



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**
Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

Препринт 2018–9

М.М. Солдатов, В.А. Сенько

**48 ми канальный интегрирующий
аналого-цифровой преобразователь
для калориметров физики высоких энергий**

Направлено в *ПТЭ*

Протвино 2018

Аннотация

Солдатов М.М., Сенько В.А. 48 ми канальный интегрирующий аналого-цифровой преобразователь для калориметров физики высоких энергий: Препринт НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ 2018–9. – Протвино, 2018. – 12 с., 7 рис., 1 табл., библиогр.: 5.

Представлены описание и основные технические характеристики 48 ми канального преобразователя «заряд-цифра», предназначенного для построения многоканальных электронных систем регистрации в физике высоких энергий.

Abstract

Soldatov M.M., Sen'ko V.A. 48 channel module conversion "charge-digital" for calorimeters of high energy physics: NRC «Kurchatov Institute» – IHEP Preprint 2018–9. – Protvino, 2018. – p. 12, fig. 7, tables 1, refs.: 5.

A description and the main technical characteristics of the 48 channel module conversion "charge-digital", designed to build of electronic registration systems in high-energy physics.

Введение

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. С целью повышения эксплуатационных характеристик в ИФВЭ была создана новая система для построения регистрирующей электроники ЕвроМИСС [2]. Одним из основных приборов в экспериментальных установках физики высоких энергий является многоканальный интегрирующий АЦП. Для работы в составе электроники регистрации и сбора данных с экспериментальных установок ИФВЭ продолжительное время использовались преобразователи “заряд-цифра” (ЗАЦП) [3], однако развитие микроэлектроники предоставило возможность для разработки более совершенных приборов для физического эксперимента. В настоящей работе описан модуль системы ЕвроМИСС – 48 ми канальный ЗАЦП, предназначенный для построения быстродействующих систем регистрации информации от калориметров физики высоких энергий.

48 ми канальный ЗАЦП (ЕМ-6).

Основными задачами при разработке модуля были:

- уменьшение времени преобразования;
- обеспечение высоких метрологических характеристик (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 ЕМ-6 представляет собой 48 ми канальный ЗАЦП с подавлением нулевой информации (коррекция аддитивной составляющей погрешности измерения и отбрасывание незначущих данных – «пьедесталов») и промежуточным хранением данных до передачи их в буферную память контроллера ЕвроМИСС. Конструктивно ЕМ-6 состоит из материнской платы (Мат.П) и 24-х мезонинных плат (Мез.П) типа QDC2, устанавливаемых в 24 разъёма типа SIMM30, расположенных на Мат.П.

Мезонинная плата QDC2.

На печатной плате Мез.П смонтированы 2 канала преобразования величины электрического заряда, зарегистрированного в течение времени строба, в цифровой 12 ти разрядный двоичный код. Принципиальная схема одного канала преобразования показана на рис.1. Схема включает в себя входной буферный усилитель с дифференциальным входом (микросхема D1 типа AD8056, Analog Devices), параллельно-последовательное устройство линейного пропускания (часть микросхемы D2 типа MAX4616, MAXIM Inc.), управляемый интегратор (микросхема D1 и часть микросхемы

D2) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП, микросхема D4 типа ADS7886 Texas Instrum.). Использование микросхем операционных усилителей в буферном усилителе и интеграторе обеспечивает высокую устойчивость к синфазным помехам в линии передачи от детектора, помехам и нестабильностям в цепях питания, слабую температурную зависимость параметров. АЦП – 12 разрядный преобразователь с временем преобразования 1 мкс с одновременным преобразованием и вычитыванием данных. Для управления параллельно-последовательной схемой линейного пропускания и интегратором используются 3 строб-сигнала S1-S3, а для управления АЦП предназначены управляющие сигналы CONVST и SCLK, которые являются общими для всех каналов модуля. SDAT – вывод данных - индивидуальный сигнал с каждого канала преобразования. На вывод PEDADJ подаются импульсные сигналы отрицательной полярности для обеспечения “пьедестала”.

