

УДК 621.3.087.92

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-110-120

Многоканальный генераторный времяимпульсный преобразователь телеметрической системы измерения температуры

В. А. Куликов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова; УдГУ, Ижевск, Россия

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

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

Д. М. Варламова, старший преподаватель, УдГУ, Ижевск, Россия

В работе рассматривается многоканальный времяимпульсный промежуточный преобразователь в составе телеметрической системы измерения температуры. Принцип работы основан на использовании апериодического переходного процесса в цепи первого порядка, образуемой термопреобразователями сопротивления и конденсатором. Коммутация термопреобразователей в процессе измерений температуры осуществляется МДП-ключами по сигналу с выхода схемы, а выделение выходного информационного интервала – компаратором напряжения.

Представлена электрическая схема времяимпульсного преобразователя. На основе эквивалентной схемы расчетным путем получены основные метрологические характеристики – зависимости чувствительности выходной величины преобразователя к изменению параметров элементов схемы, выраженной в терминах температуры.

Экспериментально исследовалась модификация схемы времяимпульсного преобразователя с оптическим выходом, рассчитанная на применение с полупроводниковыми термопреобразователями сопротивления. Реализованы варианты многоканальных преобразователей на 7 и 15 измерительных каналов. Использованы цифровые элементы МДП-типа. Информация о температуре на выходе преобразователей кодировалась в длительности 128 периодов импульсных сигналов, что обеспечило надежное выделение информационных интервалов в приемной части аппаратуры. В качестве приемника оптических импульсов применялся лабораторный тестер с оптико-электронным входом. Длительность информационных интервалов измерялась промышленным измерительным прибором с разрешением 10 нс.

Представлены экспериментальная и расчетная характеристики преобразования и зависимости погрешности преобразования от напряжения питания, температуры эксплуатации и сопротивления первичных термопреобразователей.

Установлено, что по основным эксплуатационным параметрам времяимпульсный преобразователь генераторного типа не уступает схеме с внешним возбуждением. При этом генераторный преобразователь менее чувствителен к погрешностям компаратора по напряжению смещения и быстродействию.

Применение многоканального генераторного времяимпульсного преобразователя целесообразно в телеметрических системах измерения температуры при передаче информации в канале связи в длительности периода следования информационных, в частности оптических, импульсов.

Ключевые слова: измерение температуры, термопреобразователь сопротивления, времяимпульсный преобразователь.

Введение

Времяимпульсные преобразователи (ВИП) осуществляют преобразование выходной аналоговой величины первичного преобразователя в длительность, период или частоту импульсных сигналов [1–9]. В пассивных ВИП преобразование реализуется с использованием апериодического переходного процесса в цепи первого порядка. По способу запуска преобразования различают ВИП с внешним возбуждением и генераторные.

Вариант многоканального ВИП с внешним возбуждением рассмотрен в работе авторов в этом журнале за 2022 год (*Куликов В. А., Сяк-*

терев В. Н., Сяктерева В. В. Применение пассивных времяимпульсных преобразователей в системах измерения температуры подвижных объектов // Интеллектуальные системы в производстве. 2022. Т. 20, № 4. С. 9–19).

В генераторном ВИП начало очередного периода преобразования начинается по окончании предыдущего периода по сигналу с выхода схемы. Это, как отмечалось ранее [10], существенно меняет свойства схемы.

Период опроса каналов в многоканальной схеме и длительность рабочего цикла становятся зависимыми от длительности информационных интервалов. При этом интервалы, относя-

щиеся к соседним каналам, непосредственно примыкают друг к другу. Начало и окончание интервалов соответствуют спаду выходного сигнала компаратора, что существенно упрощает процедуру выделения интервала в условиях ограниченного быстродействия компаратора при последующем преобразовании времени в код. Схема также содержит положительную обратную связь в цепи формирования информационного интервала, что исключает дребезг компаратора.

В статье рассматривается многоканальный генераторный времяимпульсный преобразователь, работающий с первичными термопреобразователями сопротивления и предназначенный для применения в телеметрической системе измерения температуры подвижного объекта.

Цель работы – анализ метрологических характеристик и обоснование применения времяимпульсного преобразователя.

Схематехника и метрологические характеристики времяимпульсного преобразователя

Вариант многоканального ВИП генераторного типа (А. с. 1626832 (СССР), МКИ G 01 K 13/04. Многоканальное устройство для измерения температуры движущегося объекта / В. А. Куликов, В. Н. Сяктерев (СССР). № 4724484 10; заявл. 28.07.89. Опубл. 10.11. 2005, бюл. № 31) с кодированием информации в длительности одного периода следования импульсов представлен на рис. 1, а. Временная диаграмма, иллюстрирующая принцип действия, приведена на рис. 1, б.

