



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2012–19
ОЭА

В.А. Сенько, М.М. Солдатов, В.И. Якимчук

**96-канальный модуль МИСС преобразования
«заряд-цифра» для калориметров физики
высоких энергий**

Направлено в *ПТЭ*

Протвино 2012

Аннотация

Сенько В.А., Солдатов М.М., Якимчук В.И. 96-канальный модуль МИСС преобразования «заряд-цифра» для калориметров физики высоких энергий: Препринт ИФВЭ 2012–19. – Протвино, 2012. – 13 с., 7 рис., библиогр.: 10.

Представлены описание и основные технические характеристики регистрирующей подсистемы – 96-канального модуля преобразования «заряд-цифра», предназначенного для построения многоканальных электронных систем регистрации в физике высоких энергий.

Abstract

Sen'ko V.A., Soldatov M.M., Yakimchuk V.I. 96 channel module MISS conversion "charge-digital" for calorimeters of high energy physics: IHEP Preprint 2012–19. – Protvino, 2012. – p. 13, figs. 7, refs.: 10.

A description and the main technical characteristics of the subsystem – 96 channel module conversion "charge-digital", designed to build of electronic registration systems in high-energy physics.

Современные эксперименты в физике высоких энергий ориентированы на поиск редких событий и это обстоятельство обуславливает основное требование к регистрирующей электронике - обеспечение высокой производительности систем регистрации. Решение этой задачи достигается использованием наиболее возможно совершенных устройств для выработки запускающего (триггерного) сигнала, осуществляющих максимальное подавление фоновых событий, и уменьшением «мертвого времени» собственно регистрирующих приборов. Здесь понятие «мертвого времени» включает в себя суммарное время преобразования принятой от детектора информации и время вычитывания преобразованных данных в устройство внешней буферной памяти, и является по существу длительностью сигнала «ЗАНЯТО», формируемого регистрирующим прибором. Система МИСС [1], разработанная в ИФВЭ, обеспечивает считывание рассеянных данных из каркаса с электроникой при высокой скорости передачи. Для работы в составе электроники регистрации и сбора данных с экспериментальных установок ИФВЭ продолжительное время использовались преобразователи “заряд-цифра” (ЗАЦП) [2-5], однако развитие микроэлектроники предоставило возможность для разработки гораздо более совершенных приборов для физического эксперимента. В настоящей работе описана 96-канальная регистрирующая подсистема ЛЭ-71, предназначенная для построе-

ния быстродействующих систем регистрации информации от ФЭУ калориметров физики высоких энергий, выполненная в виде модуля системы МИСС.

96-канальный модуль ЗАЦП ЛЭ-71.

Основными задачами, при разработке модуля были:

- обеспечение малого «мёртвого» времени;
- высокие метрологические характеристики (линейность характеристики, динамический диапазон, стабильность);
- максимальная плотность размещения;
- малая мощность потребления и возможность использования стандартных номиналов питающих напряжений;
- возможность приема положительных, отрицательных и дифференциальных сигналов с высокими скоростями нарастания и спада;
- возможность работы с различными источниками сигналов (электронные усилители газовых калориметров, ФЭУ), т.е. возможность согласования входного сопротивления канала регистрации ЗАЦП с различными линиями передачи (коаксиальный кабель, скрученная пара и пр.);
- помехоустойчивость;
- ремонтпригодность.

Модуль ЛЭ-71 представляет собой 96-ти канальный прибор преобразования “заряд-цифра” с подавлением нулевой информации (вычитанием «пьедесталов» преобразования) и промежуточным хранением данных до передачи их в буферную память контроллера МИСС. Конструктивно ЛЭ-71 состоит из материнской платы (Мат.П) и 24 мезонинных плат (Мез.П) типа QDC4, устанавливаемых в 24 разъёма типа SIMM30, расположенных на Мат.П.

Мезонинная плата QDC4.

На печатной плате Мез.П смонтированы 4 канала преобразования заряда в цифру. Принципиальная схема одного канала преобразования показана на рис. 1. Схема включает в себя входной буферный усилитель с дифференциальным входом (микросхема D1 типа AD8055), параллельно-последовательное устройство линейного пропускания (часть микросхемы D2 типа MAX4616), управляемый интегратор (микросхема D1 и часть микросхемы D2) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП, микросхема

D4). Использование микросхем операционных усилителей в буферном усилителе и интеграторе обеспечивает высокую помехоустойчивость к синфазным помехам в линии передачи от детектора, помехам и нестабильностям в цепях питания. АЦП – 12-разрядный преобразователь с временем преобразования 5 мксек и последовательным считыванием данных типа AD7895. Для управления схемой линейного пропускания и интегратором используется 3 строб-сигнала S1-S3, а для управления АЦП предназначены управляющие сигналы CONV_ST и SCLK, которые являются общими для всех каналов модуля. SDAT – вывод данных – индивидуальный сигнал с каждого канала преобразования.

