

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

13-96-237

На правах рукописи
УДК 539.1.27

A-425

АКСИНЕНКО
Виктор Дмитриевич

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ
И ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ
МАГНИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА ГИБС**

Специальность: 01.04.01 — техника физического
эксперимента, физика приборов, автоматизация физических
исследований

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна 1996

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор технических наук,
старший научный сотрудник
кандидат физико-математических
наук, старший научный сотрудник

Матюшин Александр
Тарасович
Матюшин Валентин
Тарасович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических
наук, профессор
доктор физико-математических
наук, старший научный сотрудник

Говорков Борис
Борисович
Панебратцев Юрий
Анатольевич

Ведущая организация:

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, г.Москва.

Защита диссертации состоится 12-го сентября 1996 г. в 10³⁰ час.
на заседании диссертационного совета Д-047.01.02. в Лаборатории
высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, кон-
ференц-зал ЛВЭ, г.Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1996 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета

М.Ф.Лихачев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Программа экспериментов, которые прово-
дились с помощью магнитного спектрометра ГИБС на синхрофазатроне
ОИЯИ в течение нескольких лет, включала ряд актуальных проблем,
таких как исследование гиперядер в пучках релятивистских ионов,
исследование перезарядки ядер на ядрах, исследование корреляций в
ядро-ядерных взаимодействиях. Решение указанных проблем зависело
от эффективности работы установки ГИБС, основу которой составляла
стримерная камера в магнитном поле, управляемая с помощью триг-
герной системы, конкретный состав которой диктовался требованиями
очередного эксперимента. Качественный скачок в получении физичес-
кой информации (увеличение статистики более, чем на порядок) ожи-
дается при переходе на пучок нуклотрона. Однако при этом возрас-
тают требования к эффективности стримерной части спектрометра и ее
параметрам. Создание стримерной камеры с параметрами (точность из-
мерения координат трека, разрешение по импульсам вторичных одно-
зарядных частиц, малое время памяти, стабильность и надежность ра-
боты) на уровне мировых являлось весьма актуальной проблемой и
сложной технической задачей. Получение таких параметров потребо-
вало проведения исследований как в методике самой стримерной ка-
меры, так и в технике разработки высоковольтных генераторов на-
носекундных импульсов для ее питания.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ состояла в разработке и создании стримерной части
магнитного спектрометра ГИБС (как самой стримерной камеры, так и
основных ее систем, в первую очередь, системы высоковольтного им-
пульсного питания), свободной от недостатков, выявленных при
эксплуатации камеры установки СКМ-200, на базе которой она и соз-
давалась, а также позволяющей обеспечить высокие импульсное и
пространственное разрешения, малое время памяти, длительно с высо-
кой надежностью и стабильностью работать при наборе статистики в
экспериментах на ускорителе и, в перспективе, способной функцио-
нировать при повышенном давлении рабочего газа - неона и другими га-
зами. Для достижения этой цели потребовалось решение следующих
основных задач.

I. Разработка и создание стримерной камеры с чувствительным объе-
мом $\sim 1 \text{ м}^3$, с повышенными механической и электрической прочностями
ее корпуса, с высокими эквидистантностью электродов и герметич-
ностью, с конструкцией, позволяющей обеспечить размещение других

детекторов непосредственно за камерой.

2. Изучение и поиск схем формирования высоковольтных импульсов для питания стримерной камеры с целью выбора оптимальной схемы высоковольтного генератора, а также выбора наиболее приемлемой схемы (с точки зрения передачи энергии) при переходе к многоразовому в цикл работы ускорителя функционированию камеры.

3. Разработка, создание и исследование высоковольтных генераторов наносекундных импульсов с амплитудой 500 кВ и большим ресурсом непрерывной работы (не менее 10^5 срабатываний), способных обеспечить стабильное и надежное питание камеры во время длительных физических экспериментов.

4. Разработка и создание датчиков контроля и устройств стабилизации рабочих характеристик стримерной камеры.

Решению этих задач и посвящена настоящая диссертация.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. При непосредственном участии автора разработан, создан, исследован и эксплуатируется один из крупнейших в мире магнитный спектрометр с двухметровой стримерной камерой ГИЭС с параметрами на уровне мировых: точность измерения координат трека ~ 300 мкм, разрешение по импульсам вторичных однозарядных частиц $\sim (1 \pm 1,5)\%$ в магнитном поле 1 Тл, время памяти $\sim (3 \pm 5)$ мкс. На созданном спектрометре ГИЭС впервые в мире в ряде экспериментов надежно наблюдались релятивистские гиперядра, измерены их сечения и времена жизни.

Разработаны, созданы и исследованы два высоковольтных генератора (на основе промышленного ГИН-500-0,02/5 и конденсаторов ФМ-100-15УЗ), обеспечивающие надежное (более 10^5 срабатываний без ремонта) и стабильное ($\pm 1\%$) питание камеры импульсами с амплитудой ≈ 500 кВ и длительностью на полувывоте ~ 12 нс, а также удобное обслуживание и быстрый их ремонт. В процессе разработки генераторов впервые найдены новые схемы импульсного заряда формирующих линий и испытана на рабочем напряжении (500 кВ) одна из них - на основе комбинации генератора импульсных напряжений и импульсного резонансного трансформатора.

