

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



7792

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

13 - 7792

Н.С.Глаголева, В.Д.Володин, Ю.Лукстиныш,
М.И.Козлов, Ю.А.Каржавин, П.С.Кузнецов, А.Т.Матюшин,
В.Т.Матюшин, В.С.Пак, Н.С.Руденко, В.И.Сметанин,
В.И.Цветков, А.А.Шатанов, Э.А.Шевченко, А.Ф.Юдин

ГЕНЕРАТОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ
ДУХМЕТРОВОЙ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ ОИЯИ

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Н.С.Глаголева, В.Д.Володин, Ю.Лукстиньш,¹
М.И.Козлов,² Ю.А.Каржавин, П.С.Кузнецов, А.Т.Матюшин,
В.Т.Матюшин,¹ В.С.Пак,² Н.С.Руденко,² В.И.Сметанин,²
В.И.Цветков,² А.А.Шатанов,² Э.А.Шевченко, А.Ф.Юдин²

ГЕНЕРАТОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ
ДВУХМЕТРОВОЙ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ ОИЯИ

Направлено в ПТЭ

¹ ЛВЭ ОИЯИ.

² НИИЯФ ТПИ.

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Работа выполнена совместно сотрудниками Лаборатории высоких энергий, Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ и НИИЯФ при Томском политехническом институте.

Для функционирования стримерной камеры необходимо подать на ее электроды высоковольтный импульс длительностью 10–15 нсек со стабильными параметрами. Наиболее употребительным способом обеспечения стабильных параметров импульса на электродах большой стримерной камеры является использование для формирования импульса генератора с двойной формирующей линией – блайн-генератора /2/ и согласование электрических импедансов генератора и камеры.

Описываемый генератор разрабатывался для двухметровой камеры /1/, имеющей два рабочих зазора по 30 см и ширину среднего электрода ~100 см. Волновое сопротивление камеры ~ 38 Ом, напряженность электрического поля в камере для получения следов удовлетворительного качества должна быть 10–15 кВ/см и более. Нестабильность амплитуды импульса для получения стримеров достаточно постоянной длины не должна превышать значений $1-2\%/4/$.

В состав разработанного генератора входит 10-каскадный ГИН, зарядная индуктивность, коаксиальная двойная формирующая линия с коаксиальным двухэлектродным разрядником, смонтированный в трехсекционном герметичном кожухе с трансформаторным маслом. Генератор с вспомогательными устройствами для заполнения кожухов маслом под вакуумом, заполнения разрядников ГИН и формирующей линии газом размещен на подвижной тележке и снабжен баком для слива масла и противопожарными устройствами.

В качестве источника высокого напряжения применен выпрямитель типа ВС-50/50, также смонтированный на подвижной тележке и снабженный стабилизатором сетевого напряжения и баком с сопротивлением зарядной цепи ГИН, также заполненный трансформаторным маслом.

Общий вид генератора показан на рис.1.

Схема генератора и контрольно-измерительная аппаратура

В процессе разработки были исследованы две основные схемы заряда формирующей линии. В первой схеме (рис. 2а), выбранной на основании исследований макета генератора на $200 \text{ кВ}^{5/}$, двойная формирующая линия (ДФЛ) заряжается генератором заряда (ГИН) через сопротивление R_3 (емкость формирующей линии при заряде C_{Φ}). Заряжая ФЛ через активное сопротивление, можно рассчитывать на увеличение длительности плоской части импульса на ДФЛ и соответственно повышение стабильности выходного напряжения. Для коммутации ДФЛ использовался трехэлектродный разрядник^{5/} (P_{Δ}).

Во второй схеме (рис. 2б) ДФЛ заряжается от ГИН через индуктивность (L_3) так же, как и в работе ^{2/}. Коммутация ДФЛ производится с помощью двухэлектродного коаксиального разрядника (P_{Δ}). Включение индуктивности в цепь заряда ДФЛ позволяет удвоить амплитуду импульса на ДФЛ по сравнению с ее значением в первой схеме.

Для контроля и измерений параметров выходного импульса использована специально разработанная для этой цели аппаратура^{6/}, включающая измеритель амплитуды импульса, задержки его относительно запускающего и осциллограф для контроля формы импульса.

