М.Р. Сафаров, Л.В. Сарваров
M.R. Safarov, L.V. Sarvarov

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХЭЛЕМЕНТНЫХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРА

DEFINITION OF PARAMETERS THREE-ELEMENT TWO-TERMINAL DEVIES WITH APPLICATION OF THE MICROPROCESSOR

г. Уфа, Уфимский государственный нефтяной технический университет
Ufa, Ufa state oil technical university

The questions of measurement and method of construction of the converter of three-element two-terminal devies electrical parameters are considered. The example of its realization are shown. The possibilities of error reduction of a offered method are analysed.

При проведении научных исследований в различных областях науки и техники схемы замещения многих емкостных и индуктивных датчиков представляют в виде пассивных трехэлементных двухполюсников (ДП). При этом параметры схем замещения датчиков однозначно связаны с различными физическими величинами и несут о них информацию. Поэтому определение искомых физических величин сводится к определению параметров элементов ДП.

При разработке преобразователя параметров ДП необходимо стремиться сделать его максимально простым, малогабаритным, недорогим, но в то же время стараться обеспечить достаточно высокие технические характеристики (высокое быстродействие, чувствительность, точность, широкий диапазон значений измеряемых параметров и т.д.). Эти предъявляемые к преобразователям технические требования во многом и определяют функциональные возможности измерительных устройств.

В последнее время для определения параметров датчиков, представленных схемой замещения, содержащих два, три и более элементов, определились два направления. Первое направление предполагает использование синусоидальных активных воздействий на датчики, а другое направление предполагает использование тестовых импульсных воздействий и необходимую информацию предлагается получать из анализа переходных процессов в измерительной цепи. Предъявляемым выше требованиям высокого быстродействия, чувствительности и точности наиболее полно удовлетворяют измерительные устройства, основанные на анализе переходных процессов, возникающих в измерительной цепи, при воздействии на датчики кратковременными электрическим импульсами.

Рассмотрим переходный процесс, являющийся выходной реакцией первичного датчика при воздействии на нее тестовыми сигналами

$$U(t) = A(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + Dt\,, \qquad (1)$$

где A – установившееся значение возрастающей экспоненциально изменяющейся составляющей;
D – значение крутизны линейно изменяющейся составляющей;
τ – значение постоянной времени экспоненциально изменяющейся составляющей;
t – текущее время от начала переходного процесса.

Для определения параметров переходного процесса необходимо, чтобы количество уравнений было больше или равно количеству неизвестных параметров. Если измерим мгновенные значения переходного процесса в моменты времени t_1, $2t_1$, $3t_1$, тогда получим систему из трех уравнений с тремя неизвестными

$$\begin{cases} U(t_1) = A(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}) + Dt_1 \\ U(2t_1) = A(1 - e^{-\frac{2t_1}{\tau}}) + 2Dt_1 \\ U(3t_1) = A(1 - e^{-\frac{3t_1}{\tau}}) + 3Dt_1 \end{cases}$$

@2002, электронная версия подготовлена ЗАО АВТЭКС Санкт-Петербург, http://www.autex.spb.ru

Решая последнюю систему уравнений относительно крутизны линейно изменяющейся составляющей D, установившегося значения A и постоянной времени τ и пропуская промежуточные выкладки, получим [1]

$$\begin{cases} A = \dfrac{\left(2U(t_1) - U(2t_1)\right)^3}{\left(3U(2t_1) - 3U(t_1) - U(3t_1)\right)^2} \\ D = \dfrac{U^2(t_1) + U^2(2t_1) - U(t_1)U(3t_1) - U(t_1)U(2t_1)}{t_1(3U(2t_1) - 3U(t_1) - U(3t_1))} \\ \tau = -\dfrac{t_1}{\ln\left(\dfrac{2U(2t_1) - U(3t_1) - U(t_1)}{2U(t_1) - U(2t_1)}\right)} \end{cases} \qquad (2)$$

Решение системы из трех уравнений с тремя неизвестными дает возможность найти точные аналитические выражения для определения неизвестных параметров. Таким образом, представленный математический аппарат позволяет без методической погрешности и с высоким быстродействием вычислять параметры переходного процесса.

