

Utilizarea metodei rezonanței simulate la măsurarea impedanței lichidelor

Nastas Vitalie, Nicolaev Pavel, Kazak Artur

Departamentul Telecomunicații
Universitatea Tehnică a Moldovei
vitalie.nastas@tlc.utm.md
pavel.nicolaev@tlc.utm.md
artur.kazak@tlc.utm.md

Abstract — This paper is dedicated to implementing the resonance method in liquid impedance measuring devices. Two such devices based on various reference elements and measuring circuits are described in the paper. One of the devices is based on a series resonant circuit with a metrological impedance simulator in its structure, another on a parallel resonant circuit with a metrological admittance simulator.

Termeni cheie — rezonanță simulată, simulator de impedanță, circuit rezonant de măsurare, conductivitate, constantă dielectrică.

I. INTRODUCERE

Metoda rezonanței simulate reprezintă o metodă de echilibrare ce permite măsurarea cu precizie înaltă a componentelor impedanței și admitanței implementată în circuite cu rezonanță [1,2]. Precizia măsurării conform acestei metode este determinată în primul rând de precizia elementului de referință (ER), care în circuitele de măsurare execută funcția de reproducere a unei mărimi etalon, omogenă cu mărimea măsurată (măsura) [3].

În calitate de ER în măsurătoare de impedanță și admitanță cu rezonanță simulate se utilizează simulatoarelor metrologice de mărimi pasive electrice, cunoscute mai pe larg sub denumirea de „simulatoare metrologice de impedanță” (SMI) [4]. În aspect istoric dispozitive de așa natură sunt cunoscute în literatura clasică sub denumirile de „convertor de impedanță” [5], „convertor de rezistență negativă” [6] etc., denumiri, care reflectă particularitățile lor de utilizare în diferite domenii. În continuare, reieșind din domeniul de utilizare și din funcția sa, se utilizează termenul „simulator metrologic de impedanță”, termen, care reflectă pe deplin esența funcțională a acestor dispozitive [7].

II. MĂSURAREA COMPONENTELOR IMPEDANȚEI PRIN METODA REZONANȚEI SIMULATE

SMI asigură reproducerea impedanțelor și admitanțelor virtuale de orice caracter cu posibilitatea reglării independente a componentelor acestora [8]. SMI ce asigură reproducerea admitanțelor virtuale se mai numesc simulatoare metrologice de admitanță (SMA).

Utilizarea SMI în calitate de elemente metrologice impune respectarea unor cerințe. Cele mai importante sunt [9]:

1. Eroare mică și stabilitate înaltă a impedanțelor reproduse;
2. Posibilitatea reproducerii impedanțelor cu orice caracter al componentelor;
3. Reglarea independentă a componentelor impedanței reproduse;
4. Valoarea cunoscută și garantată a erorii sistematice a impedanței reproduse;
5. Comandă digitală a caracterului și valorilor componentelor impedanței reproduse;
6. Lipsa elementelor reactive reglabile (condensatoare variabile, magazine de inductanță și capacitate, etc.).

SMI și SMA pot fi clasificate după mai multe criterii [10], o importanță practică având clasificarea în funcție de componentele reglabile și anume simulatoare în coordonate polare ce asigură reglarea modulului și fazei mărimii complexe reproduse [11,12] și simulatoare în coordonate carteziane ce asigură reglare componentelor activă și reactivă [13,14].

Metoda rezonanței simulate este implementată în circuite rezonante de măsurare (CRM). În funcție de mărimea măsurată, CRM pot fi în conectare serie (pentru impedanță) sau în conectare paralelă (pentru admitanță) [15].

În primul caz, impedanță măsurată se conectează serie cu SMI, iar circuitul se alimentează de la o sursă de curent. Procesul de măsurare constă în echilibrarea CRM prin reglarea componentelor reproduse de SMI urmărindu-se evoluția tensiunii pe cele două componente [16]. În cazul măsurării admitanțelor, mărimea măsurată și SMA sunt conectate paralel într-un CRM alimentat de la o sursă de tensiune, iar în procesul de măsurare se urmărește evoluția curentului prin circuit [17-20].

