

3

TRADUCTOARE SI ADAPTOARE,

3.1. TRADUCTOARE

Traductoarele sunt elemente de automatizare care sesizează și transformă mărimea de măsurat (de ieșire a procesului) într-un semnal mai convenabil, de obicei de altă natură fizică. În practica industrială sunt acceptate două interpretări asupra noțiunii de traductor: una în care traductorul este echivalentul senzorului (detectorului, elementului primar sau sensibil), cealaltă în care traductorul este echivalentul ansamblului senzor-adaptor. Prima interpretare se utilizează mai ales în cazurile în care senzorul și adaptorul sunt situate la mare distanță între ele. Când senzorul și adaptorul sunt elemente din componența unui singur aparat, se utilizează de obicei cea de-a doua interpretare. Apariția așa numitelor “traductoare inteligente”, care încorporează alături de senzor și circuite electronice cu microprocesor pentru conversia, prelucrarea și transmisia numerică a datelor, a contribuit la extinderea celei de-a doua interpretări a conceptului de traductor.

3.1.1. Clasificare, caracteristici generale, cerințe

Traductoarele pot fi clasificate după mai multe criterii.

După *tipul mărimii de intrare*, traductoarele pot fi de presiune, debit, temperatură, nivel, forță, viteză, densitate, concentrație etc.

După *natura fenomenului* care stă la baza funcționării lor, traductoarele pot fi electronice, pneumatice, mecanice, hidraulice, cu radiații etc.

Din punct de vedere energetic, traductoarele sunt *generatoare* sau *parametrice*. Energia semnalului de ieșire al traductoarelor generatoare este preluată în totalitate din energia mediului măsurat (cazul termocuplului – pentru măsurarea temperaturii, plutitorului – pentru măsurarea nivelului, tubului manometric – pentru măsurarea presiunii, tahogeneratorului sincron sau de curent continuu – pentru măsurarea vitezei de rotație, diafragmei – pentru măsurarea debitului etc). Traductoarele parametrice sunt, de regulă, de

natură electrică și se caracterizează prin variația unui parametru electric (rezistență, capacitate, inductanță).

Deoarece valoarea semnalului de ieșire al unui traductor constituie o măsură a valorii mărimii măsurate, traductorul este un element de *tip proporțional* (niciodată de tip integral sau derivativ), având caracteristica statică, de preferință, cât mai liniară. Intervalul în care se realizează operația de transformare („traducere”), cuprins între o limită minimă x_m și o limită maximă x_M de variație a mărimii măsurate x reprezintă *domeniul de măsurare* al traductorului.

Pentru aprecierea performanțelor unui traductor se utilizează o serie de caracteristici tehnice, majoritatea acestora fiind însă valabile și pentru celelalte elemente din componența unui sistem de măsurare sau chiar pentru întregul sistem de măsurare.

1. *Pragul de insensibilitate (rezoluția)* reprezintă cea mai mică variație a mărimii de intrare care produce o variație sesizabilă asupra mărimii de ieșire;

2. *Sensibilitatea* într-un punct al domeniului de măsurare reprezintă panta tangentei duse la caracteristica statică în punctul respectiv, adică raportul dintre variația mărimii de ieșire și cea a mărimii de intrare.

3. *Liniaritatea* exprimă proprietatea traductorului de a avea o caracteristică statică cu forma cât mai liniară. La un traductor cu caracteristica statică perfect liniară, sensibilitatea are aceeași valoare în toate punctele domeniului de măsurare.

4. *Unidirecționalitatea* este proprietatea traductorului de a nu modifica valoarea mărimii măsurate, în urma conectării acestuia la mediul de măsurat.

5. *Reproductibilitatea (repetabilitatea)* este proprietatea de a se obține rezultate cât mai apropiate în cazul repetării, în condiții identice, a operației de măsurare;

6. *Fidelitatea* este proprietatea de a se obține rezultate cât mai puțin influențate de acțiunea factorilor perturbatori interni și externi. Utilizarea unui *raport semnal util-zgomot* cu valoarea cât mai mare duce la creșterea fidelității. Trecerea de la semnalul util unificat 2...10 mA la actualul semnal unificat 4...20 mA constituie un exemplu semnificativ în acest sens.

7. *Timpul de răspuns (durata regimului tranzitoriu)* reprezintă timpul de stabilizare a mărimii de ieșire la o variație bruscă, sub formă de treaptă, a mărimii de intrare.

8. *Precizia* exprimă gradul de exactitate al operației de măsurare. De remarcat faptul că precizia unui aparat depinde de toate celelalte caracteristici menționate mai sus.

9. *Fiabilitatea* reprezintă proprietatea traductorului de a-și îndeplini funcția, în limita unor performanțe impuse și în condiții de exploatare date, într-un interval de timp cât mai mare.

10. *Simplitatea* în construcție, funcționare și exploatare.

11. *Robustețea* la șocuri și vibrații mecanice.

12. *Interschimbabilitatea*.

13. *Mentenanța (întreținerea)*.

14. *Prețul de cost*.

Precizia unui traductor în regim staționar se poate determina prin compararea caracteristicii statice reale cu caracteristica ideală (exactă). Atunci când traductorul se găsește conectat la un adaptor, interesează în mod special precizia ansamblului traductor-adaptor, dependentă atât de precizia traductorului, cât și de cea a adaptorului. Rolul adaptorului nu se reduce la generarea semnalului unificat 4...20 mA, acestuia revenindu-i și rolul de a compensa neliniaritatea traductorului, astfel încât caracteristica statică a ansamblului traductor-adaptor să fie cât mai liniară. În plus, adaptorul are rolul decisiv în stabilirea domeniului de măsurare, care însă nu trebuie să depășească domeniul admisibil de funcționare al traductorului.

Diferența (abaterea) e_a dintre valoarea efectivă x a mărimii măsurate și valoarea exactă (ideală) x_{id} a acesteia, $e_a = x - x_{id}$, reprezintă *eroarea absolută*. Prin raportarea erorii absolute la valoarea mărimii măsurate se obține *eroarea relativă*, $e_r = e_a/x$, iar prin raportarea erorii absolute la lungimea $x_M - x_m$ a domeniului de măsurare se obține *eroarea normată*

$$e_n = \frac{e_a}{x_M - x_m}. \quad (3.1)$$

Valoarea procentuală a modulului erorii normate nu depășește clasa de precizie C_p a sistemului de măsurare, adică

$$100|e_n| \leq C_p. \quad (3.2)$$

Clasele de precizie sunt standardizate: $C_p = 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5$. Din relația

$$100|e_a| \leq C_p(x_M - x_m),$$

se constată că pentru un aparat cu o clasă de precizie dată, eroarea absolută este cu atât mai redusă cu cât domeniul de măsurare este mai mic. În plus, pentru ca eroarea relativă să fie mică se recomandă ca valorile mărimii măsurate să se găsească în ultima treime a domeniului de măsurare.

Erorile de măsurare pot fi *sistematice, întâmplătoare sau grosolane*.

Erorile sistematice sunt cauzate de legi bine determinate și, în general, ușor de evidențiat. Aceste erori se pot elimina prin reglarea și etalonarea

corectă a traductorului, prin înlăturarea defectelor constructive, a factorilor perturbatori etc.

Erorile întâmplătoare (aleatoare) sunt determinate de cauze care nu pot fi identificate. Pentru eliminarea lor se utilizează ipoteza, conform căreia erorile urmăresc o lege de distribuție normală, valoarea lor medie fiind nulă.

Erorile grosolane sunt cele care provin din manipulări greșite, alegerea nepotrivită a traductorului, nesesizarea schimbării regimului de lucru etc.

3.1.2. Traductoare de temperatură

Traductoarele de temperatură au la bază diferite efecte fizice determinate de modificarea temperaturii, cum sunt: variația tensiunii electromotoare la joncțiunea a două metale diferite, variația rezistenței electrice a unor conductoare sau semiconductoare, dilatația corpurilor lichide sau solide, variația presiunii vaporilor în echilibru, variația frecvenței de rezonanță a unui cristal de cuarț, variația intensității și frecvenței radiațiilor termice etc.

Intervalele de lucru ale traductoarelor mai sus enumerate acoperă întreaga gamă a aplicațiilor industrial științifice, de la $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ la peste $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Traductoare termogeneratoare

Aceste traductoare sunt cunoscute în practică sub denumirea de termocupluri. Ele se compun din doi electrozi din metale pure sau aliaje cu electronegativități cât mai diferite, sudați la unul din capete (fig. 3.1). Punctul

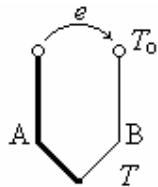


Fig. 3.1. Termocuplu

de sudură al electrozilor, numit punctul „cald”, se găsește la temperatura T a mediului de măsurat, iar capetele libere, numite și „reci”, se găsesc ambele la aceeași temperatură T_0 . Pentru a nu fi expuși acțiunii mediului a cărui temperatură se măsoară, electrozii termocuplului sunt introduși într-o

teacă de protecție confecționată din cupru, oțel sau material ceramic.

Datorită concentrației diferite de electroni liberi ai celor doi electrozi, în punctul de joncțiune are loc un fenomen de difuzie a electronilor, care generează un câmp electric caracterizat printr-o tensiune electromotoare e , aproximativ proporțională cu diferența dintre temperatura punctului cald și temperatura capetelor reci:

$$e \cong \alpha_{AB}(T - T_0). \quad (3.3)$$

Deoarece valoarea coeficientului Seebeck α_{AB} este ușor dependentă de diferența de temperatură $T - T_0$, caracteristicile statice ale termocuplurilor sunt ușor neliniare.

În fig. 3.2 sunt reprezentate caracteristicile statice ale termocuplurilor fier-constantan (curba 1), cromel-alumel (curba 2) și platină-platină rodiu (curba 3). În cazul termocuplului fier-constantan, sensibilitatea variază ușor crescător cu diferența de temperatură $T-T_0$, având valoarea medie 5,4 mV/100 °C pe intervalul 0...100°C și 6,1 mV/100 °C pe intervalul 600...700°C. Pentru ca ansamblul termocuplu-adaptor să aibă caracteristica statică liniară, adaptorul trebuie să aibă caracteristica statică opus neliniară.

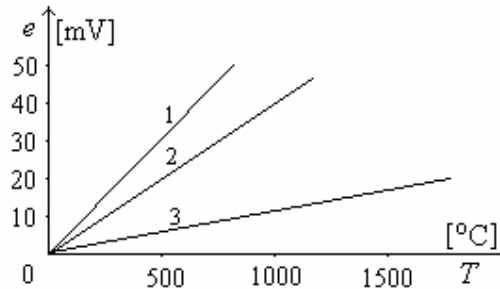


Fig. 3.2. Caracteristicile statice ale termocuplurilor uzuale

Pentru obținerea unei tensiuni dependente numai de temperatura T a mediului de măsurat, în practică se adoptă următoarea soluție:

a) cu ajutorul unui *cablu de compensare*, format din materiale identice cu ale electrozilor termocuplului (la termocupluri din materiale obișnuite) sau din materiale cu proprietăți termoelectrice asemănătoare materialelor electrozilor (la termocuplurile din materiale nobile), se prelungesc electrozii termocuplului până în camera de măsurare, unde se află instalat adaptorul;

b) se compensează temperatura din camera de măsurare, prin înserierea termocuplului cu diagonala de măsurare a unei punți electrice, având într-un braț o rezistență R_T din cupru sau nichel, dependentă de temperatura T_0 din camera de măsurare (fig. 1.19.).

Comportamentul *dinamic* al unui termocuplu poate fi descris cu suficientă precizie printr-o ecuație diferențială de ordinul I:

$$T_1 \frac{de}{dt} + e = \alpha_{AB}(T - T_0). \tag{3.4}$$

În funcție de natura și dimensiunile tecii de protecție, de grosimea electrozilor și de poziția lor în interiorul tecii, constanta de timp T_1 a termocuplurilor industriale are valoarea cuprinsă între 10 și 100 secunde. În cazul proceselor termice rapide, pentru a se obține valori mai mici ale constantei de timp se adoptă soluții constructive speciale, care asigură un contact direct între punctul sudat al electrozilor și mediul de măsurat.

Montarea în instalație a termocuplului se face cu ajutorul unei flanșe sau a unui niplu filetat, sudate pe teaca de protecție. O lungime de imersie mică a

tecii de protecție influențează negativ asupra preciziei de măsurare a temperaturii.

Traductoare termorezistive

Traductoarele termorezistive funcționează pe baza variației cu temperatura a rezistenței electrice a unor metale pure sau semiconductoare.

Termorezistențele sunt traductoare termorezistive alcătuite dintr-un fir subțire de metal pur (platină, cupru, nichel etc.), bobinat neinductiv pe un suport izolator (sticlă, mică, textolit, ceramică etc.) introdus într-o teacă de protecție. De obicei se utilizează termorezistențe din *platină*, datorită avantajelor multiple pe care le prezintă platina: are punct de topire ridicat, se poate trefila la diametre mici, nu se oxidează, are o dependență aproape liniară cu temperatura:

$$R \cong R_0[1 + \alpha(T - T_0)], \quad (3.5)$$

unde R_0 reprezintă valoarea termorezistenței la temperatura de referință $T_0 = 0^\circ\text{C}$, iar α este sensibilitatea relativă medie pe intervalul $T_0 \dots T$.

Sensibilitatea relativă medie a termorezistenței din platină este de 38,5 %/100 °C în intervalul 0...100 °C, respectiv de 34 %/100 °C în intervalul 400...500 °C. Termorezistența din platină are la 0°C valori standardizate, cele mai întâlnite fiind de 50Ω și de 100Ω. Termorezistențele mai mari sunt mai scumpe, deoarece conțin o masă de platină mai mare, dar sunt mai precise, deoarece raportul dintre rezistența lor și rezistența cablului de legătură este mai mare.

Datorită diametrului foarte mic al firului de platină, termorezistența se utilizează rareori la măsurarea unor temperaturi mai mari de 400 °C, temperaturi care ar reduce substanțial durata de viață a traductorului. De remarcat faptul că prin reducerea la jumătate a diametrului firului termorezistenței, din aceeași masă de platină se pot confecționa de 16 ori mai multe termorezistențe de același tip (Pt 50 sau Pt 100).

Termorezistența se conectează în brațul unei punți electrice din circuitul adaptorului, de regulă *prin trei conductoare de legătură*. Dacă s-ar utiliza numai două conductoare de legătură la adaptor, atunci rezistența conductoarelor de legătură ar intra împreună cu termorezistența în același braț al punții, influențând starea punții și deci rezultatul măsurării. În cazul metodei de conectare cu trei fire din figura 3.3, rezistența unui conductor de legătură intră în diagonala de alimentare B_1D_1 a punții (practic neinfluențând starea punții), iar rezistențele celorlalte două conductoare de legătură intră în două

brațe adiacente ale punții (A_1B_1 și B_1C_1), compensându-se reciproc. Compensarea este mai bună în cazul unei punți simetrice (cu $R_2 = R_3$).

Uneori, rezistența fiecărui conductor de legătură este compensată suplimentar prin inseriere cu o rezistență adițională R_a , astfel încât suma dintre rezistența conductorului și rezistența adițională să aibă o valoare fixă (de exemplu, 5Ω).

Timpul de răspuns al traductorului tip termorezistență este comparabil cu cel al traductorului tip termocuplu. Pentru reducerea timpului de răspuns, firul termorezistiv este în contact cu teaca de protecție (mecanic, nu electric) prin intermediul unor lamele (aripioare) metalice.

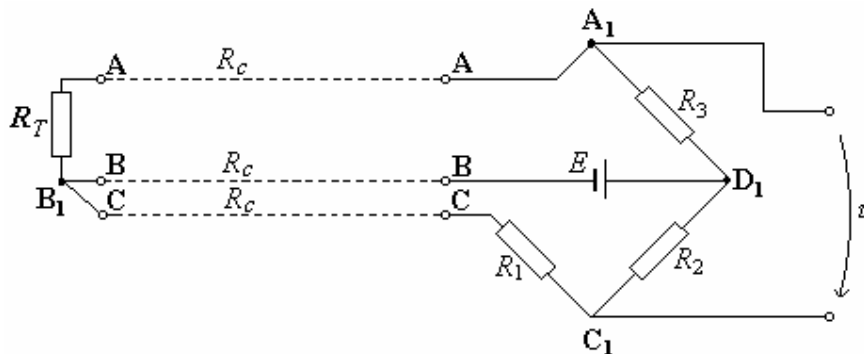


Fig. 3.3. Schema de conectare a termorezistenței cu trei fire.

Termistoarele sunt elemente semiconductoare fabricate din amestecuri de oxizi de mangan, nichel, cobalt, fier, cupru etc., sinterizate la temperaturi înalte (peste 1000°C) sub formă de plăcuțe, pastile sau baghete, cu dimensiuni care variază de la câteva sutimi de mm până la câțiva cm.

Rezistența electrică R a termistoarelor variază invers cu temperatura, după o lege exponențială de forma:

$$R = R_0 e^{a(1/T - 1/T_0)}, \quad a > 0. \quad (3.6)$$

Sensibilitatea termistoarelor este mult mai mare decât cea a termorezistențelor. Domeniul de lucru utilizabil în practică este cuprins între -100 și 300°C .

Caracteristicile statice ale termistoarelor depind în mare măsură de compoziția și tratamentul de fabricație. Acest fapt, la care se adaugă forma puternic neliniară a caracteristicii statice, crează probleme în fabricarea a două termistoare cu caracteristici statice foarte apropiate. În plus, caracteristicile termoelectrice ale termistoarelor sunt mai puțin stabile în timp decât cele ale termorezistențelor.

Traductoare bazate pe dilatarea corpurilor

Traductoarele bazate pe *dilatarea corpurilor solide* (aluminiu, alamă etc.) transformă temperatura T a mediului în care sunt introduse într-o deplasare mecanică ΔL , obținută prin dilatarea sau contractia corpurilor sub influența temperaturii de măsurat, conform relației:

$$\Delta L = L_0 \alpha (T - T_0), \quad (3.7)$$

unde L_0 reprezintă lungimea corpurilor la temperatura T_0 , iar α -coeficientul mediu de dilatare liniară în intervalul de temperatură $T_0 \dots T$.

În practică, de o largă utilizare se bucură traductoarele *bimetalice* sub formă de lamele simple, spirale sau elicoidale, confecționate din aliaje metalice cu coeficienți de dilatare cât mai diferiți (de exemplu, din invar și alamă), sudate între ele prin presare la cald. La creșterea temperaturii, partea interioară a lamelei bimetalice – confecționată din metalul cu coeficientul de dilatare mai mare, se dilată mai mult decât partea exterioară, iar spirala se deschide cu un unghi proporțional cu variația temperaturii. Deplasarea capătului liber al lamelei bimetalice este mult mai mare decât deplasarea prin dilatare a fiecărei lamele simple. Fiind foarte simple, dar mai puțin precise, aceste traductoare se utilizează în special la sistemele automate de semnalizare, protecție sau reglare bipozițională a temperaturii.

Traductoarele bazate pe *dilatarea lichidelor* (numite și termometre) utilizează lichide (mercur, alcool, aliaj de galiu etc.) cu dilatare volumică superioară celei a sticlei din care este confecționat rezervorul și tubul capilar (de secțiune constantă).

Termometrele industriale sunt introduse într-o armătură metalică pentru montare și protecție împotriva acțiunilor mecanice și sunt uneori prevăzute cu contacte electrice pentru semnalizarea și reglarea automată bipozițională a temperaturii.

Traductoare bazate pe variația presiunii

Traductoarele bazate pe *variația presiunii vaporilor în echilibru* (alcool, propan, toluen etc.) sunt alcătuite dintr-un rezervor, aflat în contact nemijlocit cu mediul de măsurare, un tub capilar de legătură și un tub manometric (Bourdon) – de obicei în forma spirală. Spațiul interior al rezervorului este umplut parțial cu lichid, iar tubul capilar și tubul Bourdon sunt umplute cu lichid. Variația cu temperatura a presiunii vaporilor în echilibru este neliniară.

