

# ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.317.795.2

Г.Н. Абрамов, Ю.Г. Абрамов

## УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ВРЕМЯ-КОД С ИНТЕРПОЛЯТОРАМИ ХРОНОТРОННОГО ТИПА

**Абрамов Геннадий Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленная электроника» Тольяттинского государственного университета, Почетный работник высшего профессионального образования России. Область научных интересов: аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразования моноимпульсных электрических сигналов (МИЭС). [e-mail:yuran\_a@mail.ru].

**Абрамов Юрий Геннадьевич**, магистрант Тольяттинского государственного университета. Область научного интереса: аналого-цифровые преобразования параметров МИЭС. [e-mail:yuran\_a@mail.ru]

### Аннотация

Рассматриваются предложения по повышению точности преобразования рециркуляционных преобразователей время-код с интерполяторами хроноotronного типа в  $V_2$  раз за счет снижения нестабильности дискретности преобразования, а также предложения по уменьшению дополнительных аппаратурных и временных затрат при вычислении общего цифрового результата преобразования.

Ключевые слова: рециркуляционный преобразователь, временной интервал, параллельный единичный код, хроноotronный интерполятор.

**Gennady Nikolaevich Abramov**, Doctor of Engineering, Professor at the Chair 'Industrial Electronics' of Togliatti State University; Honored Worker of Higher Professional Education of Russia; is interested in analog-digital and digital-analog conversions of multipulse electric signals (MIES). e-mail:yuran\_a@mail.ru.

**Yury Gennadyevich Abramov**, post-graduate student at Togliatti State University; is interested in analog-digital conversions of MIES parameters. e-mail: yuran\_a@mail.ru.

### Abstract

The article suggests measures for improvement of transformation accuracy of time-code recycle transformers with chronotronic interpolators by  $V_2$  times by means of reducing the instability of discrecity transformation as well as reducing extra hardware and time costs when calculation of common digital conversion result.

Key words: recycle transformer, time interval, single parallel code, chronotronic interpolator.

### ВВЕДЕНИЕ

В счетно-импульсных преобразователях время-код (ПВК), основанных на прямом сравнении преобразуемого временного интервала (ВИ) длительностью  $t_x$  с числом периодов следования  $T$  генератора опорной частоты, дис-

кретность преобразования  $t$  и соответственно методическая погрешность определяются минимальным значением периода следования  $T_{min}$ , при котором обеспечивается устойчивая работа счетчика, фиксирующего число этих периодов [1].

Достижение дискретности преобразования  $T < T_{mm} < 1$  нсек возможно в комбинированных ПВК, в которых преобразование время-код в начале производится «грубо» счетно-импульсным способом с дискретностью не более периода следования  $T$  генератора опорной частоты, а затем - «точно» с дискретностью  $t < T$  с помощью интерполяторов [2].

Достоинствами комбинированных ПВК с интерполяторами являются малая (менее 1 нсек) дискретность преобразования в широком и малое мертвое время преобразования в узком временных диапазонах преобразуемых ВИ длительностью  $t_x$  [2]. При этом цифровой результат преобразования «грубо» описывается группой младших, а «точно» - группой старших разрядов общего цифрового результата преобразования комбинированных ПВК.

В практических разработках наибольшее распространение получили ПВК с интерполяторами хронотронного и нониусного типов и интерполяторы с преобразованием время-амплитуда-время.

На рисунке 1 приведена схема ПВК с хронотронным интерполятором и рециркуляционным генератором опорной частоты.

В этой схеме преобразуемый временной интервал длительностью  $t_w$  сформированный  $L^{\wedge}$ -триггером  $T$  из старт- и стоп-импульсов, поступает к рециркуляционному генератору опорной частоты  $PG$ , вырабатывающему серию из  $N_1$  импульсных сигналов с периодом следования

ни задержки  $L_3$ , к выводам которой подключены схемы совпадений  $И1-Иn$ . Электрическую длину многоотводной линии задержки  $L_3$  выбирают равной периоду следования рециркуляционного генератора опорной частоты импульсов, а число выводов и схем совпадений зависит от необходимой дискретности преобразования  $t$ . Сигналы со схем совпадений подаются на логическое устройство  $ЛУ$ , в котором вырабатывается двоичный код номера последней из сработавших схем, представляющий младшие разряды выходного кода преобразователя время-код как цифровой результат преобразования «точно»  $N_{ХТ}$  [2].

