

СЗ(04)

С-563



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1435

МАТЕРИАЛЫ СОВЕЩАНИЯ
ПО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ГЕНЕРАТОРАМ
И УСКОРИТЕЛЯМ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

/Дубна 25-29 марта 1963 года/

Дубна 1963.

1485

C 3(04)

C-563

МАТЕРИАЛЫ СОВЕЩАНИЯ
ПО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ГЕНЕРАТОРАМ
И УСКОРИТЕЛЯМ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

/Дубна 25-29 марта 1963 года/

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
1. Конструкция электростатических ускорителей /ЗСУ/. Г.Я.Ромаль, И.Ф.Малышев, Ф.Г.Железников, Б.В.Миронов, В.Д.Михайлов, Л.В.Квморин, А.П.Сафроненко, А.В.Лысов, С.Г.Цепакин.	10
2. Опыт эксплуатации электростатических ускорителей ЭГ-1 и ЭГ-2,5. В.А.Романов, А.Н.Сербинов, Н.Н.Дудкин, Ю.П.Парфенов.	14
3. Улучшение параметров и повышение надежности работы электростатических ускорителей с ленточным транспортером. А.А.Цыгикало.	18
4. Электростатический ускоритель ПНР-ЭГ "Лех". Л.Бобровски, З.Вильгельми, Э.Гурски, А.Марциковски, А.Солтен, М.Яскула.	19
5. Электростатический генератор Высшей технической школы г. Братиславы. Цирак Юлиус.	21
6. Некоторые вопросы разработки системы стабилизации ускоряющего напряжения повышенной точности для электростатических генераторов. В.И.Четвертков.	21
7. Некоторые вопросы расчета ионно-оптической системы ускорительной трубки. Э.Сайдл.	24
8. Проект стабилизации напряжения электростатического генератора Института ядерных исследований АН ЧССР. М.Чигак	27
9. Электростатический генератор на 2 Мэв. Винтер /ГДР/. Ю.П.Микржков.	31
10. Стабилизация магнитного поля электромагнитных анализаторов ускорителей прямого действия с применением ядерного магнитного резонанса ^х). В.Г.Кунстман.	32
11. Стабилизированный выпрямитель для питания электростатического анализатора. В.И.Манько, А.М.Пасечников, А.П.Сгибов, Ф.Е.Чукреев	34
12. Квадрупольные электромагнитные линзы для фокусировки пучка протонов от ЭГ. Н.Д.Карнаухов, В.И.Манько, Пасечников, Ф.Е.Чукреев.	34
13. Роторный вольтметр с непосредственным отсчетом высокого напряжения. Ю.П.Микржков.	37
14. Источники заряженных частиц для ускорителей прямого действия. М.А.Абоян, А.Т.Ермолаев, Л.И.Иванова, В.Л.Комаров, Э.Г.Солнышкова, Г.В.Гарвид, С.Г.Успакин, А.И.Солнышков.	38
15. Сброс пучка с мишени при работе на электростатическом генераторе. Г.М.Осетинский, И.А.Чепуришко.	41

16. Импульсный высокочастотный ионный источник с сотовой системой вытягивания. А.Н.Сербинов, В.И.Морока.	45
17. Формирование импульсных ионных пучков с током порядка сотен миллиампер в ускорителях прямого действия. Н.Ф.Иванов, В.С.Кузнецов, А.И.Солнышков.	47
18. Экономичный источник ионов. П.С.Маркин.	48
19. Параллельное питание ионных источников электростатического генератора с двумя ускорительными трубками. В.И. Манько, А.М. Пасечников, Ф.Е. Чукреев.	48
20. Источник поляризованных дейтронов. О.И.Ехачев, Н.С.Зицченко, И.М.Карнаухов, Р.П.Слабоспитский.	49
21. Система инжекции пучков отрицательных ионов перезарядного электростатического ускорителя ПГ-5. А.Я.Таранов, Ю.З.Левченко.	51
22. Импульсный нейтронный генератор. А.Н.Сербинов, В.П.Якушев, К.А.Резвых, М.В.Соколов, В.К.Лутиков, Т.В.Докторова.	52
23. Мощный каскадный генератор на 2,5 Мэв. О.Овчинников.	53
24. Система стабилизации ускоряющего напряжения нейтронного генератора. В.П.Четвертков, А.Л.Федулов.	55
25. Расчет конденсаторных схем умножения напряжения. Б.И.Альбертинский, И.В.Курицына, М.А.Хайкин.	57
26. Исследование секций ускорительных трубок электростатических генераторов типа Ван-Де-Графа. Д-р О.Тишер.	59

П Р Е Д И С Л О В И Е

С 26 по 29 марта 1963 года в Дубне состоялось рабочее совещание стран-участниц Объединенного института ядерных исследований по физике и технике электростатических генераторов и ускорителей прямого действия.

В совещании приняли участие более 70 специалистов из стран-участниц ОИЯИ, в том числе из различных институтов Советского Союза. Интерес к совещанию был велик, поскольку за эти годы накоплен значительный экспериментальный материал как по эксплуатации ЭГ, так и по конструированию отдельных узлов.

На совещании было зачитано 33 доклада, посвященных вопросам конструкции электростатических генераторов, методам фокусировки пучков частиц, вопросам построения ионных источников для различных электростатических генераторов и различных режимов их работы. Специальное заседание было посвящено конструкции поляризованных источников и ускорителям прямого действия.

В докладе Четверткова В.И. /НИИ ЭФА им. Ефремова/ были рассмотрены некоторые вопросы разработки системы стабилизации ускоряющего напряжения повышенной точности /около $\pm 0,01\%$ / для электростатических генераторов протонного варианта.

Приведенные автором формулы позволяют оценить изменение энергии ускоренных частиц, обусловленное нестабильностью угла наклона и положения пучка на входе в анализирующий магнит, а также нестабильности положения целевого прибора. В докладе впервые был рассмотрен ионно-оптический метод измерения пульсации энергии заряженных частиц, использующий отклонение пучка перед входом в магнитный анализатор. Этот метод отличается быстродействием и позволяет измерять нестабильность потенциала кондуктора также при наличии лайнера. Докладчик привел расчет времени пробега отрицательных ионов короны в высоковольтном зазоре ЭГ, а также выражения для переходной, частотной и фазовой характеристики коронирующего триода.

Доклад М.Чигака /Институт ядерных исследований АН ЧССР/ был посвящен расчетам стабилизации высоковольтного напряжения электростатического генератора с точностью не хуже 10^{-4} , произведенным с использованием общей теории автоматического регулирования.

В докладе Четверткова В.И. и Федулова А.А. /НИИ ЭФА/ была рассмотрена система стабилизации ускоряющего напряжения нейтронного генератора напряжения 150-200 кэв при токах в трубке до 3 ма. Система построена на полупроводниковых приборах и магнитных элементах и отличается экономичностью и практически немедленной готовностью к работе после включения. Для расчета устойчивости применен критерий Гурвица. Точность стабилизации 1-2%.

В докладе Кунстмана В.Г. /НИИ ЭФА/ "Стабилизация магнитного поля электростатических анализаторов, ускорителей прямого действия с применением ядерного магнитного резонанса" было показано, что:

1. Сколь высока ни была бы точность стабилизации и измерения напряженности магнитного поля по ядерно-магнитному резонансу для получения высокой точности воспроизведения распределения поля, а следовательно, и высокой точности измерения энергии пучка электростатического генератора, необходимо устанавливать магнитное поле по принятому раз и навсегда циклу, иначе ошибка в измерении может доходить до 0,5%.

2. Электромагнитные анализаторы могут обеспечить точность /по подл/ относительных измерений энергии 0,01%, если поле всегда будет устанавливаться по выбранной петле гистерезиса со скоростью не выше 20 эрст /сек. Если скорость установления поля выше, то ошибка в измерении энергии возрастет. При этом увеличение ошибки при установлении поля по нисходящей ветви петли гистерезиса несколько меньше, чем по восходящей.

П.Е.Воротников /ИАЭ им. Курчатова/ привел расчет фазовой фокусировки /бунчеровки/ ионов, выходящих из ионного источника, переменным продольным электрическим полем, что может обеспечить импульсы от ЭГ малой длительности / $T = 10^{-9}$ сек/ и большой частоты повторения $10^6 + 10^7$ Г/сек. Было показано, что не изменяя по существу обычный слаботочный источник ионов ЭГ и добавив к его ионно-оптической системе группирующий электрод, можно получить на выходе из ускорителя импульсы длительностью $3 \cdot 10^{-9}$ сек при токе в импульсе 1-1,5 ма. Последняя величина в 10-30 раз превышает токи, достигнутые в настоящее время. Этот режим работы ЭГ имеет ряд важных практических применений /спектроскопия по времени пролета, изучение короткоживущих ядер, работа в условиях большого фона и т.д./.

С большим вниманием был заслушан доклад Дьбля Париса /Венгерская АН/ "Замечания по вопросам фокусировки ионных пучков в электростатических генераторах". Автор рассмотрел особенности работы системы отсоса ионов в высокочастотном ионном источнике, и рассмотрел проблемы предварительной фокусировки пучка, указал на очень интересную

возможность фокусировки пучка, приводящей к снижению потребляемого газа в источнике. В докладе обращается внимание на особенности фокусировки многоэлементных ускорительных трубок.

Т.Сайдл /Институт ядерных исследований АН Чехословакии/ в своем докладе "Некоторые вопросы расчета ионно-оптической системы ускорительной трубки" привел расчеты главных оптических параметров трубки /фокусное расстояние, поперечное увеличение, отношение выходного и входного диаметров пучка и т.д./.

В докладах Рошала Г.Я. /НИИ ЭФА/, Романова В.А. /ФЗИ/, Гурски /АН ПНР/, Цирака Ю. /АН ЧССР/, Винтера Г. /ГДР/ были подведены итоги опыта конструирования и эксплуатации электростатических генераторов на 2-5 Мэв.

Значительное внимание на совещании было уделено построению ионных источников для электростатических генераторов и ускорителей прямого действия.

В докладе Цепаккина С.Г. и др. /НИИ ЭФА/ сообщалось о разработке высокочастотных ионных источников на токи 300 ма, 2 ма, 10 ма. Разработана серия источников типа "дуоплазматрон" на токи 20 ма в постоянном режиме и 0,05, 0,5 и 1,5 а в импульсном режиме. Приведены данные источника с разрядом типа Пеннинга, работающего в импульсном режиме с током 15 ма. Сообщалось также о разработанных источниках электронов с токами в постоянном режиме в 1 ма и 10 ма.

В докладе Иванова Н.Ф., Кузнецова В.С., Солнышкова А.И. /НИИ ЭФА/ "Формирование импульсных ионных пучков с током порядка сотен миллиампер в ускорителях прямого действия" представлена методика расчета оптической системы сильноточных пучков с учетом объемного заряда. Указанный метод использован для расчета оптики инжектора ионов водорода на 400 ма при энергии 700 кэв. В докладе приведены результаты измерений, согласующиеся с расчетными. На инжекторе получен ток 400 ма в диаметре 15 мм при энергии пучка 700 кэв.

Сербинов А.Н. и Мороко В.И. /ФЗИ/ сообщили о разработанном ими импульсном высокочастотном ионном источнике с сотовой системой вытягивания. Было испытано два варианта системы вытягивания, отличающихся величиной зазора между катодом и анодом /1,8 и 2,2 мм/. Для первого варианта при ускорении до энергии 270 кэв получен ионный ток 21 ма в импульсе длительностью 1 мсек без разрыва. Другой вариант испытывался на стенде и дал ток 220 ма. Расход газа источника на водороде 15 см³/час.

В докладе Маркина П.С. /УФТИ АН УССР/ приведены данные экономичного источника ионов. Ионный источник основан на дуговом разряде в аксиальном магнитном поле с накаленным катодом, полым анодом и изолированным антикатодом /по типу источника Абеля, Мехбаха/. Источник исследован в постоянном и импульсном режимах работы. В спектре ионного тока имеются двухзарядные ионы углерода, азота и кислорода.

В докладе г. Манько В.И. и др. /ИАЭ/ рассмотрен вопрос параллельного питания ионных источников электростатического генератора с двумя ускорительными трубками.

Б.П.Адьясевич /ИАЭ/ сообщил устройство и результаты испытаний источника поляризованных ионов /протонов и дейтонов/, в котором поляризация ядер в атомном пучке достигалась адиабатическим выводом атомов водорода, находящегося в состоянии с $m_l = +1/2$, из области сильного в область слабого магнитного поля и последующей их ионизацией электронным ударом. Разработанный авторами источник поляризованных ионов обеспечивает ток $\sim 0,1$ ма. Поляризация протонов $\sim 50\%$, поляризация дейтонов $\sim 33\%$.

Построению источника на этом же принципе посвящен доклад Р.П.Слабоспицкого и др. /ФТИ/ "Источник поляризованных дейтонов".

В докладе А.Я.Таранова, Ю.З.Левченко /ФТИ/ "Система инжекции отрицательных ионов перезарядного электростатического ускорителя ПГ-5" была рассмотрена конструкция источника отрицательных ионов перезарядного электростатического ускорителя, который основан на преобразовании положительных ионов в отрицательные через пароструйную ртутную мишень. Авторами получены интенсивные пучки отрицательных ионов водорода и кислорода. Изучены условия инжекции пучка отрицательных ионов в перезарядный ускоритель, условия проходимости пучка по ионопроводу ускорителя при различных напряжениях на кондукторе и т.д.

Вопросу построения серийных нейтронных генераторов НГ-200-Ш на потоки нейтронов свыше 10^{10} нейтр/сек посвящен доклад Михайлова В.Д. /НИИ ЭФА им. Ефремова/.

В сообщении Овчинникова О.Б. /НИИ ЭФА/ говорилось о конструкции ускорителя на 2,5 Мэв с симметричной схемой умножения в качестве источника высокого напряжения. Ускоритель рассчитан на получение пучка ионов или электронов мощностью 25 квт. Высоковольтная часть ускорителя помещена в котел со сжатым газом.

Гов. Б.И.Альбертинский /НИИ ЭФА/ выступил с сообщением о разработке группой сотрудников НИИ ЭФА инженерной методики расчетов выходных характеристик конденсаторных схем умножения напряжения. Проведенное докладчиком сравнение расчетов и результатов

измерений на различных моделях симметричных каскадных генераторов показало, что предлагаемая методика вполне удовлетворительно учитывает влияние внутреннего сопротивления вентиля, /в том числе и полупроводниковых/ внутреннего сопротивления источника питания, распределенных по каскадам защитных сопротивлений, паразитных емкостей конструкции и распределенных по каскадам компенсирующих индуктивностей. Одновременно в сообщении были приведены выражения для расчета коэффициентов моделирования различных схем напряжения.

