

основы электротехники. – М., 1978. 5. Khan S.H., Abdullah F. Validation of Finite Element Modeling of Multielectrode Capacitive System for Process Tomography Flow Imaging. Tomographic techniques. – 1993. – P. 63–73. 6. Дорожовець М.М., Федорчук А.А., Петровська І.Р. Математичні засади прямої задачі томографії провідності // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – № 324. – С. 43–51. 1998. 7. Сергиенко І., Скопецкий В.,

Дейнека В. Исследования в неоднородных средах. – К., 1992. 8. Field Analysis Translator (FAT). Reference Manual and User Guide. V.3.41, 1994. 9. Дорожовець М.М., Ковальчик А. Характеристична матриця трикутного елемента при параболічній апроксимації потенціалу та лінійній апроксимації провідності // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 2001. – № 420. – С. 3–12.

УДК 621.317.73

## ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ ІМІТАНСУ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ ДВОПОЛЮСНИКІВ

© Євген Походило, 2003

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Метрологія, стандартизація та сертифікація",  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Розглядається узагальнений підхід до побудови універсальних вимірювальних засобів вимірювання параметрів імітансних первинних перетворювачів. Наведено схеми аналогових перетворювачів імітансу.*

*Рассматривается обобщенный подход к построению универсальных измерительных средств измерения параметров иммитансных первичных преобразователей.*

*Приведены схемы аналоговых преобразователей иммитанса.*

*Computer using primary immittance transducer all-purpose measuring instruments universal way designing is described. The immittance analog transducer structures are proposed.*

**Вступ.** Засоби вимірювання імітансу, які випускалися та випускаються сьогодні в Україні, орієнтовані, переважно, на вимірювання параметрів одно- та двоелементних двополюсників. Тобто вони можуть застосовуватися для вимірювання параметрів двополюсників, що подаються одно- або двоелементною схемою заміщення. Зумовлено це тим, що за винятком декількох моделей вимірювачів, переважно мостів змінного струму (P5016, P5085), вони працюють на одній фіксованій частоті (Ф4320, Е7–13, ЦК 4800, ЦК4801, АК–121, P5079 тощо). Останнім часом сфера застосування вимірювальних засобів імітансу засобів значно розширилася. Це можливо завдяки новій елементній базі, яка дає змогу по-новому проектувати проблемно-орієнтовані засоби вимірювання [1], та впровадженню електричних методів вимірювання параметрів різноманітних об'єктів контролю [2, 3, 4]. Особливо потребують вдосконалення вимірювальні засоби параметрів багатоелементних двополюсників, якими можуть подаватися об'єкти контролю як електричної, так і неелектричної природи [5, 6].

Оскільки діапазон зміни вимірюваних параметрів об'єктів та їх характер (ємнісний чи індуктивний) залишаються визначальними у розробленні таких засобів, то доцільним є вдосконалення схемотехнічних рішень, що це забезпечить.

**Аналіз відомих способів та технічних рішень.** Розробляючи універсальний вимірювальний засіб імітансу, а саме такий, що поєднує вимірювачі параметрів ємнісних та індуктивних об'єктів, використовують одну структуру векторного перетворювача. Режим роботи змінюють перемикачами, які є елементами вимірювального кола ВП [7]. Широкий діапазон вимірювання низькоомні об'єкти переважно забезпечують у режимі вимірювання опору, а високоомні – у режимі вимірювання провідності [8]. Це, знов-таки, вимагає введення у вимірювальне коло перетворювача комутувальних елементів. Як у першому, так і в другому випадках це призводить до збільшення похибок вимірювання. Зменшення таких похибок досягається за допомогою використання високоякісних комутувальних пристроїв [9] або застосування спеціальних схемо-

технічних рішень щодо будови перетворювача [10, 11]. Однак в обох випадках джерела похибки (комутувальні елементи) залишаються елементами вимірювального кола. Разом з тим, оскільки місце вмикання об'єкта вимірювання відповідно до зазначених режимів роботи змінюється, то неінформативні параметри по-різному впливають на результат вимірювання. Особливо це стосується дистанційних вимірювань з використанням імітансних первинних перетворювачів. Не можна застосовувати одні і ті самі способи коригування похибок для вимірювання імітансу ємнісного та індуктивного характеру універсальним засобом. У статті пропонується уніфікувати вимірювальне коло векторного перетворювача щодо режимів вимірювання, а комутувальні пристрої винести за його межі. Для цього доцільно використати в одній структурі векторного перетворювача перетворення із застосуванням звичайної та оберненої функції перетворення [12,13].

