

УДК 621.317

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЁМКОСТИ ДАТЧИКА В УНИФИЦИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ СО СТРУКТУРНОЙ И ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

© 2013 П. И. Артамонов

Пензенская государственная технологическая академия

Рассмотрен принцип построения и реализации преобразователей ёмкости датчиков в унифицированные сигналы, ориентированных на использование в промышленных информационно-управляющих системах.

*Датчик, измерительное устройство, ёмкость, избыточность, принцип двухканальности.*

Для решения актуальной задачи измерения параметров пассивных двухполюсных электрических цепей, к которым, в частности, приводятся эквивалентные схемы параметрических датчиков, разработаны и продолжают создаваться различные измерительные устройства и системы, зачастую достаточно сложные [1].

В то же время многие возникающие в данной области измерительной техники проблемы могут быть решены структурно и алгоритмически достаточно просто и эффективно с использованием одного из перспективных направлений совершенствования характеристик измерительных приборов – введения избыточности [2]. Создание в измерительном преобразователе разделённых пространственно или во времени дополнительных каналов передачи (преобразования) сигнала, несущего информацию о параметрах эквивалентной схемы датчика, позволяет значительно упростить функции преобразования, исключить из них ряд параметров, обусловленных действием влияющих факторов, и обеспечить отдельный отсчёт по каждому из искомым параметрам эквивалентной схемы датчика.

Формально введение избыточности приводит к формированию дополнительных уравнений так называемого промежуточного преобразования электрических информационных сигналов. Решения этих уравнений, включающих также параметры схемы преобразователя и влияющих

факторов среды, соответственно имеют статус промежуточных величин, которые, в свою очередь, в общем случае подвергаются последующей обработке по специальным алгоритмам с целью получения искомым результатов измерения, в том числе – за счёт программных ресурсов. В случае же измерения параметров относительно простых двух-, трёхэлементных электрических цепей (что в подавляющем большинстве случаев и приходится осуществлять на практике) можно достичь целей измерения простыми аппаратными средствами.

Примером реализации структурной избыточности с пространственным разделением каналов может служить преобразователь [3], предназначенный для работы с ёмкостным датчиком (например, малых перемещений). Датчик представлен схемой замещения в виде параллельной  $RC$  – цепи. Схема преобразователя приведена на рис. 1. Схема включает в себя ёмкостной датчик с параметрами  $R$  и  $C$ , включённый на инвертирующий вход операционного усилителя (ОУ) с опорным конденсатором  $C_0$  в цепи отрицательной обратной связи, а также два устройства сравнения УС1 и УС2, выполненные как дифференциальные усилители-ограничители. Определяющей особенностью схемы преобразователя является формирование опорного напряжения измерительной схемы на ОУ и двух уровней сравнения для УС1 и УС2 из одного ис-

точника – выходного напряжения УС1  $U$  с помощью резистивного делителя напряжения ДН с коэффициентами деления  $k$ ,  $km$  и  $kn$ . Анализируя работу схемы для момента срабатывания УС1, можно записать

$$knU \left( 1 + \frac{C_x}{C_0} + \frac{T}{2C_0R} \right) = kU. \quad (1)$$

Здесь  $C_x = C \pm \Delta C$ , где  $\Delta C$  – изменение ёмкости датчика относительно начального значения  $C$ .

В течение каждого полупериода существующих в схеме автоколебаний в момент равенства напряжений на входах УС2 его выходной сигнал также меняет знак. Формируемый триггерным узлом ТГУ импульс, длительность которого равна интервалу времени  $\Delta T$  между срабатываниями УС2 и УС1 (рис.2), определяется из очевидного соотношения:

$$kmU + knU \frac{\Delta T}{C_0R} = kU. \quad (2)$$

Выразив из (1)  $T/2$ , а из (2)  $\Delta T$ , получим отношение  $T/2\Delta T$  в виде

$$\frac{T}{2\Delta T} = \frac{1}{1-m} \left[ (1-n) - \frac{nC_x}{C_0} \right]. \quad (3)$$

