

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЧОТИРИЕЛЕМЕНТНИХ RL-ДВОПОЛЮСНИКІВ В СКАЛЯРНИХ РЕЖИМАХ

Розгляд проблеми

Підвищення інформативності вимірювань параметрів об'єктів шляхом диференціації їх моделей та створення багатовимірних систем забезпечує на якісно вищому рівні вирішення ряду задач, зокрема, безітераційного симетрування трифазних навантажень, компенсації реактивної потужності в умовах несинусоїдності, визначення електричних параметрів машин, побудови інваріантних вимірювальних систем неелектричних величин.

Для вимірювання параметрів багатоелементних моделей знаходять застосування квазірівноважені частотно-варіаційні вимірювальні системи [1—5], основною перевагою яких є можливість забезпечення вимірювань в скалярних режимах, що дозволяє розв'язати контури регулювання і забезпечує порівняно високу швидкодію отримання інформації. Разом з тим, актуальним залишається питання підвищення точності вимірювань параметрів багатовимірних моделей.

В [2, 3] розглянута можливість побудови квазірівноважених кіл для вимірювання параметрів чотириелементних двополюсників в скалярних режимах з використанням принципу перенесення комплексної площини. Однак, компонентно-модульний критерій квазірівноваги, який використано в цих роботах, характеризується порівняно низькою чутливістю, що не завжди забезпечує достатню точність зрівноваження. В [5] отримано низку нових компонентних критеріїв квазірівноваги, дослідження яких викликає інтерес.

Постановка завдання

Ставиться задача дослідження похибок вимірювання параметрів чотириелементних RL-двополюсників у разі застосування компонентних критеріїв квазірівноваги в скалярних режимах вимірювання.

Обґрунтування результатів

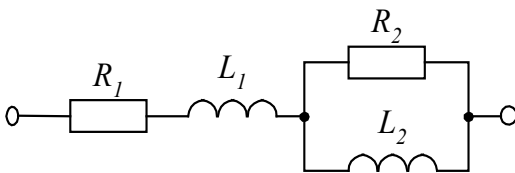


Рис. 1. Чотириелементний RL-двополюсник

Для вимірювання параметрів чотириелементного двополюсника (рис. 1) як переважно резистивного, так і переважно реактивного характеру узагальнені функції кола можна сформулювати у вигляді [4]:

$$\underline{W}_1 = \left(\frac{\underline{Z}_x}{R_0} - k_1 \right) \frac{1}{j\omega\tau} - k_2; \quad (1)$$

$$\underline{W}_2(j\omega) = j\omega\tau \underline{W}_1(j\omega), \quad (2)$$

де \underline{Z}_x — комплексний опір вимірюваного двополюсника; R_0 — опір зразкової міри опору; τ — постійна часу диференціатора Д, що є елементом вимірювального кола; k_1 , k_2 — коефіцієнти передавання керованих цифрових подільників напруги ЦПН₁, ЦПН₂.

Структурна схема вимірювального кола зображена на рис. 2. Функція \underline{W}_1 вимірювального кола формується як відношення напруги \dot{U}_4 до напруги \dot{U}_3 . Функція \underline{W}_2 формується як відношення напруги \dot{U}_4 до напруги \dot{U}_1 .

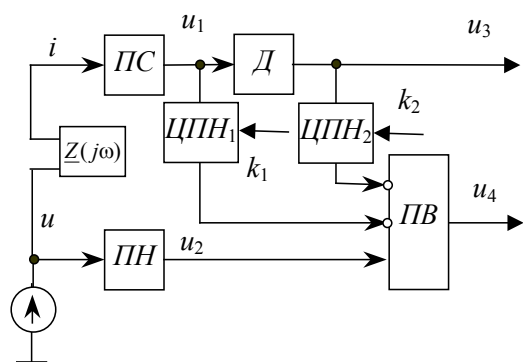


Рис. 2. Квазірівноважене компенсаційно-мостове коло для вимірювання параметрів чотириелементних двополосників: ПС, ПН — масштабно-перетворювачі струму та напруги; ЦПН₁, ЦПН₂ — цифрові подільники напруги; Д — диференціатор; ПВ — пристрій віднімання

