

# Instrumentație pentru măsurarea nivelului

*Nivelul* este mărimea prin care se caracterizează cantitățile de materiale lichide sau solide în stare granulară ori pulverulentă conținute în diverse recipiente, rezervoare, bazine etc. În tehnică *nivelul* se definește ca fiind înălțimea  $h$  [m] la care se află suprafața de separație a două medii cu proprietăți fizice diferite, în raport cu un reper dat.

Funcție de starea de agregare a mediului în care se face măsurarea există două mari categorii:

- **instrumentație de nivel pentru lichide**, cele mai folosite fiind: cu plutitor, funcționând pe principiul presiunii hidrostatice, cu imersor, ultrasonice, cu radiații nucleare și luminoase, bazate pe proprietăți electrice (rezistive, capacitive);
- **instrumentație de nivel pentru substanțe granulare și pulverulente**, la care se evidențiază tipurile: cu sondă palpatoare, cu sondă capacitivă, cu paletă rotitoare, cu sondă de vibrație, cu sondă pneumatică (ultimele trei tipuri fiind folosite în realizarea sesizoarelor de nivel).

În continuare se prezintă cele mai utilizate tipuri de instrumentații, ținând seama atât de clasificarea anterioară, cât - mai ales - de gradul de răspândire în aplicații.

# Instrumentație pentru măsurarea nivelului cu plutitor

Funcționarea → utilizarea unui plutitor aflat în contact permanent cu suprafața liberă a lichidului, sau cu suprafața de separație a două lichide nemișcibile, a cărei poziție este transmisă, prin diverse mijloace, către intrarea într-un circuit de adaptare specific.

Plutitorul este realizat, de obicei, sub formă cilindrică, de înălțime mică astfel ca imersia sa în lichid să prezinte variații neglijabile la diverse valori măsurate de nivel, ca și la schimbarea lichidului de lucru

Considerând schema principală de măsurare din fig.a, în care plutitorul - realizat dintr-un material cu densitatea  $\rho_3$  - este imersat pe înălțimea  $h_1$  în lichidul cu densitatea  $\rho_1$  ( $\rho_1 > \rho_3 > \rho_2$ ), deci pune în evidență nivelul  $h$  al suprafeței de separație dintre mediile lichide nemișcibile cu densitățile  $\rho_1$  și  $\rho_2$ , se pot scrie următoarele relații:

$$F_T + F_A = F_G = (V_1 + V_2)\rho_3 g \quad F_T + V_1\rho_1 g + V_2\rho_2 g = F_G$$

unde:  $F_G$  este greutatea plutitorului,  $F_A$  - forța ascensională (arhimedică),  $F_T$  - forța de tracțiune care acționează la intrarea în adaptor,  $V_1$ ,  $V_2$  - volumele plutitorului corespunzătoare mediilor cu densitățile  $\rho_1$ , respectiv  $\rho_2$ ,  $V_1 + V_2 = V$  - volumul total al plutitorului.

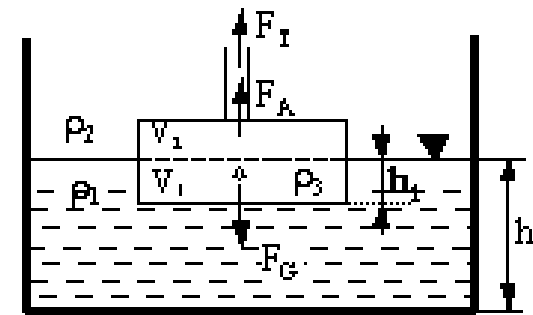


Fig.a. Principiul măsurării nivelului cu plutitor

# *Instrumentație pentru măsurarea nivelului cu plutitor*

Fie cazul particular al unui plutitor cilindric, de secțiune  $A$ ; prin explicitarea lui  $V_2$  din prima relație și înlocuirea în a doua, rezultă:

$$F_T + \left( \frac{F_G}{\rho_3 g} - Ah_1 \right) \rho_2 g + Ah_1 \rho_1 g = F_G \qquad F_T + F_G \frac{\rho_2}{\rho_3} + Ah_1 g (\rho_1 - \rho_2) = F_G$$

din ultima relație se obține adâncimea de imersare  $h_1$ :

$$h_1 = \frac{\rho_3 - \rho_2}{\rho_3} \frac{F_G - F_T}{Ag(\rho_1 - \rho_2)}.$$

Pentru ca variațiile densității lichidului să devină neglijabile trebuie ca  $h_1$  să fie făcut cât mai mic, aceasta obținându-se prin realizarea unui plutitor cu secțiunea  $A$  cât mai mare. De asemenea, variațiile forței de tracțiune  $F_T$  pot fi neglijabile dacă este posibil să se utilizeze un plutitor cu greutatea cât mai mare.

