

## МЕТОД РАЗДЕЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ

*В.С. Мелентьев, Т.С. Евстифеева, К.Д. Левина*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: vs\_mel@mail.ru

*Предлагается новый метод измерения параметров емкостных датчиков, который обеспечивает определение как емкости, так и сопротивления изоляции, что увеличивает точность измерения информативного параметра. Приводятся результаты анализа погрешности измерения емкости, обусловленной погрешностью квантования мгновенных значений переходных процессов.*

**Ключевые слова:** *переходный процесс, мгновенные значения, измерительная цепь, погрешность, квантование.*

В настоящее время успешно развивается направление, связанное с определением параметров емкостных датчиков (ЕД) по мгновенным значениям переходного процесса в измерительной цепи (ИЦ) [1]. Дальнейшее сокращение времени измерения обеспечивают методы измерения параметров по мгновенным значениям нескольких переходных процессов [2, 3].

Однако данные методы не учитывают многоэлементной схемы замещения датчиков, что снижает точность получения информации об информативном параметре ЕД.

Одним из элементов, оказывающим влияние на точность измерения, является эквивалентное активное сопротивление, обусловленное потерями в изолирующем диэлектрике и сквозными токами утечки.

В статье рассматривается новый метод, который обеспечивает измерение как емкости, так и сопротивления изоляции ЕД.

Метод заключается в том, что на ИЦ, состоящую из последовательно включенных образцового резистора  $R_0$ , ЕД, имеющего емкость  $C_X$  и сопротивление изоляции  $R_X$ , и второго образцового резистора с сопротивлением  $R_0$ , подают напряжение постоянного тока  $U_0$ ; в произвольный момент времени  $t_1$  одновременно измеряют мгновенные значения переходных процессов на участке цепи, содержащем ЕД и второй образцовый резистор, и втором образцовом резисторе относительно общего вывода ИЦ; через образцовый интервал времени  $\Delta t$  измеряют мгновенное значение напряжения на том же участке цепи относительно общего вывода; через интервал времени  $\Delta t$  измеряют мгновенное значение напряжения на том же участке цепи относительно общего вывода и определяют неизвестную емкость по измеренным значениям.

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

После подключения источника напряжения  $U_0$  к измерительной цепи напряжения на участке цепи, содержащем ЕД и второй образцовый резистор, и на втором

---

*Владимир Сергеевич Мелентьев (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Информационно-измерительная техника».*

*Татьяна Сергеевна Евстифеева, аспирант.*

*Ксения Дмитриевна Левина, студент.*

образцовом резисторе относительно общего вывода ИЦ изменяются в соответствии с выражениями

$$u_1(t) = \frac{U_0}{2} \left\{ 1 + \frac{R_X}{2R_0 + R_X} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] \right\}; \quad u_2(t) = \frac{U_0}{2} \left\{ 1 - \frac{R_X}{2R_0 + R_X} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] \right\},$$

где  $\tau = \frac{2C_X R_0 R_X}{2R_0 + R_X}$  – постоянная времени ИЦ.

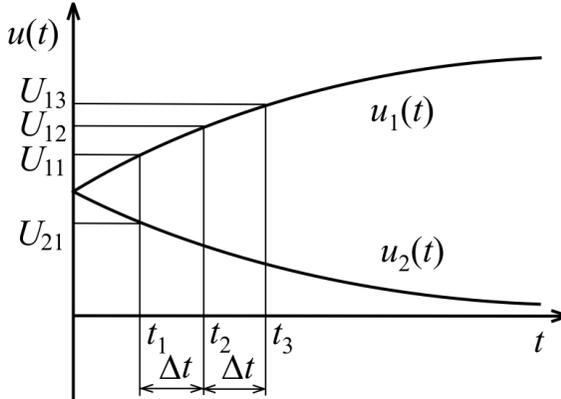


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

Переходные процессы, возникающие в данной ИЦ, имеют в общем случае шесть параметров:  $C_X$ ,  $R_X$ ,  $R_0$ ,  $U_0$ ,  $\Delta t$  и момент времени начала измерения  $t_1$ , два из которых ( $R_0$  и  $\Delta t$ ) известны. В этом случае составим систему четырех уравнений

$$\begin{cases} \frac{U_0}{2} \left\{ 1 + \frac{R_X}{2R_0 + R_X} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) \right] \right\} = U_{11}; \\ \frac{U_0}{2} \left\{ 1 - \frac{R_X}{2R_0 + R_X} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) \right] \right\} = U_{21}; \\ \frac{U_0}{2} \left\{ 1 + \frac{R_X}{2R_0 + R_X} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_1 + \Delta t}{\tau}\right) \right] \right\} = U_{12}; \\ \frac{U_0}{2} \left\{ 1 + \frac{R_X}{2R_0 + R_X} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_1 + 2\Delta t}{\tau}\right) \right] \right\} = U_{13}. \end{cases} \quad (1)$$

