

*Гаврилов К.С.
(НИПКИ «Искра», г.Луганск, Украина)*

УВЕЛИЧЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АНАЛОГОВОЙ ЧАСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА ГАММА-ТОМОГРАФА

Проаналізовано швидкодію вимірювального тракту гамма-томографа при перетворенні і формуванні імпульсу певної форми в аналоговому вигляді. Наведені результати перевірки рішення в експериментальній установці. Визначено входні умови для модернізації цифрової частини вимірювального тракту.

Ключові слова: *вимірювальний тракт, схема компенсації полюса нулем, швидкодію, сцинтилятор.*

Проанализировано быстродействие измерительного тракта гамма-томографа при преобразовании и формировании импульса определенной формы в аналоговом виде. Приведены результаты проверки решения в экспериментальной установке. Определены входные условия для модернизации цифровой части измерительного тракта.

Ключевые слова: *измерительный тракт, схема компенсации полюса нулем, быстродействие, сцинтиллятор.*

Быстрое развитие различных радиоизотопных отраслей в частности ядерной медицины, привело к активно уменьшающемуся дефициту технических решений с использованием новейших достижений в схемотехнике с использованием «быстрых» элементов, в связи с тем, что результат применения всех радионуклидных методик зависит от детектирующей системы, в частности ее чувствительности и разрешающей способности[1]. Это подразумевает разработку и внедрение новых аппаратных решений касательно конструкции позиционно-чувствительных детекторов (ПЧД) и электронных блоков регистрации данных — спектрометрических трактов.

Сцинтиляционные детекторы относятся к наиболее широко применяемым для регистрации рентгеновского и гамма излучения, так как они сочетают в себе хорошую чувствительность и возможность работать в широком диапазоне температур. Однако их применение для целей томографии сталкивается с проблемой нестабильности измерительного тракта, существенно искажающей результаты измерений.

Постановка задачи. В рамках разработки гамма-томографического аппарата одной из наиболее важных задач является разработка измерительно-распознавательной системы, одним из важнейших элементов которой является измерительный тракт.

Создание быстродействующих и точных измерительных трактов для сбора информации с ПЧД томографов гамма-излучения требует оценки и учета многих параметров, среди которых следует особо выделять характеристики сцинтиллятора, являющиеся точкой отсчета точности[2] и чувствительности электронной части детектора и характера последующей обработки данных.

Параметр быстродействия измерительного тракта в составе гамма-томографических аппаратов в первую очередь означает что оцифровка и обработка сигнала детектора должна обеспечивать наименьшее «мертвое время» для получения точной картины распределения радиофармпрепарата в организме. Поэтому для обеспечения наилучшего времененного разрешения спектрометрической системы следует разделять быстродействие блока аналогового преобразования сигнала, блока оцифровки и блока обработки оцифрованной информации. Соответственно первым этапом в разработке более технически совершенного измерительного тракта, является модернизация аналогового блока.

В блок аналогового преобразования сигнала в данном случае определены фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) и аналоговая часть измерительного тракта, которая служит для получения сигнала и приведения его в удобный для оцифровки вид. Скорость преобразования сигнала в аналоговом виде в необходимую форму для последующей оцифровки значительно влияет на быстродействие тракта в целом.

Техническое решение. Токовый импульс с ФЭУ обладает очень крутым фронтом и длительным спадом, что при высокой входной загрузке тракта (регистрации поступающих фотонов) приводит к многократному наложению импульсов. Для снижения времени возвращения сигнала к нулевому уровню, фильтрации собственных шумов детектора и исключения возможной нелинейности передачи сигнала от детектора к усилителю-формирователю в спектрометрических трактах применяется так называемая схема компенсации полюса нулем[3] (pole-zero cancellation circuit), выполняющую так же функцию ФВЧ-ФНЧ. Этот элемент является одним из важнейших в плане обеспечения быстродействия измерительной системы.

Схема компенсации полюса нулем, использованная в разрабатываемом спектрометрическом тракте гамма-томографа приведена на рисунке 1.

