

## АНАЛІЗ ПОХИБОК ПЕРЕТВОРЮВАЧА «АДМІТАНС – НАПРУГА» ДЛЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВІДНОСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ

© Походило Євген, Остапчук Степан, 2012

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

*Проаналізовано похибки вимірювального перетворення «адмітанс – напруга» для засобів вимірювання відносних показників якості продукції. Запропоновано спосіб забезпечення прогнозованих похибок векторного перетворювача на різних частотах та його реалізацію.*

*Проанализированы погрешности измерительного преобразования "адмитанс – напряжение" для средств измерения относительных показателей качества продукции. Предложен способ обеспечения прогнозируемых погрешностей векторного преобразователя на разных частотах и его реализация.*

*The errors of measuring transformation are analysed "admittance – tension" for facilities of measuring of relative indexes of quality of products. The method of providing of the forecast errors of vectorial transformer on different frequencies and his realization are offered.*

**Вступ.** Диференційний метод оцінювання якості продукції за складовими імітансу двополюсника, яким вона подається, можна реалізувати двома способами [1]. Перший полягає у почерговому порівнянні складових імітансу контрольованого та базового зразків, а другий – в одночасному порівнянні. Для одночасного порівняння можна використати одноканальну або двоканальну структури [2]. Одночасне порівняння забезпечує безпосереднє одержання відносного показника якості оцінюваної продукції. Однак у разі використання двоканальної структури погіршуються метрологічні характеристики засобу через використання різних елементів засобу перетворення імітансу об'єктів порівняння на напругу. Відповідно, якщо інструментальні похибки вимірювального перетворення у першому випадку зумовлені нестабільністю параметрів елементів за час вимірювальної процедури, то у випадку паралельного перетворення аналогічна похибка визначатиметься неадекватністю параметрів елементів у каналах вимірювального перетворення.

Відомо [3], що в засобах вимірювання з прямим перетворенням імітансу на напругу в широкому частотному діапазоні тестового сигналу інструментальна похибка визначається, в основному, векторним перетворювачем. Залежить вона від зміни коефіцієнта підсилення використаного операційного підсилювача в частотному діапазоні. Відповідно для зменшення такої похибки в двоканальному перетворювачі необхідно використати два операційні підсилювачі з ідентичними параметрами. Це потребує спеціального підбирання таких елементів, однак не забезпечується їх взаємо-

замінність тощо. Окрім цього, оскільки імітансний метод контролю якості продукції передбачає порівняння значень складових імітансу контрольованого та базового зразків на декількох частотах, то похибка вимірювання буде різною на кожній окремо взятій частоті.

**Мета роботи.** Проаналізувати похибки одночасного та почергового вимірювального перетворення об'єктів порівняння та на основі цього запропонувати спосіб та засіб його реалізації для зменшення інструментальної похибки, зумовленої неадекватністю елементів векторних перетворювачів та її прогнозованості на окремих частотах тестового сигналу заданого діапазону.

**Викладення основного матеріалу.** Як показали теоретичні та практичні дослідження засобів вимірювання імітансу з перетворенням «імітанс – напруга» [4], високі метрологічні та експлуатаційні характеристики забезпечують засоби, що реалізують перетворення на активних векторних перетворювачах з різними функціями перетворення. Передатна функція активного векторного перетворювача звичайною функцією перетворення відношення імпедансів  $Z_1$ ,  $Z_2$ , які є елементами від'ємного зворотного зв'язку ОП, описується виразом:

$$W_x = \frac{Z_2}{Z_1} \frac{1}{1 + \left( \frac{1}{k_0} + j \frac{w}{w_0} \right) \left( 1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right)}, \quad (1)$$

звідки відносно похибку, за умови  $\frac{1}{k_0} \ll \frac{w}{w_0}$ ,

визначають за формулою:

$$d = -\frac{w}{w_0} \left( 1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right), \quad (2)$$

де  $w$  – частота тестового сигналу;  $w_0$  – частоти одиничного підсилення операційного підсилювача ОП;  $k_0$  – коефіцієнт підсилення ОП на постійному струмі.

Із (2) очевидно, що зі зростанням частоти тестового сигналу за сталого значення частоти одиничного підсилення похибка зростає. Оскільки частота одиничного підсилення залежить від типу ОП, то похибка буде різною. Тобто у разі реалізації імітансного методу вимірювального контролю отримуємо різні результати. Тому виникає необхідність нормування похибок вимірювання відносних показників якості для кожної вибраної частоти тестового сигналу. Проаналізуємо такі похибки для різних векторних перетворювачів, які можна використовувати в засобах оцінювання якості продукції імітансними методами за відносними показниками. На рис.1 наведено векторні перетворювачі «адмітанс – напруга» з одночасним перетворенням (рис.1, а), з почерговим перетворенням (рис.1, б) та одночасним паралельним перетворенням (рис.1, в) параметрів об'єктів порівняння.