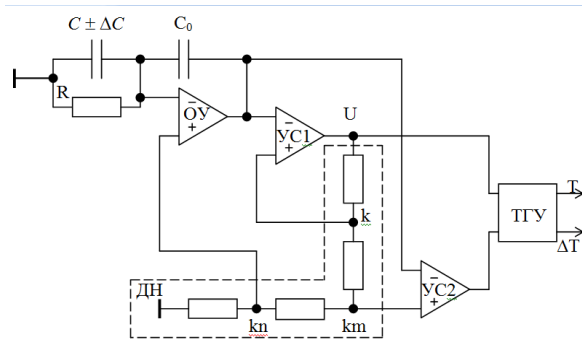


Рис. 1. Схема преобразователя

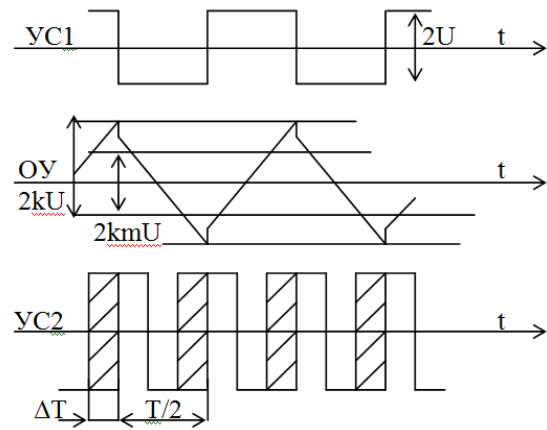


Рис. 2. Временные диаграммы работы преобразователя

Обеспечив равенство  $C_0 = C$ , уравнение измерения можно записать в виде

$$\frac{T}{2\Delta T} = a_1 \left( a_2 \pm a_3 \frac{\Delta C}{C} \right), \quad (4)$$

где  $a_1, a_2, a_3$  – постоянные коэффициенты, стабильность которых может быть легко обеспечена.

Вместе с тем, для определения  $\Delta C$  необходимо осуществить операцию деления  $T/2\Delta T$ . Обойти эту трудность можно, организовав в схеме временную избыточность.

Рассмотрим схему преобразователя электрической ёмкости, представляющую собой модификацию преобразователя [3] и реализующую идею введения временной избыточности (временного разделения каналов). Устройство (рис. 3) содержит ёмкостной датчик, также представляемый параллельной RC-цепью; операционный усилитель ОУ с опорным конденсатором  $C_0$  в цепи отрицательной обратной связи; устройство сравнения УС, выполненное как дифференциальный усилитель-ограничитель, охваченный положительной обратной связью через резистивный делитель  $R1-R2-R3$ . Один из резисторов делителя  $R2$  выполнен управляемым. Управление осуществляется по сигналу от узла управления (УУ). В целом преобра-

зователь представляет собой релаксационный генератор. При выполнении определённых соотношений между параметрами схемы, которые будут приведены ниже, на выходе УС существуют прямоугольные импульсы типа «меандр» некоторой частоты.

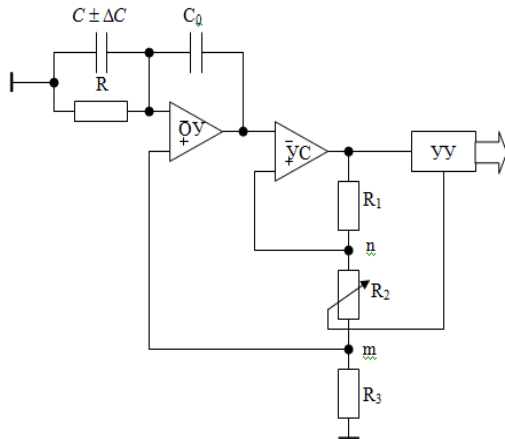


Рис. 3. Схема преобразователя с временным разделением каналов

Переключение полярности выходного напряжения УС и, соответственно, повторение процессов с учётом перемены знаков напряжений и токов происходит в момент равенства сигналов на входе УС. При этом период следования импульсов, снимаемых с выхода УС, определяется из соотношения

$$n \left( 1 + \frac{C}{C_0} + \frac{t}{C_0 R} \right) = m, \quad (5)$$

где коэффициенты  $n$  и  $m$  определяются соотношениями сопротивлений резисторов делителя:

$$n = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}; \quad m = \frac{R_3 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (6)$$

Преобразовав выражение (5) с учётом соотношений (6), получим выражение для периода прямоугольных импульсов на выходе УС:

$$T = 4C_0 R \left[ k - \left( 1 + \frac{C}{C_0} \right) \right]. \quad (7)$$

Отсюда

$$k = \frac{n}{m} = \frac{R_2 + R_3}{R_3}. \quad (8)$$

Из (7) и (8) следует, что условием существования автоколебаний в схеме преобразователя является обеспечение неравенства  $k > 1 + \frac{C}{C_0}$ . Это условие сводится к выполнению соотношения  $\frac{R_2}{R_3} > \frac{C}{C_0}$  и легко реализуется. Важно, что даже при  $C = 0$  автоколебания существуют, т.е. имеет место «нулевой» сигнал с периодом  $T_0 = 4(k - 1)C_0 R$ .

