiziție date, monitorizare și gestionare a stocurilor din parcurile de rezervoare

## 1.1. Considerații generale

În ultimele două decenii câteva firme au realizat și comercializat mai multe variante de sisteme folosite pentru măsurarea și gestionarea stocurilor de produse depozitate în parcuri de rezervoare ale rafinăriilor de petrol, ale schelelor petroliere, ale terminalelor de expediție/recepție produse petroliere ș.a.

Toate aceste sisteme sunt alcătuite din echipamente și/sau programe modularizate, specializate pe funcții specifice, care pot fi combinate într-o mare varietate de structuri programabile inteligente, ierarhizate la două sau trei nivele și distribuite pe întinderi relativ mari.

Cu astfel de produse poate fi implementat atât conceptul de supraveghere centralizată automată și achiziție de date de tip SCADA (Supervisory Centralised Automatic Data Acquisition) cât și conceptul de Control Automat Distribuit DCS (Distributed Control System) realizând astfel sisteme cu acțiune (funcționare) în timp real.

Structurile de echipamente ale acestor sisteme se stabilesc în funcție de obiectivele ce se doresc a fi realizate precum și de produsele realizate în domeniul elaborării de programe pentru calculator. În prezent există numeroase echipamente care pot fi integrate în astfel de sisteme precum și medii de programare și produse-program deosebit de eficiente, care pot fi folosite în acest scop.

Principalele tipuri de echipamente ce pot fi integrate în sisteme de tip SCADA sau de tip SCD sunt următoarele:

- **Nivelmetre cu unde radar NUR**, care măsoară nivelul din fiecare rezervor, îl afișează local și îl transmite la dispecer pe semnal analogic standard sau pe semnal numeric printr-o magistrală de date. Opțional aceste echipamente pot îndeplini și funcția de afișare locală a nivelului precum și funcția de alarmare în cazul ieșirii nivelului din limitele admisibile.

- **Traductoare și aparate de măsurat** alți parametri decât nivelul, precum: temperatura, presiunea, densitatea cu afișarea locală și/sau la dispecer a valorilor acestor parametri.

- **Unități de achiziție de date locale UAD** altele decât nivelul, cu ajutorul cărora se colectează date locale în vederea transmiterii acestora la dispecerul central.

- **Elemente de execuție EE** pentru dirijarea fluxurilor de materiale, precum robinetele de reglare, robinetele de izolare ș.a.

- **Magistrale de câmp MC**, adică magistralele pe care se transmit datele obținute la nivelul de bază sau transmise la acesta.

- **Magistrale de grup MG**, adică acele magistrale seriale pe care se transmit date de pe două sau mai multe magistrale de câmp prin intermediul interfeței RS 232 sau RS485;

- **Unități de comunicație și de conexiuni de câmp UCC**, care se folosesc pentru dirijarea datelor transferate între magistrale de câmp și o magistrală de grup. Acestea sunt interfețe între două tipuri de magistrale și îndeplinesc și funcția de concentratoare de date.

- **Magistrale standard evoluate** ca MODB145;

- **Modemuri** pentru magistrale de câmp sau de grup MD care asigură transmisie serială între interfața operatorului de proces și magistralele de câmp prin intermediul interfeței RS232 sau RS485.

- **Interfața operatorului de proces IOP**, constituită din echipamente și programe pentru prelucrarea datelor din parcul de rezervoare în vederea evaluării cantităților de lichide din rezervoare, inventarierii, bilanțării, alarmării, arhivării etc.

Interfața hardware poate fi realizată de un calculator PC dotat cu perifericele necesare (display, tastatură, imprimantă etc.), de o stație grafică, de un automat logic programabil, de o rețea de calculatoare locală de tip Ethernet sau chiar Internet.

Toate echipamentele integrate în astfel de sisteme trebuie să satisfacă cerințele unor standarde internaționale precum API, ASTM, ISO ș.a. precum și cerințele unor norme privind protecția antiex, protecția mediului ș.a.

Interfața software este materializată prin diverse produse program de uz general, dar mai ales sub forma unor produse program dedicate, elaborate de cele mai renumite firme din domeniu. Ca exemplu se poate da produsul-program FuelsManager al firmei Endres+Hauser, produsul program TankMaster al firmei Saab-Rosemont, produsul-program Microsoft Windows Grafical User Interface al firmei Microsoft ș.a.

În cadrul celor mai evoluate sisteme interfața operatorului de proces este alcătuită dintr-o rețea de calculatoare la care au acces mai multi utilizatori/beneficiari. În cadrul acestor interfețe evoluate se crează și se actualizează fișiere și/sau baze de date referitoare la rezervoare, la proprietățile produselor vehiculate sau la alte date implicate în diverse calcule.

## 1.2. Structuri de sisteme

În figura 1.1 este prezentată o structură realizabilă începând cu două decenii în urmă, caracterizată prin integrarea într-un sistem a unor echipamente și programe, elaborate la etape diferite de către firme diferite și care permite monitorizarea parcului de rezervoare de la un singur punct dispecer, la care datele se transmit prin magistrale de date. O astfel de structură se poate adopta în vederea modernizării sistemelor vechi păstrând unele elemente existente în ele dar introducând și soluții noi mai eficiente.

În cazul structurii din figura 1.1 elementele componente ale sistemului sunt amplasate la trei nivele ierarhice și anume:

- la nivel de bază în parcul de rezervoare;
- la nivel intermediar;
- la nivel central în camera dispecerului.

La nivelul de bază sunt amplasate nivelmetrele cu unde radar NUR (cu transmitere la distanță a nivelului). Aici sunt amplasate traductoarele de temperatură, de presiune și de densitate, toate dotate cu dispozitive de transmitere pe semnale standard: analogice și/sau numerice. Tot aici sunt amplasate și elementele de execuție necesare pentru dirijarea fluxurile de fluide.

Toate aceste echipamente comunică cu echipamentele de la nivel intermediar sau cu echipamente de la nivel central prin intermediul unor magistrale de câmp MC.

La nivelul intermediar sunt amplasate echipamente de interfață pentru extensia ariei de cuprindere de la nivelul de bază, făcând posibilă o concentrare a datelor provenind de la mai multe magistrale de câmp într-o singură magistrală de grup. Opțional, la acest nivel poate fi conectat și un calculator portabil pentru efectuarea unor operații de service.

La nivel central sunt amplasate echipamentele de interfațare cu operatorul de proces, adică echipamentele de prelucrare a datelor din proces pentru a realiza obiectivele prestabilite: gestionarea nivelelor și cantităților, protocolarea, alarmarea, bilanțarea, arhivarea datelor ș.a.

Tot aici sunt amplasate modemurile pentru magistrale de date precum și opțional un calculator portabil de service.

Prin proiectarea corespunzătoare a structurii hardware și software sau prin adoptarea și configurarea corespunzătoare a unor structuri recomandate de firmele de prestigiu din domeniu pot fi realizate oricare din următoarele obiective:

- **Calculul rapid și precis al stocurilor de produse** din fiecare rezervor, inventarierea acestor stocuri la cerere sau periodic la anumite ore, pe schimb, zilnic ș.a.m.d.
- **Întocmirea periodică sau la cerere a unor rapoarte** tipizate privind starea parcului de rezervoare cu referire la stocuri și la alți parametri de exploatare.
- **Evaluarea permanentă a mișcării de produse** înspre și dinspre parcul de rezervoare cu referire la debite, stocuri și alți parametri de exploatare.
- **Alarmarea** în caz de ieșire a nivelelor de lichid din rezervoare în afara limitelor normale sau prestabilite sau în cazul altor situații periculoase, pericol de foc, de explozii ș.a.

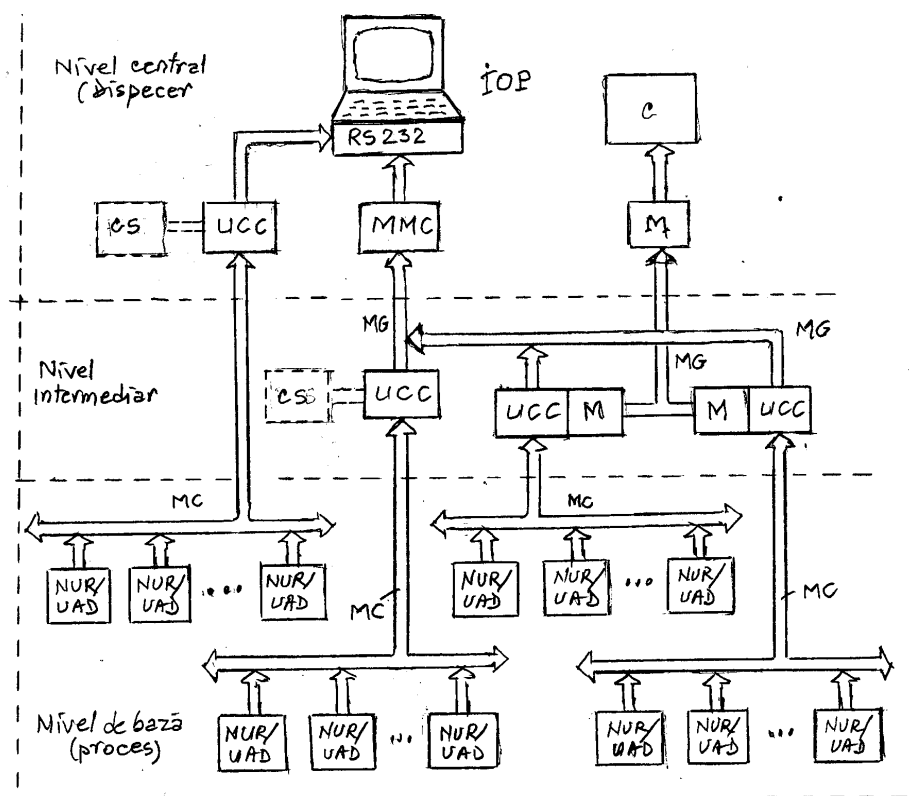


Fig.1.1. Sistem de achiziții și prelucrări de date din parcuri de rezervoare [7]:  
 NUR – nivelmetru cu unde radar; UAD – unitate de achiziție date; M – modem;  
 MMC – modem pentru MG; IOP – interfața operatorului de proces;  
 CS – calculator de service; C – calculator gazdă.

- **Redactarea și eliberarea documentelor fiscale** de tranzacționare a transferului de gestiune/custodie pentru cantitățile de produse primite în parc sau expediate din acesta.
- **Arhivarea celor mai importante date și evenimente** din ultima perioadă de exploatare (zile, luni) a parcului în vederea unei eventuale analize a posibilelor accidente sau funcționalități ale sistemului.

Folosirea unor astfel de sisteme mărește foarte mult eficiența gestiunii și mișcării de produse în parcul de rezervoare și reduce în aceeași măsură riscul unor manevre greșite și pericolului de accidente.

Unul din cele mai atractive produse software cu care pot fi realizate obiectivele menționate mai înainte este programul FuelsManager elaborat de firma Endres+Heuser și care

poate fi emulat pe calculatoare PC sau pe stații grafice sub sistem de operare UNIX, Windows ș.a.

În figura 1.2 se prezintă o structură modernă care poate fi realizată în prezent și care este caracterizată prin integrarea unei familii de echipamente și programe compatibile de ultimă creație într-un sistem amplu de tip rețea de comunicație magistrale performante (MODBUS, FIELDBUS) la care au acces mai mulți operatori ai acesteia. O astfel de structură oferă posibilități aproape nelimitate de realizare a oricărui obiectiv de monitorizare și control.

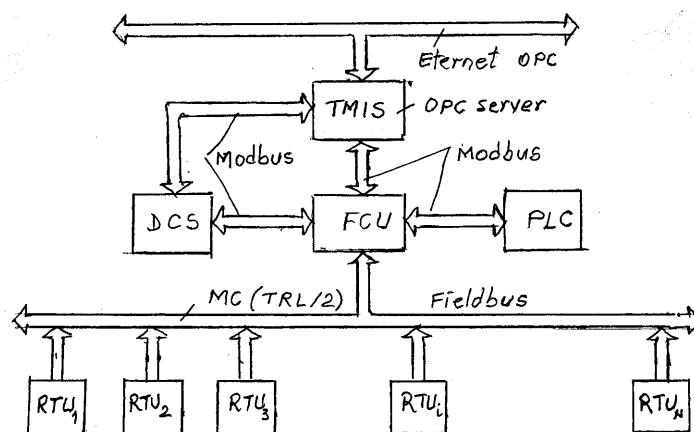


Fig.1.2. Sistem de achiziție și prelucrări de date din parcuri de rezervoare [7]:

DCS – sistem de control distribuit; PLC – automat logic programabil;

FCU – unitate de conexiuni la magistrale; TMIS – TankMaster Inventory Software;

RTU – unități terminale la distanță.

Adoptarea unei astfel de structuri prezintă o serie de avantaje, dintre care se remarcă:

- ușurința integrării echipamentelor componente într-un sistem, nemaifiind necesare adaptări în vederea compatibilizării echipamentelor cu care se operează;
- micșorarea numărului de tipuri de echipamente și semnale și, implicit, simplificarea integrării, întreținerii și reparațiilor;
- performanțele superioare ale familiei de echipamente care, în general, sunt de concepție mai nouă cu funcții noi;
- capabilități de lucru în rețea cu mai multe puncte de operare prin care se pot obține date și se pot introduce comenzi;
- configurare, reconfigurare și instalare a sistemului mai ușoare datorită îndrumărilor ce pot fi primite din partea ghidului Wizard, care ajută utilizatorul în realizarea obiectivelor urmărite;
- posibilitatea vizualizării datelor solicitate (nivele și cantități) sub formă grafică;
- expedierea de rapoarte via e-mail sau telefon mobil;
- posibilitatea depistării scurgerilor din rezervoare sau conducte;
- alarmare diferențiată pe grade de pericolozitate și cu verificarea celui ce a luat primul la cunoștință evenimentul alarmat;
- restricționarea accesului și intervenției diverselor categorii de utilizatori ai rețelei la datele din rețea și, mai ales, la setarea sau modificarea parametrilor de exploatare ai sistemului;
- parolarea și identificarea utilizatorilor care au acces nelimitat la date.

Toate aceste facilități sunt realizabile de către sistemul de echipamente și programe TankMaster al firmei Saab-Rosemont.



**Aplicație.** Sistemul de echipamente și programe TankMaster al firmei Saab-Rosemont.



Fig. 1.3. Sistemul Saab TRL/2

**Traductorul de nivel RTG-2940** este un dispozitiv de măsurare a nivelului produselor din rezervor, de tip radar, montat pe un tub de ghidare (țeava de liniștire) cu diametrul între 6” și 12”. Acest dispozitiv prezintă cea mai mare precizie de măsurare și are o fiabilitate crescută deoarece nu prezintă părți în mișcare și nu are contact cu lichidul.

Principiul de măsurare se bazează pe transmiterea unor unde radar cu ajutorul unei antene de formă conică, către suprafața lichidului din țeava de liniștire.

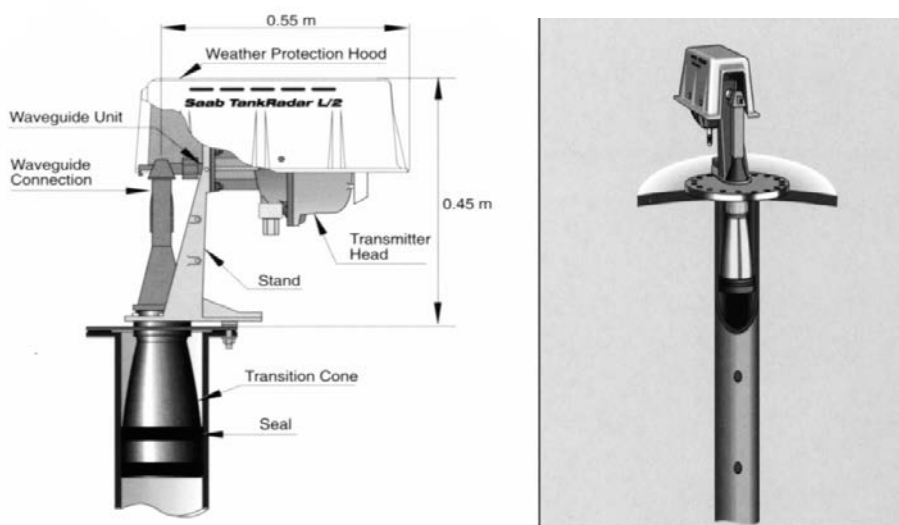


Fig.1.4. Traductorul de nivel RTG 2940 [16]

**Unitatea de comunicație FCU2160** este un concentrator de date care preia datele din sistemele radar de măsurare în rezervoare și le stochează într-o memorie tampon. De câte ori o cerere de date este primită unitatea de comunicații poate trimite imediat date de la un grup de rezervoare din memoria tampon actualizată (fig.1.5).

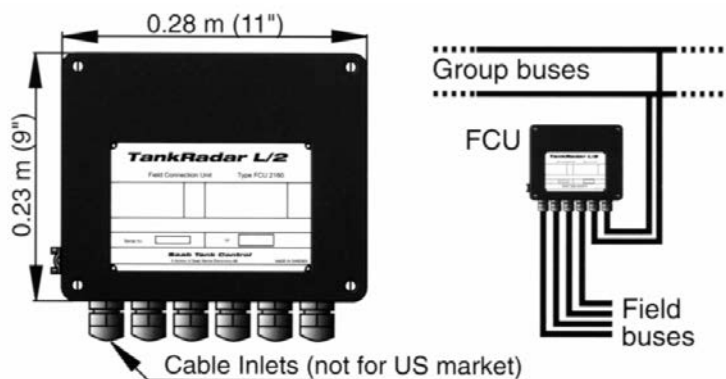


Fig.1.5. Unitatea de comunicație FCU2160

**Interfața de operare OPI/2** - Software-ul OPI este un produs pentru calculatoarele de tip PC conectate la sistemul de măsurare în rezervoare TankRadar L/2. OPI ușurează mânăuirea informațiilor privind nivelurile de temperatură și nivelul produselor în rezervoare și facilitează accesul la opțiunile oferite de acest sistem de măsurare (fig.1.6).

Aplicațiile OPI pot varia de la a afișa serviciile de bază și de a oferi unelte de configurare până la a fi operatorul principal de operare și afișare pe mai multe stații de lucru.

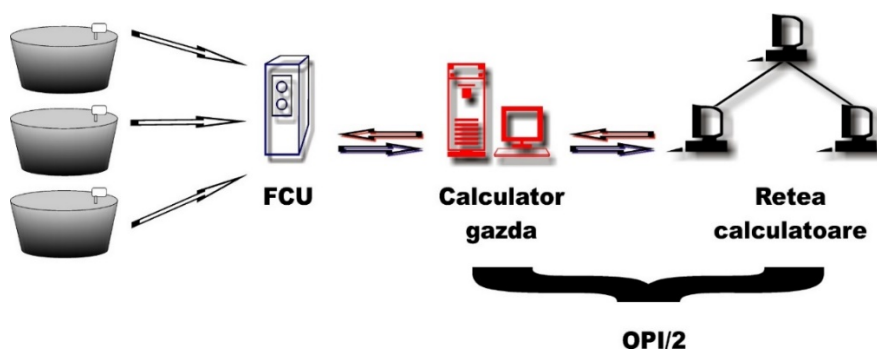


Fig.1.6. Interfața de operare

OPI/2 oferă o gamă variată de funcții: date referitoare la fiecare rezervor în parte, date conținând nivelul, temperatura în puncte etc. Se pot grupa rezervoarele pe criterii: de exemplu, în funcție de poziția geografică sau pe grupe de produse.

Listele de evenimente împreună cu listele de alarme permit un management ușor. Fereastra de mișcare a produselor dintr-un rezervor oferă posibilitatea de a afișa mișcarea fluidelor în rezervoare și poate permite configurarea pentru alarme de pierdere de produse (scurgeri). Programul este ușor de manevrat, conținând ferestre de asistență, ghiduri de utilizare și control via mouse.

#### **Caracteristici OPI/2**

- Afișarea nivelului din rezervor și a temperaturii;
- Alarme nivel minim, maxim și alarme intermediare;
- Alarme pentru temperaturi maxime și minime;
- Configurarea rezervorului și alte funcții de configurare;
- Funcții de evidențiere a erorilor conectate la majoritatea calculatoarelor gazdă;

- Detecție de scurgeri eficientă;
- Densitate online (cu traductor de presiune conectat);
- Poate fi sigilat pentru utilizarea legală metrologică;
- Operațiuni complete de inventariere și transferul custodiei.

Schema bloc a sistemului de achiziție date și monitorizare este prezentată în figura 1.6:

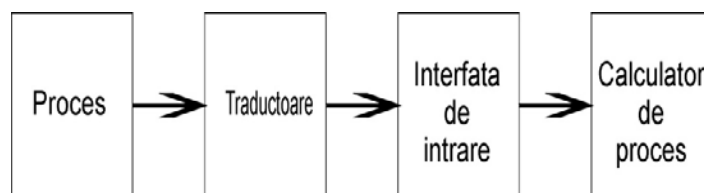


Fig.1.6. Schema bloc a sistemului de achiziție date și monitorizare

Calculatorul urmărește evoluția parametrilor din proces prin intermediul traductoarelor, fiind conectat fizic la acestea. Unui asemenea calculator i se pot încredința sarcini care privesc cunoașterea stării și avertizare.

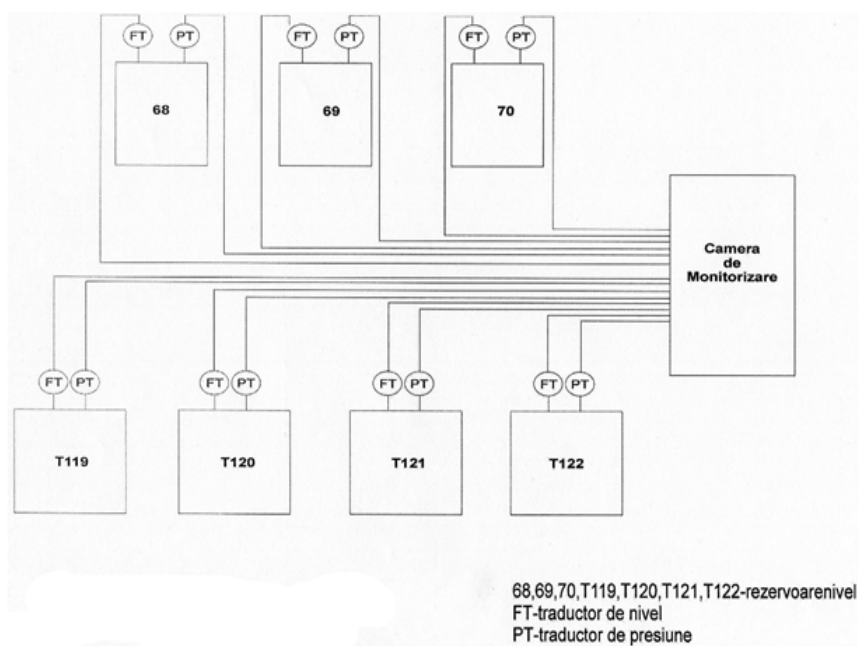


Fig.1.7. Schema de automatizare a unui parc de rezervoare

Implementând sistemul de achiziție date și monitorizare Saab TankRadar L/2 în cadrul parcului de rezervoare se urmărește:

- obținerea unor efecte de durată, în condițiile asigurării securității personalului operativ și protecției mediului înconjurător;
- reducerea costului total de operare;
- siguranța în funcționare;
- precizie;
- flexibilitate sporită;
- scalabilitatea sistemului de achiziție și monitorizare;

- prevenirea pierderilor și a deversărilor;
- posibilitatea automatizării circuitului produselor;
- instalare ușoară;
- etc.

