

# Тестовые и калибровочные системы для считывающей электроники кремниевых детекторов

## Часть 2

А. Воронин, к. ф.-м. н.<sup>1</sup>, И. Кудряшов<sup>2</sup>

УДК 539.1.075 | ВАК 05.27.01

Во второй части статьи рассмотрены тестовые системы и аппаратно-программные комплексы (АПК) для контроля считывающей электроники (СЭ) кремниевых детекторов, применяемой в различных экспериментах физики высоких энергий (ФВЭ) и физики космических лучей (ФКЛ).

### АПК ДЛЯ ПРОВЕРКИ СЭ С МИКРОПОЛОСКОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

На рис. 10 представлены АПК с лазером (или с применением радиоактивных источников) и АПК с альфа- и бета-источниками для комплексной проверки радиальных и дугообразных детекторов с СЭ.

Перемещение источника излучения относительно детектора обеспечивает механическая система, точность которой для оси лазерного луча позволяет измерять сигнал с одного сенсора при шаге сенсоров 50 мкм. Для микросхем без корпуса и детекторов необходима защита от внешнего света, поскольку кремниевые детекторы и микросхемы без корпуса имеют высокую чувствительность к световому излучению. Светозащита обеспечивается откидывающейся конструкцией, чтобы при необходимости иметь беспрепятственный доступ к измеряемым платам. Столик для размещения измеряемой платы

изготавливается индивидуально для каждого типа плат с реперами, позволяющими позиционировать платы с высокой точностью (10 мкм).

В состав АПК с лазером входит генератор импульсных последовательностей, синхронизирующий подачу импульсов запуска лазера или вспомогательного генератора электрической калибровки. АПК обеспечивает работу СЭ измеряемых плат и АЦП, питание измеряемой платы, а также управление механическим перемещением платы относительно источника излучения.

Упрощенная блок-схема АПК с лазером приведена на рис. 11.

Поддержание постоянной температуры обеспечивают датчики и кондиционер. Измерение одной платы с кремниевым детектором, содержащим до 1024 сенсора, может достигать одного часа, что вызывает необходимость автоматизации измерений и их обработки.



Рис. 10. АПК для проверки СЭ с микрополосковыми детекторами: а – АПК с лазером; б – плата СЭ треккера СВД-2, устанавливаемая на лазерном стенде; в – АПК с альфа- и бета-источниками

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцина МГУ им. М. В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник, voronin@silab.sinp.msu.ru.

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцина МГУ им. М. В. Ломоносова, научный сотрудник, ilya.kudryashov.85@gmail.com.

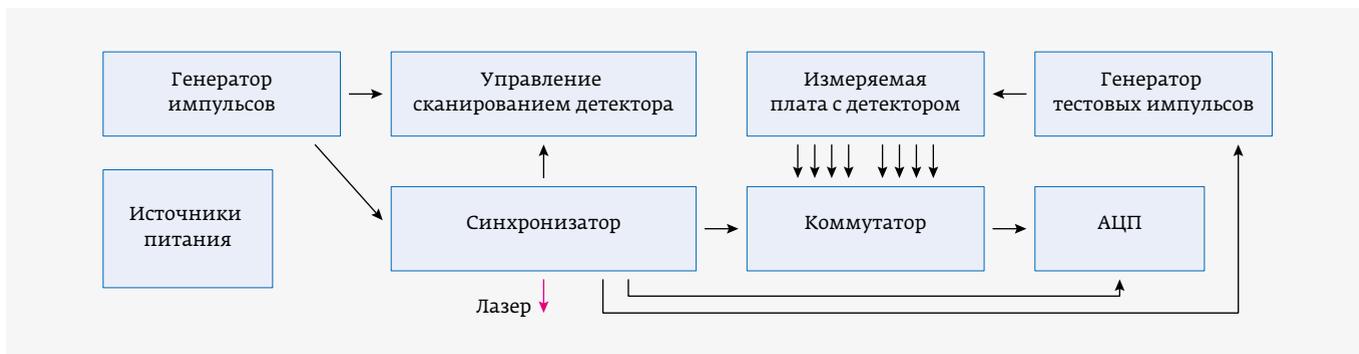


Рис. 11. Упрощенная блок-схема АПК с лазером

Автоматизация измерений реализуется с помощью ПО в среде LabView.

На таком АПК можно исследовать бескорпусную микросхему отдельно или на пластине с помощью многоконтактного зонда.

Результаты измерения блока с микросхемами VA-1 проекта СВД-2 и микрополосковым (стриповым) детектором показывают работоспособность каналов «детектор – СЭ».

На рис. 12 приведены результаты измерения амплитуды откликов СИМС лазерных сигналов двух дисков СЭ проекта СВД-2. На каждом диске расположены по восемь СИМС VA-1'. Соответственно, диск содержит восемь выходных сигнальных разъемов. Как видно из рис. 13, на диске № 4049 менее 1% неработающих каналов, а на диске № 4050 существенно больше, что требует как минимум замены СИМС.

Проверка СИМС осуществляется на универсальном АПК. Замена СИМС не представляет большой сложности,

поскольку расположена на подложке с микроразъемом от компании Hirose и соединяется с платой при помощи шлейфа (рис. 13). Переключение восьми выходов СИМС

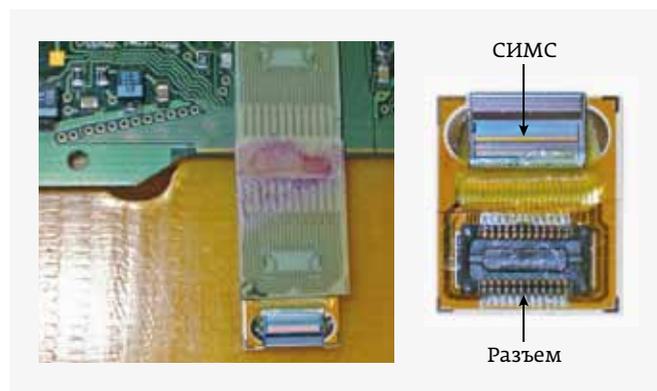


Рис. 13. Шлейф и разъем для тестирования СИМС VA-1'

