

Принцип работы ЗЭЛТ заключается в следующем. Во время записи электроны, ускоренные потенциалом 10 кВ, бомбардируют мишень со стороны, обратной диодам (рис.14), и порождают вблизи ее поверхности большое количество электронно-дырочных пар. Дырки диффундируют сквозь мишень и дрейфуют через запирающий слой, образуемый обратносмещенными диодами, вследствие чего диоды становятся проводящими и на участке записи происходит разряд. Когда этот участок вновь сканируется считывающим лучом с энергией 250 эВ, диоды перезаряжаются и на выводе мишени образуется сигнальный ток.

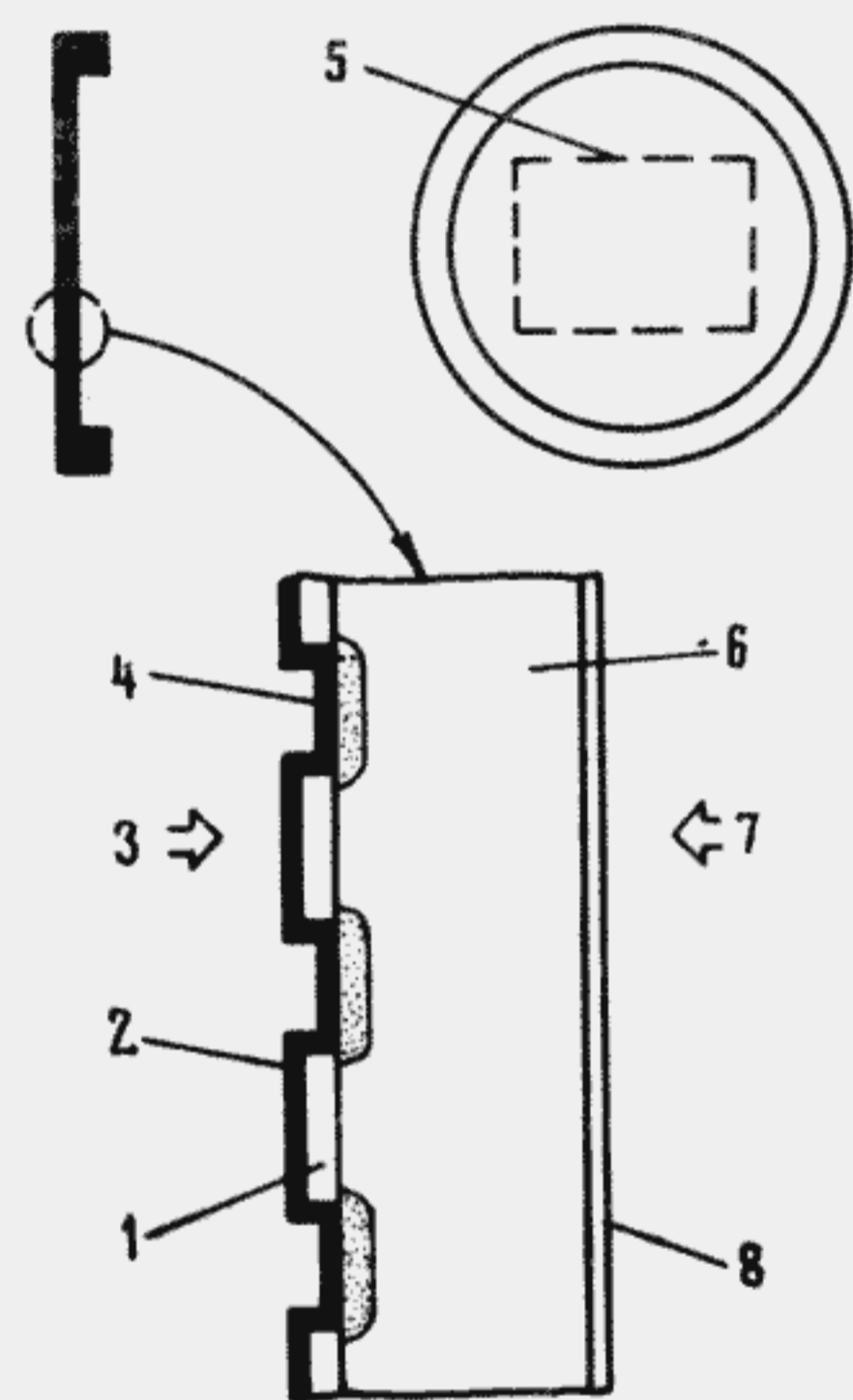


Рис.14. Конструкция узла памяти ЗЭЛТ с кремниевой мишенью:

