

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 621.384.6

### СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР В МАГНИТНОМ СПЕКТРОМЕТРЕ

© 2011 г. Ю. Н. Коблик, И. В. Нам, А. Ф. Небесный,  
В. П. Пикуль, Н. И. Замятин\*, Р. Ioannou\*\*, D. Loukas\*\*\*

*Институт ядерной физики АН Республики Узбекистан  
Узбекистан, 702132, Ташкент, пос. Улугбек  
E-mail: koblik@inp.uz*

*\*Объединенный институт ядерных исследований, Россия, Дубна*

*\*\* University of Athens, Nuclear section, 15-771 Athens, Greece*

*\*\*\* Institute of Nuclear Physics, Athens, Greece*

Поступила в редакцию 11.01.2011 г.

Для регистрации продуктов деления ядер в фокальной плоскости масс-спектрометра, установленного на горизонтальном канале исследовательского реактора ВВР-СМ ИЯФ АН РУз и используемого для изучения процессов деления тяжелых ядер под действием реакторных нейтронов, создана электронная система регистрации продуктов деления с удаленным управлением от компьютера IBM-PC в среде WINDOWS-XP. Впервые для этих целей применяется 32-стриповый полупроводниковый детектор. Система регистрации построена в виде модулей в одном корпусе. Основу каждого модуля составляют программируемые микроконтроллеры C8051F127 со встроенными а.ц.п., ц.а.п., о.з.у. и др., что позволяет накапливать и передавать на удаленный компьютер информацию о пространственном распределении продуктов деления, их количестве и энергии.

#### ВВЕДЕНИЕ

В статье представлена разработка и тестирование электронной системы регистрации продуктов деления (п.д.) ядер в фокальной плоскости масс-спектрометра, установленного на горизонтальном канале исследовательского реактора ВВР-СМ ИЯФ АН РУз [1] и используемого для изучения процессов деления тяжелых ядер под действием реакторных нейтронов [2, 3].

Для повышения точности и информативности экспериментов созданы устройства [4, 5] высокопрецизионной ( $\pm 0.005\%$ ) стабилизации электрического и магнитного полей масс-спектрометра. При этом для детектирования п.д. в фокальной плоскости масс-спектрометра использовался дифрагмированный полупроводниковый детектор, и набор информации осуществлялся сканированием измеряемого спектра по точкам, что практически не позволяло проводить измерения выходов п.д. от мало интенсивных мод деления ядер в глубоко асимметричной области массовых распределений.

Как вариант решения проблемы явилась замена такого детектора на координатный полупроводниковый детектор стрипового типа [6]. В этом случае отпала необходимость поточечного сканирования спектра п.д., так как съем информации от каждого стрипа проводится одновременно, и выигрыш по времени и точности измерений очевиден.

#### СТРУКТУРА И СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ

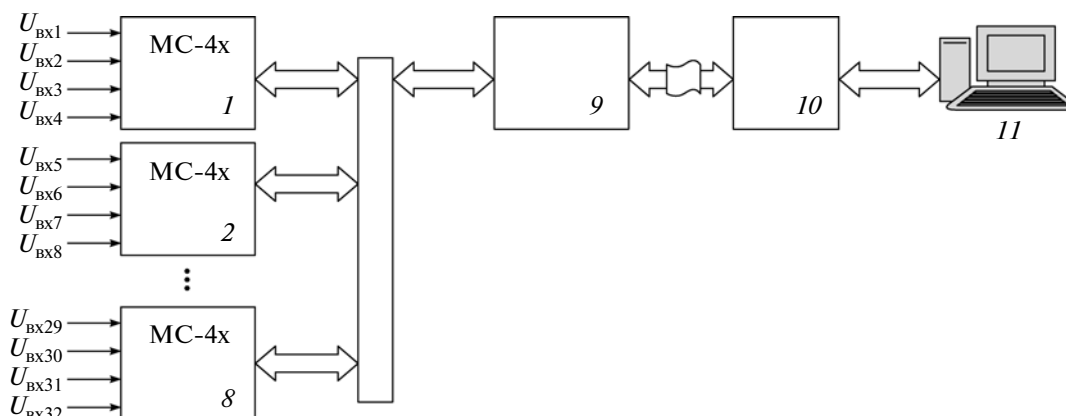
Для детектирования п.д. используются полупроводниковые стриповые детекторы  $60 \times 60 \times 0.3$  мм, разработанные в ОИЯИ (Дубна, Россия) и в INP (Athens, Greece). Нами использован детектор с чувствительной поверхностью, состоящей из 32 стрипов шириной 1.8 мм, который сопряжен с 32 зарядо-чувствительными предусилителями (з.ч.у.), выполненными на четырех 8-канальных микросхемах ZENIT-A [7].

