

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА МАГНІТНИХ ВЕЛИЧИН

УДК 621.3

АНАЛІЗ МЕТОДИЧНОЇ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІМІТАНСУ ДВОПОЛЮСНИКІВ

© Євген Походило, 2005

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Проаналізовано методичні похибки вимірювання параметрів імпедансу триелементних двополюсників, зумовлених неадекватністю схеми заміщення об'єкта та схеми, за якою здійснюються вимірювання.

Проанализированы методические погрешности измерения триэлементных двополюсников, обусловленных неадекватностью схемы замещения объекта и схемы, за которой осуществляется измерение

The methodical measuring errors of an immittance three-element two-poles equivalent circuit, conditioned by an inaccuracy, of object and scheme are parsed, behind which one the measurement implements

Велика група об'єктів кваліметрії електричної та неелектричної природи в електричному колі змінного струму подається багатоелементним двополюсником, окремі параметри імпедансу або співвідношення між ними якого містять інформацію про певні їх властивості чи характеристики [1, 3]. Тобто за вимірними електричними параметрами можна здійснити порівняння таких об'єктів за кількісними та якісними характеристиками. Безпосереднє використання для таких вимірювань засобів вимірювання імпедансу, а саме традиційних вимірювачів CLR -параметрів призводить до виникнення методичної похибки через неадекватність схем об'єкта контролю та схеми, за якою здійснюється вимірювання [4]. Проаналізуємо таку методичну похибку вимірювання параметрів імпедансу триелементних двополюсників засобами, що забезпечують вимірювання за двоелементними схемами заміщення. Оцінимо значення похибок для цих випадків вимірювання комплексної провідності (адмітансу) та комплексного опору (імпедансу) за формулами

$$\delta_Y = \frac{Y_x}{Y_0} - 1; \delta_Z = \frac{Z_x}{Z_0} - 1, \quad (1)$$

де δ_Y , δ_Z – відносні векторні похибки вимірювання адмітансу та імпедансу, Y_x , Z_x – адмітанс та імпеданс

об'єкта контролю, Y_0 , Z_0 – адмітанс та імпеданс схем, за якими здійснюються вимірювання.

Відносні значення складових (активної δ_1 та реактивної δ_2) комплексної похибки вимірювання відповідних складових адмітансу та імпедансу знаходять за виразами

$$\delta_1^Y = \frac{\operatorname{Re}(Y_x)}{\operatorname{Re}(Y_0)} - 1; \delta_2^Y = \frac{\operatorname{Im}(Y_x)}{\operatorname{Im}(Y_0)} - 1,$$

$$\delta_1^Z = \frac{\operatorname{Re}(Z_x)}{\operatorname{Re}(Z_0)} - 1; \delta_2^Z = \frac{\operatorname{Im}(Z_x)}{\operatorname{Im}(Z_0)} - 1, \quad (2)$$

де δ_1 , δ_2 – відносні похибки вимірювання активної та реактивної складових імпедансу; $\operatorname{Re}_x(X)$, $\operatorname{Im}_x(X)$ – виміряні значення активної та реактивної складових імпедансу об'єкта контролю; $\operatorname{Re}_0(X)$, $\operatorname{Im}_0(X)$ – значення активної та реактивної складових за схемою вимірювального засобу (паралельна – для ємнісних, послідовна – для індуктивних).

На схемі (рис. 1) пунктирними лініями позначені неінформативні параметри, для вимірювального засобу що здійснює вимірювання за послідовною та паралельною схемами заміщення.

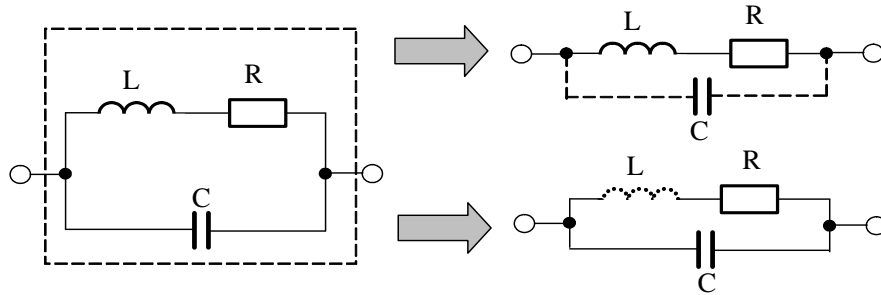


Рис. 1. Схеми заміщення об'єкта контролю та вимірювання

Імпеданс або адмітанс такого об'єкта в колі змінного струму описуються залежностями [4]

$$Z = \frac{j\omega L + R}{1 - \omega^2 CL + j\omega CR}, \quad Y = \frac{1 - \omega^2 CL + j\omega CR}{j\omega L + R}. \quad (3)$$

