

На закінчення слід зазначити, що в кожному конкретному випадку вибір способу управління повинен визначатися умовами роботи системи, ланкою якої є двигун, і вимогами, що ставляться до цієї ланки.

1. Васильев А.И., Анисимов А.С. *Оптимальные процессы в микроэлектродвигових. – М., 1966.* 2. Арменский Е.В., Фалк Г.Б. *Электрические микромашины. – М., 1985.* 3. Лопухина Е.В. *Асинхронные исполнительные микродвигатели для систем автоматизации. – М., 1988.* 4. Юферов Ф.М. *Электрические машины автоматических устройств. – М., 1988.* 5. Поджаренко В., Кухарчук В., Кулаков П. *Аналіз математичних моделей вимірювального перетворення параметрів асинхронних машин // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1999. – № 55. – С. 153-159.*

УДК 681.2.08

**М. І. Грибок**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра “Інформаційно-вимірювальна техніка”

## **ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДВОКОМПОНЕНТНИХ КОМПЛЕКСНИХ ОПОРІВ МЕТОДОМ ЗМІЩЕННЯ СИСТЕМИ КООРДИНАТ ПО СКЛАДОВИХ ОПОРУ І ПРОВІДНОСТІ**

© Грибок М.І., 2002

**Досліджена можливість вимірювання RLC-параметрів двокомпонентних комплексних опорів у діапазоні частот методом зміщення системи координат по складових опорів.**

**The two-elements complex resistance RLC - parameters in a range of frequencies by the coordinates system displacement method on the resistance components opportunity is investigated.**

**1. Вступ.** Необхідність вимірювання RLC-параметрів двокомпонентних комплексних опорів у діапазоні частот виникає в багатьох галузях науки і техніки [1,2,3], наприклад в хімії, медицині, геології, геофізиці тощо. Найдосконалішими і перевіреними в практиці вимірювань RLC-параметрів є методи зрівноваження (компенсаційні або мостові), які, на жаль, забезпечують високі метрологічні характеристики лише на фіксованих частотах [1, 2]. Такий самий недолік мають і засоби вимірювання, які використовують фазочутливе детектування [4].

Завдяки інтенсивному впровадженню засобів обчислювальної техніки у вимірювальні експерименти і використанню алгоритмічних методів вимірювань [5, 6] з'явилися кардинально нові можливості вимірювання RLC-параметрів у діапазоні частот. У цьому плані було б цікавим використати метод зміщення системи координат [7 – 12]. Як векторні величини можуть розглядатися комплексний опір, комплексна провідність, комплексні складові потужності та комплексні складові напруги і струму (рис. 1).

Розглянемо лише методи вимірювання RLC-параметрів зі зміщенням координат по складових опорів та провідності (рис. 2 і рис. 3).

