

**Ա.Ի. ԱԼԻԽԱՆՅԱՆԻ ԱՆՎԱՆ ԱԶԳԱՅԻՆ ԳԻՏԱԿԱՆ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱ**  
Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ

**Առարկայան Կարեն Վլադիմիրի**

**ՆՈՐ ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱՅԻ ՍՏԵՂՈՒՄ ՏԻԶԵՆԴԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ  
ԴԻՏԱՆ, ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆՑԻ (SEVAN) ԵՎ ԱՐԱԳԱՍԻ ՏԻԶԵՆԴԱԿԱՆ  
ԵՂԱՆԱԿԻ ԿԵՆՏՐՈՆԻ (ASEC) ՀԱՄԱՐ**

**Ա.04.16-Միջուկի, տարրական մասնիկների և տիեզերական  
ճառագայթների ֆիզիկա մասնագիտությամբ  
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի  
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության**

**ՍԵՂՄԱԳԻՐ**

**ԵՐԵՎԱՆ-2012**

---

**НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ им. А.И.Алиханяна**  
Ереванский физический институт

**Արակեյան Կարեն Վլադիմիրովիչ**

**СОЗДАНИЕ НОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЯ И  
АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ (SEVAN) И АРАГАЦСКОГО ЦЕНТРА  
КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ (ASEC)**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
01.04.16 - Физика ядра, элементарных частиц и космических лучей**

**ԵՐԵՎԱՆ – 2012**

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիայի գիտական խորհրդի կողմից  
գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր Ա.Ա. Չիլինգարյան (ԱԳԼ)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր Ս. Գ. Հարությունյան (ԱԳԼ)  
Տեխնիկական գիտ. թեկնածու Հ. Վարդանյան (ԱԳԼ)

Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի կապի միջոցների ԳՀԻ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2012թ. Հոկտեմբերի 23-ին ժամը 14<sup>00</sup>-ին Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիայում գործող ԲՈՀ-ի "Միջուկի և տարրական մասնիկների ֆիզիկա" 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում:

Հասցեն՝ 0036, Երևան, Ալիխանյան եղբայրների փող. 2  
Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիայի գրադարանում:

Սեղմնագիրն առաքված է 2012 թ. սեպտեմբերի 20-ին:

Սևանագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,  
Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր՝ *Զ. Մարտիրոսյան* Է.Ն. Գազազյան

Тема диссертации утверждена ученым советом Национальной научной лаборатории им. А.И. Алиханяна

Научный руководитель:

доктор физ.-мат. наук А.А. Чилингарян (ННЛ)

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук С.Г. Арутюнян (ННЛ)  
кандидат технических наук Г. Варданян (ННЛ)

Ведущая организация: ЕрНИИСС

Защита диссертации состоится 23 октября 2012 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании специализированного совета ВАК "Физика ядра и элементарных частиц" 024, действующего при Национальной научной лаборатории им. А.Алиханяна.

Адрес: Ереван, 0036, ул. Братьев Алиханян, 2

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ННЛ

Автореферат разослан 20 сентября 2012 г.

Ученый секретарь специализированного совета,  
доктор физ.-мат. наук, профессор

*Զ. Մարտիրոսյան* Э.Д. Դ'азаян

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Космическая погода - это те условия солнечной активности, солнечного ветра, магнитосферы, ионосферы и термосферы, которые могут представлять опасность для космических и наземных технологических систем, а также для человеческой жизни или здоровья. В связи с бурным развитием новых технологий с космическим базированием становится необходимым улучшать прогнозирование опасных последствий космической погоды с помощью спутников и космических станций, а также наземных систем измерения. Хотя спутниковые спектрометры предоставляют самые точные данные о низкоэнергетических потоках частиц, данные наземных детекторов частиц могут предоставить уникальную информацию о космических лучах высоких энергий, которая является необходимым элементом прогнозирования космической погоды. Так как поток ионов высоких энергий слаб, а самые мощные события обычно анизотропны, для надежной регистрации частиц необходимо создать большую сеть детекторов частиц, расположенную на низких и средних широтах предпочтительно на горных высотах. Информация о типах и энергии первичных ионов искажается при последовательном взаимодействии частиц с атмосферными ядрами. Поэтому только измерение всех вторичных потоков (нейтронов, мюонов и электронов), а также их корреляций, может способствовать предоставлению точных прогнозов и оценок энергетических спектров солнечных космических лучей средних и промежуточных энергий, следующих вслед за частицами высоких энергий.

На угловые и энергетические распределение галактических космических лучей влияют такие глобальные явления, как распространение магнитных облаков и ударных волн. В свою очередь, интенсивность вторичных космических лучей воспроизводит эти изменения. Разные типы модуляции изменяют скорость счета наземных детекторов частиц. Взаимодействие магнитных облаков и ударных волн с возбужденным межпланетным магнитным полем и магнитосферой может создать различные эффекты модуляции, что влияет на изменения скорости счета наземных детекторов частиц. Однако, неясно, которые из этих эффектов модуляции, соотносятся с мощностью надвигающегося шторма. Поэтому для надежного прогноза геомагнитных бурь необходимы исследования прохождения магнитных облаков от Солнца к Земле и постоянная регистрация модуляционных эффектов движущегося по направлению к Земле облака солнечной плазмы. Регистрация всех компонент вторичных космических лучей, а не только нейтронов или мюонов как в существующих сетях, позволит значительно улучшить понимание модуляционных эффектов и создать системы оповещения о надвигающихся радиационных и магнитных бурях. Для надежной регистрации временных рядов нейтральных и заряженных компонент космических лучей была создана система современной электроники, установленная на модулях SEVAN в различных странах и на детекторах Арагацского Центра Космической Погоды (ASEC).

**Цель работы.** Целью настоящей работы является разработка новой электроники, обеспечивающей работоспособность существующих и вновь конструируемых

детекторов элементарных частиц и формирование дополнительной информации, получаемой с этих детекторов. Большое число детекторов, их географическое расположение и работа в сложных метеорологических условиях привели к необходимости замены существующей электроники новыми разработками входных устройств, устройств сбора информации, управляющих элементов и устройств, обеспечивающей распределение и хранение информации. Одним из основных требований является возможность дистанционного сбора информации, мониторинга детекторов и управления их параметрами в глобальном масштабе. Информация, снимаемая с детекторов, в зависимости от поставленной задачи – это или скорость счёта, или амплитуды, или информация о совместном срабатывании каналов. Кроме того, требовалась дистанционная доступность к информации и элементам управления электронных устройств. Для обеспечения устойчивого функционирования детекторов следовало обеспечить мониторинг параметров погодной обстановки.