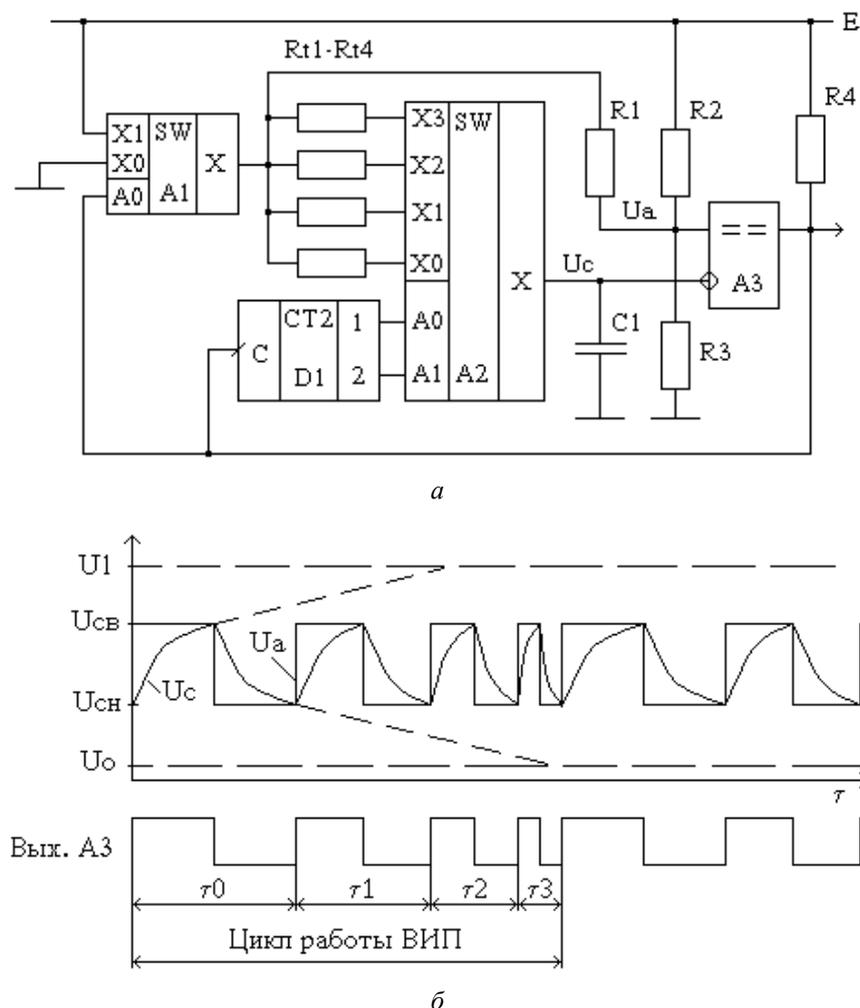


Рис. 1. Схема (а) и временные диаграммы (б) ВИП генераторного типа

Fig. 1. The scheme (a) and timing diagrams (б) of generator type time-to-pulse converter

С помощью коммутатора A_2 , управляемого счетчиком D_1 , в ВИП осуществляется поочередное циклическое включение ТПС $R_{t1}-R_{t4}$ во вре-

мязадающую цепь. Коммутатор A_1 обеспечивает подключение времязадающей цепи к общему проводу и шине питания в процессе генерации

временных интервалов. Для дешифрирования номера канала один из ТПС может быть заменен резистором, с сопротивлением, находящимся за пределами диапазона сопротивлений ТПС. По длительности интервала, соответствующего этому резистору, в дальнейшем можно распознать начало цикла опроса каналов.

В соответствии с обозначениями, принятыми на временной диаграмме, длительности информационных интервалов на этапах заряда и разряда конденсатора можно соответственно записать в виде

$$\tau_3 = \tau_1 \text{Ln} \left(\frac{U_1 - U_{\text{сн}}}{U_1 - U_{\text{св}}} \right), \quad (1)$$

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

а длительность выходного временного интервала – выходную величину преобразователя – как

$$\tau_{\text{вых}} = \tau_3 + \tau_p. \quad (3)$$

Для того чтобы определить значения величин, входящих в формулы (1) и (2), используем эквивалентную схему на рис. 2, ранее предложенную и обоснованную авторами [11]. В схеме приняты обозначения: $R_{\text{к.от}}$, $R_{\text{к.з}}$ – сопротивления ключей коммутатора в открытом и закрытом состояниях; I_1 , I_2 , $U_{\text{см}}$ – входные токи и напряжение смещения компаратора. Ключ S_1 служит для установки состояний схемы, соответствующих этапам заряда (положение 1) и разряда (положение 2) конденсатора C_1 .

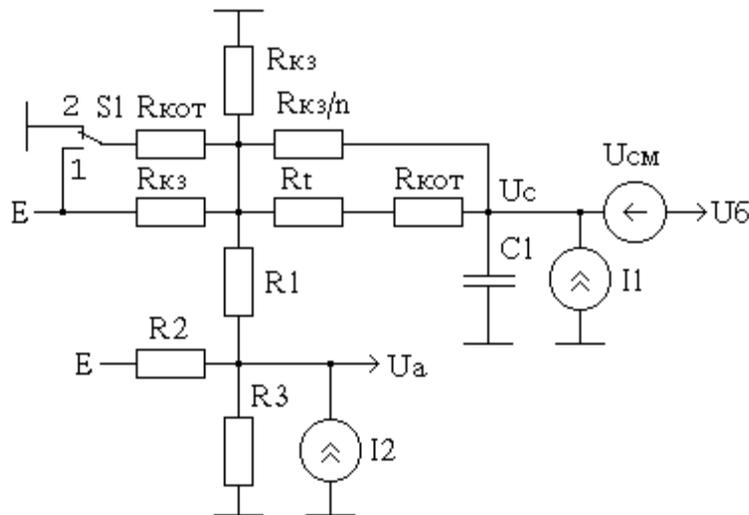


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема ВИП генераторного типа
 Fig. 2. Equivalent electric circuit of generator type time-to-pulse converter

Для схемы рис. 2 методом эквивалентных источников получены выражения

$$U_1 = \left[\left(I_2 + \frac{E}{R_2} \right) \left(\frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \right) + \frac{E}{R_{\text{к.от}}} \right] R_5 + I_1 (R_t' + R_5) \quad (4)$$

и

$$U_0 = \left[\left(I_2 + \frac{E}{R_2} \right) \left(\frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \right) + \frac{E}{R_{\text{к.з}}} \right] R_5 + I_1 (R_t' + R_5) \quad (5)$$

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

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

$$\tau_1 = (R_t' + R_5) C_1; \quad (6)$$

$$U_{\text{св}} = \frac{\left(I_2 + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_{\text{к.от}}} \frac{R_6}{R_7} \right) R_8 + U_{\text{см}}}{1 - \frac{R_6 R_8}{R_7 R_t'}} \quad (7)$$