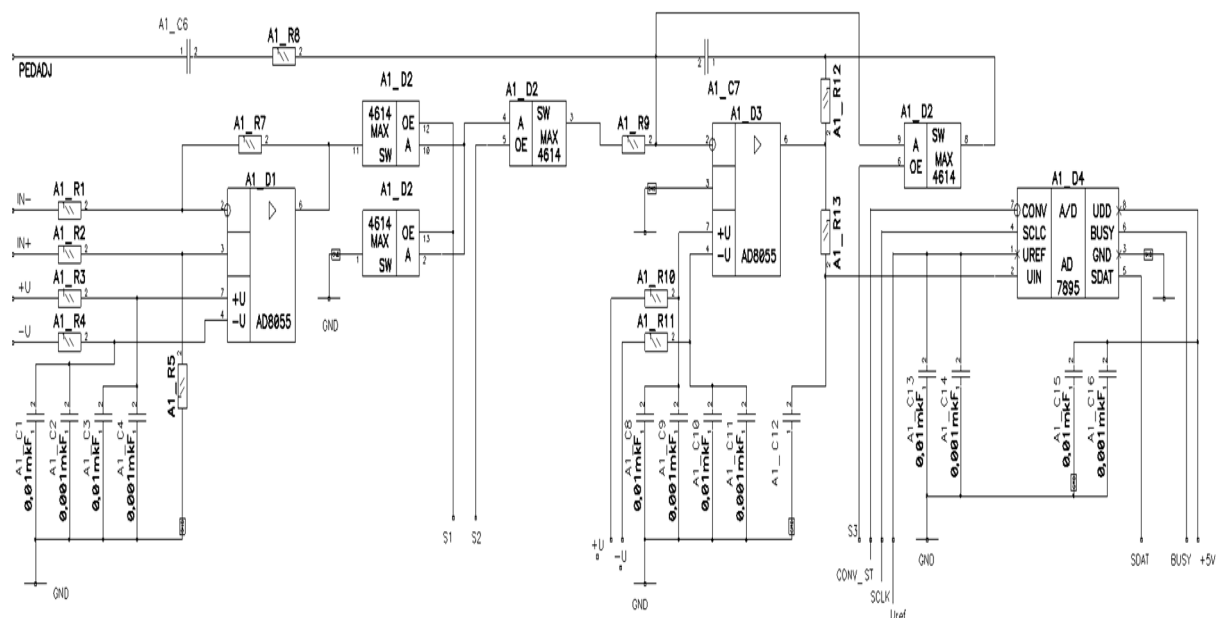


Рис. 1. Принципиальная схема одного канала преобразования.

На рис. 2 приведены временные диаграммы работы канала QDC4, а на рис. 3 представлен внешний вид Мез.П.

Пунктирной линией на диаграмме «Напряжение на входе АЦП» обозначен уровень напряжения при отсутствии сигнала от ФЭУ – напряжение «пьедестала».

