

## 2. Elementele constitutive ale unei bucle de reglare automată

O buclă de reglare automată a unui proces cuprinde traductoare sau elemente de măsură, reglatoare automate (cu elemente de comparație și de referință), precum și elemente de execuție, constând, de regulă, din servomotor și organ de reglare.

### 2.1. Traductoare

#### 2.1.1. Caracteristici generale

*Traductoarele sunt dispozitive care au rolul de a stabili o corespondență între o mărime de măsurat și o altă mărime (de obicei o mărime electrică), aptă de a fi prelucrată de sistemele de prelucrare automată a datelor (reglatoare sau sisteme de conducere).*

Acest lucru se realizează prin transformarea/convertirea mărimii fizice de măsurat, de obicei o mărime neelectrică, într-o mărime electrică sau, în aceeași mărime fizică, cu schimbarea parametrilor acesteia (de exemplu o mărime electrică în altă mărime electrică dar cu un alt domeniu de variație). Această transformare nu se realizează întotdeauna direct printr-un singur element fizic, ci se poate face indirect, printr-o serie de transformări succesive de mărimi fizice.

Un traductor este constituit, în general, din două blocuri principale (Figura 2-1):

- elementul sensibil (detector, captor, senzor), specific mărimii măsurate, care transformă mărimea de măsurat,  $z$ , într-o mărime intermediară,  $w$ ;
- convertorul de ieșire (adaptorul), element ce prelucrează și convertește semnalul dat de elementul sensibil,  $w$ , într-o mărime direct utilizabilă în sistemul automat,  $y$ ;
- elementele de transmisie, sunt elemente auxiliare care realizează conexiuni electrice, mecanice, optice sau de altă natură în situațiile în care tehnologiile de realizare ale traductorului o impun;

- sursa de energie, necesară în cele mai frecvente cazuri pentru a menaja energia semnalului util.

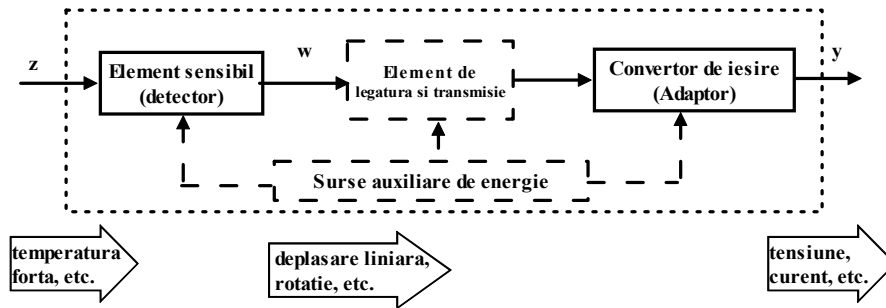


Figura 2-1. Principalele elemente constitutive ale unui traductor

Elementele pe baza cărora se pot caracteriza și compara diferitele traductoare sunt următoarele :

- natura fizică a mărimii de intrare și de ieșire;
- puterea consumată la intrare și cea transmisă sarcinii;
- caracteristica statică;
- caracteristica dinamică;
- nivelul de zgomot.

**Caracteristica statică** exprimă dependența, în regim staționar, între intrare și ieșire:  $y = f(z)$ . Această caracteristică poate fi liniară (Figura 2-2 a) sau neliniară, univocă (Figura 2-2 b) sau neunivocă (Figura 2-2 c).

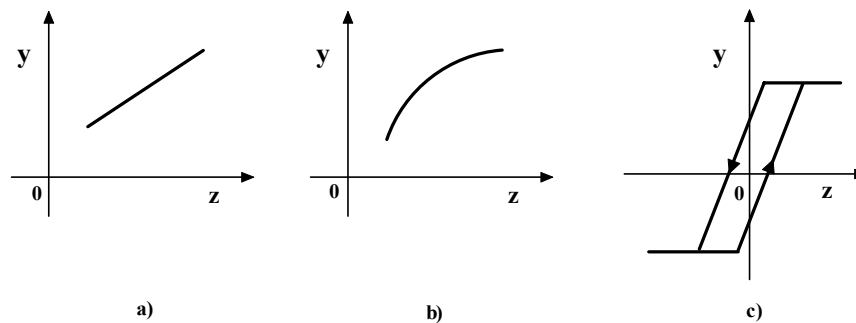


Figura 2-2. Tipuri de caracteristici statice

a) liniară ; b) neliniară univocă ; c) neliniară neunivocă.

În practică, caracteristicile statice pot prezenta un grad mai mare sau mai mic de neliniaritate, impunându-se liniarizarea acestora printr-o metodă adecvată, în gama de variație

a mărimii de intrare și de ieșire (Figura 2.3.). Cu cât domeniul de liniaritate este mai mare, cu atât traductorul este mai bun.

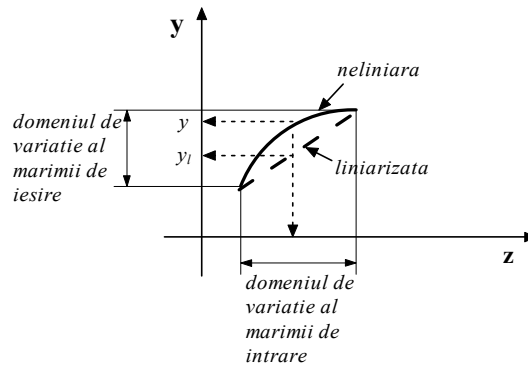


Figura 2-3. Caracteristică statică neliniară liniarizată

Astfel, pe baza caracteristicii statice, se pot defini următoarele mărimi :

- *Gradul de liniaritate* al unui traductor se poate exprima prin „abaterea (eroarea) de neliniaritate“, care se definește prin:

$$\varepsilon_l = \frac{y_l - y}{y_l} \cdot 100[\%] \quad (2.1)$$

unde:  $y_l$  este valoarea liniarizată a ieșirii traductorului, iar  $y$  valoarea reală.

Aceasta mărime se poate exprima și în funcție de  $z$ , mărimea de intrare.

- *Domeniul de măsurare* corespunde intervalului în cadrul căruia se efectuează corect măsurarea:

$$\Delta z = z_{\max} - z_{\min} \quad (2.2)$$

$z_{\max}$ , reprezentând valoarea maximă a mărimii de intrare, iar  $z_{\min}$ , valoarea minimă.

- *Sensibilitatea* este calitatea traductorului de a determina variații mari ale mărimii de ieșire la apariția unor variații reduse la intrare și se exprimă ca raportul dintre variația semnalului de la ieșire și variația mărimii de intrare:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta z} \quad (2.3)$$

- *Pragul de sensibilitate* reprezintă variația minimă a mărimii de măsurat care determină o variație a mărimii de ieșire cel puțin egală cu eroarea admisibilă a traductorului.