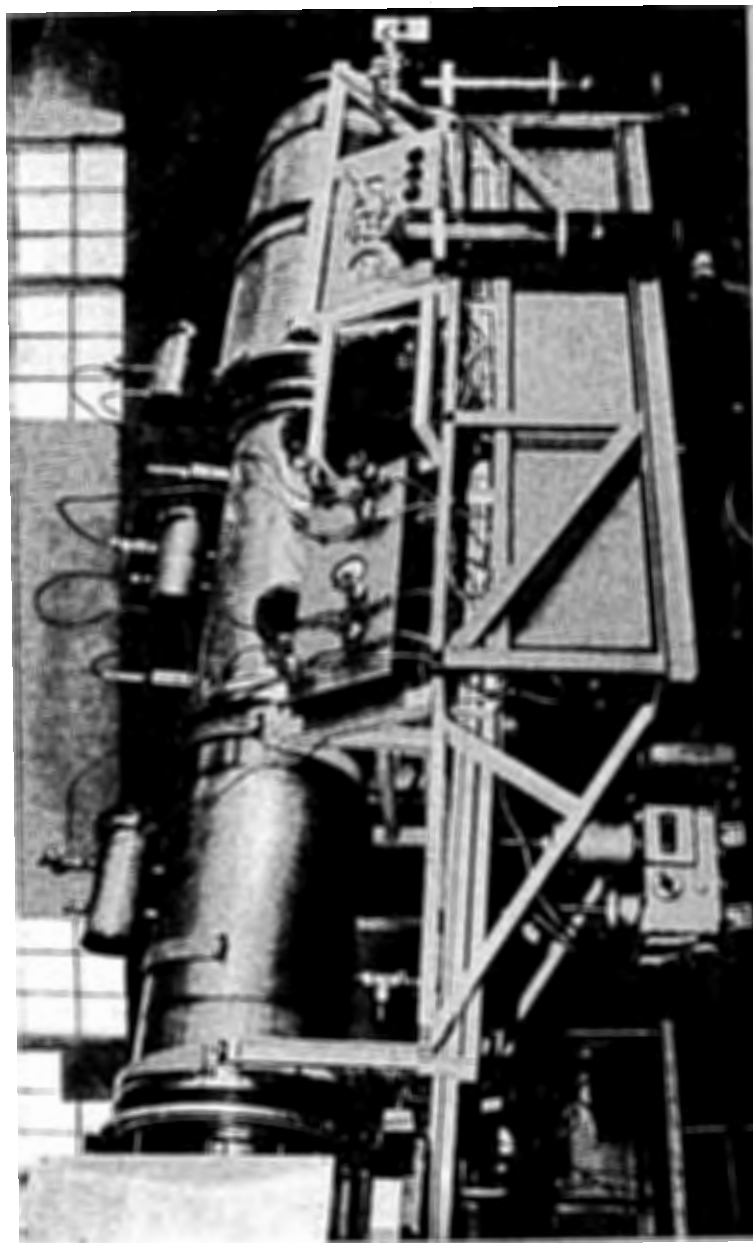


Рис.1. Общий вид генератора.

Аппаратура позволяет производить измерение абсолютного значения амплитуды импульса с высокой точностью (5-7%) и контролировать стабильность амплитуды и задержки.

Запуск генератора осуществляется от блоков с водородным тиристором на 25 кВ^{7/7}.

Основные узлы генератора

ГИН. Принципиальная электрическая схема ГИН с элементами конструкции приведена на рис.3. Конденсаторы C_1-C_{10} (0,06 мкФ) через сопротивление $R_1 - R_{20}$ заряжаются от источника высокого напряжения (ВН). После подачи импульса запуска ("запуск") срабатывают разрядники P_1-P_{10} , и импульс напряжения с верхнего электрода (ВЭ) подается через зарядные элементы на двойную формирующую линию. В схеме генератора используются конденсаторы промышленного ГИН-400-0,06/5. Конденсаторы расположены на полках "этажерки" со стойками из винипласта общей высотой ~ 1400 мм. Для предотвращения перемещений конденсаторы фиксируются с помощью рамок из электрокартона и поджимаются верхней полкой. Полки выполнены из оргстекла, для усиления изоляции между конденсаторами употреблены прокладки из электрокартона.

В качестве зарядных использованы сопротивления ТВО-60 величиной 750 Ом (R_1-R_{15}) и 200 Ом ($R_{16}-R_{20}$) каждое. Концы сопротивлений для уменьшения перенапряжений в конструкции закреплены в металлических втулках с закругленными краями. Сопротивления размещены в 4-х бакелитовых трубах по пять штук в каждой. Бакелитовые трубы с сопротивлениями распределены по окружности генератора и притянуты к нижнему фланцу верхней полкой "этажерки".