#### **Практическая значимость полученных результатов.**

Сеть Наблюдения и Анализа Космической Погоды (SEVAN), состоящая из детекторов, расположенных в средних и низких широтах, начала создаваться в рамках Международного Года Солнца (ИГУ-2007). Основной целью сети является исследование космической погоды и исследования ускорения частиц вблизи солнца. Благодаря созданной электронике, модули сети одновременно измеряют изменения потоков большинства разновидностей вторичных космических лучей, превращаясь, таким образом, в единый интегрированный детектор, используемый для регистрации эффектов солнечной модуляции. Новые детекторы позволяют получить более подробную информацию о структуре потоков космических лучей и их вариациях для различных типов элементарных частиц в большом диапазоне долгот от Индии до Словакии, перекрывающем 62 градуса. С помощью созданной сети можно вести наблюдения за Солнцем 16 часов в день, в том числе 2 станциями 24 часов. С установкой новой электроники значительно увеличились функциональные возможности детекторов ASEC, расположенных на уровне наблюдения 800, 2000, 3250 над уровнем моря.

#### **Научная новизна.**

- Созданы системы электроники для сетей наземных детекторов ASEC и SEVAN, позволяющие проводить селекцию потоков вторичных космических частиц по типу частиц, направлению и энергии.
- Новая электроника всемирной Сети Наблюдения и Анализа Космической Погоды (SEVAN) позволяет регистрировать и посылать в базу данных отдела космических лучей временные ряды 3 типов элементарных частиц (зарубежные аналоги SEVAN-а регистрируют только один тип частиц).
- Реализованные схемотехнические решения позволяют осуществлять сбор данных с удаленных детекторов в реальном времени, а также проводить дистанционный контроль и регулировку электроники, что крайне необходимо для суровых условий высокогорий и детекторов, расположенных в зарубежных странах.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту.**

- Конструкция детекторной головки, состоящей из ФЭУ-49, программируемого источника высоковольтного питания ФЭУ и буферного усилителя выходного сигнала [1-12].
- Программируемый и дистанционно регулируемый источник высоковольтного питания ФЭУ для детекторной головки [4, 10].
- Схемотехническое исполнение логарифмического АЦП на колебательном контуре [4].
- Многоканальный анализатор импульсов для определения закона распределения амплитуд электрических импульсов, позволяющий в реальном времени формировать цифровой сигнал амплитуды импульсов и для анализа распределения энергии частиц различных видов излучения [1, 4, 5, 7, 9].
- Прибор для мониторинга атмосферного давления, имеющий высокую чувствительность и разрешение для поминутной коррекции вариаций вторичных космических лучей [3, 10].

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались:

- На первом международном симпозиуме по космическому образованию (UNIVERSAT 2006, Москва, Россия, 2006),
- 13-ой конференции молодых ученых по астрономии и физике космоса (Киев, Украина, 2006),
- Тридцать шестой Научной ассамблее COSPAR (Пекин, Китай, 2006),
- 31-ой “Международной конференции по космическим лучам” (SEE 2007, Афины, Греция, 2007).
- Совместном совещании европейской и национальной астрономии армянского астрономического общества (JENAM 2007, Ереван, Армения, 20-25 августа 2007),
- Семинаре UN/ESA/NASA/JAXA по Международному Гелиофизическому 2007 году (ИГУ 2007, Созополь, Болгария, 2008),
- Международной конференции по космическим лучам (21th ECRS, Кошице, Словакия 2008),
- Международном симпозиуме “FORGES-2008” (Нор Амберд, Армения, 2008),
- Региональной встрече по космической погоде (ИГУ-ISWI Regional Meeting, Шибеник, Хорватия, 2009),
- Семинаре UN/ESA/NASA/JAXA по Международному Гелиофизическому 2007 году (ИГУ2007, Теджен, Республика Корея, 2009),
- Семинаре по коммерциализации технологий создания датчиков и детекторов (CNCР, Севастополь, Украина, 2009),
- Международной конференции “TEPA-2010” (Нор Амберд, Армения, 2010),
- 23-ем международном симпозиуме по космическим лучам (23th ECRS, Москва, 2012),
- На международной конференции “TEPA-2012” (Москва, 2012).

**Публикации.** Основной материал диссертации опубликован 12-и работах, в том числе 6-х статьях и 6-х тезисах докладов (см. список в конце автореферата).

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Диссертационная работа изложена на 111 стр. и содержит 28 таблиц, 67 рисунков и 73 наименования библиографических ссылок.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**Первая глава** диссертации состоит из введения и 7-и разделов. Она посвящена описанию новых электронных устройств, разработанных в рамках данной диссертационной работы, предназначенных для работы в детекторах ASEC и SEVAN. В начале сформулированы общие требования, предъявляемые к электронным системам сбора информации с детекторов, состоящие в надёжной регистрации сигналов со всех детекторов, а так же ряда дополнительных требований, позволяющих значительно увеличить физическую информацию с экспериментальных установок:

Надежно измерять амплитуду каждого импульса, которая даёт информацию о числе частиц, одновременно попадающих в детектор или об энерговыделении зарегистрированной частицы.

Проводить идентификацию зарегистрированной частицы с помощью многослойных и комбинированных детекторов.

Измерять одновременно заряженные и нейтральные компоненты вторичных космических лучей. Указанные задачи решены с применением (CPLD)-сложной программируемой логической интегральной схемой, СПЛИС, на основе использования базовых программируемых логических матриц с программируемой матрицей соединений между ними, с программируемой вентиляционной матрицей (FPGA) и быстродействующих микроконтроллеров. В результате были созданы дешёвые и вместе с тем надёжные многофункциональные устройства сбора информации, обладающие расширенными функциональными возможностями, по сравнению с аналогами, используемые в существующих сетях наблюдения космической погоды.

При разработке электроники обеспечена возможность считывания и записи данных с множества разнесённых в пространстве детекторов. Регистрация коррелированных временных рядов даёт возможность наблюдения не только повышений и понижений интенсивности космического излучения, связанных с солнечной модуляцией, но и их взаимную корреляцию, что даёт новую информацию об изменениях космической погоды и о энергетических процессах на солнце.

