

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДВУХПОЛЮСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

В. С. МЕЛЕНТЬЕВ, Н. Г. ГУБАНОВ, О. А. ЛАТУХОВА, А. М. СМОЛИНА

*Самарский государственный технический университет,
Самара, Россия, e-mail: vs_mel@mail.ru*

Рассмотрен новый метод раздельного определения параметров двухэлементных двухполюсных электрических цепей по мгновенным значениям двух переходных процессов. Предложен вариант устройства, реализующего метод. Приведены результаты анализа влияния квантования мгновенных значений переходных процессов на погрешность измерения параметров.

Ключевые слова: *двухполюсные электрические цепи, переходные процессы, мгновенные значения, квантование.*

The new method of separate definition of parameters of two-element bipolar electric circuits on instant values of two transients is considered. The variant of the device realizing a method is offered. Results of the analysis of influence of quantization of instant values of transients on an error of measurement of parameters are considered.

Key words: *bipolar electric circuits, transients, instant values, quantization, an error.*

Одной из важных задач измерительной техники является измерение параметров пассивных электрических цепей. Это объясняется тем, что методы и средства измерений параметров электрических цепей могут быть использованы для измерений множества физических величин — параметры самых различных объектов исследования, представляемых электрическими схемами замещения. При этом 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. На практике часто возникает задача измерений нескольких параметров

ДЭЦ, в частности, при определении параметров катушек индуктивности: индуктивности и активного сопротивления обмотки.

В настоящее время успешно развивается направление, связанное с определением параметров двухэлементных ДЭЦ (ДДЭЦ) по отдельным мгновенным значениям переходного процесса, возникающего при подключении к измерительной цепи (ИЦ) напряжения постоянного тока. Благодаря обработке мгновенных значений переходных процессов обеспечивается значительное сокращение времени измерения [1]. В [2] предложен метод измерения параметров ДДЭЦ по мгновенным значениям одного переходного процесса в ИЦ. Недостатками метода являются непосредственная связь моментов подачи напряжения на ИЦ и начала измерения, а также достаточно большое время измерения, обусловленное необходимостью измерения трех мгновенных значений через эталонные интервалы времени.

В методе, приведенном в [3], используются мгновенные значения двух переходных процессов, что позволяет начинать измерение в произвольный момент времени после подачи напряжения на ИЦ. Однако для его реализации требуется измерение трех мгновенных значений одного из переходных процессов.

Предлагается новый метод раздельного определения параметров ДДЭЦ, например, индуктивности и активного сопротивления катушки, по мгновенным значениям двух переходных процессов, в котором используется два эталонных интервала времени, что сокращает время измерения.

Метод раздельного определения параметров ДДЭЦ по мгновенным значениям переходных процессов заключается в том, что на ИЦ, состоящую из последовательно включенных эталонного резистора с известным значением сопротивления R_0 , катушки индуктивности и второго эталонного резистора R_0 , подают напряжение постоянного тока U_0 . Через эталонный интервал времени Δt с момента подачи напряжения одновременно измеряют первые мгновенные значения напряжений U_{11} , U_{21} на участке цепи, состоящей из катушки индуктивности и второго образцового резистора, и втором образцовом резисторе относительно общей шины. Через эталонный интервал времени Δt с момента первого измерения измеряют второе мгновенное значение напряжения на втором образцовом резисторе U_{22} относительно общей шины и определяют неизвестные индуктивность L_x и активное сопротивление R_x обмотки катушки по измеренным значениям.

Напряжения на участке цепи, состоящей из катушки индуктивности и второго образцового резистора, и втором образцовом резисторе изменяются в соответствие с выражениями

$$u_1(t) = \frac{U_0}{2R_0 + R_X} \left[R_0 + R_X + R_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right];$$

$$u_2(t) = \frac{U_0 R_0}{2R_0 + R_X} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right],$$

где $\tau = L_X / (2R_0 + R_X)$ – постоянная времени ИЦ.

Переходный процесс, возникающий в ИЦ, имеет три неизвестных параметра: L_X , R_X , U_0 . В этом случае можно составить систему трех уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_0}{2R_0 + R_X} \left[R_0 + R_X + R_0 \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right] &= U_{11}; \\ \frac{U_0 R_0}{2R_0 + R_X} \left[1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right] &= U_{21}; \\ \frac{U_0 R_0}{2R_0 + R_X} \left[R_0 + R_X + R_0 \exp\left(-\frac{2\Delta t}{\tau}\right) \right] &= U_{12}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

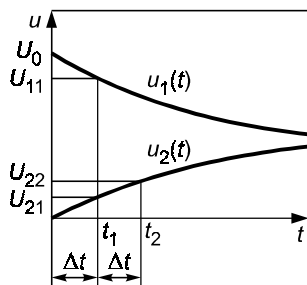


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 1.

После преобразований (1) можно определить неизвестные параметры

$$R_X = \frac{R_0 [U_{11}(U_{12} - U_{11}) + U_{21}(U_{12} - U_{21})]}{U_{21}^2}; \quad (2)$$

$$L_X = - \frac{(2R_0 + R_X) \Delta t}{\ln \left(\frac{U_{11} + U_{12}}{U_{21}} \right)}. \quad (3)$$

Схема устройства, реализующего метод, представлена на рис. 2 и содержит источник напряжения *ИН* постоянного тока; аналоговый ключ *КЛ*; измерительную цепь *ИЦ*, состоящую из последовательно включенных первого эталонного сопротивления R_0 , катушки индуктивности индуктивностью L_X и сопротивлением обмотки R_X и второго эталонного сопротивления R_0 ; два аналого-цифровых преобразователя *АЦП1*, 2; контроллер *К* с шинами управления *ШУ* и данных *ШД*.

