

Є. В. Походило, д-р. техн. наук, проф.;  
Н. Л. Плахтій, асп.

## ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЧОТИРИЕЛЕМЕНТНИХ ДВОПОЛЮСНИКІВ

*Запропоновано спосіб вимірювання параметрів чотириелементних двополюсників на одній частоті тестового сигналу. Наведено схему реалізації способу на основі векторного перетворювача з оберненою функцією перетворення.*

### Вступ

Багато об'єктів як електричної (електро- та радіоелементи), так і неелектричної природи (сипкі, тверді речовини та рідини), поміщених в електричне коло змінного струму, описуються чотириелементними схемами заміщення [1]. Кожний елемент такої схеми містить певну інформацію щодо фізико-хімічних властивостей відповідного об'єкта контролю. У разі вимірювання кожного із параметрів відомої електричної моделі (схеми заміщення), якою подається досліджуваний об'єкт, та порівняння результатів вимірювань з відповідними параметрами базового зразка оцінюють якість продукції [2]. Для реалізації таких вимірювань використовують багаточастотний тестовий сигнал, за яким вимірюють імпеданс чи адмітанс або їх активні та реактивні складові. Описавши математичною моделлю електричну модель об'єкта у вигляді аналітичного зв'язку між імітансом двополюсника та його елементами, формують рівняння для складових імітансу, кількість яких рівна кількості елементів. Розв'язування системи рівнянь відносно кожного з параметрів дає його значення.

### Постановка задачі

Для чотириелементної електричної моделі за наведеним способом отримують чотири рівняння для реактивних та активних складових імітансу на двох частотах. Відповідно, на цих же частотах необхідно здійснювати вимірювання складових імітансу двополюсника. А це пов'язано з під'єднанням об'єкта до вимірювальної схеми, внаслідок чого виникає неінформативний імітанс, вплив якого на різних частотах різний. Особливо це стосується вимірювання параметрів схем об'єктів низької провідності (високоомні об'єкти), зокрема автомобільні бензини, оливи, олії тощо. Тому актуальним є забезпечення однакових умов вимірювань високоомних об'єктів, а саме вимірювання зазначених складових на одній частоті тестового сигналу.

### Спосіб вимірювання

Авторами запропоновано здійснювати вимірювання складових комплексної провідності з використанням мір активного та реактивного характеру на одній фіксованій частоті тестового сигналу. Відмінність такого способу від традиційного полягає в тому, що зміна частоти вимірювання замінена зміною характеру зразкової міри. Таким чином маємо активну та реактивну складові адмітансу об'єкта контролю як для міри активного, так і для міри реактивного характеру. Тобто отримуємо чотири аналогічні рівняння, використавши при цьому одну частоту тестового сигналу.

### Реалізація способу

Реалізувати запропонований спосіб вимірювання пропонується засобом з прямим перетворенням «імітанс—напруга», структурна схема якого наведена на рисунку. Схема містить векторний перетворювач «імітанс—напруга» з оберненою функцією перетворення [3], виконаний на операційних підсилювачах ОП1 (вимірювальний підсилювач) та ОП2 (диференційний підсилювач). Тим самим забезпечуються кращі метрологічні характеристики перетворення імітансу [4]. Елементами зворотного зв'язку ОП1 є вимірювальний об'єкт з адмітансом  $Y_x$  та зразковий елемент з адмітансом  $Y_0$ .

Таким чином, інформативна  $\dot{U}_x$  та опорна  $\dot{U}_0$  напруги перетворення описуються виразами

$$\dot{U}_0 = U_T \frac{1}{1 + \frac{1}{k} \left( 1 + \frac{Y_x}{Y_0} \right)}, \quad (1)$$

$$\dot{U}_x = U_T \frac{1}{1 + \frac{1}{k} \left( 1 + \frac{Y_x}{Y_0} \right)} \frac{Y_x}{Y_0}, \quad (2)$$

де  $U_T$  — напруга джерела тестового сигналу ДТС;  $k$  — коефіцієнт підсилення диференційного підсилювача.

