

УДК 621.374.3

© В. Г. Деменков, Б. В. Журавлев, П. В. Деменков

СНИЖЕНИЕ ВКЛАДА ПОРОГА В ДЕВИАЦИЮ МАСШТАБА ВРЕМЕНИ АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ ЛИНЕЙНОГО ЭКСПАНДИРОВАНИЯ

Обсуждается флуктуация порога и ее вклад в девиацию масштаба времени при измерении коротких интервалов времени. Предложен вариант снижения вклада в процесс аналогового расширения интервалов посредством коррекции экспандированной величины порога. Представлены: схемотехническое решение, состав и специфика работы используемых устройств, а также сфера применения этого метода.

Кл. сл.: временные АЦП, короткие интервалы времени, девиация временной шкалы, периодическая коррекция порога, повышение точности измерений

ВВЕДЕНИЕ

К регистрации распределений интервалов времени (ИВ) с предельной точностью и высоким разрешением проявляют интерес ряд направлений науки и техники. Среди них следует отметить лазерное зондирование атмосферы и космических объектов как естественного, так и искусственного происхождения [1], времяпролетную спектрометрию быстрых нейтронов [2], решение проблем физики высоких энергий [3], изучение лазерно-активных сред и спектрально-кинетические исследования физико-химических процессов [4, 5]. Основой средств измерений этого вида служат измерители ИВ на базе гетерогенных структур линейного изменения масштаба времени. Эти изменения направлены на увеличение длительности интервалов и способствуют повышению точности их измерения, а расширение реализуется аналоговыми или цифровыми методами. В основу цифровых методов положены те или иные разновидности верньерного или нониусного методов [6, 7].

Более широкую практическую реализацию изменения масштаба времени получил аналоговый метод [1, 6, 8]. Его суть состоит в запоминании исходной длительности, как правило, на конденсаторе в виде заряда с последующим его разрядом значительно меньшим током и фиксацией времени этого процесса. Полученный интервал заполняют стабильной серией импульсов, подсчитав которую получают двоичный код измеряемого интервала. Данный метод трансформации и кодирования длительностей ИВ является одним из видов косвенных методов измерения типа (t-A-T-C), т. е. время—амплитуда—время—код [6, 8]. Причины возникновения в нем девиации масштаба времени, а также способы борьбы с ней будут рассмотрены в настоящей работе.

ДЕВИАЦИЯ МАСШТАБА ВРЕМЕНИ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ ФЛУКТУАЦИЕЙ ВРЕМЕННОГО ПОРОГА ИВИ

Структура унифицированного варианта измерителя временных интервалов (ИВИ) типа (t-A-T-C) представлена на рис. 1. В его составе выделены основные узлы и схемы, которые в той или иной мере связаны с девиацией масштаба времени. Регистрируемый интервал t , заключенный между сигналами СТАРТ и СТОП, выделяется селектором измеряемого интервала времени (СИИВ). В этом устройстве воздействие дестабилизирующих факторов на схемы УВСТ и УВСП (устройства выделения соответственно сигналов СТАРТ и СТОП), а также на схему формирования измеряемого временного интервала (ФИВИ) ведет к возникновению неконтролируемых изменений задержек сигналов СТАРТ и СТОП, которые можно назвать "быстрой" составляющей девиации временного порога [9]. Появление задержек такого рода вызывает флуктуации порога ИВИ, которые влияют на точность выделения ИВ.

Характерной особенностью временного порога ИВИ можно считать гетерогенность проявления и возникновения его нестабильности. Она имеет место и нередко наблюдается в схеме аналогового трансформатора масштаба времени (АТМВ), а конкретно в устройстве формирования выходного временного интервала (ФВВИ). Схема АТМВ путем заряда и разряда накопительного конденсатора С разными токами от источника тока заряда ИТЗ и устройства разряда ИТР осуществляет экспандирование исходного интервала t . Ток заряда I_3 существенно больше тока разряда I_p , т. е. $I_3 \gg I_p$, и их отношение определяет коэффициент преобразования $K = I_3/I_p$, который показывает во сколько раз увеличивается входной интервал t . Таким образом,

