

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE ÎN CIBERNETICĂ

Marea majoritate a notiunilor întâlnite în prezentul curs vor fi reluate și aprofundate la disciplinele de specialitate care vor fi studiate în anii următori. Unul din obiectivele cursului *Introducere în cibernetică* este și acela al stabilirii semnificației unor notiuni în vederea formării unui limbaj de specialitate începând chiar cu acest prim semestru. Vom începe asadar cu prezentarea câtorva definiții importante legate nemijlocit de obiectul cursului.

CIBERNETICĂ (*termenul provine din cuvântul grecesc KYBERNETYKOS – de cârmuire*) este știința care studiază natura legăturilor, comenzilor și proceselor de reglare în organismele vii și sistemele tehnice din punctul de vedere al analogiilor formale (nu și din acela al constitutiei și funcționării lor).

Practic cibernetică studiază aspectele ce vizează procesele de comunicare și reglare în sistemele biologice, tehnice, sociale și economice sau mai pe scurt este *știința conducerii sistemelor*.

Bazele ciberneticii ca știință au fost puse de savantul american de origine germană Norbert Wiener care în 1948 a publicat lucrarea *Cybernetics, Control and Communication in the Animal and Machine*. Este de menționat că în lucrarea *La psychologie consonantique* publicată în 1938 savantul român Ștefan Odobleja (1902 – 1978) abordează o serie de probleme specifice reglării și comunicării în sistemele vii, astfel încât acesta poate fi considerat precursorul ciberneticii.

Este important de relevat că *Cibernetică* afirmă similaritatea în ceea ce privește reglarea și comunicarea (la nivel conceptual) în toate categoriile de sisteme : *biologice, tehnice, economice, sociale etc.*

În prezent s-au dezvoltat ramuri ale ciberneticii specifice diverselor categorii de sisteme cum ar fi:

- cibernetică sistemelor biologice;
- cibernetică sistemelor tehnice;
- cibernetică sistemelor economice;
- cibernetică sistemelor sociale, etc.

REGLAREA este proprietatea prin care un sistem își poate menține starea curentă cât mai aproape de o stare de referință. După cum se observă în titlul lucrării lui Wiener apare cuvântul *control* care există și în limba română cu sensul de verificare (testare). Uzual în limba română termenul *control* se traduce prin *reglare sau prin conducere (Control system – sistem de conducere/reglare)*. *Conducerea* reprezintă procesul de determinare și aplicare a comenzii către un sistem.

SISTEMUL reprezintă o colecție de obiecte aflate în interacțiune careia îi sunt specifice o anumită organizare și un anumit scop. Această definiție nu este unică, dar a fost preferată pentru nivelul său de generalitate. Caracterizarea unui sistem se poate face în maniera *structurală* sau *informațională*.

Caracterizarea structurală presupune descrierea obiectelor și interacțiunilor aferente sistemului. Caracterizarea informațională presupune descrierea marimilor specifice sistemului ilustrate în figura 1.1.



Fig. 1.1. Caracterizarea informațională a unui sistem:
S – sistem; i – marime de intrare (variabilă independentă, cauză); y – marime de ieșire (variabilă dependentă, efect).

Referitor la reprezentarea din figura 1.1 pot fi formulate următoarele observații:

- marimile i și y au o conotație strict informațională și nu una materială;
- toate sistemele fizice prezintă inerție, astfel o variație a marimii y (efect) apare după variația marimii i (cauză).

AUTOMATICA este știința care studiază metodele și tehnicile aferente concepției și utilizării sistemelor automate.

AUTOMATIZAREA reprezintă aplicarea automatizării la un proces¹ sau la o clasă de procese.

ȘTIINȚA CALCULATOARELOR are ca obiect de studiu calculatorul în calitate de mașină automată pentru procesarea datelor în conformitate cu un program format din instrucțiuni care coexistă împreună cu datele în memorie.

1.1. Exemple de sisteme cu reglare

Înainte de prezentarea exemplelor particulare de sisteme cu reglare ne vom ocupa de un caz general de sistem de comandă, a cărui structură este ilustrată în figura 1.2.

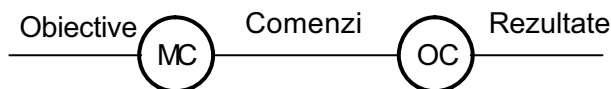


Fig. 1.2. Sistem de comandă:
MC – mijloc de conducere; OC – obiect condus.

¹ În contextul de obiect al automatizării *procesul* reprezintă o succesiune de transformări asociate evoluției spațio – temporale a diverselor obiecte. Procesele fizice sunt de regulă însoțite de transferuri masice, energetice sau de impuls. Procesele care se desfășoară în instalații industriale sunt cunoscute sub denumirea de *proces tehnologice*.

Obiectul condus trebuie să ofere rezultate în conformitate cu unele obiective prestabilite. Rezultatele pot fi reprezentate de calitatea unor produse, a unor servicii etc. Dirijarea OC în vederea obținerii de rezultate conforme cu obiectivele este realizată de prin intermediul unor comenzi aplicate de către MC. Sistemul prezentat este cu *structura deschisă* și funcțional deoarece OC se găsește numai sub influența comenzilor aplicate de către MC.

În realitate OC se mai găsește și sub influența altor mărimi externe acestuia pe care le vom numi *perturbații*. Acțiunea perturbațiilor va determina abaterea *rezultatelor* de la *obiective* fără posibilitate de corectare a comenzilor din partea MC, întrucât acesta nu este informat nici în legătură cu rezultatele nici cu perturbațiile. Sistemul prezentat nu este un *sistem cu reglare* în sensul definiției prezentate la începutul capitolului, deoarece acesta nu are capacitatea de a restabili starea de referință.

În figura 1.3 este prezentat sistemul anterior în care elaborarea comenzilor se face atât pe baza obiectivelor, cât și pe baza informațiilor referitoare la rezultate. Această legătură informațională referitoare la efect este cunoscută sub denumirea de conexiune inversă (*feedback*) și reprezintă un concept fundamental în cibernetică.

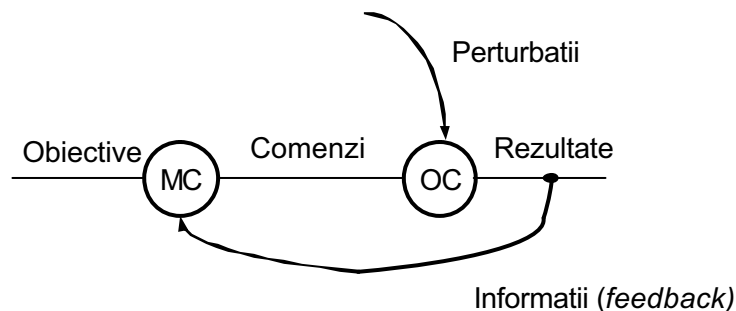


Fig. 1.3. Sistem cu reglare (informare privind rezultatele):
MC – mijloc de conducere; OC – obiect condus.

În condițiile în care obiectivele rămân neschimbate, comenzile vor fi actualizate numai la modificarea rezultatelor ca urmare a acțiunii perturbațiilor. Va exista asadar un interval de timp în care rezultatele nu vor mai fi conforme cu obiectivele, aspect ce constituie desigur un neajuns al modului de acțiune pe baza analizei *efectului* respectiv a rezultatelor.

Există și un puternic avantaj al acestui mod de acțiune și anume, rezultatele sunt corectate indiferent de perturbația care a produs abaterea acestora de la obiective.

Un sistem cu reglare se poate obține și în situația în care actualizarea comenzilor se face ca urmare a modificării perturbațiilor sau obiectivelor. Pentru acest mod de acțiune este necesară o legătură informațională de la perturbații la MC, legătura cunoscută sub denumirea de *feedforward* și ilustrată în figura 1.4.

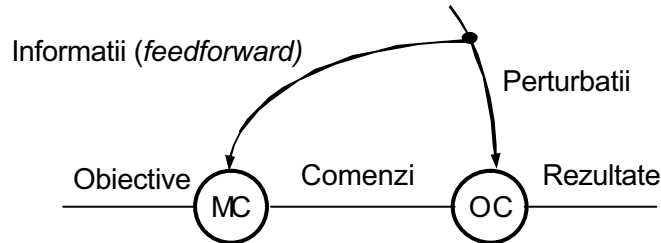


Fig. 1.4. Sistem cu reglare (informare privind perturbatiile):
MC – mijloc de conducere; OC – obiect condus.

În condițiile în care obiectivele rămân neschimbate, comenzile vor fi actualizate numai la modificarea perturbatiilor luate în considerare, astfel încât rezultatele să rămână nemodificate (respectiv conforme cu obiectivele). În situația în care nu pot fi luate în considerare toate perturbatiile (sau nu sunt cunoscute) nu mai este posibilă elaborarea și aplicarea de comenzi în vederea corecției rezultatelor.

Acestui mod de acțiune oferă adesea avantajul menținerii rezultatelor la nivelul obiectivelor în condițiile modificării perturbatiilor considerate. Dacă precedentul mod de acțiune se bazează pe urmărirea *efectelor*, acesta din urmă se bazează pe urmărirea *cauzelor*.

Pentru a îmbina avantajele celor două moduri de acțiune și a îndepărta într-o măsură importantă dezavantajele acestora se pot utiliza sisteme cu acțiune mixtă (după cauză și efect), o asemenea structură fiind ilustrată în figura 1.5.

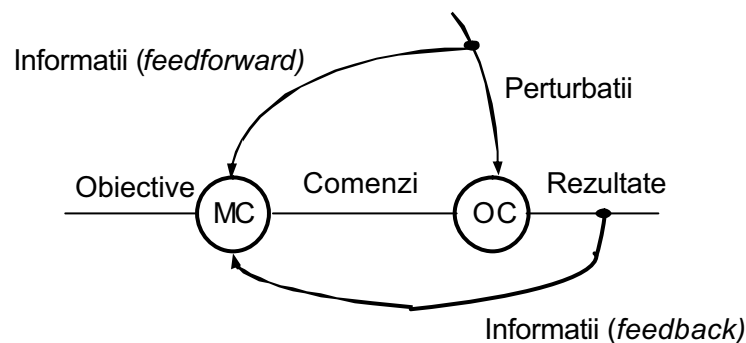


Fig. 1.5. Sistem cu reglare (informare privind rezultatele și perturbatiile):
MC – mijloc de conducere; OC – obiect condus.

Un asemenea sistem acționează după *cauza* pentru perturbatiile luate în considerare de MC și după *efect* la modificarea celorlalte perturbatii.

Exemplul 1

Acest exemplu este din domeniul biologiei și este asociat reglării temperaturii corpului uman.

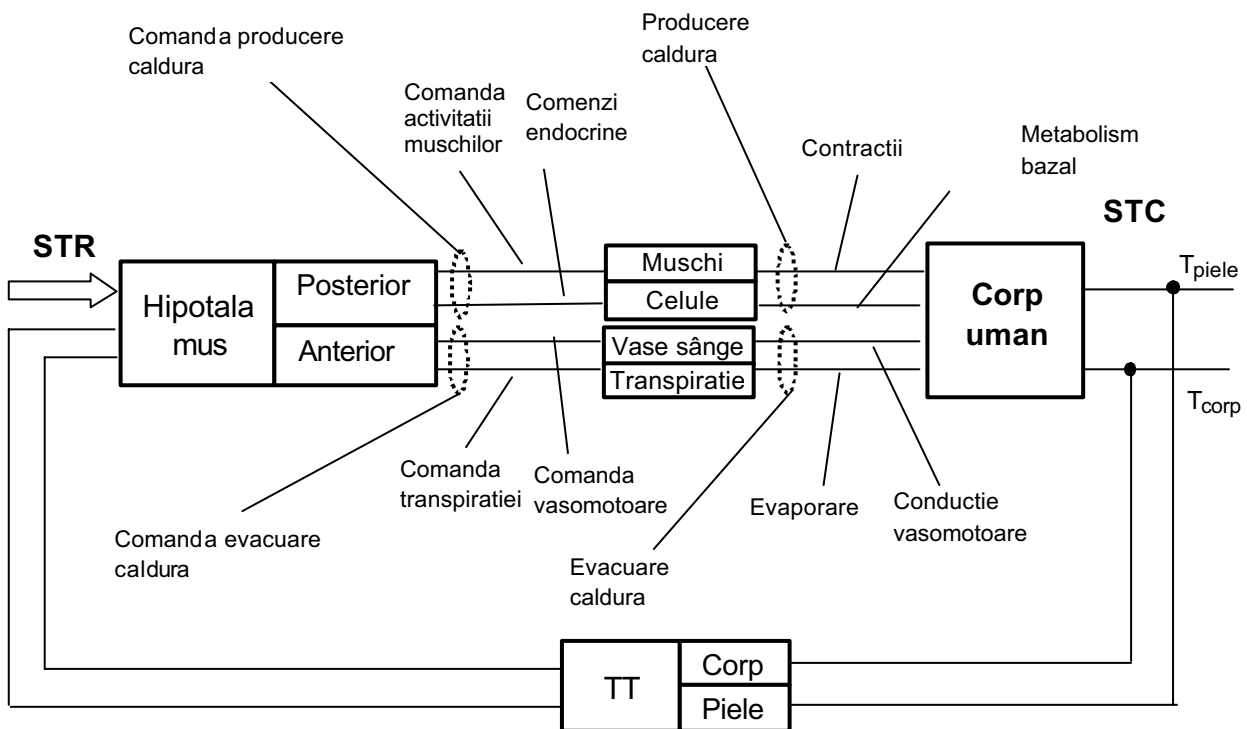


Fig. 1.6. Reglarea temperaturii corpului:
 STC – stare termica curenta; STR – stare termica de referinta; TT – traductor de temperatura.

Obiectivul sistemului este mentinerea temperaturii (corp și piele) la valoarea de referinta (circa 36,5 grdC). Organul *raspunzator* de regimul termic al organismului este hipotalamusul². Comenzile pe care acesta le transmite (prin cele doua sectiuni ale sale) se refera la producerea respectiv evacuarea de caldura, rolul omogenizarii temperaturii revenind sangelui. În figura 1.6 sunt evidentiata componentele celor doua tipuri de comenzi (*activitatea muschilor și a glandelor endocrine* pentru încălzire respectiv *transpiratie și vasodilatatie* pentru racire). De exemplu contractia muschilor produce caldura în timp ce evaporarea apei la suprafata pielii determina racirea.

În transmiterea informatiilor referitoare la temperaturi sunt implicate *traductoarele de temperatura* TT. Rolul acestora este de a sesiza variatiile de temperatura și de a le

² Formatie cenusie a creierului care corespunde partii inferioare a diencefalului, având un rol important în reglarea superioara a functiunilor vegetative ale organismului.

converti în variații ale unor mărimi de natură electrică transmise hipotalamusului prin intermediul nervilor.

Din cele expuse anterior și din examinarea figurii 1.6 rezultă că sistemul acționează după efect. De exemplu o scădere a temperaturii mediului ambiant determină o scădere a temperaturii pielii determinând senzația de frig. Informația referitoare la această variație de temperatură va fi preluată de traductoare și transmisă hipotalamusului care va activa, de exemplu secțiunea de comandă aferentă activității musculare. Vor apărea contracții (tremur) care va determina creșterea temperaturii. Din acest raționament se desprinde ideea că sistemul cu reglare elimină *efectul perturbației și nu perturbația în sine*.

Exemplul 2a

Următorul exemplu (figura 1.7) vizează un sistem cu reglare din domeniul economic.

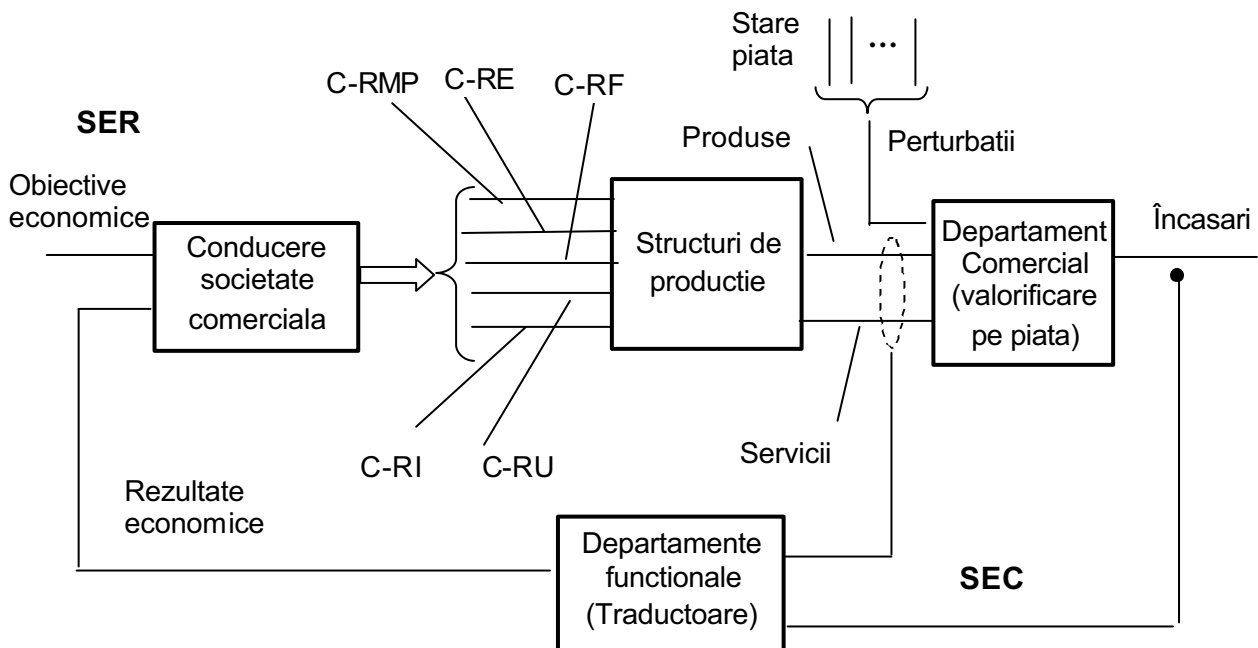


Fig. 1.7. Sistem tehnico-economic cu reglare după efect:
 RMP – resurse materii prime; RE – resurse energetice; RI – resurse informaționale; RF – resurse financiare; RU – resurse umane; SEC – stare economică curentă; SER – stare economică de referință.

Conducerea societății comerciale acționează în vederea realizării unor obiective economice în primul rând de natură financiară. În vederea realizării acestor obiective conducerea are la dispoziție resurse *materiale, energetice, financiare, informaționale, umane*. Resursele menționate sunt utilizate de structurile de producție în vederea obținerii de produse și/sau servicii specifice societății comerciale. Acestea sunt valorificate pe piață de către departamentul comercial. Departamentele funcționale

procesează datele referitoare la activitatea de producție și valorificare pe piață, furnizând informații conducerii societății comerciale sub forma rezultatelor economice.

În situația în care perturbările (de exemplu *starea pieței*) abat rezultatele de la obiective, comenzile sunt ajustate în vederea eliminării abaterii. Este de remarcat faptul că readucerea rezultatelor la obiective necesită un anumit timp în care societatea comercială poate înregistra pierderi. Efectele (abaterile ca diferențe între obiective și realizări) sunt eliminate și în situația în care acționează alte perturbări.

Exemplul 2b

Următorul exemplu, ilustrat în figura 1.8 tratează aceeași societate de la exemplul precedent, cu deosebirea că la conducere sosesc informații referitoare la starea și tendințele pieței. În această situație la elaborarea comenzilor se ține cont atât de obiective cât și de aceste informații.

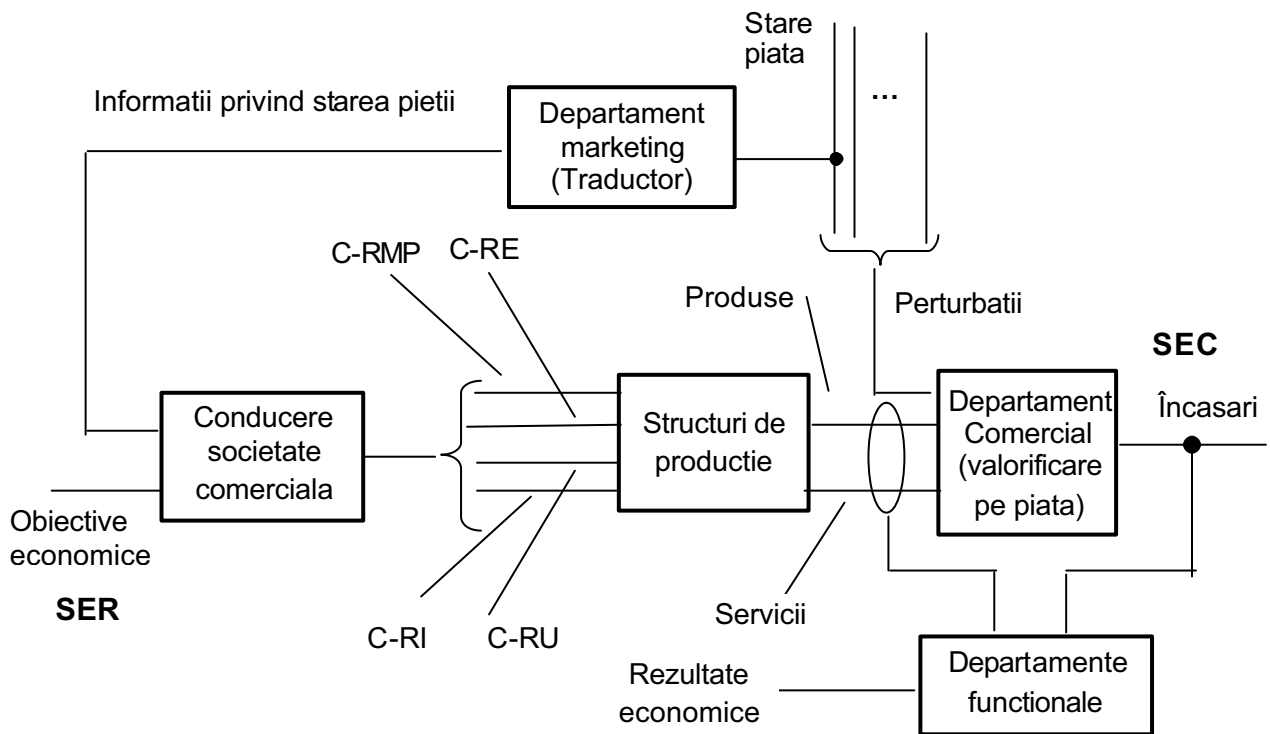


Fig. 1.8. Sistem tehnico-economic cu reglare după cauza:
 RMP – resurse materii prime; RE – resurse energetice; RI – resurse informaționale; RF – resurse financiare; RU – resurse umane; SEC – stare economică curentă; SER – stare economică de referință.

La sesizarea unei stări a pieței nefavorabile pentru oferta societății (diminuarea cererii, apariția unui concurent nou etc.), conducerea va adopta acele decizii și va genera acele comenzi care să împiedice afectarea rezultatelor economice. Eficacitatea comenzilor este condiționată de capacitatea de previziune a conducerii referitoare la impactul noii stări a pieței asupra rezultatelor economice ale societății.

Să presupunem că se manifestă o altă perturbare (de exemplu o diminuare a ofertei de materii prime) asupra căreia conducerea nu este informată. Aceasta cauză va determina o alterare a rezultatelor economice, însă conducerea nu va putea lua măsurile care se impun deoarece conform structurii din figura 1.8 nu este informată în legătură cu rezultatele economice.

Cu alte cuvinte la modificarea perturbațiilor considerate SEC nu se modifică, iar la modificarea altor perturbații starea curentă nu mai poate fi adusă la cea de referință.

Exemplul 3

Acest exemplu preluat tot din domeniul biologiei ilustrează reglarea fluxului luminos pe retina (figura 1.9). Imaginea se formează pe retina (5) și în primul rând pe pata galbenă (*macula lutea*), partea cea mai sensibilă a acesteia. Patrunderea radiațiilor luminoase este favorizată de mediile transparente ale ochiului, dintre care în schema simplificată din figura 1.9 sunt reprezentate irisul (1) și cristalinul (3). Irisul reprezintă o membrană elastică (diafragma) cu deschidere variabilă. Pupila (2) este orificiul central cu diametru variabil al irisului, prin care patrunde lumina. Un rol important în formarea imaginii pe retina revine cristalinului (3) care este practic o lentilă biconvexă situată în spatele irisului.

Procesul de acomodare a vederii comportă aspecte legate atât de cantitatea de lumină care trebuie să ajungă pe retina, cât și de distanță. Cantitatea de lumină este determinată de dimensiunea pupilei în timp ce cristalinul este implicat în acomodarea vederii la diferite distanțe.

Structura simplificată evidențiată în figura 1.9 este asociată reglării fluxului luminos pe retina. Ținând cont de faptul că $\text{flux luminos} = \text{intensitate luminoasă} \times \text{arie pupila}$ rezultă că prin modificarea deschiderii irisului se poate modifica fluxul luminos.

Presupunând că iluminarea unui obiect care este privit (și care reprezintă o perturbare) se modifică. Aceasta schimbare este sesizată de senzorii de pe retina și transmisă prin nervul optic (6) la creierul mijlociu, unde are loc comparația cu fluxul luminos de referință. Comanda de modificare a deschiderii irisului se va transmite prin *nervul ciliar scurt* (7). Transferul informației este mai ușor de urmărit în figura 1.9 b, în care se prezintă schema bloc a sistemului cu reglare pentru fluxul luminos pe retina.

Acomodarea vederii la treceri bruste de la întuneric sau lumină este resimțită de către fiecare dintre noi. Și într-o situație și în cealaltă există un interval de timp în care practic obiectele se disting cu greutate. Timpul de refacere a imaginii (de eliminare a efectului) numit *timp tranzitoriu* este de circa 1 minut pentru tranziția *întuneric – lumină*, respectiv 0,5 minute pentru tranziția *lumină – întuneric*.

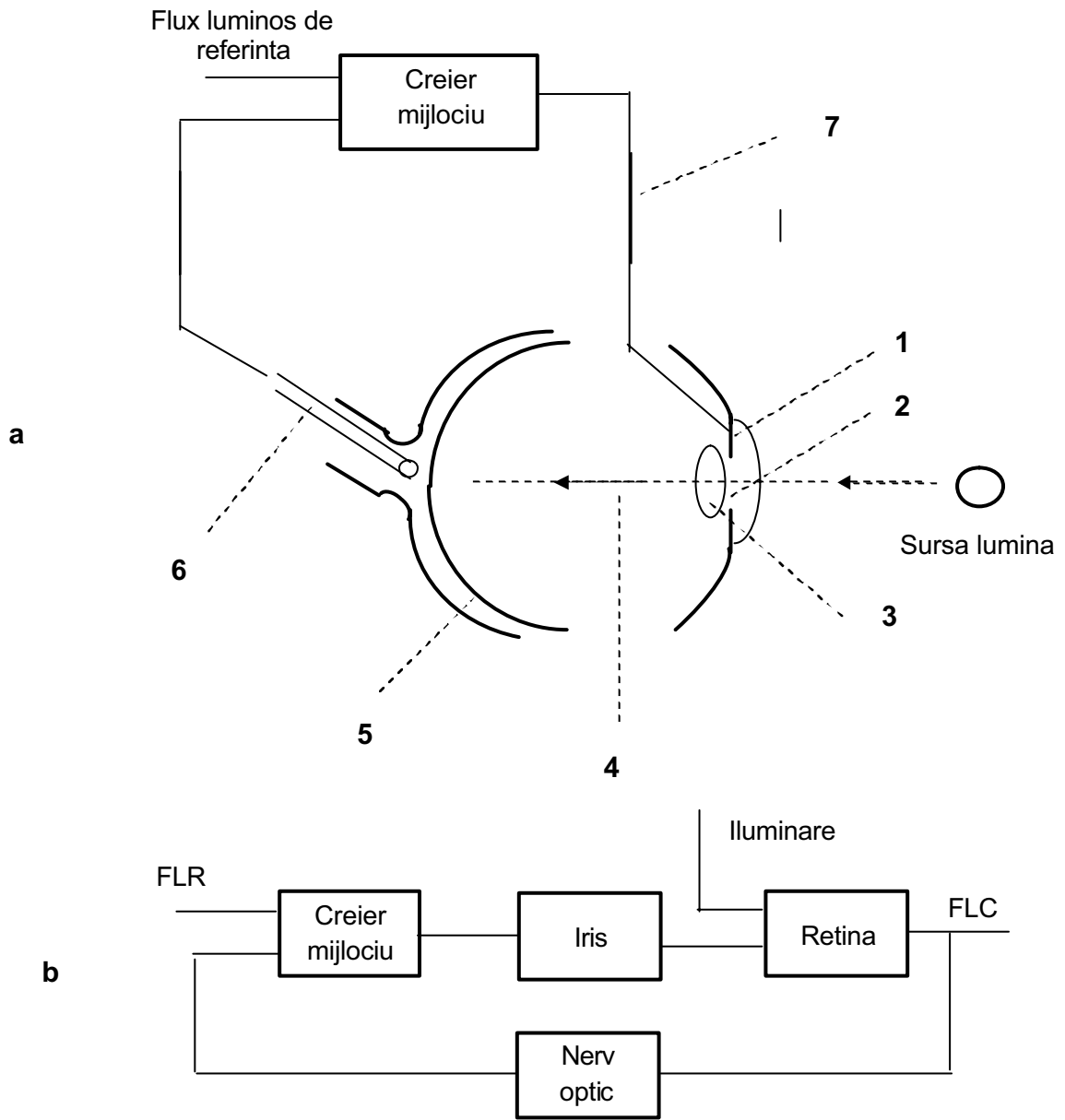


Fig. 1.9. Reglarea fluxului luminos pe retina:
 a – schema principială; 1 – iris; 2 – pupila; 3 – cristalin; 4 – flux luminos; 5 – retina;
 6 – nerv optic; 7 – nerv ciliar scurt; b – schema bloc; FLR – flux luminos de referință; FLC – flux luminos curent.

Exemplul 4a

Acest exemplu este din domeniul tehnic și presupune menținerea la o valoare prestabilită a valorii temperaturii unui produs care se încălzește într-un cuptor tubular (figura 1.10).

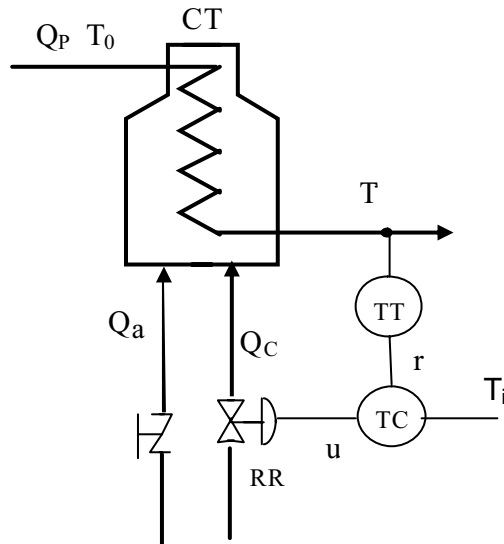


Fig. 1.10. Reglarea automată cu acțiune după efect (abatere) a temperaturii produsului la ieșirea dintr-un cuptor tubular: TT - traductor de temperatură; TC - regulator de temperatură; RR - robinet de reglare.

Din multimea variabilelor de intrare care influențează temperatura T (Q_p - debitul de produs, T_0 - temperatura acestuia, Q_c - debitul de combustibil, Q_a - debitul aerului de combustie, etc.) a fost aleasă drept mărime de comandă *debitul de combustibil* Q_c , restul mărimilor fiind considerate perturbatii.

În structura sistemului cu reglare, alături de proces, pe lângă traductorul de temperatură TT intră dispozitivul de comandă TC și robinetul de reglare RR. Dispozitivul de comandă numit *regulator automat* generează mărimea de comandă u care se aplică robinetului de reglare RR. Robinetul de reglare reprezintă un robinet *obisnuit* care poate fi comandat de la distanță.

Sistemul reacționează la orice modificare a valorii mărimii reglate T cauzată fie de variația unei perturbatii fie de schimbarea referinței T_i . De exemplu la o creștere a debitului de materie primă (a sarcinii cuptorului) temperatura T va scădea, scădere care va fi sesizată de către traductorul de temperatură TT. Această scădere va fi transmisă regulatorului TC, care va genera comandă u concretizată în creșterea debitului de combustibil Q_c . Această creștere va conduce la intensificarea transferului termic în focarul cuptorului care va produce în final o revenire a temperaturii T la valoarea de referință T_i .

Ca și în exemplele precedente, care au prezentat sisteme cu acțiune după abatere (efect) eliminarea acesteia necesită un timp (în care sistemul se găsește în *regim tranzitoriu*) în care starea curentă nu mai coincide cu cea de referință. Pe de altă parte temperatura T poate fi readusă la valoarea de referință T_i la modificarea oricărei perturbații.

Funcționarea **Sistemului cu Reglare Automată (SRA)** din figura 1.10 poate fi explicată și cu ajutorul schemei de structură prezentată în figura 1.11. .

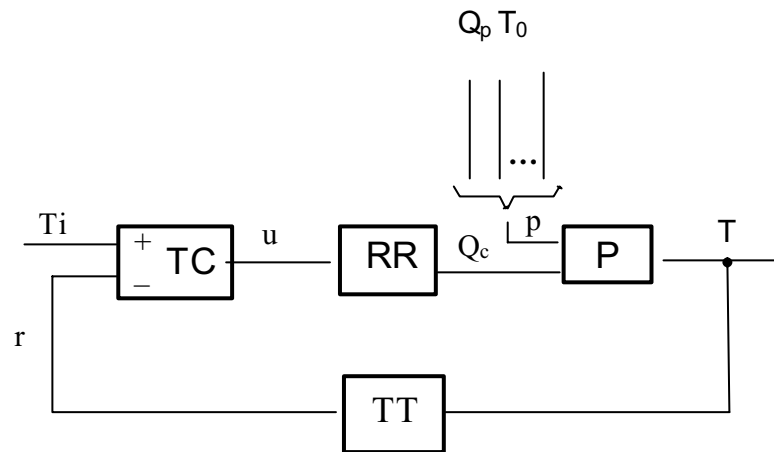


Fig. 1.11. Schema de structură a SRA temperatură (SRA –T) cu acțiune după abatere:
 TC – regulator de temperatură; RR – robinet de reglare; TT – traductor de temperatură; P – proces (transfer termic în cuptorul tubular); T_i – temperatură prescrisă (referință); T – temperatură reglată; Q_c – debit de combustibil (mărime de execuție) r - reacție; u - comandă; p - vectorul perturbație; Q_p – debit de produs; T_0 – temperatură produsului la intrarea în cuptor.

Se observă că această structură este practic identică cu structurile aferente exemplilor 1, 2a și 3.

Exemplul 4b

Neajunsul structurii din figura 1.11 determinat de existența regimului tranzitoriu, poate fi *atenuat* prin utilizarea unui sistem cu acțiune după cauză (perturbație), a cărui structură principală se prezintă în figura 1.12.

Debitul de combustibil, în calitate de mărime de execuție, se determină pe baza prelucrării informației furnizate de traductoarele asociate celor două perturbații luate în considerare: Q_p - debitul alimentării și T_0 - temperatura acesteia. Prelucrarea informațiilor achiziționate aferente perturbațiilor se face într-un model cu două secțiuni:

- secțiunea staționară bazată pe ecuații de transfer termic;
- secțiunea dinamică asociată inerției canalelor perturbație - mărime reglată.

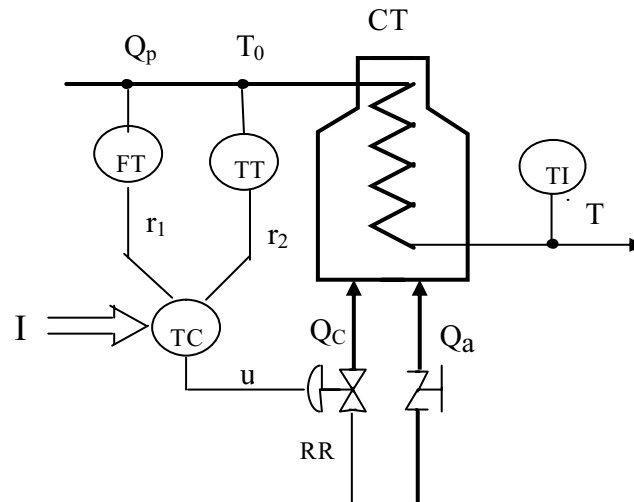


Fig. 1.12. Schema principială a unui SRA temperatură cu acțiune după perturbare:
 TT- traductor de temperatură; FT - traductor de debit; TC - regulator de temperatură; RR - robinet de reglare; TI – indicator de temperatură; I – referință.

Ecuația de bilanț termic se bazează pe egalitatea dintre cantitățile de căldură cedată și primită în unitatea de timp respectiv:

$$Q_c \cdot q_c = Q_p \cdot c_p \cdot (T_i - T_0) + W_p, \quad (1.1)$$

unde: \$Q_c\$ este debitul de combustibil;

\$q_c\$ – puterea calorică a combustibilului;

\$Q_p\$ – debitul de produs care se încălzeste;

\$c_p\$ - căldura specifică a produsului;

\$T_i\$ – temperatura de referință;

\$T_0\$ – temperatura produsului la intrarea în cuptror;

\$W_p\$ - debitul caloric de pierdere.

Din relația (1.1) rezultă debitul de combustibil \$Q_c\$, în regim staționar respectiv

$$Q_c = Q_p \cdot \frac{c_p}{q_c} \cdot (T_i - T_0) + \frac{W_p}{q_c}, \quad (1.2)$$

în care \$Q_p\$ și \$T_0\$ se măsoară iar mărimile \$T_i\$, \$c_p\$, \$q_c\$, \$W_p\$ sunt cunoscute.

Sectiunea dinamica modelului este justificata de necesitatea aplicarii comenzii în conformitate cu inertia procesului de transfer termic.

În aceste conditii , vectorul I al intrarilor în regulatorul TC cuprinde pe lângă referinta T_i și parametri asociati modelului cum ar fi: *caldura specifica a produsului, puterea calorica a combustibilului, coeficientul de pierderi, constante de timp, limite ale comenzilor etc.*

Sistemul este astfel realizat încât la o modificare a uneia din perturbatiile luate în considerare (Q_p sau T_0) marimea reglata T sa ramâna la valoarea T_i . De exemplu la o crestere a debitului Q_p , regulatorul va determina o asemenea evolutie a debitului de combustibil Q_c (ținând cont și de relatia (1.1)) încât temperatura sa ramâna la valoarea T_i .