Traductoare cu cuarț

Traductoarele cu cuarț se caracterizează printr-o dependență practic liniară a frecvenței de rezonanță a cristalului cu temperatura. Ele au o sensibilitate de circa $1\text{kHz}/^\circ\text{C}$ și un timp de răspuns foarte scurt (de circa o secundă).

Traductoare bazate pe radiația termică

Traductoarele de acest tip, numite și pirometre, permit măsurarea temperaturii corpurilor supraîncălzite, în lipsa unui contact direct cu acestea.

Pirometrul de radiație totală funcționează pe baza dependenței puterii radiației emise de o unitate de suprafață a corpului încălzit de temperatura absolută T a acestuia:

$$M = k \cdot \sigma \cdot T^4, \quad (3.8)$$

unde σ este constanta lui Boltzmann, iar k – coeficientul de înnegrire al corpului încălzit (egal cu valoarea maximă 1 în cazul corpului absolut negru).

Radiațiile termice emise de corpul încălzit sunt concentrate cu ajutorul unei lentile pe o plăcuță receptoare din platină înnegrită, unde se găsesc montate punctele calde ale unei baterii de termocupluri conectate în serie (pentru o sensibilitate mai mare).

Pentru ca erorile de măsurare să nu depășească $\pm 1,5\%$, este necesar să se respecte indicațiile firmei constructoare cu privire la distanța dintre traductor și corpul încălzit, la ecranarea și răcirea carcasei traductorului (a cărei temperatură influențează temperatura punctelor reci ale bateriei de termocupluri, deci tensiunea electromotoare generată de baterie), la măsurile care trebuie luate în condițiile unei atmosfere cu praf, fum, bioxid de carbon etc.

Pirometrul optic este un tip de traductor care valorifică dependența de temperatură a frecvenței radiațiilor termice emise de un corp supraîncălzit. La rândul ei, frecvența radiației emise determină culoarea corpului incandescent, așa cum operatorul o distinge atunci când privește corpul incandescent prin ocularul și sistemul de filtre al pirometrului. Principiul de funcționare a pirometrului este de tip diferențial, bazat pe comparația culorii corpului încălzit cu culoarea unui filament alimentat la o tensiune variabilă. Tensiunea este modificată de către operator până când filamentul devine neobservabil pe fondul culorii corpului încălzit. Valoarea acestei tensiuni constituie o măsură a temperaturii corpului încălzit. Tensiunea este modificată cu ajutorul unui reostat electric, a cărui scală este gradată direct în unități de temperatură.

3.1.3. Traductoare de presiune

Cele mai importante tipuri de traductoare de presiune funcționează pe baza deformării unor corpuri elastice sau pe baza schimbării proprietății anumitor corpuri cu presiunea.

Traductoare bazate pe deformarea elastică a corpurilor

Acest tip de traductoare transformă presiunea aplicată la intrare într-o deplasare mecanică obținută prin deformarea unor elemente elastice, cum ar fi: tuburi manometrice, membrane, burdufuri, resorturi etc. Ca urmare a simplității constructiv funcționale, siguranței în exploatare și domeniului larg de lucru, aceste traductoare se bucură de cea mai frecventă utilizare în practică.

Tuburile manometrice sunt confecționate din aliaje neferoase (bronz, alamă) sau oțel aliat, sunt mono sau multispirale și au profile ovalizate în secțiune transversală. Sub acțiunea presiunii interioare, tubul tinde să se îndrepte, ca urmare a direcției de orientare a forțelor rezultante distribuite pe suprafața interioară a tubului.

Traductoarele cu tub Bourdon (fig. 3.4, a) au tubul manometric în formă de arc de cerc, cu un unghi la centru de aproximativ 270° și acoperă un domeniu larg de presiuni, de la 0 până la 1000 daN/cm^2 .

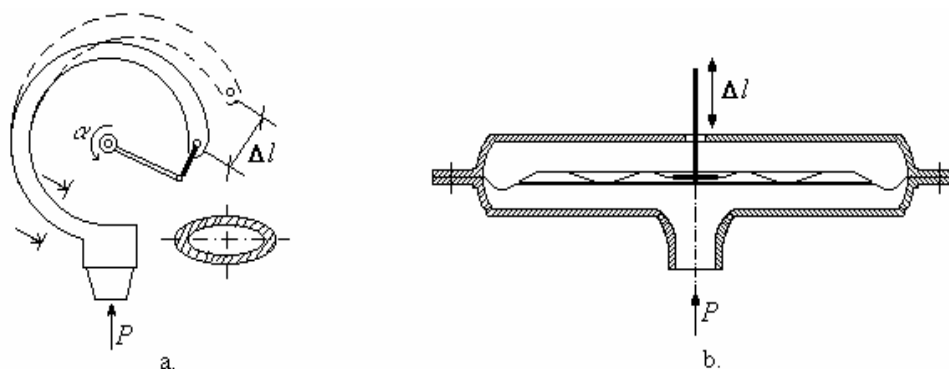


Fig.3.4. Traductoare de presiune: a) cu tub Bourdon; b) cu membrană.

Traductoarele de presiune cu membrană au elementul sensibil sub forma unei membrane gofrate (fig. 3.4.b), confecționate fie din aceleași materiale elastice ca tuburile manometrice, fie din material sintetic cu slabe proprietăți elastice (caz în care membrana lucrează în paralel cu un resort elastic). Domeniul maxim de lucru al acestor traductoare este de până la 10 daN/cm^2 . Traductoarele de presiune cu membrană pot fi utilizate la măsurarea presiunii fluidelor vâscoase, corosive sau cu impurități, chiar și în condițiile unui nivel

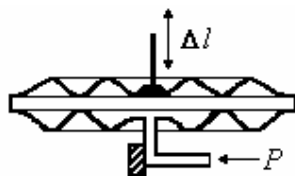


Fig. 3.5. Traductor cu celulă elastică

ridicat de vibrații mecanice. O variantă aparte de traductor cu membrană elastică o constituie traductorul cu celulă (capsulă) elastică (fig. 3.5), formată din două membrane lipite pe contur.

Traductoarele de presiune cu burduf funcționează pe baza deformării burdufului metalic cu proprietăți elastice, cuplat uneori în paralel cu unul sau mai multe resorturi elicoidale, sub acțiunea presiunii de măsurat, aplicate pe suprafața exterioară sau interioară a burdufurilor (fig. 3.5).

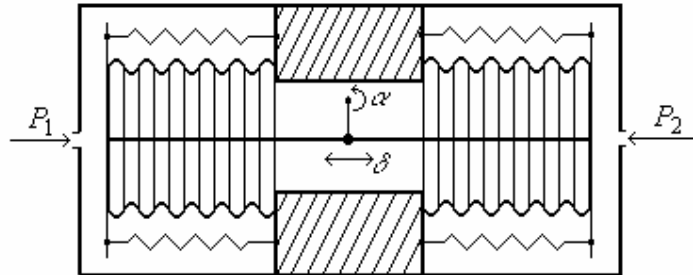


Fig. 3.6. Traductor de presiune diferențială cu burdufuri.

Traductoarele cu burduf, ca și cele cu membrană, sunt frecvent utilizate la măsurarea presiunilor diferențiale. Deplasarea δ a capetelor mobile ale burdufurilor traductorului de presiune diferențială este proporțională cu diferența presiunilor aplicate la intrarea traductorului:

$$\delta = k(P_1 - P_2). \tag{3.9}$$

Domeniul de măsurare acoperit de traductoarele cu burduf este inferior celui acoperit de traductoarele cu membrană.

Traductoare cu ionizare

Aceste traductoare se utilizează la măsurarea presiunilor subatmosferice mici și foarte mici. Funcționarea lor se bazează pe dependența de presiune a gradului de ionizare a gazului de măsurat. Ionizarea gazului se obține prin bombardare constantă cu electroni sau radiații alfa, iar gradul de ionizare este determinat prin intermediul curentului electric de ionizare dintr-un circuit alimentat la tensiune constantă, având ca sarcină rezistența gazului ionizat.

Traductoare tensometrice

Traductoarele tensometrice pentru presiune sunt alcătuite dintr-un cilindru metalic, gol în interior, pe care sunt fixate convenabil două, patru sau mai multe mărci tensometrice (fig. 3.7). Fluidul din interior supune cilindrul unor solici-

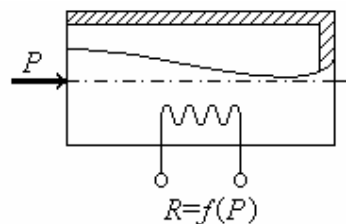


Fig. 3.7. Traductor tensometric

tări mecanice mari, proporționale cu presiunea P a fluidului, solicitări care se transmit și mărcilor tensometrice. Acestea sunt confecționate dintr-un conductor metallic cu coeficient de temperatură mic (aliaj de tip constantan, cromnichel ș.a.), sub formă de fir sau peliculă, fixat pe un suport electroizolant din hârtie specială sau material plastic. Fixarea mărcilor tensometrice pe cilindrul elastic se face cu ajutorul unui adeziv special.

Funcționarea traductoarelor tensometrice se bazează pe dependența rezistenței unui conductor metallic de tensiunea mecanică la care acesta este supus. Atunci când un conductor de rezistență $R = \rho l / S$ (ρ – rezistivitatea electrică, l – lungimea, S – secțiunea) este supus la întindere sau compresiune, el își modifică rezistivitatea electrică și, ca efect secundar, lungimea și secțiunea.

Pentru compensarea influenței temperaturii mediului ambiant asupra rezistenței traductoarelor tensometrice se preferă modul de conectare diferențială în punte Wheatstone, cu mărci active și mărci pasive (nesupuse la efort). Mărcile active sunt conectate într-un braț al punții, iar mărcile pasive (în număr egal cu cele active) într-un alt braț adiacent (fig. 3.8). Deoarece temperatura modifică toate mărcile la fel, starea punții rămâne practic neschimbată la variațiile temperaturii. Deoarece modulul de elasticitate al cilindului elastic este influențat de temperatură, în circuitul de alimentare al punții se conectează rezistența de compensare R_T .

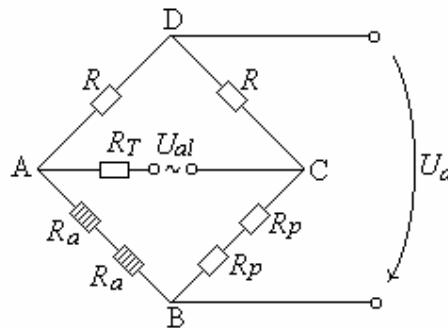


Fig. 3.8. Montaj diferențial în punte cu mărci active și pasive.

Traductoarele tensometrice permit măsurarea cu precizie ridicată și inerție redusă a presiunilor medii, mari și foarte mari (de peste 1000 daN/cm^2)

Traductoare piezoelectrice

Traductoarele piezoelectrice funcționează pe baza efectului piezoelectric al unor cristale de cuarț, titanat de bariu ș.a. Prin comprimarea unui element paralelipipedic de cristal după direcția axei mecanice (perpendiculară pe fețele mecanice ale cristalului), pe fețele perpendiculare pe direcția axei electrice

apare o sarcină electrică proporțională cu presiunea de comprimare P , $q=kP$, deci o tensiune

$$U = \frac{q}{C_C + C_A} = \frac{kP}{C_C + C_A}, \quad (3.10)$$

unde C_T este capacitatea electrică a cristalului, iar C_A – capacitatea de intrare a amplificatorului electronic la a cărui intrarea este conectat cristalul.

Traductoarele piezoelectrice au un timp de răspuns foarte mic și se utilizează la măsurarea variațiilor bruște de presiune, cum sunt cele de la motoarele cu ardere internă.

Traductoare peliculare

Aceste traductoare sunt realizate pe baza tehnologiilor peliculelor metalice subțiri. Ele sunt de regulă traductoare capacitive, formate dintr-o folie poliamică flexibilă și elastică (de obicei folie de Kapton), metalizată pe ambele fețe. Traductorul este de mici dimensiuni, simplu și cu timp de răspuns mic. El se conectează într-un circuit electronic integrat performant, care realizează și compensarea influenței temperaturii asupra rezultatului măsurării.

3.1.3. Traductoare de nivel

Nivelul unui lichid, nivelul unui strat fluidizat, precum și nivelul de interfață a două lichide nemiscibile, cu densități diferite, se pot determina pe baza urmării suprafeței de separație dintre faze, pe baza presiunii hidrostactice exercitate de coloana de lichid, prin metode rezistive, capacitive, inductive, cu radiații radioactive ș. a.

Traductoare cu plutitor și imersor

Ambele tipuri de traductoare transformă variația nivelului într-o deplasare pe verticală a elementului sensibil, care se transmite prin diverse mijloace (de regulă, mecanice) în afara vasului de lichid.

În timp ce plutitorul are o adâncime de scufundare constantă și o deplasare egală cu variația nivelului de lichid, imersorul are o adâncime de scufundare variabilă și o deplasare proporțională cu variația nivelului de lichid, dar mult mai mică decât acesta. Dacă la realizarea echilibrului plutitorului concură două forțe, greutatea proprie și forța arhimedică, la stabilirea echilibrului imersorului intervine în plus o *forță elastică* (proporțională cu deplasarea imersorului) – realizată, de obicei, prin torsionarea unui tub elastic TT (fig. 3.9), care mai îndeplinește și rol de etanșare (absolut necesară în cazul vaselor sub presiune sau al nivelelor de interfață).

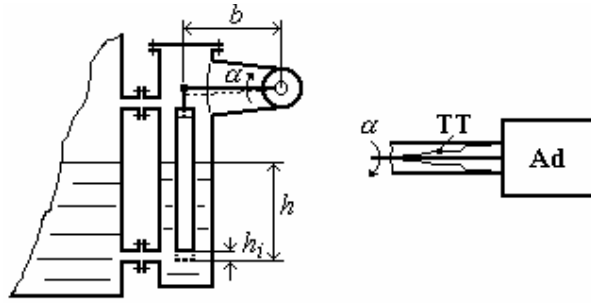


Fig. 3.9. Traductor de nivel cu imersor:
TT-tub de torsiune, Ad-adaptor.

Prin compararea stării inițiale de echilibru a imersorului (în care $h = h_i = 0$) cu starea curentă de echilibru (în care $h > h_i > 0$), rezultă egalitatea dintre variația forței arhimedice ΔF_a și variația forței elastice a tubului de torsiune ΔF_{el} . Din

$$\Delta F_a = \gamma S_i (h - h_i)$$

unde γ reprezintă greutatea specifică a lichidului, iar S_i – secțiunea transversală a imersorului și

$$\Delta F_{el} = k h_i \cong k \alpha b$$

unde k reprezintă constanta elastică a tubului de torsiune, iar b – lungimea brațului orizontal de transmitere a mișcării de la imersor la axul tubului de torsiune, rezultă:

$$h_i \cong \frac{h}{1 + \frac{k}{\gamma S_i}}, \quad \alpha \cong \frac{1}{1 + \frac{k}{\gamma S_i}} \cdot \frac{h}{b}, \quad (3.11)$$

(α exprimat în radiani).

Din relația (3.11) rezultă că principalele erori de măsurare sunt date de variația densității lichidului, de modificarea în timp a caracteristicilor elastice ale tubului de torsiune și de variația secțiunii imersorului datorită depunerilor de material.

În practică, traductoarele cu plutitor se utilizează pentru variații ale nivelului până la 20 m, iar traductoarele cu imersor – pentru variații ale nivelului până la 2...2,5 m.

Traductoarele de nivel cu plutitor sunt mai frecvent utilizate în cadrul sistemelor de măsurare, semnalizare și reglare bipozițională, în timp ce traductoarele cu imersor sunt recomandate a fi utilizate în cadrul sistemelor de reglare continuă a nivelului (datorită posibilității mai bune de cuplare la adaptor).

Traductoare hidrostatice

Traductoarele de tip hidrostatic funcționează pe baza dependenței presiunii hidrostatice la o cotă dată a vasului de nivelul lichidului din vas, sau de nivelul de interfață a două lichide.

Dacă lichidul din vas este corosiv, în scopul evitării contactului direct al acestuia cu elementul sensibil al traductorului, se utilizează varianta cu *lichid de separare* (apă, ulei etc.). Separarea mediilor se face, de regulă, prin intermediul a două vase cu membrană de separație (fig. 3.10)

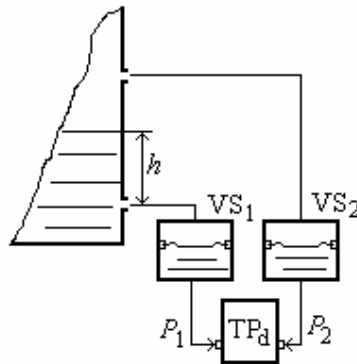


Fig. 3.10. Traductor de nivel hidrostatic cu vase de separare.

Intre presiunea diferențială $P_d = P_1 - P_2$ și nivelul h există următoarea relație de proporționalitate:

$$P_d = \gamma \cdot h, \tag{3.12}$$

unde γ reprezintă greutatea specifică a lichidului din vas.

Pentru măsurarea nivelului unui mediu fluidizat (cu o concentrație semnificativă de particule solide) se folosesc *traductoare hidrostatice cu insuflare de gaz* (fig. 3.11).

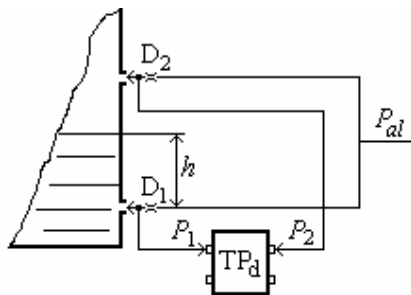


Fig. 3.11. Traductor de nivel hidrostatic cu insuflare de gaz.

Presiunea de alimentare P_{al} trebuie să fie mai mare decât valoarea maximă a presiunii P_1 , iar duzele D_1 și D_2 trebuie să asigure un debit mic de aer insuflat, astfel încât căderile de presiune pe porțiunile de conductă dintre duze și vasul al cărui nivel se măsoară să fie neglijabile. Cele două ștuțuri inferioare ale traductorului de presiune diferențială TP_d servesc la purjarea condensului din camerele traductorului. Dintre erorile sistematice de măsurare, cele mai mari sunt generate de variația densității lichidului măsurat. Alte erori pot fi cauzate de căderile de presiune pe conductele de aer și de pelicula superficială a lichidului din zona conductei inferioare, care trebuie spartă de gaz pentru a pătrunde în lichid.

Traductoare rezistive, capacitive, inductive

Traductoarele rezistive se utilizează numai în cazul lichidelor conductibile din punct de vedere electric și funcționează pe principiul scurtcircuitării unei rezistențe electrice (fig. 3.12,a), după relația

$$R = R_0 \left(1 - \frac{h}{h_0}\right), \quad (3.13)$$

unde R_0 reprezintă valoarea rezistenței în aer (pentru $h=0$).

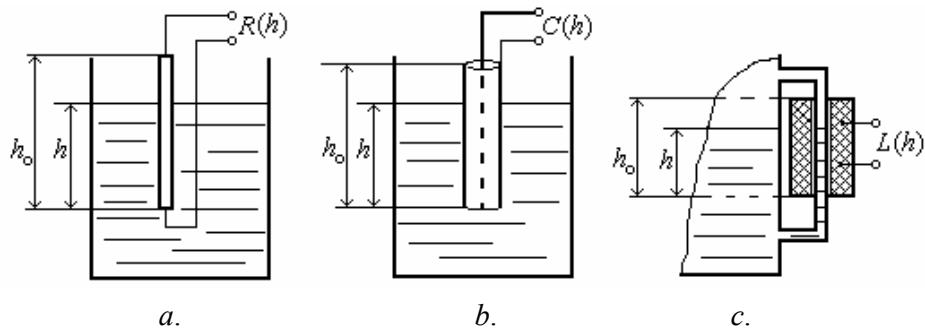


Fig. 3.12. Traductoare de nivel rezistive, capacitive și inductive.