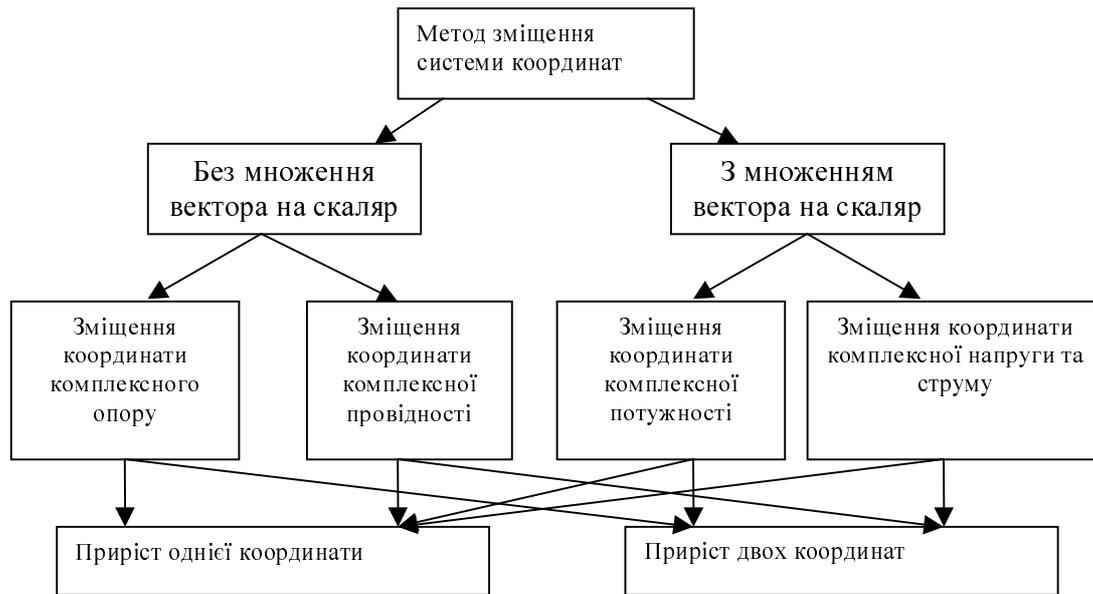
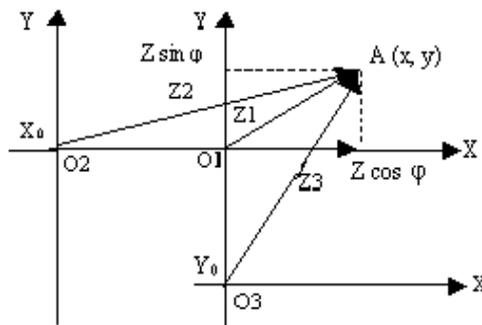


Рис. 1. Класифікація методів вимірювання складових комплексних опорів



$$Z_1^2 = X^2 + Y^2$$

$$Z_2^2 = (X + X_0)^2 + Y^2$$

$$Z_3^2 = X^2 + (Y + Y_0)^2$$

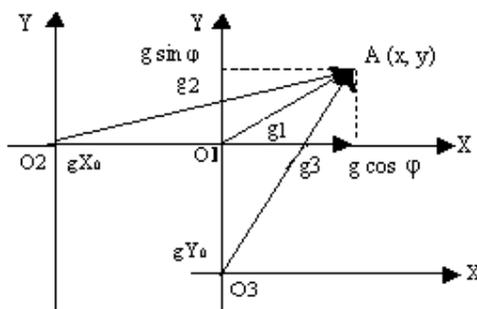
$$X = \frac{Z_2^2 - Z_1^2 - X_0^2}{2X_0}$$

$$Y = \frac{Z_3^2 - Z_1^2 - Y_0^2}{2Y_0}$$

$$O_1O_2 = X_0; \quad O_1O_3 = Y_0;$$

$$Z \cos \varphi = X;$$

Рис. 2. Координатні системи та основні математичні співвідношення при вимірюванні синфазної та квадратурної складових опорів



$$g_1^2 = g_x^2 + g_y^2$$

$$g_2^2 = (g_{x_0} + g_x)^2 + g_y^2$$

$$g_3^2 = g_x^2 + (g_{y_0} + g_y)^2$$

$$g_x = \frac{g_2^2 - g_1^2 - g_{x_0}^2}{2g_{x_0}}$$

$$g_y = \frac{g_3^2 - g_1^2 - g_{y_0}^2}{2g_{y_0}}$$

$$O_1O_2 = g_{x_0}; \quad O_1O_3 = g_{y_0};$$

$$g \cos \varphi = g_x; \quad g \sin \varphi = g_y.$$

Рис. 3. Координатні системи та основні математичні співвідношення при вимірюванні складових провідності

**2. Методи вимірювання параметрів комплексних опорів (провідностей) зі зміщенням системи координат.** Виходячи з теоретичних положень, наведених у [5, 7], синтезуючи методи вимірювання параметрів векторних величин, трансформуємо їх на вимірювання RLC-параметрів двокомпонентних комплексних опорів (провідностей), схеми заміщення яких наведені в табл. 1. Оскільки комплексний опір є двокомпонентною векторною величиною, то синфазні і квадратурні складові векторної величини позначимо відповідно через  $X$  і  $Y$ . Тоді комплексний опір і провідність можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned}\dot{Z} &= X + jY, \\ \dot{g} &= g_x + jg_y.\end{aligned}$$

