

ЦИФРОВЫЕ ДЕЛИТЕЛИ ЧАСТОТЫ В АВТОНОМНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В. Ю. Трофимов¹, Л. Е. Шахмейстер²

^{1,2}Балтийский государственный технический университет ВОЕНМЕХ имени Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

^{1,2}l.e.shahmejster@onegroup.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В бортовой аппаратуре автономных информационных и измерительных систем широкое применение нашли датчики различных физических величин, информация об измеряемом параметре в которых содержится в частоте выходного сигнала. Обработка сигналов датчика осуществляется по заданным алгоритмом, предусматривающим выполнение различных математических операций, одной из которых является деление частоты. Аппаратная реализация этой операции может быть выполнена на нескольких корпусах интегральных микросхем стандартной логики. Уменьшение этих аппаратных затрат является актуальной задачей, направленной на уменьшение габаритных размеров электронных блоков автономных информационных и измерительных систем и повышения их надежности. *Материалы и методы.* Одним из путей решения указанной задачи является применение специализированной микросхемы времяимпульсного и цифрочастотного преобразования 512ПС8ВК. *Результаты.* Рассмотрено построение цифровых делителей частоты на микросхеме 512ПС8ВК. Приведены выражения для коэффициентов деления частоты. *Вывод.* Микросхема 512ПС8ВК может использоваться для построения делителей частоты с фиксированными, программируемыми и переменными целочисленными и дробными коэффициентами деления со значениями от 4 до 2^{24} .

Ключевые слова: цифровые делители частоты с фиксированным, программируемым и переменным коэффициентом деления, автономные информационные и измерительные системы, микросхема цифрочастотного и времяимпульсного преобразования 512ПС8ВК

Для цитирования: Трофимов В. Ю., Шахмейстер Л. Е. Цифровые делители частоты в автономных информационных и измерительных системах // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 4. С. 22–31. doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-3

DIGITAL FREQUENCY DIVIDERS IN AUTONOMOUS INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS

V.Yu. Trofimov¹, L.E. Shakhmeyster²

^{1,2} Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, Russia

^{1,2}l.e.shahmejster@onegroup.ru

Abstract. *Background.* Sensors of various physical quantities, the information about the measured parameter in which is contained in the frequency of the output signal, are widely used in the on-board equipment of autonomous information and measurement systems (AIS). Sensor signal processing is carried out according to a given algorithm, which provides for the execution of various mathematical operations, one of which is frequency division. The hardware implementation of this operation can be performed on several cases of integrated circuits of standard logic. Reducing these hardware costs is an urgent task aimed at reducing the overall dimensions of AIS electronic units and increasing their reliability. *Materials and methods.* One of the ways to solve this problem is the use of a specialized chip for time-pulse and digital-frequency conversion of 512PS8VK. *Results.* The construction of digital frequency dividers on a 512PS8VK chip is considered. Expressions for frequency division coefficients are given. *Conclusion.* The 512PS8VK chip can be used to build frequency dividers with fixed, programmable and variable integer and fractional division coefficients with values from 4 to 2^{24} .

Keywords: digital frequency dividers with fixed, programmable and variable division coefficients, autonomous information and measurement systems, digital frequency and time pulse conversion chip 512PS8VK

For citation: Trofimov V.Yu., Shakhmeyster L.E. Digital frequency dividers in autonomous information and measurement systems. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(4):22–31. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-3

В бортовой аппаратуре автономных информационных и измерительных систем (АИИС) широкое применение нашли датчики различных физических величин, в частности, датчики ускорения, в качестве которых могут использоваться датчики, изготовленные по МЭМС-технологиям [1]. Хорошими точностными характеристиками обладают датчики, информация об измеряемом параметре которых содержится в частоте выходного сигнала. Это могут быть разработанные для АИИС акселерометры 043Б1 и АЛЕ 055 [2, 3]. Обработка сигналов датчика осуществляется по заданным алгоритмом, предусматривающим выполнение различных математических операций, одной из которых является деление частоты. Аппаратная реализация этой операции может быть выполнена на нескольких корпусах интегральных микросхем стандартной логики, включая триггеры и счетчики импульсов [4]. Уменьшение этих аппаратных затрат является актуальной задачей, направленной на уменьшение габаритных размеров электронных блоков АИИС и повышение их надежности.

