



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2012 00234**

(22) Data de depozit: **02/04/2012**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **27/04/2018** BOPI nr. **4/2018**

(41) Data publicării cererii:  
**30/12/2013** BOPI nr. **12/2013**

(73) Titular:  
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
INGINERIE ELECTRICĂ ICPE-CA,  
SPLAIUL UNIRII NR.313, SECTOR 3,  
BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:  
• **PÎSLARU-DĂNESCU LUCIAN,  
STR.STÂNJENEILOR NR.19, BL.6, SC.1,  
AP.4, SINAIA, PH, RO;**

• **LINGVAY CARMEN, BD.CHIȘINĂU NR.19,  
BL.A 5, SC.A, ET.10, AP.41, SECTOR 2,  
BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **PINTEA JANA, STR.SOLDAT IOSIF ION  
NR.9, BL.55, SC.1, ET.4, AP.16, SECTOR 3,  
BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **DUMITRU ALINA IULIA, STR.CIUCEA  
NR.5, BL.L19, SC.5, ET.9, AP.195,  
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**US 4741200; KR 20080097559 A; RO 94119**

(54) **SENZOR PIEZOELECTRIC PENTRU DETERMINAREA  
VISCOZITĂȚII DINAMICE A FLUIDELOR**



# RO 129116 B1

1 Invenția se referă la un senzor piezoelectric pentru determinarea viscozității dinamice  
a fluidelor, în flux continuu, în instalațiile industriale, la măsurarea viscozității uleiului de transfor-  
3 mator utilizat ca agent de răcire la transformatoarele de mare putere, în industria energetică,  
la măsurarea viscozității carburanților utilizați la motoarele termice, și la măsurarea viscozității  
5 polimerilor.

7 Se cunosc următoarele soluții tehnice privind senzorii de măsurare a viscozității  
dinamice:

9 Viscozimetru cu placă de alunecare, unde mediul ce urmează a fi testat este încărcat  
între două plăci culisante. După ce rata de forfecare și stresul de forfecare au fost măsurate,  
viscozitatea poate fi ușor evaluată în conformitate cu ecuația Newton pentru viscozitate (Koran  
& Dealy, 1999).

11 Un alt viscozimetru, ce utilizează cristale de cuarț cu mod de vibrație în grosime, a fost  
13 descris în articolul "***Frequency of a quartz microbalance in contact with liquid***" by **K.K  
Kanazawa et al. care a apărut în Anal Chem., 57, 1770 (1985)**. În acest caz, frecvența de  
15 rezonanță a senzorului depinde de adâncimea de imersare în lichid.

17 De asemenea, pentru determinarea viscozității fluidelor, se poate utiliza și metoda lui  
Stokes; în cadrul acestei metode, se consideră valoarea forței de frecare ce apare la  
deplasarea cu viteza  $v$  a unei sfere de rază  $r$  și densitate  $\rho_0$  într-un lichid de densitate  $\rho$ .  
19 Viscozimetrul Stokes este format dintr-un cilindru de sticlă care conține lichidul de studiat. Cu  
o riglă se măsoară distanța între două repere aflate pe cilindru. O bilă de densitate  $\rho_0$  se lasă  
21 să cadă în uleiul de densitate  $\rho$ , măsurându-se timpul de cădere între două repere fixe. Se  
calculează apoi viteza de deplasare a bilei.

23 La un alt viscozimetru se utilizează formula de debit a lui Hagen și Poiseuille.  
Determinarea coeficientului de viscozitate dinamică se poate face cu ajutorul curgerii fluidului  
25 printr-un tub capilar. Viteza fluidului este maximă în centrul tubului, și minimă lângă pereți.  
Deplasarea fluidului este similară cu cea a unor tuburi coaxiale ce alunecă unele față de altele,  
27 tubul central înaintând cel mai rapid. În cazul unei conducte cilindrice cu rază interioară  $R$ , se  
poate deduce variația vitezei în funcție de rază. Pentru un element cilindric de fluid de rază  $r$  și  
29 lungime  $l$ , curgerea apare datorită diferenței de presiune dintre capetele tubului. Determinarea  
viscozității se reduce astfel la măsurarea diferenței de presiune între două puncte de pe  
31 conductă, și a debitului ce circulă prin aceasta.

