

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 519.72+539.12

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АДАПТЕР ШИНЫ PCI ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРА К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АППАРАТУРЕ

© 2011 г. С. Г. Басиладзе, В. С. Петров*, В. А. Сенько*

НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына

Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Россия, 119992, Москва, Воробьевы горы, 1, стр. 2

**Институт физики высоких энергий, Протвино Московской области*

Поступила в редакцию 24.03.2011 г.

Адаптер шины PCI предназначен для подключения периферийных устройств с отдельными шинами адресов и данных к персональным компьютерам IBM PC. Адаптер представляет собой интерфейсную плату шины PCI и выполняет преобразование сигналов этой шины в сигналы кабельных магистралей Multibus и EUR 4600. Протоколы обеих шин реализованы с помощью проаппармируемой логической интегральной схемы EP1K50QC208 фирмы ALTERA. Минимально достижимая длительность цикла передачи 16-разрядных данных составляет ~0.5 мкс. Диапазон адресов 16–24 разрядов.

На ускорителе У-70 ИФВЭ (Протвино) в течение весьма длительного времени для исследований частиц в адронных взаимодействиях используется спектрометр с вершинным детектором (СВД). За последние годы аппаратура установки существенно обновлена: установлен микростриповый вершинный детектор [1], три плоскости дрейфовых трубок для анализа треков частиц [2], существенно модифицирована подсистема запуска (триггер), осуществляется модернизация детектора гамма-квантов [3]. Наиболее крупной частью установки СВД-2 является магнитный спектрометр на основе пропорциональных камер [4]. В каждой из подсистем имеется один–два on line-компьютера для управления подсистемой и передачи зарегистрированных данных в центральный компьютер.

В свое время в качестве on line-компьютеров были выбраны IBM PC с шиной ISA, которые используются и по настоящее время. Это связано с тем, что быстродействия и объема памяти для аппаратуры регистрации, реализованной в стандарте SAMAC [5], достаточно даже при работе через порты ввода/вывода в компьютерах. Особо следует сказать о магнитном спектрометре, как наиболее крупном “поставщике данных”. При проектировании интерфейсной карты (адаптера) шины ISA были предприняты специальные меры для увеличения быстродействия сбора данных: на аппаратном уровне обращение шло к пространству памяти компьютера, на программном уровне также был принят ряд мер, ускоряющих работу (минимизация вызовов подпрограмм, использование глобальных переменных и т.п.). В результате время обращения к центральному крейту подсистемы

в одиночном цикле составило 2.2 мкс. Однако прямая работа с пространством памяти требует использования DOS-приложения, что в свою очередь порождает трудности с передачей данных по локальной сети. Проблема решена одновременным запуском двух приложений. Первое (приложение в DOS) принимало данные из аппаратуры в on line-компьютер, а второе (Win-ML) передавало их в сеть; оба приложения работали с общим файлом данных.

Хотя такое решение и использовалось на протяжении многих лет, все же время от времени синхронная работа обоих приложений нарушалась, и системе приходилось перезапускать заново. Кроме того, по прошествии времени потребовалась замена компьютеров из-за ограниченного срока их службы. Все сказанное привело к замене компьютеров на более современные – с шиной PCI, и, соответственно, к необходимости разработки новой интерфейсной карты адаптера, описанию которой и посвящена настоящая статья.

Типы магистралей, с которыми работает адаптер

В подсистемах установки СВД-2 используются разные типы крейт-контроллеров. Соответственно, в каждом из кабелей разных подсистем, соединяющем адаптер с крейт-контроллером, используются разные протоколы передачи данных. Однако для всех этих магистралей является общим то, что:

- шины адресов и данных разделены;
- они имеют 16 разрядов данных;
- содержат не больше 16–24 разрядов адреса;

Таблица 1

Тип магистрали	Разрядность, бит				
	Адрес	Субадрес	Функция	Управление и синхронизация	Данные
Multibus	16	—	—	3	16
COMPEX [6]	24	4	5	6	16
EUR 4600 [7]	12	4	5	8	16

• используют один и тот же способ синхронизации (последовательный обмен сигналами готовности).

Поэтому было решено сделать один адаптер, перекрывающий протоколы магистралей трех типов, перечисленных в табл. 1.