Відповідно активна та реактивна складові імпедансу та адмітансу

$$\text{Im}(Z) = j\omega L \frac{1 - \omega^2 CL - \frac{CR^2}{L}}{(1 - \omega^2 CL)^2 + (\omega CR)^2}; \quad \text{Re}(Z) = R \frac{1}{(1 - \omega^2 CL)^2 + (\omega CR)^2}, \quad (4)$$

$$\text{Im}(Y) = j\omega C \frac{1 + \omega^2 L^2 - \frac{L}{C}}{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}; \quad \text{Re}(Y) = G \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}, \quad (5)$$

де $G = \frac{1}{R}$.

Похибки вимірювання R – L параметрів δ_R , δ_L в режимі вимірювання опору (послідовна схема) та G – C параметрів (паралельна схема) δ_G , δ_C описують виразами

$$\delta_R = \frac{2\omega^2 CL \left(1 - \frac{\omega^2 CL}{2}\right) - (\omega CR)^2}{(1 - \omega^2 CL)^2 + (\omega CR)^2}; \quad \delta_L = \frac{\omega^2 CL (1 - \omega^2 CL) - \frac{CR^2}{L} - (\omega CR)^2}{(1 - \omega^2 CL)^2 + (\omega CR)^2}, \quad (6)$$

$$\delta_G = -\frac{\left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}; \quad \delta_C = -\frac{\frac{L}{CR^2}}{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}. \quad (7)$$

Нескладний аналіз виразів (6, 7) показує, що індуктивність доцільно вимірювати за послідовною схемою заміщення, а ємність та опір (через провідність) – за паралельною схемою. В першому випадку для зменшення похибки необхідно мінімі-

зувати неінформативну для такого вимірювання ємність, в другому – індуктивність.

Графічна інтерпретація складових методичних похибок при вимірюванні імпедансу триелементних об'єктів контролю наведена на рис. 2, 3.

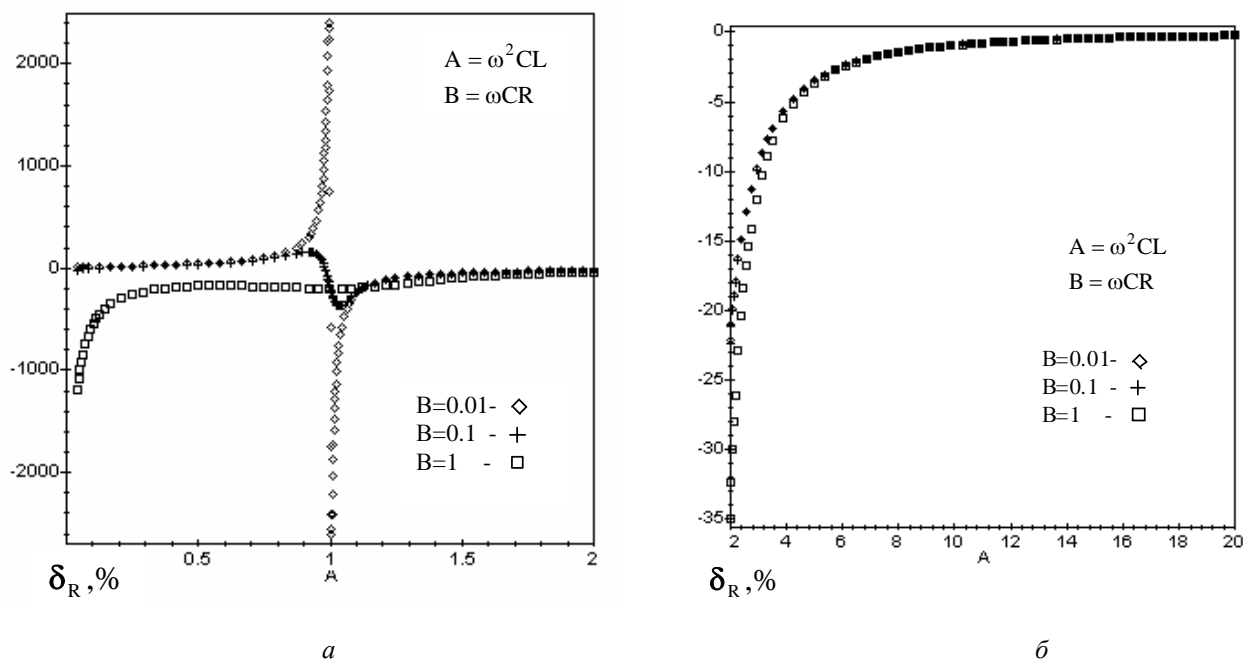


Рис. 2. Залежності методичної похибки вимірювання активної складової імпедансу від узагальнених параметрів

