

Dragoș Ionel Cosma • Irina Aura Manolache

iera tehnologică • profil **TEHNIC**

Reglarea automată a parametrilor proceselor tehnologice



Programa școlară aprobată de

Ministerul
Educației,
Cercetării,
Tineretului
și Sportului

Manual pentru clasa a XII-a

Dragoș Ionel Cosma
Irina Aura Manolache



Reglarea automată a parametrilor proceselor tehnologice

Manual pentru clasa a XII-a
Filieră tehnologică



EDITURA CD PRESS
WWW.CD.PRESS.RO

Editor: Costin DIACONESCU
Redactor: Aura GÎGĂ
Corector: Vlad DOBRESCU
Tehnoredactor: Mihaela ARAMĂ
Copertă: Valeriu STIHI
Foto copertă: dreamstime.com
Desene, fotografii: Dragoș Ionel COSMA, Irina Aura MANOLACHE

Editat și distribuit de Editura CD PRESS
București, str. Logofăt Tăutu, nr. 67, sector 3
Cod 031212
Tel.: 021.337.37.17, 021.337.37.27, 021.337.37.37
Fax: 021.337.37.57
e-mail: office@cdpress.ro
www.cdpress.ro

Comenzi:

@ comenzi@cdpress.ro
☎ 021.337.37.37
🌐 www.cdpress.ro

©Copyright CD PRESS, 2012

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
COSMA, DRAGOȘ IONEL

Reglarea automată a parametrilor proceselor tehnologice :
manual pentru clasa a XII-a / Dragoș Ionel Cosma, Irina Aura
Manolache. - București : CD PRESS, 2012

Bibliogr.

ISBN 978-606-528-132-5

I. Manolache, Irina Aura

62(075.35)

Manualul este realizat în conformitate cu programa școlară aprobată
prin Ordinul Ministerului Educației, Cercetării și Inovării nr. 4857 din 31.08.2009.

Editura CD PRESS este recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice din Învățământul Superior (CNCSIS)
www.cnscis.ro

Cuvânt-înainte

*„Școala trebuie să urmărească tot timpul
ca tânărul să părăsească băncile ei, nu ca specialist,
ci ca o personalitate armonioasă.”*

Albert Einstein

Manualul **Reglarea automată a parametrilor proceselor tehnologice** se adresează atât elevilor, cât și profesorilor de licee, pe filiera tehnologică, de profil tehnic, cu specializările din domeniul electronică și automatizări, dar și celor care doresc să se autoinstruiască în acest domeniu.

Manualul este structurat pe noțiunile teoretice și practice necesare cunoștințelor din domeniul reglărilor automate.

Modulul „Reglarea automată a parametrilor proceselor tehnologice” se studiază în *clasa a XII-a la liceele tehnologice*, în vederea asigurării pregătirii de specialitate, în calificarea *tehnician în automatizări*, din profilul tehnic.

Modulul face parte din lucrarea „Stagii de pregătire practică” (aria curriculară „Tehnologii”), are alocat un număr de **50 de ore/an**, și urmărește obținerea următoarelor competențe:

- corelarea componentelor unui sistem de reglare-automată a unui parametru cu elementele schemei-bloc a unui SRA;
- examinarea modului de conectare a elementelor componente pentru realizarea unui SRA cu structură evoluată;
- analiza utilizării automatelor programabile în conducerea unui proces tehnologic.

Lucrarea a fost structurată în șapte capitole axate, proporțional, pe noțiunile teoretice și practice, conform programei, după cum urmează:

- Capitol introductiv – Sisteme de reglare automată;
- Capitolul 1 – Sisteme de reglare automată a temperaturii;
- Capitolul 2 – Sisteme de reglare automată a presiunii;
- Capitolul 3 – Sisteme de reglare automată a nivelului;
- Capitolul 4 – Sisteme de reglare automată a debitului;
- Capitolul 5 – Sisteme de reglare automată a umidității;
- Capitolul 6 – Sisteme de reglare automată în cascadă;
- Capitolul 7 – Automate programabile.

Lucrarea are o structură complexă, urmărindu-se realizarea unei conexiuni între teorie și realitate. Fiecare capitol are în componența sa foarte multe fișe de lucru, pentru a ușura înțelegerea noțiunilor. Testele de evaluare cu itemi diverși constituie o modalitate de a verifica dacă s-au înțeles conținuturile capitolului parcurs.

Acestea sunt circumstanțele care ne-au îndemnat să realizăm această lucrare, în care ne propunem, în folosul tuturor celor interesați în perfecționarea activității de învățământ, să sintetizăm atât ceea ce am considerat important în patrimoniul de idei și tehnici acumulate în această direcție, cât și să facem cunoscute unele concluzii desprinse din experiență.

Autorii

Cuprins

CAPITOL INTRODUCATIV – Sisteme de reglare automată	5
1. Elemente componente	5
2. Parametrii tehnici supravegheați	6
3. Schema funcțională a unui SRA	6
4. Clasificarea SRA	9
5. Regimuri fundamentale de funcționare ale SRA	11
6. Legile de reglare	11
CAPITOLUL 1 – Sisteme de reglare automată a temperaturii	15
1.1. Temperatura	15
1.2. Măsurarea electrică a temperaturii	19
1.3. Activități experimentale și aplicații	22
EVALUARE	26
CAPITOLUL 2 – Sisteme de reglare automată a presiunii	27
2.1. Presiunea	27
2.2. Aplicații	35
EVALUARE	40
CAPITOLUL 3 – Sisteme de reglare automată a nivelului	42
3.1. Nivelul	42
3.2. Tipuri de reglatoare de nivel	47
3.3. Aplicații	51
EVALUARE	59
CAPITOLUL 4 – Sisteme de reglare automată a debitului	61
4.1. Debitul	61
4.2. Măsurarea consumului de carburant	68
4.3. Aplicații	69
EVALUARE	74
CAPITOLUL 5 – Sisteme de reglare automată a umidității	77
5.1. Umiditatea	77
5.2. Măsurarea umidității	79
5.2.1. Programul informatic CoolPack	82
5.2.2. Programul Fluidsim	85
5.2.3. Controlul umidității în locuințe	87
5.3. Aplicații	88
5.3.1. Detector de picături de ploaie	89
5.3.2. Traductor de umiditate cu tranzistoare	90
5.3.3. Traductor de umiditate cu releu electromagnetic	91
EVALUARE	93
CAPITOLUL 6 – Sisteme de reglare automată în cascadă	94
6.1. Reglarea în cascadă	94
6.2. Aplicații	96
EVALUARE	102
CAPITOLUL 7 – Automate programabile	104
7.1. Introducere	104
7.2. Clasificarea automatelor programabile	105
7.2.1. Automate programabile cu prelucrare la nivel de bit	106
7.2.2. Programarea automatului programabil la nivel de bit	109
7.3. Aplicații	111
7.4. Alegerea unui automat programabil	116
EVALUARE	118
REZOLVĂRI TESTE DE EVALUARE	119
Bibliografie	120

Sisteme de reglare automată

Procesele de producție înregistrează transformări continue, redate prin reducerea treptată a muncii fizice a omului, simultan cu creșterea ponderii muncii intelectuale pentru conducerea mașinilor, a dispozitivelor și a instalațiilor.

Automatica este ramura științei și tehnicii care cuprinde totalitatea metodelor și a mijloacelor tehnice prin care se stabilesc legături corespunzătoare între instalațiile tehnologice și dispozitivele anume introduse, astfel încât conducerea proceselor de producție să se desfășoare fără intervenția directă a omului.

Principalele **avantaje** ale introducerii automatizării sunt de ordin:

- **economic:** determină mărirea productivității, reducerea consumului de materie primă și de materii auxiliare, reducerea numărului instalațiilor necesare în producție, economisirea combustibililor și a energiei, reducerea cheltuielilor de producție;
- **tehnic:** contribuie la creșterea calității produselor, creșterea fiabilității producției și a produselor obținute, mărirea duratei de utilizare a instalațiilor;
- **social:** vizează creșterea securității muncii în diverse instalații, asigurarea condițiilor ergonomice și psihotehnice de desfășurare a proceselor de producție respective, îmbunătățirea condițiilor de muncă, ridicarea nivelului de trai.

Reglarea automată este definită (conform STAS 6019-74. Automatică. Terminologie) drept un ansamblu de operații care se efectuează în circuit închis, alcătuind o buclă echipată cu dispozitive anume prevăzute, cu ajutorul cărora se efectuează o comparație prin diferență a valorii măsurate a unei mărimi din procesul reglat, cu o valoare prestabilită constantă sau variabilă în timp, și se acționează asupra procesului astfel încât să se tindă spre anularea acestei diferențe.

1. ELEMENTE COMPONENTE

Reglarea este un proces manual sau automat prin care o mărime fizică este menținută sau i se modifică valoarea prescrisă, conform cerințelor procesului industrial în care se dorește acest lucru.

Mărimea care este supusă reglării într-o valoare prescrisă este cunoscută sub denumirea de *mărime reglată*.

Dacă reglarea se face de către un operator, în urma verificării parametrilor tehnici cu ajutorul aparatelor de măsurat, se spune că este vorba despre *reglare manuală*.

În schimb, dacă se folosește un dispozitiv automat, numit regulator, atunci se spune că este vorba de *reglare automată*. În acest caz, operatorul este înlocuit de dispozitivul automat, cel care efectuează toate operațiile pe care, inițial, le realiza omul.

În consecință, putem afirma că **elementele unui sistem de reglare automată** sunt instalația automatizată și dispozitivul de automatizare.

Pentru a studia modul în care se realizează reglarea automată, se folosesc scheme funcționale, scheme în care sunt indicate elementele componente ale sistemului de reglare (prescurtat SRA), destinația lor și legăturile funcționale dintre ele.

2. PARAMETRII TEHNICI SUPRAVEGHEAȚI

Ca funcție, reglarea este specifică activităților industriale, casnice, economice etc. Reglarea face posibilă modificarea anumitor stări fizice.

Modificarea stărilor fizice presupune cunoașterea cu exactitate a mărimii reglate și a mărimii care se dorește a fi obținută la ieșirea procesului de reglare.

Indiferent de mărimea reglată, în procesul de reglare apar influențe care modifică mărimea de execuție. Aceste influențe se datorează perturbațiilor care pot apare în timpul reglării.

În concluzie, pentru orice modalitate de reglare se vor stabili cu precizie:

- ?
- mărimea reglată;
 - mărimea de execuție cea mai potrivită;
 - mărimile perturbatoare care intervin;
 - intervenția mărimilor perturbatoare în procesul de reglare;
 - manifestarea mărimilor perturbatoare în timpul procesului de reglare.

Tabelul 1. Tipuri de mărimi reglate

Neelectrice		Electrice	
Forță	[N]	Tensiune	[V]
Cuplu	[Nm]	Curent	[A]
Viteză	[m/s]	Putere	[W]
Accelerație	[m/s ²]	Frecvență	[Hz]
Cursă	[m]	Defazaj	[rad]
Nivel, poziție	[m]	Amplificare	
Presiune	[Pa]	Iluminare	[lux]
Temperatură	[°C]		
Debit	[m ³ /s]		
Putere calorică	[kcal]		
Înclinare	[rad]		
Altitudine	[m]		

Mărimile reglate pot fi de natură electrică sau neelectrică. Principalele mărimi reglate sunt prezentate în tabelul 1.

3. SCHEMA FUNCȚIONALĂ A UNUI SRA

Un sistem reprezintă un proces tehnic supus unor legi de funcționare prin intermediul mărimilor de intrare și de ieșire. Mărimile care nu depind de alte mărimi sunt considerate „mărimi de intrare”, iar mărimile dependente de acestea sunt considerate „mărimi de ieșire”. Schema funcțională a unui sistem este prezentată în figura 1.

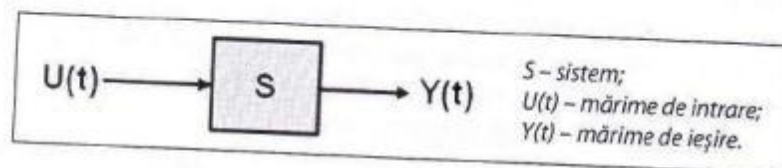


Fig. 1. Schema funcțională a unui sistem

Comportarea dinamică a sistemului poate fi definită prin relația:

$$R(U(t), Y(t), t) = 0$$

Conducerea procesului tehnic sau de altă natură, fără intervenția directă a omului, se realizează automat prin intermediul echipamentului (sau dispozitivului) de automatizare.

Procesul condus, supus automatizării, împreună cu echipamentul de automatizare (de conducere), care asigură desfășurarea procesului după anumite legi, poartă denumirea de **sistem automat** (fig. 2).

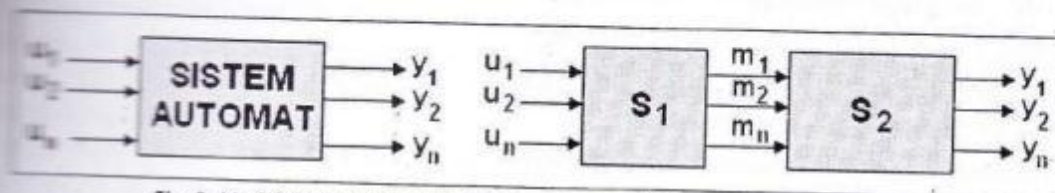


Fig. 2. Modelul structural al unui sistem automat alcătuit din două subsisteme;
 u – mărime de intrare; y – mărime de ieșire; m – mărime intermediară; S_1 – echipamentul de automatizare, subsistemul de conducere sau conducător; S_2 – procesul supus automatizării, subsistemul condus.

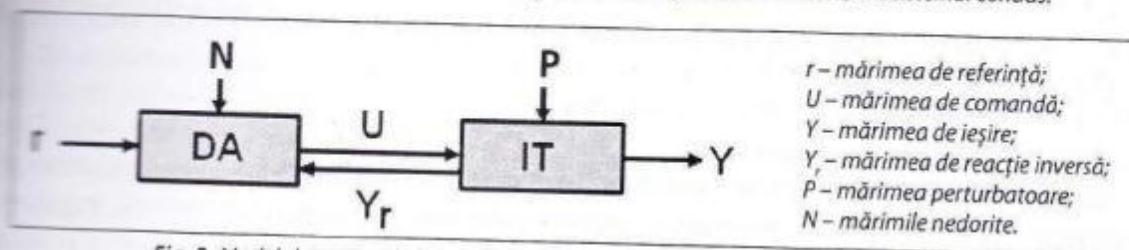


Fig. 3. Modelul structural al unui sistem de reglare automată ca reuniune a două părți: dispozitivul de automatizare (DA) și instalația tehnologică (IT).

Prin **Sistem de Reglare Automată** (SRA) se înțelege un sistem realizat astfel încât între mărimea de ieșire și mărimea de intrare să se realizeze automat, fără intervenția omului, o relație funcțională care reflectă legea de conducere a unui proces. El reprezintă un sistem de conducere care are drept scop anularea diferenței dintre mărimea impusă (referință) și mărimea de ieșire (reglată), indiferent de perturbațiile, mărimile nedorite N , care acționează asupra sistemului. Acestei diferențe i se mai spune și *eroarea sau abaterea sistemului de reglare automată*.

Sistemele de reglare automată au rolul de a asigura menținerea automată, fără intervenția omului, a unor mărimi tehnologice la o valoare prestabilită, de regim.

În cadrul schemei funcționale a unui SRA sunt date elementele componente, destinația acestora și legăturile funcționale.

În figura 4 sunt redată blocurile funcționale, mărimile de intrare și de ieșire, precum și sensul în care un element îl influențează pe celălalt.

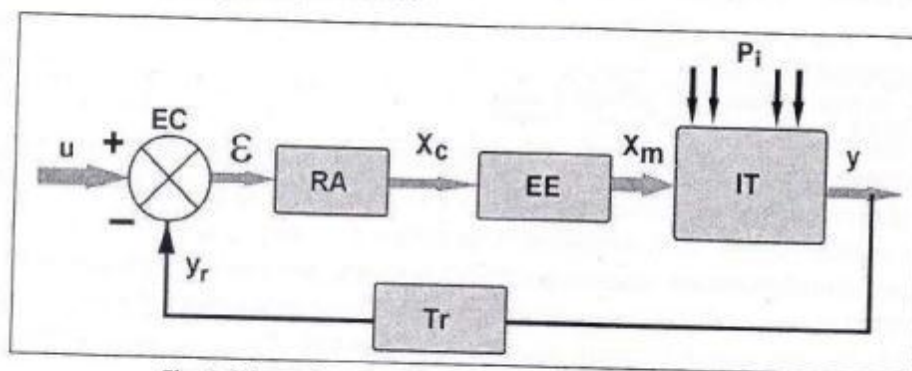


Fig. 4. Schema funcțională a unui sistem de reglare automată

Semnificația blocurilor funcționale este următoarea:

EC – elementul de comparație;

RA – regulatorul automat;

EE – elementul de execuție;

IT (IA) – instalația tehnologică (instalația automatizată);

Tr (EM) – traductorul (elementul de măsurare).

Mărimile care intervin în schema de elemente a unui SRA sunt:

u – mărimea de intrare a sistemului;

y – mărimea de ieșire a sistemului (a instalației tehnologice);

P_i – mărimile perturbatoare;

ε – semnalul de eroare (mărimea de acționare), $\varepsilon = u - y_r$;

X_c – mărimea de comandă a regulatorului automat;

X_m – mărimea de intrare a instalației tehnologice mărime de execuție;

y_r – mărimea de reacție.

■ Rolul elementelor componente

Elementul de comparație (EC) are rolul de a compara permanent mărimea de ieșire a instalației tehnologice cu o mărime de același fel, cu valoare prescrisă (considerată constantă), rezultatul comparației fiind semnalul de eroare ε .

Regulatorul automat (RA) are rolul de a efectua anumite operații asupra mărimii ε primită la intrare, respectiv are rolul de a prelucra această mărime după o anumită lege, numită lege de reglare, rezultatul fiind mărimea X_c , aplicată ca mărime de comandă elementului de execuție.

Elementul de execuție (EE) are rolul de a interveni în funcționarea instalației tehnologice pentru corectarea parametrilor reglați, conform mărimii de comandă transmise de RA.

Instalația tehnologică (IT) este, în general, un sistem supus unor acțiuni externe, numite perturbații, și acțiunii comenzii generate de RA, a cărei mărime de ieșire este reglată conform unui program prescris.

Traductorul (Tr), instalat pe bucla de reacție negativă, are rolul de a transforma mărimea de ieșire a IT, de regulă, într-un semnal electric aplicat EC.

Convertorul electro/pneumatic sau pneumo/electric (CONV I/P sau P/I) are rolul de a converti semnalul obținut la ieșirea RA într-un semnal de altă natură fizică, necesar pentru comanda EE, atunci când acestea sunt diferite; dacă semnalul de la ieșirea RA și cel necesar pentru comanda EE sunt de aceeași natură fizică, atunci convertorul poate să lipsească.

■ Funcționarea unui SRA

Mărimile perturbatoare **P_i** acționează asupra instalației tehnologice **IT**, determinând variații ale mărimii reglate.

Variațiile mărimii reglate sunt măsurate, semnalizate și prelucrate, prin intermediul traductorului **Tr**, cuplat în sistem pe legătura de reacție negativă, obținându-se la ieșirea acestuia un semnal de reacție **y_r**, de aceeași natură fizică cu semnalul de intrare în sistem.

Prin intermediul elementului de comparație **EC**, semnalul de reacție **y_r**, de la ieșirea traductorului este comparat cu mărimea de intrare **u**, proporțională cu valoarea prescrisă a mărimii de referință **X_o**, rezultând la ieșirea comparatorului (de regulă, diferențial, aflat în construcția **RA**, pe intrarea acestuia) un semnal de eroare $\varepsilon = u - y_r$.

Semnalul de eroare ε este amplificat prin intermediul unui amplificator din construcția regulatorului automat **RA** și transformat într-un semnal de comandă X_c (prin circuitul de reacție care fixează legea de reglare, circuit aflat în **RA**), la ieșirea **RA**.

Semnalul de comandă X_c acționează asupra servomotorului elementului de execuție **EE**, punând în mișcare organul de reglare, în sensul anihilării erorii de funcționare ε .

Dacă semnalul de comandă este de natură fizică diferită de semnalul necesar acționării servomotorului, atunci, între regulatorul automat **RA** și elementul de execuție **EE**, se cuplează un convertor **CONV I/P** sau **P/I**, care realizează conversia semnalului de comandă; altfel, convertorul poate să lipsească.

Dacă mărimile perturbatoare P , continuă să-și exercite influența asupra parametrului reglat din instalația tehnologică **IT**, ale cărui variații sunt percepute și prelucrate de traductorul **Tr** (de regulă, cuplat local pe **IT**), procesul de reglare se reia.

4. CLASIFICAREA SRA

Diversitatea proceselor de producție implică și o diversitate de sisteme de reglare. Astfel, în funcție de criteriul adoptat, există mai multe posibilități de clasificare a unui SRA. Dintre acestea, mai importante sunt următoarele:

1. După caracterul informației apriorice asupra **IT**, se deosebesc:

- **SRA cu informație apriorică completă** – caracteristicile instalației tehnologice **IT** sunt practic invariabile în timp;

- **SRA cu informație apriorică incompletă** – caracteristicile instalației tehnologice **IT** se modifică (sub influența unor perturbări) într-un mod care nu este dinainte cunoscut.

2. După dependențele, în regim staționar, dintre mărimile de ieșire și de intrare ale elementelor componente, se deosebesc:

- **SRA liniare** – când dependențele sunt liniare; din punct de vedere matematic, sistemele liniare sunt descrise prin ecuații liniare;

- **SRA neliniare** – când cel puțin una dintre dependențe este neliniară; din punct de vedere matematic, sistemele neliniare sunt descrise prin ecuații neliniare.

3. După caracterul prelucrării semnalelor, se deosebesc:

- **SRA continue** – când toate mărimile care intervin sunt continue în timp;

- **SRA discrete** – când cel puțin una dintre mărimi are o variație discretă în timp.

4. După aspectul variației în timp a mărimii de intrare (și, prin urmare, și al mărimii de ieșire), se deosebesc trei categorii:

- **sisteme de reglare automată** – dacă mărimea de intrare (de referință) este constantă;

- **sisteme cu program** – dacă mărimea de intrare (de referință) variază după un anumit program;

- **sisteme de urmărire** – dacă mărimea de intrare (de referință) variază aleatoriu în timp (mărimea de ieșire urmărește mărimea de referință).

5. După numărul de bucle principale (de reglare), se deosebesc:

- **SRA cu o buclă de reglare** (un singur regulator automat);

- **SRA cu mai multe bucle de reglare** (mai multe regulatoare automate).

6. După viteza de răspuns a **IT** la un semnal aplicat la intrare, se deosebesc:

- **SRA pentru procese rapide** – când constantele de timp ale **IT** nu depășesc 10 secunde (acțiunile electrice);

• **SRA pentru procese lente** – când IT au constante de timp mai mari şi de multe ori au şi timp mort.

7. După modul de anihilare a mărimii perturbatoare, pot fi:

• **SRA după abatere** – care nu folosesc direct informaţiile privind mărimea perturbatoare, ci acţiunea acesteia sub forma abaterii ε a mărimii reglate x_e faţă de valoarea prescrisă a mărimii de referinţă;

• **SRA după perturbare** – în care mărimea perturbatoare este măsurată direct şi se acţionează direct asupra mărimilor procesului;

• **SRA combinate sau în cascadă** – conţin atât sisteme după abatere (cu reacţie), cât şi sisteme după perturbare.

8. După caracteristicile construcţiei dispozitivelor de automatizare, se deosebesc:

• **SRA unificate** – când toate mărimile care circulă sunt unificate, adică au aceeaşi gamă şi aceeaşi natură;

• **SRA specializate** – când nu se întâmplă acest lucru.

9. După agentul purtător de semnal, se deosebesc:

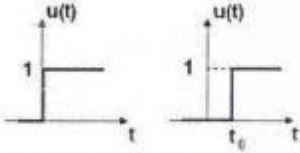
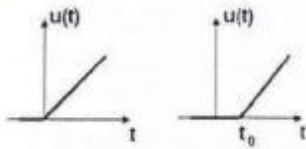
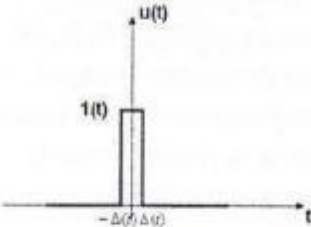
• **SRA electronice;**

• **SRA pneumatice;**

• **SRA hidraulice;**

• **SRA mixte.**

Tabelul 2. Tipuri de semnale aplicate SRA

Tipul semnalului	Forma semnalului	Expresia matematică
Semnal treaptă unitară	 <p>Discontinuitatea funcţiei treaptă unitară poate să apară în origine ($t_0 = 0$) sau la momentul $t = t_0$</p>	$u(t) = \begin{cases} 1, & t > t_0 \\ 0, & t \leq t_0 \end{cases}$
Semnal rampă unitară	 <p>Această funcţie poate porni din origine când $t_0 = 0$ sau la momentul $t = t_0$</p>	$u(t) = \begin{cases} t, & t > t_0 \\ 0, & t \leq t_0 \end{cases}$
Semnal impuls unitar (Semnal impuls unitar Dirac)		$u(t) = \begin{cases} 0, & \forall t \neq t_0 \\ 1, & t = t_0 \end{cases}$

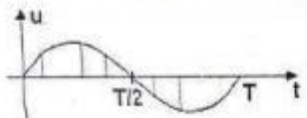
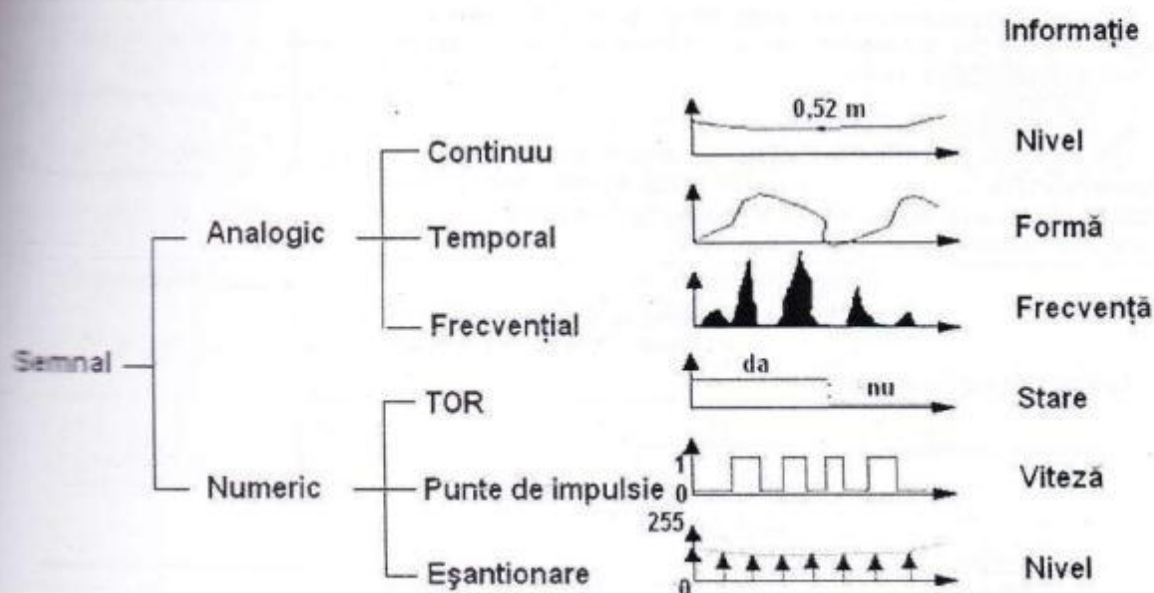
Semnal sinusoidal		$u(t) = U_{\min} \sin \omega t$
-------------------	---	---------------------------------

Tabela 3. Clasificarea semnalelor utilizate în SRA (după A. Szuder)



5. REGIMURI FUNDAMENTALE DE FUNCȚIONARE ALE SRA

În SRA se deosebesc **două tipuri de regimuri de funcționare**:

- **regimuri staționare**, regimuri de echilibru, în care variația mărimii de ieșire, din instalația tehnologică, trebuie să aibă aceeași formă cu variația în timp a mărimii de intrare;

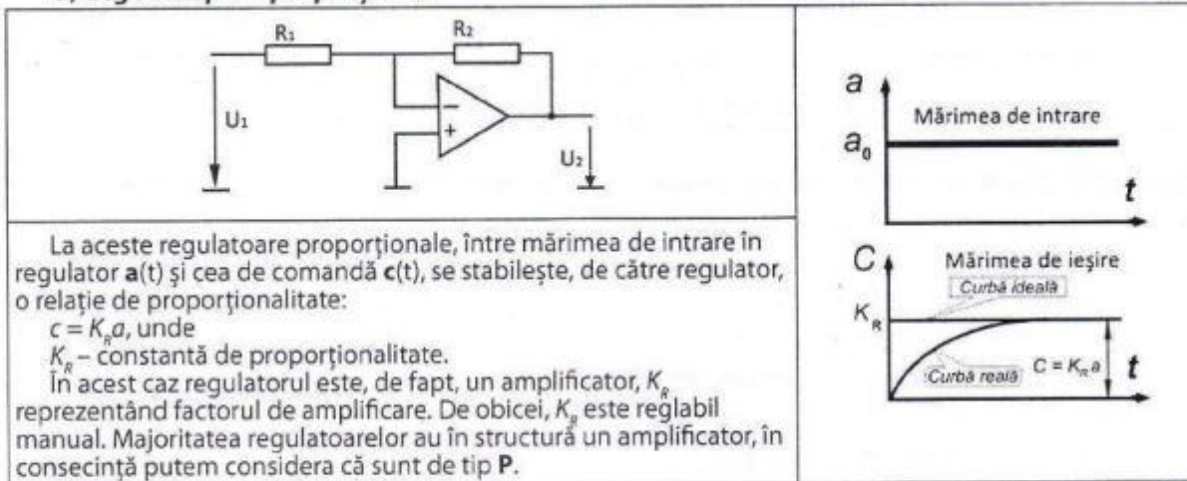
- **regimuri tranzitorii**, regimuri de trecere (tranziție) de la un regim staționar la un alt regim staționar. Aceste regimuri intervin datorită faptului că mărimea de ieșire nu poate urmări instantaneu modificările valorilor mărimii de intrare.

6. LEGILE DE REGLARE

Schema unui sistem de reglare automată (fig. 4) include regulatorul automat RA. Regulatorul automat primește la intrare, ca mărime de intrare, *abaterea*, iar la ieșire redă, ca mărime de ieșire, *mărimea de comandă*. În acest bloc abaterea se prelucrează după niște legi de reglare, în scopul obținerii mărimii de comandă, pentru a asigura, astfel, funcționarea corectă a SRA, respectiv performanțele tranzitorii și staționare cât mai ridicate.

Pentru alegerea tipului de reglare și a valorii coeficienților care intervin în ecuația legii respective (parametrii regulatorului), sunt necesare informații despre caracteristicile instalației tehnologice.

a) Lege de tip P – proporțional

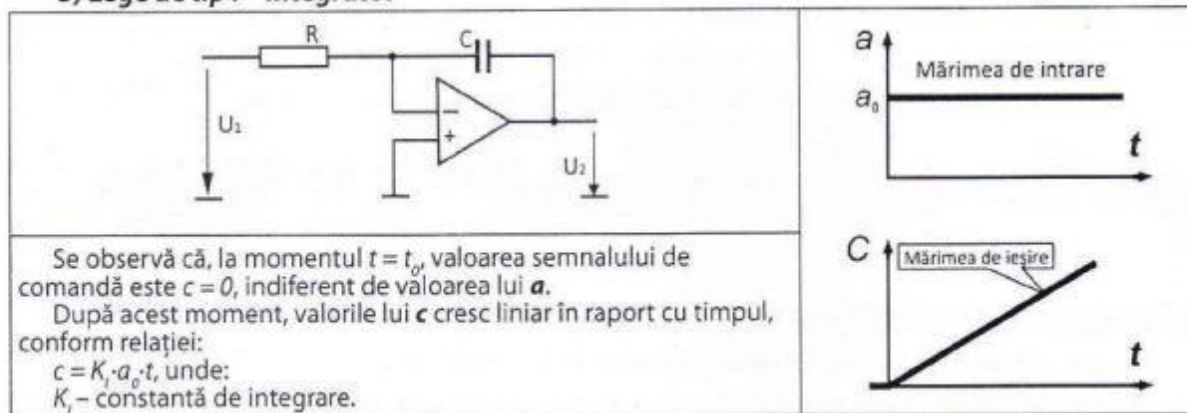


a) schema electrică

b) răspunsul sistemului

Fig. 5. Regulator liniar cu acțiune continuă – proporțional – P

b) Lege de tip I – integrator

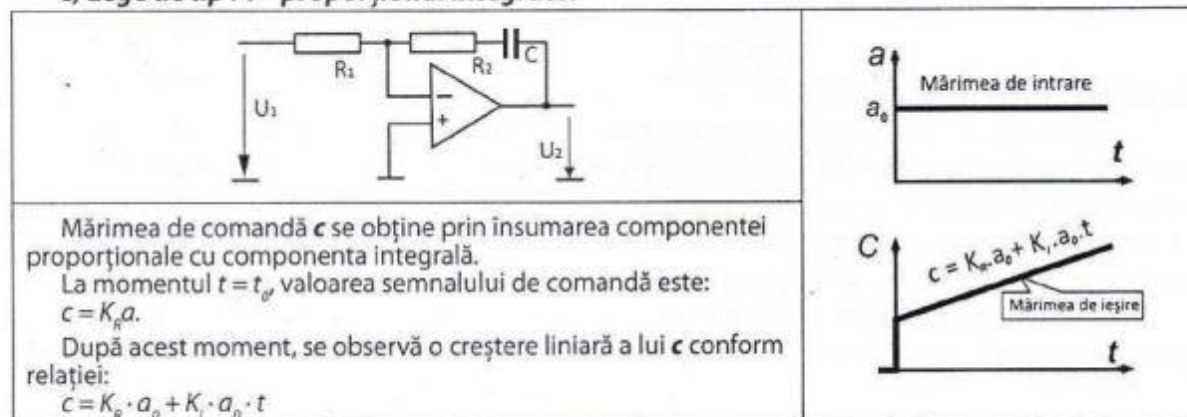


a) schema electrică

b) răspunsul sistemului

Fig. 6. Regulator liniar cu acțiune continuă – integrator – I

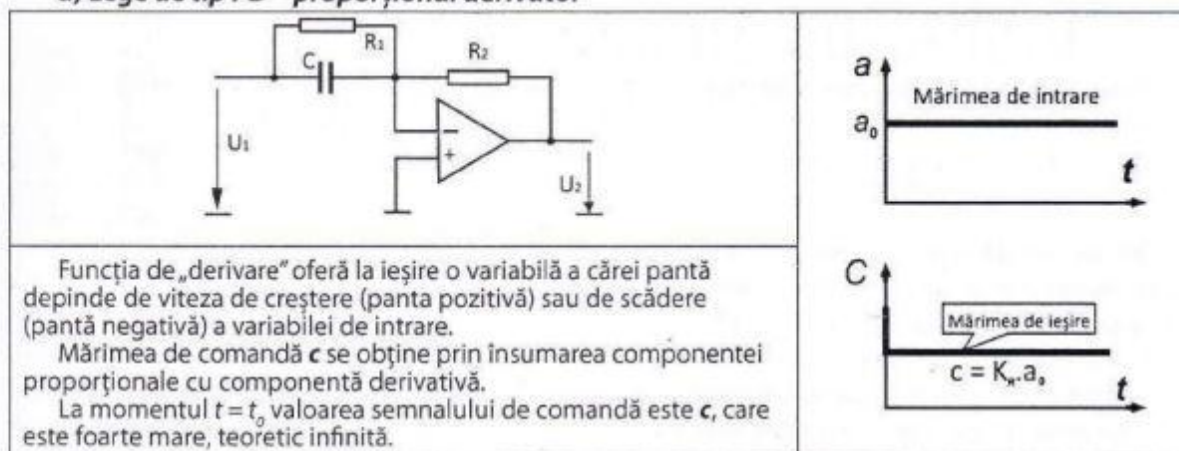
c) Lege de tip PI – proporțional integrator



a) schema electrică

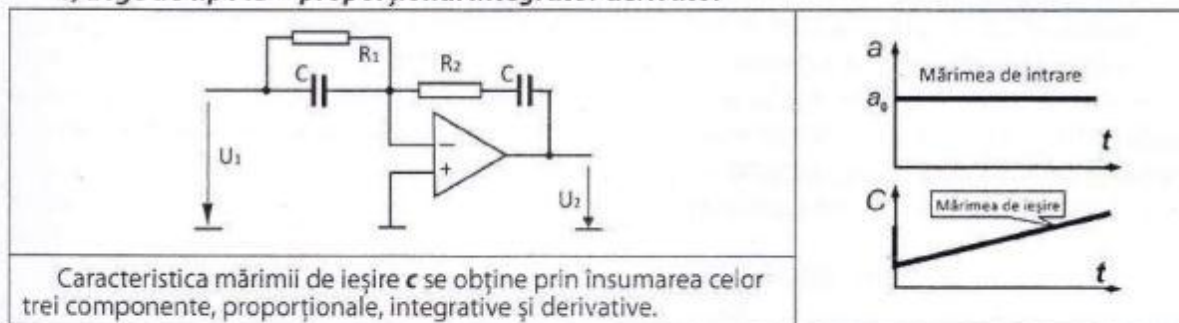
b) răspunsul sistemului

Fig. 7. Regulator liniar cu acțiune continuă – proporțional integrator – PI

d) Lege de tip PD – proporțional derivator

a) schema electrică

b) răspunsul sistemului

Fig. 8. Regulator liniar cu acțiune continuă – proporțional derivator – PD**e) Lege de tip PID – proporțional integrator derivator**

a) schema electrică

b) răspunsul sistemului

Fig. 9. Regulator liniar cu acțiune continuă – proporțional integrator derivator – PID

Prezența componentei derivate are ca efect creșterea stabilității sistemului, permițând stabilirea unei constante K_R cât mai mare și a unei constante K_I cât mai mici. Aceasta se explică astfel: componenta D „anticipează” tendința de variație a mărimii de intrare.

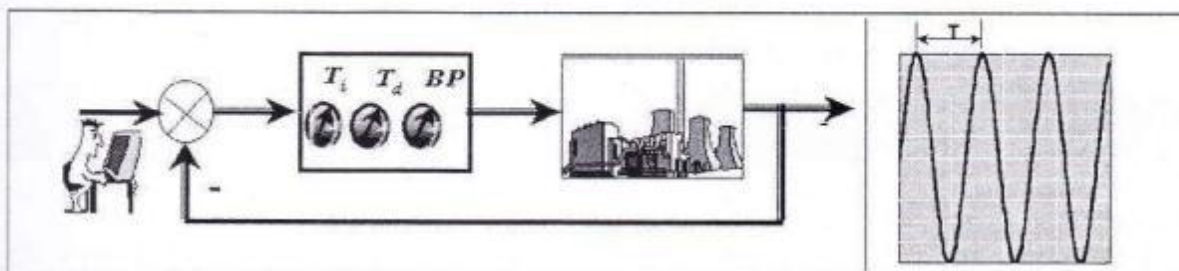


Fig. 10. Reglarea parametrilor unui RA: T_i – constanta de timp de integrare;
 T_d – constanta de timp de derivare; BP – banda de proporționalitate.

Uneori, în locul factorului de amplificare K_R , se folosește o constantă denumită **banda de proporționalitate** a regulatorului P, notată BP. Când domeniul de variație a erorii ϵ este egal cu domeniul de variație a mărimii de comandă u , domeniul de proporționalitate se determină din relația:

$$BP = \frac{1}{K_R} 100 [\%].$$

Dacă domeniul de variație a mărimii ε diferă de cel al lui u , atunci domeniul de proporționalitate are relația:

$$BP = \frac{100}{K_R} \cdot \frac{\text{domeniul} \cdot \varepsilon}{\text{domeniul} \cdot u} [\%].$$

BP reprezintă procentul din domeniul ε pentru care regulatorul **P** produce o comandă egală cu 100% din domeniul u . Regulatele sunt prevăzute, prin construcție, cu posibilitatea ajustării într-o gamă a factorului BP (ex.: 2...200%).

În concluzie, se pot face următoarele aprecieri:

- regulatele cu acțiune proporțională **P** mențin în regim staționar o eroare a cărei valoare depinde de sarcină (perturbații); ele pot fi utilizate numai atunci când procesul reglat admite o asemenea eroare;
- regulatele cu acțiune integrală **I** micșorează stabilitatea sistemelor automate și necesită o durată mai mare a procesului de reglare (în comparație cu cele proporționale);
- regulatele cu acțiune diferențială **D** nu pot fi utilizate, deoarece ele oferă o mărime de comandă de durată insuficientă pentru a elimina abaterea apărută și, prin urmare, nu pot realiza un regim staționar pentru sistemele de reglare automată.

Aceste deficiențe au condus la apariția unor regulate mixte din punctul de vedere al modului de acționare, rezultate din combinarea mai multor elemente de acționare P, D sau I, și anume: regulate **PI**, regulate **PD**, regulate **PID**.

Capitolul

1

Sisteme de reglare automată a temperaturii

1.1. Temperatura

Temperatura este mărimea fizică ce caracterizează starea de încălzire a unui corp sau a unui sistem fizic. Temperaturile a două corpuri se pot compara între ele sau se pot raporta la o scară de referință, dar nu se pot aduna sau scădea. În acest sens, se spune că temperatura este o mărime reperabilă sau intensivă.

Temperatura este proprietatea fizică a unui sistem, prin care se constată dacă acesta este mai cald sau mai rece. Această mărime fizică indică viteza cu care atomii ce alcătuiesc o substanță se mișcă (în cazul încălzirii viteza atomilor crește). Oamenii de știință afirmă că, la o temperatură extrem de scăzută, numită zero absolut, atomii sau moleculele și-ar înceta mișcarea complet. Temperatura este unul dintre factorii ecologici cu care un organism vine în contact și se intercondiționează reciproc.

Unitatea de măsură în Sistemul Internațional (SI) este **kelvinul** (K). Temperatura 0 K este numită zero absolut și este punctul în care moleculele și atomii au cea mai mică energie termică. Kelvinul reprezintă $1/273,16$ din temperatura termodinamică a punctului triplu al apei. A fost adoptat în anul 1967.

Anterior acestei date, s-a folosit gradul **Celsius** ($^{\circ}\text{C}$), unitate utilizată și în prezent.



Anders Celsius a studiat, în egală măsură, geodezia și fizica. El a explicat, pentru prima dată, fenomenul aurorelor boreale prin magnetismul terestru. În anul 1948, numele său a fost atribuit gradului centigrad de temperatură, care astfel și-a schimbat denumirea în grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Anders Celsius (1701-1744), fizician suedez



Lord Kelvin a devenit faimos pentru teoria temperaturii absolute. În onoarea sa, temperaturile absolute sunt exprimate în unități de Kelvin. A conceput primul telegraf care traversa Atlanticul.

William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907), fizician britanic

Pentru măsurarea temperaturilor se impune definirea unei scări precise, cu valori stabile și reproductibile, între care să fie stabilite relațiile de interpolare, și care să fie cât mai apropiată de *scara termodinamică de temperatură* ce derivă din legile termodinamicii.

Pe plan internațional, în prezent sunt acceptate **trei scări de temperatură**, a căror echivalență este bine stabilită:

- *Scara termodinamică sau scara absolută* de temperatură. În această scară, temperatura se notează cu T, iar unitatea de măsură este kelvinul (K), definit ca unitate fundamentală de temperatură în SI. Scara termodinamică, adică scara de măsură, are două puncte fixe: 0°C – punctul de topire a gheții și 100°C – punctul de fierbere a apei.

CAPITOLUL 1 – Sisteme de reglare automată a temperaturii

- *Scara Celsius* măsoară temperatura în grade Celsius ($^{\circ}\text{C}$).
- *Scara Fahrenheit*, având ca unitate de măsură gradul Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), este folosită în cadrul sistemului anglo-saxon de unități de măsură și a fost propusă în anul 1724 de către fizicianul Daniel Gabriel Fahrenheit.

Astăzi, având o arie de utilizare restrânsă, pentru măsurarea temperaturii laptelui și în procesul fabricării brânzei este utilizată *scara de temperatură Réaumur*, o scară de temperatură empirică, care a fost propusă în anul 1730 de către René Antoine Ferchault de Réaumur, iar unitatea de măsură este gradul Réaumur ($^{\circ}\text{R}$).

În tabelele 1.1 și 1.2 sunt prezentate scările de temperatură și relațiile de echivalență dintre acestea.

Tabelul 1.1. Formule pentru transformarea temperaturii

Convertire din	în	Formulă
Celsius	Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot 1,8 + 32$
Fahrenheit	Celsius	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$
Celsius	Kelvin	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$
Kelvin	Celsius	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$

Tabelul 1.2. Scări de temperatură

	Scară de temperatură			
	Kelvin	Celsius	Fahrenheit	Réaumur
Simbol	T	t _c	t _f	t _r
Unitate de măsură	K	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{R}$
	kkelvin	grad Celsius	grad Fahrenheit	grad Réaumur
Relație de echivalență		$T - 273$	$\frac{9}{5} T - 459$	$0,8 (T - 273)$
		$0,8 ^{\circ}\text{R}$		
		$1,8 ^{\circ}\text{F}$		

În tabelul 1.3 sunt prezentate câteva temperaturi de bază din mediul înconjurător și care sunt exemplificate în figura 1.1.

Tabelul 1.3. Temperaturi de bază

	Kelvin	Celsius	Fahrenheit
Zero absolut	0 K	$- 273,15 ^{\circ}\text{C}$	$- 459,67 ^{\circ}\text{F}$
Punctul de topire a gheții	273,15 K	$0 ^{\circ}\text{C}$	$32 ^{\circ}\text{F}$
Punctul triplu al apei	273,15 K	$0,01 ^{\circ}\text{C}$	$32,018 ^{\circ}\text{F}$
Punctul de fierbere a apei*	373,1339 K	$99,9839 ^{\circ}\text{C}$	$211,9710 ^{\circ}\text{F}$

* Pentru apă standard la presiunea de 101.325 Pa, la calibrarea doar pe baza definirii temperaturii termodinamice prin două puncte.

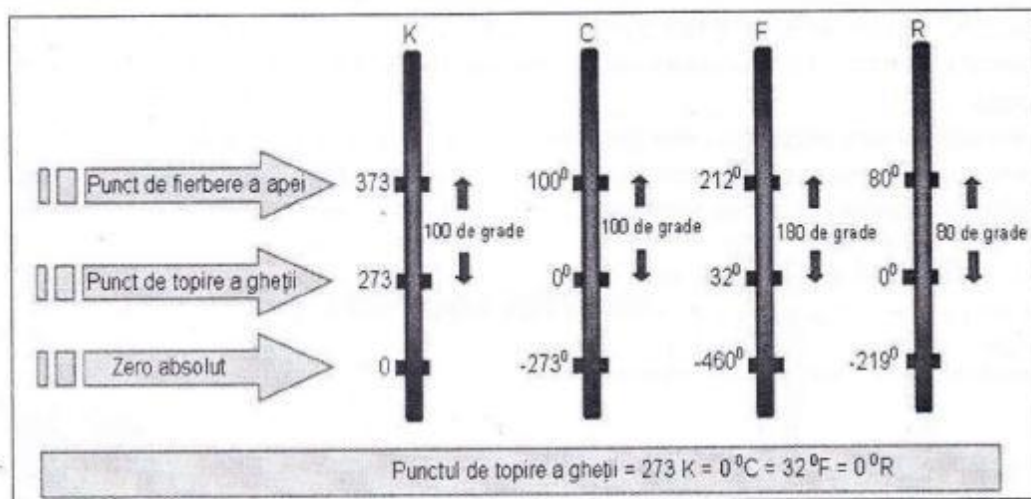


Fig. 1.1. Exemplificarea unor temperaturi de bază

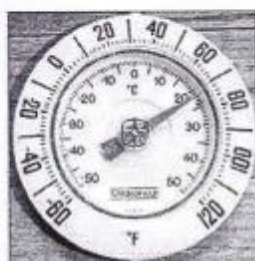


Fig. 1.2. Termometru gradat în grade Celsius

Măsurarea temperaturii se face cu ajutorul termometrelor.

Termometrul este instrumentul utilizat la determinarea temperaturilor corpurilor sau ale mediilor cu care acesta vine în contact.

Măsurarea temperaturii ridică o problemă privitoare la definirea acestei mărimi precum și la utilizarea unor scări de temperatură adecvate metodelor practice de măsurare.

Temperatura empirică (practică) reprezintă parametrul termic care se măsoară într-un sistem izolat, format din mai multe corpuri în contact termic; condiția necesară și suficientă de echilibru este ca toate corpurile să aibă aceeași valoare a temperaturii.

Temperatura absolută (termodinamică) este factorul de proporționalitate al schimbului de energie prin efect termic pentru fiecare corp aparținând unui sistem termodinamic.

Aparatele care servesc la măsurarea temperaturilor sub 660°C se numesc *termometre*, iar peste 660°C se numesc *pirometre*. Din punct de vedere constructiv, termometrele (fig. 1.3) și pirometrele (fig. 1.4) pot fi analogice și digitale.



Fig. 1.3. Termometru analog și digital



Fig. 1.4. Pirometru analog și digital

CAPITOLUL 1 – Sisteme de reglare automată a temperaturii

În general, termometrele digitale sunt mai rapide și mai practice, dar nu la fel de corecte ca termometrul cu mercur. Pentru măsurarea temperaturilor la distanță se utilizează termometrele cu infraroșii.

Termometrele sunt dispozitive relativ simple, de construcție și precizie diferite și sunt capabile să acopere un domeniu larg de temperatură (între -200°C și $+3000^{\circ}\text{C}$). În acest sens, în figura 1.5 sunt prezentate câteva puncte de referință pe cele trei scări de temperatură acceptate în lume.

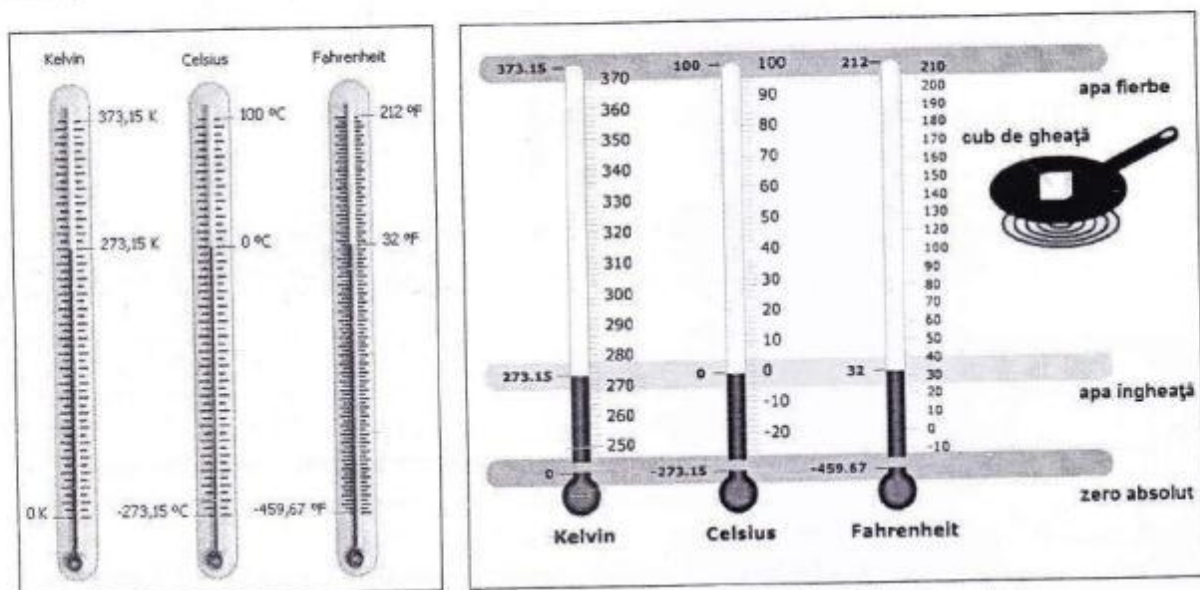


Fig. 1.5. Punctele de referință ale termometrelor pe principalele scări de temperatură

Deoarece termometrele au aplicații în aproape toate domeniile de activitate practică a omului, în figura 1.6 sunt prezentate câteva valori de temperaturi întâlnite des în viața cotidiană, în diverse activități.