Введемо поняття зразкового комплексного опору  $\dot{Z}_0$  і провідності  $\dot{g}_0$ .

$$\begin{aligned}\dot{Z}_0 &= X_0 + jY_0, \\ \dot{g}_0 &= g_{x_0} + jg_{y_0}.\end{aligned}$$

Виходячи з [13], маємо такі властивості векторних величин:

$$\begin{aligned}\dot{Z}_x + \dot{Z}_0 &= (X + X_0) + j(Y + Y_0), \\ K \cdot \dot{Z}_x &= KX + jKY, \\ Z^2 &= X^2 + Y^2.\end{aligned}$$

Синтезуючи методи вимірювання RLC-параметрів виходимо з того, що об'єкт досліджень є чорною скринькою з певною схемою заміщення (табл.1). На значення координати  $Y$  можна впливати, змінюючи частоту  $\omega$  струму, що подається на двокомпонентний комплексний опір ДКО чи провідність ДКП. Оскільки порівняти можна лише однорідні величини, то при вимірюванні синфазної складової  $X$  зразковим зміщенням координат може бути лише зразкова величина  $X_0$ . Так само при вимірюванні значення квадратурної складової  $Y$  зразковою величиною при зміщенні системи координат може бути лише зразкова величина  $Y_0$ . При вимірюванні значення квадратурних складових опорів  $\dot{Z}$  як зразкова величина використовується індуктивний опір  $Y_0 = j\omega L_0$  або ємнісний опір  $Y_0 = -j/\omega C_0$ . Залежно від методу вимірювання значення  $Y$  можна знайти при відомих  $Z$  і  $X$ , тобто  $Y = \sqrt{Z^2 - X^2}$ . Своєю чергою, значення координат  $X$  і  $Y$  можна змінювати зміною частоти  $\omega$  струму. Отже,

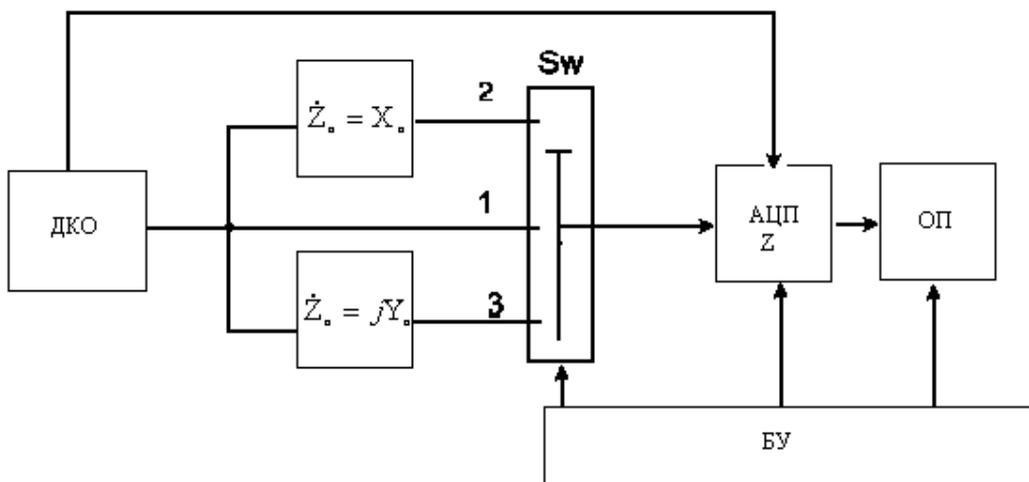


Рис. 4. Узагальнена структурна схема вимірювання RLC-параметрів двокомпонентних комплексних опорів

