УДК 621.317.73

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ ДВОПОЛЮСНИКІВ

Є.В. Походило, Н.Л. Плахтій

Національний університет „Львівська політехніка”, вул. С.Бандери, 12, Львів, 79013, e-mail: bjg@polynet.lviv.ua

Запропоновано спосіб та засіб вимірювання параметрів багатоелементних двополюсників з використанням одночастотного тестового сигналу. Наведені конкретні аналітичні залежності для розрахунку параметрів багатоелементних двополюсників.
Ключові слова: багатоелементний двополюсник, параметр, тестовий сигнал, структурна схема.

Предложен способ и средство для измерения параметров многоэлементных двухполюсников с использованием одночастотного тестового сигнала. Приведены конкретные аналитические зависимости для расчета параметров многоэлементных двухполюсников.
Ключевые слова: многоэлементный двухполюсник, параметр, тестовый сигнал, структурная схема.

A method and mean of measuring of parameters of multielement impedors is offered with the use of monofrequency test signal. Concrete analytical dependences are resulted for the calculation of parameters of multielement impedors.
Keywords: multi-element impedor, parameter, test signal, flow diagram.

Концепція імітансного контролю якості продукції, як відомо, передбачає подання об’єктів контролю багатоелементними двополюсниками в колах змінного струму [1]. При невідомих схемах заміщення порівнюють їхні імітанси (параметри імітансів) на фіксованих частотах, а при відомих – порівнюють значення самих елементів багатоелементних двополюсників [2]. Практична реалізація останнього потребує до здійснення операції порівняння спочатку визначення всіх елементів схеми. Для цього використовують відомий спосіб вимірювання багатовимірних об’єктів, за яким здійснюють вимірювання на декількох частотах [3]. При цьому вимірювання параметрів n-елементного двополюсника вимагає n частот тестового сигналу у разі використання як інформативного параметра повний опір (імітанс), чи $n/2$ частот – у разі використання як інформативних параметрів активну та реактивну складові імітансу [4]. Тобто, для визначення параметрів чотириелементного двополюсника, наприклад, у кращому випадку необхідно використовувати тестовий сигнал двох частот. Це ускладнює вимірювальний засіб, а також вимірювання параметрів здійснюється під дією різночастотного сигналу, що для об’єктів неелектричної природи іноді буває недопустимим. Тому актуальним є визначення параметрів багатоелементних двополюсників із використанням лише одночастотного тестового сигналу.

З огляду простоти практичної реалізації вимірювання параметрів багатоелементного двополюсника доцільно використати метод з прямим перетворенням «імітанс-напруга» [5]. Схема векторного перетворювача імітансу чотириелементного двополюсника в комплексну напругу наведена на рис.1.

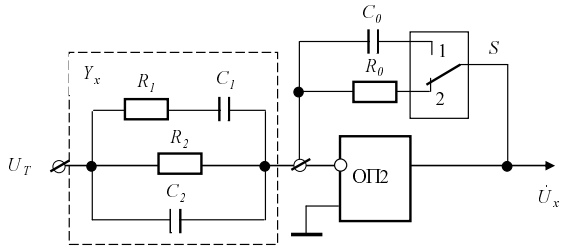


Рисунок 1 – Схема векторного перетворювача «імітанс-напруга»

Перетворювач працює в режимі заданої напруги на об’єкті із повною провідністю Y_x. Як зразкові елементи використано резистор R_0 та конденсатор C_0, що почергово замикають коло зворотнього зв’язку операційного підсилювача перемикачем S. У такому разі, відповідно до зазначеного, на виході перетворювача при тестовому сигналі

синусоїдальної форми з амплітудою U_T та частотою ω маємо напруги $\dot{U}'_x$ (перемикач S в положенні 2) та U''_x (перемикач S в положенні 1), що описуються виразами

$$\dot{U}'_x = U_T R_0 Y_x, \quad (1)$$

$$\dot{U}''_x = U_T Y_x / j\omega C_0 . \quad (2)$$

З урахуванням повної провідності чотириелементного двополюсника

$$Y_x = j\omega C_2 + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1 + 1/j\omega C_1} = j\omega C_2 \times$$
$$\times \left(1 + \frac{C_1/C_2}{1+(\omega C_1 R_1)^2}\right) + \frac{1}{R_2}\left(1 + \frac{R_2(\omega C_1 R_1)^2/R_1}{1+(\omega C_1 R_1)^2}\right) \quad (3)$$

вирази (1) та (2) приймають такий вигляд:

$$\dot{U}'_x = j\omega C_2 U_T R_0 \left(1 + \frac{C_1/C_2}{1+(\omega C_1 R_1)^2}\right) + \frac{1}{R_2} U_T R_0 \left(1 + \frac{R_2(\omega C_1 R_1)^2/R_1}{1+(\omega C_1 R_1)^2}\right), \quad (4)$$

$$\dot{U}''_x = U_T \frac{C_2}{C_0}\left(1 + \frac{C_1/C_2}{1+(\omega C_1 R_1)^2}\right) - jU_T \frac{1}{\omega C_0 R_2}\left(1 + \frac{R_2(\omega C_1 R_1)^2/R_1}{1+(\omega C_1 R_1)^2}\right). \quad (5)$$