Общий цифровой результат преобразования ПВК с хронотронным интерполятором и рециркуляционным генератором опорной частоты вычисляется в арифметическо-логическом устройстве (АЛУ) как

$$N = N_{ХТ}n + N_{ХГ}$$

где область изменения  $N_{ХТ} \in [1; N_1]$ , а  $N_{ХГ} \in [1; n]$ .

Недостатком таких преобразователей является низкая точность преобразования из-за нестабильности времени задержки  $t_{пр} = T$  линии задержки рециркуляционного генератора опорной частоты и нестабильности времени задержки многоотводной линии задержки  $L_3$  хронотрона. При этом для обеспечения процесса преобразования необходимо выполнение условия

$$t_{прj} = t_{мзj} / 2,$$

где  $t_{мз} = nm$  - полное время задержки многоотводной линии задержки.

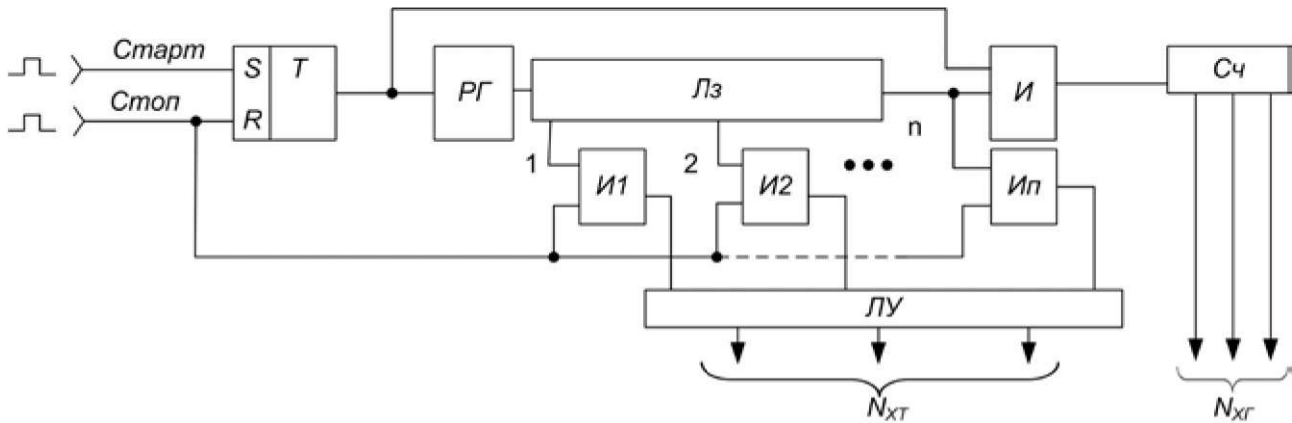


Рис. 1. ПВК с хронотронным интерполятором и рециркуляционным генератором опорной частоты

$T$  длительность которой равна преобразуемому временному интервалу. Импульсы серии через многоотводную линию задержки  $L_3$  и схему совпадения  $И$  поступают к двоичному счетчику импульсов  $Сч$ , в котором фиксируются как цифровой результат преобразования «грубо»  $N_{ХГ}$  старшие разряды выходного кода ПВК. С приходом стопового импульса схема совпадения  $И$  закрывается. Счетчик импульсов  $Сч$  останавливается и фиксирует в двоичном коде длительность преобразуемого временного интервала с точностью до периода следования рециркуляционного генератора опорной частоты. Интервал времени между последним импульсом серии и стоп-импульсом измеряется схемой хронотрона, состоящей из многоотводной ли-

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

С целью повышения точности преобразования предлагается линию задержки из состава рециркуляционного генератора опорной частоты исключить, а многоотводную линию задержки хронотрона включить в его состав, но так чтобы ее полное время задержки задавало период следования импульсной последовательности  $PG$  как  $T = 2 \cdot t_{мз}$  [3]. В этом случае комбинированный ПВК представляет собой рециркуляционный преобразователь время-код с интерполятором хронотронного типа.

На рисунке 2 приведена функциональная схема предлагаемого технического решения.

Преобразуемый временной интервал в виде прямоугольного импульса длительностью  $t_x$  подается на входную шину 6 и далее на второй вход элемента ИЛИ-НЕ 2.