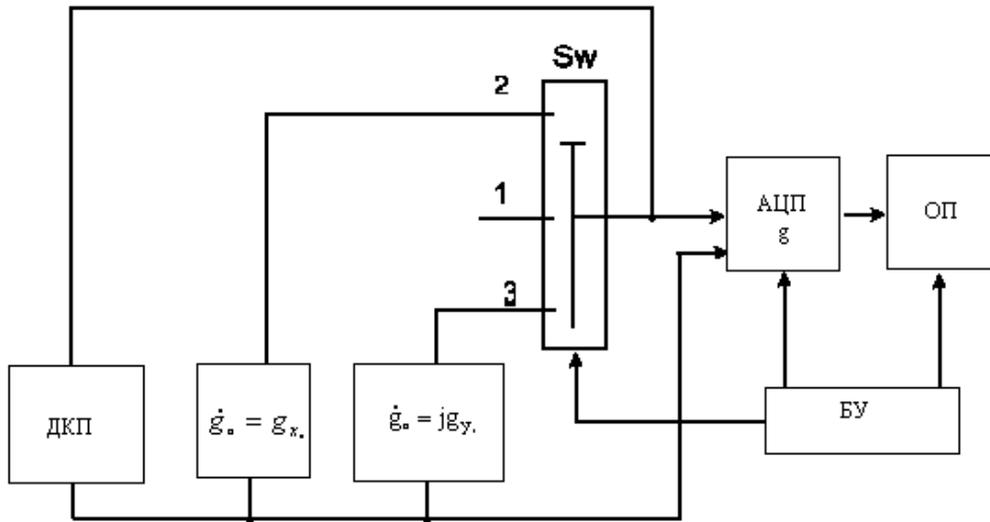


Рис. 5 Узагальнена структурна схема вимірювання RLC-параметрів  
двокомпонентних комплексних провідностей

на координати векторних величин можна впливати як додаванням синфазних чи квадратурних складових  $\dot{Z}_0$ , так і зміною частоти  $\omega$ . Ці два способи послужать надалі основою для синтезу схем вимірювання параметрів ДКО чи ДКП. На рис. 4 і 5 наведені узагальнені структурні схеми вимірювачів RLC-параметрів ДКО і ДКП, де ОП – обчислювальний пристрій, БУ – блок управління, АЦП<sub>z</sub>, АЦП<sub>g</sub> – аналого-цифрові перетворювачі модулів комплексних опорів  $\dot{Z}$  та провідностей  $\dot{g}$  відповідно.

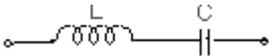
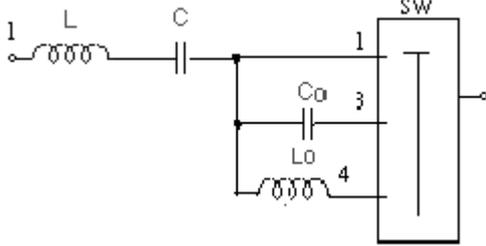
Таблиця 1

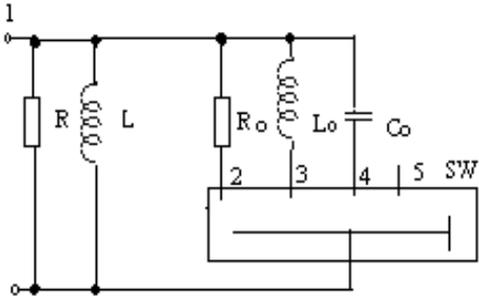
**Схеми заміщення комплексних опорів (провідностей)**

№ з/п	Схема заміщення	Комплексний опір або провідність
1.		$\dot{Z} = R + j\omega L$
2.		$\dot{Z} = R - \frac{j}{\omega C}$
3.		$\dot{Z} = j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$
4.		$\dot{g} = \frac{1}{R} + j\omega C$
5.		$\dot{g} = \frac{1}{R} - \frac{j}{\omega L}$
6.		$\dot{g} = j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$

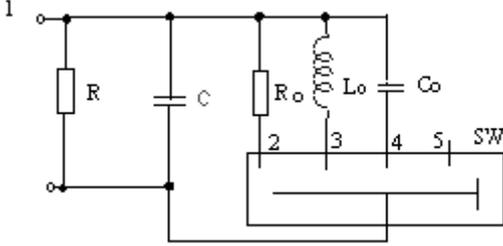
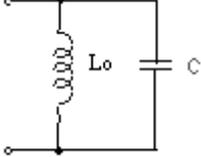
## Схеми заміщення вимірювальних кіл та основні математичні співвідношення

