

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

M-521

УДК 539.1.075

13-85-684

МЕРЗЛЯКОВ

Сергей Иванович

СИСТЕМЫ

МНОГОМЕРНОГО СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОТБОРА СОБЫТИЙ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЧАСТИЦ
НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ НА УСКОРИТЕЛЕ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна 1985
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель
доктор физико-математических наук,
профессор

Ю.К.Акимов

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

А.П.Цитович

Б.В.Федюлов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт
физики высоких энергий (Серпухов).

Защита диссертации состоится " ____ " _____ 1985 г.
в _____ час. на заседании специализированного Совета
Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного
института ядерных исследований, г.Дубна Московской области.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1985 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь специализированного Совета
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Решение широкого круга задач в области физики промежуточных и низких энергий неразрывно связано в настоящее время с созданием многоцелевых комплексных физических установок, оснащенных системами многомерного амплитудного и временного анализа. В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ с 1970 г. ведутся работы по созданию аппаратного и программного обеспечения таких систем, предназначенных для физических установок, работающих на мезонном и протонном пучках низких энергий синхротрона.

Особенностями этих пучков является наличие в них частиц разного типа, но одинаковых по импульсу, и значительная расходимость. Для выделения из состава пучка частиц определенного типа и предварительного отбора событий возникает необходимость в применении специальных систем амплитудного и временного анализа.

Целью работ, составивших диссертацию, была разработка и внедрение систем предварительного отбора событий и многомерного амплитудного и временного анализа для ряда физических установок, работающих на пучках синхротронов ЛЯП ОИЯИ и ЛИЯФ АН СССР.

При создании данных измерительных систем требовалось решить следующие основные задачи:

- а) разработать набор управляемых ЭВМ модулей амплитудной и временной спектрометрии, ориентированных на работу в системах многомерного анализа;
- б) разработать набор модулей для систем предварительного отбора событий;
- в) создать на основе разработанных модулей системы многомерного анализа и предварительного отбора событий некоторых физических установок;
- г) разработать программу для считывания информации в системе дву-

мерного анализа установки, предназначенной для изучения мезорентгеновских спектров.

Научная новизна работ, составивших диссертацию, заключается в следующем:

а) выработан подход к построению управляемых ЭВМ спектрометрических модулей, ориентированных на работу в системах многомерного анализа;

б) предложен и реализован новый способ уменьшения дифференциальной нелинейности двухступенчатых аналого-цифровых преобразователей;

в) предложен и внедрен новый способ построения входного каскада формирователей для временной привязки импульсов;

г) предложен и реализован новый способ преобразования временных интервалов в цифровой код;

д) предложен новый подход к построению зарядочувствительных предусилителей для детекторов малых емкостей.

Вышеуказанные способы построения схем защищены тремя авторскими свидетельствами.

Практическая ценность работ, составивших диссертацию, состоит в том, что:

а) на физических установках, для которых автором были созданы описанные в диссертации системы многомерного анализа и предварительного отбора событий, проведена серия экспериментов на синхросцилотронах ЛЯИ ОИЯИ и ЛЯЯБ;

б) разработанная автором аппаратура используется в ОИЯИ, МИФИ, ЛЯИФ АН СССР, ИЯИ АН СССР, Радиовом институте им. В.Г. Хлопина (Ленинград), а также в ряде научных центров других стран-участниц ОИЯИ (ГДР, НРБ);

в) представленные в ней электронные модули обеспечены необходимой документацией и выпускаются мелкими партиями опытным производством ОИЯИ.

Публикации и апробация работ. Основные результаты работ, составивших диссертацию, докладывались на IX и X Международных симпозиумах по ядерной электронике в Варне (1978 г.) и Дрездене (1980 г.), на Всесоюзных совещаниях по автоматизации научных исследований в Алма-Ате (1978 г.), Киеве (1976 г. и 1979 г.) и опубликованы в работах /1-17/ и частично в /18-20/.

Структура диссертации и ее объем. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений и списка использованной литературы. Она содержит 122 страницы, 8 таблиц и 24 рисунка. Список литературы насчитывает 115 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении формулируются цель работы, актуальность темы, новизна и значение полученных результатов.

Глава I является обзорной. В ней рассмотрены основные этапы развития систем предварительного отбора событий и многомерного спектрометрического анализа, а также описан подход к построению электронных модулей таких систем. Основные положения этого подхода можно сформулировать следующим образом.

а) Синхронное преобразование входных аналоговых сигналов преобразователями осуществляется входящим в их конструкцию специальным логическим узлом "Медленные совпадения". Этот узел либо разрешает продолжение преобразования при наличии внешнего сигнала, либо прекращает его при отсутствии данного сигнала.