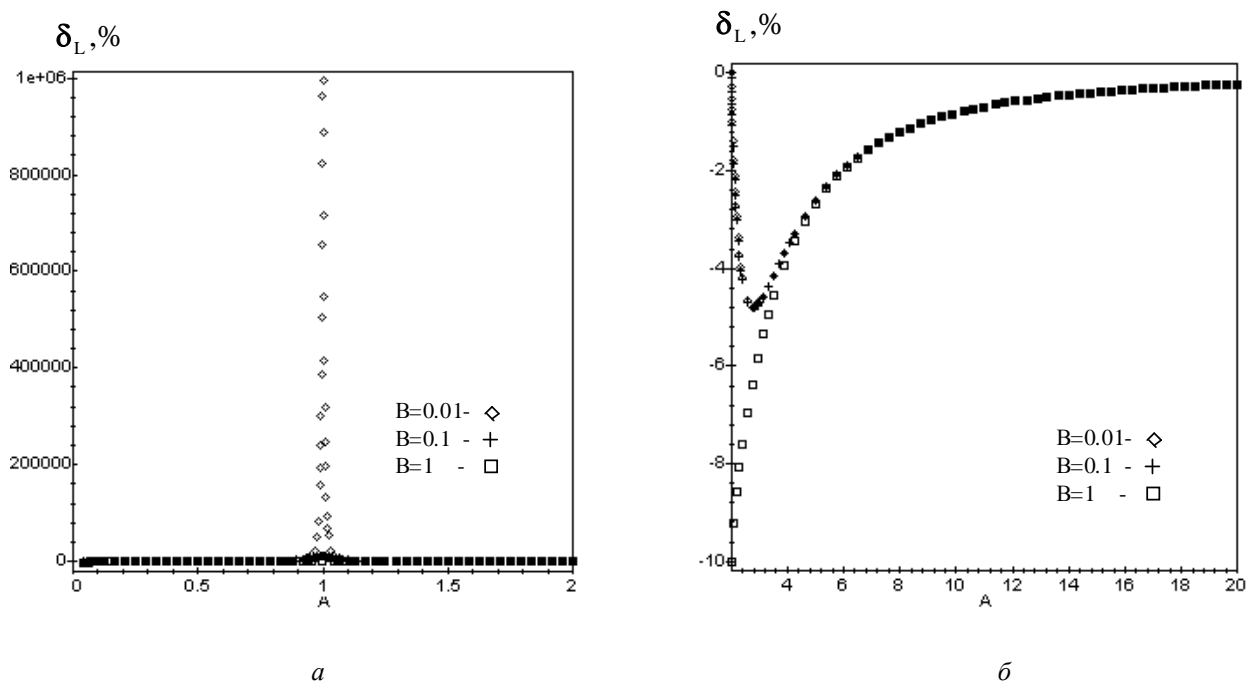


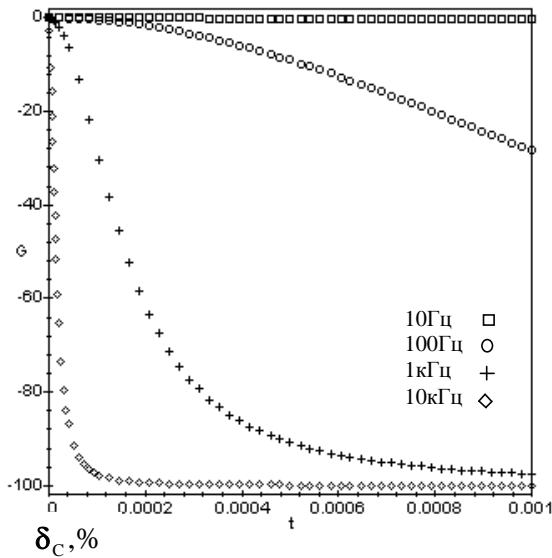
Рис. 3. Залежності методичної похибки вимірювання індуктивної складової імпедансу від узагальнених параметрів