**Узагальнена структура вимірювача імітансу.**

Узагальнена структурна схема універсального вимірювального засобу імітансу багатоелементного двополюсника з прямим перетворенням наведена на рис. 1.

Структура містить джерело тестового сигналу ДТС, перетворювач пасивної векторної величини в активну (векторний перетворювач) ВП, перетворювачі вектор-скаляр ПВС1, ПВС2, ПВС3, аналого-цифрові перетворювачі АЦП1, АЦП2 та блок опрацювання результатів вимірювання БОР. ППА містить вимірювальний підсилювач П, диференційний підсилювач ДП та комутувальні пристрої К1, К2, К3. ДП забезпечує стаке значення вихідної напруги П, комутувальними пристроями реалізується звичайна (положення 1) та обернена (положення 2) функції перетворення ВП. Інформативною напругою перетворювача є напруга  $U_{xi}$ , а опорною – напруга  $U_{0i}$ , де  $i$  – кількість частот вимірювання. Перетворювачами ПВС1 та ПВС2

виділяють відповідно активну  $U_{1i}$  та реактивну  $U_{2i}$  складові напруги  $U_{xi}$  на вибраній частоті вимірювання. Кількість частот вимірювання визначається кількістю елементів багатоелементного двополюсника. Під час вимірювання активного та реактивного імітансу вона повинна дорівнювати половині кількості елементів двополюсника. Перетворювачем ПВС3 формується напруга  $U_{3i}$ , яка є опорною для АЦП. АЦП1 та АЦП2 відповідно перетворюють вихідні напруги перетворювачів у відповідні коди  $N_{1i}$  та  $N_{2i}$ , що відповідають активній та реактивній складовим імітансу на частоті вимірювання. Після опрацювання результатів БОР визначають параметри багатоелементного двополюсника.

Основним вузлом, що визначає метрологічні характеристики в структурі вимірювача, є ВП. Розглянемо варіанти побудови векторного перетворювача такого вимірювача.

**Перетворювачі векторної пасивної величини у векторну активну величину.**

Вибір структури векторного перетворювача зумовлений, переважно, зв'язком об'єкта контролю із загальною шиною. Розрізняють ізольовані від загальної шини та заземлені об'єкти контролю [14]. Доцільно, виходячи з такого поділу, будувати ВП. Пропонується за цією ознакою поділяти ВП на перетворювачі для ізольованих та заземлених об'єктів [15]. У вимірювачах імітансу з прямим перетворенням використовують пасивні та активні векторні перетворювачі. Останні забезпечують кращі метрологічні характеристики [15]. Як джерело тестового сигналу можна застосувати джерело струму (вимірювання імпедансу) або джерело напруги (вимірювання адмітансу). Розглянемо варіанти побудови активних ВП з використанням генератора напруги як джерела тестового сигналу. На рисунках зображено схеми перетворювачів імітансу ізольованих (рис. 2) та заземлених (рис. 3) об'єктів контролю.