В качестве примера рассмотрим измерительный преобразователь (ИП) параметров ДП в напряжение на базе инвертирующего операционного усилителя (ОУ). Измеряемый трехэлементный ДП, состоящий из последовательно включенных емкости C_1 и параллельной R_2C_2–цепи включен в цепь отрицательной обратной связи ОУ, на вход которого включен образцовый резистор R_0. При подаче на вход данного ИП скачка постоянного напряжения U_{BX} напряжение на выходе измерительной цепи изменяется по закону

$$U(t) = \frac{U_{BX}R_2}{R_0}\left(1 - e^{-\frac{t}{R_2C_2}}\right) + \frac{U_{BX}}{R_0C_1}t \text{ или } U(t) = A\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + Dt,$$

где $A = \dfrac{U_{BX}R_2}{R_0}$; $D = \dfrac{U_{BX}}{R_0C_1}$; $\tau = R_2C_2$.

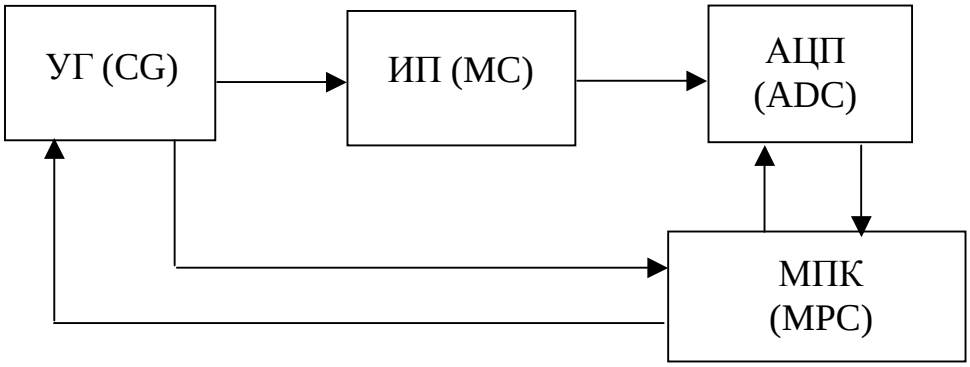
С учетом введенных обозначений для вычисления параметров ДП, получим

$$C_1 = \frac{U_{BX}}{R_0D};\ C_2 = \frac{U_{BX}\tau}{R_0A};\ R_2 = \frac{R_0A}{U_{BX}},$$

где параметры A, D и τ определяются по выражениям системы (2).

Рассмотренный способ можно применять для определения параметров и других возможных видов трехэлементных ДП. При изменении схемы замещения ДП требуются незначительные изменения в структуре ИП. В зависимости от схемы замещения ДП, вида активного воздействия на ИП (скачкообразный или линейно изменяющийся сигнал), характера опорного элемента (резистивный или емкостной) выходное напряжение ИП будет изменяться по различному закону. Поэтому для того чтобы напряжение на выходе ИП описывалось переходным процессом (1), необходимо подбирать место включения исследуемого ДП в измерительную схему, характер опорного элемента и вид входного воздействия. Способ определения параметров более сложных электрических цепей и параметров датчиков, характеризуемых четырехэлементной схемой замещения представлен в [2].

Физическая реализация рассмотренного способа определения параметров ДП возможна с помощью устройства, структурная схема которого изображена на рисунке.



Его основу составляют:

УГ – управляемый генератор тока или напряжения (CG – the controlled generator of a current or voltage);

ИП – измерительный преобразователь (MC – the measuring converter);

МПК – микропроцессорный контроллер (MPC – the microprocessor controller);

АЦП – аналого-цифровой преобразователь (ADC – the analog-digital converter).

Работой устройства управляет микропроцессорный контроллер. По команде с МПК на УГ поступает управляющий импульс и с выхода УГ на ИП поступает скачкообразный или линейно изменяющийся сигнал, возбуждающий в измерительной цепи переходный процесс. МПК в определенные моменты времени после начала переходного процесса запускает АЦП в работу, считывает результат преобразования с его выхода, записывает результат измерения в память и осуществляет вычисление параметров ДП по представленным выше математическим формулам.

Построение измерительного устройства на основе микропроцессорной техники открывает широкие возможности для достижения относительно высоких метрологических характеристик. Наличие МПК позволяет достичь высокого быстродействия не только на этапе измерений, но и на этапе вычислений значений параметров ДП и обработки и анализа полученной информации.