Элемент ИЛИ-НЕ 2 и многоотводная линия задержки 1 (ее  $(n+1)$ -вывод) образуют рециркуляционный генератор, на выходе которого (выход элемента ИЛИ-НЕ 2) вырабатывается пачка импульсов

$$f_{Pr}(t) = f(t_x - N_{xr} - m')$$

длительность которой не превышает длительности  $t_x$  преобразуемого ВИ. Период следования импульсов в пачке  $T = 2(n+1)\tau$ , где  $\tau$  - дискретность задержки между выводами многоотводной линии задержки 1, выбирается равной необходимой (по техническому заданию) дискретности преобразования;

$n$  - число выводов многоотводной линии задержки 1.

Пачка импульсов  $f_{Pr}(t)$  фиксируется в счетчике импульсов 3 до момента выполнения условия  $t_x \leq N_{xr}T$ .

По окончании преобразуемого ВИ длительностью  $t_x$  в счетчике импульсов 3 будет записан код

$$N_{xr} = t_x/T = t_x/[2(n+1)\tau], \quad (1)$$

представляющий цифровой результат преобразования «грубо».

Из-за неоднозначности расположения пачки импульсов  $f_{Pr}(t)$  относительно окончания преобразуемого временного интервала длительностью  $t_x$  полученный результат преобразования (1) необходимо уточнить на цифровое значение ВИ длительностью  $At^*$ . То есть функция преобразования предлагаемого преобразователя должна иметь вид

$$t_x = N_{xr}T - At_x^*. \quad (2)$$

В определении значения ВИ длительностью  $At_x^*$  существуют два случая: первый, когда окончание ВИ длительностью  $t_x$  приходится на положительный полупериод импульсной последовательности с периодом  $T$ , а второй - когда окончание ВИ длительностью  $t_x$  приходится на отрицательный полупериод импульсной последовательности с периодом  $T$ . Здесь под положительным и отрицательным полупериодами понимаются значения амплитуды импульсной последовательности с периодом  $T$ , соответствующие состоянию «логическая единица» (положительный полупериод) и состоянию «логический ноль» (отрицательный полупериод).

В первом случае ВИ длительностью  $At$  определяется как  $At^* = T - At_x$ ,

$$\text{а во втором} - At_x^* = \frac{T}{2} - At_x^*.$$

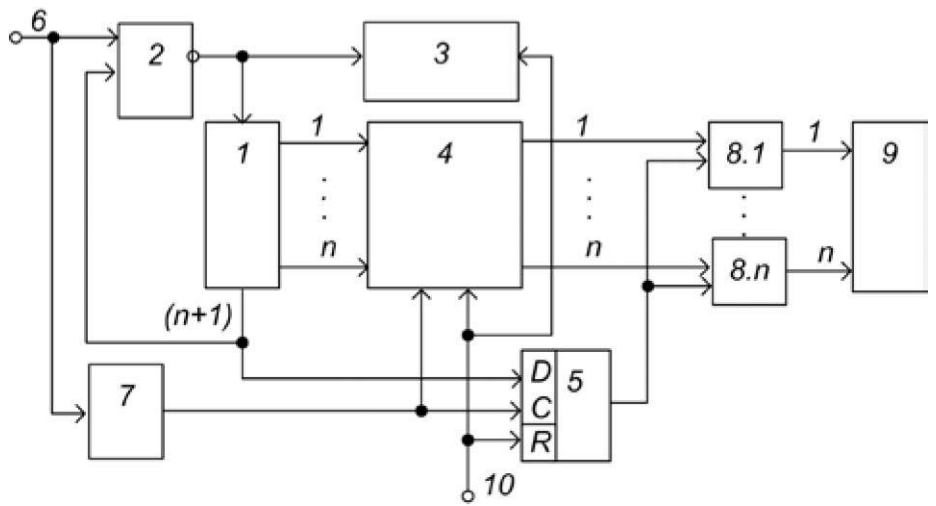


Рис. 2. Функциональная схема рециркуляционного преобразователя время-код с хронотронным интерполятором

Преобразование время-код ВИ длительностью  $At^*$  осуществляется следующим образом:

В первом и втором случаях с  $n$  выводов многоотводной линии задержки 1 снимаются  $n$  импульсных последовательностей

$$f_i(t-ix) = f_{Pr}(t-T) = f_i(t_x - (N-1)T - ix)$$

с периодом  $T$ , задержанных относительно начала преобразуемого ВИ на время  $iT$ , где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  - номер соответствующего вывода многоотводной линии задержки 1.