Як зразкові елементи використано резистор  $R_0$  та конденсатор  $C_0$ ,

що по чергово замикають коло зворотного зв'язку операційного підсилювача перемикачем  $S$ . У такому разі, відповідно до зазначеного, на виходах перетворювача для тестового сигналу синусоїдальної форми з амплітудою  $U_T$  та частотою  $\omega$  маємо пари напруг  $\dot{U}_x^R, \dot{U}_0^R$  (перемикач  $S$  в положенні 1) та  $\dot{U}_x^C, \dot{U}_0^C$  (перемикач  $S$  в положенні 2), що описуються виразами

$$\dot{U}_x^R = U_T R_0 Y_x \left( \frac{1}{1 + \frac{1}{k} (1 + R_0 Y_x)} \right); \quad \dot{U}_0^R = U_T \left( \frac{1}{1 + \frac{1}{k} (1 + R_0 Y_x)} \right); \quad (3)$$

$$\dot{U}_x^C = U_T \frac{Y_x}{j\omega C_0} \left( \frac{1}{1 + \frac{1}{k} \left( 1 + \frac{Y_x}{j\omega C_0} \right)} \right); \quad \dot{U}_0^C = U_T \left( \frac{1}{1 + \frac{1}{k} \left( 1 + \frac{Y_x}{j\omega C_0} \right)} \right). \quad (4)$$

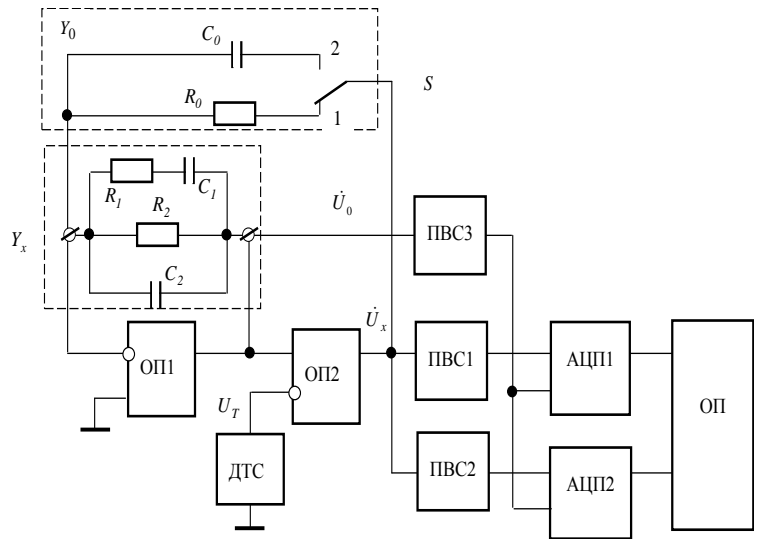
Вплив коефіцієнта  $k$  усувається в подальшому діленням складових напруг (3) та (4), а тому у подальших виразах наведемо лише відношення адмітансів контрольованого та зразкового елементів. У такому разі та з урахуванням адмітансу чотириелементного двополосника (позначення  $Y_x$  на рис.)

$$Y_x = j\omega C_2 \left( 1 + \frac{1}{1 + (\omega C_1 R_1)^2} \cdot \frac{C_1}{C_2} \right) + \frac{1}{R_2} \left( 1 + \frac{(\omega C_1 R_1)^2}{1 + (\omega C_1 R_1)^2} \cdot \frac{R_2}{R_1} \right), \quad (5)$$

вирази для інформативних напруг (3) та (4) набувають вигляду, відповідно,

$$\dot{U}_x^R = j\omega C_2 U_T R_0 \left( 1 + \frac{1}{1 + (\omega C_1 R_1)^2} \cdot \frac{C_1}{C_2} \right) + \frac{1}{R_2} U_T R_0 \left( 1 + \frac{(\omega C_1 R_1)^2}{1 + (\omega C_1 R_1)^2} \cdot \frac{R_2}{R_1} \right), \quad (6)$$

$$\dot{U}_x^C = U_T \frac{C_2}{C_0} \left( 1 + \frac{1}{1 + (\omega C_1 R_1)^2} \cdot \frac{C_1}{C_2} \right) - j U_T \frac{1}{\omega C_0 R_2} \left( 1 + \frac{(\omega C_1 R_1)^2}{1 + (\omega C_1 R_1)^2} \cdot \frac{R_2}{R_1} \right). \quad (7)$$