Preluarea mișcării plutitorului, provocată de variațiile de nivel, se realizează fie pe cale pur mecanică (tijă, bandă, lanț), fie pe cale electromecanică (tambur cu cablu acționat electric, combinat cu utilizarea fenomenului de magnetostricțiune), ultima modalitate fiind superioară întrucât elimină erorile introduse de frecările care au loc în mecanismele de transmisie a mișcării.

# *Instrumentație pentru măsurarea nivelului cu plutitor*

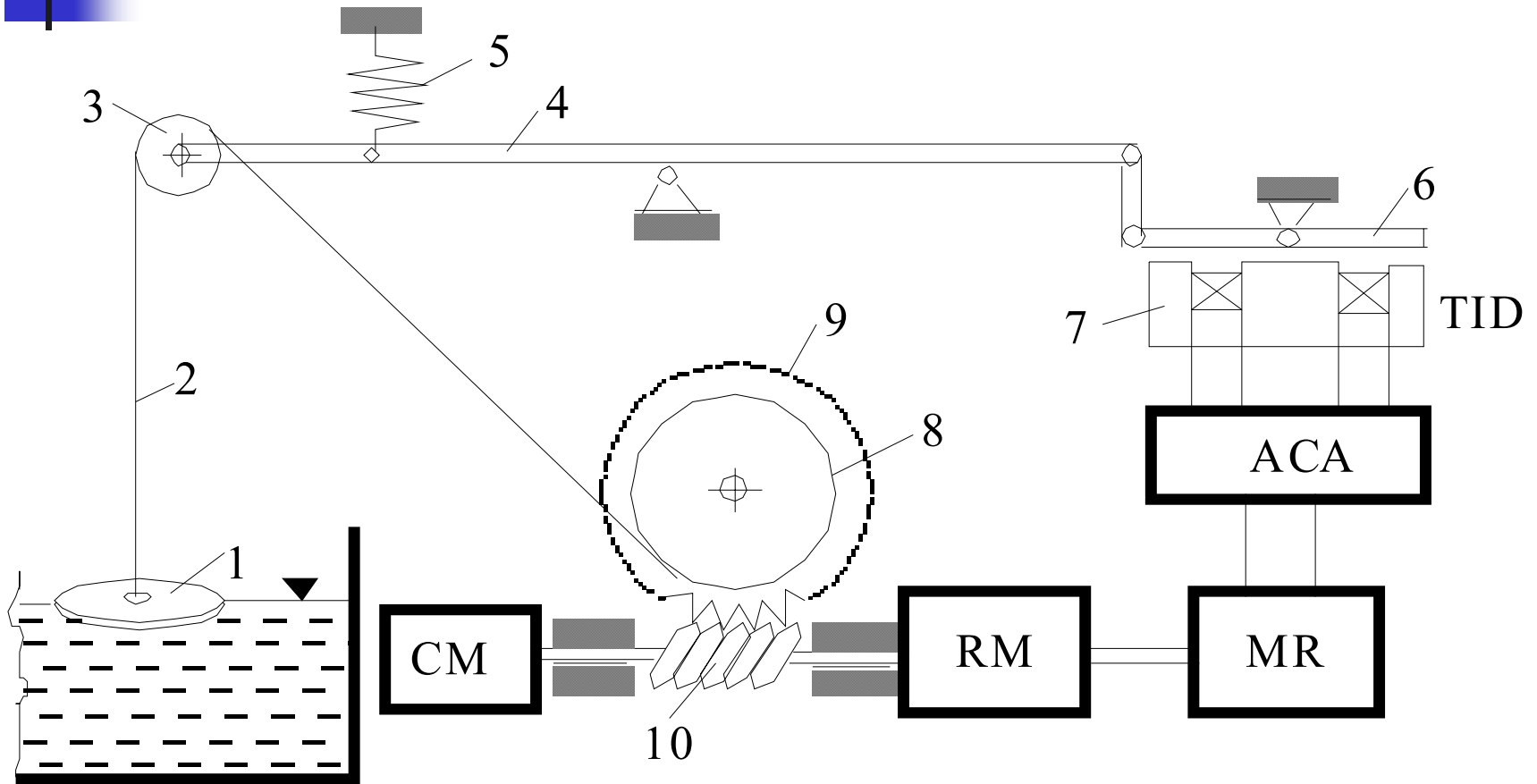


Fig.b. Măsurarea nivelului cu plutitor și adaptor funcționând pe principiul balanței de forțe

1 - plutitor, 2 - cablu, 3 - roată de ghidare, 4 - pârghie, 5 - resort, 6 - armătură mobilă, 7 - armătură fixă, 8 - tobă de cablu, 9,10 - angrenaj melc - roată melcată, TID - traductor inductiv diferențial, ACA - amplificator de curent alternativ, MR - motor reversibil, RM - deructor mecanic, CM - contor mecanic



# *Instrumentație pentru măsurarea nivelului cu plutitor*

O variantă de măsurare a nivelului cu plutitor, având adaptorul realizat pe principiul balanței de forțe, este prezentată în fig.b. Echilibrul de forțe se asigură pe pârghia 4 între forța de tracțiune realizată de toba de cablu 8, forța ascensională dată asupra plutitorului 1 și forța resortului 5.

La echilibru, adică atât timp cât plutitorul este în contact cu suprafața lichidului de lucru, armătura mobilă 6 a traductorului inductiv diferențial TID realizează același întrefier în cele două secțiuni, astfel că semnalul de dezechilibru este nul; în consecință, ieșirea amplificatorului ACA este, de asemenea, nulă, iar motorul reversibil MR nu este acționat.

La modificarea nivelului echilibrul forțelor pe pârghia 4 se strică, efect manifestat prin apariția unui dezechilibru la ieșirea din TID, iar ieșirea din ACA va produce rotirea motorului în sensul care asigură atingerea poziției de echilibru.

Indicația despre nivel este afișată local pe contorul mecanic CM; pentru transmitere la distanță se utilizează fie un selsin cuplat rigid cu axul reductorului mecanic RM, fie - cel mai adesea - se procedează la codificarea binar-zecimală a fiecărei cifre din CM prin utilizarea a câte 4 microrelee REED acționate de micromagneți permanenți.