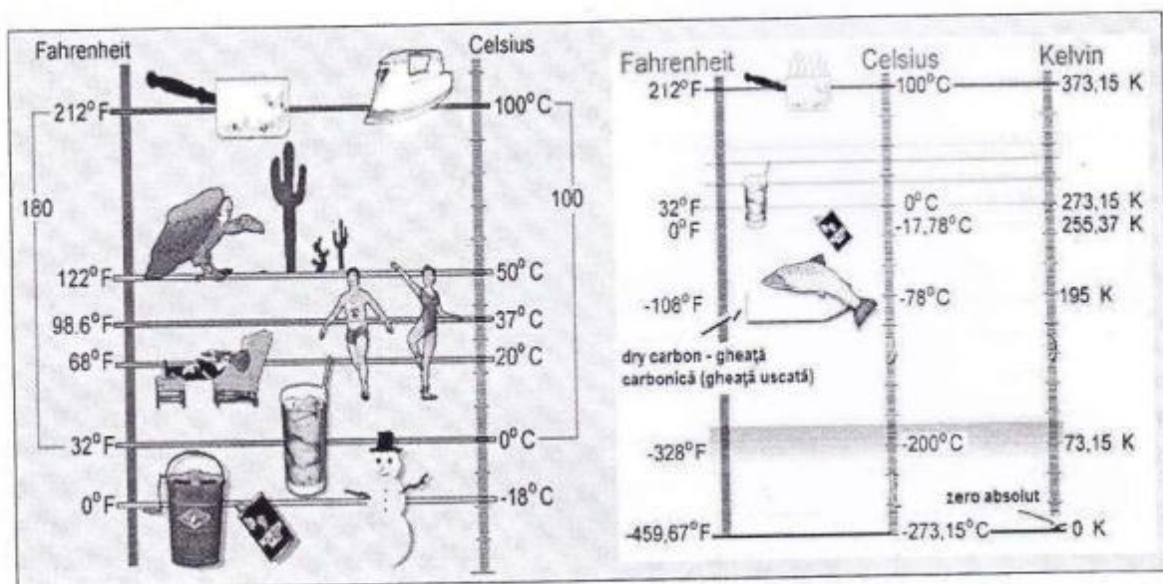


Fig. 1.6. Valori curente ale temperaturilor

? ȘTIȚI CĂ...

- Deși termometrul etanș nu a fost inventat decât abia în anul 1650, invenția termometrului îi este atribuită lui Galileo Galilei.
- Evoluția ulterioară a termometrelor este legată de numele fizicianului german Gabriel Fahrenheit. Acesta a inventat termometrele moderne cu alcool și mercur și a propus, de asemenea, și prima scală termometrică larg folosită, ce-i poartă numele. În această scală termometrică, temperatura de 32 °F este punctul de înghețare a apei, iar temperatura de 212 °F este punctul de fierbere a acesteia la o presiune atmosferică normală.

1.2. Măsurarea electrică a temperaturii



Fig. 1.7. Termocupluri

Măsurarea temperaturii se bazează pe diferite fenomene și efecte fizice, în care modificarea temperaturii determină variații ale unor proprietăți sau caracteristici ale materialelor:

- variația dimensiunilor geometrice;
- variația rezistenței electrice, apariția unei tensiuni electromotoare de-a lungul joncțiunii a două metale;
- variația intensității radiației emise, variația frecvenței de rezonanță a unui cristal de cuarț etc.

Acuratețea procesului de măsurare a temperaturii este foarte importantă pentru cele mai multe aplicații de control cu privire la diferitele procese tehnologice.

Practica a impus folosirea unor noi metode de termometrie care, față de cele clasice, pot oferi o serie de avantaje certe. Se renunță, astfel, la termometrul cu mercur, pentru a se măsura temperatura pe cale electrică. În acest fel se mărește precizia măsurătorii, se extinde domeniul de lucru și, foarte important, se micșorează considerabil inerția instrumentului de măsură.

Prin introducerea metodelor electrice se poate determina temperatura în volume de probă foarte mici. În plus, când cercetarea modernă impune folosirea calculatorului, aceste metode oferă posibilitatea automatizării și a controlului acestei mărimi.

În categoria **metodelor electrice** se încadrează măsurarea temperaturii cu termocuplul (fig. 1.7).

Termocuplul este un traductor de temperatură de tip termoelectric care furnizează o tensiune termoelectromotoare dependentă de diferența dintre temperatura de măsurat și o temperatură de referință.

În figura 1.8 este prezentată cea mai simplă asamblare a unei sârme înfășurate RTD. Se observă că sârma subțire de platină este înfășurată în jurul bobinei, iar capetele sârmei sunt sudate local. Un înveliș de protecție nonconductor, cu bune proprietăți de transfer termic, acoperă întreaga asamblare RTD. La acest tip de peliculă subțire, elementul sensibil este format prin depunerea unui strat subțire de platină pe un suport ceramic. Un strat de sticlă încapsulează elementul.

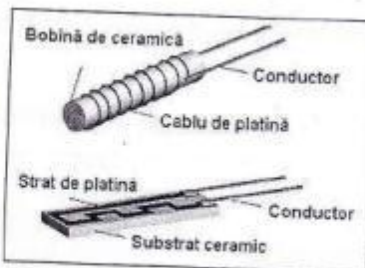


Fig. 1.8. Asamblarea unui senzor rezistent la temperaturi înalte

Conductoarele din materiale diferite care alcătuiesc termocuplul se numesc **termoelectrozi**. Termoelectrozii se confecționează din metale și din aliajele acestora, tipul metalelor definind tipurile de termocupluri.

Caracteristicile statice ale unor termocupluri sunt prezentate în figura 1.9.

- **termocuplul fier-constantan** (aliaj cu 57% Cu și 43% Ni), utilizat pentru măsurarea temperaturii între $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$, tensiunea termoelectromotoare produsă la $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ fiind de aproximativ 30 mV ;
- **termocuplul cromel-alumel** (cromelul este aliaj cu 90% Ni și 10% Cr, iar alumelul conține 94% Ni, 3% Mn, 2% Al și 1% Si), utilizat în domeniul $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ până la $+900\text{ }^{\circ}\text{C}$, tensiunea obținută la $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ fiind de $37,36\text{ mV}$;
- **termocuplul platinrhodiu-platin** (90% Pt, 10% Rh), destinat măsurării temperaturii până la $1.300\text{ }^{\circ}\text{C}$, iar la o funcționare intermitentă, până la $1.600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

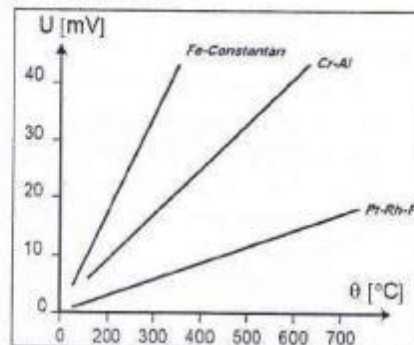


Fig. 1.9. Caracteristici statice

Funcționarea termocuplului se bazează pe următoarele considerații: având un circuit închis, format din două fire metalice diferite, A și B, sudate, la capetele circuitului va apărea o diferență de potențial. Tensiunea termoelectromotoare va depinde de diferența de temperatură a sudurilor.

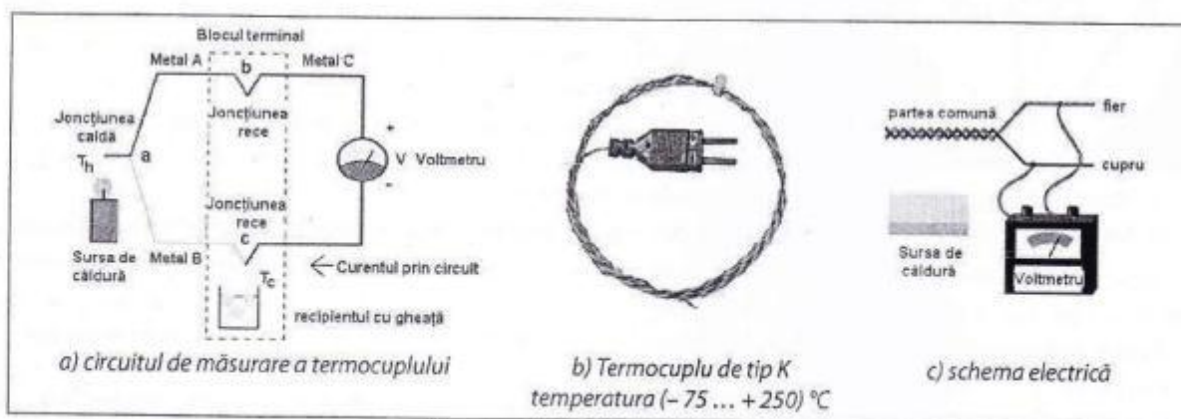


Fig. 1.10. Circuitele unui termocuplu

Dintre **efectele termocuplului** menționăm:

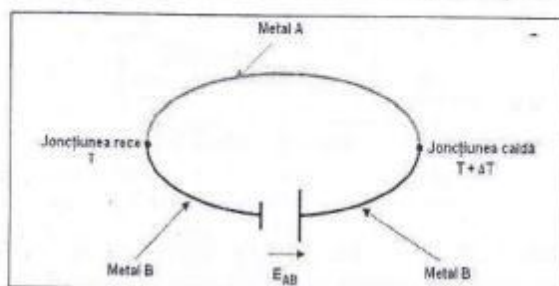


Fig. 1.11. Efectul Seebeck

■ Efectul Seebeck

A fost descoperit de Thomas Johann Seebeck în anul 1821. Acest „efect Seebeck” constă în producerea unei căderi de tensiune între două fire, datorită diferenței de temperatură dintre acestea.

Acest efect este cel mai ușor de observat și de aplicat cu ajutorul unui contact dintre două metale diferite, fiecare metal producând un potențial electric diferit de-a lungul său, ceea ce se traduce printr-o tensiune electrică diferită între capetele libere ale celor

două fire. Aproape orice pereche de metale diferite produce o cantitate de tensiune măsurabilă atunci când contactul lor este încălzit, unele combinații producând o cantitate mai mare decât altele (fig. 1.11).

Efectul Seebeck este destul de liniar, însemnând că tensiunea produsă de contactul încălzit dintre două fire este direct proporțională cu temperatura. Acest lucru înseamnă că putem determina temperatura contactului măsurând tensiunea produsă, ca în figura 1.12.

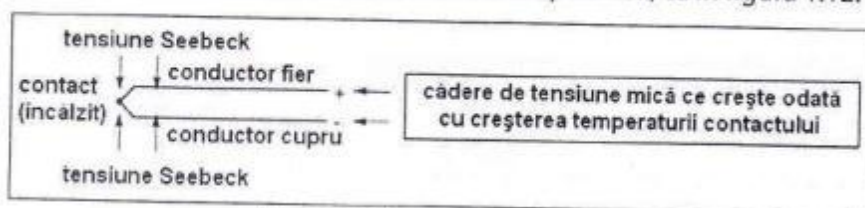


Fig. 1.12. Schema efectului Seebeck

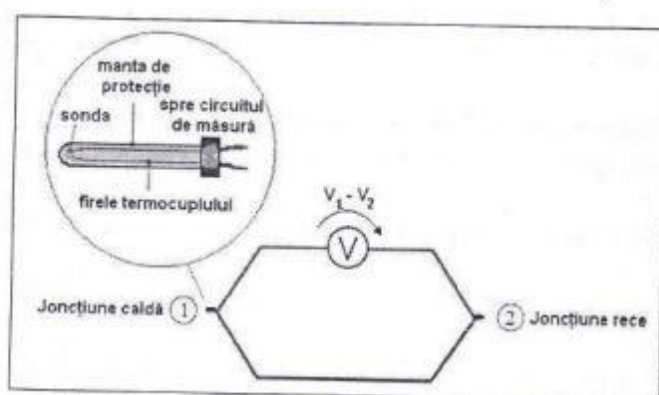


Fig. 1.13. Măsurarea temperaturii cu ajutorul volmetrului

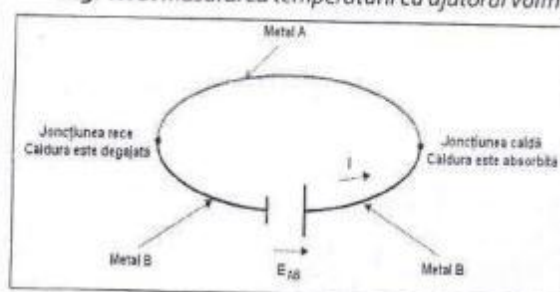


Fig. 1.14. Efectul Peltier

■ Efectul Peltier

Efectul Peltier, descoperit de Jean Charles Athanase Peltier în anul 1834, este, în esență, inversul efectului Seebeck. Efectul Peltier (fig. 1.14) este efectul termoelectric care se manifestă în suprafața de separare (sudură) proprie unui sistem de două conductoare metalice diferite. Astfel, la trecerea curentului electric prin circuit se constată o modificare a temperaturii sudurii; creșterea sau

scăderea temperaturii depinde de sensul curentului electric.

■ Efectul Thomson

În anul 1850, William Thomson, mai târziu intitulat Lord Kelvin, a realizat că efectele Peltier și Seebeck sunt asemănătoare.

Efectul Thomson este reprezentat de degajarea sau absorbția unei cantități de căldură într-un conductor omogen străbătut de un curent electric în care există un gradient de temperatură; absorbția căldurii se realizează pentru un anumit sens al curentului electric, iar degajarea căldurii pentru sensul invers al curentului prin conductor.

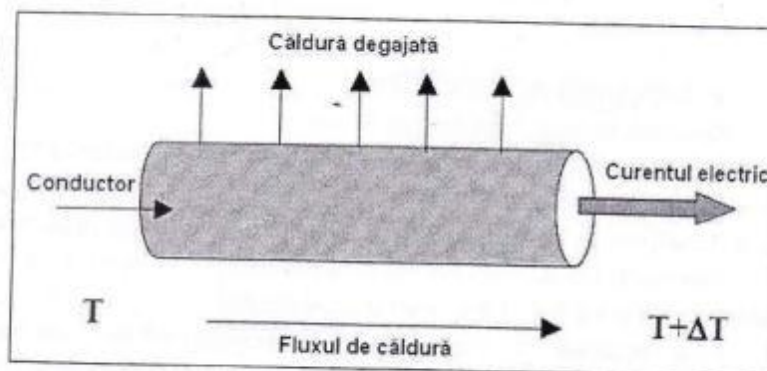


Fig. 1.15. Efectul Thomson

Acest efect de încălzire sau răcire este ignorat în calculele referitoare la încălzirea materialelor în aplicațiile industriale. Faptul este relativ ușor de motivat: căldura obținută prin efectul Joule are valori mult mai importante, ea depinzând de pătratul intensității curentului electric.

1.3. Activități experimentale și aplicații

► Activitatea experimentală 1

Verificați etalonarea unui termometru de laborator capabil să măsoare temperaturi în gama 0 °C...100 °C.

1. Sfărâmați gheață într-un pahar și cufundați bulbul termometrului în gheață, departe de pereții și fundul paharului. Așteptați ca gheața să înceapă să se topească.

Se vor nota indicațiile termometrului atunci când temperatura acestuia este 0 °C (considerând că presiunea atmosferică este cea normală).

2. Turnați apă într-un pahar de sticlă termorezistentă. Fixați termometrul, astfel încât bulbul acestuia să se afle complet cufundat în apă, departe de pereții și fundul paharului. Aduceți apa la fierbere cu un fierbător (termoplonjon).

Se va nota indicația termometrului atunci când temperatura acestuia este de 100 °C (considerând că presiunea atmosferică este cea normală).

3. Dacă indicațiile termometrului diferă de cele așteptate, stabiliți o relație de corecție, astfel încât să puteți măsura mai precis temperatura folosind acel termometru.

4. Lăsați termometrul să ajungă la echilibru termic cu aerul din cameră și folosiți relația de corecție pentru a determina cu mai mare acuratețe temperatura aerului.

► Activitatea experimentală 2

Caracterizați fiecare dintre tipurile de conectori pentru termocuplu prezentate în figura 1.16.

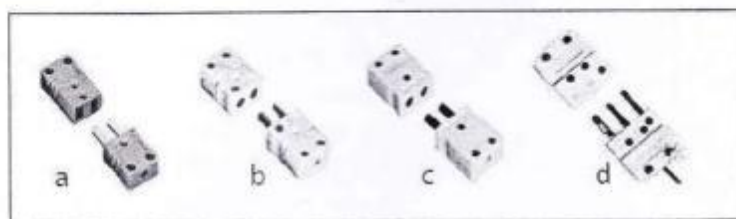


Fig. 1.16. Conectori pentru termocuplu: a) conectori mini; b) conectori de ceramică; c) conectori standard; d) conectori RTD 3 pini.

► Activitatea experimentală 3

Reglarea temperaturii într-un furnal

Măsurarea electrică a temperaturii prezintă importanță în ceea ce privește mărimile termice, indirect putând fi folosită la măsurarea debitelor, a presiunilor joase, a valorii efective a tensiunilor și a curenților. În figura 1.17 este prezentată schema de reglare a temperaturii într-un furnal.

Temperatura de măsurat nu este identică cu temperatura măsurată, din cauza efectuării unor schimburi de căldură între mediu și traductor.

Reglatoarele folosite la reglarea temperaturii sunt de tip PI și PID. La reglatoarele PI se anulează eroarea staționară la intrare treaptă, însă apare un suprareglaj mai mare decât la regulatorul P, și la o valoare mare a timpului tranzitoriu, t_r .

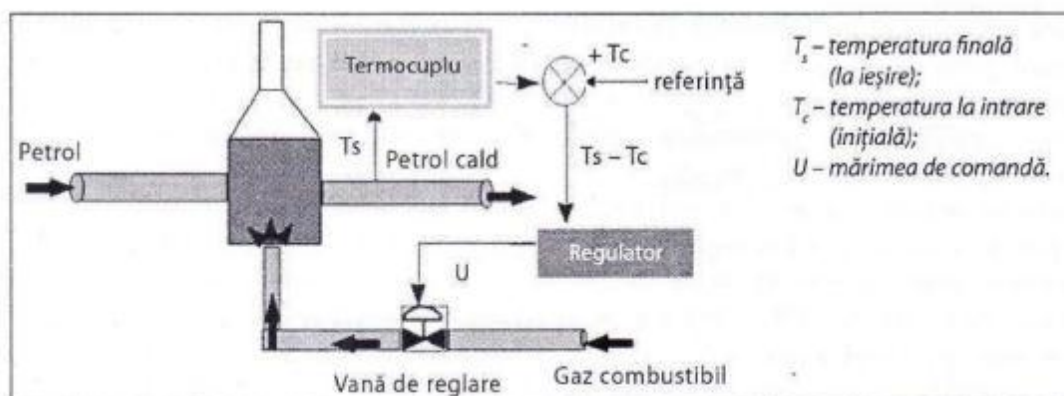


Fig. 1.17. Reglarea temperaturii într-un furnal

În multe situații, schemele pentru măsurarea temperaturii sunt incluse în bucle de reglare a temperaturii pentru incinte termostate. Dacă încălzirea se face electric, nu este indicat ca alimentarea schemei de măsurare să se facă de la aceeași sursă de putere ca și rezistorul de încălzire, deoarece pot apărea cuplaje parazite importante, care măresc histeresisul temperaturii reglate. În acest caz este indicat ca alimentarea pentru încălzire să se realizeze în curent alternativ, iar alimentarea schemei de măsurare în curent continuu.

► Activitatea experimentală 4

Sistemele de reglare a temperaturii din instalațiile frigorifice

În cele mai simple instalații termice, schema-bloc a unui sistem de reglare a temperaturii este cea din figura 1.18.

Sistemele de reglare a temperaturii din instalațiile frigorifice sunt realizate, în majoritatea cazurilor, prin intermediul echipamentelor specializate cu acțiune continuă sau cu regulator bipozițional.

În instalațiile termice la care timpul mort este mare, este necesară utilizarea sistemelor de reglare cu regulator **PID** sau **PI**. În unele situații, când timpul mort este foarte mare ($T_m > T$), se impune utilizarea unor regulatoare speciale (cu acțiune prin impulsuri).

Temperatura t din incinta 1 este realizată prin intermediul serpentinei 2, parcursă de agent termic (atunci când $t > t_0$, unde t_0 este temperatura mediului ambiant) sau de agent de răcire (atunci când $t < t_0$).

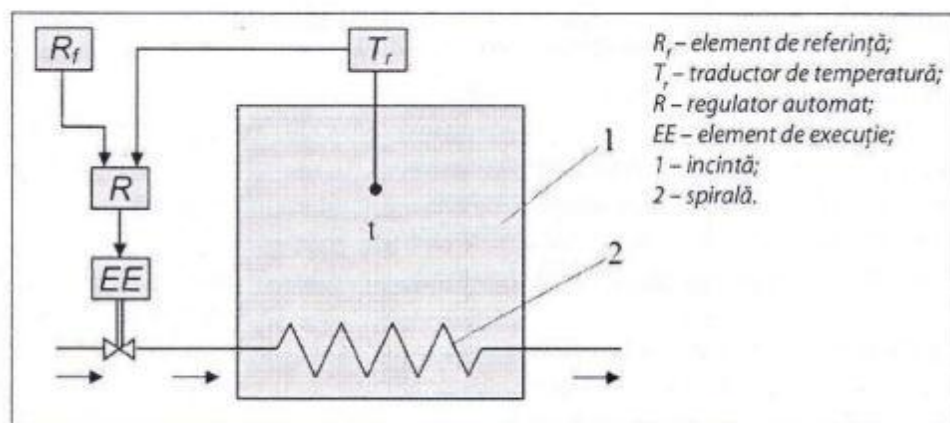


Fig. 1.18. Schema-bloc a unui sistem de reglare a temperaturii

Dacă temperatura t are tendința să crească, regulatorul R comandă micșorarea secțiunii de trecere a organului de reglare – în cazul instalațiilor de încălzire – sau mărirea secțiunii de trecere – în cazul instalațiilor frigorifice.

Pentru obținerea unor performanțe superioare la reglarea automată a temperaturii, se poate adopta un sistem de reglare în cascadă.

Bucula de reglare automată a temperaturii, conținând traductorul de temperatură T_{r1} și regulatorul R_1 , include o buclă de reglare a debitului, formată din traductorul de debit T_{r2} , regulatorul R_2 și elementul de execuție EE . Dacă temperatura t tinde să scadă față de valoarea prescrisă, regulatorul de temperatură R_1 impune o valoare prescrisă mai mare la regulatorul de debit R_2 . Bucula de reglare interioară stabilește debitul la noua valoare prescrisă, astfel încât temperatura t crește, revenind la valoarea impusă. Sistemul de reglare în cascadă reacționează foarte eficient la o perturbație de tipul unei variații a presiunii agentului termic la intrare (fig. 1.19).

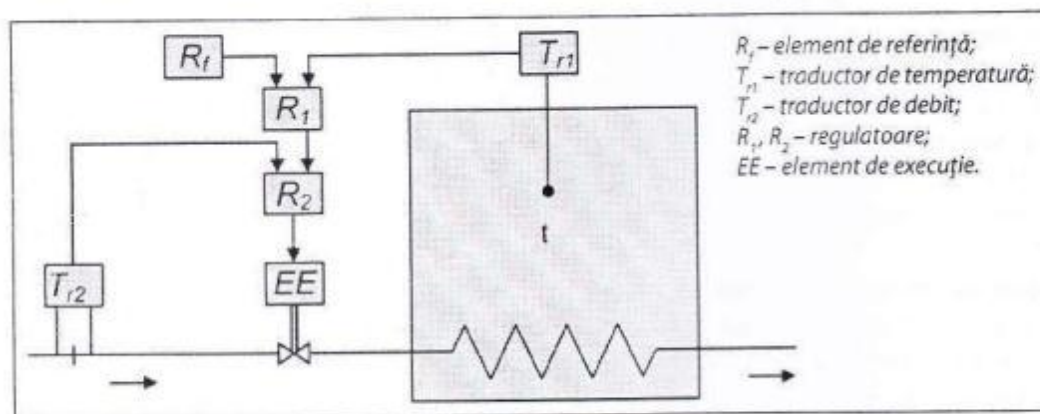


Fig. 1.19. Reglarea automată a temperaturii

Dacă presiunea crește brusc, crește și debitul agentului termic, existând tendința ca temperatura t să crească.

În figura 1.20 este prezentată schema funcțională a unui cazan încălzit cu abur, iar în figura 1.21 este prezentată schema-bloc a cazanului încălzit cu abur.

Identificați, în ambele figuri menționate, principiul de funcționare a unui cazan încălzit cu abur și rolul funcțional al fiecărui bloc component.

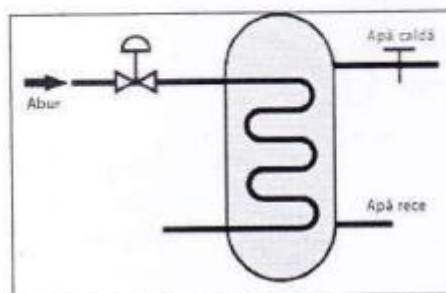


Fig. 1.20. Schema funcțională a unui cazan încălzit cu abur

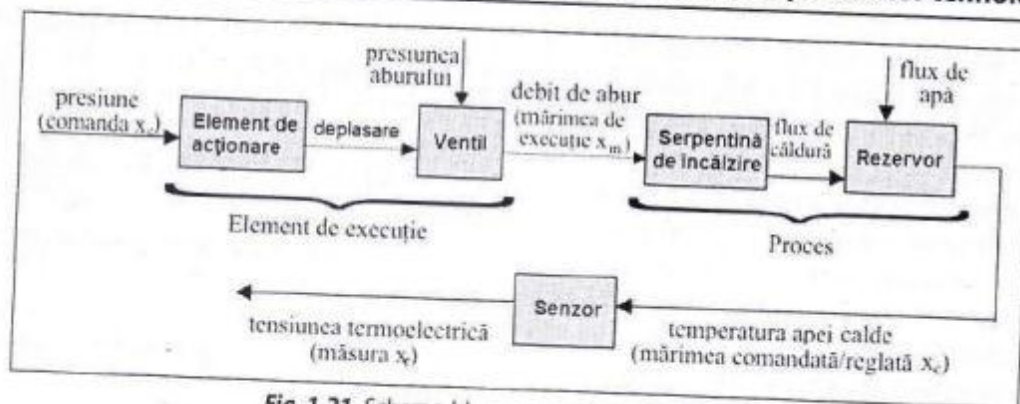


Fig. 1.21. Schema-bloc a cazanului încălzit cu abur

► Aplicație practică 1

Se consideră o schemă electrică în care termistorul comandă deschiderea unui circuit basculant bistabil (CBB) prin modificarea tensiunii de polarizare (fig. 1.22).

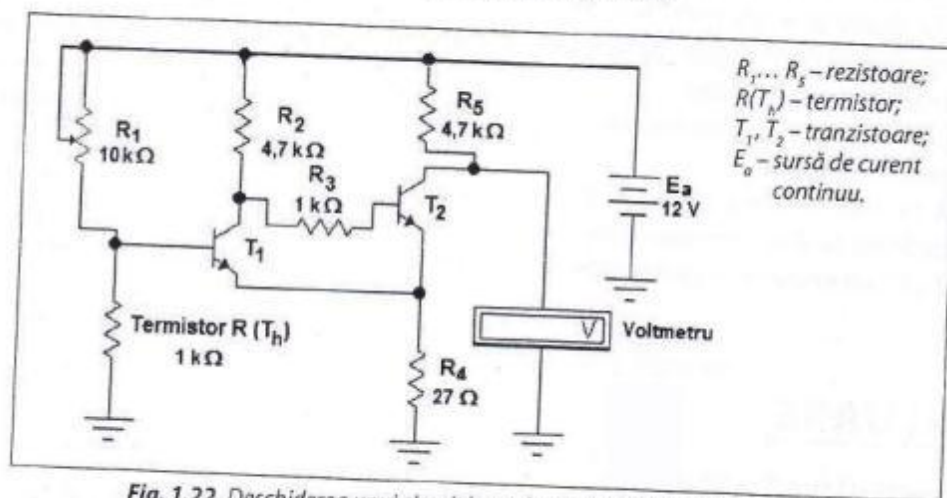


Fig. 1.22. Deschiderea unui circuit basculant bistabil (schemă electrică)

Schema electrică prezintă două stări. Prima stare, când temperatura mediului în care se află termistorul este sub valoarea de control (supraveghere) și a doua stare, când temperatura este deasupra acestei valori. Termistorul va fi montat în incinta a cărei temperatură trebuie supravegheată, conectarea la restul schemei făcându-se cu un circuit bifilar. Tensiunea de ieșire se culege de la bornele rezistorului R_5 .

Presupunem că montajul trebuie să asigure menținerea unei temperaturi constante $t = +40^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Până la atingerea valorii de $+40^\circ\text{C}$, termistorul prezintă o rezistență electrică pe care o notăm cu $R_1(Th)$. În această situație, valorile rezistoarelor trebuie astfel calculate încât tranzistorul T_1 să fie deschis, respectiv între baza și emitorul lui să existe o tensiune de minimum 0,65 V. Această tensiune este asigurată de divizorul format din R_1 și $R(Th)$, ținând cont și de căderea de tensiune pe R_4 și existența curentului I_1 .

Tranzistorul T_1 face ca între colectorul și emitorul său să existe o tensiune mai mică de 0,2 V. Cum această tensiune este aplicată tranzistorului T_2 drept tensiune de polarizare, rezultă că T_2 va fi blocat, iar prin rezistorul R_5 nu va circula niciun curent, deci semnalul de ieșire este nul.

Pe măsură ce temperatura crește, rezistența electrică a termistorului scade. În momentul în care temperatura a ajuns la $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, termistorul prezintă valoarea $R_2(\text{Th})$, unde $R_2(\text{Th}) < R_1(\text{Th})$, iar tensiunea în baza lui T_1 scade ca urmare a modificării raportului dintre R_1 și $R(\text{Th})$. Tranzistorul T_1 se blochează.

Instantaneu are loc deblocarea lui T_2 , acesta primind tensiunea de polarizare pe bază prin R_2 și R_3 . Curentul de colector din T_2 străbătând și rezistorul de sarcină R_s , face ca la bornele acestuia să apară o tensiune continuă, tensiune care constituie semnalul de ieșire ce va pune în funcțiune elementele de reglaj, de avertizare ale instalației.

La scăderea din nou a temperaturii sub $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, valoarea lui $R(\text{Th})$ crește, T_1 se deschide din nou și procesul se reia, schema acționând cu o eroare admisă mai bună de $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Mod de lucru:

1. Se introduce sonda cu termistorul în cutia termostată.
2. Se introduce termometrul digital de control în cutia termostată.
3. Se reglează fin reostatul, astfel încât termometrul de control să se stabilizeze la o valoare cât mai apropiată de $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. Se reglează fin semireglabilul R_1 până în momentul producerii basculării, lucru constatat prin măsurarea tensiunilor.
5. Se întrerupe alimentarea rezistenței de încălzire pentru a se răci (fără a schimba poziția reostatului de încălzire).
6. După ce temperatura a scăzut sensibil, cca 4-5 grade, se pornește din nou încălzirea, observându-se dacă procesul este repetabil în aceleași condiții.
7. Se va calcula eroarea cu care acționează schema.

☒ EVALUARE

A. Completați spațiile libere:

1. Temperatura este mărimea care caracterizează starea de ...1... a unui corp.
2. Unitatea de măsură a temperaturii în Sistemul Internațional este ...2... .
3. Regulatoarele folosite la reglarea temperaturii sunt de tip ...3... .
4. Prin temperatură ...4... se înțelege factorul de proporționalitate al schimbului de energie prin efect termic pentru fiecare corp aparținând unui sistem termodinamic.
5. Scara termodinamică are ...5... puncte fixe.

B. Stabiliți valoarea de adevăr a următoarelor afirmații:

1. Un grad Celsius reprezintă a $1/273,16$ parte din intervalul cuprins între punctul triplu al apei și punctul zero absolut, la presiune normală.
2. Temperatura $273,16\text{ K}$ este numită zero absolut și este punctul în care moleculele și atomii au cea mai mică energie termică.
3. Regulatoarele folosite la reglarea temperaturii sunt de tip PI și PID.

C. Enunțați principiile de măsurare folosite în construcția termorezistențelor.

Sisteme de reglare automată a presiunii

2.1. Presiunea

Presiunea reprezintă un parametru de bază pentru majoritatea proceselor tehnologice în care se folosesc fluide.

Presiunea este o mărime fizică derivată scalară, egală cu raportul dintre forța exercitată normal pe elementul de suprafață și suprafața elementului (fig. 2.1). Presiunea se transmite suprafețelor înconjurătoare ale domeniului sau ale secțiunilor prin fluid în direcție *normală*, în orice punct al acestor suprafețe sau secțiuni. Ea este un parametru fundamental în termodinamică.

Relația de definiție este:

$$p = \frac{dF}{dS}, \text{ unde:}$$

p – presiunea [N/m^2];

F – forța normală [N];

S – suprafața [m^2].

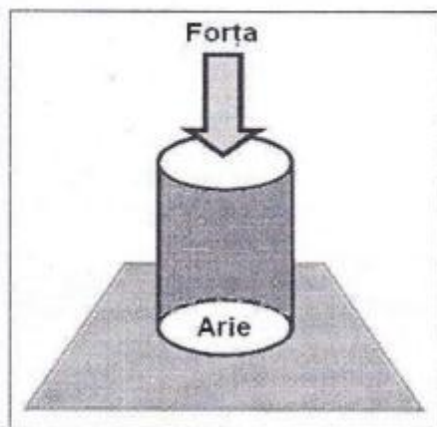


Fig. 2.1. Definierea presiunii

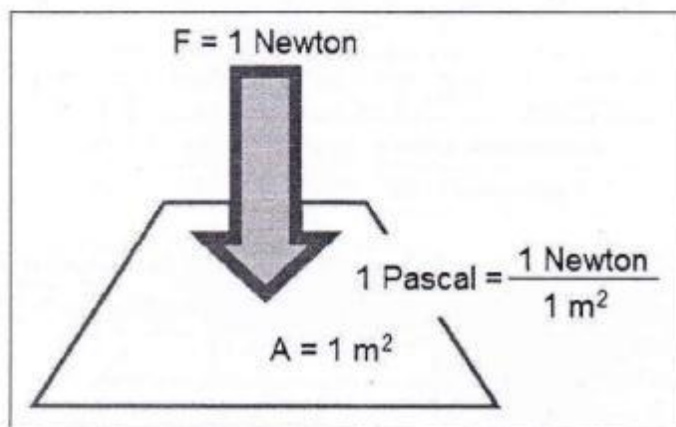


Fig. 2.2. Unitatea de măsură a presiunii

Unitatea de măsură pentru presiune în SI este *pascalul*, cu simbolul *Pa*.

Pascalul este presiunea creată de o forță de 1 N aplicată pe o suprafață perpendiculară de 1 m^2 , fiind relativ mică pentru aplicațiile tehnice, unde se preferă barul (fig. 2.2):

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 0,01 \text{ milibar} = 0,00001 \text{ bar}$$

EXEMPLU

Presiunea este o consecință a gravitației: un obiect solid exercită o presiune asupra suportului pe care se află. Pașii unui drumeț pe zăpadă vor lăsa urme adânci, dar, dacă el este încălțat cu niște rachete, urmele lăsate vor fi mai puțin adânci.

În schimb, un obiect scufundat într-un recipient conținând un fluid va fi supus presiunii exercitate de acest fluid.

În practică se mai folosesc și alte unități de măsură pentru presiune, precum:

- **atmosfera tehnică** ($1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2$);
- **atmosfera fizică** (1 atm) este presiunea hidrostatică echivalentă unei coloane de mercur cu densitatea de $13,595 \text{ g/cm}^3$, având înălțimea de 760 mm , la 0°C , corespunzătoare unei accelerații gravitaționale de $980,666 \text{ cm/s}^2$;
- **mm coloană de mercur** ($1 \text{ mmHg} = 1 \text{ torr}$) este presiunea hidrostatică a unei coloane de mercur, în condițiile de mai sus, cu înălțimea de 1 mm ;
- **mm coloană de apă** ($1 \text{ mmH}_2\text{O}$) este presiunea hidrostatică echivalentă unei coloane de apă cu înălțimea de 1 mm .

Tabelul 2.1. Unități de măsură pentru presiune

Unitate de măsură	Simbol	N/m^2 (SI)
1 kg forță/metru pătrat	kgf/m^2	9,80665
1 dynă/cm pătrat (microbar)	dyn/cm^2 (mbar)	10^{-1}
1 mm coloană de apă	mmH_2O	9,80665
1 mm coloană de mercur	mmHg (torr)	133,322
1 atmosferă tehnică	at (kgf/cm^2)	$9,80665 \cdot 10^4$
1 atmosferă fizică	atm	$1,01325 \cdot 10^5$

Tabelul 2.2. Echivalențe pentru unitățile de măsură pentru presiune

Unitate de măsură	kgf/cm^2	mmHg	mmH_2O	Pa
1 kgf/cm^2	1	735,559	$1,00028 \cdot 10^4$	0,0980665 M
1 mmHg	$1,3595 \cdot 10^{-3}$	1	$1,3595 \cdot 10$	0,133322 k
1 mmH ₂ O	$0,99997 \cdot 10^{-4}$	$7,356 \cdot 10^{-2}$	1	0,00980665 k
1 Pa	$1,0197 \cdot 10^{-5}$	$7,5006 \cdot 10^{-3}$	0,10197	1

Presiunea de referință în tehnică, numită **presiune normală** (presiunea exercitată de o coloană de mercur cu înălțimea de $735,56 \text{ mm}$ în condițiile precizate), este diferită de **presiunea atmosferică normală**, care corespunde presiunii hidrostatice echivalentă unei coloane de mercur cu înălțimea de 760 mm , la 0°C și cu o accelerație gravitațională de $980,666 \text{ cm/s}^2$.

Domeniul presiunilor din tehnică este deosebit de vast. În natură și în instalațiile tehnice pot exista diferite tipuri de presiuni:

a) presiunea atmosferică (p_a)

Presiunea atmosferică sau *presiunea barometrică* reprezintă presiunea exercitată de aerul din atmosferă asupra scoarței terestre. Atmosfera, care înconjoară globul pământesc, exercită o anumită presiune asupra suprafeței Pământului și asupra tuturor oamenilor, animalelor și obiectelor care se află pe el. Presiunea atmosferică variază cu altitudinea (datorită greutateii aerului), cu starea vremii (dată de deplasarea maselor de aer atmosferic) și cu poziția geografică de pe globul terestru.

Aerul din partea inferioară a atmosferei terestre este într-o continuă mișcare. Aceste deplasări, percepute de noi ca vânturi, transportă căldura dinspre Ecuator spre regiunile polare, iar vaporii de apă sunt transportați dinspre mări spre uscat, producând ploaia dătătoare de viață. Variația densității aerului în funcție de presiune a condus la necesitatea stabilirii unei presiuni de referință, numită *presiune normală*.

Presiunea atmosferică este corespunzătoare nivelului mării la latitudinea de 45° și temperatura de 0°C și are valoarea $p_N = 760 \text{ mmHg} = 101.325 \text{ Pa}$. Presiunea se măsoară cu ajutorul barometrului cu mercur (fig. 2.3), iar valoarea ei poate fi exprimată în mai multe unități de măsură, cel mai adesea în **milimetri coloană de mercur (torr)**, dar și în **kiloPascali** sau **atmosfere**.

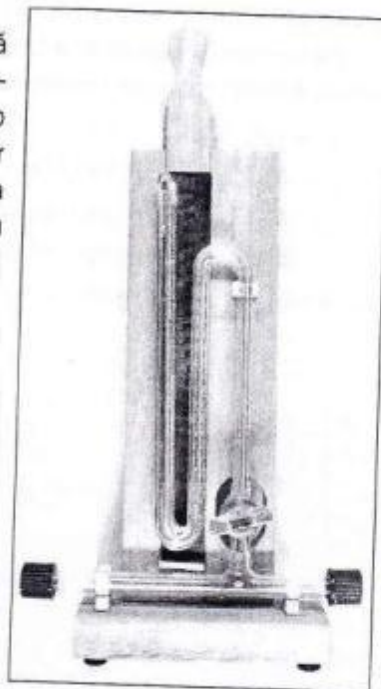


Fig. 2.3. Barometru cu mercur

? ȘTIATI CĂ...

- Un indicator foarte util meteorologilor în prognozele emise de aceștia este presiunea atmosferică. Presiunea atmosferică nu este la fel peste tot; dacă aerul este rece, el apasă în jos pentru a crea o presiune mai mare asupra Pământului. Dacă aerul este cald, el se ridică având o presiune mai mică. De asemenea, aerul cald poate evapora apa din oceane și o poate transporta la înălțime, formând norii (de aceea, presiunea mică poate aduce ploaia).
- De exemplu, zonele în care urmează să se dezlănțuie furtuni foarte puternice, cum sunt cicloanele sau uraganele, sunt zone de presiune relativ scăzută, prin comparație cu zonele din jur. Diferențele de presiune atmosferică dintre anumite zone generează mișcări ale aerului dinspre zona de presiune ridicată către cea de presiune scăzută. De obicei, valorile mari ale presiunii atmosferice sunt indicatori de vreme bună. Valoarea medie a presiunii atmosferice se situează în jurul a 760 milimetri coloană de mercur și scade cu altitudinea. Furtunile sunt anunțate de scăderea presiunii atmosferice.
- Din cauza presiunii mai scăzute de la munte, apa poate fierbe chiar și la 90°C , în timp ce în zonele care se află sub nivelul mării este nevoie de mai mult de 100°C . În laborator pot fi create condiții de presiune care fac apa să fiarbă la 0°C . Cu toate acestea, se poate fierbe un ou pe muntele Everest, deși uneori se susține contrariul. Doar că durează mai mult timp. Ca să fierbem un ou la altitudine, acesta trebuie lăsat mai mult timp până ce va fi gata, fiindcă, la înălțime, presiunea atmosferei este mai mică și permite fierberea apei la temperaturi mai mici.
- Punctul de fierbere al apei este de 100°C . Însă această temperatură de fierbere este o medie, un punct de referință, întrucât apa fierbe la exact 100°C atunci când presiunea atmosferică este de aproximativ 1 bar.
- Forța generată de presiune pe o suprafață $S = 2 \text{ m}^2$ din peretele submarinului este de 40.200.000 N.
- Presiunea atmosferică influențează tensiunea arterială.

b) presiunea hidrostatică (p_h)

Presiunea hidrostatică este presiunea statică exercitată la un anumit nivel în interiorul unui lichid, determinată de greutatea coloanei de lichid aflată deasupra acestui nivel.

$p_h = \rho gh$, unde:

ρ – densitatea fluidului [kg/m^3] – de exemplu, densitatea apei este practic de 1000 kg/m^3 ;

g – accelerația gravitațională, cu neglijarea variației accelerației gravitaționale cu înălțimea [m/s^2] – convențional $9,80665 \text{ m/s}^2$ la suprafața mării;

h – înălțimea coloanei de fluid [m].

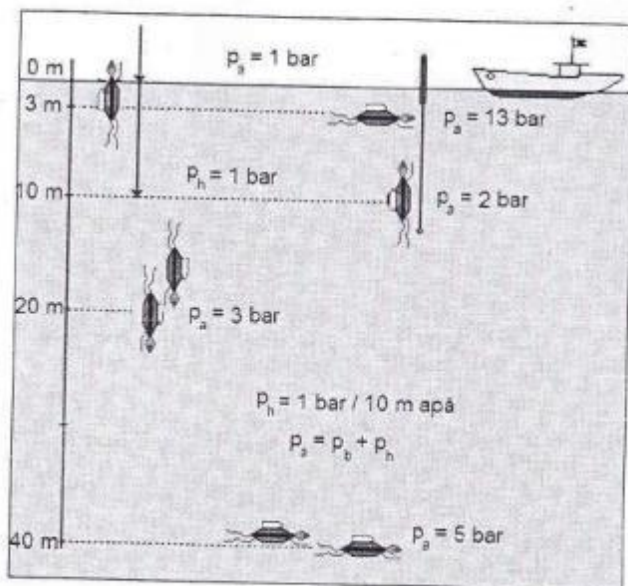


Fig. 2.4. Valori curente ale presiunilor

Spre deosebire de obiectele solide, fluidele (gaze și lichide) nu au formă proprie: ele iau forma recipientului în care se află. Ele exercită astfel o presiune nu numai asupra fundului recipientului, ci și asupra pereților interiori ai acestuia. Din cauza apăsării fluidului, această presiune este mai ridicată la fundul recipientului.

Presiunea crește proporțional cu adâncimea, iar pasionații de scufundări marine cunosc acest lucru: cu cât coboară mai mult, cu atât presiunea pe care trebuie să o suporte este mai mare.

Un obiect care e scufundat într-un lichid este supus la presiuni din toate direcțiile. Presiunile laterale se echilibrează reciproc, dar, pe verticală, presiunea de jos este mai mare decât cea din capătul opus al obiectului; în consecință, acesta va fi împins în sus; el va urca până când această forță de presiune se va echilibra cu greutatea lui.

Aceste fenomene fizice țin cont de principiul lui Arhimede, care spune că: „Orice corp scufundat într-un lichid suferă o împingere ascendentă pe verticală, egală cu greutatea lichidului dislocat”. De asemenea, matematicianul Blaise Pascal a descoperit un alt principiu, conform căruia: „Atunci când un lichid închis într-un recipient suferă o variație de presiune, aceasta din urmă se transmite în fiecare punct al lichidului”. Acest principiu stă la baza numeroaselor mecanisme și sisteme hidraulice.

Presiunea hidrostatică se măsoară cu ajutorul manometrului.

c) presiunea absolută (p_a)

Presiunea absolută reprezintă presiunea unui fluid considerată față de zero absolut.

Este presiunea care se măsoară în raport cu vidul absolut (considerat de presiune zero) și care se utilizează în toate relațiile termotehnice.

d) suprapresiunea (p_s)

Când în instalațiile tehnice presiunea absolută este mai mare decât presiunea atmosferică, diferența dintre acestea poartă denumirea de *suprapresiune* sau *presiune manometrică*.

e) depresiune (p_v)

Când în instalațiile tehnice presiunea absolută este mai mică decât presiunea atmosferică, diferența dintre acestea poartă numele de *depresiune*, *subpresiune*, *vacuum* sau *presiune vacuummetrică*. Vidul, exprimat în procente din presiunea atmosferică, este:

$$V = \frac{p_v}{p_b} \cdot 100 [\%]$$

Suprapresiunea și depresiunea, fiind exprimate în raport cu presiunea atmosferică, se mai numesc și *presiuni relative*. Ele se determină față de nivelul presiunii atmosferice: presiune manometrică sau presiune vacuummetrică.

Relațiile de calcul se modifică în funcție de poziție. Astfel, în figura 2.5.a, punctul 1, în cazul suprapresiunilor: $p_o = p_b + p_s$, iar în figura 2.5.a, punctul 2, în cazul depresiunilor: $p_o = p_b - p_v$. În cazul figurii 2.5.b, relațiile de calcul sunt: $p_m = p - p_a$ și $p_v = p_a - p$.

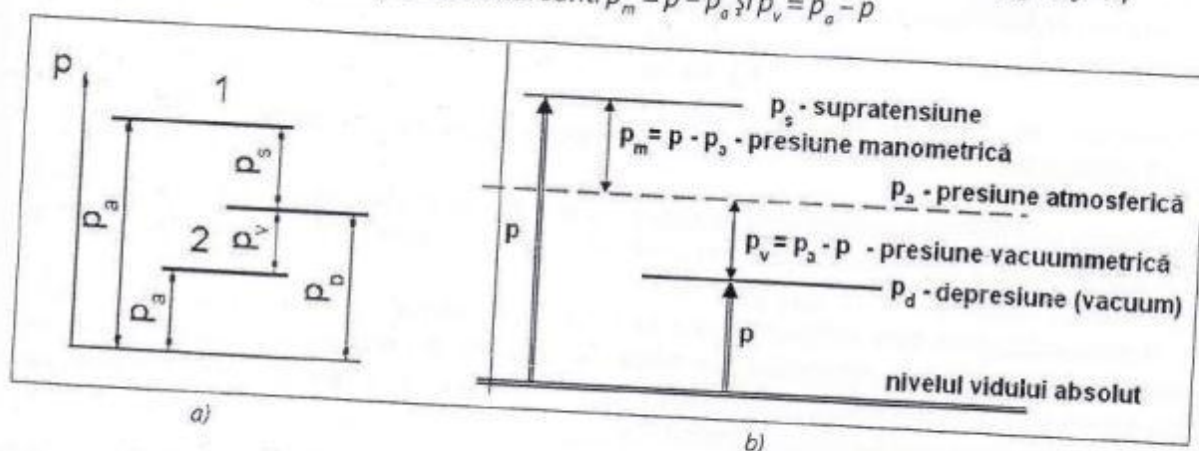


Fig. 2.5. Schema domeniilor de măsurare a presiunilor

f) presiunea statică (p_{st})

Presiunea statică reprezintă presiunea care se exercită pe suprafața plană de separare dintre două mase de fluid aflate în mișcare.

g) presiunea totală (p_{tot})

Dacă într-un curent de fluid se introduce un obstacol, viteza fluidului devine zero, iar întreaga energie cinetică specifică a fluidului se manifestă sub formă de presiune. Presiunea din acest punct de oprire (de stagnare) poartă denumirea de presiune totală.

h) presiunea dinamică (p_{din})

Presiunea dinamică se definește ca diferența dintre presiunea totală și cea statică dintr-o secțiune transversală printr-un curent de fluid:

$p_{din} = p_{tot} - p_{st}$, fiind funcție de viteza w și densitatea ρ a fluidului, prin relația:

$$p_{din} = \rho \cdot \frac{w^2}{2}$$

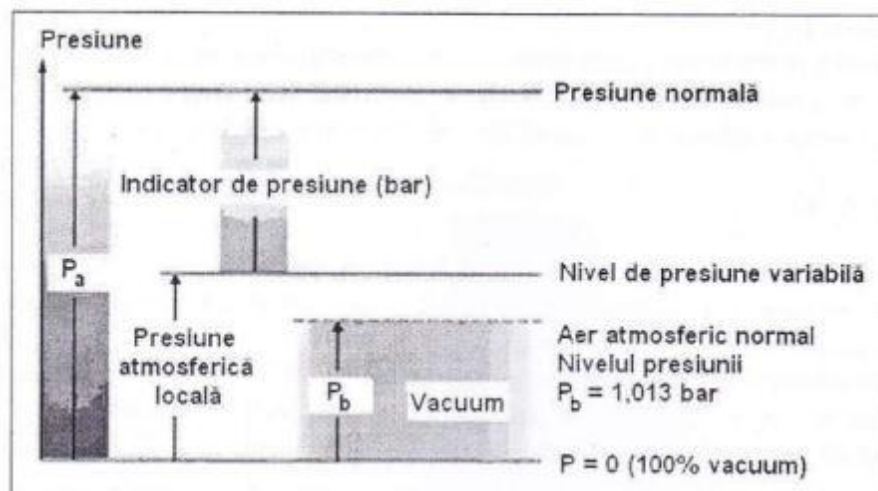


Fig. 2.6. Niveluri de presiune

i) **presiunea diferențială** este diferența de presiune dintre două medii diferite.

Felul în care lichidele reacționează sub presiune are multe întrebuințări, atât în gospodărie, cât și în industrie. Cele mai întrebuințate instrumente pentru măsurarea presiunii sunt manometrul, barometrul și altimetrul.

Uzual, măsurarea presiunilor se poate face cu **manometrul** (fig. 2.7). Manometrul pentru presiunea atmosferică se numește **barometru** (fig. 2.8). Pentru măsurarea altitudinii (înălțimii) față de un nivel de referință (nu neapărat nivelul mării), aflat la bordul planoarelor, avioanelor (aparatelor de zbor) se utilizează **altimetrul** (fig. 2.9).



Fig. 2.7. Manometre

Fig. 2.8. Barometre

Fig. 2.9. Altimetre

Barometrul a fost inventat de fizicianul italian Evangelista Torricelli în anul 1643, după ample studii ale vidului realizate de către omul de știință italian Galileo Galilei.

Este un instrument folosit în măsurarea presiunii atmosferice. În general, barometrele sunt construite după două principii: principiul variației înălțimii unei coloane de mercur și principiul deformării unei capsule aneroide. În funcție de principiul fizic al funcționării și de soluția constructivă, barometrele utilizate în practica meteorologică sunt: barometrele cu apă, barometrele cu gaz, barometrele cu mercur, barometrele mecanice (aneroide).

Barometrele cu mercur sunt cele mai precise și sunt împărțite în două categorii: *barometre cu rezervor* și *barometre cu sifon*.

