

УДК 621.374.3

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

ДЕВИАЦИЯ МАСШТАБА ВРЕМЕНИ В АНАЛОГОВЫХ СТРУКТУРАХ ЛИНЕЙНОГО ЭКСПАНДИРОВАНИЯ

Рассмотрены особенности измерения коротких интервалов времени путем изменения их масштаба аналоговым способом. Для увеличения точности измерений необходимо учитывать девиацию масштаба времени. Этот дрейф обусловлен изменениями как коэффициента преобразования, так и временного порога измерителя интервалов времени. Обращается внимание на особенности таких флуктуаций и пути их снижения.

ВВЕДЕНИЕ

К измерениям интервалов времени (ИВ) наносекундного и субнаносекундного диапазонов с высокой точностью проявляют интерес различные направления науки и техники. В этом плане следует отметить обширную сферу фундаментальных и прикладных исследований ядерных превращений, процессов физики высоких энергий и физики быстрых нейтронов, ориентированных на многообразие времяпролетных и временных методик измерений [1, 2]. Эти измерения решают задачи поиска эффективных лазерно-активных сред, используются при изучении характеристик и параметров лазерной и электронной техники, привлекают внимание спектроскопии оптических явлений и т. п. [3, 4]. Не составляет труда понять, что это далеко не полный перечень вопросов и задач, ответы на которые получают с помощью измерений данного вида.

МЕТОДЫ ИЗМЕНЕНИЯ МАСШТАБА ВРЕМЕНИ И ВАРИАНТЫ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

Наряду с наиболее известным методом преобразования время—амплитуда (t -А) в практике измерений коротких ИВ широко применяется метод время—амплитуда—время—код (t -А-Т-С). Он, как и первый упомянутый метод (t -А), относится к категории так называемых косвенных методов измерения ИВ [5]. Его сущность состоит в расширении исходного интервала, т. е. увеличении его длительности путем изменения масштаба времени. Характерно, что модификация масштаба может быть выполнена как цифровым, так и аналоговым методами.

В основу цифрового способа вариации масштаба времени положен обычно верньерный метод, где сравниваются два периодических процесса, запускаемые началом и концом измеряемого ин-

тервала [5, 6]. Периоды следования их сигналов незначительно отличаются друг от друга. В ходе измерений фиксируется момент совпадения сигналов обеих последовательностей, чтобы прервать их генерацию. Результат измерения получают в форме зафиксированного числа импульсов, обусловленных генерацией, связанной, как правило, с началом ИВ.

Более широкое применение и практическую реализацию для изменения масштаба времени получил аналоговый способ, суть которого состоит в следующем [5, 6]. Измеряемый интервал запоминается путем заряда конденсатора током в течение его длительности. Разряжая затем емкость малым током, осуществляют экспандирование исходной длительности, т. е. изменяя ее масштаб, получают увеличенный, расширенный интервал. В этом случае для увеличения масштаба времени реализуется метод (t -А-Т). Полученный интервал времени заполняют стабильной последовательностью импульсов. Подсчитав выделенное число импульсов, определяют величину интервала времени в форме двоичного кода, который является результатом измерения.

Структура измерителя временных интервалов (ИВИ) на основе рассмотренного алгоритма изменения масштаба времени представлена на рис. 1. В его составе можно выделить ряд законченных, функционально-обособленных устройств. Исходная длительность интервала t , заключенная между сигналами Старт и Стоп, выделяется селектором измеряемого интервала времени (СИИВ). Она поступает на аналоговый трансформатор масштаба времени (АТМВ). Данное устройство, реализуя процесс экспандирования, увеличивает в K раз исходную длительность t , образуя на выходе АТМВ интервал величиной T , который равен: $T = Kt$. С помощью преобразователя время—код (ПВК), подключенного к выходу схемы АТМВ, получают информацию в цифровом виде о величине расширенного интервала. Сигналы, необходимые