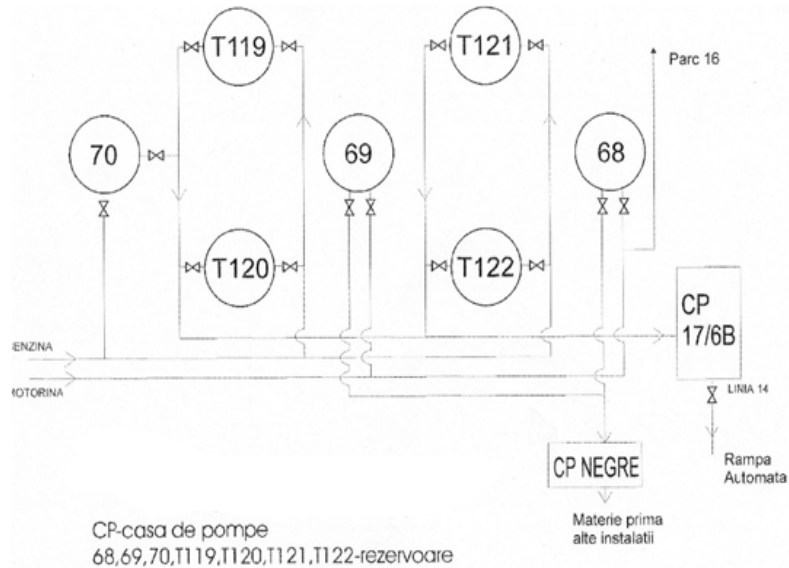


Fig.1.8. Schema tehnologică a parcului de rezervoare

## 2. Studiul traductorului inteligent de presiune ST 3000

### 2.1. Considerații generale

Traductoarele, cunoscute frecvent sub numele de dispozitive de măsurare, sunt destinate pentru măsurarea mărimilor pe baza cărora se realizează conducerea proceselor. Acestea sunt montate de regulă pe bucla de reacție. Traductorul este un element din structura unui sistem de automatizare, care are rolul de a sesiza valorile parametrului de măsurat și/sau reglat și de a-l converti într-o mărime fizică ce este compatibilă cu mărimea de intrare în elementul următor al sistemului.

Traductoarele de presiune diferențială, sunt probabil cele mai cunoscute și cele mai folosite dispozitive, pentru detectarea și măsurarea nivelului.

Această metodă este una indirectă, folosind presiunea exercitată de o coloană de lichid asupra unei diafragme, datorită greutății acestei coloane și multiplicând-o cu variabila densitate a lichidului.

Metoda hidrostatică este folosită pentru rezervoare (incinte, vase, recipiente) închise (sub presiune) sau deschise (la care se ține cont și de presiunea atmosferică, presiune la care se află lichidul din recipient).

În cazul recipientelor închise, datorită faptului că lichidul din interiorul vasului nu este la presiune atmosferică, atât limita inferioară cât și cea superioară a nivelului trebuie sesizate (senzorii acestor limite trebuie să comunice direct cu traductorul).

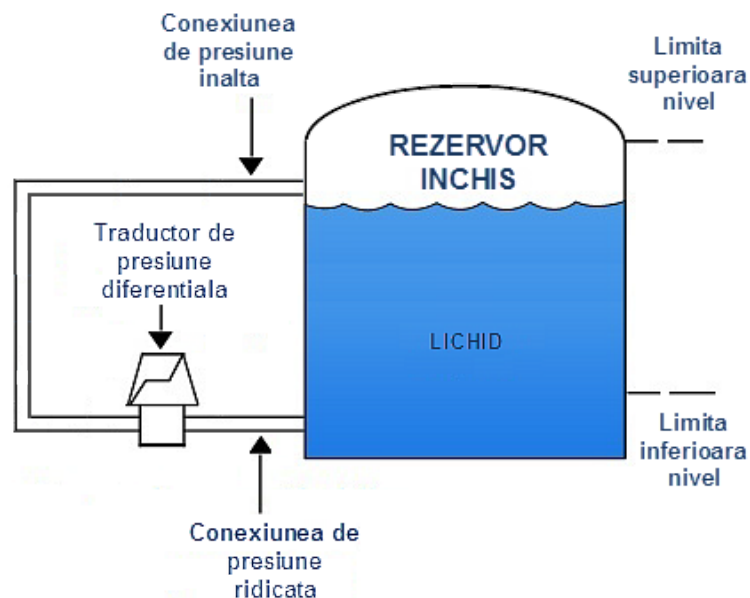


Fig.2.1. Principiul de funcționare al unui traductor hidrostatic pentru un rezervor închis

În cazul recipientelor deschise, doar capatul coloanei de lichid, care are presiunea cea mai mare (care corespunde limitei inferioare de nivel), trebuie conectat la traductorul de

presiune diferențială, în timp ce presiunea inferioară (care corespunde limitei superioare de nivel) este considerată ca fiind presiunea atmosferică. Așadar, presiunea diferențială este dată de greutatea coloanei de lichid.

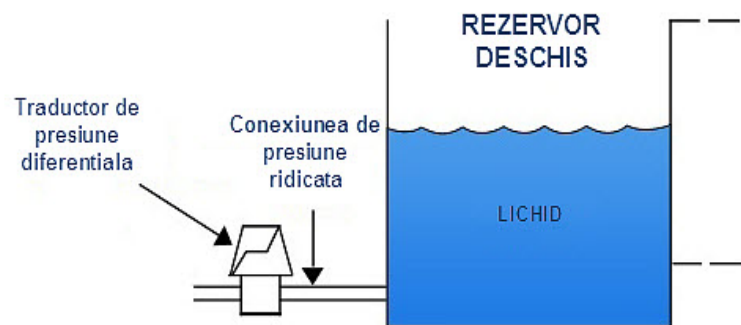


Fig.2.2. Principiul de funcționare al unui traductor hidrostatic pentru un rezervor deschis

Nivelul cel mai înalt al coloanei de lichid (limita superioară) detectat de către traductorul de presiune diferențială este în dependență directă cu înălțimea coloanei de lichid, deasupra traductorului. Așadar, poziția inferioară, detectată, a nivelului, se bazează pe poziția unde traductorul este instalat (atașat vasului).

## 2.2. Traductorul inteligent ST 3000 seria 900

Traductorul inteligent cu transmiter ST 3000 este produs de compania Honeywell într-o varietate de modele pentru măsurări de presiune: presiune diferențială, presiune relativă și presiune absolută. Acesta transpune presiunea măsurată pe semnal de ieșire analogic liniar  $I = 4\div 20$  mA, precum și pe semnal numeric pentru comunicație numerică cu sistemul TPS, Allen-Bradley PLC și alte sisteme de control.

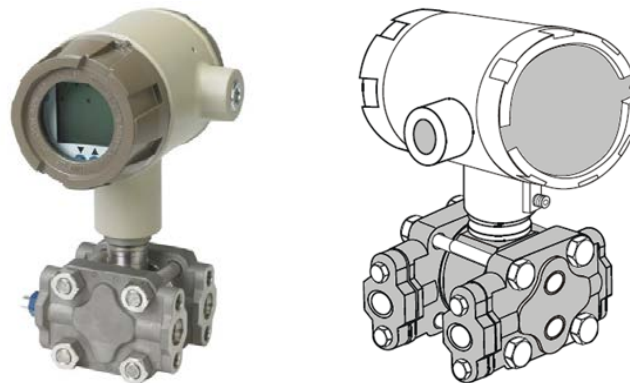


Fig.1.3. Traductorul inteligent ST 3000 [17]

Domeniul de măsură	Presiune diferențială de la 1 mbar la 140 bar
Semnal de ieșire	4-20 mA și/sau protocol HART
Suprapresiune:	210 bar sau 420 bar
Precizia de măsurare:	de la $\pm 0.075\%$
Tensiune de alimentare:	10.8- 45 Vcc
Temperatura de lucru:	-40...+85 ° C

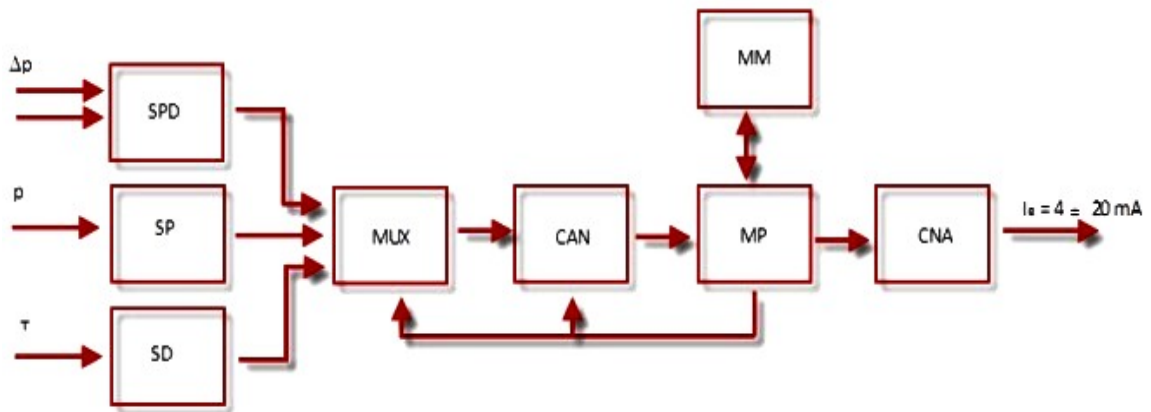


Fig. 2.4. Schema bloc simplificată a traductorului inteligent ST 3000 în mod de operare analogic [17]

În afară de presiune, traductorul transpune pe semnal și temperatura câmpului de măsurat ca o variabilă secundară, care este accesibilă numai ca parametru de citit prin intermediul comunicatorului de câmp inteligent (Smart Field Communicator, SFC) când traductorul funcționează în mod analog.

Configurarea, monitorizarea, verificarea metrologică, schimbarea modului de operare (analog/numeric) se face cu ajutorul comunicatorului de câmp inteligent SFC, care servește ca o interfață de comunicație cu toate traductoarele firmei Honeywell.

Acest aparat se poate conecta cu orice tip de traductor prin intermediul unui port serial, iar comunicația se face după principiul cerere-răspuns. Cererea este adresată microprocesorului, iar răspunsul este dat de acesta – figura 2.5.



Fig. 2.5. Comunicația prin SFC [17]

Prin intermediul SFC pot fi realizate următoarele funcții:

Configurarea traductorului pe baza introducerii parametrilor de operare ai acestuia și anume:

- domeniul de măsurare;
- conformitatea ieșirilor;
- alocarea de adrese de identificare;
- afișarea presiunii de intrare în diferite unități de măsură inginereste și în procente;
- schimbarea modului de operare: mod analogic și mod numeric;
- verificarea condițiilor în care se fac măsurările pentru a diagnostica și afișa eventuale erori și defecțiuni prin mesaje corespunzătoare.

### Elementul sensibil (celula de presiune diferențială)

Elementul sensibil al traductorului de presiune diferențială este, în cazul nostru, o diafragmă de tipul balanței de forțe.

Această diafragmă este statică și se găsește într-o capsulă (în corpul de măsură al traductorului), plină cu lichidul al cărui nivel se măsoară.

Datorită faptului că diafragma este înconjurată de lichid pe ambele fețe, presiunea, acționează continuu asupra ei. Bara de forțe este cea care menține în echilibru forțele ce acționează asupra fețelor diafragmei.

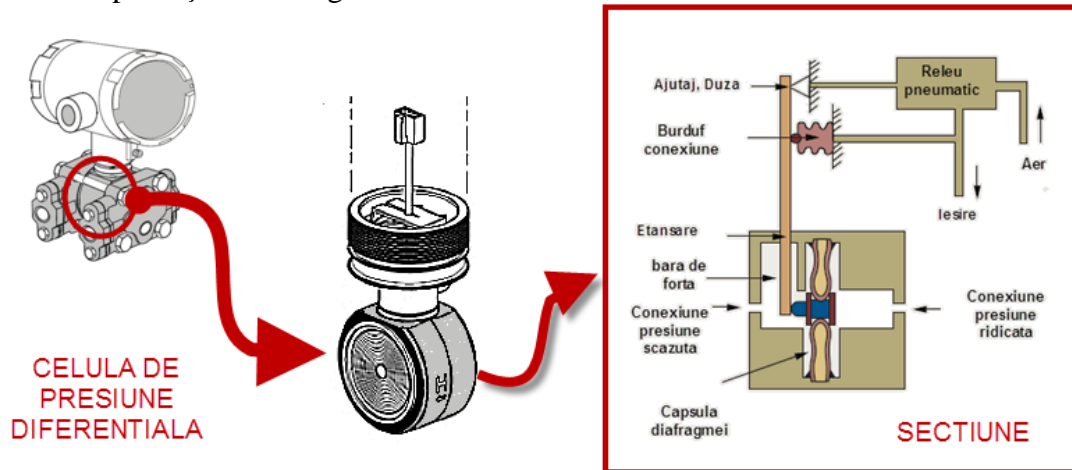


Fig. 2.5. Celula de presiune diferențială

Principiul de funcționare al diafragmei relevă faptul că diferența dintre cele două presiuni este egală cu înălțimea coloanei de lichid, înmulțită cu greutatea specifică.

$$\Delta P = h \cdot G_s \quad (2.1)$$

Prin definiție, greutatea specifică este raportul dintre densitatea lichidului al cărui nivel este măsurat și densitatea apei pure, la presiune atmosferică.

La folosirea celulei de presiune diferențială, efectul barometric al variației presiunii (din cauza vaporilor cu presiune mai mare decât presiunea atmosferică) este anulat datorită expunerii lichidului de măsurat la presiunea atmosferică. **Așadar, valoarea înregistrată de către celula de presiune diferențială este valoarea nivelului de lichid din rezervor.**

## 2.2. Măsurări cu traductorul ST 3000

Montajul care face scopul acestei lucrări, a fost proiectat pentru măsurarea în regim continuu a nivelului de lichid aflat la interiorul unui vas.

Înălțimea coloanei de apă va fi măsurată între reперele de maxim și minim, aflate la o distanță una de cealaltă de 600 mm (această distanță corespunzând calibrării traductorului).





Fig.2.6. Montajul experimental pentru studiul traductorului ST3000

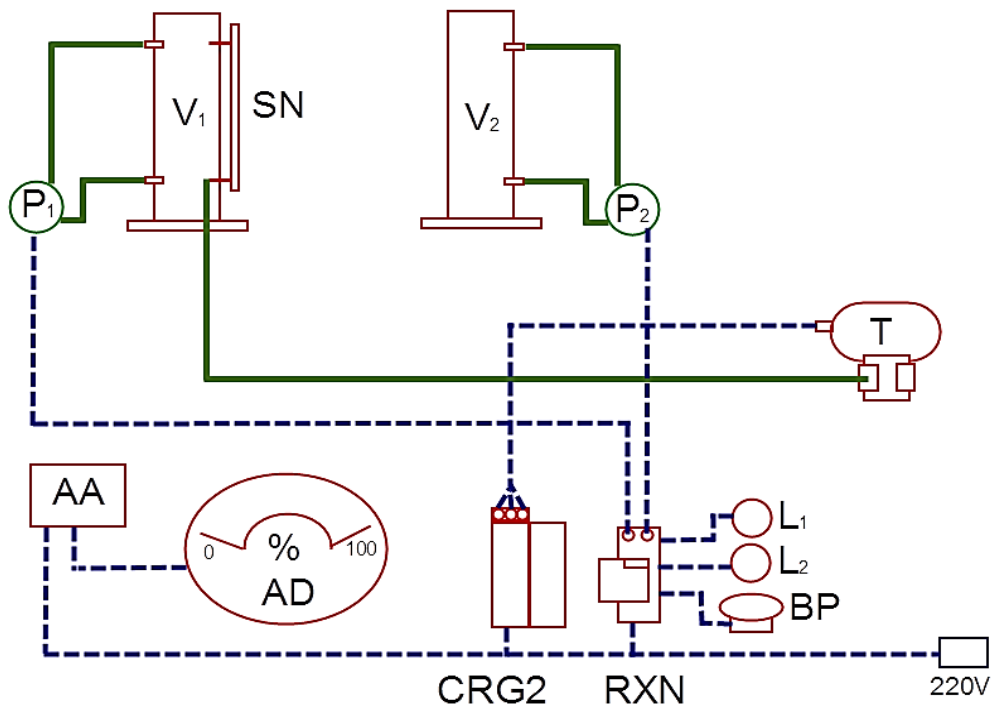


Fig.2.7. Schema bloc a montajului experimental

Montajul este compus din:

### 1. Traductor ST3000 seria 900 fabricație Honeywell

- **Traductorul** este calibrat să măsoare în mod continuu, o coloană de lichid (în cazul nostru, apa de la robinet), de până la 600 mm aflată între cele două repere (maxim și minim). Acesta va afișa măsura nivelului în procente atât pe cadranul propriu, cât și pe un afișaj electronic anexat lui în montaj.



Fig.2.8. Traductorul inteligent ST 3000

### 2. Vase (care conțin coloana de lichid al cărei nivel se măsoară)

- **Vasele** (coloanele de lichid) sunt fabricate din PVC. Conexiunea dintre cele două coloane și traductor respectiv pompe, se face cu ajutorul unor furtunuri (tuburi flexibile) din cauciuc. Acestea sunt racordate cu ajutorul unor stuțuri.



Fig.2.9. Vase de măsură și racorduri

### 3. Alimentatorul traductorului KFU8-CRG2-1D, fabricație Pepperl & Fuchs

Acest alimentator are și rolul de a izola semnalul produs de către traductor. Converteste o partiție de semnal parametrizabil într-un semnal de curent proporțional (între 4 și 20 mA). Acest semnal, va fi transferat către indicator (afișaj) sau către o altă intrare analogică a procesului (precum un sistem de control). Cele două relee ale procesorului de semnal, pot monitoriza două valori de declanșare ale semnalului de intrare.

Așadar, în momentul când coloana de lichid atinge limita maximă admisă de către traductor (600mm), procesorul de semnal va înregistra o alarmă (valoarea 1 de declanșare) care va fi transpusă într-un semnal către releul de pornire a pompei 1. Aceasta va funcționa până când coloana de lichid va atinge limita minimă (0mm), moment în care va înregistra o a doua alarmă (valoarea 2 de declanșare). La atingerea acestuia, pompa 1 se va opri și va fi pornită pompa 2.

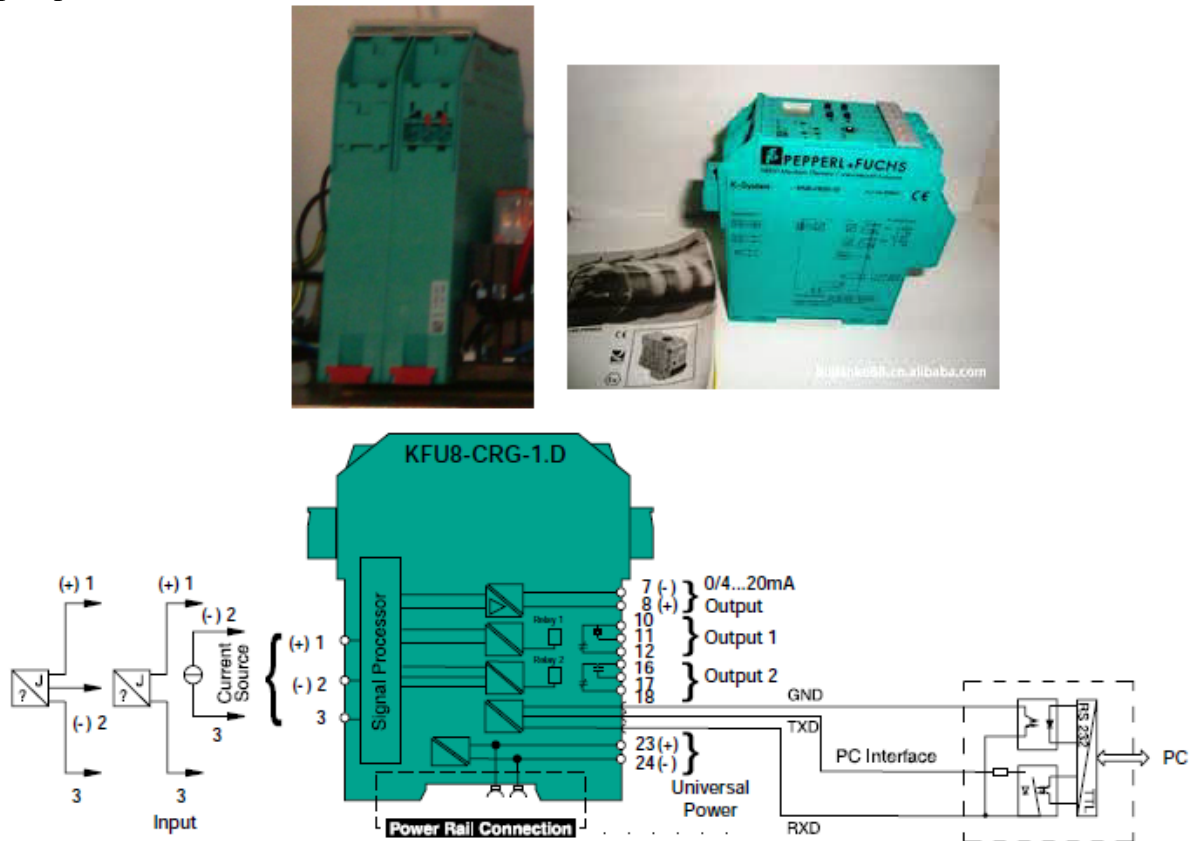


Fig.2.10. Alimentator

#### 4. Releu miniatural RXN-41G11-P7 produs de Telemecanique (Schneider Electronics)

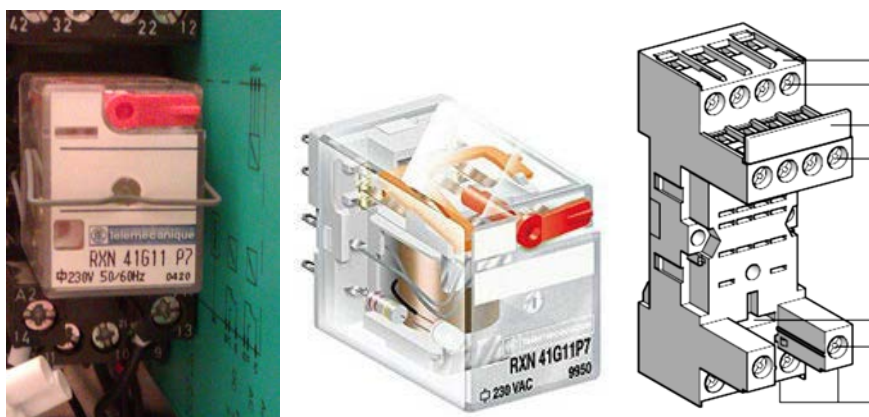


Fig.2.11. Releu

Acest releu reprezintă partea de protecție și comandă a montajului. Caracteristica principală a sa este răspunsul la variația de nivel minim sau maxim. La nivel minim, în coloana V1 va porni pompa P2 care va umple coloana V1 cu apa din coloana V2, iar la semnalul de nivel maxim în coloana V1, va porni pompa P1 care va goli coloana V1 în coloana V2.