Metoda rezonanței simulate de măsurarea a mărimilor electrice pasive poate fi larg utilizată și în afara domeniilor electronicii și electrotehnicii, de exemplu în procesul de stabilire a calității materialelor. Acest lucru poate fi realizat prin măsurarea parametrilor electrici ai acestora și compararea ulterioară cu valorile specifice pentru fiecare din ele. Dintre parametrii electrici ai materialelor care pot fi măsuраți prin metoda rezonanței simulate pot fi conductivitate pentru

materialele conductoare sau constanta dielectrică în cazul dielectricilor [21]. În domeniul chimiei aplicate toate metodele de apreciere a calității materialelor prin măsurarea parametrilor electrici sunt cunoscute sub denumirea de metode electrochimice [21].

În continuare se vor descrie două dispozitive de măsurare a componentelor impedanței lichidelor bazate pe metoda rezonanței simulate.

III. DISPOZITIV ÎN BAZA SMI DE MĂSURARE A CONSTANTEI DIELECTRICE A LICHIDELOR

Dispozitivul pentru măsurarea constantei dielectrice are la bază un circuit rezonant de tip serie [22]. Structura unui astfel de dispozitiv este reprezentată în fig. 1.

Dispozitivul conține un generator de semnal sinusoidal G cu frecvența F_G , conectat serie cu un rezistorul R_G și un SMI. Drept borne de conectare a mărimii măsurate servește contactul liber al rezistorului R_G și intrarea SMI. Pentru măsurarea constantei dielectrice lichidelor se utilizează un vas de sticlă VS în care sunt amplasate paralel la o distanță L , două plăci metalice $PM1$ și $PM2$, fiecare cu suprafața S . Aceste plăci se conectează la bornele dispozitivului.

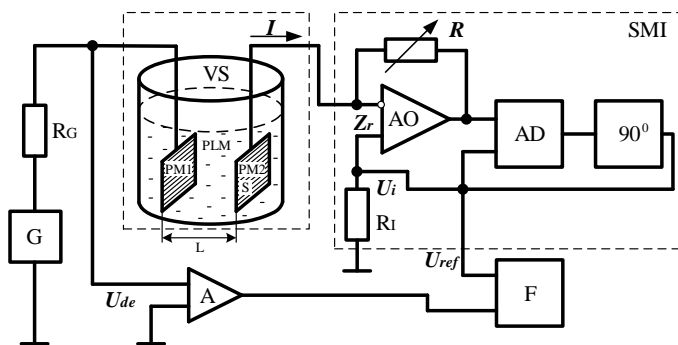


Fig. 1. Schema bloc a dispozitivului bazat pe SMI de măsurare a constantei dielectrice

SMI constă dintr-un amplificator operațional AO, un amplificator diferențial AD și un defazor cu defazaj de 90° . Amplificator operațional AO are conectat un rezistor variabil R în reacția inversă negativă, iar intrarea neinversoare a acestui se conectează printr-un rezistor R_i la punctul comun al circuitului. Amplificatorul diferențial AD este conectat cu o intrare la ieșirea amplificatorului operațional AO iar cu cea de a doua la intrarea neinversoare a acestuia. Ieșirea amplificatorului diferențial se conectează la intrarea defazorului de 90° , ieșirea căruia se conectează la intrarea neinversoare a amplificatorului operațional AO.

Dispozitivul mai conține un amplificatorul A pentru citirea semnalului de dezechilibru și un fazmetru F pentru determinarea momentului de echilibru în circuitul de măsurare.

Măsurătorul funcționează în modul următor:

1. În vasul VS se toarnă lichidul măsurat în volum necesar pentru acoperirea completă a plăcilor $PM1$ și $PM2$.

