

УДК 621.43.016.4(031)

В. А. Куликов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

В. Н. Сяктерев, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

В. В. Сяктерева, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

С. М. Колеватов, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ

Одним из факторов, влияющих на точность измерения температуры термопреобразователями сопротивления (ТПС), является саморазогрев термопреобразователей измерительным током. Для снижения саморазогрева применяют импульсное питание, которое включается только в моменты опроса ТПС [1]. Наиболее эффективно данный способ работает в многоканальных системах измерений при последовательном опросе каналов.

Вариант многоканального импульсного промежуточного преобразователя (ПП), предназначенного для работы с ТПС, представлен на рис. 1.

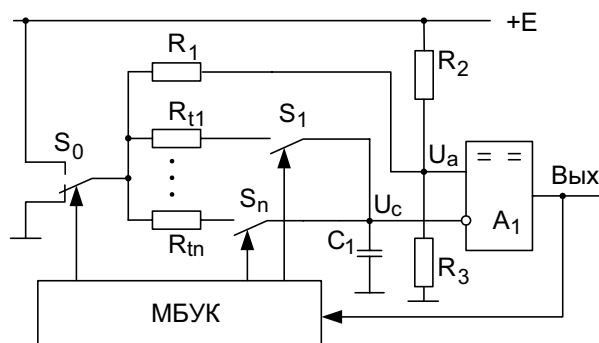


Рис. 1. Вариант многоканального импульсного промежуточного преобразователя для работы с ТПС

ПП содержит металлические или полупроводниковые ТПС  $R_{11}, \dots, R_m$ , которые с помощью электронных ключей  $S_0, \dots, S_n$  поочередно подключаются к схеме и вместе с конденсатором  $C_1$  образуют цепь первого порядка. Длительность переходного процесса в цепи зависит от сопротивления ТПС. Микропроцессорный блок МБУК осуществляет управление ключами по заданному алгоритму.

В соответствии с временными диаграммами (рис. 2) каждый ТПС подключается к схеме на один период перезаряда конденсатора  $C_1$ , который складывается из полупериодов разряда и заряда.

Формирование прямоугольных информационных импульсов на выходе ПП осуществляется с помощью компаратора  $A_1$ ; положительная обратная связь в схеме, обеспечивающая цикличность процесса, создается с помощью резистора  $R_1$ . Как видно, вре-

менные информационные интервалы, относящиеся к соседним каналам, непосредственно примыкают друг к другу. Начало и окончание интервалов соответствуют спаду выходного сигнала компаратора, что существенно упрощает процедуру выделения интервалов в условиях ограниченного быстродействия компаратора или канала связи при последующем преобразовании времени в код [2].

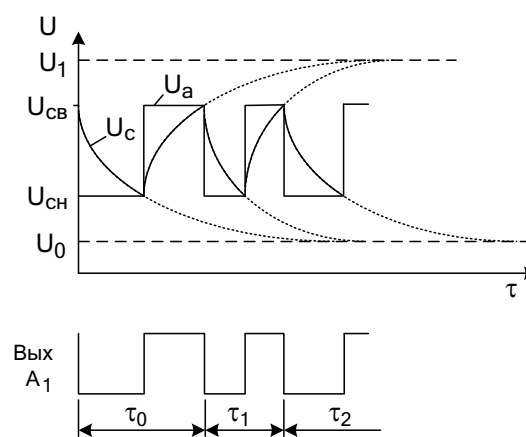


Рис. 2. Временные диаграммы для подключения ТПС к схеме

Существенно важной для повышения надежности передачи информации в системе является возможность увеличения коэффициента преобразования время/температура за счет кодирования выходной величины в длительности нескольких периодов перезаряда конденсатора  $C_1$  и перехода в предельном случае к кодированию в частоте следования импульсов с последовательным способом передачи информационных посылок (серий импульсов) по каналу связи. Последнее приводит к снижению быстродействия измерительной системы в целом, что в случае исследования медленно меняющихся тепловых процессов вполне допустимо.

Для анализа работы ПП и его метрологических характеристик рассмотрим эквивалентную схему, представленную на рис. 3.

Для расчета численных значений сопротивления открытых каналов ключей экспериментально получена модель

$$R_{к.от} = \left( \frac{K_E}{E} + R_{к.н} \right) (1 + \text{ТКС}_к (T - 20)), \quad (1)$$

где  $K_E = 500 \text{ Ом} \cdot \text{В}$  – коэффициент влияния напряжения питания;  $R_{к.н}$  – сопротивление канала при номинальной температуре  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\text{ТКС}_к = 175 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  – температурный коэффициент сопротивления открытого канала ключа.