- *Puterea de rezoluție*

Dacă se raportează pragul de sensibilitate la domeniul de măsurat, se obține și un prag de sensibilitate relativă care se numește *rezoluție* sau *putere de rezoluție*. Aceasta exprimă proprietatea traductorului de a distinge două valori cât mai apropiate una de alta ale mărimii de măsurat.

- *Clasa de precizie* a traductorului este raportul dintre eroarea maximă admisibilă  $\Delta z_{ad}$  care se produce în regim static de funcționare și domeniul de măsurare.

$$c[\%] = \frac{\Delta z_{ad}}{z_{\max} - z_{\min}} \cdot 100[\%] \quad (2.4)$$

Valorile uzuale sunt  $0,1\% \div 2\%$ .

**Caracteristica dinamică** exprimă comportarea în regim dinamic a traductorului. Ea rezultă din ecuația diferențială care exprimă dependența dintre variațiile temporale ale mărimii de intrare și ale mărimii de ieșire.

De cele mai multe ori interesează răspunsul sistemului (traductorului) la o mărime standard la intrare sau caracteristicile de frecvență pe baza acestora determinându-se o serie de performanțe ale acestuia. Principalele performanțe atașate răspunsului tranzitoriu al traductorului pentru un semnal treapta la intrare sunt:

- *viteza de răspuns* a traductorului sau durata regimului tranzitoriu  $t_t$ ,
- timpul de creștere  $t_c$ ,
- suprareglajul  $\sigma$  (abaterea dinamică maximă).

**Nivelul de zgomot** al traductorului, care este un element primar de prelucrare a informației, trebuie să fie cât mai redus posibil pentru nu a altera deciziile care se iau prin prelucrarea ulterioară a mărimii furnizate de traductor.

### 2.1.2. Clasificare

Traductoarele se pot clasifica:

- a) După principiul de funcționare al elementului sensibil în: **traductoare generatoare** și **traductoare parametrice**.

Funcționarea **traductoarelor parametrice** se bazează pe modificarea unui anumit parametru caracteristic unui circuit electric sub acțiunea mărimii de măsurat (exemplu:

traductoare *rezistive, inductive, capacitive* etc.). Pentru punerea în evidență a variației parametrului respectiv este necesară introducerea unei energii exterioare.

Funcționarea **traductoarelor generatoare** se bazează pe transformarea directă a energiei mărimii de măsurat într-o energie asociată mărimii de ieșire, de regulă o mărime electrică (exemplu: temocupluri, traductoare piezoelectrice, tahogeneratoare).

b) După natura mărimii măsurate traductoarele se clasifică în: *traductoare pentru mărimi electrice* (tensiune, curent, frecvență, putere, fază etc) și traductoare pentru *mărimi neelectrice* (traductoare de poziție și deplasare, traductoare pentru măsurarea forțelor și cuplurilor, a vitezelor și accelerațiilor, traductoare pentru măsurarea temperaturii, presiunii, nivelului etc.).

c) După forma mărimii de ieșire există: traductoare analogice, cu impulsuri și traductoare numerice.

*Traductoarele analogice* realizează dependența între mărimea fizică măsurată  $z$  și mărimea rezultată la ieșire  $y$ , astfel încât  $y$  este o funcție continuă (liniară sau neliniară).

La *traductoarele cu impulsuri* mărimea de ieșire  $y$  este o succesiune de impulsuri modulate în amplitudine, durată sau frecvență în funcție de mărimea de intrare.

*Traductoarele numerice* prezintă rezultatul măsurării sub forma numerică, obținut în general prin măsurarea unei succesiuni de impulsuri codificate.

### 2.1.3. Traductoare parametrice rezistive

*Traductoarele rezistive* se caracterizează prin faptul ca sub acțiunea mărimii de măsurat are loc variația rezistenței ( $R$ ) unui circuit electric (în trepte sau continuu). Astfel, sub acțiunea intrării  $z$  se va produce modificarea unuia dintre parametrii care intervin în relația de mai jos :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (2.5)$$

unde  $\rho$  este rezistivitatea în  $[\Omega \cdot mm^2 / m]$ ,  $l$  este lungimea în  $[m]$  iar  $S$  este secțiunea în  $[mm^2]$ .

După principiul de funcționare și natura variabilei măsurate *traductoarele rezistive* se pot clasifica la rândul lor ca în Tabelul 2.1.

Tabelul 2.1.

Tipul traductorului	Principiul de funcționare	Natura variabilei măsurate
reostatice	modificarea lungimii rezistorului ( $l$ )	poziție sau deplasare liniară sau unghiulară
termorezistive	variația rezistivității electrice ( $\rho$ ) cu temperatura	temperatură
tensometrice	variația atât a lungimii ( $l$ ) cât și a secțiunii ( $S$ ) unui element rezistiv	forțe sau cupluri deplasări, accelerații, parametrii ai vibrațiilor mecanice

### A. Traductoare reostatice

La aceste tipuri de traductoare variația rezistenței se realizează prin modificarea lungimii rezistorului. Traductoarele pot fi utilizate în montaj reostatic sau potențiomtric și se pot alimenta în curent continuu sau alternativ. Ele pot converti o deplasare liniară (Figura 2-4.a) sau unghiulară (Figura 2-4.b) în semnal electric.

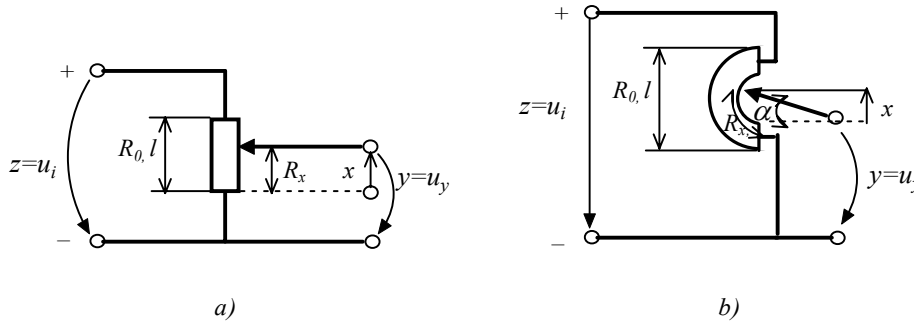


Figura 2-4. Traductoare reostatice de deplasare : a) liniară ; b) unghiulară

Funcționarea traductorului reostatic liniar se poate exprima prin relația :

$$u_y = u_i \cdot \frac{R_x}{R} = \frac{u_i}{\underbrace{\frac{R}{x}}_K} \cdot x = Kx \quad (2.6)$$

unde  $u_i$  este tensiunea de alimentare a traductorului,  $u_y$  tensiunea de ieșire datorată deplasării cursorului,  $R$  rezistența totală a rezistorului bobinat și  $x$  este deplasarea cursorului.