Первая строка в таблице относится к соединительной магистрали магнитного спектрометра. По набору своих линий и протоколу она близка к магистрали Multibus [8]. В ней нет линий субадресов ($A1-A8$), функций ($F1-F16$) и управления (Z, C, Q, X), характерных для протокола САМАС. Поэтому в крейт-контроллере центрального крейта магнитного спектрометра предусмотрен проме-

жуточный регистр для установки или чтения этих сигналов, что, конечно, требует дополнительного цикла обращения. Это двухступенчатое обращение никак не влияет на скорость считывания массива данных со спектрометра, ибо предустановка и последующий опрос промежуточного регистра проводятся только один раз. У двух других магистралей в табл. 1 промежуточные регистры используются в самом адаптере – для сигналов $A1-A8$; $F1-F16$; Z, C, Q, X .

На рис. 1 показан общий вид платы адаптера с основными конструктивными элементами. Подключение ее к кабельной магистрали каждого конкретного типа (табл. 1) идет через отдельную

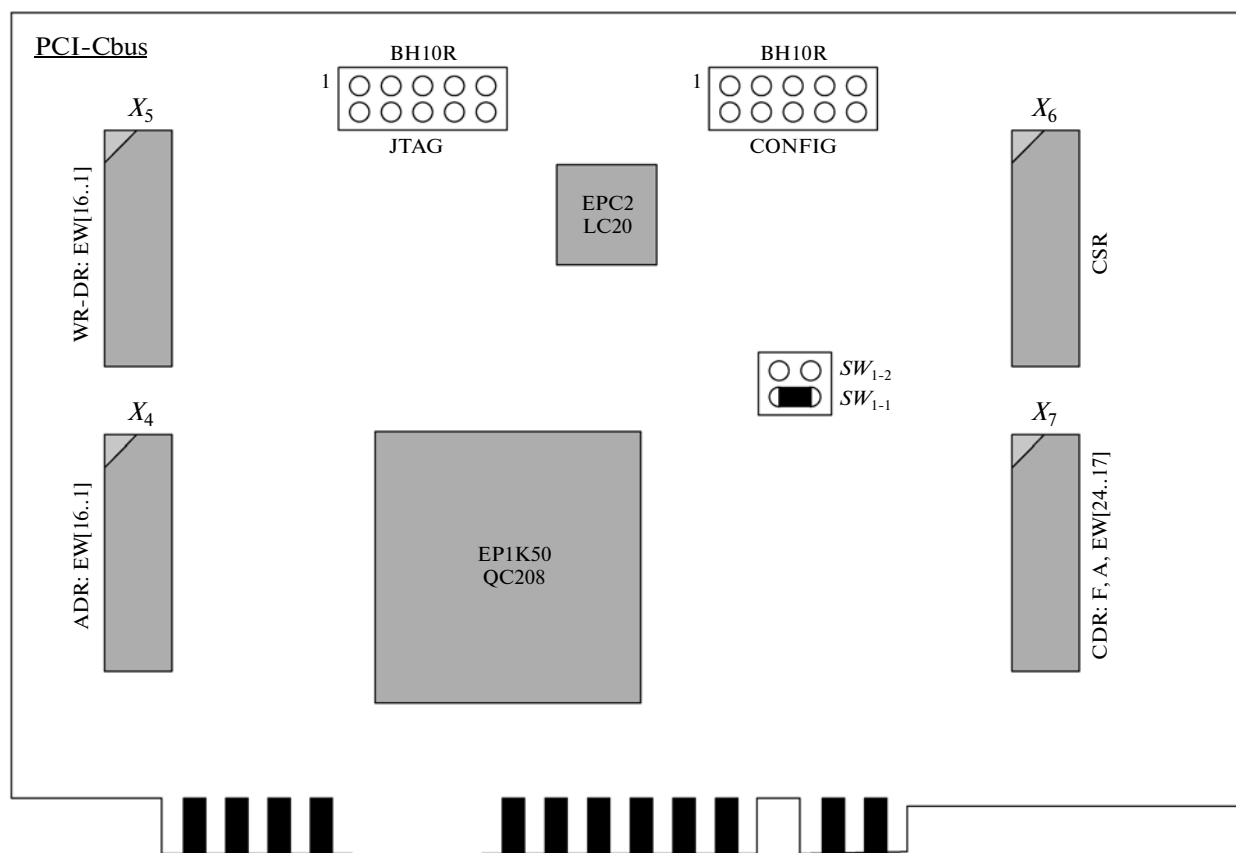


Рис. 1. Общий вид платы адаптера. Разъемы: X_4 – адрес, X_5 – данные записи-считывания, X_6 – сигналы управления/статуса, X_7 – сигналы NAF (САМАС).

