



D. MIHOC
ST. POPESCU

Automatizări

MANUAL PENTRU LICEE CU PROFIL DE ELECTROTEHNICĂ, MATEMATICĂ-ELECTROTEHNICĂ,
MATEMATICĂ-ELECTRONICĂ, CLASA A XI-a SAU A XII-a, ȘI ȘCOLI DE MAIȘTRI

ELEMENTELE SISTEMELOR AUTOMATE

Capitolul 1

INTRODUCERE ÎN AUTOMATICĂ

A. OBIECTUL ȘI IMPORTANȚA AUTOMATICII

Materialul a fost revizuit astfel:

D. Mihoc: cap. 6, 9, 10

St. Popescu: cap. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12

În procesele de producere a bunurilor materiale, o importanță deosebită o are automatizarea acestor procese, adică realizarea lor fără participarea directă a omului.

Un proces de producție — tehnologic — are loc într-o instalație tehnologică și se desfășoară în anumite condiții fizice, fiind caracterizat de (fig. 1.1):

— cantități (fluxuri) de materie și energie F_i transmise procesului în unitatea de timp (fluxuri de intrare);

— cantități de materie și energie F_e extrase din proces în unitatea de timp (fluxuri de ieșire);

— cantități de materie și energie F_a acumulate (stocate) în proces (în instalația tehnologică) în unitatea de timp.

Este evident că, în conformitate cu legea conservării materiei, aceste trei fluxuri: F_i , F_e și F_a sunt interdependente pe baza următoarei ecuații de bilanț:

$$F_i - F_e = F_a. \quad (1.1)$$

În cazul general, în care cele trei fluxuri sunt variabile în timp, procesul se află în *regim dinamic*:

$$F_i(t) - F_e(t) = F_a(t). \quad (1.2)$$

În cazul particular în care $F_a = 0$, procesul se află în *regim stationar*:

$$F_i - F_e = F_a = 0, \quad (1.3)$$

sau:

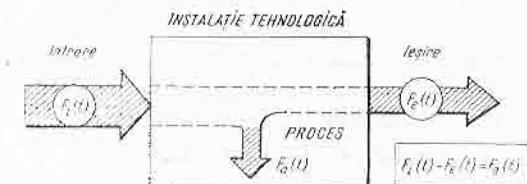


Fig. 1.1. Schema-bloc a unei instalații tehnologice.

$$F_i = F_e. \quad (1.4)$$

Fluxurile de masă și energie care contribuie la realizarea proceselor de producție sunt caracterizate printr-o serie de mărimi fizice (parametri) între care există relații de interdependență, consecințe ale unor legi cunoscute din fizică. De exemplu, la un cazan dintr-o termocentrală intervin o mulțime de parametri, cum sunt: debitul, temperatura și presiunea aburului, a combustibilului și a apei de alimentare, capacitatea calorifică a combustibilului, temperatura în focar, temperatura mediului înconjurător etc. Aceste mărimi sunt legate între ele printr-o serie de legi: transmisia căldurii prin pereți (legea Fourier), conservarea energiei etc. Datorită acestui fapt, modificarea în procesul de producție a unor dintre acești parametri datorită necesităților tehnologice din afara instalației respective atrage după sine modificarea corespunzătoare a altor parametri din interiorul instalației. Astfel, în exemplul de mai sus, debitul de abur variind în funcție de consumul turbinei pe baza legilor amintite, temperatura și presiunea aburului debitat de cazan vor varia și ele.

Se observă deci, din exemplul dat, că satisfacerea unei necesități a producției și anume furnizarea unui debit variabil de abur, influențează asupra calității acestuia în sensul că temperatura și presiunea aburului respectiv cresc sau scad. Această deficiență este remediată de către cel care exploatează instalația respectivă; acesta măsoără sau controlează valoarea parametrilor care-l interesează (în exemplul dat, măsoără temperatura și presiunea), adică se „informează” asupra procesului și comandă modificarea acestuia prin anumite elemente ale instalației (în exemplul dat, comandă admisă cantitatea de combustibil și de apă de alimentare, prin deschiderea sau închiderea unor vane).

În alte cazuri, procesul de măsurare a unor parametri din instalație este însotit simultan de comanda instalației respective, astfel ca acei parametri să fie menținuți la valori dorite (prescrise). Se spune că parametrii respectivi se regleză.

ACESTE FUNCȚIUNI DE: *măsurare, comandă, reglare*, precum și altele, ce vor fi analizate în cele ce urmează, au fost scoase treptat de sub acțiunea directă a omului și trecute în seama unor dispozitive de automatizare ce se studiază în cadrul disciplinei numită *automatică*.

Automatica este o ramură a științei și tehnicii care cuprinde totalitatea metodelor și a mijloacelor tehnice de stabilire a unor legături corespunzătoare între instalațiile tehnologice și dispozitivele nou introduse, astfel încât conducerea proceselor de producție să se desfășoare fără intervenția directă a omului.

Așadar, se poate spune în linii generale că relația „om-mașină” sau „om-instalație tehnologică” cuprinde două funcții generale, distincte:

- funcția de *informare* a omului asupra mărimilor din procesul tehnologic (fig. 1.2), realizată de la instalație spre om;
- funcția de *comandă* a procesului tehnologic de către om (fig. 1.2), realizată de la om spre instalație.

Aceste două funcții generale sunt interdependente și corelate între ele, în sensul că informarea asupra procesului determină comanda elementelor din instalație (sau proces tehnologic), în timp ce consecința comenzi este modificarea parametrilor din proces, care determină nouă informare și.m.d.

Această *dublă relație OM-MAȘINĂ*, concretizată prin funcțiile generale de informare și comandă, poartă denumirea de *conducere* sau *dirijare* a mașinii, a instalației sau a procesului respectiv.

Atât timp cât *conducerea instalației* (a procesului) este efectuată de om („operator uman”), ea se numește *conducere neautomată* (sau, impropriu, „manuală”, înțelegând prin aceasta intervenția manuală a omului).

Prelucrarea funcțiilor omului de către dispozitive de automatizare (automate) reprezintă *conducerea automată* sau *automatizarea* instalației (a procesului) respectivă.

Funcțiile complexe de informare și comandă sunt similare cu cele arătate în figura 1.2, cu observația că în locul omului a apărut dispozitivul de automatizare (fig. 1.3).

Ansamblul instalație tehnologică — dispozitiv de automatizare poartă numele de *instalație (sistem) automată*.

După cum se va vedea mai departe, se disting: *sisteme de măsurare automată*, *sisteme de comandă automată*, *sisteme de reglare automată* etc.

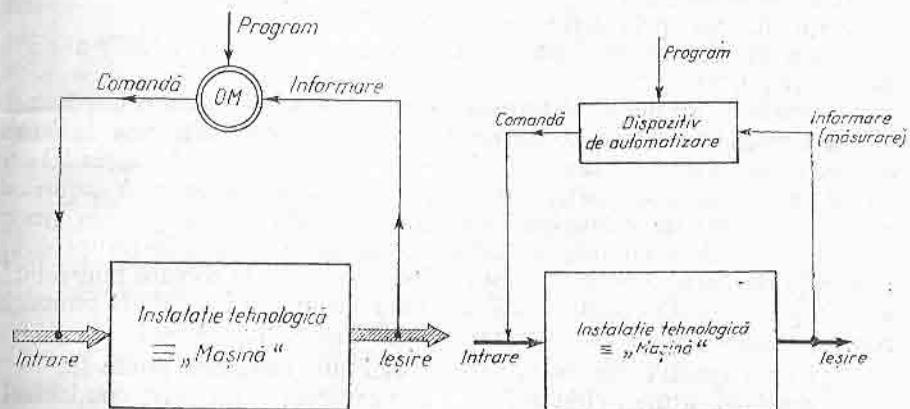


Fig. 1.2. Relația „om-mașină”.

Fig. 1.3. Relația „automat-mașină”.

În cadrul funcțiilor generale enumerate mai sus se definesc următoarele **funcții elementare** întâlnite în automatică: *măsurarea, comanda și semnalizarea*.

În afara acestor funcții elementare, în automatică se mai întâlnesc și alte **funcții cu caracter complex**, care pot fi considerate ca o combinare a celor elementare; astfel sunt: *reglarea, controlul, protecția* etc.

● **Măsurarea** reprezintă *informarea cu caracter cantitativ asupra mărimilor din procesul tehnologic*. Prin măsurare se asigură, de exemplu, determinarea valorilor presiunii, temperaturii, debitului, puterii etc., sensul semnalului fiind, bineînțeles, de la instalație către un punct central de supraveghere (de exemplu o „cameră de comandă”). În funcție de caracterul semnalului, măsurarea poate fi:

— *continuă*, atunci cînd valorile măsurate ale parametrilor sunt transmise permanent;

— *discontinuă (discretă)*, atunci cînd valorile respective sunt transmise din timp în timp (de exemplu: automat, din minut în minut, sau „la cerere”, adică după dorința unui operator).

● **Semnalizarea** reprezintă *informarea cu caracter calitativ asupra situației de stare (poziție) sau de funcționare a unor elemente din instalație sau a instalației în ansamblu*; de exemplu: poziția închis-deschis a unor vane sau întreruptoare, ieșirea din limite (sub-peste) a unor parametri, funcționare normală — anormală (avarie) a instalațiilor etc.

Se constată caracterul discontinuu (discret) de tip binar („da-nu”) al semnalizării, adică posibilitatea de asociere la cele două stări a celor două semne logice elementare (1 sau 0).

Avînd în vedere caracterul informațional al semnalizării, rezultă sensul semnalului de la instalație către punctul central de supraveghere (cameră de comandă).

Semnalizarea (prin definiție discontinuă) poate fi:

— *optică*, atunci cînd este finalizată prin aprinderea („1”) a unui bec stins („0”);

— *acustică*, atunci cînd este finalizată de o sonerie sau o hupă.

● **Comanda** reprezintă *acțiunea cu caracter cantitativ sau calitativ asupra situației de stare sau de poziție a unor elemente din instalația tehnologică în scopul modificării continue, respectiv discontinue, a valorilor unor parametri*; de exemplu: comanda de modificare a poziției unor vane sau ventile, comanda de închidere-deschidere a unor întreruptoare, comanda de pornire-oprire a motoarelor, comanda de sortare bun-rebut a unor piese etc. Comanda se dă, aşa cum s-a mai arătat, de la punctul central (dispozitiv de automatizare) către instalația tehnologică.

Așa cum rezultă din exemplele de mai sus, comanda poate fi:

— *continuă*, atunci cînd acțiunea are caracter cantitativ, conducînd la modificări continue ale unor elemente de execuție au mașini (va-

rierea poziției vanelor, varierea vitezei motoarelor etc.) în scopul modificării continue a parametrilor din instalație (de exemplu debit — cantitate de substanță — viteză etc.);

— *discontinuă*, atunci cînd acțiunea are caracter calitativ, conducînd la modificări discrete ale unor elemente de execuție sau mașini (deschidere-închiderea vanelor, pornirea-oprirea motoarelor etc.), în scopul modificării discontinue a parametrilor din instalație („tot sau nimic”).

● **Reglarea** reprezintă *comanda unor elemente din instalația tehnologică, deci modificarea unor mărimi aferente procesului tehnologic, în scopul menținerii uneia sau a mai multor parametri la anumite valori prescrise — mărime „program” sau „de consum”* (de exemplu, menținerea constantă a temperaturii aburului dintr-un cazan sau menținerea constantă a tensiunii unei generatori electrici etc.), — v. cap. 9.

Sistemele de reglare automată se mai numesc și *sisteme automate cu circuit închis*, spre deosebire de celelalte descrise anterior, care se numesc *cu circuit deschis*.

● **Controlul** reprezintă *o funcție complexă de automatizare, prin care măsurarea continuă a unei parametri se efectuează în scopul sesizării momentului în care parametrul respectiv a ieșit din anumite limite prescrise*. Caracterul discontinuu al controlului este pus în evidență, de obicei, printr-o semnalizare (optică sau acustică), prin care se finalizează procesul de măsurare.

De exemplu: temperatura este sub 500°C (semnal „0”) sau peste 500°C (semnal „1”), sau presiunea este cuprinsă între 18 și 25 atm (semnal „0”) sau a scăzut sub 18 atm ori a depășit 25 atm (semnal „1”).

În cazul în care controlul se referă la calitatea unor produse, el poate să finalizeze nu numai printr-o semnalizare, ci printr-o comandă discontinuă, care într-o formă adecvată separă produsele bune (semnal „0”) de cele rebutate (semnal „1”). Acest sistem de control se numește *sortare automată*.

● **Protecția** reprezintă *o funcție complexă de automatizare prin care măsurarea continuă a unor parametri din instalație se efectuează în scopul sesizării momentului în care instalația condusă s-a defectat parțial sau total, comandindu-se oprirea părților defecte sau a instalației în ansamblu*. Trebuie observat că: comanda trebuie să fie *discontinuă* (închiderea vanelor, deschiderea întreruptoarelor etc.) și *irreversibilă*, adică comanda rămîne definitivă independent de valoarea parametrilor măsuiați ulterior, pînă ce defecțiunile au fost remediate și instalația este repusă în funcțiune.

Funcțiile complexe din automatică nu sunt limitate, ele pot apărea pe măsura dezvoltării proceselor tehnologice, deci pe măsura dezvoltării automatizărilor.

B. NECESITATEA ȘI AVANTAJELE AUTOMATIZĂRII PRODUCȚIEI

Introducerea pe scară largă a automatizării în toate domeniile vieții economice deschide largi perspective în ceea ce privește aspectul cantitativ și calitativ al producției.

Deși capacitatea de analiză și sinteză a creierului uman a ajuns la o dezvoltare impresionantă, totuși, pentru un om („operator uman”), a cărui capacitate de supraveghere și a căruia viteză de gădire și de reacționare sunt limitate, problema conducerii unui proces tehnologic devine din ce în ce mai dificilă pe măsură ce instalația este mai complexă, iar procesul se desfășoară mai rapid.

Mai mult decât atât, unele procese, numite ultrarapide ca, de exemplu, reacțiile într-un reactor atomic sau zborul unei rachete cosmice, conțin atât de mulți parametri, care variază cu viteze atât de mari, încât conducerea procesului respectiv este practic imposibilă fără introducerea automatizării.

Necesitatea introducerii automatizărilor rezidă în avantajele substantive pe care aceasta le oferă:

- eliberarea omului de la conducerea nemijlocită, directă, a proceselor și instalațiilor tehnologice de producție, activitate umană obosită și depășită în actualul stadiu de dezvoltare a tehnicii. În acest mod se reduce atât munca fizică, cât și munca intelectuală necreatoare, de rutină;

- creșterea vitezei de lucru a mașinilor și utilajelor și, implicit, creșterea apreciabilă a producției și a productivității muncii; procesul de producție degurge ritmic, fără tempi morți sau tempi de odihnă;

- folosirea intensivă a agregatelor, mașinilor și utilajelor prin creșterea indicatorilor de utilizare ai acestora;

- realizarea proceselor de producție în condițiile creșterii substantive a calității produselor;

- reducerea considerabilă a cheltuielilor de producție prin reducerea consumurilor specifice de materie primă și materiale.

Deși introducerea automatizării implică investiții suplimentare, reducerea cheltuielilor pe ansamblul investiției și implicit reducerea prețului de cost al produselor sunt evidente.

C. FAZELE EVOLUTIVE ALE PROCESELOR DE PRODUCȚIE

1. Procesul manual

Pe măsura dezvoltării științei și tehnicii, procesele de producție au suferit o transformare continuă, respectiv o reducere treptată a muncii fizice a omului, compensată de o creștere corespunzătoare a muncii intelectuale.

Înainte de descoperirea și utilizarea forței motoarelor — a mașinilor cu abur, a motoarelor electrice sau a celor cu ardere internă — majoritatea proceselor de producție se efectuau în întregime manual.

În procesul manual (fig. 1.4, a), omul cedează instalației tehnologice energia mecanică necesară, din însăși forță sa musculară. Evident că și procesul de conducere se exercită prin același „canal energetic”.

De exemplu, un om care scoate apă dintr-un puț pentru a umple un rezervor de apă și folosește o pompă de mână, desfășoară un proces

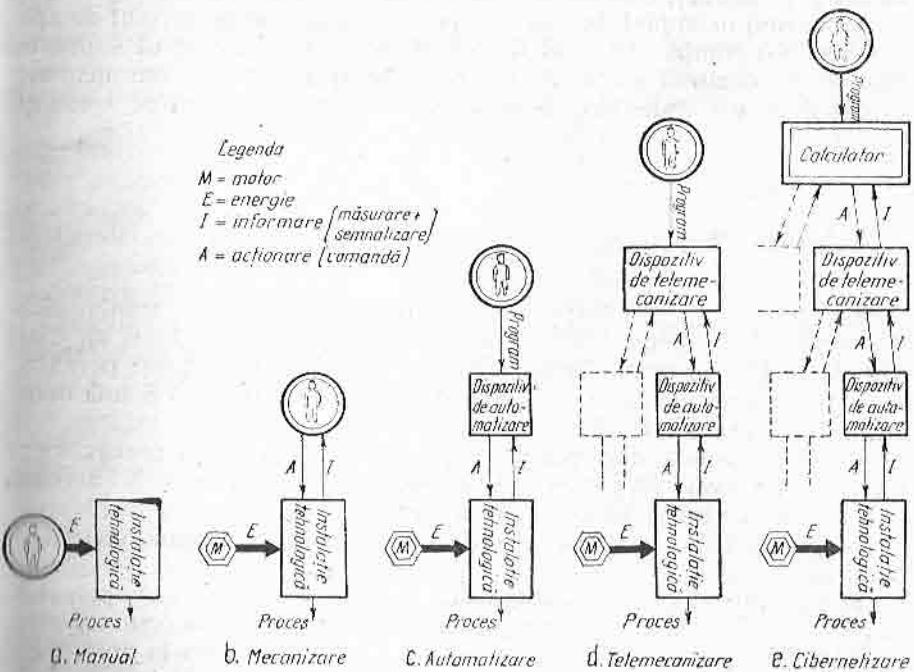


Fig. 1.4. Fazele evolutive ale proceselor de producție:
a – manual; b – mecanizat; c – automatizat; d – telemecanizat; e – condus prin calculator.

manual, energia potențială de ridicare a apei fiind cedată din energia sa musculară; în același timp, el „conduce” procesul prin aceeași cale, în sensul că, dacă constată că apa din rezervor se consumă prea repede, pompează și el mai repede; dacă rezervorul s-a umplut, el se oprește din pompat și.a.m.d. Omul este, aşadar, complet integrat în procesul de producție.

2. Mecanizarea

Prin folosirea energiei mecanice obținute de la diverse tipuri de motoare — în special motoare electrice — procesele de producție cunosc o nouă fază de dezvoltare: *mecanizarea*; ea poate fi aplicată fie numai la o parte din instalațiile care necesită energie mecanică (mecanizare parțială), fie la toate instalațiile respective (mecanizarea totală). Așadar, în procesul de mecanizare omul conduce instalația tehnologică (se informează și comandă), însă motorul este acela care o acționează (fig. 1.4, b).

Urmărind exemplul de mai sus, pomparea apei în rezervorul de apă se face cu o pompă acționată de un motor electric, iar omul supraveghează și comandă pornirea, respectiv oprirea pompei, sau dispune eventual de mai multe electropompe care concură la realizarea aceleiași operații.

3. Automatizarea

S-a arătat că, prin introducerea automatizării, funcția omului este preluată de dispozitivul de automatizare (fig. 1.4, c). Omul nu mai trebuie deci să comande închiderea sau deschiderea unor vane, pornirea sau oprirea unor agregate etc., sarcina respectivă trecând în seama unor elemente de automatizare.

Urmărind același exemplu ca mai sus: rezervorul va fi prevăzut cu un „releu de nivel” (v. cap. 4), care va sesiza atingerea nivelului maxim sau minim al apei și va comanda automat deschiderea sau închiderea întreruptorului de alimentare a electropompei, adică oprirea, respectiv pornirea, pompei.

Pentru introducerea automatizării este necesar, de exemplu, ca întreruptoarele să fie prevăzute cu dispozitive de comandă, vanele — cu motoare de acționare (servomotoare) etc., adică instalația în ansamblu sau părțile din instalație supuse automatizării trebuie să fie în prealabil mecanizate.

4. Telemecanizarea

Uneori, o serie de instalații tehnologice repartizate pe o suprafață relativ mare pot lucra într-o legătură funcțională de interdependență, constituind o instalație complexă.

Conducerea la distanță a unor obiecte dispersate pe un teritoriu relativ mare, de la distanțe de zeci sau sute de kilometri, necesită o serie de canale de legătură (linii fizice sau prin radio etc.) prin care să se transmită diversele „semnale” de măsurare, comandă, semnalizare etc., reprezentă telemecanizarea instalațiilor respective.

Știința care se ocupă de telemecanizare poartă numele de **telemecanică** (v. cap. 10).

Telemecanizarea unei anumite instalații tehnologice presupune o automatizare completă a obiectivului respectiv (fig. 1.4, d).

5. Conducerea prin calculator

Cea mai înaltă formă de organizare a proceselor de producție o reprezintă conducerea prin calculator a proceselor de producție, fază care se mai numește și „automatizare complexă”. Aceasta constă în prevederea la instalațiile tehnologice automatizate și telemecanizate a unor calculatoare electronice care efectuează procese „de gîndire” asemănătoare cu cele produse în creierul omului și impun anumite decizii în conducerea unui proces tehnologic complex (v. cap. 11).

Conducerea prin calculator a unei instalații tehnologice nu poate fi realizată decât numai pe baza automatizării și telemecanizării instalațiilor respective (fig. 1.4, e).

Din figura 1.4, care reprezintă, aşadar, fazele evolutive ale proceselor de producție, se constată evoluția poziției omului pe parcursul evoluției tehnice a proceselor de producție.

D. REALIZĂRI ÎN DOMENIUL AUTOMATIZĂRILOR ÎN R.S. ROMÂNIA

În țara noastră, ținându-se seamă de avantajele pe care le oferă automatizarea, documentele de partid și de stat subliniază necesitatea mecanizării și automatizării proceselor de producție, ca o verigă fundamentală în creșterea producției și productivității muncii, ca un factor determinant în creșterea nivelului de trai material și cultural al celor ce muncesc.

Pe linia aplicării acestor directive, în țara noastră s-a dezvoltat o puternică *industria de elemente de automatizare*:

- Întreprinderea pentru Elemente de Automatizare — IEA — București;
- Întreprinderea Automatica — București;
- Întreprinderea Electroaparaj — București;
- Întreprinderea Electrotehnica — București;
- Întreprinderea Electromagnetică — București;
- Întreprinderea de panouri și tablouri electrice — IPTE — Alexandria;
- Întreprinderea de elemente pneumatice de automatizare și măsură — IEPAM — Bîrlad;
- Întreprinderea de aparete electrice de măsurat — IAEM — Timișoara;
- Întreprinderea de aparataj electric — IAE — Titu;
- Întreprinderea Electrocontact — Botoșani.

Paralel cu dezvoltarea industriei elementelor de automatizare, a fost asigurată și o concentrare treptată a potențialului de concepție, cercetare și proiectare în domeniul elementelor, al echipamentelor și al instalațiilor de automatizare în cadrul Institutului de cercetări și proiectări pentru automatizări — IPA — București, Institutul de tehnici de calcul — ITC, Institutul de cercetări electronice — ICE, precum și în cadrul unor colective de specialitate din învățămînt și din alte sectoare productive.

Ca realizări în domeniul automatizării producției obținute pînă în prezent în țara noastră, se pot cita:

— în *industria siderurgică*: furnalele și cuptoarele Martin parțial automatizate de la Combinatul siderurgic din Reșița și Hunedoara, laminoarele automatizate de diferite tipuri de la Combinatul siderurgic Hunedoara și Galați, fabrica de țevi din Roman etc.;

— în *industria chimică*: combinatele chimice cu grad ridicat de automatizare de la Borzești, Săvinești, Roznov, Turnu Măgurele, Craiova, Pitești etc.;

— în *industria energetică*: termocentralele Borzești, Paroșeni, Luduș, Ișalnița, hidrocentralele de pe Argeș, de pe Bistrița, Porțile de Fier, Lotru etc.

În cincinalul actual se vor extinde mecanizarea și automatizarea producției, fiind prevăzute în acest scop un număr important de acțiuni de mecanizare și automatizare cu caracter complex; se vor elabora noi tipuri de mașini-unelte cu grad înalt de automatizare, iar în domeniul electrotehnicii și electronicii se vor crea noi echipamente de acționare electrică, mijloace de automatizare, echipamente de calcul, noi componente electronice și circuite integrate pentru calculatoare; se va intensifica

ritmul înzestrării economiei cu tehnica de calcul și introducerea sistemelor de conducere cu mijloace de prelucrare automată a datelor, acordîndu-se prioritate dotării întreprinderilor și centralelor industriale.

E. ELEMENTELE COMPONENTE ALE SISTEMELOR AUTOMATE

S-a arătat că un sistem automat a rezultat din aplicarea unui dispozitiv de automatizare la o instalație tehnologică. Întregul ansamblu este format dintr-o serie de părți constitutive, numite *elementele sistemelor automate*.

Elementele sistemelor automate se referă astăzi la două grupe de obiecte distincte din punct de vedere structural și funcțional, și anume:

— *elementele instalației tehnologice*, constituind părțile componente ale instalației ce realizează procesul tehnologic; din această categorie fac parte de exemplu diverse cazane, pompe, conducte, motoare, rezervoare, turbine, generatoare etc.;

— *elementele de automatizare*, care reprezintă părțile constitutive ale dispozitivelor de automatizare.

Elementele de automatizare se construiesc într-o gamă foarte largă și foarte variată.

Ele pot avea o structură mai simplă sau mai complexă, corespunzător scopului de automatizare propus. Pe baza unor trăsături comune, elementele de automatizare se pot clasifica în mai multe feluri.

După principiul constructiv și funcțional, se deosebesc: *traductoare, adaptoare, amplificatoare, relee, stabilizatoare, distribuitoare, convertoare* etc.

După rolul îndeplinit într-un sistem automat se disting: *elemente de măsurare, elemente de comparație, elemente de calcul, elemente de reacție* etc.

După felul energiei auxiliare folosite, elementele de automatizare se împart în elemente: *electrice, pneumatice, hidraulice și elemente mixte* (de exemplu electrohidraulice).

În acest manual vor fi studiate elemente cu o structură mai complexă, regulatoarele, care cuprind diverse elemente din cele arătate mai sus (de exemplu: adaptoare, amplificatoare, stabilizatoare etc.), folosesc mai multe feluri de energie (de exemplu: regulatoare electropneumatische) și au o comportare complexă în regim dinamic (de exemplu: regulatoare proporțional-integratoare etc.).

La începutul dezvoltării automatizărilor, elementele de automatizare au fost realizate într-o formă specializată („neunificată”), valorile parametrilor de intrare și de ieșire ale elementelor prevăzute într-o schemă fiind diferenți de la caz la caz.

În prezent, pe măsura introducerii pe scară largă a automatizărilor, s-a procedat la **unificarea elementelor de automatizare** în sensul că „semnalele” de ieșire ale unor elemente similare sint aceleași („unificate”). De exemplu: semnalul unificat de curent continuu este: 2—10 mA, semnalul unificat de presiune este 0,2—1 kgf/cm² etc. (v. cap. 2).

Industria românească realizează un amplu sortiment de elemente de automatizare, care satisfac mareia majoritate a cerințelor întâlnite în instalațiile industriale. În cadrul Întreprinderii de elemente pentru automatizare — IEA — se realizează și un sistem electronic unificat denumit *sistemul E*, purtătorul informațiilor fiind semnalul de curent continuu cu „zero viu” ($x_i = 0$; $x_e = 0,2$ mA).

În anexa 1 este prezentată schema generală a sistemului electronic unificat „E”, iar în anexa 2, schema generală a sistemului electronic neunificat.

În afară de acestea, Întreprinderea de Elemente Pneumatice de Automatizare și Măsură — FEPAM — Bîrlad — are în curs de asimilare un sistem pneumatic unificat („sistemul P”).

În capitolele următoare vor fi prezentate diverse elemente de automatizare, indicându-se totodată și tipurile de elemente de automatizare realizate și folosite în țara noastră.

REZUMAT

1. Prin *automatizarea proceselor de producție* se înțelege introducerea unor dispozitive speciale (dispozitive de automatizare) la instalațiile tehnologice (turbine electrice, sonde, liniile de fabricație, pompe etc.), care să permită desfășurarea procesului de producție fără participarea omului („automat”).

2. Între instalația tehnologică (IT) și dispozitivul de automatizare (DA) au loc legături de: măsurare, semnalizare, control, comandă, reglare etc.

3. Scopul automatizării este acela de a asigura desfășurarea în cele mai bune condiții a proceselor de producție pe baza unui plan („program”) stabilit de către om.

4. Necessitatea și avantajele automatizării producției se concretizează în creșterea foarte mare a productivității muncii, deci a producției de bunuri materiale.

5. Mecanizarea, automatizarea, telemecanizarea și conducerea prin calculator reprezintă faze succesive din ce în ce mai avansate în dezvoltarea nivelului tehnic al instalațiilor tehnologice de producție.

6. Elementele sistemelor automate cuprind atât părțile componente ale instalației tehnologice, cit și părțile constitutive ale dispozitivelor de automatizare.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Automatizarea unui proces de producție reprezintă:
 - a) înlocuirea omului în funcția de mecanizare a procesului?
 - b) înlocuirea omului în funcția de conducere a procesului?
 - c) măsurarea automată a parametrilor din proces?

2. Prin sistem automat se înțelege:
 - a) o instalație tehnologică mecanizată căreia i s-a introdus un calculator electronic?
 - b) un sistem energetic care funcționează singur?
 - c) o instalație tehnologică căreia i s-a adăugat un dispozitiv de automatizare?
3. Un sistem de reglare automată cuprinde o dublă funcție, și anume:
 - a) comandă + semnalizare?
 - b) semnalizare + măsurare?
 - c) măsurare + comandă?
4. Caracteristica dinamică a unui element reprezintă dependența între mărimea de ieșire și cea de intrare:
 - a) în regim de suprasarcină?
 - b) în regim tranzitoriu?
 - c) în regim de avarie?

Capitolul 2 TRADUCTOARE

A. NOȚIUNI GENERALE

1. Introducere

În scopul măsurării mărimilor fizice ce intervin într-un proces tehnologic, este necesară de obicei convertirea („traducerea”) acestora în mărimi de altă natură fizică, care pot fi introduse cu ușurință într-un circuit de automatizare (de exemplu, o temperatură poate să influențeze un circuit de automatizare numai dacă este convertită — tradusă — într-o tensiune electrică proporțională sau dependentă de temperatura respectivă).

Elementul care permite convertirea („traducerea”) unei mărimi fizice — de obicei neelectrică — într-o altă mărime fizică — de obicei electrică — dependentă de prima, în scopul introducerii acesteia într-un circuit de automatizare se numește traductor.

În structura traductoarelor se întâlnesc, în general, o serie de subelemente constitutive, dintre care se vor analiza convertoarele și adaptoarele (v. par. B și C).

După cum va reieși din exemplele următoare, structura generală a traductoarelor este foarte diferită de la un tip de traductor la altul,

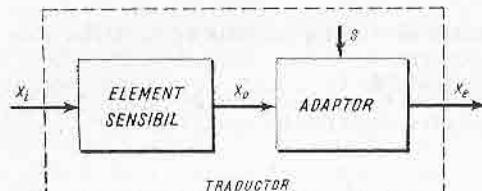


Fig. 2.1. Structura generală a unui traductor.

mentul sensibil într-o mărime intermediară X_0 (de obicei, deplasare liniară sau rotire), care este transformată în mărimea de ieșire X_e (de obicei, tensiune electrică, rezistență, inductanță, capacitate) aplicată circuitului de automatizare cu ajutorul unui adaptor.

De obicei, adaptorul cuprinde și sursa de energie S (fig. 2.1), care face posibilă convertirea mărimii X_0 în mărimea X_e .

2. Caracteristicile generale ale traductoarelor

La un traductor, mărimea de intrare X_i și cea de ieșire X_e sunt de natură diferită, însă sunt legate între ele prin relația generală de dependență:

$$X_e = f(X_i), \quad (2.1)$$

Care poate fi o funcție liniară sau neliniară, cu variații continue sau discrete (discrete).

Pe baza acestei relații de dependență se stabilesc următoarele caracteristici generale valabile pentru orice traductor:

- *natura fizică a mărimilor de intrare și de ieșire* (presiune, debit, temperatură, deplasare etc., respectiv rezistență electrică, curent, tensiune etc.);

- *puterea consumată la intrare și cea transmisă elementului următor (de sarcină)*. De obicei, puterea de intrare este relativ mică (cîțiva wați, miliwați sau chiar mai puțin) *, astfel încît elementul următor în schema de automatizare este aproape întotdeauna un amplificator;

- *caracteristica statică a traductorului*, care este reprezentarea grafică a relației (2.1) — (fig. 2.2);

* De exemplu, pentru acționarea unui electrometru electronic, în cazul măsurării pH-ului este suficientă o putere de 10^{-24} W.

cuprind unul, două sau mai multe convertoare conectate în serie. În majoritatea cazurilor, structura generală a unui traductor este cea din figura 2.1.

Mărimea de intrare X_i (de exemplu presiune, nivel, forță etc.), este convertită de elementul sensibil într-o mărime intermediară X_0 (de obicei, deplasare liniară sau rotire), care este transformată în mărimea de ieșire X_e (de obicei, tensiune electrică, rezistență, inductanță, capacitate) aplicată circuitului de automatizare cu ajutorul unui adaptor.

De obicei, adaptorul cuprinde și sursa de energie S (fig. 2.1), care face posibilă convertirea mărimii X_0 în mărimea X_e .

— *sensibilitatea absolută sau panta K_a* , care este raportul dintre variația mărimii de ieșire ΔX_e și a mărimii de intrare ΔX_i (fig. 2.2);

$$K_a = \frac{\Delta X_e}{\Delta X_i}; \quad (2.2)$$

— *panta medie (K_m)*, care se obține echivalând caracteristica statică cu o dreaptă având coeficientul unghiular:

$$K_m = \operatorname{tg} \alpha \cong K_a. \quad (2.3)$$

În acest caz, relația de traducere capătă forma:

$$X_e = K_m X_i + X_{e0}, \quad (2.4)$$

în care X_{e0} este valoarea de gol a mărimii de ieșire (ieșirea, cînd intrarea este nulă);

- *domeniul de măsurare*, definit de pragurile superioare, de sensibilitate $X_{i\max}$ și $X_{e\max}$ și de cele inferioare $X_{i\min}$ și $X_{e\min}$;

- *zona de insensibilitate*, cuprinsă între două curbe limite. Traducerea nu este riguros univocă, adică pentru o valoare X_i a mărimii de intrare corespunde o plajă de valori ΔX_e ale mărimii de ieșire. Zona de insensibilitate constituie o sursă de eroare și provine din cauza histerezisului magnetic sau mecanic (frecarea uscată), precum și a condițiilor de funcționare (temperatură, tensiune de alimentare, solicitări mecanice etc.);

- *eroarea absolută ΔX_{ea}* , adică diferența dintre valoarea reală a mărimii de ieșire și valoarea pentru care s-a făcut etalonarea;

- *eroarea relativă e* , adică raportul dintre eroarea absolută și valoarea mărimii de ieșire în punctul considerat;

$$e(\%) = \frac{\Delta X_{ea}}{X_e} \cdot 100. \quad (2.5)$$

3. Clasificarea traductoarelor

Întrucît circuitele de automatizare sunt în general de natură electrică, mărimea de ieșire a traductoarelor este aproape exclusiv de natură electrică.

Clasificarea traductoarelor poate fi făcută în funcție de natura mărimii de ieșire X_e sau în funcție de natura mărimii de intrare X_i .

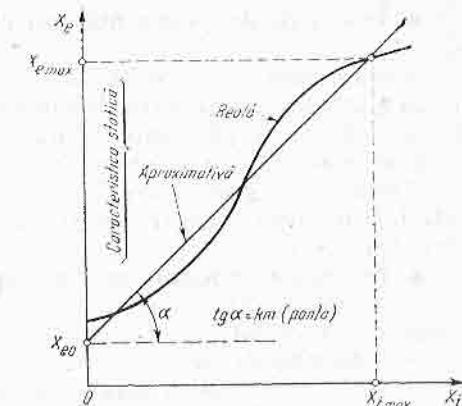


Fig. 2.2. Caracteristica statică a unui traductor.

- În funcție de natura mărimii electrice de la ieșire (X_i), se desegnă:

— traductoare parametrice, la care mărimea măsurată este transformată într-un „parametru de circuit electric” (rezistență, inductanță sau capacitate). Traductoarele parametrice se împart deci la rîndul lor în: *traductoare rezistive, traductoare inductive și traductoare capacitive*;

— traductoare generatoare, la care mărimea măsurată este transformată într-o tensiune electromotoare a cărei valoare depinde de valoarea mărimii respective.

- În funcție de natura mărimii aplicate la intrare (X_i), se disting:

— traductoare de mărimi neelectrice (temperatură, deplasare, debit, viteză, presiune etc.);

— traductoare de mărimi electrice (current, frecvență, putere, fază etc.).

○ **Notă.** În practică, traductoarele sunt definite pe baza ambelor criterii arătate mai sus (de exemplu, traductor parametric rezistiv de temperatură). În figura 2.3 se prezintă o schemă generală de clasificare a traductoarelor uzuale.

- În funcție de domeniul de variație al mărimii de ieșire, traductoarele se clasifică în:

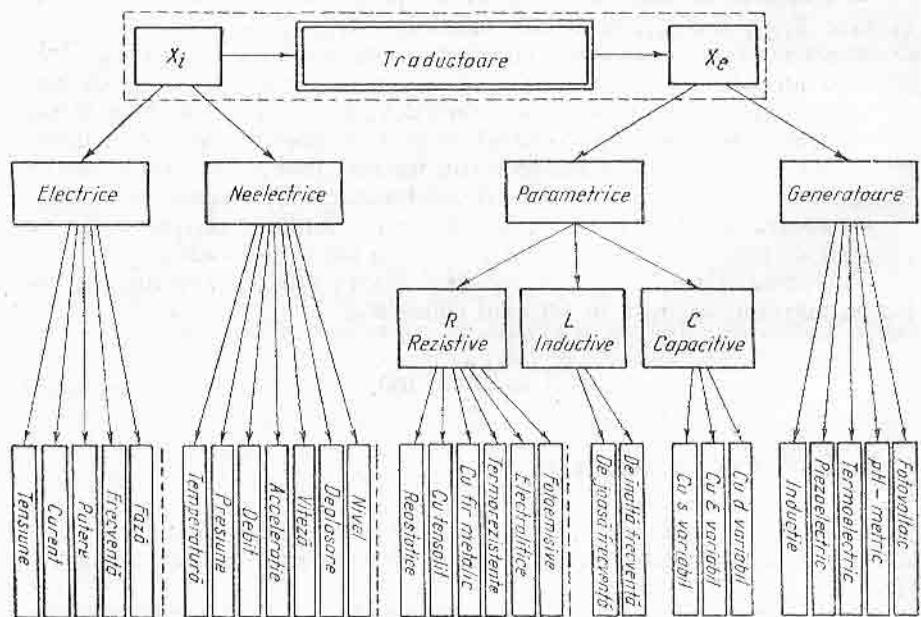


Fig. 2.3. Clasificarea traductoarelor.

- traductoare unificate — la care mărimea de ieșire reprezintă un semnal unificat electric (2—10 mA.c.c.), sau pneumatic (0,2—1 kgf/cm²);
- traductoare neunificate.

B. CONVERTOARE

1. Introducere

Elementele de automatizare, ca de altfel și multe alte elemente cunoscute în tehnica, cuprind în structura lor unul sau mai multe subelemente de „convertire”, adică de transformare a unei mărimi în altă mărime dependentă de aceasta.

Pentru înțelegerea noțiunii de convertire a mărimilor, în figura 2.4 se prezintă cîteva exemple de „convertoare” frecvent întâlnite în tehnica.

- **Termometrul cu lichid** (fig. 2.4, a). Temperatura θ produsă de o sursă de căldură S influențează volumul V al lichidului (dilatare) care, ridicîndu-se în tubul capilar T , produce modificarea lungimii l (scădere gradată). Deci temperatura θ este convertită într-un volum V , iar acesta — într-o lungime l :

$$\theta \rightarrow V; \quad V \rightarrow l, \quad \text{deci } \theta \rightarrow l. \quad (2.6)$$

În concluzie, se poate considera că un termometru cu lichid este un convertor cu ajutorul căruia o temperatură θ este convertită într-o lungime l prin două transformări (convertiri) intermediare.

- **Manometrul cu tub** (fig. 2.4, b). Presiunea P a unui fluid, acționând asupra secțiunii s și a coloanei de mercur, este convertită într-o forță $F(F = P \cdot s)$, iar aceasta echilibrează greutatea coloanei de mercur de lungime l . Adică:

$$P \rightarrow F; \quad F \rightarrow l \quad \text{deci } P \rightarrow l. \quad (2.7)$$

- **Divizor de tensiune** (fig. 2.4, c). Tensiunea U_0 este convertită în curentul I determinat de rezistență totală R_0 ($I = \frac{U_0}{R_0}$), iar acesta produce tensiunea U pe rezistență parțială R ($U = RI$):

$$U_0 \rightarrow I; \quad I \rightarrow U \quad \text{deci } U_0 \rightarrow U. \quad (2.8)$$

În automatică, noțiunea de convertor este atribuită unor subelemente realizate fie sub o formă independentă, fie incluse în structura unor elemente complexe (traductoare, regulatoare etc.) și care au, de exemplu,

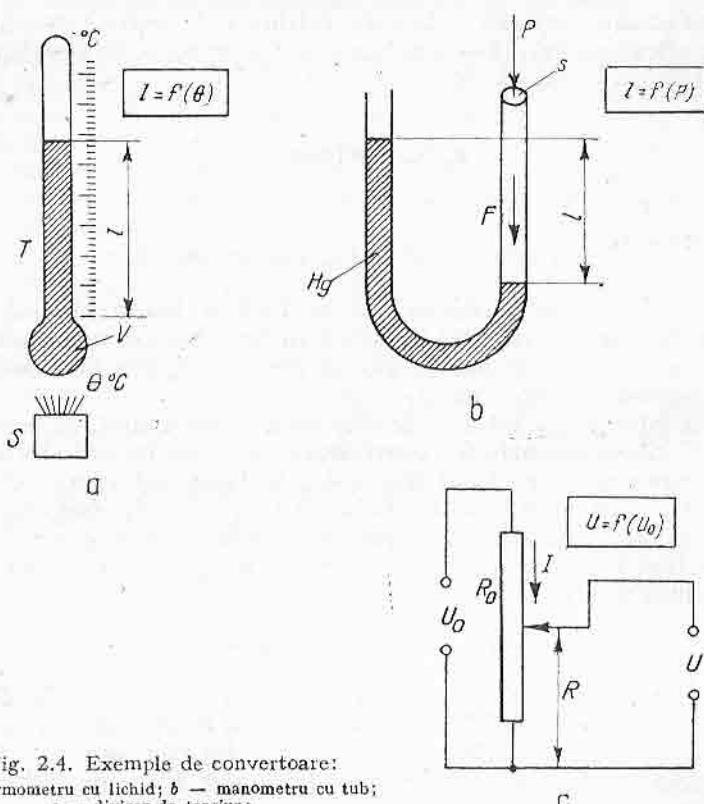


Fig. 2.4. Exemple de convertoare:
a — termometru cu lichid; b — manometru cu tub;
c — divizor de tensiune.

rolul de a transforma un semnal unificat electric într-un semnal unificat pneumatic (convertor electropneumatic) sau o mărime analogică într-o numerică (convertor analog-numeric) etc.

2. Convertor curent-presiune

Convertorul curent-presiune fabricat de IEA, având indicativul de fabricație ELA 104, în cadrul sistemului E, permite transformarea semnalului unificat electric (2—10 mA.c.c.) în semnal unificat pneumatic (0,2—1 kgf/cm²).

În structura acestuia intră **două elemente**, care asigură:
— convertire curent-deplasare (electromagnet polarizat);
— convertire deplasare-presiune (sistem duză-paletă).

Pentru o înțelegere ușoară vor fi descrise separat cele două convertoare constitutive.

● **Convertorul curent-deplasare.** Electromagnetul polarizat (fig. 2.5) este format din două miezuri identice M_1 și M_2 și o lamă L care oscilează în jurul punctului O , toate confectionate din material feromagnetic (otel moale), precum și din magnetii permanenți de polarizare P_1 și P_2 având polaritățile din figură. Lama L se găsește în interiorul unei bobine fixe B ale cărei spire sunt parcuse de curentul unificat i (mărimea de intrare x_i). Resortul R fixat la partea inferioară a lamei L este netensionat în poziția mediană a acesteia (fig. 2.5, a).

Dacă curentul este foarte mic, practic $i \approx 0$, asupra lamei mobile L acționează numai cîmpul de polarizare al magnetilor permanenti. Deoarece sistemul se află într-o poziție simetrică (întrefierurile $d_A = d_B = d_C = d_D$) iar fluxurile de polarizare Φ_p sunt egale, magnetii P_1 și P_2 fiind identici, forțele electromagnetice (nefigurate) sunt egale și sistemul rămîne în această poziție mediană (fig. 2.5, a).

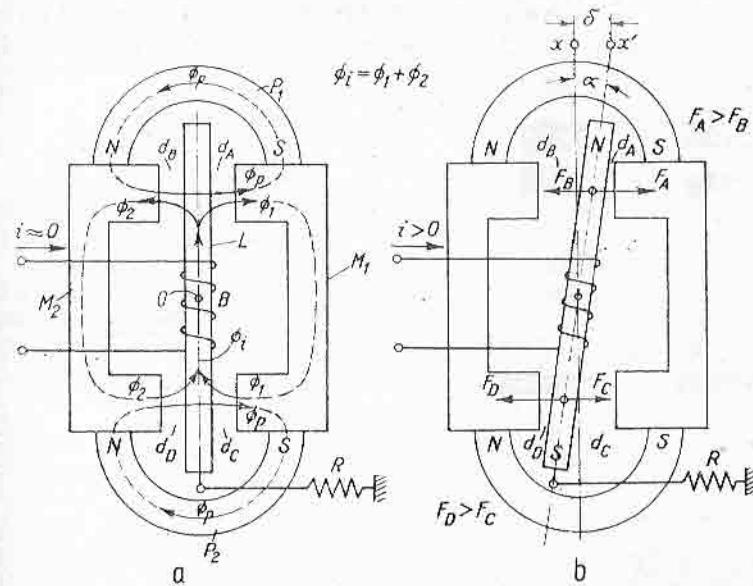


Fig. 2.5 Convertor curent-deplasare:
a — în poziție mediană ($i = 0$); b — în poziție de lucru ($i > 0$).

Dacă curentul i crește, având de exemplu o anumită polaritate, lama L devine un electromagnet având polaritatea indicată în figura 2.5, b.

Ca urmare, fluxul magnetic Φ_i produs de curentul i se va ramifica prin miezurile M_1 și M_2 sub forma unor fluxuri componente Φ_1 și Φ_2 , care în întrefierurile d_A și d_D se vor însuma ($\Phi_p + \Phi_1$), respectiv $\Phi_p + \Phi_2$, iar în întrefierurile d_B și d_C se vor scădea ($\Phi_p - \Phi_1$, respectiv $\Phi_p - \Phi_2$) — figura 2.5, a.

În consecință, lama L se va rota în sens orar sub influența forțelor $F_A - F_B$ ($F_A > F_B$) și $F_D - F_C$, care sunt funcție de fluxurile magnetice aferente. Exprimat într-un mod mai simplu, se poate spune că electromagnetul, căpătind polaritatea din figura 2.5, b (N sus și S jos) se va rota în sensul arătat mai înainte. Se ține seamă de faptul că polii de nume contrare se atrag (N cu S), iar cei de aceeași nume se resping (N cu N și S cu S).

Momentul activ al forțelor este echilibrat de momentul rezistent creat de resortul antagonist R , astfel că lama L ocupă o poziție bine definită, care se poate exprima prin unghiul α sau, ceea ce este tot același lucru, prin deplasarea unui punct de pe lama L din x în x' (fig. 2.5, b), unghiul sau deplasarea fiind proporțională cu curentul i .

● **Convertorul deplasare-presiune.** Sistemul duză-paletă (fig. 2.6, a) cuprinde o paletă obturatoare O , o duză D și un ajutaj A . Ajutajul este o strangulație (cu diametrul sub 0,5 mm) a secțiunii de trecere a aerului

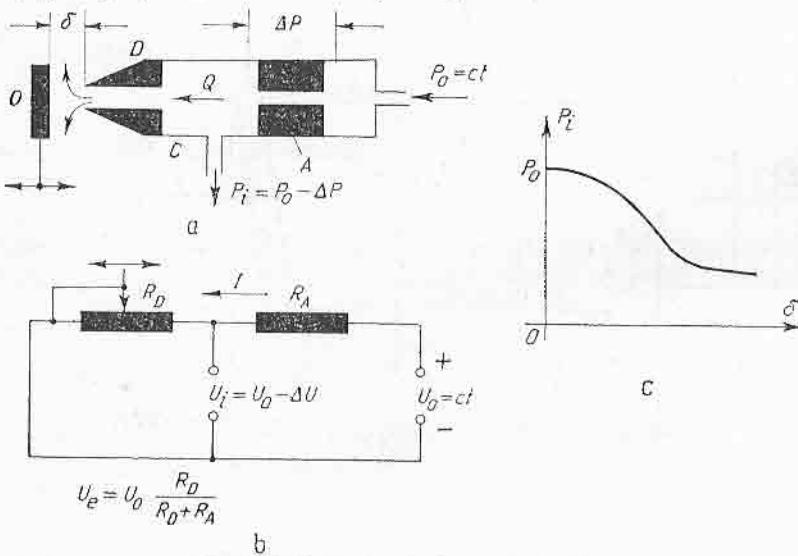


Fig. 2.6. Convertor deplasare-presiune:
a — sistemul duză-paletă; b — modelul electric al convertorului; c — caracteristica de convertire.

de la o sursă de aer comprimat de presiune constantă P_0 , prin duza D în atmosferă sau prin conducta C spre utilizare (presiunea P_i).

În calea debitului de aer Q care vine de la sursă (P_0) spre atmosferă, ajutajul A se comportă ca o rezistență pneumatică fixă, producând cădereea de presiune ΔP , iar duza D — ca o rezistență pneumatică variabilă ce depinde de gradul de obturare al duzei, adică de distanța δ între duză și obturatorul O . Modelul electric al acestui sistem pneumatic este prezentat în figura 2.6, b și el permite prin analogie o înțelegere mai ușoară a modului de funcționare al sistemului duză-paletă.

Cînd $\delta = 0$, paleta obturează complet duza și rezistența pneumatică de ieșire a aerului în atmosferă este infinită ($R_D = \infty$). Ca urmare, debitul de aer Q este nul ($I = 0$), cădereea de presiune ΔP este nulă ($\Delta U = 0$) și deci presiunea $P_i = P_0$ ($U_i = U_0$).

Cînd δ crește, rezistența pneumatică a duzei scade (R_D scade), debitul de aer Q crește (I crește); cădereea de presiune ΔP va crește (ΔU crește), deci presiunea remanentă P_i va scădea (U_i scade). Rezultă deci că la scăderea deplasării δ , presiunea P_i va crește.

Caracteristica de convertire a deplasării δ în presiunea P_i este prezentată în figura 2.6, c.

Convertorul curent-presiune tip ELA 104 este alcătuit din elementele descrise mai sus. El este prezentat într-o formă principală în figura 2.7.

Lama mobilă L a convertorului curent-deplasare este solidară cu obturatorul O al convertorului deplasare-presiune.

Conform celor arătate mai sus, cînd curentul i (mărimea de intrare x_i) va crește, obturatorul se va apropia de duză și presiunea P_i va crește.

Presiunea P_i este aplicată unui amplificator pneumatic de putere F (v. fig. 3.6) care scoate o presiune P_e (mărimea de ieșire x_e) de valoare unică (0,2–1 kgf/cm²).

Presiunea de ieșire P_e este aplicată și convertorului presiune-deplasare N (realizat sub formă unui burduf din alamă cu pereții ondulați), care asigură o „reație negativă” (v. fig. 3.3) — o legătură inversă de la ieșire la intrare — necesară îmbunătățirii funcționării convertorului curent-presiune.

C. ADAPTOARE

1. Introducere

Pentru realizarea unei anumite funcții de automatizare, elementele sistemelor automate se leagă între ele sub formă unor „lanțuri” sau „buclă”, astfel că mărimea de ieșire dintr-un element trebuie să fie egală cu cea de intrare în elementul următor și.a.m.d. Dacă această condiție nu

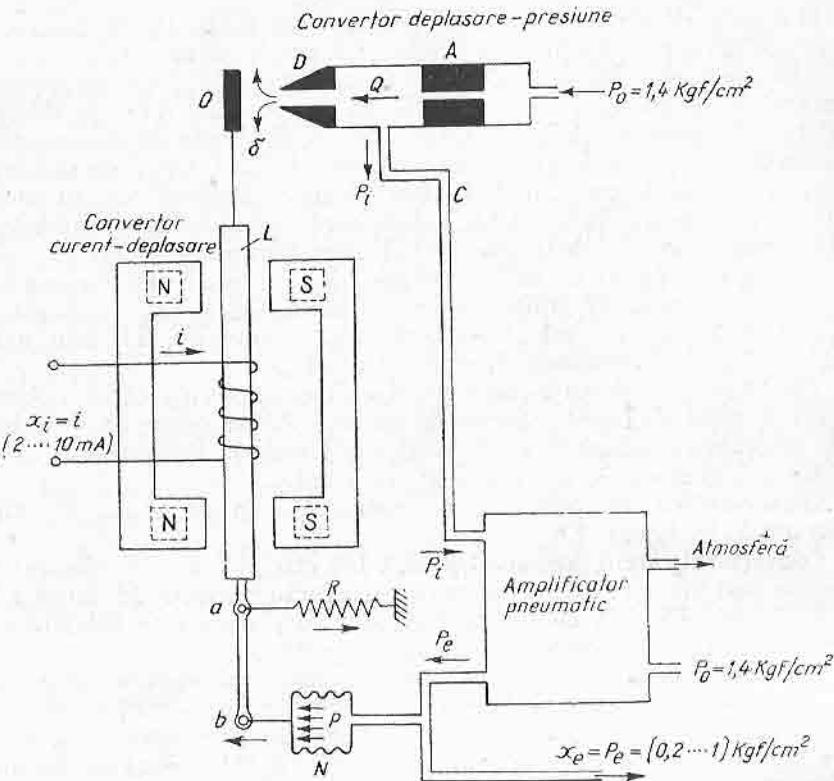


Fig. 2.5. Convertor curent-presiune tip ELA 104.

este îndeplinită, trebuie prevăzute elemente speciale numite *adaptoare*, care să „adapteze” elementele respective între ele.

Așadar, *adaptoarele* constituie o *clăsă specială de convertoare* care au rolul de a adapta între ele elemente aferente sistemelor automate.

În cazul particular al sistemelor unificate (de exemplu sistemul unificat E — IEA), *adaptoarele* au rolul de a converti o mărime de ieșire săracă într-un semnal unificat.

2. Adaptor deplasare-curent

Acest tip de adaptor este frecvent folosit în sistemul E (IEA), având indicativul de fabricație ELT 370 și fiind utilizat în construcția unor traductoare de presiune, de nivel, de debit etc.

Schema de principiu a adaptorului deplasare-curent este prezentată în figura 2.8.

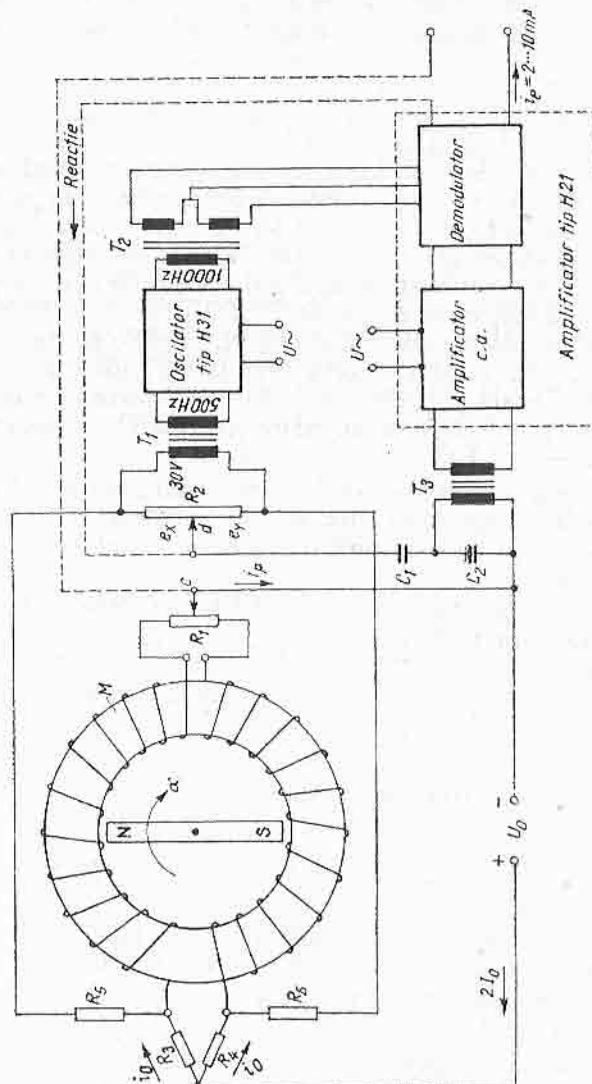


Fig. 2.8. Adaptor deplasare unghiulară-curent tip ELT 370.

Adaptorul deplasare-curent folosește principiul convertirii unei deplasări mecanice (rotire) într-un semnal alternativ a căruia amplitudine este proporțională cu unghiul de rotire α (fig. 2.8). În acest scop se folosește un modulator magnetic M având un element mobil de polarizare realizat sub forma unui magnet permanent $N-S$.

În poziția inițială — verticală — intrarea este nulă ($\alpha = 0$) miezul M este perfect simetric și deci curentul i_p este zero, caz în care la ieșire se obține $i_e = 2$ mA.c.c. („zero viu”).

Cind unghiul de intrare α crește, va crește proporțional și curentul i_p care este aplicat prin transformatorul de adaptare T_3 unui amplificator tip H21. Acesta din urmă este format dintr-un amplificator de c.a. și un demodulator la ieșirea căruia se obține semnalul unificat $i_e = 2 \dots 10$ mA corespunzător domeniului maxim de variație a unghiului, care în cazul adaptorului respectiv (ELT 370) este de 16° .

Un oscilator, de asemenea tipizat (IEA tip H 31), produce tensiunea de 500 Hz care, prin transformatorul de izolare T_1 alimentează modulatorul magnetic, precum și tensiunea de 1 000 Hz, care prin transformatorul T_2 asigură procesul de demodulare (redresare) din amplificatorul H 21 (v. cap. 3 — fig. 3.5).

Curentul de ieșire i_e este adus printr-un circuit „de reacție” (v. cap. 3, fig. 3.3) înapoi la ieșirea modulatorului, în punctele c și d (fig. 2.8 — indicat punctat), fapt care asigură o funcționare stabilă a adaptorului în ansamblul său.

Impedanța de ieșire a adaptorului tip ELT 370 este de $3\text{ k}\Omega$.

Adaptorul IEA tip ELT 310 folosit pentru deplasare liniară-curent este practic adaptorul ELT 370, la care s-a mai adăugat la intrare un convertor mecanic ce transformă mișcarea liniară în mișcare circulară.

3. Adaptor tensiune (rezistență)-curent

Aceste tipuri de adaptoare (fig. 2.9) fabricate de IEA sunt realizate în două variante constructive:

— *adaptoare tensiune-curent tip ELT 160* — folosite de obicei în construcția traductoarelor generatoare (v. par. D5, D6 și D7);

— *adaptoare rezistență-curent tip ELT 161* — folosite în construcția traductoarelor parametrice rezistive (v. par. D1).

În ambele cazuri, adaptorul comportă un *bloc de gamă* (fig. 2.10), care are rolul de a converti o mărime electrică — tensiune electrică U_g (fig. 2.10, a) sau rezistență electrică R_R (fig. 2.10, b) într-un curent continuu de valoare unificată $i = \pm \mu\text{A}$.

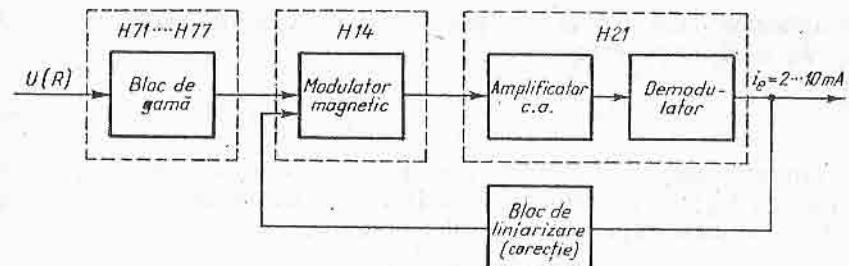


Fig. 2.9. Adaptor tensiune (rezistență)-curent tip ELT 160 (161).

În ambele cazuri, funcționarea are loc pe baza punții Wheatstone dezechilibrate, formate din rezistențele R_1 , R_2 , R_3 și R_4 .

• **Adaptoare tensiune-curent** (fig. 2.10, a). Blocul de gamă este alimentat cu tensiunea U_g de la elementul sensibil al unui „traductor generator” (v. cap. 2, par. D), care a produs convertirea mărimii măsurate într-o tensiune variabilă. Tensiunea U_{ab} de dezechilibru a punții depinde de tensiunea U , respectiv de tensiunea stabilizată U_s .

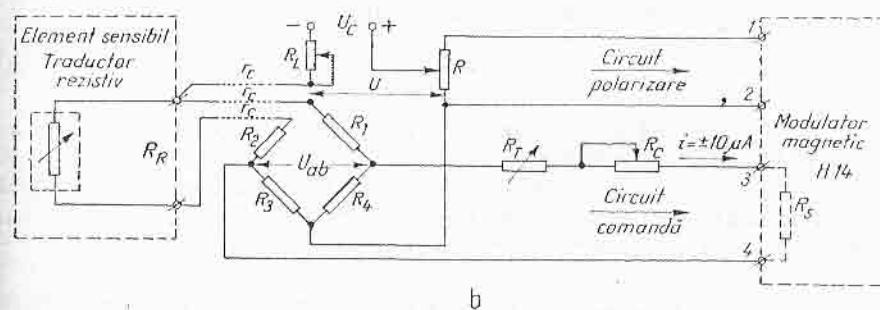
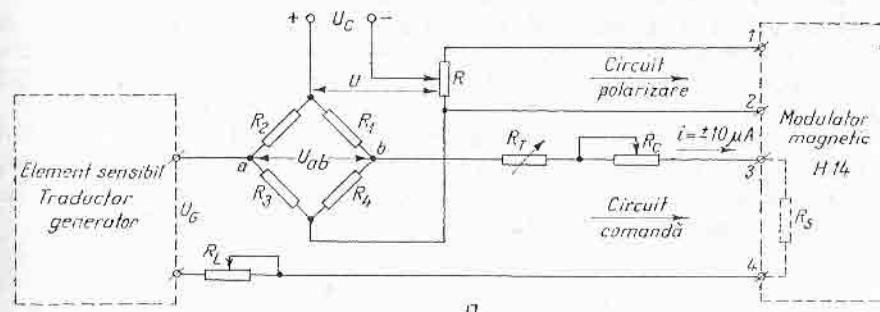


Fig. 2.10. Bloc de gamă:
a — pentru convertirea tensiunii; b — pentru convertirea rezistenței.

(stabilizator IEA tip H 55), precum și de valorile rezistențelor R_1 , R_2 , R_3 și R_4 după relația:

$$U_{ab} = U \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_2(R_1 + R_4) + R_3(R_1 + R_4)}. \quad (2.9)$$

Tinând seamă de faptul că tensiunea U_{ab} obținută de la punte și tensiunea U_g ; de la elementul sensibil al traductorului, sunt conectate în serie, rezultă expresia curentului de ieșire:

$$i = \frac{U_g + U_{ab}}{R_T + R_S + R_C + R_L}, \quad (2.10)$$

în care:

R_T este rezistența unui „termistor” (v. cap. 2, par. D.1) care compensează erorile de măsurare datorate variațiilor de temperatură ale mediului ambient;

R_S — rezistența de sarcină (rezistența de intrare a modulatorului magnetic);

R_C — rezistența de compensare * a sarcinii (ieșire);

R_L — rezistența de compensare * a liniei (intrare).

Prin alegerea convenabilă a valorilor rezistențelor R_1 , R_2 , R_3 și R_4 , se poate obține la ieșire același semnal standard $i = \pm 10 \mu\text{A}$ pentru diverse valori ale tensiunii U_g obținute de la elementul sensibil al traductorului.

• **Adaptoare rezistență-curent** (fig. 2.10, b). Ieșirea elementului sensibil (rezistența R_R) este conectată într-un braț al punții format din rezistența R_2 , rezistența cablului de legătură r_e și rezistența R_R . În acest caz, tensiunea de dezechilibru U_{ab} este dată de expresia:

$$U_{ab} = \frac{(R_1 + r_c) R_3 - (R_2 + r_e + R_R) R_4}{(R_2 + r_e + R_R)(R_1 + r_c + R_4) + R_3(R_1 + r_c + R_4)} U. \quad (2.11)$$

Rezultă implicit că valoarea curentului de ieșire:

$$i = \frac{U_{ab}}{R_T + R_C + R_S}, \quad (2.12)$$

(R_T , R_C și R_S având semnificațiile de mai sus) va depinde de valoarea R_R a rezistenței traductorului.

Ca și în cazul precedent, prin alegerea convenabilă a rezistențelor punții se poate obține la ieșirea blocului de gamă același semnal standard $i = \pm 10 \mu\text{A}$, pentru diverse valori ale rezistenței R_R .

* De exemplu, dacă rezistența calculată pentru elementul respectiv este de 20Ω , iar în realitate, pentru un anumit caz, rezistența este 14Ω , rezistența de „completare” până la 20Ω (6Ω) reprezintă rezistența de compensare.

Convertorul tensiune (rezistență) — curent cuprinde un sistem de amplificare a curentului continuu de la $i = \pm 10 \mu\text{A}$ la semnalul unificat $i_e = 2 \dots 10 \text{ mA.c.c.}$

Structura sistemului de amplificare electronic va fi prezentat în cadrul capitolului 3.

D. TIPURI DE TRADUCTOARE

1. Traductoare rezistive

Traductoarele rezistive sunt acelea care funcționează pe baza variației rezistenței unui rezistor în funcție de mărimea de măsurat, mărimea de ieșire fiind deci o rezistență electrică.

Mărimea de intrare produce modificarea unuia (sau a mai multora) dintre parametrii care intervin în relația:

$$R = \rho \frac{l}{s} [\Omega], \quad (2.13)$$

care dă valoarea rezistenței și în care:

ρ este rezistivitatea $[\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]$;

l — lungimea [m].

s — secțiunea [mm^2].