Примем, что некоторое значение  $C$  есть начальное значение ёмкости датчика, которое соответствует «нулевому» (или принятому за нулевое) начальному значению измеряемой с помощью датчика физической величины. Соответствующее значению  $C$  значению периода  $T$  автоколебаний фиксируется в узле управления УУ, построенном с использованием стандартных цифровых элементов. Пусть ёмкость датчика  $C$  вследствие изменения его входной величины получила некоторое приращение  $\pm \Delta C$  так, что установилось значение  $C_x = C \pm \Delta C$ . При прочих неизменных (в течение такта преобразования) параметрах датчика и преобразователя период колебаний электрических сигналов в схеме также изменится до некоторого значения  $T'$ , что будет зафиксировано узлом управления в виде неравенства кодов, соответствующих ненулевой разности  $T - T'$ . На выходе узла управления появится сигнал на изменение значения  $R_2$  и, соответственно, периода колебаний в схеме. Изменение продолжится до тех пор, пока текущее значение периода не станет равным ранее запомненному значению  $T$ . Это условие осуществится при

некотором значении  $R'_2 = R_2 \pm \Delta R_2$ , т.е.  $k' = \frac{R'_2}{R_3} + 1$  согласно (8). С учётом (7) получим, что в момент равенства периодов

$$\frac{\pm \Delta C}{C_0} = \frac{\pm \Delta R_2}{R_3}, \quad (9)$$

$$\pm \Delta C = \pm R_2 \frac{C_0}{R_3}. \quad (10)$$

Таким образом, приращение  $\Delta C$  ёмкости датчика преобразуется в цифровой код, соответствующий пропорциональному изменению сопротивления резистора  $\Delta R_2$ . В (10) входит минимум параметров схемы преобразователя и датчика, что существенно снижает требования к стабильности ряда их параметров. Важным достоинством измерительного преобразователя является то, что его работа происходит, в сущности, на одной частоте, которая может быть выбрана так, чтобы максимально снизить требования к используемым операционным усилителям. Помехоустойчивость схемы существенно улучшается заземлением датчика и резистора  $R_3$ . Для температурной компенсации в качестве  $C_0$  может быть использован ненагруженный ёмкостной датчик, аналогичный рабочему. Для управления процессом отслеживания и фиксации момента отсчёта изменения ёмкости датчика в узле управления используется сравнение числоимпульсных кодов, что может быть выполнено достаточно точно простыми средствами. Это выгодно отличает описанный преобразователь от других реше-

ний в рамках использования временного разделения каналов, одно из которых рассмотрено, например, в [4] и предусматривает необходимость запоминания и последующего сравнения аналоговых сигналов.

Рассмотренные преобразователи применяются в системе контроля параметров энергетических объектов, разработанной в ОАО «Электромеханика» (г. Пенза).

### Библиографический список

1. Светлов, А.В. Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров электрических цепей [Текст]/ А.В. Светлов, И.В. Ушенина // Изв. вузов. Поволжский регион. Технические науки. – №1. – 2008. – С.81-89.
2. Свистунов, Б.Л. Классификация способов обеспечения инвариантности при измерении параметров электрических цепей [Текст]/ Б.Л. Свистунов // Датчики и системы. – №2 (45). – 2003. – С.14-17.
3. Свистунов, Б.Л. Преобразователь ёмкости в унифицированный сигнал [Текст] / Б.Л. Свистунов, И.Н. Фролов // Приборы и системы управления, №12, 1984. – С.85-89.
4. Ларкин, С.Е. Преобразователь информативного параметра датчика в частоту [Текст] / С.Е. Ларкин, В.П.Арбузов, Е.П. Осадчий // Датчики систем измерения, контроля и управления: межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 13. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. техн. ун-та, 1994. – С.26-28.

## CONVERTING SENSOR CAPACITY INTO STANDARDIZED SIGNALS WITH STRUCTURAL AND TIME REDUNDANCY

© 2013 P. I. Artamonov

Penza State Technological Academy

The principle of construction and implementation of devices converting sensor capacity into standardized signals intended for the use in industrial information control systems is discussed in the article.

*Sensor, measuring device, capacity, redundancy, dual-channel principle.*

### **Информация об авторе**

**Артамонов Павел Игоревич**, аспирант, Пензенская государственная технологическая академия. E-mail: [58rus@nm.ru](mailto:58rus@nm.ru). Область научных интересов: информационно-измерительные системы, измерение параметров электрических цепей и выходных величин параметрических датчиков.

**Artamonov Pavel Igorevich**, postgraduate student, Penza State Technological Academy. E-mail: [58rus@nm.ru](mailto:58rus@nm.ru). Area of research: information measuring systems, measurement of parameters of electric circuits and output values of parametrical sensors.