



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2010 01011**

(22) Data de depozit: **25.10.2010**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30.09.2015** BOPI nr. 9/2015

(41) Data publicării cererii:  
**30.05.2012** BOPI nr. 5/2012

(73) Titular:  
• **E5INVENT S.R.L., STR.AUREL POPOVICI  
NR.19/21, AP.11, TIMIȘOARA, TM, RO**

(72) Inventatori:  
• **CHILINTAN MIRCEA,  
STR. MESTEACĂNULUI NR.51-53,  
DUMBRĂVIȚA, TM, RO;**  
• **CIMPONERIU ANDREI, PIAȚA PLEVNEI  
NR.4, AP.6 A, TIMIȘOARA, TM, RO;**  
• **MARIES GABRIEL, STR.NARCISELOR,  
BL.8, AP.16, BAI A MARE, MM, RO;**

• **MOLDOVAN OANA, STR.ALVERNA  
NR.62 A, SC.1, AP.7, CLUJ-NAPOCA, CJ,  
RO**

(74) Mandatar:  
**CONSTANTIN GHIȚĂ OFFICE S.R.L.,  
B-DUL TAKE IONESCU NR.24-28, SC.B,  
AP.2, TIMIȘOARA, JUDEȚUL TIMIȘ**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**US 4362994; WO 98/147891 A1;  
US 5708363; US 2008/0297173 A1**

(54) **METODĂ ȘI CIRCUIT DE MĂSURARE A CONDUCTIVITĂȚII**



# RO 127440 B1

1 Prezenta invenție se referă la o metodă și un circuit de măsurare a conductivității,  
folosind procedeul Kelvin de măsurare cu patru borne, utilizabile în mod specific la măsurarea  
3 cu precizie a conductivității lichidelor în sisteme de telemăsurare.

Se știe că conductivitatea, proprietate electrică de bază a lichidelor, ca și a solidelor,  
5 țesuturilor biologice etc., se măsoară în mod obișnuit printr-o schemă de măsurare a  
rezistențelor cu două borne. Aceasta însă oferă precizie limitată, datorită rezistențelor de  
7 contact care apar. În măsurarea conductivității lichidelor, efectul rezistențelor de contact este  
important, datorită biofilmului care se formează pe electrozi și duce la deteriorarea suprafeței  
9 și a contactului electric al electrozilor cu lichidul măsurat (e. g. Davis et al., Electrochemical  
characterization of biofilm growth on platinum surfaces, Abs. 45, 204th Meeting, 2003, The  
11 Electrochemical Society).

O metodă de măsurare mai precisă folosește procedeul Kelvin, care constă în utilizarea  
13 unui circuit de măsurare cu două borne de tensiune și două borne de curent. Utilizarea celulelor  
de conductivitate Kelvin cu patru borne este acum standard în aplicațiile industriale și în  
15 telemăsurări.

Cerința de precizie ridicată, care este de obicei însoțită de creșterea complexității  
17 circuitului și de un consum de curent ridicat, poate fi în conflict cu cerința de măsurare la  
distanță, în locuri lipsite de surse de energie, unde circuitul de măsurare este alimentat la  
19 baterii.

În cazul măsurării conductivității lichidelor, o problemă o poate constitui interferența  
21 cu alte sisteme de măsurare a altor parametri, care măsoară în același volum de lichid, care  
pot interacționa cu măsurarea conductivității prin calea conductoare, oferită de însuși lichidul  
23 măsurat.

O altă problemă care poate fi întâlnită este ca nivelul lichidului măsurat să devină  
25 insuficient pentru o măsurare corectă.

Complexitatea circuitului de măsurare a conductivității face ca acesta să necesite un  
27 montaj separat. Firele de legătură cu acesta au dezavantajul că introduc capacități parazite,  
care limitează precizia în domeniul conductivităților mici și permit apariția perturbațiilor  
29 electromagnetice.

Sunt cunoscute numeroase brevete pe tema măsurării conductivității lichidelor: **US**  
31 **3774104**, 1973, Andresen; **US 4160946**, 1979, Frigato; **US 4585996**, 1986, Luce; **US 4786875**,  
1988, Carii; **US 6781389**, **US 5708363**, 1998 Yates et al.; 2004 Colvin & Cassatta; **UA 66953**  
33 **(C2)**, 2004, Kiruschenko; **CN 2627502 (Y)**, 2004, Jinmei & Xionggen - au dezavantajul principal  
că folosesc celule de conductivitate cu două borne.

**US 3757205**, 1973, Dauphinee; **US 3963979**, 1976 Dauphinee; **US 4362994**, 1982,  
35 Goldsmith & Stillwell; **US 5025220**, 1991, Colvin et al. - folosesc celule de conductivitate cu  
37 patru borne, însă au dezavantajul că circuitul este analogic, de precizie limitată.

În documentul **US 4362994**, 1982, Goldsmith & Stillwell, se folosește o celulă de  
39 conductivitate Kelvin (cu patru borne) și un circuit pentru avertizare când electrozii au ajuns  
într-un anumit grad de acoperire/murdărire ("fouling"). Include un al cincilea electrod, de gardă,  
41 pentru șuntarea căii de curent care se închide prin exteriorul celulei de măsurare. Se generează  
un curent sinusoidal astfel încât să se obțină o tensiune constantă între electrozii de tensiune.  
43 Este sesizată acoperirea/murdărirea electrozilor prin creșterea rezistenței pe circuitul de curent.  
Are dezavantajul că al cincilea electrod complică constructiv celula de conductivitate; circuitul  
45 este analogic, cu consum ridicat și de o precizie ce poate fi ameliorată; detecția murdării  
electrozilor de curent nu se poate face separat pentru cei doi electrozi și întreaga soluție  
47 presupune un circuit relativ complex și voluminos.

# RO 127440 B1

În documentul **US 5708363**, 1998, Yates et al., se prezintă un sistem controlat de microprocesor. Este însă folosită celula de conductivitate cu două borne, care prezintă dezavantajul unei precizii scăzute și a imposibilității detecției murdăririi electrozilor. De asemenea, sistemul prezentat are un circuit relativ complex, cu consum de curent prea ridicat, pentru a fi alimentat de la baterie.

Documentul **UA 66953 (C2)**, 2004, Kiriuschenko, propune un circuit pentru măsurarea conductivității lichidelor ce conține celula de conductivitate, un rezistor etalon, două multiplexoare, o sursă de tensiune etalon, un controler de curent, și un microprocesor care comandă întregul circuit. Din descrierea circuitului, reiese că celula de conductivitate este una cu două borne. Acesta este un dezavantaj care limitează precizia circuitului. Alte dezavantaje sunt că circuitul este relativ complex și conține două elemente de referință: o sursă de tensiune etalon și o rezistență etalon, care de asemenea limitează precizia circuitului; în fine, circuitul descris are dezavantajul că nu poate sesiza murdărirea/acoperirea cu biofilm a electrozilor.

Ca precizie de măsurare independentă de senzorul folosit, cea mai precisă metodă de măsurare a conductivității este detecția sincronă propusă în **US 6781389**, 2004 Colvin & Cassatta, însă în acest document se utilizează circuite analogice (ca și o celulă de conductivitate cu două borne). Are dezavantajul că circuitele analogice limitează precizia și nu permit utilizarea unei tehnici cu precizie și mai bună, filtrarea sincronă.

În niciunul dintre documentele de mai sus, nu se utilizează simultan celule de conductivitate cu patru borne și tehnici digitale, ce permit obținerea de precizii mai ridicate și consum mic de curent. Niciunul dintre brevetele de mai sus nu detectează interferențele cu alte sisteme de măsură.