где $R_6 = R_{\text{к.от}} \parallel R_{\text{к.з}} \parallel R_t'$, $R_7 = R_6 + R_1$,
 $R_8 = R_2 \parallel R_3 \parallel R_7$;

$$U_{\text{сн}} = \frac{\left(I_2 + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_{\text{к.з}}} \frac{R_6}{R_7} \right) R_8 + U_{\text{см}}}{1 - \frac{R_6 R_8}{R_7 R_t'}} \quad (8)$$

Модельные соотношения (1)–(8) учитывают все основные параметры элементов схемы, что позволяет производить анализ влияния параметров на точность функционирования ВИП. Поскольку сложность выражений затрудняет аналитические исследования, проведен численный расчет линейности схемы и чувствительности выходной величины к изменению параметров элементов. В качестве исходных использованы данные: $C_1 = 4$ нФ; $R_1 = 5,76$ кОм; $R_2 = R_3 = 10$ кОм; $n = 8$; $R_{10} = 1$ кОм (ТПС изготовлены из никеля по ГОСТ 6651–2009). Сопротивление открытых каналов коммутаторов в виде МДП-ключей определяется выражением

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

где $K_E = 500$ Ом·В – коэффициент влияния напряжения питания; $R_{к.н} = 75$ Ом – сопротивление канала при температуре $T = 20$ °С; $\text{ТКС}_к = 175 \cdot 10^{-5}$ К⁻¹ – температурный коэффи-

циент сопротивления канала. Сопротивление закрытого канала составляет $R_{к.з} = 10^{12}$ Ом.

Анализ линейности схемы путем расчета относительной дифференциальной чувствительности показал, что по линейности ВИП генераторного типа соответствует ВИП с внешним возбуждением. Нелинейность проявляется при относительно больших значениях R_i и обусловлена, как в ВИП с внешним возбуждением, шунтирующим влиянием сопротивления закрытых каналов коммутатора.

На рис. 3 представлен график зависимости чувствительности ВИП к напряжению смещения компаратора, рассчитанный для температуры $T = 50$ °С при фиксированных $R_{к.от}$ и $R_{к.з}$. ВИП генераторного типа менее чувствителен к напряжению смещения, в частности, при напряжении питания $E = 9$ В чувствительность имеет значение 17,6 К/В, что в 4,6 раза меньше, чем для ВИП с внешним возбуждением. Объяснением является одновременное смещение пороговых напряжений $U_{св}$ и $U_{сн}$ на конденсаторе при относительно неизменной их разнице, в то время как в предыдущей схеме это не выполняется.

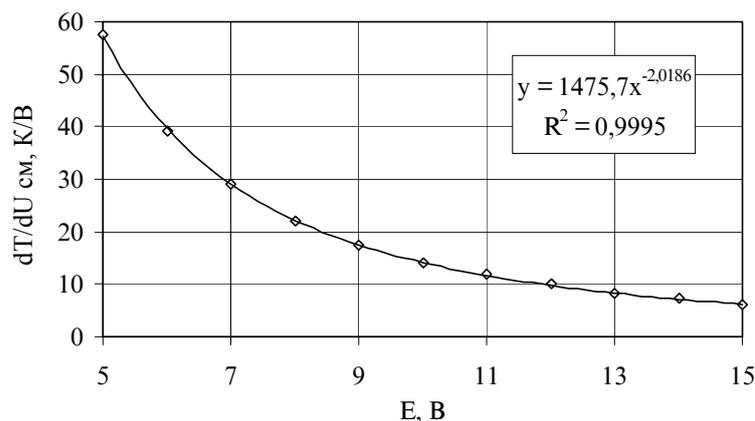


Рис. 3. Чувствительность генераторного ВИП к изменению напряжения смещения компаратора

Fig. 3. Sensitivity of the generator type time-to-pulse converter to a change in the comparator bias voltage

При исследовании влияния напряжения питания на точность ВИП получен график, представленный на рис. 4. Особенностью зависимости является полное качественное ее совпадение с формулой, выведенной для ВИП с внешним возбуждением. В частности, аппроксимирующая функция, представленная на рис. 4, показывает обратно пропорциональный характер зависимости чувствительности от квадрата напряжения E . Количественное расхождение чувствительностей на уровне 20 % объясняется следующим.

В ВИП обоих типов чувствительность выходного интервала к напряжению питания обусловлена, главным образом, зависимостью сопротивления открытого канала коммутатора от напряже-

ния питания. Поскольку в ВИП генераторного типа используются два последовательно включенных канала, то естественным было бы ожидать двукратное увеличение чувствительности к напряжению питания. Меньшая чувствительность объясняется тем, что в схеме наблюдается подавление влияния сопротивления открытого канала коммутатора A_1 . Физически это происходит следующим образом.

При увеличении сопротивления $R_{к.от}$ увеличивается длительность выходного интервала вследствие увеличения постоянной τ_1 . При этом также возрастает сопротивление коммутируемой цепи положительной обратной связи, образован-

ной R_1 и $R_{к.от}$ коммутатора A_1 , что ведет к уменьшению разницы пороговых напряжений

$U_{св} - U_{сн}$, а следовательно, к уменьшению выходного временного интервала ВИП.

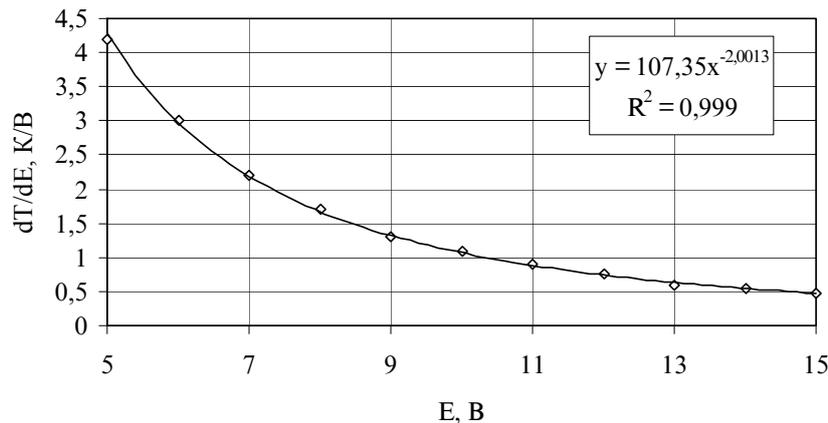


Рис. 4. Чувствительность генераторного ВИП к изменению напряжения питания

Fig. 4. Sensitivity of the generator type time-to-pulse converter to change the supply voltage

Таким образом, при достижении максимально полной компенсации влияния $R_{к.от}$ коммутатора A_1 , что может быть получено путем оптимизации схемы, чувствительность генераторного ВИП к изменению напряжения питания может быть доведена (уменьшена) до уровня ВИП с внешним возбуждением.

