

## CAPITOLUL 10

### TRADUCTOARE DE DEBIT ȘI NIVEL

#### 10.1 Definiția debitului. Tipuri de debite. Parametri.



*Debitul* este un parametru caracteristic fluidului în mișcare și reprezintă cantitatea de fluid care trece în unitatea de timp, prin unitatea de suprafață.

Pentru măsurarea debitului se folosesc:

- sisteme cu măsurare frontală cu celule de presiune diferențială,
- sisteme cu traductoare electromagnetice,
- sisteme cu măsurarea suprafeței variabile,
- sisteme cu măsurarea deplasării pozitive,
- sisteme cu traductoare cu turbină,
- sisteme cu traductoare cu ultrasunete,
- sisteme cu traductoare cu stingerea vârtejurilor,
- sisteme cu traductoare termice,
- sisteme cu traductoare coriolis, etc.

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

Măsurarea debitului se referă la fluide, debitele de solide fiind determinate prin cântărire și numărare. Fluidele ale căror debite se măsoară pot fi lichide, gaze, aburi și suspensii.

Debitele se măsoară în conducte deschise sau închise, cu excepția debitelor de gaz, care se măsoară numai în conducte închise.

După modul de definiție al cantității de fluid, debitele pot fi de trei tipuri:

- masice,  $Q_m = \frac{m}{t}$  [kg/s],  $m$  fiind masa de fluid care trece în unitatea de timp prin suprafața considerată;

- volumice,  $Q_v = \frac{V}{t}$  [m<sup>3</sup>/s], unde  $V$  este volumul de fluid care trece în unitatea de timp prin suprafața considerată. Pentru a afla debitul de volum, se măsoară viteza punctuală, în m/s și se înmulțește cu suprafața de măsurare;

- de greutate,  $Q_m = \frac{G}{t}$  [kg-m/s<sup>3</sup>], unde  $G$  este greutatea de fluid care

trece în unitatea de timp prin suprafața considerată.

Sistemul de măsurare folosit se alege în funcție de următorii factori:

- tipul fluidului (lichid, gaz, aburi sau suspensii),
- densitatea fluidului,
- vâscozitatea,
- puritatea,
- nivelul debitului,
- tipul debitului (turbulent sau laminar),
- tipul conductei,
- condițiile de mediu (temperatură, presiune, etc),
- acuratețe, etc.

În sistemele care folosesc calculator pentru procesarea datelor, debitele variabile se eșantionează la o frecvență de 1 Hz.

În procesul de măsurare se ține cont de trei caracteristici importante ale fluidelor: densitatea, vâscozitatea și numărul Reynolds.

Densitatea,  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] este raportul între masa și volumul fluidului.

Vâscozitatea  $\mu$  [N.s/m<sup>2</sup>] este forța tangențială pe o suprafață unitate a două planuri orizontale, separate de o distanță unitate, un plan fix iar celălalt mișcându-se cu viteza unitate. Spațiul dintre planuri este umplut cu substanța vâscoasă. La creșterea temperaturii, vâscozitatea crește la gaze și scade la lichide.

Numărul Reynolds (Re) specifică debitul ca un raport între inerție și vâscozitate conform relației:

$$Re = \frac{vl\rho}{\mu}, \text{ unde } v \text{ este viteza debitului în m/s și } l \text{ este lungimea debitului.}$$

## 10.2 Debitmetre pentru măsurarea punctuală a vitezei fluidului

Debitele de fluid se obțin prin măsurarea punctuală a vitezei fluidului, într-un volum finit. (o secțiune de conductă închisă sau canal deschis de lungime suficientă, care asigură o formă stabilă a debitului, cu o secțiune transversală cunoscută). Viteza se măsoară într-un punct unde ea reprezintă viteza medie din secțiunea transversală.

Pentru vizualizarea debitului, sunt injectate particule trasoare (bule de gaz sau coloranți) în debitul de fluid și se monitorizează trecerea lor. Cele mai folosite dispozitive pentru măsurare a vitezei punctuale sunt: probele statice Pitot, anemometrele cu fir cald și debitmetrele cu ultrasunete.

### **Probele statice Pitot**

Măsurarea presiunii în fluidele aflate în mișcare introduce, pe lângă presiunea statică, componenta de presiune dinamică.

