



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2010 01011

(22) Data de depozit: 25.10.2010

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

(71) Solicitant:
• E5INVENT SRL, STR. A. 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.6A, TIMIȘOARA, TM, RO;

• MARIES GABRIEL, STR. NARCISELOR,
BL.8, AP.16, BAIJA MARE, MM, RO;
• MOLDOVAN OANA, STR. ALVERNA
NR.62A, 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

(54) METODĂ ȘI CIRCUIT DE MĂSURARE A CONDUCTIVITĂȚII

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un circuit de măsurare a conductivității, în particular a conductivității lichidelor în sisteme de telemăsurare. Metoda conform invenției constă în obținerea unei tensiuni de excitație bipolară a unei celule de conductivitate prin scăderea a două tensiuni unipolare, în măsurarea tensiunilor din circuit în momentele în care tensiunile de excitație sunt maxime, în compararea celor două rezultate, în calculul rezistenței/conductivității ca un raport de diferențe de tensiuni măsurate înmulțit cu valoarea unui rezistor (R_e) etalon și a unei constante de calibrare, în posibilitatea medierii sau a utilizării filtrării sincrone; iar în cazul măsurării lichidelor, metoda oferă posibilitatea diagnosticării interferenței cu alte circuite de măsurare, a evaluării separate a murdăririi electrozilor de curent și a detectării nivelului insuficient de lichid în celula de conductivitate. Circuitul conform invenției este alcătuit dintr-o rezistență (R_{4B}) cu patru borne sau o celulă (CK) de conductivitate, un rezistor (R_e) etalon, un convertor numeric analogic (CNA) cu două canale ($CNA1$, $CNA2$), un convertor analog-numeric (CAN) cu cinci canale, un microcontroler (μC) și o baterie.

Revendicări: 8
Figuri: 9

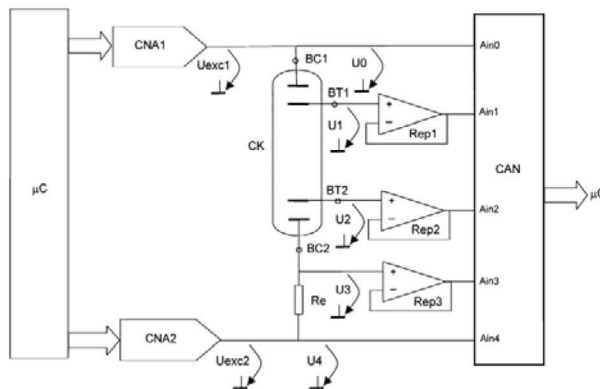


Fig. 9



METODĂ ȘI CIRCUIT DE MĂSURARE A CONDUCTIVITĂȚII

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 cu precizie a conductivității lichidelor în sisteme de telemăsurare.

Se știe că conductivitatea, proprietate electrică de bază a lichidelor, ca și a solidelor, 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 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 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 Electrochemical Society).

O metodă de măsurare mai precisă folosește procedeul Kelvin, care constă în utilizarea 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 telemăsurări.

Cerința de precizie ridicată, care este de obicei însoțită de creșterea complexității 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 baterii.

În cazul măsurării conductivității lichidelor, o problemă o poate constitui interferența 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 măsurat.

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

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

Sunt cunoscute numeroase brevete pe tema măsurării conductivității lichidelor:

US3774104, 1973 Andresen; US4160946, 1979 Frigato; US4585996, 1986 Luce; US4786875, 1988 Carl; US6781389, US5708363, 1998 Yates *et al.*; 2004 Colvin & Cassatta; UA66953 (C2), 2004 Kiriuschenko; CN2627502 (Y) 2004 Jinmei & Xionggen - au dezavantajul principal că folosesc celule de conductivitate cu două borne.

US3757205, 1973 Dauphinee; US3963979, 1976 Dauphinee; US4362994, 1982 Goldsmith & Stillwell; US5025220, 1991 Colvin *et al.* - folosesc celule de conductivitate cu patru borne, însă au dezavantajul că circuitul este analogic, de precizie limitată.

Dintre brevetele de mai sus, cele mai apropiate de invenția de față sunt:

Brevetul US4362994, 1982 Goldsmith & Stillwell folosește o celulă de conductivitate Kelvin (cu patru borne) și un circuit pentru avertizare când electrozii au ajuns într-un anumit grad de acoperire/murdarare ("fouling"). Include un al cincilea electrod, de gardă, pentru șuntarea căii de curent care se închide prin exteriorul celei de măsurare. Se generează un curent sinusoidal astfel încât să se obțină o tensiune constantă între electrozii de tensiune. Este sesizată acoperirea/murdărirea

Handwritten signature

Handwritten signature

Handwritten signature

electrozilor prin creșterea rezistenței pe circuitul de curent. Are dezavantajul că al cincilea electrod complică constructiv celula de conductivitate; circuitul 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 presupune un circuit relativ complex și voluminos.