33 Brevetul **US 4741200**, 03.05.1988, cu titlul "***Metodă și aparat pentru măsurarea  
viscozității într-un lichid utilizând senzor piezoelectric***", se referă la un aparat compus dintr-un  
oscilator cu frecvență variabilă, o punte Wayne-Kerr, un amplificator și un detector. Două  
35 elemente piezoelectrice sunt montate în puntea cu patru brațe Wayne-Kerr, fiind dispuse pe  
două brațe adiacente. Puntea este ajustată pentru a da o tensiune de offset minimă de  
37 aproximativ 0,2%. Un element piezoelectric, montat într-unul dintre brațele punții Wayne-Kerr,  
este activat de către tensiunea sinusoidală furnizată de oscilator, ce este aplicată pe una dintre  
39 diagonalele punții. Acest element piezoelectric este scufundat în lichidul a cărui viscozitate  
dinamică dorim să o determinăm, producând astfel o dezechilibrare a punții de măsură.  
41 Tensiunea de offset culeasă pe cealaltă diagonală este amplificată și afișată de către un bloc  
numit detector.

43 Soluția descrisă în brevetul **US 4741200**, 03.05.1988, prezintă următoarele dezavantaje:

45 Datorită distanței relativ mari dintre cele două elemente piezoelectrice dispuse în puntea  
de măsură, semnalul util rezultat va fi de amplitudine foarte mică, necesitând etaje de amplifi-  
care cu un factor foarte mare de amplificare. Acest fapt se datorează disipației de energie  
47 aferentă componentei longitudinale a undelor sonice.

# RO 129116 B1

Măsurarea viscozității cu acest aparat necesită un circuit electronic de măsură de o sensibilitate foarte mare. Deși nu este precizat, amplificatorul prezent în schema bloc trebuie să prezinte un factor de amplificare A foarte mare, concomitent cu o bandă de trecere de până la 5 MHz. Acest fapt are următoarele implicații:

- este foarte greu de obținut o precizie ridicată, concomitent cu realizarea unui factor de amplificare foarte mare, întrucât influența offset-urilor datorate temperaturii devine considerabilă;

- este cunoscut că, pentru orice amplificator de instrumentație, produsul dintre banda de trecere și amplificare este constant. Astfel, realizarea unei benzi de trecere foarte mari, de 5 MHz, se face în detrimentul realizării unui factor de amplificare mare. Soluția în acest caz este utilizarea unui lanț de mai multe amplificatoare, fiecare dintre acestea având factor mic de amplificare și banda de trecere mare. În acest caz, amplificarea totală este produsul factorilor individuali de amplificare. Totuși, eroarea totală realizată este, de asemenea, produsul erorilor individuale, iar efectul net este obținerea unei neliniarități mari.

Pentru că cele două elemente piezoelectrice sunt montate într-o punte cu patru brațe, și dispuse pe două brațe adiacente, apare necesitatea ca aceste componente să fie absolut identice, cu o precizie foarte mare. Aceasta pentru că offset-ul datorat dezechilibrării punții de măsură ca efect al diferențelor va fi foarte mare. Efectul net va fi, în acest caz, de creștere a erorilor de măsurare. Totuși, erorile sunt repetitive, permițând o compensare electronică a acestora, dar care nu se regăsește în construcția aparatului.

Alte dezavantaje ale soluțiilor cunoscute sunt:

- prezența mișcării mecanice a diferitelor părți ale instalației de măsurare sau a senzorului în lichid;

- măsurătorile sunt consumatoare de timp;

- dimensiuni mari ale instalațiilor de măsurare;

- sunt dificil de computerizat.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în măsurarea viscozității dinamice a fluidelor în flux continuu și fără părți în mișcare.