Разрешающий сигнал формируется внешней схемой совпадений, на которую модули системы посылают сигналы о начале преобразования. Таким образом производится отбор событий, для которых моменты начала преобразования в модулях являются коррелированными.

Управление от ЭВМ разрешающим временем внешней схемы совпадений и временем ожидания модулем разрешающего сигнала позволяет настроить систему на наилучшее отношение эффект-фон.

б) Считывание цифровой информации со спектрометрических модулей системы осуществляется либо одним из предусмотренных стандартом КАМАК способов, либо через буферную память, используя разъем на передней панели. Применение буферной памяти увеличивает быстродействие системы многомерного анализа за счет сокращения времени, необходимого на передачу информации в ЭВМ.

в) Совместная работа системы многомерного анализа с системами предварительного отбора событий реализуется благодаря развитой логике запуска и остановки преобразования (входы "Строб", "Совпадения", "Ворота", "Сброс").

г) Работа с многодетекторными системами производится путем подачи номеров детекторов, которые в данный момент являются источником сигналов, на входы "Признаки" преобразователей. Старшие биты считываемого с модуля цифрового слова несут информацию о номере сработавшего детектора.

д) Контроль работоспособности и автоматическая локализация неисправностей, возникших в системе, осуществляются путем считывания информации с регистров прохождения входных сигналов, которые являются составной частью каждого спектрометрического модуля.

е) Изменение режимов работы и параметров модулей с помощью ЭМ позволяет менять конфигурации и алгоритмы работы системы во время эксперимента.

Вторая глава посвящена описанию линейки модулей амплитудной и временной спектрометрии, реализованной в рамках описанного выше подхода. Это: универсальные преобразователи амплитуда-код /4/, время-код /2/, заряд-амплитуда /1/, а также блок быстрой буферной памяти /3/ и восстановитель нулевой линии /14/.

Амплитудно-цифровой преобразователь, число градаций которого можно установить в пределах $K = 256 + 8196$, работает по принципу Вилкинсона с частотой генератора 120 МГц. Максимальное время преобразования составляет $K \cdot 0,01$ мкс. Диапазон амплитуд входных сигналов $(0,01 + 5)$ В. Нелинейность интегральная $- 0,1\%$, дифференциальная $- \pm 1\%$, температурная нестабильность $-$ меньше $0,01\%/^{\circ}\text{C}$.

Время-цифровой преобразователь имеет изменяемое число каналов $- 128, 256, 512$ и 1024 . Диапазон кодируемых времен составляет $(0,025 + 10)$ мкс и разбит на 8 поддиапазонов. Время преобразования и точность измерений аналогичны соответствующим параметрам амплитудно-цифрового преобразователя.

Восстановитель нулевой линии предотвращает ухудшение разрешения с повышением загрузки и является буферным блоком между спектрометрическим усилителем и амплитудно-цифровым преобразователем. В этом модуле реализованы три варианта восстановителя: диодный, на операционном усилителе и на "усиленном" диоде. Выбор одной из четырех переходных емкостей и режима работы определяется величиной загрузки и спектром фоновых импульсов исходя из конкретных экспериментальных условий на основе сравнения соответствующих энергетических спектров.

Быстрая буферная память, выполненная на элементах ТТЛ, рассчитана на прием 64 слов по 24 разряда каждое. Время записи 100 нс. Прием заканчивается выдачей сигнала L , после чего происходит передача принятого массива в ЭМ по каналу прямого доступа.

Преобразователь заряд-амплитуда имеет диапазон изменения сигналов на линейном входе $(0 + 5)$ В; время интегрирования меняется в пределах $(0,05 + 2)$ мкс; максимальный преобразуемый заряд составляет 1, 2, 4, 8, 16 и 32 нК. В состав преобразователя входят восстановитель нулевой линии, режектор наложенных импульсов и схемы запуска.

Универсальные время-цифровой и аналого-цифровой преобразователи выполнены так, что могут принимать информацию от нескольких датчиков. К проблеме построения многодатчиковых спектрометрических систем относится содержание последнего параграфа главы, в котором описан зарядочувствительный предусилитель для детекторов малых емкостей /13,15/.

Структурная схема предусилителя приведена на рис.1. От аналогичных конструкций предусилитель отличается резистивным делителем γ в цепи общей обратной связи $R_f C_f$ и наличием местной обратной связи $K3/(PT2+1)$.

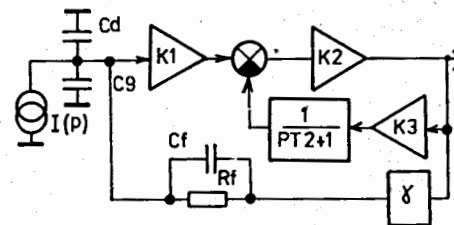


Рис.1 Структурная схема предусилителя.

