

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ*

В.С. Мелентьев, О.А. Латухова, А.М. Смолина, Т.С. Евстифеева

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

Предлагается модификация измерительной цепи при реализации метода измерения параметров емкостных датчиков. Приводятся результаты анализа погрешности метода, обусловленной отклонением реального переходного процесса от заложенного в модели.

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

Определение параметров емкостных датчиков (ЕД) по мгновенным значениям нескольких переходных процессов в измерительной цепи (ИЦ) позволяет существенно сократить время измерения. Для этого формируют два переходных процесса на средних точках двух измерительных цепей или на известном и неизвестном элементах ИЦ [1].

Авторами предложен метод измерения параметров ЕД [2], который заключается в том, что на ИЦ, состоящую из последовательно включенных двух образцовых резисторов R_0 и неизвестной емкости C_X , подают напряжение постоянного тока U_0 ; через образцовый интервал времени Δt с момента подачи напряжения одновременно измеряют мгновенные значения напряжений на втором сопротивлении и емкости C_X относительно общего вывода ИЦ и определяют неизвестную емкость по измеренным значениям.

Использование только резистивных образцовых элементов обеспечивает значительное повышение стабильности параметров ИЦ по сравнению с цепями, где в качестве образцовых применяются реактивные элементы.

Вид измерительной цепи и временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 1 и 2.

При больших постоянных времени ИЦ и малых значениях Δt мгновенные значения напряжения $u_2(t)$ будут близки к нулю. В данном случае для увеличения мгновенных значений напряжения в начале переходного процесса можно изменить конфигурацию ИЦ, поменяв местами емкость со вторым образцовым резистором [3].

Временные диаграммы, поясняющие рассматриваемый случай, представлены на рис. 3.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-08-00039-а).

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

Ольга Алексеевна Латухова, аспирант.

Анастасия Михайловна Смолина, аспирант.

Татьяна Сергеевна Евстифеева, аспирант.

При подключении напряжения постоянного тока U_0 к ИЦ напряжение на участке цепи, состоящем из емкости и второго образцового сопротивления, относительно общего вывода изменяется по закону

$$u_1(t) = U_0 \left[1 - \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right],$$

где $\tau = 2C_X R_0$ – постоянная времени ИЦ.

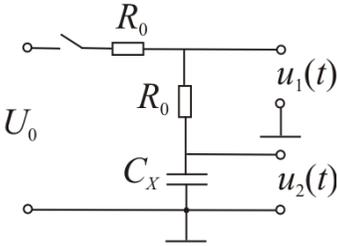


Рис. 1. Схема ИЦ

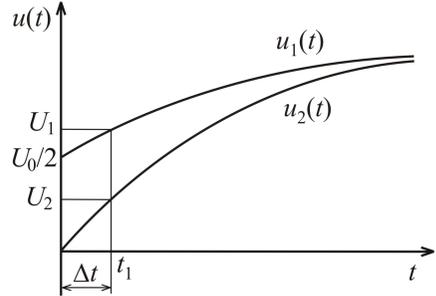


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие метод

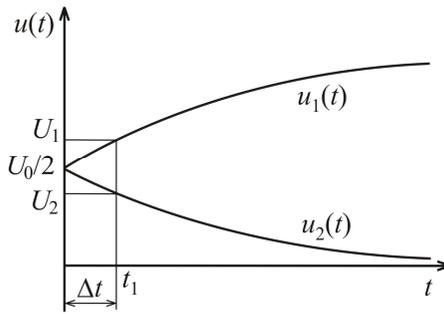


Рис. 3. Временные диаграммы, поясняющие метод при модифицированной ИЦ

Напряжение на втором сопротивлении будет равно

$$u_2(t) = \frac{U_0}{2} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right).$$

Через временной интервал Δt в момент времени t_1 мгновенные значения напряжений равны

$$U_1 = U_0 \left[1 - \frac{\exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right)}{2} \right]; \quad U_2 = \frac{U_0}{2} \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right).$$

Из отношения $\frac{2U_2}{U_1 + U_2} = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right)$ можно определить постоянную времени ИЦ

$$\tau = - \frac{\Delta t}{\ln \left[\frac{2U_2}{U_1 + U_2} \right]}. \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что

$$C_X = - \frac{\Delta t}{2R_0 \ln \left[\frac{2U_2}{U_1 + U_2} \right]}. \quad (2)$$

В реальных ИЦ необходимо учитывать дополнительные неинформативные элементы. Если считать, что сопротивление образцовых резисторов R_0 одинаково и стабильно, то одним из неинформативных элементов является сопротивление соединительных проводников R_{Π} или его изменение при изменении температуры и т. д. Учет активного сопротивления R_{Π} приведет к увеличению постоянной времени реальной цепи $\tau_p = C_X(2R_0 + R_{\Pi})$ и отклонению реального переходного процесса от заложенного в модели. Это неизбежно приведет к погрешности определения C_X .

