

ELECTRONIC AND ELECTRICAL ENGINEERING

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

УДК 621.317.795.2

Г.Н. Абрамов, Ю.Г. Абрамов

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НОНИУСНО-ИМПУЛЬСНЫХ ВРЕМЯ-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Абрамов Геннадий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленная электроника» Тольяттинского государственного университета, Почетный работник высшего профессионального образования России. Имеет научные публикации и патенты в области аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразований моноимпульсных электрических сигналов (МИЭС). [e-mail: yuran_a@mail.ru].

Абрамов Юрий Геннадьевич, магистр техники и технологии по направлению «Электронные приборы и устройства», окончил Тольяттинский государственный университет, системный администратор ООО «Лабиринт Волга». Имеет научные публикации и патенты в области аналого-цифровых преобразований параметров МИЭС. [e-mail: yuran_a@mail.ru].

Аннотация

Во многих областях науки и техники для преобразования временных интервалов в код с субнаносекундным разрешением используются нониусно-импульсные время-цифровые преобразователи (ВЦП). К недостаткам данных ВЦП относятся низкое быстродействие и большое мертвое время преобразования, которые определяются как непосредственно нониусно-импульсным методом, положенным в основу их работы, так и необходимостью вычисления общего цифрового результата преобразования. Поэтому актуальной задачей является повышение быстродействия и уменьшения мертвого времени нониусно-импульсных ВЦП при сохранении их разрешающей способности, что позволяет значительно расширить возможности применения данных ВЦП в задачах преобразования временных интервалов.

В представленной статье рассматривается способ улучшения в два раза временных параметров (уменьшение времени преобразования и, соответственно, мертвого времени преобразования) нониусно-импульсных ВЦП путем увеличения периода следования стартовой счетно-импульсной последовательности на значение дискретности преобразования. А замена в них процесса вычисления общего цифрового результата преобразования в арифметико-логическом устройстве (АЛУ) на логическую операцию суммирования цифрового результата преобразования «грубо» с удвоенным значением цифрового результата «точно» обеспечивает дальнейшее уменьшение дополнительного значения мертвого времени преобразования. Вместе с тем исключение АЛУ из процесса преобразования сокращает дополнительные аппаратные затраты нониусно-импульсных ВЦП и упрощает сам процесс определения результата преобразования. Показана возможность определения общего цифрового результата преобразования аналогичным образом и в нониусно-импульсных ВЦП, выполненных без увеличения периода следования стартовой счетно-импульсной последовательности на значение дискретности преобразования. Предложенный способ рекомендуется и для уменьшения в два раза времени преобразования и более чем в два раза мертвого времени нониусно-импульсных ВЦП с двойной интерполяцией, например в универсальном счетчике временных интервалов HP5370Л, выпускаемом фирмой Hewlett Packard.

Ключевые слова: генератор ударного возбуждения, рециркуляционный генератор, дискретность преобразования, время-цифровой преобразователь, временной интервал, старт-импульс, стоп-импульс, счетно-импульсная последовательность.

IMPROVING QUALITY OF TIME PARAMETERS OF VERNIER-PULSE TIME-DIGITAL CONVERTERS

Gennadii Nikolaevich Abramov, Doctor of Engineering, Professor at the Department of Industrial Electronics at Togliatti State University; Honored Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation; an author of articles and patents in the field of analog-to-digital and digital-to-analog conversion of monopulse electrical signals (MIES). e-mail: yuran_a@mail.ru.

Iurii Gennadievich Abramov, got the Master's Degree in Engineering and Technology with specialty in Electronic Devices and Equipment; graduated from Togliatti State University; a system administrator at Labyrinth Volga, LLC; an author of scientific publications and patents in the field of analog-to-digital conversion of MIES parameters. e-mail: yuran_a@mail.ru.