Система детектирования п.д. ядер на основе стрипового детектора включает предусилитель, спектрометрический усилитель, амплитудный анализатор и интерфейс связи с э.в.м.

Блок-схема системы показана на рис. 1. Сигнал с предусилителя каждого стрипа поступает на соответствующий ему по номеру спектрометр.

Система построена по модульному принципу: 8 модулей по 4 спектрометра (МС-4х). Каждый модуль МС-4х имеет встроенную память для хранения четырех измеряемых спектров. Каждый спектр накапливается, запоминается и через определенные интервалы времени, или по запросу оператора, отправляется на компьютер.

Модуль управления обеспечивает передачу команд на каждый МС-4х и прием данных от них. Связь с компьютером осуществляется через мост интерфейса RS485–USB.



**Рис. 1.** Функциональная схема. 1–8 – модуль спектрометрический 4-канальный; 9 – модуль управления; 10 – мост интерфейса RS485–USB; 11 – персональный компьютер.

По окончании измерения каждый модуль MC-4x передает измеренные спектры на компьютер через модуль управления в виде массива данных в формате  $1024 \times 16$  бит.

В модуле MC-4x (рис. 2) содержится четыре амплитудных анализатора, в состав каждого (рис. 3) входят: спектрометрический усилитель и пиковый детектор [8–10]. Анализаторы реализованы на основе микроконтроллера C8051F127 [8], в нем имеются: точный 4-канальный 10-разрядный а.ц.п.; память емкостью  $8K \times 8$  бит для набора и хранения четырех спектров; устройство внешней связи I2C; 8-разрядный процессор; порты управления пиковыми детекторами [9].

В аналоговой части применены быстродействующие прецизионные операционные усилители AD8616 в SMD-корпусах, а в качестве пассивных элементов chip-резисторы и chip-конденсаторы. Цифровая часть построена на микроконтроллерах фирмы SiLabs в 64-выводных корпусах планарного типа с габаритными размерами  $12 \times 12$  мм, что также способствует миниатюризации.

На рис. 4 показана схема модуля управления. Он построен на основе микроконтроллера C8051F127, функцией которого является прием управляющих сигналов с компьютера, передачу их на каждый MC-4x, управление стабилизатором питания детектора, по запросу с компьютера он осуществляет передачу накопленных данных на компьютер.

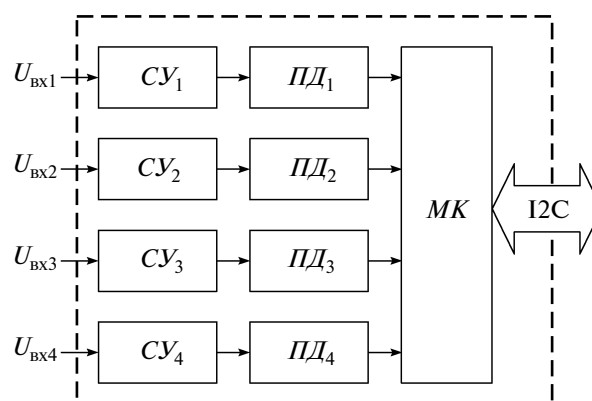
Модуль управления представляет собой материнскую плату, на которой располагаются восемь разъемов с параллельно соединенными контактами, образующими магистраль (шину) для подключения восьми MC-4x, стабилизаторы питания на напряжения +5, +3.3, +6 и –6 В, а также управляемый (регулируемый) высоковольтный стабилизатор питания детектора.

Связь с компьютером микроконтроллера модуль управления осуществляет через микросхему ADM485 по протоколу RS485 и далее через мост

интерфейса RS485–USB (рис. 5) подключается к USB-порту компьютера. Двухнаправленный мост интерфейса построен на микросхеме CP2103, которая осуществляет преобразование сигнала от USB-порта компьютера в сигнал RS485 через микросхему ADM485 и обратно. Благодаря применению микросхем ADM485 в мосте интерфейса и модуле управления система регистрации может быть удалена от компьютера на расстояние до 1000 м без потери качества сигнала. Питание +5 В моста интерфейса осуществляется от USB-порта компьютера.

## КОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ

Конструктивно система регистрации реализована в виде трех отдельных блоков: первый представляет собой детектор с з.ч.у., закрепленным на фланце камеры детектирования масс-спектрометра; второй – блок электроники, в котором



**Рис. 2.** Модуль спектрометрический MC-4x. СУ<sub>1</sub>–СУ<sub>4</sub> – спектрометрические усилители; ПД<sub>1</sub>–ПД<sub>4</sub> – пиковые детекторы; МК – микроконтроллер C8051F127-GQ; I2C – последовательный интерфейс обмена данными.

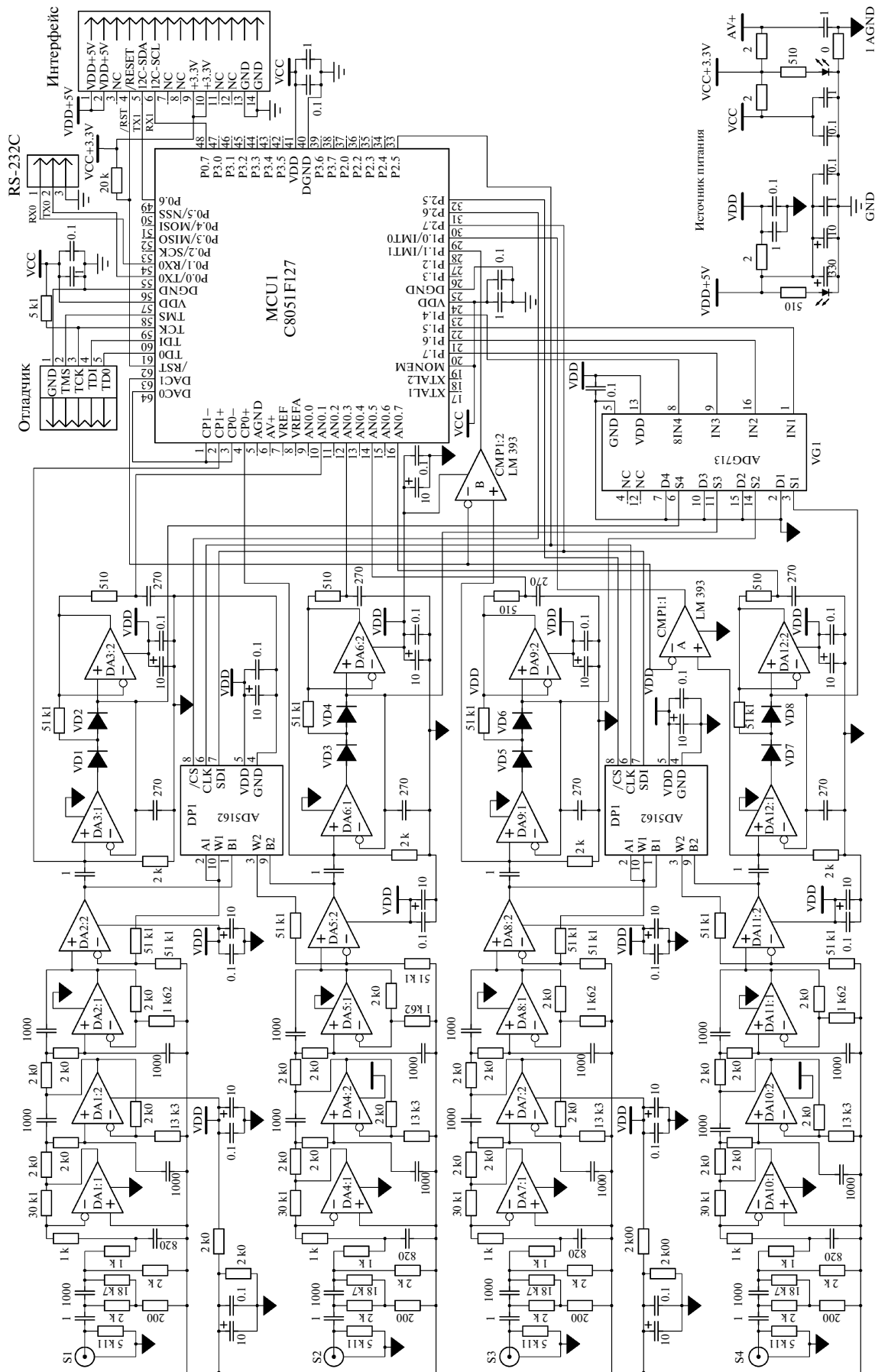


Рис. 3. Принципиальная схема модуля MS-4x.