Для защиты конденсаторов от перенапряжений поверх бакелитовых

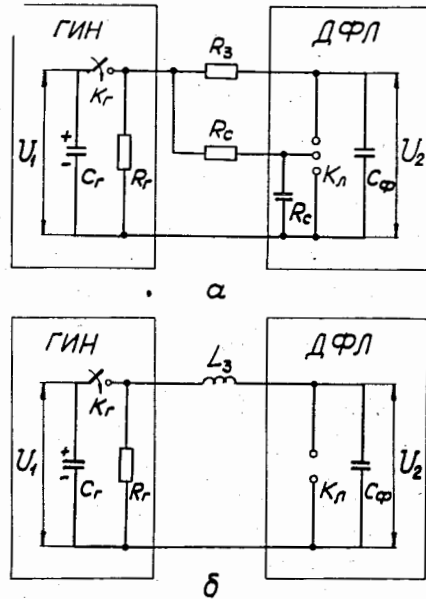


Рис.2. Эквивалентные схемы генератора для процесса заряда ДФЛ, осуществляемого: а) через активное сопротивление; б) через индуктивность.

труб располагаются защитные кольца K_1-K_{24} диаметром 520 мм из медной трубки диаметром 22 мм (на рис.3 показаны в развернутом виде), электрически соединенные с соответствующими втулками в трубах. За счет последовательного смещения сопротивлений кольца равномерно распределены по высоте, последнее кольцо связано с полкой металлической полусферы – выходным электродом ГИН. Все электрические соединения ГИН осуществлены путем подключения элементов к кольцам. (Кольца K_1, K_{23} в реальной конструкции отсутствуют).

Разрядники ГИН размещены в трубе (Т) из оргстекла, также укрепленной между нижним фланцем ГИН и верхней полкой "этажерки". Для предотвращения перекрытий по стенкам трубы электроды имеют экраны вне ее, размеры и конструкция которых были выбраны при моделировании распределения электрического поля. Первый разрядник снабжен третьим электродом для управляемого запуска ГИН. Труба с разрядниками наполняется азотом под давлением. ГИН смонтирован в цилиндрическом герметичном кожухе из нержавеющей стали диаметром 700 мм, который наполняется маслом под вакуумом. С выходной стороны кожуха ГИН имеется изолятор из оргстекла толщиной 3 см того же диаметра, вывод напряжения осуществляется электродом с охранным кольцом, герметично укрепленным в центре изолятора.

Примененное схемно-конструктивное решение задачи защиты ГИН от перенапряжений с помощью колец позволило равномерно распределить напряжение по высоте генератора при срабатывании и снизить неравномерности электрического поля как до, так и после срабатывания ГИН. На рис.3 слева стрелками показано направление электрического поля и его распределение при заряде конденсаторов, справа – после срабатывания, если полярность источника высокого напряжения положительная. Фотография общего вида ГИН со снятым кожухом приведена на рис.4.

