

операції вимірювання однотипні) при переміщенні вздовж траси. Місцезнаходження струмопроводу, яке априорі точно не відоме, достатньо приблизно оцінювати за сигналами H_1 і H_2 від крайніх давачів; цього достатньо, щоб оператору “не збитись з траси” при переміщенні вздовж струмопроводу під час його обстеження.

Висновки

Розроблено метод безконтактних вимірювань струму за вимірами модулів напруженості магнітного поля у трьох точках площини, перпендикулярної до струмопроводу, що забезпечує якісно нові можливості створення автоматизованої апаратури для обстежень стану протикорозійного захисту підземних трубопроводів та інших струмопровідних комунікацій.

Перевагою запропонованого методу над раніше відомими є підвищення точності БВС, зумовлене вилученням похибок від взаємної орієнтації давачів МП та від зміщення і орієнтації їх бази щодо струмопроводу.

1. Джала Р.М. *Методи безконтактних вимірювань струмів при корозійних обстеженнях підземних трубопроводів // Протикорозійний захист підземних споруд та методи неруйнівного контролю, КСП-97.* – Львів, 1997. – С. 15–36. 2. Джала Р.М. *Метод безконтактних вимірювань струмів для контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів // Фізико-хімічна механіка матеріалів.* – 1999. – Т.35, № 3. – С. 105–112. 3. Джала Р.М. *Електромагнітні обстеження і контроль корозії трубопроводів // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібник / Під заг. ред. В.В. Панасюка.* – Т.5: *Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З.Т. Назарчука.* – Львів. – 2001. – Розд. 5. – С. 263–330. 4. Максименко О.П., Кулинич Я.П. *Безконтактне вимірювання струму трикомпонентним первинним перетворювачем. // Фізичні методи та засоби контролю матеріалів та виробів: Матеріали н.-т. конференції “Леотест-98”.* – Славське, 1998. Київ-Львів, 1998. – С. 25–27. 5. Джала Р.М. *Градiєнтний та паралаксний методи безконтактних вимірювань струмів при обстеженнях підземних трубопроводів // Метрологічне забезпечення в галузі електричних, магнітних та радіовимірювань: III Міжнар. н.-т. конф. “Метрологія в електроніці”.* – Наукові праці у 2-х томах. – Харків, 2000. – Т. 1. – С.110–113. 6. А.с. 1788852, СССР. МКІ² G01R19/00. *Способ бесконтактного определения тока в подземном токопроводе.* / Р.М. Джала – Рег. 15.09.1992. – 4 с.

УДК 621.317.73

Є.В. Походило

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

АНАЛІЗ МЕТОДИЧНИХ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІМІТАНСУ

© Походило Є.В., 2005

Проаналізовано методичні похибки вимірювання параметрів імітансу низькоомних та високоомних об’єктів. Одержано вирази для оцінювання похибок від впливу неінформативного імітансу.

The methodical measuring errors of parameters of an immittance of low-impedance and high-ohmic objects are parsed. The expressions for estimation of errors from influencing not informative immittance are obtained.

Вступ

Однією з причин виникнення методичної похибки вимірювання параметрів імітансу багатоелементного двополосника, яким подаються об’єкти контролю, зокрема об’єкти кваліметрії як електричної, так і неелектричної природи, є спотворення їх схем заміщення у ході під’єднання до

вимірювального засобу. Особливо сильно проявляється таке спотворення на краях діапазону зміни інформативних параметрів об'єктів контролю. Разом з тим, задачі кваліметрії потребують здійснення вимірювань параметрів таких об'єктів в широкому діапазоні абсолютних змін імпедансу, яким подається вид продукції. Активна складова такого імпедансу може мати значення від одиниць–десятків Ом (матеріали з великими втратами, розчини) до $10^6 - 10^9$ Ом (сухі деревина та зерно, бензин) і більше. Співвідношення між активною та реактивною складовими також може лежати у доволі широких межах (від “суто” активного до “суто” реактивного характеру імпедансу).