Для наведеного вимірювального перетворення активними перетворювачами зі звичайною функцією перетворення адмітансу в діапазоні середніх значень параметрів імітансу передавальні функції (відношення вихідних напруг до опорних) наведених перетворювачів на частоті  $w_i$  мають вигляд:

– для перетворювача одночасного перетворення:

$$W_{x1} = \frac{U_x}{U_T} = \frac{Y_x}{Y_0} \frac{1}{1 + j \frac{w_i}{w_0} \left( 1 + \frac{Y_x}{Y_0} \right)}, \quad (3)$$

– для перетворювача з почерговим перетворенням:

$$W'_{x2} = \frac{U_x}{U_T} = Y_x R_0 \frac{1}{1 + j \frac{w_i}{w_0} (1 + Y_x R_0)};$$

$$W''_{x2} = \frac{U_0}{U_T} = Y_0 R_0 \frac{1}{1 + j \frac{w_i}{w_0} (1 + Y_0 R_0)}, \quad (4)$$

$$W_{x2} = \frac{W'_2}{W''_2} = \frac{Y_x}{Y_0} \frac{1 + j \frac{w_i}{w_0} (1 + R_0 Y_0)}{1 + j \frac{w_i}{w_0} (1 + R_0 Y_x)}, \quad (5)$$

– для перетворювача з одночасним паралельним перетворенням:

$$W'_{x3} = \frac{U_x}{U_T} = Y_x R_{01} \frac{1}{1 + j \frac{w_i}{w_{01}} (1 + Y_x R_{01})};$$

$$W''_{x3} = \frac{U_0}{U_T} = Y_0 R_{02} \frac{1}{1 + j \frac{w_i}{w_{02}} (1 + Y_0 R_{02})}, \quad (6)$$

$$W_{x3} = \frac{W'_3}{W''_3} = \frac{R_{01} Y_x}{R_{02} Y_0} \frac{1 + j \frac{w_i}{w_{02}} (1 + Y_0 R_{02})}{1 + j \frac{w_i}{w_{01}} (1 + Y_x R_{01})}. \quad (7)$$

Відносно похибку вимірювального перетворення відношення адмітансів зразків контролюваного та базового об'єктів визначають за формулою:

$$d = \frac{W_x}{W_0} - 1, \quad (8)$$

де  $W_0 = \frac{Y_x}{Y_0}$ , а  $W_x$  – визначається виразами передавальної функції, наведеної для кожного перетворювача.

Відповідно до цього похибки перетворення на фіксованих частотах  $w_1, w_2, \dots, w_n$  описуватимуться такими виразами:

– для перетворювача одночасного перетворення:

$$d_{11} \approx -\frac{w_1}{w_0} \left( 1 + \frac{Y_x}{Y_0} \right),$$

$$d_{12} \approx -\frac{w_2}{w_0} \left( 1 + \frac{Y_x}{Y_0} \right), \dots,$$

$$d_{1n} \approx -\frac{w_n}{w_0} \left( 1 + \frac{Y_x}{Y_0} \right), \quad (9)$$

– для перетворювача почергового перетворення:

$$d_{21} \approx \frac{w_1}{w_0} R_0 (Y_x - Y_0), \quad d_{22} \approx \frac{w_2}{w_0} R_0 (Y_x - Y_0),$$

$$d_{2n} \approx \frac{w_n}{w_0} R_0 (Y_x - Y_0), \quad (10)$$

– для перетворювача одночасного паралельного перетворення:

$$d_{31} \approx \frac{w_1}{w_{01}} (1 + R_{01} Y_x) - \frac{w_1}{w_{02}} (1 + R_{02} Y_0),$$

$$d_{32} \approx \frac{w_2}{w_{01}} (1 + R_{01} Y_x) - \frac{w_2}{w_{02}} (1 + R_{02} Y_0), \dots$$

$$\dots, d_{3n} \approx \frac{w_n}{w_{01}} (1 + R_{01} Y_x) - \frac{w_n}{w_{02}} (1 + R_{02} Y_0). \quad (11)$$