В регистре памяти 4 осуществляется фиксация тех импульсных последовательностей, снимаемых с многоотводной линии задержки 1, положительные полупериоды которых совпадают с окончанием ВИ длительностью  $t_x$ . Фиксация происходит по импульсному сигналу длительностью  $t\phi$ , снимаемому с выхода формирователя импульсов 7 и сформированному из заднего фронта, преобразуемого ВИ длительностью  $t_x$ . Для повышения надежности срабатывания регистра памяти 4 необходимо, чтобы  $t\phi \geq t_p$ , где  $t_p$  - время срабатывания регистра памяти по первому управляющему входу. В первом случае на выходе регистра памяти 4 вырабатывается параллельный единичный код (ПЕК) с расположением логических единиц в первых разрядах.

Во втором случае, то есть когда окончание ВИ длительностью  $t_x$  приходится на отрицательный полупериод импульсной последовательности с периодом  $T$ , регистр памяти вырабатывает параллельный единичный код с расположением логических единиц не в первых, а в более старших разрядах.

Это приводит к неоднозначности трактования цифрового результата преобразования ВИ длительностью  $At^*$  во втором случае по отношению к первому. Для устранения указанного недостатка введены  $n$  элементов исключяющего ИЛИ 8.1^8.n, в которых сигналом управления с прямого выхода Д-триггера 5 во втором случае происходит

установка в ПЕК логических единиц в первых разрядах. Условием срабатывания Д-триггера 5 является момент совпадения импульсной последовательности с (п+1)-вывода многоотводной линии задержки 1 и импульсного сигнала длительностью  $t\phi$ , снимаемого с выхода формирователя импульсов 7.

Шифратор 9 преобразует ПЕК с выходов  $n$  элементов исключающего ИЛИ 8.1^ $\wedge$ 8.п в позиционный двоичный код, представляющий собой цифровой результат преобразования ВИ длительностью  $At_x$ , то есть цифровой результат преобразования «точно».

В первом случае значение ВИ длительностью  $At_x$  описывается выражением  $At_x = N'_{XT}m$ , где область изменения  $N'_{XT} \in [1; n]$ , а во втором -  $At_x = N''_{XT}T$ , где область изменения  $N''_{XT} \in [1; n]$ .

Тогда функция преобразования, описываемая выражением (2), с учетом, что  $T = 2(n + 1)t$ , будет иметь вид:

в первом случае:  

$$f_i = \{2 \cdot (N - 1) \cdot (n + 1) + N^i\} T = N f_i \quad (3)$$

во втором случае:  

$$t_{\bar{x}} < \left[ 2 - \left( N - \frac{1}{2} \right) \cdot (n + 1) + N^i \right] \cdot X = N_2 X, \quad (4)$$

где  $N_1$  и  $N_2$  - общий цифровой результат преобразования в первом и втором случаях соответственно.

Определение значений  $N_1$  или  $N_2$  осуществляется в арифметическо-логическом устройстве, которое на рисунке 2 условно не показано.

Заметим, что перед началом преобразования триггер 5 и регистр памяти 4 сигналом «Начальная установка» должны по своим выходам устанавливаться в состояние «логический ноль».

В известном техническом решении [2] нестабильность дискретности преобразования состоит из нестабильности  $\delta_{PT}$  времени задержки линии задержки РГ и нестабильности  $\delta_{MLZ}$  времени задержки многоотводной линии задержки и определяется как

$$\delta_{\tau_n} = \sqrt{\delta_{PT}^2 + \delta_{MLZ}^2} \quad (5)$$

Так как в предлагаемом техническом решении линия задержки из состава рециркуляционного генератора исключается, а многоотводная линия задержки включается в РГ, нестабильность дискретности преобразования имеет вид

$$\delta_{\tau_n} = 8 \cdot \delta_{MLZ} \quad (6)$$

Пологая в выражении (5)  $\delta_{PT} = \delta_{MLZ}$  получаем  $\delta_{\tau_n} = \sqrt{2} \delta_{MLZ} = \sqrt{2} \delta_{\tau_n}$

Из полученного выражения следует, что предлагаемое техническое решение имеет в  $\sqrt{2}$  раз меньше значение нестабильности дискретности преобразования.

Таким образом, цель предложения - повышение точности преобразования - достигнута.

В наносекундном временном диапазоне в качестве многоотводной линии задержки применяются отрезки радиочастотных коаксиальных или спиральных кабелей (кабели задержки), время задержки которых соответственно  $t$  и  $T$  определяется через их геометрическую длину и зна-

чение погонного времени задержки [4-7].