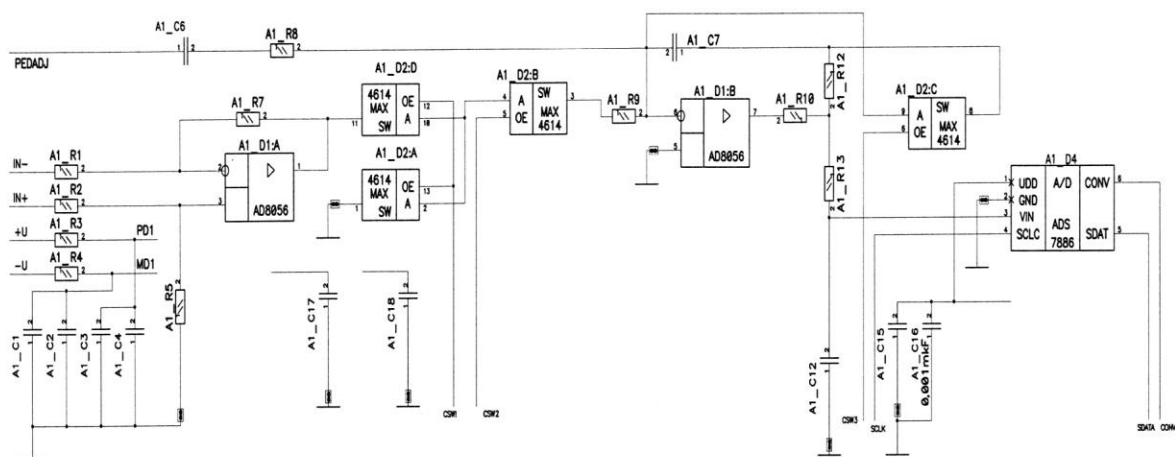


Рис. 1. Принципиальная схема одного канала преобразования.

На рис. 2 приведены временные диаграммы работы канала QDC2, а на рис.3 представлен внешний вид Мез.П.