Стан проблеми

З теорії вимірювань опору відомо, що для вимірювання низькоомних об'єктів доцільно оперувати комплексним опором, а для високоомних – комплексною провідністю [1]. Похибки векторних перетворювачів, що використовують у вимірювальних засобах прямого перетворення, переважно зумовлені порушенням рівності струмів через вимірювальний об'єкт та прийняту для порівняння міру [2]. Призводить до цього наявність послідовного та паралельного неінформативного імпедансу. Це є однією з причин обмеження діапазону вимірювання CLR-параметрів комплексного опору та провідності. Обмеження зверху (малі значення ємностей і провідностей та великі значення індуктивностей і опорів) зумовлені адмітансом, який переважно подається паралельною схемою заміщення ємнісного характеру з ємністю C та опором R . Обмеження знизу (великі значення ємностей і провідностей та малі значення індуктивностей і опорів) зумовлені імпедансом, який подається переважно послідовною схемою заміщення індуктивного характеру з індуктивністю L та опором R . Так, в активному перетворювачі CLR-параметрів у напругу [3] неінформативний імпеданс призводить до зміни еквівалентної схеми об'єкта вимірювання, значення параметрів якого розміщені в низькоомній або високоомній ділянках діапазону. Без ап'юріорної інформації про режим роботи вимірювального засобу практично неможливо відокремити інформативний імпеданс від неінформативного.

Узагальнені схеми векторних перетворювачів

З урахуванням зазначеного, узагальнені схеми найпоширеніших активних векторних перетворювачів із звичайною (ЗФП) (рис. 1, а) та оберненою (ОФП) (рис. 1, б) функціями перетворення [4] мають вигляд, зображений на рис. 1.

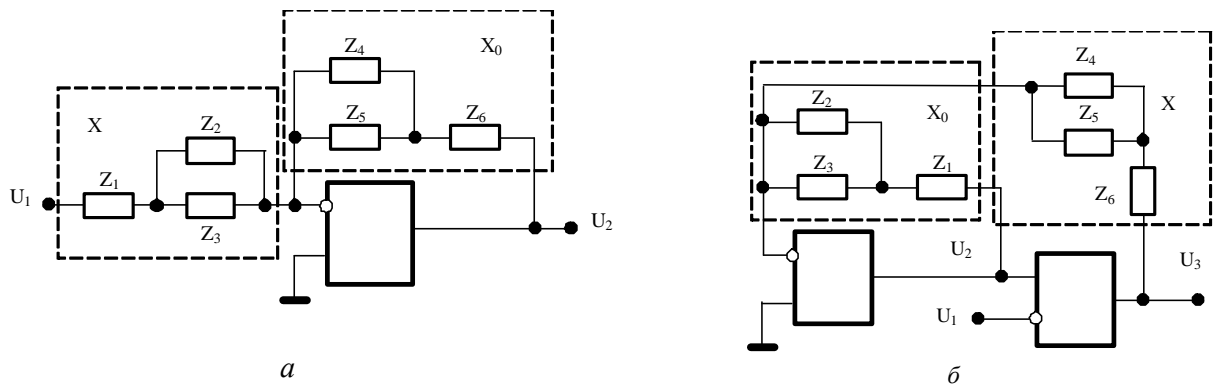


Рис. 1. Загальні схеми векторних перетворювачів із звичайною (а) та оберненою (б) функціями перетворення

Коефіцієнт перетворення таких перетворювачів

$$K = \frac{Z_5}{Z_3} \frac{\left[1 + \frac{Z_3}{Z_2} + \frac{Z_3 Z_6}{Z_2 Z_4} + \frac{Z_3 Z_6}{Z_2 Z_5} + \frac{Z_6}{Z_4} + \frac{Z_6}{Z_5} \right]}{\left[1 + \frac{Z_5}{Z_4} + \frac{Z_1 Z_5}{Z_2 Z_4} + \frac{Z_1 Z_5}{Z_3 Z_4} + \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_1}{Z_3} \right]}, \quad (1)$$

де Z_3, Z_5 – вимірюваний і зразковий імпеданс, відповідно; Z_1, Z_6 – неінформативний імпеданс індуктивного характеру з індуктивною ωL та активною R складовими; Z_2, Z_4 – неінформативний адмітанс ємнісного характеру з ємнісною ωC та активною G складовими.