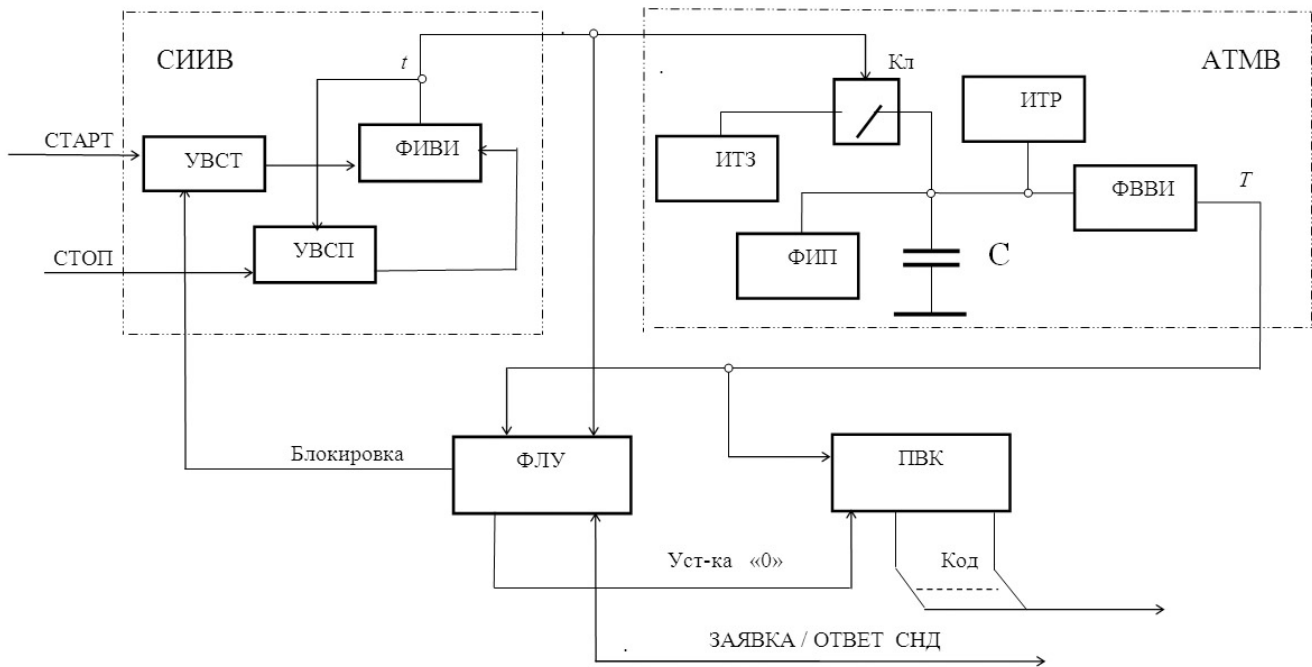


Рис. 1. Функциональная схема ИВИ.

АТМВ — аналоговый трансформатор масштаба времени; ИТЗ — источник тока заряда; ИТР — устройство тока разряда; КЛ — ключ; ПВК — преобразователь время—код; С — конденсатор; СИИВ — селектор измеряемого интервала времени; СНД — система накопления данных; УВСП — устройство выделения сигналов СТОП; УВСТ — устройство выделения сигналов СТАРТ; ФВВИ — формирователь выходного временного интервала; ФИВИ — формирователь измеряемого временного интервала; ФИП — фиксатор исходного потенциала; ФЛУ — функциональное логическое устройство

длительность сигнала на выходе схемы ФВВИ будет равна: $T = K t$. Коэффициент преобразования K определяет ширину канала ИВИ, т. е. величину шага квантования Δ . Она равна $\Delta = T_0 / K$, где T_0 — период следования хронизирующей серии импульсов в преобразователе время—код (ПВК).

Проблемы временного порога ИВИ в виде его нестабильности возникают также и в схеме ФВВИ, выделяющей экспандированную длительность T измеряемого интервала. При этом девиация масштаба времени связана с выделением начала и конца расширенного интервала T . Она зависит еще от стабильности уровня сравнения порогового устройства, его дрейфа и изменения параметров схемы ФВВИ от воздействия дестабилизирующих факторов. Такое проявление нестабильности временного порога может быть отнесено к изменениям его "медленной" составляющей. В публикации [9] рассмотрен общепринятый перечень мер, применяемый для снижения вклада нестабильности временного порога в девиацию масштаба времени, обусловленную этой разновидностью негативных факторов и сферой их воздействия.

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ ВКЛАДА ПОРОГА В ИЗМЕНЕНИЕ МАСШТАБА ВРЕМЕНИ

Предлагается идея снижения вклада нестабильности порога в девиацию масштаба времени ИВИ. Представлена ее реализация в виде методических аспектов и ряда схемотехнических решений. Преднамеренно введем в схему ИВИ дополнительный временной порог величины τ . С этой целью выделенный схемой УВСП сигнал СТОП задержим с помощью элемента задержки (ЭЗ) на данную величину. На выходе схемы ФИВИ входного селектора появится сигнал длительностью $t^* = t + \tau$, где t — измеряемый ИВ, заключенный между сигналами СТАРТ и СТОП.