Cea mai simplă formă de barometru cu rezervor este formată dintr-un tub de sticlă lung de aproximativ 85 cm, având o înălțime h de mercur care iese dintr-un tub ce conține, de asemenea, mercur. Acest barometru este cunoscut sub numele de Torricelli (fig. 2.10, stânga). În barometrul lui Fortin (fig. 2.10, dreapta) se face o corecție a indicației prin reglarea greutății suprafeței de mercur din bazin.

Coloana de mercur trebuie să fie perfect verticală, pentru ca scala să arate corect și să poată fi citită corect. Eroarea capilarității din bazinul barometrului poate fi redusă la minimum prin folosirea unor tuburi cu un diametru mai mare de 2 cm.

Cea mai simplă formă de barometru cu sifon o constituie un tub de sticlă curbă, cu două brațe (fig. 2.11, stânga).

Diferența de nivel dintre mercurul din cele două brațe este numită *greutate barometrică*. Deoarece este dificil de lucrat cu acesta, iar impuritățile pot afecta mercurul prin partea deschisă a brațului inferior, instrumentul nu este folosit pentru lucrări precise. Barometrul Hooke (sau barometrul scripete) este, de fapt, o modificare a barometrului cu sifon (fig. 2.11, dreapta). Mișcarea suprafeței de mercur este arătată de un indicator pe o scală folosind o sticlă care plutește și care este conectată la un scripete.

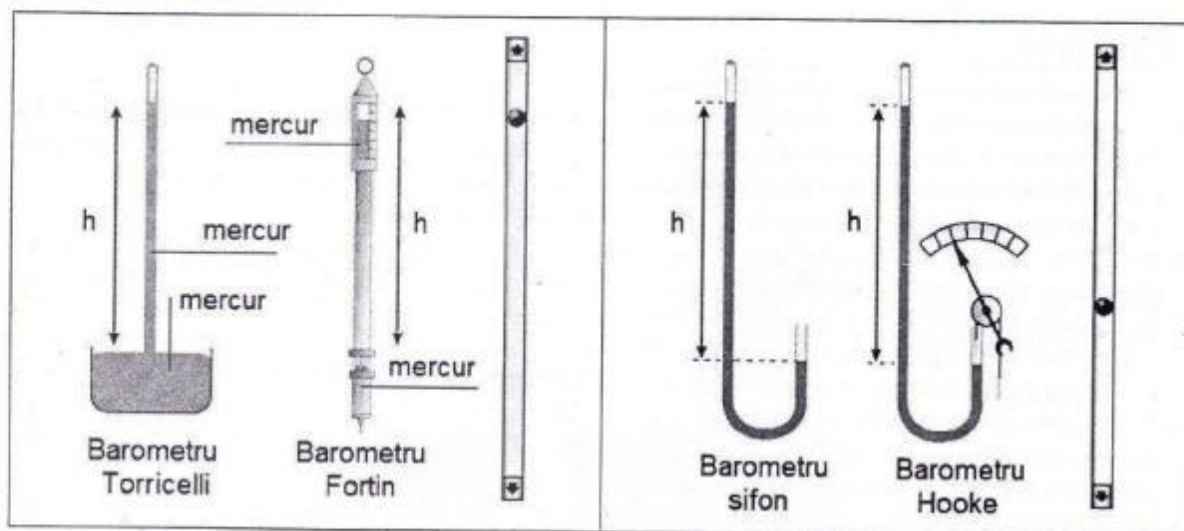


Fig. 2.10. Barometre cu rezervor

Fig. 2.11. Barometre cu sifon



Fig. 2.12. Barometre aneroide

Barometrele care folosesc un indicator, un cadran gradat și nu folosesc coloane de mercur se numesc **barometre aneroide** (fig. 2.12). Sunt cele mai des folosite și se mai numesc *barometre mecanice*.

Ele indică presiunea atmosferică ce acționează asupra unei cutiute metalice elastice, cu pereți subțiri și cu o gaură mică. Schimbările presiunii din aer acționează asupra cutiei din tablă ondulată, care se dilată sau se contractă. La micșorarea presiunii atmosferice, cutiuța se lărgiște, iar la mărirea ei se contractă, acționând asupra unui arc. Mișcarea cutiei este transmisă la indicator cu un sistem de pârghii.

Barometrele pot fi utilizate la prezentarea buletinelor meteo, în multimedia, dacă situația generală a vremii este cunoscută. Barometrele aneroide sunt, de asemenea, folosite la radiosonde și radar sonde, pentru măsurarea presiunii atmosferice în păturile foarte înalte. Barometrele pot fi utilizate și ca altimetre, care sunt instrumente ce măsoară înălțimea de la nivelul mării, deoarece presiunea atmosferică descrește cu regularitate, cu înălțimea.

? ȘTIAȚI CĂ...

- În condiții obișnuite, pe suprafața Pământului oscilațiile presiunii atmosferice pot fi extrem de mici: 10-30 mmHg, iar oamenii sănătoși le suportă ușor și nu le percep. Însă cei bolnavi sunt foarte sensibili chiar și la astfel de oscilații neînsemnate de presiune. În cazuri aparte se observă devieri considerabile, care pot apărea ca un motiv direct de alterare a sănătății omului.
- Aerul este un amestec de azot în proporție de 78,08%, oxigen 20,93%, bioxid de carbon 0,03-0,04%, gaze inerte 1% și cantități variabile de vapori de apă. Schimbările de gaze dintre organism și atmosferă se efectuează în funcție de presiunea atmosferică la locul respectiv. La variația presiunii, fiecare gaz din acest amestec își va păstra proporția față de celelalte, însă, în același volum de aer, numărul moleculelor se va mări dacă presiunea va crește, sau se va micșora dacă presiunea va scădea.
- Modificările presiunii parțiale a diferitelor gaze ce intră în compoziția aerului atmosferic au consecințe asupra solubilității lor în lichidele și țesuturile organismului și, împreună cu alte modificări, duc la tulburările cauzate de acțiunea presiunii atmosferice crescute sau scăzute.
- Există persoane care desfășoară o serie de activități în condiții de presiune atmosferică ridicată sau scăzută, care depășesc cu mult limitele obișnuite la care organismul este adaptat. De aceste oscilații ale presiunii atmosferice sunt legate tulburările care apar la aviatori sau la scafandri, la persoanele ce activează în submarine și batiscafuri.
- Aparatele pentru măsurarea presiunii arteriale sunt folosite în domeniul medical și se numesc sfingomanometre.

Domeniul de măsurare a presiunii în știință și tehnică este deosebit de întins. Din această cauză, metodele de măsurare a presiunii sunt specifice numai pentru anumite intervale de măsurare.

În industrie, presiunea este un parametru important pentru diferite procese: chimice, hidraulice, pneumatice, mecanice etc., astfel încât măsurarea și verificarea ei devin obligatorii pentru supravegherea desfășurării acestor procese.

Pentru reglări simple, reglarea presiunii se face cu ajutorul reglatoarelor P, pentru lichide, cu reglatoare PI cu bandă de proporționalitate mare și constantă de timp de integrare mică, pentru gaze și abur, cu bandă de proporționalitate mică și constantă de timp de integrare mare, cu regulator PID, în cazul în care se dorește obținerea unor performanțe deosebite.

2.2. Aplicații

► Aplicația 1

Presiunea de umflare a anvelopelor

Anvelopele trebuie verificate și întreținute corespunzător, pentru a mări perioada de folosință a acestora și pentru a evita ca mașina să fie supusă unor riscuri majore. Producătorii recomandă **verificarea periodică a presiunii** din anvelope.

Pentru a vă ajuta să citiți și să interpretați corect presiunea din anvelope, țineți cont de următoarele aspecte (fig. 2.13):

1. Presiunea în anvelope **poate fi exprimată în kPa – kiloPascal, bari – Bari sau psi – pound per square inch**. De regulă, etichetele producătorilor menționează două unități de măsură: kPa și bar sau kPa și psi.

2. **Raportul de conversie** este următorul:

1 bar = 10^2 kPa = 14,5 psi;

1 psi = 6,894 kPa = 0,0689 bari;

1 kPa = 0,01 bari = 0,145 psi.

3. **O anvelopă poate pierde 1 psi/lună** în condiții normale. De asemenea, anvelopele pot pierde 1 psi pentru fiecare scădere a temperaturii cu 12°C.

În **exemplul din figura 2.14**, una dintre aceste anvelope este dezumflată cu 10 psi. Ochii vă pot induce în eroare, așa că, pentru o citire corectă, bazați-vă pe **un indicator de presiune bun**. Doar o privire nu este de ajuns pentru a verifica presiunea din cauciucuri. În cazul în care nu dispuneți de un indicator de presiune, apelați la un service auto.

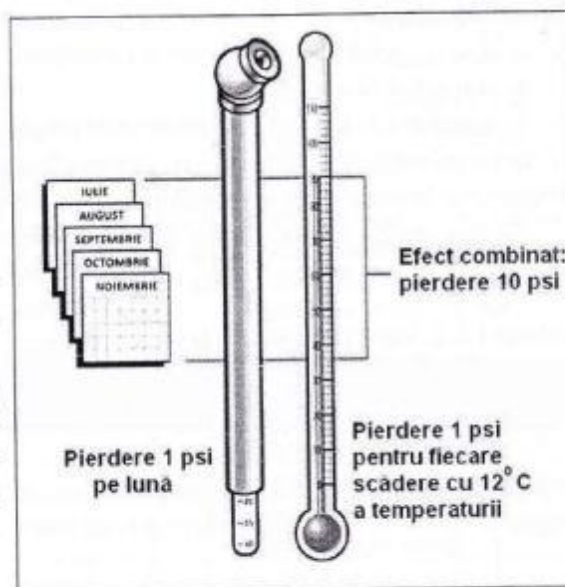


Fig. 2.13. Presiunea de umflare a anvelopelor

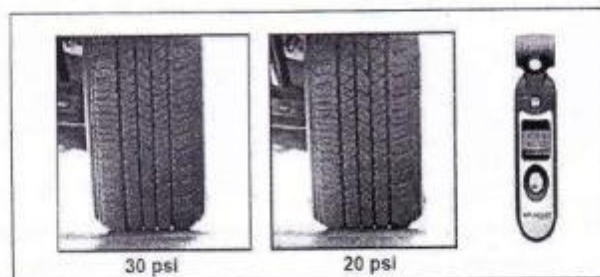


Fig. 2.14. Indicator de presiune

► Aplicația 2

Măsurarea diferitelor tipuri de presiuni

Lucrarea constă în măsurarea diferitelor tipuri de presiuni întâlnite în tehnică, prin utilizarea aparatelor de măsură montate pe standurile din laborator:

- măsurarea presiunilor aerului debitat de un compresor, a aburului dintr-o rețea, prin intermediul manometrelor cu element elastic de tip Bourdon;
- măsurarea diferenței de presiune dată de o diafragmă montată pe o conductă de aer, cu ajutorul manometrului cu lichid de tip U;
- măsurarea presiunii vacuummetrice dintr-un recipient, presiune realizată de către o pompă de vid, utilizând manometrul cu lichid de tip U;
- măsurarea presiunii atmosferice cu ajutorul barometrului cu mercur și a barometrului aneroid;
- măsurarea presiunii dinamice la trecerea aerului printr-un canal, prin intermediul micromanometrului cu tub înclinat, precum și a presiunii statice, cu ajutorul manometrului cu lichid de tip U.

Prelucrarea rezultatelor

În tabelul 2.3, sunt centralizate valorile presiunilor măsurate cu aparatele indicate mai sus, în unitățile de măsură în care au fost etalonate aparatele de măsură, precum și valorile transformate în sistemul internațional de unități de măsură.

Se calculează, de asemenea, presiunea absolută în cazurile a) și c), precum și a presiunii totale, în cazul e).

Tabelul 2.3. Valori măsurate și calculate

Nr. crt.	Tipul presiunii	Simbol	Unitatea de măsură		Valori		
			aparat	S.I.	1	2	3
1.	Suprapresiune	p_s		N/m ²			
2.	Depresiune	p_v		N/m ²			
3.	Presiune atmosferică (barometrică, locală)	p_b		N/m ²			
4.	Diferența de presiune	D_p		N/m ²			
5.	Presiune absolută	p_a		N/m ²			
6.	Presiune dinamică	p_{din}		N/m ²			
7.	Presiune statică	p_{st}		N/m ²			
8.	Presiune totală	p_{tot}		N/m ²			

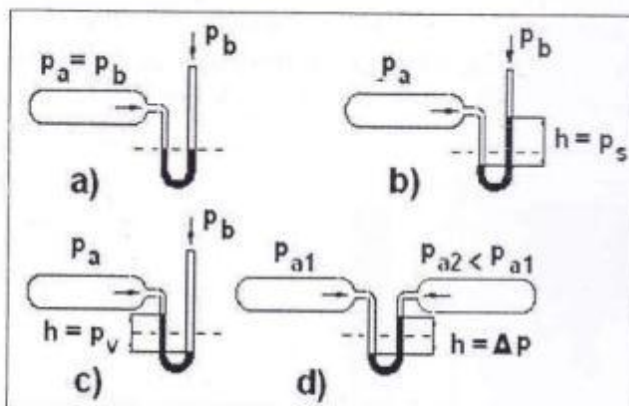


Fig. 2.15. Montaje pentru măsurarea presiunilor

Dacă nivelul lichidului în ambele ramuri ale tubului este același, presiunea din rezervor va fi egală cu presiunea atmosferică (fig. 2.15.a). Considerând echilibrul coloanei de lichid manometric la nivelul A-A' (fig. 2.15.b), presiunile din cele două ramuri, exprimate în unități de lungime ale coloanei de lichid, vor fi egale, rezultând:

$$p_a = p_b + h$$

Montajele din figurile 2.15.c) și d) servesc pentru măsurarea depresiunilor p_v , respectiv a diferențelor de presiune dintre două rezervoare Δp .

► **Aplicația 3***Reglatoarele autonome de presiune*

Reglatoarele autonome de presiune sunt dispozitive de automatizare acționate de energia mecanică a fluidului vehiculat în scopul modificării cursei robinetului, realizându-se, astfel, reglarea presiunii (fig. 2.16).

Ele sunt de două tipuri:

a) reglatoare de presiune, destinate, în principal, reducerii valorii presiunii P_1 la valoarea P_2 și

b) retro-reglatoare de presiune, destinate, în principal, eliminării excesului de presiune peste valoarea presiunii P_1 .

Reglatoarele de presiune pentru reducerea presiunii (stații de reducere a presiunii) reduc presiunea la ieșirea dintr-un vas și o mențin aproape constantă în aval de dispozitiv, chiar dacă consumul variază în timp.

Aceste reglatoare funcționează pe **principiul echilibrării forțelor**. Presiunea care trebuie reglată (P_2) produce o forță proporțională cu P_2 pe fața de jos a membranei servomotorului (7). Această forță este comparată de membrană cu forța arcului (6) care se opune primei forțe. În funcție de echilibrul acestor două forțe, tija (4) modifică poziția ventilului (3) față de scaunul (2) din interiorul corpului robinetului (1). Prescrierea presiunii se face de la dispozitivul de prescriere (5). În figura 2.16, robinetul se închide pe măsură ce presiunea P_2 crește. Astfel, regulatorul menține presiunea P_2 la valoarea presiunii prescrise.

Retro-reglatoarele de presiune sunt destinate eliminării excesului de presiune din amonte de dispozitiv. Ele funcționează tot pe **principiul echilibrării forțelor**, având un mod de operare analog cu reglatoarele de presiune.

Singura diferență este aceea că presiunea care trebuie reglată (P_1) produce o forță proporțională cu P_1 pe fața de sus a membranei servomotorului, producând deschiderea robinetului pe măsură ce P_1 crește.

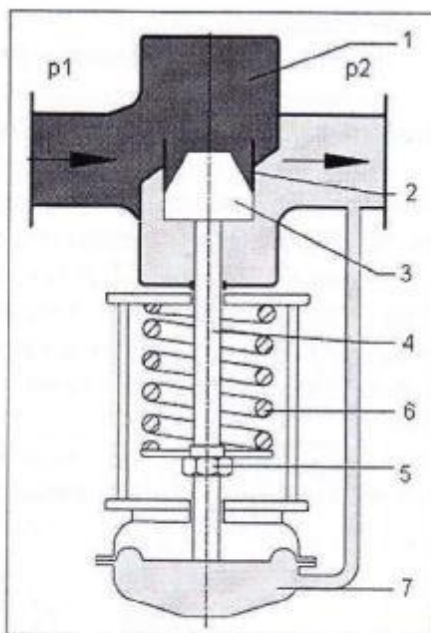


Fig. 2.16. Regulator autonom de presiune: 1 – corpul robinetului; 2 – scaun; 3 – ventil; 4 – tijă; 5 – dispozitiv de prescriere; 6 – arc; 7 – membrana servomotorului.

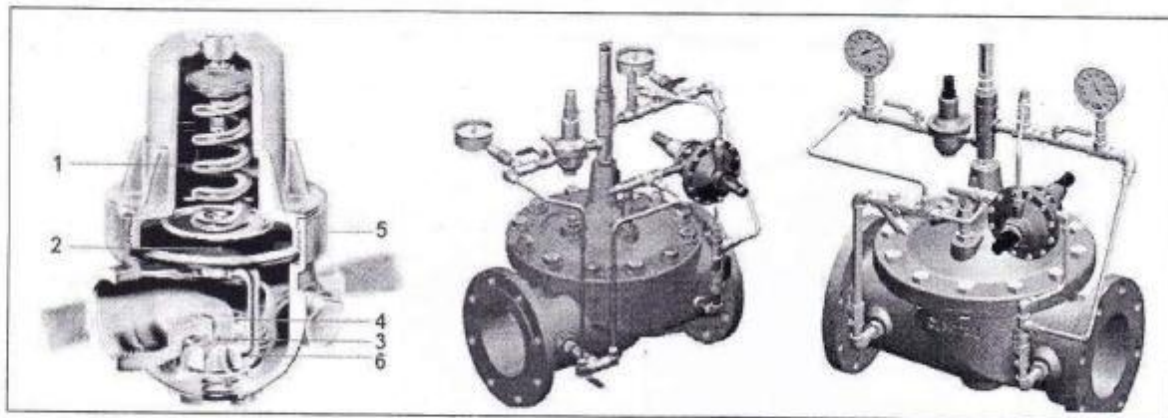


Fig. 2.17. Tipuri constructive de reglatoare automate de presiune: 1 – resort inoxidabil; 2 – membrană; 3 – clapetă; 4 – scaun din oțel inoxidabil; 5 – corpul din alamă; 6 – supapă.

► **Aplicația 4**

Reglarea presiunii în recipiente cu circulație

Reglarea automată a presiunii se poate realiza în mai multe moduri, în funcție de specificul instalației tehnologice.

Reglarea presiunii în recipiente cu circulație se poate face prin schemele date în figurile 2.18.a) și b). Atât în aceste scheme, cât și în cele ce urmează, T_r este traductorul, R_f – elementul de referință (în cazul sistemelor de stabilizare), R – regulatorul, iar EE – elementul de execuție.

În prima schemă, organul de reglare este montat pe conducta de intrare, iar în a doua schemă – pe conducta de evacuare. Cele mai utilizate scheme de reglare sunt cu acțiune continuă, cu regulator PI și sisteme de reglare bipoziționale sau cu acțiune directă (în instalații la care nu se cer indicatori de performanță ridicați).

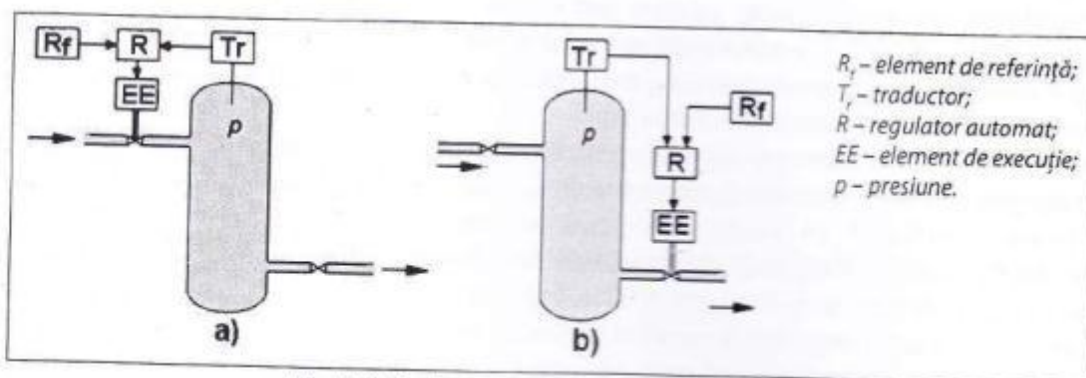


Fig. 2.18. Reglarea presiunii în recipiente cu circulație

► **Aplicația 5**

Reglarea presiunii gazelor în conducte

Reglarea presiunii gazelor în conducte se realizează cu scheme de tip aval sau de tip amonte (fig. 2.19).

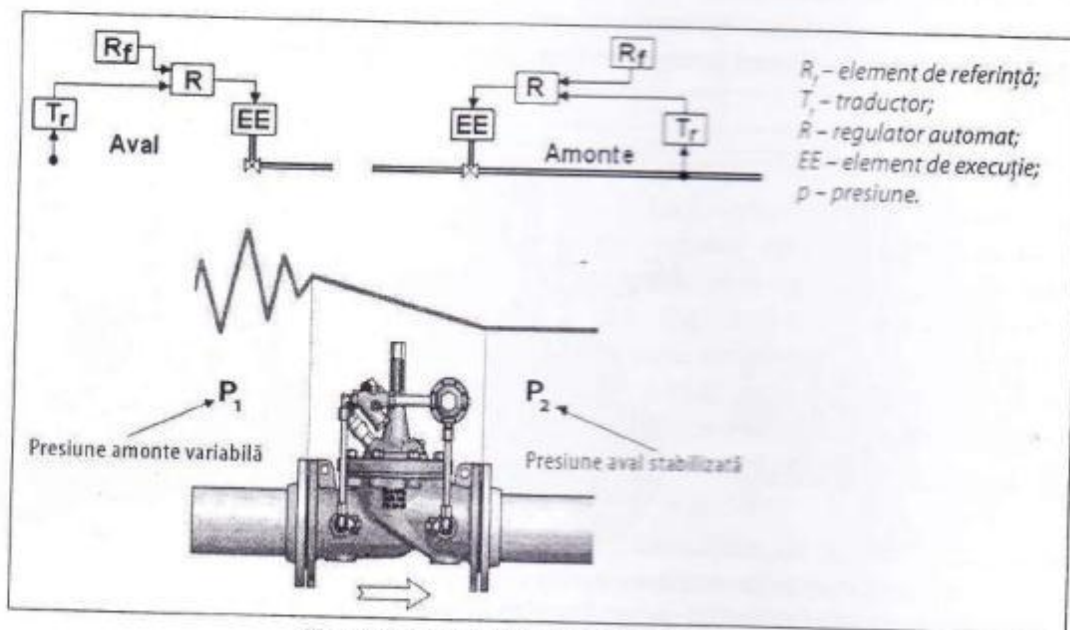


Fig. 2.19. Reglarea presiunii gazelor în conducte

În aceste aplicații se utilizează foarte frecvent reglatoarele cu acțiune directă. În figurile 2.20.a) și 2.20.b) sunt prezentate două soluții des utilizate pentru reglarea presiunii de aspirație a compresoarelor din instalațiile frigorifice.

În schema din figura 2.20.a), presiunea de aspirație a compresorului **1** se reglează bipozițional, prin cuplarea și decuplarea motorului de antrenare **2**. Dacă presiunea de aspirație scade sub valoarea de basculare în starea „0” a regulatorului bipozițional, se comandă oprirea motorului. Dacă presiunea crește peste valoarea de basculare în starea „1” a regulatorului bipozițional, se comandă pornirea motorului.

În schema din figura 2.20.b), reglarea presiunii de aspirație se face prin recircularea unei părți din gazul comprimat. Dacă presiunea tinde să scadă sub valoarea permisă, se comandă deschiderea organului de reglare și invers. În aceste aplicații sunt utilizate frecvent reglatoarele cu acțiune directă sau reglatoarele specializate, cu acțiune indirectă. Presupunem că, în desfășurarea proceselor fizice, chimice și microbiologice din reactor, presiunea p se modifică în funcție de aportul de căldură din exterior. În aceste condiții, într-un ciclu de funcționare a reactorului **1**, presiunea se poate modifica prin ajustarea debitului de agent termic prin mantaua **2** a reactorului.

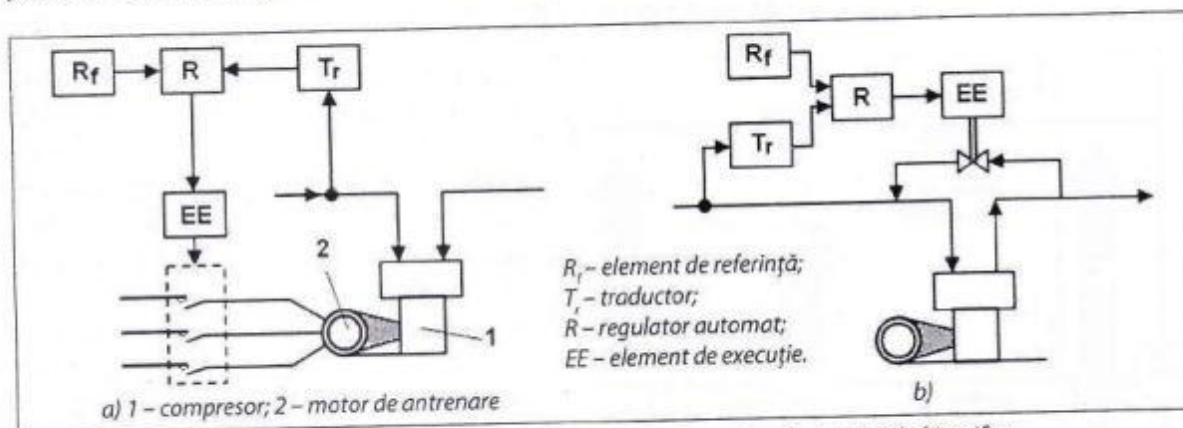


Fig. 2.20. Reglarea presiunii de aspirație a compresoarelor din instalațiile frigorifice

În figura 2.21 este prezentat reglajul presiunii într-un rezervor. La intrarea în rezervor avem o presiune de intrare, iar la ieșirea din rezervor presiunea este P_e . Pentru siguranța instalației, rezervorul este prevăzut cu o supapă de siguranță, supapă care are rolul de a asigura presiunea prescrisă în acel recipient (fig. 2.22).

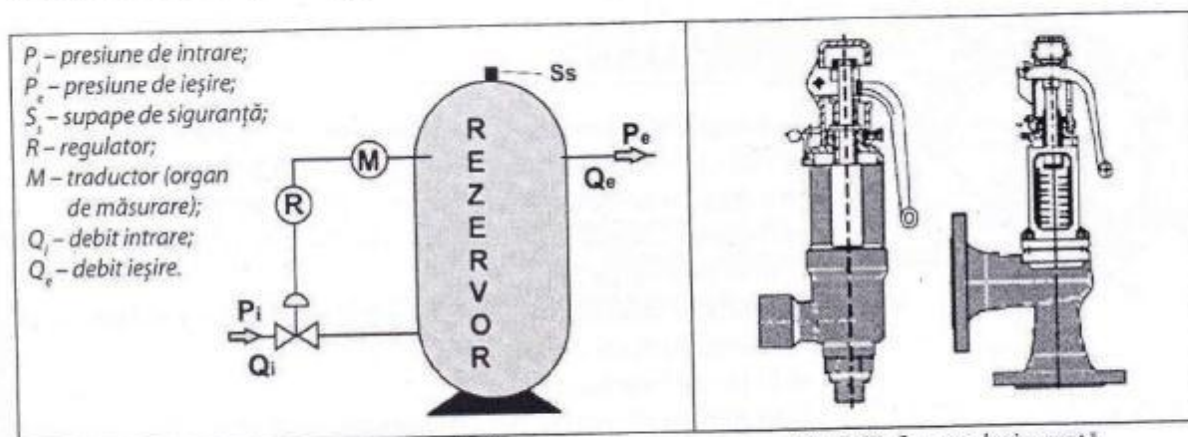


Fig. 2.21. Reglarea presiunii

Fig. 2.22. Supape de siguranță

Câteva tipuri de reglatoare și electroventile sunt prezentate în figura 2.23.



Fig. 2.23. Reglatoare de presiune – electroventile

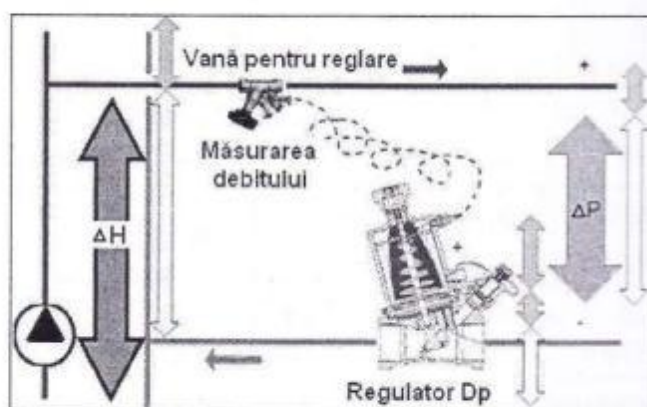


Fig. 2.24. Sistem de debit variabil

La un sistem de debit variabil, presiunea diferențială existentă ΔH nu este constantă, ea se schimbă în mod constant, din cauza lucrărilor de instalare la diferite supape. Atunci când încep să se închidă supapele, debitul scade, se reduc pierderile din amonte, ceea ce determină o creștere a ΔH și o diferență de presiune mai mare pe vana de control. Robinetul de echilibrare este întotdeauna folosit și este ajustat cu supape de debit la cerere deschisă – încălzire completă.

Dintre avantajele sistemului de viteză variabilă, amintim: consumul redus la

pompe, compatibilitatea între transfer și distribuția fluxului, optimizarea temperaturii de retur. Însă există și câteva dezavantaje ale sistemului de debit variabil, precum autoritatea supapelor variabile de control, necesitatea de a asigura un debit minim.

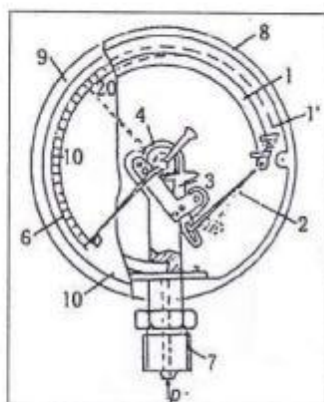


Fig. 2.24. Mijloc de măsurare a presiunii

✓ EVALUARE

A. Se consideră mijlocul de măsurare din figura 2.25.

- Precizați denumirea mijlocului de măsurare.
- Indicați mărimea fizică măsurată cu acest aparat.
- Precizați unitatea de măsură, din SI, pentru mărimea fizică numită anterior.
- Precizați denumirea elementelor componente ale aparatului, numerotate cu cifre de la 1-7 (1, 2, 3, 4, 5, 6 și 7).
- Explicați funcționarea aparatului.
- Numiți un alt aparat, din aceeași categorie, utilizat la măsurarea mărimii fizice precizate la punctul b.

B. Alegeți varianta corectă de răspuns.

1. Presiunea este o mărime fizică:

- a) fundamentală, scalară;
- b) derivată, scalară;
- c) fundamentală, vectorială;
- d) derivată, vectorială.

2. Unitatea de măsură, din SI, pentru presiune este:

- a) atmosfera tehnică;
- b) Pascalul;
- c) milimetri coloană de mercur;
- d) milimetri coloană de apă.

3. Mijlocul de măsurare utilizat pentru măsurarea micropresiunilor, de ordinul milimetrilor coloană de apă, este:

- a) aparatul cu tub „U”;
- b) aparatul cu rezervor și tub înclinat;
- c) aparatul cu rezervor și tub vertical;
- d) aparatul cu tub Bourdon.

C. Completați spațiile libere.

- 1. Mărimile fundamentale, cu ajutorul cărora se definește presiunea, sunt: ... 1 ...
- 2. Aparatul cu tub ... 2 ... este un manometru cu elemente elastice.

D. Întocmiți un eseu după următorul plan de idei:

- a) Valorile presiunilor măsurate în laborator;
- b) Clasificarea traductoarelor de presiune după valorile presiunilor;
- c) Determinarea caracteristicii statice a unui traductor de presiune cu tub Bourdon tip AT 40 prevăzut cu adaptor ELT 370.
- d) Pornind de la calibrarea unui traductor BITNET produs de firma MOTOROLA (fig. 2.25), să se realizeze comparația pentru traductoarele utilizate la aplicațiile tipice:

barometre portabile, modul pentru stații autonome de înregistrare a evoluției presiunii atmosferice, prognoza meteo și traductoarele utilizate la aplicații derivate: altimetrie, înregistrarea deficitului de presiune a sevei în plante.

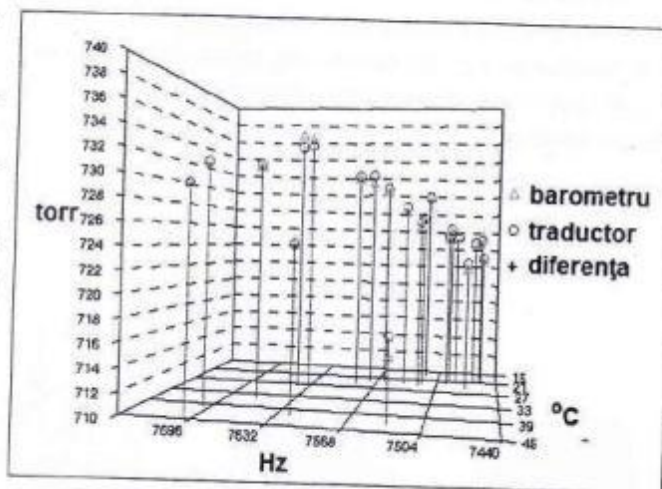


Fig. 2.25. Calibrarea traductorului de presiune BITNET

Sisteme de reglare automată a nivelului

3.1. Nivelul

Nivelul reprezintă înălțimea unui lichid sau a unui solid (sub formă de pulbere sau de granule), considerată de la un reper luat ca referință până la suprafața liberă a acestuia.

Nivelul unui lichid reprezintă cota suprafeței libere a lichidului dintr-o incintă (cazan, rezervor, lac de acumulare) și reflectă volumul total de lichid reținut în incinta respectivă.

Nivelul se măsoară în unități de lungime (metri) și valoarea lui este indicată în raport cu un nivel de referință (cota zero).

În tehnică, nivelul se definește ca fiind înălțimea h [m] la care se află suprafața de separație a două medii fluide cu proprietăți diferite, în raport cu un reper dat (fig. 3.1).

Metodele de măsurare pot fi *directe*, în cazul în care se determină lungimea substanței al cărei nivel se măsoară, sau *indirecte*, când nivelul se determină prin intermediul unor mărimi intermediare, precum: presiunea, masa, atenuarea unei radiații etc.

Măsurarea nivelului permite cunoașterea altor parametri aflați în corespondență cu nivelul, precum volumul și densitatea (fig. 3.2).

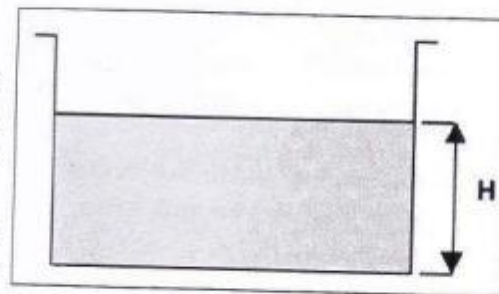


Fig. 3.1. Exemplificarea nivelului

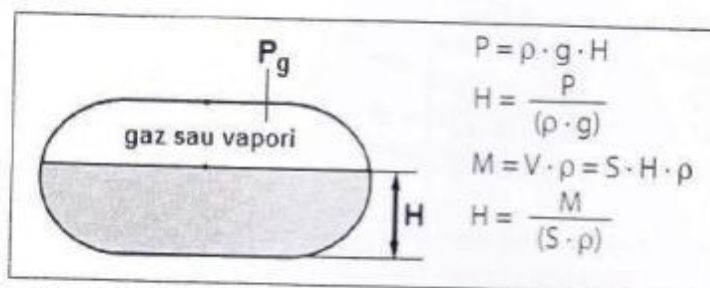


Fig. 3.2. Măsurarea nivelului cu ajutorul unor mărimi intermediare

Măsurarea nivelului în recipiente este deosebit de importantă pentru multe procese tehnologice, dar și în ceea ce privește evaluarea stocurilor existente și se realizează pentru lichide, suspensii, pulberi sau granule.

De regulă, nivelul se măsoară la lichide, dar, uneori, se poate vorbi și despre nivelul unor substanțe solide (de exemplu, cerealele dintr-un siloz sau praful de cărbune dintr-un buncăr).

În procesul de măsurare a nivelului pot apărea o serie de probleme speciale, ca de exemplu: vase speciale sub presiune sau la temperaturi ridicate, prezența spumei la suprafața exterioară, corozivitatea substanțelor folosite etc.

Măsurarea poate fi *continuă*, atunci când evaluarea măsurandului se face în permanență, sau *în puncte*, atunci când se urmărește doar atingerea unor nivele critice ale nivelului.

În principiu, metodele de măsurare derivă din metodele de măsurare a altor mărimi, ele fiind doar adaptate măsurării nivelului.

În automatizările industriale, traductoarele de nivel au o largă utilizare nu numai datorită faptului că nivelul reprezintă un parametru important pentru desfășurarea anumitor procese tehnologice, intervenind astfel în numeroase bucle de reglare, ci și datorită posibilităților pe care le oferă în vederea obținerii, relativ ușoare, a măsurării indirecte a cantităților de materiale, exprimate sub formă de volum sau de masă.

Tipurile de traductoare de nivel utilizate în automatizările industriale sunt:

- traductoare de nivel cu plutitor;
- traductoare de nivel cu imersor;
- traductoare de nivel bazate pe măsurarea presiunii hidrostatice;
- traductoare de nivel ultrasonice;
- traductoare de nivel cu radiații nucleare;
- traductoare de nivel cu sonde rezistive, capacitive, inductive;
- traductoare de nivel cu elemente termosensibile.

La alegerea unui traductor de nivel trebuie să se țină cont de:

- natura lichidului (coroziune, vâscozitate, depozite solide etc.);
- mediu (zgomot, paraziți, prezență umană);
- întreținerea echipamentelor (importanța și frecvența intervențiilor);
- costul de achiziție.

Aparatele pentru măsurarea nivelului poartă denumirea generală de **nivelmetre** (fig. 3.3) și ele pot fi: *cu indicare directă, cu plutitor, cu imersor, hidrostatice, capacitive, rezistive, radioactive* etc.

La alegerea unui anumit tip de nivelmetru, se iau în considerare: natura și proprietățile fizico-chimice ale fluidului, felul vasului în care se măsoară nivelul, temperatura fluidului, precizia de măsurare ce trebuie realizată, limitele între care variază nivelul, necesitatea reglării sau a semnalizării unor valori ale nivelului, condițiile de mediu în care lucrează aparatul, modul de afișare a rezultatului măsurării.

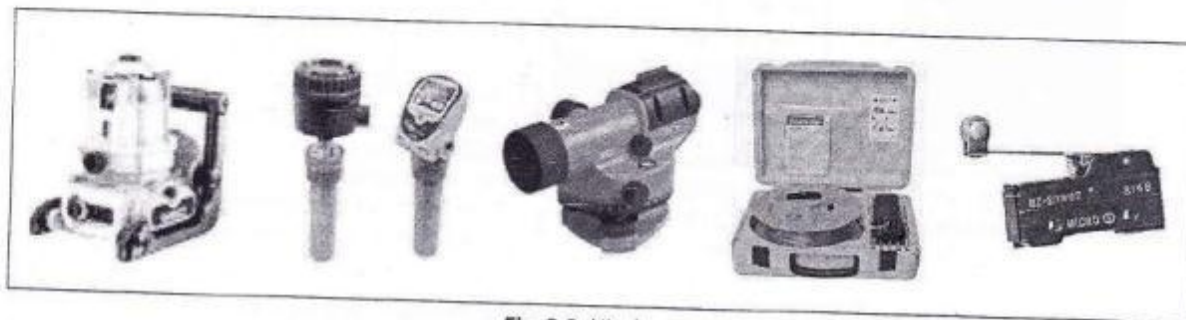


Fig. 3.3. Nivelmetre

Nivelmetrele bazate pe forța arhimedică funcționează pe principiul legii lui Arhimede („Asupra unui corp cufundat într-un fluid se exercită o forță verticală, orientată de jos în sus, al cărei modul este egal cu greutatea fluidului dezlocuit”) și pot fi utilizate numai pentru lichide. Se construiesc în variantele cu *plutitor* și cu *imersor* (fig. 3.4.a, b).

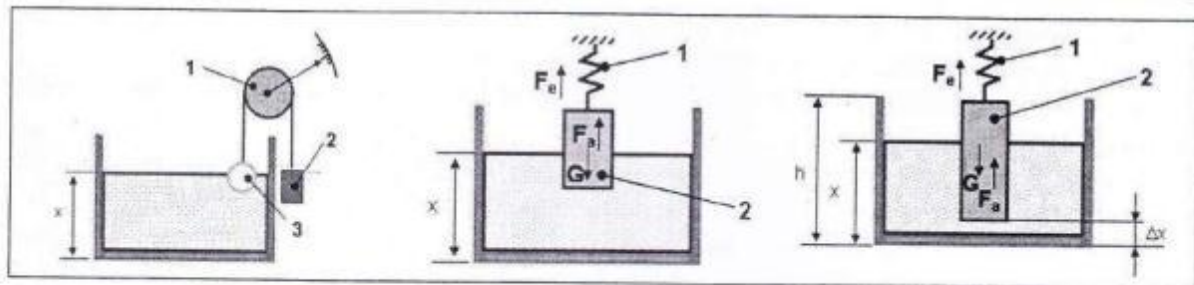


Fig. 3.4. Nivelmetre bazate pe forța arhimedică

Determinarea nivelului cu ajutorul radiațiilor este deosebit de avantajoasă, deoarece folosește metode de măsurare fără contact. Aceste metode pot fi folosite în condiții speciale, precum: recipiente sub presiune sau la temperaturi ridicate, medii deosebit de corozive sau periculoase etc. De multe ori, metodele cu radiații pot fi folosite fără a interveni asupra recipientului deoarece radiațiile pot vedea prin pereții vasului.

De remarcat că, pentru medii de separație gazos-lichid, intensitatea unei reflectate este atenuată față de unda incidentă - directă.

Un aparat de măsurare a nivelului cu traductor ultrasonic conține o sondă ultrasonică, ce înglobează un piezocristal emițător/receptor de unde ultrasonice (fig. 3.5).

Blocul emițător/receptor BE/R asigură comanda PCER și recepția semnalelor reflectate de pinul de referință, respectiv de suprafața lichidului. Blocul de comparație BC, oscilatorul OSC și numărătorul N_1 (pus să lucreze ca divizor de frecvență cu factorul KN) alcătuiesc un circuit cu blocare de fază PLL.

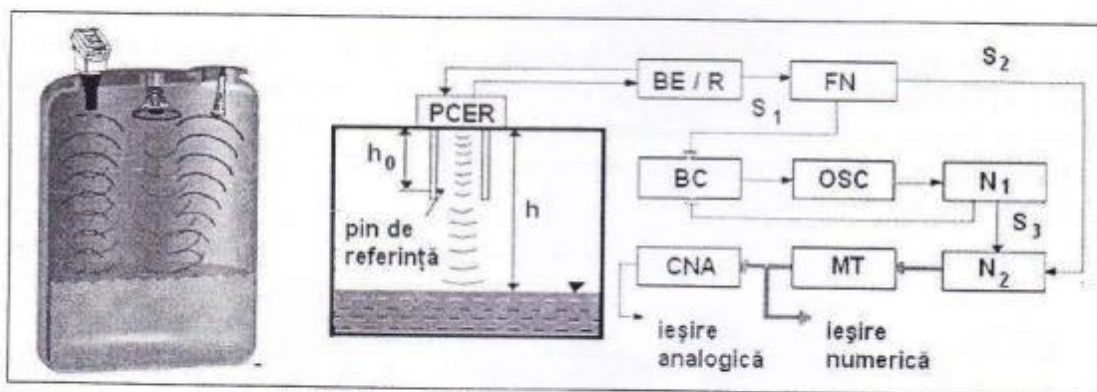


Fig. 3.5. Schema-bloc a unui traductor de nivel ultrasonic:

BE/R – bloc emițător receptor; BC – bloc de comparație; CNA – convertor numeric analogic; OSC – oscilator; MT – memorie tampon; N_1 , N_2 – numărătoare; S_1 , S_2 , S_3 – semnale.

Metoda de măsurare folosind radiații radioactive se aplică la măsurarea nivelului lichidelor agresive, în medii toxice sau explozive, cu temperaturi ridicate etc. Se măsoară nivelul lichidelor toxice, inflamabile, explozive, corozive, nefiind permisă trecerea electrică sau mecanică între interiorul și exteriorul rezervorului.

Funcțional, se bazează pe principiul de atenuare a radiațiilor nucleare de către pulberi sau lichide, utilizând de obicei ca substanțe radioactive pe cele generatoare de radiații γ ca: ^{60}Co , cu perioada de înjumătățire de 5,3 ani și ^{137}Cs , cu perioada de înjumătățire de 33 ani.

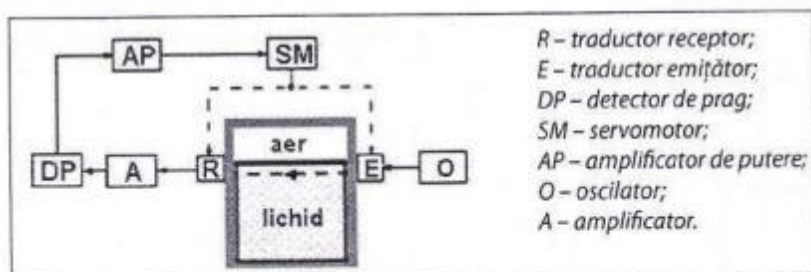


Fig. 3.6. Schema-bloc a unui traductor cu radiații nucleare

Ca și traductoarele cu ultrasunete, traductoarele cu radiații nucleare pot fi realizate și în variante de urmărire automată a nivelului, una dintre schemele principale putându-se realiza după figura 3.6. Pe recipientul cu lichid se plasează traductorul emițător E și traductorul receptor R, primul fiind comandat de oscilatorul O și transmițând un fascicul de ultrasunete prin lichid (cu atenuare mică) sau prin aer (cu atenuare mare).

Semnalul recepționat de R este amplificat prin A și se aplică detectorului de prag DP. Cu ajutorul unui amplificator de putere AP și al servomotorului SM, se dă comandă de deplasare simultană a celor două traductoare în așa fel încât acestea să rămână în zona de separare aer - lichid.

Metoda este avantajoasă în cazul unor recipiente cu acces numai din exterior dificultățile constructive fiind legate de realizarea părții mecanice; trebuie reținut că ultrasunetele se pot folosi numai în cazul lichidelor, iar radiațiile nucleare se pot utiliza pentru orice fel de substanțe, în acest caz receptorul fiind un contor de radiații, iar emițătorul fiind sursa radioactivă.

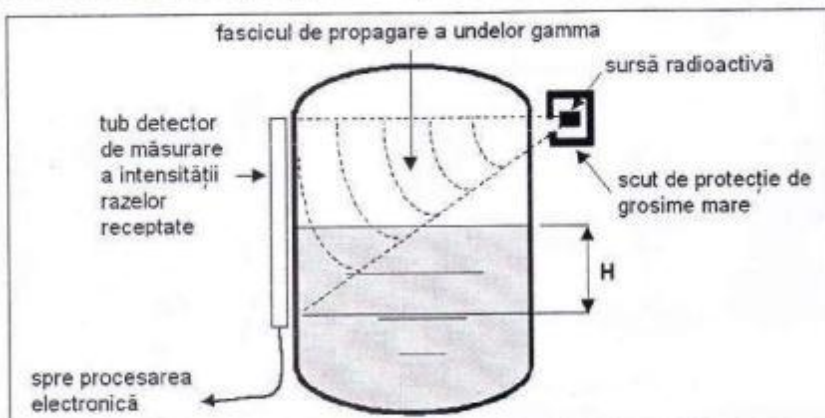


Fig. 3.7. Dispozitiv de măsurare a nivelului prin raze gamma

Cele mai cunoscute tipuri de radiații emise sunt: razele alfa, α ; razele beta, β ; razele gamma, γ .

Avantajele și dezavantajele măsurării nivelului cu ajutorul razelor gamma sunt prezentate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Avantajele și dezavantajele măsurării nivelului

Avantaje	Dezavantaje
<ul style="list-style-type: none"> – montarea în totalitate a sursei în exteriorul rezervorului, putându-se măsura, fără să se oprească și fără să perturbe funcționarea și modificarea rezervorului; – pot fi măsurate toate lichidele, indiferent de vâscozitate și granulație; – măsurarea este ușor influențată de presiunea sau temperatura gazului aflat deasupra lichidului. 	<ul style="list-style-type: none"> – risc de radiație a personalului; – precizie redusă; – sunt necesare numeroase măsurări de securitate (protecție, verificare periodică a sursei radioactive); – costul ridicat, din cauza inspecției periodice a sursei radioactive.

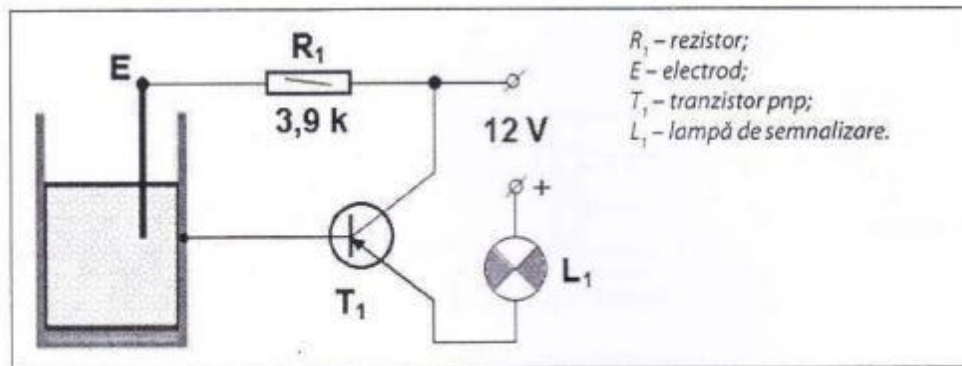


Fig. 3.8. Controlul electronic al nivelului

Controlul nivelului unui lichid se poate face electronic, cu o schemă simplă, ca în figura 3.8. Tipurile constructive de traductoare sunt diverse și depind de principiul de funcționare. În figura 3.9 sunt prezentate câteva dintre acestea.



Fig. 3.9. Tipuri constructive de traductoare de nivel

3.2. Tipuri de regatoare de nivel

Dintre traductoarele regatoare de nivel, amintim:

■ Traductoare mecanice cu plutitor

Traductoarele mecanice cu plutitor utilizează un plutitor mare și greu pentru a putea dezlocui suficient lichid (fig. 3.10). Sunt cunoscute și sub denumirea de „*traductoare automate de nivel*” și au apărut prin anii '30.

Deplasarea liniară a plutitorului este echilibrată cu o contragreutate, prin intermediul unui cablu. Un contor mecanic, montat pe mantaua rezervorului, este folosit pentru indicarea locală a nivelului. În variantele mai noi ale acestui tip de traductor deplasarea plutitorului este echilibrată prin intermediul unei benzi perforate, de un resort. Eroarea tipică a acestui tip de traductor este de cca 10 mm. Însă unul dintre dezavantajele majore ale traductoarelor cu plutitor este modificarea continuă și bruscă a poziției plutitorului din cauza turbulențelor lichidului din rezervor. Aceste modificări ale poziției, care pot fi puternice, produc o continuă accelerare și decelerare a mecanismului traductorului, ceea ce contribuie la uzura indicatorului local și a adaptorului de transmitere a indicației.

