

УДК 621.317.73

М. Й. Бурбело, к. т. н., доц.;
Є. Т. Володарський, д. т. н., проф. □

СИНТЕЗ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КІЛ УНІВЕРСАЛЬНИХ КВАЗІЗРІВНОВАЖЕНИХ ЧАСТОТНО-ВАРІАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Розгляд проблеми

Багато об'єктів керування та контролю, що проявляють свої властивості або працюють в динамічних режимах, можна представити багатоелементними двополюсниками, які несуть великий обсяг вимірювальної інформації. Кількість задач, для розв'язання яких необхідно вимірювати параметри багатоелементних двополюсників є достатньо великою і швидко збільшується.

Провідне місце серед методів вимірювань параметрів багатоелементних двополюсників займає метод квазізрівноваження, якому притаманні значні потенційні можливості щодо точності та гнучкості [1...5]. Однак, проблема визначення параметрів динамічних об'єктів залишається в багатьох аспектах не вирішеною. Зокрема, не вирішеною є задача створення універсальних вимірювальних систем динамічних об'єктів.

Постановка завдання

В статті розв'язується задача синтезу вимірювальних кіл універсальних квазізрівноважених частотно-варіаційних вимірювальних систем динамічних об'єктів, представлених чотириелементними двополюсниками.

Обґрунтування результатів

Процедура синтезу квазізрівноважених вимірювальних кіл складається з двох етапів [1, 2]: 1) формування функції \underline{W} , яка забезпечує нарізний відлік параметрів двополюсника; 2) вибору структурної схеми вимірювального кола, що відповідає сформованій функції і відповідає вимогам фізичної реалізації.

Комплексну функцію \underline{W} квазізрівноважених вимірювальних систем динамічних об'єктів в багатьох випадках доцільно подати у вигляді [4]

$$\underline{W} = \left(\frac{\Psi_X}{\Psi_0} - \underline{N}_1 \right)^{\pm 1} \underline{N}_2 - \underline{N}_3, \quad (1)$$

де Ψ_X, Ψ_0 — комплексні відносні імітанси вимірюваного та зразкового двополюсників; N_1, \dots, N_3 — комплексні відносні коефіцієнти, значення яких визначаються операціями масштабування, диференціювання та інтегрування, за допомогою яких можна забезпечити формування функцій W для вимірювання параметрів двополюсників з будь-якими схемами заміщення.

Функція кола, представлена у формі запису (1), є інструментом синтезу квазірівноважених вимірювальних кіл. На першому етапі необхідно сформулювати вираз (1) таким чином, щоб забезпечити компенсацію опорів відособлених елементів.

На другому етапі синтезу за допомогою елементарних перетворень здійснюється перехід від виразу (1) до одного з виразів

$$W = \frac{N_0 \Psi_X - (N_1 + N_2 N_3^{-1}) \Psi_0}{N_3^{-1} \Psi_0}; \quad W = \frac{N_0 \Psi_X - (N_1 + N_2 N_3^{-1}) \Psi_0}{N_3^{-1} (N_0 \Psi_X - N_1 \Psi_0)}, \quad (2)$$

в залежності від того, чи наявним є перетворення інверсії (знак мінус показника степеня), з яких після підстановки $\Psi_X = -\underline{H}_1$ та $\Psi_0 = -\underline{H}_2$ безпосередньо впливає структура кола, якщо для його реалізації використовуються операційні підсилювачі в інвертувальному увімкненні, а вимірюванню підлягають двополюсники з Ψ_X , що відповідає адмітансу.

Якщо Ψ_X характеризує імпеданс вимірюваного двополюсника, то необхідно виконати зворотні підстановки $\Psi_X = -1/\underline{H}_1$; $\Psi_0 = -1/\underline{H}_2$.

Якщо для реалізації вимірювальних кіл передбачається використання інших операційних перетворювачів, то необхідно встановити зв'язок їх комплексних коефіцієнтів передавання з комплексними імітансами і виконати їх підстановки в (2).

