

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

4-24

13-88-35

**В.Д.Аксиненко, Е.А.Дементьев, Н.И.Каминский,
В.Т.Матюшин, А.Т.Матюшин, В.Н.Ряховский**

**ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ГЕНЕРАТОР
НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ
С КОНДЕНСАТОРАМИ ФМ-100-15УЗ
ДЛЯ ПИТАНИЯ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ**

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

1988

При использовании стримерной камеры в различных физических экспериментах на ускорителе одной из важнейших задач становится обеспечение ее стабильной и непрерывной работы, которая прежде всего зависит от надежности и стабильности работы высоковольтного генератора наносекундных импульсов, питающего камеру. Разработанный нами генератор^{/1/} на базе промышленного ГИН-500-0,02/5 позволил достичь 10^5 срабатываний до пробоев конденсаторов и упростить технологию их замены. При этом рабочее напряжение заряда конденсаторов ГИН составляло 85% от номинального. Ниже описывается генератор двухметровой стримерной камеры ОИЯИ, обеспечивающий дальнейшее повышение ресурса бесперебойной работы.

В состав разработанного генератора входит 10-ступенчатый генератор импульсных напряжений (ГИН) с зарядной индуктивностью и коаксиальная двойная формирующая линия (ДФЛ) с двухэлектродным

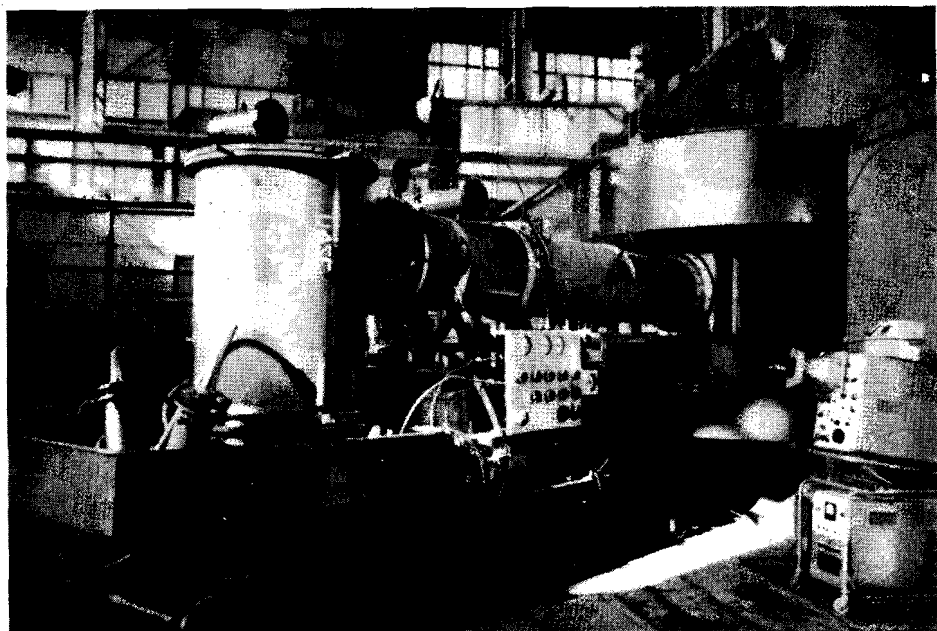


Рис. 1. Общий вид генератора в состыкованном со стримерной камерой состоянии.

газовым разрядником. Генератор с устройствами для заполнения кожухов трансформаторным маслом и заполнения разрядников ГИН и ДФЛ газом размещен на подвижной тележке. Общий вид генератора в состыкованном со стримерной камерой состоянии показан на рис. 1.

В отличие от генератора^{1/1} с ГИН-500-0,02/5, здесь применен ГИН с разнополярной зарядкой ступеней, что позволило разместить ГИН в том же кожухе и увеличить ресурс его работы за счет снижения в 1,5 раза уровня зарядного напряжения конденсаторов ступеней. Фотография генератора со снятым кожухом ГИН приведена на рис. 2.