2. SMI reproduce la clemele de intrare o impedanță de referință Z_r , care împreună cu impedanța plăcilor $PM1$ și $PM2$

Z_x formează un circuit rezonant de tip serie, alimentat cu curent I de generatorul G prin rezistorul R_G .

3. Amplificatorul A amplifică semnalul de dezechilibru U_{de} al circuitului rezonant, iar fazmetrul F măsoară defazajul între semnalele U_{de} și cel de la ieșirea defazorului F U_{ref} , care are aceeași fază cu căderea de tensiune pe componenta reactivă a impedanței reproduce SMI.

4. În procesul măsurării se reglează rezistorul R până la obținerea stării de echilibru a circuitului rezonant, ceea ce corespunde valorii 90° a defazajului între aceste semnale. Diagrama vectorială a procesului de măsurare este prezentată în fig. 2.

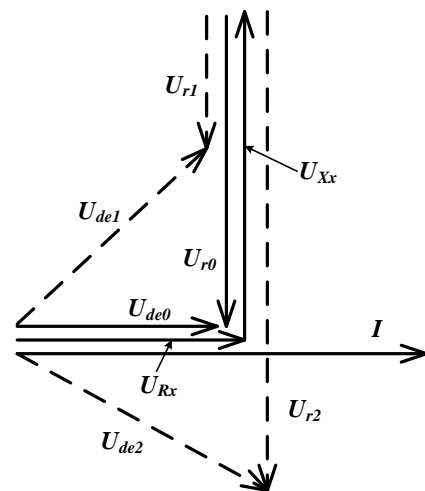


Fig. 2. Diagrama vectorială a procesului de măsurare

În procesul reglării rezistorului R căderea de tensiune pe impedanță Z_r poate primi valorile U_{r1} , U_{r2} , valoarea finală fiind U_{r0} , ceea ce corespunde valorilor semnalului de dezechilibru U_{de1} , U_{de2} și, respectiv, U_{de0} .

La finalizarea procesului de măsurare impedanță reproduce SMI:

$$Z_{r0} = jX_{r0} = -jX_x = -(j2\pi F_G C_X)^{-1} \quad (1)$$

unde: X_x , X_{r0} – componentele reactive ale impedanțelor Z_x și, respectiv, Z_{r0} ; F_G – frecvența semnalului generatorului G ; C_X – capacitatea plăcilor $PM1$ și $PM2$.

După cum se știe, capacitatea C_X a plăcilor $PM1$ și $PM2$, care formează un condensator plan, constituie:

$$C_X = \epsilon \epsilon_0 S / L \quad (2)$$

unde: ϵ , $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$ – constantele dielectrice ale lichidului măsurat și, respectiv, a vidului.

Impedanța reproduce SMI se exprimă în modul următor:

$$X_{X0} = U_i / I_i = R_0 \cdot \sin 90^\circ = R_0 \quad (3)$$

Din relațiile (1), (2), (3) se obține valoarea mărimii ϵ , care constituie rezultatul măsurării:

$$\varepsilon = L / (2\pi \varepsilon_0 F_G S R_0) \quad (4)$$

După valoarea mărimii ε pot fi determinate unele caracteristici, care determină calitatea produsului lichid. De exemplu, pentru produse lactate astfel poate fi determinat conținutul de grăsime.

Exemplu de implementare practică poate servi cazul, în care măsurătorul se utilizează pentru măsurarea constantei dielectrice ε a laptelui. Distanța dintre plăcile **PM1** și **PM2** este $L=10^{-2}$ m, suprafața plăcilor $S=10^{-2}$ m², iar frecvența semnalului generatorului **G** $F_G=10^5$ Hz. În procesul de măsurare se reglează rezistența **R** până la obținerea valorii defazajului între semnalele U_{de} și U_r egale cu 90° , ceea ce corespunde valorii $R_0=3 \cdot 10^3 \Omega$. Valoarea ε se calculează din (4): $\varepsilon = 10^{-2} / (2 \cdot 3,14 \cdot 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 10^5 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^3) \approx 59,5$, ceea ce constituie rezultatul măsurării.