În documentul **WO 01/82028 A2**, 2001, Duncan, se prezintă un sistem general de monitorizare distribuită și folosind senzori la distanță pentru măsurarea parametrilor calității apei, a proceselor chimice sau a sistemelor energetice. În contextul invenției de față, el are dezavantajul că nu include celulele de conductivitate.

Problema pe care o rezolvă invenția este măsurarea conductivității, în particular, a conductivității lichidelor, cu consum mic de curent, cu posibilitatea detecției interferenței cu alți senzori și a nivelului insuficient de lichid.

Se realizează o metodă și un circuit de măsurare a conductivității, în particular, a conductivității lichidelor, cu precizie ridicată, în condiții de telemăsurare - cu consum de curent mic și alimentare de la o singură baterie, cu posibilitatea detecției interferenței cu alți senzori și a nivelului insuficient de lichid, iar circuitul să fie simplu și de dimensiuni reduse, putând fi integrat în celula de conductivitate, permițând prin aceasta extinderea domeniului de măsurare pentru conductivitățile mici și reducând posibilitatea perturbării electromagnetice; să fie potrivit a fi utilizat în sisteme de telemăsurare, de monitorizare distribuită.

Invenția este o metodă de măsurare a conductivității, în particular, a conductivității lichidelor, conform procedurii Kelvin cu patru borne, la care valorile calculate ale conductivității sunt date doar de un raport de diferențe de tensiuni, de valoarea unui rezistor etalon și de o constantă de calibrare; ce obține, pentru excitarea celulei de conductivitate, o tensiune alternativă bipolară ca diferența dintre două tensiuni unipolare; ce permite obținerea de precizii superioare prin mediere sau extrem de bune prin realizarea filtrării sincrone; ce permite detecția interferențelor cu alte sisteme de măsură sau cu alți senzori prin compararea a două valori de rezistențe măsurate pe semialternanțele pozitive, respectiv, negative, ale curentului prin celula Kelvin; ce măsoară rezistențele de contact și detectează murdărirea/acoperirea cu biofilm pentru fiecare dintre cei doi electrozi de curent ai celulei Kelvin; ce detectează nivelul insuficient al lichidului în celula de conductivitate.

# RO 127440 B1

1 Inventția cuprinde și un circuit de măsură a conductivității, conform procedurii Kelvin  
cu patru borne și metodelor de mai sus, constând dintr-un montaj de măsurare a rezistenței  
3 cu patru borne sau dintr-o celulă de conductivitate Kelvin, un rezistor etalon, un convertor  
numeric-analogic cu două canale, un convertor analog-numeric cu cinci canale, trei repetitoare,  
5 un microcontroler și o baterie. Circuitul este potrivit a fi utilizat în sisteme de telemăsurare,  
iar în cazul măsurării conductivității lichidelor, poate fi integrat în celula de conductivitate și  
7 poate fi utilizat la măsurarea oricărei conductivități, rezistivități sau rezistențe.

Metoda și circuitul de măsurare a conductivității și, în particular, a conductivității  
9 lichidelor, conform invenției, au următoarele avantaje:

Metoda de măsurare propusă oferă o precizie superioară preciziei obținute actual,  
11 prin aceea că utilizează celule de conductivitate Kelvin, cu patru borne, și totodată tehnici  
digitale. Mai detaliat, rezultatul măsurătorii este dat de un raport de diferențe de tensiuni, în  
13 care derivatele cu temperatura și cu îmbătrânirea ale tensiunii de referință și circuitelor folosite  
au o influență minimă. Raportul menționat este multiplicat de valoarea unui rezistor etalon,  
15 cunoscută cu precizie, având valoarea stabilă în timp și cu temperatura, și de o constantă  
de calibrare. Nu există alte elemente care să intervină în rezultatul măsurătorilor;

Metoda de măsurare include obținerea tensiunii de excitație bipolară a celulei de  
17 conductivitate, prin scăderea a două tensiuni unipolare; prin aceasta, toate tensiunile de  
măsurat sunt unipolare și astfel sistemul poate fi alimentat de la o singură baterie.

Dacă este necesară o precizie superioară, într-o variantă a metodei, se pot media  
21 rezultatele ultimelor M măsurători;

Dacă este necesară o precizie extremă, într-o variantă a metodei se poate apela la  
23 filtrarea sincronă;

Metoda propusă de măsurare a conductivității lichidelor permite detecția interferențelor  
25 cu alte sisteme de măsură sau cu alți senzori, cu care aparatul de măsurat conductivitatea  
poate interacționa prin intermediul lichidului măsurat;

Metoda propusă de măsurare a conductivității permite măsurarea rezistențelor de  
27 contact la bornele de curent și prin aceasta, în cazul măsurării lichidelor, detecția  
murdării/acoperirii cu biofilm a electrozilor de curent ai celulei de conductivitate separat pentru  
29 fiecare din cei doi electrozi;

Metoda propusă de măsurare a conductivității permite detecția unui nivel insuficient  
31 de lichid în celulă;

Circuitul propus este simplu și are un consum redus; generarea tensiunii de excitație  
33 sinusoidală printr-un microcontroler, același care coordonează funcționarea întregului circuit,  
oferă o soluție mai avantajoasă din punct de vedere al preciziei, al posibilității ajustării frecvenței  
35 de măsurare și al simplității circuitului decât utilizarea de componente dedicate; microcontrolerul  
oferă flexibilitate, permițând obținerea de precizii diverse, conform variantelor alese ale metodei  
37 propuse, ca și realizarea de funcții de diagnoza. Rezultatele pot fi transmise în format digital,  
de exemplu pe o interfață serială, care permite transmisia datelor la distanță, fără alterarea  
39 preciziei. Utilizarea transmisiei digitale a rezultatului, în locul mărimii analogice măsurate,  
elimina influența perturbațiilor ce pot apărea între celula de conductivitate și sistemul ce  
41 utilizează valorile măsurate. Transmisia digitală serială necesită un minim de fire;

Prin alimentarea de la o singură baterie și consumul redus, circuitul propus poate fi  
43 folosit în condiții de telemăsurare. El poate fi programat să efectueze măsurări și să transmită  
rezultatele unui controler de proces la cerere sau conform unui orar prestabilit;

Prin simplitate și gabarit redus, în cazul măsurării conductivității lichidelor, circuitul  
47 poate fi integrat în celula de conductivitate și deci funcționa în imediata apropiere a ei. Aceasta  
permite extinderea domeniului de măsurare în gama conductivităților foarte mici sau la măsurarea  
49 la frecvențe ridicate și oferă imunitate crescută la zgomot/perturbații electromagnetice.