ГИН собран на основе конденсаторов типа ФМ-100-15УЗ, которые в две колонны (по 5 шт. в каждой) установлены на основании из оргстекла толщиной 40 мм для изоляции от металлического основания кожуха. Расстояние между колоннами — 20 мм, между конденсаторами в колоннах разделены пластиной из оргстекла толщиной 5 мм. Одна колонна с конденсаторами заряжается положительным напряжением, другая — отрицательным от двухполярного источника типа РАП-150/300 через катушки индуктивности (~80 мкГн), намотанные проводом МГШВ в один слой на винипластовую трубку диаметром 30 мм (по цепи "земля" используются резисторы типа ТВО-20-5,1 кОм). Для предотвращения перемещений конденсаторов сверху колонн установлен конусный изолятор из оргстекла, который посредством двух шпилек из капролона закреплен с основанием генератора. Вывод высокого напряжения на средний электрод ДФЛ^{2/1} осуществляется с по-

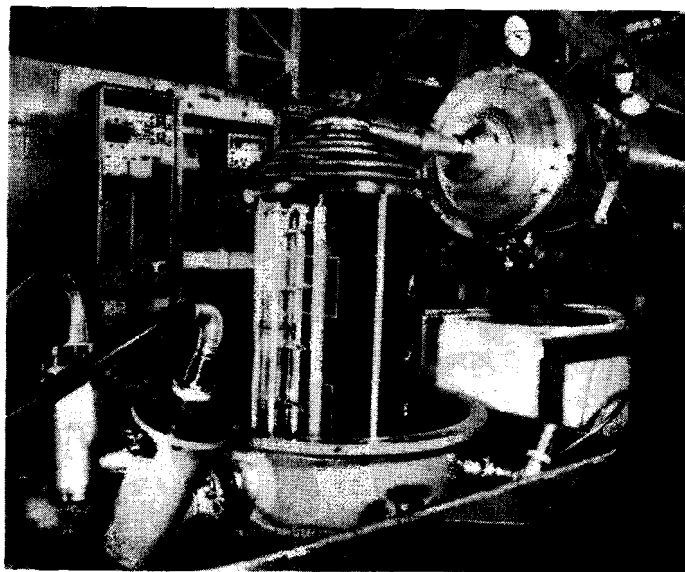


Рис. 2. Фотография генератора со снятым кожухом ГИН.

мощью зарядной индуктивности (6 витков; 7,4 мкГн), которая размещена на конусном изоляторе и представляет собой спираль полусферической формы^{1/1} из медной трубки диаметром 20 мм. Разрядник ГИН состоит из пяти модулей-секций в виде трубы подобно описанному в^{3/1}, и позволяет увеличивать давление газа (N_2 , CO_2 или их смесь) до 0,6 МПа. ГИН помещен в стальной кожух (диаметр 750 мм, высота 1400 мм) с трансформаторным маслом.

Отличительной особенностью является применение в первом модуле четырехэлектродного управляемого разрядника с простой схемой запуска, аналогичного (по принципу действия) разряднику двухполярного Blumlein-генератора^{4/1}. Конструкция разрядника представлена на рис. 3а. Корпус (1) разрядника выполнен из оргстекла в виде цилиндра с внутренним диаметром 60 мм и толщиной стенки 16 мм. Основные электроды (2) разрядника изготовлены из нержавеющей стали с диаметром полусферы 30 мм и радиусом закругления 3 мм. Запускающий (3) и дополнительный (4) электроды — иглы из вольфрама диаметром 3 мм, расположены посередине между основными электродами. Все электроды закреплены на регулировочных шпильках (5), которые находятся во втулках (6) и стопорятся в заданном положении контрвинтами (7). Втулки герметично установлены в отверстиях корпуса разрядника и герметично закрыты заглушками (8).

