

УДК 681.518.3

doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-7

## ВРЕМЯИМПУЛЬСНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В АВТОНОМНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

А. В. Захаров<sup>1</sup>, И. В. Либкинд<sup>2</sup>, В. Ю. Трофимов<sup>3</sup>, Л. Е. Шахмейстер<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> АО «Восход» – Калужский радиоламповый завод, Калуга, Россия

<sup>3,4</sup> Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1,2</sup> Info@voshod-krlz.ru, <sup>3,4</sup> l.e.shahmejster@onegroup.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Обеспечение высокой точности работы автономных информационных и измерительных систем (АИИС) в жестких условиях их эксплуатации без использования прецизионных элементов при отсчете времен дистанционного действия, самоликвидации, замедления и другого, является актуальной задачей. *Материалы и методы.* Одним из путей ее решения является использование времяимпульсных преобразователей (ВИМП), осуществляющих преобразование временного интервала, подаваемого от аппаратуры дистанционного управления АИИС, во время его действия. *Результаты.* Рассмотрено построение времяимпульсных преобразователей различных дистанционных устройств АИИС, включая устройства с контролем установленного времени действия и коррекцией его после проведенной установки. Приведены выражения для определения погрешности отсчета времени действия. *Вывод.* Использование ВИМП в АИИС позволяет обеспечить отсчет времени действия изделий с погрешностью не более 0,1 % без применения в его составе прецизионных элементов. Для минимизации аппаратных затрат АИИС может использоваться ВИМП на МС 512ПС8ВК, на которой могут строиться дистанционно управляемые временные устройства с контролем введенной в них информации и ее коррекцией.

**Ключевые слова:** времяимпульсные преобразователи, микросхема 512ПС8ВК, дистанционное действие в автономных информационных и измерительных системах, контроль времени действия, коррекция времени действия

**Для цитирования:** Захаров А. В., Либкинд И. В., Трофимов В. Ю., Шахмейстер Л. Е. Времяимпульсные преобразователи в автономных информационных и измерительных системах // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2. С. 59–69. doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-7

## TIME-PULSE CONVERTERS IN AUTONOMOUS INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS

A.V. Zakharov<sup>1</sup>, I.V. Libkind<sup>2</sup>, V.Yu. Trofimov<sup>3</sup>, L.E. Shakhmeister<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> JSC "Voskhod" – Kaluga Radio Tube Plant, Kaluga, Russia

<sup>3,4</sup> Baltic State Technical University "Voenmeh" named after D.F. Ustinov, Saint Petersburg, Russia

<sup>1,2</sup> Info@voshod-krlz.ru, <sup>3,4</sup> l.e.shahmejster@onegroup.ru

**Abstract.** *Background.* Ensuring high accuracy of autonomous information and measurement systems (AIMS) in harsh conditions of their operation without the use of precision elements when counting the times of remote action, self-destruction, delay, etc., is an urgent task. *Materials and methods.* One of the ways to solve it is the use of time-pulse converters (TPC) that transform the time interval supplied from remote control equipment to the AIMS during its operation. *Results.* The construction of time-pulse converters of various remote AIMS devices, including devices with control of the set time of action and its correction after installation, is considered. The expressions for determining the error of the time of action are given. *Conclusion.* The use of TPC in AIMS allows to provide a countdown of the time of action of products with an error of no more than 0.1 % without the use of precision elements in its composition. To minimize the hardware costs of AIMS, a TPC on MS 512PS8BK can be used, on which remotely controlled temporary devices can be built with the control of the information embedded in them and its correction.

**Keywords:** time-pulse converters, 512PS8BK chip, remote action in autonomous information and measurement systems, action time control, action time correction

**For citation:** Zakharov A.V., Libkind I.V., Trofimov V.Yu., Shakhmeister L.E. Time-pulse converters in autonomous information and measurement systems. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(2):59–69. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-7

Обеспечение высокой точности работы автономных информационных и измерительных систем (АИИС) в жестких условиях их эксплуатации без использования прецизионных элементов при отсчете времен дистанционного действия, самоликвидации, замедления и другого является актуальной задачей. Одним из путей ее решения является применение времяимпульсных преобразователей (ВИМП). Построение таких преобразователей приведено в томе 2 энциклопедии по кибернетике [1, с. 207]. В работах [2, 3] предложены ВИМП, являющиеся аналоговыми преобразователями напряжения во временные интервалы или частоту. Эти ВИМП содержат выполненные на операционных усилителях интегратор, компараторы напряжения и аналоговые коммутаторы. Погрешность преобразования определяется нестабильностью параметров элементов схемы, в частности, нестабильностью параметров  $RC$ -цепочки интегратора. В алгоритмах построения, рассматриваемых в указанных работах ВИМП, предусмотрено использование при преобразовании временного интервала лишь в качестве промежуточной величины преобразования, что вызывает необходимость иметь в составе ВИМП прецизионные элементы. При переходе на цифровые схемы обработки сигналов для получения высокоточного преобразования необходимо применение высокостабильных генераторов импульсов. Указанные генераторы обычно кварцевые, их стоимость более чем на порядок выше стоимости  $RC$ -генераторов. Обеспечение работоспособности кварцевых генераторов при стандартных для АИИС одиночных ударах с перегрузкой порядка 30000 вызывает определенные трудности. Необходимость использования прецизионных элементов ВИМП, рассматриваемых в работах [1–3], обусловлена использованием в них временного интервала лишь для промежуточного преобразования разнотипных физических величин. Принципиально в ВИМП может использоваться преобразование, в котором входным параметром является временной интервал или связанный с ним параметр (частота, период), который преобразуется с разделением по времени в выходной временной интервал (например, время дистанционного действия), связанный с входным заданной функциональной зависимостью, например линейной. Однотипность преобразуемых при этом физических величин создает хорошие предпосылки для получения высокой точности преобразования без использования прецизионных элементов. Построению таких ВИМП АИИС и посвящена данная работа.