Далее описываются электронные узлы спектрометрических установок ASNT и NAMMM. Функциональная часть блока электроники ASNT и NAMMM состоит из двух частей - системы сбора и обработки данных и системы оперативного дистанционного управления детекторами (рис.1)

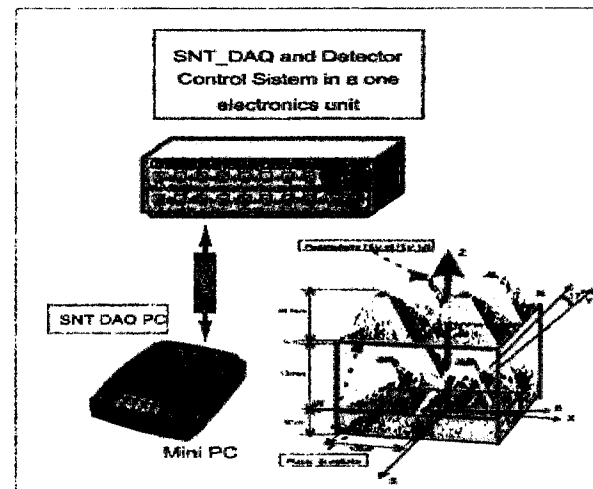


Рис. 1 Схема Системы Сбора Данных (ССД) ASNT

Скорость счета с мониторов для регистрации вторичных космических лучей невелика (не более 10кГц), что позволяет использовать новую концепцию Систем Сбора Данных (ССД), взамен широко распространенных быстрых, универсальных, но сложных и дорогих многоканальных счетчиков производства компаний ADLINK и FASTWEL, которые часто используются в аналогичных экспериментах. Новые модули заменили физически и морально устаревшую электронику используемую ранее, а также позволили создать новые экспериментальные установки для изучения космической погоды и наземных грозных превышений с возможностью создания мировых сетей. Чтобы снизить стоимость, повысить надежность и простоту в обслуживании, в качестве основной элементной использованы микросхемы высокого уровня интеграции (БИС). В частности, применены «программируемые вентиляционные матрицы» (FPGA) и «сложные программируемые логические устройства» (CPLD), а также 32-разрядные микроконтроллеры ARM. Многоканальный блок ССД состоит из 8-и канального модуля логарифмического аналого-цифрового преобразователя с программируемым порогом, с цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП) для настройки порогов, микроконтроллера и последовательного интерфейса (USB, RS-232) для подключения к компьютеру. Для сцинтилляционных детекторов важно установить правильное значение высокого напряжения ФЭУ и порогового значения дискриминатора для улучшения соотношения сигнал/шум. В созданных ССД и высоковольтных источниках выставляемые значения порогов и напряжений программируемые. Блок высоковольтного преобразователя вместе с согласующим усилителем, установлены внутри алюминиевого кожуха ФЭУ, который служит хорошим экраном от внешних помех. Электроника ФЭУ и блока ССД питается от низковольтного источника постоянного тока 12В и потребляет около 100Вт, что позволяет использовать в качестве системы энергоснабжения автономные системы

резервного электропитания на солнечных батареях. Разработанный логарифмический аналого-цифровой преобразователь (ЛАЦП), основан на измерении времени затухания колебаний, возбуждаемых импульсами тока в параллельном RLC колебательном контуре. Этот принцип используется на станции Арагац с 1980 года на установках по исследованию Широких атмосферных ливней (ШАЛ) МАКЕТ АНИ и ГАММА. На этих, ЛАЦП монтировался непосредственно внутри кожуха ФЭУ, а выходным сигналом при этом являлась последовательность стандартных импульсов частотой около 1 МГц и с количеством пропорциональным логарифму полного заряда, измеряемого токового импульса. Высоковольтное питание ФЭУ подавалось с одного мощного источника с помощью разветвителя. Исследования показали, что с точки зрения помехоустойчивости предпочтительнее размещение индивидуальных высоковольтных источников в кожухе ФЭУ, а аналоговый сигнал передавать в пункт ССД для дальнейшей оцифровки. Соответственно, импульс тока, снимаемый с резистора нагрузки ФЭУ согласуется с линией передачи буферным предусилителем. Усилитель с выходным сопротивлением 50 Ом, для согласования с коаксиальной линией передачи, выдает импульсный сигнал, полностью повторяющий по форме импульс анодного тока ФЭУ. Таким образом, в лабораторию поступает практически без потерь вся информация о зарегистрированном детектором событии. Тот же сигнал может поступать одновременно на различные электронные устройства. Мощность усилителя позволяет параллельно подавать сигнал на несколько устройств со входными сопротивлениями 50 Ом. Например, для логической обработки (И, ИЛИ, НЕ) с малым мертвым временем, он может поступать на дискриминатор с фиксированным порогом, а для амплитудного анализа - на АЦП, или, одновременно, могут быть задействованы разные АЦП. Принципиальная схема логарифмического АЦП (LADC) представлена на Рис.2. В отличие от предыдущих разработок, где необходимое затухание достигалось установкой в индуктивности сердечника из латуни, в настоящей разработке требуемое значение добротности достигается шунтированием LC контура стабилным и точным резистором R. Конструктивно все 8 LADC располагаются на одной печатной плате. Выходные импульсы компаратора подаются на микросхему программируемой логики CPLD типа XILINX CoolRunner-II, служащей для идентификации события, счета импульсов выходных «пачек» LADC и связи с модулем микроконтроллера. Принадлежащими к одному физическому событию считаются все сигналы поступившие с детекторов в течение определенного интервала. Интервал временных ворот выводится из CPLD в виде логического сигнала GATE. Событие, и, следовательно, запуск временных ворот, инициируется поступлением импульса по любому из входов. Информация, относившаяся к одному и тому же событию, фиксируется в момент окончания временных ворот. Она запоминается в CPLD в виде байта маски, в котором каждому биту соответствует один из входных каналов и единичное значение этого бита означает, что в течение ворот на этот канал поступил импульс от детектора.

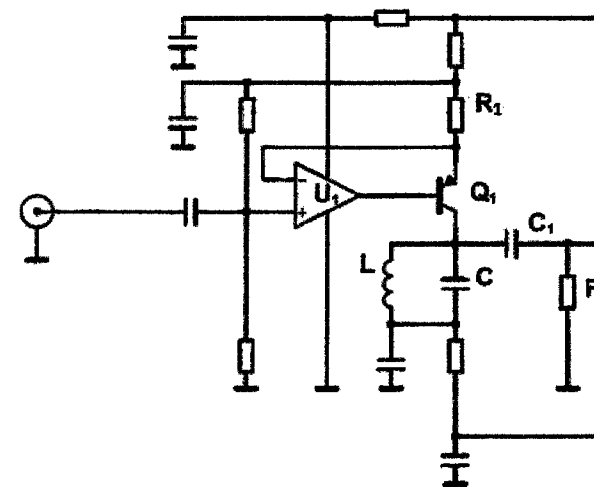


Рис. 2 Принципиальная схема ЛАЦП.