Проведенный в [4] анализ данного вида погрешности для первоначальной конфигурации ИЦ показал, что погрешность зависит от отношений $\Delta t/\tau$ и R_{Π}/R_0 . В диапазоне изменения $\Delta t/\tau = 0,3 \div 2,0$ предельное значение погрешности может составлять 5 % при $R_{\Pi}/R_0 = 0,01$.

Произведем оценку предельной погрешности измерения параметров датчика, используя предложенную в [5] методику. Методика заключается в определении погрешности как функции, аргументы которой заданы приближенно с погрешностью, соответствующей отклонению модели от реального сигнала. Погрешность вычисления функции есть не что иное, как возможное приращение функции, которое она получит, если ее аргументам дать приращения, равные их погрешностям.

Если считать, что абсолютные погрешности аргументов соответствуют наибольшему отклонению ΔU_{\max} модели от реального переходного процесса, то абсолютная погрешность измерения емкости будет равна

$$\Delta C_X = \left[\left| (C_X)'_{U_1} \right| + \left| (C_X)'_{U_2} \right| \right] \Delta U_{\max}. \quad (3)$$

В общем случае можно считать, что предельное значение ΔU_{\max} равно $\Delta U_{\max} = \sup \left(\frac{U_0}{2} \left| \exp \left(-\frac{\Delta t}{\tau} \right) - \exp \left(-\frac{\Delta t}{\tau_p} \right) \right| \right)$ и может быть вычислено путем решения

$$\text{уравнения} \left[\exp \left(-\frac{\Delta t}{\tau} \right) - \exp \left(-\frac{\Delta t}{\tau_p} \right) \right]' = 0.$$

Тогда относительная погрешность измерения согласно (2) и (3) равна

$$\delta_C = \frac{(2R_0 + R_{\Pi})\tau}{2R_0 \exp \left(-\frac{\Delta t}{\tau} \right) \Delta t} \left| \exp \left(\frac{\ln \frac{\tau_p}{\tau}}{\frac{R_{\Pi}}{R_0}} \right) - \exp \left(\frac{\ln \frac{\tau_p}{\tau}}{\frac{R_{\Pi}}{R_0}} \frac{\tau}{\tau_p} \right) \right|. \quad (4)$$

График зависимости относительной погрешности измерения емкости от $\Delta t/\tau$ и R_{Π}/R_0 в соответствии с (3) приведен на рис. 4.

Если считать, что предельные абсолютные погрешности аргументов соответствуют отклонению модели от реального сигнала, определяемому через среднеквадратическую погрешность σ , то абсолютная погрешность измерения емкости

$$\Delta C_X = \left[\left| (C_X)'_{U_1} \right| + \left| (C_X)'_{U_2} \right| \right] \sigma. \quad (5)$$

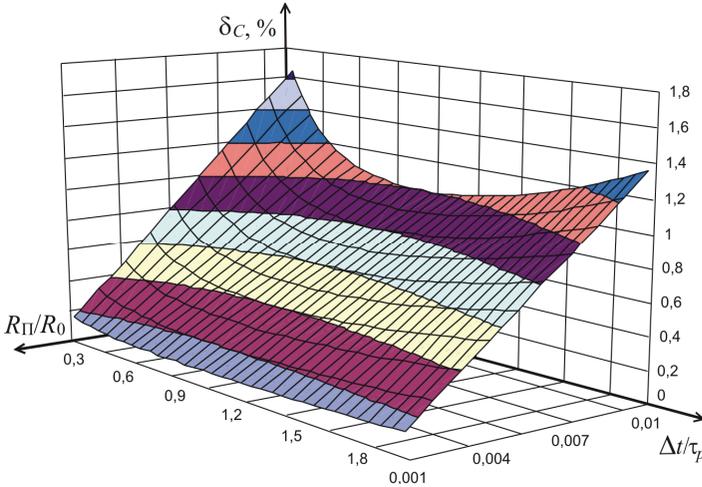


Рис. 4. График зависимости δ_C от R_{Π}/R_0 и $\Delta t/\tau_p$ при оценке погрешности по наибольшему отклонению модели от реального сигнала