Erorile de conversie ale mărimii de intrare se datorează variației rezistenței  $R$  cu temperatura mediului ambiant, neuniformităților de bobinare și frecărilor cursorului, etc.

### B. Traductoare termorezistive

Funcționare acestor traductoare se bazează pe variația rezistivității electrice a unui conductor cu temperatura.

În cazul termorezistențelor coeficienții de temperatură ai rezistenței sunt pozitivi, iar în cazul termistoarelor aceștia pot fi atât pozitivi cât și negativi.

Pentru *termorezistențe* valoarea rezistenței  $R_T$  la o anumită temperatura  $T$  [K] este în funcție de valoarea rezistenței  $R_{T_0}$  la temperatura inițială  $T_0$  prin relația:

$$R_T = R_{T_0} \cdot [1 + a(T - T_0) + b(T - T_0)^2 + \dots] \quad (2.7)$$

unde  $a$  și  $b$  sunt coeficienți ce depind de natura materialului.

Variația rezistenței este sesizată și transformată în semnal electric, de regulă, prin intermediul unor circuite în punte. Domeniul principal de măsură este între  $100^{\circ}\text{C}$  și  $500^{\circ}\text{C}$ . Pentru executarea termorezistențelor se folosesc materiale cu un coeficient de temperatură cât mai mare și cu valori reproductibile ale rezistenței într-o gama mare de temperatura. De obicei se folosește platina (Pt) ( $-200^{\circ}\text{C}$  la  $+600^{\circ}\text{C}$ ), nichelul (Ni) ( $-60^{\circ}\text{C}$  la  $+180^{\circ}\text{C}$ ) sau, mai rar, cuprul și aliaje din aur sau argint. În Figura 2-5 sunt prezentate caracteristicile statice ale termorezistențelor de Pt și Ni care sunt neliniare, dar care pot fi approximate prin relații de ordinul doi (numai cu doi coeficienți  $a$  și  $b$  conform relației 2-7).

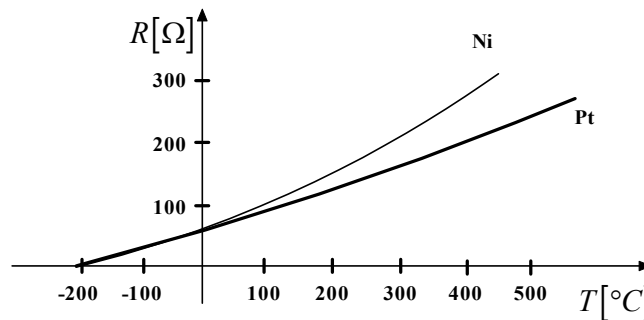


Figura 2-5. Variația rezistenței cu temperatura la o termorezistență de Pt și una de Ni

Caracteristica dinamică se precizează de obicei prin constanta de timp  $T$ ; de exemplu, termorezistența de Pt – 100 are constanta de timp  $T = 60$  s.

*Termistoarele* sunt semiconductoare (cu coeficient de variație cu temperatura negativ), realizate cu amestecuri de oxizi metalici sau germaniu pur, la care variația rezistenței electrice cu temperatura poate fi descrisă prin relația:

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{-b\theta} = R_{T_0} \cdot \left( 1 - \alpha\theta + \frac{\alpha^2\theta^2}{2} - \dots \right) \quad (2.8)$$

unde:  $R_T$  este rezistența termistorului la temperatura  $T$ ,  $R_{T_0}$  rezistența termistorului la temperatura inițială  $T_0$ ,  $\theta$  variația temperaturii față de temperatura inițială, iar  $b$  este un coeficient ce depinde de material ( $b = 0,03 - 0,06 \text{ grad}^{-1}$ );

Coeficientul de temperatură (factorul de amplificare sau de proporționalitate)  $\alpha$  este negativ și depinde puternic de temperatură, fiind aproximativ de 10 ori mai mare decât cel al termorezistențelor :

$$\alpha = \frac{1}{R_{T_0}} \cdot \frac{dR_{T_0}}{d\theta} = -\frac{b}{\theta^2} \quad (2.9)$$

Domeniul de utilizare este, în general  $-70^\circ\text{C}$  la  $+300^\circ\text{C}$ .

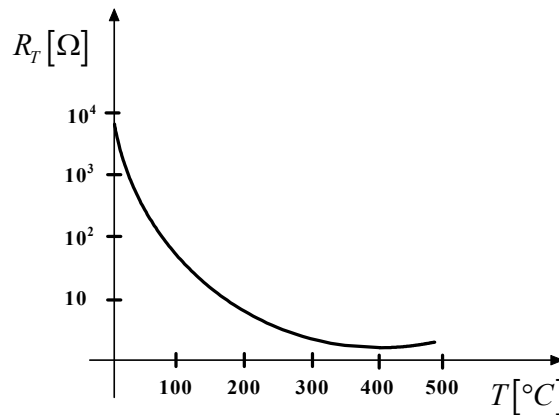


Figura 2-6. Variația rezistenței cu temperatura la o un termistor

### C. Traductoare tensometrice

Traductoarele tensometrice sunt destinate măsurii unor eforturi sau deformații și au ca principiu de funcționare variația atât a lungimii cât și a secțiunii unui fir sau filament din material conductor sau semiconductor.

Pornindu-se de la relația de definiție a rezistenței, se poate scrie următoarea relație ce definește funcționarea unui astfel de traductor:

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu) \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (2.10)$$



unde  $\mu$  este coeficientul lui Poisson reprezentând deformația transversală și cea longitudinală.

Aceste traductoare, deși au o sensibilitate mică și unele dificultăți în modul practic de utilizare (lipirea tensometrului de corpul studiat, sensibilitate la umiditate, etc.), au avantajul unui cost scăzut, unei frecvențe mari de lucru și unei erori mici.

Mărcile tensometrice se pot realiza fie prin aplicarea unui conductor subțire, ondulat, fie prin aplicarea unei grile metalice pe un substrat izolator (Figura 2-7).

