

7811

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



7811

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

P13 - 7811

В.Д.Володин, Н.С.Глаголева, П.С.Кузнецов,
А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин, Э.Н.Шевченко,
В.Олейничак, Р.Фирковский

АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ РЕЖИМА
ДВУХМЕТРОВОЙ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ

1974

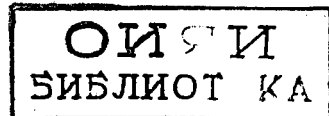
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

P13 - 7811

В.Д.Володин¹, Н.С.Глаголева, П.С.Кузнецов,
А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин,¹ Э.Н.Шевченко,
В.Олейничак,² Р.Фирковский²

АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ РЕЖИМА
ДВУХМЕТРОВОЙ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ

Направлено в ПТЭ



¹ Лаборатория высоких энергий, ОИЯИ.

² Институт ядерных исследований, Лодзь (ПНР).

Работа выполнена совместно сотрудниками Лаборатории высоких энергий, Лаборатории вычислительной техники и автоматизации и Института ядерных исследований в Лодзи (ПНР).

В работе /1/ приводятся результаты исследований различных режимов работы двухметровой стримерной камеры, полученные на стенде при регистрации космических лучей. При этом изучалась зависимость размеров стримера - длина, диаметр - в неоне от параметров импульса на электродах камеры - амплитуда, длительность, задержка относительно мониторингового сигнала. Стримерная камера предъявляет наиболее жесткие требования к этим параметрам, и это вызывает необходимость осуществления непрерывного контроля за их изменениями в процессе работы. Кроме того, значительный интерес представляют, ввиду имеющегося в литературе разнообразия экспериментальных данных относительно абсолютных значений амплитуды импульса, необходимых для нормальной работы камеры при данной его длительности, измерения абсолютных значений напряженности поля в зазорах камеры. Используемые для больших камер системы формирования высоковольтного импульса позволяют иметь на электродах камеры импульс постоянной длительности, и задача контрольной аппаратуры сводится к измерению амплитуды однократных импульсов длительностью около 10 нсек в диапазоне напряжений до 1 мВ, а также временных задержек в тракте формирования импульса в диапазоне 100-1000 нсек.

Для решения этих задач и с учетом возможного расширения их применения полезно, чтобы такое устройство позволяло измерять импульсы любой длительности вплоть до постоянного тока. С этой целью и была разработана нижеописываемая аппаратура.

Схема аппаратуры. Структурная схема аппаратуры приведена на рис. 1. Импульс, поступающий от согласующих

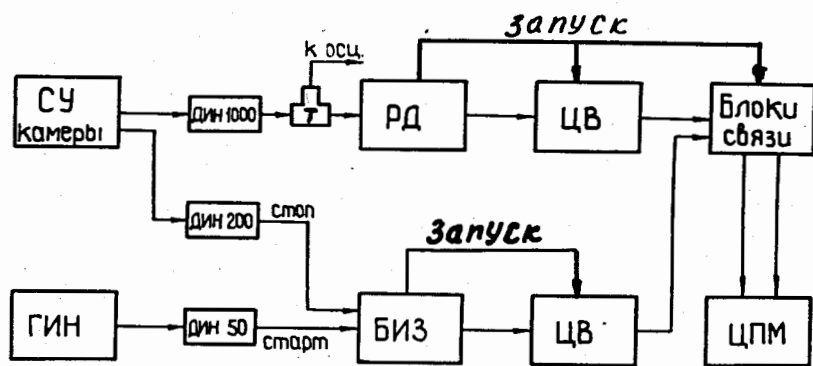


Рис. 1. Структурная схема аппаратуры.

устройств камеры - СУ через делитель с коэффициентом деления 2000 - /ДИН-1000/ и тройник Т, подается на осциллограф и дифференциальный расширитель РД, преобразующий амплитуду наносекундного импульса в квазипостоянное напряжение на уровне, близком к пиковому значению. Из расширителя импульс поступает на цифровой вольтметр ЦВ /визуальная индикация амплитуды импульса/. Показания ЦВ через блоки связи поступают на цифровая печать - ЦПМ. Расширитель одновременно вырабатывает синхронный импульс запуска ЦВ и ЦПМ. Тот же импульс от СУ через делитель напряжения /с коэффициентом деления около 2000/ поступает на блок измерения задержки БИЗ, преобразующий временные интервалы в квазипостоянное напряжение, и служит сигналом "Стоп" для блока. Сигнал "Старт" подается от выбранного блока системы формирования - в данном случае от генератора импульсов поджига - ГИН. Квазипостоянное напряжение, пропорциональное задержке от блока БИЗ, подается на ЦВ и далее на ЦПМ. Сигналом от блока БИЗ осуществляется и синхронный запуск ЦВ.