Решение указанной задачи может осуществляться использованием для выполнения операции деления частоты специализированной МС цифрочастотного и времяимпульсного преобразования 512ПС8ВК [5]. Структурная схема этой МС и ее возможности реализации времяимпульсных преобразований рассмотрены в работе [6].

Обозначение и наименование выводов МС 512ПС8ВК приведены на рис. 1.



Рис. 1. Обозначение и выводы МС 512ПС8К

МС 512ПС8 включает в свой состав последовательно соединенные 12-разрядный делитель частоты и 12-разрядный счетчик импульсов [6]. Счетчик импульсов реверсивный. На суммирующий вход внутреннего счетчика импульсов МС могут поступать импульсы с выхода внутреннего делителя частоты и входа МС K_+ (Плюс корректировка), а на вычитающий – с генератора, подключаемого к выводу $G1$ (Вход генератора), и входа МС $K-$ (Минус корректировка). Наличие в МС делителя и счетчика импульсов, а также возможность различного их включения позволяют реализовать операцию деления частоты на различные коэффициенты от 4 до 2^{24} , часть из которых может быть дробной.

Выходные сигналы МС в режиме делителя частоты могут сниматься с выходов BD (Выход делителя), PB (Предварительная команда) и B (Выход), при этом коэффициенты деления частоты, подаваемой на вход $G1$ МС, $K_{д1}$, $K_{д2}$, $K_{д3}$ соответственно.

Рассмотрим получение некоторых возможных фиксированных, определяемых подключением выводов МС, коэффициентов деления частоты.

Варианты подключения выводов МС в режиме делителя частоты показаны в табл. 1.

Для запуска МС и появления импульсов на выходах BD , B и PB МС необходимо подать на ее вход STR (Пуск) импульс логической «1» длительностью

$$t_n > T_{BD}, \tag{1}$$

где t_n – длительность пускового импульса (логическая «1»), подаваемого на вход МС STR ; T_{BD} – период импульсов на выходе МС BD , равный периоду импульсов генератора, подаваемых на вход $G1$ МС, умноженному на коэффициент деления $K_{д1}$.

Таблица 1

Подключение выводов МС 512ПС8ВК в режиме делителя частоты

Вариант	Подключение выводов МС					Коэффициенты деления (формулы)		
	MR	K	K_-	K_+	$A1$	$A2$	$K_{д1}$	$K_{д2}, K_{д3}$
1	0 0	0 или 1		0 или 1	0; 1		(2)	(5)
2				BD				(6)
3				$G2 (G3)$				(7)
4				0 или 1	PB, B	(4, а, 4, б)	(5)	
5				BD			(6)	
6	t_y	1	$N_{y-имп.}$	$N_{y+имп.}$	0 или 1	0 или 1	(9)	–
7			BD	0 или 1			(10,11)	–
8			$G1 (G2, G3)$				(12)	–
9			0 или 1	$G1 (G2, G3)$			(13)	–

Коэффициент деления $K_{д1}$ определяется сигналами на выводах $A1$ (Исключение триггера), $A2$ (Исключение 2-х триггеров) в соответствии с выражением

$$K_{д1} = (A1 \wedge A2)2^9 + (A1 \wedge \overline{A2})2^{10} + (\overline{A1} \wedge A2)2^{11} + (\overline{A1} \wedge \overline{A2})2^{12}, \quad (2)$$

где $A1, A2$ – логические сигналы, подаваемые на входы $A1, A2$ МС соответственно; $\overline{A1}, \overline{A2}$ – инверсии логических сигналов, подаваемых на входы $A1, A2$ МС соответственно; $(\dots \wedge \dots)$ – цифровое значение, соответствующее логической операции «И».

В этом и других последующих выражениях, содержащих как логические, так и арифметические операции, результат логических операций соответствует цифровому значению арифметических операций. Если в процессе работы МС подаваемые на выводы $A1, A2$ сигналы не меняются, то в соответствии с приведенной формулой (2) коэффициент деления $K_{д1}$ может принимать значения $K_{д1} = 2^9, 2^{10}, 2^{11}$ или 2^{12} . Это соответствует вариантам 1–3 подключения выводов МС табл. 1.