Из [2, 4] известно, что для кабелей задержки  $\delta_{MLZ} = 10^{-4}$ . Тогда с учетом (6) нестабильность дискретности преобразования предлагаемого преобразователя следует ожидать в пределах  $10^{-4}$ .

Вычисление общего цифрового результата преобразования в первом и втором случаях требует, согласно выражениям (3) и (4), дополнительных аппаратных и временных затрат.

Ниже на рисунке 3 и рисунках 5, 6 рассматриваются три варианта построения рециркуляционных ПВК с хронотронными интерполяторами, в которых при вычислении общего цифрового результата преобразования эти затраты значительно сокращены, а на рисунке 4 - временные диаграммы их работы.

**УМЕНЬШЕНИЕ АППАРАТУРНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ЗАТРАТ (ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ)**

Преобразователь на рисунке 3 работает следующим образом. Преобразуемый импульс, длительность которого подлежит преобразованию (рис. 4, а), подается на шину «Вход» преобразователя и через схему НЕ 6 на вторую линию задержки 5 с временем задержки  $t_p > t_n$  ( $t_n$  - суммарное время задержки переключения схемы ИЛИ 4, схемы И1 и первого разряда счетчика импульсов 2). Схема ИЛИ 4, схема И1, первая линия задержки 3 с временем задержки  $T$ , причем  $T > t_p$ , образуют временной рециркулятор, в котором за время действия инвертируемого в схеме НЕ6 преобразуемого импульса длительностью  $t_x$  вырабатывается (рис. 4, б) импульсная последовательность  $f(t) = f(t + N_{XT}T)$ ,

где  $N_{XT}$  - число импульсов в последовательности  $f(t)$ , причем область изменения  $N_{XT} \in [1; N_T]$ .

Значение длительности  $t_p$  каждого из импульсов последовательности  $f(t)$  задается второй линией задержки 5 и схемой НЕ 6.

Счетчик импульсов 2 с числом разрядов позиционного двоичного кода  $m_r = \log_2(N_T + 1)$  фиксирует число импульсов  $N_{XT}$ , которое представляет собой цифровой результат преобразования «грубо» с дискретностью

$$T = t_{x \max} / N_{XT}$$

где  $t_{x \max}$  - наибольшее значение длительности преобразуемого импульса.

Многоотводная линия задержки 10 с дискретностью задержки между п-выводами, равной  $t$  (рис. 4, в), регистр памяти 8, шифратор 9 образуют хронотрон - пре-

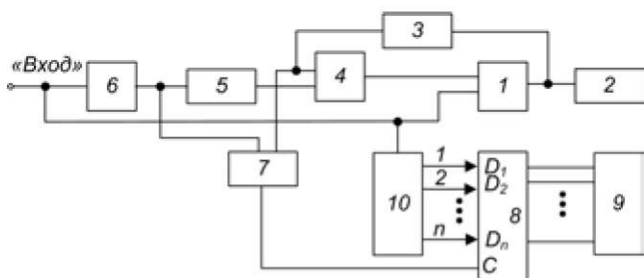


Рис. 3. Первый вариант рециркуляционного ПВК с хронотронным интерполятором

образователь время-код, в котором осуществляется преобразование «точно» с дискретностью  $\tau$  временного интервала длительностью  $At_x$ . ВИ длительностью  $At_x$  представляет собой (рис. 4, а, г) промежуток времени между задним фронтом преобразуемого импульса длительностью  $t^{\wedge}$  и передним фронтом последнего импульса импульсной последовательности  $f(t)$ , выделенным элементом И 7 (рис. 4, г). Регистр памяти 8 осуществляет фиксацию момента совпадения задержанного на выходах многоотводной линии задержки 10 на время  $t_i = i\tau$  ( $i = 1, 2, 3 \dots n$  - порядковый номер вывода) преобразуемого импульса с передним фронтом импульсного сигнала, выделенного элементом И 7. Зафиксированный в регистре памяти 8 параллельный единичный код в шифраторе 9 преобразуется в  $m_T = \log_2(n + 1)$  разрядный позиционный двоичный код, который представляет цифровой результат преобразования «точно» -  $N_{XT} = \frac{At_x}{m}$ , где область изменения  $N_{XT} \in [1; n]$ .