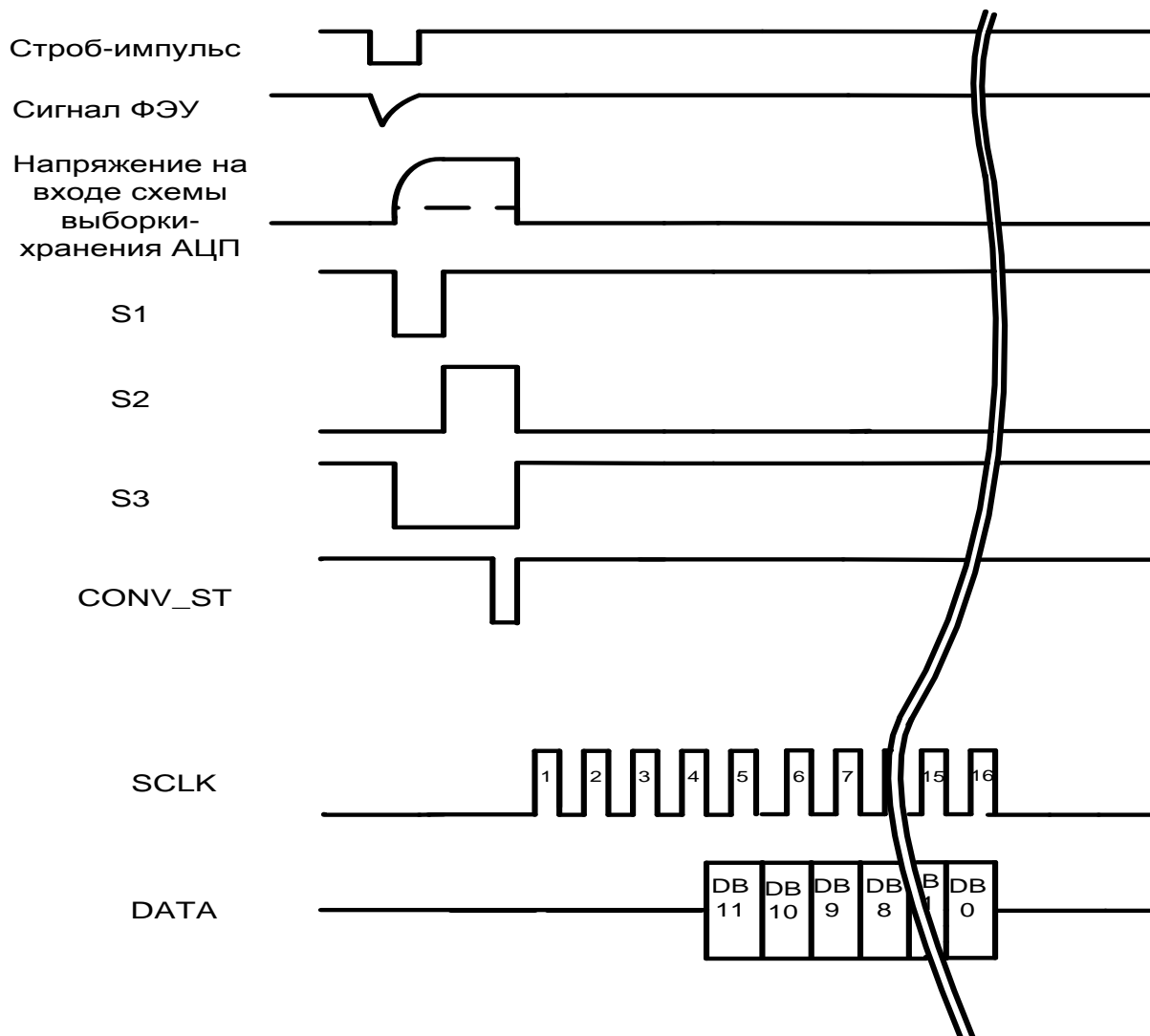


Рис. 2. Временные диаграммы работы канала QDC4.

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

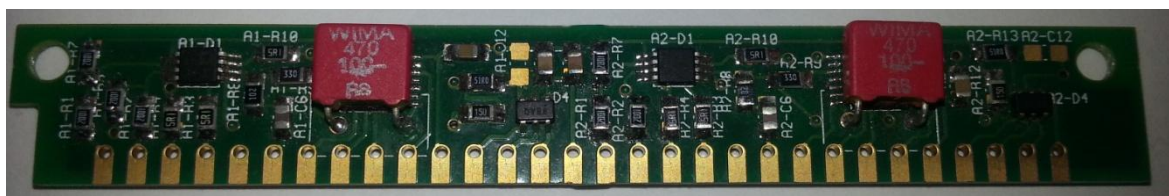


Рис. 3. Внешний вид Мез.П.

Ниже приведены основные параметры канала преобразования платы QDC2:

- Интегральная нелинейность $<0,05\%$ при скорости нарастания входного сигнала ≤ 10 мА/нсек и входном сопротивлении 50 Ом.
- Дифференциальная нелинейность $\pm 0,5$ МЗР, определяется примененной ИС АЦП типа ADS7886.
- Время преобразования-вычитывания
~1,3 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 QDC2- 1КОм.
- Диапазон длительностей строб-импульса
20-150 нсек.(см. рис. 4)
- Максимальный измеряемый заряд при $R_{вх}=50$ Ом
330 пКул (1000 пКул) *.
- Скорость изменения входного сигнала при $R_{вх}=50$ Ом
 ≤ 10 мА/нсек.
- Количество каналов – 2.
- Потребляемая мощность
 $6\text{В} \times 15$ мА/канал,
 $-5\text{В} \times 10$ мА/канал.
- Размеры печатной платы QDC2 13×89 мм².

* -плата может иметь различные величины чувствительностей, задаются номиналами конденсаторов С7 при производстве.

На рис. 4 приведены примерные зависимости величины «пьедесталов» от ширины сигнала Строб.

