

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



9740

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

P13 - 9740

6876 +  
Л.С.Вертоградов, А.В.Желайков, Х.Рюгер,  
Г.А.Шелков

+  
ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ СИСТЕМА УСТАНОВКИ  
РИСК

Часть 1. Модель биполярного генератора  
импульсов напряжения амплитудой до 200 кВ

1976

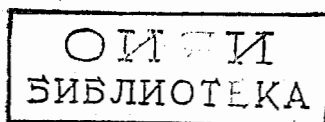
P13 - 9740

Л.С.Вертоградов, А.В.Желамков, Х.Рюгер,  
Г.А.Шелков

**ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ СИСТЕМА УСТАНОВКИ  
РИСК**

Часть 1. Модель биполярного генератора  
импульсов напряжения амплитудой до 200 кВ

*Направлено в ПТЭ*



В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ на базе стримерной камеры, позволяющей измерять первичную ионизацию релятивистских частиц <sup>/1/</sup>, создается пятиметровый магнитный спектрометр - установка РИСК <sup>/2/</sup>. При конструировании стримерной камеры этой установки возникли трудности, вызванные особенностями магнита СП-136. Этот магнит имеет U-образный сердечник, что не дает возможности вынести края высоковольтного электрода за пределы магнитного поля и приводит к появлению в рабочем объеме магнитного поля "мертвой" зоны, заполненной изоляцией высоковольтного электрода стримерной камеры /рис. 1а/. Размер этой зоны /с/ прямо зависит от величины зазора стримерной камеры /b/ и, по-видимому, с учетом требования высокой однородности электрического поля в рабочем объеме стримерной камеры  $\Delta E/E \leq 1\%$  не может быть сделан меньше 0,5 b.

Для более эффективного использования объема магнитного поля в первоначальном проекте установки РИСК предполагалось поместить в шахту магнита две стримерные камеры с величиной зазора в каждой из них b/2 /рис. 1б/. Это позволяет вдвое уменьшить размеры мертвой зоны при сохранении тех же, что и в первом варианте, размеров стримерной камеры. Опыт работы со стримерной камерой близкой конструкции, используемой в экспериментах на ISR <sup>/3/</sup>, показал, что имеется взаимное влияние отдельных камер, вызванное тем, что в варианте с двумя независимыми системами высоковольтного питания трудно обеспечить одновременность поступления двух высоковольтных импульсов на электроды разных стримерных камер. В результате этого

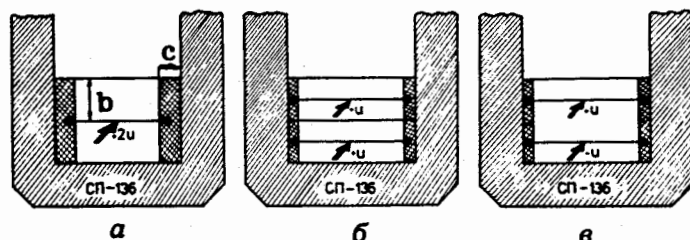


Рис. 1. Варианты конструкции стримерной камеры спектрометра РИСК. На рисунках изображено сечение магнита СП-136 в плоскости, перпендикулярной оси пучка частиц. Стрелками указаны высоковольтные электроды, с - размер области, заполненной изоляцией высоковольтного электрода, b - величина межэлектродного расстояния стримерной камеры. а/ Трехэлектродный вариант. На высоковольтный электрод подается импульс с амплитудой  $2U$ . б/ Пятиэлектродный вариант. Имеются две независимые камеры, на высоковольтные электроды которых подаются импульсы с амплитудой  $U$ . в/ Четырехэлектродный вариант. На высоковольтные электроды одновременно подаются импульсы разной полярности с амплитудой  $\pm U$ . При таком способе питания стримерной камеры отпадает необходимость в среднем, заземляемом в варианте "б", электроде.

излучение стримерной камеры, сработавшей первой, ионизует рабочий газ второй камеры, что приводит к появлению лишних, фоновых вспышек.