# RO 127440 B1

Se dă un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu figurile:	1
- fig. 1, procedeul de măsurare Kelvin al rezistențelor, cu patru borne;	
- fig. 2, celula de măsurare a conductivității lichidelor, vedere și conexiuni;	3
- fig. 3, reprezentarea schematică a celulei de conductivitate și bornele acesteia, plus rezistența etalon și tensiunile măsurate;	5
- fig. 4, schema echivalentă a celulei de conductivitate, explicitând rezistențele lichidului de măsurat între inelele de contact cu lichidul și incluzând rezistențele de contact dintre inelele bornelor de curent și lichid;	7
- fig. 5, generarea tensiunilor de excitație: un exemplu de generare a frecvenței de 10 Hz, cu 256 de eșantioane pe perioadă, pornind de la frecvența de eșantionare de 2560 Hz;	9
- fig. 6, modul de apariție a perturbațiilor între aparatul de măsurare a conductivității lichidelor și alte aparate de măsurare, prin lichidul de măsurat;	11
- fig. 7, celula de conductivitate și căile de curent care se închid prin interiorul și exteriorul celulei;	13
- fig. 8, circuitul echivalent al celulei de conductivitate, ținând seama de căile de curent ce se închid prin interiorul și exteriorul celulei;	15
- fig. 9, circuitul pentru măsurarea conductivității, în particular, a conductivității lichidelor.	17
Metoda de măsurare a conductivității, în particular, a conductivității lichidelor, conform invenției, este o particularizare a procedurii Kelvin de măsurare a rezistențelor, folosind patru borne de măsurare. Pentru o mai bună înțelegere a metodei de măsurare a conductivității și a circuitului propus, fig. 1 prezintă schema de măsurare a rezistențelor cu patru borne, R4B.	19
Bornele <b>BC1</b> , <b>BC2</b> sunt bornele de curent, prin care trece curentul prin rezistența de măsurat $R_x$ , notat cu $i_x$ ; tensiunea se măsoară între bornele de tensiune <b>BT1</b> și <b>BT2</b> . Pentru acuratețea măsurării, curentul prin bornele de tensiune trebuie să fie neglijabil, ceea ce face ca rezistențele bornelor de tensiune și tensiunile care cad pe ele să poată fi neglijate. Și la bornele de curent apar rezistențe de contact (aici nereprezentate); ele însă sunt în afara circuitului pe care se măsoară tensiunea și deci nu au efect asupra rezultatului măsurării.	21
Fig. 2, 3, 4 prezintă adaptarea procedurii Kelvin la măsurarea conductivității lichidelor, prin celula de conductivitate Kelvin. Fig. 2 reprezintă celula de conductivitate Kelvin, <b>CK</b> , care constă dintr-un cilindru interior din sticlă, închis, pe care sunt fixate patru inele din <b>Pt</b> , <b>IN1</b> , <b>IN2</b> , <b>IN3</b> și <b>IN4</b> , ce constituie, în ordine de sus în jos, electrozii <b>BC1</b> , <b>BT1</b> , <b>BT2</b> și <b>BC2</b> ; prin cilindrul interior trec firele de conectare a electrozilor. În jurul cilindrului din sticlă, la o anumită distanță, se găsește un cilindru exterior din material plastic izolator, ce definește spațiul de măsură al celulei de conductivitate. Interiorul cilindrului exterior comunică cu exteriorul prin partea inferioară, deschisă, și prin orificii aflate în partea superioară, ce permit circulația lichidului de măsurat L (nereprezentat în figură, dar vizibil în fig. 6). Fig. 3 este reprezentarea electrică a celulei <b>CK</b> ; aria încercuită prin linie întreruptă este în legătură cu lichidul de măsurat. În serie cu <b>CK</b> se afla rezistorul etalon <b>Re</b> . Circuitul format din <b>CK</b> în serie cu <b>Re</b> se alimentează la tensiunile de excitație <b>Uexc1</b> și <b>Uexc2</b> . Sunt notate tensiunile care se măsoară, toate fata de masă: <b>U0</b> la borna <b>BC1</b> , <b>U1</b> la borna <b>BC2</b> , <b>U2</b> la borna <b>BT1</b> , <b>U3</b> la borna <b>BT2</b> și <b>U4</b> după <b>Re</b> . Fig. 4 prezintă circuitul echivalent al celulei de conductivitate, explicitând rezistențele care apar în lichidul de măsurat și rezistențele de contact la interfața bornelor de curent cu lichidul. Curentul prin lichidul de măsurat intră prin borna de curent <b>BC1</b> și iese prin borna de curent <b>BC2</b> . Între bornele <b>BC1</b> și <b>BT1</b> apare în lichid rezistența $R_1$ ; între bornele <b>BT1</b> și <b>BT2</b> apare în lichid rezistența $R_x$ și aceasta este rezistența ce se măsoară, proporțională cu inversul conductivității lichidului; între bornele <b>BT2</b> , <b>BC2</b> apare în lichid rezistența $R_2$ ; în fine, la interfața dintre bornele de curent din lichid și lichid apar rezistențele de contact <b>Rc1</b>	23
	25
	27
	29
	31
	33
	35
	37
	39
	41
	43
	45
	47

# RO 127440 B1

(la borna **BC1**, mai exact pe suprafața inelului **IN1**) și respectiv **Rc2** (la borna **BC2**, mai exact pe suprafața inelului **IN4**). Rezistențe de contact apar și la bornele de tensiune **BT1** și **BT2**, mai exact pe suprafețele inelelor **IN2** și **IN3**, dar prin ele circulă un curent practic nul și deci pe ele nu cade tensiune - ele nu intervin în calcule și nu sunt reprezentate în figură.

Se sintetizează o tensiune alternativă sinusoidală (bipolară) pentru măsurarea conductivității prin scăderea a două tensiuni unipolare, **Uexc1** și **Uexc2**. Generarea tensiunii sinusoidale se face în două etape. În fig. 5 se prezintă un exemplu de generare a tensiunilor de excitație cu frecvența 10 Hz, cu 256 de eșantioane pe perioadă, pornind de la frecvența de eșantionare de 2560 Hz: în etapa 1 se generează tensiunea **Uexd**, de formă semisinusoidală, timp în care tensiunea **Uexc2** se ține pe 0 V; în etapa a 2-a, se generează tensiunea **Uexc2**, de formă semisinusoidală, timp în care tensiunea **Uexc1** se ține pe 0 V; Tensiunea aplicată în circuit conform notațiilor din fig. 2 (centru) se obține în permanență ca diferența de tensiuni **Uexc1-Uexc2**.

Se achiziționează eșantioanele tensiunilor semnificative din circuit **U0**, **U1**, **U2**, **U3**, **U4**, conform notațiilor din fig. 3 și 4. Pe baza lor, se calculează rezistența **R<sub>x</sub>**, în modul următor:

Când **Uexc1** generat este maxim se calculează rezistența **R<sub>x</sub>**, pentru semialternanța pozitivă, **R<sub>+</sub>**:

$$R_+ = R_x (U_{exc1} = \max) = \frac{U1 - U2}{i_x} = \frac{U1 - U2}{U3 - U4} \cdot Re \quad (1)$$

Când **Uexc2** generat este maxim, se calculează rezistența **R<sub>x</sub>** pentru semialternanța negativă, **R<sub>-</sub>**:

$$R_- = (U_{exc2} = \max) = \frac{U1 - U2}{i_x} = \frac{U1 - U2}{U3 - U4} \cdot Re \quad (2)$$

Rezistența măsurată se consideră a fi media celor 2 valori calculate, conform ecuației 3:

$$R_x = \frac{R_+ + R_-}{2} = \frac{\left( \frac{U1 - U2}{U3 - U4} \Big|_{U_{exc1}=\max} + \frac{U1 - U2}{U3 - U4} \Big|_{U_{exc2}=\max} \right)}{2} \cdot Re \quad (3)$$

Rezultatul este dat de valoarea rezistenței etalon, cunoscută cu precizie, și de rapoarte de diferențe de tensiuni. Prin diferențe, respectiv, raport, derivă cu temperatura și cea datorată îmbătrânirii tensiunii de referință și a circuitelor folosite are o influență minimă asupra rezultatului. Rezistorul etalon poate fi ales de precizie foarte bună, cu deriva termică practic nulă și îmbătrânită artificial, deci cu valoarea foarte stabilă în timp.