#### 5. Pompe (fabricație Klaxcar)

Aceste pompe sunt pompe centrifuge auto. Acestea au flux într-un singur sens și fac legătura (de proces) între coloanele V1 și V2.

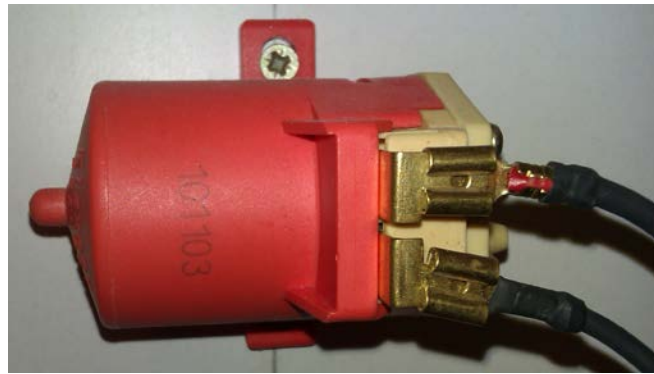


Fig.2.12. Pompa

6. **Lămpile de control** pentru pornirea pompelor se aprind în momentul pornirii acestora și rămân aprinse pe toată durata funcționării acestora.



Fig.2.13. Lămpi de control

7. **Afișajul auxiliar** cu cristale lichide pentru indicarea nivelului va indica digital valoarea nivelului indicată și de către traductorul ST3000. Acest afișaj a fost montat ca mijloc de verificare.

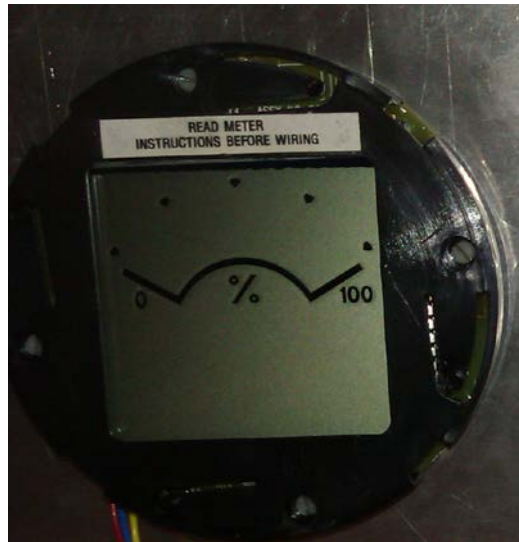


Fig.2.14. Afișaj auxiliar

8. **Adaptorul** pentru alimentarea afișajului auxiliar transformă tensiunea de alimentare a montajului (220V) într-o tensiune mai mică (12V) necesară pentru funcționarea acestuia.



Fig.2.15. Adaptor alimentare afișaj auxiliar

9. **Butonul „de PANICĂ”** a fost montat în scopul opririi manuale a montajului în caz de funcționare necorespunzătoare a acestuia. Este un buton fără revenire. După apăsarea acestuia, pentru a-l aduce la poziția inițială, cea înainte de apăsare, este necesară rotirea capacului.



Fig.2.16. Buton de panică

**10. Conductori electrici, cleme și riglete de prindere, ștuțuri și conducte de legătură.**

Pentru efectuarea de măsurări, se va porni instalația și se vor face mai multe citiri ale valorilor nivelului, comparându-se indicațiile de pe afișajul traductorului cu cele de pe afișajul auxiliar.



# 3. Măsurări cu tahometrul digital

## 3.1. Considerații generale

**Traductoare cu elemente fotoelectrice.** Traductoarele de turație cu elemente fotoelectrice folosesc senzori de turație de tip fotoelectric, care detectează variațiile unui flux luminos, dependente de viteza de rotație, folosind în acest scop un dispozitiv modulator acționat de axul care se rotește.

După felul cum se obține variația de flux luminos, dispozitivele modulator pot fi:

- cu întreruperea fluxului luminos;
- cu reflexia fluxului luminos.

În cazul variantei cu întreruperea fluxului luminos rezultă structura din figura 3.1 alcătuită, în principal, dintr-un receptor fotoelectric RF și o sursă de radiații luminoase SL în spectrul vizibil sau infraroșu, între care se află un disc opac D prevăzut cu orificii sau fante așezate pe un cerc cu centrul în centrul discului, și lentilele  $L_1$  și  $L_2$ .

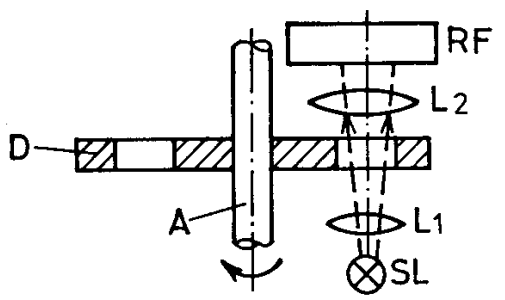


Fig.3.1. Traductor de turație cu element sensibil fotoelectric [4]

Discul este montat pe arborele A a cărui turație se măsoară, iar receptorul și sursa sunt aliniată pe o dreaptă paralelă cu axul și care intersectează cercul cu orificii. RF și SL se află la o distanță de câțiva milimetri, în așa fel încât, atunci când un orificiu se găsește pe dreapta ce unește sursa cu receptorul, radiația luminoasă să excite elementul fotoelectric.

Discul, antrenat de arborele ce se rotește, modulează fluxul de lumină ce ajunge la RF, transformându-l în impulsuri luminoase. Acestea, ajungând pe receptor, sunt convertite cu ajutorul unor circuite electronice în impulsuri, a căror frecvență este egală cu turația discului multiplicată cu numărul de orificii. Toate elementele menționate, inclusiv circuitele electronice, sunt încapsulate pentru ca funcționarea să nu fie perturbată de lumina mediului ambiant sau de zgomote de natură electro-magnetică.

**Traductoarele de turație cu reflexia fluxului luminos** funcționează după același principiu cu singura deosebire că au toate elementele fotoelectronice pe aceeași parte a discului, rolul fantelor diascopice fiind luat de fante epidiascopice (reflectorizante).

Traductoarele de turație cu elemente fotoelectrice sunt frecvent utilizate, deoarece au avantaje certe, ca de exemplu, gama foarte largă de turații, inclusiv turații foarte joase, construcție simplă, încărcarea axului cu un cuplu rezistent foarte mic sau chiar nul. Ele însă nu pot funcționa în medii cu praf sau lumină exterioară puternică.



## 3.2. Tahometrul digital DT-2234B

Acesta funcționează astfel: se emite o lumină (de regulă în spectrul infraroșu) către corpul în mișcare și se recepționează lumina reflectată de către acesta cu ajutorul unei fotodiode; pentru a face obiectul în mișcare reflectorizant pentru radiația emisă, se lipește pe acesta o foiță de hârtie albă lucioasă sau cel mai adesea o bucată de staniol. Cum corpurile sunt în general ne-reflective, staniolul va reflecta intermitent lumina și aceasta ajunge la fotodiodă, convertită în impulsuri electrice, care, o dată amplificate, vor ajunge la un numărător de impulsuri electronic. Numărul de impulsuri primite este înmulțit cu 60 și turația este direct afișată pe displayul electronic.



Fig.3.1. Tahometrul digital DT-2234B [15]

### Specificații tehnice:

Tip instrument de măsură: tahometru

Domeniu de măsură 5...99999 rpm

Afișaj LCD 5 cifre 10mm

Exactitate măsurătoare  $\pm(0,05\% + 1 \text{ cifră})$

Rezoluție măsurare 0,1rpm (peste 1000 rpm), 1rpm (peste 1000 rpm)

Sursă de alimentare 4 baterii 1,5V LR06 (AA)

Dimensiuni exterioare 190 x 72 x 37mm

Greutate cu baterie 235g

### Dotări standard:

- etui din plastic
- bandă reflectorizantă de 600 mm

### Caracteristici:

- funcție memorare MIN/MAX/LAST
- măsurare optică a vitezei de rotație
- semnalizare contact optic corect

Schema electrică este prezentată în figura 3.2.

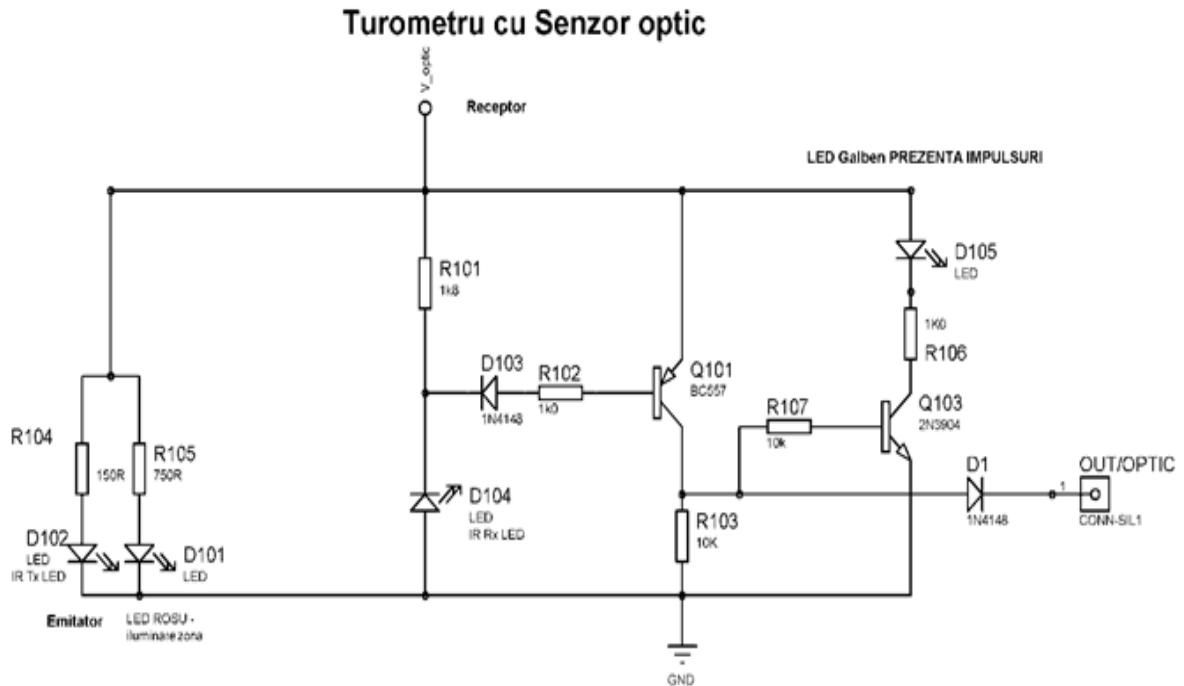


Fig.3.2. Schema electrică a tahometrului digital [15]

### 3.3. Măsurări experimentale cu tahometrul digital DT- 2234B

- Se va utiliza montajul din figura 3.3.
- Pe axul a cărui turație se măsoară se va monta un eșantion de bandă reflectorizantă.
- Se modifică turația axului și se fac mai multe determinări experimentale.

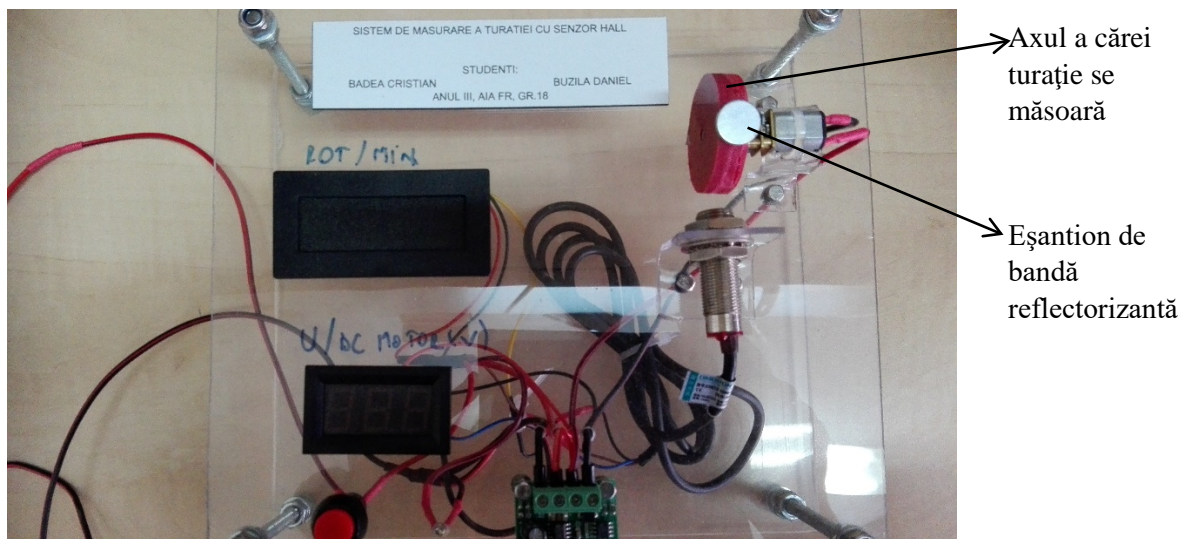


Fig.3.3. Montaj experimental

# 4 . Măsurarea nivelului cu traductorul ultrasonic EASY-TREK NIVELCO

## 4.1. Considerații generale

Principiul operațional al senzorului ultrasonic se bazează pe generarea de unde acustice și detectarea lor la reflexia cu un obiect. În mod normal aerul este transportorul undelor ultrasonice.

Un generator de sunet este activat pentru o scurtă perioadă de timp și este emis un puls ultrasonic care este imperceptibil pentru urechea umană. În urma emiterii, pulsul ultrasonic este reflectat de către obiectul care se află în zona sa de acoperire, și este trimis înapoi emițătorului. Durata pulsului ultrasonic este evaluată electronic. Semnalul de ieșire este proporțional cu durata semnalului pulsului electronic. În cazul în care obiectul este unul cu o suprafață netedă, raza senzorului ultrasonic trebuie să cadă perpendicular pe suprafață.

Tehnologia bazată pe ultrasunete este însă limitată în aplicații de formele și densitatea materialului care produce reflexia semnalului ultrasonic precum și de alte particularități ale procesului. Spre exemplu, dacă într-un rezervor se creează spumă la suprafața lichidului, nivelul măsurat poate fi eronat.

Traductorul ultrasonic EasyTREK aflat în carcasă robustă din plastic și având putere mare, este un exemplu concret de traductor unde senzorul și electronica formează un întreg. Traductorul pentru lichide nu măsoară numai nivel, ci și volum sau debit în sisteme cu canal deschis. Acesta oferă o soluție mai ieftină pentru aplicații individuale sau parcuri de rezervoare.

Datorită unghiului mic al fascicolului ultrasonic emis de către traductor, semnalele transmise au o putere mare de penetrare prin diferite gaze, vapori etc. Instalarea traductorului pe vasul unde se va face măsurarea nivelului și poziționarea acestuia în raport cu baza vasului, cu conducta de umplere a vasului și cu lichidul măsurat trebuie să îndeplinească anumite cerințe:

- senzorul trebuie să fie paralel cu suprafața lichidului în limita a  $\pm 2^\circ$
- niciun obstacol nu trebuie să se intercaleze între fascicol și suprafața lichidului
- poziția optimă este între 0,2-0,4 din diametrul rezervorului

Programarea funcționării traductorului se poate face fie cu acesta instalat în poziția finală pe vas, fie folosind o suprafață plană și măsurând distanța minimă și maximă de la senzor la suprafață. Programarea tuturor parametrilor de funcționare se poate face numai prin intermediul unei interfețe cu protocol HART conectată la proces prin software-ul EVIEW care poate rula pe orice computer, sau cu unitatea de control a procesului MULTICONT de la Nivelco. Programarea parametrilor de funcționare ai traductorului s-a făcut prin intermediul software-ului de configurare EVIEW, acesta fiind conectat în bucla de reglare conform Fig.4.1.

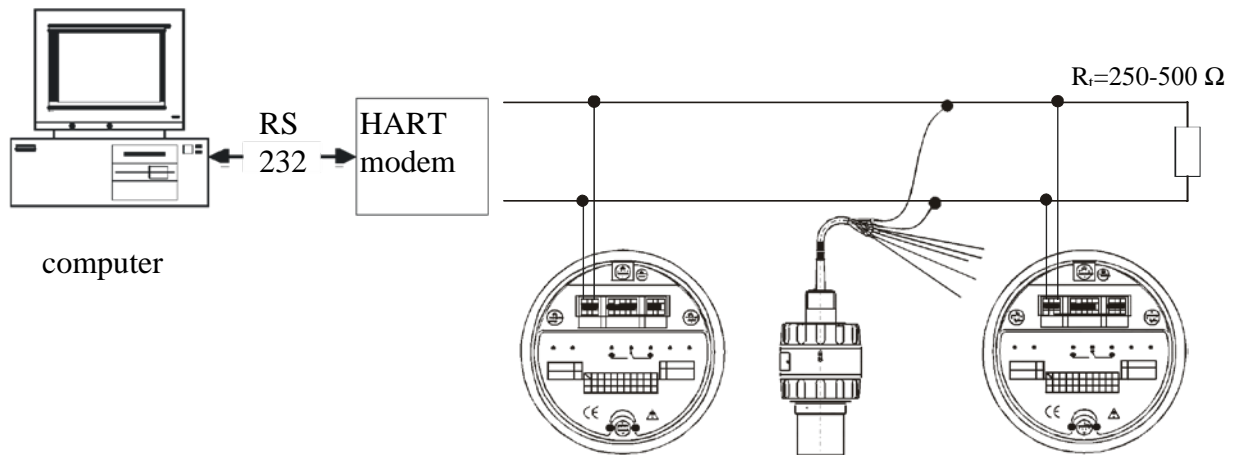


Fig.4.1 Mod de configurare software a echipamentelor

Principalii parametri configurați sunt:

- alocare 4 mA la nivel minim;
- alocare 20 mA la nivel maxim;
- semnalizare eroare pe bucla de curent;
- configurarea măsurării (mod, unitate de măsură, rotunjire, blocare apropiată și îndepărtată);
- optimizarea măsurării (corectare după forma rezervorului, viteza de urmărire, estimarea vitezei de variație nivel, excluderea de obiecte deranjante, corecția vitezei de propagare sonică);
- liniarizare pe 32 puncte, parametrii de informare (mapă reflexie, valoare zgomot/semnal etc.).

## 4.2. Standul experimental

Principalul obiectiv al acestei lucrări este realizarea unui sistem de reglare automată a nivelului, folosind un traductor ultrasonic modern, utilizat la scară largă în aplicații industriale [5].

Regulatorul folosit pentru integrarea traductorului de nivel ultrasonic într-o buclă de reglare a fost regulatorul numeric ADAM 6022, care permite conectarea a două bucle reglare independente una față de cealaltă, fiecare buclă având câte trei intrări analogice și o intrare digitală, respectiv o ieșire analogică și o ieșire digitală.

Acest tip de regulator poate fi comandat prin intermediul unui calculator personal care este conectat la aceeași rețea de tip Ethernet sau wireless, folosind o aplicație specială de control și monitorizare a procesului.

Parametrii de referință, precum și starea actuală a procesului se pot vizualiza și prin intermediul unei pagini web de tip HTTP deschisă de un browser de Internet prin intermediul adresei IP a regulatorului.

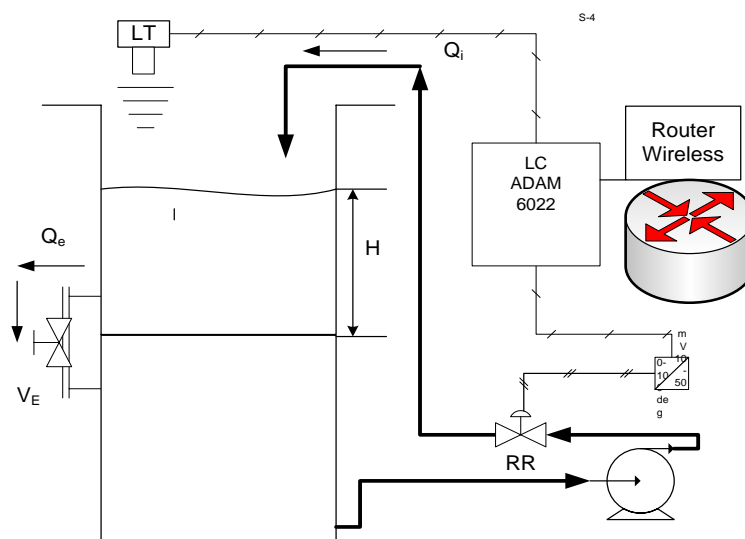


Fig.4.2. Standul experimental pe care s-a implementat SRA-nivel cu traductor ultrasonic [5]

Elemente componente: 1-vas cilindric cu două compartimente suprapuse, 2-traductor ultrasonic de nivel NIVELCO (LT), 3-regulator numeric ADAM 6022, 4-router wireless, 5-convertor electropneumatic, 6-robinet de reglare (RR), 7-pompă centrifugă pentru vehicularea fluidului (Fig.2).

Pentru funcționarea la parametrii optimi ai instalației, elementele componente ale acesteia necesită o programare prealabilă a funcțiilor specifice fiecăruia, astfel încât acestea să funcționeze ca o unitate.

Majoritatea proceselor în care mărimea reglată este nivelul au ca loc de desfășurare rezervoare închise sau deschise de secțiune constantă sau variabilă și în care sunt implicate conducte de legătură și robinete.

În reglarea nivelului unui lichid se presupune că acesta este incompresibil; dacă fluidele sunt transportate cu viteze și presiuni ridicate, trebuie să se ia în calcul

compresibilitatea fluidului, forma rezervoarelor, traseul conductelor și efectele de inerție care se opun variațiilor debitului.

Nivelul se reglează în cazul proceselor de umplere-golire, care se desfășoară în rezervoare închise sau deschise, conducte de legătură și ventile, reglarea având ca scop unul dintre obiective:

- menținerea în limite strânse ale nivelului (de exemplu, un separator de faze);
- reglarea nivelului în limite largi (vase tampon).

### 4.3. Stabilirea algoritmului de reglare pentru SRA-nivel

Pentru a realiza setările parametrilor de funcționare ai traductorului și procesului, s-a folosit aplicația de configurare a regulatorului, care poate fi accesată folosind o conexiune wireless sau cablată cu routerul și un computer, având instalată aplicația respectivă.

După deschiderea aplicației este necesară configurarea intrărilor regulatorului, respectiv a numărului intrării folosite (3 - pentru traductorul ultrasonic), tipul de semnal folosit (curent/tensiune), valorile minime și maxime ale intrării (4-20mA)- Fig.3 – Fig.5.