В последнем случае обе схемы будут проявлять и одинаковую температурную нестабильность временного информационного интервала, так как температурная нестабильность также обусловлена зависимостью сопротивления открытых каналов коммутаторов от температуры эксплуатации. Поэтому изложенные ранее авторами анализ и рекомендации по температурной компенсации ВИП с внешним возбуждением могут быть отнесены и к схеме генераторного ВИП.

Экспериментальные исследования временнoимпульсного преобразователя

Экспериментально исследовалась модификация схемы генераторного ВИП с оптическим выходом, представленная на рис. 5, а. Были реализованы ВИП на 7 и 15 измерительных каналов с использованием цифровых элементов (коммутаторы, логика) серии 564, компаратора 521СА3, резисторов С2-36, конденсатора К10-17, транзистора КТ361, излучающего диода АЛ107 [12, 13].

ВИП на рис. 5, а рассчитан на применение с полупроводниковыми ТПС – терморезисторами типа СТ1-19 [14]. Для линеаризации характеристики терморезисторов в схему введены корректирующие резисторы [15, 16]: параллельный $R_4 = 180$ кОм и последовательный $R_5 = 1$ кОм.

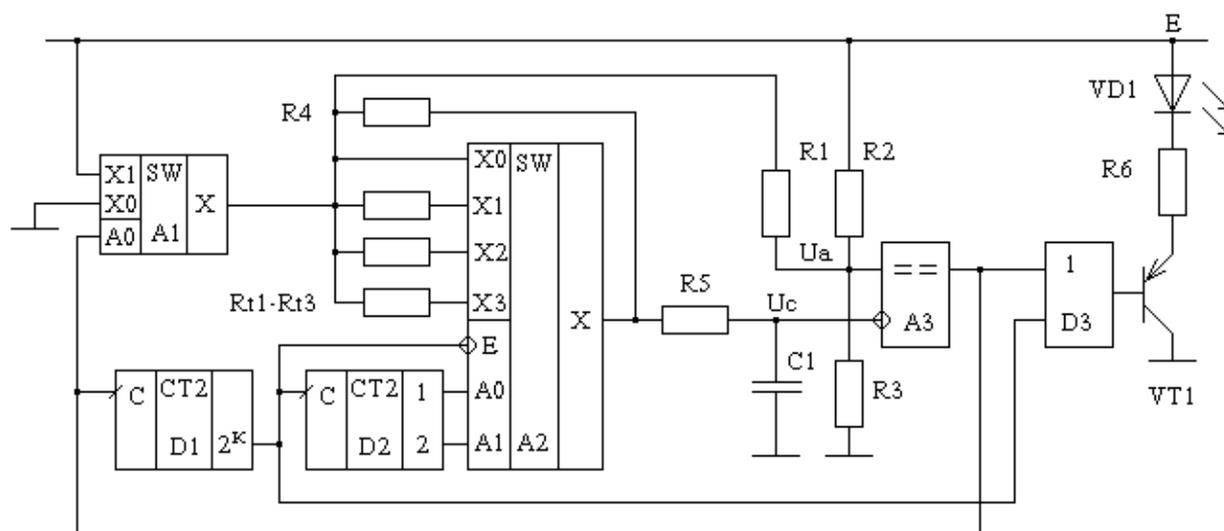
Номиналы других элементов: $R_1 = 5,76$ кОм; $R_2 = R_3 = 10$ кОм; $C_1 = 4000$ пф.

Кроме ранее представленных значений ТКС открытых каналов коммутаторов перед проведением эксперимента были измерены ТКС резисторов С2-36 ($+24 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$) и температурный коэффициент емкости (ТКЕ) конденсатора К10-17 ($-38 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$).

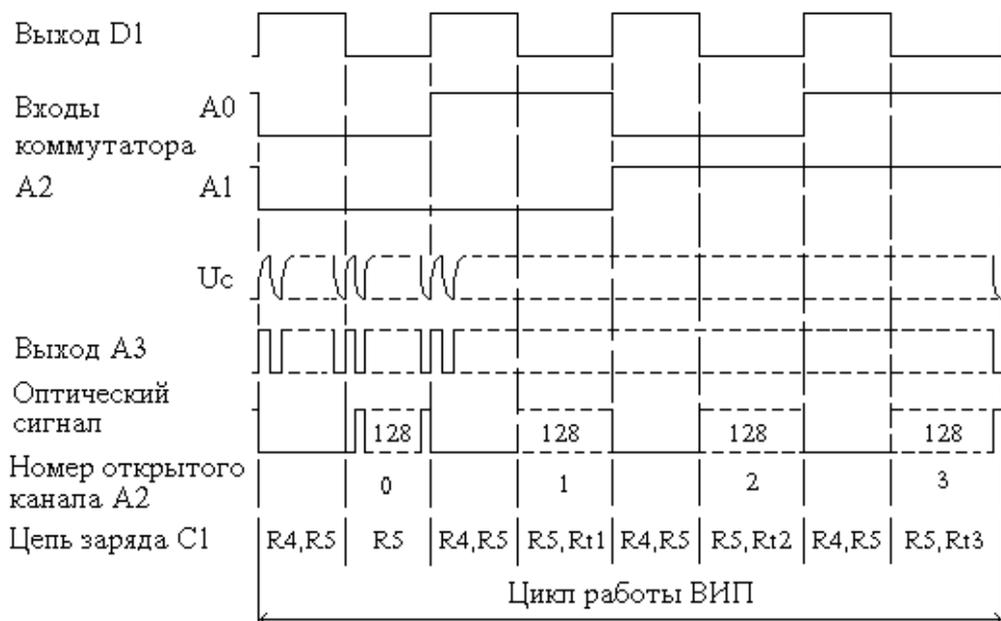
В соответствии с временной диаграммой на рис. 5, б введение в схему дополнительного счетчика D_1 обеспечило при опросе канала многократный перезаряд конденсатора через выбранный ТПС и формирование на выходе серии оптических импульсов с периодом следования, пропорциональным сопротивлению цепи перезаряда конденсатора. Число импульсов в серии, определяемое разрядностью счетчика D_1 , выбрано равным 128.