Conductivmetrul măsoară **R<sub>x</sub>** și afișează conductivitatea **σ<sub>x</sub>**, pe care o obține înmulțind **R<sub>x</sub>** cu un câștig ajustabil, **G**:

$$\sigma_x = \frac{G}{R_x} \quad (4)$$

La măsurarea conductivității lichidelor, dacă în lichidul de măsurat sunt imersate și alte sisteme de măsură pentru măsurarea altor parametri, acestea pot crea, prin volumul conductor al lichidului, interferențe - surse de erori. Fenomenul este ilustrat în fig. 6, unde este reprezentat sistemul de măsurare a conductivității SMC cu celula de conductivitate **CK**, alt sistem de măsurare **ASM** cu electrodul său de măsură **EM**, legăturile **L1** și respectiv **L2** ale aparatelor de măsură cu pământul sau cu mediul înconjurător **P1** pentru **SMC** și **P2** pentru

# RO 127440 B1

**SM**, lichidul de măsurat **L** și curentul parazit **CP**. De observat că conexiunile **L1** și **L2** pot fi sau galvanice de exemplu prin împământare, sau capacitive prin capacități parazite, întrucât măsurarea are loc în curent alternativ. La funcționarea simultană a celor două aparate **SMC** și **ASM**, datorită potențialelor create în cele două aparate apare curentul **CP**, care se închide prin cele două aparate, prin lichidul **L** și prin pământ sau obiectele înconjurătoare **P1-P2**. Conform invenției de față, existența **CP** este sesizată ca o diferență între valorile  $R_+$  și  $R_-$ , care în absența **CP** sunt egale.

În cazul general, al măsurării conductivității  $\sigma_x$  a unui mediu oarecare, solid, de exemplu anizotrop - în acest caz, conductivitatea depinde de direcția după care se face măsurarea, aceasta este dată de valoarea măsurată a rezistenței mediului considerat,  $R_x$ , și de geometria sa, care pot fi înglobate într-o constantă de proporționalitate **K**,

$$\sigma_x = \frac{K}{R_x} \quad (5)$$

Valoarea **K** se poate determina prin măsurarea unui etalon având aceeași geometrie ca mediul considerat, și conductivitatea cunoscută,  $\sigma_{etalon}$ . În acest caz, rezistența măsurată este  $R_{x,etalon}$ . Determinarea constantei **K** se poate face implicit, prin calibrarea conductivmetrului. Aceasta constă în ajustarea lui **G** din ecuația 4, până când acesta devine  $G_{calibrare}$  egal cu **K** din ecuația 5, mai exact, până indicația 4 este egală cu conductivitatea etalon:

$$\sigma_x = \frac{G}{R_{x,etalon}} = \frac{G}{K} \sigma_{etalon} \quad (6)$$

$$G = G_{calibrare} = K \Leftrightarrow \sigma_x = \sigma_{etalon}$$

Se obține valoarea indicată a conductivității după calibrare conform ecuației 7:

$$\sigma_x = \frac{G_{calibrare} \cdot 2}{\left( \frac{U1-U2}{U3-U4} \Big|_{U_{exc1}=\max} + \frac{U1-U2}{U3-U4} \Big|_{U_{exc2}=\max} \right)} \cdot Re \quad (7)$$

În cazul măsurării conductivității lichidelor, fiecare celulă de conductivitate este caracterizată prin constanta sa, **K**, care îi înglobează geometria. Aceasta este o constantă de construcție și joacă același rol ca în ecuația 4. Câștigul **G** al conductivmetrului poate fi ales a priori egal cu **K**. Însă construcția sondei nu este foarte precisă, și deci **K** nu este cunoscut cu precizie foarte bună. Pentru a se evita eroarea dată de eroarea lui **K**, și în acest caz se face o calibrare: se măsoară un lichid de conductivitate etalon, cunoscută, de valoare  $\sigma_{etalon}$ , și se reglează câștigul conductivmetrului  $G_{calibrare}$  (sau, echivalent, se determină cu precizie **K**) conform ecuațiilor 6, astfel încât conductivmetrul să indice valoarea etalon  $\sigma_{etalon}$ . După calibrare, conductivitatea este dată de ecuația 7.

Se pot detecta eventualele interferențe cu alte sisteme de măsură sau cu alți senzori prin compararea celor 2 rezistențe  $R_+$  și  $R_-$ . Dacă cele două diferă cu mai mult de o anumită valoare, de exemplu 2...5% din media lor, aceasta înseamnă că există scurgeri de curenți spre sau dinspre alte sisteme sau senzori imersați în același lichid. Se semnalează acest fapt utilizatorului printr-un mesaj de eroare, eliminându-se astfel măsurătorile eronate.

Tensiunile  $U0-U3$  pot fi folosite pentru a se detecta un nivel necorespunzător de imersie și pentru a se estima rezistențele de contact (acoperirea cu biofilm) pentru bornele de curent **BC1**, **BC2**, conform notațiilor din fig. 3 și fig. 4, după cum se prezintă în continuare:

# RO 127440 B1

1 Determinarea rezistențelor de contact  $R_{c1}$ ,  $R_{c2}$  (reprezentate în fig. 4) se face în modul  
următor: La instalarea unei celule de conductivitate noi, rezistențele de contact cu lichidul sunt  
3 nule. Pentru borna  $BC1$ , având  $R_{c1} = 0$ , se măsoară  $U_0$ ,  $U_1$ ,  $U_2$  și se calculează raportul  $q$ :

$$5 \quad q = \frac{U_0 - U_1}{U_1 - U_2} = \frac{R_1 \cdot i_x}{R_x \cdot i_x} = \frac{R_1}{R_x}$$

7 Curentul  $i_x$  prin celulă este:

$$9 \quad i_x = \frac{U_3 - U_4}{R_e}$$

11 După scurgerea unei perioade de timp, de exemplu, o săptămână sau una sau mai  
multe luni (marcată prin semnul '), se măsoară tensiunile  $U_0'$ ,  $U_1'$ ,  $U_2'$  și se calculează noul  
13 raport,  $q'$ :

$$15 \quad q' = \frac{U_0' - U_1'}{U_1' - U_2'} = \frac{(R_1' + R_{c1}') \cdot i'}{R_x' \cdot i'} = q + \frac{R_{c1}'}{R_x'} = q + \frac{R_{c1}'}{R_x'}$$

17 În calculele de mai sus, s-a ținut seama că, chiar dacă conductivitatea lichidului nu  
este constantă, raportul între rezistențele  $R_1$  și  $R_x$  este constant, fiind dat doar de geometria  
19 sondei:

$$21 \quad \frac{R_1'}{R_x'} = \frac{R_1}{R_x}$$

23 Așadar,  $q' - q = \frac{R_{c1}'}{R_x'}$ . Întrucât  $R_x = \frac{U_2 - U_1}{i_x} = \frac{U_2 - U_1}{U_3 - U_4} \cdot R_e$ , se poate calcula valoarea

absolută a rezistenței de contact  $R_{c1}'$ :

$$25 \quad R_{c1}' = (q' - q)R_x' = \left( \frac{U_0' - U_1'}{U_1' - U_2'} - \frac{U_0 - U_1}{U_1 - U_2} \right) \frac{U_2' - U_1'}{U_3' - U_4'} \cdot R_e \quad (8)$$

29 La fel ca pentru măsurarea  $R_x$ , măsurările se fac la  $U_{exc1} = \max.$  și apoi la  
 $U_{exc2} = \max.$ , după care se face media rezultatelor. Pentru  $R_{c2}$ , calculele sunt similare.

31 Detecția nivelului insuficient de lichid în celula de conductivitate se face comparând  
rapoartele  $r_{01}$  și  $r_{23}$  de mai jos:

$$33 \quad r_{01} = \frac{U_0 - U_1}{U_1 - U_2}, r_{23} = \frac{U_2 - U_3}{U_1 - U_2} \quad (9)$$

37 Conform construcției celulei de conductivitate, acestea trebuie să aibă valori sensibil  
egale. La sesizarea unei diferențe mai mari decât o valoare prescrisă, aleasă de utilizator,  
de exemplu 10% din media lor, se semnalează că lichidul are un nivel insuficient.