Настоящий сборник материалов совещания включает расширенные аннотации прочитанных докладов. Отсутствие некоторых из них связано с тем, что они не были представлены оргкомитету для опубликования.

Председатель оргкомитета

Г.М.ОСЕТИНСКИЙ

КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ (ЭСУ)

Г.Л.Рожаль, И.Ф. Малышев, Ф.Г.Железников,
Б.В. Мионов, В.Д.Михайлов, Л.В.Коморин,
А.П.Сафроненко, А.В. Лысов, С.Г. Цепакин

Научно-исследовательским институтом электрофизической аппаратуры им.Д.В.Ефремова разработаны конструкции ряда электростатических ускорителей с ленточными транспортерами зарядов на энергии ускоренных частиц от 0,5 до 6 Мэв.

1. Ускоритель типа ЭГ-2,5 (рис.1) предназначен для ускорения ионов и электронов. Номинальное напряжение ускорителя 2,5 Мв, ток пучка ионов водорода после магнитного анализатора 50 мка, ток пучка ускоренных электронов около 250 мка. Стабильность энергии ионного пучка $\pm 0,1\%$, электронного пучка - $\pm 1\%$. Ускоритель выполнен с одним газовым зазором и имеет высоту изолирующей колонны 2,1 м, котел диаметром 1,6 м, высотой 4,2 м. Для ускорителя ЭГ-2,5, также как и для других типов ускорителей, в качестве газовой изоляции применяется смесь азота с двуокисью углерода, обычно при соотношении парциальных давлений 3:1.

Результаты экспериментальной отработки и эксплуатации ускорителя позволяют сделать вывод, что после некоторого усовершенствования конструкции трубки и улучшения формы электрического поля в области верхних эквипотенциальных колец колонны можно будет довести энергию ускоренных частиц до уровня, близкого к 3,5 Мэв.

2. Ускоритель типа ЭГ-5-1, используемый в качестве инжектора протонного синхротрона на 7 Бэв. Напряжение ускорителя 4 Мв. Ионный ток после магнитного анализатора около 5 ма в импульсе длительностью 25 мксек, стабильность энергии $\pm 0,1\%$. Высота изолирующей колонны 4 м. Диаметр котла 2,2 м, высота котла 7,4 м. Этот ускоритель (с одним газовым зазором) используется также в качестве обычного электростатического ускорителя для постоянного режима работы на напряжение 5 Мв, ток пучка после магнитного анализатора около 50 мка.

3. Ускоритель типа ЭГ-5 усовершенствованной конструкции на напряжение 5-6 Мв; ток пучка ионов водорода после магнитного анализатора 20 мка; стабильность энергии пучка $\pm 0,05\%$. Ускоритель имеет один газовый зазор. Основные размеры ускорителя: диаметр котла - 2,6 м, высота - 7,7 м, диаметр изолирующей колонны - 1 м, высота - 4,3 м. Ускоритель снабжен двухсторонним анализатором и распределительным магнитом, предназначенным для проведения пучка по трем направлениям. Такой состав оборудования расширяет возможность использования установки (рис.2) и позволяет производить поочередно физические эксперименты в четырех отдельных помещениях. В настоящее время изготавливается опытный образец.

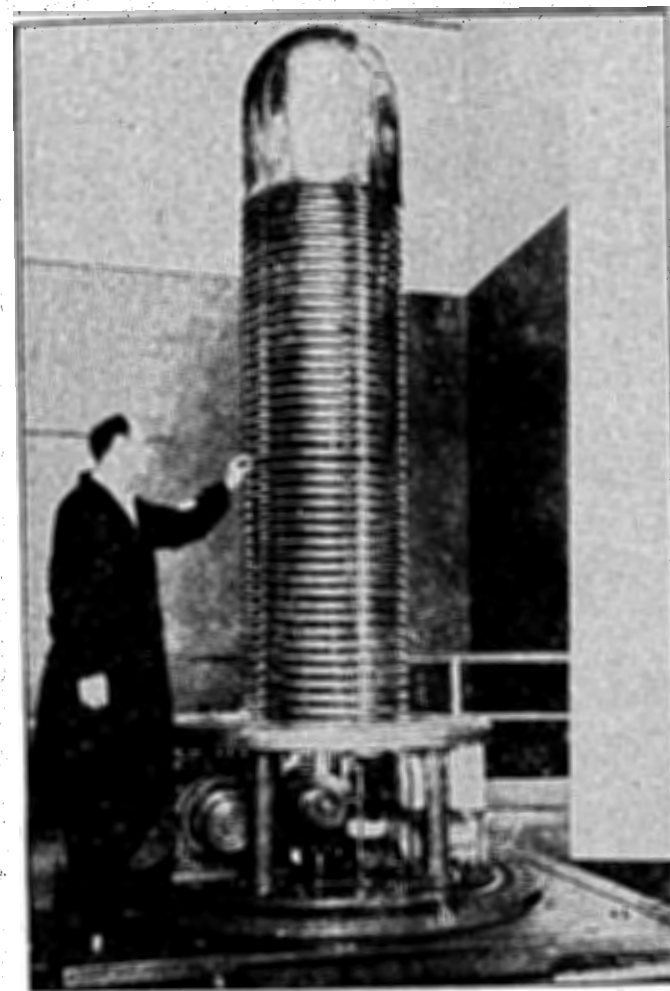


Рис.1

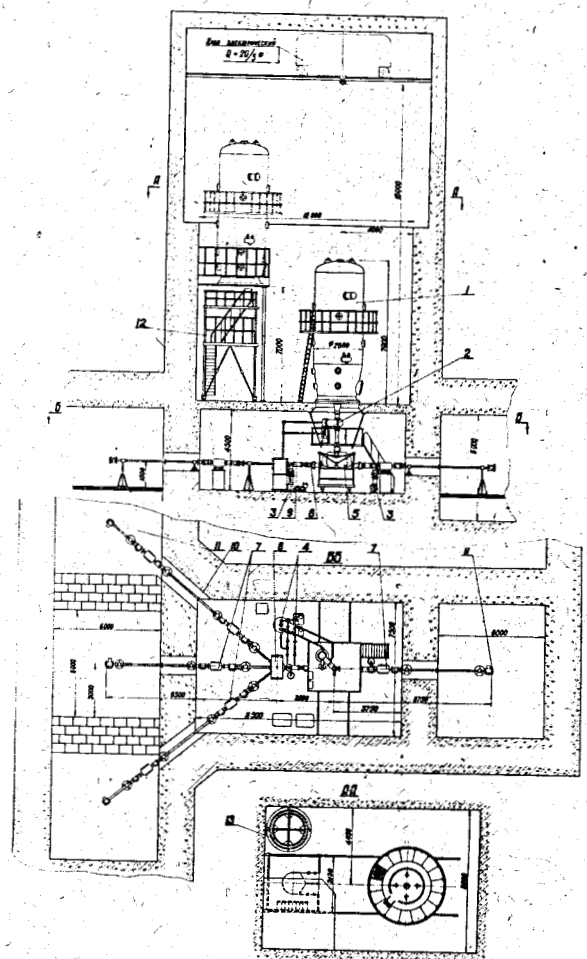


Рис. 2



Рис. 3

4. В институте в настоящее время ведется разработка серии малогабаритных электростатических ускорителей вертикального и горизонтального исполнения на напряжение 0,5-2 Мв, предназначенных для широкого использования в различных областях науки и техники. На рис. 3 показан один из ускорителей серии малогабаритных машин на 2 Мв типа ЭГ-2М. Высота колонны этого ускорителя I м, диаметр - 0,36 м. Котел имеет диаметр 0,9 м, высоту - около 2 м.

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В. Ефремова

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭГ-1 и ЭГ-2,5

В.А. Романов, А.Н. Сербинов, Н.И. Дудкин, В.И. Парфенов

Описан опыт эксплуатации электростатических ускорителей ЭГ-1 и ЭГ-2,5 (I), а также некоторые изменения отдельных элементов, выполненные во время эксплуатации.

I. Электростатический ускоритель ЭГ-1

ЭГ-1 находится в эксплуатации с 1957 года. Среднее число часов работы в год для проведения экспериментов за этот период составляет 2200. Максимальное напряжение, полученное на ускорителе, - 5 Мв. Эксперименты ведутся в интервале напряжений 1-4,5 Мв. Рабочее давление смеси газов в баке 8+12 атм. Нижнее значение соответствует энергиям до 3,5 Мэв. Смесь газов состоит из 80% N_2 и 20% CO_2 . Ток анализированного пучка на мишени может регулироваться от нескольких мка до 40 мка. Для напряжений свыше 3,5 Мв величина тока снижается до 15 мка. Система стабилизации обеспечивает разброс ионов по энергии порядка 0,15%. Для уменьшения органических загрязнений на мишенях, которые имеют место несмотря на применение ртутного диффузионного насоса, установлена фреоновая ловушка на входе в форвакуумный насос предварительного разрежения ВВ-1 и азотные ловушки перед мишенями, все резиновые уплотнения устанавливаются без смазки, а уплотнения шиберов выполнены из тефлона и резины. На случай прорыва газа из бака в вакуумную систему перед диффузионным насосом установлен предохранительный клапан. При порче вакуума происходит автоматическое отключение с помощью вакуумметра ВМБ катодов электронной пушки, ионизационной лампы и выпрямителя зарядки ленты. Камера магнитного анализатора и все элементы вакуумной системы, расположенные за магнитным анализатором, изготовлены из нержавеющей стали с целью снижения интенсивности дополнительных источников излучения. Рабочее давление в нижней части ускорительной трубки обычно составляет $5 \cdot 10^{-6} + 1,5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. и достигается при откачке системы с атмосферного давления в течение 1-1,5 часов. В работе ускорителя использовались 4- и 6-слойные резино-перкальевые ленты, поведение которых почти одинаково. Продолжительность их работы в основном определяется качеством ленты, степенью натяжения; качеством склейки и плотностью переносимых

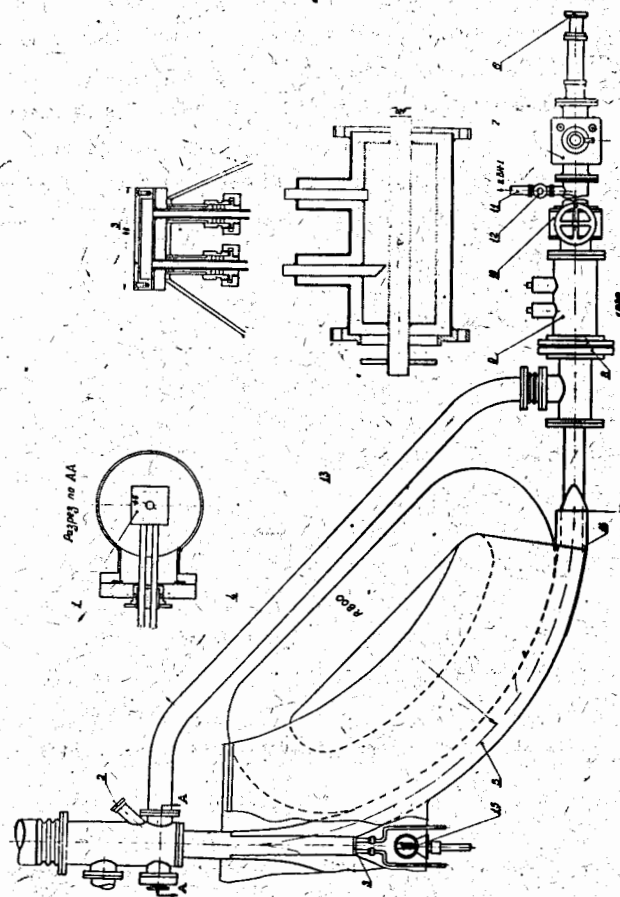


Рис. 4.

зарядов. Средний срок службы ленты равен 400-500 часам. Для рабочего давления зазор между лентой и щетками равен 6-7 мм. При напряжениях свыше 4 Мв ток зарядки не превышал 350 мка. С целью повышения стабилизации высокого напряжения и удобства проведения экспериментов был изготовлен из армо новый магнит с радиусом 80 см, с системой питания от сети 220 в, стабилизацией и измерением магнитного поля по ядерному резонансу. Система стабилизации обеспечивает постоянство магнитного поля не хуже 0,01%. На рисунке 4 приведен общий вид половины магнитного анализатора с инопроводом. Фиксация входа в анализатор ионного пучка осуществляется изолированной диафрагмой. В камеру анализатора вмонтирована мишень для измерения тока прямого пучка. Новая конструкция крепления катода и диафрагмы электронной пушки позволила увеличить срок ее жизни со 100 часов до 700-1000 часов. Ионный источник (2) имеет средний срок службы 470 часов и обеспечивает ионный ток до 120 мка при работе с высокочастотным генератором на лампе ГУ-29. Для устранения перемещения и лучшей фокусировки ионного пучка в первом ускоряющем промежутке ускорительной трубки установлено переменное высоковольтное сопротивление.

2. Ускоритель ЭГ - 2,5

Монтаж и наладка ЭГ-2,5 в ФЭИ произведен с января по июль 1961 г. С августа 1961 года начата эксплуатация. В 1962 году ускоритель эксплуатировался для экспериментов 2360 часов. Рабочее напряжение ускорителя 1+2,5 Мв при давлении в баке 12 ати. Ток анализированного пучка на мишени, отстоящей от магнитного анализатора на расстоянии 6 м до 80 мка. В связи с необходимостью размещения ЭГ-2,5 в помещениях ЭГ-1 была несколько реконструирована вакуумная система, изготовлена новая площадка для обслуживания колонны генератора, которая значительно сокращает площадь, требуемую для размещения ЭГ-2,5. Так же как и на ЭГ-1, перед насосом ВН-1 установлена фреоновая ловушка. На ЭГ-2,5 установлен такой же источник, что и на ЭГ-1. Ускоритель ЭГ-2,5 по надежности и удобству эксплуатации значительно превосходит ЭГ-1. Размещение ускорителей показано на рис. 5. Оба ускорителя размещены в одном помещении, обслуживаются одним мостовым электрическим краном и имеют общее газовое хозяйство.