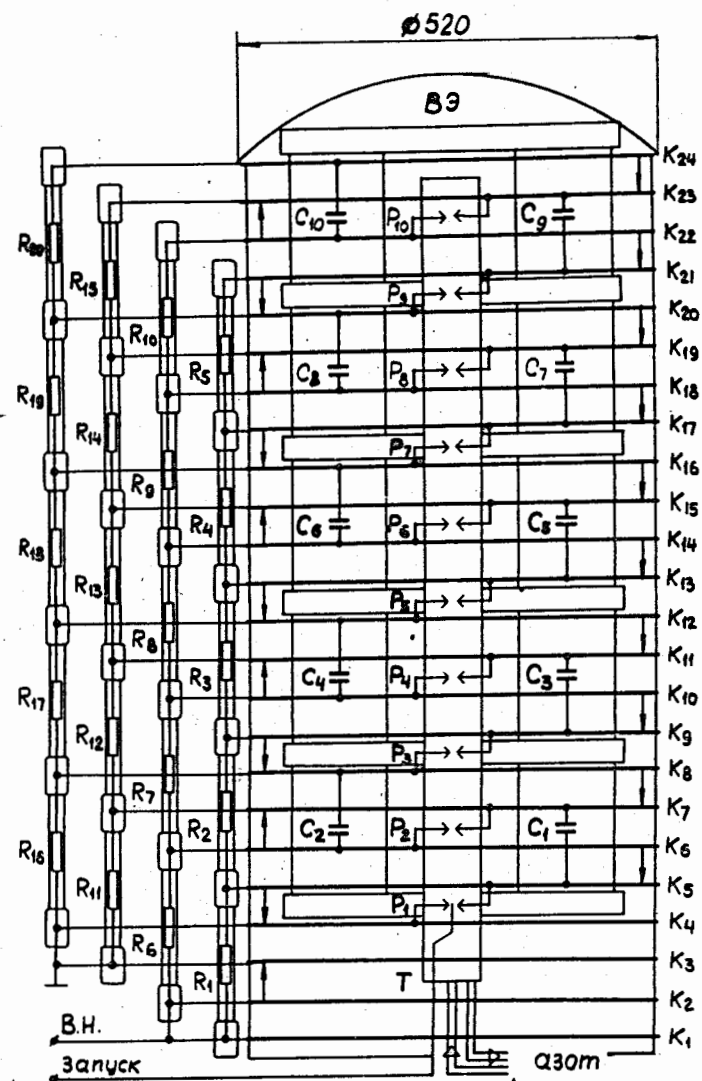


Рис.3. Принципиальная электрическая схема ГИН с элементами конструкции.

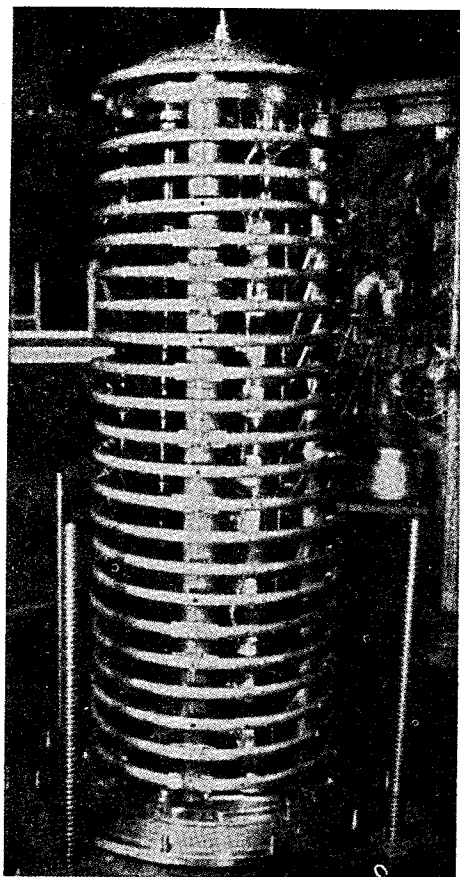


Рис.4. Фотография ГИИ со снятым кожухом.

Зарядная индуктивность L_3 выполнена из медной трубки диаметром 30 мм, свернутой в спираль, и содержит 11 витков на длине 600 мм. Диаметр намотки - 240 мм. Индуктивность размещается в кожухе, аналогичном кожуху формирующей линии. Изоляция - трансформаторное масло.

Расчетное значение индуктивности с учетом экранирования кожухом $\sim 4,6$ мГц, резонансная частота в схеме ГИИ $L_3 - C_{\Phi}$ 2,5 МГц, индуктивность ГИИ при этом $\sim 1,6$ мГ.

Коаксиальная двойная формирующая линия - ДФЛ. Схемно-конструктивное выполнение ДФЛ ясно из рис.5. ДФЛ размещена в цилиндрическом кожухе диаметром 500 мм, который одновременно является наружным электродом линии. Диаметр среднего электрода 320 мм, внутреннего - 200 мм (в первом варианте - 220 мм). Материал - дюралюминий. Длина линии (средняя) - 1,1 метра, выходное сопротивление $Z_1 + Z_2 = 32$ Ом. Средний электрод линии (2) крепится непосредственно к разряднику (1), центральный - к выходному изолятору (3). (В первоначальном варианте для улучшения соосности цилиндров применялись кольца из оргстекла и текстолита). Средний электрод ДФЛ присоединен к стакану (4), с помощью этого стакана осуществляется соединение ДФЛ с центральным электродом линии передачи импульса к камере. Расчетное значение емкости линии ~ 600 пФ, расчетное значение длительности импульса ~ 11 нсек (первоначальный вариант).

Разрядник линии. В схемах с ДФЛ разрядник должен коммутировать заряженную линию с волновым сопротивлением, составляющим половину выходного. Так как волновое сопротивление камеры сравнительно мало, он должен обеспечить работу линии с сопротивлением 15-20 Ом. Это означает, что индуктивность разрядника должна быть сведена до минимальной величины. Время его коммутации также должно быть минимальным.