Din relația de mai sus se observă că rezistența R crește proporțional cu creșterea rezistivității ρ și a lungimii l și cu scăderea secțiunii s , adică:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta s}{s}. \quad (2.14)$$

a. Traductoare reostatice

Traductoarele reostatice sunt cele mai răspândite traductoare rezistive, fiind realizate sub formă unor reostate speciale al căror cursor este deplasat de mărimea de măsurat. Variația rezistenței se realizează deci prin varierea lungimii l a rezistorului (reostatului). Traductoarele reostatice se utilizează pentru măsurarea deplasării liniare d sau a altor mărimi care, la rândul lor, sunt transformate în deplasare.

Un traductor reostatic este prezentat schematic întocmai ca un reostat.

• În figura 2.11 se prezintă ca exemplu un traductor reostatic de presiune.

Presiunea de măsurat P este aplicată unui burduf metalic special B (capsulă manometrică), care reprezintă de fapt elementul sensibil al traductorului și care se deplasează în sus, pe măsură ce presiunea crește, deplasând prin tija T cursorul reostatului R . Așadar, rezistența R_x obținută între bornele c și a va crește odată cu creșterea presiunii. Pentru a pune în evidență variația rezistenței R , deci a presiunii P , se realizează un circuit electric ca cel din figură, și anume: rezistenței totale R_0 îi se aplică o tensiune constantă U_0 , iar voltmetrul V este legat „potențiometric” între bornele c și a (pe rezistența R_x). În consecință, voltmetrul V va indica tensiunea U_x , proporțională cu rezistența R_x , deci cu deplasarea d , care la rîndul său depinde de presiunea P . Scara voltmetrului este gradată direct în unități de măsură ale presiunii (atm).

b. Traductoare termorezistive

Traductoarele termorezistive, sau cum se mai numesc, *termorezistențele*, sunt rezistoare sensibile la temperatură, confectionate din materiale conductoare sau semiconductoare a căror rezistivitate ρ variază cu temperatura. Prin urmare, variația rezistenței se realizează de această dată prin variația rezistivității.

• **Termorezistențele conductoare (metalice)** sunt confectionate din metale pure, cum sunt: fierul, cuprul, nichelul sau platina, având coeeficientul de temperatură cuprins între $3,7 \cdot 10^{-3}$ și $6,5 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$. Aceasta înseamnă că la o creștere a temperaturii de 100°C rezistența materialului crește cu 37–65%.

Variația rezistenței metalelor în funcție de temperatură este liniară pentru temperaturi de 100 – 200°C , fiind exprimată prin relația:

$$R_t = R_0(1 + \alpha\Delta\theta), \quad (2.15)$$

în care:

R_t este valoarea finală a rezistenței (Ω);

R_0 — valoarea inițială a rezistenței (Ω);

$\Delta\theta$ — variația de temperatură ($^\circ\text{C}$);

α — sensibilitatea relativă, $1/^\circ\text{C}$.

• **Termorezistențele semiconductoare**, numite și *termistoare*, sunt confectionate prin presare din oxizi, carburile sau sulfurile unor metale ca: nichel, cupru, plumb, magneziu etc. Rezistivitatea acestor materiale este incomparabil mai mare decât cea a metalelor (de 10^{10} ... 10^{12} ori mai mare), însă, spre deosebire de metale, rezistența termistoarelor R_t scade cu creșterea temperaturii.

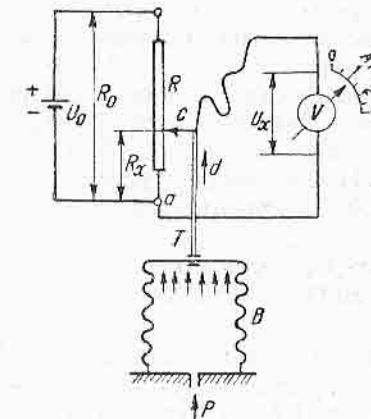


Fig. 2.11. Traductor reostatic de presiune.

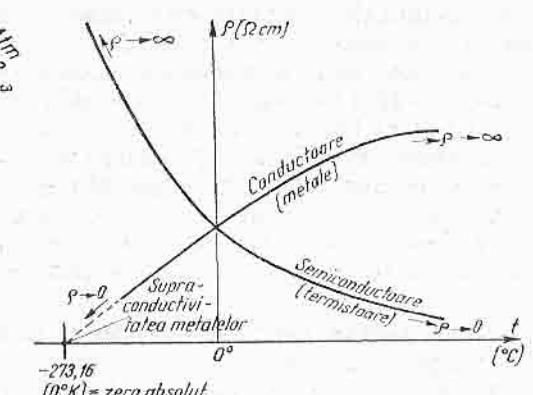


Fig. 2.12. Variația rezistivității termorezistențelor.

○ **Observație.** La 0K (zero absolut) rezistivitatea termistoarelor devine infinită, în timp ce rezistivitatea conductoarelor devine zero (fenomenul de „supraconducțivitate”).

În figura 2.12 este prezentată variația rezistenței unei termorezistențe conductoare și a unor semiconductoare în funcție de temperatură. În cazul termorezistențelor semiconductoare, variația este incomparabil mai mare decât în cazul termorezistențelor conductoare, mai ales în domeniul temperaturilor negative pe scara Celsius. Din acest motiv, termistoarele sunt folosite mai ales pentru măsurarea temperaturilor joase. De exemplu, pentru o încălzire de la 0°C la 100°C , o termorezistență dată, confectionată din cupru (conductor), își variază rezistența de la 100Ω la 140Ω , în timp ce alta din oxid cupros (cuproxid) — care este semiconductor — scade de la 100Ω la 5Ω .

Aceste proprietăți ale termorezistențelor (metalice sau semiconductoare) fac posibilă folosirea lor ca elemente sensibile în realizarea traductoarelor.

• **Termorezistențele folosite la termometre.** Termorezistențele termometrelor se construiesc fie din conductoare (metalice), fie din semiconductoare (termistoare). În ambele cazuri, curentul de măsurare I_0 se alege suficient de mic astfel ca să nu producă încălzirea acestora prin efect Joule-Lenz.

Rezistențele metalice se confectionează de obicei din sîrmă de cupru, nichel sau platină cu diametre de circa $0,1$ mm și de lungimi care să asigure rezistențe normale de 50 sau 100Ω .

Sîrma se bobinează pe carcase de mică, portelan sau cuarț și uneori, cînd mediul de măsurare este „agresiv” (atacă materialul termorezistenței), se introduc în tecni metalice de protecție.

Termometre cu termistoare au valori nominale cuprinse între $1\ 000\ \Omega$ și $200\ 000\ \Omega$ și sunt utilizate în special în domeniul temperaturilor negative pe scara Celsius, datorită sensibilității mari a acestora (v. fig. 2.12).

Termorezistențele de cupru fabricate la IEA se folosesc pentru măsurarea temperaturilor în domeniul $0 - 120^{\circ}\text{C}$ și prezintă în acest domeniu o variație liniară cu temperatura.

Termorezistențele de platină fabricate la IEA sunt utilizate pentru măsurarea temperaturilor cuprinse între -200°C și $+500^{\circ}\text{C}$.

Toate *termorezistențele* fabricate la IEA sunt utilizate ca traductoare de temperatură unificate (fig. 2.13) prin cuplarea lor cu adaptoare formate din blocuri de gamă (v. fig. 2.10) tip H 72 (o termorezistență) sau tip H 77 (două termorezistențe) și cu amplificator cu modulator tip ELT 160 (v. fig. 2.9). Se obține astfel la ieșire un semnal unificat $i = 2 \dots 10\ \text{mA}$, coresponzător domeniului de variație al temperaturii.

c. Traductoare electrolitice

Traductoarele electrolitice sunt de asemenea traductoare rezistive și permit măsurarea concentrației electroliticilor pe baza măsurării conductivității (rezisitivității) electricice a acestora.

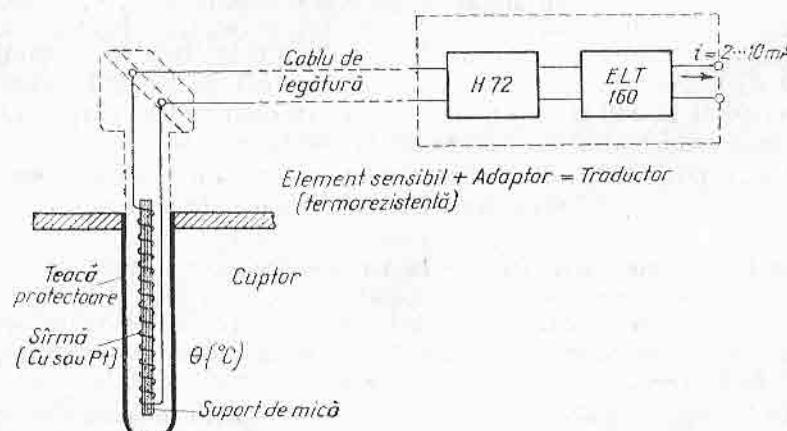


Fig. 2.13. Traductor termorezistiv de temperatură.

Elementul sensibil al unui traductor electrolitic este realizat în principiu sub forma a doi electrozi plan-paraleli E_1 și E_2 (fig. 2.14), asemănători unui condensator plan, printre care trece soluția a cărei concentrație c trebuie măsurată.

○ **Observație.** Întregul ansamblu constituie de fapt o rezistență lichidă de formă paralelipipedică de lungime l_0 (cm) și secțiune s_0 (cm^2).

Prin măsurarea rezistenței necunoscute R_x se măsoară implicit conductivitatea necunoscută $\sigma_x \left(\frac{1}{\Omega \cdot \text{cm}} \right)$:

$$R_x = \frac{1}{\sigma_x} \cdot \frac{l_0}{s_0}, \quad (2.16)$$

deci:

$$\sigma_x = \frac{1}{R_x} \cdot \frac{l_0}{s_0}. \quad (2.17)$$

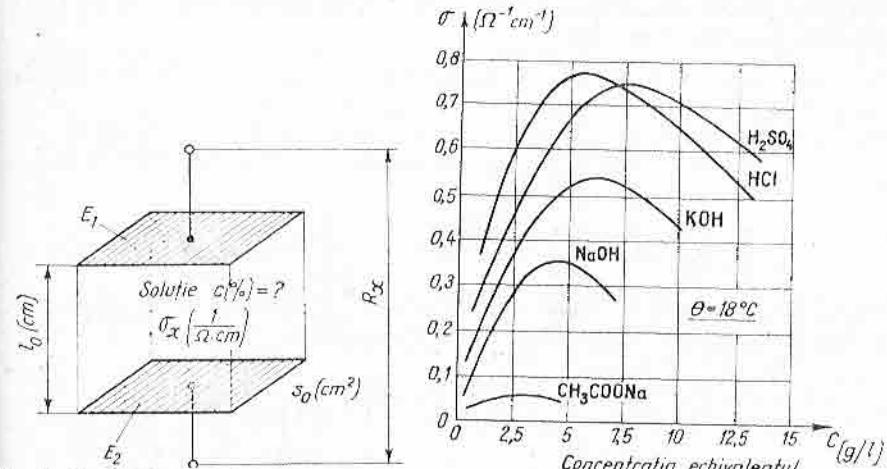
Deoarece conductivitatea σ_x depinde după o anumită lege de concentrația c a soluției:

$$\sigma_x = f_1(c), \quad (2.18)$$

relația devine:

$$R_x = f_2(c). \quad (2.19)$$

În figura 2.15 este prezentată dependența $\sigma = f(c)$ pentru diferite soluții (la temperatura $\theta = 18^{\circ}\text{C}$).



Traductorul electrolitic de concentrație (traductor electroconductometric) fabricat de IEA, tip W 16. ELT. 730 este destinat măsurării concentrației soluțiilor de acid sulfuric, de sodă caustică etc. Elementul sensibil W 16 este format dintr-o „celulă” de măsurare (fig. 2.16) având forma unui corp de vent il cu flanșe pentru a fi racordat în circuitul unei conducte.

În interiorul celulei se află doi electrozi de platină care determină împreună cu lichidul de analizat ce circulă prin conductă rezistența necunoscută R_x . Rezistența R_x inserată cu rezistența „de balast” r este alimentată în diagonala AB a unei punți Wheatstone dezechilibrate formate din rezistențele R_1 , R_2 , R_3 și R_e . Rezistența R_e este de fapt o termorezistență și este plasată chiar în soluție.

Puntea este alimentată în diagonala CD cu o tensiune constantă $U_0 = 1$ V la o frecvență de 4 kHz (oscilator). Tensiunea U_x care apare la bornele rezistenței R_x este dată de expresia:

$$U_x = \frac{U_{AB}}{r + R_x} \cdot R_x. \quad (2.20)$$

La temperatură constantă, termorezistența R_e are valoare constantă, puntea prezintă un anumit grad de dezechilibru și, deoarece U_0 este constant, rezultă că și U_{AB} este constant:

$$U_{AB} = U_0 \frac{R_2 R_e - R_1 R_3}{(R_1 + R_e)(R_2 + R_3)}. \quad (2.21)$$

Tinând seamă de relațiile (2.20) și (2.21), se poate deduce că la temperatură constantă rezultă:

$$U_x = f_3(R_x). \quad (2.22)$$

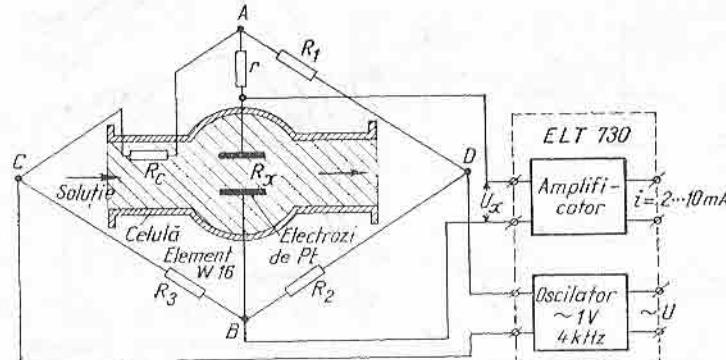


Fig. 2.16. Traductor electroconductometric.

Tensiunea U_x proporțională cu rezistența măsurată R_x este amplificată, fiind transformată în semnal unicat $i = 2 \dots 10$ mA.c.c. cu ajutorul adaptorului tip ELT 730 (care conține și oscilatorul).

În cazul în care concentrația soluției rămîne neschimbată însă i se modifică temperatura θ , conductivitatea σ_x se modifică în sensul că crește cu temperatură la o valoare σ'_x , după o lege liniară:

$$\sigma'_x = \sigma_x (1 + \gamma \cdot \Delta \theta), \quad (2.23)$$

în care $\Delta \theta$ este variația de temperatură față de situația anterioară;

γ — coeficientul de variație a conductivității.

Că urmare (în cazul creșterii temperaturii) R_x scade la o valoare R'_x ceea ce ar avea ca efect o scădere a tensiunii U_x , deci o eroare de măsurare. În acest caz intervine termorezistența „de compensare” R_e care crescind cu temperatura ($R'_e > R_e$) produce creșterea tensiunii U_{AB} ($U'_{AB} > U_{AB}$) — v. relația (2.21) — astfel că relația (2.20) devine:

$$U_x = \frac{U'_{AB}}{r + R'_x} \cdot R'_x = \text{constant}, \quad (2.24)$$

adică tensiunea U_x rămîne neschimbată dacă concentrația nu s-a modificat.

La IEA se mai fabrică și o altă variantă de element sensibil („detector electroconductometric”) numit W 44, realizat sub formă unei „sonde” (se poate introduce printr-un orificiu într-o conductă) prevăzută cu găuri, în interiorul căreia se află atât electrozi pentru constituirea rezistenței R_x , cât și rezistența de compensare R_e (fig. 2.17).

2. Traductoare inductive

Principial, un **traductor inductiv** este acela la care mărimea de măsurat este transformată într-o inductanță variabilă proporțională cu mărimea respectivă.

În categoria traductoarelor inductive se încadrează în special acele traductoare care folosesc adaptorul deplasare-curent IEA tip ELT 370 (v. fig. 2.8).

Se dau mai jos cîteva exemple de traductoare inductive tip IEA sau, mai bine spus, modul principal de realizare a unor elemente sensibile

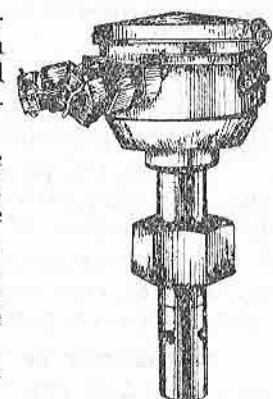


Fig. 2.17. Element sensibil electroconductometric tip W. 44.

care sunt folosite în combinație cu adaptorul deplasare-curent tip ELT 370.

• **Traductor de presiune cu tub Bourdon** (tip AT10). Elementul sensibil al traductorului de presiune este un tub Bourdon T (fig. 2.18, a) care sub acțiunea presiunii de măsurat P tinde să se îndrepte (poziția punctat).

Cu creșterea presiunii P aplicate, punctul a din capătul liber al tubului se îndepărtează (de exemplu în a'), astfel că prin intermediul bielei B manivela M este rotită în jurul punctului c cu unghiul α .

Rotirea este aplicată modulatorului magnetic din adaptorul ELT 370 (v. fig. 2.8), care produce la ieșire semnalul unificat $i = 2 \dots 10 \text{ mA}$ proporțional cu presiunea P .

• **Traductor de presiune cu membrană de separație**. În cazul în care fluidul de măsurat conține impurități care s-ar depune înfundind tubul Bourdon, se folosește un traductor cu membrană de separație tip MS 100. Acest element suplimentar este format dintr-o capsulă manometrică C (fig. 2.18, b) prevăzută cu membrana elastică S . Presiunea de măsurat P se aplică în acest caz la orificiul O_3 și acționând asupra membranei elastice comprimă lichidul de separare din cealaltă parte, care de obicei este ulei. Orificiul O_2 al capsulei fiind racordat printr-un tub la orificiul O_1 al tubului Bourdon (fig. 2.18, a), presiunea respectivă este transmisă indirect elementului sensibil descris în paragraful precedent, funcționarea având loc aşa cum s-a arătat. Traductorul

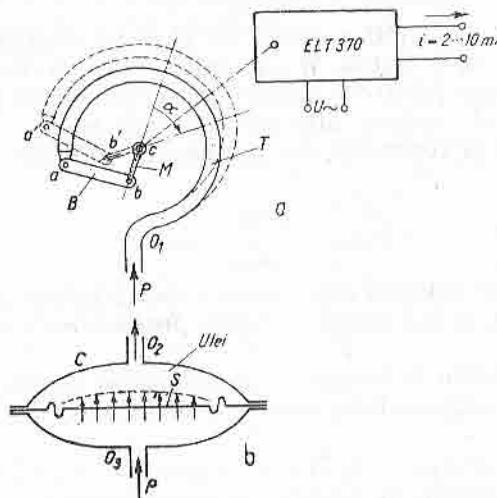


Fig. 2.18. Traductor de presiune cu tub Bourdon:
a — schema funcțională; b — membrană de separație.

cu membrană de separație tip IEA poartă indicativul AT 10 ELT 370 MS 100.

• **Traductor de presiune cu capsulă**. Acest traductor, numit AT 20 ELT 370, cuprinde un element sensibil realizat sub formă unei capsule C (fig. 2.19) cu peretei din tablă subțire ondulată. Partea posterioară fiind rigidizată prin discul metalic D , fluidul introdus la presiunea P deformează peretele anterior al capsulei acționând asupra brațului B . Brațul respectiv, asupra căruia acționează și resortul antagonist R , transformă deplasarea liniară a capsulei într-o rotere α a axului A . Solidar cu acest ax, al cărui unghi α ($\alpha = 0 \dots 16^\circ$) este proporțional cu presiunea P , se află rotorul modulatorului magnetic din adaptorul ELT 370 care produce în final un semnal unificat $i = 2 \dots 10 \text{ mA}$.

Traductorul este folosit pentru măsurarea presiunilor mici ($0 \dots 1 \text{ kgf/cm}^2$).

• **Traductor de presiune diferențială cu burdufuri**. Elementul sensibil al traductorului este format dintr-o capsulă închisă M (fig. 2.20, a) în care, prin peretele de separare D , se creează două compartimente C_1 și C_2 , alimentate cu presiunile P_1 , respectiv P_2 . Cele două presiuni, a căror diferență ($\Delta P = P_1 - P_2$) trebuie măsurată, acționează asupra unor burdufuri B_1 și B_2 rigidizate între ele prin tija T și care sprijinindu-se fiecare pe peretele despărțitor acționează ca niște resoarte spirale la deplasarea lor (B_1 se comprimă, iar B_2 se întinde). Cele două burdufuri fiind identice, forța rezultantă ΔF creată de cele două presiuni va fi proporțională cu diferența presiunilor respective:

$$\Delta F = F_1 - F_2 = S(P_1 - P_2) = S \cdot \Delta P, \quad (2.25)$$

în care:

S este suprafața burdufurilor;

F_1, F_2 — forțele produse de presiuni asupra burdufurilor.

În acest fel, deplasarea longitudinală d a tijei va fi proporțională cu forța ΔF , deci cu presiunea diferențială ΔP .

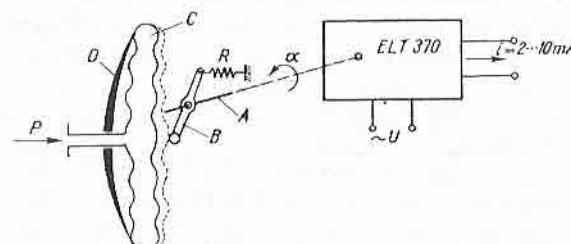


Fig. 2.19. Traductor de presiune cu capsulă.

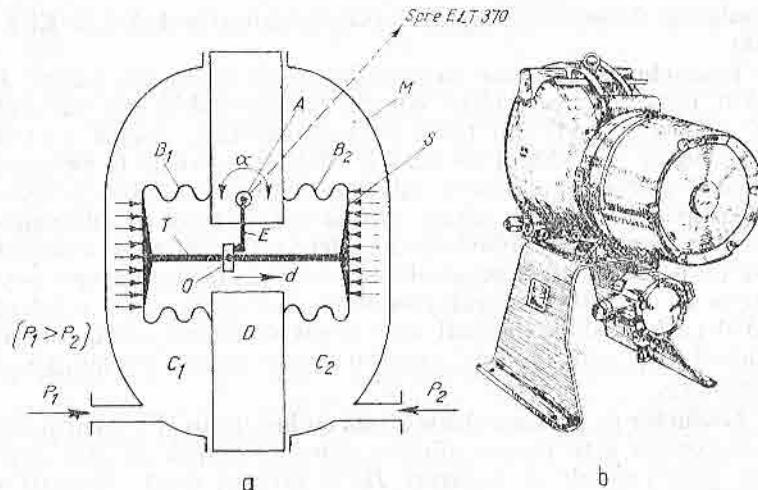


Fig. 2.20. Traductor de presiune diferențială tip AT 30 – ELT 370;
a – schema funcțională; b – aspectul exterior.

Tija T , prevăzută cu opritorul reglabil O , acționează asupra manivelei rotind axul A cu unghiul α . În acest mod se transformă deplasarea d (proporțională cu ΔP) într-un unghi α și, deoarece axul A este solidar cu modulatorul magnetic din adaptorul ELT 370, se obține un semnal unificat $i = 2 \dots 10$ mA.c.c. proporțional cu diferența presiunilor. În figura 2.20, b este prezentat aspectul exterior al acestui traductor, denumit AT 30 ELT 370,

• Traductor de nivel cu plutitor. La traductorul de nivel cu plutitor tip AT 50 ELT 370, elementul sensibil tip AT 50 este format dintr-un vas cilindric V (fig. 2.21, a), racordat la rezervorul cu lichid al cărui nivel H trebuie măsurat. În interiorul vasului se află plutitorul P (imersor) suspendat de un resort R și articulat cu brațul B (manivelă) solidar cu axul de rotație A . Variațiile nivelului H produc deplasarea d a plutitorului, deci rotația cu unghiul α a axului A . Mișcarea de rotație α este transmisă adaptorului ELT 370 și se obține un semnal unificat $i = 2 \dots 10$ mA.c.c. proporțional cu nivelul H .

○ Observație. Variația deplasării $d(\Delta d)$ a imersorului este mai mică decât variația nivelului de lichid (ΔH), datorită existenței resortului antagonist R . În adevăr, pe măsură ce nivelul H coboară, resortul antagonist R se întinde și, mărinindu-și forța de suspensie, face ca imersorul P să iasă mai mult afară din lichid (fig. 2.21, b) — și „pierde” mai puțin din greutate.

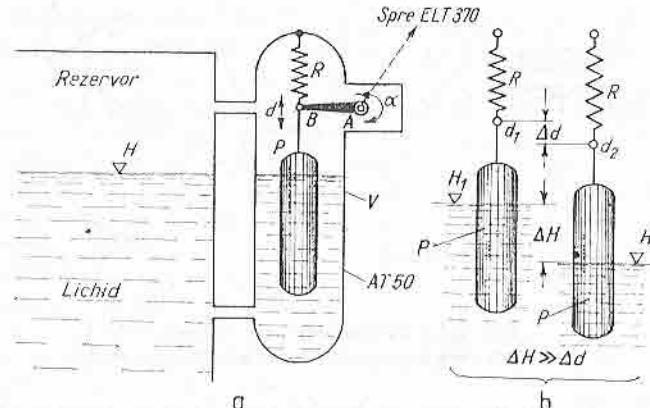


Fig. 2.21. Traductor de nivel cu plutitor tip AT 50 ELT 370.

3. Traductoare capacitive

Funcționarea traductoarelor parametrice capacitive se bazează pe variația capacității unor condensatoare speciale de diverse forme, sub influența unei mărimi de măsurat.

Indiferent de tipul de element sensibil folosit, capacitatea variabilă C_x obținută se introduce într-un circuit de măsurare, ca de exemplu într-o puncte de capacitate sau, în cazul general, se leagă la un convertor (adaptor) capacitate-current (tensiune).

În cazul cel mai simplu, capacitatea se leagă în serie cu un ampermetru A (fig. 2.22) alimentat de o tensiune alternativă U_x . Neglijind rezistența circuitului, valoarea curentului I_x din circuit va fi:

$$I_x = C_x \omega U_x \quad (2.26)$$

unde ω este pulsăția tensiunii alternative.

În cele ce urmează vor fi definite ca traductoare capacitive numai elementele sensibile ale traductoarelor respective (de exemplu, deplasare-capacitate), convertirea capacitate-current fiind o problemă simplă de electrotehnică.

Evidențierea capacității variabile va fi indicată prin notația C_x la bornele la care se obține capacitatea respectivă.

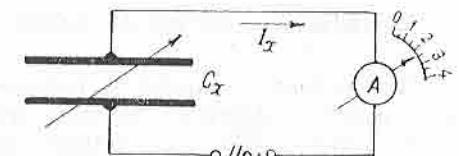


Fig. 2.22. Schema de măsurare cu traductor capacativ.

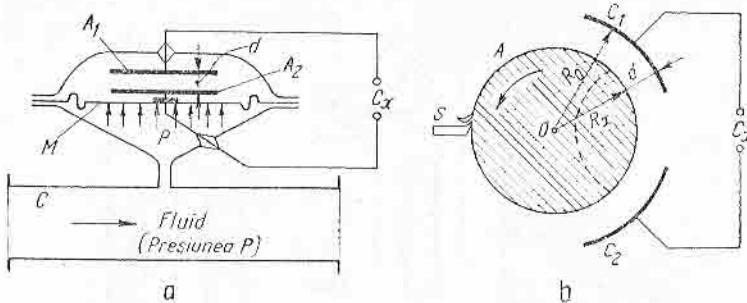


Fig. 2.23. Traductoare capacitive:
a – pentru măsurarea presiunii; b – pentru măsurarea diametrului.

În figura 2.23 sunt prezentate două tipuri de elemente sensibile folosite în construcția traductoarelor capacitive.

• Astfel, **traductorul pentru măsurarea presiunii** P (fig. 2.23, a) a unui fluid din conducta C cuprinde armătura fixă A_1 și armătura mobilă A_2 solidară cu membrana elastică M . Când presiunea P crește, distanța d între armături scade, deci capacitatea C_x crește, dependentă de presiunea respectivă.

• În figura 2.23, b se prezintă elementul sensibil al unui traductor capacativ pentru măsurarea diametrelor axelor care se prelucrează prin strunjire. Acesta cuprinde două armături curbe C_1 și C_2 , având raza de curbură R_0 și centrul de curbură în centrul O al axului A , care se rotește fiind strunjit de cuțitul S .

Notind cu R_x raza axului, rezultă că distanța d ($d = R_0 - R_x$) crește odată cu scăderea diametrului $2R_x$ al axului de prelucrat. Valoarea capacității C_x este determinată de cele două capacități formate din armăturile C_1 și C_2 inseriate prin axul A . Deoarece cu ajutorul acestui tip de traductor se poate măsura („controla”) diametrul piesei chiar în timpul prelucrării, acest sistem mai poartă numele și de „control activ” al diametrului axului A .

4. Traductoare de radiații infraroșii

Traductoarele respective, numite și *traductoare pirometrice* sunt folosite pentru măsurarea temperaturilor mari (600 – $2\,000^\circ\text{C}$) ale unor corpi, fără contact direct între elementul sensibil și corp.

Elementul sensibil al traductorului pirometric de radiație totală tip K 42 sau K 56 fabricat la IEA funcționează pe baza dependenței

dintre temperatura absolută T (în grade Kelvin) a unui corp încălzit și energia totală E_r radiată pe toate lungimile de undă:

$$E_r = KT^4, \quad (2.27)$$

în care K este o constantă ce depinde de natura corpului încălzit.

Elementul sensibil este constituit dintr-o cutie A (fig. 2.24, a) fixată de exemplu în peretele B al unui cuptor de topit metal, care cuprinde niște plăcuțe P din platină înnegrită (reprezentând corpul „negru absolut” – care absoarbe toate radiațiile incidente).

Pe aceste plăcuțe sunt fixate „termocupluri” E de tipul cromel-constantan (v. cap. 2, par. 6) care dau la ieșire o tensiune U proporțională cu temperatura la care sunt încălzite.

Un sistem de lentile L concentrează pe plăcuțele P radiația calorică R emisă de corpul C (metalul topit), care este încălzit la temperatură T .

Așadar, tensiunea U obținută la ieșirea elementului sensibil (pirometru) este dependentă de temperatura T .

Traductorul pirometric conține și adaptorul IEA tip ELT 161, care transformă tensiunea U în semnal unificat de curent $i = 2 \dots 10 \text{ mA.c.c}$ corespunzător diverselor domenii de măsurare a temperaturii: 600 – $1\,400^\circ\text{C}$; 700 – $1\,500^\circ\text{C}$; 700 – $1\,600^\circ\text{C}$; 800 – $1\,700^\circ\text{C}$ și $1\,000$ – $2\,000^\circ\text{C}$.

În figura 2.24, b este prezentat aspectul exterior al pirometruului de radiație totală tip K 42 (IEA).

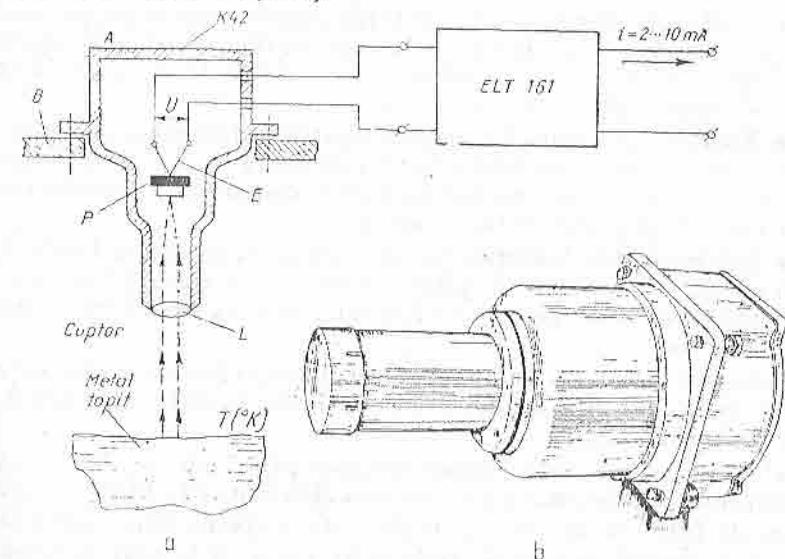


Fig. 2.24. Traductor de radiații infraroșii:
a – schema funcțională; b – aspectul exterior al pirometru tip K 42.

5. Traductoare de inducție

○ **Traductoarele de inducție** fac parte din categoria *traductoarelor generatoare*, adică transformă mărimea de măsurat direct într-o tensiune electrică (current electric), fără a mai fi nevoie de o sursă ajutătoare.

Aceste tipuri de traductoare se bazează pe transformarea mărimii de măsurat, care este o deplasare, viteză sau accelerație, într-o tensiune electromotoare de inducție.

Tensiunea produsă de traductor este aplicată unui aparat. Acesta poate fi, în principiu, un voltmetru, a cărui indicație este proporțională cu viteza (mărimea) de măsurat. Așa cum se va arăta în capitolul următor, mărimea obținută de la traductor este necesară nu numai pentru măsurare, ci și pentru comandă, reglare etc.; de aceea, în locul voltmetrului se poate găsi rezistență electrică a unui alt element, de exemplu „rezistență de intrare” a unui amplificator sau a unui adaptor. În acest caz, mărimea produsă de traductor poate — în urma diverselor transformări (amplificare, comparare cu altă mărime etc.) — să influențeze procesul tehnologic.

Rezistența electrică R_s pe care debitează traductorul (rezistența de sarcină) poate deci să capete o semnificație diferită, după scopul propus pentru traductor.

În mod asemănător, și pentru traductoarele expuse în paragrafele anterioare, unde pentru o înțelegere mai ușoară s-au indicat aparatelor de măsurare (voltmetre sau ampermetre), putea fi prevăzut la ieșire simbolul general de rezistență de sarcină R_s .

● **Traductorul tahometric.** Dintre tipurile de traductoare de inducție, cel mai des folosit este traductorul tahometric sau *tahogeneratorul*, care este de fapt un mic generator electric, construit atât pentru curent alternativ, cât și pentru curent continuu.

● **Debitmetrul de inducție.** Se folosește la măsurarea debitului unui lichid conductor care circulă printr-o conductă izolată, lichid care de obicei este coroziv (de exemplu acid) și care, deci, nu poate veni în contact cu piese metalice.

Elementul sensibil se compune dintr-un corp cilindric C din material izolant, prin care circulă moleculele de lichid (notate cu semnul \oplus) cu viteza v (fig. 2.25).

Într-o secțiune (zonă) a conductei este plasat un electromagnet M cu o înfășurare S alimentată cu tensiunea alternativă U . Fluxul magnetic produs de inducția magnetică B străbate perpendicular conductă și, datorită deplasării lichidului, induce în masa lichidului o tensiune electromotoare e care este culeasă pe electrozi e_1 și e_2 .

○ **Observație.** Tensiunea obținută, conform legii inducției* (Lenz) este proporțională cu viteza v și rezultă perpendicular pe direcția cimpului magnetic (legea măinii drepte).

Se poate scrie:

$$e = k \cdot v, \quad (2.28)$$

în care k este un factor de proporționalitate.

Deoarece debitul D de lichid este proporțional cu viteza, rezultă că tensiunea e este proporțională și cu debitul D :

$$e = k' \cdot D. \quad (2.29)$$

Prin integrarea într-un anumit timp a tensiunii e se obține o mărime proporțională cu debitul total scurs prin conductă în timpul respectiv.

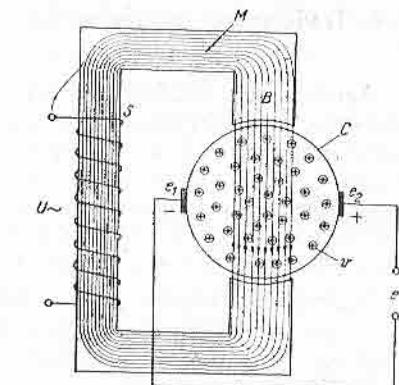


Fig. 2.25. Debitmetru de inducție.

Industria românească (IEA) fabrică un asemenea element sensibil denumit și „detector electromagnetic de debit”** tip FL 281 S, a cărui vedere de ansamblu este prezentată în figura 2.26. Acesta constituie împreună cu adaptorul tip ELT 530 un traductor de debit care produce la ieșire semnal unificat (2—10 mA.c.c.).

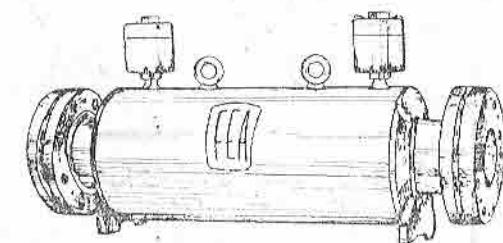


Fig. 2.26. Debitmetru tip FL 281 S.

* Tensiunea electromotoare e indușă în elementul de lungime l ce se deplasează cu viteza v în cimpul de inducție B este: $e = B \cdot l \cdot v$.

** După părerea autorului mai corect spus este „de inducție” conform principiului arătat.

6. Traductoare termoelectrice

Acestea sunt traductoare generatoare a căror funcționare se bazează pe tensiunea electromotoare (numită tensiune termoelectromotoare) care apare în punctul de sudare (joncțiune) a două materiale diferite supuse încălzirii. Această tensiune, care este proporțională cu temperatura măsurată, poate fi pusă în evidență, de exemplu, cu ajutorul milivoltmetrului mV (fig. 2.27, a). Circuitul format din cele două conductoare (termoelectrozi) poartă și numele de *termocuplu*.

Materialele folosite pentru confectionarea termocuplurilor sunt:

- pentru temperaturi pînă la 1100°C — metale și aliaje obișnuite ca: fierul, cuprul, constantanul, cromelul (90% Ni + 10% Cr), alumelul (95% Ni + procente de Mn, Al, Si, Fe), copelul (56% Cu + 44% Ni), cromul etc.;

- pentru temperaturi cuprinse între 1100 și 1600°C — metale nobile ca aurul, argintul, platina, iridiul etc.;

- pentru temperaturi ce depășesc 1600°C — materiale greu fuzibile (refractare) cum sunt: wolframul, molibdenul, carbura de siliciu etc.

Tensiunile termoelectromotoare obținute de la termocupluri sunt de obicei cuprinse între 5 și 50 mV .

Industria românească (IEA) fabrică o mare varietate de termocupluri, din diverse materiale și pentru mai multe game de temperatură.

În figura 2.27, b este prezentat aspectul exterior al unui termocuplu fabricat la IEA.

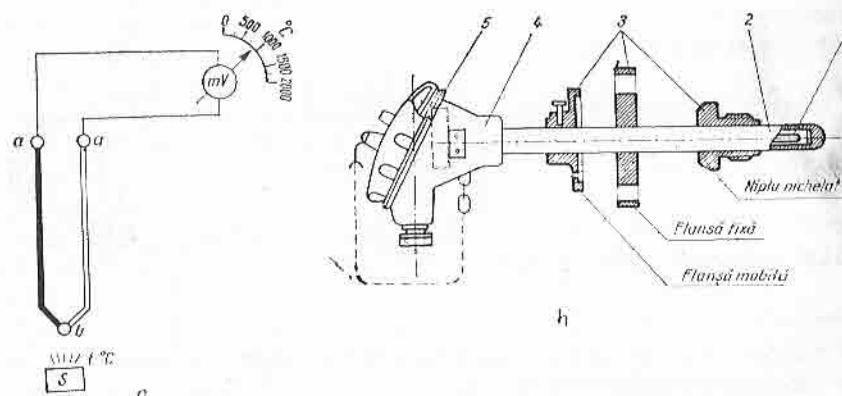


Fig. 2.27. Termocuplu:
a — schema funcțională; b — aspectul exterior.

Termocuplurile descrise mai sus sunt folosite în combinație cu blocurile de gamă H71, H73 sau H76 și cu adaptoarele ELT 160 sau ELT 161 (fig. 2.9 și 2.10), constituind astfel diverse traductoare de temperatură cu semnal de ieșire unificat ($2-10\text{ mA.c.c.}$).

7. Traductoare pH-metrice

În procesele de producție cu caracter chimic (industria alimentară, chimie, celuloză, hîrtie, petrol etc.) interesează determinarea gradului de aciditate sau alcalinitate al soluțiilor (pH -ul).

Pentru determinarea pH -ului se utilizează metode electrometrice bazate pe faptul că între un metal cufundat într-o soluție care conține ionii metalului și soluția respectivă apare o diferență de potențial E . Această tensiune electrică E depinde de concentrația activă c a ionilor de metal și de temperatura absolută T (K).

Se definește ca pH -ul unei soluții logaritmul zecimal al concentrației ionilor de hidrogen considerat cu semnul minus:

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \log c_H^+ \quad (2.30)$$

Similar se poate defini un indicator corespunzător ionilor de oxhidril:

$$\text{pOH} = -\log c_{OH^-} \quad (2.31)$$

Pentru apă pură (neutră), cele două mărimi sunt egale și anume:

$$\text{pH} = \text{pOH} = 7. \quad (2.32)$$

Prin adăugarea unui acid în apă, concentrația ionilor de hidrogen crește, deci pH -ul crește:

SOLUȚIE ACIDĂ: $7 < \text{pH} < 14$

Idem, prin adăugarea unei baze (soluție alcalină) concentrația ionilor de hidrogen scade:

SOLUȚIE BAZICĂ: $0 < \text{pH} < 7$

Pentru un acid pur (100%) rezultă $\text{pH} = 14$, iar pentru o bază pură (100%) $\text{pH} = 0$.

Determinarea valorii pH se face cu un element sensibil format din doi electrozi introdusi într-un vas conținând lichidul de analizat.

Între fiecare electrod și lichid, deci între cei doi electrozi, va rezulta o tensiune U dependentă de pH .

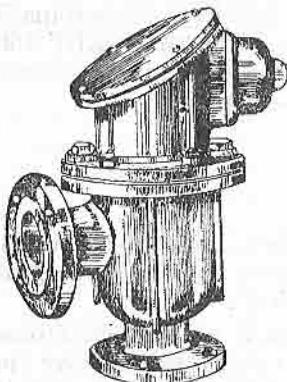


Fig. 2.28. Elementul sensibil (detectorul) de pH tip W 63.

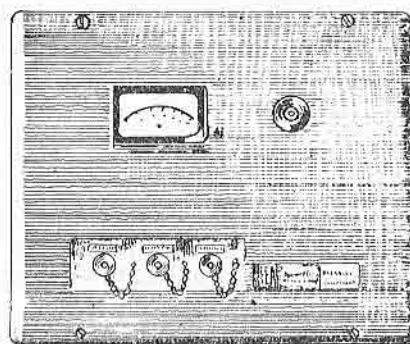


Fig. 2.29. Adaptorul ELT 630 pentru pH-metru.

În țara noastră se fabrică traductoare pH-metrice (IEA), ca de exemplu tipurile care folosesc elemente sensibile W 62 și W 63. *Tipul W 62* folosește pentru măsurări discontinue prin imersie (cufundare într-o cantitate de soluție), iar *tipul W 63* permite măsurarea pH-ului în flux continuu, situație în care el se montează în circuitul unei conducte.

În figura 2.28 este prezentat aspectul exterior al elementului sensibil W 63, iar în figura 2.29 — adaptorul ELT 630 care constituie împreună traductorul pH-metric.

REZUMAT

- Elementele de automatizare care transformă o mărime oarecare (temperatură, presiune etc.) într-o mărime electrică se numesc *traductoare*.
- În structura traductoarelor intră unul sau mai multe *convertoare* (elemente sensibile), precum și *adaptoare* care permit obținerea la ieșire a unor valori dorite sau unificate (de exemplu: semnalul de curent unificat: 2–10 mA.c.c. sau de presiune unificată: 0,2–1 kgf/cm²).
- Traductoarele se clasifică în funcție de mărimea electrică de la ieșire (traductoare parametrice sau generatoare) precum și în funcție de mărimea de la intrare „tradusă” (traductoare de deplasare, de viteză, de debit, de presiune etc.).*
- Traductoarele se folosesc în schemele de automatiză pentru măsurarea și prelucrarea pe cale electrică (de exemplu folosind un voltmetru sau amperméttru) a unor mărimi neelectrice.*
- Industria românească (IEA) realizează o gamă variată de traductoare în cadrul sistemului unificat „E”, folosind diverse elemente sensibile însă cu un număr redus de adaptoare, care asigură la ieșire semnal unificat de curent $i = 2 \dots 10$ mA.c.c.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

- Funcționarea traductoarelor parametrice inductive se bazează pe:
 - legea inducției electromagnetice?
 - variația reluctanței circuitului magnetic?
 - modificarea curentului electric ce străbate traductorul?
- Unele tipuri de traductoare se numesc generatoare deoarece:
 - necesită o sursă de energie în circuitul de ieșire?
 - sunt folosite ca generatoare de energie (putere) electrică?
 - mărimea de ieșire este un curent sau o tensiune electrică?
- Traductoarele IEA din sistemul unificat E prezintă în structura lor:
 - elemente sensibile de semnal unificat?
 - adaptoare cu semnal de ieșire unificat?
 - aceleași tipuri de convertoare?
- Convertoarele sunt subelemente întărite în automatiză, având funcția de:
 - transformare a unei mărimi în altă mărime dependentă de aceasta?
 - convertire a curentului continuu în curent alternativ?
 - convertire a unei presiuni oarecare în semnal unificat de presiune: 0,2–1 kgf/cm²?
- Converterul duză-paletă asigură o dependență între următoarele mărimi:
 - curent-presiune?
 - presiune-curent?
 - deplasare-presiune?
- Adaptoarele sunt elemente de automatizare care permit:
 - mărirea semnalului obținut la ieșirea unui element?
 - menținerea constantă a semnalului de intrare într-un element?
 - convertirea semnalelor la valori unificate?

Capitolul 3

AMPLIFICATOARE

A. NOTIUNI GENERALE

Mărimile măsurate au în majoritatea cazurilor valori foarte mici, astfel încât este necesară mărirea lor proporțională, adică amplificarea lor.

Așa cum s-a arătat în capitolul precedent, de exemplu, tensiunea produsă de un termocuplu este de cîțiva milivolti, iar cea produsă de un traductor pH-metric are o valoare mult mai mică. Bineînțeles, o asemenea valoare de tensiune chiar dacă poate deplasa acul indicator al unui voltmetru, este incapabilă să producă un efect de comandă fără

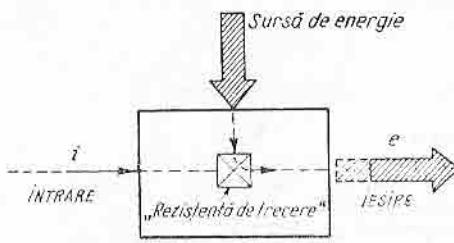


Fig. 3.1. Schema funcțională a unui amplificator.

Mărimea de intrare i are rolul de a varia „rezistența de trecere” a energiei de la sursă spre ieșirea e (fig. 3.1).

Noțiunea de „rezistență de trecere” trebuie înțeleasă aici în sensul general al cuvântului, adică atât ca o rezistență într-un circuit electric, cât și ca o rezistență hidraulică într-un circuit de trecere al unui lichid sau ca o rezistență pneumatică într-un circuit de gaz (aer comprimat) etc.

De menționat că mărimea de intrare i poate fi, de exemplu, un curent I_i sau o tensiune U_i , iar cea de ieșire e poate fi de asemenea un curent I_e sau o tensiune U_e .

16 - 0381 Clasificarea amplificatoarelor

● După natura mărimii fizice furnizate de sursa de energie (sau de alimentare), amplificatoarele se împart în (fig. 3.2):

- amplificatoare de mărimi electrice (electronice, magnetice, rotative etc.);
- amplificatoare de mărimi neelectrice (mecanice, pneumatice și hidraulice).

● După modul de interdependență al mărimilor de intrare și de ieșire se deosebesc:

- amplificatoare fără reacție, la care mărimea de ieșire depinde de mărimea de intrare numai pe baza legăturii „directe” (intrare-ieșire);
- amplificatoare cu reacție, la care mărimea de ieșire depinde atât de mărimea de intrare, cât și de o mărime „de reacție” r , transmisă de la ieșire înapoi la intrare printr-o legătură „inversă” (ieșire-intrare), numită „de reacție”.

Dacă mărimea de reacție r se adună cu cea de intrare i , mărind astfel semnalul total aplicat amplificatorului, reacția se numește *pozitivă* (fig. 3.3, c), iar dacă r se scade din i , reacția se numește *negativă* (fig. 3.3, d).

ca să fie amplificată anterior. Acest lucru se realizează cu ajutorul unor elemente speciale numite *amplificatoare*, la care mărimea de intrare de o putere (nivel) relativ mică poate comanda continuu o mărime de ieșire având o putere (nivel) mult mai mare. Se înțelege că obținerea unui factor de amplificare mai mare decât 1 nu este posibilă decât folosind o sursă auxiliară de energie.

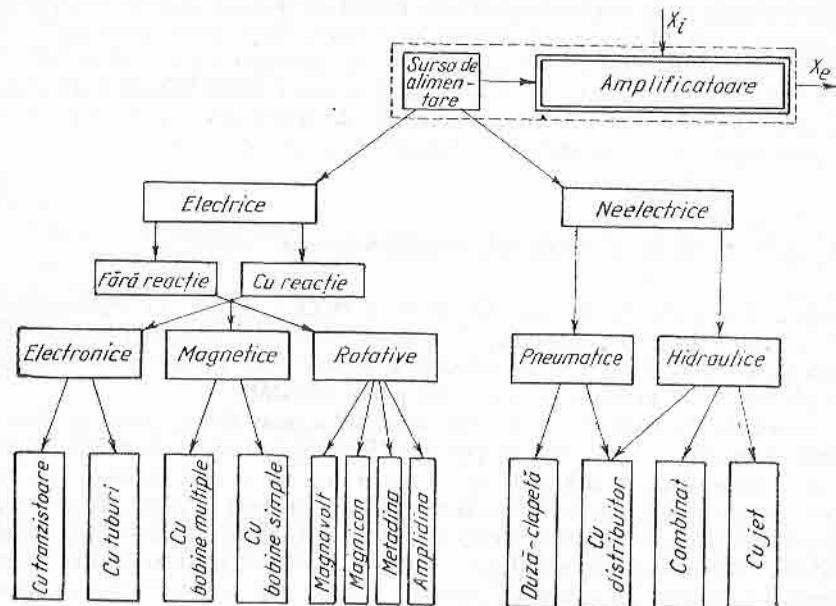


Fig. 3.2. Clasificarea amplificatoarelor.

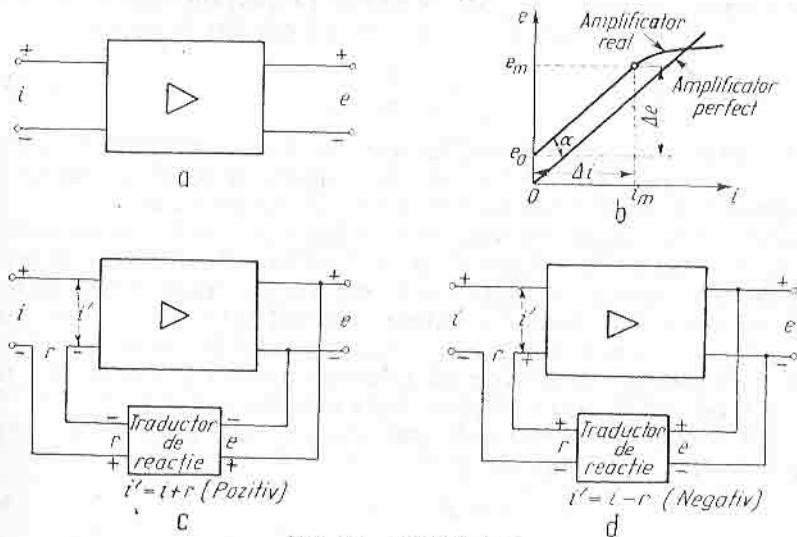


Fig. 3.3. Amplificator:
a — schema — bloc; b — caracteristica statică; c — cu reacție pozitivă; d — cu reacție negativă.

Problemele cele mai complexe le ridică amplificatoarele din prima categorie — amplificatoarele electrice — care, deși sunt principal și constructiv diferite între ele, posedă totuși anumite caracteristici generale comune. Reprezentarea schematică a unui amplificator este dată în figura 3.3, a iar dependența mărimii de ieșire de cea de intrare — caracteristica statică — în figura 3.3, b.

16-03-84

2. Caracteristicile generale ale amplificatoarelor electrice

Spre deosebire de un amplificator perfect — a cărui caracteristică statică este o linie dreaptă (fig. 3.3, b) trecând prin originea axelor de coordinate ($e = K \cdot i$) — caracteristica statică de funcționare a unui amplificator real prezintă o serie de particularități.

Caracteristica statică este o linie dreaptă numai pentru zona de funcționare normală, adică pînă în punctul la care corespunde mărimea de intrare maximă i_m și mărimea de ieșire maximă e_m . Dincolo de acest punct, caracteristica prezintă fenomenul de saturație și amplificatorul nu mai funcționează corect. Fenomenul de saturație se datorează „neliniarității” parametrilor amplificatorului (de exemplu limitarea curentului de emisie al catodului la amplificatoarele electronice cu tuburi, sau saturarea magnetică a fierului la amplificatoarele magnetice etc.).

Coefficientul unghiular K (coefficientul de proporționalitate) al caracteristicii în domeniul liniar ($i < i_m$ și $e < e_m$) este dat de relația:

$$K = \frac{\Delta e}{\Delta i} \quad (3.1)$$

și poartă numele de *factor de amplificare, pantă sau sensibilitatea* amplificatorului. Amplificarea putînd fi: de curent, de tensiune, de putere etc., factorul de amplificare ia denumirea corespunzătoare.

Caracteristica statică nu trece prin originea axelor de coordonate, ci prezintă o ordonată la origine e_0 , numită *valoare de gol*. Ea reprezintă fizic valoarea mărimii de ieșire cînd intrarea este nulă. La amplificatoarele de radio (tip „audio”), valoarea de gol înseamnă un „semnal” sau „zgomot” la ieșire chiar atunci cînd semnalul la intrare este zero. Din această cauză, valoarea de gol la aceste amplificatoare se mai numește și *zgomotul de fond sau perturbația* amplificatorului.

Tinînd seamă de mărimile de mai sus, expresia analitică a caracteristicii statice a amplificatorului este:

$$e = K \cdot i + e_0 \quad (3.2)$$

și de aceasta se ține seamă la proiectarea schemelor cu amplificatoare.

B. AMPLIFICATOARE ELECTRONICE

1. Amplificatoare cu tuburi

În construcția acestor amplificatoare se folosesc de obicei tuburile cu vid cu trei electrozi (triode) și tuburile cu cinci electrozi (pentode). Funcționarea acestor amplificatoare se bazează pe posibilitatea de a modifica rezistența internă R_i a tubului — deci valoarea curentului anodic I_a — prin modificarea tensiunii de grilă U_g . În general, se realizează amplificatoare pentru curent alternativ și, mai rar, pentru curent continuu.

2. Amplificatoare cu tranzistoare

Datorită avantajelor pe care le prezintă materialele semiconductoare, în prezent capătă o largă răspîndire amplificatoarele cu tranzistoare.

Făcînd o comparație între dioda cu vid (tubul) și trioda semiconductoare (tranzistorul), se constată că, ținînd seamă de principiul de funcționare, se pot face următoarele asemănări:

Tub cu vid	→ tranzistor;
Catod	→ emitor;
Anod	→ colector;
Grilă	→ bază.

Tinînd seamă de acest fapt, rezultă că și amplificatoarele cu tranzistoare vor fi asemănătoare cu cele cu tuburi.

În figura 3.4, a este prezentată schema unui amplificator cu un tranzistor $p-n-p$, la care tensiunea de intrare u_i se aplică între bază (B) și emitor (E), iar cea de ieșire se obține între colector (C) și emitor (E) — vezi caracteristicile de ieșire ale tranzistorului din figura 3.4, b.

Dacă la schemele cu tuburi se are în vedere mai ales amplificarea de tensiune, la schemele cu tranzistoare se utilizează mai ales amplificarea în putere.

Amplificatoarele cu tranzistoare sunt elemente de dimensiuni foarte reduse și, în raport cu cele cu tuburi, necesită surse mici de energie (au deci randamentul foarte ridicat); în plus, durata de funcționare mare, sensibilitatea mare la puteri mici de intrare, insensibilitatea la șocuri mecanice și praf, reprezintă tot atîtea *avantaje* ale folosirii acestor amplificatoare.

Dezavantajele principale ale amplificatoarelor cu tranzistoare sunt instabilitatea la temperatură și zgomotul.

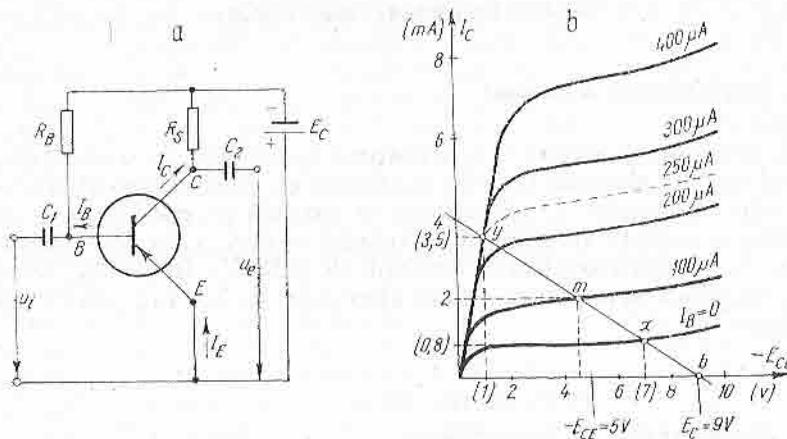


Fig. 3.4. Amplificator cu tranzistor:
a — schema electrică; b — caracteristicile de colector.

Temperatura influențează caracteristicile statice ale tranzistorului, în special prin creșterea conductivității acestuia, adică prin creșterea curentului de colector. Astfel, curentul de colector, adică conductia în sens direct a unui tranzistor cu germaniu crește cu temperatură și, de exemplu, la 100°C poate atinge valori de câteva zeci de ori mai mari decât la 20°C . Datorită acestui efect, tranzistoarele cu germaniu funcționează satisfăcător pînă la temperatura de 70°C , iar cele cu siliciu, care sunt mai stabile, pînă la 150°C .

3. Amplificatoare de curent continuu folosite în sistemul unificat „E“ (IEA)

Amplificarea directă a semnalelor de curent continuu este dificilă din punct de vedere tehnic, motiv pentru care sunt utilizate *amplificatoarele de curent continuu cu modulare-amplificare-demodulare*, numite și *cu eşantionare sau cu chopper*.

În aparatura sistemului unificat „E” sănt folosite două asemenea tipuri de amplificatoare de curent continuu, care diferă între ele numai prin constructia modulatorului: electronic sau magnetic.

- Un amplificator electronic de curent continuu folosind modulator electronic (IEA tip H 22), a cărui schemă principală este arătată în

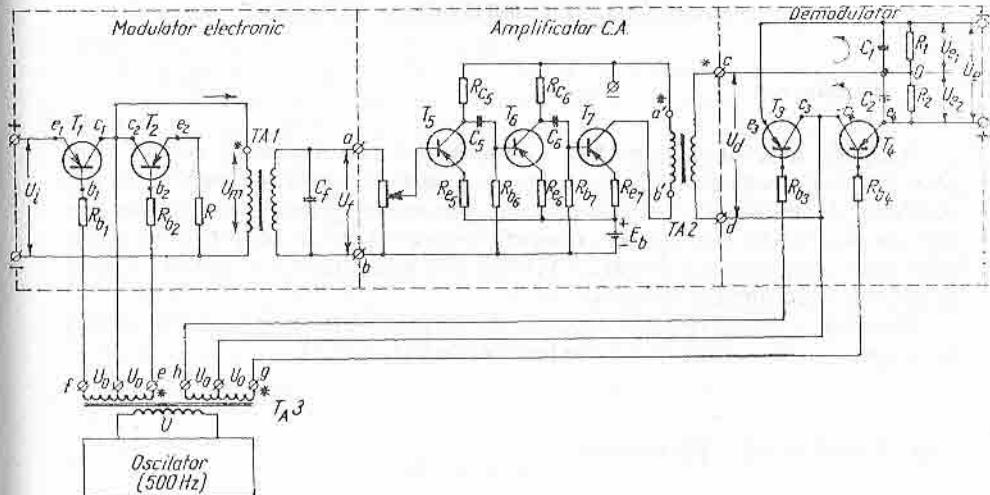


Fig. 3.5. Amplificator electronic de curent continuu cu modulator electronic (tip H 22).

figura 3.5 cuprinde un modulator și un demodulator cu funcționări similare având cîte două tranzistoare (T_1 și T_2 respectiv T_3 și T_4) funcționînd în regim de comutație* (complet blocat sau complet deschis) și comandate „sincron” de un oscilator de frecvență constantă ($f_0 = 500$ Hz).

Un amplificator de curent alternativ format din trei tranzistoare (T_5 , T_6 , T_7) asigură procesul de amplificare a mărimii de intrare.

- Amplificator electronic de curent continuu folosind modulator magnetic (IEA tip H 11). Modulatorul magnetic cuprinde două miezuri magnetice toroidale dintr-un material special (permalloy) care, printr-o schemă adecvată, asigură la ieșire impulsuri dreptunghiulare de amplitudine constantă însă de durată proporțională cu tensiunea continuă U_i aplicată. Amplificatorul de curent alternativ, oscilatorul și demodulatorul sunt identice cu cele din cazul precedent, astfel că se asigură, ca și în primul caz, o tensiune de ieșire U_e continuă, amplificată în raport cu tensiunea U_i .

* Cind tranzistorul are jonctiunea emitor-baza polarizata direct, el conduce, adica se comporta ca o rezistență nulă, deci ca un contact închis, iar cind jonctiunea emitor-baza este polarizată invers tranzistorul este blocat, adica se comporta ca o rezistență infinită, deci ca un contact deschis.

C. AMPLIFICATOARE PNEUMATICE ȘI HIDRAULICE

1. Introducere

Amplificatoarele pneumatice și hidraulice sunt destinate amplificării semnalelor primite de la traductoare și transmit semnalul amplificat elementelor de execuție pneumatice sau hidraulice. Elementele respective sunt amplificatoare de putere, operație concretizată în majoritatea cazurilor prin amplificarea forței, a vitezei sau a amândurora (puterea fiind produsul între forță și viteză).

Sursa de energie folosită este aerul comprimat (elemente pneumatice) și, respectiv, uleiul sub presiune (elemente hidraulice).

2. Amplificatoare pneumatice

● **Amplificator pneumatic de putere.** Acest tip de amplificator cuprinde un corp cilindric (fig. 3.6, a), format din patru camere: A, B, C și D. Camerele A și B sunt despărțite prin membrana m executată din pînză cauciucată și rigidizată cu discurile metalice d solidare cu tija t .

Între camerele B și C se află un perete rigid cu un orificiu central o_1 prin care trece tija t . Între camerele C și D se află de asemenea un orificiu o_2 , obturat de bila b împinsă în sus de resortul plat p . Cele patru camere au racorduri exterioare cu următoarele funcții:

- camera A, racordul r_1 pentru presiunea de intrare P_i ;
- camera B, racordul r_2 pentru legătura cu exteriorul ($P = 0$);
- camera C, racordul r_3 pentru presiunea de ieșire P_e ;
- camera D, racordul r_4 pentru presiunea de alimentare P_a ($P_a = 1,4 \text{ kgf/cm}^2 = \text{ct}$).

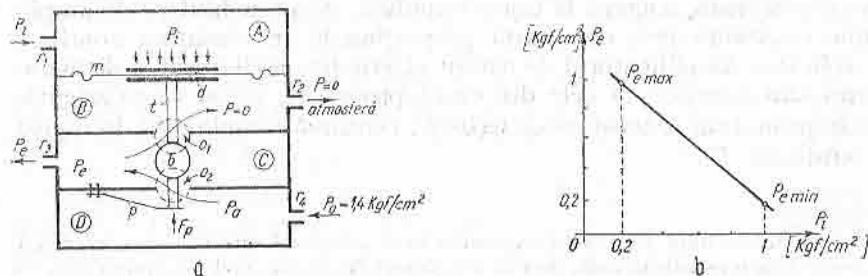


Fig. 3.6. Amplificator pneumatic:
a – schema funcțională; b – caracteristica statică.

Amplificatorul prezentat „defazează” semnalul de intrare P_i cu 180° , adică cînd P_i crește P_e scade.

Funcționarea amplificatorului are loc în felul următor:

Cînd presiunea de intrare P_i are valoarea minimă $P_i = P_{i\ min} = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ (nivelul minim al semnalului pneumatic unificat), resortul p împinge bila b în sus pînă ce aceasta obturează complet orificiul o_1 . În acest caz rezistența pneumatică de trecere a orificiului o_2 este minimă, astfel că presiunea de ieșire P_e capătă valoarea maximă ($P_e = P_{e\ max}$), obținută de la presiunea de alimentare P_a .

Cînd presiunea de intrare P_i are valoarea maximă $P_i = P_{i\ max} = 1 \text{ kgf/cm}^2$ (nivelul maxim al semnalului pneumatic unificat), forța F_p a resortului p este învînsă, bila b fiind împinsă în jos (prin tija t) pînă ce aceasta obturează complet orificiul o_2 . Rezistența pneumatică de trecere a orificiului o_1 este minimă, astfel că presiunea de ieșire P_e capătă valoarea minimă ($P_e = P_{e\ min}$) prin legarea circuitului de ieșire direct cu atmosfera ($P = 0$).

În sfîrșit, pentru valori intermedii ale presiunii P_i ($0,2$ – 1 kgf/cm^2), bila b ocupă o poziție intermedie astfel că presiunea P_e capătă o valoare intermedie între $P_e = 1,4 \text{ kgf/cm}^2$ și $P = 0$ (atmosferă) datorită legării simultane a camerelor B, C și D prin rezistențele pneumatice de trecere a aerului prin orificiile o_1 și o_2 .

În figura 3.6, b este arătată caracteristica statică a acestui amplificator din care se observă defazarea semnalului de intrare (cînd P_i crește, P_e scade și invers).

Amplificatoarele pneumatice pot fi realizate „cu distribuitor”, ca și amplificatorul hidraulic din figura 3.8.

3. Amplificatoare hidraulice

● **Amplificator hidraulic cu jet.** În figura 3.7 este prezentat un amplificator hidraulic cu jet. Deplasarea (forță aplicată) tijei t_i constituie mărimea de intrare I și ea este primită de la un element sensibil (de exemplu un traductor). Această tijă deplasează tubul cu jet j în fața orificiilor O_1 și O_2 ale unor tuburi d_1 și respectiv d_2 .

Tubul cu jet este articulat în punctul f și alimentat cu ulei sub presiunea P_0 prin conducta C. Tuburile d_1 și d_2 alimentează, pe la cele două capete, un cilindru N în care se află pistonul P .

Detalii în legătură cu poziția jetului j față de orificiile O_1 și O_2 se văd în secțiunea A – A din figura 3.7.

