

# MĂSURAREA IMPEDANȚEI ÎN COORDONATE POLARE PRIN METODA REZONANȚEI SIMULATE

Vitalie NĂSTAS, Diana LISNIC

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract:** *Lucrarea este dedicată analizei și modelării în programul MULTISIM a metodei de măsurare a componentelor impedanței în coordonate polare. Sunt prezentate analiza circuitului de măsurare cu rezonanță simulată serie, a metodei de măsurare în acest circuit, bazată pe trei etape de echilibrare a circuitului, precum și analiza simulatorului de impedanță cu reglare independentă a modulului și fazei. Algoritmii de echilibrare este format din două operații consecutive: reglarea fazei și reglarea modulului impedanței reproduse. Rezultatele modelării confirmă pe deplin analiza teoretică și posibilitatea utilizării programului MULTISIM pentru modelarea circuitelor electronice cu parametri reali și cu algoritmi complicați de funcționare.*

**Cuvinte-cheie:** *impedanță, simulator de impedanță, circuit rezonant serie, reglarea componentelor.*

## 1. Introducere

Este bine cunoscut efectul rezonanței electrice care are loc între două impedanțe cu caracter reactiv diferit, inductiv și capacitiv. Utilizarea acestui efect în tehnica măsurărilor a permis realizarea unor măsurătoare de impedanță cu structuri și algoritmi de măsurare simpli pentru măsurarea cu precizie înaltă a parametrilor bobinelor de inductanță și condensatoarelor (Q-metre). Precizia înaltă de măsurare este asigurată de metoda de măsurare cu echilibrare implementată în Q-metre prin intermediul efectului de rezonanță care, după cum e cunoscut, potențial posedă cea mai înaltă precizie de măsurare. Utilizarea limitată a acestor dispozitive în practica măsurărilor se explică prin următoarele neajunsuri esențiale:

- imposibilitatea măsurării cu precizie înaltă a componentei active a impedanței;
- erorile specifice cauzate de instabilitatea frecvenței semnalului de măsurare și de precizia joasă a elementelor de referință;
- incomoditatea reglării impedanței reproduse de elementul de referință și ca urmare – imposibilitatea automatizării măsurării.

Posibilități vaste pentru aplicarea efectului de rezonanță la măsurarea cu precizie înaltă a impedanțelor cu orice caracter apar la utilizarea în calitate de elemente de referință a impedanțelor simulate, obținute cu ajutorul convertoarelor de impedanță [1]. Efectul este asemănător cu rezonanța clasică, având și unele particularități, din care cauză a fost numit “rezonanță simulată”, iar metoda de măsurare – metoda rezonanței simulate. Datorită particularităților sale, metoda posedă priorități considerabile față de metodele cunoscute de măsurare a impedanței cu precizie înaltă (metoda de punte, de compensare), ceea ce permite utilizarea ei în măsurătoare de impedanță de gamă largă.

## 2. Metoda și circuitul de măsurare.

Efectul rezonanței simulate (ERS) apare într-un sistem format din două mărimi electrice pasive (impedanțe sau admitanțe) alimentat de semnal, dintre care cel puțin una este simulată cu ajutorul unui convertor de impedanță. Similar rezonanței clasice, ERS poate fi obținut în circuite rezonante serie (CRS) (Fig. 1) sau paralele (CRP) și posedă un șir de proprietăți caracteristice și pentru rezonanța clasică. Însă, datorită posibilității reproducerii mărimilor pasive simulate cu caracter diferit, ERS se deosebește esențial de rezonanța clasică.

E necesar de menționat, că termenul de rezonanță se aplică în acest caz din punct de vedere funcțional și trebuie interpretat ca un efect de compensare într-un circuit electric a două mărimi pasive, fazele cărora diferă cu  $180^\circ$  și nu ca o interacțiune între impedanțe inductivă și capacitivă.

Circuitul cu rezonanță simulată serie este reprezentat în fig.1 [2].