Используя мгновенные значения напряжений (1), можно определить сопротивление изоляции

$$R_X = \frac{2R_0 [(U_{12} - U_{11})(2U_{12} - U_{11} - U_{21}) - (U_{21} - U_{11})(U_{13} - U_{12})]}{(U_{11} + U_{21})(2U_{12} - U_{11} - U_{21}) - (U_{12} - U_{11})}. \quad (2)$$

Из отношения  $\frac{U_{13} - U_{12}}{U_{12} - U_{11}} = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right)$  можно определить постоянную времени

ИЦ

$$\tau = -\frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{U_{13}-U_{12}}{U_{12}-U_{11}}\right)}. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что

$$C_X = -\frac{(2R_0 + R_X)\Delta t}{2R_0R_X \ln\left(\frac{U_{13}-U_{12}}{U_{12}-U_{11}}\right)}. \quad (4)$$

Для определения емкости ЕД в соответствии с выражением (4) используется значение сопротивления  $R_X$ , полученное в соответствии с (2). Это обеспечивает увеличение точности измерения  $C_X$ .

Схема средства измерения (СИ), реализующего метод, приведена на рис. 2.

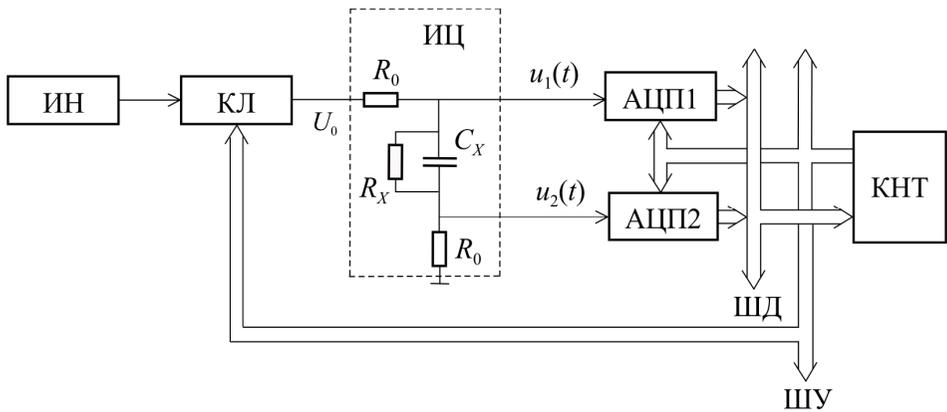


Рис. 2. Схема средства измерения, реализующего метод

В состав СИ входят: источник опорного напряжения постоянного тока ИН; аналоговый ключ КЛ; измерительная цепь ИЦ; два аналого-цифровых преобразователя АЦП1 и АЦП2 и контроллер КНТ с шинами управления ШУ и данных ШД.

Для преобразования мгновенных значений напряжений в код в цифровых СИ используется квантование по уровню, что неизбежно приводит к погрешности.

Для оценки влияния погрешности квантования на результирующую погрешность определения информативного параметра используем предложенную в [4] следующую методику. Согласно методике искомая оценка соответствует погрешности вычисления значения функции, аргументы которой заданы приближенно, если предельные абсолютные погрешности аргументов равны погрешностям квантования мгновенных значений.

Если считать, что при значении опорного напряжения  $U_0$  мгновенные значения напряжений  $U_{11}$ ,  $U_{21}$ ,  $U_{12}$  и  $U_{13}$  измеряются с погрешностями преобразования

АЦП и абсолютные погрешности измерений равны  $\Delta U_{11} = \Delta U_{21} = \Delta U_{12} = \Delta U_{13} = \frac{\Delta U}{2^n}$  (где

$n$  – разрядность АЦП), то предельная абсолютная погрешность вычисления  $C_X$  в соответствии с выражением (4) будет равна

$$\Delta C_X = \left[ |(C_X)'_{U_{11}}| + |(C_X)'_{U_{21}}| + |(C_X)'_{U_{12}}| + |(C_X)'_{U_{13}}| \right] \Delta U. \quad (5)$$

Предельная относительная погрешность определения  $C_X$  с учетом (4) и (5) примет вид

$$\delta_C = \frac{\tau(2R_0 + R_X) \left[ 1 + \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right]}{\Delta t R_X 2^{n-1} \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right]}. \quad (6)$$

Анализ (6) показывает, что погрешность зависит от следующих отношений: между образцовым интервалом времени  $\Delta t$  и постоянной времени ИЦ  $\tau$ ; между сопротивлением изоляции  $R_X$  и сопротивлением образцового резистора  $R_0$ ; между интервалом времени с момента начала переходного процесса в ИЦ до момента начала измерения  $t_1$  и образцовым интервалом времени  $\Delta t$ .