Senzorul piezoelectric de măsurare a viscozității, conform invenției, înlătură dezavantajele sus menționate prin aceea că este alcătuit dintr-un disc ceramic piezoelectric tip PZT modificat cu  $Nb_2O_5$ , de grosime  $g = 0.5 \dots 1$  mm și diametru în intervalul  $l = 20 \dots 40$  mm, pe o față a discului se realizează un electrod receptor de Ag, de grosime  $0,05 \dots 0,1$  mm, și un electrod emițător de Ag, de grosime  $0,05 \dots 0,1$  mm; cei doi electrozi sunt separați galvanic prin intermediul unui șanț de lățime  $0,2 \dots 0,5$  mm, dispus la  $l/4$ , respectiv,  $3l/4$  din diametrul  $l$  al discului piezoelectric; pe fața opusă discului se realizează pe toată suprafața un electrod de referință de Ag, de grosime  $0,05 \dots 0,1$  mm; pe cablurile conductoare ale electrodului emițător se aplică tensiunea sinusoidală cu o valoare la vârf de  $U = 20$  V, și frecvența  $f = 25$  MHz, iar pe cablurile conductoare, cel comun și celălalt, ale electrodului receptor se culege o tensiune electrică sinusoidală cu aceeași frecvență,  $f = 25$  MHz, dar de amplitudine variabilă, în funcție de valoarea viscozității dinamice a lichidului; întreg ansamblul este acoperit cu o rășină siliconică; senzorul mai cuprinde și doi rezistori, cu valoarea  $330 \Omega$ , situați la distanța de  $5 \dots 10$  mm față de disc; electrodul emițător este conectat prin intermediul a două conexiuni la un generator de funcții GF, care generează un semnal sinusoidal, cu o valoare la vârf de  $U = 20$  V și frecvența  $f = 25$  MHz, iar electrodul receptor este conectat prin intermediul altor două conexiuni la un osciloscop OC, pentru vizualizarea formei de undă sinusoidală cu aceeași frecvență,  $f = 25$  MHz, dar cu amplitudinea variabilă, în funcție de valoarea viscozității dinamice a lichidului.

# RO 129116 B1

1 Avantajele invenției sunt următoarele:

- 2 - simplitate constructivă, deoarece este alcătuit dintr-un singur disc piezoelectric, ce este
- 3 introdus direct în fluidul a cărui viscozitate dinamică dorim să o determinăm;
- 4 - măsurarea viscozității dinamice în flux continuu în instalațiile industriale;
- 5 - costuri mici de realizare a ceramicii piezoelectrice;
- 6 - oferă valoarea viscozității într-un timp scurt, de ordinul câtorva secunde;
- 7 - există posibilitatea prelucrării electronice a informației și afișării digitale a valorii viscozității măsurate.

8 Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...3, ce reprezintă:

9 - fig. 1, ansamblu general, senzor piezoelectric pentru determinarea viscozității dinamice în flux continuu, conform invenției;

10 - fig. 2, ansamblu disc ceramic piezoelectric, cu terminale electrice;

11 - fig. 3, schemă electrică de testare a senzorului de viscozitate.

12 Viscozitatea este o caracteristică esențială a lichidelor funcționale, deoarece asigură portanța lagărelor, limitează pierderile de lichid prin elementele de etanșare, și generează forțe care amortizează oscilațiile parametrilor funcționali; viscozitatea poate genera pierderi de energie în spațiile dintre piesele în mișcare relativă, precum și în conducte. Viscozitatea lichidelor este o mărime fizică puternic dependentă de temperatură, pentru un lichid dat. La temperaturi înalte, scurgerile interne ale mașinilor hidraulice volumice și elementelor de distribuție alterează randamentul transmisiilor, iar scăderea capacității portante a peliculelor lubrifiante pot provoca griparea mecanismelor acestora. Viscozitatea excesivă poate apărea la temperaturi joase, generând pierderi mari de sarcină, creând dificultăți de aspirație a pompelor, reducerea vitezei motoarelor și a randamentului transmisiilor.

13 Conform invenției, senzorul piezoelectric de măsurare a viscozității dinamice fluidului constă într-un disc piezoelectric ce prezintă trei electrozi metalici, dispuși pe cele două fețe frontale ale discului. Senzorul este apoi înglobat în rășină siliconică. Senzorul piezoelectric de măsurare a viscozității dinamice se scufundă în lichidul a cărei viscozitate dorim să o măsurăm.

