

С-36

13 - 7743

СИЛАЕВ

Евгений Александрович

АППАРАТУРА СЪЕМА
И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ
С БЕСФИЛЬМОВЫХ КАМЕР

Специальность 05.12.08 - электронная техника и приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат технических наук Ю.В. ЗАНЕВСКИЙ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук Л.А. МАТАЛИН,

кандидат технических наук Л.П. ЧЕЛНОКОВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Ленинградский институт ядерной физики (г. Гатчина)

Автореферат разослан "14" марта 1974 года.

Защита диссертации состоится "15" апреля 1974 года.

в "11" часов на заседании Ученого совета Лаборатории
высоких энергий Объединенного института ядерных исследований
(г. Дубна).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА -

КАНДИДАТ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ

НАУК

М.Ф. Лихачев

М.Ф. ЛИХАЧЕВ

13 - 7743

СИЛАЕВ

Евгений Александрович

АППАРАТУРА СЪЕМА

И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

С БЕСФИЛЬМОВЫХ КАМЕР

Специальность 05.12.08 - электронная техника и приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Последнее десятилетие для техники детектирования ионизирующих частиц характерно бурным развитием бесфилмовых методов съема информации.

Из существующих бесфилмовых детекторов требованиям экспериментальной физики высоких энергий наиболее полно удовлетворяют проволочные искровые и пропорциональные камеры. Сюда же следует отнести и разновидность пропорциональных — дрейфовые камеры, получившие признание в последнее время.

Среди проволочных искровых камер большое распространение получили камеры с магнитострикционным выводом информации. Это связано с целым рядом их положительных качеств: высоким пространственным разрешением, неплохим временным разрешением, возможностью регистрации большого числа искр, простой конструкцией узла съема информации, которая не усложняется при уменьшении шага намотки электродов и увеличении размеров камеры, легкостью съема информации с обоих электродов и др.

Между тем магнитострикционные искровые камеры требуют применения весьма сложных, чувствительных и быстродействующих сигнальных трактов, работающих в условиях больших амплитудных перегрузок. Поэтому не перестают быть актуальными работы по совершенствованию электроники съема и дискриминации сигналов этих камер в направлении повышения точности, помехоустойчивости, надежности и снижения стоимости.

С 1968 года большинством физических лабораторий развивается техника многопроволочных пропорциональных камер.

При одинаковом с искровыми камерами пространственном разрешении они имеют на один — два порядка лучшее временное разрешение

и, по крайней мере, на три порядка большую скорость счёта; для работы им не нужны вспомогательные управляющие счетчики.

Однако для реализации этих преимуществ к каждой сигнальной проволоке пропорциональной камеры необходимо подключить сложный электронный регистрирующий тракт, содержащий усилитель, устройство задержки, временной селектор и память. Параметры тракта должны отвечать ряду противоречивых требований в отношении чувствительности, быстродействия, воспроизводимости характеристик и стоимости. Это сдерживает широкое применение пропорциональных камер и полную замену ими искровых.

Названные выше детекторы, весьма различные по своим свойствам и применению, накладывают свой отпечаток на всю структуру регистрирующей и управляющей аппаратуры. Но прежде всего специфика конкретных типов детекторов должна учитываться электроникой съёма и предварительной обработки сигнала с целью возможно более точного и полного извлечения информации и представления её в форме, удобной для последующей регистрации, кодирования и ввода в ЭВМ.

В диссертации изложены результаты работ автора по созданию аппаратуры съёма и первичной обработки сигналов магнитострикционных искровых камер и многопроволочных пропорциональных камер. Работы выполнены в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ в период с 1968 по 1973 год.

Диссертация состоит из пяти глав и приложения.

В первой главе описан магнитострикционный способ вывода информации и его разновидности. Указано, что преимущественное распространение получил метод с использованием динамической памяти на камерных магнитострикционных линиях задержки /1/. Проведён

анализ методов предварительной обработки и дискриминации сигналов с магнитострикционных искровых камер в зависимости от формы ЭДС сигнала на приёмной катушке. Разобраны достоинства и недостатки этих методов.

Рассмотрены общие тенденции построения сигнальных трактов магнитострикционных искровых камер в отношении используемых методов дискриминации, реализуемых чувствительности и точности аппаратуры, способов компоновки функциональных элементов тракта и т.д.

