

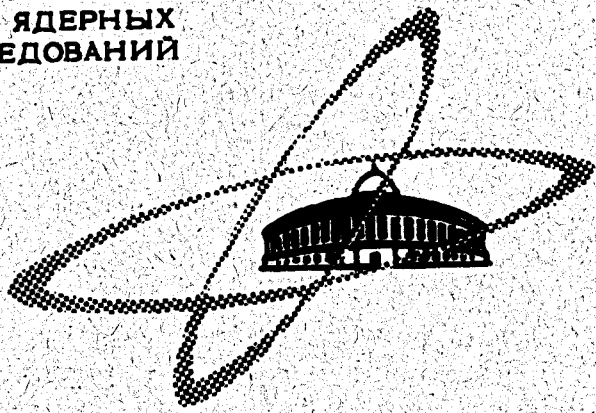
10/11 - 40

В-63

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Дубна

9 - 4834



М.А. Воеводин, Ш.З. Сайфулин

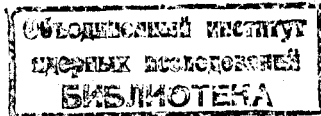
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

**БЕСКОНТАКТНАЯ СИСТЕМА
ИЗМЕРЕНИЯ ПУЧКА И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА НИМ
НА УЧАСТКЕ ИНЖЕКЦИИ СИНХРОФАЗОТРОНА
ОИЯИ**

1969

М.А. Воеводин, Ш.З. Сайфулин

БЕСКОНТАКТНАЯ СИСТЕМА
ИЗМЕРЕНИЯ ПУЧКА И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА НИМ
НА УЧАСТКЕ ИНЖЕКЦИИ СИНХРОФАЗОТРОНА
ОИЯИ



При настройке линейных ускорителей на оптимальный режим ускорения необходимо знать такие важные параметры, как интенсивность пучка и форма проходящего ионного тока. До недавнего времени основным измерительным инструментом на участке инжекции синхрофазотрона ОИЯИ являлся цилиндр Фарадея (ЦФ). На большинстве современных ускорителей, кроме ЦФ, используются бесконтактные индукционные измерители, которые, не разрушая структуры пучка, снимают необходимую информацию об ускоряемом сгустке заряженных частиц. Применение в этих целях магнитоиндукционных датчиков на участке инжекции синхрофазотрона ОИЯИ описано в работе /1/.

Настоящая работа посвящена описанию радиоэлектронной измерительной аппаратуры, работающей совместно с магнитоиндукционными датчиками, установленными в 3 различных местах по трассе ионопровода (рис.1).

В литературе /2/ описана подобная аппаратура, выполненная на электровакуумных приборах со стрелочным указателем амплитуды проходящего тока. В отличие от данной аппаратуры, в отделе синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий была разработана, изготовлена и введена в эксплуатацию система бесконтактного измерения ионного тока, которая полностью выполнена на полупроводниковых приборах, что увеличивает ее надежность и уменьшает габариты, а использование цифровой индикации амплитуды проходящего ионного тока повышает точность и создает удобство при отсчете измеряемой величины.

Параметры измеряемого тока

Длительность импульса ≈ 450 мксек,

Частота следования $\approx 0,1$ гц,

Величина тока:

100 ма - на выходе форинжектора,

60 ма - на входе резонатора,

1 ма - на входе поворотных пластин.

II.

Описываемая система бесконтактного измерения ионного тока содержит три магнитоиндукционных датчика, три предусилителя, линию связи, блоки оконечных усилителей и индикаторные устройства: осциллограф и блок цифрового измерителя амплитуды редких импульсов (ЦИАРИ). Многие узлы системы идентичны и взаимозаменяемы.

На рис. 2. представлена полная блок-схема измерительного устройства.

Сигналы с магнитоиндукционных датчиков величиной 3,2 мв; 1,8 мв и 12,8 мкв поступают на входы предусилителей (ПУ-1, ПУ-2 и ПУ-3). Схемы предусилителей аналогичны, но имеют различные коэффициенты усиления. Одна из схем приведена на рис. 3. Она представляет собой низкочастотный 4-каскадный усилитель, охваченный глубокой отрицательной обратной связью ^{14/}. С целью уменьшения собственного шума 1-ый каскад работает при очень низком коллекторном токе. В первом каскаде используется мал шумящий транзистор П28. Применение в схеме транзисторов разной проводимости существенно упрощает схему, а отсутствие переходных конденсаторов расширяет частотную характеристику усилителя в сторону низких частот. Для получения достаточной стабильности в работе и устранения самовозбуждения на высоких частотах в схеме использовано несколько небольших емкостей ($C_2 + C_6$). Большая глубина отрицательной обратной связи обуславливает хорошую стабильность схемы в рабочем диапазоне температур и при смене транзисторов. Коэффициент усиления по напряжению K_u 4 каскадов составляет $4 \cdot 10^4$. Уси-

литель обеспечивает малые нелинейные искажения, не превышающие 1%. В усилителе осуществлена параллельная обратная связь по напряжению. Такая схема обеспечивает большой порог чувствительности измерительного устройства, так как используемый вид отрицательной обратной связи снижает и стабилизирует коэффициент усиления по току, не меняя в данном конкретном случае существенно коэффициента усиления по напряжению. Уменьшение входного сопротивления схемы используется для увеличения постоянной времени интегрирования магнитоиндукционного пояса.

III

Известно, что магнитоиндукционные датчики обладают низкой чувствительностью и подвержены влиянию внешних магнитных полей. Измерение осложняется и тем, что аппаратура, обслуживающая линейный ускоритель (модулятор, мощные разрядные тиратроны, генератор ВЧ и др.), создает помехи, совпадающие по времени с полезным сигналом. Эти помехи воздействуют на измерительную систему как со стороны линии передачи информации, так и со стороны цепи питания. Для обеспечения эффективной работы индикаторных устройств и всей системы в целом, был предпринят следующий ряд мер, направленных на уменьшение воздействия внешних электромагнитных полей:

1. Магнитоэкранирование измерительного пояса.
2. Двойное электромагнитное экранирование предусилителя.
3. Равномерная намотка измерительных витков по всему периметру тороидального сердечника.
4. Питание предусилителя от отдельного стабилизированного выпрямителя.
5. Использование в линии связи "датчик-предусилитель" микрофонного кабеля типа КММ-2.
6. Стробирование полезного сигнала на входе ЦИАРИ.
7. Компенсация помехи с помощью 2-канальной системы усиления с последующим суммирующим устройством.