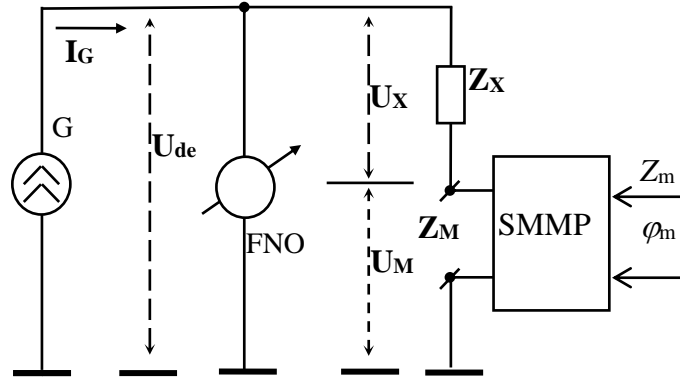


Figura1. Circuitul de măsurare cu rezonanță simulată serie

Dispozitivul constă din generatorul de semnal G, obiectul măsurat  $Z_x$ , indicatorul de nul FNO și simulatorul metrologic de impedanță SMMP conectat în circuitul de măsurare cu polii de ieșire și comandat de mărimile reglabile de referință  $R_m, X_m$ .

Conform metodei de măsurare echilibrarea circuitului se efectuează în trei etape [3] (Fig. 2):

- La prima etapă (Fig. 2.a) la bornele de ieșire ale simulatorului de impedanță se reproduce o impedanță de referință arbitrară  $Z_{r1}$  căderea de tensiune pe care are valoarea  $U_{r1}$ .
- La etapa a doua (Fig. 2.b) prin intermediul reglării fazei  $\varphi_m$  vectorul impedanței de referință  $Z_{r1}$  se rotește până la satisfacerea condiției:

$$U_{de} = \min \quad (1)$$

- La etapa a treia (Fig. 2.c) prin intermediul reglării modulului  $Z_m$  se variază lungimea vectorului impedanței de referință  $Z_{r2}$  pînă la satisfacerea condiției:

$$U_{de} = 0 \quad (2)$$

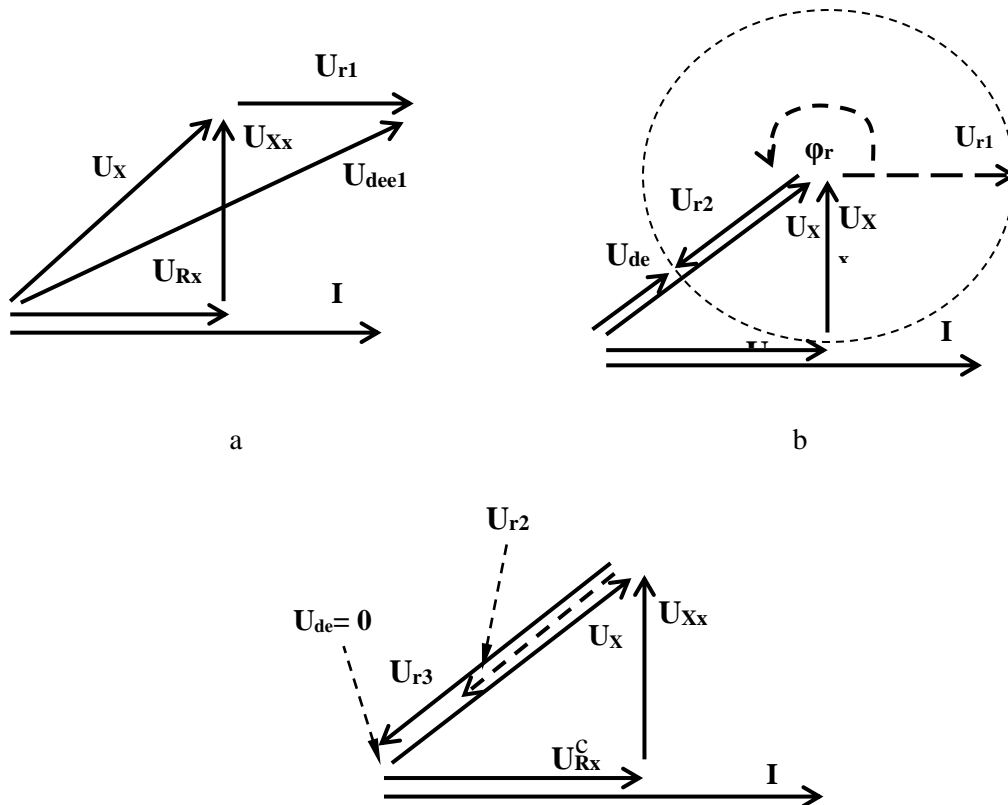


Figura2. Diagrama vectorială a procesului de măsurare  
(a – prima etapă de echilibrare, b – etapa a doua, c – etapa a treia)