1 - окись кремния; 2 - полуизолирующий слой; 3 - считывающий луч; 4 - участки p-типа; 5 - сканируемая поверхность; 6 - подложка n-типа; 7 - записывающий луч; 8 - n⁺-область

В работе [35] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению максимальной скорости записи трубки на основании анализа изменения потенциала элемента мишени при действии записывающего луча и влияния этих изменений на величину тока сигнала с учетом ограничений, обусловленных шумами. Для данного типа ЗЭЛТ источники шума при считывании подобны источникам шума в стандартном видеоконе. Оценка влияния шума луча записи на отношение сигнал:шум при больших скоростях записи (около $2 \cdot 10^{12}$ линия/с с учетом большого усиления мишени (примерно 2000) показала, что

ухудшение отношения сигнал:шум очень мало (около 3%) и статистические эффекты, связанные с отдельными электронами записывающего луча, можно не учитывать [35].

Разрешающая способность трубки определяется отдельными элементами ее конструкции: пушкой записи, пушкой считывания и мишенью.

Характерной особенностью трубки является зависимость тока сигнала от тока утечки мишени. Оказалось, что ток утечки удваивается на каждые 10°C увеличения температуры. Это ограничивает максимальную температуру мишени на уровне 60°C [22]. Другой особенностью трубки является тенденция к "расползанию" рельефа на мишени при больших токах записывающего луча (превышающих уровень насыщения) [35]. Это вызывает осложнения при записи сигналов, имеющих участки с большой разницей по скорости. В работе [35] приведены методы понижения "расползания" рельефа путем управления диффузией лишних носителей заряда. В настоящее время начинают появляться мишени с малым уровнем "расползания".

Испытания на долговечность показали некоторое старение мишеней, которое приводило к увеличению обратного тока утечки в области, подвергавшейся электронной бомбардировке. Так, например, работа трубки в течение 2000 ч с постоянной интенсивной записью привела к удвоению тока утечки в записываемой области. При работе в нормальных условиях старение происходит со значительно меньшей скоростью [35].

4.3. Регистратор ОКЗ5М

Регистратор ОКЗ5М (рис.15) является одним из первых быстродействующих МВИ на основе ЗЭЛТ. В нем использована осциллографическая ЭЛТ 18ЛЮ47А, работающая в специальном режиме накопления зарядов -, 0, 0. Как уже отмечалось выше, этот режим ЗЭЛТ обеспечивает сравнительно небольшую скорость записи (до 3700 км/с). С учетом максимально допустимой геометрической крутизны фронта преобразуемого сигнала на мишени трубки (не более 85°) было получено ограничение минимальной длительности развертки записи до 300 нс (на 100 мм рабочего поля мишени) [37].

Для увеличения чувствительности преобразователя в сигнальном тракте использован усилитель с полосой пропускания до 20 кГц (на уровне 2 дБ).