Исследование электрических параметров разрядника проводилось на одной ступени ГИН с разнополярной зарядкой, в которой был установлен исследуемый разрядник. Схема измерений приведена на рис. 3б. Здесь С — конденсаторы ФМ-100-15УЗ первой ступени ГИН, в исходном состоянии заряженные через защитные резисторы R_0 от двухполярного источника РАП-150/300. Разрядник поджигается импульсом отрицательной полярности (амплитуда — 18 кВ, длительность фрон-

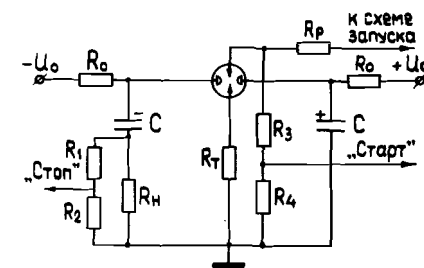
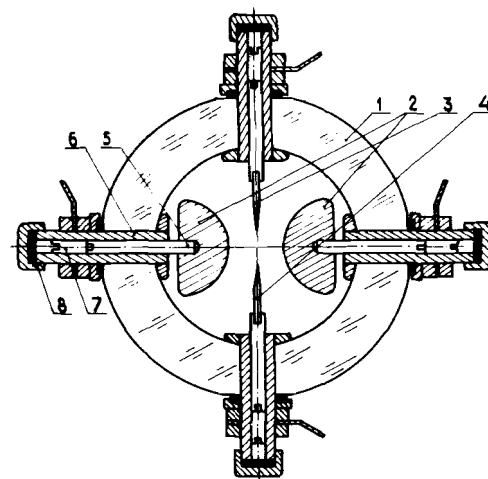


Рис. 3. Конструкция четырехэлектродного управляемого разрядника ГИН (а) и схема его испытаний (б).

та — 20 нс), поступающий через разделительный резистор R_p (ТВО-5-1 кОм) на запускающий электрод. Дополнительный электрод через резистор R_T (ТВО-5-1 кОм) соединен с корпусом. В качестве нагрузки R_H служит резистор ТВО-60-1 кОм. Сигналы с делителей напряжений R_1, R_2 и R_3, R_4 (высоковольтное плечо — ТВО-5, низковольтное — ТВО-2) подавались на блок измерения задержки, выходящий в контрольно-измерительную аппаратуру¹⁵⁷; или на измеритель временных интервалов И2-24. Погрешность измерения оценивается в 5-7%.

На рис. 4а приведено напряжение самопробоя $U_{с.п.}$ в зависимости от давления P азота в рабочем объеме разрядника для разных межэлектродных зазоров δ . При давлении азота 0,55 МПа и зазоре $\delta \geq 16$ мм разрядник выдерживает напряжение 200 кВ. Значение напряжения самопробоя при данном давлении было получено как среднееарифметическое значение в серии из 5 последовательных пробоев с интервалом в 30 секунд. Продувка разрядника при этом не проводилась. На рис. 4б приведены результаты измерения времени запаздывания срабатывания разрядника t_3 и его разброса в зависимости от соотношения $U/U_{с.п.}$, где U — напряжение на электродах, $U_{с.п.}$ — напряжение самопробоя при том же давлении. Для каждого режима испытаний строились гистограммы разброса времени задержки из не менее 50 значений. В рабочей области разрядника ГИН при $U/U_{с.п.} = 0,9 \div 0,95$ время запаздывания срабатывания разрядника не превышает $25 \text{ нс} \pm 2 \text{ нс}$.

Параметры выходных импульсов генератора, соответствующие рабочему режиму стримерной камеры (амплитуда — 500 кВ, длительность на полувысоте — 12 нс) обеспечивались на эквиваленте нагрузки¹¹ камеры $\sim 36 \text{ Ом}$ при зарядном напряжении конденсаторов ГИН, рав-