Этот интервал экспандируется схемой АТМВ, которая увеличивает его в K раз. Таким образом, на выходе устройства АТМВ будет выделена длительность величиной $T^* = K t^* = K (t + \tau) = K t + K \tau = T + T_{\Pi}$. Для получения преобразованной величины измеряемого интервала T необходимо из экспандированной величины T^* вычесть расширенную величину дополнительно введенного порога, равную: $T_{\Pi} = K \tau$. После выполнения этой

операции будем иметь преобразованную длительность измеряемого интервала t , т. е. $T = T^* - T_{П}$. Далее полученный интервал трансформируется схемой устройства ПВК в цифровой код, который с помощью функционального логического устройства (ФЛУ) передается и фиксируется в системе накопления данных (СНД).

Для работы ИВИ в таком режиме необходимо иметь устройство формирования эквивалентной длительности преобразованной величины временного порога $T_{ПЭ}$, которая должна быть равна $T_{ПЭ} = K \tau$. Периодически генерируя циклы коррекции этой длительности и создавая условия по ее модификации и регулировке, можно существенно понизить вклад временного порога в девиацию масштаба времени всего измерителя интервалов. Такую коррекцию необходимо проводить по результатам сравнения эквивалентной длительности временного порога $T_{ПЭ}$ и преобразованной его величиной $T_{П}$, значение которой определяется дополнительной задержкой τ , введенной в устройство СИИВ схемы ИВИ, т. е. его стоповый канал. Ее параметры индифферентны к воздействию различных дестабилизирующих факторов.

СНИЖЕНИЕ ДЕВИАЦИИ МАСШТАБА ВРЕМЕНИ ПУТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ВРЕМЕННОГО ПОРОГА

С учетом рассмотренных аспектов разработана и реализована схема ИВИ с устройством коррекции длительности порога (УКДП), которая представлена на рис. 2. В отличие от традиционных структур такого назначения схема УКДП никак не связана с адресным счетчиком. Такая связь необходима и используется для определения знака ошибки при преобразовании эталона порога. В предложенной структуре коррекции порога его эталон, а значит, и связь такого рода не нужны. Схема УКДП, обладая достаточной степенью автономности, вводится в стандартную композицию ИВИ между ее типовыми устройствами, а именно схемами АТМВ и ПВК. Ее применение в существенной мере снижает воздействие дестабилизирующих факторов на девиацию масштаба времени за счет периодической модификации эквивалентной длительности временного порога в циклах его коррекции.