Впервые предложен, разработан и использован на стримерной камере способ коррекции яркости треков по длине камеры, а также предложен и опробован способ контроля яркости треков с помощью фотоумножителя.

Оригинальность и новизна перечисленных способов и устройств

подтверждена свидетельствами на изобретение №871311, 989747, 1660496, 1674031.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ. Созданные стримерная камера и высоковольтные генераторы для ее питания в составе магнитного спектрометра ГИЭС успешно использовались в течение нескольких лет в физических экспериментах на синхрофазотроне ОИЯИ и могут еще эффективнее использоваться на пучках нуклотрона для решения широкого круга актуальных задач физики высоких энергий и релятивистской ядерной физики. Экспериментальные результаты, полученные после обработки и анализа стереофотографий (~ 300 тысяч), неоднократно докладывались на международных конференциях и отражены в нескольких десятках научных публикаций.

Предложенные и разработанные способы и устройства, примененные при создании и эксплуатации стримерной камеры спектрометра ГИЭС, могут быть использованы в других установках на основе стримерных камер. Полученные результаты в процессе создания высоковольтных генераторов и предложенные новые схемы генераторов могут быть использованы в различных областях высоковольтной импульсной техники при разработке генераторов наносекундных импульсов с высокой надежностью и стабильностью работы.

Разработанные методы легли в основу создания аппаратуры высоковольтного импульсного питания больших трековых камер для установки Адрон-44 ИФВЭ АН РК.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ И ПУБЛИКАЦИИ. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научных семинарах Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, на совещаниях международного сотрудничества по исследованиям на спектрометрах СКМ-200 и ГИЭС (ОИЯИ, Дубна), на Совещании по исследованиям в области релятивистской ядерной физики, Дубна, 1982г.

По результатам работ опубликовано 20 статей и получено 5 авторских свидетельств на изобретения.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 133 страницы машинописного текста, включая 7 таблиц, 42 рисунка и список литературы из 86 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В основу работы положены результаты разработки, создания, исследования и эксплуатации стримерной камеры магнитного спектрометра ГИЭС и высоковольтных генераторов для ее питания.

Во введении сформулированы проблемы, решению которых посвящена диссертация и приведено ее краткое содержание.

В первой главе, состоящей из пяти параграфов, рассмотрены конструктивные особенности стримерной камеры и ее основных узлов.

В §1.1 дано краткое описание магнитного спектрометра ГИБС. Хотя магнитный спектрометр ГИБС был создан на базе установки СКМ-200, при его сооружении, наряду с серьезной реконструкцией имеющейся аппаратуры, был разработан целый ряд новых систем и узлов, включая саму стримерную камеру^{1/} и систему высоковольтного импульсного питания^{2,3/}. Спектрометр ГИБС (рис.1) включал в себя анализирующий электромагнит ИСП41, стримерную камеру с системами высоковольтного импульсного питания и газообеспечения, триггерную систему, систему фотографирования и телевизионного контроля, системы контроля триггера и камеры. В отличие от установки СКМ-200, где генератор высоковольтных импульсов был расположен на продольной оси камеры, в спектрометре ГИБС для размещения других детекторов за камерой, генератор подсоединен к камере под углом в 45°

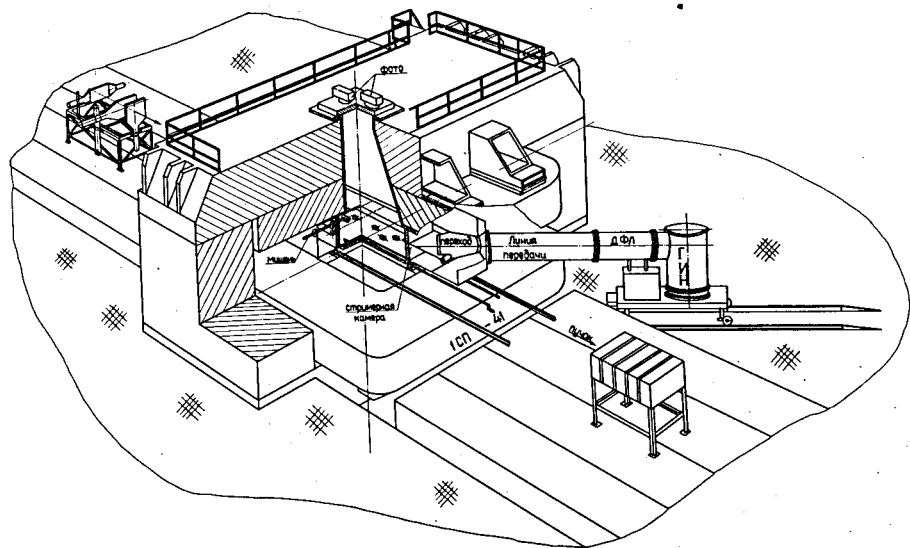


Рис.1. Экспериментальная установка ГИБС со стримерной камерой.

(рис.1), что позволило расширить круг физических задач, решаемых на этой установке. При этом достигнутые точность реконструкции треков (~300 мкс) и точность измерения импульсов вторичных однозарядных частиц ($\pm 2\%$) совпадают с нашей оценкой, приведенной в работе^{4/}.