Близкие к этим значениям, в частности дробные, могут быть получены изменением подаваемых на выводы МС $A1, A2$ сигналов в процессе работы делителя, что достигается соединением выводов $A1, A2$ МС с ее выводом PB или B (варианты 4, 5 табл. 1).

Условием появления импульсов на выводах PB или B является

$$T_B \geq t_n > T_{BD}, \quad (3)$$

где T_B – период выходных импульсов на выходе B МС.

Выполнить это условие можно, соединив выход B МС с ее входом STR через инвертор. В этом случае коэффициент деления $K_{д1}$ при соединении выводов $A1, A2$ с одним из выходов PB или B определяется выражением

$$K_{д1} = \frac{(2^{12} - b)k1 + bk2}{2^{12}} = k1 + \frac{b(k2 - k1)}{2^{12}}, \quad (4a)$$

где b – длительность импульса на выходах МС, исчисляемая количеством входных импульсов, равная 1 при соединении вывода $A1$ и (или) $A2$ МС с выводом B и 16 при соединении с выводом PB ; $k1, k2$ – коэффициенты деления делителя частоты, определяемые выражением (2), соответственно при отсутствии и наличии выходной команды на соединенных с выводами $A1, A2$ МС выводах B или PB .

При подключении к выводам МС $A1, A2$ обоих выводов B и PB коэффициент деления определяется выражением

$$K_{д1} = \frac{(2^{12} - 16)k1 + 15kPB + 2^9}{2^{12}}, \quad (46)$$

где kPB – коэффициент деления, определяемый выражением (2) при наличии выходного сигнала в виде логической «1» на выводе PB .

Для примера рассмотрим случай соединения вывода $A1$ с выходом PB МС, а вывода $A2$ с шиной питания (логический "0").

При отсутствии сигнала логической «1» на выводе PB МС коэффициент деления делителя частоты в соответствии с выражением (2) для $A1 = 0, A2 = 1$ равен $K_{д1} = k1 = 2^{10}$.

При появлении сигнала логической «1» на выводе PB МС, $A1 = 1, A2 = 1$ коэффициент деления делителя частоты $K_{д1} = k2 = 2^9$.

В соответствии с выражением (4а)

$$K_{д1} = \frac{(2^{12} - 16)2^{10} + 16 \cdot 2^9}{2^{12}} = 1022.$$

При соединении вывода $A1$ не с выводом PB , а с выводом B

$$K_{д1} = \frac{(2^{12} - 1)2^{10} + 1 \cdot 2^9}{2^{12}} = 1023 \frac{7}{8}.$$

Таким образом, кроме коэффициента деления, соответствующего по выражению (2) значениям 2 в степени (9 – 12), варьированием подключений выводов $A1, A2$ к выводам B и PB , могут быть получены дополнительные, в том числе и дробные, значения $K_{д1}$. Эти значения близки к значениям, определяемым выражением (2). Незначительные изменения коэффициента деления $K_{д1}$ могут использоваться для точной настройки коэффициента деления.

При соединениях, соответствующих вариантам 4, 5 табл. 1, возможны следующие коэффициенты деления $K_{д1}$, вычисленные по формулам (4а) и (4б):

$$1022; 1023 \frac{7}{8}; 2042; 2047 \frac{5}{8}; 4082; 4083 \frac{7}{8}; 4084; 4087 \frac{5}{8}; 4088; 4095 \frac{1}{8}; 4095 \frac{1}{4}; 4095 \frac{1}{2}.$$

При соединении выводов МС B или PB с выводами $A1, A2$ происходит неравномерное формирование выходных импульсов делителя внутри пачки импульсов общим числом, равным емкости счетчика импульсов. Рассчитанные по формулам (4а) и (4б) коэффициенты деления $K_{д1}$ являются средними значениями за число импульсов, равное емкости счетчика (2^{12} импульсов).

Для вариантов 1, 4 табл. 1 коэффициенты деления $K_{д2}, K_{д3}$ на выходах PB и B МС равны

$$K_{д2} = K_{д3} = 2^{12} K_{д1}. \quad (5)$$

Максимальное значение коэффициентов деления частоты $K_{д2\max}, K_{д3\max}$ при использовании выводов B и PB $K_{д2\max} = K_{д3\max} = 2^{24}$.