Abstract

Vernier - pulse time-digital converters (TDC) are used for the conversion of time intervals into the code subnanosecond resolution in many areas of science and technology. Disadvantages include low speed and large dead time of conversion, which are defined directly by the vernier - pulse method behind the basis of their work and the need of the total digital conversion result calculation. Therefore, improving the performance and reducing the dead time of vernier - pulse TDC while maintaining their resolution that can significantly extend the possibility of using TDC data in the problems of time intervals transformation become urgent tasks. The article deals with a method for improving twice the time parameters (decrease in conversion time and, accordingly, the conversion dead time) of vernier-pulse TDC by increasing the period following the pulse-counting sequence of the discrete transformation. Replacing the process of calculating the overall digital result of the conversion in the arithmetic logic unit (ALU) to the logical operation of summation result of the digital conversion with twice the value of the digital result just provides a further reduction of the additional value of the dead time conversion. However, the exclusion of the ALU from the conversion process reduces the additional hardware expenses of vernier-pulse TDC and simplifies the process of determining the conversion result. The possibility of determining the overall digital result of the conversion in the same way and in the vernier-pulse TDC executed without increasing the period of starting pulse-counting sequence at the discrete transformation is shown. The method suggested is recommended for halving the time of transformation and reducing the dead time vernier-pulse TDC double interpolation more than twice, for example, in the universal time slot counter NR5370L manufactured by Hewlett Packard.

Key words: shock generator excitation recycle generator, transformation discretization, time-digital converter, time interval, starting pulse, stopping pulse, pulse-counting sequence.

ВВЕДЕНИЕ

В нониусно-импульсных время-цифровых преобразователях (ВЦП) временной интервал (ВИ) длительностью t_x , заданный обычно старт-импульсом $t_{ст}$ и стоп-импульсом $t_{ст}$, преобразуется в цифровой код в два этапа. Вначале счетно-импульсным способом, «грубо» определяется целое число периодов следования T образцового генератора (ОГ), заполнивших t_x , а затем нониусно-импульсным способом – «точно», соблюдая условие $T < t_x$, с дискретностью преобразования $\tau \ll T$, оцифровывается та часть преобразуемого ВИ, которая заключена между последним зафиксированным импульсом ОГ и непосредственно концом преобразуемого ВИ.

Основными достоинствами нониусно-импульсных ВЦП является малая относительная погрешность при работе в широком диапазоне преобразуемых ВИ и возможность обеспечения малого мертвого времени преобразования при работе в узком диапазоне преобразований.

К недостатку нониусно-импульсных ВЦП относятся его значительные временные затраты (времени преобразования и мертвого времени), связанные с растягиванием пре-

образуемого ВИ в процессе его цифрового кодирования приблизительно в T/τ раз, причем данные временные затраты основательно растут с уменьшением дискретности преобразования [1].

