

2. Noras, A. Non-contact surface charge/voltage measurements. Capacitive probe – principle of operation / A. Noras // *Trek*. – 2002. – № 3001. – P. 2–8.

3. Измерение электрического потенциала поверхности с использованием статического зонда / К.Л. Тявловский [и др.] // *Приборы и методы измерений*. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 135–144.

4. Woodall, I.M. Summary Abstract: Are they really Schottky barriers after all? / I.M. Woodall, I.L. Frecof // *J. Vac. Sci. Technol.* – 1982. – V. 21, № 2. – P. 574–576.

5. Алгоритм неразрушающего контроля изделий с прецизионными поверхностями на основе методологии измерения параметров объектов с неопределенными состояниями / Р.И. Воробей [и др.] // *Метрология и приборостроение*. – 2012. – № 2. – С. 29–36.

6. Многопараметрические измерения электрического потенциала поверхности с использованием адаптивной односигнальной модели / К.Л. Тявловский [и др.] // *Метрология и приборостроение*. – 2008. – № 2. – С. 27–32.

УДК 539.1.05

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО АМПЛИТУДНОГО АНАЛИЗАТОРА, ВСТРАИВАЕМОГО В FPGA ARTIX7 ПЛАТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ СЧИТЫВАНИЯ ROESTI СТРОУ-ТРЕКЕРА ПРОЕКТА СОМЕТ

Воропай Е.С.², Евтухович П.Г.¹, Коваленко М.Н.², Павлов А.Л.¹, Понарядов В.В.², Рутковская Л.С.²

¹*Объединенный институт ядерных исследований
Дубна, Российская Федерация*

²*Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Целью работы является разработка встраиваемого полностью цифрового амплитудного анализатора, встраиваемого в FPGA платы электроники считывания ROESTI, что дает возможность проводить выравнивание коэффициентов передачи по каждому каналу и тем самым проводить калибровку по амплитуде каждого канала регистрации сигналов со строу-трубок. Амплитудный анализатор апробирован на плате ROESTI с использованием сигналов сцинтилляционного детектора и строу-трекера от тестовых источников ионизирующего излучения.

Ключевые слова: АЦП, амплитудный анализатор, строу-трекер.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL AMPLITUDE ANALYZER BUILT INTO THE FPGA ARTIX7 ELECTRONICS BOARD FOR READING THE ROESTI STRAW TRACKER OF THE COMET PROJECT

Voropay E.S.², Evtukhovich P.G.¹, Kovalenko M.N.², Pavlov A.L.¹, Ponaryadov V.V.², Rutkovskaya L.S.²

¹*Joint Institute for Nuclear Research
Dubna, Russian Federation*

²*Belarusian State University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The goal of the work is to develop a built-in fully digital amplitude analyzer built into the FPGA of the ROESTI readout electronics board, which makes it possible to equalize the transmission coefficients for each channel and thereby calibrate the amplitude of each channel for recording signals from straw tubes. The amplitude analyzer was tested on the ROESTI board using signals from a scintillation detector and a straw tracker from ionizing radiation sources.

Key words: ADC, amplitude analyzer, straw tracker.

*Адрес для переписки: Коваленко М.Н., пр. Независимости, 4, г. Минск, 220030, Республика Беларусь
e-mail: kovalenkom@bsu.by, тел. (029)6100263*

Эксперимент СОМЕТ нацелен на поиск когерентного безнейтринного перехода мюона в электрон в мюонном атоме ($\mu\text{-e}$ конверсия), $\mu^- + N(A,Z) \rightarrow e^- + N(A,Z)$, на протонном исследовательском ускорительном комплексе (J-PARC) в Токай, Япония. $\mu\text{-e}$ конверсия – это редкий процесс, который нарушает закон сохранения лептонного числа в заряженном лептонном секторе. Одной из систем детектирования эксперимента СОМЕТ является трекер – сборка из пяти модулей, каждый из которых представляет собой кольцо с двумя парами рядов строу-трубок

перпендикулярных друг другу. Считывание информации в каждом модуле осуществляется через 16-канальные платы электроники ROESTI, расположенные вдоль кольца. Трекер находится внутри сверхпроводящего соленоида, создающего магнитное поле 1 тесла.