Відомо [5], що роздільне перетворення параметрів комплексної провідності та комплексного опору в напругу забезпечують структури АП із ЗФП (рис. 2, а, б) та ОФП (рис. 2, в, г).

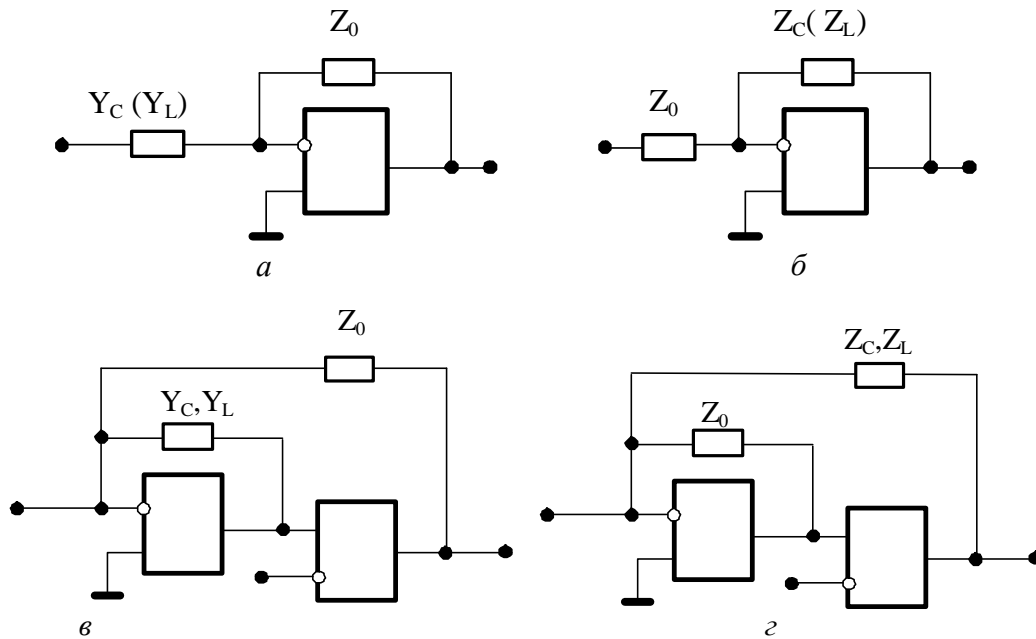


Рис. 2. Загальні схеми векторних перетворювачів: а, б – із ЗФП; в, г – з ОФП

Кожна з наведених на рис. 2 схем може бути використана для вимірювання складових імпедансу двополусників в широкому діапазоні зміни їх значень, оскільки в багатьох практичних задачах є потреба вимірювати вказані параметри як у режимі заданої напруги (рис. 2, а, в), так і у режимі заданого струму (рис. 2, б, г). Відповідно, доцільно оцінити вплив неінформативного імпедансу для кожного з перетворювачів. Оскільки вплив імпедансу буде проявлятися в режимі вимірювання низькоомних об'єктів, а вплив адмітансу – відповідно, високоомних, то з виразу (2) отримаємо

$$K_H = \frac{Z_5}{Z_3} \frac{1 + \frac{Z_6}{Z_5}}{1 + \frac{Z_1}{Z_3}}, \quad K_B = \frac{Z_5}{Z_3} \frac{1 + \frac{Z_3}{Z_2}}{1 + \frac{Z_5}{Z_4}}, \quad (2)$$

де K_H, K_B – коефіцієнти передачі, відповідно, при вимірюванні низькоомних та високоомних об'єктів.