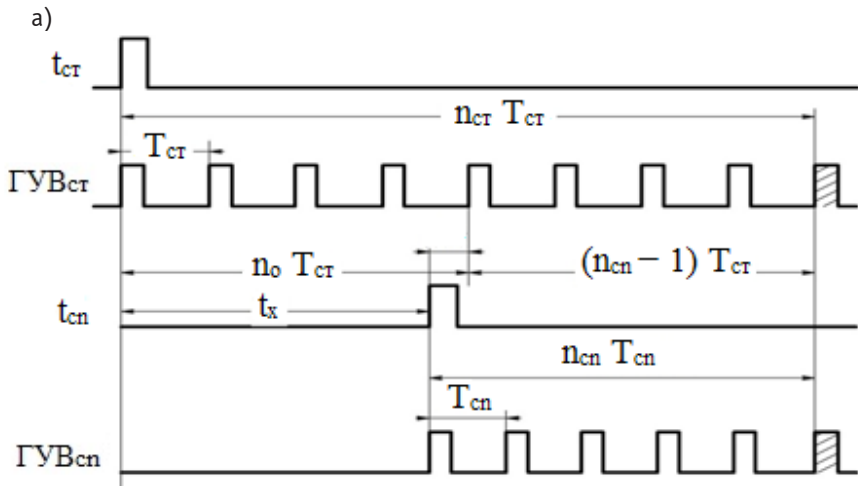
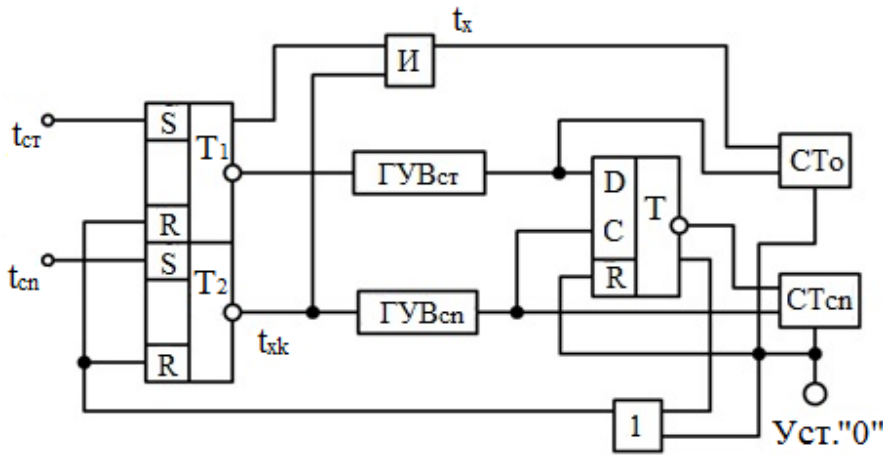
В связи с этим задача повышения быстродействия и уменьшения мертвого времени преобразования нониусно-импульсных ВЦП является актуальной.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нониусно-импульсный ВЦП, он же простой нониусный, верньерный, ВЦП с однократной нониусной интерполяцией, технически реализуется на основе двух генераторов ударного возбуждения (ГУВ) и имеет (рис. 1) две шкалы отсчета цифрового результата преобразования, образованные двумя счетно-импульсными последовательностями [1, 2]. Первая из счетно-импульсных последовательностей называется стартовой, описывается функцией

$$f_{ст}(t) = f(t + n_{ст} T_{ст}) \quad (1)$$

и формируется стартовым генератором ударного возбуждения (ГУВ_{ст}) по переднему фронту (старт-импульсу $t_{ст}$) преобразуемого ВИ длительностью t_x , а вторая – стоповой, описывается функцией



б) Рис. 1. Нониусный способ ВЦП с двумя ГУВ:
а) структурная схема; б) временные диаграммы работы

$f_{cn}(t) = f(t + n_{cn} T_{cn})$ (2)
и создается, соответственно, стоповым генератором ударного возбуждения (ГУВ_{cn}) по заднему фронту (стоп-импульсу t_{cn}) преобразуемого ВИ. Периоды следования счетно-импульсных последовательностей выбираются из условий:

$$T_{cr} = T < t_x, \text{ а } T_{cn} = T - \tau.$$

Подсчитывая счетчиками импульсов число импульсов n_{cr} и n_{cn} счетно-импульсных последовательностей соответственно $f_{cr}(t)$ и $f_{cn}(t)$, с начала колебаний и до момента совпадения их фаз, то есть до выполнения условия

$$f_{cr}(t) = f_{cn}(t), \quad (3)$$

определяют значение длительности преобразуемого ВИ как

$$t_x = n_{cr} T_{cr} - n_{cn} T_{cn} = (n_{cr} - n_{cn}) T_{cr} + n_{cn} \tau. \quad (4)$$

Как следует из рисунка 1 б, число импульсов, вырабатываемых ГУВ_{cr} за время работы ГУВ_{cn} и выполнения условия (3), равно $(n_{cn} - 1)$, то

$$n_{cr} = n_0 + (n_{cn} - 1). \quad (5)$$

Здесь первое слагаемое n_0 обладает областью изменения $n_0 \in [1; N_r]$ и представляет собой число импульсов счетно-импульсной последовательности $f_{cr}(t)$ за время

действия преобразуемого ВИ, которое описывает цифровой результат преобразования «грубо», а также определяет информационную емкость счетчика импульсов CT_0 как $m_r = \log_2(N_r + 1)$ разрядов позиционного двоичного кода (ПДК). Вместе с тем, цифровой результат преобразования «точно» n_{cr} описывает с дискретностью τ ВИ t_{xk} и имеет область изменения $n_{cn} \in [1; N_r]$.