Functionarea SRA perturbatie poate fi explicata și cu ajutorul schemei de structura din figura 1.13

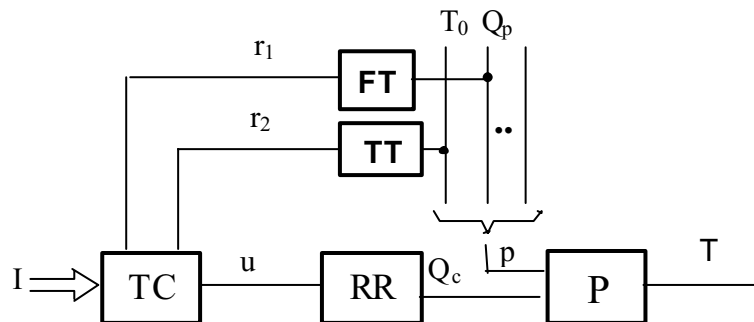


Fig. 1.13. Schema de structura a SRA temperatura (SRA –T) cu actiune dupa perturbatie:

TC – regulator de temperatura; RR – robinet de reglare; TT – traductor de temperatura; FT – traductor de debit; P – proces (transfer termic în cuptorul tubular); I – vector referinta ; T – temperatura reglata; Q_c – debit de combustibil (marime de executie) r_1, r_2 – marimi reactie; u - comanda; p - vectorul perturbatie; Q_p – debit de produs; T_0 – temperatura produsului la intrarea în cuptor.

Se observa ca aceasta structura este practic identica cu structura aferenta exemplului 2b .

1.2. Legile reglării automate

Legea reprezintă o categorie filozofică care desemnează tipuri de relații esențiale, necesare și generale în și între obiectele și procesele realității, caracterizate prin constanță, stabilitate și repetabilitate relativă în cadrul anumitor condiții.

Analizând exemplele 1, 2a, 3 și 4a se observă că deși sunt de natură diferită există similitudini în ceea ce privește comportarea respectivelor sisteme. Evoluția acestora este guvernată de *legea reglării după abatere* descoperită de Norbert Wiener în 1946 prin reliefarea conceptului de reacție inversă (feedback). În ceea ce privește sistemele din exemplele 2b și 4b acestea se supun *legii reglării după perturbare*.

Este de menționat faptul că descoperirea acestor legi a fost favorizată de investigațiile sistemelor cu reglare din lumea vie. Remarcabil este faptul că în domeniul tehnic au fost construite sisteme cu autoreglare înainte de descoperirea respectivelor legi (de exemplu regulatorul de turatie realizat de James Watt încă din 1784).

În continuare vor fi prezentate elemente definitorii care privesc cele două legi specifice sistemelor cu autoreglare.

1.2.1. Legea reglării după abatere (LRA)

Enunț. Există sisteme care au proprietatea de a-și compara în permanentă starea *curentă* cu o stare de *referință* și atunci când constată diferențe (abateri) între acestea, emit comenzi în vederea eliminării abaterii.

Notând abaterea

$$e = i - r \quad (1.2)$$

funcționarea SRA poate fi sintetizată în posibilitatea *eliminării în timp* a acesteia, respectiv

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0 \quad (1.3)$$

Caracteristici ale SRA care funcționează în baza LRA

- a) abaterea este eliminată indiferent de cauza apariției acesteia (acțiunea unei perturbări sau modificarea referinței);
- b) eliminarea abaterii nu se face instantaneu, ci într-un timp care este cu atât mai mare cu cât *inertia procesului* este mai ridicată. (pe durata eliminării abaterii SRA se găsește în *regim tranzitoriu*);
- c) algoritmi pe baza cărora se determină mărimea de comandă u sunt universali, **P**, **PI**, **PID** etc;

d) sistemele cu actiune dupa abatere sunt cu structura închisa, în sensul ca elementul care genereaza marimea de comanda (regulatorul) este informat în legatura cu rezultatul actiunii sale.

În figura 1.14 este prezentata schema bloc a unui SRA abatere, în care sunt evidentiata elementele componente si marimile specifice.

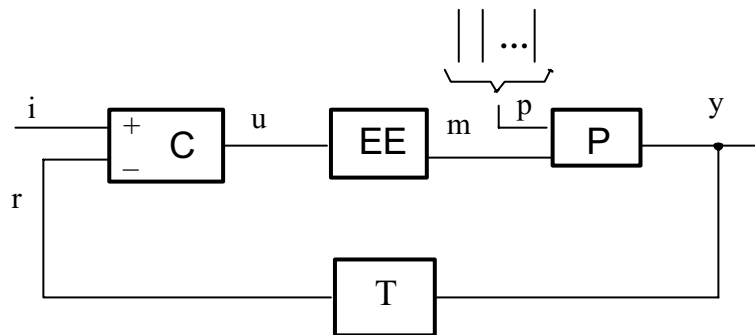


Fig. 1.14 . Schema de structura a unui SRA abatere:

C - regulator; EE - element de executie; T - traductor; P - proces; i - prescriere (referinta); r - reactie; u - comanda; p - vectorul perturbatie; m - marime de executie; y - marime reglata.

Traductorul, regulatorul si elementul de executie alcatuiesc *dispozitivul de automatizare*, care împreuna cu procesul constituie SRA, reprezentat în fig. 1.15.

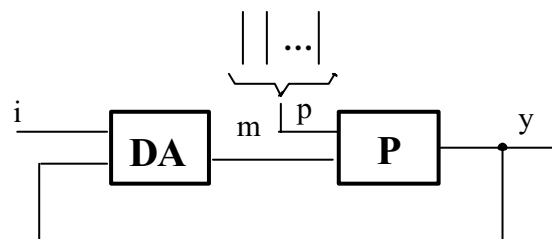


Fig. 1.15. Schema simplificata a unui SRA abatere:

DA - dispozitiv de automatizare; P - proces.

Funcțiile DA reprezinta o sinteza a funcțiilor elementelor componente si anume: *masura* (traductor), *comanda* (regulator), *executie* (element de executie). Se poate considera ca traductorul si elementul de executie se constituie în interfete între dispozitivul de comanda (regulator) si proces. Unele lucrari de specialitate includ cele doua elemente împreuna cu procesul în asa numita *parte fixata*.

Un SRA abatere poate functiona în regim de stabilizare sau în regim de urmarire.

- *Regimul de stabilizare* presupune mentinerea marimii de iesire (reglate) la valoarea referintei, indiferent de evolutia perturbatiilor. Simplificând lucrurile, se poate

spune ca specificitatea acestui regim consta în mentinerea cvasiconstanta a referintei , în condițiile variației marimilor perturbatoare.

- *Regimul de urmarire* implica urmarirea de catre marimea reglata a evolutiei în timp a referintei, în condițiile în care variațiile perturbatiilor se considera ca fiind nesemnificative. În opoziție cu regimul precedent, în cazul acestuia valorile perturbatiilor se considera cvasiconstante, iar variația importantă este cea a referintei.

Practic, în cazul sistemelor reale nu se face o distincție netă între cele două regimuri. În mod normal orice SRA abatere trebuie să aibă atât posibilitatea rejecției efectelor perturbatiilor, cât și pe cea a urmăririi referintei.

1.2.2. Legea reglării după perturbare (LRP)

Enunt. Există sisteme care au proprietatea de a urmări în permanentă evoluția perturbatiilor și atunci când constată modificări ale acestora emit comenzi astfel încât starea curentă să nu se modifice în raport cu starea de referință.

Caracteristici ale SRA care funcționează în baza LRP

- la modificarea perturbatiilor luate în considerare nu există regim tranzitoriu pentru marimea reglata;
- la modificarea altor perturbatii (în afara celor considerate) starea curentă se abate de la starea de referință și eliminarea abaterii nemaifiind posibilă;
- algoritmii pe baza cărora se determină marimea de comandă u sunt puternic dependenți de caracteristicile procesului;
- sistemele cu acțiune după abatere sunt cu structură deschisă, în sensul că elementul care generează marimea de comandă (regulatorul) nu este informat în legătură cu rezultatul acțiunii sale, singura legătură informațională fiind cea de la perturbatiile considerate (**feedforward**).

În figura 1.16 este prezentată schema bloc a unui SRA abatere în care sunt evidențiate elementele componente și marimile specifice.

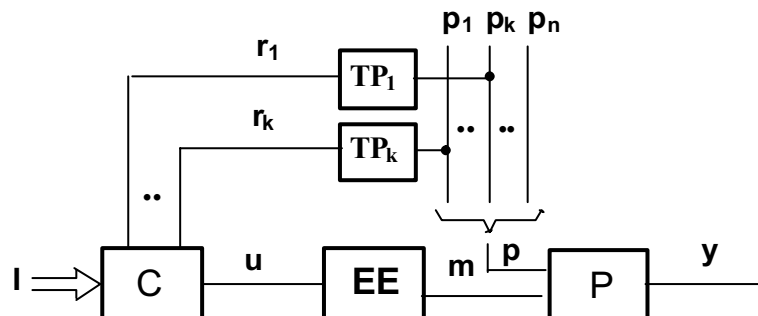


Fig. 1.16. Schema de structură a unui SRA perturbare:
 $TP_1 \dots TP_k$ - traductoare asociate perturbatiilor

Traductoarele, regulatorul și elementul de execuție pot fi considerate înglobate în dispozitivul de automatizare DA, aspect evidențiat în figura 1.17. Ca și în cazul SRA abatere, traductoarele, elementul de execuție și procesul constituie partea fixă a SRA.

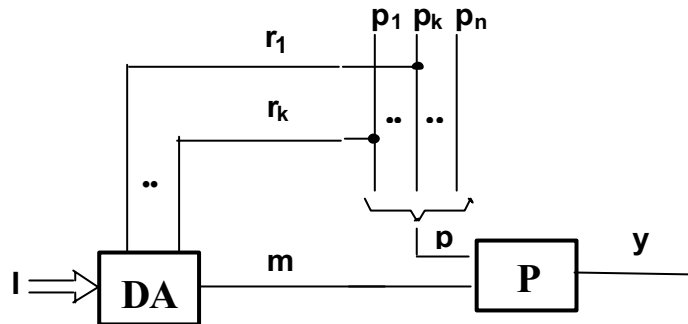


Fig. 1.17. Schema de structura simplificata a unui SRA perturbatie.

1.3. Sisteme cu reglare combinate

Din prezentarea celor două categorii de SRA se desprinde concluzia că pe lângă *avantaje*, fiecare categorie prezintă și *dezavantaje*, cu consecințe importante în ceea ce privește atât performanțele staționare cât și cele dinamice. O soluție care îmbină avantajele și diminuează dezavantajele celor două stiluri de reglare o reprezintă *reglarea combinată*. În figura 1.18 este prezentată schema de principiu a SRA temperatura cu acțiune combinată (după abatere și după perturbatie).

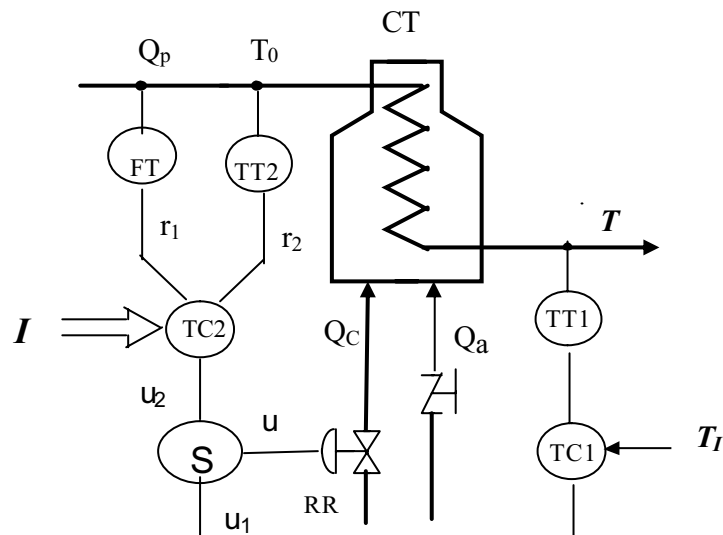


Fig. 1.18. Schema principiala a unui SRA temperatura cu acțiune după abatere și după perturbatie:

TT1, TT2 - traductoare de temperatură; FT - traductor de debit; TC1, TC2 – regulatoare de temperatură; RR - robinet de reglare; S - sumator.

Acest SRA cu bucle multiple asigură prin intermediul secțiunii *perturbatie* compensarea efectelor perturbațiilor luate în considerare, iar prin intermediul secțiunii *abatere* realizează eliminarea efectelor restului perturbațiilor.

Comenzile aferente celor două secțiuni sunt u_1 (*abatere*) și u_2 (*perturbatie*), iar comanda u care se aplică robinetului de reglare se obține însumând cele două componente, respectiv

$$u = u_1 + u_2 \quad (1.4)$$

De exemplu la o scădere a temperaturii produsului la intrarea în cuptor T_0 (sesizată de traductorul TT2) regulatorul TC2 își va modifica de așa natură comanda u_2 (și implicit u) încât temperatura la ieșire T să nu se modifice. În cazul scaderii presiunii P_c a combustibilului (perturbatie neluată în considerare de sistem), temperatura T va scădea, ceea ce va determina mărirea comenzii u_1 și implicit a lui u , astfel încât după un timp se va reface starea de referință.

Ca și în cazurile precedente și pentru sistemul cu acțiune combinată este posibilă realizarea unei scheme bloc, care pentru exemplul de mai sus se prezintă în figura 1.19. Tot din categoria SRA convenționale mai fac parte și alte structuri cu bucle multiple cum ar fi: SRA cascada, SRA raport etc.

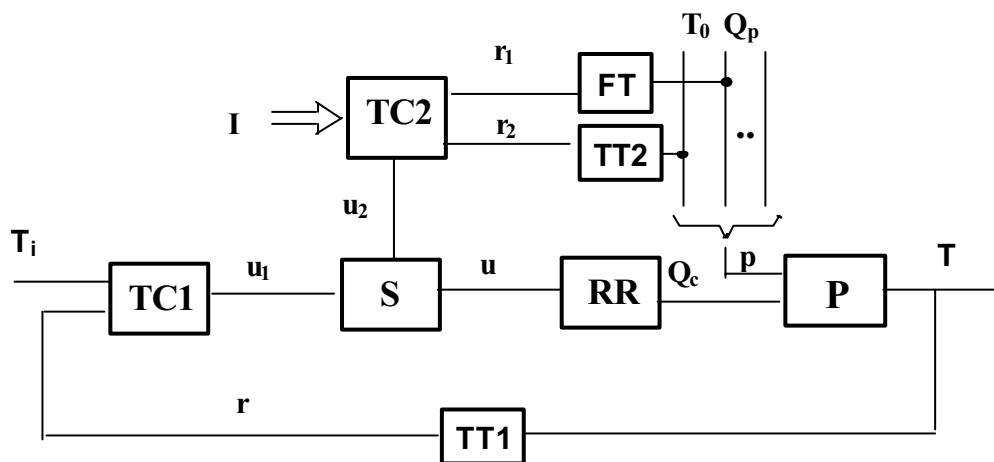


Fig. 1.19. Schema de structură a SRA temperatură (SRA –T) combinată :
 TC1 – regulator de temperatură abatere; TC2 – regulator de temperatură perturbatie; RR – robinet de reglare; TT1,2 – traductoare de temperatură; FT – traductor de debit; P – proces (transfer termic în cuptorul tubular); I – vector referință ; T – temperatura reglată; Qc – debit de combustibil (mărime de execuție) r_1, r_2, r – mărimi reacție; u_1, u_2 – comenzi aferente celor două secțiuni; u – comandă către RR; S – sumator; p - vectorul perturbatie; Q_p – debit de produs; T_0 – temperatura produsului la intrarea în cuptor.

Considerând toate traductoarele, regulatoarele, robinetul de reglare și sumatorul incluse în dispozitivul de automatizare DA se poate construi schema de structură simplificată, care pentru cazul general se prezintă în figura 1.20.

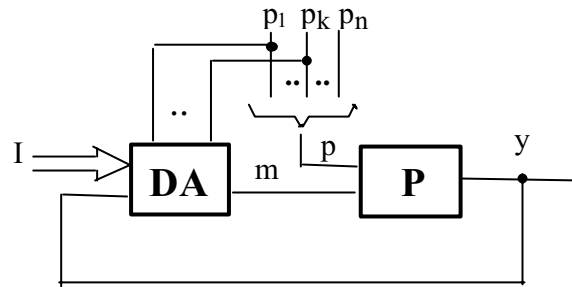


Fig. 1.20. Schema simplificată a unui SRA combinat.

Sintetic, un SRA combinat este un SRA cu bucle multiple. Acesta prin intermediul secțiunii *perturbatie* asigură compensarea efectelor perturbațiilor luate în considerare, iar prin intermediul secțiunii *abatere* realizează eliminarea efectelor restului perturbațiilor. Tot în categoria SRA cu bucle multiple mai pot fi incluse SRA cascada, SRA raport etc.

1.4. Modelarea matematică a sistemelor

Modelarea matematică reprezintă procedeul de exprimare cantitativă prin *relatii matematice* a evoluției unui sistem. Ansamblul relațiilor obținute prin procesul de modelare constituie *modelul matematic*.

Modelele matematice diferă de maniera de caracterizare a sistemului. Dacă sistemul este caracterizat prin marimile de intrare și de ieșire (caracterizare informațională), atunci modelul reprezintă un grup de relații care leagă aceste marimi.

Din punctul de vedere al conducerii, marimile de intrare specifice unui sistem pot fi divizate în *comenzi și perturbații* (figura 1.21).

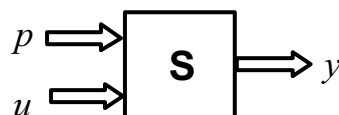


Fig. 1.21 Marimi asociate unui sistem de conducere :
 p – vector al marimilor perturbatoare; u – vector al marilor de comandă; y – vector al variabilelor dependente.

Sistemul reprezentat în figura 1.21 este *multivariabil*, fiecare din vectorii p, u, y având mai mult de o componentă (în cazul când acești vectori au câte o singură componentă sistemul este monovariabil).

După cum s-a mai arătat, sistemului S îi pot fi asociate două regimuri și anume:

- regimul **stationar** caracterizat de *invarianta* în timp a marimilor p, u, y ;
- regimul **dinamic** caracterizat de *variația în timp* a marimilor p, u, y .

Pentru cele două regimuri se definesc două tipuri de modele și anume:

- **Modelul Matematic Stationar (MMS)** ;
- **Modelul Matematic Dinamic (MMD)** .

MMD se pot obține pe cale experimentală sau analitică. Determinarea pe cale experimentală presupune deducerea modelului pe baza datelor rezultate din desfășurarea curentă a procesului. MMD analitic se deduc pe baza legilor, relațiilor, principiilor care guvernează desfășurarea procesului respectiv. Între acestea sunt de menționate: *legile de conservare, relațiile de echilibru, ecuațiile de stare etc.* În ceea ce privește **MMS** acestea pot fi considerate cazuri particulare ale MMD.

În continuare se prezintă un exemplu de deducere a MMD pentru procesul de acumulare a lichidului într-un vas, proces ilustrat în figura 1.22.

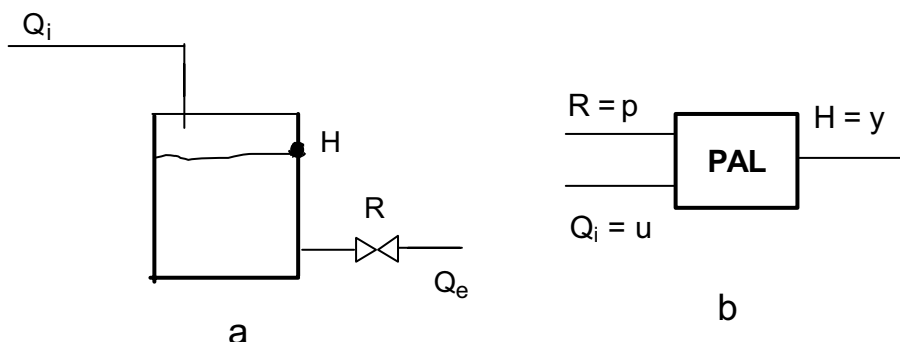


Fig. 1.22. Procesul de acumulare a unui lichid într-un vas:

A – schema principală; b – schema de structură; Q_i, Q_e – debite de intrare, ieșire; R – rezistența hidraulică; H – nivelul curent; PAL – proces de acumulare lichid.

Ca ipoteză simplificatoare se face presupunerea ca debitul de lichid care paraseste vasul este proportional cu nivelul lichidului din vas, respectiv,

$$Q_e = k \cdot H , \quad (1.5)$$

unde k este un coeficient de proportionalitate.

Atâta timp cât debitele Q_i și Q_e coincid nivelul de lichid H este constant. Dacă egalitatea nu se mai respectă, volumul de lichid din vas se va modifica cu ΔV respectiv

$$\Delta V = A \cdot \Delta H, \quad (1.6)$$

unde ΔH reprezintă variația de nivel din vas iar A este aria secțiunii transversale a vasului.

Pe de altă parte, variația de volum ΔV se poate exprima funcție de debite

$$\Delta V = Q_i \cdot \Delta t - Q_e \cdot \Delta t, \quad (1.7)$$

unde Δt , este intervalul de timp în care volumul de lichid din vas se modifică cu ΔV ,

Din relațiile (1.6) și (1.7) rezultă

$$A \cdot \Delta H = Q_i \cdot \Delta t - Q_e \cdot \Delta t, \quad (1.8)$$

sau împărțind prin Δt

$$A \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t} = Q_i - Q_e. \quad (1.9)$$

Considerând intervalul Δt foarte mic rezultă

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta H}{\Delta t} = \frac{dH}{dt}. \quad (1.10)$$

Înlocuind în relația (1.9) se obține

$$A \cdot \frac{dH}{dt} = Q_i - k \cdot H, \quad (1.11)$$

sau

$$\frac{A}{k} \cdot \frac{dH}{dt} + H = \frac{1}{k} \cdot Q_i. \quad (1.12)$$

Notând se obține $\frac{A}{k} = a$ și $\frac{1}{k} = b$

$$a \cdot \frac{dH}{dt} + H = b \cdot Q_i \quad (1.13)$$

MMD obținut în relația (1.13) este reprezentat de o ecuație diferențială ordinară, liniară, neomogenă, cu coeficienți constanți. Coeficientul a al derivatei (exprimat în unități de timp) se numește *constantă de timp*, iar coeficientul b al termenului liber se numește coeficient de transfer.

În ecuația (1.13) timpul intervine ca variabilă independentă, astfel încât forma generală a MMD este

$$F\left(\frac{dH}{dt}, H, t\right) = 0 \quad (1.14)$$

Considerând mărimile H și Q_i constante în timp relația (1.13) devine

$$H = b \cdot Q_i \quad (1.15)$$

relație care exprimă MMS. După cum se observă MMS exprimă legătura între valorile staționare ale debitului de alimentare și nivel, forma sa generală fiind

$$G(H, Q_i) = 0 \quad (1.16)$$

Dacă MMD era reprezentat de o ecuație diferențială, MMS îi este asociată o ecuație algebrică.

Utilitatea imediată a modelelor este reprezentată de posibilitatea pe care acestea le oferă pentru investigarea cu efort minim a proceselor. Utile în analiza comportării sistemelor sunt caracteristicile specifice regimurilor *staționar* și *dinamic*.

Caracteristica statică (CS) a unui element reprezintă dependența mărimii de ieșire față de mărimea de intrare, considerate constante în timp. Practic (CS) este un grafic asociat MMS.

Exemplu

Unul dintre cele mai răspândite transductoare de temperatură este cel de tip *termocuplu*. Un asemenea transductor este format din doi electrozi din metale diferite liberi la un capăt și sudati la celălalt (figura 1.23).

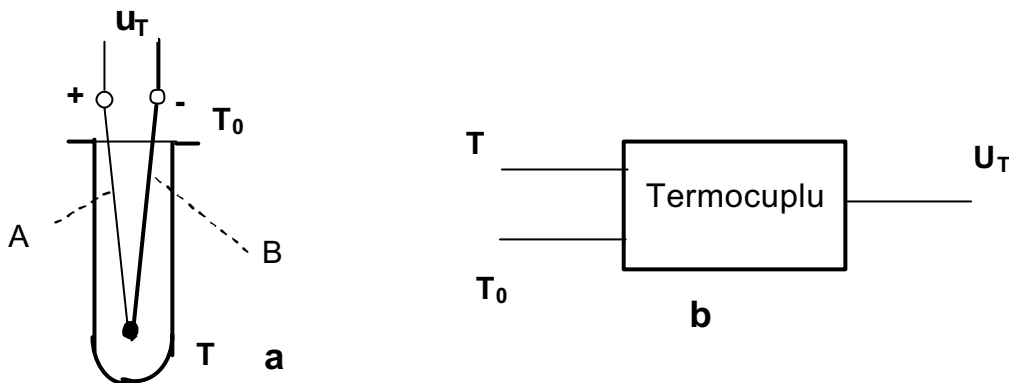


Fig. 1.23. Transductor de temperatură de tip termocuplu:

A – schema structurală; b – caracterizare informațională; A, B – electrozi din metale diferite; T – temperatura capătului cald; T_0 – temperatura capetelor reci; U_T – tensiune termoelectromotoare.

³ Modelul din relația (1.14) reflectă variația în timp a nivelului H și a primei derivate a acestuia, în raport cu timpul respectiv dH/dt .

Tensiunea termoelectromotoare u_T este funcție de cele două temperaturi, cât și de materialele din care este realizat termocuplul conform relației

$$u_T = b \cdot (T - T_0) \quad , \quad (1.17)$$

unde b este o constantă care ține cont de natura materialelor din care este realizat termocuplul.

După cum se observă MMS este liniar, iar graficul (respectiv CS) va fi o familie de drepte diferențiate de temperatura capetelor reci T_0 . În figura 1.24 este reprezentată CS a termocuplului pentru $T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$.

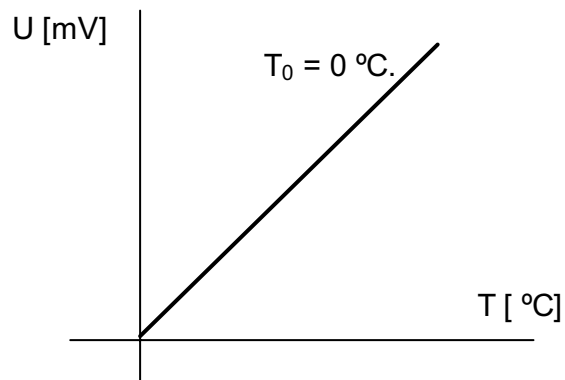


Fig. 1.24. Caracteristica statică a unui traductor de temperatură de tip termocuplu.

Caracteristica dinamică (CD) a unui element reprezintă variația în timp a mărimii de ieșire, pentru o variație cunoscută în timp a mărimii de intrare. CD este un grafic asociat soluției ecuației diferențiale care reprezintă MMD.

Exemplu

În continuare se va determina CD a procesului ilustrat în figura 1.22, pentru care a fost determinat MMD

$$a \cdot \frac{dH}{dt} + H = b \cdot Q_i \quad \text{cu } a = A/k \ ; \ b = 1/k. \quad (1.18)$$

În următoarele condiții:

$$Q_i = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H(0) = 0,5 \text{ m (condiție inițială)}$$

$$a = 2 \text{ minute}$$

$$b = 0,1 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})$$

Cu aceste valori MMD devine

$$2 \cdot \frac{dH}{dt} + H = 0,1 \cdot 10 \quad , \quad (1.19)$$

respectiv

$$2 \cdot dH = (1-H) \cdot dt \quad (1.20)$$

sau

$$\frac{dH}{1-H} = \frac{1}{2} \cdot dt \quad (1.21)$$

prin a cărei integrare se obține

$$\int_0^H \frac{dH}{1-H} = \frac{1}{2} \cdot \int_0^t dt + C \quad (1.22)$$

unde C este o constantă care urmează să se determine.

Din relația (1.22) rezultă

$$-\ln(1-H) = \frac{1}{2} \cdot t + C$$

sau

$$1-H = e^{-\frac{1}{2}t - C} = e^{-C} \cdot e^{-\frac{1}{2}t}$$

de unde

$$H = 1 - e^{-C} \cdot e^{-\frac{1}{2}t} \quad (1.23)$$

Dar $H(0) = 0,5$ care înlocuit în (1.23) va conduce la

$$1 - e^{-C} = 0,5 \quad \text{respectiv} \quad e^{-C} = 0,5.$$

Înlocuind în (1.23) se obține relația care definește caracteristica dinamică respectiv

$$H(t) = 1 - 0,5 \cdot e^{-\frac{1}{2}t} \quad (1.24)$$

Considerând mărimea H constantă în timp din MMD (relația 1.18) se obține MMS respectiv

$$H = b \cdot Q_i$$

relație care permite determinarea $Q_i(0) = H(0) / b = 0,5 / 0,1 = 5 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Sintetizând, pentru o variație bruscă a debitului Q_i de la 5 la 10 m^3/h , nivelul are o variație exponențială, ilustrată în figura 1.25.

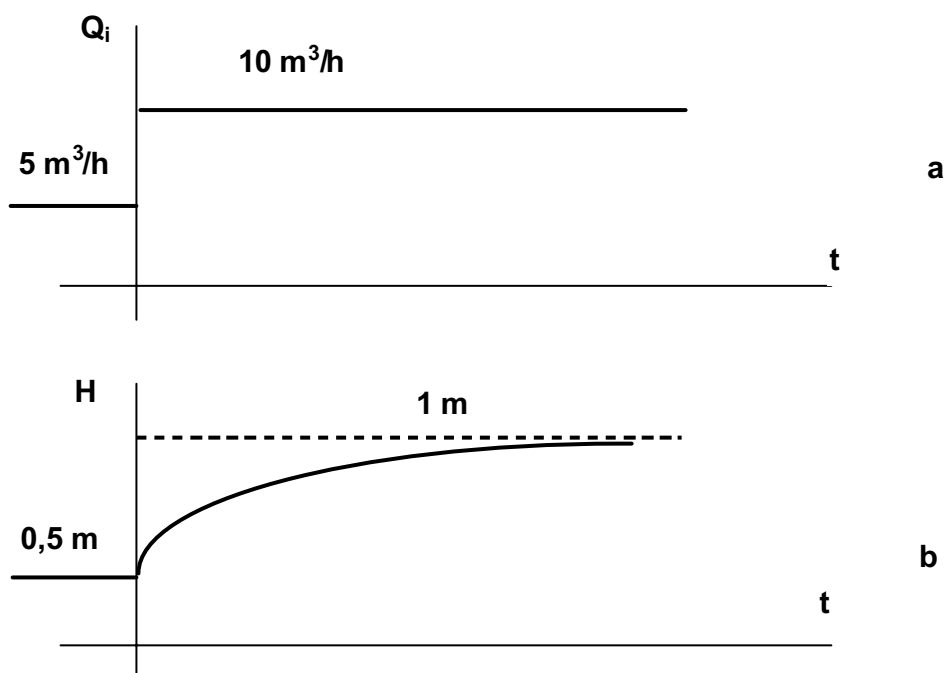


Fig. 1.25. Caracteristica dinamică a procesului de acumulare a unui lichid:
 a – variația în timp a debitului de intrare; b – variația în timp a nivelului.

Figura 1.25 ilustrează definiția caracteristicii dinamice și anume răspunsul în timp al sistemului la o variație cunoscută a mărimii de intrare. După cum se observă mărirea de intrare (debitul) execută un salt brusc, salt care în automatică se numește *treapta*. Forma de variație a nivelului în vas semnifică existența unei întârzieri, respectiv a unui interval de timp necesar tranziției între cele două valori staționare. (0, 5 m și 1 m).

1.5. Roboți – Linii flexibile de fabricație

Robotul reprezintă un automat care se poate substitui omului în desfășurarea anumitor acțiuni. Diverse organizații naționale cu preocupări în domeniul roboților au dat propriile definiții mai mult sau mai puțin apropiate de această definiție cu caracter general.^{4,5,6,}

⁴ **Japan Industrial Robot Association (JIRA)** – Robotul este un dispozitiv versatil și flexibil care posedă funcții de deplasare similare celor ale membrilor umani sau ale caror funcții de deplasare sunt comandate de senzori și de mijloacele proprii de recunoaștere .

⁵ **British Robot Association (BRA)** – Robotul este un dispozitiv reprogramabil pentru manipularea și transportul pieselor, sculelor sau altor mijloace de producție prin mișcări variabile programate pentru a îndeplini anumite sarcini specifice de fabricație.

⁶ **Robot Institute of America (RIA)** – Robotul constituie un manipulator multifuncțional reprogramabil destinat deplasării materialelor, pieselor, sculelor sau altor dispozitive specializate prin mișcări variabile programate pentru a îndeplini sarcini diverse.

Legat nemijlocit de termenul de *robot* este cel de **robotica** definita ca stiinta a conceptiei si constructiei robotilor. Termenul de *robotica* a fost utilizat pentru prima data de scriitorul rus Isaac Asimov (1920 –1972) care în 1940 a enuntat *legile fundamentale* care trebuie sa fie respectate de catre un robot pentru îndeplinirea sarcinilor încredintate în conditii de deplina siguranta^{7, 8,9}

În figura 1.26 se prezinta structura fizica principiala a unui robot.

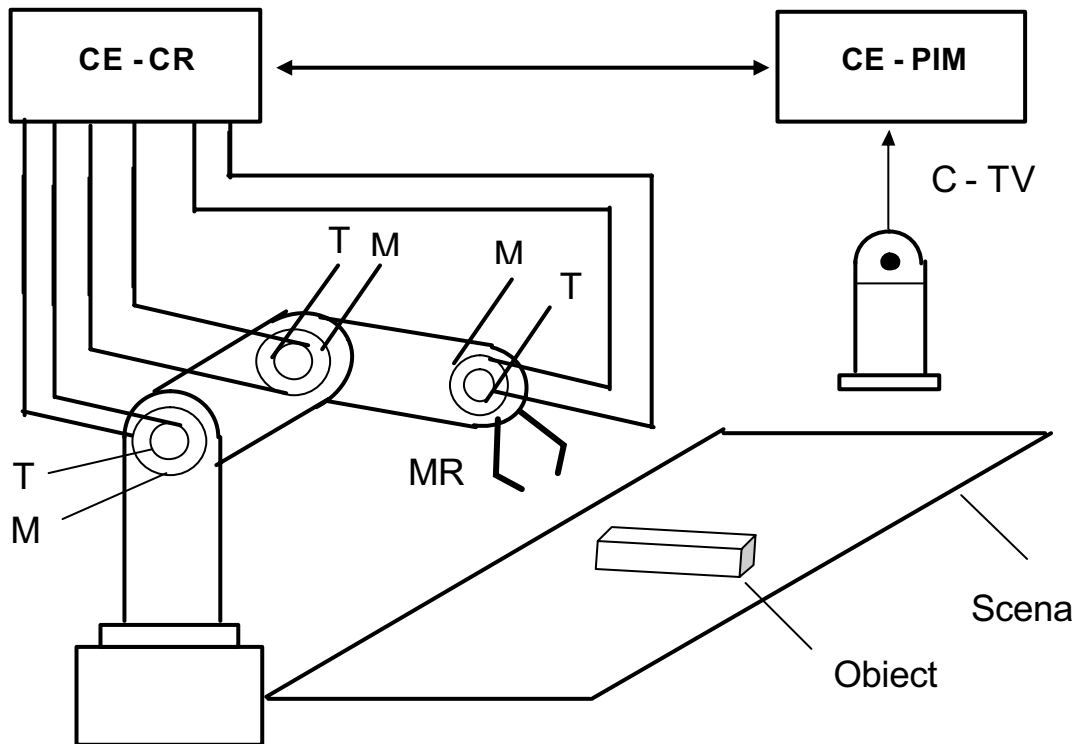


Fig. 1.26. Structura fizica a unui robot:
 CE-CR – calculator conducere robot; CE-PIM – calculator procesare
 imagini; C-TV – camera TV; MR – mâna robot (Gripper); T – traductor; M –
 motor (element de executie).

Pe baza schemei principale din figura 1.26 se poate construi schema bloc din figura 1.27 . Din examinarea celor doua figuri rezulta ca uzual termenului de **robot** îi este asociat un sistem de reglare automata cu bucle multiple si actiune dupa abatere. Referinta este reprezentata de o pozitie sau de o traiectorie (continuta în scena).

⁷ L1 – un robot nu are voie sa lezeze o fiinta umana sau sa permita, prin neinterventie, sa fie agresata o fiinta umana.

⁸ L2 – un robot trebuie sa execute comenzile primite de la o fiinta umana , cu exceptia acelor care ar dedetermina încălcarea primei legi.

⁹ L3 – un robot trebuie sa-si protejeze propria existenta în masura în care nu sunt încălcate priemele doua legi.

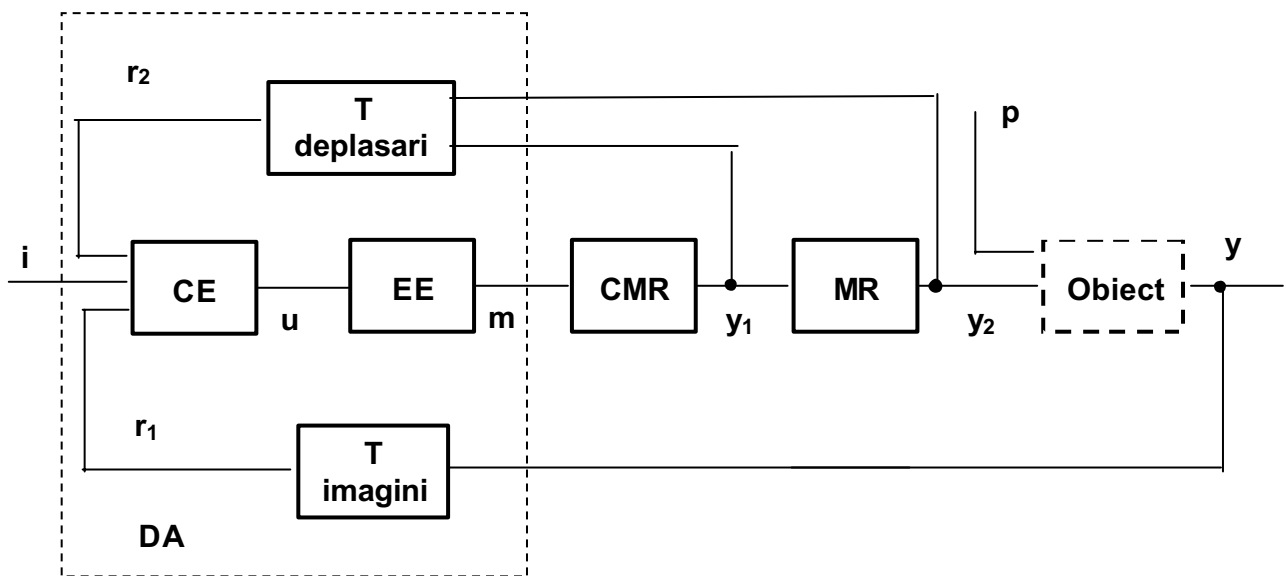


Fig. 1.27. Schema bloc a unui robot:
 CE – calculator (regulator); EE – elemente de execuție (motoare); T – traductoare;
 CMR – construcție metalică robot; MR – mână robot (gripper); DA – dispozitiv de automatizare.

Un robot industrial tipic este alcătuit din cinci subsisteme de baza:

- sistemul mecanic;
- sistemul de acționare;
- sistemul de transmisie;
- sistemul senzorilor și traductoarelor;
- sistemul de conducere.