В §1.2 описана конструкция стримерной камеры. Разработка камеры проводилась на основе требований, обеспечивающих улучшение ее точностных и эксплуатационных характеристик. Конфигурация и основные размеры разработанной камеры^{1/} приведены на рис.2. Она выполнялась из небольшого набора стандартизованных элементов, допускающих различные варианты сборки как по числу элементов (3-х или 4-х электродные камеры), так и по способу их соединения (клей, упругие уплотнения, герметик).

Для проведения первой серии экспериментов (ядро-ядерные взаи-

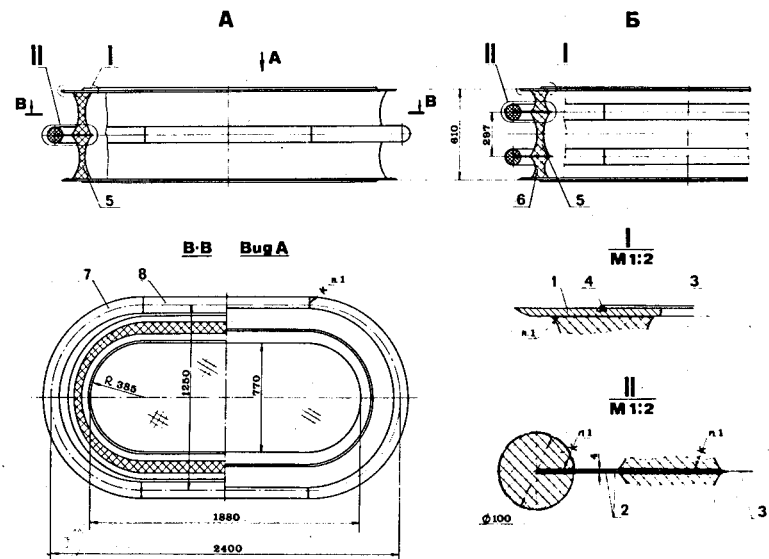
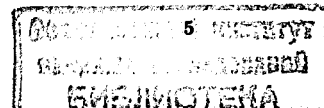


Рис.2. Эскиз конструкции трехэлектродной (А) и четырехэлектродной (Б) стримерной камеры: 1, 2 - электроды; 3 - сетка; 4 - герметизирующая прокладка; 5,6 - стенки-секции; 7, 8 - противокоррозионные элементы (окантовка).



модействия, гиперядерная физика, перезарядка ядер) была изготовлена трехэлектродная камера с рабочим зазором 2x29 см. Корпус камеры изготовлен из пенополиуретана типа ППУ-315 с интегральной структурой (мелкопористая сердцевина и уплотненная стенка), это обеспечило существенное улучшение механической прочности и герметичности стенок при сравнительно небольшом количестве вещества ($\rho_{\text{ср.}} = 0,3 \text{ г/см}^3$), а также улучшение электрической прочности по поверхности стенок за счет "X" - образной формы их поперечного сечения. В качестве электродов использована черненная сетка из нержавеющей стали с ячейкой (455x455) мкм^2 и диаметром проволоки 50 мкм , при этом обеспечивалась эквидистантность электродов, исключались электрическая корона и световые блики на проволоках даже при повышенном напряжении питания камеры, а прозрачность электродов оставалась достаточно высокой (80%).

§1.3 посвящен вопросам размещения камеры в рабочем зазоре электромагнита и транспортировки ее из зазора. Для проведения первой серии экспериментов склеенный корпус трехэлектродной камеры был установлен в экранирующем кожухе из дюралюминиевого листа, подкрепленного снизу дюралюминиевой плитой толщиной 12 мм, снабженной направляющими с роликами, и помещен в межполюсном зазоре реконструированного электромагнита ИСП41 на направляющих рельсах. В рабочем положении кожух вместе с камерой фиксировался в зазоре электромагнита путем прижима его к нижнему фланцу герметичного конуса, установленного в верхнем полюсном наконечнике магнита. Прижим осуществлялся с помощью подпружиненной сварной рамы из двутавровых алюминиевых балок. Устройство прижима^{/1/} камеры обеспечило сохранение целостности и герметичности корпуса камеры при значительных перепадах давления, возникших при заполнении ее неоном, позволило исключить попадание света на объективы стереофотоаппарата, а также создало возможность удаления лавсановой пленки, через которую фотографируется чувствительный объем камеры.

В §1.4 рассмотрены результаты исследования различных вариантов выполнения коаксиально-полосковых переходов. Эти исследования были проведены с целью выбора оптимальной для данных условий конструкции перехода, обеспечивающего минимальные искажения передаваемого высоковольтного импульса. С учетом нового размещения генератора и результатов исследований была разработана и изготовлена новая конструкция перехода^{/1/}. Он представлял собой изогнутый, по-

степенно сужающийся к среднему электроду конус, закрепленный на продольной оси камеры. При этом зона отклоненного магнитом пучка ускоренных частиц оставалась свободной от элементов конструкции, а неравномерность яркости треков, связанная с передачей импульса, была практически устранена.

В §1.5 описана конструкция узла стыковки камеры с генератором. Высоковольтный импульс, сформированный генератором^{/5,6/} с двойной формирующей линией через коаксиальную линию передачи^{/3/} и коаксиально-полосковый переход^{/1/} поступал на электродную систему камеры (рис.1). Для отделения объема линии передачи, заполненной элегазом для исключения коронирования, от объема экранирующего кожуха камеры, находившегося в атмосфере окружающего воздуха, необходимо было установить диэлектрическую диафрагму такой конструкции, чтобы не происходил скользящий разряд по ее поверхности в воздухе в рабочем режиме камеры с одной стороны, и сохранялась возможность достаточно легкого отсоединения линии передачи от кожуха камеры с другой. Это удалось осуществить посредством разработанного и созданного нами специального узла стыковки^{/1/}, который, по существу, являлся коаксиальным разъёмным герметичным соединителем большого размера.