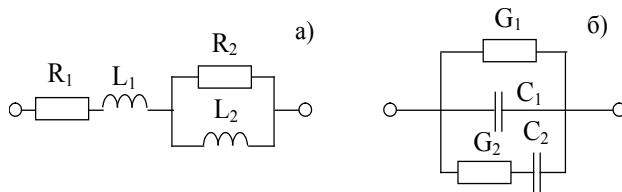


Рис. 1. Схеми заміщення вимірюваних двополюсників

вигляді:

$$W_1 = \left(\frac{\underline{Z}_X}{R_0} - k_1 \right) \frac{1}{j\omega\tau} - k_2; \quad W_1 = \left(\frac{\underline{Y}_X}{G_0} - k_1 \right) \frac{1}{j\omega\tau} - k_2, \quad (3)$$

де $\underline{Z}_X, \underline{Y}_X$ — комплексні опір та провідність вимірюваного двополюсника ($\underline{Y}_X = 1/\underline{Z}_X$); R_0, G_0 — опір та провідність зразкових мір опору $G_0 = 1/R_0$; τ — постійна часу диференціатора Д, що є елементом вимірювального кола; k_1, k_2 — коефіцієнти передавання керованих цифрових подільників напруги відповідно ЦПН₁, ЦПН₂.

У такому випадку структурні схеми компенсаційно-мостових вимірювальних кіл (рис. 2а, б), реалізованих на основі операційних перетворювачів з інвертувальним увімкненням операційних підсилювачів, характеризуються відповідно функціями

$$W_1 = \frac{\underline{H}_2 - \underline{H}_1(k_1 + j\omega\tau k_2)}{\underline{H}_1 j\omega\tau}; \quad W_1 = \frac{\underline{H}_1 - \underline{H}_2(k_1 + j\omega\tau k_2)}{\underline{H}_2 j\omega\tau},$$

де $\underline{H}_1, \underline{H}_2$ — комплексні коефіцієнти передавання операційних перетворювачів ($\underline{H}_1 = -R_{01}/\underline{Z}_X = -R_{01}\underline{Y}_X$; $\underline{H}_2 = -R_{02}/R_0 = -R_{02}G_0$).

Поряд з функцією \underline{W}_1 в цих колах можна також використати функцію $\underline{W}_2 = j\omega\tau\underline{W}_1$. В обох колах (рис. 2а та б) функція \underline{W}_1 формується як відношення напруги \dot{U}_4 до напруги \dot{U}_3 , а функція \underline{W}_2 — як відношення напруги \dot{U}_4 до напруги \dot{U}_1 (рис. 2а) або до напруги \dot{U}_2 (рис. 2б).

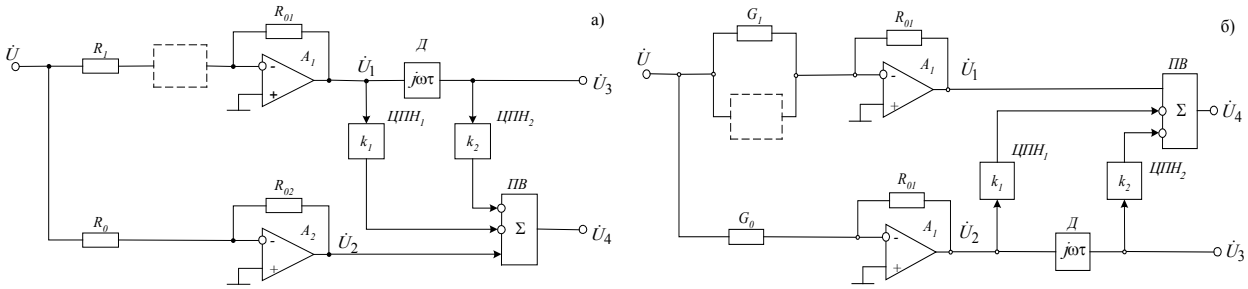


Рис. 2. Квазірівноважене компенсаційно-мостове коло для вимірювання параметрів чотириелементних двополюсників переважно резистивного характеру

