

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХЭЛЕМЕНТНЫХ ДВУХПОЛЮСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ¹

В.С. Мелентьев, Е.В. Костенко

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматривается новый метод определения параметров трехэлементных двухполюсных электрических цепей по мгновенным значениям переходных процессов в измерительной цепи. Приводится схема устройства, реализующего метод, и результаты анализа погрешности квантования.

Ключевые слова: *трехэлементные двухполюсные цепи, измерение параметров, переходный процесс, постоянная времени, мгновенные значения, погрешность квантования.*

Емкостные, индуктивные преобразователи и преобразователи сопротивлений относятся к числу наиболее часто используемых в информационно-измерительной технике при построении первичных измерительных преобразователей (датчиков).

В реальных условиях при преобразовании указанных параметров часто приходится иметь дело не с отдельными элементами, а с двухполюсной электрической цепью (ДЭЦ), схема замещения которой содержит не только элемент, параметр которого подлежит преобразованию, но и ряд других элементов, параметры которых в подобных случаях обычно называют паразитными.

При рассмотрении вопросов проектирования средств измерения параметров ДЭЦ одним из главных является построение схемы замещения двухполюсных электрических цепей на основе априорной информации об объекте исследования и непосредственное измерение значений параметров элементов, из которых составляется структура (топология) ДЭЦ, т. е. сопротивлений резисторов, емкостей конденсаторов, индуктивностей обмоток индуктивных элементов и т. д.

При преобразовании выходных величин параметрических датчиков учет их многоэлементной схемы замещения повышает точность получения полезной информации, позволяя, с одной стороны, получить значения информативных параметров датчика независимо от неинформативных. С другой стороны, при наличии априорной информации о законе влияния внешних факторов (например, температуры) на паразитный параметр датчика (например, сопротивление провода в индуктивном датчике) возможна коррекция измеренного значения информативного параметра (индуктивности) за счет снижения влияния внешних факторов (температуры) на результат измерения [1].

Одними из распространенных ДЭЦ являются цепи, содержащие три неизвестных элемента.

Известные методы, основанные на измерении параметров трехэлементных ДЭЦ по трем мгновенным значениям переходного процесса, возникающего при подключении к ДЭЦ напряжения постоянного тока [2, 3], имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что значение напряжения должно быть известным и стабильным.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 10-08-00692-а).

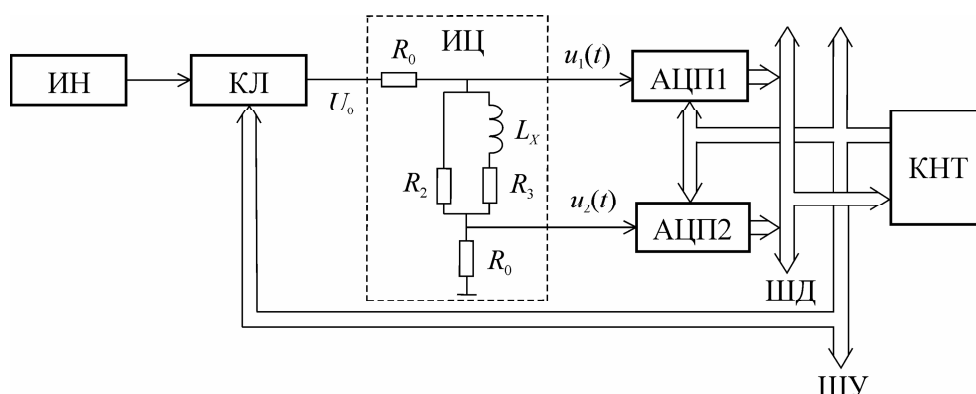
*Владимир Сергеевич Мелентьев – д.т.н., профессор.
Елена Валерьевна Костенко – аспирант.*

В статье рассматривается новый метод измерения параметров трехэлементных ДЭЦ, который позволяет устранить данный недостаток.

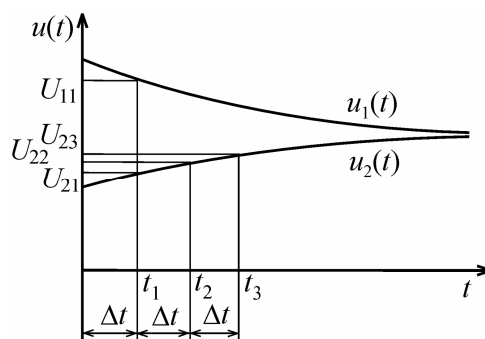
Предлагаемый метод заключается в том, что на измерительную цепь (ИЦ), состоящую из последовательно включенных первого образцового резистора с известным значением сопротивления R_0 , трехэлементного ДЭЦ и второго образцового резистора R_0 , подают напряжение постоянного тока U_0 ; через образцовый интервал времени Δt с момента подачи напряжения измеряют первые мгновенные значения напряжений на цепи, состоящей из двухполюсника и второго образцового резистора, и на втором образцовом резисторе относительно общего вывода ИЦ; через такой же интервал времени измеряют второе мгновенное значение напряжения на втором образцовом резисторе; через образцовый интервал времени Δt измеряют третье мгновенное значение напряжения на втором образцовом резисторе; определяют неизвестные параметры трехэлементной ДЭЦ по измеренным значениям.