В общем виде для реализации цифровых ВИМП могут использоваться цифровые микросхемы стандартной логики, программируемые логические интегральные схемы, базовые матричные кристаллы, микроконтроллеры, специализированные микросхемы (МС). Для изделий массового применения, каковыми являются АИИС, предпочтительнее применение специализированных МС, обладающих более высокой надежностью, устойчивостью к внешним электромагнитным полям, меньшим током потребления и более низкой стоимостью по сравнению с другими микросхемами. Для ВИМП АИИС такая специализированная МС разработана. Это МС ВИМП 512ПС8 ВК [4], выпуск которой освоен калужским радиоламповым заводом. Ее структурная схема приведена на рис. 1.

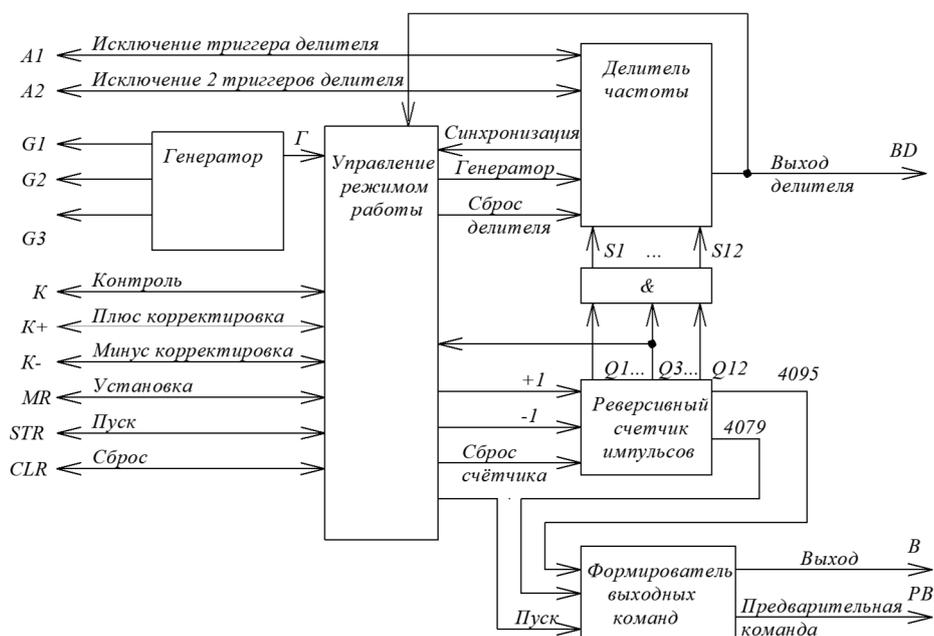


Рис. 1. Структурная схема ВИМП МС 512ПС8ВК

МС изготавливается по КМОП технологии. В ее состав входят 12-разрядный делитель частоты и реверсивный счетчик импульсов, генератор, блок управления режимом работы и формирователь выходных команд. Так же, как в ВИМП, реализованных на элементах аналоговой техники [2, 3], схема рис. 1 содержит интегратор (реверсивный счетчик импульсов), источник интегрируемой величины (генератор), компараторы (устройства, фиксирующие заполнение реверсивного счетчика импульсов и делителя частоты). Отличия заключаются в преобразуемых сигналах и замене аналоговых элементов (операционных усилителей) на цифровые (счетчики, логические элементы).

На рис. 2 приведена типовая схема ВИМП на МС 512ПС8ВК дистанционного изделия АИИС, получающего информацию о требуемом времени действия от аппаратуры дистанционного управления (АДУ).