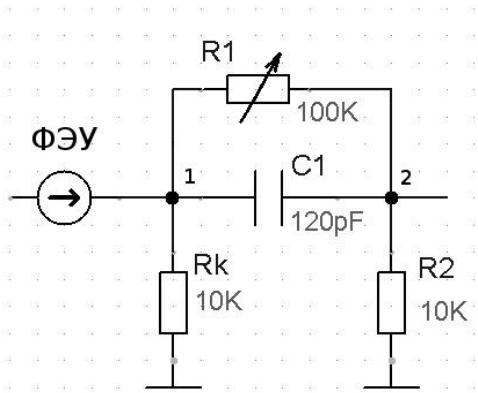


Рисунок 1 – Схема компенсации полюса нулем

Введение в схему резистора R_k обусловлено тем, что ФЭУ можно представить в качестве идеального источника тока.

Полностью аналоговую часть разрабатываемого тракта можно в совокупности описать следующим образом: схема компенсации полюса нулем, выступающая в качестве формирователя импульса квазигауссовой формы, позволяющей получить наиболее точные данные при оцифровке сигнала; линейный масштабирующий усилитель, выбираемый соответственно необходимому уровню сигнала для последующей обработки. Сборку этих двух схемных единиц обычно определяют как усилитель-формирователь сигнала (УФ).

Структурная схема аналогового блока измерительного тракта представлена на рисунке 2.

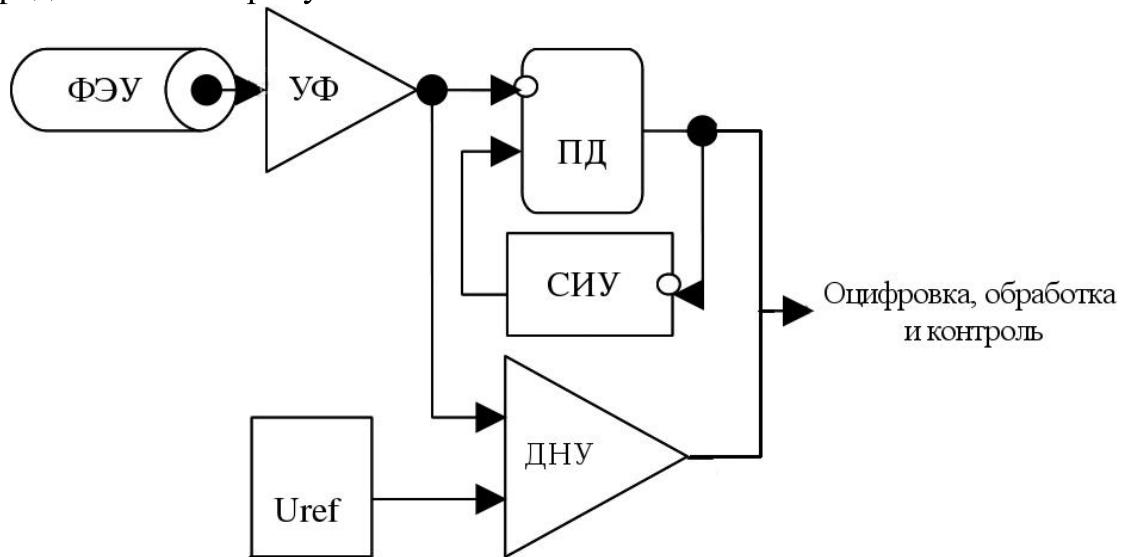


Рисунок 2 – Структурная схема аналоговой части измерительного тракта

Сигнал с УФ подается на вход дискриминатора нижнего уровня (ДНУ), определяющего превышение напряжение выходного сигнала УФ опорного напряжения, что для управляющей логики спектрометри-

ческого тракта свидетельствует о получении импульса с детектора. Сигнал с выхода ДНУ устанавливает опорное напряжение U_{ref} близкое к нулю, что не дает компаратору дискриминатора срабатывать до возвращения входного сигнала с УФ к исходному состоянию.

Для точного определения максимума амплитуды сигнала, полученного с усилителя-формирователя и сохранения этого значения для последующей оцифровки в разрабатываемом спектрометрическом тракте используется инвертирующий пиковый детектор.