Тогда с учетом (5) выражение (4) принимает вид:

$$t_x = (n_0 - 1) T_{cr} + n_{cn} \tau. \quad (6)$$

Выполняя условие обеспечения равномерности общей шкалы отсчета

$$T_{cr} / \tau = N_r + 1, \quad (7)$$

где $(N_r + 1)$ – целое число, кратное степени основания двоичной системы счисления, определяет информационную емкость счетчика импульсов CT_{cn} в виде $m_r = \log_2(N_r + 1)$ разрядов ПДК, выражение (6) приводится к виду $t_x = N \cdot \tau$, а общий цифровой результат преобразования

$$N = [(n_0 - 1)(N_r + 1) + n_{cn}] \quad (8)$$

вычисляется в арифметико-логическом устройстве (АЛУ) и описывается числом разрядов

ПДК, равным $m = m_r + m_r$ [3]. Время преобразования нониусно-импульсных ВЦП определяется выражением:

$$T_{пр} = t_x + T_{д.пр}, \quad (9)$$

где дополнительное значение времени преобразования $T_{д.пр} = n_{cn} T_{cn}$. В то время как мертвое время преобразования, то есть время, прошедшее с момента начала преобразования и до момента времени получения общего цифрового результата преобразования, определяется как

$$T_M = t_x + T_{д.м}. \quad (10)$$

Здесь дополнительное значение мертвого времени преобразования представляется в виде $T_{д.м} = n_{cn} T_{cn} + T_B$ и отличается от дополнительного значения времени преобразования $T_{д.пр}$ на время T_B , которое необходимо на вычисление общего цифрового результата преобразования, описываемого выражением (8). Применение ГУВ обеспечивает привязку фазы начала их колебаний к началу и концу преобразуемого ВИ, что позволяет устранить погрешность дискретизации, связанную с неопределенностью поступления преобразуемого ВИ относительно счетно-импульсных последовательностей $f_{cr}(t)$ и $f_{cn}(t)$. Запуск ГУВ осуществляют (рис. 1, а) посредством триггеров T_1 и T_2 при поступлении старт- и стоп-импульсов,

представляющих преобразуемый ВИ, а выполнение условия (3) – триггером с защелкой на основе D-триггера T_3 .

При технической реализации на современной элементной базе нониусно-импульсный способ ВЦП обеспечивает дискретность преобразования менее сотни пикосекунд. Но при этом требуется обеспечить два условия: первое – жесткую привязку фаз начала колебаний стартовой и стоповой счетно-импульсных последовательностей соответственно к началу и концу преобразуемого ВИ, а второе – стабилизацию данных колебаний. Приведенные условия в большинстве случаев обеспечиваются использованием в качестве ГУВ однофазных рециркуляционных генераторов (РГ), которые представляют собой устройства с запаздывающей отрицательной обратной связью, с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ) или с синхронизацией высокостабильным СВЧ-колебанием частотой в $2 \div 3$ ГГц. При этом следует учитывать, что относительная нестабильность стоповой счетно-импульсной последовательности $\delta_{\text{сп}} < \delta_{\text{ст}}$, где $\delta_{\text{ст}}$ – относительная нестабильность стартовой счетно-импульсной последовательности, так как временной диапазон генерирования $f_{\text{ст}}(t)$ существенно больше, чем временной диапазон генерирования $f_{\text{сп}}(t)$, а обычное значение $\delta_{\text{сп}} < 100\delta_{\text{ст}}$.