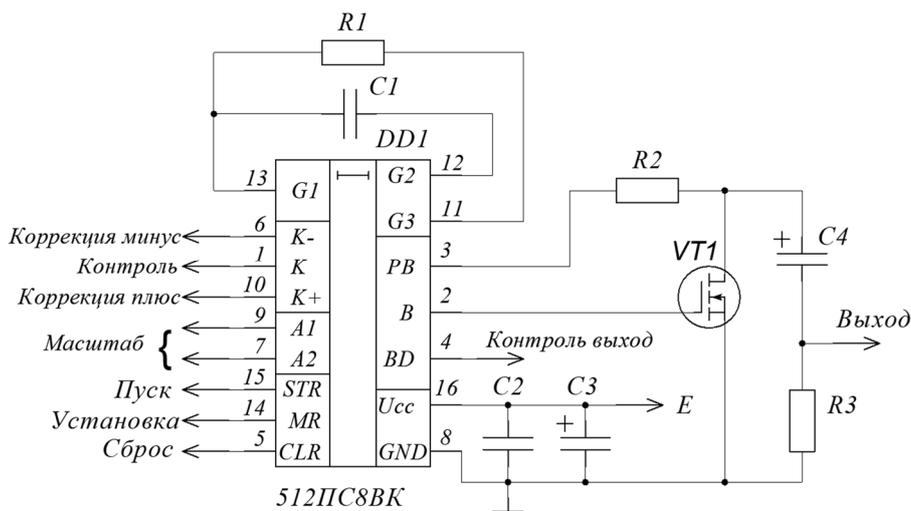


Рис. 2. Схема ВИМП дистанционного изделия АИИС

В состав схемы кроме непосредственно ВИМП с RC-цепочкой R1, C1 задающего генератора включен исполнительный каскад, выполненный на МОП транзисторе VT1, конденсаторе C4 и резисторах R2, R3. ВИМП построен на МС DD1 512ПС8ВК, реализующей времяимпульсное преобразование:

$$T_d = Kt_y, \tag{1}$$

где  $T_d$  – время дистанционного действия, отсчитываемое от момента подачи сигнала «Пуск» на вывод STR МС DD1, до появления сигнала на выводе B МС и импульса на выводе «Выход» схемы;  $t_y$  – временной интервал установки между двумя импульсами, поступающими от АДУ на вход «Установка» и вывод MR МС DD1; K – масштабирующий коэффициент.

В связи с тем, что в приведенном преобразовании участвует одна и та же физическая величина – временной интервал, высокая точность преобразования может достигаться без использования прецизионных элементов.

Значение масштабного коэффициента K в выражении (1) определяется сигналами, подаваемыми на выходы «Масштаб» A1, A2 МС, изменяющими ее коэффициент деления делителя частоты (рис.1), как это указано в табл. 1.

Таблица 1

Значение масштабного коэффициента K

A2	A1	K
0	0	4096
0	1	2048
1	0	1024
1	1	512

В соответствии с приведенным выражением (1) схема рис. 2 реализует масштабирующее времяимпульсное преобразование временного интервала  $t_y$ , поступающего от АДУ, во время действия  $T_d$ .

Циклограмма сигналов в процессе работы ВИМП приведена на рис. 3.

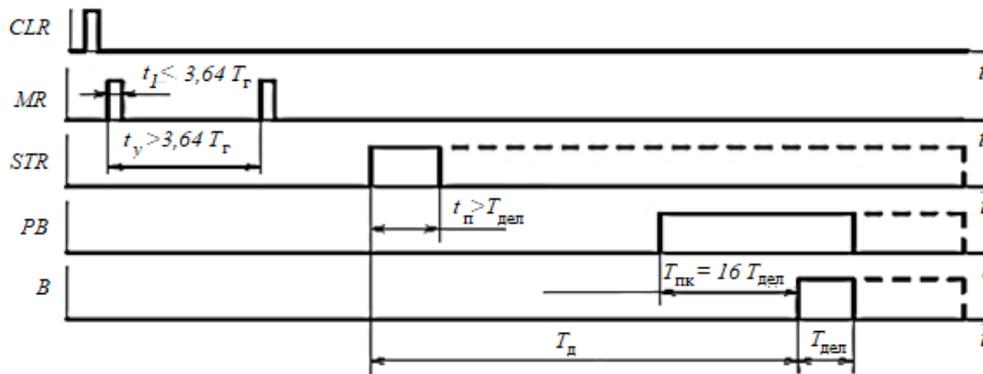


Рис. 3. Циклограмма сигналов ВИМП АИИС

Первоначально по входу «Сброс» на вывод  $CLR$  МС  $DD1$  подается импульс, устанавливающий все элементы схемы рис. 1 в исходное состояние, соответствующее записи в делитель частоты 0, а в реверсивный счетчик 4095 импульсов. Затем на вход «Установка» на вывод  $MR$  МС  $DD1$  подаются импульсы установки, временной интервал между которыми равен  $t_y$ . Отсчет установленного времени действия начинается при приходе на вывод «Пуск» команды, поступающей на вход  $STR$  МС. За время, равное  $T_{пк}$ , до выдачи команды окончания отсчета времени действия  $T_d$  на выходе  $PB$  МС формируется предварительная команда. Это время равно

$$T_{пк} = 16T_r,$$

где  $T_r$  – период импульсов генератора МС на шине  $\Gamma$  (см. рис. 1) и выводах  $G2, G3$  МС  $DD1$  (см. рис. 2).

По предварительной команде конденсатор  $C4$  заряжается через резистор  $R2$ . По окончании отсчета установленного времени через время действия  $T_d$  на выходе  $B$  МС  $DD1$  формируется сигнал, поступающий на затвор транзистора  $VT1$ . Транзистор открывается, на выводе «Выход» схемы формируется сигнал, обеспечивающий срабатывание спецэлемента АИИС.