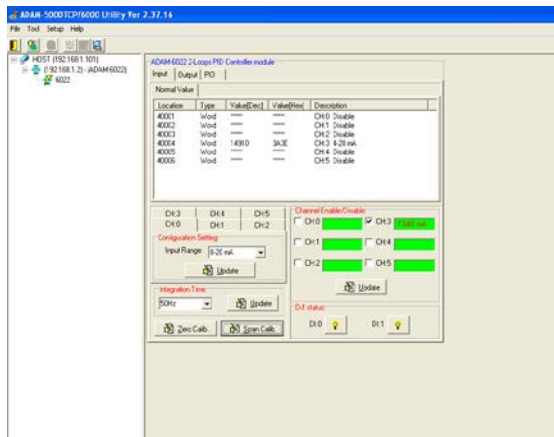


Fig.4.3. Alegerea tipului de semnal de intrare

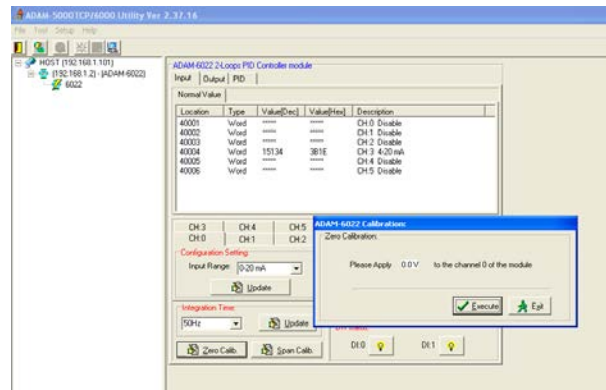


Fig.4.4. Configurare intrare semnal minim 4mA

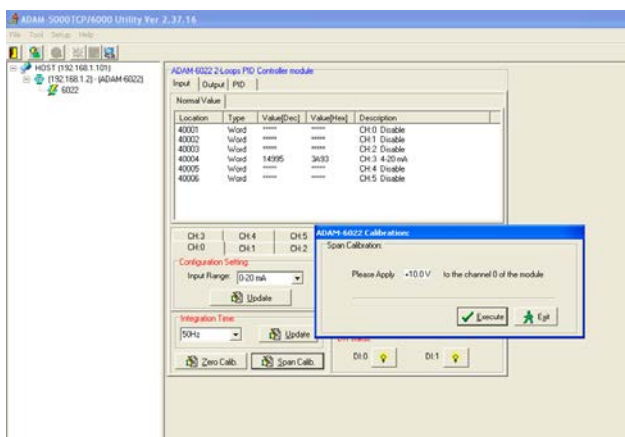


Fig.4.5. Configurare intrare semnal maxim 20mA regulator

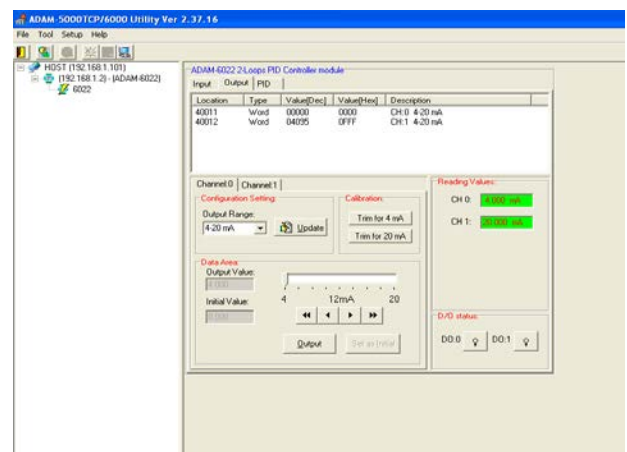


Fig.4.6. Configurare ieșire

Pentru a putea folosi semnalul de pe ieșirea analogică a regulatorului pentru comanda robinetului de reglare este necesară configurarea ieșirii: canalul 1, bucla de reglare 1, semnalul de ieșire 4-20mA (Fig.4.6).

### Determinarea experimentală a parametrilor de acordare ai regulatorului

Principalii parametri necesari pentru acordarea regulatorului se determină astfel:

- Se trece regulatorul în modul AUTO cu un anumit factor de proporționalitate, fără componenta integrală ( $I=10$ ) sau derivativă ( $D=0$ ).
- Se modifică gradual factorul de proporționalitate până la o valoare  $K_0$ , pentru care, la o modificare treaptă a referinței, apare un suprareglaj mic (sub 2%) în răspunsul sistemului.
- Se notează cu  $T_{tr}$  durata regimului tranzitoriu și cu  $\tau$  timpul mort asociat acestui răspuns (Tabel 2).

Parametrii de acordare ai regulatorului vor fi calculați cu următoarele relații:

$$K=0,9 K_0$$

$$T_i=6(T_{tr} + \tau)$$

$$T_D=0$$

Tabel 4.2. Valori experimentale parametri acordare regulator

Nr. Crt.	Modificare treaptă referință	P	I	D	Timp tranzitoriu $T_{tr}$ [s]	Suprareglaj
1	10%	4	10	0	120	mic
2	10%	6	10	0	100	mic
3	10%	8	10	0	80	mare
4	10%	9	10	0	40	mic

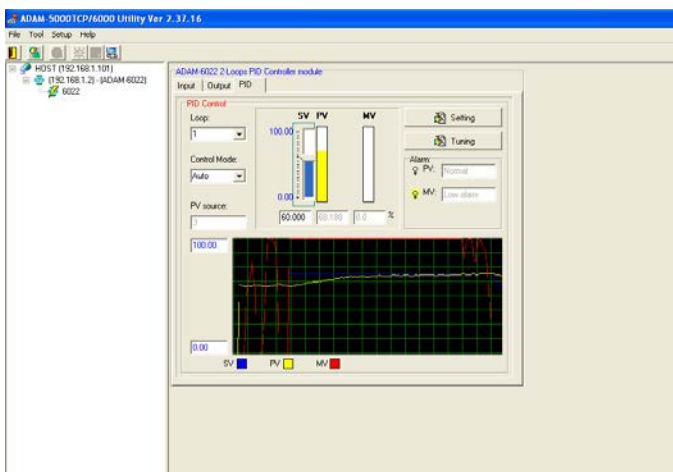


Fig.4.7. Determinare experimentală a valorilor parametrilor acordare regulator  $P=4$   $I=10$

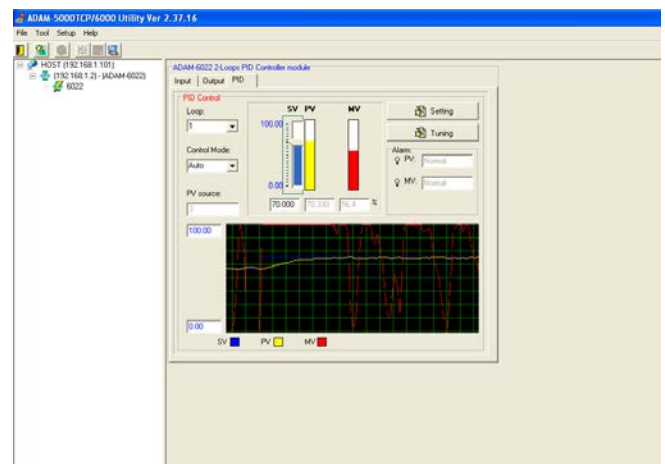


Fig.4.8. Determinare experimentală a valorilor parametrilor acordare regulator  $P=6$   $I=10$



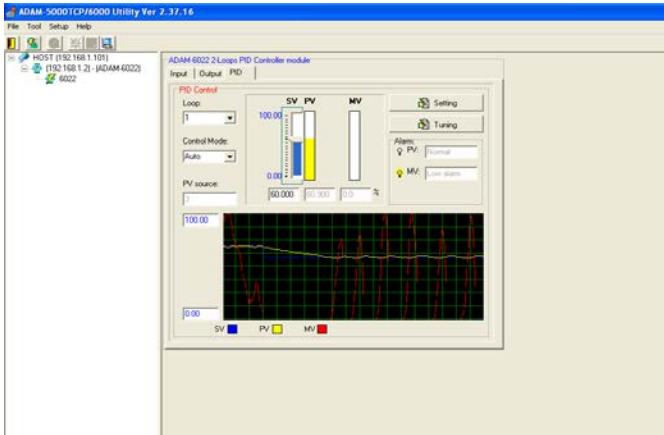


Fig.4.9. Determinare experimentală a valorilor parametrilor acordare reglator  $P=8$   $I=10$

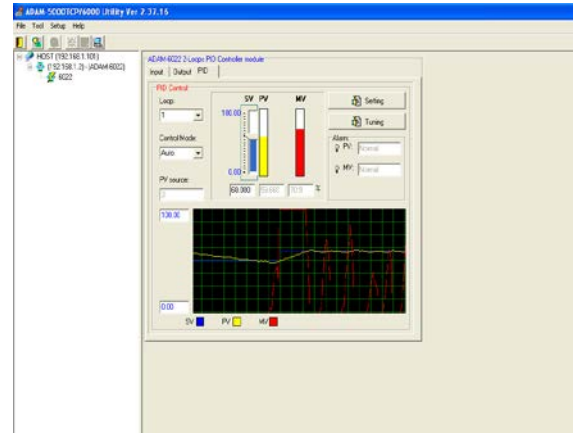


Fig.4.10. Determinare experimentală a valorilor parametrilor acordare reglator  $P=9$   $I=10$   $P=8$   $I=10$

Timpul tranzitoriu cel mai mic, precum și valoarea cea mai mică a suprareglajului au fost determinate cu valorile următoare ale parametrilor de acordare:

$$K_0=9 \quad T_i=10.$$

$$K_0=9 \quad \rightarrow \quad K=0,9 \cdot 9=8,1$$

$$T_i=6 (36+4) \quad \rightarrow \quad T_i=240$$

Din cele de mai sus rezultă parametrii de acordare ai reglatorului:  $P=8,1$ ;  $I=0,666$ .

După modificarea valorilor, răspunsul sistemului la modificare treaptă a referinței este (Fig.4.11):

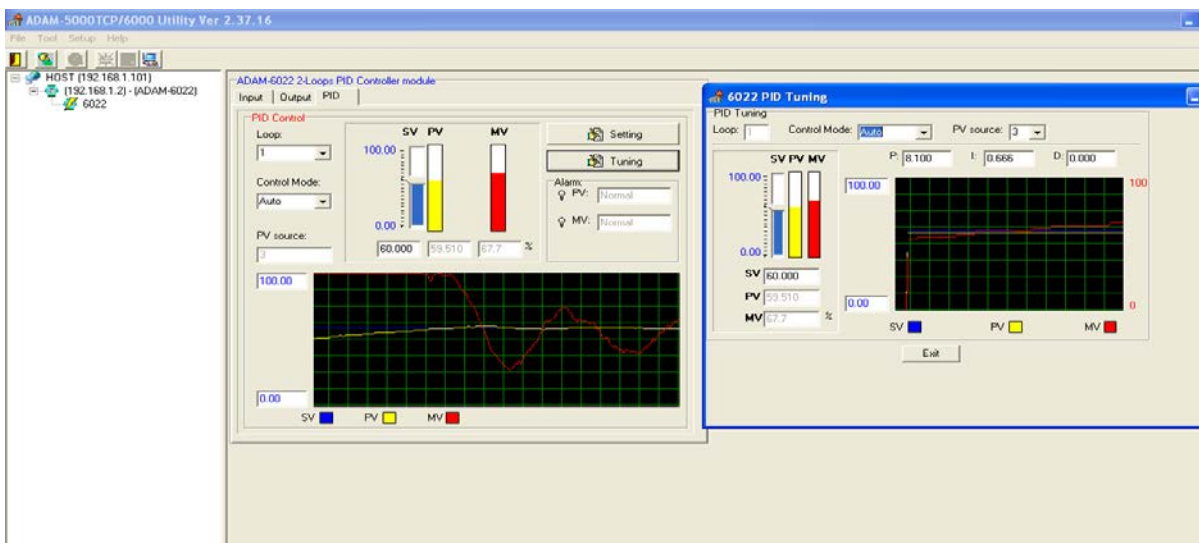


Fig.4.11. Răspunsul sistemului cu parametrii de acordare optimi ai reglatorului

## Desfășurarea lucrării

- Se va pune în funcțiune standul din laborator;
- Se vor testa valorile parametrilor calculați în îndrumarul de laborator.

# 5. Măsurarea pH-ului

## 5.1. Principiul de măsurare al pH-ului

Parametrul pH este măsurat cu ajutorul a doi electrozi: un electrod de lucru (indicator) și un electrod de referință sau un electrod combinat ce poate îndeplini ambele funcții. Când cei doi electrozi sunt introduși în soluție se formează o mică celulă galvanică al cărei potențial este dependent de ambii electrozi. Condițiile ideale de măsurare se îndeplinesc atunci când numai potențialul electrodului de lucru variază la modificarea pH-ului, în timp ce potențialul electrodului de referință rămâne constant.

Diferența de potențial măsurată poate fi exprimată cu ajutorul ecuației lui Nernst:

$$E = E_{ind} - E_{ref} = E'_T + R \cdot T/F \cdot \ln a_{H^+} \quad (5.1)$$

unde

$E$  = potențialul măsurat (mV)

$E_{ind}$  = potențialul electrodului indicator (mV)

$E_{ref}$  = potențialul electrodului de referință (mV)

$E'_T$  = constantă dependentă de temperatură (mV)

$R$  = constanta universală a gazelor (8.3144 J/K)

$T$  = temperatura absolută (K)

$F$  = constanta lui Faraday (96485 C)

Folosind logaritmul zecimal, formula poate fi scrisă:

$$E = E'_T + 2.303 \cdot R \cdot T/F \cdot \log a_{H^+} \quad (5.2)$$

Introducând definiția pH-ului acesta poate fi exprimat în funcție de temperatură:

$$pH_T = pH_T^\circ - \frac{E}{R' S T} \quad (5.3)$$

unde

$R'$  = constanta = 0.1984 mV/K

$S$  = sensibilitatea, un factor de corecție ce ia în considerare faptul că răspunsul electrodului poate fi diferit de valoarea teoretică.

$pH^\circ$  = valoarea pH-ului pentru care potențialul măsurat este zero.

În figura 5.1 este ilustrată dependența  $pH^\circ$  de temperatură.

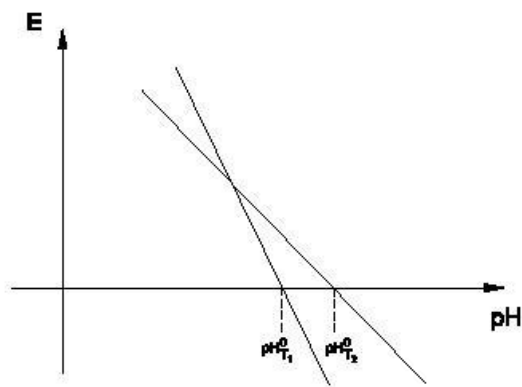


Fig. 5.1. Relația mV/pH la două temperaturi diferite

## 5.2. Construcția electrodului

În figura 5.2 se prezintă electrodul de sticlă tipic și un electrod de referință de calomel.

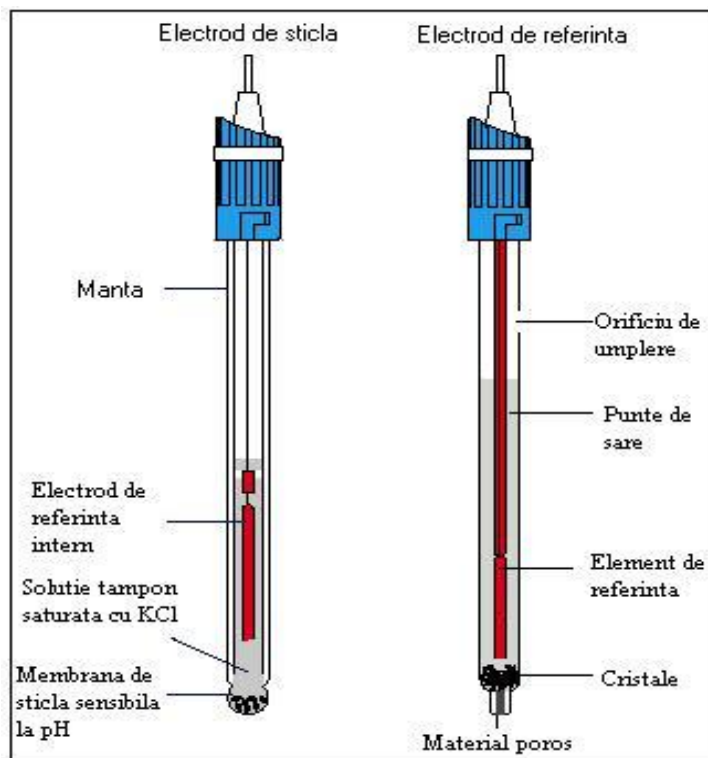


Fig. 5.2. Schema construcției clasice pentru electrozi

Atât structura membranei de sticlă a **electrodului de sticlă**, sensibilă la variații de pH, cât și compoziția soluției tampon interne au influență asupra potențialului dezvoltat. Răspunsul electrodului constă în diferența de potențial dintre suprafața interioară și cea exterioară a membranei de sticlă. Această tensiune este proporțională cu diferența de pH dintre soluția internă și cea a probei de măsurat. Potențialul electrodului este determinat de schimbul de ioni de  $H^+$  între membrana de sticlă și probă, schimb ce este dependent de concentrațiile ionilor de  $H^+$  din cele două soluții. Dacă structura membranei de sticlă nu este uniformă se poate dezvolta un potențial asimetric chiar dacă pH-ul este același la ambele suprafețe.

**Electrodul de referință** poate fi un electrod argint/clorură de argint -Ag/AgCl reversibil în raport cu  $Cl^-$ , format din Ag aflat în contact cu sarea sa greu solubilă AgCl și imersat în soluție saturată de KCl. Joncțiunea lichidă, contactul cu soluția de măsurat, este realizată prin materialul ceramic poros. Deoarece expunerea prelungită la lumină intensă poate deteriora electrodul prin reducerea AgCl la Ag, acesta se introduce într-o manta de sticlă roșie. Activitatea ionilor de argint într-o soluție saturată de AgCl este dictată de solubilitatea acestui compus ce poate fi caracterizată cantitativ prin constanta produsului de solubilitate. Potențialul electrodului este determinat de produsul de solubilitate al clorurii de argint și concentrația soluției de KCl și din această cauză este constant.

Un electrod de referință similar este electrodul de mercur/clorură mercurică (calomel). Un astfel de electrod nu este potrivit atunci când au loc variații de temperatură sau la temperaturi care depășesc  $60^\circ C$ . Potențialul electrodului de referință trebuie să fie constant indiferent de soluția în care este imersat. Această situație ideală apare dacă transportul prin porii materialului ceramic implică numai ionii  $K^+$  și  $Cl^-$  și dacă aceștia au aceeași mobilitate. Acesta este cazul majorității probelor, în domeniul de pH 1-13 și dacă se folosește o punte de sare ce

conține KCl 3M. În cazul în care nu se îndeplinește această situație optimă se creează așa numitul potențial de joncțiune lichidă.

În tabelul 5.1 sunt listate potențialele de joncțiune în diferite probe, obținute cu o punte de sare ce conține soluție saturată de KCl. Este evidentă dependența potențialului de joncțiune de compoziția probei și, în special, de pH.

Tabelul 5.1. Potențialul de joncțiune lichidă în diferite probe

Proba	Potențialul joncțiunii lichide
1M HCl	14.1 mV
0.1M HCl	4.6 mV
0.01M HCl	3.0 mV
0.1M KCl	1.8 mV
pH 1.68 buffer	3.3 mV
pH 4.01 buffer	2.6 mV
pH 4.65 buffer	3.1 mV
pH 7.00 buffer	1.9 mV
pH 10.01 buffer	1.8 mV
0.01M NaOH	2.3 mV
0.1M NaOH	-0.4 mV
1M NaOH	-8.6 mV

În tabelul de mai jos sunt date conductivitățile echivalente, la diluție infinită, a unor soluții uzuale folosite în puntea de sare. Conductivitățile egale ale anionilor și cationilor, folosite ca măsură a mobilității lor, rezultă la cele mai scăzute potențiale de joncțiune.

Tabelul 5.2. Conductivitățile echivalente ale unor ioni la diluție infinită ( $S \cdot \text{cm}^2/\text{equivalent}$ ) la 25°C

Cation	$\lambda$	Anion	$\lambda$
Li <sup>+</sup>	38.7	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	40.9
Na <sup>+</sup>	50.1	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	67.4
K <sup>+</sup>	73.5	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	71.5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	73.6	Cl <sup>-</sup>	76.4
		Br <sup>-</sup>	78.1
		1/2 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	80.0
H <sup>+</sup>	349.8	OH <sup>-</sup>	198.3

## 5.3. Tipuri de electrozi

### Electrozi de sticlă

Electrozii de sticlă sunt disponibili în diferite forme și sunt de diferite lungimi, astfel încât să se potrivească într-un număr mare de aplicații. Există electrozi foarte subțiri de tip lance, electrozi cu membrană plată pentru măsurători de suprafață etc. Forma, mărimea și tipul electrodului de referință intern poate varia, ca și compoziția membranei de sticlă. Compoziția membranei de sticlă, sensibilă la variațiile de pH, determină potențialul electrodului, timpul de răspuns și sensibilitatea la alți ioni, alții decât  $H^+$ . Ionii de sodiu, litiu și, într-o mai mică măsură, ionii de potasiu, pot interfera la valori mai mari de pH ( $>pH 11$ ). Această interferență este denumită *eroare de alcalinitate*. Dacă ionii de sodiu sunt în număr prea mare față de ionii de hidrogen, aceștia pot pătrunde în membrana de sticlă. Aceasta înseamnă că electrodul va detecta concentrații ionice mai mari (datorate în realitate  $Na^+$  și nu  $H^+$ ) iar pH-metrul va înregistra o valoare de pH mai mică decât cea reală.



Fig 5.3. Diferiți electrozi de sticlă pentru diverse aplicații

Electrozii de sticlă prezintă două dezavantaje: soluțiile de măsură pot deteriora membrana de sticlă și membrana se poate sparge. Cea mai utilizată alternativă a electrodului de sticlă este electrodul de sțibiu. Stratul subțire de oxid format la suprafața sțibiului metalic este sensibil la pH.

### Electrozi de referință

Există diverși electrozi de referință care diferă prin:

- construcția joncțiunii lichide;
- compoziția punții de sare;
- compoziția electrochimică a electrodului.

Cel mai obișnuit tip de joncțiune lichidă este formată din sticlă poroasă. Depinzând de aplicație se pot folosi și alte tipuri, cum ar fi: joncțiuni ceramice circulare, joncțiuni tip manșon sau o joncțiune deschisă printr-un tub subțire de sticlă. Acestea pot asigura un flux mai mare al soluției punții de sare, care este benefic atunci când se măsoară soluții cu sării ionice foarte mari sau foarte mici.

În figura 5.4 sunt prezentate 4 tipuri diferite de joncțiuni lichide. Este indicat, de asemenea, și modul tipic de curgere al soluției de KCl.