На рисунке 2 приведена функциональная схема нониусно-импульсного способа ВЦП с использованием стартового (РГ_{ст}) и стопового (РГ_{сп}) рециркуляционных генераторов, причем системы ФАПЧ или синхронизации высокостабильным СВЧ-колебанием в них условно не показаны. К недостаткам нониусно-импульсного способа преобразования следует отнести значительные временные затраты (времени преобразования и мертвого времени) на преобразования, которые описываются выражениями соответственно (9) и (10), а также тем, что общая абсолютная погрешность преобразования определяется нестабильностью ГУВ (РГ) и не превышает значения $\Delta t_x = (10^{-3} \div 10^{-4})t_x$.

Пути улучшения временных характеристик нониусно-импульсных ВЦП

Ниже рассматриваются возможности сокращения дополнительных значений мертвого времени и времени преобразования в нониусно-импульсных ВЦП.

Как следует из выражения (9), уменьшить дополнительное значение времени преобразования возможно двумя способами: первый заключается в снижении числа периодов следования стоповой счетно-импульсной последовательности при условии обеспечения требуемой точности преобразования, а второй – в снижении ее периода $T_{\text{сп}}$ следования. Второй способ не позволяет обеспечить $T_{\text{сп}} < (2 \div 4)$ нс, что объясняется конечным быстродействием современных интегральных счетчиков импульсов,

на которых возможно было бы осуществить техническую реализацию счетчика импульсов $CT_{\text{сп}}$. Поэтому ниже рассматривается возможность реализации первого способа уменьшения дополнительных значений времени преобразования, который, учитывая взаимосвязь значений $T_{\text{д.пр}}$ и $T_{\text{д.м}}$, позволяет одновременно уменьшить и мертвое время преобразования. При этом улучшение временных параметров нониусно-импульсных ВЦП обеспечивается за счет получения общего цифрового результата преобразования при двукратном уменьшении числа периодов следования стоповой счетно-импульсной последовательности.

Способ уменьшения в два раза дополнительных значений мертвого времени и времени преобразования

В [4, 5] рассмотрены возможности повышения временных параметров рециркуляционно-нониусных ВЦП, которые не требуют привлечения дополнительных объемов аппаратурных затрат. Ниже данные возможности нами адаптированы для уменьшения мертвого времени и времени преобразования нониусно-импульсных ВЦП. Заметим, что нониусно-импульсные ВЦП отличаются от рециркуляционно-нониусных наличием в последних рециркуляторов – устройств с запаздывающей положительной обратной связью.

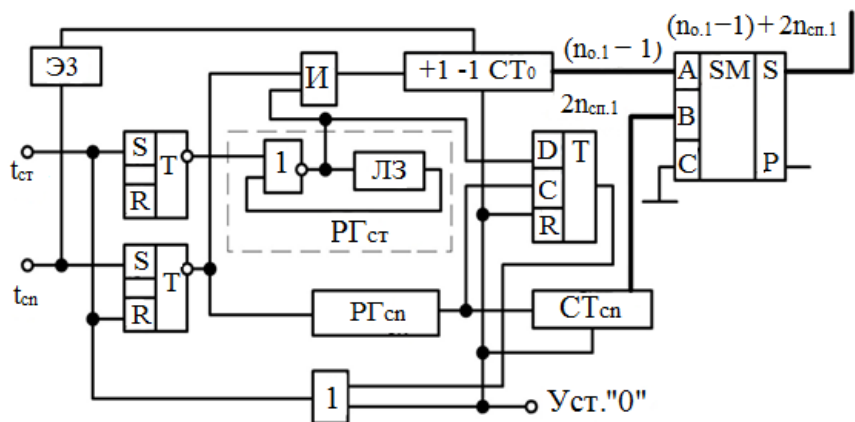


Рис. 2. Функциональная схема нониусно-импульсного ВЦП с использованием старт- и стоп-рециркуляционных генераторов

В этом случае стартовая и стоповая счетно-импульсные последовательности генерируются соответственно в виде: $f_{\text{ст.1}}(t) = f(t + n_{\text{ст.1}}(T + \tau))$ и $f_{\text{сп.1}}(t) = f(t + n_{\text{сп.1}}(T - \tau))$, где $(T + \tau) = T_{\text{ст.1}}$, $(T - \tau) = T_{\text{сп.1}}$, а $T_{\text{ст.1}} - T_{\text{сп.1}} = 2\tau$.