Если вывод корректировки K_+ соединить с выходом делителя частоты BD (вариант 2, 5 табл. 1), то на суммирующий вход внутреннего реверсивного счетчика будут поступать импульсы с делителя частоты как по внутренней цепи микросхемы, так и по внешней по выводу K_+ . Внутри МС имеется схема синхронизации, разделяющая по времени импульсы, приходящие по внутренней и внешней цепям. Это приводит к тому, что на реверсивный счетчик

импульсов при заполнении делителя частоты приходит не один, а два импульса. В этом случае связь между коэффициентами деления $K_{д1}$ и $K_{д2}$ определяется выражением

$$K_{д2} = 2^{11} K_{д1}. \quad (6)$$

Меньшие коэффициенты деления $K_{д2}$ могут быть получены при соединении вывода корректировки K_+ с одним из выходов генератора $G2$ (Выход генератора) или $G3$ (Инверсный выход генератора). Такое соединение соответствует варианту 3 табл. 1. В этом варианте на вход реверсивного счетчика будут поступать одновременно с импульсами с частотой генератора, деленной на коэффициент деления $K_{д1}$, импульсы с частотой генератора, деленной на 8. Деление частоты генератора на 8 связано с внутренней схемой синхронизации МС, пропускающей на вход реверсивного счетчика импульсы частотой не выше частоты генератора, деленной на 8. При этом коэффициенты деления частоты на выходах B и PB МС равны

$$K_{д2} = 2^{15} \frac{K_{д1}}{K_{д1} + 8}. \quad (7)$$

Это для различных подключений выводов $A1$, $A2$ соответствует значениям $K_{д2}$: $32263 \frac{57}{65}, 32513 \frac{127}{129}, 32679 \frac{235}{739}, 32704 \frac{64}{513}$.

Коэффициенты деления $K_{д2}$ близки к значениям $2^{15} = 32768$.

Коэффициент деления частоты $K_{д3}$ на выходе PB МС равен коэффициенту деления $K_{д2}$ на выходе B МС. Разница лишь в длительности импульсов.

При соединении через инвертор пускового входа МС STR с выходом B длительность импульсов на выводе B равна одному, а на выводе PB 16 периодам импульсов делителя.

Рассмотрим возможность реализации схемы с программируемым внешними сигналами коэффициентом деления частоты. Этот коэффициент деления может быть получен на двух счетчиках импульсов, как это показано на рис. 2.