Рассмотрим погрешность отсчета времени действия. В процессе установки в течение временного интервала  $t_y$  на вычитающий вход «-1» реверсивного счетчика МС 512ПС8ВК (см. рис. 1) поступает число импульсов  $N_{сч}$ , равное

$$N_{сч} = \frac{t_y}{T_{гy}}, \quad (2)$$

где  $T_{гy}$  – период генератора при установке временного интервала  $t_y$ .

При этом осуществляется преобразование временного интервала  $t_y$  в число импульсов  $N_{сч}$ , записываемое в реверсивный счетчик импульсов (рис. 1). Состояние  $Q$  счетчика при этом соответствует  $Q = 4095 - N_{сч}$ .

При отсчете времени действия записанное в реверсивный счетчик число импульсов  $N_{сч}$  списывается по входу «+1» импульсами с выхода делителя частоты, период следования которых равен  $KT_{гo}$ . Здесь значение периода генератора при отсчете времени действия взято равным  $T_{гo}$ . Формирование выходного сигнала происходит при полном списании записанного при установке в реверсивный счетчик числа импульсов  $N_{сч}$ . С учетом этого время действия  $T_d$  равно

$$T_d = N_{сч} K T_{го}. \quad (3)$$

В этом случае осуществляется преобразование числа импульсов  $N_{сч}$  во время действия  $T_d$ . Подставляя значение  $N_{сч}$ , записанное в счетчик при установке, имеем

$$T_d = K t_y \frac{T_{го}}{T_{гy}}.$$

Если пренебречь кратковременной нестабильностью частоты генератора и полагать, что в процессе установки и отсчета времени действия период генератора не изменяется, т.е.  $T_{го} = T_{гy} = T_g$ , то получаем времяимпульсное преобразование (1). Отметим, что при сделанном допущении в это преобразование период генератора не входит, в связи с чем его отклонения от номинального значения соответствующей погрешности преобразования не вызывают. В АИИС обычно время между вводом времени действия и его отсчетом не превышает 200 с, а в автоматизированных системах не превышает нескольких долей секунды.

При стабилизации питающего напряжения и нечувствительности элементов  $RC$ -генератора к механическим нагрузкам, характерным для АИИС, изменения частоты генератора в процессе установки и отсчета времени действия практически не происходит. Долговременная нестабильность частоты генератора, обусловленная в основном старением его элементов, погрешности отсчета времени действия не вызывает.

Выражение (2) представляет собой преобразование временного интервала  $t_y$  в код (число импульсов  $N_{сч}$ ). Это преобразование является дискретным, в связи с чем возникает погрешность, обусловленная дискретизацией преобразования. Выражения для определения погрешности дискретизации для различных вариантов преобразования временного интервала в код приведены в работе [5]. Иллюстрация появления погрешности дискретизации преобразования, осуществляемого МС 512ПС8ВК, показана на рис. 4, на котором приведена циклограмма сигналов при установке времени действия.

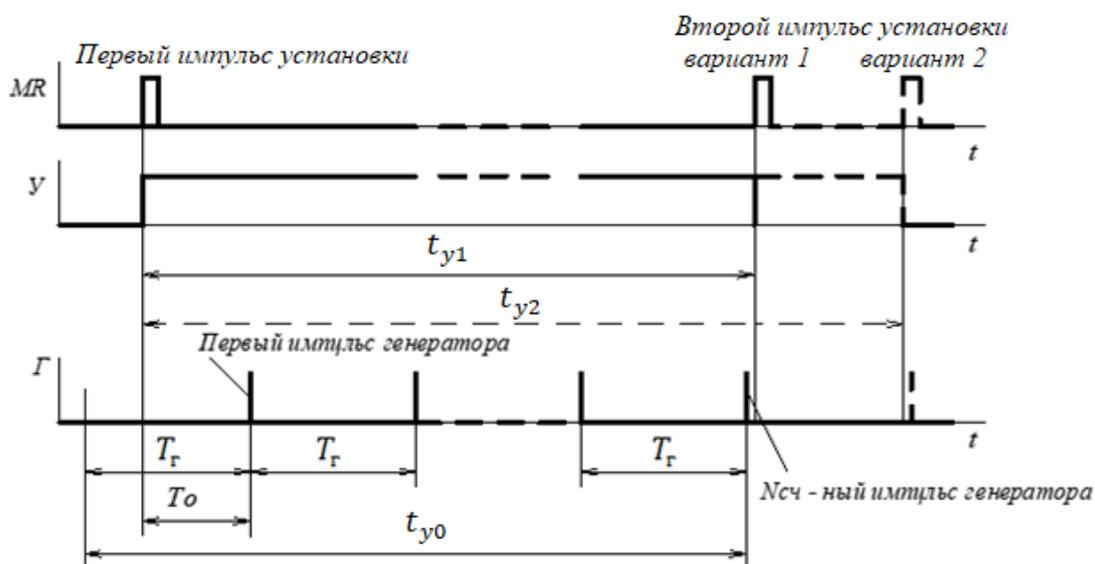


Рис. 4. Циклограмма сигналов при установке времени действия

На этом рисунке показаны два импульса установки на входе  $MR$  МС 512ПС8ВК, преобразованные эти импульсы в один импульс  $y$  и импульсы  $\Gamma$  на выходе генератора МС (см. рис. 1). Поступление первого импульса генератора осуществляется с задержкой, равной  $T_0$ , определяемой фазой формирования первого импульса генератора после его запуска:

$$\text{МС 512ПС8ВК } T_0 \approx 0,64T_g.$$

Фаза прихода второго импульса установки может быть различной. На рис. 4 показано два предельных варианта фазы прихода второго импульса установки относительно последнего воспринимаемого счетчиком импульса генератора. В первом варианте, соответствующем временному интервалу  $t_{y1}$ , второй импульс установки приходит сразу после импульса генератора, а во втором варианте, соответствующем временному интервалу  $t_{y2}$ , второй импульс приходит непосредственно перед приходом очередного импульса генератора, уже не воспринимаемого счетчиком МС. В любом из этих вариантов вместо временного интервала  $t_{y1}$ ,  $t_{y2}$  преобразование будет осуществлено дискретизированного временного интервала установки  $t_{y0}$ . При этом возникает аддитивная погрешность  $\Delta t_y$  дискретности преобразования, равная разности временного интервала  $t_{y0}$  и временного интервала  $t_y$ , лежащего в диапазоне  $(t_{y1}, t_{y2})$ . Поскольку в рассматриваемом случае фаза прихода второго импульса установки относительно последнего воспринимаемого счетчиком МС импульса генератора лежит в пределах  $(0, T_r)$ , можно записать

$$t_{y0} = t_y + (T_r - T_0) - (0, T_r) = t_y + T_r - T_0 - (0, 1)T_r,$$

$$\Delta t_y = t_{y0} - t_y = -T_0 + (0, 1)T_r,$$

$$\Delta t_y = (-T_0, (T_r - T_0)).$$

Эта погрешность является величиной случайной. Математическое ожидание  $M[\Delta t_y]$  аддитивной погрешности дискретности и ее предельные значения  $\Delta t_y$  равны

$$M[\Delta t_y] = \left( \frac{T_r}{2} - T_0 \right) = \left( \frac{T_r}{2} - 0,64T_r \right),$$

$$M[\Delta t_y] = -0,14 T_r, \Delta t_y = (-0,14 \pm 0,50) T_r. \quad (4)$$

В соответствии с выражением (1) могут быть записаны аналогичные выражения для математического ожидания  $M[\Delta T_d]$  и предельных значений составляющей аддитивной погрешности  $\Delta T_d$  отсчета времени действия  $T_d$ :

$$M[\Delta T_d] = -0,14 K T_r, \Delta T_d = (-0,14 \pm 0,50) K T_r. \quad (5)$$

Так, например, при  $T_r = 10$  мкс,  $K = 1024$ , диапазон времени действия  $T_d = [30 \cdot 10^{-3}, 40] c$ , аддитивная составляющая погрешности отсчета времени действия, обусловленная дискретностью преобразований, лежит в пределах  $\Delta T_d = (-1,4 \pm 5,0)$  мс.

Экспериментальные исследования ВИМП АИИС показали, что мультипликативная составляющая погрешности  $\delta T_d$  не превосходит 0,1 %. Она определяется кратковременным дрейфом частоты генератора МС, изменениями ее в процессе установки и отсчета времени действия при действии механических нагрузок, изменением напряжения питания и температуры элементов генератора. Погрешность отсчета АИИС времени действия на малых временах соответствует в основном аддитивной составляющей, а на больших временах – мультипликативной.

Записанные в выражениях (4), (5) аддитивные составляющие погрешности являются величинами случайными, распределенными по закону равномерной плотности.

В МС 512ПС8ВК предусмотрена возможность контроля установленного временного интервала  $t_y$ . Для этого необходимо на вывод МС  $K$  (вход «Контроль») (см. рис. 2) подать сигнал логической «1». Указанный сигнал может быть подан как до подачи временного интервала  $t_y$ , так и непосредственно перед контролем. Циклограмма сигналов в режиме контроля приведена на рис. 5.