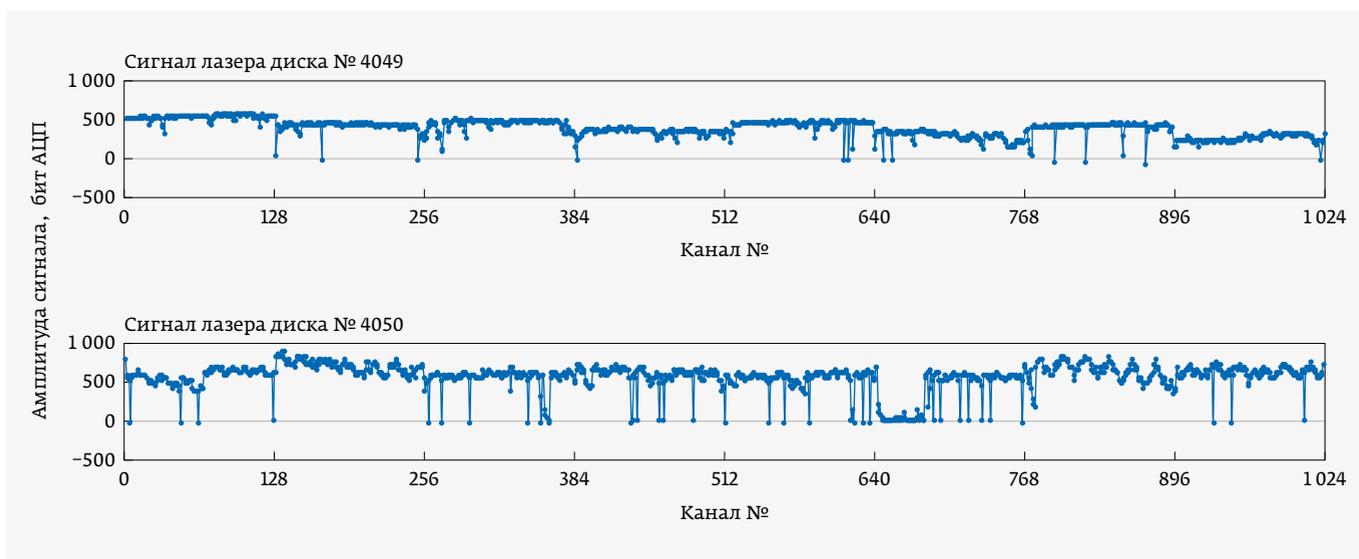


Рис. 12. Результаты измерения амплитуды откликов СИМС на дисках СЭ проекта СВД-2

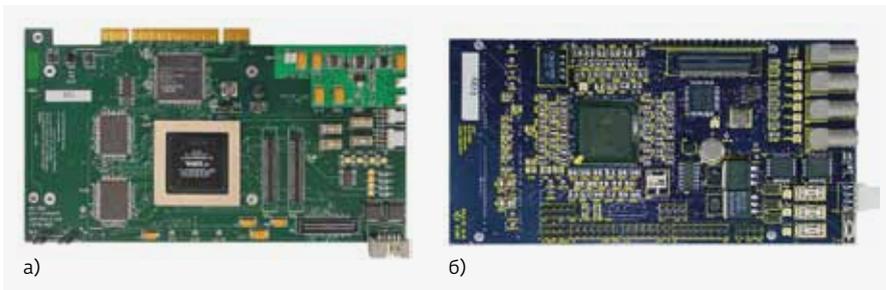


Рис. 14. Плата PCI-адаптера (а) и плата управления СИМС FSSR2 (б)

для соединения с АЦП осуществляется коммутатором, схема которого была собрана на макетной плате.

### АПК ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ СИМС FSSR2 И STS-XYTER

Соединение тестовых стендов с компьютером осуществляется при помощи стандартных портов. Для повышения быстродействия обмена данными между ПК и тестовым оборудованием может быть применен способ обмена с непосредственным подключением к PCI-шине ПК [12]. Тестовый стенд для СИМС FSSR2 содержит три платы, разработанные в Fermilab (США): PCI-адаптер, плату управления СИМС FSSR2 и тестовую плату с СИМС (рис. 14, 15). Первые две платы содержат ПЛИС Xilinx Virtex II XC2V1000 и Altera EP20K200E-BC65. Сначала производится инициализация плат ПЛИС под определенный тест, то есть ПЛИС программируется в соответствии с заданным тестом. Для ускорения память стенда разбита на две части: в то время, пока первая часть памяти заполняется данными измерений, вторая часть передает предыдущие данные для записи на жесткий диск ПК.

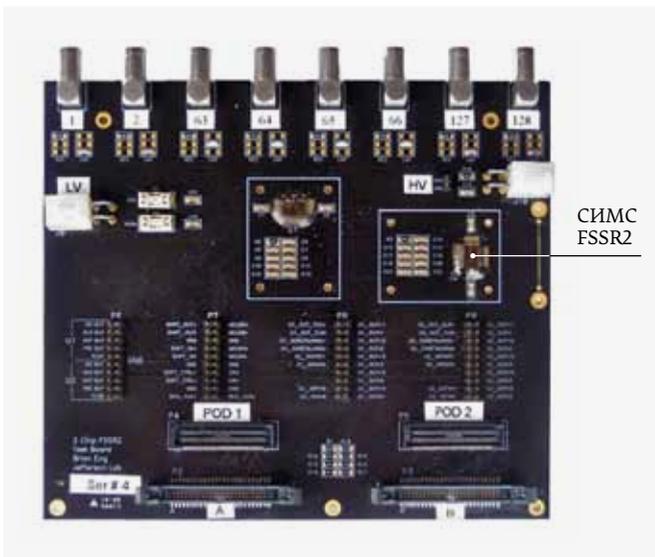


Рис. 15. Тестовая плата СИМС FSSR2

Параллельный АЦП СИМС имеет всего три разряда, что недостаточно для измерения шума по форме отклика АЦП. Однако первый разряд АЦП выполняет функцию триггера в канале и его порог устанавливается ЦАПом с 8-разрядной точностью. В этом случае можно измерить шум (восстановить форму сигнала на выходе АЦП) по количеству срабатываний первого разряда дифференцированием его отклика, изменяя при этом порог срабатывания (так называемая S-кривая, рис. 16).

По аналогичной схеме был создан стенд для тестов СИМС STS-XYTER, разработанный для проекта CBM – GSI (г. Дармштадт, Германия) и применяемый в кремниевом трекере проекта BM@N – NICA (ОИЯИ, г. Дубна). Измерение шума при массовом тестировании СИМС производится также с помощью S-кривых. Главное отличие стенда для STS-XYTER от стенда для FSSR2 заключается в том, что стенд допускает ручное и автоматическое управление