На рис. 4 приведена схема соединения датчика с предусилителем. Из рисунка видно, что при равенстве площадей измерительных витков магнитного пояса и при симметричном расположении их на тороидальном сердечнике может быть достигнута малая чувствительность к внешним магнитным полям со слабым градиентом. Наиболее уязвимым местом является линия связи. Использование высокочастотного кабеля типа РК в линии связи нежелательно по следующим соображениям. В связи с тем, что корпус датчика и экран предусилителя имеют точки соприкосновения с "землей", на обратном проводе линии связи, каким является внешняя оплетка кабеля, возникнут токи, обусловленные:

- а) разностью потенциалов точек заземления датчика и предусилителя;
- б) наводкой от внешнего электромагнитного поля в образовавшийся контур "линия связи - земля".

Наведенный ток I_k создает на обратном проводе напряжение помехи U_n , которое вместе с полезным сигналом поступает на вход усилительного устройства. Использование микрофонного кабеля устраняет напряжение помехи на входе усилителя, так как прямой и обратный провод датчика не заземлены, а внутренняя свитая пара проводов, передавая симметричный двухполярный сигнал с датчика на симметричный вход предусилителя, слабо подвержена влиянию внешнего магнитного поля.

Высокочастотные помехи, которые проникают на вход усилителя из-за неидеального экранирующего действия оплетки кабеля при протекании по ней тока, индуцированного внешним ВЧ полем, а также помеха, проникающая по цепям питания, компенсируются двухканальной системой усиления с последующим дифференциальным усилителем (рис. 2). При идентичности ПУ1 и ПУ1а и с помощью однокаскадной системы вычитания удается уменьшить помеху на 40 дБ.

На рис. 9 представлена осциллограмма выходного напряжения для датчика, измеряющего ток 1 ма при одноканальной схеме усиления (верхний снимок) и двухканальной схеме с последующим вычитанием (нижний снимок). Стробирование полезного сигнала вызвано необходимостью избавиться от помех, проникающих в усилительную систему после окончания времени инъекции.

Стробирование осуществляется "линейными воротами" в схеме амплитудно-цифрового преобразователя ЦИАРИ.

IV

Цифровой измеритель амплитуды редких импульсов представляет собой разновидность цифрового вольтметра одиночных импульсов. Выбор такого рода схемы обусловлен спецификой работы инжектора синхрофазотрона (1 импульс в 8-9 сек длительностью 450 мксек), причем логика управления измерителем тоже имеет свои особенности.

ЦИАРИ состоит из двух блоков (Бл1 и Бл2, рис. 2). В блоке 1 находится плата амплитудно-цифрового преобразователя (АЦП) и плата источника питания (ИП); блок 2 представляет собой блок цифровых индикаторов (БЦИ), состоящий из 3 декад с индикатором /7/ промышленного образца типа ИЗ-12. Измеритель работает следующим образом.

Синхронизирующий импульс, совпадающий по времени с импульсом запуска источника форинжектора, поступает на плату АЦП и в БЦИ, в последнем, действуя на ключи сброса (T'_1 , T'_2 , T'_3 , рис. 6), переводит декады в положение "0".

На плате АЦП (рис. 5) синхронизирующий импульс (СИ) воздействует на схему логики измерителя, куда входят одновибратор управления (T_{13} и T_{14}), "линейные ворота" (T_{15} , T_{16} и T_{17}), инвертор (T_1) и стабилитроны ($СТ_1$ и $СТ_2$). СИ запускает одновибратор управления, который, в свою очередь, открывает "линейные ворота" /5/ на время прохождения измеряемого импульса (450 мксек). Полезный сигнал поступает на вход амплитудно-временного конвертора (АВК или кодировщика - $T_2 + T_8$). Подробное описание и анализ работы подобного АВК даны в литературе /3/. Если не предпринимать специальных мер, то при измерении сравнительно длинного импульса АВК может дать значительную погрешность в зависимости от формы импульса, которая в нашем случае может иметь различную конфигурацию (рис. 8а, в, г, д). Такая погрешность может возникнуть из-за "локальных" разрядов емкости памяти C_1 (как это показано на рис. 8а, б). Для того, чтобы этого не происходило, импульс,

вырабатываемый одновибратором управления через стабилитрон $СТ_2$, инвертор и стабилитрон $СТ_1$, запирает генератор тока (T_3) в схеме АВК на время, равное длительности измеряемого импульса. По истечении этого времени начинается разряд емкости C_1 , и АВК вырабатывает импульс длительностью, пропорциональной амплитуде входного сигнала. Выходной импульс АВК открывает ключ (T_9), пропускающий серию импульсов, идущих от генератора (T_{10} , T_{11} , T_{12}) с частотой $f = 100$ кГц /6/. Цуг импульсов, число которых пропорционально амплитуде измеряемого сигнала, поступает в БЦИ (рис. 6). На цифровых индикаторах ИН-1 блока ЦИ устанавливается число, показывающее амплитуду измеренного импульса проходящего тока (в ма). Данное число сохраняется до прихода следующего СИ (что означает начало нового цикла ускорения), после чего все повторяется в изложенной выше последовательности.

На рис.7 представлена схема источника питания АЦП и БЦИ.

V

Наблюдение в течение нескольких месяцев за работой описываемой системы бесконтактного измерения ионного тока, установленной на участке инжекции синхрофазотрона ОИЯИ, позволяет сделать следующие выводы:

Несмотря на сложность схемы и большое количество различных элементов радиоэлектроники, система измерения ионного тока надежна при длительной круглосуточной эксплуатации, удобна в работе и проста в управлении.