В 1973 г. авторам проекта установки РИСК был предложен вариант, который отличался от первоначального тем, что в нем на высоковольтные электроды стримерных камер подаются импульсы различной полярности /рис. 1в/, высокая синхронность которых обеспечивается использованием биполярного формирователя наносекундных импульсов <sup>1/4</sup>. В таком варианте отпадает необходимость в среднем, заземленном в предыдущем варианте /рис. 1б/, электроде. Это значительно облегчает размещение в центральной плоскости камеры различных мишеней.

Для питания биполярного формирователя наносекундных импульсов был предложен новый тип генератора - биполярный генератор высоковольтных импульсов. В дан-

ной работе описывается конструкция и приводятся результаты испытаний действующей модели такого генератора.

### Биполярный генератор импульсов напряжения амплитудой до 200 кВ

Принципиальная схема генератора приведена на рис. 2. По существу, такой генератор можно рассматривать как два генератора, работающих по обычной схеме Аркадьева - Маркса, собранных так, что первый управляемый разрядник является общим для обоих генераторов. Такое решение по сравнению с системой, состоящей из двух независимых однополярных генераторов Аркадьева - Маркса, обеспечивает высокую синхронность двух выходных импульсов. Действительно, электрическую схему предлагаемого генератора упрощенно можно представить

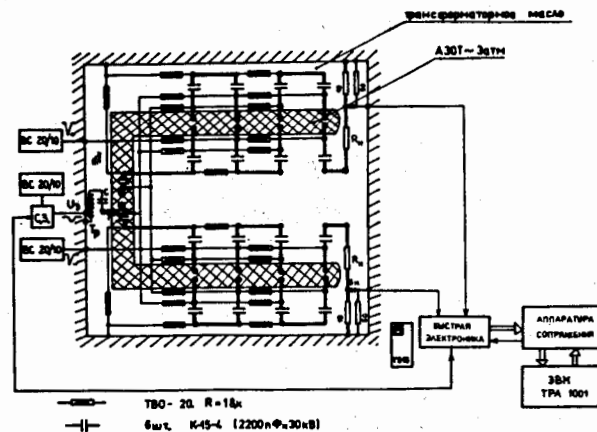


Рис. 2. Принципиальная схема биполярного генератора импульсов напряжения. ВС-20-10 - высоковольтные выпрямители /выходное напряжение  $V_{\pm} \leq 20$  кВ, ток  $\leq 10$  мА/, СЗ - схема запуска генератора;  $U_3$  - амплитуда импульса схемы запуска / $U_3 \leq 20$  кВ/; Т<sub>р</sub> - повышающий автотрансформатор на ферритовом кольце; С - емкость 500 нФ x 80 кВ, r - резистор /1 мОм x 5 Вт/; R<sub>н</sub> - резистор нагрузки генератора /1,1 кОм x 120 Вт/.

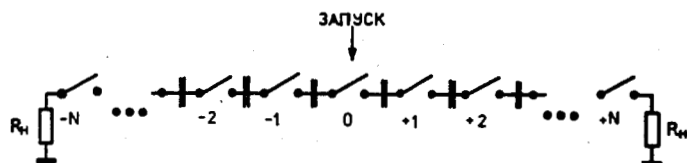


Рис. 3. Упрощенная эквивалентная схема генератора. Цифрами указаны номера каскадов генератора.  $R_N$  - резисторы нагрузки. Конденсаторы генератора заряжены до напряжения  $2V$ . После замыкания всех ключей на правом резисторе  $R_N$  формируется импульс положительной, а на левом резисторе  $R_N$  импульс отрицательной полярности амплитудой  $\pm 2N \cdot V$  соответственно.

в виде, изображенном на рис. 3. Из рисунка понятно, что высоковольтные импульсы появляются на сопротивлениях нагрузки ( $R_N$ ) строго синхронно, так как разрядная цепь генератора образуется только после замыкания всех ключей генератора, то есть после срабатывания всех разрядников обоих плеч генератора.

Девятикаскадный /первый каскад-общий, и по четыре каскада в каждом из плеч генератора/ генератор с би-



Рис. 4. Фотография колонны разрядников биполярного генератора импульсного напряжения. Верхние касеты конденсаторов сняты.

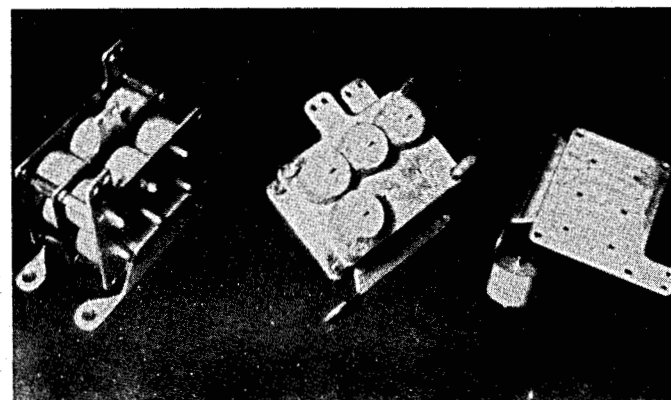
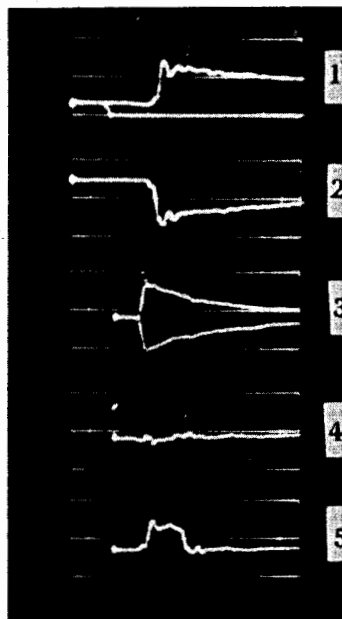
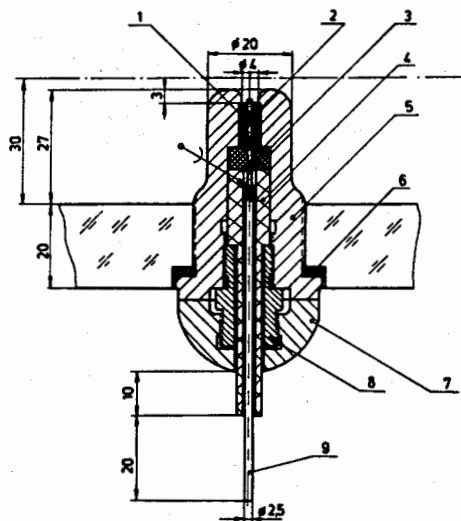


Рис. 5. Фотография отдельных деталей и собранной касеты конденсаторов биполярного генератора.

полярным питанием собран из касет титанат-бариевых конденсаторов типа К-15-4. Емкость каждой касеты  $13,2 \text{ нФ}$  /шесть параллельно включенных конденсаторов  $2200 \text{ пФ} \times 30 \text{ кВ}$ /. На фотографиях /рис. 4,5/ показаны собранная колонна генератора и касета конденсаторов. Колонна разрядников выполнена в виде единого блока из оргстекла размером  $400 \times 500 \times 100 \text{ мм}^3$ , в котором просверлены два глухих отверстия  $\phi 60 \text{ мм}$ , сходящихся под углом  $60^\circ$ . В точке соединения двух отверстий размещен первый управляемый разрядник генератора. Остальные разрядники располагаются симметрично вдоль каждого из плеч колонны на расстоянии  $80 \text{ мм}$  друг от друга. Колонна разрядников наполняется азотом до давления  $\sim 4 \text{ атм}$ .

Разрядники представляют собой цилиндры  $\phi 20 \text{ мм}$  из нержавеющей стали. Торцы цилиндров, образующие разрядный промежуток, - плоские с закругленными /г  $\sim 2 \text{ мм}$ / краями. Величина разрядного промежутка в управляемом разряднике -  $5 \text{ мм}$ , а в последующих изменяется от  $3 \text{ мм}$ /в первом/ до  $4 \text{ мм}$ /в четвертом/ для каждого плеча разрядника. Зарядные резисторы - типа ТВО-20, сопротивлением  $1,8 \text{ кОм}$ . Сопротивления нагрузки состоят из двух последовательно включенных рези-

**Рис. 6. Конструкция одного из электродов управляемого разрядника генератора:** 1 - трубка из титана бая; 2 - игла из вольфрамового сплава (W, Cu, Ni); 3 - шайба из вакуумной резины; 4 - фторопластовый изолятор; 5 - корпус электрода из нержавеющей стали; 6 - уплотнительное кольцо из маслостойкой резины; 7 - полусферическая гайка; 8 - прижимная гайка; 9 - латунный стержень.



**Рис. 7. Осциллограммы сигналов генератора на резисторной нагрузке.** Для наблюдения сигналов использовались резисторные делители с коэффициентом деления  $2 \cdot 10^4$ . Для всех осциллограмм масштаб по вертикали: 200 кВ/см. 1, 2 - выходные сигналы разной полярности. Масштаб по горизонтали: 100 нс/см. Отрицательный сигнал на первом снимке - выходной сигнал схемы запуска генератора. 3 - на этом снимке поочередно сфотографированы сигналы разной полярности генератора. Масштаб по горизонтали: 500 нс/см. 4 - сигналы разной полярности генератора на выходе делителей суммируются на общем резисторе. Масштаб по горизонтали: 50 нс/см. 5 - то же, что и осциллограмма 4, но отрицательный сигнал задержан на 50 нс.

стором типа ТВО-60 с суммарным сопротивлением 1,1 кОм. Запуск генератора осуществляется импульсом с амплитудой до 50 кВ, формируемым генератором на базе металлокерамического водородного тиратрона типа ТГИ1-1000/25 /  $U_{\text{ВЫХ}} \leq 25 \text{ кВ}$  / и повышающим автотрансформатором, размещенным в масляном баке генератора. Один из электродов управляемого разрядника представляет собой двухэлектродный разрядник тригatronного типа /рис. 6/. На иглу этого электрода подается запускающий импульс.

На рис. 7 приведены фотографии высоковольтных импульсов генератора. Для фотографирования импульсов и при дальнейших исследованиях использовались резисторные делители с коэффициентом деления  $\sim 2 \cdot 10^4$ . Задержка срабатывания генератора относительно сигнала запуска равнялась 150 нс. Фронт высоковольтного импульса составлял 20 нс. Наблюдения на осциллографе показали, что оба плеча генератора работают синхронно, временной разброс выходных сигналов друг относительно друга не превышает нескольких наносекунд.

Для более детального изучения характеристик генератора была собрана электронная логика, блок-схема которой приведена на рис. 8. С помощью схем управляемых интеграторов и время-амплитудных преобразователей при каждом срабатывании генератора измерялись амплитуды двух выходных импульсов, задержки срабатывания отдельных плеч генератора, а также временной интервал между выходными импульсами. Аналого-цифровые преобразователи кодировали эту информацию в цифровой код и через аппаратуру сопряжения <sup>15/</sup> подавали в ЭВМ.

Полная информация о каждом срабатывании генератора печаталась на телетайпе. Одновременно печаталась также дополнительная информация: дата, номер измерения и показания счетчика числа срабатываний генератора. Программа приема позволяла набирать до 16 одномерных гистограмм с суммарным числом каналов 1500, а также производить ряд арифметических и логических операций с поступающей информацией /строить распределения сумм

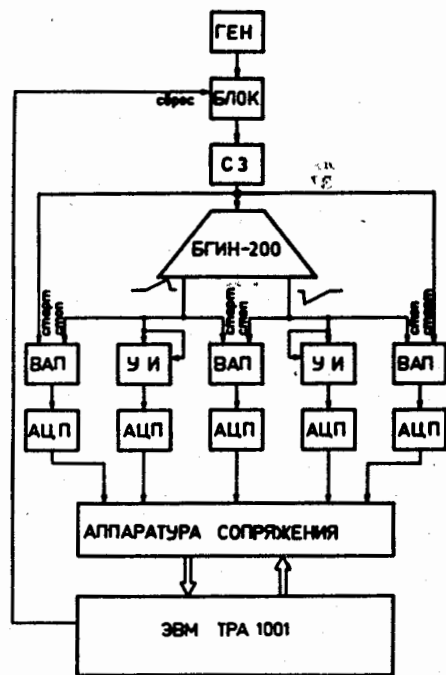


Рис. 8. Блок-схема электронной логики для измерения параметров генератора. ГЕН - генератор, БЛОК - схема блокировки, управляемая от ЭВМ, СЗ - схема запуска генератора, БГИН-200 - биполярный генератор импульсов напряжения, ВАП - время-амплитудные преобразователи, УИ - управляемые интеграторы импульсов, АЦП - аналого-цифровые преобразователи.

и разностей отдельных измеряемых параметров, а также строить гистограммы по тестам, определяемым по каким-либо параметрам генератора/.

На рис. 9 приведены гистограммы, характеризующие работу генератора в рабочей точке. Для выбора оптимального режима работы были изучены зависимости основных характеристик генератора от внешних параметров: амплитуды сигнала, поступающего со схемы запуска на повышающий автотрансформатор ( $V_3$ ), давления азота ( $P$ ) в колонне разрядников, напряжения питания ( $\pm V$ ) и частоты срабатывания генератора ( $\nu$ ). Эти зависимости

приведены на рис. 10, 11, 12, 13. При анализе этих данных следует обращать внимание в основном на общий ход кривых, так как конкретные цифры определяются рядом технических подробностей /материалом и качеством обработки поверхностей электродов, вариантов исполнения управляемого разрядника, величиной зазора в разрядниках и т.д./ и характеризуют прежде всего генератор данной конструкции. На основании этих данных можно сделать следующие выводы, большинство из которых не является новостью для работающих с генераторами Аркадьева-Маркса.

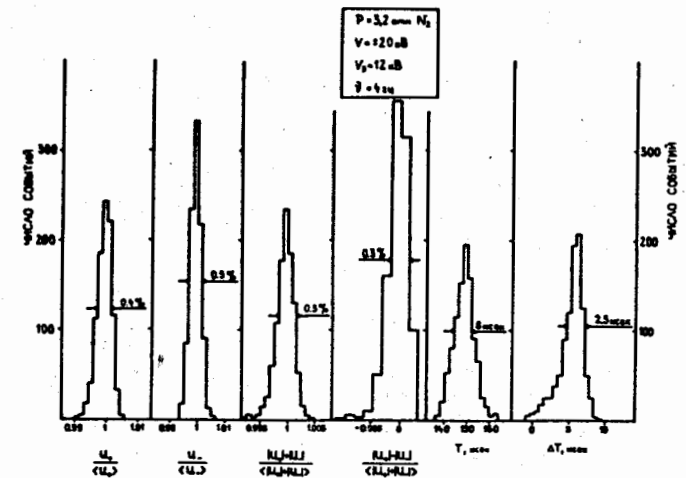


Рис. 9. Гистограммы основных параметров БГИН-200 в рабочей точке. На рисунке приведены /слева направо/: 1, 2 - гистограммы распределений амплитуд положительного и отрицательного сигналов генератора /в единицах средней амплитуды/; 3, 4 - гистограммы распределений суммы и разности абсолютных значений амплитуд сигналов разной полярности /в единицах средней величины суммы абсолютных значений амплитуд/; 5 - гистограмма распределения времени задержки сигнала положительной полярности относительно сигнала схемы запуска генератора; 6 - гистограмма распределения величины временного рассогласования сигналов генератора разной полярности. Полное число событий в каждой гистограмме  $\sim 10^3$ .

Рис. 10. Зависимость положения центров тяжести распределений амплитуд сигналов ( $U_+$ ), суммы абсолютных значений амплитуд сигналов ( $|U_+| + |U_-|$ ) времени задержки (Т) и величины временного рассогласования ( $\Delta T$ ) сигналов биполярного генератора от величины амплитуды сигнала ( $V_3$ ) схемы запуска генератора.

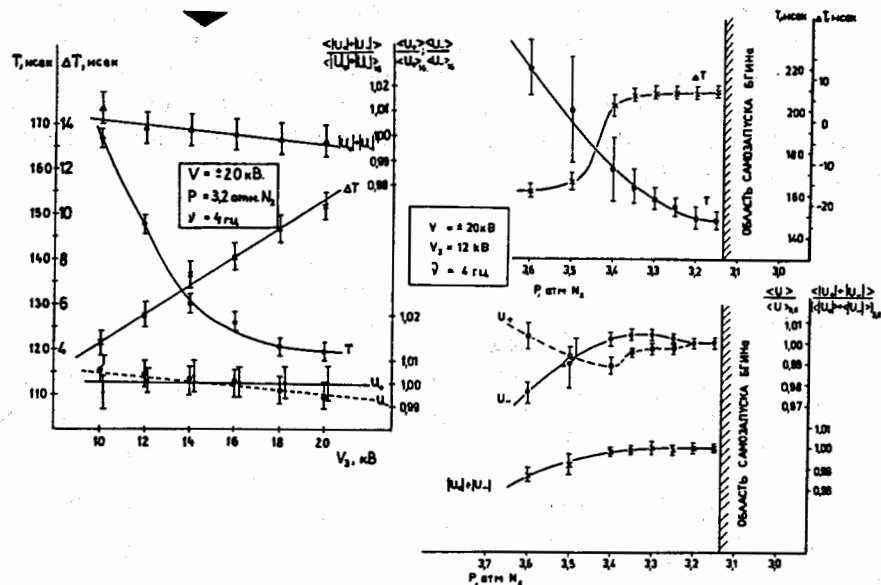


Рис. 11. Зависимость положения центров тяжести распределений основных параметров биполярного генератора /см. рис. 10/ от величины давления (Р) азота в колонне разрядников генератора.

- Амплитуды выходных сигналов очень слабо зависят от амплитуды запускающего сигнала /при изменении  $V_3$  в два раза амплитуды сигналов генератора изменяются на  $\leq 1\%$ /.

- При увеличении амплитуды запускающего сигнала задержка срабатывания генератора по каждому отдельному каналу сначала резко уменьшается, а затем выходит на плато, в то время как временное рассогласование монотонно увеличивается. Общее изменение времени рассогласования невелико и не превышает 10 нс при увеличении  $V_3$  в два раза.

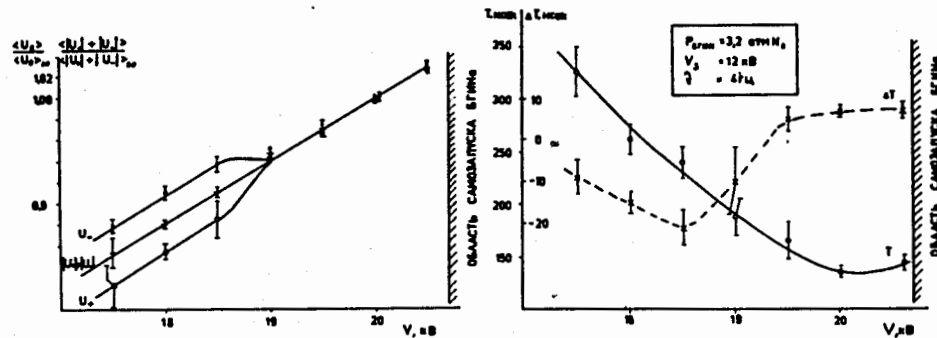


Рис. 12. Зависимость положения центров тяжести распределений основных параметров биполярного генератора /см. рис. 10/ от величины напряжения питания ( $V_{\pm}$ ) генератора.

- Оптимальный режим работы генератора по давлению в колонне разрядников /Р/ и напряжению питания ( $\pm V$ ) находится вблизи области самозапуска генератора. В этой области все параметры устойчивы по отношению к небольшим изменениям давления, а временные характеристики устойчивы также и к изменениям напряжения питания.

- При значительном уходе от рабочей точки происходит разбалансировка отдельных плеч генератора.

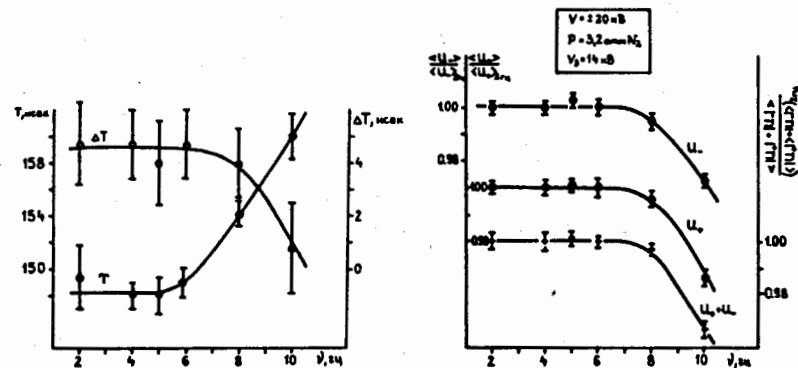


Рис. 13. Зависимость положения центров тяжести распределений основных параметров биполярного генератора /см. рис. 10/ от частоты срабатывания генератора ( $\nu$ ).



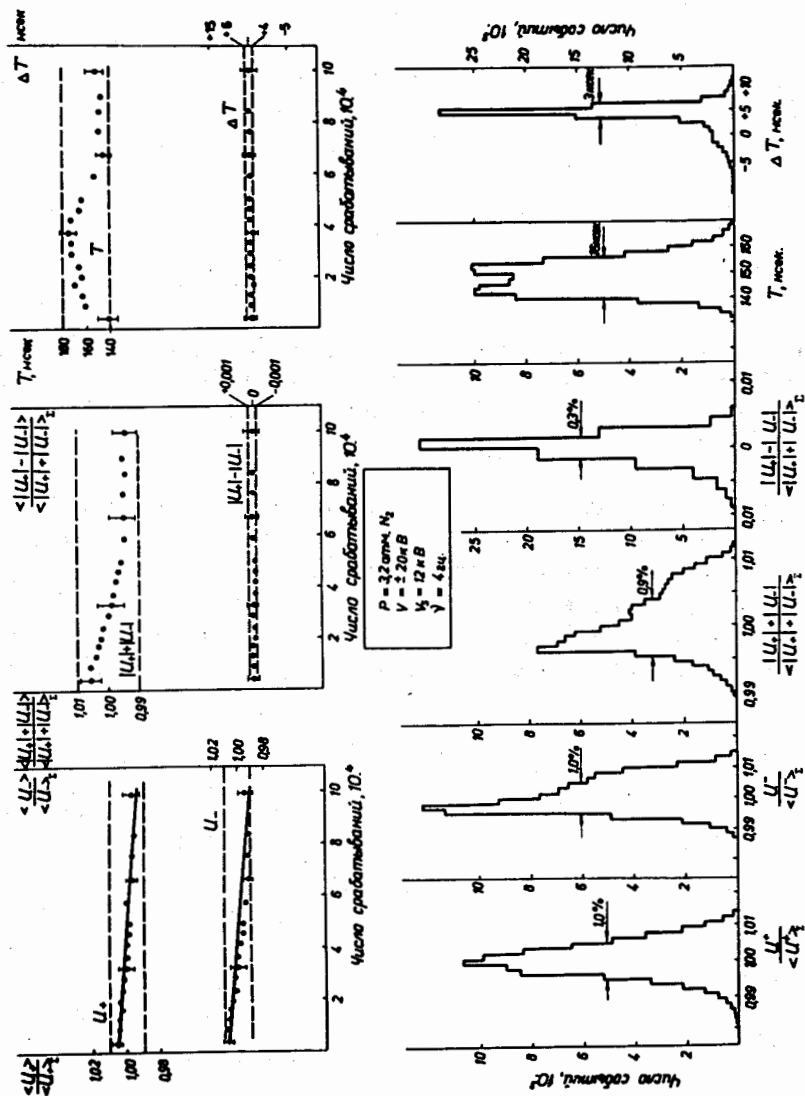


Рис. 14. Зависимость положения центров тяжести распределений основных параметров /см. рис. 10/ генератора в рабочей точке от числа срабатываний генератора. В нижней половине рисунка приведены гистограммы распределений этих параметров. Полное число событий в гистограмме  $\sim 10^5$  /см. рис. 9/.

В связи с тем, что эта область режима работы генератора не представляла для нас практического интереса, специальных исследований с целью выяснения причин указанной разбалансировки не производилось.