Во второй главе описана электронная аппаратура усиления и дискриминации сигналов с магнитострикционных камер бесфильмового искрового спектрометра экспериментальной установки для изучения регенерации K^0 -мезонов на ускорителе ИФВЭ (Серпухов) /2,3/.

Приведена структурная схема предварительной обработки и дискриминации сигналов с магнитострикционных искровых камер /4,5/.

Для определения требуемой полосы пропускания усилителей рассчитана эффективная ширина спектра типовых сигналов с магнитострикционных линий. Использовалась аппроксимация сигнала второй производной функции Гаусса:

$$u_c(t) = e^{-\beta^2 t^2} (1 - 2\beta^2 t^2), \quad (1)$$

где: β - параметр, характеризующий временные свойства сигнала и связанный с длительностью центрального пика t_R соотношением

$$\beta = \sqrt{2}/t_R. \quad (2)$$

Функция (1) будет иметь спектральную плотность:

$$S(\omega) = -\frac{\omega^2}{2\beta^3} \sqrt{\pi} e^{-\frac{\omega^2}{4\beta^2}} \quad (3)$$

Проведен численный расчет границ частотной области, в которой сосредоточено 90% энергии спектра и определены требования к нижней и верхней граничным частотам сигнального усилителя.

Экспериментально определены требования к чувствительности сигнального тракта в условиях больших фоновых нагрузок на искровую камеру ($\sim 10^6 \text{ сек}^{-1}$) /6/. В этих условиях, для обеспечения эффективности регистрации не ниже 95%, тракт должен иметь приведенный к приёмной катушке порог регистрации не выше 0,8 мкВ/виток, что для 50-витковой приёмной катушки соответствует усилению $\sim 10^4$ для центрального пика сигнала.

Описана аппаратура сигнального тракта магнитоотрицательных искровых камер в составе камерного предусилителя и усилителя-дискриминатора сигналов. Приведены принципиальные схемы и основные параметры блоков /6,7/.

Предусилитель собран на базе отечественной линейной интегральной схемы IUS181 (IUS221). Предложенное автором включение микросхемы позволило создать простой и надежный прибор с минимальным числом навесных деталей. Проведенный анализ эквивалентной схемы показал, что предусилитель обладает хорошей воспроизводимостью усилительных характеристик, несмотря на отсутствие внешних отрицательных обратных связей по сигналу.

Усилитель-дискриминатор сигналов магнитоотрицательной искровой камеры выполняет следующие функции:

1) обеспечивает усиление центрального пика сигнала с одновре-

менной режекцией боковых (нерабочих) пиков;

2) дифференцирование выделенного импульса для организации пересечения нуля в центре сигнала;

3) дискриминацию пересечения нуля дифференцированного импульса;

4) формирование выходного импульса с привязкой к срезу импульса дискриминатора.

Особенностью устройства является наличие нелинейной общей отрицательной обратной связи, глубина которой меняется при изменении полярности сигнала. При этом отпадает необходимость в специальном ограничителе, выделяющем центральный пик сигнала, и снижаются требования к усилителю.

Разработанная аппаратура послужила основой для создания 46-канальной системы съёма и запоминания информации с магнитоотрицательных искровых камер экспериментальной установки для изучения регенерации K^0 -мезонов /7/. Аппаратура с 1969 года установлена на ускорителе ИФВЭ (Серпухов) и к настоящему времени проработала на пучке около 2000 часов. За это время с её помощью было зарегистрировано $5 \cdot 10^6$ физических событий при эффективной точности измерения координат треков $\pm 0,3 \text{ мм}$ /3/.

Третья глава содержит описание электроники усиления и дискриминации сигналов, входящей в состав универсальной регистрирующей аппаратуры для магнитоотрицательных искровых камер ("РЕШЕР"), созданной в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ /8/.

Увеличение размеров бесфилмовых искровых камер, применяемых в физических экспериментах, рост числа каналов регистрации информации, связанный с усложнением экспериментальных установок и не-