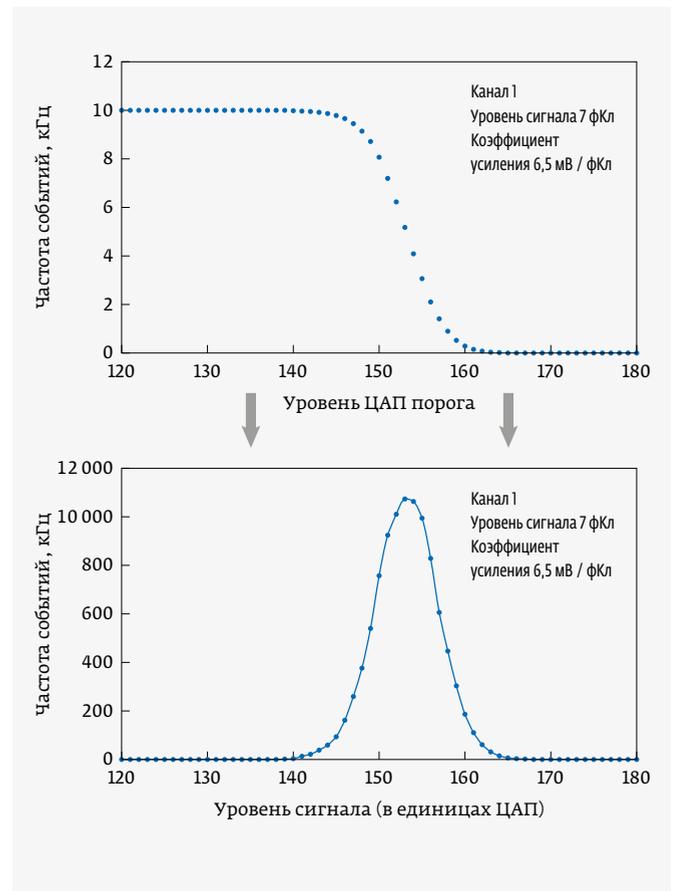


Рис. 16. S-кривая и восстановленная форма отклика АЦП при линейном изменении его порога



Акционерное общество

# ИРКУТСКИЙ РЕЛЕЙНЫЙ ЗАВОД

## РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ КОММУТАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

### СОЕДИНИТЕЛИ РАДИОЧАСТОТНЫЕ КОАКСИАЛЬНЫЕ

Типы присоединительного размера:

- IX, вариант 1 и SMA в соответствии с ГОСТ РВ 51914-2002
- SMP по стандарту MIL-STD-348B, Fig. 326  
Рабочий диапазон частот 18; 26,5 и 40 ГГц  
Волновое сопротивление 50 Ом  
Износостойкое покрытие золото-кобальт  
Категория качества «ОТК» и «ВП»



### ФИЛЬТРЫ ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИЕ ГЕРМЕТИЧНЫЕ

Номинальное волновое сопротивление: 50 Ом  
Диапазон частот: 0,5...10 ГГц  
Тангенс угла потерь, не более: 0,035  
Рабочий диапазон температур: -60...+125 °С  
Натекание (герметичность), не более:  $1,3 \cdot 10^{-11}$  м<sup>3</sup>Па·с<sup>-1</sup>;  $1 \cdot 10^{-7}$  л мкм рт.ст./с.  
Номинальные напряжения: 50В, 100В, 200В;  
Номинальная емкость: 27 пФ, 100 пФ, 510 пФ, 1000 пФ,  
5100 пФ, 10000 пФ, 30000 пФ  
Категория качества «ОТК» и «ВП»



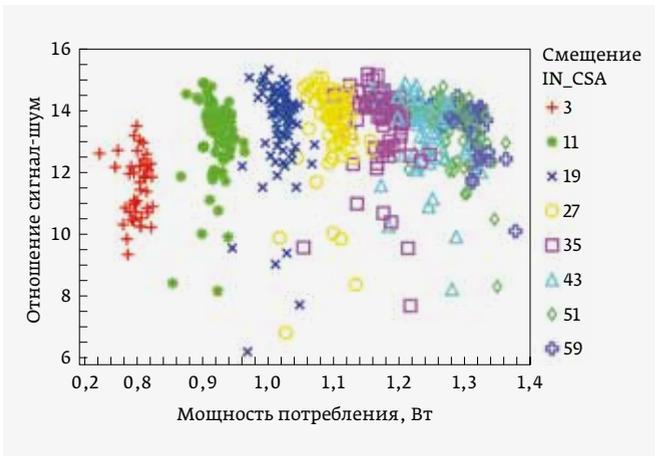
### СВЧ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОАКСИАЛЬНЫЙ

Двухстабильный, поляризованный, постоянного тока  
Схема переключения - 2 положения, 2 направления (2П2Н / DPDT)  
РЧ соединитель тип N, розетка ГОСТ РВ 51914  
Диапазон рабочих частот от 0,01 до 12,4 ГГц;  
Номинальное волновое сопротивление 50 Ом;  
Максимальный КСВН 1,35:1;  
Категория качества: «ОТК» (серийное производство)  
и «ВП» (в стадии разработки)



664075, г. Иркутск, ул. Байкальская, 239  
E-mail: [marketing@irzirk.ru](mailto:marketing@irzirk.ru)  
Тел.: (3952) 35-23-18, факс: (3952) 24-57-45

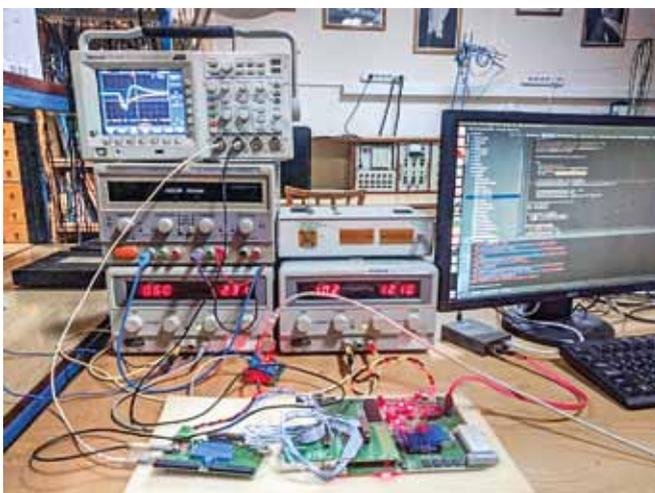
[www.irzirk.ru](http://www.irzirk.ru)



**Рис. 17.** Зависимость отношения «сигнал – шум» ЗЧУ от потребляемой мощности (цветами обозначены токи смещения ЗЧУ)

процессом измерений. Кроме того, разработанное программное обеспечение, кроме измерения параметров, позволяет оптимизировать режимы СИМС по нескольким параметрам: потребляемой мощности, уровню шума, динамическому диапазону, быстродействию и линейности передаточной характеристики (усилению).