Procedeul de măsurare este următorul: într-un canal deschis sau o conductă închisă se introduce perpendicular un tub care va măsura presiunea statică și un alt tub paralel cu primul dar plasat puțin mai departe, pentru măsurarea presiunii totale.

Presiunea totală ( $P_T$ ) = Presiunea statică ( $P_S$ ) + Presiunea dinamică ( $P_D$ ).

Pentru aplicarea în practică a acestui principiu, trebuie să se țină cont de distorsionarea formei presiunii, determinată de introducerea tuburilor.

Alte posibile surse de erori sunt:

- nealinierea tubului cu direcția debitului;
- neuniformitatea debitului de fluid în secțiunea transversală prin conductă;
- vâscozitatea, care are efect mai mare la valori mici ale numărului Reynolds;
- tuburile cu diametre mari determină scăderea presiunii statice;
- raportul diametrelor canalului și a tubului poate fi prea mic.

Avantajul tubului Pitot static este ușurința cu care poate fi introdus în debitul de fluid. Semnalul obținut la ieșire este o presiune diferențială care se măsoară electric. Dezavantajul principal este valoarea mică a semnalului de presiune.

### **Anemometre cu fir cald**

Folosesc efectul de răcire al unui element rezistiv de către debitul de fluid, măsurând astfel viteza fluidului prin detectarea variației de rezistență cu temperatura. Efectul de răcire sau pierderea de căldură a elementului rezistiv depinde de viteza masei de fluid, căldura specifică a fluidului, coeficientul de transfer de căldură al elementului rezistiv, temperatura și presiunea fluidului.

Pentru măsurare, se folosește una din următoarele tehnici: la curent constant sau la temperatură (sau tensiune) constantă, și două configurații fizice: fir sau strat subțire rezistiv.

Ambele tehnici folosesc același principiu fizic pentru a determina rezistența sensorului. Elementul sensor este încălzit la o temperatură mai mare decât a fluidului. Datorită pierderilor prin convecție de la suprafața elementului rezistiv, se atinge un echilibru între căldura generată ( $I^2R$ ) și căldura pierdută. Acesta se obține fie prin menținerea constantă a curentului și măsurarea tensiunii, fie păstrând tensiunea constantă și măsurând curentul. Este preferată tehnica la temperatură constantă față de cea la curent constant, deoarece la curent constant firul rezistiv poate arde dacă viteza fluidului scade brusc.

În cazul folosirii sensorului tip anemometru trebuie să se ia anumite precauții:

- sonda trebuie să fie aliniată în debitul de fluid;
- lichidele conductoare pot declanșa electrolize, de aceea sensorul trebuie izolat sau excitația se face în curent alternativ;

- fluidul trebuie să fie curat pentru a evita acoperirea sau ruperea senzorului;
- la viteze mari pot apărea vibrații.

Anemometrele cu fir cald se folosesc la măsurarea vitezelor gazelor cu viteze de 0,1 ... 500 m/s și temperaturi sub 750°C. Pentru lichide cu viteze de 0,01 ... 5 m/s se folosesc senzori tip fir iar pentru viteze de 0,01...25 m/s se folosesc senzori obținuți prin depunere.

### **Debitmetre cu ultrasunete cu măsurarea timpului de tranzit**

Debitmetrele cu ultrasunete sunt traductoare portabile care măsoară debite de lichide și suspensii fără obstrucție. Au microprocesor încorporat, afișaj grafic, tastatură pentru selecția paginilor de meniu, interfață serială RS-232 pentru calculatoare de procesare a datelor și ieșire în curent de 4... 20 mA pentru controlere numerice, controlere logice programabile sau înregistratoare.

Măsoară diferența timpului de tranzit între impulsurile ultrasonore transmise în sensul invers sensului de curgere al fluidului. Pentru aceasta, se folosesc două ansambluri de traductoare, fiecare cu posibilitatea emisie și recepției fasciculelor ultrasonore. Particulele sau bulele de aer din lichid nu sunt de dorit deoarece fasciculele ultrasonore reflectate de acestea interferă cu fasciculele ultrasonore transmise și recepționate. Pentru eliminarea efectelor bulelor de aer se folosesc tehnici speciale de prelucrare electronică a semnalelor, de exemplu transformata Fourier.

