

# СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ МЁЛЛЕРОВСКОГО ПОЛЯРИМЕТРА ЗАЛА А НАЦИОНАЛЬНОГО УСКОРИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ИМЕНИ Т. ДЖЕФФЕРСОНА

*Р.И. Помацалюк*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,  
Харьков, Украина*

*E-mail: romrom@kipt.kharkov.ua*

Представлены состав, характеристики и результаты тестирования разрабатываемой системы сбора данных на базе флэш-АЦП для мёллеровского поляриметра зала А лаборатории им. Т. Джефферсона (Ньюпорт Ньюс, Вирджиния, США). Флэш-АЦП представляет собой электронный модуль, в составе которого высокоскоростной многоканальный аналого-цифровой преобразователь конвейерного типа и программируемая логическая матрица (FPGA). Использование данного модуля позволяет минимизировать количество межблочных соединений, регистрировать события с большей скоростью счета, уменьшить мертвое время системы и ведет к повышению точности измерения поляризации электронного пучка.

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной элементной базы электроники позволяет создавать электронные модули с высокой степенью интеграции и функциональности. Такие модули находят широкое применение в многоканальных системах регистрации событий и сбора данных установок для физических экспериментов.

Система регистрации и сбора данных, как правило, состоит из дискретных модулей, таких как: амплитудные дискриминаторы сигналов, схемы совпадений, линии задержек, счетчики, аналого-цифровые преобразователи (АЦП), преобразователи время-код и другие блоки электроники. Применение дискретных модулей в многоканальных системах регистрации требует достаточно большого количества межблочных соединений и кабелей, что понижает надежность системы сбора данных.

Классический подход при регистрации событий с физической установки состоит в преобразовании аналоговых сигналов от детектора в логические и дальнейшая обработка уже логических сигналов. Совместное применение быстрых многоканальных АЦП и программируемой логической матрицы позволяет производить оцифровку аналоговых сигналов и вести их дальнейшую обработку уже в цифровой форме. Данный подход использован при разработке новой системы сбора мёллеровского поляриметра.

## 1. МЁЛЛЕРОВСКИЙ ПОЛЯРИМЕТР

Мёллеровский поляриметр разработан в ННЦ ХФТИ и предназначен для измерения поляризации электронного пучка в зале А Национального ускорительного центра им.Т. Джефферсона (Jefferson Lab) [1,2]. Поляриметр состоит из мишени поляризованных электронов (Т), магнитного спектрометра и детектора (см. Рис.1). Мёллеровские электроны, возникающие в результате взаимодействия пучка электронов с мишенью, анализируются магнитным спектрометром. Спектрометр состоит из трех квадрупольных (Q1, Q2, Q3) и одного дипольного магнитов (Dipole). Рассеянные электроны фокусируются квадрупольными магнитами в горизонтальной

плоскости на входе дипольного магнита. Дипольный магнит отклоняет эти электроны вниз для регистрации детектором. В центре дипольного магнита располагается экранирующая вставка, через которую проходит пучок электронов без взаимодействия с магнитным полем диполя.

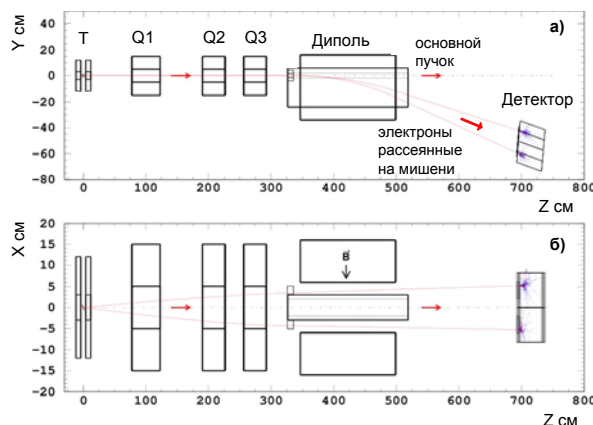


Рис.1. Схема мёллеровского поляриметра зала А: вид со стороны (а); вид сверху (б)

Детектор электронов состоит из двух калориметров полного поглощения, позволяющих регистрировать мёллеровские события в совпадениях. Каждый калориметр набран из 4-х одинаковых блоков типа «спагетти», расположенных вертикально друг над другом. На выходных торцах блоков калориметра закреплены фотоэлектронные умножители (ФЭУ). Перед каждым калориметром установлен апертурный детектор, изготовленный из пластикового сцинтиллятора и разбитый на 4 секции. Регистрация мёллеровского события осуществляется путем совпадения сигналов с левого и правого детекторов, что позволяет значительно уменьшить вклад фоновых событий. Уровень фона в совпадениях составляет ~1%. Типичная загрузка детектора во время измерений составляет  $10^5$  Гц. Количество совпадений для разных знаков поляризации электронного пучка и известная величина поляризации мишени позволяют определить степень поляризации электронного пучка.