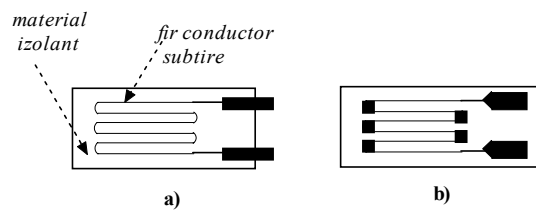


Figura 2-7 Variante constructive de mărci tensometrice:

a) realizate cu fir conductor ; b) realizat cu rețea metalică obținută prin corodare

Cea de-a doua metodă, pe lângă faptul că este mai ieftină și mai simplă de realizat, permite și realizarea de mărci tensometrice de formă complexă, necesare pentru determinarea eforturilor compuse (fig).

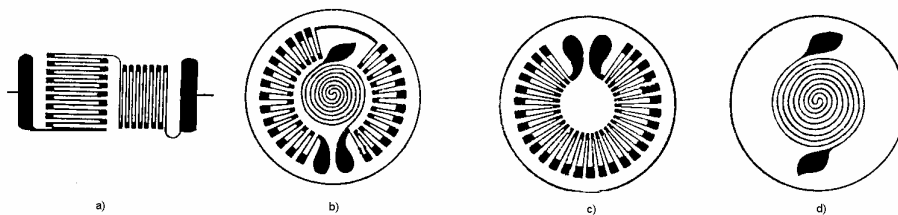


Figura 2-8 Mărci tensometrice pentru solicitări complexe :

a) pentru măsurarea efortului tangențial ; b) pentru măsurarea efortului radial ; c) pentru măsurarea efortului tangențial- radial ; d) pentru măsurarea eforturilor liniare combinate

Traductoarele se lipesc pe un element elastic care se deformează sub acțiunea unei forțe și, în principiu, orice mărime fizică care depinde de o deformație mecanică poate fi măsurată prin mărci tensometrice (deplasări, accelerații, parametrii ai vibrațiilor mecanice, forțe și cupluri).

#### 2.1.4. Traductoare parametrice inductive

Se bazează în funcționare pe variația impedanței unei bobine sub acțiunea mărimii de măsurat (poziție sau deplasare).

Sunt realizate din una sau mai multe bobine cu miez sau aer a căror inductanță variază sub acțiunea mărimii de intrare, această inductanță fiind dată de o relație de forma:

$$L = N^2 \cdot R_m^{-1} [H] \quad (2.11)$$

unde  $N$  este numărul de spire ale bobinei, iar  $R_m$  reluctanța circuitului magnetic.

Reluctanța este dată de:

$$R_m = \frac{l_f}{\mu_f \cdot S_f} + \frac{\delta}{\mu_a \cdot S_a} [H] \quad (2.12)$$

cu  $l_f$  lungimea miezului magnetic,  $\delta$  lungimea întrefierului,  $S_f$ ,  $S_a$  secțiunea miezului, respectiv secțiunea activă a întrefierului și  $\mu_f$ ,  $\mu_a$  permeabilitatea miezului, respectiv a aerului.

Modificându-se unul dintre acești parametri pentru a modifica reluctanța se vor obține diferite tipuri de traductoare inductive: cu întrefier variabil, cu miez mobil sau de tip transformator.

##### **A. Traductoare cu întrefier variabil**

Principiul de măsură se bazează pe modificarea lungimii  $\delta$  a întrefierului sub acțiunea mărimii de intrare. Întrucât  $\mu_f \gg \mu_a$ , va rezulta că reluctanța în miez este neglijabilă în raport cu cea a aerului. Astfel, se poate scrie că inductanța traductorului va fi :

$$L_x = \frac{N^2}{\delta} \cdot \mu_a \cdot S_a = \frac{K}{\delta} \quad (2.13)$$

În Figura 2-9 se prezintă principiul de funcționare a unui traductor inductiv de forță. Se poate observa că, sub acțiunea forței, se modifică  $\delta$ , ceea ce conduce la varierea lui  $L_x$ . Întrucât curentul ce trece prin bobină este:

$$I_x = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_x^2}} \quad (2.14)$$

va rezulta că atunci când  $F$  crește, crește și  $I_x$ .

Traductoarele acestea au sensibilitate foarte mare dar caracteristica statică este neliniară (Figura 2-9). Domeniul de liniaritate va fi drept urmare foarte restrâns.

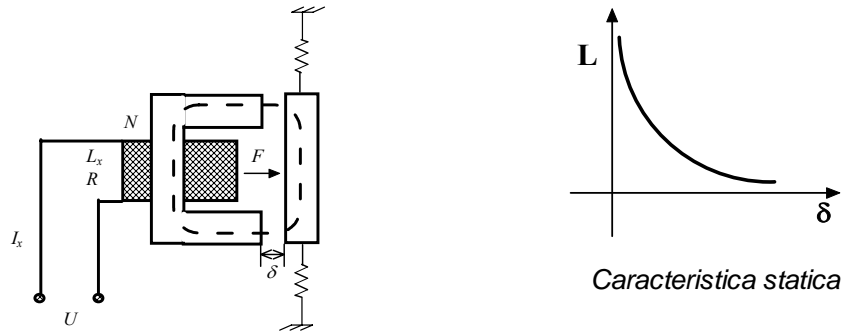


Figura 2-9 Traductor inductiv de forță cu întrefier variabil

Pentru îmbunătățirea performanțelor acestor traductoare, în special pentru mărirea zonei de liniaritate, se folosesc montaje diferențiale. În absența forței, puntea se fixează de o asemenea manieră încât  $I_x$  să fie zero. La aplicarea forței  $\delta_1$  și  $\delta_2$  variază simultan și conduc deci la modificarea lui  $L_{x1}$  și  $L_{x2}$ . Montajul este sensibil și la semnul lui  $F$  așa cum rezultă din caracteristica statică din Figura 2-10.