Благодаря использованию дополнительного логического элемента D_3 сигналом высокого уровня с выхода D_1 на время 128 циклов перезаряда конденсатора C_1 через резисторы R_4 и R_5 блокируется прохождение импульсов с выхода компаратора на базу транзистора VT_1 и формируется разделительный временной интервал между сериями импульсов. В это время все каналы коммутатора закрыты и ТПС в формировании интервалов не участвуют.

Дешифрирование номера измерительного канала при использовании ВИП может производиться путем подсчета номера серии импульсов, следующих за серией с минимальной длительностью, формирующейся при перезаряде конденсатора через нулевой канал коммутатора A_2 , в цепи которого вместо ТПС установлена перемычка.



a



b

Рис. 5. Схема (a) и временные диаграммы (б) генераторного ВИП с оптическим выходом

Fig. 5. The scheme (a) and timing diagrams (б) of generator time-to-pulse converter with optical output

При исследовании экспериментальных образцов ВИП в качестве приемника оптических импульсов использовался тестер с оптико-электронным преобразователем на входе, выделяющий выбранную серию импульсов. Для измерения временных интервалов в серии использован цифровой частотомер ЧЗ-34 с разрешением 10 нс.

На рис. 6 вместе с расчетными характеристиками скорректированного полупроводникового ТПС с экспериментально определенными параметрами $R_{\infty} = 0,0243 \text{ Ом}$ и $B = 5000 \text{ К}$ и канала представлены экспериментальные значения вы-

ходных информационных интервалов ВИП. Несоответствие расчета и эксперимента составляет менее 1 %, что может быть обусловлено 0,5 % допуском на сопротивления и емкость использованных в ВИП резисторов и конденсатора.

На рис. 7 показаны экспериментальные (1, 2) и расчетные (3, 4) графики отклонений выходных информационных интервалов ВИП от номинальных значений при изменении напряжения питания. Графики 1 и 3 соответствуют сопротивлению ТПС 56 кОм, а 2, 4 – 180 кОм. За номинальные приняты значения интервалов при $E = 9 \text{ В}$.

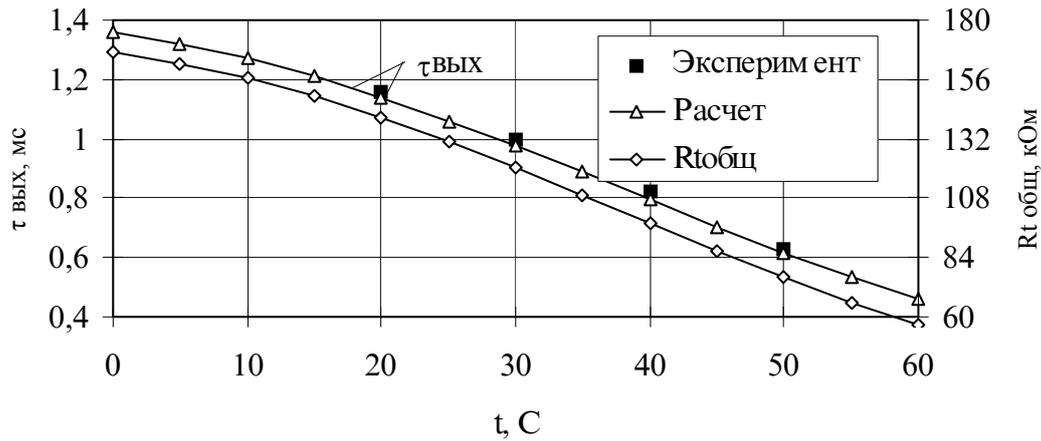


Рис. 6. Характеристики ТПС с цепью коррекции и ВИП генераторного типа

Fig. 6. Characteristics of resistance temperature device with compensating circuit and the generator type time-to-pulse converter

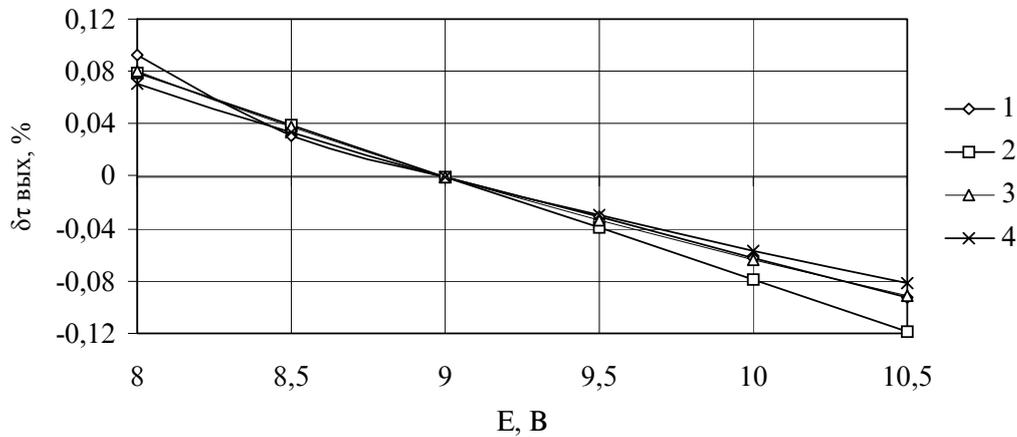


Рис. 7. Зависимость погрешности ВИП от напряжения питания

Fig. 7. Dependence of the generator type time-to-pulse converter error on the supply voltage

