

АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МОДУЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАССИВНОГО КОМПЛЕКСНОГО ДВУХПОЛЮСНИКА

© Г. И. Шаронов, Р. С. Шаманов

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Предложен алгоритмический метод измерения модуля пассивного комплексного двухполюсника, исключая методическую погрешность его измерения.

Алгоритмический метод измерения, пассивный комплексный двухполюсник, методическая погрешность.

Актуальной задачей косвенных измерений модуля отдельного пассивного комплексного двухполюсника (ПКД) является устранение влияния на результат измерения неизмеряемых двухполюсников измерительной цепи (ИЦ). Например, таких, как внутреннее комплексное сопротивление источника напряжения и входное комплексное сопротивление преобразователя тока.

Известны измерительные цепи на основе пассивных делителей тока, реализующих алгоритмический метод измерения, основанный на изменении конфигурации ИЦ (рис. 1) [1, 2].

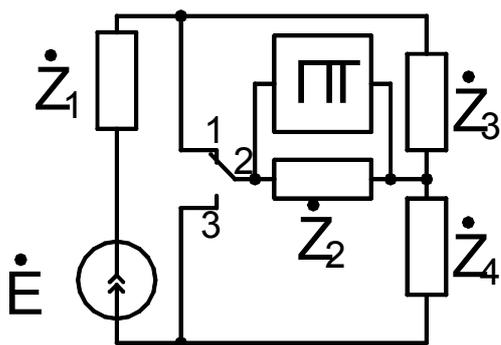


Рис. 1. Измерительная цепь:

E_0 – источник напряжения с внутренним комплексным сопротивлением Z_1 ; ПТ – преобразователь тока с входным комплексным сопротивлением Z_2 ; Z_3 и Z_4 – исследуемое и образцовое комплексные сопротивления, соответственно

В первом такте измерения (когда контакты 1 и 2 ключа замкнуты) и во втором такте (когда контакты 2 и 3 ключа замкнуты) показания преобразователя тока ПТ соответственно равны:

$$M_1 = nI_1 = \frac{EZ_3}{Z_1(Z_2 + Z_3) + Z_2Z_3 + Z_4(Z_2 + Z_3)}, \quad (1)$$

$$M_2 = nI_2 = \frac{EZ_4}{Z_1(Z_2 + Z_4) + Z_2Z_4 + Z_3(Z_2 + Z_4)}, \quad (2)$$

где E – ЭДС источника напряжения; M_1, M_2 – соответственно показания преобразователя тока в первом и втором такте преобразования; n – коэффициент передачи преобразователя тока; I_1, I_2 – соответственно токи через преобразователь тока в первом и втором тактах преобразования.

Модуль измеряемого Z_3 определяется по формуле

$$Z_3 = Z_4 \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{Z_1(Z_2 + Z_4) + Z_2Z_4 + Z_3(Z_2 + Z_4)}{Z_1(Z_2 + Z_3) + Z_2Z_3 + Z_4(Z_2 + Z_3)}. \quad (3)$$

Очевидно, рассмотренному алгоритмическому методу присуща методическая погрешность

$$\delta = 1 - \frac{Z_4 I_1}{Z_3 I_2} \cdot \frac{Z_1(Z_2 + Z_4) + Z_2Z_4 + Z_3(Z_2 + Z_4)}{Z_1(Z_2 + Z_3) + Z_2Z_3 + Z_4(Z_2 + Z_3)}, \quad (4)$$

обусловленная ненулевым значением внутреннего комплексного сопротивления Z_1 источника напряжения и входного комплексного сопротивления Z_2 преобразователя тока.

Известен алгоритмический метод измерения параметров ПКД на основе итерационного алгоритма [3], при котором в первом такте измерения производят аналогично измерительному алгоритму, рассмотренному выше. Затем, на основе полученной информации $\frac{I_2}{I_1}$ синтезируется образцовая ветвь, дополняющая цепь, образованную измеряемым ПКД Z_3 и образцовым ПКД Z_4 , например, до моста Максвелла-Вина или Оуэна. Аналогично в третьем и четвертом тактах измеряют значение токов I_3, I_4 через преобразователь тока ПТ, рассчитывают величину модуля образцового двухполюсника и корректируют значение измеряемого модуля ПКД. Данный алгоритм уменьшает рассмотренную выше методическую погрешность, однако при его реализации используется дополнительный набор образцовых комплексных двухполюсников и затрачивается дополнительное время на синтез образцовой вет-

ви и измерение образцового двухполюсника.

Для устранения рассмотренных выше недостатков и методической погрешности рассмотрим измерительные цепи, представленные на рис. 2.

Для анализа измерительных цепей воспользуемся матричным методом, который основан на применении алгебры матриц и некоторых положений топологической теории графов [4].

Составим ненаправленные графы для ИЦ (рис. 2).