Управление системой сбора данных и набор событий с мёллеровского поляриметра производится в системе CODA [3]. Система CODA – онлайн-система сбора данных для проведения физических экспериментов, разработанная в лаборатории им. Джефферсона.

## 2. СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ ПОЛЯРИМЕТРА

Основной целью реконструкции поляриметра является уменьшение систематической ошибки измерения поляризации. Одной из составляющих систематической ошибки измерений является вклад мертвого времени системы регистрации событий. В свою очередь, мертвое время системы сбора при измерении поляризации зависит от загрузки детекторов или от тока пучка. Одним из способов уменьшения вклада мертвого времени является повышение скорости регистрации событий системой сбора данных. При разработке системы сбора данных было предложено использовать модуль флэш-АЦП типа F250, разработанный в лаборатории им. Джефферсона, с соответствующим запрограммированным алгоритмом регистрации и обработкой событий с поляриметра [6]. Структурная схема системы сбора данных на базе флэш-АЦП представлена на Рис.2.

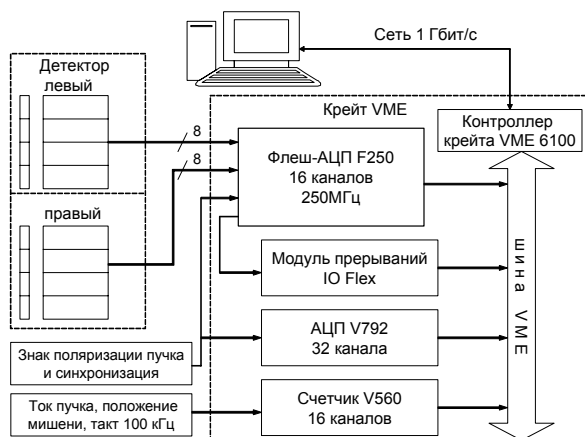


Рис.2. Блок-схема системы сбора данных мёллеровского поляриметра

В состав системы сбора данных входят:

- модуль флэш-АЦП F250;
- модуль прерываний IO Flex;
- дополнительный модуль АЦП типа CAEN V792;
- модуль счетчиков CAEN V560;
- контроллер крейта VME;
- крейт NIM и модули преобразования уровней ECL/NIM(не показаны на рисунке);
- гигабитная сеть «Ethernet»;
- управляющий компьютер.

Электронные модули размещены в крейте VME, который находится в экспериментальном зале А за защитной стеной в 10 м от детектора. Компьютер расположен в комнате управления экспериментом на расстоянии ~100 м от крейта VME. Дополнительный модуль АЦП V792 используется вместе с модулем флэш-АЦП для дублирования фиксации уровней сигналов знака поляризации и сигналов синхро-

низации. Модуль счетчиков V560 используется для регистрации тока пучка, положения мишени на пучке и сигналов опорного генератора частотой 100 кГц.

### 2.1. МОДУЛЬ ФЛЭШ-АЦП

Модуль флэш-АЦП представляет собой интеграцию 16-канального 12-битного АЦП конвейерного типа с частотой преобразования 250 МГц и программируемой логической матрицы FPGA в одном блоке, выполненном в стандарте VME.

Аналоговые сигналы с выходов ФЭУ детектора амплитудой до -2 В и длительностью 30...35 нс подаются на вход модуля и оцифровываются в АЦП (Рис.3).

Использование программируемой логической матрицы позволяет построить всю логическую схему регистрации событий и вести обработку оцифрованных сигналов с АЦП непосредственно в модуле с тактовой частотой 250 МГц. В FPGA запрограммированы функции дискриминаторов, линий задержек, схем совпадений, счетчиков и логика регистрации событий.

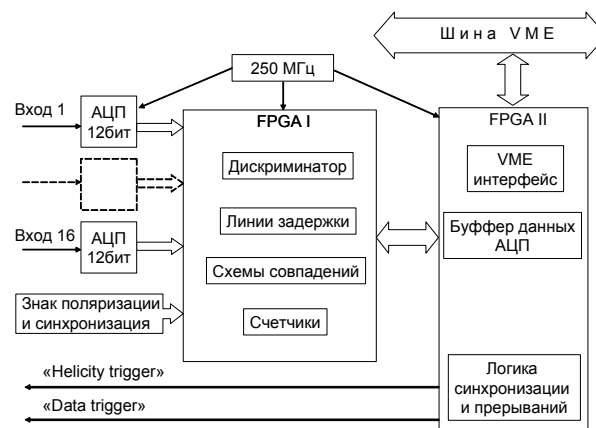


Рис.3. Блок-схема модуля флэш-АЦП

Сигналы с детектора после оцифровки в АЦП суммируются для каждого плеча калориметра, и затем суммарный сигнал селектируется по уровню в дискриминаторах. Если уровень суммарного сигнала превышает заданный порог дискриминации, то это событие (оцифрованные сигналы всех каналов) записывается во внутренний буфер данных модуля и на входе схем совпадений формируются логические сигналы.