Вместе с тем были выявлены и некоторые ее недостатки: так, например, выходное напряжение суммирующего каскада (ДУ на рис. 2) оказалось зависящим от температуры, что вынуждает часто проводить калибровку измерительной системы. К числу недостатков можно отнести и некоторое неудобство при использовании ЦИАРИ, которое связано с наличием так называемого "пьедестала", порождаемого "линейными воротами" и схемой АВК. Этот недостаток проявляется в том, что при $U_{вх} = 0$ на индикаторах ЦИАРИ высвечивается цифра 10+15, т.е. ее значение пропорционально величине "пьедестала".

вырабатываемый одновибратором управления через стабилитрон СТ₂, инвертор и стабилитрон СТ₁, запирает генератор тока (Т₉) в схеме АВК на время, равное длительности измеряемого импульса. По истечении этого времени начинается разряд емкости С₁, и АВК вырабатывает импульс длительностью, пропорциональной амплитуде входного сигнала. Выходной импульс АВК открывает ключ (Т₉), пропускающий серию импульсов, идущих от генератора (Т₁₀, Т₁₁, Т₁₂) с частотой $f = 100 \text{ кгц} / 6$. Цуг импульсов, число которых пропорционально амплитуде измеряемого сигнала, поступает в БЦИ (рис. 6). На цифровых индикаторах ИН-1 блока ЦИ устанавливается число, показывающее амплитуду измеренного импульса проходящего тока (в ма). Данное число сохраняется до прихода следующего СИ (что означает начало нового цикла ускорения), после чего все повторяется в изложенной выше последовательности.

На рис.7 представлена схема источника питания АЦП и БЦИ.

V

Наблюдение в течение нескольких месяцев за работой описываемой системы бесконтактного измерения ионного тока, установленной на участке инжекции синхрофазотрона ОИЯИ, позволяет сделать следующие выводы:

Несмотря на сложность схемы и большое количество различных элементов радиоэлектроники, система измерения ионного тока надежна при длительной круглосуточной эксплуатации, удобна в работе и проста в управлении.

Вместе с тем были выявлены и некоторые ее недостатки: так, например, выходное напряжение суммирующего каскада (ДУ на рис. 2) оказалось зависящим от температуры, что вынуждает часто проводить калибровку измерительной системы. К числу недостатков можно отнести и некоторое неудобство при использовании ЦИАРИ, которое связано с наличием так называемого "пьедестала", порождаемого "линейными воротами" и схемой АВК. Этот недостаток проявляется в том, что при $U_{\text{вх}} = 0$ на индикаторах ЦИАРИ высвечивается цифра 10+15, т.е. ее значение пропорционально величине "пьедестала".

При усовершенствовании системы наряду с устранением указанных недостатков необходимо предусмотреть возможность измерения площади импульса с последующей его подачей на цифровую индикацию. Благодаря этому, по желанию оператора можно было бы измерять как амплитуду импульса, так и число ускоряемых частиц, проходящих участок инжекции.

Опыт эксплуатации системы продемонстрировал ее важность и необходимость при настройке инжектора синхрофазотрона ОИЯИ. Применение систем подобного рода весьма перспективно для наладки вновь разрабатываемых линейных ускорителей и различного рода электрофизических установок.

В заключение авторы считают приятным долгом выразить благодарность Л.П. Зиновьеву и Ю.Д. Безногих за практические советы и помощь, а также Э.Г. Имаеву за практическую помощь в разработке ЦИАРИ. Кроме того, авторы благодарят А.А. Анашина и П.Г. Серобабу, принимавших участие в изготовлении и настройке измерительной аппаратуры.

Л и т е р а т у р а

1. М.А. Воеводин. Препринт ОИЯИ, 10-4600, Дубна, 1969 г.
2. И.А. Гришаев, Н.И. Мочешников, В.Ф. Иванов. Измерение положения и тока пролетающего импульсного пучка заряженных частиц, ПТЭ, №4 (1960).
3. Л.С. Горн, Б.И. Хазанов. Схема амплитудно-временного преобразования для многоканальных анализаторов на транзисторах. В сб. "Многоканальные измерители в ядерной физике", вып. 5, Атомиздат, 1963.
4. С. Шварц. Полупроводниковые схемы, ИЛ, М, 1962.
5. Э.Г. Имаев, Ке Ен Су, В.И. Приходько, А.М. Сухов, В.Г. Тишин. Препринт ОИЯИ, P10-3332, Дубна, 1967.
6. Ю.А. Бычков, Ю.И. Романов, Ш.З. Сайфулин. ПТЭ, №5, 27-31 (1968); Препринт ОИЯИ, 9-3484, Дубна, 1967.

7. Декада с индикатором ИЗ-12, техническое описание и инструкция по эксплуатации.

Рукопись поступила в издательский отдел

1 декабря 1969 года.