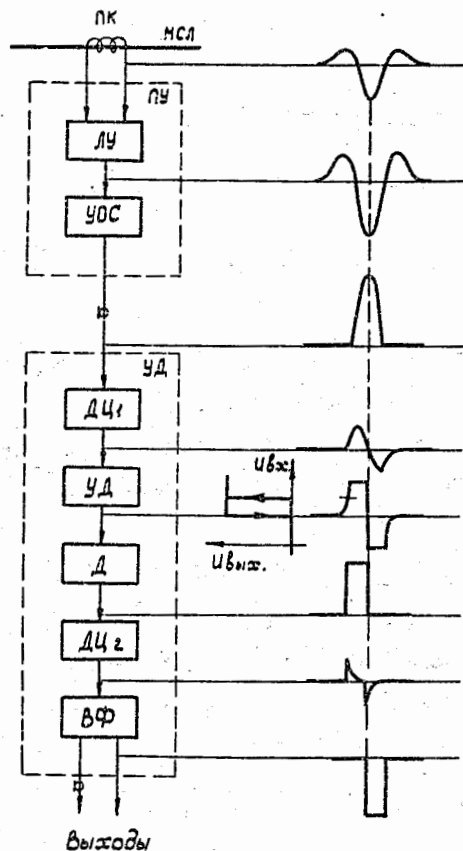


Рис. 1. Функциональная схема и временные диаграммы тракта усиления и дискриминации сигналов магнитострикционной искровой камеры (ПК - приёмная катушка; ЛУ - линейный усилитель; УОС - усилитель-ограничитель; ДЦ - дифференцирующая цепь; УД - усилитель-ограничитель двусторонний; Д - дискриминатор пересечения нуля; ВФ - выходной формирователь).

прерывно растущие требования к точности регистрации и скорости набора данных приводят как к усложнению отдельных каналов регистрации, так и к росту общего объёма электроники регистрации и обработки данных.

Поэтому при создании описываемой универсальной аппаратуры был принят ряд мер, направленных, прежде всего, на обеспечение возможности работы с искровыми камерами широкого диапазона размеров, возможности удаления усилителей-дискриминаторов на значительные расстояния от камер (до сотен метров), на снижение объёма и увеличение надёжности аппаратуры.

Универсальная аппаратура усиления и дискриминации сигналов с магнитострикционных искровых камер состоит из камерного предусилителя ПМС-2 (тип 201) на базе интегрального операционного усилителя и двух вариантов усилителей-дискриминаторов: четырехканального транзисторного 4УД-2 (тип 202) и восьмиканального на микросхемах 8УД-3 (тип 202М).

Функциональная схема и временные диаграммы работы одного канала этой аппаратуры приведены на рис.1.

Предусилитель (ЛУ) осуществляет усиление сигнала (ЛУ) и режекцию его боковых пиков (УОС).

Каждый канал усилителя-дискриминатора (УД) выполняет следующие функции:

- 1) дифференцирование импульса с предусилителя ПМС-2 (201) для организации пересечения нуля в центре сигнала (ДЦ₁);
- 2) усиление и двустороннее ограничение биполярного импульса (УД);
- 3) дискриминацию пересечения нуля биполярного импульса (Д);

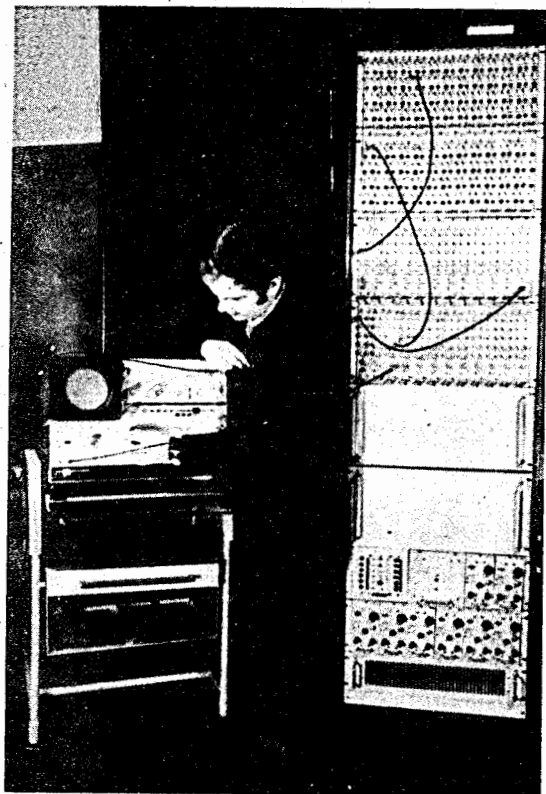


Рис. 2. Внешний вид стойки 96-канальной системы съёма и запоминания информации с магнестрикционных искровых камер экспериментальной установки "ФОТОН".