Măsurările de nivel cu plutitor funcționând pe principiul balanței de forțe intră în categoria celor mai precise tipuri de metode de măsurare; permit măsurări în domeniul 0...25m (opțional până la 90m) cu o precizie de 0,01...0,05% (și chiar mai mare, având în vedere că, pentru o înălțime de 20m, sesizează variații ale nivelului de 1mm); la variantele magnetostrictive rezoluția poate ajunge la  $\pm 0,1$ mm.

# *Instrumentație ultrasonică pentru măsurarea nivelului*

**Funcționarea:** proprietatea undelor ultrasonice de a fi reflectate de suprafața de separație dintre două medii și măsurarea timpului de propagare dus-întors dintre locul de generare a undelor ultrasonice și suprafața curentă la care se situează nivelul lichidului.

Viteza de propagare  $C$  a undelor acustice, în general, este funcție atât de natura, cât și de particularitățile mediului în care se face măsurarea, așa cum s-a arătat la traductoarele de debit de tip ultrasonic.

Dacă unda acustică sosește normal pe suprafața de separație a două medii și este reflectată, coeficientul de reflexie este dat de relația

$$k_r = \frac{\rho_1 C_1 - \rho_2 C_2}{\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2} \quad \text{în care produsul } \rho C \text{ se numește rezistență acustică a mediului.}$$

Unda reflectată prezintă o intensitate  $I$ , față de cea a undei incidente  $I_0$ , dată de relația

$$I = I_0 \left( \frac{\rho_1 C_1 - \rho_2 C_2}{\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2} \right)^2 = I_0 k_r^2. \quad \text{De remarcat că pentru medii de separație gazos-lichid intensitatea undei reflectate este cu puțin mai mică decât a celei incidente.}$$

O schemă de măsurare ultrasonică a nivelului - fig.c - cuprinde o sondă ultrasonică înglobând un piezocristal emițător/receptor de unde ultrasonice și un pin de referință situat la distanța  $h_0$  de PCER, rolul lui fiind asigurarea independenței indicațiilor de nivel de viteza de propagare prin mediul în care se face măsurarea.