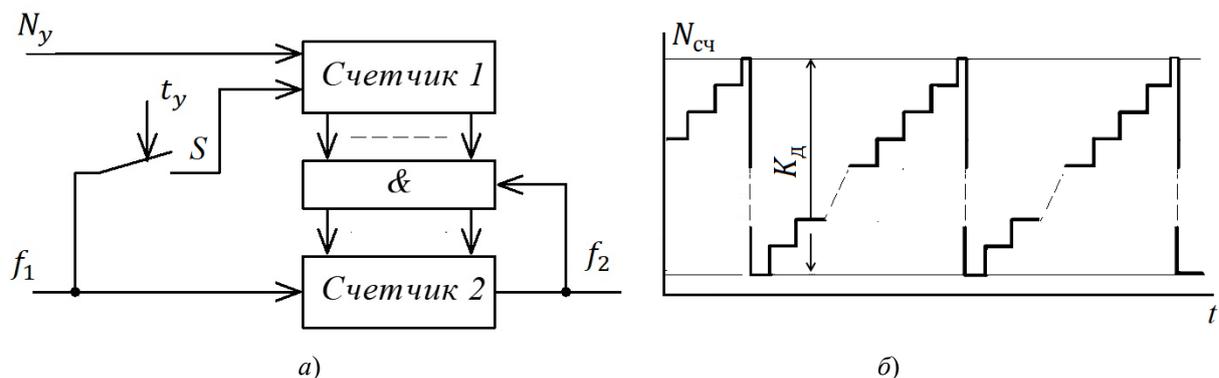


Рис. 2. Программируемый коэффициент деления:
а – схема; б – циклограмма

В состав схемы рис. 2,а входят два счетчика импульсов, логические элементы «И» (&) и ключ S . Состояние счетчика 1 определяет коэффициент деления схемы. Счетчик 2 непосредственно осуществляет деление поступающей на него частоты f_1 . Логическая схема «И» обеспечивает перезапись записанного в счетчик 1 числа импульсов в счетчик 2. Установка требуемого коэффициента деления осуществляется записью необходимого числа импульсов в счетчик 1. Эта запись может осуществляться путем замыкания ключа S на время t_y . При этом в счетчик 1 поступают импульсы входной частоты f_1 . Запись в счетчик 1 может также осуществляться подачей на его вход N_y импульсов.

Дальнейшая работа делителя аналогична работе МС в режиме контроля введенных данных при времяимпульсном преобразовании [6]. При заполнении счетчика 2 на его выходе появляется сигнал, по которому состояние счетчика 1 переписывается в счетчик 2, как это показано на циклограмме рис. 2,б. Емкости счетчиков 1, 2 одинаковы. Коэффициент деления $K_{д1}$ делителя частоты рис. 2,а равен

$$K_{д1} = \frac{f_2}{f_1} = N_{сч} - \text{round}(t_y f_1) - N_y, \quad (8)$$

где f_1, f_2 – входная и выходная частота соответственно; $N_{сч}$ – состояние счетчика 2, при котором на его выходе появляется сигнал и осуществляется перезапись в него состояния счетчика 1; $\text{round}(\dots)$ – округление до целого числа.

Схема рис. 2,а может быть реализована на МС 512ПС8ВК. Это показано на рис. 3.

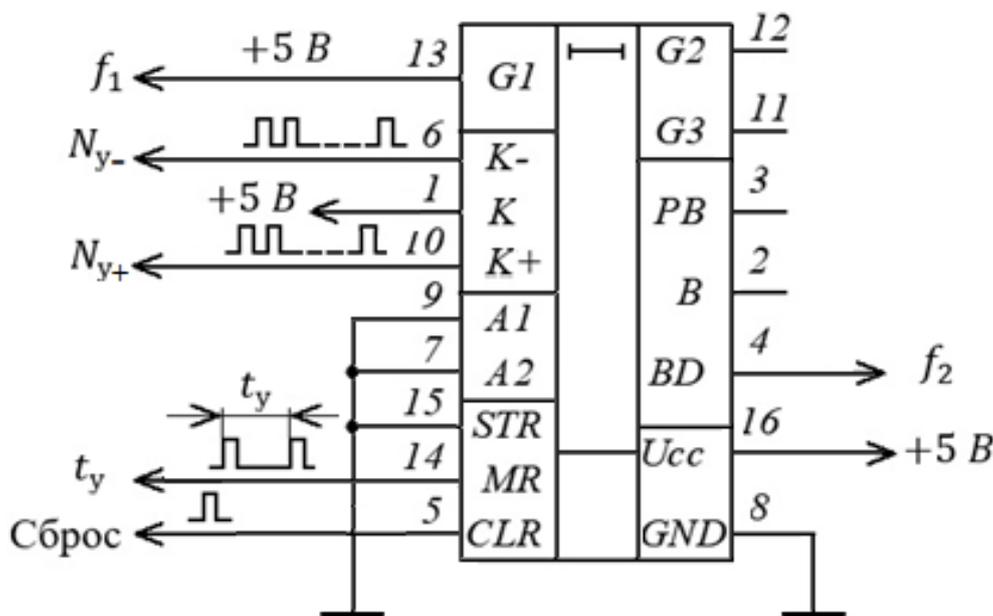


Рис. 3. Реализация схемы делителя частоты на программируемый коэффициент деления с использованием МС 512ПС8ВК

Включение микросхемы в режиме программируемого делителя частоты соответствует варианту 6 табл. 1.

На схему последовательно подаются:

- на вывод CLR МС импульс сброса;
- на вывод $G1$ МС непрерывно импульсы частоты f_1 ;
- на вывод MR 2 импульса, с интервалом t_y ;
- на вывод K_- пачка импульсов N_{y-} и (или) на вывод K_+ пачка импульсов N_{y+} .