4) формирование выходного импульса с привязкой к срезу импульса дискриминатора ($ДЦ_2$, ВФ).

Передача предусилителю функции по подавлению боковых пиков сигнала позволила организовать дифференцирование непосредственно на входе усилителя-дискриминатора. Эта мера позволяет резко снизить влияние наводки от тока искрового разряда в камерах на длинный сигнальный кабель, соединяющий предусилитель с усилителем-дискриминатором.

На рис.2 изображен внешний вид стойки 96-канальной системы съёма информации с магнестрикционных искровых камер экспериментальной установки для изучения радиационных распадов резонансов ("ФОТОН"), выполненной на базе описанной выше аппаратуры.

Материал четвертой главы посвящен рассмотрению вопросов съёма и регистрации сигналов с пропорциональных камер /9/.

Здесь разобраны основные свойства и особенности пропорциональных камер.

Проведен обзор методов съёма сигналов с пропорциональных камер для временных и координатных измерений. Показано, что несмотря на существование ряда упрощенных методов съёма наибольшее распространение получил самый сложный и дорогой, когда к каждой сигнальной проволоке подключен автономный тракт, выполняющий следующие операции над сигналами:

- а) усиление до уровня дискриминации;
- б) компенсирующую задержку;
- в) временную селекцию;
- г) запоминание;
- д) формирование логических импульсов "Быстрое ИЛИ" (при ис-

пользовании сигналов пропорциональной камеры для выработки импульса запуска установки) и "ИЛИ памяти" (для ускорения опроса памяти) /10, 11/.

Такой метод наиболее полно использует все достоинства пропорциональных камер.

Проведен анализ общих тенденций в построении аппаратуры усиления и регистрации сигналов отдельно по двум разновидностям электронных блоков, устанавливаемых непосредственно на камерах:

- а) усилителям-формирователям;
- б) блокам регистрации.

Пятая глава содержит описание электронной аппаратуры усиления и регистрации сигналов для координатных измерений с помощью пропорциональных камер.

Четырехканальный транзисторный усилитель-формирователь, разработанный автором /12/, выполняет следующие функции:

- 1) усиление сигнала до уровня дискриминации;
- 2) формирование выходных координатных импульсов по длительности и амплитуде;
- 3) формирование логического импульса "ИЛИ".

Усилитель имеет токовый вход ($R_{вх.} \leq 100 \text{ ом}$), что дает возможность работать в широком диапазоне емкостей источника сигнала (например, при параллельном соединении сигнальных проволок камеры, когда не требуется высокое пространственное разрешение) или применять кодирование каналов непосредственно на выходе камеры. Применение нелинейной отрицательной обратной связи в сочетании с дифференцированием позволяет расширить амплитудный диапазон усилителя.

Основные параметры блока:

- а) приведенный к входу порог дискриминации (номинальный) - 2 мка;
- б) входное сопротивление - не более 100 ом;
- в) временное "гуляние" выходных импульсов при изменении амплитуды входного сигнала в пределах 4-400 мка - не более 25 нсек;
- г) параметры выходных импульсов:
 - уровни - токовые, NIM
 - длительность - 100 нсек (координатные); 30 нсек ("ИЛИ").

С пропорциональной камерой, имеющей сигнальный электрод из проволоки диаметром 20 мкм, с шагом 2 мм и газовой смесью $Ar + 28\% CO_2 + 2\% C_2H_5OH + 3\% C_6H_6$, усилитель обеспечивает ширину плато эффективности регистрации на уровне 99% около 600 в (~13% от среднего напряжения на камере) при длительности строба 50 нсек /12/.

Пропорциональные камеры на метане с вышеописанными усилителями обеспечивают ширину плато эффективности около 800 в (~16% от среднего напряжения на камере) при длительности строба 20 нсек /13/.

Усилитель-формирователь практически не ухудшает собственного временного разрешения пропорциональной камеры /13,15/.

К настоящему времени выпущено около 400 таких блоков (~1600 каналов) для работы в ОИЯИ и ИФВЭ (Серпухов). Партия этих блоков изготовлена в ЛИЯФ (Гатчина) и используется в экспериментальных работах этого Института.

С целью уменьшения габаритов и стоимости линии связи камерных усилителей-формирователей с основной регистрирующей аппаратурой была исследована возможность использования для передачи сигналов пропорциональной камеры многоканального симметричного телефонного кабеля парной скрутки /II/. Исследовался 30-канальный кабель ТПШ-30x2x0,5 с полиэтиленовой изоляцией. Наружный диаметр кабеля - 16 мм. Длина исследованного отрезка - 100 метров.