În funcție de modul de amplasare al celor două traductoare, există trei variante de debitmetre ultrasonore cu măsurarea timpului de tranzit:

- cu montare tip Z (diametral opuse și o singură trecere a fasciculelor),
- cu montare tip V (traductoare plasate de aceeași parte a conductei, cu reflexie de partea interioară);
- cu montare tip W (traductoarele plasate de aceeași parte a conductei, cu trei reflexii).

### **10.3 Debitmetre pentru măsurarea debitului de volum**

Măsurarea volumului brut de fluid înseamnă determinarea volumului care trece printr-un punct, prin măsurarea unui parametru. Procedeu cel mai folosit este măsurarea presiunii diferențiale de-a lungul unei linii de debit. Traductoarele de debit de acest tip impun plasarea unei obstrucții pe linia de debit (o placă cu duză, tub Venturi sau tub Dall). Alte traductoare utilizate pentru măsurarea volumului unui fluid sunt: traductoarele cu turbină, traductoarele cu deplasare pozitivă, electromagnetice, ultrasonore cu efect Doppler, cu împrăștierea vârtejurilor, etc.

**a) Debitmetre cu suprafață constantă și cădere variabilă a presiunii (cu presiune diferențială)**

În fig. 10.1, debitul turbulent ( $Re > 4000$ ) trece printr-o restricție din conductă, sub forma unei găuri cu muchii drepte, denumită placă cu orificii.

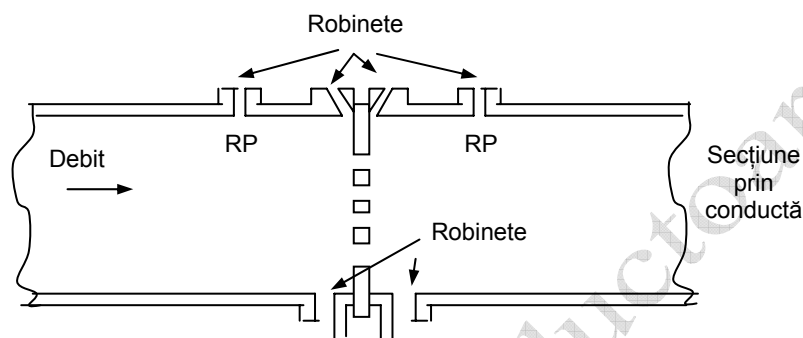


Fig. 10.1

Pierderea permanentă de presiune statică din conductă după obstrucție dă o indicație asupra debitului. Cele mai bune poziții pentru amplasarea robinetelor de presiune (RP) sunt la distanțele  $D$  și  $D/2$  față de placa cu orificii, unde  $D$  este diametrul conductei.

Debitul de volum se determină matematic și depinde de suprafața orificiului, suprafața conductei, presiunea între cele două puncte ale robinetelor și densitatea fluidului.

**b) Debitmetre cu suprafață variabilă și cădere constantă a presiunii**

În anumite debitmetre, suprafața orificiului este ajustabilă și căderea de presiune este în acest caz constantă. Aceasta se obține folosind un flotor cu dimensiuni fixe, suspendat într-un tub vertical cu suprafață crescătoare cu înălțimea, ca în fig.10.2.

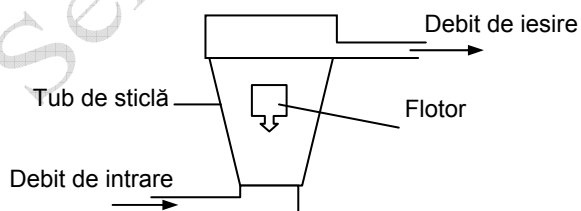


Fig. 10.2

Pentru un debit dat, flotorul devine staționar dacă gravitația, presiunea diferențială, vâscozitatea și flotabilitatea sunt mărimi echilibrate.

Modul de funcționare este simplu: pentru o suprafață fixă de conductă, presiunea diferențială variază cu pătratul debitului. La presiune constantă, suprafața se modifică și debitul de volum variază liniar cu înălțimea la care este suspendat flotorul.

### **c) Debitmetre cu turbină**

Debitmetrele cu turbină au un set de lame care se rotesc, plasate în linia de debit a unui fluid. Viteza de rotație unghiulară este proporțională cu debitul fluidului, ieșirea fiind un tren de impulsuri numerice. Dacă se dorește semnal analogic la ieșire, se folosește un convertor de tip frecvență - tensiune.