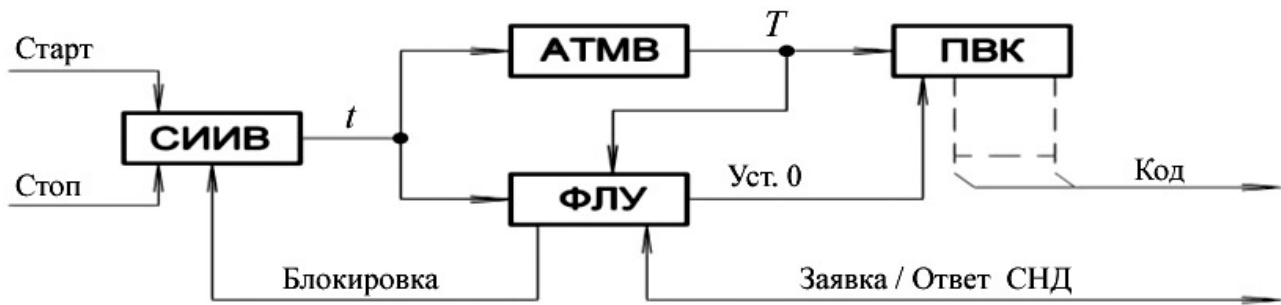


Рис. 1. Структура измерителя временных интервалов.

АТМВ — аналоговый трансформатор масштаба времени, ПВК — преобразователь время—код, СНД — система сбора данных, ФЛУ — функциональное логическое устройство

для обслуживания схем в составе ИВИ, формируются с помощью функционального логического устройства (ФЛУ), которое дает еще сигналы связи измерителя с другими устройствами и модулями в системе сбора данных.

ДЕВИАЦИЯ МАСШТАБА ВРЕМЕНИ — ОДНА ИЗ ФОРМ ДЕСТРУКТИВНОГО ФАКТОРА СНИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Ширина шага квантования Δ в регистрируемом распределении ИВ в виде спектра при прецизионных измерениях доходит до сотых долей наносекунды и менее. В таком случае отклонение величины экспандированного интервала от истинного значения его преобразованной длительности, т. е. девиации масштаба времени, должна быть сведена к минимуму. Следовательно, к стабильности K предъявляются весьма высокие и жесткие требования. Величина K , называемая коэффициентом трансформации, задается в схеме АТМВ и определяет минимальное значение ширины канала измерения или величину шага квантования Δ . Она равна $\Delta = T_0 / K$, где T_0 — период следования импульсов генератора опорной серии в схеме ПВК, входящей в состав ИВИ.

Практика применения и использования прецизионных измерений ИВ показала, что на изменение масштаба времени влияет не только коэффициент трансформации K длительности интервала. Помимо данного критерия, девиация которого обуславливает изменение масштаба времени, аналогичное влияние на эти отклонения оказывают и флуктуации временного порога. Этот параметр, весьма характерный для прецизионных временных измерений, присутствует во всех ИВИ, используемых в решении измерительных задач такого уровня.

Наличие проблем, являющихся причиной изменений масштаба времени, их рассмотрение

и обсуждение можно выполнить на основе функциональной схемы ИВИ, приведенной на рис. 2. В ее составе несколько подробнее представлены те устройства, которые связаны с данными вопросами и аспектами, характерными для прецизионных ИВИ. Девиация масштаба времени в измерителе обусловлена изменениями коэффициента трансформации и флуктуациями временного порога. Отметим некоторое своеобразие воздействия дестабилизирующих факторов на эту совокупность параметров ИВИ.

Неконтролируемые изменения коэффициента трансформации могут иметь место лишь в схеме АТМВ. Они связаны с нестабильностью токов: либо тока заряда I_z накопительного конденсатора C , либо тока его разряда I_p или обоих одновременно. Токи получают соответственно от источника тока заряда ИТЗ и источника тока разряда ИТР конденсатора. Значение коэффициента трансформации K определяется только лишь их отношением, и он равен $K = I_z / I_p$. Величина этих токов выбирается из соотношения $I_z \gg I_p$, и они отличаются друг от друга в сотни раз и более [5, 6]. Их стабильность, как и независимость отношения этих токов от изменений внешних факторов и их воздействия, служит залогом и является гарантией высокого уровня стабильности коэффициент трансформации схемы АТМВ. В этом случае можно говорить о "местном" характере проявления и влияния дестабилизирующих факторов, вызывающих изменение масштаба времени. Девиацию этого параметра, обусловленную нестабильностью коэффициента преобразования, считают и рассматривают локализованной формой ее проявления, что в значительной мере упрощает борьбу с ее негативными моментами и их последствиями.