Traductoarele capacitive și *traductoarele inductive* se utilizează la determinarea nivelului de separație a două medii neconductoare și cu permitivități, respectiv permeabilități diferite. Între capacitatea C (fig. 3.12, b), respectiv inductivitatea L (fig 3.12,c) și nivelul h există o dependență liniară:

$$C = C_1 + (C_2 - C_1) \frac{h}{h_0}, \quad (3.14)$$

respectiv

$$L = L_1 + (L_2 - L_1) \frac{h}{h_0}, \quad (3.15)$$

unde C_1 și L_1 reprezintă capacitatea, respectiv inductivitatea pentru $h=0$, iar C_2 și L_2 – capacitatea, respectiv inductivitatea pentru $h=h_0$. În locul electrodului cilindric exterior al condensatorului se poate folosi peretele metalic al vasului.

Traductorul de tip capacitiv poate fi utilizat la măsurarea nivelului și în cazul în care lichidul este bun conducător electric, prin izolarea electrodului interior. În acest caz, lichidul împreună cu corpul exterior cilindric îndeplinesc rolul celui de-al doilea electrod, iar capacitatea este independentă de compoziția și temperatura lichidului.

Traductoare cu radiații nucleare

Traductoarele cu radiații nucleare utilizează proprietatea de absorbție a radiațiilor de către stratul străbătut, în funcție de natura și grosimea acestuia, după relația:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot \rho \cdot x}, \tag{3.16}$$

în care I reprezintă intensitatea radiațiilor la ieșirea din stratul de grosime x , I_0 este intensitatea radiațiilor la intrarea în strat, μ este coeficientul de absorbție al substanței străbătute, iar ρ - densitatea acesteia.

Traductoarele sunt alcătuite dintr-o sursă slabă S de radiații nucleare γ (izotopi de cobalt sau cesiu) și un receptor (detecor) de radiații R (de obicei tip cameră de ionizare), pentru măsurarea intensității radiațiilor la ieșirea din mediul străbătut (fig. 3.13). Receptorul cu ionizare funcționează pe baza efectului de ionizare produs de radiații asupra unui gaz etalon din interiorul sursei. Curentul de ionizare, obținut prin aplicarea între două armături a unei tensiuni electrice de cca. 200...300V, este dependent de intensitatea radiațiilor radioactive.

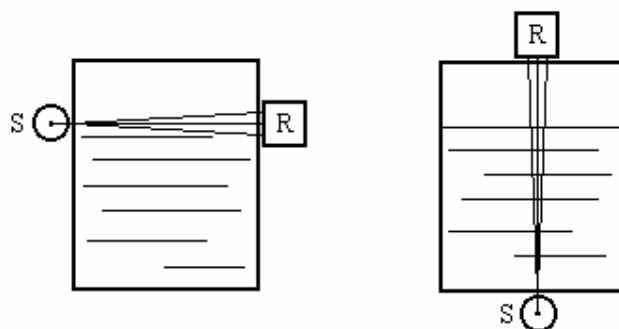


Fig. 3.13. Traductoare de nivel cu radiații radioactive.

Traductoarele de nivel de tipul celor reprezentate în figură se utilizează la semnalizarea și, respectiv, măsurarea nivelului. Măsurarea se realizează fără ca elementele din componența traductorului să fie în contact direct cu mediul de

măsurat. Metoda de măsurare se utilizează numai în cazuri speciale, când mediul de măsurat este foarte coroziv sau când vasul lucrează la presiuni și temperaturi extrem de ridicate.

Traductoare cu ultrasunete

La baza funcționării acestui tip de traductoare este proprietatea undelor ultrasonice de a fi reflectate de suprafața de separație a două medii lichide cu densități diferite. Traductorul este amplasat de regulă deasupra lichidului și conține un bloc cu piezocristal, care emite unde ultrasonice pe direcția verticală, de sus în jos, și recepționează undele reflectate. Timpul parcurs de undă, de la emițător până la suprafața lichidului și înapoi la receptor, constituie o măsură a nivelului de lichid, atunci când se cunoaște viteza de deplasare a undelor. Pentru determinarea vitezei undelor în mediul de deasupra suprafeței de nivel, sonda ultrasonică are un dispozitiv propriu de reflexie a undelor emise, situat la o distanță fixă sub cristalul de emisie.

3.1.4. Traductoare de debit

Traductoarele pentru măsurarea debitelor de fluide în conducte au la baza funcționării lor diferite fenomene și efecte, cum ar fi: generarea unei presiuni diferențiale pe o strângulare de secțiune constantă sau variabilă, crearea unei presiuni dinamice în centrul conductei, inducția electromagnetică, propagarea ultrasunetelor în mediul fluid, rotirea unei elice sau turbine aflate în contact cu mediul fluid în mișcare, umplerea succesivă a unor camere de volum constant, încălzirea mediului fluid de la o sursă termică etc.

Traductoare cu strângulare constantă

Cele mai cunoscute traductoare cu strângulare cu secțiune constantă sunt traductoarele cu diafragmă normală (fig. 3.14,a), diafragmă segment (fig. 3.14,b), ajutoraj (fig. 3.14,c) și tub Venturi (fig. 3.14,d).

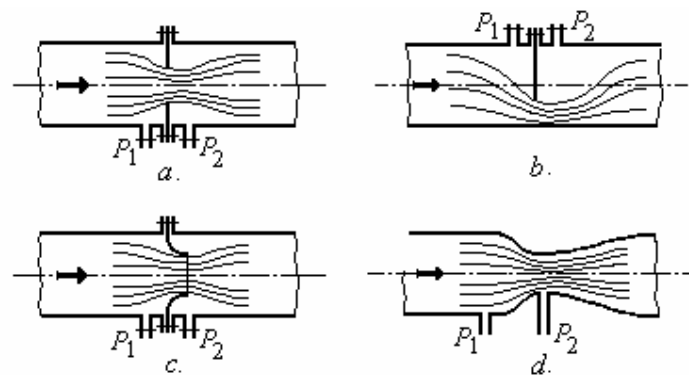


Fig. 3.14. Traductoare de debit cu strângulare constantă.

Traductoarele de acest tip se utilizează numai în cazul fluidelor omogene, care curg în regim turbulent prin conducte orizontale, de secțiune circulară. La baza concepției acestor traductoare stă dependența dintre căderea de presiune $P_d = P_1 - P_2$ pe care o suferă fluidul vehiculat prin strangulare și debitul masic Q_m de fluid. Pentru determinarea analitică a relației de dependență dintre debitul masic Q_m (cauză) și presiunea diferențială P_d (efect), se consideră că fluxul de produs este un lichid ideal, deci *incompresibil*, aflat în regim de curgere staționar și se aplică, în secțiunile prizelor de presiune, legea de conservare a energiei (legea lui Bernoulli):

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

(ρ – densitatea, v_1 și v_2 – vitezele de curgere) și legea de conservare a masei (legea continuității):

$$S_1 v_1 = S_2 v_2,$$

unde S_1 și S_2 sunt ariile vânei de lichid în dreptul prizelor de presiune. Deoarece ariile S_1 și S_2 ale vânei de curent nu sunt cunoscute suficient de exact, relația analitică rezultată este ajustată sub forma:

$$Q_m = \alpha s \sqrt{2\rho P_d}, \quad (3.17)$$

unde s reprezintă secțiunea minimă a dispozitivului de strangulare, iar α – așa numitul *coeficient de debit* (adimensional). Valoarea coeficientului de debit α depinde de mai mulți parametri, din care cei mai importanți sunt: viteza de curgere și viscozitatea fluidului, forma și dimensiunile dispozitivului de strangulare, poziția prizelor de presiune și rugozitatea conductei. Coeficientul de debit este subunitar și se determină experimental, valorile lui fiind tabelate, reprezentate grafic sau sub forma unor relații empirice. Relația (3.17) poate fi scrisă sub forma:

$$Q_m = K \sqrt{P_d}, \quad (3.18)$$

cu

$$K = 1,264 m \alpha D^2 \sqrt{\rho}, \quad m = \frac{s}{S} = \left(\frac{d}{D}\right)^2, \quad (3.19)$$

unde Q_m se exprimă în kg/h, P_d în daN/cm², D în mm și ρ în kg/m³.

În cazul *fluidelor compresibile*, dependența debitului de căderea de presiune este exprimată de relația

$$F = \alpha \varepsilon s \sqrt{2\rho_1 P_d}, \quad (3.20)$$

unde ε reprezintă coeficientul de expansiune (detentă). Valoarea acestui coeficient este subunitară, dependentă de forma și dimensiunile dispozitivului de strangulare, de coeficientul adiabatic χ al fluidului și de raportul P_1/P_2 al

presiunilor din amonte și avalul dispozitivului de strangulare. Prin raportare la starea normală fizică ($T_N=273,15$ K, $P_N=1,013$ daN/cm²), densitatea ρ_1 a fluidului din amonte (aflat la temperatura T_1 și presiunea absolută P_1), are expresia:

$$\rho_1 = \frac{\rho_N \cdot P_1 \cdot T_N}{K_1 \cdot P_N \cdot T_1},$$

unde K_1 este un coeficient de compresibilitate. Dacă se notează cu d și s , respectiv D și S diametrul și aria secțiunii minime a dispozitivului de strangulare, respectiv diametrul interior și aria de trecere a conductei, relația debit masic-presiune diferențială devine astfel:

$$Q_m = K \cdot \sqrt{\frac{P_1 P_d}{T_1}}, \quad (3.21)$$

cu

$$K = 20,76 m \alpha \varepsilon D^2 \sqrt{\frac{\rho_N}{K_1}}, \quad m = \frac{s}{S} = \left(\frac{d}{D}\right)^2. \quad (3.22)$$

unde Q_m se exprimă în kg/h, P_1 și P_d în daN/cm², T_1 în K, D în mm și ρ_N în kg/m³.

Dependența coeficientului de debit α în raport cu viscozitatea cinematică a fluidului, cu viteza de curgere v și diametrul interior al conductei D se exprimă prin intermediul numărului Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{vD}{\nu}.$$

În practică, se preferă exprimarea numărului Reynolds în funcție de debit:

$$\text{Re} = \frac{4Q_m}{\pi D \rho v}. \quad (3.23)$$

Valorile determinate experimental ale coeficientului de debit α sunt tabelate în funcție de numărul Reynolds și de raportul $m = s/S$. Pentru valori ale numărului Reynolds mai mari decât o valoare limită Re_{lim} determinată experimental ($\text{Re} > \text{Re}_{\text{lim}}$), valoarea coeficientului de debit α depinde foarte puțin de numărul Reynolds, deci de debit. În acest caz, coeficienții K din relațiile (3.18) și (3.21) sunt practic constanți în raport cu debitul. Valorile limită Re_{lim} sunt ușor crescătoare în raport cu m . Pentru a se asigura constanța coeficientului K în raport cu debitul, dispozitivul de strangulare trebuie proiectat astfel ca pentru debitul nominal care circulă prin conductă să se respecte condiția

$$(\text{Re})_N > \text{Re}_{\text{lim}}. \quad (3.24)$$

Dacă această condiție nu este satisfăcută, atunci se impune creșterea corespunzătoare a lui $(\text{Re})_N$. Această creștere se obține prin micșorarea

diametrului D al conductei, pe o porțiune de maxim 2 m în amonte și 2,5 m în aval de diafragmă. Varianta reducerii lui Re_{lim} prin micșorarea raportului m nu este practică, deoarece raportul m este condiționat de domeniul de variație al presiunii diferențiale P_d (domeniu impus de traductorul de presiune diferențială și care nu trebuie să depășească 0,2...0,5 bar, pentru limitarea consumului energetic).

Prizele dispozitivului de strangulare pentru prelevarea presiunilor P_1 și P_2 sunt înclinate față de planul orizontal după cum urmează: pentru lichide - cu 15...45° sub planul orizontal; pentru gaze – cu 45...90° deasupra planului orizontal, pentru vapori – orizontal. Conductele de impuls pentru transmiterea presiunii diferențiale P_d la traductorul de presiune diferențială sunt poziționate în pantă (cu valoarea recomandată 1:10), pentru evitarea formării bulelor de gaze sau a depunerii picăturilor de lichid, au diametrul interior de minimum 9 mm și lungimea maximă de 30 m. La lichide și vapori, traductorul de presiune diferențială este montat sub nivelul traductorului de debit, iar la gaze deasupra traductorului de debit. În cazul măsurării debitului de vapori, conductele de impuls sunt umplute cu lichidul provenit din condensarea vaporilor în două vase de condensare poziționate în vecinătatea traductorului de debit.

În cazul măsurării debitului de lichid, traductorul de debit are caracteristica statică parabolică – formula (3.18). În consecință, pentru ca sistemul de măsurare să fie liniar este necesar un bloc de calcul (numit *extractor de radical*), care să efectueze operația de extragere a rădăcinii pătrate din semnalul de ieșire al adaptorului de presiune diferențială. În cazul măsurării debitelor de gaz este necesară compensarea influenței presiunii P_1 și a temperaturii T_1 , în conformitate cu formula (3.21). În acest scop, semnalele unificate de la ieșirea adaptoarelor de presiune diferențială P_d , de presiune relativă P_1 și de temperatură T_1 se aplică la intrarea unui bloc de calcul, care efectuează operațiile de înmulțire, împărțire și extragere de rădăcină pătrată (fig. 3.15).

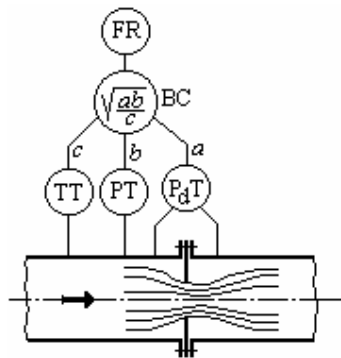


Fig. 3.15. Sistem de măsurare a debitului de gaz cu traductor tip diafragmă:

P_dT -traductor de presiune diferențială, PT -traductor de presiune,
 TT -traductor de temperatură, BC -bloc de calcul, FR - înregistrator de debit.

Traductoare cu strangulare variabilă

Funcționarea acestui tip de traductoare, numite *rotametre*, se bazează pe dependența dintre deplasarea pe verticală h a unui imersor într-un tub tronconic și debitul de fluid Q care circulă prin tub, de jos în sus (fig. 3.16).

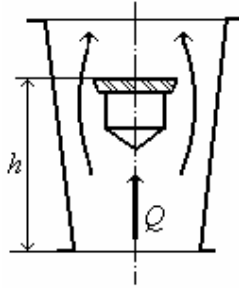


Fig. 3.16. Traductor de debit tip rotametr.

Tubul tronconic este confecționat din sticlă, material plastic transparent sau metal. Imersorul, confecționat din metal (la lichide) sau din material plastic (la gaze), este prevăzut cu o serie de șanțuri sau aripioare, care îi imprimă o mișcare de rotație și îl menține în centrul tubului tronconic.

În regim staționar, imersorul se găsește în echilibru sub acțiunea următoarelor forțe: forța ascensională $F_{as} = S_i P_d$, generată de presiunea diferențială $P_d = P_1 - P_2$ produsă la trecerea fluidului prin strangulare (S_i - secțiunea medie a imersorului), forța arhimedică $F_a = \rho g V_i$ (ρ - densitatea fluidului, V_i - volumul imersorului) și greutatea imersorului $G_i = \rho_i g V_i$ (ρ_i - densitatea imersorului). Tinând seama că forța arhimedică și greutatea imersorului sunt constante în raport cu debitul Q , din relația de echilibru $F_{as} = F_a + G_i$ rezultă că și forța ascensională F_{as} , deci și presiunea diferențială P_d , sunt constante în raport cu Q . Din formula debitului masic

$$Q = \varepsilon \alpha s(h) \sqrt{2 \rho P_d},$$

în care $\varepsilon = 1$ la lichide, iar $s(h)$ este aria secțiunii minime de trecere a lichidului, rezultă că între debitul Q și poziția h a imersorului există o relație de forma $Q = K \cdot s(h)$. Relația este liniară deoarece dependența $s(h)$ este liniară:

$$s(h) = s_0 + (s_1 - s_0) \cdot \frac{h}{h_{\max}}$$

(s_0 și s_1 fiind aria minimă și, respectiv, maximă ale secțiunii tubului tronconic). În consecință, relația de dependență a poziției h a imersorului în raport cu debitul masic Q , pe domeniul de măsurare $Q_{\min} \dots Q_{\max}$ poate fi scrisă astfel

$$\frac{h}{h_{\max}} = \frac{Q - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}}. \quad (3.25)$$

Dacă debitul Q crește, atunci presiunea diferențială P_d crește, forța ascensională F_{as} crește și imersorul se ridică (h crește). Prin ridicarea imersorului, secțiunea de trecere $s(h)$ se va mări, iar presiunea diferențială P_d va scădea, revenind în final la valoarea inițială (care asigură poziția de echilibru a imersorului).

Efectul de antrenare a imersorului prin frecare de fluid influențează liniaritatea și deci precizia de măsurare a traductorului. Traductoarele de tip rotamtru servesc la măsurarea debitelor mici și mijlocii, îndeosebi la instalațiile pilot de laborator. În cazul fluidelor opace, transmiterea poziției imersorului în exteriorul tubului tronconic se poate face pe cale magnetică.

Traductoare cu flux magnetic

Traductoarele cu flux magnetic, numite și traductoare electromagnetice, funcționează pe principiul inducției electromagnetice și permit măsurarea debitelor de lichide conductibile electric, cu rezistivitatea mai mică de 10 kΩcm. Din punct de vedere constructiv, traductorul electromagnetic este realizat dintr-un tub de oțel inoxidabil, căptușit în interior cu teflon și fixat între polii unui circuit magnetic, a cărui înfășurare este alimentată în curent alternativ (fig. 3.17).

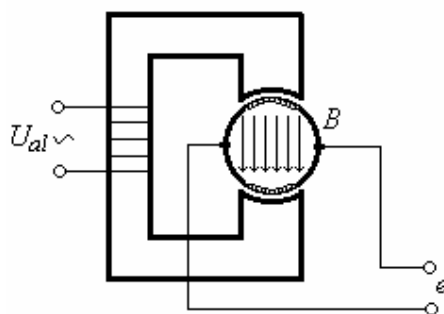


Fig. 3.17. Traductor de debit cu flux magnetic.

Lichidul care circulă prin tub poate fi considerat un conductor care se deplasează cu viteza v perpendicular pe direcția câmpului magnetic de inducție B . Pe direcția perpendiculară pe vectorii \vec{B} și \vec{v} apare o tensiune electromotoare $e = BDv$ (D – diametrul interior al tubului). Această tensiune, proporțională cu debitul volumic Q ,

$$e = \frac{4B}{\pi D} \cdot Q, \tag{3.26}$$

poate fi culeasă prin intermediul a doi electrozi metalici. Așa cum reiese din relația obținută, rezultatul măsurării nu este influențat de densitatea și viscozitatea lichidului. În plus, operația de măsurare nu generează pierderi de presiune în conductă.

Pentru evitarea fenomenului de polarizare a electrozilor, alimentarea circuitului magnetic se face în alternativ , la 50 Hz. În zona electrozilor și în zona polilor magnetici, tubul de oțel este prevăzut cu ferestre izolatoare din teflon.

Cu acest tip de traductor se pot măsura debite de lichide cu presiunea mai mică de 30 bar, într-o gamă destul de largă (de la 0,1 m³/h până la 2000 m³/h). Ele nu se pot utiliza însă la măsurarea debitelor de ulei cu înaltă puritate, alcool, produse petroliere, lichide cu particule magnetice în suspensie.

Traductoare cu tub Pitot

Traductoarele cu tub Pitot (fig. 3.18) se utilizează la determinarea debitelor fluidelor relativ curate, care circulă cu viteză mare prin conducte cu diametrul mare, pe baza presiunii dinamice pe care o exercită fluidul în mișcarea sa. Presiunii dinamice P_D , egală cu diferența dintre presiunea totală P_t și presiunea statică P_s , $P_D = P_t - P_s$, variază proporțional cu pătratul debitului.

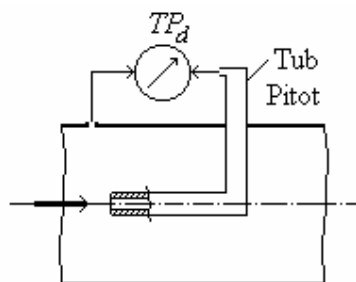


Fig. 3.18. Traductor de debit cu tub Pitot.