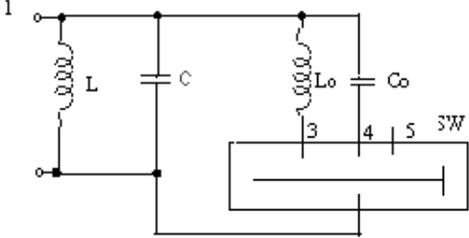
№ з/п	Схема заміщення вимірювального кола	Номинальне рівняння вимірювання
1.	<div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;"> <math>Z_{15}^2 = R^2 + \omega^2 L^2;</math>  <math>Z_{12}^2 = (R + R_0)^2 + \omega^2 L^2;</math>  <math>Z_{13}^2 = R^2 + (\omega L + \omega L_0)^2;</math>  <math>Z_{14}^2 = R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C_0} \right)^2.</math> </p> <p style="text-align: center;">RL-параметри вимірюються лише на одній частоті <math>\omega</math>.</p>	<p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">Алгоритмічні методи із зміщенням двох координат</p> $R = \frac{Z_{12}^2 - Z_{15}^2 - R_0^2}{2R_0};$ $L = \frac{Z_{13}^2 - Z_{15}^2 - \omega^2 L_0^2}{2\omega^2 L_0};$ $L = \frac{Z_{14}^2 - Z_{15}^2 - \frac{1}{\omega^2 C_0^2}}{\left( -2/C_0 \right)};$ <p style="text-align: center;">Із зміщенням однієї координати</p> $R = \frac{Z_{12}^2 - Z_{15}^2 - R_0^2}{2R_0};$ $L = \frac{\sqrt{Z_{15}^2 - R^2}}{\omega};$ <p style="text-align: center;">Двочастотний метод</p> $Z_1^2 = R^2 + \omega_1^2 L^2;$ $Z_2^2 = R^2 + \omega_2^2 L^2;$ $L = \sqrt{\frac{Z_1^2 - Z_2^2}{\omega_2^2 - \omega_1^2}};$ $R = \sqrt{Z_1^2 - \omega_1^2 L^2}.$
2.	<div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;"> <math>Z_{15}^2 = R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2};</math>  <math>Z_{12}^2 = (R + R_0)^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2};</math> </p>	

1	2	3
	$Z_{13}^2 = R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 ;$ $Z_{14}^2 = R^2 + \left( \frac{1}{\omega C} + \frac{1}{\omega C_0} \right)^2 .$ <p>RC-параметри вимірюються лише на одній частоті .</p> $C = \frac{1}{\omega \sqrt{Z_{15}^2 - R^2}} ;$	<p>Двочастотний метод</p> $Z_1^2 = R^2 + \frac{1}{\omega_1^2 C^2} ;$ $Z_2^2 = R^2 + \frac{1}{\omega_2^2 C^2} ;$ $C = \frac{1}{\omega_1 \omega_2} \sqrt{\frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{Z_2^2 - Z_1^2}} ;$ $R = \sqrt{Z_1^2 - \frac{1}{\omega_1^2 C^2}} .$
3.	 $Z_1 = \omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C} ;$ $Z_2 = \omega_2 L - \frac{1}{\omega_2 C} .$ <p><b>Алгоритмічний адитивний двочастотний метод</b></p>  $Z_{11}^2 = \left( \omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C} \right)^2 = \omega_1^2 L^2 - \frac{2L}{C} + \frac{1}{\omega_1^2 C^2} ;$ $Z_{12}^2 = \left( \omega_2 L - \frac{1}{\omega_2 C} \right)^2 = \omega_2^2 L^2 - \frac{2L}{C} + \frac{1}{\omega_2^2 C^2} ;$ $A^2 = Z_2^2 - Z_1^2 = (\omega_2^2 - \omega_1^2) L^2 + \left( \frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \frac{1}{C^2} ;$ $Z_3^2 = \omega_1^2 L^2 - 2L \left( \frac{1}{C} + \frac{1}{C_0} \right) + \frac{1}{\omega_1^2} \left( \frac{1}{C} + \frac{1}{C_0} \right)^2 ;$ $Z_4^2 = \omega_2^2 L^2 - 2L \left( \frac{1}{C} + \frac{1}{C_0} \right) + \frac{1}{\omega_2^2} \left( \frac{1}{C} + \frac{1}{C_0} \right)^2 ;$	<p>Двочастотний метод</p> $C = \frac{(\omega_2^2 - \omega_1^2)}{\omega_1 \omega_2 [\omega_1 Z_2 - \omega_2 Z_1]} ;$ $L = \frac{Z_2 + \frac{1}{\omega_2 C}}{\omega_2} ;$ $C = \frac{2 \left( \frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \frac{1}{C_0}}{B^2 - A^2 - \left( \frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \frac{1}{C_0^2}} ;$ $L = \sqrt{\frac{A^2 - \left( \frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \frac{1}{C^2}}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)}} ;$ $L = \frac{D^2 - A^2 - (\omega_2^2 - \omega_1^2) L_0^2}{2(\omega_2^2 - \omega_1^2) L_0} ;$