Резистивный делитель γ позволяет улучшить отношение "сигнал-шум" системы детектор-предусилитель-спектрометрический усилитель за счет увеличения зарядочувствительности предусилителя. Того же эффекта можно добиться, уменьшив в I/γ раз емкость общей обратной связи C_f , но для малопомнящих предусилителей в настоящее время уже используются емкости минимально-возможных величин $(0,5 + 1)$ пФ, поэтому увеличение зарядочувствительности еще на порядок возможно лишь при применении делителя в цепи общей обратной связи.

Местная отрицательная обратная связь $K3/(PT2+1)$ позволила отказаться от элементов подстройки и сформировать спад выходного сигнала, равный 50 мкс, непосредственно в зарядочувствительной секции. Последнее повысило помехоустойчивость предусилителя за счет ограничения снизу частотного диапазона.

Третья глава содержит описание электронных модулей систем предварительного отбора событий, а именно: преобразователя время-амплитуда, формирователя для временной привязки импульсов, дифференциального дискриминатора /8/ и быстродействующих преобразователей амплитуда-код /16,17/ и время-код /11/.

Одной из наиболее часто применяемых систем предварительного отбора событий является время-пролетная система на основе сцинтилляторов больших размеров. Влияние на разрешающую способность системы координат места прохождения частицы через сцинтиллятор в таких системах обычно компенсируют одним из следующих методов.

Первый метод основан на применении так называемых "временных компенсаторов", то есть модулей, выходной сигнал которых формируется

на основе анализа временного положения сигналов с двух ФЭУ, просматривающих сцинтиллятор. Временное положение выходных сигналов модулей не зависит от места прохождения частицы через сцинтиллятор, однако их применение увеличивает время обработки сигналов время-пролетной системой.

Второй метод основан на суммировании выходных сигналов двух время-амплитудных преобразователей. Недостатком его является требование идентичности преобразователей.

Описываемый время-амплитудный преобразователь, блок-схема которого приведена на рис.2, совмещает достоинства обоих методов. Он имеет по два входа "Старт" и "Стоп" вместе с необходимой логикой исключения из анализа бесстартовых и бесстоповых случаев, а также событий, при которых сигнал "Старт" наложен на сигнал "Сброс" или "Ворота".

Применение данного преобразователя во время-пролетных системах позволяет уменьшить аппаратные затраты за счет совмещения в одном модуле функций схемы совпадений, двух преобразователей время-амплитуды и аналогового сумматора.

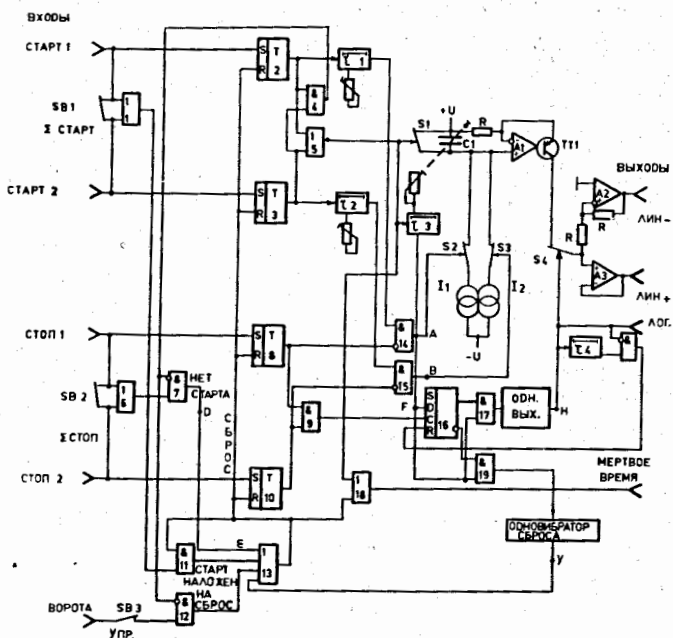


Рис.2 Блок-схема преобразователя время-амплитуды.

Диапазон прибора устанавливается в пределах (25 ± 800) нс, что удовлетворяет требованиям большинства экспериментов.

Счетверенный формирователь для временной привязки импульсов, блок-схема которого приведена на рис.3, работает по принципу фиксации момента пересечения биполярным сигналом нулевого уровня. Отличие его состоит в том, что с целью компенсации влияния на точность временной привязки инерционности дискриминирующего элемента и амплитудного ограничения сигналов в усилителе во входной цепи формирователя введено нелинейное ослабление сигналов в одном из плеч дифференциального усилителя. Реализовано это путем введения нелинейного элемента (диода) в разрыв резистивного делителя, подключенного к одному из входов усилителя. При такой конфигурации входной части формирователя независимой от амплитуды является не точка пересечения нулевого уровня, а точка пересечения уровня порога дискриминирующего элемента. Точность временной привязки составляет ± 100 пс при десятикратном изменении амплитуды входных сигналов от ФЭУ-85.