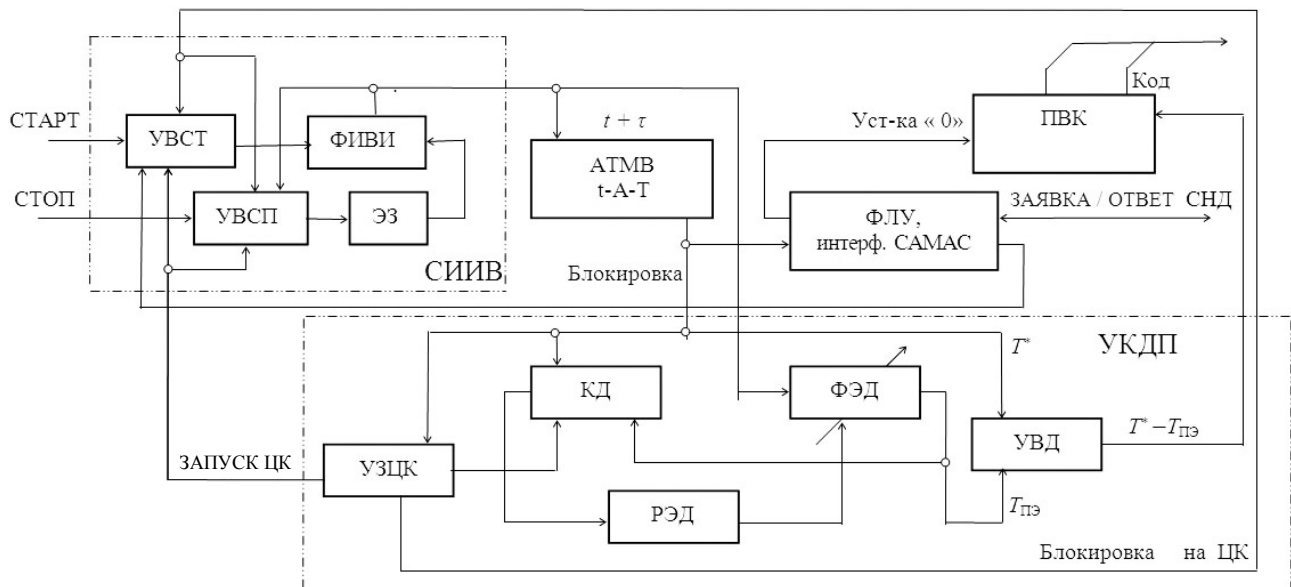


Рис. 2. Функциональная схема ИВИ с устройством коррекции длительности порога.

АТМВ — аналоговый трансформатор масштаба времени типа t-A-T; КД — компаратор длительностей; ПВК — преобразователь время—код; РЭД — регулятор эквивалентной длительности; СИИВ — селектор измеряемого интервала времени; СНД — система накопления данных; УВД — устройство вычитания длительностей; УВСП — устройство выделения сигналов СТОП; УВСТ — устройство выделения сигналов СТАРТ; УЗЦК — устройство запуска цикла коррекции; ФИВИ — формирователь измеряемого временного интервала; ФЛУ — функциональное логическое устройство, интерфейс САМАС; ФЭД — формирователь эквивалентной длительности; ЭЗ — элемент задержки

Необходимо отметить еще один положительный момент, обусловленный введением дополнительного временного порога в виде преднамеренной задержки выделенного сигнала СТОП. В этом случае решается еще одна проблема, связанная с нарушением линейности преобразования и расширения коротких интервалов времени [10]. Возможность выбора величины данной задержки позволяет полностью исключить нелинейность начальных участков регистрируемых временных спектров. Появление таких участков спектра связано главным образом с отключением схемы фиксации исходного потенциала (ФИП) током заряда конденсатора (см. рис. 1). Хотя начало процесса заряда конденсатора до запирающего ФИП при поступлении интервала на схему АТМВ будет идти нелинейно, но этот участок его расширенной длительности всегда исключается при вычитании порога.

Рассмотрим работу схемы УКДП. Периодически с частотой несколько герц (8–12 Гц) устройство запуска цикла коррекции (УЗЦК) блокирует схему СИИВ на корректировку временного порога ИВИ. Если отсутствует сигнал устройства АТМВ, то следует запуск цикла коррекции (ЦК). При наличии этого сигнала запуск ЦК следует спустя 1–2 мкс после его окончания. Это время необходимо для установления и возврата в исходное состояние параметров схемы АТМВ типа t-A-T. Затем инициируется сигнал ЗАПУСК ЦК, который одновременно поступает на стартовый и стоповый каналы ИВИ. Схема СИИВ выделяет на выходе длительность, равную дополнительно введенной задержке, и ее экспандирование происходит обычным путем.

Преобразованная длительность временного порога $T_{II} = K \tau$ поступает на компаратор длительностей (КД), деблокированный схемой УЗЦК. На другой вход схемы КД приходит сигнал со схемы формирователя эквивалентной длительности (ФЭД) временного порога $T_{I\bar{A}}$. Результат сравнения этих величин фиксируется в схеме регулятора эквивалентной длительности (РЭД) порога и используется для изменения величины сигнала ФЭД. В каждом цикле коррекции приращение эквивалентной величины порога не превышает $(1/4 - 1/3) \Delta$, т. е. ширины канала ИВИ. При измерении с помощью устройства вычитания длительностей УВД, работа которого блокируется на ЦК, из экспандированной величины измеряемого интервала вычитается эквивалентная длительность временного порога.

Реализация ЦК временного порога ИВИ практически полностью устраняет вклад этого параметра в девиацию масштаба времени, обусловленную воздействием негативных факторов. Следует заметить, что компаратор является временным, и использование в нем приоритетного принципа [11]

обеспечивает точность сравнения длительностей в пределах десятка пикосекунд. Это позволило отказаться от процесса сравнения с помощью адресного счетчика ПВК, который обычно необходим при традиционном варианте реализации циклов коррекции данного параметра [12]. Впервые нарушена и утрачена связь системы коррекции с адресным счетчиком. Это повысило степень ее автономности, а также в значительной мере упростило процесс перенастройки во всех случаях изменения диапазона измерений, ширины канала или коэффициента преобразования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод снижения девиации масштаба времени ИВИ в виде подсистемы коррекции временного порога используется в измерительных модулях временного аналого-цифрового преобразования типа ВАЦП, выполненных в стандарте САМАС. Они стали основой измерительных систем спектрометров быстрых нейтронов по времени пролета в базе ускорительного комплекса института (Государственный научный центр РФ "Физико-энергетический институт", г. Обнинск) [13, 14]. Диапазон измерений для разных вариантов модулей ВАЦП находится в пределах 100–2000 нс. Это определяется периодом следования сигналов СТОП с ускорителя, функционирующего в импульсном режиме. Необходимо отметить, что предложенный вариант коррекции порога можно использовать для решения таких же проблем амплитудного анализа в структурах аналого-цифрового преобразования вилкинсоновского типа, т. е. в форме амплитуда—время—код (А-Т-С).