Поступление исходного интервала t со схемы СИИВ замыкает ключ Кл, подключая источник

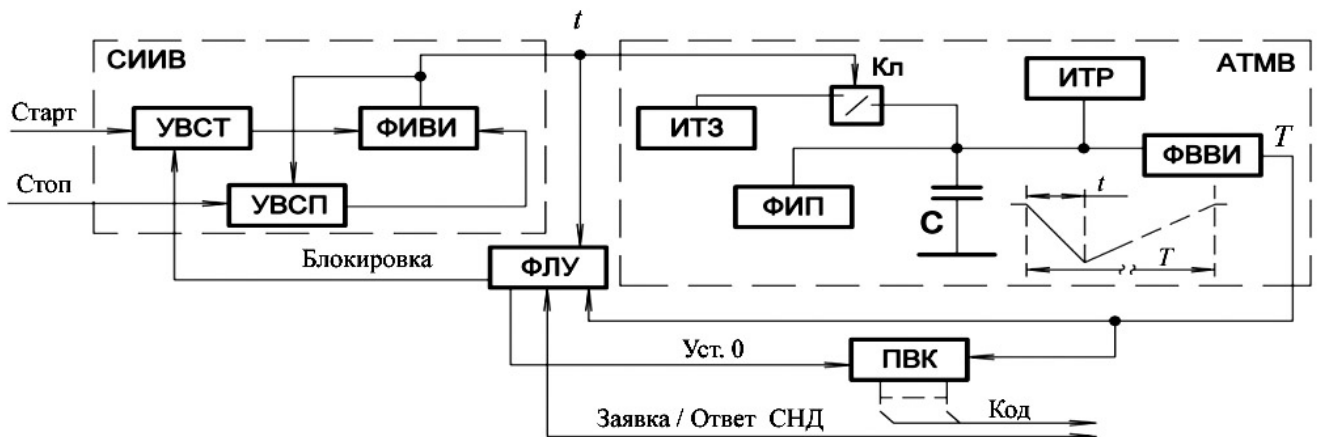


Рис. 2. Функциональная схема измерителя временных интервалов.

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

тока заряда ИТЗ. Ток заряда I_3 , отключая схему фиксации исходного потенциала ФИП на конденсаторе С, заряжает его в течение длительности входного интервала t . По окончании ее ключ КЛ размыкается, и конденсатор С разряжается током I_p источника тока разряда ИТР, осуществляя и поддерживая процесс экспандирования исходного интервала времени, т. е. расширение его в K раз. Трансформированная длительность выделяется схемой формирования выходного временного интервала ФВВИ устройства АТМВ в виде выходного интервала времени длительностью $T = Kt = tI_3/I_p$. Этот интервал времени, поступая на схему ПВК, трансформируется и представляется в цифровой форме, т. е. в виде двоичного кода.

СПЕЦИФИКА ВКЛАДА ВРЕМЕННОГО ПОРОГА В ПРОЦЕСС ЭКСПАНДИРОВАНИЯ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ

Проблемы временного порога, влияющие на девиацию масштаба времени, в отличие от затруднений, вызванных коэффициентом преобразования, носят гетерогенный характер. Прежде всего, они возникают в схеме ФВВИ устройства АТМВ на этапе выделения и формирования выходной длительности. Это связано, с одной стороны, с выделением ее начала и конца, а с другой — они зависят от стабильности уровня сравнения и его дрейфа в пороговом устройстве, а также изменения его параметров от воздействия на схему

ФВВИ дестабилизирующих факторов. Не затрагивая всех тонкостей этих процессов, отметим лишь одну их особенность, состоящую в том, что при этом возникает так называемая "медленная" неконтролируемая составляющая временного порога ИВИ.

Такие неуправляемые изменения коэффициента преобразования и временного порога вносят негативный вклад в измерительный процесс. Вызывая девиацию масштаба времени в ИВИ, они ведут к нетерпимой в ряде случаев модификации его параметров. При разработке техники измерения данного назначения широко используются различные методы и схемотехнические решения, которые снижают влияние и вклад негативных факторов. Широко применяют различные варианты отрицательной обратной связи, температурной компенсации и параметрической стабилизации, что достаточно характерно для аналоговых устройств в целом. Пользователи для достижения высоких параметров ИВИ нередко применяют достаточно радикальные меры. Известен случай [7] полной термостабилизации всего измерителя посредством помещения его в термостат, где температура поддерживалась $(36 \pm 0.1)^\circ\text{C}$.

В свою очередь, "быстрая" составляющая временного порога связана с другим устройством ИВИ и обусловлена логическим отбором сигналов в схеме СИИВ. Она вызвана появлением "дополнительной" задержки между выделенными сигналами Старт и Стоп. Данная составляющая времен-

ного порога возникает на выходе устройств выделения этих сигналов, т. е. схем УВСТ и УВСП соответственно. Временное соотношение между ними в виде длительности измеряемого интервала получают на выходе схемы формирования измеряемого временного интервала ФИВИ. Опасность возникает и таится в неконтролируемом, стихийном изменении этой задержки под воздействием различных дестабилизирующих факторов.