Аналіз методичних похибок

Абсолютну векторну похибку можна подати у вигляді амплітудної та фазової складових [6] або у вигляді активної Δ_1 та реактивної Δ_2 складових, що визначаються різницею реальних (2) та ідеальних $\left(K_H = K_\epsilon = \frac{Z_5}{Z_3} \right)$ коефіцієнтів передачі перетворювача.

Отримані автором аналітичні вирази, за якими можна оцінювати складові векторної похибки, для режимів вимірювання адмітансу, та імпедансу наведеними на рис. 2 схемами, зведені в таблицю.

Вирази для оцінювання складових методичних векторних похибок

Імітанс та його характер	Абсолютні значення складових векторної похибки (активна – Δ_1 , реактивна – Δ_2)		Позначення	
	вимірювання низькоомних об'єктів	вимірювання високоомних об'єктів		
$Y = G + jB$	$\Delta_1 = a(m^2 - n^2) + 2bmn$ $\Delta_2 = b(m^2 - n^2) - 2amn$	$\Delta_1 = a$ $\Delta_2 = b$	$m = R_0 G_x$; $n = R_0 B_x^C$	$a = R_0 G$ $b = R_0 B$
$Y = G - jB$	$\Delta_1 = -a(m^2 + n^2)$ $\Delta_2 = -b(m^2 + n^2)$	$\Delta_1 = a$ $\Delta_2 = b$	$m = R_0 G_x$; $n = R_0 B_x^L$	
$Z = R - jX$	$\Delta_1 = a$ $\Delta_2 = b$	$\Delta_1 = -a(m^2 + n^2)$ $\Delta_2 = -b(m^2 + n^2)$	$m = \frac{R_x}{R_0}$; $n = \frac{X^C}{R_0}$	$a = \frac{R}{R_0}$ $b = \frac{X}{R_0}$
$Z = R + jX$	$\Delta_1 = a$ $\Delta_2 = b$	$\Delta_1 = a(m^2 - n^2) + 2bmn$ $\Delta_2 = b(m^2 - n^2) - 2amn$	$m = \frac{R_x}{R_0}$; $n = \frac{X^L}{R_0}$	

Висновки та рекомендації

Аналіз отриманих результатів дає змогу зробити такі висновки.

1) Похибки вимірювання низькоомних об'єктів за схемами б), г) та високоомних – за схемами а і в, наведеними на рис. 2, мають адитивний характер і можуть бути скориговані при $m, n = 0$. Характер похибок вимірювання низькоомних об'єктів за схемами а і в аналогічний характеру похибок вимірювання високоомних об'єктів за схемами б і г, відповідно.

2) Зменшення похибок вимірювання досягається відповідним під'єднанням контрольованого об'єкта, зменшенням значень m та n або застосуванням певного алгоритму корекції. Переважно зменшення впливу неінформативного (ωC та R) адмітансу досягається застосуванням тризатискачевої схеми під'єднання, а зменшення впливу неінформативного імпедансу – чотиризатискачевої схеми. В результаті це призводить до зменшення значень a і b (див. позначення в таблиці). Зменшення значень m і n досягається зменшенням співвідношення значень зразкового та вимірюваного параметрів.

На основі зазначеного можна сформулювати рекомендації для практичного застосування:

1) для побудови вимірювальних засобів імітансу високоомних об'єктів доцільно використовувати активні перетворювачі за схемами а і в, а низькоомних – за схемами б і г, зображеними на рис. 2;

2) при побудові універсальних вимірювачів з лінійною функцією перетворення доцільно об'єднувати схеми для вимірювання адмітансу ємнісного та імпедансу індуктивного характеру;

3) при побудові широкодіапазонних вимірювачів параметрів імітансу двополосників ємнісного чи індуктивного характеру необхідно поєднувати перетворювачі адмітансу та імпедансу відповідного характеру.