На графіках зображено залежності складових відносної векторної похибки вимірювання імпедансу від узагальнених параметрів, а саме A та B , де $A = \omega^2 CL$ – відношення індуктивного опору до ємніс-

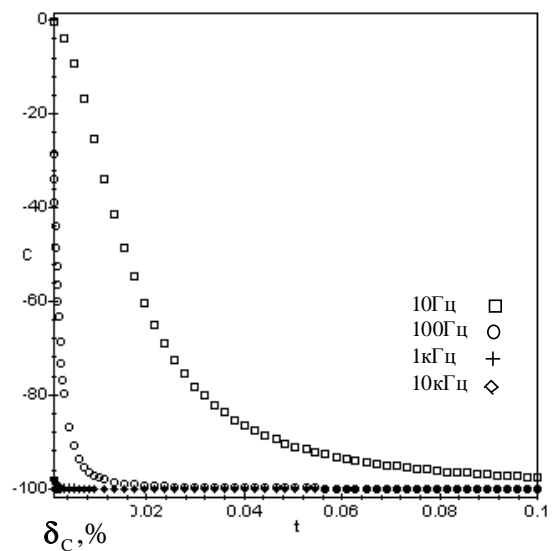
ного опору на частоті ω , а $B = \omega CR$ – відношення активного опору до ємнісного. З графіків видно, що за певних значень параметрів A і B похибки набирають недопустимі значення (рис. 2, а, 3, а). Тобто під час

вимірювань опору та індуктивності таких об'єктів необхідно вибрати такий частотний діапазон, щоб цього не допустити. Так, при значеннях узагальнених параметрів $A > 10$ (рис. 2, б; 3, б) похибки набирають прийнятні для вимірювання значення. Однак вибір діапазону зміни цього параметра без апіорної інформації про значення параметрів об'єкта є неможливим.

На рис. 4, 5 наведено залежності складових відносних векторних похибок вимірювання адмітансу триелементних об'єктів контролю. Відповідно рис. 4 та 5 ілюструють залежності активної та реактивної складових похибки від параметра t (для активної) і додатково параметра T (для реактивної) при різних значеннях частоти тестового сигналу.

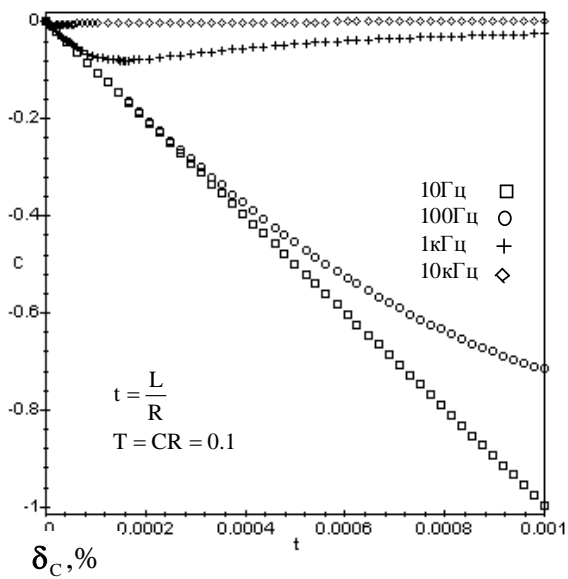


а

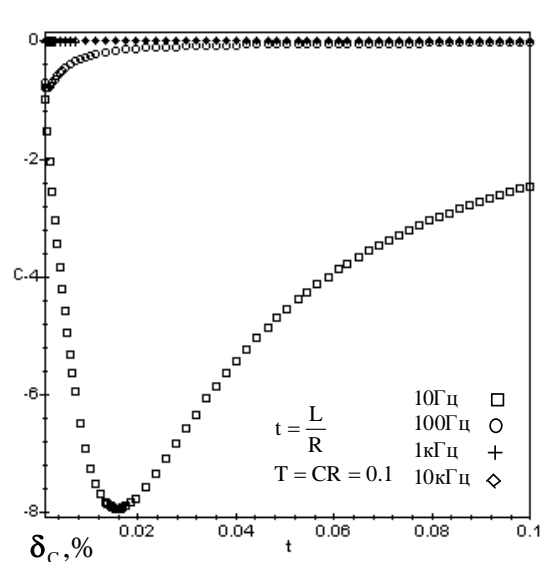


б

Рис. 4. Залежності методичної похибки вимірювання активної складової адмітансу від частоти