Рассмотрим метод на примере трехэлементной ДЭЦ, состоящей из катушки индуктивности с индуктивностью L_X и активным сопротивлением R_3 , параллельно которой включен резистор R_2 .

Схема устройства, реализующего данный метод, представлена на рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 2.



Р и с. 1. Схема устройства, реализующего метод



Р и с. 2. Временные диаграммы, поясняющие метод

В состав устройства входят: источник опорного напряжения ИН; аналоговый ключ КЛ; измерительная цепь, состоящая из двух образцовых резисторов и трехэлементной ДЭЦ; аналого-цифровые преобразователи АЦП1 и АЦП2; контроллер КНТ с шинами управления ШУ и данных ШД.

При подключении источника напряжения к ИЦ сигналы на цепи, состоящей из двухполюсника и второго образцового резистора, и на втором образцовом резисторе изменяются по следующим законам:

$$u_1(t) = U_0 - \frac{U_0 R_0}{R_\Sigma} - \left(\frac{U_0 R_0}{2R_0 + R_2} - \frac{U_0 R_0}{R_\Sigma} \right) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) = U_0 - B - A \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right); \quad (1)$$

$$u_2(t) = U_0 - u_1(t) = \frac{U_0 R_0}{R_\Sigma} + \left(\frac{U_0 R_0}{2R_0 + R_2} - \frac{U_0 R_0}{R_\Sigma} \right) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) = B + A \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (2)$$

где $\tau = \frac{L_X(2R_0 + R_2)}{R_0(R_0 + R_2 + R_3) + R_3(R_0 + R_2)}$ – постоянная времени ИЦ;

$$R_\Sigma = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + 2R_0 \text{ – общее сопротивление ИЦ.}$$

Через временной интервал Δt в момент времени t_1 мгновенные значения напряжений в соответствии с (1) и (2) равны:

$$U_{11} = U_0 - B - A \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right); \quad (3)$$

$$U_{21} = B + A \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right). \quad (4)$$

Из (3) и (4) следует $U_{11} + U_{21} = U_0$.

Через временной интервал Δt в момент времени t_2 мгновенное значение напряжения на втором образцовом резисторе равно

$$U_{22} = B + A \exp\left(-\frac{2\Delta t}{\tau}\right). \quad (5)$$

Через такой же интервал Δt в момент времени t_3

$$U_{23} = B + A \exp\left(-\frac{3\Delta t}{\tau}\right). \quad (6)$$

Используя (3) – (6), после преобразований получим

$$R_\Sigma = \frac{R_0(U_{11} + U_{21})(U_{23} - 2U_{22} + U_{21})}{U_{21}U_{23} - U_{22}^2};$$

$$R_2 = \frac{R_0(U_{11} + U_{21})(U_{23} - U_{22})(U_{23} - 2U_{22} + U_{21})}{(U_{22} - U_{21})^3 + (U_{21}U_{23} - U_{22}^2)(U_{23} - U_{22})} - 2R_0;$$

$$R_3 = \frac{R_0 R_2 [2(U_{21} U_{23} - U_{22}^2) - (U_{11} + U_{21})(U_{23} - 2U_{22} + U_{21})]}{R_0 (U_{11} + U_{21})(U_{23} - 2U_{22} + U_{21}) + (R_2 + 2R_0)(U_{21} U_{23} - U_{22}^2)};$$

$$L_X = \frac{\tau [R_0 (R_0 + R_2 + R_3) + R_3 (R_0 + R_2)]}{2R_0 + R_2},$$

$$\exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) = \frac{U_{23} - U_{22}}{U_{22} - U_{21}}. \quad (7)$$

После логарифмирования обеих частей выражения (7) и преобразований можно получить постоянную времени ИЦ

$$\tau = -\frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{U_{23} - U_{22}}{U_{22} - U_{21}}\right)}. \quad (8)$$

Использование квантования по уровню при аналого-цифровом преобразовании мгновенных значений переходного процесса неизбежно приводит к возникновению погрешности квантования.

Оценим погрешность вычисления постоянной времени ИЦ согласно (8) с учетом погрешности АЦП, используя методику, предложенную в [1]. Если пренебречь погрешностью от нелинейности, то можно считать, что основной погрешностью АЦП является абсолютная погрешность квантования $\Delta U = U_{np}/2^n$, где U_{np} – максимально допустимое входное напряжение АЦП; n – число двоичных разрядов.