14 Conform invenției, pe o față a unui disc **1**, fig. 1, ceramic piezoelectric tip PZT modificat cu  $Nb_2O_5$ , de grosime  $g = 0,5...1$  mm și diametru în intervalul  $l = 20...40$  mm, conform invenției, se realizează un electrod receptor **2**, fig.1 și 2, de Ag, de grosime  $0,05...0,1$  mm. Pe aceeași față a discului **1** se realizează și un electrod emițător **3**, fig. 1 și 2, de Ag, de grosime  $0,05...0,1$  mm. Cei doi electrozi **2** și **3** se realizează prin depunere cu un strat de Ag, de grosime  $0,05...0,1$  mm și sunt separați galvanic prin intermediul unui șanț **4**, fig. 1 și 2, de lățime  $0,2...0,5$  mm, dispus la  $l/4$  respectiv  $3l/4$  din diametrul discului piezoelectric, fig. 2. Pe fața opusă discului **1** piezoelectric, tip PZT modificat cu  $Nb_2O_5$ , se realizează pe toată suprafața prin depunere cu un strat de Ag, de grosime  $0,05...0,1$  mm, un electrod de referință **5**. Rolul electrodului de referință **5** este, pe de o parte, că prin raport cu potențialul electrodului **5** se determină potențialul electrodului receptor **2**, fig. 3, care în acest caz reprezintă diferența de potențial dintre potențialul electrodului receptor **2** și potențialul electrodului de referință **5**. Pe de altă parte, electrodul **5** reprezintă electrodul de referință prin raport cu care se aplică o tensiune sinusoidală pe electrodul emițător **3**, cu o valoare la vârf de  $U = 20$  V și frecvența  $f = 25$  MHz, fig. 3. Aceste aspecte referitoare la rolul electrodului de referință **5** decurg din faptul că discul **1** piezoelectric tip PZT modificat cu  $Nb_2O_5$ , fig.1, este polarizat transversal.

15 Conform invenției, pe cablurile conductoare **9** și **8** (comun) ale electrodului emițător **3** se aplică tensiunea sinusoidală cu o valoare la vârf de  $U = 20$  V, și frecvența  $f = 25$  MHz, iar pe cablurile conductoare **7** și **8** (comun) ale electrodului receptor **2** se culege o tensiune electrică sinusoidală cu aceeași frecvență,  $f = 25$  MHz, dar de amplitudine variabilă, în funcție de valoarea viscozității dinamice a lichidului. Întreg ansamblul este acoperit cu o rășină siliconică **6**.

# RO 129116 B1

Senzorul piezoelectric pentru determinarea viscozității dinamice în flux continuu, conform invenției, mai cuprinde și doi rezistori, **10** și **11**, de valoarea 330  $\Omega$ , situați la distanța de 5...10 mm față de discul **1** ceramic piezoelectric tip PZT modificat cu  $Nb_2O_5$ , fig. 1. Senzorul piezoelectric pentru determinarea viscozității dinamice în flux continuu utilizează efectul piezoelectric invers, în secțiunea de emisie, atunci când se aplică un semnal sinusoidal electrodului emițător **3**, prin raport cu electrodul de referință **5**, precum și efectul piezoelectric direct, în secțiunea de recepție, atunci când se culege un semnal de pe electrodul receptor **2** prin raport cu electrodul de referință **5**, fig. 1 și 3. Schema electrică echivalentă a celor două secțiuni, de emisie și de recepție, este reprezentată de un capacitor în serie cu un rezistor, adică un circuit electric derivativ. Este necesară prezența unor rezistori suplimentari **10** și **11**, fig. 1 și 3, în paralel cu structurile echivalente secțiunilor de emisie și de recepție. Rezistorii **10** și **11** introduc o constantă de timp suplimentară, și stabilesc potențialul electric atât în cazul secțiunii de emisie, cât și în cazul secțiunii de recepție.