комплексної площини, під час вимірювання параметрів двополосника (рис. 1) можливим є використання таких критеріїв квазірівноваги [5]:

$$Q_1 = \begin{vmatrix} \text{Im } \underline{W}_1(j\omega_1)/\omega_1 & \text{Re } \underline{W}_1(j\omega_1) & 1 \\ \text{Im } \underline{W}_1(j\omega_2)/\omega_2 & \text{Re } \underline{W}_1(j\omega_2) & 1 \\ \text{Im } \underline{W}_1(j\omega_3)/\omega_3 & \text{Re } \underline{W}_1(j\omega_3) & 1 \end{vmatrix} = 0; \quad (3)$$

$$Q_2 = \begin{vmatrix} \text{Im } \underline{W}_2(j\omega_1)/\omega_1 & \text{Re } \underline{W}_2(j\omega_1)/\omega_1^2 & 1 \\ \text{Im } \underline{W}_2(j\omega_2)/\omega_2 & \text{Re } \underline{W}_2(j\omega_2)/\omega_2^2 & 1 \\ \text{Im } \underline{W}_2(j\omega_3)/\omega_3 & \text{Re } \underline{W}_2(j\omega_3)/\omega_3^2 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (4)$$

— відповідно у разі використання функцій \underline{W}_1 або \underline{W}_2 під час регулювання параметра k_1 , критеріїв:

$$Q_1 = \begin{vmatrix} \omega_1 \text{Im } \underline{W}_1(j\omega_1) & \omega_1^2 \text{Re } \underline{W}_1(j\omega_1) & 1 \\ \omega_2 \text{Im } \underline{W}_1(j\omega_2) & \omega_2^2 \text{Re } \underline{W}_1(j\omega_2) & 1 \\ \omega_3 \text{Im } \underline{W}_1(j\omega_3) & \omega_3^2 \text{Re } \underline{W}_1(j\omega_3) & 1 \end{vmatrix} = 0; \quad (5)$$

$$Q_2 = \begin{vmatrix} \omega_1 \text{Im } \underline{W}_2(j\omega_1) & \text{Re } \underline{W}_2(j\omega_1) & 1 \\ \omega_2 \text{Im } \underline{W}_2(j\omega_2) & \text{Re } \underline{W}_2(j\omega_2) & 1 \\ \omega_3 \text{Im } \underline{W}_2(j\omega_3) & \text{Re } \underline{W}_2(j\omega_3) & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (6)$$

— теж відповідно у разі використання функцій \underline{W}_1 або \underline{W}_2 під час регулювання параметра k_2 , а також критеріїв

$$Q = \begin{vmatrix} \text{Re } \underline{W}(j\omega_1) & \text{Re } \underline{W}(j\omega_1)/\omega_1^2 & 1 \\ \text{Re } \underline{W}(j\omega_2) & \text{Re } \underline{W}(j\omega_2)/\omega_2^2 & 1 \\ \text{Re } \underline{W}(j\omega_3) & \text{Re } \underline{W}(j\omega_3)/\omega_3^2 & 1 \end{vmatrix} = 0, \quad (7)$$

$$Q = \begin{vmatrix} \text{Re } \underline{W}(j\omega_1) & \omega_1^2 \text{Re } \underline{W}(j\omega_1) & 1 \\ \text{Re } \underline{W}(j\omega_2) & \omega_2^2 \text{Re } \underline{W}(j\omega_2) & 1 \\ \text{Re } \underline{W}(j\omega_3) & \omega_3^2 \text{Re } \underline{W}(j\omega_3) & 1 \end{vmatrix} = 0, \quad (8)$$

які у разі застосування функції \underline{W}_1 можна використати під час регулювання параметра k_2 , а у разі

Регулюванням k_1 можна досягти стану квазірівноваги $R_1 - k_1 R_0 = 0$ або $R_1 + R_2 - k_1 R_0 = 0$, а регулюванням k_2 — $L_1 - k_2 R_0 \tau = 0$ або $L_1 + L_2 - k_2 R_0 \tau = 0$.