Сигнал с каждой строу-трубки после прохождения через нее заряженной частицы, представляет собой импульсный скачок напряжения. Он должен быть усилен, сформирован по длительности с сохранением амплитуды и, если он выше порога, далее оцифрован и записан для дальнейшей

компьютерной обработки. Схема функционирования платы ROESTI, на которую поступает информация с 16 строу-трубок, показана на рисунке 1.

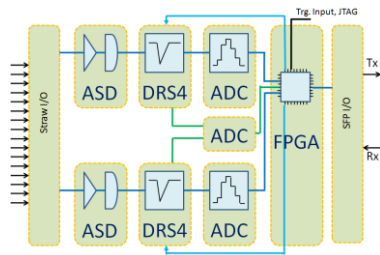


Рисунок 1 – Схема функционирования платы ROESTI

ASD – микросхема, содержащая предусилитель, формирователь и дискриминатор, задающий порог пропускания импульса на последующую обработку, DRS4 – микросхема, так называемый диджитайзер, в которой вся временная шкала, содержащая импульс, разбита на 1024 ячейки, содержащие информацию в виде заряда на конденсаторах, каждый из которых потом последовательно оцифровывается в ADC (АЦП). Информация о всех сработанных каналах трекера передается в FPGA (программируемая пользователем вентиляционная матрица), которая осуществляет хранение данных, их прием-передачу в компьютер, мониторинг и контроль параметров, обеспечивающих функционирование платы.

В соответствии с данной принципиальной схемой были изготовлены платы ROSTI (рисунок 2) и произведена прошивка FPGA необходимым программным обеспечением.

Разработанный нами встраиваемый цифровой анализатор дает возможность проводить выравнивание коэффициентов передачи по каждому каналу и тем самым проводить калибровку по амплитуде каждого канала регистрации сигналов со строу-трубок.

Весь программный блок, обеспечивающий функционирование платы ROESTI, запрограммирован в ARTIX7, и при этом остается свободным достаточно большой ресурс логики и памяти, который и был использован для встраивания туда цифрового анализатора.

Сравнительный анализ амплитудных спектров с каждого канала позволит получить коэффициенты относительной чувствительности всего тракта регистрации событий от строу-трекера до АЦП и тем самым нормализовать чувствительность каналов многоканальной системы.

Реализация амплитудного анализатора для 16 каналов была выполнена в САПР Vivado с использованием типового процессора Microblaze и оригинального IP блока, содержащего конечные автоматы поиска максимума амплитуды входных импульсов и накопителя данных, выполненного на базе встроенной в FPGA двухпортовой памяти, работающей в режиме считывание-модификация-запись. Амплитудный анализатор был добавлен к

основному проекту платы электроники считывания и использовал данные 12 разрядного 16-канального АЦП конвейерного типа, что обеспечило мертвое время анализа амплитуд в 10 нс. Тактовая частота работы АЦП составляла 100 МГц, а частота работы IP ядра амплитудного анализатора – 200 МГц.

Для передачи накопленных данных использовался встроенный интерфейс SiTCP, работающий в режимах UDP и RBCP. При отладке программного обеспечения и IP ядер FPGA мы использовали стандартный последовательный интерфейс.



Рисунок 2 – Плата электроники считывания ROESTI

Тестирование амплитудного анализатора на плате ROESTI проводилось на сигналах с ФЭУ136 со сцинтиллятором NaI(Tl) и с использованием источников ионизирующего излучения Cs137, и Na22, после отладки программы был зарегистрирован спектр железа Fe55 с помощью строу-трубки диаметром 5 мм, длиной 500 мм с использованием источника ионизирующего излучения Fe55, размещенном на расстоянии 50 мм от середины строу-трубки и оснащенным свинцовым коллиматором диаметром 3 мм.

Зарегистрированные амплитудные спектры приведены на рисунках 3 и 4.

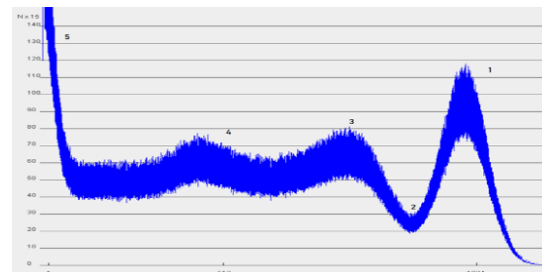


Рисунок 3 – Амплитудный спектр импульсов изотопа Cs137

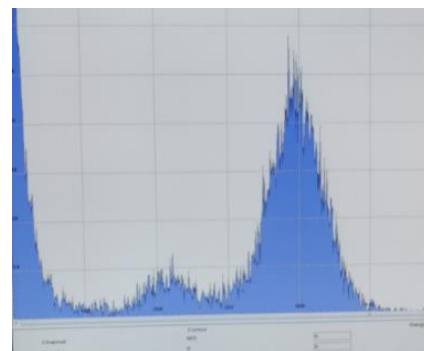


Рисунок 4 – Амплитудный спектр Fe55 зарегистрированный строу-трубкой 5 мм диаметром