# Instrumentație ultrasonică pentru măsurarea nivelului

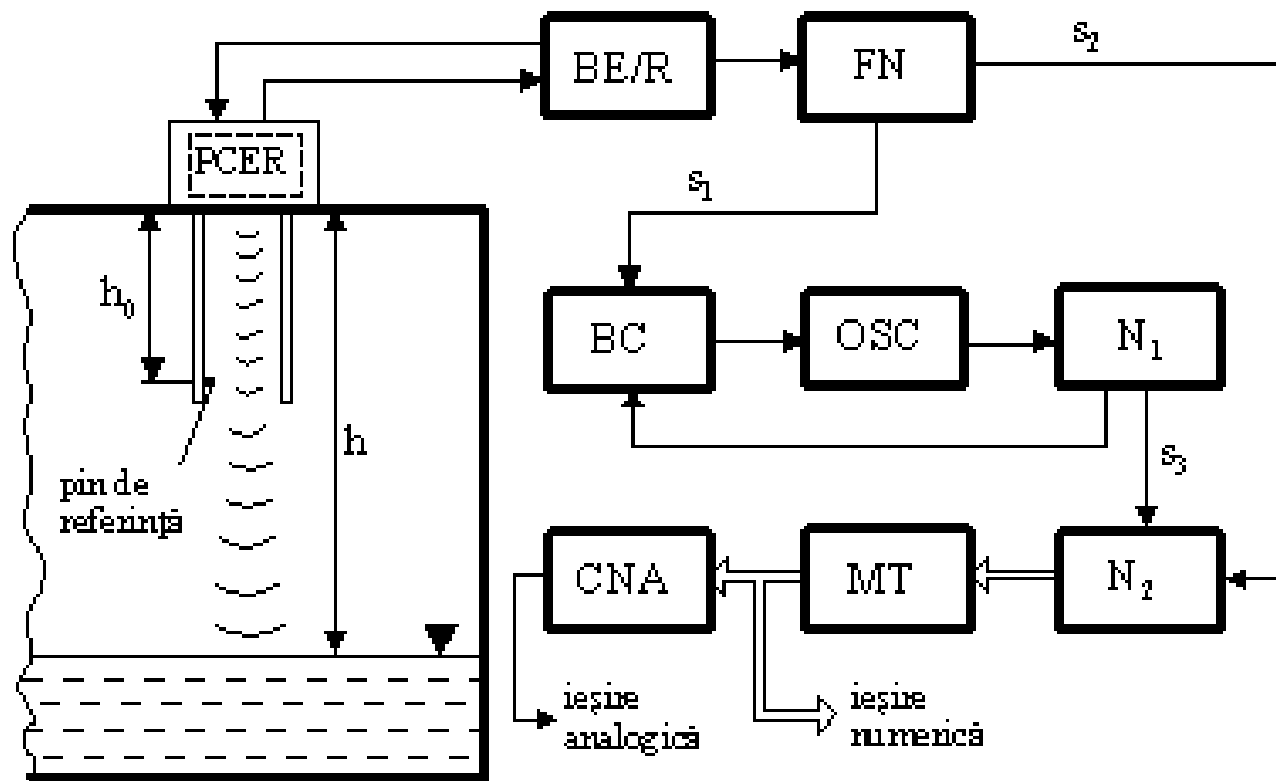


Fig.c. Schemă de măsurare ultrasonică a nivelului

PCER - piezocristal emițător/receptor; BE/R - bloc emițător/receptor; FN - filtru numeric; BC - bloc comparator; OSC - oscilator;  $N_1$  - numărător divizor de frecvență;  $N_2$  - numărător de impulsuri; MT - memorie tampon; CNA - convertor numeric analogic

# *Instrumentație ultrasonică pentru măsurarea nivelului*

Blocul emițător/receptor BE/R asigură comanda PCER și recepția semnalelor reflectate de pinul de referință, respectiv suprafața lichidului.