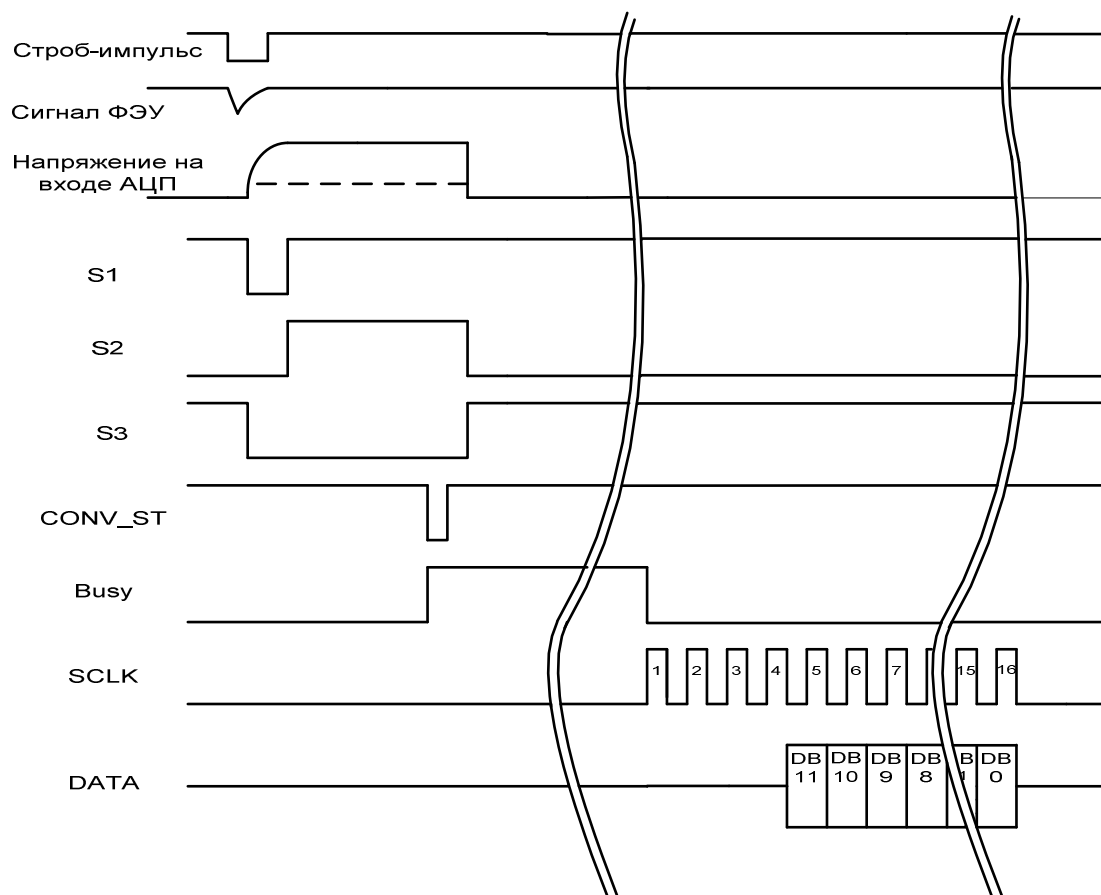


Рис. 2. Временные диаграммы работы канала QDC4.

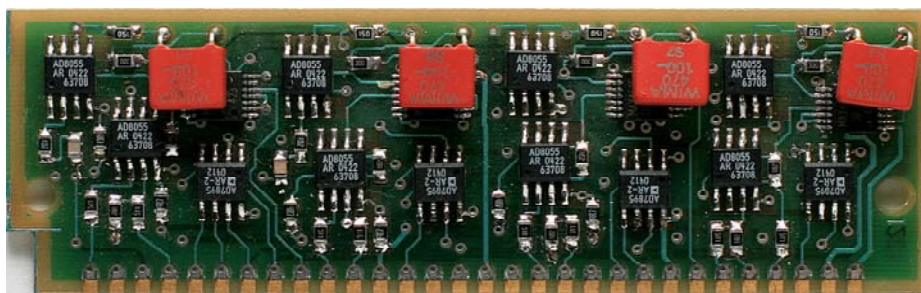


Рис. 3. Внешний вид Мез.П.

Ниже приведены основные параметры канала преобразования платы QDC4:

- Интегральная нелинейность $< 0,05\%$ при скорости нарастания входного сигнала ≤ 10 мА/нсек и входном сопротивлении 50 Ом.

- Дифференциальная нелинейность $\pm 0,5$ МЗР, которая определяется примененной ИС АЦП типа AD7895 и может при необходимости быть улучшена применением ИС AD7894 (совместимый по выводам 14-разрядный вариант).

- Время преобразования-вычитывания

~6 мксек.

- Стабильность.

Изменение величины «пьедестала» за сутки при изменении температуры окружающей среды на 15°C не превышает 0,3 МЗР.

- Динамический диапазон 12 бит.

- Полярность входных сигналов:

положительная;

отрицательная;

дифференциальные сигналы.

- Входное сопротивление канала QDC4- 1КОм.

- Диапазон длительностей строб-импульса

20-150 нсек.

- Максимальный измеряемый заряд при $R_{вх}=50$ Ом

330 пКул (1000 пКул).

- Зависимость «пьедестала» от длительности строб-импульса и $R_{вх}=50$ Ом

$\pm 0,2$ пКул/нсек (тип.).

- Скорость изменения входного сигнала при $R_{вх}=50$ Ом

10 мА/нсек.

- Количество каналов – 4.

- Потребляемая мощность

$6\text{В} \times 15$ мА/канал,

$-5\text{В} \times 10$ мА/канал.

- Размеры печатной платы QDC4 90×30 мм².

Цифровая часть модуля ЛЭ-71.

Для достижения малого «мёртвого» времени цифровая часть модуля ЛЭ71 имеет следующие особенности:

- Запись (и последующее вычитывание) в выходную FIFO память только значащей информации.
- Аналого-цифровое преобразование и передача данных в устройства обработки происходит параллельно во всех 96 каналах за 5 мксек.
- Для обработки предназначено 3, параллельно работающих, устройства.
- Каждое из устройств функционирует в режиме конвейера (pipe-line), что сокращает время обработки до 50 нсек/канал (1,6 мксек/96 каналов).

На рис. 4 приведена структурная схема модуля ЛЭ71.