Conform fig. 3, electrodul emițător **3** este conectat prin intermediul a două conexiuni **A** și **C** la un generator de funcții, **GF**, fig. 3, care generează un semnal sinusoidal, cu o valoare la vârf de  $U = 20$  V, și frecvența  $f = 25$  MHz. Electrodul receptor **2** este conectat prin intermediul a două conexiuni **B** și **C** la un osciloscop **OC**, pentru vizualizarea formei de undă sinusoidală cu aceeași frecvență,  $f = 25$  MHz, dar cu amplitudinea variabilă, în funcție de valoarea viscozității dinamice a lichidului.

Discul **1** este realizat dintr-un material ceramic Zirconat Titanat de Plumb (PZT), modificat cu  $Nb_2O_5$ , cu următoarele caracteristici:

- modificarea compoziției prin adăugarea de oxid de niobiu  $Nb_2O_5$ , pentru ca proprietățile sale dielectrice și piezoelectrice să fie mult îmbunătățite, în special permitivitatea dielectrică relativă  $\epsilon_r = 2000$ , coeficientul de cuplaj  $k_p = 0,3$  și coeficienții piezoelectrice de deformare  $d_{33}$ , precum și reducerea timpului de îmbătrânire. Adăugarea de oxid de niobiu în compoziție ajută sinterizarea, rezultând un sinterizat cu o densitate mai mare și dimensiuni ale granulelor mai mici;

- coeficientul de deformare  $d_{33}$  pentru acest tip de material ajunge la 385 pC/N;

- frecvența de rezonanță fundamentală a acestui material este de 200...250 kHz, frecvență ce este recomandată acestui material ceramic pentru aplicații din domeniul senzorilor și traductoarelor ultrasonice;

- temperatura Curie a materialului tip PZT modificat cu  $Nb_2O_5$  este situată în intervalul 400°C...500°C.

Elementul piezoceramic realizat din material ceramic Zirconat Titanat de Plumb (PZT), modificat cu  $Nb_2O_5$ , sub formă de disc, vibrează pe o frecvență de rezonanță fundamentală de 200...250 kHz, ce depinde de grosimea acestuia. De asemenea, frecvența de rezonanță fundamentală a elementului piezoceramic se obține la valoarea dorită și prin doparea PZT cu diverși donori.

Senzorul piezoelectric pentru determinarea viscozității dinamice în flux continuu, conform invenției, fig. 1, se alimentează de la un generator de funcții **GF**, fig. 3, prin intermediul conexiunilor **A** și **C** cu un semnal sinusoidal, cu o valoare la vârf de  $U = 20$  V și frecvența  $f = 25$  MHz. Senzorul se conectează prin intermediul conexiunilor **B** și **C** la un osciloscop **OC**, fig. 3. Se vizualizează forma de undă sinusoidală rezultată, cu aceeași frecvență  $f = 25$  MHz. Apoi se introduce senzorul în două lichide etalon, a căror viscozitate dinamică este cunoscută

# RO 129116 B1

- 1 pentru o temperatură stabilită (de preferat pentru valori ce reprezintă capetele intervalului de  
viscozitate dinamică dorit). Se notează amplitudinea la vârf a semnalului sinusoidal rezultat, cu  
3 frecvența  $f = 25$  MHz, și se trasează curba de etalonare a senzorului, însemnând curba  
tensiune electrică în funcție de viscozitatea dinamică.
- 5 În final, se introduce senzorul în lichidul a cărui viscozitate dinamică dorim să o  
determinăm în flux continuu, și înregistrăm valorile amplitudinii la vârf a semnalului sinusoidal  
7 rezultat, cu frecvența  $f = 25$  MHz, din 10 în 10 s. Prin utilizarea curbei de etalonare, determinăm  
valorile viscozității dinamice ale lichidului a cărui viscozitate dinamică dorim să o determinăm  
9 în flux continuu.