Для вибору критеріїв квазірівноваги під час вимірювань параметрів двополосників в скалярних режимах необхідно висунути вимоги до бажаного характеру залежності функції нерівноваги від регульованих параметрів: 1) можливість однозначного фіксування стану квазірівноваги 2) стала чутливість в усьому діапазоні регулювання параметрів; 3) відсутній взаємовплив контурів регулювання; 4) знак функції нерівноваги змінюється в момент досягнення стану квазірівноваги; 5) малі похибки визначення функції нерівноваги.

У вимірювальному колі (рис. 2), принцип роботи якого ґрунтується на паралельному перенесенні

застосування функції \underline{W}_2 — під час регулювання параметра k_1 .

Для критеріїв (3)...(8) чутливість є сталою в усьому діапазоні регулювання параметрів, взаємодія контурів регулювання відсутній, а знак функції нерівноваги змінюється в момент досягнення стану квазірівноваги, що істотно полегшує вибір напрямку зрівноваження.

Під час аналізу вимірювальних кіл необхідно враховувати похибки, які притаманні детекторам квазірівноваги і які приводять до появи похибки визначення функції нерівноваги ΔQ . Збіжність процесу зрівноваження можна визначити шляхом порівняння значень Q та ΔQ . Якщо $\Delta Q > Q$, то приведення мостового кола до стану квазірівноваги стає неможливим.

Для визначення похибки ΔQ , зумовленої недосконалістю компонентних перетворювачів, необхідно розкласти визначник, що характеризує критерій квазірівноваги, за елементами першого, а потім — другого стовпців, наприклад, у разі застосування критерію (3) отримаємо

$$\Delta Q_1 = \sum_{i=1}^3 \left(\left| \omega_i^{-1} \operatorname{Im} \underline{W}_1(j\omega_i) A_{i1} \right| \gamma_{\operatorname{Im}/\omega} + \left| \operatorname{Re} \underline{W}_1(j\omega_i) A_{i2} \right| \gamma_{\operatorname{Re}} \right),$$

де A_{ik} — алгебраїчні доповнення ik -елементів визначника; $\gamma_{\operatorname{Re}}, \gamma_{\operatorname{Im}/\omega}$ — відносні похибки вимірювання складових функцій $\underline{W}_1(j\omega)$.

Частотний діапазон у випадку вимірювання параметрів чотириелементних двополосників доцільно характеризувати відносним зміщенням частоти ϖ ($\varpi = \omega_0 \tau_2$) і коефіцієнтом рознесення частот r ($\omega_1 = r \omega_0; \omega_2 = \omega_0; \omega_3 = \omega_0/r$).

Критерій (3) у разі застосування функції \underline{W}_1 і критерій (4) у разі застосування функції \underline{W}_2 можна використати для фіксування стану квазірівноваги $R_1 - k_1 R_0 = 0$, а критерій (5) у разі застосування функції \underline{W}_1 і критерій (6) у разі застосування функції \underline{W}_2 — для фіксування стану квазірівноваги $L_1 - k_2 R_0 \tau = 0$.