Установлено, что в диапазоне значений R_t , соответствующих диапазону измеряемых температур 0...+60 °С (см. рис. 6), расчет достаточно хорошо совпадает с экспериментом, что подтверждает адекватность модели ВИП. В окрестности номинального значения напряжения питания, ограниченной, например, $\pm 10\%$ -ми отклонениями от номинала, чувствительность относительной погрешности ВИП по выходному интервалу к изменению напряжения питания может быть принята постоянной и независимой от сопротивления ТПС.

Результаты экспериментальных исследований температурной нестабильности выходных интервалов ВИП представлены на рис. 8 для четырех значений R_t : 1 – 2,2; 2 – 7,2; 3 – 10; 4 – 82 кОм. В подтверждение ранее изложенных теоретических соображений из эксперимента

следует, что полная температурная компенсация ВИП достигается в одной точке диапазона измеряемых температур (одном значении R_t , здесь близком к 7,2 кОм). При малых R_t температурный коэффициент зависимости имеет положительный знак, что свидетельствует о преобладании влияния положительного ТКС открытых каналов коммутаторов. При больших R_t в чистом виде проявляется влияние ТКЕ конденсатора, имеющего отрицательный знак. При этом наблюдается независимость температурной нестабильности от R_t . Например, при $R_t > 82$ кОм все графики температурной нестабильности ВИП совпадают с графиком 4 рис. 8. Отсюда следует, что одним из способов снижения температурной нестабильности генераторного ВИП является обеспечение условия $R_t \gg R_{\text{к.от}}$ и использование конденсатора с нулевым ТКЕ.

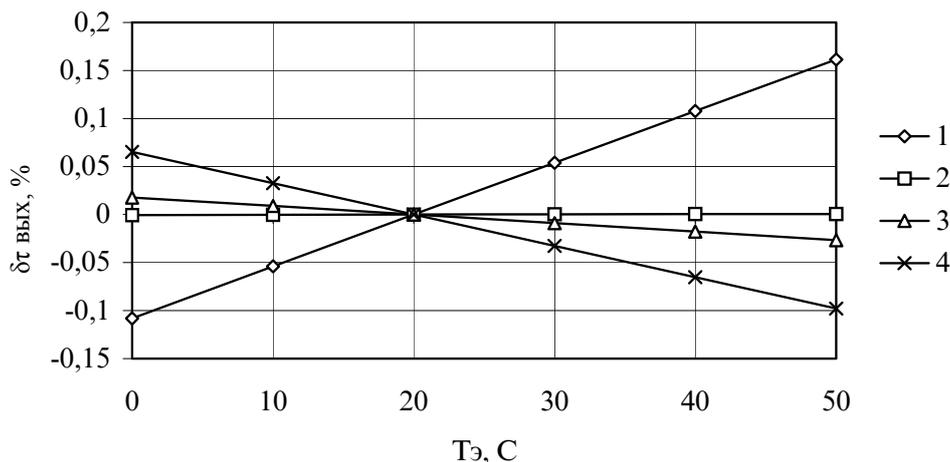


Рис. 8. Температурная нестабильность ВИП генераторного типа

Fig. 8. Temperature instability of the generator type time-to-pulse converter

В подтверждение этого на рис. 9 представлены расчетные зависимости температурной не-

стабильности $\delta\tau_{\text{вых}}$ ВИП от R_t для разных значений ТКЕ конденсатора.

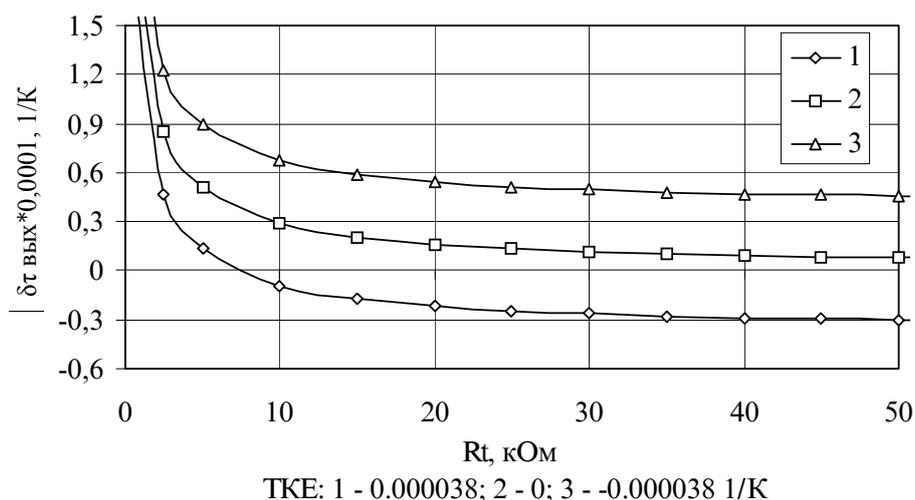


Рис. 9. Зависимость погрешности температурной нестабильности генераторного ВИП от сопротивления ТПС

Fig. 9. The dependence of the error of the temperature instability of the generator time-to-pulse converter on the resistance of the resistance temperature device

Опыт применения ВИП генераторного типа в многоканальной телеметрической системе измерения температуры поршня работающего двигателя внутреннего сгорания совместно с полупроводниковыми ТПС также подтвердил высокую их надежность в условиях повышенной (до +125 °С) температуры эксплуатации [17].