1	2	3
	$B^2 = Z_4^2 - Z_3^2 = (\omega_2^2 - \omega_1^2)L^2 + \left(\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}\right)\left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C_0}\right)^2$ $Z_5^2 = \omega_1^2(L + L_0)^2 - \frac{2(L + L_0)}{C} + \frac{1}{\omega_1^2 C^2};$ $Z_6^2 = \omega_2^2(L + L_0)^2 - \frac{2(L + L_0)}{C} + \frac{1}{\omega_2^2 C^2};$ $D^2 = Z_6^2 - Z_5^2 = (\omega_2^2 - \omega_1^2)(L + L_0)^2 + \left(\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}\right)\frac{1}{C^2}.$	$C = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}\right)}{A^2 - (\omega_2^2 - \omega_1^2)L^2}}.$
4.	 $g_{15}^2 = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{\omega^2 L^2};$ $g_{12}^2 = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_0}\right)^2 + \frac{1}{\omega^2 L^2};$ $g_{13}^2 = \frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} + \frac{1}{\omega L_0}\right)^2;$ $g_{14}^2 = \frac{1}{R^2} + \left(\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2.$ <p>RL-параметри вимірюються на одній частоті.</p>	<p>Алгоритмічні методи із зміщенням двох координат</p> $R = \frac{2/R_0}{g_{12}^2 - g_{15}^2 - 1/R_0^2};$ $L = \frac{2/\omega^2 L_0}{g_{13}^2 - g_{15}^2 - 1/\omega^2 L_0^2};$ $L = \frac{-2C_0}{g_{14}^2 - g_{15}^2 - \omega^2 C_0^2};$ <p>Із зміщенням однієї координати</p> $R = \frac{2/R_0}{g_{12}^2 - g_{15}^2 - 1/R_0^2};$ $L = \frac{1}{\omega \sqrt{g_{15}^2 - \frac{1}{R^2}}};$ <p>Двочастотний метод</p> $g_1^2 = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{\omega_1^2 L^2};$ $g_2^2 = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{\omega_2^2 L^2};$ $L = \frac{1}{\omega_1 \omega_2 \sqrt{g_2^2 - g_1^2}};$ $R = \frac{1}{\sqrt{g_1^2 - 1/\omega_1^2 L^2}}.$