Во второй главе отражены результаты анализа, моделирования и сравнения различных схем импульсного заряда формирующих линий в системе питания стримерных камер с целью выбора оптимальной схемы высоковольтного генератора наносекундных импульсов.

В §2.1 на основании рассмотренных расчетных и экспериментальных данных, а также исследований прототипа камеры ГИБС и стримерной камеры установки СКМ-200 сформулированы требования к высоковольтному генератору для питания стримерной камеры спектрометра ГИБС. Наиболее полно этим требованиям отвечает генератор с двойной формирующей линией (ДФЛ).

Для выбора схемы генератора импульсного заряда ДФЛ нами был проведен поиск и изучение различных схем, результаты анализа^{/7/} которых приведены в §2.2. Рассмотренные схемы импульсного заряда формирующих линий и их основные параметры (коэффициент полезного действия, относительная амплитуда напряжения заряда линии и время ее заряда) представлены в трех таблицах. Найдены новые схемы импульсного заряда формирующих линий, признанные изобретениями^{/8,9/}. Показано, что из схем, обеспечивающих полную передачу энергии и

трансформацию напряжения, определенными преимуществами обладают предложенные нами двухконтурная^{/I0/} и многоконтурная^{/II/} схемы импульсного заряда, подробный анализ которых приведен в §2.2.1 и §2.2.2. Эти схемы, в отличие от известной схемы импульсного резонансного трансформатора, имеют меньшие значения коэффициента электромагнитной связи и амплитуды первого максимума зарядного напряжения (при $n=5+I0$, где n - коэффициент трансформации). Типичные формы зарядного напряжения линии в предложенных схемах и импульсном трансформаторе приведены на рис.3.

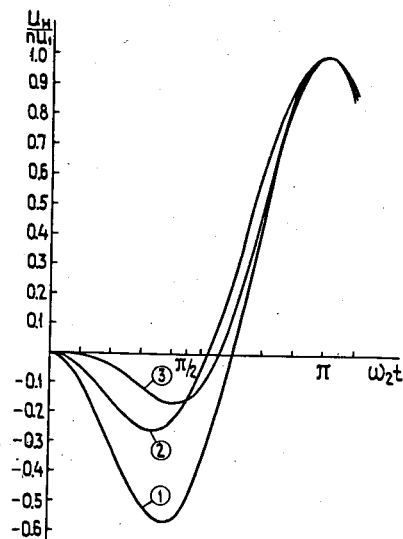


Рис.3. Типичные формы зарядного напряжения линии в схеме импульсного трансформатора (1), двухконтурной (2) и трехконтурной (3) схемах при коэффициенте трансформации $n = 5$.

В §2.3 описаны результаты моделирования^{/I2/} импульсного трансформатора с высоким значением коэффициента электромагнитной связи обмоток, выполненных в виде плоских катушек, и импульсного автотрансформатора, изготовленного в виде короткого соленоида. При этом испытание импульсного автотрансформатора проведено на высоком напряжении в генераторе установки СКМ-200.

В §2.4 проведено сравнение генераторов, выполненных на основе

одиночной (ФЛ) и двойной формирующих линий (ДФЛ) с малой электрической длиной ($\leq I0$ нс), когда их можно рассматривать как сосредоточенные элементы. Показано, что, хотя генератор с ФЛ имеет меньшую амплитуду предимпульса на нагрузке, короче фронт и длительность импульса, по сравнению с генератором с ДФЛ, однако последний обеспечивает большую амплитуду основного импульса при заданной его длительности и минимальный снос стримеров в трехэлектродной стримерной камере.

В §2.5 развита методика^{/2,I3/} представления импульса произвольной формы, прикладываемого к электродам стримерной камеры, в виде эквивалентного по действию на развитие стримеров прямоугольного импульса и проведено сравнение параметров эквивалентного прямоугольного импульса на электродах разных стримерных камер.

В заключительном §2.6 приведено обоснование выбора структуры высокой вольтного генератора наносекундных импульсов.

Третья глава посвящена вопросам разработки, создания и исследования системы высоковольтного импульсного питания^{/3/} (СВИП) стримерной камеры установки ГИБС.

В §3.1 приведено описание основных частей СВИП, состоящей из высоковольтного генератора наносекундных импульсов, источника высокого постоянного напряжения с блоком зарядных резисторов, блока запуска генератора, аппаратуры контроля параметров генератора и камеры, системы газообеспечения и вакууммирования, вспомогательного и противопожарного оборудования.

В первом рабочем сеансе облучения спектрометра ГИБС на синхрофазатроне ОИЯИ питание стримерной камеры осуществлялось от высоковольтного модернизированного генератора установки СКМ-200, описанного в §3.2. В этом генераторе с целью увеличения ресурса его работы, были проведены усовершенствования^{/I4/} его основных узлов: разработан и применен секционированный разрядник^{/I5/} в генераторе импульсных напряжений (ГИН), усовершенствовано крепление конденсаторов в ГИН и снижена их емкость с 60 нФ до 20 нФ с целью улучшения согласования ГИН и ДФЛ, оптимизированы конструкция зарядной индуктивности и величина зазора разрядника ДФЛ. Эти усовершенствования позволили генератору совместно со стримерной камерой обеспечить $I,8 I0^5$ срабатывания. Однако технологический процесс замены вышедших из строя конденсаторов этого генератора трудоемок и занимал трое суток.