IV. DISPOZITIV ÎN BAZA SMA DE MĂSURARE A IMPEDANȚEI LICHIDELOR

Dispozitivul pentru măsurarea impedanței lichidelor descris în continuare constă dintr-un circuit rezonant de tip paralel format dintr-un SMA și mărimea măsurată [23]. Structura unui astfel de dispozitiv este reprezentată în fig. 3.

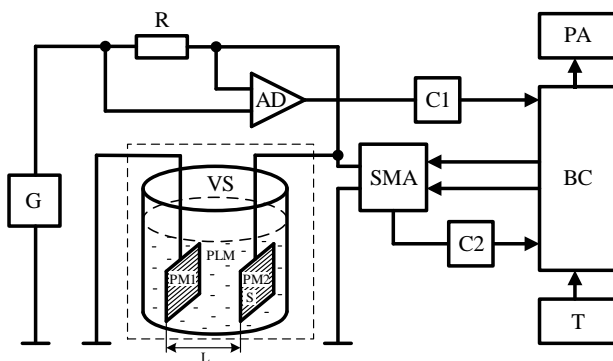


Fig. 3. Schema bloc a dispozitivului bazat pe SMA de măsurare a constantei dielectrice

Măsurătorul de impedanță a produselor lichide include un generator de semnal **G** conectat în serie cu un rezistor **R** și cu un simulator metrologic de admitanță **SMA**. Paralel **SMA** se conectează impedanța măsurată. Impedanța măsurată reprezintă impedanța lichidului din vasul de sticlă **VS** în interiorul căreia sunt amplasate două plăci metalice **PM1** și **PM2** cu suprafața S situate paralel la distanța L una de alta.

Măsurătorul mai conține un bloc de comandă **BC** ce asigură reglarea componentelor admitanței reproduse de **SMA**. Pentru reglarea acestor componente **BC** utilizează informația referitoare la defazajul dintre semnalul de referință și semnalul de dezechilibru.

Tensiunea de referință este formată de către **SMA** iar tensiunea de dezechilibru se citește de pe rezistența **R** cu ajutorul unui amplificator diferențial **AD**. Ambele tensiuni sunt transformate în serii de impulsuri cu ajutorul a două comparatoare **C1** și **C2**.

Totodată, dispozitivul mai conține o tastatură **T** pentru dirijarea cu regimul de lucru și un panou **PA** de afișare a rezultatelor măsurării.

Măsurătorul funcționează în modul următor:

1. Lichidul măsurat cu impedanța caracteristică Z_x (valoarea admitanței corespunzătoare – Y_x) se toarnă în vasul **VS** în volumul necesar pentru acoperirea completă a plăcilor **PM1** și **PM2**.

2. **SMA** reproduce la contactele de ieșire o admitanță de referință Y_R (valoarea impedanței corespunzătoare – Z_R), care împreună cu admitanța măsurată Y_x formează un circuit rezonant paralel alimentat cu tensiune de generatorul **G** prin rezistorul **R**.

3. Amplificatorul **AD** amplifică semnalul de dezechilibru al circuitului rezonant, iar comparatorul **C1** îl transformă în impulsuri dreptunghiulare, care servesc în calitate de semnal de dezechilibru U_{de} pentru blocul de comandă **BC**.

4. Tensiunea în punctul de referință al **SMA**, care are aceeași fază cu curentul prin componenta activă a admitanței de referință, reprodusă de simulator, de asemenea este transformată în impulsuri dreptunghiulare de către comparatorul **C2** și constituie semnalul de referință U_{ref} pentru blocul de comandă **BC**.