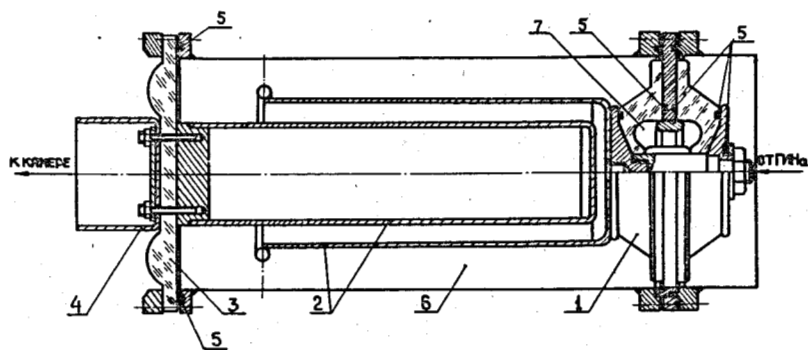


Рис.5. Эскиз конструкции двойной формирующей линии.

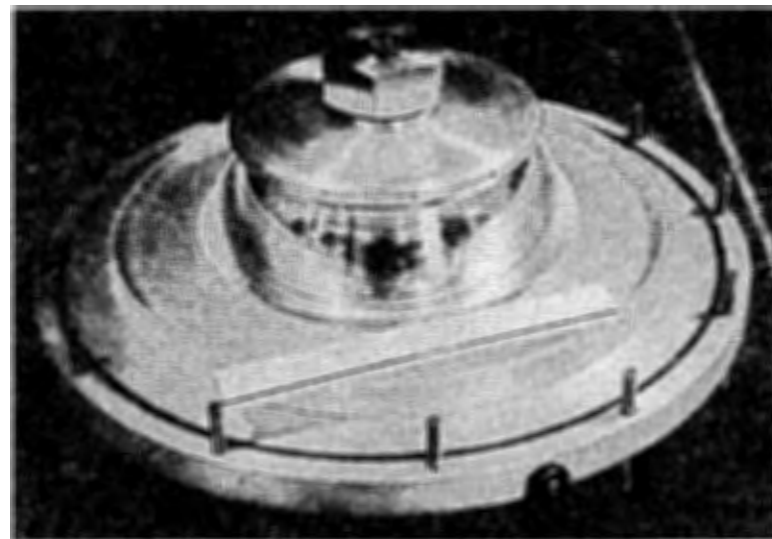


Рис.6. Внешний вид разрядника формирующей линии.

В схемах импульсной зарядки ДФЛ разрядник должен сработать по достижении максимума амплитуды импульса, т.е. в определенный момент времени. При этом амплитуда выходного импульса ДФЛ также максимальна и при постоянстве амплитуды зарядного напряжения стабильна. Естественно, что чем более "плоской" является вершина импульса заряда, тем меньше требования к временному "джиттеру" разрядника.

В первом варианте схемы формирования (рис.2а) для стабилизации амплитуды импульса использовался трехэлектродный разрядник /5/. Однако индуктивность его оказалась значительной, что привело к существенному увеличению длительностей импульса и его фронтов и уменьшению амплитуды. (30 нсек вместо 18 нсек по расчету).

Применение обычного двухэлектродного разрядника с близким к однородному полю и ровной поверхностью электродов приводит к большой нестабильности амплитуды импульса (~5%). Для уменьшения временного "джиттера" катод должен иметь неровности, создающие местные неоднородности поля и являющиеся центрами автоэмиссии электронов при подаче напряжения на разрядник. При средних напряженностях поля 300-400 кВ/см за счет неровностей катода поле вблизи них увеличивается и становится достаточным для инициации пробоя разрядного промежутка.

В соответствии с этим цилиндрический катод коаксиального разрядника имеет два кольцевых выступа высотой 0,5 мм. Внешний вид разрядника формирующей линии представлен на рис.6.

Вспомогательное оборудование. Генератор смонтирован на 4-колесной платформе, где располагается бак для слива масла, форвакуумный насос, баллоны с газом для наполнения разрядников, электрический щиток и щиты с маслогазораспределительными элементами, поддоны и огнетушительное устройство.