Brevetul US5708363, 1998 Yates *et al.* 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 murdării electrozilor. De asemenea, sistemul prezentat are un circuit relativ complex, cu consum de curent prea ridicat pentru a fi alimentat de la baterie.

Brevetul UA66953 (C2), 2004 Kiriuschenko propune un circuit pentru măsurarea conductivității lichidelor ce conține celula de conductivitate, un rezistor etalon, două multiplexoare, o sursa 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 metoda de măsurare a conductivității este detecția sincronă propusă în (US6781389, 2004 Colvin & Cassatta). Însă brevetul respectiv 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.

Nici unul din brevetele de mai sus nu utilizează simultan celule de conductivitate cu patru borne și tehnici digitale, ce permit obținerea de precizii mai ridicate și consum mic de curent. Nici unul dintre brevetele de mai sus nu detectează interferențele cu alte sisteme de măsură.

Brevetul (WO 01/82028 A2, 2001 Duncan) 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 realizarea unei metode și a unui 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

Cluluta

Alin

Chy

Danobellu

rezistențe măsurate pe semialternantele pozitive respectiv negative ale curentului prin celula Kelvin; ce măsoară rezistențele de contact și detectează murdărirea/acoperirea cu biofilm pentru fiecare din cei doi electrozi de curent ai celulei Kelvin; ce detectează nivelul insuficient al lichidului în celula de conductivitate.

Invenția 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 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, 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 poate fi utilizat la măsurarea oricărei conductivități, rezistivități sau rezistențe.

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

Metoda de măsurare propusă oferă o precizie superioară preciziei obținute actual, 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 care derivatele cu temperatura și cu îmbatrânirea ale tensiunii de referință și circuitelor folosite au o influență minimă. Raportul menționat este multiplicat de valoarea unui rezistor etalon, 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 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 rezultatele ultimelor M măsurători;

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

Metoda propusă de măsurare a conductivității lichidelor permite detecția interferențelor 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 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 fiecare din cei doi electrozi;

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

Circuitul propus este simplu și are un consum redus; generarea tensiunii de excitație 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 de măsurare și al simplității circuitului decât utilizarea de componente dedicate; microcontrolerul oferă flexibilitate, permițând obținerea de precizii diverse, conform variantelor alese ale metodei propuse, ca și realizarea de funcții de diagnoza. Rezultatele pot fi transmise în format digital, de exemplu pe o interfață serială, care permite transmiterea datelor la distanță, fără alterarea preciziei. Utilizarea transmisiei digitale a rezultatului, în locul mărimii analogice măsurate, elimină influența perturbațiilor ce pot apărea între celula de conductivitate și sistemul ce utilizează valorile măsurate. Transmiterea digitală serială necesită un minim de fire;

celula *sig* *alin* *Davidescu* 3

Prin alimentarea de la o singură baterie și consumul redus, circuitul propus poate fi 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 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 la frecvențe ridicate și oferă imunitate crescută la zgomot/perturbații electromagnetice.

Se dă un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile :

Figura 1. Procedeeul de măsurare Kelvin a rezistențelor, cu patru borne;

Figura 2. Celula de măsurare a conductivității lichidelor, vedere și conexiuni.

Figura 3. Reprezentarea schematică a celulei de conductivitate și bornele acesteia, plus rezistența etalon și tensiunile măsurate.

Figura 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.

Figura 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.

Figura 6. Modul de apariție a perturbațiilor între aparatul de măsurare a conductivității lichidelor și alte aparate de măsurare, prin lichidul de măsurat.

Figura 7. Celula de conductivitate și căile de curent care se închid prin interiorul și exteriorul celulei

Figura 8. Circuitul echivalent al celulei de conductivitate, ținând seama de căile de curent ce se închid prin interiorul și exteriorul celulei.

Figura 9. Circuitul pentru măsurarea conductivității, în particular a conductivității lichidelor.

Metoda de măsurare a conductivității, în particular a conductivității lichidelor, conform invenției, este o particularizare a procedeeului 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. Bornele BC1, BC2 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 BT1 și BT2. 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.

Fig. 2, 3, 4 prezintă adaptarea procedeeului Kelvin la măsurarea conductivității lichidelor, prin celula de conductivitate Kelvin. Fig. 2 reprezintă celula de conductivitate Kelvin, CK, care constă dintr-un cilindru interior din sticlă, închis, pe care sunt fixate patru inele din Pt, IN1, IN2, IN3 și IN4, ce constituie, în ordine de sus în jos, electrozii BC1, BT1, BT2 și BC2; 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

