DOI: 10.17117/na.2015.11.03.283

Поступила (Received): 24.11.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.11.03.283.pdf>

Мелентьев В.С., Обухова Т.С., Левина К.Д., Сусова Е.А. Анализ погрешности реализации метода раздельного определения параметров емкостных датчиков

Melentiev V.S., Obuhova T.S., Levina K.D., Susova E.A.
The analysis of the implementation error of the method of the
separate determination of the parameters of capacitive sensors

Рассматривается новый метод раздельного определения параметров емкостных датчиков по мгновенным значениям переходных процессов в измерительной цепи. Метод обеспечивает повышение точности измерения за счет учета многоэлементной схемы замещения датчика. Приводятся результаты анализа влияния квантования мгновенных значений сигналов на погрешность определения параметров
Ключевые слова: датчик, переходный процесс, мгновенные значения, погрешность

Мелентьев Владимир Сергеевич

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
Самарский государственный технический университет
г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Обухова Татьяна Сергеевна

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

Левина Ксения Дмитриевна

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

Сусова Екатерина Александровна

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

A new method of separate determining the parameters of capacitive sensors on the instantaneous values of transients in the measuring circuit is considered. The method provides increased measurement accuracy by taking into account multi-element equivalent circuit of the sensor. The results of the analysis of the effect of quantization of instantaneous values of signals at the error in determining the parameters
Key words: sensor, transient, instantaneous values, error

Melentiev Vladimir Sergeevich

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department
Samara state technical university
Samara, Molodogvardeyskaya st., 244

Obuhova Tatyana Sergeevna

Graduate
Samara state technical university
Samara, Molodogvardeyskaya st., 244

Levina Ksenia Dmitrievna

Graduate
Samara state technical university
Samara, Molodogvardeyskaya st., 244

Susova Ekaterina Aleksandrovna

Graduate
Samara state technical university
Samara, Molodogvardeyskaya st., 244

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

Для измерения параметров емкостных датчиков (ЕД) широко используются методы, основанные на определении информативных параметров по мгновенным значениям переходного процесса в измерительной цепи (ИЦ). Такой подход обеспечивает существенное сокращение времени измерения [1].

Для повышения точности измерения требуется определение не только информативного параметра ЕД (емкости), но и неинформативных параметров (сопротивление соединительных проводников, эквивалентное сопротивление, обусловленное потерями в изолирующем диэлектрике и сквозными токами утечки, и т.п.) [2].

Однако большинство известных методов и средств измерения параметров ЕД [3] по мгновенным значениям переходного процесса не учитывают неинформативные параметры, что приводит к отклонению реального переходного процесса от используемой модели и вызывает дополнительную погрешность.

Для исключения погрешности, обусловленной конечным значением сопротивления изоляции емкостного датчика, в [4] авторами предложен метод, который заключается в том, что на ИЦ, состоящую из последовательно включенных двух образцовых резисторов R_0 и емкостного датчика, имеющего емкость C_X и сопротивление изоляции R_X , подают напряжение постоянного тока U_0 ; в произвольный момент времени t_1 одновременно измеряют мгновенные значения переходных процессов на участке цепи, содержащем второй образцовый резистор и ЕД, и емкостном датчике относительно общего вывода ИЦ; через образцовый интервал времени Δt измеряют мгновенное значение напряжения на ЕД; через такой же интервал времени Δt снова измеряют мгновенное значение напряжения на ЕД и определяют неизвестную емкость и сопротивление изоляции по измеренным значениям.