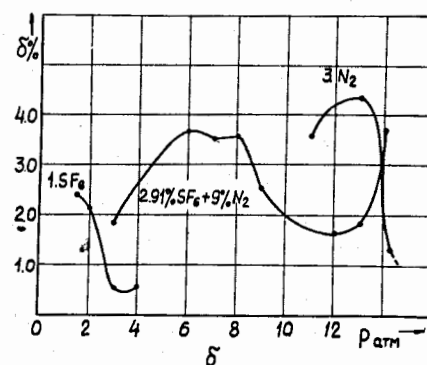
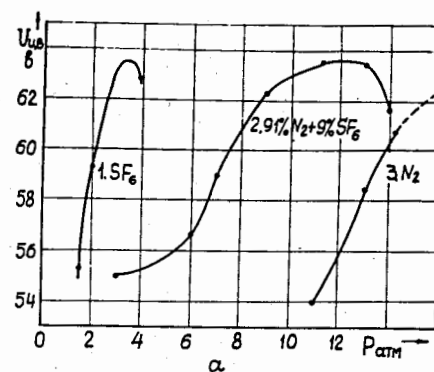


Рис.7. а) Зависимость амплитуды выходного импульса $U_{цв}$ (относительные единицы) от давления в разряднике линии P (атм) для различных газов: 1-элегаз, 2-91% азота+9% элегаза, 3-азот.
б) Зависимость нестабильности амплитуды выходного импульса δ % от давления в разряднике линии P (атм) для различных газов.

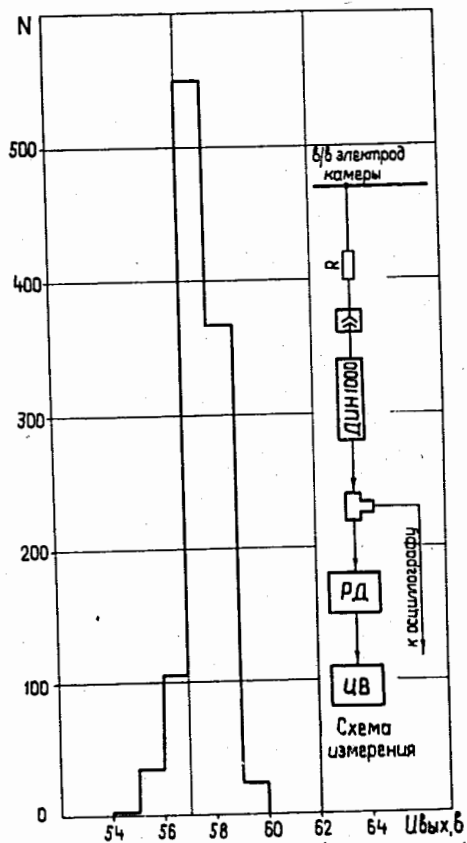


Рис.8. Гистограмма для амплитуд импульса на согласующей нагрузке камеры.

Бак для слива масла выполняет роль маслоприемника в случае аварийной ситуации. Габаритные размеры бака (мм) 2000x1100x350. В верхней части бака имеются два отверстия диаметром 100 мм, закрытые сеткой (размер ячейки 3x3 мм). Отверстия бака соединяются трубой с поддонами, находящимися над баком. Дно поддонов имеет уклон в сторону труб, для стока масла в бак.

Длина и ширина поддонов соответственно превышают длину и ширину генератора на 50 мм.

Огнетушительное устройство представляет собой стальные трубы диаметром 20 мм с высверленными в них с шагом 25 мм отверстиями $\varnothing 1,4$ мм, присоединенные к баллонам с азотом.

Трубы окантовывают поддоны. При продуве азота вокруг генератора создается азотная завеса, препятствующая распространению огня.

Для сбора и транспортировки масла на регенерацию в составе аппаратуры имеется бак емкостью 1,5 м³. Его габаритные размеры (мм) 1840x1240x960. Бак смонтирован на отдельной подвижной тележке и также может быть использован для аварийного сброса масла под давлением.

Экспериментальные результаты

Зависимость амплитуды выходного импульса генератора и ее нестабильности от давления в разряднике линии и рода газа, его наполняющего, приведена на рис.7а,б. Лучшая стабильность получена при наполнении разрядника элегазом. Минимальные значения нестабильности амплитуды соответствуют срабатыванию разрядника вблизи вершины импульса, где скорость изменения напряжения минимальна.