Semnalul reflectat de pinul de referință (ieșirea  $s_1$  din filtrul numeric FN) se va obține după un timp

$$t_0 = \frac{2h_0}{C} \quad \text{iar cel reflectat de suprafața lichidului după un timp} \quad t_h = \frac{2h}{C}$$

(ieșirea  $s_2$ )

așadar, frecvența semnalelor  $s_1$  și  $s_2$  va fi

$$f_{s_1} = \frac{1}{t_0} = \frac{C}{2h_0} \quad f_{s_2} = \frac{1}{t_h} = \frac{C}{2h}$$

Blocul de comparație BC, împreună cu oscilatorul OSC și numărătorul  $N_1$  pus să lucreze ca divizor de frecvență cu factorul  $K_N$ , alcătuiesc un circuit cu blocare de fază PLL, așadar frecvența semnalului  $s_3$  este

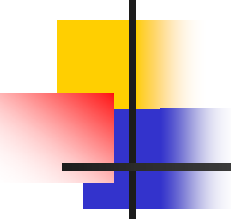
$$f_{s_3} = \frac{1}{K_N} f_{s_1} = \frac{C}{2K_N h_0}$$

Numărătorul  $N_2$  realizează numărarea impulsurilor  $s_3$  pe o perioadă a semnalului  $s_2$ , adică

$$N_h = \frac{1}{K_N} f_{s_3} = \frac{1}{K_N h_0} h$$

așadar numărul de impulsuri acumulat și transferat în memoria temporară MT este direct proporțional cu nivelul  $h$ .





# ***Instrumentație ultrasonică pentru măsurarea nivelului***

---

- **Performanțe, utilizări.** Măsurările ultrasonice de nivel sunt avantajoase întrucât nu au piese în mișcare sau în contact cu lichidul, nu au nevoie de calibrări la schimbarea lichidului de lucru etc; permit măsurări în domeniul 89mm...6m cu o precizie, la ieșirea analogică, de 0,5%; ieșirea este, totodată, disponibilă direct în echivalent numeric; domeniul poate fi extins la 10...30m cu scăderea corespunzătoare a preciziei.
- În aplicațiile practice sonda ultrasonică poate fi plasată deasupra sau la baza rezervorului, existând și situații în care aceasta se dispune într-un tub de liniștire special destinat acestui scop (de exemplu în cazul utilizării la măsurarea nivelului în baraje pentru a elimina erorile introduse de valuri).
- Realizările actuale cuprind o serie de facilități pentru afișarea, transmisia și prelucrarea semnalului ca: afișare locală numerică, transmisie la distanță prin buclă de curent 4-20mA și protocoale consacrate cum este – de exemplu – protocolul HART etc.



# *Instrumentație pentru măsurarea nivelului bazată pe proprietăți electrice*

**Funcționarea:** se bazează pe modificarea unui parametru electric (rezistență, capacitate, inductanță) sub acțiunea nivelului lichidului de măsurat.

Dezvoltarea lor, în ultima vreme, se explică prin avantajele de care se bucură, remarcându-se lipsa pieselor în mișcare, simplitatea constructivă atât a elementelor sensibile cât și a adaptoarelor, precum și prin larga lor utilizare ca semnalizatoare de nivele limită.

*Elementele sensibile de nivel cu sondă rezistivă* se utilizează în lichide conductibile (conductibilitatea minimă  $\geq 2 \cdot 10^{-3} \text{S/m}$ ), cea mai frecventă folosire constând sub formă de semnalizatoare de nivel limită (fig.d), lichidul comportându-se ca un scurtcircuit între sonda electrod și rezervorul metalic, sau între două sonde electrod montate la același nivel, în cazul rezervoarelor realizate din materiale izolatoare.

Sondele electrod se construiesc din metale rezistente la corosiune (oțel inoxidabil), protejate în teci din materiale izolante, iar adaptoarele cuprind un detector tranzistorizat cu prag care comandă un circuit de ieșire tip releu cu contacte.

- **Utilizări.** Elementele sensibile de nivel cu sondă rezistivă se aplică frecvent în rețeaua de distribuție a apei, irigații, metale topite (prin utilizarea unor electrozi de construcție specială), rezervoare cu soluții chimice etc.