Степень размытия аппаратурного спектра мы оценивали, вычислив величину энергетического разрешения R , которая определяется отношением ширины пика ΔE , взятой на уровне половины его максимальной высоты, к энергии частиц E_γ .

$$R = \Delta E / E.$$

Расчет для пика полного поглощения Cs-137, дает разрешение 0,12.

Пик электрон-позитронной аннигиляции Na-22, дает значение разрешения $R = 0,17$.

Литература

1. Будыка, А.К. Спектрометрия ионизирующих излучений / А.К. Будыка. – М. : НИЯУ МИФИ, 2021. – 223 с.
2. Илюхин, А.В. Устройства цифровой автоматики / А.В. Илюхин, И.И. Зарипова. – М. : МАДИ, 2020. – 141 с.
3. Никамин, В.А. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи: справочник / В.А. Никамин. – М. : Альтекс-А, 2003. – 217 с.

УДК 528.721.212.4

МАНИПУЛЯТОР «ОПТИЧЕСКАЯ МЫШЬ» – ДАТЧИК ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В УЧЕБНЫХ ОПЫТАХ ПО ФИЗИКЕ

Ворсин Н.Н.

*Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь*

Аннотация. Приведены результаты использования компьютерного манипулятора «оптическая мышь» в качестве датчика перемещения в учебных опытах по физике. Показано, что простейший манипулятор при хорошей настройке обеспечивает относительную погрешность измерений, не превышающую 1–15 %, что вполне удовлетворяет условиям учебных опытов.

Ключевые слова: манипулятор оптическая мышь, учебный опыт, компьютеризация.

MANIPULATOR "OPTICAL MOUSE" – MOTION SENSOR IN PHYSICS TRAINING EXPERIMENTS

Vorsin N.N.

*Brest State Technical University
Brest, Republic of Belarus*

Abstract. The results of using a computer manipulator "optical mouse" as a displacement sensor in educational experiments in physics are presented. It is shown that the simplest manipulator, with good settings, provides a relative measurement error not exceeding 1–15 %, which fully satisfies the conditions of educational experiments.

Key words: optical mouse manipulator, learning experience, computerization.

Компьютеризация учебных лабораторий является очевидным и неизбежным компонентом развития образования. При этом желательно минимизировать стоимость преобразований лабораторного оборудования. Одним из методов этого является максимальное использование стандартного компьютерного оборудования для постановки лабораторных экспериментов. Ниже приводится

некоторый опыт применения компьютерного манипулятора «оптическая мышь» в качестве датчика перемещения в опытах по механике.

Конечно, мышь не является измерительным инструментом для точного измерения перемещения. Ей присущи такие эффекты как проскальзывание – пропуск перемещения или наоборот – обнаружение несуществующего перемещения.

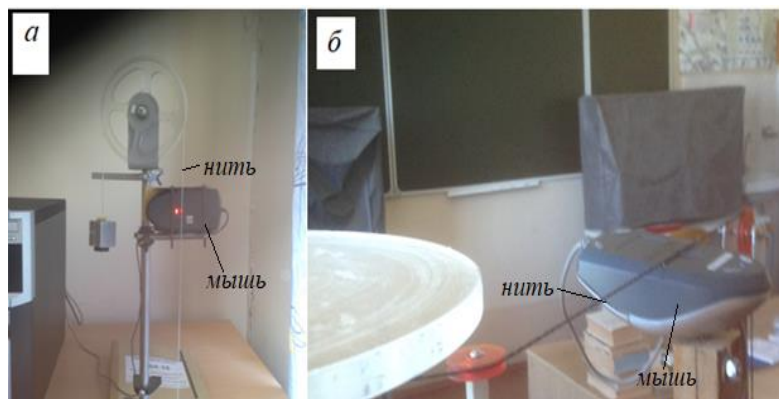


Рисунок 1 – Расположение манипулятора перед вертикально (а) и горизонтально (б) идущей нитью