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

Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

При подключении напряжения U_0 к измерительной цепи переходные процессы на участке цепи, содержащем второй образцовый резистор и емкостной датчик, и на датчике относительно общего вывода ИЦ описываются выражениями:

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

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

Мгновенные значения напряжений в моменты времени t_1 , t_2 и t_3 равны:

$$U_{11} = \frac{U_0}{2} \left\{ 1 + \frac{R_X}{2R_0 + R_X} \left[1 - \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) \right] \right\}; \quad U_{21} = \frac{U_0 R_X}{2(2R_0 + R_X)} \left[1 - \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) \right];$$

$$U_{22} = \frac{U_0 R_X}{2(2R_0 + R_X)} \left[1 - \exp\left(-\frac{t_1 + \Delta t}{\tau}\right) \right]; \quad U_{23} = \frac{U_0 R_X}{2(2R_0 + R_X)} \left[1 - \exp\left(-\frac{t_1 + 2\Delta t}{\tau}\right) \right].$$

После преобразований мгновенных значений напряжений, неизвестные сопротивление изоляции и емкость датчика принимают вид:

$$R_X = \frac{2R_0(2U_{22}^2 - U_{21}U_{23})}{(U_{11} - U_{21})(2U_{22} - U_{21} - U_{23}) - (2U_{22}^2 - U_{21}U_{23})}; \quad (1)$$

$$C_X = - \frac{(2R_0 + R_X)\Delta t}{2R_0 R_X \ln\left(\frac{U_{23} - U_{22}}{U_{22} - U_{21}}\right)}. \quad (2)$$

При определении емкости ЕД в соответствии с (2) используется значение сопротивления R_X , что обеспечивает увеличение точности измерения C_X .

На рис. 2 приведено средство измерения (СИ), реализующее метод.

Рис. 2. Схема СИ, реализующего метод

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

Реализация рассматриваемого метода измерения параметров ЕД предусматривает измерение мгновенных значений сигналов. Использование в цифровых средствах измерения квантования по уровню неизбежно приводит к погрешности, оказывающей влияние на результат определения параметров.

Оценка влияния квантования на погрешность определения C_X была произведена ранее [4].

Проведем анализ влияния квантования на погрешность определения R_X .

Если считать, что мгновенные значения напряжений измеряются с погрешностью преобразования АЦП $U_0 / 2^n$ (где n – разрядность АЦП), то предельная относительная погрешность вычисления R_X согласно (1) будет равна:

$$\delta_R = \frac{(2R_0 + R_X) \left[1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right]^2 \left[1 - \exp\left(-\frac{2\Delta t}{\tau}\right) \right] + \left(\frac{2R_0}{R_X} + 1 \right) \left[1 + 2\exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right]}{2^n R_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right]^2}. \quad (3)$$

Анализ выражения (3) показывает, что результирующая погрешность определения R_X зависят от отношений образцового интервала времени Δt к τ и сопротивления изоляции ЕД R_X к сопротивлению образцового резистора R_0 .

На рис. 3 приведены графики зависимости относительной погрешности измерения сопротивления R_X от $\Delta t / \tau$ и R_X / R_0 при $n=12$ в соответствии с (3).

Рис. 2. Графики зависимости погрешности измерения емкости от $\Delta t / \tau$ и R_X / R_0

Полученные результаты позволяют оптимально выбирать параметры измерительного процесса в зависимости от требований по точности и быстродействию.

Список используемых источников:

1. Мелентьев В.С. Методы повышения точности измерения параметров емкостных датчиков // Измерительная техника. 2014. №7. С. 45-47.
2. Мелентьев В.С., Батищев В.И. Аппроксимационные методы и средства измерения и контроля параметров двухполюсных электрических цепей. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 200 с.
3. Мелентьев В.С. Аппроксимационные методы измерения параметров линейных электрических цепей // Измерительная техника. 2010. №10. С. 57-59.
4. Мелентьев В.С., Латухова О.А., Евстифеева (Обухова) Т.С. Метод раздельного определения параметров емкостных датчиков по мгновенным значениям переходных процессов // Ползуновский Вестник. 2013. №2. С. 106-108.

© 2015, Мелентьев В.С., Обухова Т.С., Левина К.Д.,
Сусова Е.А.

*Анализ погрешности реализации метода
раздельного определения параметров емкостных
датчиков*

© 2015, Melentiev V.S., Obuhova T.S., Levina K.D.,
Susova E.A.

*The analysis of the implementation error of the
method of the separate determination of the
parameters of capacitive sensors*