Структурна схема засобу вимірювання параметрів чотириелементного двополосника

З виразів (6), (7) перетворювачами вектор—скаляр ПВ1, ПВ2 виділяють реактивні  $\text{Im}(\dot{U}_x^R)$ ,  $\text{Im}(\dot{U}_x^C)$  та активні  $\text{Re}(\dot{U}_x^R)$ ,  $\text{Re}(\dot{U}_x^C)$  складові, в результаті чого маємо чотири рівняння. Перетворювачем ПВС3 виділяють активні складові опорних напруг (3), (4).

Ділення напруг здійснюється аналого-цифровими перетворювачами АЦП1, АЦП2 з двотактним інтегруванням. У такому разі на виходах АЦП отримаємо оцифровані значення  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N_4$ , що відповідають відповідним складовим  $\text{Im}(\dot{U}_x^R)$ ,  $\text{Re}(\dot{U}_x^R)$ ,  $\text{Im}(\dot{U}_x^C)$ ,  $\text{Re}(\dot{U}_x^C)$ , а саме:

$$N_1 = \frac{a_1}{c} \omega R_0 C_2 \left( 1 + \frac{1}{1 + (\omega C_2 R_2)^2} \cdot \frac{C_1}{C_2} \right); \quad (8)$$

$$N_2 = \frac{a_2}{c} \frac{R_0}{R_2} \left( 1 + \frac{(\omega C_2 R_2)^2}{1 + (\omega C_2 R_2)^2} \cdot \frac{R_2}{R_1} \right); \quad (9)$$

$$N_3 = \frac{a_2}{c} \frac{1}{\omega C_0 R_2} \left( 1 + \frac{(\omega C_2 R_2)^2}{1 + (\omega C_2 R_2)^2} \cdot \frac{R_2}{R_1} \right); \quad (10)$$

$$N_4 = \frac{b_2}{c} \frac{C_2}{C_0} \left( 1 + \frac{1}{1 + (\omega C_2 R_2)^2} \cdot \frac{C_1}{C_2} \right), \quad (11)$$

де  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_2$ ,  $b_2$  та  $c$  — коефіцієнти перетворення, відповідно, перетворювачів ПВС1, ПВС2 та ПВС3.

На основі результатів вимірювань та аналітичних виразів (8—11) обчислювальним пристроєм ОП знаходимо значення параметрів  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  чотириелементного двополюсника.

### Висновки

Запропонований спосіб вимірювання дозволяє визначити параметри елементів чотириелементного двополюсника на одній частоті тестового сигналу. Це забезпечує однаковий вплив неінформативних параметрів на результат вимірювання та спрощує схемотехнічні рішення вузлів засобу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кнеллер В. Ю. Определение параметров многоэлементных двухполюсников / В. Ю. Кнеллер, Л. П. Боровских. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 144 с.
2. Походило Є. В. Вимірювач параметрів імпедансу багатоелементних двополюсників / Є. В. Походило // Вимірювальна техніка та метрологія. — 2003. — Вип. 62. — С. 24 — 27.
3. А. с. № 1061068 СССР. Измеритель CLR-параметров / М. А. Гаврилюк, Е. В. Походило, Е. П. Соголовский, В. В. Хома; опубл. 1983, Бюл. № 46.
4. Походило Є. В. Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імпедансу об'єктів кваліметрії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.11.05 / Походило Євген Володимирович; Національний ун-т «Львівська політехніка». — Львів, 2004. — 40 с.

Рекомендована кафедрою метрології та промавтоматики

Стаття надійшла до редакції 25.02.11  
Рекомендована до друку 10.03.11

*Походило Євген Володимирович* — професор, *Плахтій Назар Львович* — аспірант.

Кафедра «Метрологія, стандартизація та сертифікація», Національний університет «Львівська політехніка», Львів