Măsoară debite de  $0,001 \dots 500\text{m}^3/\text{min}$  pentru gaze și de  $0,05 \dots 120000 \text{ l/min}$  pentru lichide.

Variantele constructive ale debitmetrelor cu turbina sunt următoarele:

- respirometre - măsoară debitul de volum al gazelor eliminate din plămâni;
- debitmetre cu două turbine axiale cu două rotoare - au mare acuratețe și posibilitatea de autocorectare și autoverificare; sunt concepute pentru măsurarea debitelor mari de gaze naturale, în conducte magistrale;
- debitmetre cu două faze gaz / lichid – dau la ieșire presiune diferențială (de exemplu, debitmetrul Venturi în serie cu un debitmetru cu turbină). Măsoară debite de volum și de masă pentru aerosoli;
- debitmetre cu turbină cu inserție axială - sunt formate dintr-un mic rotor axial montat pe o prelungire ce se introduce radial prin peretele conductei, printr-o supapă de închidere. Măsoară viteza fluidului din poziția rotorului, din care se poate deduce debitul de volum. Se folosesc atunci când diametrele conductelor sunt mari și cerințele de acuratețe moderate;
- debitmetre cu turbină multijet - sunt debitmetre liniare folosite la măsurarea debitului lichidelor și au o singură elice montată vertical pe un lagăr, într-o cameră verticală de divizare a debitului, denumită și distribuitor; camera inferioară fiind conectată la debitul de intrare și distribuie debitul tangențial pe regiunea inferioară a lamelor elicei.

### **d) Debitmetre cu deplasare pozitivă**

Măsoară un volum cunoscut într-un anumit interval fix de timp. Tipurile de debitmetre cu deplasare pozitivă sunt:

- pentru lichide și gaze ude: cu piston semirotativ, cu piston reciproc, cu disc în rotație, cu morișcă în rotație;
- pentru gaze: cu diafragmă și cu deplasare rotativă.

Aceste debitmetre sunt pompe care funcționează invers: o cantitate de fluid este prinsă între admisie și evacuare și sub influența presiunii, fluidul este rotit spre portul de ieșire pentru evacuare.

Temperatura maximă de funcționare este 300°C iar presiunea maximă este de 10 MPa.

#### **e) Debitmetre ultrasonore cu efect Doppler**

Pentru a folosi efectul Doppler la măsurarea debitului unei conducte, un tracluctor transmite un fascicol ultrasonor cu o frecvență de ~ 500 kHz în circuitul de fluid. Lichidul care curge prin conductă trebuie să conțină materiale reflectorizante pentru undele ultrasonore, de exemplu particule solide sau bule de aer. Mișcarea acestor materiale modifică frecvența fascicolului reflectat spre un traductor receptor. Deplasarea de frecvență Doppler este liniar proporțională cu viteza debitului din conductă.

Aceste traductoare se folosesc pentru măsurarea debitelor cu viteze ale fluidului de 6 ... 9 m/s și temperaturi < 120 °C.

#### **f) Debitmetre cu împrăștierea vârtejurilor**

Frecvența vârtejurilor împrăștiate de un corp plasat în șuvoiul de debit este proporțională cu viteza fluidului. Debitmetrele cu împrăștierea vârtejurilor au acuratețe de  $\pm 1\%$  pentru măsurarea debitului de volum la lichide, gaze și aburi. Nu au părți în mișcare și sunt tolerante la defecte. Sunt sensibile la zgomotul conductei și necesită debite mari pentru generarea vârtejurilor. Gama dinamică este 20:1, temperatura de funcționare este < 200°C și presiunea  $\leq 10$ MPa.

### **10.4 Debitmetre pentru măsurarea debitului de masă**

În aplicațiile practice de măsurarea a debitului se dorește uneori determinarea masei reale (greutății) unui fluid (de exemplu la aparatele dezbor).

Pentru determinarea debitului de masă, datele de ieșire de la debitmetrele de volum trebuie corectate în funcție de variațiile de densitate, vâscozitate, presiune, temperatură și viteză. Cel mai ușor, corecțiile se fac în echipamente numerice. Există însă și tehnici directe de măsurare a debitului de masă.