Продовження табл. 2

1	2	3
5.	 $g_{15}^2 = \frac{1}{R^2} + \omega^2 C^2 ;$ $g_{12}^2 = \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R_o} \right)^2 + \omega^2 C^2 ;$ $g_{13}^2 = \frac{1}{R^2} + \left( \omega C - \frac{1}{\omega L_o} \right)^2 ;$ $g_{14}^2 = \frac{1}{R^2} + (\omega C + \omega C_o)^2 .$ <p>RC-параметри вимірюються на одній частоті</p>	<p>Алгоритмічні методи із зміщенням двох координат</p> $R = \frac{2/R_o}{g_{12}^2 - g_{15}^2 - 1/R_o^2} ;$ $C = \frac{g_{13}^2 - g_{15}^2 - 1/\omega^2 L_o^2}{(-2/L)} ;$ $C = \frac{g_{14}^2 - g_{15}^2 - \omega^2 C_o^2}{2\omega^2 C_o} ;$ <p>Із зміщенням однієї координати</p> $R = \frac{2/R_o}{g_{12}^2 - g_{15}^2 - 1/R_o^2} ;$ $C = \frac{1}{\omega \sqrt{g_{15}^2 - \frac{1}{R^2}}} .$ <p>Двочастотний метод</p> $g_1^2 = \frac{1}{R^2} + \omega_1^2 C^2 ;$ $g_2^2 = \frac{1}{R^2} + \omega_2^2 C^2 ;$ $C = \sqrt{\frac{g_2^2 - g_1^2}{\omega_2^2 - \omega_1^2}} ;$ $R = \frac{1}{\sqrt{g_1^2 - \omega_1^2 C^2}} .$
6.	 $g_1 = \omega_1 C - \frac{1}{\omega_1 L} ;$ $g_2 = \omega_2 C - \frac{1}{\omega_2 L} .$	<p>Двочастотний метод</p> $L = \frac{(\omega_2^2 - \omega_1^2)}{\omega_1 \omega_2 (\omega_1 g_2 - \omega_2 g_1)} ;$ $C = \frac{g_2 + \frac{1}{\omega_2 L}}{\omega_2} ;$

1	2	3
6.	<p data-bbox="300 320 903 349">Алгоритмічний адитивний двочастотний метод</p>  $g_1^2 = \left( \omega_1 C - \frac{1}{\omega_1 L} \right)^2 = \omega_1^2 C^2 - 2 \frac{C}{L} + \frac{1}{\omega_1^2 L^2};$ $g_2^2 = \left( \omega_2 C - \frac{1}{\omega_2 L} \right)^2 = \omega_2^2 C^2 - 2 \frac{C}{L} + \frac{1}{\omega_2^2 L^2};$ $A^2 = g_2^2 - g_1^2 = (\omega_2^2 - \omega_1^2) C^2 + \left( \frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \frac{1}{L^2};$ $g_3^2 = \omega_1^2 (C + C_0)^2 - \frac{2(C + C_0)}{L} + \frac{1}{\omega_1^2 L^2};$ $g_4^2 = \omega_2^2 (C + C_0)^2 - \frac{2(C + C_0)}{L} + \frac{1}{\omega_2^2 L^2};$ $B^2 = g_4^2 - g_3^2 = (\omega_2^2 - \omega_1^2) (C + C_0)^2 + \left( \frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \frac{1}{L^2};$ $g_5^2 = \omega_1^2 C^2 + \frac{1}{\omega_1^2} \left( \frac{1}{L} + \frac{1}{L_0} \right)^2 - 2C \left( \frac{1}{L} + \frac{1}{L_0} \right);$ $g_6^2 = \omega_2^2 C^2 + \frac{1}{\omega_2^2} \left( \frac{1}{L} + \frac{1}{L_0} \right)^2 - 2C \left( \frac{1}{L} + \frac{1}{L_0} \right);$ $D^2 = g_6^2 - g_5^2 = (\omega_2^2 - \omega_1^2) C^2 + \left( \frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \left( \frac{1}{L} + \frac{1}{L_0} \right)^2.$	$C = \frac{B^2 - A^2 - (\omega_2^2 - \omega_1^2) C_0^2}{2(\omega_2^2 - \omega_1^2) C_0};$ $L = \sqrt{\frac{\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}}{A^2 - (\omega_2^2 - \omega_1^2) C^2}};$ $L = \frac{\left( \frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \frac{2}{L_0}}{D^2 - A^2 - \left( \frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \frac{1}{L_0^2}};$ $C = \sqrt{\frac{A^2 - \left( \frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right) \frac{1}{L^2}}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)}}.$