Основу элементной базы логических устройств ИВИ составляют быстрые цифровые интегральные схемы (ЦИС) [2, 5, 6, 8]. Это, как правило, ЦИС типа ЭСЛ (эмиттерно-связанная логика) серий 100, 137, 138, 500, 1500 и т. д. При передаче сигнала средняя задержка одного логического элемента в этих ЦИС составляет единицы наносекунд и менее. Изменение температуры в пределах одного градуса ведет к дрейфу этого параметра на единицы пикосекунд и выше. Еще более значительное отклонение параметра имеет место при неустойчивости величины порогового напряжения в этих ЦИС под воздействием дестабилизирующих факторов. Изменение напряжения порога на 1 % (в ЭСЛ — это напряжение около 1.2 В) вызывает изменение положения выходного сигнала уже на десятки пикосекунд [9].

Это указывает на необходимость принятия мер, которые могут помочь в решении проблем "быстрой" составляющей временного порога. Данный аспект чрезвычайно важен, т. к. девиация этой составляющей временного порога возрастает на конечном этапе в K раз, где K — коэффициент трансформации. Помимо традиционного подхода, который заключается в использовании схем термокомпенсации и параметрической стабилизации, используют и другие решения. Например, в устройстве СИИВ в составе схем УВСТ и УВСП применяется одинаковое число логических элементов цифровых микросхем. Таким образом, компенсируются изменения относительной задержки между выделенными сигналами Старт и Стоп на выходе схемы ФИВИ. В этом случае нередко учитывается даже направление изменения логических уровней в элементах используемых микросхем. Данное решение принято считать одним из вариантов решения вопроса изменения временного порога ИВИ, связанного с обеими его составляющими, можно считать его стабилизацию [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные аспекты и приведенные доводы лишней раз свидетельствуют о важности и необходимости учета девиации масштаба времени

в аналоговых структурах линейного экспандирования. Такие изменения, создающие проблему измерения наносекундных интервалов времени с высокой точностью и стабильностью, необходимо учитывать специалистам в разных сферах науки и техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика быстрых нейтронов / Под ред. В.И. Стрижка. М.: Атомиздат, 1977. 288 с.
2. Никитюк Н.М. Специализированные схемы в экспериментах по физике высоких энергий (обзор) // ПТЭ. 1993. № 6. С. 8–44
3. Дюжев П.П., Полетаев Е.Д. Спектрально-кинетические характеристики люминесценции Ar-N₂ и He-N₂ смесей при возбуждении осколками деления. Препринт ФЭИ-2671. Обнинск, 1997. 24 с.
4. Воронай Е.С., Данилевич В.В., Чернявский А.Ф. Методы и аппаратура для спектрально-кинетических исследований высокого временного разрешения (обзор) // ЖПС. 1993. Т. 58, № 1-2. С. 13–28.
5. Мелешко Е.А. Наносекундная электроника в экспериментальной физике. М.: Энергоатомизд, 1987. 216 с.
6. Данилевич В.В., Чернявский А.Ф. Временные измерения в физическом эксперименте. М.: Энергоатомизд, 1984. 104 с.
7. Геталов А.Л., Коптев В.П., Микиртычянц С.М. и др. Установка для измерения времени жизни π^+ -мезонов. Препринт ЛИЯФ-1405. Л., 1988. 30 с.
8. Басиладзе С.Г. Быстродействующая ядерная электроника. М.: Энергоиздат, 1982. 160 с.
9. Мелешко Е.А. Интегральные схемы в наносекундной ядерной электронике. М.: Атомиздат, 1977. 192 с.
10. Деменков В.Г., Нестеренко В.С. Преобразователь временных интервалов. А.с. 1525914. SU (Б.и. 1989. № 44. С. 260).

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 25.04.2008.

TIME SCALE DEVIATION IN THE ANALOG STRUCTURE OF 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*

Aspects important for the measurement of short time intervals by the method of analogous scaling have been considered. To improve the accuracy of measurements it is necessary to consider time scale deviation. The drift is determined by both change of transformation coefficient and change of temporal threshold of temporal measuring instrument. Attention is given to the features of such fluctuations and methods of their decrease.