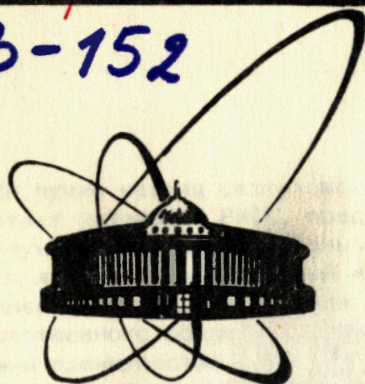


2973/83

83-152



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

6/6-83

P13-83-152

А.В.Банников, Л.С.Вертоградов, А.К.Джавришвили,
Т.А.Ломтадзе, А.И.Харчилава, Г.А.Шелков

ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ СИСТЕМА
СПЕКТРОМЕТРА РИСК

Биполярный генератор импульсов напряжения
амплитудой до ± 600 кВ

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

1983

На пучке частиц серпуховского ускорителя уже несколько лет работает установка РИСК, предназначенная для исследования адрон-нуклонных и адрон-ядерных взаимодействий^{/1/}. Основой установки является пятиметровый магнитный спектрометр с биполярной стримерной камерой^{/2/}. В ходе эксперимента по изучению процессов множественного рождения заряженных частиц^{/3/} были продемонстрированы преимущества варианта стримерной камеры с биполярной конфигурацией высоковольтной системы питания. Впоследствии аналогичный результат был получен в работе^{/4/}, выполненной на ускорителе SPS /ЦЕРН/.

Биполярная высоковольтная система питания стримерных камер была предложена и смоделирована в^{/5-8/}. В данной работе описывается конструкция и приводятся результаты испытаний биполярного генератора импульсного напряжения с амплитудой до +600 кВ /БГИН-600/, эксплуатируемого как часть высоковольтной системы питания камеры РИСК с 1977 г.

1. КОНСТРУКЦИЯ ГЕНЕРАТОРА

Принципиальная схема генератора показана на рис.1. По сравнению со своей моделью^{/6,7/} необходимая мощность генератора получена за счет увеличения числа каскадов / $2N = 25$ шт./ и напряжения зарядки / $V = +25$ кВ/ отдельной кассеты /емкости кассеты конденсаторов $C_k = 11,75$ нФ/. Ударная емкость каждого плеча генератора $C_r = 950$ пФ, расчетное выходное напряжение $U = N \cdot 2V = 12,5 \cdot 50$ кВ = 625 кВ. Кроме того, в схеме исключены цепи резисторов, соединяющих с "землей" средние точки каскет конденсаторов, и симметризован управляющий разрядник - оба его электрода имеют иглу поджига.

От обычной схемы однополярного генератора Аркадьева-Маркса данную схему отличает подключение одинаковой нагрузки /здесь - емкости линий формирователя БФИ^{/7/} / к обоим концам непрерывной последовательности каскадов /"колонны"/. Колонна не имеет непосредственной /низкоомной/ связи с "землей", и точка с нулевым потенциалом остается в середине колонны за счет емкостного деления между конденсаторами при срабатывании генератора. В этой точке находится управляющий разрядник, гарантирующий одновременность развития процесса последовательного пробоя разрядников в направлении от середины к концам колонны. Как уже отмечалось^{/6/}, данный генератор можно рассматривать как совокупность двух обычных генераторов, собранных так, что первый /управля-