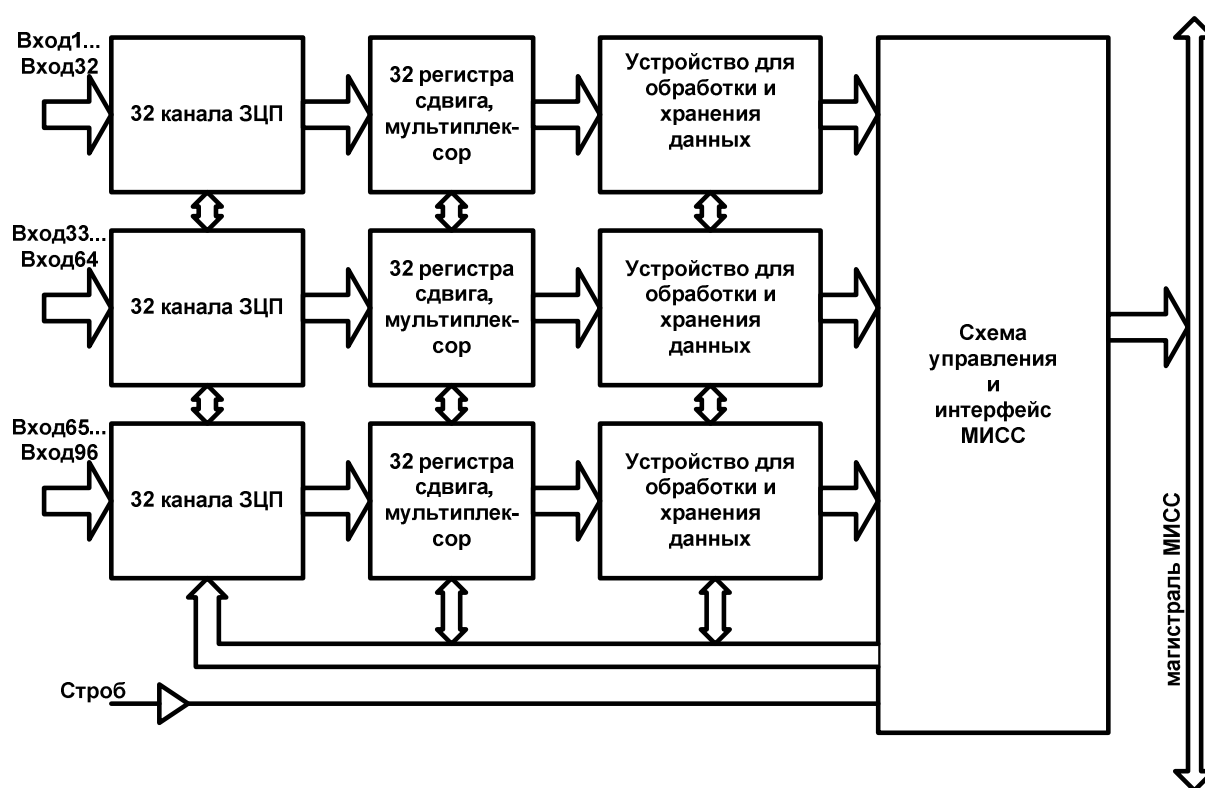


Рис. 4. Структурная схема модуля ЛЭ71.

Модуль включает в себя 96 каналов ЦАП, 96 сдвиговых регистров – преобразователей последовательных кодов в параллельные, поступающих от АЦП AD7895 с мультиплексорами параллельных кодов, 3 устройства для обработки и промежуточного хранения данных для 32 каналов преобразования и схему управления с интерфейсом к магистрали МИСС. На коаксиальный разъем передней панели поступает сигнал Строб, длительность которого определяет время интегрирования входных сигналов,

поступающих на входные разъемы Вход1-Вход96 от детектора. При отсутствии сигнала Строб входные сигналы игнорируются. Данные из мезонинных плат с 96 каналов QDC4 передаются в 96 сдвиговых регистров одновременно в соответствии с последовательным протоколом примерно за 1,5 мксек и затем поступают в устройства для обработки и промежуточного хранения данных.

Схема управления и интерфейса к магистрали МИСС предназначена для управления временной селекцией сигналов, интегрированием, аналого-цифровым преобразованием, передачей данных из мезонинных плат QDC4, обработкой и занесением обработанных данных во внутреннюю буферную память модуля, а также реализации протоколов МИСС. Кроме того, она обеспечивает возможность записи в запоминающее устройство для “пьедесталов” и чтения его, запись и чтение данных в сдвиговые регистры для организации режима тестирования системы сбора, организацию тестовых режимов работы.