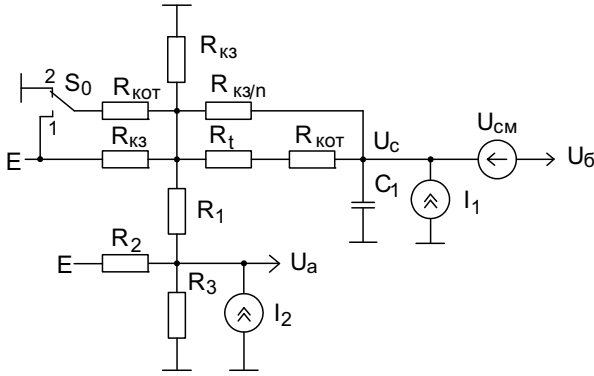


Рис. 3. Эквивалентная схема для анализа работы ПП и его характеристик:  $R_t$  – сопротивление ТПС, включенного в схему ПП;  $R_{к.от}$  и  $R_{к.з}$  – соответственно, сопротивления открытого и закрытого каналов электронных ключей;  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $U_{см}$  – источники тока и напряжения, моделирующие входные токи и напряжение смещения компаратора

Используя обозначения, введенные на временной диаграмме (см. рис. 2) и эквивалентной схеме (см. рис. 3), длительности информационных интервалов на этапах разряда и заряда конденсатора можно, соответственно, записать в виде

$$\tau_p = \tau_1 \ln \left( \frac{U_{св} - U_0}{U_{сн} - U_0} \right), \quad (2)$$

$$\tau_3 = \tau_1 \ln \left( \frac{U_1 - U_{сн}}{U_1 - U_0} \right), \quad (3)$$

а длительность выходного временного интервала как

$$\tau_{вых} = \tau_p + \tau_3. \quad (4)$$

Используя метод эквивалентных источников, значения верхней и нижней асимптот напряжения на конденсаторе можно записать в виде

$$U_1 = \left[ \left( I_2 + \frac{E}{R_2} \right) \left( \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \right) + \frac{E}{R_{к.от}} \right] R_5 + I_1 (R_t' + R_5); \quad (5)$$

$$U_0 = \left[ \left( I_2 + \frac{E}{R_2} \right) \left( \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \right) + \frac{E}{R_{к.з}} \right] R_5 + I_1 (R_t' + R_5), \quad (6)$$

$$\text{где } R_t' = (R_t + R_{к.от}) \parallel \frac{R_{к.з}}{n};$$

$$R_5 = R_{к.от} \parallel R_{к.з} \parallel (R_1 + R_2 \parallel R_3).$$

Постоянная времени экспонент определяется как

$$\tau_1 = (R_t' + R_5) C_1. \quad (7)$$

Переключение компаратора в схеме происходит, когда напряжения на его входах выравниваются:  $U_a = U_c$ . В эти моменты  $U_c = U_{св}$  или  $U_c = U_{сн}$ . Поскольку  $U_c = U_6 + U_{см}$ , то можно записать

$$U_{св} = U_a + U_{см}. \quad (8)$$

Таким образом, выразив по цепочке элементов схемы  $U_a$  через  $U_{св}$  и подставив в формулу (8), можно найти

$$U_{св} = \frac{\left( I_2 + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_{к.от}} \frac{R_6}{R_7} \right) R_8 + U_{см}}{1 - \frac{R_6 R_8}{R_7 R_t'}}, \quad (9)$$

где  $R_6 = R_{к.от} \parallel R_{к.з} \parallel R_t'$ ;  $R_7 = R_6 + R_1$ ;

$$R_8 = R_2 \parallel R_3 \parallel R_7.$$

Подобным образом можно определить

$$U_{сн} = \frac{\left( I_2 + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_{к.з}} \frac{R_6}{R_7} \right) R_8 + U_{см}}{1 - \frac{R_6 R_8}{R_7 R_t'}}. \quad (10)$$

В записанные выше модельные соотношения входят все основные параметры элементов схемы, что позволяет производить анализ работы и точности преобразования ПП.

На рис. 4 представлены графики зависимости длительности выходного информационного интервала от температуры ТПС, полученные расчетным путем и экспериментально.

В расчете и эксперименте использован полупроводниковый ТПС – термистор типа СТ1-19 с номинальным сопротивлением 2,2 кОм. В ПП также использованы отечественные компоненты: прецизионные резисторы типа С2-36  $R_1 = 5,76 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = R_3 = 10 \text{ кОм}$ , конденсатор  $C_1 = 4 \text{ нФ}$  типа С10-17, ключи К561КП1 и К561КП2, компаратор 521СА3.

Как видно, расчет хорошо соответствует эксперименту. Это подтверждает адекватность модели ПП. С увеличением температуры длительность временного информационного интервала на выходе ПП уменьшается, что объясняется использованием в качестве первичного преобразователя термистора с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления.