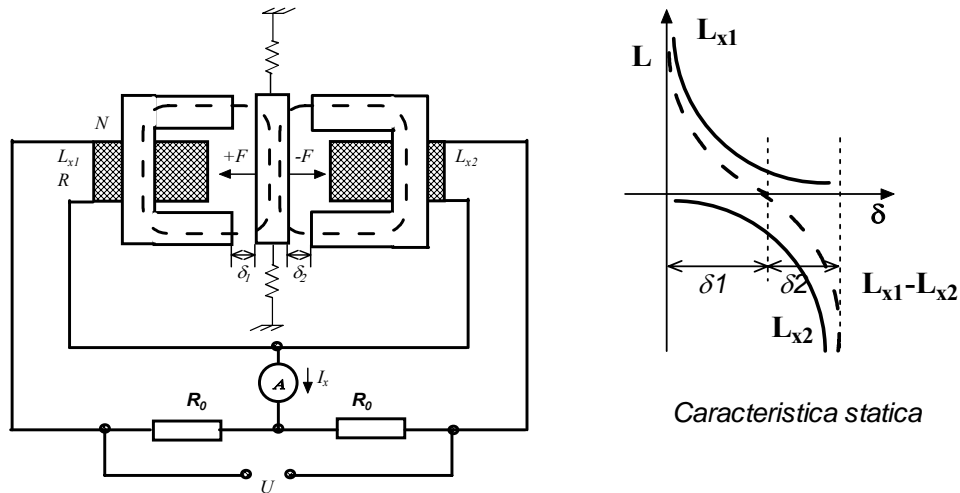


Figura 2-10 Traductor inductiv de forță cu întrefier variabil (montaj diferențial)

### B. Traductoare de tip transformator

Aceste traductoare sunt dispozitive care utilizează două înfășurări a căror inductanță mutuală poate fi modificată sub acțiunea mărimii de intrare fie prin modificarea poziției

miezului sau întrefierului, fie prin modificarea poziției înfășurării primare, printr-o mișcare liniară (Figura 2-11a) sau de rotație liniară (Figura 2-11b).

Sub acțiunea mărimii de intrare, de exemplu o forță, se modifică inductanța magnetică a traductorului și, ca urmare, fluxul magnetic. Acesta din urmă induce în bobina secundară *BS* o tensiune a cărei valoare eficace, funcție de frecvența *f*, este :

$$U_{ies} = 4,44 \cdot \Phi_{max} \cdot N_1^2 \cdot f \quad (2.15)$$

unde  $\Phi_{max}$  este valoarea de vârf a fluxului în miez:

$$\Phi = L \cdot i = \frac{N_1^2}{R_m} \cdot i \quad (2.16)$$

Curentul *i* din bobina primară *BP* trebuie să fie de amplitudine constantă și independent de variația inductanței bobinei.

Aceste traductoare prezintă avantajul separării galvanice a circuitelor de intrare și ieșire. O caracteristică dinamică bună, în special la cele cu bobină mobilă, se obține dacă alimentarea *BP* se face în înaltă frecvență.

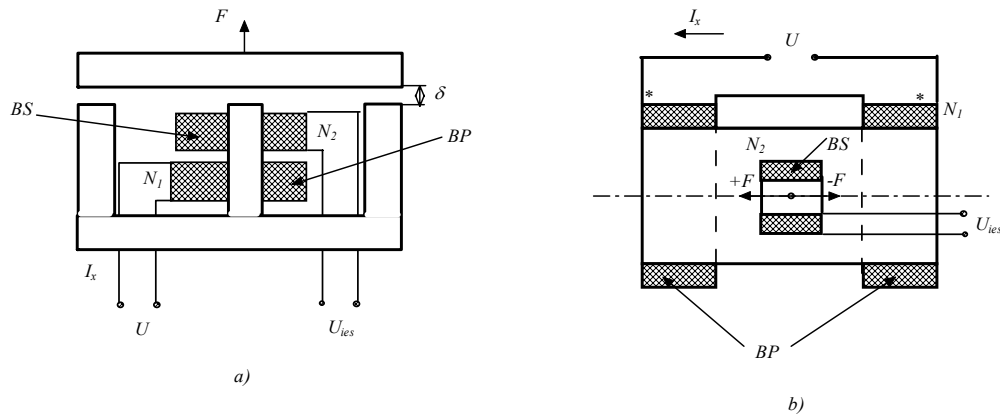


Figura 2-11 Traductor inductiv de tip transformator :

a) cu modificarea întrefierului ; b) cu modificarea poziției înfășurării primare

### C. Traductoare cu miez mobil

Traductoarele de acest tip sunt des utilizate în convertirea deplasărilor mecanice într-o mărime electrică, de obicei o tensiune alternativă. Ele constau dintr-o bobină cu miez mobil,

mărimii de intrare acționând asupra acestui miez. Întrucât caracteristica statică este neliniară, se folosește un montaj diferențial.

Un traductor de deplasare de acest tip este cel din Figura 2-12. În poziția mediană a miezului  $U_{ieș} \approx 0$ . Amplitudinea semnalului de ieșire este proporțională cu deplasarea (pe zona de liniaritate), iar faza acestuia depinde de sensul acesteia.

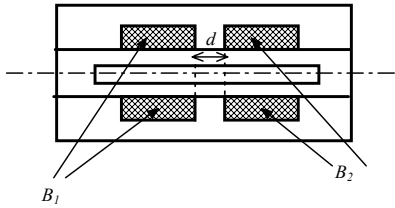


Figura 2-12 Traductorul inductiv de deplasare cu miez mobil

### 2.1.5. Traductoare parametrice capacitive

Principiul de funcționare a traductoarelor capacitive se bazează pe modificarea capacității unui condensator ca urmare a acțiunii mărimii de intrare asupra distanței dintre armături, a modificării suprafeței armăturilor sau a permitivității dielectricului.

Într-adevăr relația de calcul a capacității unui condensator plan-paralel este:

$$C = 0,089 \cdot \frac{S \cdot \epsilon_r}{d} \text{ [pF]} \quad (2.17)$$

unde  $S$  este suprafața armăturilor, în  $\text{cm}^2$ ,  $d$  distanța dintre armături, în  $\text{cm}$ , și  $\epsilon_r$  permitivitatea dielectrică relativă a mediului dintre armături  $\text{pF/cm}$ .

Pentru un condensator cilindric:

$$C = 0,56 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{h \cdot D}{\ln \frac{D}{d}} \text{ [pF]} \quad (2.18)$$

unde  $D$ , respectiv  $d$ , este diametrul armăturii exterioare, respectiv interioare, și  $h$  înălțimea cilindrului.

**A. Traductoare cu distanța dintre plăci variabilă**

Elementul sensibil constă dintr-un condensator care are una dintre armături fixe și cealaltă mobilă, ultima putându-se deplasa sub acțiunea mărimii de intrare.

Din relația (2.17) rezultă o dependență hiperbolică a capacității față de distanța dintre armături. Pentru a se realiza o liniaritate bună caracteristicii statice și o sensibilitate ridicată, traductorul este utilizat la variații relativ mici ale armăturii mobile.

În Figura 2-13 este prezentat elementul sensibil al unui traductor capacitiv destinat controlului activ al diametrelor unor axe prelucrate prin strunjire. Valoarea capacității variabile  $C_x$  este determinată de valorile celor două capacități înseriate prin axul ce se strunjeste.