Вирази для функцій кола (3) можуть бути записані через параметри вимірюваних двополюсників, наприклад, для RL -двополюсника (рис. 1а) у вигляді

$$\underline{W}_1 = \frac{(R_1 - k_1 R_0) + j\omega(L_1 - k_2 R_0\tau) + \frac{j\omega L_2 R_2}{R_2 + j\omega L_2}}{j\omega R_0\tau}$$

Регулюванням коефіцієнта передавання k_1 ЦПН₁ коло (рис. 2а) можна привести до стану квазірівноваги $R_1 - k_1 R_0 = 0$, а регулюванням коефіцієнта передавання k_2 ЦПН₂ — до стану квазірівноваги $L_1 - k_2 R_0\tau = 0$. В цих станах забезпечується роздільний відлік параметрів R_1 та L_1 за значеннями коефіцієнтів передавання k_1 та k_2 . Решту параметрів визначають опосередковано за значеннями складових функцій \underline{W} після досягнення двох станів квазірівноваги.

Аналогічно, регулюванням коефіцієнтів передавання k_1 та k_2 коло (рис. 2б) можна привести до станів квазірівноваги $G_1 - k_1 G_0 = 0$, $C_1 - k_2 G_0\tau = 0$.

У разі вимірювання параметрів чотириелементних двополюсників переважно реактивного характеру зі схемами заміщення (рис. 1) узагальнену функцію кола можна сформувати для RL - та RC -двополюсників відповідно у вигляді

$$\underline{W}_3 = \left(\frac{Z_X}{j\omega L_0} - k_1 \right) j\omega\tau - k_2; \quad \underline{W}_3 = \left(\frac{Y_X}{j\omega C_0} - k_1 \right) j\omega\tau - k_2. \tag{4}$$

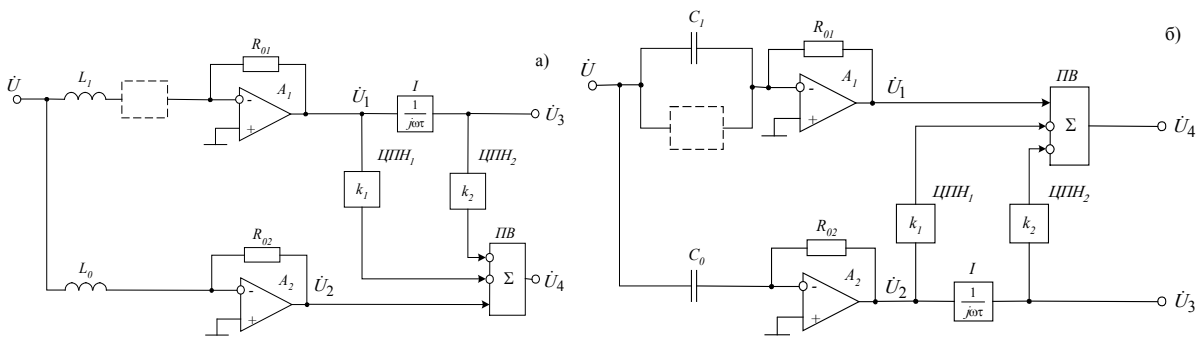


Рис. 3. Квазірівноважене компенсаційно-мостове коло для вимірювання параметрів чотириелементних двополюсників

В даному випадку в колах, що зображені на рис. 2, міру опору R_0 (G_0) необхідно замінити мірою індуктивності L_0 або ємності C_0 , а замість диференціатора використати інтегратор I з коефіцієнтом передавання $1/j\omega\tau$ (рис. 3). Поряд з функцією \underline{W}_3 в цих колах можна також використати функцію $\underline{W}_4 = \underline{W}_3/j\omega\tau$. В обох колах (рис. 3а та б) функція \underline{W}_3 формується як відношення напруги \dot{U}_4 до напруги \dot{U}_3 , а функція \underline{W}_4 — як відношення напруги \dot{U}_4 до напруги \dot{U}_1 (рис. 3а)

або до напруги \dot{U}_2 (рис. 3б).