39 Mediere (MED). Pentru îmbunătățirea preciziei, se poate măsura rezistența  $R_x$  pe un  
număr de  $M$  sinusoidale (de exemplu  $M=100$ ), după ce în prealabil s-a pornit generarea de  
41 sinusoidale fără să se măsoare nimic un număr de  $N$  secunde (de exemplu  $N=2$  s). După  
obținerea celor  $M$  rezultate, se calculează media lor.

43 Dacă este necesară o precizie extremă, programul care rulează în  $\mu C$  poate implementa  
o tehnică de filtrare sincronă (FS), care constă în următoarele:



# RO 127440 B1

Se generează tensiunile  $U_{exc1}$ ,  $U_{exc2}$ , sintetizate conform ecuațiilor de mai jos, unde  $f$  este frecvența ce se sintetizează,  $N$  este numărul de eșantioane pe perioadă,  $i$  este indicele eșantionului curent, iar  $\max$  este funcția care alege maximumul dintre cele două argumente:

$$U_{exc1} = \max\left(\sin\left(2\pi f \frac{i}{N}\right), 0\right) \quad (10)$$

$$U_{exc2} = \max\left(-\sin\left(2\pi f \frac{i}{N}\right), 0\right)$$

Se măsoară  $U_1$ ,  $U_2$  și se calculează  $U_{12} = U_1 - U_2 = R_x i_x$ .

Se înmulțesc eșantioanele diferenței de tensiuni  $U_{12}$  cu eșantioanele semnalului sinusoidal ce stă la baza tensiunii de excitație, se însumează pe o perioadă și se scalează cu  $4\pi/N$ :

$$FS_{12} = \frac{4\pi}{N} \sum_{i=0}^{N-1} U_{12}(i) \cdot \sin\left(2\pi f \frac{i}{N}\right) \quad (11)$$

Rezultatul  $FS_{12}$  este egal cu amplitudinea tensiunii  $U_{12}$  sau diferența  $U_1 - U_2$  din ecuația (3). Pentru  $U_2 - U_3$ ,  $FS_{34}$  sau diferența  $U_3 - U_4$  din ecuația 3 se obține în mod similar. În ecuația 11, apare o medie pe  $N$  eșantioane, reprezentând media pe o perioadă a semnalului. Media se poate calcula pe un număr întreg de perioade  $k$  sau, echivalent, pe  $kN$  eșantioane, cu scalarea corespunzătoare. Se folosește o medie alunecătoare, adică se iau cele mai recente  $N$  sau  $kN$  eșantioane. Această mediere este în fapt o filtrare trece-jos (FTJ). Se pot folosi și alte filtre trece-jos, mai eficiente dar mai complexe decât medierea. Banda de trecere a FTJ folosit definește performanța raportului semnal/zgomot al filtrării, ca și timpul necesar pentru o măsurare.

Înmulțirea tensiunii  $U_{12}$  cu un semnal sinusoidal, urmată de FTJ, sunt echivalente cu o filtrare trece-bandă a  $U_{12}$ , de lățime dată de lățimea FTJ. Pe de altă parte, detecția sincronă, care este utilizată în prezent, este echivalentă cu înmulțirea tensiunii  $U_{12}$  cu un semnal dreptunghiular, care introduce în rezultat și perturbații sau zgomot aflate în și în jurul armonicilor 3, 5, 7 etc. ale frecvenței folosite. Prin urmare, filtrarea sincronă propusă aici are performanțe superioare detecției sincrone utilizate actualmente.

Eliminarea electrodului de gardă. În documentul **US 4362994**, se folosește o celulă de conductivitate Kelvin, cu o construcție specială, ce include un al cincilea electrod, de gardă. Acesta este introdus pentru eliminarea influențelor unor curenți din exteriorul celulei, ca și pentru înlăturarea căii de curent ce apare la măsurare și se închide prin exteriorul celulei. Acest electrod nu există în celulele de conductivitate disponibile comercial, ceea ce constituie un dezavantaj major. În continuare se demonstrează că, pentru procedeul și circuitul utilizate aici acest electrod nu este necesar. Fig. 7 reprezintă celula de conductivitate și căile curenților ce se închid prin interiorul și exteriorul celulei. Calea de curent prin interiorul celulei este reprezentată ca o săgeată trasată cu linie continuă; căile de curent prin exteriorul celulei sunt reprezentate cu linie întreruptă. Fig. 8 reprezintă circuitul echivalent al celulei, explicitând curenții prin volumul de măsurat, din interiorul celulei,  $i_{int}$ , și prin exteriorul volumului de măsurat,  $i_{ext}$ , la aplicarea unei tensiuni între bornele BC1 și BC2. Circuitul echivalent constă din rezistența echivalentă a exteriorului celulei  $R_{ext}$ , ca și din rezistențele echivalente din interiorul volumului de măsurat,  $R_1$ ,  $R_x$  și  $R_2$ . Curentul prin exterior  $i_{ext}$  se închide pe o cale mai lungă, după linii de câmp electric mai slab decât curentul prin interior,  $i_{int}$ . Așadar  $i_{ext}/i_{int}$  este subunitar. Dacă orificiul din partea superioară a celulei este îngust, acest raport poate

# RO 127440 B1

1 fi chiar scăzut spre zero. Dacă în imediata vecinătate a celulei nu se află obiecte care să  
2 modifice geometria câmpului, și aceasta este situația obișnuită, acest raport este constant  
3 în timp. El face ca curentul care trece prin  $R_x$  să fie în realitate mai mic decât curentul total  
4  $i = i_{int} + i_{ext}$  măsurat prin rezistența  $R_e$ , și dă o eroare de constanta a celulei de conductivitate.  
5 Cu alte cuvinte, rezistența aparentă a lichidului este mai mică decât în realitate, sau  
6 conductivitatea lichidului pare mai mare decât în realitate. Însă, așa cum s-a specificat mai  
7 sus, măsurarea conductivității este precedată de etapa de calibrare, prin care eroarea de câștig  
8 a sondei se corectează prin ajustarea câștigului amplificatorului conductivmetrului. Prin aceasta,  
9 eliminarea curentului  $i_{ext}$  nu este necesară. În concluzie, utilizarea electrozudului de gardă nu  
10 este necesară.

11 Circuitul de măsurare a conductivității, conform invenției, este cel din fig. 9, descris  
12 în continuare. Schema electrică conține:

13 În cazul particular al măsurării conductivității lichidelor, celula de conductivitate cu patru  
14 borne (Kelvin), cu aceleași notații ca în fig. 3; pentru cazul general, celula Kelvin se înlocuiește  
15 cu rezistența cu patru borne **R4B** din fig. 1;

16 Un rezistor etalon (de precizie) **Re**;

17 Un circuit convertor analog/numeric (CNA) cu două canale, **CNA1** și **CNA2**. Borna  
18 de ieșire a **CNA1**, care livrează tensiunea **U<sub>ex1</sub>**, se conectează la borna de curent **BC1**. Borna  
19 de ieșire a **CNA2**, care livrează tensiunea **U<sub>exc2</sub>**, se conectează la rezistorul **Re**. Cealaltă  
20 bornă a lui **Re** se conectează la borna de curent **BC2**.

21 Un circuit convertor analog/numeric **CAN** cu minimum 5 canale, cu conversie (sau  
22 cel puțin eșantionare) simultană pe toate canalele, reprezentate prin intrările analogice **Ain0**,  
23 **Ain1**, **Ain2**, **Ain3**, **Ain4**.