- **Subsistemul mecanic.** Robotul interacționează cu mediul prin intermediul acestui subsistem (*structura mecanică*) care asigură deplasarea, poziționarea și orientarea organului de execuție (*mână, dispozitiv de prehensiune, gripper*). Principalele componente ale subsistemului mecanic sunt ilustrate în figura 1.28. Majoritatea structurilor de manipulare au o bază fixă și unul sau mai multe brațe articulate. Brațul reprezintă substructura cu trei grade de libertate care asigură poziționarea iar prin încheietura mâinii se înțelege substructura mecanică destinată orientării organului efector.

- **Subsistemul de acționare,** este reprezentat de totalitatea componentelor care asigură conversia de energie dintr-o formă în alta. Pentru ca acțiunea rezultată să fie mișcarea mecanică, sunt utilizate componente *hidraulice, pneumatice, electrice*. În figura 1.29 se prezintă schema principală a unui mecanism de prehensiune cu bacuri la care acționarea este de natură pneumatică sau hidraulică.

Prehensiunea reprezintă un ansamblu de operații care realizează:

- poziționarea și centrarea prehensurului față de obiect;
 - rigidizarea elementelor de contact cu obiectul;
 - menținerea rigidizării în timpul procesului de manipulare;
 - poziționarea prehensurului și obiectului;
 - desprinderea prehensurului de obiect care rămâne în poziția prestabilă.
- **Subsistemul de transmisie** are trei funcții importante și anume:
 - produce mișcările robotului;
 - transformă mișcări de rotație în mișcări de translație și invers;
 - reduce mișcările și amplifică cuplurile.

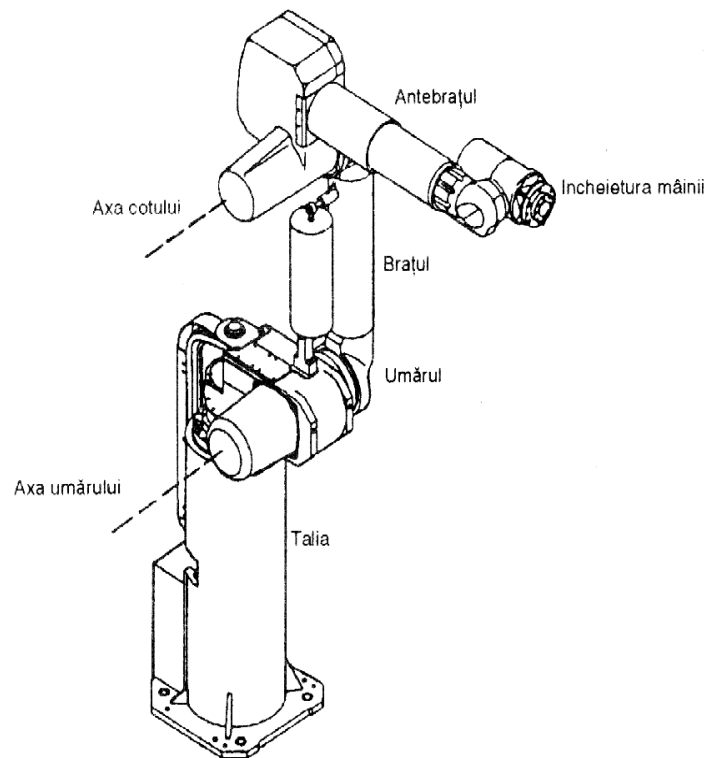


Fig. 1.28. Componentele subsistemului mecanic al unui robot.

- **Subsistemul senzorial** permite robotului să sesizeze caracteristicile mediului în care acesta evoluează. Există două categorii de senzori și anume *interni (interoceptivi)* și *externi (exteroceptivi)*. Senzorii interni furnizează informații referitoare la structura robotului și la axele de coordonate în timp ce senzorii externi permit robotului să se orienteze în mediul de lucru. Ca exemplu sunt de menționat senzorii de *poziție, viteză, accelerație, forță, vedere, coordonare*.

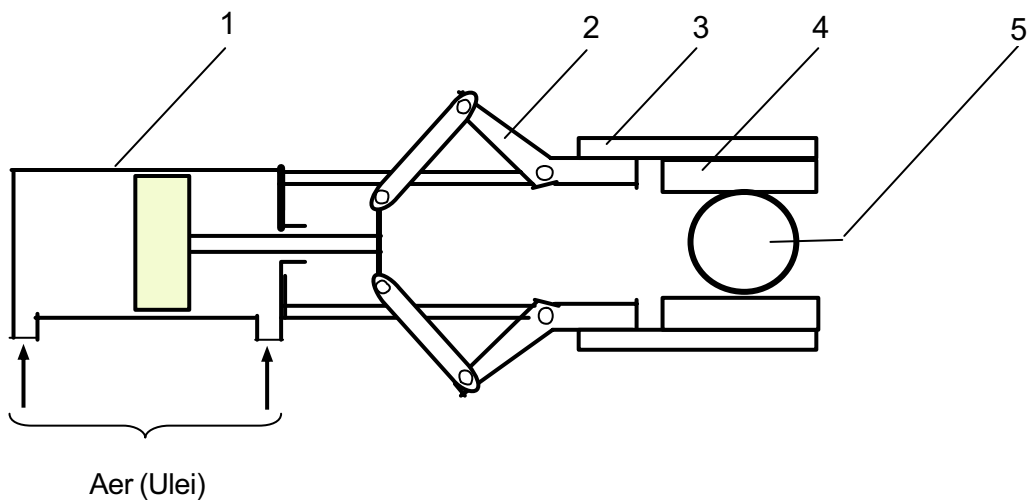


Fig. 1.29. Mecanism de prehensiune cu bacuri:

- 1 – servomotor hidraulic sau pneumatic; mecanism actionare portbacuri;
- 3 – portbacuri; 4 – bacuri; 5 – piesa prehensata.

- **Subsistemul de conducere** prelucreaza imaginea senzoriala si genereaza comenzi în conformitate cu sarcinile pe care robotul le are de îndeplinit.

În încheierea acestei prezentari succinte a problematicii robotilor vor fi amintite câteva criterii de clasificare a robotilor.

➤ Functie de **modul de actionare** exista trei tipuri de roboti (considerati conventionali):

- *roboti hidraulici* (aproximativ 50 % din totalul robotilor existenti la nivel mondial);
- *roboti pneumatici* (aproximativ 30 % din totalul robotilor existenti la nivel mondial);
- *roboti electrici* (aproximativ 20 % din totalul robotilor existenti la nivel mondial).

➤ Functie de **clasa de aplicatie** robotii se pot clasifica în:

- *roboti de sudura;*
- *roboti de asamblare;*
- *roboti de paletizare;*
- *roboti de vopsire;*
- *roboti de testare, etc.*

➤ Din punctul de vedere **geometriei si caracteristicilor de miscare** robotii pot fi grupati în mai multe categorii dintre care în continuare vor fi prezentate cele mai importante trei.

▪ *Roboti în coordonate cilindrice (figura 1.30) pot descrie în funcționarea lor o anvelopă de tip cilindru. Acesta prezintă două axe liniare și o axă de rotație, care corespund celor trei variabile ale sistemului de coordonate cilindrice și anume: θ – rotație, h – înălțime; r – raza. Trecerea la coordonate carteziene se face cu ajutorul relațiilor de mai jos:*

$$x = r \cos \theta ; \quad (1.25)$$

$$y = r \sin \theta ; \quad (1.26)$$

$$z = h . \quad (1.27)$$

Robotii din această categorie pot efectua deplasări înainte/înapoi sau rotații stânga/dreapta.

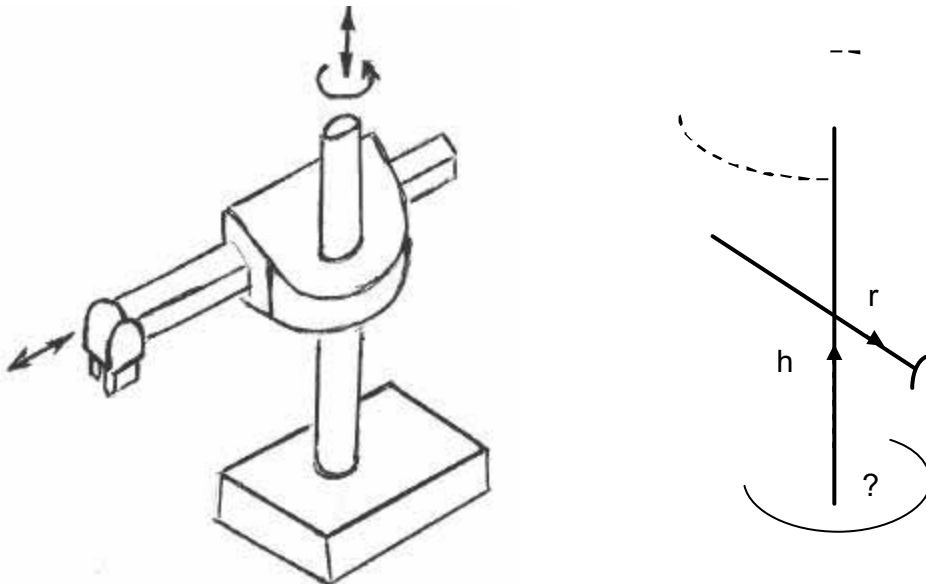


Fig. 1.30. Robot în coordonate cilindrice.

▪ *Roboti în coordonate sferice (figura 1.31) pot genera în mișcarea lor o sferă. Acesta prezintă două axe de rotație și o axă liniară, variabilele sistemului de coordonate sferice fiind: θ – rotație în jurul unei axe verticale, φ – rotație în jurul unei axe orizontale, r – raza. Robotii de acest tip pot efectua mișcări înainte/înapoi, rotație stânga/dreapta, pivotare sus/jos.*

Trecerea la coordonate carteziene se face cu ajutorul relațiilor de mai jos:

$$x = r \cos \theta \cos \varphi ; \quad (1.28)$$

$$y = r \sin \theta \cos \varphi ; \quad (1.29)$$

$$z = r \sin \varphi . \quad (1.30)$$

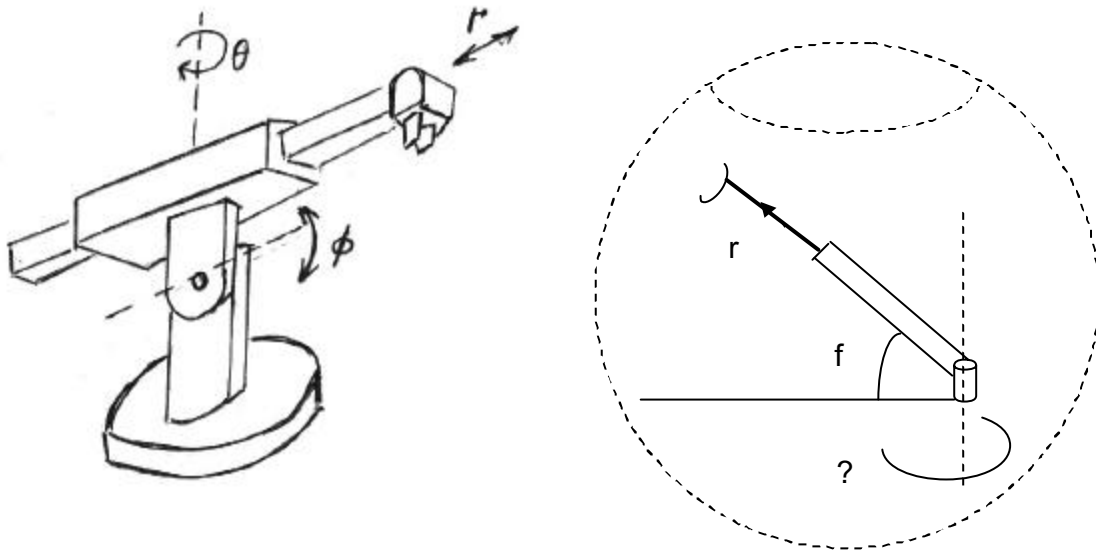


Fig. 1.31. Robot în coordonate sferice.

▪ *Roboti în coordonate carteziene (figura 1.32) au ca spațiu de lucru un paralelipiped. Acesta prezintă trei axe liniare, variabilele sistemului de coordonate carteziene fiind: x – abscisa, y – ordonata, z – cota. Robotii de acest tip pot efectua mișcări înainte/înapoi, stânga/dreapta, sus/jos.*

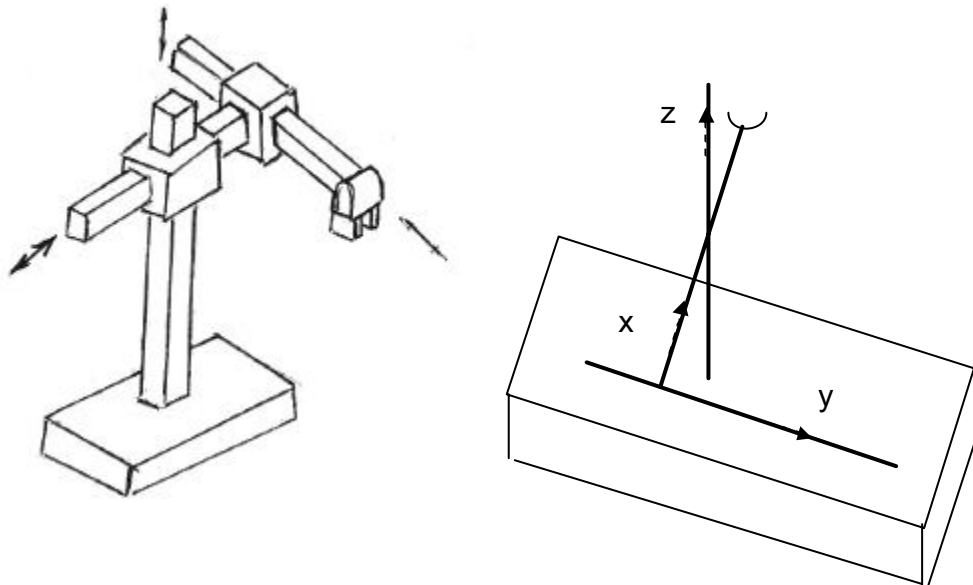


Fig. 1.32. Robot în coordonate carteziene.

Robotii pot lucra izolat sau pot fi integrați în *linii flexibile de fabricație*. O asemenea linie reprezintă un ansamblu format din *masini unelte, instalatii, manipolatoare si roboti* la care schimbarea fabricației se face prin modificarea programelor și schimbarea sculelor.

Atributul de *flexibilitate* are în vedere facilitățile oferite de schimbare relativ simplă a sarcinilor de fabricație prin modificări în primul rând la nivel software.

În figura 1.33 se prezintă structura unei linii flexibile de fabricație a recipientilor pentru gaze la presiuni înalte.

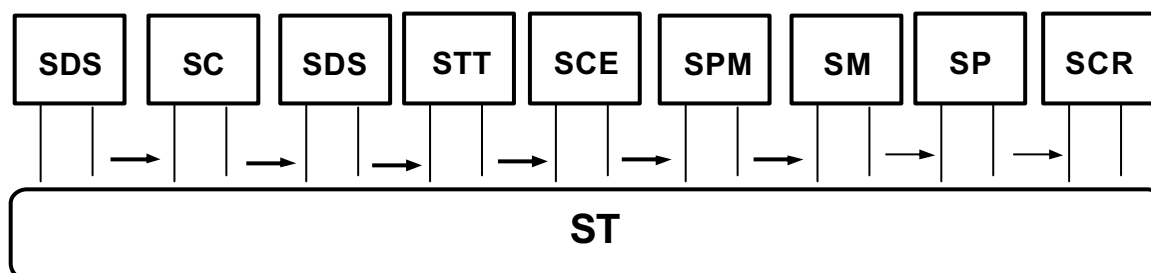


Fig. 1.33. Linie flexibilă de fabricație a recipientilor de gaze sub presiune (aragaz).

SDS – subsistem deformare succesivă; SC – corecție; STT – subsistem tratament termic; SCE – subsistem curățare exterioară; SCE – subsistem curățare exterioară; SPM – subsistem prelucrări mecanice; SM – subsistem montaj; SP – subsistem probă; SCR – subsistem control și recepție; ST – subsistem transport (banda rulantă).

1.6. Reglare și conducere

Cu toate că la începutul acestui capitol au fost făcute referiri la aceste două noțiuni, în cele ce urmează vor fi prezentate unele elemente cu caracter sintetic.

Din analiza exemplurilor de sisteme cu reglare, în mod cert cititorul și-a format o imagine în legătură cu conceptul de *reglare*.

S-a văzut asadar că *reglarea* reprezintă procesul prin care un sistem își menține starea curentă cât mai aproape (și pe un orizont de timp cât mai lung) de starea de referință. Pentru realizarea reglării sunt necesare trei tipuri de dispozitive și anume:

- dispozitivul de măsurat (DM);
- dispozitivul de comandă (DC);
- dispozitivul de execuție (DE).

DM și DE vin în contact nemijlocit cu procesul putând fi incluse împreună cu acesta în așa numita *parte fixă (PF) a unui SRA*. Denumirea PF se datorează faptului că acestea se constituie într-un subsistem cu funcționalitate fixă și cunoscută. În opoziție cu această parte DC se constituie în partea variabilă, în sensul că la dispoziția utilizatorului

se afla un numar de parametri de acordare prin a caror modificare poate fi influentata variatia marimii de comanda generate. În figura 1.34 se prezinta structura unui sistem automat cu reglare în care sunt evidentiata cele doua sectiuni.

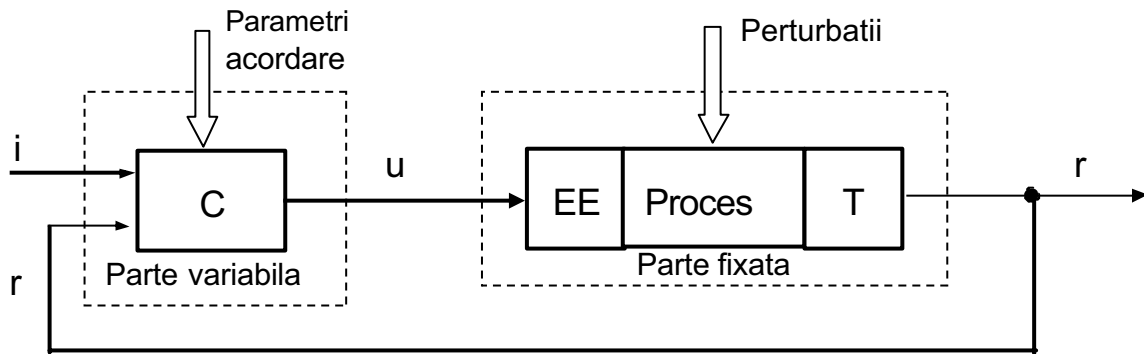


Fig. 1.34. SRA abatere cu evidentiarea partilor *fixa si variabila*.

SRA la care referința i se modifica după o anumită lege sau aleatoriu funcționează în regim de urmărire, iar cele la care referința este constantă funcționează în regim de stabilizare.

Cazuri aparte de SRA urmărire sunt cele *optimale* la care referința rezultă în urma extremizării unei *funcții* obiectiv.

Dispozitivul de comandă (regulatorul) are sarcina *elaborării și generării* comenzii. Pe de altă parte procesul de *elaborare și generare a comenzii* este asociat *conducerii*. Din aceste două afirmații rezultă că *într-un SRA* regulatorul exercită funcția de *conducere*.

Pentru structura din figura 1.34 elaborarea comenzii se face prin prelucrarea diferenței dintre starea de referință și cea curentă. După cum s-a văzut aceste SRA funcționează în baza *legii reglării după abatere*. Pe lângă avantajul eliminării *abaterii* indiferent de cauza determinată, aceste sisteme prezintă neajunsul că abaterea nu se elimină instantaneu ci necesită un timp pe durata căruia sistemul se găsește în regim tranzitoriu.

Parțial, neajunsul legat de existența regimului tranzitoriu este înlăturat prin utilizarea acțiunii după perturbare, la care comanda rezultă prin procesarea anumitor perturbări care afectează procesul. Și pentru aceste sisteme poate fi elaborată o schemă structurală în care să fie evidențiate părțile *fixa și variabila*, conform reprezentării din figura 1.35.

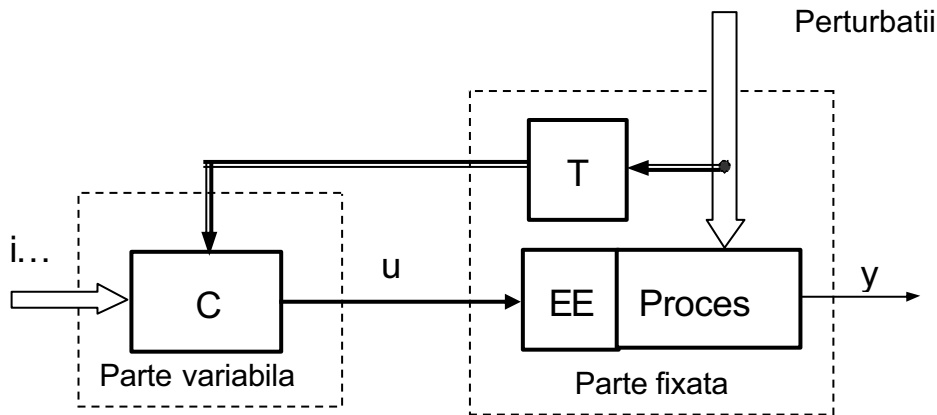


Fig. 1.35. SRA perturbatie cu evidentierea partilor *fixa si variabila*.

Dupa cum s-a vazut un asemenea sistem prezinta avantajul absentei regimului tranzitoriu la modificarea perturbatiilor luate în considerare. Din analiza figurii 1.35 se desprinde pe de o parte ideea ca nu toate perturbatiile sunt accesibile iar pe de alta parte la elaborarea comenzii concura mai multe elemente decât referinta i .

1.7. Sisteme ierarhice de conducere automata

Ierarhizarea presupune stabilirea mai multor niveluri de elaborare a comenzilor. Unei structuri cu activitate în domeniul productiei materiale sau serviciilor îi sunt specifice obiective locale sau generale. În continuare se va considera pentru exemplificare o societate comerciala destinata procesarii produselor petroliere, respectiv o rafinarie, pentru care se poate considera o structura de organizare piramidala ilustrata în figura 1.36 a. Pe fiecare nivel ierarhic informatia de natura tehnica coexista cu cea de natura economica, distributiile calitative ale celor doua categorii de informatie fiind evidentiata în figura 1.36 b.

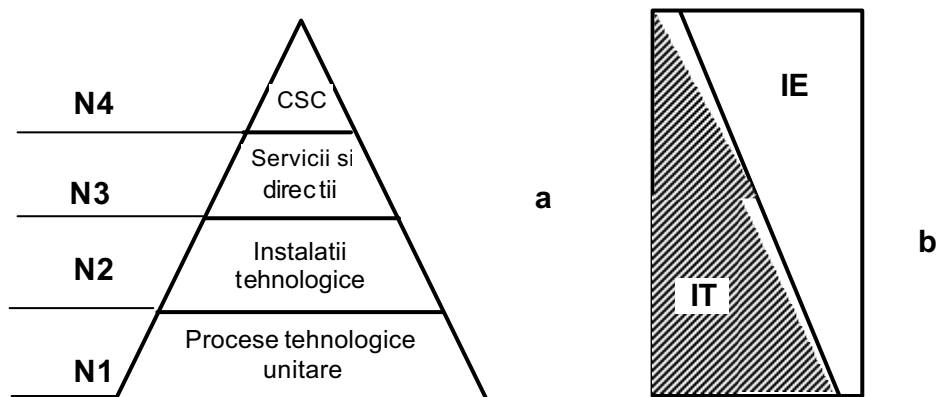


Fig. 1.36. Structura ierarhica piramidala (a) si distributia informatiei (b): CSC – conducere societate comerciala; IT – informatie tehnica; IE – informatie economica; N1...N4 – niveluri ierarhice.

La nivelul proceselor tehnologice unitare obiectivele (de regula locale) sunt reprezentate necesitatea mentinerii unor valori prescrise pentru diversi parametri tehnobgici specifici proceselor unitare. Pe masura ce se urca spre vârful piramidei obiectivele câștiga în generalitate iar deciziile devin preponderent economice.

Pentru fiecare nivel o decizie se adopta pe baza urmatoarelor elemente:

- obiective proprii ale respectivului nivel;
- marimi de informare de la nivelul inferior;
- marimi de coordonare de la nivelul superior.

În figura 1.37 este prezentat un sistem ierarhic si distribuit de conducere asociat structurii piramidale din figura 1.36. Se observa ca pentru fiecare nivel atât marimile de informare de la un nivel inferior catre unul superior au componente tehnice si economice.

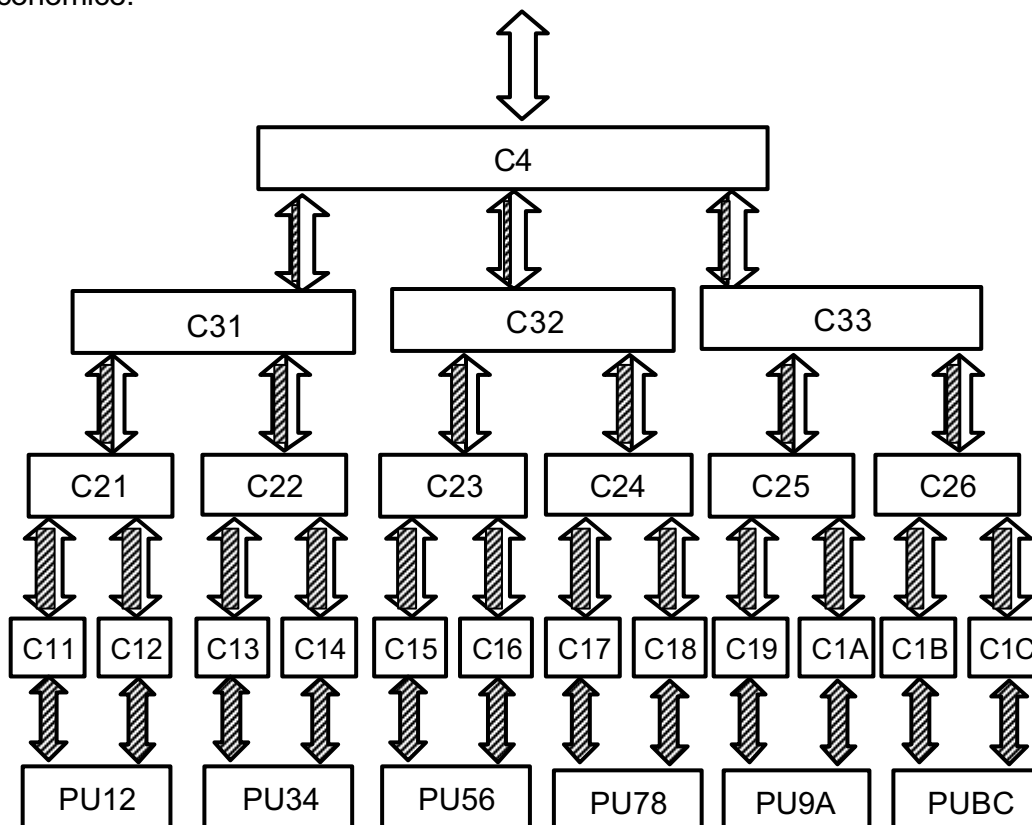


Fig. 1.37 Structura ierarhica si distribuita de conducere .

Caracterul distribuit rezulta din necesitatea procesarilor paralele pe anumite niveluri. Astfel cu exceptia nivelului 4 toate celelalte sunt distribuite deoarece exista mai multe servicii si directii, mai multe instalatii si mai multe procese unitare care evolueaza simultan.

Un aspect demn de relevat este cel legat de așa numita *baza de timp*. Marimea acesteia reflectă dinamica nivelului respectiv și determină frecvența cu care fiecare nivel transmite comenzi nivelului subordonat și preia informații de la acesta. Astfel dacă la nivelul proceselor unitare aceste baze de timp sunt de ordinul secundelor sau minutelor la ultimul nivel acestea ajung până la zeci de ore sau chiar zile.

Organizarea sistemelor ierarhice impune ca un sistem situat pe un anumit nivel să transmită comenzi numai sistemului imediat subordonat și să fie coordonat numai de către nivelul coordonator. Aceleași reglementări funcționează și pentru recepționarea informațiilor de la nivelul subordonat și transmiterea de informații către nivelul coordonator.

Practic elementul de decizie din cadrul fiecărui nivel acționează ca un regulator, pentru care procesul este reprezentat de entitățile situate la nivelul inferior. Această abordare evidențiată în figura 1.38 permite o tratare unitară a sistemelor ierarhice.

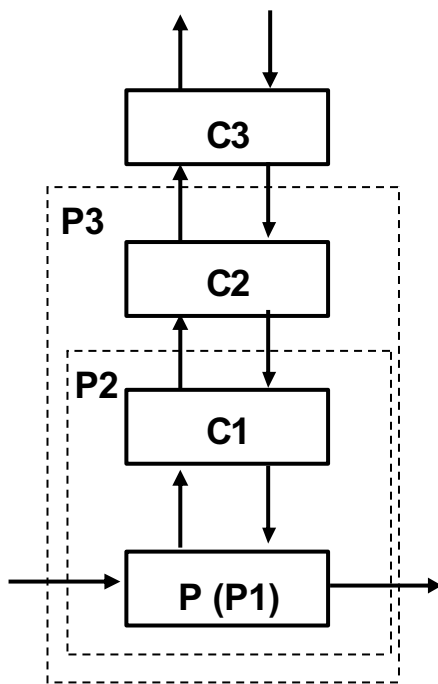


Fig. 1.38. Abordarea sistemelor ierarhice cu evidențierea procesului pentru fiecare nivel:
C1, C2, C3 – regulatoare; P1, P2, P3 – procese.

Astfel pentru regulatorul C1 procesul este reprezentat de procesul în sine P1. Ansamblul celor două entități (P1 și C1) formează un sistem cu reglare care se constituie în proces (P2) pentru regulatorul C2.

C2 și P2 formează la rândul lor un sistem cu reglare care constituie procesul P3 pentru regulatorul C3 și așa mai departe.

CAPITOLUL 2

COMPONENTE ALE DISPOZITIVULUI DE AUTOMATIZARE

Asa cum a reiesit din capitolul precedent în structura unui sistem cu reglare automata (SRA) intra doua entitati importante si anume:

- procesul;
- dispozitivul de automatizare.

Prezentul capitol își propune ca obiectiv acomodarea studentilor cu problematica elementelor dispozitivului de automatizare (DA). În cadrul disciplinelor de specialitate elementele componente ale DA vor fi pe larg prezentate si analizate.

2.1. Elemente introductive

Indiferent de maniera în care este elaborata marimea de comanda ¹, în structura unui dispozitiv de automatizare intra elemente care sa permita realizarea urmatoarelor trei functii considerate fundamentale:

- *functia de masurare*;
- *functia de comanda*;
- *functia de executie*.

Functia de masurare permite obtinerea de elemente aferente marimii reglate sau / si marimilor perturbatoare, elemente care vor servi la determinarea marimii de comanda.

Functia de comanda permite determinarea marimii de comanda pe baza unui algoritm universal sau a unuia specific procesului. La elaborarea comenzii mai concura informatiile preluate de la sistemele de masurat si anumite elemente furnizate DA cum ar fi: *referinta, parametrii de acordare ai regulatorului, parametri necesitati de diverse modele etc.*

Functia de executie asigura implementarea comenzii în proces. Este de mentionat faptul ca realizarea reglarii implica existenta unei marimi de executie (agent de reglare) asupra careia sa actioneze elementul de executie. Aceasta marime trebuie sa se afle la dispozitia unui singur SRA , motiv pentru care numarul de sisteme cu reglare dintr-o instalatie este determinat de numarul de agenti de reglare disponibili.

Una din acceptiunile notiunii de *automat* este aceea de sistem care evolueaza fara a necesita influenta nemijlocita a omului. În aceste conditii se poate spune ca în structura unui automat intra obligatoriu pe lângă DA obiectul automatizarii respectiv procesul. Dupa cum se observa din figura 2.1, cele doua entitati sunt conectate prin marimea de executie *m* si reactie *r*.

¹ Actiune dupa abatere, dupa perturbatie sau combinata.

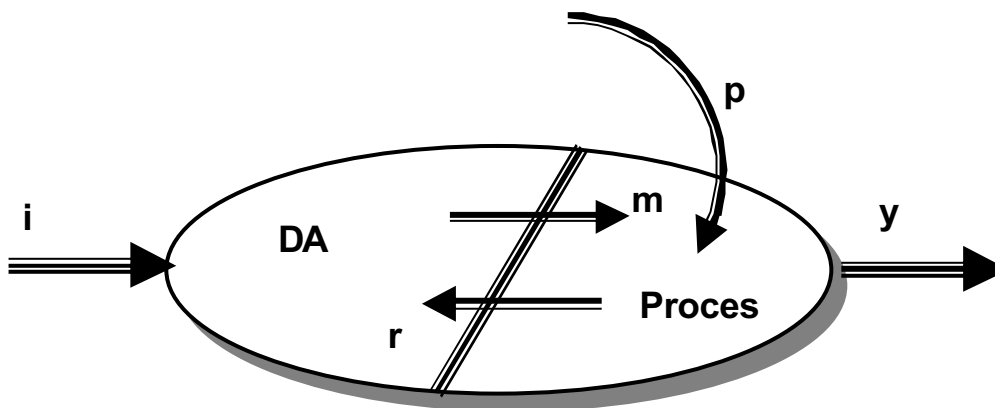


Fig. 2.1. Elementele și marimile aferente unui automat.

Este de menționat faptul că elementele DA au cunoscut de-a lungul vremii perfecționări tehnologice, însă funcțiile lor în cadrul SRA au rămas nemodificate. La realizarea aparaturii de automatizare sunt utilizate componente *electronice electrice, mecanice, pneumatice etc.*

În momentul actual marea majoritate a elementelor DA conțin importante secțiuni electronice care includ chiar microprocesoare. Aceasta *înzestrare* a conferit, datorită logicii programate, posibilități de configurare, procesare locală, scalare automată etc. Posibilitățile menționate justifică într-o oarecare măsură atributul de *aparatură inteligentă (smart)* acordat aparaturii moderne de automatizare.

2.2. Sisteme de măsurat

Măsurarea reprezintă un proces experimental de comparare a mărimii care se măsoară, x cu o altă mărime de aceeași natură u_m numită *unitate de măsură*. Rezultatul măsurării este un număr adimensional care arată de câte ori unitatea de măsură este cuprinsă în *masurand* (mărimea care se măsoară) respectiv,

$$n = \frac{x}{u_m} \quad (2.1)$$

Relația (2.1) permite determinarea valorii x dacă se cunoaște numărul n și dacă unitatea de măsură este definită.

Orice proces de măsurare este însoțit de erori, între care semnificative sunt erorile *absolută* și *relativă*. Eroarea absolută este definită ca diferența între valoarea măsurată și cea reală respectiv ²

$$e_{abs} = x_m - x_r \quad (2.2)$$

² Întrucât valoarea reală a mărimii nu este cunoscută, rezulta că nici eroarea absolută reală nu poate fi cunoscută. De regulă valoarea reală x_r se înlocuiește cu o valoare convențională x_c obținută cu un aparat de precizie superioară celui cu care se efectuează măsurarea curentă.

Eroarea relativă se definește funcție de eroarea absolută și valoarea măsurată conform relației

$$e_{rel} = \frac{e_{abs}}{x_m} \cdot 100 \quad (2.3)$$

O eroare relativă aparte este *eroarea relativă normată*, în care eroarea absolută se raportează la domeniul de măsurare D , respectiv

$$e_{rel\ norm} = \frac{e_{abs}}{D} \cdot 100. \quad (2.4)$$

Dacă în relația (2.4) e_{abs} se înlocuiește cu eroarea absolută maximă, se obține clasa de precizie CP , care constituie principalul indicator pentru evaluarea performanțelor unui aparat de măsurat,

$$CP = \frac{e_{abs\ max}}{D} \cdot 100. \quad (2.5)$$

În contextul DA prezintă interes *sistemele de măsurat la distanță (SMD)*, un asemenea sistem fiind format din *traductor*, *linie de transmisie la distanță*, *aparat de vizualizare* (figura 2.2).

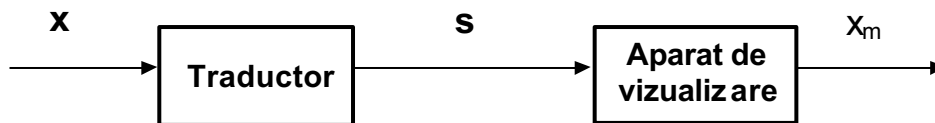


Fig. 2.2. Sistem de măsurat:

x – mărime care se măsoară; s – semnal; x_m – rezultat măsurare.

De regulă un SMD poate avea ca utilizatori regulatorul din cadrul DA sau operatorul uman. Regulatorului îi este suficient semnalul³ purtător de informație s , în timp ce pentru utilizatorul uman este absolut necesară prezența aparatului de vizualizare.

2.2.1. Traductoare

Traductorul este un element al DA care transpune variațiile unei mărimi x aplicate la intrare în variații ale unui semnal purtător de informație.

Cu toate că traductoarele sunt de o mare diversitate, ele pot fi clasificate după mai multe criterii, dintre care în continuare vor fi prezentate cele mai importante.

³ Un semnal reprezintă o mărime fizică aptă de a se propaga într-un anumit mediu. În general noțiunea de semnal se referă la acele mărimi fizice care conțin un mesaj destinat unui receptor. În cadrul DA semnalele pot fi în curent, tensiune, presiune, în cadrul unor domenii unificate cum ar fi: curent – 4...20 mA, tensiune – 1...5 V, presiune – 0,2... 1 bar.

- După mărimea aplicată la intrare traductoarele pot fi de : *temperatura, presiune, debit, nivel, concentrație, deplasare, forță etc.*

- După natura fenomenelor care stau la baza funcționării traductoarelor acestea pot fi *generatoare sau parametrice.*

Traductoarele generatoare generează un semnal purtător de informație dependent de mărimea variabilei aplicate la intrare folosind pentru aceasta energia mediului aferent mărimii traduse sau o sursă externă.

Traductoarele parametrice pun în evidență variațiile mărimii aplicate la intrare, prin variații ale unor parametri asociați funcționării lor cum ar fi: *rezistența electrică, capacitatea electrică, lungimea, etc.*

- După natura semnalului purtător de informație asociat traductoarele pot fi de tip *analogic*⁴ sau *discret*⁵.

- După modalitatea de obținere a semnalului de ieșire traductoarele pot fi *cu transformare directă* sau *cu transformări succesive.*

Traductoarele cu transformare directă convertesc variațiile mărimii de intrare în variații ale semnalului printr-o singură transformare.

Traductoarele cu transformări succesive presupun obținerea variațiilor semnalului de ieșire prin două sau mai multe transformări aplicate variațiilor mărimii de intrare.

Având în vedere că de regulă semnalele sunt în domeniu unificat se poate admite că marea majoritate a traductoarelor sunt *cu transformări succesive.* În cazul în care sunt necesare două transformări, traductorul este format din *detector și adaptor*, a căror interconectare este ilustrată în figura 2.3.