Теоретически исследовалось влияние на точность преобразования ПП напряжения питания  $E$ . Получены графики зависимости чувствительности ПП

в терминах «температура/напряжение питания» к изменению напряжения питания и напряжения сме-

щения от напряжения питания, представленные на рис. 5, а и 5, б.

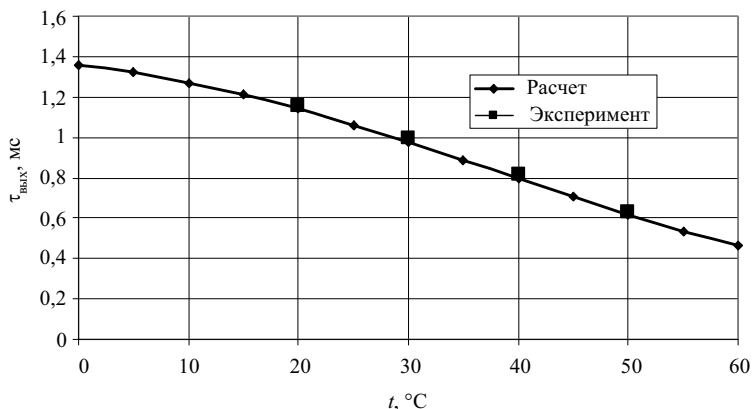
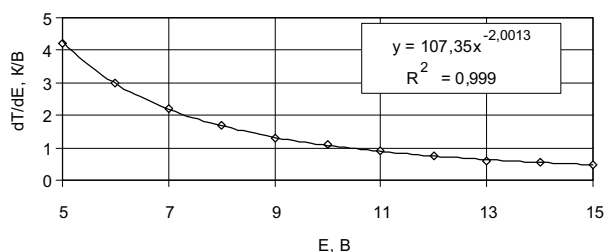
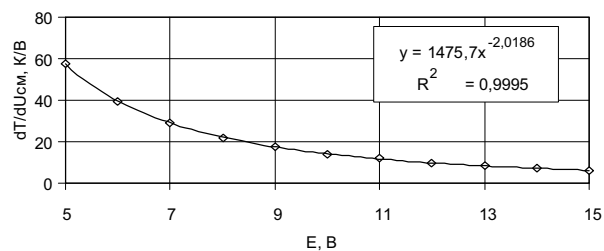


Рис. 4. Графики зависимости длительности выходного информационного интервала от температуры ТПС



а



б

Рис. 5. Графики зависимости чувствительности ПП: а – к изменению напряжения питания; б – к изменению напряжения смещения от напряжения питания

Видно, что существует обратно пропорциональная зависимость чувствительности от квадрата напряжения питания, что является обоснованием для выбора максимально возможного напряжения питания ПП, в данном случае 15 В. При этом для обеспечения, например, погрешности преобразования на уровне  $\pm 0,1 \text{ К}$  необходимо обеспечить стабильность напряжения питания не хуже  $\pm 0,2 \text{ В}$ , а дрейф напряжения смещения – не более  $\pm 15 \text{ мВ}$ , что легко достигается.

Получено 30.09.2015

Таким образом, предложенный многоканальный импульсный преобразователь температуры, выполненный на основе термопреобразователей сопротивления, может быть использован для измерений температуры с повышенной точностью в системах, предназначенных, например, для исследования биологических объектов [3], двигателей внутреннего сгорания [4], грунтов [5] и т. д. Его модель позволяет проводить анализ точности преобразования температуры в длительность временного интервала для конкретных типов первичных преобразователей, номиналов элементов схемы и условий применения ПП.

**Библиографические ссылки**

1. Калугин И. Е., Куликов В. А. Исследование алгоритма компенсации саморазогрева термопреобразователей сопротивления методом электротеплового моделирования // Вестник ИжГТУ. – 2010. – № 2. – С. 88–93.
2. Куликов В. А., Колеватов С. М. Инерционный формирователь с адаптивным порогом // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сб. тр. регион. науч.-техн. очно-заочн. конф. / науч. ред. В. А. Куликов. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. – С. 276–282.
3. Витер В. И., Куликов В. А. Вопросы методологии в решении проблемы определения давности наступления смерти // Судебно-медицинская экспертиза. – 1999. – № 3. – С. 3–6.
4. Куликов В. А., Сяктерев В. Н. Градуировка автоматизированной системы температурных испытаний поршня двигателя внутреннего сгорания // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 1(53). – С. 92–95.
5. Куликов, В. А., Никитин К. А. Исследование градиентного датчика малых тепловых потоков в грунте // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2. – С. 186–192.