

УДК 539.1.074

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

СНИЖЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ РЕГИСТРИРУЕМЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ ПУТЕМ ИНСПЕКЦИИ НАЛОЖЕНИЙ

Обсуждаются некоторые разновидности искажений, возникающие при регистрации распределений интервалов времени наносекундного диапазона. Приведены версии их снижения. Представлен вариант понижения уровня искажений при наложении импульса СТАРТ на конец сигнала БЛОКИРОВКА. Предложен алгоритм их взаимодействия, техника его реализации и приведены результаты проверки эффективности его работы.

Кл. сл.: измерение коротких интервалов времени, наложение сигналов, инспектор наложений

ВВЕДЕНИЕ

Регистрация распределений интервалов времени в нано- и субнаносекундных диапазонах с высокой точностью и стабильностью стала одним из решающих факторов во многих областях науки и техники. Более того сфера таких измерений постоянно расширяется, охватывая все новые направления и занимая в них ключевые позиции [1–3]. Реализацию прецизионных измерений стремятся осуществлять с минимальным уровнем искажений получаемой информации. Тем не менее они дают о себе знать в виде неконтролируемых дефектов в регистрируемых распределениях интервалов времени.

Регистрация такого рода обусловлена, главным образом, искажениями в форме наложений сигналов СТАРТ и СТОП, фиксирующих границы диапазона измеряемых интервалов времени. Их величина иногда доходит до 20–30 % диапазона измеряемых интервалов времени [4]. Уровень искажений можно в значительной мере снизить, используя соответствующие методы и технику отбора сигналов, фиксирующих длительность измеряемых интервалов времени [5–7].

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ ИСКАЖЕНИЙ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ

Весьма простым, но достаточно эффективным методом нейтрализации искажений данного вида служит увеличение диапазона измерений. Это позволяет вывести часть регистрируемого временного спектра, которая представляет наибольший интерес, за пределы его искаженных участков. Действительно, используя отрезки кабеля в стартовом или стоповом каналах регистрации, можно успешно решать эти задачи. С помощью таких элементов задержки становится возможным раз-

мещение измеряемого интервала в пределах диапазона, где искажения практически отсутствуют [7]. Хотя данный подход можно считать до некоторой степени тривиальным, но его достаточно часто и эффективно используют в практике измерений.

Однако при жесткой привязке диапазона измеряемых интервалов к сигналам, определяющим их величину, реализовать метод увеличения диапазона измерений не представляется возможным. Естественно, что данная ситуация будет иметь место при регулярном характере поступления стоповых сигналов, когда диапазон измеряемых интервалов времени задается величиной периода их следования. Это характерно для спектрометрии быстрых нейтронов по методу времени пролета при работе ускорителя в импульсном режиме [8]. В этом случае необходимо применение специальных схемотехнических решений, которые позволяют довольно-таки корректно выделять сигналы из периодической последовательности [6].

Если сопоставить характер проявления эффектов наложений при амплитудном и временном анализе, то следует отметить некоторые их особенности. В амплитудном анализе фактор наложения ведет к росту величины регистрируемого параметра, т. е. амплитуды сигналов. Это проявляется в виде увеличения регистрации сигналов, амплитуда которых связана с большей энергией исследуемого излучения. Их регистрация происходит, как правило, во второй половине спектра, обычно в его конце. Во временном анализе высокой точности фактор наложения дает о себе знать главным образом в виде уменьшения длительности регистрируемых интервалов времени. Однако вклад от наложений сигналов на границах диапазона можно наблюдать как в начале спектра, так и на его конце. Данный фактор не зависит от характера поступления стоповых сигналов, который,

как известно, может быть как регулярным, так и спонтанным.

ИСКАЖЕНИЯ ПРИ НАЛОЖЕНИИ НА СЛУЖЕБНЫЕ СИГНАЛЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ

Нерегулярный, случайный характер поступления сигналов на входы измерителя временных интервалов (ИВИ) вызывает их взаимодействие со служебными сигналами измерителя, создающими условия для его нормальной работы. Известно, что сигнал БЛОКИРОВКА запрещает поступление последующих сигналов СТАРТ в измерительный контур ИВИ. При наложении стартового импульса на конец сигнала БЛОКИРОВКА происходит запуск измерений частью сигнала СТАРТ. Запуск ИВИ "резаными" сигналами СТАРТ, т. е. сигналами неполной длительности, ведет к искажению регистрируемой временной информации [6, 7].

Если нагрузка или интенсивность N поступления сигналов СТАРТ мала, то вероятность $p_{\text{рн}}$ регистрации некорректной информации в таком случае будет

$$p_{\text{рн}} = 1 - \exp(-N\tau),$$

где τ — длительность сигнала СТАРТ.

При ширине канала ИВИ, сравнимой с длительностью сигнала СТАРТ, запуск измерения укороченным стартовым сигналом не будет вызывать искажений временного спектра. Такая же ситуация имеет место при ширине канала ИВИ больше длительности стартового сигнала. Однако, если длительность импульса СТАРТ соизмерима с десятком шагов квантования, т. е. ширины канала, что характерно для измерений в наносекундном диапазоне, то будут наблюдаться искажения информации в регистрируемом спектре интервалов. Они проявляются в виде снижения разрешения, асимметрии пиков и локальной деформации временных спектров. Более того, их весьма трудно идентифицировать, поскольку искажения присут-

ствуют во всем спектре, и вероятность их регистрации будет возрастать с увеличением загрузки.

Среди схемотехнических решений данных проблем можно отметить двухступенчатые устройства селекции сигналов с логикой, обеспечивающей в них работу двух схем отбора событий [5–7]. Обязательным элементом в таких устройствах селекции является линия задержки, включенная на входе второй схемы отбора событий. Она служит динамическим, сохраняющим временную информацию элементом памяти поступившего сигнала до принятия решения об его использовании в измерении. Величина задержки зависит от длительности сигнала СТАРТ. Для правильной и корректной работы устройства селекции длительность отбираемого импульса не должна превышать величину задержки. В качестве задержки обычно используют отрезки кабеля, а в работе [5] детально обсуждаются проблемы и сложности, связанные с этим.

ТЕХНИКА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ИСКАЖЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕЕ РАБОТЫ

Предлагается вариант нивелирования таких искажений путем исключения запуска измерений дефектными импульсами СТАРТ за счет присоединения к длительности служебного сигнала БЛОКИРОВКА несовпадающей с ним части стартового импульса. Это позволило устранить вышеупомянутый элемент задержки, а также снять практически все ограничения на длительность сигнала СТАРТ. Данный алгоритм взаимодействия этих сигналов заложен в каскад инспекции наложений (КИН). Он входит в состав устройства выделения сигналов СТАРТ (УВСТ) селектора измеряемого интервала времени (СИИВ) в схемах модулей ИВИ [3, 9]. Функциональная схема КИН в составе УВСТ приведена на рис. 1.

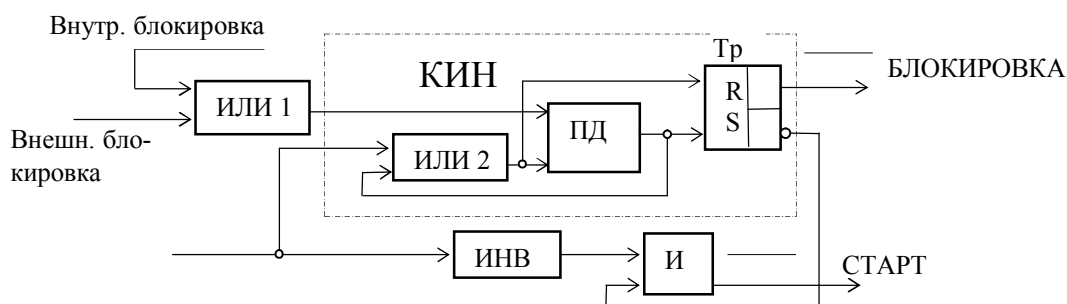


Рис. 1. Функциональная схема устройства выделения сигнала СТАРТ с каскадом инспекции наложений.

ИЛИ, И — логические элементы; ИНВ — инвертор; КИН — каскад инспекции наложений; ПД — приоритетный дискриминатор; Тр — триггер

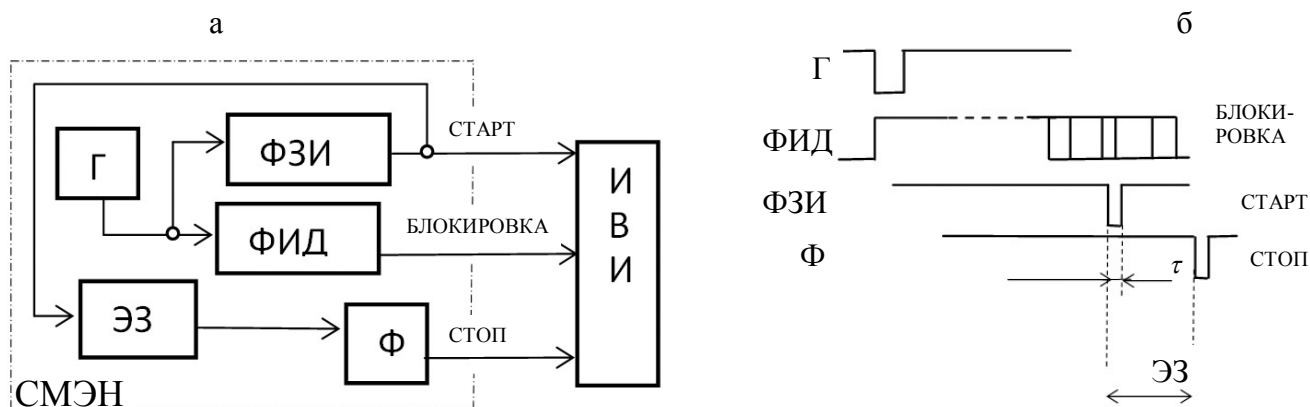


Рис. 2. Схема моделирования эффектов наложения (а) и временные диаграммы ее работы (б). Г — генератор, ИВИ — измеритель временных интервалов, Ф — формирователь, ФИД — формирователь изменяемой длительности, ФЗИ — формирователь задержанного импульса, ЭЗ — элемент задержки

В исходном состоянии уровень триггера (Тр) разрешает прохождение через логический элемент И сигнала СТАРТ, поступившего на вход ИВИ. Данный стартовый импульс через схему ИЛИ 2 воздействует на приоритетный дискриминатор (ПД) [10] и подтверждает исходное состояние триггера Тр. Схема ПД в этом случае не меняет состояния своего выходного уровня. Состояние выходного уровня ПД изменяется при поступлении сигнала БЛОКИРОВКА на схему логического элемента ИЛИ 1. При этом взводится триггер Тр, блокируя прохождение последующих сигналов СТАРТ через логический элемент И. Если поступивший стартовый импульс наложится на конец сигнала БЛОКИРОВКА, то схема ПД фиксирует этот момент, запрещая возвращение триггера Тр в исходное состояние. По окончании наложенного сигнала СТАРТ данный триггер возвращается в начальное состояние. Таким образом, на его выходе выделяется сигнал БЛОКИРОВКА, длительность которого будет увеличена на несовпавшую с ним часть стартового сигнала.

Проверка эффективности работы КИН (каскада инспекции наложений) в составе схемы УВСТ была выполнена с помощью схемы моделирования эффектов наложения (СМЭН), представленной на рис. 2, а. Данная совокупность устройств использовалась для выделения в необходимой последовательности сигналов СТАРТ, СТОП и БЛОКИРОВКА для ИВИ. Для получения сигнала СТАРТ использовался формирователь задержанных импульсов (ФЗИ), запускаемый генератором Г. Схема формирователя изменяемой длительности (ФИД) применялась для получения сигнала БЛОКИРОВКА, который перекрывался со стартовым сигналом. Это позволяло имитировать и по-

лучать ситуацию наложения сигналов СТАРТ на конец сигнала БЛОКИРОВКА в схеме УВСТ модуля ИВИ. Задержанный на элементе задержки ЭЗ (отрезок кабеля РК-50 длиной около 20 м) и сформированный формирователем Ф выходной сигнал схемы ФЗИ использовался в качестве сигнала СТОП для ИВИ. Следует заметить, что сигнал БЛОКИРОВКА со структуры СМЭН для схемы УВСТ (рис. 1) являлся внешней ее составляющей. Временные соотношения между сигналами представлены на рис. 2, б.

Результаты измерений по проверке эффективности функционирования схемы КИН в составе ИВИ представлены на рис. 3, а. В форме временного спектра зарегистрированной монолинии при включенном устройстве КИН, практически полностью, отсутствуют укороченные интервалы времени. Это указывает на высокую эффективность работы данной схемы. В другом случае сигнал БЛОКИРОВКА поступал непосредственно на схему логического элемента И, т. е. был реализован обычный вариант подачи этого сигнала. Результаты измерений представлены на рис. 3, б. При этом, как нетрудно заметить, достаточно четко проявляется эффект наложения сигнала СТАРТ на конец сигнала БЛОКИРОВКА. Нельзя не отметить, что ширина канала ИВИ составляла около 0.5 нс, а длительность сигнала СТАРТ была равна 20 нс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен и реализован нетрадиционный алгоритм взаимодействия сигналов в ИВИ, позволивший в существенной мере уменьшить уровень

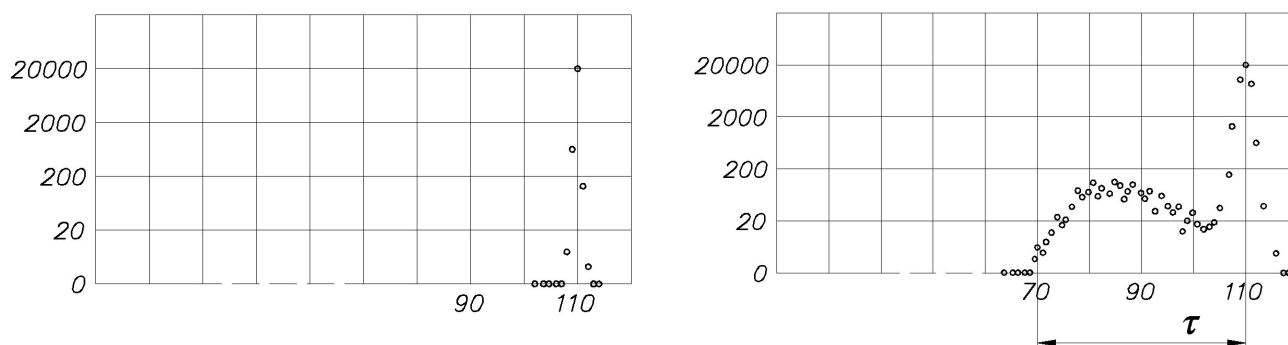


Рис. 3. Проверка эффективности функционирования схемы КИН в составе ИВИ.
а — со схемой КИН, б — без схемы КИН

искажений при регистрации распределений интервалов времени наносекундного диапазона. Практика его реализации в модулях ИВИ, применяемых в составе созданных систем обработки и сбора данных ускорительного комплекса Института (ГНЦ РФ ФЭИ), способствовала получению надежных результатов измерений.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитюк Н.М. Специализированные схемы в экспериментах по физике высоких энергий. (Обзор) // ПТЭ. 1993. № 6. С. 8–44.
2. Воронин 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.
3. Деменков В.Г., Журавлев Б.В., Деменков П.В. Снижение вклада порога в девиацию масштаба времени аналоговых устройств линейного экспандирования // Научное приборостроение. 2009. Т. 19, № 3. С. 83–87.
4. Kostamovara J., Myllyla R.A. Time-to-amplitude converter with constant fraction discriminator // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 1985. V. 239, N 3. P. 568–578.
5. Данилевич В.В., Чернявский А.Ф. Временные измерения в физическом эксперименте. М.: Энергоатомиздат, 1984. 104 с.
6. Потапов А.В., Чернявский А.Ф. Статистические методы измерений в экспериментальной ядерной фи-

зике. М.: Атомиздат, 1980. 264 с.

7. Bertolaccini M., Cova S. The logic desing of high precision time-to-pulse-height converters. Part 1. General problems and logic structure of a converter // Nucl. Instr. and Meth. 1974. V. 121. P. 547–554.
8. Физика быстрых нейтронов / Под ред. В.И. Стрижака. М.: Атомиздат, 1977. 288 с.
9. Деменков В.Г., Журавлев Б.В., Деменков П.В. Повышение точности экспандирования интервалов времени за счет компенсации длительности порога преобразования // Научное приборостроение. 2010. Т. 20, № 2. С. 52–56.
10. Коростик К.Н. Метод приоритетной временной дискриминации в физическом эксперименте. (Обзор) // ПТЭ. 1995. № 3. С. 7–24.

Обнинский институт атомной энергетики, филиал НИЯУ "МИФИ" (Деменков В.Г.)

Государственный научный центр РФ "Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского", г. Обнинск (Журавлев Б.В., Деменков П.В.)

Контакты: Деменков Василий Георгиевич, Dem1@mail.ru

Материал поступил в редакцию 25.04.2011.

DECREASE IN DISTORTIONS OF REGISTERED DISTRIBUTIONS OF TIME INTERVALS BY INSPECTION OF IMPOSINGS

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

¹*State Institute of Nuclear Power Engineering of National Nuclear Scientific University "MIFI"*

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

Some versions of distortions arising at registration of distributions of time intervals within nanosecond range are discussed. Versions of their decrease are given. The variant of level distortions decrease is presented at impulse START imposing on the end of a signal INHIBITION. The algorithm of their interaction, technique of its realization is offered and the results its efficiency work test are presented.

Keywords: measurement of the short time intervals, some variants imposing signals, inspector of imposing