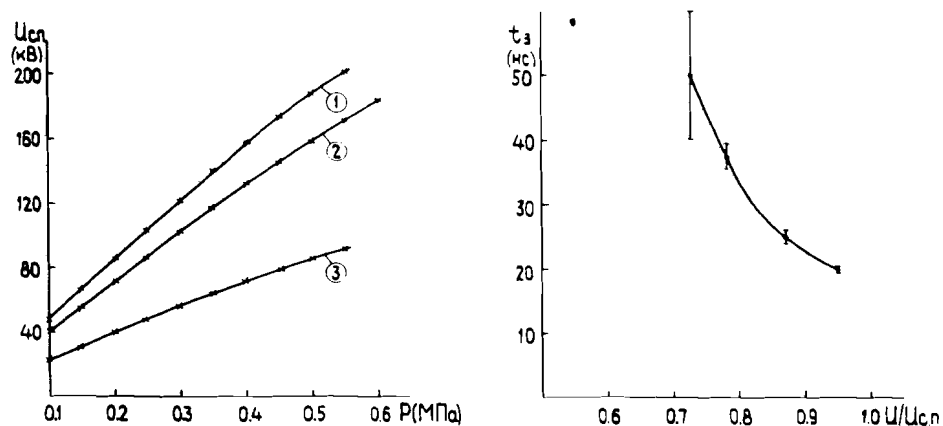


Рис. 4. а) Зависимость напряжения самопробоя $U_{с.п.}$ от давления азота P для разных межэлектродных зазоров: 1) $\delta = 16$ мм, 2) $\delta = 13$ мм, 3) $\delta = 7$ мм; б) Зависимость времени запаздывания срабатывания разрядника t_3 и его разброса от отношения $U/U_{с.п.}$ при $\delta = 16$ мм.

ном ± 55 кВ. Давление в разряднике ГИН — 0,35 МПа (рабочий зазор — 16 мм, наполнение — 50% N_2 + 50% CO_2) в разряднике ДФЛ — 0,675 МПа (рабочий зазор — 13 мм, наполнение — SF_6). При этом в ГИН (емкость "в ударе" 1,5 нФ) запасается энергия ~ 227 Дж, 65% этой энергии трансформируются в ДФЛ (емкость 0,6 нФ) за 0,225 мкс, в это время максимум напряжения на ДФЛ достигает 700 кВ. Из частоты колебаний этого напряжения следует, что ГИН имеет полную индуктивность ~ 5 мкГн. Оценка потерь напряжения, проведенная при разных зарядных напряжениях конденсаторов ГИН, показывает, что их величина составляет $\sim 35\%$. Расчетный коэффициент увеличения напряжения на ДФЛ при ее заряде равен 1,43, экспериментальное отношение амплитуды выходного импульса к выходному напряжению ГИН равно $\sim 0,925$. Основная часть потерь напряжения приходится на разрядник линии и составляет $\sim 27,5\%$.

При указанном режиме генератор выдержал ~ 80 тыс. срабатываний при частоте 0,2 Гц. Нестабильность амплитуды выходного импульса генератора, измеренная с помощью аппаратуры¹⁵¹, не превышала 1% при задержке (время с момента прихода импульса запуска на ГИН до появления импульса на нагрузке) не более 300 нс при ее нестабильности (1,5 \div 1,8)%. Время задержки срабатывания ГИН при рабочем напряжении $0,9 U_{с.п.}$ составляет ~ 50 нс и увеличивается в три раза при рабочем напряжении $\sim 0,7 U_{с.п.}$. Разрядник достаточно надежно управляется в рабочей области $\geq 0,65 U_{с.п.}$. В конце испытаний генератора зарядное напряжение конденсаторов ГИН было повышено до 155 кВ ($\pm 77,5$ кВ), на нагрузке был получен импульс с амплитудой 700 кВ. При дальнейшем повышении зарядного напряжения произошел пробой по поверхности верхнего модуля разрядника ГИН. Причиной пробоя явилось скопление продуктов разложения газа на стенках модуля.