Л и т е р а т у р а :

1. И.Ф. Малышев, Ф.Г. Железников, Г.Я. Рощаль "Электростатические ускорители" сборник статей под редакцией А.К. Вальтера, Атомиздат 1959 г. стр. 224.
2. В.А. Романов, А.Н. Сербинов ПТЭ № 1 1963 год.

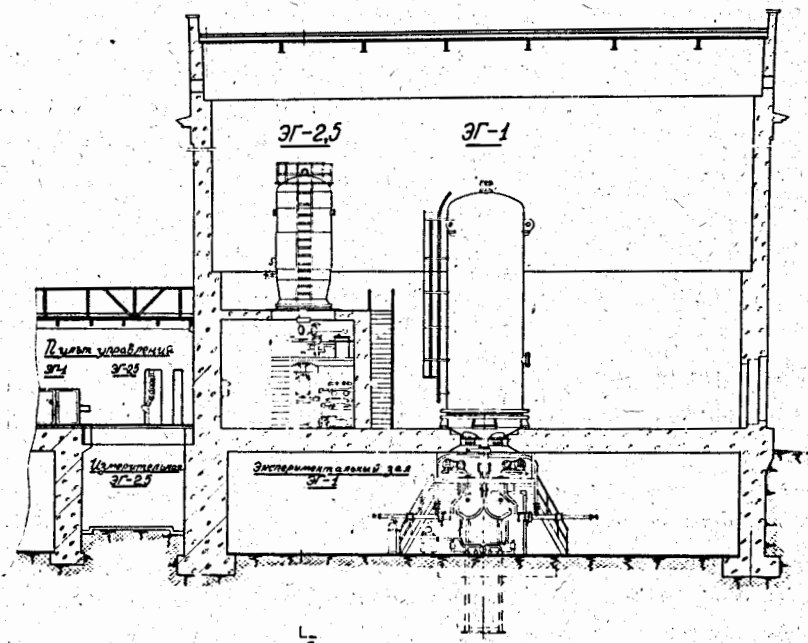


Рис.5

УЛУЧШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ
УСКОРИТЕЛЕЙ С ЛЕНТОЧНЫМ ТРАНСПОРТЕРОМ

А.А. Цыгикало

Украинский физико-технический институт

Доклад посвящен вопросам, связанным с работой электростатических ускорителей, используемых в научно-исследовательских ядерных лабораториях, изготовленных, в основном, силами лабораторных мастерских и частично промышленности.

При конструировании, изготовлении и наладке подобных установок возникает большое количество вопросов по определению наиболее простых и удобных решений отдельных узлов и отдельных задач.

Исходя из опыта сооружения и эксплуатации подобного ускорителя на 4,5 Мэв в Физико-Техническом Институте АН УССР, а также по материалам отдельных исследований, в докладе излагаются мероприятия помогающие добиться более высоких параметров работы ускорителей по предельному напряжению ускорения, току ионного пучка и длительности бесперебойной эксплуатации.

Методика применения смеси газов с добавлением небольшого количества электроотрицательных газов (фреон - 12, элегаз) позволяет значительно повысить электрическую прочность газовой среды и снизить рабочее давление газа. Предельное напряжение до настоящего времени ограничивалось пробоем в вакуумированной части ускорительной трубки. На основе опыта применения вставных диафрагм с переменным сечением показана возможность значительного повышения рабочего напряжения существующих ускорительных трубок. Приводятся данные о конструкции трубок с наклонным полем, предложенной Ван - Граафом и др. В результате исследований различных материалов для изоляторов ускорительных трубок в единичных зазорах установлено, что смесь эпоксидной смолы с алюмогелем позволяет получить изоляторы удовлетворительные по электрическим свойствам.

Надежность длительной работы установки зависит от устойчивой работы таких ее узлов, как ленточный транспортер, ионные источники, электронная пушка и др. Дается краткое описание ионного источника беззондового типа обеспечивающего бесперебойную работу в течение свыше 500 рабочих часов.

Для повышения длительности работы ленточного транспортера необходимо помимо хорошего качества склейки также внимательное наблюдение за правильным режимом его работы.

Для предупреждения появления неконтролируемых повышений напряжения вследствие ошибок оператора или случайных изменений в режиме ускорителя применяется реле предельного напряжения, описание которого приводится в докладе. Использование такого реле значительно облегчает работу оператора и снижает количество повреждений вследствие операционных перенапряжений.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ ПНР - ЭГ "ЛЕХ"

Лех Бобровски, Здислав Вильгельми, Зугениш
Гурски, Анджей Марцинковски, Анджей Солтан,
Марьян Яскула

Ускоритель "Лех" построен и установлен в Отделении физики Атомного Ядра Института Ядерных Исследований Польской Академии Наук в Варшаве (см.рис.6). Этот вертикальный генератор работает в изолирующей среде под давлением. Диаметр разделенного на три части котла генератора - 2050 мм, диаметр эквипотенциальных дисков колонны и высоковольтного электрода - 950 мм, высота изолирующей колонны 3,5 м. Диски сделаны из алюминия, кондуктор - из меди. Шаг по дискам и электродам ускорительной трубки в нижней части колонны (33 промежутка) составляет 68 мм, в части верхней (34 промежутка) шаг 34 мм. Генератор работает в воздухе или в смеси 70% азота и 30% углекислоты. Рабочее давление не превышает 16 атм (для воздуха 6 атм).

Заряд в кондуктор подается двумя лентами, сделанными из прорезиненной ткани. Ширина лент 400 мм, скорость движения 23 метра в секунду. Под высоковольтным электродом использована принудительная перезарядка. Градиентные стержни не применяются. Распределение потенциала вдоль колонны осуществляется делителем напряжения, состоящим из высокоомных сопротивлений и параллельно с ними работающими промежутками острие - плоскость. Максимальный ток короткого замыкания при атмосферном давлении составляет 600 мка. Максимальный потенциал, полученный без ускорительной трубки составлял 3000 кв и ограничивался пробоями на котел. Генератор с трубкой с коническими электродами и пучком ионов обеспечивает напряжение 2,5 Мв.

Ускоритель снабжен роторным вольтметром, коронирующим триодом, магнитным анализатором с радиусом 50 см, квадрупольными линзами и электромагнитами, предварительно отклоняющими пучок на входе в магнитный анализатор. В генераторе установлена ускорительная трубка с фарфоровыми кольцами и конусными алюминиевыми электродами. Предвидена возможность использования второй трубки параллельно с первой. Источник ионов - высокочастотный. Пучок фокусируется апертурной линзой, создаваемой первыми пятью электродами трубки. Ток пучка на мишени за магнитным анализатором составляет 20 мка. Диаметр следа пучка не превышает 5 мм.

Вакуум в трубке создается агрегатом, состоящим из двух последовательно включенных паромасляных диффузионных насосов и насоса предварительного разряжения. Без работающего источника ионов вакуум в трубке не хуже 5×10^{-6} мм рт.ст. и лучше 2×10^{-5} мм рт.ст. с пучком в ускорительной трубке.

Ускоритель работает как в ионном, так и в электронном режиме. Используется для исследовательских работ в области ядерной физики, а также в других отраслях науки.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ВЫСШЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ г.Братислава

Цирак Длуус

На электротехническом факультете Словацкого высшего технического учебного заведения в Братиславе построен ускоритель прямого действия до энергии $1 + 1,2$ Мэв. Шарообразный высоковольтный электрод с диаметром 1400 мм укреплен на изоляционном цилиндре, внутри которого движутся две ленты. Ширина каждой ленты 350 мм. Скорость движения ленты можно изменять от 10 до 16 м/сек.

Ускорительная трубка состоит из семи фарфоровых изоляторов, герметически соединенных между собой резиновыми прокладками. Между фарфоровыми изоляторами находятся металлические кольца. Расстояние между электродами 36 мм. Полная длина трубки 2900 мм, ее внутренний диаметр 300 мм. Трубка откачивается двумя масляными диффузионными насосами со скоростью откачки 500 л/сек. Высоковольтный электрод поддерживается тремя изоляционными колоннами. Внутри этих колонн помещается изоляционный привод, с помощью которого приводится в движение генератор для питания ионного источника. В настоящий момент используется источник типа Пеннинга. Управление отдельными цепями источника осуществляется дистанционно с помощью шелковых нитей. Электростатический генератор ускоряет протоны, дейтоны до энергии 1 Мэв. Ток пучка на мишень - 20 мка. Общий вид установки представлен на рис. 7.

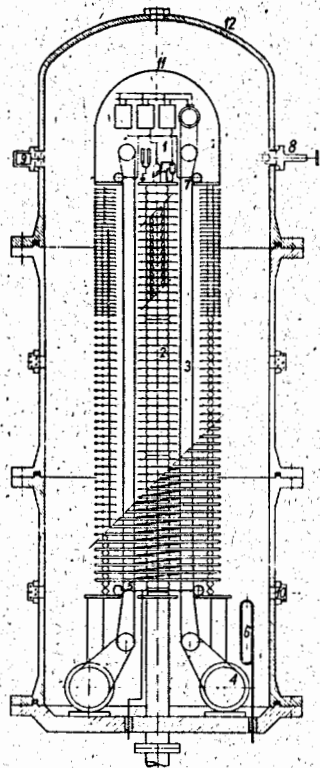


Рис. 6

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ (ЭГ)

В.И. Четвертков

1. В докладе рассмотрен ряд погрешностей, вносимых 90° магнитным анализатором (МА) как опорным элементом (эталон) системы стабилизации энергии заряженных частиц (или, что практически то же самое, - ускоряющего напряжения ЭГ).

В первом приближении получены следующие выражения (1) и (4):

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{2} \frac{\Delta E}{E} \frac{Z}{\beta^2} \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (1)$$



Рис. 7

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{\Delta E}{E} \frac{l''}{z} \left(1 + \frac{z}{l''}\right) \quad (2)$$

$$\Delta x/2 = \frac{1}{2} \frac{\Delta E}{E} \left(1 + \frac{l''}{z}\right) \quad (3)$$

$$\alpha_M = \frac{1}{2} \frac{\Delta E}{E} \frac{1 + \frac{z}{l''}}{1 - \frac{z}{l''}} \quad (4)$$

Здесь Δy - параллельное смещение,
 α - наклон центрального луча пучка на входе МА,
 Δx - смещение целевого прибора (ЩП) - анализирующей цели на выходе МА,
 α_M - поворот магнита относительно центра,
 z, E - эталонный радиус и энергия МА,
 l'' - расстояние от ЩП до края магнита,
 ΔE - отклонения энергии заряженных частиц,
 обусловленные изменениями эталонной энергии МА при $\Delta y, \alpha, \Delta x, \alpha_M \neq 0$.

В формулах (1) - (4) знаки при ΔE опущены.

Если принять $l'' = z$ и задаться $\frac{\Delta E}{E} = \pm 10^{-5}$, из (1) - (3) получим допустимые значения $\Delta y/2, \alpha, \Delta x/2 = \pm 10^{-5}$. Поворот магнита, как следует из (4) для $l'' = z$ в первом приближении не меняет эталонной энергии МА.

2. Рассмотрен способ измерения нестабильности ускоряющего напряжения, использующий электростатическое отклонение пучка перед входом в МА. Получено выражение для коэффициента $\gamma = U_n / \Delta U$ - отношения напряжения на отклоняющих пластинах к нестабильности ускоряющего напряжения

$$\gamma = (z/L') (d/l) (z/l'') (1 + l''/z) \quad (5)$$

где l - длина отклоняющих пластин,
 d - зазор между ними,
 L' - расстояние от середины отклоняющих пластин до первого фокуса МА.

Этот способ измерения ΔU может быть использован также при наличии лайнера в системе стабилизации ЭГ.

3. Произведен расчет времени пробега T_n ионов короны в высоковольтном зазоре между цилиндрическими электродами кондуктор - котел. Получены выражения для переходной $h(p)$ и частотных $h(\omega), \psi(\omega)$ характеристик коронирующего триода в приближении, соответствующем равномерному полю в высоковольтном зазоре.

$$T_n \approx L/\kappa (U/L) \quad (6)$$

$$h(\rho) = (1/\rho T_n) [1 - \exp(-\rho T_n)] \quad (7)$$

$$h(\omega) = (1/\omega T_n) [(1 - \cos \omega T_n)^2 + \sin^2 \omega T_n]^{1/2} \quad (8)$$

$$\psi(\omega) = -\omega T_n / 2 \quad (9)$$

где L - высоковольтный зазор,

K - подвижность ионов,

U - ускоряющее напряжение (потенциал кондуктора).

Сопоставление расчета с имеющимися в литературе экспериментальными данными показывает, что формула (6) правильно оценивает величину T_n (~ 10 мсек).

Выражения (6) - (9) позволяют в первом приближении учесть инерционные свойства катодирующего триода.

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В. Ефремова

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ИОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТРУБКИ

3. Ссылки

С целью выяснения влияния меняющегося общего напряжения генератора $Bg\Gamma$ на фокусирующие свойства ускорительной трубки в докладе рассмотрены оптические свойства части ускорительной трубки, которая гальванически соединена с генератором. Кроме того были определены все главные оптические параметры трехэлементной трубки, приведенные в работе Элькинда [1].

Если принять систему координат с началами в соответствующих главных точках входной и выходной линз ускоряющей трубки, то коэффициенты изображения [2] преобразуются следующим образом (в единицах длины трубки K):

$$\begin{aligned} a_{11} &= -\frac{1}{2\xi} (\sqrt{N} - 1 - 2\xi) & a_{21} &= -\frac{1}{8\xi} \frac{(N-1)(3\sqrt{N}-1-2\xi)}{N} \\ a_{12} &= \frac{2}{\sqrt{N}+1} & a_{22} &= \frac{3\sqrt{N}-1}{2N} \end{aligned} \quad (1)$$

Где фактор ξ имеет то же значение, что и в работе [1]. $N = \frac{V_2}{V_1}$. Потенциал определен так, что $V_0 = 0$ в том месте, где энергия частиц равна 0.