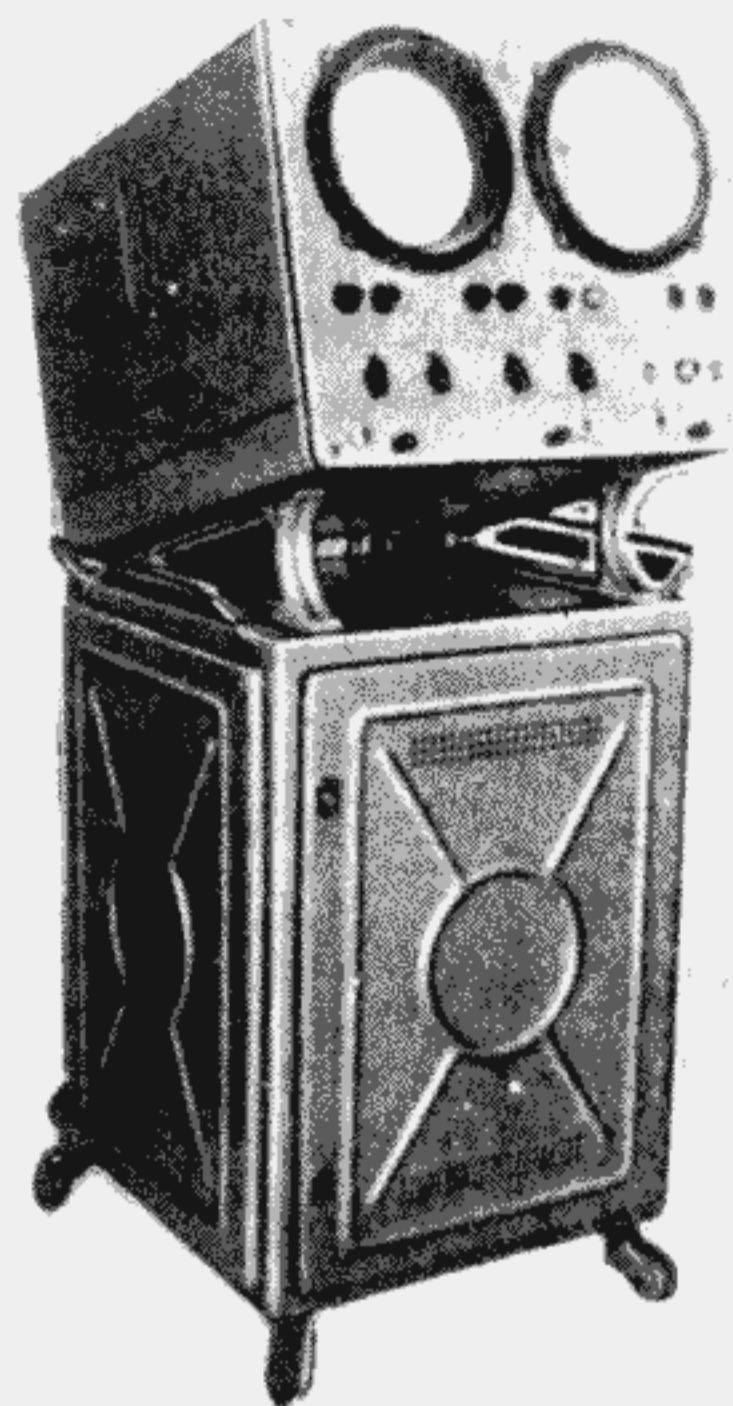


Рис.15. Регистратор ОК35М

Регистратор ОК35М производит двухступенчатое преобразование масштаба времени входного сигнала (рис.16). Первая ступень преобразования осуществляется с помощью ЗЭЛТ, а вторая – с помощью магнитного барабана. В данном случае ЗЭЛТ выполняет роль оперативной памяти, магнитный барабан – долговременной памяти. В регистраторе предусмотрена возможность визуального наблюдения формы исследуемого сигнала в преобразованном масштабе времени на экране индикаторной ЭЛТ, функции которой выполняет также трубка 18ЛЮ47А в осциллографическом режиме работы. Один ее луч воспроизводит точечную осциллограмму (растровое воспроизведение), а другой – электрический аналог, формируемый на выходе цифро-аналогового преобразователя.

Запись измерительной информации на многоканальный магнитный барабан производится параллельным двоичным кодом. Наличие долговременной памяти позволяет воспроизводить форму однократного сигнала на экране индикаторной трубки непрерывно с частотой 25 Гц. Прибор обеспечивает также вывод информации на двухкоординатный самопишущий регистратор ЦДСО21. Поскольку последний имеет скорость записи не более 4 ордината/с, то изменение указанной скорости считывания осуществляется блоком вывода информации.

В регистраторе ОК35М отсутствуют устройства амплитудной и временной калибровки, что является одним из его недостатков. На основании данных по погрешности установки длительности развертки записи и ее нелинейности, приведенных в технической документации [37], можно предполагать, что погрешность временных измерений составляет 10-15%. Эффективность использования рабочего поля мишени ЗЭЛТ по оси амплитуд сравнительно невысока и составляет примерно 50% [37]. Это объясняется тем, что в исходном положении луч записи устанавливается в середине рабочего поля по оси отклонения сигнала.

К настоящему времени выпущена партия регистраторов ОК35М (около 50 приборов).