Известно, что система контурных уравнений в матричной форме может быть записана в виде

$$[Z][\dot{I}] = [\dot{E}]. \tag{5}$$

Матрица сопротивлений согласно рис. 3,а имеет вид

$$[Z]_{\text{л}} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_0 + Z_1 + Z_4 & -Z_4 \\ -Z_4 & Z_2 + Z_3 + Z_4 \end{bmatrix}. \tag{6}$$

Многомерные векторы контурных токов и напряжений запишем в виде

$$[\dot{I}]_{\text{л}} = [I_{11} \quad I_{21}], \quad [\dot{E}]_{\text{л}} = [E_0 \quad 0], \tag{6}$$

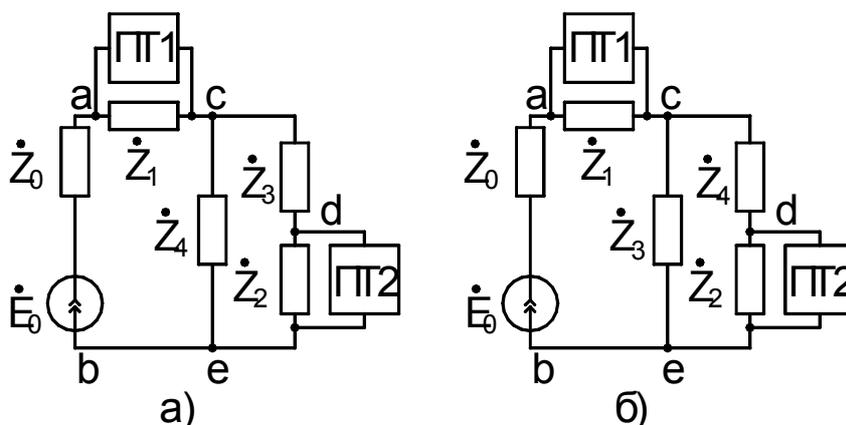


Рис. 2. Измерительные цепи: а) источник напряжения E_0 с внутренним комплексным сопротивлением Z_0 подключен параллельно образцовому ПКД Z_4 ; б) источник напряжения E_0 подключен параллельно исследуемому ПКД Z_3 ; ПТ1, ПТ2 – преобразователи тока с входными комплексными сопротивлениями Z_1 и Z_2

где I_{11} и I_{21} – соответственно токи через первый и второй измерительный прибор; E_0 – ЭДС источника напряжения.

Найдём вектор контурных токов $[\dot{I}]_1$, решив матричное уравнение $[\dot{I}] = [Z]^{-1} [\dot{E}]$ с обратной матрицей сопротивлений вида

$$[Z]_1^{-1} = \frac{1}{\Delta_1} \begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} \\ \Delta_{21} & \Delta_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta_1} \begin{bmatrix} Z_2 + Z_3 + Z_4 & Z_4 \\ Z_4 & Z_0 + Z_1 + Z_4 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Элементами обратной матрицы $[Z]_1^{-1}$ являются алгебраические дополнения Δ_{ij} , делённые на определитель $\Delta_1 = \det[Z]_1$.

С учётом $[Z]_1^{-1}$ составляющие вектора контурных токов имеют вид

$$\dot{I}_{11} = \dot{E}_0 \frac{Z_2 + Z_3 + Z_4}{\Delta_1}, \quad \dot{I}_{21} = \dot{E}_0 \frac{Z_4}{\Delta_1}. \quad (8)$$

Результат измерения запишем в виде

$$\frac{M_{11}}{M_{21}} = \frac{n_1 I_{11}}{n_2 I_{21}} = \frac{n_1 (Z_2 + Z_3 + Z_4)}{n_2 Z_4}, \quad (9)$$

где M_{11} и M_{21} – численные значения токов на выходах ПТ1 и ПТ2; n_1 и n_2 – значения коэффициентов передачи ПТ1 и ПТ2.

Очевидно, рассмотренному варианту измерения присуща методическая погрешность

$$\delta = 1 - \frac{M_{11} n_2 Z_4 - Z_2 - Z_4}{Z_3 M_{21} n_1}, \quad (10)$$

обусловленная ненулевым значением входного сопротивления ПТ2 и неравенством коэффициентов передачи преобразователей тока.

Матрицу сопротивлений согласно рис. 3,б можно записать в виде

$$[Z]_2 = \begin{bmatrix} Z_0 + Z_1 + Z_3 & -Z_3 \\ -Z_3 & Z_2 + Z_3 + Z_4 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

обратная матрица сопротивлений имеет вид

$$[Z]_2^{-1} = \frac{1}{\Delta_2} \begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} \\ \Delta_{21} & \Delta_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta_2} \begin{bmatrix} Z_2 + Z_3 + Z_4 & Z_3 \\ Z_3 & Z_0 + Z_1 + Z_3 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

В этом случае, умножив обратную матрицу $[Z]_2^{-1}$ на задающий вектор, получим зна-