Fig. 2.3. Structura unui traductor cu două transformări succesive:

x – mărime primară; m_i – mărime intermediară; s – semnal.

În continuare vor fi prezentate trăsături importante ale câtorva tipuri de detectoare (senzori) și anume a senzorilor pentru *debit, presiune, temperatură, nivel.* Vor fi avute în vedere cu precădere considerente de ordin *fenomenologic* și al caracterizării informaționale (*intrare – ieșire*).

⁴ Semnalele analogice au variații continue similare cu cele ale mărimilor primare pe care le reprezintă. Relațiile care reprezintă dependența ieșirii față de intrare la dispozitivele analogice sunt *funcții continue* liniare sau neliniare.

⁵ Un semnal discret are asociată o funcție discretă, respectiv o funcție $f : T \rightarrow R$ unde $T \subset Z$. Spre deosebire de un semnal analogic care admite într-un anumit domeniu o infinitate de valori, un semnal discret are prezintă un număr finit de valori.

Senzori de debit. Debitul unui fluid este reprezentat de cantitatea sau volumul din respectivul fluid care traversează o secțiune în unitatea de timp.

Relațiile de calcul pentru cele două tipuri de debit sunt:

$$Q_v = \frac{V}{t} = S \cdot v \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2.6)$$

$$Q_m = \frac{m}{t} = \rho \cdot S \cdot v \quad \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (2.7)$$

unde: Q_v și Q_m sunt debitele volumic respectiv masic;

S – aria secțiunii de trecere a fluidului;

v – viteza fluidului;

ρ – densitatea fluidului.

Pentru determinarea debitului volumic trebuie cunoscută viteza. Între cei mai răspândiți senzori de debit sunt cei a căror funcționare se bazează pe dependența între caderea de presiune pe o rezistență hidraulică și viteza. În figura 2.4 este reprezentată schema unui traductor de debit care conține un asemenea senzor.

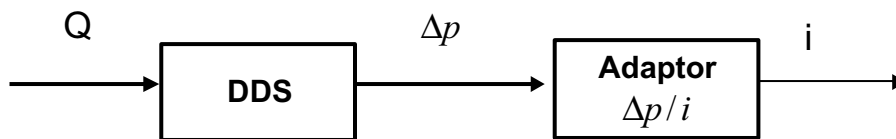


Fig. 2.4. Structura unui traductor de debit cu element de strangulare:

DDS – detector de debit cu strangulare; Q – debit; Δp – diferența de presiune; i – semnal de ieșire în curent.

Unul dintre cei mai răspândiți senzori cu strangulare este cel de tip *diafragma*. Diafragma este un disc metalic cu un orificiu circular (în majoritatea cazurilor centrat), care se introduce pe tronsonul de conductă perpendicular pe direcția de curgere a fluidului. Montajul efectiv al diafragmei se poate face între flanșe sau în camere de măsură. În amonte și în aval față de diafragma există stuturi pentru prelevarea presiunilor statice aferente P_1 și P_2 . În figura 2.5 sunt prezentate elemente aferente senzorului de debit tip diafragma.

Cunoscând caderea de presiune pe diafragma $\Delta P = P_1 - P_2$ debitele volumic respectiv masic se pot calcula cu ajutorul relațiilor de mai jos:

$$Q_v = \alpha \epsilon A_0 \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]; \quad (2.8)$$

$$Q_m = \alpha \epsilon A_0 \sqrt{2 \rho \Delta P} \quad \left[\frac{kg}{s} \right]. \quad (2.9)$$

unde: α este coeficient de debit (adimensional);
 ε – coeficient de compresibilitate (adimensional);
 A_0 – aria orificiului diafragmei (m^2);
 Δp – cadere de presiune pe diafragma.

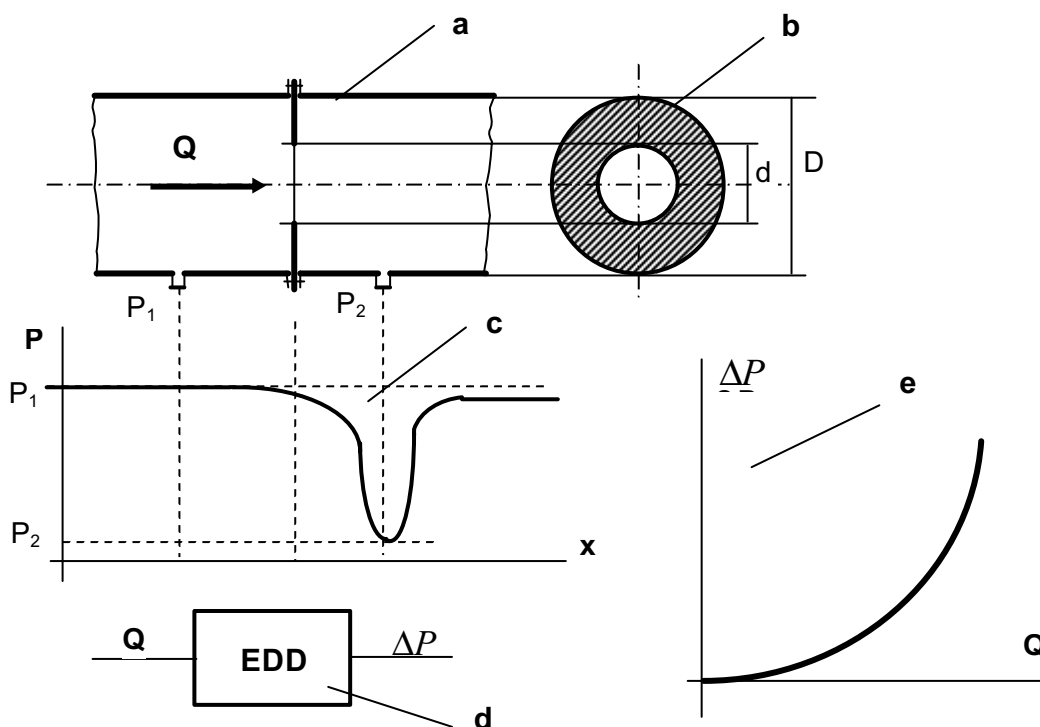


Fig. 2.5. Elemente ale senzorului de debit tip diafragma:
 a – schema principială de montaj a diafragmei între flanse; vedere frontală a diafragmei; c – variația presiunii statice în zona diafragmei; marimile asociate elementului de debit tip diafragma (EDD); e- caracteristica statică a EDD; D – diametrul interior al conductei; d – diametrul orificiului diafragmei; P_1 – presiunea înaintea diafragmei; P_2 – presiunea după diafragma; Q – debitul; ΔP – diferența de presiune ($P_1 - P_2$).

După cum se observă din figura 2.5 e, caracteristica statică⁶, respectiv dependența $\Delta P = f(Q)$, este neliniară (parabolică).

În ceea ce privește adaptorul, pentru senzorul tip diafragma, acesta converteste variațiile de presiune diferențială în variații de curent. Convertirea nu este directă ci trece prin mărimi intermediare. În figura 2.6 se prezintă scheme simplificată ale unor asemenea adaptoare realizate cu *burduf* sau cu capsula..

⁶ Caracteristica statică a unui element este definită ca dependența a mărimii de ieșire față de mărimea de intrare.

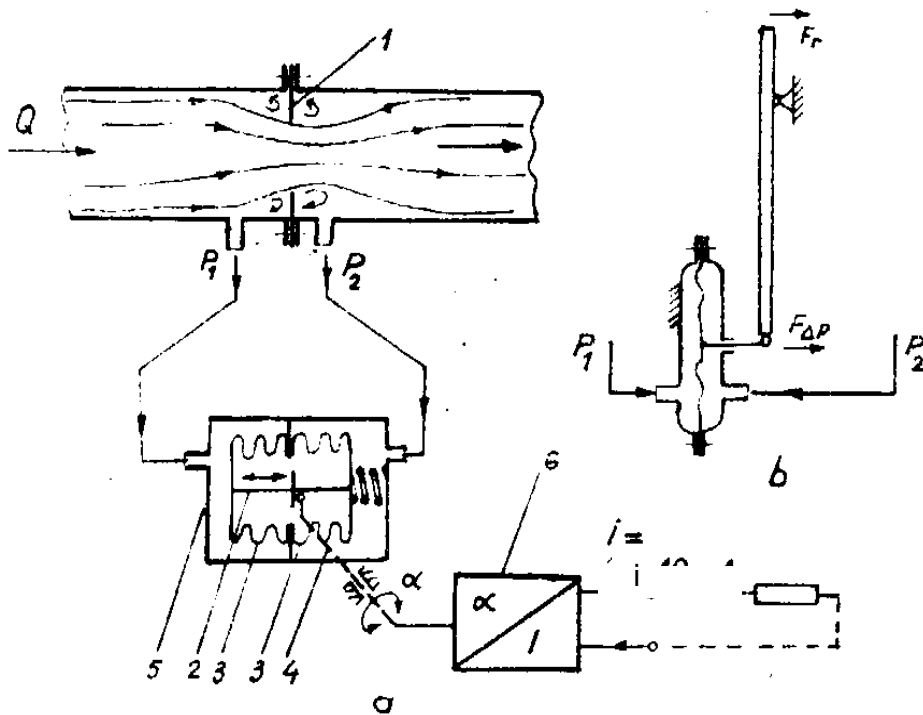


Fig. 2.6. Adaptoare de presiune diferentia:
 a – adaptor presiune diferentia curent (senzor de presiune diferentia cu burduf); b – senzor de presiune diferentia cu capsula; 1 – EDD; 2 – ax burdufuri; 3 – burdufuri; 4 – ax cu tub de torsiune; 5 – corp senzor diferena de presiune; 6 – adaptor unghi – curent

Analizând figura 2.6 se observa ca practic adaptorul cu burdufuri este un traductor de presiune diferentia, a carui structura este evidentiata în figura 2.7. Detectorul cu burdufuri converteste variatiile de presiune diferentia în deplasari unghiulare, care sunt preluate de adaptor si convertite în variatii ale curentului de iesire.

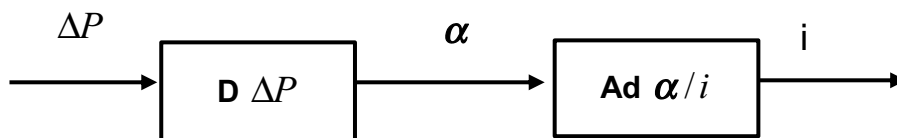


Fig. 2.7. Structura unui traductor de presiune diferentia (adaptor presiune diferentia curent):
 $D \Delta P$ – detector de presiune diferentia; $Ad \alpha/i$ - deplasare unghiulara – curent.

Senzori de presiune. Cei mai răspândiți senzori de presiune permit evaluarea presiunii pe baza unor efecte cum ar fi:

- *deformata elastică a unui element sensibil sub acțiunea presiunii;*
- *echilibrarea presiunii necunoscute cu o presiune cunoscută;*
- *variația unor parametri electrici cu presiunea;*
- *etc.*

Pentru exemplificare în cele ce urmează vor fi prezentate câteva elemente specifice senzorilor de tip *element elastic*. Funcționarea acestor senzori se bazează pe dependența existentă între *deformata* unui element sensibil de natura elastică și presiunea la care acesta este supus.

Ca elemente elastice sunt de menționate:

- *tuburi Bourdon;*
- *membrane;*
- *capsule;*
- *burdufuri.*

În figura 2.7 au fost prezentați senzori de presiune diferențială cu burdufuri și membrane în calitate de elemente elastice. Pentru a completa paleta, în figura 2.8 sunt evidențiate structurile principale a două tipuri de traductoare de presiune cu senzori de tip *tub Bourdon* și *capsula*.

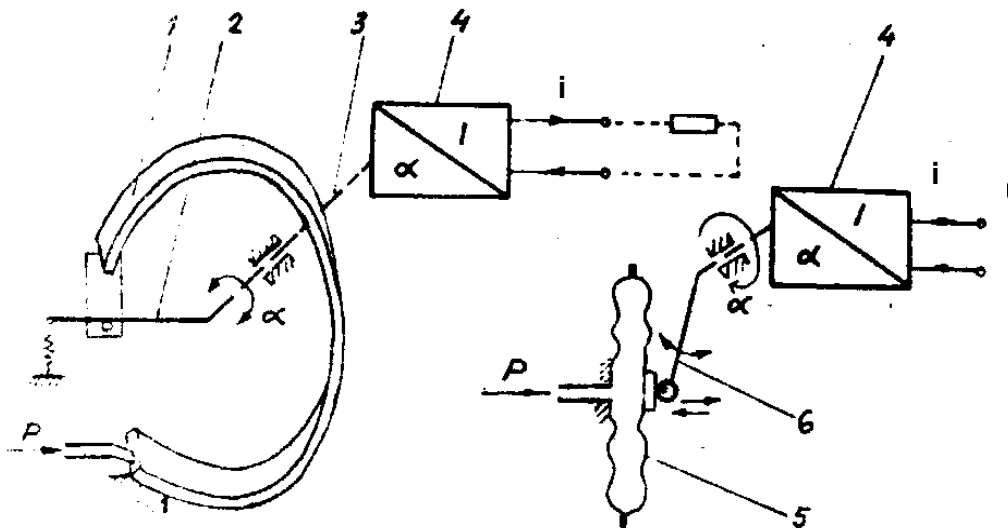


Fig. 2.8. Traductoare de presiune (TP);

a – cu senzor de tip tub Bourdon; b – cu senzor de tip capsula; 1 – tub Bourdon;

2 – pârghie; 3 – ax rotație; adaptor deplasare unghiulară – curent; 5 –capsula din

membrane.; 6 – bara de forțe (pârghie).

Tuburile Bourdon sunt tuburi metalice cu secțiune eliptică curbate sub forma de elice de regula cu o singură spirală. Sub acțiunea presiunii interioare, tubul curbat tinde să se îndrepte deoarece secțiunea eliptică tinde să devină circulară. Se demonstrează că sub acțiunea presiunii între anumite limite deplasarea capătului liber al tubului este proporțională cu presiunea.

Capsulele elastice sunt formate din două membrane, din care una este fixă. Sub acțiunea presiunii, membrana mobilă se deplasează pe o distanță proporțională cu presiunea.

Pentru ambele tipuri de senzori din figura 2.8 există un sistem de pârghii care transformă deplasarea liniară în deplasare unghiulară care este apoi preluată de către adaptorul unghi / curent.

Senzori de temperatură. Temperatura unui corp (solid, lichid sau gazos) poate fi determinată pe baza influenței acesteia asupra unei proprietăți a corpului respectiv sau a altuia pus în contact cu el și care reprezintă *senzorul de temperatură*. Între marimile semnificative influențate de temperatură pot fi menționate:

- *tensiunea termoelectromotoare;*
- *rezistența electrică;*
- *dimensiunile geometrice;*
- *intensitatea radiațiilor termice;*
- *etc.*

În cele ce urmează se vor face câteva referiri la senzorii termoelectrice și anume la cei de tip *termogenerator* și *termorezistiv*

- *Senzorii de tip termogenerator* își bazează funcționarea pe apariția unei tensiuni termoelectromotoare între capetele libere a doi electrozi sudati la un capăt (figura 2.9).

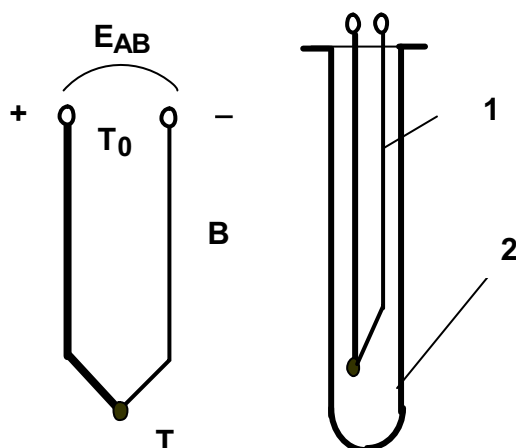


Fig. 2.9. Senzor de temperatură termogenerator (termocuplu):
 a – structura principală; b – protecția termocuplului cu o teacă; A, B – electrozi; E_{AB} – tensiune termoelectromotoare; T , T_0 – temperaturile în zona sudurii, respectiv la capetele reci; 1 – termocuplu; 2 – teacă de protecție.

Tensiunea termoelectromotoare E_{AB} se datorează concentrației diferite de electroni liberi în cele două metale A și B și are expresia

$$E_{AB} = a_{AB} (T - T_0); \quad (2.10)$$

unde a_{AB} este sensibilitatea medie a termocuplului la T și T_0 sunt temperaturile la care se găsesc capetele sudate, respectiv capetele reci.

Din punct de vedere dinamic, transferul termic asociat unui termocuplu poate fi descris printr-o ecuație diferențială ordinară liniară neomogenă de ordinul unu, respectiv

$$a \frac{dE}{dt} + E = a_{AB} (T - T_0) \quad (2.11)$$

unde constanta de timp a este ordinul (10 – 80 secunde).

Termocuplul este un senzor de tip generator, care generează o tensiune termoelectromotoare. Dacă se dorește ca mărime de ieșire un curent în domeniu unificat (de exemplu 4...20 mA) se utilizează un adaptor tensiune - curent. Ansamblul celor două elemente formează un *traductor generator de temperatură*.

- Senzorii de tip termorezistiv (termorezistente) își bazează funcționarea pe dependența rezistenței electrice (mai precis a rezistivității⁷) față de temperatură.

Termorezistentele sunt confecționate dintr-un fir de metal pur (platina, nichel, cupru, fier, Wolfram s.a.) bobinat neinductiv pe un suport izolator și introdus într-o teacă de protecție (figura 2.10).

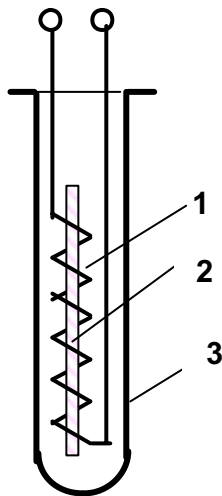


Fig. 2.10. Senzor de temperatură termoparametric (termorezistentă):
1 - fir bobinat neinductiv; 2 - suport izolator pentru bobina; 3 - teacă.

Pentru senzorii de tip termorezistiv, se poate considera cu bună aproximație dependența între rezistență și temperatură ca fiind de tip liniar, respectiv

⁷ Pentru un conductor metallic de lungime L și secțiune S , rezistența electrică se calculează cu relația $R = \rho L/S$, unde ρ este o constantă de material, care se numește *rezistivitate electrică*.

$$R_T = R_{T_0} [1 + a(T - T_0)] : \quad (2.12)$$

- unde R_T este rezistența la temperatura T ;
 R_{T_0} – rezistența la temperatura de referință T_0 ;
 a - coeficient de sensibilitate specific materialului

Termorezistența este un senzor de tip *parametric*, parametrul care se modifică în raport cu temperatura fiind rezistența electrică. Dacă se dorește ca mărime de ieșire un curent în domeniu unificat (de exemplu 4...20 mA) se utilizează un adaptor rezistență - curent. Ansamblul celor două elemente formează un *traductor parametric de temperatură*.

Senzori de nivel. Nivelul unui lichid sau nivelul de interfață dintre două lichide nemiscibile poate fi determinat prin mai multe metode cum ar fi:

- urmărirea suprafeței libere sau a suprafeței de separație;
- măsurarea presiunii hidrostatice a unei coloane de lichid;
- urmărirea modificării unui parametru electric cu nivelul;
- evaluarea debitului de gaz printr-un strat fluidizat (care este funcție de nivel);
- etc.

Între cei mai răspândiți senzori de nivel sunt cei bazati pe urmărirea suprafeței de nivel. Principial există două categorii de asemenea senzori și anume *cu plutitor și cu imersor*.

Plutitorul se deplasează odată cu suprafața lichidului, mișcarea sa determinată de variațiile de nivel, fiind transmisă permanent în afara recipientului în care se găsește lichidul.

Spre deosebire de plutitor care *pluteste*, **imersorul** este parțial scufundat în lichid iar deplasarea sa este diferită de deplasarea suprafeței de nivel. Poziția imersorului rezultă ca urmare a realizării echilibrului între *greutatea proprie, forța arhimedică și reacțiunea din elementul de suspensie*.

În figura 2.11 este prezentat un senzor de nivel cu imersor în care ca element de suspensie se folosește un brat solidar cu un tub de torsiune, care servește și ca element de transmitere în afara vasului a poziției imersorului (deci a nivelului).

Variația înălțimii de scufundare H a imersorului 1 conduce la modificarea forței F , respectiv a momentului $M = L \times F$ care acționează asupra tubului de torsiune 3. Deformațiile elastice ale tubului 3 sunt puse în evidență de axul 4 care le transmite adaptorului deplasare – curent 5, astfel încât valorile intensității curentului i sunt funcție de adâncimea de scufundare H a imersorului.

Asadar, unghiul de torsiune $\Delta\alpha$ al capătului interior al tubului este o măsură a cuplului reactiv de torsiune și, implicit o măsură a nivelului.

Nivelul din vas H se determină cu relația:

$$H = H_0 + L \cdot (1 + k \cdot \Delta\alpha),$$

(2.13)

unde H_0 este un nivel de referință;

L – bratul cuplului;

k – constanta de proporționalitate între deplasarea imersorului și adâncimea de scufundare a acestuia.

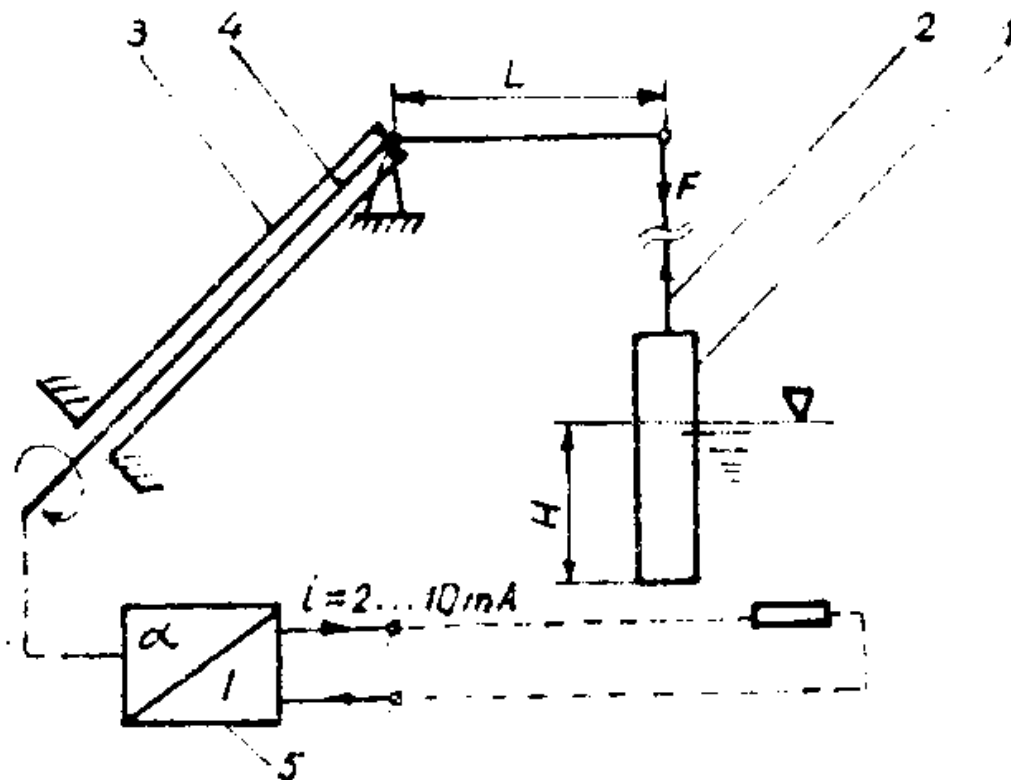


Fig. 2.11. Schema principială a unui traductor de nivel cu imersor:

1 – imersor; 2 – tijă; 3 – tub de torsiune; 4 – ax de rotație; 5 – adaptor deplasare unghiulară – curent.

2.2.2. Aparat de vizualizare

După cum s-a arătat a doua componentă a unui sistem de măsurat este aparatul de vizualizare AV. Acesta preia variațiile semnalului purtător de informație s și oferă valoarea măsurii mărimii x aplicate la intrarea traductorului. Aparatul poate fi numai cu indicare sau cu indicare și înregistrare.

Un interes aparte prezintă AV la care vizualizarea se efectuează prin așa-numita *metoda de zero*. Aceasta utilizează principiul comparării și echilibrării semnalului de vizualizat (sau al unui semnal intermediar proporțional cu cel vizualizat) cu unul de

același fel, dependent liniar de poziția indicatorului. Este de menționat că energia necesară pentru funcționarea AV din această categorie nu este preluată din semnal ci de la o sursă externă.

Funcție de tipul traductorului *generator sau parametric AV bazate pe metoda de zero* pot fi de tip *potentiometru sau punte*.

Potentiometrul automat. În figura 2.12 este prezentată schema principială a unui potentiometru electronic automat.

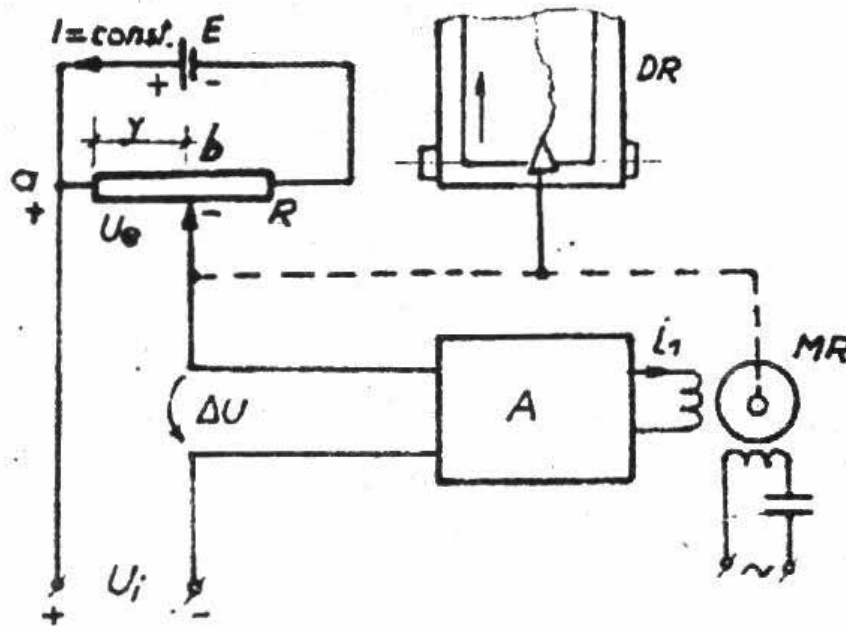


Fig. 2.12. Schema principială a unui potentiometru electronic automat:

A – amplificator electronic sensibil la fază; MR – motor electric reversibil; E – sursă de alimentare a referenței potențiomtrului; R – potențiomtru; DR – dispozitiv de înregistrare.

La intrarea amplificatorului sensibil la fază A se aplică tensiunea

$$\Delta U = U_c - U_i, \quad (2.14)$$

unde: U_c este tensiunea cunoscută (culeasă între capătul a al potențiomtrului și cursor);

U_i – tensiunea necunoscută (de la traductor).

Dacă tensiunile U_i și U_c sunt egale rezultă $\Delta U = 0$ și în consecință asupra motorului MR nu se va exercita nici o comandă. Dacă $U_i \neq U_c$ atunci $\Delta U \neq 0$ și amplificatorul A va genera o comandă către motorul MR proporțională cu ΔU ⁸. După

⁸ Deoarece ΔU poate fi pozitivă sau negativă iar motorul MR (reversibil) se poate roti în ambele sensuri, rezultă că amplificatorul A trebuie să fie sensibil la fază, respectiv să simtă sensul diferenței ΔU .

cum se observa din figura 2.12 rotorul motorului antrenează cursorul potentiometrului (legatura mecanica este reprezentata punctat) si odata cu acesta indicatorul dispozitivului de înregistrare DR. Cursorul va fi antrenat în sensul micsorarii si în final a anularii abaterii ΔU .

Când $U_i=U_c$ prin rezistorul R va circula un curent constant I astfel încât

$$U_c = R_{ab} \cdot I = k \cdot R_{ab} \quad (2.15)$$

fapt pentru care valoarea tensiunii U_c depinde direct de pozitia cursorului, respectiv de valoarea rezistentei R_{ab} . Relatia de mai sus arata ca scala liniara a potentiometrului poate fi gradata direct în unitati de tensiune.

Din figura 2.12 rezulta ca potentiometrul are structura si comportamentul unui SRA abatere care functioneaza în regim de urmarire⁹. Atunci când apare o diferenta $\Delta U \neq 0$, sistemul își modifica marimea de comanda i_1 pâna când, prin intermediul transmisiei mecanice se restabileste egalitatea între tensiunile U_c si U_i .

Puntea automata. Metoda puntii echilibrate este tot o metoda de zero, starea sesizata în acest caz fiind starea de echilibru a puntii. Dupa cum se observa din figura 2.13 puntea înregistratorului este o punte echilibrata¹⁰.

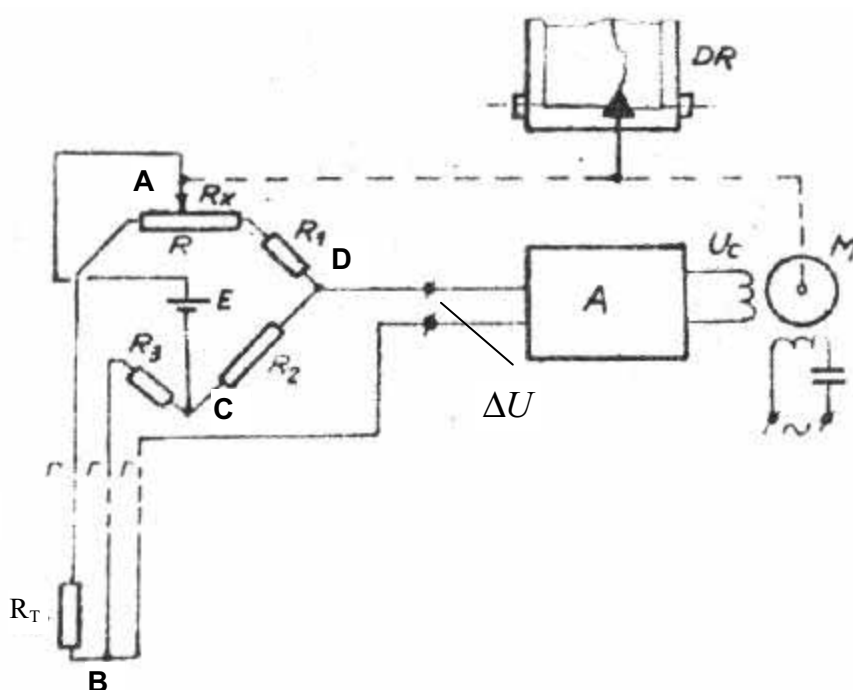


Fig. 2.12. Schema principala a unei punti electronice automate:

A – amplificator electronic sensibil la faza; MR – motor electric reversibil; E – sursa aferenta puntii; R_T – rezistenta traductorului parametric; R - potentiometru; DR – dispozitiv de înregistrare.

⁹ Variatiile tensiunii U_c urmaresc variatiile tensiunii de intrare U_i .

¹⁰ La o punte echilibrata tensiunea între punctele aferente diagonalei nealimentate este nula si produsele valorilor rezistentelor din bratele opuse sunt egale respectiv $R_{AB} \times R_{CD} = R_{AD} \times R_{CB}$

Presupunând puntea echilibrată, o modificare a rezistenței R_T a traductorului va dezechilibra puntea. Tensiunea de dezechilibru ΔU va fi aplicată amplificatorului A care va genera la ieșire o tensiune de comandă U_c proporțională cu valoarea aplicată la intrare. Servomotorul va deplasa cursorul potentiometrului R în vederea restabilirii echilibrului punții. Practic reechilibrarea punții se realizează prin deplasarea nodului A și implicit prin modificarea distribuției rezistenței potentiometrului R între cele două brațe adiacente nodului A.

Ca și potentiometrul, puntea are structura și funcționarea unui SRA abatere, unde referința este reprezentată de starea de echilibru a punții.

Analizând figura 2.13 se observă că traductorul rezistiv este conectat la punte prin trei fire. Prin această conectare nodul B se deplasează în zona traductorului iar celelalte două conductoare de legătură (cu rezistența r) sunt incluse în brațe adiacente. Prin această conectare (numită uzual *conectate în trei puncte*) se elimină influența rezistențelor r , asupra rezultatelor măsurării.

2.3. Reglatoare

După cum s-a arătat regulatorul îndeplinește într-un SRA funcția de elaborare și transmitere către elementul de execuție a mărimii de comandă u . Relația în baza căreia se determină mărimea de comandă constituie *algoritmul de reglare*.

Comanda poate fi determinată prin prelucrarea abaterii sau a informațiilor referitoare la anumite perturbatii. În primul caz regulatorul aparține unui SRA cu acțiune după abatere iar în al doilea caz unui SRA perturbatie. La reglatoarele după abatere algoritmi sunt universali, în timp ce la cei după perturbatie acești algoritmi sunt puternic dependenți de caracteristicile procesului.

În continuare vor fi expuse unele elemente referitoare la reglatoarele după abatere, schema principală a unui astfel de regulator fiind prezentată în figura 2.13.

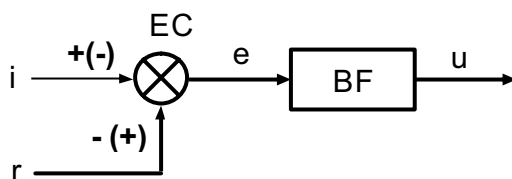


Fig. 2.13. Schema principală a unui regulator după abatere:
 EC – element de comparație; BF – bloc funcțional;
 i – referință; r – reacție; e – abatere; u – comandă.

La nivelul EC se evaluează abaterea potrivit relației

$$e = i - r, \quad (2.16)$$

sau

$$e = -i + r. \quad (2.16')$$

Marimea de comandă u se elaborează în cadrul blocului funcțional BF ca funcție de abaterea e , respectiv

$$u = f(e) \quad (2.17)$$

În continuare vor fi prezentați câțiva dintre algoritmi de reglare convenționali mai răspândiți.

2.3.1. Algoritmul proporțional

Corespunzător acestui algoritm marimea de comandă este proporțională cu abaterea, respectiv

$$u = u_0 + K_p(i - r) = u_0 + K_p \cdot e, \quad (2.18)$$

unde u este valoarea curentă a mării de comandă;

u_0 – valoarea mării de comandă în absența abaterii;

i – mărimea de referință;

r – mărimea de reacție;

e – abaterea;

K_p – factor de proporționalitate.

La reglatoarele fizice se utilizează *banda de proporționalitate* **BP** legată de factorul K_p prin relația

$$BP = \frac{100}{K_p} [\%]. \quad (2.19)$$

Se definește caracteristica statică a unui regulator proporțional ca fiind dependentă

$$u = f(r) \quad (2.20)$$

în condițiile în care referința i este constantă și factorul K_p parametru respectiv,

$$u = u_0 + K_p i - K_p r = a_0 + a_1 r. \quad (2.21)$$

Reprezentând relația (2.21) se obține un fascicul de drepte, ilustrat în figura 2.14, care se intersectează în punctul de coordonate ($r=i$ și $u=u_0$).

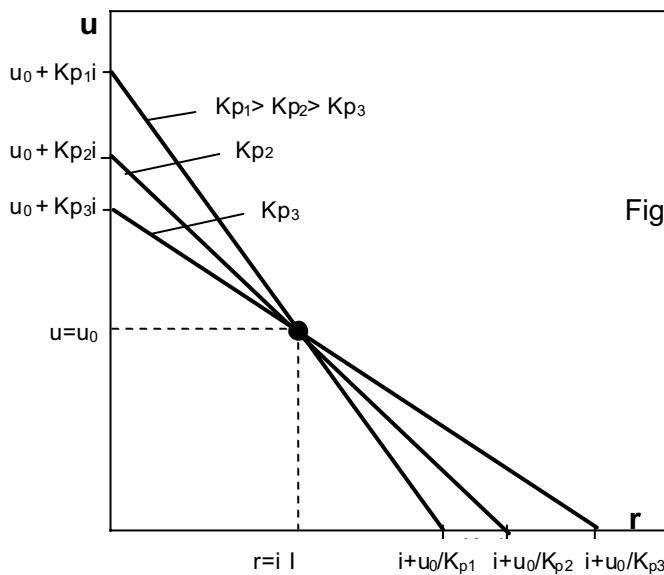


Fig. 2.14. Caracteristica statica a unui regulator proportional.

Caracteristica dinamica a unui regulator reprezinta variatia în timp a comenzii u la o variatie cunoscuta în timp a abaterii e ¹¹. În figura 2.15 se prezinta caracteristica dinamica a regulatorului P.

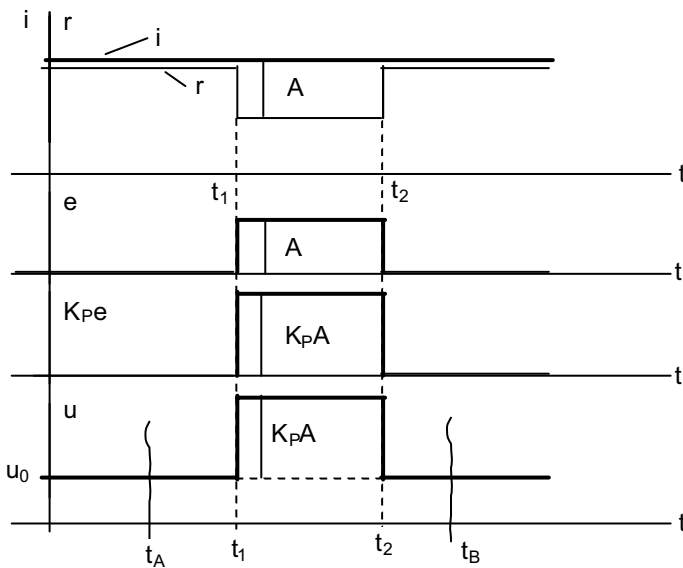


Fig. 2.15 Caracteristica dinamica a unui regulator proportional.

Marimile i si r sunt egale pentru $t < t_1$ si $t > t_2$, iar pentru $t \in [t_1, t_2]$ $i - r = A$. În ceea ce priveste eroarea, $e=0$ pentru $t < t_1$ si $t > t_2$ si $e=A$ pentru $t \in [t_1, t_2]$.

Din analiza figurii 2.15 se desprind urmatoarele concluzii:

- a – regulatorul are un raspuns rapid (teoretic comanda u se modifica sincron cu abaterea e);
- b – la intrari egale si momente de timp diferite (t_A, t_B) marimea de comanda u prezinta aceiasi valoare u_0 .

¹¹ Variatia abaterii poate fi provocata de variati referintei i , a reactiei r sau a ambelor.

Răspunsul rapid constituie un avantaj în timp ce valoarea unică a comenzii la intrări diferite constituie un dezavantaj major concretizat prin imposibilitatea eliminării în totalitate a abaterii staționare¹².