Общественный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

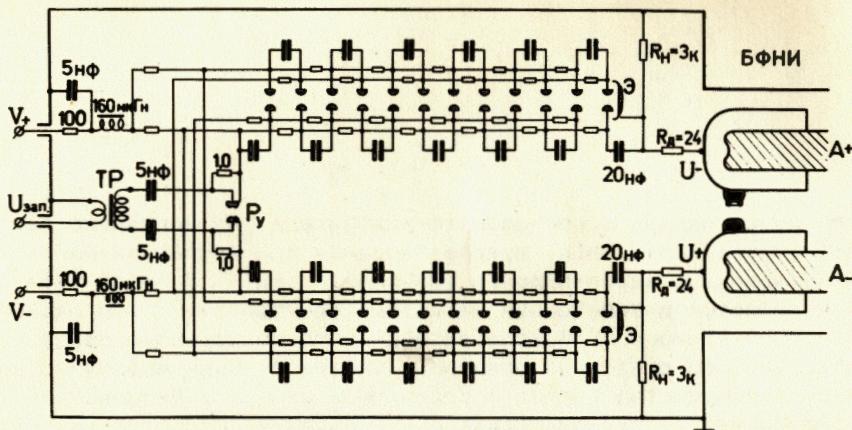


Рис.1. Принципиальная схема биполярного генератора импульсов напряжения БГИН-600. БФНИ - биполярный формирователь наносекундных импульсов.

ший/ разрядник, является общим для обоих генераторов. Такое решение обеспечивает синхронность разнополярных импульсов выходного напряжения.

Разводка цепей высоковольтного питания генератора осуществляется также от середины колонны /8 параллельных цепей/. При этом используется уже ставшая обычной экономная схема зарядки конденсаторов сразу двумя разнополярными потенциалами V_{\pm} /от выпрямителей ВС-50-50/. LC-фильтры, расположенные на входе линий питания, подавляют высокочастотную составляющую "наводки", которая распространяется из генератора по этим линиям.

Высоковольтный блок, вырабатывающий запускающий импульс, собран на базе металлокерамического водородного тиратрона ТГИ1-1000/25, имеет собственное время задержки сигнала не более 100 нс и питается от выпрямителя ВС-20-10. Запускающий импульс $U_{зап.}$ /амплитуда 15 кВ, фронт нарастания 25 нс/ через повышающий трансформатор /Тр/, расположенный внутри корпуса генератора, поступает на поджигающие электроды управляющего разрядника /Р_у/. Конструкция этого разрядника описана в работе /6/. Логический сигнал от триггера, инициирующий блок запуска, проходит через линию оптической волоконной связи, что исключает электрическую "наводку" на электронную аппаратуру по данному кабелю.

Общий вид генератора показан на фотографии /рис.2/, его размеры: диаметр 120 см, высота 170 см. Вертикальная компоновка колонны обладает рядом достоинств: обеспечивается минимальная

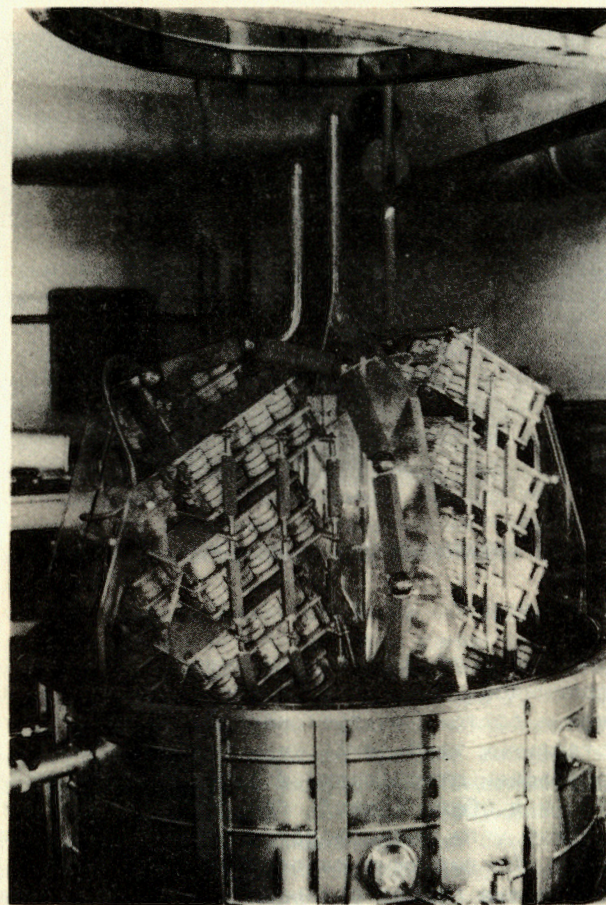


Рис.2. Общий вид генератора. Верхняя крышка снята.