# *Instrumentație pentru măsurarea nivelului bazată pe proprietăți electrice*

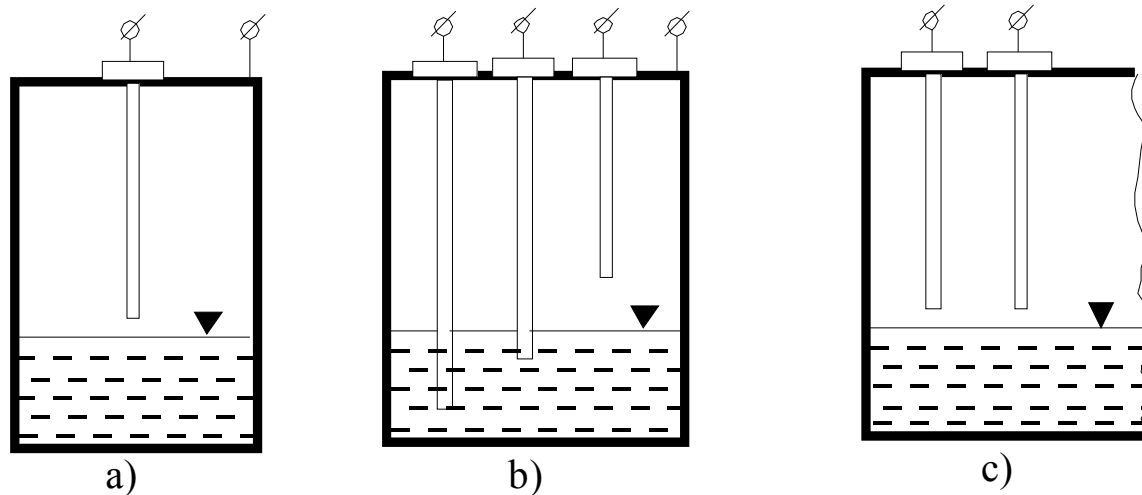


Fig.d. Exemple de utilizări ale sondelor electroad în măsurarea nivelului

- a) - semnalizarea unui singur nivel limită; b) - semnalizarea mai multor nivele limită;  
c) - semnalizarea unui singur nivel limită în rezervoare izolate electric

*Elementele sensibile de nivel cu sondă capacitivă* își bazează funcționarea pe variația, în funcție de nivel, a capacității condensatorului cilindric format între sonda electroad și perețele rezervorului - în cazul lichidelor neconductibile, respectiv a condensatorului cilindric format între sonda electroad, izolată electric (izolația constituind, în acest caz, dielectricul), și lichidul propriu-zis - pentru cazul lichidelor conductibile.

# Instrumentație pentru măsurarea nivelului bazată pe proprietăți electrice

Dacă se consideră cazul sondei cilindrice coaxiale

(fig.e) rezultă:

- când lichidul este la nivel minim ( $h = 0$ )

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0 H}{\ln \frac{D}{d}}$$

- când lichidul este la un nivel oarecare  $h$

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r h}{\ln \frac{D}{d}} + \frac{2\pi\epsilon_0(H-h)}{\ln \frac{D}{d}}$$

Notând cu  $\lambda = h/H$  gradul de umplere, rezultă

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 H}{\ln \frac{D}{d}} \left( \epsilon_r \frac{h}{H} + 1 - \frac{h}{H} \right) = C_0 [\lambda(\epsilon_r - 1) + 1]$$

iar capacitatea echivalentă

$$C_e = C_f + C = C_f + C_0 [\lambda(\epsilon_r - 1) + 1]$$

relație care arată proporționalitatea acesteia cu nivelul  $h$ .

• **Performanțe.** Dimensiunile sondelor capacitive, în concordanță cu variația maximă a nivelului lichidului, permit măsurări în domeniul 0...10m, ansamblul sondă-adaptor asigurând o precizie de 0,5...1%.

