

Măsurarea impedanţei în coordonate Carteziene prin metoda rezonanţei simulate

Vitalie NASTAS, Pavel NICOLAEV
Technical University of Moldova
v_nastas@yahoo.com, pavel_nic@yahoo.com

Abstract — This work describes the structure of the current commanded Cartesian coordinates impedance simulator, the modelling and analysis of the serial resonance circuit equilibration process using the simulation program MULTISIM, and the Cartesian coordinates impedance meter structure. The simulator structure was improved by detecting and removing its disadvantages. The result of circuit equilibration using MULTISIM confirms totally the theoretical analysis.

Index Terms — componenta activă, componenta reactivă, impedanţmetru, rezonanţă simulată, simulator de impedanţă.

I. INTRODUCERE

Metoda de măsurare a impedanţelor bazată pe efectul rezonanţei simulate deschide noi perspective de realizare unor impedanţmetre de precizie înaltă cu structura simplă [1]. În impedanţmetre se utilizează metoda de măsurare prin echilibrare, în care impedanţa măsurată se compară cu impedanţa etalon în structura unui circuit rezonant. Impedanţa etalon este reglabilă şi se reproduce de către un simulator de impedanţă metrologic (SIM), iar echilibrarea circuitului rezonant are loc prin intermediul reglării impedanţei etalon până la atingerea stării de echilibru în circuitul de măsurare. Precizia măsurării este determinată în primul rând de precizia elementului de referinţă.

Aplicarea practică a metodei este posibilă în circuite cu rezonanţă serie sau paralelă. În dependenţă de mărimea primară de intrare, SIM pot fi de tip comandate în curent sau comandate în tensiune. SIM comandate în curent sunt utilizate în circuite rezonante de tip serie alimentate de la sursă de curent, iar SIM comandate în tensiune – în circuite rezonante de tip paralel cu alimentare de la o sursă de tensiune.

În dependenţă de tipul SIM utilizat, rezultatul nemijlocit al măsurării poate fi obţinut în coordonate polare sau în coordonate Carteziene. Pentru obţinerea rezultatului în coordonate Carteziene în circuitul rezonant în calitate de element etalon se va utiliza un simulator de impedanţă în coordonate Carteziene.

Către SIM sunt definite o serie de cerinţe metrologice, cele mai importante fiind reproducerea impedanţelor de orice caracter cu reglarea independentă a componentelor acestora, eroare mică şi cunoscută a impedanţei reproduse şi stabilitate înaltă a acesteia. O calitate deosebită a SIM este lipsa elementelor reactive reglabile. Aceste calităţi ale SIM pot fi asigurate în circuite pe bază de amplificatoare operaţionale cu reacţii pozitive şi negative. O cerinţă deosebită este necesitatea asigurării stabilităţii SIM, ceea ce se atinge prin prevalarea reacţiei negative asupra reacţiei pozitive.

Comanda digitală cu caracterul şi valoarea impedanţei reproduse se asigură prin utilizarea convertoarelor digital-analogice ca elemente reglabile.

II. SIMULATORUL DE IMPEDANŢĂ ÎN COORDONATE CARTEZIENE

Simulatoarele de impedanţă metrologice în coordonate Carteziene (SIM-C) prezintă circuite electronice, care asigură reproducerea impedanţelor cu orice caracter şi cu posibilitatea reglării independente a componentelor activă şi reactivă. Ele sunt utilizate la măsurarea impedanţei în calitate de elemente de referinţă.

Schema bloc a unui simulator de impedanţă în coordonate Carteziene comandat în curent este reprezentată în fig. 1.

