

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

Навумчик П.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Собчук Н.С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Поскольку сцинтилляционные кристаллы в средствах радиометрии и дозиметрии являются как никогда актуальными, предлагается вариант стенда для исследования сцинтилляционных кристаллов, с подключением к персональному компьютеру по USB-C, регулировкой параметров стенда и снятия сигнала внешним аналого-цифровым преобразователем.

Ключевые слова: сцинтиллятор, SiPM, фотоумножитель, микроконтроллер, ионизирующие излучение

Введение. Для обеспечения радиационной безопасности населения и различных исследований необходимы сцинтилляционные кристаллы, что вызывает потребность к созданию вариантов исследовательских установок и стендов для исследования свойств сцинтилляционных кристаллов. Большинство существующих промышленных измерительных комплексов обладают высокой стоимостью и избыточной функциональностью, что ограничивает их применение в учебных и научно-исследовательских лабораториях

В данной статье автором предложен вариант стенда, в основе которого лежит работа с кремниевым фотоумножителем и сцинтилляционными кристаллами.

Основная часть. Формирование и обработка аналогового сигнала требуют точного согласования усилителя с входной ёмкостью фотодетектора и минимизации паразитных связей, что критично для сохранения формы импульса и отношения сигнал/шум.

Устройство для исследования характеристик сцинтилляционных кристаллов. Данное устройство используется для получения спектральных данных с исследуемого образца кристалла, для измерения параметров импульсов, полученных в результате воздействия ионизирующего излучения на сцинтилляционный кристалл. Напряжение питания ФЭУ составляет от -26 до -33 В, время измеряемого импульса должно находиться в рамках от 1 до 100 мкс., измеряемая амплитуда – от 0,1 до 1,1 В.

Снятие энергетического спектра и временной формы импульсов осуществляется с применением внешнего высокоскоростного АЦП, поскольку встроенные преобразователи микроконтроллеров не обеспечивают требуемого соотношения частоты дискретизации и разрядности. Подобные АЦП позволяют регистрировать сигналы длительностью единицы-десятки наносекунд и проводить их последующую цифровую обработку на персональном компьютере [1], [2].

Функциональное управление стендом, включающее установку и стабилизацию напряжения смещения, измерение температуры и обмен данными с ПК, реализуется на базе микроконтроллера STM32L452RET6. Данный контроллер характеризуется низким энергопотреблением и достаточной производительностью для задач управления и интерфейсного обмена. Связь с компьютером может осуществляться через интерфейсы UART или USB, что обеспечивает возможность удалённого контроля и автоматизации экспериментов.

Прототипом целесообразно считать патент CN 106597569 A (Multifunctional scintillation crystal testing platform), описывающий многофункциональный стенд для исследования сцинтилляционных кристаллов. Данное решение включает регулируемое питание, модульную структуру измерительных каналов, возможность контроля температуры и интерфейс связи с персональным компьютером [3]. По функциональному назначению и принципам организации

система наиболее близка к разрабатываемому стенду, рисунок 1.1. Патент US 10,564,299 B2 (Temperature compensation and bias stabilization for SiPM modules) можно считать вспомогательным аналогом – он отражает отдельный узел проектируемого стенда (систему температурной стабилизации и управления смещением SiPM), рисунок 1.

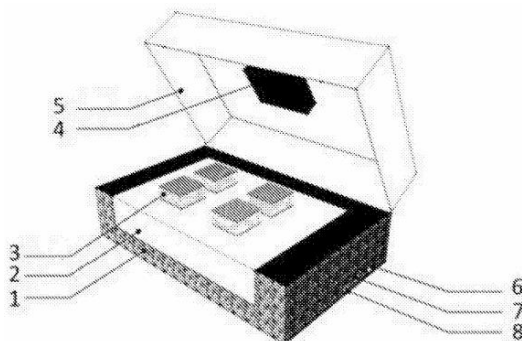


Рисунок 1 – Макет устройства исследовательской установки CN 106597569 A

Сравнение существующих лабораторных решений показывает, что большинство стендов ориентировано на измерение интегральных характеристик (световыход, энергоразрешение), тогда как универсальные системы, позволяющие исследовать форму сцинтилляционного импульса и управлять параметрами SiPM в автоматическом режиме, встречаются ограниченно и часто реализуются в виде исследовательских установок.

Предложенный стенд отличается использованием малошумящего усилителя ОРА656, управлением рабочими параметрами через STM32L452RET6 и применением внешнего АЦП для точного снятия формы сигнала. Такое сочетание компонентов обеспечивает высокую воспроизводимость измерений, возможность дистанционного управления и адаптацию к различным типам сцинтилляционных кристаллов.

Кроме того, стенд предусматривает внешнюю оцифровку сигнала с помощью высокоскоростного АЦП и модульную архитектуру с возможностью подключения к ПК, что обеспечивает гибкость экспериментов и удобство сбора данных. Среди аналогов лишь частично реализованы отдельные функции, такие как управление питанием, температурная компенсация или модульность, однако ни одно решение не объединяет их все в единой системе.

Для большего понимания рассмотрим структурную схему устройства, рисунок 2.

В состав устройства входят следующие функциональные блоки: блок связи с ПК и питания, блок стабилизации напряжения, блок фильтра опорного напряжения, блок управления, блок накачки напряжения смещения, блок регулировки, блок усиления сигнала и блок внешнего двухполярного питания.

Блок связи с ПК и питания обеспечивает обмен данными между устройством и компьютером, а также питание устройства через порт USB. По линии USB подаётся напряжение +5 В, используемое для питания цифровых цепей и формирования опорных напряжений.

Блок стабилизации напряжения 3,3 В служит для формирования стабильного питающего напряжения микроконтроллера и других цифровых узлов. Наличие стабилизатора необходимо для обеспечения надёжной работы логических цепей при возможных колебаниях напряжения на шине USB.

Блок фильтра опорного напряжения отделяет аналоговую часть устройства от цифровой, снижая уровень пульсаций и помех. Фильтр обеспечивает чистое и стабильное опорное напряжение для АЦП микроконтроллера, а также для блока регулировки и накачки напряжения смещения, что особенно важно при работе с малыми аналоговыми сигналами.

Блок управления, построенный на микроконтроллере STM32L452RET6, выполняет функции централизованного контроля и управления всеми процессами. Он задаёт параметры

Блок внешнего двухполярного питания обеспечивает операционный усилитель напряжением ± 6 В. Данное питание должно обладать минимальным уровнем шумов и пульсаций, поскольку качество усиленного сигнала напрямую влияет на точность регистрации событий в детекторе.

Таким образом, структурная схема устройства отражает модульный принцип построения системы, где каждый блок выполняет строго определённую функцию, а взаимодействие между ними обеспечивает стабильную работу стенда, точное управление напряжением смещения SiPM и качественное усиление сигнала с минимальными искажениями.

Заключение. Предложен вариант стенда для исследования сцинтилляционных кристаллов при взаимодействии с кремниевым фотоумножителем, классическим вакуумным ФЭУ. Выполнен анализ схемы электрической структурной.

Список литературы

1. Growth and Evaluation of Improved CsI:Tl and NaI:Tl Scintillators. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2073-4352/12/11/1517>.
2. Study of scintillation properties and performance of CsI(Tl) detectors over time – [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://tinyurl.com/2xxbpb4>.
3. CN 106597569 A – Multifunctional scintillation crystal testing platform. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/CN106597569A/en>.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

SCINTILLATION CRYSTALS RESEARCH STAND

Navumchyk P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Sobchuk N.S. – Senior Lecturer of the Department of Electronic Engineering and Technology

Annotation. Since scintillation crystals are more relevant than ever in radiometry and dosimetry, we offer a scintillation crystal research setup with USB-C connectivity to a personal computer, adjustable setup parameters, and signal acquisition via an external analog-to-digital converter.

Keywords: scintillator, SiPM, photomultiplier, microcontroller, ionizing radiation