Заключение

На основе теоретических и экспериментальных исследований многоканальной схемы генераторного ВИП определены основные его метрологические характеристики. Расчетным путем и экспериментально получены характеристика

преобразования и зависимости погрешности преобразования от напряжения питания и температуры эксплуатации. Получена зависимость температурной нестабильности схемы от значения сопротивлений термопреобразователей.

Установлено, что по всем основным эксплуатационным параметрам ВИП генераторного типа не уступает схеме с внешним возбуждением. При этом генераторный ВИП менее чувствителен к погрешностям компаратора по напряжению смещения и быстродействию.

Применение многоканального генераторного времяимпульсного преобразователя целесооб-

разно в телеметрических системах измерения температуры при передаче информации в канале связи в длительности периода следования информационных, в частности оптических, импульсов.

Библиографические ссылки

1. Многоканальный преобразователь температуры / О. Г. Бондарь, Е. О. Брежнева, П. С. Родионов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 4. С. 254–261. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-4-254-261.

2. Патент на изобретение № RU 2689805 С1, МПК H03K3/13, G05F 1/00 Времяимпульсный универсальный интегрирующий преобразователь напряжения / Кук И.А. (RU), Сафииков Ш.С. (RU). Заявл. 06.08. 2018 № 2018128886. Опубл. 29.05. 2019. Бюл. № 16.

3. Корганова О. Г., Синюкова М. А. Система для измерения температуры в скважине в зависимости от ее глубины // Информационно-измерительные и управляющие системы : межвузовский сборник научных статей. Самара, 2019. С. 106–114.

4. Краснов А. Н. Исследование двухканальной системы измерения давления и температуры на основе совокупных и совместных методов измерений // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2018. № 3 (113). С. 151–158.

5. Захаров А. В., Либкинд И. В., Шахмейстер Л. Е. Применение времяимпульсного преобразования в датчиках с полупроводниковым чувствительным элементом // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 1. С. 38–46. DOI: 1021685/2307-5538-2022-1-5.

6. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. М. : Энергоатомиздат, 1988. 304 с.

7. Димитраки П. И. Импульсные устройства с мостовыми времязадающими цепями на интегральных схемах. Кишинев: Штинница, 1977. 124 с.

8. Ильин В. А. Импульсные устройства с мостовыми времязадающими цепями. М. : Энергия, 1972. 232 с.

9. Функциональные устройства на микросхемах / В. З. Найденев, А. И. Голованов, З. Ф. Юсупов и др. М. : Радио и связь, 1985. 200 с.

10. Куликов В. А., Сяктерев В. Н., Колеватов С. М. Многоканальный импульсный преобразователь температуры // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2015. № 4 (68). С. 47–49.

11. Куликов В. А., Сяктерев В. Н., Сяктерева В. В. Исследование влияния методических погрешностей на точность измерения температуры подвижных деталей с использованием телеметрических систем измерения // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2014. № 4 (64). С. 118–121.

12. Нефедов А. В. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги. Справочник. Т. 1. М. : РадиоСофт, 2000. 512 с. : ил.

13. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА : справочник / Н. Н. Акимов, Е. П. Ващуков, В. А. Прохоренко, Ю. П. Ходоренок. Мн. : Беларусь, 1994. 591 с.

14. Сяктерев В. Н., Сяктерева В. В., Моисеев А. А. Способ применения полупроводниковых терморезисторов в системах измерения температуры поршня ДВС // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании : сборник трудов региональной научно-технической очно-заочной конференции. 2018. С. 229–235.

15. Как выбрать и спроектировать оптимальную систему измерения температуры на основе резистивных термодатчиков / Д. Родригез, М. МакКартни, Е. Ивашенко // Компоненты и технологии. 2022. № 1 (246). С. 18–26.

16. Экспериментальные исследования характеристик системы измерения высокой температуры с терморезисторами / А. И. Гулин, Ж. А. Сухинец, Г. Ш. Фазылова // Перспективы автоматизации технологических процессов добычи, транспорта и переработки нефти и газа : сборник научных трудов IX Всероссийской научно-технической конференции. Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2020. С. 187–192.

17. Куликов В. А., Сяктерев В. Н. Градуировка автоматизированной системы температурных испытаний поршня двигателя внутреннего сгорания // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2012. № 1 (53). С. 92–95.

References

1. Bondar' O.G., Brezhneva E.O., Rodionov P.S. [Multi-channel temperature converter]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie*, 2022, vol. 65, no. 4, pp. 254-261 (in Russ.). DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-4-254-261.

2. Kuk I.A. (RU), Safikov Sh.S. *Vremja–impul'snyj universal'nyj integrirujushhij preobrazovatel' naprjazhenija* [Time-pulse universal integrating voltage converter]. Patent RF, no. 2689805, 2019 (in Russ.).

3. Korganova O.G., Sinyukova M.A. *Sistema dlya izmerenija temperatury v skvazhine v zavisimosti ot ee glubiny* [A system for measuring the temperature in the well depending on its depth]. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy* [Proc. Information-measuring and control systems]. Samara, 2019, pp. 106-114 (in Russ.).

4. Krasnov A.N. [Investigation of a two-channel pressure and temperature measurement system based on combined and joint measurement methods]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov*, 2018, no. 3 (113), pp. 151-158 (in Russ.).

5. Zakharov A.V., Libkind I.V., Shakhmeister L.E. [Application of pulse time conversion in sensors with a semiconductor sensing element]. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'*, 2022, no. 1, pp. 38-46 (in Russ.). DOI: 1021685/2307-5538-2022-1-5.

6. Gutnikov V.S. *Integral'naja jelektronika v izmeritel'nyh ustrojstvah* [Integrated electronics in measuring

devices]. Moscow, Jenergoatomizdat Publ., 1988, 304 p. (in Russ.).

7. Dimitraki P.I. *Impul'snye ustrojstva s mostovymi vremjazadajushhimi cepjami na integral'nyh shemah* [Pulse devices with bridge time-lapse circuits on integrated circuits]. Chisinau, Shtinnica Publ., 1977, 124 p. (in Russ.).