Выполняя условие (3), нетрудно убедиться, что значение длительности преобразуемого ВИ в данном варианте $t_x = (n_{\text{о.1}} - 1)(T + \tau) + 2n_{\text{сп.1}} \times \tau$, здесь по аналогии с процессом, представленным выражением (5) $n_{\text{ст.1}} = n_{\text{о.1}} + (n_{\text{сп.1}} - 1)$, в то время как $n_{\text{сп.1}} = n_{\text{сп}}/2$ и имеет область изменения $n_{\text{сп.1}} \in [1; N_{\text{т.1}}]$. Тогда общий цифровой результат преобразования рассматриваемого способа улучшения временных параметров нониусно-импульсных ВЦП при соблюдении условия (7), которое для данного случая принимает вид:

$$T_{\text{ст.1}}/\tau = (N_{\text{т.1}} + 1), \quad (11)$$

$$N_1 = [(n_{\text{о.1}} - 1)(N_{\text{т.1}} + 1) + (n_{\text{о.1}} - 1) + 2n_{\text{сп.1}}], \quad (12)$$

и определяется, как показано ниже, без применения АЛУ.

АППАРАТУРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СПОСОБА УМЕНЬШЕНИЯ В ДВА РАЗА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МЕРТВОГО ВРЕМЕНИ И ВРЕМЕНИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Техническое воплощение варианта на рисунке 2 обеспечивается простым увеличением значения периода следования стартовой счетно-импульсной последовательности на значение, равное дискретности преобразования τ , то есть $T_{\text{ст.1}} = (T + \tau)$, и не требует дополнительных аппаратных затрат. В то же время алгебраическая операция получения значения $2n_{\text{сп.1}}$ в выражении (12) осуществляется путем добавления младшего разряда со значением «логический ноль» к числу разрядов, равным $m_{\text{т.1}}$, то есть значение $2n_{\text{сп.1}}$ описывается $(m_{\text{т.1}} + 1)$ разрядами ПДК и также не требует дополнительных аппаратных и временных затрат.

Вместе с тем, получение значения $(n_{\text{о.1}} - 1)$ возможно за счет обеспечения в счетчике импульсов CT_0 реверсивного режима работы. Путем обеспечения его работы за время действия преобразуемого ВИ в режиме суммирования (задействован вход +1 счетчика импульсов CT_0), что осуществляет счет числа $n_{\text{о}}$. При поступлении на вход -1 счетчика импульсов CT_0 , задержанного на время $t_{\text{зз}} \leq T_{\text{ст}}$ в элементе задержки (ЭЗ) стоп-импульса $t_{\text{сп}}$, он переходит в режиме вычитания и обеспечивает получение значения, равного $(n_{\text{о.1}} - 1)$, которое описывается $m_{\text{т.1}} = m_{\text{т}}$ разрядами ПДК.

Осуществление в сумматоре SM, с временем срабатывания $t_{\text{см}}$, логической операции определения значения $[(n_{\text{о.1}} - 1) + 2n_{\text{сп.1}}]$, описываемого $m_{\text{см}}$ разрядами ПДК, а также выполнение условия (11) позволяют отказаться от применения АЛУ, а определять общий цифровой результат преобразования, описываемого выражением (12), простым позиционным расположением значений $(n_{\text{о.1}} - 1)$ и $[(n_{\text{о.1}} - 1) + 2n_{\text{сп.1}}]$ соответственно в группах старших и младших разрядов ПДК, общего числа разрядов $m = m_{\text{т.1}} + m_{\text{см}}$, описывающих общий N_1 цифровой результат преобразования.