На рис.8 приведена гистограмма разброса амплитуд импульса на согласующей нагрузке камеры, полученная за 8 часов при запуске ге-

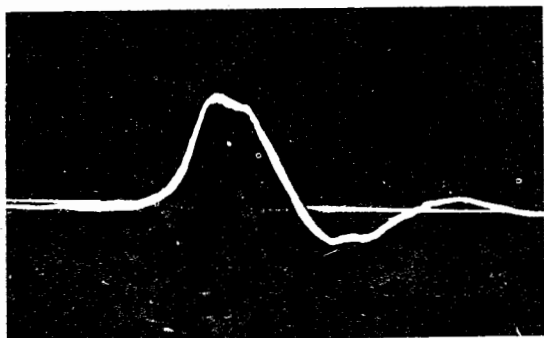


Рис.9. Осциллограмма выходного импульса.

нератора с камерой на синхрофазотроне. Рядом изображена схема измерений. Импульс, снимаемый с высоковольтного электрода камеры через омический делитель с коэффициентом деления ~ 1000 (ДИН-1000), поступал на расширитель и далее на цифровой вольтметр, показания которого с помощью цифропечатающей машинки списывались на бумажную ленту. Как можно видеть, ширина распределения на полувысоте не превышает значения 2% за сравнительно длительный промежуток времени (8 часов). Предварительные оценки потерь напряжения на разряднике линии показывают, что их величина достигает значений 20-25% в реальных условиях. Общие потери напряжения с учетом резонансного процесса заряда ДФЛ относительно зарядного на ГИН больше. Расчетный коэффициент увеличения напряжения на ДФЛ при заряде - 1,78, практически отношение выходной амплитуды импульса к зарядному напряжению ГИН, равно 1,15, разница между этими величинами может быть объяснена потерями из-за конечного значения крутизны нарастания напряжения на выходе ГИН, потерями в зарядных сопротивлениях ГИН и потерями в разрядниках.

На рис.9 приведена осциллограмма выходного импульса генератора. Амплитуда импульса ~ 450 кВ. Длительность на полувысоте 15,5 нсек (расчетное значение 11 нсек), длительность переднего фронта - 5-6 нсек, заднего - 7-8 нсек. Разница в величинах расчетной и экспериментально определенной длительностей импульса, как показывает предварительный анализ, может быть объяснена наличием разности в длинах отдельных линий, составляющих двойную формирующую линию и наличием индуктивности коммутатора, определяемой индуктивностью искры и подводящих проводников, а также временем срабатывания коммутатора. Расчетное значение индуктивности коммутатора $42 \cdot 10^{-9}$ Гн. Это соответствует наблюдаемой длительности фронта выходного импульса.

Генератор испытан на стенде и ускорителе совместно с двухметро-

вой стримерной камерой. На рис.10а приведена фотография ливня космических частиц, зарегистрированных в камере. На рис.10б видны треки, полученные при экспонировании камеры в пучке протонов с энергией 8,3 ГэВ/с на ускорителе (длит. имп. 10,5 нсек). В процессе испытаний генератора с формирующей линией, рассчитанной на получение выходного импульса длительностью ~ 8 нсек, амплитуда выходного импульса была доведена до ~ 700 кВ на согласующей нагрузке 35 Ом, включенной на выход генератора. При этом наблюдается перекрытие выходного изолятора на воздухе.

Таким образом:

1. Разработан стабильный генератор высоковольтных импульсов, обеспечивающий питание двухметровой стримерной камеры с двумя рабочими зазорами по 30 см при длительности импульса 10-15 нсек с выходной амплитудой не менее 700-800 кВ.

2. Проведено экспериментальное сравнение двух схем заряда двойной формирующей линии.

3. Решены вопросы защиты бумаго-масляных конденсаторов от перенапряжений в схеме ГИИ.

4. Получено удовлетворительное согласие для расчетных и экспериментальных параметров выходного импульса генератора.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Л.Г.Макарову, С.А.Шелеву, И.Ф.Фурсову, Б.К.Курятникову за помощь на различных стадиях работы.