Одновременно с началом временных ворот в CPLD открываются входы всех восьми счетчиков, и они начинают считать импульсы в «пачках», поступающих с выходов LADC. Также с началом события генерируется сигнал DURATION, сообщающий микроконтроллеру о том, что идет процесс регистрации события. Этот сигнал снимается примерно через 1 мкс после того, как закончится счет самой длинной пачки импульсов. По его окончании входы всех счетчиков закрываются, а микроконтроллер начинает операцию считывания накопленной в CPLD информации – байт маски события и по байту счета на каждый из восьми каналов. Считав информацию, микроконтроллер выдает импульс сброса на CPLD, по которому сбрасываются все счетчики и логические сети переводятся в начальное состояние. Система готова к регистрации следующего события. Блок ССД спроектирован таким образом, что к одному микроконтроллеру может быть подключено до четырех плат LADC, формируя, таким образом, 32-канальную систему ССД. Считывание информации с модулей 8LADC в модуль микроконтроллера C32USB осуществляется параллельным кодом по 8-битной шине. Модуль C32USB собран на микроконтроллере архитектуры ARM NXP LPC2138. Он спроектирован как многофункциональное вычислительное устройство для предварительной on-line обработки данных различных физических экспериментов. Гибкость применения модуля обеспечивается возможностью выбора различных интерфейсов для включения его в систему. В связи с тем, что электронные устройства, собранные на базе модуля C32USB могут использоваться в составе автономных установок с затрудненным доступом для обслуживания, очень важно иметь удаленный доступ через Интернет не только для установки параметров

детекторов (пороги, напряжения питания ФЭУ и пр.), но и для перепрограммирования самого микроконтроллера. Такая возможность необходима для модернизации программного обеспечения и также для смены условий физического эксперимента – замена схем совпадения и анти-совпадения, замена условий программно генерируемых триггеров и пр. Реализованные интерфейсы позволяют перепрограммировать микроконтроллер через подключенный к Интернету PC. Обычно это тот же самый компьютер, который обеспечивает сбор и накопление данных (DAQ). Программное обеспечение микроконтроллера состоит из двух частей. Первая часть включает инициализацию, сторожевой (watchdog) и рабочие таймеры, обслуживание прерываний, ввод-вывод, обслуживание локальной управляющей сети и прочие аналогичные функции. Вторая часть включает предварительную обработку, хранение и выдачу в сеть через PC данных получаемых с детекторов. В частности, накапливается амплитудный спектр для каждого из детекторов, обрабатываются совпадения и анти-совпадения, накапливается статистика по направлениям поступления частиц, генерируются программные триггеры и пр.

Далее описываются блок ССД и система дистанционного управления (СДУ) для Нейтронного Супер-монитора (NM). Электронный тракт нейтронного счетчика состоит из:

- - программируемого источника высокого напряжения,
- - трансимпедансного предусилителя,
- - дискриминатора/компаратора с программируемым порогом,
- - трехканального счетчика импульсов, реализованного внутри ИС программируемой логики FPGA Spartan 3E,
- - универсального интерфейса для связи с PC.

Источник высокого напряжения может программироваться в диапазоне ~ 1.5 ... 3 кВ, с шагом 2В. Точность поддержания установленного значения  $\pm 5\text{В}$ .

Трансимпедансный предусилитель предназначен для преобразования импульсов тока в импульсы напряжения с пропорциональной амплитудой. Коэффициент преобразования имеет размерность электрического сопротивления (В/А) и составляет 100кОм. Трансимпедансная схема усиления выбрана с тем, чтобы уменьшить длительность выходных импульсов путем частичной нейтрализации емкости камеры и паразитной емкости нагрузки. Благодаря этому удастся разделить два последовательных импульса ионизации, если промежуток времени между ними больше постоянной времени электронного тракта (~400нс). Дискриминатор предназначен для формирования стандартных логических импульсов из выходных импульсов трансимпедансного предусилителя, если амплитуда последних превышает напряжение порога. Длительность логических импульсов около 400нс, амплитуда 3.3В. Величина порога программируется в диапазоне 0 ... -1В шагами 4мВ. Счетчик импульсов имеет три канала А, Б и В с различными значениями «мертвого времени»:

- А – постоянная времени 400нс.
- Б – постоянная времени 350мкс.
- В – постоянная времени 1.5мс.

Если промежуток времени между двумя импульсами будет меньше мертвого времени, то они будут сосчитаны как один импульс.

Секундные данные с устройства регистрации через интерфейс USB или RS-232 поступают на миникомпьютер. Для управления источниками высокого напряжения и устройстве установок порогов используется интерфейс– RS485. На миникомпьютере установлена программа, позволяющая при помощи удобного графического интерфейса, вызываемый с любого web браузера, производить удаленный контроль всей установки. Арагацкий многоканальный мюонный монитор (АМММ) был оснащен снейлерами (электрические счетчики импульсов) на основе дискретных элементов старого советского времени. Для обеспечения стабильной работы АМММ мы разработали компактный и надежный блок ССД на основе FPGA Xilinx чипов Spartan3E. Блок состоит из двух плат 60-и канальных счетчиков импульсов, построенных на микросхемах FPGA Xilinx Spartan3E, блока питания и платы АТМЕL NGW-100. Каждая плата FPGA Xilinx позволяет регистрировать интенсивность счета с 60-и каналов. Программная часть FPGA включает в себя блок последовательного порта UART и 60 независимых асинхронных счетчиков. Центральной частью блока ССД является плата АТМЕL NGW-100, представляющая собою сетевой двух-портовой маршрутизатор с множеством дополнительными интерфейсов (2 USARТ, 2 Ethernet, USB, I2C, SPI и JTAG). Также на плате установлено гнездо для SD/MMC флеш карт памяти. Наличие интерфейса SD/MMC является ключевым для установок такого рода из-за наличия больших объемов данных которые необходимо сохранять. NGW-100 работает под управлением микроконтроллера АТМЕL AT32AP7000. Плата поставляется с установленной системой Linux с поддержкой драйверов всех описанных интерфейсов. В качестве датчика атмосферного давления используется полупроводниковый сенсор фирмы Motorola, работающий на пьезорезисторном эффекте (температурно-компенсированный, калиброванный для измерения атмосферного давления). Датчик производит преобразование давление – напряжение с точностью 45mV/kPa ( при изменении давления от 15 до 115kPa, выходное напряжение изменяется от 0,2 до 4,7 В). С выхода сенсора сигнал поступает на АЦП ADS1100- точный, непрерывно самокалибрующийся 16 битный АЦП. ADS1100 использует I2C-совместимый последовательный интерфейс и предназначен для применений, требующих измерения с высоким разрешением, в дальнейшем при помощи I2C интерфейса данные поступают на микроконтроллер, который при помощи специального кода преобразует числовые данные в частоту импульсов. Эти импульсы поступают на один из свободных каналов блока ССД, для анализа вместе с данными о скоростях счета с детекторов. Калибровка датчика давления при помощи ртутного барометра показала, линейную зависимость частоты от давления.