Методика оптимизации заключается в следующем: сканируются параметры СИМС изменением рабочих точек каскадов. Рабочие точки регулируются ЦАПами при помощи кодов управляющих регистров, которые изменяются программным способом (перебором управляющих кодов). Создается многомерный массив (матрица) данных, из которого исключается информация для режимов, при котором СИМС не работает или параметры не соответствуют допускам. Строятся графики

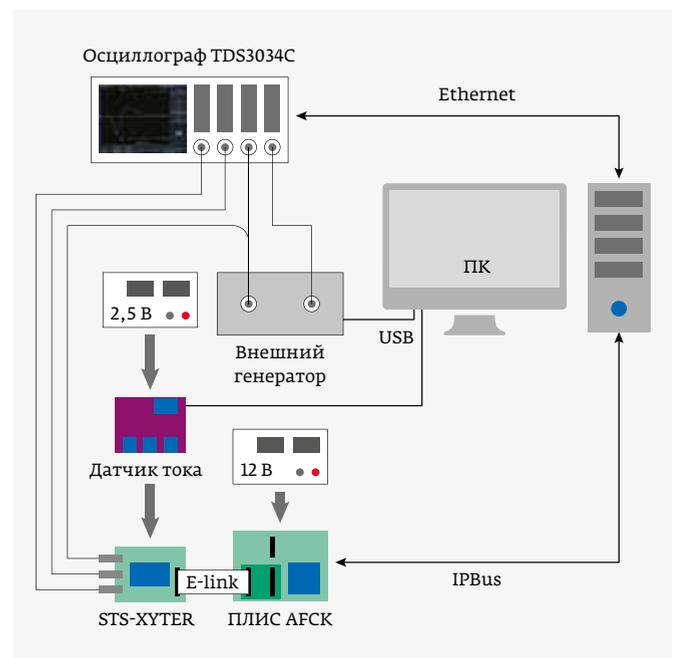


**Рис. 18.** Общий вид стенда для проверки и оптимизации режимов СИМС STS-XYTER

зависимостей параметров от режимов каскадов (например, ЗЧУ имеет четыре основные точки регулировки). По графикам определяются оптимальные или квазиоптимальные (компромиссные) рабочие точки. Поскольку устанавливаются ограничения на измеряемые параметры, в результате получают многомерный сетчатый график. Проекцией на плоскость всех полученных режимов многомерного графика в пределах допусков является набор рабочих точек, приведенный на рис. 17. Поскольку потребляемая мощность зависит в основном от смещения IN\_CSA, определяющего ток бустерного каскада ЗЧУ, и отношения «сигнал – шум» (SNR), которые являются одними из наиболее важных параметров, график на рис. 18 построен именно в координатах «мощность – SNR». Изменения остальных смещений дают разброс SNR и потребляемой мощности для определенных значений смещения IN\_CSA.

Перейдем к аппаратному решению для ТС. Стенд содержит стандартные приборы: осциллограф (который используется также как АЦП), мультиметр, блоки питания, генератор импульсов (рис. 18, 19). Функционал платы ПЛИС AFCK (опытная плата обмена данными для проекта СВМ) такой же, как и платы для стенда СИМС FSSR2. Плата ПЛИС AFCK обеспечивает общение с ПК и измеряемой СИМС STS-XYTER через интерфейс E-Link, являясь одновременно эмулятором GBT интерфейса [13].

В состав стенда также входят плата внешнего генератора и адаптивный измеритель тока. Внешний генератор собран на базе быстродействующего (длительность фронта



**Рис. 19.** Упрощенная структура стенда для проверки и оптимизации режимов СИМС STS-XYTER



**АО «ЗАВОД «КОПИР»**

разработка и производство электрических соединителей

АО «Завод «Копир» один из основных производителей и разработчиков электрических соединителей для авиационно-космической техники, приборостроения, судостроения, железнодорожного транспорта, автомобилестроения и других отраслей промышленности

### СОЕДИНИТЕЛИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ



Соединители СЦМ8, СЦМ12 повышенной надежности аналоги SACC-M12, M8, M12-L выпускаемыми по стандарту IEC 61076-2-101, IEC 61076-2-104, IEC 61076-2-109 фирмами Phoenix Contact США, Harting Германия.

- Количество контактов: 4, 5, 8 с кодами А, В, D, X
- Покрытие контактов – золото
- Максимальное рабочее напряжение – 250 В
- Максимальный ток на контакт, не более, – 4 А
- Срок сохраняемости – 30 лет
- Категория качества «ВП» и «ОТК»

### СОЕДИНИТЕЛИ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ



Вилки и розетки СНП 240 приборные, кабельные (угловые/прямые), аналоги соединителей С13 и С14 серии IEC по стандарту EN 60320.

- Покрытие контактов – никель, хим. пас
- Максимальное рабочее напряжение – 250 В
- Максимальный ток, не более, – 10 А
- Срок сохраняемости – 25 лет
- Категория качества «ВП» и «ОТК»

### СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОЭЛЕКТРОНИКИ



Специализированные соединители (розетки) серии HDSCS Te connectivity для автоэлектроники, стойкие к вибрации, высокой температуре, пыли и влаге.

- Герметизация каждого проводника не нарушается при каждом соединении-разъединении
- Система защелки корпусов, которая не дает соединить разъем, если контакты установлены неправильно
- Защита от пыли и влаги IP67
- Защита от неправильной стыковки, цветовая маркировка корпусов



425350, Россия, Республика Марий Эл, г. Козьмодемьянск, ул. Гагарина, 10

Телефон: приёмная (83632) 7-11-49; ОКБ (83632) 7-57-52

Факс: (83632) 7-56-68

E-mail: mail@zavod-kopir.ru; market@zavod-kopir.ru; okb@zavod-kopir.ru

www.zavod-kopir.ru



Рис. 20. Керамические гибридные платы детекторов с ЗЧУ

несколько нс) 16-разрядного ЦАП, управляемого по шине USB, и является генератором калибровочных импульсов. Адаптивный измеритель тока с защитой автоматически выбирает диапазон измерений, соединен с ПК по шине USB и измеряет ток потребления СИМС STS-XYTER.

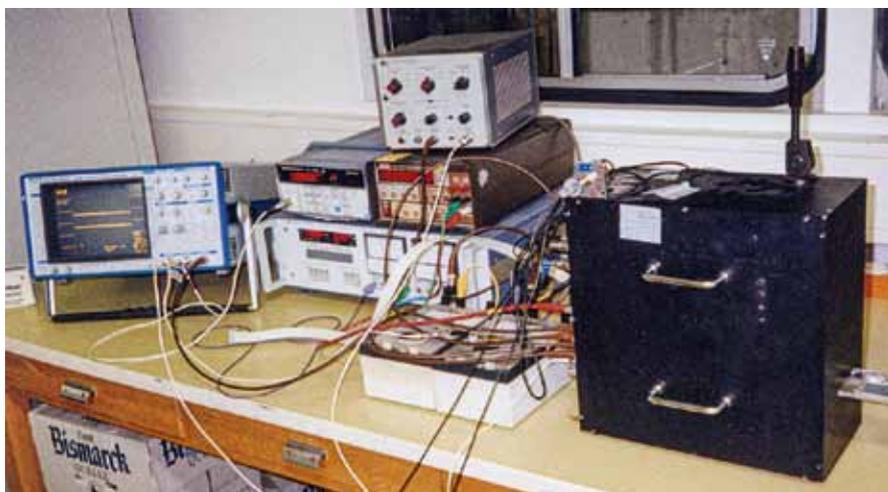


Рис. 21. Тестовый стенд для проверки Detector Card

Разработанное ПО обеспечивает измерение основных параметров СИМС и исследование его работы, в частности аналоговой части, которая определяет качество работы СИМС.