Вирази для функцій кола (4) можуть бути подані через параметри вимірюваних двополосників, наприклад, для RL -двополосника (рис. 1а):

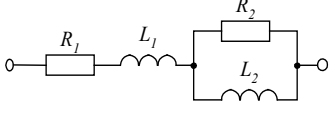
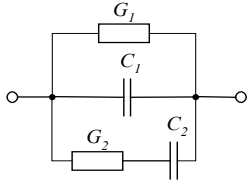
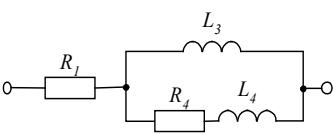
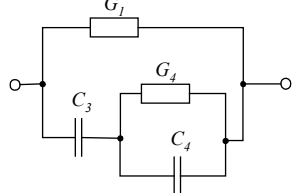
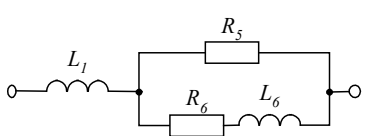
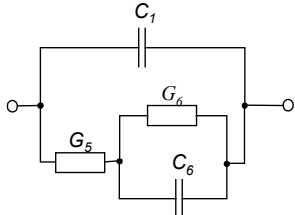
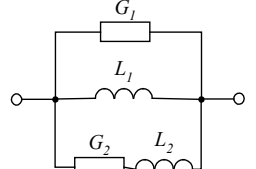
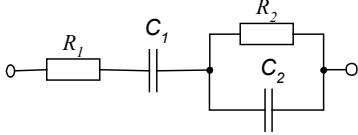
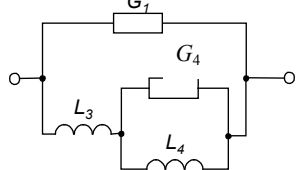
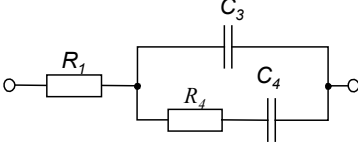
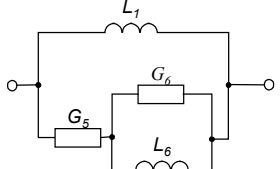
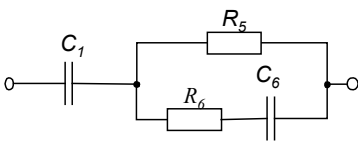
$$\underline{W}_3 = \left((R_1\tau - k_2L_0) + j\omega\tau(L_1 - k_1L_0) + \frac{j\omega\tau L_2 R_2}{R_2 + j\omega L_2} \right) / L_0.$$

Регулюванням k_1 можна досягти стану квазірівноваги $L_1 - k_1L_0 = 0$, а регулюванням k_2 — стану квазірівноваги $R_1\tau - k_2L_0 = 0$.

Схеми заміщення двополосників, параметри яких можуть бути виміряні за допомогою розглянутих вимірювальних кіл показані в табл. 1.

Таблиця 1

Схеми заміщення вимірюваних чотириелементних двополосників

№ п/п	Індуктивні двополосники	Ємнісні двополосники
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Вимірювальні кола (рис. 2) забезпечують також вимірювання параметрів двополюсників резистивного характеру зі схемами заміщення 2 та 3. Для вимірювання параметрів двополюсників зі схемами заміщення 2 використовується функція кола \underline{W}_1 , яка в цьому випадку для RL -двополюсника має такий вигляд

$$\underline{W}_1^{(2)} = \frac{(R_1 - k_1 R_0) + j\omega(L_3 - k_2 R_0 \tau) + \frac{\omega^2 L_3^2}{R_4 + j\omega(L_3 + L_4)}}{j\omega \tau R_0},$$

де верхній індекс функції \underline{W}_1 відповідає схемі заміщення 2.

Регулюванням коефіцієнта передавання k_2 ЦПН₂ коло (рис. 2а) можна привести до стану квазірівноваги $L_3 - k_2 R_0 \tau = 0$. В цьому стані забезпечується роздільний відлік параметра L_3 за значенням коефіцієнта передавання k_2 .