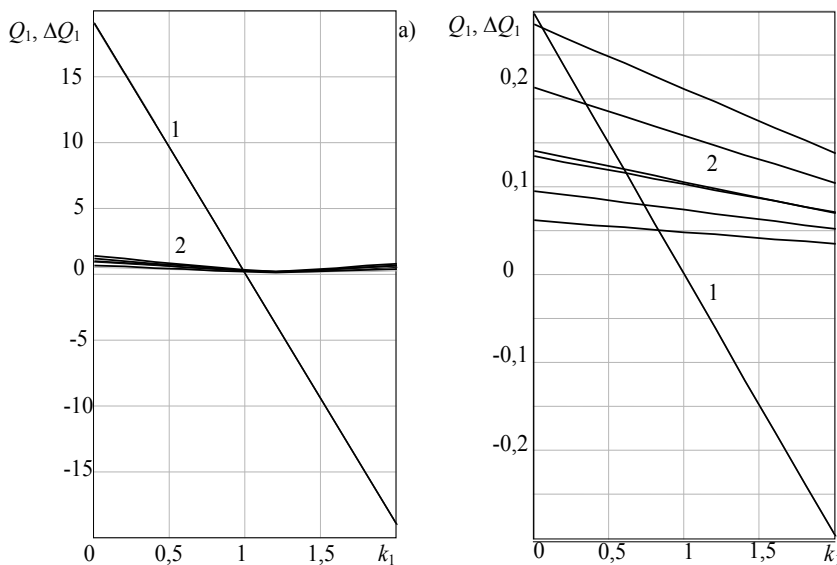


Рис. 3. Залежності $Q_1(k_1)$ та $\Delta Q_1(k_1)$, що розраховані за критерієм (3) на низьких (а) та високих (б) частотах

впливає, що на низьких частотах похибки порівняно невеликі. Із наближенням до стану квазірівноваги за другим параметром k_2 похибки зрівноваження за параметром k_1 зменшуються. Однак в області відносно високих частот похибки різко зростають.

Залежності $Q_1(k_2)$ та $\Delta Q_1(k_2)$ (рис. 4), що побудовані за критерієм (5) для цього ж двополосника, вказують на різке зростання похибок в області відносно низьких частот.

На рис. 3 зображені графіки $Q_1(k_1)$ та $\Delta Q_1(k_1)$ в залежності від регульованого параметра k_1 , що розраховані для функції \underline{W}_1 за критерієм (3) на відносно високих ($\varpi = 2, r = 2$) та відносно низьких ($\varpi = 0,5, r = 2$) частотах, у випадку, якщо двополосник має переважно реактивний характер:

$$R_1 = 1 \text{ Ом}; L_1 = 4 \text{ мГн};$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом}; L_2 = 6 \text{ мГн}.$$

Графіки ΔQ_1 побудовані за таких значень похибок: $\gamma_{\operatorname{Re}} = 0,5 \%$, $\gamma_{\operatorname{Im}/\omega} = 0,5 \%$.

З порівняння графіків $Q_1(k_1)$ та $\Delta Q_1(k_1)$, які позначені відповідно цифрами 1 та 2,

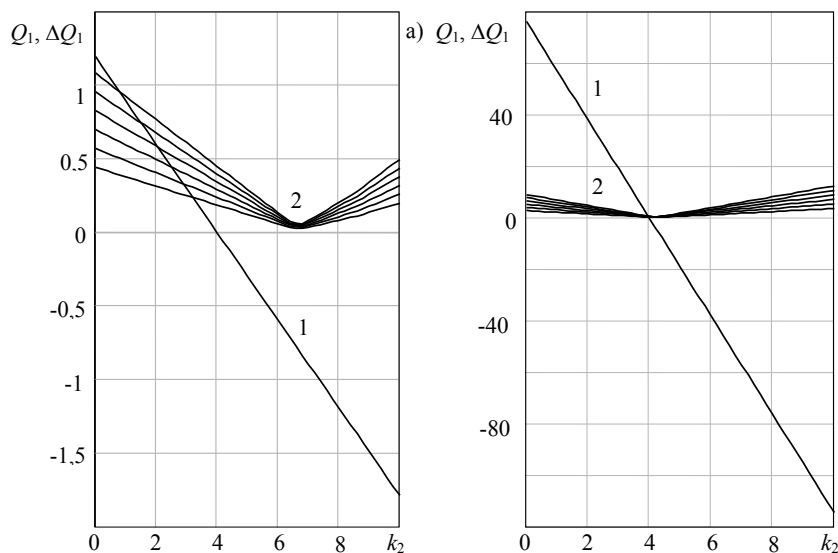


Рис. 4. Залежності $Q_1(k_2)$ та $\Delta Q_1(k_2)$, що розраховані за критерієм (5) на низьких (а) та високих (б) частотах

б) Графіки залежностей $Q_2(k_1)$, $\Delta Q_2(k_1)$ та $Q_2(k_2)$, $\Delta Q_2(k_2)$, що розраховані за критеріями відповідно (4) та (6) для таких же вихідних даних мають такі ж самі закономірності.