Cînd tija de intrare t_i se deplasează în sus învingînd rezistența resortului r (reglabil cu ajutorul surubului S), secțiunea S_1 de trecere a uleiului spre orificiul O_1 crește, respectiv secțiunea S_2 de trecere spre

Secțiunea A-A

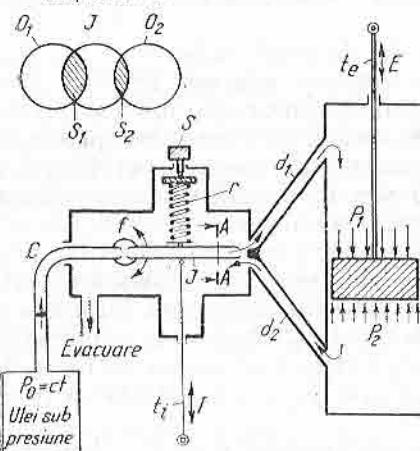


Fig. 3.7. Amplificator hidraulic cu jet.

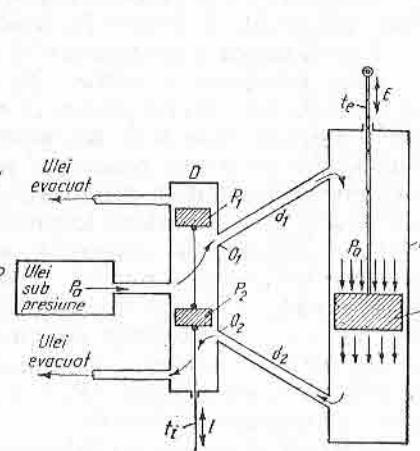


Fig. 3.8. Amplificator hidraulic cu distribuitor.

orificiul O_2 scade, ceea ce are ca efect creșterea presiunii P_1 față de P_2 și deci deplasarea în jos a pistonului P , inclusiv a tijei de ieșire t_e .

Cînd t_i se deplasează invers, adică în jos, S_2 crește și S_1 scade, deci $P_2 > P_1$ și pistonul P se deplasează în sus. Pentru o poziție mediană $S_1 = S_2$, deci $P_1 = P_2$ și pistonul P (împreună cu tija de ieșire t_2) stă pe loc.

Uleiul „uzat” merge la evacuare avînd presiunea scăzută și este apoi repompat în circuit.

• **Amplificator hidraulic cu distribuitor** (fig. 3.8). Tija de intrare t_i deplasează sistemul de pistoane P_1 și P_2 din distribuitorul D , alimentînd prin tuburile d_1 și d_2 pistonul principal P , solidar cu tija de ieșire t_e .

Cînd t_i se deplasează în sus (ca în figură), uleiul sub presiunea P_0 trece prin orificiul O_1 și tubul d_1 în cilindrul principal N , impingînd pistonul P și tija t_e în jos. Uleiul de sub pistonul P este evacuat prin tubul d_1 și orificiul O_2 .

Cînd t_i se deplasează în jos, astfel că pistonul P_1 coboară sub orificiul O_1 , iar P_2 coboară sub O_2 , uleiul sub presiune este pus în legătură cu tubul d_2 impingînd pistonul P în sus; uleiul uzat deasupra pistonului P este evacuat prin tubul d_1 și pe deasupra pistonului P_1 .

Cînd t_i se află în poziția mediană, pistoanele P_1 și P_2 încid orificiile O_1 și respectiv O_2 , astfel că pistonul P și tija t_e se opresc în poziția în care se află.

REZUMAT

1. Amplificatoarele sunt elemente în automatizare care măresc (amplifică) proporțional cu un factor de amplificare mărimea aplicată la intrarea lor.

2. Necesitatea amplificatoarelor rezultă din faptul că mărimele obținute de la traductoare sunt insuficiente ca putere, pentru a aciona direct asupra unui organ de comandă dintr-o instalație de automatizare.

3. Amplificatoarele se construiesc atât pentru mărimi electrice (amplificatoare electronice, magnetice etc.), cât și pentru mărimi neelectrice (amplificatoare pneumatice și hidraulice).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Amplificarea în putere a amplificatoarelor se datorește:

- a) legării în cascadă?
- b) folosirii unei surse de energie auxiliară?
- c) fenomenului de saturatie?

2. Condiția de adaptare la intrare (ieșire) a unui amplificator electronic este necesară pentru:

- a) utilizarea rațională a amplificatorului?
- b) modificarea rezistenței interne a tubului (tranzistorului)?
- c) mărirea tensiunii de intrare?

3. Amplificatoarele de curent continuu folosite în sistemul unificat E asigură:

- a) amplificarea directă a tensiunii continue?
- b) amplificarea în curent alternativ?
- c) demodularea semnalelor produse de un oscilator?

Capitolul 4

RELEEE

A. NOTIUNI GENERALE

1. Introducere

Spre deosebire de traductoare și amplificatoare, la care mărimea de ieșire e variază continuu în funcție de mărimea de intrare i (caracteristica de funcționare este o linie continuă), releele sunt elemente la care mărimea de ieșire variază brusc (în salt) atunci cînd mărimea de intrare atinge o valoare prescrisă numită valoare de acționare ((excitare)). La scăderea mărimiții de intrare sub o valoare numită de revenire, are loc

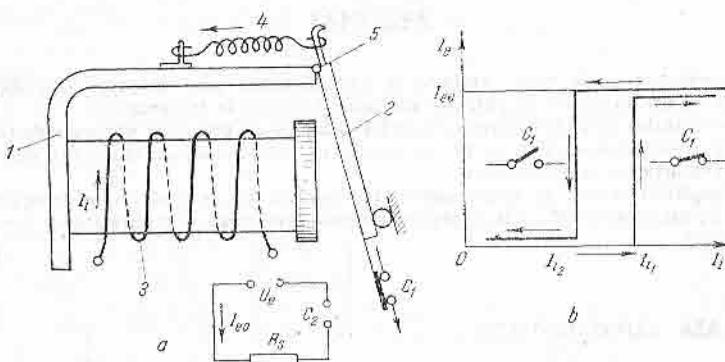


Fig. 4.1. Releu electromagnetic:
a – schema constructivă; b – caracteristica statică.

saltul invers al mărimii de ieșire. Pentru exemplificare, în figura 4.1, a este prezentat un releu electromagnetic format dintr-o armătură fixă de oțel 1 și o armătură mobilă 2, de asemenea de oțel. Pe armătura fixă este înfășurată o bobină 3, străbătută de curentul I_i , armătura care constituie astfel un electromagnet. Cind curentul de intrare crește, armătura 2 este atrasă, însă resortul antagonist 4 se opune deplasării acesteia. Cind curentul I_i atinge valoarea de acționare I_{i1} , rezistența resortului este învinsă, armătura 2 este atrasă și prin rotirea în jurul punctului 5 închide contactul C_1 . Prin închiderea acestui contact în circuitul de ieșire va apărea un curent I_{eo} . Se observă că valoarea curentului de ieșire depinde exclusiv de parametrii circuitului de ieșire:

$$I_{eo} = \frac{U_e}{R_s}. \quad (4.1)$$

Deci funcționarea unui releu poate fi prezentată prin următoarele relații simple (fig. 4.1, b):

$$I_i < I_{i1} \text{ (C deschis), situație în care } I_e = 0; \quad (4.2)$$

$$I_i > I_{i1} \text{ (C închis), cind } I_e = I_{eo}. \quad (4.3)$$

La scăderea curentului I_i , armătura nu este eliberată încă chiar dacă curentul scade puțin sub valoarea de acționare. La o anumită valoare I_{i2} a curentului I_i , numit valoare de revenire, și care este mai mică decât cea de acționare ($I_{i2} < I_{i1}$), armătura 2 este eliberată, contactul C se deschide și I_e devine zero.

La revenire, relațiile sunt deci următoarele:

$$I_i > I_{i2} \text{ (C este închis), iar } I_e = I_{eo}; \quad (4.4)$$

$$I_i \leq I_{i1} \text{ (C se deschide) și } I_e = 0. \quad (4.5)$$

Contactul C_2 , care este deschis în starea „normală” a relee (releu neexcitat), se numește *contact normal deschis*.

Contactul C_1 (fig. 4.1, a), care este închis în starea normală a relee, se numește *contact normal închis*.

2. Caracteristicile și utilizarea releeelor

În majoritatea cazurilor, mărimea de la ieșirea releeelor (X_e) este de natură electrică, adică un contact * stabilăse brusc un curent sau o tensiune. Mărimea de intrare (X_i) poate fi însă de natură electrică sau neelectrică și în funcție de aceasta se deosebesc *relee electrice* (de curent, de tensiune, de putere, de frecvență etc.) și *relee neelectrice* (de temperatură, de presiune, de debit, de viteză etc.).

În figura 4.2 se prezintă o clasificare, din punctul de vedere al măririi de intrare (X_i) sau de ieșire (X_e), a principalelor tipuri de relee.

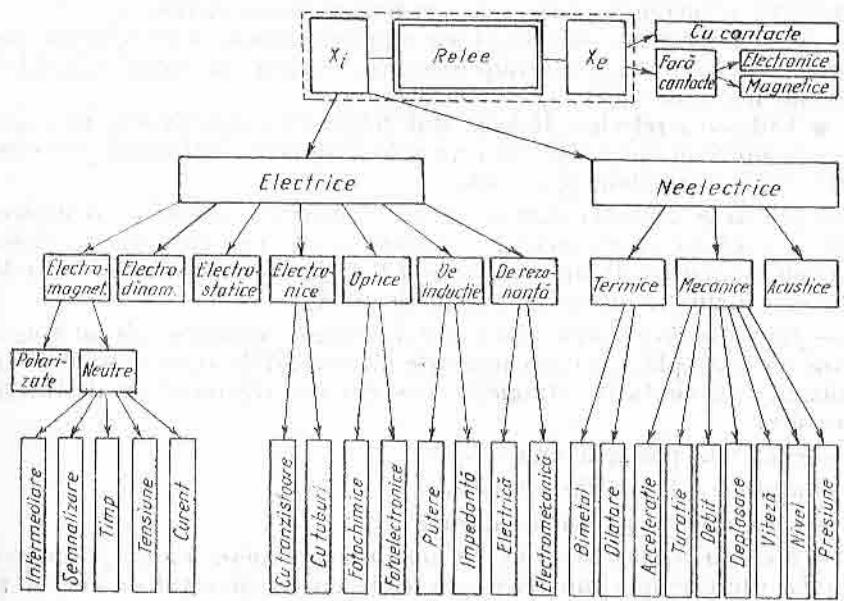


Fig. 4.2. Clasificarea releeelor.

* În prezent se construiesc și relee contacte (statice), la care variația bruscă a curentului sau tensiunii se realizează pe cale electronică sau magnetică.

● Mărimile ce caracterizează un anumit releu:

- natura fizică a mărimii de intrare (acționare);
- puterea absorbită la intrare pentru ca releul să funcționeze (această putere poate varia între valori cuprinse sub 1 W și circa 40 W);
- curentul (puterea) transmis de contacte în circuitul de ieșire.

În afară de curenți, se stabilesc și limite admisibile pentru tensiune și se precizează natura sarcinii. De exemplu, un contact rupe 2 A la 110 V și sarcină rezistivă sau 0,5 A la 220 V și sarcină inductivă;

- numărul de funcționări ale releului fără ca acesta să se defecteze (de exemplu, 500 000);

— numărul și poziția contactelor (de exemplu un releu are șase contacte normal deschise și două contacte normal închise);

— domeniul de funcționare (de exemplu, un releu de curent poate fi reglat să funcționeze între 2,5 A și 10 A);

— timpul propriu de funcționare, care reprezintă timpul scurs de la aplicarea mărimii de acționare pînă la închiderea contactelor și în funcție de care releele se împart în:

— relee instantane, care prezintă o întîrziere în funcționarea de 0,01—0,05 s, inherentă oricărui sistem fizic ce are o inertie;

— relee temporizate (de timp), care printr-o construcție specială pot închide contactele după un timp oarecare, reglabil (de exemplu la 0,1—10 s sau chiar mai mult).

● Utilizarea relee. Releele sunt folosite în automatică, mai ales în unele domenii ca: protecția prin relee, comanda automată „secvențială” etc., în următoarele scopuri:

— pentru a comanda într-un circuit electric un curent de o valoare mare cu ajutorul unui curent de o valoare relativ mai mică (de exemplu, un releu acționează la un curent de 0,2 A, iar contactul său comandă închiderea unui circuit cu un curent de 10 A);

— pentru multiplicarea numărului de circuite comandate de un singur circuit (de exemplu, un releu primește un semnal de la un traductor și, închizînd trei contacte, stabilăște trei circuite distințe, cu destinații deosebite):

- comandă pornirea unui motor;
- aprinde o lampă de semnalizare;
- acționează o sirenă de alarmă;

— pentru a acționa la atingerea unei anumite valori a unui parametru controlat (de exemplu, un releu este conectat în circuitul de curent al unui motor și acționează cînd acest curent atinge valoarea de 25 A — periculoasă pentru motor);

— pentru a întîrzi un anumit semnal (temporizare), adică contactul se închide după un anumit timp de la excitare.

B. RELEE ELECTRICE CU CONTACT

1. Relee electromagnetice

Releele construite pe principiul electromagnetic sunt cele mai răspîndite relee electrice; ele sunt folosite în curent continuu și alternativ. Releul din figura 4.1, a este un releu electromagnetic. Așa cum s-a arătat, funcționarea unui releu electromagnetic se bazează pe atragerea unei armături de oțel de către o bobină cu miez de fier (electromagnet). Releele electromagnetice se realizează sub forma următoarelor tipuri: de curent, de tensiune, de timp, intermediare, de semnalizare etc., fiind fabricate în principal la întreprinderea „Electromagnetică” — București.

2. Relee fotoelectrice

În figura 4.3 este prezentat un tip de releu fotoelectronic care funcționează la o anumită valoare de acționare Φ_1 a unui flux luminos Φ ce cade pe celula fotoemisivă F . După cum se știe, rezistența internă (ohmică) R_F a unei asemenea celule scade odată cu creșterea iluminării ei, datorită fenomenului de emisie fotoelectronică. Celula F este inserată cu rezistența fixă R_0 și este alimentată între punctele a și c cu tensiunea E_a . Notând I_0 curentul ce străbate acest circuit se poate scrie:

$$I_0 = \frac{E_a}{R_F + R_0}, \quad (4.5)$$

de unde rezultă tensiunea de grilă U_g :

$$U_g = R_0 \cdot I_0 = \frac{R_0}{R_F + R_0} E_a. \quad (4.6)$$

Releul funcționează pentru:

$$U_g > U_{g1}. \quad (4.7)$$

Așadar, cînd fluxul luminos Φ crește atingînd valoarea Φ_1 , rezistența celulei scade pînă la valoarea R_{F1} și tensiunea de grilă U_g crește atingînd valoarea U_{g1} la care

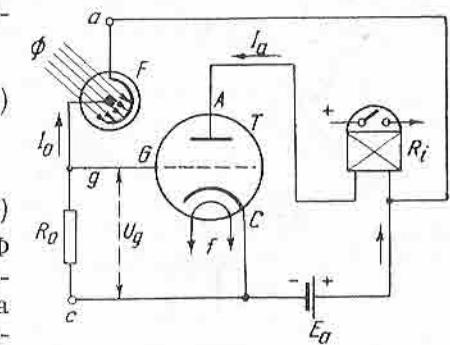


Fig. 4.3. Releul fotoelectric cu contact.

releul funcționează. Releul descris reprezintă un releu maximal de flux luminos, adică funcționează pentru $\Phi > \Phi_1$.

Dacă se inversează locul celulei F cu rezistența R_0 , expresia tensiunii de grilă devine:

$$U_g = R_F \cdot I_0 = \frac{R_F}{R_0 + R_F} E_a. \quad (4.8)$$

Aceasta înseamnă că U_g crește, adică releul funcționează — conform relației (4.7) — cind R_F crește, adică fluxul luminos scade; deci s-a obținut un releu minimal de flux luminos.

C. RELEE ELECTRICE FĂRĂ CONTACT (RELEE STĂTICE)

Releele descrise pînă aici sunt prevăzute cu contacte care închid sau deschid circuitele în care se află rezistențele de sarcină.

De fapt, din punct de vedere electric un contact reprezintă o rezistență electrică R în calea trecerii curentului, a cărei valoare variază brusc de la $R = \infty$ (contact deschis) la $R = 0$ (contact închis). Rezultă de aici că o funcționare „de releu” o au și elementele fără contact, a căror rezistență poate varia brusc de la o valoare foarte mare (practic infinită) la o valoare foarte mică (practic zero).

Releele fără contacte, desi mai scumpe, prezintă următoarele avantaje față de cele cu contacte: timp propriu de funcționare redus, insensibilitate la trepidații și praf, consum de energie scăzut; în plus, datorită lipsei pieselor în mișcare, durata lor de funcționare este mare, iar siguranța în exploatare este sporită.

• În cele ce urmează, va fi prezentat într-o formă principală un **releu static realizat cu tranzistoare**. Două tranzistoare identice T_1 și T_2 sunt conectate, ca în figura 4.4, într-o schema simetrică. Trebuie precizat că deoarece rezistențele $R_1 = R_2$ și $R'_1 = R'_2$ au valori relativ mari (de ordinul zecilor de $k\Omega$), iar rezistențele $R_{C1} = R_{C2}$ și R_0 sunt

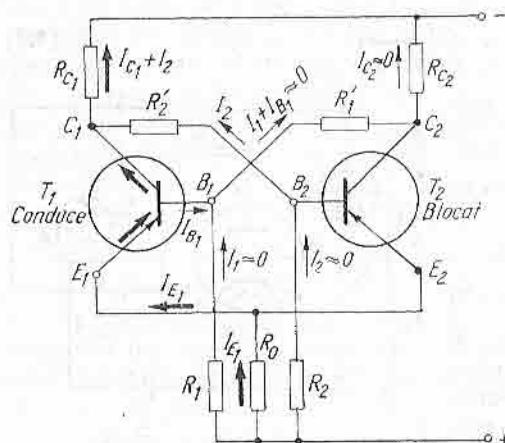


Fig. 4.4. Releu static cu tranzistoare.

rezistențe de sarcină (circa $1-2 k\Omega$), rezultă că curenții de circulație I_1 și I_2 , ca și curenții din bază I_B , sunt neglijabili în raport cu cei de emitor I_E sau de colector I_C .

Se va presupune că *numai tranzistorul T_1 se află în regim de conduction*, adică rezistența de sarcină (de colector R_{C1}) este străbătută de un curent mare I_{C1} (plus I_2 , neglijabil), în timp ce prin rezistența de sarcină R_{C2} curentul este practic zero (I_1 neglijabil).

Față de o stare „inițială”, în care T_1 este blocat, potențialul colectorului C_1 crește (devine mai pozitiv). Acest lucru are ca efect scăderea curentului I_2 , adică o „pozitivare” a bazei B_2 paralel cu o „negativare” a punctului E_2 datorată curentului I_{E1} , ceea ce face ca tensiunea bază-emitor a lui T_2 să devină pozitivă, adică T_2 să fie blocat. Pe de altă parte, starea de blocare a tranzistorului T_2 , deci negativarea colectorului C_2 , creează o tensiune negativă bază-emitor a tranzistorului T_1 , deci asigură regimul de conduction al acestuia.

Dacă se aplică brusc o tensiune pozitivă de intrare U_i (fig. 4.4) pe joncțiunea bază-emitor a lui T_1 , suficientă pentru ca, pentru un moment, $U_{BE1} > 0$, tranzistorul T_1 se blochează, colectorul C_1 se negativizează, I_2 crește, deci B_2 se negativizează, ceea ce are ca efect $U_{BE2} < 0$, adică T_2 începe să conducă. Sistemul „basculează”, adică același proces descris la început are loc invers (T_2 conduce $\rightarrow T_1$ este blocat) și curentul prin R_{C2} crește brusc de la zero ($I_{E1} + I_1$ sunt neglijabili) la o valoare relativ mare I_{C2} (curentul de colector al lui T_2), ceea ce reprezintă o funcționare de „tip releu”.

○ Se observă că condiția de funcționare a releului este:

$$+ U_i \geq - U_{BE1}, \quad (4.9)$$

prin U_{BE1} înțelegind tensiunea bază-emitor a tranzistorului T_2 în regim de conduction.

Acest dispozitiv electronic, care poate fi realizat similar și cu tuburi, se mai numește și *bistabil** sau *trigger* și el este folosit în *sistemele automate cu comutație statică*.

D. RELEE DE MĂRIMI NEELECTRICE

Releele de mărimi neelectrice (pe scurt *releele neelectrice*) au ca mărime de intrare o mărime de altă natură decât cea electrică. Se disting astfel *relee de temperatură, de nivel, de debit, de viteză, de acceleratie, de*

* Releul descris este stabil în ambele poziții. Prin modificări minime (eliminarea rezistențelor R_1 și R_2), releul devine „monostabil”, adică similar releului din figura 4.1, caz în care se numește *trigger Schmitt*.

presiune, de deplasare etc. În toate cazurile însă, acțiunea releului constă în stabilirea sau întreruperea unui circuit electric, adică a unui curent sau a unei tensiuni electrice.

Se poate imagina un număr foarte mare de relee nenelectrice, combinând un traductor al unei mărimi nenelectrice (din cele studiate în cap. 2) cu un releu electric oarecare. Mărimea de la ieșirea traductorului poate fi eventual amplificată pentru a comanda releul.

• În figura 4.5 este prezentat un **releu de temperatură cu bimetal**, realizat din două lame L_1 și L_2 sudate între ele, confectionate din metale cu coeficienți de dilatare d_1 și d_2 foarte diferiți. Prin încălzire de la o sursă S având temperatură $t^\circ\text{C}$, lamele L_1 și L_2 dilatăndu-se diferit (de exemplu $d_1 < d_2$, deci alungarea lui L_2 este mai mare ca a lui L_1) bimetalul se curbează (arcuiește). Deoarece diferența de alungire crește cu temperatura — deci curbarea este cu atât mai accentuată cu cât temperatura este mai mare, rezultă că pentru o anumită valoare t_1 a temperaturii, contactul C se va stabili, deci releul va funcționa.

Închiderea contactului C constă în atingerea bornelor a și b de către lama metalică K , ceea ce are ca efect, de exemplu, stabilirea curentului de sarcină I_s .

Schimbând poziția contactului C de-a lungul unei scări grade (°C), cu ajutorul șurubului de fixare I , releul poate fi reglat să funcționeze la diverse valori ale temperaturii.

• În figura 4.6 este arătat un **releu de presiune** realizat pe același principiu ca unele manometre cu ac indicator. Tubul circular elastic TB ,

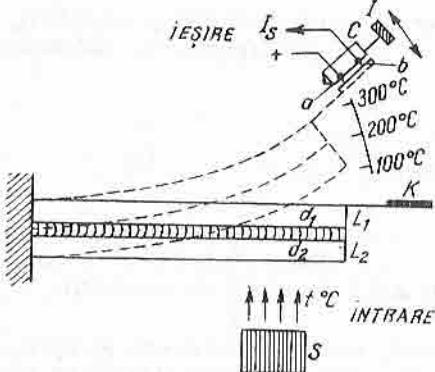


Fig. 4.5. Releu de temperatură (termic).

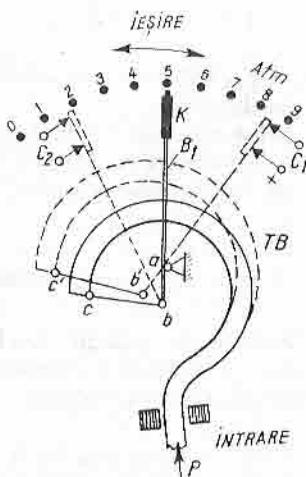


Fig. 4.6. Releu de presiune.

numit și tub Bourdon, antrenează prin pîrghia B_1 lama metalică K . Punctul a este un punct fix de articulație, iar b și c sunt puncte de articulație mobile. Cînd presiunea P aplicată releului crește, tubul Bourdon se destinde (figurat punctat), punctul c se deplasează în c' , iar punctul b în b' , ceea ce are ca efect rotirea pîrghiei B_1 și deci deplasarea lamei K .

Cînd presiunea P atinge valoarea maximă P_1 , lama K închide contactul C_1 (contact de maxim), iar cînd presiunea scade la valoarea minimă P_2 , se închide contactul C_2 (contact de minim). Un asemenea tip de releu se mai numește și manometru cu contact, brațul B_1 constituind în același timp și acul indicator care se deplasează în fața unei scări gradate (atm).

REZUMAT

1. Releele sunt elemente de automatizare cu funcționare discontinuă la ieșire (închidere — deschidere a unui contact) atunci cînd mărimea de intrare depășește (sau scade sub) o anumită valoare.

2. Releele se clasifică în funcție de natura mărimii de intrare (curent, temperatură, presiune etc.), numărul și puterea contactelor, domeniul de aplicare etc.

3. Releele pot fi folosite în următoarele scopuri:

- măsurarea unui parametru controlat;
- amplificare de putere;
- multiplicarea numărului de circuite într-o schemă;
- întîrziearea unui semnal (temporizare).

4. În automatice capătă în prezent o largă răspîndire releele fără contacte, în special cele cu tranzistoare (triggere).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Funcționarea unui releu are loc în cazul:
 - a) închiderii contactelor normal deschise?
 - b) deschiderii contactelor normal închise?
 - c) depășirii unei anumite valori a mărimii de intrare?
2. Releele fotoelectrice sunt acele elemente care:
 - a) comandă variația unui flux luminos?
 - b) transformă un flux luminos într-o tensiune anodică?
 - c) acționează pe baza unui flux luminos?
3. Releele statice sunt acele care:
 - a) sunt montate fix în instalație?
 - b) nu posedă contacte mecanice?
 - c) mărimea de intrare nu variază în timp?

4. Releele statice cu tranzistoare funcționează în regim de:
a) străpungere a bazei?
b) blocare a jonctiunii emitor-colector?
c) comutare statică?

Capitolul 5

ELEMENTE DE EXECUȚIE

A. NOTIUNI GENERALE

Elementul de execuție reprezintă partea prin care dispozitivul de automatizare acionează asupra instalației tehnologice.

Deschiderea sau închiderea unui ventil dintr-o conductă, a unui intreruptor într-o rețea electrică, deplasarea cursorului unui reostat în circuitul de excitare al unui generator sincron etc., sunt tot atâtea moduri de intervenție într-un proces sau instalatie tehnologică.

Un element de execuție este format dintr-un organ de execuție (ventil, întreruptor, clapetă, reostat etc.) și un motor de execuție (numit uneori și servomotor) al acestuia. Din punct de vedere structural, organul de execuție face parte integrantă din instalația tehnologică, iar motorul de execuție poate să își lipsească atunci când intervenția în instalația tehnologică se face manual.

ELEMENT DE EXECUTIE = MOTOR + ORGAN (de executie)

Introducerea automatizării presupune însă prevederea motoarelor de execuție, adică mecanizarea organelor de execuție.

1. Principiul de funcționare

În general, elementele de execuție au ca principiu de funcționare fie variația unui debit de fluid prin modificarea secțiunii de trecere, fie modificarea cantității de substanță (energie) produsă de o sursă.

Modificarea cantității de substanță sau de energie poate fi realizată în două moduri:

—continuu— atunci cînd cantitatea respectivă trebuie modificată în mod continuu între două valori limită. De exemplu, un ventil modifică

continuu cantitatea (debitul de fluid ce trece printr-o conductă), între zero (ventil închis) și valoarea maximă corespunzătoare ventilului complet deschis;

— *discontinuu* — atunci cînd cantitatea respectivă este modificată discontinuu (discret), numai pentru două valori limită, dintre care una este în general zero („tot sau nimic“). De exemplu, la un întreceptor electric avînd numai două poziții posibile (deschis sau închis), curentul ce-l străbate poate avea valoarea zero sau o valoare nominală oarecare.

2. Tipuri de elemente de execuție

Marea diversitate a proceselor tehnologice supuse automatizării a impus o mare diversitate de elemente de execuție. Înțînd seamă însă de natura sursei de energie pentru alimentarea motoarelor, elementele de execuție se pot clasifica în (fig. 5.1):

- elemente de execuție electrice;
 - elemente de execuție pneumaticce
 - elemente de executie hidraulice.

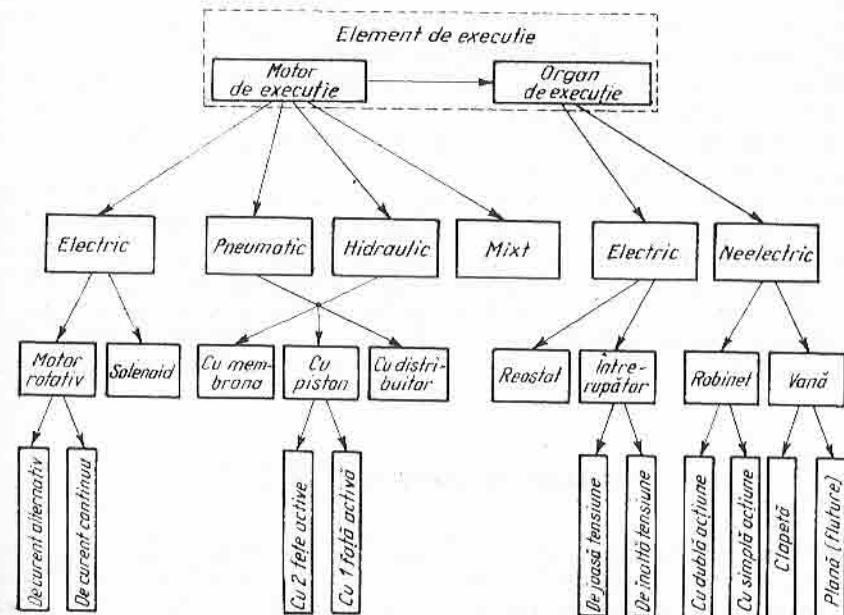


Fig. 5.1. Clasificarea elementelor de execuție

Organele de execuție cel mai des utilizate pentru modificarea cantității de substanță (lichide sau gaze) sunt: robinetul, vana plană, vana clapetă etc.

Aceste tipuri de organe de execuție necesită motoare de execuție cu mișcări corespunzătoare.

Organele de execuție cel mai des întâlnite în instalațiile electroenergetice sunt: întreruptoarele, reostatele etc.

B. ELEMENTE DE EXECUȚIE ELECTRICE

În principiu, aceste tipuri de elemente se împart în două categorii de bază, și anume: *cu electromotor* și *cu electromagnet* (solenoid).

• **Elementele de execuție cu electromotor** asigură o mișcare circulară continuă care, în general, este redusă de circa 100—200 ori cu ajutorul unui reductor mecanic de turărie.

Electromotoarele pot fi de curent continuu sau de curent alternativ.

Motoarele de curent continuu folosite sunt de obicei cele cu excitație separată.

Viteza de rotație depinde de mărimea semnalului aplicat, iar sensul de rotație — de polaritatea semnalului respectiv.

Motoarele de curent alternativ sunt fie cele monofazate serie cu colector, fie cele asincrone bifazate.

• **Elementele de execuție cu electromagnet** (solenoid) asigură o mișcare discontinuă, bipozitională (închis-deschis, dreapta-stînga etc.). Principial ele sunt executate ca în figura 5.2. Cînd bobina *B* primește curentul de comandă *I_c*, miezul feromagnetic *F* este supus unei forțe de atracție și învingînd forța resortului *R* deplasează tija *T*. În acest mod, dacă tija *T* este, de exemplu, solidară cu întrerupatorul *I*, se produce închiderea unui circuit electric și aprinderea lămpilor *L*. La întreruperea curentului *I_c* prin bobină, resortul *R*, care s-a armat la comanda inițială, reduce tija *T* în poziția anterioară și deschide întrerupatorul *I*.

C. ELEMENTE DE EXECUȚIE PNEUMATICE

Acseste elemente folosesc ca sursă de energie aerul comprimat și se construiesc exclusiv pentru mișcarea de deplasare (translație). Principial sunt utilizate următoarele tipuri de elemente de execuție pneumatice: *cu membrană*, *cu piston* și *cu distribuitor*.

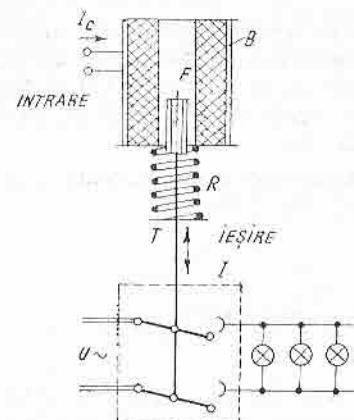


Fig. 5.2. Motor de execuție solenoidal.

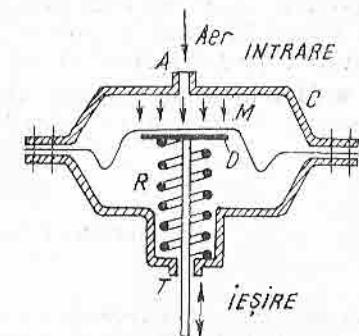


Fig. 5.3. Motor de execuție pneumatic cu membrană.

• **Elementele cu membrană** (fig. 5.3) sunt formate dintr-o capsulă manometrică rotundă *C*, prevăzută cu o membrană *M*. Sub membrană se află un disc metalic *D* solidar cu tija *T*, prin care se transmite mișcarea, și un resort antagonist *R*. Aerul comprimat, adus prin conductă *A*, apasă asupra membranei și, învingînd rezistența resortului antagonist, împinge tija în jos. Se observă că poziția tijei, deci a organului de execuție pe care îl comandă, variază continuu (bineîntelese între două limite) în funcție de presiunea aerului. Aerul comprimat are o presiune de obicei între 0,2 și 1 atm, iar cursa tijei este de 1—6 cm.

• **Elementele cu piston** sunt folosite în cazul cînd sunt necesare deplasări mai mari.

În figura 5.4 este prezentat principiul motorului pneumatic cu piston, care poate fi executat în două variante constructive: *cu o față a pistonului activă și cu ambele fețe ale pistonului active*. În prima variantă (fig. 5.4, a), aerul intrînd în cilindrul *C* deplasează în jos tija *T*. Ca și la elementele cu membrană, deplasarea înapoi se face prin scoaterea aerului din cilindru, respectiv prin destinderea resortului armat; poziția tijei depinde de presiunea aerului comprimat.

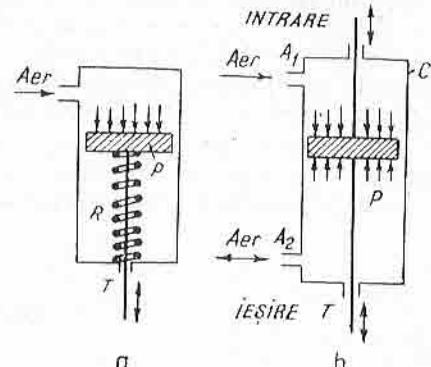


Fig. 5.4. Motor de execuție pneumatic cu piston:
a — cu o față a pistonului activă; b — cu ambele fețe active.

În varianta a două (fig. 5.4, b), poziția tijei T depinde de diferența de presiune între cele două fețe ale pistonului P , respectiv de diferența de presiune a aerului adus prin conductele A_1 și A_2 . Acest tip de motor este folosit în cazul în care se cer forțe egale de acționare în ambele sensuri, deplasarea fiind de circa 5–12 cm.

● Motoarele de execuție cu distribuitor sunt asemănătoare amplificatoarelor hidraulice cu distribuitor (v. fig. 3.8).

D. ELEMENTE DE EXECUȚIE HIDRAULICE

Acste elemente folosesc ca agent motor un lichid sub presiune, de obicei, uleiul. Din punct de vedere constructiv motoarele hidraulice nu diferă principal de cele pneumatice descrise mai sus; astfel, pot fi motoare hidraulice cu membrană, cu piston cu o față și cu ambele fețe active, cu piston și distribuitor etc.

Față de cele pneumatice, elementele de execuție hidraulice prezintă următoarele *avantaje*:

- dezvoltă forțe de acționare mult mai mari la aceleași gabarite, datorită presiunii de ulei care poate fi mult mai mare;
- au o acțiune mai rapidă, datorită faptului că uleiul este practic incompresibil.

Ca și elementele pneumatice, cele hidraulice prezintă avantajul că pot fi folosite în medii explozive sau inflamabile, unde elementele electrice nu pot funcționa decât cu măsuri speciale de protejare.

Elementele de execuție hidraulice, ca și cele pneumatice, necesită instalații speciale pentru producerea uleiului sub presiune, respectiv a aerului comprimat. Aceste instalații cuprind rezervoare de ulei sub presiune (respectiv aer), diverse pompe, compresoare, conducte, filtre etc.

Necesitatea prevederii unei instalații speciale de producere a agentului motor (ulei sub presiune sau aer comprimat) constituie un dezavantaj al sistemelor pneumatice și hidraulice.

REZUMAT

1. Elementele de execuție sunt acele părți ale unui sistem automat prin care dispozitivul de automatizare acționează asupra instalației tehnologice.

2. Organul de execuție face parte integrantă din instalația tehnologică, însă motorul de execuție trebuie prevăzut obligatoriu în cazul introducerii automatizării.

3. În funcție de agentul motor folosit, elementele de execuție se împart în: electrice, pneumatice, hidraulice și mixte.

4. În funcție de organul de execuție, elementele de execuție pot servi pentru modificarea cantității de substanță (ventile, vane etc.) sau pentru modificare a cantității de energie electrică (reostate, intreruptoare etc.).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Funcția elementului de execuție este aceea de:
 - a) să execute comenzi primite de la instalația tehnologică?
 - b) să modifice valoarea parametrilor din proces?
 - c) să transformă o energie (de exemplu electrică) în altă formă de energie, de exemplu hidraulică?
2. Motorul de execuție reprezintă:
 - a) o parte constitutivă a elementului de execuție?
 - b) o parte constitutivă a instalației tehnologice?
 - c) un organ de execuție în care s-a adăugat un element de execuție?
3. Organul de execuție apare absolut necesar la orice instalație tehnologică în următorul caz:
 - a) numai la introducerea automatizării?
 - b) numai la introducerea telemecanizării?
 - c) în orice situație?

Capitolul 6

REGULATOARE

A. NOTIUNI GENERALE

1. Transferul semnalului în regulator. Reacția secundară

Regulatorul este acel element de automatizare la intrarea căruia se aplică o mărime numită eroare (sau abatere) și la cărui ieșire rezultă mărimea de comandă x_c care determină acționarea elementului de execuție*.

Măsurarea erorii (sau abaterii ϵ), care reprezintă diferența dintre valoarea mărimii controlate de regulator și valoarea prescrisă (dinainte stabilită) a acesteia, se realizează cu ajutorul unor traductoare și elemente de comparație.

* Regulatorul este elementul principal din cuprinsul unui sistem de reglare automată (v. cap. 9).

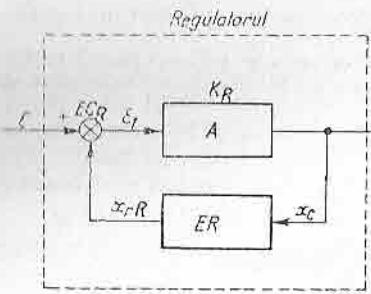


Fig. 6.1. Elementele componente ale regulatorului:
 — amplificator; ER — element de reacție;
 EC_R — element de comparație al regulatorului;
 EE — element de execuție.

Prin însăși construcția regulatorului, se asigură o asemenea dependență între mărimea de comandă x_c și eroarea ε , încât, ca urmare a acțiunii elementului de execuție comandat de regulator, să se obțină fie anularea abaterii, fie menținerea acesteia în limite dinainte stabilite.

Cu toate că există o mare varietate de tipuri de regulatoare, orice regulator conține următoarele **elemente componente** (fig. 6.1):

- *amplificator*;
- *elementul de reacție*;
- *elementul de comparare*.

• **Amplificatorul**, notat cu A în figura 6.1, este elementul de bază al regulatorului. El amplifică mărimea ε_1 cu un factor K_R , deci realizează o relație de tipul:

$$x_c(t) = K_R \cdot \varepsilon_1(t), \quad (6.1)$$

unde K_R reprezintă factorul de amplificare al regulatorului.

Adeseori, amplificatorul realizează și trecerea la o altă formă de energie.

• **Elementul de reacție**, notat în figura 6.1 cu ER , primește la intrare mărimea de comandă x_c (de la ieșirea amplificatorului) și elaborează la ieșire un semnal x_{rR} , denumit *mărime de reacție* a regulatorului.

• **Elementul de comparare** al regulatorului, notat cu EC_R , efectuează continuu compararea valorilor abaterii ε și a lui x_{rR} după relația:

$$\varepsilon_1(t) = \varepsilon(t) - x_{rR}(t). \quad (6.2)$$

Elementul de reacție secundară determină o dependență proporțională între x_{rR} și x_c (el poate fi un traductor, o rețea de corecție pasivă etc.).

2. Clasificarea regulatoarelor

Clasificarea regulatoarelor se poate face după mai multe criterii, dintre care vor fi amintite cele mai importante.

• **În funcție de sursa de energie exterioară folosită**, regulatoarele se clasifică în *regulatoare directe* — atunci cînd nu este necesară o sursă de energie exterioară, transmiterea semnalului realizându-se pe seama energiei interne — și *regulatoare indirecte* — care folosesc o sursă de energie exterioară pentru acționarea elementului de execuție.

• **După viteză de răspuns**, regulatoarele se clasifică în *regulatoare pentru procese rapide*, folosite pentru reglarea automată a instalațiilor tehnologice care au constante de timp mici (mai mici de 10) și *regulatoare pentru procese lente*, folosite atunci cînd constantele de timp sunt mari (depășesc 10 s).

• **După tipul acțiunii**, pot fi *regulatoare cu acțiune continuă* și *regulatoare cu acțiune discretă*.

Regulatoare cu acțiune continuă sunt cele în care mărimele $\varepsilon(t)$ și $x_c(t)$ variază continuu în timp (mărimi analogice); dacă dependența dintre cele două mărimi este liniară (în sensul proporționalității), regulatorul se numește *liniar*, iar dacă este neliniară — regulator *neliniar*.

Regulatoare cu acțiune discretă (sau regulatoarele discontinue) sunt cele la care mărimea $\varepsilon(t)$, deci și $x_c(t)$ reprezintă un tren de impulsuri; la aceste regulatoare există o relație discontinuă între abatere și mărimea de execuție.

• **După caracteristicile constructive**, se deosebesc *regulatoare unificate* și *regulatoare specializate*.

Regulatoarele unificate se pot utiliza pentru reglarea a diferiți parametri (temperatură, presiune, debit etc.), iar cele specializate — numai pentru o anumită mărime, caracteristică pentru un proces dat.

• **După agentul purtător de semnal**, regulatoarele sunt de *tip electronic, electromagnetic, hidraulic sau pneumatic*.

Clasificarea regulatoarelor în funcție de particularitățile de construcție și funcționale este prezentată schematic în figura 6.2.

B. REGULATOARE CU ACȚIUNE CONTINUĂ

La aceste regulatoare, mărimea de comandă este influențată în mod continuu de mărimea reglată. De aceea, este în principiu posibil să se dea mărimi de execuție acea valoare care este necesară pentru menținerea constantă a valorii prescrise a mărimi reglate.

Un rol deosebit îl au *regulatoarele cu acțiune continuă liniare*.

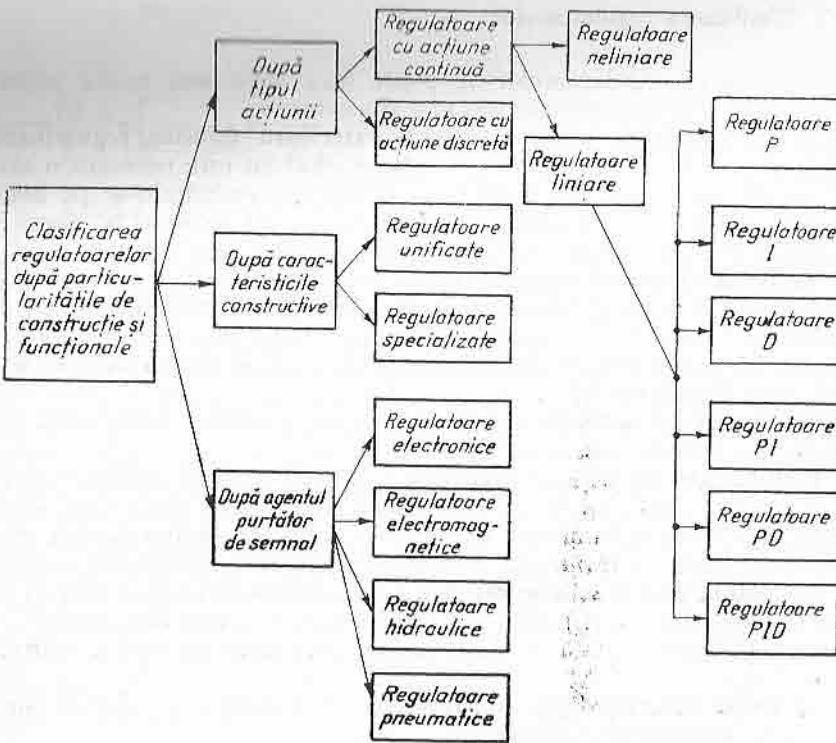


Fig. 6.2. Clasificarea regulatorilor în funcție de particularitățile de construcție și funcționale.

1. Regulatoare liniare

Se numesc regulatoare liniare toate regulatoarele cu acțiune continuă în care legea de reglare, adică dependența dintre $x_c(t)$ și $\varepsilon(t)$, are un caracter liniar.

Din clasificarea prezentată în figura 6.2, rezultă că regulatoarele liniare sunt de şase tipuri: regulatoare cu acțiune proporțională, notează cu P; regulatoare cu acțiune integrală, notează cu I; regulatoare cu acțiune diferențială — D; regulatoare cu acțiune proporțional-integrală — PI; regulatoare cu acțiune proporțional-diferențială — PD și regulatoare cu acțiune proporțional-integral-diferențială, notează cu PID.

a. Regulatoare cu acțiune proporțională (P)

Acstea regulatoare stabilesc, între mărimea de intrare în regulator $\varepsilon(t)$ și cea de comandă $x_c(t)$ o relație de proporționalitate:

$$x_c(t) = K_R \cdot \varepsilon(t), \quad (6.3)$$

în care K_R este factorul de amplificare al regulatorului.

Astfel, în cazul în care mărimea de intrare este o funcție treaptă unitară (fig. 6.3, a), mărimea de ieșire va fi de asemenea o funcție treaptă (fig. 6.3, b), dar amplificată prin K_R . În realitate, mărimea de comandă nu poate urmări instantaneu variațiile mărimii de acționare, datorită inerției elementelor din cuprinsul regulatorului și, din această cauză, răspunsul real va avea aspectul indicat în figura 6.3, b cu linie întreruptă.

Uneori, în locul factorului de amplificare K_R se folosește o altă constantă, denumită *bandă de proporționalitate* a regulatorului P , care se notează cu BP . Cind domeniul de variație al mărimii de acționare a regulatorului (abaterea ε) este egal cu domeniul de variație al mărimii de comandă, domeniul de proporționalitate se determină din relația:

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

Dacă domeniul de variație al mărimii ε diferă de cel al lui x_c , domeniul de proporționalitate se determină din relația:

$$BP = \frac{100}{K_R} \cdot \frac{\text{domeniul } \varepsilon}{\text{domeniul } x_c} [\%]. \quad (6.5)$$

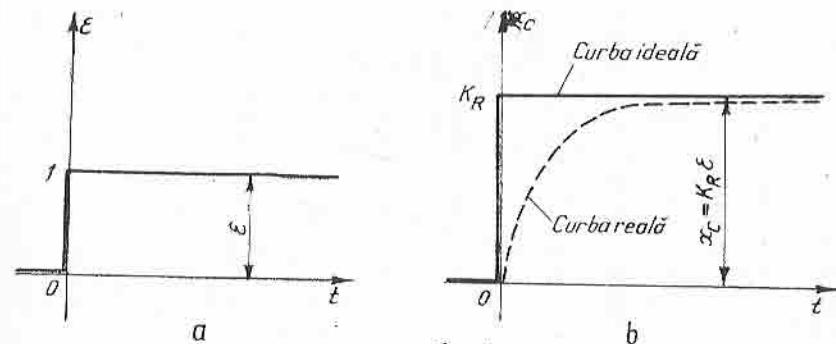


Fig. 6.3. Variația tip treaptă unitară aplicată la intrarea unui regulator automat (a) și variația obținută la ieșirea lui (b).

• **Regulator P cu acțiune indirectă.** În figura 6.4 este prezentată simplificat reglarea automată a presiunii unui fluid utilizând un regulator de tip P cu acțiune indirectă (cu sursă de energie exterioară). În acest exemplu, parametrul ce se reglează este presiunea fluidului din conductă 5.

Ansamblul regulator-element de execuție conține următoarele elemente: traductorul de reacție, elementul de prescriere, elementul de comparare, amplificatorul cu distribuitor, elementul de execuție.

— *Traductorul de reacție* (elementul de măsurare) este format din membrana elastică 1 care convertește variațiile presiunii din conductă 5 în variații de deplasare liniară ale tijei fixate de membrană.

— *Elementul de prescriere* 3 este elementul cu ajutorul căruia se fixează valoarea de conseñă a presiunii din conductă. Prin intermediul resortului 2, elementul de prescriere deplasează punctul A al tijei ABC.

— *Elementul de comparare* 9 este format din pîrghia ABC.

— *Amplificatorul cu distribuitor* 4 folosește ca sursă de energie exterioară un fluid cu presiunea p_0 . Existența acestui amplificator este legată de necesitatea elaborării semnalului capabil să acționeze pistonul 7 al elementului de execuție.

— *Elementul de execuție* este format din cilindrul 8, pistonul 7 și clapeta de închidere 6.

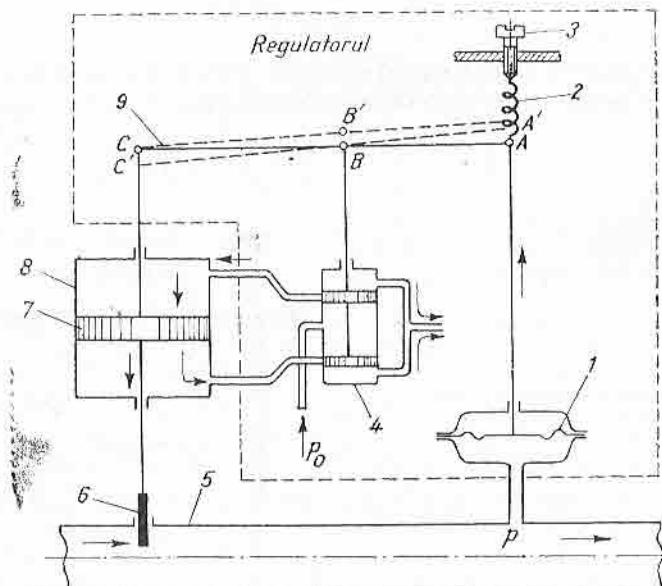


Fig. 6.4. Regulator P cu acțiune indirectă.

Se presupune că inițial presiunea din conductă se află la valoarea nominală p_n (denumită și *valoare de conseñă*) și că la un moment dat are loc o creștere a presiunii p ($p > p_n$). În aceste condiții, se produc următoarele modificări în funcționarea dispozitivului:

— membrana 1 se deformează sub acțiunea presiunii p și tija de legătură cu membrana se deplasează în sus, comprimînd resortul 2; ca urmare, punctul A se deplasează în A';

— elementul de comparare 9 își modifică poziția și se stabilește pe linia A'B'C', antrenînd și tija cu pistonașe a amplificatorului 4;

— orificiul de legătură dintre amplificatorul 4 și elementul de execuție 8, din partea de sus a amplificatorului, se deschide puțin (deschiderea este cu atât mai mare, cu cât abaterea lui p de la valoarea p_n a fost mai mare) și fluidul sub presiunea p_0 intră pe fața superioară a pistonului 7, împingîndu-l în jos;

— clapeta 6 obturează mai mult din secțiunea de trecere a fluidului din conductă 5 și presiunea p scade, tinzînd spre p_n ; în această situație, elementul de comparare revine la poziția ABC.

În cazul în care presiunea p ar fi scăzut față de valoarea nominală, respectiv $p < p_n$, acțiunea regulatorului ar fi fost inversă, tinzînd să ducă la creșterea lui p .

b. Regulatoare cu acțiune integrală (I)

Denumirea de regulatoare cu acțiune integrală derivă de la tipul de dependență între mărimea de acționare (abaterea ε) și mărimea de comandă (x_c) pe care o realizează acest tip de regulatoare, și anume:

$$x_c(t) = K_I \int \varepsilon(t) dt. \quad (6.6)$$

Relația (6.6) arată că mărimea de comandă (de la ieșirea regulatorului) depinde de integrala abaterii ε . Constanta K_I , care este fixată prin construcția regulatorului, se numește *factor de amplificare* al regulatorului I.

În loc de constanta K_I , se mai utilizează valoarea inversă a acesteia

$$T_I = \frac{1}{K_I}, \quad (6.7)$$

în care T_I se măsoară în unități de timp și se numește *constanta de timp de integrare*.

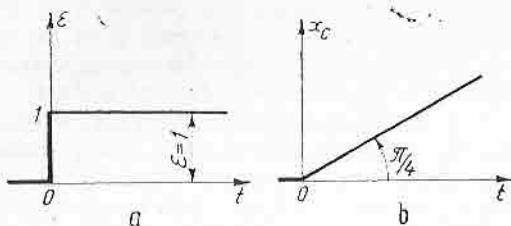


Fig. 6.5. Răspunsul unui regulator I la o intrare treaptă unitară.

La acest tip de regulatoare, o abatere treaptă unitară creează ca răspuns o mărime de comandă de forma unei rampe (fig. 6.5) înclinate cu $\frac{\pi}{4}$.

Dacă se derivează ambii membri ai relației (6.6), rezultă:

$$\frac{dx_c(t)}{dt} = K_I \varepsilon(t). \quad (6.8)$$

Rezultă că la regulatoarele I viteza de variație a mărimii de comandă $\frac{dx_c(t)}{dt}$ este proporțională cu abaterea (în cazul prezentat în figura 6.5, ea este constantă).

c. Regulatoare cu acțiune diferențială (D)

Regulatoarele cu acțiune diferențială realizează o lege de reglare în care mărimea de ieșire a regulatorului (sau mărimea de comandă) este proporțională cu derivata mărimii de intrare. Exprimarea matematică a legii de reglare a acestor regulatoare este:

$$x_c(t) = K_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt}. \quad (6.9)$$

Altfel spus, mărimea de comandă este proporțională cu viteza de variație a erorii (sau abaterii).

În relația (6.9), coeficientul K_D depinde de construcția regulatorului și se numește *factor de amplificare* al regulatorului D .

Formele mărimilor de comandă ce se obțin în aceste regulatoare, ca răspuns la diferite tipuri de variație a abaterii, sunt arătate în figurile 6.6 și 6.7. În figura 6.6 se arată că pentru o abatere în treaptă unitară se obține impulsul unitar (Dirac) ca mărime de comandă. În figura 6.7 se arată că pentru o variație oarecare a abaterii, mărimea de comandă are practic forma unui impuls.

Din figura 6.7 rezultă că la o modificare relativ monotonă a lui $\varepsilon(t)$, viteza de variație a abaterii $\dot{\varepsilon}$ crește mai repede decât abaterea, ceea ce face ca regulatorul D să acționeze mai rapid decât un regulator P . Pentru a sublinia această particularitate a regulatorului D , se spune că acesta efectuează *o anticipare a modificării mărimii regulate* având drept efect o creștere a rapidității răspunsului.

Se observă însă că avantajul pe care îl prezintă regulatoarele D , de a oferi un răspuns foarte rapid, este contracararat de durata foarte mică a intervalului de timp în care se manifestă acest răspuns (v. fig. 6.7).

○ **Concluzii.** Fiecare dintre cele trei tipuri de regulatoare descrise au unele *deficiențe*, care micșorează posibilitățile lor de utilizare.

Astfel, *regulatoarele cu acțiune proporțională* P mențin în regim staționar o eroare a cărei valoare depinde de sarcină. Ele pot fi utilizate numai atunci când procesul reglat admite o asemenea eroare.

Regulatoarele cu acțiune integrală (I) micșorează stabilitatea sistemelor automate și necesită o durată mai mare a procesului de reglare (în comparație cu cele proporționale).

Regulatoarele D nu pot fi practic utilizate, deoarece ele oferă o mărime de comandă de durată insuficientă pentru a elimina abaterea apărută și, deci, nu pot realiza un regim staționar al reglării.

ACESTE DEFICIENȚE AU CONDUS LA APARIȚIA UNOR **REGULATOARE MIXTE** DIN PUNCTUL DE VEDERE AL MODULUI DE ACȚIONARE, REZULTATE DIN COMBINAREA MAI MULTOR REGULATOARE CU ACȚIONARE P , D SAU I , și anume:

— *regulatoare PI* (o combinație între un regulator proporțional și unul integral);

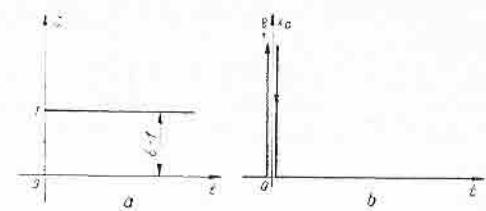


Fig. 6.6. Răspunsul regulatorului D la o intrare treaptă unitară.

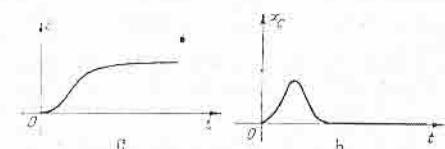


Fig. 6.7. Răspunsul regulatorului D la o variație la intrare de formă oarecare.

— regulatoare *PD* (o combinație între un regulator proporțional și unul diferențial);

— regulatoare *PID* (o combinație de regulatoare *P*, *I* și *D*).

Se pot obține și alte combinații, de exemplu PD_1D_2 — cu dublă reglare diferențială etc., însă acestea sunt tot mai puțin utilizate.

1. Regulatoare neliniare

Regulatoarele neliniare sunt acele regulatoare la care dependența dintre mărimea de comandă x_c și eroarea ϵ este neliniară.

În realitate, dependența liniară între x_c și ϵ se confirmă numai dacă eroarea are valori foarte mici. De aceea, se poate spune că un regulator are o comportare liniară numai pentru un anumit domeniu limitat de variație a erorii $\epsilon(t)$.

Principalele tipuri de regulatoare neliniare sunt următoarele: *regulatoare cu acțiune tip releu* (de exemplu, regulatoarele bipozitionale și regulatoarele tripozitionale), *regulatoare cu acțiune discretă* și a.

• Un exemplu de regulator neliniar de tip bipozitional, utilizat la **reglarea temperaturii unui cuptor**, este prezentat în figurile 6.8, a, b, c.

Regulatorul bipozitional din figura 6.8, a conține un element de măsurat temperatură, realizat cu ajutorul unei lame bimetalice. Aceasta se deformează sub acțiunea temperaturii (fig. 6.8, b) oferind posibilitatea măsurării variațiilor de temperatură din cuptor. Pentru fixarea consumului de temperatură, lama bimetalică se deformează inițial cu șurubul de prescriere pînă la poziția corespunzătoare temperaturii T_p la care dorim să se încălzească cuptorul. La închiderea întreruptorului K_1 se stabilește un circuit electric închis (indicat în figură de săgeți) prin care trece un curent electric I care încălzește cuptorul. Dacă temperatura din cuptor crește continuu și depășește valoarea prescrisă T_p , circuitul va rămîne închis atît timp cât este necesar lamei bimetalice să se curbeze pînă la întreruperea contactului K_2 . Neglijînd inerția cuptorului, se poate considera că după întreruperea contactului începe răcirea (fig. 6.8, c), pînă cînd temperatura ajunge la valoarea T_2 . În timpul răciri, lama de bimetal tinde să se îndrepte și la temperatura T_2 atinge șurubul, circuitul se închide și cuptorul începe din nou să se încălzească. Aceste conectări și deconectări se repetă permanent atît timp cât funcționează cuptorul, asigurînd în felul acesta o reglare a temperaturii în jurul valorii prescrise, după o caracteristică de *tip releu*.

○ **Notă.** Regulatorul bipozitional mai este denumit și regulator de tipul *tot sau nimic*, deoarece mărimea de comandă x_c primește numai două valori: valoarea maximă („tot”) și zero („nimic”).

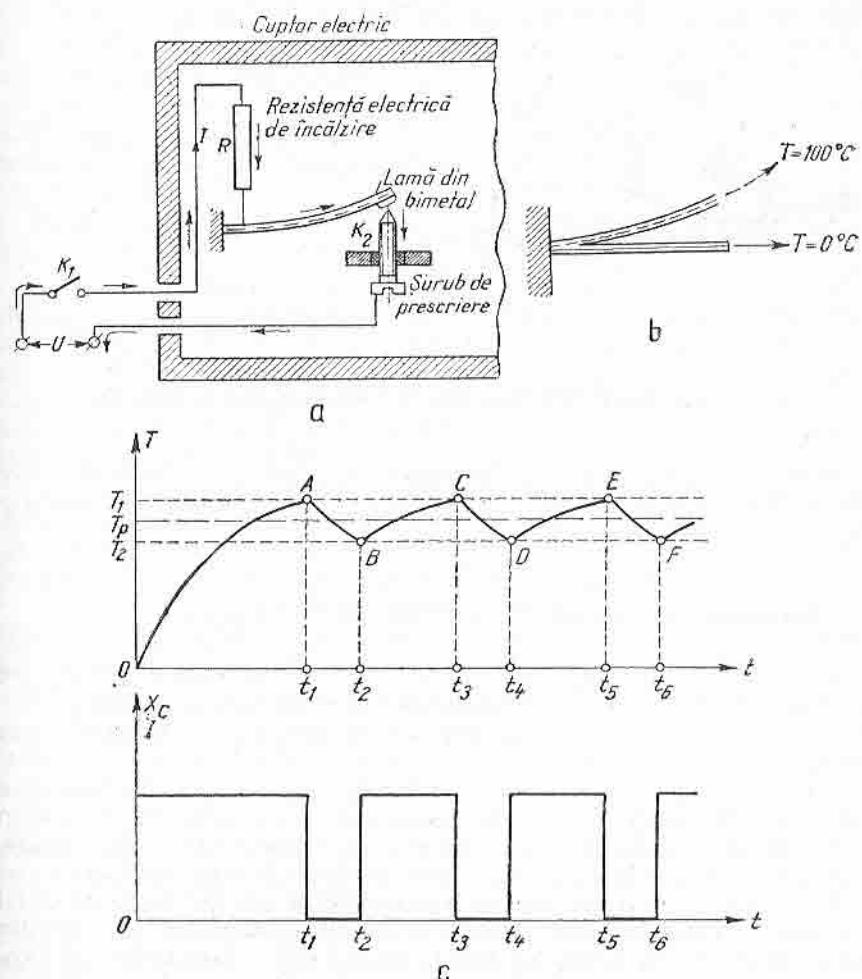


Fig. 6.8. Regulator bipozitional folosit la reglarea temperaturii unui cuptor și caracteristicile lui funcționale.

● O aplicație largă a regulatorului bipozitional o reprezintă **reglarea temperaturii fierului de călcat** (figura 6.9).

La noi în țară se fabrică milivoltmetrul regulator bi- și tripozitional (tip ET-M-10) și logometrul regulator bi- și tripozitional (tip EK-L-10). Valorile parametrului reglat sunt controlate la intervale egale de timp, cu ajutorul unui mecanism acționat de un motor sincron.

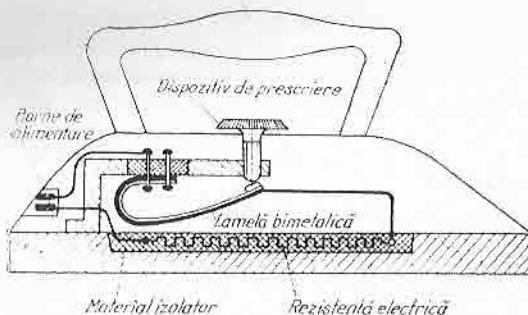


Fig. 6.9. Utilizarea regulatorului bipozitional la fierul de călcat

C. REGULATOARE SPECIALIZATE ȘI REGULATOARE UNIFICATE

În figura 6.2 s-a arătat că din punctul de vedere al caracteristicilor constructive, regulaatoarele se clasifică în regulaatoare specializate și regulaatoare unificate.

1. Regulaatoare specializate

În prima etapă de dezvoltare a automatizării instalațiilor și proceselor s-au fabricat, în exclusivitate, **regulaatoare specializate**, destinate, proiectate și construite pentru un anumit tip de instalație tehnologică (sau proces).

Dar, în practică există o mare varietate de procese care se impun a fi automatizate, ceea ce ar implica proiectarea și producerea unei largi diversități de regulaatoare și elemente de automatizare specializate. Aceasta ar conduce la executarea unor produse de serie mică, în loturi insuficiente de avantajoase pentru întreprinderile producătoare de astfel de elemente de automatizare, și ar necesita un consum mare de timp din momentul precizării cerințelor beneficiarului (tipul instalației sau procesului reglat, performanțele impuse regulaatorului etc.) și pînă la executarea concretă a regulaatorului comandat.

2. Regulaatoare unificate

Spre deosebire de instalațiile cu regulaatoare specializate, cele cu elemente de automatizare unificate se caracterizează prin stabilirea și utilizarea unui semnal standard, atât ca natură, cât și ca nivel. Ele au

fost prevăzute nu numai cu regulaatoare unificate, dar chiar cu elemente sau blocuri tip, cu semnale unificate, care îndeplinesc funcții independente și se caracterizează prin faptul că mărimele (semnalele) de intrare și de ieșire ale fiecărui element sunt de aceeași natură fizică și au aceleași limite ale gamei (domeniului) de variație.

Combinarea diferită a regulaatoarelor și elementelor de reglare unificate, cu structură funcțională și constructivă modulară, permite folosirea sistemelor unificate la automatizarea unor instalații cu caracteristici tehnologice diferite.

După agentul purtător de semnal, regulaatoarele unificate se împart în *regulaatoare unificate pneumatici, hidraulice și electronice*.

- În cazul **regulaatoarelor unificate pneumatici**, semnalul unificat adoptat în general este presiunea de 0,2 ... 1 ats (atmosferă suprapresiune). La această presiune redusă, debitul de aer de lucru consumat este mic, viteza de propagare a semnalului este maximă, iar pericolul de condensare a vaporilor de apă, ca urmare a variațiilor de temperatură, este practic înălțurat. În țară se produc elemente de automatizare pneumatice în fabrica de la Bîrlad.

- În cazul **regulaatoarelor unificate hidraulice** (cu ulei), datele publicate asupra mărimerilor adoptate menționează presiunea uleiului de 1,5 kg/cm² pentru alimentarea regulaatorului, cu variații ale presiunii de comandă a uleiului între limitele 0,2 ... 1,1 kg/cm².

- În cazul **regulaatoarelor unificate electronice**, semnalul unificat adoptat de majoritatea întreprinderilor constructori de echipamente de automatizare este o mărime electrică (tensiune sau curent) continuă.

- **Observația 1.** Nu se folosește un semnal electric alternativ, deoarece acesta ar implica o serie de dificultăți legate de influența impedanței circuitelor electrice, de defazajele produse, de necesitatea folosirii unor cabluri speciale etc.