Considerînd (1), condiția de echilibru (2) ia forma:

$$\mathbf{I}[Z_X \exp(\mathbf{j}\varphi_X) + Z_r \exp(\mathbf{j}\varphi_r)] = 0 \quad (4)$$

Soluția ecuației (4) este:

$$Z_X = Z_r, \quad \varphi_X = -\varphi_r \quad (5)$$

După cum rezultă din (5), la terminarea procesului de măsurare modulul și faza impedanței necunoscute se exprimă respectiv prin modulul și faza impedanței de referință.

Din expresiile (5) pot fi determinate componentele impedanței necunoscute, reprezentate prin circuit echivalent serie sau paralel. De exemplu, pentru circuitul echivalent serie în coordonate Carteziane:

$$R_X = -R_r = -Z_r \cos \varphi_r, \quad X_X = -X_r = -Z_r \sin \varphi_r \quad (6)$$

### 3. Simulatorul metrologic de impedanță

Dispozitivul prezintă un SMMP comandat în curent pentru reproducerea impedanțelor simulate în coordonate polare cu un pol conectat la masă (::). El se utilizează în calitate de element de referință în impedanțmetre polare, care asigură măsurarea nemijlocită a modulului și fazei impedanței. Structura SMMP este reprezentată în fig. 3

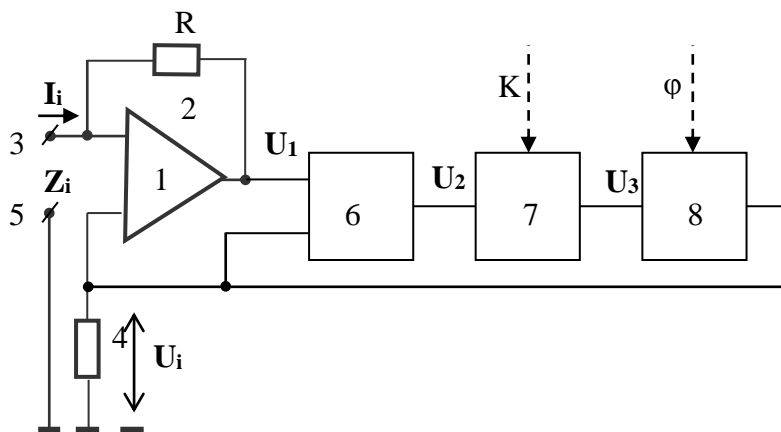


Figura 3. Structura simulatorului de impedanță

Simulatorul de impedanță funcționează în modul următor. Amplificatorul operațional 1 și rezistorul 2 cu rezistența  $R$  formează un convertor de curent în tensiune. Tensiunea  $U_1$  la ieșirea lui constituie:

$$U_1 = -I_i \cdot R + U_i \quad (7)$$

unde:  $I_i$  – curentul de intrare,  $R$  – impedanța rezistorului 2,  $U_i$  – căderea de tensiune pe rezistorul 4. Tensiunea  $U_i$  la ieșirea defazorului 8 formează căderea de tensiune pe rezistorul 4 și, luând în considerație funcțiile de transfer ale etajelor intermediare, poate fi reprezentată:

$$U_i = K_\varphi \cdot U_3 = -R \cdot K \cdot e^{j\varphi} \cdot I_i \quad (8)$$

Impedanța  $Z_i$ , reprodusă de convertor la polii 3 și 5 se determină:

$$Z_i = U_i / I_i = -R \cdot K \cdot e^{j\varphi} \quad (9)$$

După cum rezultă din (9), modulul impedanței  $Z_i$  reproduce de convertor la contactele 3 și 5 depinde direct proporțional de coeficientul de amplificare  $K$  al amplificatorului 7, iar argumentul ei este egal cu unghiul de fază  $\varphi$  determinat de funcția de transfer a defazorului 8. Reglarea coeficientului de amplificare  $K$

al amplificatorului 7 aduce la variația modului impedanței simulate  $Z_i$ , iar reglarea unghiului de fază  $\phi$  din caracteristica de transfer a defazorului 8 aduce la variația argumentului impedanței reproduse. Pentru aceasta amplificatorul 7 poate fi executat cu reglare digitală a coeficientului de amplificare  $K$ , iar defazorul 8 – cu reglare digitală a defazajului  $\phi$ .