5. **BC** efectuează echilibrarea circuitului rezonant prin intermediul reglării componentelor activă G_R și reactivă B_R ale admitanței Y_R . În procesul echilibrării circuitului de măsurare **BC** reglează lin componenta activă G_R până la apariția între semnalele U_{de} și U_{ref} a unui defazaj cu valoarea 270° sau 90° . Concomitent blocul **BC** reglează lin componenta reactivă B_R până la momentul obținerii valorii defazajului sus-numit 0° sau 180° .

La finalul procesului de măsurare blocul de comandă **BC** deține informația despre valorile componente active G_R și componente reactive B_R ale admitanței de referință, după care se determină valorile componente active $R_X = (-G_R)^{-1}$ și componente reactive $X_X = (-B_R)^{-1}$ ale impedanței lichidului măsurat. Prin intermediul tastaturii **T** se introduc așa date inițiale, ca: tipul lichidului măsurat, algoritmul de calcul al caracteristicilor pentru determinarea calității lichidului. Pe baza valorilor măsurate ale R_X și X_X , blocul de comandă **BC** calculează valorile caracteristicilor de calitate respective și le afișează pe panoul **PA**.

Exemplu de implementare practică șervete cazul, în care măsurătorul se utilizează pentru măsurarea rezistenței specifice R_X și a constantei dielectrice ε_x ale laptelui. ε_x se determină din expresia cunoscută în funcție de capacitatea plăcilor C_X , suprafața plăcilor S și distanța între ele L

$$\varepsilon_x = C_X L / \varepsilon_0 S \quad (5)$$

C_X este determinată, la rândul ei, din valoarea măsurată a componente reactive X_X .

Inițial **SMA** reproduce o admitanță de referință cu valoarea componente active $G_R = -10^{-2}$ mSm și a componente reactive $B_R = -10^{-4}$ mSm. În procesul echilibrării circuitului de măsurare, blocul de comandă **BC** reglează lin componenta activă G_R până la apariția între semnalele U_{de} și U_{ref} a unui defazaj cu valoarea

90°, ceea ce corespunde valorii $G_R = -0,014$ mSm sau $R_R = -70$ k Ω . Concomitent blocul de comandă **BC** reglează și componenta reactivă B_R până la obținerea pentru defazajul dintre semnalele U_{de} și U_{ref} a valorii 0°, ceea ce corespunde valorii $B_R = -0,2 \cdot 10^{-3}$ mSm sau $X_R = -5 \cdot 10^3$ k Ω . La finalul procesului de echilibrare componentele impedanței măsurate se determină:

$$\begin{aligned} R_X &= -R_R = -(-70)\text{k}\Omega = 70 \text{ k}\Omega, \\ X_X &= -X_R = -(-5 \cdot 10^3)\text{k}\Omega = 5 \cdot 10^3 \text{ k}\Omega. \end{aligned} \quad (6)$$

Blocul de comandă **BC** calculează valorile măsurate R_X , X_X în valorile mărimilor R_X și ϵ_x , pe care le afișează pe panoul **PA**.