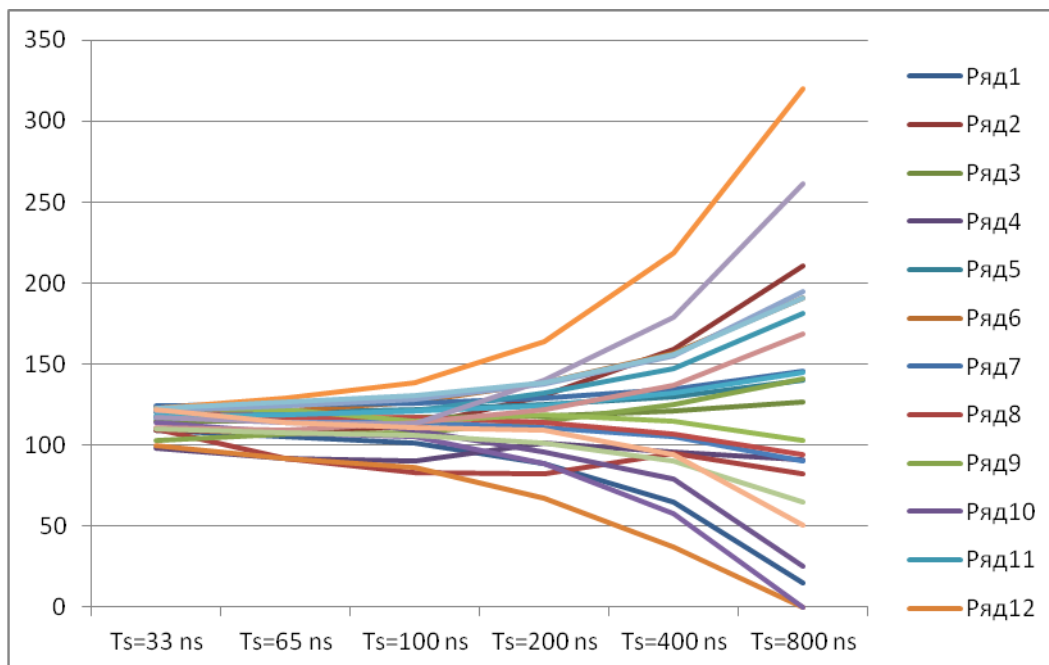


Рис 4. Типичный вид зависимостей величины «пьедесталов» от ширины Строба.

Цифровая часть модуля ЕМ-6.

Для достижения малого «мёртвого» времени цифровая часть модуля ЕМ-6 имеет следующие особенности:

- Запись в выходные регистры памяти и последующее вычитывание в контроллер сектора ЕвроМИСС только значащей информации.
- Аналого-цифровое преобразование и передача данных в устройства обработки совмещены во времени и происходят параллельно во всех 48 каналах за 1,3 мксек.
- Для обработки-вычитания «пьедесталов» предназначено 48, параллельно работающих, устройств, при этом вычитание «пьедесталов» осуществляется одновременно для всех каналов за 50 нсек.

На рис.5 приведена структурная схема цифровой части модуля ЕМ-6.