Поскольку СИМС имеет несколько режимов работы (дискретное изменение усиления, постоянной времени шейпера и диапазона АЦП и др.), определение параметров при переключении режимов играет основную роль в получении достоверных данных трековой системы BM@N в реальном эксперименте.

### ТЕСТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА HES-ZEUS (DESY)

Адронно-электронный сепаратор HES калориметра установки ZEUS в центре DESY (г. Гамбург, Германия) является функционально законченной подсистемой, используемой для повышения точности при разделении пучка ускорителя ГЕРА на электроны и протоны. В отличие от приведенных в статье АПК для тестов СЭ в лабораторных условиях, данный комплекс расположен на DESY и позволяет тестировать и ремонтировать электронику HES в полном объеме, включая систему сбора данных и блоки управления подсистемой.

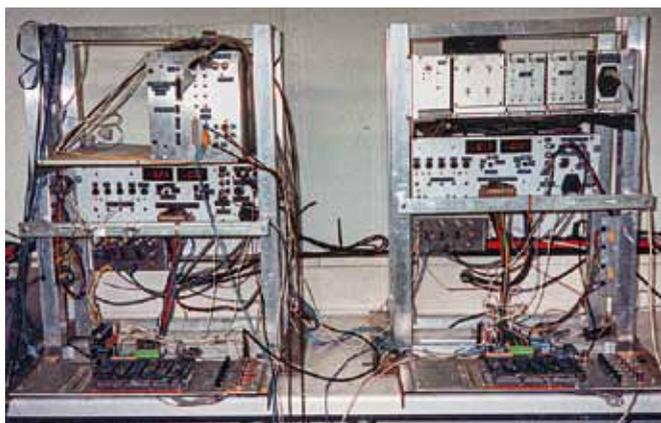


Рис. 22. Стенд для проверки и ремонта Analog Card и ее блоков (короткий тест)

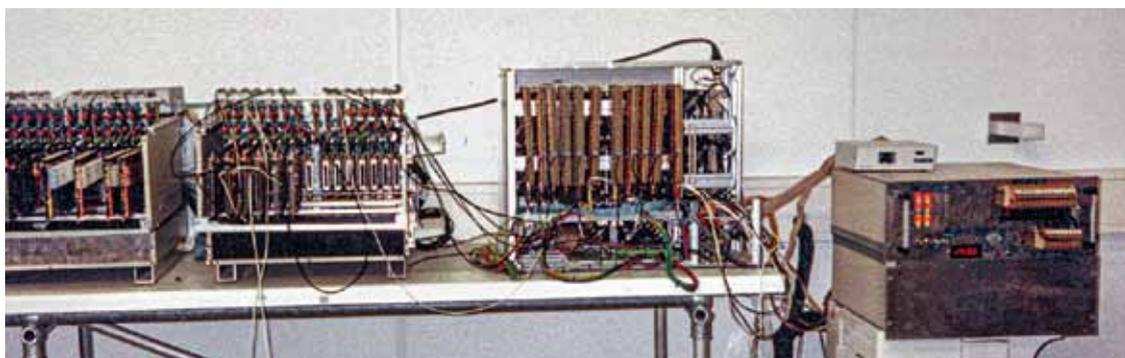


Рис. 23. Стенд для проверки Analog Card и Power Distribution Card (PDC) (длинный тест)



Рис. 24. Стенд для проверки Ski Control System

В СЭ входят 18-слойные печатные платы (Ski) длиной до 4,5 м, на которых расположены керамические гибридные платы детекторов с ЗЧУ (Detector Cards – DCard) (рис. 20) [14].

DCard подключаются к платам СЭ (Analog Cards – ACard). В состав электроники HES также входят: плата управления СЭ (Ski Control System – SCS), объединительная плата ВР, в разъемы которой вставляются указанные платы. Далее, кабелем длиной порядка 60 м СЭ, SCS, ВР и плата распределения питания (PDC) связаны с АЦП и блоками управления.

Общий вид стендов тестового комплекса представлен на рис. 21, 22, 23, 24, а структурная схема – на рис. 25. Комплекс содержит блоки управления, источники питания на 40 А, общий для нескольких тестов 12-разрядный АЦП.

В состав тестового комплекса входит несколько стендов.

Стенд для проверки ACard (см. рис. 23) предназначен для быстрой проверки (короткий тест) и ремонта ACard (две рабочие станции). В разъемы ВР можно вставлять до семи ACard и сравнивать их параметры. Также на этой