Из этих коэффициентов определены оптические параметры (буква ρ обозначает пред-

метные параметры, буква L - параметры изображения):

(2)

фокусные расстояния:

$$f_p = \frac{8\xi\sqrt{N}}{(N-1)(3\sqrt{N}-1-2\xi)}; \quad f_L = \frac{8\xi N}{(N-1)(3\sqrt{N}-1-2\xi)} \quad (3)$$

Местоположение главных плоскостей

$$H_p = \frac{4\xi(\sqrt{N}-1)}{(N-1)(3\sqrt{N}-1-2\xi)}; \quad H_L = \frac{-4N(\sqrt{N}-1)}{(N-1)(3\sqrt{N}-1-2\xi)} \quad (4)$$

Поперечное увеличение

$$M = -\frac{1}{8\xi} \frac{(N-1)(3\sqrt{N}-1-2\xi)}{N} \cdot l - \frac{1}{2\xi} (\sqrt{N}-1-2\xi) \quad (5)$$

Угловое увеличение

$$g = -\frac{1}{8\xi} \frac{(N-1)(3\sqrt{N}-1-2\xi)}{N} \rho + \frac{3\sqrt{N}-1}{2N} \quad (6)$$

Отношение выходного и входного диаметров пучка:

$$\frac{z_L}{z_p} = -\frac{1}{2\xi} (\sqrt{N}-1-2\xi) + \frac{2}{\sqrt{N}+1} \cdot \frac{1}{\rho} \quad (7)$$

Для неточечного диаметра размером y

$$\left| \frac{z_L}{z_p} \right| = \max \left(\left| \frac{z_{L+0} y}{F_p \operatorname{tg} \alpha + y} \right|; \left| \frac{f_p \operatorname{tg} \alpha}{F_p \operatorname{tg} \alpha + y} \right| \right) \quad (8)$$

α - максимальный угол между пучком и осью.

Расстояние Δ между входной диафрагмой и началом координат определяются

$$\frac{\Delta}{d} = 0,014(\xi-1), \quad \text{где } d \text{ - диаметр диафрагмы} \quad (9)$$

(Δ выходной линзы пренебрежимо мало)

Зависимость фактора ξ от диаметра диафрагмы показана в графике рис. 8. Для $\xi > 1,7$ эта зависимость линейная. Уравнение (9) и график получены на основе работы [3]. С изменением N изменяются все оптические параметры. Следовательно меняются разрешенные области положения предмета. Но так как предмет находится на одном месте, разрешенные области сужаются, находясь между кривыми $F_p \min$ и $F_0 \max$. Пересечение этих кривых определяет максимальное значение N_{\max} , которое вообще может быть применимо. В случае $\alpha = 5$ $\xi = 1$ $V_{2\min} = 1$ Мэв и $V_0 < 1,10 >$ эта задача рассчитана и показана на графике рис. 9.

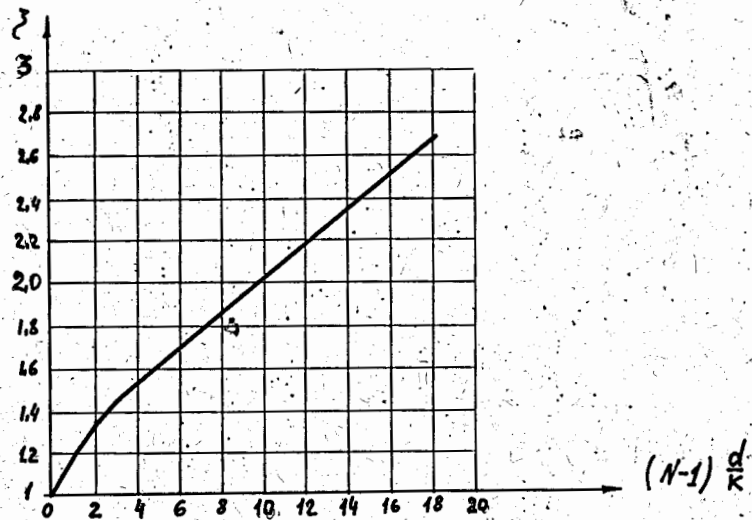


Рис. 8

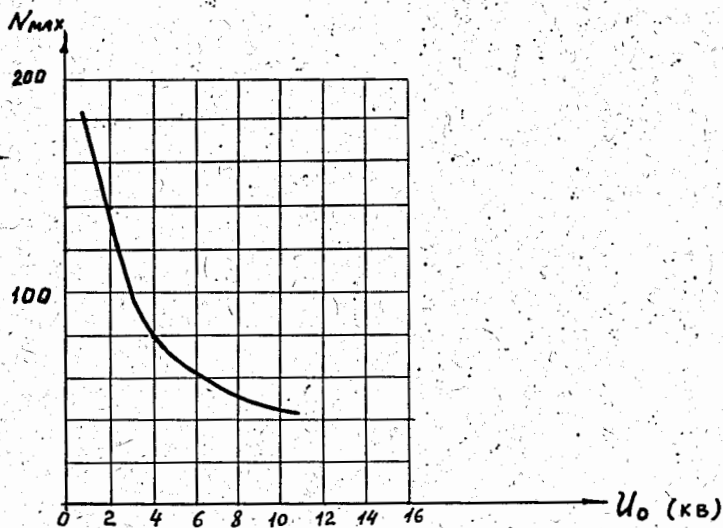


Рис. 9

Л и т е р а т у р а:

1. M.M. Elkind. Rev. Sn. Instz. 24, 129. 1953.
2. V. Timm. Zeitschrift für Natur forschung. 10a, 593, 1955.
3. V.K. Zwozyna. Electron optic and d. microscope New York 1946.

ПРОЕКТ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА

Чигах Милав, ИЯИ АН, ЧССР

Расчитана система автоматического регулирования напряжения генератора 5 Мэв для получения стабильности напряжения лучшей, чем $5 \cdot 10^{-4}$ во всем рабочем диапазоне. Расчет произведен с использованием общей теории автоматического регулирования.

На рис.10 показана блок-схема регулирующего контура. В качестве датчика ошибки применяется магнитный анализатор со целевым прибором на пути молекулярной составляющей пучка. Если в качестве опорного напряжения V_0 выберем: $V_0 = \frac{e B_0^2}{2m} \beta_0^2$

, то получим

$$i_a = \frac{V_0 - V_{ген}}{V_0} I_m K_{ан},$$

где I_m - ток молекулярной составляющей пучка
 $K_{ан}$ - константа анализатора.

Блок управления напряжением генератора состоит из системы зарядного тока ленты $[K_b G_b(p) e^{-pT}]$ и обратного электронного пучка $[K_e G_e(p)]$, которые действуют параллельно в общем регулирующем контуре. Чтобы величина постоянной составляющей тока электронного пучка не изменялась в процессе регулирования, должно быть $K_b \gg K_e$.

Исходя из упрощающих предположений, можно построить эквивалентную схему генератора по Рис.11. Здесь $K_g G_g(p)$ представляет собой входной импеданс колонны. $K e^{-pT}$ - передаточная функция для ленты. i_g' - зарядный ток кондуктора, i_b - зарядный ток ленты, i_z - ток нагрузки, i_e - ток электронной трубки. Из подробного расчета импеданса колонны следует, что для случая, когда отношение емкости между эквипотенциальными кольцами и емкости кольцо - внешний кондуктор, большое (порядка 100), то можно с достаточной точностью описывать колонну как простую ячейку RC, и напряжение $V_{ген}$ выразить в виде

$$V_{ген(p)} = (i_b(p) e^{-pT} - i_z(p) - i_e(p)) \frac{R}{1 + pTC_{ген}}$$

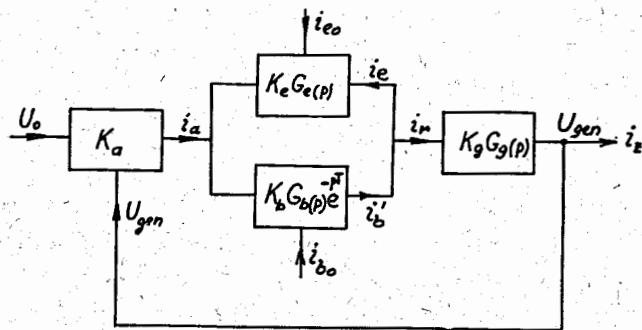


Рис.10

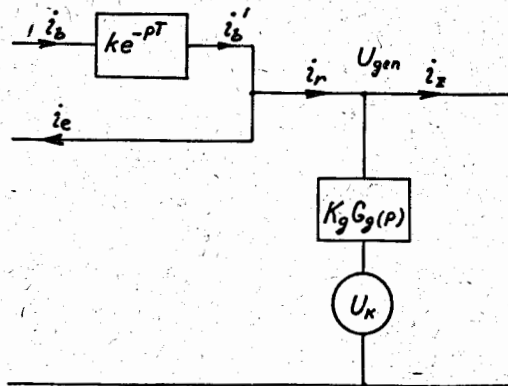


Рис.11

где в нашем случае

$$T = 0,25 \text{ сек} - \text{запаздывание, вызванное лентой};$$

$$T_{ген} = 8,8 \text{ сек} - \text{постоянная времени генератора};$$

$$R = 5,88 \cdot 10^{10} \text{ ом} - \text{общее сопротивление делителя колонны}.$$

Синтез регулирующего контура проведен с применением частотных характеристик в логарифмических координатах, так как это позволяет легко выбрать параметры отдельных членов контура и дает представление о том, как эти параметры влияют на работу всего контура. Очень хорошо можно при этом следить за соблюдением критерия внутренней устойчивости замкнутого контура. На рис. 12 показаны полученные частотные характеристики

$$G_g(j\omega) - \text{для собственного генератора}$$

$$G_o(j\omega) = G_e(j\omega) + G_b(j\omega) e^{-j\omega T} - \text{для блока управления}$$

$$G(j\omega) - \text{результатирующая частотная характеристика разомкнутого регулирующего контура}.$$

Переходную функцию разомкнутого контура по характеристике $G(j\omega)$ определим как

$$K G(p) \approx \frac{1 + 8,8 p}{(1 + 100 p)(1 + p)}$$

и напряжение генератора для $K = 10^4$

$$V_{ген(p)} = V_{o(p)} \frac{100 + 880 p}{p^2 + 881 p + 100,01} - I_z(p) \frac{5,88 \cdot 10^8 (1 + 101 p + 100 p^2)}{(1 + 8,8 p)(p^2 + 881 p + 100,01)}$$

Отсюда можно рассчитать переходные характеристики для скачка $V_{o(p)} = \frac{V_0}{p}$ и $I_z(p) = 0$

$$V_{ген} \approx V_0 [1 - e^{-881 t}]$$

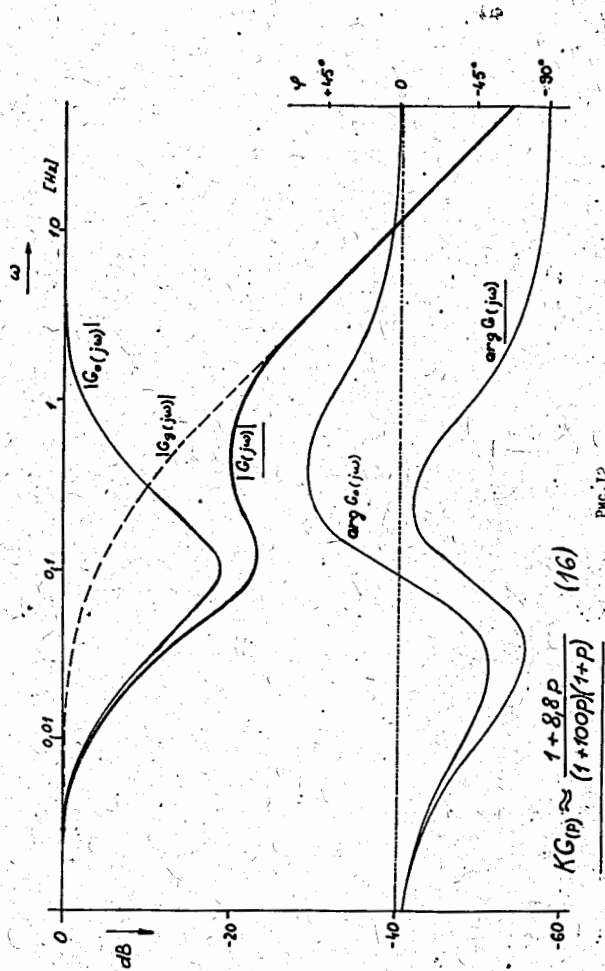
для скачка $I_z(p) = \frac{I_z}{p}$; $V_{o(p)} = 0$

$$V_{ген} = -I_z [1 - 1,29 e^{-881 t} + (0,29 + 1,05 t) e^{-0,1136 t}] \cdot 5,9 \cdot 10^6$$

Полученные результаты показывают, что при нормальной работе генератора система стабилизации будет работать удовлетворительно и ошибки напряжения не будут превышать заданную величину. Для удобства в обслуживании генератора в проекте предусмотрено применение системы грубой стабилизации для исправления больших отклонений напряжения $V_{ген}$, когда пучок совсем покидает целевой прибор.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР НА 2 МэВ

доктор Винтер /ГДР/



Заводом трансформаторов и рентгеновских аппаратов в Дрездене построен ЭГ на 2 МэВ горизонтальной конструкции. Горизонтальная колонна смонтирована на фарфоровых изоляторах. В начале колонна поддерживается двумя кронштейнами. Колонна состоит из 42 секций. Диаметр градиентных колец - 590 мм. Диаметр котла ЭГ - 1200 мм. В конструкции предусмотрен съем ленты без разборки градиентных колец. Ширина ленты 290 мм. Скорость движения ленты 12 м/сек. Ее можно изменять с помощью специального устройства управления, которое выведено из котла наружу. На высоковольтном конце ЭГ имеется перезарядка. Подача заряда на ленту осуществляется с помощью гребенки игол. Каждая отдельная игла подключена к высоковольтному электроду через сопротивления. Ускорительная трубка состоит из 42 электродов, изолированных друг от друга стеатитовыми кольцами, скрепленных между собой эпоксидной смолой. Внутренний диаметр электродов трубки - расширяющийся от 30 мм в центре до 60 мм по краям. В качестве газа-наполнителя используется смесь 95% азота и 5% CCl_2F_2 до давления 12 атм. Измерения напряжения осуществляется компенсационным роторным вольтметром. Стабилизация напряжения генератора производится с помощью электронного регулирования тока зарядки ленты. Предел регулирования ± 20 кв.

В верхней части котла ЭГ имеется штанга короткого замыкания, управляемая дистанционно. С ее помощью имеется возможность измерять ток короткого замыкания электростатического генератора.

В качестве источника частиц используются разработанный Арденне и Шиллером /Дрезден/ миниатюрный дуоплазмотронный источник. Данные по этому дуоплазмотронному источнику в малогабаритном варианте до сих пор еще не опубликованы, т.к. испытательные работы с этим источником на генераторах Ван-де-Граафа еще не доведены до конца. Ионы образуются так же, как в дуоплазмотроне.