индуктивность соединения генератора с формирователем*, опора тяжелого генератора /1,5 т/ непосредственно на пол, удобный и равный доступ ко всем его деталям. Верхняя часть кожуха генератора сделана в виде колпака, при съеме которого колонна становится полностью открытой. Конструкция кожуха рассчитана на вакуумную откачку. Сам кожух опирается на низкую тележку, которая перемещается в пределах нескольких метров по рельсам внутри специального противопожарного поддона.

* Ось высоковольтного формирователя /"блюмляйна"/ находится на уровне пучка первичных частиц ускорителя, то есть на высоте около 2 м от пола.

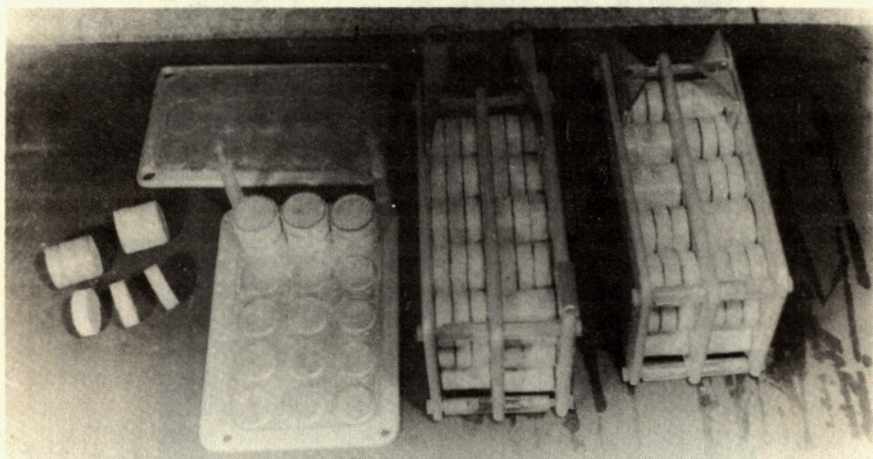


Рис.3. Кассеты конденсаторов генератора. Левая кассета разобрана.

Несущим элементом всей конструкции генератора является колонна газовых разрядников. Она изготавливается из плексигласа, является разборной и состоит из трех частей: из общего нижнего блока и двух отдельных труб / ϕ 11 см/. Газовый канал U-образной конфигурации образован отверстиями ϕ 6 см, просверленными как по оси труб, так и в общем блоке*, где они сходятся под углом 60° . В вершине этого угла располагается первый, управляющий, разрядник генератора. Последующие разрядники расположены симметрично вдоль каждого плеча газового канала с шагом 8 см, причем первые три с каждой стороны являются регулируемые, а остальные имеют постоянный зазор. Электроды разрядников представляют собой цилиндры из нержавеющей стали ϕ 1,6 см с напаянными на них накопечниками из вольфрам-медного сплава. Края электродов закруглены, радиус ~ 2 мм. Величина разрядного промежутка в управляющем разряднике 0,6 см, а в последующих плавно изменяется от 0,6 см до 1,0 см и после четвертого разрядника остается постоянной. Колонна заполняется азотом под давлением до 3 атм.

Кассеты конденсаторов навешиваются прямо на газовую колонну, при этом используется пружинное либо гаечное крепление-контакт с электродами разрядников. Масса каждой кассеты около 20 кг, поэтому имеется дополнительная поддерживающая арматура из плексигласа, обеспечивающая равномерное распределение веса всей колонны с конденсаторами по дну нижней части кожуха генератора. При

* Идентичный блок разрядников выполнял роль газовой колонны в модели биполярного генератора^{/6/}.

ремонте можно извлечь каждую кассету в отдельности. Устройство кассеты показано на фотографии /рис.3/. Конструкция кассеты, как и генератора в целом, подчинена стремлению добиться минимальной собственной индуктивности. Поэтому за основу кассеты был взят керамический /титанат бария/ конденсатор К-15-4.