24 Amplificatoarele operaționale în montaj repetor **Rep1**, **Rep2**, **Rep3**. Circuitul **Rep1**  
25 conectează borna **BT1** a celulei de conductivitate la **Ain1** a **CAN**. Circuitul **Rep2** conectează  
26 borna **BT2** a celulei de conductivitate la **Ain2** a **CAN**. Circuitul **Rep3** conectează borna **BC2**  
27 a celulei de conductivitate la **Ain3** a **CAN**. Prin impedanța lor mare de intrare, repetoarele  
28 au rolul de a asigura ca intrările **CAN Ain1**, **Ain2**, **Ain3**, **Ain4** să nu absoarbă curent, astfel  
29 încât curentul din circuitul de curent al celulei de conductivitate să fie același cu curentul prin  
30 rezistorul **Re**. Borna **BC1** a celulei de conductivitate se conectează direct la intrarea **Ain0**  
31 a **CAN**; un repetor nu este necesar în acest caz. Performanțele **CNA** actuale, de exemplu  
32 de 14 biți sau mai mult și de timpi de conversie foarte reduși, fac ca generarea semnalului  
33 sinusoidal să poată fi făcută cu o asemenea puritate încât, la utilizarea de convertoare  
34 analog/numerice de precizie, de exemplu de 12 biți, să nu fie necesară filtrarea anti-alias.

35 Un microcontroler  $\mu C$ , care sintetizează valorile numerice ale eșantioanelor ce se  
36 transmit către **CNA** și citește valorile măsurate de **CAN**. Prin semnale de comandă  
37 (nereprezentate) el și coordonează întreaga schemă. Microcontrolerul implementează metodele  
38 de măsurare ce fac obiectul acestei soluții tehnice.

39 Pentru simplitate, bornele de alimentare ale  $\mu C$ , **CNA**, **CAN**, și amplificatoarelor  
40 operaționale nu au fost reprezentate. Întregul circuit poate fi alimentat de la o baterie de 3  
41 V, nereprezentată. Ca detaliu, circuitul optimizează suplimentar tensiunea bateriei prin utilizarea  
42 de circuite rail to rail. Circuitul funcționează în modul următor: tensiunea de excitație pentru  
43 celula de conductivitate este sintetizată numeric de  $\mu C$ , sub formă de eșantioane, conform  
44 celor descrise mai înainte, și generată de **CNA1** și **CNA2**, obținându-se o tensiune alternativă  
45 bipolară pe celula de conductivitate chiar în condițiile alimentării circuitului de la o sursă de  
alimentare unipolară.

# RO 127440 B1

Se măsoară tensiunile la intrările <b>Ain0, Ain1, Ain2, Ain3, Ain4</b> ale <b>CAN</b> când <b>Uex1</b> generat este maxim și apoi când <b>Uexc2</b> generat este maxim. Întrucât <b>CAN</b> este cu conversie/eșantionare simultană, toate tensiunile măsurate sunt sincrone. Întrucât repetoarele <b>Rep1-Rep3</b> au câștig unitar, tensiunile de la intrările <b>Ain1, Ain2, Ain3, Ain4</b> sunt egale cu tensiunile <b>U1, U2, U3, U4</b> .	1 3 5
Pentru a nu se obține defazaje între tensiune și curent, datorate capacității cablului de conectare al celulei la circuit, cablul trebuie să fie scurt. Pentru aceasta, circuitul se montează pe celula de conductivitate sau chiar se integrează în ea. Integrarea circuitului în celula de conductivitate îmbunătățește precizia și lărgeste domeniul frecvențelor de măsurare în domeniul în care capacitatea parazită are efect, adică al rezistențelor mari sau al conductivităților mici, sau la măsurarea la frecvențe mari. Circuitul propus și utilizarea $\mu\text{C}$ permit efectuarea filtrării sincrone într-un mod foarte economic ca și complexitate a circuitului și consum energetic, mai eficient decât implementarea detecției sincrone din circuitele analogice, realizată în brevetele existente.	7 9 11 13
Utilizarea $\mu\text{C}$ permite programarea sistemului pentru a efectua măsurări și a transmite rezultate unui controler de proces la cerere, sau conform unui orar prestabilit, eventual adaptat unor evenimente care se constată că survin în procesul al cărei conductivitate se măsoară. Rezultatele pot fi transmise printr-o interfață serială convenabilă, ca, de exemplu, dar nerestrângându-se la acestea, interfața I <sup>2</sup> C sau OneWire.	15 17 19
A fost realizat un prototip, conform invenției, având următorii parametri programabili: numărul de valori măsurate mediate, frecvența semnalului sinusoidal generat, rezistența etalon folosită în circuit, constanta senzorului de conductivitate. Prototipul prezintă următoarele performanțe: eroarea la verificarea prin măsurarea unei rezistențe de precizie de 1 kOhm, folosind o rezistență etalon de 10 kOhm: $\pm 0,05\%$ ; fluctuație (zgomot) la calibrarea cu o soluție etalon de conductivitate 1413 uS/cm: $< \pm 0,28\%$ ; consum pe durata unui set de măsurători, mediindu-se 50 de valori, incluzând transmisia pe o interfață serie RS 232: 10, 15 mA; durata maximă a măsurării de 2 secunde, sarcina consumată la o măsurare: 5,6 uAh; numărul de măsurări ce pot fi efectuat utilizând o baterie cu Li-ion CR123A, de capacitate 700 mAh: circa 125000.	21 23 25 27 29

# RO 127440 B1

## Revendicări

1  
3 1. Metodă de măsurare a conductivității, în particular, a conductivității lichidelor, ce utilizează procedeul Kelvin cu patru borne, **caracterizată prin aceea că aceasta** constă în:

5 - sintetizarea numerică unei tensiuni alternative bipolare (**Uexc1-Uexc2**) de către un microcontroler (**μC**) pentru excitarea unei celulei de conductivitate (**CK**) prin scăderea a două tensiuni unipolare (**Uexc1, Uexc2**), generate de către convertor numeric-analogic unipolar cu două canale (**CNA1, CNA2**);

9 - achiziționarea de către un circuit analog-numeric (**CAN**) cu minimum 5 canale, cu conversie simultană pe toate canalele, a eșantioanelor tensiunilor semnificative (**U1, U2, U3, U4**);

11 - când **Uexc1** generat este maxim, se calculează rezistența (**R<sub>+</sub>**) măsurată pe semialternanțele pozitive ale curentului (**I<sub>x</sub>**) prin celula Kelvin (**CK**);

13 - când **Uexc2** generat este maxim, se calculează rezistența (**R<sub>-</sub>**) măsurate pe semialternanțele negative ale curentului (**I<sub>x</sub>**) prin celula Kelvin (**CK**);

15 - rezistența măsurată se consideră a fi media celor două rezistențe (**R<sub>+</sub>**) și (**R<sub>-</sub>**) calculate;

17 - valorile calculate ale conductivității (**σ<sub>x</sub>**) sunt date doar de un raport de diferențe de tensiuni (**U1-U2, U3-U4**), de valoarea unui rezistor etalon (**Re**) și de o constantă de calibrare (**G<sub>calibrare</sub>**).

19 2. Metodă conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că** detecția interferențelor (**CP**) cu alte sisteme de măsurare (**SM**) sau alți senzori (**EM**) se realizează prin compararea celor 2 valori de rezistențe (**R<sub>+</sub>** și **R<sub>-</sub>**) măsurate pe semialternanțele pozitive, respectiv, negative, ale curentului (**I<sub>x</sub>**) prin celula Kelvin (**CK**)

21 3. Metodă conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că** se realizează măsurarea rezistențelor de contact (**Rc1, Rc2**) pentru detecția murdăririi/acoperirii cu biofilm pentru fiecare dintre cei doi electrozi de curent (**EC1, EC2**).

23 4. Metodă de măsurare a conductivității, în particular, a conductivității lichidelor, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că** detecția nivelului insuficient al lichidului (**L**) în celula de conductivitate (**CK**) se realizează prin compararea unor rapoarte de diferențe de tensiuni (**U0-U1, U1-U2, U2-U3**).