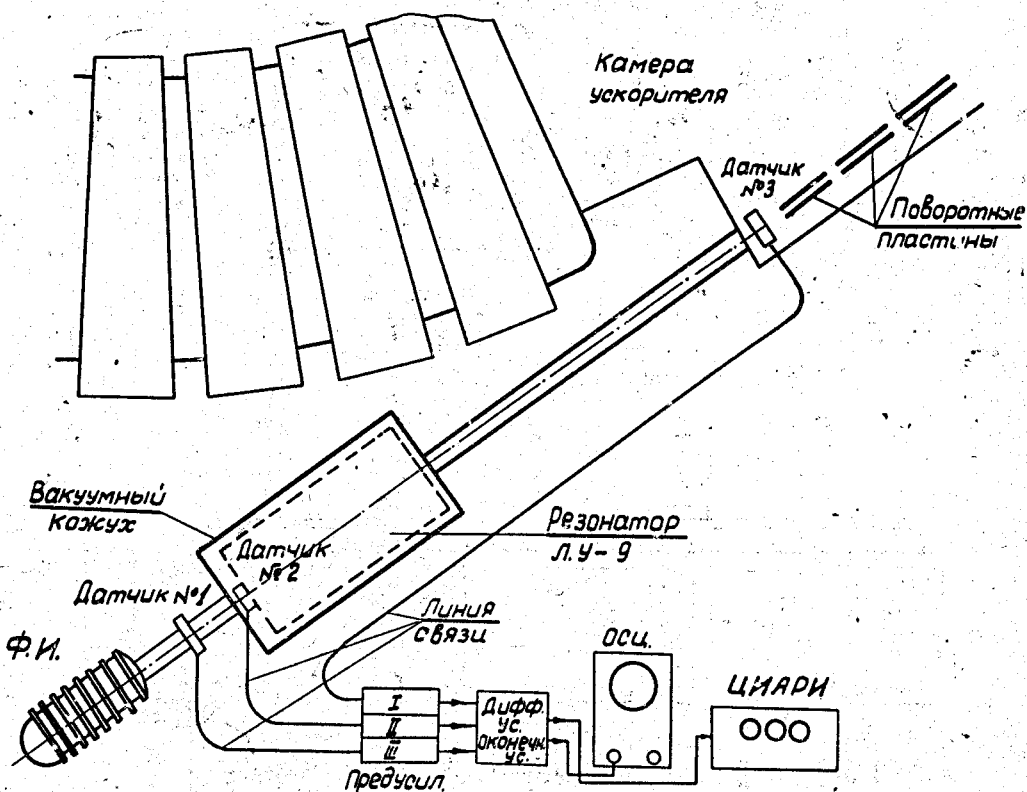


Рис.1. Расположение магнитоиндукционных датчиков на участке инжекции синхрофазотрона ОИЯИ.

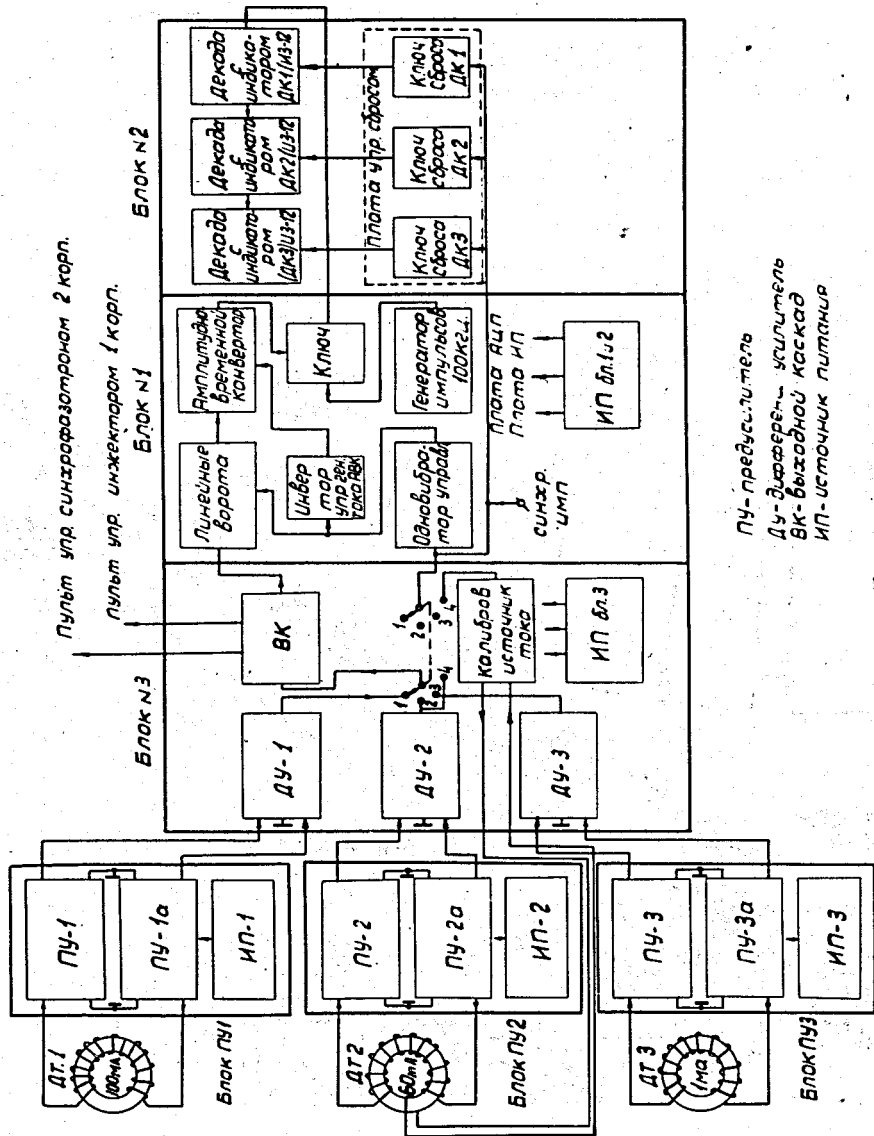


Рис.2. Общая блок-схема системы.