Chiruta

Riz

Chiruta
Anno 2010

reprezentarea electrică a celulei CK; aria încercuită prin linie întreruptă este în legătură cu lichidul de măsurat. În serie cu CK se afla rezistorul etalon R_e . Circuitul format din CK în serie cu R_e se alimentează la tensiunile de excitație U_{exc1} și U_{exc2} . Sunt notate tensiunile care se măsoară, toate fata de masă: U_0 la borna BC1, U_1 la borna BC2, U_2 la borna BT1, U_3 la borna BC2 și U_4 după R_e . 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 BC1 și iese prin borna de curent BC2. Între bornele BC1 și BT1 apare în lichid rezistența R_1 ; între bornele BT1 și BT2 apare în lichid rezistența R_x și aceasta este rezistența ce se măsoară, proporțională cu inversul conductivității lichidului; între bornele BT2, BC2 apare în lichid rezistența R_2 ; în fine, la interfața dintre bornele de curent din lichid și lichid apar rezistențele de contact R_{c1} (la borna BC1, mai exact pe suprafața inelului IN1) și respectiv R_{c2} (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, U_{exc1} și U_{exc2} . Generarea tensiunii sinusoidale se face în două etape. În Fig. 5 se prezintă un exemplu de generare a tensiunilor de excitație de frecvența 10 Hz, cu 256 de eșantioane pe perioadă, pornind de la frecvența de eșantionare de 2560 Hz: În etapa 1 se generează tensiunea U_{exc1} , de forma semisinusoidală, timp în care tensiunea U_{exc2} se ține pe 0 V; În etapa a 2-a se generează tensiunea U_{exc2} de forma semisinusoidală, timp în care tensiunea U_{exc1} se ține pe 0V; Tensiunea aplicată în circuit conform notațiilor din Fig. 2 (centru) se obține în permanență ca diferența de tensiuni $U_{exc1}-U_{exc2}$.

Se achiziționează eșantioanele tensiunilor semnificative din circuit U_0 , U_1 , U_2 , U_3 , U_4 conform notațiilor din Fig. 3 și Fig. 4. Pe baza lor se calculează rezistența R_x în modul următor:

Când U_{exc1} generat este maxim se calculează rezistența R_x pentru semialternanța pozitivă, R_+ :

$$R_+ = R_x (U_{exc1} = \max) = \frac{U_1 - U_2}{i_x} = \frac{U_1 - U_2}{U_3 - U_4} \cdot R_e \quad (1)$$

Când U_{exc2} generat este maxim, se calculează rezistența R_x pentru semialternanța negativă, R_- :

$$R_- = R_x (U_{exc2} = \max) = \frac{U_1 - U_2}{i_x} = \frac{U_1 - U_2}{U_3 - U_4} \cdot R_e \quad (2)$$

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

$$R_x = \frac{R_+ + R_-}{2} = \frac{\left(\frac{U_1 - U_2}{U_3 - U_4} \Big|_{U_{exc1}=\max} + \frac{U_1 - U_2}{U_3 - U_4} \Big|_{U_{exc2}=\max} \right)}{2} \cdot R_e \quad (3)$$

Rezultatul este dat de valoarea rezistenței etalon, cunoscută cu precizie, și de rapoarte de diferențe de tensiuni. Prin diferențe respectiv raport, deriva 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

Clututa

Rz

5
C. I. Orosescu

foarte bună, cu deriva termică practic nulă și imbatrânită artificial, deci cu valoarea foarte stabilă în timp.

Conductivmetrul măsoară R_x și afișează conductivitatea σ_x , pe care o obține înmulțind R_x 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 pamântul sau cu mediul înconjurător P1 pentru SMC și P2 pentru SM, lichidul de măsurat L și curentul parazit CP. De observat că conexiunile L1 și L2 pot fi sau galvanice de exemplu prin pamântare, 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 pamânt 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 σ_x a unui mediu oarecare, solid, de exemplu anizotrop – în acest caz conductivitatea depinde de direcția după care se face măsurarea –, aceasta este data 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, σ_{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):

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

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 apriori 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 σ_{etalon} , și se reglează câștigul

Miluta

Ri

6
I. Ingh

conductivimetrului $G_{calibrare}$ (sau, echivalent, se determină cu precizie K) conform ecuațiilor (6), astfel încât conductivimetrul să indice valoarea etalon σ_{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 semnaleză acest fapt utilizatorului printr-un mesaj de eroare, eliminându-se astfel măsurătorile eronate.

Tensiunile U_0-U_3 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:

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 nule. Pentru borna BC1, având $R_{c1} = 0$, se măsoară U_0 , U_1 , U_2 și se calculează raportul q :

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

Curentul i_x prin celulă este:

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

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 raport, q' :

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

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 sondei:

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

Așadar, $q' - q = \frac{R_{c1}'}{R_x'}$. Intrucât $R_x = \frac{U_2 - U_1}{i_x} = \frac{U_2 - U_1}{U_3 - U_4} \cdot R_e$, se poate calcula valoarea absolută a rezistenței de contact R_{c1}' :

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

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.

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

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

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 semnaleză că lichidul are un nivel insuficient.