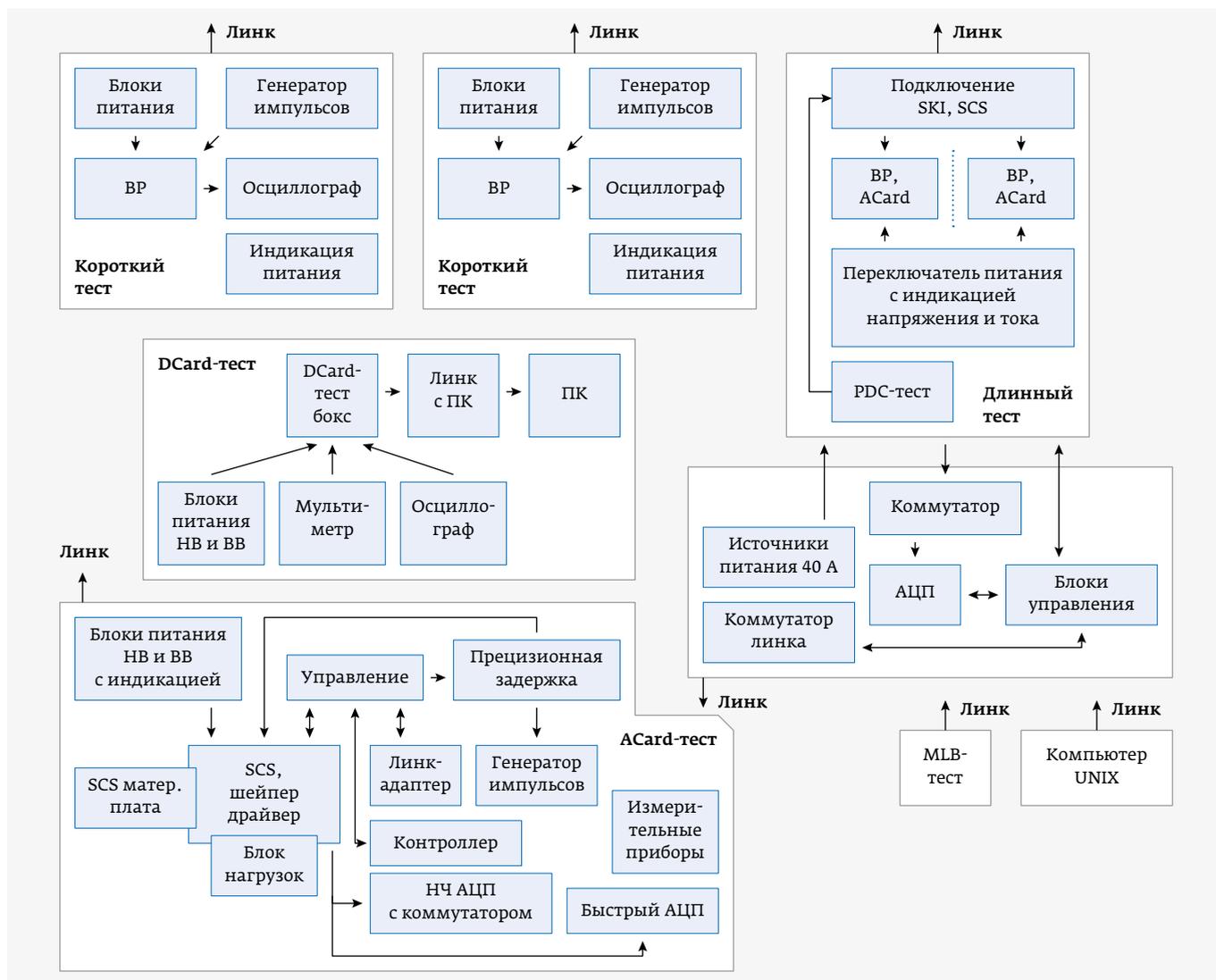
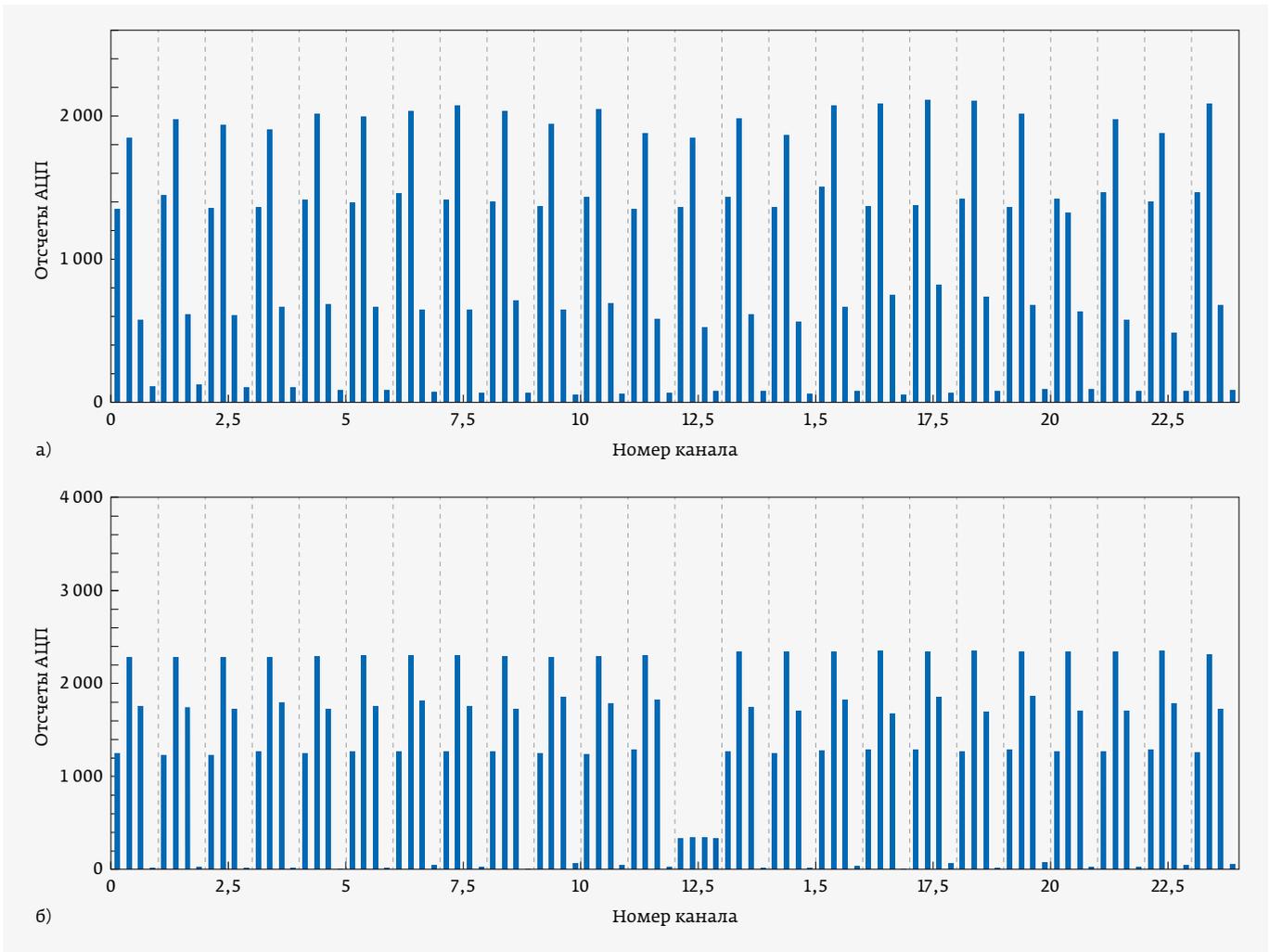


Рис. 25. Структурная схема тестового комплекса электроники HES



**Рис. 26.** Результаты длинного теста ACard (амплитуда отсчетов шейпера): а – рабочая плата; б – плата, на которой одна СИМС вышла из строя

станции есть возможность проверять блоки, входящие в ACard.

После быстрой проверки на коротком тесте ACard (до 28 шт.) переносятся на станцию длинного теста (см. рис. 24), где они находятся под напряжением около двух недель. Каждый день проверяется работа плат. Если одна из плат вышла из строя, производится ее ремонт, затем она возвращается на старое место, и тест продолжается. Основными причинами неработоспособности ACard являлись: выход из строя СИМС или гибридных сборок, плохой контакт разъемов СИМС и качество изготовления печатных плат. Входной сигнал каждого канала платы отображается четырьмя отсчетами (рис. 26) с периодом 96 нс. Четвертый отсчет, как правило, имеет отрицательную полярность и отмечен на верхнем рисунке черными линиями. Одновременно они являются шкалой номера канала. На нижнем рисунке, за счет изменения масштаба, четвертые отсчеты сдвинуты вправо.

Рядом с боксами для ACard расположен бокс тестов PDC с вентиляторами охлаждения. Вблизи с ACard и PDC имеется возможность расположить Ski и SCS для реализации прототипа HES.