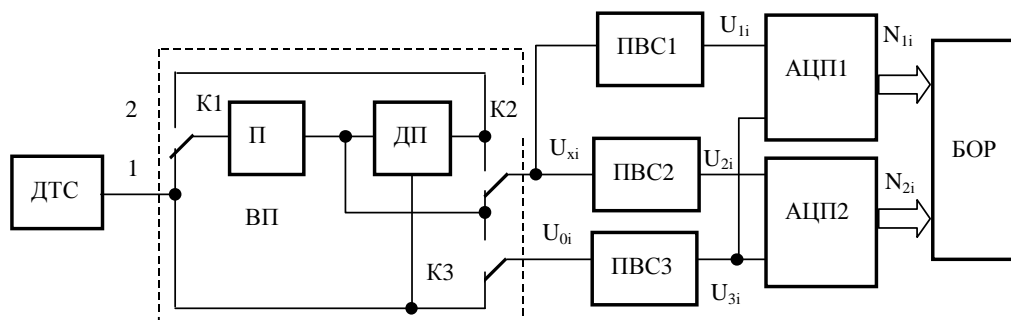


Рис. 1. Узагальнена структурна схема універсального вимірювача

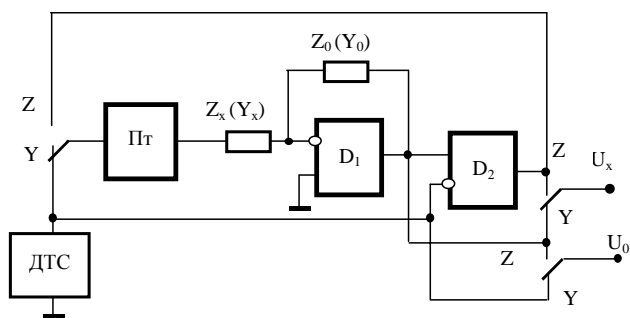


Рис. 2. Перетворювач імпедансу ізольованих об'єктів

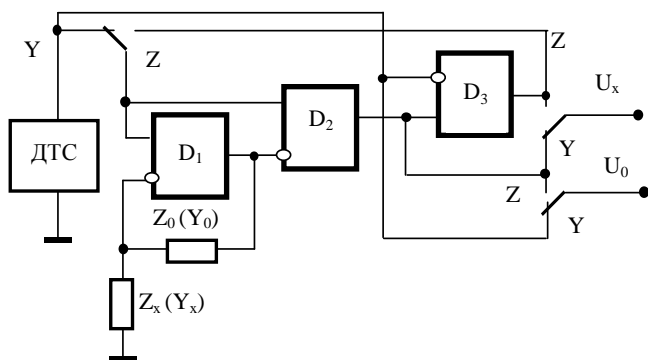


Рис. 3. Перетворювач імпедансу заземлених об'єктів

Такі перетворювачі забезпечують перетворення як адмітансу  $Y_x$ , так і імпедансу  $Z_x$ , що визначається положенням зображених на схемах перемикачів. Як зразкові міри провідності  $Y_0$  чи опору  $Z_0$  доцільно використовувати міри ємності та опору. Вимірювальний об'єкт та міра в таких перетворювачах є елементами від'ємного зворотного зв'язку операційного підсилювача (ОП)  $D_1$ . Диференційні підсилювачі виконані на ОП  $D_2$  (рис.2) та ОП  $D_3$  (рис. 3). Вимірювальний підсилювач у схемі (рис. 3) додатково містить диференційний підсилювач  $D_2$ , а в схемі (рис. 2) – повторювач Пт. Вихідні інформативні напруги таких перетворювачів для режимів вимірювання адмітансу та імпедансу, а також їм відповідні опорні напруги та, відповідно, для першого (рис.2) та другого (рис. 3) перетворювачів на фіксованій частоті описуються залежностями (без урахування параметрів вимірювального підсилювача, а саме комплексних коефіцієнтів підсилення):

$$U_x^Y = -U_T \frac{Y_x}{Y_0}; \quad U_x^Z = -U_T \frac{1}{1 + \frac{1}{k} \left(1 + \frac{Z_x}{Z_0}\right)} \frac{Z_x}{Z_0}; \quad (1)$$

$$U_0^Y = U_T; \quad U_0^Z = -U_T \frac{1}{1 + \frac{1}{k} \left(1 + \frac{Z_x}{Z_0}\right)}, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт ДП;  $U_T$  – рівень напруги ДТС.

**Перетворення векторної активної величини в скалярні величини.** За допомогою перетворювачів вектор-скаляр ПВС1, ПВС2 виділяють відповідно реактивну та активну складові  $U_1, U_2$  комплексної напруги  $U_x$ . Перетворювачем вектор-скаляр ПВС3 формується опорна напруга  $U_3$ . Отже, для загального випадку вимірювання параметрів комплексної провідності отримуємо (для фіксованого значення частоти)

$$U_1^Y = U_m \operatorname{Im}(U_x^Y) R_0 b_1; \quad (3)$$

$$U_2^Y = U_m \operatorname{Re}(U_x^Y) R_0 b_2; \quad (4)$$

$$U_3^Y = U_m b_3, \quad (5)$$

а для вимірювання параметрів комплексного опору маємо

$$U_1^Z = U_m \operatorname{Im}(U_x^Z) \frac{1}{R_0} a b_1; \quad (6)$$

$$U_2^Z = U_m \operatorname{Re}(U_x^Z) \frac{1}{R_0} a b_2; \quad (7)$$

$$U_3^Z = U_m a b_3, \quad (8)$$

де  $R_0$  – зразкова міра опору;  $a$  – коефіцієнт формування опорної напруги, який в режимі вимірювання параметрів імпедансу дорівнює  $\frac{1}{1 + \frac{1}{k} \left(1 + \frac{Z_x}{R_0}\right)}$ ;  $b_1, b_2, b_3$  –

відповідно коефіцієнти перетворювачів ПВС1, ПВС2, ПВС3;  $U_m$  – амплітудне значення тестового сигналу.