Последовательные коды, приходящие от ЗАЦП, преобразуются в параллельные на 96 12-разрядных регистрах сдвига и затем поступают в устройства обработки. Каждое из трёх устройств обработки обслуживает 32 канала регистрации. Для каждого события, отобранного триггерным устройством, количество каналов в калориметре, получивших сигнал, достигает 5–10%. Код, соответствующий отсутствию сигнала, но при наличии сигнала Строб, в канале регистрации индивидуален и обозначен как “пьедестал”. Обработка информации состоит в вычитании из величин данных, получаемых от каналов преобразования, соответствующих “пьедесталов” и, если результат операции положителен, он заносится в устройство памяти типа FIFO вместе с соответствующим адресом – номером канала. В противном случае данные отбрасываются. Такой механизм обработки позволяет резко сократить объем передаваемой информации в магистраль МИСС, что приводит к уменьшению “мертвого времени” системы регистрации. Сокращению “мертвого времени” способствует также использование трех, работающих параллельно, устройств обработки данных и принцип конвейерной обработки, применённый в этих устройствах. Электрическая схема модуля практически полностью реализована в конфигурируемой микросхеме (FPGA ALTERA EP1K100QC208). Исключение составляют микросхемы для преобразования логических уровней.

На рис. 5 приведена схема одного из устройств обработки данных – часть проекта MAX+plus II [2]. Устройство содержит две группы регистров, а именно: Reg1 – 12 разрядов, Reg2 – 12 разрядов, Reg3 – 1 разряд, Reg4 – 12 разрядов, Reg5 – 12 разрядов, Reg6 – 1 разряд, а также запоминающее устройство RAM с произвольным доступом на 96 12-разрядных слов для хранения “пьедесталов”, арифметическое устройство для вычитания “пьедесталов”, запоминающее устройство FIFO типа first-in-first-out на 96 24-разрядных слов для промежуточного хранения данных и логические схемы для управления работой FIFO.

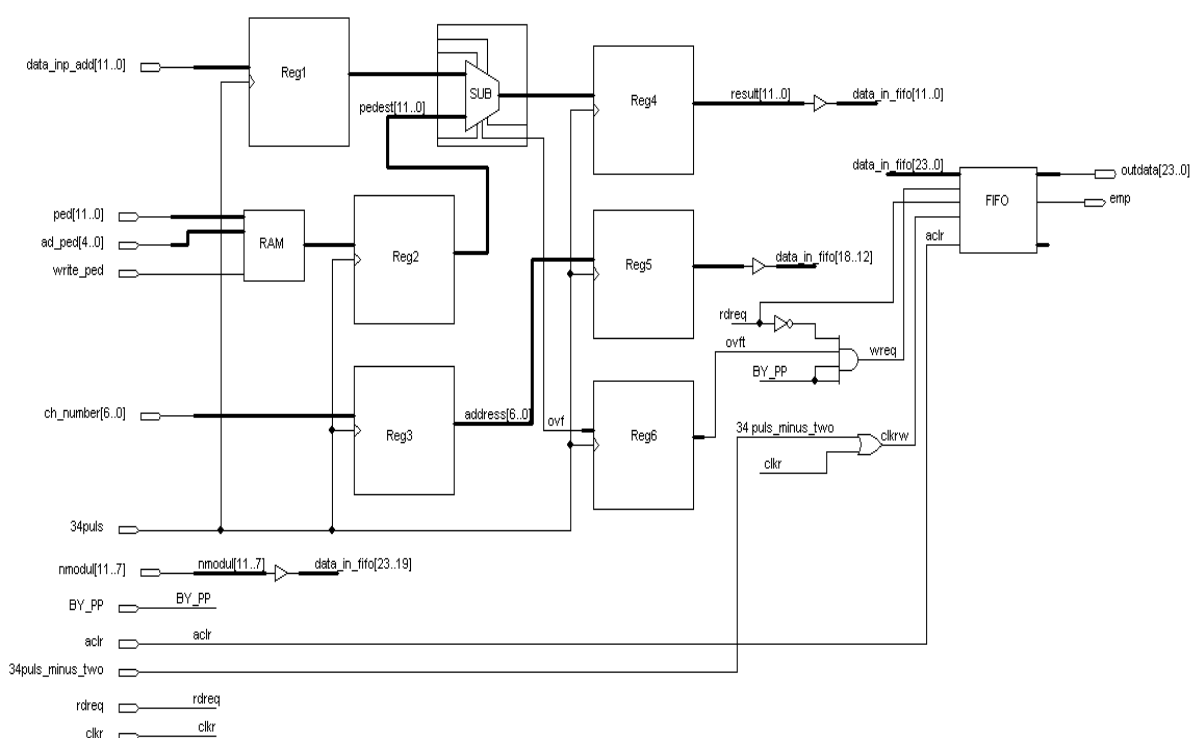


Рис. 5. Схема одного из 3 устройств обработки данных.