Схемы совпадений вырабатывают следующие сигналы:

- совпадения между сигналами левого и правого калориметров;
- совпадения сигналов с апертурных детекторов и калориметра в каждом плече;
- совпадение всех сигналов с апертурных детекторов и калориметров;
- случайные совпадения двух плеч для оценки фоновых событий.

Выходные сигналы схем совпадений подаются на счетчики, на которых фиксируется количество соответствующих совпадений.

Параметры работы флеш-АЦП, такие как: количество точек для оцифровки сигнала, пороги дискриминации сигнала, значения линий задержек, коэффициенты деления – задаются программно, и загружаются в модуль при запуске системы сбора данных на измерение.

Модуль флеш-АЦП вырабатывает два типа сигналов прерывания (триггеров): 1 – сигналы прерывания для каждого момента изменения знака поляризации пучка (Helicity Trigger) и 2 – сигналы прерывания при заполнении внутреннего буфера данными с АЦП (Data Trigger). Частота сигналов прерывания первого типа зависит от заданной частоты изменения знака поляризации на источнике поляризованных электронов и может составлять от 30 до 1000 Гц.

По сигналам прерывания данные внутренних счетчиков и буфера АЦП считываются в общий поток данных системы CODA и по сети передаются на управляющий компьютер. Компьютер работает под управлением операционной системы Linux Red Hat Enterprise и содержит 4-х ядерный процессор с частотой 3,2 МГц и 2 ТБ дискового пространства. На управляющем компьютере данные записываются в файлы для дальнейшего анализа и обработки. Данная система сбора позволяет регистрировать и записывать поток данных со скоростью до 50 МБ/с при скорости регистрации событий в совпадении левого и правого плеч детектора ~160 кГц.

### 3. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЯРИМЕТРА

Программное обеспечение для анализа и обработки данных измерений построено на базе пакета «ROOT» [4,5]. ROOT – пакет объектно-ориентированных программ и библиотек, разработанных в Европейском центре ядерных исследований (CERN).

Пакет программ состоит из программы online мониторинга набора данных и программ offline обработки. Программа мониторинга позволяет контролировать качество поступающей информации путем отображения текущих значений счетчиков совпадений, оцифрованных аналоговых сигналов с детектора. На Рис.4 и 5 представлены примеры отображаемой информацией программой online мониторинга. Программы offline обработки позволяют выполнить конвертирование файлов с данными из формата системы CODA в формат root-файла и произвести обработку, анализ данных и получить результаты измерений поляризации пучка (Рис.6). Вверху (сплошные кружки) – измерения поляризации с использованием старой системы сбора данных. Внизу (сплошные треугольники) – измерения новой системы сбора на базе флеш-АЦП. Пунктирные линии и параметр  $p_0$  – усредненные значения поляризации пучка для четырех мишеней разной толщины. Ошибки только статистические. Как видно, разница в значении измеренной поляризации пучка одновременно двумя системами сбора данных на всех мишенях менее 0,5 %.

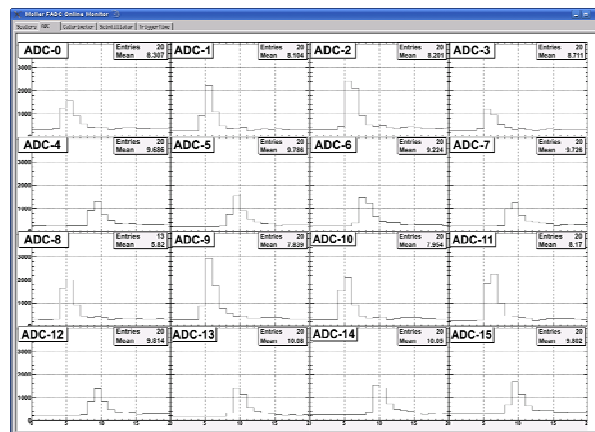


Рис.4. Оцифрованные сигналы с детектора (16 каналов)