Благодаря использованию металлических уплотнителей в источнике практически не возникает каких-либо органических паров. Фокусировка производится без дополнительных вспомогательных средств, т.к. ионы выходят из эмиссионной зоны предварительно ускоренными.

Диаметр эмиссионной зоны составляет 0,14 мм. При этом максимальная сила эмиссионного тока равна 80 мка (ток разряда 0,8 а), рабочее напряжение дуги ~ 15 вольт.

При небольшой перестройке источник годен и для получения электронов.

Источник питается током от двух генераторов переменного тока на 400 герц общей мощностью около 400 вт.

Возникающее в источнике тепло отводится вентилятором.

В.И. Манько, А.М. Пасечников, А.П. Сгибов, Ф.Е. Чукреев

Выпрямитель с выходным напряжением до 40 кв, описание которого приводится ниже, работает от сети переменного тока с частотой 50 гц, а напряжение на выходе поддерживается постоянным с точностью не хуже 0,03%. Как регулирующий элемент использована включенная последовательно с нагрузкой лампа ГМИ-83. Измерителем выходного напряжения и одновременно датчиком сигнала ошибки является потенциометр ПШТВ-1 с гальванометром М21. Сигнал ошибки усиливается фотоэлектрическим усилителем (СЦВ-51 и БЖ3) и управляет амплитудой колебаний в.ч. генератора (БЖ9П). Приемная катушка расположенная вблизи ГМИ-83 воспринимает эти колебания, они выпрямляются и тем самым сигнал ошибки попадает на управляющую сетку ГМИ-83

Поскольку в измерительную и регулирующие системы входит гальванометр - прибор с резко выраженными резонансными свойствами, в стабилизаторе могут возникнуть автоколебания. Для предотвращения этого служит демпфирующий усилитель на лампе 6Н8С. В докладе обсуждается методика выбора элементов схемы стабилизатора с точки зрения достижения наибольшей устойчивости.

Выпрямитель используется в ИАЗ им. И.В. Курчатова для питания ЭСА с 1959 г. прост в эксплуатации и надежен в работе. Схема выпрямителя представлена на рис. 15.

Институт Атомной энергии им. И.В. Курчатова

КВАДРУПОЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЛИНЗЫ ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ ПУЧКА ПРОТОНОВ ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

Н.Д. Карнаухов, В.И. Манько, А.М. Пасечников, Ф.Е. Чукреев

В настоящем сообщении описываются расчет и конструкция квадрупольных электромагнитных линз, предназначенных для фокусировки пучков протонов или дейтронов с энергиями до 8 Мэв на расстояния ~ 10 м.

1. Расчет линз

Как известно, фокусные расстояния тонкой линзы, состоящей из двух четырехполюсников с гиперболическими полюсами (см. рис. 16), в плоскостях (xz) и (yz) определяются следующими выражениями (1):

$$\frac{f}{f_{yz}} = ch(x_2 l) (x_1 l) \sin(x_1 l) - (x_2 l) sh(x_2 l) \cos(x_1 l)$$

$$\frac{f}{f_{xz}} = -(x_1 l) \cos(x_2 l) sh(x_2 l) + (x_2 l) \sin(x_2 l) ch(x_1 l) \quad (1)$$

где l - длина каждого четырехполюсника, а $x_{1,2} = \frac{Ze}{c} \frac{1}{\sqrt{2mE}} h_{1,2}$ (линзу можно считать тонкой, если $2l \ll f$). Здесь Ze , m и E - заряд, масса и энергия иона соответственно, а h - градиент магнитного поля. Если фокусируемый линзой пучок аксиально симметричен, то условие фокусировки состоит в равенстве фокусных расстояний в обеих плоскостях. Это условие выполняется, если $x_1 = x_2$, и тогда два уравнения (1) сводятся к одному, а именно:

$$\frac{f}{f} = (x l) [ch(x l) \sin(x l) - sh(x l) \cos(x l)] \quad (2)$$

Основной величиной, определяющей с одной стороны фокусирующие свойства линзы, а с другой - ее технические параметры, является максимальный градиент магнитного поля $h_{\text{макс}}$. Если считать, что $x l \ll 1$, то из уравнения (2) можно получить следующую приближенную формулу:

$$h_{\text{макс}} = (c/Ze) \sqrt{3mE_{\text{макс}}/l^2 f_{\text{мин}}} = 1,73 \cdot 10^5 \sqrt{ME_{\text{макс}}/Z^2 f_{\text{мин}} l^3} \quad (3)$$

где M - масса иона в аеm, $E_{\text{макс}}$ - максимальная энергия в Мэв, l и $f_{\text{мин}}$ (минимальное необходимое фокусное расстояние) - в см, $h_{\text{макс}}$ - в э/см.

Другой важный параметр - расстояние между противоположными полюсами $d = 2a$ (где a - константа, входящая в уравнение $xy = a^2/2$).

Из уравнений поля линзы легко получить следующее соотношение

$$(In)_{\text{макс}} = 0,4 h_{\text{макс}} a^2 \quad (4)$$

где $(In)_{\text{макс}}$ - максимальное число ампер-витков. Из тех же уравнений получается и соотношение между магнитным потоком и геометрическими параметрами линзы:

$$\Phi = h l b \sqrt{a^2 + b^2/4} \quad (5)$$

где b - ширина полюса (см. рис. 16). Формулы (3), (4) и (5) полностью определяют все параметры линз.

Изготовленные линзы имеют следующие параметры:

$l = 15$ см, $a = 2$ см, $b = 3,5$ см, $(In)_{\text{макс}} = 3000$ ампер - витков. Сечение ярма равно сечению полюсного наконечника $52,5$ см². Вес линз - 60 кг.

На рис. 17 изображена схема питания обмоток линз, выполненная на транзисторах. Она позволяет очень плавно регулировать токи в обмотках и тем самым плавно менять фокусное расстояние линзы.

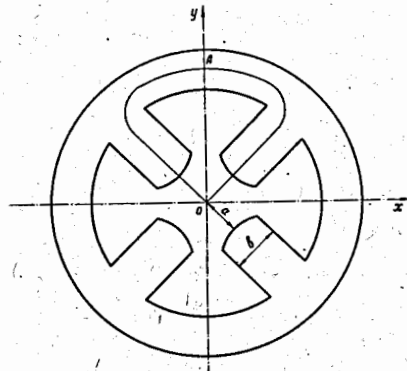


Рис.16

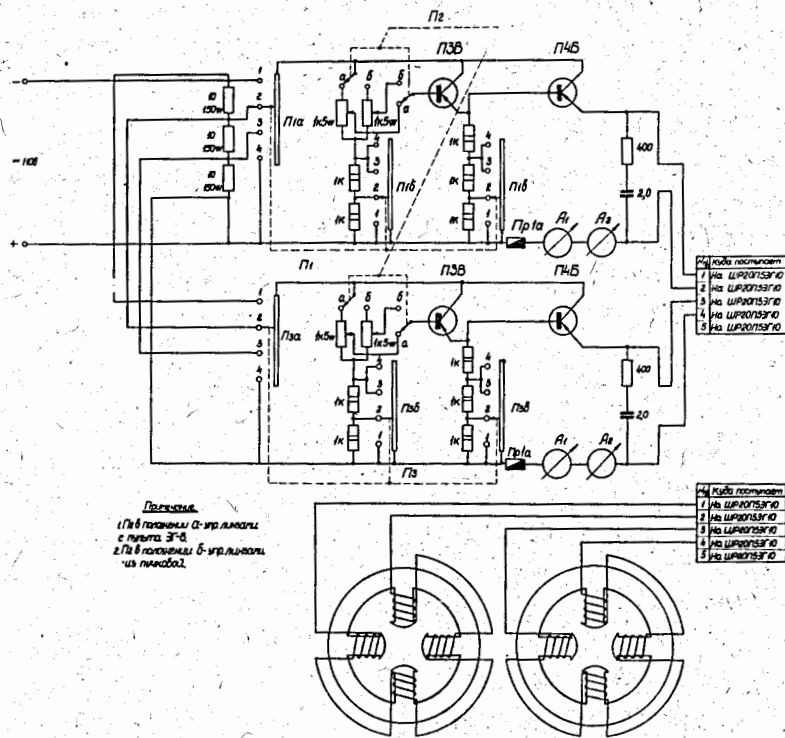


Рис.17

Эти линзы используются для фокусировки пучка на выходе электростатического генератора. С их помощью удается фокусировать пучок протонов с энергией до 5 Мэв в пятно размером 1 мм².

Институт Атомной энергии им. И.В. Курчатова

РОТОРНЫЙ ВОЛЬТМЕТР С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ОТСЧЕТОМ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Д.П. Микреков

Для измерения высоких напряжений электростатических и каскадных генераторов в диапазоне 0,2-5 млн. вольт разработан роторный вольтметр с непосредственным отсчетом высокого напряжения по шкале магнитоэлектрического прибора.

Роторный вольтметр является емкостным генератором тока, измеряющим напряженность электрического поля. Для измерения применен компенсационный метод с компенсацией зарядов, наведенных на измерительную пластину.

Как известно, ток измерительной пластины в момент компенсации равен

$$i = \frac{d}{dt} (U \cdot C_u + U_k \cdot C_k) = 0, \quad (1)$$

где U - измеряемое напряжение,

C_u - емкость между высоковольтным электродом и измерительной пластиной,

U_k - компенсирующее напряжение,

C_k - емкость между компенсирующей и измерительной пластиной.

Если изменение емкостей C_u и C_k происходит по одному закону, а $U = Const$,

то

$$U = -U_k \cdot \frac{C_{k \max}}{C_{u \max}}; \quad (2)$$

где $C_{k \max}$ и $C_{u \max}$ - максимальные значения соответствующих емкостей.

Конструкция роторного вольтметра схематически показана на рис. 18.

На одной оси с роторным вольтметром установлен генератор опорного напряжения, необходимый для работы следящей системы. Генератор опорного напряжения конструктивно выполнен аналогично роторному вольтметру.

Теория роторного вольтметра подробно рассмотрена И.М. Имянитовым, согласно которой для нашего случая ток измерительной пластины равен

$$i = \frac{E \cdot S_0 \cdot \omega}{4\pi^2}. \quad (3)$$

E - напряженность измеряемого поля,

S_0 - площадь измерительной пластины,

ω - частота модуляции поля.

Расчет показывает, что при применении входных сопротивлений порядка 10⁶ ом входной

сигнал усилителя составляет сто-двести микровольт. (Входное сопротивление ограничивается максимальным значением сопротивления в цепи сетки электронных ламп.) Роторный вольтметр обычно работает в условиях сильных помех промышленной частоты, поэтому для усиления сигнала приходится применять узкополосный усилитель с резким ослаблением промышленных частот. В нашем случае был применен специально сконструированный узкополосный усилитель с коэффициентом усиления около 50000, полосой пропускания 50 гц, и ослаблением 40 дб на частоте 50гц.

Применение избирательного усилителя потребовало установки на роторный вольтметр специального синхронного гистерезисного электродвигателя со строго постоянной скоростью вращения, что исключило колебания рабочей частоты роторного вольтметра.

Принципиальная схема измерения роторным вольтметром приведена на рис. 19.

Шкала магнитоэлектрического прибора один раз градуируется по пороговым реакциям, а затем при нормальной работе значение высокого напряжения непосредственно считывается со шкалы.

Погрешность измерения роторным вольтметром определяется точностью измерения компенсирующего напряжения, статической ошибкой системы и погрешностью градуировки роторного вольтметра по пороговым реакциям. Погрешность градуировки в свою очередь определяется погрешностью измерения компенсирующего напряжения в момент градуировки и погрешностью определения пороговой энергии.

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В. Ефремова

ИСТОЧНИКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ УСКОРИТЕЛЕЙ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Аброян М.А., Ермолаев А.Т., Иванова Л.И., Комаров В.Л.,
Солнышкова З.Г., Тарвид Г.В., Цепакин С.Г., Солнышков А.И.

Ионные и электронные источники для ускорителей прямого действия: электростатических, каскадных и нейтронных генераторов и инжекторов - разрабатывались в соответствии с требованиями, предъявляемыми к ним типом ускорителя.

Для получения пучков протонов с током от 0,1 до 10 ма производилась разработка и исследование высокочастотных ионных источников. Для электростатического и компактного нейтронного генератора разработан малогабаритный в/ч источник на токи 100-300 мка. Разряд в источнике генерируется продольным контуром в/ч генератора. Для интенсификации разряда применено постоянное поперечное магнитное поле. Потребляемая источником в/ч мощность - 25 вт;

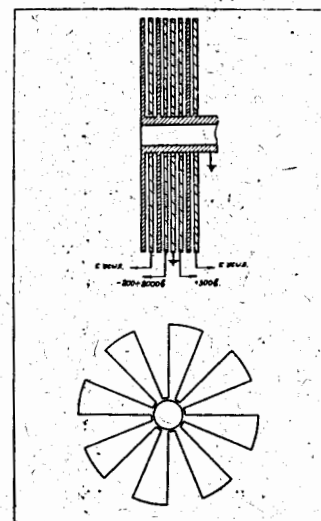


Рис.18

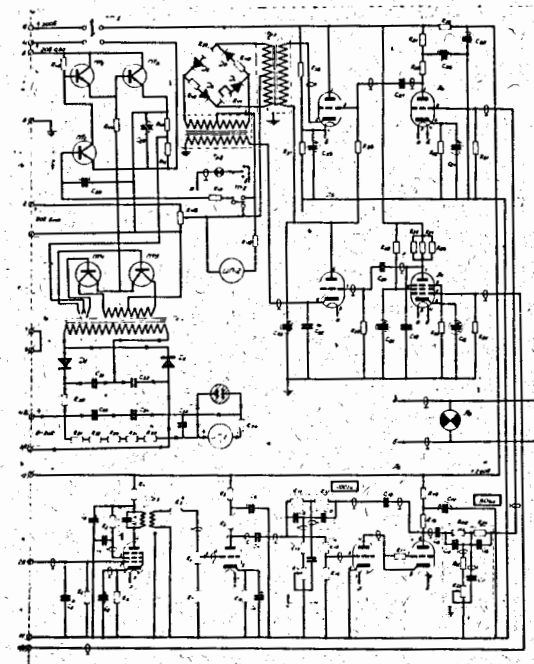


Рис.19

расход газа - $1+1,5 \text{ см}^3/\text{час}$, процентное содержание атомарных ионов в пучке - 80%; срок службы источника 500 часов. На компактном нейтронном генераторе с этим источником был получен пучок с током 100 мка, в диаметре 3 мм.