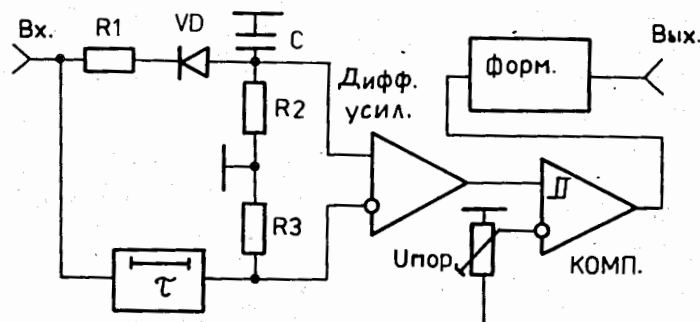


Рис.3 Блок-схема формирователя для временной привязки импульсов.

Счетверенный дифференциальный дискриминатор-формирователь позволяет проводить быстрый отбор событий по выделенной в детекторе энергии. Его отличительными чертами являются: "грубая" и "плавная" регулировки порогов в пределах $5 \text{ мВ} \pm 5 \text{ В}$, способность работать с сигналами как положительной, так и отрицательной полярности, возможность работы в режиме двухпорогового формирователя, при котором выходной сигнал появляется при превышении сигналом верхнего порога, а временное положение его определяется моментом пересечения нижнего порога.

Применение цифровых процессоров для первоначального отбора событий является наиболее перспективным способом формирования сигнала "Запуск" в системах многомерного анализа современных ядерно-физических установок. Исходная информация на такие процессоры поступает либо с шифраторов координатных детекторов, либо с быстродействующих амплитудно-цифровых (АЦП) и время-цифровых (ВЦП) преобразователей, работающих в реальном масштабе времени. Такие ВЦП выполняют либо в виде счетчика импульсов тактового генератора, либо в виде хронотрона, то есть линии задержки, к отводам которой подключена линейка схем совпадений.

Точность последнего ВЦП определяется минимальным шагом линии задержки - $0,1$ нс, что на порядок превосходит точность ВЦП на основе счетчика. Недостатком ВЦП на базе хронотрона является малое число каналов, ограничиваемое допустимым с точки зрения затрат количеством схем совпадений, в то время как разрядность ВЦП в виде счетчика определяется лишь числом триггеров. Может быть изготовлен прибор, выполненный на основе хронотрона, совмещающий в себе достоинства обоих типов ВЦП /11/.

Упрощенная блок-схема устройства, приведенная на рис.4, включает в себя: два хронотрона (триггерные регистры RG_1 и RG_2 с линиями задержки с шагом τ и t), два шифратора, управляемую и постоянную задержки и сумматор SM .

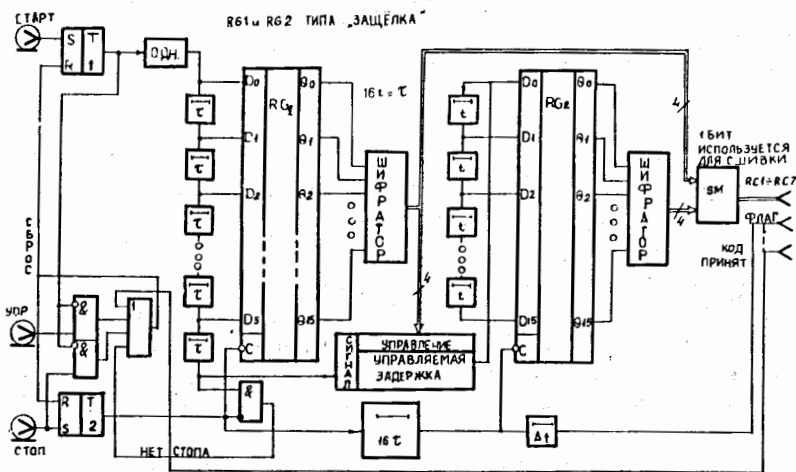


Рис.4 Блок-схема быстрого время-цифрового преобразователя.