25 5. Circuit de măsurare a conductivității, în particular, a conductivității lichidelor, ce utilizează procedeul Kelvin cu patru borne, **caracterizat prin aceea că** este constituit dintr-un  
27  
29  
31  
33  
35  
37  
39  
montaj de măsurare a rezistenței cu patru borne (**R4B**), cu bornele (**BC1, BC2, BT1, BT2**), dintr-un rezistor etalon (**Re**), dintr-un convertor numeric-analogic unipolar cu două canale (**CNA1, CNA2**) pentru generarea a două tensiuni unipolare (**Uexc1, Uexc2**), dintr-un convertor analog-numeric cu cinci canale (**CAN**) cu conversie simultană pe toate canalele pentru achiziționarea eșantioanelor tensiunilor semnificative (**U1, U2, U3, U4**), din trei repetoare (**Rep1, Rep2, Rep3**) cu câștig unitar, un microcontroler (**μC**) care sintetizează valorile numerice ale eșantioanelor ce se transmit către convertorul numeric-analogic și citește valorile măsurate de convertorul analogic-numeric (**CAN**), și dintr-o singură baterie.

41 6. Circuit de măsurare a conductivității, conform revendicării 5, **caracterizat prin aceea că** folosește o celulă de conductivitate Kelvin (**CK**), având bornele (**BC1, BC2, BT1, BT2**)  
43 pentru măsurarea conductivității lichidelor.

(51) Int.Cl.

G01N 27/22 (2006.01);

G01N 27/06 (2006.01);

G01N 27/42 (2006.01);

G01R 27/22 (2006.01)

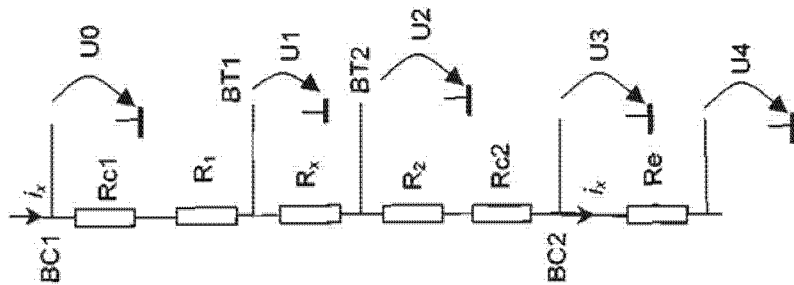


Fig. 4

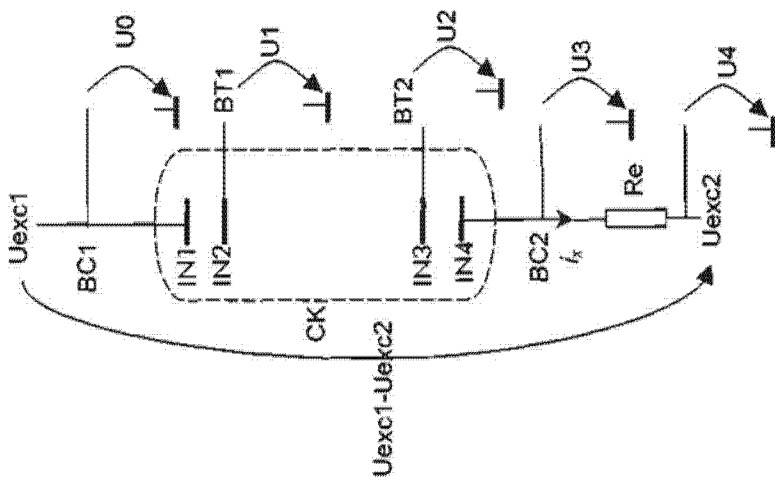


Fig. 3

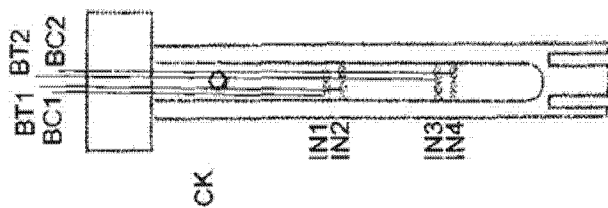


Fig. 2

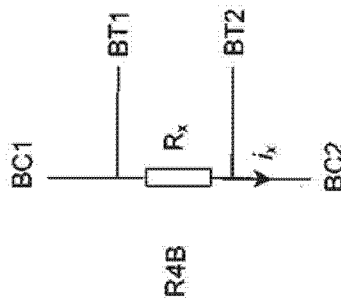


Fig. 1

(51) Int.Cl.

G01N 27/22 (2006.01);

G01N 27/06 (2006.01);

G01N 27/42 (2006.01);

G01R 27/22 (2006.01)

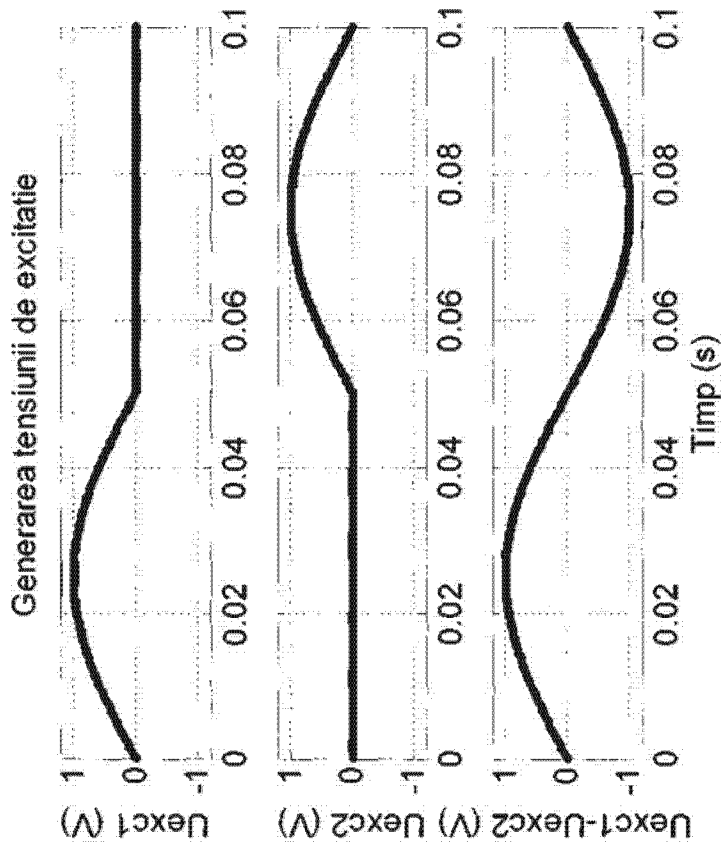


Fig. 5

(51) Int.Cl.