Устройство работает следующим образом. По сигналу управления контроллера *КНТ* замыкается ключ *КЛ* и напряжение U_0 подается на *ИЦ*. Через эталонный интервал времени Δt (момент времени t_1) контроллер одновременно запускает *АЦП1* и *АЦП2*, мгновенные значения сигналов на входах которых соответственно равны U_{11} и U_{21} . Данные сигналы преобразуются в соответствующие коды, которые поступают в *К*. Аналогично через такой же интервал Δt (момент времени t_2) в код преобразуется мгновенное значение сигнала U_{22} при помощи *АЦП2*. Затем в контроллере осуществляются вычисления согласно (2), (3).

Анализ влияния квантования мгновенных значений переходных процессов на погрешность результата измерения параметров ДДЭЦ. В рассматриваемых методах определения параметров ДДЭЦ используется измерение мгновенных значений сигналов и, как следствие, квантование по уровню, что неизбежно приводит к погрешности, оказывающей влияние на результат определения параметров.

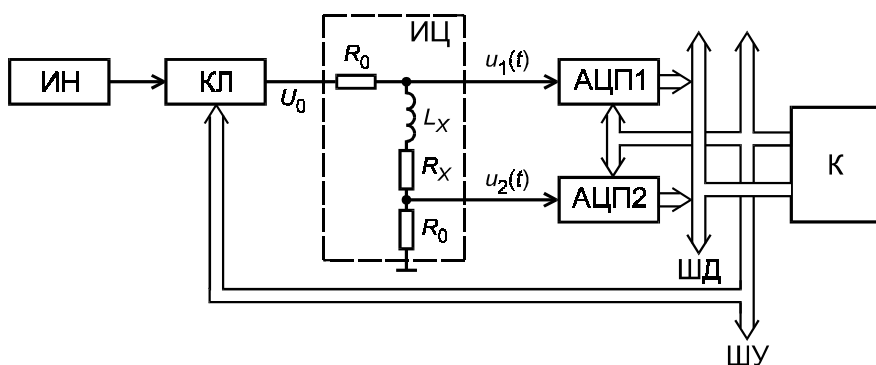


Рис. 2. Схема устройства, реализующего метод

Проведем оценку влияния погрешности квантования на погрешность определения R_X, L_X по методике [4]. Она основана на том, что точность результата определения информативного параметра можно оценить по погрешности вычисления значения функции, аргументы которой заданы приближенно, с погрешностями, соответствующими погрешностям квантования мгновенных значений сигнала. Как известно, погрешность вычисления значения какой-либо функции, аргументы которой заданы приближенно, может быть оценена по дифференциалу этой функции. Погрешность функции есть не что иное, как возможное приращение функции, которое она получит, если ее аргументы получат приращения, равные их погрешностям.

Если считать, что мгновенные значения напряжений U_{11}, U_{21}, U_{22} измеряются с погрешностью преобразования АЦП и абсолютные погрешности измерения равны $\Delta U_{11}, \Delta U_{21}, \Delta U_{22}$, то абсолютные погрешности определения R_X, L_X согласно (2), (3) с учетом погрешности квантования АЦП будут

$$\delta_R = \frac{(2R_0 + R_X)}{2^n R_0 R_X} \left\{ \left[R_0 \exp(-\Delta t/\tau) [\exp(-\Delta t/\tau) - 2] - R_0 - R_X \right] + \right. \\ \left. + 2R_0 + R_X + \left| \exp(-\Delta t/\tau)(R_0 + R_X) - R_X \right| \right\}; \quad (6)$$

$$\delta_L = \frac{\tau(2R_0 + R_X)}{\Delta t 2^{n-1} R_0} \left\{ \frac{2}{2R_0 + R_X + R_0 \exp(-\Delta t/\tau) [1 + \exp(-\Delta t/\tau)]} + \right. \\ \left. + \frac{1}{R_0 [1 - \exp(-\Delta t/\tau)]} \right\}, \quad (7)$$

где n – разрядность АЦП.

Анализ выражений (6), (7) показывает, что результирующие погрешности определения параметров зависят от соотношений $\Delta t/\tau$ и R_X/R_0 .

Выводы. Разработанный метод и реализующее его устройство позволяют сократить время измерения параметров ДДЭЦ. Полученные результаты дают возможность выбирать оптимальные соотношения между эталонным интервалом времени Δt и постоянной времени цепи

τ , а также между измеряемым сопротивлением обмотки R_x и эталонным резистором R_0 , что приводит к уменьшению погрешности измерений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 13-08-00173-а).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Мелентьев В. С., Батищев В. И.** Аппроксимационные методы и средства измерения параметров двухполюсных электрических цепей. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012.

2. **Мелентьев В. С., Костенко Е. В.** Методы и средства раздельного определения параметров двухэлементных двухполюсных электрических цепей // Изв. вузов. Поволжский регион. Технические науки. 2009. № 2 (10). С. 102 – 112.

3. **Мелентьев В. С., Костенко Е. В., Миронов Д. А.** Аппроксимационные методы раздельного определения параметров двухэлементных двухполюсных электрических цепей // Позуновский вестник. 2011. № 3 (1) С. 47 – 50.

4. **Батищев В. И., Мелентьев В. С.** Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики. М.: Машиностроение-1, 2007.

Дата принятия 07.05.2013 г.