Traductoare Vortex

Traductoarele Vortex permit măsurarea debitului pe baza frecvenței de oscilație a presiunii jetului de fluid turbionat prin intermediul unui obstacol de formă specială (element Vortex), introdus în mijlocul conductei (fig. 3.19).

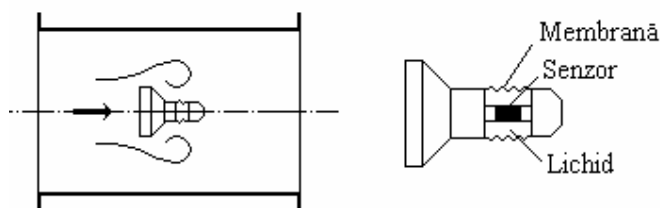


Fig. 3.19. Traductor de debit tip Vortex.

Pulsațiile presiunii din zona elementului Vortex sunt sesizate cu ajutorul unui senzor piezoelectric, amplasat în interiorul elementului Vortex și protejat de fluid prin intermediul unei membrane elastice speciale. Frecvența pulsațiile

este proporțională cu debitul, putând varia în gama 10...1000 Hz. Cea mai bună liniaritate a caracteristicii statice a traductorului se obține pentru valori ale numărului Re cuprinse între 10^4 și 10^5 . Diametrul mediu și lungimea elementului Vortex se aleg în jurul valorilor $0,3D$ și respectiv $0,38D$, unde D este diametrul interior al conductei.

Traductoare cu ultrasunete

La baza funcționării acestor traductoare se află fenomenul de modificare a vitezei sau direcției de propagare a undelor ultrasonice în medii fluide aflate în mișcare.

Primul tip de traductor determină debitul prin măsurarea timpului de propagare a undelor ultrasonice între două puncte fixe aflate pe direcția de curgere. Viteza C_m de propagare a undelor ultrasonice într-un mediu în mișcare este dată de relația

$$C_m = C + \delta v, \quad (3.27)$$

unde C este viteza de propagare a undelor în mediul respectiv considerat fix, v este viteza de mișcare a mediului, iar δ este 1 (când sensul de mișcare a undelor coincide cu cel al mediului) sau -1 (când cele două sensuri sunt opuse). Pentru reducerea erorilor determinate de necunoașterea exactă a vitezei C , de regulă se recurge la transmiterea între două puncte fixe, situate de o parte și de cealaltă a conducte, a două fluxuri de unde ultrasonice, unul orientat în sensul de curgere, celălalt în sens opus. Diferența timpilor de propagare constituie o măsură a vitezei medii de curgere, deci a debitului.

Al doilea tip de traductor determină debitul printr-o conductă prin măsurarea deviației unui fascicol de unde ultrasonice emise perpendicular pe direcția de curgere. Piezoelementul emițător și cel receptor se află fixate de o parte și de alta a conductei, uneori chiar în exteriorul acesteia. Valoarea deviației fascicolului este proporțională cu viteza de curgere a fluidului prin conductă.

Traductoarele cu ultrasunete permit măsurarea debitelor fluidelor corozive, vâscoase, neomogene, fără a genera pierderi de presiune. Principalul dezavantaj este legat de complexitatea echipamentului în ansamblu, care implică și un preț de cost ridicat.

Traductoare cu turbină

Aceste traductoare, numite și anemometre, sesizează valoarea debitului pe baza efectului de rotire a unei turbine de către fluidul în mișcare. Turbina poate fi de tip axial, atunci când paletelile sunt elicoidale și fluidul acționează asupra

tuturor paletelor (fig. 3.20, *a*), sau de tip tangențial, când paletele sunt drepte și fluidul acționează numai asupra unei părți din palete (fig. 3.20, *b*).

În regim de curgere turbulentă, viteza de rotație a turbinei variază practic liniar cu debitul de fluid. Deoarece coeficientul de proporționalitate are valoarea ușor dependentă de vâscozitatea fluidului, la fluidele vâscoase se impune calibrarea adecvată a blocului adaptor. La traductoarele moderne, mișcarea de rotație a turbinei este transmisă în exterior pe cale magnetică.

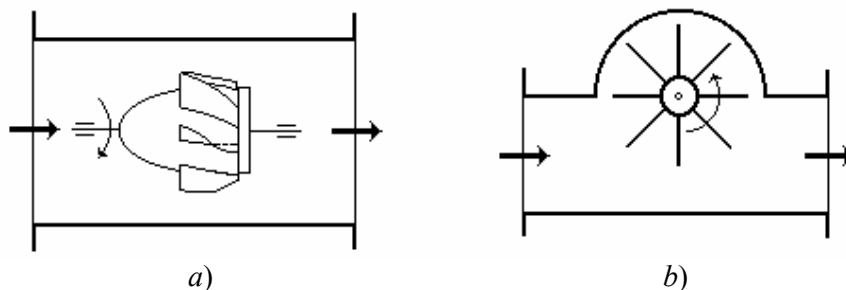


Fig. 3.20. Traductoare (contoare) cu turbină:
a) axială; b) tangențială.

Numărul total de rotații ale turbinei sau numărul total de impulsuri magnetice transmise în exterior constituie o măsură a cantității de fluid, în timp ce debitul este dat de numărul de rotații (impulsuri) raportate la unitatea de timp. Aparatele care măsoară cantitatea de fluid (masa sau volumul) se numesc *contoare de debit*. Deoarece volumul se obține prin integrarea în timp a debitului volumic (în sens matematic), iar masa prin integrarea în timp a debitului masic, un contor de debit poate fi realizat dintr-un traductor de debit și un element de integrare (bloc de calcul integrator). În majoritatea cazurilor, operația de contorizare cu traductor tip turbină este însă realizată direct, nu prin integrarea debitului.

Traductoare Coriolis

Principiul de măsurare al acestor traductoare are la bază forța Coriolis, care apare atunci când unei mase de fluid i se imprimă simultan o mișcare de translație și una de rotație:

$$F_C = 2 \cdot \Delta m \cdot (\vec{v} \cdot \vec{\omega}), \quad (3.28)$$

unde Δm este masa deplasată, $\vec{\omega}$ - viteza unghiulară de deplasare a fluidului, iar \vec{v} - viteza radială a sistemului în rotație (sau în oscilație).

Traductoarele Coriolis determină debitul masic al unui fluid care circulă printr-un tub orizontal în formă de U. Pe cale electromagnetică, cu ajutorul unui semnal electric sinusoidal, se induc vibrații verticale în mijlocul cotului

tubului. Semnalul sinusoidal este furnizat de un generator electronic, cu o frecvență ajustabilă în mod automat, pentru a corespunde frecvenței de rezonanță a tubului cu fluid în mișcare. Datorită inerției masei fluidului, pe durata semiperioadei pozitive, fluidul acționează asupra celor două ramuri ale tubului în sens diferit, în jos și respectiv în sus. În zona de intrare, vibrația tubului este amortizată de către fluid, în timp ce în ramura de ieșire, vibrația este amplificată. În plus, ca urmare a forțelor Coriolis, între oscilațiile celor două ramuri ale tubului apare un defazaj, a cărui valoare este proporțională cu debitul masic.

Când debitul este zero, defazajul este nul. Creșterea debitului produce o decelerație a oscilațiilor la intrarea în tub și o accelerație la ieșirea din tub. Defazajul între oscilațiile celor două ramuri este măsurat cu ajutorul unor senzori electromagnetici inductivi. Frecvența de rezonanță a tubului este dependentă, după o relație liniară, cu densitatea fluidului și deci poate constitui o măsură a densității. Cunoscând valoarea densității și a debitului masic se poate calcula ușor debitul volumic.

Deoarece temperatura fluidului influențează rezultatul măsurării, relația de calcul al debitului conține și un factor de compensare a temperaturii.

3.1.5. Traductoare de forță

Traductoarele de forță au la baza funcționării efectul de modificare a dimensiunilor unor corpuri elastice, a rezistenței sau inductivității electrice, a presiunii hidraulice etc.

Traductoare tensometrice

Aceste traductoare sunt similare traductoarelor tensometrice de presiune. Principala deosebire este aceea că cilindrul metalic sensibil este plin în interior și comprimat din exterior de către forța de măsurat (fig. 3.21, *a*). Mărcile tensometrice, în număr de patru, sunt fixate pe suprafața cilindrică, astfel încât două dintre ele să fie orientate pe direcția solicitării, iar celelalte două perpendicular pe direcția solicitării (pentru compensarea efectelor de încovoiere și torsiune). Mărcile sunt conectate într-o punte electrică de curent alternativ, așa cum se arată în figura 3.21, *b*. Rezistența R_T din diagonala de alimentare a punții servește la compensarea efectului temperaturii asupra modulului de elasticitate al elementului cilindric elastic.

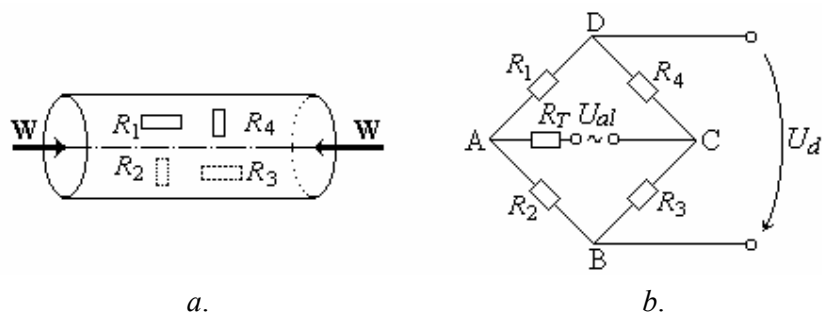


Fig. 3.21. Traductor tensometric de forță.

Traductoare magnetoelastice

Aceste traductoare funcționează pe baza dependenței permeabilității magnetice μ a materialelor magnetice de efortul de comprimare la care acestea sunt supuse. În schema de principiu a traductorului din figura 3.22-a, prin modificarea forței W de comprimare a cadrului magnetic, la bornele înfășurării circuitului magnetic se obține o inductivitate L dependentă de forța W , conform relației

$$L = \frac{n^2}{R_m} = \frac{\mu(W)n^2S}{l}, \quad (3.29)$$

unde n este numărul de spire, l – lungimea medie a circuitului magnetic, iar S – aria medie a secțiunii transversale a circuitului magnetic. Ca efecte secundare, creșterea forței W implică reducerea lungimii l și creșterea ariei S a circuitului magnetic. Pentru compensarea efectului temperaturii mediului ambiant asupra permeabilității magnetice μ se recomandă modul de conectare diferențială în punte Wheatstone, cu celule sensibile active și pasive (nesupuse la efort). Celulele sensibile sunt conectate în punte, fie ca în figura 3.8 - celulele active într-un braț al punții, iar celulele pasive într-un alt braț adiacent, fie ca în figura 3.21, b – celulele active în două brațe opuse, iar celulele pasive în celelalte două brațe opuse.

Traductorul magnetoelastic este relativ simplu, robust și sensibil, dar nu are o precizie ridicată din cauza caracteristicii neliniare, a fenomenului de histererezis și a dispersiei liniilor de flux magnetic.

Traductoare hidraulice

Traductoarele hidraulice funcționează pe baza echilibrării forței de măsurat cu forța generată de presiunea lichidului asupra unei membrane-disc. În schema de principiu din fig. 3.22-b, presiunea P a lichidului este dependentă de forța de întindere W care acționează asupra traductorului, după relația:

$$P = \frac{W}{S_{ef}}, \quad (3.30)$$

unde S_{ef} reprezintă aria efectivă a membranei-disc.

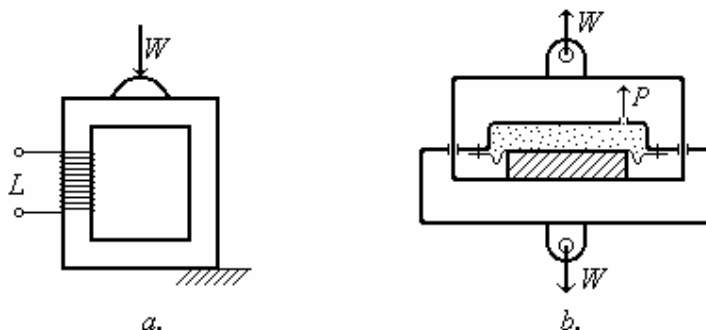


Fig. 3.22. Traductoare de forță:
a) magnetoelastice; b) hidraulice.

Presiunea P poate fi transmisă prin intermediul unui tub metalic cu secțiunea redusă la un tub manometric situat la o distanță maximă de ordinul zecilor de metri. Lichidul utilizat este un ulei cu viscozitatea mică, fără impurități și care să nu înghețe la cele mai scăzute temperaturi de lucru.

3.1.6. Traductoare de densitate

Măsurarea densității unui fluid se poate face pe baza efectului produs de modificarea densității asupra forței arhimedice a unui corp scufundat în lichid, greutatea unui volum dat de fluid, presiunii hidrostatice create de o coloană de lichid cu înălțimea dată, gradului de absorbție a radiațiilor nucleare și ultrasonice etc. Densitatea unui lichid este dependentă de temperatură, în timp ce densitatea unui fluid compresibil depinde atât de temperatură, cât și de presiune. Dependența densității unui lichid de temperatură se poate exprima printr-o relație de forma

$$\rho_T = \frac{\rho_0}{1 + \beta(T - T_0)}, \quad (3.31)$$

unde ρ_0 este densitatea lichidului la temperatura de referință T_0 , iar β – coeficientul de dilatare volumică (care este constant pe anumite intervale de lucru). La fluidele compresibile, dependența densității de temperatura absolută T și presiunea absolută P se exprimă prin relația

$$\rho = C \cdot \frac{P}{T} \cdot \rho_0, \quad (3.32)$$

unde ρ_0 este densitatea fluidului la temperatura de referință T_0 și presiunea de referință P_0 , iar C este un coeficient de compresibilitate. Pe baza relațiilor de mai sus, densitatea poate fi determinată la temperatura și presiunea de referință, în condițiile în care fluidul măsurat are altă temperatură și altă presiune.

Traductoare cu imersor

Din punct de vedere constructiv, aceste traductoare sunt practic identice cu traductoarele de nivel cu imersor. Din punct de vedere funcțional însă există o diferență semnificativă: la măsurarea densității, imersorul trebuie să fie complet scufundat în lichid (fig. 3.23).

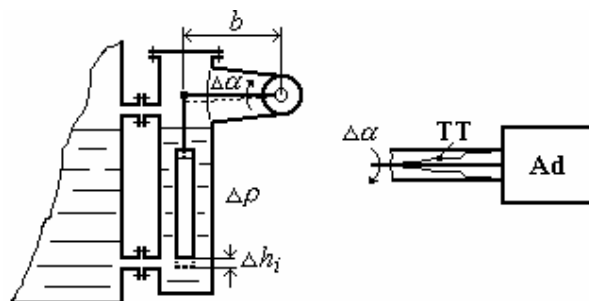


Fig. 3.23. Traductorul de nivel cu imersor:
T-tub de torsiune, Ad-adaptor.

Pentru o variație a densității $\Delta\rho$, variația forței arhimedice

$$\Delta F_a = g S_i \Delta\rho$$

trebuie compensată la echilibru de variația forței elastice produse prin deformarea tubului de torsiune TT

$$\Delta F_{el} = k \Delta h_i \cong kb \Delta\alpha .$$

Rezultă

$$\Delta\alpha = \frac{g S_i}{kb} \cdot \Delta\rho . \quad (3.33)$$

Din relația (3.33) reiese că principalele erori de măsurare sunt date de modificarea în timp a caracteristicilor elastice ale tubului de torsiune și de variația secțiunii imersorului ca urmare a depunerilor de material. Pentru compensarea influenței temperaturii lichidului măsurat, adaptorul Ad mai primește la intrare, în afara unghiului α , semnalul generat de un traductor de temperatură termorezistiv (nefigurat în schemă).

Traductoare gravimetrice

Traductoarele gravimetrice de densitate funcționează pe principiul cântăririi continue (în flux) a masei de lichid care circulă printr-un tub metallic orizontal în formă de U, prevăzut cu burdufuri flexibile de legătură (fig. 3.24). Operația de cântărire se face prin menținerea automată a tubului în poziție orizontală. Tubul din figură este prevăzut cu articulația O, burdufurile flexibile de legătură BF și contragreutatea CG pentru ajustarea punctului de zero. Dispozitivul de reglare automată a poziției tubului este format din traductorul

inductiv de deplasare cu întrefier variabil TID, puntea electrică P, amplificatorul de tensiune A, amplificatorul de putere AP, bobina fixă de acționare B și cadrul magnetic CM fixat pe tub. Curentul electric I de comandă a bobinei B de acționare a tubului este proporțional cu densitatea lichidului care circulă prin tub.

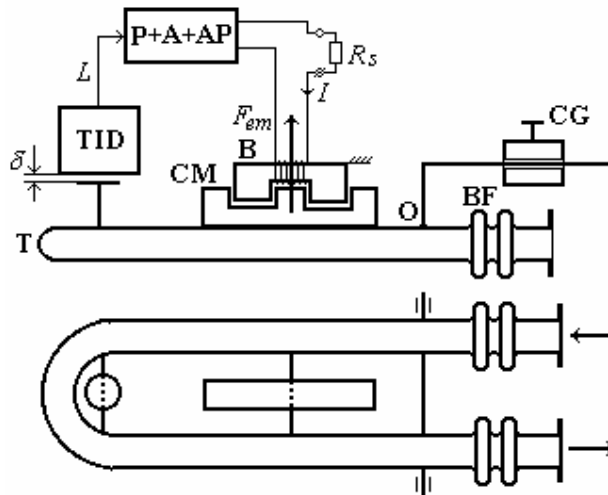


Fig. 3.24. Traductorul de densitate gravimetric.

Dacă, de exemplu, densitatea lichidului crește, atunci tubul se dezechilibrează și distanța δ (reprezentând întrefierul circuitului magnetic din componența traductorului inductiv de deplasare TID) crește, inductivitatea L scade, puntea electrică P se dezechilibrează, tensiunea de dezechilibru a punții este amplificată de amplificatorul de tensiune A, iar curentul I de la ieșirea amplificatorului de putere AP va crește. Mai departe, forța electromagnetică F_{em} de atracție a cadrului magnetic CM de către bobina fixă B crește, iar tubul cu lichid este readus în poziția orizontală. Amplificatorul de tensiune A îndeplinește rolul unui “regulator” de tip proporțional, cu factor de amplificare foarte mare (de ordinul zecilor sau sutelor). În consecință, cu toate că regulatorul nu are componentă integrală, dispozitivul de reglare reușește practic să aducă și să mențină tubul cu lichid în poziție orizontală. Pentru atenuarea eventualelor oscilații ale tubului se utilizează un amortizor hidraulic (nedesenat în figură).

Traductorul inductiv cu întrefier variabil TID funcționează pe baza dependenței reluctanței unui circuit magnetic de lungimea întrefierului variabil al circuitului magnetic (fig. 3.25, a). Ținând seama că reluctanța însumată a cadrului și armăturii feromagnetice R_{mf} este neglijabilă față de reluctanța întrefierului $R_{m\delta}$, corelația inductivitate L – întrefier δ este dată de relația

$$L = \frac{n^2}{R_{mf} + R_{m\delta}} \cong \frac{n^2}{R_{m\delta}} = \frac{n^2 \mu_0 S}{2\delta}, \quad (3.34)$$

unde n este numărul de spire al înfășurării, μ_0 – permeabilitatea magnetică a aerului (vidului), iar S – aria medie a secțiunii întrefierului. Acest tip de traductor, cunoscut și sub denumirea de traductor inductiv cu armătură mobilă) are o foarte mare sensibilitate, dar un domeniu de măsurare mic (de ordinul milimetrilor). O precizie de măsurare mai ridicată pe un domeniu de măsurare mult mai mare (de ordinul zecilor de milimetri) și o forță de antrenare a elementului mobil mult mai redusă se întâlnesc la *traductoarele inductive de tip diferențial cu miez mobil*, construite fie în varianta parametrică (fig. 3.25, *b*), fie în varianta tip transformator (fig. 3.25, *c*). În ambele variante, tija de antrenare a miezului mobil feromagnetic este din material neferomagnetic.