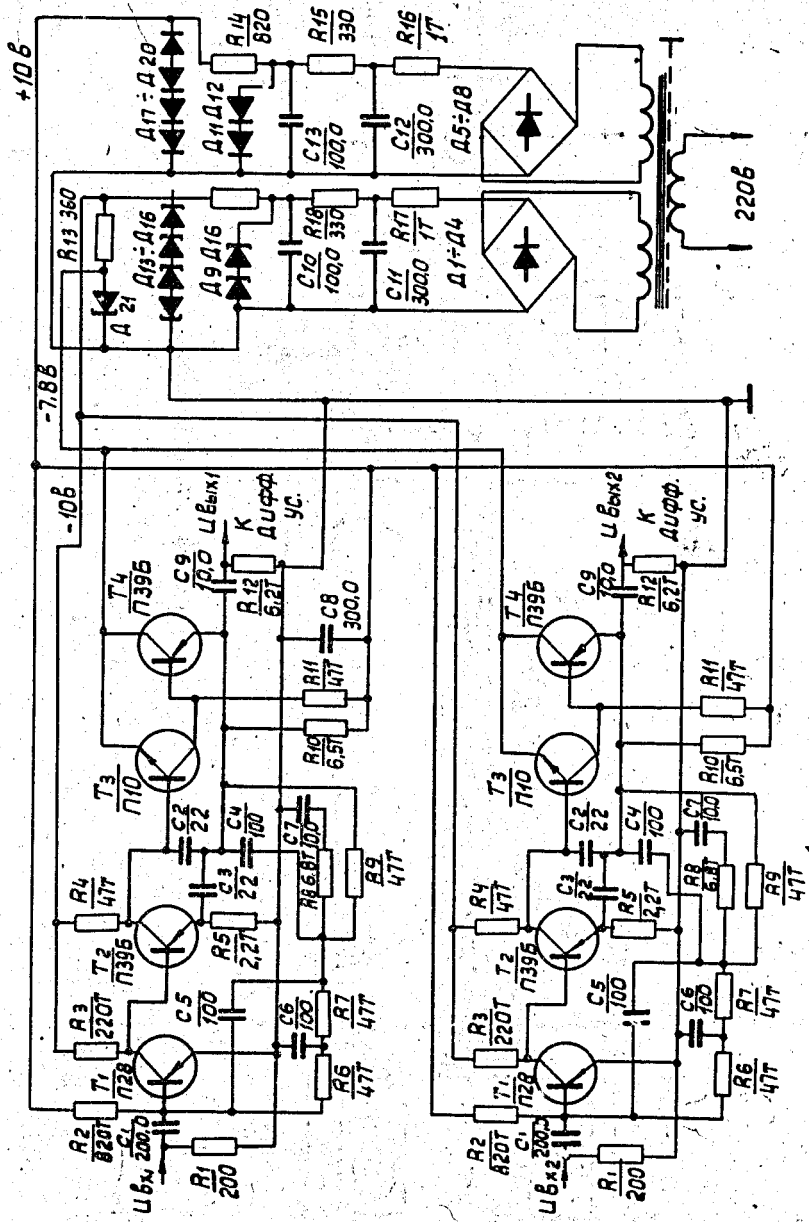


Рис.3. Принципиальная схема предусилителя.

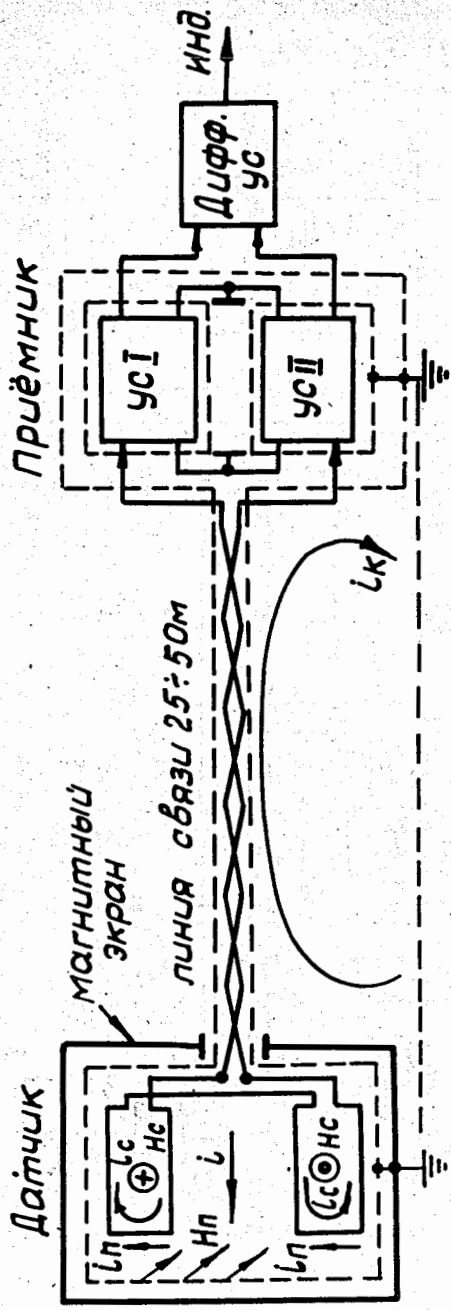


Рис.4. Схема соединения датчика с предусилителем.