Для упрощения и значительного сокращения этого процесса, а также для уменьшения габаритов генератора (исключение секции с зарядной индуктивностью и размещение ГИН в вертикальном положении), повышения ремонтпригодности (демонтаж и монтаж генератора в течение нескольких часов) и мобильности (замена вышедшего из строя генератора резервным в течение часа) разработан и создан генератор^{/5/} с использованием промышленного ГИН-500-0,02/5 (§3.3). Эскиз конструкции генератора представлен на рис.4. Данный генератор в зависимости от вида изоляции в кожухе ГИН (трансформаторное масло или азот под давлением до 0,6 МПа) позволял получать на нагрузке 36 Ом наносекундный импульс напряжения с амплитудой 500 кВ и 300 кВ, соответственно, и обеспечивал более 10^5 срабатываний без ремонта. Генератор на 300 кВ с газовой изоляцией в кожухе ГИН разработан для питания трековых искровых камер установки Адрон-44 ИФВЭ РК.

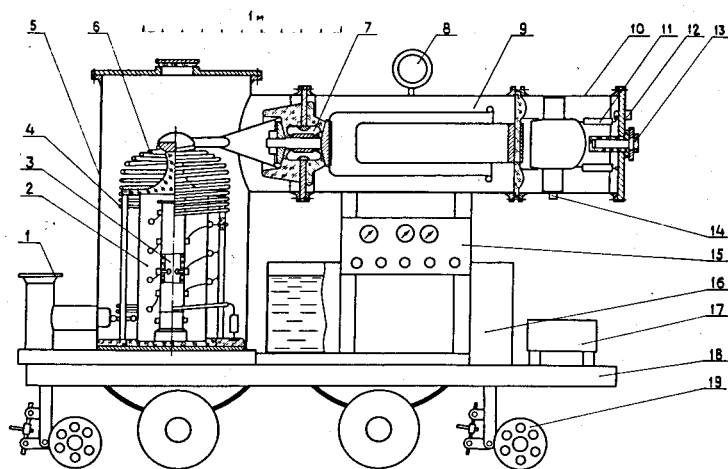


Рис.4. Эскиз конструкции генератора с ГИН-500-0,02/5.

С целью повышения амплитуды выходного напряжения (более 500 кВ) и дальнейшего увеличения ресурса бесперебойной работы (путем снижения уровня зарядного напряжения конденсаторов ГИН в рабочем режиме стримерной камеры и повышения к.п.д. зарядной цепи) разра-

ботан и создан высоковольтный генератор^{/6/} наносекундных импульсов с разнополярной зарядкой конденсаторов ФМ-100-15У3 (§3.4). Общий вид генератора в состыкованном со стримерной камерой состоянии приведен на рис.5. Отличительной особенностью этого генератора являлось применение в первом модуле четырехэлектродного разрядника с простой схемой запуска, управляемого одновременным воздействием подсветки от искры и искажением электрического поля в межэлектродном зазоре. Общее количество срабатываний генератора к настоящему времени составило - $\sim 3 \cdot 10^5$ при смене разрядника ГИН через каждые $\sim 10^5$ срабатываний.

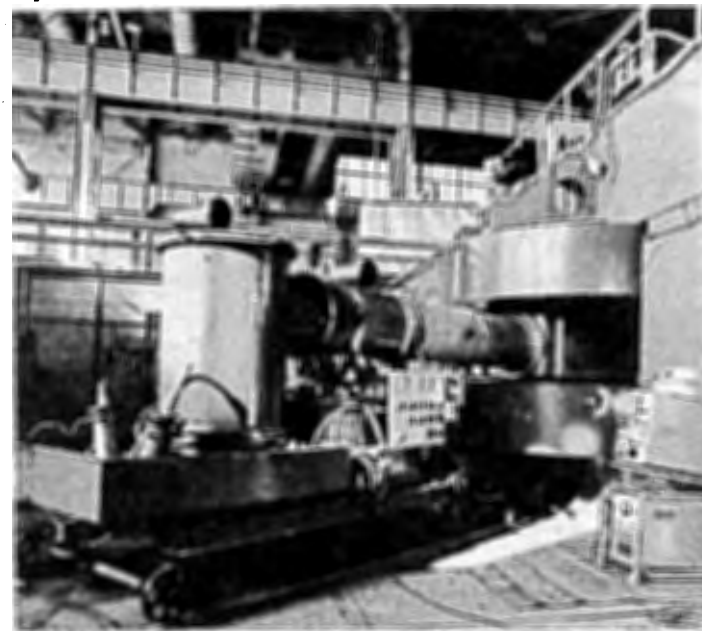


Рис.5. Общий вид генератора.