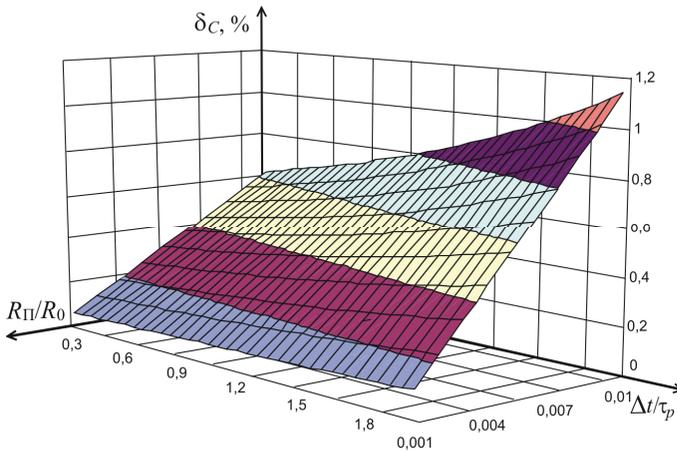


Рис. 5. График зависимости δ_C от R_{Π}/R_0 и $\Delta t/\tau_p$ при оценке погрешности по отклонению модели от реального сигнала, определяемому через среднеквадратическую погрешность

Используя выражения (2) и (5), можно определить относительную погрешность для данного случая

$$\delta_C = \frac{(2R_0 + R_{\Pi})\tau}{2R_0 \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \Delta t \sqrt{2\Delta t(\tau + \tau_p)}} \left\{ (\tau - \tau_p)^2 - \right.$$

$$-\tau\tau_p \left[\exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau_p}\right) \right]^2 - \left[\tau \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) - \tau_p \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau_p}\right) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

На рис. 5 представлен график зависимости погрешности δ_C от $\Delta t/\tau$ и R_{II}/R_0 в соответствии с (6).

Анализ рис. 4 и 5 показывает, что в диапазоне изменения $\Delta t/\tau = 0,3 \div 2,0$ предельное значение погрешности не превышает 1,8 % при $R_{II}/R_0 = 0,01$.

Таким образом, при использовании модифицированной ИЦ можно не только изменить диапазон мгновенных значений переходных процессов, но и существенно уменьшить погрешность измерения, обусловленную отклонением реального переходного процесса от заложенного в модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелентьев В.С. Новое в измерениях параметров емкостных датчиков по мгновенным значениям переходных процессов // Датчики и системы. – № 2. – 2010. – С. 26-29.
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., Латухова О.А., Миронов Д.А. Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС – 2012): Матер. III Междунар. науч.-техн. конф. – Самара: СамГТУ, 2012. – С. 247-250.
4. Мелентьев В.С., Латухова О.А., Евстифеева Т.С. Исследование метода измерения параметров двухполюсных электрических цепей по мгновенным значениям двух переходных процессов // Информационно-измерительные и управляющие системы: Сб. науч. статей. – Самара: СамГТУ, 2012. – 2(7). – С. 50-55.
5. Батищев В.И., Мелентьев В.С. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики. – М: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.

Статья поступила в редакцию 20 августа 2012 г.

THE INCREASE OF MEASUREMENT'S ACCURACY OF PARAMETERS OF CAPACITOR GAUGES DUE TO CHANGE OF THE CONFIGURATION OF MEASURING CIRCUIT

V.S. Melentiev, O.A. Latuhova, A.M. Smolina, T.S. Evstifeeva

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

Updating of a measuring circuit is offered at realization of a method of measurement of parameters of capacitor gauges. Results of the analysis of an error of the method caused by a deviation of real transient from incorporated in model are resulted.

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

Vladimir S. Melentiev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.

Olga A. Latuhova, Postgraduate Student.

Anastasiya M. Smolina, Postgraduate Student.

Tatiana S. Evstifeeva, Postgraduate Student.