2.3.2. Algoritm integrator

În cazul algoritmului integrator ($R - I$) mărimea de comandă este proporțională cu integrala abaterii, respectiv

$$u = u_0 + \frac{1}{T_i} \int_0^t (i - r) dt = u_0 + \frac{1}{T_i} \int_0^t e \cdot dt, \quad (2.22)$$

unde u este valoarea curentă a mărimii de comandă;

u_0 – valoarea mărimii de comandă în absența abaterii;

i – mărimea de referință;

r – mărimea de reacție;

e – abaterea;

T_i – constanta de integrare.

Deoarece mărimea de comandă u este permanent funcție de timp rezultă că $R - I$ nu prezintă caracteristica statică.

Caracteristica dinamică a $R - I$ se definește la fel cu a $R - P$, în figura 2.16 fiind reprezentat un exemplu de caracteristică dinamică a acestui tip de regulator.

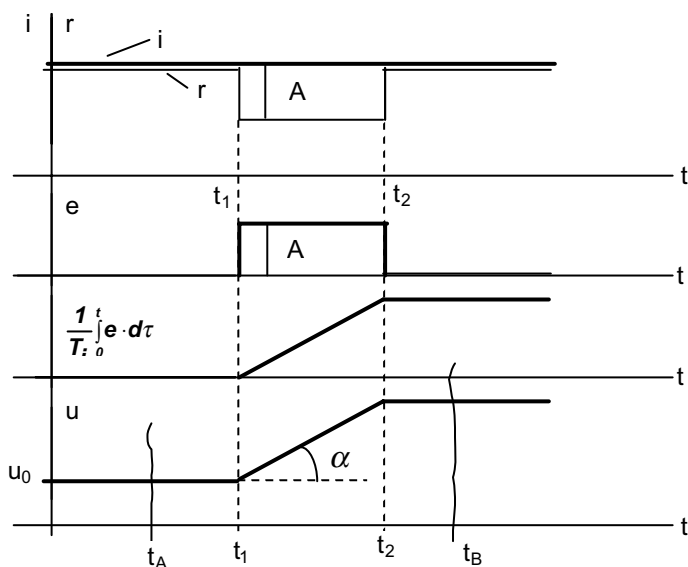


Fig. 2.16. Caracteristică dinamică a unui regulator integrator.

¹² Abaterea staționară reprezintă diferența dintre mărimea prescrisă și reglată în regim staționar, respectiv $e_{st} = i_{st} - r_{st}$.

Marimile i și r sunt egale pentru $t < t_1$ și $t > t_2$, iar pentru $t \in [t_1, t_2]$ $i - r = A$. În ceea ce privește eroarea, $e = 0$ pentru $t < t_1$ și $t > t_2$ și $e = A$ pentru $t \in [t_1, t_2]$. Pentru variația treaptă de amplitudine A se obține următoarea relație pentru determinarea comenzii pentru $t \in [t_1, t_2]$

$$u = u_0 + \frac{A}{T_i} \cdot t \Big|_{t \in [t_1, t_2]} \quad (2.23)$$

Din analiza figurii 2.16 se desprind următoarele concluzii:

- a – regulatorul are un răspuns lent în raport cu R- P;
- b – la intrări egale și momente de timp diferite (t_A, t_B) mărimea de comandă u ia valori diferite;
- c – $tg \alpha = \frac{A}{T_i} \Big|_{t \in [t_1, t_2]}$ (cu alte cuvinte constanta T_i determină viteza de integrare și nu durata integrării).

Răspunsul lent constituie un dezavantaj în timp ce valorile diferite ale comenzii la intrări diferite constituie un avantaj major concretizat posibilitatea eliminării în totalitate a abaterii staționare.

2.3.3. Algoritmul proporțional – integrator

În cazul acestui algoritm (R – PI) mărimea de comandă este proporțională cu abaterea și cu integrala acesteia, respectiv

$$u = u_0 + K_p \cdot e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e \cdot dt, \quad (2.25)$$

unde u este valoarea curentă a mării de comandă;

u_0 – valoarea mării de comandă în absența abaterii;

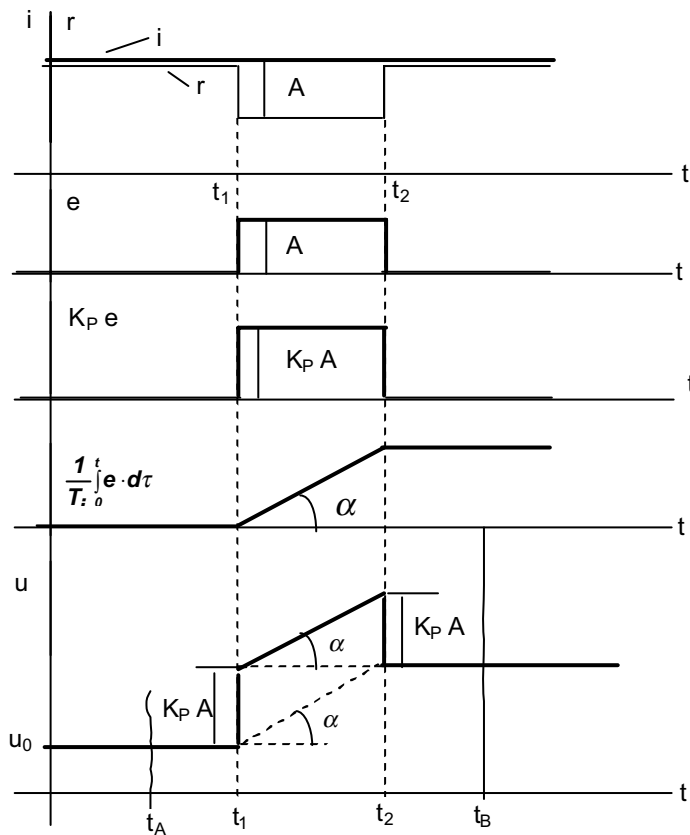
e - abaterea;

K_p – factor de proporționalitate;

T_i – constanta de integrare.

Deoarece mărimea de comandă u este permanent funcție de timp rezultă că R – PI nu prezintă caracteristica statică.

Caracteristica dinamică a R – PI se definește la fel cu a R – P, în figura 2.17 fiind reprezentat un exemplu de caracteristică dinamică a acestui tip de regulator.



Din analiza figurii 2.17 rezulta urmatoarele concluzii:

- a – la momentul t_1 regulatorul are un raspuns rapid corespunzator componentei proportionale;
- b – la intrari egale si momente de timp diferite (t_A, t_B) marimea de comanda u ia valori diferite ceea ce conduce la ideea posibilitatii de eliminare în totalitate a abaterii stationare.

Din examinarea concluziilor de mai sus rezulta ca RPI îmbina avantajele celor doua componente¹³ si elimina dezavantajele acestora¹⁴.

2.3.4. Algoritmul proportional – derivator

Pentru algoritmul PD (R – PD) marimea de comanda este proportionala cu abaterea si cu derivata acesteia, respectiv

$$u = u_0 + K_p \cdot e + T_d \frac{de}{dt}, \quad (2.26)$$

unde u este valoarea curenta a marimii de comanda;

u_0 – valoarea marimii de comanda în absenta abaterii;

¹³ Raspuns rapid (componenta P) si eliminarea abaterii stationare (componenta I).

¹⁴ Raspuns lent (componenta I) si persistenta abaterii stationare (componenta P).

e - abaterea;

K_P - factor de proportionalitate;

T_d - constanta de derivare.

Deoarece mărimea de comandă u este permanent funcție de timp rezulta că R - PD nu prezintă caracteristica statică.

Caracteristica dinamică a R - PD se definește la fel cu a reguletoarelor precedente, în figura 2.18 fiind reprezentat un exemplu de caracteristică dinamică a acestui tip de regulator.

Din analiza figurii 2.18 rezulta că în raport cu R - P, caracteristica R - PD prezintă un exces de comandă¹⁵.

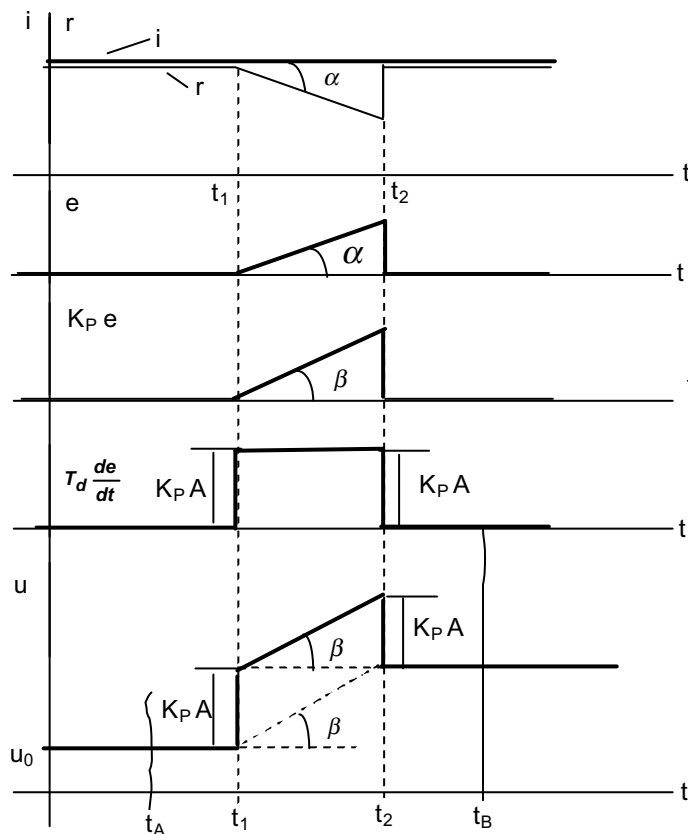


Fig. 2.18. Caracteristică dinamică a unui regulator proporțional - derivator.

2.3.5. Algoritmul proporțional - integrator - derivator

¹⁵ Pentru $t \in [t_1, t_2]$ comanda R - PD diferă de cea a R - P cu $K_P A$.

În cazul algoritmului PID (R – PID) marimea de comanda este proportională cu abaterea, cu integrala și cu derivata acesteia conform relației

$$u = u_0 + K_p \cdot e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e \cdot dt + T_d \frac{de}{dt}, \quad (2.27)$$

unde u este valoarea curentă a mărimii de comandă;

u_0 – valoarea mărimii de comandă în absența abaterii;

e – abaterea;

K_p – factor de proporționalitate;

T_i – constanta de integrare;

T_d – constanta de derivare.

Deoarece mărimea de comandă u este permanent funcție de timp rezultă că R – PID nu prezintă caracteristica statică.

Caracteristica dinamică a R – PID se definește ca în cazurile precedente, în figura 2.19 fiind reprezentat un exemplu de caracteristică dinamică a acestui tip de regulator.

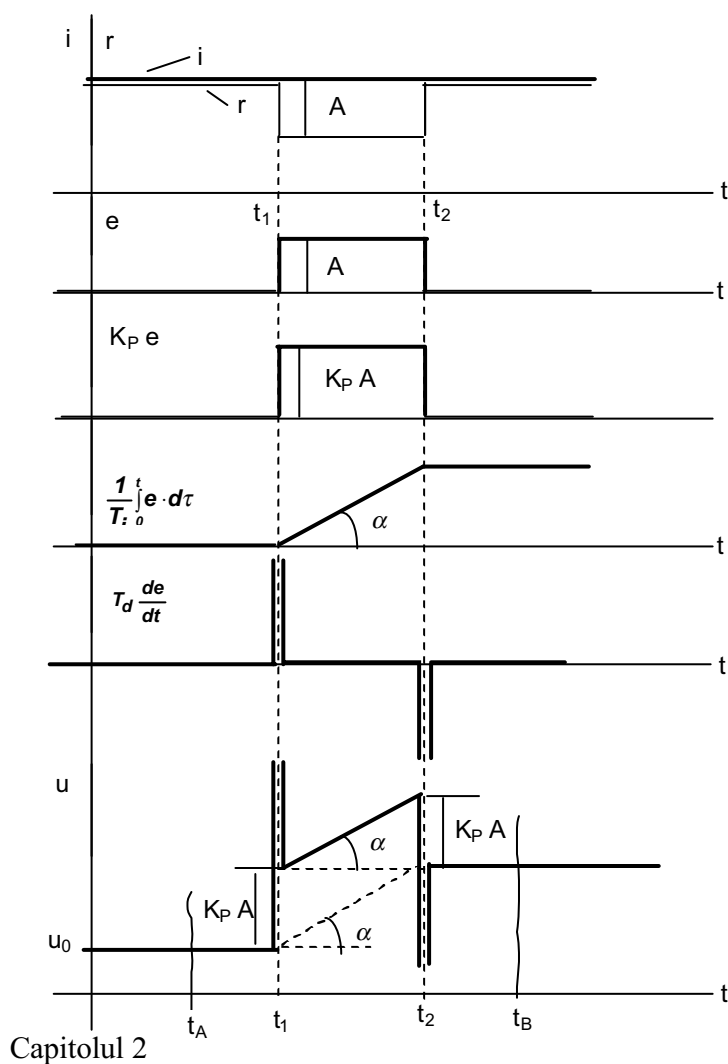


Fig. 2.19. Caracteristica dinamică a unui regulator proporțional – integrator – derivator.

Din analiza figurii 2.19 rezulta urmatoarele concluzii:

a – raspunsul componentei derivatoare la un semnal treapta este un impuls Dirac¹⁶;

b – la momentul t_1 si t_2 comanda ia valoarea maxima corespunzatoare componentei derivatoare (exces de comanda);

c – la intrari egale si momente de timp diferite (t_A, t_B) marimea de comanda u ia valori diferite ceea ce conduce la ideea posibilitatii de eliminare în totalitate a abaterii stationare;

d – ordinea în care se manifesta cele trei componente este **D, P, I**.

Examinând concluziile de mai sus rezulta ca R-PID îmbina avantajele celor trei componente si anume:

- exces de comanda datorat componentei *derivatoare* ;
- raspuns rapid datorat componentei *proportionale*;
- eliminarea abaterii stationare datorita componentei *integratoare*.

2.3.6. Algoritmul bipozitional

Spre deosebire de algoritmii analizati anterior, în cazul algoritmului bipozitional (R – BP) marimea de comanda are numai doua valori aspect evidentiat în caracteristica statica din figura 2.20¹⁷.

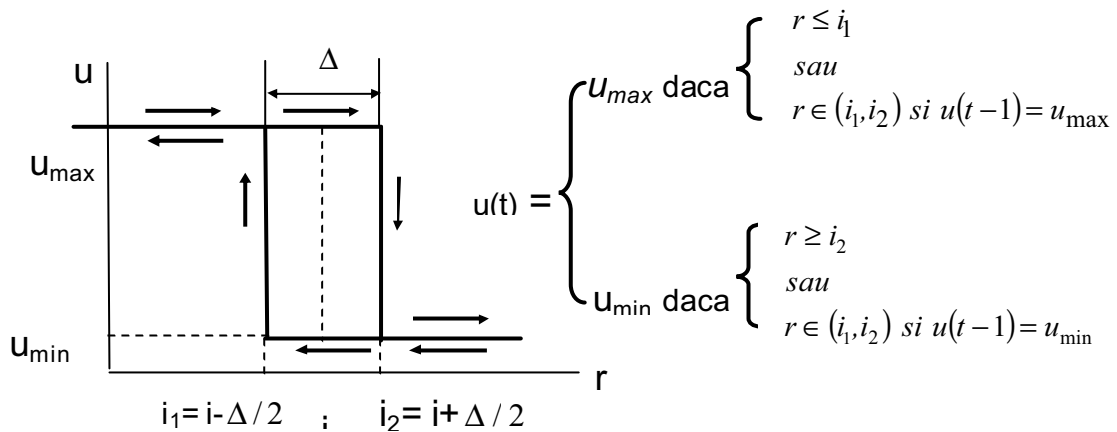


Fig. 2.20. Caracteristica statica si modul de determinare a valorilor comenzii:

u_{min}, u_{max} – valorile minima, maxima pentru comanda; Δ – latimea zonei de histerzis.

¹⁶ Impulsul teoretic Dirac este definit astfel $\delta(t) = \begin{cases} 0, & pt. t \neq 0 \\ \infty, & pt. t = 0 \end{cases}$

¹⁷ Acest tip de caracteristica este neliniara si se numeste *caracteristica tip releu cu histerzis*.

Caracteristicile R – BP vor fi evidențiate considerând un SRA temperatura prevăzut cu un astfel de regulator (SRA T-B) și a cărui schemă principială este prezentată în figura 2.21.

Căldura dezvoltată prin efect termic al curentului ce străbate rezistorul 5 este transferată apei din vasul 1. Principalele perturbatii sunt reprezentate de temperatura mediului T_m și de debitul Q_T al lichidului care străbate serpentina 4. Prezența agitatorului 6 face ca temperatura să fie aceeași în fiecare punct al lichidului din vas¹⁸.

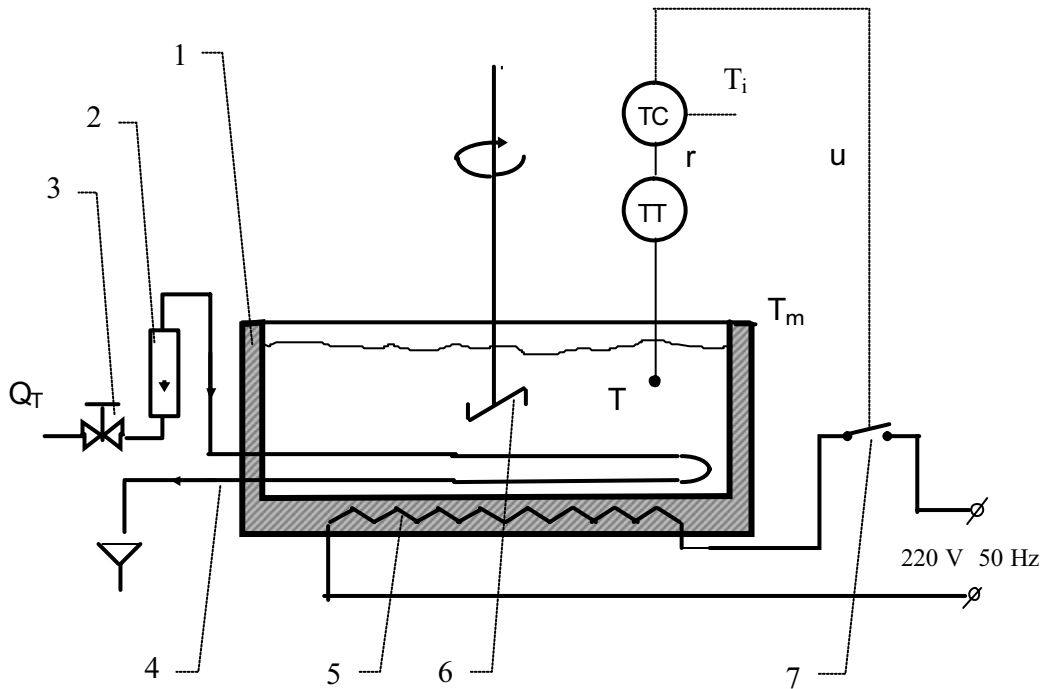


Fig. 2.21. Schema principială a SRA bipozitională de temperatură:

- 1 - vas cu apă; 2 – indicator de debit tip rotametrul; 3 - robinet manual; 4 - serpentina pentru apă de răcire; 5 - rezistor de încălzire; 6 - agitator; 7 - contact de cuplare a rezistorului; TT - traductor de temperatură (termorezistență Pt100); TC - regulator bipozitional; r - marime de reacție; u - marime de comandă; T – temperatura curentă; T_i - referință.

Rolul regulatorului și funcționarea sistemului pot fi mai bine înțelese din examinarea figurii 2.22 în care sunt evidențiate schema bloc și o schemă principială simplificată a SRA B-T.

¹⁸ Sistemele la care valoarea unui parametru este funcție numai de timp (nu și de punct) se numesc sisteme *cu parametri concentrați*. Sistemele la care valoarea unui parametru este funcție și de punct se numesc sisteme *cu parametri distribuiți*.

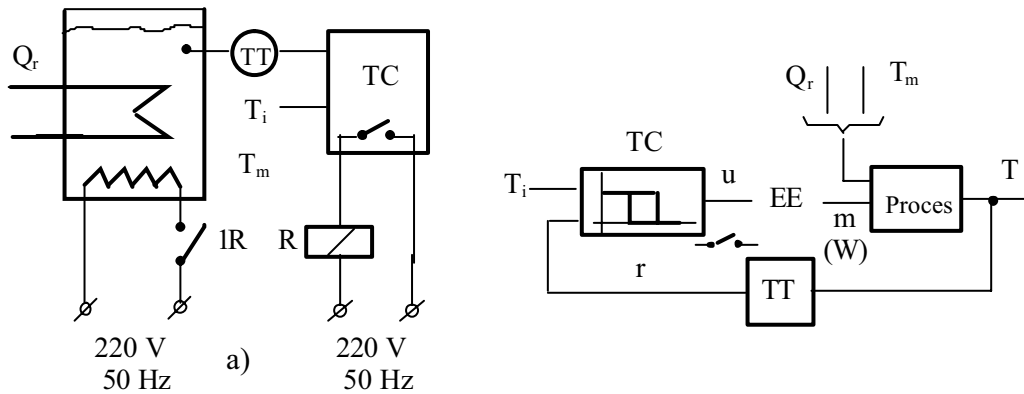


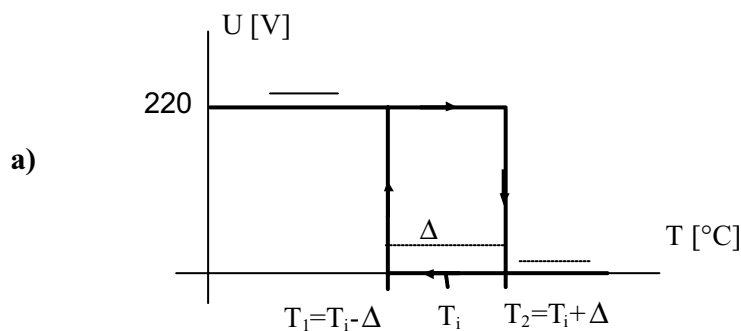
Fig. 2.22. Scheme ale SRA temperatura bipozitional:

a - schema principiala; b - schema de structura; R - bobina releu intermediar; 1R - contact al releului; T_i , T - temperatura prescrisa, respectiv reglata; u - marime de comanda (stare contact); m - marime de executie (debit caloric W).

Pornind de la forma generala a caracteristicii R – B, exprimata în figura 2.20 si de structura SRA B-T din fig. 2.21 si 2.22 rezulta urmatoarele relatii pentru caracteristica statica a regulatorului:

$$u = \begin{cases} 220V \text{ daca } T \leq T_1; \\ 220V \text{ daca } T \in (T_1, T_2) \text{ si } u(t-1) = 220V; \\ 0V \text{ daca } T \geq T_2; \\ 0V \text{ daca } T \in (T_1, T_2) \text{ si } u(t-1) = 0V. \end{cases} \quad (2.28)$$

În ceea ce priveste caracteristica dinamica, aceasta este reprezentata de o succesiune de impulsuri cu amplitudinea de 220 V, care determina pentru marimea reglata efectuarea de oscilatii cu amplitudinea $\pm \Delta/2$ in jurul referintei T_i . Este de mentionat faptul ca la trasarea caracteristicii dinamice din figura 2.23.b nu s-a tinut cont de inertia procesului



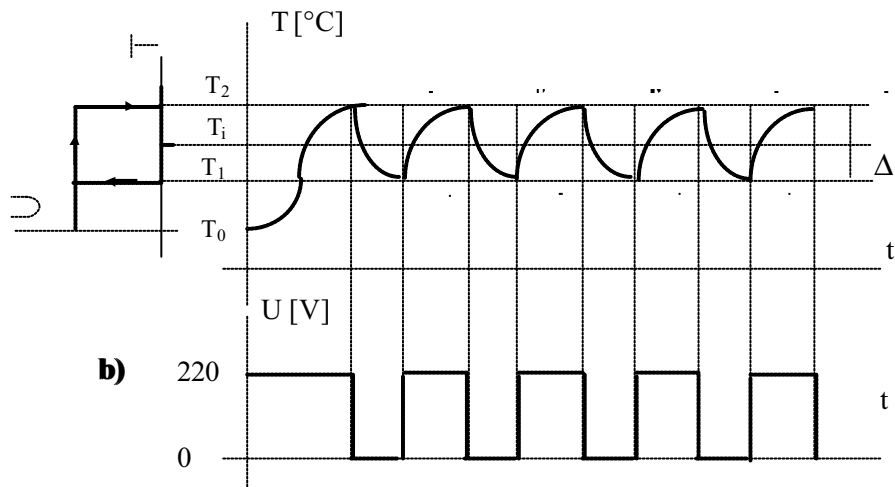


Fig. 2.23. Regulatorul bipozitional:
 a - caracteristica statică; c - caracteristica dinamică; T_i - temperatura prescrisă; T - temperatura curentă; Δ - lățimea benzii de histererezis; U - comandă.

Precizia SRA cu regulator bipozitional este cu atât mai ridicată cu cât lățimea benzii de histererezis este mai mică, însă o micșorare excesivă a acesteia conduce la o frecvență ridicată de comutație cu influențe negative asupra fiabilității regulatorului.

2.4. Echipamente numerice de conducere

În prezent echipamentele de automatizare sunt aproape în exclusivitate numerice. Acestea pot fi utilizate pentru realizarea celor patru funcții relevante asociate automatizării proceselor și anume:

- cunoașterea stării;
- reglarea automată;
- protecția automată;
- optimizarea automată.

În continuare vor fi prezentate unele elemente privind integrarea echipamentelor numerice (EN) în dispozitivul de automatizare și unele cerințe la care acestea trebuie să răspundă.

2.4.1. Integrarea echipamentelor numerice în dispozitivul de automatizare

Motivația implicării echipamentelor numerice de calcul, deci a calculatoarelor, în procesul de adoptare a deciziilor constă în marea lor capacitate de prelucrare a informațiilor. Caracteristica dominantă a unui sistem de conducere care utilizează calculatoare numerice este reprezentată de capacitatea sa de a *colecta, analiza,*

prelucra și difuza mari cantități de informație într-un timp acceptabil din punctul de vedere al obiectului condus.

Realizarea sistemelor informatice integrate de conducere presupune utilizarea pe diverse niveluri ierarhice a calculatoarelor cu caracteristici și performanțe adecvate nivelului respectiv. Organizarea unui sistem ierarhic de conducere are în vedere distribuția informației ce trebuie prelucrată în cadrul sistemului ierarhic. Sistemele automate sunt de regulă specifice nivelurilor în care informația de natură tehnică este preponderantă. Echipamentele numerice de calcul pot fi implicate în realizarea tuturor celor patru funcții ale automatizării ca parte componentă esențială a dispozitivelor de automatizare aferente.

Cunoașterea stării unui proces presupune măsurarea unui număr de variabile egal cu numărul gradelor de libertate ale procesului F definit ca diferență între numărul total de variabile L și numărul de relații independente M care pot fi scrise între cele L variabile. Determinarea valorilor pentru cele $M = L - F$ variabile se realizează cu ajutorul unui calculator numeric conectat nemijlocit la proces, ca parte integrantă a dispozitivului de automatizare.

De asemenea, în cadrul acestei funcții calculatorul poate furniza informații privind istoricul procesului sau poate face estimări în legătură cu evoluția ulterioară a acestuia.

Funcția de reglare implică determinarea comenzii conform unor algoritmi universali (*reglarea după abatere*) sau specifici (*reglarea după perturbatie*). Utilizarea tehnicii numerice de calcul în reglarea după abatere s-a impus datorită unor avantaje importante cum ar fi:

- posibilitatea selecției algoritmului de reglare;
- posibilitatea acordării automate;
- comutarea regimurilor fără echilibrări prealabile;
- precizie și fiabilitate ridicate.

În ceea ce privește reglarea după perturbatie, practic algoritmi specifici nu pot fi implementați decât pe suportul oferit de echipamentele numerice de calcul. Considerente legate de avantajele oferite de reglarea combinată (după abatere și după perturbatie) impun de asemenea utilizarea calculatorului numeric pentru determinarea și generarea marimilor de comandă.

Din punctul de vedere al conectării la proces calculatoarele destinate realizării funcției de reglare trebuie să prezinte facilități atât pentru prelucrarea marimilor din proces cât și pentru transmiterea comenzilor către acesta.

Sistemele de protecție automată (SPA) trebuie să asigure preîntâmpinarea apariției unor anomalii în desfășurarea procesului sau să limiteze consecințele, în cazul în care acestea se produc.

Cresterea eficienței protecției automate poate fi realizată prin utilizarea logicii programate (specifice echipamentelor numerice) în locul celei cablate pentru implementarea funcțiilor *blocului logic de comandă (BLC)*¹⁹.

¹⁹ BLC asigură generarea funcțiilor de protecție pe baza analizei intrărilor și în conformitate cu un algoritm predefinit.

Datorită sistemului de întreruperi și a vitezei ridicate de procesare, calculatorul implicat în protecție elimină neajunsul imposibilității discriminării momentului apariției primei avarii specifice sistemelor clasice. Se au în vedere ieșirile din funcțiune ale unor utilaje a căror funcționare normală este condiționată de mai mulți parametri interdependenți. Stabilirea ordinii în care parametrii s-au situat în afara limitelor normale constituie un ghid important în vederea stabilirii cauzei care a declanșat avaria.

Un alt avantaj al implicării calculatorului în protecția automată este reprezentat de posibilitatea constituirii și memorării unui jurnal al evenimentelor deosebite (alarme, confirmări, blocări etc.). Prin consultarea acestui jurnal se poate crea o imagine privind comportarea instalației și activitatea personalului de operare.

Conducerea optimă, care presupune soluționarea unei probleme de optimizare nu este posibilă decât cu utilizarea echipamentelor numerice de calcul. Fără a necesita o legătură nemijlocită cu procesul calculatorul destinat nivelului conducerii optime trebuie să primească atât informații tehnice sintetice de la nivelul inferior (al reglării automate) cât și informații de natură economică de la nivelul superior al deciziei economice.

Din cele expuse rezultă că echipamentele numerice moderne oferă posibilități de implementare a tuturor funcțiilor aferente automatizării. În concluzie, calculatorul electronic, datorită capacităților sale deosebite tinde să devină principalul component al dispozitivului de automatizare.

2.4.2. Modalități de conectare a unui calculator la proces

Indiferent că este destinat unei întregi instalații sau unei secțiuni din aceasta, un calculator capabil să prelucreze informația de proces poate fi conectat la acesta în mai multe moduri care vor fi detaliate în cele ce urmează.

- **Conectarea „off-line”.** Calculatorul nu este conectat fizic la proces, legătura informațională între cele două entități fiind realizată prin intermediul operatorului uman (figura 2.24). Acest mod de conectare, amintit mai mult din considerente istorice, este specific perioadei în care dezvoltarea tehnologică în domeniul electronicii nu permitea realizarea unei legături nemijlocite între calculator și proces.

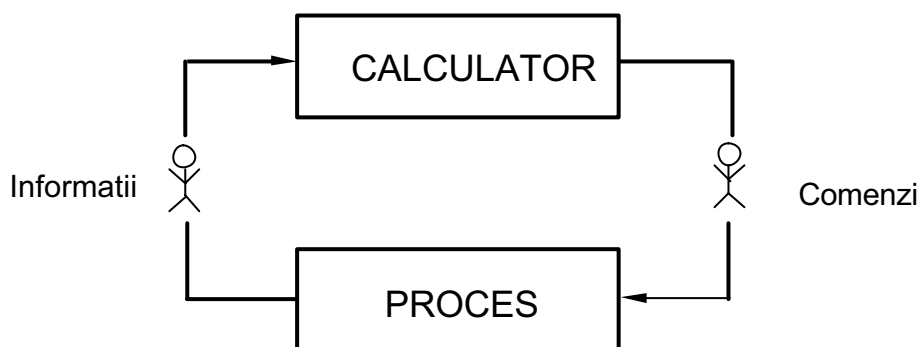


Fig. 2.24. Conectarea off-line a calculatorului la proces.

Calculatorul implicat în acest mod de conectare este un calculator universal, care nu ofera posibilitati de conectare la proces sau de procesare în timp real²⁰ a informatiei de natura tehnica. . Din acest motiv unui asemenea calculator nu i se pot încredinta functii legate de supravegherea sau conducerea procesului.

În masura în care se dispune de un model, calculatorul poate fi utilizat pentru simularea procesului pe baza datelor reale. Aceste date privind starea procesului sunt introduse de catre operator de la un periferic de intrare (uzual tastatura). Rezultatele simularii sunt oferite de asemenea prin intermediul unui periferic (ecran sau imprimanta). Aceste rezultate sunt interpretate de catre operator si pe baza lor acesta poate transmite comenzi în proces, prin intermediul referintelor reguletoarelor automate.

- **Conectarea „on-line” numai pe intrari.** Calculatorul este conectat fizic la proces, de la care primeste informatii prin intermediul unei interfete adecvate (figura 2.25). Unui calculator astfel conectat i se pot încredinta în exclusivitate sarcini de supraveghere a procesului. Supravegherea presupune atât informarea în legatura cu starea curenta procesului cât si avertizarea în situatiile în care valoarea unui parametru se situeaza în afara limitelor permise. În afara informarii privind situatia curenta, pot fi constituite fisiere istorice ale evolutiei procesului sau alarmelor.

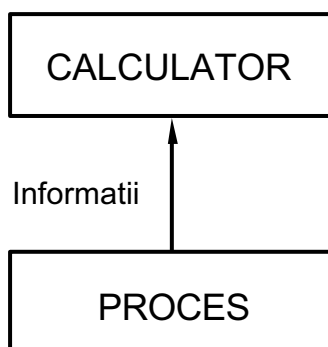


Fig. 2.25. Conectarea on-line a calculatorului la proces numai pe intrari

Din considerente legate de eficienta utilizarii calculatorului, acest mod de conectare nu poate constitui un scop în sine, ci doar un prim pas spre implicarea acestuia în elaborarea si generarea comenzilor catre proces.

- **Conectarea „on-line” în regim ghid operator.** Si în acest caz legatura nemijlocita cu procesul se face tot numai pe intrari (figura 2.26).

-

²⁰ Notiune de timp real va fi definita în paragraful urmator.

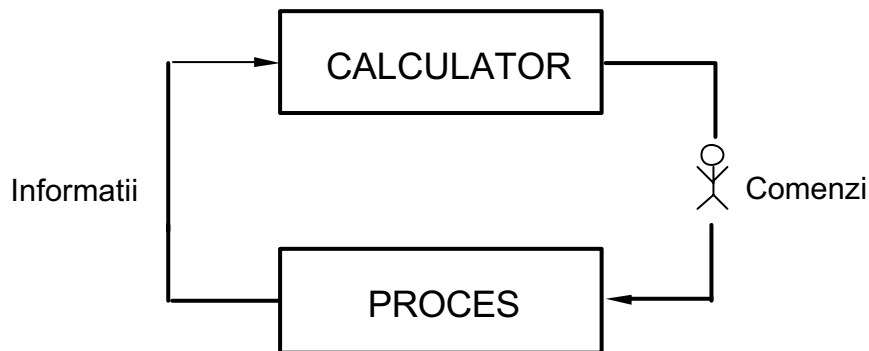


Fig. 2.26. Conectarea calculatorului la proces în regim ghid-operator

Din punct de vedere al funcțiilor, pe lângă cea de supraveghere a procesului, calculatorul determină și comenzile însă acestea nu sunt aplicate procesului ci numai afișate, constituind un ghid al operatorului. Și acest mod de conectare constituie o etapă tranzitorie către realizarea cuplării calculatorului atât pe achiziții cât și pe comenzi. Această etapă este în primul rând necesară pentru validarea algoritmului de elaborare a comenzilor, dar și pentru *captarea* interesului personalului de operare față de echipamentul de conducere.

- **Conectarea „on-line” integrală.** Calculatorul posedă o interfață completă care permite conectarea la proces atât pe intrări cât și pe ieșiri (figura 2.27), transmiterea comenzilor putându-se realiza *direct sau indirect*.

În cadrul primei modalități se menține automatizarea convențională, iar comenzile calculate se transmit ca referințe reguletoarelor aferente nivelului reglării convenționale.

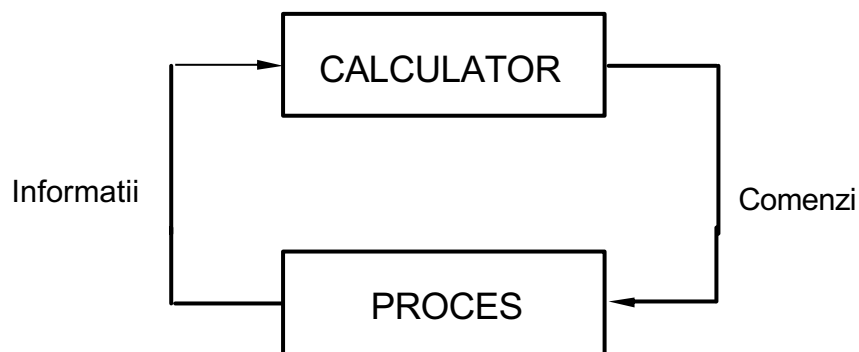


Fig. 2.27. Conectarea integrală a calculatorului la proces .

În această situație calculatorul realizează conducerea prin fixarea marimilor de referință (Set Point Control).

Aplicarea directă a comenzii către elementul de execuție a impus conducerea numerică directă (Direct Digital Control). Datorită eliminării nivelului intermediar al reguletoarelor convenționale disponibilitatea echipamentului numeric implicat trebuie să fie mai mare de 99,9% din durata totală de serviciu.

2.4.3. Cerințe impuse unui echipament numeric de conducere

Pentru a fi utilizate în domeniul conducerii proceselor, calculatoarele numerice trebuie să răspundă unor cerințe între care de o importanță aparte sunt considerate următoarele:

- *siguranța în funcționare;*
- *procesarea informației în timp real;*
- *posibilitatea conectării la perifericele de proces;*
- *posibilitatea dialogului cu personalul de operare.*

Siguranța în funcționare a EN în calitate de componentă a calității²¹ se apreciază prin intermediul *fiabilității, mentenabilității, disponibilității* și a indicatorilor specifici. .

Fiabilitatea se definește din punct de vedere *calitativ* ca fiind aptitudinea unui EN de a îndeplini corect funcțiile prevăzute un anumit timp în condiții de exploatare specificate. Principalul indicator al fiabilității este *timpul mediu între defectiuni (MTBF - Mean Time Between Failures)* definit ca medie a de bună funcționare pentru numărul de produse luate în considerare.

Mentenanta reprezintă ansamblul tuturor acțiunilor legate de menținerea și restabilirea funcțiilor unui produs, în speta. Legat nemijlocit de mentenanță există conceptul de *mentenabilitate*, definit în sens *calitativ* ca fiind aptitudinea unui produs de a fi menținut sau repus în funcțiune în condiții prescrise.