Преобразование временного интервала в цифровой код начинается при поступлении сигнала "Старт" на S -вход триггера T_1 . При отсутствии сигнала "Сброс" на R -входе триггера он переключается и запускает одновибратор, формирующий сигнал, длительность которого равна шагу задержки первого хронотрона τ . Одновременно запрещается поступление сигнала "Стоп" на шину "Сброс", который используется для исключения бесстоповых случаев /12/. Сигнал "Стоп" переключает триггер T_2 , закрывающий триггерный регистр RG_1 по D -входам и открывающий по выходам. Результатом данной операции является появление на выходе первого шифратора цифрового кода n , соответствующего номеру старшего триггера, на D -вход которого сигнал "Старт" поступил до прихода сигнала "Стоп".

В управляемой задержке сигнал "Старт" задерживается в соответствии с выходным кодом первого шифратора и на второй хронотрон сигнал "Старт" и "Стоп" поступают уже с временным рассогласованием $T = (t_2 - t_1) - nt$, где t_2 и t_1 - время прихода сигналов "Стоп" и "Старт", соответственно. Отметим, что $T \leq \tau$, и поэтому, выбрав величину всей задержки второго хронотрона равной шагу задержки первого, получим на выходе второго шифратора код, соответствующий младшим разрядам преобразуемого временного интервала. Результирующий цифровой код получаем после сложения старших и младших разрядов в сумматоре SM .

Конструктивно прибор выполнен в стандарте "Вишня". Оба хронотрона имеют 16 каналов, причем цена деления канала второго хронотрона равна $0,5$ нс, что и определяет точность прибора. Время преобразования - 100 нс; вывод информации в режимах "hand-shake" и "Строб" в зависимости от переключки на плате.

Заканчивается глава описанием быстродействующего многоканального АЦП /16,17/ для спектрометрических систем и систем предварительного отбора событий, отличающегося от аналогичных конструкций улучшенной дифференциальной нелинейностью ($\pm 0,3\%$ при времени преобразования 6 мкс).

Блок-схема АЦП приведена на рис.5. Работает он следующим образом. В режиме калировки с генератора кодовых слов через коммутатор на управляющие входы 4-разрядного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) поочередно поступает 16 кодовых слов, соответствующих всем его возможным состояниям.

Выходные сигналы с ЦАПа поступают на 4096-канальный АЦП Вилкинсона без изменений, так как вход "стретчера" в этом режиме закрыт. Цифровые слова с АЦП Вилкинсона, соответствующие всем возможным состояниям ЦАПа, запоминаются в блоке памяти (16 слов по 12 бит каждое), причем адресными кодами являются входные коды ЦАПа.

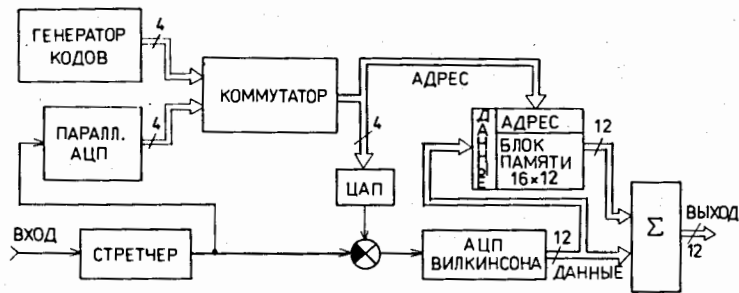


Рис.5 Блок-схема быстродействующего 12-разрядного АЦП.

Данный метод позволяет выразить все состояния малоразрядного не- точного ЦАП через многоразрядные цифровые слова АЦП Вилкинсона.

В режиме измерений входной аналоговый сигнал сначала запоминается в "стретчере" и преобразуется в 4-разрядный код первым парал- лельным АЦП. Этот код через коммутатор поступает на управляющие вхо- ды ЦАП и адресные входы блока памяти. После вычитания из входного аналогового сигнала выходного сигнала ЦАП остаток преобразуется в цифровой код АЦП Вилкинсона. Полученный цифровой код поступает на вы- ходной сумматор вместе с цифровым словом, хранящимся в блоке памяти и соответствующим состоянию ЦАП в данном цикле преобразования. Время преобразования АЦП Вилкинсона в режиме измерений определяется ампли- тудой остатка при вычитании выходного сигнала ЦАП из входного анало- гового сигнала, и не превышает 3 мкс.

Глава 4 посвящена системам многомерного спектрометрического ана- лиза и предварительного отбора событий ряда физических установок, созданных при непосредственном участии автора. Это: система двумерно- го анализа установки для измерений мезорентгеновских спектров и часть программного обеспечения к ней /5,6/, установка для исследований рож- дения пионов в соударениях протонов низких энергий с ядрами /9,18/, система предварительного отбора событий широкоапертурного годоскопа спектрометра для исследований взаимодействия пионов с веществом /7,12,20/.

Установка для измерений мезорентгеновских спектров включала в себя: Ge(Li)-детектор (40 см³), спинтиллиационную систему для реги- страции останков мезона в детекторе, стандартный спектрометрический

канал и систему двумерного анализа, реализованную с использованием стандарта КАМАК.