G01N 27/22 (2006.01);

G01N 27/06 (2006.01);

G01N 27/42 (2006.01);

G01R 27/22 (2006.01)

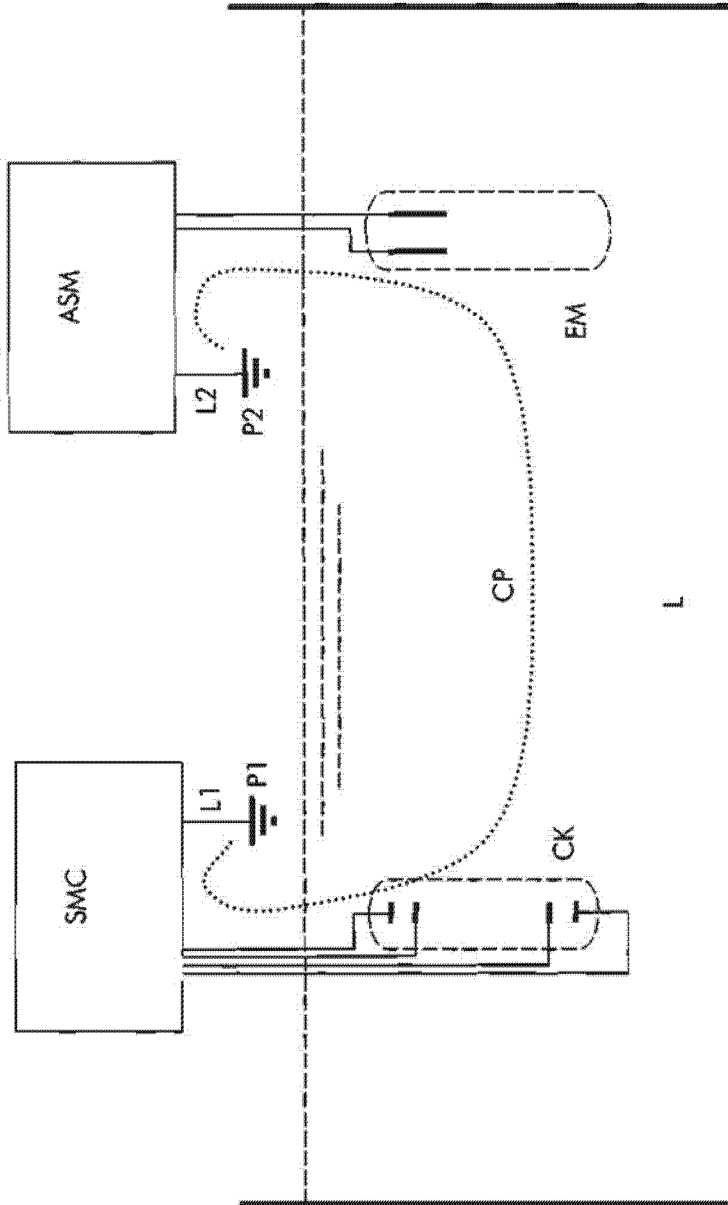


Fig. 6

(51) Int.Cl.

G01N 27/22 (2006.01);

G01N 27/06 (2006.01);

G01N 27/42 (2006.01);

G01R 27/22 (2006.01)

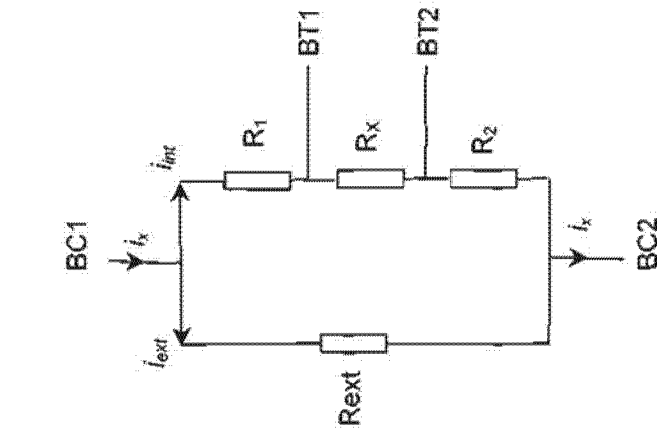


Fig. 8

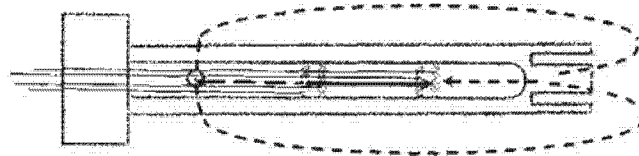


Fig. 7



(51) Int.Cl.

G01N 27/22 (2006.01);

G01N 27/06 (2006.01);

G01N 27/42 (2006.01);

G01R 27/22 (2006.01)

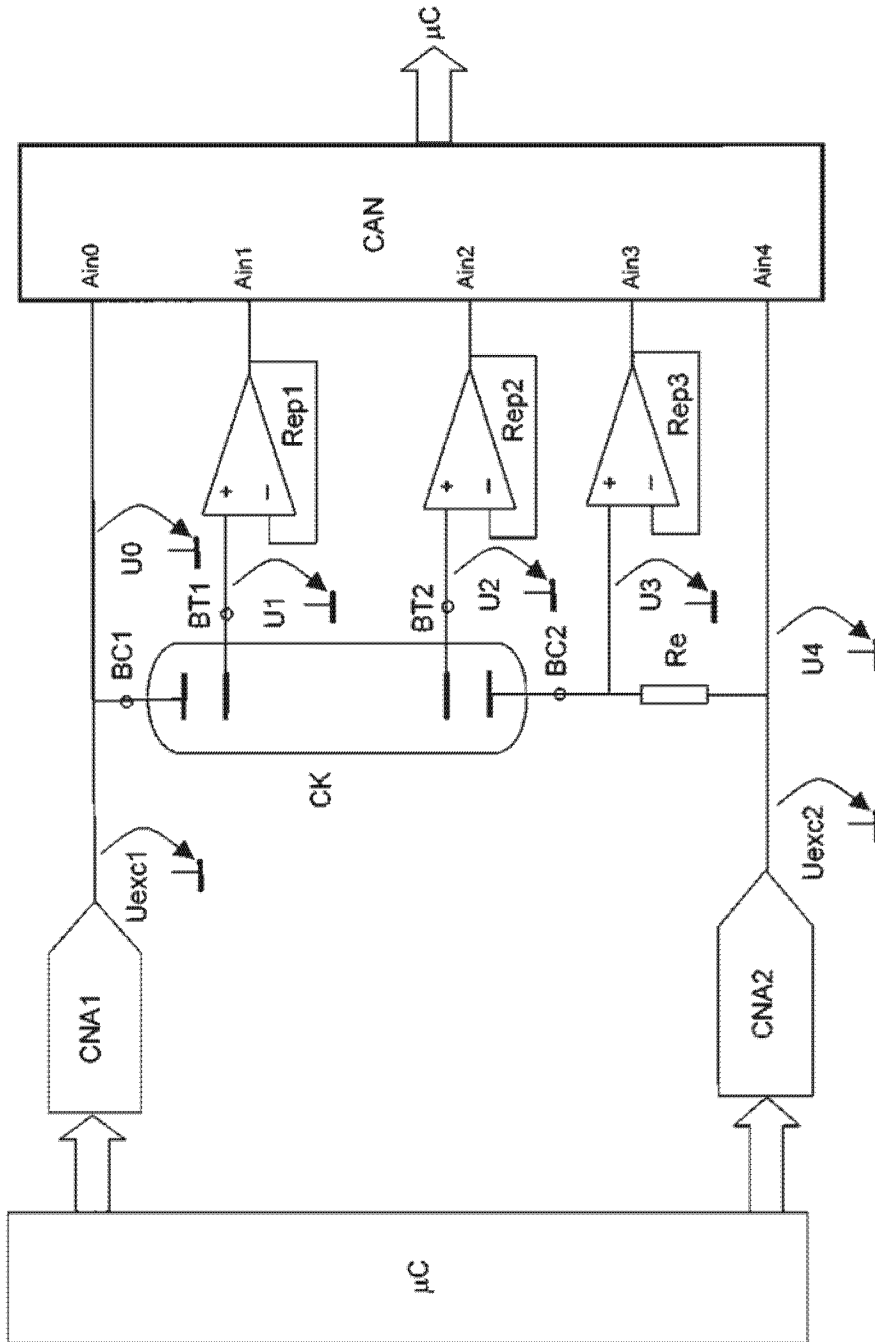


Fig. 9