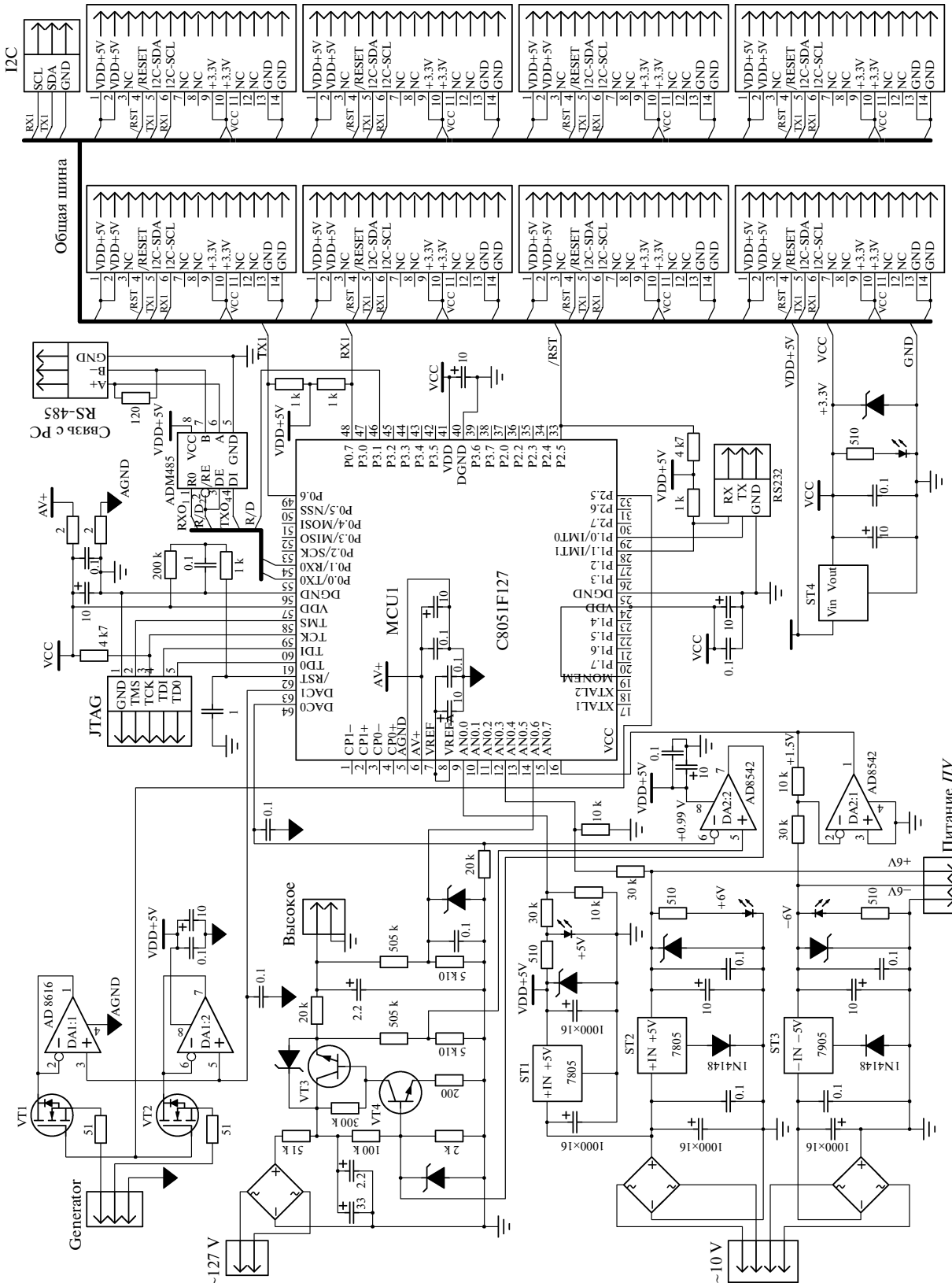


Рис. 4. Принципиальная схема модуля управления.