Вторая глава диссертации посвящена описанию Сети Наблюдения и Анализа Космической Погоды (SEVAN). Сеть датчиков частиц SEVAN, расположенных в средних и низких широтах (Сеть Наблюдения и Анализа Космической Погоды), создается в рамках Международного Года Солнца и Международной инициативы по изучению космической погоды. Целью является проведение фундаментальных исследований в области ускорения частиц вблизи солнца и исследования космической погоды. Новый тип датчиков частиц одновременно измеряет изменяющиеся потоки большинства разновидностей вторичных космических лучей, превращаясь, таким образом, в мощное интегрированное устройство, используемое для исследования

эффектов солнечной модуляции [2, 10, 12]. Мы предполагаем, что потоки частиц, измеренные новой сетью на средних и низких широтах, вместе с информацией от спутников и сетей высокоширотных датчиков, обеспечат экспериментальные данные энергетических процессах на солнце, а новая сеть станет важным элементом службы прогнозирования и контроля глобальной космической погоды.

Детекторы SEVAN установлены в Армении, Болгарии, Хорватии, Индии и Словакии (Рис.4). Сеть SEVAN следит за состоянием солнечной активности 16 часов в день и способен регистрировать, как заряженные, так и нейтральные компоненты вторичных космических лучей.

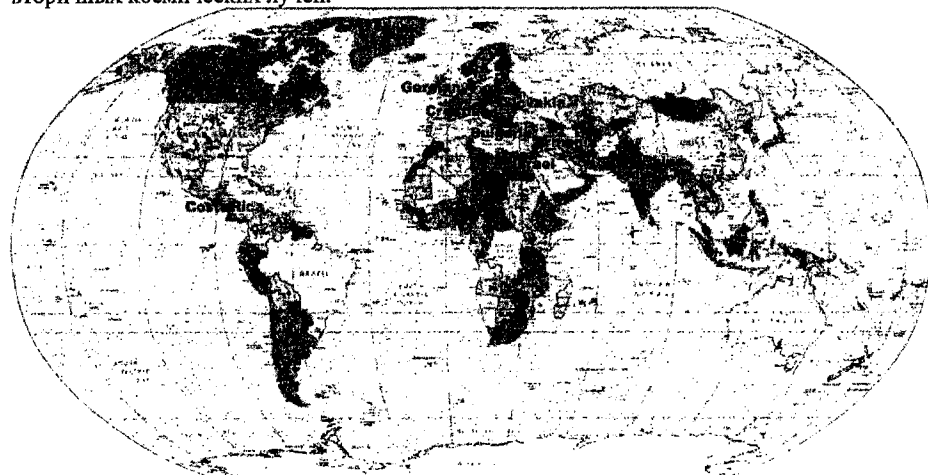


Рис. 3 Сеть детекторов SEVAN [2, 6, 10, 11, 12].

Во второй главе приводятся пороги чувствительности детекторов находящихся на разных широтах, долготах и высотах для различных спектральных индексов первичного космического излучения [10, 12]. Получены также эффективности регистрации различных компонентов космических лучей. При расчетах учтены поглощения света в сцинтилляторе [10, 12]. Эффективность регистрации заряженной компоненты вторичных космических лучей составляет 95% для всех трех слоев. Эффективность регистрации нейтронов с энергиями от 200МэВ составляет 30%, эффективность для гамма-квантов тех же энергий 60% для среднего 25 см сцинтиллятора [10, 12].

Также рассмотрен отклик детектора SEVAN на Превышения на Уровне Земли (GLE) инициированные солнечными космическими лучами (СКЛ). Прибывающие солнечные нейтроны содержат важную информацию о процессах ускорения ионов, потому что они не подвержены влиянию межпланетного магнитного поля. Исследование нейтронов, испускаемых во время вспышек, позволяет получить важную информацию о механизме вспышки: максимальной энергии ускоренных частиц, темпе ускорения, анизотропии, полном числе и форме спектра ускоренных частиц. Прямые наблюдения солнечных нейтронов на околоземных орбитах затруднены вследствие того, что значительная их часть с энергией ниже ~30 МэВ

успевает распадаться на пути к Земле, и возможна эффективная регистрация только нейтронов с большей энергией. Тем не менее, нейтронные события очень редки, и очень трудно их отличить от более частых протонных событий. Сравнение превышений скоростей счета на различных слоях модуля SEVAN позволяет различать наземные превышения (GLE) созданные солнечными нейтронами падающими на земную атмосферу. Далее показаны результаты регистраций Форбуш понижений (ФП) сетью детекторов SEVAN в начале 24-ого цикла солнечной активности [10]. ФП было зарегистрировано детекторами Армении, Болгарии и Хорватии. Детектор расположенный в Индии не смог зарегистрировать из-за большого значения жесткости геомагнитного обрезания. 18 февраля 2011 года и 24 января 2012 было зарегистрировано ФП в потоках нейтронов, низко энергичных заряженных частиц и в потоках мюонов высоких энергий. Модули SEVAN расположенные в Армении регистрировали Грозовые Наземные Превышения (TGE). За период с 2008 по 2011 год было зарегистрировано около 343 TGE малых событий и 6 крупных с амплитудой превышений больше 20%, что позволило сделать детальный анализ и систематизировать новые высокоэнергичные явления в атмосфере. В главе также описан блок ССД для детектора SEVAN (рис. 3), который позволяет выполнять не только регистрацию данных, но также и создавать файлы и выкладывать их на FTP для скачивания по сети [2, 4, 10, 12].



