

## МЕТОД РАЗДЕЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ ПО МГНОВЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

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

В статье рассматривается решение задачи раздельного определения параметров емкостных датчиков по мгновенным значениям переходных процессов в измерительной цепи. Приводятся результаты анализа влияния погрешности квантования на результирующую погрешность определения параметров датчиков.

**Ключевые слова:** емкостной датчик, переходный процесс, мгновенные значения, постоянная времени, квантование, погрешность.

### Состояние проблемы

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

При измерении параметров ЕД учет их многоэлементной схемы замещения позволяет определять значения информативных параметров датчика независимо от неинформативных.

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

Известные методы измерения параметров ЕД [2] по мгновенным значениям двух переходных процессов не учитывают паразитных элементов. Это приводит к отклонению используемой модели от реального переходного процесса, что неизбежно вызывает погрешность определения информативного параметра датчика.

### Предлагаемое решение

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 двух образцовых резисторов  $R_0$  и ЕД, имеющего емкость  $C_X$  и сопротивление изоляции  $R_X$ , подают напряжение постоянного тока  $U_0$ , инициируя тем самым переходный процесс. После этого в произвольный момент

времени  $t_1$  одновременно измеряют мгновенные значения напряжений на участке цепи, содержащем второй образцовый резистор и ЕД, и емкостном датчике относительно общего вывода ИЦ; через образцовый интервал времени  $\Delta t$  измеряют мгновенное значение напряжения на ЕД; через такой же интервал времени  $\Delta t$  измеряют мгновенное значение напряжения на ЕД и определяют неизвестную емкость и сопротивление изоляции по измеренным значениям.

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рисунке 1.

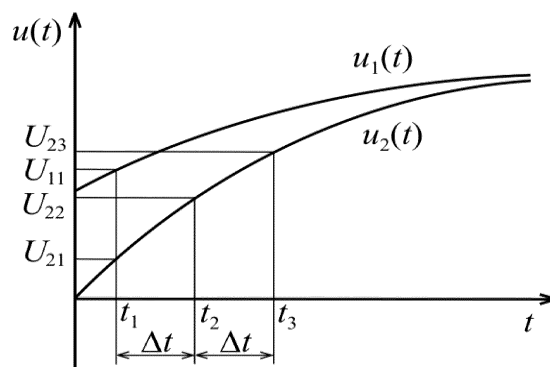


Рисунок 1 – Временные диаграммы, поясняющие метод

После подключения напряжения  $U_0$  к измерительной цепи напряжения на участке цепи, содержащем второй образцовый резистор и ЕД, и на емкостном датчике относительно общего вывода ИЦ изменяются в соответствии с выражениями:

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

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

МЕТОД РАЗДЕЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ ПО МГНОВЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

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  $t_3$  принимают вид:

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

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

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

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

Используя мгновенные значения напряжений, можно определить неизвестные сопротивление изоляции и емкость ЕД:

$$R_X = 2R_0 (2U_{22}^2 - U_{21}U_{23}) / \left[ (U_{11} - U_{21})(2U_{22} - U_{21} - U_{23}) - (2U_{22}^2 - U_{21}U_{23}) \right]; \quad (1)$$

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

Для определения емкости ЕД в соответствии с выражением (2) используется значение сопротивления  $R_X$ , полученное согласно (1). Это обеспечивает увеличение точности измерения  $C_X$ .

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

Для оценки влияния погрешности квантования на погрешность определения  $R_X$  и  $C_X$  можно воспользоваться следующей методикой. Методика заключается в том, что точность результата определения информативного параметра может быть оценена как погрешность вычисления значения функции, аргументы которой заданы приближенно, с погрешностями, соответствующими погрешностям квантования мгновенных значений сигнала [3]. Погрешность вычисления значения какой-либо функции, аргументы которой заданы приближенно, может быть оценена с помощью дифференциала этой функции.

Если считать, что мгновенные значения напряжений  $U_{11}$ ,  $U_{21}$ ,  $U_{22}$  и  $U_{23}$  измеря-

ются с погрешностью преобразования аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и абсолютные погрешности измерения равны:  $\Delta U_{11} = \Delta U_{21} = \Delta U_{22} = \Delta U_{23} = \Delta U$ , то предельные абсолютные погрешности определения  $R_X$  и  $C_X$  согласно (1) и (2) с учетом погрешности квантования АЦП будут равны:

$$\Delta R_X = \left[ \left| (R_X)'_{U_{11}} \right| + \left| (R_X)'_{U_{21}} \right| + \left| (R_X)'_{U_{22}} \right| + \left| (R_X)'_{U_{23}} \right| \right] \Delta U; \quad (3)$$

$$\Delta C_X = \left[ \left| (C_X)'_{U_{21}} \right| + \left| (C_X)'_{U_{22}} \right| + \left| (C_X)'_{U_{23}} \right| \right] \Delta U. \quad (4)$$

Предельную погрешность квантования  $\Delta U$  можно представить как отношение максимального значения напряжения  $U_0$  на входе АЦП к числу уровней квантования. В этом случае в соответствии с (1) - (4) относительные погрешности вычисления  $R_X$  и  $C_X$  будут соответствовать выражениям:

$$\delta_R = \frac{(2R_0 + R_X)}{2^n R_0 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right]^2} \left\{ \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right]^2 \times \left[ 1 - \exp\left(-\frac{2\Delta t}{\tau}\right) \right] + \left( \frac{2R_0}{R_X} + 1 \right) \left[ 1 + 2 \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right] \right\}; \quad (5)$$

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

где  $n$  - разрядность АЦП.