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Калужского научного центра (грант 09-02-97515)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалько В.А. Прецизионное измерение времени в лазерной дальнометрии. (Обзор) // ИКА. 1991. № 2. С. 34–43.
2. Физика быстрых нейтронов / Под ред. В.И. Стрижака. М.: Атомиздат, 1977. 288 с.
3. Никитюк Н.М. Специализированные схемы в экспериментах по физике высоких энергий. (Обзор) // ПТЭ. 1993. № 6. С. 8–44.
4. Дюжнев П.П., Поletaев Е.Д. Спектрально-кинетические характеристики люминесценции смесей при возбуждении осколками деления. Обнинск: Препринт ФЭИ-2671, 1997. 24 с.
5. Воронай Е.С., Данилевич В.В., Чернявский А.Ф. Методы и аппаратура для спектрально-кине-

- тических исследований высокого временного разрешения. (Обзор) // ЖПС. 1993. Т. 58, № 1-2. С. 13–28.
6. Данилевич В.В., Чернявский А.Ф. Временные измерения в физическом эксперименте. М.: Энергоатомиздат, 1984. 104 с.
 7. Артюх Ю.Н., Беспалько В.А. Прецизионная цифровая хронография. (Обзор) // ИКА. 1987. № 3. С. 15–24.
 8. Мелешко Е.А. Наносекундная электроника в экспериментальной физике. М.: Энергоатомиздат, 1987. 216 с.
 9. Деменков В.Г., Журавлев Б.В., Деменков П.В. Девиация масштаба времени в аналоговых структурах линейного экспандирования // Научное приборостроение. 2008. Т. 18, № 3. С. 67–71.
 10. Деменков В.Г., Журавлев Б.В., Деменков П.В. Повышение линейности расширения интервалов времени в аналоговых устройствах их трансформации // Научное приборостроение. 2007. Т. 17, № 4. С. 24–28.
 11. Коростик К.Н. Метод приоритетной временной дискриминации в физическом эксперименте. (Обзор) // ПТЭ. 1995. № 3. С. 7–24.
 12. Электронные методы ядерной физики / Под ред. проф. Л.А. Маталина. М.: Атомиздат, 1973. 520 с.
 13. Журавлев Б.В., Деменков В.Г., Лычагин А.А. и др. Измерительный комплекс для времяпролетной спектрометрии быстрых нейтронов // ПТЭ. 2007. № 6. С. 16–22.
 14. Кузминов Б.Д. Роль комплекса ускорителей ГНЦ РФ ФЭИ в обеспечении ядерных технологий ядерными данными // Сб. труд. XIII Междунар. конф. по электростат. ускор. Обнинск: ГНЦ РФ ФЭИ, 2000. С. 5–12.
- Обнинский государственный технический университет атомной энергетики (Деменков В.Г.)*
- Государственный научный центр РФ "Физико-энергетический институт", г. Обнинск (Журавлев Б.В., Деменков П.В.)*
- Материал поступил в редакцию 7.04.2009.

THE REDUCTION OF THE THRESHOLD CONTRIBUTION TO THE TIME SCALE DEVIATION ON THE ANALOG DEVICES OF THE LINEAR EXPANDETION

V. G. Demenkov¹, B. V. Zhuravlev², P. V. Demenkov²

¹*State Technical University of Nuclear Power Engineering, Obninsk*

²*State Scientific Center of Russian Federation "Institute for Physics and Power Engineering named after A.I. Leypunskiy", Obninsk*

The threshold fluctuation and its contribution to the time scale deviation to the measurement of the short time intervals are discussed. The version of the reduction of this contribution to analog expansion of the time intervals by means of the periodic correction of the expansible value of the threshold is suggested. The functional block scheme, its composition and the specific work of the components, as well as, the sphere of this method usage are presented.

Keywords: ADC time, short time intervals, time scale deviation, periodic threshold correction, measurements accuracy improvement