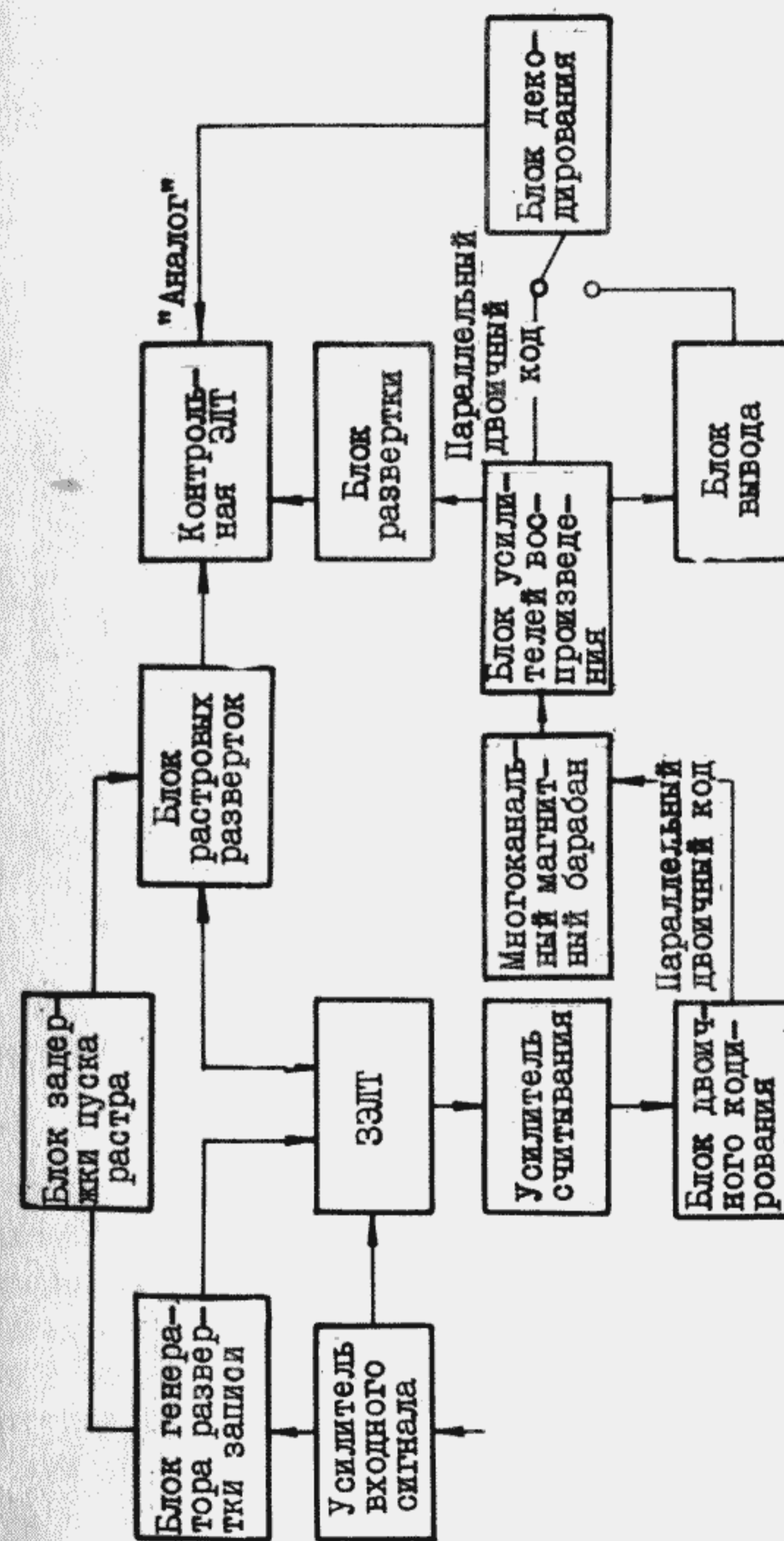


Рис.16. Структурная схема регистратора ОК35М

4.4. Двухканальная телеметрическая система ССТП1

В отличие от регистратора ОКЗ5М система ССТП1 (рис.17) обеспечивает не только непосредственную, но и телеметрическую регистрацию формы однократных электрических сигналов микро- и наносекундного диапазонов [45].