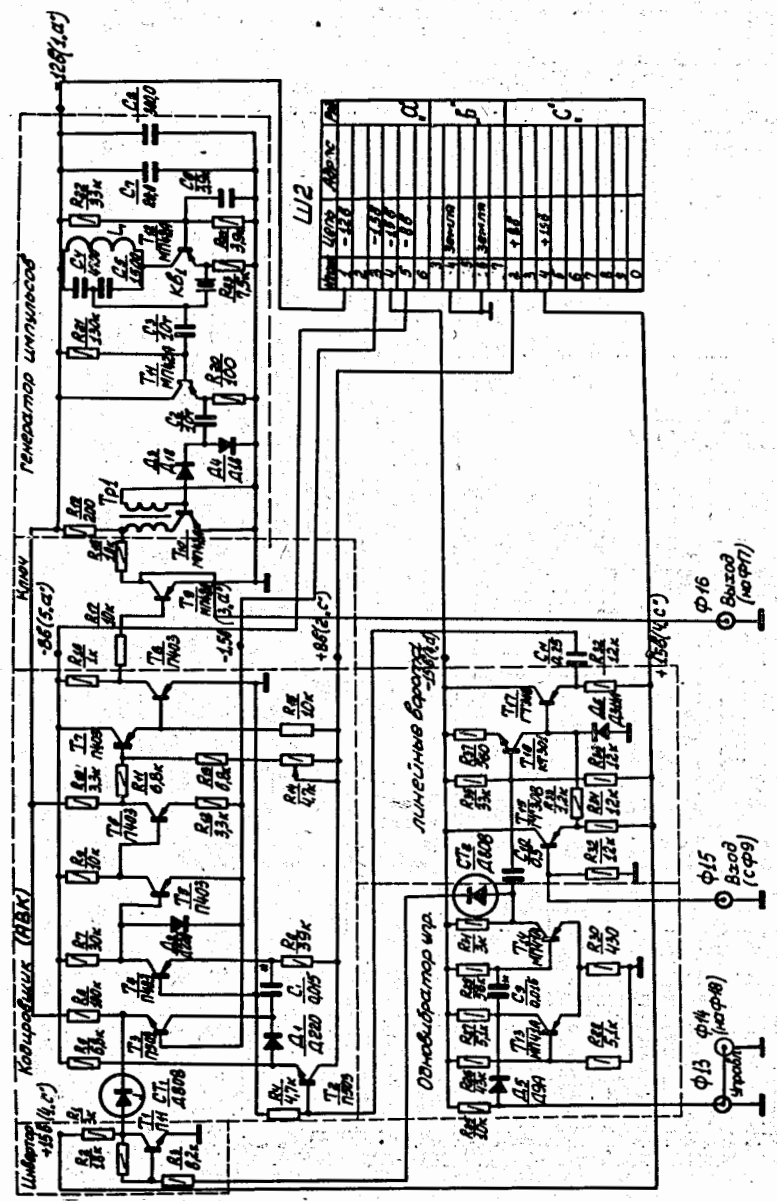


Рис.5. Принципиальная схема АПП.

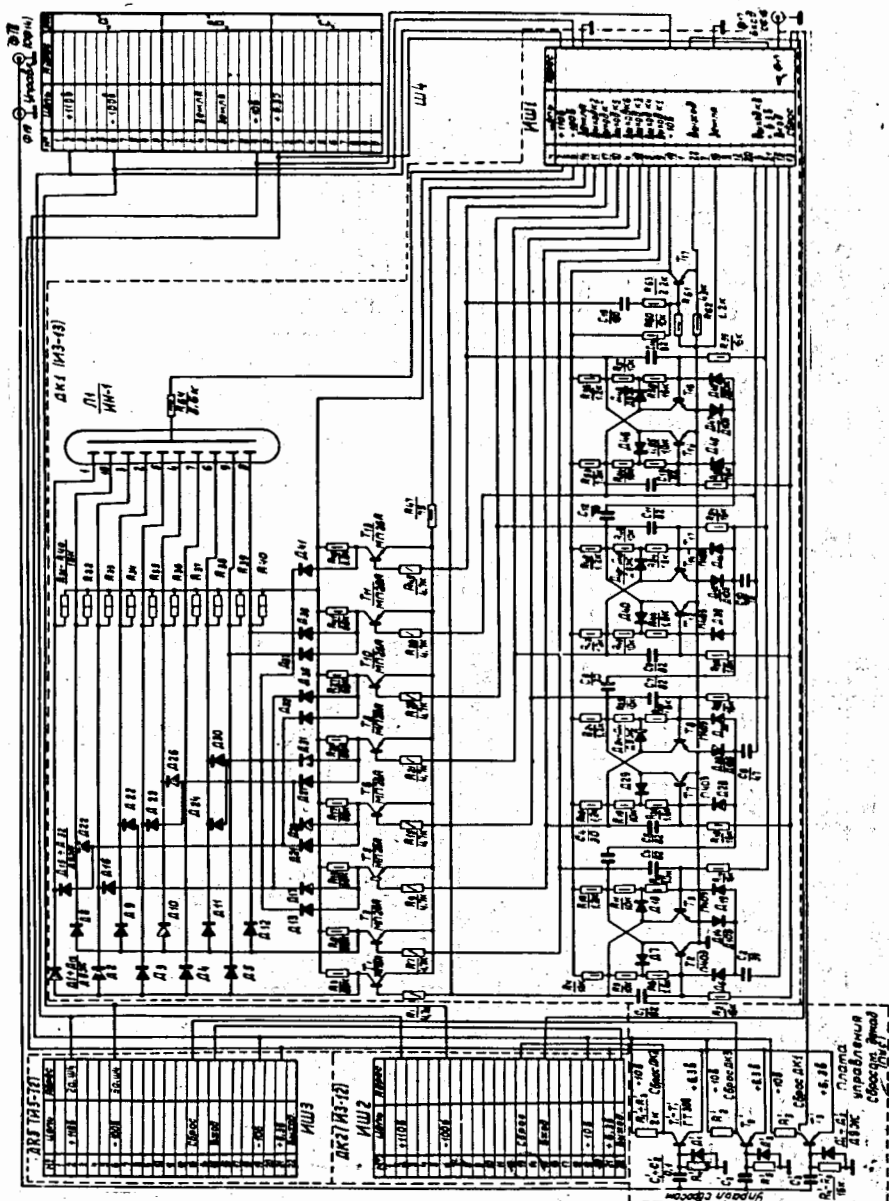
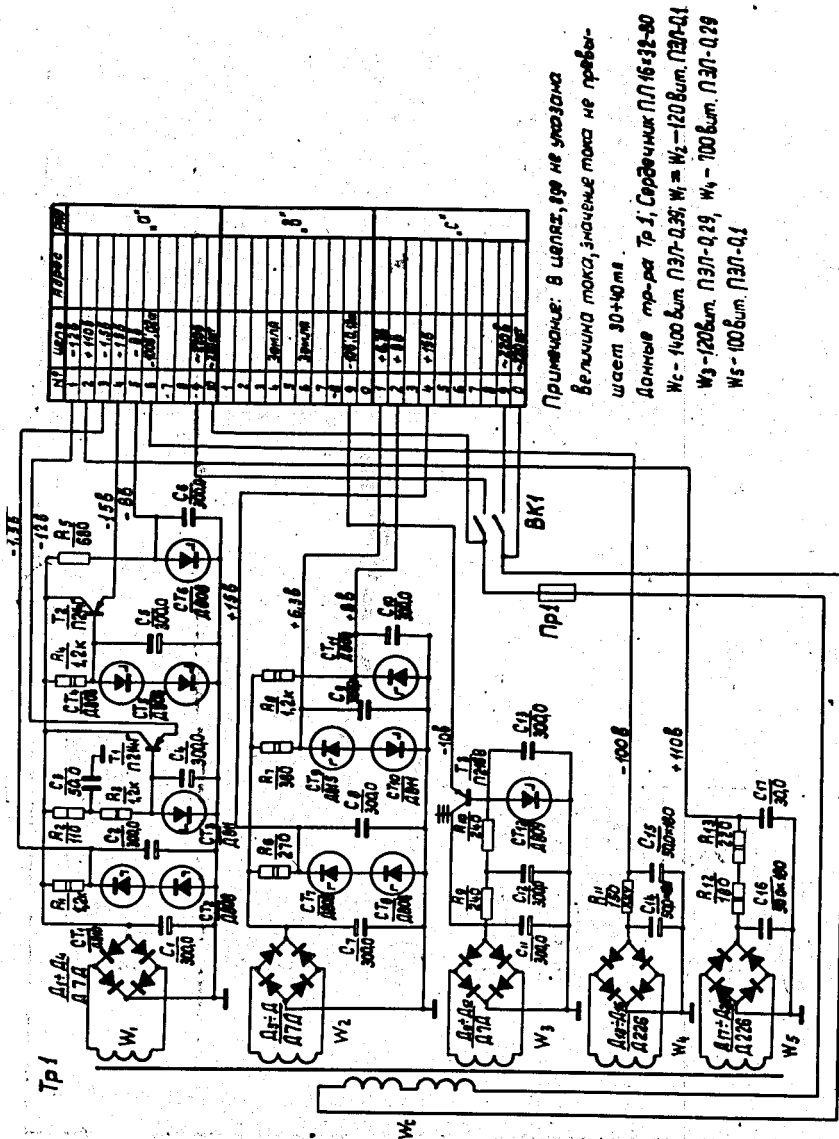