Таким чином, якщо для фіксування станів квазірівноваги під час регулювання параметра k_1 передбачається використання критеріїв (3) або (4), а під час регулювання параметра k_2 — критеріїв (5) або (6), то вимірювання параметрів двополюсників краще всього здійснювати на частотах $\omega \approx 1$, оскільки вимірювання на відносно високих частотах характеризується

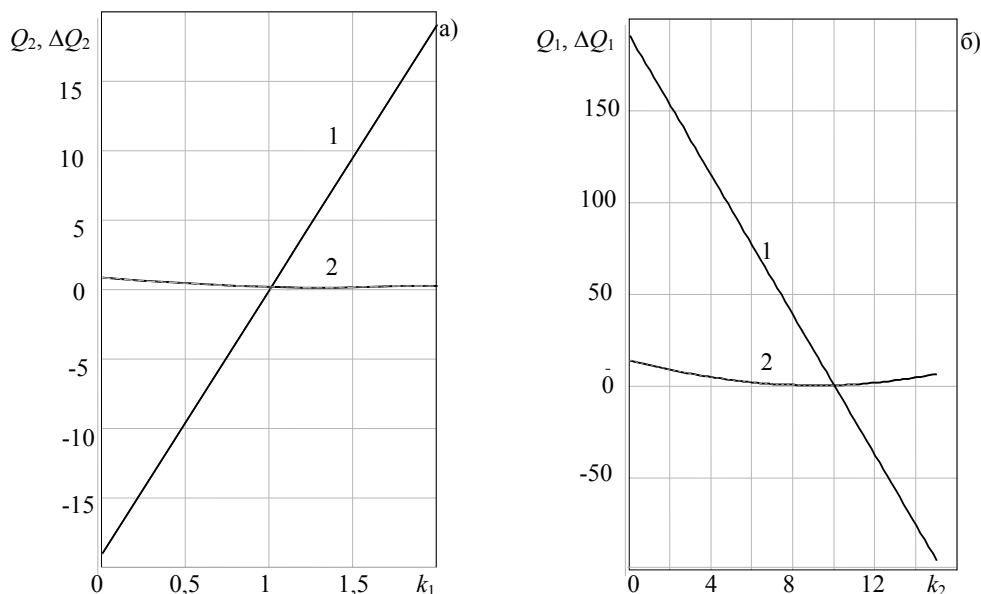


Рис. 5. Залежності $Q_2(k_1)$, $\Delta Q_2(k_1)$ та $Q_1(k_2)$, $\Delta Q_1(k_2)$, що розраховані за критерієм (7) на низьких частотах

порівняно великою похибкою зрівноваження за параметром k_1 , а вимірювання параметрів на відносно низьких частотах характеризується великою похибкою зрівноваження за параметром k_2 .

Розглянемо доцільність вимірювання параметрів двополюсників з використанням критеріїв (7) та (8), які у разі застосування функції \underline{W}_1 можна використати для фіксування станів квазірівноваги відповідно $L_1 + L_2 - k_2 R_0 \tau = 0$ та $L_1 - k_2 R_0 \tau = 0$, а у разі застосування функції \underline{W}_2 — для фіксування станів квазірівноваги відповідно $R_1 - k_1 R_0 = 0$ та $R_1 + R_2 - k_1 R_0 = 0$.

На рис. 5 зображені графіки $Q_2(k_1)$, $\Delta Q_2(k_1)$ та $Q_1(k_2)$, $\Delta Q_1(k_2)$, що розраховані за критерієм (7) на низьких частотах ($\omega = 0,5$, $r = 2$), з яких випливає, що в цьому випадку похибки вимірювання параметрів порівняно малі.

На рис. 6 зображені графіки $Q_2(k_1)$, $\Delta Q_2(k_1)$ та $Q_1(k_2)$, $\Delta Q_1(k_2)$, що розраховані за критерієм (8) на високих ($\omega = 2$, $r = 2$) частотах, які підтверджують, що, і в цьому випадку похибки вимірювання параметрів невеликі.