Если предположить, что при значении опорного напряжения U_0 мгновенные значения напряжений U_{21} , U_{22} и U_{23} измеряются с погрешностями преобразования АЦП и предельные абсолютные погрешности измерения равны $\Delta U_{21} = \Delta U_{22} = \Delta U_{23} = \Delta U$, то предельная абсолютная погрешность вычисления τ в соответствии с (8) определяется выражением

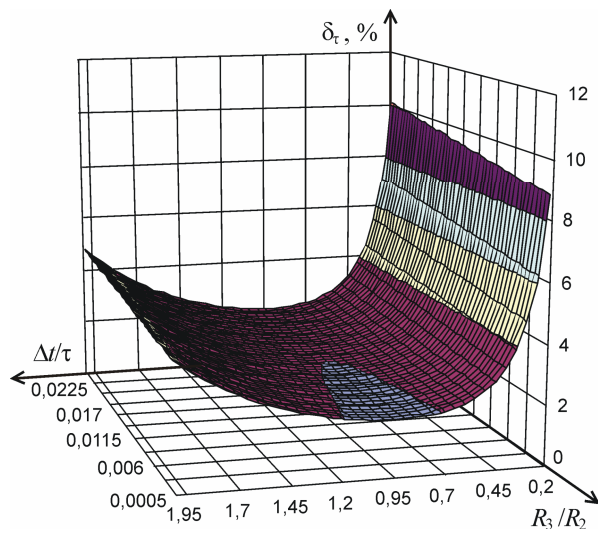
$$\Delta \tau_X = \left[\left| (\tau_X)'_{U_{21}} \right| + \left| (\tau_X)'_{U_{22}} \right| + \left| (\tau_X)'_{U_{23}} \right| \right] \Delta U. \quad (9)$$

После вычисления производных, учитывая (9) и (8), можно получить выражение для относительной погрешности вычисления τ

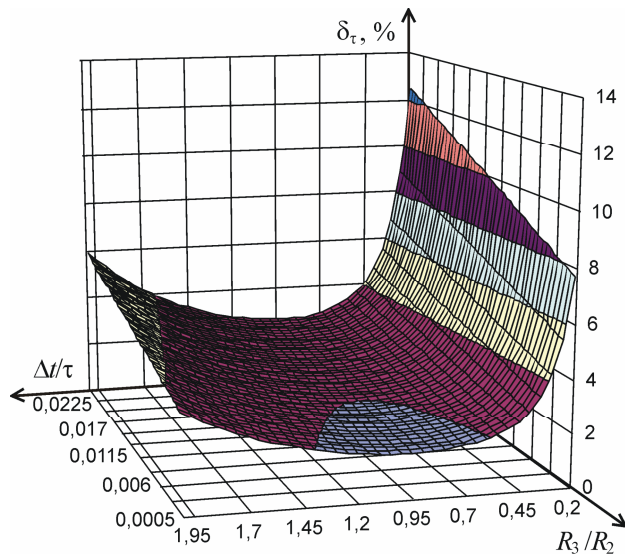
$$\delta_\tau = \frac{\tau}{\Delta t 2^{n-1}} \frac{(2R_0 + R_2)[R_2 R_3 + 2R_0(R_2 + R_3)] \left[1 + \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right]}{\exp\left(-\frac{2\Delta t}{\tau}\right) \left| \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) - 1 \right|}. \quad (10)$$

На рис. 3 и 4 представлены графики зависимости погрешности определения постоянной времени ИЦ от отношений R_3/R_2 и $\Delta t/\tau$ для различных значений R_3/R_0 в соответствии с (10).

Анализ выражения (10) и рис. 3, 4 показывает, что погрешность определения постоянной времени ИЦ существенно зависит от отношений R_3/R_2 , $\Delta t/\tau$ и, в меньшей мере, от R_3/R_0 . При этом погрешность можно значительно снизить за счет соответствующего выбора отношения $\Delta t/\tau$. Так, при $\Delta t/\tau = 0,5 \div 1,0$ и $R_3/R_2 < 0,01$ погрешность определения τ меньше 2%.



Р и с. 3. График зависимости погрешности определения τ от R_3/R_2 и $\Delta t/\tau$ при $R_3/R_0 = 10$



Р и с. 4. График зависимости погрешности определения τ от R_2/R_3 и $\Delta t/\tau$ при $R_3/R_0 = 50$

Проведенный анализ показывает, что при $R_3/R_0 < 10$ погрешность снова начинает возрастать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Батищев В.И., Мелентьев В.С.* Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.
2. Пат. РФ №2180966. Способ определения параметров двухполюсников / М.Р. Сафаров, Л.В. Сарваров и др. (РФ). – №2000112434/09; Заявлено 17.05.2000; Опубл. 27.03.2002.
3. *Мелентьев В.С.* Оптимизация методов определения параметров трехэлементных двухполюсников по мгновенным значениям переходного процесса // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – №32. – 2005. – С. 163-168.

Статья поступила в редакцию 24 января 2011 г.

UDC УДК 621.317.33

THE METHOD OF MEASUREMENT OF PARAMETERS OF THREE-ELEMENT BIPOLAR ELECTRIC CHAINS

V.S. Melentyev, E.V. Kostenko

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The new method of three-elements bipolar electric chains parameters based on instant values of transients in a measuring chain is considered. The scheme of the device implementing the method and results of the analysis of a quantization error is given.

Keywords: *three-element bipolar chains, measurement of parameters, transient, time constant, a quantization error.*

*Vladimir S. Melentyev – Doctor of Technical Sciences, Professor.
Elena V. Kostenko – Postgraduate student.*