

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Федерального
государственного
бюджетного учреждения науки Институт
сильноточной электроники Сибирского
отделения Российской академии наук



Н. А. Ратахин

20 мая 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Ивановой Алины Александровны "Развитие методик и аппаратных средств цифровой спектрометрии для нейтронных и гамма диагностик", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Актуальность темы диссертации.

Регистрация потоков нейтронов (n) и гамма-квантов (γ) применяется в диагностических целях на различных промышленных и исследовательских установках. Традиционно аппаратура регистрации для этого строится на базе схем аналоговой обработки сигнала и спектрометрических аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Среди недостатков такого подхода следует отметить низкую термостабильность интегратора и высокую чувствительность к внешним "наводкам". С появлением в 90-х годах прошлого столетия высокоскоростных АЦП с большим амплитудным диапазоном (~ 10 разрядов), цифровых сигнальных процессоров (DSP) и программируемых вентильных матриц (FPGA) стала возможной реализация алгоритмов цифровой обработки сигнала (ЦОС) на уровне регистрирующей аппаратуры, работающих в режиме реального времени. Существующие коммерческие цифровые системы обладают невысокой скоростью ($\leq 10^5$ событий/сек) и не могут обеспечить весь спектр задач, для решения которых

требуются специальные разработки, расширяющие возможности подобных систем регистрации. Среди таких задач – обеспечение регистрации γ -излучения со скоростью счета $\geq 10^6$ событий/сек на установке "Ускоритель-Тандем БНЗТ" (ИЯФ СО РАН), наложенных потоков нейтронов и γ -излучения со скоростью счета $\leq 10^7$ событий/сек на вертикальной нейтронной камере (ВНК) экспериментального термоядерного реактора ИТЭР (Франция), требующих решения проблемы разделения по форме импульса и т.п.

Поэтому апробация новых подходов и создание цифровых спектрометрических трактов с обработкой данных интенсивных потоков частиц $10^6 \div 10^7$ событий/сек и n - γ дискриминацией является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации Ивановой А.А., подтверждается корректным использованием экспериментальных и математических методов. Достоверность полученных результатов подтверждается также результатами расчетных компьютерных экспериментов, апробацией основных результатов на конференциях и семинарах, публикацией печатных работ в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов.

Новизна диссертационной работы Ивановой А.А. заключается в разработке, теоретическом и экспериментальном обосновании, а также создании и внедрении в практику оригинальных методов обработки и схем элементов цифровых спектрометрических трактов с высокой скоростью

счета событий, предназначенных для регистрации потоков нейтронов и γ -излучения с возможностью их идентификации.

К числу наиболее существенных результатов следует отнести:

- экспериментальную демонстрацию разделения наложенных событий в режиме реального времени с высокой скоростью счета $\sim 10^6$ событий/сек;
- оригинальную схему построения аппаратной платформы спектрометрического тракта, адаптивную к логике диагностики и типу сцинтилляционного детектора;
- предложенную и реализованную схему цифрового узла, обеспечивающую высокочастотную n - γ дискриминацию на линии CS (447.3 кэВ) при помощи сцинтилляционного детектора на основе стильбена;
- созданный оригинальный узел цифровой обработки сигналов алмазного детектора для ВНК ИТЭР на частоте 500 МГц.

Значимость диссертационных результатов для науки и практики.

Научная значимость результатов диссертации Ивановой А.А. заключается в разработке оригинальной и перспективной схемы цифрового спектрометрического тракта регистрации и параллельно-последовательной архитектуры узла ЦОС.

Практическая значимость заключается в разработке цифровых спектрометрических трактов для задач n - γ дискриминации и регистрации интенсивных потоков нейтронов и γ -квантов. Регистраторы этого типа установлены и действуют на "Ускоритель-Тандем БНЗТ", в российском отделении международной компании Шлюмберже, на инжекторе токамака TCV (Швейцария), проектом центре ИТЭР (г. Москва), и взяты за основу многоканальной версии для ВНК ИТЭР.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Результаты научных исследований и практических разработок Ивановой А.А. могут быть использованы в НИ ТПУ (г. Томск), МГУ (г. Москва), ФТИ им. А.Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург), НИЦ "Курчатовский институт" (г. Москва), ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ" (г. Саров), АО СХК (г. Северск) и других предприятиях госкорпорации "Росатом", а также фирмах, разрабатывающих и использующих оборудование с n - γ потоками.

Замечания по диссертационной работе.

1) В описании блока питания регистратора интенсивного потока γ -квантов для установки «Ускоритель-Тандем БНЗТ» указано, что "формирование напряжений питания модуля регистрации и обработки данных обеспечивают DC–DC конвертор Texas Instruments LM2672M, преобразующий +12 В в +5 В". Однако известно, что ощутимым недостатком импульсных стабилизаторов является наличие на выходе высокочастотных пульсаций, что негативно сказывается в схемах с АЦП. Второй недостаток объясняется импульсностью действия схемы. Если в результате каких-либо внешних воздействий в стабилизируемом напряжении возникает помеха (нарастающий или убывающий импульс), то схема обратной связи не может его отработать, например, на интервале закрытого состояния ключа, потому что он закрыт, т.е. неуправляем. И только спустя некоторое время, определяющееся свойством прямых цепей и цепей обратной связи, схема компенсирует помеху в выходном напряжении.

Правильнее использовать для питания прецизионных измерительных схем малошумящие линейные стабилизаторы. А чтобы уменьшить мощность, выделяемую на них, входное напряжение для этих стабилизаторов можно установить на чуть большем уровне, чем выходное, как раз применив описанные автором импульсные стабилизаторы.

Однако, может это замечание не существенно, если в схемах АЦП используются прецизионные источники опорного напряжения (внутренние или внешние). Просто в работе подробно описано создание качественных источников тактирующих сигналов для АЦП и нет упоминаний о схемах формирования опорного напряжения, от качества которого зависит точность аналого-цифрового преобразования.

2) В описании модуля питания указано, что для работы спектрометра с максимальным энергетическим разрешением стабильность напряжений питания динодов ФЭУ должна быть $\sim 0.1\%$. Спроектированный блок питания построен на базе DC–DC преобразователей TRACO Power MHV12-1,5K1300N у которых паспортное значение точности выходного напряжения $\pm 5\%$. Поэтому автору пришлось реализовывать схему активной стабилизации напряжения. Возможно, целесообразнее было бы вместо разработки собственного высоковольтного источника использовать промышленный прецизионный компактный источник питания с требуемой точностью выходного напряжения, которые есть на рынке, например компаний Applied Kilovolts или UltraVolt.

3) Описанные в работе цифровые узлы анализаторов проектировались на базе FPGA Altera Cyclone III. Хотелось бы увидеть сравнение данной ПЛИС со схемами других производителей и понять, почему и по каким критериям автором был сделан выбор в пользу данных устройств.

4) В работе не приводятся сведений о методах защиты проектируемого оборудования от воздействия ионизирующих излучений. А ведь известно, что от нейтронного воздействия зависят технологические и электрофизические параметры полупроводника. Воздействие быстрых нейтронов вызывает нарушение кристаллической решетки материала (основной эффект) и ионизацию (вторичный эффект). Вследствие этого изменяются параметры полупроводниковых материалов – время жизни основных носителей (t), удельная проводимость (r), скорость поверхностной

рекомбинации дырок с электронами. Вследствие изменения вышеуказанных параметров, нарушаются и выходные параметры полупроводниковых элементов, изменяются коэффициенты усилений и прочее.

Общая оценка диссертационной работы.

Тем не менее, данные замечания не носят принципиального характера и ни в коей мере не снижают ценности проведенной работы. При внимательном последовательном анализе результатов видна тенденция непрерывного улучшения разрабатываемых схем и алгоритмов. Автором используются современные программно-аппаратные средства, всё более совершенные с каждым поколением приборов. Это хорошо видно при прочтении последней главы, где описан разработанный цифровой анализатор, реализованный для платформы PXI Express, которая считается одной из самых передовых в области синхронной передачи данных.

Основные результаты работы достаточно полно отражены в публикациях автора, 4 из которых из перечня ВАК, и докладах на научных конференциях. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

В целом диссертация Ивановой А.А. "Развитие методик и аппаратных средств цифровой спектрометрии для нейтронных и гамма диагностик", является самостоятельным исследованием актуальной научной проблемы, отвечающим критериям, установленным "Положением о порядке присуждения ученых степеней" № 842 п.9 от 24 сентября 2013 г., а ее автор – Иванова Алина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа Ивановой А.А. и материалы по данной работе рассмотрены на расширенном научном заседании отдела высоких плотностей энергии ИСЭ СО РАН, протокол №4 от 20 мая 2016 года.

Отзыв составил:



А. В. Шишлов

кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник
отдела высоких плотностей энергии Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
Института сильноточной электроники СО РАН

634055, г. Томск, пр. Академический 2/3

e-mail: ash@ovpe2.hcei.tsc.ru

р.т. (3822) 492-133