8. Il'in V.A. *Impul'snye ustrojstva s mostovymi vremjazadajushhimi cepjami* [Pulse devices with bridge time-lapse circuits]. Moscow, Jenergija Publ., 1972, 232 p. (in Russ.).

9. Najdenov V.Z., Golovanov A.I., Jusupov Z.F. i dr. *Funkcional'nye ustrojstva na mikroshemah* [Functional devices on microchips]. Moscow, Radio i svjaz' Publ., 1985, 200 p. (in Russ.).

10. Kulikov V.A., Sjakterev V.N., Kolevatov S.M. [Multi-channel pulse temperature converter]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2015, no. 4, pp. 47-49 (in Russ.).

11. Kulikov V.A., Sjakterev V.N., Sjaktereva V.V. [Investigation of the influence of methodological errors on the accuracy of measuring the temperature of moving parts using telemetric measurement systems]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2014, no. 4, pp. 118-121 (in Russ.).

12. Nefedov A.V. *Integral'nye mikroskhemy i ikh zarubezhnye analogi. Spravochnik* [Integrated circuits and their foreign analogues. Guide]. Moscow: IP RadioSoft, 2000, 512 p. (in Russ.).

13. Akimov N.N., Vashchukov E.P., Prokhorenko V.A., Khodorenok Yu.P. *Rezistory, kondensatory, transformatory, drosseli, kommutatsionnye ustrojstva REA: Spravochnik* [Resistors, capacitors, transformers, chokes, switching devices REA: Reference]. Mn.: Belarus, 1994, 591 p. (in Russ.).

14. Sjakterev V.N., Sjaktereva V.V., Moiseev A.A. *Sposob primeneniya poluprovodnikovyykh termorezistorov v sistemakh izmereniya temperatury porshnya DVS* [The method of application of semiconductor thermistors in systems for measuring the temperature of the internal combustion engine piston]. *Informatsionnye tekhnologii v nauke, promyshlennosti i obrazovanii: Sbornik trudov regional'noi nauchno-tekhnicheskoi ochno-zaochnoi konferentsii* [Proc. Information technologies in science, industry and education: Proceedings of the regional scientific and technical correspondence conference]. Izhevsk, 2018, pp. 229-235 (in Russ.).

15. Rodrigez D., MakKartni M., Ivashenko E. [How to choose and design an optimal temperature measurement system based on resistive temperature sensors]. *Komponenty i tekhnologii*, 2022, no. 1(246), pp. 18-26 (in Russ.).

16. Gulin A.I., Sukhinets Zh. A., Fazylova G. Sh. *Eksperimental'nye issledovaniya kharakteristik sistemy izmereniya vysokoi temperatury s termorezistorami* [Experimental studies of the characteristics of a high temperature measurement system with thermistors]. *Perspektivy avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov dobychi, transporta i pererabotki nefi i gaza: materialy IX Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Proc. Prospects for automation of technological processes of oil and gas production, transportation and processing. Collection of scientific papers of the IX All-Russian Scientific and Technical Conference]. Ufa, 2020, pp. 187-192.

17. Kulikov V.A., Sjakterev V.N. [Multi-channel pulse temperature converter]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2012, no. 1 (53), pp. 92-95 (in Russ.).

Multichannel Generator Time-To-Pulse Converter of the Telemetry Temperature Measurement System

V. A. Kulikov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Udmurt State University, Izhevsk, Russia

V. N. Sjakterev, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

V. V. Sjaktereva, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

D. M. Varlamova, Senior Lecturer, Udmurt State University, Izhevsk, Russia

The article considers the multichannel time-to-pulse intermediate converter as a part of telemetric temperature measurement system. The principle of operation is based on the use of aperiodic transient in a first-order circuit formed by resistance temperature device and capacitor. Switching of resistance temperature device in the process of temperature measurements is carried out by MIS keys (metal-insulator-semiconductor) according to the signal from the output of the circuit, and the allocation of the output information interval is carried out by a voltage comparator.

The article illustrates an electric circuit of a time-to-pulse converter. Based on the equivalent scheme, the main metrological characteristics were obtained by calculation, namely, the dependences of the sensitivity of the output value of the converter to changes in the parameters of the circuit elements expressed in terms of temperature.

The scheme of a time-to-pulse converter with an optical output, designed for use with semiconductor resistance temperature devices was experimentally investigated. Variants of multichannel converters for 7 and 15 measuring channels are implemented. Digital elements of the MIS-type (metal-insulator-semiconductor) are used. Information about the temperature at the output of the converters was encoded in the duration of 128 periods of pulse signals, which ensured reliable of information intervals in the receiving part of the equipment. A laboratory tester with an op-

toelectronic input was used as a receiver of optical pulses. The duration of the information intervals was measured by an industrial measuring device with a resolution of 10 billiseconds.

The experimental and rated characteristics of the conversion and the dependence of the conversion error on the supply voltage, operating temperature and resistance of primary thermal converters are presented.

It is established that in terms of the main operational parameters, a generator-type time-to-pulse converter is not inferior to a circuit with external excitation. At the same time, the generator converter is less sensitive to the errors of the comparator in terms of electrical bias and speed.

The use of a multichannel generator time-to-pulse converter is advisable in telemetric temperature measurement systems when transmitting information in a communication channel during the duration of the period of information, in particular, optical pulses.

Keywords: temperature measurement, resistance temperature device, time-to-pulse converter.

Получено: 02.03.23

Образец цитирования

Многоканальный генераторный времяимпульсный преобразователь телеметрической системы измерения температуры / В. А. Куликов, В. Н. Сяктерев, В. В. Сяктерева, Д. М. Варламова // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 2. С. 110–120. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-110-120.

For Citation

Kulikov V.A., Syakterev V.N., Syaktereva V.V., Varlamova D.M. [The concept of developing unmanned self-propelled vehicles]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 110-120 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-2-110-120.