Для вимірювання параметрів двополюсників переважно резистивного характеру зі схемами заміщення 3 використовується функція \underline{W}_2 .

Вимірювальні кола (рис. 3) можуть бути застосовані також для вимірювання параметрів двополюсників переважно реактивного характеру зі схемами заміщення 2 та 3. Функція кола \underline{W}_3 використовується для вимірювання параметрів двополюсників зі схемами заміщення 3, яка для RL -двополюсника в цьому випадку набуває вигляду:

$$\underline{W}_3^{(3)} = \frac{(R_5 \tau - k_2 L_0) + j\omega(L_1 - k_1 L_0) \tau + \frac{R_5^2 \tau}{R_5 + R_6 + j\omega L_6}}{L_0}.$$

Регулюванням k_2 можна досягти стану квазірівноваги $R_5 \tau - k_2 L_0 = 0$.

Для вимірювання параметрів двополюсників переважно реактивного характеру зі схемами заміщення 2 використовується функція кола \underline{W}_4 .

Вимірювальні кола, що зображені на рис. 2, після заміни міри опору на міру індуктивності або ємності можуть бути також використані для вимірювання параметрів двополюсників зі схемами заміщення 4, 5 та 6 переважно реактивного характеру, а вимірювальні кола, подані на рис. 3, після заміни міри індуктивності або ємності на міру опору — для вимірювання параметрів двополюсників зі схемами заміщення 4, 5 та 6 резистивного характеру.

В табл. 2 наведені правила вибору вимірювальних кіл для забезпечення вимірювань параметрів усіх схем заміщення.

Таблиця 2

Правила вибору вимірювальних кіл та зразкових мір

Вимірюваний об'єкт			Вимірювальне коло	
Тип	Характер	Схема заміщення	Схема	Міра
<i>RL</i>	резистивний	1, 2, (3)	2а	R_0
	резистивний	4, 5, (6)	3б	R_0
	реактивний	1, (2), 3	3а	L_0
	реактивний	4, (5), 6	2б	L_0
<i>RC</i>	резистивний	1, 2, (3)	2б	R_0
	резистивний	4, 5, (6)	3а	R_0
	реактивний	1, (2), 3	3б	C_0
	реактивний	4, (5), 6	2а	C_0

Примітка. В дужках вказані схеми заміщення, для вимірювання параметрів яких необхідно замість функції W_1 використати функцію W_2 або замість функції W_3 використати функцію W_4 .

Вимірювання параметрів чотириелементних двополюсників може здійснюватися в скалярних або векторних режимах. В подальшому необхідно дослідити метрологічні характеристики вимірювальних кіл у разі застосування цих режимів.

Висновки

Розроблені структурні схеми універсальних вимірювальних кіл, принцип дії яких оснований на перетворенні паралельного перенесення комплексної площини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Плотников В. Г. Квазиуравновешенные цепи для измерения параметров объектов, представляемых многоэлементными электрическими двухполюсниками. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Львов. — 1987. — 23 с.
2. Бурбело М. И. Квазиуравновешенные цепи для измерения электрических параметров емкостных датчиков влагомеров нефти и нефтепродуктов. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Киев. — 1987. — 18 с.
3. Боровских Л. П. Обобщенный подход к измерению параметров многоэлементных двухполюсников методом квазиуравновешивания // Измерительная техника. — 1999. — № 12. — С. 47—50.
4. Бурбело М. Й. Синтез квазірівноважених кіл для вимірювання параметрів багатоелементних електричних двополюсників // Технічна електродинаміка. — 2003. — № 2. — С. 76—79.
5. Бурбело М. И. Универсальные квазиуравновешенные мосты для измерения параметров четырёхэлементных двухполюсников // Измерительная техника. — 2001. — № 11. — С. 39—41.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергозбереження

Надійшла до редакції 25.12.03
Рекомендована до опублікування 11.02.04

Бурбело Михайло Йосипович — доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергозбереження.

Вінницький національний технічний університет;

Володарський Євген Тимофійович — професор кафедри автоматизації експериментальних досліджень.

Національний технічний університет України «КПІ».