Функция преобразования предлагаемого преобразователя имеет вид  $t_x = N_{XT}T - N_{XT}m$ . Обеспечивая условие стыковки цифровых результатов преобразования «грубо»

и «точно»,

$$\begin{aligned} T &= (n + 1) \tau, \\ t_x &= (N_{XT} \cdot 2^{m_r} - N_{XT}) \tau, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $(N_{XT} \cdot 2^{m_r} - N_{XT})$  - общий цифровой результат преобразования первого варианта рециркуляционного ПВК с хронотронным интерполятором.

Для уменьшения дополнительных аппаратных и временных затрат при определении значения  $N_{XT} \cdot 2^{m_r} - N_{XT}$  необходимо общее число разрядов выходного кода, описывающего общий цифровой результат преобразования  $m = m_r + m_m$  ( $m = \log_2(N + 1)$ ), область изменения  $N_{XT} \in [1; t^{\wedge}_{max}/m]$ , равномерно распределять между каскадами «грубого» и «точного» преобразования, то есть  $m_r = m_T = m/2$  [8]. В этом случае значение  $N_{XT} \cdot 2^{m_r} - N_{XT}$  позиционно размещается в группе старших  $m_r$  разрядов общего числа разрядов выходного кода  $m$ , а вычисление цифрового результата преобразования  $(N_{XT} \cdot 2^{m_r} - N_{XT})$  осуществляется в арифметическо-логическом устройстве, которое на рисунке 3 условно не показано.