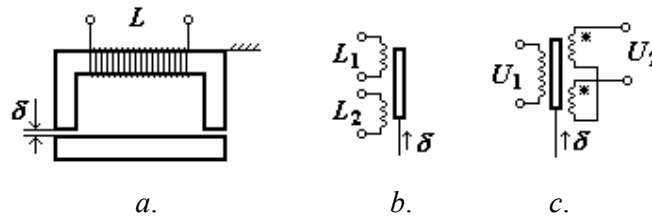


Fig. 3.25. Traductoare de deplasare inductive:
a) cu întrefier variabil; b) cu miez mobil; c) tip transformator.

În cazul traductorului inductiv parametric, cele două bobine sunt conectate în brațele adiacente ale unei punți electrice alimentate în alternativ, la o frecvență constantă din gama 1...50 kHz. Datorită montajului de tip diferențial, efectul temperaturii asupra rezultatului măsurării este în mare măsură compensat.

Traductoare hidrostatice

Traductoarele hidrostatice funcționează pe baza dependenței presiunii P de la baza unei coloane de lichid cu înălțimea constantă h_0 de densitatea ρ a lichidului, conform relației

$$P = gh_0\rho. \quad (3.35)$$

Pentru compensarea influenței temperaturii T a lichidului asupra densității măsurate ρ se aplică metoda diferențială, care constă în utilizarea unui traductor de presiune diferențială având ca intrări presiunea P și presiunea hidrostatică P_1 generată de o coloană de lichid etalon cu înălțimea h_1 constantă. Prin alegerea convenabilă a raportului h_0/h_1 , presiunea diferențială

$$P_d = P - P_1 = g[h_0\rho(T) - h_1\rho_1(T)] \quad (3.36)$$

rămâne practic insensibilă la variații mici ale temperaturii.

Traductoare cu radiații nucleare

Aceste traductoare au la baza funcționării lor dependența dintre gradul de absorbție a radiațiilor nucleare și densitatea medie ρ a stratului de lichid străbătut, cu lungimea x_0 constantă, conform relației

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x_0 \cdot \rho}, \quad (3.37)$$

similară relației (3.16) de la traductoarele de nivel cu radiații nucleare. Ca și la măsurarea nivelului, traductorul conține o sursă de radiații nucleare γ și un receptor de radiații. Metoda prezintă avantajul inexistenței unui contact direct între elementele traductorului și lichidul de măsurat.

3.1.7. Traductoare de viscozitate

La deplasarea unui strat de fluid în raport cu altul apar forțe de frecare internă care determină viscozitatea fluidului. Ca și la densitate, viscozitatea este influențată de temperatura fluidului. Atunci când se dorește determinarea viscozității la o temperatură standard, se utilizează un traductor de temperatură termorezistiv și o procedură adecvată de compensare, la adaptor, a efectului produs prin variația temperaturii. Traductoarele de viscozitate cele mai frecvent întâlnite sunt traductoarele cu tub capilar și traductoarele rotative.

Traductoare cu tub capilar

Aceste traductoare au la baza funcționării dependența dintre căderea de presiune P_d produsă la trecerea, cu debit constant, a lichidului analizat printr-un tub capilar și viscozitatea dinamică η a lichidului, exprimată prin relația lui Poiseuille:

$$P_d = \frac{128 l Q}{\pi d^4} \cdot \eta, \quad (3.38)$$

unde d este diametrul tubului capilar, l – lungimea tubului, iar Q – debitul volumic de fluid. Atunci când lichidul din tubul capilar se scurge într-un vas aflat la presiunea atmosferică, căderea de presiune P_d coincide cu presiunea relativă P_l din amonte capilarului.

Menținerea constantă a debitului se realizează prin utilizarea unei pompe volumetrice, cu roți dințate. Metoda este utilizabilă în cazul lichidelor curate, mai frecvent în laborator și mai rar în aplicațiile industriale.

Traductoare rotative

Traductoarele de tip rotativ funcționează pe baza dependenței de viscozitate a momentului mecanic transmis prin intermediul lichidului de analizat, de un disc sau cilindru aflat în mișcare uniformă de rotație, altui disc

sau cilindru concentric, aflat în imediata apropiere (astfel încât cele două elemente să aibă o “suprafață comună” cât mai mare) – fig. 3.26. Cuplul transmis discului reactiv DR de către discul activ DA este proporțional cu viscozitatea lichidului η și cu viteza unghiulară a elementului activ ω (dacă aceasta nu depășește o anumită limită superioară, dependentă de natura lichidului, de dimensiunile discului activ și pasiv):

$$C_a = k_1 \omega \eta.$$

Acest cuplu este echilibrat de cuplul rezistent produs cu ajutorul resortului elastic R:

$$C_r = k_2 l.$$

Din condiția de echilibru, rezultă:

$$l = \frac{k_1 \omega}{k_2} \cdot \eta. \quad (3.39)$$

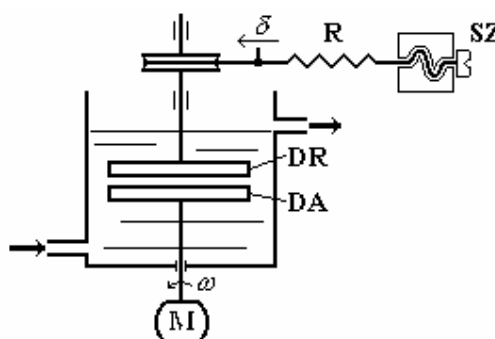


Fig. 3.26. Traductor de viscozitate rotativ.

În conformitate cu relația (3.39), pentru o măsurare precisă se impune menținerea cât mai constantă a vitezei de rotație a elementului activ, a distanței între elementul activ și cel reactiv, a proprietăților resortului elastic. Punctul de zero al traductorului poate fi ajustat convenabil cu ajutorul resortului elastic R și al șurubului de zero SZ. Domeniul de lucru al traductorului rotativ, ca și cel al traductorului cu tub capilar, este cuprins între 0 și 10^4 poise ($1P=1 \text{ Ns/m}^2$).

3.2. ADAPTOARE

Adaptorul din componența unui sistem de măsurare primește la intrare semnalul generat de traductor și generează un *semnal de ieșire unificat* $I = 4 \dots 20 \text{ mA}$, care să aibă o variație cât mai *liniară* în raport cu mărimea măsurată (de intrare a traductorului). Semnalul unificat poate fi transmis la

distanță (până la 2 km), fără pierderi și cu consum redus de energie. Adaptorul determină *domeniul de măsurare* al sistemului unificat (înscris, alături de alte caracteristici, pe o plăcuță fixată de carcasa adaptorului), care este însă întotdeauna inclus în domeniul admisibil de funcționare a traductorului. Cele mai frecvent întâlnite adaptoare sunt adaptoarele tensiune (rezistență)-curent și adaptoarele deplasare-curent.

3.2.1. Adaptoare tensiune (rezistență)-curent

Aceste adaptoare sunt conectate la traductoarele care generează semnal de ieșire în tensiune sau în rezistență (termocupluri, termorezistențe, traductoare de presiune cu ionizare sau cu radiații nucleare, traductoare de nivel rezistive, traductoare de debit cu flux magnetic etc.). Cele două tipuri de traductoare diferă în principal numai prin blocul de intrare BI, la ieșirea căruia se obține tensiunea u_0 , variabilă într-o gamă dată (fig. 3.27). Structura și parametrii blocului de intrare depind de caracteristicile traductorului și de domeniul de măsurare.

Adaptorul are o *structură închisă* și o *amplificare foarte mare în buclă deschisă* (mai exact, pe calea directă). Amplificatorul de tensiune A are factorul de amplificare de ordinul miilor, iar amplificatorul de putere AP, cu două tranzistoare în montaj Darlington, generează semnalul unificat I de ieșire din adaptor. Blocul de reacție și corecție BRC determină factorul de proporționalitate al buclei închise, astfel încât caracteristica statică a sistemului traductor-adaptor să fie cât mai liniară (în cazul traductoarelor cu caracteristică statică ușor neliniară). La adaptoarele moderne, amplificatorul A este un circuit integrat, de tipul *modulare-amplificare în alternativ-demodulare*. Prin modulare, semnalul continuu este transformat într-un semnal alternativ (cu frecvența de ordinul sutelor sau miilor de Hz), iar prin demodulare, semnalul alternativ amplificat este readus la forma continuă. Față de amplificatorul de tensiune continuă cu cuplaj direct, acest tip de amplificator practic nu prezintă fenomenul *deriva nulului*. Menținerea în timp a punctului de zero la amplificatoarele de semnal alternativ se explică prin faptul că tensiunea de alimentare a unui etaj de amplificare este continuă, în timp ce semnalul util de amplificat este alternativ. La amplificatoarele cu cuplaj direct, ambele tipuri de semnale (semnalul de alimentare și semnalul util) sunt de tip continuu.

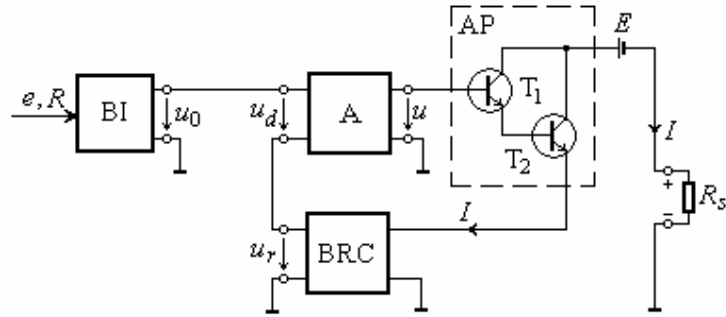


Fig. 3.27. Schema adaptorului tensiune (rezistență)-curent.

Deoarece factorul total de proporționalitate al buclei deschise este foarte mare, factorul de proporționalitate al buclei închise este egal cu inversul factorului de proporționalitate al elementului de pe calea de reacție. Într-adevăr, dacă notăm cu k , k_p și k_r factorii de proporționalitate obținuți prin liniarizarea în jurul punctului de funcționare a caracteristicilor amplificatorului de tensiune, amplificatorului de putere și blocului de reacție, atunci avem

$$\Delta I = k_p \Delta u = k_p k (\Delta u_0 - \Delta u_r) = k_p k (\Delta u_0 - k_r \Delta I),$$

deci

$$\Delta I = \frac{k_p k}{1 + k_p k k_r} \cdot \Delta u_0 = \frac{1/k_r}{1/k_p k k_r + 1} \cdot \Delta u_0 \cong \frac{\Delta u_0}{k_r}. \quad (3.40)$$

În vederea compensării neliniarității traductorului, caracteristica statică a blocului de reacție are o formă asemănătoare formei caracteristicii traductorului. Caracteristica ușor neliniară a blocului de reacție este constituită de obicei din *cinci segmente* de dreaptă cu pante diferite. Trecerea de la un segment la următorul se realizează fizic prin comutarea unui tranzistor din starea de blocare în starea de conducție.

3.2.1. Adaptoare deplasare-curent

Adaptoarele deplasare-curent se cuplează cu traductoarele a căror mărime de ieșire este o deplasare mecanică, liniară sau unghiulară (traductoare de temperatură bazate pe dilatare, traductoare de presiune bazate pe deformarea corpurilor elastice, traductoare de nivel cu imersor sau cu plutitor, traductoare de debit rotametrice, traductoare de densitate cu imersor, traductoare de vâscozitate de tip rotativ ș.a.). Ca și la adaptoarele de tensiune și de rezistență, structura adaptorului de deplasare este *închisă*, iar *amplificarea în buclă deschisă este foarte mare* (de ordinul sutelor).

Adaptorul deplasare-curent funcționează pe *principiul balanței de forțe*, care exprimă faptul că mărimile de referință și de reacție sunt forțe de natură diferită (mecanică și electrică), care mențin în echilibru un element mobil. La

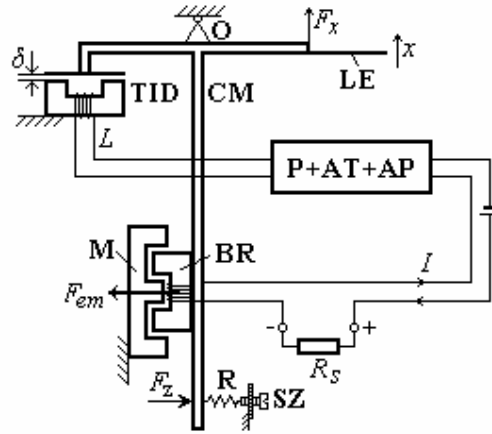


Fig. 3.28. Schema adaptorului deplasare-curent.

adaptorul de tip Foxboro, elementul mobil este un cadru metalic CM care se poate roti în jurul articulației O (fig. 3.28).

Dacă deplasarea x crește, atunci lamela elastică LE se deformează, iar forța elastică F_x tinde să rotească în sens antiorar cadrul mobil CM. Distanța δ dintre armătura mobilă și cadrul magnetic fix al traductorului inductiv de deplasare TID se micșorează, inductivitatea L crește, puntea electrică P se dezechilibrează, tensiunea de dezechilibru a punții este amplificată de amplificatorul de tensiune AT, iar curentul unificat I generat de aplicatorul de putere AP crește. Mai departe, forța electromagnetică F_{em} de atracție a bobinei de reacție BR de cadrul magnetic fix M crește, iar cadrul mobil CM va fi rotit în sens orar pentru a reveni la poziția inițială. Punctul de zero al adaptorului poate fi ajustat convenabil cu ajutorului resortului elastic R și al șurubului de zero SZ.

4

REGULATOARE, CONVERTOARE, ROBINETE DE REGLARE

4.1. REGULATOARE

Intr-un sistem de reglare după eroare (abatere), regulatorul îndeplinește rolul elementului de *comandă*, de decizie. Regulatorul primește la intrare două semnale: *semnalul de referință* (numit și *setpoint*), care exprimă procentual valoarea dorită a mărimii reglate (de ieșire a procesului) și *semnalul de măsură*, generat de traductorul mărimii reglate sau de ansamblul traductor-adaptor. În urma procesării celor două semnale după un algoritm convenabil, dependent de comportamentul dinamic al procesului reglat, regulatorul elaborează *semnalul de comandă* a elementului de execuție, prin intermediul căruia se intervine asupra procesului reglat pentru a aduce mărimea reglată la o valoare cât mai apropiată de valoarea referinței. La trecerea sistemului de reglare din regimul MANUAL în regimul AUTOMAT, algoritmul de comandă al regulatorului înlocuiește raționamentul, judecata, logica operatorului uman.

În funcție de natura fizică a semnalelor de intrare și de ieșire, regulatorul poate fi: electronic, pneumatic, hidraulic sau mecanic. În funcție de forma semnalelor procesate, regulatoarele pot fi continue (analogice), discrete (numerice), bipoziționale sau tripoziționale. Cele mai performante și mai frecvent utilizate sunt, evident, *regulatoare electronice numerice*.

4.1.1. Regulatoare electronice continue

Regulatoarele electronice continue unificate au semnalele de intrare și de ieșire sub forma unui curent electric în gama 4 ... 20 mA. Regulatorul convențional generează comanda c prin prelucrarea erorii curente $e=r-m$ după algoritmul **PID** (de tip proporțional-integral-derivativ):

$$c = K_p \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right) + c_0, \quad (4.1)$$

în care K_p este factorul de proporționalitate, T_i - constanta de timp integrală, T_d - constanta de timp derivativă. Între factorul de proporționalitate K_p și banda de proporționalitate B_p , cu care se operează frecvent în practică, există relația $K_p=100/B_p$. În cazurile particulare $T_d=0$ și $T_i=\infty$, algoritmul de comandă PID devine PI și, respectiv, PD.

În majoritatea cazurilor, panoul frontal al regulatorului conține un comutator A/M pentru stabilirea regimului de lucru (AUTOMAT sau MANUAL), un comutator I/E pentru stabilirea tipului de referință (INTERNĂ sau EXTERNĂ), un buton pentru fixarea valorii semnalului de referință (atunci când referința este INTERNĂ), un buton pentru fixarea valorii semnalului de comandă (atunci când regimul este MANUAL) și trei scale indicatoare pentru semnalele de referință, de eroare și de comandă. La regulatoarele unificate, scalele celor trei semnale ale regulatorului sunt gradate în procente (valorilor de 4, 12 și 20 mA ale curentului unificat le corespund respectiv valorile procentuale 0, 50 și 100 %).

În interiorul carcasei regulatorului se găsesc butoanele pentru modificarea parametrilor de acordare K_p (sau B_p), T_i și T_d , precum și un comutator de sens (DIRECT sau INVERS). Sensul DIRECT corespunde cazului $K_p < 0$, iar sensul INVERS corespunde cazului $K_p > 0$. Din ecuația regulatorului de tip P (proporțional),

$$c = K_p(r - m) + c_0, \quad (4.2)$$

rezultă că atunci când comutatorul de sens se află în starea DIRECT, creșterea semnalului de măsură m determină creșterea semnalului de comandă c .

Regulatoarele electronice cu *amplificatoare operaționale* au, de regulă, câte un amplificator operațional cu reacție negativă pentru fiecare din cele cinci operații ale algoritmului de reglare PID (comparație, însumare, multiplicare, integrare și derivare). Un al șaselea amplificator operațional este utilizat la stabilirea sensului DIRECT/INVERS. Mărimile de intrare și de ieșire ale amplificatoarelor cu reacție sunt semnale sub formă de tensiune. Semnalele de intrare în curent 4 ... 20 mA ale regulatorului sunt transformate în tensiuni 1 ... 5 V cu ajutorul unor rezistențe de 250 Ω , conectate la bornele de intrare ale regulatorului. În plus, regulatorul mai conține un *convertor-amplificator de putere*, care transformă tensiunea de comandă generată de ultimul amplificator operațional în semnal unificat de ieșire 4 ... 20 mA. Pentru ca semnalul unificat de ieșire să fie independent de rezistența totală de sarcină (în condițiile în care aceasta nu depășește o anumită valoare limită impusă de fabricant, de exemplu 750 Ω , adică trei rezistențe standard a câte 250 Ω înseriate), convertorul-amplificator de putere conține un circuit de reacție negativă (puternică) în raport cu curentul de ieșire.