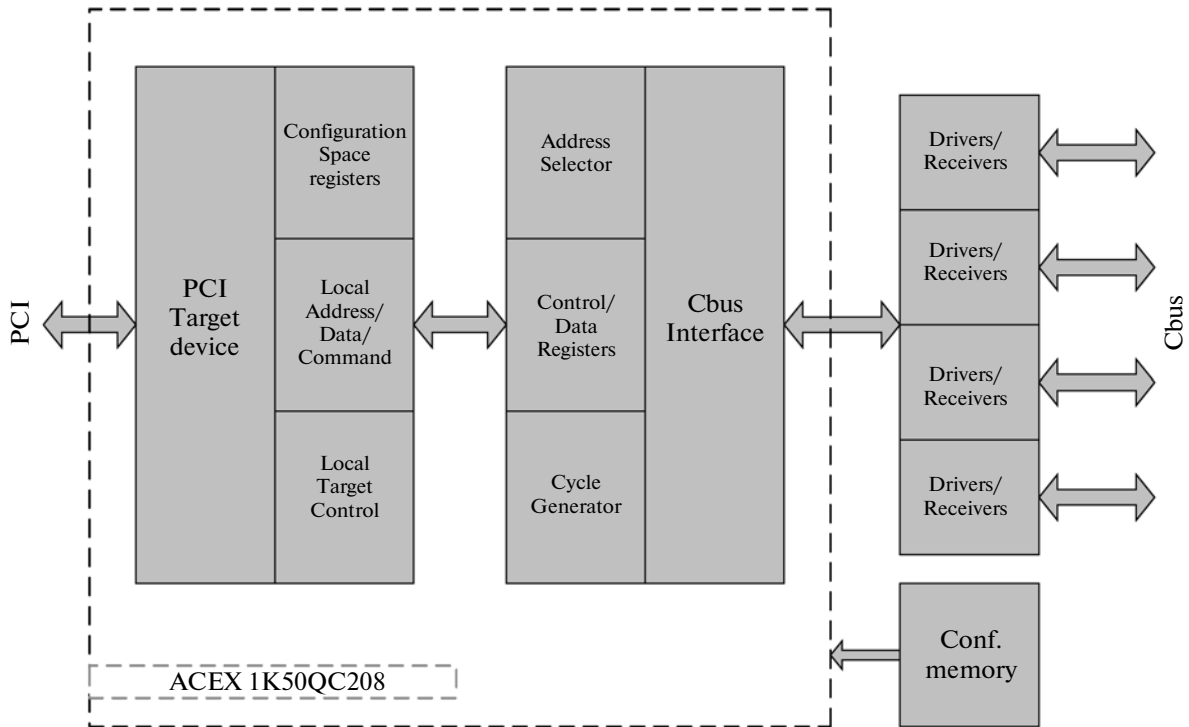


Рис. 2. Блок-схема адаптера; штриховой линией выделена п.л.и.с., реализующая стандартную мегафункцию PCI Target Device pci_t32 и протоколы шины Cbus. Справа показаны: конфигурационная память для хранения файла прошивки п.л.и.с. и приемники/передатчики сигналов на шине Cbus.

(пассивную) переходную плату. Адаптер имеет четыре разъема для соединения с переходной платой, куда подключаются 16-жильные плоские кабели. Три из них являются основными (адрес, данные, управление) и один дополнительным (функции САМАС). Все сигналы в плоских кабелях имеют уровни TTL и передаются в отрицательной логике. Длина магистрали, соединяющей переходную плату с контроллером крейта, может достигать до 5 м, поэтому на ее концах поставлены согласующие пары резисторов.

Структура адаптера

Блок-схема адаптера представлена на рис. 2. Его основу составляет программируемая логическая интегральная схема (п.л.и.с.) EP1K50QC208 фирмы ALTERA [9]. Для функционирования на шине PCI [10] в п.л.и.с. используется “мегафункция” PCI Target Device [11]. Плата содержит стандартный для шины PCI 64-байтный набор конфигурационных регистров. Они позволяют BIOS при включении питания динамически выделять устройству необходимую область адресов (технология Plug and Play). Для управления работой адаптера на шине Cbus используются восемь внутренних 16-разрядных регистров, обращение к которым осуществляется через адресное пространство ввода/вывода шины PCI.