Анализ выражений (5) и (6) показывает, что результирующие погрешности определения параметров зависят от отношений интервала времени между моментом подключения напряжения и моментом начала измерения  $t_1$  к постоянной времени  $\tau$ , образцового интервала времени  $\Delta t$  к  $\tau$ , сопротивления изоляции ЕД  $R_X$  к сопротивлению образцового резистора  $R_0$ .

На рисунках 2 и 3 представлены графики зависимости относительной погрешности из-

### РАЗДЕЛ 3. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

мерения емкости от  $\Delta t/\tau$  и  $R_X/R_0$  для  $t_1/\tau=0,1$  и  $t_1/\tau=0,01$  при  $n=12$  в соответствии с выражением (6).

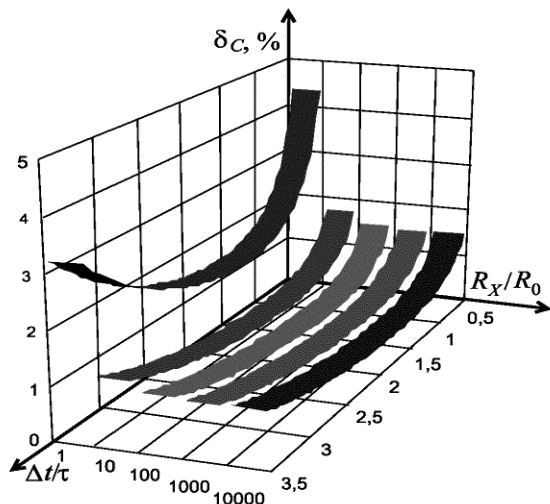


Рисунок 2 – Графики зависимости погрешности измерения емкости от  $\Delta t/\tau$  и  $R_X/R_0$  для  $t_1/\tau=0,1$

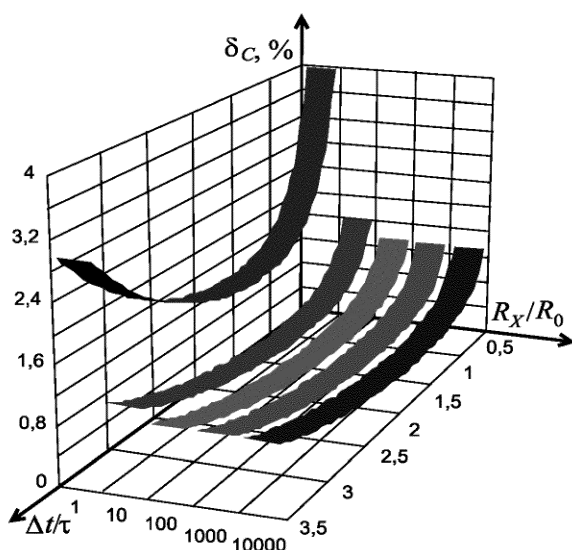


Рисунок 3 – Графики зависимости погрешности измерения емкости от  $\Delta t/\tau$  и  $R_X/R_0$  для  $t_1/\tau=0,01$

Анализ рисунков 2 и 3 показывает, что погрешность измерения емкости практически не зависит от сопротивления изоляции  $R_X$

при  $R_X/R_0 > 10$ . Однако погрешность измерения можно существенно снизить за счет соответствующего выбора соотношения  $\Delta t/\tau$ . Кроме того, влияние квантования на погрешность измерения может быть сокращено при уменьшении отношения  $t_1/\tau$ .

#### Выводы

Разработанный метод позволяет измерять как емкость, так и эквивалентное активное сопротивление, обусловленное потерями в изолирующем диэлектрике и сквозными токами утечки. Это обеспечивает повышение точности определения информативного параметра емкостных датчиков.

Реализация метода позволяет начинать измерение в произвольный момент времени после подачи напряжения на ИЦ, что расширяет возможности его использования, однако это увеличивает общее время измерения.

Результаты анализа погрешности, обусловленной влиянием квантования мгновенных значений сигналов на погрешность результата отдельного определения параметров ЕД, позволяют оптимально выбирать параметры измерительного процесса в зависимости от требований к точности и быстродействию.

Наиболее радикальным способом сокращения данного вида погрешности является увеличение разрядности АЦП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелентьев, В.С. Аппроксимационные методы и средства измерения и контроля параметров двухполюсных электрических цепей / В.С. Мелентьев, В.И. Батищев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 198 с.
2. Мелентьев, В.С. Аппроксимационные методы отдельного определения параметров двухэлементных двухполюсных электрических цепей / В.С. Мелентьев, Е.В. Костенко, Д.А. Миронов // Позуновский вестник. - 2011. - №3(1). - С. 47-50.
3. Батищев, В.И. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики / В.И. Батищев, В.С. Мелентьев. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.

Зав. кафедрой, д.т.н., доцент **В.С. Мелентьев** – vs\_mel@mail.ru; аспирант **О.А. Латухова** – loab3@yandex.ru; аспирант **Т.С. Евстифеева** – gostar\_tat@mail.ru - Самарский государственный технический университет, кафедра информационно-измерительной техники, ims@samgtu.ru, (486)337-05-45.