Handwritten signature

Handwritten initials

Handwritten signature

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

Dacă este necesară o precizie extremă, programul care rulează în μC poate implementa o tehnică de filtrare sincronă (FS), care constă în următoarele: 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:

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

$$U_{exc2} = \max\left(-\sin\left(2\pi f \frac{i}{N}\right), 0\right) \quad (10)$$

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 $4/N$:

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

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 brevetul US4362994 se folosește o celulă de conductivitate Kelvin, de 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,

Alu late

Ar

King Danodella⁸

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

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

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

Un rezistor etalon (de precizie) R_e ;

Un circuit convertor analog/numeric (CNA) cu două canale, CNA1 și CNA2. Borna de ieșire a CNA1, care livrează tensiunea U_{exc1} , se conectează la borna de curent BC1. Borna de ieșire a CNA2, care livrează tensiunea U_{exc2} , se conectează la rezistorul R_e . Cealaltă bornă a lui R_e se conectează la borna de curent BC2.

Un circuit convertor analog/numeric CAN cu minim 5 canale, cu conversie (sau cel puțin eșantionare) simultană pe toate canalele, reprezentate prin intrările analogice A_{in0} , A_{in1} , A_{in2} , A_{in3} , A_{in4} .

Amplificatoarele operaționale în montaj repetor Rep1, Rep2, Rep3. Circuitul Rep1 conectează borna BT1 a celulei de conductivitate la A_{in1} a CAN. Circuitul Rep2 conectează borna BT2 a celulei de conductivitate la A_{in2} a CAN. Circuitul Rep3 conectează borna BC2 a celulei de conductivitate la A_{in3} a CAN. Prin impedanța lor mare de intrare, repetoarele au rolul de a asigura ca intrările CAN A_{in1} , A_{in2} , A_{in3} , A_{in4} să nu absoarbă curent, astfel încât curentul din circuitul de curent al celulei de conductivitate să fie același cu curentul prin rezistorul R_e . Borna BC1 a celulei de conductivitate se conectează direct la intrarea A_{in0} a CAN; un repetor nu este necesar în acest caz. Performanțele CNA actuale, de exemplu de 14 biti sau mai mult și de timpi de conversie foarte reduși, fac ca generarea semnalului sinusoidal să poată fi făcută cu o asemenea puritate încât, la utilizarea de convertoare analog/numerice de precizie, de exemplu de 12 biti, să nu fie necesară filtrarea anti-alias.

Un microcontroler μC , care sintetizează valorile numerice ale eșantioanelor ce se transmit către CNA și citește valorile măsurate de CAN. Prin semnale de comandă (nereprezentate) el și coordonează întreaga schemă. Microcontrolerul implementează metodele de măsurare ce fac obiectul acestei soluții tehnice.

Pentru simplitate, bornele de alimentare ale μC , CNA, CAN, și amplificatoarelor operaționale nu au fost reprezentate. Întregul circuit poate fi alimentat de la o baterie

clucule

pr

clucule

9
Conducător

de 3 V, nereprezentată. Ca detaliu, circuitul optimizează suplimentar tensiunea bateriei prin utilizarea de circuite rail to rail.

Circuitul funcționează în modul următor:

Tensiunea de excitație pentru celula de conductivitate este sintetizată numeric de μC , sub forma de eșantioane, conform celor descrise mai înainte, și generată de CNA1 și CNA2, obținându-se o tensiune alternativă bipolară pe celula de conductivitate chiar în condițiile alimentării circuitului de la o sursă de alimentare unipolară.

Se măsoară tensiunile la intrările Ain0, Ain1, Ain2, Ain3, Ain4 ale CAN când Uexc1 generat este maxim și apoi când Uexc2 generat este maxim. Întrucât CAN este cu conversie/eșantionare simultană, toate tensiunile măsurate sunt sincrone. Întrucât repetoarele Rep1-Rep3 au câștig unitar, tensiunile de la intrările Ain1, Ain2, Ain3, Ain4 sunt egale cu tensiunile U1, U2, U3, U4.

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. Integrearea 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 μC 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.

Utilizarea μC 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 a cărei conductivitate se măsoară. Rezultatele pot fi transmise printr-o interfață serială convenabilă, ca de exemplu, dar nerestrângându-se la acestea, interfața I²C sau OneWire.

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 10kOhm: $\pm 0,05\%$; fluctuație (zgomot) la calibrarea cu o soluție etalon de conductivitate 1413uS/cm: $< \pm 0,28\%$; consum pe durata unui set de măsurători, mediindu-se 50 de valori, incluzând transmisia pe o interfață serie RS232: 10,15 mA; durata maximă a măsurării de 2 secunde, sarcina consumată la o măsurare: 5,6 uAh; numărul de măsurări ce pot fi efectuate utilizând o baterie cu Li-ion CR123A, de capacitate 700 mAh: cca 125000.