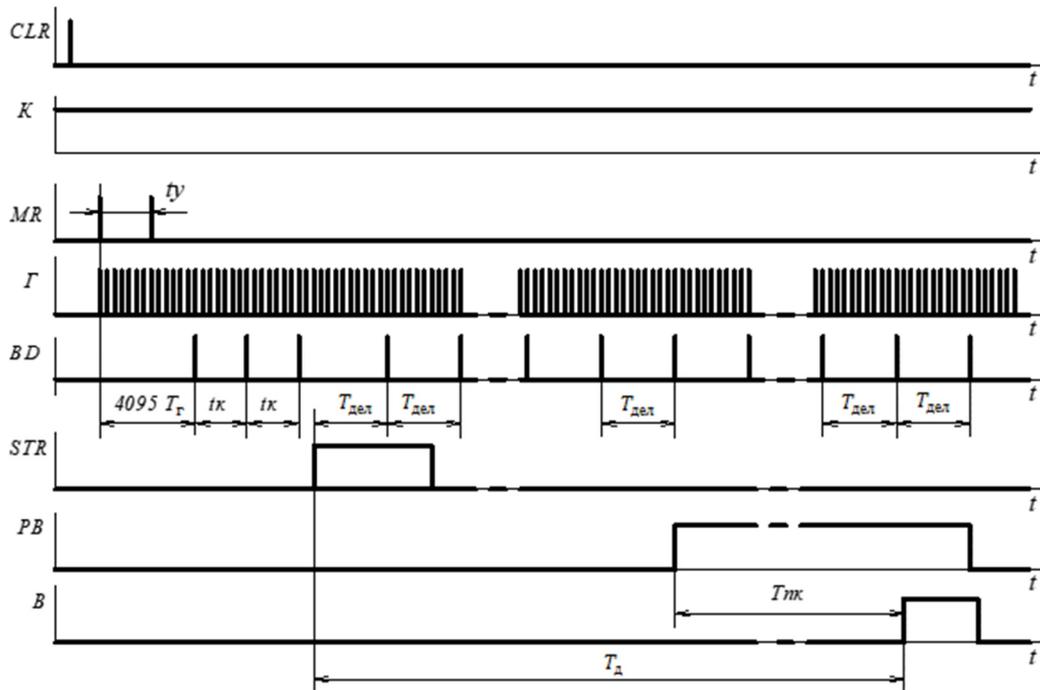


Рис. 5. Циклограмма сигналов в режиме контроля

При отсутствии контроля по окончании установки работа генератора прекращается и возобновляется при поступлении пускового сигнала на вывод МС STR (вход «Пуск»).

При контроле по окончании установки работа генератора не прекращается и импульсы генератора поступают на делитель частоты (см. рис. 1). Работа делителя частоты МС при контроле показана на рис. 6.



Рис. 6. Работа делителя частоты в режиме контроля:

- а – запись в делитель частоты при его заполнении содержимого реверсивного счетчика;
- б – изменение состояния делителя при контроле

Независимо от соединения выводов МС DD1 A1, A2 (входы «Масштаб») (см. рис. 2), коэффициент деления ее делителя частоты при контроле равен 4096. При заполнении делителя частоты сигналы с поразрядных выходов  $Q1...Q12$  реверсивного счетчика через логические элементы «И» поступают на поразрядные входы  $S1...S12$  делителя частоты (рис. 6,а). Таким образом, при каждом заполнении делителя в него записывается код (число)  $S$ , равный коду (числу)  $Q$ , записанному в реверсивный счетчик (рис. 6,б). Причем  $(4095 - S) = N_{сч}$ .

Период  $t_k$  импульсов контроля равен

$$t_k = (4095 - S)T_r = t_{y0}.$$

Отметим, что значение периода  $t_k$  соответствует не вводимому временному интервалу  $t_y$ , а принятому дискретизированному значению  $t_{y0}$ , отличающемуся от  $t_y$  на величину  $\Delta t_y$ , определяемую выражением (4).

Период получаемых с вывода МС *BD* (выхода «Контроль выход») схемы рис. 2 соответствует ожидаемому времени действия в предположении отсутствия изменения частоты генератора после установки в процессе контроля и отсчета времени действия.

ВИМП (см. рис. 2) допускает коррекцию установленного времени действия. Коррекция может осуществляться как при наличии контроля ( $K = 1$ ), так при его отсутствии ( $K = 0$ ). При  $K = 1$  коррекция может осуществляться после установки до и после пуска, а при  $K = 0$  только после пуска, после подачи пускового сигнала на вход МС *STR* («Пуск») в процессе отсчета времени действия. Коррекция осуществляется подачей импульсов на выходы МС  $K^-$  (вход «Коррекция минус») и  $K^+$  (вход «Коррекция плюс»). Первоначально после сброса реверсивный счетчик импульсов МС 512ПС8ВК (см. рис. 1) находится в полностью заполненном состоянии (логические «1» на выходах всех его разрядов,  $Q = 4095$ ). При установке содержимое счетчика уменьшается, а при отсчете увеличивается. Формирование выходного сигнала на выходе *B* («Выход») МС осуществляется при достижении исходного состояния счетчика,  $Q = 4095$ . Импульсы коррекции, подаваемые на выходы МС  $K^+$ ,  $K^-$ , поступают непосредственно на реверсивный счетчик, минуя делитель частоты. Подача импульсов коррекции на вход МС  $K^+$  увеличивает содержимое счетчика, что приводит к уменьшению времени действия, а на вход  $K^-$  МС уменьшает содержимое счетчика и увеличивает время действия. Каждый подаваемый импульс коррекции изменяет время действия на величину, равную периоду импульсов  $T_{\text{дел}}$ . Исходя из этого, время действия при коррекции определяется выражением

$$T_d = Kt_y + (N_{K^-} - N_{K^+})T_{\text{дел}} = Kt_y + (N_{K^-} - N_{K^+})KT_r, \quad (6)$$

где  $N_{K^-}$ ,  $N_{K^+}$  – количество импульсов коррекции, поступающих на выходы МС  $K^-$ ,  $K^+$  соответственно.