В результате замеров, проведенных на всех тридцати каналах, установлены следующие характеристики кабеля:

1. Волновое сопротивление - 100 ом.
2. Номинальная задержка - 5 нсек/м.
3. Разброс задержек по каналам - ± 40 псек/м.
4. Электрическое сопротивление жилы - 0,09 ом/м.
5. Уровень перекрестных наводок - менее 5%.
6. Быстрая компонента переходной характеристики имеет длительность 16 нсек при коэффициенте передачи 0,6.

Эти данные показывают, что такой и подобные кабели могут быть использованы для передачи сигналов с пропорциональной камерой с минимальным ухудшением временного разрешения и эффективности регистрации.

Для работы с симметричным сигнальным кабелем был создан восьмиканальный камерный усилитель-формирователь на интегральных микросхемах 138 серии /II/.

Эффективным методом уменьшения габаритов и стоимости линии связи является установка непосредственно на камерах блоков регистрации, каждый канал которых выполняет следующие операции над ка-

мерными сигналами:

- а) усиление;
- б) компенсирующую задержку;
- в) временную селекцию;
- г) запоминание;
- д) формирование логического импульса "Быстрое ИЛИ".

Функциональная схема разработанного автором канала подобного типа приведена на рис. 3,а, временные диаграммы его работы - на рис. 3,б /Ю,II/.

Сигнал с анодной проволоки пропорциональной камеры подается на усилитель "У", вход которого защищен от возможных искровых пробоев защитной цепью "Р". С выхода усилителя сигнал через укорачивающую цепь F_1 поступает на схему формирования импульса "Быстрое ИЛИ" и на устройство задержки "Д". Последнее выполнено по схеме одновибратора и обеспечивает задержку порядка нескольких сотен наносекунд. Импульс записи в память формируется привязанным к срезу импульса одновибратора цепью F_2 . При совпадении его со стробом записи триггер "Т" срабатывает и запоминает информацию. Вывод её происходит через ворота считывания по соответствующей команде. После этого триггер переключается в исходное состояние импульсом "Сброс".

Принципиальной особенностью этого канала регистрации является наличие блокировки сигнального усилителя на время выдержки одновибратора. Это исключает на входе последнего помехи, которые могут изменить задержку сигнала, без помощи специального блокирующего устройства (одновибратора или триггера Шмитта). Это заметно упрощает схему, повышает надежность и снижает стоимость канала без ухуд-

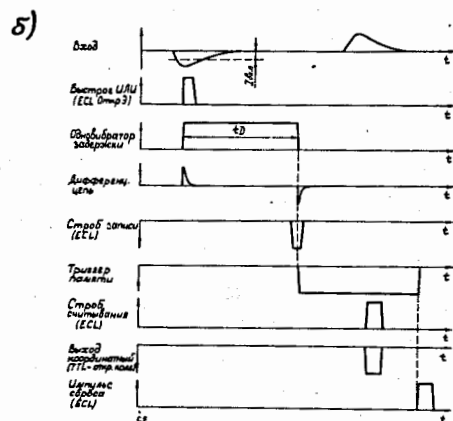
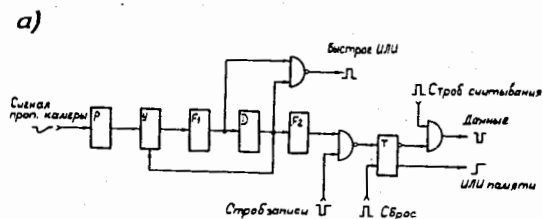


Рис. 3. Канал регистрации сигналов пропорциональной камеры:
а) функциональная схема; б) временные диаграммы.

ления временного разрешения и эффективности регистрации.

На базе описанного канала разработаны 4- и 8-канальные блоки регистрации для пропорциональных камер. Их схемы выполнены на отечественных микросхемах I38 серии /I0, I1, I4/.