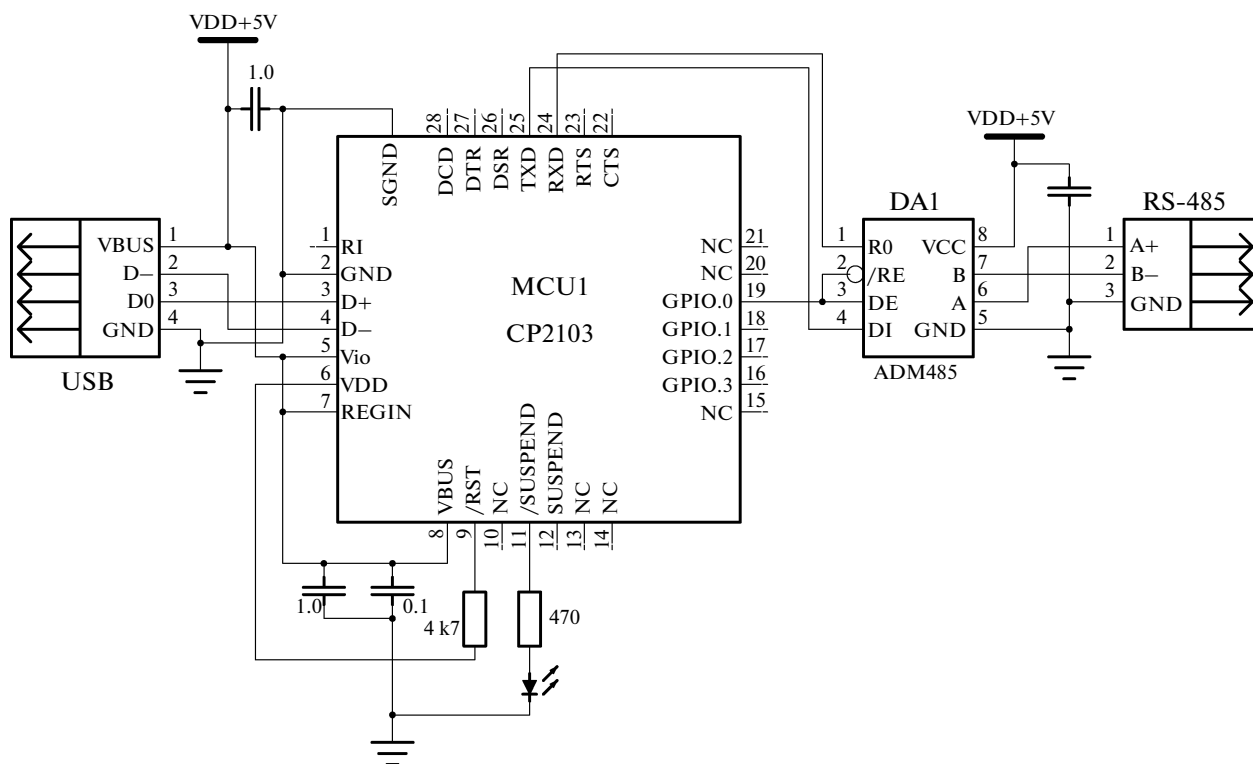


Рис. 5. Принципиальная схема моста интерфейса RS485–USB.

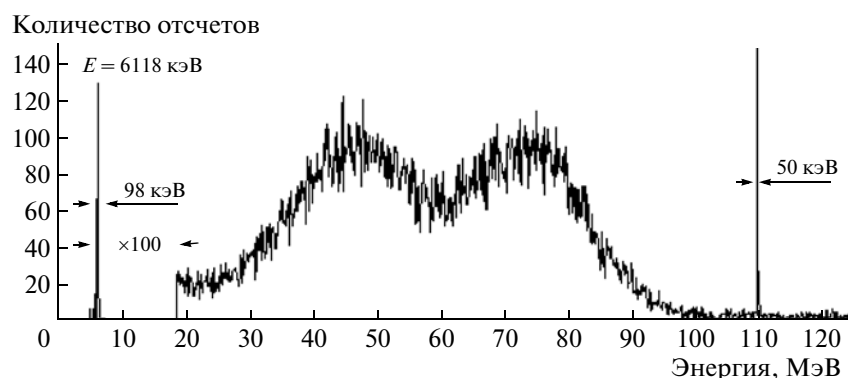


Рис. 6. Энергетический спектр п.д. от источника  $^{252}\text{Cf}$  от 17-го стрипа.