Проверка на практике. В процессе разработки измерительной системы гамма-томографа было проведено практическое тестирование сборки сцинтиллятор - ФЭУ - схема компенсации полюса нулем в различных вариантах. В качестве сцинтилляторов использовались кристаллы двух типов — NaI(Tl) и CsI(Tl), поскольку эти неорганические сцинтилляторы наиболее распространены в настоящее время в различных спектрометрических системах. Оба кристалла обладают хорошей чувствительностью, однако CsI(Tl) обладает большей эффективностью регистрации, но меньшим световым выходом.

Экспериментальный стенд помещался в «черный ящик», защищенный от световых лучей и от воздействия внешнего фона. Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 3.

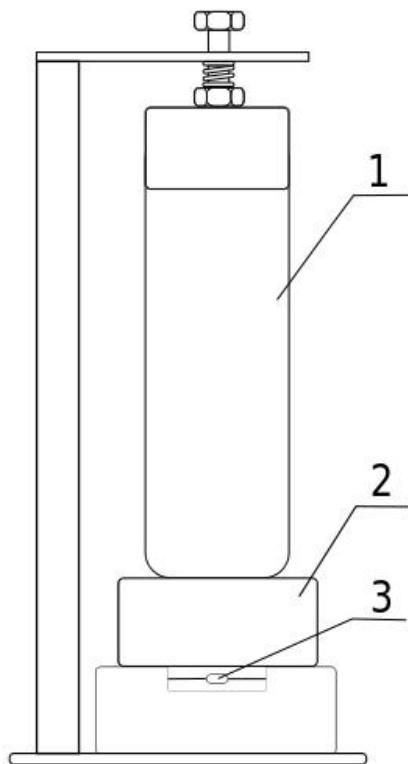


Рисунок 3 – Схема экспериментального стенда:
1 – ФЭУ, 2 – сцинтиллятор, 3 – изотоп.

Импульсы, полученные от контрольного источника, в качестве которого в экспериментальной установке использовался ^{137}Cs , с помощью ФЭУ-85 для различных сцинтилляторов представлены на рисунке 4.