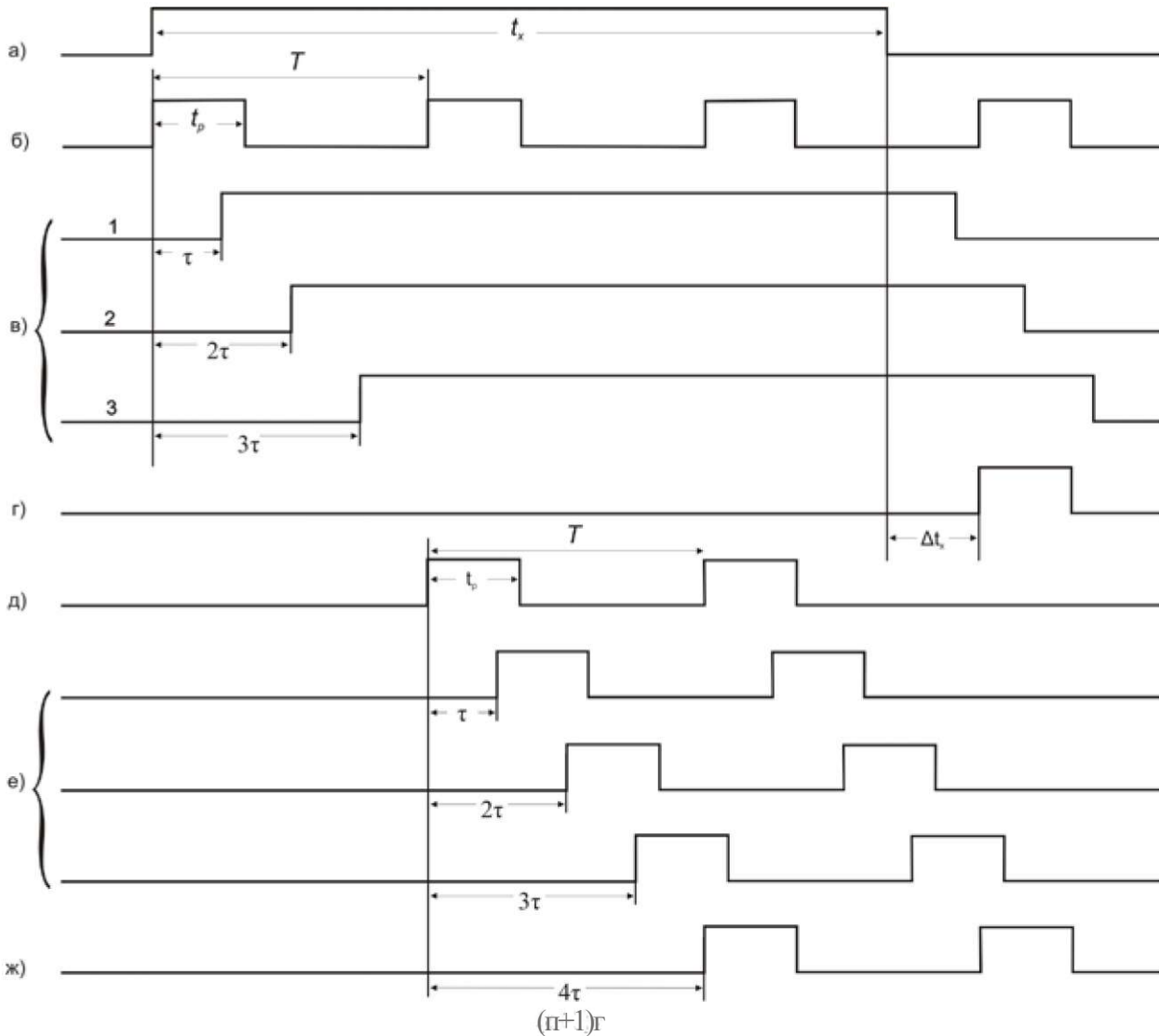


Рис. 4. Временные диаграммы работы рециркуляционных ПВК с хронотронными интерполяторами при  $n = 3$  ((а^г) - первый вариант; (а, д, е) - второй вариант)

Время преобразования предлагаемого технического решения

$$T_{ПР1} = t_{x \max} + T + T_{АЛУ}, \quad (8)$$

где  $T_{АЛУ}$  - время, необходимое на вычисление общего цифрового результата преобразования в АЛУ.

Для упрощения процесса вычисления общего цифрового результата преобразования на рисунке 5 предлагается второй вариант построения рециркуляционного ПВК с хронотронным интерполятором.

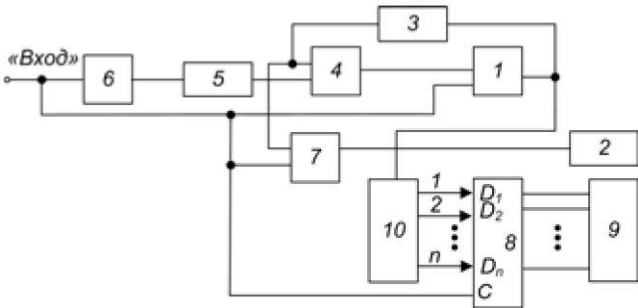


Рис. 5. Второй вариант рециркуляционного ПВК с хронотронным интерполятором

**УМЕНЬШЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ АППАРАТУРНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ЗАТРАТ (ВТОРОЙ И ТРЕТИЙ ВАРИАНТЫ)**

Во втором варианте шина «Вход» преобразователя соединена с С-входом регистра памяти 8 и со вторым входом элемента И 7, выход которого подключен к счетному входу счетчика импульсов 2, а вход многоотводной линии задержки 10 соединен с выходом схемы И1. Указанные соединения обеспечивают, во-первых, выработку на выходе элемента И 7 импульсной последовательности  $f(t) + N_{ХТ}T$ , число импульсов  $N_{ХТ}$  в которой (рис. 4, д) фиксируется счетчиком импульсов 2, во вторых, на выходах многоотводной линии задержки 10 происходит задержка импульсной последовательности  $f(t) - N_{ХТ}T$  на время  $t_i = h$  (рис. 4, е), то есть на то же время, что и в первом варианте построения преобразователя. В регистре памяти 8, в отличие от первого варианта построения преобразователя, осуществляется фиксация момента совпадения задержанной в многоотводной линии задержки 10 импульсной последовательности  $f(t + N_{ХТ}T)$  с задним фронтом преобразуемого импульса длительностью  $t_x$  (рис. 4, а, е).

В этом варианте функция преобразования имеет вид  $t_x = N_{ХТ}^*T + N_{ХТ}T + t$ , причем  $N_{ХТ}^* = N_{ХТ} - 1$ , а  $N_r = N_r - 1$ , если сравнивать с первым вариантом построения преобразователя. Принимая  $t = ЦТ$ , где  $п$  - цифровое значение длительности импульсов в последовательности  $f(t)$ , и учитывая выражение (7), длительность преобразуемого импульса

$$t_x = (N_{ХТ}^* \cdot 2^{m_T} + N_{ХТ} + \eta) \cdot T.$$

Значение суммы  $(N_{ХТ}^* \cdot 2^{m_T} + N_{ХТ} + T)$  представляет общий цифровой результат преобразования второго варианта построения рециркуляционного ПВК с хронотронным интерполятором. Арифметическо-логическое

устройство в этом варианте отсутствует, а вычисление общего цифрового результата преобразования обеспечивается позиционным размещением значений  $N_{ХТ}^* - 2^{m_T}$  и  $N_{ХТ}$  соответственно в группах старших  $m_r$  и младших  $m_T$  разрядов общего выходного кода  $m$  преобразователя, при этом значение  $п$  сигналом начальной установки преобразователя фиксируется в регистре памяти 8.