Нескладний аналіз (4) та (5) показує, що виділивши реактивні $\mathrm{Im}(\dot{U}'_x)$ і $\mathrm{Im}(\dot{U}''_x)$ та активні $\mathrm{Re}(\dot{U}'_x)$ і $\mathrm{Re}(\dot{U}''_x)$ складові вихідних напруг векторного перетворювача, отримаємо чотири незалежні рівняння з чотирма невідомими, а саме:

$$\mathrm{Im}(\dot{U}'_x) = U_T \omega R_0 C_2 \left(1 + \frac{C_1/C_2}{1+(\omega C_2 R_2)^2}\right), \quad (6)$$

$$\mathrm{Re}(\dot{U}'_x) = U_T \frac{R_0}{R_2}\left(1 + \frac{R_2(\omega C_2 R_2)^2/R_1}{1+(\omega C_2 R_2)^2}\right), \quad (7)$$

$$\mathrm{Im}(\dot{U}''_x) = U_T \frac{1}{\omega C_0 R_2}\left(1 + \frac{R_2(\omega C_2 R_2)^2/R_1}{1+(\omega C_2 R_2)^2}\right), \quad (8)$$

$$\mathrm{Re}(\dot{U}''_x) = U_T \frac{C_2}{C_0}\left(1 + \frac{C_1/C_2}{1+(\omega C_2 R_2)^2}\right). \quad (9)$$

Шляхом розв'язку отриманої системи рівнянь (6) – (8) при відомих складових можна визначити значення елементів R_1, R_2, C, C_2 чотириелементного двополюсника.

Розглянемо практичну реалізацію запропонованого способу.

Запропонована вимірювальна операція може бути реалізована засобом, структурна схема якого зображеною на рис. 2.

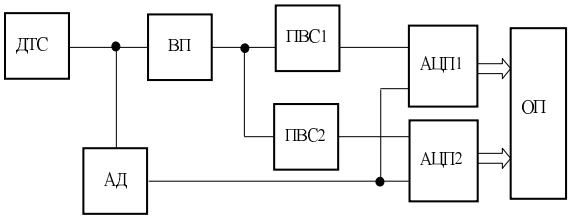


Рисунок 2 – Структурна схема засобу вимірювання параметрів чотириелементного двополюсника

Схема містить джерело тестового сигналу ДТС, векторний перетворювач ВП (схема зображена на рис.1), амплітудний детектор АД, перетворювачі активної ПВС1 та реактивної ПВС2 складових напруг ВП у відповідні напруги постійного струму, аналого-цифрові перетворювачі АЦП1, АЦП2 та обчислювальний пристрій ОП.

Використанням в структурі вимірювального засобу АЦП з двотактним інтегруванням забезпечується інваріантність результату до зміни амплітуди тестового сигналу. Досягається це формуванням опорної напруги АЦП з тестового сигналу ДТС амплітудним детектором АД. У такому разі на виходах АЦП з двотактним інтегруванням отримаємо оцифровані значення N', N'_2, N'_1, N''_2, що відповідають відповідним складовим $\mathrm{Im}(\dot{U}'_x)$, $\mathrm{Re}(\dot{U}'_x)$, $\mathrm{Im}(\dot{U}''_x)$, $\mathrm{Re}(\dot{U}''_x)$, а саме:

$$N'_1 = \frac{a_1}{c}\omega R_0 C_2 \left(1 + \frac{C_1/C_2}{1+(\omega C_2 R_2)^2}\right), \quad (10)$$

$$N'_2 = \frac{a_2}{c}\frac{R_0}{R_2}\left(1 + \frac{R_2(\omega C_2 R_2)^2/R_1}{1+(\omega C_2 R_2)^2}\right), \quad (11)$$

$$N''_1 = \frac{a_2}{c}\frac{1}{\omega C_0 R_2}\left(1 + \frac{R_2(\omega C_2 R_2)^2/R_1}{1+(\omega C_2 R_2)^2}\right), \quad (12)$$

$$N''_2 = \frac{b_2}{c}\frac{C_2}{C_0}\left(1 + \frac{C_1/C_2}{1+(\omega C_2 R_2)^2}\right), \quad (13)$$

де a_1, b_1, a_2, b_2, c – коефіцієнти перетворення, відповідно, першого ПВС1 та другого ПВС2 перетворювача, вектор-скаляр та амплітудного детектора АД.

Числові значення АЦП подаються на обчислювальний пристрій ОП, який розв'язує систему рівнянь (10) – (13) відносно параметрів R_1, R_2, C_1, C_2 чотириелементного двополюсника.

ВИСНОВКИ

Запропонований спосіб визначення параметрів елементів чотириелементного двополюсника дає можливість використати одночастотний тестовий сигнал. Тим самим забезпечується вимірювання за незмінною схемою заміщення, оскільки на одній частоті маємо однаковий вплив неінформативних параметрів.

1. Походило Є.В. Об'єкти імітансних вимірювань в кваліметрії / Є.В. Походило // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – Вип. 61. – С. 47-53. 2. Походило Є.В. Імітансний контроль якості продукції / Є.В. Походило, П.Г. Столярчук // Вісник НУ "Львівська політехніка".– 2002. – №445. – С. 46-51. 3. Кнеллер В.Ю. Определение параметров многоэлементных двухполюсников / В.Ю. Кнеллер, Л.П. Боровских. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с. 4. Походило Є.В. Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імітансу об'єктів кваліметрії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.11.05 «Прилади та методи вимірювання електричних та магнітних величин»/ Походило Євген Володимирович ; нац.ун-т «Львівська політехніка». – Львів, 2004. - 40с. 5. Походило Є.В. Малогабаритные измерители CLR - параметров прямого преобразования : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.05 «Прилади та методи вимірювання електричних та магнітних величин» / Походило Євген Володимирович; нац. ун-т «Львівська політехніка». – Львів, 1990. – 17 с.

Поступила в редакцію 13.11.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Івахів О.