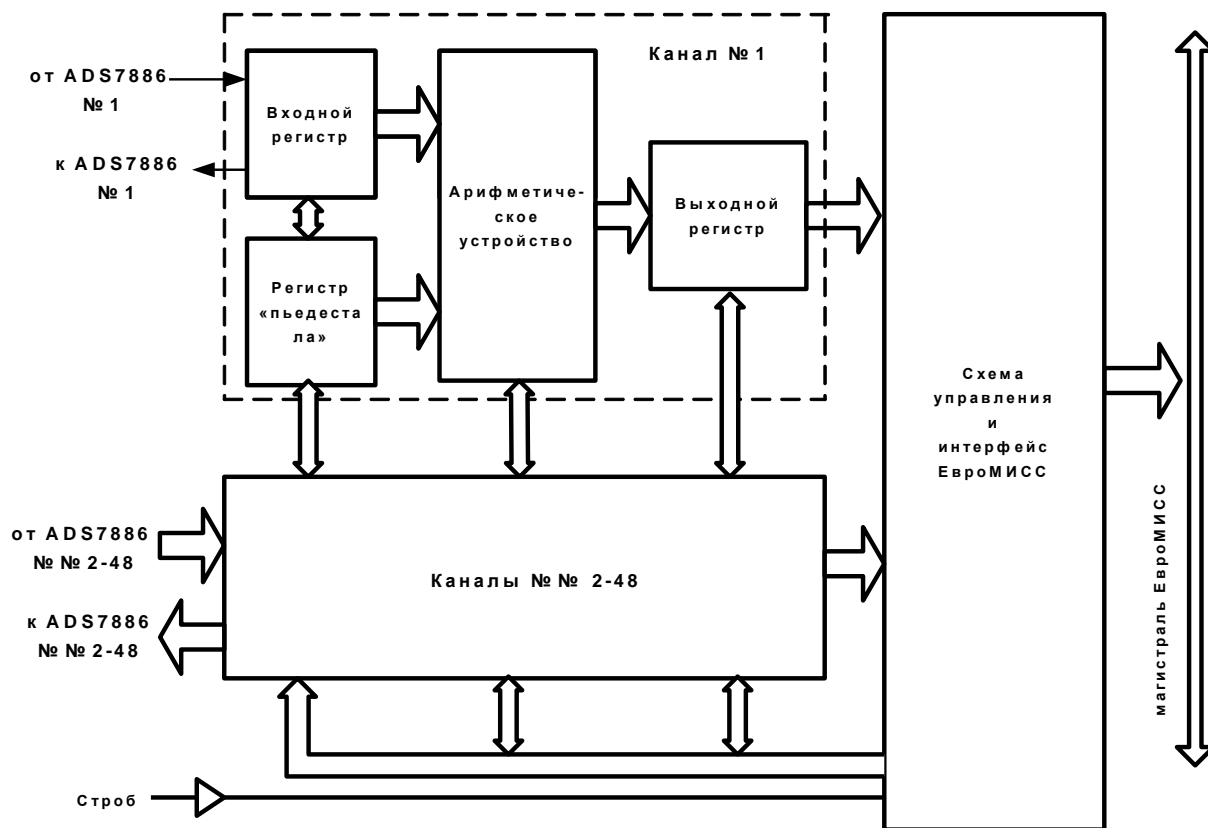


Рис. 5. Структурная схема цифровой части модуля EM-6.

Цифровая часть модуля включает в себя 48 входных регистров сдвига, принимающих участие в процессе аналого-цифрового преобразования совместно с АЦП ADS7886, 48 ми регистров для хранения «пьедесталов» и 48 ми выходных регистров для промежуточного хранения результатов, а также схему управления с интерфейсом к магистрали ЕвроМИСС. На коаксиальный разъем передней панели поступает сигнал Строб, длительность которого определяет время интегрирования входных сигналов от детектора. При отсутствии сигнала Строб входные сигналы игнорируются.

Схема управления и интерфейса к магистрали ЕвроМИСС предназначена для управления временной селекцией сигналов, интегрированием, аналого-цифровым преобразованием, передачей данных из мезонинных плат QDC2, обработкой и занесением обработанных данных во внутреннюю буферную память модуля, а также реализации протоколов ЕвроМИСС. Кроме того, она обеспечивает возможность записи в запоминающее устройство для «пьедесталов» и чтения его, запись и чтение данных в сдвиго-

вые регистры для организации режима тестирования системы сбора, организацию тестовых режимов работы.

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 «пьедесталов». Обработка информации состоит в вычитании из величин данных, получаемых от каналов преобразования, соответствующих «пьедесталов» и, если результат операции положителен, он заносится в регистры промежуточной памяти вместе с соответствующим адресом – номером канала. В противном случае данные отбрасываются. Такой механизм обработки позволяет резко сократить объем передаваемой информации в магистраль ЕвроМИСС, что приводит к уменьшению “мертвого времени” системы регистрации. Сокращению «мертвого времени» способствует также использование 48 ми, работающих параллельно, устройств обработки. Электрическая схема модуля практически полностью реализована в конфигурируемой микросхеме (FPGA ALTERA CYCLON II EP2C16QC208C8). Исключение составляют микросхемы для преобразования логических уровней и микросхемы приёмников-передатчиков.

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

В таблице приведены данные и адреса, которые необходимо посылать-принимать в модули или из модулей в режимах адресных передач для записи или чтения различных регистров схемы, а также приёма из модулей адресов и данных в режимах ПЧИ/ПЧН [2].

Таблица.