Рис. 4 Блок ССД для детектора SEVAN

Установка Севан также построена на основе NGW-100 и обладает теми же функциями что и 120-и каналный счетчик. В этом случае последовательный порт /dev/ttyS1 подключен к 4-х каналному счетчику, передающему данные в формате ASCII. Порт /dev/ttyS2 подключен к преобразователю интерфейсов RS232 – RS485, по которому подключен блок управления высоким напряжением, находящийся на ФЭУ. Это дает возможность удаленного конфигурирования и мониторинга состояния высокого напряжения на ФЭУ [4, 10, 11, 12]. Для этой цели создана консольная программа console.elf, которая осуществляет прием команд от пользователя через

Linux консоль, и передачу их либо на плату счетчика для конфигурирования порогов, либо на блок управления высоким напряжением. Программа позволяет:

- считывать/устанавливать пороги на плате счетчика
- видеть текущее состояние счета
- считывать/устанавливать высокое напряжение
- включать/выключать высокое напряжение.

(что позволяет делать управление установкой не только в локальной сети а также и в глобальной мировой сети). Новый модуль практически выполняет функцию компьютера, тем самым исчезла надобность в отдельном миникомпьютере, который в 5 раз превосходил по цене.

**В третьей главе** описаны новые возможности детекторов Арагацкого Центра Космической Погоды (ASEC), оснащенных описанной в первой главе электроникой [1, 5, 7, 8, 9]. Исследования изменения временных рядов вторичных космических частиц могут пролить свет на высокоэнергетические механизмы ускорения частиц на солнце. Временной ряд интенсивности частиц высоких энергий может также предоставить очень важную информацию о ключевых особенностях радиационных и геомагнитных бурь. Нейтронные мониторы, расположенные на высотах 2000 м и 3200 м на станциях Арагац и Нор-Амберд (ArNM и NANM) регистрируют нейтроны вторичных космических лучей. ArNM и NANM входят в мировую сеть нейтронных мониторов NMDB. Очень высокая интенсивность счета по сравнению с детекторами, расположенными в космосе, дает неоспоримое преимущество для нейтронных мониторов. Это позволяет станциям наблюдать много небольших и недлительных изменений в интенсивности космических лучей (около 0,5% по величине), которые невозможно зарегистрировать детекторами в космосе [8, 10].

Отдельный нейтронный монитор регистрирует первичные космические лучи, которые имеют энергию и магнитную жесткость выше порога, и только в ограниченном ряде направлений. Так как эти параметры в основном зависят от расположения нейтронного монитора на Земле, то сети нейтронных мониторов предоставляют широкую возможность для извлечения из данных физической информации, такой как энергетические спектры и направления распространения первичных солнечных частиц. Также они предоставляют нам возможность использовать нейтронные мониторы для мониторинга космической погоды. Для этого необходима база данных в реальном времени, такая как NMDB. Установка МАКЕТ состоит из шестнадцати пятисантиметровых сцинтилляционных детекторов площадью в 1 квадратный метр, с помощью которых регистрируются частицы Широких Атмосферных Ливней (ШАЛ) и измеряются потоки низко энергичных заряженных частиц [1, 7]. С помощью Арагацкого Телескопа Солнечных Нейтронов (ASNT – Aragats Solar Neutron Telescope) измеряется не только число частиц, но и их энерговыделения [1, 5, 7, 8]. Детектор, оснащенный новой электроникой, позволяет регистрировать направления прихода частиц с помощью схемы совпадений между верхними и нижними сцинтилляторами. Толщина нижних сцинтилляторов 60 см, а толщина верхних – 5 см. Из-за большой толщины нижних сцинтилляторов детектор способен регистрировать также потоки нейтральных частиц. Если частица не зарегистрировалась в верхнем и зарегистрировалась в нижнем, то с большой вероятностью можно утверждать, что это

была нейтральная частица (комбинация «01»). Данные детекторов ASEC позволяют исследовать разные физические явления в широком диапазоне энергий [1, 5, 7, 9].

**В заключении** перечислены основные результаты диссертационной работы и отмечено их соответствие поставленной задаче. Главным результатом является модернизация ASEC и создание мировой сети SEVAN. Для достижения указанного результата были разработаны следующие электронные узлы и устройства:

1. Блок предусилитель-дискриминатор-формирователь для счётчиков частиц
2. Логарифмический АЦП
3. Быстрый 8-канальный счётчик с программируемым порогом 8CNT
4. 12-канальный счётчик с программируемым порогом 12CNT
5. Универсальный многоканальный счётчик событий UMEC
6. Модуль MultiFC для соединения вышеперечисленных модулей с PC или непосредственно в интернет
7. Программно настраиваемый ВВ источник питания ФЭУ
8. Дополнительно была разработана электроника для измерителей атмосферного давления, влажности и температуры.

Все перечисленные модули были использованы для построения электронных систем для детекторов ASEC и SEVAN.

#### Основные результаты диссертации отражены в следующих публикациях:

1. Chilingarian A., Arakelyan K., et al.: Correlated measurements of secondary cosmic ray fluxes by the Aragats Space – Environmental Center monitors, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A, 483-496, 2005.
2. Chilingarian A., Arakelyan K., et al.: Space Environmental Viewing and Analysis Network (SEVAN), Earth, Moon, and Planets; DOI:10.1007/s11038-008-9288-1, February, 2009
3. K. Arakelyan : Atmospheric Pressure Measurements at the Aragats Space Environmental Center, Proceedings of International Symposium FORGES, Nor-Amberd, Armenia, pp. 117-120, 2008.
4. Chilingarian A., Arakelyan K., et al.: New electronics for the Aragats Space-Environmental Center (ASEC) particle detectors, Proceedings of International Symposium FORGES, Nor-Amberd, Armenia, pp. 105-116, 2008.
5. Chilingarian A., Arakelyan K., et al.: Thunderstorm Correlated Enhancements of Cosmic Ray Fluxes Detected at Mt. Aragats, Proceedings of International Symposium FORGES, Nor-Amberd, Armenia, pp. 121-126, 2008.
6. Chilingarian A., Arakelyan K., et al: SEVAN CRO Particle Detector for Solar Physics and Space Weather research, Central European Astrophysical Bulletin, Vol. 34, p. 115-122