- **Observația 2.** Instalațiile sau procesele tehnologice reglate pot avea constante de timp diferite. Astfel, unele dintre ele se caracterizează prin constante de timp mari (reglarea temperaturii, reglarea debitului, nivelului, presiunii și concentrației la cazanele de abur etc.), pe cînd altele, dimpotrivă, prin constante de timp reduse (reglări de viteză, poziție, reglarea tensiunii de excitație a generatoarelor electrice, reglarea turării motoarelor etc.). Primele se numesc *procese lente*, celelalte *procese rapide*. În cadrul proceselor rapide, un loc important îl ocupă instalațiile de curenti tari de tipul echipamentelor electroenergetice și al acționărilor electrice. Regulaatoarele unificate vor avea deci caracteristici tehnice și constructive diferite, în funcție de procesul reglat, deoarece realizarea constantelor de timp diferă de la un caz la altul.

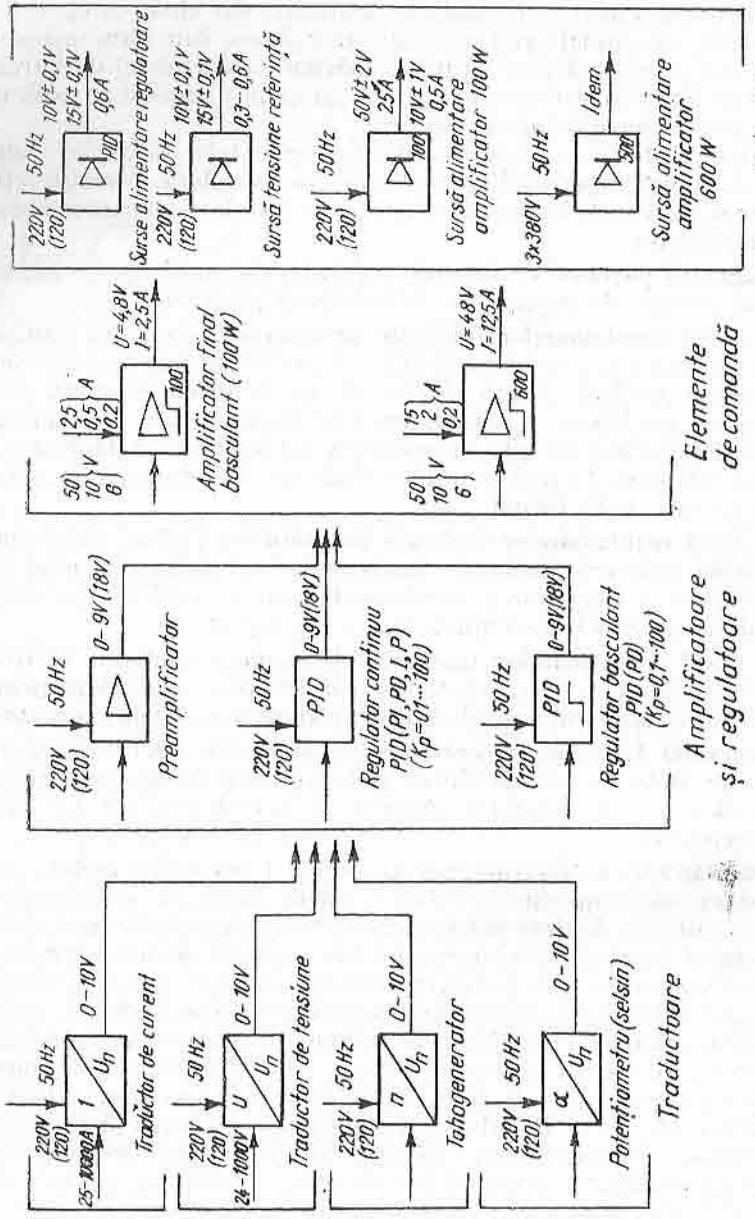


Fig. 6.10 Elemente componente ale sistemului unificat electronic UNIDIN.

În funcție de gama de variație a semnalului unificat electric (limitele domeniului de variație), se întâlnesc două variante de regulație:

- cu nivel minim zero;
- cu nivel minim diferit de zero.

În țara noastră au fost adoptate: varianta cu semnal de nivel minim zero pentru sistemul electronic unificat UNIDIN, destinat reglării proceselor rapide (semnalul unificat fiind o tensiune continuă de $+10$ V, cu gama de variație $0 \dots 10$ V) și varianta cu semnal minim diferit de zero pentru sistemul electronic unificat *e-line*, produs de Întreprinderea de Elemente de Automatizare București, destinat reglării proceselor lente (semnalul unificat fiind un curent continuu, cu gama de variație $2 \dots 10$ mA).

În figura 6.10 sunt reprezentate elementele componente ale sistemului unificat electronic UNIDIN fabricat în țară, destinat reglării proceselor rapide.

Sistemul UNIDIN poate asigura reglarea diferenților parametri: poziție, viteză, acceleratie, curent, tensiune, curent de excitare etc.

Semnalul unificat este tensiunea continuă de ± 10 V (cu o rezervă pînă la ± 12 V). Semnalul de intrare poate fi adaptat la valoarea dorită cu ajutorul unor rezistențe reglabile. Actionarea dorită în regim dinamic (P, PD, PI sau PID) se obține prin aplicarea unei reacții RC adecvate amplificatorului de bază, care este un amplificator operațional tranzistorizat. Sistemul este prevăzut cu surse de tensiune stabilizate, este în întregime tranzistorizat și are circuite imprimate.

D. REGULATOARE ELECTRONICE, PNEUMATICE, HIDRAULICE

1. Regulatoare electronice

Regulatoarele electronice se caracterizează prin faptul că *au în compoziția lor elemente electrice și electronice sau numai electronice, iar semnalul purtător de informație este de natură electrică*.

Au o utilizare extrem de largă în reglarea proceselor rapide și lente, oferind posibilități de reglare continuă sau discretă.

Principalele *avantaje* ale regulațoarelor electronice sunt: inerția redusă; consumul de putere redus; realizarea relativ ușoară a unor legi diferențiale de reglare; posibilitatea de a lucra în combinație cu calculatoare electronice etc.

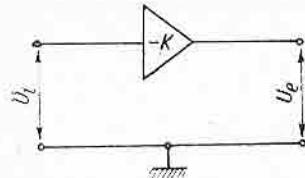


Fig. 6.11. Amplificator de c.c.

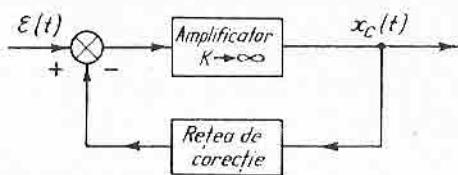


Fig. 6.12. Schema-bloc a unui regulator electronic.

Elementul principal al unui regulator electronic cu acțiune continuă îl constituie *amplificatorul cu reacție cu circuite operaționale*, care realizează relația:

$$U_e = -KU_i \quad (6.10)$$

în care U_i și U_e sunt respectiv tensiunile de intrare și ieșire, iar K este factorul de amplificare (fig. 6.11).

Din relația (6.10) se vede că amplificatorul de curent continuu schimbă semnul mărimii de intrare.

Legea concretă de reglare a instalației date se realizează, pentru regulatoarele tipizate, prin circuite de corecție aplicate amplificatorului de curent continuu. De aceea, regulatoarele electronice se construiesc, în general, utilizând un amplificator de c.c. cu factor de amplificare foarte mare, având o rețea de corecție pasivă în jurul lui (fig. 6.12).

Structurile în care se realizează diferite regulatoare electronice tipizate sunt date în tabelul 6.1.

Ca exemplu, în continuare sunt prezentate două tipuri de bază dintre regulatoarele electronice fabricate de I.E.A.-București.

● **Regulatoare electronice cu semnal unificat de tipul ELC.** Regulatoarele de tipul ELC sunt regulatoare continue pentru procese lente care fac parte din sistemul unificat *e-line* produs de IEA-București și permit realizarea unei reglări PI sau PID. Se construiesc în patru variante, care diferă puțin între ele. Schema-bloc a regulatorului se prezintă în figura 6.13.

Regulatorul conține un amplificator operațional cu modulare-demodulare. Modulatorul primește de la oscillatorul local semnal sinusoidal cu frecvență de 500 Hz. Pe lângă funcția sa de a modula semnalul de intrare, el are și rolul de element intern de comparație, însumând algebraic semnalul de eroare primit prin circuitul de comparație cu rezistențe și semnalul de la ieșirea circuitului de reacție operațional.

Tipul regulatorului	Schema bloc a regulatorului electronic	Dependența dintre mărimea de acționare și mărimea de comandă
P		$U_e = -\frac{R_2}{R_1} U_i$
I		$U_e = -\frac{1}{RC} \int U_i dt$
D		$U_e = -RC \frac{dU_i}{dt}$
PI		$U_e = -\left(\frac{R}{R_1} U_i + \frac{1}{RC} \int U_i dt\right)$
PD		$U_e = \frac{2R}{R_1} (U_i + I_D \frac{dU_i}{dt})$ unde $T_D = \frac{RC}{2}$
PID		$U_e = -\frac{2R_d R_1}{R_1^2} \left[\left(1 + \frac{T_p}{T_I} \right) U_i + \frac{1}{T_D} \frac{dU_i}{dt} + \frac{1}{h} \int U_i dt \right]$ unde $T_p = R_d C_d$ $T_D = \frac{R_d C_d}{2}$

Semnalul lent variabil rezultat este înfăşurătoarea unui semnal sinusoidal de 1 000 Hz ce apare la ieșirea modulatorului; semnul acestuia face ca el să fie în fază sau în opoziție de fază cu semnalul dreptunghiular de 1 000 Hz furnizat de același oscilator local. Semnalul modulat se aplică blocului amplificator de c.a., format din trei etaje de amplificare, și demodulatorului sincron. La ieșirea acestuia se obține o tensiune continuă proporțională cu semnalul de 1 000 Hz al modulatorului și a cărei polaritate este funcție de fază semnalului de c.c. În continuare se realizează o netezire a acestui semnal cu ajutorul unor condensatoare în derivatie pe rezistență de sarcină. Amplificarea în putere se realizează cu două tranzistoare cu siliciu.

Circuitele de reacție se realizează cu rezistențe și capacitați, formînd rețele pasive asemănătoare cu cele utilizate pentru realizarea structurilor de regulatoare PI și PID din tabelul 6.1. În funcție de structura circuitului de reacție, se pot realiza cele două legi de reglare, PI sau PID.

Parametrii de bază ai regulatorului pentru varianta PID sunt:

- banda de proporționalitate: $BP = 0,5 \dots 200\%$;
- $T_I = 10 \text{ s} \dots 30 \text{ min}$;
- $T_D = 0,5 \text{ s} \dots 10 \text{ min}$;
- semnal unificat $2 \dots 10 \text{ mA}$;
- impedanța de sarcină: $3 \text{ k}\Omega$.

Regulatorul este prevăzut cu un comutator care face trecerea AUTOMAT-MANUAL. Sunt prevăzute și două aparatelor de măsurat: M_1 — pentru măsurarea abaterii ε și M_2 — pentru măsurarea mărimei de comandă x_c .

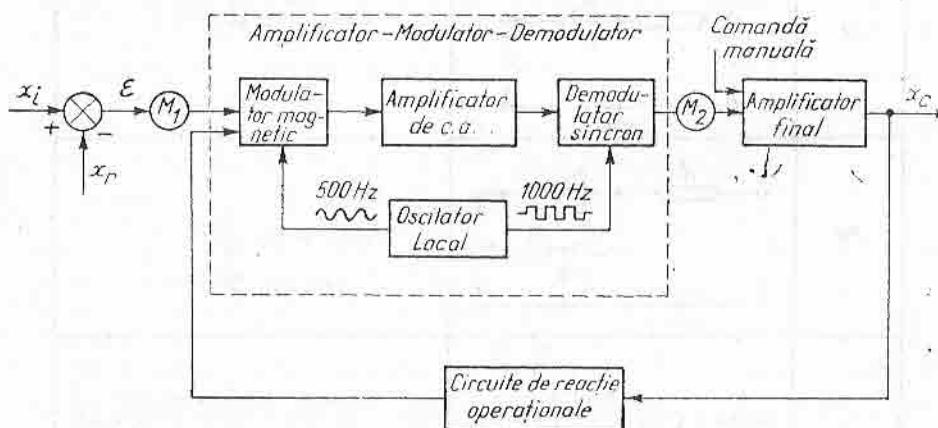


Fig. 6.13. Schema-bloc a regulatorului electronic cu semnal unificat tip ELC.

Operația de modulare — amplificare — demodulare se face cu scopul de a asigura amplificarea semnalului continuu cu un amplificator de curent alternativ.

În tabelul 6.2 sunt arătate principalele caracteristici ale regulatoarelor ELC, fabricate în țară.

• **Regulatorul electronic unificat UNIDIN.** Regulatorul electronic unificat UNIDIN este un regulator tranzistorizat, folosit în reglarea proceselor rapide, de tipul acționărilor electrice. Legea de reglare este

Tabelul 6.2

Caracteristicile regulatoarelor ELC

Caracteristici tehnice	Regulatoare ELC 111	Regulatoare ELC 111 A	Regulatoare ELC 113	Regulatoare ELC 113 A
Possibilități de reglare Legea de reglare Gama de indicare	Manuală și automată PID —	Manuală și automată PI —	Manuală și automată PID $\pm 15\%$ din întreaga scală în jurul valo-rii de referință	Manuală și automată PI $\pm 15\%$ din întreaga scală în ju-ru, valorii de referință
Pecizia indicării Banda de propor- ționalitate	— 2 ... 200%, în 24 de trepte	— 4 ... 400% în 24 de trepte	— 2 ... 200%, în 24 de trepte	1% 2 ... 200%, în 24 de trepte
Timpul de inté- grare	10 s ... 30 min, în 24 de trepte	1 ... 100 s, în 24 de trepte	10s ... 20min, în 24 de trepte	1 ... 100%, în 24 de trepte
Mărimea de in- trare Mărimea de re- ferință Mărimea de ie- șire Rezistența de sarcină Temperatura me- diului ambiant Timpul de deser- vire Tensiunea de ali- mentare	2 ... 10 mA cu- rent continuu 2 ... 10 mA cu- rent continuu 2 ... 10 mA cu- rent continuu 0 ... 3 kΩ -10°C pînă la +45°C 5s ... 10 min, în 42 de trepte	2 ... 10 mA cu- rent continuu 0,4 ... 2 V cu- rent continuu 0,4 ... 2 V cu- rent continuu — 5s ... 10 min în 24 de trepte	220V, 50Hz	220V, 50 Hz
			5s ... 10 min în 24 de trepte	—

stabilită de circuitele de corecție care se aplică amplificatorului. În cazul în care este necesară o putere de ieșire mică, regulatorul este cu acțiune continuă; pentru puteri de ieșire mai mari el este de tip basculant.

Regulatorul UNIDIN poate realiza reglări de tipul PI, PD și PID (v. tabelul 6.1).

2. Regulatoare pneumaticice

Folosirea regulatoarelor pneumatice se datorează *avantajelor* acestora, adică ele prezintă o mare siguranță în funcționare și nu necesită personal cu calificare ridicată în exploatare, sunt robuste, de construcție simplă, și relativ mai ieftine decât cele electronice. În plus, ele pot funcționa în medii inflamabile sau explozive, întrucât este exclusă posibilitatea apariției unor scânteie (posibilitate prezentă la cele electronice).

Dezavantajul principal al regulatoarelor pneumatice îl constituie raza de acțiune redusă. Astfel, regulatoarele pneumatice nu se pot utiliza la distanțe mai mari de 300 m, deoarece intervin întârzieri în transmisarea semnalelor. În plus, ele necesită instalații anexe de producere a aerului comprimat, conducte de legătură etc.

a. Regulator pneumatic cu comportare P

În figura 6.14 este reprezentat un regulator pneumatic cu comportare P.

Regulatorul are sarcina de a menține constantă presiunea p din conductă 1, prin variația secțiunii de trecere a conductei cu ajutorul ventilului cu membrană 2.

Presiunea din conductă acționează asupra burdufului metalic BM și exercită prin aceasta o forță asupra pîrghiei 3, care se poate roti în jurul articulației 4. Forța care acționează pîrghia este proporțională cu presiunea din conductă și cu aria burdufului.

La extremitatea din stînga a pîrghiei 3 se află clapeta 5 plasată în dreptul duzei 6, alimentată cu aer comprimat la o presiune aproximativă constantă ($p_0 = 1, 2 \dots, 1,4 \text{ kgf/cm}^2$). Înainte de duză se derîvă conductă cu aer la presiunea de execuție p_e spre ventilul cu membrană 2 (elementul de execuție). Atunci cînd clapeta 5 se găsește foarte aproape de duză, presiunea de execuție p_e crește pînă la o valoare foarte apropiată de presiunea de alimentare p_0 . Dacă însă clapeta se găsește la distanță

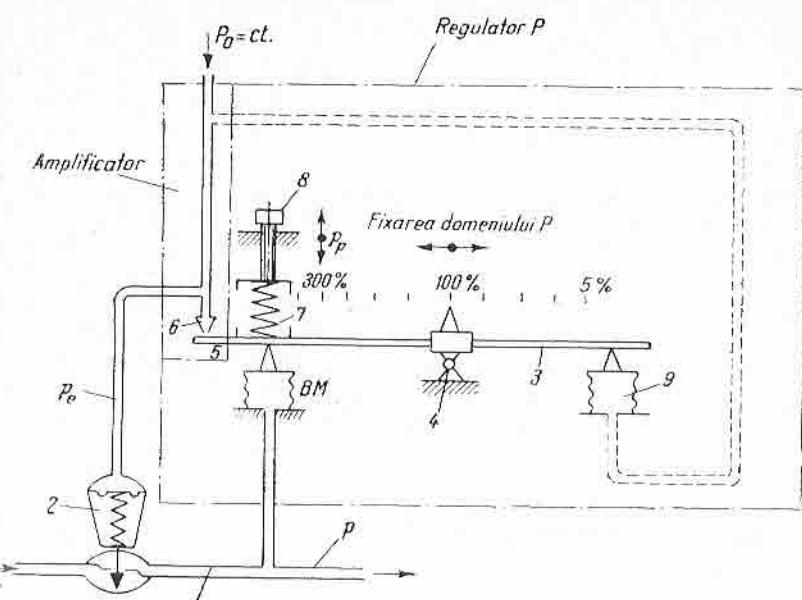


Fig. 6.14. Regulator pneumatic cu comportare P.

mare de duză, presiunea de execuție p_e scade pînă aproape de zero. Deci, prin modificarea distanței dintre duză și clapetă, presiunea de execuție poate fi variată între o valoare apropiată de zero și o valoare apropiată de p_0 .

Factorul de amplificare al regulatorului este mare, deoarece pentru deplasarea clapetei nu este necesară decât o energie extrem de mică, în vreme ce presiunea de execuție (cu valori maxime de aproximativ 1 daN/cm²) poate dezvolta o forță de execuție considerabilă.

Presiunea de execuție p_e acționează asupra membranei ventilului 2 și învinge forța unui resort, deplasînd capul ventilului și modificînd secțiunea de trecere în conductă 1.

Pentru fixarea consemnului de presiune (adică a valorii dorite a presiunii în conductă 1), se armează resortul 7 cu ajutorul șurubului 8.

În scopul lărgirii domeniilor de lucru și pentru creșterea stabilității regulatorului, se poate introduce reacția rigidă, reprezentată prin linii întrerupte în figura 6.14. Introducerea unui burdul de reacție 9 pe legătura de reacție, transformă funcționarea sistemului dintr-o funcționare cu deviație a echipajului mobil într-o funcționare cu compararea forțelor.

3. Regulatoare hidraulice

Una dintre forțe este proporțională cu presiunea reglată p , celalătă este proporțională cu mărimea de execuție. Dacă, de exemplu, la creșterea presiunii în conductă clapeta se apropie de duză, presiunea de execuție p_e crește puțin și determină — prin intermediul burdufului 9 — o forță antagonistă mărită, care acționează în sensul creșterii distanței dintre duză și clapetă.

Prin mutarea punctului de articulație 4 se variază, după dorință, lungimea brațelor pîrghiei 3 și prin aceasta, influența exercitată de burduful de reacție. De exemplu, dacă acest punct se găsește aproape de burduful 9, se obține o influență mică a reacției, o amplificare mare și un domeniu de proporționalitate mic. Dacă, dimpotrivă, punctul de articulație se află în apropierea burdufului de măsurat BM , se obține o reacție puternică, o amplificare mică și un domeniu de proporționalitate mare. De regulă, domeniul de proporționalitate al regulatorului poate fi reglat între 5 și 300%, prin deplasarea punctului de articulație 4.

b. Regulatoare pneumaticice unificate

Se fabrică și regulatoare pneumatice unificate; după cum s-a mai arătat, pentru aceste regulatoare a fost adoptat ca semnal unificat presiunea de 0,2 ... 1 ats. În construcția regulatoarelor pneumatice unificate se utilizează în prezent principiul echilibrării forțelor, obținându-se o sensibilitate ridicată a regulatorului.

Elementele elastice folosite în construcția regulatoarelor pneumatice unificate sunt *membranele* (la blocurile unificate fabricate la noi în țară și la sistemele AUS — de fabricație sovietică, Honeywell Tel-O-Set-fabricat SUA etc.) și *burdufurile* (la sistemele Siemens-Teleperm — fabricat în R.F.G., Foxboro Consotrol — în SUA etc.).

În afară de blocurile regulatoare cu semnal pneumatic unificat, sistemele de reglare pneumatice unificate mai cuprind: traductoare primare (elemente sensibile) și adaptoare, elemente indicatoare și înregistratoare, elemente de execuție pneumatice, elemente de calcul etc. În țara noastră se dezvoltă continuu producția de elemente pneumatice de automatizare pentru echiparea sistemelor de automatizare și de calcul automat.

Observație. Se extinde — în prezent — folosirea regulatoarelor electro-pneumatische, care conțin atât elemente electronice, cât și elemente pneumatice. De obicei, acestea se obțin prin combinarea elementelor unificate electronice și a celor pneumatice, cu ajutorul unor convertoare electro-pneumatische și al unor convertoare pneumo-electronice.

Folosirea regulatoarelor hidraulice se datorează, în principal, acelorași avantaje prezentate cu privire la regulatoarele pneumatice.

În figura 6.15 este reprezentat un regulator hidraulic, utilizat pentru menținerea unei presiuni constante. Mărimea reglată este presiunea p a fluidului din conductă 1. Se presupune că presiunea de consum p_n este fixată cu elementul de prescriere 7, prin intermediul resortului 6. În acest caz, uleiul sub presiune care intră în conductă 5, trece prin tubul 4 al amplificatorului hidraulic cu jet și se repartizează în mod egal prin canalele 9 și 10. Aceasta se datorează faptului că tubul 4 este dispus simetric față de orificiile din placa frontală 8.

Se consideră că s-a produs o creștere a presiunii în conductă, ca urmare a unei variații de debit, deci $p > p_n$. Membrana 2 a traductorului de reacție se deformează și transmite axei 3 o deplasare liniară Δh . Deplasarea axei 3 face ca tubul 4 să se rotească cu un unghi α în jurul punctului A; uleiul intră prin conductă 10 în camera inferioară a cilindrului 11 și obligă pistonul 12 (elementul de execuție) să se ridice. Mișcarea pistonului 12 (mărimea de execuție x_m) se transmite prin tija 13 clapetei 14, care micșorează secțiunea de trecere a fluidului, diminuând în felul acesta presiunea p . Pe măsură ce presiunea p scade și se apropie de p_n , membrana revine la forma inițială. Tubul 4 al amplificatorului este readus de resortul 6 în poziția pe care a ocupat-o în regim staționar. În

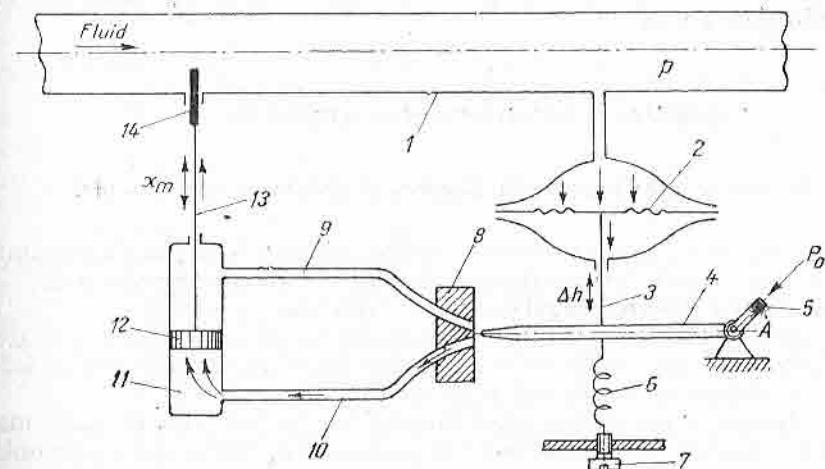


Fig. 6.15. Regulator hidraulic cu comportare I.

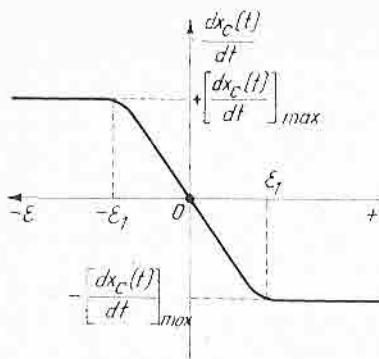


Fig. 6.16. Dependenta $\frac{dx_c(t)}{dt}$ in functie de abaterea e .

o relatie de proportionalitate intre viteza de variație a mărimii de comandă și abatere. Pentru abateri pozitive ($e > 0$) viteza de variație a mărimii de comandă este negativă ($\frac{dx_c(t)}{dt} < 0$), deci mărimea de comandă x_c se micșorează, iar pentru $e < 0$, $\frac{dx_c(t)}{dt} > 0$ și mărimea de comandă crește. Mărimea de execuție, respectiv viteza de deplasare a pistonului 12, variază în funcție de e după o curbă asemănătoare cu cea din figura 6.16.

E. ALEGAREA ȘI ACORDAREA REGULATOARELOR

1. Parametrii care intervin la alegerea și acordarea regulatorului

Se consideră că într-o instalație tehnologică se desfășoară un anumit proces care trebuie automatizat și urmează să fie ales regulatorul.

- Pentru alegerea regulatorului se procedează astfel:
 - se stabilește care tip dintre regulatoarele (specializate sau unificate) P, I, PI, PD, sau PID este mai indicat pentru instalația respectivă;
 - se determină parametrii regulatorului ales.

Deoarece parametrii regulatorului ales se pot afla în game mai largi de valori decât cele necesare la reglarea instalației date, este obligatorie operația de **acordare** a regulatorului în funcție de caracteristici instalației tehnologice. Aceasta constă în ajustarea parametrilor

felul acesta, acțiunea dispozitivului de automatizare se continuă pînă cînd presiunea p a revenit la valoarea nominală p_n , deci eroarea staționară este zero, ceea ce reprezintă o caracteristică a regulatoarelor de tip I.

Deplasarea unghiulară a tubului 4 este proporțională cu abaterea e . Cu cît abaterea este mai mare, cu atât este mai mare viteza de variație a presiunii în una din conductele 9 sau 10, care reprezintă mărimea de comandă x_c . Reprezentînd $\frac{dx_c(t)}{dt}$ în funcție de abate-

rea e , se obține curba din figura 6.16. Din această figură rezultă că la abateri relativ mici ($e < \epsilon_1$) regulatorul asigură

unui regulator (care, de obicei, este unul tipizat), astfel ca acestia să corespundă cerințelor concrete ale instalației date. Dacă această ajustare are în vedere o comportare a procesului reglat care să fie optimă în funcție de un anumit criteriu (de exemplu, durata minimă a procesului tranzitoriu, abaterea minimă, influența minimă a perturbațiilor externe etc.), ea se numește *acordare optimă* a regulatorului.

La studierea diferitelor tipuri de regulatoare, a fost stabilit că în cazul unui regulator de tip P principalul parametru este factorul de amplificare K_R (sau banda de proporționalitate BP), la un regulator tip D , constanta de timp derivativă T_D , iar la un regulator de tip I, parametrul caracteristic este constanta de timp de integrare T_I . Pentru celelalte tipuri de regulatoare, interesează valorile acelorași parametri (de exemplu, la un regulator PI parametrii caracteristici sunt K_R și T_I , la un regulator PD — K_R și T_D , iar la un regulator PID — K_R , T_I și T_D).

2. Alegerea tipului de regulator

Pentru alegerea tipului de regulator, este necesar să se cunoască complet caracteristicile procesului tehnologic ce se desfășoară în instalația reglată. În practică, de cele mai multe ori aceste caracteristici se ridică experimental. În acest scop se aplică la intrarea instalației tehnologice o variație în treaptă și se măsoară continuu mărimea de ieșire x_e .

Funcția $x_e(t)$ ridicată experimental, denumită și **răspunsul real**, se folosește pentru alegerea tipului de regulator. Se presupune — pentru precizarea noțiunii — că această funcție are forma arătată în figura 6.17.

Se duce în punctul de inflexiune I tangenta și se notează punctele A și B. Din B se coboară o perpendiculă pe axa absciselor și se obține punctul C. Pe abscisă se formează astfel două segmente:

- segmentul OA — notat cu T_m — definește un *temp mort fictiv al instalației tehnologice* (în sensul întîrzierii răspunsului);
- segmentul AC, notat ca T — reprezintă *constanta de temp fictivă*.

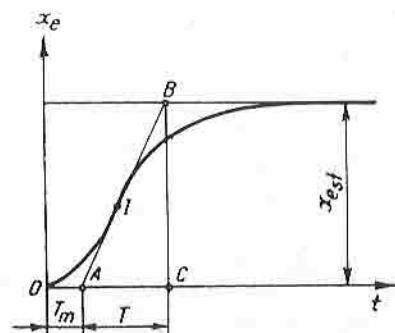


Fig. 6.17. Aproximarea răspunsului real cu un răspuns fictiv.

Caracteristica reală din figura 6.17 poate fi aproximată, prin liniarizare, cu o caracteristică fictivă ca cea reprezentată în figura 6.18.

În funcție de valoarea raportului $\frac{T_m}{T}$ se poate alege orientativ tipul de regulator, aşa cum se arată în tabelul 6.3.

Tabelul 6.3

Alegerea regulatorului în funcție de T_m/T

Raportul $\frac{T_m}{T}$	Tipul de regulator care se recomandă să fie utilizat
Pînă la 0,2	Regulator bipozitional
Pînă la 1,0	Regulator avînd elemente P, I și D
Peste 1,0	Regulatoare cu caracteristici speciale sau „sisteme de reglare complexă” cu regulatoare avînd elemente multiple P, I și D.

○ De reținut. Alegerea regulatorului se face, de cele mai multe ori, pe baza recomandărilor rezultate din *experiența practică*. La determinarea cerințelor privitoare la calitatea reglării și la alegerea tipului de regulator (deci și a celorlalte elemente de automatizare) trebuie să se țină cont și de eficacitatea economică a realizării și instalării unui sistem complex de reglare automată.

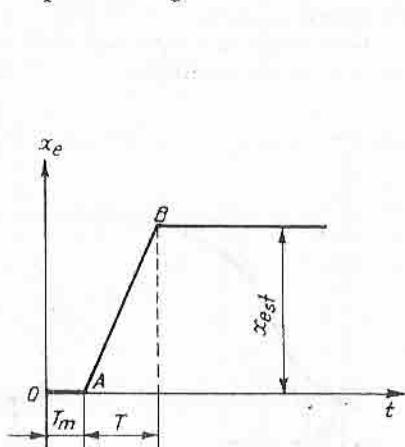


Fig. 6.18. Răspunsul fictiv al instalației tehnologice reglate.

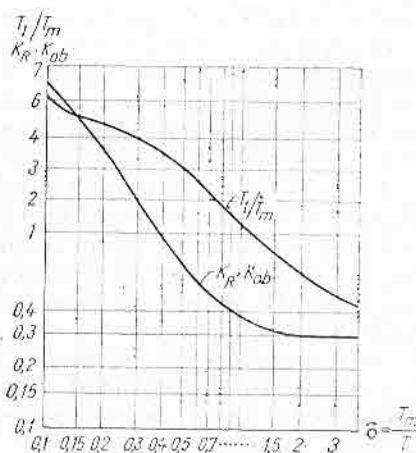


Fig. 6.19. Acordurile optimale ale regulatorului PI (proces aperiodic).

3. Acordarea optimă a regulatoarelor

Acordarea optimă a unui regulator se face pe baza unui criteriu dinainte stabilit și se realizează la regulatoarele tip P, DI, PD și PID. În urma operației de acordare, parametrii regulatorului (K_R , T_D , T_I) se ajustează la acele valori care conduc la performanțele dorite în regim staționar și dinamic de funcționare.

Acordarea regulatoarelor se face *prin calcul* (cu ajutorul unor criterii și relații matematice care vizează obținerea unui proces tranzitoriu cât mai scurt și mai bine amortizat) sau, pe *cale grafică* (cu ajutorul unor curbe experimentale). Astfel, valorile optime ale parametrilor regulatorului (K_R , T_I și T_D) se pot determina după curbe predeterminate pe baza unor experiențe. În figura 6.19 se prezintă – spre exemplificare – graficul pentru acordările optimale ale unui regulator PI, în cazul unui proces aperiodic în funcție de raportul $\tau = \frac{T_m}{T}$ luat în abscisă.

S-au notat în ordonată mărimele $\frac{T_I}{T_m}$ și $K_R \cdot K_{obișnuită}$ unde K_R este factorul de amplificare al regulatorului și $K_{obișnuită}$ – factorul de amplificare al obiectului reglat (instalația tehnologică sau procesul reglat).

4. Etalonarea dispozitivelor de acord

În unele cazuri, fabricile construcțoare livrează regulatoare ale căror dispozitive de acord fie că nu au scală, fie că au o scală gradată adimensional. În aceste cazuri, nu se pot fixa pe regulator valorile optime determinate pentru K_R , T_I sau T_D decât dacă se procedează, în prealabil, la o etalonare a dispozitivelor lui de acord.

Etalonarea se face prin determinarea mărimei la ieșirea regulatorului pentru diverse poziții ale dispozitivelor de acord al regulatorului, în condiții de laborator.

Pentru o poziție stabilită, la intrarea regulatorului se aplică un semnal treaptă unitate, fie prin variația mărimei de ieșire, fie prin variația mărimei de consemn (în ambele cazuri variind valoarea abaterii mărimei de ieșire x_e față de valoarea precrisă x_{ep}). Se înregistrează, cu ajutorul unui aparat înregistrător, variația în timp a mărimei de comandă $x_e(t)$ aplicate elementului de execuție (un semnal electric, presiunea aerului de comandă în cazul regulatoarelor pneumatică etc.). Prin prelucrarea funcției astfel obținute, se calculează factorii de scală și se etalonează dispozitivele de acord ale regulatorului.

● Notă. În unele cazuri, se poate efectua etalonarea direct la locul de montare a regulatorului, cu condiția să se deconecteze în prealabil dispozitivul de acționare de elementul de execuție.

REZUMAT

1. *Regulatorul* este acel element de automatizare, la intrarea căruia se aplică eroarea (abaterea) și la cărui ieșire rezultă mărimea de comandă x_c .

2. Regulatoarele se clasifică:

— în funcție de sursa de energie:

REGULATOARE	— DIRECTE — INDIRECTE
-------------	--------------------------

— în funcție de viteza de răspuns:

REGULATOARE PENTRU PROCESE	— RAPIDE — LENTE
----------------------------	---------------------

— în funcție de particularitățile funcționale:

REGULATOARE CU ACȚIUNE — CONTINUĂ	— LINIARE — NELINIARE — DISCONTINUĂ (DISCRETĂ)
-----------------------------------	---

— în funcție de caracteristicile constructive:

REGULATOARE	— UNIFICATE — SPECIALIZATE
-------------	-------------------------------

— în funcție de agentul purtător de semnal:

REGULATOARE	— ELECTRONICE — ELECTROMAGNETICE — HIDRAULICE — PNEUMATICE
-------------	---

3. *Acordarea* regulațoarelor reprezintă ajustarea parametrilor regulatorului la acele valori care conduc la performanțele dorite în regim staționar și dinamic. Pentru acordarea regulațoarelor se folosesc relații de calcul (criterii de acordare) sau grafice de acordare optimă.

3. Urmăriți figura 6.4. Răspundeți: care este elementul de prescriere și cum se modifică valoarea de consum a presiunii din conductă?

a) clapeta 6; prin deplasarea clapetei 6 în interiorul conductei 5?

b) membrana elastică 1; prin deplasarea tijei ABC?

c) surubul 3; prin intermediul surubului 3 și al resortului 2 se deplasează punctul A al tijei ABC?

4. Ce reprezintă mărimea de intrare (sau prescrisă) pentru regulațoarele electrice de tipul ELC:

a) semnal unificat de curent continuu 0 ... 50 mA?

b) semnal unificat de curent continuu 2 ... 10 mA sau tensiune continuă 0,4 ... 2 V?

c) presiunea de comandă a uleiului 0,2 ... 1,1 daN/cm²?

5. Care sunt principaliii parametri care intervin la alegerea și acordarea regulațoarelor:

a) consumul, durata regimului tranzitoriu și banda de proporționalitate BP?

b) factorul de amplificare K_R (sau banda de proporționalitate BP) și constantele de timp (de derivare T_D și de integrare T_I)?

c) inerția regulatorului, consumul de putere și costul?

6. La o instalație industrială în care urmează să se introduce un regulator de proces

$$\text{s-a determinat experimental răspunsul fictiv și s-a găsit raportul} \frac{T_m}{T} = 0,182.$$

Ce tip de regulator se recomandă să se utilizeze:

a) un regulator unificat PID?

b) un regulator bipozitional?

c) un regulator tripozitional?

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce elemente intră în compoziția unui regulator:

- a) elementul de prescriere, elementul de execuție și traductorul de reacție?
- b) elementul de prescriere, comparatorul diferențial și amplificatorul?
- c) amplificatorul, elementul de reacție și elementul de comparare?

2. Ce sunt regulațoarele cu acțiune proporțională (P):

- a) regulațoarele la care mărimea de acțiune de la ieșirea regulatorului (sau mărimea de comandă) $x_c(t)$ este proporțională cu mărimea de intrare în regulator $e(t)$?
- b) regulațoarele la care mărimea de comandă $x_c(t)$ este egală cu eroarea $e(t)$?
- c) regulațoarele la care mărimea de comandă $x_c(t)$ variază proporțional cu derivatea mărimii de intrare $\frac{de(t)}{dt}$?

SISTEME DE AUTOMATIZARE

Capitolul 7

SISTEME DE MĂSURARE ȘI CONTROL AUTOMAT

A. NOȚIUNI GENERALE

După cum s-a arătat în capitolul 1, un sistem de măsurare automată permite informarea cu caracter cantitativ asupra unei mărimi din procesul tehnologic, în timp ce un sistem de control automat reprezintă un sistem de măsurare automată completat cu un dispozitiv care, sesizând că parametrul măsurat a atins o anumită valoare, acționează printr-o semnalizare sau o comandă.

Sistemele de măsurare automată sunt foarte variate, complexitatea lor fiind în funcție de mărimea de măsurare, de precizia măsurării etc.; pot fi totuși împărțite în două grupe mari, și anume:

- sisteme de măsurare automată neechilibrate (nocompensate);
- sisteme de măsurare automată echilibrate (compensate).

• **Sistemele neechilibrate** corespund unor sisteme cu circuit deschis (fig. 7.1, a): mărimea de măsurat M este preluată de traductorul T , amplificată (eventual) de amplificatorul A și aplicată elementului de „prezentare” (reproducere) R a mărimii respective. În această categorie intră toate sistemele de măsurare care au rezultat principal din cadrul cap. 2 (Traductoare).

Sistemele neechilibrate pot fi:

- în lanț;
- în punte dezechilibrată (v. fig. 2.16).

Aceste sisteme sunt cele mai răspîndite, avînd o construcție simplă; ele prezintă însă dezavantajul unor erori de măsurare, datorită:

- perturbațiilor exterioare sistemului (variația tensiunii de alimentare, a temperaturii mediului ambiant etc.);
- perturbațiilor interioare sistemului (variația parametrilor elementelor constructive).

• **Sistemele echilibrate** sunt analoage sistemelor de reglare automată avînd un circuit închis (fig. 7.1, b). Traductorul T aplică mărimea de măsurat M unui element de comparație D care sesizează diferența dintre valoarea reală a mărimii măsurate X_M și o valoare X_E produsă de un „element de echilibrire” E pe baza diferenței (erorii) ΔX primite de la amplificatorul A . Elementul de reproducere R se află în stare de repaus și „rezintă” o valoare măsurată, numai cînd $\Delta X = 0$ (echilibru $X_M = X_E$).

După felul mărimii echilibrate, sistemele de măsurare respective se împart în:

— *compensatoare automate*, la care se echilibrează tensiunea de ieșire a traductorului (implică traductoare generatoare), cu o tensiune dată de un potențiometru avînd cursorul comandat. Uneori se pot echilibra și alte mărimi ca, de exemplu: cupluri mecanice, fluxuri luminoase sau magnetice etc.;

— *punți automate*, la care se echilibrează rezistența sau reactanța de ieșire a traductorului (implică traductoare parametrice) prin echilibrarea automată a brațelor unei punți Wheatstone.

Compensatoarele și punțile automate sunt denumite în general *potențiometre automate*.

B. PREZENTAREA VALORII MĂRIMILOR MĂSURATE

• **Prezentarea rezultatului măsurării în sistemele de măsurare automate.** Spre deosebire de măsurarea manuală, prin care omul aplică mărimea de măsurat direct unui aparat (de exemplu, măsoară temperatura unui cuptor cu ajutorul unui termometru etc.), măsurarea automată necesită o serie de elemente de automatizare (de exemplu, un traductor

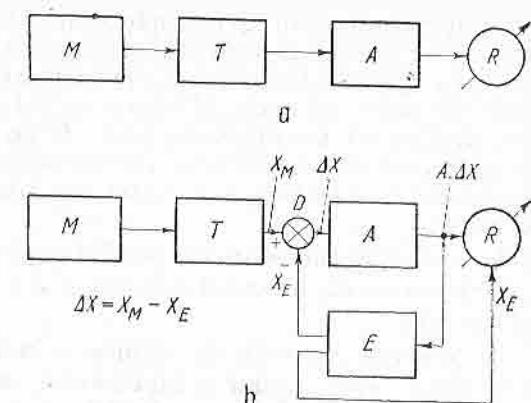


Fig. 7.1. Schema — bloc a sistemelor de măsurare automată:
a — sisteme neechilibrate; b — sisteme echilibrate.

de temperatură — un termocuplu — un amplificator de tensiune, un stabilizator pentru menținerea constantă a tensiunii sursei de alimentare etc.), precum și o legare corespunzătoare a acestor elemente (circuite, punți de măsurare etc.). Mărimea de măsurat suferind astfel o serie de transformări intermediare, poate fi pusă în evidență (afişată) fie *cu un aparat electric indicator* (de exemplu, un miliampmetru cu ac indicator) fie *cu ajutorul unui aparat înregistrator* (care înscrie o diagramă pe hârtie).

Uneori, mărurile măsurate pot fi înregistrate *pe benzi perforate* sau *pe benzi magnetice*, în scopul introducerii lor într-un calculator electronic (v. cap. 11).

Se observă că, față de măsurarea neautomată, care nu asigură decât citirea unei măruri la fața locului, măsurarea automată permite transformarea și transmiterea la distanță a acestei măruri, precum și folosirea ei în scopul conducerii unui proces tehnologic fără intervenția omului.

Elementul de bază într-un sistem de măsurare automată este *traductor* (v. cap. 2).

● **Prezentarea rezultatului măsurării în sistemele de control automat.** După cum s-a mai arătat, controlul automat este o operație mai complexă, în care măsurarea diversilor parametri ai unei instalații constituie doar mijlocul de informare în legătură cu funcționarea acesteia (normală sau nu).

Un asemenea proces (sau element), care nu are decât două stări posibile (0 sau 1), se numește *proces binar* (sau *bivalent*). Astfel, de exemplu, o lampă poate fi aprinsă (1) sau stinsă (0); un motor poate fi pornit (1) sau oprit (0); o piesă prelucrată poate fi bună (1) sau rebut (0) etc.

Uneori controlul se poate referi la o ieșire din anumite limite a unui parametru.

În final, controlul automat este concretizat fie printr-o semnalizare fie printr-o comandă.

Semnalizarea poate fi *optică* — de exemplu lampa verde aprinsă (starea 0) și lampa roșie aprinsă (starea 1) — sau *acustică*, cu ajutorul unei sonerii sau al unui claxon (hupă) care nu sună (starea 0) sau sună (starea 1).

Deoarece, aşa cum s-a arătat, controlul automat are în vedere numai, una sau două valori ale unei măruri date, *elementele cele mai folosite* pentru măsurarea valorilor respective sunt *releele* (v. cap. 4).

1. Afisarea

Cel mai simplu mod de prezentare a datelor măsurate este afisarea (indicarea) acestora cu ajutorul unor aparate indicatoare. În figura 7.1, *a* receptorul *R* reprezintă aparatul indicator respectiv.

● **Afisarea continuă sau analogică** se realizează cu ajutorul aparatelor cu ac indicator, ca de exemplu microampermetre sau milivoltmetre, care — aşa cum s-a arătat la capitolul 2 (Traductoare) — au scara gradată (etalonată) direct în unități ale mărurii măsurate*.

● **Afisarea discontinuă sau numerică** se face în prezent în „cod numeric zecimal”, adică în cifre de la 0 la 9.

Valoarea mărurii măsurate obținute de la traductor prin amplificator este transformată în „cod zecimal” cu ajutorul unui convertor analog-numeric. În acest caz, receptorul *R* din figura 7.1, *a* este un „codificator” care transformă mărimea continuă (analogică), într-un cod de impulsuri (mărime numerică). Impulsurile respective sunt aplicate unor aparate speciale de afisare numerică (de exemplu, indicatorul cu cifre al contoarelor pentru consumul de energie electrică).

● **Afisarea din elemente combinate** (fig. 7.2) folosește un număr de șapte segmente de dreaptă, luminoase, fiecare cifră rezultând din combinarea unui număr adecvat de elemente (elementele înegrite se consideră a fi aprinse). Dezavantajul procedeului constă în forma neplăcută a cifrelor (datorită folosirii unui număr mic de segmente), precum și în necesitatea folosirii unor codificatoare care să convertească fiecare cifră în combinația necesară de segmente.

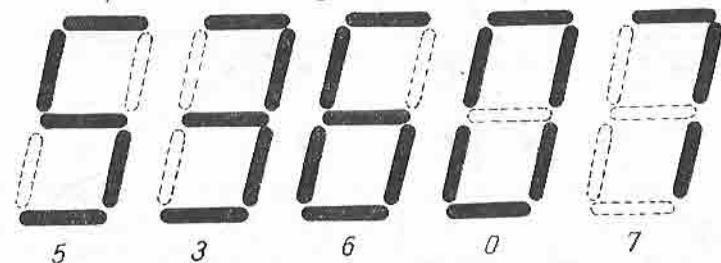


Fig. 7.2. Afisare numerică din elemente combinate.

Ca exemplu, în figura 7.3 se prezintă un asemenea codificator realizat dintr-o „matrice cu diode” similară unui distribuitor cu semiconductoare. Din figura 7.3 se observă modul de circulație a curentilor care

* Tipurile de aparate indicatoare folosite în sistemele unificate vor fi prezentate în paragraful C.

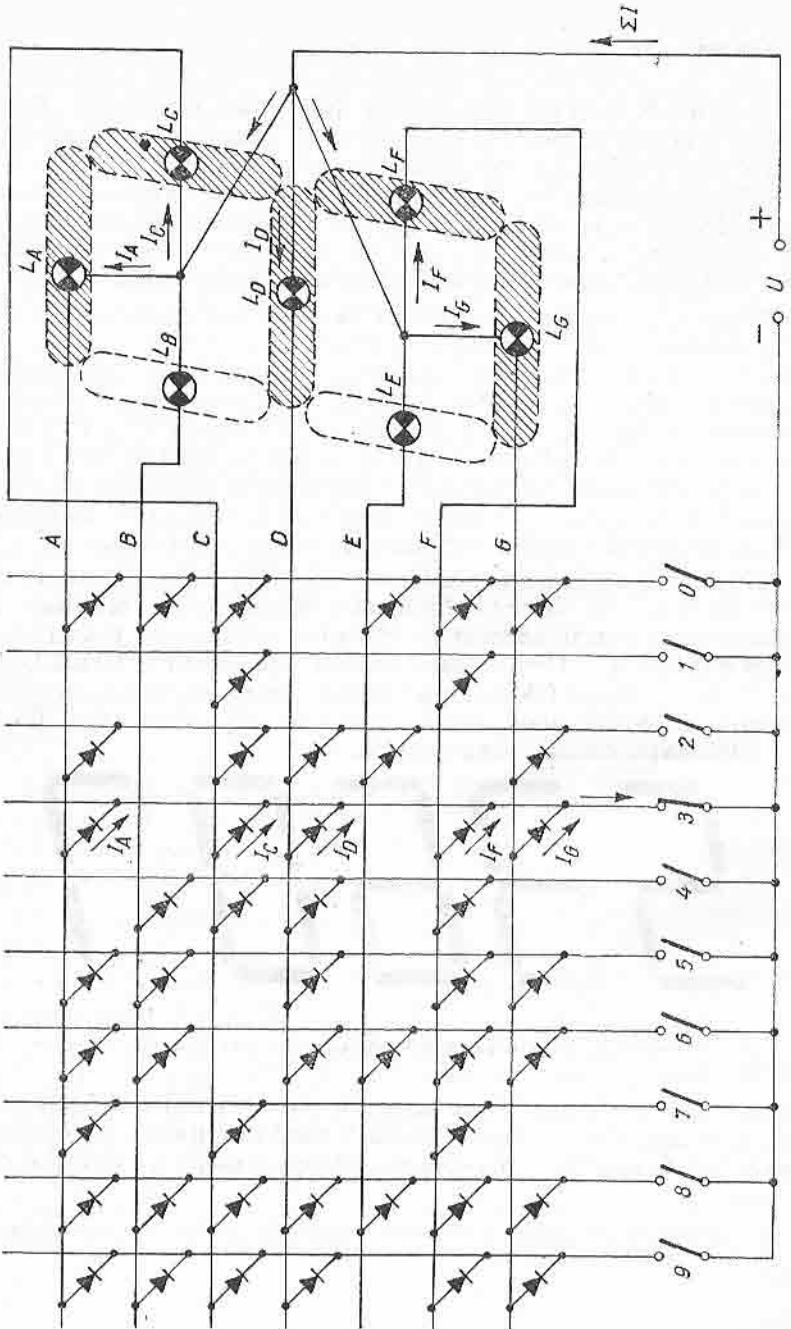


Fig. 7.3. Combinator matricial pentru afisarea numerică.

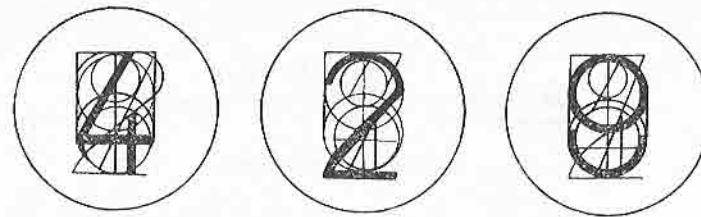


Fig. 7.4. Afisare suprapusă cu tuburi NIXIE.

asigură aprinderea numai a lămpilor aferente segmentelor pentru cifra 3 (lămpile L_A , L_C , L_D , L_F și L_G), atunci cînd se închide contactul 3.

● **Afisarea suprapusă** este o metodă modernă utilizată în măsurarea numerică. Cifrele sînt suprapuse, dar fiecare permite vizibilitatea cifrelor din spate.

În figura 7.4 este prezentată o variantă a acestui procedeu, realizată cu tuburi electronice cu neon avînd un anod și zece catozi. Catozii sînt realizati din sîrmă îndoită în formă de cifră și prin aplicarea tensiunii între anod și unul din catozi, sîrma (cifra) respectivă apare luminoasă. Aceste tipuri de tuburi electronice de afisare numerică sînt cunoscute și sub denumirea comercială de tuburi NIXIE (citește „nixi”).

2. Înregistrarea

Datele măsurate pot fi prezentate prin înregistrarea lor pe benzi de hîrtie. În acest caz, receptorul R din figura 7.1 este un aparat înregistrator.

● **Inregistrarea continuă.** Aparatele cu înregistrare continuă sînt construite cu diagramă rulantă sau cu diagramă circulară.

Inregistratorile cu diagramă rulantă funcționează pe principiul aparatelor electrice obîșnuite (ampermetre, voltmetre etc.) sau, mai frecvent, pe principiul sistemelor de măsurare închise (compensatoare automate) — vezi paragraful C — avînd însă acul indicator prevăzut cu penită. În fața penitei, perpendicular pe direcția de mișcare a acesteia, se deplasează cu viteză constantă o bandă (diagramă) de hîrtie pe care se înregistrează variația în timp a mărimii măsurate.

Ca exemplu, în figura 7.5 este prezentat un aparat înregistrator automat care permite înregistrarea a trei mărimi diferite: greutate (%), avansare (m) și putere (kW), din același proces tehnologic (de exemplu o instalație de forat).

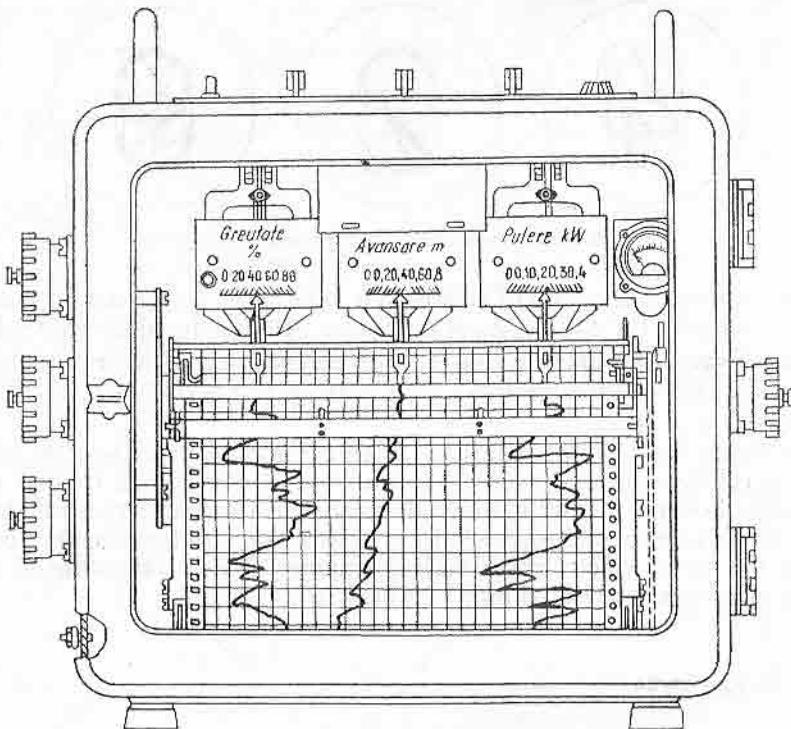


Fig. 7.5. Aparat înregistrator automat cu trei piste.

Banda de hîrtie se deplasează cu viteza constantă (de exemplu 20 mm/oră), antrenată de un mecanism de ceasornic, deci pe verticală este marcat timpul, iar deplasarea orizontală a peniței (care are în același timp și un ac indicator) marchează valorile mărimilor de măsurat.

Inregistratoarele cu diagramă rotativă (circulară) folosesc o hîrtie de formă circulară plasată pe un disc care se rotește, penița, cu acul indicator al aparatului de măsurat deplasându-se pe raze curbilinii de la centru spre periferie.

Diagrama circulară (fig. 7.6) se schimbă la o rotație completă, de obicei la fiecare 24 ore. Penița cu cerneală purtată de acul indicator al aparatului se deplasează de-a lungul razelor (de exemplu, de-a lungul indicațiilor 10, 20 ... 100%), ceea ce la rotirea diagramei are ca efect obținerea unei curbe continue, practic închisă.

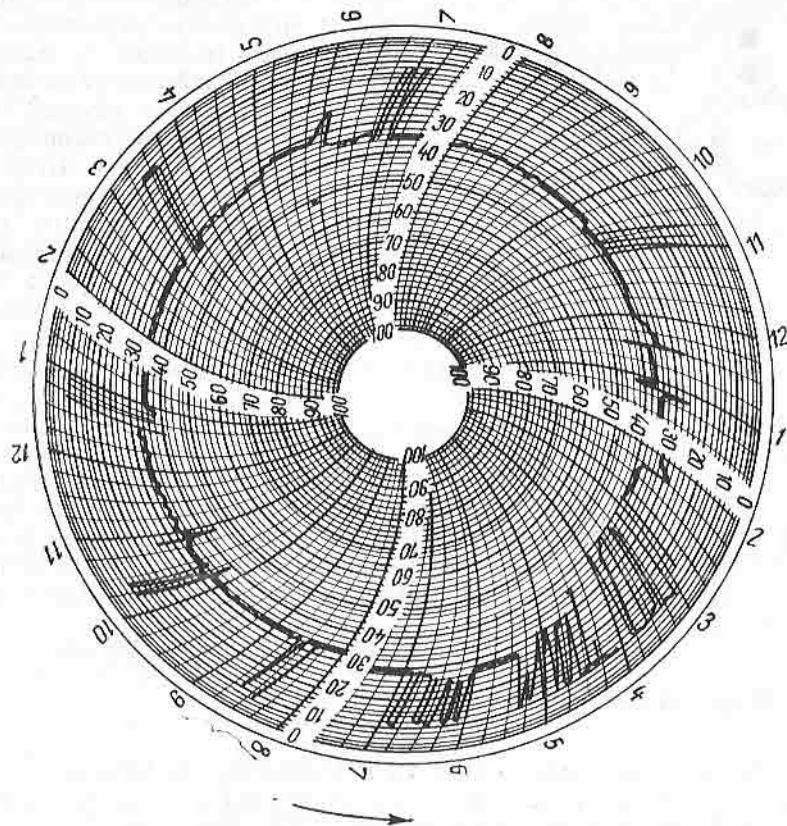


Fig. 7.6. Diagrama înregistratorului rotativ.

Diagramele obținute sunt păstrate fie ca documente asupra valorilor mărimii respective în perioada dată, fie sunt folosite în anumite evidențe ulterioare. De exemplu, dacă aparatul a înregistrat un debit de fluid (gaz metan, petrol etc.) printr-o conductă, prin calcularea suprafeței închise de diagramă se poate determina cantitatea totală de fluid ce a trecut prin conductă respectivă în timpul rotirii.

Aparatele cu înregistrare continuă dă erori mari de măsurare datorită consumului mare de putere provocat de frecarea peniței pe hîrtie.

- **Inregistrarea discontinuă** (prin puncte) se aplică la înregistrarea mărimilor din proces numite „lente“ (de exemplu, variația temperaturii unui cupor), la care nu există variații brusătă între două valori succesive înregistrate.

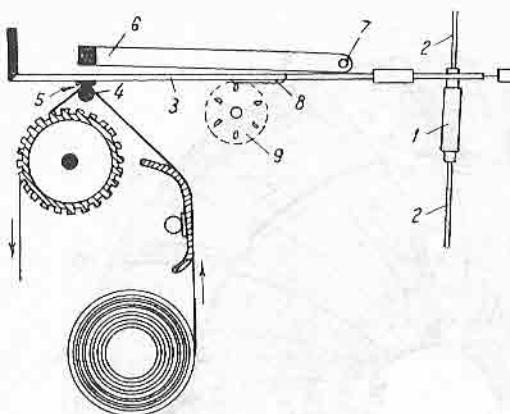


Fig. 7.7. Dispozitiv de înregistrare prin puncte.

Indicator și acesta apăsând banda colorată, imprimă un punct pe hîrtie. În acest mod se produce un punct la 20 s, adică trei puncte pe minut.

În figura 7.8 este prezentată ca exemplu o diagramă liniară de înregistrare a șase temperaturi (șase piste), fiecare temperatură fiind înregistrată cu altă culoare.

3. Integrarea

O formă de prezentare a unor mărimi măsurate este integrarea, adică însumarea pe un timp oarecare, de exemplu o oră a mărimi respective. De exemplu, dacă se integrează (însumează) în timp o putere electrică

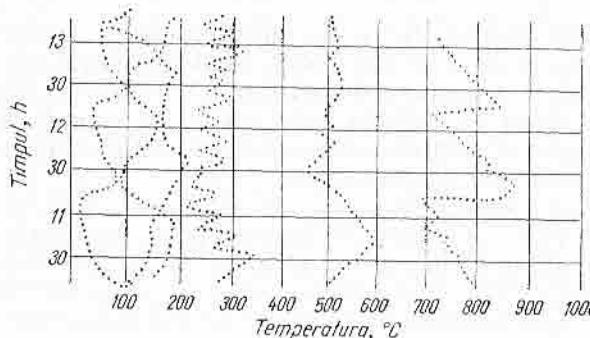


Fig. 7.8. Diagrama liniară de înregistrare prin puncte (6 piste).

(kW), se obține energia totală consumată în acel timp (kWh), sau dacă se integrează în timp debitul (m^3/s) de deplasare a unui lichid într-o conductă, se obține cantitatea totală scursă prin conductă în timpul considerat.

Sistemele de integrare sunt realizate de obicei cu circuite electrice „de integrare” a mărimerilor măsurate, iar impulsurile obținute prin convertoare analog-numerice sunt aplicate unor circuite de măsurare cu tranzistoare formate prin inserirea unui număr de triggere (v. fig. 4.4). Afisarea mărimerilor obținute se face de obicei tot pe cale electronică (tuburi Nixie).

C. APARATE ELECTRONICE DE MĂSURARE ÎN SISTEMUL E (IEA)

În țara noastră se realizează o gamă variată de aparate indicatoare, înregistratoare și cu funcții multiple aparținând sistemului E (neuniform sau unificat).

Toate aparatele indicatoare (analogice), precum și cele înregistratoare* (și indicatoare) din sistemul „E” IEA funcționează practic, pe baza același principiu, și anume al sistemelor de măsurare echilibrat, în speță compensatoare automate.

Observație. Întrucât toate traductoarele, inclusiv cele parametrice, posedă adaptoare care asigură la ieșire un semnal (unificat) de curent (tensiune), sistemul „E” folosește în exclusivitate compensatoare automate.

1. Aparate înregistratoare tip E

a. Funcționare

Schema de principiu a înregistratoarelor (indicatoare) din sistemul E este prezentată în figura 7.9.

Mărimea de intrare — semnalul unificat de curent $2-10 \text{ mA}$ — este aplicată pe rezistență R_0 ($R_0 = 200 \Omega$), producând un semnal unificat de tensiune $U_i(2 \cdot 10^{-3} \times 200 \dots 10 \cdot 10^{-3} \times 200 = 0,4 \dots 2 \text{ V})$. Pe de altă parte, potențiometrul R alimentat cu un curent constant ($i = 5 \text{ mA}$) de la un stabilizator de curent (tip H 51) asigură o

* Toate aparatele înregistratoare sunt și indicatoare, având o scară gradată liniară, iar acul indicator fiind solidar cu cursorul potențiometrului de compensare.

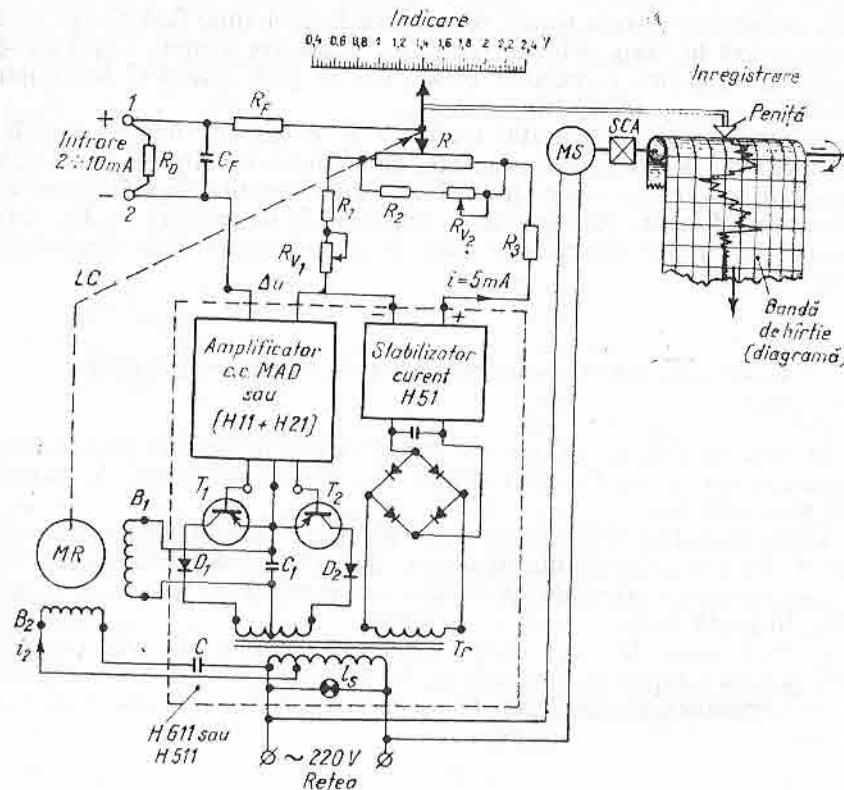


Fig. 7.9. Schema de principiu a inregistratoarelor (indicatoare) electronice din sistemul E (IEA).

tensiune de „compensare” U_R opusă tensiunii U_i , astfel că în funcționare va rezulta o tensiune de abatere (eroare) ΔU dată de diferența celor două tensiuni:

$$\Delta U = U_i - U_R. \quad (7.1)$$

În regim staționar, abaterea este nulă ($\Delta U = 0$), motorul MR stă pe loc și potențiometrul R se află într-o poziție care asigură compensarea:

$$U_i = U_R. \quad (7.2)$$

În același timp, acul indicator afișează pe o scară gradată (0,4–2,4 V) valoarea mărimii de intrare U_i și, bineînțeles, penita solidară cu cursorul și cu acul indicator rămîne pe loc, trasând aceeași valoare.

Cind mărimea de intrare variază într-un anumit sens (de exemplu crește), abaterea ΔU capătă o anumită polaritate (de exemplu, pozitivă). Amplificatorul de curent continuu cu modularare – amplificare – demodulare (MAD) prezentat în capitolul 3 – figura 3.5 va furniza la ieșire o mărime amplificată însă de aceeași polaritate. Se observă că pentru fiecare polaritate va conduce numai un tranzistor (de exemplu T_1) – cel cu joncțiunea emitor-bază polarizată direct – și va fi blocat celălalt (de exemplu T_2) – cu joncțiunea emitor-bază polarizată invers.

Ca urmare, în această situație va funcționa o singură diodă (de exemplu D_1), asigurînd pe bobina B_1 (de excitare a motorului MR) o tensiune (current) pulsatorie formată numai din semialternanțele de o anumită polaritate (de exemplu, pulsurile pozitive), obținute de la rețea (~ 220 V) prin transformatorul de alimentare Tr .