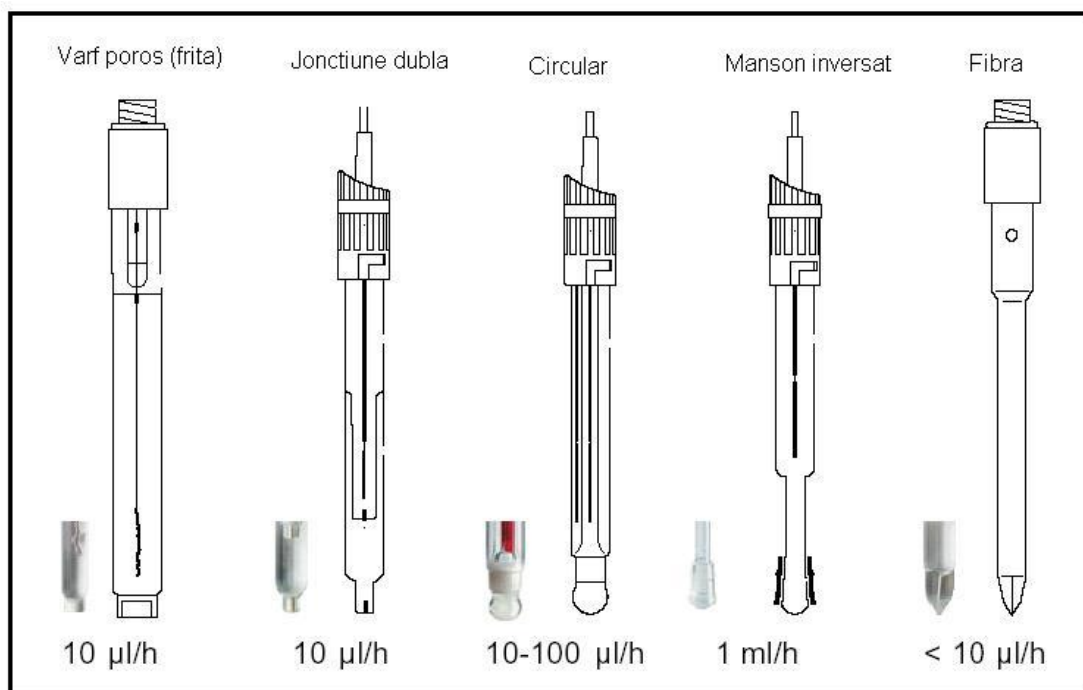


Fig.5.4. Construcții de jonctiuni lichide cu flux de curgere clasic al soluției de KCl

KCl nu poate fi utilizat ca soluție pentru puntea de sare dacă:

- interferează cu soluția de măsurat;
- există riscul de a se bloca jonctiunea lichidă datorită precipitării;
- este nemiscibil cu proba.

Sunt disponibile două alternative: un sistem cu jonctiune dublă, adică cu o a doua punte de sare care nu conține KCl, sau se poate folosi un sistem cu electrod modificat. În tabelul 5.3 sunt prezentate câteva posibilități de combinare.

Tabelul 5.3. Potențialele pentru diferiți electrozi de referință

Tipul electrodului de referință	Soluția (soluțiile) punții de sare	Potențialul fata de electrodul normal de H <sub>2</sub>	Potențialul fata de electrodul de calomel
Hg/Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	sat. KCl	244 mV	0 mV
Ag/AgCl	sat. KCl	200 mV	- 44 mV
Hg/Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	sat. K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	640 mV	408 mV
Calomel	1 M LiCl	~ 285 mV	~ 40 mV
Hg/Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	sat. KCl/KNO <sub>3</sub>	244 mV	~ 0 mV
Hg/HgO	0.1 M KOH	~ 175 mV	~ - 70 mV

### Electrozi combinați

Deoarece este mai simplu să se mănuiască un electrod în locul a doi electrozi, electrozii combinați sunt foarte utilizați. Electrodul de sticlă și electrodul de referință sunt ușor de construit într-o singură entitate. Astfel, cei doi electrozi se află la aceeași temperatură în timpul operării.

Construcția optimă pentru a se asigura temperatura egală pentru ambii electrozi este cea a electrozilor combinați cu legare simetrică a electrozilor. În aceste cazuri, electrodul intern

al electrodului de sticlă este de același tip (Ag/AgCl) și de aceleași dimensiuni ca și electrodul de referință, iar soluțiile interne sunt identice (soluții saturate cu KCl).

## 5.4. pH-metrul

Un pH-metru măsoară diferența de potențial între doi electrozi (în mV) și apoi convertește în unități de pH. Pentru a obține o măsurare corectă, semnalul de intrare al amplificatorului și circuitul convertorului trebuie să îndeplinească anumite cerințe. Principiul constructiv al unui pH-metru este redat în următoarea schemă.

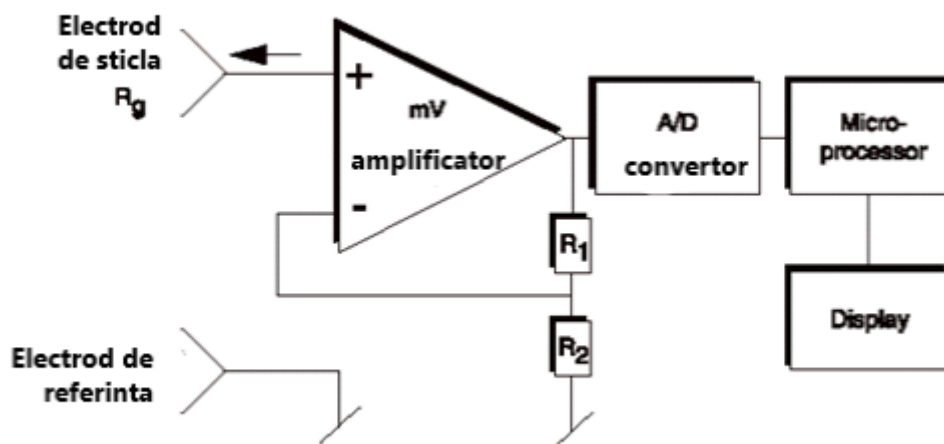


Fig. 5.5. Schema simplificată a unui pH-metru

Diferența de potențial între electrodul de referință și electrodul de sticlă este amplificat cu ajutorul unui amplificator de mV, înainte de a se converti cu ajutorul unui convertor A/D care transmite semnalul unui microprocesor ce calculează rezultatul.

Deoarece un electrod tipic de sticlă are o rezistență internă de ordinul  $10^8$  Ohm, amplificatorul trebuie să aibă o rezistență de intrare,  $R_i$ , mult mai mare. Este necesară o rezistență de  $10^{12}$  Ohm. Din același motiv este foarte important ca amplificatorul să nu trimită nici un fel de curent prin electrodul de sticlă deoarece s-ar înregistra un potențial eronat și chiar s-ar putea strica electrodul. Așa numitul curent terminal sau curent de polarizare,  $I_{term}$ , ar trebui să fie sub  $10^{-12}$  A. Când  $R_i \gg R_g$ ,  $I_{term} = 10^{-12}$  A și  $R_g = 10^8$  Ohm, eroarea introdusă poate fi calculată, conform legii lui Ohm:

$$V_{eroare} = 10^{-12} \text{ A} \cdot 10^8 \text{ Ohm} = 10^{-4} \text{ V} = 0.1 \text{ mV}$$

Pentru a obține rezultate corecte și convingătoare amplificatorul și alte circuite trebuie să aibă un coeficient termic mic, adică influența variațiilor de temperatură trebuie să fie sub control. În mod normal, rezultatul este afișat în formă numerică deși mai există încă pe piață pH-metre cu ac indicator.

Într-un pH-metru analogic, stabilirea valorii de zero pentru pH și a sensibilității se realizează cu ajutorul unor reostate (adjustable resistances-dials), iar amplificarea semnalului este efectuată manual. Semnalul este apoi trecut printr-un convertor A/D. Astfel, semnalul la ieșire este digital și este afișat în formă numerică. Într-un pH-metru digital amplificatorul lucrează în aceleași condiții și este conectat direct la un convertor A/D. Semnalul de ieșire din convertor este manipulat cu ajutorul unui circuit digital și apoi este afișată valoarea calculată a pH-ului. Pentru sistemele cu microprocesor vor fi, de obicei, furnizate soft-uri de recunoaștere automată a soluțiilor tampon de calibrare și chiar de control automat al stabilității semnalului electrodului. Pentru a se evita eventualele interferențe trebuie verificate următoarele:

- o împământare adecvată a pH-metrului poate reduce problemele legate de zgomotul pe semnal;
- dacă pH-metrul face parte dintr-un sistem de măsură mai complex, atunci toate instrumentele trebuie conectate în același punct;
- dacă priza de la care se alimentează pH-metrul nu are împământare adecvată atunci trebuie să se realizeze o legare la pământ separată pentru acesta;
- cablurile electrodului nu trebuie să fie paralele cu liniile de câmp deoarece s-ar putea produce zgomot pe semnal;
- dacă există contact electric între soluția de măsură și masă (de exemplu prin tuburi sau agitatoare), circuitul pH-metrului trebuie să fie izolat față de masă, iar conectarea la alte instrumente (de exemplu aparate de înregistrare sau imprimante) trebuie realizată cu multă grijă (este necesară o izolare galvanică). În caz contrar există riscul de a trece curent prin electrodul de referință și astfel se pot cauza avarii ireparabile.

### Soluții tampon

- Pentru a se face acordul între electrozi și pH-metru este necesară o **calibrare**. În acest scop trebuie folosită o soluție cu un pH cunoscut exact. Astfel de soluții trebuie să fie **soluții tampon**. Reactivii folosiți la prepararea soluțiilor tampon trebuie să fie foarte pure și stabile, valorile pH-ului să fie stabile, iar potențialul joncțiunii lichide trebuie să fie de același ordin de mărime cu cel al soluției de determinat. Deoarece aceste cerințe sunt, în parte, contradictorii, s-au stabilit 2 serii de soluții tampon: așa numitele tamponane tehnice cu o capacitate de tamponare mare și tamponanele IUPAC/NIST cu o capacitate de tamponare mai mică, care asigură o mai bună precizie deoarece sunt în conformitate cu definiția pH-ului.



Fig. 5.10. Soluții standard de pH, IUPAC, în sticle de plastic și în cutii metalice

- Problema variației potențialului joncțiunii lichide este minimă pentru probe normale, diluate. Soluțiile tampon de la Radiometer Analytical sunt de aceea bazate pe acest concept. Trebuie menționat faptul că soluțiile tampon Radiometer Analytical sunt standardizate cu ajutorul electrodului normal de hidrogen. Soluțiile tampon Radiometer Analytical măsurate cu electrodul normal de hidrogen sunt trasabile direct la cele ale Laboratoarelor Primare (NIST și Radiometer Medical A/S).
- Soluțiile tampon folosite astăzi au evoluat de-a lungul timpului. Este interesant de notat faptul că multe dintre soluțiile tampon actuale au fost propuse de S.P.L. Sorensen. R.G. Bates care a cercetat o serie de soluții tampon, iar cercetările lui constituie baza seriei de soluții tampon IUPAC/NIST.



- Dependența numărului pH de temperatură poate fi exprimată prin formula:  $pH = A/T + B + C \cdot T + D \cdot T^2$ , unde  $T$  este temperatura în grade Kelvin. Coeficienții  $A$ ,  $B$ ,  $C$  și  $D$  sunt prezentați în tabele speciale.
- Soluțiile tampon de precizie au o stabilitate limitată. Este de aceea recomandat ca ele să fie folosite o perioadă scurtă de timp, depinzând de cât de precise trebuie să fie măsurările. Soluțiile tampon alcaline ridică mai multe probleme datorită faptului că absorb dioxid de carbon. De aceea, chiar și soluțiile tampon din sticle de plastic, sigilate au o valabilitate redusă și astfel soluția optimă este de introducere a acestor sticle de plastic în cutii metalice.
- În plus, este necesar să se adauge o anumită cantitate de germicide care să împiedice creșterea microbiană având în vedere că unele soluții tampon sunt excelente medii de cultură. Pe de altă parte, adăugarea de alte soluții în mediile tampon trebuie evitată deoarece pot perturba valoarea pH-ului. Câțiva compuși colorați pot cauza probleme deoarece au un efect advers asupra joncțiunii lichide.

### Calibrarea

- Electrozii nu pot fi produși cu caracteristici identice. Valoarea de zero a pH-ului și sensibilitatea pot varia în timp și, de asemenea, variază de la un producător la altul. Calibrarea este operația prin care se acordează pH-metrul la caracteristicile electrozilor. Procedura de calibrare este în general realizată prin măsurarea pH-ului în două soluții tampon. Astfel, se determină valoarea de zero a pH-ului ( $pH^0$ ) și panta (sensibilitatea).

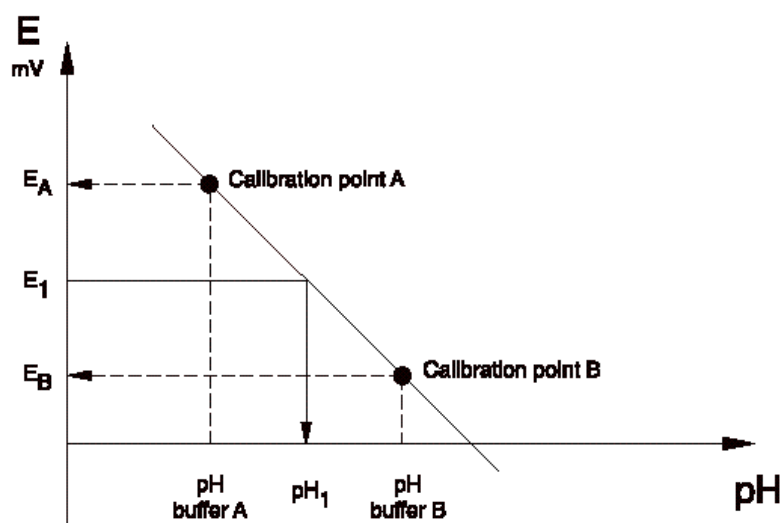


Fig. 5.6. Curba de calibrare

- În cazul în care s-a efectuat recent o operație de calibrare, sau în cazul în care măsurările trebuie efectuate rapid, se realizează o calibrare într-un singur punct prin măsurarea într-o singură soluție tampon. Astfel, se determină decât valoarea  $pH^0$  și se folosește sensibilitatea determinată anterior.

Sensibilitatea este de obicei exprimată în procente din valoarea teoretică și trebuie să fie independentă de temperatură. Precum s-a menționat anterior, panta exprimată în mV/pH este direct proporțională cu temperatura. Ca alternativă la exprimarea în % este folosită o pantă realizată la 25°C (100% = 59mV/pH).  $pH^0$  este în general folosit pentru a descrie caracteristicile electrodului. Pot fi date potențialele la  $pH = 0$  sau la  $pH = 7$  pentru 25°C.

Calibrarea trebuie realizată în aceeași manieră, adică trebuie folosit mereu același

agitator, același criteriu de stabilitate sau timp de așteptare. Cele două medii tampon trebuie, de asemenea, să fie la aceeași temperatură, care trebuie să fie apropiată de temperatura probei. Domeniul de măsură trebuie să fie cuprins între valorile de pH a celor două soluții tampon, adică în cazul în care pH-ul probei este în intervalul 4.5, 6.7 este necesar să se folosească medii tampon cu pH 4.01 și respectiv pH 7.00. Dar aceleași soluții tampon pot fi utilizate și în intervalul de pH 3-8.

Multe instrumente controlate de microprocesoare permit autocalibrarea. Aceasta înseamnă că instrumentul poate selecta singur, dintr-o listă predefinită, valorile corecte de pH pentru mediile tampon. Se are, de asemenea, în vedere și dependența de temperatură. Este evident că soluțiile tampon folosite la autocalibrare trebuie să aibă valori de pH semnificativ diferite. Folosind o soluție tampon care nu este inclus în listă, de exemplu cu pH 6.86 față de pH 7.00, calibrarea va fi incorectă.

### **Verificarea aparatului de măsură**

Dacă apar probleme, de exemplu în timpul calibrării, este recomandabil să se îndepărteze electrozii astfel încât să se separe cele două tipuri de probleme. Există simulatoare pentru electrozi dar nu sunt la îndemână și sunt foarte scumpe. O verificare mai ieftină și eficientă poate fi făcută astfel:

1. Se verifică pH-metrul în domeniul de mV. Se conectează intrarea de impedanță mare (pentru electrozul de sticlă) la intrarea de impedanță joasă (pentru electrozul de referință).
2. pH-metrul trebuie să afișeze doar câțiva mV, ideal ar fi 0.0 mV. Se conectează o celulă uscată de 1.5V cu aceleași intrări ca la electrod. Aparatul de măsurare, depinzând și de starea celulei uscate, trebuie să afișeze un rezultat în vecinătatea valorii de 1.5V.
3. Se trece pH-metrul pe modul pH și se conectează din nou intrarea de impedanță mare cu cea de impedanță mică.
4. Se aduce temperatura la 25°C și se ajustează (dacă este posibil) sensibilitatea la 100% (59mV/pH). Majoritatea pH-metrelor afișează în această situație o valoare a pH între 5.5 și 8.0. În cazul în care pH-metrul are o scală de standardizare a soluțiilor tampon, schimbând scala nu trebuie să se modifice valoarea afișată.
5. Se conectează din nou celula de 1.5V. Valoarea afișată trebuie să iasă din scală. Cum 60 mV corespund la aproximativ pH = 1, 1.5V corespund la pH = 25.

Verificările anterioare indică faptul că atât pH-metrul cât și afișajul și microprocesorul, în cazul în care există, funcționează corect. Pot fi însă defecte atât în circuitul de intrare sau semnalul de intrare al amplificatorului, adică intrarea de impedanță mică și terminalul de curent mare. Acest lucru poate fi verificat în cazul în care este disponibilă o rezistență ohmică mare. Verificarea se realizează în felul următor:

1. Se scurtcircuitază intrările pentru impedanță mică și pentru impedanță mare așa cum s-a procedat anterior (scala de mV). Se notează valoarea afișată.
2. Se repetă această acțiune dar folosind o rezistență de 1GOhm (1000 MOhm). Se notează valoarea afișată. Diferența nu trebuie să fie mai mare de aproximativ 1 mV.
3. Se conectează din nou celula de 1.5 V și se notează valoarea afișată.
4. Se conectează celula uscată prin rezistența de 1GOhm și se notează valoarea afișată. Diferența nu trebuie să depășească câțiva mV.

# 6. Studiul experimental al unui senzor biometric

## 6.1. Componenta hardware

Senzorul biometric prezentat în lucrare este de tip optic – CMOS. Pentru achiziția imaginii amprentei acest tip de senzori se bazează pe principiul reflexiei luminii, și pe identificarea diferenței între intensitatea luminii reflectate de striatiile și de văile amprente [12].

Tehnologia CMOS este o tehnologie de tip semiconductor metal-oxid fiind cea mai utilizată în producția de tehnică de calcul, circuite electronice sau module de memorie. Senzorii de imagine CMOS actuali utilizează tehnologia APS (active pixel) dezvoltată la mijlocul anilor '90 de NASA Jet Propulsion Laboratory.

Există două tipuri de senzori CMOS: pasivi și activi.

PPS (Passive pixel sensors) a fost prima variantă dezvoltată în anii 1960. La nivelul zonelor fotosensibile lumina sub formă de fotoni este convertită în sarcini, adică electroni. Sarcina acumulată pe timpul expunerii, integrării, este citită și amplificată. Senzorii sunt mici, atât cât să permită expunerea zonei fotosensibile și să includă conexiunile. Problema majoră o constituie, la acest tip de senzori, zgomotul materializat într-o rețea pe fundalul imaginii. Pentru a înlătura acest zgomot de fond sunt necesare etape de prelucrare suplimentare.

APS (Active pixel sensors) reduce exact zgomotul amintit pentru varianta pasivă. Circuite specializate la nivelul fiecărui pixel determină și anulează zgomotul apărut. De la aceste circuite active vine și numele tehnologiei. Performanțele acestei variante de tehnologie CMOS se apropie de performanțele oferite de tehnologia CCD și permit realizarea de senzori de mare dimensiune și înaltă rezoluție.

Tehnologia CMOS permite includerea în cipul senzorului a unor funcții suplimentare (inclusiv pentru micșorarea zgomotului și stabilizarea imaginii sau compresia imaginii) care necesită cipuri suplimentare la CCD.

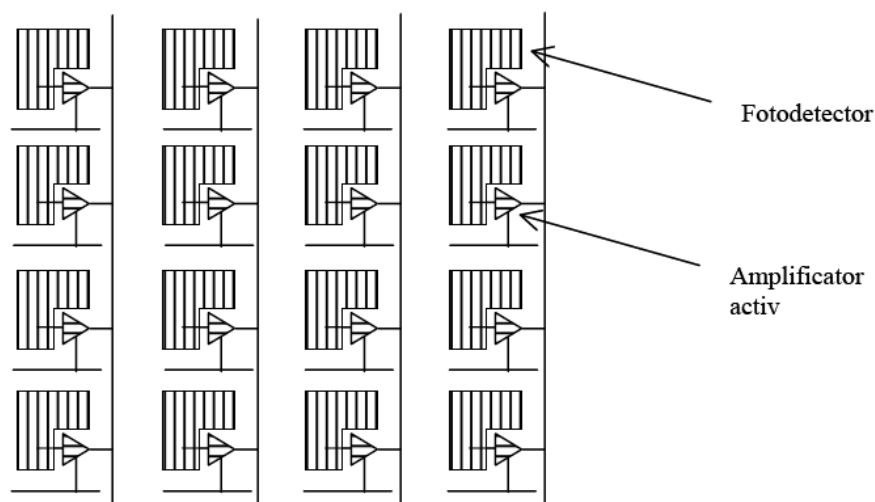


Fig. 1 Senzorul CMOS - Schema de principiu [12]

Pentru că senzorii CMOS au un nivel de zgomot mai mare decât senzorii CCD este nevoie de un timp de procesare mai mare între două imagini. Se pot folosi pentru aceasta procesoare de semnal (DSP) specializate. Prețul este un avantaj major pentru CMOS ceea ce

determină tendința de a îndrepta cercetările în direcția producerii unor astfel de senzori și de a le îmbunătăți performanțele.

Caracteristicile fizice ale sensorului optic sunt :

- Interfață conectare PC: USB 1.1
- Rezoluția: 500 DPI (Dots Per Inch)
- Framerate: 8 fps
- Alimentare: 150 mA, prin intermediul portului USB
- Dimensiunile suprafeței utile: 13 x 16 mm (256 x 320 pixeli)
- Dimensiunile modulului: 68mm(L) x 27 mm (W) x 28 mm (H)
- Temperatura de operare: 0 – 55 C

Senzorul biometric este compus din **modulul optic**, ce are în componență prisma și un senzor CMOS, și **modulul de comunicație USB**. Pentru a se menține prețul scăzut al dispozitivului nu s-a montat și un procesor de semnal (DSP) care să funcționeze independent de PC și să genereze local șablonul amprentei. Senzorul transmite către calculator imaginea brută a amprentei, aceasta fiind procesată cu ajutorul unor funcții software specializate.

Senzorul biometric este dotat cu o interfață USB 1.1 pentru conectarea la PC.

Magistrala USB reprezintă soluția oferită comunicațiilor seriale de noua generație de calculatoare. Este o interfață serială rapidă, bidirecțională, ieftină și ușor de folosit.

Orice dispozitiv USB este numit în specificații *device*. Toate dispozitivele sunt accesate printr-o adresă, care se atribuie la conectarea în sistem. În memoria fiecărui echipament există definită zona *endpoint zero* în care sunt memorate informații ce descriu complet dispozitivul: clasa de dispozitiv, tipul de alimentare, producător. Rata de transfer prin USB 1.1 este de maxim 12 Mbps.