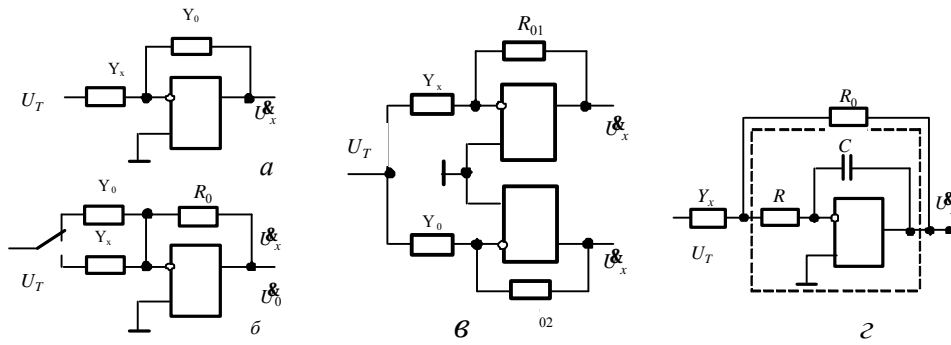


Рис. 1. Векторні перетворювачі засобу диференційного методу контролю якості

Аналіз отриманих виразів для оцінювання похибок різного вимірювального перетворення показує, що на кожній частоті тестового сигналу матимемо різне значення похибки. Крім цього, похибка на кожній наступній частоті більша від похибки на попередній, а саме:

$$d_{w_n} > d_{w_{(n-1)}} > d_{w_{(n-2)}} > \dots > d_{w_2} > d_{w_1}. \quad (12)$$

Окрім цього, її значення залежить також від співвідношень адмітансів контрольованого та базового зразків, тобто від того, наскільки якість контрольованого зразка відрізняється від якості базового.

Одним зі способів забезпечення прогнозованості похибки та її зменшення є встановлення відомих значень частоти одиничного підсилення операційних підсилювачів векторних перетворювачів за допомогою RC-елементів в колі зворотного зв'язку [4]. Схему такого перетворювача «імітанс – напруга» на ОП із заданою частотою тестового сигналу зображено на рис.1, г.

Якщо вибрано декілька частот тестового сигналу, то з метою забезпечення однакової інструментальної похибки на цих частотах необхідно вибирати різні значення «нових» частот одиничного підсилення ОП, з

урахуванням умови  $\frac{w_1}{w'_{01}} = \frac{w_2}{w'_{02}} = \dots = \frac{w_n}{w'_{0n}} = Y$ , де

$w_1, w_2, \dots, w_n$  – частоти, на яких здійснюються вимірювання;  $w'_{01}, w'_{02}, \dots, w'_{0n}$  – задані «нові» частоти одиничного підсилення, які визначають з рівності

$w_0 = \frac{1}{RC}$ . Досягається зміна частоти одиничного підсилення зміною значень резистора  $R$  (рис.1, г).

У такому разі на всіх частотах вимірювального контролю отримаємо:

– для перетворювача одночасного перетворення:

$$d'_{11} = d'_{12} = \dots = d'_{1n} = Y \cdot \left( 1 + \frac{Y_x}{Y_0} \right), \quad (13)$$

– для перетворювача почергового перетворення:

$$d'_{21} = d'_{22} = \dots = d'_{2n} = Y \cdot R_0 (Y_x - Y_0), \quad (14)$$

– для перетворювача одночасного паралельного перетворення, забезпечивши додаткові умови

$R_{01} = R_{02} = R_0$  та  $w_{01} = w_{02}$ , тобто рівність зразкових елементів та частоти одиничного підсилення ОП у двох каналах перетворення, одержимо:

$$d'_{31} = d'_{32} = \dots = d'_{3n} = Y \cdot R_0 (Y_x - Y_0). \quad (15)$$

**Висновки.** 1. За одержаними виразами можна оцінювати похибку вимірювання складових імітансу для різних частот тестового сигналу та співвідношення між контрольованими та зразковими параметрами, а також здійснювати, за необхідності, її коригування.

2. Запропонований спосіб дає змогу зменшити похибку вимірювання у засобах контролю параметрів імітансу об'єктів, близьких за значеннями до імітансу базового зразка (допусковий контроль), а також забезпечити однакову похибку на різних частотах тестового сигналу вибраного частотного діапазону.

3. Запропонований спосіб коригування похибок забезпечує водночас взаємозамінність операційних підсилювачів, оскільки параметри навіть однотипних ОП є різними. Тому заміна операційного підсилювача в структурі векторного перетворювача вимагала додаткового налагоджування приладу. Поряд з цим запас стійкості перетворювача, який працює в режимі диференціатора, збільшується, оскільки є можливість вибору RC-елементів, що, крім цього, призводить до коригування амплітудно-частотної характеристики ОП.

1. Походило Є.В., Столярчук П.Г. Способи імітансного контролю якості // Методи та прилади контролю якості. – 2003. – №11. – С. 105 – 108. 2. Походило Є.В. Диференційний метод оцінювання якості продукції за параметрами імітансу / Є.В. Походило, С.Є. Остапчак // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Автоматика, вимірювання та контроль», – 2011. – № 695. – С.41–45. 3. Походило Є.В. Аналіз інструментальної похибки перетворювачів „імітанс-напруга”// Громадсько-науковий часопис «Технічні вісті». – Львів, 2005/1(20),2(21), С. 91–94. 4. Походило Є.В., Хома В.В. Вимірювачі CLR з перетворенням «імітанс-напруга». – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 292 с.