V. CONCLUZII

Utilizarea efectului rezonanței simulate la stabilirea calității diferitor materiale, ar permite obținerea unor rezultate mult mai precise și asta datorită preciziei înalte de măsurare a parametrilor electrici a acestor materiale: conductivitatea și constanta dielectrică. Utilizarea efectului rezonanței simulate în cadrul metodei electrochimice ar permite o mai bună apreciere a purității apei, a cantității de grăsimi a laptelui, a calității produselor alcoolice, petroliere și altele.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Nastas V., Nicolaev P. Măsurarea impedanței în coordonate carteziene prin metoda rezonanței simulate// Conference ICMCS, Chișinău, pag.65...68, 2009.
- [2] Nastas V., Nicolaev P. Methods and devices with simulated resonance for impedance measurement// Catalog of the European exhibition of creativity and innovation EUROINVENT 2013, Iași, Editura Universității Al. Ioan Cuza, 2013, pag 71.
- [3] Nastas V., Metodă de măsurare a componentelor impedanței// Brevet de invenție nr. 447MD. BOPI nr. 11, 2011.
- [4] Nastas, V. Synthesis of Cartesian coordinates metrological impedance simulators// Moldavian Journal of the Physical Sciences, 2008, vol. 7, nr 4, pag. 481-490.
- [5] Bening, F. Negative widerstande in elektronischen schaltungen. Berlin: Veb verlag, 1971. 288 p.
- [6] Carter B., Huelsman L. P. Handbook of operational amplifier active RC networks. Dallas: Texas Instruments, 2001. 85 p.
- [7] Nastas V. Metrological simulators of electrical passive quantities with algorithmic structure, Mold. J. Phys. Sci. Vol 9, Nr. 1, Chișinău, pag.85...102, 2010.
- [8] Nicolaev P. Modelarea topologică a simulatoarelor de impedanță în coordonate carteziene// International Conference Telecommunications, Electronics and Informatics 2010, vol. II, pag. 264-267
- [9] Nastas V. Application of the impedance simulators as measure of impedance. Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, Nr. 33, Craiova, pag.159...163, 2009.
- [10] Nicolaev P. Modelarea simulatorului de impedanțe flotante în programul Multisim. În: culegere de lucrări științifice la Conferința Tehnico-Științifică a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților UTM, 2008, vol I, p. 51-52
- [11] Nastas V., Nicolaev P. Convertor de impedanță// Brevet de invenție nr. 639MD. BOPI nr. 5, 2013.
- [12] Nastas V., Nicolaev P. Convertor de admitanță// Brevet de invenție nr. 90MD. BOPI nr. 9, 2009.
- [13] Nastas V., Nastas A. Convertor de impedanță// Brevet de invenție nr. 3154MD. BOPI nr. 9, 2006
- [14] Nastas V., Convertor de admitanță// Brevet de invenție nr. 4361MD. BOPI nr. 12, 2007.
- [15] Nicolaev P. Măsurătoare de impedanță cu rezonanță simulată în coordonate carteziene. Teză de doctor. Chișinău 2017, 168 pag.
- [16] Nastas V., Dispozitiv pentru măsurarea componentelor impedanței // Brevet de invenție nr. 2248MD. BOPI nr. 08, 2003.
- [17] Nastas V., Nicolaev P., Metodologie de măsurare a impedanței pe baza efectului rezonanței simulate. În: Catalogul Expoziției internaționale specializată INFOINVENT 2013, Chișinău, p. 79-80.
- [18] Nastas V., Nicolaev P. Technics for measurement the impedance components. In: Catalog of the European exhibition of creativity and innovation EUROINVENT 2011, Iași: Tehnopress, p. 88-89.
- [19] Nastas V., Nicolaev P. Tehnici de măsurare a componentelor impedanței. În catalogul Expoziției internaționale specializată INFOINVENT 2011, Chișinău, 2011, p 79
- [20] Nastas V., Nicolaev P. Tehnici de măsurare a componentelor impedanței. Catalog, Salonul internațional de invenție PROINVENT, ediția a IX-a, 2011, Cluj-Napoca: Utpress, 2011.
- [21] Nașcu H. I., Jäntschi L. Chimie Analitică și Instrumentală, Cluj-Napoca: AcademicPres : AcademicDirect, 2006, 543 pag.
- [22] Nastas V. și alții, Dispozitiv pentru măsurarea componentelor impedanței a produselor lichide// Brevet de invenție nr. 1101MD. BOPI nr. 11, 2016.
- [23] Nastas V. Dorogan V, Măsurător de impedanță a produselor lichide // Brevet de invenție nr. 1142MD. BOPI nr. 04, 2017.