Рис. 6. Принципиальная схема БЦИ.



Примечание: в целях, не указанных
 величина тока, значение тока не превышает 30+40 мА.
 Данные транс-ра Tr 1: Серийный ПЛ16-33-30
 W₁ - 400 Ватт, ПЭЛ-035; W₂ - 120 Ватт, ПЭЛ-01
 W₃ - 120 Ватт, ПЭЛ-029; W₄ - 100 Ватт, ПЭЛ-029
 W₅ - 100 Ватт, ПЭЛ-01

Рис.7. Принципиальная схема ИП.

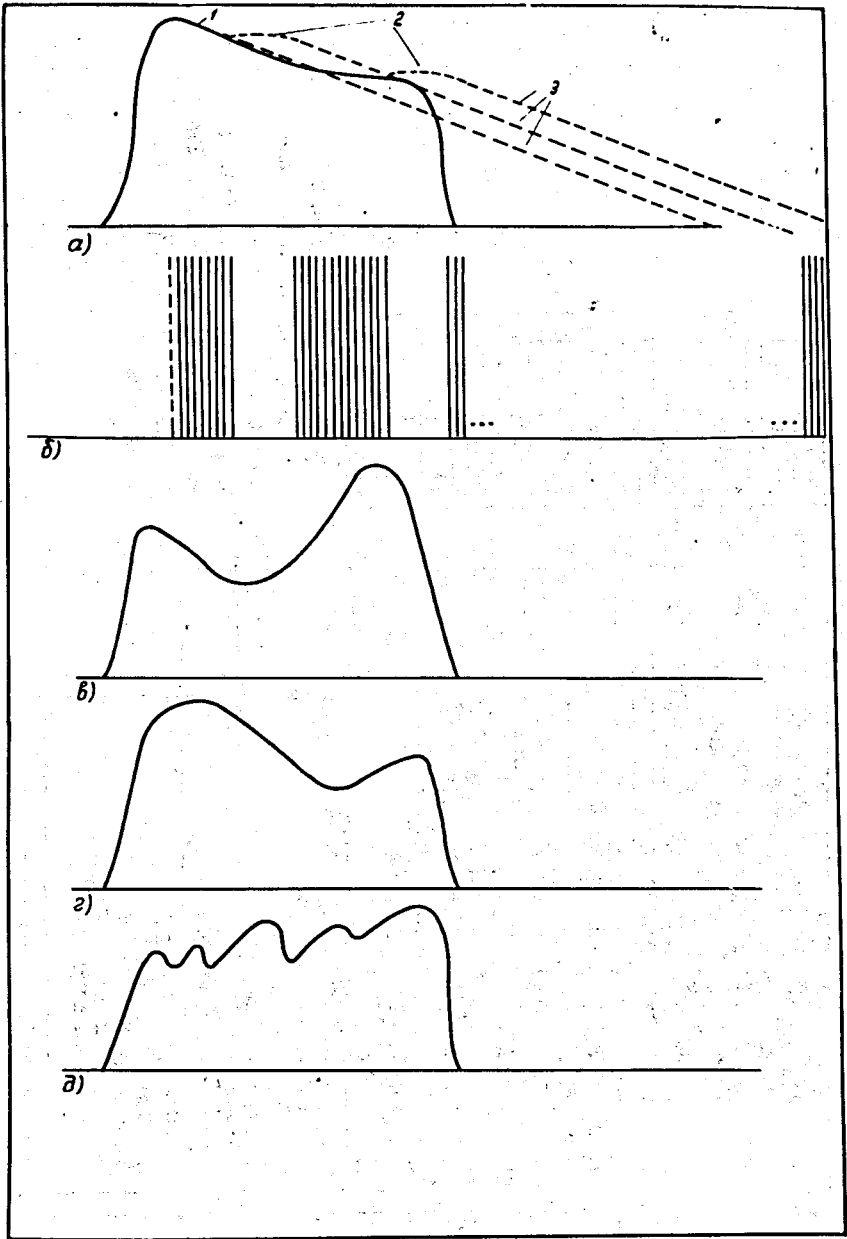


Рис.8. Возможные формы измеряемых импульсов.