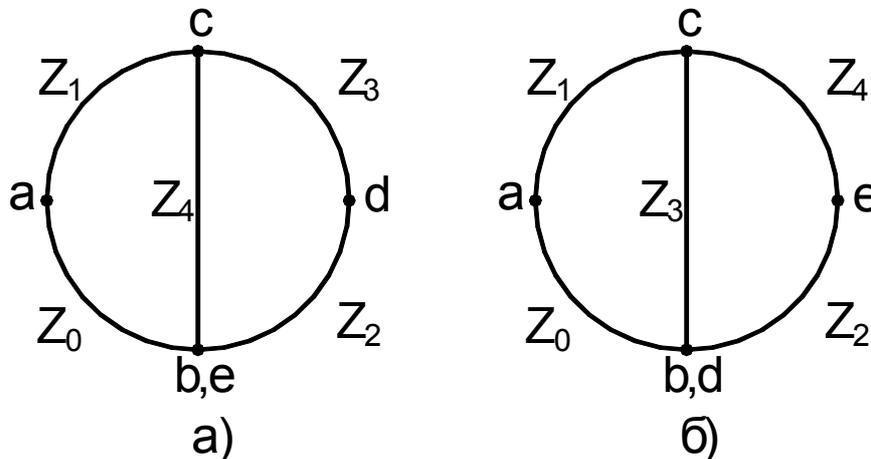


Рис. 3. Ненаправленный графы ИЦ

чения составляющих вектора контурных токов \dot{I}_{12} и \dot{I}_{22} :

$$\dot{I}_{12} = \dot{E}_0 \frac{Z_2 + Z_3 + Z_4}{\Delta_2}, \quad \dot{I}_{21} = \dot{E}_0 \frac{Z_3}{\Delta_2}. \quad (13)$$

Результат измерения с учетом значений токов с выходов ПТ1 и ПТ2 запишем в виде

$$\frac{M_{12}}{M_{22}} = \frac{n_1 I_{12}}{n_2 I_{22}} = \frac{n_1 (Z_2 + Z_3 + Z_4)}{n_2 Z_3}. \quad (14)$$

Очевидно, второму варианту измерения также присуща методическая погрешность

$$\delta = 1 - \frac{M_{11} n_2 Z_4 - Z_2 - Z_4}{Z_3 M_{21} n_1}, \quad (15)$$

обусловленная ненулевым значением входного комплексного сопротивления ПТ2 и неравенством коэффициентов передачи преобразователей тока.

Совместное решение уравнений (9) и (14) позволяет получить величину модуля исследуемого комплексного двухполюсника Z_3 в виде

$$Z_3 = Z_4 \frac{M_{11} M_{22}}{M_{21} M_{12}}, \quad (16)$$

в котором исключена зависимость результата измерения от неизмеряемых параметров Z_0, Z_1, Z_2, n_1, n_2 .

Анализ обратных матриц $[Z]_1^{-1}$ и $[Z]_2^{-1}$ позволяет сделать вывод, что алгебраичес-

кое дополнение Δ_{11} должно быть одинаково для обеих ИЦ, т.е. должно содержать любую сумму одних и тех же двухполюсников. Алгебраические дополнения Δ_{12} и Δ_{21} должны содержать исследуемый двухполюсник Z_3 или образцовый двухполюсник Z_4 . В алгебраическое дополнение Δ_{22} должны входить любые двухполюсники в любой из ИЦ.

Алгоритмический метод, основанный на изменении конфигурации измерительной цепи и измерения общего тока и токов через измеряемый и образцовый двухполюсники, позволяет исключить методическую погрешность, обусловленную ненулевыми значениями внутреннего комплексного сопротивления источника напряжения, входных комплексных сопротивлений измерительных приборов, нестабильностью параметров аналогового тракта преобразования, и позволяет существенно расширить функциональные возможности измерителей параметров пассивных комплексных двухполюсников.

Библиографический список

1. Патент Англии №1572088, МПК G01R27/02, 1980.
2. Патент Англии №2022271, МПК G01R27/02, 1979.
3. АС №1068840 СССР, МПК G01R27/02. Устройство для измерения параметров комплексного двухполюсника (его варианты) / Шаронов Г. И. Заявка № 3434303/18-21; заявл. 21.05.1982; опубли. 23.01.1984, Бюл. № 3.
4. Сигорский В. П. Матрицы и графы в электронике. – М.: Энергия, 1968. – 176 с.

ALGORITHMIC METHOD OF MEASURING OF THE MODULE OF A PASSIVE COMPLEX DIPOLE

© 2011 G. I. Sharonov, R. S. Shamanov

Penza State University of Architecture and Construction

The paper presents an algorithmic method of measuring the module of a passive complex dipole, eliminating the methodological error in measuring the module of a passive complex dipole.

Algorithmic method of measuring, passive complex dipole, methodological error.

Информация об авторах

Шаронов Геннадий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация и безопасность движения», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. E-mail: Turboacs@sura.ru. Область научных интересов: информационно-измерительная техника.

Шаманов Роман Сергеевич, ассистент кафедры «Организация и безопасность движения», Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. E-mail: Shambox@list.ru. Область научных интересов: информационно-измерительная техника.

Sharonov Gennady Ivanovitch, candidate of technical sciences, associate professor of the department of organization and traffic safety, Penza State University of Architecture and Construction. E-mail: Turboacs@sura.ru. Area of research: information measuring facilities.

Shamanov Roman Sergeevitch, assistant of the department of organization and traffic safety, Penza State University of Architecture and Construction. E-mail: Shambox@list.ru. Area of research: information measuring facilities.