На рисунке 3 приведена инфографика расположения $m_{\text{т}}$ и $m_{\text{см}}$ разрядов в общем m разрядном выходном ПДК. Так как цифровое значение длительности преобразуемого ВИ описывается дробным числом, общий цифровой результат преобразования представляется в формате с фиксированной запятой.

Здесь внутри прямоугольников, отображающих целую и дробную части значения общего цифрового результата преобразования, проставлены номера соответствующих разрядов, которые одновременно определяют и их весовые коэффициенты. Причем если группа старших из m разрядов имеет весовые коэффициенты, кратные положи-

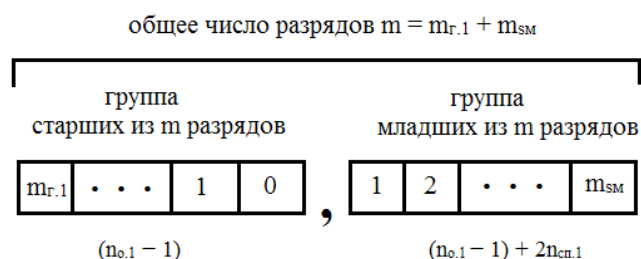


Рис. 3. Инфографика расположения $m_{\text{т}}$ и $m_{\text{см}}$ разрядов в общем m разрядном выходном коде рассмотренного способа повышения качества временных параметров нониусно-импульсных ВЦП

тельной степени основания двоичной системы счисления, то группа младших из m разрядов имеет весовые коэффициенты значений меньше единицы и кратные отрицательной степени основания этой системы счисления. В то же время под прямоугольниками указаны значения $(n_{\text{о.1}} - 1)$ и $[(n_{\text{о.1}} - 1) + 2n_{\text{сп.1}}]$, располагаемые, соответственно, в целой и дробной частях общего цифрового результата преобразования.

Заметим, что это, кроме упрощения процесса вычисления значения N_1 , обеспечивает и дальнейшее уменьшение дополнительного значения мертвого времени преобразования, так как в этом случае время $T_{\text{в}}$, необходимое на вычисление общего цифрового результата преобразования, становится равным $t_{\text{см}}$.

Также следует иметь в виду, что разрядность сумматора SM при $m_{\text{т}} = m_{\text{т.1}}$ равна $m_{\text{см}} = m_{\text{т}} + (m_{\text{т.1}} + 1)$, а при $m_{\text{т}} > m_{\text{т.1}}$ определяется как $m_{\text{см}} = m_{\text{т}} + m_{\text{т.1}}$.

В заключении остановимся на применении рассмотренного подхода и для определения общего цифрового результата преобразования, представленного выражением (8), которое описывает процесс преобразования нониусно-импульсных ВЦП, выполненных по известному (классическому) нониусному способу. Напомним, что в них отсутствует увеличение на значение дискретности преобразования периода следования стартовой счетно-импульсной последовательности.

Для этого случая на инфографике, показанной на рисунке 4, отображены расположения $m_{\text{т}}$ и $m_{\text{т}}$ разрядов

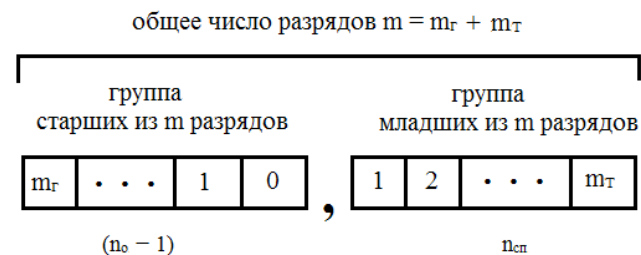


Рис. 4. Инфографика расположения $m_{\text{т}}$ и $m_{\text{т}}$ разрядов в общем m разрядном выходном коде нониусно-импульсных ВЦП, выполненных по классическому нониусному способу

в общем m разрядном выходном ПДК данных ВЦП. Здесь следует иметь в виду, что $m = m_r + m_t$, то есть логическая операция суммирования, исключается, а общий цифровой результат преобразования обеспечивается также простым позиционным расположением цифровых результатов преобразования «грубо» ($n_0 - 1$) и «точно» $n_{сп}$, соответственно, в группах старших и младших разрядов m разрядного ПДК.