Архитектура и функции адаптера

Адаптер имеет следующие 16-разрядные регистры управления/данных:

- *PY* – регистр управления/статуса;
- *PA* – регистр адреса;
- *PK* – регистр команды САМАС;
- *PZ* – регистр данных записи;
- *PC* – регистр данных чтения.

Остальные три могут использоваться для тестирования адаптера.

Регистр управления/статуса PY имеет адрес ($BA + 0$), где *BA* – базовый адрес, предоставленный BIOS. Назначение разрядов регистра дается в табл. 2 и комментируется ниже.

Таблица 2

15	<i>PCLR</i>	7	<i>Q</i>
14	–	6	<i>F4</i>
13	–	5	<i>C</i>
12	–	4	<i>Z</i>
11	<i>BRD</i>	3	<i>ERD</i>
10	<i>TOUT</i>	2	<i>SRD</i>
9	<i>EA8</i>	1	<i>RES</i>
8	<i>X</i>	0	–

- **Разряд 15, PCLR** (только запись) – программный сброс. При записи “1” в этот разряд интерфейсная плата устанавливается в исходное состояние (никаких сигналов сброса в кабельную магистраль при этом не поступает).

- **Разряд 11, BRD** (чтение/запись) – разряд управления чтением блока данных. При записи “1” в этот разряд начинается цикл чтения на магистрали по адресу, предварительно записанному в регистры адреса (см. ниже). После завершения этого цикла и чтения регистра данных RDR автоматически начинается новый цикл чтения в кабельной магистрали с тем же адресом. Выключение режима блочного чтения осуществляется при записи “0” в этот разряд, программным сбросом платы или по тайм-ауту текущего цикла на магистрали.

- **Разряд 10, TOUT** (только чтение) – тайм-аут цикла на магистрали. Он устанавливается в “1” в

отсутствие синхросигнала *Ответ* в текущем цикле на кабельной магистрали и сбрасывается в “0” по началу нового цикла (или программным сбросом). Длительность *TOUT* задается с помощью переключателей на плате и имеет значения 2.5, 5.0, 7.5 или 10.0 мкс.

- **Разряды 9–7, EA8, X, Q** (только чтение) – статусные сигналы SAMAC и COMPEX, показывающие результат текущего цикла на магистрали. Их состояние фиксируется в регистре по приходу сигнала ответа из магистрали, а сброс выполняется по началу нового цикла или программным сбросом.

- **Разряд 6, F4** (чтение/запись) – выставляется на линию F4 магистрали и задает вид цикла в удаленном каркасе (SAMAC или COMPEX).

- **Разряды 5, 4, C, Z** (только запись) – предназначены для формирования циклов сброса C или Z на магистрали. Их длительность ~2.0 мкс.