Для нейтронных генераторов разработан также источник на токи 1-2 ма. Разряд возбуждается поперечным контуром в сочетании с продольным магнитным полем. Этот способ возбуждения разряда позволил увеличить отбираемый ток в 3 раза по сравнению с возбуждением продольным контуром и поперечным магнитным полем. Мощность, потребляемая в разряде - 200 вт, расход газа - $10 \text{ см}^3/\text{час}$. Измерения пучка производились на расстоянии 250 мм от фокусирующего электрода, диаметр пятна - 5 мм.

Для каскадного генератора на 2,5 Мэв, перезарядного электростатического генератора и нейтронного генератора на 400 Кэв разработан источник на ток порядка 10 ма с сотовой системой отбора. Потребляемая разрядом мощность - 300 вт, расход газа - $30 \text{ см}^3/\text{час}$. На расстоянии 200 мм от последнего фокусирующего электрода в диаметре 10 мм был получен ток 11 ма по калориметрическим измерениям.

На токи, выше 10 ма, как в постоянном, так и в импульсном режиме разрабатываются источники типа дуоплазматрона. В постоянном режиме получен ток ионов 20 ма при токе разряда 1,5 а, вытягивающем напряжении 20 кв и расходе водорода $10 \text{ см}^3/\text{час}$. Разрабатывается источник, рассчитанный на получение 20 ма молекулярных ионов водорода для перезарядного электростатического генератора.

Для инжекторов разработаны дуоплазматроны на токи в импульсном режиме 50 ма, 500 ма и 1,5 а (ИИ-0,05, ИИ-0,5 ИИ- 1,5). Отбор ионов идет с развитой поверхности проникающей плазмы.

Применение в источнике ИИ-1,5 системы отбора ионов "накладка-вытягивающей электрод с сеткой" дает возможность получать за вытягивающим электродом пучки различного профиля.

Для электростатического генератора-инжектора разработан источник с разрядом Пеннинга. В импульсном режиме получен ток 15 ма при вытягивающем напряжении 20 кв и расходе газа $30 \text{ см}^3/\text{час}$. Процент атомарных ионов в пучке - 60+65%.

Электронные источники разработаны для каскадного генератора на 2,5 Мэв и электростатического генератора на 2,5 Мэв. Эти источники соответственно позволяют получать 15 ма в постоянном режиме (100 ма в импульсном режиме) и более 1 ма в постоянном режиме.

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В. Ефремова

Осетинский Г.М., Чепурченко И.А.

Предлагаемая схема сброса пучка с мишени может быть использована как для послылки на мишень пучка ускоренных ионов заданной продолжительности и частоты повторения, так и для предохранения мишени от попадания на нее ионов нежелательных масс в случае возникновения пробоев напряжения на электростатическом генераторе. Целесообразность применения последнего метода особенно ощутима при проведении экспериментов с пучком с массой три /ионы трития, $\text{He}^3/$, когда газ, направляемый в ионный источник находится в смеси с He^4 и когда пучок попадает на газовую мишень с очень тонким входным окошком / $\sim 0,1-0,5 \text{ микрона}/$. В этом случае образование пробоя приводит к попаданию на мишень, установленную на выходе магнитного анализатора ионов более тяжелых масс /ионы He^+ , $(\text{HeH})^+$, T^+ /, интенсивность которых в случае использования высокочастотного источника может в 10-15 раз превышать интенсивность пучка с массой три. Появление на мишени такого рода ложных пучков большой интенсивности приводит к ошибкам в измерении тока, а в случае использования тонких входных окошек к их разрушению. Принципиальная схема устройства, обеспечивающая работу ЭГ в указанных режимах представлена на рис 20. Система состоит из трех элементов: датчика, схемы управления и отклоняющих пластин, установленных внутри ионопровода.

Схема управления, получая сигнал от датчика, подключает к отклоняющим пластинам напряжение, необходимое для отклонения пучка ионов с мишени. Она состоит из одновибратора, тиратронного реле и высоковольтного выпрямителя на 6 Кэв, подключаемого к аноду лампы 6П7С.

Для получения импульсного режима работы в качестве датчика используется генератор запускающих импульсов, собранный на тиратроне ТГ-0,1/0,3. Частота повторения импульсов может меняться от 0,1 до 6 секунд. Получение описываемого режима осуществляется включением тумблера "Т" в положение "Импульсный режим" /см. рис.21/. В этом случае выход генератора подключается на вход одновибратора, а на сетку лампы 6П7 подается отрицательное смещение, запирающее ее. Как видно из схемы, потенциал анода лампы и соединенной с ней отклоняющей пластины будет равен 6 Кэв. Пучок ускоренных ионов, отклоненный этим потенциалом, на мишень не попадает. Одновибратор управляет

тиратронным реле, построенном на двух тиратронах ТГ 0,1/0,3. В первоначальном состоянии /когда сигнала нет/ левый /по схеме/ тиратрон открыт, а правый закрыт. При появлении запускающего импульса, одновибратор вырабатывает импульс, который своим передним фронтом опрокинет реле. Образующийся при этом на левом тиратроне положительный импульс откроет лампу 6П7. Потенциал анода этой лампы и соединенной с анодом отклоняющей пластины упадет до нуля и пучок ускоренных ионов не будет отклонен от своего направления и попадет на мишень.

Время нахождения пучка на мишени будет определяться длительностью открытого состояния лампы 6П7, которая в свою очередь определяется длительностью импульса, вырабатываемого одновибратором.

В предлагаемой схеме продолжительность этого импульса может меняться в пределах от 0,05 до 1,5 сек. Установка этой продолжительности достигается переключением переключателя "П". В случае работы схемы в режиме сброса пучка при пробоях напряжения в качестве датчика используется изолированная пластина, установленная на одном из свободных окон котла электростатического генератора. Работа в данном режиме осуществляется включением тумблера Т в положение "сброс". Такое переключение обеспечивает подключение одновибратора к кабелю, идущему к изолированной пластине котла электростатического генератора. Лампа 6П7 при этом открыта и потенциал ее анода практически равен нулю. Пучок ускоренных ионов не отклоняется. При возникновении пробоя отрицательный импульс с изолированной пластины запустит одновибратор. Импульс одновибратора переведет тиратронное реле в другое состояние и образующийся при этом на аноде правого тиратрона отрицательный импульс запрет лампу 6П7. Потенциал отклоняющей пластины возрастет до 6 КэВ, что вызовет отклонение пучка со своего первоначального направления. Продолжительность этого процесса определяется длительностью импульса одновибратора. Оно подбирается в соответствии с постоянной времени восстановления напряжения электростатического генератора после пробоя / ~ 1 сек/.

Отклоняющие пластины размером 120x70 мм расположены внутри ионопровода на выходе из ускорительной трубки ЭГ на расстоянии 1200 мм от входной диафрагмы магнитного анализатора. Расстояние между пластинами 20 мм. Одна из пластин заземлена. Вывод другой пластины осуществлен через плексигласовый изолятор. В указанной геометрии подключение к пластинам напряжения 6 КэВ полностью обеспечивает необходимое отклонение пучка с энергией 1,8 МэВ.

Объединенный институт ядерных исследований

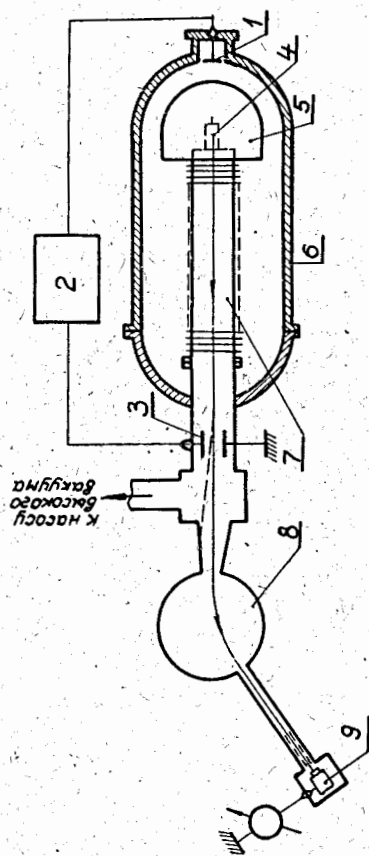


Рис. Блок - схема автоматического сброса пучка с мишени при пробоях напряжения.
 1. Датчик. 2. Схема управления. 3. Отклоняющие пластины.
 4. Ионный источник. 5. Высоковольтный электрод ЭГ.
 6. Котел ЭГ. 7. Ускорительная трубка ЭГ. 8. Магнитный анализатор. 9. Газовая мишень.

ИМПУЛЬСНЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ИОННЫЙ ИСТОЧНИК
С СОТОВОЙ СИСТЕМОЙ ВЫТЯГИВАНИЯ

А. Н. Сербинов, В. И. Морока

Описана конструкция и проведены результаты испытаний импульсного высокочастотного ионного источника с сотовой системой вытягивания /1/ для импульсного нейтронного генератора /ИНГА/ /2/. Конструкция источника показана на рис. 22. Выбор импульсного питания основывался на результатах работ /3/. На высокочастотный генератор подавался импульс напряжения амплитудой 8 кВ и длительностью 5 мксек при частоте следования 1000 гц. Частота генератора 80 мГц. Кольцевой разряд в поперечном магнитном поле возбуждался в разрядной камере объемом 35 см³. Мощность, поглощаемая разрядом, составляла 4 кВт в импульсе. Импульс напряжения вытягивания / U_B / длительностью 1,4 мксек, подавался на катод источника с задержкой на 4,5 мксек по отношению к началу разряда. Было испытано два варианта системы вытягивания, отличающихся величиной зазора между катодом и анодом /1,8 и 2,2 мм/. Для первого варианта на ИНГе при (U_B) 12,5 кВ после ускорения до 270 кВ получен ионный ток в импульсе 21 мА при длительности 1 мксек /2/. Второй вариант испытывался на стенде. Ток мишени / I' м/ измерялся без задержки вторичных электронов. Зависимость / I' м/ от (U_B) показана на рис. 23. Можно ожидать, что второй вариант на ускорителе даст большой ток, так как в первом варианте при (U в) 12,5 кВ (I' м) составлял 67 мА, в то время как во втором варианте при (U в) 20 кВ (I' м) равнялось 220 мА. Расход газа источника на водороде - 15 см³/час.

Л И Т Е Р А Т У Р А:

1. А. Н. Сербинов, В. И. Морока ПТЭ, № 5, 27, 1960г.
2. А. Н. Сербинов, В. П. Якушев, К. А. Резвых, М. В. Соколов, В. К. Лутиков и Т. В. Докторова. Импульсный нейтронный генератор, доклад.
3. Г. С. Малкиэль, Б. И. Суханов. ПТЭ, № 3, 200, 1958, ПТЭ, № 4, 46, 1960г.

физико-энергетический институт

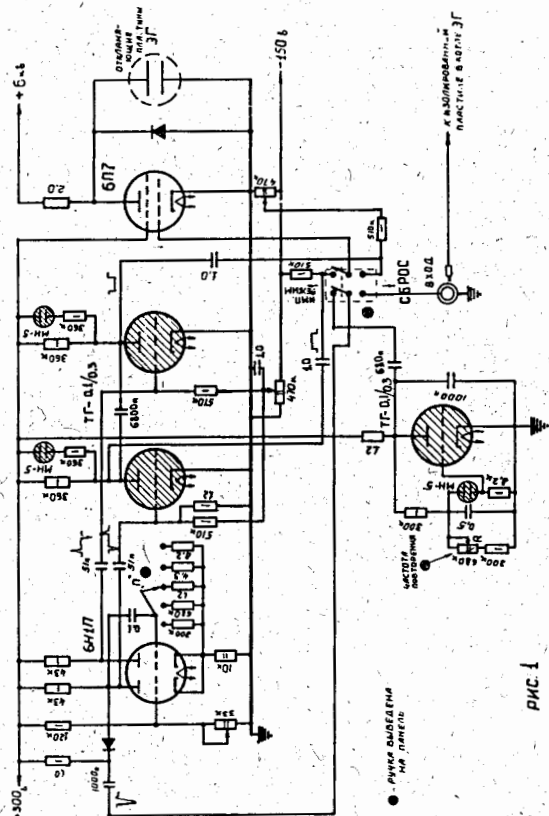


РИС. 21

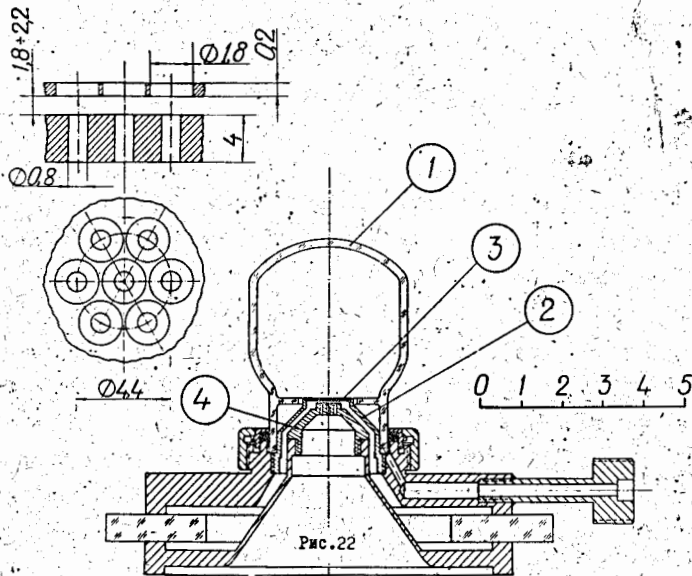


Рис.22

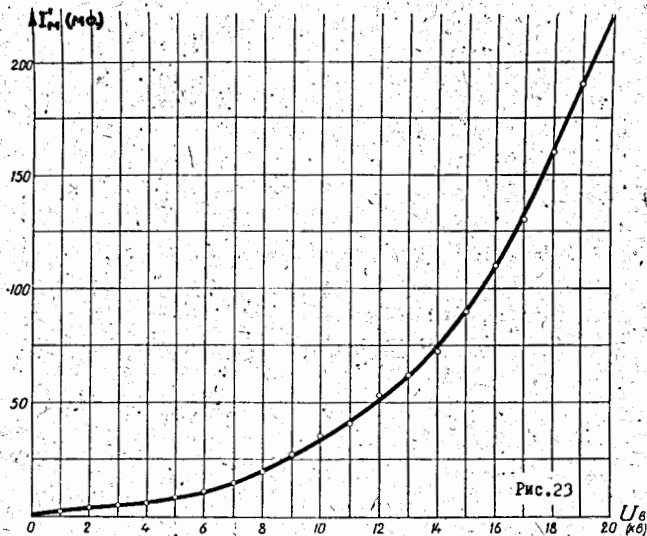


Рис.23

Н.Г.Иванов, В.С.Кузнецов, А.И.Солянышков

С учетом пространственного заряда рассматривается вопрос о расчете и выборе формирующей системы, обеспечивающей на выходе ускорителя пучок заряженных частиц с заданными параметрами. Подробно исследуется формирование пучка перед трубкой при помощи иммерсионных линз. При обычных упрощающих предположениях выводится соотношение, определяющее необходимую величину фокусного расстояния иммерсионной линзы.