Выводы

Увеличение периода следования (уменьшение скорости изменения) стартовой счетно-импульсной последовательности на значение дискретности преобразования позволяет в два раза уменьшить время преобразования и, соответственно, мертвое время преобразования нониусно-импульсных ВЦП. А замена в них процесса вычисления общего цифрового результата преобразования на логическую операцию суммирования цифрового результата преобразования «грубо» с удвоенным значением цифрового результата «точно» обеспечивает дальнейшее уменьшение дополнительного значения мертвого времени преобразования. Показана возможность определения подобным образом общего цифрового результата преобразования и в нониусно-импульсных ВЦП, выполненных без увеличения периода следования стартовой счетно-импульсной последовательности на значение дискретности преобразования, которая позволяет устранить в них аппаратные и временные затраты, ввиду исключения АЛУ из процесса вычисления общего цифрового результата преобразования. Рассмотренный способ может быть применен и для уменьшения в два раза времени преобразования и более чем в два раза мертвого времени преобразования нониусно-импульсных ВЦП с двойной интерполяцией, например в универсальном счетчике ВИ НР5370Л, выпускаемом фирмой Hewlett Packard.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелешко Е.А. Быстродействующая импульсная электроника. – М. : Физматлит, 2007. – 320 с.
2. Чулков В.А. Интерполирующие устройства синхронизации и преобразователи информации. – М. : Физматлит, 2010. – 324 с.
3. Абрамов Г.Н., Абрамов Ю.Г. Улучшение технических характеристик рециркуляционных преобразовате-

лей время-код с интерполяторами хронотронного типа // Автоматизация процессов управления. – 2012. – № 2 (28). – С. 66–73.

4. Пат. 2494430 Российская Федерация, МПК7 G 04F 10/04. Способ рециркуляционно-нониусного преобразования время-код / Абрамов Ю.Г. ; заявитель и патентообладатель Абрамов Ю.Г. – № 2012113039/28 ; заявл. 03.04.2012. ; опубл. 27.09.2013, Бюл. № 27.

5. Абрамов Г.Н., Абрамов Ю.Г. Структурные способы повышения качества рециркуляционных нониусно-импульсных время-цифровых преобразователей // Автоматизация процессов управления. – 2014. – № 1 (35) – С. 91–98.

REFERENCES

1. Meleshko E.A. *Bystrodeistvuiushchaia impulsnaia elektronika* [Fast Pulse Electronics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 320 p.
2. Chulkov V.A. *Interpoliruiushchie ustroistva sinkhronizatsii i preobrazovately informatsii* [Interpolating Device Synchronization and Data Converters]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2010. 324 p.
3. Abramov G.N., Abramov Iu.G. *Uluchshenie tekhnicheskikh kharakteristik retsirkuliatsionnykh preobrazovatelyi vremia-kod s interpoliatorami khronotronnogo tipa* [Improvement of Technical Characteristics of Time-Code Recycle Transformers with Chronotronic Interpolators]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2012, no. 2 (28), pp. 66–73.
4. Russian Federation Patent no. 2494430, Int.Cl.: G 04F 10/04. *Sposob retsirkuliatsionno-noniunogo preobrazovaniia vremia-kod* [Method for Recirculation-Nonius Time-to-Digital Conversion]. Inventor: Abramov Iu.G. Applicant and Proprietor: Abramov Iu.G. Application: 2012113039/28. Date of filing: April 03, 2012. Date of publication: September 27, 2013. Bull. No. 27.
5. Abramov G.N., Abramov Yu.G. *Strukturnye sposoby povysheniia kachestva retsirkuliatsionnykh noniunso-impulsnykh vremia-tsifrovnykh preobrazovatelyi* [Structural Ways to Improve the Quality of Recirculation Vernier-Pulsed Time-Digital Converters]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2014, no. 1 (35), pp. 91–98.