В §3.5 приведены результаты разработки и испытания генератора^{/16/} импульсного заряда ДФЛ на основе предложенной нами схемы^{/9/} (рис.6) - комбинации ГИН и импульсного резонансного трансформатора. Замена зарядной индуктивности импульсным трансформатором позволила улучшить согласование ГИН-500-0,02/5 с ДФЛ и повысить напряжение заряда линии в 3,4 раза по сравнению с выходным напряжением ГИН, время заряда линии до максимального напряжения

при этом составило - 1,8 мкс. Однако принципиальным моментом для работы такого генератора со стримерной камерой остается повышенная величина задержки $(1,5+2)$ мкс выходного импульса. Тем не менее, в большинстве высоковольтных устройств это обстоятельство не является недостатком.

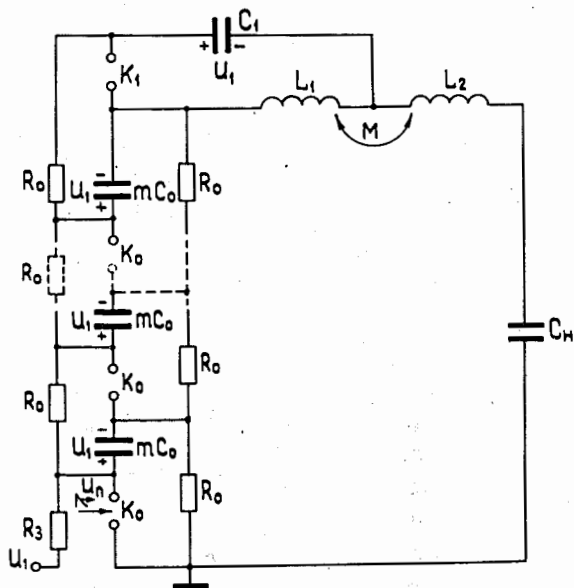


Рис.6. Принципиальная схема согласования ГИН с емкостью нагрузки через импульсный резонансный трансформатор.

В §3.6 приведены некоторые экспериментальные результаты испытаний генераторов и рассмотрена возможность повышения частоты их работы до 1 Гц в случае использования установки ГИЭС на пучке нуклотрона.

Четвертая глава посвящена вопросам контроля и стабилизации рабочих характеристик стримерной камеры спектрометра ГИЭС.

В §4.1 описаны широкополосные омические и емкостные делители импульсных напряжений для измерения и контроля параметров высоковольтного наносекундного импульса, а также дано краткое описание

системы контроля камеры на базе микро-ЭВМ МЭРА-60 и аппаратуры в стандарте КАМАК.

В §4.2 рассмотрен вопрос регулировки состава газа в камере. Применение малогабаритных газоразрядных датчиков^{/17/} позволяло с хорошей точностью (сотые доли процента) измерять содержание примеси воздуха в камере в процессе ее ввода в рабочий режим и во время ее работы. Это, в свою очередь, позволило оптимизировать (по времени и затратам газа) процесс ввода камеры в рабочий режим в зависимости от начальной концентрации воздуха в рабочем газе на основе анализа^{/18/} ее РС-аналога.

Измерению времени памяти стримерной камеры посвящен §4.3. Время памяти камеры в рабочих сеансах ее облучения на синхрофазотроне составляло (3-5) мкс, в зависимости от интенсивности пучка ускоренных частиц и конкретной физической задачи, и контролировалось с помощью вспомогательной искровой камеры^{/19,20/}. На рис.7 представлены типичные зависимости плотности стримеров на треке однозарядной частицы в стримерной камере и эффективности искровой камеры от задержки в подаче высоковольтного импульса. Видно, что время памяти стримерной камеры $T_{п}$ и время памяти $t_{п}$, найденное с помощью вспомогательной искровой камеры равно Π мкс (измерения сделаны перед началом одного из очередных сеансов облучения стримерной камеры на пучке ускорителя).

Полученные^{/21,22/} интегральные распределения стримеров при обработке снимков с разных стримерных камер свидетельствуют о том, что большой разброс диаметра стримеров является неизбежным эффектом, который обусловлен вкладом электронных кластеров. Именно этим характером распределения объясняются трудности настройки камеры, регистрирующей одновременно множество частиц, особенно при ядерных взаимодействиях, когда наряду с многозарядными необходимо регистрировать и однозарядные релятивистские частицы.

В §4.4 описан предложенный способ^{/23/} коррекции яркости треков по длине стримерной камеры, который был использован^{/24/} в рабочих сеансах установки ГИЭС. Способ основан на изменении концентрации примеси воздуха в передней и задней зонах камеры за счет перераспределения потока рабочего газа в этих зонах. Способ позволяет улучшить равномерность почернения следов однозарядных частиц на фотоснимках или уменьшить яркость треков в зоне входа пучка (до мишени) с зарядом налетающих частиц выше единицы.

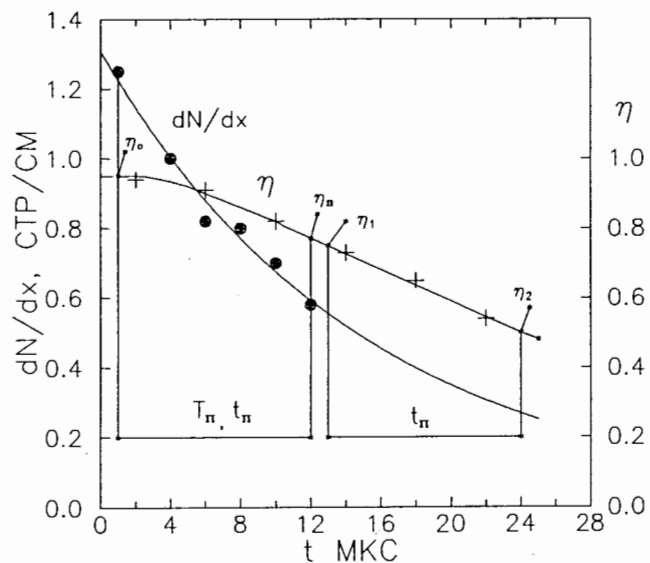


Рис.7. Зависимости эффективности η искровой камеры и плотности стримеров (dN/dx) в стримерной камере от времени задержки t высоковольтного импульса.