а



б

Рис. 5. Залежності методичної похибки вимірювання ємнісної складової адмітансу від частоти

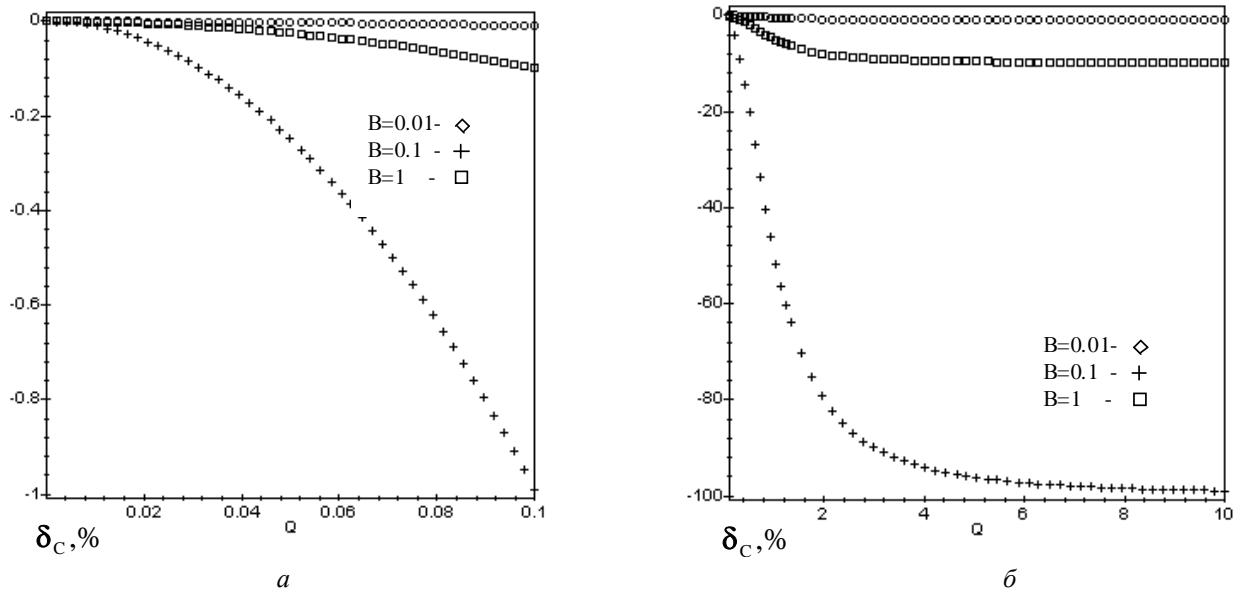


Рис. 6. Залежності методичної похибки вимірювання ємнісної складової адмітансу від узагальнених параметрів

Графіки (рис. 6) ілюструють залежність похибок вимірювання ємнісної складової адмітансу при різних співвідношеннях між індуктивною та активною складовими. На рис. 6 зображено залежність похибки від узагальненого параметра Q , що змінюється в межах $0 \dots 0.1$ і $0.1 \dots 10$ за фіксованих значень $V=0.01$; 0.1 ; 1 .

За результатами аналізу методичних похибок вимірювання складових імітансу об'єктів контролю, що подаються триелементною схемою заміщення, можна зробити такий висновок, а саме:

– вимірювання параметрів імітансу багатоеlementних двополосників можна здійснювати з допустимою похибкою за спрощеними схемами вимірювання, однак для цього необхідно мати апріорну інформацію про діапазон зміни параметрів імітансу двополосника;

– для зменшення похибок вимірювання доцільно параметри об'єктів індуктивного характеру вимірювати на нижчих, а параметри ємнісних об'єктів – на вищих частотах тестового сигналу.

1. Кнеллер В.Ю., Боровских Л.П. *Определение параметров многоэлементных двухполосников.* – М., 1986. ДСТУ 2681–94. 2. *Метрологія. Терміни та визначення.* К., 1994. 3. Походило Є. В. *Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імітансу об'єктів кваліметрії: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.11.05 / Національний ун-т "Львівська політехніка".* Львів, 2004. 4. Бичківський Р.В., Походило Є.В., Серкіз А.В. *Засоби вимірювання з прямим перетворенням параметрів імпедансних сенсорів температури // Тези доповідей 8-ї Міжнародної конференції "Температура 2003". 17–19 вересня 2003 р. – С. 50.*