# RO 129116 B1

## Revendicare

1

Senzor piezoelectric pentru determinarea viscozității dinamice a fluidelor, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-un disc (1) ceramic piezoelectric, tip PZT, modificat cu  $Nb_2O_5$ , un electrod (2) receptor din argint și un electrod (3) emițător din argint pe o față a discului (1), cei doi electrozi (2 și 3) fiind separați galvanic prin intermediul unui șanț (4) de lățime 0,2...0,5 mm, dispus la 1/4 respectiv 3/4 din diametrul discului (1) piezoelectric, un electrod (5) de referință tot din argint pe cealaltă față a discului (1), pe toată suprafața electrozii (2, 3, 5) fiind prevăzuți cu niște cabluri (7, 8, 9) conductoare pentru aplicarea, respectiv, culegerea tensiunii sinusoidale, întreg ansamblul astfel format fiind acoperit cu o rășină (6) siliconică, și două rezistoare (10 și 11) situate la distanța de 5...10 mm față de disc (1), și în care electrodul (3) emițător este conectat prin intermediul a două conexiuni (A și C) la un generator (GF) de funcții, care generează un semnal sinusoidal, cu o valoare la vârf de  $U = 20$  V și frecvență de 25 MHz, iar electrodul (2) receptor este conectat prin intermediul a două conexiuni (B și C) la un osciloscop (OC), pentru vizualizarea formei de undă sinusoidală cu aceeași frecvență, dar cu amplitudinea variabilă, în funcție de valoarea viscozității dinamice a lichidului.

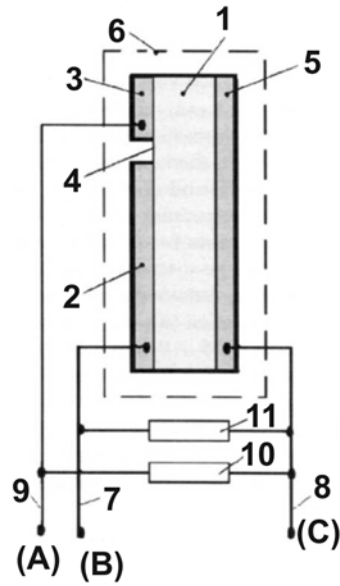


Fig. 1

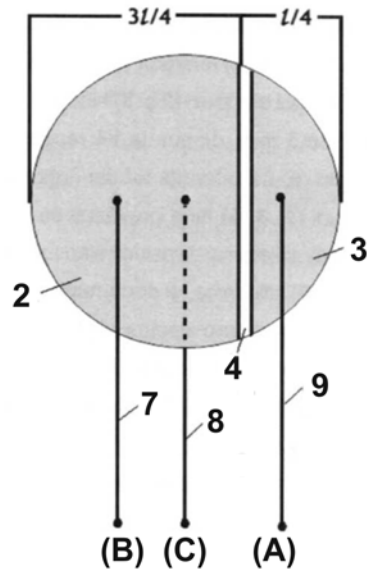


Fig. 2



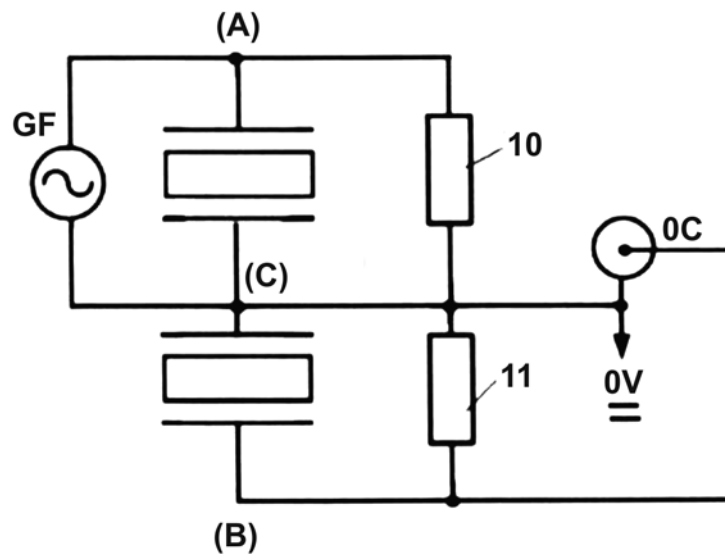


Fig. 3