Amplificatoarele operaționale sunt circuite integrate cu următoarele proprietăți principale: a) un factor de amplificare în tensiune foarte mare (cel puțin de ordinul sutelor de mii); b) o rezistență de intrare foarte mare (cel puțin 1 M Ω); c) o tensiune de intrare foarte mică (sub 0,1 mV); d) un curent de intrare extrem de mic, practic neglijabil (sub 0,1nA). Pe baza acestor proprietăți, ecuațiile simplificate ale amplificatoarelor operaționale cu reacție pot fi obținute foarte ușor. În cazul elementului de comparație din figura 4.1-a, ținând seama că $i \cong 0$, avem:

$$i_1 + i - i_r = 0, \quad i_1 - i_r \cong 0, \quad \frac{u_1 - \bar{u}_1}{R_1} - \frac{\bar{u}_1 - u_e}{R} \cong 0, \quad u_e \cong -\frac{R}{R_1} u_1 + \frac{R_1 + R}{R_1} \bar{u}_1$$

și

$$i_2 - i - i_3 = 0, \quad i_2 - i_3 \cong 0, \quad \frac{u_2 - \bar{u}_2}{R_2} - \frac{\bar{u}_2}{R_3} \cong 0, \quad \bar{u}_2 \cong \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_2.$$

Din proprietatea c) rezultă $\bar{u}_1 \cong \bar{u}_2$, deci

$$u_e \cong -\frac{R}{R_1} u_1 + \frac{R_1 + R}{R_1} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_2.$$

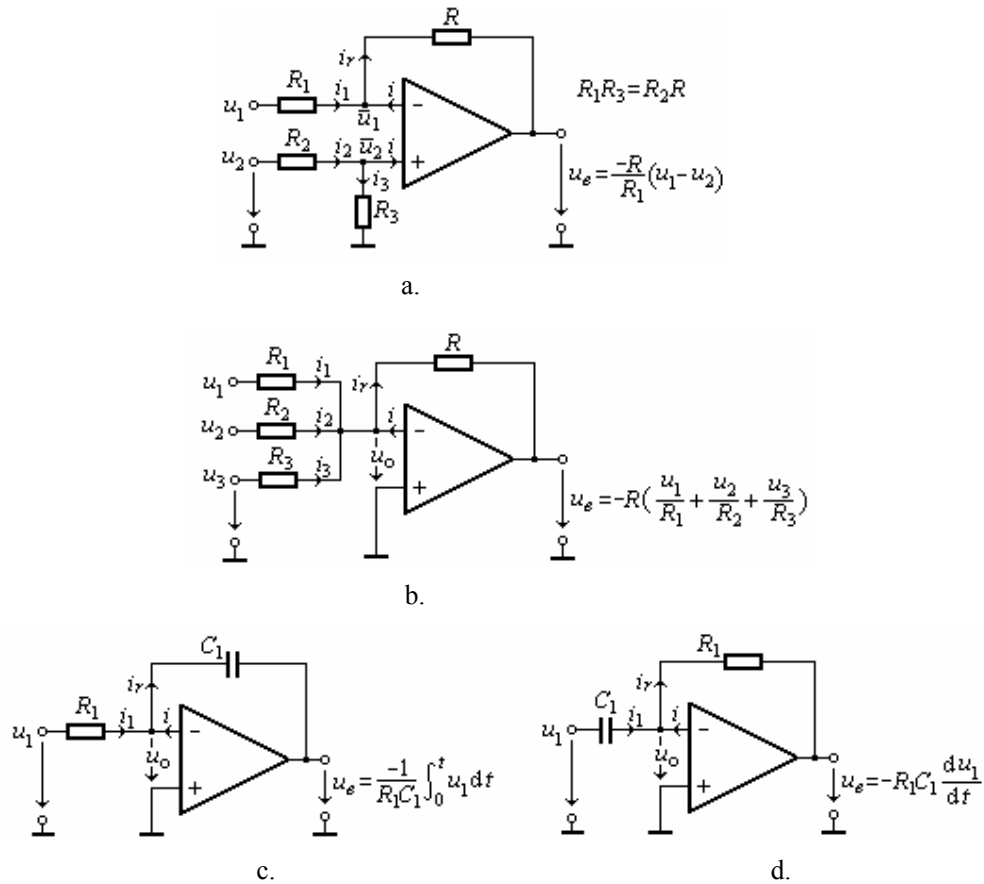


Fig. 4.1. Principalele tipuri de amplificatoare operaționale cu reacție ale regulatorului PID:

a) elementul de comparație; b) elementul sumator; c) elementul integral; d) elementul derivativ

In cazul particular $R_1 R_3 = R_2 R$, avem $\frac{R}{R_1} = \frac{R_1 + R}{R_1} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}$, iar ecuația elementului de comparație capătă forma simplificată

$$u_e = -\frac{R}{R_1}(u_1 - u_2). \quad (4.3)$$

In mod similar, pentru elementul sumator din figura 4.1-b, avem

$$i_1 + i_2 + i_3 + i - i_r = 0, \quad i_1 + i_2 + i_3 - i_r \cong 0, \quad \frac{u_1 - u_0}{R_1} + \frac{u_2 - u_0}{R_2} + \frac{u_3 - u_0}{R_3} - \frac{u_0 - u_e}{R} \cong 0,$$

iar din $u_0 \cong 0$, rezultă

$$u_e = -R \left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} \right). \quad (4.4)$$

Pentru elementul integral din figura 4.1-c, avem

$$i_1 + i - i_r = 0, \quad i_1 - i_r \cong 0, \quad \frac{u_1 - u_0}{R_1} - C_1 \frac{d(u_0 - u_e)}{dt} \cong 0,$$

iar din $u_0 \cong 0$, rezultă

$$u_e = \frac{-1}{R_1 C_1} \int_0^t u_1 dt + u_{e0}. \quad (4.5)$$

Pentru elementul derivativ din figura 4.1-d, avem

$$i_1 + i - i_r = 0, \quad i_1 - i_r \cong 0, \quad C_1 \frac{d(u_1 - u_0)}{dt} - \frac{u_0 - u_e}{R_1} \cong 0,$$

iar din $u_0 \cong 0$, rezultă

$$u_e = -R_1 C_1 \frac{du_1}{dt}. \quad (4.6)$$

Cu mai puțină acuratețe, algoritmul de reglare PID poate fi realizat cu un singur amplificator operațional cu reacție negativă. De exemplu, algoritmul PI poate fi realizat cu schema de principiu din figura 4.2.

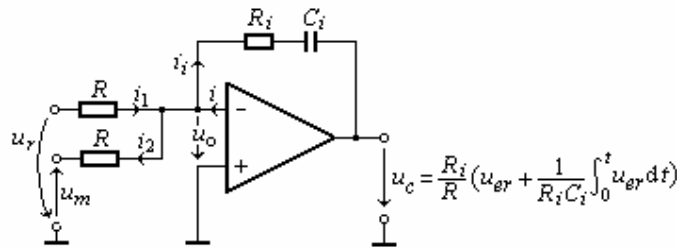


Fig. 4.2. Schema de implementare a algoritmului PI.

Avem

$$i_1 = \frac{u_r - u_0}{R} \cong \frac{u_r}{R}, \quad i_2 = \frac{u_0 - (-u_m)}{R} \cong \frac{u_m}{R},$$

$$i_1 + i - i_2 - i_i = 0, \quad i_i \cong i_1 - i_2 \cong \frac{u_r - u_m}{R}, \quad i_i \cong \frac{u_{er}}{R},$$

unde $u_{er} = u_r - u_m$. Rezultă

$$u_c = u_0 + R_i i_i + \frac{1}{C_i} \int_0^t i_i dt \cong R_i i_i + \frac{1}{C_i} \int_0^t i_i dt,$$

deci

$$u_c \cong \frac{R_i}{R} \left(u_{er} + \frac{1}{R_i C_i} \int_0^t u_{er} dt \right). \quad (4.7)$$

4.1.2. Regulatele electronice bipoziționale

La regulatele bipoziționale, semnalul de comandă ia numai două valori distincte, ce pot fi notate convențional cu 0 și 1. Regulatele bipoziționale sunt elemente de comandă neliniare, cu caracteristica statică de tip releu cu histerezis (fig. 4.3).

Dacă semnalul de comandă c are valoarea 0, iar semnalul de eroare e crește și atinge valoarea a , atunci semnalul c comută în valoarea 1. Invers, dacă semnalul de comandă c are valoarea 1, iar semnalul de eroare e scade și atinge valoarea $-a$, atunci semnalul c comută în valoarea 0. Histerezisul regulatorului este egal cu $2a$.

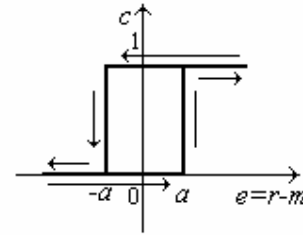


Fig. 4.3. Caracteristica statică a regulatorului bipozițional

Regulatorul bipozițional unificat este un sistem cu structura deschisă. El conține un *amplificator de tensiune* AT cu factorul de amplificare k ajustabil și un *tranzistor de putere* T, având ca sarcină un *releu electromagnetic* R (fig. 4.4). Contactele CL și CH ale releului electromagnetic, unul normal deschis și celălalt normal închis, sunt la dispoziția utilizatorului, pentru a obține valorile adecvate ale semnalului de comandă.

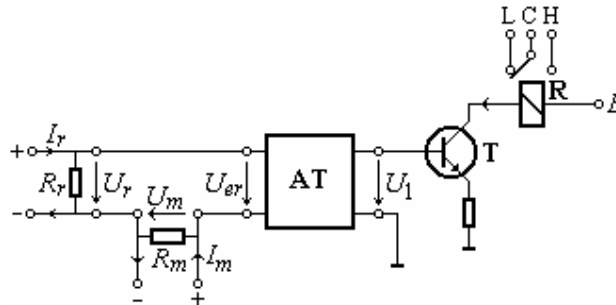


Fig. 4.4. Schema regulatorului electronic bipozițional.

Histerezisul magnetic inerent al releului electromagnetic R determină histerezisul regulatorului. Dacă factorul de amplificare în tensiune al tranzistorului de putere T este egal cu 1, atunci valoarea procentuală a semihisterezisului a al regulatorului este dată de formula

$$a = \frac{h_0}{4k} \cdot 100 \%, \quad (4.8)$$

unde h_0 este valoarea în volți a semihisterezisului releului electromagnetic. Prin mărirea factorului de amplificare k , histerezisul regulatorului bipozițional se reduce.

Reglarea bipozițională este eficientă numai atunci când cele două valori ale comenzii c reușesc să aducă mărimea reglată la valori situate de o parte și de alta a valorii mărimii de referință r (fig. 4.5). Semnalul de măsură m și implicit mărimea reglată *oscilează* în jurul valorii de referință, iar amplitudinea oscilațiilor este cel puțin egală cu semihisterezisul a al regulatorului (fiind mai mare la procesele cu inerție, adică cu ordinul mai mare ca doi, precum și la procesele cu timp mort).

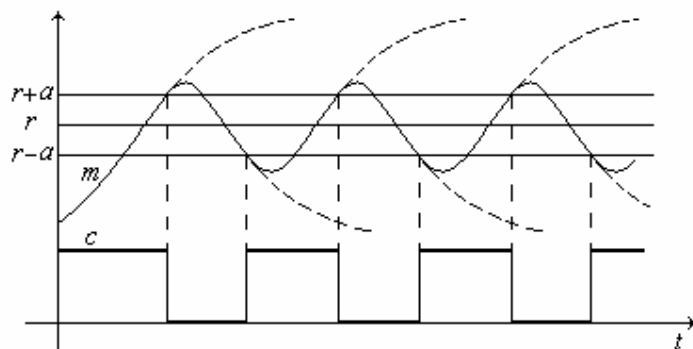


Fig. 4.5. Variația în timp a semnalelor de măsură și de comandă la reglarea bipozițională.

Dacă histerezisul regulatorului este mic, precizia de reglare este bună, dar frecvența de comutare a comenzii regulatorului de la o valoare la alta este mare, lucru inacceptabil în cazul multor procese. În comparație cu reglarea continuă, reglarea bipozițională este mai puțin precisă, dar mai simplă și mai robustă.

4.1.3. Reglatoare pneumatice

Reglatoarele pneumatice continue funcționează cu semnal pneumatic unificat 0,2...1,0 bar și sunt utilizate în special ca aparate de câmp, la reglarea proceselor relativ lente. Ele au o *structură închisă*, similară cu cea a reglatoarelor electronice continue cu un singur amplificator operațional cu

reacție. Sunt formate dintr-un *element de comparație* a presiunilor de referință și de măsură, un *amplificator de presiune*, un *amplificator pneumatic de putere* și un *bloc de reacție* cu rezistențe și capacități pneumatice. Rezistențele pneumatice sunt elemente obturatoare de construcție specială prin care aerul instrumental (uscat și fără impurități) circulă în regim de curgere laminar, iar capacitățile pneumatice sunt camere de înmagazinare a aerului instrumental. Rezistențele pneumatice variabile sunt de regulă tuburi capilare elicoidale cu lungimea variabilă, construite pe principiul ”șurub-piuliță”.

Comparația a două semnale pneumatice se face cu ajutorul a două burdufuri elastice identice, ale căror capete libere sunt unite cu o pârghie metalică. În cazul elementului de comparație a presiunii de referință p_r cu presiunea de măsură p_m din figura 4.6, semnalul de eroare (abatere) este deplasarea δ_{er} :

$$\delta_{er} \cong \frac{\delta_r - \delta_m}{2} = \frac{k_{el}(p_r - p_m)}{2}, \quad (4.9)$$

unde k_{el} reprezintă constanta elastică a burdufurilor de referință B_r și de măsură B_m .

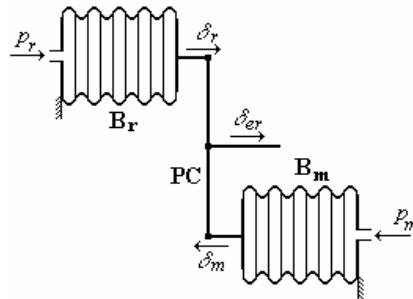


Fig. 4.6. Comparator pneumatic.

În schema de principiu a regulatorului pneumatic din figura 4.7, PC și PC1 sunt pârghii de comparație, C-A este convertor-amplificator de presiune, APB – amplificator de putere cu bilă, BR – bloc de reacție, iar B1 – burduf de reacție locală.

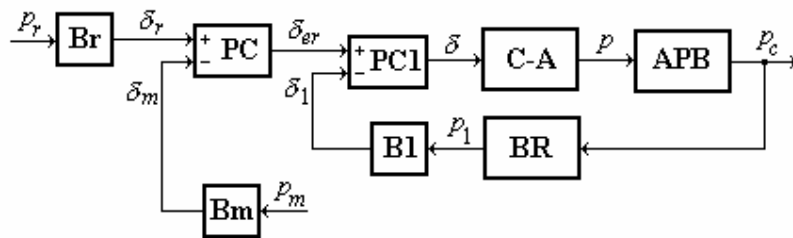


Fig. 4.7. Schema de principiu a regulatorului pneumatic.

Convertorul-amplificator de presiune C-A are ca mărime de intrare deplasarea δ , iar ca mărime de ieșire presiunea p . De regulă, acest convertor-amplificator este de tipul “cu clapetă și duze” (fig. 4.8). Duza D_2 este un tub capilar cu rezistență pneumatică foarte mare, prin care aerul instrumental circulă cu un debit foarte mic, în timp ce duza D_1 are un diametru mult mai mare. În consecință, pentru o reducere de câteva zecimi de milimetru a distanței δ dintre clapeta C și duza D_1 , presiunea p din camera aflată între cele două duze variază de la o extremă la cealaltă (teoretic, de la 0 la 1,4 bar), asigurându-se astfel un factor de proporționalitate de valoare ridicată. Deoarece debitul aerului instrumental de la ieșirea convertorului-amplificator C-A are valoarea mică, puterea semnalului pneumatic de la ieșirea amplificatorului de presiune este redusă. Din acest motiv, presiunea p de la ieșirea amplificatorului de presiune trebuie aplicată la intrarea unui amplificator pneumatic de putere.

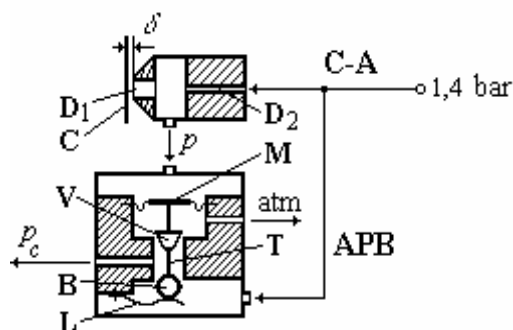


Fig. 4.8. Amplificatoare pneumatice de presiune și putere.

Amplificatorul de putere cu bilă APB din figura 4.8 are ca mărime de ieșire chiar presiunea de comandă p_c de la ieșirea regulatorului. La creșterea presiunii p , ansamblul mobil format din membrana M , tija T , ventilul V , bila B și lamela elastică L coboară proporțional, reducând secțiunea de trecere a aerului de la ieșirea amplificatorului înspre atmosferă (în zona ventilului V) și mărirând secțiunea de trecere a aerului de la rețeaua de 1,4 bar înspre ieșirea amplificatorului (în zona bilei B). În consecință, presiunea p_c de la ieșirea amplificatorului va crește. În mod similar, la scăderea presiunii de intrare p , presiunea de ieșire p_c se reduce.

Deoarece secțiunea de trecere din dreptul bilei permite circulația unui debit de aer relativ mare, semnalul pneumatic generat de APB are o putere suficient de mare pentru a comanda într-un timp convenabil, de ordinul secundelor, un servomotor pneumatic cu membrană situat la o distanță de câțiva metri. Dacă însă distanța până la servomotor este mare (cca. 100 metri), atunci timpul de

aționare a servomotorului este de ordinul zecilor de secunde. În lipsa amplificatorului de putere, acest timp devine extrem de mare, sau chiar infinit (în cazul în care sistemul nu este perfect etanș).

Blocul de reacție BR are ca mărime de intrare presiunea de comandă p_c de la ieșirea regulatorului, iar ca mărime de ieșire presiunea p_1 (v. fig. 4.7). La regulatoarele PID, acest bloc este format din elemente pneumatice pasive (fără alimentare proprie cu energie), mai exact din două rezistențe pneumatice variabile, două capacități pneumatice fixe și un bloc sumator (fig. 4.9).

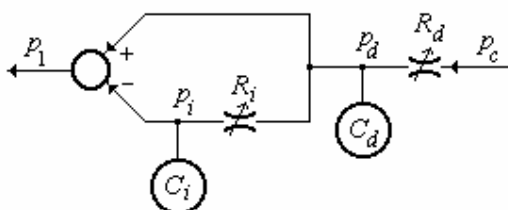


Fig. 4.9. Structura blocului de reacție al regulatorului pneumatic de tip PID.

Constanta de timp derivativă T_d este egală cu produsul dintre rezistența pneumatică R_d și capacitatea pneumatică C_d , iar constanta de timp integrală T_i este egală cu produsul dintre rezistența pneumatică R_i și capacitatea pneumatică C_i . Factorul de proporționalitate al regulatorului se poate modifica prin ajustarea convenabilă a lungimilor pârghiei de comparație PC1 (fig. 4.7), iar constantele de timp integrală și derivativă se pot modifica cu rezistențele pneumatice variabile R_i și respectiv R_d .

4.1.4. Reglatoare numerice

Reglatoarele numerice conțin un *convertor analog-numeric* pentru conversia semnalului de măsură și a semnalului de referință externă tip curent 4...20 mA în semnale numerice, o *magistrală pentru transmisia datelor* numerice, un *microprocesor* specializat pentru prelucrarea datelor numerice, o unitate de *memorie*, un *convertor numeric-analogic* pentru conversia semnalului numeric rezultat din calcul în tensiune continuă, un *convertor-amplificator de putere* pentru transformarea tensiunii continue în semnal de ieșire 4...20 mA, o *interfață serială* de comunicație și conectare la calculator etc.

Panoul frontal al unui regulator numeric conține display-uri pentru afișarea valorilor curente ale mărimilor de intrare și de ieșire ale regulatorului și un set de taste pentru programarea stării regulatorului (automat/manual, cu referință locală/externă), a valorii parametrilor de acordare, a domeniului mărimii

reglate, a gamei de variație a semnalului de măsură, a caracteristicilor comunicației seriale ș.a. Unele regulatoare mai complexe sunt prevăzute și cu un ecran pentru reprezentarea grafică a variației în timp a variabilelor de intrare și de ieșire ale regulatorului.

Perioada de eșantionare a regulatoarelor uzuale (cuprinsă între momentele în care se efectuează, practic instantaneu, achiziția valorii semnalelor de măsură și de referință, procesarea informației și modificarea semnalului de ieșire) este de circa 0,5 secunde, deci suficient de mică pentru ca regulatorul să poată fi utilizat și la reglarea proceselor rapide (cu timp de răspuns de ordinul secundelor).

În cazul *regulatoarelor numerice*, algoritmul de comandă **PI** are forma intrare-stare-ieșire

$$\begin{cases} I_k = I_{k-1} + \frac{T}{T_i} e_k \\ c_k = K_p (e_k + I_k) + c_0 \end{cases} \quad (4.10)$$

și forma intrare-ieșire

$$c_k = c_{k-1} + K_p [(e_k - e_{k-1}) + \frac{T}{T_i} e_k], \quad (4.11)$$

unde T reprezintă perioada de eșantionare, e_k este eroarea curentă, iar c_0 este valoarea comenzii în momentul dinaintea comutării regulatorului din regim MANUAL în regim AUTOMAT.

Algoritmul numeric **PID** poate fi scris sub forma

$$\begin{cases} D_k = p_d D_{k-1} + K_p \frac{T_d}{\tau_d} (e_k - e_{k-1}) \\ (PI)_k = (PI)_{k-1} + K_p [(e_k - e_{k-1}) + \frac{T}{T_i} e_k] \\ c_k = (PI)_k + D_k + c_0 \end{cases} \quad (4.12)$$

unde $p_d = e^{-T/\tau_d}$.