Еще в ходе испытаний модели генератора^{/6/} было установлено, что одной из основных причин выхода из строя конденсаторов К-15-4 являются микродефекты, возникающие в местах пайки выводов к посеребренной поверхности керамики конденсатора. Кроме того, необходимость в индивидуальной изоляции каждого конденсатора отпадает, так как внутренний объем генератора заполняется трансформаторным маслом. Поэтому было решено использовать в качестве элемента кассет генератора "сердцевину" конденсаторов К-15-4 номиналом 4700 пФх20 кВ, представляющую собой посеребренную с двух сторон керамическую таблетку ϕ 5 см и высотой 2 см. Каждая кассета собрана из 90 таких таблеток. Структура кассеты: 6 последовательно включенных плоскостей, каждая из которых состоит из 15 параллельно включенных таблеток. Все контакты осуществляются посеребренными латунными пружинками лепесткового типа.

Разность потенциалов между внешними обкладками кассеты в момент зарядки составляет ≤ 50 кВ, тем самым рабочее напряжение конденсаторов не превышает 50% от номинального. Этим обеспечивается высокая надежность работы генератора / $\geq 10^5$ срабатываний без ремонта/, содержащего 2250 таблеток-конденсаторов. Необходимость работать в таком "щадящем" режиме вызвана не столько большим числом одновременно включенных конденсаторов, сколько высокочастотными колебаниями, которые возбуждаются в контуре разрядной цепи генератора, замыкаемой при срабатывании разрядника формирователя. Быстрая смена полярности, как известно^{/9/}, образует неблагоприятные условия для работы титанат-бариевых конденсаторов вследствие явления электрострикции.

Зарядные цепи и нагрузка / R и R_n , см. рис.1/ генератора собраны из резисторов ТВ0-60 номинальной мощностью 60 Вт, малоиндуктивных, графитовых с керамической изоляцией / R = 3 кОм/.

Система заполнения генератора трансформаторным маслом состоит из буферной емкости объемом 2 м³, вакуумного и масляного насосов и пульта управления. Верхние части колонны защищены от пробоя на стену кожуха генератора металлическими экранами /Э, см. рис.1/.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА

Изучение работы данного генератора еще раз подтвердило хорошо известный факт, что динамика каждого срабатывания и свойства генератора в целом определяются его первыми несколькими разрядниками. Поскольку начальная часть колонны генератора /общий блок/

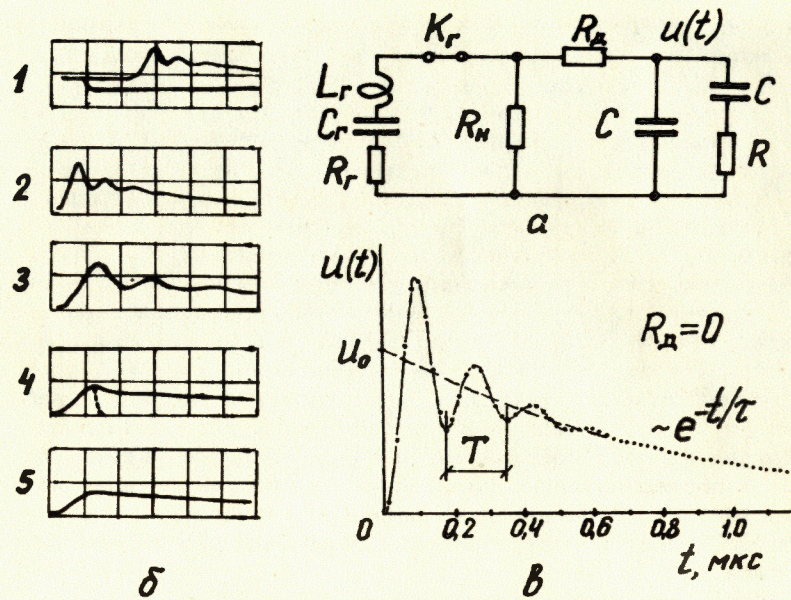


Рис. 4. а - эквивалентная схема высоковольтной системы стримерной камеры; б - осциллограммы импульсов напряжения на выходе генератора: 1-3 - при значении $R_d = 0$; 4 - $R_d = 24 \text{ Ом}$, 5 - $R_d = 51 \text{ Ом}$. Шкалы по горизонтали: 1-2 - 200 нс/дел, 3-5 - 100 нс/дел; в - расчетная зависимость величины зарядного напряжения формирователя от времени.