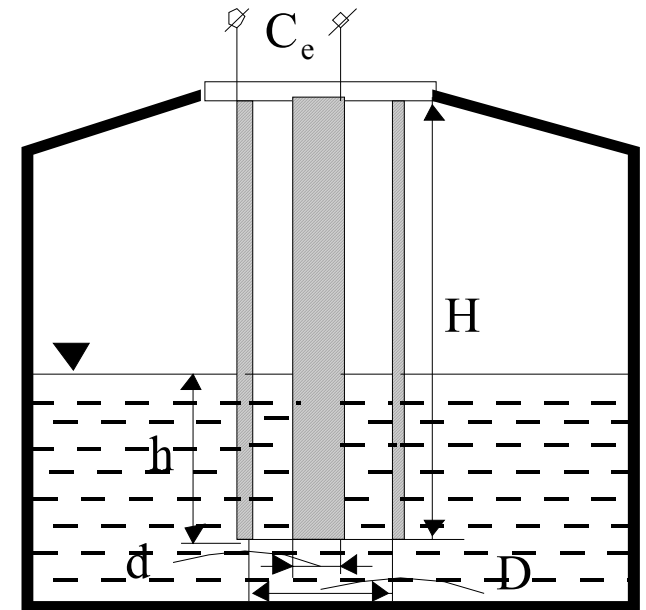
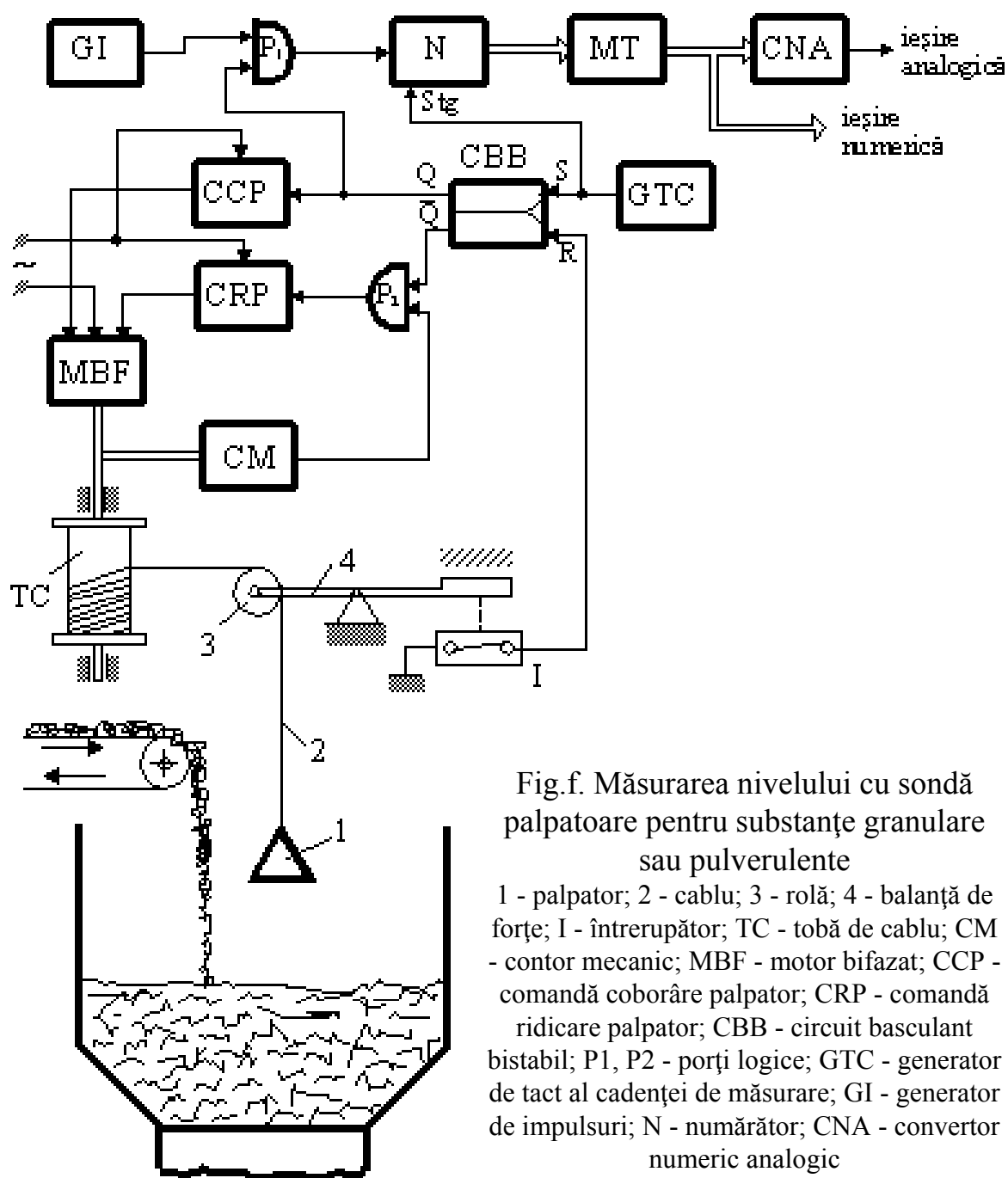