Operația de schimbare a regimului de lucru din MANUAL în AUTOMAT trebuie să se realizeze fără a produce o variație bruscă a semnalului de comandă. În acest scop este recomandat ca operația de comutare să fie precedată de operația de inițializare a variabilelor și să fie efectuată în regim staționar, cu eroare zero. Ultima condiție se poate realiza rapid prin aducerea referinței la valoarea măsurii. În cazul algoritmului de reglare (4.12), operația de inițializare constă în:

- inițializarea variabilelor e_{k-1} , D_{k-1} și $(PI)_{k-1}$ cu valoarea zero;
- inițializarea variabilei c_0 cu valoarea curentă a comenzii.

În aceste condiții, prima valoare a comenzii generate în regim AUTOMAT, la momentul $k=1$, va avea valoarea

$$c_1 = K_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{\tau_d}\right) e_1 + c_0 \cong c_0.$$

Datorită preciziei ridicate de implementare a algoritmului de reglare și posibilității de conectare la calculator, regulatoarele numerice sunt din ce în ce mai frecvent utilizate în domeniul automatizărilor industriale.

4.2. CONVERTOARE ELECTRO-PNEUMATICE

Convertorul electro-pneumatic este utilizat ca element de interfață între un regulator electronic unificat și un element de execuție cu servomotor pneumatic de acționare. Ele convertesc semnalul electronic unificat $I_c = 4 \dots 20$ mA generat de regulator în semnal pneumatic unificat $p_c = 0,2 \dots 1,0$ bar.

Convertorul electro-pneumatic este un sistem cu *structură închisă*, care funcționează pe *principiul compensării forțelor* și are o *amplificare în buclă deschisă de valoare ridicată* (de ordinul zecilor). El este format dintr-un circuit electromagnetic CM în interiorul căruia se află armătura din material feromagnetic (permalloy) AF, clapeta C, convertorul-amplificator de presiune C-A, amplificatorul pneumatic de putere cu bilă APB, burduful de reacție Br și șurubul de zero Sz (fig. 4.10).

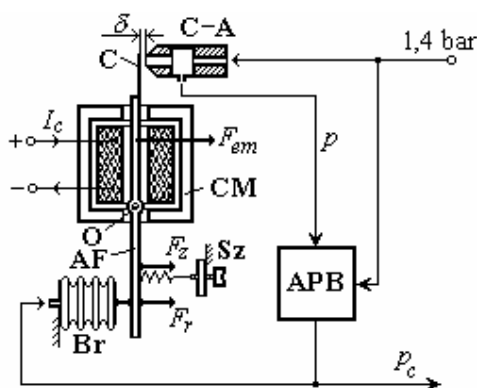


Fig. 4.10. Convertor electro-pneumatic.

La creșterea curentului de intrare I_c din înfășurarea circuitului electromagnetic, forța electromagnetică F_{em} care acționează asupra armăturii feromagnetice AF crește, rotind ușor armătura A împreună cu clapeta C în sens orar, în jurul articulației O. Distanța δ dintre clapeta C și duza alăturată a convertorului-amplificator de presiune C-A se reduce, presiunea p de la ieșirea acestuia crește și, de asemenea, presiunea de comandă p_c de la ieșirea

convectorului electro-pneumatic crește. Creșterea presiunii p_c determină, prin intermediul burdufului de reacție BR, creșterea forței de reacție F_r , care tinde să rotească armătura A în sens antiorar, pentru a o readuce practic în poziția inițială.

Prin intermediul resortului și șurubului de zero Sz, operatorul poate ajusta convenabil *punctul de zero* al convectorului, astfel încât unui curent de intrare de 12 mA să-i corespundă o presiune de ieșire de 0,6 bar. În plus, resortul de zero are și rolul de-a amortiza eventualele oscilații care pot apărea în funcționarea convectorului.

4.3. ROBINETE DE REGLARE

Robinetul de reglare servește la *modificarea debitului de fluid* care circulă printr-o conductă, prin modificarea secțiunii de trecere a fluidului. El este format dintr-un *dispozitiv de acționare* (servomotor) și un *element obturator* (organ de execuție). În varianta cu servomotor pneumatic cu membrană și cu obturator tip ventil, robinetul de reglare este elementul de execuție cel mai frecvent întâlnit în practica sistemelor de reglare. În anumite cazuri speciale, servomotorul este electric sau hidraulic, iar elementul obturator este clapetă, sertar, supapă, bilă, membrană etc. După cum sistemul de obturare este închis sau deschis în lipsa semnalului de comandă, robinetul de reglare este *normal închis* respectiv *normal deschis*. Pentru evitarea blocării ventilului în scaun, robinetul de reglare nu asigură închiderea completă a secțiunii de trecere. În cazul în care căderea de presiune pe robinet este mare, pentru compensarea forțelor care acționează asupra obturatorului mobil se poate utiliza varianta de robinet cu *două scaune*.

Ansamblul mobil al robinetului de reglare este format din *membrana M*, rigidizată pe ambele părți cu discuri metalice, *resortul R*, *tija T* și *ventilul V* (fig. 4.11). Resortul elastic are rolul de-a asigura proporționalitatea între deplasarea (cursa) h a tijei servomotorului și presiunea de comandă p_c . Ansamblul mobil se află în echilibru sub acțiunea următoarelor forțe: forța generată de acțiunea presiunii de comandă asupra membranei, forța elastică a resortului, forțele de frecare cu garnitura de etanșare, greutatea proprie și forțele create de presiunea fluidului de lucru pe ambele părți ale ventilului obturator.

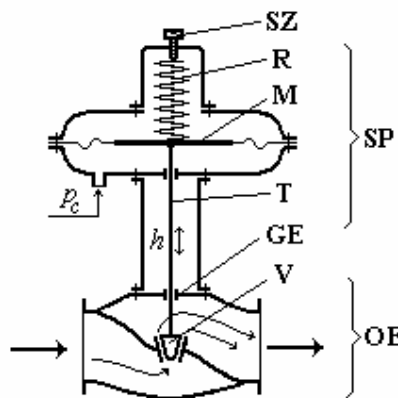


Fig. 4.11. Robinet de reglare

4.3.1. Servomotoare pneumatice

Datorită contactului direct între capătul inferior al tije servomotorului pneumatic și fluidul din conductă, o problemă importantă în construcția robinetului de reglare este aceea a *etanșării*. Tipul garniturii de etanșare (din teflon, azbest) și gradul de strângere al acesteia depind de natura, presiunea și temperatura fluidului de lucru. Datorită forțelor de frecare a tije de garnitura de etanșare, caracteristica statică a servomotorului pneumatic este neliniară, cu *histerezis* (fig. 4.12). Histerezisul se manifestă la *schimbarea sensului de variație a presiunii de comandă* a servomotorului, când forțele de frecare care acționează asupra tije servomotorului își schimbă sensul. Pentru restabilirea echilibrului la limită al ansamblului mobil, presiunea de comandă trebuie să sufere o variație care să modifice forța de acțiune asupra membranei cu o valoare egală cu dublul forței de frecare. Această insensibilitate care apare la fiecare schimbare de sens a presiunii de comandă influențează negativ calitatea reglării, cu atât mai mult cu cât histerezisul este mai mare. Pentru un histerezis al servomotorului mai mare de 3 % este necesar să se aplice măsuri speciale de reducere sau chiar de eliminare a efectului acestuia.

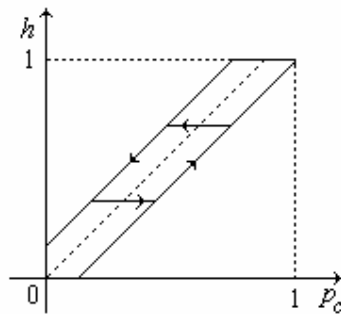


Fig. 4.12. Caracteristica SP.

Cea mai eficientă cale de reducere a efectului de histerezis constă în includerea servomotorului pneumatic într-o buclă cu reacție negativă și amplificare mare pe calea directă. Acest tip de structură închisă, întâlnit aproape la toate elementele din componența unui sistem de reglare automată (la adaptoarele de semnal unificat, la aparatele de vizualizare tip

potențiomtru sau punte automată, la regulatoarele continue și la convertoarele electro-pneumatice), se caracterizează prin următoarea proprietate: dacă factorul de amplificare în buclă deschisă este suficient de mare (cel puțin de ordinul zecilor), atunci *factorul de proporționalitate al buclei închise este practic egal cu inversul factorului de proporționalitate al elementului de pe calea de reacție negativă*, nefiind deci influențat de elementele de pe calea directă a buclei. În cazul servomotorului pneumatic cu reacție negativă din figura 4.13 (în care Br este blocul de reacție, A - amplificatorul de presiune, iar AP – amplificatorul de putere), corelația între mărimea de intrare p_c a buclei și cursa h a servomotorului pneumatic SP este practic independentă de

servomotor (acesta fiind conectat pe calea directă), nefiind deci afectată de histerezisul servomotorului:

$$\Delta h \cong \frac{1}{K_{Br}} \cdot \Delta p_c. \quad (4.13)$$

Servomotorul pneumatic cu reacție negativă este un sistem de reglare automată, la care presiunea p_c este mărime de referință, iar cursa h a servomotorului pneumatic este mărimea reglată. În practică, dispozitivul de reglare al servomotorului este cunoscut sub numele de *poziționar*.

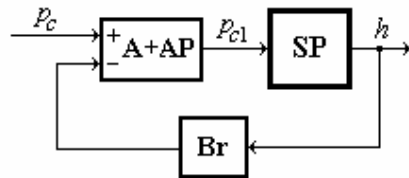


Fig. 4.13. Schema bloc a servomotorului pneumatic cu poziționar.

În cazul *reguletoarelor electronice cu semnal de comandă unificat* $I_c = 4 \dots 20$ mA, bucla de reacție include atât servomotorul pneumatic, cât și convertorul electro-pneumatic. În această configurație, convertorul electro-pneumatic este montat direct pe servomotor și cunoscut sub denumirea de *convertor cu poziționar*. De remarcat faptul că în structura convertorului electro-pneumatic cu poziționar nu mai apare legătura de reacție locală (realizată prin intermediul burdufului de reacție BR - v. fig. 4.9), ceea ce are ca efect creșterea de câteva zeci de ori a factorului de proporționalitate al convertorului. În schema bloc a sistemului convertor-servomotor cu poziționar (fig. 4.14), blocul de reacție Br transmite poziția h a tije servomotorului pneumatic SP la convertorul electro-pneumatic aflat în imediata apropiere, sub forma deplasării de reacție h_r . Resortul de reacție Rr, fixat de armătura feromagnetică AF în locul burdufului de reacție, transformă deplasarea h_r în forța elastică de reacție F_r .

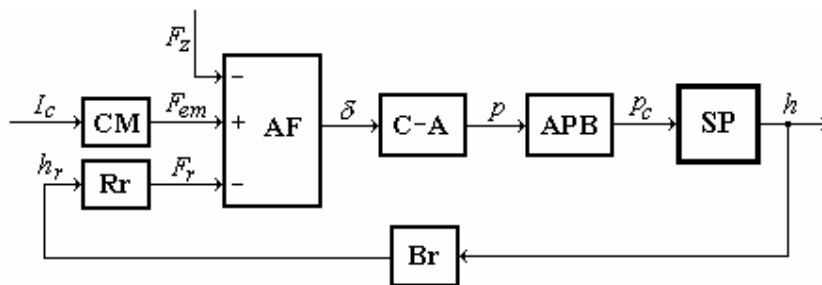


Fig. 4.14. Schema bloc a sistemului convertor-servomotor cu poziționar.

4.3.2. Organe de execuție

Prin definiție, *debitul specific* al organului de execuție reprezintă debitul de apă cu densitatea $\rho_0 = 1 \text{ kg/dm}^3$ care trecând prin robinet produce o cădere de presiune $\Delta P_{r0} = 1 \text{ bar}$. Debitul specific depinde în principal de aria medie a secțiunii de trecere, dar depinde și de forma acestei secțiuni (care influențează forma liniilor de curent, frecarea internă și frecarea de pereți a fluidului).

Dependența $K_v(h)$ dintre debitul specific K_v și cursa h a robinetului de reglare se numește *caracteristică intrinsecă*. Robinetele de reglare se

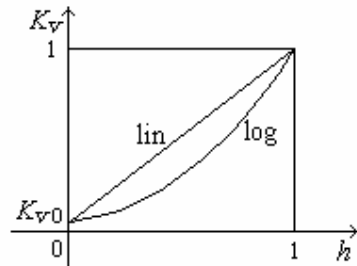


Fig. 4.15. Caracteristici intrinseci

construiesc de regulă cu caracteristică intrinsecă *liniară* sau *logaritmică* (fig. 4.15). Forma caracteristicii intrinseci este dată de profilul mecanic al obturatorului. Debitul specific de scăpări K_{v0} este aproximativ 3 % din debitul specific maxim.

Dependența $Q_v(h)$ dintre debitul volumic Q_v care circulă prin robinet și cursa h a robinetului de reglare, în condițiile în care robinetul se află montat într-un sistem hidraulic dat se numește *caracteristică de lucru*. *Alegerea tipului de caracteristică intrinsecă (liniară sau logaritmică) se face astfel încât caracteristica de lucru să fie cât mai liniară*. Forma caracteristicii de lucru este dependentă de forma caracteristicii intrinseci a robinetului de reglare și de caracteristicile sistemului hidraulic în care acesta este montat. Debitul volumic de lichid care circulă prin robinet este dat de relația:

$$Q_v = \alpha S \sqrt{\frac{2\Delta P_r}{\rho}},$$

unde ΔP_r este căderea de presiune pe robinet, α - coeficientul de debit, S - aria medie a secțiunii de trecere, iar ρ - densitatea lichidului. Pentru debitul specific se obține relația

$$K_v = \alpha S \sqrt{\frac{2\Delta P_{r0}}{\rho_0}},$$

iar din cele două relații, rezultă

$$Q_v = K_v \sqrt{\frac{\Delta P_r}{\Delta P_{r0}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho}}. \quad (4.14)$$

Dacă densitatea ρ se exprimă în kg/dm^3 , iar căderea de presiune ΔP_r în *bari*, atunci relația de corelație între caracteristica de lucru și caracteristica intrinsecă capătă forma simplificată

$$Q_v(h) = K_v(h) \sqrt{\frac{\Delta P_r(h)}{\rho}} . \quad (4.15)$$

În cazul unui robinet de reglare normal închis (pentru $h=0$), caracteristica $\Delta P_r(h)$ este de regulă descrescătoare (căderea de presiune pe robinet scade pe măsură ce robinetul se deschide). În consecință, caracteristica de lucru $Q_v(h)$ are forma mai concavă decât cea a caracteristicii intrinseci $K_v(h)$. Gradul de deformare a caracteristicii de lucru față de caracteristica intrinsecă este cu atât mai mare cu cât sistemul hidraulic în care se află montat robinetul este mai încărcat. În consecință, pentru a se obține o *caracteristică de lucru cât mai liniară*, în cazul unui sistem hidraulic slab încărcat se va alege un robinet cu caracteristica intrinsecă liniară, iar în cazul unui sistem hidraulic puternic încărcat se va alege un robinet cu caracteristica intrinsecă logaritmică. În ultimul caz, caracteristica de lucru este mult mai concavă decât caracteristica intrinsecă logaritmică (convexă), având deci o formă cvasiliniară. Un sistem puternic încărcat are lungimea mare și conține multe rezistențe hidraulice (robinete de izolare, reducții, coturi etc.). Coeficientul de încărcare al unui sistem hidraulic în raport cu un robinet de reglare dat este raportul dintre căderea de presiune pe robinet și căderea de presiune pe întregul sistem, în condițiile în care robinetul de reglare este complet deschis (100 %):

$$\mu = \frac{\Delta P_{r100}}{\Delta P_{s100}} . \quad (4.16)$$

Sistemul hidraulic este considerat puternic încărcat pentru valori ale lui μ mai mici decât 0,2 și slab încărcat pentru valori cuprinse între 0,2 și 1.

Din punct de vedere *dimensional*, robinetul de reglare trebuie ales astfel încât, atunci când este complet deschis, să permită trecerea unui debit de fluid ceva mai mare decât debitul maxim necesar din considerente de ordin tehnologic. Principalul indicator dimensional al robinetului de reglare este debitul specific superior K_{vS} , egal cu debitul specific maxim corespunzător robinetului complet deschis. În cataloagele firmelor constructoare pot fi găsite valorile standardizate ale lui K_{vS} pentru întreaga gamă de robinete de reglare produse. Alegerea unui robinet de reglare subdimensionat (cu K_{vS} prea mic) nu permite obținerea debitului maxim necesar atunci când robinetul este complet deschis. Pe de altă parte, un robinet de reglare supradimensionat (cu K_{vS} prea mare) este scump (datorită gabariturii mare al organului de execuție

și al servomotorului), nu permite modificarea fină a debitului și are punctul nominal de funcționare situat într-o zonă neliniară a caracteristicii de lucru (în apropierea stării complet închise a robinetului).

În funcționarea robinetelor de reglare trebuie evitate regimurile de *curgere critică* și de *cavitație*, care produc deteriorarea rapidă a dispozitivului obturator. Regimul critic apare la curgerea gazelor sau vaporilor, atunci când presiunea absolută P_2 din avalul robinetului de reglare scade sub jumătatea presiunii din amonte P_1 . Regimul de cavitație apare la curgerea lichidelor, atunci când presiunea în zona de obturare (în care presiunea scade la o valoare mai mică decât presiunea din aval P_2) coboară sub presiunea de vapori a lichidului respectiv, ceea ce are ca efect vaporizarea unei părți a lichidului. După depășirea zonei de presiune minimă are loc fenomenul invers, de condensare (implozie) a bulelor de vapori. Regimul de cavitație produce erodarea rapidă a ventilului și scaunului robinetului de reglare. Modificarea regimului de curgere se poate face prin montarea în serie sau în paralel cu robinetul de reglare a unor robinete manuale deschise parțial, într-un grad convenabil.

5

REGLAREA PARAMETRILOR TEHNOLOGICI

Parametrii tehnologici cei mai frecvent întâlniți în parctica industrială sunt debitul, presiunea, nivelul și temperatura. La instalațiile de foraj, un parametru important care se impune a fi reglat este sarcina pe sapa de foraj.

5.1. REGLAREA DEBITULUI

Procesul de modificare a debitului de lichid care circulă printr-o conductă de lungime medie (de ordinul zecilor sau sutelor de metri) este caracterizat printr-o dinamică relativ rapidă, cu regimuri tranzitorii de ordinul secundelor. Întârzierea care apare se datorește inerției masei de lichid în mișcare, frecării interne și de pereții conductei, inerției pompelor și, nu în ultimul rând, întârzierii răspunsului robinetului de reglare.

Deoarece semnalul de măsură generat de traductorul de debit conține în multe cazuri un nivel de zgomot semnificativ, reglatoarele de debit sunt de tip PI, cu componenta proporțională slabă (cu factorul de proporționalitate K_p subunitar) și componenta integrală puternică (cu constanta de timp integrală T_i mică, de ordinul secundelor sau zecilor de secunde).

5.1.1. Reglarea debitului pompelor centrifuge

Cele mai întâlnite metode de reglare a debitului pompelor centrifuge sunt: a) prin strangularea variabilă a conductei de refulare (fig. 5.1, *a*); b) prin strangularea variabilă a conductei de recirculare (fig. 5.1, *b*); c) prin modificarea vitezei de rotație a pompei (fig. 5.2).

În schemele sinoptice ale sistemelor de reglare a debitului, simbolurile utilizate au următoarele semnificații: FT – traductor de debit („flow-transducer”), FR – înregistrator de debit („flow-recorder”), FI – indicator de debit („flow-indicator”), FC – regulator de debit („flow-controller”), E/P – convertor electro-pneumatic, $\sqrt{\quad}$ – extractor de radical. Rolul extractorului de radical este acela de liniarizare a caracteristicii statice $i_m(Q)$ a sistemului de

măsurare a debitului, în ipoteza utilizării unui traductor de debit cu diafragmă. La sistemele de reglare electronice unificate, curentul de referință i_r , curentul de măsură i_m și curentul de comandă i_c sunt semnale unificate în gama 4...20 mA c.c., iar presiunea de comandă p_c este semnal unificat în gama 0,2...1,0 bar.