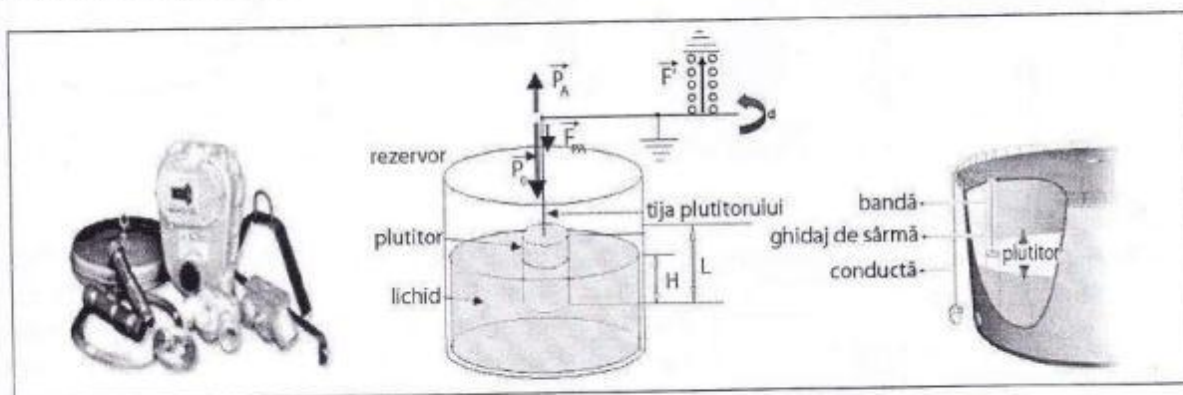


Fig. 3.10. Traductor mecanic cu plutitor

Avantajele și dezavantajele utilizării traductoarelor cu plutitor sunt prezentate în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2. Avantajele și dezavantajele traductoarelor cu plutitor

Avantaje	Dezavantaje
<ul style="list-style-type: none"> – precizie bună ($\pm 0,5\%$) și variație liniară, dacă masa volumică ρ este cunoscută și nu variază; – etanșeitate perfectă; – măsurarea nu este influențată de prezența spumei la suprafața exterioară; – imersorul poate fi montat direct deasupra rezervorului; – reglarea și etalonarea se poate face în laborator/atelier. 	<ul style="list-style-type: none"> – imersorul este în contact cu lichidul, iar depunerea reziduurilor pe imersor și coroziunea produc măsurări inexacte; – măsurarea este perturbată de mișcarea lichidului; – influența masei volumice ρ la măsurarea nivelului; – lichidul conține produse granulate; – dispozitivul de măsură necesită o deschidere în partea de sus a rezervorului; – costul cumpărării și al întreținerii sunt semnificative (transmițător + imersor + accesorii).

■ Traductoare cu servomecanism

O categorie de traductoare cu plutitor mai evoluate din punct de vedere tehnic o reprezintă **traductoarele cu servomecanism** (fig. 3.11), care au fost dezvoltate începând cu anii '50. În acest caz, se utilizează un imersor de dimensiuni reduse, agățat de un fir rezistent și flexibil, care este

desfășurat de pe un tambur, iar resortul este înlocuit de un servomotor electric care poziționează exact plutitorul în contact cu fluidul. Principiul de funcționare se bazează pe utilizarea unui sistem ingenios de cântărire, care măsoară continuu greutatea plutitorului și forța arhimedică. Turbulențele din rezervor nu afectează direct performanțele, deoarece există un circuit integrator al servomecanismului care elimină efectul variațiilor bruște de nivel. Acest traductor măsoară nivelul mediu chiar dacă există variații bruște ale produsului din rezervor, eliminând mișcările care nu sunt necesare și care produc uzura componentelor. Aceste traductoare au precizie și fiabilitate mari și, pe lângă faptul că măsoară nivelul de lichid, sunt capabile să măsoare nivelul de apă (interfața) și densitatea produselor din rezervoare. Se pot atinge erori de măsură mai mici de 1 mm pe un domeniu de măsură de 40 m.



Fig. 3.11. Traductoare cu servomecanism

■ Traductoare radar

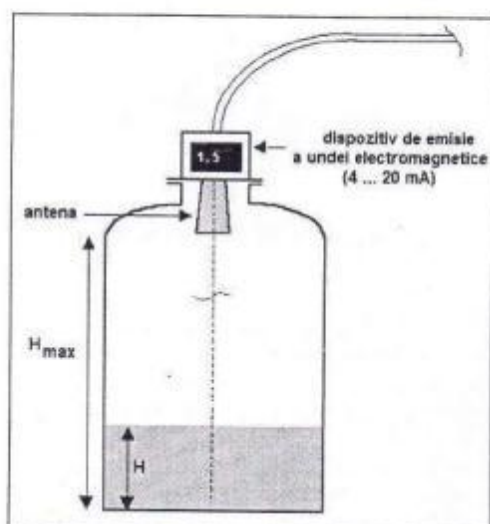


Fig. 3.12. Principiul de funcționare a traductoarelor radar

Traductoarele radar sunt traductoare pentru măsurarea nivelului de lichid și utilizează microunde cu frecvența, în general, de 10 GHz. Distanța parcursă este calculată prin compararea semnalului emis cu cel reflectat.

Traductoarele radar de nivel nu au componente mecanice în mișcare. Acestea utilizează doar o antenă, plasată în interiorul rezervorului (fig. 3.12). Astfel, rezultă un cost foarte scăzut al mentenanței.

Undele electromagnetice se propagă cu o viteză apropiată de viteza luminii. Din cauza nivelului mic de măsurat ($1 \div 35$ m) și a rezoluției impuse, o metodă bazată pe măsurarea timpului este aproape imposibilă. Soluția constă în măsurarea defazajului dintre semnalul emis de antenă și cel reflectat de suprafața lichidului. În funcție de acest defazaj, se poate măsura nivelul.

Traductoarele radar au o precizie foarte bună. Pot măsura atât nivelele lichidelor, cât și nivelele solidelor.

Utilizarea metodei radar pentru măsurarea nivelului de produs din rezervoarele de stocare este foarte recentă și este introdusă ca urmare a noilor măsuri de siguranță. Traductoarele radar de nivel au fost dezvoltate, la jumătatea anilor '60, pentru navele petroliere. Numeroase nave erau echipate cu traductoare mecanice cu plutitor, care erau utilizate doar când nava era ancorată la țărm, pentru încărcare sau descărcare.

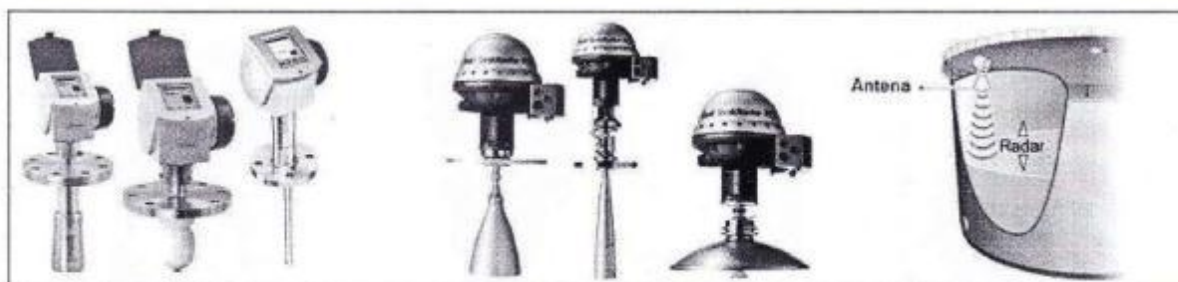


Fig. 3.13. Traductoare radar

Astăzi, traductoarele radar se utilizează la măsurarea nivelului produselor din industria chimică, din rafinării, din terminale și pentru companiile private care stochează produse petroliere.



Fig. 3.14. Traductoare de nivel radar fără contact – PiloTREK

Transmițătorul este mai utilizat împreună cu receptorul în aceeași aparatură decât în cazul montării separate, chiar dacă poate apărea apoi fenomenul de rezonanță de antenă (fig. 3.15).

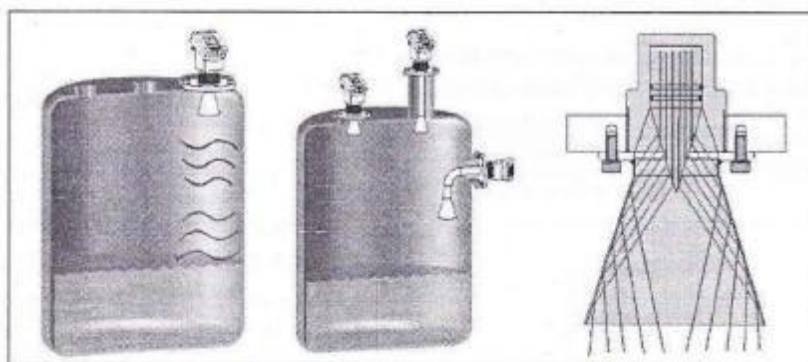


Fig. 3.15. Montarea transmițătorului și a receptorului

În figura 3.16 sunt prezentate câteva tipuri de traductoare de nivel, împreună cu câteva caracteristici de utilizare.



Fig. 3.16. Tipuri de traductoare de nivel

Avantajele și dezavantajele utilizării traductoarelor radar sunt prezentate în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3. Avantajele și dezavantajele traductoarelor radar

Avantaje	Dezavantaje
<ul style="list-style-type: none"> măsurare fără contact, utilizată în foarte multe aplicații: produse foarte corozive, vâscoase, spumante, vrac, pulberi, grânule, lipicioase (cu condiția ca ecoul să fie suficient); precizie foarte bună, ± 1 mm; $\pm 0,1\%$ pentru o gamă de măsurare de 1 m, dacă condițiile de măsurare sunt bune (în particular, dacă produsul nu este agitat); asamblare ușoară; influența neglijabilă a temperaturii, corectarea presiunii se poate face ușor, cu un senzor de presiune; starea gazului (vapori, condens, ceață) nu influențează măsurarea; întreținere ușoară; gamă largă de măsură (de la câțiva centimetri la peste 30 m); eliminarea ecourilor parazite prin utilizarea unui microprocesor de prelucrare a semnalului; setarea și reglarea traductorului se poate face fără golirea sau umplerea rezervorului. 	<ul style="list-style-type: none"> nivelul produsului măsurat trebuie să aibă un dielectric relativ ϵ suficient pentru ca unda să fie bine reflectată; acesta este principalul inconvenient al acestei măsurări; măsurare distorsionată a lichidelor pulverulente, lipicioase, a căror granulație schimbă direcția undei detectate; prețuri ridicate pentru precizia de măsurare oferită; precauție în vederea evitării perturbațiilor care nu pot fi eliminate electronic.

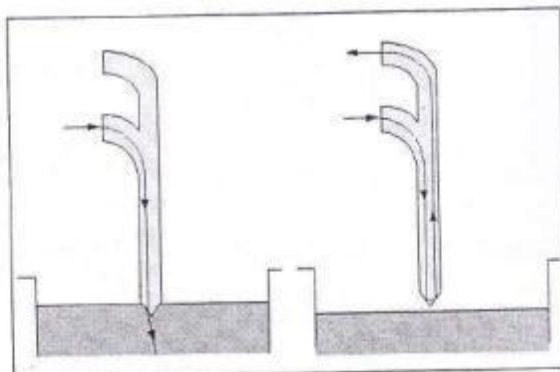


Fig. 3.17. Măsurări de nivel cu fibră optică

Alte tipuri de **măsurări de nivel** se realizează cu ajutorul **fibrelor optice** și **al sondelor**. Fibra optică este prezentată în figura 3.17, iar sondele, în figura 3.18.

Măsurarea de nivel cu ajutorul fibrelor optice este o soluție simplă și economică, însă prezintă dezavantajul că se poate utiliza doar pentru lichide fără spumă, care nu conțin prea multe particule solide ce pot fi depuse.

La rândul lor, sondele prezintă ca avantaje: simplitatea, costul redus, măsurarea nu este influențată de tipul fluidului, iar ca dezavantaje: nu sunt adecvate pentru măsurarea lichidelor conductoare (apă, acizi, soluții), sunt ușor corozive (electrozii trebuie înlocuiți periodic).

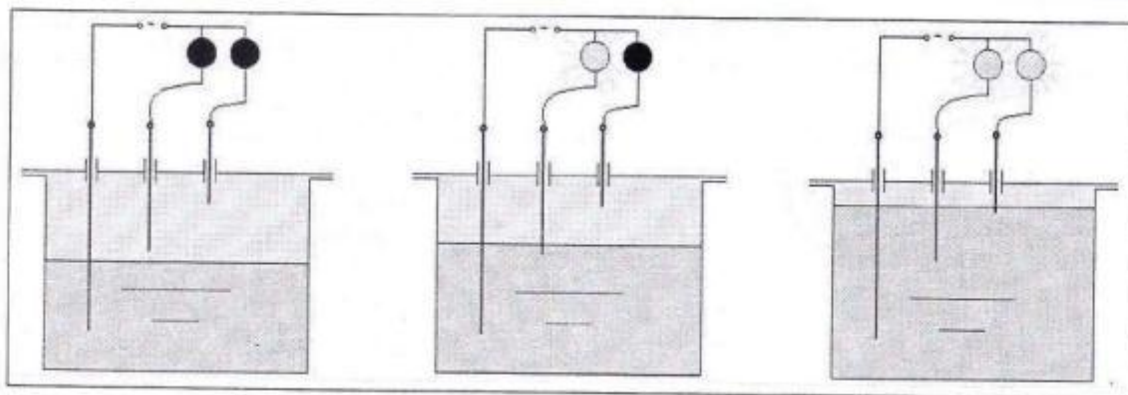


Fig. 3.18. Măsurări de nivel cu sonde

Reglatoarele folosite pentru nivel sunt de tip P și PI. La reglatoarele P se reduce apreciabil suprareglajul, conduce la un timp tranzitoriu t_r scurt, dar introduce o eroare staționară ε_{st} mare. La reglatoarele PI se anulează eroarea staționară la intrare treaptă, însă apare un suprareglaj mai mare decât la regulatorul P și la o valoare mare a timpului tranzitoriu t_r . Câteva tipuri de reglatoare de nivel sunt prezentate în figura 3.19.

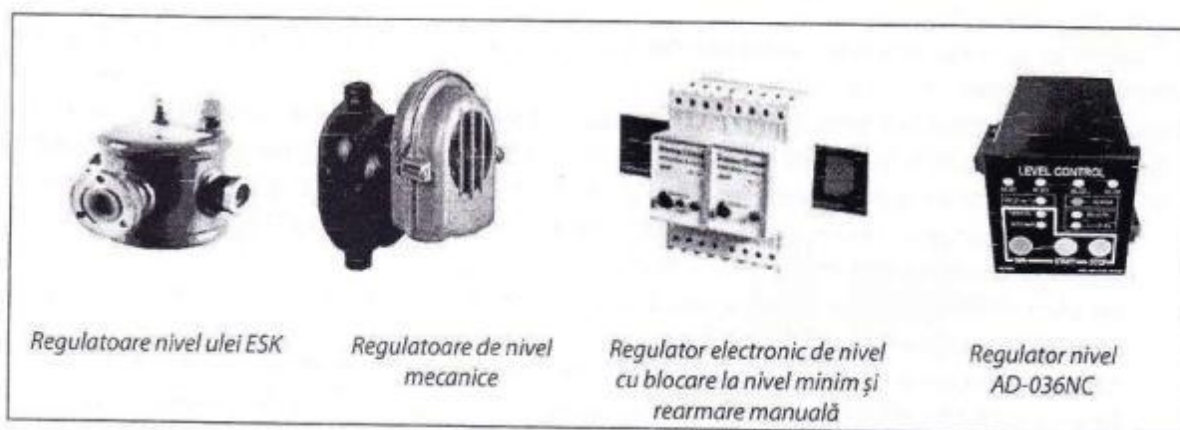


Fig. 3.19. Tipuri de reglatoare de nivel

3.3. Aplicații

► Aplicația 1

Schema de reglare automată a nivelului apei în degazor

În figura 3.20 este reprezentată schema de reglare automată a nivelului apei în degazori, la secția Cazan – OLD3, ArchelorMittal Galați.

În schema de funcționare a cazanelor, degazorii, în număr de doi, au rolul de a alimenta cu apă de răcire (demineralizată) cazanele aferente celor trei convertizoare în care se elaborează oțelul. Nivelul maxim al degazorilor este de 2000 cm^3 .

În timpul elaborării șarjei de oțel, apa din cazan se transformă în abur, care este debitat în conductele de abur din magistrala combinatului, fiind necesară alimentarea cu apă a cazanului, nivelul apei din degazori scăzând. Pentru buna funcționare a instalației este necesară menținerea continuă a unui nivel constant, care se încadrează între $1.100 \div 1.800 \text{ cm}^3$.

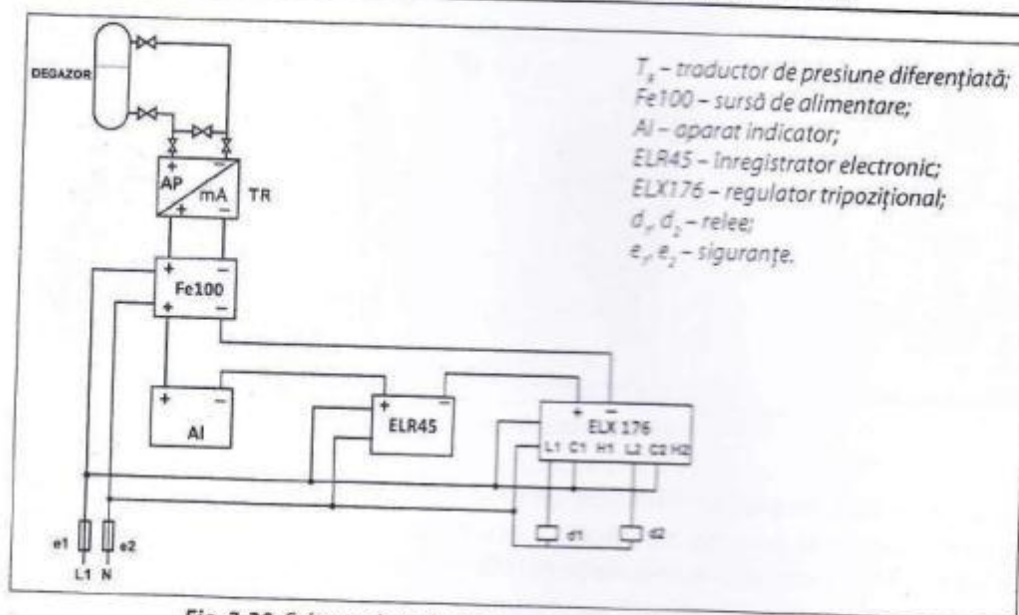


Fig. 3.20. Schema de reglare automată a nivelului apei în degazori, la secția Cazane – OLD3, ArchelorMittal Galați

Menținerea constantă a nivelului se realizează cu ajutorul schemei de reglare automată, care funcționează astfel:

- măsurarea nivelului este realizată cu ajutorul traductorului de presiune diferențială „TR”, alimentat cu 30 V în curent continuu de sursa „FE100”, indicat de aparatul indicator „AI” și înregistrat cu înregistratorul electronic „ELR45”. De asemenea, inseriat în bucla de măsură este și regulatorul tripozițional „ELX176”, care are rolul de a comanda la ieșire elementul de execuție. Domeniul de măsură al traductorului este de $4 \div 20$ mA;
- regulatorului i se va prescrie, cu ajutorul dispozitivelor de prescriere, limita inferioară și limita superioară, respectiv $1.100 \div 1.800$ cm³;
- când nivelul apei din degazor va scădea sub 1.100 cm³, la bornele de ieșire ale regulatorului se va face contactul $C_1 - L_1$, care comandă releul d_1 . Contactul releului d_1 se află în schema de comandă a unei electrovane, care va primi comandă de deschidere prin cuplarea lui d_1 . Electrovana deschizându-se, se realizează alimentarea cu apă a degazorilor. Când nivelul măsurat cu ajutorul traductorului va atinge 1.800 cm³, adică valoarea maximă prescrisă la regulator, la bornele acestuia se va realiza contactul $C_2 - L_2$, care va cupla releul d_2 . Contactul releului d_2 va da comanda de închidere a electrovanei, oprindu-se astfel alimentarea cu apă a degazorului.

Elementele sensibile care intră în contact cu apa și transmit semnalul de deschidere sau de închidere a electroventilului sunt două detectoare rezistive identice.

Unul este montat pentru detectarea nivelului superior, celălalt pentru detectarea nivelului inferior. Ambele detectoare sunt conectate cu un braț la borna plus a sursei de alimentare, iar celălalt, prin intermediul rezistoarelor R_1 și R_2 , la bazele tranzistoarelor T_1 și T_2 . Schema este alimentată de la o sursă de 12 V și consumă, în regim de repaus, un curent de circa 5 mA, iar în regim de funcționare (când se pompează apă în bazin), un curent de circa 80 mA.

La sistemul de măsurare a nivelului cu traductor cu imersor (fig. 3.21), se alimentează adaptorul traductorului de nivel LT și aparatul înregistrator LR cu energie de la rețeaua de 220 V. După ce se închide supapa de scurgere a lichidului din vasul superior, se pornește pompa P și se menține în funcțiune până când nivelul din vasul superior depășește domeniul de măsură al traductorului

($I > 10 \text{ mA}$). Nivelul de lichid va fi citit pe tubul de sticlă gradat, iar curentul I , generat de traductorul de nivel, va fi citit la miliampermetrul mA . Se vor efectua circa zece măsurări, care vor fi trecute în tabel.

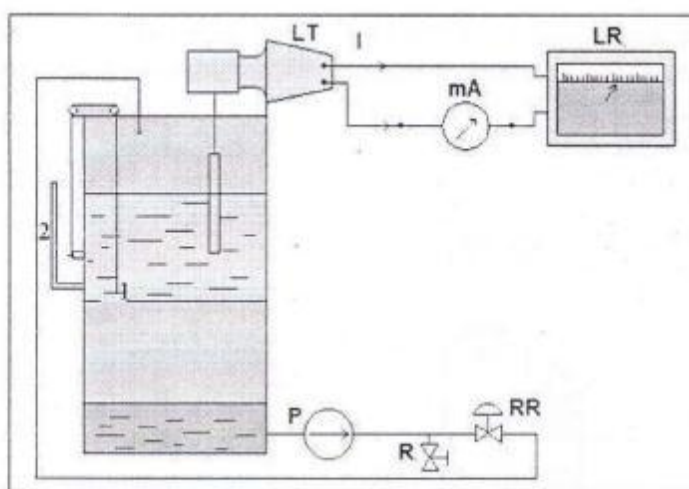


Fig. 3.21. Sistem de măsurare a nivelului cu traductor cu imersor: LT – traductor de nivel; LR – înregistrator de nivel; mA – miliampermetru; P – pompă centrifugă; RR – robinet de reglare; 1 – supapă; 2 – scală gradată.

În general, reglarea nivelului nu necesită o precizie ridicată a modalității de menținere a nivelului la anumite cote. Din această cauză, regulatoarele bipoziționale sunt cel mai des utilizate. Reglarea depinde de instalația tehnologică, în care se impune păstrarea nivelului și în ce condiții acest nivel trebuie menținut (fig. 3.22).

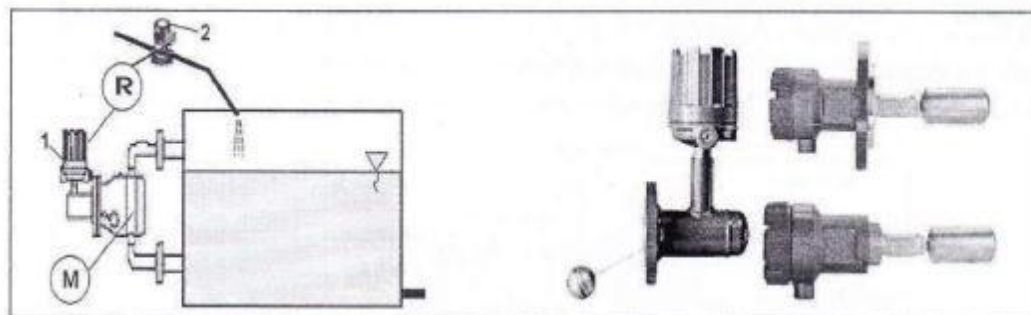


Fig. 3.22. Reglarea nivelului: 1 – regulatoare R; 2 – electropompe; M – măsură.

De regulă, viteza de variație a înălțimii unui lichid într-un rezervor este proporțională cu diferența debitelor de intrare și ieșire și invers proporțională cu suprafața rezervorului. Acest lucru permite utilizarea unui regulator continuu de tip P.

► Aplicația 2

Reglarea nivelului cu structură evoluată

Cele mai utilizate scheme pentru reglarea automată a nivelului sunt date în figurile 3.23.a și 3.23.b. Dacă acțiunea perturbatoare este variația debitului de ieșire, organul de reglare se montează pe conducta de intrare (fig. 3.23.a). Dacă acțiunea perturbatoare este variația debitului de intrare, organul de reglare se montează pe conducta de ieșire (fig. 3.23.b). Cele mai utilizate sisteme de reglare sunt cele cu acțiune continuă (regulator de tip PI sau P), precum și sistemele de reglare bipoziționale.

La recipientele sub presiune, variația nivelului se poate produce datorită variațiilor bruște ale presiunii. În aceste situații, este recomandabilă utilizarea schemei de reglare automată din figura 3.23.c.

În această schemă, există o buclă de reglare a debitului de evacuare, formată din traductorul de debit T_{d2} , regulatorul R_2 și elementul de execuție EE . Mărimea de intrare pentru regulatorul R_2 este dată de regulatorul de nivel R_1 , pe baza informațiilor primite de la traductorul de nivel T_{n1} și de la elementul de referință R_f .

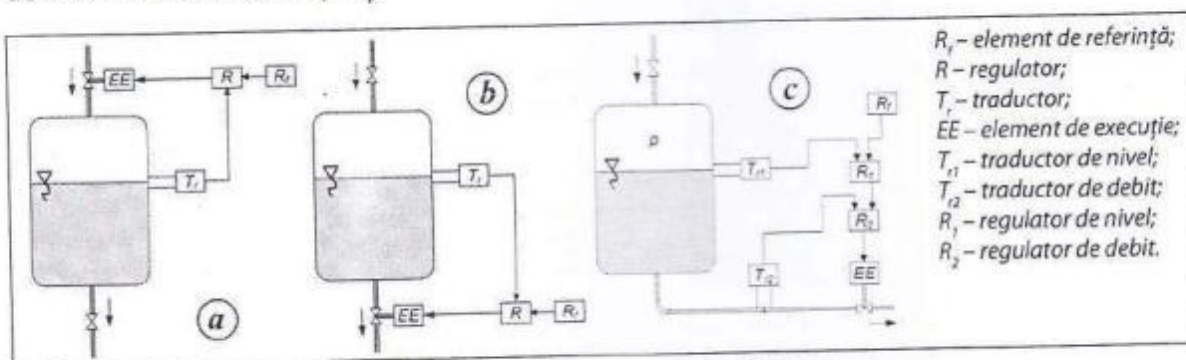


Fig. 3.23. Reglarea automată a nivelului

Dacă presiunea p crește brusc, debitul de evacuare tinde să crească. În consecință, regulatorul de debit reacționează imediat, dând comanda de micșorare a debitului de evacuare, înainte ca nivelul să varieze în mod substanțial. Dacă perturbația constă într-o creștere a debitului de intrare, regulatorul de nivel R_1 impune o mărime de intrare mai mare la regulatorul de debit R_2 . În acest fel, bucla de reglare a debitului realizează creșterea impusă a debitului de evacuare, astfel încât nivelul să se stabilească la valoarea prescrisă. Un asemenea sistem de reglare automată, în care o buclă principală subordonează o buclă de reglare interioară, se numește *sistem de reglare în cascadă*.

O schemă de reglare a nivelului de lichid într-un rezervor este prezentată în figura 3.24.

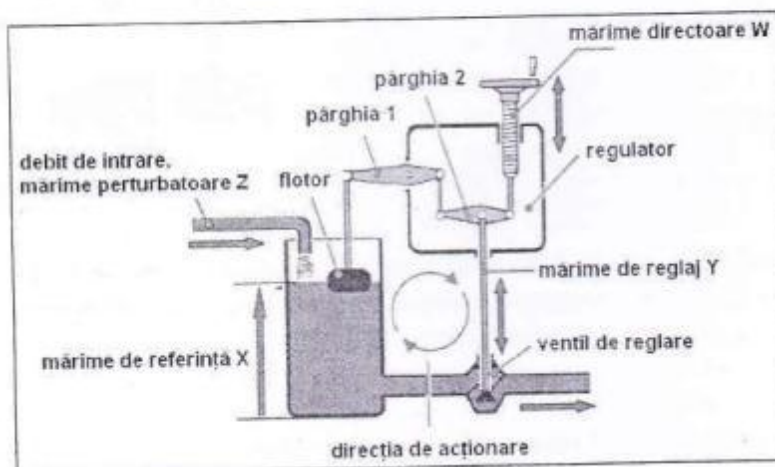


Fig. 3.24. Reglarea nivelului de lichid într-un rezervor

► Aplicația 3

Reglarea nivelului cu structură evoluată

Nivelul se reglează în procese de umplere-golire, iar sistemul de reglare automată pentru nivel SRA-L este reprezentat convențional ca în figura 3.25. Astfel, se calculează modelul dinamic al

procesului de umplere-golire la un rezervor cu secțiune constantă S , alimentat cu debitul F_a din care se extrage debitul F_e .

Se consideră două cazuri posibile:

- evacuarea la debit constant, $F_e = ct$;
- evacuarea la debit variabil, în funcție de nivelul din rezervor, $F_e(L)$.

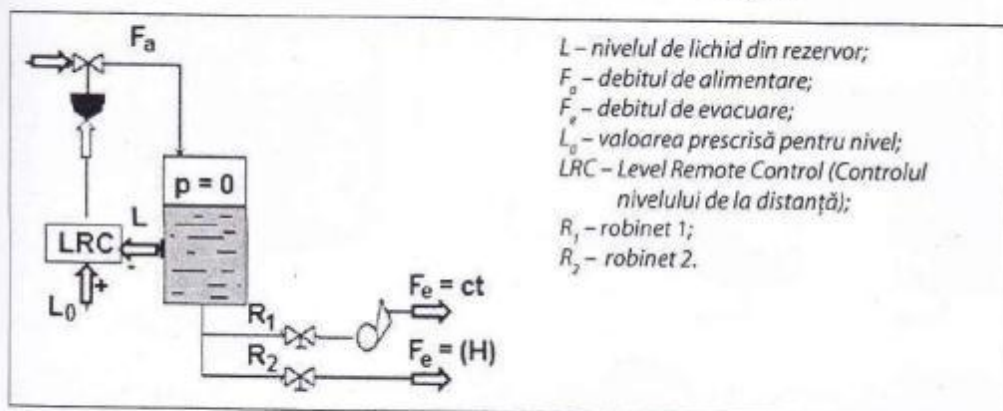


Fig. 3.25. SRA pentru nivel

Estimarea parametrilor acestui model se bazează pe ecuația de conservare a cantităților de fluid care se vehiculează în proces.

► Aplicația 4

Schema unei stații de betoane echipată cu traductoare de nivel

Schema conține 5 rezervoare, fiecare prevăzute cu diferite traductoare de nivel (fig. 3.26). În primul rezervor se află ciment, în cel de-al doilea nisip, al treilea conține sort, al patrulea conține apă, iar ultimul, betonul preparat.

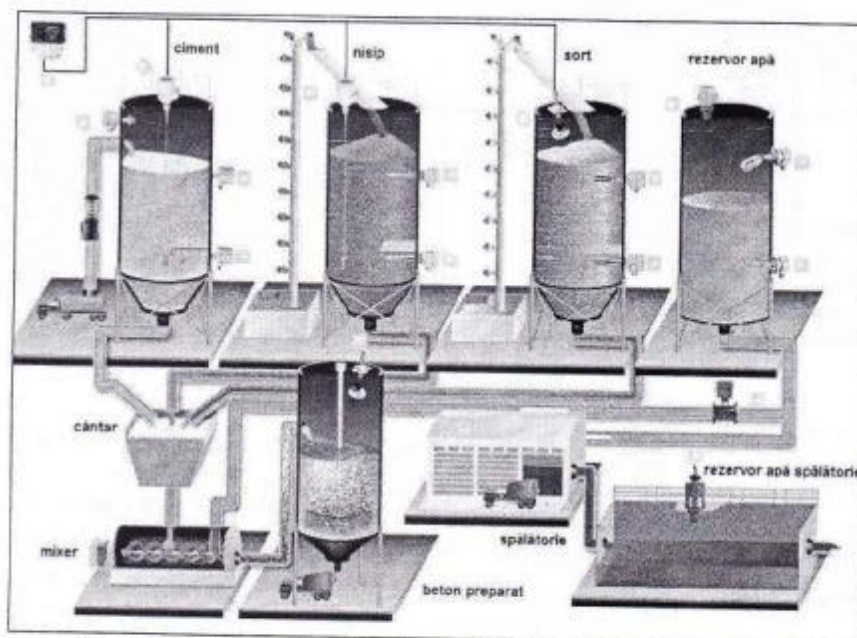
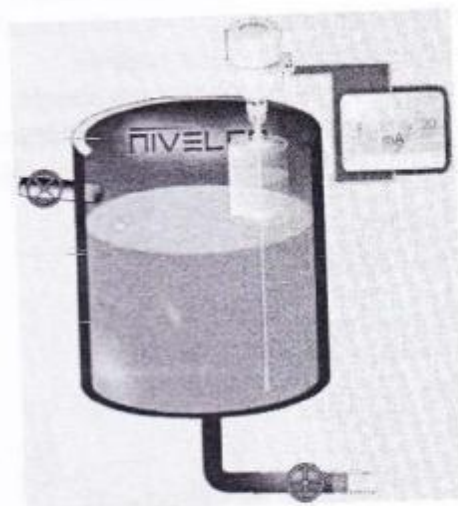


Fig. 3.26. Schema unei stații de betoane echipate cu traductoare de nivel



Sistemul coordonat de calculator, care programează senzorii, conține un indicator matriceal cu iluminare interioară, afișează rezultatele și valorile măsurate, verifică funcționarea corectă a senzorilor. La primul rezervor, cel care conține ciment, sunt conectate 4 traductoare, traductorul 3 și 4, cele aflate spre interior fiind de același tip.



Traductorul radar cu antenă horn, utilizat la temperatură ridicată, care măsoară nivelul, distanța și volumul pentru lichide, solide (prafuri), materiale turbulente, spumante, gazogene. Nivelul maxim de fluid se află la indicația de 20 mA, iar nivelul minim din rezervor se află la indicația de 4 mA.



Traductorul hidrostatic, utilizat pentru măsurarea fluidelor, pastelor, aluaturilor, pentru măsurarea (nivelelor) hidrocarburilor, solvenților și chimicalelor, lichidelor spumante, pentru materiale cu vâscozitate ridicată sau pentru materiale foarte ușor corozive.



Paleta rotativă, utilizată pentru comutare de nivel, pentru prafuri și granulații, pentru materiale cu densitate de minim 80 kg/m^3 , pentru comutarea de nivel a materialelor cu aderență ridicată (spuză, nisip umed, rumeguș etc.), comutare pentru nivelul inferior și superior.

Alte tipuri de traductoare de nivel folosite sunt prezentate în figura 3.27.

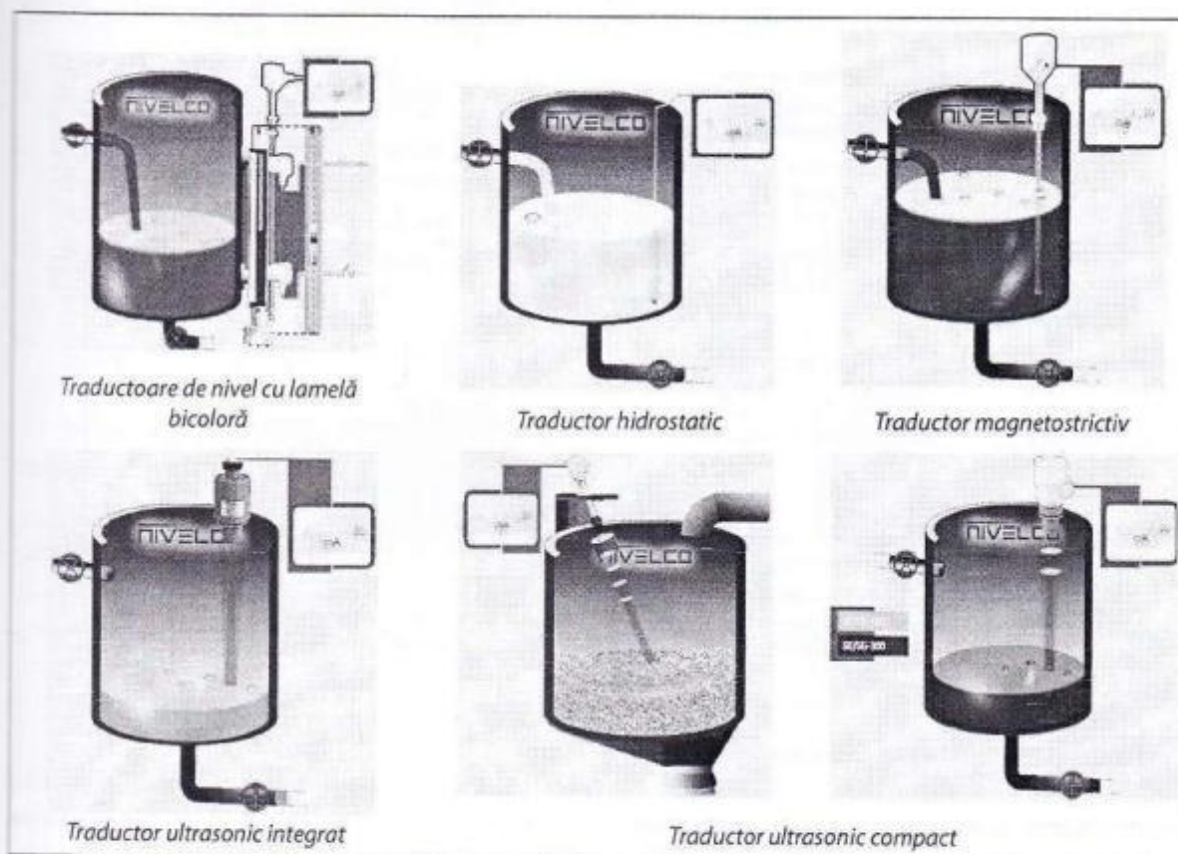


Fig. 3.27. Traductoare de nivel – tipuri constructive

► Aplicația 5

Schema unui sistem integrat pentru gestionarea stocurilor și monitorizarea nivelului de carburanți

Sistemele integrate complexe pentru gestiunea stocurilor și monitorizarea nivelului de carburanți sunt utilizate pentru măsurarea următorilor parametri:

- nivel;
- volum;
- temperatură;
- stocuri;
- recuperare vapori;
- rapoarte intrări;
- ieșiri;
- pierderi;
- debit;
- monitorizare bazin de separare.

În figura 3.28 este prezentată o schemă de măsurare a stocurilor și a nivelului de carburanți.

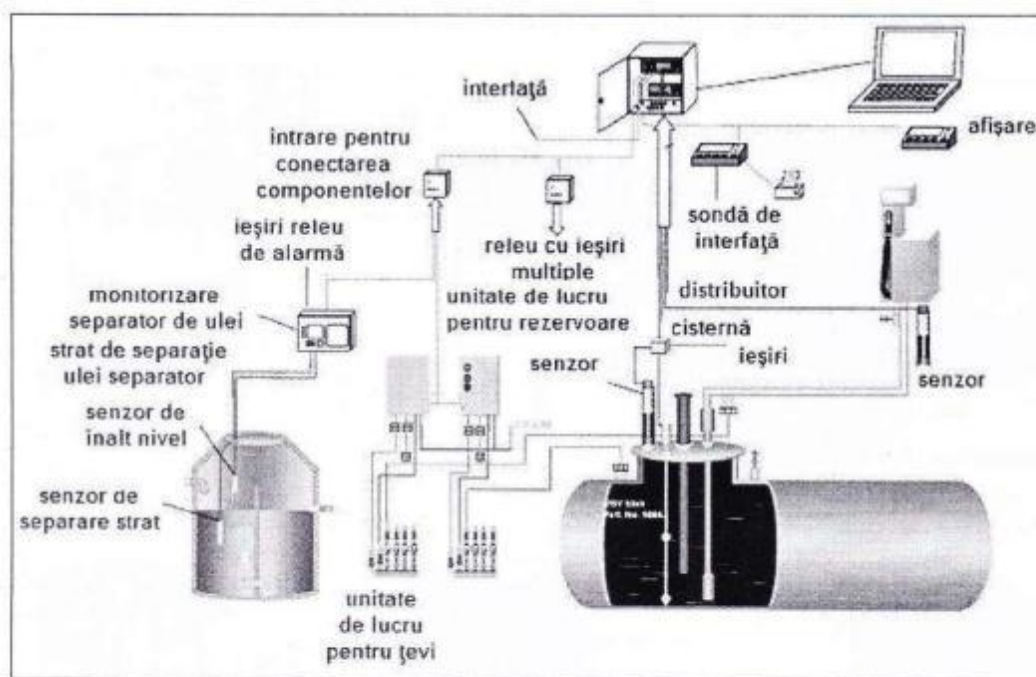


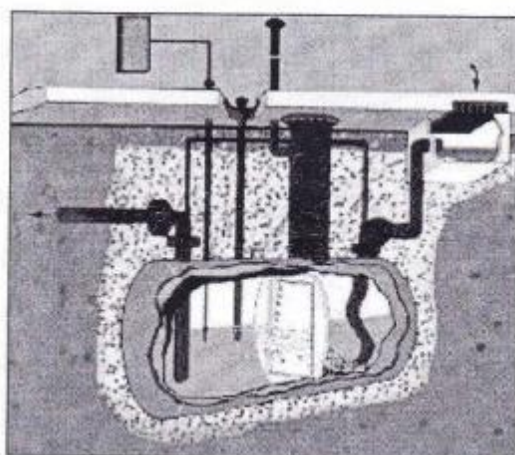
Fig. 3.28. Măsurarea stocurilor și a nivelului de carburanți

► Aplicația 6

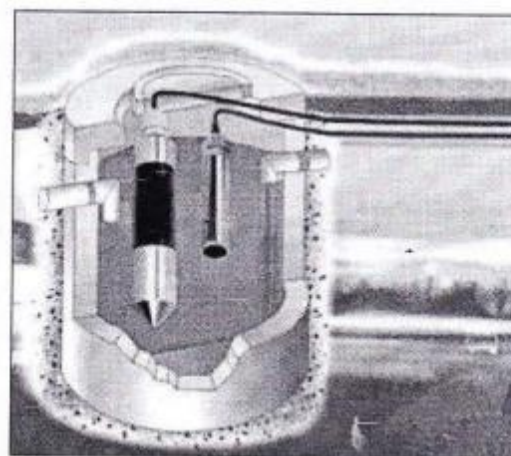
Sisteme de alarmare în bazinele separatoare de petrol

Sistemele autorizate pentru alarmare în bazinele separatoare de petrol sunt utilizate pentru monitorizarea nivelului și a preaplinului. În caz de depășire a acestora, se realizează alarmarea locală sau prin mesaje SMS/GSM.

În figurile 3.29 a și b sunt prezentate două sisteme de alarmare a bazinelor separatoare de petrol.



a)



b)

Fig. 3.29. Sisteme de alarmare a bazinelor separatoare de petrol

EVALUARE

A. Completați spațiile libere.

1. Nivelul unui lichid reprezintă ... (1) ... suprafeței libere a lichidului dintr-o incintă.
2. Regulatele folosite pentru nivel sunt de tip ... (2) ...
3. Aparatele pentru măsurarea nivelului se numesc ... (3) ...
4. Frecvența microundelor la traductoarele radar este de ... (4) ...
5. Principiul de funcționare a traductoarelor ... (5) ... se bazează pe măsurarea continuă a greutatea plutitorului și pe forța arhimedică.

B. Realizați asocierile corecte dintre fiecare cifră din coloana A și litera corespunzătoare din coloana B.

În coloana A sunt indicate elementele componente ale unui sistem de reglare automată, iar în coloana B, mărimile de intrare în aceste elemente.

A. Elementele componente ale sistemului de reglare automată	B. Mărimi de intrare
traductor	mărimă de reacție
regulator automat	mărimă de comandă
element de execuție	semnalul de eroare
element de comparație	mărimă reglată
instalația tehnologică	mărimă de execuție
	mărimă intermediară

C. Stabiliți valoarea de adevăr a afirmațiilor de mai jos.

1. Traductoarele cu servomecanism măsoară densitatea produselor din rezervoare.
2. Eroarea tipică a traductorului cu servomecanism este de cca 10 mm.
3. Traductorul mecanic cu plutitor poate atinge erori de măsură mai mici de 1 mm pe un domeniu de măsură de 40 m.

D. Se dă schema unui automat pentru bazine (fig. 3.30).

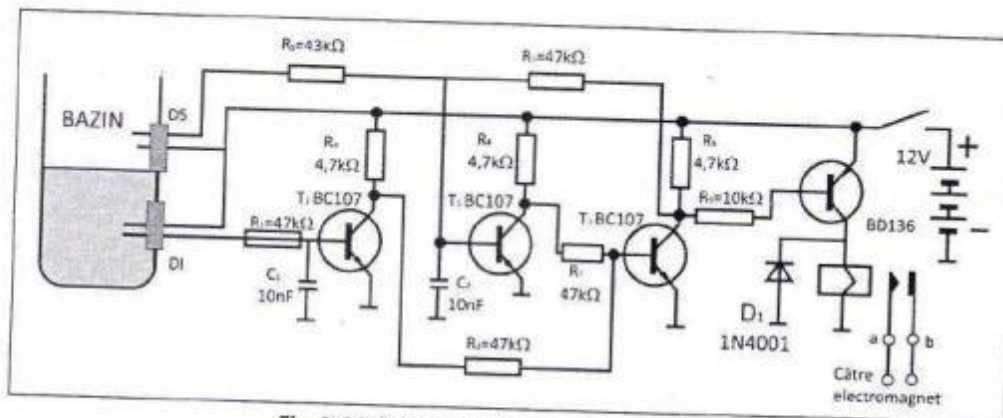


Fig. 3.30. Schema unui automat pentru bazine

Se va întocmi un referat care să cuprindă:

- 1) Identificarea tipurilor de tranzistoare utilizate în schema unui automat pentru bazine.

- 2) Explicarea funcționării schemei electrice.
- 3) Identificarea elementelor componente ale traductorului de nivel cu imersor tip AT 50 + ELT 370.
- 4) Determinarea caracteristicii statice a traductorului studiat și încadrarea acestuia într-o clasă de precizie. Datele vor fi consemnate într-un tabel de forma:

Nr. măsurări	h [mm]	$I_{\text{măsurat}}$ [mA]	I_{ideal} [mA]	$\Delta I = I_{\text{măsurat}} - I_{\text{ideal}}$

unde $I_{\text{măsurat}}$ este valoarea măsurată a curentului, iar I_{ideal} este valoarea curentului corespunzătoare caracteristicii statice ideale a traductorului de nivel studiat.

- 5) Determinarea clasei de precizie cu relația: $CP \geq |\varepsilon_{\text{max}}|$, unde ε_{max} este eroarea normată maximă, calculată cu relația $\varepsilon_{\text{max}} = 100 \cdot \frac{\Delta I_{\text{max}}}{D}$, D fiind domeniul de măsurat.

Sisteme de reglare automată a debitului

4.1. Debitul

Debitul este cantitatea de fluid (lichide, vapori, gaze) care trece prin secțiunea unei conducte în unitatea de timp sau cantitatea de material solid, de diferite forme (granule, bulgări), transportat de o bandă rulantă în unitatea de timp.

În aplicații din geografie, geologie, hidrologie, dinamica fluidelor și inginerie, debitul reprezintă volumul unui lichid (apă, petrol etc.) sau gaz care trece într-o unitate de timp prin secțiunea transversală curgerii unui curs de apă, izvor, a unei fântâni, sonde, conducte etc. și se exprimă ca debit volumic sau ca debit masic.

Măsurarea debitului este legată de curgerea unui fluid. În cazul în care curgerea este constantă în funcție de timp, ea se numește *curgere laminară*, iar dacă este variabilă în timp, este o *curgere turbulentă*.

Curgerea este caracterizată prin viteza de curgere sau debit. Prin urmare, debitul este un parametru caracteristic fluidului în mișcare. Prezența unui traductor într-un fluid poate influența curgerea acestuia.

Clasificarea debitelor

Debitele pot fi clasificate în: masice, volumice, de greutate.

- **debit de volum (volumic), Q_v** – volumul de fluid care trece printr-o secțiune a unei conducte în unitatea de timp:

$$Q_v = \frac{V}{t} = u \cdot S \left[m^3/s \text{ sau } m^3/h \text{ sau } l/s \right], \text{ unde:}$$

V – volumul fluidului;

t – timpul;

u – viteza de curgere;

S – suprafața secțiunii.

- **debit de masă (masic), Q_m** – masa fluidului care trece prin secțiunea unei conducte în unitatea de timp:

$$Q_m = \frac{m}{t} = \rho \cdot u \cdot S = \rho \cdot Q_v \left[kg/s \text{ sau } kg/h \right], \text{ unde:}$$

m – masa fluidului;

t – timpul;

ρ – densitatea fluidului;

u – viteza de curgere;

S – suprafața secțiunii.

- **debit de greutate, Q_g** – greutatea fluidului care trece printr-o secțiune a unei conducte în unitatea de timp:

$$Q_g = \frac{G}{t} \left[kg \cdot m^3 / s \right], \text{ unde:}$$

G – greutatea fluidului;

t – timpul.

În concluzie, debitul este cantitatea de fluid care trece într-o unitate de timp prin secțiunea unui canal, a unei conducte sau printr-o albie.

Măsurările de debit sunt legate de principiul conservării masei: o masă statică, intrată într-un sistem în unitatea de timp, este egală cu masa care iese din sistem în aceeași unitate de timp.

Atât la măsurarea vitezei, cât și a debitului prezintă importanță caracteristicile lichidului: caracterul curgerii, vâscozitatea, transparența, temperatura, conținutul de impurități, existența suspensiilor etc., sunt caracteristici ce stabilesc metoda de măsurare.

Măsurarea debitului fluidelor se poate realiza ca urmare a modificării curgerii prin intermediul unui corp fizic sau prin intermediul unor fenomene care sunt influențate de curgere.

Măsurarea debitului diferitelor curgeri se numește **debitmetrie** și se realizează cu o varietate largă de dispozitive de măsurare (fig. 4.1). **Debitmetrul** este instrumentul pentru măsurarea debitului unui fluid care trece printr-o conductă într-o unitate de timp. Practic, în funcție de volumul de aer ce traversează secțiunea debitmetrului, acesta trimite informații către calculatorul motorului, acesta din urmă știind astfel ce cantitate de carburant trebuie introdusă în motor pentru o ardere optimă.



Fig. 4.1. Debitmetre



Daniel Bernoulli (1700-1782) a fost matematician, mecanician și fizician de origine elvețiană. Este considerat creatorul hidrodinamicii, iar de numele său este legată ecuația lui Bernoulli din dinamica fluidelor.

Debitul apelor subterane depinde de permeabilitatea rocilor, de grosimea stratului acvifer, de mărimea și forma bazinului hidrografic și de condițiile de alimentare, de drenare sau de exploatare a acestuia. Variațiile debitului depind atât de relief și de factorii climatici, cât și de cei antropogeni. În general, cursurile de apă se caracterizează prin *debite medii lunare sau anuale*, prin *debite maxime* și *debite minime*.

Funcționarea debitmetrelor cu strângerea secțiunii se bazează pe legea lui Bernoulli privind curgerea lichidelor; strângerea poate fi fixă sau variabilă.

În figura 4.2 este demonstrat principiul lui Bernoulli pentru fluide incompresibile.

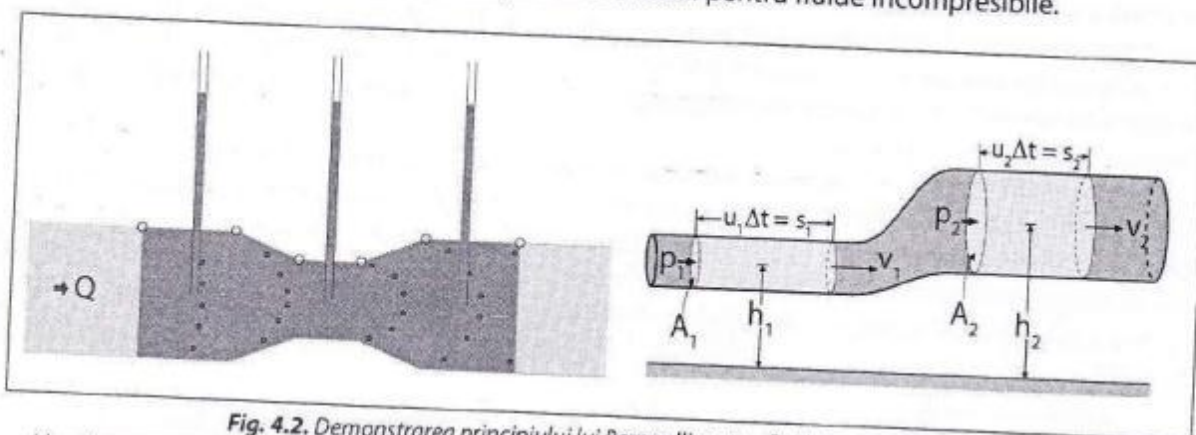


Fig. 4.2. Demonstrarea principiului lui Bernoulli pentru fluide incompresibile (densitatea ρ este o mărime constantă în timp și spațiu). Fluidele incompresibile își modifică forma, dar nu și volumul.