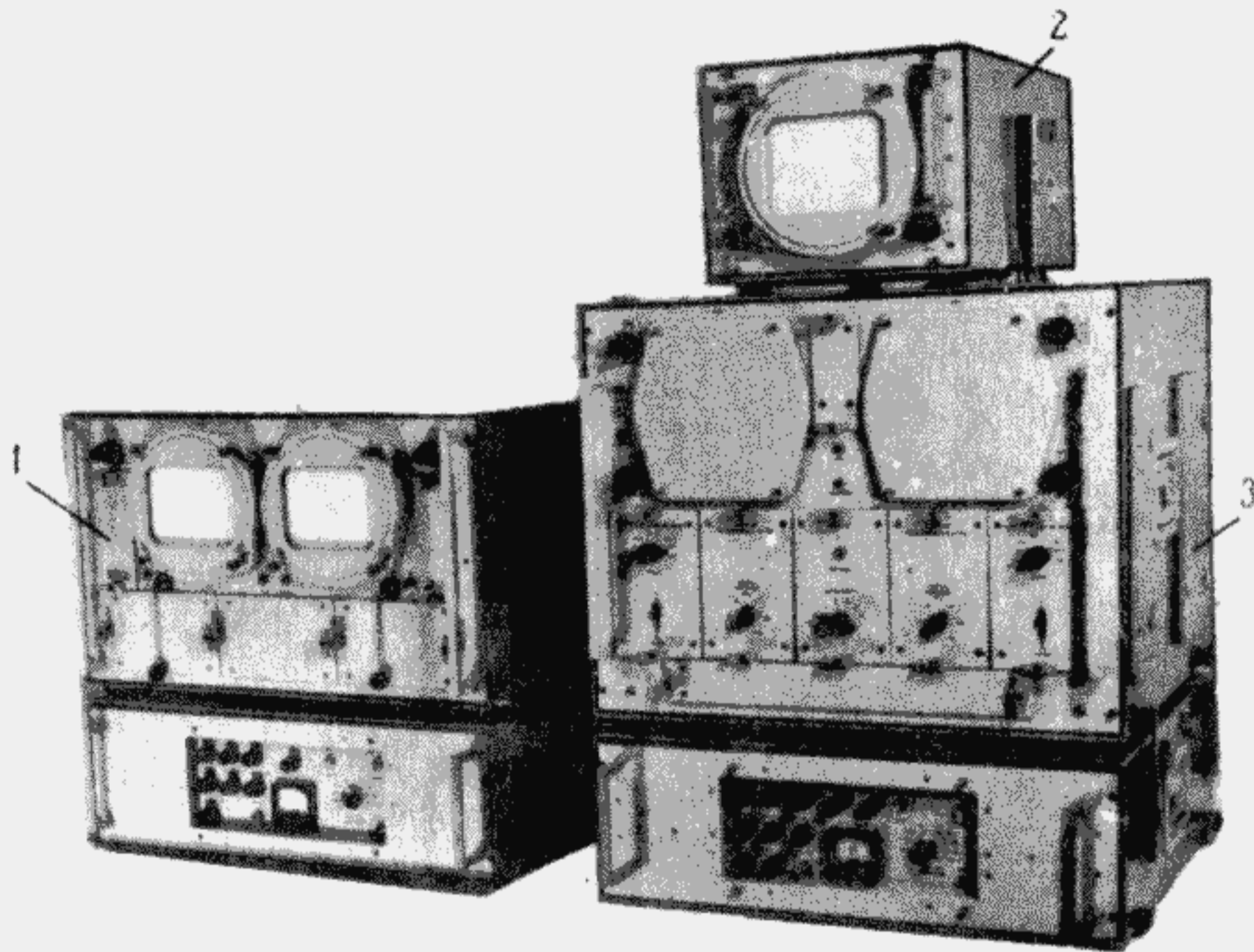


Рис.17. Двухканальная телеметрическая система ССТП1:
1 - приемный полукомплект; 2 - блок индикаторной трубки;
3 - передающий полукомплект

Принцип действия системы основан на масштабном-временном преобразовании сигналов при помощи ЗЭЛТ, в качестве которой использована осциллографическая трубка 18ЛЮ47А в режиме накопления зарядов $0, +$ [2]. Благодаря выбранному режиму работы ЗЭЛТ максимальная скорость записи ССТП1 примерно в полтора раза больше, чем у регистратора ОКЗ5М. Это позволило при выбранной максимально допустимой геометрической крутизне фронта преобразуемого сигнала на мишени трубки (не более 65°) уменьшить длительность записи до 50 нс на 100 мм рабочего поля мишени. При углах более 65° возрастает погрешность амплитудных измерений.