Fig.e. Sondă cilindrică coaxială pentru măsurarea capacitivă a nivelului

# Instru SOR

*Elementele sensibile de nivel cu sondă palpatoare* au ca principiu funcțional testarea ciclică, la intervale de timp prefixate, a suprafeței unei substanțe granulare sau pulverulente, prin coborârea unei sonde palpatoare (măsurarea făcându-se pe această cursă), urmată de revenirea (urcarea) la poziția inițială (fig.f).



# Instrumentație de nivel cu sondă palpatoare

Un ciclu de măsurare începe din poziția inițială, care presupune palpatorul ridicat la extremitatea superioară, iar contorul mecanic  $CM$  - pe poziția zero. Datorită greutatei sondei palpatoare, balanța de forțe  $4$  este dezechilibrată, iar contactul întrerupătorului  $I$  este deschis.

La începutul ciclului de măsurare generatorul de tact al cadenței  $GTC$  dă un impuls care inițializează numărătorul  $N$  în zero, iar circuitul basculant bistabil în starea  $Q = "1"$ . Ca urmare se comandă de către blocul  $CCP$  (comandă coborâre palpator) rotirea motorului bifazic  $MBF$  în sensul care provoacă coborârea sondei palpatoare, contorul mecanic  $CM$  numără rotațiile tobei de cablu  $TC$ , iar impulsurile de la generatorul  $GI$  trec prin poarta  $P1$  și sunt acumulate în numărătorul  $N$ .

În momentul atingerii suprafeței materialului granular de către palpator, balanța de forțe trece prin poziția de echilibru și tinde să se dezechilibreze în celălalt sens, provocând astfel închiderea contactului întrerupătorului  $I$ .

Închiderea lui  $I$  are ca efect trecerea bistabilului  $CBB$  în starea  $Q = "0"$ , deci blocarea porții  $P1$  și deschiderea porții  $P2$ . În consecință, comanda coborâre palpator  $CCP$  este inhibată, iar numărul de impulsuri acumulat în  $N$  este direct proporțional cu lungimea cablului  $2$  de la reperul superior la suprafața materialului, deci cu nivelul acestuia.

# Instrumentație de nivel cu sondă palpatoare

Prin deschiderea porții *P2* se activează comanda ridicare palpator *CRP*, care alimentează motorul *MBF* pe cealaltă fază, acesta rotindu-se în sensul ridicării palpatorului.

Odată cu ridicarea sondei palpatoare conținutul contorului mecanic se decrementează, iar în momentul când acesta devine zero, semnificând atingerea reperului fixat în extremitatea superioară, se comandă blocarea porții *P2*, deci motorul se oprește.

Echivalentul numeric al nivelului existent în numărătorul *N* este trecut într-o memorie tampon (pe figură această memorie s-a încorporat în *CNA*) și convertit în semnal electric de tensiune (sau curent) de către convertorul numeric analogic *CNA*.

Ciclul de măsurare se reia la un nou impuls dat de generatorul *GTC*.

• **Performanțe, utilizări.** Metoda de măsurare cu sondă palpatoare asigură o precizie de 5...10cm pentru un domeniu de măsurare de 30...50m.

Elementele sensibile cu sondă palpatoare sunt utilizate pentru măsurarea continuă a nivelului în buncăre de cenușă sau minereu de cărbune, la buncărele de alimentare ale cuptoarelor de var, silozuri cu cereale, ciment, PVC granulat și pulverizat, pirită etc, acoperind așadar majoritatea aplicațiilor industriale care necesită astfel de măsurări.