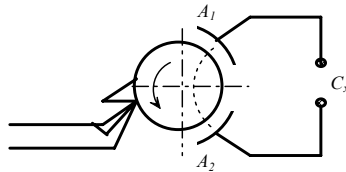


Figura 2-13 Traductorul capacitiv cu distanța dintre plăci variabilă

**B. Traductoare cu suprafața de suprapunere variabilă**

Acestea sunt destinate în special măsurării unor deplasări liniare sau unghiulare. Principial, elementul sensibil este format din două plăci plan paralele, din care una fixă și cealaltă glisantă sub acțiunea mărimii de intrare (Figura 2-14). Variația lui  $C_x$  cu  $S$  este liniară și, de aceea, traductoarele se folosesc pentru domenii largi de variație a mărimilor.

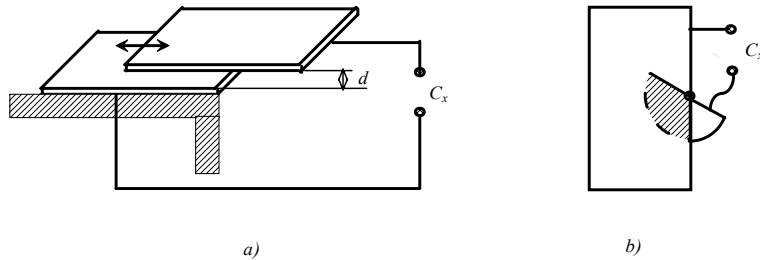


Figura 2-14 Traductorul capacitiv cu suprafață de suprapunere variabilă

a) deplasări liniare ; b) deplasări unghiulare

### C. Traductoare cu variația dielectricului

Aceste traductoare, precum și cele precedente, pot lucra în regim de control activ. Funcționarea lor se bazează pe faptul că dacă la un condensator cu aer se introduce între armături o placă de material dielectric cu  $\varepsilon \neq \varepsilon_{aer}$  și de grosime  $\delta$ , capacitatea sa se exprimă printr-o relație de forma:

$$C = \frac{S}{\frac{d-\delta}{\varepsilon_{aer}} + \frac{\delta}{\varepsilon}} \quad (2.19)$$

În Figura 2-15 este prezentat un traductor capacitiv de nivel al bezinei într-un rezervor. Capacitatea  $C_x$  se realizează între plutitor și pereții rezervorului și este montată într-o punte cu echilibrare automată.

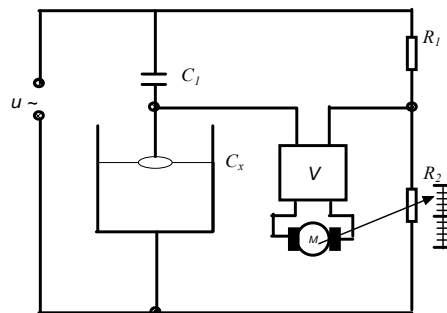


Figura 2-15 Traductorul capacitiv de nivel cu permitivitatea dielectricului variabilă

Aceste traductoare au avantajul că nu au contacte mecanice în mișcare, însă pot avea erori datorită variației capacității cu temperatura mediului ambiant.

#### 2.1.6. Traductoare generatoare

Traductoarele generatoare sunt realizate în mai multe variante, în funcție de principiul care stă la baza transformării mărimii de intrare într-o tensiune termoelectromotoare.

### **A. Traductoare de inducție**

Principiul de funcționare a acestor traductoare constă în inducerea unei tensiuni electromotoare  $e$  într-un circuit conductor ce taie liniile de forță ale unui câmp magnetic de inducție  $B$  [T]:

$$e = B \cdot l \cdot v \text{ [V]} \quad (2.20)$$

unde  $v$  este viteza circuitului conductor în [m/s] și  $l$ , lungimea circuitului în [m].

Întrucât  $e$  este proporțională cu viteza, această mărime poate fi integrată sau diferențiată și se obțin termeni proporționali cu deplasarea sau accelerația. După acest principiu se obțin **tahogeneratoare**, **vibrometre**, **debitmetre**.

### **B. Traductoare termoelectrice (termocuple)**

Termocuplul este un traductor generator, bazat pe efectul termoelectric (descoperit de Seebeck în 1821). Acest efect constă în apariția unor tensiuni electromotoare între capetele libere a două fire sau benzi metalice diferite, sudate sau lipite între ele la un capat, atunci când locul de sudură este încălzit. Cunoscându-se temperatura capetelor reci (numită și temperatură de comparație), se poate afla temperatura locului de sudură prin măsurarea tensiunii electromotoare. Materialele din care se execută termocuplurile trebuie să aibă o t.e.m. ( $e$ ) cât mai mare, cât mai proporțională cu temperatura și invariabilă în timp.

Domeniul de utilizare este, în primul rând, cel al temperaturilor înalte (+400°C ÷ +1300°C). În cazuri speciale se poate ajunge până la -200°C și peste +2000°C. În Figura 2-16 sunt reprezentate caracteristicile statice ale unor termocupluri des utilizate. Materialele utilizate sunt: fier, cupru, nichel, constantan, platină, rhodiu, iridiu și aliaje: cromel, alumel, copel. În general t.e.m. sunt în intervalul (0,01 – 0,06) mV/grd.



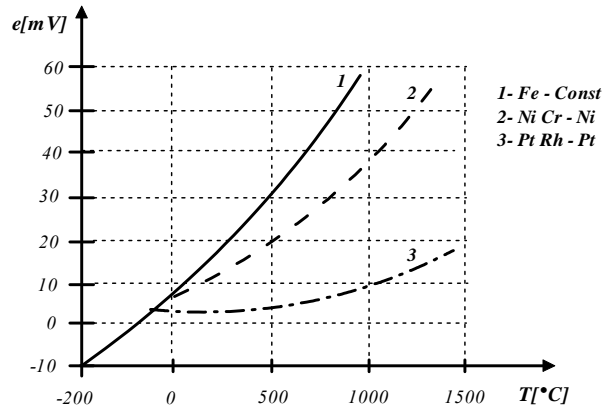


Figura 2-16 Caracteristici statice ale termocupurilor

Termocupurile de execuție uzuală au inerție mare (constanta de timp putând să ajungă până la 1÷2 min) dar, prin unele măsuri speciale (micșorarea diametrului și grosimii peretelui tubului de protecție sau chiar renunțarea, atunci când este posibil la teaca de protecție), constanta de timp poate fi redusă până la mărimi de ordinul secundelor sau chiar mai puțin.

Deoarece termocupurile măsoară o diferență de temperatură, este necesar ca temperatura de comparație să fie constantă; de aceea se impune prelungirea termocupului printr-un *cablu de compensație*, cablul de compensație fiind realizat din aceleași materiale ca și termocupul (de regula rezistența totală a circuitului de măsurare este reglată la 20  $\Omega$ ).