Система ССТП1 состоит из двух полукомплектов: передающего и приемного (рис.18).

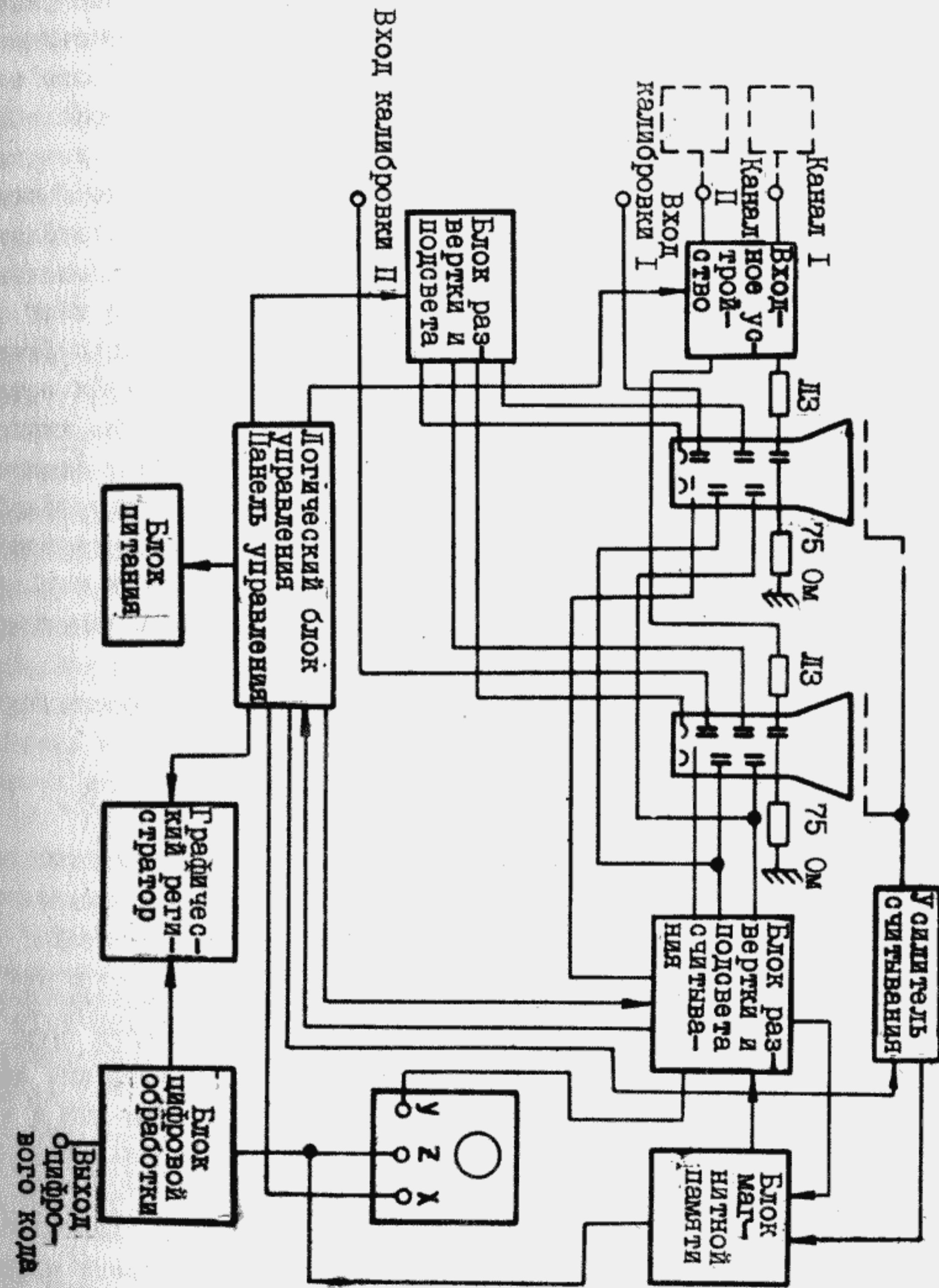


Рис.24. Структурная схема двухканального регистратора РП

Следует отметить, что у регистратора РПД уменьшена длительность развертки записи до 20 нс по сравнению с 40 нс у ИИИ1, хотя в обих приборах используется одна и та же ЗЭЛТ в одном и том же режиме работы 0, +, + / 3, 21 /.