Враховуючи, що напруги (3), (4), (5), (7) пропорційні до відповідних складових імпедансу, внаслідок аналого-цифрового перетворення інтегровальними АЦП одержуємо

$$\operatorname{Im}(Y_x) = \frac{b_3}{b_1 R_0} \frac{T_1}{T_0};$$

$$\operatorname{Re}(Y_x) = \frac{b_3}{b_2 R_0} \frac{T_2}{T_0};$$

$$\operatorname{Im}(Z_x) = \frac{b_1 R_0}{b_1} \frac{T_3}{T_0};$$

$$\operatorname{Re}(Z_x) = \frac{b_2 R_0}{b_3} \frac{T_4}{T_0}, \quad (9)$$

де  $T_0, T_1 - T_4$  – інтервали інтегрування АЦП.

На кожній із частот вимірювача отримують результати вимірювання, аналогічні до (9). За одержаними результатами можна розрахувати будь-які інформативні параметри імітансу багатоеlementного двополюсника як ємнісного, так індуктивного характеру.

**Висновки.** Реалізація звичайної та оберненої функцій перетворення активним перетворювачем імітансу в одній структурі вимірювального засобу дає можливість:

1) винести комутувальні пристрої режимів роботи універсального вимірювального засобу за межі вимірювального кола. Це істотно зменшує вимоги до комутувальних елементів та усуває похибки, що зумовлені ними;

2) підвищити запас стійкості активного векторного перетворювача під час дистанційних вимірювань імітансу різного характеру, оскільки об'єкт контролю не вмикається в коло від'ємного зворотного зв'язку операційного підсилювача;

3) застосовувати однакові алгоритми коригування похибок вимірювання, зумовлених неінформативними вхідними параметрами;

4) використовувати уніфіковані пристрої для побудови універсальних вимірювальних засобів імітансу багатоеlementних двополюсників з широким діапазоном вимірювання.

1. Хома В.В. *Розвиток теорії і принципів побудови проблемно-орієнтованих засобів вимірювання імітансу. Автореф. докт. дис. 2000.* 2. *Високочастотні засоби вимірювання фізичних величин із самоналаго-*

*джуванням і автокорекцією похибок / П.М. Таланчук, Ю.О. Скрипник, Дубровний В.О. – К., 1996.* 3. Головка Д.Б., Скрипник Ю.О. *Методи та засоби частотно - дисперсійного аналізу речовин та матеріалів: – Фізичні основи. – К., 2000.* 4. Походило Є.В. *Вимірювання параметрів імітансу в задачах кваліметрії // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – № 59. – С. 22–27.* 5. Походило Є.В. *Об'єкти імітансних вимірювань в кваліметрії // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – № 61. – С. 47–53.* 6. *Universal digital instruments for measuring systems / N. Gitshow, A. Konopkin, R. Kurdydyk, J. Pochodylo, V. Tkatchenko. Modern electrical and magnetic measurements (7-fh tc-4), Symposium, Prague, 1995, Czech Republic.* 7. Гаврилюк М.О., Походило Є.В., Соголовський Є.П., Хома В.В. *Вимірювачі імітансу з прямим перетворенням // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1996. – Вип. 52.* 8. *Измерения в электронике. / Под ред. В.А. Кузнецова. – М., 1987.* 9. Швецький Б.И. *Электронные цифровые приборы. – К., 1981.* 10. А.С. №834603(СРСР). *Преобразователь сопротивления / М.О. Гаврилюк, Є.В. Походило, Є.П. Соголовський. – Оубл. в бюл. № 20, 1981.* 11. Походило Є.В. *Перетворювач CLR-параметрів комплексних опорів. Патент України №18748. Оубл. в Бюл. № 6, 1997.* 12. А.С. №1061068(СРСР). *Измеритель CLR-параметров / Гаврилюк М.О., Походило Є.В., Соголовський Є.П., Хома В.В. – Оубл. в бюл. № 46, 1983.* 13. Гаврилюк М.О., Походило Є.В., Соголовський Є.П., Хома В.В. *Вимірювач CLR-параметрів. Патент України №6357. Оубл. в бюл. №8–1, 1994.* 14. Нуберт Г.П. *Измерительные преобразователи неэлектрических величин. – Л., 1970.* 15. Походило Є.В. *Малогабаритные измерители CLR-параметров прямого преобразования. Автореф. канд. дис. 1990.*