имеет одинаковую конструкцию с колонной модели генератора^{6/}, измеренные характеристики практически полностью воспроизводят результаты, полученные на модели. Речь идет о форме высоковольтных импульсов при работе генератора на резисторную нагрузку /см. рис.7 в^{6/}/, распределениях, характеризующих стабильность амплитуд высоковольтных импульсов и их синхронность /см. рис.9 в^{6/}/, и ходе зависимостей основных параметров генератора от давления газа в колонне и напряжений питания /см. рис.12 в^{6/}/. Поэтому далее мы остановимся только на отличительных особенностях генератора.

На рис.4а показана эквивалентная схема, соответствующая стадии зарядки генератором высоковольтного формирователя. Здесь: R_r - внутреннее сопротивление; L_r - внутренняя индуктивность генератора; R_n - эффективное сопротивление нагрузки генератора; R_d - демпфирующее сопротивление в цепи зарядки формирователя; $C_r = 950 \text{ пФ}$ - ударная емкость генератора; C_ϕ - емкость формирователя; $C = C_\phi/2 = 330 \text{ пФ}$ - емкость каждой из двух линий

формирователя /обозначения и величины всех параметров приведены в расчете на одно плечо биполярной высоковольтной системы/. В данном измерении нагрузкой формирователя служило согласующее сопротивление $R = 25 \text{ Ом}$. Процесс зарядки формирователя начинается с момента срабатывания последнего разрядника генератора /ключ K_r , момент времени $t = 0$ /. С помощью имеющихся внутри формирователя^{7/} емкостных датчиков измерялась форма импульса зарядного напряжения непосредственно на формирователе.

На рис.4б приведены осциллограммы импульсов зарядного напряжения, получаемых при "запертом" разряднике формирователя для разных значений демпфирующего сопротивления: $R_d = 24$ и 51 Ом . На осциллограмме 1 показан также сигнал отрицательного высоковольтного импульса, поступающего на генератор с блока запуска, что позволяет оценить время задержки срабатывания самого генератора: 300 нс. Формирователь настраивается на срабатывание в точке максимума зарядного напряжения, тем самым добавляется еще 100 нс /см. осциллограмму 4, где пунктиром обозначен задний фронт импульса зарядного напряжения при срабатывании формирователя/. С учетом собственного времени задержки блока запуска генератора /см. раздел 1/ получаем суммарное время задержки срабатывания высоковольтной системы стримерной камеры: около 500 нс.

Влияние величины демпфирующего сопротивления на амплитуду и форму импульса зарядного напряжения показано на осциллограммах 3-5. Видно, что с увеличением R_d ценою потери амплитуды вершина зарядного импульса становится более полой и, таким образом, увеличивается стабильность амплитуды рабочего импульса на выходе формирователя. При этом величина переднего фронта зарядного импульса остается постоянной. В рабочих условиях использовалось $R_d = 24 \text{ Ом}$.

Анализируя форму импульса зарядного напряжения при $R_d = 0$, можно оценить значения внутренних параметров генератора R_r и L_r , а также R'_n .

Схема 4а с достаточной для данных оценок точностью может быть сведена к $R_0 L_0 C_0$ -контуре^{10/} с нагрузкой R'_n , включенной по-прежнему параллельно выходу генератора. При этом $R_0 \approx R_r + R/4$,

$L_0 \approx L_r$, $C_0 \approx \frac{C_\phi C_r}{C_\phi + C_r}$, $R'_n \gg R_0, R$, начальное напряжение на C_r равно U_r . Переходная характеристика контура может быть выражена через напряжение на емкости формирователя C_ϕ согласно^{11/}:

$$u(t) = u_0 \exp(-t/\tau) [1 - \exp(-\lambda t) (\cos \omega t + \frac{\lambda}{\omega} \sin \omega t)],$$