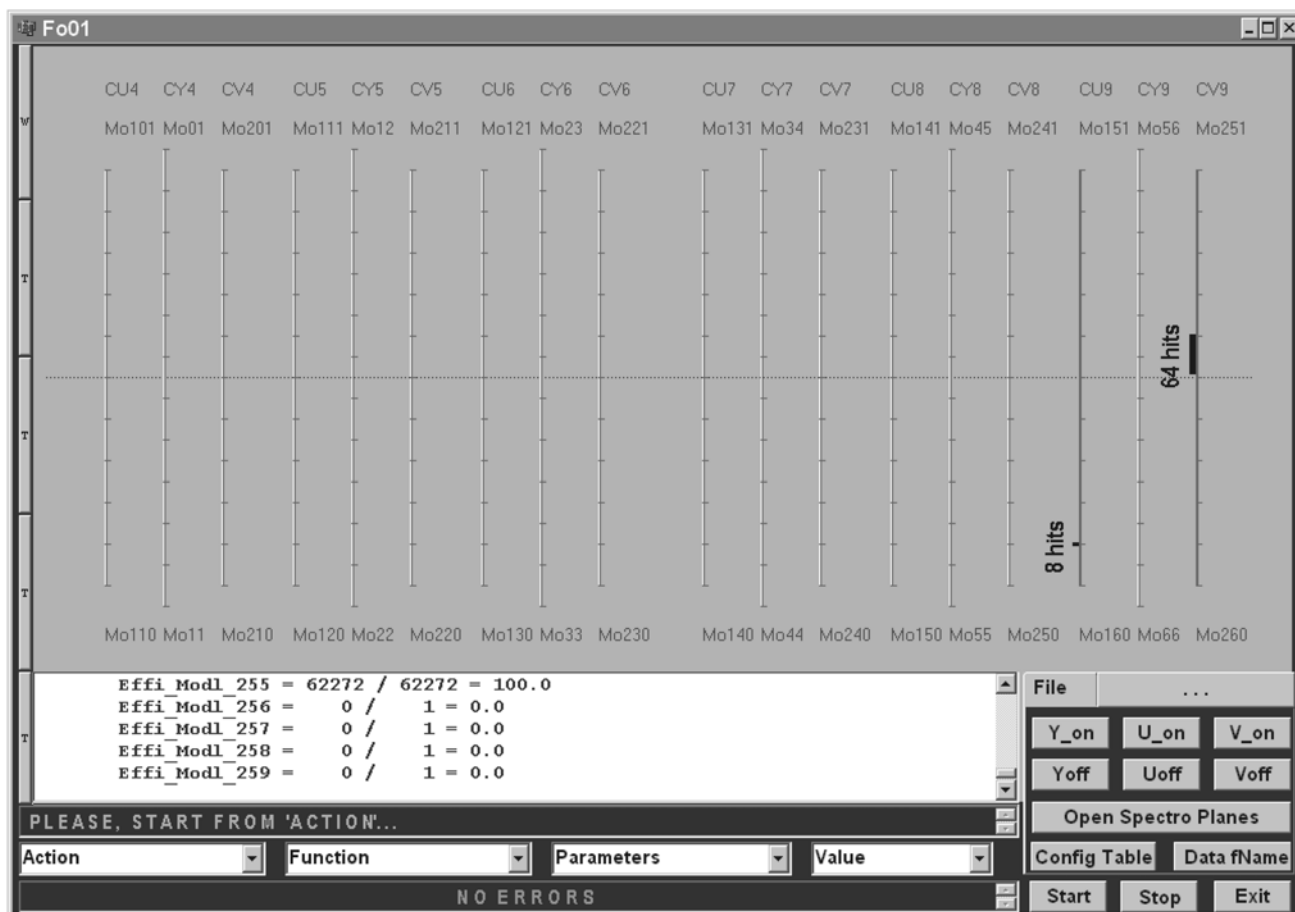


Рис. 3. Первичное окно программы для тестов пропорциональных камер. Вверху расположена графическая панель с чертежом 18 пропорциональных камер установки. Ниже находится текстовая панель, она показывает эффективности отдельных модулей регистрации. Далее идет селектор выбора действий, функций, параметров функций и их численных значений (показан в начальном положении). Справа от селектора находится группа кнопок управления, а ниже от него – индикатор сообщений об ошибках. На включенных в текущую конфигурацию (через кнопку *Config Table*) камерах CU9 и CV9 (они выделяются широкой темно-серой линией) после измерения отмечаются черным цветом места, куда были поданы тестовые сигналы, имитирующие частицы.