Principalul indicator al M este media timpilor de reparație MTR (Mean Time Reparation) și care reprezintă timpul mediu după care un echipament poate fi repus în funcțiune

Disponibilitatea unui produs (D), reprezintă din punct de vedere *calitativ* aptitudinea unui produs de a-și îndeplini funcțiile specificate sub aspectul combinat al *fiabilității și mentenabilității* la un moment dat sau un timp specificat.

Uzual disponibilitatea unui produs se apreciază prin intermediul indicatorilor, între care cel mai important este coeficientul de disponibilitate definit în funcție de MTBF și MTR prin relația

$$K_A = \frac{MTBF}{MTBF + MTR} * 100 \quad (2.26)$$

Prelucrarea informației în timp real Un sistem de conducere are comportare în timp real dacă viteza de reacție la stimulii din proces este în concordanță cu inerția

²¹ Calitatea reprezintă totalitatea proprietăților și caracteristicilor unui produs sau serviciu care îi conferă acestuia aptitudinea de a satisface anumite cerințe exprimate sau implicite.

acestui. Comportarea în timp real (CTR) presupune un sincronism care trebuie să existe între operațiile interne de calcul și evenimentele lumii exterioare. Se vorbește de CTR la preluarea datelor din proces și la transmiterea comenzilor către acesta.

CTR la achiziția datelor implică obținerea informației aferente într-un interval de timp inferior celei mai mici constante de timp a procesului. Informația privind parametrii procesului poate fi destinată prelucrării într-un algoritm de conducere și/sau vizualizării pe ecranele consolei operatorului de proces. În fiecare din situații informația trebuie să devină disponibilă înainte ca datele din proces să-și piardă consistența.

CTR la transmiterea comenzii către proces presupune implementarea acesteia înainte ca informația pe baza căreia a fost determinată să-și piardă valabilitatea.

Conectarea la perifericele de proces Utilizarea echipamentelor numerice de calcul în conducerea proceselor presupune un schimb permanent de informație între cele două entități.

Informația privind starea procesului se obține prin intermediul traductoarelor iar transpunerea în proces a comenzilor generate de către echipamentul numeric este realizată de către elementele de execuție.

Pentru echipamentul numeric de conducere procesul reprezintă unul din utilizatori. Pentru acest utilizator *special* traductoarele facilitează introducerea informației în echipamentul numeric, iar elementele de execuție permit preluarea informației de la acesta. Având în vedere considerațiile de mai sus, traductoarele și elementele de execuție reprezintă echipamente periferice de un tip deosebit, care în continuare vor fi numite *echipamente periferice de proces* (EPP).

Multitudinea problemelor ce se cer a fi rezolvate de către sistemele automate aflate în legătură nemijlocită cu procesul implică existența unei mari diversități de EPP. Indiferent cărui tip aparțin EPP, există o totală incompatibilitate între semnalele specifice acestora și cele cu care operează în mod curent echipamentele de conducere.

Pentru a putea fi conectat la EPP un echipament de conducere trebuie să conțină o *interfață* adecvată. Un sistem de interfață cu procesul (SIP) conține două subsisteme destinate funcțiilor de achiziție a semnalelor furnizate de traductoare și respectiv de generare a semnalelor de comandă către elementele de execuție. În figura 2.28 se prezintă structura unui SIP în care sunt evidențiate cele două secțiuni de achiziție a datelor (SAD), respectiv de distribuție a comenzilor (SDC) fiecare cu câte o secțiune analogică (SADA, SDCA) respectiv numerică (SADN, SDCN).

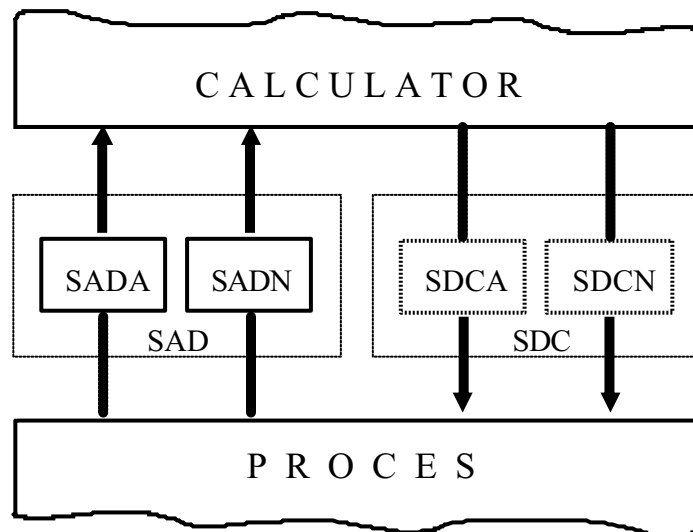


Fig. 2.28 Structura generală a unui sistem de interfata cu procesul.

Dialogul cu personalul de operare. Conducerea instalațiilor tehnologice se realizează din camere sau puncte de comandă. În aceste locuri trebuie să existe mijloace capabile să ofere operatorului de proces posibilități care să-i permită atât informarea privind starea procesului cât și intervenții ocazionate de anumite evenimente aparute în evoluția acestuia.

În cadrul echipamentelor de conducere aceste facilități sunt oferite de *consola operatorului de proces* (COP). Uzual în structura unei COP intra ecrane cu tub catodic, tastaturi și mai rar chei, butoane, lampi etc. COP în calitate de componentă a echipamentului de conducere trebuie să satisfacă și cerințele legate de siguranță în funcționare și de prelucrarea în timp real.

COP trebuie astfel realizată încât să permită de comunicare cu EC pentru a personalului de operare care, de regulă, cunoaște foarte bine procesul dar detine cunoștințe minime asupra echipamentului.

2.5. Elemente de execuție

Elementul de execuție (EE) realizează implementarea în proces a marimii de comandă elaborate de către regulator sau de către alt dispozitiv ce se substituie acestuia. Unul dintre cele mai răspândite EE este *robinetul de reglare* (RR) care asigură transpunerea în proces a marimii de comandă prin modificarea debitului unui fluid.

Asa cum reiese din figura 2.29 unde se prezintă schema principială a unui RR, în structura acestuia intra două elemente cu funcții bine precizate și anume *servomotorul (SM)* și *organul de reglare (OR)*. OR cele mai răspândite modifică debitul de fluid printr-

un proces de strangulare, din acest punct de vedere OR reprezentând o rezistență hidraulică variabilă.

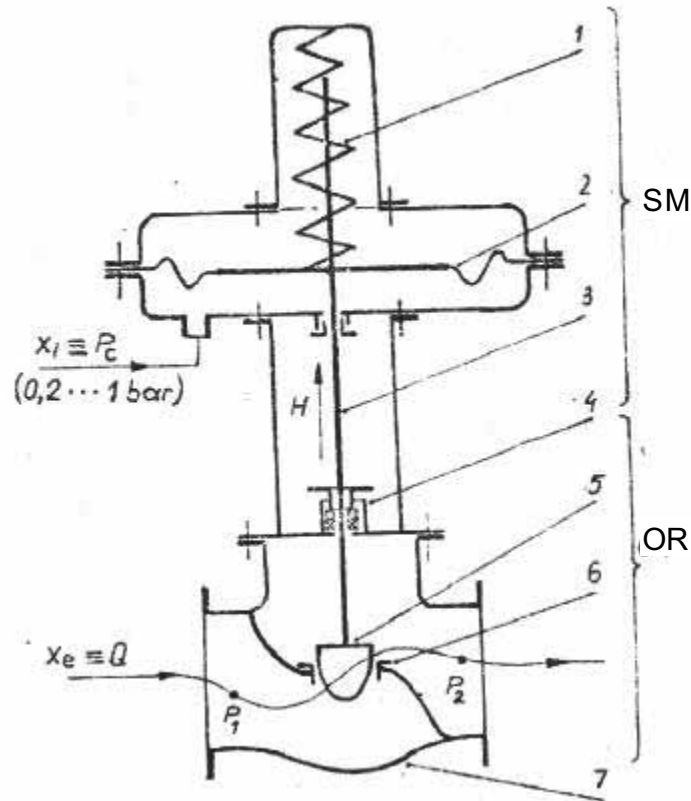


Fig. 2.29. Schema principială a unui robinet de reglare:
 SM – servomotor; OR – organ de reglare; 1 – resort; 2 – membrana rigidizată; 3 – tijă; 4 – sistem etansare; 5 – obturator; 6 – scaun; 7 – corp.; P_c – presiune de comandă; H – cursa tijă; P_1 , P_2 – presiuni înainte, după robinet.

Robinetului de reglare reprezentat în figura 2.29 i se poate asocia schema bloc din figura 2.30, care evidențiază faptul SM și OR se interconectează prin mărimea H care desemnează deplasarea tijei 3.

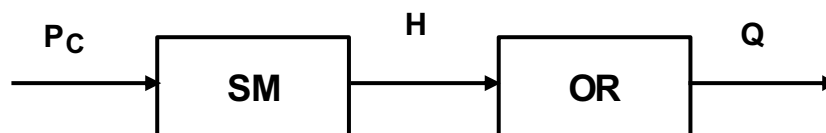


Fig. 2.30. Schema bloc a unui robinet de reglare.

Variatiile marimii de comandă generate de regulator (obisnuit de natura electrică) sunt transpuse de către un convertor electropneumatic în variații ale unei presiuni de comandă P_c ²². Aplicată pe fața inferioară a membranei rigidizate 2 această presiune determină apariția unei forțe care va imprimă ansamblului *tija-obturator* o mișcare ascendentă. Prin departarea obturatorului aria secțiunii de trecere (dintre obturator și scaun) va crește și prin urmare debitul va crește. Mișcarea va continua până când forța de apăsare pe membrana va deveni egală cu forța elastică dezvoltată în resortul 1.

RR reprezentat în figura 2.29 este normal²³ închis la care presiunea de comandă deschide și resortul închide.

Pe baza reprezentării din figura 2.30 se poate defini caracteristica statică a SM ca fiind dependența cursei H față de variațiile presiunii de comandă P_c . Datorită frecărilor care au loc în sistemele de etansare 4 caracteristica statică este cu *histeresis* (figura 2.31) prezentând două ramuri corespunzătoare celor două sensuri de mișcare a tijei.

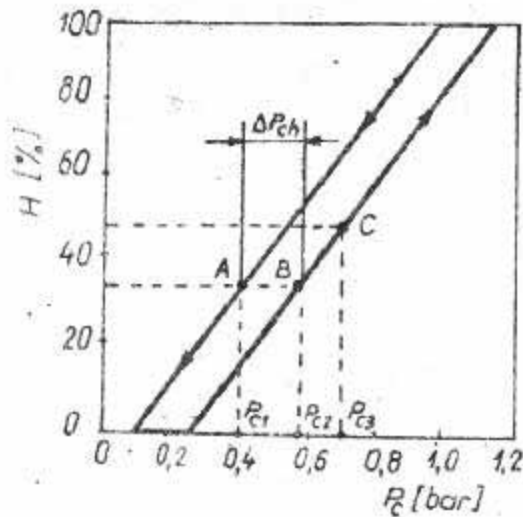


Fig. 2.31. Caracteristica statică $H = f(P_c)$ a unui servomotor pneumatic.

Dezavantajul unei asemenea caracteristici constă în necesitatea variației presiunii cu ΔP_c (*latimea zonei de histeresis*) la trecerea de pe o ramură pe alta fără ca tija să se deplaseze.

Pentru corectarea efectului de histeresis și pentru micșorarea inerției datorate fenomenului de acumulare în camera de aer situată sub membrana se utilizează *poziționerul* conectat ca în figura 2.32.

²² Un doniu uzual pentru presiunea de comandă P_c este 0,2... 1 bar..

²³ Starea normală reprezintă starea în care se găsește un RR în absența semnalului.

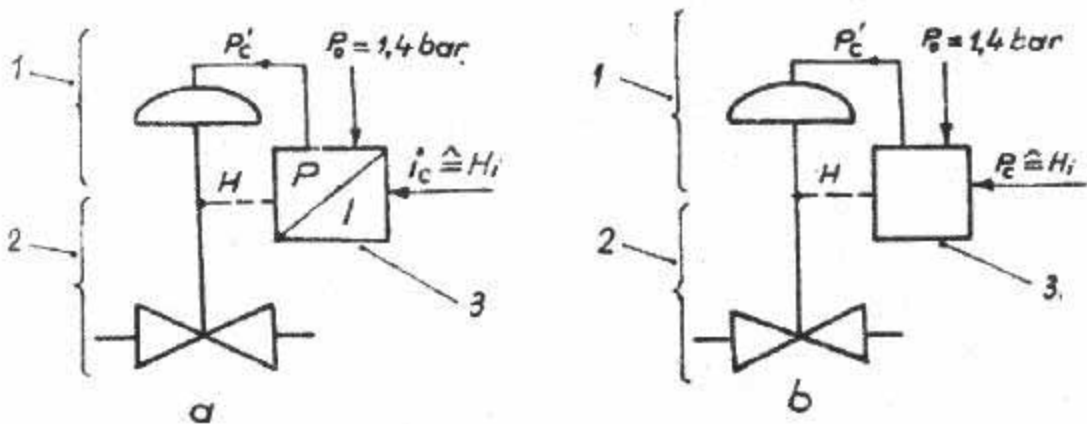


Fig. 2.32. Sistemul de poziționare a tijei servomotorului:
 a - poziționerul este integrat cu convertorul electro-pneumatic; SM echipat cu PZ pneumatic; 1 – Servomotor 2 – organ de reglare; 3 – poziționer.

Poziționerul este cde fapt un regulator care împreună cu servomotorul se constituie într-un SRA – poziție de urmărire. Se observă existența unei conexiuni mecanice figurată prin linie punctată, prin care se transmite PZ poziția curentă a tijei. Scopul acestui SRA este de a menține cursa H la o valoare cât mai apropiată de referința H_i . În figura 2.33 se prezintă, cu titlu de exemplu, caracteristica statică corectată cu ajutorul poziționerului.

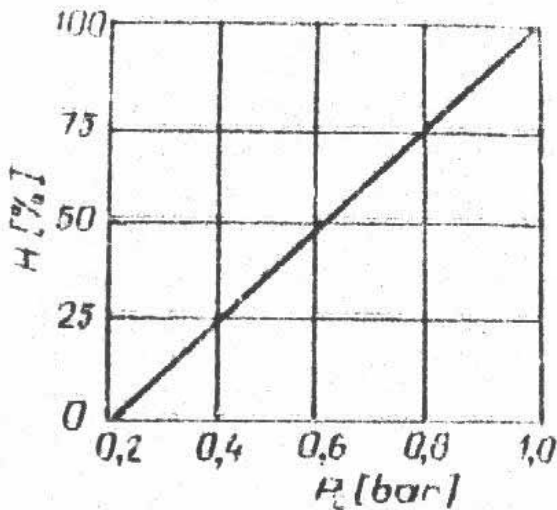


Fig. 2.33. Caracteristica statică ideală a unui SM echipat cu poziționer.

În ceea ce privește organul de reglare acestuia îi sunt specifice două caracteristici statice și anume:

- caracteristica statică intrinsecă (CSI);
- caracteristica statică de lucru (CSL).

Dependența între caderea de presiune pe o rezistență hidraulică și debit în regim de curgere turbulentă este

$$Q = \varepsilon \alpha A_r \sqrt{\frac{2 \Delta P_r}{\rho}} \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (2.27)$$

unde ΔP_r este caderea de presiune pe RR în N/m^2 ;

ρ - densitatea fluidului în kg/m^3 ;

A_r - aria secțiunii de trecere dintre obturator și scaun în m^2 ;

ε - coeficient de compresibilitate (adim)

α - coeficient de debit (adim).

Dacă în relația (2.27) se notează

$$K_v = \varepsilon \alpha A_r \sqrt{2} \quad \left[\text{m}^2 \right], \quad (2.28)$$

se obține

$$Q = K_v \sqrt{\frac{\Delta P_r}{\rho}} \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (2.29)$$

sau

$$K_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_r}} \quad \left[\text{m}^2 \right]. \quad (2.30)$$

Relația (2.30) arată că parametrul K_v este egal (**numai din punct de vedere numeric**) cu debitul de apă care circulă prin OR în condițiile în care pe acesta se menține o cadere de presiune egală cu un bar.²⁴

Modul în care a fost introdus parametrul K_v arată că acesta depinde numai de *caracteristicile proprii ale OR*, fără a ține cont de sistemul hidraulic.

Din aceste considerente dependența

$$K_v = f(H) \quad (2.31)$$

a fost numită *caracteristică statică intrinsecă*.

²⁴ Datorită acestei egalități K_v se mai numește și *debit specific*.

Practica fabricării și utilizării RR au impus CSI *liniară, logaritmică, cu deschidere rapidă*, ilustrate în figura 2.34.

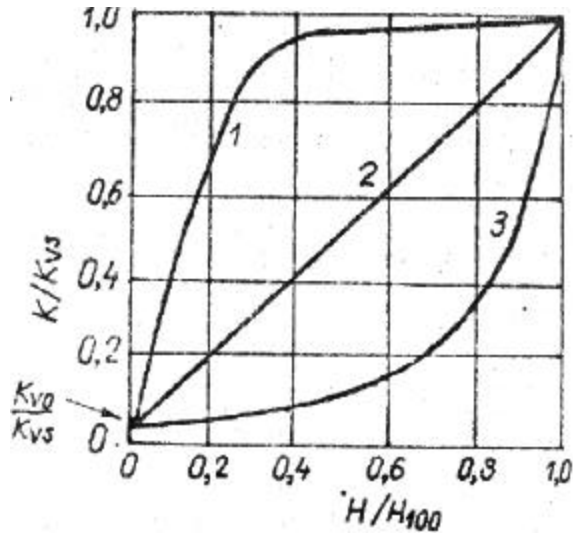


Fig. 2.33. Tipuri de CSI:
 1 – cu deschidere rapidă;
 2 – liniară;
 3 – logaritmică.

Caracteristica statică de lucru reprezintă dependența $K_v=f(H)$. În figura 2.34 sunt prezentate familii de CSL corespunzătoare la RR cu CSI liniară respectiv logaritmică.

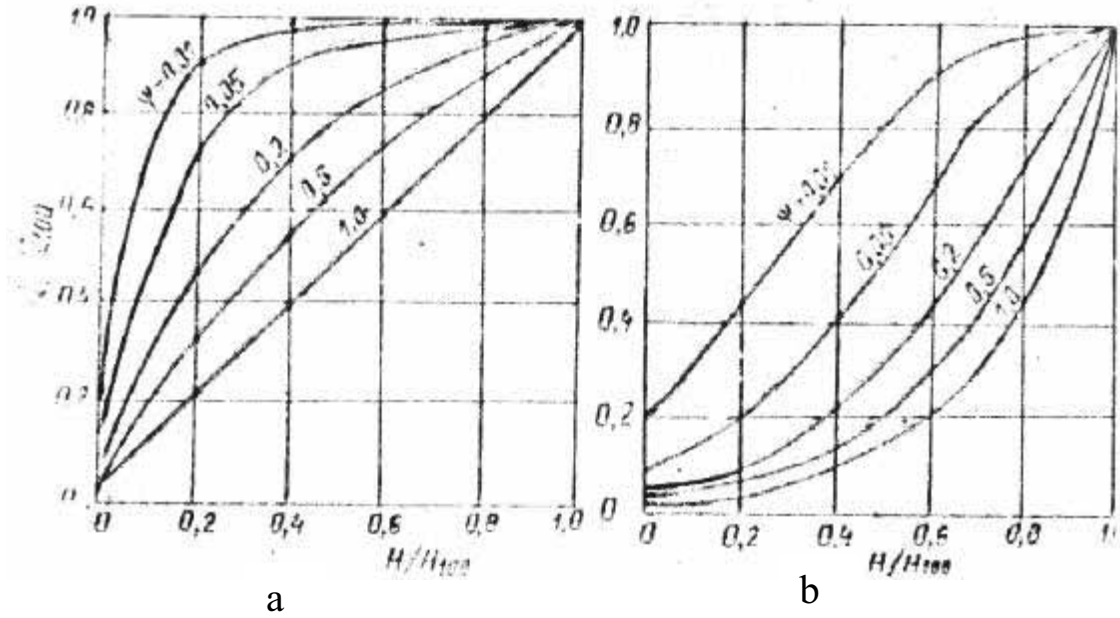


Fig. 2.34. Caracteristici statice de lucru pentru OR cu CSI liniară (a) respectiv logaritmică (b.)

CAPITOLUL 3

INFORMATIE SI ENTROPIE

O sintagma curent utilizată în zilele noastre este aceea de *societate informațională (SI)*. SI reprezintă stadiul de dezvoltare a societății umane bazate pe cunoaștere în care *informația* detine un rol primordial ¹.

Pornindu-se de la faptul că informația determină o scădere a incertitudinii și implică o dezordine legată cu *entropia* este imediată și nemijlocită.

Legat de informație se pun probleme legate de *sesizare, transmitere, procesare*, o parte dintre acestea fiind rezolvate în cadrul informaticii. În accepție curentă *informatica* încadrează toate activitățile legate de proiectarea și exploatarea sistemelor de prelucrare a informației în scopul creșterii eficienței activităților umane intelectuale și fizice.

În prezentul capitol vor fi tratate câteva probleme referitoare la *informație și entropie*. Prezentarea capitolului este justificată de prezenta fluxurilor informaționale alături de cele materiale și energetice, practic în cadrul tuturor proceselor tehnologice. De asemenea cunoașterea aspectelor referitoare la informație este necesară în abordarea disciplinelor aferente informaticii generale și industriale, calculatoarelor etc.

3.1. Notiunea de informație

Termenul de informație a fost inițial introdus în domeniul tehnic pentru a desemna *incertitudinea înlăturată prin realizarea unui eveniment dintr-un set de evenimente posibile*. Ulterior semnificația termenului s-a extins la cunoaștere în general, respectiv la apariția unui element nou, necunoscut anterior fie pentru om fie pentru un sistem de calcul, asupra realității înconjurătoare. Legat de notiunea de informație prezintă interes noțiunile de *semn, semnal, mesaj, cod* în legătura cu care vor fi prezentate unele considerații în cele ce urmează.

- *Semnul* este definit ca un element perceptibil caruia îi este acordată o anumită semnificație. În contextul transmiterii informației prezintă interes semnele grafice alfanumerice care înglobează totalitatea literelor, cifrelor și semnelor de punctuație utilizate în scriere.

- *Semnalul* reprezintă o manifestare de natură electromagnetică, sonoră, biologică, chimică etc. care se poate propaga printr-un mediu dat. Uzual un semnal este caracterizat prin intermediul *parametrelor sau caracteristicilor*, următoarele exemple fiind relevante.

¹ În lucrarea sa *Power Shift (Puterea în mișcare, Editura Antet, București 1995)* Alvin Toffler plasează cunoașterea alături de sursele tradiționale ale puterii și anume forța și banul. În sprijinul teoriei sale este prezentat un citat Francis Bacon (secolul XVII) și anume *cunoașterea în sine înseamnă putere*.

1. Pentru un semnal în *curent continuu* parametri semnificativi sunt *intensitatea I* și *tensiunea U* pentru care în figura 3.1 se prezintă forme uzuale de variație ideale și reale.

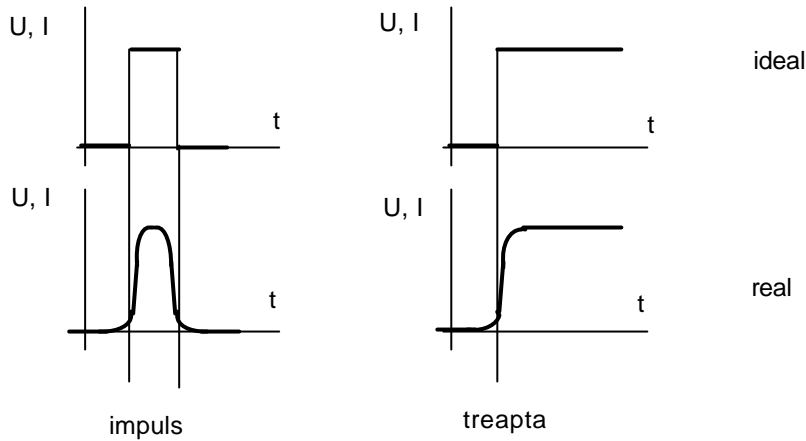


Fig. 3.1. Forme uzuale de variație ale parametrilor semnalelor .

2. Pentru un semnal asociat circulației unui fluid printr-o conductă parametrii semnificativi sunt presiunea și debitul (care se constituie în mărimi analoge la *tensiune* respectiv *intensitate* specifice semnalelor de natură electrică).

1. Pentru un semnal în *curent alternativ* alături de intensitate și tensiune parametrii semnificativi sunt *amplitudinea*, *frecvența*, *perioada*. Se cunoaște că în domeniul comunicațiilor informația se transmite prin intermediul *undelor electromagnetice* care pot fi modulate în amplitudine sau frecvență, aspect evidențiat în figura 3.2.

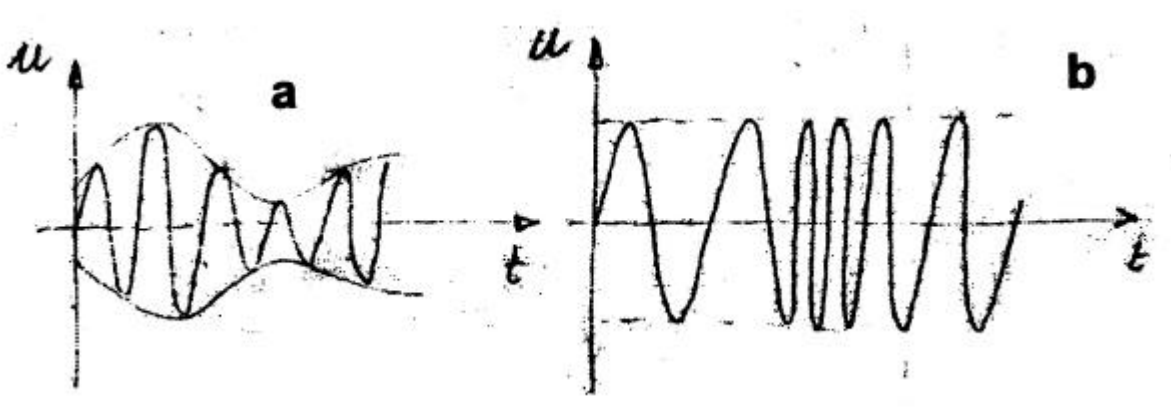


Fig. 3.2. Tipuri de modulație : a) în amplitudine; b) în frecvență

- *Mesajul* reprezintă o mulțime de caractere și simboluri destinate transferului de informație de la sursă (emitor) la destinație (receptor). De regulă semnalele sunt alcătuite conform anumitor reguli cunoscute atât de emitor cât și de receptor.

Din punctul de vedere al conținutului mesajele pot fi cu conținut informațional sau simbolice. Pornind de la definiția informației rezultă că cele din prima categorie micșorează sau înlătură o incertitudine referitoare la un anumit aspect. În ceea ce privește a doua categorie prezintă interes *prezenta sau absentă* respectivului mesaj. De regulă aceste mesaje formale se utilizează pentru a confirma anumite acțiuni, pentru a permite accesul la anumite resurse etc.

De regulă mesajele se transmit cu ajutorul semnalelor. Din acest punct de vedere semnalele pot fi sau nu purtătoare de mesaje, cele din urmă fiind considerate *perturbatii* sau *zgomote*.

- *Codul* reprezintă un sistem de reguli și de simboluri utilizat la întocmirea, transmiterea și convertirea mesajelor. Ținând cont că există o anumită dualitate *mesaj – informație* noțiunea de cod se utilizează și cu referire la informație.

Fie mulțimile de elemente A, B cu $a \in A, b \in B$ și I care reprezintă mulțimea tuturor combinațiilor de elemente b alcătuite după anumite reguli. Operațiunea de codificare presupune definirea unei funcții $f: A \rightarrow I$, prin care fiecărui element din mulțimea A i se asociază o combinație din mulțimea I .

Dacă ne referim la codificarea mesajelor ca purtătoare de informație la nivelul unui calculator se poate vorbi de două niveluri de codificare și anume **nivelul fizic** și **nivelul logic**. Primul nivel este asociat codificării interne a datelor în calculator în timp ce al doilea este specific utilizatorului.

Exemplele din Tabelul 3.1 sunt relevante pentru înțelegerea noțiunilor de codificare și cod.

Tabelul 3.1

Nr. crt.	Mulțimea A	Codificare	Mulțimea I
1	Cuvinte	Gramatică	Propoziții
2	Propoziții în Limba română	Reguli de traducere	Propoziții în Limba engleză
3	Numere în sistemul de numeratie zecimal Ex: 5 12	Reguli de conversie	Numere în sistemul de numeratie zecimal 0101 1100
4	Caractere alfanumerice Ex: A B 1 2	Reguli de conversie	Combinații ASCII extinse ² 1010 0001 1010 0010 0101 0001 0101 0010

² Abreviere de la *American Standard Code for Information Interchange*. Codul ASCII asociază fiecărei litere, cifre și caracter special câte un octet.

Din prezentarea nivelului fizic de codificare se desprinde ideea ca sistemele de calcul operează practic cu *date* care constituie forma fizică efectivă a simbolurilor asociate reprezentării informației. Prin asocierea datelor cu realitatea se poate spune că un sistem de calcul prelucrează *informație*. În timp ce datele au un caracter *obiectiv* informația are un caracter subiectiv depinzând de utilizator. Astfel datele furnizate la ieșirea unui sistem de calcul pot reprezenta o anumită *informație* pentru un utilizator și o altă *informație* pentru alt utilizator³.

Revenind la conceptul de **informație** se poate spune că acesta reprezintă o noțiune de maximă generalitate care semnifică o *stire, un mesaj, un semnal etc.* despre *evenimente, fapte, stări, obiecte etc.* în general despre forme de manifestare a realității care ne înconjoară. Întrucât noțiunea de *informație* este asociată cu cea de *stire*⁴ trebuie precizat că *opinia*⁵ și *zvonul*⁶ nu sunt considerate *informație* în sensul reflectării obiective a realității.

Pornind de la caracterul de maximă generalitate al noțiunii de informație, în sprijinul înțelegerii mai profunde a acesteia vor fi prezentate în cele ce urmează câteva exemple.

Exemplul 1

Rezultatul, în ceea ce privește culoarea, a extragerii unei bile dintr-o urnă care conține bile de mai multe culori reprezintă o *informație*.

Exemplul 2

Rezultatul, în ceea ce privește fața cu care pica în sus, la aruncarea unei monede reprezintă o *informație*.

Exemplul 3

Vestile aflate cu ocazia citirii unei scrisori primite constituie o informație.

Exemplul 4

Presupunem că două persoane *A* și *B* discută asupra unei probleme *x* în sensul că *A* întreabă și *B* răspunde. Cunoașterea (știința) persoanei *A* în legătura cu problema *x* o notăm cu $S(x)$, necunoașterea fiind $\bar{S}(x)$.

Notând cu *c* gradul de cunoaștere a problemei *x* de către subiectul *A* se poate scrie

$$S(x) = c \text{ și } \bar{S}(x) = 1 - c \text{ unde } c \in [0,1],$$

relație de unde se observă complementaritatea situațiilor de *cunoaștere* și *necunoaștere*, respectiv

$$S(x) + \bar{S}(x) = 1.$$

³ În practică, în mod curent, termenul *informație* este utilizat și pentru desemnarea datelor deoarece pentru utilizatorul avizat (care își pune această problemă) există o corespondență determinată între *informație, simbol (semn) și dată*.

⁴ Stirea reflectă stări de fapt existente care aparțin realității obiective.

⁵ Opinia reprezintă exprimarea unor păreri sau gânduri individuale sau de grup fiind expresia interesului acestora și în consecință subiectivă.

⁶ Zvonul reprezintă o stare neîntemeiată și neverificată, fiind asociat cu opinia falsă.

Dacă răspunsul la întrebare conține elemente noi) atunci se poate scrie

$$S_D(x) = S_I(x) + I(x), \quad (3.1)$$

unde $S_D(x)$ reprezintă cunoașterea după obținerea răspunsului;

$S_I(x)$ – cunoașterea înainte obținerii răspunsului;

$I(x)$ - elementele noi referitoare la problema x , respectiv *informația*.

Exemplul 4 concretizează conținutul noțiunii de informație și anume *partea de noutate dintr-un mesaj*.

În procesul prelucrării și utilizării *informației*, aceasta este privită din trei puncte de vedere și anume:

- *sintactic*, atunci când se urmărește aspectul formal, în sensul că informația trebuie să capete anumite forme de reprezentare, reprezentând anumite reguli;
- *semantic*, atunci când se urmărește semnificația / înțelesul informației care derivă din datele prelucrate;
- *pragmatic*, atunci când se urmărește măsura în care informația este utilă pentru receptori, respectiv satisface necesitățile acestora

Fiind o noțiune care acceptă și o *determinare cantitativă*, rezultă că pentru *informație* se poate introduce o unitate de măsură.

Fie evenimentul X alcătuit din evenimentele elementare disjuncte $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ respectiv

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n], \quad (3.2)$$

cu probabilitatea de realizare

$$P = [p_1, p_2, \dots, p_n] \text{ cu } \sum_{i=1}^n p_i = 1, \quad (3.3)$$

unde p_i reprezintă probabilitatea de realizare a evenimentului elementar x_i .

Uzual se spune că dubletul (X, P) formează un câmp de evenimente.

Cantitatea de informație asociată realizării evenimentului elementar x_i din câmpul de evenimente (X, P) se definește ca fiind logaritmul (cu semnul minus) în baza doi din probabilitatea de realizare a evenimentului elementar x_i respectiv,

$$I(x_i) = -\log_2 p(x_i). \quad (3.4)$$

Unitatea de măsură a informației se numește **bit**⁷ și este asociată realizării unui eveniment dintr-un câmp de două evenimente $X = [x_1, x_2]$ echiprobabile ($p_1 = p_2 = 1/2$) respectiv

$$I(x_1) = I(x_2) = -\log_2 1/2 = 1 \text{ bit}. \quad (3.5)$$

⁷ **bit** reprezintă abrevierea de la *binary digit*.

Exemple

1. Sa se determine cantitatea de informație obținută la extragerea unei bile dintr-o urnă care conține în număr egal *bile albe și negre*

$X = [x_1, x_2]$ unde x_1, x_2 reprezintă evenimentele asociate extragerii unei bile albe sau negre;

$P = [1/2, 1/2]$ probabilitățile egale de realizare a unuia dintre cele două evenimente.

Aplicând relația (3.5) se obține informația de *1 bit*.

2. Sa se determine cantitatea de informație obținută la aruncarea unui zar.

$X = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]$ unde x_1, x_2, \dots, x_6 reprezintă evenimentele asociate apariției uneia din fețele zarului;

$P = [1/6, 1/6, 1/6, \dots, 1/6]$ probabilitățile egale de apariție a uneia dintre cele 6 fețe ale zarului.

Aplicând relația (3.5) se obține

$$I(x_i) = -\log_2 1/6 = 2,5849 \text{ bit.}$$

Observație

Incertitudinea de apariție a unei anumite fețe a zarului este mai mare decât cea de extragere a unei bile de o anumită culoare din urnă.

3. Fie o stație în care pot sosi două autobuze de pe traseele 1 sau 2, probabilitățile de sosire fiind $p_1 = 0,3$; $p_2 = 0,7$ (*probabilitățile de sosire în stație a unui autobuz de pe linia 1 respectiv 2*). Sa se determine cantitățile de informație asociate producerii fiecăruia dintre cele două evenimente.

$I_1 = -\log_2 0,3 = 1,7369 \text{ bit}$ cantitatea de informație asociată sosirii unui autobuz de pe linia 1;

$I_2 = -\log_2 0,7 = 0,5146 \text{ bit}$ cantitatea de informație asociată sosirii unui autobuz de pe linia 2.

Observație

Incertitudinea de sosire a unui autobuz pe linia 1 este mai mare decât cea a sosirii unui autobuz pe linia 2. Se observă că incertitudine este cu atât mai mare cu cât probabilitatea de realizare a unui eveniment este mai mică.

3.2. Noțiunea de entropie informațională

După cum s-a văzut obținerea de informație este legată de un proces de ordonare care conduce la o corelare a acesteia cu noțiunea de entropie. După cum se știe, în termodinamica *entropia* este o mărime termodinamică de stare a cărei valoare

crește în urma unei transformări ireversibile a unui sistem izolat și rămâne constantă în urma unei transformări reversibile.

În teoria transmiterii informației se definește *entropia informațională* ca fiind cantitatea de informație raportată la un element al mesajului transmis.

Pentru un câmp de evenimente disjuncte

$$X = [x_1, x_2 \dots x_n]$$

$$P = [p_1, p_2 \dots p_n] \text{ cu } \sum_{i=1}^n p_i = 1,$$

entropia informațională se exprimă prin relația

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad [\text{bit}] \quad (3.6)$$

Tinând cont de relația (3.4) relația (3.6) devine

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i I(x_i) \quad [\text{bit}] \quad (3.7)$$

relație care semnifică informația medie pe eveniment.

Este interesant de văzut în ce situație entropia informațională, (respectiv informația medie pe eveniment) este **maximă**.

Cu alte cuvinte se pune problema determinării valorilor p_i pentru care există

$$\max[H(X)] = \max \left[- \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \right] \quad (3.8)$$

Din motive de simplitate calculul se va face pentru $n=2$ urmând ca apoi rezultatul să se generalizeze pentru n oarecare.

Pentru $n=2$ $H(X) = -(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2)$ unde $p_1 + p_2 = 1$ astfel încât entropia informațională devine

$$H(X) = -[p_1 \log_2 p_1 + (1-p_1) \log_2 (1-p_1)] \quad (3.9)$$

Rezolvarea problemei de maxim presupune rezolvarea ecuației $\frac{dH}{dp_1} = 0$ respectiv

$$-\left[\log_2 p_1 + \frac{p_1}{p_1 \ln 2} - \log_2 (1-p_1) - \frac{1-p_1}{(1-p_1) \ln 2} \right] = 0 \text{ respectiv}$$

sau

$$\log_2 \frac{p_1}{1-p_1} = 0 \text{ respectiv } \frac{p_1}{1-p_1} = 1. \quad (3.10)$$

Rezolvarea ecuației (3.10) conduce la soluția $p_1 = \frac{1}{2}$ și $p_2 = \frac{1}{2}$, ceea ce arată că entropia informațională este maximă (egală cu 1) în cazul în care cele două evenimente sunt echiprobabile, aspect evidențiat de graficul din figura 3.3.

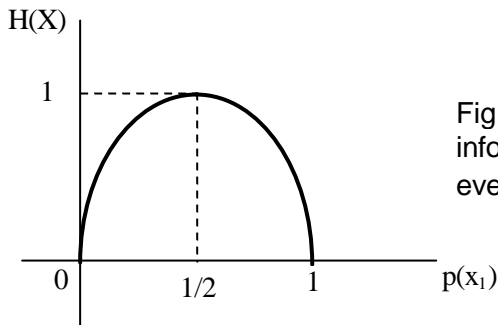


Fig. 3.3. Graficul funcției entropie informațională pentru un câmp de două evenimente disjuncte.