Для исключения одновременного поступления на реверсивный счетчик импульсов МС 512ПС8ВК с импульсами коррекции импульсов с ее делителя частоты в схеме рис. 1 предусмотрена синхронизация импульсов, поступающих на реверсивный счетчик. Наличие синхронизации накладывает ограничения на период  $T_{\text{кор}}$  импульсов коррекции, длительность которого должна быть не менее восьми периодов  $T_r$  генератора МС,

$$T_{\text{кор}} \geq 8T_r.$$

Импульсы коррекции, не удовлетворяющие указанному требованию, игнорируются.

В преобразователях, реализующих выражение (1), время действия  $T_d$  не зависит от частоты генератора МС, поскольку осуществляется преобразование однотипных физических величин: временной интервал  $t_y$ , поступающий при установке – время действие  $T_d$ .

При использовании коррекции, осуществляемой количеством импульсов, реализуется выражение (6), в котором присутствуют аргументы  $N_{K^-}$ ,  $N_{K^+}$ , не являющиеся временными интервалами. Кроме того, в преобразовании (6) имеется аргумент  $T_{\text{дел}}$ , напрямую зависящий от периода генератора МС  $T_r$ . В этой связи преобразование (6) осуществляется с погрешностью  $\Delta T_d$ , равной

$$\Delta T_d = (N_{K^-} - N_{K^+})K\Delta T_r,$$

где  $\Delta T_d$ ,  $\Delta T_r$  – абсолютные значения погрешности отсчета времени действия  $T_d$  и периода генератора  $T_r$  соответственно.

При коррекции не числом импульсов, а временным интервалом можно обеспечить отсутствие зависимости времени действия  $T_d$  от периода задающего генератора  $T_r$ . Реализация такой

коррекции может осуществляться подключением выхода  $G1$  или  $G2$  генератора МС  $DD1$  (см. рис. 2) к входу «Коррекция минус» или «Коррекция плюс» на время, равное временному интервалу коррекции  $t_{кор}$ .

Учитывая, что МС  $DD1$  пропускает на входы коррекции только импульсы, период следования которых не менее восьми периодов импульсов генератора, время действия равно

$$T_d = K \left( t_y \pm \frac{1}{8} t_{кор} \right).$$

Знак «+» в записанном выражении соответствует подаче импульсов на вывод «Коррекция минус», а знак «-» на вывод «Коррекция плюс» схемы рис. 2.

Записанное выражение не содержит значение  $T_r$ , следовательно, отклонение периода генератора от номинального значения при пренебрежении его кратковременной нестабильностью погрешности отсчета времени действия не вызывает.

В соответствии с табл. 1 минимальное значение масштабного коэффициента  $K$  равно 512. В ряде случаев для обеспечения отсчета малых времен необходима значительно меньшая величина масштабного коэффициента. Примером таких времен могут служить времена дальнего взведения, замедления при встрече с преградой и др. МС 512ПС8ВК позволяет решить эту задачу и иметь масштабный коэффициент  $K$ , равный приблизительно 9 или 8. Для реализации этого необходимо вывод «Коррекция минус» ВИМП (см. рис. 2) соединить с выводом генератора  $G2$  или  $G3$  МС  $DD1$ .

При установке на вычитающий вход реверсивного счетчика импульсов МС поступает число импульсов  $N_{сч}$ , равное

$$N_{сч} = 1 \frac{t_y}{8 T_r}.$$

Если при отсчете времени действия вывод «Коррекция минус» ВИМП (см. рис. 2) остается соединенным с выводом генератора  $G2$  или  $G3$  МС  $DD1$ , то время действия схемы равно

$$T_d = N_{сч} \frac{T_r}{\frac{1}{8} + \frac{1}{K}} = t_y \frac{9K}{K+8}.$$

Обозначив получившийся масштабный коэффициент  $K1 = \frac{9K}{K+8}$ , имеем

$$T_d = K1 t_y.$$

При  $K = 512, 1024, 2048, 4096$  соответственно  $K1 = 8,86; 8,93; 8,97; 8,98$ .

Если соединение вывода «Коррекция минус» ВИМП с выводом генератора  $G2$  или  $G3$  МС  $DD1$  осуществляется только при отсчете времени действия, то  $N_{сч} = \frac{t_y}{T_r}$ ,  $T_d = N_{сч} \frac{T_r}{\frac{1}{8} + \frac{1}{K}} = t_y \frac{8K}{K+8}$ ,  $K2 = \frac{8K}{K+8}$  и при  $K = 512, 1024, 2048, 4096$  соответственно  $K2 = 7,88; 7,94; 7,97; 7,98$ .

В обоих случаях значение коэффициента кратности значительно меньше 512, что позволяет отсчитывать малые времена.