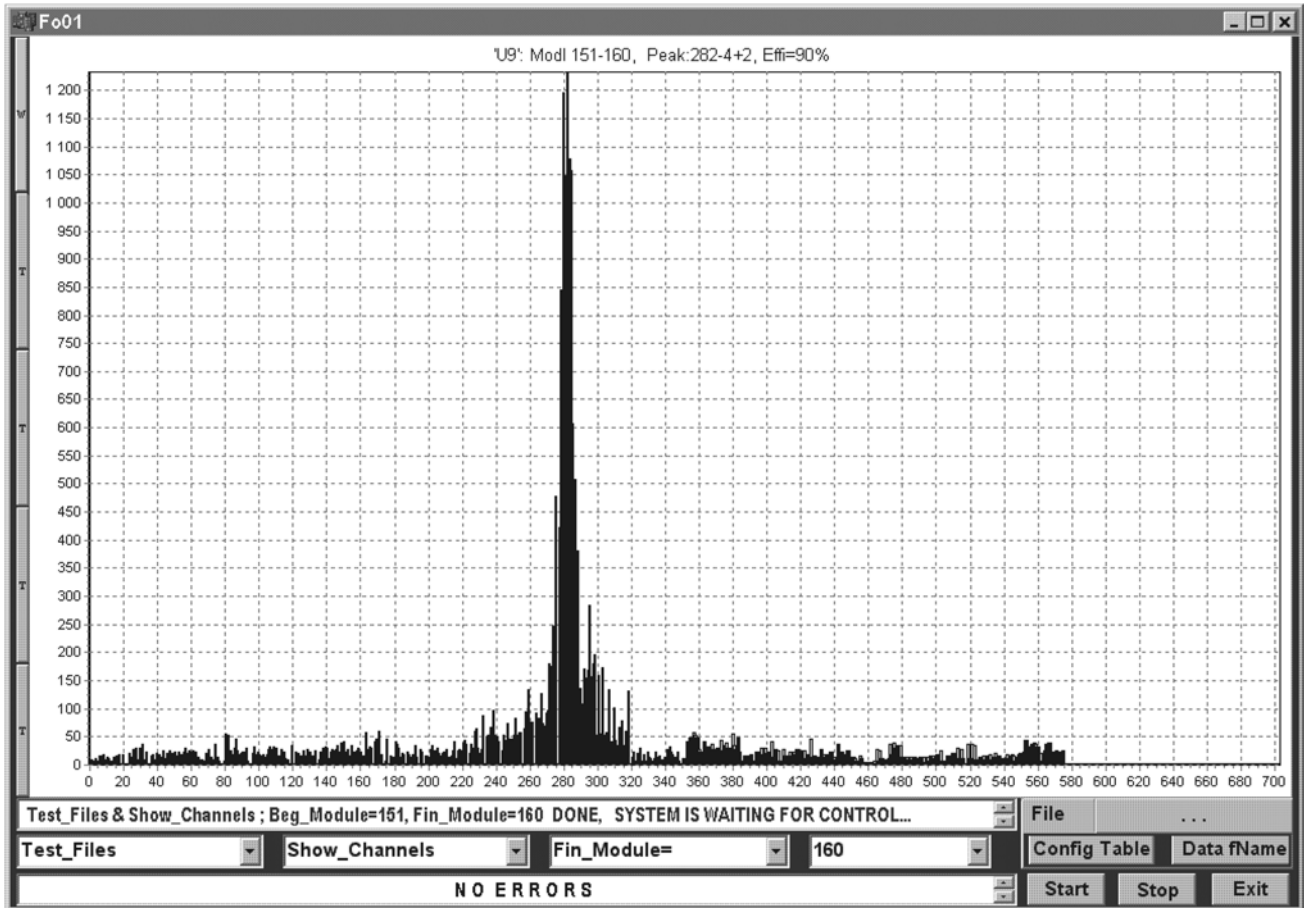


Рис. 4. Профиль пучка частиц, зарегистрированный с одной из пропорциональных камер (имеет 704 сигнальные проволочки); параметры пика и эффективность пропорциональной камеры находятся автоматически.

- **Разряд 3, ERD** (только чтение) – готовность данных при выполнении операции чтения на магистрали (как при одиночном цикле чтения, так и при блочном). Сбрасывается в “0” по началу нового цикла или программным сбросом.

- **Разряд 2, SRD** (только запись) – запуск одиночного цикла чтения на магистрали.

- **Разряд 1, RES** (только чтение) – сброс контроллера центрального крейта.

Остальные разряды регистра не используются и при чтении всегда равны “0”.

Регистр адреса PA имеет адрес (BA + 4). Этот записываемый и читаемый регистр предназначен для задания младших 16-разрядов адреса, которые при выполнении цикла чтения или записи транслируются на шину адреса кабельной магистрали.

Регистр команд PK имеет адрес (BA + 8). Этот регистр является записываемым и читаемым; его младший байт предназначен для задания старших восьми разрядов адреса, которые при выполнении операций чтения/записи транслируются на шину адреса кабельной магистрали. В табл. 3 при-

ведено назначение разрядов этого регистра для формирования команды BCNAF (Branch, Crate, station Number, subAddress, Function) при работе по протоколу CAMAC. Сигнал F16 формируется в зависимости от направления передачи данных (запись/чтение).

Регистр данных записи P3 имеет адрес (BA + 12). Этот записываемый и читаемый 16-разрядный регистр служит для задания данных при выполнении операции записи. Цикл записи на магистрали начинается после записи данных в этот регистр.