Prin conducta de secțiune A_1 circulă un fluid cu viteza u_1 ; conducta este prevăzută cu o strângere de arie A_2 , în care viteza fluidului este u_2 .

Principiul de funcționare a debitmetrelor cu strângere fixă este prezentat în figura 4.3.

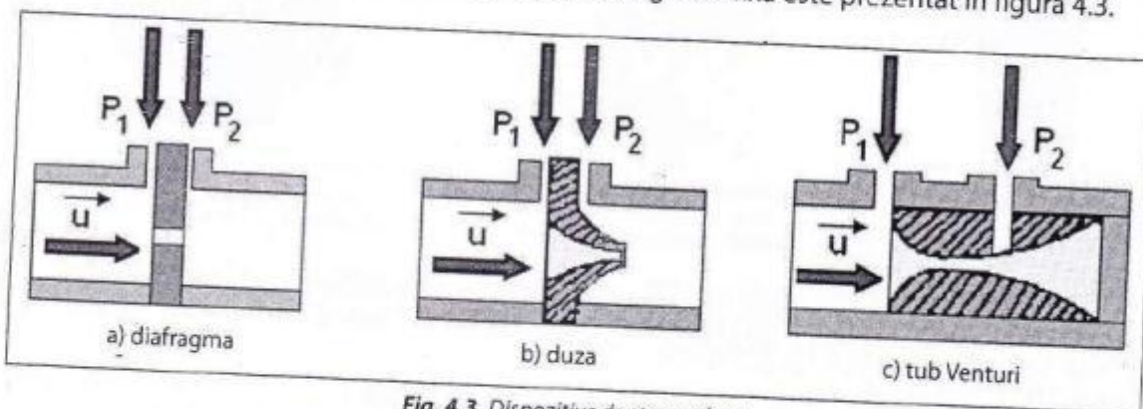


Fig. 4.3. Dispozitive de strângere

Cele mai răspândite tipuri de **dispozitive de strângere** sunt *diafragma*, *duza* și *tubul Venturi*.

Diferența de presiune $p_1 - p_2$, numită și *cădere de presiune reziduală*, este maximă pentru diafragme și minimă pentru tuburile Venturi, însă ultimele perturbă mai puțin procesul de curgere.

Toate traductoarele folosite la debitmetrele cu strângere variabilă sunt construite astfel încât păstrează constantă căderea de presiune prin intermediul unui plonjor ce se poate deplasa în interiorul fluidului.

O variantă a acestui tip de traductor o reprezintă **rotametrul**. Rotametrele sunt aparate utilizate pentru măsurarea debitului lichidelor și al gazelor, pe baza deplasării unui plutitor în interiorul unui tub tronconic gradat, dispus vertical, cu secțiunea mică în jos, prin care circulă fluidul de măsurat. Rotametrul este un debitmetru cu diferența constantă de presiune și plutitor rotativ.

La baza funcționării acestor aparate, numite și *traductoare cu strangulare variabilă*, stă principiul echilibrării forței gravitaționale (greutatea) a unui imersor cu forță ascensională, provocată de o cădere de presiune care trebuie menținută constantă și care depinde de viteza de deplasare verticală a unui fluid (fig. 4.4).

Rotametrele pot fi utilizate atât pentru gaze, cât și pentru lichide, cu o precizie de $1 \div 2\%$, pe un domeniu de variație al debitului relativ restrâns. Se utilizează mult în medicină, laboratoare, industria alimentară, dar în special în industria petrochimică și oriunde trebuie controlate continuu debitele de lichide sau gaze.

Componentele rotametrului sunt tubul tronconic și plutitorul (flotorul, imersorul). Plonjorul este plasat într-un tub de formă conică, prin care circulă fluidul al cărui debit se măsoară. Asupra lui va acționa, în afara greutății, G , și a forței arhimedice, F_a , o forță dinamică ascensională, F_{as} , care este proporțională cu pătratul vitezei de curgere, u .

Rezultă că debitul masic, Q_m , este direct proporțional cu înălțimea la care se găsește plutitorul: $Q_m = f(h)$.

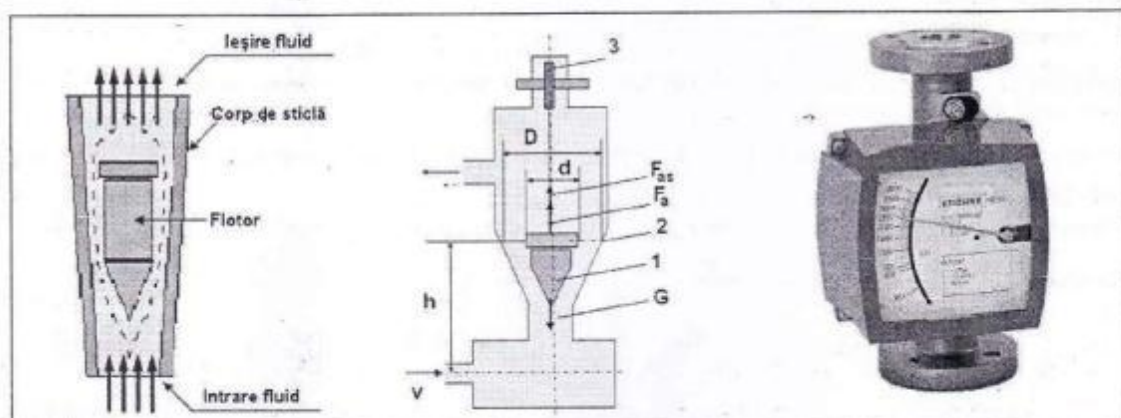


Fig. 4.4. Rotametrul;

1 – plutitor; 2 – secțiunea variabilă a tubului conic; 3 – traductor inductiv diferențial de deplasare.

Rotametrele măsoară debite de ordinul $10^{-4} \div 200 \text{ m}^3/\text{h}$, în limitele $Q_{\max}/Q_{\min} = 10$, cu precizii de ordinul procentelor, și introduc rezistențe în curgerea fluidului, rezistențe ce pot fi importante în unele aplicații industriale.

În exploatare se mai pot utiliza și debitmetre cu strangulare, la care forța dinamică rotește paletelile unei turbine, viteza de rotație a acestora fiind o măsură a debitului. Dintre avantajele și dezavantajele acestora, amintim:

Tabelul 4.1. Avantajele și dezavantajele traductorului de debit

Avantaje	Dezavantaje
<ul style="list-style-type: none"> – construcție simplă și ieftină; – comportare neliniară; – introduc rezistențe importante în curgerea fluidului; – au cădere de presiune mică; – sunt utilizabile cu lichide și gaze agresive; – pot măsura debite foarte mici. 	<ul style="list-style-type: none"> – nu suportă presiuni și temperaturi ridicate, sunt fragile (cele din sticlă); – sunt contraindicate pentru debite mari.

Pentru evitarea dezavantajelor trebuie să ținem cont că apele industriale sunt bune conductoare de electricitate, practic sunt un *conductor lichid* care curge (*se deplasează*) cu o anumită viteză.

Un debitmetru foarte utilizat este cel *electromagnetic*.

Debitmetrele electromagnetice măsoară viteza de deplasare a fluidelor bune conductoare de electricitate, principiul lor de funcționare bazându-se pe legea inducției magnetice a lui Faraday: tensiunea indusă printr-un conductor, aflat în mișcare printr-un câmp magnetic este direct proporțională cu viteza acelui conductor. Tensiunea indusă prin fluid este măsurată de doi electrozi montați diametral opus. Semnalul de tensiune indus este proporțional cu produsul dintre densitatea fluxului magnetic, distanța dintre electrozi și viteza medie de curgere a lichidului.

Schemele de principiu ale unui traductor de debit electromagnetic sunt prezentate în figura 4.5.

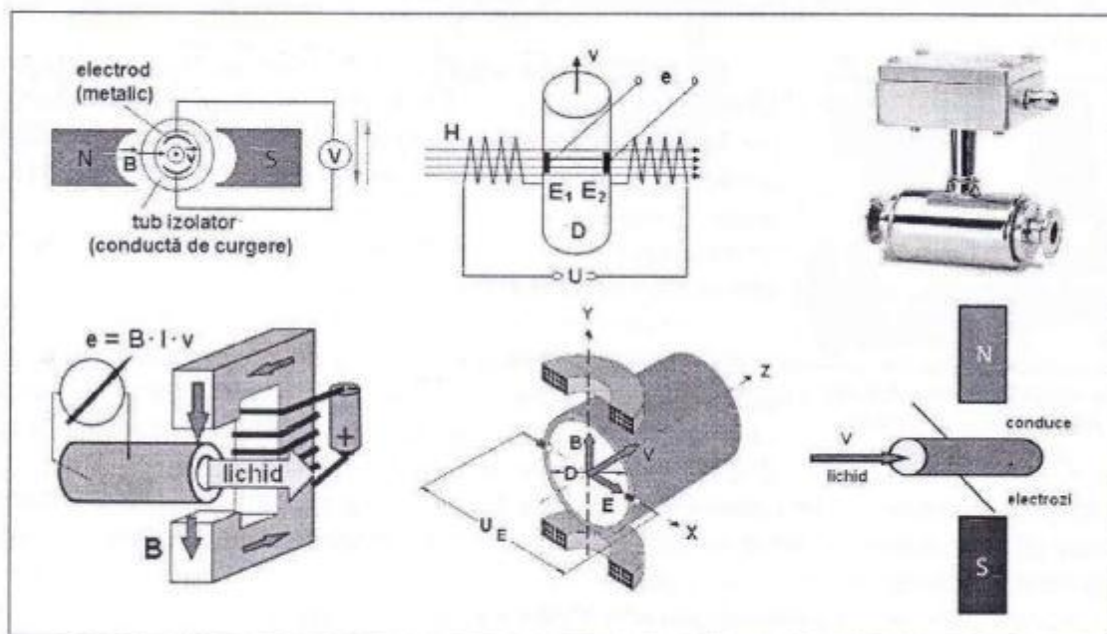


Fig. 4.5. Scheme de principiu ale unui traductor de debit electromagnetic

Debitmetrul electromagnetic permite măsurarea debitului de curgere datorită tensiunii electromotoare produse de un fluid conductor electric în mișcare. Este un debitmetru frecvent folosit, fiind al treilea ca utilizare după debitmetrele cu piese mobile. Electromagnetul produce un câmp magnetic de inducție B , ale cărui linii de câmp sunt „tăiate” de conductorul lichid format de fluidul care curge cu viteza v (orientată perpendicular pe secțiunea de curgere, dinspre planul desenului).

Pe tubul nemagnetic (izolator) prin care curge fluidul cu viteza v , se poate executa o bobină în aer (există variante constructive la care bobina se execută pe un miez magnetic) și se prevăd doi electrozi E_1 și E_2 . Între cei doi electrozi metalici, conectați la un voltmetru V , se culege o tensiune electromotoare indusă:

$$e = k H v D, \text{ unde:}$$

H – intensitatea câmpului magnetic creat de bobină;

D – diametrul tubului;

k – constantă;

v – viteza de curgere.

Indicația voltmetrului V este proporțională cu viteza de curgere, deci cu debitul fluidului.

Măsurătorile nu sunt influențate de vâscozitatea fluidului, densitatea sau conductibilitatea acestuia și nici de modul de laminar sau turbulent.

Precizia de măsurare este de $\pm 1\%$ la lichide cu o conductibilitate minimă de $100 \mu\text{S/cm}$ și viteze cuprinse între $0,1 \text{ m/s}$ și 10 m/s .

Debitmetrul electromagnetic măsoară debite și volume conducătoare de curent electric. Aceste debitmetre nu conțin piese mecanice în mișcare, astfel lichidul nu va lovi nicio obstrucție în timp ce curge. Aceasta permite evitarea posibilelor daune provocate de prezența unor elemente solide în lichid. Partea internă a senzorului de măsurare este izolată electric. Lichidul prelucrat nu este niciodată în contact cu materialul senzorului sau cu materialul flanșei (fapt care permite măsurarea oricărui tip de lichid compatibil cu garnitura internă). Posibilitatea de instalare în aproape fiecare poziție, împreună cu pierderea de presiune extrem de joasă, face utilizarea acestui model potrivită pentru cele mai diverse sectoare: chimic, industria hârtiei, industria alimentară și hidraulică.

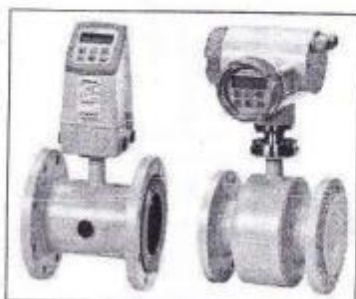


Fig. 4.6. Debitmetre de inducție electromagnetică SITRANS MAGFLOW Siemens

Debitmetrele de inducție electromagnetică au o construcție simplă, o precizie și fiabilitate înaltă, nu asigură nicio micșorare a presiunii lichidului, iar indicațiile lor nu depind de temperatura, presiunea, vâscozitatea lichidului. În plus, temperatura lichidului poate să varieze de la -20°C până la 200°C . Singura restricție de utilizare a acestora se referă la conductivitatea electrică a lichidului, care trebuie să nu fie mai mică de $5 \mu\text{S/cm}$.

Pentru a micșora gabaritele traductorului, bobinele de excitație se alimentează cu curent alternativ de frecvență înaltă. Însă, în acest caz, tensiunea indusă se însumează cu o componentă sinusoidală, ca la transformatoare. Aceasta din urmă este apoi compensată în dispozitivul secundar de amplificare și convertire.

Forța electromotoare măsurată este proporțională cu viteza medie de curgere a lichidului, deci cu debitul volumic al lichidului. Semnalul de ieșire are o amplitudine de câțiva milivolți și arată direcția de curgere.

Caracterizarea debitmetrelor de inducție electromagnetică:

- domenii de utilizare: lichide vâscoase, cu impurități, abrazive sau foarte corozive, cu condiția ca acestea să fie bune conductoare de electricitate (ceea ce nu se aplică în cazul hidrocarburilor);
- diametru de țevă: de la 3 mm până la 3 m ;
- precizie ridicată: 1% ;
- măsurările nu depind de caracteristicile fizice ale lichidului (vâscozitate, densitate, granulație), de temperatura ridicată (450°C) și de presiunea mare (1000 bar).

Contoarele pentru lichide sub presiune fac parte din categoria aparatelor integratoare. Acestea măsoară cantitatea de lichid care trece printr-o conductă (se consumă) într-un interval de timp oarecare. În acest scop, contorul este racordat la conductă, iar lichidul care circulă prin acesta, sub presiune, trebuie să fie lipsit de impurități.

Contoarele sunt debitmetre utilizate pentru măsurarea volumului de lichid.

Contoarele pentru apă se numesc **apometre** și se utilizează atât pentru apa potabilă, cât și pentru apa industrială (rece sau caldă), și pot fi:

- contoare volumetrice;
- contoare de viteză.

Contoarele volumetrice măsoară direct debitele de apă, prin umplerea și golirea succesivă a unor compartimente ale aparatului de capacitate determinată (fig. 4.7). Dispozitivul de înregistrare a aparatului indică volumul de apă după fiecare fază de umplere și golire.

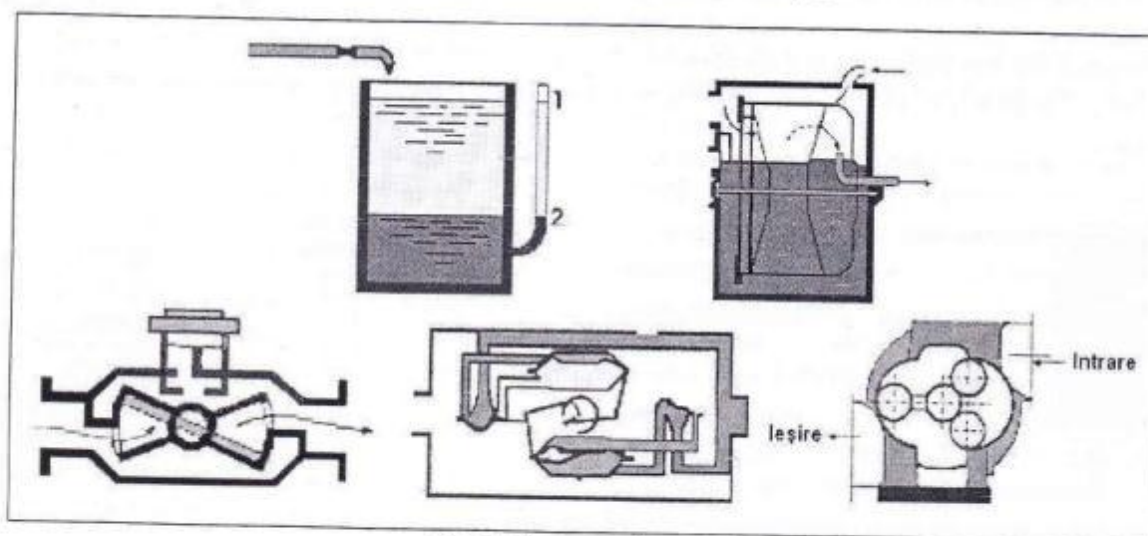


Fig. 4.7. Contoare volumetrice

Contoarele de viteză se utilizează pentru nevoile casnice și măsoară volumul de apă care trece prin aparat, în funcție de viteza apei.

Citirea apometrelor: apometrul din figura 4.8.a înregistrează consumul de apă, care se citește pe ecran. Apometrul din figura 4.8.b indică consumul de apă, iar citirea se face însumând indicațiile de pe ecran.

În locuințe avem nevoie de mijloace de măsurare capabile să măsoare, să memoreze și să afișeze volumul apei care trece prin interiorul traductorului de măsurare. Acestea se bazează pe un sistem mecanic de numărare cu demultiplicare, acționat de un sistem cu palete, puse în mișcare de volumul de lichid care trece prin conductă. Un exemplu, în acest sens, de traductoare de debit utilizate în locuințe este reprezentat în figura 4.8.

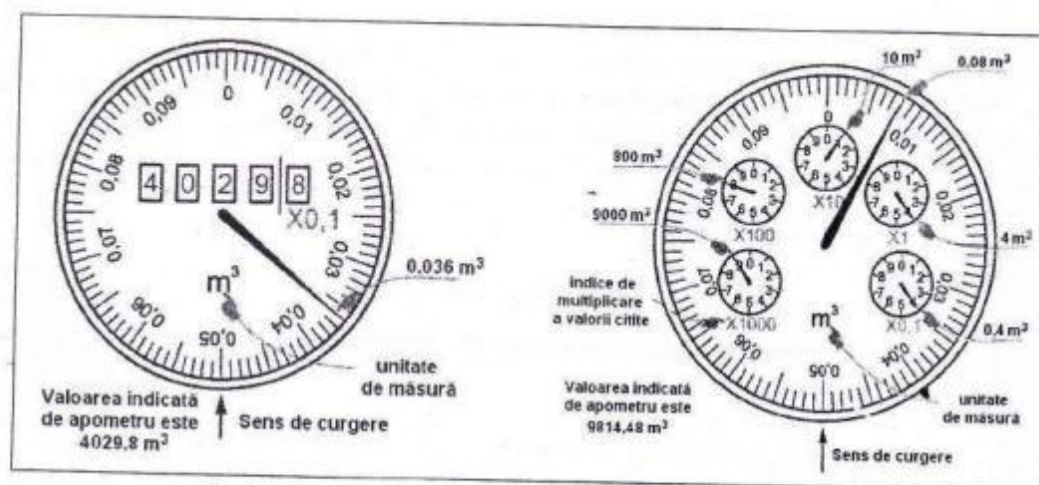


Fig. 4.8. Contoare de debit de viteză, utilizate în locuințe (apometre)

4.2. Măsurarea consumului de carburant

■ Măsurarea consumului de carburant prin metoda directă

Presupune determinarea consumului prin utilizarea unui singur debitmetru. Pentru aceasta, se impune modificarea traseului de alimentare a motorului, în sensul introducerii motorinei de pe retur înapoi în circuitul de tur, printr-o buclă inserată într-un corp de filtru sau un rezervor-tampon.

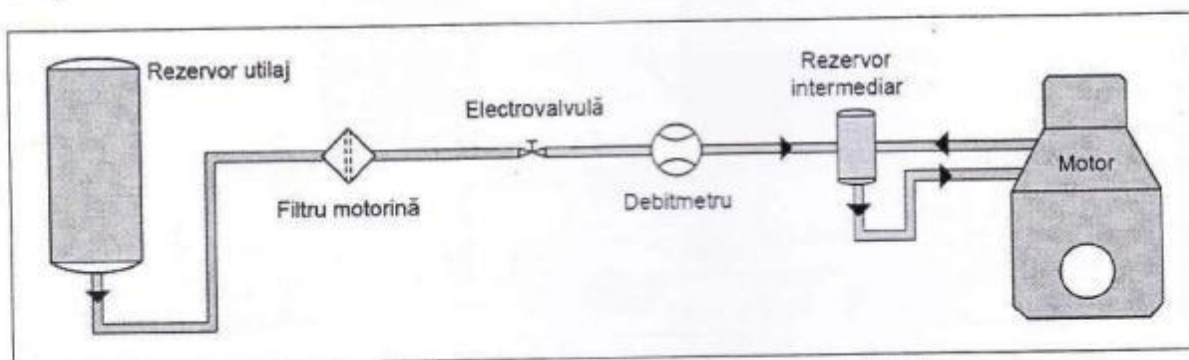


Fig. 4.9. Măsurarea consumului de carburant prin metoda directă

Din rezervorul-tampon se execută un traseu separat către rezervorul principal, ce trece printr-un singur debitmetru care contorizează direct motorina consumată.

În cazul utilizării diverselor metode de pe piață, adică un simplu corp de filtru ca rezervor-tampon, procedeul poate duce la supraîncălzirea motorinei, pierderea unor calități de ungere precum și a calităților de ardere.

Sistemul de măsurare directă constă în utilizarea unui rezervor-tampon de cca 50 l, construit din aluminiu, un material ce permite un schimb de căldură rapid.

El este prevăzut și cu o electrovalvă care oprește trecerea carburantului din rezervorul rece în rezervorul cald (tampon), pe măsură ce acesta din urmă se răcește. Astfel, la contorizarea volumului de motorină consumată (fig. 4.9) sunt luate în calcul inclusiv variațiile diurne ale temperaturii.

■ Măsurarea consumului de carburant prin metoda diferențială

Presupune montajul a câte unui debitmetru, pe circuitul tur, respectiv retur (fig. 4.10). Principiul de contorizare presupune măsurarea debitelor, corectarea lor pentru anularea erorilor instrumentale, corectarea noilor valori în funcție de temperatură și aflarea consumului măsurat prin diferențierea volumelor obținute, în aceeași unitate de timp, pe circuitul tur, respectiv retur.

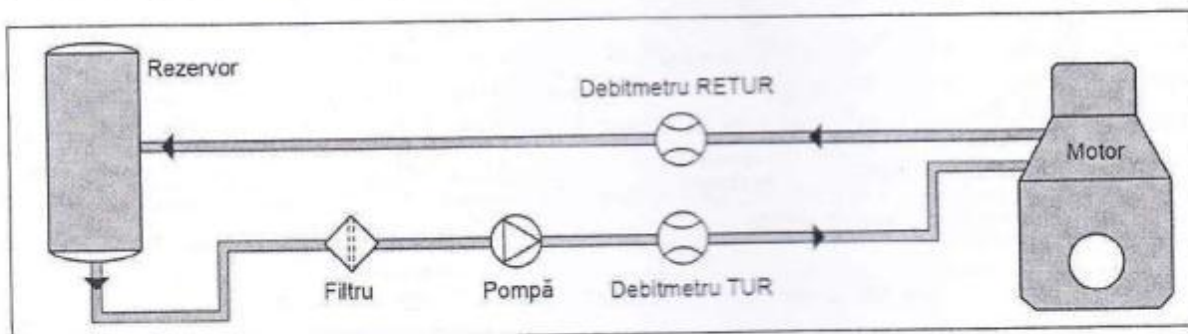


Fig. 4.10. Măsurarea consumului de carburant prin metoda diferențială

Poziția de montaj este specifică fiecărui motor, în funcție de tipul de filtrare preexistent, precum și de tipul sistemului de alimentare și injecție. O parte semnificativă a erorilor de măsurare provine din fenomenul de pulsație a coloanei de carburant, generată de șocurile hidraulice ale pompei de injecție.

De aceea, amplasarea debitmetrului în circuitul tur este aleasă de așa natură încât să existe un tampon care să minimizeze acest efect. Erori pot apărea și în cazul în care nu se ține cont de diferența de temperatură existentă între circuitele tur și retur.

Totodată, îmbăcsirea filtrelor în aval de debitmetrul din circuitul tur determină un fenomen de depresiune, asociat cu formarea de mici bule de gaz, în jurul valorii de $-0,3 \text{ bar}$.

Acest fenomen va altera, în sensul majorării, indicația debitmetrului din circuitul tur, mărind în mod eronat valoarea consumului măsurat. Întreținerea corespunzătoare a motoarelor, conform manualului producătorului, precum și menținerea etanșeității perfecte în cadrul sistemului de alimentare devin condiții de bază pentru obținerea preciziei de măsurare.

Alegerea debitmetrului în funcție de tipul motorului este, la rândul ei, importantă, datorită efectului pe care vibrațiile îl au asupra instrumentului. La anumite frecvențe ale vibrației, masa prea mare a debitmetrului poate afecta măsurătoarea, așa cum și tipul de senzor cu care este echipat debitmetrul poate reacționa în defavoarea preciziei la anumite oscilații.

Toți factorii menționați anterior au potențialul de a altera valorile măsurătorilor. De aceea, ei au fost analizați și efectul lor minimizat, pentru ca, în final, rezultatele să fie pe măsura așteptărilor.

La instalațiile navale, există posibilitatea alegerii de debitmetre aprobate de societăți de clasă, precum Det Norske Veritas sau Germanischer Lloyd. Sistemul poate fi dotat suplimentar cu o valvulă de bypass pentru debitmetrul de tur, pentru securitate. După opțiune, valvula va putea fi acționată local sau de la distanță.

Precizia unei astfel de măsurători poate fi de până la 100%, atunci când montajul este realizat corect, iar fenomenele asociate măsurătorii sunt cunoscute, cuantificabile și controlabile.

4.3. Aplicații

► Aplicația 1

Schemele de reglare automată a debitului fluidelor în conducte se aleg în funcție de modul de alimentare a conductelor.

Atunci când se utilizează pompe centrifuge sau când alimentarea conductelor se face prin cădere liberă sau de la un recipient sub presiune, schema utilizată este cea din figura 4.11.

Se remarcă faptul că organul de reglare este montat chiar pe conductă în care se reglează debitul. Organul de reglare este astfel comandat de regulator, prin intermediul elementului de execuție, încât, prin ajustarea rezistenței hidraulice pe care o introduce în circuitul fluidului, debitul prin conductă să se păstreze la o valoare prescrisă. Cele mai utilizate sisteme de reglare automată de acest fel sunt sistemele cu acțiune continuă, cu regulator **PI**.

Dacă alimentarea conductei se face de la o pompă cu debit constant, utilizarea unui organ de reglare pe conductă, ca în schema din figura 4.11.a, nu permite ajustarea debitului, în scopul obținerii unei valori dorite a acestuia. În acest caz, ajustarea la valoarea prescrisă a debitului în conductă se poate face prin recircularea unei părți din fluidul de la ieșirea pompei. Schema-bloc a sistemului de reglare automată este dată în figura 4.11.b. Dacă traductorul sesizează o creștere a debitului față de valoarea prescrisă, regulatorul **R** comandă mărirea debitului recirculat, astfel încât debitul prin conductă pe care este montat traductorul să revină la valoarea impusă.

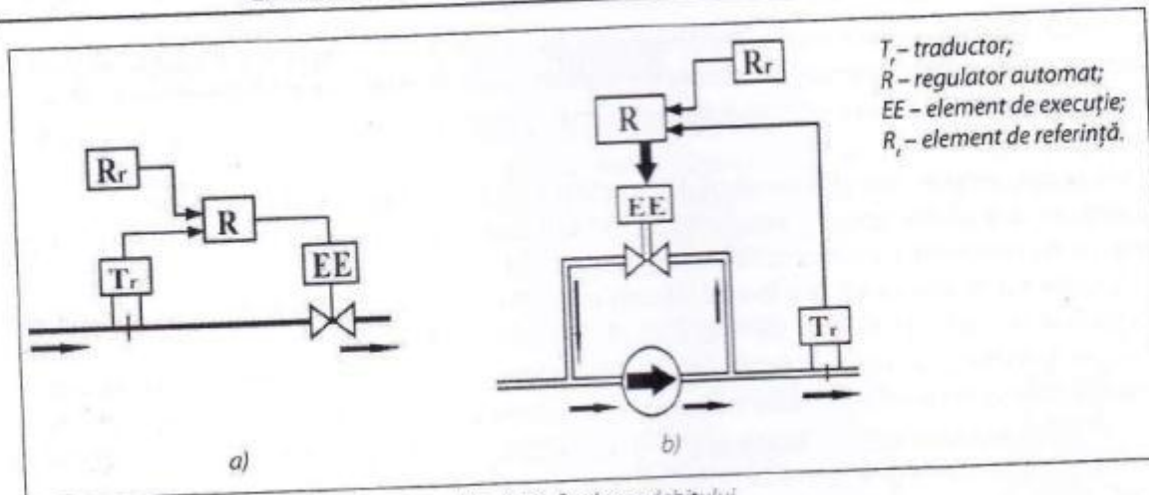


Fig. 4.11. Reglarea debitului

► Aplicația 2

În numeroase procese industriale se întâlnesc situații în care trebuie să se asigure un debit la presiunea p_1 într-un recipient R și un altul la presiunea p_2 , diferită de p_1 , la ieșirea instalației (fig. 4.12). Cu cât diferența dintre presiuni este mai mare, cu atât reglarea se poate realiza mai ușor, iar performanțele sunt mai ridicate.

Reglatoarele folosite sunt de tip PI, datorită capacității lor de a anula eroarea staționară la intrare treaptă.

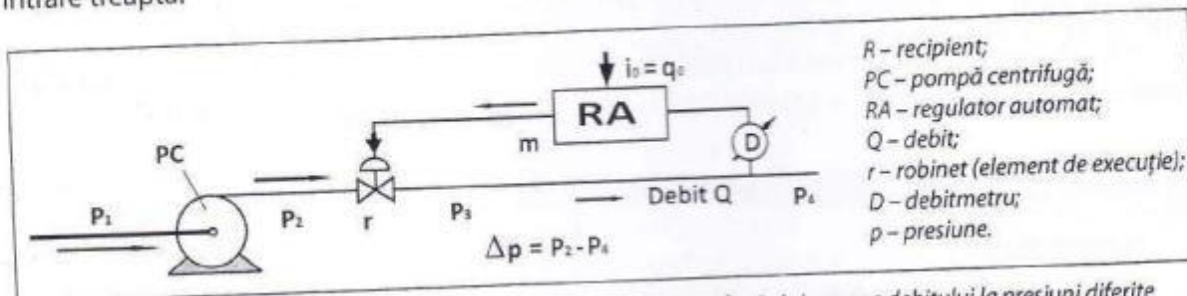


Fig. 4.12. Sistem de reglare automată a debitului la o pompă centrifugă. Asigurarea debitului la presiuni diferite

Debitul la presiunea p_2 obținut la ieșirea din pompa centrifugă PC, este reglat de regulatorul automat RA care acționează ventilul reglabil (robinetul) r . Referința este $i_0 = q_0$. Măsurarea parametrului reglat, debitul Q , la ieșire, la presiunea p_4 este realizată de debitmetrul D. Cu cât căderea de presiune $\Delta p = p_2 - p_4$ este mai mare, cu atât se obține o reglare mai bună.

► Aplicația 3

Să se calculeze debitul de apă care circulă printr-o conductă cu $D = 100 \text{ mm}$, utilizând o diafragmă cu prize în flanșe cu $d = 40 \text{ mm}$, pe care se produce o cădere de presiune $\Delta p = 0,2 \text{ bar}$. Precizează pentru ce valori ale debitului coeficientul de debit poate fi considerat constant. Se dau $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$, $\eta = 10^{-3} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$.

Pentru evaluarea coeficientului de debit α se calculează raportul $\beta = d/D = 0,4$. Din anexă, tabelul 2, rezultă $\alpha' = 0,608$.

Considerând $\alpha = \alpha'$, dependența debit-cădere de presiune pe diafragmă este descrisă de relația:

$$Q' = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = 0,608 \frac{\pi \cdot 0,4^2}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2 \cdot 10^5}{997}} = 4,84 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 17,423 \text{ m}^3/\text{h},$$

în care Q' este debitul volumic modificat, Δp este diferența dintre presiunea p_1 din amonte și presiunea p_2 din aval de diafragmă, ρ este densitatea lichidului, d este diametrul orificiului diafragmei, iar α este coeficientul de debit (adimensional).

Se calculează numărul Reynolds:

$$R_e = 0,3537 \frac{\rho Q}{D \eta} = 0,3537 \frac{997 \cdot 17,42}{100 \cdot 10^{-3}} = 61,4 \cdot 10^3,$$

iar din anexă, tabelul 1, extragem valoarea R'_e , determinată experimental, $R'_e = 16 \cdot 10^3$. Această relație este valabilă când Q este exprimat în m^3/h , ρ în kg/m^3 , D în mm și η în $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$.

Deoarece $R_e > R'_e$, putem considera aproximația făcută, $\alpha = \alpha'$, ca fiind neglijabilă. Prin urmare, debitul este:

$$Q = Q' \left(1 + \frac{\beta A}{R_e} \right) = 17,42 \left(1 + \frac{0,4 \cdot 423}{61,4 \cdot 10^3} \right) = 17,46 \text{ m}^3/\text{h},$$

unde A este un coeficient determinat pe cale experimentală, în funcție de β și D (anexă, tabelul 4.4).

Coeficientul α este constant atunci când se verifică relația:

$$0,3537 \frac{\rho Q}{D \eta} > R'_e, \text{ adică atunci când:}$$

$$Q > \frac{D \eta \eta'_e}{0,3537 \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot 10^3}{0,3537 \cdot 997} = 4,54 \text{ m}^3/\text{h}$$

► Aplicația 4

Să se calculeze debitul unui amestec de gaze naturale vehiculate pe o conductă cu diametrul $D = 300 \text{ mm}$, utilizând o diafragmă cu prize în flanșe cu diametrul orificiului $d = 175 \text{ mm}$, pe care se măsoară o cădere de presiune $\Delta p = 0,15 \text{ bar}$. Trebuie precizat pentru ce valori ale debitului coeficientul de debit are valoarea constantă.

Se mai cunosc: $p_1 = 20 \text{ bar}$, $T_1 = 293 \text{ K}$, $\rho_n = 0,72 \text{ kg}/\text{m}^3$, $K_1 = 0,97$, $\eta = 10,8 \cdot 10^{-6} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$, $\chi = 1,31$.

Se calculează raportul $\beta = d/D = 175/300 = 0,5833$. Se calculează apoi coeficientul de expansiune ε , cu relația:

$$\varepsilon = 1 - (0,41 + 0,35 \cdot \beta^4) \cdot \frac{\Delta p}{X \cdot p_1} = 1 - (0,41 + 0,35 \cdot 0,5833^4) \cdot \frac{0,15}{1,31 \cdot 20} = 0,997,$$

unde p_1 este presiunea în amonte de diafragmă, iar χ este coeficientul izotrop al gazului (coeficientul adiabatic).

Corespunzător valorilor β și D , din tabelul 2 se extrage valoarea coeficientului de debit modificat $\alpha' = 0,642$.

Se consideră $\alpha \equiv \alpha'$ și se calculează coeficientul de proporționalitate K , cu relația:

$$K = \frac{20,76 \cdot \varepsilon \cdot \alpha \cdot \beta^2 \cdot D^2}{\sqrt{K_f \cdot \rho_N}} = \frac{20,76 \cdot 0,997 \cdot 0,642 \cdot 0,5833^2 \cdot 300^2}{\sqrt{0,97 \cdot 0,72}} = 486891,$$

și debitul normal modificat Q'_N conform relației:

$$Q'_N = K \sqrt{\frac{\rho_1 \cdot \Delta p}{T_1}} = 486891 \sqrt{\frac{20 \cdot 0,15}{293}} = 49267 m_N^3/h,$$

în care debitul normal modificat Q'_N (raportat la starea normală fizică, cu temperatura de 273,15 °K și presiunea de 1,013 bar) este exprimat în m_N^3/h , p_1 și Δp în bar, T_1 în °K, D în mm și ρ_N în kg/m^3 .

Se calculează apoi numărul Reynolds:

$$R_e = 0,3537 \frac{\rho_N Q'_N}{D \eta} = 0,3537 \frac{0,72 \cdot 49267}{300 \cdot 10,8 \cdot 10^{-6}} = 3,87 \cdot 10^6,$$

iar din tabelul 1 se extrage valoarea lui $R'_e = 0,15 \cdot 10^6$.

Corespunzător valorilor β și D , din tabelul 3 se extrage valoarea coeficientului $\alpha = 2043$, iar apoi se calculează debitul normal Q_N , conform relației:

$$Q_N = Q'_N \left(1 + \frac{\beta A}{R_e} \right) = 49267 \cdot \left(1 + \frac{0,5833 \cdot 2043}{3,87 \cdot 10^6} \right) = 49282 m_N^3/h.$$

Diferența neglijabilă dintre Q'_N și Q_N se justifică prin faptul că valoarea numărului Reynolds, R_e , este mult mai mare decât valoarea-limită, R'_e .

Coeficientul de debit, α , este constant în raport cu debitul atunci când:

$$0,3537 \frac{\rho_N \cdot Q_N}{D \cdot \eta} > R'_e, \text{ de unde rezultă condiția:}$$

$$Q_N > \frac{D \cdot \eta \cdot R'_e}{0,3537 \cdot \rho_N} = \frac{300 \cdot 10,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,15 \cdot 10^6}{0,3537 \cdot 0,72} = 1908 m_N^3/h$$

► Aplicația 5

Debitmetre pentru sisteme antifurt motorină

Un sistem **antifurt de combustibil poate fi realizat simplu și eficient folosind debitmetre de motorină** (sau orice alt lichid), în combinație cu contoarele de motorină, ceea ce oferă o dublă monitorizare a cantităților de combustibil.

Debitmetrele sunt contoare care seamănă în funcționare cu pompele de benzină din stațiile de alimentare cu benzină, acestea contorizând volumul total de combustibil și volumul momentan. Constructiv, se pot realiza debitmetre de combustibil cu afișaj digital sau analogic (fig. 4.13 și 4.14).



- contorizarea cantității de **motorină** la umplerea rezervoarelor sau la transferul de **motorină** cu o rată de transfer între 10 și 100 l/min;
- afișează:
 - volumul de **motorină** introdus pe moment (de exemplu, pompa de la benzinărie)
 - volumul total de motorină (toată cantitatea care a fost contorizată într-o anumită perioadă). Ambele sunt resetabile.

Fig. 4.13. Debitmetru de combustibil cu afișaj digital



- afișează volumul de **motorină** măsurat (de exemplu, contorul de apă);
- afișează:
 1. cantitatea totală de **motorină** (neresetabilă);
 2. cantitatea momentană de **motorină** (resetabilă).
- **avantaje:**
 - prețul redus și simplitatea (nu necesită baterii etc.);
 - folosite cu succes ca **sisteme antifurt de motorină**.

Fig. 4.14. Debitmetru de combustibil cu afișaj analog

► Aplicația 6

Plecând de la cele prezentate în continuare, identificați la automobil tipul de carburator utilizat, precum și părțile sale componente.

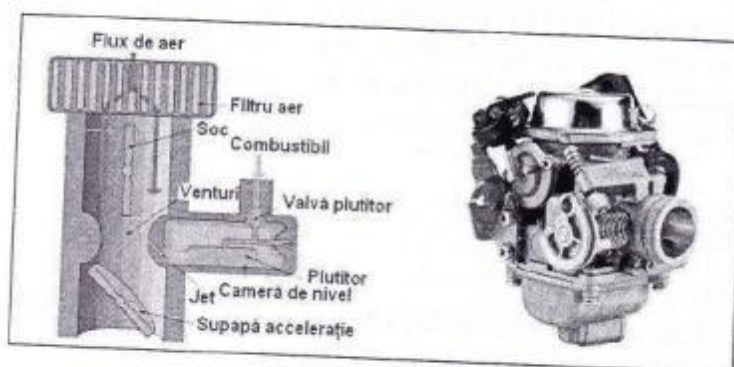


Fig. 4.15. Carburator

Carburatorul este o componentă a sistemului de alimentare. El este un aparat al unui motor cu ardere internă, cu aprindere electrică, în care se formează amestecul carburant, în proporția dorită, prin difuzarea combustibilului într-un curent de aer. Funcția de bază a unui carburator este ca, în momentul aprinderii, să ofere un amestec de aer și benzină în proporții ideale pentru formarea amestecului combustibil care să ardă cât mai eficient cu puțință și să elibereze un volum cât mai mare de gaze cu un consum de benzină cât mai mic cu puțință.

De asemenea, prin fenomenul gâtuirii cantității de aer, majoritatea carburatoarelor controlează viteza unui motor. Un carburator simplu are un tub Venturi care controlează cantitatea de aer admis printr-o valvă numită clapetă de admisie a carburatorului. Tubul Venturi are prevăzute niște orificii calibrate prin care se pulverizează combustibilul (dozat corespunzător) în curentul de aer, pentru realizarea cât mai bună a amestecului dintre cele două componente (mai exact combustibilul este „supt” de depresiunea din tub). Automobilele moderne nu mai folosesc carburatoare, în acest scop fiind folosite diferitele metode de injecție de combustibil.

Principiul de funcționare al carburatorului este bazat pe *Legea lui Bernoulli*: Cu cât se deschide mai mult clapeta de aer, viteza de circulație a aerului crește, mărindu-se în acest fel cantitatea de combustibil aspirat. La noi în țară, tipurile de carburatoare foarte des întâlnite sunt Solex și Webber.

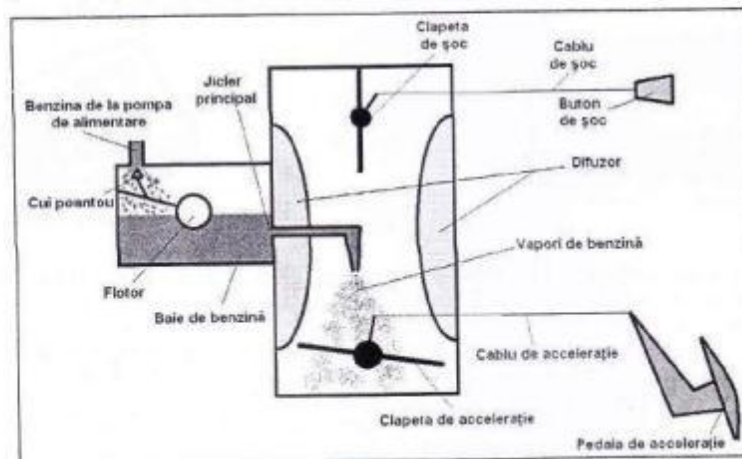


Fig. 4.16. Schema de funcționare a unui carburator simplificat

Carburatorul dozează cantitatea de benzină în funcție de „gradul” de obturare al unor canale din interiorul acestuia și de poziția clapetei de accelerație. Canalele acestuia sunt obturate cu ajutorul unor șuruburi reglabile, dintre care cel mai cunoscut este acela de reglaj al coeficientului lambda. Deschiderea clapetei de accelerație reglează viteza jetului de aer aspirat de motor. Cu cât viteza jetului este mai mare, cu atât depresiunea din difuzor crește; în consecință, și cantitatea de benzină aspirată se va mări. În cazul accelerărilor bruște (numite șprițuri), intră în acțiune pompa de șpriț, care pulverizează un volum suplimentar de combustibil în galeria de admisie. Acest volum suplimentar face ca motorul să poată accelera brusc.

✓ EVALUARE

A. Completați spațiile libere.

1. Debitul volumic se definește ca fiind ... (1) ... care trece printr-o secțiune S a conductei în unitatea de timp.
2. Principiul de funcționare a ... (2) ... se bazează pe legea inducției.
3. ... (3) ... este un debitmetru cu diferență constantă de presiune și plutitor rotativ.
4. Funcționarea debitmetrelor cu strangularea secțiunii se bazează pe ... (4) ...
5. Regulatele folosite pentru reglarea debitului sunt de tip ... (5) ...

B. Stabiliți valoarea de adevăr a următoarelor afirmații:

1. Regulatele de tip P sunt folosite datorită capacității lor de a anula eroarea staționară la intrare treaptă.
2. Debitul volumic reprezintă masa fluidului ce trece prin secțiunea conductei în unitatea de timp.
3. Debitmetrele electromagnetice măsoară viteza de deplasare a fluidelor bune conductoare de electricitate.

C. Enunțați principiul de măsurare folosit la debitmetrele cu strangulare fixă.

D. Întocmiți un referat ce va conține:

- a) O comparație între traductoarele debitmetrice cu diafragmă, traductoarele rotametrice și traductoarele debitmetrice de inducție.
- b) Precizați de ce este de dorit ca valoarea coeficientului de debit α să fie constantă în raport cu debitul și când se păstrează această proprietate.

ANEXE

Tabelul 4.2. Valorile R_e' pentru valorile β și D

$\beta \backslash D$	50	75	100	150	200	250	375	760
0,1	8	12	16	24	32	40	60	120
0,2	8	12	16	24	32	40	60	120
0,3	8	12	16	24	32	40	60	120
0,4	8	12	16	24	32	40	60	120
0,5	8	20	30	50	75	75	100	200
0,6	20	30	40	50	75	100	200	300
0,7	50	50	50	100	100	200	200	400

Tabelul 4.3. Valorile coeficientului a' pentru diafragmă cu prize în flanșe

$\beta \backslash D$	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	700
0,10	0,604	0,602	0,598	0,596	0,594	0,593	0,592	0,592	0,592	0,592	0,592	0,592	0,592
0,12	0,602	0,600	0,597	0,594	0,593	0,592	0,592	0,593	0,593	0,593	0,593	0,593	0,593
0,14	0,600	0,598	0,595	0,594	0,593	0,593	0,593	0,593	0,593	0,594	0,594	0,594	0,594
0,16	0,599	0,597	0,595	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594
0,18	0,598	0,597	0,595	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594
0,20	0,598	0,597	0,595	0,595	0,595	0,595	0,595	0,595	0,595	0,595	0,595	0,595	0,595
0,22	0,598	0,597	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596
0,24	0,598	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597
0,26	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598
0,28	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599
0,30	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
0,32	0,602	0,602	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,602	0,602	0,602	0,602
0,34	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603
0,36	0,605	0,605	0,605	0,605	0,604	0,604	0,604	0,604	0,604	0,604	0,604	0,604	0,604
0,38	0,607	0,608	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606
0,40	0,610	0,609	0,609	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608
0,42	0,612	0,611	0,611	0,611	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610
0,44	0,614	0,614	0,614	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613
0,46	0,618	0,617	0,617	0,616	0,616	0,616	0,616	0,616	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615
0,48	0,621	0,612	0,620	0,620	0,619	0,619	0,619	0,619	0,619	0,619	0,618	0,618	0,618
0,50	0,625	0,624	0,624	0,623	0,623	0,623	0,622	0,622	0,622	0,622	0,622	0,622	0,622
0,52	0,629	0,629	0,628	0,627	0,627	0,627	0,626	0,626	0,626	0,626	0,626	0,626	0,626
0,54	0,634	0,633	0,632	0,632	0,632	0,631	0,631	0,631	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630
0,56	0,639	0,638	0,638	0,637	0,637	0,636	0,636	0,636	0,635	0,635	0,635	0,635	0,635
0,58	0,645	0,644	0,643	0,643	0,642	0,642	0,641	0,641	0,641	0,641	0,640	0,640	0,640
0,60	0,652	0,651	0,650	0,649	0,648	0,648	0,647	0,647	0,647	0,647	0,646	0,646	0,646
0,62	0,659	0,658	0,657	0,656	0,655	0,654	0,654	0,653	0,653	0,653	0,653	0,653	0,653
0,64	0,667	0,666	0,665	0,664	0,663	0,663	0,662	0,661	0,661	0,661	0,660	0,660	0,660
0,66	0,676	0,675	0,673	0,672	0,672	0,671	0,670	0,670	0,669	0,669	0,668	0,668	0,668
0,68	0,686	0,684	0,683	0,682	0,681	0,680	0,679	0,678	0,678	0,678	0,677	0,677	0,677
0,70	0,696	0,695	0,693	0,692	0,691	0,690	0,689	0,688	0,688	0,687	0,687	0,687	0,687
0,72	0,709	0,707	0,705	0,703	0,702	0,701	0,700	0,699	0,699	0,698	0,698	0,697	0,697
0,74	0,727	0,723	0,719	0,717	0,716	0,714	0,713	0,712	0,711	0,710	0,709	0,709	0,709

Tabelul 4.4. Valorile coeficientului a pentru diafragmă cu prize în flanșe

$\beta \backslash D$	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	700
0,10	156	180	225	269	312	374	476	576	673	865	1054	1240	1424
0,12	172	198	246	293	338	404	511	616	718	918	1114	1308	1499
0,14	185	212	262	310	356	424	533	639	743	945	1142	1336	1527
0,16	196	222	273	321	368	436	544	649	751	949	1142	1331	1518
0,18	204	230	281	329	375	441	547	648	747	937	1122	1302	1479
0,20	210	237	287	333	378	442	544	640	734	913	1086	1254	1418
0,22	216	242	291	336	379	440	537	628	715	881	1041	1195	1345
0,24	221	247	294	338	379	437	528	612	693	846	991	1130	1265
0,26	226	251	297	340	379	434	519	598	672	811	942	1066	1186
0,28	232	257	302	342	380	432	512	585	654	780	898	1008	1114
0,30	239	263	307	347	383	433	509	577	641	757	863	961	1055

CAPITOLUL 4 – Sisteme de reglare automată a debitului

$\beta \backslash D$	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	700
0,32	247	271	315	354	390	439	511	576	636	743	840	930	1014
0,34	256	281	325	365	400	449	520	583	641	744	835	919	996
0,36	268	294	339	379	415	465	537	600	658	760	850	931	1006
0,38	282	309	356	398	436	487	563	629	688	794	887	971	1048
0,40	298	327	378	423	463	518	599	670	734	849	950	1042	1126
0,42	318	348	404	452	497	557	646	725	797	926	1041	1146	1243
0,44	340	374	434	488	537	605	700	795	877	1027	1161	1285	1402
0,46	365	402	470	530	586	662	777	881	977	1153	1313	1463	1604
0,48	394	435	511	579	642	729	862	983	1096	1305	1498	1680	1853
0,50	426	472	557	634	706	806	960	1102	1235	1485	1717	1938	2149
0,52	461	513	609	696	778	894	1072	1238	1396	1692	1970	2237	2494
0,54	500	559	666	766	859	992	1199	1392	1577	1927	2259	2578	2887
0,56	543	608	729	842	949	1101	1339	1564	1779	2190	2582	2961	3330
0,58	589	662	798	925	1047	1220	1493	1753	2003	2481	2941	3386	3822
0,60	638	719	872	1016	1153	1350	1661	1959	2247	2800	3334	3853	4361
0,62	691	781	951	1112	1267	1489	1843	2182	2511	3146	3760	4360	4948
0,64	747	847	1036	1216	1389	1638	2037	2421	2794	3517	4219	4905	5580
0,66	808	916	1126	1325	1518	1797	2244	2675	3096	3913	4708	5487	6255
0,68	868	989	1220	1441	1654	1964	2462	2944	3415	4332	5226	6104	6970
0,70	933	1065	1318	1561	1796	2139	2691	3227	3750	4773	5772	6754	7723
0,72	1000	1144	1421	1687	1945	2322	2930	3521	4100	5233	6341	7432	8511
0,74	1069	1226	1527	1817	2099	2511	3177	3827	4463	5710	6933	8137	9328

Tabelul 4.5. Valorile produsului $100 \alpha \beta^2$ pentru diafragme cu prize în flanșe

$\beta \backslash D$	50	60	80	100	120	150	200	250	300	400	500	600	700
0,10	0,604	0,602	0,598	0,596	0,594	0,593	0,592	0,592	0,592	0,592	0,592	0,592	0,592
0,12	0,867	0,864	0,860	0,858	0,855	0,854	0,852	0,853	0,853	0,853	0,853	0,853	0,853
0,14	1,176	1,172	1,166	1,164	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162	1,164	1,164	1,164	1,164
0,16	1,533	1,528	1,523	1,520	1,520	1,520	1,520	1,520	1,520	1,520	1,520	1,523	1,523
0,18	1,937	1,934	1,928	1,925	1,925	1,925	1,928	1,928	1,928	1,928	1,928	1,928	1,928
0,20	2,392	2,388	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,384	2,384	2,384	2,384	2,384	2,384
0,22	2,894	2,89	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89
0,24	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44
0,26	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,05	4,05
0,28	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
0,30	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40	5,41
0,32	6,16	6,16	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,16	6,16	6,16	6,16
0,34	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97	6,97
0,36	7,84	7,84	7,84	7,84	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83
0,38	8,76	8,78	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76	8,76
0,40	9,76	9,74	9,74	9,73	9,73	9,73	9,73	9,73	9,73	9,73	9,73	9,73	9,73
0,42	10,8	10,8	10,8	10,8	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
0,44	11,9	11,9	11,9	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
0,46	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,0	13,0
0,48	14,3	14,3	14,3	14,3	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
0,50	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
0,52	17,0	17,0	17,0	17,0	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9
0,54	18,5	18,5	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
0,56	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9
0,58	21,7	21,7	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,5	21,5	21,5	21,5
0,60	23,5	23,4	23,4	23,4	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,2
0,62	25,3	25,3	25,3	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,1	25,1	25,1	25,1
0,64	27,3	27,3	27,2	27,2	27,2	27,2	27,1	27,1	27,1	27,1	27,0	27,0	27,0
0,66	29,4	29,4	29,3	29,3	29,3	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,1	29,1	29,1
0,68	31,7	31,6	31,6	31,5	31,5	31,4	31,4	31,4	31,4	31,3	31,3	31,3	31,3
0,70	34,1	34,1	34,0	34,0	33,9	33,9	33,8	33,7	33,7	33,7	33,7	33,6	33,6
0,72	36,7	36,6	36,6	36,5	36,4	36,3	36,2	36,2	36,2	36,2	36,2	36,1	36,1
0,74	39,8	39,6	39,4	39,3	39,2	39,1	39,0	39,0	38,9	38,9	38,9	38,8	38,8

Sisteme de reglare automată a umidității

5.1. Umiditatea

Umiditatea aerului reprezintă cantitatea de vapori de apă care se află în aerul atmosferic. Ea este un factor de microclimă, important în aprecierea complexă a ambianței termice, la care ne referim aproape tot atât de des ca și la temperatura aerului. În urma evaporării zilnice a apei din mediul acvatic, din sol, de pe plante, din respirația animalelor și din unele procese tehnologice, rezultă vapori care se amestecă cu aerul atmosferic, făcând ca acesta să capete o umiditate variabilă în spațiu și timp.