Entropia informațională pentru exemplul cu autobuzele de pe cele două linii care au asociate probabilitățile $p_1=0,3$ și $p_2=0,7$ va fi

$$H(X) = -(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2) \text{ sau înlocuind}$$

$H(X) = -(0,3 \log_2 0,3 + 0,7 \log_2 0,7) = 0,8812$, rezultat care confirmă concluziile formulate mai sus.

Este cunoscut că în termodinamică cu cât entropia este mai mare cu atât crește dezordinea (la temperatura ipotetică de 0 grK entropia este nulă). În cele ce urmează vom examina dependența dintre *entropia informațională* pe baza câtorva exemple.

Exemplul 1

Fie o urnă care conține numai *bile albe*. Să se caracterizeze din punctul de vedere al *entropiei informaționale și dezordinii (ordinii)* evenimentul bila extrasă să fie albă.

În această situație realizarea evenimentului (care este certă) nu aduce ceva nou, deoarece se știe *a priori* că bila extrasă va fi albă. Aici organizarea este totală (dezordinea este absentă) iar probabilitatea de a extrage o bila albă este egală cu unitatea.

Calculând *entropia informațională* se obține

$$H(X) = -(p \log_2 p) = -(1 \log_2 1) = 0.$$

Exemplul 2

Fie trei urne U1, U2, U3 în care se găsesc câte 100 de bile albe (**A**) și negre (**N**) în proporțiile ilustrate în figura 3.4.

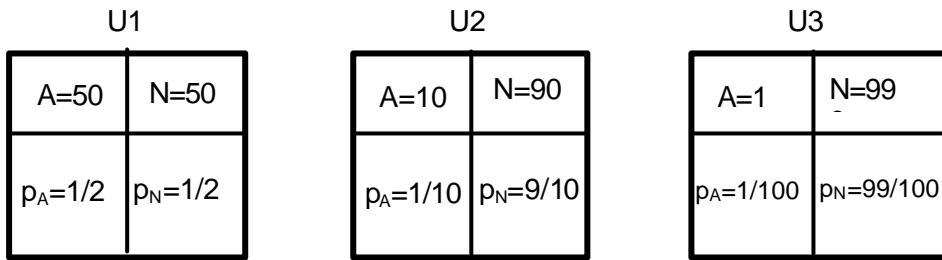


Fig. 3.4. Pentru exemplul 2: p_A , p_N – probabilitatile de extragere a unei bile albe respectiv negre.

Entropiile informationale pentru cele trei urne vor fi:

$$H_1 = -(0,5 \log_2 0,5 + 0,5 \log_2 0,5) = 1 \text{ bit};$$

$$H_2 = -(0,1 \log_2 0,1 + 0,9 \log_2 0,9) = 0,470 \text{ bit};$$

$$H_3 = -(0,01 \log_2 0,01 + 0,99 \log_2 0,99) = 0,08 \text{ bit}.$$

Dezordinea este cu atât mai mica cu cât diferența dintre probabilitățile de realizare a celor două evenimente este mai mare. Notând cu D_1 , D_2 , D_3 dezordinile aferente celor trei urne se poate spune ca:

$$D_3 < D_2 < D_1 . \tag{3.11}$$

Pe de altă parte analizând rezultatele calculelor se observa ca:

$$H_3 < H_2 < H_1 . \tag{3.12}$$

Din analiza relațiilor (3.11) și (3.12) se desprinde concluzia ca *entropia informatională* variază în același sens cu dezordinea.

O măsură a ordonării (și implicit a dezordinii) este dată de gradul de organizare definit prin relația

$$\Omega = \frac{H_{\max} - H}{H_{\max}} . \tag{3.13}$$

Întrucât în expresia gradului de organizare intervine entropia H specifică unui anumit moment de timp, acesta permite aprecierea evoluției (involuției) sistemelor din punctul de vedere al organizării.

Din analiza relației (3.13) se observa ca

$$\Omega \Big|_{H=H_{\max}} = 0 , \tag{3.14}$$

ceea ce semnifică un grad de organizare minim respectiv o dezordine maximă în condițiile unei entropii maxime, confirmându-se astfel concluzia desprinsă din relațiile (3.11) și (3.12).

În continuare se prezintă un exemplu relevant în ceea ce privește corelația entropie – grad de organizare.

La o linie de fabricație a unei componente electronice, de un anumit tip, se consideră următoarele evenimente elementare:

- x_1 (obținerea componentei cu toleranțe $\pm 5\%$) cu probabilitatea $p_1 = 0,25$;
- x_2 (obținerea componentei cu toleranțe $\pm 10\%$) cu probabilitatea $p_2 = 0,25$;
- x_3 (obținerea componentei cu toleranțe $\pm 20\%$) cu probabilitatea $p_3 = 0,50$.

Cele trei categorii de componente au următoarele destinații:

- componentele cu toleranță $\pm 5\%$ utilizează în tehnica de calcul;
- componentele cu toleranță $\pm 10\%$ utilizează la mașini unelte cu comandă numerică
- componentele cu toleranță $\pm 20\%$ utilizează la bunurile de larg consum.

Se lansează un program de creștere a calitatii (în sensul scăderii ponderii componentelor cu toleranțe $\pm 10\%$, $\pm 20\%$) în următoarele etape:

- la momentul t_1 se execută purificarea suplimentară a materiei prime;
- la momentul t_2 se introduce un nou sistem de control a calitatii;
- la momentul t_3 se aplică o tehnologie nouă

cu probabilitățile de obținere a componentelor de cele trei calități evidențiate în Tabelul 3.2.

Tabelul 3.2

$p \backslash t$	t_0	t_1	t_2	t_3
p_1	0,25	0,33	0,50	0,75
p_2	0,25	0,33	0,30	0,20
p_3	0,50	0,33	0,20	0,05

Să se determine și să se reprezinte variația în timp a entropiei și gradului de organizare.

Aplicând relațiile (3,6) și (3,7) se obțin valorile pentru entropia H și gradul de organizare O se determină valorile prezentate în Tabelul 3.3.

â

Tabelul 3.3

	t_0	t_1	t_2	t_3
H	1,4991	1,5825	1,4845	0,9911
O	0,0527	0,0	0,0619	0,3737

Analizând datele din tabelul 3.3 se observa ca la momentul t_1 entropia si dezordinea sunt maxime, aspect evidentiat în graficele din figura 3.4.

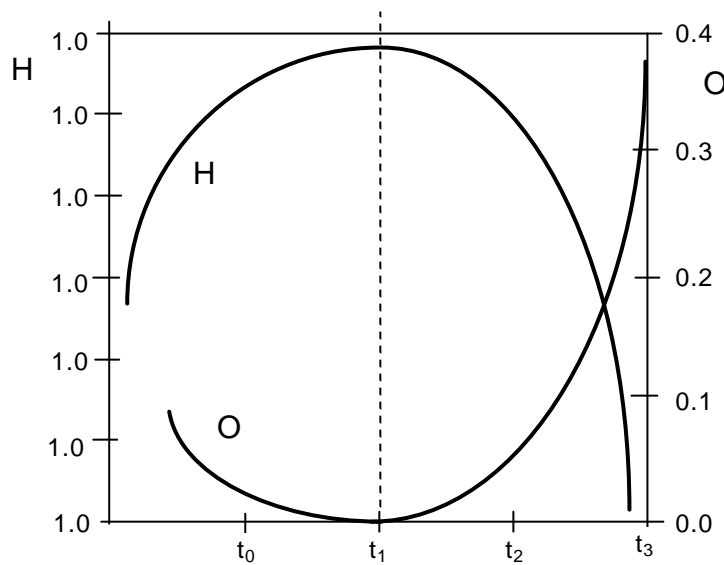


Fig. 3.4. Variatiile în timp ale funcțiilor H și O.

3.3. Transmiterea informației

Transmiterea la distanță a informației implică prezența unui suport întrucât informația se situează în afara unei existențe materiale și energetice.

Un sistem de transmitere a informației (STI) conține trei elemente și anume sursă, canal, receptor ilustrate în figura 3.5.

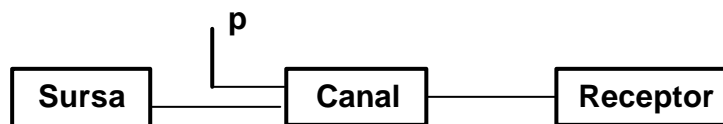


Fig. 3.5. Structura unui sistem de transmitere a informației.

Canalul de comunicație (respectiv mediul de transmisie) reprezintă totalitatea mijloacelor destinate transmiterii mesajelor informaționale.

Exemple de STI

1. Transmiterea scrisorilor, în care *posta* îndeplinește rolul canalului de comunicare.
2. Comunicarea orală dintre două persoane, în care *aerul* permite propagarea undelor acustice.
3. Sisteme de măsurat la distanță formate după cum s-a văzut în capitolul precedent din *traductor, linie de transmisie, aparat de măsurat*. Din punctul de vedere al STI cele trei elemente îndeplinesc rolul de *sursă, canal, receptor*.

Având în vedere că informația se transmite sub forma mesajelor cu ajutorul semnalelor, în cele ce urmează vor fi prezentate câteva aspecte referitoare la tipurile și modalitățile de transmitere a semnalelor.

Din punctul de vedere al continuității există două categorii de semnale și anume:

- semnale continue (analogice);
- semnale discrete (numerice).

Semnalul analogic este un semnal continuu a cărui formă de variație este similară (analogă) cu a mărimii primară asociate. În multe situații semnalul analogic este însoțit de perturbații (zgomote). Operațiunea de îndepărtare a zgomotelor este cunoscută sub denumirea de *filtrare*. În figura 3.6 este prezentat un sistem de măsurat la distanță prevăzut cu un filtru cu rol de rejectare (*îndepărtare*) a zgomotelor induse în linia de transmisie.

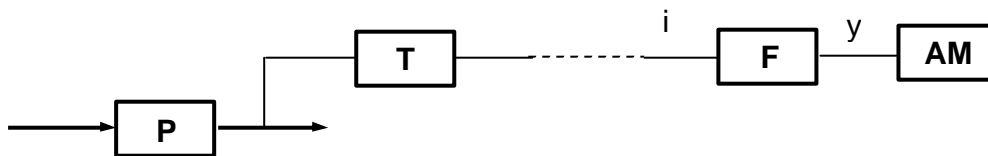


Fig. 3.5. Structura unui sistem de măsurare cu filtru: P – proces; T – traductor; F – filtru; AM – aparat de măsurat; i – marime nefiltrată; y – marime filtrată.

Filtrarea se poate realiza prin metode *hardware și software*. Ca exemple din prima categorie se menționează *filtrul RC*, iar din a doua filtrul de ordinul I bazat pe următoarea ecuație diferențială

$$a \frac{dy}{dt} + y = i \quad , \quad (3.15)$$

în care *a* reprezintă constanta filtrului.

Prin discretizarea ecuației (3.15) se obține

$$a \frac{y_{k+1} - y_k}{\Delta t} + y_k = i_k \quad , \quad \text{respectiv} \quad (3.16)$$

$$y_{k+1} = \left(1 - \frac{\Delta t}{a}\right) y_k + i_k, \text{ sau} \tag{3.17}$$

$$y_{k+1} = \left(1 - \frac{\Delta t}{a}\right) y_k + \frac{\Delta t}{a} i_k \tag{3.18}$$

în care: y_{k+1}, y_k sunt valori filtrate corespunzătoare pasului curent și anterior;

i_k – valoare intrare în filtru la momentul anterior;

Δt – interval de esantionare (interval la care se evaluează mărimea filtrată).

Semnalul numeric este reprezentat obișnuit printr-un șir de valori binare 0 și 1. Un semnal numeric se poate obține prin operația de cuantificare, ilustrată în figura 3.6, care constă în atribuirea unui număr fiecărei valori analogice.

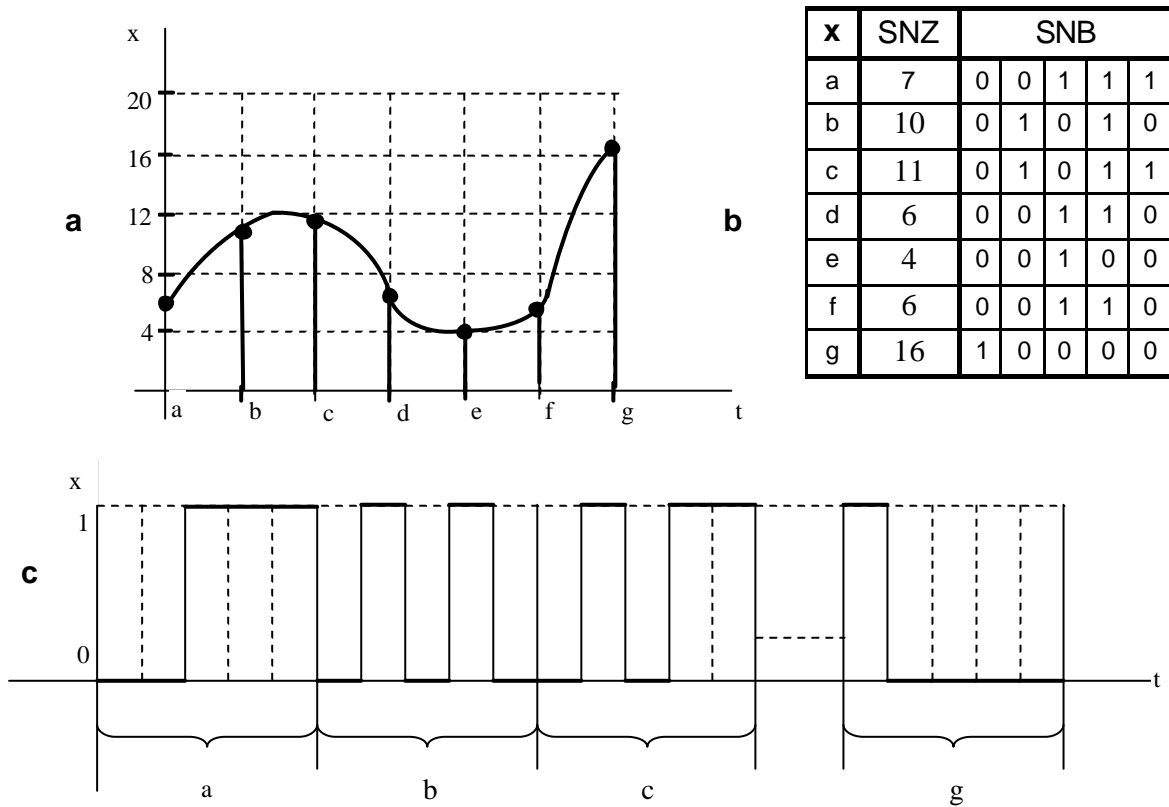


Fig. 3.6. Operația de cuantificare: a – esantionare; b – codificare esantioane; c - reprezentare semnal discretizat; SNZ – valoare zecimală semnal; SNB – valoare binară semnal.

Din punctul de vedere al simultaneității transmisia semnalelor discrete poate fi *serie sau paralelă*.

- *Transmisia serială* presupune transferarea unor semnale discrete unul câte unul. În comunicatii și în transferul datelor, transmisia serială implică trimiterea informațiilor bit cu bit, în acest scop utilizându-se o singură linie.
- *Transmisia paralelă* presupune transferul unor semnale discrete simultan. În comunicatii și în transferul datelor, transmisia paralelă implică trimiterea tuturor biturilor aferente unui cuvânt simultan, în acest scop utilizându-se mai multe linii.

Din punctul de vedere al sensului transmisia poate fi: *simplex, semiduplex, duplex*.

- *Transmisia simplex* presupune efectuarea comunicatiei într-un singur sens, dinspre dispozitivul emitor spre cel receptor. De exemplu comunicatia între doi oameni este simplex atunci când unul *numai* vorbește, iar celălalt *numai ascultă*.
- *Transmisia semiduplex* presupune efectuarea comunicatiei în ambele sensuri, dar nu simultan. De exemplu comunicatia între doi oameni este semiduplex atunci când unul ascultă și nu vorbește decât după ce termină celălalt ce are de spus.
- *Transmisia duplex* presupune efectuarea comunicatiei în ambele sensuri, simultan. De exemplu comunicatia între doi oameni ar fi duplex atunci când ambii ar vorbi și ascultă în același timp.

Din punctul de vedere al sincronizării transmisia poate fi: *asincronă sau sincronă*.

- *Transmisia asincronă* este o metoda de transmitere a datelor în care acestea sunt expediate intermitent, nu sub forma unui flux uniform, în care caracterele sunt separate de intervale de timp fixe. Transmisiiile asincrone se bazează pe utilizarea unui bit de start, a unui sau doi biti de stop precum și optional a unui bit de paritate. (figura 3.7).

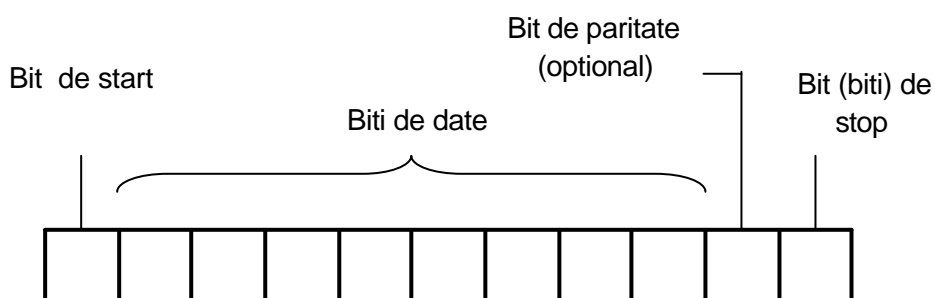


Fig. 3.7. Structura unui cuvânt transmis asincron.

Acești biti însoțesc bitii care reprezintă informația utilizată au rolul de separare și verificare.

- *Transmisia sincronă* este o metoda de transmitere a datelor pe blocuri (cadre), separate de intervale de timp egale.

3.4. Reprezentarea și prelucrarea informației

3.4.1. Sisteme de numeratie

Un sistem de numeratie (SN) este format din totalitatea regulilor de reprezentare a numerelor cu ajutorul unor simboluri numite *cifre*.

SN sunt de două tipuri: *pozitionale și nepozitionale*. Pentru un sistem pozitional ponderea unei cifre este dată atât de valoarea ei intrinsecă cât și de poziție. De exemplu, pentru numărul **1111** reprezentat în SN zecimal fiecare cifră **1** are o altă pondere (mii, sute, zeci, unități). Un exemplu de sistem nepozitional, în care ponderea nu este influențată de poziția cifrei este sistemul roman.

Datorită simplității de reprezentare și efectuare a calculelor, în sistemele numerice se folosesc în exclusivitate sistemele pozitionale, un asemenea sistem fiind caracterizat prin *baza* care reprezintă numărul total de simboluri (cifre).

Exemplu de baze uzuale:

Sistemul zecimal, $b=10$, simboluri: 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9;

Sistemul binar, $b=2$, simboluri: 0,1;

Sistemul octal, $b=8$, simboluri: 0,1,2,3,4,5,6,7;

Sistemul hexazecimal, simboluri: 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F.

Pentru un număr întreg $N \geq 0$, reprezentarea în baza b este secvența de simboluri $x_{m-1} x_{m-2} \dots x_2 x_1 x_0$ care verifică următoarele două relații:

- $0 \leq x_i < b, i=m-1, \dots, 0; x_{m-1} \neq 0;$
- $N = x_{m-1}b^{m-1} + \dots + x_1b + x_0.$

Exemplu:

$b=10, N=4523_{10}=4 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10 + 3$

$b=8, N=573_{10}=5 \cdot 8^2 + 7 \cdot 8 + 3$

$b=2, N=101001_2=1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1.$

Numerele reale au o reprezentare asemănătoare, însă conțin punctul fracționar (sau virgulă) care separă partea întreagă de cea fracționară.

Pentru un număr real $r \geq 0$, reprezentarea în baza b este secvența de simboluri $x_{m-1} \dots x_1 x_0 \cdot x_{-1} x_{-2} \dots$ care verifică următoarele relații:

- $0 \leq x_i < b, i = m-1, \dots, 0, -1, -2, \dots; x_m \neq 0;$
- nu există un rang k astfel încât începând de la acel rang
 $x_k = x_{k-1} = \dots = b-1$
- $r = x_{m-1}b^{m-1} + \dots + x_1b + x_0 + x_{-1}b^{-1} + x_{-2}b^{-2} + \dots$

Exemplu:

$$b=10, N=154,32_{10}=1 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10 + 4 + 3 \cdot 10^{-1} + 2 \cdot 10^{-2}$$

$$b=8, N=623,45_8=6 \cdot 8^2 + 2 \cdot 8 + 3 + 4 \cdot 8^{-1} + 5 \cdot 8^{-2}$$

$$b=2, N=101,011_2=1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2 + 1 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3}$$

Pornind de la faptul că la baza realizării unui sistem numeric de calcul stau dispozitivele cu două stări stabile, rezultă că SN binar (care necesită numai două cifre, **0** și **1**) este cel mai potrivit pentru prelucrarea, codificarea și transmiterea informației în aceste echipamente. SN ale căror baze reprezintă puteri ale lui 2 prezintă de asemenea proprietățile sistemului binar, motiv pentru care sunt frecvent utilizate în tehnica de prelucrare automată a datelor (în special SN octal și SN hexazecimal). În ceea ce privește SN zecimal acesta este cu precădere utilizat în anumite faze ale operațiilor de intrare-iesire.

Procesarea informației numerice necesită conversia dintr-un sistem de numeratie în altul. Cu titlu de exemplu în Tabelul 3.4 se prezintă elemente ajutătoare pentru realizarea conversiilor *binar - octal*, *binar - hexazecimal*. Conversiile se realizează simplu datorită faptului că bazele acestora sunt puteri ale lui 2.

Tabelul 3.4

Octal	Binar	Hexazecimal	Binar	Hexazecimal	Binar
0	000	0	0000	8	1000
1	001	1	0001	9	1001
2	010	2	0010	A	1010
3	011	3	0011	B	1011
4	100	4	0100	C	1100
5	101	5	0101	D	1101
6	110	6	0110	E	1110
7	111	7	0111	F	1111

Elementele sistemului octal pot fi reprezentate prin combinații de câte trei biți denumite *triade* iar ale sistemului hexazecimal prin combinații de câte patru biți numite *tetrade*.

Regula de conversie: fiind dată reprezentarea în binar a unui număr real, reprezentarea în octal se obține grupând câte trei cifre binare începând de la marca fracționară (punct, virgulă), spre stânga și spre dreapta. După ce grupele extreme se completează (dacă este cazul cu zerouri nesemnificative), fiecare triadă se substituie cu echivalentul său octal. Aceiași regulă se aplică și la conversia *binar-hexazecimal*, cu observația că în loc de *triade* se operează cu combinații de 4 biți (*tetrade*).

Conversia inversă *octal / hexazecimal* ® *binar* se face prin înlocuirea fiecărei cifre *octale / hexazecimale* cu *triada / tetrada* corespunzătoare.

Exemple

a) Sa se converteasca în binar numerele $A=(135.72)_8$ si $B=(5A23.B5D)_{16}$.

$$(A)_2 = 001 | 011 | 101.111 | 010$$

$$(B)_2 = 0101 | 1010 | 0010 | 0011.1011 | 0101 | 1101$$

b) Sa se converteasca în octal si în hexazecimal numarul binar $(C)_2=1011010.11011$.

$$b1) (C)_2 = 001 011 010 . 110 110$$

Pe baza corespondentei din tabelul 3.4 rezulta $(C)_8=132.66$.

$$b2) (C)_2=0101 1010 . 1101 1000$$

dupa care se face corespondenta în conformitate cu tabelul 2.1 si rezulta $(C)_{16}=5A.D8$.

3.4.2. Operatii aritmetice în cod binar

În cele ce urmeaza se vor prezenta câteva elemente ce privesc realizarea operatiilor aritmetice în cod binar.

Efectuarea oricarei astfel de operatii se reduce la adunarea si / sau scaderea numerelor binare conform regulilor urmatoare:

$0+0=0$	$0-0=0$
$0+1=1$	$1-0=1$
$1+0=1$	$0-1=1+b$
$1+1=0+c$	$1-1=0$

unde c (*carry*) este transportul la rangul superior, iar b (*borrow*) este împrumutul de la rangul superior.

În ceea ce priveste *înmultirea si împartirea* acestea se supun regulilor urmatoare:

$0 \times 0 = 0$	$0 : 0 =$	operatie interzisa
$0 \times 1 = 0$	$0 : 1 = 0$	
$1 \times 0 = 0$	$1 : 0 =$	operatie interzisa
$1 \times 1 = 1$	$1 : 1 = 1$	

3.4.3. Variabile si functii logice

Caracteristica esentiala a tuturor generatiilor de calculatoare numerice realizate pâna în prezent o constituie natura discreta a operatiilor pe care acestea le efectueaza.

Considerente de ordin tehnologic impun utilizarea în constructia calculatorului a dispozitivelor cu doua stari care conditioneaza codificarea informatiei si efectuarea calculelor în sistem binar.

Analiza si sinteza circuitelor de comutatie aferente calculatoarelor numerice utilizeaza ca principal instrument matematic algebra logica (booleana).

Ca *structura* algebra se defineste în conditiile ipotezelor de mai jos.

Fie multimile $M = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ $x_i \in Z$ și $O = \{+, \bullet\}$ (componentele multimii O sunt două operații care vor fi definite ulterior. Structura $A = (M, O)$ reprezintă o algebra dacă:

- a) mulțimea M conține cel puțin două elemente;
- b) mulțimea M reprezintă parte stabilă în raport cu cele două operații respectiv $x_1 + x_2 \in M$, $x_1 \bullet x_2 \in M$ pentru orice $x_1, x_2 \in M$;

c) cele două operații au următoarele proprietăți:

- comutativitate:

$$x_1 + x_2 = x_2 + x_1; \quad x_1 \bullet x_2 = x_2 \bullet x_1.$$

- asociativitate:

$$(x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3); \quad (x_1 \bullet x_2) \bullet x_3 = x_1 \bullet (x_2 \bullet x_3)$$

- distributivitatea uneia față de cealaltă:

$$(x_1 + x_2) \bullet x_3 = x_1 \bullet x_3 + x_2 \bullet x_3; \quad x_1 + (x_2 \bullet x_3) = x_1 \bullet x_2 + x_1 \bullet x_3.$$

d) mulțimea conține un element nul - 0 și unul unitate - 1 care constituie elemente neutre față de cele două operații:

$$x_1 + 0 = 0 + x_1 = x_1; \quad x_1 \bullet 1 = 1 \bullet x_1 = x_1 \text{ unde } x_1 \in M.$$

e) fiecărui element $x \in M$ îi corespunde un unic invers $\bar{x} \in M$ cu proprietățile :

$$x \bullet \bar{x} = 0 \quad (\text{principiul contradicției})$$

$$x + \bar{x} = 1 \quad (\text{principiul tertului exclus})$$

Dacă elementele multimii M pot lua numai două valori (**0 și 1**) structura de mai sus reprezintă o *algebra booleană*.

La definirea axiomatică a algebrei s-au folosit notațiile $+$, \bullet , \bar{x} pentru cele două legi de compoziție, respectiv pentru elementul invers. În logica și tehnica există denumiri și semnificații specifice, evidențiate în tabelul 3.5.

Tabelul 3.5

Matematica		Logica		Tehnica	
Denumire	Simbol	Denumire	Simbol	Denumire	Simbol
Prima operație	+	Disjuncție	\cup	SAU	\cup
A doua operație	\bullet	Conjuncție	\cap	SI	\cap
Element invers	\bar{x}	Negatie	$\neg x$	NU	\bar{x}

Pornind de la axiome se deduc teoremele prezentate în tabelul 3.6 care se constituie în reguli de calcul în cadrul algebrei booleene

Tabelul 3.6

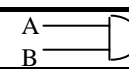
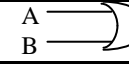
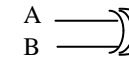
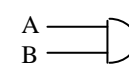
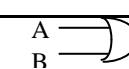
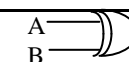
Nr.	Denumire	Forma produs	Forma suma
T1	Dubla negatie (involutia)	$\overline{\overline{x}} = x$	$\overline{\overline{x}} = x$
T2	Absorbția	$x_1(x_1 + x_2) = x_1$	$x_1 + x_1x_2 = x_1$
T3	Elemente neutre	$x \cdot 0 = 0$	$x + 1 = 1$
T4	Idempotentă (tautologia)	$x \cdot x \cdot \dots \cdot x = x$	$x + x + \dots + x = x$
T5	De Morgan	$\overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2}$	$\overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$

Oricare dintre cele 5 teoreme poate fi demonstrata utilizând axiomele cu ajutorul carora s-a definit structura algebrei.

O funcție $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ reprezintă o funcție logică dacă domeniul de definiție este reprezentat de produsul cartezian $\{0,1\}^n$, cu alte cuvinte $f:\{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$.

O funcție logică (booleană) pune în corespondență o combinație binară asociată produsului cartezian cu una din valorile **0** sau **1**. În tabelul 3.7 sunt prezentate funcții reprezentative din totalul celor 16 care pot fi formate cu 2 variabile ⁸.

Tabelul 3.7

Denumire funcție	Ecuatie logica	Simbol
SI	$F = A \cap B$	
SAU	$F = A \cup B$	
SAU EXCL.	$A \oplus B = A \cdot \overline{B} + \overline{A} \cdot B = \overline{A \otimes B}$	
NICI EXCL.	$A \otimes B = \overline{A \cdot B} + A \cdot B = \overline{A \oplus B}$	
SI- NU	$A \uparrow B = \overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$	
SAU - NU	$A \downarrow B = \overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$	

Funcțiile SI, SAU, NU se numesc *funcții logice de baza* întrucât cu ajutorul lor se poate exprima orice altă funcție logică.

Reprezentarea cea mai comodă și pretabilă formalizării a funcțiilor logice este cea realizată cu ajutorul tabelelor de adevăr. Pentru funcțiile din tabelul 3.7 se prezintă tabelul de adevăr 3.8

⁸ Cu n variabile pot fi formate 2^{2^n} funcții.

Tabelul 3.8

A	B	SI	SAU	SAU EXCL	NICI EXCL	SI - NU	SAU - NU
0	0	0	0	0	1	1	1
0	1	0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	1	0	0

Functia *SAU EXCLUSIV*, cunoscuta si sub numele de modulo 2 al sumei, semnifica A sau B, dar nu ambele, motiv pentru care se numeste *functie de anticoincidenta*. Aceasta functie difera de functia SAU care înseamna A sau B sau ambele.

Functia *NICI EXCLUSIV* înseamna atât A cât si B identice, motiv pentru care se numeste *functie de coincidenta*. Aceasta functie difera de functia SI care înseamna numai A si B.

Functia *SI NU* semnifica \bar{A} sau \bar{B} sau ambele ea fiind complementara functiei SI.

Functia *SAU NU* înseamna atât \bar{A} cât si \bar{B} , ea fiind complementara functiei SAU.

Functiile logice pot fi implementate cu circuite logice combinacionale (CLC) sau secventiale (CLS).

CLC sunt caracterizate de dependenta functiilor de iesire numai de combinatiile aplicate la intrare, nu si de timp. Între aceste circuite sunt de mentionat: *convertoarele de cod, codificatoarele si decodificatoarele, multiplexoarele si demultiplexoarele, comparatoarele, detectoarele si generatoarele de paritate, ariile logice programabile, memoriile si circuitele aritmetice*.

Cu titlul de exemplu se prezinta în cele ce urmeaza sinteza unui *semisumator* cu operanzii pe un bit.

Semisumatorul elementar, pentru care schema logica si tabela de adevar sunt prezentate în figura 3.8, aduna doua numere a câte un bit x_i, y_i si genereaza la iesire 2 biti: suma s_i si transportul c_i catre rangul urmator.

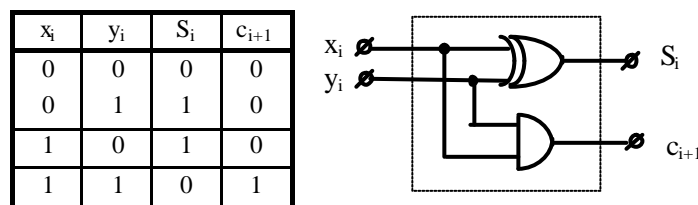


Fig. 3.8. Semisumatorul elementar.

Schema din figura 3.8 a rezultat pe baza relatiilor:

$$S_i = \bar{x}_i y_i + x_i \bar{y}_i = x_i \otimes y_i \qquad c_{i+1} = x_i y_i$$

CLS sunt circuite ale caror marimi de ieșire, la un moment dat, depind atât de combinația marimilor de intrare, cât și de starea sa.

Modelul matematic al CLS, pentru un anumit moment de timp t , este definit de două seturi de ecuații care reflectă tranziția *starilor* și pe cea de *ieșirilor* și care pot fi grupate în cvintuplul

$$C_S = (X, Y, Q, f, g),$$

unde: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ este mulțimea variabilelor binare de intrare;

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ - mulțimea variabilelor binare de ieșire;

$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_p\}$ - mulțimea variabilelor binare de stare;

$f : X \times Q \rightarrow Q$ - funcția de tranziție a starilor;

$g : X \times Q \rightarrow Y$ - funcția de tranziție a ieșirilor.

Între CLS importante care se regăsesc în structura unui CN sunt de menționat: *bistabile, numărătoare, registre, circuite de memorie*.

CAPITOLUL 4

INTRODUCERE ÎN ȘTIINȚA CALCULATOARELOR

4.2. Limbaje și mașini virtuale

Calculatorul numeric (CN) reprezintă un sistem fizic capabil să rezolve probleme prin executia unor instrucțiuni primite sub forma unui program.

La nivelul unui CN pot fi efectuate:

1. prelucrări de date;
2. prelucrări de informații;
3. prelucrări de cunoștințe;
4. prelucrări inteligente (inteligenta artificială).

După cum se va vedea toate calculatoarele realizate până în prezent evoluează pe baza unui program anterior memorat, program realizat sub forma unei secvențe de instrucțiuni aferente unui limbaj artificial. În aceste condiții se poate spune că până în prezent nu a fost realizat un calculator sub forma unui sistem inteligent care gândește independent.

În ceea ce privește limbajele de programare acestea pot fi mai apropiate de mașina care le execută sau de utilizatorul uman. Gradul de apropiere se cuantifică în nivelul de percepție al respectivului limbaj și în capacitatea de *manevrare a instrucțiunilor aferente*.

Componentele fizice ale unui CN (circuitul electronic) nu pot recunoaște și executa decât un număr limitat de instrucțiuni. Instrucțiunile care pot fi înțelese și executate direct (fără a necesita *traducere sau interpretare*) sunt instrucțiuni mașina iar limbajul corespunzător este limbajul mașina pe care îl vom nota **L1**. Limbajul L1 cu toate că permite comunicarea utilizatorului cu mașina este greu de folosit, iar în aplicațiile de dimensiuni mari chiar imposibil. În aceste condiții este necesară crearea unui nou limbaj, pe care îl vom nota cu **L2**, mult mai apropiat de modul natural de gândire și de operare al omului.

Din cele prezentate rezultă că utilizatorul poate scrie programe atât în **L1** cât și în **L2**, dar calculatorul va executa întotdeauna instrucțiuni aferente limbajului **L1** pentru care a fost proiectat fizic. Pentru executia unui program scris în limbajul **L2** există două *tehnici* și anume:

1. **traducerea (traducerea)** care presupune înlocuirea fiecărei instrucțiuni din **L2** cu instrucțiuni **L1**, rezultând un program în **L1** care va putea fi executat direct de mașina;
2. **interpretarea** care presupune analizarea fiecărei instrucțiuni din programul scris în **L2** și executia ei printr-o secvență echivalentă de instrucțiuni din **L1**.

Având în vedere că utilizatorul lucrează cu o mașină care i se adresează în **L2** dar care execută în **L1**, să o numim **mașină virtuală** pentru a o deosebi de **mașină reală** careia utilizatorul i se adresează în **L1**, iar executia se face tot în **L1**. *În general o*

masina virtuala este o masina capabila sa execute programe scrise în limbaje de nivel superior celui accesibil nivelului fizic. Ratiunea de a fi a masinii virtuale rezulta pe de o parte din dificultatea realizarii fizice a unei masini capabile sa execute direct programe scrise în **L2**, iar pe de alta parte, din dificultatea utilizarii directe a limbajului **L1**.

Daca si programarea în **L2** este dificila se poate crea un alt limbaj **L3**, executia unui program scris în **L3** putându-se realiza prin aceleasi doua tehnici, respectiv:

1. traducerea programului într-un program echivalent scris în **L2**;
2. interpretarea fiecărei instructiuni din **L3** prin instructiuni din **L2**.

Se poate spune ca masina virtuala având limbajul **L3** are la baza masina virtuala cu limbajul **L2**. Metoda se poate extinde pentru diferite limbaje si masini din ce în ce mai performante, numite în literatura de specialitate simplu **niveluri**.

Un calculator alcatuit din n niveluri conceptuale poate fi vazut ca n masini virtuale distincte fiecare masina având propriul sau limbaj. Programele scrise în **L2, L3, ..., Ln** trebuie sa fie interpretate de un *interpretor* având un nivel mai mic sau sa fie *translatate (traduse)* într-un limbaj inferior. Programatorul care are programele scrise pentru o masina virtuala de nivelul n nu este interesat de translatoarele sau interpretoarele aflate la un nivel inferior.

Calculatoarele actuale constau din *sapte niveluri conceptual* ilustrate în fig. 1-2, la extreme situându-se *nivelul logic digital* respectiv *nivelul orientat pe aplicatie*.

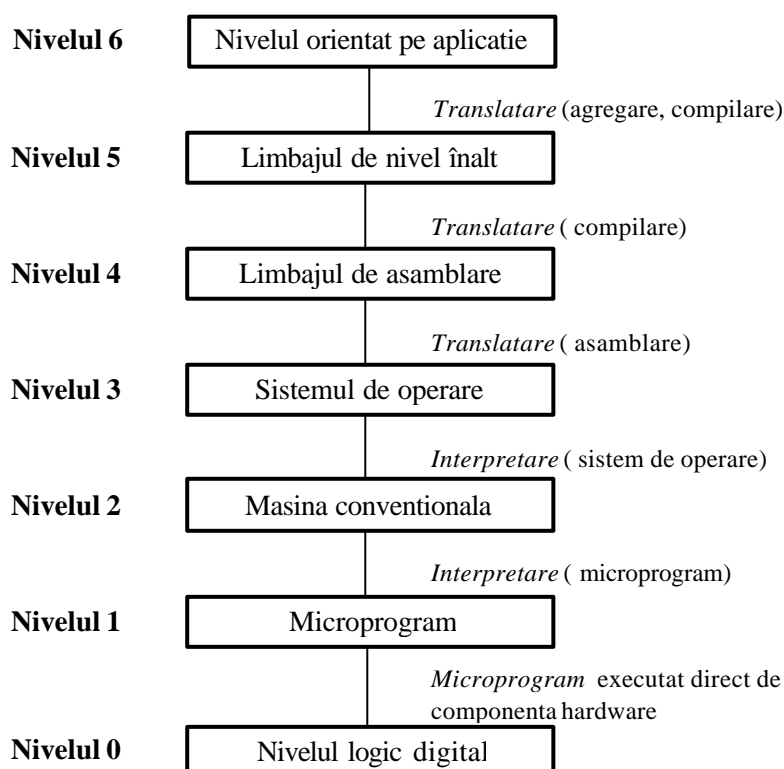


Fig. 4.1. Nivelurile de masini virtuale corespunzatoare calculatoarelor actuale.