Таблица 3

15	F8	7	B4
14	F2	6	B2
13	F1	5	B1
12	—	4	C4
11	A8	3	C2
10	A4	2	C1
9	A2	1	N16
8	A1	0	N8

ДЕРЕВО ВЫБОРА КОМАНД И РЕЖИМОВ РАБОТЫ	
ACTION	ДЕЙСТВИЕ
-Test_Files	Симуляция и чтение тестового файла данных
FUNCTION	ФУНКЦИЯ
-Simulate_Data	Симуляция файла от модулей регистрации
PARAMETERS	ПАРАМЕТРЫ
-Beg_Modl	Начальный модуль РПК (начинается с 1)
-Fin_Modl	Конечный модуль РПК (включительно)
-Beg_Chan	Начальный канал РПК
-Fin_Chan	Конечный канал РПК
-Hits_max	Максимальное количество частиц в каждом модуле
-Events	Количество эмулируемых событий
-Show_Channels	Гистограммы от РПК по каналам для плоскостей ПК
-Beg_Module	Начальный модуль РПК (начинается с 1)
-Fin_Module	Конечный модуль РПК (включительно)
-Show_Tracks	Показать треки по каналам для плоскостей ПК
-Beg_Module	Начальный модуль РПК (начинается с 1)
-Fin_Module	Конечный модуль РПК (включительно)
-Select_Event	Выбранный номер события
-Spectro_Test	Тест узлов спектрометра (чтение по выводам пучка)
-Init_Speed	Инициализация и проверка скорости РС_контроллера
-Manual_Control	Режим ручного управления модулями - Таблица камер
-Cycles	Количество циклов
-Station	Номер станции в крейте - N
-sAddress	Адрес (субадрес) - A
-Function	функция - F
-Take_Events	Набор событий
-Beg_Module	Начальный модуль РПК в пропкамере
-Fin_Module	Конечный модуль РПК, если не вся пропкамера
-Intr_Delay	Задержка в модуле прерывания
-Ctrl_Delay	Задержка в контроллере
-Events	Количество набираемых событий
-Delay_Curve	Снятие кривой задержанных совпадений пропкамер
-Beg_Module	Начальный модуль РПК в пропкамере
-Fin_Module	Конечный модуль РПК, если не вся пропкамера
-Intr_Delay	Задержка в модуле прерывания
-Intr_Range	Диапазон изменения задержки в мод. прерывания
-Ctrl_Delay	Задержка в контроллере
-Events	Количество набираемых событий
-HELP	

Рис. 5. Полное дерево выбора команд и режимов работы программы для проверки пропорциональных камер.

Регистр данных чтения РЧ имеет адрес ($BA + 16$). Информация в этот (только читаемый) регистр заносится с шины данных магистрали по приходу синхросигнала *Ответ* от исполнителя (от крейт-контроллера), а сбрасывается в исходное состояние началом нового цикла или программным сбросом.

Обнаружение синхросигнала *Ответ*, подтверждающего выполнение контроллером очередной

команды, осуществляется программным путем в цикле опроса разряда *ERD* регистра управления/статуса. Это решение (самое простое) выбрано из-за того, что компьютер и его шина PCI достаточно быстрые – цикл чтения на магистрали PCI занимает 100–150 нс. Поэтому длительность цикла опроса гораздо меньше, чем длительность цикла передачи данных в крейтах CAMAC.

Конструктивно адаптер представляет собой интерфейсную плату шины PCI (+ 5 В, 32 разряда) компьютера IBM-PC. На плате размещены следующие элементы (рис. 1):

- четыре разъема IDCC20 для подключения переходных плат магистралей;
- приемо-передатчики и нагрузочные резисторы всех сигнальных линий магистралей;
- (резисторные делители 180/390 Ом);
- разъемы VH10R — для конфигурирования п.л.и.с. ALTERA EP1K50QC208 и для программирования конфигурационного п.з.у. EPC2LC20;
- переключатели SW_{1-2} для задания длительности сигнала тайм-аута.