Analiza umidității aerului este necesară pentru: studiul condițiilor în care se desfășoară evaporarea, determinarea condițiilor de creștere a plantelor, realizarea calculelor corecte necesare condiționării temperaturii și umidității în încăperi.

■ **Mărimile fizice care descriu, cantitativ, umiditatea** sunt:

- **Umiditatea unui gaz** – reprezintă cantitatea de vapori de apă conținută în unitatea de masă sau de volum a unui corp gazos sau solid.
- **Umiditatea absolută, U_a** – reprezintă cantitatea (masa) vaporilor de apă, M_v , exprimată în grame, conținută într-un metru cub de amestec gazos (g/m^3) – volumul de aer.

$$U_a = \frac{M_v}{V} \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right]$$

Umiditatea absolută are variații în funcție de altitudine și de condițiile atmosferice. Dacă aerul umed este saturat cu vapori de apă, umiditatea absolută devine maximă (umiditate de saturație). La o anumită valoare a umidității absolute, aerul poate fi considerat umed sau uscat. Dacă umiditatea absolută crește până la umiditatea maximă, vaporii de apă se vor condensa.

- **Umiditatea maximă, U_{\max}** – reprezintă cea mai mare cantitate de vapori de apă care se poate găsi într-un volum determinat de aer, la o anumită temperatură. Umiditatea maximă presupune saturarea cu vapori de apă a aerului. Pentru aceeași temperatură, aerul este saturat cu aceeași cantitate de vapori de apă. Însă, dacă temperatura aerului crește și capacitatea sa de saturare crește, el va acumula o cantitate mai mare de vapori de apă, ceea ce este important în procesul de termoreglare prin evaporare.

Evaporarea transpirației nu ar mai fi posibilă dacă umiditatea aerului la temperatura la care se găsește organismul ar atinge umiditatea maximă, dar, dacă temperatura aerului crește mai sus de această temperatură, crește și capacitatea de acumulare a vaporilor de apă, iar procesul de evaporare a transpirației va reintra în acțiune ca un mecanism eficient de cedare a căldurii.

- **Umiditatea relativă, U_r** – reprezintă raportul dintre cantitatea vaporilor de apă conținută într-un metru cub de gaz și cantitatea maximă posibilă (saturație) a vaporilor de apă dintr-un metru cub de gaz, la aceeași temperatură (%).

Umiditatea relativă este o valoare care poate fi calculată cu formula:

$$U_r = \frac{U_a}{U_s} \cdot 100 [\%]$$

Umiditatea maximă, în scopul stabilirii umidității relative, se calculează la aceeași temperatură la care se determină și umiditatea absolută.

• **Punctul de rouă** – reprezintă temperatura la care vaporii de apă dintr-un gaz ajung la saturație.

La o presiune normală și o temperatură de 20 °C, cantitatea de vaporii de apă este de maximum 17,5 g/m³, această valoare reprezentând umiditatea absolută a mediului ambiant (în condițiile de climă specifice țării noastre). În ceea ce privește umiditatea relativă a mediului ambiant, aceasta poate lua valori între 63 și 67%. Tot în contextul umidității aerului se determină și **punctul de rouă**, adică temperatura la care saturarea aerului cu vaporii de apă atinge punctul maxim, urmarea fiind apariția condensului (picături fine de apă) la suprafața unor produse.

Aparatul pentru măsurarea umidității poartă denumirea de **umidometru**, iar cele specifice măsurării umidității aerului (gazelor) sunt denumite **higrometre** și **psihrometre**.



Fig. 5.1. Aparare pentru măsurarea umidității

Metode de măsurare a umidității

Pentru a măsura umiditatea gazelor se aplică metode prin care se realizează o dependență între diverse mărimi fizice și umiditate: metoda gravimetrică, metoda higrometrică, metoda punctului de rouă, metoda psihrometrică. Măsurările care determină umiditatea realizează o dependență între diverse mărimi fizice și umiditate.

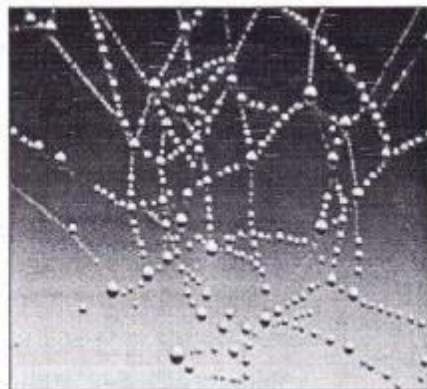


Fig. 5.2. Rouă pe o pânză de păianjen

• **Metoda higrometrică** se bazează pe modificarea directă sau indirectă a proprietăților fizice ale unor substanțe, în funcție de umiditatea unui gaz de măsurat.

Principiul de funcționare a higrometrului cu fir de păr (sau de capron) se bazează pe modificarea lungimii firului în funcție de umiditate.

• **Metoda gravimetrică** se bazează pe determinarea, prin cântărire, a cantității de apă absorbită de o substanță chimică dintr-o cantitate anumită de gaz analizat.

• **Metoda punctului de rouă** permite determinarea gradului de umiditate prin măsurarea temperaturii de condensare (saturație) a vaporilor de apă dintr-un gaz (punct de rouă).

Punctul de rouă se poate măsura cu precizie, răcind o oglindă metalică până când suprafața acesteia se aburește și, apoi, măsurând temperatura oglinzii. În dispozitivele comerciale, în general, răcirea se face folosind elemente Peltier; starea aburită sau clară a oglinzii se determină, optic, cu o

diodă luminiscentă și o fotodiodă, iar temperatura se măsoară electronic. Printr-o buclă de reacție inversă se poate face astfel încât temperatura oglinzii să urmărească permanent temperatura punctului de rouă a atmosferei supravegheate.

• **Metoda psihrometrică** se bazează pe sesizarea cantității de căldură necesară procesului de evaporare a apei conținute într-un volum de gaz.

În industrie, măsurarea umidității este importantă în procesele termice în care se dorește atingera unui randament ridicat. În aceste procese, atât gazele combustibile, cât și aerul de combustie nu sunt gaze complet uscate. Ele conțin o cantitate de vapori de apă care micșorează căldura rezultată prin ardere.

Vaporii reprezintă denumirea pentru faza gazoasă a corpurilor care există sub formă lichidă și solidă. De aici provine și denumirea de vapori de apă. Aerul uscat și vaporii de apă formează amestecul de „aer umed”.

Cantitatea maximă de vapori în aer sau în gaz prezintă starea de saturație a aerului sau a gazului. Când starea de saturație este atinsă, aerul nu mai poate absorbi alți vapori de apă, vaporii în exces condensându-se sau rămânând în suspensie sub formă de ceață vizibilă. Această stare de saturație este vizibilă numai pentru o anumită temperatură. Mărind temperatura, se părăsește starea de saturație și procesul de evaporare continuă.

Dacă se scade temperatura, o parte din vapori condensează și se transformă în picături de apă, ajungându-se tot la o stare de saturație. Odată cu scăderea temperaturii, scade și cantitatea de apă conținută la saturație.

Tabelul 5.1. Variația umidității aerului saturat în funcție de temperatură

Temperatura punctului de rouă [°C]		0	+5	+10	+15	+20	+25	+30
Umiditatea	[g/m ³]	4,80	5,36	9,40	12,70	17,50	22,80	30,80
	[mmHg]	4,56	6,60	9,25	13,20	16,90	22,30	31,40
	[milibar]	6,17	8,96	12,00	20,60	22,80	30,20	42,50

Sistemele de aer condiționat pentru confort au un nivel al căldurii sensibile cuprins între 60 și 70%, ceea ce înseamnă că 60-70% sunt destinate scăderii temperaturii și 30-40% scăderii umidității. În cazul camerelor în care există calculatoare, nivelul optim al căldurii sensibile este de 85-100%, fiind mai importantă scăderea temperaturii în proporții mai mari decât umiditatea, care trebuie să fie menținută între 0 și 15%.

Acest interval trebuie strict controlat, din două considerente majore:

- în cazul în care umiditatea relativă din aer este mai mare de 15%, se va forma condens, circuitele se vor coroda și întreg sistemul va avea de suferit;
- dacă umiditatea relativă este eliminată 100%, atunci poate apărea altă problemă-majoră: fenomenul de descărcare electrostatică.

5.2. Măsurarea umidității

Alături de alți factori de mediu, precum temperatura, compoziția și circulația aerului, lumina solară și alte radiații, umiditatea are un rol important în buna păstrare în depozite a mărfurilor alimentare.

Măsurătorile de umiditate se pot face pe două căi:

- se măsoară masa m a vaporilor de apă conținuți într-un volum dat V de aer atmosferic;
- se determină presiunea actuală p_v a vaporilor de apă din atmosferă.

Umiditatea se poate determina cu ajutorul următoarelor aparate: *higrometre cu fir de păr*, *higrometre de condensare (Higrometrul Aluard)*, *psihrometre*, *umidometre rezistive*.

- **Higrometrele cu fir de păr** sunt aparate care indică direct valoarea umidității aerului, la un moment dat. În figura 5.3 este reprezentat cadranul unui higrometru, iar în figura 5.4, schema-bloc a unei stații de meteorologie cu afișare digitală a datelor. Astfel de echipamente simple se produc pentru locuințe și se găsesc pe piață la prețuri accesibile. Se bazează pe principiul modificării lungimii unui material higroscopic (fir de păr degresat), în funcție de variațiile umidității aerului. Modificările lungimii firului de păr sunt transmise printr-un resort la un ac indicator, care se deplasează în fața unui cadran etalonat în valori ale umidității relative a aerului, de la 0 ÷ 100%.



Fig. 5.3. Higrometru cu fir de păr

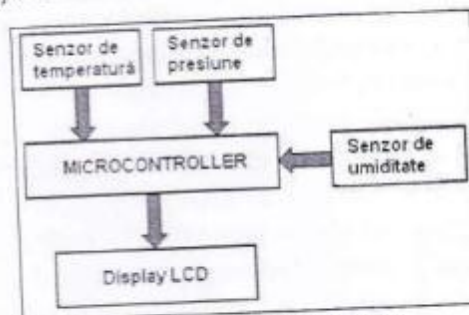


Fig. 5.4. Centralizarea datelor

Cei trei senzori din figura 5.4 folosesc o tensiune de alimentare de 5 V, iar rezultatele măsurătorilor sunt transmise către microcontroller. Acolo este folosit convertorul analogic-digital al microcontrollerului. Se pot măsura tensiuni din gama 0 ÷ 5 V, de pe opt intrări analogice multiplexate. Dacă semnalul de la intrare este prea mic în amplitudine, convertorul are facilitatea de preamplificare a acestuia. În urma conversiei, rezultatele sunt transmise către afișajul LCD.

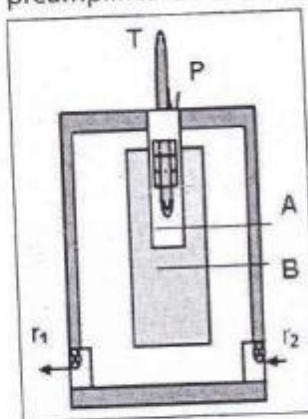


Fig. 5.5. Higrometru

- **Higrometrele de condensare (Higrometrul Aluard)** măsoară umiditatea prin determinarea *punctului de rouă (de aburire)*. Răcind un corp în atmosferă, acesta se va aburi la temperatura pentru care presiunea vaporilor saturați este egală cu presiunea actuală a vaporilor de apă.

În figura 5.5 este redată schematic construcția unui higrometru cu condensare. Este alcătuit dintr-un rezervor metalic A, în jurul căruia se află o placă metalică B. Atât suprafața rezervorului A, cât și cea a plăcii B sunt lustruite identic, pentru ca, prin diferența de reflexie a luminii, să se poată observa cea mai mică aburire. Rezervorul are la partea superioară o pâlnie P, pe unde se toarnă eterul, un termometru T și două tuburi cu robinetele r_1 și r_2 , unul la stânga și altul la dreapta. Prin tubul din dreapta suflăm aer ca să mărim viteza de evaporare a eterului și astfel

temperatura lui să scadă. Tubul al doilea servește la ieșirea vaporilor de eter.

Traductorul din figura 5.6 măsoară umiditatea relativă în intervalul 0 ÷ 100 %. Schema electrică are un amplificator diferențial, realizat cu circuitul LM308, și generează la ieșire o tensiune de 2,9 ÷ 3,9 V. Pentru realizarea schemei electrice se folosesc următoarele componente: $R_1 = 50 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1-400 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_4, R_5, R_6, R_7 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_8 = 51 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 100 \text{ pF}$, $C_2 = 50 \text{ pF}$, $C_3 = 100 \text{ }\mu\text{F}$.

- **Psihrometrul** este un dispozitiv folosit în meteorologie pentru a măsura conținutul de vapori de apă din aer și se bazează pe măsurarea vitezei de evaporare a apei, care depinde de deficitul higrometric. Practic, se determină temperatura, umiditatea relativă și punctul de rouă.

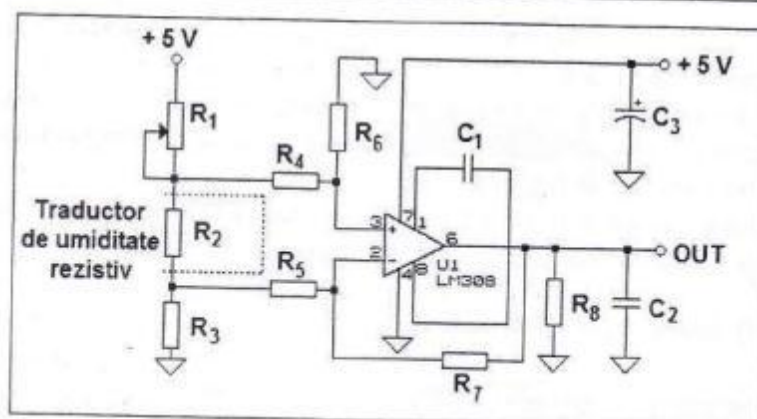


Fig. 5.6. Schema electrică a traductorului pentru umiditate

Cel mai utilizat este **psihrometrul cu ventilator (aspirație) de tip Asmann**.

Psihrometrul cu ventilator (aspirație) de tip Asmann este alcătuit dintr-un termometru uscat (1) și un termometru umed (2), ca în figura 5.7.c. Termometru umed este înfășurat într-o pânză higroscopică îmbibată cu apă distilată. Viteza de evaporare a apei de pe tifon, deci intensitatea răcirii, variază cu viteza de ventilație, dar tinde către o valoare limită pentru viteze de ventilație superioare valorii de 2,5 m/s. Aparatul este prevăzut în partea superioară cu un aspirator cu arc, care asigură viteza de ventilație necesară pentru ambele termometre. Capetele termometrelor sunt scăldate de curentul de aer umed, aspirat de către un mic ventilator (4) și acționat cu un resort metalic sau electric.

În funcție de diferența de temperatură dintre cele două termometre și de presiunea atmosferică, umiditatea se determină cu ajutorul diagramelor sau a tabelelor psihrometrice.

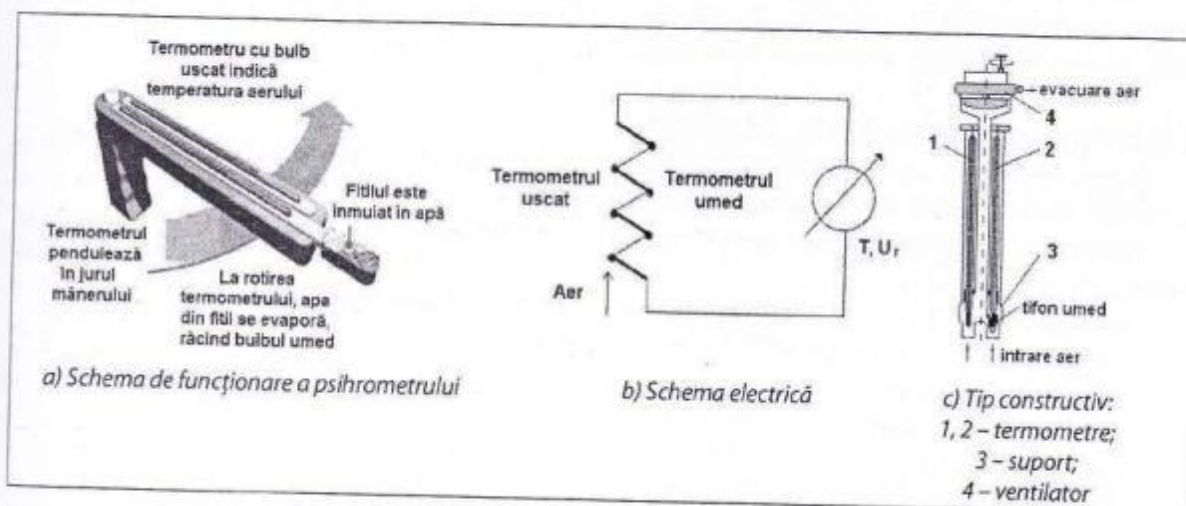


Fig. 5.7. Psihrometru cu ventilator, tip Asmann

Datorită evaporării, temperatura t_{um} indicată de termometru umed (2) este mai mică decât temperatura t_{us} indicată de termometru uscat (1).

Umiditatea relativă a aerului se determină folosind relația:

$$\varphi = \frac{p_v}{p_s} = \frac{p_s - C \cdot \frac{p_0}{p_s} \cdot (t_{us} - t_{um})}{p_s}$$

în care:

p_v – presiunea vaporilor de apă;

p_s – presiunea parțială a vaporilor de apă saturați conținuți de aer, la temperatura t_{um} ;

p_s – presiunea parțială a vaporilor de apă saturați conținuți de aer, însă la temperatura t_{us} ;

C – coeficient psihrometric, în bar / K;

p_b – presiunea barometrică și, totodată, presiunea totală a aerului umed, în bar;

p_o – presiunea la starea normală fizică – 1,01325 bar.

• **Umidometrul rezistiv** este prezentat în figura 5.8.

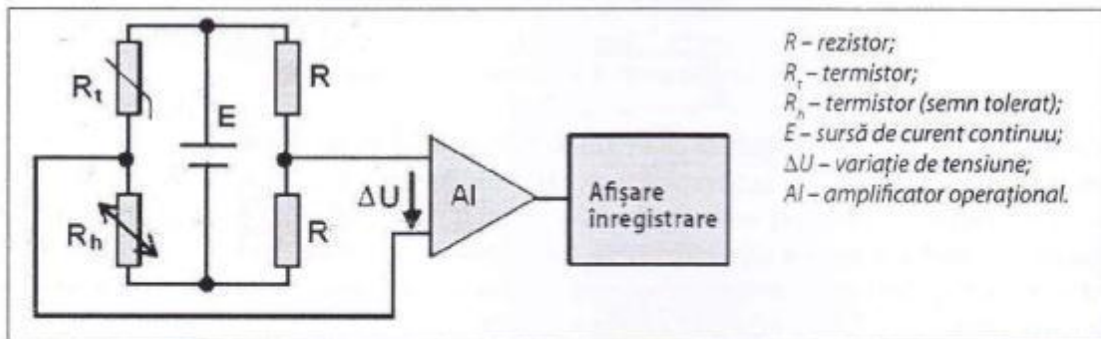


Fig. 5.8. Umidometrul rezistiv

Elementul sensibil la umiditate este introdus în brațele unei punți și compensarea cu temperatura se face cu un termistor R_h . Termistorul micșorează efectul temperaturii asupra rezistenței traductorului de umiditate. Elementul sensibil la umiditate are termistorul de compensare cu temperatura integrat în traductor. Rezistența senzorului se modifică la umiditate, determinând apariția unei tensiuni de dezechilibru proporționale cu umiditatea.

5.2.1. Programul informatic CoolPack

Pentru realizarea calculelor termice ale ciclurilor frigorifice reale, se va utiliza produsul informatic CoolPack, realizat la Universitatea Tehnică din Danemarca.

Programul CoolPack are șase module, așa cum se observă în meniul principal, la lansarea în execuție a programului:

- Refrigeration Utilities: programe pentru calcule privind agenții frigorifici;
- Cycle analysis – Analiza ciclurilor;
- Design – Proiectare;
- Evaluation – Evaluare;
- Auxiliary – Auxiliar;
- Dynamic – Dinamică.



Fig. 5.9. Meniul programului CoolPack

Așa cum se observă în imaginea care prezintă meniul principal al programului, patru din cele șase module de calcul ale programului fac parte din pachetul denumit generic „Cool Tools”.

Pentru efectuarea calculului, există câteva date de intrare care trebuie transmise obligatoriu programului CoolPack, printre care se numără: temperaturile de vaporizare și de condensare, natura agentului frigorific și puterea frigorifică a instalației. Temperaturile de vaporizare și condensare sunt notate în program prin T_v respectiv T_c și se introduc în $^{\circ}\text{C}$. Natura agentului frigorific este indicată în fereastra „REFRIGERANT”, în care se poate alege unul dintre agenții disponibili, printre care se numără și numeroși agenți ecologici.

Programul permite realizarea calculului pentru:

1. subrăcirea în condensator și supraîncălzirea în vaporizator;
2. supraîncălzirea pe conducta de aspirație;
3. pierderile de presiune la aspirație și refulare;
4. schimbul intern de căldură;
5. condițiile de funcționare ale compresorului.

Pe lângă opțiunile prezentate, programul poate să prezinte și valorile parametrilor termodinamici în stările caracteristice ale ciclului, la selectarea opțiunii „State Points”.

Programul CoolPack permite utilizarea a două module pentru determinarea proprietăților aerului umed.

Prima variantă este utilizarea diagramei aerului umed.

Înainte de activarea propriu-zisă a diagramei, se pot alege parametrii de configurare:

- Total pressure, PB [bar] – presiunea totală a aerului umed;
- Min. temperature on saturation curve, T_1 [$^{\circ}\text{C}$] – temperatura minimă ce intersectează curba de saturație;
- Max. temperature on saturation curve, T_2 [$^{\circ}\text{C}$] – temperatura maximă ce intersectează curba de saturație;
- Isotherm trough upper right corner, T_3 [$^{\circ}\text{C}$] – izoterma care trece prin colțul din dreapta sus al diagramei (cea mai mare temperatură reprezentată pe diagramă);
- Inclination of isenthalps H – înclinarea izentalpelor;
- Max. number of isenthalps on I axis, NH – numărul maxim de izentalpe reprezentate pe diagramă;

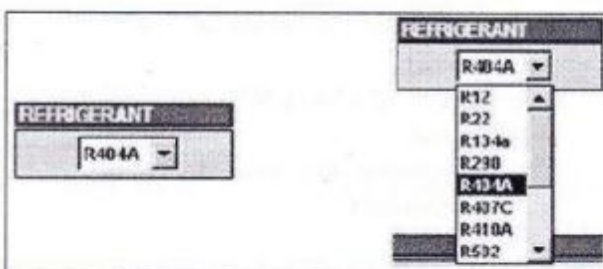


Fig. 5.10. Fereastra REFRIGERANT

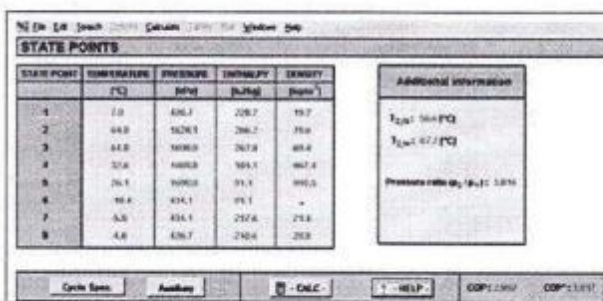


Fig. 5.11. Ecranul „State Points”

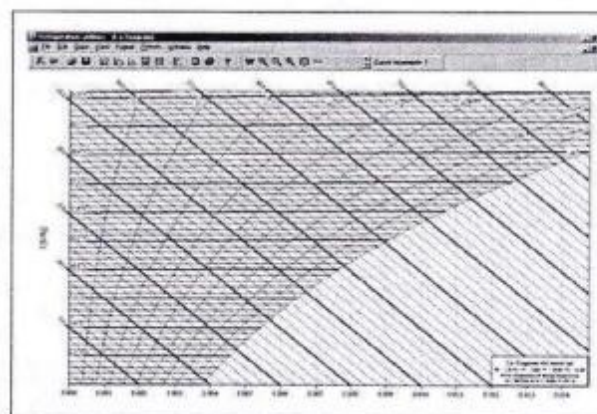


Fig. 5.12. Diagrama aerului umed

- Max. number of isotherms on T axis, NT – numărul maxim de izoterme reprezentate pe diagramă;
- Max. number of x lines, NX – numărul maxim al liniilor de umiditate constantă reprezentate pe diagramă;
- Distance between RH-curves, DRH [%] – pasul cu care sunt reprezentate curbele de umiditate relativă constantă.

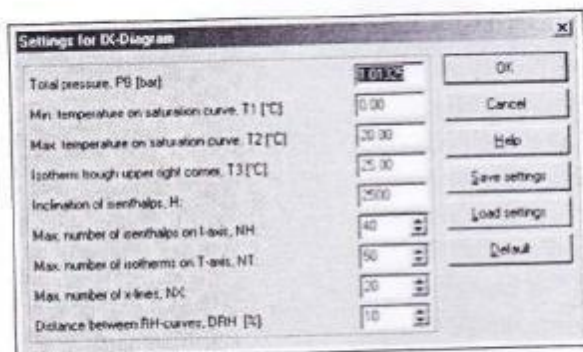


Fig. 5.13. Parametrii de configurare

La parametrii care permit configurarea, după dorința utilizatorului, a câmpului reprezentat al diagramei, o importanță deosebită o reprezintă faptul că se poate introduce valoarea presiunii aerului umed, ceea ce înseamnă că este posibilă determinarea cu ajutorul acestei diagrame, a parametrilor aerului umed comprimat, ceea ce este imposibil prin utilizarea diagramelor clasice, trasate, de regulă, numai pentru presiunea de 1 bar.

A doua posibilitate de determinare a parametrilor aerului umed o reprezintă utilizarea opțiunii „Properties for moist air – proprietățile aerului umed” din modulul „CoolTools: Auxiliary – Instrumente pentru tehnica frigului: Auxiliar”, descris anterior. La selectarea acestei opțiuni se lansează în execuție un program având interfața cuprinsă în fereastra „HUMID AIR PROPERTIES – PROPRIETĂȚILE AERULUI UMED”, prezentată în fig. 5.14.

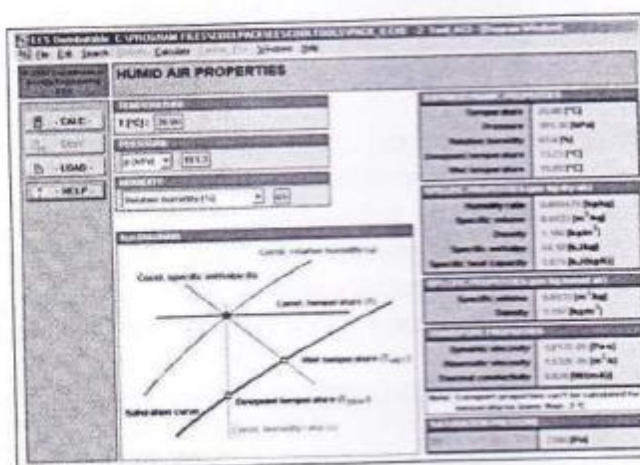


Fig. 5.14. Fereastra „HUMID AIR PROPERTIES”

Valorile parametrilor termodinamici ai aerului umed sunt calculate automat în funcție de valorile mărimilor de intrare și sunt prezentate în ferestrele din partea dreaptă a interfeței:

- THERMODYNAMIC PROPERTIES – proprietăți termodinamice:

- Temperature – temperatura [$^{\circ}\text{C}$];
- Pressure – presiunea [kPa];
- Relative humidity – umiditatea relativă [%];
- Dewpoint temperature – temperatura punctului de rouă [$^{\circ}\text{C}$];
- Wet temperature – temperatura termometrului umed [$^{\circ}\text{C}$].
- SPECIFIC PROPERTIES (per kg dry air) – proprietăți specifice (raportate la kilogramul de aer uscat):
 - Humidity ratio – umiditatea relativă [kg/kg];
 - Specific volume – volumul specific [m^3/kg];
 - Density – densitatea [kg/m^3];
 - Specific enthalpy – entalpia specifică [kJ/kg];
 - Specific heat capacity – căldura specifică [kJ/kgK].
- SPECIFIC PROPERTIES (per kg humid air) – proprietăți specifice (raportate la kilogramul de aer umed):
 - Specific volume – volumul specific [m^3/kg];
 - Density – densitatea [kg/m^3].
- TRANSPORT PROPERTIES – proprietăți de transport:
 - Dinamic viscosity – vâscozitatea dinamică [$\text{Pa}\cdot\text{s}$];
 - Kinematic viscosity – vâscozitatea cinematică [m^2/s];
 - Thermal conductivity – conductivitatea termică [W/mK].

Având în vedere flexibilitatea acestui modul al programului CoolPack, utilizarea lui este recomandată în orice situație, atunci când trebuie efectuate calcule ale parametrilor aerului umed.

5.2.2. Programul Fluidsim

Simularea funcționării unui sistem de reglare automată a umidității poate fi realizată și asociind un senzor de umiditate cu o schemă de acționare electropneumatică în programul Fluidsim (fig. 5.15).

Circuitul electropneumatic este format dintr-un compresor care produce presiunea de aer necesară circuitului pneumatic. Circuitul conține două pistoane pneumatice utilizate pentru acționarea unor valve dintr-o instalație tehnologică. Pistoanele sunt comandate de două distribuitoare care permit comutarea circuitelor pneumatice. Distribuitoarele sunt acționate cu ajutorul a două bobine din circuitul electric. Circuitul electric este format dintr-un releu 1 care este pus sub tensiune prin intermediul unui buton de pornire și scos de sub tensiune prin intermediul unui buton de oprire. Butonul de pornire este prevăzut cu un contact de automenținere pentru a păstra releul 1 sub tensiune și după ce butonul de pornire a fost eliberat, dar numai până când butonul de oprire este acționat. Circuitul mai conține bobinele distribuitoarelor, care sunt acționate de către senzorul de umiditate.

Coeficientul de conductivitate termică depinde atât de densitatea materialului, cât și de umiditatea acestuia.

Echipamentul prezentat în figura 5.16 permite evaluarea unui perete exterior în ceea ce privește acumularea de căldură pe parcursul zilei și eliberarea acesteia în interior, în perioada de noapte.

În schema electronică din figura 5.16, elementul sensibil este realizat din două conductoare de cupru, dispuse pe o placă de cablaj imprimat; împreună cu R_1 și R_2 , rezistența de contact a elementului sensibil formează divizorul de tensiune pentru polarizarea bazei lui T_3 . Curentul de colector al tranzistorului T_3 reprezintă abaterea (semnalul de eroare) care este amplificat de T_2 .

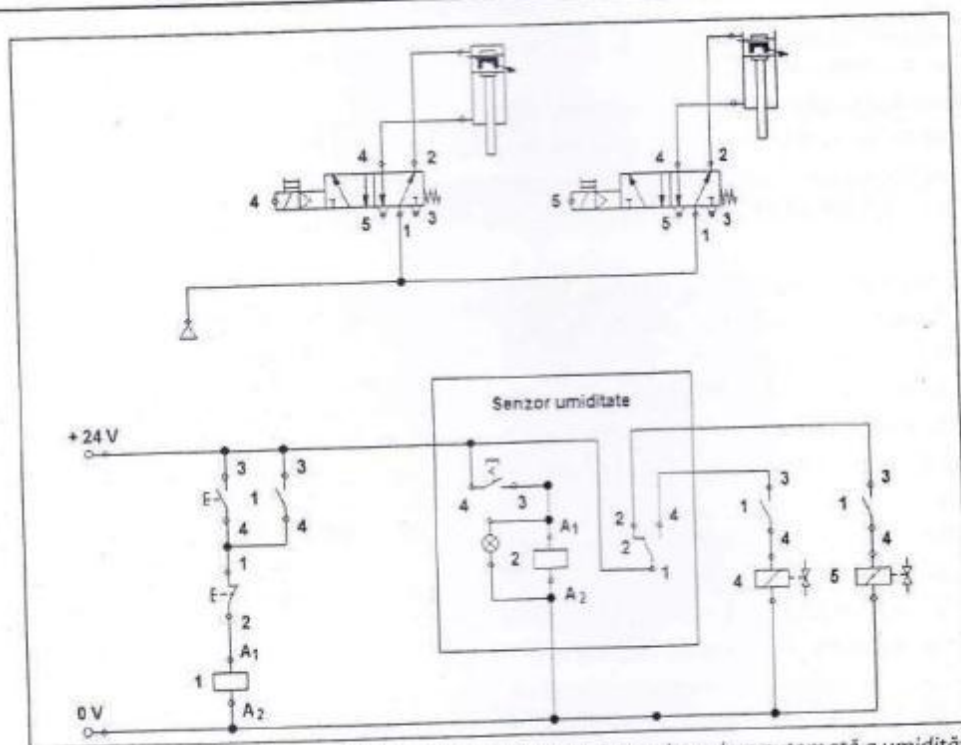


Fig. 5.15. Schemă de acționare electropneumatică a unui sistem de reglare automată a umidității

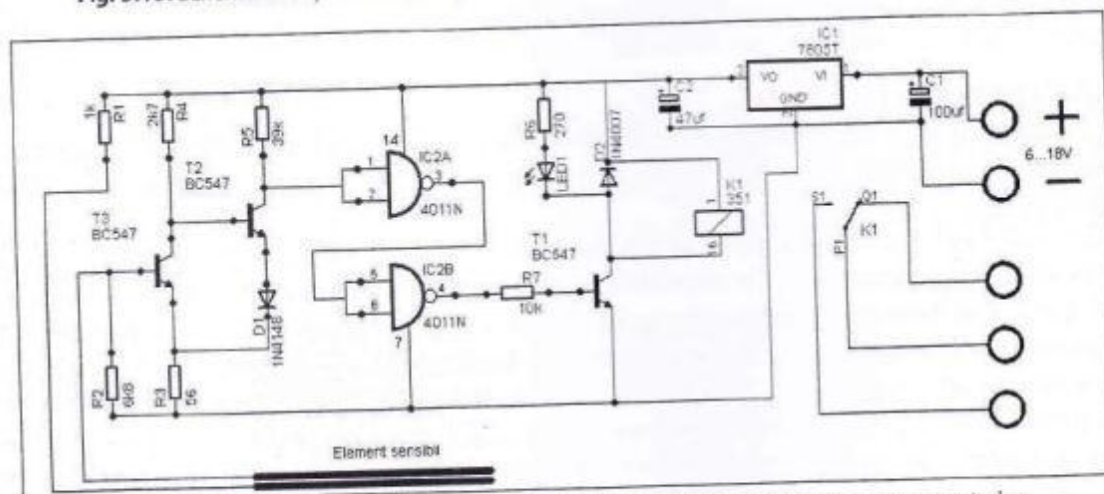


Fig. 5.16. Schema electronică pentru evaluarea acumulării de căldură într-un perete exterior (transferul termic al pereților)

Circuitul integrat 4011 din schemă simulează regulatorul automat care comandă elementul de execuție format dintr-un relee electromagnetice. Poarta A din circuitul integrat IC₂ lucrează ca un Trigger-Schmitt, transformând semnalul de la colectorul lui T₂ în semnal digital („0” și „1”). Acest semnal este aplicat la intrarea porții B, care lucrează pe post de inversor. La ieșirea porții B avem semnal „1” logic, când elementul sensibil sesizează umiditate, respectiv „0” logic, când elementul sensibil nu sesizează umiditate. Semnalul de la ieșirea porții B este aplicat prin intermediul rezistorului R₇ pe baza tranzistorului T₁, care cuplează în circuit bobina releului K₁, respectiv dioda electroluminiscentă LED₁.

La conectarea bobinei releului K_1 , acesta comută contactul P_1 din poziția Q , în poziția S_1 , închizând și deschizând circuite electrice. Circuitul este prevăzut cu un stabilizator de tensiune format din circuitul integrat IC_1 și două condensatoare pentru filtraj pe intrarea și ieșirea lui. Alimentarea se realizează cu o tensiune cuprinsă între 6 și 18 V.

5.2.3. Controlul umidității în locuințe

Menținerea unui nivel de umiditate corect în locuință este importantă pentru sănătate. Puțină umiditate poate fi benefică, dar prea multă poate să pună în pericol sănătatea.

Nivelul de umiditate recomandat este între 35% și 45%. Acest interval va fi confortabil, nu va afecta aparatura electrică sau diferite materiale care ar putea fi deteriorate din cauza umidității în exces sau a uscăciunii.

Nivelul de umiditate variază însă în funcție de climat și temperatură, iar modul în care o casă se comportă la umiditate variază în funcție de construcție, design și de etanșeitatea clădirii.

Atunci când umiditatea este prea mare, aerul umed rămâne în colțuri, beciuri și alte zone închise. Cel mai adesea, se observă în băi, atunci când la colțuri se formează mucegai. Condensul se poate acumula și la ferestre, făcând ca apa să curgă pe geam, ceea ce determină mucegaierea lemnului. Acest tip de umezeală furnizează un mediu prielnic înmulțirii bacteriilor și a mucegaiului. Mucegaiul lăsat necurățat va afecta sănătatea foarte serios.

În timpul iernilor geroase, sistemul de încălzire poate face ca aerul să devină prea uscat, situație în care obiectele de lemn pot crăpa. Pentru a îmbunătăți calitatea aerului din casă se recomandă folosirea unui **umidificator**. Acesta trebuie plasat acolo unde ne petrecem cea mai mare parte a timpului.

Dimensiunea umidificatorului trebuie corelată cu dimensiunea camerei.

Modelul WD B 450 este cel mai puternic umidificator, fiind proiectat pentru încăperi de maximum 400 m³. Reglarea gradului de umidificare face posibilă utilizarea acestuia și în încăperi cu volum mai mic. Datorită principiului de funcționare, pe lângă umidificarea aerului, se realizează și o curățare a acestuia, rezultând un aer condiționat în mod optim. Modelul WD B 450 se poate folosi ca umidificator și purificator de aer (fig. 5.17).



Fig. 5.17. Umidificator
WD B 450



Fig. 5.18. Dezumidificator
casnic DH 711

În schimb, în timpul verii, în funcție de climat, este posibil să fie prea multă umezeală în casă. În acest caz avem nevoie de un **dezumidificator** (fig. 5.18). Dezumidificatorul are prevăzut un higrostat mecanic încorporat și setarea treptei ventilatorului. La umplerea recipientului, aparatul se oprește automat. Poate fi racordat la un furtun cu evacuare directă la canalizare.

Un higrometru ajută la aflarea nivelului de umiditate din casă. Aparatele de aer condiționat mențin un nivel optim de umiditate. Există umidificatoare cu ecrane integrate la care putem programa pornirea aparatului atunci când nivelul de umezeală este prea mic și oprirea acestuia când nivelul de umezeală este prea mare.

Tabelul 5.2. Corelația temperatură-umiditate-insolație-radiație-viteza vântului

Temperatura (°C)	Umiditatea (%)	Insolația (h)	Radiația (W/m ²)	Viteza vântului (km/h)
14	85	5	1.300	15
15	75	5	1.350	25
16	80	5	1.275	20
17	75	7	1.400	25
18	50	7	1.420	15
19	80	4	1.050	20
20	80	5	1.230	25
21	80	5	1.230	20
22	65	8	1.700	20
23	50	8	1.700	25
24	50	8	1.700	20
25	50	8	1.700	25
26	50	8	1.700	20

5.3. Aplicații

În foarte multe instalații se folosește cu multă eficiență familia traductoarelor de umiditate. Acestea sunt dispozitive care fie sesizează prezența sau lipsa umidității, fie măsoară cantitativ valoarea acesteia. Atât într-un caz, cât și în celălalt, traductorul poate semnaliza optic sau acustic depășirea unui prag sau poate acționa asupra unor regulatoare care, în final, pot pune în funcțiune pompe, robinete, ecluze etc.

Principiul de funcționare al detectorului de umiditate aflat în structura traductorului poate fi diferită. Astfel, vom întâlni *detectoare de tip mecanic, de tip electrochimic, de tip rezistiv, de tip capacitiv*.

Dintre acestea, în continuare va fi prezentat traductorul cu detector de tip rezistiv.

Detectoarele de umiditate de tip rezistiv se bazează pe principiul măsurării sau sesizării rezistenței electrice unor lichide sau unor mase organice.

Astfel, două plăci metalice, de suprafață S , izolate între ele și aflate la o distanță d una de alta, vor prezenta, atunci când se află în aer (mediu uscat), o rezistență electrică de ordinul zecilor de $M\Omega$. În momentul în care între aceste două plăci pătrunde un lichid conductor, rezistența electrică se micșorează mult, putând ajunge la valori de ordinul miilor de ohmi.

Dacă cele două plăci metalice sunt introduse în sol uscat, rezistența electrică ce poate fi măsurată între ele este de ordinul sutelor de $k\Omega$. Dacă solul este umezit, rezistența electrică scade de câteva zeci de ori.

Scăderea rezistenței electrice dintre cele două armături metalice se datorează conducției ionice, ca urmare a existenței sărurilor minerale în lichidul respectiv. De aici și concluzia că nu

pentru orice lichid se poate folosi un asemenea detector, ci numai pentru acele lichide care sunt conductoare electrice. Dintre acestea pot fi enumerate următoarele: lichidele care conțin acizi sau baze în concentrație slabă, lichidele care conțin sulfat de cupru, apă de mare și de râuri, apă de băut, preparate lichide precum cele de tip limonadă.

Dintre lichidele neconductoare se pot enumera: benzina, uleiurile, alcoolul, apa distilată etc.

S-au realizat diferite forme constructive de detectoare de umiditate, pentru toate fiind caracteristic faptul că cele două armături metalice (plăci) sunt despărțite printr-un material izolator.

5.3.1. Detector de picături de ploaie

Montajul din figura 5.19 poate servi drept detector de picături de ploaie, detector de început de inundație, indicator de nivel al lichidului dintr-un vas (bazin, rezervor etc.).

Detectoarele de umiditate sesizează prezența sau absența umidității. Traductorul poate semnaliza optic sau acustic depășirea pragului maxim sau minim pe de o parte, sau poate acționa asupra unui regulator care să pună în funcțiune o pompă, un robinet etc., pe de altă parte.

Detectorul prezentat în figura 5.19 este de tip rezistiv. Funcționarea acestuia se bazează pe măsurarea rezistenței electrice a unor lichide. Acest tip de detector se poate folosi doar pentru măsurarea lichidelor conductoare.

Pentru realizarea schemei electrice se folosesc următoarele componente: tranzistoare (T_1, T_2, T_3, T_4 - BC109), rezistențe ($R_1, R_2, R_3 = 4,7 \text{ k}\Omega$, $R_4, R_5 = 33 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 1 \text{ k}\Omega$), condensatoare ($C_1 = 4,7 \text{ nF}$, $C_2, C_3 = 47 \text{ nF}$);

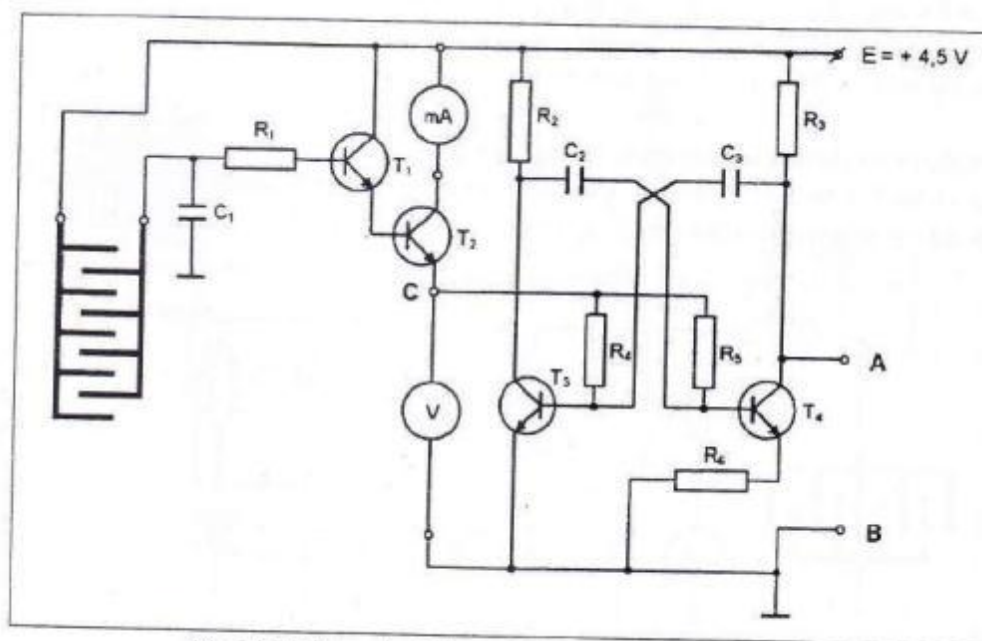


Fig. 5.19. Schema electrică a unui detector de picături de ploaie

• Funcționare

Elementul care intră în contact cu picăturile de apă sau cu pelicula de apă este constituit din două armături de forma unei furci, care se întrepătrund. Atunci când plăcuța nu este umezită, prezintă între bornele A și B o rezistență de minim $5 \text{ M}\Omega$, iar când este umezită, o rezistență sub $10 \text{ k}\Omega$.

Montajul are două poziții de funcționare: o poziție de așteptare și o poziție de lucru.

În poziția de așteptare, caz în care consumul de curent din sursa de 4,5 V este de circa 20 μ A, senzorul este uscat, iar T_1 nu primește niciun fel de polarizare pe baza sa. Ca atare, T_1 este blocat, dar este blocat și T_2 din cauza cuplajului tip Darlington.

În acest mod, polarizarea bazelor tranzistoarelor T_3 și T_4 prin R_4 și R_3 este întreruptă, motiv pentru care și aceste tranzistoare vor fi blocate. Semnalul de ieșire care se culege de la bornele A – B este în acest caz nul. În această poziție de așteptare, traductorul poate să stea un timp nedefinit.

La apariția picăturilor de ploaie se creează condiția de închidere a circuitului de polarizare a bazei lui T_1 de la + E_A prin rezistorul R_1 și rezistența electrică prezentată de senzor. Astfel se deschide T_1 și, simultan, T_2 .

Cum curentul de colector al lui T_2 este și curent de bază al tranzistoarelor T_3 și T_4 , transmis prin R_4 – R_3 , rezultă că acestea se vor debloca.

Aflate în montaj tip multivibrator astabil, tranzistoarele T_3 – T_4 , împreună cu celelalte componente, vor bascula periodic, asigurând la bornele A – B un semnal de ieșire format din impulsuri. Acest semnal, prin intermediul unui amplificator audio simplu, poate fi folosit drept semnal de avertizare sonoră locală sau la distanță.

Același semnal de ieșire poate fi folosit pentru a pune în funcțiune, prin intermediul unor relee, diverse dispozitive de comandă. Schema astfel realizată poate funcționa și prin atingerea suprafeței senzorului cu degetul.

- **Aparate folosite:** miliampermetre, voltmetre, sursa de curent continuu, osciloscop.
- **Mod de lucru:** se realizează montajul din figura 5.19 prin plantarea componentelor. Se reglează $E = +4,5$ V și se măsoară curentul de colector al tranzistorului T_2 și căderea de tensiune dintre punctul C și masă.

Se vizualizează semnalul de ieșire dintre punctele A și B.

5.3.2. Traductor de umiditate cu tranzistoare

Montajul din figura 5.20 reprezintă un traductor de umiditate, având trei tranzistoare cuplate galvanic și alimentat de la o sursă de 4,5 V.

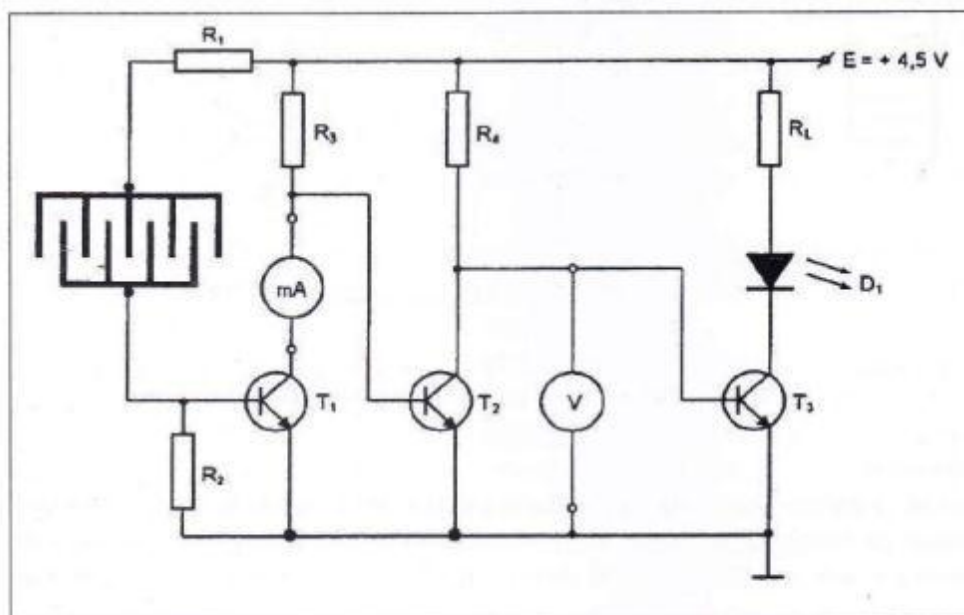


Fig. 5.20. Schema electrică a unui traductor de umiditate cu tranzistoare

Pentru realizarea schemei electrice, se folosesc următoarele componente: tranzistoare (T_1, T_2, T_3 - BC 109), rezistențe ($R_1 = 43 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$, $R_3 = 18 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_L = 220 \Omega$), LED.