Таким чином, використання критеріїв (7) та (8) забезпечує достатню точність вимірювань параметрів двополосників у разі вибору достатньо низьких (для критерію (7)) та достатньо високих (для критерію (8)) частот для вимірювань. Фізично це можна пояснити тим, що, наприклад, на високих частотах збільшуються опори реактивних елементів і вплив параметра L_1 (рис. 1) стає

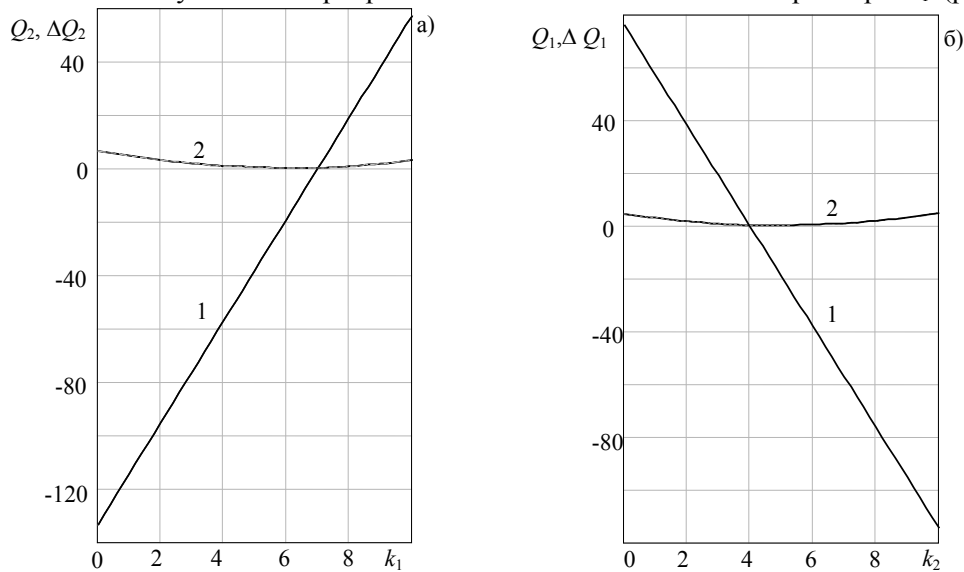


Рис. 6. Залежності $Q_2(k_1)$, $\Delta Q_2(k_1)$ та $Q_1(k_2)$, $\Delta Q_1(k_2)$, що розраховані за критерієм (8) на високих частотах

визначальним. Оскільки елемент L_2 з порівняно великим реактивним опором зашунтований резистивним елементом R_2 , то дійсна частина комплексного опору двополосника на високих частотах визначається по суті сумою опорів $R_1 + R_2$. Під час вимірювання з використанням критерію (8) забезпечується компенсація саме опорів елементів L_1 та $R_1 + R_2$. У зв'язку з цим, режим вимірювання, в якому забезпечуються найменші похибки зрівноваження шляхом вибору умов квазірівноваги, можна назвати режимом частотного узгодження. Як видно з наведених прикладів, його використання забезпечує значне підвищення точності в скалярних режимах.

Висновки

Виконаний аналіз скалярних режимів вимірювання параметрів чотириелементних RL -двиполосників. Показано, що вибором умов квазірівноваги можна забезпечити підвищення точності вимірювань параметрів в області відносно низьких, середніх та високих частот.

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. Бурбело М. И. Универсальные квазиуравновешенные мосты для измерения параметров четырёхэлементных двухполюсников // Измерительная техника. — 2001. — № 11. — С. 39—41.
4. Бурбело М. Й. Синтез квазірівноважених кіл для вимірювання параметрів багатоелементних електричних двополосників // Технічна електродинаміка. — 2003. — № 2. — С. 76—79.
5. Бурбело М. Й. Умови квазірівноваги вимірювальних кіл в часовій області // Вісник ВПІ. — 2003. — № 4. — С. 62—68.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергозбереження

Надійшла до редакції 10.02.04
Рекомендована до опублікування 13.04.04

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

Вінницький національний технічний університет