Пусковой сигнал на вывод МС STR в этом варианте делителя частоты не подается, а на вывод K подается сигнал логической «1».

Ограничения по параметрам подаваемых сигналов схемы:

$$\frac{3}{f_1} < t_y \leq \frac{4095}{f_1}, \quad f_y \leq \frac{1}{8} f_1,$$

где f_y – частота импульсов в пачке N_{y-} , N_{y+} , подаваемых на выходы МК K_- , K_+ соответственно.

Выходная частота f_2 снимается с вывода делителя МС BD . Выражение (8) для коэффициента деления в схеме рис. 3 примет вид

$$K_{д1} = N_{сч} - \text{round}(t_y f_1) - N_{y-} + N_{y+}. \quad (9)$$

Перезапись в счетчик 2 состояния счетчика 1 осуществляется при записи в счетчике 2 числа импульсов, равного $N_{сч} = 4095$. Использование МС 512ПС8ВК, включенной по представленной схеме рис. 3, позволяет получить программируемые внешними сигналами коэффициенты деления $K_{д1} = 4 - 4096$. Значения $K_{д1} < 4$ получить не удастся, поскольку длительность импульса на выходе BD равна трем периодам генератора.

Рассмотрим возможности получения с помощью МС 512ПС8К переменного значения коэффициента деления частоты. Для реализации этого необходимо соединение вывода K - МС с выводом BD МС, рис. 3 (вариант 7 табл. 1). Тогда после подачи на вывод CLR МС импульса сброса, импульсов частоты f_1 на вывод $G 1$ и двух импульсов с интервалом t_y на вывод MR , с каждым выходным импульсом делителя коэффициент деления увеличивается на единицу. Когда коэффициент деления достигнет своего максимального уровня, $K_{д} = 4096$, приход следующего импульса с вывода BD на вывод K - МС скачкообразно изменит коэффициент деления до минимального значения. Минимальное значение $K_{д}$ не равно единице, так как длительность выходного импульса делителя равна трем периодам сигналов, поступающих на вход делителя и, кроме того, сигналы с выхода B поступят на вход счетчика импульса МС, в котором записана информация о коэффициенте деления, с задержкой, равной восьми периодам входных сигналов. С учетом указанных обстоятельств представленные далее выражения справедливы для схем с переменным значением коэффициента деления частоты в диапазоне $K_{д1} \in [8, 4096]$. Зависимость коэффициента деления $K_{д1}$ от числа выходных импульсов периодическая и в пределах периода линейная. При нулевой начальной фазе коэффициент деления определяется выражением

$$K_{д1} = n_1,$$

где n_1 – количество выходных импульсов делителя частоты на вывод BD МС в течение одного периода зависимости коэффициента деления от числа выходных импульсов делителя.

Не ограничиваясь одним периодом, коэффициент деления в функции числа выходных импульсов делителя определяется выражением

$$K_{д1} = \text{rem}\left(\frac{n}{n_p}\right), \quad (10)$$

где n – общее число выходных импульсов делителя; $\text{rem}(\dots)$ – остаток от целочисленного деления выражения в скобках; n_p – число выходных импульсов, соответствующих одному периоду – зависимости коэффициента деления от числа выходных импульсов, $n_p = 2^{12}$.

В пределах одного периода зависимости $K_{д1}$ число входных импульсов m_1 связано с числом выходных импульсов n_1 зависимостью

$$m_1 = \sum_{i=1}^{i=n_1} \left[1 + \text{rem}\left(\frac{i}{2^{12}}\right) \right] = \frac{1}{2}(n_1 + 1)n_1, \quad i = 1, 2, \dots, n_1.$$

Откуда с учетом целочисленных значений m_1, n_1

$$n_1 = \text{fix}\left(-0,5 + \sqrt{0,25 + 2m_1}\right),$$

где $\text{fix}(\dots)$ – целая часть числа.

В течение одного периода зависимости коэффициента деления на вход делителя поступит m_p импульсов:

$$m_p = \frac{1}{2}(n_p + 1)n_p = 2^{23} + 2^{11} = 8390656 \approx 2^{23}.$$

Зависимость коэффициента $K_{д1}$ деления частоты от произвольного числа входных импульсов m имеет вид

$$K_{д1} = \text{rem}\left(\frac{n}{n_p}\right) = \text{fix}\left(-0,5 + \sqrt{0,25 + 2\text{rem}\left(\frac{m}{m_p}\right)}\right), \quad (11)$$

где m – число входных импульсов, подаваемых на вход $G1$ МС.