Intrucît bobina de excitare B_2 primește permanent aceeași tensiune *, motorul bifazat MR se va rota într-un anumit sens (de exemplu pozitiv) antrenînd prin legătura cinematică LC cursorul potențiometrului R și acul indicator pînă la echilibrarea (compensarea) tensiunii de intrare ($\Delta U = 0$), situație în care motorul se oprește.

Cind mărimea de intrare capătă o variație de sens contrar, semnalul de dezechilibru ΔU își va modifica polaritatea (de exemplu U_i scade $\Rightarrow \Delta U$, negativ \Rightarrow blocat, T_1 conduce T_2 \Rightarrow funcționează (redresescă) $D_2 \Rightarrow$ bobina B_1 primește pulsuri negative).

Motorul MR se va rota deci în sens contrar față de situația precedentă, pînă ce $\Delta U = 0$ (echilibrare), indicînd pe scară o nouă valoare pentru U_i .

Ansamblul format din tranzistoarele T_1 și T_2 , diodele D_1 și D_2 , și transformatorul Tr constituie împreună cu amplificatorul de curent continuu MAD un „amplificator sensibil la fază”, adică la polaritatea mărimii de la intrare.

Stabilizatorul de curent (tip H 51) este alimentat printr-o punte de diode (Graetz) din același transformator Tr , furnizînd în permanență același curent constant ($i = 5$ mA). Rezistențele R_1 (fixă) și R_{V_1} (reglabila) asigură împreună o valoare $R_1 + R_{V_1} = 80 \Omega$, astfel că potențiometrul R în poziție minimă (cursorul pe poziția extremă din stînga) asigură tensiunea minimă de compensare:

$$(R_1 + R_{V_1}) \cdot i = 80 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,4 \text{ V} = U_{i \min} \quad (7.3)$$

Similar, rezistența potențiometrului R împreună cu R_2 și R_{V_1} asigură o rezistență echivalentă ** de 320Ω , ceea ce face ca potențiometrul R

* Currentul i_2 este decalat cu 90° cu ajutorul capacității C , pentru ca motorul să poată căpăta un cîmp bifazat (invîrtitor).

** R în paralel cu $R_2 + R_{V_1}$.

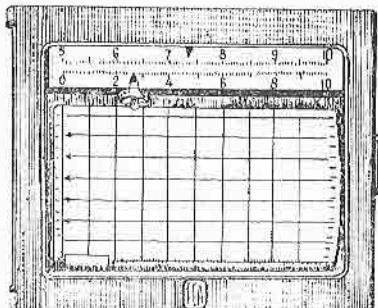


Fig. 7.10. Aparat electronic înregistrător format normal (IEA).

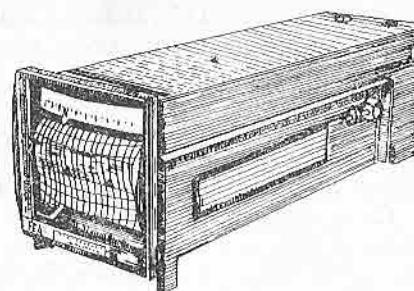


Fig. 7.11. Aparat electronic înregistrător format miniatură (IEA).

în poziție maximă (cursorul pe poziția extremă din dreapta) să asigure tensiunea maximă de compensare $(80 + 320) \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 2 \text{ V} = U_{t \max}$.

Banda de hârtie aferentă părții de înregistrare este antrenată cu o viteză de 20 mm/oră cu ajutorul unui motor sincron MS racordat la rețeaua de 220 V c.a. și prin intermediul unui sistem cinematic de antrenare SCA .

Amplificatorul de curent continuu folosit diferă de la un tip de aparat la altul, în funcție de semnalul de intrare folosit.

b. Construcție

Aparatele înregistratoare se realizează în următoarele variante:

— *normal* (fig. 7.10), cu lățimea scării și a diagramei de 250 mm și cu viteza de deplasare a diagramei reglabilă la $20, 60$ sau 120 mm/h ;

— *miniaturizat* (fig. 7.11), cu lățimea diagramei de 120 mm și cu viteza de deplasare a diagramei de 20 mm/h .

Se fabrică următoarele tipuri de înregistratoare:

- pentru semnalele neunificate (seria E):
- tip E 35 — înregistrator miniatură cu o penișă;
- tip E 36 — înregistrator normal cu o penișă;
- tip E 45 — înregistrator miniatură cu două penișe;
- tip E 46 — înregistrator normal cu două penișe;

— pentru semnale unificate (seria ELR): tipurile ELR 35, ELR 36, ELR 45 și ELR 46, care au aceleași caracteristici ca tipurile omoloage pentru semnale neunificate.

2. Aparate indicațoare tip E

După cum s-a arătat, aparatele indicațoare folosesc — ca și cele înregistratoare — aceleași tipuri de compensație automate, cu deosebirea că scara este circulară având un unghi de 270° (fig. 7.12).

La dimensiunile aparatului — garanție frontală $150 \times 158 \text{ mm}$ — lungimea desfășurată a scării este de 235 mm .

Scările de măsurare sunt standardizate, fiind liniare: $0 - 50$; $0 - 60$; $0 - 100$, sau patratice: $0 - 20$; $0 - 25$; $0 - 150$, pe scără având imprimat și un „factor de scără” (de exemplu $\times 10^4$; $\times 2 \cdot 10^4$ sau $\times 5 \cdot 10^4$) indicat de beneficiar.

Schema electrică de principiu a aparatelor indicațoare este practic aceeași din figura 7.9, cu observația că lipsește sistemul de înregistrare.

Toate aparatelor de măsurat, inclusiv cele înregistratoare, au o sensibilitate * de $0,1\%$ și o precizie (eroare maximă) de $0,5\%$.

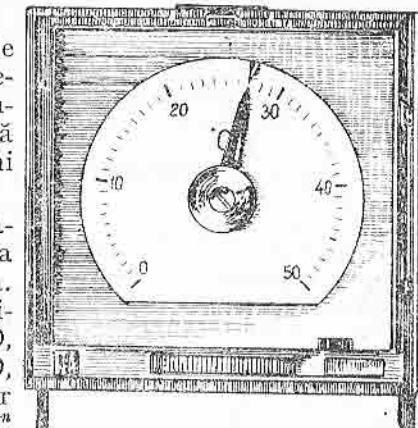


Fig. 7.12. Aparat electronic indicator (IEA).

3. Funcții auxiliare ale aparatelor înregistratoare și Indicatoare tip E

În afara funcțiunilor principale de înregistrare și (sau) indicare (afisare), aparatelor IEA tip E pot îndeplini și unele din următoarele funcții suplimentare: funcțiunea M , funcțiunea K , funcțiunea B , funcțiunea S , funcțiunea C , funcțiunea T , funcțiunea TS .

● **Funcțiunea M.** Aparatele concepute cu această funcțiune posedă contacte de comutare care își schimbă poziția numai la depășirea unei limite superioare (funcțiunea M_1 — fig. 7.13, a), numai la depășirea unei limite inferioare (funcțiunea M_2 — fig. 7.13, b) sau la depășirea ambelor limite (funcțiunea M_3 — fig. 7.13, c).

Pozitia contactelor este reglabilă, putindu-se fixa în orice poziție (de exemplu, $U_{t \max} = 98\%$ și (sau) $U_{t \min} = 25\%$), pozițiile respective

* Prin sensibilitate se înțelege abaterea minimă (exprimată în procente), la care compensatorul reacționează. De exemplu, pentru semnalul unificat $2 - 10 \text{ mA}$, $0,1\%$ reprezintă $10\mu\text{A}$ sau — deoarece $R_0 = 80\Omega$ — rezultă $800\mu\text{V} = 0,8 \text{ mV}$.

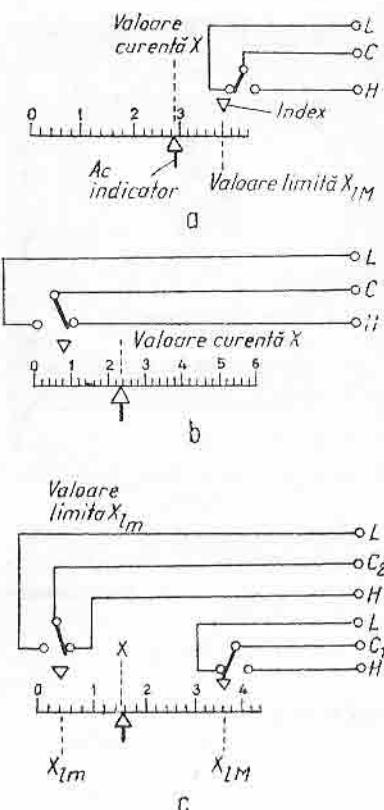


Fig. 7.13. Funcțiunea M a aparatelor înregistratoare tip E (IEA):
 a - funcțiunea M_1 — (kontakte de maximum);
 b - funcțiunea M_2 — (kontakte de minimum);
 c - funcțiunea M_3 — (kontakte de maximum și de minimum).

abatere (eroare) a mărimii măsurate de la o valoare prescrisă („de consemn” sau „de referință”) — v. cap. 6 și 9. În acest scop, solidar cu cursorul K_1 și cu indicatorul I_1 al potențiometrului R din aparatul înregistrator (compensator automat — v. fig. 7.9) se află și cursorul K_3 , care se deplasează pe potențiometrul R_0 adăugat suplimentar.

Potențiometrul R_0 , identic cu R , este străbătut la fel ca și R , de un curent stabilizat $i = 5 \text{ mA}$, astfel că potențialele în rezistența R_0 au o repartiție identică ca și în R .

fiind evidențiate printr-un „index” (reper) pe scară. Contactul este comutat cînd acul indicator trece prin dreptul indexului.

Contactele respective sunt folosite pentru a actiona lămpi de semnalizare, buzere (sonerii), relee etc., deci în scopul îndeplinirii funcției de control automat (v. cap. 1).

• **Funcțiunea K** (K_1 , K_2 sau K_3) este practic identică cu funcțiunea M , cu diferența că pozițiile contactelor nu sunt evidențiate prin repere pe scară.

• **Funcțiunea B** variantele B_1 și B_2 similare funcțiunilor M_1 și M_2 , cu observația că contactele sunt prin construcție fixate la limita superioară — 100% (B_1) — sau la limita inferioară — 0% (B_2). Aceste contacte servesc pentru semnalizarea întreruperii circuitului de intrare ($U_i = 0$) cînd compensatorul, nemaifiind echilibrat, motorul MR (fig. 7.9), comandă deplasarea cursorului potențiometrului R pînă la ieșirea din limite.

• **Funcțiunea S** , cu variantele S_1 , S_2 și S_3 care sunt de asemenea similare funcțiunilor M_1 , M_2 și M_3 , este proprie aparatelor cu imprimarea (înregistrarea) prin puncte.

• **Funcțiunea C** (fig. 7.14) asigură transmiterea la distanță a semnalului de abatere (eroare) a mărimii măsurate de la o valoare prescrisă („de consemn” sau „de referință”) — v. cap. 6 și 9. În acest scop, solidar cu cursorul K_1 și cu indicatorul I_1 al potențiometrului R din aparatul înregistrator (compensator automat — v. fig. 7.9) se află și cursorul K_3 , care se deplasează pe potențiometrul R_0 adăugat suplimentar.

Potențiometrul R_0 , identic cu R , este străbătut la fel ca și R , de

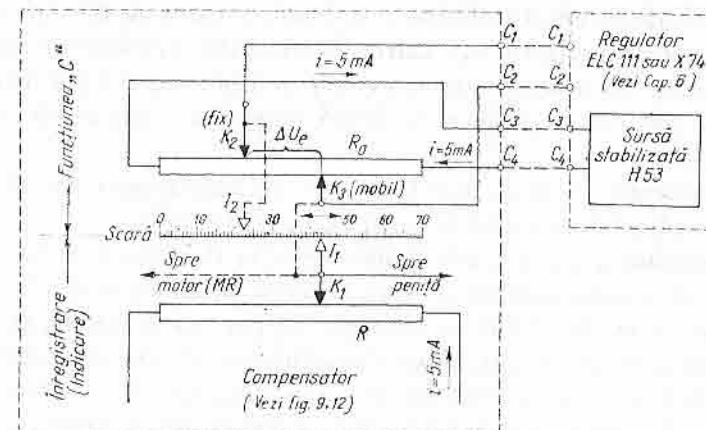


Fig. 7.14. Funcțiunea C a aparatelor înregistratoare tip E (IEA).

Potențiometrul R_0 mai posedă un al doilea cursor, K_2 , solidar cu indicatorul I_2 , care se poate fixa manual într-o anumită poziție și care indică valoarea prescrisă a mărimii de măsurat.

În acest caz, tensiunea ΔU_e obținută între cursorul mobil K_3 și cel fix K_2 reprezintă abaterea * mărimii măsurate față de valoarea prescrisă, și ea este transmisă unui regulator pentru mărimea respectivă (v. cap. 6 și 9).

○ **Observație.** Mărimea ΔU_e poate fi pozitivă sau negativă ($\pm \Delta U_e$), după cum cursorul mobil K_3 se află la stînga sau la dreapta cursorului fix K_2 și capătă valoarea zero ($\Delta U_e = 0$) cînd cursele K_3 și K_2 se află în același punct.

În această ultimă ipoteză, și indicatorul mobil I_1 se placează pe scară în același punct cu I_2 , situație în care ΔU_e fiind zero acțiunea regulatorului încetează.

• **Funcțiunea T** constă în formarea unui semnal (0,4—2 V) proporțional cu mărimea măsurată, care poate fi transmis la distanță (fig. 7.15). Cursorul K_2 al potențiometrului R_0 (valoarea $R_0 = 320 \Omega$) se deplasează solidar cu cursorul K_1 (indicatorul I_1) și, deoarece potențiometrul R_0

* ○ **Observație.** După studierea cap. 6 și 9, se va constata că potențiometrul R_1 preia funcția organului numit „diferențial” din cadrul regulatorului.

este parcurs de curentul stabilizat $i = 5 \text{ mA}$, rezultă că tensiunea ΔU_e obținută este proporțională cu mărimea măsurată. Tensiunea respectivă este aplicată, de obicei, unui convertor tensiune-curent (de exemplu tip ELX 120) care produce la ieșire semnalul unificat de curent $2-10 \text{ mA}$.

○ **Observație.** Această funcțiune are rațiune numai atunci cînd semnalul aplicat aparatului înregistrător este neuniform.

● **Funcțiunea TS** asigură transmiterea la distanță a unui semnal de referință pentru regulatorul care reglează mărimea respectivă.

În acest caz (fig. 7.16), se folosește un potențiometru R_0 la fel ca în cazurile precedente, străbătut, de asemenea, de curentul stabilizat $i = 5 \text{ mA}$. Cursorul K_2 (inclusiv indicatorul I_2) este fix, indicînd mărimea de referință a regulatorului. Poziția cursorului K_3 , deci valoarea mărimii de referință ($\Delta U_e = ct$), poate fi modificată manual.

Mărimea de referință $\Delta U_e = ct$ (cuprinsă între valorile $0,4 - 2 \text{ V}$) este aplicată regulatorului (tip ELC 111 sau ELX 75 – v. cap. 6).

○ **Observația 1.** Funcțiunea TS cuprinde o parte din funcțiunea C, în sensul că din aceasta lipsește cursorul K_3 , astfel că regulatorul primește numai mărimea de referință U_e față de situația de la funcțiunea C, cînd regulatorul primește mărimea de abatere (ΔU_e) a mărimii măsurate U_i față de mărimea de referință U_e ($\Delta U_e = U_i - U_e$).

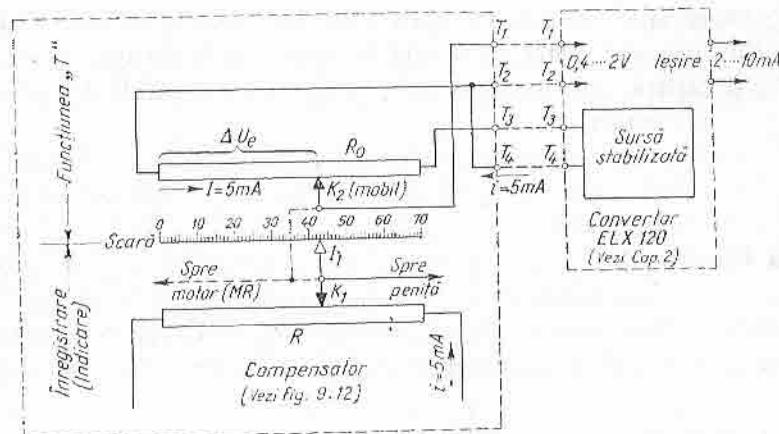


Fig. 7.15. Funcțiunea T a aparatelor înregistrătoare tip E (IEA).

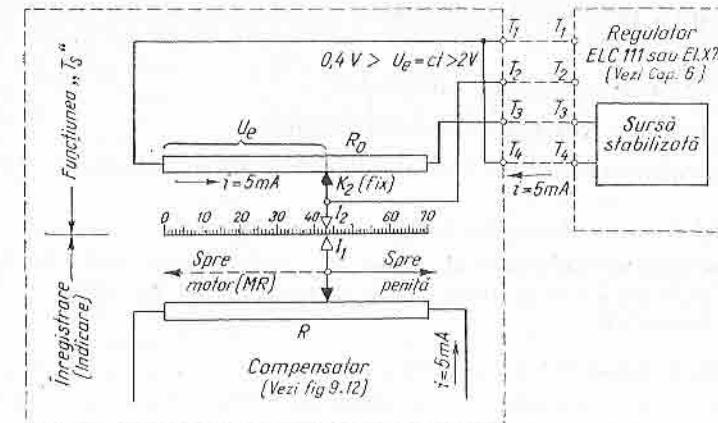


Fig. 7.16. Funcțiunea TS a aparatelor înregistrătoare tip E (IEA).

○ **Observația 2.** Ca și la funcțiunea C, și în cazul funcțiunii TS acțiunea regulatorului este concretizată pe scara aparatului indicator prin oscilațiile indicatorului I_1 (regimul tranzitoriu al regulatorului – v. cap. 11) în raport cu indicatorul fix I_2 .

În afara funcțiunilor descrise, aparatele înregistrătoare (indicatoare) din sistemul E mai pot realiza și alte funcțiuni, cum sunt: funcțiunea H, funcțiunea I, funcțiunea Q, funcțiunea R.

● **Funcțiunea H** asigură transmiterea semnalului pentru comanda regulatorului bipozitional (X 74) în mai multe puncte.

● **Funcțiunea I** asigură transmiterea semnalului pentru comanda elementului totalizator (integrator) de debit.

● **Funcțiunea Q** asigură transmiterea semnalului pentru corecția debitului unui fluid în funcție de variațiile presiunii măsurate.

● **Funcțiunea R** asigură obținerea unei mărimi proportionale cu rădăcina pătrată a semnalului de intrare etc.

Codul folosit pentru a preciza tipul înregistratorului sau indicatorului mai trebuie completat cu un index înaintea celor două cifre, în funcție de traductorul sau elementul cu care este cuplat. Astfel:

- 0 – pentru termocupluri;
- 1 – pentru termorezistențe;

5 — pentru pirometrul de radiație și alte elemente cu semnalul în milivolti;

7 — pentru detectoare de umiditate;

LR — pentru elemente cu semnal unificat.

Functiunile auxiliare sunt indicate în continuare, prin litera respectivă.

Exemplul 1. Aparat IEA tip E 010 M₂ T:

— aparat cu semnal neunificat (E) pentru termocupluri (0), indicator (10), cu semnalizare la depășirea limitei inferioare (M₂) și cu transmiterea semnalului proporțional cu valoarea indicată (T).

Exemplul 2. Aparat IEA tip ELR 535 C:

— aparat cu semnal unificat (ELR), pentru pirometru (5) înregistrator miniatură cu o penită (35), cu transmiterea semnalului de eroare (C).

4. Aparate integratoare tip E

Industria românească (IEA) realizează două tipuri de aparate (elemente) *integratoare pentru semnal de intrare unificat* (2–10 mA c.c.), folosind o serie de elemente electronice unificate (v. cap.12), precum și un *contor mecanic* având un număr maxim de 6 cifre (ranguți).

● **Integratorul liniar tip ELI 112** folosește pentru integrare un circuit RC*, un generator autoblocat și circuite de comandă și stabilizare.

Aparatul afișează indicația 100 după o oră, dacă în acest timp semnalul de intrare este menținut la valoarea sa maximă (10 mA).

Precizia de măsurare este de 1%.

Tensiunea de alimentare este 220 V ± 10%, la 50 sau 60 Hz.

Puterea consumată este de circa 10 VA.

● **Integratorul extractor de radical tip ELI 103** este destinat contorizării debitului total *T*, al unui fluid, prin măsurarea debitului parțial *D* folosind traductoare de presiune diferențială *P**. Performanțele tehnice sunt aceleași ca și la tipul precedent.

$$* D(\text{m}^3/\text{h}) = K \sqrt{\Delta P} \Rightarrow T (\text{m}^3) = K \int_0^t D \, dt = K \int_0^t \sqrt{\Delta P} \cdot dt.$$

D. EXEMPLE DE SISTENE DE MĂSURARE ȘI CONTROL AUTOMAT

În capitolul 2 (Traductoare) au fost prezentate, principal, unele exemple simple de sisteme de măsurare automată în scopul înțelegerei modului de funcționare al traductoarelor. Toate exemplele date au constituit sisteme de măsurare neechilibrate în lanț. În cele ce urmează vor fi date cîteva exemple mai complexe de măsurare automată.

● În figura 7.17 se prezintă un sistem de măsurare neechilibrat în punte, folosind un traductor rezistiv de nivel.

Traductorul (reostatul) *T* are o formă circulară, cursorul său fiind solidar cu scripetele *S*. Plutitorul (flotorul) *P* plutește pe suprafața lichidului dintr-un rezervor sau dintr-un lac și este legat printr-o funie *F* ce trece peste scripetele *S*, de o contragreutate *C*. Cînd nivelul *n* al lichidului variază, plutitorul *P* se deplasează pe verticală rotind scripetele *S*. Acesta antrenează cursorul *c* producînd variația rezistenței *R_x* (cuprinsă între bornele *a* și *c*). Totodată se modifică, în sens invers, și rezistența *R_y* (*R_y = R - R_x*), *R* fiind rezistența totală a traductorului. Rezistențele *R_x* și *R_y* constituie împreună două din brațele unei punți Wheatstone, celelalte două fiind rezistențele fixe *R₁* și *R₂*. Într-una dintre diagonalele punții se aplică tensiunea continuă de valoare *U₀*, iar în cealaltă diagonală se montează un ampermetru *A* (galvanometru).

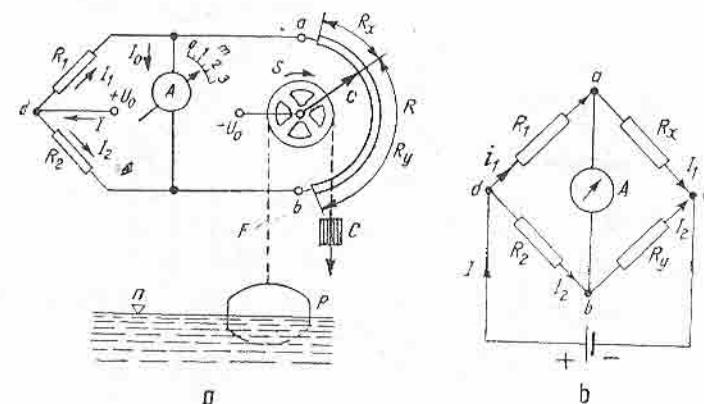


Fig. 7.17. Sistem de măsurare automată neechilibrat în punte (măsurarea nivelului).

Curentul I_0 de dezechilibru al punții, ce străbate ampermetrul A , depinde de valorile rezistențelor R_x și R_y după o relație de forma:

$$I_0 = \frac{(R_1 R_y - R_2 R_x) U_0}{RR_A(R_1 + R_2) + R_1 R_2 R + R_x R_y (R_1 + R_2)}, \quad (7.4)$$

în care R_A este rezistența internă a ampermetrului;

$$R = R_x + R_y. \quad (7.5)$$

Rezultă că indicația ampermetrului va depinde de poziția scripetelui S , deci de nivelul lichidului; ampermetrul este etalonat direct în metri.

Se constată în acest exemplu că mărimea de măsurat (nivelul n) modifică în același timp două din rezistențele punții (de exemplu R_y crește și R_x scade), ceea ce face ca variația curentului I_0 să fie mai mare (relația 7.4) decât în cazul când ar fi modificat o singură rezistență. O asemenea *punte de măsurare*, numită „cu două brațe active”, are deci o sensibilitate mai bună. Ne putem imagina ușor o punte cu toate „patru brațe active”, dacă în locul rezistențelor fixe R_1 și R_2 s-ar fi introdus un reostat circular identic, al cărui cursor să fie deplasat de același scripete S . În această situație, având în permanență $R_1 = R_y$ și $R_2 = R_x$, sensibilitatea traductorului — deci a sistemului de măsurare — ar fi fost și mai mare.

• În figura 7.18 este prezentat un sistem de măsurare a umidității gazelor. Acesta constituie un exemplu de sistem echilibrat folosind o punte automată. Măsurarea umidității unui gaz cu ajutorul psihrometrului se reduce de fapt la determinarea diferenței de temperatură dintre două termometre cu termorezistență: un termometru măsurând temperatură gazului uscat, iar al doilea — pe cea a gazului umed.

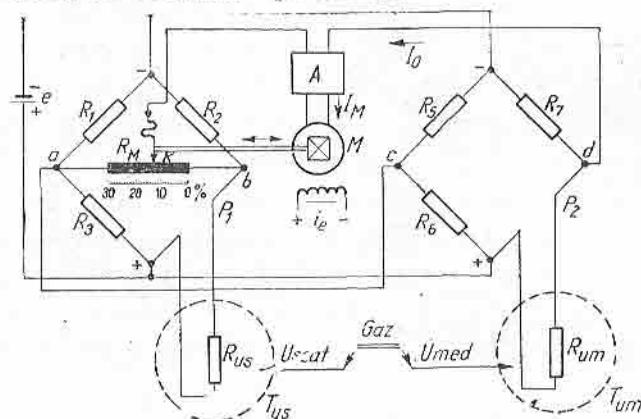


Fig. 7.18. Sistem de măsurare automată echilibrat în punte (măsurarea umidității).

Umiditatea relativă u a unui gaz depinde de diferența psihrometrică $(t_{us} - t_{um})$ după relația:

$$u = \frac{P_{um} - K(t_{us} - t_{um})}{P_{us}} \cdot \frac{P}{760}, \quad (7.6)$$

în care:

P_{um} este presiunea vaporilor saturati din mediul de încercat, la temperatura t_{um} a termometrului umed;

P_{us} — presiunea vaporilor saturati din mediul de încercat, la temperatura t_{us} a termometrului uscat;

P — presiunea barometrică (exterioară);

K — constanta psihrometrică.

Traductorul psihrometric cuprinde două termorezistențe T_{us} și T_{um} (având rezistențele R_{us} și, respectiv, R_{um}) și constituie împreună cu rezistențele R_1 , R_2 , R_3 , respectiv R_5 , R_6 , R_7 , brațele a două punți de măsurare P_1 și P_2 . Ambele punți sunt alimentate de la aceeași sursă de tensiune continuă E . Rezistența R_M din diagonala punții P_1 reprezintă reostatul unui potențiometru automat care acționează pe baza curentului I_0 aplicat amplificatorului A . Astfel, motorul M de curent continuu cu excitare separată alimentat prin amplificatorul A deplasează cursorul K al reostatului R_M și nu se oprește decât atunci când I_0 se anulează (v. fig. 7.9).

Tensiunea U_{ab} din diagonala punții P_1 depinde de valoarea R_{us} * a termorezistenței T_{us} , care este la rîndul său o funcție de temperatura t_{us} , conform caracteristicii statice a traductorului $R_{us} = f(t_{us})$; similar, tensiunea U_{cd} este o funcție de t_{um} . Se observă că ambele punți funcționează în regim dezechilibrat. Valoarea curentului de dezechilibru I_0 ce alimentează amplificatorul A (deci motorul) reflectă diferența de dezechilibrire a celor două punți:

$$I_0 = \frac{U_{ak} - U_{cd}}{R_A}, \quad (7.7)$$

în care:

R_A este rezistența de intrare a amplificatorului A ;

U_{ak} — reprezintă un procent din tensiunea U_{ab} , dat de raportul rezistențelor determinate de cursorul K .

$$\frac{U_{ak}}{U_{ab}} = \frac{R_{ak}}{R_{ab}} \quad (R_{ak} \text{ este rezistența între bornele } a \text{ și } k; R_{ab} = R_M).$$

* Relația de dependență este:

$$U_{ab} = \frac{R_1 R_{us} - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_2 - R_{us})} \cdot E.$$

Ca urmare, cînd umiditatea este zero (gazul este uscat) rezultă $R_{um} = R_{us}$, deci $U_{cd} = U_{ab}$ și pentru ca să avem $I_0 = 0$ (relația 7.7) este necesar ca $U_{ak} = U_{ab}$, adică cursorul K este deplasat de motorul M la capătul b , indicind pe scara gradată S valoarea $u\%_0 = 0$, caz în care și motorul se oprește. Pentru altă valoare a umidității, R_{um} se modifică modificind și curentul de diferență I_0 , iar motorul acționează cursorul K pînă ce sistemul se echilibrează ($I_0 = 0$), indicind valoarea respectivă a umidității.

• **Sistem de control automat al grosimii unei benzi laminate.** În figura 7.19 este prezentat un sistem de control automat folosind un traductor inductiv diferențial. Cele două bobine B_1 și B_2 ale traducătorului avînd inducțanțele L_1 și respectiv L_2 , constituie două brațe „active“ ale unei punți de măsurare; celelalte două brațe sunt constituite de bobinile B_3 și B_4 cu inducțanțele egale și valoarea constantă. Puntea este alimentată în diagonală cu tensiunea alternativă U_a , aplicată prin stabilizatorul S . Dioda D_1 produce pe rezistență de valoare R_0 curentul continuu (redresat) I_s și, asemănător, D_2 produce pe o rezistență identică R_0 , curentul continuu I_R . Schema mai cuprinde și releul polarizat P care, atunci cînd este străbătut de curentul unui circuit I_p în sensul „+“, închide contactul C_1 aprinzînd lampa roșie L_R , iar cînd I_p are sensul „-“, închide contactul C_2 aprinzînd lampa verde L_V .

Funcționarea are loc în felul următor:

Cînd banda prelucrată care se deplasează cu viteza v printre rolele R_1 și R_2 are grosimea d egală cu o valoare impusă d_0 ($d = d_0$), tija T menține miezul magnetic mobil M într-o poziție mediană față de mie-

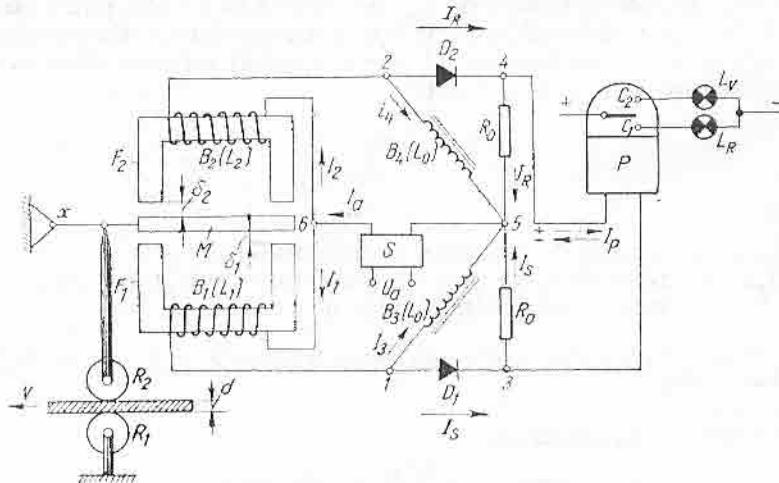


Fig. 7.19. Sistem de control automat (controlul grosimii unei benzi).

zurile magnetice fixe F_1 și F_2 . În această poziție, întrefierurile sunt egale ($\delta_1 = \delta_2 = \delta_0$) și deci inducțanțele L_1 și L_2 ale bobinelor B_1 și B_2 sunt egale între ele, avînd aceeași valoare L_1 ca și a bobinelor B_3 și B_4 ($L_1 = L_2 = L_0$).

Se observă că puntea formată de cele patru inducțanțe este perfect simetrică și deci echilibrată. Ca urmare, toți curentii omologi sunt egali între ei: $I_1 = I_2$; $I_3 = I_4$ și $I_R = I_S$. În consecință, punctele 4 și 3 avînd același potențial ($R_0 \cdot I_R = R_0 \cdot I_S$), curentul prin releul polarizat este nul ($I_p = 0$) și nu se aprinde nici o lămpă.

Cînd grosimea d a benzii se abate de la valoarea prescrisă, de exemplu crește, sistemul de control funcționează astfel:

Față de starea anterioară, rola R_2 și tija T se deplasează în sus și miezul magnetic M articulat în punctul fix x se apropie de miezul F_2 și se îndepărtează de miezul F_1 , adică $\delta_2 < \delta_0$ și $\delta_1 > \delta_0$.

Inducțanțele celor două bobine se modifică și ele, și anume $L_2 > L_0$ și $L_1 < L_0$, ceea ce are ca efect dezechilibrarea punții. Ca urmare, față de starea anterioară curentii din partea de jos a punții (I_1 , I_3 și I_S) vor crește, deoarece inducțanța L_1 a scăzut, iar cei din partea de sus (I_2 , I_4 și I_R) vor scădea deoarece L_2 a crescut. Acest lucru este concretizat prin inegalitățile: $I_1 > I_2$, $I_3 > I_4$ și, ceea ce interesează în mod deosebit, $I_s > I_R$.

În consecință, punctul (borna) 3 capătă un potențial mai mare decît punctul 4, deoarece $R_0 I_s > R_0 I_R$.

În circuitul releului polarizat apare curentul I_p , circulînd dinspre borna 3 spre borna 4, adică în sensul „-“, ceea ce are ca efect închiderea contactului C_2 și aprinderea lămpii L_V (atenție! $d > d_0$).

Cînd grosimea d scade ($d < d_0$), procesul are loc exact invers, adică: rola R_2 și tija T se deplasează în jos, $\delta_1 < \delta_0$ și $\delta_2 > \delta_0$, adică $L_1 > L_0$ și $L_2 < L_0$; puntea se dezechilibrează invers, respectiv: $I_2 > I_1$; $I_4 > I_3$ și $I_R > I_s$. Ca urmare, curentul I_p circulă dinspre borna 4 spre borna 3, adică are sensul „+“ și releul polarizat își închide contactul C_1 , aprinzînd lampa L_R (atenție! $d < d_0$).

În urma acestei semnalizări optice, personalul de exploatare ia măsuri pentru *remedierea deficienței semnalate*. Remedierea constă, de exemplu, în strîngerea (comprimarea) resoartelor cilindrilor de laminare a benzii dacă grosimea d a crescut sau, invers, în slăbirea acestor resoarte, dacă grosimea d a scăzut.

Operația de remediere poate fi realizată și automat; astfel, ne putem imagina, de exemplu că contactele C_1 și C_2 în loc să aprindă lămpile L_R și, respectiv, L_V , trimit impulsurile de comandă pentru slăbirea, respectiv strîngerea resoartelor de la cilindrî de laminare a benzii. Un asemenea sistem constituie, în ansamblu, un sistem de reglare automată (v. cap. 9).

REZUMAT

1. Sistemele de măsurare automată asigură informarea cantitativă asupra mărimilor parametru — dintr-un proces tehnologic.
2. Sistemele de control automat constituie un caz particular al celor de măsurare automată, în care interesează nu valoarea absolută a unei mărimi, ci numai dacă mărimea controlată este mai mare (sau mai mică) decât o valoare prescrisă.
3. Prezentarea valorii mărimilor măsurate se poate face prin:
 - afişare (indicare);
 - înregistrare;
 - integrare.
4. Afişarea poate fi:
 - continuă sau analogică (folosind aparate cu ac indicator);
 - discontinuă sau numerică (folosind aparate cu cifre).
5. Înregistrarea poate fi realizată pe:
 - diagrame de hîrtie (rulantă sau circulară);
 - benzi (cartele) perforate, benzi sau tamburi magnetici, memorii cu ferite sau tranzistoare etc.
6. În sistemul electronic tip E (IEA) se produc: aparate, indicatoare și înregistratoare realizate pe baza sistemelor de măsurare cu circuit închis (compensatoare automate), precum și alte tipuri de aparate cum sunt: cele de calcul, integratoare etc.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Sistemele de măsurare automată folosesc pentru:
 - a) informarea calitativă asupra parametrilor din proces?
 - b) informarea cantitativă asupra parametrilor din proces?
 - c) semnalizarea funcționării instalațiilor tehnologice?
2. Un sistem de control automat poate fi realizat cu ajutorul unui:
 - a) ampermeter?
 - b) manometru?
 - c) releu?
3. Aparatele electronice înregistratoare tip E funcționează pe baza sistemelor automate:
 - a) cu circuit închis?
 - b) cu surse stabilizate?
 - c) cu circuit deschis?
4. Înregistratoarele tip E au în cadrul sistemelor de măsurare:
 - a) funcția de indicare și înregistrare?
 - b) funcția de înregistrare și calcul?
 - c) funcția de înregistrare și integrare?
5. Printre funcțiunile auxiliare ale aparatelor înregistratoare există și aceea de:
 - a) trasare a mărimilor măsurate pe o bandă de hîrtie?
 - b) calculare a sumei, diferenței sau raportului unor mărimi?
 - c) semnalizare a ieșirii din limite a mărimilor măsurate?

Capitolul 8

SISTEME DE COMANDĂ-SEMNALIZARE AUTOMATĂ

A. NOTIUNI GENERALE

1. Comanda

După cum s-a arătat în cap. 1, comanda reprezintă o acțiune cu caracter cantitativ sau calitativ asupra unor elemente sau parametri dintr-un proces.

Din punctul de vedere al schemei structurale a sistemului automat, comanda poate fi: *cu circuit deschis* sau *cu circuit închis*.

După cum s-a mai arătat funcția de comandă (continuă sau discontinuă) se întâlnește ca parte componentă a sistemelor automate de: reglare (v. cap. 9) de protecție, de sortare etc. În cadrul prezentului capitol se va trata comanda ca o funcție independentă.

• **Comanda cu circuit deschis** este aproape întotdeauna discontinuă, având în special o formă bivalentă corespunzătoare celor două stări posibile ale unor elemente: starea 0 (motor oprit, vană închisă, întreruptor deconectat etc.) sau starea 1 (motor pornit, vană deschisă etc.).

De exemplu, pe baza unui domeniu de variație bine definit al presiunii, nivelului temperaturii etc., se realizează comanda automată de pornire sau oprire a unei pompe sau a unui ventilator, de deschidere sau închidere a unei vane sau a unui întreruptor etc.

După cum se va vedea din exemplul următor (fig. 8.1), desfășurarea procesului de comandă are caracterul unei succesiuni (secvențe) de operații pe baza unui program simplu bine definit (de exemplu: se închide un contact, după trei secunde se închide un întreruptor ...). Din acest motiv, sistemul mai poartă și numele de *comandă secvențială*.

• **Comanda cu circuit închis** lucrează cu mărimi analogice sau numerice și se desfășoară după un anumit „program” de lucru, motiv pentru care se mai numește și *comandă după program* sau, pe scurt, *comandă-program*. Ea și-a găsit un larg cîmp de aplicații în domeniul prelucrării pieselor metalice pe mașini-unelte (strung, freză, raboteză, morteză, mașină de găurit etc.), făcînd să se dezvolte un domeniu vast al automatizărilor și anume: *comanda-program a mașinilor-unelte*.

Programul de lucru poate fi materializat sub două forme:

— *model fizic analog (șablon) al piesei de prelucrat*, caz în care avem de-a face cu *mașini automate de copiat*;

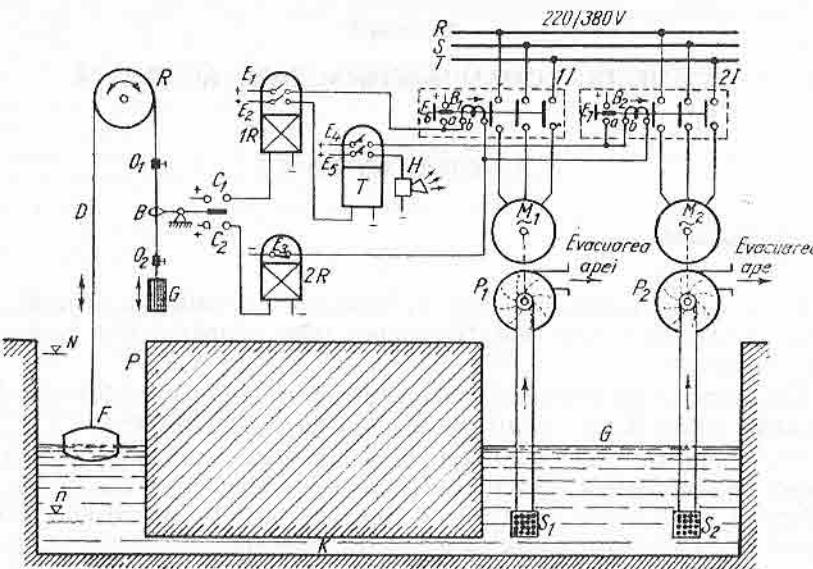


Fig. 8.1. Sistem de comandă-semnalizare automată secvențială (pompe de epuizare)

— model matematic al piesei (operațiilor) de prelucrat, concretizat sub forma unui program numeric imprimat ca și la calculatoare (v. cap.11) pe cartele, benzi magnetice sau de hârtie. În acest caz avem de-a face cu *comanda numerică a mașinilor-unelte*.

2. Semnalizarea

În general, operația de comandă este însotită și de semnalizare, care permite o informare bivalentă asupra poziției sau stării agregatelor, asupra mărăștilor din proces etc. **Semnalizarea** poate fi: *de poziție, de prevenire și de avarie*.

● **Semnalizarea de poziție** reproduce în punctul central de supraveghere (camera de comandă) poziția unor agregate care sunt comandate manual sau automat, adică reprezintă „răspunsul informațional“ produs de comanda discontinuă.

Cea mai simplă semnalizare a poziției se realizează cu lămpi. Astfel, de exemplu, aprinderea unei lămpi de culoare verde înseamnă starea 0 (motor oprit, vana închisă, cazan oprit etc.), iar aprinderea unei lămpi de culoare roșie, înseamnă starea 1 (motor pornit, vana deschisă, cazan în funcțiune etc.).

● **Semnalizarea de prevenire** are rolul de a atrage atenția că un anumit proces nu se desfășoară normal și că trebuie luate măsuri urgente „de prevenire“ a unei defecțiuni tehnice (avarii). De exemplu, se semnalizează că temperatura la un cazan de abur este în scădere și că deci trebuie luate măsuri de activare a arderii (de exemplu, să se comande pornirea unor turbosuflante, deschiderea a încă unei vane cu combustibil sau închiderea unor robinete de abur etc.). Semnalizarea de prevenire se realizează optic prin aprinderea unei lămpi și acustic printr-o sonerie.

Semnalizarea de prevenire face parte integrantă din sistemul de control automat al parametrilor.

● **Semnalizarea de avarie** informează asupra producerii unor defecțiuni în instalația tehnologică care au contribuit la oprirea parțială sau totală a procesului tehnologic de producție. În general, semnalizarea de avarie se realizează printr-una sau mai multe lămpi care pilărie (ard intermitent) și printr-un semnal acustic special de hupă (claxon).

Semnalizarea de avarie este asociată sistemelor automate de protecție.

B. SISTEME DE COMANDĂ-SEMNALIZARE AUTOMATĂ SECVENTIALĂ

● În figura 8.1 este prezentat un **sistem de comandă automată a unor pompe de evacuare a apei de infiltrare**, de exemplu, într-o hidrocentrală.

Înainte de a realiza o asemenea schemă trebuie să ne propunem un program de funcționare a instalației de automatizare respective, corespunzător modului în care trebuie să decurgă procesul tehnologic.

Instalația tehnologică cuprinde două pompe de apă P_1 și P_2 antrenate de motoarele electrice trifazate M_1 și M_2 și care absorb apă de infiltrare în galeria G prin sorburile S_1 și, respectiv S_2 . Pentru măsurarea nivelului apei în galerie se prevede puțul P , legat de galeria G prin conducta K , astfel că puțul și galeria constituie vase comunicante.

Programul de funcționare a sistemului automat este următorul:

— la creșterea nivelului apei de infiltrare pînă la o înălțime maximă admisibilă N trebuie să fie pornită pompa P_1 , care să evacueze apă din galerie;

— dacă apa se menține la acest nivel sau chiar îl depășește pentru un timp mai mare decît o valoare oarecare t_a (de exemplu, 5 minute), aceasta poate să însemne fie că pompa P_1 s-a defectat între timp și s-a oprit sau refuză să pornească, fie că pompa P_1 a primit comanda de pornire și funcționează corect însă debitul de apă infiltrat este aşa de mare, încît nu poate face față singură. În ambele ipoteze este necesar să

pornească și pompa P_2 și de acest lucru trebuie să fie informat și personalul de exploatare.

Conform acestui program a fost întocmită schema de comandă automată din figura 8.1.

Pe suprafața apei din puțul P se află plutitorul (flotorul) F legat de contragreutatea G prin cablul flexibil D trecut peste roata R . Pe cablul D sunt fixate la înălțimi convenabile piesele O_1 și O_2 .

Când apa se ridică în puț, flotorul F se ridică de asemenea, iar contragreutatea G coboară odată cu piesele O_1 și O_2 . Piesa O_1 este astfel fixată încât, la atingerea nivelului N , ea ajunge să acționeze asupra pîrghiei B care fiind articulată în punctul X închide contactul C_1 . La scăderea nivelului apei, flotorul coboară deplasând sistemul mobil în sens invers astfel că la atingerea nivelului minim n piesa O_2 acționează invers pîrghia B , închizînd contactul C_2 .

Pînă aici avem de-a face cu un releu de nivel avînd un contact „de maxim” C_1 și un contact „de minim” C_2 .

Prin închiderea contactului C_1 releul intermediar $1R$ legat permanent la borna „minus” (–) de tensiune primește și „plusul” (+) și funcționează închizînd contactele sale E_1 și E_2 normal deschise.

Prin contactul E_1 se transmite „+” la borna a a bobinei B_1 ; borna b a aceleiași bobine primește „–“ prin contactul E_3 normal închis al releului intermediar $2R$. Deoarece releul $2R$ este neexcitat, contactul său E_3 rămîne închis.

În aceste condiții, bobina B_1 , care reprezintă motorul de execuție solenoidal (v. fig. 5.2) al intreruptorului trifazat II , acționează închizînd intreruptorul respectiv. Se aplică astfel tensiunea rețelei trifazate (220/380 V) motorului M_1 , care antrenează pompă P_1 . Aceasta începe să evacueze apa din galeria G . Odată cu închiderea intreruptorului II , se închide și „contactul auxiliar” E_6 care transmite și el „plusul” la borna a a bobinei B_1 , asigurînd astfel autoexcitarea (automenținerea excitației) acestei bobine.

Dacă procesul se desfășoară normal, pompă P_1 începe să evacueze apa din galerie; după trecerea unui timp t_1 (de exemplu 2 minute) nivelul apei și deci flotorul F a coborît sub nivelul N , contactul C_1 s-a deschis iar releul $1R$ și-a revenit, deschizînd contactele sale. Deși contactul E_1 se deschide, bobina B_1 fiind autoexcitată, motopompa respectivă continuă să funcționeze. Contactul E_2 închis odată cu E_1 , pornise releul de timp T , însă acesta nu a acționat deoarece timpul său de funcționare t_a (de exemplu 5 minute) a fost ales mai mare decît timpul t_1 .

La atingerea nivelului minim n , este necesar ca pompa să fie oprită, ceea ce de asemenea se realizează prin închiderea contactului de minim C_2 . Prin aceasta se excita releul $2R$, care își deschide contactul său E_3 normal închis, întrerupînd alimentarea bobinei B_1 . Bobina B_1 – care se

mai numește și bobina de „tensiune nulă” – eliberează contactele intreruptorului II , care se deschide. Totodată se deschide și contactul E_6 , întrerupînd autoexcitarea. În felul acesta, ridicarea din nou a nivelului apei deși produce deschiderea contactului C_2 și dezexcitarea releului $2R$, adică închiderea contactului E_3 , nu mai are nici un efect asupra intreruptorului II , acesta rămînînd deschis, iar motopompa oprită. Un nou ciclu de pompare are loc numai la atingerea nivelului maxim N .

Conform programului de automatizare, dacă nivelul maxim N se menține mai mult timp (pompa P_1 s-a defectat sau nu poate face față debitului infiltrat), contactele C_1 și C_2 stau închise un timp mai mare ca t_a . Releul intermediar $1R$ prin contactul E_2 alimentează releul de timp T , care, după trecerea timpului t_a , își închide contactele sale. Prin închiderea contactului E_4 se transmite impulsul de excitare la bobina B_2 (la fel cum E_1 a acționat bobina B_1) și intreruptorul $2I$ se închide pornind motorul M_2 și pompă P_2 .

Prin închiderea contactului E_4 este acționată hupa (claxonul) H care semnalizează acustic această situație anormală. Contactul E_7 este necesar (ca și E_6) pentru autoexcitarea bobinei B_2 , iar oprirea pompei P_2 este asigurată prin același contact E_3 normal închis, care se deschide la atingerea nivelului minim datorită închiderii contactului C_2 și excitării releului $2R$. Se vor prevedea lămpi verzi și roșii pentru semnalizarea optică de poziție a intreruptoarelor.

C. SISTEME DE COMANDĂ (AUTOMATĂ) DUPĂ ȘABLON (MAȘINI DE COPIAT)

Se aplică de obicei strungurilor paralele fiind folosit deci în procesul de strunjire a unor piese cu un profil dat.

Schema principală a unui asemenea sistem este prezentată în figura 8.2.

Instalația tehnologică supusă automatizării este un strung din care s-a reprezentat „capul universal” (de prindere) U care se învîrtește cu turăția n și pe care este fixată piesa de prelucrat P . Pe batiul (masa) mașinii se află fixat șablonul S avînd profilul piesei care trebuie prelucrată.

Dispozitivul de automatizare montat pe păpușă mobilă a strungului cuprinde două traductoare identice T_1 și T_2 de tip inductiv diferențial cu circuit magnetic deschis.

Miezul magnetic al traductorului T_1 este solidar cu un braț „palpator” D care calcă pe conturul șablonului S , fiind apăsat de resortul spiral A . Similar, miezul magnetic al traductorului T_2 este solidar cu cuțitul de

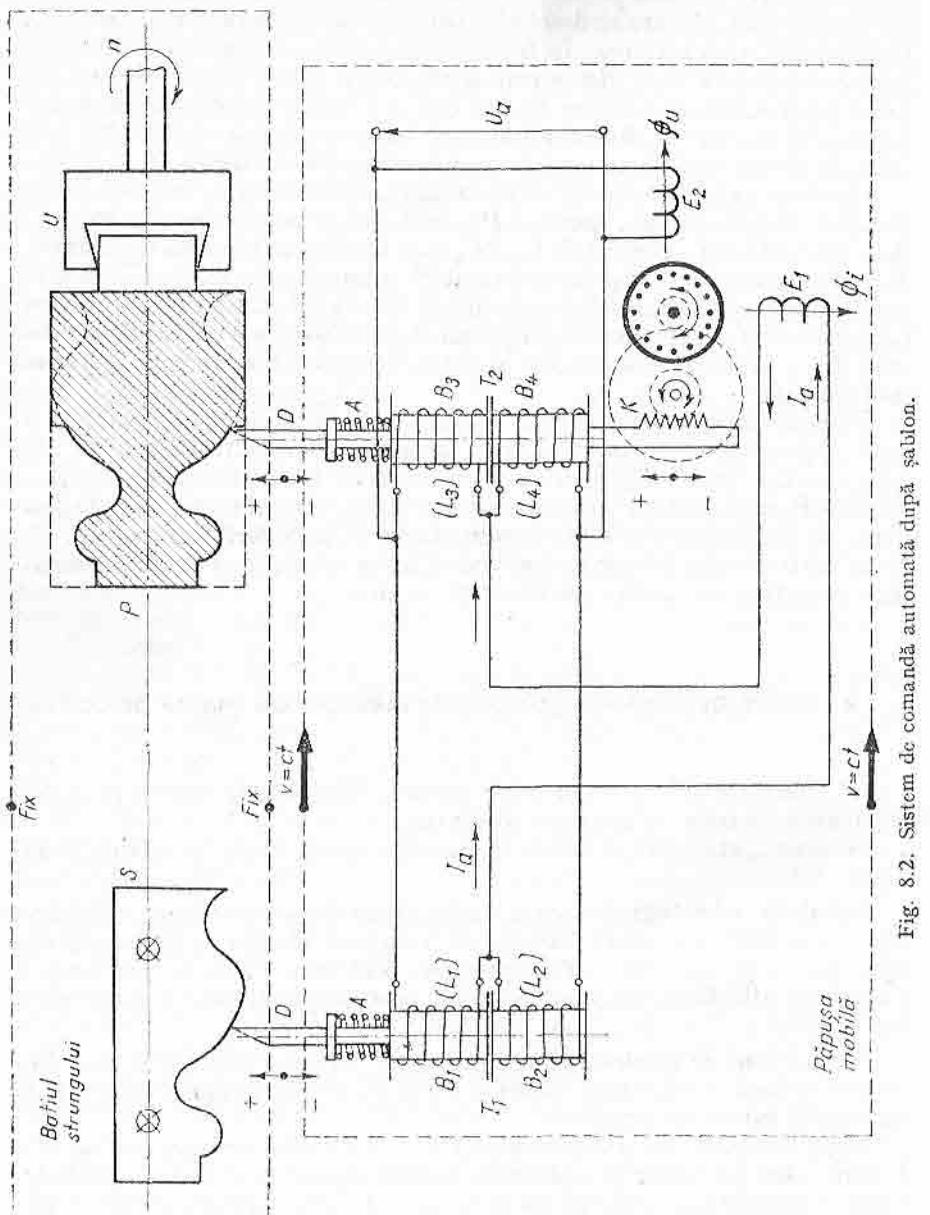


Fig. 8.2. Sistem de comandă automată după şablon.

ășchiere C , precum și cu cremaliera K , antrenată prin roți dințate de motorul electric bifazat M . Bobinele B_1 și B_2 ale traductorului T_1 împreună cu bobinele B_3 și B_4 ale traductorului T_2 constituie cele patru brațe ale unei punți de măsurare alimentată într-o diagonală cu tensiunea alternativă U_a . În cealaltă diagonală a punții, prin care circulă curentul de dezechilibru I_a , este intercalată înfășurarea E_1 a motorului bifazat M ; cea de a doua înfășurare, E_2 , a același motor este alimentată direct cu tensiunea U_a . Motorul se oprește numai cînd curentul I_a este zero, iar sensul său de rotație depinde de faza curentului I față de tensiunea U_a .

Cînd cuțitul ocupă aceeași poziție ca palpatorul (la aceeași distanță față de axul strungului, deci al piesei), miezurile magnetice ale traductoarelor T_1 și T_2 ocupă aceeași poziție în interiorul bobinelor respective. Ca urmare $L_1 = L_3$ și $L_2 = L_4$, prin L_1 , L_3 și L_4 notînd inductanțele bobinelor B_1 , B_2 , B_3 și respectiv B_4 . Aceasta este condiția de echilibru a punții, care se mai poate scrie $I_a = 0$. În această situație, una din înfășările motorului nefiind alimentată, acesta stă pe loc.

Cînd palpatorul D avansează, de exemplu în sens „+“ (adică spre axul strungului), inductanța L_1 va crește, iar L_2 va scădea. Față de situația de echilibru rezultă deci $L_1 > L_3$ și $L_2 < L_4$, ceea ce va avea ca efect apariția curentului de dezechilibru I_a , care, avînd o anumită fază față de tensiunea U_a , produce rotirea motorului în sensul în care cremaliera K împinge cuțitul C în același sens „+“ de avansare, adică spre axul strungului. Mișcarea motorului și deci avansarea cuțitului nu se opresc decît atunci cînd ocupă aceeași poziție cu D , adică punctul s-a echilibrat ($I_a = 0$).

Dacă situația se prezintă invers, adică față de poziția de echilibru palpatorul se retrage (sensul „-“), inductanța L_1 va scădea, iar L_2 va crește. Față de poziția de echilibru rezultă $L_1 < L_3$ și $L_2 > L_4$ (invers în raport cu situația precedentă), ceea ce are ca efect un curent de dezechilibru I_a avînd o fază opusă celei precedente. Ca urmare, motorul se va roti în sens contrar, antrenînd prin cremaliera K cuțitul C care „urmărește“ aceeași mișcare de retragere ca și palpatorul P .

În consecință, prin deplasarea păpușii mobile cu viteză constantă ($v = ct$) palpatorul D explorează profilul şablonului S , iar cuțitul C strungește (copiază) acest profil pe piesa de prelucrat P .

Observație. După cum a rezultat din cele arătate, funcționarea sistemului descris asigură „urmărirea“ de către cuțitul C a deplasărilor longitudinale ale palpatorului D și, ca atare, asemenea sisteme se mai numesc și sisteme automate de urmărire.

○ **Notă.** Sistemele automate de urmărire (de comandă) funcționând cu un circuit închis sănă similar sistemelor de reglare automată (v. cap. 9) la care mărimea de intrare variază aleatoriu (oricum), deci se supun acelorași principii de studiu ca și sistemele de reglare.

D. SISTEME DE COMANDĂ-PROGRAM NUMERICĂ

1. Introducere

Comanda-program numerică constituie un sistem de comandă automată a unui proces pe baza unui program prestabilit utilizând mărimi numerice, în sensul că toate mărimele care intră în sistemul de comandă sunt de tip discret.

Comanda (program) numerică are un domeniul larg de aplicabilitate, și anume: comanda mașinilor-unelte, comanda unor procese în industria chimică (instalații de dozare și amestec), în industria materialelor de construcții (prepararea betoanelor), în tehnica militară etc. Dintre aceste domenii, cel care oferă o aplicabilitate mai largă a comenzi numerice este cel al mașinilor-unelte și la el ne vom referi în cele ce urmează.

Dintre mașinile-unelte cu comandă numerică se menționează în primul rînd strungurile, mașinile de găurit, de frezat, de alezat etc.

În mod asemănător sistemelor de calcul numeric (v. cap. 11), și în cazul comenzi numerice mărimele aplicate sistemului de comandă vor fi mărimi sub formă de numere folosind sistemul de numerație în cod binar.

În figura 8.3 este prezentată schema-bloc a unui sistem de comandă numerică.

Din analiza schemei respective se pot face următoarele observații preliminare:

Sistemul de comandă numerică cuprinde două părți distincte:

- *instalația tehnologică* (mașina-unealtă);
- *dispozitivul de automatizare* (echipamentul de comandă numerică).

Conecțarea între cele două părți principale este asigurată prin două legături:

- *legătura de comandă* (directă);
- *legătura de măsurare* (inversă sau de reacție).

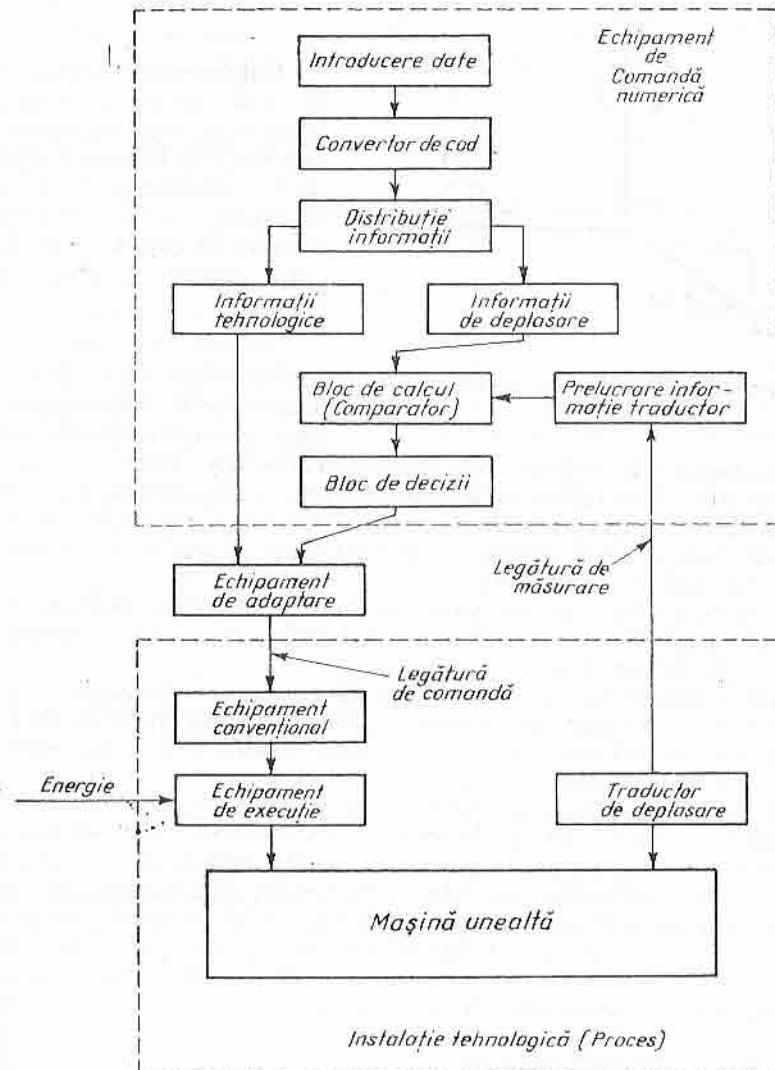


Fig. 8.3. Sistem de comandă-program numerică (schema-bloc).

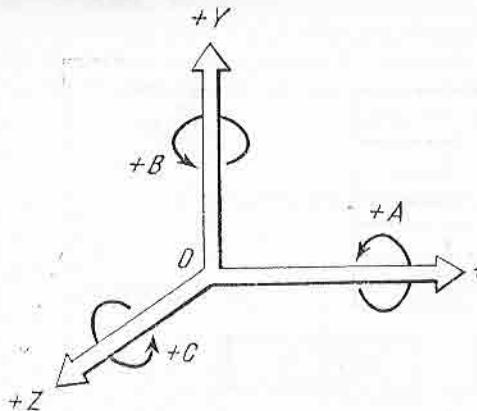


Fig. 8.4. Sistem normal de coordonate la mașini-unelte.

de coordonate (fig. 8.4) este reglementat prin STAS 8902-71.

Mișările de rotație li se asociază literele A , B și respectiv C , sensul pozitiv de rotație corespunzînd sensului de rotație al surubului „dreapta” (normal) pentru a se deplasa în sensul pozitiv al axelor de coordonare X , Y și respectiv Z (fig. 8.4).

Mașina-unealtă este echipată cu motoare electrice (elemente de execuție — fig. 8.3) care permit diverse deplasări ale piesei (de poziționare, de prelucrare etc.).

Pentru măsurarea diverselor deplasări care au loc în mașina-unealtă, se folosesc traductoare de deplasare (liniară sau unghiulară). De obicei sînt folosite traductoare numerice la care mărimea de ieșire este, evident, un număr prezentat în cod binar.

În componența mașinii-unelte intră și echipamentul electric convențional, care permite ca funcția de comandă să se desfășoare fie automat, prin informațiile primite de la echipamentul de automatizare, fie „convențional” adică prin intervenția omului (de exemplu: la reglări, puneri în funcțiune, avarii etc.). Ieșirile din echipamentul convențional reprezintă deci, circuite pentru alimentare cu energie a elementelor de acționare: motoare electrice, ventile electrice, hidraulice sau pneumaticice, cuplaje electromagnetice etc.

3. Echipamentul de adaptare

Echipamentul de adaptare asigură adaptarea semnalelor primite de la echipamentul de comandă numerică cu cerințele impuse echipamentului de conducere a mașinii-unelte înainte de a fi automatizată.

2. Mașina-unealtă (instalația tehnologică)

Indiferent de tipul construcțiv și de natura procesului de prelucrare, orice mașină-unealtă posedă trei axe rectangulare, notate arbitrar cu X , Y și Z , în raport cu care pot exista mișări de translație și de rotație notate A , B și respectiv C .

Atribuirea axelor de coordonate unei mașini-unelte este normalizată. De exemplu, în ţara noastră sistemul normal

Printre funcțiile echipamentului de adaptare se pot menționa cele de convertire a codului informației de ieșire din echipamentul de comandă numerică, cele de amplificare a semnalelor care caracterizează informația, unele impulsuri de interblocări și confirmări etc.

4. Echipamentul de comandă numerică

Cuprinde o serie de elemente componente interconectate prin legături internaționale simple.

a. Introducerea datelor

- Introducerea datelor poate fi făcută manual sau automat. Introducerea automată a datelor presupune ca și în cazul sistemelor electronice de calcul, memorarea acestora pe un mediu suport-purtător de informații: cartele perforate, bandă magnetică, bandă perforată etc. Dintre acestea, cea mai largă răspîndire o are banda perforată.

Banda perforată este formată dintr-o bandă de hîrtie sau material plastic pe care sînt înschise datele din program, după unele reguli stabilite la nivel internațional, într-un cod standardizat (STAS 9210-73), (fig. 8.5).

- Cititoarele de bandă sunt fie electromecanice, adică cu contacte care se închid în dreptul unei perforații, fie fotoelectrice.

- Convertorul de cod transformă (convertește) informațiile primite, din cod binar într-un cod zecimal realizat cu relee, cu elemente de comutare statică sau, matricial, cu diode (v. fig. 7.3).

b. Distribuția informației

- Blocul de distribuție. Echipamentul de comandă numerică transmite mașinii-unelte două feluri de informații, și anume:

- informații de deplasare (cantitative);
- informații tehnologice (calitative);

Datele introduse sînt formate dintr-o așa-numită adresă, urmată de o parte numerică. Adresa este întotdeauna exprimată printr-o literă urmată de un număr care arată mărimea deplasării. De exemplu: **Z 2—7—5** înseamnă deplasare pe axa Z cu 275 mm.

Această informație este distribuită:

- pe canalul informațiilor tehnologice (Z);
- pe canalul informațiilor de deplasare (275).