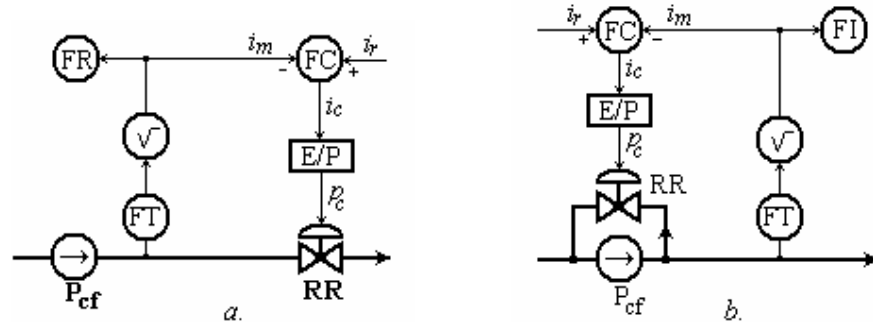


Fig. 5.1. Sisteme unificate de reglare a debitului pompelor centrifuge
a – cu RR pe conducta de refulare; b – cu RR pe conducta de recirculare.

La reglarea prin strangularea conductei de refulare se utilizează un robinet de reglare mai mare (deci mai scump și mai dificil de întreținut) decât la reglarea prin strangularea conductei de recirculare. În schimb, domeniul în care debitul poate fi reglat prin prima metodă este mai mare decât în cazul celei de-a doua metode. La ambele metode, o parte semnificativă din energia și presiunea lichidului se consumă pe robinetul de reglare. Acest neajuns este eliminat prin utilizarea celei de-a treia metode de reglare.

În schema de reglare prin modificarea vitezei de rotație a pompei (fig. 5.2), RTD este un redresor trifazat dublă alternanță cu șase tiristoare (câte două pentru fiecare fază), care generează tensiunea rotorică U pentru comanda motorului de curent continuu M_{cc} , iar BCG este un bloc de comandă pe grilă, care generează impulsuri periodice pentru comanda tiristoarelor, cu unghiul de deschidere φ_c dependent de curentul continuu de comandă i_c .

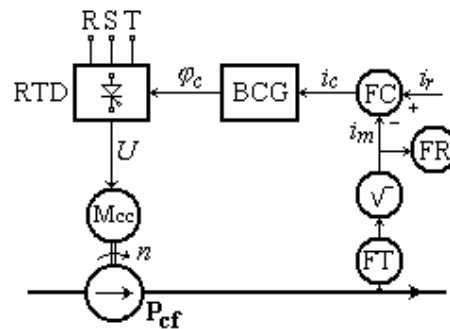


Fig. 5.2. Sistem de reglare a debitului prin modificarea turației pompei.

Dacă debitul reglat crește (datorită reducerii sarcinii sistemului hidraulic), atunci traductorul de debit FT sesizează imediat această creștere, iar curentul de măsură i_m de la ieșirea extractorului de radical va crește, depășind valoarea curentului de referință i_r . În urma procesării erorii $i_r - i_m$, regulatorul va mări curentul de comandă i_c , blocul de comandă pe grilă va crește unghiul de deschidere a tiristoarelor φ_c , tensiunea redresată U va scădea, viteza de rotație n a motorului de antrenare a pompei se va reduce, iar debitul refulat de pompă va scădea, revenind în final la valoarea dinainte. Echipamentul de automatizare este mai complex și mai scump decât la primele două metode de reglare, dar acest dezavantaj este compensat de faptul că întreaga energie a pompei este utilizată numai la transportul lichidului pe conductă, fără a mai avea pierderi de energie și presiune pe robinetul de reglare.

5.1.2. Reglarea debitului pompelor cu piston

La viteză de rotație constantă, forma caracteristicii de lucru a pompelor cu piston diferă substanțial de cea a pompelor centrifuge (fig. 5.3).

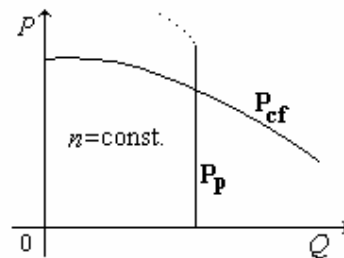


Fig. 5.3. Caracteristicile de lucru ale pompelor centrifuge (P_{cf}) și cu piston (P_p).

Deoarece la pompele cu piston, debitul se menține practic constant în raport cu presiunea de refulare, metoda de reglare cu robinet de reglare montat pe conducta de refulare nu este aplicabilă. Schemele de reglare a debitului pompelor centrifuge prin strangularea variabilă a conductei de recirculare (fig. 5.1, b) și prin modificarea vitezei de rotație a pompei (v. fig. 5.2) rămân însă valabile, cu observația că în locul simbolului pompei centrifuge P_{cf} se va utiliza simbolul pompei cu piston P_p . Avantajele și dezavantajele fiecăreia din cele două metode de reglare a debitului pompelor centrifuge se mențin la reglarea debitului pompelor cu piston.

5.2. REGLAREA PRESIUNII

Reglarea presiunii se întâlnește frecvent la transportul fluidelor pe conducte cu lungimi scurte, medii sau lungi (până la 100 km), la procesarea sau depozitarea fluidelor compresibile etc.

Reglarea presiunii pompelor și compresoarelor centrifuge sau cu piston se poate face prin oricare din cele trei metode utilizate la reglarea debitului pompelor centrifuge. Din considerente de ordin tehnologic, în cazul metodei de reglare prin strangularea conductei de refulare, traductorul de presiune PT („pressure-transducer”) trebuie însă amplasat în aval de robinetul de reglare (fig. 5.4).

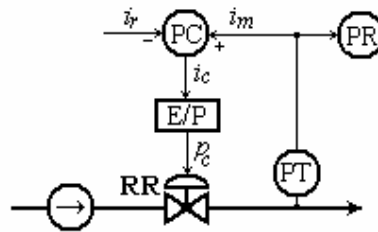


Fig. 5.4. Sistem de reglare a presiunii prin strangularea conductei de refulare.

În cazul transportului lichidelor, dinamica sistemelor de reglare a presiunii este comparabilă cu cea a sistemelor de reglare a debitului, iar regulatoarele utilizate sunt de tip P sau PI. La transportul fluidelor compresibile, dinamica procesului este mai lentă, în funcție de debitul de fluid și de volumul însumat al conductei (din aval de sursă) și al instalației de destinație a fluidului, iar regulatoarele utilizate pot fi de tip P, PI sau PID.

Reglarea presiunii din aparatele tehnologice de tip recipient (separatoare gaz-țigăi, reactoare, coloane de separare ș.a.) se face de obicei prin modificarea debitului de admisie sau a debitului de evacuare, alegerea variantei de reglare fiind impusă de condițiile și caracteristicile procesului tehnologic. Modificarea debitului admis sau evacuat se poate face cel mai simplu cu ajutorul unui robinet de reglare montat pe conducta de intrare, respectiv de ieșire a fluidului. În cazul reglării presiunii într-un separator gaz-țigăi SGT, robinetul de reglare RR este montat pe conducta de evacuare a gazului către instalația de degazolinare (fig. 5.5). Montarea robinetului de reglare pe conducta de amestec țigăi-apă-gaz de la intrarea separatorului este improprie din punct de vedere tehnologic, dat fiind faptul că separatorul trebuie să acumuleze întreaga producție a sondelor de petrol racordate la acesta.

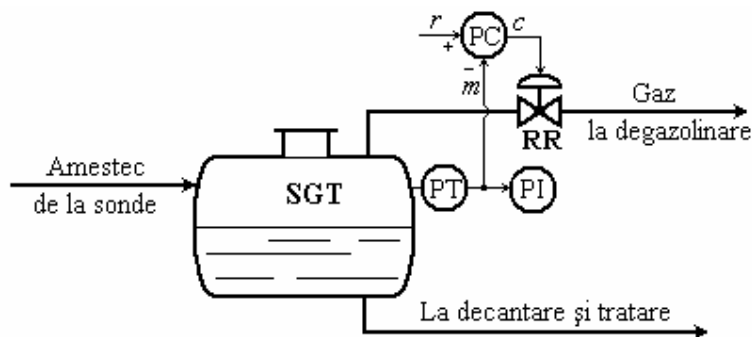


Fig. 5.5. Sistem de reglare a presiunii într-un separator gaz-țiței

5.3. REGLAREA NIVELULUI

Reglarea nivelului de lichid într-un aparat tehnologic sau rezervor se face prin modificarea debitului de lichid de admisie sau de evacuare, alegerea variantei convenabile fiind determinată numai de considerente de ordin tehnologic. Din aceleași considerente, reglarea nivelului de interfață între două lichide nemiscibile se poate face numai prin modificarea debitului de evacuare a lichidului cu densitatea mai mare (situat sub nivelul de interfață). Procesul având ca mărime de intrare debitul volumic Q de lichid evacuat și ca mărime de ieșire nivelul h este de tip pur integral, caracterizat prin ecuația

$$h = \frac{-1}{A} \int_0^t Q dt + h_0, \quad (5.1)$$

unde A este aria secțiunii orizontale de lichid în dreptul linii de nivel. Reglatoarele de nivel continue sau numerice pot fi de tip P sau PI, cu componenta proporțională puternică și componenta integrală foarte slabă (invers ca la reglarea debitului).

În schema sistemului de reglare a nivelului din figura 5.6, LT este traductorul de nivel („level-transducer”), LI – indicatorul de nivel („level-indicator”), LC regulatorul de nivel („level controller”), iar E/P – convertorul electro-pneumatic. Dacă debitul de lichid de la intrarea instalației scade, atunci nivelul începe să scadă. Traductorul de nivel LT sesizează scăderea nivelului și reduce proporțional semnalul de măsură i_m , regulatorul LC procesează eroarea $i_r - i_m$ și, în conformitate cu algoritmul de reglare implementat, modifică semnalul de comandă i_c . Presiunea de comandă p_c de la ieșirea convertorului E/P se modifică, robinetul de reglare RR reduce secțiunea de curgere, debitul evacuat scade sub valoarea debitului de intrare, iar nivelul va începe să crească, revenind în final (dacă regulatorul este de tip PI) la valoarea inițială (egală procentual cu valoarea semnalului de referință i_r).

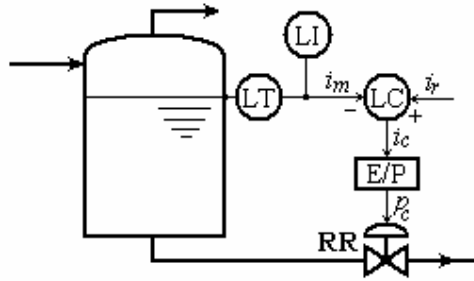


Fig. 5.6. Sistem electronic unificat de reglare a nivelului.

La reglarea nivelului lichidelor vâscoase și cu un conținut mare de impurități, pentru evitarea înfundării elementului obturator se folosesc de obicei *reglatoare bipoziționale*, care generează un semnal de comandă cu două valori distincte (pentru deschiderea și închiderea parțială sau totală a robinetului de reglare). Un exemplu elocvent de reglare bipozițională a nivelului îl întâlnim la separatoarele gaz-țigăi (fig. 5.7).

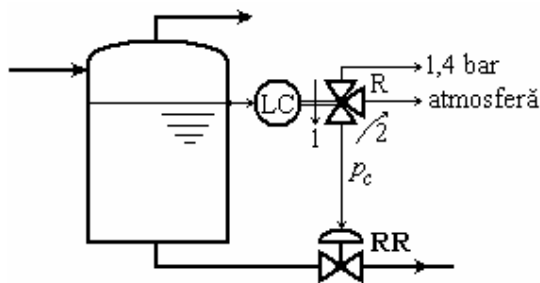


Fig. 5.7. Sistem de reglare bipozițională a nivelului.

Regulatorul specializat LC este alcătuit dintr-un traductor de nivel cu plutitor, un dispozitiv mecanic cu pârghie și burduf de etanșare (pentru transmisia poziției plutitorului în exteriorul vasului) și un robinet cu trei căi R, pilotat pe cale mecanică. Robinetul R are două stări distincte: starea 1, în care ieșirea robinetului este conectată la o sursă de aer comprimat cu presiunea de 1,4 bar și starea 2, în care ieșirea robinetului este conectată la atmosferă. Deoarece în acțiunea de pilotare a robinetului R intervine și fenomenul de frecare mecanică, caracteristica statică de tip releu a regulatorului prezintă histerezis. Prin raportare la poziția plutitorului, valoarea histerezisului este, de exemplu, de 20 cm. Robinetul de reglare RR este normal închis și are obturatorul de tip sertar (asigurând în poziția deschisă o secțiune de trecere având aria practic egală cu cea a conductei).

Dacă robinetul de reglare este închis (robinetul cu trei căi R se află în starea 2), atunci nivelul din separator crește. Când nivelul depășește cu 10 cm cota de referință, pârghia plutitorului comută robinetul R din starea 2 în starea

1. Presiunea de comandă p_c devine 1,4 bar, iar robinetul de reglare RR se deschide complet. Debitul de lichid evacuat sub acțiunea presiunii din separator este de câteva ori mai mare decât debitul de intrare în separator; în consecință, nivelul va începe să scadă. Atunci când nivelul scade cu 10 cm sub cota de referință, pârghia plutitorului comută robinetul R din starea 1 în starea 2. Presiunea de comandă p_c devine zero (aerul din camera activă a servomotorului robinetului de reglare fiind evacuat în atmosferă), robinetul de reglare RR se închide, debitul de lichid evacuat redevine zero, nivelul în separator începe să crească și ciclul se reia de la capăt.

5.4. REGLAREA TEMPERATURII

Procesele de transfer termic sunt procese lente, cu regimuri tranzitorii de ordinul minutelor și zecilor de minute, în funcție de dimensiunile instalațiilor în care au loc aceste procese (cuptoare, schimbătoare de căldură, reactoare chimice etc.). În funcție de unele cerințe impuse, privind simplitatea, robustețea și performanțele de reglare, regulatoarele de temperatură pot fi de tip P, PI, PID sau de tip bipozițional. La cuptoarele tubulare, reglarea se face prin modificarea debitului de combustibil sau a presiunii gazului combustibil, iar la schimbătoarele de căldură, reglarea se face prin modificarea debitului de agent termic (vapori supraîncălziți, aer de răcire, apă de răcire etc.).

În schema de reglare a temperaturii țigului încălzit cu ajutorul cuptorului tubular CT din figura 5.8, simbolurile elementelor de automatizare au următoarele semnificații: TT – traductor de temperatură (“temperature-transducer”), TR – înregistrator de temperatură (“temperature recorder”), TC – regulator de temperatură (“temperature controller”), E/P – convertor electro-pneumatic.

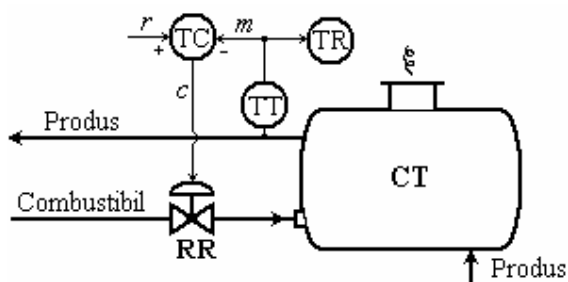


Fig. 5.8. Sistem de reglare simplă a temperaturii la un cuptor tubular.

Gradul de deschidere a robinetului de reglare RR influențează valorile debitului și presiunii combustibilului, dar nu în mod univoc. Aceste valori sunt însă influențate și de presiunea sursei de combustibil. În plus, caracteristica

statică (de lucru) a robinetului de reglare este întotdeauna neliniară, uneori prezentând un histerezis de valoare ridicată (la robinetele de reglare fără poziționer). Aceste inconveniente pot fi eliminate prin înlocuirea elementului de execuție (robinetului de reglare) cu un sistem de reglare automată a debitului de combustibil sau cu un sistem de reglare automată a presiunii combustibilului (numai în cazul unui combustibil gazos). În acest caz, semnalul de comandă al regulatorului de temperatură constituie referința regulatorului de debit (sau de presiune), iar reglarea simplă a temperaturii devine *reglare în cascadă*.

În figura 5.9 este reprezentat sistemul de reglare a temperaturii produsului încălzit în cascadă cu presiunea gazului combustibil. Regulatorul de temperatură TC este regulatorul principal (master), în timp ce regulatorul de presiune PC este regulatorul secundar (intern sau slave). Prin aplicarea semnalului de ieșire al regulatorului de temperatură TC la intrarea de referință a regulatorului de presiune PC, o variație de valoare arbitrară a comenzii regulatorului de temperatură se materializează, după un scurt regim tranzitoriu, într-o variație procentual egală a presiunii gazului combustibil la intrarea în cuptor. În plus, deoarece sistemul de reglare a presiunii este mult mai rapid decât sistemul de reglare a temperaturii, efectul modificării presiunii sursei de gaz combustibil asupra presiunii gazului combustibil la intrarea în cuptor este relativ rapid eliminat de către sistemul intern de reglare a presiunii, astfel încât temperatura produsului la ieșirea din cuptor rămâne practic neafectată. La reglarea simplă a temperaturii (fig. 5.8), modificarea presiunii sursei de gaz combustibil produce o variație a presiunii gazului combustibil la intrarea în cuptor, care are ca efect variația temperaturii produsului la ieșirea din cuptor. Regulatorul de temperatură TC intervine pentru a reduce și elimina această variație (eroare) a temperaturii, dar timpul de readucere a temperaturii la valoarea inițială este mare (de ordinul zecilor de minute).

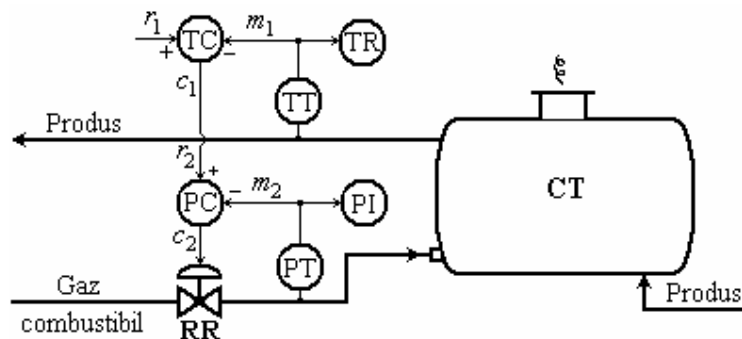


Fig. 5.9. Sistem de reglare a temperaturii în cascadă cu presiunea gazului combustibil.

În general, reglarea în cascadă este posibilă numai atunci când procesul reglat poate fi descompus în două subprocese înseriate P_2 și P_1 (fig. 5.10).

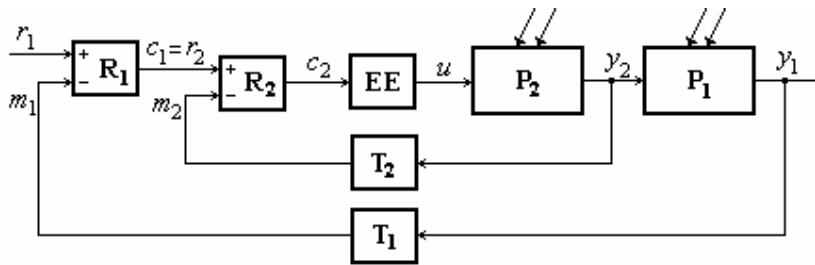


Fig. 5.10. Schema bloc a unui sistem de reglare în cascadă.

O variație a comenzii c_1 a regulatorului principal R_1 se materializează într-o variație procentual egală a mărimii intermediare y_2 , chiar dacă elementul de execuție EE are caracteristica statică neliniară. Din acest motiv, sistemul de reglare în cascadă are performanțe bune atât la modificarea referinței regulatorului principal R_1 , cât și la acțiunea perturbațiilor asupra subprocesului P_1 . Reglarea în cascadă este și mai eficientă atunci când primul subproces (P_2) are dinamica mult mai rapidă decât al doilea subproces (P_1), deoarece efectul perturbațiilor asupra subprocesului P_2 este eliminat rapid în cadrul buclei interne, fără ca mărimea reglată y_1 să sufere o variație semnificativă.