### C. Traductoare cu efect HALL

Funcționarea acestora se bazează pe efectul Hall, care constă în producerea unei tensiuni Hall  $u_H$  de către o sondă (placută semiconductoră), plasată într-un câmp de inducție  $B$  și alimentată de un curent de comanda  $I$  (Figura 2-17) :

$$u_H = R_H \cdot \frac{B \cdot I}{d} \text{ [V]}. \quad (2.21)$$

unde  $R_H$  este constanta Hall, în  $[\text{m}^3 \text{ A}^{-1} \text{ s}^{-1}]$  și  $d$  este grosimea sondei, în [m].

Pe baza relației de mai sus se pot măsura mărimi care pot fi transformate în variații ale inducției  $B$  sau curentului  $I$  sau ale ambelor mărimi.

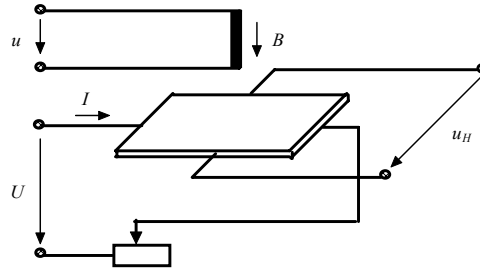


Figura 2-17 Traductorul capacitiv cu suprafață de suprapunere variabilă

a) deplasări liniare ; b) deplasări unghiulare

#### D. Traductoare piezoelectrice

Traductoarele piezoelectrice sunt folosite pentru măsurarea forțelor dinamice și funcționarea lor se bazează pe fenomenul piezoelectric, care constă în apariția unor sarcini electrice pe două suprafețe ale unui cristal când acesta este supus unei forțe mecanice de apăsare. Sarcinile apar dacă cristallul este supus la presiune, tracțiune, flexiune, torsiune, forfecare și sunt, pe un domeniu larg, proporționale cu tensiunea din cristal. Polaritatea este diferită după cum cristallul este supus la tracțiune sau compresiune. Dacă se plasează un astfel de cristal între plăcile unui condensator  $C$  (cristallul fiind dielectricul) atunci tensiunea indusă  $e$  este:

$$e = \frac{Q}{C} = \frac{\delta F}{C} = \frac{\delta F d}{\epsilon A} = \nu \frac{F d}{A} \quad (2.22)$$

unde  $Q$  este sarcina electrică ce apare pe cristal;  $C$  este capacitatea electrică a cristallului;  $F$  este forța ce acționează;  $\delta = \frac{Q}{F}$  [C/N] este constanta piezoelectrică a cristallului;  $\epsilon$  este

constantă dielectrică a cristallului [F/m] iar  $\nu = \frac{\delta}{\epsilon}$  [Vm/N] este factorul de calitate al cristallului. De obicei, pentru obținerea unor tensiuni  $E$  măsurabile, se superpozează o serie de lamele cristaline.

Un dezavantaj major al acestor traductoare este legat de influența circuitului exterior cristallului (fire de racord, amplificator) asupra măsurării.

Pentru micșorarea efectelor negative se iau măsuri speciale (utilizarea unor amplificatoare de sarcină speciale, amplificatoare cu circuite integrate asezate direct pe cristal). O serie de avantaje determină folosirea lor în anumite aplicații (măsurarea forțelor, a

parametrilor vibrațiilor mecanice). Dintre avantaje menționăm: viteza de răspuns foarte bună (practic nu au constantă de timp), permițând măsurări până la frecvențe de  $10^9$  Hz, nu sunt influențate de temperatură, suportă eforturi mari (mii de daN/m<sup>2</sup>), nu prezintă histerezis.

### 2.1.7. Traductoare pentru măsurarea parametrilor reglați

În funcție de tipul de mărime pe care trebuie să o măsoare un traductor se pot alege diferite tipuri de elemente sensibile. Astfel în Tabelul 2- 1 sunt prezentate elementele sensibile uzuale desitinate măsurării diverselor mărimi fizice.

*Traductoarele pentru măsurarea poziției și a deplasărilor pot fi traductoare de tip rezistiv, inductiv sau capacitiv, analogice sau numerice.*

Tabelul 2- 1

Mărimi fizice de bază	Mărimi fizice derivate	Elemente sensibile tipice
<b>Deplasare</b>	-deplasare liniară; -deplasare unghiulară -dimensiuni geometrice : lungime, - grosime; -nivel ; -deformație (indirect forță, presiune sau cuplu); -altitudine.	-rezistive; -inductive; -capacitive ; -fotoelectrice;
<b>Viteză</b>	-viteză liniară; -viteză unghiulară; -debit.	-electrodinamice (de inducție, tahogeneratoare de cc și ca); -tahometre cu impulsuri (efectul stroboscopic) -fotoelectrice.
<b>Forță</b>	-efort unitar; -greutate -acelerație (vibrație); -cuplu; -presiune (absolută, relativă, vacuum, nivel, debit); -vâscozitate.	-tensometre rezistive; -inductive; -capacitive; -piezorezistive; -termistoare; -magnetorezistive.
<b>Temperatură</b>	-temperatură (pentru solide, fluide, de suprafață); -căldură (flux, energie); -conductibilitate termică.	-termorezistențe; -termistoare; -termocupluri.
<b>Presiune</b>	-deplasare ; -dimensiuni geometrice ; -deformație	-cu membrană elastică, -cu silifoane, -cu tuburi bourdon, -cu presiune diferențială
<b>Debite</b>	-presiune	-cu secțiune de trecere variabilă, -cu suprafețe de trecere variabile, -electromagnetice
<b>Masă</b>	-debit de masă	-complexe (dilatare+deplasare)
<b>Concentrație</b>	-densitate; -componente în amestecuri de gaze; -ioni de hidrogen în soluții.	-idem ca la forță; -termorezistive; -electrochimice; -conductometrice.
<b>Radiație</b>	-umiditate; -luminoasă; -termică; -nucleară.	-fotoelectrice; -detectoare în infraroșu; -elemente sensibile bazate pe ionizare.

În comanda numerică a mașinilor unelte, a unor instalații militare, obținerea direct sub formă numerică a mărimii măsurate (deplasarea, poziția) permite prelucrarea numerică a acesteia fără utilizarea convertoarelor analog-numeric. Realizarea întregului sistem de obținere și prelucrare a datelor în variantă numerică prezintă atât avantaje economice cât și de precizie a echipamentului (precizia depinzând practic exclusiv de numărul de cifre cu care se aproximează mărimea reală). Traductoarele numerice sunt de două tipuri: incrementale și absolute.