Зависимости коэффициента деления частоты схемы с переменным коэффициентом деления, выполненной на МС 512ПС8ВК, соответствующие выражениям (10), (11), приведены на рис. 4.

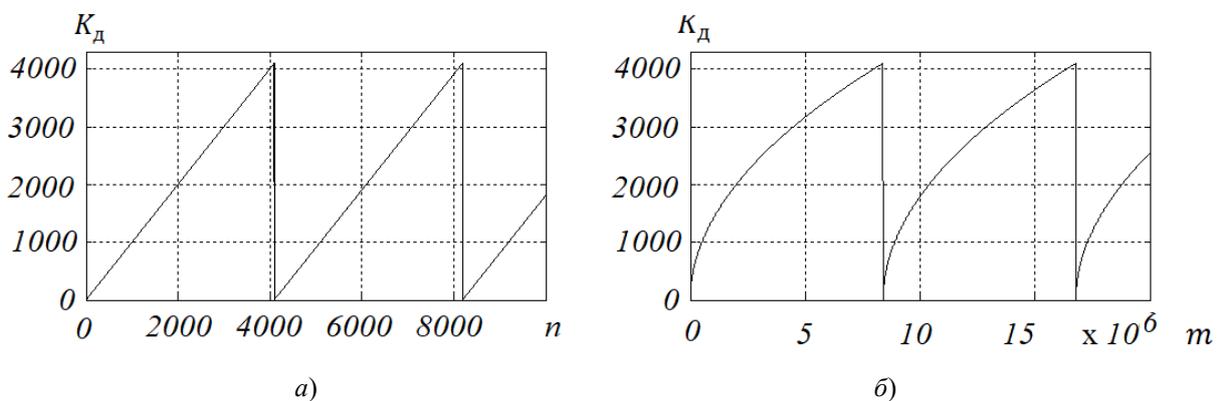


Рис. 4. Зависимость коэффициента деления делителя частоты с переменным коэффициентом деления: a – от числа выходных импульсов; b – от числа входных импульсов

На рис. 4 видна периодичность изменения коэффициента деления частоты с линейной зависимостью внутри периода от числа выходных (рис. 4, a) и нелинейной (рис. 4, b) от числа входных импульсов.

Если вывод ВД МС соединить не с выводом K^- , а с выводом K^+ , то также получим делитель частоты с переменным коэффициентом деления, однако, зависимости коэффициента деления при этом будут зеркальна по вертикали относительно зависимостей, представленных на рис. 4, a , b .

Имеется еще возможность получения переменного коэффициента деления, появляющаяся при соединении вывода K^- с входом генератора $G1$ или с одним из выходов генератора $G2$, $G3$ (вариант 8, табл. 1). При этом увеличение коэффициента деления на единицу будет происходить через каждые 8 импульсов генератора. При нулевой начальной фазе коэффициент деления определяется выражением

$$K_{д1} = \text{rem}\left(\frac{8m}{m_p}\right), \quad m_p = 2^{12} \cdot 2^3 = 2^{15} = 32\,768. \quad (12)$$

При соединении одного из выводов генератора с входом K^+ МС (вариант 9 табл. 1), зависимость коэффициента деления от числа входных импульсов зеркальна по вертикали относительно зависимости (12):

$$K_{д1} = 4096 - \text{rem}\left(\frac{8m}{m_p}\right), \quad \text{для } K_{д1} \in [8, 4096], \quad (13)$$

$$m_p = 2^{12} \cdot 2^3 = 2^{15} = 32\,768.$$

Выражения (12), (13) указывают на то, что зависимость коэффициента деления от числа входных импульсов периодическая и внутри периодов линейная, либо возрастающая, либо убывающая в пределах $K_{д1}$ от 8 до 4096 входных импульсов.