Точность определения параметров ДП характеризуется составляющими погрешности обработки результатов измерений и используемых методов и средств измерений. Хотя сам математический метод лишен методической погрешности, погрешность появляется при технической реализации способа, которая в основном складывается из погрешности преобразования параметров ДП в напряжение и преобразования напряжения в цифровой код. Первую составляющую погрешности можно минимизировать подбирая ОУ с необходимыми рабочими характеристиками (например, с высокой скоростью нарастания сигнала на выходе) и используя периодическое знакопеременное активное воздействие на ИП. Это позволяет практически полностью компенсировать дрейф нуля и напряжение смещения нуля ОУ.

Погрешность преобразования напряжения в цифровой код определяется погрешностью квантования аналого-цифрового преобразователя. Данная погрешность возникает из-за неопределенности квантования при аналого-цифровом преобразовании, равной 1/2 значения младшего разряда и из-за конечности количества разрядов АЦП при дискретизации аналогового сигнала.

Рассмотрим, как влияет погрешность дискретности АЦП, которая зависит от величины предела измерения аналогового сигнала и количества двоичных разрядов результата на погрешность вычисления параметров ДП.

Расчет погрешности и анализ полученных результатов произведем для одного из параметров рассмотренного выше ДП, например, емкости C_1

Предположим, что мгновенные значения переходного процесса $U(t_1)$, $U(2t_1)$ и $U(3t_1)$, необходимые для вычисления емкости C_1 в результате квантования имеют погрешности квантования $\Delta U(t_1)$, $\Delta U(2t_1)$ и $\Delta U(3t_1)$ соответственно. Предельная абсолютная погрешность вычисления емкости C_1 вычисляется по формуле

$$\Delta C_1 = \left|(C_1)'_{U(t_1)}\right|\Delta U(t_1) + \left|(C_1)'_{U(2t_1)}\right|\Delta U(2t_1) + \left|(C_1)'_{U(3t_1)}\right|\Delta U(3t_1).$$

Определив соответствующие частные производные и подставив их в предыдущее уравнение, а также учитывая, что $\Delta U(t_1)=\Delta U(2t_1)=\Delta U(3t_1)=\Delta U$, получим относительную погрешность вычисления параметра C_1, которая после ряда упрощений имеет вид

$$\delta C_1 = \frac{1}{2^X}\left(\frac{C_1}{C_2}\frac{\tau}{t_1}(1-e^{-\frac{t_1}{\tau}})+3\right)\frac{e^{-2\frac{t_1}{\tau}}+4e^{-\frac{t_1}{\tau}}+2}{(1-e^{-\frac{t_1}{\tau}})^2}, \qquad (3)$$

где x – количество двоичных разрядов результата на выходе АЦП.

Численный анализ этого выражения позволяет сделать ряд ценных замечаний, направленных на повышение точности измерений.

При проведении экспериментов примерное соотношение измеряемых параметров C_1/C_2 бывает известно. Известны также технические характеристики используемого АЦП (количество разрядов, разрешающая способность, время или максимальная частота преобразования и т.д.). Анализ последнего выражения позволяет оценить относительную погрешность вычисления параметра C_1 и дает возможность существенно упростить выбор момента времени t_1 в зависимости от постоянной времени т ДП, чтобы эта самая погрешность была минимальной.

Анализ выражения (3) позволяет решает и обратную задачу. В большинстве случаев требуется, чтобы допустимая погрешность измерения параметра ДП не превышала заданного значения. Исходя из этого, определяются требования к характеристикам АЦП.

В заключении следует отметить, что прогресс в информационно-измерительной технике, связанный с развитием элементной базы, позволит в будущем разрабатывать преобразователи параметров ДП с еще более высокими метрологическими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафаров М.Р., Сарваров Л.В., Коловертнов Ю.Д., Коловертнов Г.Ю. Способ определения параметров двухполюсников // Положительное решение по заявке на патент № 2000112434.
2. Сафаров М.Р., Сарваров Л.В. Метод и средства измерения параметров четырехэлементных двухполюсников. Электронный журнал «Исследовано в России», 160, с.1816–1820, 2001 г.
   http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/160.pdf