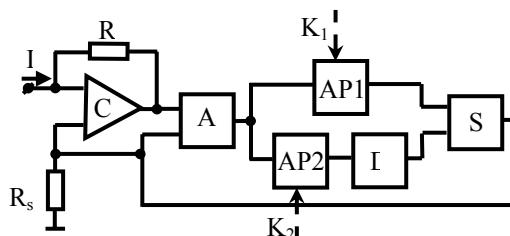


Fig. 1. Simulatorul de impedanţă comandat în curent

SIM-C conţine un convertor curent-tensiune C cu rezistenţa de intrare zero şi factorul de conversie R, care transformă curentul de intrare în tensiune. Ieşirea convertorului este conectată la un amplificator diferenţial A, care este utilizat pentru eliminarea efectului reacţiei comune în circuit. Pentru reglarea componentei active a impedanţei reproduse este utilizat amplificatorul programabil AP1, pentru reglarea componentei reactive – amplificatorul programabil AP2. Defazorul D introduce un defazaj de 90° pentru formarea componentei reactive a impedanţei reproduse. Tensiunea de ieşire, aplicată la intrarea convertorului curent-tensiune, împreună cu curentul de intrare, reproduce o impedanţă virtuală la intrarea simulatorului.

Schema principală a simulatorului în conformitate cu schema bloc este prezentată în fig. 2.

Toate componentele simulatorului de impedanţă sunt implementate pe baza amplificatoarelor operaţionale (AO).

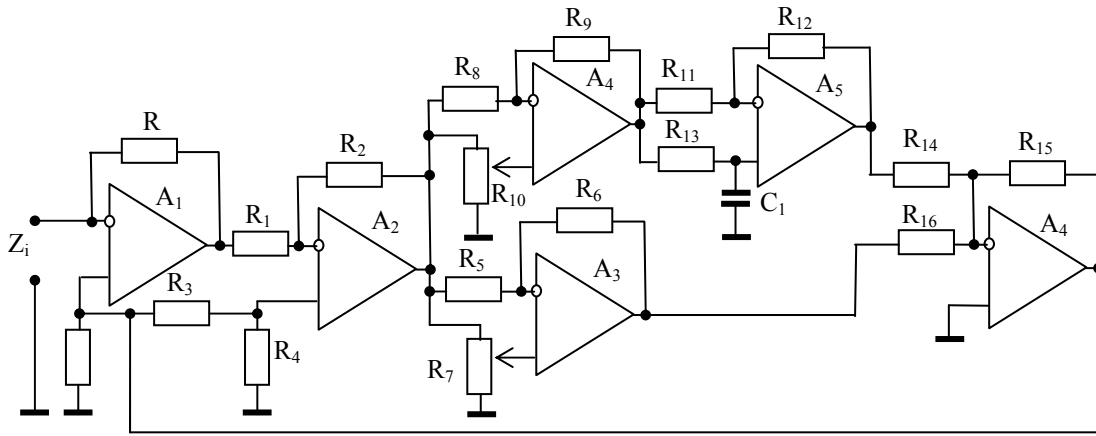


Fig. 2. Circuitul de bază al SIM-C comandat în curent

Convertorul curent-tensiune este implementat pe AO A₁ și rezistența R, care constituie și factorul de conversie. Amplificatorul diferențial A este alcătuit din AO A₂ și rezistențele R₁-R₄ de valori identice, astfel se asigură un coeficient de transfer K_d=1. Amplificatorul programabil AP1 este realizat în baza AO A₃, rezistențele R₅, R₆ și potențiometrul R₇. Reglarea potențiometrului de la maxim la minim determină modificarea coeficientului de amplificare K₁ de la -1 la +1. Amplificatorul programabil AP2 este compus din AO A₄, rezistențele R₈, R₉ și potențiometrul R₁₀. Defazorul D este alcătuit din AO A₅, rezistențele R₁₁-R₁₃ și condensatorul C₁. Valorile rezistenței R₁₃ și a capacității C₁ sunt alese în așa mod ca defazajul introdus să constituie 90° la frecvența semnalului de măsurare. Sumatorul S este realizat pe AO A₆ și rezistențele R₁₄-R₁₆.

Conform [2], impedanța reprodusă de acest simulator este determinată de relația:

$$Z_i = R_i + jX_i = K_1R - jK_2R \quad (1)$$

unde: R_i – componenta activă a impedanței reproduse, X_i – componenta reactivă, R – coeficientul de conversie curent-tensiune, K₁, K₂ – coeficienții de amplificare ai amplificatoarelor programabile AP1 și respectiv AP2.

Întrucât K₁ și K₂ variază în banda de valori -1 - +1, din relația (1) rezultă că valorile componentelor impedanței reproduse sunt limitate de valoarea coeficientului de conversie R. Pentru soluționarea acestei probleme, structura simulatorului a fost modificată prin introducerea a două amplificatoare programabile cu reglare în trepte a coeficientului de amplificare. Primul din ele este conectat la ieșirea amplificatorului AP1 și asigură schimbarea benzii de valori a componentei active, iar al doilea – la ieșirea amplificatorului AP2 și asigură schimbarea benzii de valori a componentei active. Schema bloc a noului simulator este reprezentată în fig. 3.

Ținând cont de relația (1), impedanța reprodusă de simulatorul perfecționat se va determina de relația:

$$Z_i = R_i + jX_i = K_3K_1R - jK_4K_2R \quad (2)$$

unde K₃, K₄ – coeficienții de amplificare în trepte a

amplificatoarelor programabile AP3 și respectiv AP4.

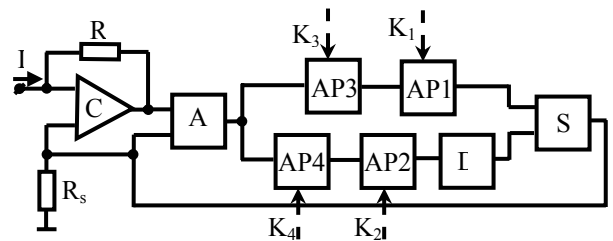


Fig. 3. Structura SIM-C cu reglare independentă a benzilor de reglare a componentelor

I. CIRCUITUL DE MĂSURARE

Studierea circuitelor simulatoare de impedanță este posibilă doar în componență unui circuit rezonant de tip serie sau de tip paralel.

Schema bloc a unui circuit rezonant de tip serie este reprezentată în fig. 4. Circuitul rezonant se alimentează cu curent stabil I_G de la generatorul G conectat în serie cu impedanța măsurată Z_M și simulatorul de impedanță comandat în curent SIM-I.

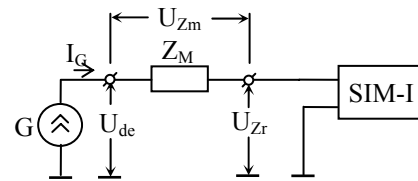


Fig. 4. Circuitul rezonant serie

Drept semnal de dezechilibru servește tensiunea U_{de}, iar pentru echilibrarea circuitului rezonant de tip serie se vor regla componentele impedanței reproduse de SIM-I. În procesul de echilibrare a circuitului rezonant serie, faza semnalului de dezechilibru se compară cu faza unui semnal de referință produs de convertor, faza căruia coincide cu faza curentului prin circuitul rezonant.

Procesul de echilibrare constă din 2 etape (fig. 5): la prima etapă (fig. 5.b) se reglează componenta activă a impedanței reproduse până la obținerea unui defazaj de 180° între semnalul de dezechilibru și semnalul de referință; la etapa a doua (fig. 5.c) se reglează componenta

reactivă a impedanței reproduce până la obținerea valorii nule a semnalului de dezechilibru [3].

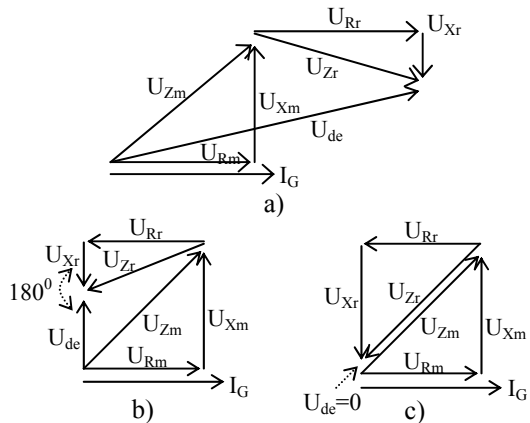


Fig. 5. Echilibrarea circuitului rezonant serie: a. - etapa de dezechilibru, b. - echilibrarea după componenta activă, c. - echilibrarea după componenta reactivă

La echilibrarea circuitului tensiunea U_{de} este:

$$U_{de} = U_{Zm} + U_{Zr} = I_G (Z_M + Z_i) = 0 \quad (3)$$

Impedanța măsurată Z_M la fel ca impedanța de referință Z_i poate fi reprezentată în coordonate Carteziene:

$$Z_M = R_M + jX_M \quad (4)$$

Din relațiile (2), (3) și (4) rezultă:

$$I_G [(R_M + jX_M) + (R_i + jX_i)] = 0 \quad (5)$$

Soluțiile ecuației (5) sunt:

$$R_M = -R_i, \quad X_M = -X_i \quad (6)$$

La modelarea circuitului rezonant serie în programul Multisim (fig. 6) în calitate de generator de curent s-a utilizat un generator de tensiune V1 cu rezistența internă mare $R1=10 \text{ M}\Omega$. Impedanța măsurată este modelată cu

rezistența $R2=1 \text{ k}\Omega$ și condensatorul $C1=5 \text{ nF}$ și este conectată în serie cu generatorul V1 și SIM-I.

Procesul de echilibrare constă din aceleași două etape și este prezentat în fig. 7. La intrarea B a osciloscopului este aplicat semnalul de referință de la ieșirea defazorului (marcat „o”), iar la intrarea A semnalul de dezechilibru (marcat „x”). Inițial se modifică componenta activă prin reglarea potențiometrelor R10 și R15 până la obținerea unui defazaj de 180° între aceste semnale (fig. 7, a), apoi la intrarea B se aplică semnalul de la generatorul de tensiune V1 și se modifică componenta reactivă prin potențiometrele R12 și R18 până când semnalul de dezechilibru ajunge la valoarea 0 (fig. 7, b).

Componenta activă a impedanței reproduce se determină cu relația:

$$R_i = R_3 \cdot \left(R_{10} \cdot \frac{c\%}{100\%} + 1 \right) \left(2 \cdot \frac{100\% - a\%}{100\%} - 1 \right) \quad (7)$$

unde a și c - procentajul de variație a potențiometrelor R10 și R15. Aceste mărimi vor avea valorile $a=76\%$ și $c=10\%$ la echilibrarea circuitului după componenta activă. Conform relației (3) se obține $R_i=-105,04 \text{ k}\Omega$.

Componenta reactivă a impedanței reproduce se determină cu relația:

$$R_i = R_3 \cdot \left(R_{12} \cdot \frac{d\%}{100\%} + 1 \right) \left(2 \cdot \frac{100\% - b\%}{100\%} - 1 \right) \quad (8)$$

unde b și d - procentajul de variație a potențiometrelor R12 și R18. Aceste mărimi vor avea valorile $b=58\%$ și $d=10\%$ la echilibrarea completă a circuitului. Conform relației (4) se obține $X_i = -32,32 \text{ k}\Omega$. Conform (1) impedanța reprodușă de simulator v-a avea valoarea:

$$Z_i = R_i + jX_i = -105,04 - j32,32 \quad (9)$$

Impedanța măsurată, conform valorilor C1 și R2 constituie:

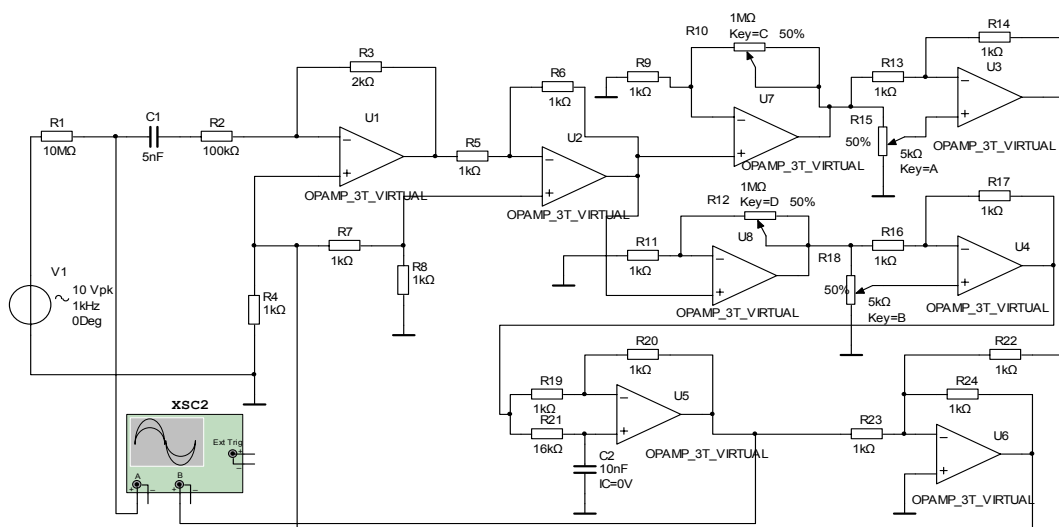
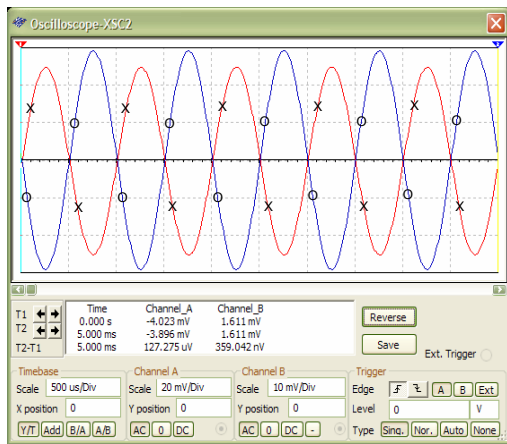


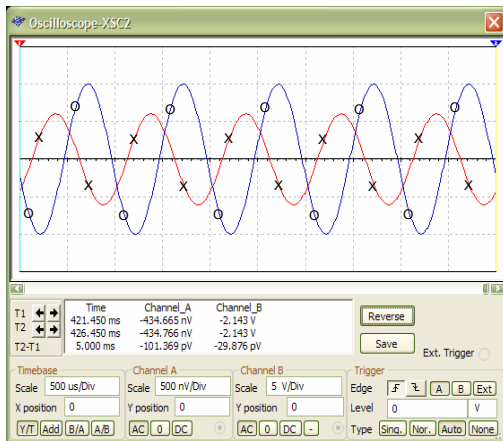
Fig. 6 Circuitul rezonant serie modelat în Multisim

$$Z_M = R_2 + j \frac{1}{2\pi f C} = 100 - j31,847 \quad (10)$$

unde f – frecvenţa semnalului generatorului G . Relațiile (9) și (10) confirmă pe deplin analiza teoretică



a)



b)

Fig. 7. Echilibrarea circuitului rezonant serie modelat în multisim: a. echilibrarea după componenta activă, b. echilibrarea după componenta reactivă

II. IMPEDANȚMETRU ÎN COORDONATE CARTEZIENE

Impedanțmetrul în coordonate Carteziene are la bază un circuit rezonant de măsurare de tip serie și un circuit simulator de impedanță comandat în curent [4]. Structura unui astfel de impedanțmetru este reprezentată în fig. 8.

Impedanțmetru mai conține un amplificator A care amplifică semnalul de dezechilibru U_{de1} care apoi este transformat în semnal digital cu ajutorul convertorului analogic-digital CAD și transmis unității de comandă CU . Comparatorul C_1 transformă același semnal de referință amplificat U_{de1} în serie de impulsuri U_{de2} care vor servi la fixare fazei semnalului de dezechilibru.

Drept semnal de referință servește seria de impulsuri U_{ref} formată de comparatorul C_2 . La intrarea comparatorului C_2 se aplică un semnal care coincide în fază cu componenta reactivă a impedanței reproduse de $SIM-I$, semnal cules de

la ieșirea defazorului din structura acestuia. Unitatea de comandă realizează echilibrarea circuitului de măsurare conform celor 2 etape. Inițial CU compară faza semnalului de dezechilibru cu faza semnalului de referință, adică se compară seria de impulsuri U_{de2} cu seria de impulsuri U_{ref} .

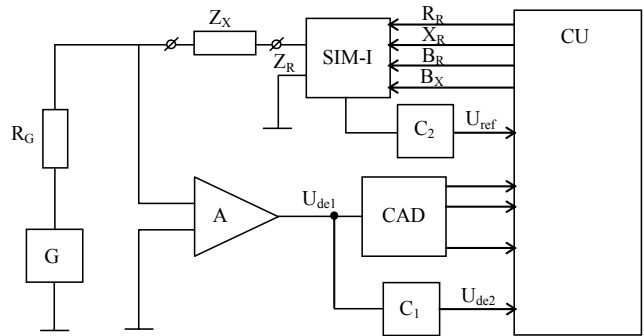


Fig. 8 Structura impedanțmetrului

Pentru a obține defazajul de 180^0 între acestea, se reglează componenta activă a impedanței reproduse R_R . Dacă acest lucru nu se realizează la variația R_R de la minim la maxim, unitatea de comandă modifică cu o treaptă banda de variație a acesteia B_R și procedura se repetă până la obținerea defazajului de 180^0 .

La a doua etapă se reglează componenta reactivă a impedanței reproduse X_R până la obținerea valorii nule pentru semnalul de dezechilibru. Dacă acest lucru nu se realizează la variația X_R de la minim la maxim, unitatea de comandă modifică cu o treaptă banda de variație a acesteia B_X și procedura se repetă până la echilibrarea circuitului de măsurare.

III. CONCLUZII

Măsurarea impedanței prin metoda rezonanței simulate asigură precizie înaltă, simplitatea procesului de măsurare și automatizarea acestuia. Precizia înaltă este determinată de precizia impedanței reproduse de simulator.

Utilizarea simulatorului de impedanță comandat în curent cu reglare independentă a componentelor în coordonate Carteziene asigură un algoritm simplu de măsurare pentru impedanțe cu orice caracter. Echilibrarea circuitului de măsurare este complet automată, lucru datorat utilizării convertoarelor digital – analogice și excluderii elementelor reactive reglabile.

REFERINȚE

- [1] V. Nastas, M. Scînteianu, "The impedance measurement by method of simulated resonance" Proceedings of the 8th Int Conf. OPTIM 2002, vol. 3, pp 683-688, Brasov, 2002
- [2] V. Nastas, A. Nastas. Impedance converter. Patent MD 3154. Publ. BOPI nr. 9, 2006, Chishinau, MD
- [3] V. Nastas, V. Cojocar. Method of impedance components measurements. Patent MD 3577. Publ. BOPI nr. 4, 2008, Chishinau, MD
- [4] V. Nastas, "Impedanțmetru în coordonate Carteziene" Proceedings of the 2nd Int Conf. ICTEI 2008, vol. 2, pp 207-210, Chishinau, 2008