Программное обеспечение системы состояло из набора управляющих программ, которые хранились на магнитном диске ЭВМ hp2116 С. Для основной программы был использован язык ФОРТРАН, а управление моду- лями осуществлялось с помощью подпрограмм, написанных на языке АССЕМБЛЕР. Это обеспечило максимальное быстродействие системы и воз- можность перенесения программного обеспечения на ЭВМ другого типа.

На рис.6 приведена структурная схема программы для накопления и построения двумерных спектров.

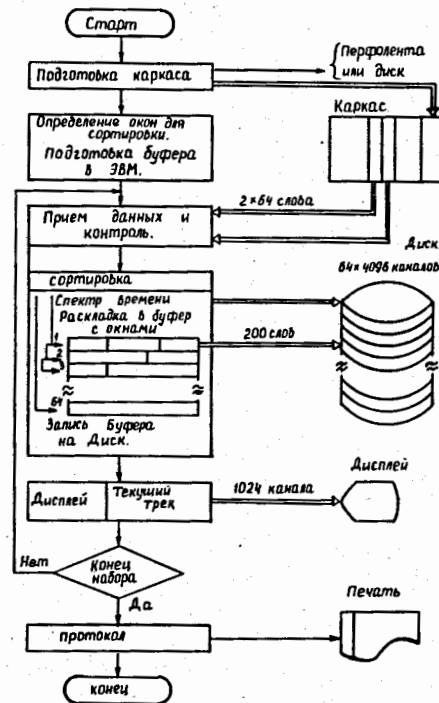


Рис.6 Структурная схема про- граммы накопления и построения двумерных спектров.

Блок-схема установки для исследований рождения пионов протонами низких энергий на ядрах (см. рис.7) включает в себя: время-пролетную систему, спектрометр полного поглоще- ния и систему идентификации пионов. Электронная часть ус- тановки представляет собой систему двумерного анализа "время-энергия", реализован- ную на описанных ранее модулях: преобразователях заряд-ампли- туды и время-амплитуда, форми- рователях для временной при- вязки импульсов, дифференци- альном дискриминаторе-форми- рователе и двух амплитудно-диф-

ферных преобразователях.

Установку отличает аналоговая система предварительного отбора событий. Работа ее основана на том факте, что получаемый двумерный спектр имеет четко выделенные зоны в виде полос, каждая из которых соответствует разным частицам. Установив пороги дифференциального дискриминатора ДЗ и соответствующие ослабления аттенваторов АТТ1 и АТТ2, удалось выделить исследуемую пионную полосу.

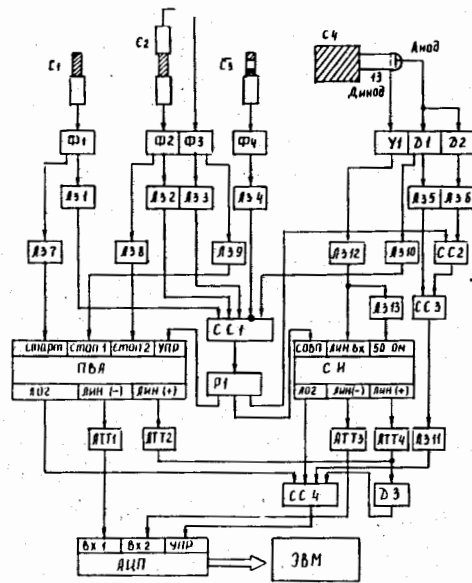


Рис.7 Блок-схема установки для изучения рождения π^+ -мезонов в соударениях протонов низкой энергии с ядрами.

Система идентификации пионов установки работает следующим образом. Пион, остановившийся в детекторе полного поглощения, распадается с образованием мюона фиксированной энергии 4,13 МэВ. С помощью специального быстрого дифференциального дискриминатора D2 выделяют события, в которых в течение 100 нс после сигнала от остановившегося пиона следует сигнал, соответствующий выделению энергии 4,13 МэВ от мюона. Эффективность регистрации пионов данной системой составляет 40% при 99% подавлении сигналов от рассеянных протонов пучка.

В четвертой главе также описана система предварительного отбора событий спциллиационного годоскопа-спектрометра (см. рис.8). В ней использованы время-пролетная система со спцилляторами больших размеров и система мониторинга пучка на пропорциональных камерах.