В §4.5 описан предложенный способ^{/25/} контроля яркости треков в стримерной камере с помощью фотоумножителя, который был опробован в одном из рабочих сеансов облучения стримерной камеры спектрометра ГИБС. Этот способ позволяет осуществлять контроль рабочего режима стримерной камеры.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ.

1. При непосредственном участии автора разработана, создана и исследована двухметровая стримерная камера – основа магнитного спектрометра ГИБС – с чувствительным объемом $\sim 1 \text{ м}^3$ и с параметрами на уровне мировых: точность реконструкции треков – 300 мкм, разрешение по импульсам вторичных однозарядных частиц $\sim (1,5)\%$, угловое разрешение – несколько миллирадиан, время памяти – $(3+5)$ мкс.
2. Для импульсного питания камеры разработаны, созданы и исследованы достаточно компактные высоковольтные наносекундные генераторы с большим ресурсом непрерывной работы (не менее 10^5 срабатываний) и с параметрами: амплитуда импульсов – 500 кВ, стабильность ампли-

туды – $\pm 1\%$, длительность импульса на полувывоте – 12 нс, задержка выходного импульса относительно запускающего – ≤ 300 нс.

3. В процессе создания генераторов:

- а) проведена модернизация генератора установки СКМ-200, позволившая значительно увеличить ресурс его работы;
- б) разработан и испытан генератор импульсных напряжений на базе промышленного ГИН-500-0,02/5, выполненный в двух вариантах: с газовой (для трековых искровых камер ИФВЗ АН РК) и масляной (для ГИБС) изоляцией его корпуса;
- в) предложен, разработан и использован в составе установки ГИБС генератор импульсных напряжений с разнополярной зарядкой ступеней на основе конденсаторов ФМ-100-15У3 с выходным напряжением до 700 кВ при высоком к.п.д. зарядной цепи ($\sim 80\%$);
- г) впервые предложен, разработан и испытан на рабочем напряжении 500 кВ (и выше) генератор импульсного заряда на основе комбинации ГИН-500-0,02/5 и импульсного резонансного трансформатора, что позволяет полностью согласовать (по передаче энергии) весь тракт формирования импульсов и повысить выходное напряжение.

4. Проведены анализ, сравнение и моделирование ряда схем импульсного заряда формирующих линий; найдены оригинальные схемы трансформации напряжения, обладающие определенными преимуществами по сравнению с импульсным резонансным трансформатором; обоснован выбор схемы генератора с двойной формирующей линией как обеспечивающий минимальный снос стримеров при требуемых параметрах выходного импульса.

5. Развита методика представления импульса произвольной формы, прикладываемого к электродам камеры, в виде эквивалентного по действию в газовом разряде прямоугольного импульса, на основе которой проведено сравнение параметров эквивалентных импульсов различных генераторов.

6. Для контроля и стабилизации рабочих характеристик камеры при непосредственном участии автора осуществлены и использованы широкополосные омические и емкостные делители импульсных напряжений, оригинальные газоразрядные датчики для измерения концентрации воздуха в рабочей газе, оригинальная аппаратура контроля времени памяти стримерной камеры по характеристикам вспомогательной искровой камеры, а также оптимизирован (по времени и затратам газа) процесс ввода камеры в рабочий режим на основе анализа ее РС – аналога.

7. Впервые предложен, разработан и применен способ коррекции яркости треков по длине, позволивший уменьшить неравномерность почернения следов частиц на фотоснимках.

8. Впервые предложен, разработан и опробован способ контроля яркости треков в камере с помощью фотоумножителя.

В результате выполненного цикла работ создана стримерная часть магнитного спектрометра ГИБС, с помощью которого в экспериментах на синхрофазатроне ОИЯИ получено около 300 000 стереофотоснимков. Полученный экспериментальный материал позволил исследовать основные характеристики вторичных частиц, гиперядер, реакции перезарядки ядер на ядрах и стал основой нескольких десятков совместных с другими институтами стран участниц ОИЯИ научных публикаций.

Работы, положенные в основу диссертации.