На рис. 3 приведены графики зависимости погрешности  $\delta_C$  от  $\Delta t/\tau$  и  $R_X/R_0$  при  $t_1/\tau = 0,01$  для 12-разрядного АЦП.

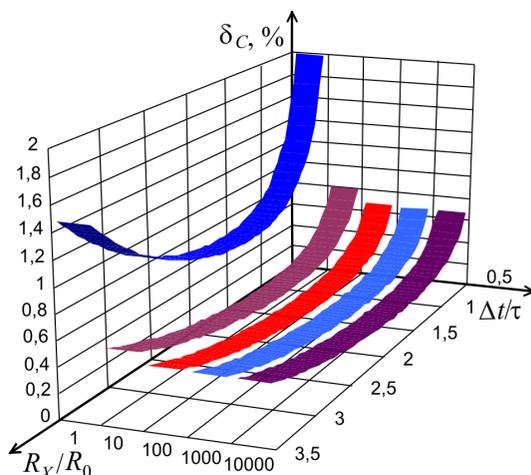


Рис. 3. График зависимости  $\delta_C$  от  $R_X/R_0$  и  $\Delta t/\tau$  при  $t_1/\tau = 0,01$

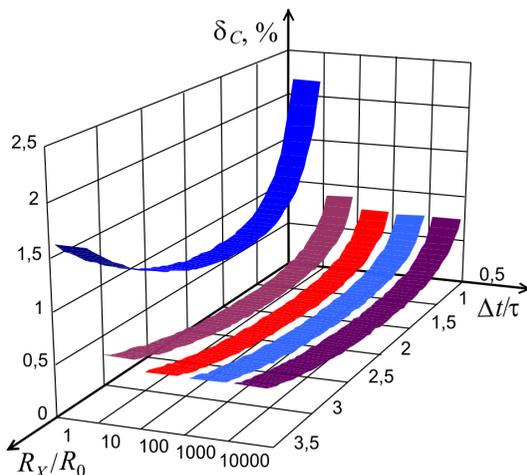


Рис. 4. График зависимости  $\delta_C$  от  $R_X/R_0$  и  $\Delta t/\tau$  при  $t_1/\tau = 0,1$

На рис. 4 приведены графики зависимости погрешности  $\delta_C$  от  $\Delta t/\tau$  и  $R_X/R_0$  при  $t_1/\tau = 0,1$  для 12-разрядного АЦП.

Анализ рис. 3 и 4 показывает, что погрешность измерения емкости практически не зависит от  $R_X$  при  $R_X/R_0 > 10$ . Однако погрешность  $\delta_C$  можно существенно снизить за счет соответствующего выбора соотношения  $\Delta t/\tau$ . Кроме того, влияние квантования на результирующую погрешность измерения может быть сокращено при уменьшении отношения  $t_1/\tau$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батищев В.И., Мелентьев В.С. Измерение параметров емкостных датчиков положения и перемещения. – М.: Машиностроение, 2005. – 124 с.
2. Мелентьев В.С., Латухова О.А. Метод измерения параметров емкостных датчиков с использованием двух образцовых элементов // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: Межвуз. сборник. – Вып. 1. – Бийск: Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2011. – С. 126-128.
3. Мелентьев В.С., Батищев В.И., Смолина А.М. Метод измерения параметров емкостных датчиков положения и перемещения // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 8. – С. 26-30.
4. Мелентьев В.С., Батищев В.И. Аппроксимационные методы и средства измерения параметров двухполюсных электрических цепей. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 198 с.

*Статья поступила в редакцию 24 октября 2011 г.*

## THE METHOD OF PARAMETERS SEPARATE DEFINITION OF CAPACITOR GAUGES

*V.S. Melentiev, T.S. Evstifeeva, K.D. Levina*

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

*The new method of measurement of parameters of capacitor gauges which provides definition as capacities, and resistance of isolation is offered that increases accuracy of measurement of informative parameter. Results of the analysis of an error of measurement of the capacity caused by an error of quantization of instant values of transients are resulted.*

**Keywords:** *transient, instant values, a measuring circuit, an error, quantization.*

---

*Vladimir S. Melentiev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Tatiana S. Evstifeeva, Postgraduate Student.  
Kseniya D. Levina, Student.*