Тестовая станция для DCard автономна, автоматизация измерений обеспечивается отдельным ПК. При этом создается база данных параметров DCard, например база калибровочных емкостей  $C_{\text{кал}}$  с учетом эталонных  $C_x$  (рис. 27) и измеренных  $C_{\text{изм}}$  для определения паразитной емкости измерений  $C_{\text{л}}$ :  $C_{\text{кал}} = C_{\text{изм}} - C_x - C_{\text{л}}$ , где  $C_{\text{л}}$  – емкость, измеренная без DCard для  $C_x = 0$ .  $C_x$  равна значению пресечения прямой, построенной по точкам  $C_x$ , с осью ординат. Светозащита детектора осуществляется боксом с выдвигаемым шаблоном, в который помещается DCard. Контакт с платой производится подпружиненными иглами.

Тестовая станция для MLB имеет несколько контактных устройств для измерений импеданса линий, емкости



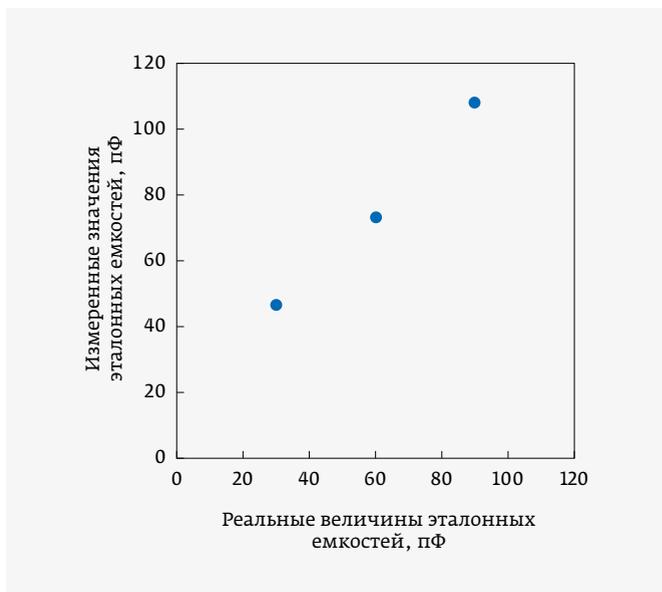
## ИНТЕЛЛЕКТ. КАЧЕСТВО.

АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»  
Москва, Щелковское шоссе, д.5, стр.1  
Тел. (499) 644-21-03, (499) 644-25-62  
(многоканальный)  
Факс +7(499) 644-19-70  
E-mail: [mwsystems@mwsystems.ru](mailto:mwsystems@mwsystems.ru)  
[www.mwsystems.ru](http://www.mwsystems.ru)

- СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИИ
- ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО
- ПОЛНЫЙ СПЕКТР УСЛУГ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ МОНОЛИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ И БЛОКОВ РЭА (0,3 - 22 ГГц)

## АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»





**Рис. 27.** Суммарная емкость калибровочной и эталонных емкостей для определения паразитной емкости измерений  $C_{\pi}$

между проводниками (рис. 28), их сопротивления (4-х зондовым методом), затухания в линиях передачи.

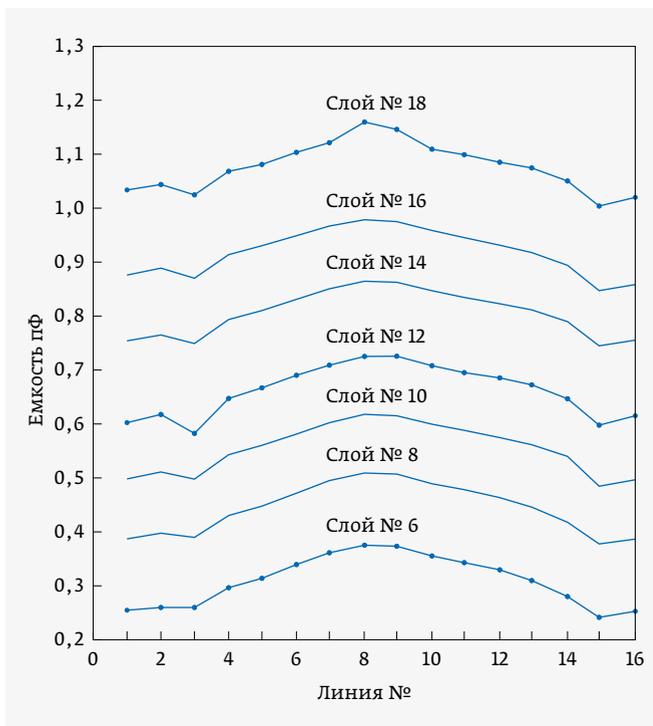
Тестовая станция для SCS позволяет измерять, кроме SCS, характеристики шейперов (рис. 29) и линейных драйверов. Станция работает в автоматическом и полуавтоматическом режимах, последний обеспечивается с помощью контроллера. Для измерения постоянных токов и напряжений питания Ski используется медленный АЦП. Для исследования быстрых процессов применяется быстрый (10 нс) АЦП. Потребление Ski имитируется с помощью блока нагрузок. Прецизионная задержка обеспечивает стробоскопический эффект для точного измерения формы сигналов.

Основное управление комплексом и сбор измеренных данных обеспечивает компьютер на базе ОС UNIX. Более подробно измерительный комплекс и результаты тестирования описаны в [15, 16].

### ТЕСТ НА ПУЧКЕ УСКОРИТЕЛЯ

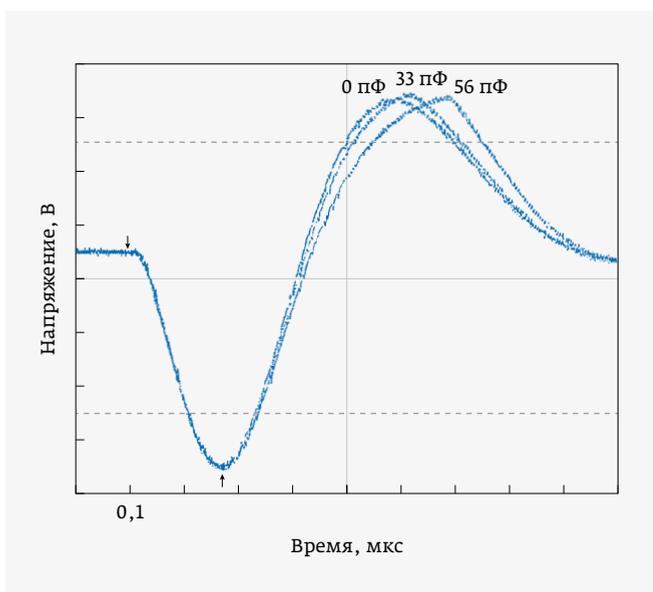
В эксперименте СВМ требовалось измерить координатное разрешение и эффективность регистрации частиц двухсторонних кремниевых детекторов трекера (STS). Для этого группами STS и СВД-2 была изготовлена трековая станция с демонстратором STS [17].

В трековой станции применены элементы установки СВД-2 – платы СЭ с СИМС GASSIPLEX v1.5. Трековая станция  $S_T$  расположена между двумя пучковыми мониторами СВД-2 S1 и S2, впереди водородной мишени  $H_2$  и СВД-2 трекера S3-S6. Для тестов использовался пучок протонов 50 ГэВ.