1. Аксиненко В.Д., Варденга Г.Л., Глаголева Н.С. и др. Стримерная камера спектрометра ГИБС. Препринт ОИЯИ, Р13-92-91, Дубна, 1992; ПТЭ, 1993, 1, с.90.
2. Аксиненко В.Д., Володин В.Д., Глаголева Н.С. и др. Система высоковольтного импульсного питания стримерной камеры СКМ-200 и трековых искровых камер установки "Адрон-44". Депон.публ. ОИЯИ, Б1-13-10674, Дубна, 1977.
3. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Дементьев Е.А. и др. Система высоковольтного импульсного питания стримерной камеры спектрометра ГИБС. Сообщения ОИЯИ, 13-87-773, Дубна, 1987.
4. Абдурахимов А.У., Аксиненко В.Д., Варденга Г.Л. и др. Разрешающая способность стримерного спектрометра. Депон. публ. ОИЯИ, Б2-1-85-94, Дубна, 1985.
5. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Дементьев Е.А. и др. Высоковольтный генератор наносекундных импульсов с ГИН-500-0,02/5 для питания стримерной камеры. Препринт ОИЯИ, 13-86-149, Дубна, 1986; ПТЭ, 1987, 3, с.97.
6. Аксиненко В.Д., Дементьев Е.А., Каминский Н.И. и др. Высоковольтный генератор наносекундных импульсов с конденсаторами ФМ-100-15У3 для питания стримерной камеры. Препринт ОИЯИ, 13-88-35, Дубна, 1988; ПТЭ, 1989, 2, с.120.
7. Аксиненко В.Д., Каминский Н.И., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т. Результаты анализа схем импульсного заряда формирующих линий в системах питания стримерных камер. Сообщения ОИЯИ, 13-83-37,

Дубна, 1983.

8. Аксиненко В.Д., Каминский Н.И., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т. Импульсный резонансный формирующий трансформатор. Авторское свидетельство на изобретение СССР №871311. ОИПОТЭ, 1981, 37, с.280.
9. Аксиненко В.Д., Дементьев Е.А., Матюшин А.Т. и др. Генератор импульсов. Авторское свидетельство на изобретение СССР №989747. ОИПОТЭ, 1983, 2, с.259.
10. Аксиненко В.Д., Дементьев Е.А., Каминский Н.И. и др. Двухконтурная схема импульсного заряда формирующих линий для питания стримерных камер. Препринт ОИЯИ, 13-82-764, Дубна, 1982.
11. Аксиненко В.Д., Дементьев Е.А., Каминский Н.И. и др. Многоконтурная схема импульсного заряда формирующих линий для питания стримерных камер. Препринт ОИЯИ 13-82-775, Дубна, 1982.
12. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Дементьев Е.А. и др. Моделирование высоковольтного импульсного трансформатора. Депон.публ. ОИЯИ, Б1-13-10406, Дубна, 1977.
13. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Дементьев Е.А. и др. Эквивалентный прямоугольный импульс высоковольтного питания стримерной камеры. Сообщения ОИЯИ, 13-83-436, Дубна, 1983.
14. Аксиненко В.Д., Володин В.Д., Глаголева Н.С. и др. Повышение надежности работы высоковольтного генератора двухметровой стримерной камеры. Сообщения ОИЯИ, 13-83-453, Дубна, 1983.
15. Аксиненко В.Д., Володин В.Д., Дементьев Е.А. и др. Разрядники для генератора импульсных напряжений. Препринт ОИЯИ, Р13-83-184, Дубна, 1983; ПТЭ, 1984, 2, с.101.
16. Аксиненко В.Д., Дементьев Е.А., Каминский Н.И. и др. Импульсный трансформатор вместо зарядной индуктивности в высоковольтных генераторах. Препринт ОИЯИ, 13-86-350, Дубна, 1986; ПТЭ, 1987, 4, с.100.
17. Аксиненко В.Д., Волков Ю.Н., Матюшин А.Т. и др. Газоразрядный датчик для контроля состава газа в стримерной камере. Препринт ОИЯИ, Р13-92-93, Дубна, 1992; ПТЭ, 1993, 2, с.204.
18. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Мандрик О.Ю. и др. Диагностика газового наполнения стримерной камеры спектрометра ГИБС. Препринт ОИЯИ, Р13-92-347, Дубна, 1992; ПТЭ, 1993, 5, с.43.
19. Аксиненко В.Д., Володин В.Д., Глаголева Н.С. и др. Измерения времени памяти стримерной камеры с помощью вспомогательной

- искровой камеры. Препринт ОИЯИ, Р13-94-309, Дубна, 1994; ПТЭ, 1995, 5, с.58.
20. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Матюшин А.Т. и др. Некоторые особенности характеристик искровой камеры, наполненных неоном с примесью воздуха. Препринт ОИЯИ, Р13-94-317, Дубна, 1994; ПТЭ, 1995, 5, с.48.
 21. Аксиненко В.Д., Волков Ю.Н., Глаголева Н.С. и др. Исследование распределения по диаметру стримеров, образованных релятивистскими однозарядными частицами в стримерной камере. Сообщения ОИЯИ, Р1-92-263, Дубна, 1992.
 22. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Матюшин А.Т. и др. Способ определения ионизирующей способности частиц в стримерной камере. Авторское свидетельство на изобретение СССР №1599820. О.И., 1990, 38, с.280.
 23. Аксиненко В.Д., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т. Способ настройки стримерной камеры. Авторское свидетельство на изобретение СССР №1674031. О.И., 1991, 32, с.167.
 24. Аксиненко В.Д., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т. Способ коррекции яркости треков в стримерной камере. Препринт ОИЯИ, Р13-92-548, Дубна, 1992; ПТЭ, 1994, 1, с.61.
 25. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Матюшин А.Т. и др. Способ контроля световой энергии треков в стримерной камере. Авторское свидетельство на изобретение СССР №1660496. О.И., 1994, 9, с.184.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 июля 1996 года.