Время-пролетная система с высокой эффективностью позволила разделить пионы, мюоны и электроны пучка в диапазоне импульсов 90 ± 200 МэВ/с. Кроме того, полученное временное разрешение (500 пс)

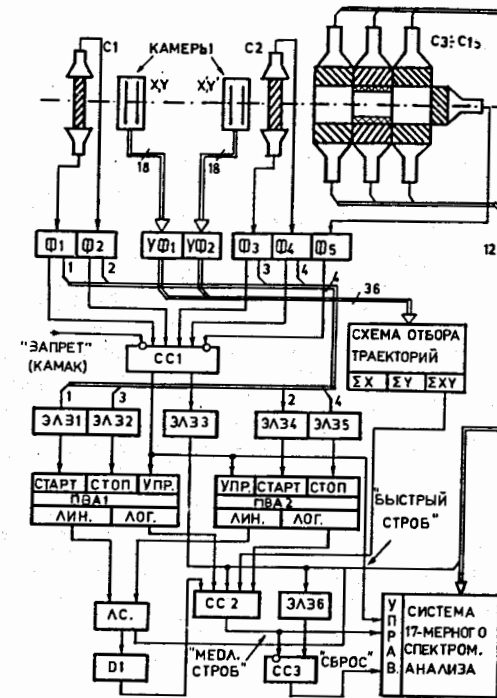


Рис.8 Блок-схема системы предварительного отбора событий спектрометра "Пион".

дало возможность выделить из всего спектра пионов частицы с более точным значением энергии, чем ширина пиков энергетических распределений частиц.

Для уменьшения фоновых запусков применялась система мониторинга пучка на пропорциональных камерах. Она состояла из четырех пропорциональных камер с усилителями-формирователями и специального цифрового процессора для отбора траекторий. Применение данной системы в 60 раз улучшило соотношение между фоновой и полезной нагрузками при относительно малой потере эффективности использования пучка.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

а) Рассмотрены основные этапы и тенденции развития систем предварительного отбора событий, многомерного и многодатчикового спектрометрического анализа и сформулирован подход к построению управляемых ЭВМ спектрометрических модулей для таких систем.

б) Для систем многомерного и многодатчикового спектрометрического и временного анализа разработан набор модулей, управляемых ЭВМ, включающий в себя: универсальные преобразователи время-код, амплитуда-код, заряд-амплитуда; восстановитель нулевой линии; восьмиканальную плату зарядочувствительных предусилителей; буферную память.

в) Разработан набор модулей для систем предварительного отбора событий, состоящий из: формирователя для временной привязки импульсов, дифференциального дискриминатора - двухпорогового формирователя, быстродействующих преобразователей время-код, амплитуда-код, преобразователя время-амплитуда и нескольких специализированных модулей. Способы построения входного каскада формирователя и быстродействующих преобразователей время-код и амплитуда-код защищены тремя авторскими свидетельствами.

г) Создана и испытана в реальных условиях физического эксперимента автоматизированная система двумерного E-t анализа и часть программного обеспечения к ней установки для изучения мезорентгеновских спектров.

д) Разработаны и проверены в рабочих условиях система мониторинга пучка на пропорциональных камерах и время-пролетная система широкоапертурного годоскопа-спектрометра для исследований реакций с участием пионов низких энергий.

е) Созданы и использованы в эксперименте системы двумерного E-t анализа и предварительного отбора событий установки для изучения рождения пионов в соударениях протонов низких энергий с ядрами.

Работы, опубликованные по теме диссертации:

1. Андерт К., Габриэль Ф., Калинин А.И., Мерзляков С.И., Ортлеп Х.Г. Селектор-интегратор - прибор для спектрометрических измерений при высокой скорости счета. ОИЯИ, ПЗ-10110, Дубна, 1976. - 14 с. В кн.: II Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике. Киев, 1976. Тезисы докладов, изд. ИЯИ, Киев, 1976, с.183.
2. Габриэль Ф., Мерзляков С.И., Рихтер Э., Эшттейн П. Универсальный 1024-канальный ВЦП. В кн.: IX Международный симпозиум по ядерной электронике, Варна, 1977. Дубна, ПЗ-III82, 1978, с.266-271.