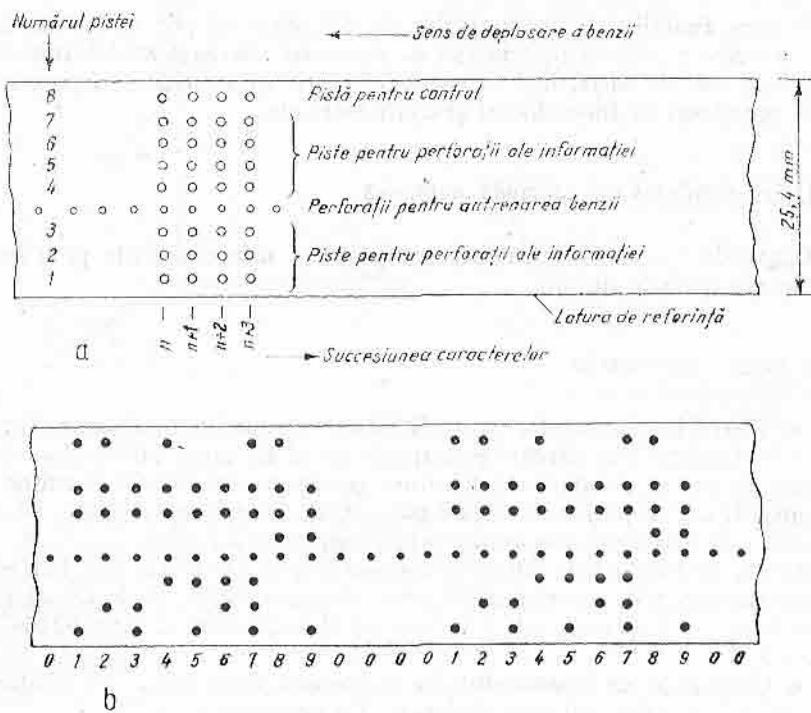


Fig. 8.5. Banda perforată pentru comandă numerică:
a – formatul benzii; b – exemplu de inscriere a unei informații.

Blocul de distribuție a informațiilor are astăzi rolul de a separa informațiile tehnologice de informațiile de deplasare.

• **Blocul de calcul** realizează funcția „comparatorului“ din sistemele de reglare automată (cap. 6 și 9), adică compară semnalele de comandă primite la intrare cu semnalele reale primite de la traductorul (traductoarele) de deplasare.

Informațiile primite de la traductorul de deplasare sunt prelucrate astfel încât să poată fi comparate (compatibile) cu cele primite de la intrare.

• **Blocul de decizii** primește informațiile de la blocul de calcul și dă comenzi adecvate instalației tehnologice în sensul compensării (anularii) abaterilor mașinii-unelte de la pozițiile sau instrucțiunile impuse de program.

Comenziile pot fi *discrete* sau *continuă*, astfel ca mașina-unealtă să descrie acele poziționări și prelucrări care ar fi efectuate de un operator perfect (funcționare optimă) — v. cap. 12.

REZUMAT

1. Comanda automată reprezintă intervenția dispozitivului de automatizare în modificarea poziției sau stării unor agregate sau elemente din instalația tehnologică, în scopul modificării unor parametri din proces.
 2. Comanda automată poate fi:
 - continuă, cind parametrii sunt variați în mod continuu (de exemplu la sistemele automate de copiat);
 - discontinuă, cind elementele (sau mărimile) comandate iau poziții (valori) distincte (de exemplu la sistemele de comandă automată secvențială sau numerică).
 3. Semnalizarea este o funcție de informare cu caracter discontinuu asupra poziției sau stării unor agregate. Ea se concretizează:
 - optic – prin lămpi sau alte sisteme de indicare;
 - acustic – prin hupă (claxon) sau sonerie.
 4. În sistemele de comandă automată secvențială elementele sau mărimile comandate iau numai două poziții sau valori distincte (logică bivalentă: 0 sau 1) operațiunile de comandă desfășurându-se într-o succesiune (secvență) prestabilită.
 5. Sistemele automate de copiat posedă un circuit închis, deci pot fi considerate ca sisteme de reglare automată (cap. 9) cu intrarea variabilă aleatoare. În aceste sisteme automate, mărimile care intervin, inclusiv funcția de comandă, sunt continue.
 6. Sistemele automate de comandă-program numerică a mașinilor-unelte posedă un bloc de calcul, precum și unele elemente (benzi perforate, capete de citire, memorii etc.), similare calculatorelor.
- Aceste sisteme sunt cu circuit închis, mărimile care intervin – inclusiv programul de lucru – fiind reprezentate în cod de numerație binară.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Comanda automată este o funcție care poate fi:
 - a) numai continuă?
 - b) numai discontinuă?
 - c) continuă sau discontinuă?
2. Comanda continuă se folosește:
 - a) numai la sistemele cu circuit închis?
 - b) numai la sistemele cu comandă numerică?
 - c) numai la sistemele secvențiale?
3. Comanda discontinuă (discretă) se aplică:
 - a) numai la sistemele numerice?
 - b) numai la sistemele secvențiale?
 - c) la sistemele secvențiale și numerice?
4. Sistemele automate de copiat sunt:
 - a) sisteme deschise?
 - b) sisteme închise?
 - c) sisteme numerice?
5. Sistemele de comandă numerică a unor mașini-unelte cu prelucrare liniară au imprimat pe banda perforată:
 - a) numai informații de deplasare?
 - b) numai informații tehnologice?
 - c) informații tehnologice și de deplasare?

SISTEME DE REGLARE AUTOMATĂ

A. NOȚIUNI FUNDAMENTALE PRIVIND SISTEMELE DE REGLARE

1. Sarcina reglării automate

Reglarea automată este acel proces, îndeplinit automat, prin care o mărime fizică este fie menținută la o valoare prescrisă constantă, fie își schimbă valoarea la intervale de timp date, conform unui anumit program, luând astfel o succesiune de valori prescrise.

Un dispozitiv automat, numit *regulator*, înlocuiește funcțiile îndeplinite de către operatorul uman, realizând totodată legătura între aparatul de măsurat cu ajutorul căruia se constată permanent diferența dintre valoarea instantanee (la un moment dat) și valoarea prescrisă a mărimii fizice reglate și elementul de execuție, prin care se acționează asupra obiectului (instalației sau procesului) reglat.

2. Mărimile care intervin în procesul reglării

Pentru procesele tehnice, aplicarea reglării are o importanță deosebită. De exemplu, funcționarea mașinilor cu abur, a turbinelor, a motoarelor cu ardere internă etc., este direct legată de reglarea turației, a presiunii, a debitului de combustibil, a temperaturii, a ungerii etc.

Desigur, o reglare este necesară numai atunci cînd mărimea reglată nu poate rămîne constantă de la sine, la valoarea dorită, și are tendință de a-și modifica valoarea, de a se abate mai mult sau mai puțin în urma unor efecte perturbatoare externe sau interne.

În cazul oricărei reglări, se deosebește o mărime reglată și o mărime de execuție.

- **Mărimea care trebuie menținută la valoarea prescrisă** este **mărimea reglată**. Mărimi reglate sunt, de exemplu, temperatura, debitul, turația, tensiunea electrică, nivelul dintr-un rezervor etc. În afară de acestea, în tehnică intervin multe alte mărimi reglate. În tabelul 9.1 sunt enumerate principalele mărimi reglate din diferite domenii ale tehnicii.

- **Mărimea de execuție** este **mărimea obținută la ieșirea organului de execuție și cu ajutorul căreia se poate influența ușor mărimea reglată, pentru a o aduce la valoarea dorită**.

Tabelul 9

Principalele mărimi reglate din diferite domenii ale tehnicii

Domeniu	Mărimi reglate
Construcții de mașini	forță cuplu viteză turație accelerație cursă, nivel, poziție presiune etc.
Electrotehnică	tensiune curent putere (activă, reactivă) frecvență defazaj amplificare iluminare etc.
Chimie	temperatură presiune debit nivel proporție de amestec concentrație de ioni (pH) putere calorică concentrația gazelor umiditate etc.
Tehnica transporturilor	viteză accelerație direcție altitudine inclinare etc.

De exemplu, dacă se cere ca într-un cupitor cu gaz să fie menținută constantă temperatura, aceasta din urmă poate fi influențată în sensul dorit (creștere sau scădere) prin modificarea debitului de gaz de ardere. În acest caz, mărimea reglată este temperatura, iar mărimea de execuție este debitul de gaz.

Dacă se urmărește menținerea constantă a turației unui motor electric de curent continuu, pentru variația turației în sensul dorit se variază

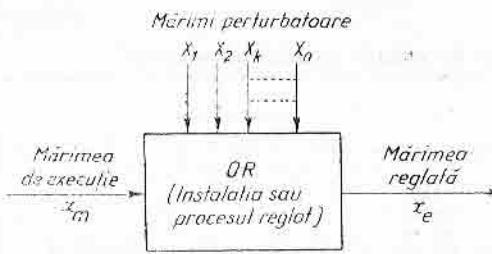


Fig. 9.1. Schema-bloc a elementului automatizat:
OR – obiectul reglat; x_e – mărimea reglată; x_m – mărimea de execuție;
 x_1, x_2, \dots, x_n – mărimi perturbatoare.

currentul de excitație al motorului. Deci, mărimea reglată este, în acest caz, turația, iar mărimea de execuție este curentul de excitație al motorului.

• *Influențele externe sau interne care sunt cauzele abaterilor valorilor instantanee ale mărimii regulate de la valoarea prescrisă, se numesc, în tehnica reglării, perturbații sau mărimi perturbatoare.*

La reglarea unei anumite mărimi se exercită influența uneia sau a mai multor mărimi perturbatoare.

În cazul reglării temperaturii într-un cuptor de gaz, se pot considera ca mărimi perturbatoare presiunea variabilă a gazului, puterea calorică variabilă a gazului, temperatura diferită a mediului ambiant, cantitatea variabilă de căldură absorbită de cuptor etc.

La reglarea turației motorului de curent continuu se exercită influența unor perturbații diferite; tensiunea variabilă de alimentare, a motorului, variația cuplului de sarcină cerut de mașina de lucru antrenată de motorul respectiv, variația rezistenței electrice cu temperatura etc.

De regulă, efectul influenței uneia dintre mărimile perturbatoare este preliminat: această perturbație este considerată ca principală și acțiunea de reglare se manifestă în sensul eliminării abaterii mărimii regulate de la valoarea prescrisă sub influența perturbației principale.

În figura 9.1 este reprezentată schema-bloc a obiectului reglării (instalația sau procesul supuse reglării). La intrarea obiectului reglării, reprezentat simbolic printr-un dreptunghi, se aplică mărimea de execuție x_m ; la ieșire, rezultă mărimea reglată x_e . Din exterior, se exercită acțiunea unor mărimi perturbatoare X_1, X_2, \dots, X_n , dintre care urmează a fi selectată perturbația principală.

3. Sisteme de reglare automată

În cazul instalațiilor sau proceselor la care precizia cerută operațiunilor de reglare este mare sau la care alți indicatori specifici procesului respectiv fac imposibilă prezența operatorului uman (de exemplu, la viteze mari de variație a parametrilor reglați, la determinarea implicită a variației acestora din variația altor mărimi fizice, în cazul funcționării

a valorii finale a unor parametri ca tensiunea electrică, presiunea aburului etc. sau în medii nocive etc.) se impune eliminarea operatorului uman ca intermediar între aparatul de măsurat și organul de execuție și înlocuirea sa printr-un dispozitiv care să execute automat și în aceeași succesiune operațiile executate mai înainte de către om.

Acest dispozitiv, care elimină intervenția omului din procesul de reglare și funcționează fără intervenția omului, este **regulatorul automat** (v. cap. 6).

Reglarea este o reglare automată, iar sistemul respectiv, un **sistem de reglare automată** (pescuitat SRA).

a. Instalația de reglare automată

În figura 9.2, s-a reprezentat simplificat o instalație pentru reglarea automată a temperaturii apei la ieșirea din schimbătorul de căldură. Instalația de reglare automată cuprinde **elementul de măsurat**, **elementul de comparație**, **regulatorul automat** și **elementul de execuție**.

• **Elementul de măsurat** (traductorul) EM este reprezentat de termometrul manometric 1, instalat pe conducta de apă caldă, la ieșirea

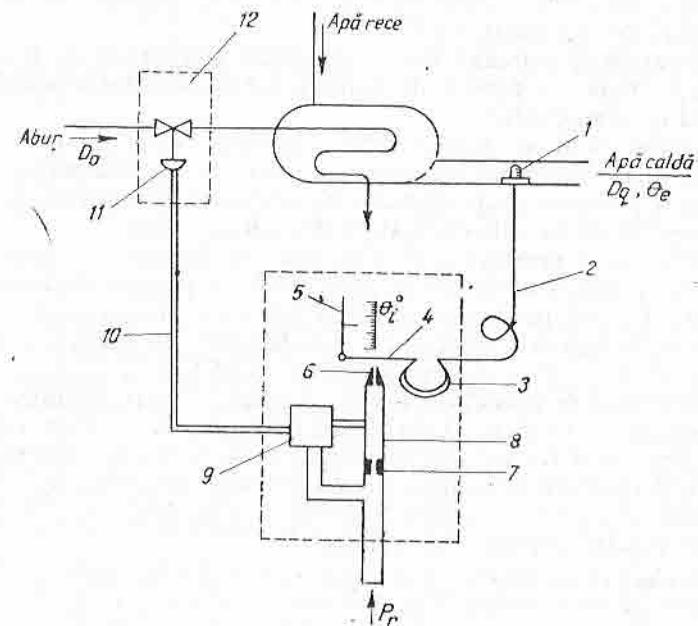


Fig. 9.2. Instalația de reglare automată a temperaturii apei la ieșirea din schimbătorul de căldură.

din încălzitor. Acest element măsoară temperatura θ_e a apei la ieșire și transformă energia termică absorbită de la apa caldă într-o variație de presiune, pe care o transmite prin tubul capilar 2 la tubul Bourdon 3; acesta din urmă transformă variația de presiune într-o deplasare, prin care se modifică poziția paletei 4. Elementele 1, 2, 3 și 4, la care se poate adăuga și indicatorul 5 (atunci cînd există), formează împreună elementul măsurat.

• **Elementul de comparație EC** compară temperatura apei la ieșire θ_e cu valoarea prescrisă (de consemn) θ_i , rezultînd abaterea de reglare sau eroarea: $x_a = \Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$. În schema din figura 9.2, valoarea prescrisă a temperaturii $\theta_i = x_i$ = mărimea de intrare este reprezentată prin punctul de oscilație al paletei 4. Acest punct poate fi deplasat manual, în sus sau în jos, cu ajutorul tijei 5. Valoarea măsurată θ_e a temperaturii apei la ieșirea din încălzitor este reprezentată prin poziția extremității mobile a tubului Bourdon, articulată cu paleta 4. Atunci cînd $\theta_e = \theta_i$, (deci $\Delta\theta = 0$), mijlocul paletei se află exact în dreptul ajutajului conic 6. La orice altă valoare $\theta_e \neq \theta_i$ (deci $\Delta\theta \neq 0$), poziția punctului de la mijlocul paletei reprezintă o mărime proporțională cu diferența $(\theta_i - \theta_e)$. Temperatura θ_e reprezintă mărimea de ieșire x_e , iar deplasarea extremității tubului Bourdon reprezintă mărimea de reacție x_r . Rezultă eroarea: $x_a = x_i = x_r = \epsilon$, mărimea de la ieșirea elementului de comparație EC.

• **Regulatorul automat RA**, reprezentat simplificat în figura 9.2, îndeplinește numai o funcție de amplificare a semnalului primit de la elementul de comparație.

În spațiul 8 al amplificatorului pneumatic (sistem duză-paleță), alimentat cu aer sub presiune constantă prin elementul de strangulare 7, se obține o presiune proporțională cu distanța între paleță și ajutaj, deci proporțională cu diferența $\Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$.

Amplificatorul pneumatic 9, alimentat de la aceeași sursă de aer comprimat, produce în conductă 10 o presiune proporțională cu $\Delta\theta = \theta_i - \theta_e$. Această presiune reprezintă mărimea de comandă x_c , adică mărimea de la ieșirea regulatorului RA. Mărimea de comandă este mărimea de intrare pentru elementul de execuție EE.

• **Elementul de execuție EE** este ventilul 12, care modifică debitul D_a al aburului de încălzire. Ventilul are o membrană 11, asupra căreia se exercită presiunea de aer din conductă 10, de la ieșirea din regulator. Secțiunea deschiderii ventilului asigură valoarea debitului D_a (mărimea de execuție x_m) care se aplică la intrarea schimbătorului de căldură (instalația reglată sau obiectul reglării OR).

○ Se observă că un sistem de reglare automată are rolul de a realiza o anumită lege de dependență între mărimea de ieșire x_e , care caracterizează la un moment dat o instalație sau un proces tehnologic, și mărimea de intrare x_i , prin care se comandă modificările în funcționarea acestora.

b. Sistemul de reglare automată

Ansamblul format din obiectul reglării (instalația reglată) + regulatorul automat + elementele de măsurare și execuție, realizat în scopul reglării automate a unui anumit proces sau parametru de proces, se numește sistem de reglare automată (SRA).

Pentru studiul reglării automate este folosită o reprezentare simbolică, denumită **schemă funcțională**.

Schemă funcțională a unui sistem de reglare automată este acea schemă în care se indică elementele componente ale sistemului de reglare automată (SRA), destinația lor și legăturile funcționale între ele.

Elementele unui sistem de reglare automată sunt reprezentate în schema funcțională prin blocuri funcționale.

Schemă funcțională a unui SRA conține:

— **legătura directă sau principală**, care înglobează toate elementele cuprinse între elementul de comparație EC și ieșirea instalației automatizate;

— **legătura inversă sau secundară**, numită deseori „cale de reacție”, care cuprinde elementele situate între ieșirea instalației automatizate și elementul de comparație.

Transmiterea semnalului (sau informației) se face de la intrare spre ieșirea SRA pe legătura directă și de la ieșire spre intrarea SRA — pe legătura inversă.

Împreună, cele două legături (directă și inversă) alcătuiesc un **circuit închis de reglare automată** sau o **bucă de reglare**.

În schema funcțională se indică mărimele de intrare și de ieșire ale fiecarui element; precum și sensul în care un element influențează pe celălalt, adică sensul de transmitere a semnalului (sau informației) în cuprinsul sistemului de reglare automată.

Pentru fiecare element din schemă semnalul se transmite în sens unic, de la intrarea elementului la ieșirea acestuia. În acest fel, pentru fiecare bloc se stabilește o dependență a mărimii de la ieșire față de variația mărimii de la intrarea elementului respectiv.

Se obișnuiește să se reprezinte schema funcțională prin însiruirea elementelor componente ale SRA, în ordinea strictă a legăturilor funcționale între ele. De exemplu, pentru instalația de reglare automată din figura 9.2, schema funcțională este reprezentată în figura 9.3 (reprezentare valabilă și pentru alte SRA).

Obiectul reglării (elementul automatizat sau instalația tehnologică reglată), la ieșirea căruia se obține mărimea de ieșire x_e (în cazul de față, temperatura apei la ieșire θ_e) este supus influenței mărimilor perturba-

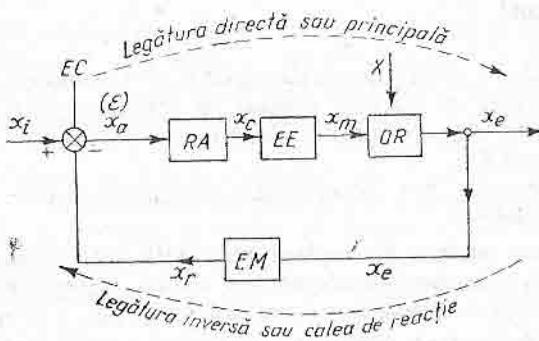


Fig. 9.3. Schema funcțională a unui SRA.

de măsură ale mărimilor x_r și x_e se poate ajunge la egalitatea: $x_r = x_e$. În acest fel, se poate elimina din reprezentarea schemei funcționale a unui SRA elementul de măsurat EM de pe calea de reacție (fig. 9.4).

În figura 9.4 este reprezentată schema funcțională a unui SRA fără element de măsurat pe calea de reacție sau, cum este numit de obicei, *SRA cu reacție unitară*. Desigur că, în urma acestei simplificări, se poate considera pentru mărimea de acționare valoarea $x_a = x_i - x_e = \varepsilon$.

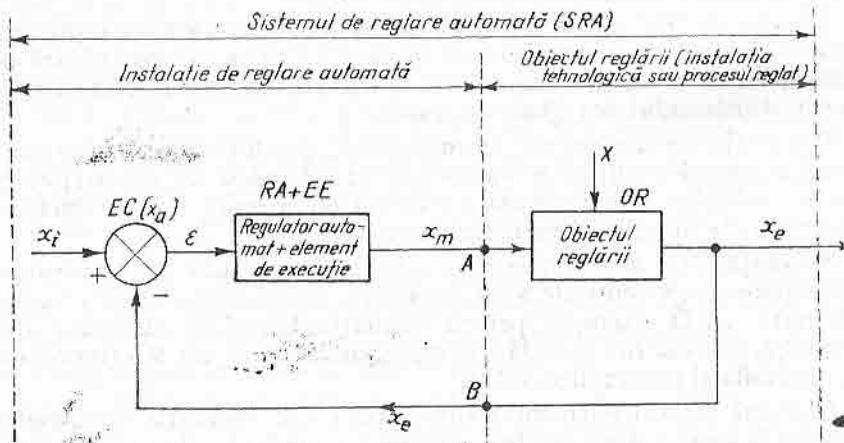


Fig. 9.4. Schema funcțională a unui SRA cu reacție unitară.

4. Avantajele reglării automate

Principalele avantaje care rezultă din aplicarea reglării automate sunt:

- creșterea cantitativă a producției obținute în unitatea de timp (mărire productivității);
- îmbunătățirea calității produselor;
- economisirea materiilor prime și auxiliare necesare;
- reducerea numărului instalațiilor și utilajelor necesare;
- reducerea cheltuielilor de producție și a costului produselor;
- îmbunătățirea condițiilor de lucru (menajarea efortului uman în procesul muncii și eliberarea omului de munca grea și monotonă).

În țara noastră, introducerea mijloacelor de automatizare în general și a instalațiilor de reglare automată, în particular, a cunoscut un ritm înalt și continuu ascendent. În deplină concordanță cu politica de industrializare socialistă a țării, cu continua dezvoltare a cercetării științifice și promovarea progresului tehnic, în cincinalul actual se vor extinde mecanizarea și automatizarea producției. Astfel, în anul 1980, producția de mijloace de automatizare și ale tehnicii de calcul va întrece de 2,66 pînă la 3,01 ori nivelul realizat în anul 1975, ceea ce va reprezenta un ritm de creștere mult mai rapid în raport cu alte ramuri ale industriei noastre în continuă dezvoltare.

B. CLASIFICAREA SRA

Sistemele de reglare automată se pot clasifica în funcție de numărul buclelor de reglare, în funcție de viteza de variație a mărimii reglate (sau viteza de răspuns), în funcție de numărul mărimilor reglate și după tipul acțiunii regulatorului automat.

• În funcție de numărul buclelor de reglare se deosebesc:

- *SRA cu o buclă de reglare* (sau cu un singur regulator automat);
- *SRA cu mai multe bucle de reglare* (sau cu mai multe regulatoare automate).

SRA cu mai multe bucle de reglare pot fi sisteme de reglare în cascadă, care cuprind mai multe regulatoare automate, cu ajutorul cărora, pe lîngă mărimea de ieșire x_e , sănt reglate și alte mărimi intermediare din cuprinsul instalației sau procesului reglat, și sisteme de reglare combinată, în care pe lîngă regulatorul automat principal se prevăd unul sau mai multe regulatoare suplimentare, care intră în funcțiune numai la apariția anumitor acțiuni perturbatoare.

- În funcție de aspectul variației în timp a mărimii de la intrare x_i (deci după variația în timp impusă mărimii de ieșire x_e) se deosebesc:

— sisteme de stabilizare automată (cind $x_i = ct$ — de exemplu menținerea constantă a unui parametru — ca în figura 9.5, a); acestea se mai numesc *SRA cu consemn fix sau cu program fix*;

— sisteme de reglare automată cu program variabil (cind x_i variază în timp după o lege prestabilită — de exemplu la cuptoarele industriale pentru tratamente termice — ca în figura 9.5, b); acestea se mai numesc *SRA cu consemn programat*;

— sisteme de reglare automată de urmărire (cind x_i variază în funcție de un parametru din afara SRA, legea de variație în timp a acestui parametru nefiind cunoscută dinainte).

- În funcție de viteza de răspuns a obiectului reglării la un semnal x_i aplicat la intrare, se deosebesc:

— *SRA pentru procese lente* (cele mai răspândite, instalațiile tehnologice industriale, caracterizându-se printr-o anumită inerție), ca, de exemplu, cel din figura 9.2;

— *SRA pentru procese rapide*, cum sunt sistemele de reglare automată aplicate mașinilor și acționărilor electrice (de exemplu reglarea turării motoarelor, reglarea tensiunii generatoarelor etc.).

- După numărul mărimilor de ieșire ale obiectului reglat asupra cărora se exercită acțiunea de reglare automată, se deosebesc:

— *SRA cu o singură mărime reglată* (sau *SRA convenționale*);

— *SRA cu mai multe mărimi reglate simultan* (sau *SRA multivariable*).

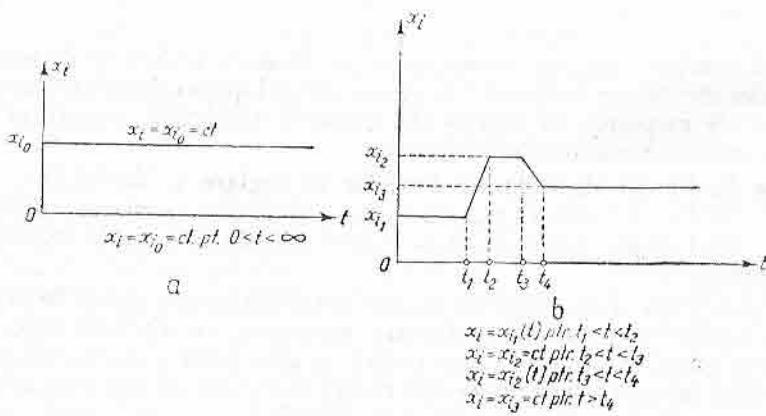


Fig. 9.5. Variația mărimii de la intrarea SRA:

a — *SRA cu program fix* (sau *consemn constant*); b — *SRA cu program variabil* (sau *consemn variabil*).

- După tipul acțiunii regulatorului automat, se deosebesc:

— *SRA cu acțiune continuă*, la care mărimea de ieșire a fiecărui element component este o funcție continuă de mărimea sa de intrare. Aceste *SRA* conțin fie reglatoare liniare, la care dependența $x_e = f(\varepsilon)$ este liniară, fie reglatoare neliniare, la care această dependență este neliniară;

— *SRA cu acțiune discontinuă (discretă)*, la care mărimea de la ieșirea regulatorului este reprezentată de o succesiune de impulsuri de reglare, fie modulate în amplitudine sau durată (cazul reglatoarelor cu impulsuri), fie codificate (cazul reglatoarelor numerice).

C. FORMELE FUNDAMENTALE ALE VARIATIEI SEMNALULUI APICAT LA INTRARE, FUNCȚII TIP PENTRU $x_i(t)$. RĂSPUNSUL SRA LA FUNCȚIILE DE INTRARE TIP

De obicei, variația semnalului $x_i(t)$ de la intrarea unui sistem automat este cunoscută și se reprezintă printr-o funcție continuă de timp.

În cazul sistemelor de reglare automată, mărimea de la intrare variază într-un mod predeterminat, după un anumit program. În multe situații din practică *SRA*, acest program este reprezentat de o *funcție tip*, adică de o funcție simplă, cu variație specifică, dar comună pentru numeroase sisteme de reglare.

Funcțiile tip ale variațiilor mărimilor de intrare, precum și ale mărimilor de ieșire corespunzătoare, sunt prezentate în figura 9.6. Acestea reprezintă formele fundamentale ale variației semnalului aplicat la intrarea unui *SRA*.

Pentru mărimile de intrare, $[x_i(t)]$, funcțiile tip se numesc: *treaptă unitară*, *rampă unitară*, *impuls unitar* și conduc la funcții de ieșire $[x_e(t)]$ (răspunsuri) denumite respectiv *funcție indicială*, *răspuns pentru rampă unitară*, *funcție pondere*.

• **Funcția treaptă unitară** $x_{i1}(t)$ are valoarea zero pentru valori de timp $t < 0$, face un salt la valoarea 1 în momentul $t = 0$ și păstrează această valoare pentru întregul interval $t > 0$. Răspunsul sistemului de reglare automată, adică variația mărimii de ieșire $x_e(t)$ pentru o variație treaptă unitară la intrarea *SRA*, se numește *funcție indicială* sau *răspuns indicial*.

• **Funcția rampă unitară** $x_{i2}(t)$ reprezintă o creștere cu viteză de variație unitară:

$$\frac{dx_{i2}(t)}{dt} = 1, \text{ pentru } t > 0. \quad (9.1)$$

D. ANALIZA SRA ÎN DOMENIUL TIMPULUI

1. Metode de analiză

Analiza SRA în domeniul timpului — în sensul analizei funcționării acestora — permite obținerea unor informații complete și precise asupra funcționării SRA prin studierea răspunsului indicial, adică a variației în timp a mărimii reglate, pentru o variație în treaptă unitară a perturbației „mutată” la intrarea SRA (deci, considerată cu variația la intrare x_i).

Răspunsul indicial al unui SRA se determină *prin calcul sau experimental*.

• **Determinarea răspunsului indicial prin calcul** necesită rezolvarea ecuațiilor diferențiale care descriu funcționarea elementelor SRA și a sistemului în ansamblu. În cazul unor sisteme de reglare complexe, cum sunt cele din industrie, rezolvarea acestor ecuații diferențiale este dificilă; de cele mai multe ori, se recurge la ajutorul calculatoarelor electronice.

• **La ridicarea experimentală a funcției indiciale** (fig. 9.7), elementul de execuție se fixează manual astfel, încât mărimea reglată să ia aproximativ valoarea de funcționare. Apoi, mărimea de execuție se variază brusc, de exemplu cu 10% din domeniul în care poate fi variată și se urmărește variația în timp a mărimii reglate, începând din momentul modificării. Aceste variații sunt fie citite pe aparat de indicatoare și notate pe diagrame, fie — în special în cazul proceselor cu desfășurare rapidă — înregistrate pe aparat de înregistratoare sau pe oscilograf. Se ob-

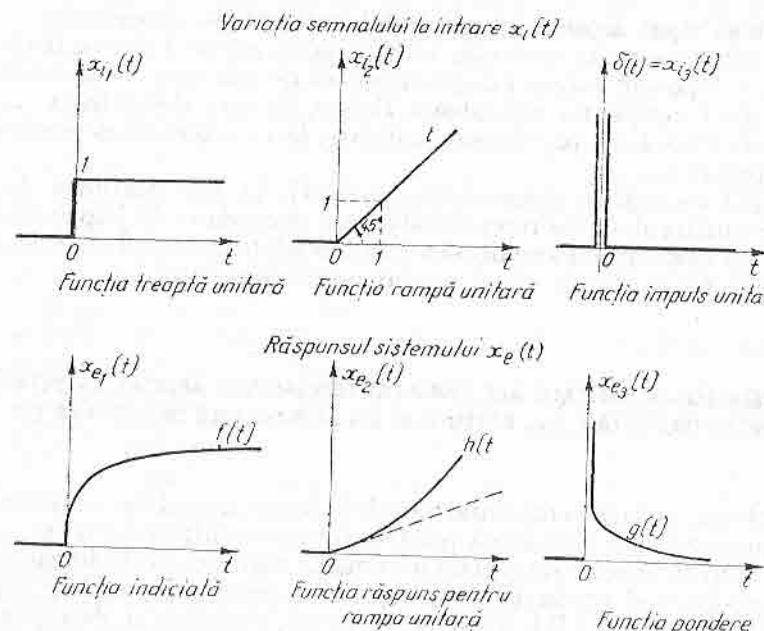


Fig. 9.6. Variația semnalului de la intrare și răspunsul SRA pentru diferite funcții tip.

Pentru $t < 0$, $x_{i2}(t)$ este nulă. Dreapta care reprezintă variația lui $x_i(t)$ face un unghi de 45° cu axa timpului.

• **Funcția impuls unitar** $x_{i3}(t) + \delta(t)$, reprezentată în aceeași figură*, se definește astfel:

$$\begin{aligned} \delta(t) &= 0 \text{ pentru } t \neq 0; \\ \delta(t) &= \infty \text{ pentru } t = 0. \end{aligned} \quad (9.2)$$

Răspunsul unui sistem automat la funcția $\delta(t)$ se numește *funcție pondere*.

Cu ajutorul funcțiilor tip, studiul funcționării SRA cu comportare liniară la o variație oarecare a mărimii de intrare x_i se reduce la descompunerea acesteia în funcții tip, la determinarea comportării SRA în raport cu fiecare din aceste funcții tip și, în cele din urmă, la suprapunerea efectelor, pentru a afla răspunsul SRA.

* Această funcție a fost folosită încă de O. Heaviside și a fost studiată amănunțit de P. Dirac, care a introdus-o în fizică. Din această cauză, funcția $\delta(t)$ se mai numește „impuls Dirac” sau „funcție-ac”.

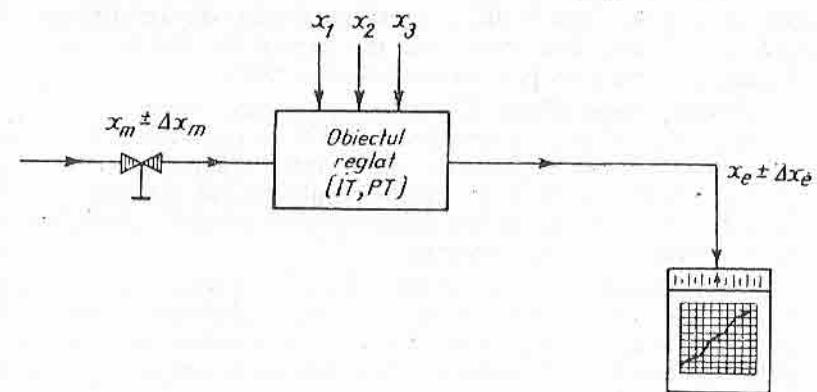


Fig. 9.7. Ridicarea funcției indiciale referitoare la mărimea de execuție.

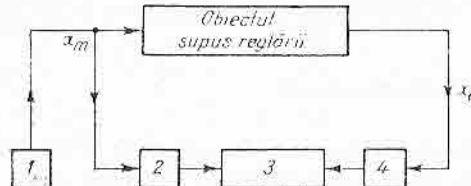


Fig. 9.8. Schema-bloc a instalației pentru determinarea experimentală a funcției indiciale:

1 – panou de comandă la distanță a elementului de execuție; 2, 4 – traductoare electrice ale mărimilor de intrare și ieșire; 3 – înregistrator cu puncte de măsurare multiple.

Pentru ridicarea răspunsului indicial al unui obiect supus reglării, ca de altfel al oricărui SRA, se poate folosi schema bloc a instalației de experimentare indicată în figura 9.8.

2. Funcția de transfer

Fiecare element al SRA poate fi reprezentat simbolic printr-un bloc cu intrare și ieșire.

• **În regim staționar**, raportul $K_A = \frac{x_e}{x_i}$ pentru fiecare element în parte reprezintă *coeficientul (sau factorul) de amplificare* al acestuia. Datorită sensului unidirectional al transmisiei semnalului — numai de la intrarea la ieșirea elementului — acest coeficient de amplificare are totodată semnificația unui coefficient sau raport de transfer (în sensul transferului unei comenzi prin elementul respectiv).

Coeficientul de amplificare K_A este un indicator important pentru aprecierea reglării și pentru ajustarea corectă a regulatorului. De asemenea, coeficientul de amplificare are o influență hotărâtoare asupra calității reglării. De exemplu, pentru ca regulatorul să-și poată îndeplini în bune condiții funcționarea lui, coeficientul de amplificare K_A trebuie să aibă o anumită valoare optimă.

Dacă se cuplează între ele în serie (sau lanț) mai multe elemente funcționale (blocuri ale SRA), ieșirea elementului precedent devine intrarea celui următor (fig. 9.9). În această situație, coeficientul de amplificare global K_{AG} al lanțului este produsul dintre coeficienții elementelor individuale:

$$K_{AG} = K_{A1} \cdot K_{AII} \cdot K_{AIII} \quad (9.3)$$

ține astfel răspunsul indicial la variația mărimii de execuție.

La determinarea răspunsului indicial referitor la mărimea de perturbație se poate proceda, în principiu, la fel. Ridicarea răspunsului indicial este metoda cea mai simplă pentru determinarea performanțelor unui sistem de reglare automată.

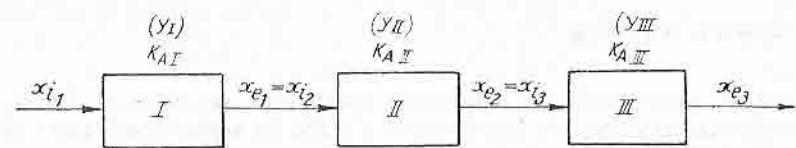


Fig. 9.9. Legarea în lanț a elementelor unui SRA.

- **În regim dinamic** (sau tranzitoriu), coeficientul de transfer devine variabil în timp și capătă semnificația unei *funcții de transfer*. Funcția de transfer se notează cu Y . Pentru fiecare element corespunde cîte o funcție de transfer (Y_I , Y_{II} , Y_{III} — în fig. 9.9).

Funcția de transfer depinde de structura și de parametrii blocului sau elementului pentru care se determină, adică de natura elementelor fizice din care este alcătuit acesta și de constantele lor (rezistență, capacitate, masă, inductanță etc.) și are o importanță deosebită în domeniul automatizărilor.

Folosirea noțiunii de funcție de transfer permite să se reprezinte sistemele automate, în particular cele de reglare automată, oricăr de complicate, prin scheme-bloc în care elementele sau reuniiile de elemente sunt reprezentate prin dreptunghiuri avînd funcții de transfer independente (fig. 9.9).

Calculul efectiv al unei funcții de transfer necesită cunoașterea rezolvării sistemelor de ecuații diferențiale și a unor elemente de matematici superioare (de exemplu, calculul operațional).

E. PERFORMANȚELE IMPUSE FUNCȚIONĂRII SRA

Pe baza răspunsului indicial al unui SRA se pot defini următoarele performanțe (sau indici de calitate) ce caracterizează funcționarea acestuia:

- eroarea staționară;
- suprareglarea;
- gradul de amortizare;
- durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere și timpul primului maxim;
- stabilitatea.

1. Eroarea staționară

Eroarea staționară sau abaterea staționară se notează cu ε_{st} și caracterizează precizia de funcționare a SRA în regim staționar. Acest indice de calitate se poate determina pentru regimul staționar care se stabilește în urma regimului tranzitoriu provocat fie de variația mărimii de intrare x_i , fie de variația unei mărimi perturbatoare X . Deoarece pentru SRA liniare variația perturbației X se poate „muta” la intrarea sistemului, în continuare ne vom referi numai la regimuri staționare stabilite în urma unor regimuri tranzitorii datorate variațiilor la intrarea SRA.

Considerind un SRA liniar, cu parametri constanti, se poate defini eroarea staționară ε_{st} ca fiind:

$$\varepsilon_{st} = x_i - x_{e,st} \quad (9.4)$$

unde $x_{e,st}$ reprezintă valoarea staționară (sau stabilizată) a mărimii de la ieșire:

$$x_{e,st} = \lim_{t \rightarrow \infty} x_e(t), \quad (9.5)$$

iar x_i – mărimea aplicată la intrare, care în cazul SRA coincide cu valoarea de consemn.

Performanța impusă erorii staționare a unui SRA este de forma:

$$\varepsilon_{st} \leq \varepsilon_{st,imp} \quad (9.6)$$

unde $\varepsilon_{st,imp}$ este valoarea impusă (maximă admisibilă) a erorii staționare. Mărimea erorii staționare este exprimată de obicei în procente față de valoarea staționară a mărimii de ieșire $x_{e,st}$. De cele mai multe ori se impune $\varepsilon_{st} = 0$.

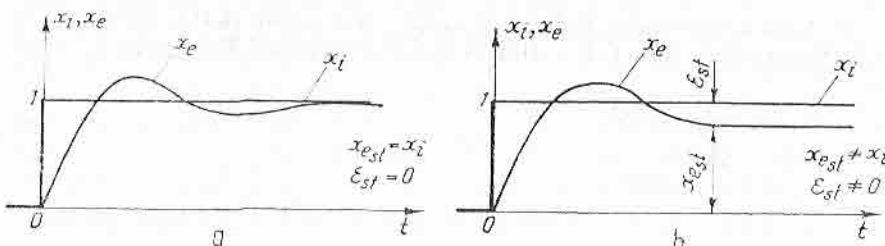


Fig. 9.10. Răspunsul unui SRA la intrarea căruia se aplică o variație treptată unitară, în cazul: a – $\varepsilon_{st} = 0$; b – $\varepsilon_{st} \neq 0$.

În figura 9.10, a este reprezentat răspunsul $x_e(t)$ al unui SRA la intrarea căruia se aplică o variație treptată unitară, pentru cazul $\varepsilon_{st} = 0$, iar în figura 9.10, b – pentru cazul $\varepsilon_{st} \neq 0$.

Dacă se notează cu K_{AG} factorul total de amplificare al sistemului, eroarea staționară poate fi determinată prin relația:

$$\varepsilon_{st} = \frac{1}{1 + K_{AG}} \cong \frac{1}{K_{AG}}, \quad (9.7)$$

deoarece $K_{AG} \gg 1$.

Prin urmare, condiția $\varepsilon_{st} \leq \varepsilon_{st,imp}$ va conduce, în conformitate cu (9.7) la o condiție de forma:

$$K_{AG} \geq K_{AG,imp} \quad (9.8)$$

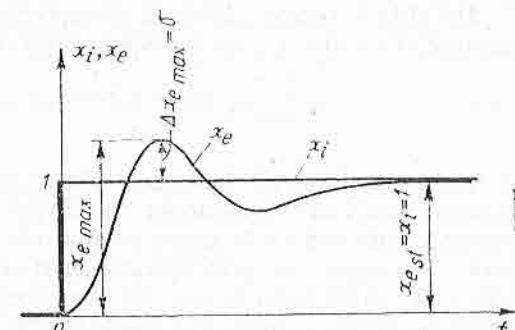


Fig. 9.11. Suprareglarea unui sistem de reglare automată.

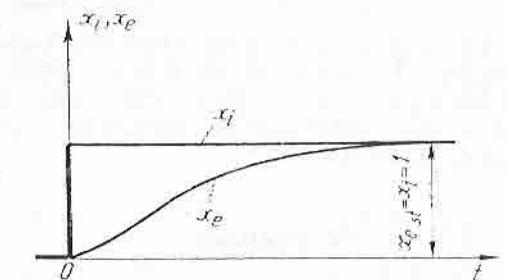


Fig. 9.12. Reglarea în regim tranzitoriu aperiodic

unde $K_{AG,imp}$ este valoarea minimă admisibilă pentru factorul (coeficientul) de amplificare al SRA din punctul de vedere al performanței erorilor staționare.

2. Suprareglarea unui SRA

Suprareglarea σ este un indice de calitate al regimului tranzitoriu al SRA; ea este produsă de o variație a mărimilor de intrare x_i . Se poate spune că σ caracterizează precizia dinamică a SRA.

Suprareglarea σ (fig. 9.11) se definește ca depășirea maximă de către mărimea de ieșire $x_e(t)$, în decursul primei oscilații a regimului tranzitoriu, a valorii staționare $x_{e,st}$ care se stabilește după terminarea acestui regim.

Depășirea maximă apare în prima semiperioadă a oscilației amortizate $x_e(t)$. Dacă regimul tranzitoriu este aperiodic, $\sigma = 0$ (fig. 9.12).

De obicei, suprareglarea σ se raportează la valoarea staționară a mărimii de ieșire $x_{e,st}$ și se exprimă procentual:

$$\sigma[\%] = \frac{x_{e,max} - x_{e,st}}{x_{e,st}} 100 = \frac{\Delta x_{e,max}}{x_{e,st}} 100. \quad (9.9)$$

Deoarece depășirile însemnate ale valorii staționare $x_{e,st}$ pot provoca suprasolicitări ale elementelor instalației sau ale procesului tehnologic reglat, conducând fie la uzura prematură, fie chiar la deteriorarea acestora (de exemplu, prin străpungerea izolației ca urmare a depășirii tensiunii nominale, în instalațiile electrice), valoarea suprareglării trebuie limitată. Astfel, se impune o condiție restrictivă, exprimată de asemenea procentual:

$$\sigma[\%] \leq \sigma_{imp}[\%], \quad (9.10)$$

unde $\sigma_{imp}[\%]$ reprezintă valoarea impusă (maximă admisibilă) a suprareglării, în funcție de tipul și condițiile de funcționare ale instalației tehnologice sau ale procesului reglat. De exemplu, pentru sistemele de reglare automate din energetică, valoarea lui $\sigma_{imp}[\%]$ nu trebuie să depășească 15%.

3. Gradul de amortizare

Gradul de amortizare este de asemenea un indice de calitate al regimului tranzitoriu al SRA.

Pentru o variație dată a mărimii de intrare $x_i(t)$, gradul de amortizare δ (fig. 9.13) reprezintă diferența dintre unitate și raportul ampli-

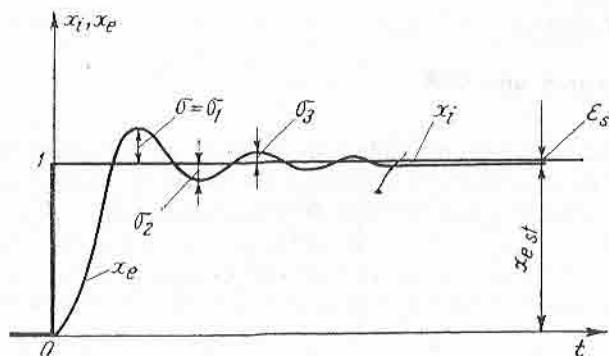


Fig. 9.13. Determinarea gradului de amortizare;

itudinilor a două semioscilații succesive de același sens, ale mărimii de ieșire x_e , măsurate față de valoarea staționară $x_{e,st}$:

$$\delta = 1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_1} = 1 - \frac{\sigma_a}{\sigma}, \quad (9.11)$$

unde s-a ținut seamă că $\sigma_1 = \sigma$.

Pentru δ se impune o restricție:

$$\delta \geq \delta_{imp} (\delta_{imp} \leq 1), \quad (9.12)$$

unde δ_{imp} este valoarea impusă (valoarea minimă admisibilă) gradului de amortizare.

Cu cît δ este mai mare (deci mai apropiat de 1), cu atât amortizarea oscilațiilor din timpul regimului tranzitoriu este mai rapidă, deci procesul tranzitoriu al SRA este de mai bună calitate.

4. Durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere și timpul primului maxim

Acești indici de calitate caracterizează rapiditatea procesului tranzitoriu al reglării și au o deosebită însemnatate în analiza SRA.

• **Durata regimului tranzitoriu** t_{tr} (fig. 9.14), denumită și *timpul de răspuns* al SRA, reprezintă timpul măsurat de la începutul procesului tranzitoriu și pînă în momentul cînd, în valoare absolută, diferența

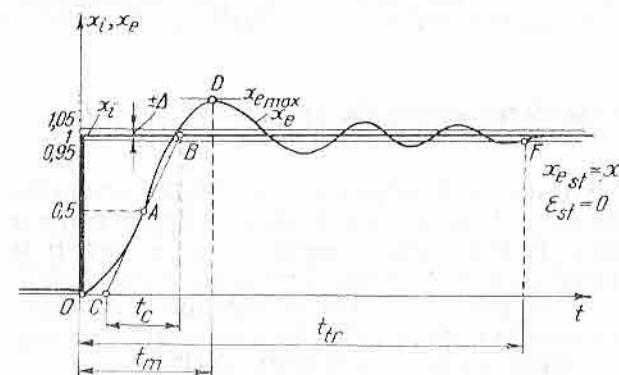


Fig. 9.14. Durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere, timpul primului maxim și timpul primei atingeri a valorii staționare.

dintre mărimea de ieșire $x_e(t)$ și valoarea sa staționară a $x_{e st}$ scade permanent sub o limită anumită Δ :

$$|x_e - x_{e st}| < \Delta, \quad (9.13)$$

fără ca ulterior să depășească această limită.

În practică, se adoptă de cele mai multe ori:

$$\Delta = 0,05 x_{e st} = \frac{5}{100} x_{e st}. \quad (9.14)$$

Pentru ca procesul de reglare automată să se desfășoare cu suficientă rapiditate, trebuie satisfăcută performanța:

$$t_{tr} \leq t_{tr \text{ imp}} \quad (9.15)$$

unde $t_{tr \text{ imp}}$ este valoarea maximă admisibilă a durei regimului tranzitoriu, impusă de specificul procesului sau de tipul instalației reglate.

În figura 9.14 s-a notat și momentul primului maxim t_m (corespunzător punctului D).

• Pentru aflarea **timpului de creștere** t_o se procedează astfel: se trasează tangentă la curba $x_e(t)$ în punctul în care are ordonata $0,5 x_{e st}$ (în cazul de față punctul A , cu ordonata $0,5 \cdot 1 = 0,5$) stabilindu-se punctele de intersecție ale acestei tangente cu axa absciselor (punctul C) și cu orizontală dusă la distanța $x_e = x_{e st}$ în paralel cu axa timpului (punctul B , deoarece $x_{e st} = x_i$). Pentru t_o se adoptă o valoare egală cu proiecția pe axa timpului a segmentului de tangentă BC , cuprins între cele două puncte de intersecție stabilite mai sus.

Timpul de creștere oferă un indiciu asupra vitezei de creștere a mărimii de la ieșire x_e , în cursul primei oscilații.

F. STABILITATEA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

Regimul staționar de funcționare al unui *SRA* reprezintă acea stare a sistemului automat, caracterizată prin echilibrul reciproc al tuturor mărimilor fizice (forțe mecanice, cupluri, tensiuni, curenti, presiuni etc.) care apar în cuprinsul elementelor *SRA* și participă la reglare.

Pot exista o infinitate de astfel de regimuri staționare corespunzătoare diferitelor valori ale perturbației (sau ale mărimii de intrare), fiecare din ele reprezentând o stare de echilibru staționar.

Din punctul de vedere al stabilității se deosebesc:

— *SRA* la care se poate realiza un regim staționar, și care se numesc **sisteme stable**;

— *SRA* la care mărimea de ieșire x_e are o variație care nu este controlată de mărimea de intrare sau sistemele de reglare la care mărimea de ieșire fie că execută oscilații autoîntreținute în jurul unei valori staționare $x_{e st}$, fie că se depărtează continuu de aceasta, care se numesc **sisteme instabile**.

Stabilitatea unui *SRA* reprezintă stabilitatea procesului tranzitoriu al acestuia. Pentru a vedea dacă un sistem de reglare automată este dinamic stabil, trebuie analizat răspunsul $x_e(t)$ (deci variația parametrului reglat) pentru o perturbație exterioară de valoare finită (sau o variație la intrarea *SRA*). Deci: un sistem de reglare automată este stabil dacă, după ce sub acțiunea unei perturbații exterioare oarecare își părăsește starea de echilibru stabil, el tinde să revină în regim staționar odată ce perturbația dispare.

Sau, altfel spus: într-un sistem stabil o perturbație momentană și limitată (finită) generează un *răspuns tranzitoriu amortizat*.

În figurile 9.15, a-e sunt reprezentate diferite tipuri de procese tranzitorii în *SRA* stabile și nestabile. Procesul este descris pentru timpul $t > t_1$ (timpul t_1 — la care se manifestă variația la intrare sau perturbația).

Astfel, în figura 9.15, a mărimea de ieșire x_e execută cîteva oscilații în jurul valorii staționare $x_{e st}$ a parametrului reglat, apoi se stabilește la această valoare. Amplitudinea oscilațiilor se micșorează treptat, iar

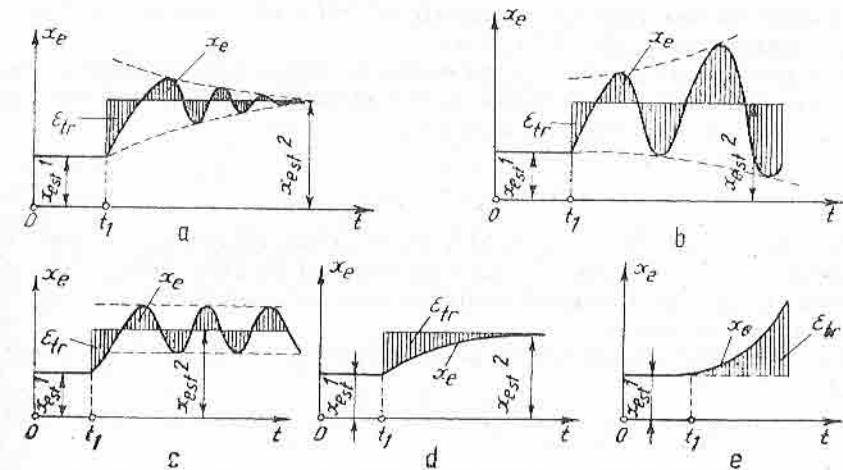


Fig. 9.15. Diferite tipuri de procese tranzitorii în *SRA*:
a — proces amortizat; b și c — procese instabile; d — proces aperiodic monoton stabilit; e — proces aperiodic monoton nestabil.

procesul tranzitoriu este amortizat. Un astfel de proces tranzitoriu se numește *proces tranzitoriu amortizat*. Deoarece eroarea tranzitorie:

$$\varepsilon_{tr} = x_e - x_{e,st2} \quad (9.16)$$

reprezentând valoarea erorii la un moment dat al procesului tranzitoriu, tinde (în timp) către zero, sistemul caracterizat printr-un astfel de răspuns tranzitoriu este stabil.

Pentru un proces tranzitoriu de felul celui din figura 9.15, b, răspunsul x_e execută o serie de oscilații, cu amplitudine continuu crescătoare, în jurul valorii staționare $x_{e,st2}$; SRA este în acest caz nestabil. Pentru variația răspunsului din figura 9.15, c SRA se află la limita de stabilitate (fiind deci practic instabil). Într-adevăr, în acest caz $x_e(t)$ prezintă o variație sinusoidală, cu amplitudine constantă. În figurile 9.15, d și e, săt prezentate răspunsurile cu variație aperiodică; procesele tranzitorii de acest fel se numesc *procese tranzitorii aperiodice monoton*. În primul caz (fig. 9.15, d) sistemul este stabil; eroarea tranzitorie ε_{tr} tinde către zero. În cel de-al doilea caz (fig. 9.15, e) sistemul este instabil; eroarea tranzitorie ε_{tr} crește monoton în timp, răspunsul îndepărțindu-se mereu de la valoarea staționară initială $x_{e,st1}$, fără a mai atinge o altă valoare staționară.

Observație. Se poate spune că răspunsul x_e al unui SRA la o perturbație exterioară finită (sau la o variație limitată a intrării) este compus din două componente:

— o componentă liberă (sau tranzitorie) $x_{el}(t)$, variabilă în timp, care caracterizează regimul tranzitoriu al SRA și generează de fapt, eroarea tranzitorie ε_{tr} (fig. 9.15, a-e);

— o componentă forțată x_{ef} constantă în timp, care caracterizează valoarea staționară a răspunsului x_e și constituie partea care rămâne din x_e , după ce, eventual, x_{el} a dispărut.

Se poate deci scrie că:

$$x_e(t) = x_{el}(t) + x_{ef}. \quad (9.17)$$

Rezultă că un SRA este stabil atunci cind componenta liberă a răspunsului $x_{el}(t)$ se anulează după un interval de timp acceptabil de la momentul variației mărimii de intrare sau de la apariția unei perturbații limitate oarecare.

Astfel, condiția matematică de stabilitate a unui SRA se poate scrie:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x_e(t) = x_{ef}. \quad (9.18)$$

La sistemele instabile, componenta liberă nu se anulează și poate fi aperiodică și crescătoare sau oscilatorie, cu amplitudine constantă sau crescătoare.

Pentru un astfel de SRA instabil se poate scrie că:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x_e(t) \neq x_{ef} \quad (9.19)$$

Stabilitatea unui SRA este determinată de:

- stabilitatea proprie a obiectului reglării;
- stabilitatea regulatorului automat.

Obiectul reglării (instalația tehnologică, procesul) este în general stabil prin însăși natura sa, pentru a funcționa, sau a se desfășura normal și fără introducerea reglării automate. Din această cauză se spune că obiectul reglării se bucură de aşa-numita stabilitate proprie sau auto-stabilitate. În ceea ce privește regulațoarele automate, ele sunt evident, în general, construite în vederea unei funcționări stabile, însă pentru anumite parametri de acordare ele pot deveni instabile, ceea ce poate influența SRA în ansamblu. Din această cauză, în domeniul automatizațiilor noțiunea de stabilitate, respectiv de instabilitate, se referă la ansamblul sistemului de reglare (regulator + obiectul reglării).

Există o serie de criterii (algebrice, grafice, grafoanalitice), după care se poate determina, în practică, cu suficientă precizie, stabilitatea sau instabilitatea unui SRA.

REZUMAT

1. Reglarea automată reprezintă un proces (funcție de automatizare) în care o mărime (parametrul reglat) este adusă la o valoare prescrisă (de consens) și este menținută la această valoare prin intervenții permanente din afară, pe bază de măsuri.

2. Perturbațiile (sau mărimile perturbatoare) sunt influențe externe reprezentând cauzele abaterii valorilor instantanee ale mărimii reglate de la valoarea prescrisă. Perturbația se opune menținerii constante a mărimii reglate.

3. Elementele unui SRA sunt: obiectul reglării (instalația sau procesul reglat), regulatorul automat, elementul de comparație, elementul de măsurat și elementul de execuție.

4. Se numește *sistem de reglare automată* (prescurtat SRA) ansamblul format din obiectul reglării, regulatorul automat, elementul de comparație, elementul de măsurat și elementul de execuție, realizat în scopul reglării automate a unui anumit proces sau parametru de proces.

5. Un SRA prezintă: o legătură directă (sau principală) și o legătură inversă (secundară, sau ca de reacție a SRA). Circuitul închis format cu legătură directă și legătură inversă a unui SRA se numește buclă de reglare.

6. Se numește *schemă funcțională* a unui SRA acea schemă în care se indică toate elementele componente ale SRA, destinația lor și legăturile funcționale între acestea.

7. Răspunsul $x_e(t)$ al unui SRA pentru o variație treaptă unitară la intrarea lui se numește răspuns indicial (sau funcție indicială). Răspunsul unui sistem de reglare automată la o variație impuls unitar la intrare se numește funcție pondere.

8. ANALIZA SRA reprezintă studiul funcționării unui sistem dat în sensul aprecierii cantitative și calitative a performanțelor impuse de instalația sau procesul reglat. Analiza în domeniul timpului a unui SRA reprezintă studierea răspunsului indicial al acestuia.

9. Performanțele impuse în funcționarea unui SRA sunt: EROAREA STATIONARĂ, SUPRAREGLAREA, GRADUL DE AMORTIZARE, DURATA REGIMULUI TRANZITORIU și STABILITATEA FUNCȚIONĂRII.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce este reglarea automată:
 - a) este acel proces prin care se comandă acționarea unui motor?
 - b) este procesul în care o mărime este adusă la valoarea prescrisă și este menținută la această valoare, fără intervenția omului?
 - c) este transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări?
2. Ce sunt perturbațiile (sau mărimile perturbatoare):
 - a) perturbațiile sunt influențe externe care determină abaterea mărimii reglate de la valoarea prescrisă: ele fac necesară reglarea?
 - b) perturbațiile sunt erori aparținând de măsură?
 - c) perturbațiile sunt acele mărimi care trebuie menținute, prin reglare, la valori dinainte stabilite?
3. Ce reprezintă o buclă de reglare:
 - a) un circuit închis, în care s-a introdus o sursă de tensiune?
 - b) circuitul închis format de legătura directă și legătura inversă a unui SRA?
 - c) legătura care înglobează elementul de comparație, regulatorul și elementul de execuție?
4. Care sunt funcțiile de intrare tip ale unui SRA:
 - a) funcțiile de timp monoton crescătoare?
 - b) funcțiile de timp derivabile în origine (la $t = 0$)?
 - c) funcțiile de timp reprezentând variațiile treaptă unitară, rampă unitară și impuls unitar?
5. Ce reprezintă „răspunsul indicial” al unui SRA:
 - a) răspunsul pentru o variație treaptă unitară la intrarea SRA?
 - b) răspunsul pentru o variație impuls unitar la intrarea SRA?
 - c) variația în timp a mărimii reglate, indiferent de variația de la intrarea SRA?
6. Ce este funcția de transfer a unui element al SRA?
 - a) legătura dintre mărimea de execuție și mărimea de ieșire a SRA?
 - b) coeficientul de transfer al elementului la regim dinamic de funcționare?
 - c) dependența $x_e = f(x_i, t)$ la un moment dat?
7. Care sunt principalele performanțe impuse funcționării SRA:
 - a) eroarea staționară, suprareglarea, gradul de amortizare, durata regimului transitoriu, timpul de creștere, stabilitatea?
 - b) abaterea (sau eroarea la un moment dat), amplitudinea oscilațiilor, coefficientul de transfer și perturbația?
 - c) amplificarea, funcția de transfer, viteza de creștere și eroarea staționară?
8. Cind este stabil un SRA:
 - a) cind mărimea de la ieșire x_e oscilează permanent în jurul unei valori staționare (sau de regim)?
 - b) cind sistemul de reglare tinde spre un nou regim staționar, cdată ce acțiunea perturbației incetează?
 - c) cind componenta liberă a răspunsului se stabilește la o valoare diferită de zero?

TELEMECANICA

A. NOTIUNI GENERALE

Industria contemporană se caracterizează prin creșterea continuă a complexității proceselor tehnologice, a rapidității cu care acestea se desfășoară, a preciziei cerute, a gradului de interdependentă între diferențele verigi ale acestora.

Un operator O (fig. 10.1) trebuie să transmită o serie de comenzi și să primească informații (prin măsurare și semnalizare) de la obiectele comandate (1, 2, 3 și următoarele, care nu au mai fost arătate în figură) de la același pupitru de comandă P .

Dacă distanța de la operator la instalațiile sau procesele care trebuie dirijate și controlate crește atât de mult încât nu mai sunt satisfăcătoare mijloacele obișnuite de conducere de la mică distanță, devin absolut necesare instalații speciale pentru învingerea acestor distanțe, capabile să asigure în mod automat transmiterea și recepționarea de date și comenzi la distanțe mari și foarte mari.

Telemecanica reprezintă totalitatea mijloacelor tehnice prin care se asigură transmiterea la distanță a unei informații (a unei măsurări, a unei comenzi sau a unui semnal).

Dispozitivele telemecanice transformă informația în semnale și le transmit la distanță, pe linii de transmisie, pentru măsurarea, comanda și semnalizarea fără participarea omului sau cu participarea operatorului uman numai în anumite faze ale transmisiei informației. De altfel, conducerea prin telemecanică presupune, practic, o automatizare completă a instalațiilor sau proceselor conduse.

Se pot enumera destule procese de producție în care este necesară utilizarea telemecanicii. Astfel de procese sunt:

— procesele de producție complexe, în care diferite părți sau instalații funcționează în strînsă legătură,

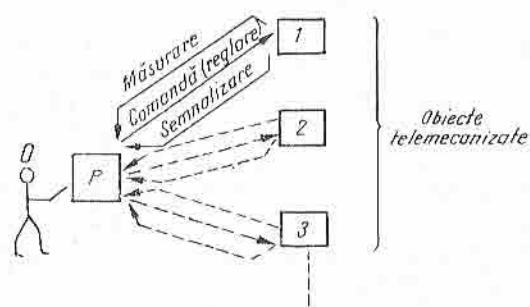


Fig. 10.1. Conducerea de la distanță prin mijloace obișnuite.

deși sînt situate la distanțe mari între ele (cazul centralelor electrice, stațiilor de transformare și liniilor din sistemul energetic, al sistemelor de irigație, al cîmpurilor de sonde și al rețelelor de distribuție de gaze naturale etc.);

— procesele de producție la care se impune conducerea de la distanță, fie din considerente de securitate și protecție a muncii, fie din imposibilitatea situației omului în locul în care se desfășoară procesul respectiv (cazul lucrărilor de foraj la mare adâncime, controlul și comanda funcționării anumitor instalații cu temperaturi ridicate sau scăzute, în mediu radioactiv, la finală tensiune, supravegherea și conducerea de la distanță a reactorilor nucleari, a zborului rachetelor cosmice și sateliștilor etc.);

— procesele la care comanda de la distanță asigură o desfășurare mai operativă și un grad sporit de siguranță în funcționare (ca, de exemplu, automatizarea triajelor de cale ferată, controlul centralizat al circulației feroviare sau rutiere, supravegherea și dirijarea traficului aerian etc.).

Telemecanica a apărut și s-a dezvoltat continuu pe baza progreselor realizate în automatică, electronică, radiotehnică și telecomunicații, în special odată cu folosirea elementelor fără contacte (diode semiconductoare, tranzistoare, tiratrocane cu catod rece, elemente feromagnetice cu ciclu de histerezis dreptunghiular).

B. FUNCȚIUNILE TELEMECANICII

Telemecanica permite realizarea următoarelor funcții:

— telemăsurarea, adică transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări (de exemplu, telemăsurarea valorii tensiunii sau debitului);

— telecomanda, adică transmiterea la distanță a unei comenzi (de exemplu, telecomanda pornirii sau opririi unui agregat);

— telesemnalizarea, adică transmiterea la distanță a unui semnal (de exemplu, telesemnalizarea unei avarii, telesemnalizarea depășirii unor limite, a poziției închis sau deschis a unui întreruptor etc.).

Sistemele de telemăsurare, telecomandă și telesemnalizare asigură comanda totală a diferitelor instalații sau agregate.

Cînd instalația de telemecanică permite realizarea unei reglări la distanță, se obține o telereglare (ca de exemplu, telereglarea puterii unor centrale electrice).

În figura 10.2 este arătată principală telemecanizarea unui sistem energetic. Astfel, pentru asigurarea producerii și distribuției raționale a energiei electrice, deci pentru buna funcționare a sistemului energetic,

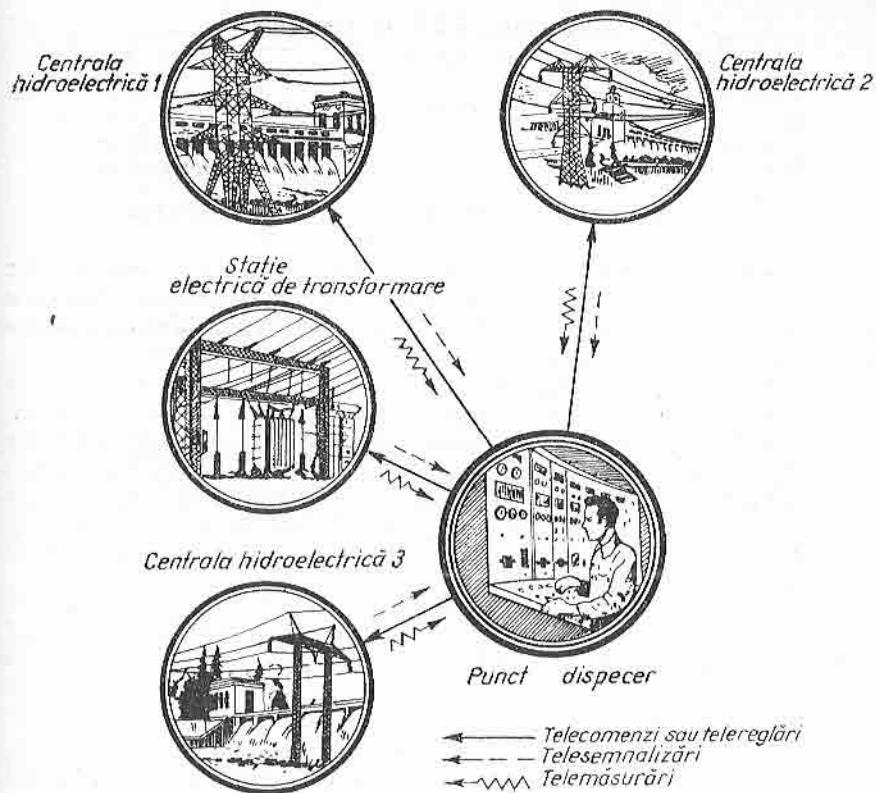


Fig. 10.2. Telemecanizarea unui sistem energetic.

este necesar să se centralizeze într-un punct de comandă, sau punct dispecer, controlul și comanda întregului sistem.

Punctul dispecer este echipat cu instalații telemecanice pentru măsurarea de la distanță a anumitor mărimi (electric sau neelectrice) în diverse puncte ale sistemului energetic, pentru comanda de la distanță a aparatului și instalațiilor principale și pentru semnalizarea situației acestora la punctul central de comandă.

Legătura dintre punctul de comandă sau dispecer (fig. 10.3) și instalațiile controlate sau comandate prin mijloace telemecanice se realizează pe cale electrică, printr-o linie de transmisie. Această legătură se poate efectua fie prin conductoare electrice (linie de telecomunicație prin fir sau linie de transport de energie electrică), fie fără conductoare de legătură (canal de telemecanică prin radio).

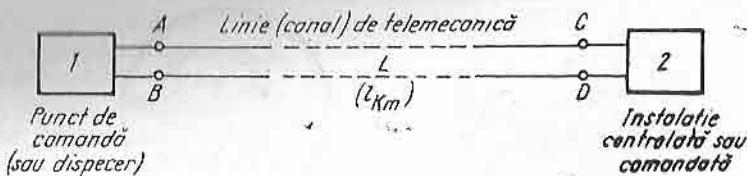


Fig. 10.3. Realizarea legăturii dispecer-obiecte telemecanizate.

La rîndul lor, liniile sau canalele de telemecanică prin fire pot fi:

— *circuite fizice propriu-zise* (de exemplu o linie bifilară, prin care trece semnalul de telemecanică, fără a fi supus la transformări intermedie pe parcursul dispecer-obiect telemecanizat);

— *canale de curenti purtători pe circuite fizice*, care asigură transmiterea concomitentă în linie a mai multor semnale sinusoidale „purtătoare”, fiecare dintre acestea fiind „modulat” în amplitudine sau frecvență de semnalele telemecanice (de exemplu, semnale telemecanice care cuprind în spectru frecvențe pînă la 80 Hz modulează 24 semnale „subpurtătoare” cuprinse între 400 și 3 200 Hz; acestea modulează, la rîndul lor, o purtătoare de zeci sau sute de kilohertz, rezultînd o modulație în două trepte).

Pentru a nu se scumpi instalațiile prin construirea liniilor de transmisie între multe surse și mulți receptori, linia se folosește multiplu cu ajutorul canalelor de transmisie telemecanică. De aceea, canalele de curenti purtători (ca și canalele radio) sunt preferate și utilizarea lor să impună din ce în ce mai mult. Un argument în plus: curentii purtători pot fi transmiși și pe liniile de finală tensiune de transport și distribuție a energiei electrice, liniile care sunt gata construite și se întind pe întreg cuprinsul țării.

C. STRUCTURA APARATURII DE TELEMECANICĂ

Orice sistem de telemecanică este alcătuit din cel puțin două subansambluri sau terminale — cel de la postul dispecer și cel (sau cele) de la postul (sau posturile) comandat la distanță, legate între ele prin canale de telecomunicație (sau de telemecanică).

• În cazul în care se transmite numai informația de control (telesemnalizarea sau telemăsurarea), postul controlat reprezintă totodată postul de emisie a semnalelor, iar postul de comandă (sau dispecer) — postul de recepție. Dacă se transmite numai informația de comandă, emițătorul se află la postul de comandă (sau dispecer), iar receptorul (sau receptoarele) — la postul comandat.

• În situația în care se prevede atât transmiterea de informații de control, cât și de informații de comandă, ambele terminale trebuie să conțină atât emițătorul cât și receptorul de semnale telemecanice.

În funcție de modul de transmitere în timp a semnalelor telemecanice, deosebim *transmiterea permanentă a semnalelor*, *transmiterea periodică* sau *ciclică* și *transmiterea intermitentă în timp a semnalelor*.

Aceasta din urmă se poate efectua fie în mod *automat*, în momentul apariției unei schimbări în desfășurarea procesului tehnologic condus de la distanță (de exemplu, la apariția unei avarii), fie *la cerere*, la comanda dispecerului.

• În figura 10.4 este reprezentat *cazul general al structurii aparaturii de telemecanică*. S-a notat cu A terminalul situat la dispecer, cu B_1, B_2, \dots, B_n terminalele de la obiectele (sau posturile) telemecanizate și cu C_1, C_2, \dots, C_n — canalele de telemecanică.

Atât la dispecer cât și la posturile controlate există instalații de emisie și instalații de recepție a semnalelor. Cu toate că aparatura de telemecanică prezintă o mare diversitate și un grad de complexitate sporit, se pot distinge la structura generală a celor două terminale următoarele *blocuri funcționale* (v. fig. 10.4):

— *blocuri de conectare externă 1*, care asigură introducerea informației în aparatura de telemecanică pentru emisie (de exemplu, traductoare pentru telemăsurări, butoane pentru telecomenzi, bloc-contacte pentru telesemnalizări etc.) și pentru extragerea informației la recepție (de exemplu, relee de execuție pentru telecomenzi, sisteme de afișare pentru telemăsurări, becuri pentru telesemnalizări etc.);

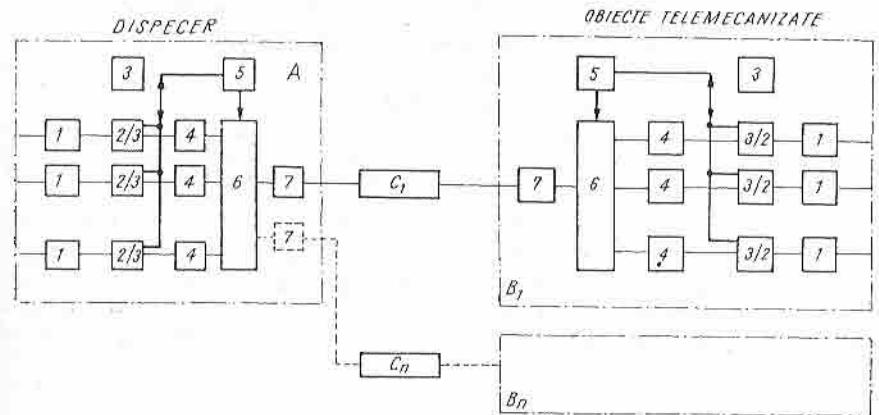


Fig. 10.4. Structura aparaturii de telemecanică.

- blocuri de prelucrare a informației 2, care asigură prelucrarea automată a informației obținute la ieșirea blocurilor de conectare externă, ca de exemplu convertoare de semnal, circuite logice etc.;
- blocuri energetice 3, care înglobează amplificatoarele și sursele de energie;

— blocuri de memorizare 4 sau *memorii*, în care informația (semnalul telemecanic) este înmagazinată în timpul transmisiei altrei informații, în timpul executării unor operații de prelucrare etc.;

— blocuri de organizare automată a *funcționării* 5, care realizează după un program dinainte stabilit — comanda diferitelor operații sau funcțiuni telemecanice, restructurarea internă la trecerea de la o funcție la alta și de la transmiterea unei informații la transmiterea altrei informații; tot aceste blocuri mai pot îndeplini și funcții de protecție, de exemplu în cazul unor regimuri anormale de funcționare sau avariilor etc.;

— blocuri de separare 6, care permit transmiterea de informații complexe referitoare la mai multe obiecte telemecanizate sau la mai multe stări și funcții ale aceluiași obiect. Blocurile de separare realizează, de exemplu, separarea în timp sau separarea în frecvență a semnalelor emise pe un circuit unic, la recepționarea lor efectuându-se conversia semnalelor în sens invers;

— blocuri de cuplare internă 7, care realizează cuplarea cu canalul de telecomunicație (C_1, C_2, \dots, C_n). La punctul de emisie aceste blocuri asigură ca semnalele telemecanice să fie debitate în forma și la nivelul de putere necesar, iar la punctul de recepție asigură reconstituirea semnalelor, distorsionate în urma transmisiei, și le prezintă în forma necesară pentru prelucrarea în cadrul celorlalte blocuri funcționale din structura aparaturii de telemecanică de la postul controlat.

• În funcție de modul diferit de amplasare a obiectelor telemecanizate în raport cu punctul de dispecer, structura rețelei de canale de telecomunicație variază. Se deosebesc astfel:

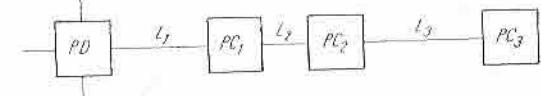
— structuri telemecanice cu obiecte concentrate (fig. 10.5), în cazul în care obiectele (sau posturile) controlate PC sunt amplasate teritorial la mică distanță de postul de dispecer PD , astfel încât se poate utiliza o aparatără telemecanică unică, cu două terminale (de exemplu, telemecanizarea instalațiilor din centrale electrice, stații de transformare etc.);

— structuri telemecanice cu obiecte dispuse, în cazul în care distanțele între posturile controlate sau comandate sunt mari și necesită legături telemecanice distincte cu postul de dispecer. După modul de amplasare



Fig. 10.5. Structură telemecanică cu obiecte concentrate.

Fig. 10.6. Structură telemecanică cu obiecte dispuse liniar.



a obiectelor telemecanizate se disting: structuri telemecanice *cu obiecte dispuse liniar* (fig. 10.6), *cu obiecte dispuse arborescent* (fig. 10.7) și *cu obiecte dispuse radial* (fig. 10.8).

Structurile telemecanice cu obiecte dispuse se întâlnesc frecvent (cazul cîmpurilor de sonde telemecanizate, a retelelor de irigații, de transport și distribuție a gazelor naturale, telemecanizarea transporturilor feroviare etc.).

În cazul cel mai complex, sistemele telemecanice pot avea *puncte de dispecer ierarhizate* (în trepte), ca în figura 10.9. Se observă că există un punct de dispecer central (sau național, în cazul sistemului energetic) PD_1 ,

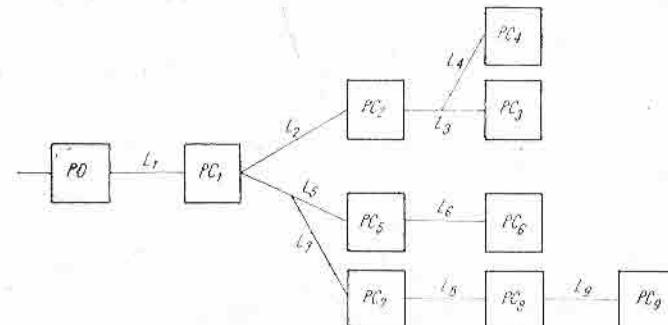


Fig. 10.7. Structură telemecanică cu obiecte dispuse arborescent.

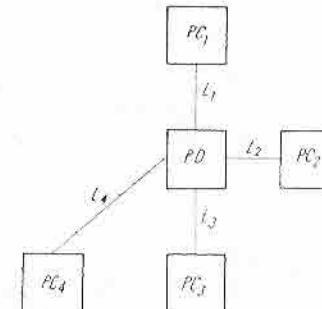


Fig. 10.8. Structură telemecanică cu obiecte dispuse radial.

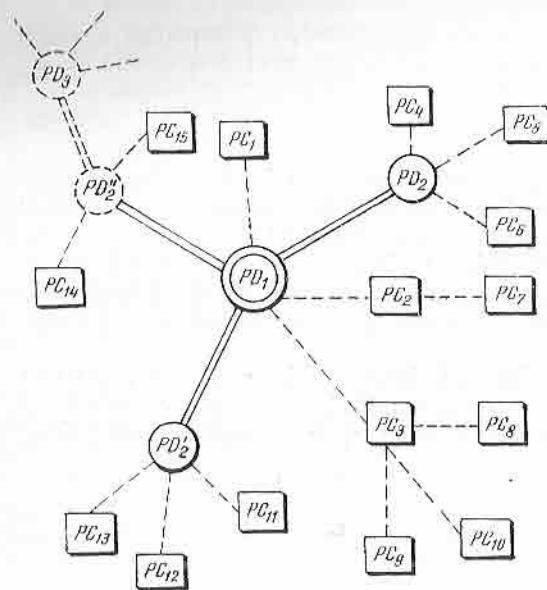


Fig. 10.9. Structură telemecanică cu puncte de disperție ierarhizate (în trepte).

surării la mari distanțe, fără intervenția unor dispozitive și instalații speciale. Pentru telemăsurarea unei anumite mărimi fizice (current, tensiune, debit, presiune, nivel, temperatură etc.), este necesar ca mărimea măsurată să fie convertită într-o mărimă auxiliară, de obicei current sau tensiune, aptă de a fi transmisă la distanță prin linia de telecomunicație care leagă punctul unde se execută măsurarea cu locul unde trebuie transmisă valoarea măsurată. La celălalt capăt al liniei de telecomunicație, această mărimă auxiliară este din nou convertită în indicații ale unui aparat de măsurat. Valorile curentului sau tensiunii transmise prin linie sunt foarte mici (cîțiva miliamperi, respectiv cîțiva volți). Pentru a se evita influența inductanței și capacitatii liniei de telecomunicații parcurse de un current alternativ, de obicei indicațiile aparatelor de măsurat se transmit la distanță cu ajutorul curentului sau tensiunii continue.

În figura 10.10 este reprezentată schema elementelor unui sistem de telemăsurare. Mărimea x măsurată de aparatul primar de măsurat A_P se convertește într-o mărimă auxiliară y_1 (current sau tensiune continuă), de către un dispozitiv convertor-emițător, numit uneori, simplu, emițător și apoi este transmisă prin linia de telecomunicație L .

În subordinea căruia se află punctele de disperție regional PD'_2 , PD''_2 , etc., care conduc punctele comandate (sau controlate) PC . Punctul de disperție central mai poate avea în „conducere operativă” și unele obiecte comandate cu importanță deosebită (de exemplu, PC_1 , PC_2 și PC_3 , în fig. 10.9).

D. TELEMĂSURAREA

1. Noțiuni generale

Aparatele obișnuite de măsurat nu permit transmiterea rezultatelor măsurării la mari distanțe, fără intervenția unor dispozitive și instalații speciale. Pentru telemăsurarea unei anumite mărimi fizice (current, tensiune, debit, presiune, nivel, temperatură etc.), este necesar ca mărimea măsurată să fie convertită într-o mărimă auxiliară, de obicei current sau tensiune, aptă de a fi transmisă la distanță prin linia de telecomunicație care leagă punctul unde se execută măsurarea cu locul unde trebuie transmisă valoarea măsurată. La celălalt capăt al liniei de telecomunicație, această mărimă auxiliară este din nou convertită în indicații ale unui aparat de măsurat. Valorile curentului sau tensiunii transmise prin linie sunt foarte mici (cîțiva miliamperi, respectiv cîțiva volți). Pentru a se evita influența inductanței și capacitatii liniei de telecomunicații parcurse de un current alternativ, de obicei indicațiile aparatelor de măsurat se transmit la distanță cu ajutorul curentului sau tensiunii continue.

În figura 10.10 este reprezentată schema elementelor unui sistem de telemăsurare. Mărimea x măsurată de aparatul primar de măsurat A_P se convertește într-o mărimă auxiliară y_1 (current sau tensiune continuă), de către un dispozitiv convertor-emițător, numit uneori, simplu, emițător și apoi este transmisă prin linia de telecomunicație L .

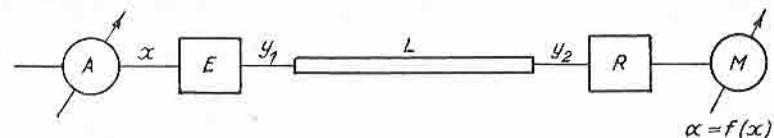


Fig. 10.10. Schema elementelor unui sistem de telemăsurare.

Datorită transmiterii de-a lungul liniei L , valoarea mărimii auxiliare y_1 este întrucâtva modificată, la capătul opus al liniei rezultând o mărimă y_2 ; diferența $\Delta y = y_1 - y_2$ reprezintă eroarea de linie ε_L a telemăsurării. La punctul de recepție se produce o nouă convertire, prin intermediul unui dispozitiv convertor-receptor, mărima y_2 fiind transformată în deviația $\alpha = f(y_2)$ a unui aparat secundar de măsurat A_S .

- După distanță de acțiune sistemele de telemăsurare se împart în:

- sisteme de telemăsurare cu acțiune la distanțe mici (pînă la 20 km).

La aceste sisteme, în funcție de valoarea mărimii măsurate, variază intensitatea sau amplitudinea curentului transmis prin linia de telecomunicație sau variază în mod corespunzător tensiunea prin linie. De aceea, sistemele de acest fel se numesc și sisteme de intensitate sau sisteme de amplitudine;

- sisteme de telemăsurare cu acțiune la distanțe mari (peste 20 km).

La aceste sisteme, în funcție de variațile mărimii x se modifică în mod corespunzător caracteristicile unor impulsuri electrice transmise prin linie (sisteme cu impulsuri), sau frecvența unui curent alternativ care circulă prin linia de telecomunicație (sisteme de frecvență).

- După modul de obținere a informației (mesajului) de telemăsurare, aceasta poate fi telemăsurare continuă (pentru acei parametri cu variație rapidă, asupra căror este necesară o informare continuă) sau telemăsurare la cerere (pentru acei parametri cu variație lentă sau relativ lentă ale căror valori telemăsurate se obțin „la cerere”, în anumite momente — de exemplu, temperatura unui fluid).

Telemăsurarea continuă se poate realiza cu un circuit individual, ca în figura 10.3, în cazul distanțelor reduse și al unui număr mic de telemăsurări, sau cu un dispozitiv de telemăsurare ciclică, în cazul distanțelor mari și al unui număr mare de telemăsurări. Datorită utilizării unor distribuitoare (fig. 10.11), telemăsurarea ciclică face posibilă transmiterea simultană a n mărimi ($x_1, x_2 \dots x_n$) de la aparatelor de măsurat primare $A_1, A_2 \dots A_n$, prin intermediul emițătoarelor individuale $E_1, E_2 \dots E_n$ și al receptoarelor $R_1, R_2 \dots R_n$, la aparatele indicatoare $M_1, M_2 \dots M_n$, folosind o singură linie de telecomunicație L . Distribuitoarele D_E și D_R sunt de tip electronic și se deplasează cu viteză mare

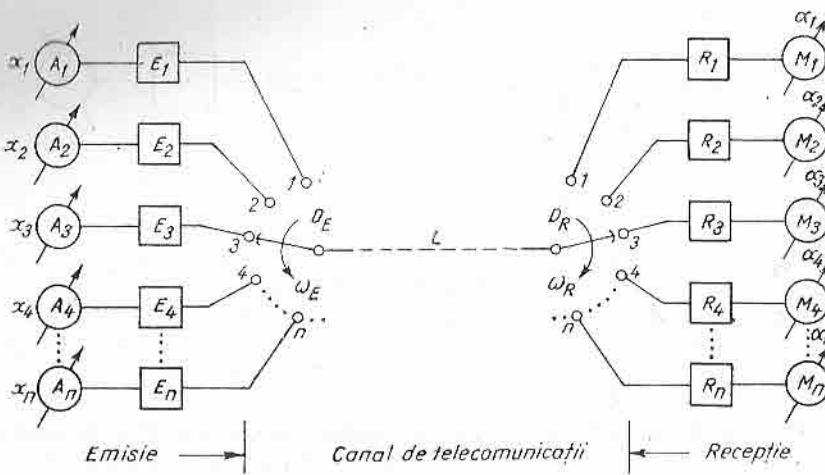


Fig. 10.11. Distribuitoare rotative pentru telemăsurare ciclică.

pe sistemul de ploturi $(1, 2 \dots n)$, în mod sincron ($\omega_E = \omega_R$) și sinfazat (adică, D_E și D_R se află simultan pe același plot 3, ca în fig. 10.11).

În cazul telemăsurării la cerere, se pot folosi și distribuitoare electro-magnetice (cu inerție și cu viteza de deplasare mai mică).

2. Sisteme de telemăsurare cu acțiune la distanțe mari

Sistemele de telemăsurare cu acțiune la distanțe mari au o largă utilizare. După cum s-a arătat mai sus, aceste sisteme se realizează fie ca sisteme cu impulsuri, fie ca sisteme de frecvență.

Parametrii impulsurilor care se pot modifica sub acțiunea unui mesaj sunt: polaritatea, amplitudinea, durata, poziția, frecvența. Astfel, la sistemele cu impulsuri, funcționarea dispozitivelor de telemăsurare se poate baza: pe numărul impulsurilor (fig. 10.12), pe durata impulsurilor (fig. 10.13), pe frecvența impulsurilor (fig. 10.14) sau pe o anumită codificare a impulsurilor (fig. 10.15).

• În figura 10.16 este prezentată schema unui dispozitiv bazat pe numărul de impulsuri, pentru telemăsurarea nivelului unui lichid. La acest sistem, fiecărei valori a mărimii măsurate îi corespunde un număr de impulsuri de curent continuu transmise prin linia de telecomunicație. Când nivelul lichidului variază, plutitorul se ridică sau coboară și cablul 2 rotește scripetele 3 cu un anumit unghi, proporțional cu variația de nivel. Odată cu scripetele se învârtește și roata dințată 4.

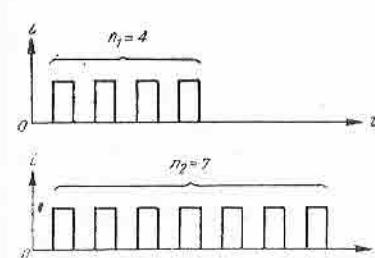


Fig. 10.12. Sisteme bazate pe numărul impulsurilor.

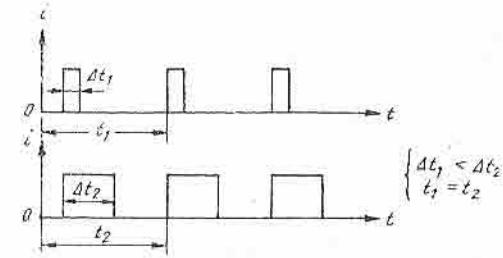


Fig. 10.13. Sisteme bazate pe durata impulsurilor.

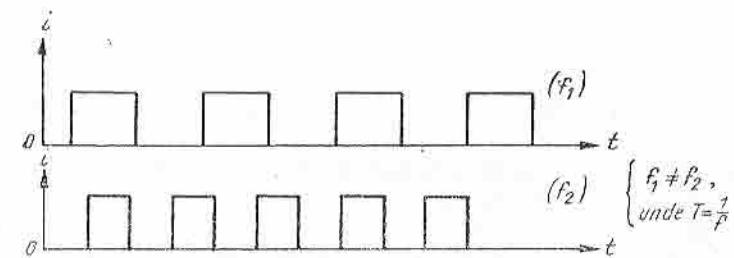


Fig. 10.14. Sisteme bazate pe frecvența impulsurilor.

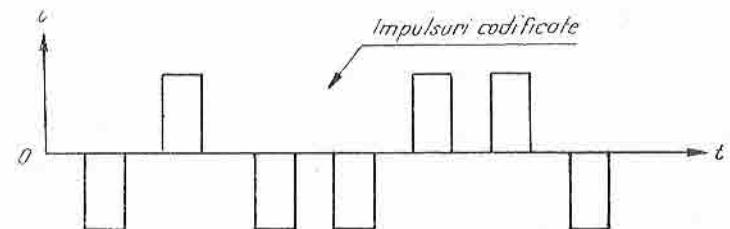


Fig. 10.15. Sisteme bazate pe codificarea impulsurilor.

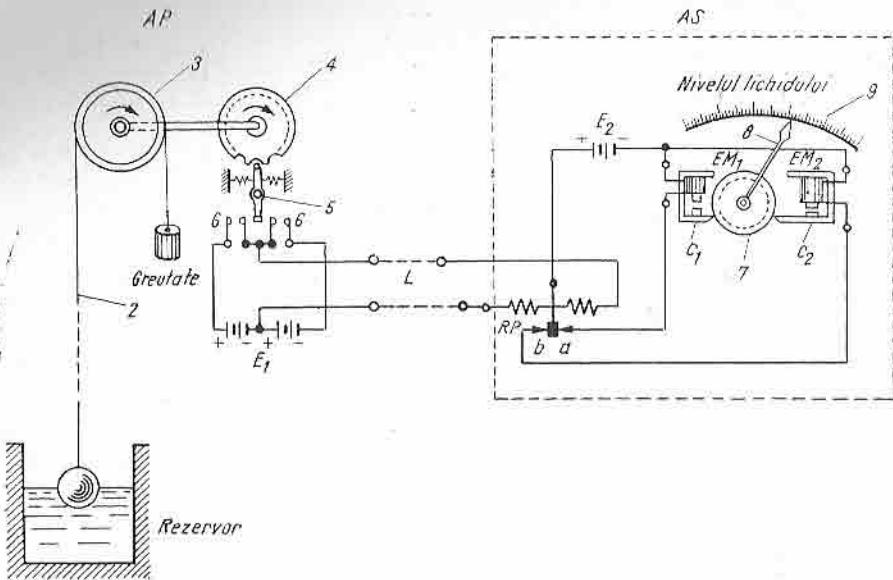


Fig. 10.16. Schemă pentru telemăsurarea nivelului unui lichid.

Fiecare dintre al roții 4 antrenează pîrghia de contact 5; aceasta execută o deplasare la dreapta sau la stînga poziției de echilibru și se închide unul sau altul din contactele 6, în funcție de sensul de rotație al scripetelui 3. Dacă, de exemplu, nivelul lichidului din rezervor crește, scripetele se rotește în sensul acelor de ceasornic și pîrghia 5 închide contactul din dreapta, determinînd transmiterea unui impuls pozitiv de curent, de la sursa E_1 , prin linia L .

Impulsul pozitiv excită bobina releului polarizat RP care închide contactul a , prin care se aplică tensiunea bateriei E_2 la bobina electromagneticului din stînga, EM_1 . Odată cu atragerea armăturii electromagneticului, clichetul c_1 va deplasa roata cu clichet 7 și acul indicator 8 cu o diviziune spre partea dreaptă a scalei 9, gradată în unități de nivel. Dacă nivelul scade, pîrghia 5 închide contactul 6 din stînga; prin linia L va fi trimis un impuls de curent negativ, care va determina închiderea contactului b al lui RP , conectarea electromagneticului EM_2 și deplasarea indicatorului cu o diviziune spre stînga scalei 9.

La o variație însemnată a nivelului apei în rezervor, dispozitivul va transmite prin linie mai multe impulsuri de curent, pozitive sau negative, care vor deplasa acul indicator cu un număr corespunzător de diviziuni.

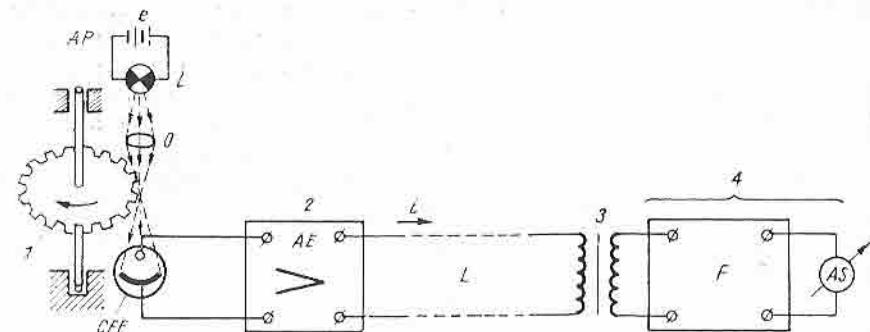


Fig. 10.17. Schema unui sistem de telemăsurare bazat pe frecvența impulsurilor.

Sistemul acesta prezintă dezavantajul că în cazul unui deranjament pe linie aparatul secundar de măsurat va indica mereu același nivel; la lichidarea unui deranjament trecător, indicația aparatului secundar diferă de valoarea corectă a nivelului printr-o eroare corespunzătoare numărului de impulsuri care s-au pierdut în timpul intreruperii legăturii.

• **Sistemele de telemăsurare bazate pe frecvența impulsurilor** folosesc transmiterea prin linia de telecomunicație a unor impulsuri de curent a căror frecvență depinde de mărimea măsurată; amplitudinea impulsurilor nu influențează indicațiile aparatelor secundare de măsurat de la punctele de recepție. Emițătorul unui asemenea sistem folosește mecanismul unui contor electric de inducție (fig. 10.17), pe discul căruia săn făcute o serie de crestături periferice. Fluxul luminos dat de lampa L este focalizat de lentila O asupra unei celule fotoelectrice CFE ; în calea fluxului luminos este plasat discul crestat 1 al mecanismului de inducție. Se observă că fluxul luminos este întrerupt de fiecare dintre al discului și poate cădea asupra celulei fotoelectrice, numai atunci când în dreptul lui se găsește un gol dintre doi dinti ai discului în rotație.

Când celula fotoelectrică CFE este iluminată, se produce un curent care — după ce este amplificat de amplificatorul electronic 2 — se transmite prin linia L , spre receptor. Fluxul luminos care cade pe CFE este pulsatoriu, frecvența pulsării depinzînd de numărul de dinti ai discului și de viteza lui de rotație. Deoarece viteza de rotație a discului crestat este proporțională cu mărimea măsurată (o putere, un curent sau o tensiune), frecvența luminii pulsatorii deci și frecvența impulsurilor transmise prin linia L , vor fi proportionale cu valoarea mărimii măsurate.

La capătul opus al liniei de telecomunicație se află un dispozitiv receptor, realizat de obicei sub forma unui frecvențmetru electronic cu condensator 4, al căruia mod de funcționare este arătat principial în

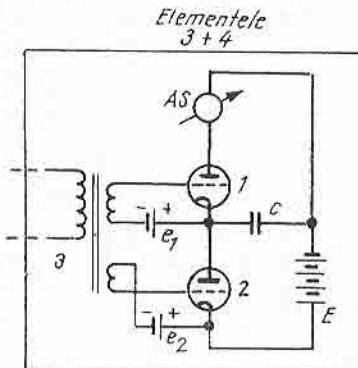


Fig. 10.18. Frecvențmetru electronic.

curent I_1 , dat de sursa E , să încarce condensatorul C .

Simultan, tensiunea U_2 polarizează invers joncțiunea emitor-bază a tranzistorului 2 și îl blochează. În semiperioada negativă se inversează polaritatea tensiunilor din primarul și secundarul transformatorului 3. Ca urmare, tranzistorul 1 va fi blocat și tranzistorul 2 va conduce, permitând condensatorului C să se descarce. În circuitul colectorului tranzistorului 2 se produc impulsuri de curent continuu, de amplitudine și durată constantă (determinate de parametrii condensatorului și ai tranzistoarelor), însă de frecvență dată de emițător (deci proporțională cu mărimea măsurată). Aparatul de măsurat AS (ampermetru) va indica valoarea medie a acestor impulsuri, reprezentând un curent I_2 proporțional cu frecvența, deci cu valoarea mărimii măsurate.

E. TELECOMANDA

Datorită căderii de tensiune în conductoarele de legătură precum și pierдерilor prin disiparea de energie calorica, comanda locală prin cabluri de la pupitru de comandă la obiectul comandat dă rezultate numai la distanțe mici, care nu depășesc cîteva sute de metri. Pentru distanțe mari se folosește telecomanda.

Instalațiile de telecomandă (cumulate de obicei cu cele de telesemnalizare) cu care sunt prevăzute punctele de dispecer, servesc atât pentru comandarea de la distanță a anumitor instalații principale, cât și pentru controlul îndeplinirii comenzilor, prin semnalizările recepționate la punctul de dispecer asupra situației instalațiilor principale din sistem.

• În figura 10.19 este reprezentat schematic echipamentul dispozitivelor de telecomandă-telesemnalizare instalat la punctul de comandă

figura 10.18. Impulsurile de curent din linia de telecomunicație se aplică unui transformator β , cu două bobinaje secundare la bornele cărora se obțin tensiunile U_1 și U_2 . În transformatorul β , impulsurile de curent sunt transformate în curent alternativ (dar nesinusoidal) cu pulsuri pozitive și negative.

În semiperioada pozitivă, cînd pulsurile pozitive se aplică bornei polarizate (marcate cu *) a transformatorului 3, în bobinajele secundare se obțin tensiunile U_1 și U_2 , cu polaritatea arătată în figura 10.18. Tensiunea U_1 polarizează direct joncțiunea emitor-bază a tranzistorului 1 și acesta va conduce, făcînd ca un

The diagram illustrates a particle accelerator setup. A horizontal beam line, represented by a dashed arrow labeled '4', originates from a source at point '3' and passes through a rectangular block labeled '5'. This beam line then splits into two paths: one path leads to a vertical wall labeled '1', and the other path leads to a curved wall labeled '2'. At the base of the curved wall '2', there is a circular target or detector labeled '7'.

Fig. 10.19. Echipamentul de telecomandă-telesemnalizare pentru telemecanizarea unui sistem energetic.

(dispecer) și la obiectul comandat, în cadrul unui sistem energetic. La punctul dispecer se găsesc: panoul 1 (cu schema sistemului comandat), pupitrul de comandă 2 și dulapurile 3 cu aparatul de telecomandă și telesemnalizare.

Punctul disperer este legat de obiectul comandat prin linia de telecomunicații 4. La obiectul telemecanizat se găsesc: dulapurile 5, cu aparatul de telecomandă și telesemnalizare, precum și echipamentul telemecanizat 6.

Pentru ca prin o singură linie de telecomunicație să fie telecomandate mai multe instalații (obiecte), se montează dispozitive de selecție, care au rolul de a alege (selecta) semnalele primite prin linie și de a le repartiza cu precizie instalațiilor cărora le sunt destinate.

În figura 10.20 este reprezentată schema unui dispozitiv de selecție cu distribuitoare electromagnetice rotative*. Cele două distribuitoare rotative, D_1 și D_2 , se rotesc cu aceeași viteză și în același moment periiile lor se găsesc pe aceleași contacte ($0, 1, 2 \dots$). La punctul dispecer PD sunt instalate butoanele de comandă B_1, B_2, \dots , iar la instalația telemecanizată se găsesc releele electromagnetice RE_1, RE_2, \dots și obiectele telecomandate O_1, O_2, \dots (de exemplu, motoare electrice, întreruptoare electrice etc.). O singură linie de telecomunicație, alcătuită din conductoarele L_1 și L_2 , stabilește legătura punctului de dispecer cu instalația telemecanizată.

Se presupune că O_2 reprezintă un motor electric. Pentru pornirea acestui motor este suficient ca operatorul aflat la punctul de dispecer să apese butonul B_2 . În acest fel, atunci cînd periile distribuitoarelor rotative D_1 și D_3 vor „călca“ pe contactul 2, se va stabili un circuit electric prin bobina releului electromagnetic RE_2 și acesta va comanda

* similar dispozitivului de telemăsurare la cerere (fig. 10.11)

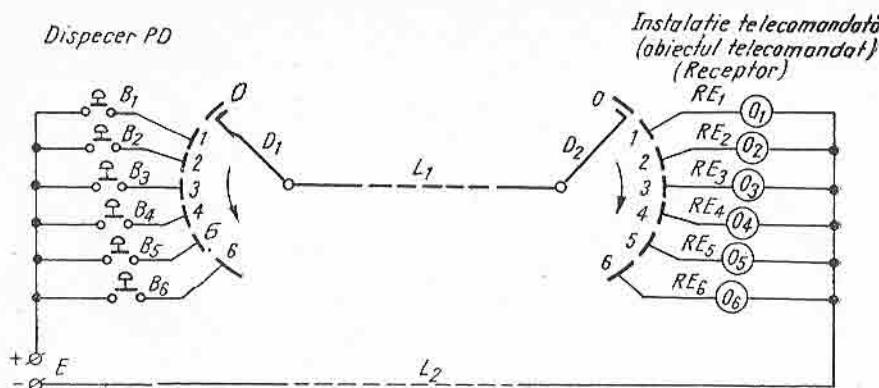


Fig. 10.20. Schema dispozitivului de selecție cu distribuitoare rotative.

printr-un contactor pornirea motorului O_2 . Semnalul transmis de la punctul de dispecer este distribuit numai obiectului căruia îl era destinat (în cazul de față O_2), deoarece la apăsarea butonului B_2 , nici un alt circuit alimentat de bateria E nu se poate închide.

Numărul de obiecte care pot fi telecomandate coincide cu numărul contactelor cu care sunt prevăzute cele două distribuitoare rotative. Schema prezentată se mai numește *schemă de telecomandă-telesemnalizare cu alegeră*.

În instalațiile telemecanizate se utilizează pentru selecția (sau alegeră) semnalelor diverse tipuri de distribuitoare (v. cap. 5).

• Pentru telecomandă-telesemnalizare se mai folosesc **dispozitive speciale cu codificarea semnalelor**. Modulația de impulsuri în cod corespunde cuantificării în timp și în amplitudine a mesajului informațional și transmisiei fiecarei valori discrete cu ajutorul unui cod. La punctul de dispecer se efectuează codificarea semnalelor transmise prin linie, iar la punctul de recepție de la capătul opus al liniei se face decodificarea acestora, pentru a se recăpăta semnalele inițiale.

În ultima vreme au căpătat o răspândire largă dispozitivele de codificare *cu disc de codificare* (fig. 10.21).

Discul de codificare poartă o serie de lame, unele din ele conductoare și altele izolante. De-a lungul unei raze se obține o succesiune anumită de porțiuni conductoare și izolante.

Citirea codului se face cu un șir de perechi de perii dispuse radial, care sunt conectate succesiv în circuitul de formare a semnalului, cu ajutorul unui distribuitor.

Cind o pereche de perii se află în contact cu o porțiune conductoare, circuitul este stabilit și se transmite un semnal (de exemplu, cifra 1). Dacă perile calcă pe o porțiune izolantă din disc, circuitul este întrerupt și

nu se transmite semnal (sau „se transmite“ cifra 0). Pentru fiecare poziție a discului rezultă o anumită „combinăre de cod“ (de exemplu, combinații ale numerelor 1 și 0), care va fi asociată unui disc de codificare cu cinci semne (având 32 de poziții posibile ale razei). În figura 10.22 este reprezentată desfășurarea liniară a unui asemenea disc de codificare. Alte dispozitive de codificare utilizează discuri rotative, perforate după un anumit model (sau cod), care se întreprină în calea razelor dirijate spre un grup de fotocelule sau de fotodiode.

În acest mod, vor fi impresionate de lumină numai fotocelulele (sau fotodiodele) aflate în dreptul porțiunilor perforate ale discului rotativ.

Totodată, în ultimii ani au fost realizate **instalații telemecanice electronice, cu comutăție statică**. La construcția echipamentelor moderne de telemecanizare sunt folosite tot mai mult dispozitivele cu tranzistoare și cu miezuri de ferită, cu distribuitoare electronice (cu fascicul liniar sau radial) și cu semiconductoare, circuite integrate etc.

În țara noastră, Întreprinderea pentru raționalizarea și modernizarea instalațiilor energetice (ICEMENERG) și IEA-București fabrică elemente și instalații de telemecanizare realizate cu elemente statice.

Astfel, se pot cita: *echipamentul pentru automatizarea și telemecanizarea centralelor hidroelectrice* — de pildă, din hidrocentrala Stejarul (Bicaz) se conduc prin telemecanizare alte 11 obiective energetice din „aval Bistrița“ (centralele hidroelectrice Pângărați, Vaduri, Roznov ș.a.); echipamentul cuprinde: dispozitive pentru convertirea, memorizarea și repartizarea automată a consumului de putere activă sau reactivă, dispozitive pentru reglarea automată a deschiderii vanelor, pentru reglarea automată a excitării generatoarelor, pentru reglarea automată a nivelului în bazinile de liniștire, pentru pornirea sau oprirea automată a turbinelor etc.); *echipamentele de telemecanică cu elemente statice „variantele: „TESECIC“ — pentru telesemnalizare ciclică. „TELECIN“ — pentru telesemnalizare și telemăsurare ciclică numerică. „TELESTAT“ — pentru telecomandă la cerere, telesemnalizare și telemăsurare ciclică numerică, „TELEMARC“ — pentru telecomandă, telesemnalizare, telemăsurare și teleregătere numerică; diverse echipamente de telemecanică cu circuite integrate etc.*

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

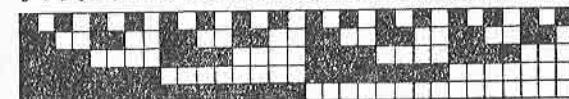


Fig. 10.22. Desfășurarea liniară a unui disc de codificare.

În realizarea aparaturii de telemecanică se ridică o serie de probleme, diferite în funcție de destinația aparaturii respective dar de a căror rezolvare depinde esențial soluția tehnică adoptată și eficiența instalației proiectate și realizată. Dintre acestea se vor aminti în continuare cele mai importante.

• Problema stabilității la perturbații. În unele cazuri, perturbațiile din canalul de telecomunicație pot să fie foarte puternice și intense, deformând semnalul de telemecanică. De aceea, la recepționarea semnalelor trebuie să se ia măsuri speciale pentru a se distinge semnalul util din semnalul total recepționat (compus din semnalul util și perturbații).

Se evită totodată posibilitatea ca un anumit semnal de telemecanică, transmis de la punctul de comandă, să fie transformat sub acțiunea perturbațiilor într-un alt semnal, executându-se o altă comandă decât cea transmisă sau înregistrându-se pe aparatele de măsurat și înregistrat o altă valoare decât cea transmisă de la obiectul telemecanizat.

În unele sisteme de telemecanică, de fabricație modernă, semnalul odată transmis este memorizat la postul de recepție și, fără a fi executată comanda, este retransmis înapoi la postul care l-a emis. Acolo, acesta este comparat cu semnalul initial și, în cazul în care nu se constată o deformare sensibilă a semnalului, se transmite automat un ordin de acceptare a execuției comenzi date. În cazurile în care semnalul a fost perturbat și este deformat sensibil, se emite un ordin de blocare a execuției comenzi date anterior, care anulează memorizarea și ciclul de funcționare se reia de la început.

• Problema fiabilității (siguranței de funcționare). Se cere tot mai mult ca aparatula de telemecanică să fie sigură în funcționare, să se defecteze cît mai rar posibil.

În cazul defectării aparaturii de telemecanică, aceasta trebuie să permită o localizare rapidă a defectului și o remediere care să poată fi efectuată de către personalul de întreținere, în cele mai multe situații.

Pentru ca defectarea aparatului de telemecanică de la unul din terminale să nu provoace transformarea comenziilor în comenzi false, se procedeză la blocarea automată a instalației, avertizarea postului de dispecer și — uneori — la conectarea automată a unei instalații de rezervă, în stare de funcționare.

• Problema economicității aparatului de telemecanică. Fără a se renunța la nivelul tehnic, la precizia și siguranța aparatului de telemecanică, se urmărește asigurarea unui cost redus prin economia de canale de telemecanică care trebuie realizate, prin evitarea rezervelor care nu sunt absolut necesare, prin rationalizarea schemelor adoptate etc.

REZUMAT

1. Telemecanica reprezintă totalitatea mijloacelor tehnice prin care se asigură transmiterea la distanță a unei informații (a unei măsurări, a unei comenzi sau a unui semnal). Ea este acea ramură a științei și tehnicii care se ocupă cu metodele și mijloacele tehnice de stabilire a unor legături corespunzătoare între mai multe instalații tehnologice în interdependență funcțională și un punct de conducere (sau dispecer) al sistemului în ansamblu.

2. Telemecanica permite realizarea următoarelor *funcții*: telemăsurarea, telecomanda, telesemnalizarea și telereglerarea.

3. Legătura dintre punctul de comandă (sau dispecer) și instalațiile (obiectele) controlate sau comandate prin mijloace telemecanice se realizează pe cale electrică, printr-o linie de transmisie (numită și canal de telemecanică), fie prin conductoare electrice, fie prin radio.

4. Sistemele de telemăsurare cu acțiune la distanțe mari se realizează fie ca sisteme cu impulsuri, fie ca sisteme de frecvență.

5. La sistemele cu impulsuri, funcționarea dispozitivelor de telemăsurare se poate baza pe numărul impulsurilor, pe durata impulsurilor, pe frecvența impulsurilor sau pe o anumită codificare a impulsurilor. Sistemele de telemăsurare bazate pe frecvența impulsurilor folosesc transmiterea prin linia de telecomunicații a unor impulsuri de curent a căror frecvență depinde de mărimea măsurată.

6. Principalele cerințe impuse aparatului de telemecanică sunt: stabilitatea la perturbații, fiabilitatea instalațiilor (siguranța de funcționare) și economicitatea sa.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce este telesemnalizarea:

- a) transmiterea la distanță a unei comenzi?
- b) transmiterea la distanță a unei informații calitative?
- c) transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări?

2. Cum se realizează legătura între postul de comandă (sau dispecer) și posturile telemecanizate:

- a) pe cale electrică, printr-o linie de telecomunicație (cu fir sau prin radio)?
- b) prin cuplaj magnetic?

3. Ce sunt blocurile de memorizare (sau memoriile) din structura unui terminal de telemecanică.

- a) sunt blocurile care înglobează sursele de putere și amplificatoarele?
- b) sunt blocurile care comandă diferențele operații sau funcții telemecanice, precum și ordinea în care se execută acestea?
- c) sunt blocurile în care informația (semnalul telemecanic) este înmagazinată în timpul transmisiiei altrei informații. În timpul prelucrării altor semnale etc.?

4. Telemăsurarea ciclică reprezintă:

- a) o măsurare continuă?
- b) o măsurare discontinuă?
- c) o măsurare la cerere?

FOLOSIREA CALCULATOARELOR ÎN AUTOMATIZĂRI

Capitolul 11

CALCULATOARE ELECTRONICE

A. CONSIDERAȚII GENERALE

După cum s-a mai arătat (cap. 1), cea mai înaltă formă de organizare a producției este conducerea prin calculator sau automatizarea complexă a proceselor de producție. Calculatoarele electronice, care efectuează o serie de operații aritmetice și logice pe baza unor „informații” primite și a unui „program” de calcul stabilit, se clasifică în două categorii structurale diferite: *calculatoare analogice și calculatoare numerice sau cifrice (digitale)*.

În ceea ce privește destinația și implicit structura lor constructivă, calculatoarele se împart în două categorii principale: *universale și specializate, sau de proces*.

• **Calculatoarele universale** permit rezolvarea unui număr variat de probleme din cele mai diverse domenii (matematică, economie, cercetare, gestiune etc.), programele acestora schimbându-se de la caz la caz.

• **Calculatoarele specializate (de proces)** sunt construite în mod special pentru a fi adaptate unui anumit proces tehnologic automatizat (v. fig. 1.4, e), având o structură adecvată și un program de calcul valabil pentru un timp mai îndelungat.

Indiferent de tipul său, un calculator este caracterizat printr-o serie de mărimi specifice ca viteza de lucru (număr de operații pe secundă), capacitatea memoriei, suportul fizic al informației (benzi, cartele etc.), modul de afișare al rezultatelor etc.

B. CALCULATOARE ANALOGICE

Calculatoarele analogice se caracterizează prin faptul că *valorile tuturor mărimilor prelucrate sunt reprezentate în calculator (la o scară dată) de mărimi electrice concrete (current, tensiune) care variază continuu adică*

pot lua o infinitate de valori (mărimi analogice). Calculatoarele analogice au o utilizare redusă și ele au apărut ca urmare a dezvoltării metodei modelării, bazată pe legile de similitudine a fenomenelor fizice diferite prin natura lor.

De exemplu, un calcul aritmetic de împărțire a două numere poate fi realizat folosind legea lui Ohm. Astfel, considerind o tensiune egală cu valoarea deîmpărțitului aplicată unei rezistențe de valoarea împărțitorului, curentul obținut va reprezenta valoarea cîțualui.

• În structura calculatoarelor analogice sunt utilizate o serie de elemente specifice, numite **amplificatoare operaționale**, care prezintă la ieșire o mărime ce depinde de valorile mărimilor de la intrare asupra cărora s-a efectuat o anumită „operație” (sumă, diferență, produs, raport etc.).

Amplificatorul operational reprezintă un *amplificator de curent continuu cu un coeficient de amplificare negativ și de valoare absolută foarte mare ($10^4 \dots 10^8$), realizat cu circuite electronice convenționale (diode, tranzistoare etc.) sau integrate și care este capabil să efectueze în diverse montaje anumite operații matematice simple*.

Amplificatorul operational, a cărui schemă simbolică este prezentată în figura 11.1, asigură o anumită relație de dependență între tensiunea de ieșire U_2 și cea de intrare U_1 :

$$U_2 = f(U_1), \quad (11.1)$$

diversele funcții pe care le poate realiza acesta obținându-se prin introducerea unei reacții negative puternice, cu ajutorul unei impudențe conectate între ieșire și intrare, fapt care asigură o stabilitate și o precizie bună.

În tabelul 11.1 se prezintă cîteva tipuri de elemente obținute cu ajutorul amplificatoarelor operaționale, schema lor, simbolul lor grafic, precum și relația matematică („operația”) pe care o efectuează.

○ **Observație.** Tensiunea de ieșire din amplificatorul operational are sens opus celei de intrare.

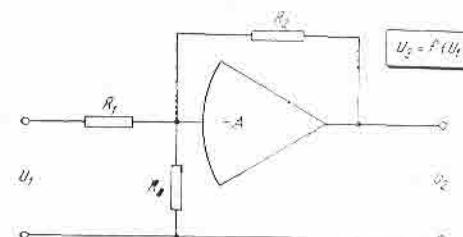
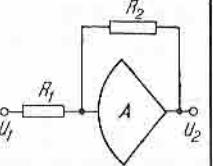
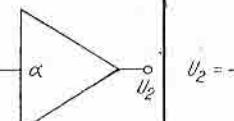
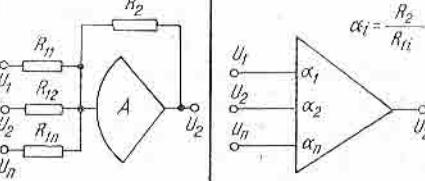
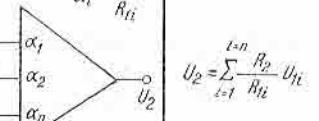
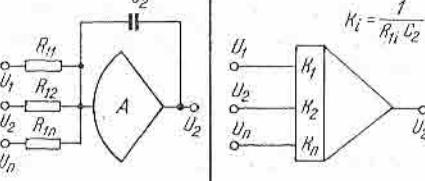
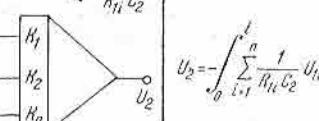
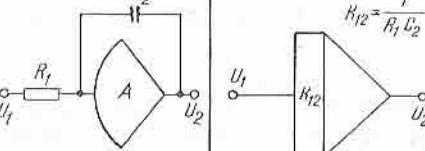
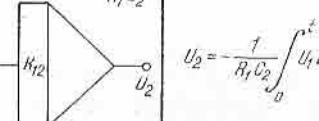
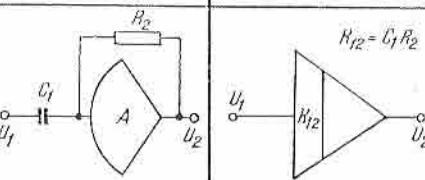
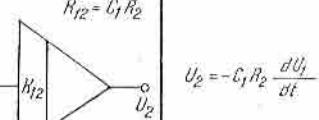


Fig. 11.1. Amplificator operational.

Tabelul 11.1

Tipul elementului	Schemă electrică	Simbol grafic	"Operația" matematică
Element de înmulțire cu o constantă			$U_2 = -\frac{R_2}{R_f} U_1$
Element de sumare			$\alpha_i = \frac{R_2}{R_{fi}}$ $U_2 = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{R_2}{R_{fi}} U_i$
Element de sumare integrare			$K_i = \frac{1}{R_f C_2}$ $U_2 = - \int_0^t \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i C_2} U_i dt$
Element de integrare			$R_{f2} = \frac{1}{R_f C_2}$ $U_2 = - \frac{1}{R_f C_2} \int_0^t U_1 dt$
Element de diferențiere			$R_{f2} = C_1 R_2$ $U_2 = -C_1 R_2 \frac{dU_1}{dt}$

- Un calculator analogic cuprinde, pe lângă o serie de amplificatoare operaționale, și surse de alimentare, impedanțe operaționale (potențiometre și condensatoare) precum și echipamente de ieșire constând în: voltmetre indicațoare, voltmetre numerice, osciloscoape catodice, potențiometre automate etc.

C CALCULATOARE NUMERICE

La aceste tipuri de calculatoare, numite și cifrice sau digitale, valoarele tuturor mărimilor prelucrate sunt reprezentate prin valori numerice discrete. Calculatoarele numerice sunt astăzi cele mai răspândite în întreaga lume, fiind realizate în principal cu următoarele elemente electronice:

- cu tuburi — „generația I“;
- cu tranzistoare — „generația a II-a“;
- cu circuite integrate — „generația a III-a“.

1. Structura calculatorului numeric

Calculatorul numeric este un mijloc de calcul automat care permite să se efectueze, pe baza unui program de lucru stabilit, o serie de operații aritmetice și logice.

Orașările aritmetice efectuate sunt: adunarea, scăderea, înmulțirea și împărțirea unor numere, iar operațiile logice: compararea a două numere, alegerea unui număr mai mare sau mai mic decât altul, funcții logice de tip SI, SAU, SAU EXCLUSIV etc.

Programul de calcul este constituit dintr-o serie de instrucțiuni și asigură prelucrarea informației conform dorinței utilizatorului (operator uman).

Structura generală a unui „sistem de calcul“ (calculator) cuprinde trei blocuri principale (fig. 11.2):

- blocul de introducere (intrare) a datelor;
- blocul de prelucrare (unitatea centrală);
- blocul de extragere (ieșire) a rezultatelor.

• **Blocul de intrare** asigură introducerea programului și a datelor de prelucrat în memoria principală a calculatorului.

Blocul de intrare este diferit în funcție de mediul-suport purtător de informații (cartele perforate, bandă perforată sau bandă magnetică, disc magnetic — v. cap. 8, fig. 8.5). Ca urmare, acest bloc va conține: cititoare de cartele perforate, cititoare de bandă perforată sau unități cu bandă magnetică, unități cu discuri magnetice etc.

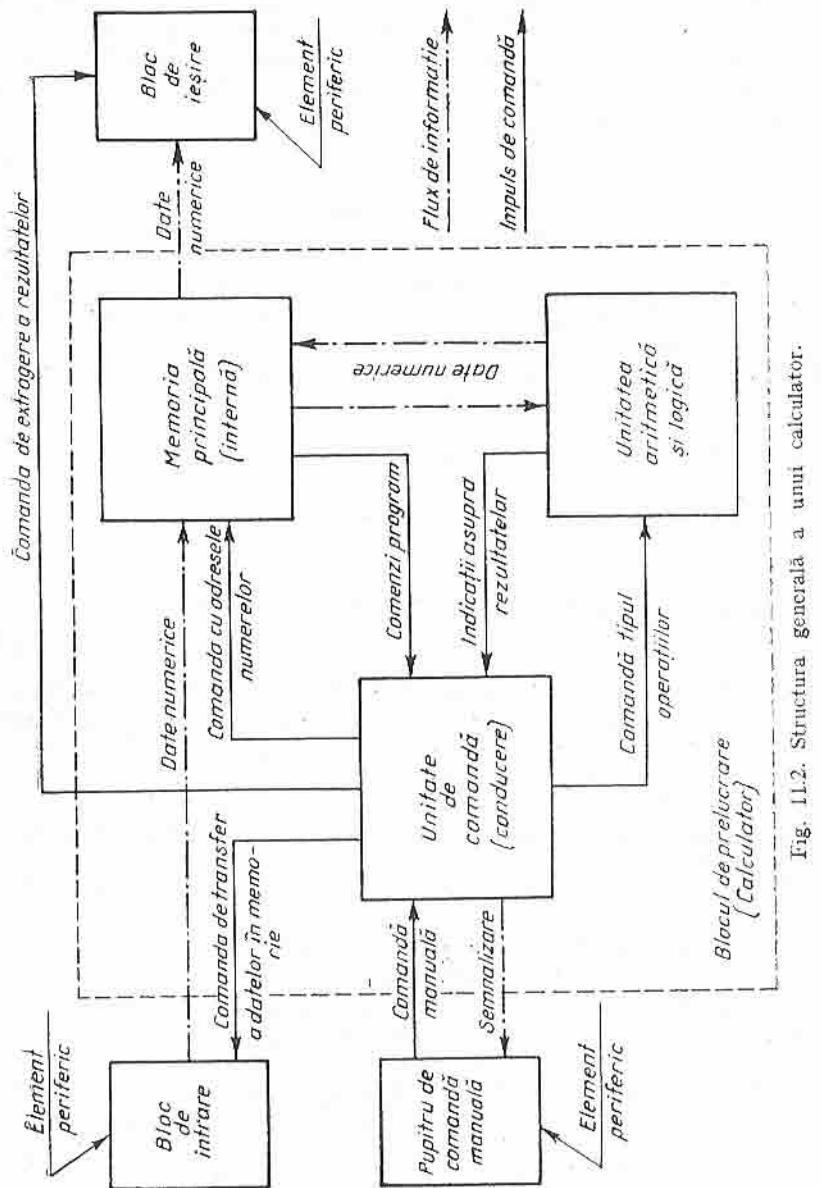


Fig. 11.2. Structura generală a unui calculator.

● **Blocul de prelucrare a datelor** formează unitatea centrală a sistemului de calcul și se compune din:

- *unitatea de comandă*;
- *memoria principală*;
- *unitatea aritmetică și logică*.

○ **Notă.** În vorbirea curentă, întregul ansamblu prezentat în figura 11.2, care de fapt reprezintă un sistem de calcul, este denumit impropriu calculator. În realitate, prin calculator se va defini numai unitatea centrală adică blocul de prelucrare, în timp ce toate celelalte elemente: blocul de intrare, de ieșire etc. vor fi denumite *elemente periferice*.

Legăturile informaționale dintre dispozitivele menționate sunt arătate în figura 11.2.

Unitatea de comandă a blocului central descifrează într-o anumită ordine instrucțiunile programului memorat și indică unității aritmétice și logice ce operații trebuie să execute; de asemenea, comandă blocurile de intrare și ieșire.

Memoria principală sau **memoria internă** constituie locul unde se depozitează elementele de informație;

- programul de calcul;
- datele numerice ale programului;
- rezultatele intermediare.

Memoria este constituită dintr-un număr de celule de memorie numerotate în ordine crescătoare, fiecărei celule de memorie fiindu-i asociată o adresă. Cunoașterea unei anumite adrese permite „citirea“ conținutului din locul cu această adresă sau „înscrierea“ unei informații în acest loc.

○ **Observație.** Prin cifre, conținutul celulei nu se modifică.

Unitatea aritmetică și logică asigură efectuarea tuturor calculelor aritmétice și logice. În esență, această unitate este un sumator foarte rapid (zeci sau sute de mii de operații pe secundă) pentru că aproape toate operațiile aritmétice și logice se realizează prin adunare.

● **Blocul de ieșire** este *dispozitivul de livrare a rezultatelor*. Rezultatele pot fi transmise pe cartele perforate, benzi de hârtie perforate, benzi magnetice, discuri magnetice, afișare pe tuburi catodice sau tipărite în clar. În acest ultim caz, tipărirea rezultatelor se poate face la o mașină de scris similară celor obișnuite, însă cu claviatura comandată electric prin elemente electromagnetice.

Pupitrul de comandă manuală reprezintă un alt echipament periferic de la care se comandă manual pornirea operațiilor de calcul și la care se semnalizează modul de funcționare al calculatorului.

2. Baza aritmetică a unui calculator numeric

a. Sistem de numerație în cod zecimal

În mod obișnuit, un număr oarecare se scrie în codul zecimal sau cu baza $b = 10$. În acest scop, se folosesc 10 cifre distincte, cifrele zecimale: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Folosind cele zece cifre se poate scrie orice număr, semnificația cifrelor scrise, de la dreapta la stânga fiind:

— unități	$(10^0 = 1)$;
— zeci	$(10^1 = 10)$;
— sute	$(10^2 = 100)$;
— mii	$(10^3 = 1\ 000)$ și.a.m.d.

Aceasta înseamnă că scriind, de exemplu, numărul 4 702, cele patru cifre au următoarele semnificații:

$$\begin{array}{rl} 4 \times 10^3 &= 4\ 000 \\ 7 \times 10^2 &= 700 \\ 0 \times 10^1 &= 00 \\ 2 \times 10^0 &= 2 \\ \hline & 4\ 702 \end{array}$$

Deci: $4 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 2 \cdot 10^0 = 4\ 702$.

Utilizarea codului zecimal în tehnica calculatoarelor numerice nu este posibilă, deoarece elementele electrice și electronice se pot realiza, în general, pentru funcționare în două stări stabile ca, de exemplu: un releu dezexcitat (stare „0”) sau excitat (stare „1”), un tub sau un tranzistor blocat (stare „0”) sau în conducție (stare „1”) și.a.m.d. Din această cauză, în construcția calculatoarelor numerice se aplică un cod binar de numerație.

b. Sistem de numerație în cod binar

Un număr oarecare poate fi scris și în cod binar, adică în baza $b = 2$, utilizând numai două cifre: 0 și 1.

Așa după cum orice număr poate fi scris în cod zecimal folosind zece cifre (0, 1, 2 ... 9), la fel el poate fi scris în cod binar folosind cele două cifre (0 și 1).

Ca și în cazul codului zecimal, semnificația cifrelor scrise de la dreapta la stânga este:

- „bitul”* unu (un bit) — $2^0 = 1$
- „bitul” doi (doi biți) — $2^1 = 2$
- „bitul” trei (trei biți) — $2^2 = 4$
- „bitul” patru (patru biți) — $2^3 = 8$
- „bitul” cinci (cinci biți) — $2^4 = 16$
- „bitul” şase (şase biți) — $2^5 = 32$ și.a.m.d.

De exemplu, scriind în cod binar 110 101, cele şase semne au următoarea semnificație:

$$\begin{array}{r} 1 \times 2^5 = 32 \\ 1 \times 2^4 = 16 \\ 0 \times 2^3 = 0 \\ 1 \times 2^2 = 4 \\ 0 \times 2^1 = 0 \\ 1 \times 2^0 = 1 \\ \hline 53 \end{array}$$

Deci:

$$1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 53;$$

este vorba de numărul 53 (cincizeci și trei).

○ **Notă.** Fiecare dintre cele şase semne folosite poartă numele de bit de informație, deci numărul 53 necesită în cod binar şase biți față de numai două ranguri (semne) căre se folosesc în codul zecimal.

Convertirea unui număr din cod zecimal în cod binar este foarte simplă folosind termenii: $2^0(1)$; $2^1(2)$; $2^2(4)$; $2^3(8)$; $2^4(16)$; $2^5(32)$ și.a.m.d

Ca și cu numerele scrise în cod zecimal, și cu cele scrise în cod binar se pot efectua orice calcule aritmetice: adunare, scădere, înmulțire etc.

○ **Observație.** Ca și la sistemul zecimal, unele cînd prin adunarea cifrelor se obține numărul 10 (baza) se scrie 0 (zero) și apare o „cifră de transport” la stînga (rangul superior), la fel și în cod binar, $1 + 1 = 10$. Într-adevăr**:

$$10_{(2)} = 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 2_{(10)}$$

* În sistemul zecimal, cu care ne-am obișnuit, denumim aceste „ranguri” prin: „unități”; „zeci”; „sute”; „mii”;...

** Indicele (2) arată codul (baza) la care este scris numărul.

3. Purtătorii de informație

Există mai multe tipuri de „purtători de informație“ adică de medii suport (fizice) pe care să se înregistreze informația care se introduce inițial sau care se scoate din calculator.

- **Cartela perforată** este cel mai obișnuit purtător de informație.

O cartelă tip (fig. 11.3) are o formă dreptunghiulară cu lungimea împărțită în 80 de coloane, numerotate 1 ... 80 și cu lățimea împărțită în 12 linii numerotate 12, 11, 0, 1, 2, 3 ... 9.

Pentru memorarea pe cartelă a unui „caracter“ (informație sau valoare) se folosește o coloană. Deci, pe o cartelă se pot memora 80 de caractere. Asocierea fiecărui caracter cu o anumită combinație de perforării (fig. 11.3) pe coloană se numește codificare.

○ **Atenție!** Fiecării perforării îi corespunde semnul 1, după cum fiecărei lipse de perforație îi corespunde semnul zero. În consecință, rezultă că fiecarei coloane îi corespunde un număr de 12 biți scris în cod binar.

Trecerea informației – programul sau datele – pe cartele se realizează cu ajutorul *perforatorului de cartele*.

● **Banda de hârtie perforată** este realizată principal ca și o cartelă, însă fiind continuă (rulou) numărul de coloane este foarte mare; în schimb, numărul de linii (piste) este de numai 8 sau 5 (în loc de 12, ca la cartelă).

Banda de hârtie prezintă dezavantajul unei manevrări mai dificile și în plus se poate rupe.

● **Banda magnetică** este un purtător de informații foarte folosit la sistemele de calcul mijlocii și mari. Există benzi magnetice cu șapte piste sau cu 9 piste, ele fiind asemănătoare benzilor de magnetofon, însă având o lățime de 15 mm. Lungimea maximă a benzilor magnetice este de 732 m.

Informația se memorează sub formă de impulsuri (magnetizat 1, nemagnetizat 0) separate cu spații goale.

Densitatea de informație este foarte mare la banda magnetică în raport cu cartela sau banda de hârtie. Astfel, se pot înregistra 80 ... 800 caractere pe cm lungime de bandă. De obicei, se folosesc 320 sau 640 caractere pe cm, ceea ce înseamnă că o rolă de 732 m poate conține 14 milioane caractere.

Înscrierea și citirea informației se realizează cu un *cap* similar celui de magnetofon.

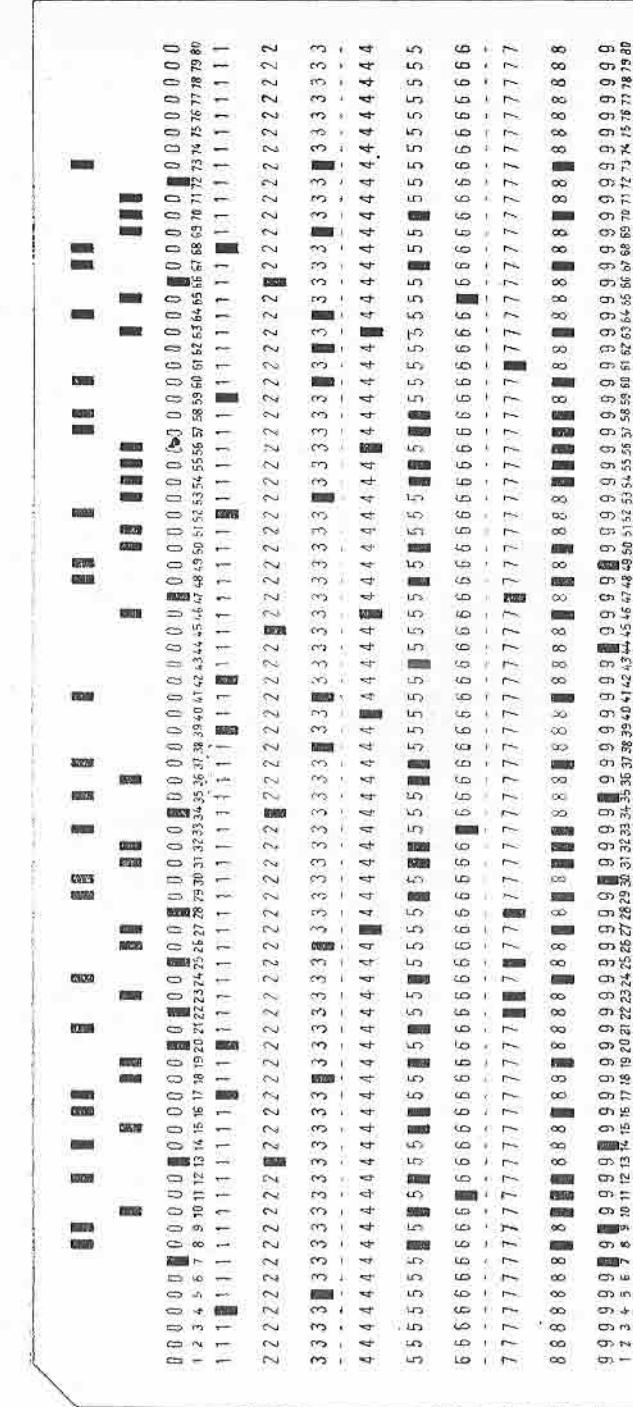


Fig. 11.3. Model de carte perforată.

CONDUCEREA PROCESELOR CU AJUTORUL CALCULATOROARELOR

A. CONSIDERAȚII GENERALE

Utilizarea calculatoroarelor pentru conducerea proceselor industriale a cunoscut în ultimul timp o dezvoltare rapidă datorită pe de o parte îmbunătățirii performanțelor calculatoroarelor privind: viteza de lucru (zeci de mii de operații pe secundă), capacitatea memoriei, siguranța în funcționare etc., iar pe de altă parte datorită elaborării unor procedee mai exacte de identificare a proceselor. Se precizează că prin identificarea proceselor se înțelege determinarea modelului matematic al unui proces, adică al modului de comportare în regim static și dinamic a procesului respectiv.

În conducerea proceselor se folosesc în principal calculatoare numerice specializate și, în anumite cazuri, și calculatoare universale.

Motivul principal pentru care procesele tehnologice se pretează la conducerea cu calculator rezidă în faptul că dintre fluxul de materie (material și energie) și fluxul informațional, acesta din urmă constituie elementul esențial al conducerii (dirijării) procesului respectiv în scopul realizării unor criterii de performanță (v. cap. 1).

Datorită rolului esențial al informației în conducere (fie că este vorba de conducerea unui singur parametru al unui proces, a unei întreprinderi sau a unui combinat), calculatorul reprezintă o entitate logică, caracteristică principală a unui sistem de conducere, având capacitatea de a colecta, memora, prelucra și difuza o cantitate mare de informație cu mare viteză, precizie și siguranță.

Observație. Rolul calculatorului în dirijarea unui proces poate fi considerat asemănător cu acela al dispozitivelor de automatizare convențională, cu mențiunea că există o diferență cantitativă și calitativă esențială în ceea ce privește complexitatea instalațiilor și a performanțelor obținute. Acesta este motivul pentru care conducerea prin calculator se mai numește și *automatizare complexă*.

Conducerea proceselor cu ajutorul calculatoroarelor (automatizarea complexă) reprezintă o noțiune cu o sferă largă, cuprinzînd diverse configurații pentru sistemele calculator-proces, precum și diverse concepte, de complexitate diferite, de folosire a calculatorului în conducerea proceselor tehnologice.

B. CONFIGURAȚIA SISTEMELOR CALCULATOR-PROCES

1. Calculatoare „off-line“

Cea mai simplă configurație posibilă (fig. 12.1) este aceea în care calculatorul se află „în afara liniei“ (*off-line*), adică el primește informații asupra procesului prin intermediul omului și în mod similar, rezultatele calculelor sale sănt concretizate sub forma unor comenzi efectuate de un operator uman, pe baza unui proces de gîndire efectuat de acesta.

În ceea ce privește legătura informațională între proces și om, există două situații de conectare *off-line*, și anume:

— datele de intrare sunt manipulate manual în sensul că, de exemplu, se citesc indicațiile aparatelor de măsurat, se înscriu într-o fișă de evidență și după aceea se transcriu pe cartele sau benzi care apoi se transmit calculatorului;

— datele de intrare se colectează automat și sunt înschise direct pe purtătorii de informație care ulterior, prin intermediul operatorului uman, se introduc în calculator.

În ambele cazuri, la funcționarea off-line a calculatorului are loc acumularea datelor și din timp în timp acestea sunt transmise și prelucrate de calculator.

Un asemenea regim este adecvat la procesele lente (v. cap. 1) unde întîrzierile nu contează.

○ De menționat că în modul de conectare „*off-line*“ pot fi folosite și calculatoare universale.

Trebuie observat de asemenea că folosirea intermitentă a calculatorului permite o utilizare intensivă a acestuia printr-o *multi programare*, adică conectarea lui succesivă la diverse programe de calcul (de exemplu conducerea „*off-line*“ a mai multor procese). În acest caz, regimul de funcționare al calculatorului se numește *cu divizarea timpului* („time sharing“).

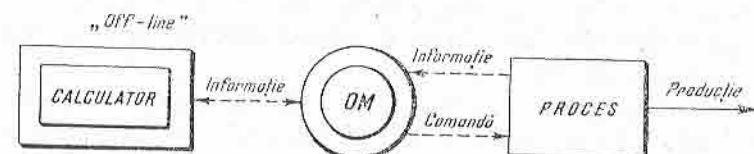


Fig. 12.1. Conectare „*off-line*“ calculator-proces.

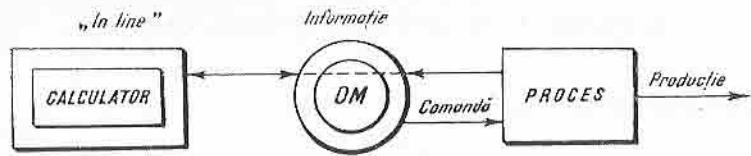


Fig. 12.2. Conectare „in-line” calculator-proces.

3. Calculatoare „in-line”

Și în acest caz omul este interpus complet între proces și calculator (fig. 12.2), însă în acest caz operatorul introduce datele privind procesul în mod rapid și continuu, direct în calculator cu ajutorul unei console adecvate (imprimantă, claviatură, disc etc.). Și în acest caz, pe baza rezultatelor ce se obțin în mod continuu, operatorul uman efectuează o serie de comenzi adecvate asupra procesului. Un asemenea calculator („in-line”), care urmărește îndeaproape în timp o anumită activitate fizică externă, se numește și *sistem cu funcționare în timp real* (calculator cu *uniprogramare*).

3. Calculatoare „on-line”

Termenul de „on line” arată că calculatorul este conectat „pe linie” direct la fluxul informațional (fig. 12.3), fără intervenția omului și fără întârziere, mărimile măsurate fiind convertite direct într-o formă adecvată pentru a fi prelucrată.

În ceea ce privește legătura de comandă, se folosesc două variante de conectare „on line” și anume:

— sistem „on-line” cu circuit deschis (fig. 12.3, a), la care comanda procesului se efectuează de către om pe baza rezultatelor elaborate de către calculator;

— sistem „on-line” cu circuit închis (fig. 12.3, b), la care deciziile de comandă sunt efectuate direct de către calculator pe baza unui program prestabilit de om.

În această variantă, modul de intervenție în proces al calculatorului poate fi diferit în funcție de structura sistemelor de automatizare convenționale cu care sunt echipate instalațiile tehnologice.

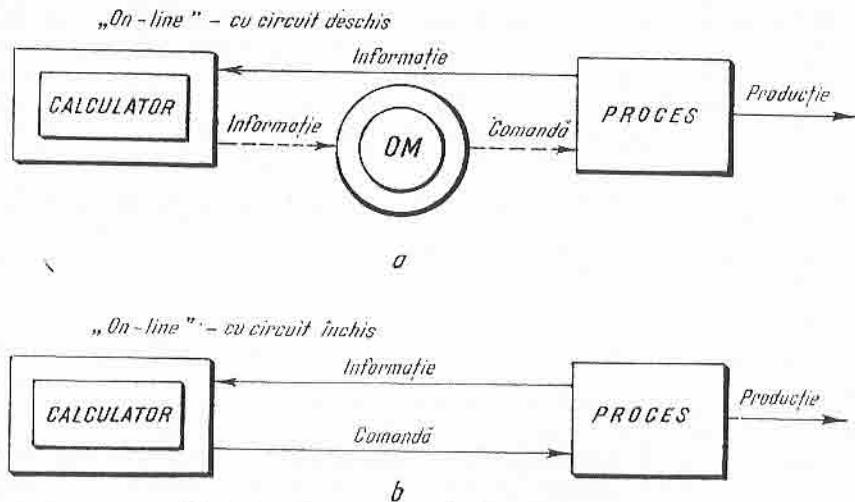


Fig. 12.3. Conectare „on-line” calculator-proces:
a — cu circuit deschis; b — cu circuit închis.

C. ECHIPAMENT DE INTRARE-IEȘIRE

1. Introducere

Pentru adaptarea mărimilor din proces, care de obicei sunt analogice, la mărimile necesare calculatorului care poate fi analogic sau numeric sau pentru adaptarea mărimilor în sens invers, de la calculator către proces, se folosesc o serie de echipamente specifice, dintre care amintim: *convertoroare*, *multiplexoare*, *elementele de calcul* etc.

2. Convertoroare numeric-analogice și analog-numerice

Informația care se primește de la traductoarele din proces (presiune, temperatură, debit etc.), precum și cea furnizată de un calculator numeric elementelor de execuție, are un caracter *analogic*. Pe de altă parte, informațiile introduse precum și cele extrase din calculator au un caracter *numeric*.

Pentru transformarea (convertirea) mărimilor care intervin, din forma lor numerică în forma analogică sau invers, se folosesc tipuri speciale de elemente, numite convertoare analog-numerice (A/N) sau numeric-analogice (N/A).

• Ca exemplu, în figura 12.4, a este prezentată schema de principiu a unui convertor N/A cu sumare de curenti și amplificator operational. Mărimea numerică este concretizată prin poziția comutatoarelor electronice figurate simplificat sub forma contactelor $C_0, C_1 \dots C_6$ (s-a presupus că sistemul de numerație binar are 7 ranguri, deci pot fi folosite mărimi cu valori variind între 0 și 1 111 111).

$$1\ 111\ 111_{(2)} = 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + \dots + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 127_{(10)}$$

Rezistențele de intrare în amplificatorul operațional A (fig. 12.4, a) au valorile:

$$R = \frac{R}{2^0}; \quad \frac{R}{2} = \frac{R}{2^1}; \quad \frac{R}{4} = \frac{R}{2^2}; \dots; \quad \frac{R}{64} = \frac{R}{2^6},$$

și în funcție de valoarea binară a rangului corespunzător ele pot fi conectate la tensiunea $+V(C_i = 1)$ sau la masă ($-$ zero $- C_i = 0$).

Tensiunea U_i de intrare în amplificatorul operațional A (față de masă) precum și tensiunea U_e (fig. 12.4), sunt mărimi analogice proportionale cu mărimea numerică de intrare X_i . În exemplul din figura 12.4, a s-a considerat:

$$X_i = 1\ 101\ 001 = 105, \quad (12.1)$$

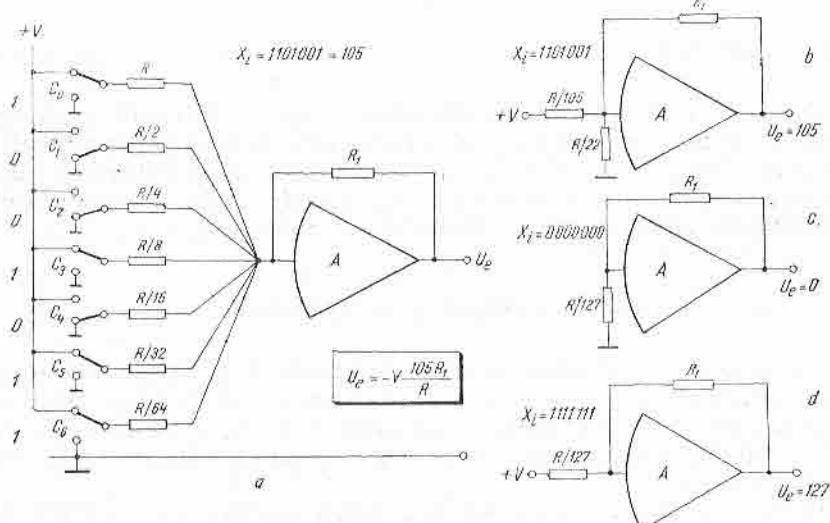


Fig. 12.4. Convertor numeric analog:

a – schema principală; b – schema echivalentă pentru $X_i = 1\ 101\ 001$; c – schema echivalentă pentru $X_i = 0$; d – schema echivalentă pentru $X_i = X_{i \max} = 1\ 111\ 111$.

tensiunea de ieșire U_e fiind dată de expresia:

$$U_e = -V \frac{R_1}{R} (1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + \\ + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0) = -\frac{V \cdot 105 \cdot R_1}{R} \quad (12.2)$$

○ Notă. Semnul minus arată că polaritatea tensiunii de ieșire este inversă față de cea de intrare (v. cap. 11).

În adevăr, pentru situația din figura 12.4, a schema echivalentă este cea din figura 12.4, b, în care rezistența de intrare este $R/105$ rezultată din legarea în paralel a rezistențelor ($X_i = 1$):

$$\frac{R}{64}; \quad \frac{R}{32}; \quad \frac{R}{8} \quad și \quad \frac{R}{1},$$

iar rezistența de legare la masă $R/22$ rezultă din legarea în paralel a rezistențelor ($X_i = 0$);

$$\frac{R}{16}; \quad \frac{R}{4} \quad și \quad \frac{R}{2}.$$

○ Observație. Valoarea minimă a mărimii de intrare este zero:

$$X_i = 0\ 000\ 000 = 0 \quad (12.3)$$

și corespunde schemei echivalente din figura 12.4, c, cînd intrarea fiind nulă ($U_i = 0$), ieșirea va fi de asemenea nulă ($U_e = 0$).

Valoarea maximă a mărimii de intrare este:

$$X_i = 1\ 111\ 111 = 127_{(10)} \quad (12.4)$$

și corespunde schemei echivalente din figura 12.4, d, cînd rezistența de intrare are valoarea minimă $\frac{R}{127}$, rezistența de masă fiind infinită, deci conform, cu relația (12.2):

$$U_e = -V \frac{R_1}{R} \cdot 127. \quad (12.5)$$

● Converteoarele analog-numerice sunt similare cu cele numeric-analogice, avînd însă o funcționare inversă.

Un exemplu simplu de asemenea convertor este cel folosit în comanda numerică a mașinilor-unelte (v. cap. 8). Un suport transparent T (fig. 12.5) avînd, de exemplu, un număr de 7 benzi longitudinale notate cu B_1, B_2, B_4, B_8 și B_{16}, B_{32} și B_{64} cuprinde o serie de cîmpuri transversale

$C_t = 0; 1; 2 \dots 126; 127$, care pot fi obturate (semnal logic 0) sau lăsate transparente (semnal logic 1). Suportul transparent — convertorul — se poate deplasa longitudinal cu o mărime (deplasare) analogică X_t , proporțională, de exemplu, cu valoarea 22 ($X_t = 22$). Din figura 12.5 se observă că suportul este astfel vopsit încât cîmpurile negre (0) și transparente (1) analizate de la stînga spre dreapta și de jos în sus reprezintă numerele naturale: 0; 1; 2 ... 126; 127, scrisă în cod binar.

O serie de surse luminoase: $S_1, S_2, S_4 \dots S_{64}$ plasate în dreptul indicației ZERO DE REFERINȚĂ, și la nivelul fiecărei benzi orizontale, emit fluxuri luminoase, dintre care numai cel de pe banda B_{16}, B_4 și B_2 străbat cîmpurile transparente ale convertorului; celelalte fluxuri luminoase sunt opsite de cîmpurile înnegrite.

Ca urmare, din cele șapte elemente fotosensibile, $D_1, D_2, D_4 \dots D_{64}$ vor fi impresionate numai D_{16}, D_4 și D_2 (semnal logic 1) care vor produce o mărime numerică de valoarea

$$X_e = 0\ 010\ 110 = 22,$$

adică identică cu mărimea X_t , însă convertită în cod numeric binar.

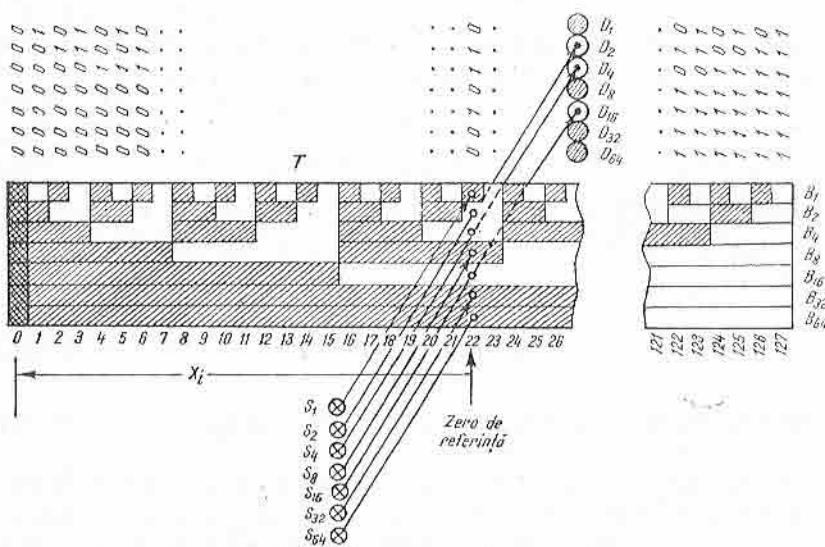


Fig. 12.5. Convertor analog-numeric.

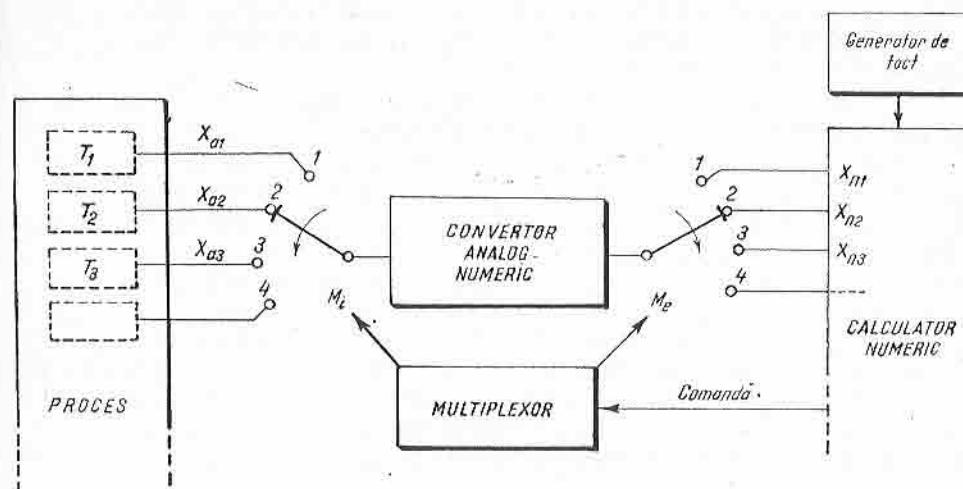


Fig. 12.6. Multiplexor.

3. Multiplexoare

Pentru folosirea același convertor analog-numeric sau numeric-analogice în scopul convertirii în timp a mai multor parametri de la o formă la alta, se folosesc multiplexoare. Aceste elemente, similare distribuitoarelor din automată, sunt plasate la intrarea și ieșirea unui convertor (exemplul din figura 12.6) și se comută sincron (cu aceeași viteză) și sinfazat (M_t și M_e sunt simultan pe același plot).

În exemplul din figura 12.6 mărimele analogice $X_{\alpha 1}, X_{\alpha 2} \dots$ obținute de la traductoarele din proces $T_1, T_2 \dots$ sunt convertite în mărimele numerice $X_{n1}, X_{n2} \dots$ care sunt introduse în calculator de același convertor analog-numeric.

Multiplexoarele sunt realizate cu relee electromecanice sau electronice, funcționarea sincronă și sinfazată fiind asigurată de la un monitor de timp („generator de tact”) prin intermediul calculatorului (fig. 12.6).

4. Elemente (aparate) electronice de calcul analogic

Instalațiile industriale de automatizare cuprind, uneori, o serie de aparate de calcul analogice destinate fie convertirii, fie combinării unor mărimi cu ajutorul unor relații algebrice de calcul (adunare, scă-

dere, înmulțire, împărțire, extragere de radical, integrare etc.). Aparatele respective pot fi folosite fie ca atare, fie ca elemente periferice (de intrare) într-un calculator de proces.

În cele ce urmează vor fi prezentate cîteva aparate electronice de calcul analogice din sistemul unificat E(IEA).

Funcționarea sistemului unificat de calcul se bazează pe utilizarea semnalelor cu „zero viu suprimit” și introducerea unui „zero real”. Aceasta înseamnă că semnalul unificat 2 ... 10 mA înainte de a fi prelucrat este convertit în semnal cu zero real 0 ... 100%.

Observație. De exemplu, dacă unui traductor de presiune i se aplică la intrare presiunea zero ($P = 0$), semnalul unificat la ieșire este 2 mA („zero viu”) care, înainte de a fi introdus în blocul de calcul propriu-zis, este transformat în 0 mA („zero real”). Ieșirea din elementul de calcul este tot un semnal unificat cu zero viu (2 ... 10 mA), ceea ce înseamnă că după efectuarea calculelor semnalul cu zero real (0 ... 100%) a fost convertit din nou în semnal unificat.

a. Element de adunare-scădere tip ELX 210

Este destinat adunării și (sau) scăderii * a 2, 3 sau 4 semnale unificate 2 ... 10 mA.c., furnizînd la ieșire un semnal unificat 2 ... 10 mA.c., corespunzător operațiunii efectuate.

Formula de calcul după care se fac operațiunile de însumare este următoarea:

$$I_0 = \pm K_1 I_1 \pm K_2 I_2 \pm K_3 I_3 \pm K_4 I_4, \quad (12.6)$$

în care: I_0

este semnalul de ieșire 2 ... 10 mA.c.;

$I_1 \dots I_4$

sînt semnale de intrare 2 ... 10 mA.c.;

$K_1 \dots K_4$

— coeficienții de pondere, subunitari, stabiliți prin calcul.

Notă. Suma coeficienților de pondere a valorilor măsurate se alege întotdeauna egală cu 1:

$$K_1 + K_2 + K_3 + K_4 = 100\%. \quad (12.7)$$

Schema-bloc a elementului respectiv este prezentată în figura 12.7.

Ponderea este reglată cu ajutorul rezistențelor variabile (potențiometre) R_3 , R_5 , R_7 și R_9 .

* Practic spus, este vorba despre un sumator a unor mărimi de polaritate diferențite.

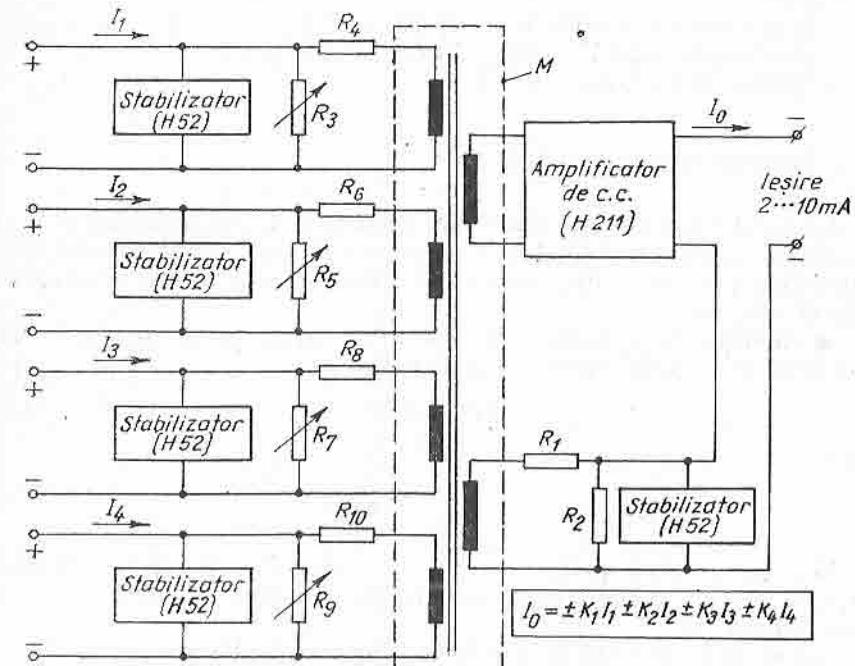


Fig. 12.7. Schema-bloc a elementului de adunare-scădere tip ELX 210.

Semnalele prelucrate în rețea de rezistențe $R_3 \dots R_{10}$ sunt însumate și amplificate într-un amplificator de curent continuu cu modulator magnetic. Semnalul obținut din modulatorul magnetic M (tensiune alternativă) este amplificat, redresat și apoi aplicat unui amplificator de putere (din cadrul blocului H 211), la ieșirea căruia se obține un semnal unificat de curent $I_0 = 2 \dots 10$ mA curent continuu.

Elementele H 52 sunt stabilizatoare de curent continuu care realizează suprimarea zeroului viu, la intrare și suprimarea zeroului real la ieșire.

Caracteristicile tehnice principale ale elementului ELX 210 sunt:

- semnale de intrare: 2 ... 10 mA curent continuu;
- numărul semnalelor de intrare: 2, 3 sau 4;
- semnal de ieșire: 2 ... 10 mA curent continuu;
- precizie: $\pm 0,5\%$;
- rezistență de intrare: maximum 1 000 Ω ;

- rezistență de sarcină: $0 \dots 3\,000\Omega$;
- alimentare: $220\text{ V} \pm 10\%$, 50 sau Hz;
- putere consumată: 10 VA.

b. Extractor de radical tip ELZ 220

Aparatul ELZ 220 este folosit în instalațiile de automatizare pentru măsurarea (reglarea) debitelor (D), în cazul folosirii traductoarelor care transformă presiunea diferențială (ΔP) într-un semnal proporțional cu debitul măsurat.

● **Atenție.** Se demonstrează că între diferența de presiune ΔP și debitul D de fluid există o relație de forma:

$$\Delta P = K D^2 \quad (12.8)$$

sau:

$$D = \frac{1}{K} \sqrt{\Delta P}. \quad (12.9)$$

Rezultă, deci, că pentru a obține un semnal proporțional cu debitul, este necesar să se extragă radicalul din valoarea semnalului de presiune diferențială.

Schema-bloc (fig. 12.8) cuprinde următoarele blocuri funcționale:

- circuit de aproximare a rădăcinii pătrate (CA);
- circuit de stabilizare a punctului de zero (CS);
- bloc amplificator de curent continuu cu chopper (BA).

Semnalul de intrare se aplică circuitului de aproximare a rădăcinii pătrate, care cuprinde patru diode Zener Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 polarizate diferit cu ajutorul sursei E , în scopul deschiderii lor succesive. Cît timp nici

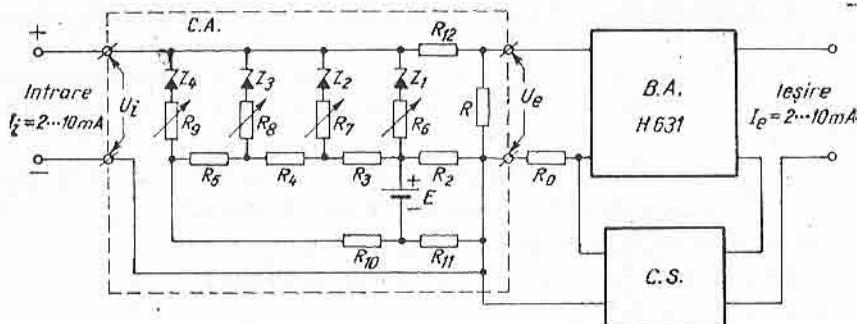


Fig. 12.8. Schema-bloc a extractorului de radical tip ELX 220.

una dintre ele nu conduce, caracteristica de funcționare este reprezentată de porțiunea $O - A$ din figura 12.9. Pe măsură creșterii curentului de intrare I_t , tensiunea de ieșire U_e crește, deci diodele $Z_1 \dots Z_4$ încep să conducă succesiv obținându-se segmentele $A - B$ (conduc Z_1) $B - C$ (conduc Z_1 și Z_2) $C - D$ (conduc $Z_1 \dots Z_3$) $D - E$ (conduc $Z_1 \dots Z_4$).

Pantile porțiunilor de caracteristică sunt determinate de valorile rezistențelor $R_6 \dots R_9$, iar coordonatele punctelor de inflexiune — de valorile rezistențelor $R_2 \dots R_5$. În acest mod se obține o curbă (segment de dreaptă) care aproximează suficient de fidel relația:

$$U_e = K \sqrt{I_t}. \quad (12.10)$$

În continuare, tensiunea U_e este amplificată obținându-se la ieșire un curent I_e proporțional cu radicalul curentului de intrare I_t conform relației:

$$I_e = K \sqrt{I_t - 2} + 2 \text{ (mA)}. \quad (12.11)$$

○ **Observație.** În relația (12.11), scăderea cifrei doi sub radical (-2 mA) asigură trecerea de la zero viu (2 mA) la zero real, iar adunarea cifrei doi ($+2\text{ mA}$) asigură trecerea inversă.

Caracteristicile principale ale elementului ELX 220 sunt:

- semnal de intrare: $2 \dots 10\text{ mA}$ curent continuu;
- semnal de ieșire: $2 \dots 10\text{ mA}$ curent continuu;
- impedanță de intrare: circa $3\,000\Omega$;
- rezistență de sarcină: $0 \dots 3\,000\Omega$;
- precizia: 1% ;
- alimentare: 220 V , 50 sau 60 Hz;
- putere consumată: 8 VA.

○ **Notă** Extractorul de radical tip ELX 221 este similar tipului ELX 220, cu observația că extragerea rădăcinii pătrate se realizează cu un element Hall.

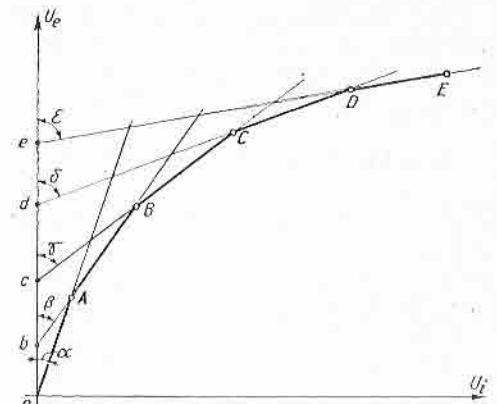


Fig. 12.9. Caracteristica de aproximare a rădăcinii pătrate.

Se precizează că elementul Hall este constituit dintr-o plăcuță din material semiconductor S (fig. 12.10, a) străbătută de un curent I_1 și plasată într-un cîmp de inducție B produs de o bobină A alimentată cu curentul I_2 . Fenomenul Hall constă în obținerea la bornele a și b de pe plăcuță semiconductoare (pe o direcție perpendiculară sensului curentului I_1), a unei tensiuni electromotoare e_H date de relația:

$$e_H = K_H \cdot B \cdot I_1. \quad (12.12)$$

Deoarece în regim de funcționare nesaturat al bobinei A, cîmpul de inducție B este proporțional cu curentul care l-a produs:

$$B = K_B \cdot I_2, \quad (12.13)$$

rezultă în definitiv că tensiunea Hall este dată de relația:

$$e_H = K_H \cdot K_B \cdot I_1 \cdot I_2 = K_H I_1 \cdot I_2, \quad (12.14)$$

în care K_H este constanta Hall.

Dacă bobina și plăcuța semiconductoare sunt parcuse de același curent I , relația (12.14) devine (fig. 12.10, b):

$$e_H = K_H \cdot I^2. \quad (12.15)$$

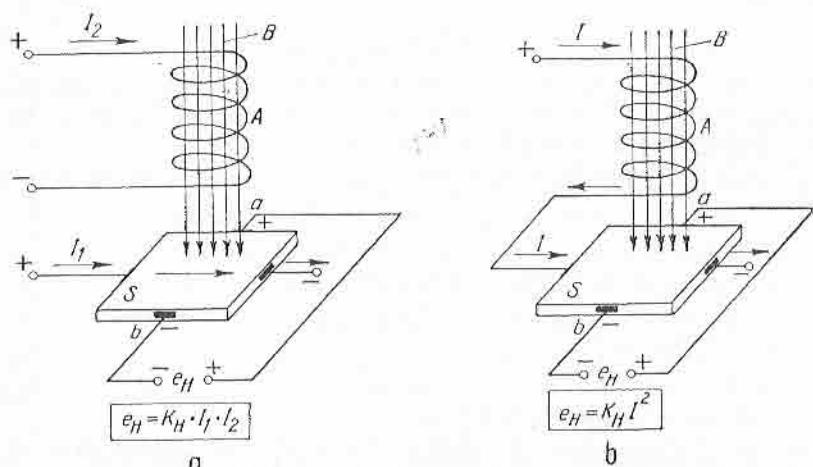


Fig. 12.10. Elementul Hall:
a – schema de principiu; b – schema de multiplicare

○ Observație. Elementul Hall poate fi folosit și ca:

- element de multiplicare a două semnale I_1 și I_2 (relația 12.14);
- element de împărțire (relația 12.14) printr-o schemă de montaj adecvată:

$$I_1 = \frac{1}{K_H} \cdot \frac{e_H}{I_2}; \quad (12.16)$$

- element de ridicare la pătrat (relația 12.15);
- element de extragere a rădăcinii pătrate (printr-o schemă de montaj adecvată):

$$I = \frac{1}{K_H} \sqrt{e_H}. \quad (12.17)$$

c. Element de înmulțire-împărțire tip ELX 230

Aparatul este destinat înmulțirii și (sau) împărțirii a doi sau trei parametri de semnal unificat, avînd în structură său un multiplicator Hall și cîteva amplificatoare.

Caracteristicile tehnice principale sănt următoarele:

- semnale de intrare (I_1, I_2, I_3); 2 ... 10 mA curent continuu;
- semnalul de ieșire (I_e) 2 ... 10 mA curent continuu;
- relația de calcul: $I_e = \frac{K_1(I_1 - 2)(I_2 - 2)}{K_2(I_3 - 2)} + 2$ mA c.c., în care

K_1, K_2 sănt coeficienți funcționali condiționați de relația: $0,5 \leq \frac{K_1}{K_2} \leq 2$;

- precizia: 0,5 ... 1%;
- rezistența de intrare: 200 Ω pentru I_1 ;
200 $K_1 \Omega$ pentru I_2 ;
200 $K_2 \Omega$ pentru I_3 ;
- rezistența de sarcină: 0 ... 3 000 Ω ;
- alimentarea: $220 \pm 10\%$ V; 50 sau 60 Hz;
- puterea consumată: 15 VA.

d. Element de împărțire tip ELX 231

Aparatul este destinat împărțirii a doi parametri de semnal unificat; el cuprinde un element Hall, trei stabilizatoare (H 52) și un amplificator de c.c. cu chopper (H 631) — figura 12.11. După cum se observă, elementul (multiplicatorul) Hall este plasat în circuitul de reacție, efectuind astfel multiplicarea semnalului de reacție cu cel de-al doilea semnal de intrare. În acest mod, se obține la ieșire un semnal de curent proporțional cu raportul între semnalele de intrare. Stabilizatoarele de pe circuitele de intrare au rolul de a elimina zeroul viu (- 2 mA), iar cel de pe circuitul de ieșire de a adăuga această valoare (+2 mA).

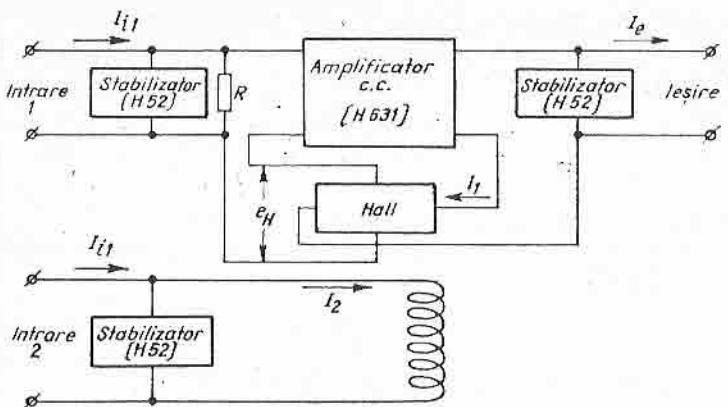


Fig. 12.11. Schema bloc a elementului de împărțire tip ELX 231.

Caracteristicile tehnice principale sunt următoarele:

- semnalele de intrare (I_1 și I_2): 2 ... 10 mA c.c.;
- semnalul de ieșire (I_e): 2 ... 10 mA c.c.;
- relația de calcul: $I_e = K \frac{I_1 - 2}{I_2 - 2} = 2$ (mA), unde $K = 0,5 \dots 1$.

○ **Atenție!** Pentru $K = 0,5$, I_1 și I_2 pot lua orice valori, dar pentru $K = 1$ se impune $I_1 \leq I_2$;

- precizia: 1%;
- rezistență de intrare: 1 200 Ω ;
- rezistență de sarcină: 0 ... 3 000 Ω ;
- alimentarea: 220 V $\pm 10\%$; 50 sau 60 Hz;
- puterea consumată: 10 VA.

D. CONCEPTE DE UTILIZARE A CALCULATOARELOR ÎN CONDUCEREA PROCESELOR

1. Introducere

Pentru aceleasi configurații ale sistemului calculator-om-proces, funcția calculatorului în conducerea proceselor poate fi diferită, în sensul că acesta poate prelua mai mult sau mai puțin din sarcinile unor ele-

mente convenționale din conducerea procesului. De exemplu, așa cum va rezulta din cele ce urmează, calculatorul poate impune numai valoarele de consum (referință) ale regulatorilor automate (v. cap. 6 și 9) sau poate prelua integral funcțiunile acestora, regulațoarele respective fiind eliminate. Astfel, în actualul stadiu de dezvoltare a tehnicii, se aplică următoarele concepte în ceea ce privește folosirea calculatoarelor în conducerea proceselor:

- regim „ghid operator“;
- control (supraveghere) centralizat;
- comenzi de referință;
- optimizare;
- conducerea numerică directă (CND).

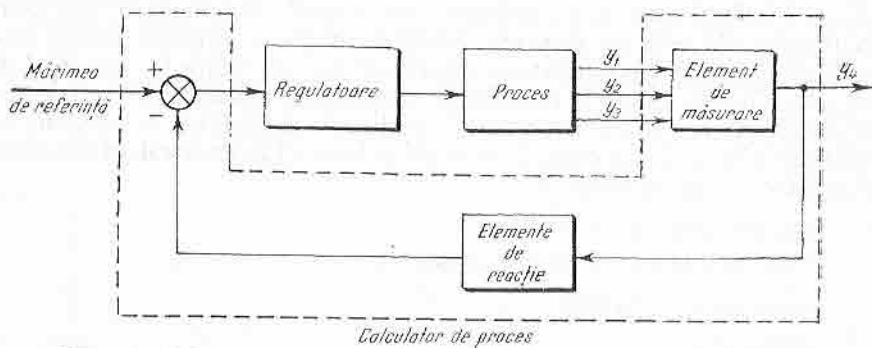
2. Funcția de „ghid operator“

În cazul în care omul se interpone în circuitul de comandă al procesului, fie că este vorba de o configurație „off-line“ sau „in-line“, calculatorul — prin prelucrarea parametrilor din proces și pe baza programului stabilit — are funcția de a stabili („a ghida“) modul în care trebuie condus procesul. Ca urmare, funcția calculatorului este aceea de ghid operator, el putând fi în acest caz fie un calculator universal, fie unul specializat, funcționând cu divizarea timpului.

3. Funcția de control centralizat

Această funcție presupune utilizarea unui calculator specializat conectat „on-line“ în circuit deschis, care are rolul de a recepționa, prelucra, înregistra sau afișa un număr bine stabilit de parametri, eventual de a semnaliza optic și acustic ieșirea din limite a anumitor parametri.

Acest tip de calculator (de proces) conectat „on-line“ funcționează deci un timp real deservind o anumită instalație tehnologică. Industria românească (IEA) realizează un asemenea tip de calculator de proces denumit MCC 200 și cunoscut sub numele de „instalație de control centralizat“. Numărul parametrilor controlați este de 200. Conectarea acestui calculator la parametrii din proces se realizează, așa cum rezultă din anexa 1 (schema generală a sistemului electronic unificat „ε“), prin intermediul unor elemente de calcul dintre cele descrise în paragraful C (ALI 103; ELX 210; ELX 220 etc.).



[Fig. 12.12. Calculator având funcția de comandă a mărimilor de referință.

4. Funcția de comandă a mărimilor de referință

În această situație (fig. 12.12) instalația tehnologică este prevăzută cu regulatoare automate proprii pentru diversele variabile y_1, y_2, y_3 , iar calculatorul de proces — pe baza valorii unui parametru general y_4 — modifică mărimile de referință (de intrare) ale regulatoarelor (v. cap. 6 și 9).

Sistemul de conectare a calculatorului pentru acest mod de funcționare este „on-line” cu circuit închis.

5. Funcția de optimizare

Conducerea optimală prin calculator constituie forma cea mai avansată de automatizare complexă „on-line” cu circuit închis. Un asemenea mod de conducere ține seamă de implicațiile economice globale ale acțiunii de conducere. În felul acesta calculatorul urmărește scopuri finale cum ar fi exemplu beneficiul maxim sau volumul maxim de producție, bineînțeles în cadrul unor condiții restrictive, ca de exemplu prețul de cost sau alți indici de calitate.

Schema principală a unei automatizări complexe cu funcția de optimizare este prezentată în figura 12.13.

Calculatorul primește informații de la intrarea (parametrii materialului și ai energiei) și de la ieșirea procesului (parametrii produsului) precum și de la proces (instalația tehnologică de producție). Totodată procesului îl se impune și un program de conducere în care sunt incluse

criteriile de optimizare inclusiv restricțiile impuse. Conducerea optimală se efectuează de obicei pe baza unui model matematic al procesului care reprezintă de fapt relațiile matematice existente între parametrii procesului în regim dinamic și staționar.

Conducerea optimală prin calculator comportă trei funcții (etape) de calcul distincte dar corelate: identificarea, optimizarea și comanda.

• **Identificarea.** Etapa de identificare, denumită uneori și *modelul stării prezente*, constă în determinarea („identificarea”) valorilor curente ale tuturor variabilelor independente și dependente din proces.

Identificarea este punctul de plecare necesar pentru funcția de optimizare.

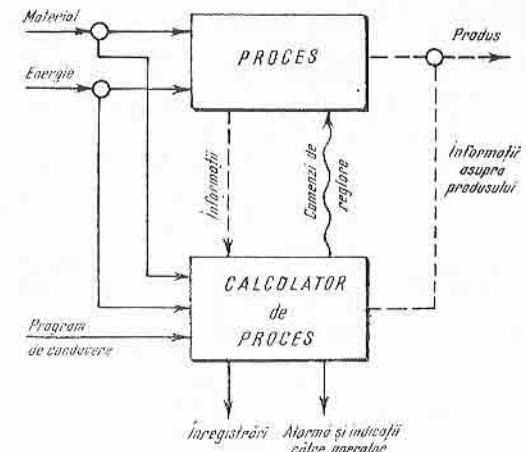
• **Optimizarea.** Pe baza modelului matematic impus și a modelului stării prezente (identificate), se efectuează calculul de optimizare pentru determinarea valorilor necesare variabilelor de conducere (comandă).

• **Conducerea.** Din punctul de vedere al valorilor de funcționare al variabilelor din proces, calculul de identificare răspunde la întrebarea: „În ce stare se află procesul?”, iar calculul de optimizare răspunde la întrebarea: „În ce stare ar trebui el să fie?”. Calculul de conducere răspunde la întrebarea: „Cum se aduce procesul din situația în care este în cea care ar trebui să fie?”. Așadar sarcina conducerii este de a determina strategia necesară pentru a ghida procesul (printr-o serie de comenzi de reglare) din regimul de funcționare real spre regimul optim dorit.

Totodată calculatorul de proces transmite o serie de înregistrări, semnalizări sau indicații către operator asupra parametrilor din proces.

6. Funcția de conducere numerică directă (CND)

După cum a rezultat din capitolele 6 și 9 variabilele principale ale procesului se regleză cu ajutorul sistemelor de reglare automate (SRA), adică cu ajutorul regulatoarelor. În cadrul funcției de conducere nu-



[Fig. 12.13. Conducerea optimală cu calculator.

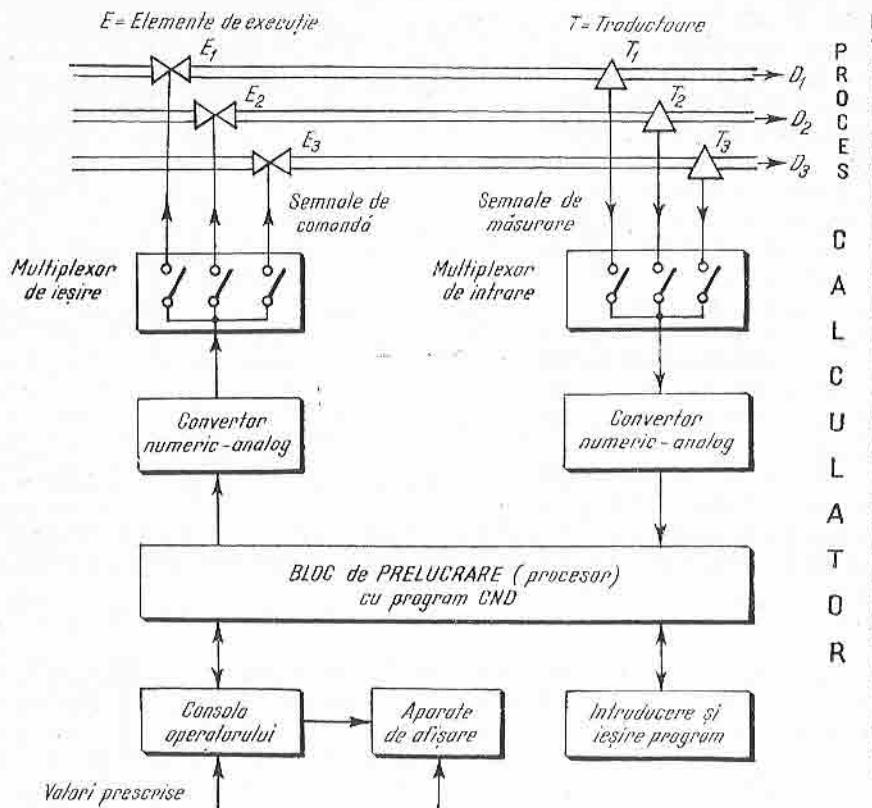


Fig. 12.14. Conducerea numerică directă cu calculator.

merică directă (CND) prin calculator, o mare parte din echipamentul analogic precum și sistemele de reglare convenționale (regulatoarele) sunt eliminate, atribuțiile respective fiind preluate de către calculatorul de proces. Problemele generale de reglare (stabilitate performanță, răspuns indicial etc.) tratate în capitolele 6 și 9 rămân valabile și în acest caz, însă cu aplicație nu la regulațoarele obișnuite, ci la structurile incluse în calculator. În figura 12.14 se dă un exemplu de CND pentru trei debite de substanță, dintr-un proces oarecare.

După cum se observă, funcția de CND constituie o conectare „on-line” cu circuitul închis a unui calculator de proces. Valorile parametrilor măsuzați prin intermediul traductoarelor sunt aplicate ciclic printr-un multiplexor de intrare unui convertor analog-numeric care le introduce

în blocul de prelucrare cu program CND. Acesta, primind programul de lucru (de exemplu răspunsul indicial și ecuația de funcționare a SRA — v. cap. 9) precum și alte valori prescrise introduse prin consola operatorului uman, elaborează mărimele de comandă care sunt mărimi numerice. Aceste mărimi convertite în formă analogică sunt distribuite prin multiplexorul de ieșire elementelor de execuție E.

E. EXEMPLE DE PROCESĂ INDUSTRIALE CONDUSE CU CALCULATOARE

În prezent, calculatoarele de proces și-au găsit practic aplicație în toate domeniile industriale.

1. Industria petrolieră

- **Conducerea cîmpurilor de sonde** se poate realiza printr-un calculator de proces folosind sisteme telemecanice (v. cap. 10) care determină debitul de extragere, determinînd volumele de apă, țărei și gaz precum și timpul de producție al sondelor și conduce instalația de epurare, măsurare și transportul țărei brut pe conductă etc.

- **În rafinarea petrolului**, care cuprinde distilarea brută, cracarea catalitică și reformarea catalitică, se folosesc calculatoare de proces în funcționare „on-line” cu optimizare.

- **În exploatarea conductelor și stațiilor de pompare finală** se poate folosi conducerea prin calculator.

2. Industria chimică

- **În producerea acetilenei** se pot folosi calculatoare pentru optimizare care să asigure beneficiul maxim în cadrul mai multor restricții: debit maxim, viteza de formare a coalsului în cuptor și temperaturile la suprafețele exterioare ale tuburilor cuptorului. Calculatorul poate determina, de asemenea, randamentul maxim al compresoarelor, poate îmbunătăți performanțele în secția de hidrogenare a acetilenei; în sfîrșit, calculatorul poate stabili temperatura optimă a gazelor din cuptor în funcție de depunerile de coal pe tubulatura cuptorului.

- **În producerea amoniacului**, calculatorul conduce producția subunităților (reformatoare) pentru obținerea catalitică a hidrogenului, azotului și bioxidului de carbon; de asemenea, conduce secția de purificare

(eliminare CO) și pe cea de sinteza a amoniacului (de exemplu, calculatorul ajustează raportul dintre hidrogen și azot la variațiile de funcționare ale convertorului).

3. Industria energetică

• Conducerea cu calculatoare a centralelor termoelectrice are ca obiective: economia de combustibil, securitatea în funcționare, reducerea timpilor de oprire, conducerea procesului de pornire și oprire etc.

• Conducerea centralelor nucleare-electrice cu ajutorul calculatoarelor atât în perioadele de încercare (6–18 luni), cât și în exploatare, are în vedere atât aspectul economic cât și pe cel privind securitatea muncii în asemenea instalații.

• În centralele hidroelectrice, funcțiile calculatoarelor sunt acelea de supraveghere a elementelor hidrocentralei, conducere secvențială a pornirii și oprii grupurilor, utilizare optimală a apei în funcție de debit, de nivel și de cererile de putere etc.

• În sistemul electroenergetic, calculatorul se folosește, în combinație cu sistemele telemecanice, pentru reglarea frecvență-putere ținând seamă de circulația optimală a puterilor de schimb pe linii (minimizarea pierderilor de putere și a căderilor de tensiune).

4. Industria siderurgică și metalurgică

• În industria oțelului, conducerea cu calculator se aplică începînd cu minele de extracție, fiind practicată apoi la producerea fontei, la aglomerare, la conducerea furnalului înalt, la elaborarea oțelurilor, turnarea continuă, la laminare etc.

• În industria metalelor neferoase se utilizează calculatoare la flotația minereurilor, la conversia cuprului, la reducerea electrolytică a aluminei etc.

5. Industria cimentului

Calculatorul poate fi folosit la amestecarea și măcinarea materiilor prime și obținerea clincherului în cuptoarele rotative.

6. Industria hîrtiei

Calculatorul se utilizează în conducerea proceselor de fierbere a pastei de celuloză, de regenerare și recirculare a substanțelor chimice, de albire dar mai ales în fabricarea fibrei de hîrtie.

7. Alte industrii

Calculatoarele de proces își găsesc astăzi cîmp larg de aplicare, practic, în toate activitățile industriale și economice. Astfel, în industria ușoară la rafinarea zahărului, la diverse proceze de uscare și coacere, în procesul de obținere a viscozei, la vopsirea textilelor, la dirijarea circulației în transporturi aeriene, navale și rutiere etc. De asemenea, calculatoarele sunt folosite în cercetare și proiectare, în speță în cercetări aerospațiale, în științele fizice, în biomedicină și în diferite alte domenii.

REZUMAT

1. Conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor reprezintă cea mai avansată formă de organizare a producției.
2. Configurațiile sistemelor calculator-om-proces sunt: „off-line”, „in-line” sau „on line” (cu circuit deschis sau închis).
3. Pentru adaptarea mărimilor din proces la cele necesare calculatorului, se folosesc o serie de echipamente de intrare-iesire, cum sunt: convertoarele (numeric-analogice și analog-numerice), multiplexoarele, elementele de calcul etc.
4. În conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor acestea indeplinesc diferite funcții, cum sunt:
 - regim de „ghid operator”;
 - control (supraveghere) centralizat;
 - comenzi de referință;
 - optimizare;
 - conducere numerică directă (CND).
5. Industria românească (IEA) realizează o serie de elemente de calcul (tipurile ELX) precum și un calculator de proces pentru control centralizat denumit MCC 200.
6. Calculatoarele de proces își găsesc o largă aplicație în toate activitățile industriale și economice.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

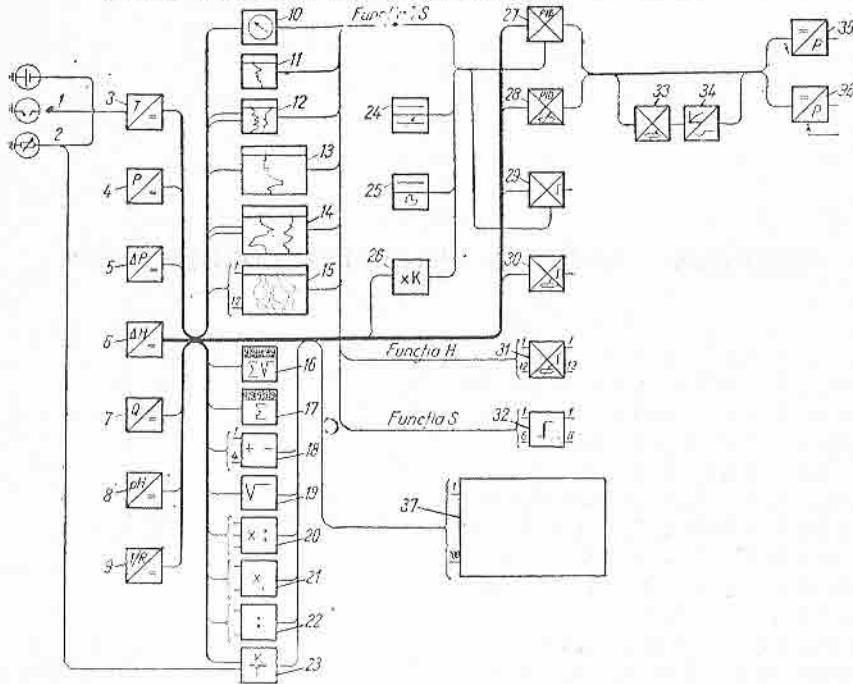
1. În conducerea „off-line” a procesului prin calculator, operatorul uman:
 - a) este complet înlocuit?
 - b) este plasat numai în circuitul de comandă?
 - c) este plasat integral între proces și calculator?

2. În conducerea „on-line“ a procesului prin calculator, informațiile de măsurare sunt introduse:
- direct în calculator?
 - operate în mod continuu de către om?
 - introduse periodic în calculator prin divizarea timpului?
3. Funcția de control centralizat se realizează prin conectarea proces-calculator în regim:
- „off-line“?
 - „in-line“?
 - „on-line“?
4. În cazul folosirii calculatorului pentru comenzi de referință, regulatoarele automate:
- sunt eliminate complet?
 - sunt eliminate parțial?
 - rămân în funcțiune?
5. Prin conducerea numerică directă, calculatorul îndeplinește și funcția de:
- reglare?
 - execuție?
 - măsurare?

RĂSPUNSURI EXACTE LA VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

Capitolul 1: 1, b; 2, c; 3, c; 4, b
Capitolul 2: 1, b; 2, c; 3, b; 4, a; 5, c; 6, c
Capitolul 3: 1, b; 2, a; 3, c
Capitolul 4: 1, c; 2, c; 3, b; 4, c
Capitolul 5: 1, b; 2, a; 3, c
Capitolul 6: 1, c; 2, a; 3, c; 4, b; 5, b; 6, b.
Capitolul 7: 1, b; 2, c; 3, a; 4, a; 5, c
Capitolul 8: 1, c; 2, a; 3, c; 4, b; 5, c
Capitolul 9: 1, b; 2, a; 3, b; 4, c; 5, a; 6, b; 7, a; 8, b.
Capitolul 10: 1, b; 2, a; 3, c; 4, c
Capitolul 11: 1, a; 2, a; 3, b; 4, a.
Capitolul 12: 1, c; 2, a; 3, c; 4, c; 5, a.

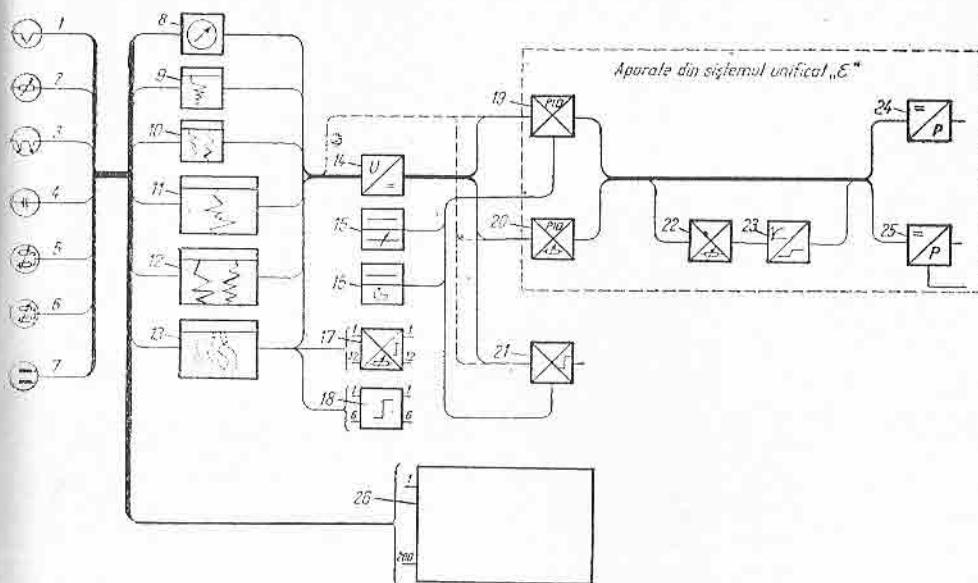
SCHEMA GENERALĂ A SISTEMULUI ELECTRONIC UNIFICAT „E”



- 1 TERMOCUPLURI
- 2 TERMOREZISTENTE
- 3 ADAPTOARE ELT 160 ELT 161
- 4 TRADUCTOARE DE PRESIUNE AT(10, 20, 40) /ELT 370
- 5 TRADUCTOARE DE PRESIUNE DIFERENTIALĂ EFL 271/ELT 370 AT 30/ELT 370
- 6 TRADUCTOR DE NIVEL AT 50/ELT 370
- 7 TRADUCTOARE DE DEBIT FL 281/BLT 530 DR 100/ELT 310
- 8 TRADUCTOARE DE pH W(62, 63, 64) /ELT 630
- 9 TRADUCTOR DE CONDUCTIVITATE W 44/ELT 730
- 10 INDICATOR ELECTRONIC ELR 10
- 11 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC ELR 35
- 12 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC DUBLU ELR 45
- 13 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MARE ELR 36
- 14 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MARE, DUBLU ELR 46
- 15 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MULTIPUNCT ELR 36(A)
- 16 ÎNTÉGRATOR DE RĂDĂCINĂ PĂTRATĂ ELI 103
- 17 ÎNTÉGRATOR LINIAR ELI 112

- 18 ELEMENT DE ADUNARE-SCĂDERE ELX 211
- 19 EXTRACTOR DE RĂDĂCINĂ PĂTRATĂ ELX 220 ELX 221
- 20 ELEMENT DE ÎNMULTIRE - ÎMPĂRTIRE ELX 230
- 21 ELEMENT DE ÎMPĂRTIRE ELX 231
- 22 ELEMENT DE ÎNMULTIRE ELX 241
- 23 ELEMENT DE COMPENSAREA TEMPERATURII ELX 420
- 24 ELEMENT DE REFERINȚĂ ELX 115
- 25 PROGRAMATOR CICLIC ELX 73
- 26 ELEMENT DE RAPORT ELX 126
- 27 REGULATOR ELECTRONIC PI/PID ELC 111
- 28 REGULATOR ELECTRONIC PI/PID ELC 113
- 29 REGULATOR BIPOZITIONAL ELX 75
- 30 REGULATOR TRIPOLITONAL ELX 176
- 31 REGULATOR BIPOZITIONAL MULTIPUNCT X 74
- 32 ELEMENT DE SEMNALIZARE MULTIPUNCT X 71
- 33 ELEMENT DE COMANDĂ MANUALĂ ELX 127 ELX 130
- 34 ELEMENT DE LIMITARE ELX 117
- 35 CONVERTOR ELECTRO-PNEUMATIC ELA 104
- 36 POSITIONER ELECTRO-PNEUMATIC ELA 114
- 37 INSTALAȚIE DE CONTROL CENTRALIZAT MCC 200

SCHEMA GENERALĂ A SISTEMULUI ELECTRONIC NEUNIFICAT



1 TERMOCUPLURI

2 TERMOREZISTENTE

3 PIROMETRU DE RADIAȚIE K 42 – K 56

4 SURSE DE 2mV c.c.

5 DETECTOR DE RAPORT MOLAR U 121

6 DETECTOARE DE UMIDITATE U 21, U 22/U 23

7 DETECTOR DE CONCENTRAȚIE W 16

8 INDICATOR ELECTRONIC E 10

9 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC E 35

10 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC DUBLU E 45

11 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MARE E 36

12 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MARE, DUBLU E 46

13 ÎNREGISTRATOR ELECTRONIC MULTIPUNCT E 36 (A)

14 CONVERTOR DE SEMNALE ELX 120

15 ELEMENT DE REFERINȚĂ ELX 115

16 PROGRAMATOR CICLIC ELC 73

17 REGULATOR BIPOZITIONAL MULTIPUNCT X 74

18 ELEMENT DE SEMNALIZARE MULTIPUNCT X 71

19 REGULATOR ELECTRONIC PI/PID ELC 111

20 REGULATOR ELECTRONIC PI/PID ELC 113

21 REGULATOR BIPOZITIONAL X 75

22 ELEMENT DE COMANDĂ MANUALĂ ELX 127

23 ELEMENT DE LIMITARE ELX 117

24 CONVERTOR ELECTRO-PNEUMATIC ELA 104

25 POZITIONER ELECTRO-PNEUMATIC ELA 114

26 INSTALAȚIE DE CONTROL CENTRALIZAT MCC 200

CUPRINS

PARTEA ÎNȚI

Elementele sistemelor automate

- Cap. 1. *Introducere în automatiză* — 3
 - A. Obiectul și importanța automatizării — 3
 - B. Necesitatea și avantajele automatizării producției — 8
 - C. Fazele evolutive ale proceselor de producție — 9
 - D. Realizări în domeniul automatizărilor în R.S.R. — 11
 - E. Elementele componente ale sistemelor automate — 13
- Cap. 2. *Traductoare* — 15
 - A. Noțiuni generale — 15
 - B. Convertetoare — 19
 - C. Adaptoare — 23
 - D. Tipuri de traductoare — 29
- Cap. 3. *Amplificatoare* — 47
 - A. Noțiuni generale — 47
 - B. Amplificatoare electronice — 51
 - C. Amplificatoare pneumatice și hidraulice — 54
- Cap. 4. *Relee* — 57
 - A. Noțiuni generale — 57
 - B. Relee electrice cu contact — 61
 - C. Relee electrice fără contact (relee statice) — 62
 - D. Relee de mărimi neelectrice — 63
- Cap. 5. *Elemente de execuție* — 66
 - A. Noțiuni generale — 66
 - B. Elemente de execuție electrice — 68
 - C. Elemente de execuție pneumatice — 68
 - D. Elemente de execuție hidraulice — 70

Cap. 6. Regulatoare — 71

- A. Noțiuni generale — 71
- B. Regulatoare cu acțiune continuă — 73
- C. Regulatoare specializate și regulațioare unificate — 82
- D. Regulatoare electronice, pneumatice, hidraulice — 85
- E. Alegerea și acordarea regulațioarelor — 93

PARTEA A DOUA

SISTEME DE AUTOMATIZARE

Cap. 7. Sisteme de măsurare și control automat — 100

- A. Noțiuni generale — 100
- B. Prezentarea valorii mărimilor măsurate — 101
- C. Aparate electronice de măsurare în sistemul E (IEA) — 109
- D. Exemple de sisteme de măsurare și control automat — 119

Cap. 8. Sisteme de comandă-semnalizare automată — 125

- A. Noțiuni generale — 125
- B. Sisteme de comandă-semnalizare automată secvențială — 127
- C. Sisteme de comandă (automată) după şablon (mașini de copiat) — 129
- D. Sisteme de comandă — program numerică — 131

Cap. 9. Sisteme de reglare automată — 138

- A. Noțiuni fundamentale privind sistemele de reglare — 138
- B. Clasificarea SRA — 145
- C. Formele fundamentale ale variației semnalului aplicat la intrare, funcții tip pentru $x_t(t)$. Răspunsul SRA la funcțiile de intrare tip — 147
- D. Analiza SRA în domeniul timpului — 148
- E. Performanțele impuse funcționării SRA — 151
- F. Stabilitatea sistemelor de reglare automată — 156

Cap. 10. Telemecanică — 161

- A. Noțiuni generale — 161
- B. Funcțiunile telemecanicii — 162
- C. Structura aparatului de telemecanică — 164

D. Telemăsurarea — 168

E. Telecomanda — 174

F. Cerințe impuse aparatului de telemecanică — 178

PARTEA A TREIA

FOLOSIREA CALCULATOARELOR ÎN AUTOMATIZĂRI

Cap. 11. Calculatoare electronice — 180

- A. Considerații generale — 180
- B. Calculatoare analogice — 180
- C. Calculatoare numerice — 183

Cap. 12. Conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor — 192

- A. Considerații generale — 192
- B. Configurația sistemelor calculator-om-proces — 193
- C. Echipament de intrare-iesire — 195
- D. Concepte de utilizare a calculatoarelor în conducerea proceselor — 206
- E. Exemple de procese industriale conduse cu calculatoare — 211