Форматы в режиме Адресных Передач				Формат ПЧИ/ПЧН	
	Запись/чтение "пед"	Запись/чтение Вх. Регистра	Запись/чтение Управл. регистра	Разряды	
Разряды					
AD0	Nмодуль1	Nмодуль1	Nмодуль1	AD0	Nмодуль1
AD1	Nмодуль2	Nмодуль2	Nмодуль2	AD1	Nмодуль2
AD2	Nмодуль4	Nмодуль4	Nмодуль4	AD2	Nмодуль4
AD3	Nмодуль8	Nмодуль8	Nмодуль8	AD3	Nмодуль8
AD4	Nмодуль16	Nмодуль16	Nмодуль16	AD4	Nмодуль16
AD5	Nканал1	Nканал1	0	AD5	Nканал1
AD6	Nканал2	Nканал2	0	AD6	Nканал2
AD7	Nканал4	Nканал4	0	AD7	Nканал4
AD8	Nканал8	Nканал8	0	AD8	Nканал8
AD9	Nканал16	Nканал16	0	AD9	Nканал16
AD10	Nканал32	Nканал32	0	AD10	Nканал32
AD11	0	1	0	AD11	0
AD12	0	0	1	AD12	0
AD13	0	0	0	AD13	0
AD14	0	0	0	AD14	0
AD15	0	0	0	AD15	0

Количество разрядов данных DA(11..0)
 Старшие разряды данных DA12,DA15=0

На рис.6 приведен внешний вид модуля EM-6, а на рис.7 –каркас с модулями EM-6, вид сзади. На рис.7 можно увидеть, каким образом подключаются сигналы от детектора к одному из модулей посредством платы-адаптера.