Chelaru Mir

10
Chelaru Dan

REVENDICĂRI

1. Metodă de măsurare a conductivității, conform procedurii Kelvin cu patru borne, caracterizată prin aceea că valorile calculate ale conductivității (σ_x) sunt date doar de un raport de diferențe de tensiuni (U_1-U_2, U_3-U_4), de valoarea unui rezistor etalon (R_e) și de o constanta de calibrare ($G_{\text{calibrare}}$).
2. Metodă de măsurare a conductivității, conform procedurii Kelvin cu patru borne, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că obține o tensiune alternativă bipolară ($U_{\text{exc1}}-U_{\text{exc2}}$) pentru excitarea celulei de conductivitate (CK) ca diferența dintre două tensiuni unipolare ($U_{\text{exc1}}, U_{\text{exc2}}$).
3. Metodă de măsurare a conductivității, conform procedurii Kelvin cu patru borne, conform revendicărilor 1 și 2, caracterizată prin aceea că permite măsurarea rezistențelor de contact (R_{c1}, R_{c2}) la bornele ce curent (BC_1, BC_2) ale schemei Kelvin.
4. Metodă de măsurare a conductivității, conform procedurii Kelvin cu patru borne, conform revendicărilor 1, 2 și 3, caracterizată prin aceea că se permite obținerea de precizii superioare prin medierea (MED) a rezultatelor (R_x), sau extrem de bune prin realizarea filtrării sincrone (FS) a unor diferențe de tensiune (U_1-U_2, U_3-U_4).
5. Metodă de măsurare a conductivității lichidelor, conform revendicărilor 1, 2, 3 și 4, caracterizată prin aceea că permite detecția interferențelor (CP) cu alte sisteme de măsurare (SM) sau alți senzori (EM) prin compararea celor 2 valori de rezistențe (R_+ și (R_-) măsurate pe semialternanțele pozitive respectiv negative ale curentului (I_x) prin celula Kelvin (CK), permițând măsurarea rezistențelor de contact (R_{c1}, R_{c2}) și detecția murdaririi/acoperirii cu biofilm pentru fiecare dintre cei doi electrozi de curent (EC_1, EC_2), detectând și nivelul insuficient al lichidului (L) în celula de conductivitate (CK) prin compararea unor rapoarte (r_{01}, r_{23}) de diferențe de tensiuni ($U_0-U_1, U_1-U_2, U_2-U_3$).
6. Circuit de măsurare a conductivității conform procedurii Kelvin cu patru borne, conform revendicărilor 1, 2, 3, 4 și 5, caracterizat prin aceea că el constă dintr-un montaj de măsurare a rezistenței cu patru borne (R4B), cu bornele (BC_1, BC_2, BT_1, BT_2) sau o celulă de conductivitate Kelvin (CK) având bornele BC_1, BC_2, BT_1, BT_2 , dintr-un rezistor etalon (R_e), dintr-un convertor numeric-analogic unipolar cu două canale (CNA1, CNA2), dintr-un convertor analog-numeric cu cinci canale (CAN), din trei repetitoare (Rep_1, Rep_2, Rep_3), un microcontroler (μC) și dintr-o singură baterie (nereprezentată).
7. Circuit de măsurare a conductivității conform procedurii Kelvin cu patru borne, conform revendicării 6, caracterizat prin aceea că este potrivit a fi utilizat în sisteme de telemăsurare, iar în cazul măsurării conductivității lichidelor, sau a altor aplicații similare poate fi integrat în celula de conductivitate (CK).
8. Metodă și circuit de măsurare a conductivității, conform procedurii Kelvin cu patru borne, conform revendicărilor 1, 2, 3, 4, 5, 6 și 7, caracterizat prin aceea că pot fi utilizate la măsurarea oricarei conductivități, rezistivități sau rezistențe.