### Заключение

В заключение отметим:

- использование ВИМП в АИИС позволяет создавать высокоточные дистанционные изделия (с погрешностью не более 0,1 %) без использования в их составе прецизионных элементов;
- обеспечение высокой точности дистанционного действия определяется использованием ВИМП, осуществляющих преобразование однотипных физических величин: временной интервал, формируемый АДУ при установке времени действия – время действия;

– использование МС 512ПС8ВК позволяет минимизировать затраты изготовления ВИМП дистанционно управляемых временных устройств АИИС с контролем введенной в них информации и ее коррекцией.

### Список литературы

1. Глушков В. М., Амосов Н. М. Энциклопедия кибернетики : в 2 т. Киев : Главная редакция УЭК, 1974. Т. 2. 619 с.
2. Пат. 2257682 Российская Федерация. Вреямпульсный универсальный интегрирующий преобразователь напряжения / Кук И. А. № 2018128886 ; заявл. 06.08.2018 ; опубл. 29.05.2019.
3. Пат. 2731601 Российская Федерация. Вреямпульсный универсальный интегрирующий преобразователь напряжения с функцией широтно-импульсной модуляции / Сафинов Ш. С. № 2020109531 ; заявл. 03.03.2020 ; опубл. 04.09.2020.
4. Микросхемы интегральные 512ПС8ВК. Технические условия ЛСАР.431239.001ТУ. ЕКПС 5962. АО «Восход» – КЛРЗ. 2021. 62 с.
5. Трофимов В. Ю., Шахмейстер Л. Е. Использование микроконтроллеров при преобразовании временного интервала в цифровой код // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2016. № 3. С. 13–22.

### References

1. Glushkov V.M., Amosov N.M. *Entsiklopediya kibernetiki: v 2 t. = Encyclopedia of Cybernetics : in 2 vols.* Kiev: Glavnaya redaktsiya UKE, 1974;2:619. (In Russ.)
2. Patent 2257682 Russian Federation. *Vremyaimpul'snyy universal'nyy integriruyushchiy preobrazovatel' napryazheniya = Time pulse universal integrating voltage converter.* Kuk I.A. № 2018128886; appl. 06.08.2018; publ. 29.05.2019. (In Russ.)
3. Patent 2731601 Russian Federation. *Vremyaimpul'snyy universal'nyy integriruyushchiy preobrazovatel' napryazheniya s funktsiey shirotno-impul'snoy modulyatsii = Time-pulse universal integrating voltage converter with pulse-width modulation function.* Safinov Sh.S. № 2020109531; appl. 03.03.2020; publ. 04.09.2020. (In Russ.)
4. *Mikroskhemy integral'nye 512PS8VK. Tekhnicheskie usloviya LSAR.431239.001TU. EKPS 5962. AO «Voskhod» – KLRZ = Integrated circuits 512PS8VC. Technical specifications LSAR.431239.001TU. ECPS 5962. JSC "Voskhod" – KLRZ.* 2021:62. (In Russ.)
5. Trofimov V.Yu., Shakhmeyster L.E. The use of microcontrollers when converting a time interval into a digital code. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control.* 2016;(3):13–22. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Антон Вячеславович Захаров

начальник отдела,  
АО «Восход» – Калужский радиоламповый завод  
(Россия, г. Калуга, Грабцевское шоссе, 43)  
E-mail: Info@voshod-krlz.ru

#### Anton V. Zakharov

Head of the department,  
JSC "Voskhod" – Kaluga Radio Tube Plant  
(43 Grabtsevskoe highway, Kaluga, Russia)

#### Илья Владимирович Либкина

технический директор,  
АО «Восход» – Калужский радиоламповый завод  
(Россия, г. Калуга, Грабцевское шоссе, 43)  
E-mail: Info@voshod-krlz.ru

#### Ilya V. Libkind

Technical director,  
JSC "Voskhod" – Kaluga Radio Tube Plant  
(43 Grabtsevskoe highway, Kaluga, Russia)

#### Вадим Юрьевич Трофимов

кандидат технических наук,  
доцент кафедры автономных информационных  
и вычислительных систем,  
Балтийский государственный технический  
университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова  
(Россия, г. Санкт-Петербург,  
1-я Красноармейская ул., 1)  
E-mail: l.e.shahmejster@onegroup.ru

#### Vadim Yu. Trofimov

Candidate of technical sciences, associate professor  
of the sub-department of autonomous information  
and measurement systems,  
Baltic State Technical University "Voenmeh"  
named after D.F. Ustinov  
(1 1st Krasnoarmeyskaya street,  
Saint Petersburg, Russia)

**Леонид Ефимович Шахмейстер**

доктор технических наук,  
профессор кафедры автономных  
информационных и вычислительных систем,  
Балтийский государственный технический  
университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова  
(Россия, г. Санкт-Петербург,  
1-я Красноармейская ул., 1)  
E-mail: l.e.shahmeister@onegroup.ru

**Leonid E. Shakhmeister**

Doctor of technical sciences,  
professor of the sub-department of autonomous  
information and measurement systems,  
Baltic State Technical University "Voenmeh"  
named after D.F. Ustinov  
(1 1st Krasnoarmeyskaya street,  
Saint Petersburg, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 27.01.2023**

**Поступила после рецензирования/Revised 27.02.2023**

**Принята к публикации/Accepted 24.03.2023**