С целью повышения ресурса работы конструкцию разрядника изменили: увеличили внутренний диаметр модулей до 100 мм, толщину стенки до 20 мм, диаметр полусфер электродов до 50 мм с радиусом закругления кромок до 10 мм, рабочий зазор до 20 мм. После замены разрядника ГИН генератор был подключен к двухметровой стримерной камере (рис. 1) и проработал к настоящему времени без ремонта ~ 900 час., обеспечив получение ~ 155 тыс. снимков ядро-ядерных взаимодействий в пучках релятивистских ядер на синхрофазотроне.

Хотя общее количество срабатываний генератора составило 235 тыс., пока не наблюдалось характерных признаков процесса разрушения конденсаторов ГИН, хотя в его конструкции использованы не импульсные, а фильтровые конденсаторы типа ФМ-100-15УЗ.

Описанный генератор — основная часть разработанной системы высоковольтного импульсного питания (СВИП)¹⁶⁷ для двухметровой стримерной камеры. Компактность и мобильность генератора и системы облегчают работы по перестройке установки при решении конкретных физических задач в экспериментах на синхрофазотроне. В генера-

торе максимально использованы промышленные элементы, он имеет достаточно высокую ремонтпригодность и обеспечивает устойчивую работу камеры при амплитудах питающих импульсов на уровне 500 кВ.

В заключение авторы выражают благодарность Н.Н.Графову, В.П.Садиллову, Е.К.Хусаинову за помощь в монтаже генератора, а также Н.С.Глаголевой и Н.Н.Нургожину за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксиненко В.Д. и др. ОИЯИ, 13-86-149, Дубна, 1986; ПТЭ, 1987, №3, с.97.
2. Глаголева Н.С. и др. ОИЯИ, 13-7792, Дубна, 1974; ПТЭ, 1975, №5, с.99.
3. Аксиненко В.Д. и др. ОИЯИ, P13-83-184, Дубна, 1983; ПТЭ, 1984, №2, с.101.
4. Володин В.Д. и др. ОИЯИ, P13-10380, Дубна, 1977; ПТЭ, 1978, №3, с.66.
5. Володин В.Д. и др. ОИЯИ, P13-7811, Дубна, 1974.
6. Аксиненко В.Д. и др. ОИЯИ, 13-87-773, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 января 1988 года.

Аксиненко В.Д. и др.

13-88-35

Высоковольтный генератор наносекундных импульсов
с конденсаторами ФМ-100-15УЗ для питания стримерной камеры

Описан высоковольтный генератор наносекундных импульсов для питания двухметровой стримерной камеры ОИЯИ, имеющий параметры: амплитуда выходного импульса около 500 кВ при нестабильности амплитуды $\leq 1\%$, длительность импульса на полувысоте 12 нс, время задержки не более 300 нс при ее нестабильности $(1.5 \div 1.8)\%$. Импульсный заряд формирующих линий генератора осуществляется от генератора импульсных напряжений (ГИН) с разнополярной зарядкой ступеней на основе конденсаторов ФМ-100-15УЗ. Описана конструкция ГИН и приведены его электрические характеристики. Генератор в рабочем режиме стримерной камеры к настоящему времени обеспечил ~ 235 тыс. срабатываний, из них 155 тыс. (~ 900 часов работы без ремонта) совместно со стримерной камерой в рабочих сеансах на синхрофазотроне.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод авторов

Aksinenko V.D. et al.

13-88-35

Nanosecond Pulse High Voltage Generator
with FM-100-15UZ Capacitors for a Streamer Chamber

The nanosecond pulse high voltage generator for supplying the JINR two-meter streamer chamber is described. The chamber parameters are: output pulse amplitude-500 kV, amplitude instability $\leq 1\%$, pulse duration - 12 ns (FWHM), delay time ≤ 300 ns, delay instability - $(1.5-1.8)\%$. The pulse charge of generator forming line is performed from the Arkadiev-Marx generator with bipolar charging capacitors of FM-100-15UZ type. The design of the Arkadiev-Marx generator is described, and its electric parameters are given. Up to date the generator in operating regime of the streamer chamber has provided about 235 thousand operations, among them 155 thousand operations (about 900 hours without repair) together with the streamer chamber during working expositions on the synchrohasotron.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988