#### **10.4.1 Debitmetre directe de masă**

##### **Debitmetre cu măsurarea momentului forței**

Măsurarea momentului forței unui fluid în mișcare este simplă dar sensibilă la variații ale densității. Această dependență se elimină imprimând debitului de fluid o viteză cunoscută, perpendiculară de direcția de curgere.

De exemplu, la un motor care se rotește cu viteza unghiulară constantă  $\omega$  și învârtă o elice lungă, astfel încât viteza tangențială de ieșire să fie stabilă, cuplul  $C$  este legat de debitul de masă prin relația:

$$D_m = \frac{C}{\omega \cdot r^2}$$

Raza  $r$  și viteza unghiulară  $\omega$  fiind constante, debitul de masă  $D_m$  este proporțional cu cuplul  $C$ .

O altă metodă este comandarea elicei la cuplu constant și măsurarea vitezei de rotație a elicei.

O metodă mai bună folosește în plus o turbină separată, cuplată printr-un arc la un ax pe care este fixat un traductor de deplasare unghiulară. Metoda înlătură energia inerțială imprimată fluidului. Elicea se rotește cu viteză constantă și produce un moment unghiular fluidului în mișcare.

Debitmetrele cu măsurarea momentului se folosesc în fluide cu presiuni statice de până la 10 MPa și temperaturi de  $-30 \dots +50^\circ\text{C}$ .

Alte debitmetre cu măsurarea momentului forței sunt:

- debitmetre cu două turbine identice: două turbine cu unghiuri diferite sunt cuplate cu un arc și deplasarea lor unghiulară este o măsură a debitului de masă;
- debitmetru giroscopic: fluidul trece prin tuburi circulare cărora li se imprimă oscilații mici; se generează astfel un cuplu proporțional cu debitul;
- debitmetru cu debit radial Coriolis: fluidul curge radial într-un senzor de rotație. Cuplul necesar rotirii senzorului este proporțional cu debitul de masă.

#### **Debitmetre de masă termice**

Principiul de funcționare se bazează pe injectarea unei cantități de căldură într-un fluid și măsurarea diferenței de temperatură. Pentru aceasta se folosește o înfășurare de încălzire care înconjoară debitul de fluid dintr-o conductă și doi senzori de temperatură, A și B, de exemplu termorezistențe, plasate înainte și după tubul încălzit.

Debitul de masă se determină matematic cu relația:

$$D_m = \left[ \frac{kP}{\Delta T} \right]^{1,25}$$

unde  $P$  este puterea de încălzire și  $\Delta T$  este diferența de temperatură  $T_B - T_A$  (aproximativ  $1^\circ\text{C}$ ). Constanta  $k$  este complexă și include coeficienți de transfer de căldură, căldura specifică a fluidului, densitatea fluidului și conductivitatea termică a fluidului.



Debitmetrele de masă termice se folosesc pentru măsurarea debitelor de gaz în gama  $10^{-9} \dots 10^{-2}$  kg/s, presiuni de lucru 2 MPa și temperatura de 100°C.

#### 10.4.2 Debitmetre indirecte de masă

Orice metodă folosită la determinarea debitului de volum se poate folosi și la măsurarea debitului de masă, atunci când se cunoaște densitatea. Cele mai folosite tehnici sunt cele cu debitmetre cu presiune diferențială și cu debitmetre Pitot statice.

Densitatea se poate obține dacă se cunosc presiunea și temperatura fluidului. Operațiile de calcul ale densității și debitului de masă se realizează simplu, folosind sisteme cu microcalculator.

#### 10.5 Debitmetre pentru canale deschise

Ori de câte ori un lichid curge într-un canal și nu îl umple complet, debitul este numit debit în canal deschis (și este specific numai pentru lichide). Aceste situații se întâlnesc în conducte care nu sunt complet pline, în râuri și canale. Tehnica folosită este plasarea unei obstrucții în calea debitului și măsurarea unei variabile. Obstrucțiile pot fi baraje și ecluze, la care fluidul curge peste și respectiv sub obstrucție.

Pentru un baraj dreptunghiular, debitul de volum se determină din ecuațiile energiei potențiale și cinetice, în funcție de înălțimea barajului:

$$D_v = 1,84 \cdot \left[ L - \frac{nH}{10} \right] \cdot H^{3/2}$$

cu condiția ca partea de acces să fie neglijabilă în comparație cu partea de sus a barajului. Factorul de contracție  $n = 0, 1$  sau  $2$ , indică diferite configurații de baraje dreptunghiulare (de exemplu, pentru  $n = 2$ , înălțimea apei este  $3H$ , lățimea canalului este  $4H + L$ , unde  $L =$  lățimea deschiderii din mijloc din baraj).