Calitatea efectivă a unui traductor sau a unui senzor este determinată, atât de concepția care dă principiul de funcționare, cât și de modul în care este realizat constructiv acesta. Condițiile efective de funcționare oferite de industrie pot impune cerințe constructive diferite, chiar dacă mărimea de măsurat și intervalul de variație al acesteia sunt aceleași.

## 6.2. Componenta software

SDK (Software Development Kit) este un sistem de dezvoltare a aplicațiilor care permite programatorilor să creeze sau să modifice programe dedicate unor platforme hardware, sisteme de operare, pachete de software, etc.

Un SDK poate fi format dintr-o simplă librărie de funcții, care să permită lucrul cu anumite limbaje de programare, sau poate să conțină echipamente hardware complexe pentru dezvoltarea unor sisteme integrate. De obicei SDK-ul mai conține utilitare pentru „depanarea” programelor, exemple de cod sursă și documentație detaliată.

În cazul sistemului utilizat funcțiile din SDK pot fi clasificate în:

- funcții de control al dispozitivului, care realizează interfața dintre cititor și computer, prin intermediul driverelor de dispozitiv.
- funcții de diagnosticare a dispozitivului sunt funcții speciale de verificare a funcționalității și disponibilității echipamentului.
- funcții de captură a imaginii și extracție a caracteristicilor amprentei
- funcții de management al imaginilor, care permit salvarea imaginilor preluate de senzor direct pe harddisk-ul unui calculator, în diverse formate, de obicei RAW sau Bitmap.
- funcții de înregistrare a identității persoanelor (enrollement);
- funcții de verificare a identității.

În continuare vor fi prezentate funcțiile disponibile în SDK-ul kit-ului de dezvoltare Wison [12].

- Funcția **WIS\_InitDriver** conectează dispozitivul hardware și computerul (sistemul de operare) prin intermediul driver-ului de dispozitiv. În orice program această funcție va fi apelată înaintea altor funcții care comunică cu cititorul de amprente. Înaintea terminării execuției programului comunicarea între driver și dispozitiv trebuie întreruptă. Funcția primește ca parametru tipul dispozitivului și returnează un *handle*, în cazul conectării reușite sau valoarea NULL în celelalte cazuri.

- Funcția **WIS\_TerminateDriver** are rolul de a închide comunicarea între cititorul de amprente și computer. Primește ca parametru *handle-ul* returnat de funcția **WIS\_InitDriver**; nu returnează valori.

- Funcția **WIS\_TestDevice** verifică dacă cititorul este funcțional. Primește ca parametru *handle-ul* returnat de funcția **WIS\_InitDriver**. Va returna valoarea OK dacă dispozitivul este funcțional și FAIL în celelalte cazuri.

- Funcția **WIS\_CheckNoFinger** este utilizată pentru a verifica prezența unui deget deasupra scannerului de amprentă. Utilitatea funcției este observată la construcția modulului de înregistrare a identității, atunci când, pentru a obține un template de calitate, trebuie să se citească de mai multe ori amprenta unui utilizator. Primește ca parametru *handle-ul* returnat de funcția **WIS\_InitDriver**. Poate returna valorile OK, dacă nu există amprentă pe cititor, FAIL dacă există amprentă pe cititor și OUT\_OF\_MEMORY, dacă nu se reușește alocarea memoriei.

- Funcția **WIS\_InitCapture** are rolul de a alocă resursele necesare procesului de capturare a imaginii amprente. Funcția trebuie apelată înaintea oricărei alte funcții legate de procesul menționat mai sus. Primește ca parametru *handle-ul* returnat de funcția **WIS\_InitDriver** și returnează valoarea OK dacă alocarea resurselor a avut loc cu succes, sau FAIL pentru celelalte cazuri.

- Funcția **WIS\_EndCapture** se apelează la finalul procesului de capturare a imaginii amprente. Aceasta are rolul de a „dealoca” resursele folosite în cadrul înregistrării imaginii. Primește ca parametru *handle-ul* returnat de funcția **WIS\_InitDriver** și returnează valoarea OK dacă dealocarea resurselor a avut loc cu succes, sau FAIL pentru celelalte cazuri.

- Funcția **WIS\_Capture** are rolul de a capta imaginea de la senzor și de a o transporta în memoria principală. Calitatea imaginii este testată într-o structură repetitivă, astfel se vor face mai multe capturi până când imaginea obținută este calitate maximă. Funcția primește ca parametru *handle-ul* returnat de funcția **WIS\_InitDriver** și returnează valoarea OK dacă s-a obținut o imagine de calitate sau FAIL\_GET\_VERSION în cazul în care driverul de dispozitiv este invalid. Funcția este folosită de obicei într-o buclă de tip WHILE...DO; condiția de ieșire din buclă este ca valoarea returnată de funcție să fie OK.

- Funcția **WIS\_Snap** are rolul de a capta imaginea de la senzor și de a o transporta în memoria principală. Calitatea imaginii este testată într-o structură repetitivă, astfel se vor face mai multe capturi până când imaginea obținută este calitate maximă. Funcția primește ca parametru *handle-ul* returnat de funcția **WIS\_InitDriver** și returnează valoarea OK dacă s-a obținut o imagine de calitate sau FAIL\_GET\_VERSION în cazul în care driverul de dispozitiv este invalid. Funcția este folosită de obicei într-o buclă de tip WHILE...DO; condiția de ieșire din buclă este ca valoarea returnată de funcție să fie OK. Deși rolul funcției se aseamănă cu cel al **WIS\_Capture** algoritmi utilizați sunt diferiți.

- Funcția **WIS\_CreateTemplate** realizează conversia imaginii, aflate în memoria principală, într-un șir de 160 octeți, care reprezintă caracteristicile amprente. Funcția primește ca parametru *handle-ul* returnat de funcția **WIS\_InitDriver** și un pointer către o variabilă de tip char (caracter). Va returna OK dacă imaginea a fost procesată cu succes, OUT\_OF\_MEMORY

dacă nu a putut fi alocată suficientă memorie pentru procesare, respectiv `FAIL_GET_VERSION` dacă driverul de dispozitiv este invalid. Pentru variabila de tip pointer trebuie alocată, înainte de apelul funcției, 160 bytes. Template-ul (șirul de date reprezentând amprenta) va fi stocat în variabila de tip char.

- Funcția **WIS\_GetImage** încarcă imaginea stocată în memoria principală într-un buffer. Înainte de utilizarea funcției trebuie să se apeleze `WIS_Snap` și să se aloce memoria necesară bufferului. Funcția primește ca parametri *handle-ul* returnat de funcția `WIS_InitDriver` și un pointer către o variabilă de tip char (caracter), în care va fi stocată imaginea (buffer-ul). Funcția va returna `OK` dacă imaginea a fost transferată, `OUT_OF_MEMORY` dacă nu a putut fi alocată suficientă memorie, respectiv `FAIL_GET_VERSION` dacă driverul de dispozitiv este invalid.

- Funcția **WIS\_GetImageSize** calculează dimensiunea imaginii. Primește ca parametri *handle-ul* returnat de funcția `WIS_InitDriver`, tipul imaginii, care poate avea valorile `SMALL` sau `LARGE`, înălțimea, lățimea și dimensiunea imaginii. Dimensiunea este calculată ca produs între înălțime și lățime. Funcția va returna `OK` dacă a calculat dimensiunea imaginii sau `FAILED` pentru toate celelalte cazuri.

- Funcția **WIS\_SetEnrollMode** configurează dimensiunea template-ului asociat amprentei în cazul înregistrării identității persoanei (enroll). Primește ca parametri *handle-ul* returnat de funcția `WIS_InitDriver` și dimensiunea dorită a template-ului în bytes. Aceasta poate fi 180, 320 sau 480 bytes. Cu cât dimensiunea template-ului este mai mare cu atât crește și acuratețea identificării, dar crește și timpul de procesare. Funcția returnează întotdeauna valoarea `OK`.

- Funcția **WIS\_Enroll** generează un template asociat amprentei în cazul înregistrării identității persoanei (enrollment). Funcția primește ca parametri *handle-ul* returnat de funcția `WIS_InitDriver` și un pointer către o variabilă de tip char (caracter). Va returna una din valorile `QUALITY_A`, `QUALITY_B`, `QUALITY_C`, `QUALITY_D` reprezentând calitatea template-ului obținut sau `QUALITY_NOT_YET` dacă nu a fost obținut un template de calitate și, deci, procesul de înregistrare nu a avut loc. Funcția este folosită de obicei într-o buclă repetitivă; condiția de ieșire din buclă este ca valoarea returnată de funcție să fie egală cu calitatea dorită a înregistrării (`QUALITY_A`, `QUALITY_B`, `QUALITY_C`, `QUALITY_D`).

- Funcția **WIS\_ReleaseEnroll** are rolul de a elibera resursele folosite în procesul de înregistrare. Primește ca parametru *handle-ul* returnat de funcția `WIS_InitDriver` și returnează întotdeauna valoarea `OK`.

- Funcția **WIS\_VerifyTemplate** verifică potrivirea între două template-uri unul generat de funcția `WIS_CreateTemplate`, iar celălalt obținut anterior, de funcția `WIS_Enroll`. Funcția primește ca parametri *handle-ul* returnat de `WIS_InitDriver`, un pointer către șirul de caractere care conține template-ul generat de `WIS_CreateTemplate`, un pointer către șirul de caractere care conține template-ul generat de `WIS_Enroll`, un parametru de securitate, o variabilă care reține scorul potrivirii. Parametru de securitate arată rata FAR astfel, dacă valoarea acestuia este:

`SECURITY_A` - rata FAR este 1/100.000

`SECURITY_B` - rata FAR este 1/10.000

`SECURITY_C` - rata FAR este 3/10.000

`SECURITY_D` - rata FAR este 1/1000

`SECURITY_E` - rata FAR este 1/100

Funcția returnează valoarea `OK`, dacă în urma verificării se constată o potrivire corespunzătoare nivelului de securitate selectat, `FAIL` dacă imaginile nu sunt identice, `OUT_OF_MEMORY`, dacă nu a fost alocată suficientă memorie, `INVALID_TEMPLATE` în cazul unui template incorect generat de către funcția `WIS_Enroll`, `INVALID_SECURITY` parametru de securitate incorect.

- Funcția **WIS\_SaveImage** salvează imaginea captată de cititorul de amprente pe harddisk în format RAW sau bitmap (BMP). Primește ca parametri handle-ul returnat de WIS\_InitDriver, tipul de imagine - GRAY (nuanțe de gri) sau BINARY (binar), dimensiunea - LARGE sau SMALL, formatul RAW sau BMP, numele fișierului în care se va face salvarea. Funcția va returna valoarea OK dacă imaginea a fost salvată, FAIL\_OPEN\_FILE dacă nu s-a putut crea fișierul imagine, respectiv OUT\_OF\_MEMORY dacă nu s-a putut aloca memoria.

- Funcția **WIS\_DisplayImage** permite afișarea imaginii captate de senzor pe ecran. Primește ca parametri handle-ul returnat de WIS\_InitDriver, tipul de senzor, tipul de imagine - GRAY (nuanțe de gri) sau BINARY (binar), dimensiunea - LARGE sau SMALL și coordonatele poziției în care va fi afișată imaginea. Funcția returnează valoarea OK dacă imaginea a fost afișată și FAIL în toate celelalte cazuri.

Folosind senzorul și funcțiile disponibile în SDK s-a realizat un program de testare a dispozitivului. Astfel s-au putut evalua parametrii FAR (False Acceptance Rate) - rata acceptărilor false, FRR (False Rejection Rate) - rata rejectărilor false, FMR (False Match Rate) - rata adaptărilor false și FNMR (False Non-Match Rate) - rata neadaptărilor false. Cei doi parametri FAR și FRR caracterizează orice sistem biometric. Cele două rate sunt invers proporționale, dar șansele de apariție ale erorilor sunt foarte mici, aproximativ 1/1000000.

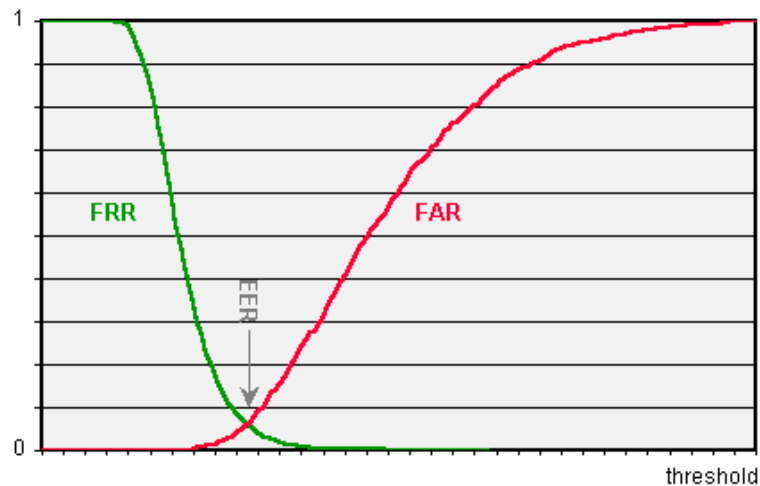


Fig. 2 - Graficul parametrilor FAR și FRR pentru un sistem oarecare [12,14]

Punctul EER reprezintă egalitatea celor două rate FAR și FRR sau FMR și FNMR. Parametri FMR și FNMR se calculează cu folosind formulele:

$$FMR(t) = \frac{\text{card}\{ims \mid ims \geq t\}}{NIRA}, FNMR(t) = \frac{\text{card}\{gms \mid gms < t\}}{NGRA} \quad (6.1)$$

unde *ims* reprezintă scorul de adaptare incorectă, iar *gms* scorul de adaptare corectă pentru un anumit prag *t*. Construind graficele FNMR și FMR se poate obține și valoarea parametrului EER la intersecția celor două curbe.

Pentru senzorul biometric prezentat s-a obținut un scor EER de 48%, ceea ce impune utilizarea acestui senzor în aplicații care nu necesită un grad maxim de securitate.

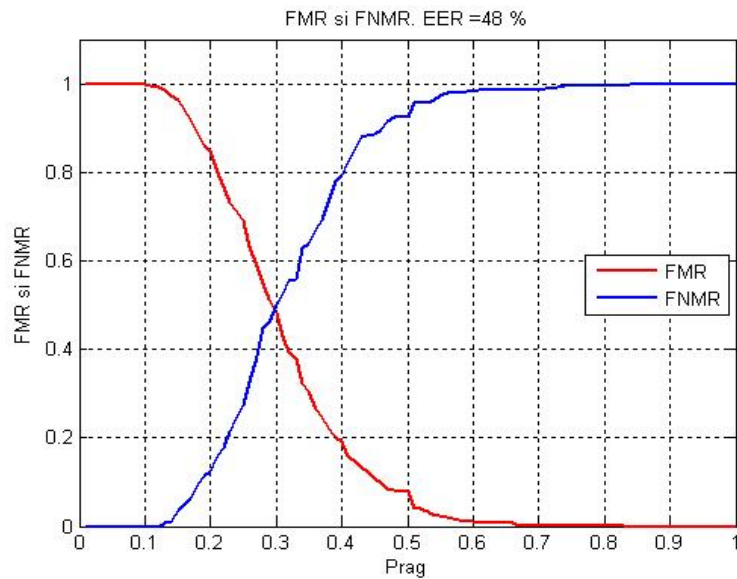


Figura 3 - Reprezentarea grafică a parametrilor FMR-FNMR

Șabloane ale amprentelor:



Fig.6.4. Amprenta [12]

```

00000000 3519 1195 8218 2101 2462 5417 5194 8324 8461 1086 8496 1562 3412
2372 5.....!.$bT.Q..$.a.....b4.#r
0000001C 4717 9126 1132 7107 3356 2395 1121 2352 0121 4913 9118 8674 2072
5272 G.&.2q.3V#!#R.!I...t rRr
00000038 1382 0118 5114 6217 1250 1111 5722 7196 1311 2221 7114 3662 1372
4510 ....Q.b..P..W"q..."!q.6b.rE.
00000054 8194 1711 4531 1151 7115 1839 8216 5591 4312 0182 2367 2185 3415
1172 ....E1.Qq..9..U.C...#g!.4..r
00000070 5114 5141 5819 0129 1109 8185 1671 0110 1185 2002 0109 4318 5148
1341 Q.QAX..).....q.... ..C.QH.A
0000008C 3017 2227 1041 3418 0491 1316 7142 2418 1571 6811 2418 0164 1312
0176 0."A4.....qB$.qh$.d...v
000000A8 1609 1327 6922 4512 8728 8214 0196 8425 3184 7680 2491 4829 7622
8145 ...i"E..(.....%1.v.$H)v".E
000000C4 8873 1611 5640 6877 1528 0641 6435 1052 5582 2311 2024 6176 1711
9499 ..s.V@hw.(Ad5.RU.#. $av....

```



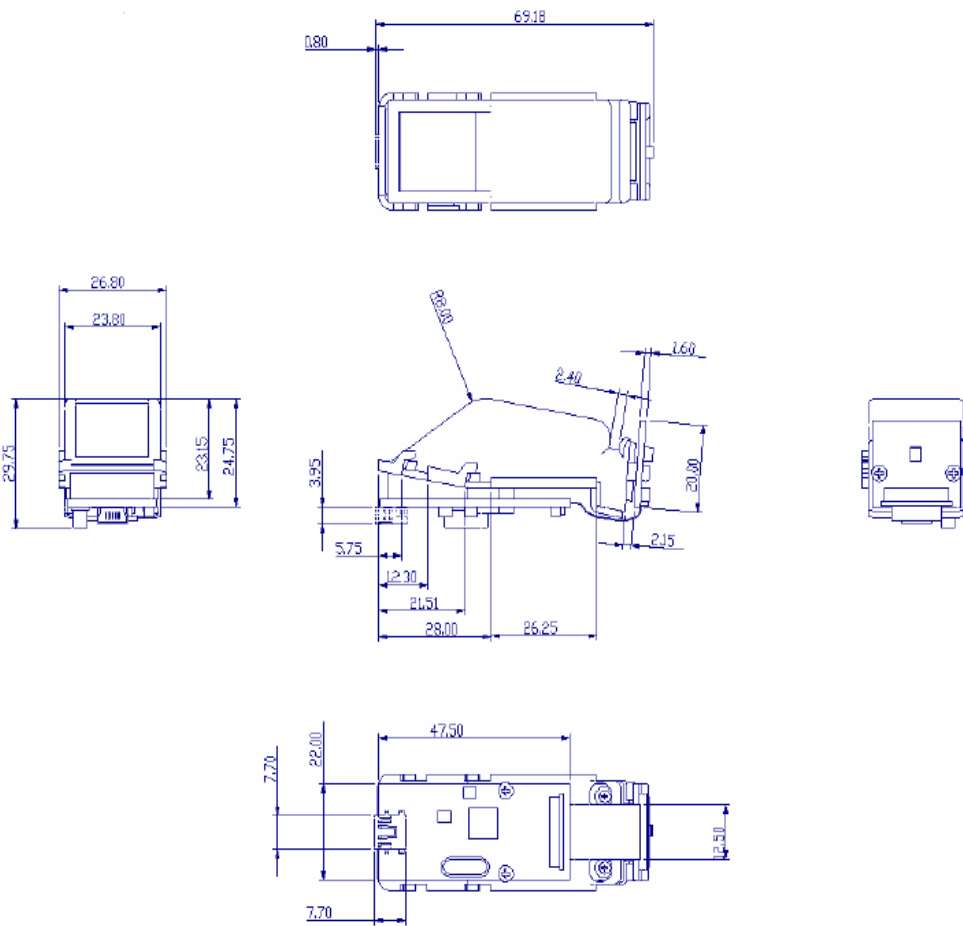


Fig.6.5. Desene de execuție ale moduluii optic [12]

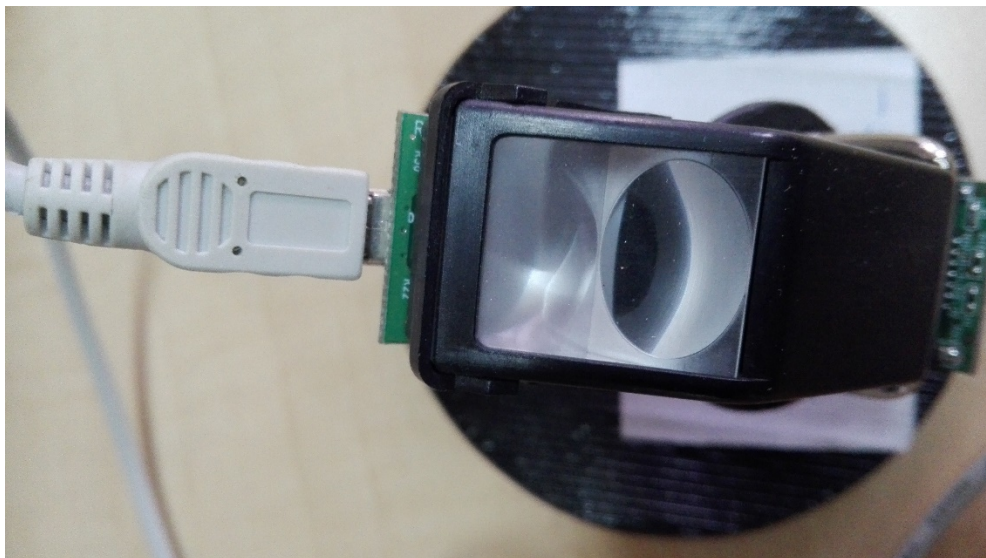


Fig.6.5. Modulul optic [12]

## Ghid de instalare a senzorului biometric

### A. Pentru sistemul de operare *Windows 98 SE*

1. Conectați dispozitivul la PC, prin intermediul cablului USB .
2. Sistemul de operare îl va detecta automat. Click “Next”.



3. Selectați “Search for the best driver for your device (Recommended),” click “Next”.



4. Selectați caseta de validare “Specify a location”. Click “Browse” pentru a selecta directorul în care se găsesc driverele de dispozitiv (de ex., **D:\ Driver**, “D” reprezintă eticheta asociată unității optice), click “Next”.



5. Sistemul de operare va detecta dispozitivul USB drept “CMOS Fingerprint Reader”. Click “Next”.



6. Click “Finish” pentru a încheia procesul de instalare.



7. Dacă dispozitivul nu este detectat, deconectați-l și apoi reconectați-l de la/portul USB al computerului. Verificați dacă dispozitivul apare în *My Computer* > *Properties* > *Device Manager* > *Universal Serial Bus Controllers* > *CMOS Fingerprint Reader*.

## B. Pentru sistemul de operare *Windows ME*

1. Conectați prin intermediul cablului USB dispozitivul la PC.
2. Sistemul de operare va detecta dispozitivul sub unul din numele “**CMOS Fingerprint Reader**”.



3. Selectați “**Search for the best driver for your device (Recommended).**” Apoi alegeți caseta de validare “**Specify a location**”, click pe butonul “**Browse**” pentru a selecta directorul în care se găsesc driverele de dispozitiv (de ex., **D:\ Driver**, “**D**” reprezintă eticheta asociată unității optice), click “**Next**”.



4. Click pe butonul “**Next**” pentru a finaliza instalarea. Sistemul va detecta dispozitivul USB sub unul din numele “**WUSB106 Fingerprint Reader**”. Click pe butonul “**Next**”.