• Funcționare

Semnalul de ieșire se culege din colectorul tranzistorului T_3 . În schemă este introdus un LED care avertizează optic apariția umidității.

În poziția de așteptare, tranzistorul T_1 este blocat, creând astfel posibilitatea ca T_2 , prin R_3 , să primească tensiune de polarizare și, deci, să fie deschis și, astfel, tensiunea dintre colectorul său și masă să fie de circa 0,3 V.

La umezirea senzorului, T_1 conduce, iar tensiunea mică de la colectorul său face ca T_2 să fie blocat. De data aceasta, T_3 va primi tensiunea de polarizare prin R_4 , permițând LED-ului să se aprindă.

• **Aparate folosite:** miliampermetre, voltmetre, sursa de curent continuu, osciloscop.

• **Mod de lucru:** se realizează montajul din figura 5.20.

Alimentând schema la $E = +4,5 \text{ V}$, se va măsura curentul de colector al tranzistorului T_1 și tensiunea colector-emitor a tranzistorului T_2 .

5.3.3. Traductor de umiditate cu releu electromagnetic

În schemă este acționat un releu electromagnetic, Rel 1, care poate conecta la rândul său electroventile, electropompe etc. Pentru ca releul să fie acționat ferm, pentru a evita situația de vibrație a contactelor sale, schema este echipată cu un trigger format din tranzistoarele $T_3 - T_4$.

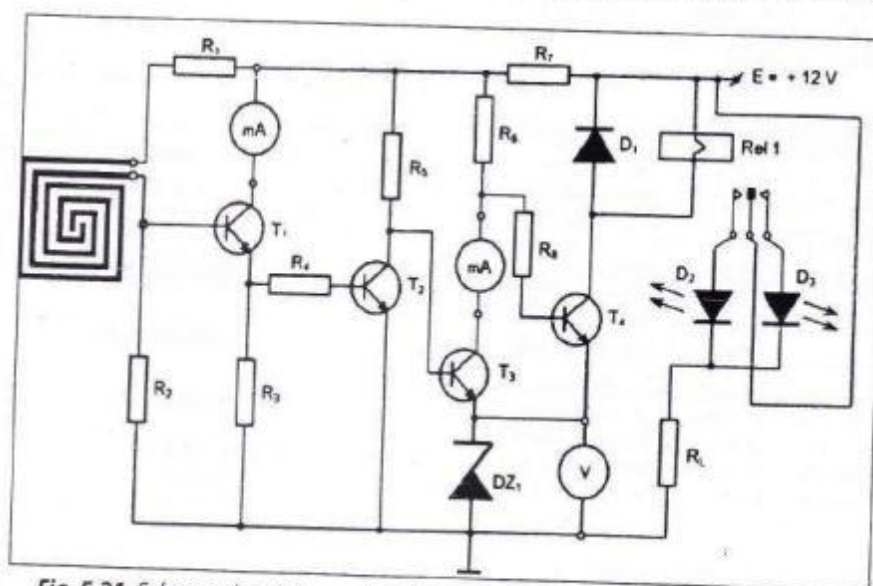


Fig. 5.21. Schema electrică a unui traductor de umiditate cu releu electromagnetic

Senzorul este realizat din două armături dispuse în spirală și este cuplat cu cele două borne în circuitul de polarizare al bazei tranzistorului T_1 , în starea de așteptare, adică atunci când senzorul este uscat, tranzistorul T_1 nu conduce, prin R_3 necirculând curent. Cum T_2 preia tensiunea de la emitorul lui T_1 , rezultă că și T_2 va fi blocat. În acest fel, este creată condiția ca T_3 să primească tensiunea de polarizare prin R_5 și să se deblocheze. Neavând asigurată tensiunea de polarizare, T_4 va sta blocat și, ca atare, releul Rel 1 va fi neanclanșat.

La umezirea senzorului, T_1 se deschide, se deschide și T_2 datorită tensiunii de polarizare culese de la bornele lui R_3 , iar tranzistorul T_3 se va bloca.

Blocarea lui T_3 nu va avea loc însă decât în momentul în care tensiunea de la baza sa coboară sub pragul de 5,1 V, asigurat de dioda DZ_1 . Urmează deblocarea lui T_4 și, totodată, atragerea releului Rel 1.

Traductoarele de umiditate prezentate pot fi utilizate cu foarte bune rezultate și ca detectoare de nivel.





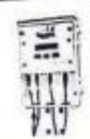



Pentru realizarea schemei electrice se folosesc următoarele componente: tranzistoare (T_1, T_2, T_3, T_4 – BC 109), diode (1N 4004, PL5V1), rezistențe ($R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1,2 \text{ M}\Omega$, $R_3 = 6,2 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 43 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 4,7 \text{ k}\Omega$, $R_7 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_L = 910 \Omega$), LED-uri, releu de 6 V.



• **Aparate folosite:** miliampermetre, voltmetre, sursa de curent continuu, osciloscop.

• **Mod de lucru:** după realizarea montajului din figura 5.21, se măsoară curenții de colector ai tranzistoarelor T_1 și T_3 și tensiunea pe dioda Zener.

În tabelul 5.3. sunt prezentate câteva extrase de catalog.

Tabelul 5.3. Extrase de catalog

Tester pentru măsurarea umidității Instrument pentru măsurarea umidității unui amestec apă-ciment, mixtură din sol, nisip, argilă, agregate, beton, ciment și alte materiale granulare, carbură de calciu etc.	
Tester automat de umiditate a lemnului Instrument pentru calcularea valorii umidității, realizând automat corecția erorilor prin intermediul unui computer încorporat. În plus, întrucât domeniul de măsurare al umidității este între 2 și 150%, se poate folosi unitatea pentru a măsura umiditatea mai multor tipuri de lemn/placaj.	
Umidometru / tester electronic Instrument de măsură rapid cu afișaj digital, cu corecție automată a temperaturii, programat pentru analiza de grâu, secară, orz, ovăz, rapiță, porumb, fasole, semințe de floarea-soarelui, semințe de soia, mazăre, secară albă, orez etc.	
Senzor pentru Umiditatea Solurilor Instrument pentru monitorizarea și înregistrarea umidității solurilor, rapid și precis, include și funcții de „data logger” (stocare date).	
Stație de monitorizare pentru umiditatea solurilor Instrument pentru monitorizarea și înregistrarea umidității solurilor în mai multe locații, cu funcții de „data logger” (stocare date). Stație cu 8 canale cu funcție, se poate folosi pentru măsurarea umidității solurilor, monitorizarea mai multor senzori și pentru analize de microclimat și de teren.	
Soil Tester pentru umiditatea solului Instrument pentru estimarea, rapidă și ieftină, a umidității solului.	
Umidometru pentru textile	
Umidometru pentru hârtie Instrument destinat măsurării umidității absolute în hârtie sau carton, sau a abrazivului pe suport de hârtie, prin măsurarea conductivității electrice.	

Higrometru portabil digital Instrument pentru determinarea umidității și a punctului de rouă în gaze industriale și /sau explozive.	
Termohigrografe Înregistratoare grafice de temperatură și/sau umiditate pentru camere frigorifice și depozite agroalimentare (până la - 40 °C).	

☒ EVALUARE

A. Completați spațiile libere.

1. Aerul uscat și vaporii de apă formează amestecul de ...(1)...
2. Aparatul pentru măsurarea umidității poartă denumirea de ...(2)...
3. ...(3)... reprezintă temperatura la care vaporii de apă dintr-un gaz ajung la saturație.
4. Umiditatea unui ...(4)... reprezintă cantitatea de vaporii de apă conținută în unitatea de masă sau de volum a unui corp gazos sau solid.
5. Psihrometru cu ventilator, de tip Asmann, are ...(5)... termometre.

B. Stabiliți valoarea de adevăr a următoarelor afirmații:

1. Umiditatea absolută reprezintă cantitatea (masa) vaporilor de apă conținută într-un metru cub de amestec gazos (g/m^3).
2. Metoda punctului de rouă permite determinarea gradului de umiditate prin măsurarea temperaturii de condensare (saturație) a vaporilor de apă dintr-un gaz (punct de rouă).
3. Aparatul pentru măsurarea umidității poartă denumirea de CoolPack.

C. Enunțați principiul de măsurare folosit de psihrometrul Asmann.

Sisteme de reglare automată în cascadă

6.1. Reglarea în cascadă

Structura de reglare în cascadă are o largă aplicabilitate și este utilizată atât în cazul proceselor rapide, cât și în cazul proceselor lente și cu timp mort.

În cazul proceselor cu un anumit grad de complexitate, funcția de transfer poate conține un număr mai mare de constante de timp, ceea ce impune, pentru compensarea lor, utilizarea unor algoritmi de reglare care să conțină mai multe binoame de gradul întâi. Date fiind dificultățile de realizare a unor asemenea regulatoare și ținând seama de efectul negativ pe care-l au componentele derivate asupra răspunsului sistemului (amplificarea zgomotelor, creșterea suprareglajului), se recomandă reglarea în cascadă. Astfel, pentru a nu se recurge la complicarea structurii și a construcției regulatoarelor destinate proceselor ce conțin mai mult de două constante de timp dominante, se adoptă o structură de reglare în cascadă în cadrul căreia se utilizează mai multe blocuri de reglare tipizate.

Principiul reglării în cascadă se bazează pe împărțirea procesului în *subprocese*, prin alegerea unor *mărimi intermediare măsurabile* care se transmit, cauzal, de la intrare la ieșire.

În funcție de complexitatea procesului, pot fi structurate în cascadă mai multe regulatoare, asigurându-se, în acest caz, reglarea mai multor mărimi intermediare și, implicit, o limitare simultană a mai multor mărimi din cadrul sistemului, împreună cu mărimea de ieșire.

Pentru folosirea eficientă a avantajelor reglării în cascadă, este necesar ca **alegerea variabilelor intermediare** să se efectueze în conformitate cu anumite considerente.

Astfel, **în primul rând**, aceste mărimi trebuie să fie ușor accesibile, dar și să se poată măsura prin mijloace tehnice simple, fără dificultăți la instalarea traductoarelor corespunzătoare fiecărei mărimi.

În al doilea rând, este indicat ca mărimile intermediare – sau cel puțin unele dintre ele – să răspundă mai repede decât mărimea de ieșire la acțiunea anumitor perturbații, reducându-se, în acest mod, influența perturbațiilor respective asupra mărimii $y(t)$.

Cu alte cuvinte, se vor alege variabilele intermediare, pe cât posibil, astfel încât perturbațiile dominante să fie compensate total sau parțial în cadrul unor bucle interioare.

În al treilea rând, este indicat ca porțiunile separate în cadrul procesului să nu conțină mai mult de două constante de timp, iar valoarea acestor constante de timp să fie cât mai reduse în cadrul subproceselor din buclele interioare.

Pe lângă **avantajele** legate de reglarea și limitarea simultană a mai multor mărimi, de micșorarea corespunzătoare a influenței unor perturbații asupra mărimii de ieșire, care determină un grad de invariantă al acestei mărimi (în raport cu perturbările) mult mai ridicat decât în cazul schemelor convenționale, și de creștere a vitezei de răspuns în raport cu modificarea referinței, structura de reglare în cascadă, datorită prezenței mai multor reacții negative, prezintă și avantajul unei sensibilități reduse la variația anumitor parametri ai modelului procesului, sub acțiunea unor perturbări parametrice și, prin urmare, o bună robustețe.

Dificultățile în obținerea unor performanțe cât mai bune cu ajutorul structurilor de reglare în cascadă sunt legate de alegerea și acordarea optimă a algoritmilor de reglare, ținând seama că reglatoarele buclor interioare au referința fixată extern, de către un alt regulator. În general, pentru bucla interioară se recomandă un regulator P sau PI, și foarte rar un regulator PID. Se mai recomandă ca bucla interioară să aibă o viteză de răspuns mai mare decât bucla principală și, tocmai de aceea un regulator P este frecvent utilizat în cadrul buclei interioare, deși prezintă dezavantajul unei reglări cu eroare.

Creșterea factorului de amplificarea în bucla interioară contribuie la mărirea vitezei de răspuns și la diminuarea erorii.

Structurile de reglare în cascadă sunt mai performante decât structurile convenționale cu un singur regulator numai dacă se alcătuiesc în mod corespunzător, alegând corect variabilele intermediare și asigurând alegerea optimă a reglatoarelor.

Sistemele de reglare automată în cascadă sunt sisteme de reglare automată cu mai multe bucle de reglare. În cazul în care mărimile perturbatoare pot fi măsurate, funcția de reglare se poate realiza prin elaborarea unor comenzi în funcție de perturbație, rezultând un **sistem de reglare automată cu acțiune directă**.

Dacă se face atât compensarea influenței perturbației, cât și realizarea funcției de reglare în raport cu mărimea/mărimile de referință, rezultă o structură de **sistem de reglare combinată** (fig. 6.1).

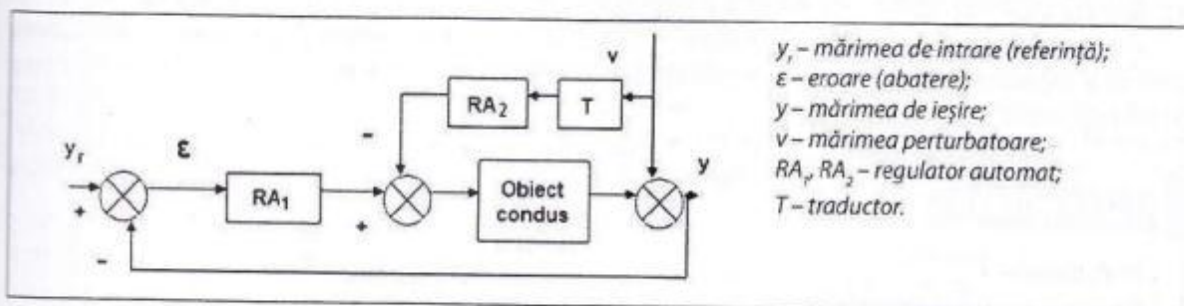


Fig. 6.1. SRA după referință și perturbație

Instalațiile tehnologice au de multe ori o structură complexă, care determină prezența mai multor constante de timp, corespunzătoare prezenței mai multor elemente care provoacă întârzieri în transmiterea semnalelor. Structura sistemului de reglare în cascadă este o structură cu o aplicabilitate foarte largă.

Procesul condus poate fi descompus în subprocese interconectate cauzal, cu variabile intermediare accesibile măsurării. Astfel, se poate alcătui o structură de reglare în cascadă, folosind un număr de reglatoare egal cu numărul variabilelor măsurate din proces (fig. 6:2).

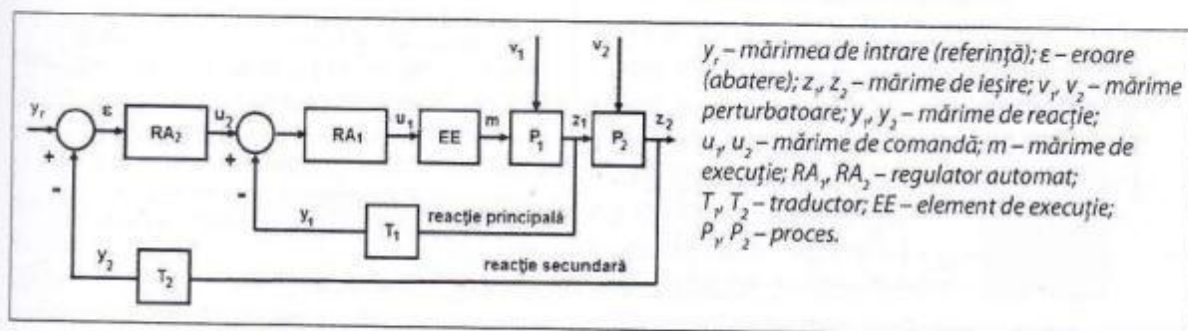


Fig. 6.2. Structura sistemului de reglare în cascadă a două variabile, z_1 și z_2

Cele două subprocese sunt conectate cauzal, mărimea de execuție (unică) determinând cauzal evoluția variabilei intermediare z_1 , care, la rândul ei, determină cauzal evoluția variabilei de ieșire din proces.

Regulatorul RA_1 este destinat reglării variabilei z_1 și compensării acțiunii perturbației v_1 , iar regulatorul principal RA_2 are rolul de a asigura realizarea funcției de reglare în raport cu referința y , furnizând în acest scop referința pentru regulatorul secundar RA_1 . Cele două regulatoare din cadrul acestei structuri funcționează în regim de urmărire.

Regulatele tipizate pot asigura doar eliminarea a cel mult două constante de timp importante, regulatorul tipizat cu funcția de transfer cea mai complicată fiind regulatorul PID. În cazul în care se dorește eliminarea mai multor constante de timp, am avea nevoie de un regulator cu o structură mai complicată decât cea a regulatorului PID. Dacă ar fi regulate cu structuri mai complicate, ar apărea dezavantajul amplificării zgomotelor suprapuse peste semnalul util de la intrarea regulatorului. De aceea, în practică, nu se adoptă pentru regulatele tipizate structuri și legi de reglare mai complicate decât cele ale regulatorului PID, recurgându-se la o complicare a schemei de reglare, realizată cu elemente tipizate.

În cazul reglării în cascadă se folosesc, de asemenea, mai multe regulate tipizate, însă, totodată, partea fixă a sistemului este împărțită în mai multe porțiuni între care se transmit anumite mărimi intermediare: fiecare mărime intermediară este reglată de un regulator tipizat suplimentar, regulatorul destinat mării de ieșire a sistemului existând ca în orice sistem de reglare.

Dezavantajele structurilor de reglare în cascadă sunt determinate de alegerea și acordarea optimă a regulatelelor, deoarece regulatele buclelor interioare au referințele fixate de către un alt regulator.

6.2. Aplicații

► Aplicația 1

Reglarea raportului debitelor

În tehnică se utilizează, în mod curent, amestecarea a 2 + 4 fluide (la fabricarea benzinei comerciale, în industria farmaceutică). În amestecul respectiv, fiecare fluid intră cu o anumită pondere. SRA cu bucle multiple conțin, de regulă, în structura lor mai mult de un regulator.

În figura 6.3 este prezentată structura unui SRA de nivel în cascadă cu debitul care urmează să fie cunoscut și operat. Sistemul conține un SRA-Debit, care este subordonat unui SRA-Nivel. Referința SRA-Debit este reprezentată de comanda SRA-Nivel, deci se poate spune că, pentru acesta din urmă, SRA-Debit reprezintă, practic, elementul de execuție.

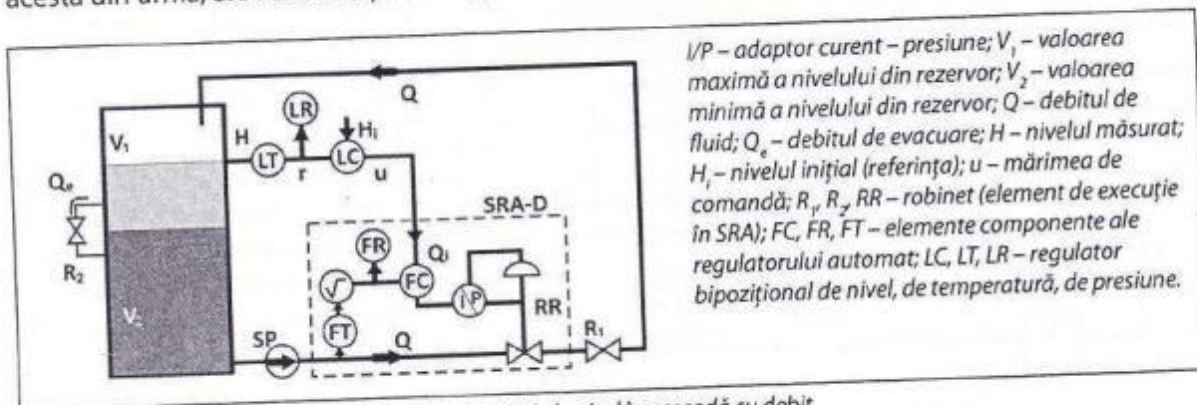


Fig. 6.3. SRA de nivel în cascadă cu debit

Avantajele SRA în cascadă vor fi evidențiate prin comparație cu SRA-Nivel simplu, a cărei structură este prezentată în figura 6.4.

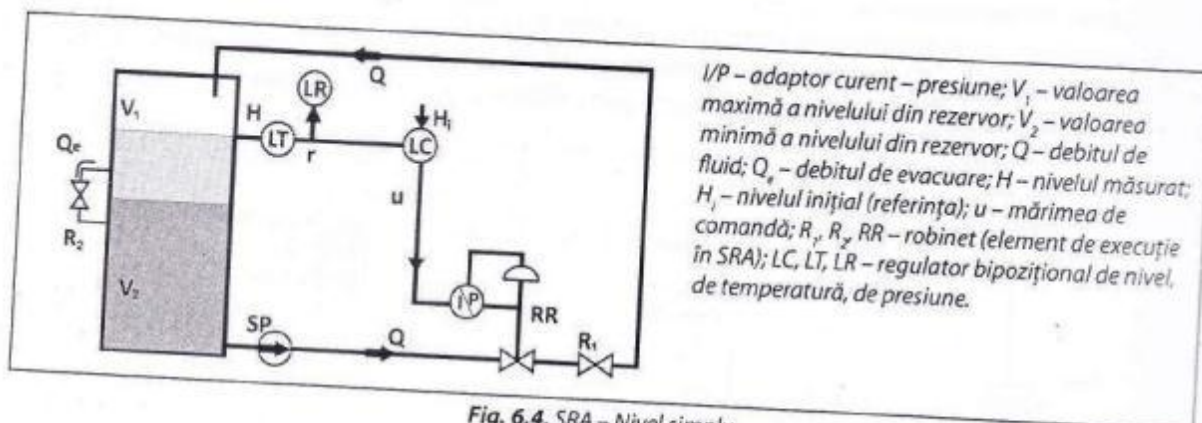


Fig. 6.4. SRA – Nivel simplu

Dacă, în cazul unui SRA-Nivel simplu, debitul Q variază dintr-un motiv oarecare (de exemplu, modificarea căderii de presiune pe R_1), atunci se va modifica nivelul H , urmând ca LC să îl readucă, în timp, la valoarea prescrisă H_i , prin comanda corespunzătoare a debitului Q . În cazul vaselor cu diametre mari și debite Q relativ mici, timpul de readucere a nivelului la valoarea prescrisă H_i poate fi de ordinul a 10-20 de minute, ceea ce devine supărător.

La aceeași perturbație aplicată (variația căderii de presiune pe R_1), SRA în cascadă reacționează cu totul altfel: orice modificare a debitului este eliminată de SRA-D în 5-10 secunde, timp în care nivelul H nu se modifică. Așadar, efectele perturbațiilor introduse pe canalul agentului de reglare sunt eliminate de SRA-D fără ca nivelul să se modifice. Referința întregului sistem este H_i .

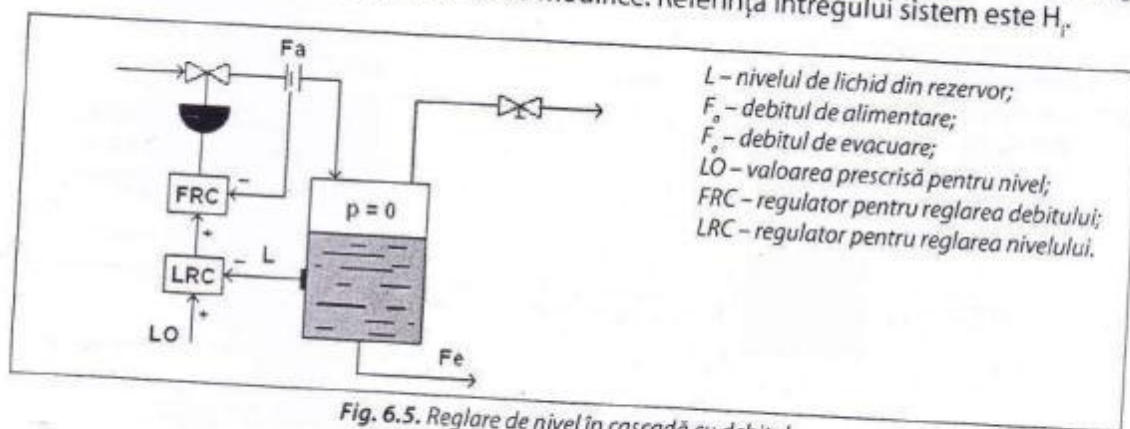


Fig. 6.5. Reglare de nivel în cascadă cu debitul

Reglarea în cascadă este mai eficientă dacă bucla secundară de debit este mult mai rapidă decât bucla principală de nivel. Dacă se respectă această cerință, perturbațiile datorate schimbării debitului de fluid sunt eliminate de bucla secundară și nu mai pot modifica mărimea principală reglată, nivelul L .

În figura 6.5 este dată conexiunea caracteristică de cascadă, prin care regulatorul din bucla principală de nivel prescrie referința regulatorului din bucla secundară de debit; astfel, comanda primului regulator devine mărime de referință pentru cel de al doilea regulator. Rezultă, deci, că această structură, în ciuda costului datorat traductorului de debit și regulatorului din bucla secundară, oferă un regim dinamic superior, fiind robustă la perturbațiile datorate modificărilor arbitrare ale debitului de alimentare.

► Aplicația 2

Reglarea temperaturii

Sistemele de reglare pentru temperatură, utilizate în practica automatizărilor industriale, sunt realizate prin structuri de reglare după eroare (abatere) sau, în cele mai multe cazuri, prin structuri evoluate de cascadă sau de reglare combinată după eroare și după perturbație (fig. 6.6).

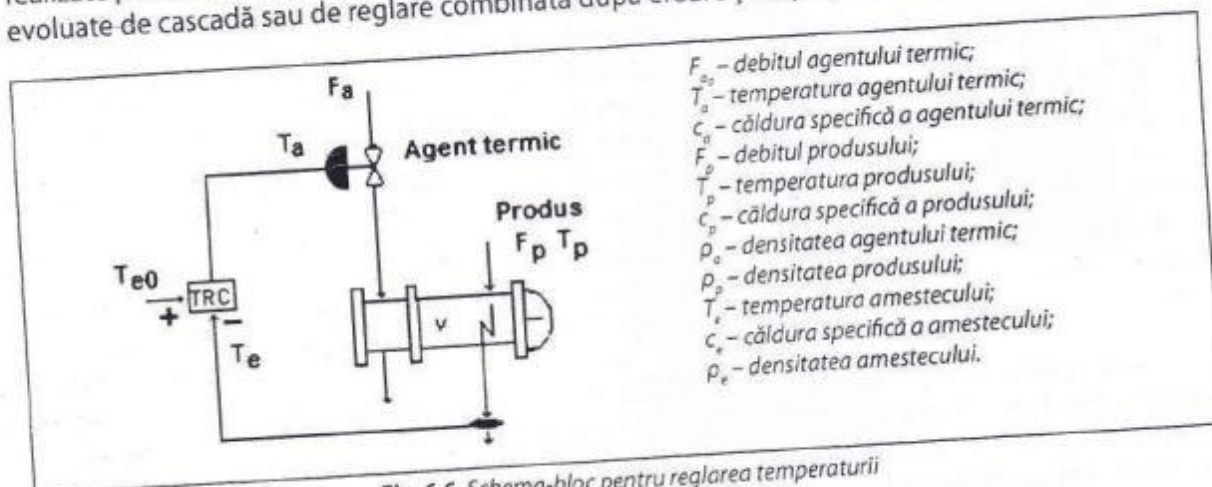


Fig. 6.6. Schema-bloc pentru reglarea temperaturii

Reglarea în cascadă este conexiunea tipică între bucla principală pentru reglarea temperaturii și bucla secundară pentru reglarea debitului de agent termic. Dacă bucla secundară are o dinamică mult mai rapidă, comparativ cu bucla principală, atunci sistemul de reglare pe ansamblu este invariant la fluctuațiile nedorite ale debitului de agent termic (fig. 6.7).

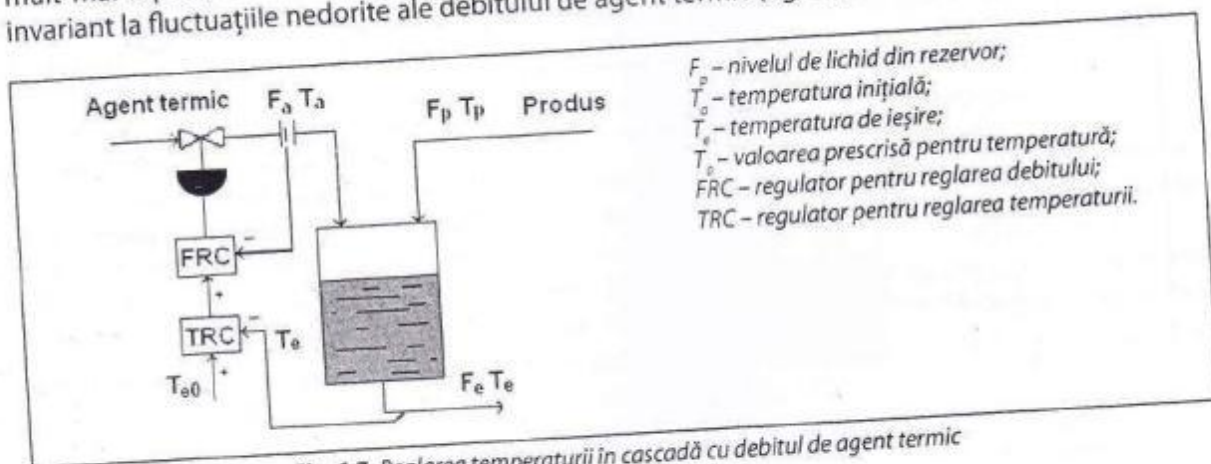


Fig. 6.7. Reglarea temperaturii în cascadă cu debitul de agent termic

Schema de reglare după abatere și perturbație, prezentată în figura 6.8, oferă performanțe superioare în raport cu compensarea perturbațiilor produse prin modificarea întâmplătoare a debitului de produs F_p , printr-o condiție simplă de realizat, care presupune menținerea raportului dintre debitul agentului termic și debitul produs la o valoare constantă.

Pe lângă performanțele structurii de cascadă, se asigură condiția unui raport constant între debite.

Temperatura de la ieșirea schimbătorului de căldură, care este mărimea reglată, nu se modifică din cauza variațiilor lui F_p . Structura din figura 6.8 asigură, prin urmare, o comportare robustă atât la perturbațiile datorate debitului F_p , cât și ale debitului F_a .

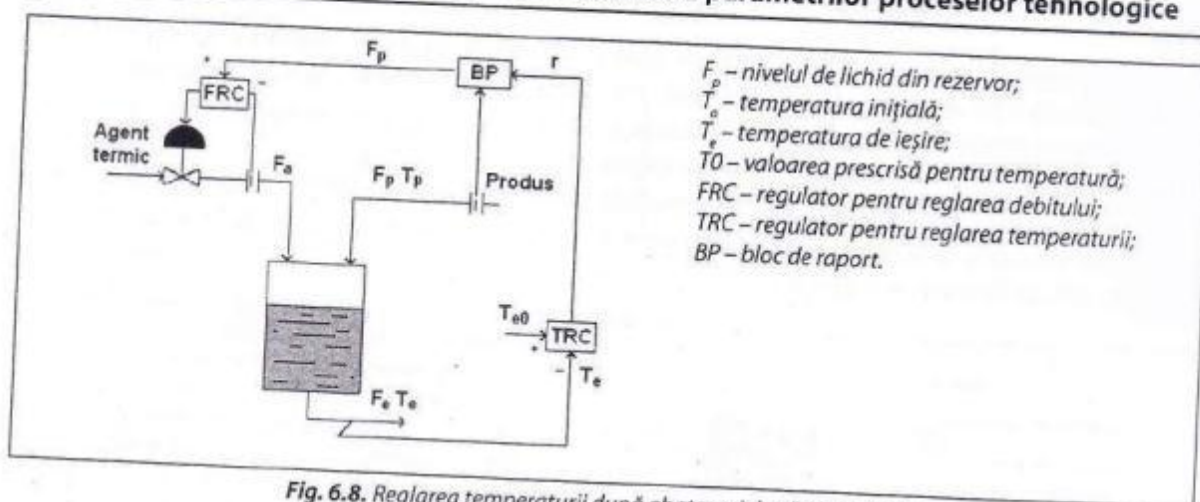


Fig. 6.8. Reglarea temperaturii după abatere și după perturbație

► Aplicația 3

Reglarea concentrației

Astfel, în automatizările industriale, în special în domeniul chimiei, SRA pentru concentrație sunt realizate ca sisteme de reglare după eroare (abatere), ca în figura 6.8, dar mai frecvent ca structuri de reglare în cascadă (fig. 6.9), respectiv ca structuri de reglare complexe, după eroare și după perturbație (fig. 6.10).

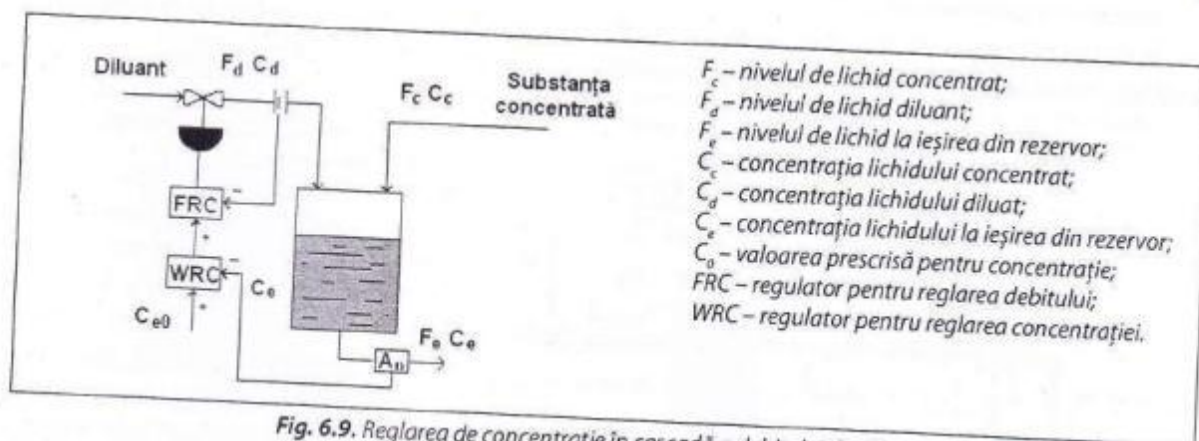


Fig. 6.9. Reglarea de concentrație în cascadă a debitului de diluant

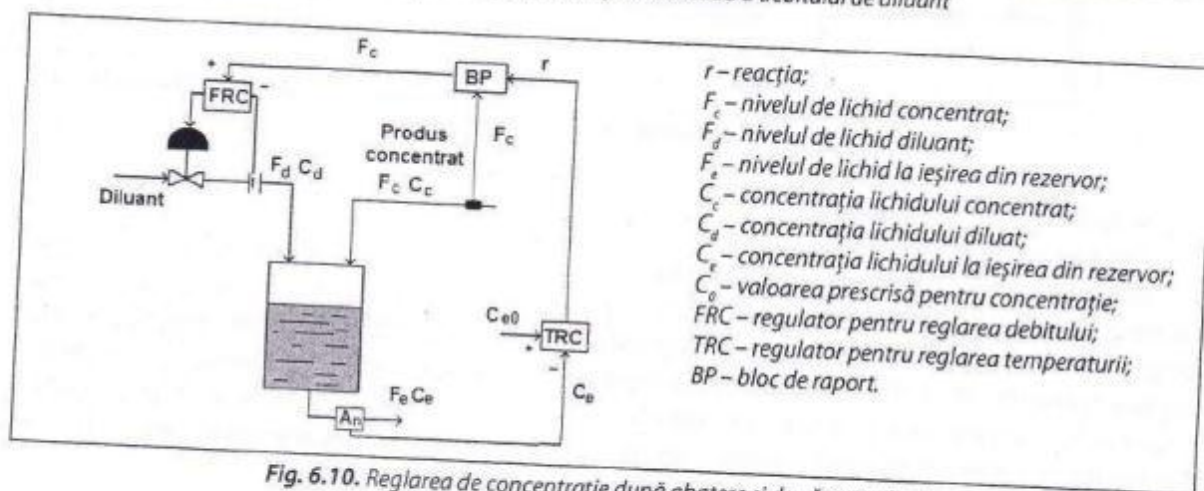


Fig. 6.10. Reglarea de concentrație după abatere și după perturbație

CAPITOLUL 6 – Sisteme de reglare automată în cascadă

Cascada se realizează prin conectarea în serie a buclei principale de reglare a concentrației cu bucla secundară de reglare a debitului de diluant F_d , care este mărimea de execuție a sistemului.

În această configurație, sistemul proiectat cu o astfel de structură devine invariant la perturbațiile datorate variațiilor întâmplătoare ale debitului F_p .

Implementarea structurii de reglare în cascadă, care este și cea mai frecvent utilizată în practică, este posibilă fie prin utilizarea aparaturii cu semnal unificat de curent (4–20 mA), fie a aparaturii cu semnal unificat de tensiune (0–10 V_{cc}).

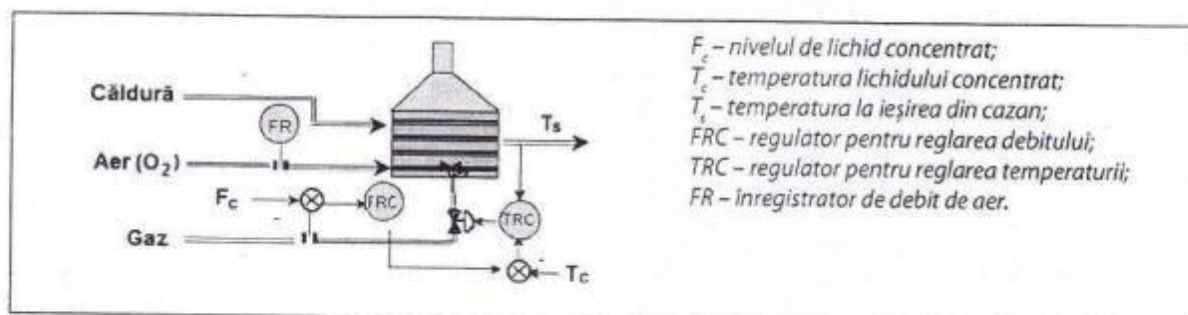


Fig. 6.11. Reglarea temperaturii după abatere

► Aplicația 4

Măsurarea debitului și a presiunii

În figura 6.12 este prezentat un sistem automat de măsurare și reglare a debitului și a presiunii. Reglarea debitului se face prin bucla 1, iar reglarea presiunii se realizează prin bucla 2.

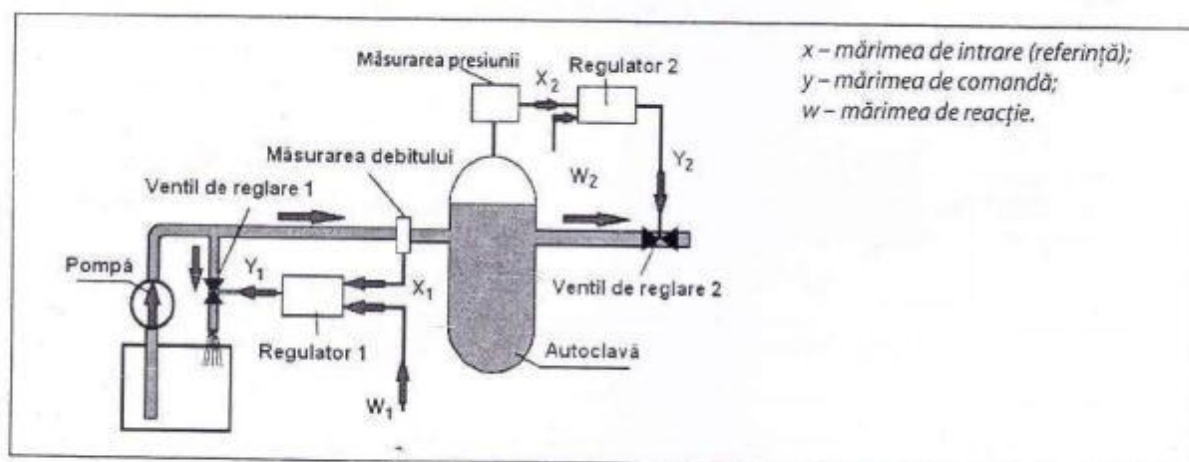


Fig. 6.12. Măsurarea debitului și a presiunii

► Aplicația 5

Tipuri de scheme de reglare în cascadă

Reglarea în cascadă se recomandă în cazul proceselor tehnologice cu număr mare de constante de timp, care se pot descompune în subprocesse care să nu conțină mai mult de două constante de timp principale. Pentru compensarea constantelor de timp, este dificil să se utilizeze algoritmi de reglare tipizați (PI, PD, PTD). În cazul utilizării reglării în cascadă, în modelul matematic al procesului supus automatizării, trebuie puse în evidență mărimi intermediare care trebuie să fie accesibile din punct de vedere fizic și măsurabile prin mijloace relativ simple. De asemenea, ele trebuie să răspundă la perturbații mult mai repede decât mărimea de ieșire.

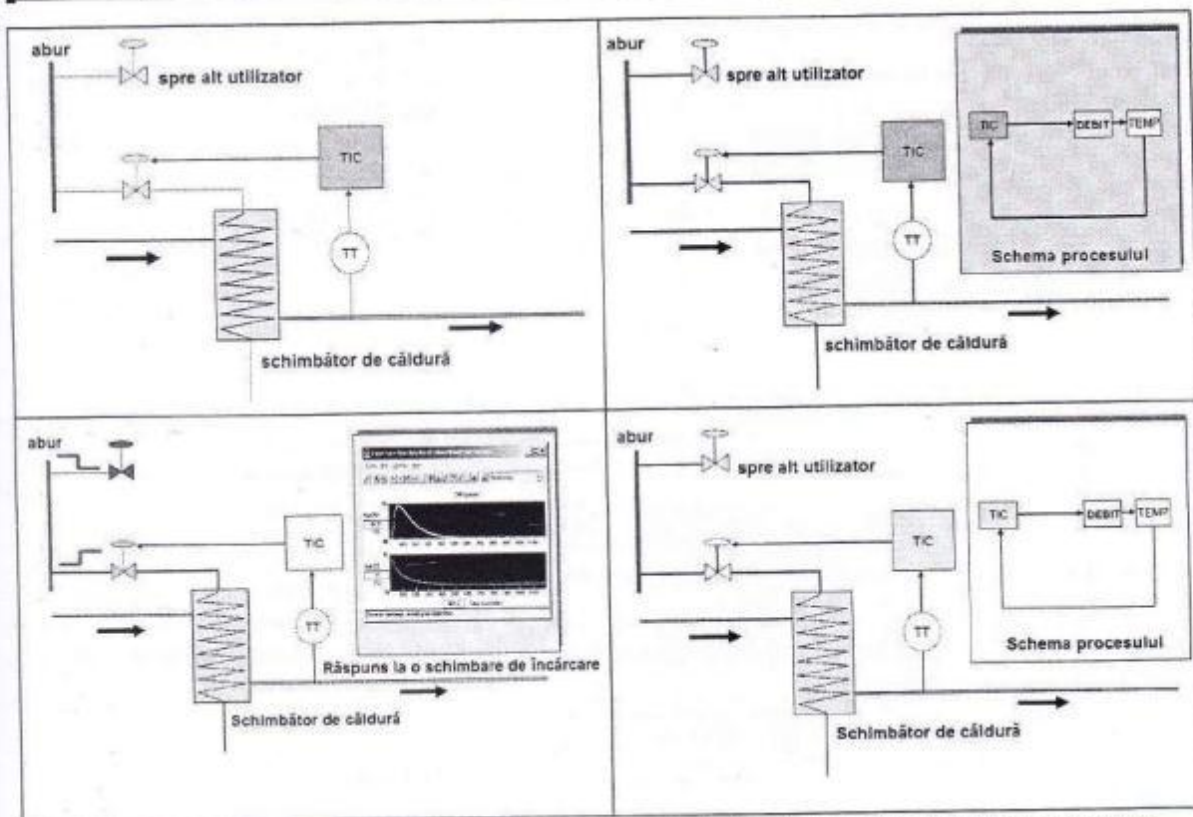
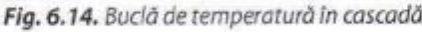


Fig. 6.13. Bucă de control a temperaturii: TIC – Temperature Indicating Controller (Regulator de temperatură); TT – Temperature Transmitter (Traductor de temperatură); TEMP (Temperatură).

Procesul reglat este reprezentat de schimbătorul de căldură. Instalația de reglare cuprinde regulatorul TIC, de tip PID, traductorul de temperatură TT și robinetele. În aceste procese, fluidul de încălzit trebuie adus la o anumită temperatură, prin intermediul fluidului încălzitor, valoare stabilită de utilizarea lui industrială, oricare ar fi debitul de abur sau temperatura fluidului. În funcție de valoarea abaterii, măsurată la ieșirea din schimbătorul de căldură, față de valoarea de referință, aplicată la intrarea în regulatorul automat și determinată de condițiile tehnologice ale utilizatorului de fluid încălzit, regulatorul trebuie să modifice corespunzător deschiderea robinetului (elementului de execuție) de admisie a fluidului încălzitor, cu scopul de a anula eroarea.



1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 26

- 102

4. Avantajul reglării în cascadă conduce la o ... (4) ... însemnată a duratei procesului de reglare.
5. La reglarea în cascadă, bucla secundară are o dinamică mult mai ... (5) ..., comparativ cu bucla principală.

B. Stabiliți valoarea de adevăr a următoarelor afirmații:

1. Reglatoarele buclelor interioare au referințele fixate de către un alt regulator.
2. SRA pentru concentrație sunt realizate ca sisteme de reglare după eroare (abatere).
3. La reglarea în cascadă, mărimile intermediare trebuie alese.

C. Enumțați avantajele și dezavantajele reglării în cascadă.

D. Se va întocmi un referat care să cuprindă:

- a) structura de reglare în cascadă;
- b) justificarea alegerii mărimilor reglate în cele două bucle de reglare;
- c) o scurtă descriere a criteriilor alese pentru acordarea reglatoarelor, precum și a legilor de reglare obținute;
- d) comentarii asupra performanțelor rezultate în urma testării structurii de reglare în cascadă.

Automate programabile

7.1. Introducere

Înainte de apariția circuitelor logice cu semiconductori, sistemele logice de control erau proiectate și realizate exclusiv cu relee electromecanice.

PLC-urile (Programmable Logic Controller) au apărut la sfârșitul anilor '60, ca niște echipamente dedicate, cu rol în achiziția de date, comandă și reglare, utilizate frecvent în automatizările industriale și în industria de automobile.

Un **automat programabil** este un „calculator” specializat care realizează funcții de control de o diversitate de tipuri și nivele de complexitate. Inițial, varianta engleză pentru denumire era de PC, dar, datorită necesității unei diferențieri clare, a apărut denumirea de PLC. Scopul unui automat controlabil a fost acela de a înlocui releele electromecanice și elementele de logică; astfel, s-a ajuns la performanța schimbării schemelor de comandă. Ele sunt structuri destinate conducerii proceselor industriale, la realizarea cărora s-a urmărit eliminarea, în cât mai mare măsură, a structurilor logice cablate și înlocuirea acestora cu structuri logice programabile, cum ar fi: memoriile semiconductoare, rețelele logice programate, microprocesoarele și circuitele specializate programabile, compatibile cu acestea.

Un program stocat în memoria calculatorului este capabil să simuleze funcții logice realizate înainte prin interconectarea unui număr mare de relee electromecanice. În general, automatele programabile sunt destinate automatizării proceselor secvențiale de complexitate medie. Ele realizează, prin logica programată, următoarele **funcții**:

- detectează schimbările de stare ale semnalelor aplicate pe intrări;
- prelucrează logic, pas cu pas, informațiile primite, conform programului stocat în memoria program (MP);
- emite semnale de comandă corespunzătoare programului stocat în memorie;
- semnalizează optic valorile semnalelor de pe intrări și ieșiri (valoare logică „1”, LED aprins).

O configurație de automate programabile conține, în secțiunea dedicată aplicației, o zonă de interfață realizată cu circuite de tip multiplexare/demultiplexare, memorare, separare galvanică și circuite pentru nivelul de semnal. Pe de altă parte, structurile de automat programabil asociază configurației de conducere o interfață de dialog cu operatorul, permițându-i acestuia configurarea regimurilor de lucru și intervenții în situații speciale.

Un automat programabil (PLC) are *mai multe intrări*, prin intermediul cărora interpretează stări logice „înalte”, respectiv „joase”, stări transmise de senzori și comutatoare. De asemenea, există *mai*



Fig. 7.1. Tipuri de PLC-uri

multe terminale de ieșire, prin intermediul cărora dispozitivul transmite semnale „înalte” sau „joase” către contactoare, motoare, lămpi, sau orice alte dispozitive care pot fi controlate prin intermediul semnalelor de tip „închis/deschis”.

Folosind automatele programabile, se pot realiza instalații de comandă automată secvențiale, de complexitate medie, de conducere a proceselor tehnologice din metalurgie, construcții de mașini, chimie, din industriile: alimentară, a materialelor de construcții, electrotehnică etc. Din punctul de vedere al complexității, automatele programabile sunt situate între echipamentele clasice cu contacte sau cu comutație statică ale instalațiilor de comandă și calculatoarele electronice.

7.2. Clasificarea automatelor programabile

Există mai multe tipuri de automate programabile (AP), clasificate astfel:

1. După principiul constructiv al AP, există:

- *Automate programabile algoritmice* – au structura asemănătoare unităților de control ale procesoarelor. Sunt construite în serie mare, ca sisteme înglobate și pot fi programate doar de personal cu pregătire superioară;
- *Automate programabile vectoriale* – sunt, de fapt, microcalculatoare special construite pe care se pot implementa, prin programare, structuri de logică combinațională și secvențială.

2. După numărul de procesoare al AP, există:

- *Automate programabile cu un singur procesor* – folosesc un tampon de memorie, numit *image de proces*, în care se păstrează valorile intrărilor și ale ieșirilor din proces, pe perioada execuției programului, și care este actualizat la sfârșitul execuției programului;
- *Automate programabile multiprocesor* – la care modificarea stării ieșirilor și sesizarea modificării stării intrărilor se realizează imediat.

3. După dimensiunea magistralei de date, există:

- *Automate programabile cu prelucrare la nivel de bit* – sunt automate programabile la care dimensiunea magistralei de date este de 1 bit, astfel încât operanzii care se procesează au și ei dimensiunea de 1 bit;
- *Automate programabile cu prelucrare la nivel de cuvânt de „n” biți* – sunt automate programabile la care dimensiunea magistralei și a operanzilor este egală cu lungimea acestui cuvânt, $n \geq 8$.
- *Automate programabile mixte* – sunt automate programabile prevăzute cu două unități de calcul aritmetic și logic, una pentru procesare pe 1 bit și alta pentru cuvinte de „n” biți.

Avantajele lucrului cu automatele programabile sunt următoarele:

- *flexibilitate*: prin intermediul automatelor programabile este posibilă conducerea concomitentă a mai multor dispozitive, folosind un singur automat programabil; fiecare dispozitiv va avea programul propriu, care va rula pe automatul programabil;
- *implementarea schimbărilor și corecția erorilor*: prin utilizarea automatelor programabile, schimbările sau corecțiile pot fi efectuate foarte ușor în program;
- *prețul de cost redus*;
- *posibilități de testare*: programul poate fi rulat și evaluat înainte de a fi instalat pe automat, pentru a realiza conducerea dispozitivului;
- *viteza de operare*: este dependentă de timpul de scanare al intrărilor, timp care, în prezent, este de domeniul milisecundelor;
- *modul de programare*: prin introducerea diagramelor ladder, respectiv a metodei booleene de programare, a fost facilitat accesul la mediul de programare;

- documentarea;
- securitatea;
- gabaritul redus;
- consumul redus de energie electrică;
- fiabilitatea ridicată;
- consumul redus de conductoare de conexiuni și de cablaj;
- imunitatea sporită la perturbații;
- funcționarea sigură într-un mediu industrial obișnuit.