**Debitmetrele cu ultrasunete pentru canale deschise** au traductorul montat deasupra canalului, acesta transmițând impulsuri ultrasonore în jos, pe suprafața lichidului din canal. Impulsurile sunt reflectate înapoi spre traductor și timpul de tranzit este o măsură a înălțimii lichidului din canal. Folosind nivelul din canal și viteza debitului, sistemul măsoară debitul de volum.

## 10.6 Debitmetre cu vizualizarea imaginilor particulelor

Măsurarea experimentală a vitezei, accelerației și densității unui debit de gaz sau lichid este importantă pentru proiectarea autovehiculelor, aparatelor de zbor, navelor maritime și a altor vehicule, precum și pentru optimizarea unor procese de ardere și reacție. Pentru diagnosticarea debitelor, tehnicile optice (de exemplu fluorescența indusă cu laser, împrăștierea Raman și măsurarea vitezelor prin determinarea deplasărilor de frecvență Doppler cu laser) dau informații detaliate, fără perturbarea sistemului studiat.

Debitmetrele cu vizualizarea imaginilor particulelor folosesc împrăștierea radiației optice de către particule mici, pentru a evidenția mișcarea lor. Fotografiiile sau captarea electronică a imaginilor cu expuneri duble înregistrează și compară câmpul radiației optice împrăștiate la două momente de timp și, printr-o analiză matematică a acestor imagini se obține o hartă bidimensională a vitezelor. Se pot obține și informații tridimensionale repetând aceste măsurări în poziții diferite.

Pentru măsurare, în fluidul studiat se introduc particule mici, cu densitate cunoscută, care împrășteie radiația optică. Se folosesc surse laser în impulsuri cu durate de ns cu comutarea factorului de calitate. Ieșirea este focalizată pentru a forma o foaie de radiație optică cu grosime uniformă, bine definită. Imaginile sunt preluate cu o cameră de luat vederi. Acuratețea măsurătorii depinde de mărimea și densitatea particulelor introduse în debitul studiat, mărimea și distanța focală a sistemului optic a camerei de luat vederi folosite și rezoluția camerei. Elementul esențial al sistemului este laserul.

## 10.7 Măsurarea debitului în conducte parțial pline

Procedeul folosește un debitmetru electromagnetic combinat cu un sistem independent de măsurare capacitivă a nivelului. Măsurarea vitezei fluidului se face prin legea inducției electromagnetice a lui Faraday, care arată că dacă un lichid conductiv curge printr-un câmp magnetic, se induce o tensiune direct proporțională cu viteza medie a fluidului:

$$U = k_1 \cdot B \cdot v \cdot d,$$

unde  $U$  este tensiunea indusă,  $k_1$  este constanta instrumentului,  $B$  este inducția magnetică iar  $d$  este distanța dintre electrozi (diametrul conductei).

Câmpul magnetic este generat cu ajutorul a două bobine și este perpendicular pe tubul nemagnetic prin care trece debitul măsurat. Electrozii sunt montați opuși unul față de celălalt, pe mijlocul conductei la debitmetrele convenționale electromagnetice, sau cu o distanță între ei de aprox. 10 % din diametrul tubului.

Debitul de volum prin conductă este:

$$D_V = v \cdot A,$$

unde  $D_V$  este debitul de volum instantaneu,  $v$  este viteza fluidului iar  $A$  este aria secțiunii transversale a curentului de fluid.

Măsurarea capacitivă a nivelului se realizează cu un sistem integrat format dintr-o placă de detecție pe o față a tubului de măsurare și patru plăci de transmisie pe cealaltă față, introduse în pereții unui tub de poliuretan. Senzorul de nivel este încapsulat complet în plastic și izolat de lichidul măsurat. Plăcile de transmisie sunt alimentate cu tensiune de frecvență mare și se măsoară curentul indus în placa receptoare. Placa de transmisie de jos este complet acoperită de lichid și se folosește ca referință pentru compensarea tensiunii de decalaj determinată de variația conductivității lichidului.