- Все параметры генератора не зависят от частоты срабатывания в диапазоне до 6 Гц. Этот предел пока, по-видимому, определяется мощностью источников питания\*.

Одной из важнейших характеристик генератора с точки зрения использования его для питания стримерной камеры является долговременная стабильность. Нами была проведена серия измерений, в течение которых генератор работал непрерывно  $\sim 12$  часов / $\sim 10^5$  запусков/. Для контроля стабильности через каждые  $5 \cdot 10^3$  срабатываний ЭВМ печатала гистограммы основных параметров генератора. После этого память машины очищалась и происходил следующий набор информации. Такая процедура измерений позволила, кроме суммарных распределений, получить также зависимости изменения основных параметров генератора от общего числа срабатываний, то есть кривые дрейфа его основных параметров.

Как в этих, так и во всех предшествующих измерениях колонна генератора продувалась и наполнялась азотом только перед началом работы. Никакой продувки во время эксперимента не производилось. Результаты этих измерений приведены на рис. 14. Из зависимостей положения центров тяжести распределений основных параметров генератора от числа срабатываний генератора,

\* Паспортная мощность одного источника питания ВС-20-10-200 Вт. Это соответствует мощности, потребляемой генератором при частоте в 5 Гц.

приведенных на этом рисунке, следует, что без принятия каких-либо специальных мер стабилизации работы генератора и источников питания дрейф амплитуд импульсов обеих полярностей ( $U_+$ ,  $U_-$ ), а также суммы абсолютных значений этих амплитуд ( $|U_+| + |U_-|$ ) не превышает 2%, а дрейф времени задержки срабатывания генератора /Т/ не превышает 40 нс. В результате этого дрейфа распределения указанных величин при статистике  $\sim 10^5$  в два-три раза шире аналогичных распределений, полученных при меньшей  $\sim 10^3$  статистике /рис. 9/.

Поскольку осмотр основных деталей генератора до и после проведения этой серии измерений показал отсутствие каких-либо существенных изменений, а высокая стабильность  $\leq 0,1\%$  положения центра тяжести распределения разности абсолютных значений амплитуд импульсов генератора ( $|U_+| - |U_-|$ ) говорит об одновременности изменения амплитуд импульсов разной полярности, кажется естественным предположить, что дрейф амплитудных характеристик генератора вызван дрейфом напряжения источников питания. Проведенные измерения показали высокую стабильность /дрейф  $< 1$  нс/ положения центра тяжести распределения временного рассогласования ( $\Delta T$ ) импульсов разной полярности генератора.

В заключение отметим, что накопленный во время длительной эксплуатации генератора опыт /всего в процессе испытаний генератора при различных режимах произведено около  $10^6$  срабатываний/ подтверждает вывод, сделанный в работе /6/, о том, что для надежной работы титанат-бариевых конденсаторов в генераторах Аркадьева-Маркса необходимо эксплуатировать их при напряжении, не превышающем половины номинального.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить В.И.Петрухина за интерес к работе, Б.А.Муравьева и Х.Тома за помощь при конструировании генератора, Н.Н.Хованского, Г.Хемница, М.М.Кулюкина, Ю.П.Меркова, В.В.Крумштейна и Я.В.Гришкевича за помощь в работе и ценные обсуждения, В.И.Левина, В.И.Красина, Е.А.Кудряшова и А.И.Шибасова за помощь при монтаже генератора.

#### Литература

1. В.А.Давиденко и др. ЖЭТФ, 57, 84 /1969/.
2. G.Bohm et al. Proc. of I Int. Conf. on Streamer Chamber Technology, 1973, ANL-8055, p. 117.
3. K.Eggert et al. Nucl.Instr. and Meth., 125, 477 /1975/.
4. W.Rohrbeck, G.Bohm. Preprint ZI für Elektronenphysik AW der DDR, Berlin, 1973.
5. Ю.П.Мерков и др. Сообщение ОИЯИ, 10-9127, Дубна, 1975.
6. A.C.Odian. Proc. of I Int. Conf. on Streamer Chamber Technology, 1972, ANL-8055, p. 55.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 апреля 1976 года.