7. Chilingarian A., Arakelyan K., et al: Ground-based observations of thunderstorm-correlated fluxes of high-energy electrons, gamma rays, and neutrons, Phys. Rev. D 82, 043009 (2010)
8. Chilingarian A., Arakelyan K., et al: Space Weather Observatory at Aragats mountain in Armenia, Proceedings of the 29th International Cosmic Ray Conference. August 3-10, 2005, Pune, India, Volume 2, p.441
9. Chilingarian A., Arakelyan K., et al: Nor-Amberd multidirectional muon monitor: new detector for the world-wide network, Proceedings of the 29th International Cosmic Ray Conference. August 3-10, 2005, Pune, India, Volume 2, p.445
10. Chilingarian A., Arakelyan K., et al: Space Environmental Viewing and Analysis Network (SEVAN) – characteristics and first operation results, ISWI Newsletter - Vol. 4 No. 25
11. Chilingarian A., Arakelyan K., et al: New Particle Detector Network for Solar Physics and Space Weather research, PROCEEDINGS OF THE 31st ICRC, LOD'Z 2009
12. Chilingarian A., Arakelyan K., et al: Space Environmental Viewing and Analysis Network (SEVAN), Central European Astrophysical Bulletin, ISSN 1845-8319, pp. 259-272. 2007

### Ամփոփագիր

Մենք ներկայացնում ենք առենախտության մեջ SEVAN և ASEC ցանցերի էլեկտրոնիկան և ցանցերի աշխատանքի տարբեր օրինակներ: Էլեկտրոնիկայի նախագծումը կատարվել է հաշվի առնելով դետեկտորների ցանցի աշխարհով սփռված լինելը: Հետևաբար, ստեղծված է ավտոնոմ համակարգ, որն օժտված է սխալների հայտնաբերման և հեռակառավարման հնարավորությամբ: Ի տարբերություն գոյություն ունեցող համաշխարհային ցանցերի, որոնք չափում են երկրորդային տիեզերական ճառագայթների մեկ բաղադրիչը (մյուսներ կամ նեյտրոններ), ASEC-ը նախատեսված է չափելու ցածր էներգիայի լիցքավորված (մեծամասամբ էլեկտրոններ և մյուսներ), նեյտրոններ և բարձր էներգիայի մյուսներ: Նույն կետում չափված տարբեր տիեզերական մասնիկների հոսքերի միջև գոյություն ունեցող կոռելացիաներն արժեքավոր ինֆորմացիա են տալիս արևային անցումային երևույթների վերաբերյալ: Հետևաբար, տվյալների հավաքման և պահեստավորման էլեկտրոնիկան պետք է ունենա կառավարման ուղիներ և կատարի հեռավոր բազում դետեկտորների տվյալների գրանցում: Տիեզերական երկրորդային ճառագայթները հանդիսանում են բարձր էներգիայի առաջնային մասնիկի մթնոլորտի հետ փոխազդման արդյունքը: Հետևաբար, լիցքավորված և չեզոք մասնիկների հոսքերը կոռելացված են: Կոռելացված ժամանակային շարքերի գրանցումը հնարավորություն է տալիս դետեկտելու ոչ միայն աճեր, նվազումներ և արևային մոդուլացիայի հետ կապված այլ յուրահատկությունները, այլ նաև դիտարկելու կոռելացման մատրիցները, որոնք պարունակում են նոր տեղեկություններ առաջնային արևային ճառագայթների վերաբերյալ: Առաջադրված խնդիրն իր լուծումն է գտել CPLD, FPGA և միկրոկոնտրոլլերի օգտագործմամբ: Սա թույլ տվեց լուծելու ոչ միայն մասնիկների գրանցման խնդիրն, այլև իրագործելու դետեկտորների որոշիչ պարամետրերի հեռակառավարում: ASEC-ի տվյալների հավաքման համակարգն (DAQ) ավելի բարդ ու ճկուն է, քան գործող համաշխարհային ցանցերում օգտագործվող նման համակարգեր: Էլեկտրոնիկայի հիմքը կազմում են մասնիկների դետեկտորների մուտքային շղթաները: Հաշվիչի ռեժիմով աշխատող համակարգերում սա դիսկրիմինատոր-ձևավորիչ է, որի “մեռյալ ժամանակը” փոքր է քան 0.4մկվ: Լոգարիթմական ԱԹՓ-ն օգտագործվում է այն համակարգերում, որտեղ անհրաժեշտ է չափել իմպուլսների լայնույթը: Վերջինս ինֆորմացիա է տալիս ընկած մասնիկ էներգիայի կամ մասնիկների թվի մասին: Ծրագրավորվող շեմն ու հեռակառավարումը հնարավորություն է տալիս նրանց հիման վրա կառուցելու բարդ և ճկուն համակարգեր: Այս նպատակով ստեղծվել են հետևյալ մոդուլները: Ծրագրավորվող շեմով 8-կանալանոց արագագործ դիսկրիմինատոր/հաշվիչ(8CNT module) , որը կառուցված է մասնիկներ հաշվող սարքերում: Այն կարող է օգտագործվել որպես ինքնուրույն DAQ սարք կամ փորձարարական ավելի բարդ սարքերում՝ որպես միջանկյալ աստիճան դետեկտորի և FPGA-ի հիման վրա կառուցված հաշվիչի միջև: Նման 12-կանալանոց դիսկրիմինատոր/հաշվիչ, որն այնքան արագագործ չէ, և հանդիսանում է էժան լուծում դանդաղ դետեկտորների համար: Ունիվերսալ բազմականալանոց հաշվիչը (UMEC) տիեզերական ճառագայթների դետեկտորային տարբեր սարքավորումների համար նախատեսված արագագործ սարք է: Այն ունի 3.3 Վ TTL ստանդարտ 60 մուտք և կարող է ծրագրավորվել տարբեր եղանակներով աշխատելու համար: Կախված