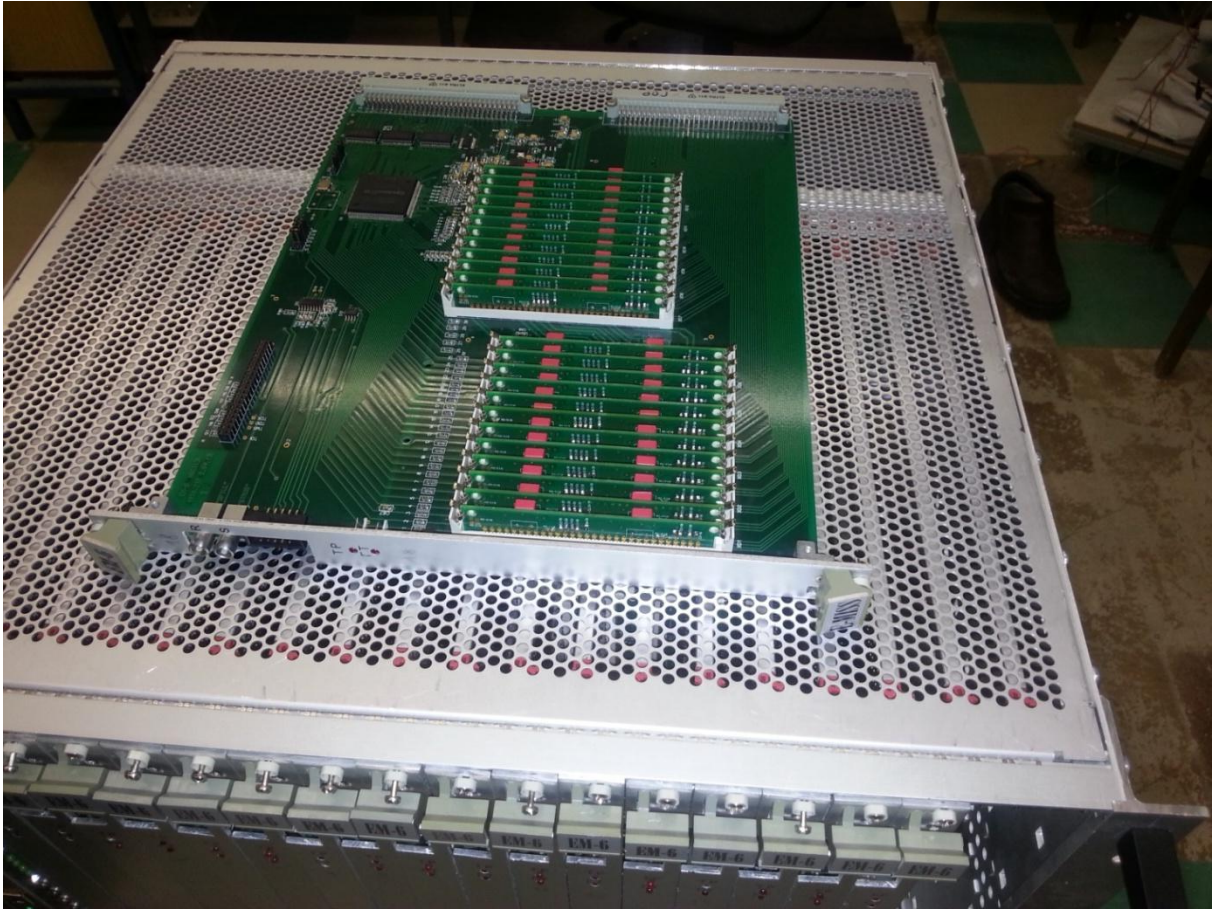


Рис.6. Внешний вид модулей EM-6.



Рис 7. Вид сзади каркаса с EM-6. Показано подключение сигналов от детектора к одному из модулей.

- Потребление мощности модулем EM-6
- $+6\text{В} \times 0,8\text{ А}$
- $-5\text{ В} \times 0,5\text{ А}$

В настоящее время модули работают в составе различных экспериментальных установок ИФВЭ ОКА [4], СПАСЧАРМ [5] и др. Общее количество используемых каналов ЗАЦП, построенных на основе модуля EM-6, около 3 тысяч.

В заключение выражаем искренние благодарности А.П.Филину и П.А. Семёнову за ряд ценных замечаний при имплементации EM-6 в экспериментальные установки.

Список литературы

- [1]. Ю.Б. Бушнин, В.С. Ваньев, П.И. Гончаров и др. Быстродействующая система регистрирующей и триггерной электроники для экспериментальных исследований в ИФВЭ. Препринт ИФВЭ 88-47, Серпухов, 1988.
- [2]. S.I. Bukreeva, N.M. Emelyanov, A.N. Isaev, Yu.D. Karpekov, Yu.S. Kiselev, V.S. Petrov, V.A. Senko, M.M. Soldatov, N.A. Shalanda, V.I. Yakimchuk (Serpukhov, ИИЭП). EuroMISS electronic system for physical setups of the institute of high-energy physics . 2014. 5 pp. Published in Instrum.Exp.Tech. 57 (2014) no.6, 671-675 Электронная система «ЕвроМИСС» для физических установок ИФВЭ. Препринт ИФВЭ 2013-19. Протвино 2013.
- [3]. В.А. Сенько, М.М. Солдатов, В.И. Якимчук. 96-канальный модуль МИСС преобразования «заряд-цифра» для калориметров физики высоких энергий. Препринт ИФВЭ 2012-19, Протвино 2012.
- [4]. С.В. Донсков, А.В. Инякин, Ю.Д. Карпеков, В.Д. Матвеев, В.Ф. Образцов, В.И. Романовский, В.А. Сенько, М.М. Солдатов, А.П. Филин, Н.А. Шаланда, В.И. Якимчук (ИФВЭ, Протвино, Россия), А.И. Макаров, А.А. Худяков (ИЯИ РАН, Москва, Россия). Система сбора данных эксперимента ОКА. Препринт ИФВЭ 2013-22. Протвино 2013.
- [5]. С.И. Букреева, А.Н. Васильев, Ю.М. Гончаренко, А.А. Деревщиков, Е.В. Маслова, Ю.М. Мельник, А.П. Мещанин, В.В. Мочалов, С.В. Рыжиков, А.В. Рязанцев, П.А. Семенов, В.А. Сенько, Н.А. Шаланда. Распределенная система управления детекторами эксперимента СПАСЧАРМ. Препринт ИФВЭ 2018-6. Протвино 2018.

Рукопись поступила 5 июля 2018 г.

М.М. Солдатов, В.А. Сенько

48 ми канальный интегрирующий аналого-цифровой преобразователь
для калориметров физики высоких энергий.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 06.07.2018 Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.
Печ.л. 1. Уч.– изд.л. 1,34. Тираж 80. Заказ 11. Индекс 3649.

НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ
142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, дом 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2018-9,
НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, 2018