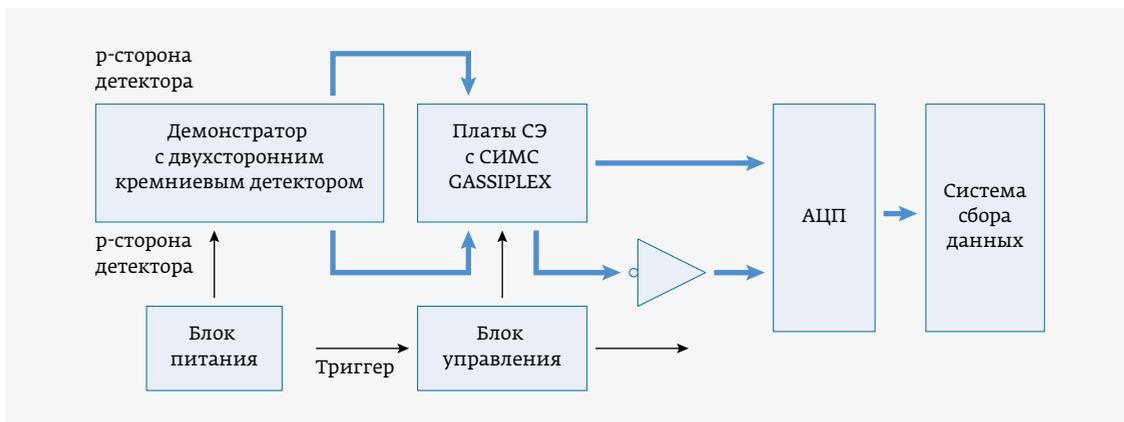


**Рис. 28.** Усредненные значения емкостей между сигнальными линиями MLB и землей

В электронике теста задействованы блоки СВД-2 (рис. 30). Токвые импульсы с обеих сторон детектора (и, соответственно, обеих полярностей) поступают на СЭ платы. Далее амплитуда, записанная в аналоговую память СИМС, оцифровывается в АЦП, позитивные сигналы r-стороны



**Рис. 29.** Зависимость формы сигнала шейпера от емкостной нагрузки



**Рис. 30.** Структурная схема электроники теста на координатное разрешение

детектора подключены к АЦП напрямую, полярность негативных сигналов n-стороны детектора инвертируется с усилением, равным 1. Порог триггера, запускающего считывание, установлен по сигналу, имеющему отношение «сигнал – шум» более 3 (при отношении минимально-ионизационной частицы к уровню шума около 8).

Обработка результатов теста проводилась по 10 тыс. трекам протонов. Эффективность регистрации протонов с энергией 50 ГэВ практически равна 100%. Координатное разрешение обеих сторон детектора составляет по координате X 15,3 мкм, а по координате Y – 14,8 мкм (средне-квадратичное отклонение) (рис. 31).

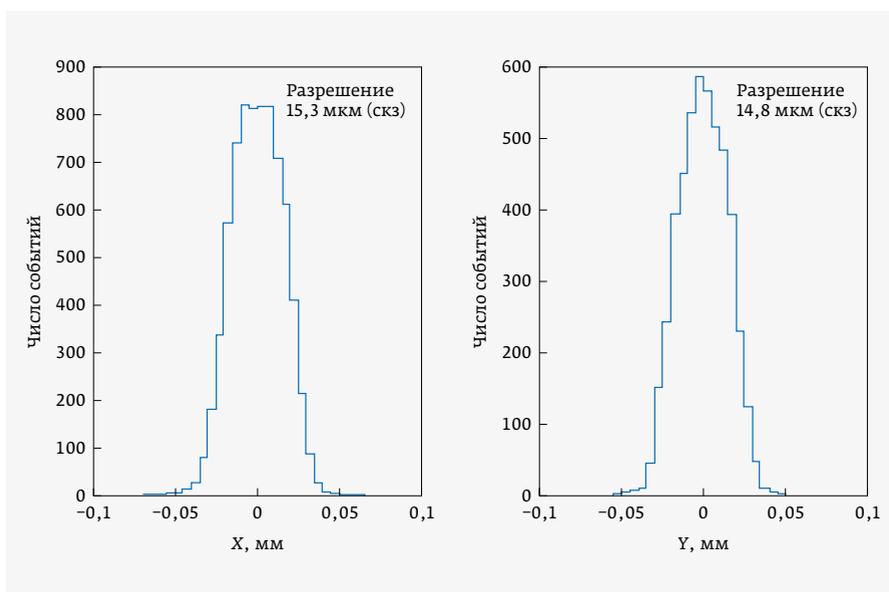
\* \* \*

Авторы выражают благодарность за представленные графические материалы по тестовому стенду для STS-XYTER И. Ковалеву, А. Курганову и Д. Карманову. Результаты,

изложенные в статье, предполагается использовать в рамках реализации гранта РФФИ № 18-02-40047 при его финансовой поддержке.

**ЛИТЕРАТУРА**

12. **Воронин А. Г., Карманов Д. Е., Меркин М. М., Рогожин С. В.** Первые результаты исследований электроники считывания кремниевой трековой системы для модернизации эксперимента CLAS12 // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 6. С. 1–8.
13. GBTX Manual V0.17 Draft 5/03/2021 // <http://cern.ch/proj-gbt>
14. **Bashindzhagyan G. L., Voronin A. G., Ermolov P. F., Karmanov D. E., Korotkova N. A., Kuznetsov E. N., Merkin M. M., Savin A. A.** Analog Section of a Hadron–Electron Separator of the ZEUS Experiment (DESY) // Instruments and Experimental Techniques. 2002. V. 45. No. 2. PP. 167–174.
15. **Богданова Г. А., Волков В. Ю., Воронин А. Г., Ежов В. Б., Карманов Д. Е., Кузнецов Е. Н., Савин А. А.** Тестовая система адрон-электронного сепаратора установки ZEUS (DESY) // Препринт НИИЯФ МГУ. 2001. 3/643.
16. **Богданова Г. А., Волков В. Ю., Воронин А. Г., Ежов В. Б., Карманов Д. Е., Савин А. А.** Тестирование считывающей электроники кремниевых детекторов адрон-электронного сепаратора эксперимента ZEUS (DESY) // Препринт НИИЯФ МГУ. 2001. 11/65.
17. **Murin Yu., Rufanov I., Vorobiev A., Tsyupa Yu., Karmanov D., Leflat A., Volkov V., Voronin A., Heuser J. M., Lymanets A., and the CBM-MPD STS Consortium.** Test of STS demonstrator module 0-B in a 50 GeV proton beam // GSI Report 2009-03 ISSN 171-4546.



**Рис. 31.** Распределение координатного разрешения по результатам теста на пучке ускорителя