Расширитель импульса должен обеспечить на выходе импульс длительностью $2 \cdot 10^{-3}$ сек - не менее времени

измерения цифрового вольтметра. Спад вершины импульса за это время должен находиться в заданных пределах при изменении длительностей входных импульсов от 10 нсек до ∞ . Амплитуда выходного импульса с высокой точностью должна соответствовать пиковому значению амплитуды входного. Для стримерной камеры диапазон амплитуд входных импульсов практически не ограничен сверху и может быть приведен к требуемому при включении дополнительных делителей. Выбор малых значений амплитуд вызывает опасность появления наводок. На основании этих соображений и имевшихся к началу разработки сведений в литературе, максимальное значение измеряемых амплитуд было выбрано равным 100 В. Предварительные эксперименты с расширителями, описанными в работе /2/, а также транзисторами не показали обнадеживающих результатов, и в дальнейшем была выбрана и испытана схема расширителя с катодными повторителями, временные характеристики которой оказались лучше /3/ /см. рис. 2, /1//. Более подробные исследования схемы рас-

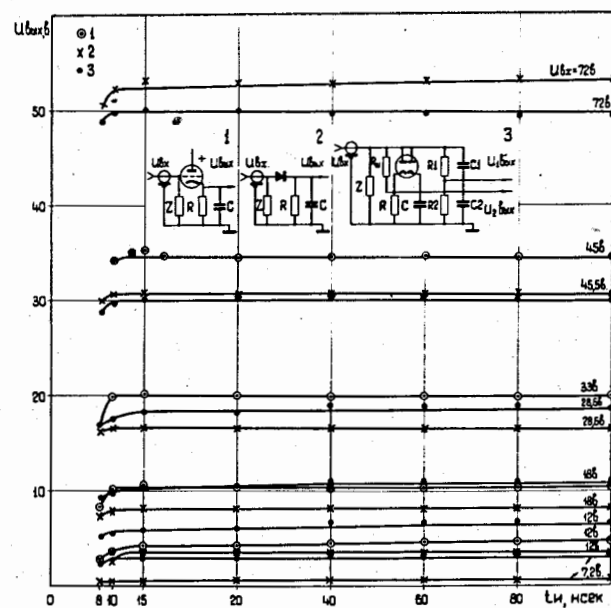


Рис. 2. Временные характеристики расширителей.

ширителя, содержащего 4 каскада на катодных повторителях, показали значительную нелинейность /рис. 3/.

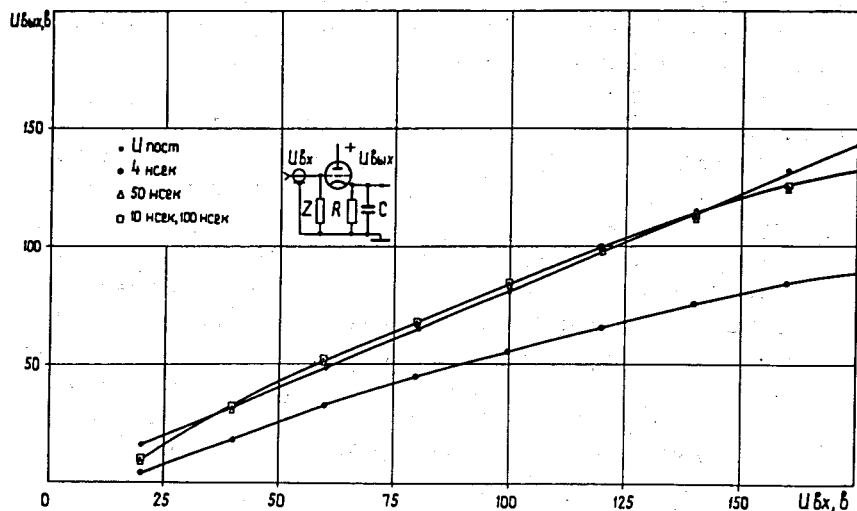


Рис. 3. Амплитудная характеристика расширителя на катодных повторителях при разных длительностях импульса и постоянном токе.

амплитудной характеристики, возникающую из-за выброса в переходной характеристике. Включение на входе этой схемы п/п диодно-емкостной ступени расширителя /КД503А/ позволяет сохранить постоянство временных характеристик в области малых времен /рис. 2 /2//, но увеличивает расхождение между амплитудной характеристикой при постоянном токе и коротких импульсах и не улучшает линейности начального участка - рис. 4. Кроме того, схемы чувствительны и к форме входного напряжения, особенно к крутизне нарастания переднего и заднего фронтов импульса и длительности его плоской части.

В схеме диодно-емкостного расширителя с открытым входом в момент окончания входного импульса идеальной прямоугольной формы из-за паразитной емкости анод-катод диода Сд на накопительном конденсаторе появляется

скачок напряжения $\Delta U_m(0) = U_{вх} \frac{C}{C + C_d}$, обусловлен-

ный перезарядом междуэлектродной емкости Сд. Скачок напряжения приводит к изменению коэффициента передачи расширителя при изменении формы и длительности импульса /4/.

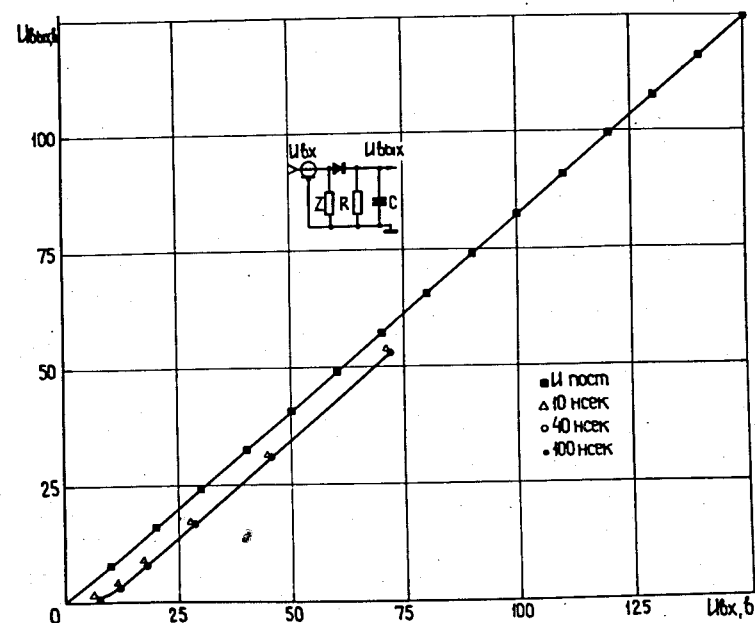


Рис. 4. Амплитудная характеристика расширителя с п/п диодно-емкостной ступенью на входе при разных длительностях входного импульса и постоянном токе.

В связи с этим была предложена и испытана дифференциальная схема расширителя с уравновешенным для импульса обратной полярности мостом на входе. Принципиальная электрическая схема моста приведена на рис. 5. Ее отличие от диодно-емкостного расширителя с открытым входом заключается в том, что диод шунтирован сопротивлением $R_{ш}$ и расширитель образует два плеча моста, другие два плеча которого образованы компенса-

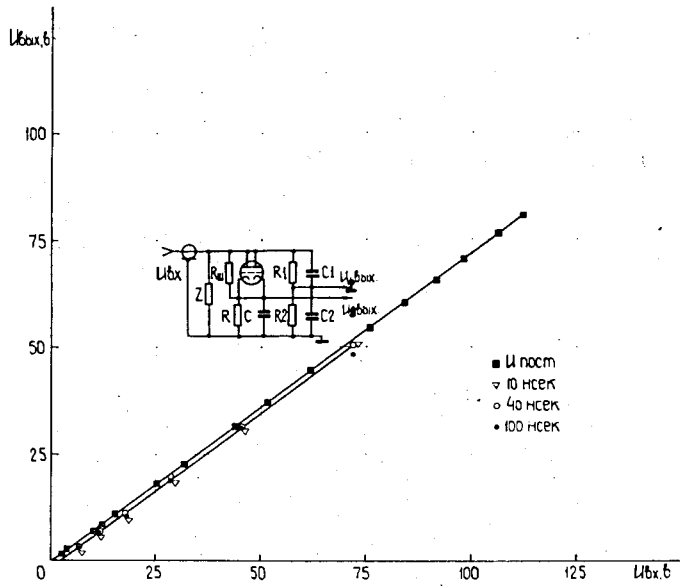


Рис. 5. Амплитудная характеристика расширителя - моста при разных длительностях входного импульса и при постоянном токе.

рованным делителем C_1R_1 и C_2R_2 . Выходной сигнал снимается с диагонали моста $U_{1\text{ВЫХ}}$, $U_{2\text{ВЫХ}}$, причем емкости по одну и по другую сторону диагонали моста соответственно равны. При поступлении на вход мостовой схемы импульса скачок напряжения, возникающий на накопительном конденсаторе, обусловленный перезарядом междуэлектродной емкости C_d , существует во время действия импульса на выходе компенсированного делителя и вычитается из действия основного ^{5/}. Можно показать, что если считать сопротивление диода в проводящем направлении постоянным, а выходное сопротивление источника входного сигнала близким к нулю, то в схеме рис. 5 к моменту окончания входного прямоугольного импульса длительностью $T_{И}$ напряжение - $U_{1\text{ВЫХ}}$.

$$U_{1\text{ВЫХ}}(T_{И} - \delta; \delta \rightarrow 0) = U_{\text{ВХ}} \cdot K_d (1 - e^{-T_{И}/\tau_3}) + U_{\text{ВХ}} \frac{C_d}{C + C_d} e^{-T_{И}/\tau_3}$$

и после прохождения импульса

$$U_{1\text{ВЫХ}}(T_{И} + \delta; \delta \rightarrow 0) = U_{\text{ВХ}} [(K_d - \frac{C_d}{C + C_d})(1 - e^{-T_{И}/\tau_3})] e^{-\delta/\tau_p};$$

и, соответственно, напряжение $U_{2\text{ВЫХ}}$:

$$U_{2\text{ВЫХ}}(T_{И} - \delta; \delta \rightarrow 0) = U_{\text{ВХ}} \frac{C_1}{C_1 + C_2}; \quad \text{где } C_1 = C_d; C_2 = C;$$

$$U_{2\text{ВЫХ}}(T_{И} + \delta; \delta \rightarrow 0) = 0,$$

где отсчитывается от момента окончания импульса и разность напряжений $U_{1\text{ВЫХ}} - U_{2\text{ВЫХ}}$ в соответствующие моменты времени при тех же условиях

$$U_{1\text{ВЫХ}} - U_{2\text{ВЫХ}}(T_{И} - \delta; \delta \rightarrow 0) = U_{\text{ВХ}} (K_d - \frac{C_d}{C + C_d})(1 - e^{-T_{И}/\tau_3});$$

$$U_{1\text{ВЫХ}} - U_{2\text{ВЫХ}}(T_{И} + \delta; \delta \rightarrow 0) = U_{\text{ВХ}} (K_d - \frac{C_d}{C + C_d}) \times$$

$$\times (1 - e^{-\delta/\tau_p}) e^{-T_{И}/\tau_3}$$

т.е., если $T_{И}/\tau_3$ достаточно велико /ошибка незаряда мала/, то выходное напряжение - разность напряжений $U_{1\text{ВЫХ}} - U_{2\text{ВЫХ}}$ не зависит от длительности входных импульсов и после окончания импульса начинает экспоненциально спадать без скачков. Здесь

$$K_d \approx \frac{R}{R_d + R};$$

$$\tau_3 \approx (C_1 + C_2) R_d \frac{R}{R_d + R} \approx (C_1 + C_2) R_d;$$

$$\tau_p = CR; \quad \tau_1 = R_1 C_1; \quad \tau_2 = R_2 C_2.$$

Временные характеристики схемы дифференциального расширителя, описываемого ниже, приведены на рис. 2 /3/, амплитудные - на рис. 5. Как можно видеть, исполь-

зование схемы уравновешенного моста позволило улучшить амплитудные характеристики расширителя при сохранении требуемых временных характеристик и уменьшить зависимость коэффициента передачи от формы входного сигнала.

Принципиальная электрическая схема расширителя с мостом приведена на рис. 6. К выходам моста подклю-

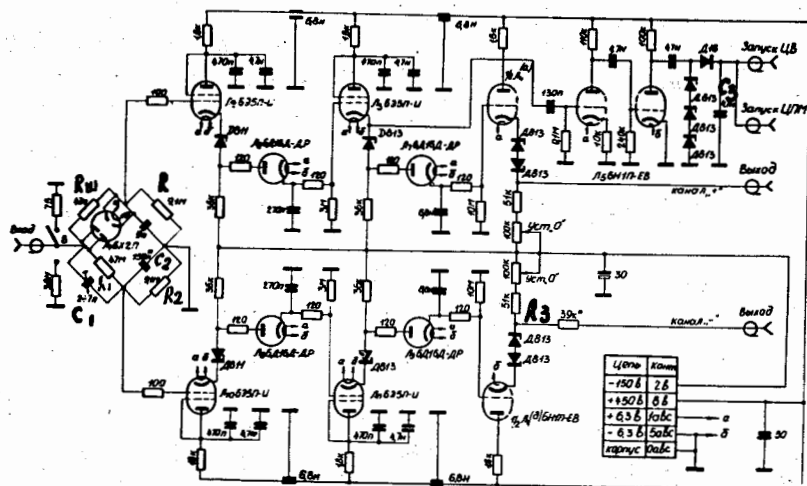


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема расширителя с мостом.

чены 2 идентичных канала двухступенчатого расширителя. Измерительный импульс с выхода $U_{1 \text{ вых.}}$ моста поступает на вход катодного повторителя на L_2 , с выхода К.П. на диодно-емкостный расширитель на L_6 , через К.П. на L_3 на диодно-емкостный расширитель на L_7 , затем через катодный повторитель на $1/2 L_4$ и на вход 1 ЦВ. Кремниевыми стабилитронами Д811, Д813 устанавливается начальное напряжение на конденсаторах расширителей на уровне $0 \div 1$ В с целью уменьшения погрешности при заряде для импульсов малой амплитуды и длительности $1/4,6$.

Второй канал работает аналогично. Выходной сигнал со второго канала расширителя поступает на второе колесо двухтактного усилителя постоянного тока, а затем

подается на 2-ой вход дифференциального каскада ЦВ. Этот вход выводится на переднюю панель и ЦВ превращается в прибор с дифференциальным входом. Установка нулевого уровня напряжения в выходных цепях катодных повторителей L_4 в обоих каналах производится с помощью соответствующих переменных сопротивлений. С выхода катодного повторителя L_3 импульс поступает на усилитель-ограничитель L_5 , дополнительно ограничивается кремниевыми стабилитронами Д813 до уровня ≈ 36 В, далее через расширитель на Д18, С3/ поступает на запуск ЦВ и ЦПМ.

Балансировка расширителя при налаживании устройства производится вначале с выключенным мостом. На входы каналов одновременно подается постоянное напряжение, изменяемое в требуемом диапазоне, с целью выяснения идентичности их коэффициента передачи. Разность коэффициентов усиления усилителя ЦВ компенсируется подбором резистора R_3 , включенного последовательно с входным сопротивлением двухтактного усилителя. После этого на те же входы подается импульс, при необходимости предварительно производится регулировка начальных потенциалов на конденсаторах ступеней расширителей одного из каналов, с тем, чтобы проверить идентичность коэффициента передачи каналов в широком диапазоне амплитуд и длительностей входных импульсов с точностью $\approx 2\%$. Затем подключается мост /канал диода L_1 выключен/ и операция повторяется. Балансировка моста осуществляется регулировкой величины C_1 . После этого включается накал L_1 и схема готова к работе.

Стабильность работы РД при проверке от импульсного генератора характеризует гистограмма рис. 7. Отклонение от измеряемой величины составляет $\pm 0,3\%$ за 2 часа работы, при $t = 10$ нсек, /паспортная величина нестабильности амплитуды генератора во времени не более $\pm 5\%$ за 30 мин./.

Влияние формы входного импульса на коэффициент передачи РД иллюстрирует рис. 8. Как можно видеть, уменьшение коэффициента передачи при подаче на вход расширителя импульса с постоянной времени нарастания

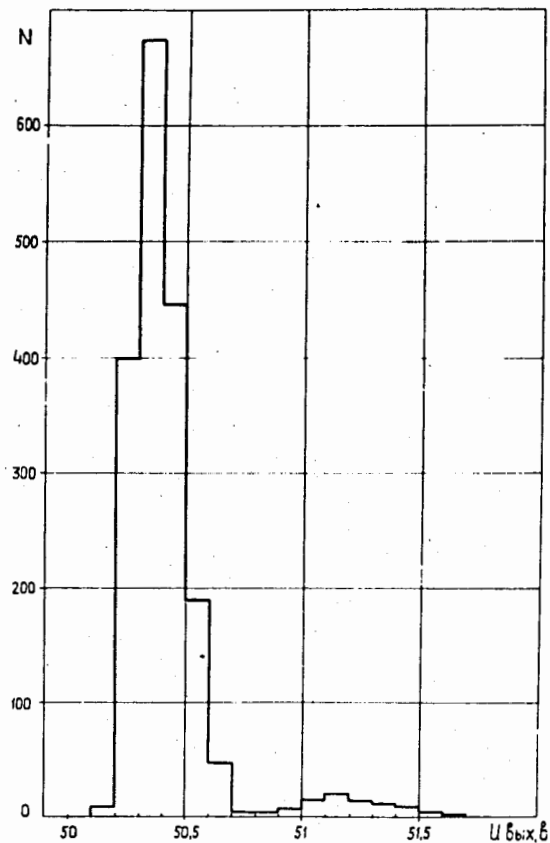


Рис. 7. Гистограмма стабильной работы РД.

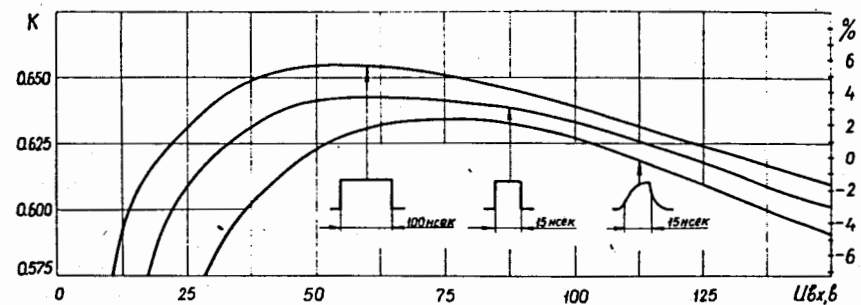


Рис. 8. Коэффициент передачи РД и нелинейность коэффициента передачи прямоугольного импульса и импульса с экспоненциальным фронтом и срезом длительности 15, 100 нсек.

фронта $\approx 3,2$ нсек той же длительности, что и прямоугольный /15 нсек/, составляет меньше 3% в интервале 50-150 В и соответствует расчетной величине.

Высоковольтные делители, собранные на резисторах типа ТВО и УЛИ /рис. 9/, разработаны для расширения

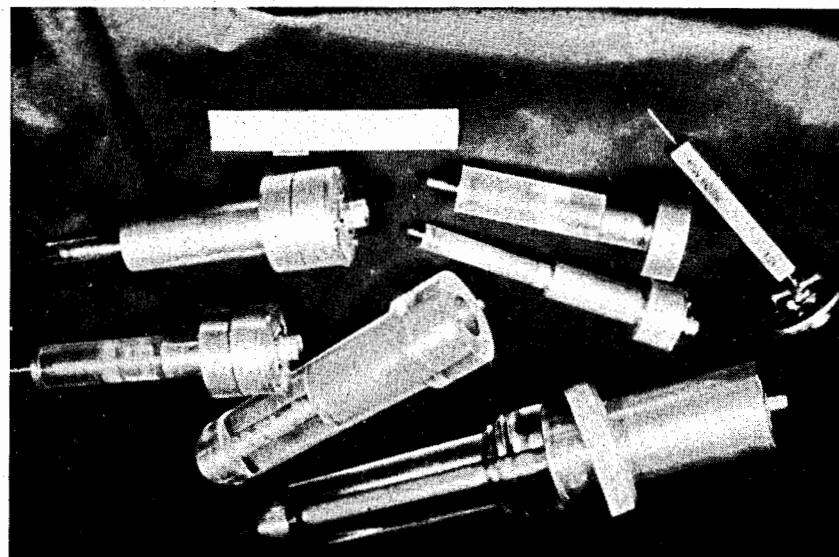


Рис. 9. Высоковольтные делители. Общий вид.

пределов измерения амплитуды наносекундного импульса до диапазона ≈ 1 мВ. Собственное время реакции делителя не хуже 2 нсек измерено с помощью стробоскопического осциллографа OSA601. Погрешность коэффициента ослабления делителей, проверенная по постоянному току, не превышает 4,3%.

Калибровка расширителей сама по себе задача трудная из-за отсутствия промышленных генераторов точной амплитуды в требуемом диапазоне амплитуд и длительностей. Для калибровки расширителей были использованы: электронный генератор Г5-11, генераторы с реле и формирующей линией, разряжаемой на согласованную нагрузку /ГР/ ^{7/}, а также генератор - калибратор на транзисторах и формирующей линии, изготовленной в ПНР.

Электронный генератор позволил снять временные и амплитудные характеристики расширителей до уровня ≈ 75 в, амплитуда входного импульса зависит от его длительности, точность установки амплитуды с помощью собственного осциллографического индикатора не лучше $\pm 10\%$, на вершине импульса наблюдается выброс. Генератор на транзисторах позволил снять временные и амплитудные характеристики расширителя до уровня ≈ 50 в. Для калибровки при больших амплитудах входного сигнала использовался ГР /генератор с реле/, более стабильно работающий в диапазоне 100-200 в. Амплитуда импульса ГР при этом изменяется примерно на 1,5%, меньшее значение амплитуды обеспечивает attenuator электронного генератора. Паспортная погрешность коэффициента ослабления attenuатора не превышает $\pm 2\%$ /постоянный ток/. Общая погрешность при описанной калибровке - около 3%. Характеристика коэффициента передачи расширителя при $t_{и} = 15$ нсек ниже коэффициента передачи при $t_{и} = 100$ нсек \approx на 3% /рис. 8/, что можно отнести к погрешностям калибратора на коротких импульсах, так как у электронного генератора спада коэффициента передачи на коротких импульсах не наблюдается /рис. 2/.

Для калибровки делителей был разработан масляный высоковольтный калибратор /рис. 10/, принцип действия которого тот же, что и в ГР. Точность коэффициента

передачи делителей по постоянному току соответствует определенной импульсами высокого напряжения с отклонением $\approx 5\%$ при $t_{и} = 100$ нсек, коэффициент передачи для всех делителей при $t_{и} = 15$ нсек снижается \approx на 12%, что, по-видимому, должно быть отнесено к уменьшению выходной амплитуды импульса с укорачиванием его /потери в искре/.



Рис. 10. Масляный высоковольтный калибратор. Общий вид.

Точность измерения абсолютного значения амплитуды высоковольтного импульса, определенная в результате экспериментов с калибратором, составляет 7-5% на уровне 20-100 в /рис. 11/. Ошибка измерения абсолютного значения амплитуды высоковольтного импульса складывается из погрешностей определения коэффициента передачи делителей, волнового сопротивления кабеля, нестабильности работы калибратора, погрешности измерения цифрового вольтметра. Кривая калибровки и схема изме-

рения выходного напряжения на электродах камеры изображена на рис. 12.

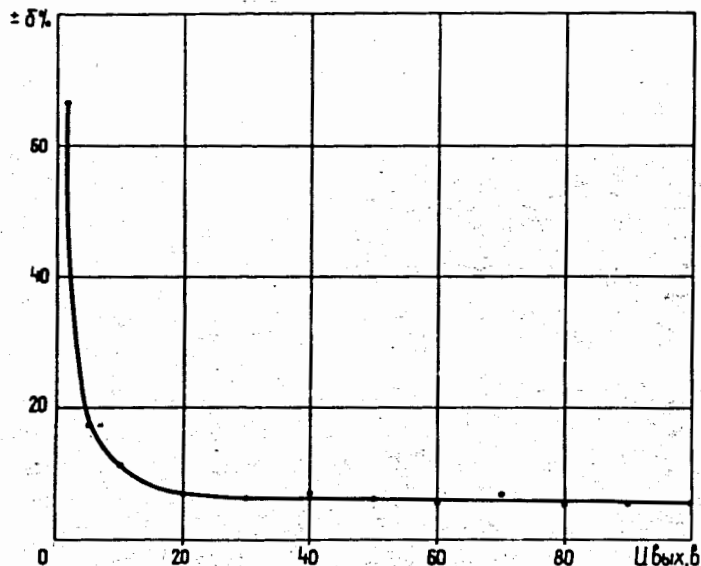


Рис. 11. Ошибка определения абсолютного значения амплитуды наносекундного высоковольтного импульса.

Результаты измерения амплитуды высоковольтного импульса с электродов камеры на синхрофазотроне показали стабильную работу высоковольтного генератора - см. гистограмму рис. 13. Отклонение от измеряемой величины составляет $\pm 1,5\%$ за 8 часов работы установки. Величины абсолютных значений напряженностей электрического поля в камере для каждого режима работы камеры и соответствующих размеров стримера приведены в работе ^{/1/} при длительности высоковольтного импульса на полувысоте 15 и 30 нсек.

Задержка измеряется с помощью блока БИЗ /методом преобразования временных интервалов в амплитуду/ ^{/8/}. Принципиальная электрическая схема БИЗ приведена на рис. 14. Работа схемы БИЗ основана на перехвате тока через лампу Л₃, т.е. при поступлении входного импульса "Старт" в катод лампы Л₁ на сетке лампы Л₂ вы-

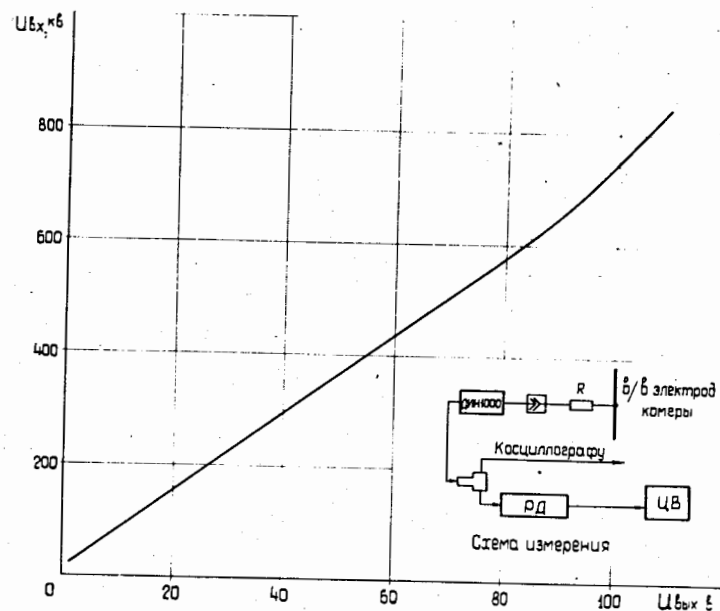


Рис. 12. Кривая калибровки и схема измерения выходного напряжения на электродах камеры.

деляется отрицательный импульс, на аноде Л₃ проявляется положительный сигнал. Запоминание его осуществляется расширителем, выполненным на п/п диодах КД503А и катодных повторителях Л₅, Л₉, Л₈. При поступлении входного импульса "Стоп" в катод Л₆ с динода ее положительный сигнал идет на сетку Л₃, обрывает импульс на аноде Л₃ и запоминание временного интервала прекращается. Запуск цифрового вольтметра ЦВ осуществляется сигналом с динода Л₁. Диапазоны измерения временных интервалов: 0-100 нсек, 0-1 мсек.

Кривые калибровки БИЗ приведены на рис. 15-16. Полярность входных импульсов отрицательная, длительность 5 - 100 нсек, амплитуда входных напряжений 20-120 В. Отклонение от измеряемой величины временных интервалов на шкале 0-100 нсек изменяется с величиной интервала и составляет $\pm 2\%$ при 10 нсек;

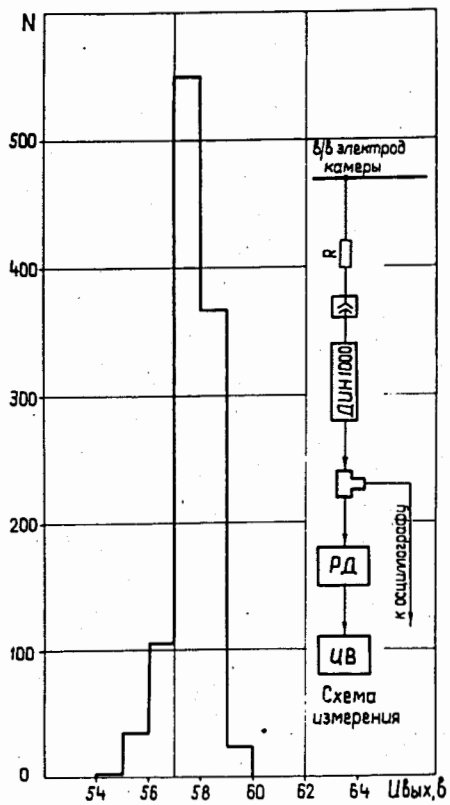


Рис. 13. Гистограмма амплитуд высоковольтных импульсов на электродной системе камеры. $U_{\text{ВЫХ}}$ - показания цифрового вольтметра с расширителем импульса.

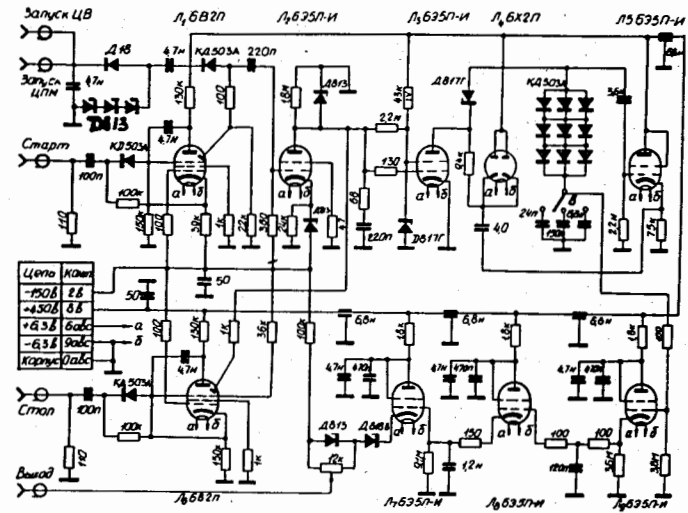


Рис. 14. Принципиальная электрическая схема БИЗ.

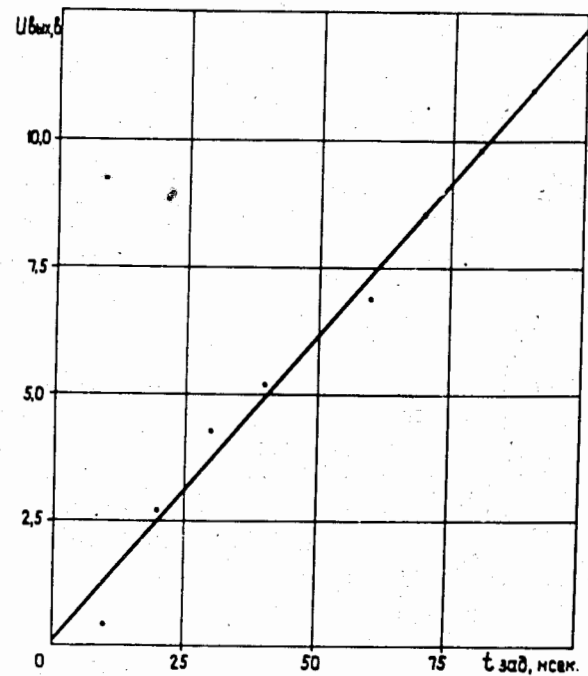


Рис. 15. Кривые калибровки БИЗ на шкале 0-100 нсек.

$\pm 1,3\%$ при 100 нсек, на шкале 0-1 мксек составляет $\pm 2,2\%$ при 100 нсек, $\pm 0,7\%$ при 1 мксек.

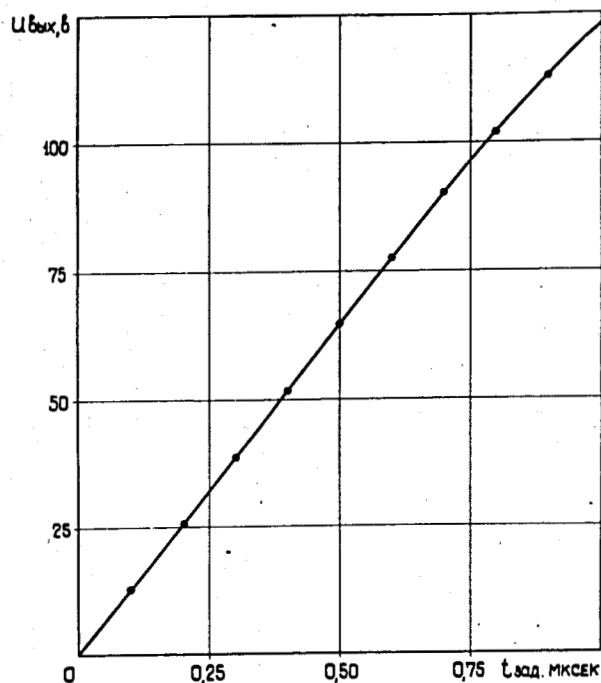


Рис. 16. Кривые калибровки БИЗ на шкале 0-1 мксек.

Конструктивно аппаратура контроля режима камер выполнена на базе стандартных блоков электронных трехсекционных унифицированных стоек, принятых в ОИЯИ. Электронные стойки и стойка-шкаф с приборами укреплены на платформе грузовой четырехколесной тележки с откидным помостом и ограждением, которое на время перевозки подвешивается к шкафу платформы, сам помост поднимается и крепится к шкафу /рис. 17/. Данная конструкция обеспечивает удобство наладки и эксплуатации аппаратуры, а также перевозки системы в собранном виде из одного корпуса в другой в условиях использования аппаратуры на ускорителе.



Рис. 17. Конструкция аппаратуры контроля режима камер. Общий вид.

Таким образом, были достигнуты следующие результаты:

1. Разработана аппаратура контроля режима стримерной камеры, обеспечивающая непрерывный контроль за параметрами высоковольтного импульса на электродах: амплитудой, длительностью, задержкой относительно мониторингового сигнала.

2. Проведены измерения абсолютных значений напряженности поля в камере, соответствующие началу фоторегистрации стримеров при различных условиях работы камеры, предварительные значения приведены в таблице, где T_n - длительность высоковольтного импульса на полувысоте; E - напряженность электрического поля, l_c - длина стримера, H - магнитное поле; давление газа в камере - атмосферное.

Таблица

Газ	Неон	Неон	Неон 53%He+47%Ni 99%He+1%Ne		
T_n нсек	30	15,5	10,5	10,5	12,5
E кв/см	11,2	14	16	17,6	16,7
H тс	0	0	1,0	1,0	1,0
l_c см	1,5	0,7	0,35	0,59	0,45

Примечание:

Фотографирование произведено на пленку чувствительностью 2000 - 2700 ед. ГОСТ при относительном отверстии объектива 1:2.

3. Аппаратура позволяет контролировать стабильность амплитуды и задержки высоковольтного генератора.

4. На практике проверены преимущества разработанного конструктивного выполнения электронной аппаратуры для экспериментов на ускорителе в виде функционально-замкнутой системы электронных сеток и приборов, располагающихся на подвижной платформе.

В заключение авторы считают своим приятным дол-

гом выразить благодарность Г.Ф.Акимовой, А.И.Завгороднему, С.А.Краснову, Т.Ф.Жмыровой, Т.А.Филимоновой, А.А.Верещагину, В.Я.Рубцову за помощь на различных этапах работы.

Литература

1. G.A.Vardenga, V.D.Volodin, N.S.Glagoleva, Yu.A.Karzhavin et al. *International Conference on Instrumentation for High Energy Physics. Fraskati (Italy), 8-12 May, 1973.*
2. Ю.А.Гриц, Т.Г.Яковлева. *Труды пятой научно-технической конференции по ядерной электронике. Том 1, М., Госатомиздат, 1962.*
3. Н.С.Глаголева, А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин. *Препринт ОИЯИ, 13-4527, Дубна, 1969.*
4. З.В.Маграчев. *Вольтметры одиночных импульсов. М., Энергия, 1967.*
5. Н.С.Глаголева, А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин. *Авторское свидетельство НОЗ к 5/04 371678, Бюллетень ОИПОТЗ, 12, 165, 1973.*
6. К.А.Нетребенко. *Компенсационные схемы амплитудных вольтметров и указателей экстремума. Библиотека по автоматике. М., Энергия, 1967.*
7. Г.В.Глебович, А.А.Моругин. *Формирование импульсов наносекундной длительности. М., Советское радио, 1958.*
8. Е.И.Рехин, А.А.Курашев, П.С.Чернов. *Измерение интервалов времени в экспериментальной физики. М., Атомиздат, 1967.*

Рукопись поступила в издательский отдел
20 марта 1974 года.