տվյալների արագությունից և կառուցվածքից, այն հնարավոր է միացնել PC –ին կամ անմիջապես Ethernet-ին: MultiIFC մոդուլը նախատեսված է վերը նշված մոդուլները PC –ին կամ անմիջապես Ethernet-ին միացնելու համար: 8-կանալանոց Լոգարիթմական անալոգաթվային փոխակերպիչ մոդուլը (8LADC) հանդիսանում է էժան ԱԹՓ այն սարքավորումների համար, որոնք չեն պահանջում փոխակերպման բարձր ճշգրտություն: Այն պարունակում է 8 լոգարիթմական ԱԹՓ, 8-կանալանոց հաշվիչ և Xilinx II CPLD-նախկին իրագործված տրանսբանական մոդուլ: Չորս նման սարք միավորելու միջոցով հնարավոր է ստեղծել տվյալների հավաքման 32-կանալանոց սարք: Ունիվերսալ 32-բիտանոց միկրոկոնտրոլերային մոդուլը (C32USB) նախատեսված է ASEC-ի դետեկտորների համար որպես տվյալների մշակման և համակցման մոդուլ տվյալների հավաքման (DAQ) և դետեկտորների վերահսկման համակարգում (DMS): Այն կառուցված է NXP LPC2100 միկրոկոնտրոլերի հիման վրա: Տվյալների հավաքման 24-կանալանոց համակարգի հզորության սպառումը չի գերազանցում 100 Վտ-ի: Այսպիսով, հնարավոր է արևային էներգիայով ակունույատորային մարտկոցի օգտագործումը, որը նպատակահարմար է տիեզերական ճառագայթների հետ էքսպերիմենտների համար: Մշակված է նաև ֆոտոբազմապատկիչի սնուցման բարձր լարման ծրագրավորվող հոսանք: Նրա լարումը կարելի է փոփոխել 1-2Վ քայլով: Հեռակառավարումն իրագործվում է RS-485 ինտերֆեյսով: Լրացուցիչ էլեկտրոնիկա է մշակվել մթնոլորտային ճնշման, խոնավության և ջերմաստիճան չափող սարքի համար: Նշված բոլոր մոդուլներն օգտագործվել են հեռակառավարմամբ օժտված Տիեզերական ճառագայթների Դետեկտորների էլեկտրոնային սարքավորումներ կառուցելու համար: Առենախտությունը բաղկացած է 111 էջից և պարունակում է 67 նկար ու 28 աղյուսակ:

### Abstract

In the dissertation we present the description of electronics of SEVAN and ASEC networks and several examples of network operations. Electronics was developed having in mind the distributed nature of particle detector networks worldwide. Therefore, the system is designed for autonomous operation, error recovery and remote management capabilities. In contrast to existing worldwide networks measuring only single component of secondary cosmic rays (muons or neutrons) ASEC intended to measure low energy charged component (mostly electrons and muons), neutrons and high-energy muons. Correlations between changing fluxes of elementary particle measured at same location gives additional valuable information on transient solar events. Therefore, the Data Acquisition (DAQ) electronics should be designed to issue control signals and provide information readout and store from multiple remote detectors. Secondary cosmic rays are products of interactions of the primary high-energy particle with terrestrial atmosphere; therefore fluxes of charged and neutral particles are correlated. Registration of the correlated time series, gives possibility not only detect peaks, deeps and other features connected with solar modulation effects, but also correlation matrices containing new interesting information on the nature of primary solar cosmic rays. Mentioned tasks assigned to DAQ electronics are realized using integrated systems of Complex Programmable Logic Devices (CPLDs), microcontrollers and Field Programmable Gate Arrays (FPGA). Incorporation of the “intellectual” elements allows fulfilling rather complicated tasks of particle detection and, also, performing remote control and tuning of most crucial parameters of the detector. ASEC DAQ system is much more complicated and flexible as compared to ones often used in particle detectors of worldwide networks monitoring fluxes of cosmic ray. The basic electronic devices are the frontend circuits for particle detectors. The shaper-discriminator circuit is used in the systems operating in counter mode. The dead time of these systems has been reduced to 0.4 $\mu$ s using fast comparators and CPLDs. Programmable threshold and remote control allows for combining these shaper-discriminators into flexible devices. Logarithmic Amplitude-to-Digital Converter (LADC) is used in systems requiring measurements of pulse amplitudes giving information about particle energy or number of incident particles. On base of these circuits, several devices were developed for solving different tasks. For this purpose the following electronic modules were developed. The Buffer Preamplifier module is designed to be used with photomultipliers and to be mounted inside its housing. It has unity voltage gain, 100 k input impedance, more than 1 GHz bandwidth and 50 Ohm output impedance. It is intended, for the impedance matching of the coaxial line translating the PM pulse to the DAQ. The Programmable Regulated High Voltage DC Power Supply is designed to supply high voltage to photomultipliers (PMT) and other elementary particle detectors. The module output voltage can be remotely controlled by 1-2 V steps. Remote control functions are performed by local microcontroller through RS-485 interface. The Programmable Threshold 8-channel fast Discriminator/Counter (8CNT module) is designed for usage in particle counter setups after the buffer preamplifier. It can be used as a main DAQ device along the MultiIFC module (see below) and as the intermediate stage between detectors and FPGA based counter modules (UMEC, see below) in more complex experimental setups. The 12-channel Discriminator/Counter with Programmable Threshold (12CNT module) is similar to the 8CNT module, but has more input channels, while being slower, delay in range 300-500ns. This module is cheaper solution for slow detectors, like proportional chambers.

Universal Multichannel Event Counter (UMEC) is a high-performance FPGA based programmable module to be used in different Cosmic Ray detector setups. It has 60 standard 3.3V TTL level digital inputs and can be programmed as conventional multichannel counter, trigger-driven multichannel counter, trigger generator for complex event patterns, readout for fast Flash ADCs, etc. and combination of listed. Depending on the data rate and complexity there are different possibilities to communicate with the host PC or directly to Ethernet. The MultiIFC module is universal electronic module for connecting above listed electronics modules to PC or directly to Ethernet. Different types of interface connections can be used alternatively without any reprogramming. The 8-channel Logarithmic Analog-to-Digital converter module (8LADC) is low-cost ADC module designed for usage in particle detectors where the fine resolution is not necessary. 8LADC contains 8 logarithmic ADCs, based on a ringing tank principle, 8-channel counter and logic unit, based on the Xilinx II CPLD chip. 8LADC boards should be used in couple with the C32USB microcontroller board. 4 such modules can be connected to the microcontroller to make an up to 32-channel Data Acquisition system. The 32-bit universal microcontroller module with USB interface (C32USB) is designed for usage as universal data processing and interface unit for ASEC detectors DAQ and Detector Monitoring System (DMS). It is based on the NXP (former Philips) LPC2100 Advanced RISC Machine (ARM – de facto industrial standard) microcontroller. Total energy consumptions including DAQ electronics for 24 channels and build-in micro-PC did not exceed 100 Wt. Therefore, accu-battery system powered by solar energy can be also used for feeding the detector, as usually is required for the CR experiments. Additional electronics has been designed for the Pressure, Humidity, Temperature - PHT SENSOR. It is a general purpose microcontroller unit, designed for environmental measurements: pressure, temperature and humidity. All listed above modules can be used as constructive elements to build different electronics units for Cosmic Ray Detector remote controlled setups. Dissertation consists of 111 papers, 67 figures, 28 tables.



Տպագրված է «ԼԻՄՈՒՇ» ՍՊԸ-ի տպարանում:  
Տպաքանակ՝ 50: