

5. Карасев Н.Н., Мельник П.Г., Рябцев О.В. Состояние культур лиственниц Сукачёва и европейской на территории Измайловского лесопарка г. Москвы // Материалы III Пущинской международной школы-семинара по экологии «Экология 2004: эстафета поколений». – М.: МГУЛ, 2004. – С. 40-42.

УДК 681.2.084

С.С. Ветохин, Аунг Кхант Вин

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛОВ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Аннотация. Показаны преимущества метода измерения сигналов детектора ионизирующего излучения с применением активного интегрирования. Наибольшее преимущество метод демонстрирует в области малых энергий регистрируемого излучения. Описаны возможности реализации метода с использованием операционных усилителей.

S.S. Vetokhin, Aung Khant Win

Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

THE METHOD OF RADIATION DETECTORS' SIGNALS TREATMENT

Abstract. Some advantages of the technique for radiation detectors' signal processing, which involves the active integration of pulse charges, are shown. The most promising the method is for low energy radiation. The abilities of the practical implementation of the method with operational amplifiers microchips are described.

Радиационный контроль на объектах атомной энергетики производится с использованием разнообразных детекторов ионизирующего излучения. Техника регистрации и обработки их сигналов хорошо отработана, однако в области малых энергий и, соответственно, малых сигналов проблема обеспечения точности измерений остается. Решение проблемы часто связывают только с прогрессом в самих детекторах, в том числе с применением в качестве чувствительных элементов новых материалов. Однако, по нашему

мнению, улучшение характеристик измерительной аппаратуры за счет схемотехнических решений в трактах аналоговой обработки сигналов еще не исчерпаны.

В этой связи нами была поставлена цель выполнить анализ физических особенностей формирования сигналов в детекторах ионизирующего излучения и на основе результатов этого анализа предложить физически адекватные методы обработки этих сигналов. При этом мы ограничились кристаллическими сцинтилляционными детекторами, использующими в качестве преобразователя фотоэлектронные умножители (ФЭУ).

Кристаллические сцинтилляторы представляют собой традиционные детекторы ионизирующего излучения различных видов. Конверсионная эффективность – доля энергии частицы или кванта, преобразуемая в свет в результате радиолюминесценции – составляет для них от 1 до 30% [1]. Это соответствует 10^4 - 10^5 фотонов на 1 МэВ поглощенной энергии. С учетом неполного сбора фотонов на фотокатод ФЭУ (на уровне 70%) и эффективности фотообразования (в лучшем случае 10%) для получения одного зарегистрированного фотона необходима энергия не менее 0,5 кэВ. Соответственно, число зарегистрированных фотонов от сцинтилляционной вспышки, вызванной поглощением, например γ -кванта, возникающего при распаде изотопа Cs^{137} , составит примерно 1300, а рентгеновского кванта с энергией 10 кэВ – всего 20. Сопровождающие преобразование флуктуации числа событий и коэффициента усиления ФЭУ дадут погрешность определения энергии на уровне 10% в первом случае и до 90% во втором, что фактически исключает достижение сколько-нибудь достоверного результата.

Одним из направлений повышения точности преобразования является применение зарядочувствительных усилителей или предусилителей, на входной емкости которых происходит интегрирование выходного сигнала ФЭУ. Их преимущество обусловлено физической природой ФЭУ как генератора тока с практически бесконечным выходным сопротивлением. Однако в действительности такие усилители представляют собой лишь фильтры низких частот, для которых амплитуда напряжения на емкости пропорциональна амплитуде тока выходного импульса ФЭУ. Более того, постоянная времени интегрирования в таких усилителях не может быть больше нескольких микросекунд из-за увеличения мертвого времени регистратора. Тем не менее, такие усилители находят самое широкое применение в современной радиометрической, дозиметрической и спектрометрической аппаратуре, например линейка

усилителей российской компании ООО «Сниип-Плюс» <https://sniipplus.ru/products/> или спектрометры минского НПУП «Атомтех» <https://atomtex.com/ru/products/>.

Дальнейшая возможность повышения качества детектирования связана с использованием того, что информация об энергии регистрируемой частицы или кванта содержится в действительности не в амплитуде, а в площади сцинтилляционного импульса, которая соответствует числу фотонов во вспышке. В этой связи представляется целесообразным применить активное интегрирование заряда выходного импульса ФЭУ.

Такой подход был, по-видимому, впервые реализован для измерения сцинтилляций в электронно-оптическом преобразователе [2]. Реализующий идею тракт регистрации состоит (рис. 1) из ФЭУ 1, к аноду которого

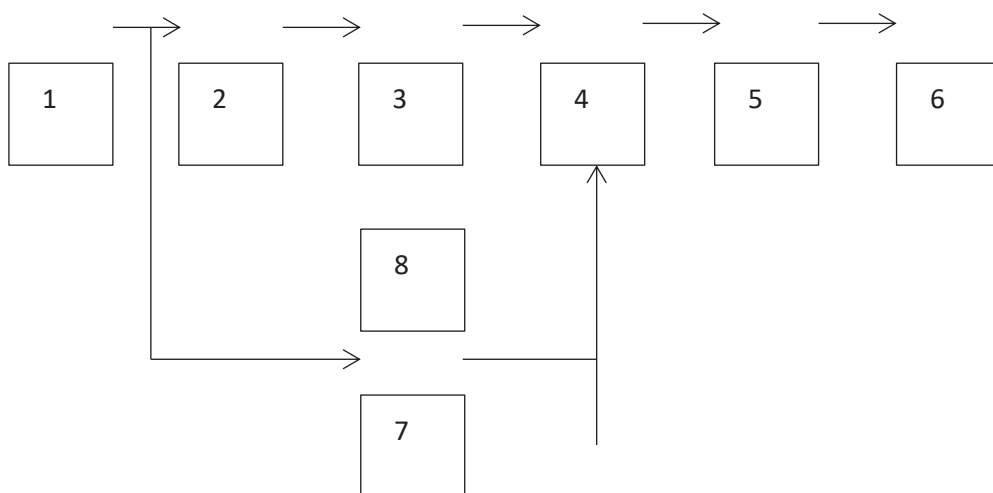


Рис. 1- Тракт регистрации сцинтилляционных импульсов

последовательно включены широкополосный усилитель тока 2, интегратор 3, схема линейного пропускания 4, аналого-цифровой преобразователь 5 и устройство отображения информации 6. Выходной сигнал ФЭУ подается также на пороговое устройство 7, управляющее схемой сброса 8 интегратора 3 и схемой линейного пропускания 4.

Импульсный маломощный усилитель 2 является усилителем тока, построенным на базе входного каскада с общей базой. Его полоса пропускания для быстрых сцинтилляторов должна быть не менее 100 МГц, а коэффициент передачи – до 10^4 , чтобы обеспечить соответствие динамических диапазонов сигналов ФЭУ и интегратора. Аналогичный усилитель, построенный по каскадной схеме на современных электронных элементах, в том числе маломощного с.в.ч.-транзистора ВUF740 с током покоя 25 мкА, применялся [3] для обработки сигналов

датчиков с большой емкостью в установке для измерения потока нейтронов. По мнению авторов [3] такая схема позволяет существенно снизить шумы усилителя по сравнению с усилителями напряжения, работающими с согласованной нагрузкой.

Центральным элементом рекомендуемой схемы является интегратор (рис. 2), построенный на операционном усилителе. В качестве последнего может быть рекомендовано [4] изделие 554УД1 с очень низким входным шумовым током $0,003 \text{ пА/Гц}^{1/2}$ и входным током менее 40 пА . Однако его полоса единичного усиления составляет только 2 МГц , что может быть недостаточно для детекторов с быстрыми сцинтилляторами. В этом случае возможно применение операционного усилителя 554УД2 с полосой единичного усиления 15 МГц .

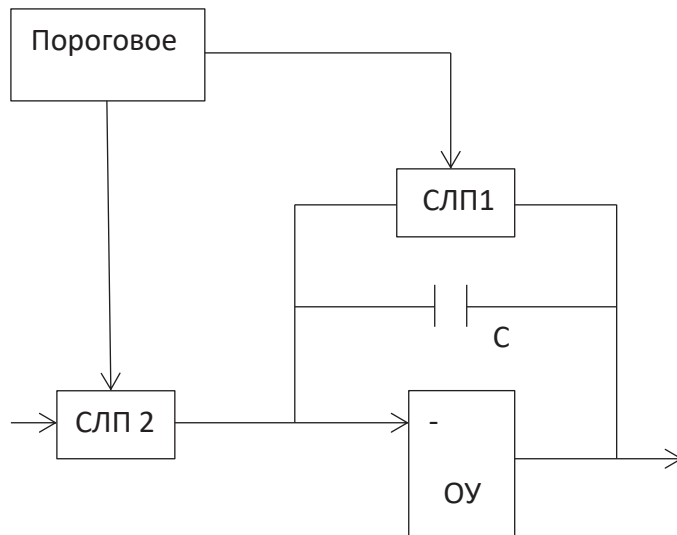


Рис. 2- Общая схема интегратора: СЛП – схема линейного пропускания, ОУ – операционный усилитель, С – емкость

По приходу сигнала от детектора (1 на рис. 1) пороговое устройство выключает схему линейного пропускания СЛП 1, что приводит к накоплению заряда на емкости С, находящейся в цепи отрицательной обратной связи операционного усилителя ОУ. Заряд продолжается до тех пор, пока уровень регистрируемого сигнала не опустится ниже порога срабатывания порогового устройства. После этого происходит преобразование полученного на конденсаторе С напряжения с помощью аналого-цифрового преобразователя (5 на рис. 1). Применение второй схемы СЛП 2 на входе интегратора не является обязательным, поскольку при отсутствии сигнала управления от порогового устройства не происходит ни накопления заряда на конденсаторе С, ни преобразования аналого-цифровым

преобразователем. Тем не менее такой дополнительный ключ рекомендуется некоторыми авторами [4].

Таким образом, схемы измерения заряда (или площади сцинтилляции) являются с учетом появления достаточно широкой линейки подходящих интегральных операционных усилителей наиболее перспективными для задач, связанных с изменением энергетических спектров ионизирующего излучения или отбором регистрируемых явлений по энергиям.

Список использованных источников

1. Сидоренко В.В., Кузнецов Ю.А., Оводенко А.А. Детекторы ионизирующих излучений. – Л.: Судостроение, 1984. – 240 с.

2. Буцкий В.В., Ветохин С.С., Саржевский А.М. Устройство для измерения сцинтилляций в электронно-оптическом преобразователе. Авт. свид. СССР № 728101, МПК G01J 1/44. 1980.

3. Пурьга Е.А. и др. Широкополосные тракты усиления сигналов полупроводниковых детекторов излучения и частиц / Приборы и техника эксперимента, 2022, № 1, с. 44–57.

4. Лисин Д.В. Применение отечественных операционных усилителей в приборах для спектрометрических измерений в дальнем космосе / Приборы и техника эксперимента, 2018, № 6, с. 43–48.

УДК 630.6:531.5+630.161.32

Л.С. Ветров

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический
университет имени С.М. Кирова
Санкт-Петербург, Россия

КЛИМАТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЛЕСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Аннотация. В связи с глобальными изменениями климата существующие методы лесопользования и лесного планирования требуют принципиально новых подходов, обеспечивающих эффективность адаптационных мер к климатическим рискам в лесном комплексе.