Наличие в устройстве обработки трёх каскадов для запоминания данных (две группы регистров и FIFO) позволяет организовать конвейерную обработку данных, которая существенно повышает производительность, и в конечном счете способствует уменьшению “мертвого времени”. Временные диаграммы, поясняющие принцип работы устройства, приведены на рис. 6. Названия сигналов соответствуют названиям их в проекте MAX+plus II [6]. Входными сигналами схемы в режиме обработки

данных являются собственно данные, поступающие по 12-разрядной шине (data_inp_add[11..0]), номер обрабатываемого канала (7-разрядная шина ch_number[6..0]) и номер модуля (5-разрядная шина nmodul[11..7]), синхронизирующие сигналы 34puls и 34puls_minus_two.

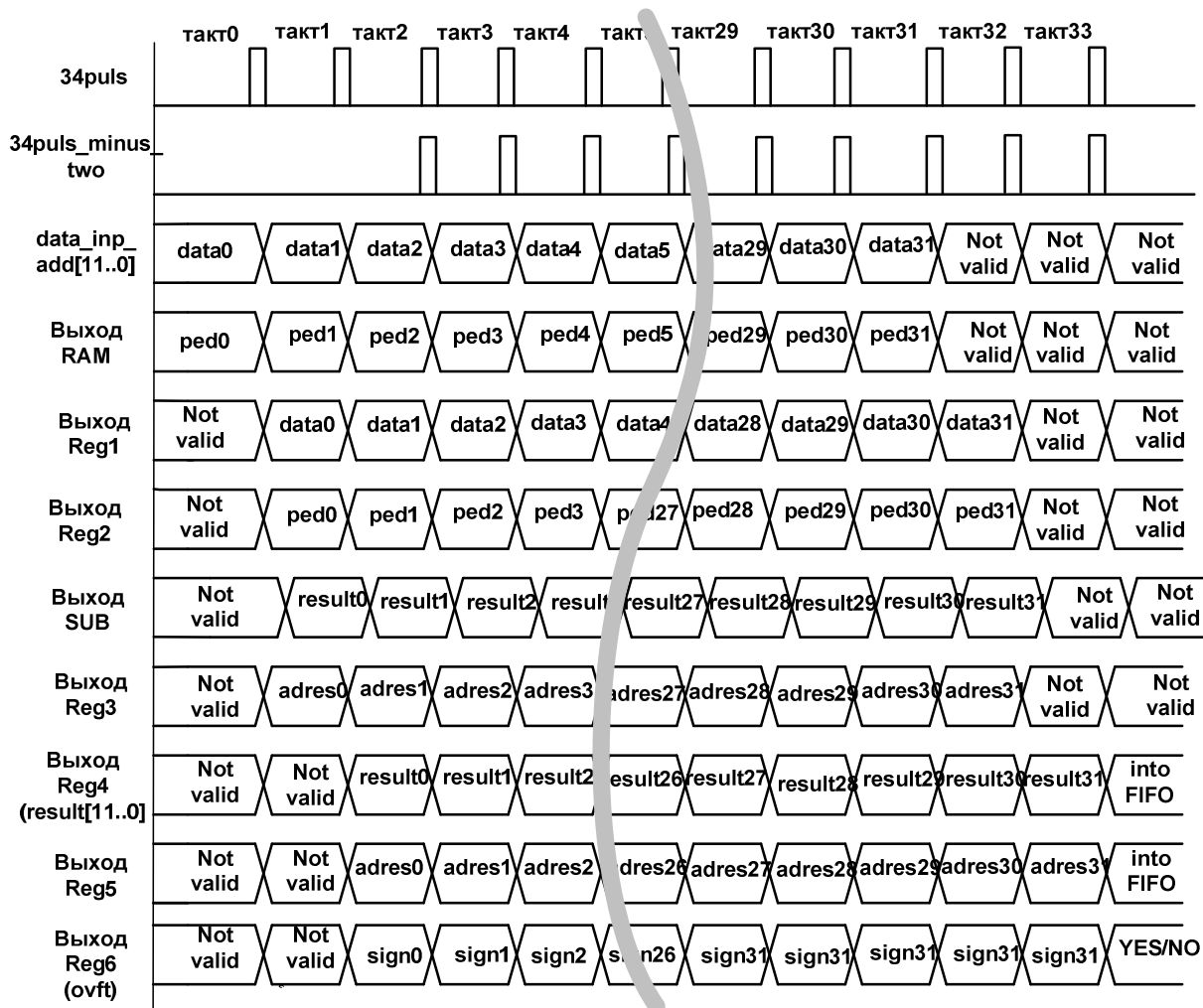


Рис. 6. Временные диаграммы, поясняющие принцип работы устройства обработки и промежуточного хранения данных.