Dintre **dezavantajele** lucrului cu automate programabile, putem menționa:

– aplicațiile „fixe”: unele aplicații nu au nevoie de automat programabil, din cauza gradului foarte mic de complexitate, neexistând necesitatea achiziționării unui automat programabil relativ sofisticat;

– problemele de mediu: în unele medii există temperaturi ridicate sau alte condiții care pot duce la deteriorarea automatelor programabile, motiv pentru care acestea sunt greu sau chiar imposibil de utilizat;

– funcționarea „fixă”: dacă nu apar schimbări în cadrul procesului, de multe ori, folosirea automatului poate fi mai costisitoare.

7.2.1. Automate programabile cu prelucrare la nivel de bit

Automatele programabile cu prelucrare la nivel de bit implementează structuri complete de automate finite, permițând o serie de extensii funcționale, de tipul:

- calcul aritmetic;
- temporizări;
- contorizări.

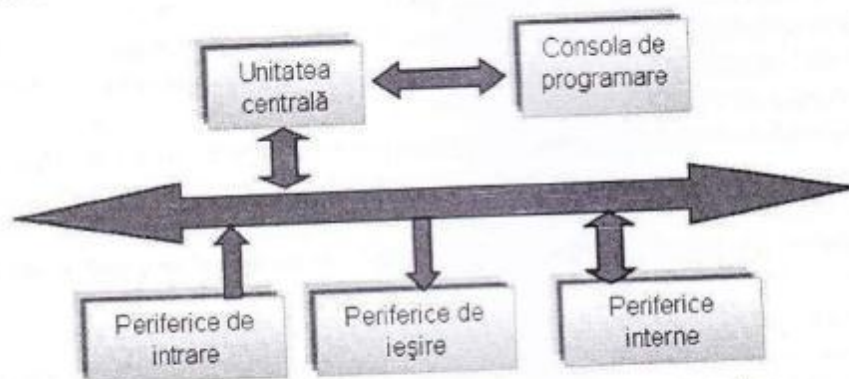


Fig. 7.2. Schema-bloc a unui automat programabil la nivel de bit

Structura unui automat programabil la nivel de bit (APB) este asemănătoare cu a unui calculator. În schimb, un APB trebuie să controleze un număr mare de intrări și de ieșiri din proces, în condiții de siguranță funcțională ridicată. Pentru a putea răspunde în timp real, arhitectura internă este simplificată, iar setul de instrucțiuni este redus.

Blocurile componente ale APB sunt:

1. *Unitatea centrală* – este „creierul” APB, care coordonează activitatea din întregul sistem;
2. *Consola de programare* – este echipamentul pe care se realizează programul ce va rula pe APB și de pe care se încarcă, în memoria de programe a APB, acest program;

3. *Periferice de intrare* – sunt blocurile funcționale prin care APB primește informații din proces (de la întrerupătoare, comutatoare, contactoare, rele, limitatoare);
4. *Periferice de ieșire* – sunt blocurile funcționale prin care APB trimite comenzi în proces (de exemplu, pentru alimentarea unor bobine de rele sau contactoare, sau pentru aprinderea unor lămpi de semnalizare);
5. *Periferice interne (temporizări/contorizări)* – sunt blocurile funcționale prin care se pot genera intervale de timp și contorizări de evenimente;
6. *Magistrala internă* – este reprezentată de conexiunile prin care se face schimbul de date între modulele componente ale automatului și este structurată funcțional în:
 - *magistrala de date* – pe care circulă datele înspre și dinspre unitatea centrală;
 - *magistrala de adrese* – pe care unitatea centrală depune adresele perifericelor;
 - *magistrala de control* – pe care circulă semnalele de comandă.

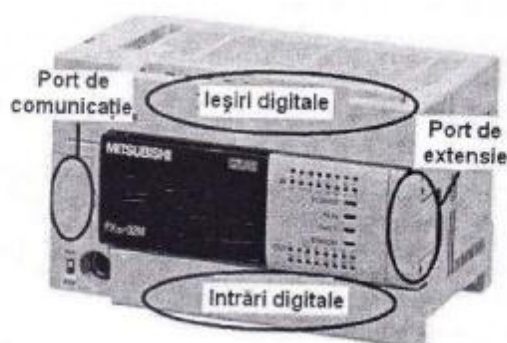


Fig. 7.3. Exemplu de PLC – Mitsubishi FX3U

Automatele programabile la nivel de bit (APB) îndeplinesc sarcini de conducere proprii echipamentelor de comandă discretă a proceselor industriale, permițând:

- detectarea valorilor semnalelor, furnizate de: butoane cu menținere, butoane cu autorevenire, comutatoare basculante, limitatoare de cursă;
- prelucrarea informațiilor furnizate de aceste elemente, pe baza unui program înscris într-o memorie, în vederea emiterii semnalelor de ieșire care comandă elemente de tipul: contactoarelor, releelor, electroventilelor, elementelor de semnalizare etc.

Modul de conectare al unui automat programabil cu prelucrarea informației la nivel de bit, la un proces, este următorul:

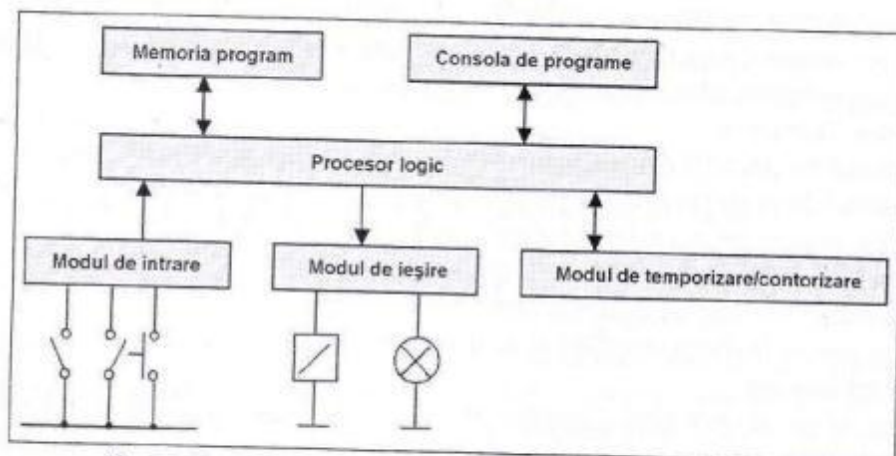


Fig. 7.4. Modul de conectare a unui automat programabil la nivel de bit

Structura minimală a unui sistem de conducere a proceselor cu automate programabile, cu prelucrări la nivel de bit, este formată din trei unități de bază:

- **Procesorul central** de prelucrare logică a programului rezident în memoria program;
- **Modulele de intrare-ieșire** – care realizează cuplarea cu procesul condus;
- **Consola de programare** – care permite configurarea sistemului de conducere.

Procesorul central (logic) de prelucrare a informațiilor este compus dintr-o unitate centrală, memoria program, memoria pentru stocarea temporară a datelor, modulele de temporizare/contorizare și din blocurile de multiplexare și demultiplexare a canalelor de intrare, respectiv de ieșire.

Unitatea centrală prelucrează operanzi pe un bit, conform instrucțiunilor din memoria program.

Memoria program este o memorie fixă, de tip PROM sau EPROM, având o modularitate de 1 k cuvânt.

Memoria de date este de tip RAM și este protejată împotriva căderii tensiunii de alimentare, fiind alimentată pe baterie de acumulatori, cu autonomie de 36-72 de ore.

Modulele de temporizare/contorizare asigură temporizări de la valori de ordinul milisecundelor până la valori de ordinul orelor sau contorizări de evenimente de proces.

Modulele de intrare/ieșire realizează o adaptare statică, cu izolare galvanică, a semnalelor vehiculate de automatele programabile la canalele informaționale.

Modulele de intrare/ieșire acceptă, respectiv generează, semnale în curent continuu sau curent alternativ standardizate în funcție de nivelul de tensiune (5, 24, 48, 110 V în curent continuu sau 110 și 220 V în curent alternativ), de curentul asociat fiecărui canal (treptele fiind de: 6 mA, 0,15 A, 0,5 A, 1 A, 2,5 A) și de numărul de canale de intrare sau ieșire (8, 16, 24, 32).

Modulele de intrare transformă semnalele referitoare la starea procesului condus și comenzile operatorului în semnale logice (nivele TTL), filtrează aceste semnale și efectuează, dacă este cazul, conversii de tip serie-paralel sau paralel-serie.

Modulele de ieșire convertesc semnalele logice în nivele de tensiune cuprinse, în general, între 24-220 V și efectuează conversie de tip serie-paralel.

Consola de programare are în structura sa o memorie de tip RAM, în care este memorat programul în faza de experimentare. Programul validat este apoi transferat în memoria program a automatului.

■ Periferice de ieșire:

- **BCC (blocul de comandă al canalului)** – are rolul blocului de multiplexare și ieșire de date de la perifericele de intrare și, în plus, are un element de memorie pentru fiecare canal de ieșire, în vederea păstrării stării canalului.
- **BE (blocul de ieșire)** – realizează adaptarea de nivel a semnalelor de ieșire.
- **BDA (blocul de decodificare a adresei)** – primește semnalele de adresă de pe magistrală și compară adresa de pe magistrală cu adresa modulului stabilită pe placă cu ajutorul unor microîntrerupătoare. BDA emite semnalul de recunoaștere a modulului.

■ Periferice de intrare

- **BDA (blocul de decodificare adrese)** – are aceeași funcție ca și periferic de ieșire.
- **BPSI (blocul de prelucrare a semnalului de intrare)** – asigură adaptarea semnalelor recepționate din proces pentru a deveni compatibile cu nivelele de pe placă. Realizează, totodată, izolarea galvanică între proces și unitatea de comandă.
- **BMED (blocul de multiplexare și ieșiri date)** – realizează o multiplexare a semnalelor de la intrare, ieșirea sa fiind conectată la magistralele de date.

■ Periferice interne

Sunt module de temporizare și contorizare. Ele sunt, în același timp, module de intrare și module de ieșire.

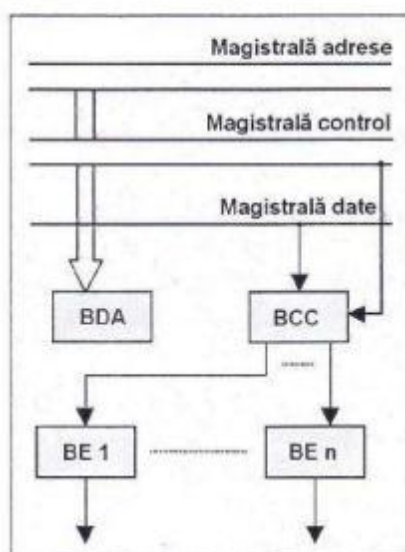


Fig. 7.5. Periferice de ieșire

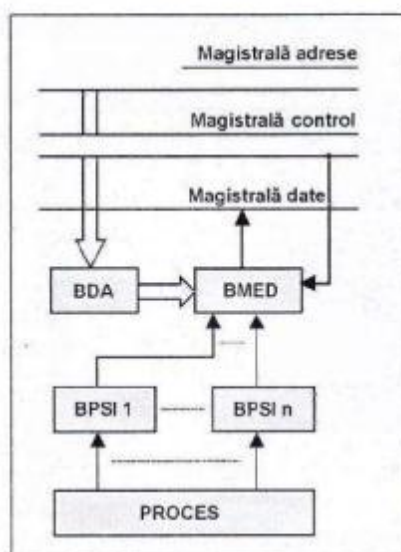


Fig. 7.6. Periferice de intrare

BDA (blocul de decodificare adrese) – conține 8 sau 9 întrerupătoare, prin poziția cărora se fixează adresa perifericului. Decodificarea adresei se face prin compararea conținutului magistralei de adrese cu semnalele date de microîntrerupătoarele de pe modul.

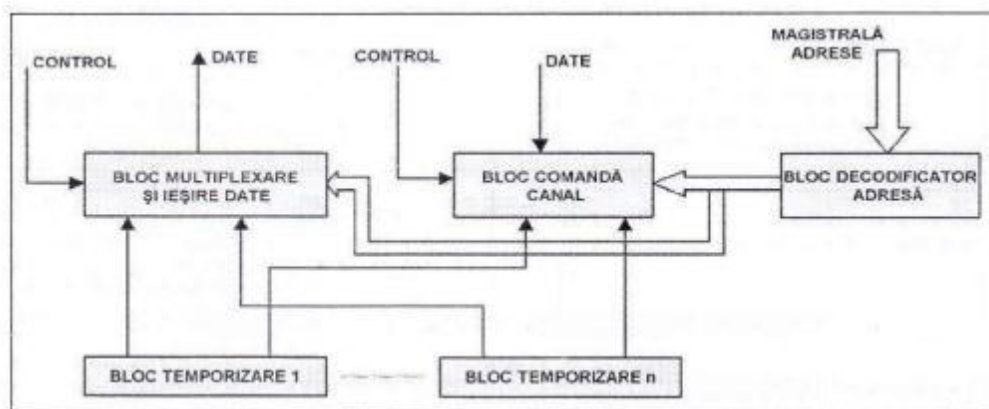


Fig. 7.7. Periferice interne

BCC (blocul de comandă al canalului) – conține câte un bistabil pentru fiecare bloc de temporizare. În bistabil se memorează comanda blocului de temporizare. Citirea blocului de temporizare se face prin blocul de multiplexare și ieșiri de date.

7.2.2. Programarea automatului programabil la nivel de bit

Orice automat programabil, pe parcursul funcționării, execută, într-o ordine logică, instrucțiuni ce compun programul aflat în memoria de programe.

Acest lucru este posibil deoarece instrucțiunile din program aparțin unui set de instrucțiuni concepute special pentru automatul programabil respectiv și pe care acesta le înțelege.

Fiecare automat programabil are propriul său set de instrucțiuni ce acoperă toată gama de operații necesară achiziției datelor din proces, prelucrării lor și, apoi, trimerii comenzilor în proces.

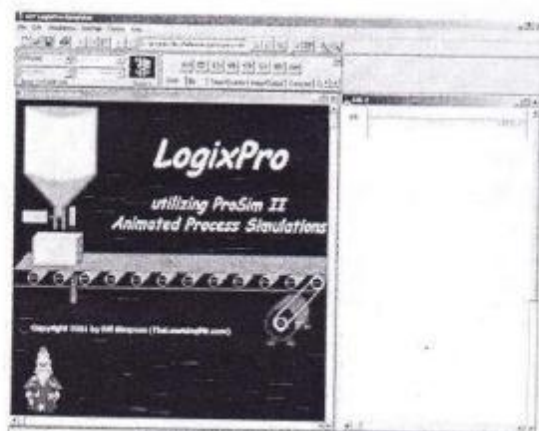


Fig. 7.8. Simulatorul LogixPro

Pentru exemplificarea noțiunilor de automat programabil, se va folosi simulatorul LogixPro, dezvoltat de Bill Simpson (thelearningpit.com).

Programul conține cele mai utilizate instrucțiuni ale releelor logice. Programele au o structură de tip scară.

Instrucțiunile releelor logice pot fi grupate în două categorii: instrucțiuni de intrare și instrucțiuni de ieșire.

Tabel 7.1. Instrucțiunile releelor

Instrucțiuni de intrare			Instrucțiuni de ieșire		
XIC	-] [-	Este analog, ca efect, unui contact de relee normal deschis. La această instrucțiune, procesorul i se pune întrebarea: „Contactul este închis?”.	OTE	-(-)-	Este analog bobinei unui relee. Are valoarea logică „1”, atâta timp cât instrucțiunea de intrare are valoarea logică „adevărat”.
XIO	-]/[-	Este analog, ca efect, unui contact de relee normal închis. La această instrucțiune, procesorul i se pune întrebarea: „Contactul este deschis?”.	OTL	-(L)-	Este analog bobinei unui relee. Are valoarea logică „1”, dacă instrucțiunea de intrare a avut la un moment anterior de timp, valoarea logică „adevărat”, altfel spus ieșirea își menține starea și după înlăturarea cauzei.
			OTU	-(U)-	Este analog bobinei unui relee. Are valoarea logică „0”, dacă instrucțiunea de intrare a avut la un moment anterior de timp, valoarea logică „adevărat”, altfel spus ieșirea își menține starea și după înlăturarea cauzei.

Deasupra fiecărei instrucțiuni se găsește o combinație de litere și cifre. Programul se execută linie cu linie, de la stânga la dreapta, începând cu linia 000.

Pe aceeași linie se pot găsi instrucțiuni de intrare și de ieșire așezate în serie sau în paralel.

Tabel 7.2. Tipuri de instrucțiuni

Format	Explicații		Exemple
O: e/b I: e/b	O	ieșire (output)	O: 2 / 0 ieșirea 0, slot 2 I: 1 / 2 intrarea 2, slot 1
	I	intrare (input)	
	:	delimitator pentru element	
	E	număr slot (zecimal)	
	/	delimitator de bit	
	b	numărul terminalului	

Pentru a edita un program este nevoie de realizarea unei diagrame de tip scară. Simulatorul oferă posibilitatea realizării acestei diagrame folosind operații de tip „drag and drop”.

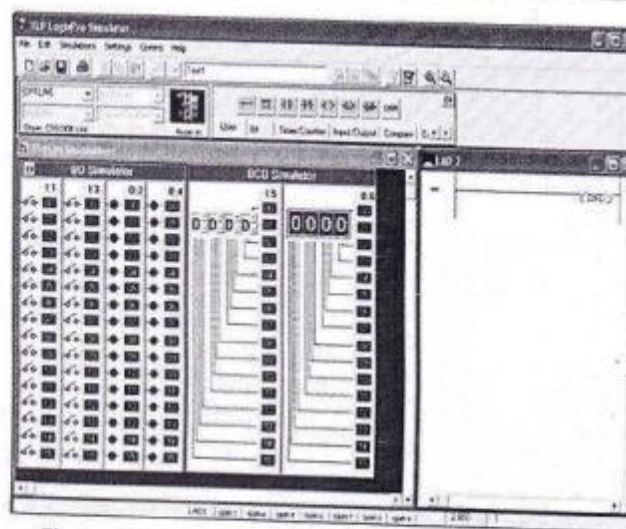


Fig. 7.9. Fereastra de simulare a intrărilor și a ieșirilor unui automat programabil, folosind simulatorul TLP LogixPro

Din meniul *File* se acceptă parametrii ferestrei de lucru. Din meniul *Simulations* se observă fereastra de simulare în partea stângă, iar în partea dreaptă, fereastra de editare a programului.

Rularea unui program se realizează după ce acesta a fost încărcat cu ajutorul butonului *Download*. Pentru lansarea în execuție, se selectează opțiunea *Run*. La alegerea opțiunii *Step*, programul va rula pas cu pas.

7.3. Aplicații

► Aplicația 1

Aprinderea unui bec din locații diferite

Pentru realizarea programului, din meniul *Simulation* se alege opțiunea *I/O Simulation*.

Fereastră de simulare:

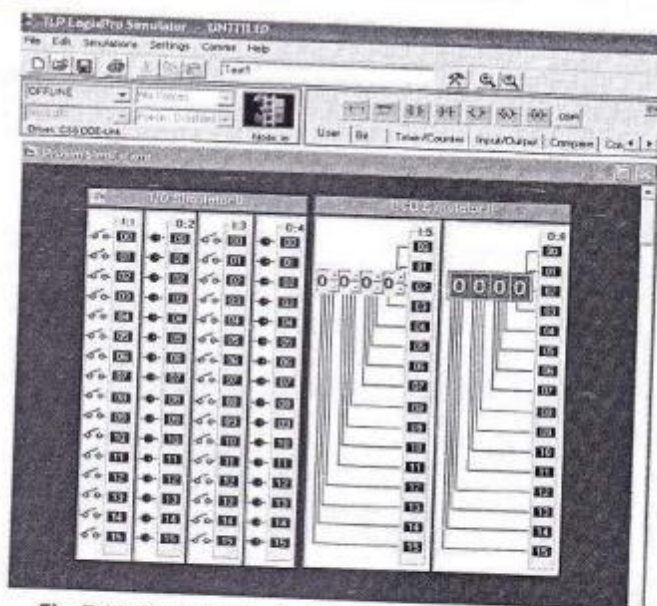


Fig. 7.10. Fereastră de simulare cu opțiunea *I/O Simulation*

Fereastră de editare:

Pentru această aplicație, avem nevoie de două comutatoare normal deschise.

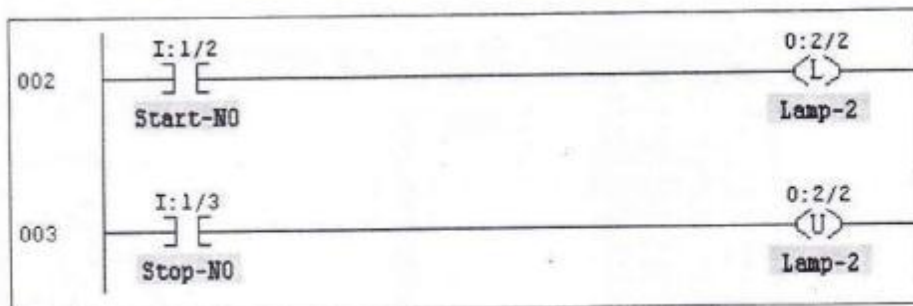


Fig. 7.11. Fereastră de editare cu comutatoare normal deschise

Fereastră de editare: Instrucțiuni pentru contorizare

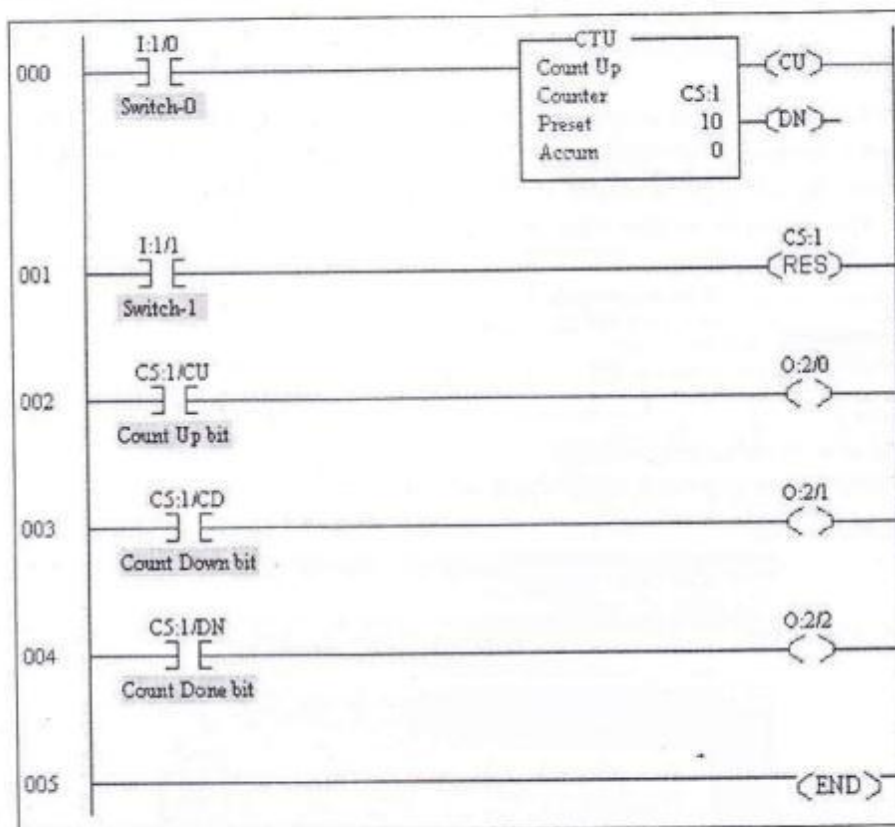


Fig. 7.12. Fereastră de editare cu instrucțiuni pentru contorizare

► **Aplicația 2**

Controlul unei uși de garaj

Pentru realizarea programului, din meniul *Simulation* se alege opțiunea *Door Simulation*.

Sistemul conține: un motor reversibil, o ușă culisantă, o pereche de limitatoare de cursă, un panou de control.

La realizarea programului trebuie să se țină cont de adresele fiecărei componente a sistemului.

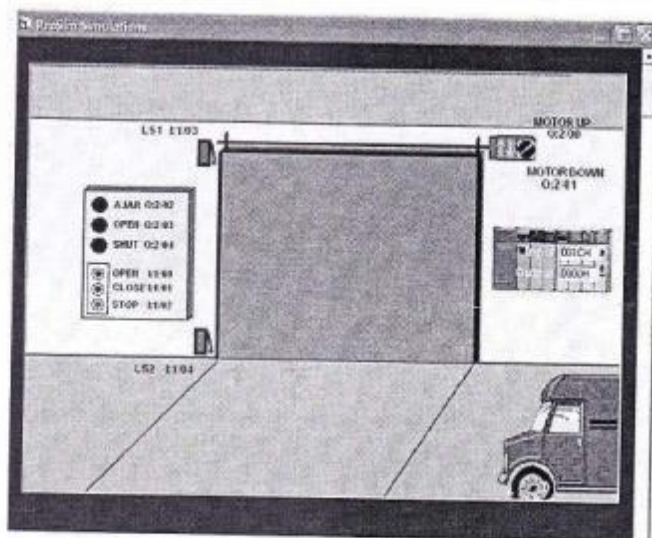


Fig. 7.13. Opțiunea Door Simulation pentru controlul unei uși de garaj

Când ușa este închisă complet, ambele limitatoare de cursă (atât cel pentru „închis”, cât și cel pentru „deschis”) sunt în starea „activat” (închise). Deplasați cursorul mouse-ului peste fiecare limitator și veți vedea un text care descrie starea fiecărui comutator.

Ca să fiți siguri că ați înțeles modul de adresare și stările inițiale ale limitatoarelor, treceți automatul în modul *Run*, pentru a porni scanarea intrărilor.

Deschideți apoi fereastra *Data Table*, făcând clic pe iconița *Data Table*. Selectați din fereastra *Data Table*, din secțiunea *Table*, opțiunea *Input Table*.

Vizualizați starea fiecărui bit asociat intrării corespunzătoare din modulul de intrări I:1. Observați că bitul I:1/02 este în starea „High” sau „Adevărat” (adică „1” logic). Folosiți mouse-ul pentru a apăsa butonul *Stop* de pe panoul de control și observați modificările în Tabelul de Date.

► Aplicația 3

Dozarea materiei prime dintr-un siloz

Pentru realizarea programului, din meniul *Simulation* se alege opțiunea *Silo Simulation*. Principala funcție a instalației este aceea de dozare a materialului care se scurge dintr-un rezervor în containerele care se deplasează pe o bandă rulantă.

Containerele sunt oprite în dreptul gurii de vărsare din rezervor și, după umplere, sunt scoase de pe bandă.

La această aplicație putem realiza trei programe. Fiecare program poate fi realizat separat, putându-se utiliza doar partea comună.

Primul program poate să controleze silozul astfel încât să se realizeze operațiile de poziționare și de umplere a cutiilor care circulă pe bandă în mod continuu.

Al doilea program trebuie să controleze procesul de umplere al containerului și să permită repornirea manuală a procesului. Procesul se încheie după umplerea unei cutii.

Al treilea program, o îmbunătățire a celui de-al doilea program, permite derularea procesului, folosind un comutator cu trei poziții de pe panoul de control. În prima poziție, sistemul funcționează în „Mod continuu”, în a doua poziție, sistemul trebuie să funcționeze în mod „Restartare manuală”, iar a treia poziție este pentru modul „Fără umplere” (cutiile se vor deplasa pe bandă, fără să se mai oprească pentru umplere).

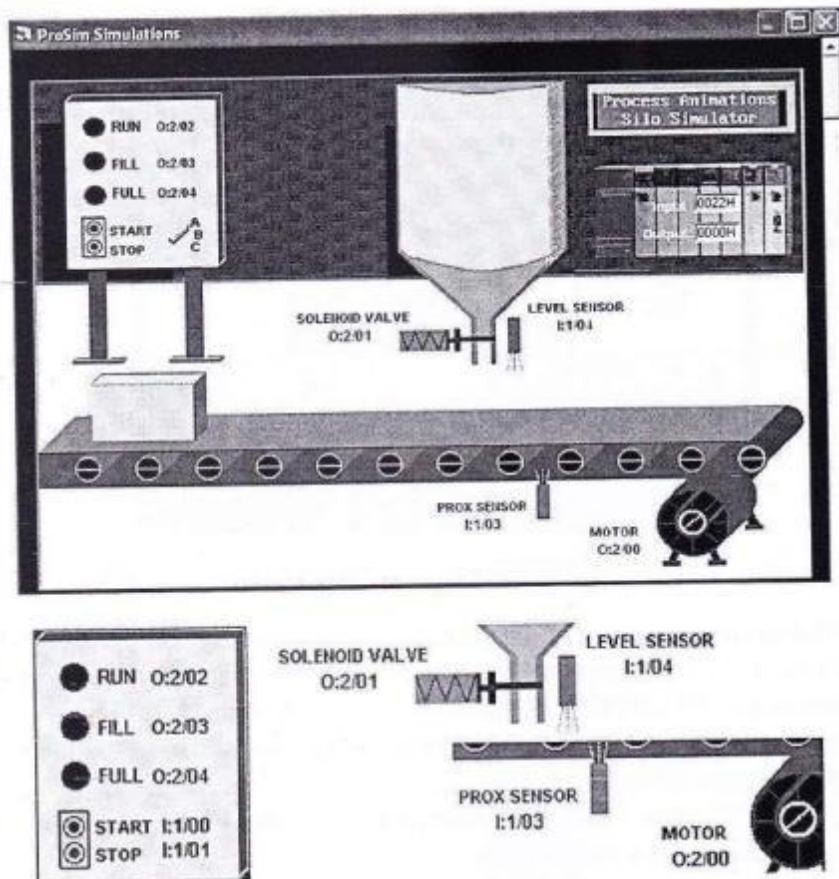


Fig. 7.14. Opțiunea Silo Simulation pentru dozarea materiei prime dintr-un siloz

► Aplicația 4

Animație cu funcționarea unui PLC

Se va lansa în execuție programul aflat la adresa <http://www.plcs.net/>, pentru a studia funcționarea unui PLC.

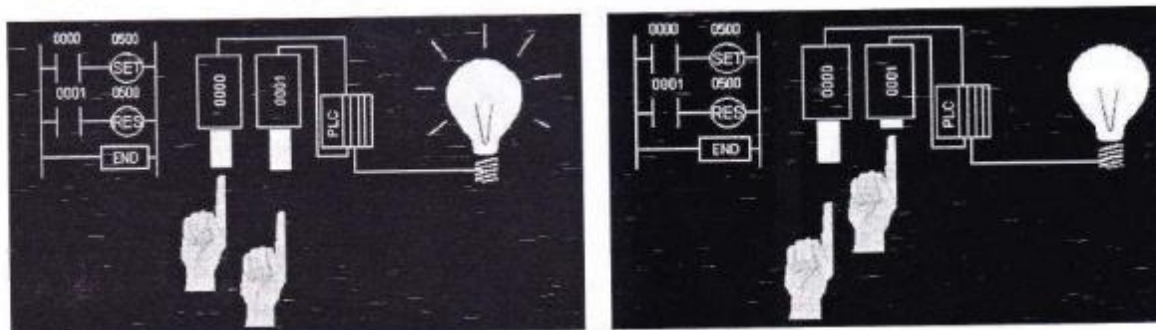


Fig. 7.15. Analiza funcționării unui PLC

► Aplicația 5

Sistemul de evidență automată a locurilor dintr-o parcare

Logica circuitului este stabilită în interiorul PLC-ului prin intermediul unui program software. Programul este introdus și vizualizat prin intermediul unui PC conectat la portul PLC-ului (programming port).

Numărul de intrări și de ieșiri pentru PLC este:

■ 2 intrări pentru PLC:

- un senzor ultrasonic pentru detecția ieșirilor (OUT);
- un senzor ultrasonic pentru detecția intrărilor (IN).

Totalul intrărilor PLC este de minimum 2.

■ 2 ieșiri pentru PLC:

- comandă pentru afișaj parcare plină – „FULL”;
- comandă pentru afișaj parcare goală – „EMPTY”.

Totalul ieșirilor PLC este de minimum 2.

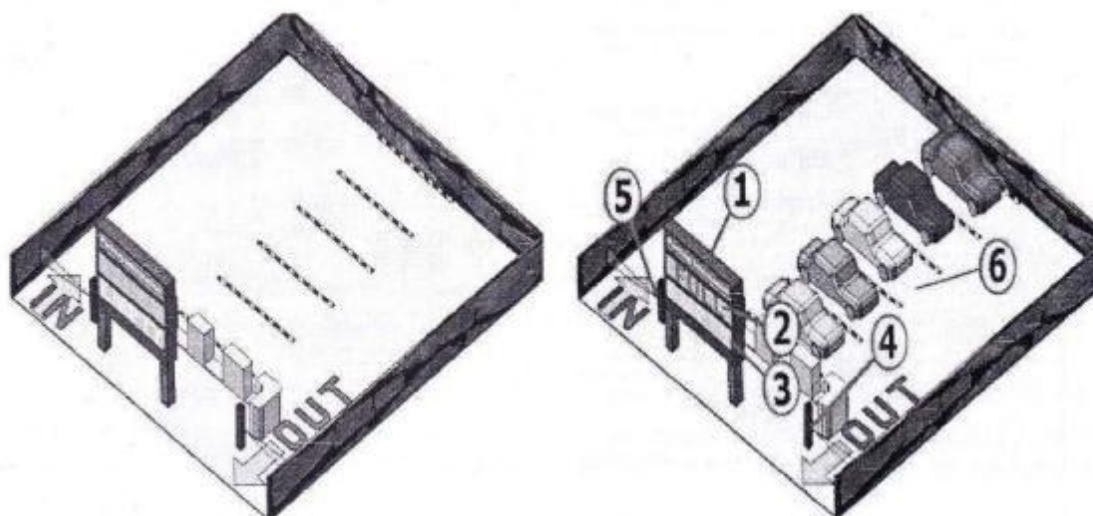


Fig. 7.16. Sistemul de evidență automată a locurilor dintr-o parcare

Secvența programabilă pentru PLC arată astfel (pentru capacitatea parcării = cinci autoturisme):

■ „FULL” display = ON

- Pentru senzorul de intrare activat (IN), incrementăm numărul mașinilor din parcare cu 1.
- Dacă numărul mașinilor este mai mare sau egal cu 5 (capacitatea parcării), se aprinde indicatorul de parcare plină („FULL” = ON) și se resetează afișarea de parcare goală („EMPTY” = OFF).

■ „EMPTY” display = ON

- Pentru senzorul de ieșire activat (OUT), decrementăm numărul mașinilor din parcare cu 1.
- Dacă numărul mașinilor este mai mic decât 5 (capacitatea parcării), se resetează indicatorul de parcare plină („FULL” = OFF) și se aprinde afișarea de parcare goală („EMPTY” = ON).

■ Setarea datelor

- Putem seta capacitatea parcării (numărul maxim de mașini din parcare este 5).

Pentru un PLC tip FX-Mitsubishi, stabilim:

■ INPUT PLC:

- X000; senzor ultrasonic pentru detecția intrărilor (IN);
- X001; senzor ultrasonic pentru detecția ieșirilor (OUT).

■ Attribute:

- Y000; comandă pentru afișaj parcare plină „FULL” display.
- Y001; comandă pentru afișaj parcare goală „EMPTY” display.

Schematic, putem descrie procesul automat de comandă a afişajelor parcare goală – „EMPTY”, respectiv parcare plină – „FULL”, prin schema logică din figura 7.18.

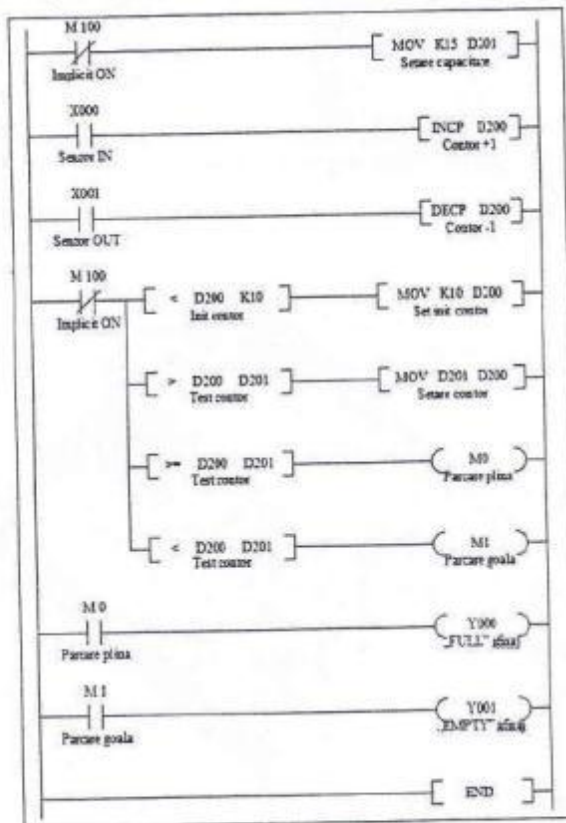


Fig. 7.17. Diagrama Ladder

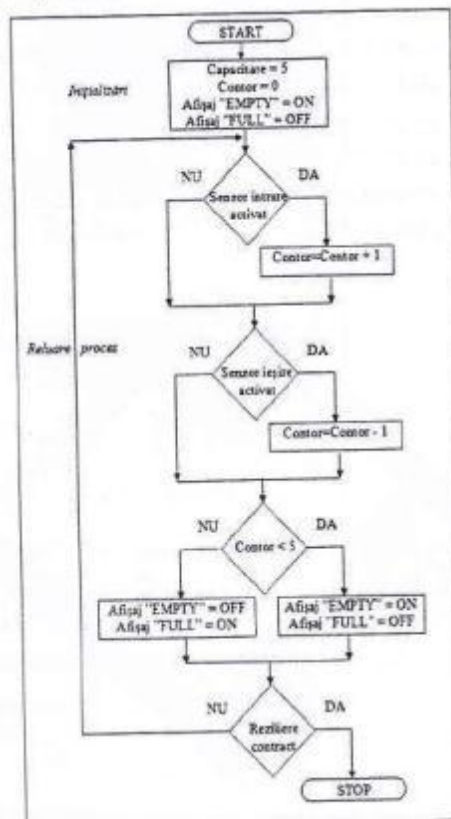


Fig. 7.18. Schema logică a unui sistem de evidență automată a locurilor într-o parcare

7.4. Alegerea unui automat programabil

Există mai mulți **factori** care concură la alegerea tipului de automat programabil.

1. Dacă aplicația este mai simplă, criteriul de alegere cel mai important este numărul de intrări și de ieșiri, precum și dimensiunea programului utilizator.

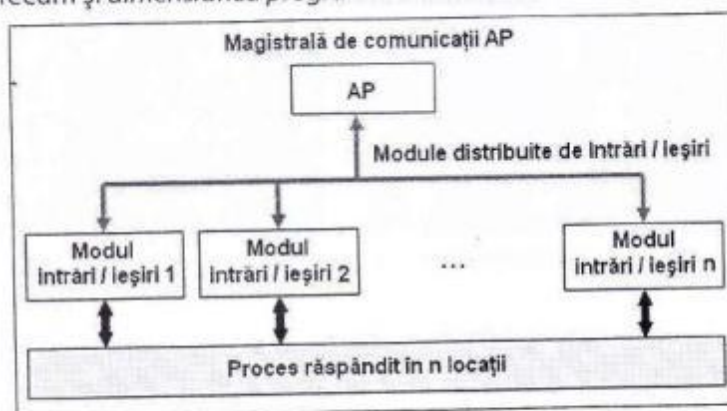


Fig. 7.19. Conducerea proceselor cu AP conectat prin intermediul unei magistrale speciale la module distribuite de intrări/ieșiri

2. La aplicațiile mai complexe (de exemplu, la o mașină-unealtă comandată de un AP), sunt luați în considerare, pe lângă numărul de intrări/ieșiri, și *timpii de răspuns* și *dimensiunea memoriei*, care trebuie să înmagazineze un număr mare de date.
3. În cazul proceselor răspândite în mai multe locații, este mult mai indicată alegerea unor module de intrare/ieșire distribuite decât a modulelor de intrare/ieșire dispuse pe automat, ca în figura 7.20.

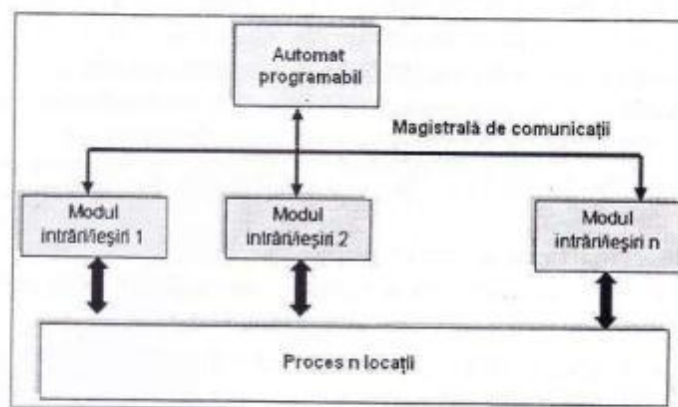


Fig. 7.20. Conducerea unui proces cu un automat programabil

Această soluție duce la reducerea numărului de cabluri de legătură, comunicația între modulele de intrare/ieșire și unitatea centrală a automatului programabil făcându-se prin intermediul magistralei de comunicație, pe un număr redus de fire. În acest caz, și viteza de răspuns poate fi simțitor mai mare.

4. Dacă procesul automatizat poate fi împărțit în subprocese relativ autonome, atunci varianta automatelor programabile dedicate subproceselor, interconectate în rețea, este soluția cea mai bună (fig. 7.21).

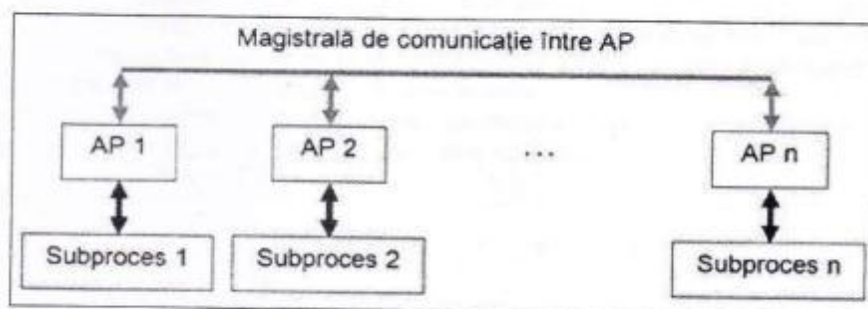


Fig. 7.21. Conducerea subproceselor automate cu AP conectate prin intermediul unei magistrale speciale

Alegerea limbajului de programare depinde de utilizator și de complexitatea algoritmului de conducere.

✓ EVALUARE**A. Completați spațiile libere.**

1. Automatele programabile sunt structuri destinate ...(1)... proceselor industriale.
2. ...(2)... configurează regimurile de lucru și intervențiile în situații speciale.
3. Structura minimală a unui sistem de conducere a proceselor cu automate programabile, cu prelucrări la nivel de bit, este formată din ...(3)... unități de bază.
4. Blocul de comandă al canalului are rolul blocului de multiplexare și ieșire de date de la perifericele de ...(4).
5.(5)... are rol în achiziția de date, comandă și reglare.

B. Stabiliți valoarea de adevăr a următoarelor afirmații:

1. Cel mai utilizat criteriu de clasificare a automatelor programabile este cel al dimensiunii magistralei de date.
2. Automatele programabile permit detectarea schimbării valorilor unor semnale furnizate de diferite elemente și prelucrarea informațiilor furnizate de aceste elemente.
3. Automatele programabile sunt structuri în care se găsesc memoriile semiconductoare, rețelele logice programate, microprocesoarele și circuitele specializate programabile.

C. Prezentați structura minimală a unui sistem de conducere a proceselor cu automate programabile, cu prelucrări la nivel de bit.**D. Asociați corespunzător criteriile de clasificare ale AP și tipurile de AP.**

Criterii de clasificare AP	Tipuri AP
1. Principiul constructiv 2. Dimensiunea magistralei de date 3. Numărul de procesoare	a) Automate programabile multiprocesor b) Automate programabile cu prelucrare la nivel de bit c) Automate programabile cu prelucrare la nivel de cuvânt d) Automate programabile cu un singur procesor e) Automate programabile vectoriale f) Automate programabile mixte g) Automate programabile algoritmice

REZOLVĂRI TESTE DE EVALUARE

CAP. 1

- A. 1. încălzire; 2. Kelvin; 3. PI și PID; 4. absolută; 5. două.
B. 1. A; 2. F; 3. A.
C. 1. Temperatura și, implicit, rezistența termorezistenței sunt determinate de temperatura mediului.
2. Încălzirea este produsă de curentul electric care străbate termorezistența.

CAP. 2

- A. a) aparat pentru măsurarea presiunii cu tub Bourdon; b) presiunea; c) N/m^2 sau Pa; d) 1 – element elastic; 2 – pârghie de legătură; 3 – sector dințat; 4 – pinion; 5 – ac indicator; 6 – cadran; 7 – cep filetat de legătură sau element de legătură; e) deformările tubului curbat, de secțiune ovală, sunt transmise printr-un mecanism cu roți dințate la axul acului indicator, care se deplasează pe scara gradată circulară indicând direct presiunea măsurată; f) manometru cu tub spiral sau manometru cu tub elicoidal.
B. 1 – d; 2 – b; 3 – b.
C. 1 – lungime, masă și timp; 2 – Bourdon, spiral sau elicoidal.

CAP. 3

- A. 1 – cota; 2 – P și PI; 3 – nivelmetre; 4 – 10 GHz; 5 – servomecanism.
B. 1 – d; 2 – c; 3 – b; 4 – a; 5 – e.
C. 1 – A; 2 – F; 3 – F.

CAP. 4

- A. 1 – volum; 2 – debitmetrele electromagnetice; 3 – rotametrul; 4 – legea lui Bernoulli; 5 – PI.
B. 1 – F; 2 – F; 3 – A.
C. Principiul de funcționare al debitmetrelor se bazează pe legea inducției. Schema de principiu a unui debitmetru este prezentată în figura 4.5.

CAP. 5

- A. 1 – aer umed; 2 – umidometru; 3 – punct de rouă; 4 – gaz; 5 – două.
B. 1 – A; 2 – A; 3 – F.
C. Psihrometrul cu ventilator de tip Asmann constă dintr-un termometru uscat și un termometru umed. Termometrul umed este înfășurat într-o pânză higroscopică îmbibată cu apă. Capetele termometrelor sunt scăldate de curentul de aer umed aspirat de către un mic ventilator, acționat cu resort metalic sau electric, cu o viteză mai mare de 2,5 m/s. Datorită evaporării, temperatura t_{um} , indicată de termometrul umed, este mai mică decât temperatura t_{us} , indicată de termometrul uscat. Cu o expresie matematică, se poate calcula umiditatea relativă a aerului.

CAP. 6

- A. 1 – tipizate; 2 – eroare/abatere; 3 – dezavantaje; 4 – reducere; 5 – rapidă.
B. 1 – A; 2 – A; 3 – A.
C. **Avantaje:** reducerea însemnată a duratei procesului de reglare; posibilitatea limitării simultane a variațiilor mărimilor intermediare. **Dezavantaje:** alegerea și acordarea optimă a reglatoarelor.

CAP. 7

- A. 1 – conducerii; 2 – operatorul; 3 – trei; 4 – intrare; 5 – AP.
B. 1 – A; 2 – A; 3 – A.
C. Structura minimală a unui sistem de conducere a proceselor cu automate programabile, cu prelucrări la nivel de bit, este formată din trei unități de bază: 1. Procesorul central de prelucrare logică a programului rezident în memoria program; 2. Modulele de intrare/ieșire – care realizează cuplarea cu procesul condus; 3. Consola de programare – care permite configurarea sistemului de conducere.
D. 1 – e, g; 2 – b, c, f; 3 – a, d.

Bibliografie

1. Borangiu, Th., Dobrescu, R., *Automate Programabile*, Editura Academiei Române, București, 1986
2. Bucur, G., Popescu, C., *Calculul privind măsurarea debitului*, <http://facultate.regielive.ro>
3. Bucur, G., Popescu, C., *Măsurare debit*, <http://facultate.regielive.ro>
4. Călin, S., Dumitrache, I., Dimo, P., *Automatizări electronice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1972
5. Ciobanu, N., *Sisteme de reglare automată*, Auxiliar curricular pentru ciclul superior al liceului, profil tehnic proiectului Învățământul profesional și tehnic în domeniul TIC, proiect cofinanțat din Fondul Social European în cadrul POS DRU 2007-2013
6. Cosma, D., Andonie, S., *Traductoare*, Editura CD PRESS, București, 2011
7. Hilohi, S., Ghinea, D., Bichir, N., *Elemente de comandă și control pentru acționări și sisteme de reglare automată*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 2002
8. Ignea, A., *Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice*, Editura de Vest, Timișoara, 1996
9. Landau I. D., (traducere Popescu D., Ștefanioiu D.), *Identificarea și comanda sistemelor*, Editura Tehnică, București, 1997
10. Mareș, Fl., Manolache, I., A., Tătaru, E., G., *Module de automatizare*, Editura PAX AURA MUNDI, 2008
11. Mareș, Fl. și colectivul, *Elemente de comandă și control pentru acționări și sisteme de reglare automată*, Editura Economică, București, 2002
12. Mihoc, D., Iliescu, St., *Elemente de informatică. Mecanizarea și automatizarea producției*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1995
13. Mihoc, D., Iliescu, St., *Automatizări*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978
14. Mihoc, D., Iliescu, St. ș.a., *Teoria și elementele sistemelor de reglare automată*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980
15. Mihoc, C., *Senzori și traductoare*, Universitatea Dunărea de Jos, Galați, 2003
16. Mira, N., Bichir, N., Boțan, C., Hilohi, S., *Mașini, aparate, acționări și automatizări*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1997
17. Pinte, M., *Sisteme de automatizare*, Auxiliar curricular pentru ciclul superior al liceului, profil tehnic – Programul PHARE TVET RO 2003/005 – 551.05.01 – 02
18. Stoicoviciu, O., *Manualul electromecanicului de aparate de măsurat și automatizări*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1972
19. Terțișco M., Popescu D., Jora B., Russ I., *Automatizări industriale continue*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1991
20. Terțișco, M., Stamata, A., Antonescu, M., Soare, C., *Aparate de măsurat și control. Automatizarea producției*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984
21. Terțișco, M., Stamata, A., Antonescu, M., Soare, C., Neagu, A., Glatz, Al., *Aparate de măsurat și automatizări în industria chimică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1986
22. Vasiliu, A., [www_RegieLive_ro_AUTOMATE_PROGRAMABILE.zip](http://www.RegieLive_ro/AUTOMATE_PROGRAMABILE.zip)
23. <http://www.infostar-pascani.ro>
24. <http://tlt.its.psu.edu>
25. <http://www.designworldonline.com>
26. <http://research.bitnet.info>
27. <http://wiki.xtronics.com/>
28. <http://www.engineeringtoolbox.com>
29. <http://plomberie.bricovideo.com>
30. <http://www.intellego.fr>
31. <http://olivierlebianbis.free.fr>
32. <http://www.chem1.com>
33. <http://www.termo.utcluj.ro>
34. <http://www.nivelco.com>
35. <http://www.electronica-azi.ro>
36. <http://www.electronicsarea.com>
37. <http://nivelco.hu>
38. <http://www.niqro.3x.ro>
39. <http://www.ipa.ro/>
40. <http://dmsolve.xhost.ro>
41. <http://users.utcluj.ro>
42. <http://www.profsat.ro>
43. <http://www.softpedia.com>
44. <http://www.et.web.mek.dtu.dk>
45. <http://www.termo.utcluj.ro>
46. <http://www.sonelec-usique.com>
47. <http://www.dezumidificare.ro>
48. <http://www.stud.usv.ro/>
49. <http://www.festo-didactic.com>
50. <http://www.multilab.ro>
51. <http://www.labshop.ro>
52. <http://www.sapiensman.com>
53. <http://www.atp.ruhr-uni-bochum.de>
54. <http://instrumentationandcontrollers.blogspot.com>
55. <http://www.shimadzu-mectem.com>
56. <http://microcontroller.circuitlab.org>
57. <http://www.scribd.com>
58. <http://ira2.inginer.info>
59. <http://www.thelearningpit.com>
60. <http://program-plc.blogspot.com>
61. <http://www.bin95.com>
62. <http://www.google.ro>
63. <http://www.renesas.eu/>
64. <http://hu.jean-louis.pagesperso-orange.fr>
65. <http://www.plcs.net/>
66. SLC 500, Allen Bradley 1785 PLC-5 Processors Reference Book, 2004.