Особенности программирования адаптера

Получить набор подпрограмм нижнего уровня (драйверов), типа “читать” или “писать”, для PCI-устройства “Plug and Play” достаточно просто — это делается с помощью стандартного приложения Win-Driver [12]. Однако такие драйверы работают весьма медленно, затраты времени на каждый цикл передачи составляют 8–10 мкс (напомним, что на шине ISA, которая в 5 раз медленнее PCI, получено 2.2 мкс). Объясняется это тем, что IBM-PC является “бытовым” компьютером, ориентированным, в лучшем случае, на быструю передачу массивов данных; быстродействие ввода/вывода по программному каналу в нем не оптимизировано. В отличие от однопользовательских операционных систем Win-98 и Win-ML, операционная система Win-XP является многопользовательской, поэтому в нее введены дополнительные проверки и блокировки несанкционированного доступа к каналам ввода/вывода. Это и порождает большие задержки при выполнении одиночных циклов передачи данных.

Решение этой проблемы описывается в работе [13], где предлагается специальная программа Allow IO, которая заранее разрешает работу с необходимыми каналами ввода/вывода — требуется только ввести базовый адрес (и не менять его далее). Тогда получаемая скорость передачи данных практически та же, что и в Win-98 или в Win-ML — 2.4 мкс/цикл.

Пример применения адаптера

Описанный выше адаптер использован при замене on line-компьютера в магнитном спектрометре установки СВД-2. Поскольку он работает под операционной системой Win-XP, то появилась возможность написать тестовую программу с более совершенной графикой по сравнению с [14]. В тестовой программе, написанной для проверки пропорциональных камер и электроники регистрации магнитного спектрометра, реализованы принципы построения “визуального прибора”, предложенные в [15].

В стартовом окне Windows (рис. 3) открывается графическая панель с чертежом 18 пропорциональных камер установки. После набора данных можно наблюдать на плоскостях пропорциональных камер “следы” (hits) от прохождения частиц (представлены на рис. 3 в камерах CV9, CV9 — черным цветом) либо наблюдать гистограммы (рис. 4).

Полное дерево выбора команд и режимов работы показано на рис. 5; ограничимся их кратким перечислением. Поле действий разбито на три части: собственно тест, работа с полученными в нем файлами и чтение справки (Help). В тесте основными являются режимы: ручного контроллера центрального крейта, набора данных и снятия кривой задержанных совпадений. В режиме работы с файлами можно просматривать “следы” частиц и гистограммы данных в камерах.

Описанный пример является далеко не единственным вариантом применения адаптера, поскольку последний достаточно универсален. Меняя переходные платы, его можно использовать для осуществления подключения компьютера IBM-PC к экспериментальной аппаратуре самого различного назначения, по крайней мере, к той, которая имеет магистраль связи с отдельными шинами адресов и данных.

Авторы выражают благодарность Б.В. Чуйко за идею использования программы Allow IO для ускорения работы шины PCI с устройствами ввода/вывода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басиладзе С.Г., Богданова Г.А., Васильев М.В. и др. // ПТЭ. 2006. № 3. С. 52.
2. Басиладзе С.Г., Шаланда Н.А., Южаев А.И. // ПТЭ. 2007. № 2. С. 70.
3. Басиладзе С.Г., Мацедон С.В., Цюпа Ю.П. // ПТЭ. 2007. № 4. С. 41.
4. Алеев А.Н., Басиладзе С.Г., Вишневецкая А.М. и др. // ПТЭ. 2003. № 5. С. 51.
5. SAMAC, Multiple controllers in single crate. Report EUR 6500. 1978.
6. Басиладзе С.Г., Суворов В.В., Элоев О.З. // ПТЭ. 1983. № 6. С. 52.
7. SAMAC, Organization of Multi-Crate Systems. Report EUR 4600. CEC, Luxembourg, 1972.
8. Науман Г., Майлинг В., Шербина А. Стандартные интерфейсы для измерительной техники. М.: Мир, 1982.
9. ACEX 1K Programmable Logic Family Data Sheet. September 2001, ver.3.3; <http://www.altera.com>
10. The PCI bus; <http://www.ibm.com/developerworks/library/pa-spec5.html>
11. PCI MegaCore Function User Guide. August 2001; <http://www.altera.com>
12. WinDriver Technical Documents; http://www.jungo.com/st/support/tech_docs_indexes/main_index.html
13. PortTalk — A Windows NT I/O Port Device Driver; <http://www.beyondlogic.org/porttalk/porttalk.htm>
14. Алеев А.Н., Басиладзе С.Г., Вишневецкая А.М. // ПТЭ. 2004. № 6. С. 47.
15. Басиладзе С.Г. Препринт 8/807. М.: НИИЯФ МГУ, 2006; <http://dbserv.sinp.msu.ru:8080/sinp/files/pp-807.pdf>