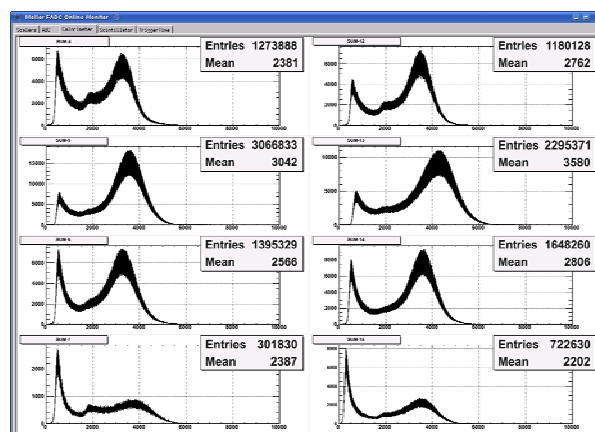


Рис.5. Энергетические спектры электронов с левого и правого блоков калориметров

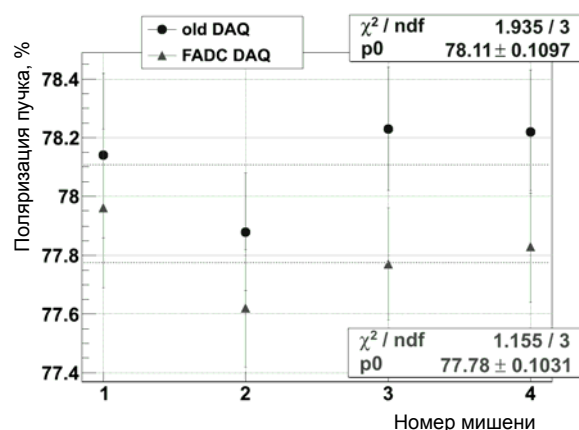


Рис.6. Значения поляризации пучка электронов при энергии 3,5 ГэВ для четырех мишеней

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе реконструкции поляриметра разработана и проходит тестирование новая система сбора данных на базе высокоскоростного многоканального флеш-АЦП. Данная система сбора позволяет вести регистрацию событий до 160 кГц в совпадении и набор данных со скоростью до 50 МБ/с без существенного увеличения мертвого времени системы, что позволяет повысить точность измерения поляризации электронного пучка с использованием мёллеровского поляриметра [6].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. A.V. Glamazdin, V.G. Gorbenko, L.G. Levchuk, et al. Electron Beam Moller Polarimeter at JLab Hall A // *Fizika*. 1999, В8, p.91-95 (in Russian).
2. А.Е. Чудаков, А.В. Гламаздин, В.Г. Горбенко, Л.Г. Левчук, Р.И. Помацалюк, П.В. Сорокин. Мёллеровский поляриметр для электронного пучка в зале А Джефферсон Лаб // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Ядерно-физические исследования»*. 2002, в.2(40), с.43-48.
3. JLAB CODA Group. Coda. <http://coda.jlab.org>.
4. The ROOT web site. <http://root.cern.ch>.
5. R. Brun, F. Rademakers, P. Canal, et al. *ROOT - An Object-Oriented Data Analysis Framework. Users Guide 4.04*. Geneva, 2005, p.293.
6. B. Sawatzky, Z. Ahmed, C-M Jen, E. Chudakov, R. Michaels, D. Abbott, H. Dong, E. Jastrzembski. *Moller FADC DAQ upgrade // Internal Review. Jefferson Lab*, December, 2010, p.7.

*Статья поступила в редакцию 24.09.2011 г.*

## DATA ACQUISITION SYSTEM OF MOLLER POLARIMETER HALL A JEFFERSON LAB

*R.I. Pomatsalyuk*

The structure, parameters and test results of a new data acquisition system for Moller polarimeter based on flash-ADC are presented. Flash-ADC is electronic module in VME format that consists of high-speed multichannel ADC piped type and FPGA unit on board. The use of flash-ADC has a lot of advantages: reduce of cable interconnections, events registration with higher rate, considerable decreases of system deadtime and, as result, the accuracy of polarization measurements is increases.

## СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ МЬОЛЛЕРОВСЬКОГО ПОЛЯРИМЕТРУ ЗАЛУ А НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИСКОРЮВАЛЬНОГО ЦЕНТРУ ІМЕНІ Т. ДЖЕФФЕРСОНА

*R.I. Pomatsalyuk*

Представлені склад, характеристики та результати тестування системи збору даних на базі флеш-АЦП для мьоллеровського поляриметра залу А лабораторії ім. Т. Джефферсона (Ньюпорт Ньюс, Вірджинія, США). Флеш-АЦП являє собою електронний модуль, в складі якого є швидкісний багатоканальний аналого-цифровий перетворювач конвеєрного типу та програмована логічна матриця (FPGA). Використання модулю дозволяє мінімізувати кількість міжблочних з'єднань, реєструвати події з більшою швидкістю, зменшити мертвий час системи, що веде до покращення точності вимірювання поляризації електронного пучка.