Nivelul debitului de lichid se determină din capacitatea măsurată:

$$C = k_2 \cdot A,$$

unde  $k_2$  este o constantă iar  $A$  este suprafața secțiunii transversale a debitului de fluid. Circuitele electronice montate pe tubul de măsurare calculează factorul de umplere al conductei notat cu  $b$ , cu valori 0 ... 1, în funcție de debit. Se obține astfel debitul prin conducta parțial umplută:

$$D_V = v_p \cdot k_3 \cdot b,$$

unde  $v_p$  este viteza fluidului prin debitmetrul parțial umplut iar  $k_3$  este constanta debitmetrului. Datele se transmit printr-o interfață numerică serială la un calculator.

Calibrarea se face static și dinamic, în două etape: întâi se determină constanta de calibrare cu un tub de măsurare complet umplut. Calibrarea statică înseamnă determinarea factorilor de corecție pentru măsurarea nivelului, pentru mai multe nivele de lichid și diverse lichide, comparativ cu un sistem de măsurare de referință. Calibrarea dinamică folosește un ansamblu special de calibrare. Debitmetrul parțial umplut se calibrează față de un debitmetru electromagnetic de referință la diverse nivele de umplere și diverse viteze ale fluidului.

Avantaje: Debitmetrul electromagnetic nu are părți în mișcare sau părți care obstrucționează fluidul. Valurile de la suprafața lichidului, din conductele parțial pline, în special când sunt la nivelul electrozilor, pot determina fluctuații ale semnalului de ieșire. Această problemă se elimină folosind circuite cu logică fuzzy și circuite speciale de filtrare.

## 10.8 Debitmetre ultrasonore pentru temperaturi mari

Problema principală la măsurarea debitelor folosind debitmetre ultrasonore la temperaturi peste 260°C constă în asigurarea funcționării traductoarelor care generează sau detectează undele ultrasonore.

A doua problemă este cuplarea undelor ultrasonore la traductorul generator și la cel receptor, cu fluidul (pentru traductoare ude) și cuplarea ultrasunetelor în și din conductă (pentru traductoare exterioare). Nu trebuie perturbat fluidul sau temperatura sa. De exemplu, răcirea locală în zona traductoarelor ar determina particulele solide să se precipite acolo și să blocheze ultrasunetele.

Cele mai multe debitmetre ultrasonore folosesc traductoare piezoelectrice pentru generarea și detectarea ultrasunetelor. Ambele folosesc aceleași tipuri de materiale, de exemplu niobatul de litiu care își păstrează proprietățile piezoelectrice până la punctul Curie, de aproximativ 1210°C.

Dacă trebuie proiectat și realizat un traductor pentru temperaturi mari folosind acest material, apar mai multe probleme tehnice, și anume:

- dacă nu este prezent oxigen în exces, niobatul de litiu își pierde propriul oxigen și nu mai funcționează corect. Se pot folosi materiale ceramice feroelectrice care își rețin oxigenul lor până la 300... 500°C;
- expansiunea termică diferențială face greu de încapsulat piezoceramica în carcasă metalică, de exemplu titan;
- fără amortizare, traductoarele tind să vibreze și impulsurile lor se deformează.

O modalitate de a evita temperatura mare este folosirea unui cilindru tampon din metal solid, de exemplu oțel, oțel inoxidabil sau tungsten. Pentru debite de gaze se folosesc drept tampon mănunchiuri de sute de fire introduse într-un cilindru rezistent la coroziune. Tamponul trebuie să conducă bine undele ultrasonore.

## 10.9 Traductoare de nivel

Sistemele pentru controlul nivelului sunt de patru tipuri:

- control într-un punct, de exemplu menținerea unui rezervor plin cu lichid, fără ca acesta să depășească limita maximă sau minimă. Când lichidul atinge un nivel critic, traductorul de nivel activează o pompă sau deschide o supapă.
- control în două puncte, de exemplu menținerea nivelului unui lichid dintr-un rezervor între două puncte.

Tipurile de traductoare compatibile cu aceste aplicații sunt aceleași ca pentru sistemele de control într-un punct.

- control în mai multe puncte și
- control continuu, care folosește traductoare cu semnal de ieșire continuu.

#### **Traductoare de nivel cu plutitor**

Sunt traductoare complexe care conțin un plutitor ce dă informații asupra nivelului, un sistem mecanic care transferă deplasarea plutitorului și un traductor de deplasare (rezistiv, reostatic, inductiv, cu senzor Hall, etc.). Traductorul de nivel cu plutitor se activează sau se dezactivează după o cursă tipică de 3 mm.