Для полного цикла обработки данных с 32 каналов требуется 34 тактовых импульса (на рис. 5 сигнал 34puls). При записи в FIFO первые два отбрасываются (сигнал 34puls_minus_two). При дальнейшем протекании процесса обработки запись в FIFO происходит только в случае превышения величин данных над “пьедесталами”, т.е. при высоком состоянии логического сигнала ovft. Скорость обработки данных устройством

составляет примерно 50 нсек/канал. Полное время обработки данных в модуле составляет $50 \text{ нсек} \times 32 \sim 1,6 \text{ мсек}$. Для длительности строб-импульса равной 0,1 мсек, времени установления интегратора и выборки-хранения AD7895 Мез.П. QDC4 равно примерно 1 мсек, времени преобразования/считывания AD7895 равно 5 мсек, времени обработки -1,6 мсек и числе сработавших каналов около 10% количество принятых системой из 10 модулей ЛЭ71 (960 каналов регистрации) событий за 1 секундный сброс может достигать 50000.

В модуле предусмотрена развитая система диагностики, которая позволяет проверять работу всех узлов (памяти, вычитающего устройства и т.д.), качество монтажа и имитировать основной режим работы при отсутствии входных сигналов.

Конструкция и функции, выполняемые модулем, в режиме «адресных передач»[1].

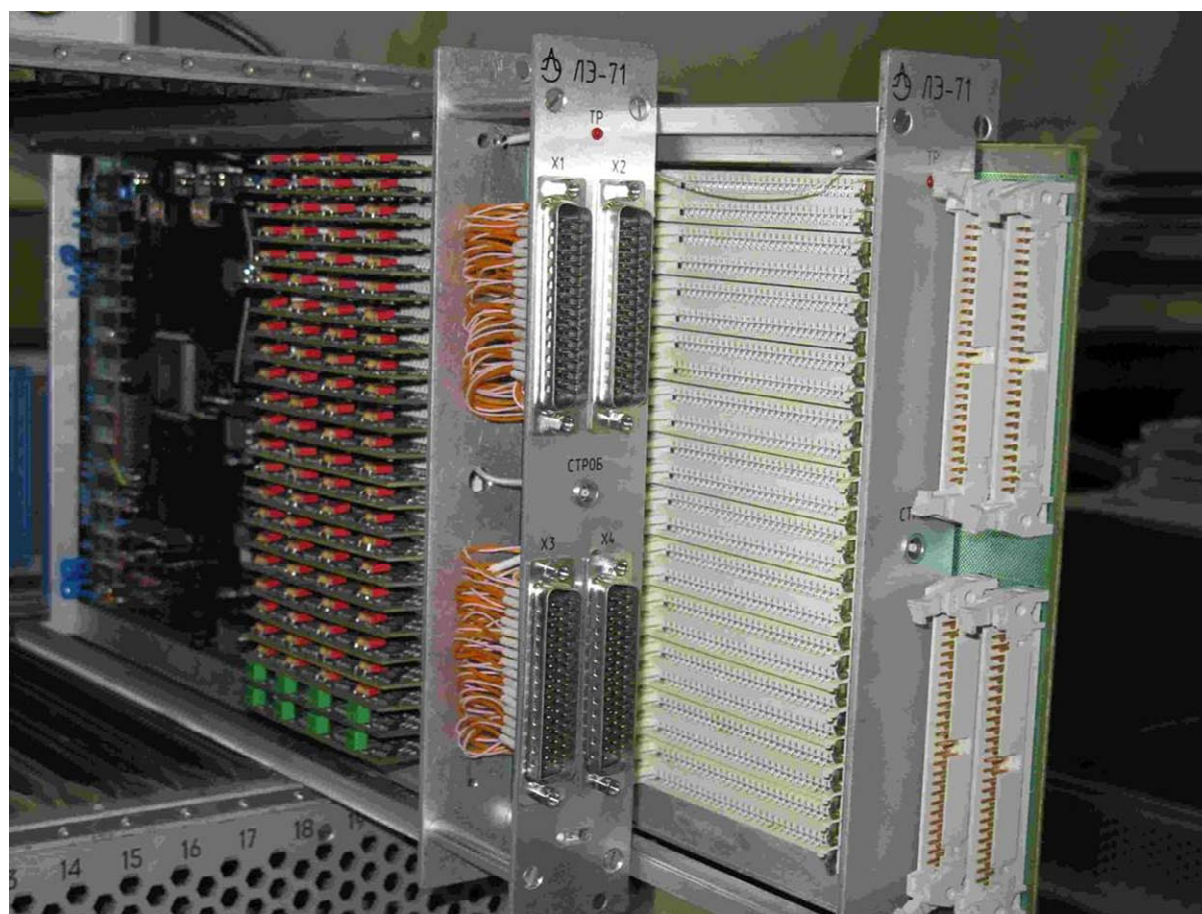


Рис. 7. Внешний вид модулей ЛЭ-71.

Механическая конструкция представляет собой материнскую плату с установленными на ней 24 Мез.П. QDC4 посредством 24 разъемов SIMM-30. Материнская плата размещена в модуле МИСС двойной ширины.