3. Мерзляков С.И., Эшттейн П. Быстрая буферная память. ОИЯИ, Б1-13-12050, Дубна, 1978. - 7 с.
4. Габриэль Ф., Калинин А.И., Мерзляков С.И., Рихтер Э., Тиссольд Е., Фромм В.-Д. Универсальный аналого-цифровой преобразователь в стандарте КАМАК. ОИЯИ, ПЗ-11201, Дубна, 1978. - 16 с.
5. Akimov Yu.K., Eckstein P., Fromm W.-D., Merzlyakov S.I., Sabirov B.M. A Two-dimensional Analysis of Spectroscopic Data Using CAMAC Equipment. I. Electronics. Nucl. Instr. and Meth., v.165, 1979, No.2, p.385-387.
Акимов Ю.К., Эшттейн П., Фромм В.-Д., Мерзляков С.И., Сабиров Б.М. Многомерный анализ спектрометрических данных на базе аппаратуры КАМАК. I. Электроника. ОИЯИ, ПЗ-12021, Дубна, 1978. - 14 с.
6. Akimov Yu.K., Eckstein P., Fromm W.-D., Merzlyakov S.I., Sabirov B.M. A Two-dimensional Analysis of Spectroscopic Data Using CAMAC Equipment. II. Programming Techniques. Nucl. Instr. and Meth., v.165, 1979, No.2, p.388-392.
Акимов Ю.К., Эшттейн П., Фромм В.-Д., Мерзляков С.И., Сабиров Б.М. Многомерный анализ спектрометрических данных на базе аппаратуры КАМАК. II. Программное обеспечение. ОИЯИ, ПЗ-12022, Дубна, 1978. - 13 с.
7. Акимов Ю.К., Курепин В.А., Краснов А.Б., Мерзляков С.И., Нгуен Нгок Лам, Оганесян К.О., Пасик Е.А., Пороховой С.Ю., Пугачевич В.П., Разин В.И., Решетин А.И., Тшииков В.К., Фещенко А.А., Флягин В.Б. Система мониторинга пучка на пропорциональных камерах для установки "Пион". ОИЯИ, ПЗ-12385, Дубна, 1979. - 16 с.
8. Акимов Ю.К., Мерзляков С.И. Электроника время-пролетной системы. В кн.: X International Symposium on Nuclear Electronic, Dresden, GDR, 1980, Rossendorf, ZfK-433, v.1, 1981, p.250-254.
9. Akimov Yu.K., Merzlyakov S.I., Oganessian K.O., Pasyuk E.A., Porokhovoy S.Yu. Scintillation Facility for Positive Pion Detection. JINR, E13-80-10, Dubna, 1980. - 10 p.
10. А.с.СССР № 809522 от 28.02.81 г. Формирователь для временной привязки импульсов. /Акимов Ю.К., Мерзляков С.И. - Опубликовано в Бюлл. ОИПОТЗ, 1981, № 8, с.265.
11. А.с.СССР № 91453 от 07.03.82 г. Устройство для преобразования временного интервала в цифровой код. /Акимов Ю.К., Мерзляков С.И. - Опубликовано в Бюлл. ОИПОТЗ, 1982, № 9, с.222.
12. Акимов Ю.К., Мерзляков С.И. Наносекундный преобразователь время-амплитуда. ПТЭ, 1980, № 5, с.94-97.
13. Мерзляков С.И. Малошумящий предусилитель для детекторов малых емкостей. ОИЯИ, ПЗ-83-646, Дубна, 1983. - 12 с.

14. Мерзляков С.И., Тиссольд Е., Фромм В.-Д. Универсальный восстановитель нулевой линии. ОИЯИ, 6-11396, Дубна, 1978. - 10 с.
15. Акимов Ю.К., Додохов В.Х., Жуков В.А., Мерзляков С.И. Ксенонный счетчик с малошумящим предусилителем. ОИЯИ, P13-83-641, Дубна, 1983.
16. А.с.СССР № 809543 от 28.02.81 г. Устройство для двухступенчатого аналого-цифрового преобразования. /Калинин А.И., Мерзляков С.И., Нгуен Нгок Лам. - Опубликовано в Бюлл. ОИПОТЗ, 1981, № 8, с.263.
17. Калинин А.И., Мерзляков С.И., Нгуен Нгок Лам. Быстродействующий АЦП. В кн.: X International Symposium on Nuclear Electronics, Dresden, 1980. Rossendorf, ZfK-433, v.1, p.152-155.
18. Акимов Ю.К., Гайсак И.И., Губер Ф.Ф., Краснов В.А., Курепин А.Б., Мерзляков С.И., Оганесян К.О., Паски Е.А., Пороховой С.Ю., Решетин А.И. Рождение P^+ -мезонов в соударениях протонов низкой энергии с ядрами углерода и меди. ЯЭ, т.33, вып.1, М., 1981, с.33-40.
19. Акимов Д.Ю., Мерзляков С.И. Формирователь для временной привязки импульсов фотоумножителя. ПТЭ, 1982, № 1, с.148-150.
20. Акимов Ю.К., Курепин А.Б., Нгуен Нгок Лам, Мерзляков С.И., Оганесян К.О., Паски Е.А., Пороховой С.Ю., Тюпиков В.К., Филипов С.Н. Время-пролетная система установки "Пион". I. Устройство системы и измерения на мезонном тракте. ОИЯИ, 13-11717, Дубна, 1978. - 12 с.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 сентября 1985 года