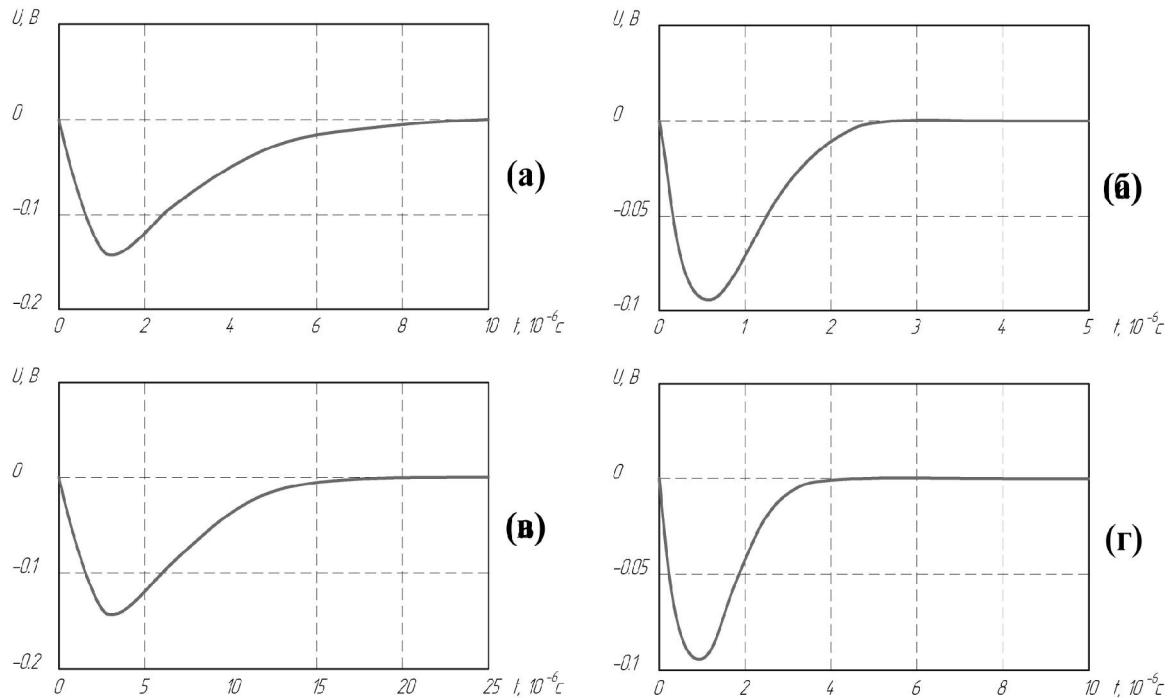


Рисунок 4 – Импульсы от контрольного источника ^{137}Cs на входе (а, в) и выходе (б, г) схемы компенсации полюса нулем с использованием сцинтилляционных кристаллов NaI(Tl) (а, б) и CsI(Tl) (в, г).

Графики показывают значительное укорочение спада импульса с небольшой потерей по амплитуде, что позволяет ускорить работу измерительного тракта, при этом избегая наложения импульсов.

Учитывая, что «мертвое время» спектрометрического тракта при формировании квазигауссовой формы импульса рассчитывается как[3]:

$$T_d = 4,1\tau,$$

а дискриминация наложенных импульсов увеличивает его в зависимости от числа наложений, общее «мертвое время» может достигать десятков микросекунд.

Практические результаты экспериментального тестирования продемонстрировали преобразование сигнала с удалением шумов и наложенных импульсов в пределах от десятков наносекунд до микросекунд. Такие большие диапазоны обоснованы различными характеристиками протестированных цифровых частей тракта, которые не рассматриваются в рамках данной статьи, конкретно — временем, затрачиваемым на оцифровку и предобработку данных.

Выводы. Практические тесты наглядно продемонстрировали применимость теоретических предположений относительно сокращения «мертвого времени» аналоговой части спектрометрической системы, что позволяет предположить перспективность применения технического решения при разработке новых радионуклидных измерительных методик и систем, а так же использовать полученные результаты для последующих усовершенствований. Полученные результаты говорят о возможности получения большего количества информации за счет сокращения хвоста импульса ФЭУ, что позволяет накопить для обработки большее количество импульсов, получив при этом намного более точную информацию о распространении радионуклидов в томографических приложениях.

Дальнейшие исследования и разработка измерительного тракта направлена в сторону уменьшения времени оцифровки и сохранения данных о промежуточных импульсах (попадающих в «мертвое время» тракта, связанное с оцифровкой и обработкой), что возможно при выборе наиболее «быстрой» электроники, и каскадной реализации нескольких пиковых детекторов с распределением импульсов по нескольким «банкам памяти» с последующей обработкой и оценкой. По предварительным теоретическим выводам это позволит значительно улучшить точность алгоритма распознавания пространственного распределения радионуклида при гамма-томографических исследованиях, за счет обработки и анализа распределения комптоновских взаимодействий а также значительно сократить «мертвое время» измерительного тракта и, соответственно, улучшить быстродействие измерительной системы в целом.

Библиографический список

1. Калантаров К.Д., Калашников С.Д., Костылев В.А., Кутузов С.Г., Марковский А.Е., Наркевич Б.Я., Пономарев В.В., Сошин Л.Д. Аппаратура и методики радионуклидной диагностики в медицине. / М.: ЗАО «ВНИИМП-ВИТА», 2002, 122 с.
2. Калашников С.Д. Физические основы проектирования сцинтиляционных гамма-камер / М.: Энергоатомиздат, 1985, 120 с.
3. Д.В. Кутний, И.М. Прохорец, А.В. Рыбка, Д.В. Наконечный, С.И. Прохорец, А.А. Захарченко, К.В. Кутний. Методика измерения электромагнитного излучения полупроводниковыми детекторами // ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ, 2006, № 1, Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники (15), с.163 -169.

Рекомендовано к печати проф. Паэрандом Ю.Э.