Существует несколько вариантов исполнения модуля ЛЭ-71. Это:

- вариант для регистрации дифференциальных сигналов от ионизационных детекторов с входными разъёмами под плоский кабель;
- варианты для регистрации однофазных сигналов (положительных или отрицательных) от ФЭУ с различными типами входных разъёмов.

На рис. 7 приведен внешний вид модулей ЛЭ71. Потребляемая мощность примерно $+6 В \times 1,7 А$ и $-5,2 В \times 1,8 А$.

Функции, исполняемые модулем в режиме адресных передач МИСС, следующие:

A(0)F(0)-чтение регистра INC, DA0-DA3;

A(0)F(3)-запись в регистр INC, DA0-DA3;

при этом:

если DA1=0 в модуле происходит обработка данных из входных сдвиговых регистров, полученных из QDC;

если DA1=1 в модуле происходит обработка данных из входных сдвиговых регистров, занесенных в модуль по функции A(2)F(3);

если DA2=0 обработка данных в модуле начинается по концу сигнала BUSY одного из 96 каналов преобразования;

если DA2=1 момент начала обработки данных в модуле определяется внутренней схемой системы обработки данных;

если DA3=0 будет производиться вычитывание данных из модуля в режиме синхронного ПЧИ;

если DA2=1 будет производиться вычитывание данных из модуля в режиме асинхронного ПЧИ;

A(1)F(0)-чтение регистра REG_ADDRESS, DA1-DA7;

A(1)F(3)-запись в регистр REG_ADDRESS, DA1-DA7;

A(2)F(0)-чтение входного преобразователя (сдвигового регистра) последовательного кода, DA1-DA12 (адрес канала заносится по A(1)F(3));

A(2)F(3)-запись во входной преобразователь последовательного кода, DA1-DA12 (адрес канала заносится по A(1)F(3));

A(3)F(0)-чтение RAM “пьедестала”, DA1-DA12 (адрес канала заносится по A(1)F(3));

A(3)F(3)- запись в RAM “пьедестала”, DA1-DA12 (адрес канала заносится по A(1)F(3));

В настоящее время модули работают в составе различных экспериментальных установок ИФВЭ [7-10]. Общее количество используемых каналов ЗАЦП, построенных на основе модуля ЛЭ-71, около 10 тысяч.

Список литературы

- [1] Бушнин Ю.Б., Ваньев В.С., Гончаров П.И. и др.- Препринт ИФВЭ 8847, Серпухов, 1988.
- [2] Бушнин Ю.Б., Денисенко А.А., Дунайцев А.Ф. М.М. Солдатов и др. – Препринт ИФВЭ 79-37, Серпухов, 1979.
- [3] Бушнин Ю.Б., В.А. Сенько, М.М. Солдатов, В.И.Якимчук. - Препринт ИФВЭ 86-31, Серпухов, 1979.
- [4] Бушнин Ю.Б., Зимин С.А., Сенько В.А., Солдатов М.М.- V Всесоюзный семинар по автоматизации исследований в ядерной физике и смежных областях. Ташкент, 15-17 ноября, 1988. Стр. 86.
- [5] Васильев М.В., Сенько В.А., Солдатов М.М.– Препринт ИФВЭ 99-49, Протвино 1999.
- [6] ALTERA Corporation, 1988-2002, MAX+plusII.
- [7] Боголюбский М.Ю., Викторов В.А., Петров В.С. и др.- Препринт ИФВЭ 2005-7, Протвино, 2005.
- [8] E.N. Ardashev, S.G. Basiladze, G.A. Bogdanova et al. - 2007. 18 pp. Published in Instrum. Exp. Tech. 50 (2007) 646-663.

- [9] Recent results from VES experiment. 2009. VES Collaboration (V.Nikolaenko (Serpu-khov, IHEP) et al.) 2011. 6 pp. Published in Int.J.Mod.Phys. A24 (2009) 295-303.
- [10] A data acquisition system of the FODS setup. A.A. Volkov, V.P. Efremov, A.Yu. Kali-nin, et al. 2012. 8 pp. Published in Instrum.Exp.Tech. 55 (2012) 448-455, Prib.Tekh.Eksp. 4 (2012) 35-42.

Рукопись поступила 15 октября 2012 г.

В.А. Сенько, М.М. Солдатов, В.И. Якимчук

96-канальный модуль МИСС преобразования «заряд-цифра» для калориметров физики высоких энергий.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати	25.10.2012.	Формат	$60 \times 84/16$.	Цифровая печать.
--------------------	-------------	--------	---------------------	------------------

Печ.л.	1.	Уч.– изд.л.	1,25.	Тираж	80.	Заказ	53.	Индекс	3649.
--------	----	-------------	-------	-------	-----	-------	-----	--------	-------

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ

142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2012-19, ИФВЭ, 2012