**3. Висновки.** Похибка вимірювання значень синфазної  $X = \cos \varphi$  та квадратурної складової  $Y = Z \sin \varphi$  складових комплексних опорів (провідностей) [5] значною мірою визначається відношенням  $\frac{X}{X_0}, \frac{X_0}{X}, \frac{Y^2}{X \cdot X_0}$  і  $\frac{Y}{Y_0}, \frac{Y_0}{Y}, \frac{X^2}{Y \cdot Y_0}$ .

$$\delta_x = \left( \frac{X}{X_0} + \frac{X_0}{X} + 2 + \frac{Y^2}{X \cdot X_0} \right) \delta_{z_2} + \left( \frac{X}{X_0} + \frac{Y^2}{X \cdot X_0} \right) \delta_{z_1} + \left( 1 + \frac{X_0}{2X} \right) \delta_x,$$

$$\delta_y = \left( \frac{Y}{Y_0} + \frac{Y_0}{Y} + 2 + \frac{X^2}{Y \cdot Y_0} \right) \delta_{z_3} + \left( \frac{Y}{Y_0} + \frac{X^2}{Y \cdot Y_0} \right) \delta_{z_1} + \left( 1 + \frac{Y_0}{2Y} \right) \delta_y.$$

Тому при заданих похибках вимірювання модулів  $\delta_{z_1}, \delta_{z_2}, \delta_{z_3}$  і похибках  $\delta_{x_0}, \delta_{y_0}$  зразкових приростах координат  $X_0$  і  $Y_0$  значення  $X$  і  $Y$  повинні бути близькими до  $X$  і  $Y$ .

За відсутності апріорної інформації про числові значення  $X$  і  $Y$  необхідне пробне навчальне вимірювання. За отриманими значеннями  $X$  і  $Y$  слід уточнити значення  $X_0$  і  $Y_0$ . При значній відмінності  $X$  і  $Y$  потрібно вибрати або іншу частоту вимірювань або створити еквівалентний новий комплексний опір (провідність), додаючи до вимірюваного комплексного опору додатковий комплексний опір зміщення  $\dot{Z}_{3m}$  [7].

1.Гриневич Ф.Б. Автоматические мосты переменного тока. Новосибирск, 1964.  
 2.Кнеллер В.Ю. Автоматические измерения составляющих комплексных сопротивлений. – М., Л., 1967. 3.Мелик-Шахназаров А.М. Состояние и развитие методов и устройств автоматического измерения комплексных величин // Мат. конф. "Автоматические измерения комплексных величин переменного тока". Баку, 1968. 4. Гаврилюк М.А., Соголовский Е.П., Электронные измерители  $C, L, R$ . – Львов, 1978. 5. Теоретичні основи і принципи проектування високоточних інтелектуальних мультиметрів системного застосування / Звіт про НДР, В.Ф. Ткаченко, Б.І. Стадник, М.І. Грибок та інші, № держ.реєстр. 0198Y002407, – Львів, 1998. 6. Грибок М. Алгоритмічні методи вимірювання параметрів скалярних величин // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001, – № 58. 7. Грибок М. Інтелектуальні методи вимірювання параметрів векторних величин // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 2001. – № 415. 8. А.с № 1246023 (СССР). Цифровой измеритель параметров пассивных двухполюсников // Н.И. Грибок, В.Н. Лаврив, С.А. Савенко // Бюл. изобрет. 1996, №27. 9.А.с. №1337820 (СССР). Цифровой измеритель RLC-параметров. //Н.И. Грибок и др. // Бюл. изобрет. 1987, №34. 10.А.с. №1357874 (СССР). Цифровой измеритель RLC-параметров // Н.И. Грибок и др. // Бюл. изобрет. 1987, №45. 11. А.с. №1437799 (СССР). Цифровой измеритель RLC-параметров комплексного сопротивления / Н.И. Грибок и др.// Бюл. изобрет. – 1988, – №42. 12. А.с. №1456907(СССР). Цифровой измеритель составляющих комплексного сопротивления. / Н.И. Грибок, С.Г. Романюк, С.А. Савенко // Бюл. изобрет. – 1989, – № 5. 13. Мантуров О.В. Элементы тензорного исчисления. – М., 1991.