Время преобразования второго варианта построения рециркуляционного ПВК с хронотронным интерполятором:

$$T_{ПР2} = K_{max} \quad (9)$$

Из сравнения выражений (8) и (9) следует, что второй вариант по сравнению с первым имеет на  $(T + T_y)$  меньше время преобразования и не требует арифметическо-логического устройства (дополнительных аппаратных затрат).

На рисунке 6 приведен третий вариант рециркуляционного ПВК с хронотронным интерполятором, в отличие от второго варианта, отсутствуют первые линии задержки 3, а многоотводная линия задержки 10 имеет дополнительный  $(п+1)$ -вывод с временем задержки  $C_i = (п + 1)T$  (рис. 4 ж).

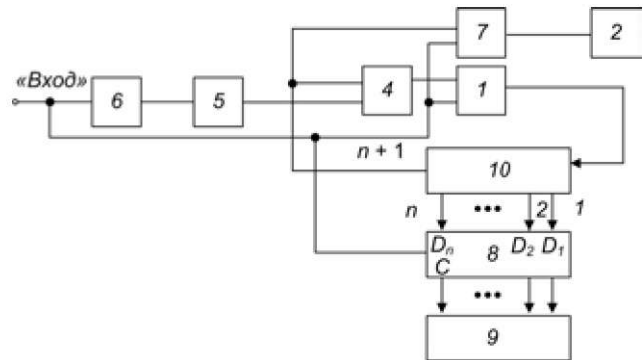


Рис. 6. Третий вариант рециркуляционного ПВК с хронотронным интерполятором

Такое построение обеспечивает уменьшение объема аппаратных затрат преобразователя и, следовательно, делает его более экономичным и надежным при сохранении всех достоинств второго варианта.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, рассмотренные выше предложения по построению рециркуляционных преобразователей времякод с интерполяторами хронотронного типа позволяют повысить точность преобразования и снизить дополнительные аппаратные и временные затраты при вычислении общего цифрового результата преобразования.

Представленные в статье преобразователи выполняются полностью на цифровых интегральных микросхемах без использования элементов аналоговой техники, что существенно уменьшает аппаратные и временные затраты на их настройку. Обеспечение дискретности преобразования менее 1 нсек не влечет за собой дополнительных аппаратных затрат, так как это достигается путем выбора геометрической длины радиочастотных кабелей (коакси-

альных или спиральных), используемых в качестве линии задержки, или применением цифровых линий задержки в интегральном исполнении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапрыкин, В.С. Измерение диагностических параметров интегральных схем [Текст] / В.С. Сапрыкин, Н.И. Кузнецов, Н.И. Докучаев, Б.В. Острецов. - М. : Сов. Радио, 1979. - 104 с.
2. Мелешко, Е.А. Интегральные схемы в наносекундной ядерной электронике [Текст] / Е.А. Мелешко. - 2-е изд., доп. - М. : Атомиздат, 1978. - 216 с.
3. Пат. 2393519 Российская Федерация, МПК G 04 F 10/4. Рециркуляционный преобразователь время-код / Абрамов Г.Н., Абрамов Ю.Г.; заявл. 08.12.2008; опубл. 27.06.2010, Бюл. № 18. - 8с.
4. Мелешко, Е.А. Измерительные генераторы в ядерной электронике [Текст] / Е.А. Мелешко, А.А. Митин. - М.: Атомиздат, 1981. - 256 с.
5. Будагов, Ю.А. Преобразователь время-код с наносекундным разрешением [Текст] / М. Семан, Б. Ситар и др. - Препринт ОИЯИ 13-84-395, Дубна, 1984.
6. Карпов, Н.Р. Рециркуляционный измерительный преобразователь коротких временных интервалов в код [Текст] / Н.Р. Карпов // Приборы и техника эксперимента.- 1980. - № 2. - С. 101-103.
7. Мерзляков, С.И. Четырехканальный субнаносекундный преобразователь время-код КА-251М [Текст] / С.И. Мерзляков, О.В. Стрекаловский, И.П. Цурин // Приборы и техника эксперимента. - 1995. - № 5. - С. 102-106.
8. Абрамов, Г.Н. Рециркуляционные преобразователи время-код и код-время [Текст] / Г.Н. Абрамов - Тольятти : Изд. дом Довгань, 1995. - 144 с.