Основные параметры блоков регистрации:

- а) минимальный порог регистрации, приведенный к входу - 1 мкА;
- б) входное сопротивление (для малого сигнала) - 500-700 Ом;
- в) уровни команд управления и выходных сигналов (кроме информационных сигналов) - потенциальные, ЭСЛ;
уровни информационных сигналов - токовые, ТТЛ или NIM;
- г) минимальная ширина стробов записи и сброса - 7 нсек;
очитывания - 30 нсек (ТТЛ)
10 нсек (NIM);
- д) задержка: длительность - определяется параметрами RC-цепи
электронная регулировка длительности (в пределах) - $\pm 20\%$
температурный коэффициент задержки (при $t = 25^\circ\text{C}$) - $0,1\%/^\circ\text{C}$.

При работе с пропорциональной камерой (сигнальные проволочки диаметром 20 мкм с шагом 3 мм; газовая смесь $\text{Ar} + 20\%\text{CO}_2 + 3\%\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) блоки регистрации обеспечивают ширину плато эффектив-

ности (на уровне 99%) не менее 500 в (~14% от среднего напряжения на камере). Блоки практически не ухудшают собственного временного разрешения пропорциональной камеры.

К настоящему времени изготовлена партия таких блоков общим объемом в 400 каналов для пропорциональных камер экспериментальной установки по исследованию регенерации K^0 -мезонов на ускорителе ИФВЭ (Серпухов).

В "ПРИЛОЖЕНИИ" описан предложенный автором имитатор сигналов магнитострикционной искровой камеры, который удобно использовать для настройки многоканальной аппаратуры усиления и дискриминации сигналов магнитострикционных искровых камер. Предложен простой и точный способ визуальной настройки дискриминаторов пересечения нуля с применением описанного выше имитатора.

Основные итоги работ, описанных в диссертации, сводятся к следующему:

1. Проведен анализ методов предварительной обработки и дискриминации сигналов с магнитострикционных искровых камер. Рассмотрены достоинства и недостатки отдельных методов и оценены общие тенденции построения трактов магнитострикционных сигналов.

2. Разработана электроника усиления и дискриминации сигналов с магнитострикционных камер бесфилмового искрового спектрометра экспериментальной установки для изучения регенерации K^0 -мезонов на ускорителе ИФВЭ (Серпухов). В аппаратуре применены эффективные и в то же время простые и надежные схемные решения по повышению точности дискриминации сигнала. Впервые в подобной аппаратуре использованы отечественные линейные интегральные микросхемы. Система из 46 каналов этой аппаратуры с 1969 года установлена на уско-

рителе ИФВЭ (Серпухов) и к настоящему времени проработала на пучке около 2000 часов. За это время с её помощью было зарегистрировано $5 \cdot 10^6$ физических событий при точности измерения координат треков $\pm 0,3$ мм.

3. На основе обобщения опыта, накопленного в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ по выводу информации с бесфилмовых искровых камер экспериментальных установок, работающих на ускорителях ОИЯИ и ИФВЭ (Серпухов), разработана универсальная аппаратура съёма и дискриминации сигналов с магнитострикционных искровых камер, входящая в систему регистрирующей электроники "РЕПЕР". Эта аппаратура имеет в своем составе камерный предусилитель магнитострикционных сигналов на базе интегрального операционного усилителя и два варианта усилителей-дискриминаторов: 4-канальный транзисторный и 8-канальный на интегральных микросхемах. Решен вопрос снижения мертвого времени усилителя-дискриминатора при действии импульсной наводки на длинный входной кабель. Впервые подобный усилитель-дискриминатор выполнен полностью на отечественных интегральных микросхемах. Электроника испытана в работе на искровых камерах размером 1×1 м² и 2×1 м². В настоящее время на базе этой аппаратуры разработана и изготовлена 96-канальная система съёма и запоминания информации с магнитострикционных искровых камер экспериментальной установки для изучения радиационных распадов резонансов ("ТОТОН").

4. Проведен анализ методов съёма сигналов с пропорциональных камер. Рассмотрены достоинства и недостатки отдельных методов и исследованы общие тенденции построения камерных усилителей-формирователей и блоков регистрации для координатных и временных измерений с помощью пропорциональных камер.

5. На основе предложенной автором транзисторной усилительной секции разработан 4-канальный усилитель-формирователь для временных и координатных измерений с помощью пропорциональной камеры. Усилитель-формирователь имеет токовый вход, что позволяет работать в широком диапазоне емкостей источников сигнала, а также применить кодирование каналов непосредственно на выходе камеры. Введение нелинейной обратной связи совместно с дифференцированием позволило обеспечить минимальное мертвое время в широком амплитудном диапазоне. К настоящему времени выпущено около 400 таких блоков (~1600 каналов) для работы в ОИЯИ, ИФВЭ (Серпухов) и других научных центрах СССР.