#### 4. Modelarea procesului de măsurare în MULTISIM

Circuitul de măsurare modelat în programul MULTISIM este reprezentat în fig. 4. Etajele circuitului sunt realizate pe bază de amplificatoare operaționale. Pentru reglarea modului impedanței reproduse se utilizează rezistorul variabil  $R_9$ , iar pentru reglarea fazei – rezistorul  $R_{11}$ .

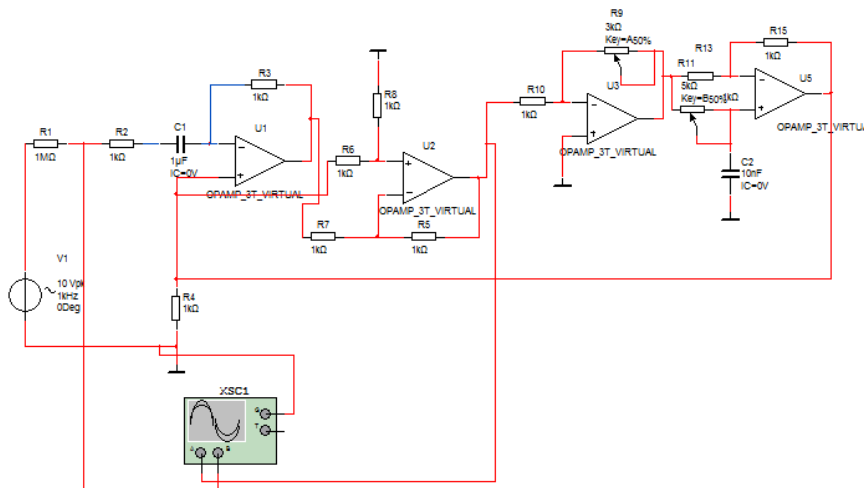


Figura 4. Circuitul de măsurare modelat în MULTISIM.

Din rezultatele modelării (Fig. 5.a,b) rezultă, că la variația rezistențelor  $R_9$ ,  $R_{11}$  are loc micșorarea amplitudinii semnalului de dezechilibru pînă la valoarea zero și trecerea lui în antifază, ceea ce confirmă posibilitatea obținerii condiției de echilibru (4).

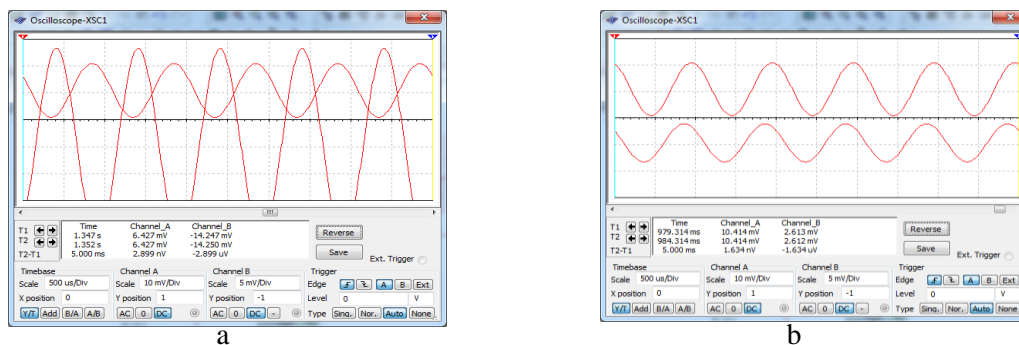


Figura 5. Oscilogrammele semnalelor înainte (a) și după starea de echilibru (b).

#### 5. Bibliografie

1. V. Nastas, M. Scînteianu. Măsurarea impedanței prin metoda de rezonanță, *Meridian ingineresc*, nr. 2, 2001, pp. 70-74, Chișinău, "TEHNICA-INFO", 2001.
2. Brevet MD 2248, autor V. Nastas. *Dispozitiv pentru măsurarea componentelor admitanței*. Chishinău, 2004.
3. Brevet MD 2509, autor V. Nastas. *Metodă de măsurare a componentelor impedanței*. Chishinău, 2005.
4. Brevet MD 2130, autor V. Nastas. *Simulator de impedanță*. Chishinău, 2002