располагаются основная материнская плата с семью разъемами для подключения модулей, блоки питания, а также стабилизаторы питания, схемы управления и связи, сами модули; третий блок предназначен для удаленной (до 1000 м) связи блока электроники с рабочим компьютером, расположенным в измерительной комнате.

### ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ

Система детектирования испытывалась с использованием генератора импульсов Г5-60, переключенного в режим циклического линейного из-

менения (нарастание–спад) амплитуды импульсов отрицательной полярности в диапазоне напряжений, эквивалентных энергии п.д., анализируемых масс-спектрометром. Были выполнены индивидуальные измерения линейности амплитудной шкалы для всех 32 спектрометрических каналов, а также измерения стабильности параметров электронных узлов и системы в целом за длительный (~48 ч) период испытаний.

Далее система регистрации испытывалась с использованием радиоактивного источника  $^{252}\text{Cf}$ , с помощью которого измерялись энергетические спектры п.д. по всем 32 каналам регистрации. Из-

мерения показали, что получаемая спектральная информация подобна как по количеству зарегистрированных п.д. каждым стрипом, так и по диапазону задействованных каналов в каждом амплитудном спектре соответствующего стрипа.

В качестве примера на рис. 6 показан энергетический спектр п.д.  $^{252}\text{Cf}$  для 17-го стрипа. Левый пик соответствует  $\alpha$ -частицам с  $E_\alpha = 6.118$  МэВ, далее энергетический спектр тяжелых и легких п.д. Правый пик – реперный сигнал от генератора, эквивалентный энергии в 110 МэВ [10].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана электронная система регистрации п.д. тяжелых ядер в фокальной плоскости магнитного спектрометра с удаленным управлением от компьютера IBM-PC в среде WINDOWS-XP. Она базируется на использовании 32 стрипового полупроводникового детектора, который впервые применяется для этих целей. Система регистрации построена в виде модулей в одном корпусе. Основу каждого модуля составляют программируемые микроконтроллеры С8051F127 со встроенными а.ц.п., ц.а.п., о.з.у. и др., что позволяет накапливать и передавать на удаленный компьютер информацию о пространственном распределении п.д., их количестве и энергии.

Работа выполнена в рамках гранта ККРНТ РУз № ФА-Ф2-Ф078.

Авторы выражают благодарность инженеру А. Усмандиярову за помощь в проведении испытаний системы регистрации на масс-спектрометре.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арифов У.А., Беляев А.Д., Коган В.И. и др.* // ДАН СССР. 1972. Т. 204. № 3. С. 586.
2. *Pikul V.P., Koblik Yu.N. et al.* //Phys. Atomic Nucl. 2005. V. 68. № 2. P. 177.
3. *Коблик Ю.Н., Пикуль В.П., Хугаев А.В. и др.* // Изв. РАН. 2006. Т. 70. № 5. С. 673.
4. *Казанцев С.И., Казанцева Т.Г., Коблик Ю.Н.* // ПТЭ. 2007. № 2. С. 162.
5. *Zamiatin N.* CMS CR 2000/014. 2000. P. 1–9.
6. *Коблик Ю.Н., Казанцев С.И., Пикуль В.П.* // 58-я Международная конф. по ядерной физике. Воронеж, Россия. 2007. С. 297.
7. *Baturitsky M.A., Dvornikov O.V., Tchekhovski V.A., Zamiatin N.I.* // NIM PR. 2003. V. A496. P.162.
8. <http://www.cygnal.com/datasheets/c8051f12x.pdf>
9. *Артемов С.В., Бажанин А.Г., Буртебаев Н.И. и др.* // ПТЭ. 2009. № 1. С. 168.
10. *Абдуллаева Г.А., Коблик Ю.Н., Небесный А.Ф., Пикуль В.П.* // Сб. тезисов “Современные проблемы ядерной физики”. Узбекистан, Ташкент. 2009. С. 99.