6. Исследована возможность использования многоканального телефонного кабеля ТПВ (ТПШ) парной скрутки для передачи сигналов с пропорциональных камер к регистрирующей электронике, как средство снижения стоимости и уменьшения габаритов линии связи. Для этих целей разработан 8-канальный камерный усилитель-формирователь с парафазным выходом на отечественных ЭСД микросхемах, имеющий возможность работы на симметричный кабель.

7. Автором предложена новая схема канала регистрации для временных и координатных измерений с помощью пропорциональной камеры. Введение блокирования усилителя на время выдержки одновибратора позволило сократить число активных компонентов по сравнению с зарубежными аналогами при сохранении чувствительности, временного разрешения и скорости счета. На базе этой схемы разработаны два варианта камерных блоков регистрации (4- и 8-канальный), каждый канал которых содержит блокируемый усилитель, электронную задержку, временной селектор сигналов и память. Блоки выполнены на отечественных ЭСД ин-

тегральных микросхемах и предназначены для работы в системах с большим числом каналов регистрации. К настоящему времени изготовлена партия таких блоков общим объемом в 400 каналов для пропорциональных камер установки БИС для экспериментов с K^0 -мезонами на ускорителе ИФВЭ (Серпухов).

Основные материалы диссертации опубликованы в работах /4,6,7, 10,11,12,14/.

ЛИТЕРАТУРА:

1. V.Perez-Mendez and J.M.Pfab. Nucl. Instr. Meth., v.33, 141 /1965/.
2. Т.С.Григалашвили, Ю.В.Заневский, Ю.Т.Киришин, В.Д.Кондрашов, Ю.В.Куликов, Н.И.Малашкевич, В.Д.Пешехонов, В.П.Пугачевич, Е.А.Силаев. ОИЯИ, П13-5324, Дубна, 1970.
3. С.Г.Басиладзе, Т.В.Беспалова, В.К.Бирулев и др. ОИЯИ, П1-5361, Дубна, 1970.
4. И.А.Голутвин, Ю.В.Заневский, Е.А.Силаев, Д.А.Смолин. Материалы совещания по бесфилмовым камерам (Дубна, 1969). ОИЯИ, П3-4527, Дубна, 1969, стр. 221.
5. Т.В.Беспалова, И.А.Голутвин, Ю.В.Заневский, Л.В.Комогорова, В.Д.Кондрашов, Е.А.Силаев, Д.А.Смолин. Труды Международного семинара по ядерной электронике (Варна, 1969). ОИЯИ, П3-4720, Дубна, 1969, стр.385.
6. Т.С.Григалашвили, Ю.В.Заневский, В.Д.Пешехонов, Е.А.Силаев. ПТЭ, № 2, 75 (1971).
7. Ю.В.Заневский, В.Д.Пешехонов, Е.А.Силаев. ОИЯИ, П3-5323, Дубна, 1970.

8. Т.В.Беспалова, Ю.В.Заневский, А.Б.Иванов, Л.В.Комогорова, В.Д.Кондрашов, М.Н.Михайлова, Е.А.Силаев, Д.В.Смолин, Н.А.Филатова, С.П.Черненко, Б.С.Широков, А.В.Жуков. ОИЯИ, П13-6304, Дубна, 1972.
9. G.Chargak et al., Nucl. Instr. & Meth., v. 62, 262 (1968).
10. Е.А.Силаев. ОИЯИ, П3-7006, Дубна, 1970.
11. Е.А.Силаев. Материалы совещания по методике пропорциональных камер (Дубна, 1973). ОИЯИ, П3-7154, Дубна, 1973, стр.121.
12. Е.А.Силаев. ОИЯИ, П3-6669, Дубна, 1972.
13. Е.А.Дамаскинский, А.П.Кашук, А.Г.Кришнич, О.Е.Прокофьев, В.С.Самсоненков. В сборнике /II/, стр.95.
14. Ю.В.Заневский, А.Б.Иванов, М.Н.Михайлова, Е.А.Силаев, Н.А.Филатова, С.П.Черненко, Б.С.Широков. ОИЯИ, П3-7218, Дубна, 1973.
15. В.К.Бирулев, Т.С.Григалашвили, Б.Н.Гуськов и др. ОИЯИ, П3-7013, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 февраля 1974 года.