Chiriac Mir

Ion Oancea

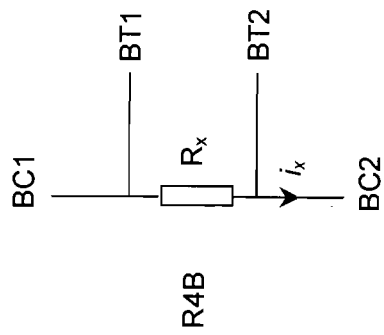


Fig.1

Handwritten signature

Mir

Handwritten signature
Osman

45

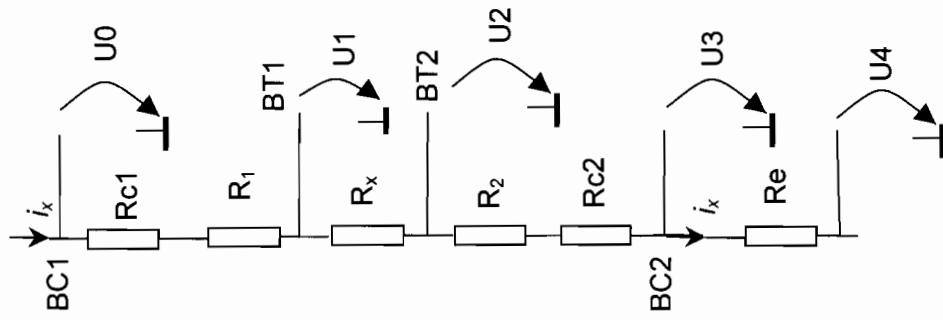


Fig. 2

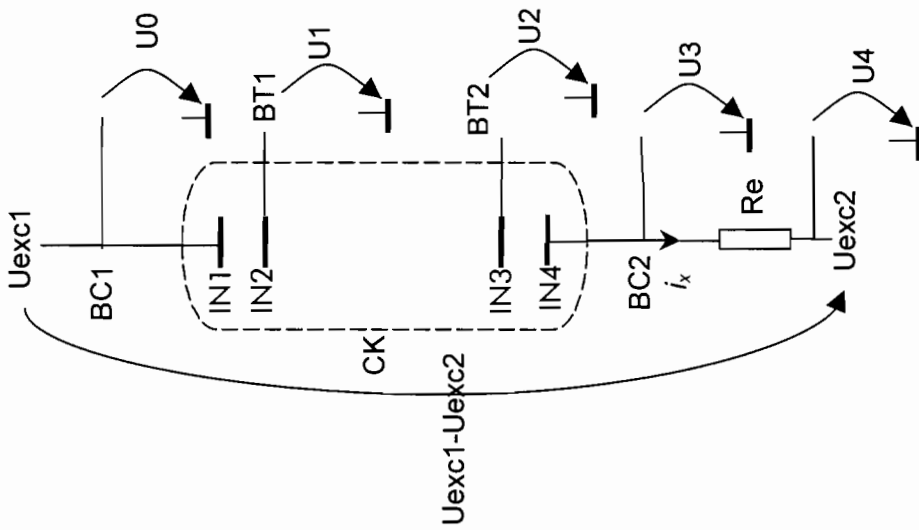


Fig. 3

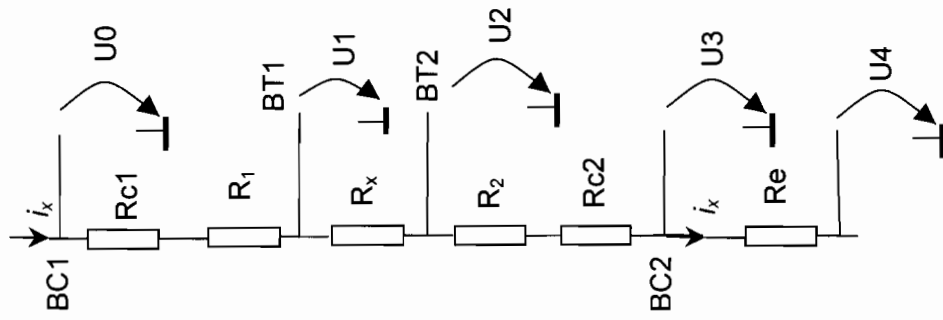


Fig. 4

Chakraborty Mir

Chakraborty & Sankaran

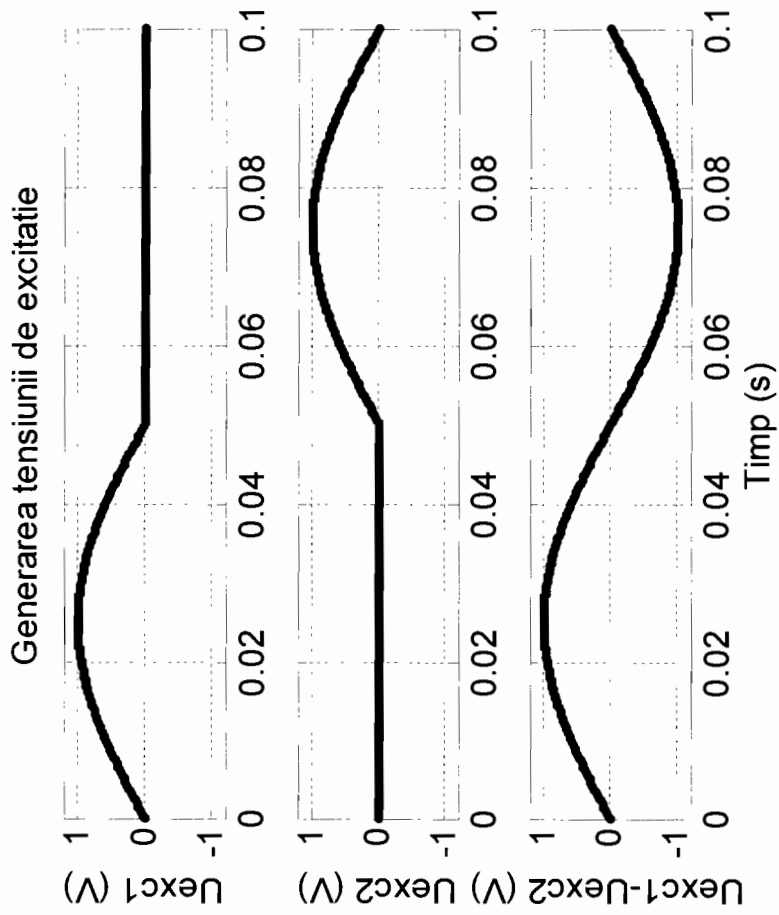


Fig. 5

Cluluta

Mi

Chy Derosu

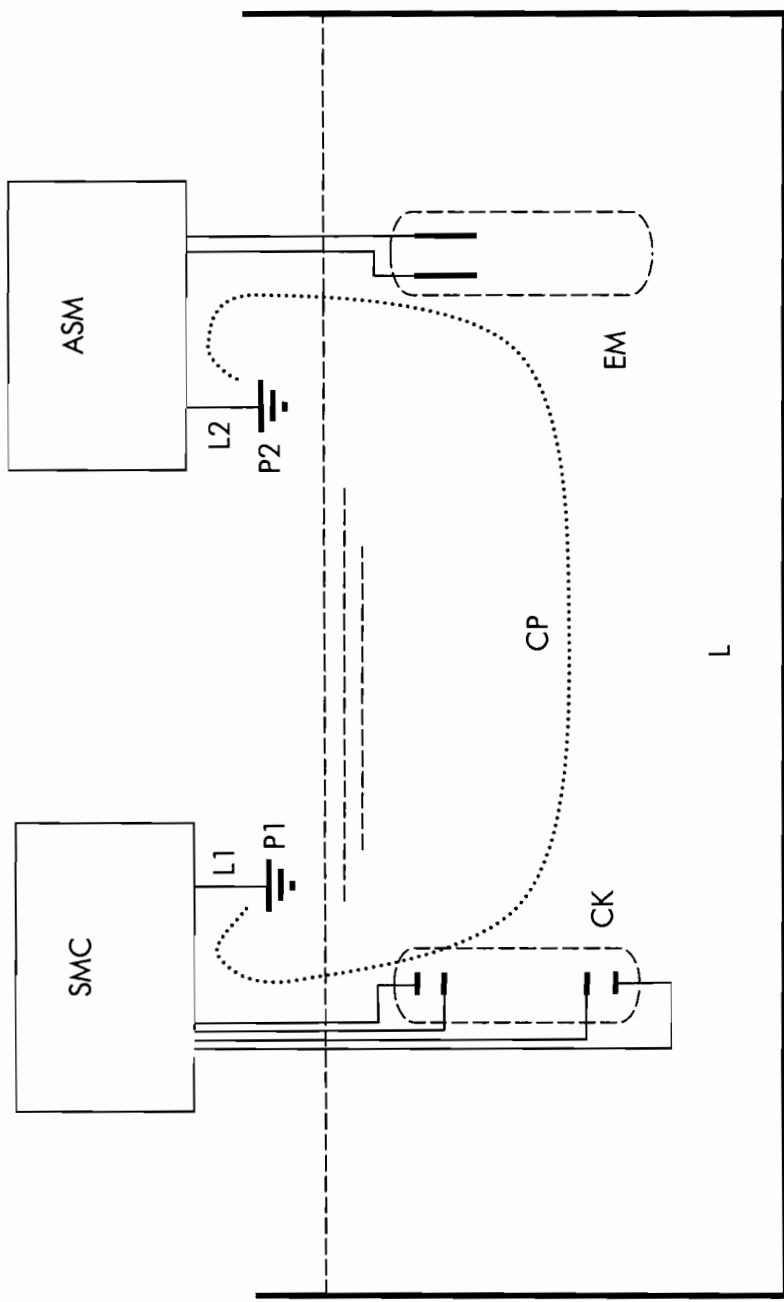


Fig. 6

Abulhasan Mir

Shayy Ebrahim

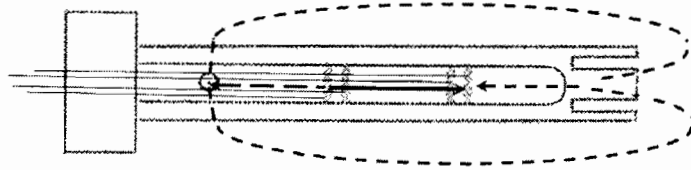


Fig. 7

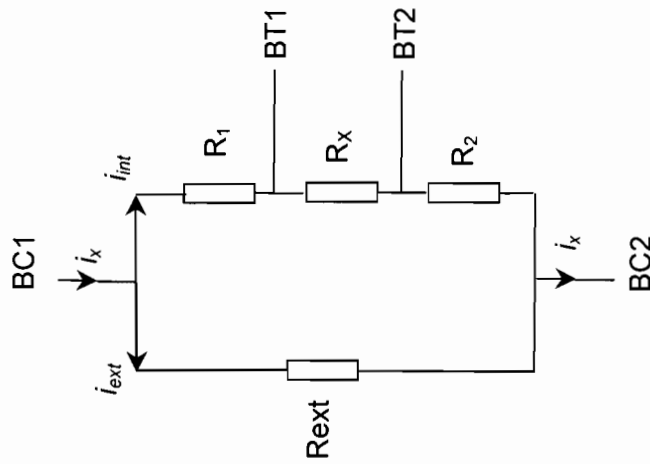


Fig. 8

Chaitanya Agr

Chaitanya Agr

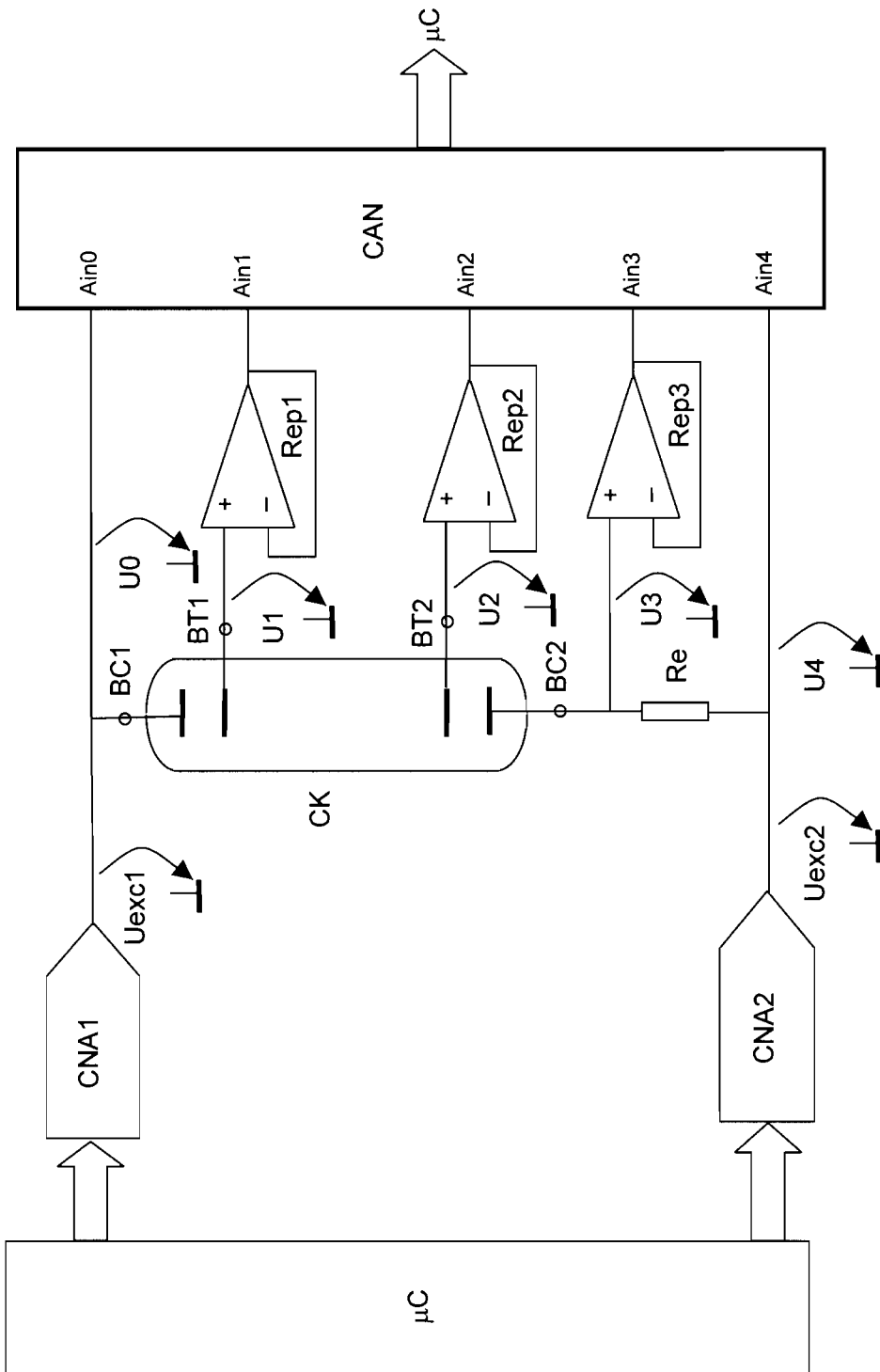


Fig. 9

Chakraborty

Pr

Chakraborty