*Traductoarele pentru măsurarea vitezelor* sunt traductoare care determină viteza unghiulară (turația) a unei mișcări de rotație întrucât vitezele liniare pot fi măsurate printr-o metodă indirectă (determinând viteza unghiulară). Traductoarele de turație se bazează în funcționarea lor pe fenomenul de inducție electromagnetică (tahogeneratoare de c.c. și c.a.), pe măsurarea unei succesiuni de impulsuri electrice sau electro-optice (tahometre cu impulsuri) sau pe efectul stroboscopic.

În principiu, *măsurarea forțelor* se poate face cu orice traductor parametric de măsură a deplasărilor, dacă i se atașează acestuia un element elastic (resort) montat în serie cu forța ce trebuie determinată. Deoarece forța ce acționează asupra elementului elastic îl deformează (între anumite limite) proporțional cu valoarea ei  $F$ , aceasta se poate măsura prin intermediul deplasării organului mobil al unui traductor parametric de deplasare (rezistiv, inductiv, capacitiv). Principalele traductoare pentru forța sunt: traductoare tensometrice rezistive, traductoare piezoelectrice, traductoare magnetostrictive și traductoare rezistive cu rondelile de grafit.

*Temperatura* fiind o mărime determinată de energia cinetică a moleculelor substanței respective, există o mare varietate de metode de măsurare. Una din cele mai utilizate metode este metoda de măsurare a temperaturii bazată pe *fenomenul de dilatare* (exemplu termometre cu gaz, cu lichide, cu bimetale atasate unor traductoare de deplasare etc.). Totuși, în automatizări se folosesc aproape în exclusivitate traductoarele cu termorezistență, cu termocuplu și cu termistoare. Pentru măsurarea temperaturilor înalte ( $> 1000$  °C) sau în puncte inaccesibile se utilizează pirometre cu radiație (bazate pe legăturile care există între starea termică a unui corp și radiațiile pe care le emite).

Pentru mărimi ca *presiunea, debitul, nivelul, compoziția și caracteristicile fizico-chimice* au fost realizate traductoare specializate pentru măsurarea lor.

Astfel, *presiunea* se poate măsura utilizându-se *traductoare cu element elastic, traductoare cu silifoane* sau cu *tuburi Burbon*.

*Traductoarele cu membrană elastică* (Figura 2-18 a) constau dintr-o cameră (pusă în legătură cu presiunea de măsurat) prevăzută cu o membrană elastică care, sub acțiunea acestei presiuni, se deformează, săgeata fiind dependentă de presiunea aplicată membranei. De obicei se utilizează (pentru mărirea săgeții) membrane gofrate cu profil sinusoidal sau trapezoidal. Prin asamblarea mai multor membrane se obține o „capsulă manometrică“, iar prin asamblarea mai multor capsule se obține „un burduf“. Acestea sunt atașate la un traductor de deplasare.

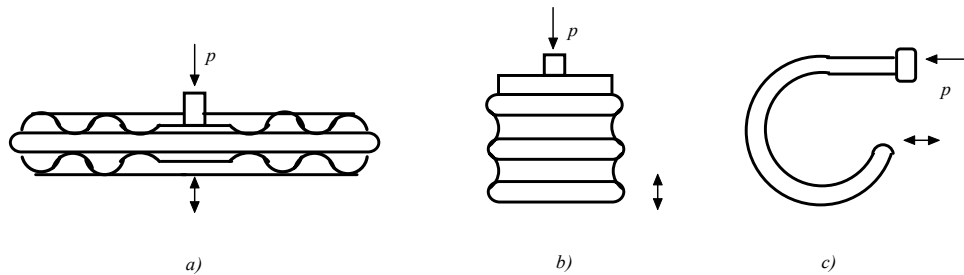


Figura 2-18 Traductoare de presiune

*Traductoarele cu silfoane* (Figura 2-18 b) au ca element elastic silfonul, care este un tub metalic cu pereți subțiri, ondulat pe suprafața laterală. Acestea pot fi asociate cu traductoarele de deplasare.

*Traductoarele cu tuburi Bourdon* (Figura 2-18 c) se bazează pe proprietatea de deformare a unui tub Bourdon (tub sub formă de arc de cerc) sub acțiunea presiunii din interiorul său.

Măsurarea *presiunii diferențiale* se poate face prin utilizarea *traductoarelor cu tub în formă de U*, a *traductoarelor de tip clopot* sau a *traductoarelor inelare*.

Toate aceste traductoare măsoară diferența a două presiuni, transformând-o în deplasarea unei coloane de lichid a cărei presiune statică reprezintă presiunea diferențială măsurată.

Măsurarea *debitelor* se poate face cu traductoare de debit cu secțiune sau cu suprafață de trecere variabilă, sau cu traductoare de debit electromagnetice.

Funcționarea *traductoarelor de debit cu secțiune de trecere variabilă* se bazează pe dependența între debit ( $Q_0$ ) și variația presiunii statice ( $\Delta p$ ) a unui fluid ce se scurge printr-o conductă, atunci când în calea sa intervine o variație de secțiune:  $Q_0 = \sqrt{\Delta p}$ .

În funcție de tipul dispozitivului de strangulare există: traductoare cu diafragmă, traductoare cu ajutaje, traductoare cu tuburi Venturi.

*Traductoarele de debit cu suprafață de trecere variabilă* (rotametre) se bazează în funcționare pe proporționalitatea dintre debit și aria suprafeței de trecere (dacă viteza de curgere este constantă).

*Traductoarele de debit electromagnetice* se bazează în funcționare pe inducerea unei tensiuni electro motoare (t.e.m.) în fluidul care se deplasează în conductă, sub acțiunea unui câmp magnetic creat de un electromagnet exterior. Dacă lichidul are conductibilitate electrică (chiar foarte mică), el reprezintă un conductor în mișcare într-un câmp magnetic și, prin intermediul a doi electrozi cufundați în fluid, se poate măsura t.e.m. indusă, care este proporțională cu viteza de deplasare și, implicit, cu debitul de fluid.

Datorită progreselor în domeniul tehnologiei dispozitivelor semiconductoare integrate s-au realizat *traductoare integrate* care cuprind constructiv în același circuit integrat atât elementul sensibil cât și adaptorul. S-au realizat traductoare integrate de temperatură, presiune, vibrații, de deplasare (rotative, liniare) bazate pe efect Hall. Traductoarele integrate au calitate superioare datorită posibilităților de realizare a unor dispozitive cu compensare intrinsecă la variațiile de temperatură.