Полученные значения коэффициентов деления частоты для различных вариантов подключения выводов МС 512ПС8ВК, представленных в табл. 1, сведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты деления частоты МС 512ПС6ВК
в зависимости от варианта подключения ее выводов

Вариант таблицы 1	Коэффициент деления частоты	Значения коэффициентов деления	
		$K_{д1}$	$K_{д2}, K_{д3}$
1	Фиксированный	2^{9+12}	2^{21+24}
2			2^{20+23}
3			$32264 \div 32704$
4		$1022; 1023 \frac{7}{8}; 2042; 2047 \frac{5}{8}; 4082 \div 4095 \frac{1}{2}$	$2^{12} K_{д1}$
5			$2^{11} K_{д1}$
6	Программируемый	$4 \div 4096$	Выходной сигнал отсутствует
7	Переменный	$8 \div 4096$	
8			
9			

Заключение

В заключение отметим:

- для построения делителей частоты с фиксированным, программируемым и переменным коэффициентами деления частоты может использоваться специализированная микросхема цифрочастотного и времязимпульсного преобразования 512ПС8ВК;
- коэффициент деления частоты при использовании МС 512ПС8ВК может принимать как целочисленные, так и дробные значения от 4 до 2^{24} .

Список литературы

1. Справочник по материалам и технологиям МЭМС на основе кремния. 3-е изд. Микро- и нанотехнологии. Глава 45. Акселерометры. 2020. С. 879–898.
2. Папко А. А., Кирынина И. В., Комбарова И. В. Об исследовании повторяемости и воспроизводимости метрологических характеристик прецизионных акселерометров // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2014. № 1. С. 21–24.
3. Акселерометры низкочастотные линейные АЛЕ 055М. Свидетельство об утверждении типа средств измерений 58401. Изготовитель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт физических измерений» (ОАО «НИИФИ»), г. Пенза. № 60338-15. 2015. URL: <https://nd-gsi.ru/grsi/600xx/60338-15.pdf>
4. Хейс Т. К., Хоровиц П. Искусство схемотехники. Теория и практика : пер. с англ. СПб. : БХВ-Петербург, 2022. 1200 с.
5. Микросхемы интегральные 512ПС8ВК. Технические условия ЛСАР.431239.001ТУ. ЕКПС 5962. 2021. 62 с.
6. Захаров А. В., Либкинд И. В., Трофимов В. Ю., Шахмейстер Л. Е. Вреязимпульсные преобразователи в автономных информационных и измерительных системах // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2. С. 59–68.

References

1. *Spravochnik po materialam i tekhnologiyam MEMS na osnove kremniya. 3-e izd. Mikro- i nanotekhnologii. Glava 45. Akselerometry = Handbook of silicon-based MEMS materials and technologies. 3rd ed. Micro- and nanotechnology. Chapter 45. Accelerometers.* 2020:879–898. (In Russ.)
2. Papko A.A., Kiryanina I.V., Kombarova I.V. On the study of repeatability and reproducibility of metrological characteristics of precision accelerometers. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control.* 2014;(1):21–24. (In Russ.)

3. Low-frequency linear accelerometers ALE 055M. Certificate of type approval of measuring instruments 58401. Manufacturer Open Joint Stock Company "Scientific Research Institute of Physical Measurements" (JSC "NIIFI"), Penza. № 60338-15. 2015. (In Russ.). Available at: <https://nd-gsi.ru/grsi/600xx/60338-15.pdf>
4. Kheys T.K., Khorovits P. *Iskusstvo skhemotekhniki. Teoriya i praktika: per. s angl. = The art of circuit engineering. Theory and practice : trans. from English.* Saint Petersburg: BKhV-Peterburg, 2022:1200. (In Russ.)
5. Integrated circuits 512PS8VC. Technical specifications of LSAR.431239.001TU. ECPS 5962. 2021:62. (In Russ.)
6. Zakharov A.V., Libkind I.V., Trofimov V.Yu., Shakhmeyster L.E. Time-pulse converters in autonomous information and measuring systems. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control.* 2023;(2):59–68. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

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-ая 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,
St. Petersburg, Russia)

Леонид Ефимович Шахмейстер

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

Leonid E. Shakhmeister

Doctor of technical sciences, professor,
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,
St. Petersburg, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 15.09.2023

Поступила после рецензирования/Revised 16.10.2023

Принята к публикации/Accepted 13.11.2023