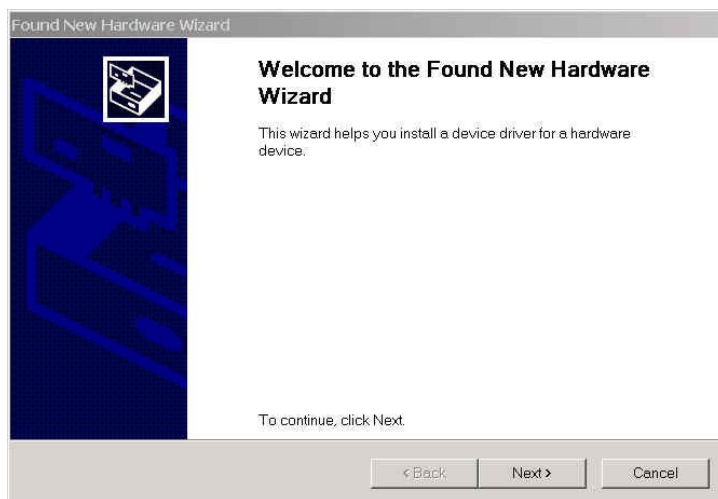
5. Click pe butonul “**Finish**” pentru a încheia procesul de instalare.



6. Dacă dispozitivul nu este detectat, deconectați-l și apoi reconectați-l de la/portul USB al computerului. Verificați, apoi, dacă dispozitivul apare în *My Computer->Properties->Device Manager-> Universal Serial Bus Controllers->WUSB106 Fingerprint Reader*.

### C. Pentru sistemul de operare *Windows 2000*

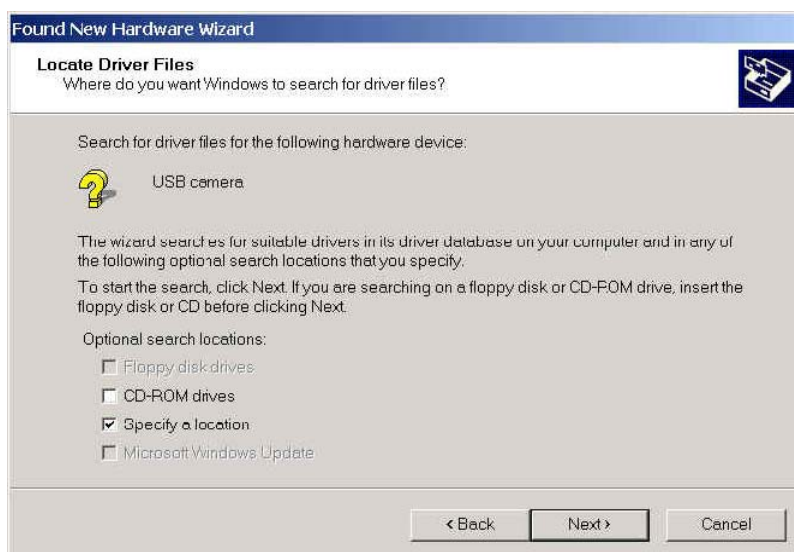
1. Conectați prin intermediul cablului USB dispozitivul la PC.
2. Sistemul de operare îl va detecta automat. Click “**Next**”.



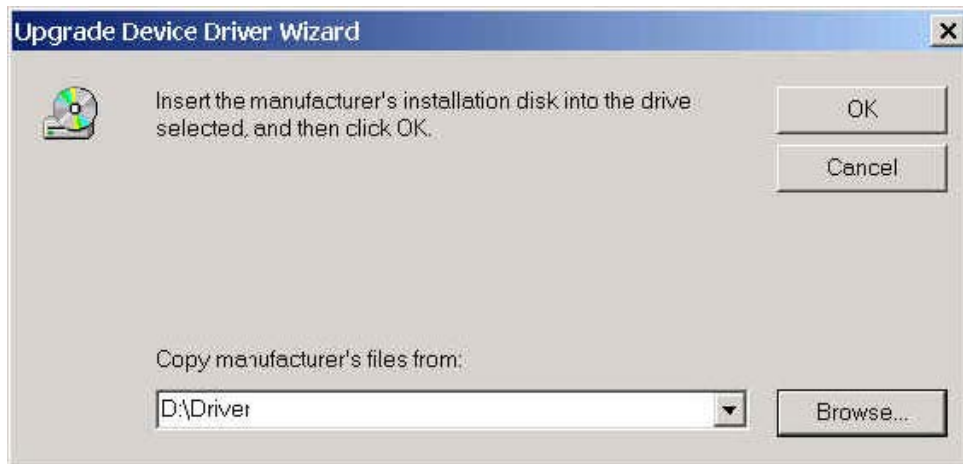
3. Selectați caseta de validare “**Search for a suitable drivers for my device (recommended)**” și apoi click pe “**Next**”.



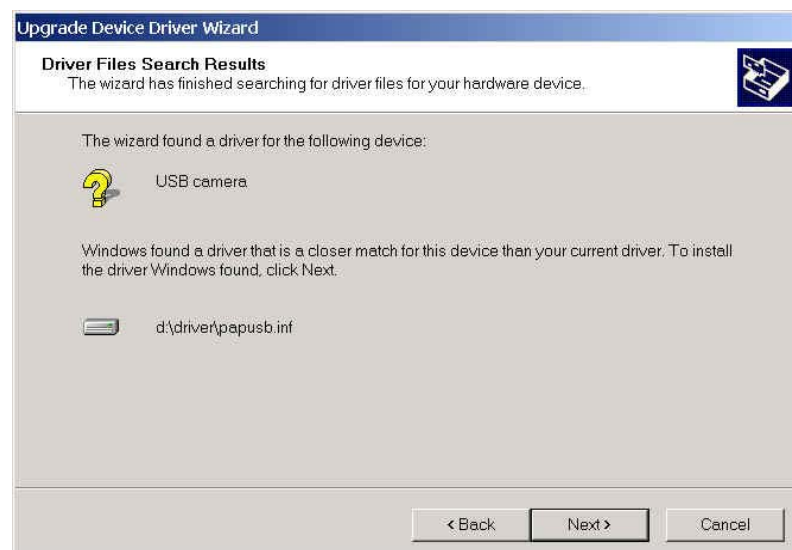
4. Selectați caseta “**Specify a location**”, apoi efectuați click pe butonul “**Next**.” (Dacă cititorul de amprente este dotat cu Chip Sensor în loc de “**USB camera**” va apare textul “**USB device**”).



5. Click pe buton **“Browse”** pentru a selecta directorul în care se găsesc driverele de dispozitiv (de ex., **D:\Driver**, **“D”** reprezintă eticheta asociată unității optice) .



6. Sistemul de operare va detecta echipamentul USB sub unul din numele **“WUSB106 Fingerprint Reader”**, Click **“Next”** pentru continuare.



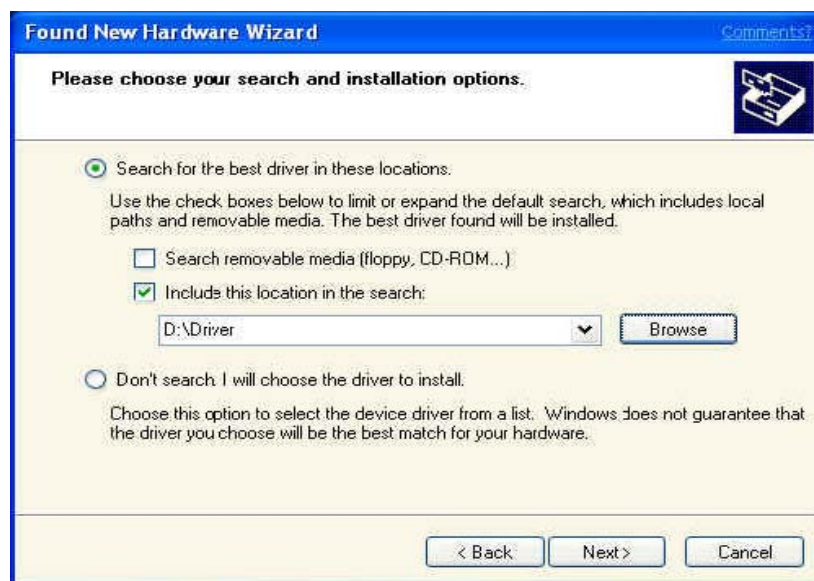
Dacă dispozitivul nu este detectat, deconectați-l și apoi reconectați-l de la/portul USB al computerului. Verificați, apoi, dacă dispozitivul apare în *My Computer*->*Properties*->*Device Manager*-> *Universal Serial Bus Controllers*->*WUSB106 Fingerprint Reader*.

D. Pentru sistemul de operare *Windows XP*

1. Conectați prin intermediul cablului USB dispozitivul la PC.
- 2 Sistemul de operare îl va detecta automat. Selectați caseta de validare **“Install from a list or specific location (Advanced)”** și apoi click pe butonul **“Next”** (Dacă cititorul de amprente este dotat cu Chip Sensor, în loc de **“USB camera”** va apare textul **“USB device”**).



3. Selectați caseta de validare **“Search for the best driver in these locations.”** Apoi alegeți **“Include this location the search”**, și efectuați click pe butonul **“Browse”** pentru a selecta directorul în care se găsesc driverele de dispozitiv (de ex., **D:\Driver**, **“D”** reprezintă eticheta asociată unității optice), click **“Next”**.



4. Sistemul de operare va detecta echipamentul USB sub unul din numele **“WUSB106 Fingerprint Reader”**. Click **“Next”** pentru continuare.





5. Dacă dispozitivul nu este detectat, deconectați-l și apoi reconectați-l de la/la portul USB al computerului. Verificați, apoi, dacă dispozitivul apare în *My Computer->Properties->Device Manager-> Universal Serial Bus Controllers->WUSB106 Fingerprint Reader*.

# 7 . Studiul unui sistem microprogramabil de măsurare și reglare automată a temperaturii

Obiectivul lucrării este acela de a prezenta modul de realizare și implementare a unui sistem de măsurare și reglare automată a temperaturii cu ajutorul platformei Arduino, care poate fi utilizat atât în procese reale cât și în scopuri educaționale [6].

## 7.1. Proiectarea sistemului

Schema bloc a sistemului implementat în laboratorul Tehnica Măsurării este prezentată în figura 7.1.

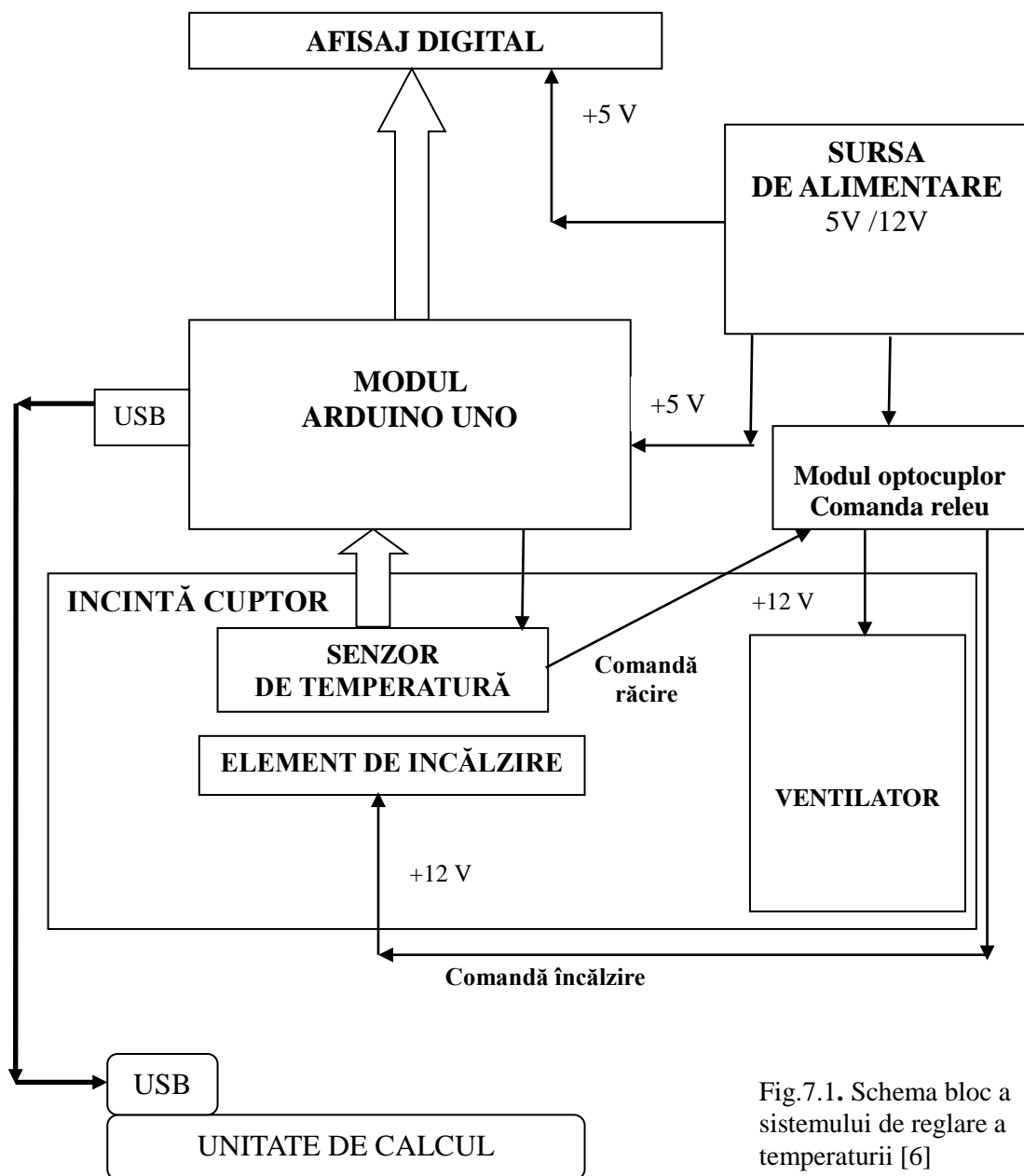


Fig.7.1. Schema bloc a sistemului de reglare a temperaturii [6]

**Placa de dezvoltare Arduino Uno** este o placă cu un microcontroler pe 8 biți Atmel din familia AVR-Atmega 328P și care oferă suport pentru comunicație serială, achiziție analogică, comandă PWM (Pulse-Width Modulation), comunicații I/O digitale. Arhitectura internă a plăcii este simplă, formată din componente care asigură funcții precum:

- alimentarea plăcii de dezvoltare și chiar a unor componente care vor fi interconectate;
- interfațarea cu un PC prin portul serial-USB pentru programarea plăcii și realizarea comunicației seriale;
- asigură conectarea altor componente cu placa de dezvoltare prin intermediul conectorilor aflați pe placă.

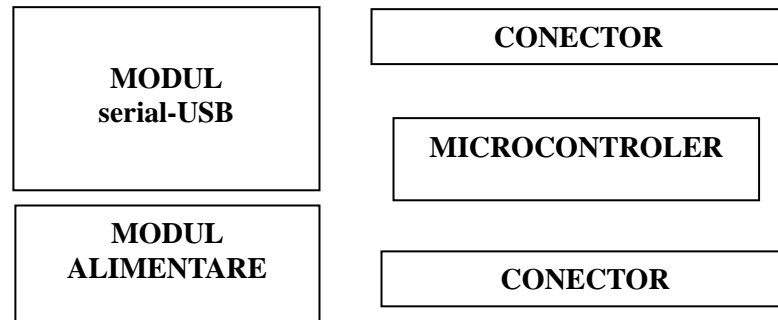


Fig.7.2. Arhitectura internă Arduino Uno [11]

Placa de dezvoltare Arduino Uno transformă microcontrolerul încorporat într-o componentă gata de interconectare, facilitând utilizarea acestuia în cadrul unor aplicații diverse fără a mai avea nevoie de proiectarea și implementarea componentelor suport de bază, cum ar fi alimentare, programator, mufe de interconectare.

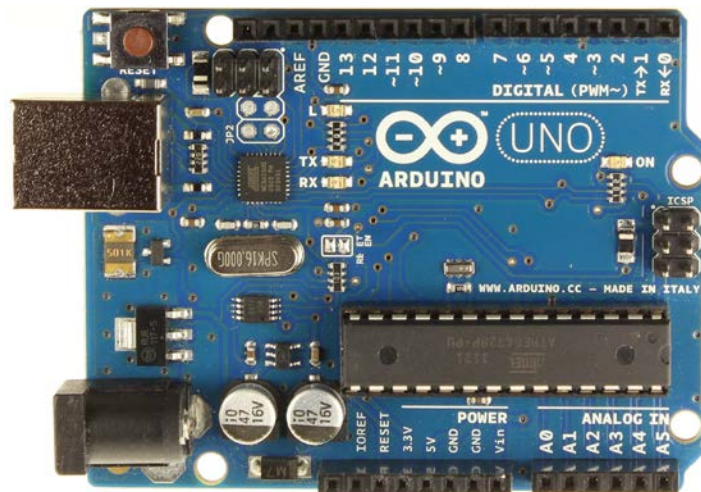


Fig.7.3. Placa de dezvoltare Arduino Uno

Microcontrolerul Arduino Uno lucrează la o tensiune de 5V (tensiune de intrare recomandată între 7 și 12 V) și are 14 pini digitali de intrare/ieșire (din care 6 PWM) și 6 pini analogici. Fiecare ieșire sau intrare digitală sau analogică poate suporta un curent de maxim 40 mA CC.

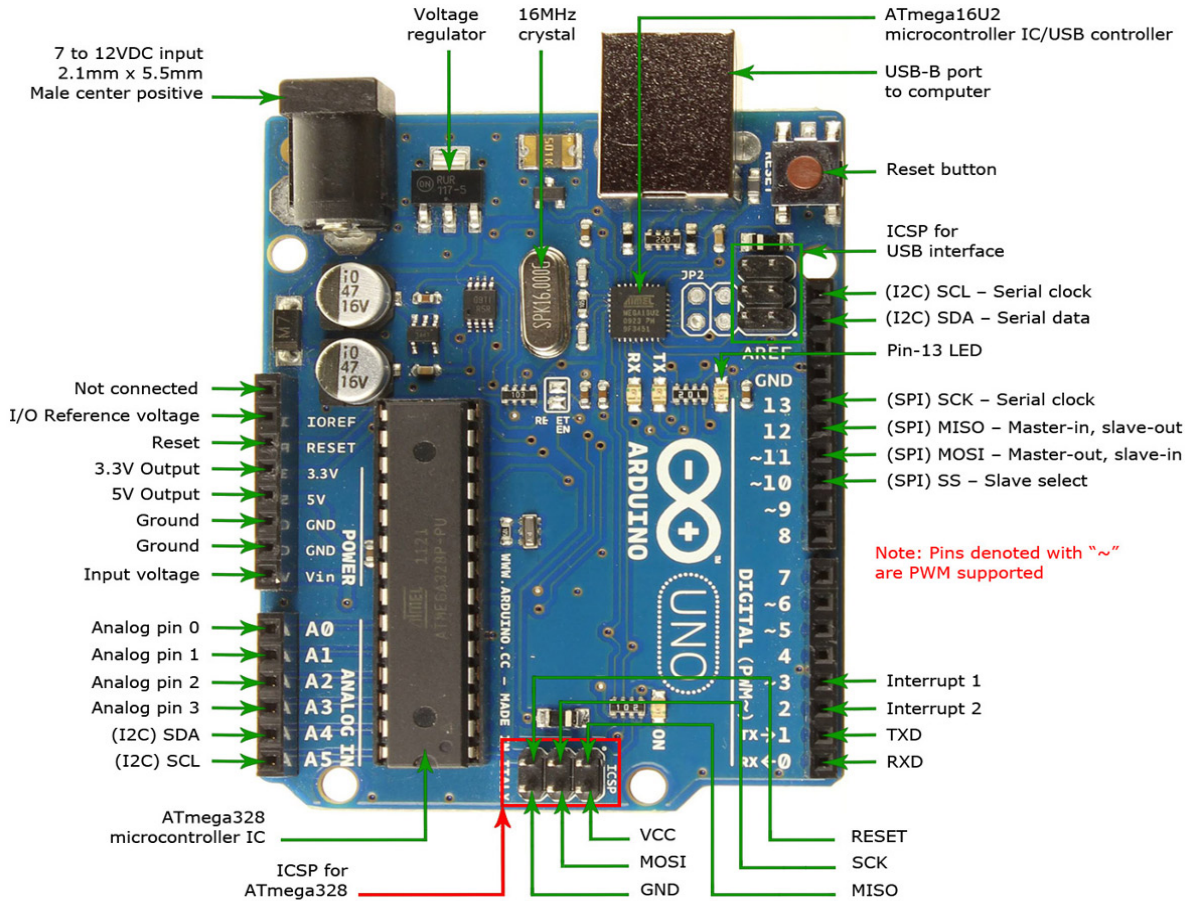


Fig.7.4. Configurația pinilor microcontroler-ului Arduino UNO

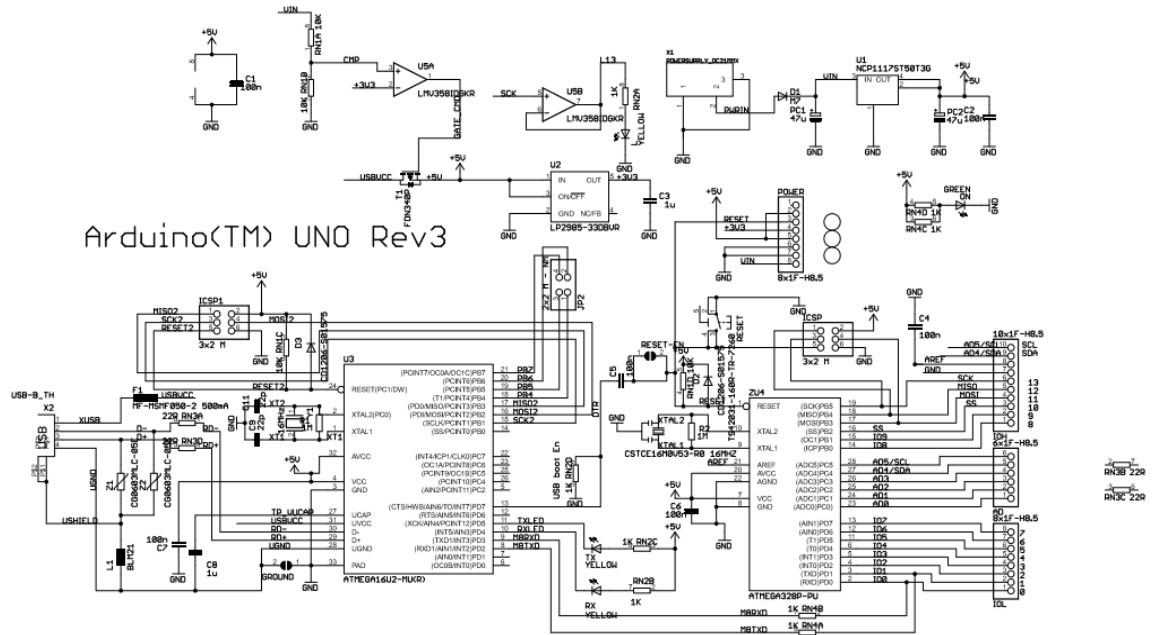


Fig.7.5. Schema electrică a microcontrolerului Arduino Uno [8]

## Microcontrolerul Atmega328

Circuitul Atmega328 este un microcontroler pe 8 biți având o arhitectură RISC cu performanțe de până la 1 MIPS per Mhz. Rulează la frecvențe de până la 20 Mhz. Memoria internă conține 32 KB memorie program flash cu până la 10.000 cicluri ștergere/scriere, 1 KB memorie utilizator EEPROM cu până la 100.000 de cicluri ștergere/scriere) și 2 KB memorie de date de tip SRAM.