Требуемое значение фокусного расстояния линзы, формирующей пучок перед ускорительной трубкой, зависит от фокальной длины пучка:

$$L = \frac{z}{\text{tg} \alpha},$$

где: z, α - радиус и угловая сходящность пучка на входе в трубку.

Показано, что при определенных параметрах пучка на выходе ускорителя существует оптимальное значение потенциала $U = U_{\text{opt}}$ - первого электрода ускорительной трубки, при котором величина L имеет максимальное значение. Приводится график для определения U_{opt} .

Система формирования ионного пучка включает в себя ионный источник типа дуоплазматрона с системой отсоса, обеспечивающей получение после вытягивающего электрода квазипараллельного пучка диаметром 70-100 мм, и электроды фокусирующей системы, в которые для увеличения оптической силы линз введены сетки. Ионный источник с электродами оптики и последний высоковольтный электрод с целью увеличения градиента потенциала в области ускорения введены внутрь частосекционированной ускорительной трубки.

Система формирования позволила получить на расстоянии около 30 см от конца ускорительной трубки пучок ионов при энергии 700 кэВ с током 450 мА в диаметре 15 мм.

На участке ионопровода применена импульсная магнитная линза, которая обеспечила проведение без потерь пучка ионов с током 400 мА на расстояние около 1 м.

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова

ЭКОНОМИЧНЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ

П. С. Маркин

Ионный источник основан на дуговом разряде в аксиальном магнитном поле, с накаленным катодом, полым анодом и изолированным антикатодом (по типу источника Абея, Мекбаха). Источник исследован в постоянном и импульсном режимах работы. В обоих случаях определены оптимальные характеристики источника, сняты спектры ионов, определены газовые КПД и КПД мощности источника.

Источник испытан в импульсном разряде длительностью 300 мксек при 10 посылах в секунду. В спектре ионного тока имеются двухзарядные ионы углерода, азота и кислорода.

Украинский физико-технический институт

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА С ДВУМЯ УСКОРИТЕЛЬНЫМИ ТРУБКАМИ

Манько В.И., Пасечников А.М., Чукреев Ф.Е.

Обычно в электростатических генераторах с двумя ускорительными трубками, ионные источники имеют отдельные системы питания и регулирования. Это вносит существенную погрешность в измерение энергии пучка, приходящего на мишень, т.к. пучки, выходящие из ионных источников, имеют энергии, отличающиеся на несколько киловольт. Определение энергий пучков на входе в ускорительные трубки, обычно производится по показаниям сельсинов-датчиков, установленных на пульте.

При такой методике возможна ошибка за счет следующих факторов:

1. Вытягивание кетгутовой нити, передающей вращающий момент от сельсина приемника к автотрансформатору.
2. Рассогласование сельсина-датчика и сельсина-приемника.
3. Изменения напряжения генератора, питающего все оборудование, находящееся под кондуктором.

Неоднократная калибровка электростатического анализатора в ИАЭ АН СССР подтвердила наличие такой погрешности.

При параллельном питании ионных источников разброс по энергиям ионов регулировочного

и рабочего пучков не превышает обычного разброса высокочастотного источника, т.е. меньше 100 в. Кроме того, значительно упрощается эксплуатация генератора.

Схема параллельного питания источников приведена на рисунке 24. При такой схеме питания на вытягивающие электроды обоих источников подается напряжение от одного выпрямителя. Аналогичным образом питаются фокусирующие системы обоих источников. Описанная система питания ионных источников работает на электростатическом генераторе в ИАЭ АН СССР с 1959 г.

Институт Атомной энергии им. И.В. Курчатова

ИСТОЧНИК ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ДЕЙТЕРОНОВ

О.И. Ехичев, Н.С. Зинченко, И.М. Карнаухов, Р.П. Слабоспицкий

Используя метод пространственного разделения по спинам пучка атомов дейтерия, разработан и изготовлен источник поляризованных дейтронов. Источник работает по следующей схеме.

Диссоциация молекулярного дейтерия на атомы осуществляется в тлеющем разряде, типа трубки Вуда. Пространственное разделение атомарного пучка по электронным спинам и одновременная фокусировка выделенных компонент производится в сильном неоднородном поле магнитного четырехполюсника. Напряженность магнитного поля у полюсов четырехполюсника $H = 20000$ эрстед.

Затем пучок атомов дейтерия адиабатически выводится в слабое магнитное поле ($H = 15$ гаусс), где ионизируется электронным пучком, направленным вдоль оси атомарного пучка. После ионизации образуется пучок поляризованных дейтронов, характеризующийся величиной $G = 0,7$, где G — есть отношение степени заселенности в состоянии с $m_F = 0$ к сумме заселенностей в состоянии $m_F = +1$ и $m_F = -1$.

В настоящее время нами измерена интенсивность компонент пучка атомов дейтерия, выделенных магнитным четырехполюсником ($N = 6 \cdot 10^{15}$ атом/сек), проводится работа по изучению эффективности ионизатора, а также подготавливается аппаратура для исследования степени поляризации пучка дейтронов по реакции $T(d,n)He^4$.

Украинский физико-технический институт

СИСТЕМА ИНЖЕКЦИИ ПУЧКОВ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ
ПЕРЕЗАРЯДНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ ПЗ-5

А. Я. Таранов, Д. З. Левченко

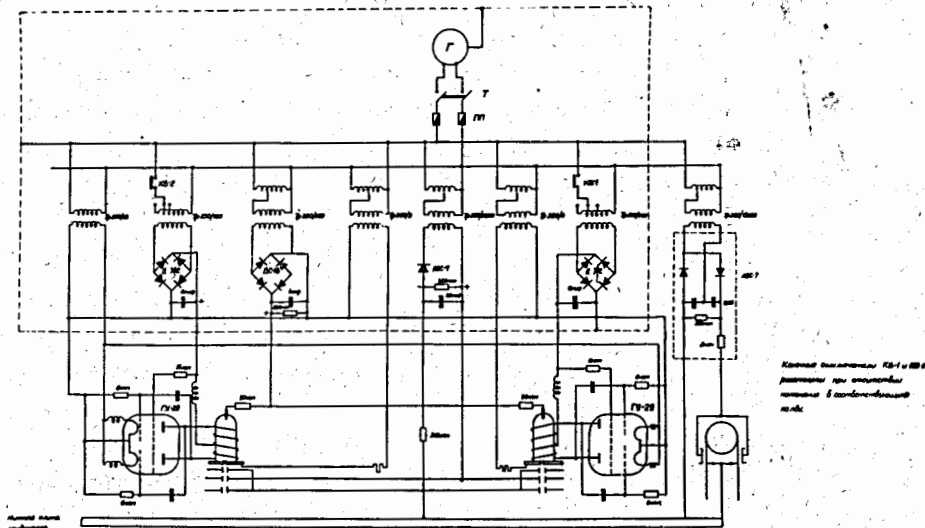


Рис. 24

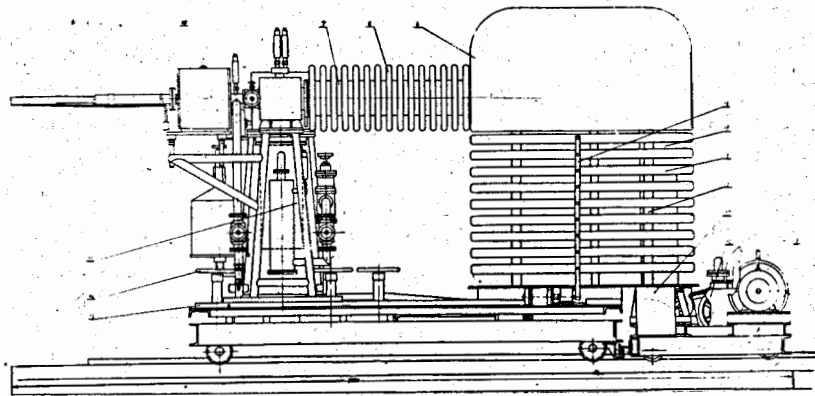


Рис. 25

Источник отрицательных ионов, используемый для инъекции различных отрицательных ионов в перезарядный электростатический ускоритель ПЗ-5, основан на преобразовании положительных ионов в отрицательные при прохождении через пароструйную ртутную мишень. Исследованы оптимальные условия для получения отрицательных ионов водорода, кислорода и гелия. Получены интенсивные пучки отрицательных ионов водорода и кислорода. Описывается ионно-оптическая система перезарядного ускорителя. Изучены условия инъекции пучка отрицательных ионов в перезарядный ускоритель, установлена оптимальная толщина перезарядной газовой (кислородной) мишени, расположенной под кондуктором генератора.

Изучена проходимость пучка по ионопроводу ускорителя при различных напряжениях на кондукторе. При напряжении на кондукторе 1,5 Мэв проходимость (отношение тока протонов выделенных магнитным анализатором к току отрицательных ионов инжектируемых в ускоритель) равна 5%.

Украинский физико-технический институт

ИМПУЛЬСНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

А. Н. Сербинов, В. П. Якушев, К. А. Резвых, М. В. Соколов, В. К. Лутиков,
Т. В. Докторова

Приведены предварительные результаты испытаний и описана конструкция импульсного нейтронного генератора (ИНГа) с предполагаемым выходом нейтронов в импульсе длительностью 1 мксек от Д-Т реакции не менее $3 \cdot 10^{11}$ 1/сек. Общий вид ИНГа показан на рис. 25. Постоянное ускоряющее напряжение 300 кв создается каскадным генератором из девяти каскадов, в качестве ускоряющей трубки использована верхняя секция ускоряющей трубки электростатического ускорителя ЭГ-1. Импульсы ионного тока создаются импульсным питанием высокочастотного ионного источника с сотовой системой вытягивания [1]. Модуляторы на тиратронах вырабатывают импульсы напряжения: 1 + 8 кв длительностью 5 + 9 мксек на нагрузке в 1200 ом для высокочастотного генератора 80 мгц на лампах ГИ-6Б и 3 - + 20 кв длительностью 0,9 + 1,4 мксек на нагрузке 1500 ом для вытягивания ионов. Частота повторения импульсов изменяется в пределах от 50 до 1000 гц. Система питания ионного источника получает энергию от двух генераторов 500 гц, 220 вольт, 750 ва приводимых изолирующим валом длиной 125 см. Каскадный генератор с системой питания ионного источника, ускоряющей трубкой и вакуумной системой расположены на платформе, которая кроме продольного перемещения, может смещаться в боковом и вертикальном направлениях на + 10 см с целью фиксации положения ионопровода длиной 135 см и диаметром 4 см при возможных смещениях ионного пучка. Все вращающиеся машины во избежание передачи вибраций расположены на отдельной тележке, которая имеет гибкое сцепление с платформой.

ИНГ размещается в помещении высотой 2,97 м, шириной 3,25 м, длиной, 6,5 м и имеет возможность перемещаться по рельсам на 2 м.

При ускоряющем напряжении 270 кв, длительность разряда 8 мксек, средней мощности, потребляемой высокочастотным генератором 100 вт, амплитуда импульса напряжения вытягивания 12,5 кв и длительность 1,4 мксек, запаздывание импульса вытягивания относительно начала разряда на 6 мксек, получен на водороде ионный ток 21 ма в импульсе 1 мксек при частоте следования 100 гц. Ток измерен калориметрическим методом на входе в ионопровод.

Л и т е р а т у р а.

1. А. Н. Сербинов, В. И. Морока. Импульсный высокочастотный ионный источник с сотовой системой вытягивания (доклад).

Физико-энергетический институт

МОЩНЫЙ КАСКАДНЫЙ ГЕНЕРАТОР НА 2,5 МэВ

О. Обвинников

Ввиду необходимости получения пучков ускоренных ионов и электронов значительной мощности перед нашим предприятием была поставлена задача сконструировать такой ускоритель прямого действия на напряжение 2,5 МэВ с током пучка ионов (типа КТ-2,5) или электронов (КТЗ-2,5) до 10 ма. Нестабильность напряжения каскадного генератора не должна превышать $\pm 1\%$ и при работе специальной системы стабилизации неустойчивость энергии протонов - $\pm 0,1\%$. При ускорении электронов неустойчивость энергии пучка может достигать $\pm 2,5\%$.

Пучок должен быть сфокусирован в пятно диаметром около 10 мм. Пучок электронов, кроме того, разворачивается специальным устройством на ширину до 750 мм.

Ускорители КТ-2,5 и КТЗ-2,5 имеют настолько широкую унификацию деталей и узлов, что можно говорить о конструкции одного ускорителя, имеющего отдельные конструктивные особенности, в зависимости от типа ускоряемых частиц.

Установка КТ-2,5 (см. рис. 26) имеет источник высокого напряжения в виде 12-каскадной симметричной схемы умножения напряжения с компенсирующими индуктивностями. Две зарядных и одна фильтровая колонны собираются из конденсаторов 0,008 мкф на напряжение 250 кв каждый. Корпуса колонн изготавливаются из эпоксидной смолы. Вентили из селеновых таблеточных элементов диаметром 6 мм рассчитаны на обратное напряжение 250 кв. Вся установка помещена в стальной бак диаметром 3 м, рассчитанный на давление 13 атм рабочей смеси: 25% CO_2 и 75% N_2 . Питание каскадного генератора осуществляется от электромашинного агрегата типа ПВВ-100/8000 мощностью 100 квт, частоты 8 кгц, через два повышающих трансформатора, расположенных в помещении под генератором (см. рис. 26).