Виконання зазначених рекомендацій дасть змогу усунути методичну похибку, зумовлену зміною схем заміщення об'єктів контролю через вплив неінформативного імітансу.

1. Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Колевских и др. ; Под ред. В. А. Кузнецова. – М., 1987.. 2. Походило Є.В. Вимірювання параметрів пасивних величин з використанням принципу двоканальності // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2000. – Вип. 57. – С. 27–31. 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. – 40 с. 4. Измеритель CLR-параметров: А.с. 1061068 СССР, МКИ G 01 R 27/26 / М.А.Гаврилюк, Е.В.Походило, Е.П. Соголовский, В.В.Хома. – №3441685/18-21; Заявлено 18.05.82; Опубл. 15.12.83, Бюл. № 46. – 4 с.ил. 5. Гаврилюк М.О., Походило Є.В., Соголовський Є.П., Хома. В. В. Вимірювачі імтансу з прямим перетворенням // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1996. – Вип. 52. – С.27–29. 6. Походило Є.В. Малогабаритные измерители CLR – параметров прямого преобразования: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.11.05 / ЛПИ. – Львов: 1990. – 17 с.

УДК 620.1:621.317:621.6

Б.Я. Вербенець

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

АНАЛОГОВА ЧАСТИНА ВИМІРЮВАЛЬНОГО БЛОКА АПАРАТУРИ БІТ-КВП ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНИХ ОБСТЕЖЕНЬ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

© Вербенець Б.Я., 2005

Описано аналогову частину схеми безконтактного вимірювача струму з автоматичною корекцією впливу змін відстані між магнітосприймачами та струмопроводом.

The analogue part of the schema of a contact-free meter of a current with automatic correction of influencing of variations of spacing interval between sensors of a magnetic field and conductor is depicted.

Вступ

Наявність великої кількості протяжних підземних комунікацій (трубопроводів, кабелів) потребує періодичного контролю їх стану для запобігання аваріям, забезпечення надійної експлуатації. Відомі, переважно контактні методи і засоби контролю за інформативністю та оперативністю не задовольняють дедалі більших потреб практики. Тому розробка зручної, автоматизованої, достатньо точної апаратури для обстежень підземних комунікацій є актуальною і практично важливою проблемою.

У статті розглядаємо аналогову частину апаратури БІТ-КВП, створеної у Фізико-механічному інституті НАН України для оперативних обстежень підземних трубопроводів методом безконтактних вимірювань струмів (БВС).

Метод БВС з корекцією відстані

Електричний прямолінійний струм створює концентричне магнітне поле (МП) з гіперболічним зменшенням напруженості при віддаленні від осі струмопроводу. Давачі сприймають МП і видають електричні сигнали, за якими визначаємо координати та силу струму. За реалізованим в апаратурі БІТ-КВП методом [1–4] сигнали від давачів 1 і 2 (рис.1) додаються з урахуванням коефіцієнта корекції [3]. У результаті перетворень отримуємо значення вимірюваного струму за формулою

$$J = k_i J_o \left(\frac{1}{h_i + \Delta h} + K \frac{\Delta h \cdot b}{\rho_1 \cdot \rho^2} \right),$$

де $\Delta h = h - h_i$ – відхилення відстані h між давачем 1 та віссю струмопроводу (рис. 1) від вихідного значення h_i ; $\rho = \sqrt{h^2 + b^2}$ – відстань давача 2 від осі струмопроводу (ρ_i – її значення у вихідному положенні); J_o – струм, який вимірюємо; коефіцієнт перетворення $k_i = h_i$ встановлюється при орієнтації антени відносно струмопроводу, яку здійснює оператор за сигналами від давачів 1 і 3. У розробленій антенній системі БІТ-КВП вибрано 8 значень вихідного положення h_i (з відповідними