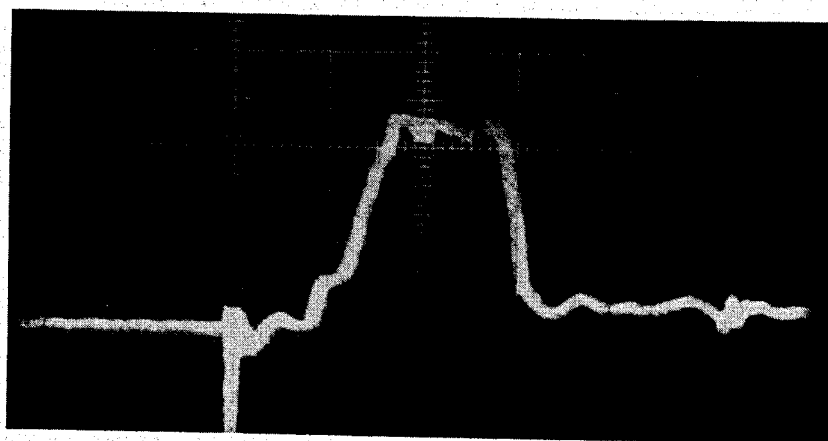
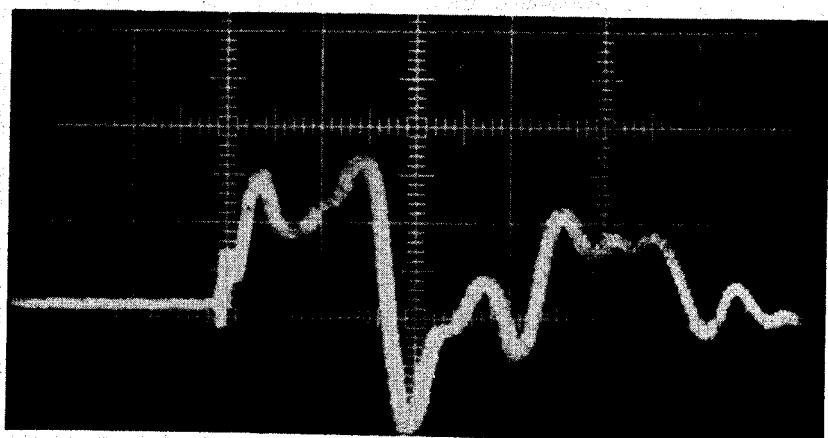


Рис.9. Осциллограммы импульсного тока
при одноканальной схеме усиления - верхний снимок,
при двухканальной схеме усиления - нижний снимок.

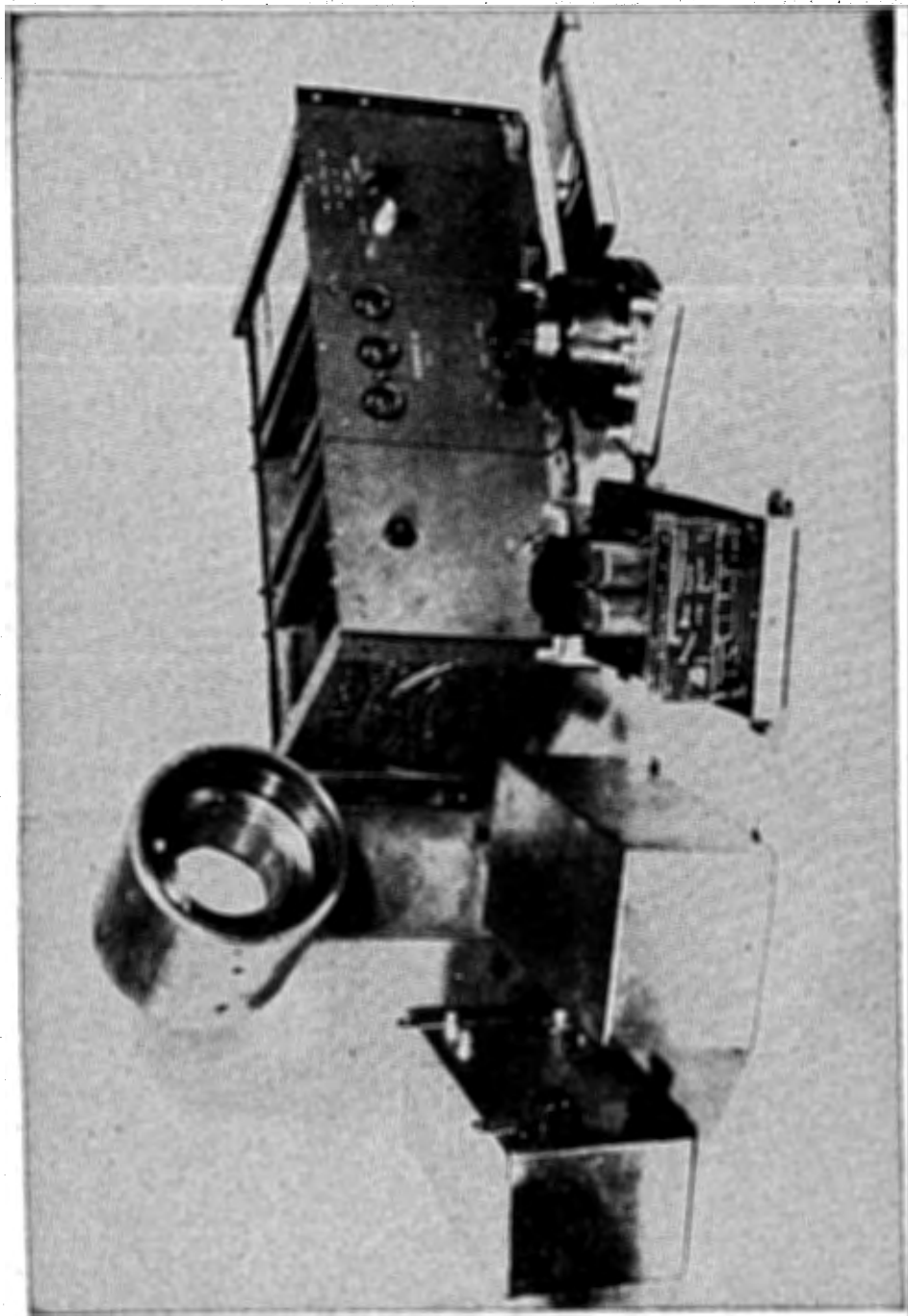


Рис.10. Общий вид измерительной системы.