Din cei 28 pini ai circuitului, 23 sunt ocupați de cele porturi I/O: B(8 pini), C(7 pini) și D (8 pini) care sunt formate din linii I/O bidirecționale configurabile individual. Pini  $V_{cc}$  și GND sunt pini de alimentare ai circuitului iar pini  $AV_{cc}$  și AREF sunt pini de alimentare și referință al convertorului analogic-digital.

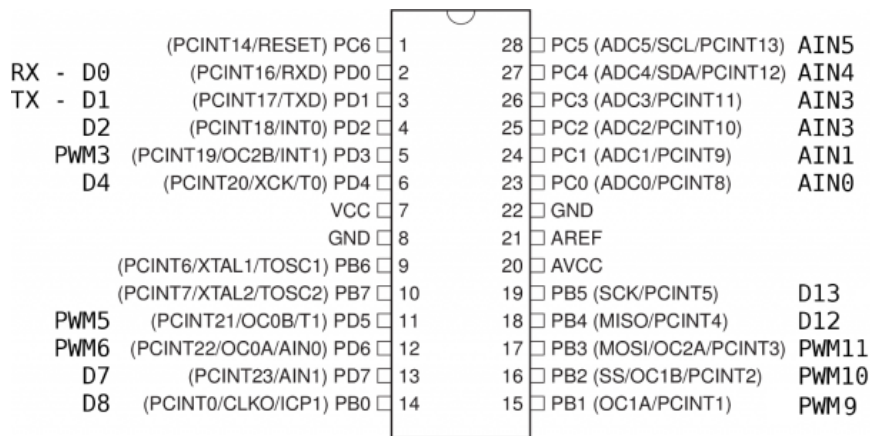


Fig.7.6. Configurația pinilor circuitului Atmega328

## IDE Arduino

Arduino este un concept care implică atât partea hardware cât și partea software și care necesită înțelegerea modului de funcționare a componentelor dar și a modului de programare asociat. Programele pentru Arduino pot fi scrise în orice limbaj de programare capabil să producă un cod mașină binar. Atmel oferă un mediu de dezvoltare pentru microcontrolerele sale, AVR Studio și mai nou, Atmel Studio.

Proiectul Arduino oferă un mediu integrat de dezvoltare (IDE ARDUINO), care este o aplicație cross-platform scrisă în Java și care este disponibil pentru cele mai importante sisteme de operare actuale. Acesta își are originile în mediul de dezvoltare pentru limbajul de programare Processing și în proiectul Wiring. Este proiectat pentru a introduce programarea în lumea artiștilor și a celor nefamiliarizați cu dezvoltarea software. Include un editor de cod cu funcții ca evidențierea sintaxelor, potrivirea acoladelor și spațierea automată și oferă mecanisme simple cu un singur click, pentru a compila și a încărca programele în plăcuța Arduino. Un program scris în IDE pentru Arduino se numește sketch (schiță). [7]

Arduino IDE suportă limbajele de programare C și C++ folosind reguli speciale de organizare a codului. Arduino IDE oferă o librărie software numită Wiring, din proiectul Wiring, care oferă multe proceduri comune de intrare și ieșire. Un sketch tipic Arduino scris în C/C++ este compus din două funcții care sunt compilate și legate cu o secvență de program *main()*, într-un program executabil cu o execuție ciclică:

- *setup()*: o funcție care este rulată o singură dată la începutul programului, când se inițializează setările.

- *loop()*: o funcție apelată în mod repetat până la oprirea alimentării cu energie a plăcuței.

După compilarea și legarea cu GNU toolchain inclus, de asemenea, în IDE, mediul de dezvoltare Arduino trimite o comandă pentru a converti codul executabil într-un fișier text codat hexazecimal, care poate fi încărcat în placa Arduino de un program de încărcare. [1]

## Afișajul LCD

Produs de RAYSTAR Optronics Co., afișajul este cu cristale lichide, format din două rânduri a câte șaisprezece caractere pe rând (permite afișarea a 32 caractere maxim), este alfanumeric, cu fondul albastru și caracterele de culoare albă. Dimensiunea modulului afișajului LCD este de 80x36x13,2 mm, suprafața de vizualizare 66x16 mm iar zona activă 56,2x11,5 mm. Dimensiunea caracterelor ce pot fi afișate 2,95x5,55 mm.

Modulul cu afișaj LCD (Liquid Crystal Display) este construit într-un controller LSI care are 2 registre pe 8 biți: registrul de instrucțiuni IR și registrul de date DR. În IR sunt înregistrate coduri de instrucțiuni cum ar fi ștergerea afișajului, schimbarea cursorului și adresele pentru datele de afișare RAM (DDRAM) și generatorul de caractere (CGRAM). Registrul de date DR stochează temporar date care urmează să fie scrise sau citite de la DDRAM sau CGRAM [2].



Fig.7.7. Foto cu LCD-ul sistemului de reglare al temperaturii

LCD-ul este un modul electronic de afișare utilizabil într-o mare varietate de aplicații deoarece este ușor de programat, nu are limitări în afișarea caracterelor speciale, are posibilitatea de afișare a animațiilor și nu în ultimul rând un consum redus (1,5 mA + 20 mA iluminarea de fundal). Tensiunea de alimentare a LCD-ului este de 5 V.

## Senzorul de temperatură TMP102

TMP102 este un senzor digital de temperatură cu o ieșire compatibilă TWI. Rezoluția de citire a temperaturii este de 0.0625°C și poate măsura temperaturi de la -40 la +125 grade Celsius. Senzorul oferă o precizie de ±0.5°C fără a necesita calibrarea componentelor externe.

Senzorul dispune de 5 registre configurabile:

- Point register – registru ce poate fi folosit ca pointer pentru celelalte registre;
- Temperature register – registru ce conține temperatura măsurată de senzor;
- Configuration Register – registru de configurare a modului de funcționare a

senzorului

- $T_{LOW}$  Register – registru de configurare a unei temperaturi minime pentru care se poate configura o alertă;

- $T_{HIGH}$  Register – registru de configurare a unei temperaturi maxime pentru care se poate configura o alertă. [7]

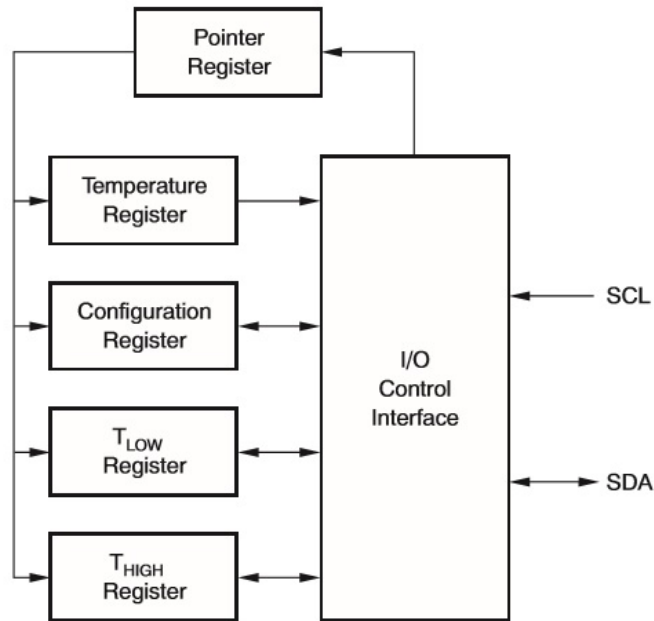


Fig.7.8. Structura internă a registrelor senzoru TMP102 [7]

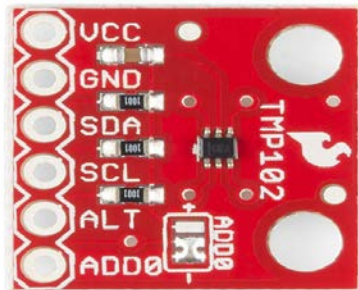


Fig.7.9. Foto cu senzoru de temperatură TMP102

## Placa breadboard

Această placă este compusă din pini conectați între ei ceea ce permite să construiești scheme electronice cu mai multe puncte de alimentare și mai multe puncte de intersecție a conexiunilor. Pini plăcii sunt aranjați sub formă de linii și coloane. Pe suprafața unei astfel de plăci vom observa existența unui număr considerabil de găuri mici dispuse la distanță de 0,1 inch (2,54 mm), în fiecare dintre aceste găuri putând fi introdus un singur fir sau un terminal al unei componente. Sub capacul de plastic, găurile sunt conectate în grupuri de o rețea de lamele metalice realizate din aliaje bune conducătoare de electricitate. Rândurile de sus și de jos sunt conectate orizontal și sunt, de obicei, folosite pentru bornele sursei de alimentare. Aici se vor conecta bornele + și – ale sursei de alimentare. În unele cazuri, în dreptul acestor

rânduri este marcată o linie roșie, respectiv albastră, pentru a identifica cu ușurință polarizarea alimentării (albastru - masă). Celelalte lamele sunt conectate vertical. Canalul din mijloc permite amplasarea circuitelor integrate.

### Sursa de alimentare

Sursa de alimentare a sistemului de reglare a temperaturii este o sursă externă cu 12 V curent continuu la ieșire și curent de 1.25 A.

### Elementele de execuție

Sunt componentele care primesc comenzi de la microcontroler prin optocuplorul-releu pentru a regla temperatura stabilită ( $T_{LOW}$  și  $T_{HIGH}$ ) în programul încărcat în Arduino:

- ventilator cu alimentare de 12 V, pentru racire;
- 2 becuțe legate în serie alimentate la tensiunea de 12 V, pentru încălzire.

### Optocuplor-releu

Optocuplorul este componenta care transferă semnal electric între două circuite izolate prin utilizarea luminii și împiedică tensiunile înalte să afecteze sistemul care primește semnalul. Ca funcție tehnologică, optocuplorul realizează o izolare galvanică între două circuite (intrare-ieșire). Optocuplorul folosit în acest proiect este SUN EARTH RAS – 1210.



Fig.7.10. Optocuplor cu releu Sun Earth

**Montajul** este realizat pe baza plăcii de dezvoltare Arduino Uno, pe care este implementat microcontrolerul Atmega328 fiind ușor de programat prin intermediul Arduino Ide. Având rol de regulator, în baza semnalelor primite de la senzorul de temperatură TMP102, aceasta transmite către elementele de execuție comenzi prin intermediul optocuplorului, pentru a regla automat temperatura minimă și maximă stabilită în codul sursă încărcat în microcontroler.

Elaborarea comenzilor pentru reglarea bipozițională se realizează astfel: dacă temperatura sistemului este mai mică de 28 grade Celsius (temperatura setată în codul sursă  $T_{LOW}=28^{\circ}C$ ), atunci comanda va fi către elementul de încălzire care va încălzi sistemul iar pe LCD se va afișa temperatura instantanee și comanda ÎNCĂLZIRE; dacă temperatura depășește 30 de grade Celsius (temperatura setată în codul sursă  $T_{HIGH}=30^{\circ}C$ ), atunci comanda va fi către ventilator care va răci sistemul iar pe LCD se va afișa temperatura instantanee și COMANDĂ RĂCIRE.





Fig.7.11. Foto ansamblu sistem reglare automata a temperaturii

Conectarea componentelor se realizează prin intermediul firelor și al plăcii de conexiuni breadboard.

**LCD – ul Raystar** este conectat la placa Arduino Uno prin intermediul pinilor 6, 7, 8, 9, 11 și 12. Pentru a putea fi folosit în mediul Arduino Ide trebuie utilizată o bibliotecă inclusă în acest mediu de programare ce implementează diferite funcții de folosire și anume funcția LiquidCrystal.h. Se va declara în program o variabilă cu numele *lcd* prin care se vor configura pinii la care este conectat LCD-ul: *LiquidCrystal lcd(12, NULL, 11, 9,8,7,6)*. Deoarece pinul 11 este legat la masă, pe acesta se poate introduce valoarea NULL.

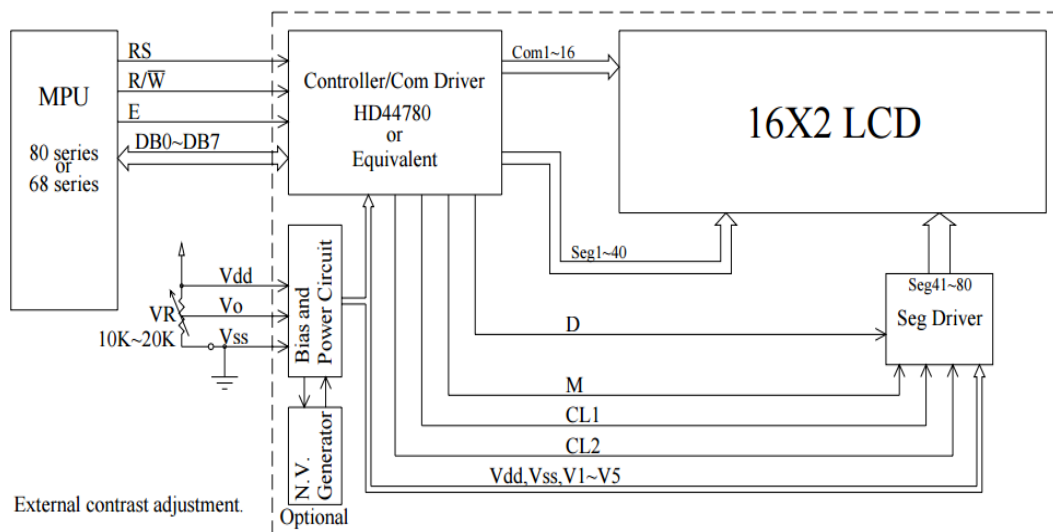


Fig.7.12. Schema electrică a afișajului LCD Raystar [2]

**Senzorul TMP102** este conectat prin intermediul pinilor SCL și SDA la intrările analogice ale plăcii Arduino, respectiv A5 și A4 (*analog in*).

- VCC - alimentarea între 1.4 și 3.6 V (3.3 nominal);
- GND – legătura la masă;
- SCL – legătura la interfața TWI, SCL (Serial Clock Line);

- SDA – legătura la interfața TWI, SDA (serial data line);
- ALERT – pin care se poate configura o ieșire de tip treaptă pentru emiterea unei alerte la ieșirea dintr-un interval de temperatură  $T_{LOW}$  și  $T_{HIGH}$ ;
- ADD0 - pin pentru configurarea adresei senzorului în protocolul TWI.

Tabel 7.1. Caracteristici electrice senzor TMP102 [13]

PARAMETER	CONDITIONS	TMP102			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
<b>TEMPERATURE INPUT</b>					
Range		-40		+125	°C
Accuracy (Temperature Error)	-25°C to +85°C		0.5	2	°C
	-40°C to +125°C		1	3	°C
vs Supply			0.2	0.5	°C/V
Resolution			0.0625		°C
<b>DIGITAL INPUT/OUTPUT</b>					
Input Logic Levels:					
$V_{IH}$		0.7 (V+)		3.6	V
$V_{IL}$		-0.5		0.3 (V+)	V
Input Current	$I_{IN}$ $0 < V_{IN} < 3.6V$			1	μA
Output Logic Levels:					
$V_{OL}$ SDA	$V+ > 2V, I_{OL} = 3mA$	0		0.4	V
	$V+ < 2V, I_{OL} = 3mA$	0		0.2 (V+)	V
$V_{OL}$ ALERT	$V+ > 2V, I_{OL} = 3mA$	0		0.4	V
	$V+ < 2V, I_{OL} = 3mA$	0		0.2 (V+)	V
Resolution			12		Bit
Conversion Time			26	35	ms
Conversion Modes					
	CR1 = 0, CR0 = 0		0.25		Conv/s
	CR1 = 0, CR0 = 1		1		Conv/s
	CR1 = 1, CR0 = 0 (default)		4		Conv/s
	CR1 = 1, CR0 = 1		8		Conv/s
Timeout Time			30	40	ms
<b>POWER SUPPLY</b>					
Operating Supply Range		+1.4		+3.6	V
Quiescent Current	$I_Q$ Serial Bus Inactive, CR1 = 1, CR0 = 0 (default)		7	10	μA
	Serial Bus Active, SCL Frequency = 400kHz		15		μA
	Serial Bus Active, SCL Frequency = 3.4MHz		85		μA
Shutdown Current	$I_{SD}$ Serial Bus Inactive		0.5	1	μA
	Serial Bus Active, SCL Frequency = 400kHz		10		μA
	Serial Bus Active, SCL Frequency = 3.4MHz		80		μA
<b>TEMPERATURE RANGE</b>					
Specified Range		-40		+125	°C
Operating Range		-55		+150	°C
Thermal Resistance, SOT563	$\theta_{JA}$		260		°C/W

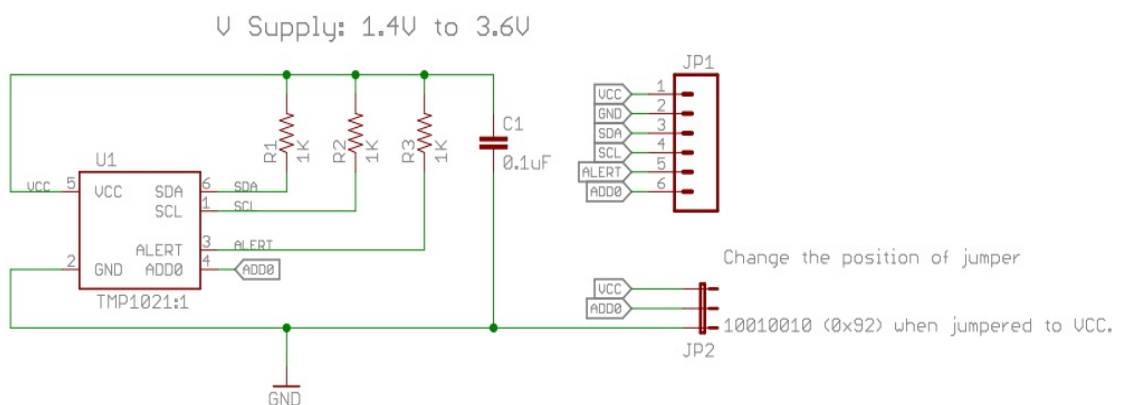


Fig.7.13. Schemă senzor temperatură TMP102 [12]

Pinul ALERT al circuitului TMP102 se activează de fiecare dată când temperatura măsurată va depăși valoarea  $T_{HIGH}$ , moment în care ventilatorul pornește. Pe parcursul comenzii de RĂCIRE este activat și un led de avertizare luminoasă care va fi aprins până când ventilatorul se oprește iar temperatura scade sub  $T_{LOW}$ , moment în care pinul ALERT se dezactivează. Modificarea temperaturilor minime și maxime la care elementele de execuție vor intra în funcțiune se realizează prin modificarea valorilor  $T_{LOW}$  și  $T_{HIGH}$  din liniile de program de mai jos:

```
const float TLOW = 28;  
const float THIGH = 30;
```

**Optocuplorul** este conectat la ieșirea senzorului TMP 102- ALERT care dă o comandă în intervalul de temperatură stabilit  $T_{LOW}$  și  $T_{HIGH}$ . Semnalul alimentează ledul din interiorul optocuplorului pe care îl aprinde. La aprinderea ledului fototranzistorul se deschide polarizând joncțiunea bază-emitor a transistorului de comandă releu care se deschide și alimentează releul R1. Rolul diodei pe bobina releului este de a împiedica autoinducția. Releul comandă la rândul lui elementul de răcire. După ce se atinge pragul de răcire  $T_{low}$  releul se deschide și alimentează pe contactul ND elementul de încălzire, în cazul nostru becurile.

## 7.2. Programarea microcontrolerului

Pentru programarea microcontrolerului, pe lângă aplicația IDE Arduino, este necesară și instalarea driverului de comunicare USB pentru placa Arduino Uno. Partea de inițializare a programului va conține biblioteci necesare, declararea LCD-ului, constantele de adresă și variabila de citire temperatură.

Principalele funcții ale programului:

- funcția setup() va inițializa obiectul atașat afisajului LCD, comunicația I2C și va seta limitele de temperatură a intervalului de alarmă cu ajutorul funcției setLimit(TLOW,THIGH);
- funcția loop() va afișa temperatura pe LCD, cu verificarea depășirii pragului de alarmă și afișarea COMANDĂ RĂCIRE, dacă este cazul, sau afișare ÎNCĂLZIRE când nu este depășit pragul de alarmă, concomitent cu pornirea elementului de încălzire. Achiziția temperaturii se face prin intermediul funcției getTemperature().

**Codul sursă al programului încărcat în microcontroler:**

```
#include <LiquidCrystal.h>  
#include <Wire.h>  
  
LiquidCrystal lcd(12, NULL, 11, 9,8,7,6);  
  
const int tmp102Address = 0x48;  
const float TLOW = 28;  
const float THIGH = 30;  
byte alarma = 0;  
  
void setup() {  
  lcd.begin(16, 2);  
  lcd.noCursor();  
  Wire.begin();  
  setLimit(TLOW,THIGH);
```

```

}

void loop(){
  float temperatura = 0.0;
  temperatura = getTemperature();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temp:");
  lcd.setCursor(5,0);
  if (temperatura >= 0) lcd.print(" ");
  else
  {
    lcd.print("-");
    temperatura = - temperatura;
  }
  if (temperatura < 10) lcd.print(" ");
  lcd.print(temperatura);
  if (temperatura > THIGH) {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("COMANDA RACIRE");
    alarma=1;
  }
  else {
    if (alarma==0) {
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print(" INCALZIRE ");
    }
    else {
      if (temperatura<TLOW) alarma = 0;
    }
  }
  delay(1000);
}

float getTemperature()
{
  byte MSB = 0x00;
  byte LSB = 0x00;
  int TempCitita = 0;
  float TempCelsius = 0.0;

  Wire.beginTransmission(tmp102Address);
  Wire.write(0x00);
  Wire.endTransmission();
  Wire.requestFrom(tmp102Address,2);
  Wire.endTransmission();
  MSB = Wire.read();
  LSB = Wire.read();
  TempCitita = ((MSB << 8) | LSB) >> 4; TempCelsius = TempCitita * 0.0625;
  return TempCelsius;
}

void setLimit(float low, float high)
{
  byte MSB;
  byte LSB;

```

```

int Temp;

Temp = low / 0.0625;
Temp = Temp << 4;
LSB = (byte) (Temp & 0xff);
MSB = (byte) ((Temp >> 8) & 0xff);
Wire.beginTransaction(tmp102Address);
Wire.write(0x02);
Wire.write(MSB);
Wire.write(LSB);
Wire.endTransmission();

Temp = high / 0.0625;
Temp = Temp << 4;
LSB = (byte) (Temp & 0xff);
MSB = (byte) ((Temp >> 8) & 0xff);
Wire.beginTransaction(tmp102Address);
Wire.write(0x03);
Wire.write(MSB);
Wire.write(LSB);
Wire.endTransmission();

}

```

## Desfășurarea lucrării

- Se va pune în funcțiune montajul experimental;
- Se va modifica valoarea de referință și se va urmări acțiunea sistemului;
- Se va modifica programul microcontrollerului pentru un alt algoritm de reglare.