О конструктивных особенностях ионного источника говорится в отдельном сообщении. Ускорительная трубка - частосекционированная с электродами сложной формы из нержавеющей стали. Радиус поворота пучка в магнитном анализаторе - 500 мм. Приборы приема и измерения пучка выполнены в виде конусных цилиндров Фарадея, охлаждаемых воздушно-водяным дисперсоидом, подаваемым под давлением 150 атм.

Экспериментальная обработка ускорителя должна быть выполнена на стенде после выпуска опытного образца.

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д. В. Ефремова

СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НЕЙТРОННОГО
ГЕНЕРАТОРА

В. И. Четвертков, А. Л. Федулов

Рассмотрена система стабилизации ускоряющего напряжения (150 + 200 кВ) НГ при токах в трубке 0 + 3 ма.

Основные звенья системы в целом (см. рис. 27):

1. Входное звено.
2. Полупроводниковый резонансный усилитель.
3. Магнитный усилитель.
4. Выпрямитель цепи возбуждения электромашинного агрегата.
5. Цепь возбуждения электромашинного агрегата.
6. Электромашинный агрегат.
7. Каскадный генератор.
8. Потенциометр в цепи корректирующей обратной связи.
9. Высоковольтный делитель.
10. Звено гибкой обратной связи.

Структурная схема стабилизации.

Минимальный статический коэффициент усиления разомкнутой системы равен 75. Проведен расчет устойчивости по методу Гурвица.

Передаточная функция системы имеет вид:

$$K_2(p) = \frac{\kappa(1+pT_9)[1+pT_{10}(1-\kappa_{10})] \frac{1}{K_3}}{[(1+pT_3)(1+pT_5)(1+pT_{10}) + \kappa_0 p T_{10}](1+pT_7)(1+pT_9) + \kappa(1+pT_{10})}$$

где K_i и T_i - коэффициенты усиления и постоянные времени соответствующих звеньев, а

$$\kappa = K_9 \prod_{i=2}^7 K_i, \quad \kappa_0 = K_8 \cdot K_{10} \prod_{i=2}^{10} K_i$$

На рис. 28 представлена принципиальная схема системы стабилизации ускоряющего напряжения НГ.

Принципиальная схема системы стабилизации
ускоряющего напряжения НГ.

Применение полупроводниковых элементов и магнитного усилителя определило ее простоту, компактность. Система позволяет применить источник высокого напряжения с "мягкой" нагрузочной характеристикой, что уменьшает его габариты и стоимость.

Опыт построения такой системы может быть использован и для других ускорителей прямого действия, если требуемая точность составляет $1 \pm 2\%$.

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В. Ефремова

РАСЧЕТ КОНДЕНСАТОРНЫХ СХЕМ УМНОЖЕНИЯ НАПЯЖЕНИЯ

Б. П. Альбертинский, П. В. Курицына, М. А. Хайкин

Излагается инженерная методика расчета конденсаторных схем умножения напряжения.

Для расчета величины выходного напряжения и пульсаций симметричного каскадного генератора с тремя конденсаторными колоннами были получены следующие выражения:

$$U_0 = n U_{b_{\max}} \cdot F \cdot \cos \theta - 2n \Delta U_b - \Delta U_c;$$

$$\delta U = \frac{L_0}{fC} \cdot \frac{n}{2} \cdot \left(1 - \frac{2\theta}{\pi}\right) + \frac{R_{\phi}}{R_{\phi} + 2R_3 + 2R_2 + Z} \cdot (1 - \cos \theta) \cdot (U_{b_{\max}} - 2 \Delta U_b).$$

Здесь угол пропускания вентилей 2θ определяется из выражения

$$\sin \theta - \theta \cdot \cos \theta = \frac{F \cdot L_0}{U_{b_{\max}}} \cdot [2 \cdot R_b + n \cdot (R_{\phi} + 2R_3 + Z)];$$

падение напряжения на вентиле определяется из выражения

$$\Delta U_b = \Delta U_{b_0} + I_0 \cdot R_b;$$

падение напряжения за счет перекачки зарядов в емкостях схемы определяется из выражения

$$\Delta U_c = \frac{I_0}{fC} \left(\frac{2n^3 + 3n^2 + 4n}{12} + \frac{2\theta}{\pi} \cdot \frac{n^2}{2} \right);$$

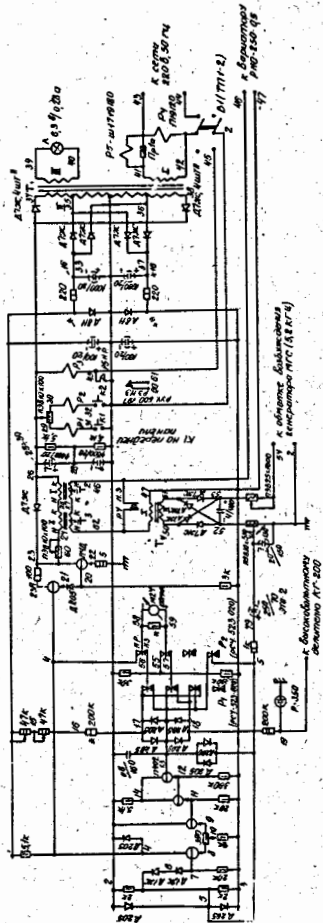
падение напряжения за счет наличия паразитных емкостей конструкции установки определяется из выражения

$$F = \frac{2n \sqrt{\frac{2C_n}{C}} \left(1 - \frac{1}{4\pi^2 f^2 C_n L}\right)}{n \sqrt{\frac{2C_n}{C}} \left(1 - \frac{1}{4\pi^2 f^2 C_n L}\right)};$$

В приведенных формулах приняты следующие обозначения: I_0 - ток нагрузки НГ;

f - частота питания; C - емкость каскада (одинаковая для фильтровой и зарядных колонн);

C_n - паразитная емкость одного каскада схемы; L - параллельная компенсирующая индуктивность, включенная в каждый каскад схемы; n - число каскадов; R_b - внутреннее сопротивление вентилей; ΔU_{b_0} - начальное падение напряжения на вентиле; R_{ϕ} и R_3 - защитные сопротивления, включенные в каждом каскаде фильтровой и зарядных колонн соответственно; Z - внутреннее сопротивление источника питания; $U_{b_{\max}}$ - максимальное



Т. У-01-60	У-01-60	У-01-60
Т. 1500 В, 100 мА	1500 В, 100 мА	1500 В, 100 мА
Т. 1500 В, 100 мА	1500 В, 100 мА	1500 В, 100 мА
Т. 1500 В, 100 мА	1500 В, 100 мА	1500 В, 100 мА

Рис. 28

напряжение между входными зажимами зарядных колонн схемы КГ.

Приведенные формулы, а также аналогичные соотношения для других схем КГ, были неоднократно проверены путем сравнения результатов соответствующих расчетов с измерениями, проведенными на специальных моделях каскадных генераторов с напряжением от 1 до 12 кв и реальных установках с напряжением 300 и 500 кв. Во всех случаях точность расчетов оказалась вполне удовлетворительной.

Анализ полученных выражений показывает, что наибольшее влияние на величину выходного напряжения и пульсации каскадных генераторов оказывают паразитные емкости конструкции и внутреннее сопротивление основного зарядного контура. Расчет выходных характеристик схем умножения напряжения без учета этих параметров и, следовательно, сравнительная оценка схем каскадных генераторов лишь по величине падения напряжения за счет передачи зарядов от каскада к каскаду совершенно недостаточны. В подавляющем большинстве случаев подобные сравнительные оценки приведут к ошибочным заключениям.

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В. Ефремова

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕКЦИЙ УСКОРИТЕЛЬНЫХ ТРУБОК ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ТИПА ВАН де ГРАФА

д-р Тихер

Пробивное напряжение ускорительной трубки ЭГ определяется свойствами ее поверхности, обращенной в вакуум.

Из-за отсутствия ясности в механизме пробоя в трубке, максимальные градиенты для трубок могут быть найдены экспериментально. Этой цели посвящено настоящее исследование.

I. Методика исследования.

Блок схема установки представлена на рис. 29. Как видно из рисунка, исследуемая секция помещается в сосуд, заполненный фреоном (CCl_2F_2) под определенным давлением. Внутренний объем секции откачивается насосом высокого вакуума. Схема состоит из источника высокого напряжения (НСП) напряжением 160 кв, гасительного сопротивления (R_0), измерительного сопротивления (R_M), самописца (KS), усилителя (V), осциллографа (OSZ), форвакуумного (VVP) и высоковакуумного (HVP) насосов. Разрядный ток секции после усиления наблюдается с помощью осциллографа. Вакуумный шиббер под высоковакуумным насосом позволяет производить быструю смену секции.

II. Конструкции секций и результаты исследований.

В качестве изоляционного материала секций ускорительной трубки использовался стеклит. Высота изолятора 25 мм, внешний диаметр 140 мм, толщина стенок 15 мм. Внутренняя поверхность изолятора сделана волнистой. В качестве электродов использовался медный лист толщиной 0,5 мм. Связь между электродом и изолятором осуществлялась эпоксидной смолой. Поскольку на всю ускорительную трубку должно быть приложено напряжение 2 Мв, к каждой секции необходимо было приложить напряжение в 50 кв. (Из некоторых работ следует, что различие в пробивной способности между одной отдельной секцией и трубки, состоящей из 20 секций, составляет $\sim 10 + 20\%$).

Однако при исследованиях мы прикладывали напряжение на 100% превышающее рабочее.

Исследование отдельных секций приводилось в порядке указанном на рис. 30. На этом же рисунке представлены полученные результаты. Обозначения на рисунке определяют:

V_{BT} - напряжение, при котором произошел первый пробой.

V_{DT} - пробивное напряжение, которое не допускает дальнейшего повышения напряжения.

V_B, V_D - значение напряжений в конце опыта.

В секции "а" между электродом и изолятором вставлено медное кольцо таким образом, что между электродом и серебряным слоем на изоляторе имеется гальваническая связь. Сам электрод имеет центральное отверстие 20 мм. Для получения хорошей откачки в электродах имеются отверстия.

По окончании опыта изолятор разбирался и исследовался на наличие видимых пробоев. При обследовании установлено, что пробои были преимущественно в конце серебряного слоя, а также между медным кольцом и серебряным слоем в тех местах, где медное кольцо не полностью прилегало к этому слою.

Исследование, приведенное в секции "в" изменено так, что вместо медного кольца помещался свинец, залитый на это же место. Данные таблицы показывают на худшие результаты, чем предыдущие. При оптическом исследовании следы пробоя были обнаружены в тех местах вакуумной стороны изолятора, где он кончается на свинцовом кольце. Таким образом в секциях "а" и "б" источником ошибок являлось связь изолятор-металл-вакуум. В связи с этим форма электродов была изменена так, как это показано в таблице "с", рис. 30. Одновременно удален вкладыш. Как видно из рисунка, электрическая прочность такой секции значительно большая. Однако одни только эти показатели не дают еще полного представления о поведении секции. Для этого необходимо учитывать, как меняется напряжения на секции во время проведения опыта. На рис 31 изображена эта зависимость напряжения от времени наблюдения, записанная самописцем. Наблюдаемые пики представляют собой пробой напряжения. Каждая кривая рис. 31 относится к соответствующей секции. Если сравнить их между собой, можем увидеть, что кривая d секции "d" (см. рис. 30) выражает несколько лучшие электрические свойства. Это относится не только к величине пробивного напряжения, но и к частоте пробоев во время проведения опыта.

Рассмотрим кривую рисунка "d", так как из этого рассмотрения можно сделать некоторые выводы о постановке опытов на ускорительной трубке. Первый пробой происходит при сравнительно высоком напряжении. Если учесть что каждый пробой может привести к порче или даже разрушению трубки, то становится ясным что исследования лучше проводить секционно.

Факторы влияющие на электрическую прочность всей трубки будут выяснены в последующих исследованиях.

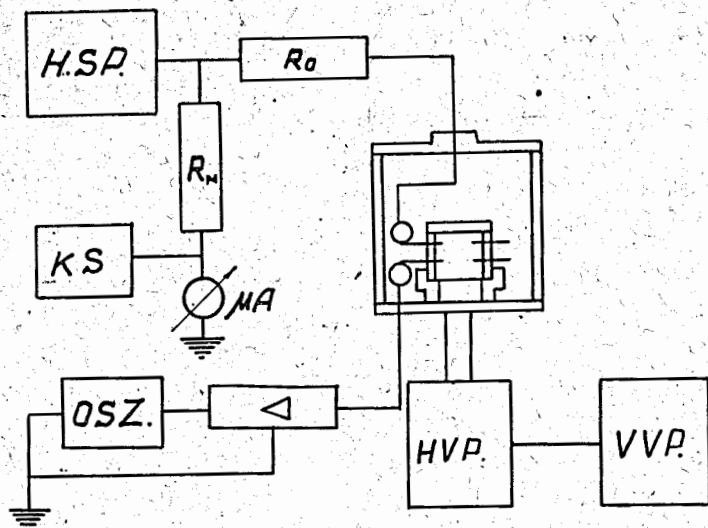


Рис.29

	а	б	в	д
	ЭПОКСИДНАЯ СМОЛА СЛОЙ СЕРЕБРА МЕДНОЕ КОЛЬЦО	СВИНЦОВОЕ КОЛЬЦО	СЛОЙ СЕРЕБРА	БЕЗ СЕРЕБРА.
$U_{бр}$	41 кВ	26 кВ	69 кВ	72 кВ
$U_{бр}$	81 кВ	74 кВ	93 кВ	137 кВ
$U_в$	81 кВ	66 кВ	69 кВ	108 кВ
$U_о$	81 кВ	75 кВ	93 кВ	139 кВ

Рис.30

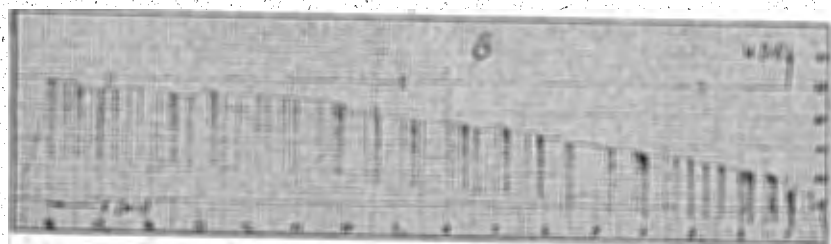


Рис. 31