где $u_0 = U_r C_r / (C_r + C_\phi)$; ω - частота собственных колебаний контура; λ - декремент затухания осцилляций; $\tau = R'_n (C_r + C_\phi)$ - постоянная спада напряжения, характеризующая разрядку емкостей через нагрузочное сопротивление; $\lambda = R_0 / 2L_0$; $\omega^2 = 1 / (L_0 C_0) - \lambda^2$. Осцилло-

граммы 2 и 3 наилучшим образом описываются при $T = 2\pi/\omega = 170$ нс, $1/\lambda = 170$ нс и $r = 850$ нс, см. рис.4в. Отсюда получается внутренняя индуктивность $L_r = 1,8$ мкГн, внутреннее сопротивление $R_r = R_0 - R/4 = 21,6 - 25/4 \approx 15$ Ом. Оценка эффективной резисторной нагрузки генератора $R'_H = 0,53$ кОм.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность В.И.Петрухину за внимание и поддержку данной работы, А.В.Желамкову и К.Шпирингу за вклад на первом этапе работы, Н.Н.Хованскому и З.Цисеку за ценные обсуждения, В.И.Красину, Ю.Д.Миронову, А.И.Шибасову и Н.А.Харатьяну за помощь при изготовлении и эксплуатации генератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bohm G. et al. Proc. of I Int.Conf. on Streamer Chamber Technology, ANL-8055, 1972.
2. Вертоградов Л.С. и др. ОИЯИ, P13-80-78, Дубна, 1980; Tjavarishvili A.K. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1980, 177, p.381; CERN Courier, 1981, 21, p.298.
3. Бом Г. и др. ЯФ, 1982, 35, с.700.
4. Multiparticle Production on Hydrogen, Argon and Xenon Targets in a Streamer Chamber by 200 GeV/c Proton and Antiproton Beams. Bari - Krakow - Liverpool - München (MPI) - Nijmegen Collaboration. MPI-PAE/Exp.E1, 102, March, 1982.
5. Rohrbeck W., Bohm G. Preprint Zt für Elektronenphysik AW der DDR, Berlin, 1973.
6. Вертоградов Л.С. и др. ПТЭ, 1978, 3, с.27.
7. Вертоградов Л.С. и др. ПТЭ, 1978, 3, с.31.
8. Володин В.Д. и др. ОИЯИ, P13-10380, Дубна, 1977.
9. Колесова О.И. и др. Электронная техника, 1976, сер.5, вып.1/14/, с.50.
10. Атабеков Г.И. Основы теории цепей. "Энергия", М., 1969.
11. Tan V.C. et al. CERN, TC-L/Int., 70-7/20, Mai 1970, p.69.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 марта 1983 года.

Банников А.В. и др. P13-83-152
Высоковольтная система спектрометра РИСК.
Биполярный генератор импульсов напряжения
амплитудой +600 кВ

Приводится описание биполярного генератора импульсов напряжения амплитудой до +600 кВ, используемого как часть высоковольтной системы питания стримерной камеры спектрометра РИСК. Представлена конструкция основных узлов генератора. Генератор имеет следующие характеристики: напряжение питания +25 кВ, зарядная емкость 0,6 мкФ, ударная емкость каждого плеча 950 пФ, внутреннее сопротивление 15 Ом, внутренняя индуктивность 1,8 мкГн. Генератор обладает высокой стабильностью и надежностью / $\geq 10^5$ срабатываний/.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Bannikov A.V. et al. P13-83-152
RISK Spectrometer High Voltage System.
Bipolar Generator up to +600 kV Voltage Impulses
Amplitude

The bipolar high voltage power supply of the streamer chamber of RISK spectrometer is described. The generator has the following characteristics: it provides a high voltage up to +600 kV across 15 Ohm, supply voltage +25 kV, charge capacity - 0.6 mkF, discharge capacity for each plane is 950 nF and an internal inductance - 1.8 mkHenry. The generator possesses a high stability and a reliability of $\geq 10^5$ pulses.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.