Nivelul 0 – nivelul logic digital. Acest nivel este realizat fizic din circuite logice dintre care poarta logică este elementul fundamental. Fiecare poartă dispune de una sau mai multe intrări și întoarce ca rezultat valoarea unei funcții logice simple. Acest nivel execută instrucțiunile limbajului microprogramat (specifice nivelului 1), care acționează asupra nivelului 0 ca niște comenzi.

Nivelul 1 – nivelul microprogram. Este primul nivel care îi este asociat conceptul de program. Acest program numit *microprogram* este realizat cu un set restrâns de instrucțiuni (în medie circa 20 de instrucțiuni) de transfer și teste simple ale unor condiții. Microprogramul interpretează instrucțiunile nivelului 2 și le execută folosind resursele nivelului 0. Este de remarcat faptul că fiecare instrucțiune a nivelului 2 este executată de către un microprogram.

Nivelul 2 – nivelul mașinii convenționale (traditionale). Acest nivel se numește *nivelul mașinii convenționale* deoarece asigură compatibilitatea calculatoarelor realizate de către diferite firme. Compatibilizarea este necesară deoarece nivelurile 0 și 1 pot diferi pentru un același tip de calculator. Fiecare procesor definește în mod implicit un limbaj de nivel 2 și o mașină virtuală al cărei limbaj mașina este interpretat de un microprogram. În situația în care un calculator nu dispune de nivelul microprogramat, instrucțiunile de pe nivelul 2 sunt tratate direct de nivelul 0.

Nivelul 3 – nivelul sistemului de operare. Acest nivel este un nivel hibrid, în sensul că cea mai mare parte a instrucțiunilor care definesc limbajul aferent, L3, sunt de tip mașină. La acest nivel se realizează sarcini ce privesc gestionarea resurselor calculatorului (unitate centrală, memorie, periferice, etc.).

Este de remarcat faptul că limbajele de nivel 1, 2 și 3 sunt orientate către modul numeric și nu sunt accesibile programatorului mediu. Începând cu nivelul 4 apar limbaje formate din simboluri și cuvinte, care au o sintaxă.

Nivelul 4 – nivelul limbajului de asamblare. Limbajul de asamblare permite accesul la unele dintre resursele fizice ale mașinii în condițiile utilizării unor mnemonice mai ușor de manevrat decât codurile numerice asociate instrucțiunilor limbajului mașină.

Nivelul 5 – nivelul limbajelor de nivel înalt. La acest nivel se găsesc limbaje, numite adesea *limbaje de nivel înalt* și care sunt destinate programatorilor de aplicații. Între cele mai cunoscute mașini virtuale specifice acestui nivel sunt cele pentru limbajele **Basic, C, Cobol, Fortran, Java, Lisp, Modula-2, Pascal, Prolog**. Programele scrise în limbajele nivelului 5 sunt traduse în limbajele specifice nivelurilor 4 sau 3 de către programe specializate numite **compilatoare**.

Nivelul 6 – nivelul aplicație. Acest nivel este destinat aplicațiilor specializate și conține limbaje destinate unor aplicații cum ar fi: proiectarea asistată, economie, administrație, grafică, etc.)

În concluzie se poate spune că un calculator poate fi văzut ca o suită de niveluri, fiecare nivel înglobându-le pe cele precedente. În acest sens un nivel prezintă un anumit grad de abstractizare și conține diverse obiecte și operații cu aceste obiecte. În sens ascendent crește *complexitatea prelucrării* iar în sens descendent crește *volumul materialului prelucrat*.

Pentru fiecare nivel mașina se definește **arhitectura calculatorului** ca fiind *totalitatea tipurilor de date, operațiilor și facilităților vizibile și accesibile programatorilor*.

Structura calculatorului stabilește și definește componentele necesare realizării funcțiilor specificate. În principiu se poate vorbi de o abordare structurală și în cadrul fiecărui nivel dar în general aceasta are în vedere mașina în ansamblul său. După cum se va vedea cvasitotalitatea calculatoarelor realizate până în prezent respectă structura definită de von Neumann în 1945 (se va reveni).

În afara notiunilor de *arhitectura și structura* CN mai sunt caracterizate și prin notiunile de *hardware, software, firmware*.

Notiunea **hardware** încadrează totalitatea componentelor fizice (electronice, electrice, mecanice etc.) aferente unui sistem de calcul. Practic caracteristicile *hardware* definesc mașina de nivel 0 care execută programul mașinii de nivel 1.

Notiunea **software** încadrează totalitatea programelor și procedurilor care conferă unui calculator capacitatea de a executa sarcini specifice.

Notiunea **firmware** încadrează componente software nemodificabile încorporate de către fabricanți în anumite dispozitive electronice.

4.2. Evoluția CN din punct de vedere al resurselor fizice

Istoria dezvoltării calculatoarelor poate fi privită din două puncte de vedere și anume:

- evoluția diferitelor niveluri de mașini virtuale și a limbajelor asociate lor;
- evoluția tehnologiilor în care a fost realizată mașina de nivel 0 (mașina fizică) având limbajul L1.

Urmărirea evoluției CN trebuie analizată din perspectiva asigurării resurselor importante pentru acestea, ilustrate în figura 4.2 și anume:

- resurse de calcul și comandă (RCC);
- resurse de memorare (RM);
- resurse de introducere și extragere a datelor (RP);
- resurse de comunicație (RT);
- resurse de programare (RS).

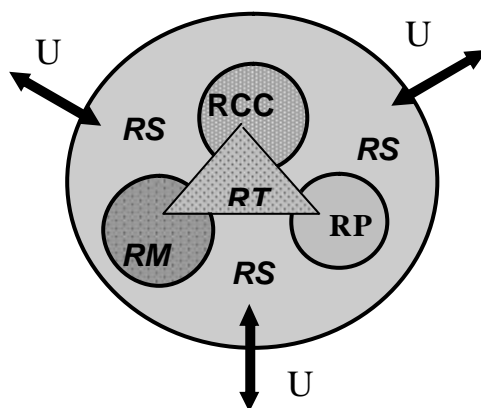


Fig. 4.2. Structura generală a unui sistem de calcul.

În evoluția instrumentelor destinate realizării de operații aritmetice (în care sunt incluse și CN) pot fi identificate 4 etape concretizate în 4 tipuri de mașini și anume:

- I. mașini manuale;
- II. mașini mecanice;
- III. mașini electromecanice;
- IV. mașini electronice.

Tot evoluția CN mai poate fi caracterizată cu ajutorul așa numitelor **generații**. Până în prezent sunt identificate 5 generații de CN G0...G4, între care prima grupă toate calculatoarele „preelectronice”, celelalte 4 fiind asociate în exclusivitate calculatoarelor electronice.

- **G1 - generația a întâia de CN – tuburile cu vid (1945 – 1955)**

Circuitele logice aferente CN din G1 erau realizate cu tuburi electronice caracterizate de un consum energetic ridicat. Contineau o unică memorie realizată cu tambur magnetic. Periferia era extrem de redusă și se reducea la un cititor/perforator de hârtie. Reperoriul de instrucțiuni se reducea la 10-20 de instrucțiuni simple care de regulă defineau limbajul L1 (cel mult L2), iar raportul timpilor în care se realiza o înmulțire respectiv o adunare era 20/1.

- **G2 - generația a doua de CN – componente discrete (1955 – 1965)**

În 1948 *John Bardeen, Walter Brattain și William Shokley* de la Bell Telephone Laboratories au inventat tranzistorul, invenție pentru care în 1956 au primit premiul Nobel pentru fizică. Apariția componentelor electronice fără purtători mobili de sarcină electrică a condus la apariția unei noi generații de CN care și se pot evidenția următoarele caracteristici:

- utilizarea dispozitivelor semiconductoare (diode și tranzistori cu Ge și apoi cu Si) ce ofereau un gabarit redus, putere disipată mai mică, siguranță în funcționare mai ridicată, eliminarea fenomenelor de radiație;
- memorii pe inele de ferită (din 1959) cu timpi de acces de ordinul a 2-12 μs (de 1000 de ori mai rapidă decât memoria pe tambur magnetic);
- interconectarea componentelor era realizată pe cablaj imprimat, aspect ce a permis modularizarea și implicit usurarea activității de întreținere și depanare;
- perfecționări în domeniul echipamentelor periferice prin apariția unităților de discuri și banda magnetică, primele imprimante etc.;
- performanțele cresc în condițiile reducerii costurilor (trimp înmulțire / timp adunare = 10/1 ;
- apar primele versiuni ale limbajelor de nivel înalt

- FORTRAN (**FOR**mula **TRAN**slation) dezvoltat între anii 1954-1958 de Jim Backus și destinat aplicațiilor științifice;

- COBOL (**CO**mmon **B**usiness-**O**riented **L**anguage) dezvoltat între anii 1959-1961 la solicitarea Departamentului Aparării a SUA și destinat aplicațiilor în care se prelucrează volume mari de date;

- ALGOL (**ALGO**rithmic **L**anguage) lansat în 1959, a fost primul limbaj structurat, utilizat pe scară largă în Europa.

- **G3 - generația a treia de CN – circuite integrate (1965 – 1980)**

Apariția acestei generații a fost determinată de inventarea circuitelor integrate CI, care grupau pe o pată de siliciu mai multe componente.

Principalele caracteristici ale CN din această generație sunt:

- utilizarea CI pe scară redusă (**SSI - Small Scale Integration**) cu până la 100 tranzistoare / chip;
- utilizarea memoriilor semiconductoare cu timpi de acces de ordinul a 0,5 – 1,75 μ s;
- memorii externe de mare capacitate: discuri de masă capabile să stocheze până la 1 MB de informație.

Sistemele care s-au impus atenției din această generație au fost **IBM 360** și **PDP 11**.

- **G4 - generația a patra de CN – circuite VLSI (după 1980)**

Apariția acestei generații a fost posibilă datorită perfecționării în primul rând a tehnologiilor din industria electronică și se caracterizează prin următoarele aspecte importante:

- utilizarea masivă a circuitelor integrate pe scară foarte largă (**VLSI – Verry Large Scale Integration**) – și în primul rând a **microprocesoarelor** care integrează milioane de tranzistori pe un cip și care prezintă timpi de comutație de ordinul ns.;
- dezvoltarea de noi tipuri de memorii (MOS, magnetice, holografice) și echipamente periferice orientate pe sesizarea primară a datelor;
- interconectarea calculatoarelor în rețele însoțită de întreprinderea industriilor de calculatoare și de telecomunicații;
- apariția și dezvoltarea mediilor de programare complexe cu puternice facilități grafice.

Odată cu generația a IV-a calculatorul devine un instrument individual de lucru, accesibil ca preț și cu performanțe care erau de neimaginat pentru vechile generații.

Întrucât microprocesorul (μ P) a avut un cuvânt greu de spus în ceea ce privește performanțele generației a IV-a în continuare vor fi prezentate câteva elemente referitoare la evoluția μ P produse de două dintre cele mai importante firme și anume **Intel** și **Motorola**.

4.3. Evoluția CN din punct de vedere al Sistemelor de operare

Sistemul de operare (SO) în calitate de pachet de programe cu care se asigură gestionarea resurselor unui sistem de calcul orientează un calculator către un anumit tip de prelucrare. Din punctul de vedere al modului în care un SO gestionează resursa timp a UCP pot fi identificate următoarele tipuri de prelucrări:

- procesarea pe loturi (*batch processing*);
- multiprogramarea (*multiprogramming*);
- divizarea timpului (*time – sharing*);
- multiprocesarea (*multiprocessing*).

Prelucrarea pe loturi implică executia aplicațiilor pe rând, conform unei programări anterioare; pentru fiecare aplicație existând succesiunea *intrare, prelucrare, iesire*.

Multiprogramarea presupune ca la un moment dat mai multe aplicații pot fi active în diverse faze.

Divizarea timpului implică repartizarea timpului UCP diverselor aplicații. .

Multiprocesarea presupune existența mai multor unități de prelucrare (procesoare) conectate între ele și care execută una sau mai multe aplicații în tandem. Scopul multiprocesării este acela de a mări viteza de execuție și de a crește puterea de calcul.

4.3. Arhitecturi de calculatoare numerice

Cvasitotalitatea calculatoarelor realizate până în prezent se bazează pe arhitectura propusă de **von Neumann**.

Într-un articol publicat în 1947 von Neumann, e expus cerințele următoare care sunt respectate de către toate mașinile (M) realizate până în prezent.

1. **M** să aibă un *mediu de intrare* prin intermediul căruia să poată fi introdus un număr practic nelimitat de date și de instrucțiuni.

2. **M** să aibă o *memorie* unde să fie depuse operanzii și instrucțiunile și de unde să poată fi preluate rezultatele în ordinea dorită.

3. **M** să aibă o *secțiune de calcul* care să fie capabilă să execute operații aritmetice și logice asupra datelor din memorie.

4. **M** să aibă un *mediu de ieșire* prin intermediul căruia să poată fi comunicat utilizatorului un număr practic nelimitat de rezultate.

5. **M** să aibă o *unitate de comandă* capabilă să interpreteze instrucțiunile citite din memorie și pe baza informațiilor furnizate de către secțiunea de calcul să fie capabilă să decidă între mai multe variante de desfășurare a operațiilor.

6. Datele și instrucțiunile să fie stocate în memorie sub aceeași formă.

Pe baza acestor cerințe poate fi realizat modelul funcțional al unui CN din figura 4.3.

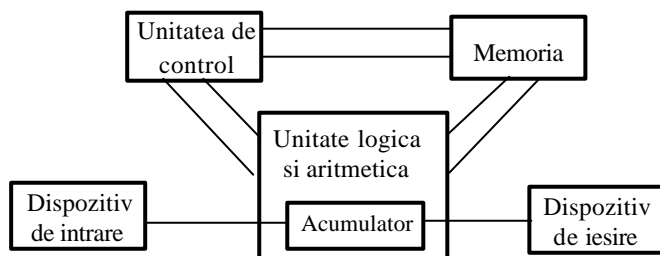


Fig. 4.3. Modelul funcțional al mașinii lui John von Neumann.

Evident conform cerințelor formulate de von Neumann atât datele cât și instrucțiunile se găsesc într-o unică memorie.

Referitor la clasificarea diverselor tipuri de arhitecturi, (generate din arhitectura de bază von Neumann) s-au impus atenției două clasificări și anume **Flinn** și **Wang**.

- **Clasificarea Flinn (1966)**

Din punct de vedere conceptual funcționarea unui sistem de calcul poate fi văzută ca acțiunea unui *flux de instrucțiuni* (care reprezintă programul) asupra unui *flux de date* (care reprezintă datele de intrare sau rezultate parțiale).

Clasificarea Flinn, care are vedere gradul de multiplicitate al celor doua fluxuri, identifica patru tipuri de arhitecturi si anume:

- **SISD** (**S**ingle **I**nstruction **S**tream – **S**ingle **D**ata **S**tream);
- **SIMD** (**S**ingle **I**nstruction **S**tream – **M**ultiple **D**ata **S**tream);
- **MISD** (**M**ultiple **I**nstruction **S**tream – **S**ingle **D**ata **S**tream);
- **MIMD** (**M**ultiple **I**nstruction **S**tream – **M**ultiple **D**ata **S**tream).

- **Clasificarea Wang (1972)**

Aceasta clasificare presupune o organizare matriceala a datelor. O matrice de dimensiune $m \times n$ presupune existenta a m cuvinte, fiecare cuvânt cu lungimea de n biti (figura 4.4).

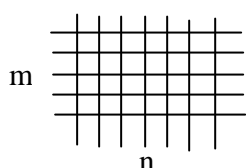


Fig. 4.4. Organizarea datelor într-o matrice.

Criteriul este reprezentat de gradul de paralelism în procesarea datelor organizate matriceal. Conform acestui criteriu exista patru tipuri de arhitecturi si anume:

- **WSBS** (**W**ord **S**erial – **B**it **S**erial) – se lucreaza pe un singur cuvânt, fiecare cuvânt fiind prelucrat bit cu bit, respectiv $n=1, m=1$;
- **WSBP** (**W**ord **S**erial – **B**it **P**aralel) – se lucreaza pe un singur cuvânt, bitii fiecarui cuvânt fiind prelucrați simultan, respectiv $n>1, m=1$;
- **WPBS** (**W**ord **P**aralel – **B**it **S**erial) – se lucreaza pe un singur bit la toate cuvintele simultan, respectiv $n=1, m>1$;
- **WPBP** (**W**ord **P**aralel – **B**it **P**aralel) – se lucreaza simultan pe toate cuvintele si pe toti bitii fiecarui cuvânt fi, respectiv $n>1, m>1$

Structura **WPBP** este complet paralela fiind orientata pe prelucrari de matrice $m \times n$, în timp ce structurile **WSBP** si **WPBS** sunt partial paralele fiind orientate pe prelucrari vectoriale (**WSBP** – orizontala $1 \times n$, **WPBS** – verticala $m \times 1$). În ceea ce priveste arhitectura **WSBS** aceasta nu are elemente de paralelism.

4.4. Structura unui calculator numeric

Majoritatea calculatoarelor moderne respecta structura definita în 1947 de von Neumann. Notele specifice sunt date de *tehnologia de realizare, modalitatile de conectare a elementelor componente, performantele realizate*.

În figura 4.5 se prezinta o structura specifica mării majoritati a calculatoarelor actuale, structura în care pot fi evidentiata urmatoarele elemente:

- **Unitatea Centrala de Prelucrare (UCP)**;
- **Memoria (M)**;
- **Dispozitive de Intrare (DI)**;
- **Dispozitive de iEsire (DE)**.

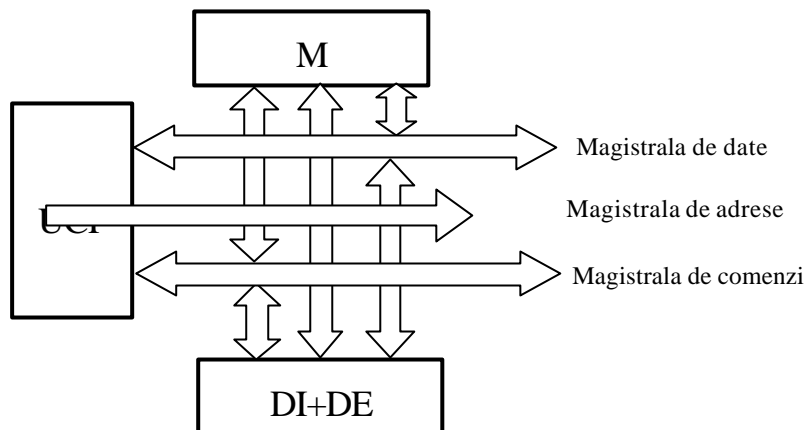


Fig. 4.5. Schema bloc a unui calculator.

Liniile de comunicație între cele patru module sunt grupate în **magistrale**. Informația vehiculată *date, adrese și semnale de comandă*, astfel încât în structura calculatorului există trei magistrale, respectiv:

- magistrala de date;
- magistrala de adrese;
- magistrala de comenzi.

Unitatea centrală de prelucrare (UCP) reprezintă nucleul unui calculator, asigurând practic executia programelor stocate în memorie. Cele trei componente importante care asigură disponibilitatea UCP sunt:

- **Unitatea de Comandă (UC)**;
- **Unitatea Aritmetică și Logică (UAL)**;
- **Registrele Generale (RG)**.

Unitatea de Comandă aduce instrucțiunile din memorie, determină tipul lor după care descompune fiecare instrucțiune într-o secvență de faze. Fiecare fază este caracterizată de un set de microcomenzi a căror finalitate este reprezentată de efectuarea unor operații elementare în unitățile de execuție ale UCP respectiv *registre, UAL, memorie, interfețe de intrare / ieșire*.

După cum se observă din figura 4.6, în care se prezintă structura UCP, unitatea de comandă conține mai multe module care fac posibilă realizarea funcțiilor sale.

- **Registrul de Instrucțiuni (RI)** păstrează codul instrucțiunii în curs de execuție.
- **Numaratorul de Program (NP)** conține adresa instrucțiunii curente.
- **Registrul de Stare (RS)** este format dintr-un set de bistabile de stare care conțin informații legate de modul de execuție a instrucțiunilor (validarea întreruperilor, execuția pas cu pas, etc.), rezultatele operațiilor aritmetice și logice (depasire de capacitate de reprezentare, transport spre rangul superior, etc.), sau informații legate de conținutul anumitor registre (par sau impar, zero, etc.).

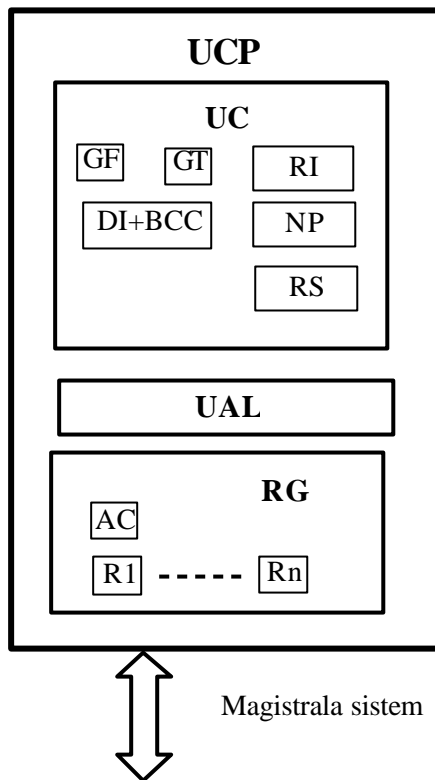


Fig. 4.6.
Structura UCP.

- **Blocul Circuitelor de Comanda (BCC)** semnalele de comanda (specifice tipului unei instrucțiuni, fazei curente și informației de stare) necesare execuției instrucțiunilor.
- **Generatorul de Tact (GT)** generează semnalul de tact (a cărui frecvență determină viteza de lucru) pentru funcționarea sincronă a întregului calculator.
- **Generatorul de Fază (GF)** creează succesiunea specifică de faze care compun o instrucțiune. Faza următoare este determinată de faza curentă, tipul instrucțiunii și informația de stare din UCP.

Unitatea Aritmetică și Logică (UAL) execută totalitatea operațiilor aritmetice (adunare, scădere, înmulțire, împărțire) și logice (Si, SAU, NU, SAU EXCLUSIV, etc.). O importanță aparte pentru UAL prezintă registrul acumulator AC, care de multe ori este tratat ca făcând parte din aceasta.

Registrele Generale (RG) păstrează date cu care lucrează programul în execuție, având rolul unor locații de memorie rapidă. Registrul acumulator este implicat în totalitatea operațiilor efectuate de UAL păstrând unul din operanzi și rezultatul.

Memoria (M) sistemelor de calcul are rolul de a păstra informația (programe sau date) utilizată de UCP sau dispozitivele periferice.

Cantitatea minimă de informație care poate fi memorată de calculator este de **un bit (binary digit)**. Informația de *un bit* corespunde probabilității de realizare a unui eveniment dintr-un câmp de două evenimente echiprobabile. Un *bit* poate exprima o cifră binară (**0** sau **1**) sau o condiție logică (**adevărat sau fals**). Din punct de vedere fizic un bit poate fi reprezentat printr-un nivel de tensiune (înalt sau coborât), starea de

magnetizare sau nu a unei mici porțiuni de pe suprafața unui disc magnetic, transparența sau opacitatea unui punct de pe un disc optic etc.

Deoarece msanevrarea informației la nivel de bit este greoaie, uzual se utilizează multipli ai acestuia:

- 1 octet = 1 Byte = 8 bit;
- 1 Koctet = 1 KB = 10^3 octet = 1024 octet (Byte);
- 1 Mcoctet = 1 MB = 10^6 KB = 1024 KB;
- 1 Gcoctet = 1 GB = 10^9 MB = 1024 MB;
- 1 Tcoctet = 1 TB = 10^{12} GB = 1024 GB.

De regula memoria unui sistem este organizată în cuvinte a câte un octet.

În funcție de informația păstrată memoria poate fi organizată ca **memorie principală** (*intern, operativă*) sau ca **memorie secundară** (*externă, auxiliară*). În capitolul 5 dedicat prezentării *subsistemului memorie*, aceasta va fi abordată în cadrul unei structuri ierarhice.

Memoria principală (MP) conține informația în curs de prelucrare cum ar fi programul în execuție și date cu care operează acesta. Pentru a se realiza o viteză ridicată de transfer MP este conectată direct la magistralele sistemului (figura 4.7). Adresa locației referite este păstrată în **Registrul de Adrese (RA)**, iar datele citite/scrise din/în memorie se păstrează în **Registrul de Date (RD)**. Prezența lor este absolut necesară deoarece magistralele nu trebuie reținute pe toată durata transferului în/din memorie.

Circuitele de control ale memoriei (CCM) generează semnalele de selecție și comanda a modulelor de memorie.

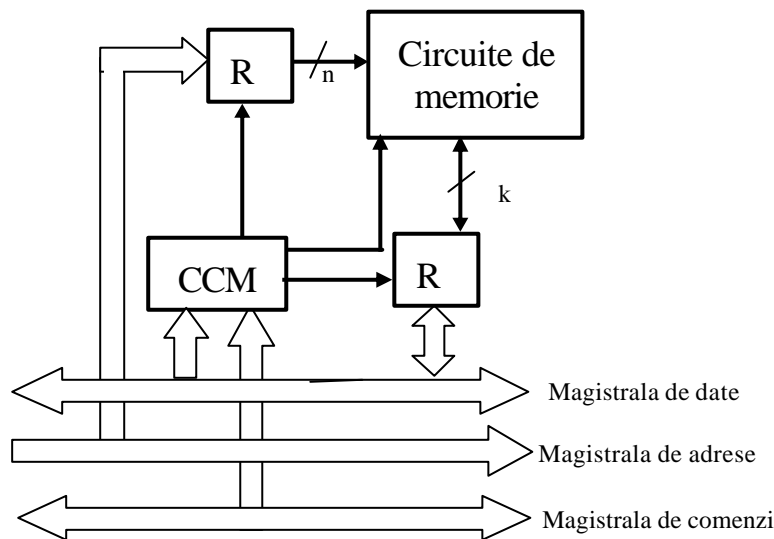


Fig. 4.7. Schema bloc a unei unități de

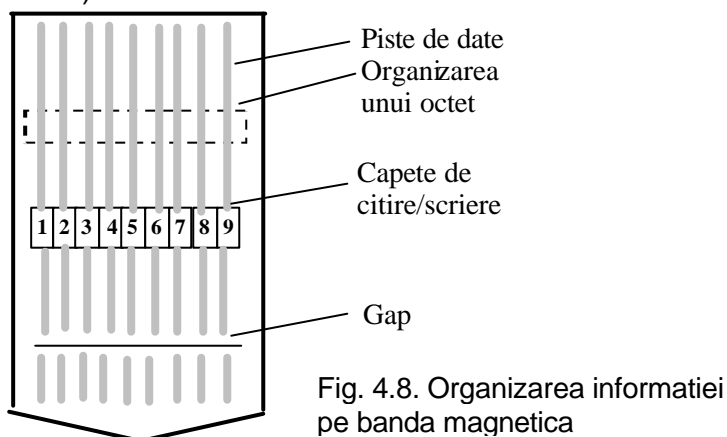
MP este realizată în diverse tehnologii cum ar fi: *circuite semiconductoare (RAM, ROM, EPROM), inele de ferită, bule magnetice, etc.*

În continuare prin *memorie* sau *unitate de memorie* vom denumi implicit memoria internă. Numai în anumite cazuri, care vor fi precizate în momentul referirii, prin *memorie* vom înțelege întregul spațiu sau suport de memorare al unui sistem respectiv *memoria internă și memoria externă*.

Memoria secundară (MS) este constituită din suporturile aferente unor dispozitive periferice care asigură o viteză de transfer ridicată, dar mult mai mică decât viteza de lucru a memoriei principale. Această diferență de viteză este compensată de un decalaj de capacitate, net în favoarea memoriei secundare. Dintr-un anumit punct de vedere se poate considera că MS are practic o capacitate nelimitată (de exemplu capacitatea memoriei realizate pe discuri optice depinde de dimensiunea arhivei de discuri, respectiv de numărul discurilor utilizate ca suport de memorare).

În continuare se vor face scurte considerații referitoare la principalele tipuri de suporturi.

- *Banda magnetică-magnetic tape (MT)* a fost printre primele suporturi utilizate ca memorie secundară. MT reprezintă practic o panglică confecționată dintr-un material plastic numit *mylar* care este acoperit cu un material magnetic. Informația este organizată pe 9 piste longitudinale dintre care 8 pentru date și una pentru bitul de paritate transversală, citirea și scrierea datelor fiind realizate de către două capete magnetice (figura 4.8).



Gruparea de 9 biți se numește *cadru*, mai multe cadre sunt grupate într-o *înregistrare fizică*, iar două înregistrări fizice sunt separate printr-un *gap*.

În cazul benzii magnetice accesul este secvențial iar cantitatea minimă de informație ce se poate transfera printr-o operație de citire/scriere este cea conținută într-o înregistrare fizică. Accesul secvențial presupune citirea tuturor înregistrărilor situate între cea curentă și cea referită, cu consecințe directe asupra timpului de acces care nu este constant ci poate varia între fracțiuni de secundă și sute de secunde.

Cu toată această viteză redusă, banda magnetică este utilizată pentru păstrarea unor arhive de date (de exemplu salvările de date care se fac periodic în sistemele informatice – *backup*).

- *Discul magnetic rigid – hard disk (HD)* este format dintr-un disc din metal cu diametrul între 5 și 10 ” acoperit cu material magnetic pe una sau ambele fețe. Mai multe discuri fixate pe un ax formează o *pila* de discuri (figura 4.9).

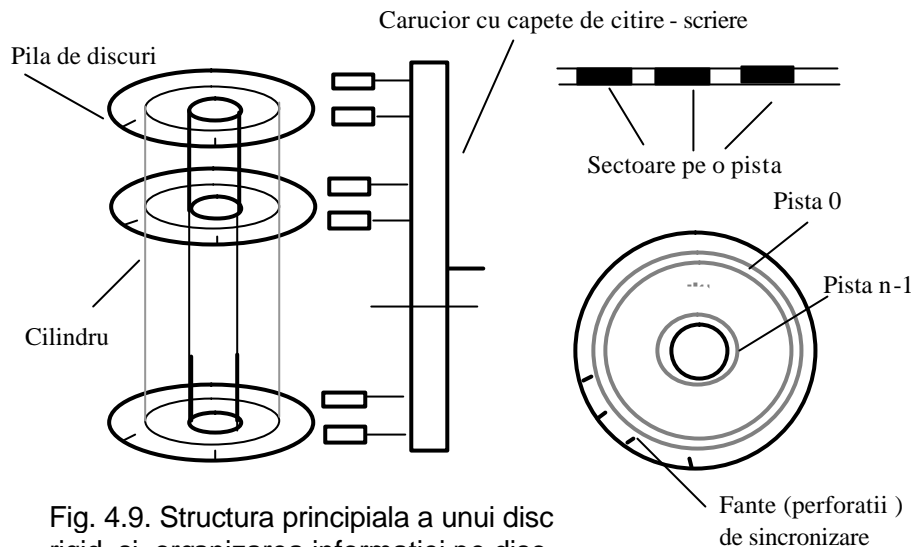


Fig. 4.9. Structura principală a unui disc rigid și organizarea informației pe disc.

Pe fiecare disc informația este organizată pe un număr de cercuri concentrice numite *piste*. Pistele cu același diametru de pe toate discurile, formează un *cilindru*. Pistele sunt împărțite în *sectoare*, care reprezintă blocurile fizice în care se codifică datele. Un sector are un identificator, respectiv un număr unic prin care sectorul este referit. Un disc conține între 40 și câteva sute de piste, o pista conține între 10 și 100 de sectoare, iar un sector între 128 și 1024 de octeți (tipic 512).

- ✓ O unitate de HD cu n discuri conține un carucior cu $2n$ capete de citire/scriere (CCS) care se deplasează radial de la o pista la alta. Prin rotația discurilor se formează o pernă de aer între capete și suprafața magnetică, astfel încât citirea/scrierea se efectuează fără contact direct între cele două elemente.

Un transfer cu HD se specifică prin următoarele elemente:

- a. cilindrul și capul de scriere/citire care împreună identifică o pista unică;
- b. numărul sectorului unde începe blocul ce va fi transferat;
- c. numărul de cuvinte transferate;
- d. adresa de început a zonei din memorie unde/de unde se va efectua transferul;
- e. tipul operației (citire sau scriere).

Pilele de disc formează un așa numit *hard-disk*, *disk dur* sau *disk rigid*. Cel mai utilizat model este discul *Winchester*, format dintr-o pilă de disc încapsulată, cu capacități uzale de zeci de GB.

- *Discul magnetic flexibil – floppy disk (FD)* este format dintr-un disc flexibil din *mylar* acoperit cu un material magnetic. Spre deosebire de discul dur, capetele sunt în contact permanent cu suprafața discului în timpul operațiilor de citire/scriere. Contactul direct permite o densitate mai mare de înregistrare, în condițiile în care vitezele, fiabilitățile și duratele de exploatare mai reduse.

Astăzi cele mai răspândite sunt discurile (*disketele*) cu diametrul de 3,5" care prezintă următoarele caracteristici:

- 1,44 MB capacitate de stocare;
- 80 de piste;
- 18 sectoare pe pista;
- 2 capete de citire/scriere;
- 300 rot/min viteza de rotație;
- 500 Kbps rata de transfer.

• *Discul optic* este realizat pe baza aceluiași principii ca discul compact audio și se numește **CD ROM – Compact Disk Read Only Memory**. Suportul este constituit dintr-un disc metalic lustruit, fără proprietăți magnetice, acoperit cu un strat în materia plastic care poate stoca până la 640 MB informație. Informația este înregistrată pe o pistă continuă în spirală (figura 4.10) fiind citită secvențial. Procesul de înscriere a informației presupune efectuarea cu ajutorul unei raze laser a mici găuri (*pits*) cu dimensiuni de ordinul micronilor în suportul metalic. Citirea discului se face tot optic cu ajutorul unei surse laser și a unui sistem de oglinzi. Un detector măsoară energia razei laser reflectate, interpretând astfel informația înscrisă pe disc.

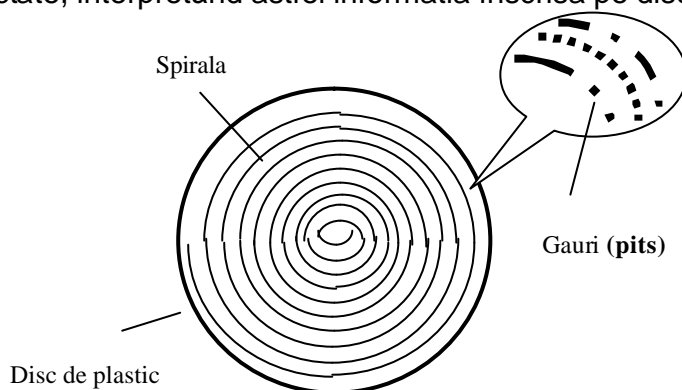


Fig. 4.10. Formatul discului optic CD-ROM.

Informația este organizată pe blocuri, fiecare bloc conținând mai multe grupe de octeți.

În momentul actual sunt accesibile și discurile WORM (Write Once Read Many times) care permit o singură înscrisură și oricâte citiri. Ele se deosebesc principal de CD-ROM în sensul că acestea din urmă sunt înscrise prin procesul de fabricație. Există și CD-RW (Compact Disc – ReWritable), compact disc cu reînscrisură la care înscrisura este magnetică iar citirea optică.

Performanțele discurilor optice apropiate momentului când acestea vor înlocui dischetele în sensul operării on-line, într-o unică unitate similară FDD.

Dispozitive de intrare/ieșire (DIE). Acestea asigură introducerea și extragerea informației în/din calculator. Numite și *Dispozitive Periferice (DP)* acestea pot îndeplini mai multe categorii de funcții cum ar fi: comunicarea dintre calculator și utilizatorul uman, comunicarea între calculatoare, legătura cu procese reale etc.

DIE se conectează la unitatea centrală prin intermediul *interfetelor de intrare/iesire* (figura 4.11), a căror complexitate variază foarte mult de la simple *registre* până la *controlere inteligente realizate cu microprocesor*. Din punctul de vedere al sistemului de operare DIE sunt văzute ca *fisiere* iar interfetele în calitate de *canale de comunicație*.

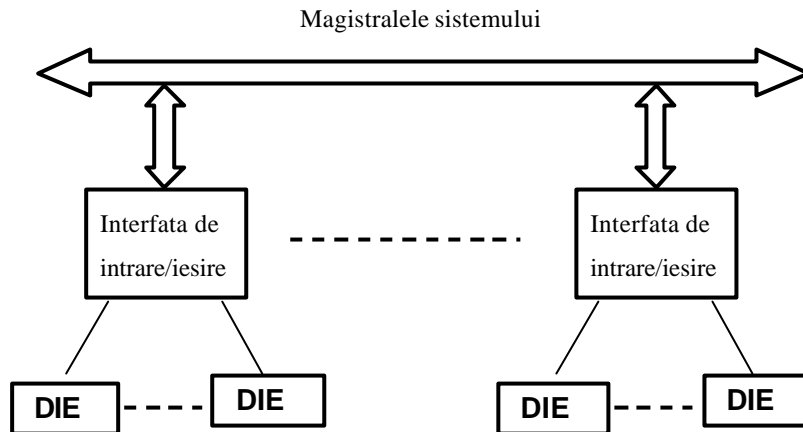


Fig. 4.11. Conectarea dispozitivelor periferice la magistralele de sistem.

- **Dispozitive de ieșire.** Din punctul de vedere al suportului folosit pentru vizualizarea informației extrase din calculator există două tipuri de dispozitive de ieșire:

- *dispozitive hardcopy* – exemplu: imprimante cu ace, laser, cu jet de cerneală, termică; plotterele cu penită sau electrostatic - creează imaginea fixă, stabilă pe un suport fizic cum ar fi hârtia sau folia de plastic;
- *dispozitive de afișare* – exemplu: dispozitive cu tub catodic monocrom sau color (CRT), tuburile cu memorare directă (DVST), dispozitivele de afișare cu cristale lichide (LCD), ecrane cu plasmă, dispozitive de afișare electroluminiscente – sunt caracterizate de o anumită frecvență de reînprospătare a imaginii pe un ecran, putându-se obține și efecte dinamice.

- **Dispozitive de intrare.** Servesc la introducerea datelor sub diverse forme în sistem. Există șase dispozitive logice de introducere a datelor grafice și anume: *locator* (locator), *flux* (stroke), *optiune* (choise), *culegere* (pick), *text* (text), *valoare* (valuator). Pentru acestea au fost realizate dispozitive fizice cum ar fi: *tableta grafică*, *mouse*, *trackball*, *joystick*, *ecranul senzitiv*, *creionul optic*, *butoane*, *chei*, *țastatură*, *valoare*.