Авторы благодарны Р.Фирковскому, В.Олейничу и др. сотрудникам ИЯИ ПНР (г. Лодзь), участвовавшим в обсуждении конструкции генера-

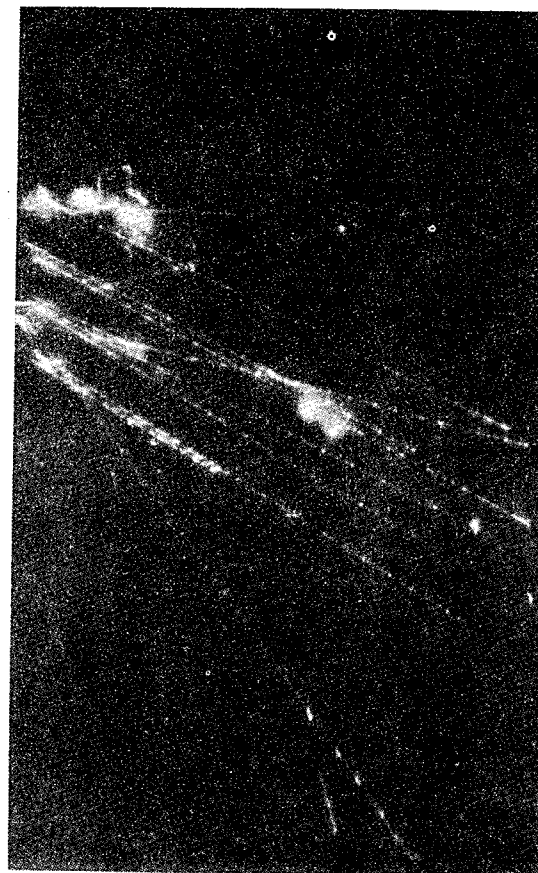


Рис.10. а) Ливень космических частиц в двухметровой камере при длительности высоковольтного импульса 15,5 нсек.

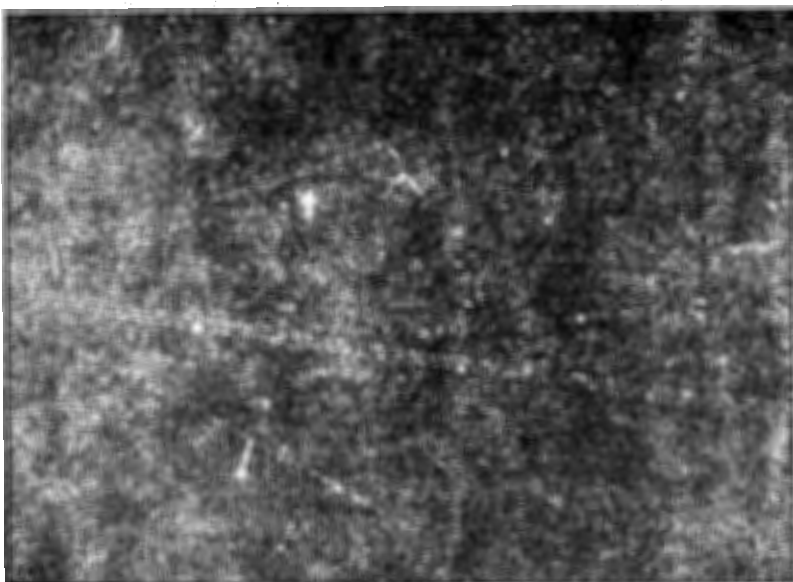


Рис.10. б) Треки, зарегистрированные при работе камеры в магнитном поле на ускорителе (длительность высоковольтного импульса 10,5 нсек).

тора, а также С.А.Краснову, Н.Н.Графову, В.Садилкову, А.И.Завгороднему, Б.Е.Роганову, В.Я.Рубцову за активную помощь на всех этапах разработки и подготовки генератора к эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.Х.Аникина, А.М.Балдин, Г.А.Варденга и др. Препринт ОИЯИ I3-4527, стр.II, Дубна, 1969.
2. F.Bulos, A.Odian, F.Villa, O.Yount, SLAC-74, 1967.
3. G.A.Vardenga, V.D.Volodin, N.S.Glagoleva, Yu.A.Karzhavin et all. 1973 International Conference on Instrumentation for High Energy Physics. Frascati (Italy) 8-12 May 1973.
4. В.Д.Володин, Н.С.Глаголева, Ю.А.Каржавин, П.С.Кузнецов и др. Препринт ОИЯИ P13-5529, Дубна, 1970.
5. Н.С.Руденко, В.И.Цветков. ПТЭ, 2, 1972.
6. Н.С.Глаголева, В.Д.Володин, С.А.Краснов, П.С.Кузнецов и др. Аппаратура контроля режима 2-метровой стримерной камеры. ОИЯИ, P13-78II, Дубна, 1974.
7. В.Д.Володин, П.С.Кузнецов, А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин. Препринт ОИЯИ, I-6734, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 марта 1974 года.