Un exemplu de traductor de nivel cu plutitor este indicatorul de benzină de la automobile.

#### **Traductoare de nivel cu măsurarea greutateii sau presiunii**

Principiul constă în măsurarea greutateii rezervorului cu un traductor de forță, sau a diferenței de presiune cu un traductor de presiune, ambele mărimi fiind liniar dependente de nivelul lichidului din rezervor. Principala sursă de eroare este variația densității lichidului cu temperatura.

Adaptorul electronic folosit trebuie să asigure o decalare a originii de măsurare pentru a ține seama de greutatea rezervorului gol.

O aplicație a traductoarelor de nivel cu măsurarea presiunii este analiza și monitorizarea stabilității navelor, fără a măsura densitatea apei.

#### **Traductoare de nivel cu sesizarea atingerii unui anumit nivel**

O metodă foarte des folosită în măsurarea nivelelor este utilizarea unui traductor de temperatură (de exemplu, termistor în regim de autoîncălzire) a căruia temperatură scade brusc dacă intră în contact cu lichidul. În cazul lichidelor conductoare, sesizarea atingerii unui nivel dat se face prin închiderea unui circuit, cele două contacte fiind plasate în rezervor.

O extindere a acestei metode este traductorul de nivel numeric, realizat prin montarea unui lanț de contacte pe generatoarea rezervorului, obținându-se astfel o cuantificare a nivelului în funcție de numărul de contacte.

#### **Traductoare de nivel capacitive**

Cel mai simplu traductor de nivel capacitiv are doi electrozi, unul fiind o vergea izolată introdusă în rezervorul cu lichid iar celălalt electrod fiind peretele rezervorului. Dacă rezervorul nu are o formă geometrică regulată, traductorul capacitiv are cei doi electrozi profilați corespunzător, astfel încât să existe o dependență liniară între capacitate și cantitatea de lichid.

Avantajele traductoarelor de nivel capacitive sunt funcționarea cu lichide sau pulberi conductoare sau izolante și semnal de ieșire în curent alternativ.

#### **Traductoare de nivel cu ultrasunete**

Măsoară durata de timp între momentul emisieii unui impuls ultrasonor și momentul recepționării impulsului reflectat de suprafața lichid – gaz. Cunoșcând viteza sunetului în mediul de propagare, se determină distanța deci nivelul. Metoda este folosită atât pentru lichide cât și pentru solide, făcând măsurători continui sau intermitente.

### **Traductoare de nivel cu microunde**

Materialele conductoare reflectă microundele iar materialele dielectrice le atenuază. Pentru măsurarea nivelului lichidelor sau pulberilor conductoare se procedează astfel: un emițător transmite un fascicol de microunde în impulsuri spre lichid, care este reflectat și captat de o antenă și apoi transmis receptorului. Timpul necesar fascicolului să ajungă de la emițător la receptor este o măsură a nivelului.

### **Traductoare de nivel optoelectronice**

Aceste traductoare detectează nivelul de lichid prin transmiterea unei radiații în infraroșu spre o prismă optică fixată la capătul fibrei optice. Dacă prisma optică este în lichid, fascicolul în infraroșu se refractă. Dacă prisma este uscată, fascicolul în infraroșu este reflectat de prismă înapoi în fibra optică.

Există și traductoare de nivel numerice cu fibre optice la care s-a înlăturat îmbrăcămintea pe porțiuni de lungime identică însă poziționate după un cod (de exemplu, codul Gray cu șase biți). Lichidul asigură condiția de reflexie internă totală a radiației optice pentru zonele cu fibră optică fără înveliș.

### **Traductoare de nivel cu radiații nucleare**

Acestea se folosesc la măsurarea nivelului lichidelor toxice, inflamabile, explozive, corozive, nefiind permisă nici un fel de trecere electrică sau mecanică între interiorul și exteriorul rezrvorului. Sursa radioactivă este plasată pe un plutitor, la suprafața lichidului și, cu un detector aflat în afara rezervorului, se măsoară intensitatea radiației (care este invers proporțională cu pătratul distanței sursă – detector) și atenuarea radiației de stratul de lichid al cărui nivel de determină.