Запись информации на графический регистратор (его тип не приво- дится) осуществляется параллельным семизарядным двоичным кодом, формируемым в блоке цифровой обработки /3/. Информация каждой по- следующей строки выбирается через один оборот магнитного диска по- сле предыдущей (частота вращения диска 3000 об/мин). Скорость протя- ги бумаги 2 м/с, 50, 5 и 2,5 см/с; ширина бумаги 80 мм; число элек- тронов треденки 128.

Типичная осциллограмма сигналов (рис. 25), зарегистрированных при- бором РПД и воспроизведенных на экране индикаторного устройства (ос- циллографа С1-20) в преобразованном масштабе времени, приведена в работе /21, с. 192/.

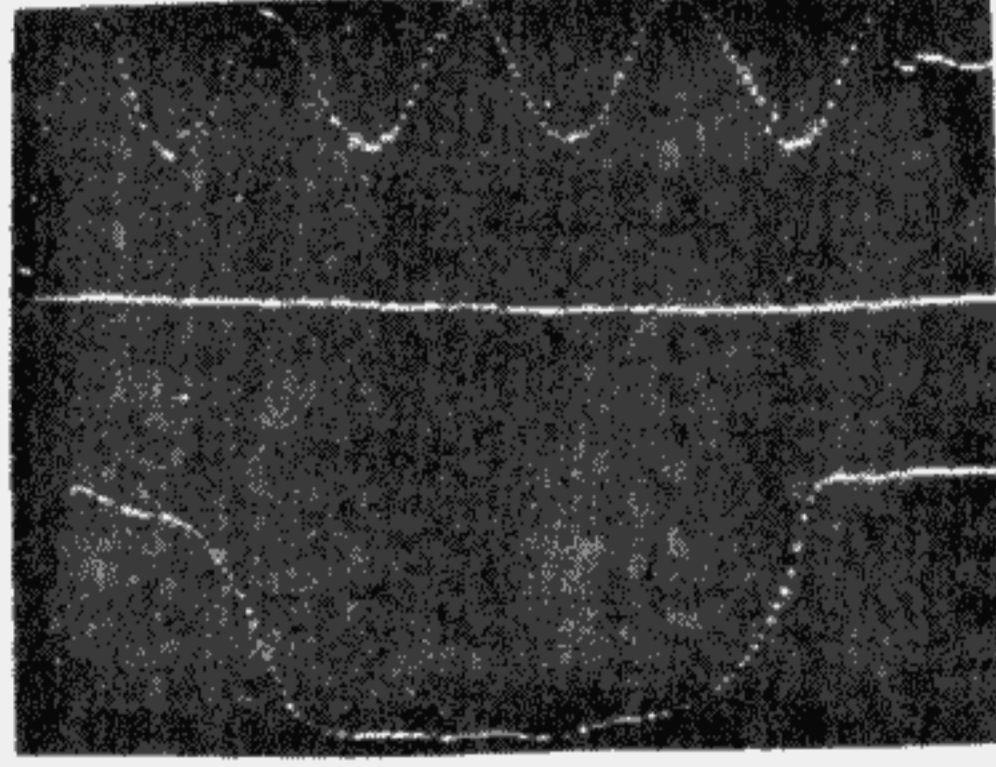


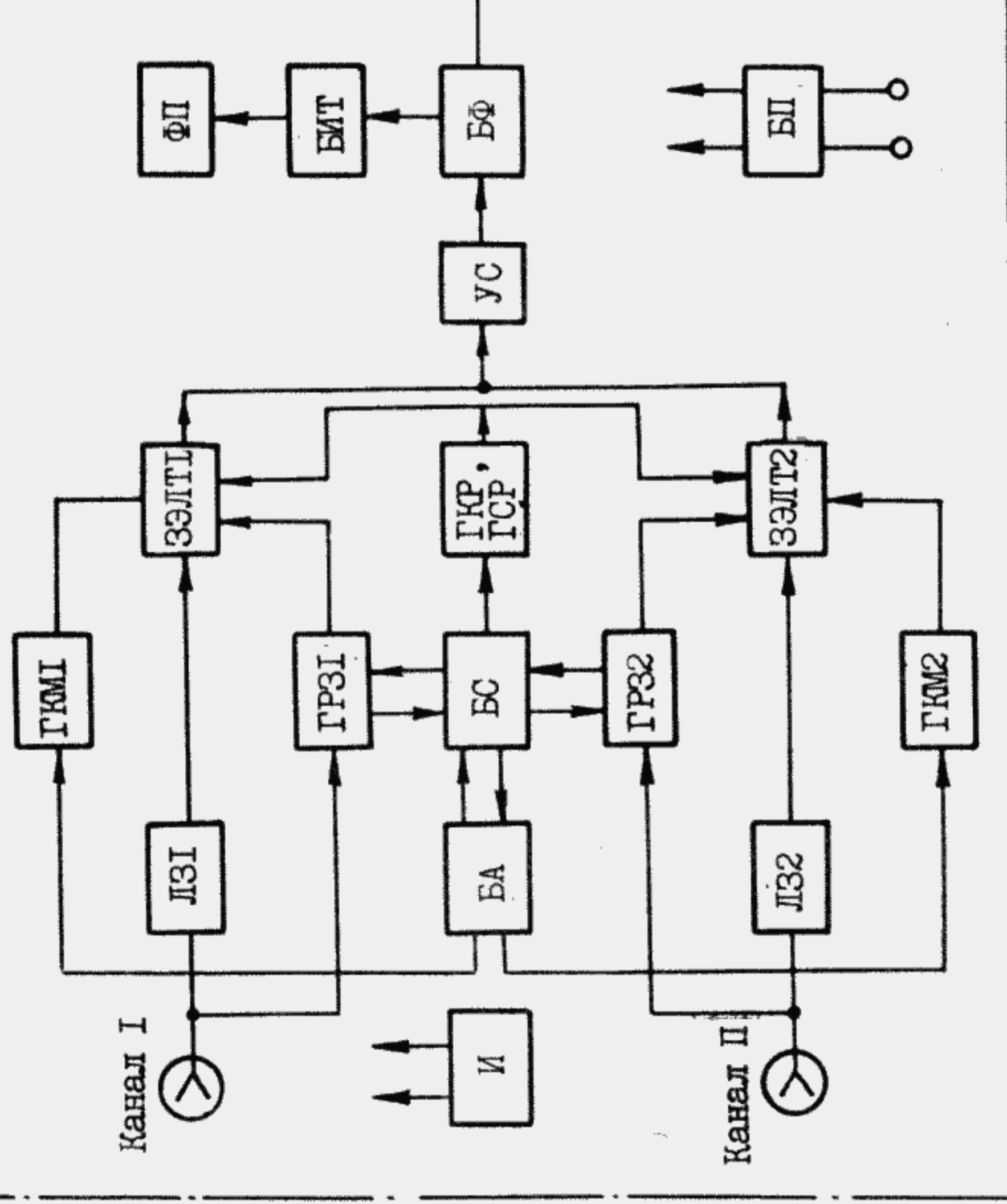
Рис. 25. Осциллограмма сигналов ре- гистратора РПД ($f=250$ МГц, ампли- туда импульса 80 В)

4.8. Телеметрическая система ПСДМ

Двухканальная телеметрическая система ПСДМ предназначена для регистрации форм отсчетов наносекундных электрических сигналов и передачи данных о параметрах этих сигналов на заданное расстояние от объекта исследования /20/. Система состоит из двух устройств: передающего и приемного, связь между которыми осуществляется по ка- бельной линии.

Система обеспечивает преобразование масштаба времени исследуемых сигналов, передачу измерительной информации на расстояние до 3 км, хранение и воспроизведение в периодическом режиме форм этих сигна- лов на экране ЭЛТ в приемном устройстве.

Передающий полукомплект



Приемный полукомплект

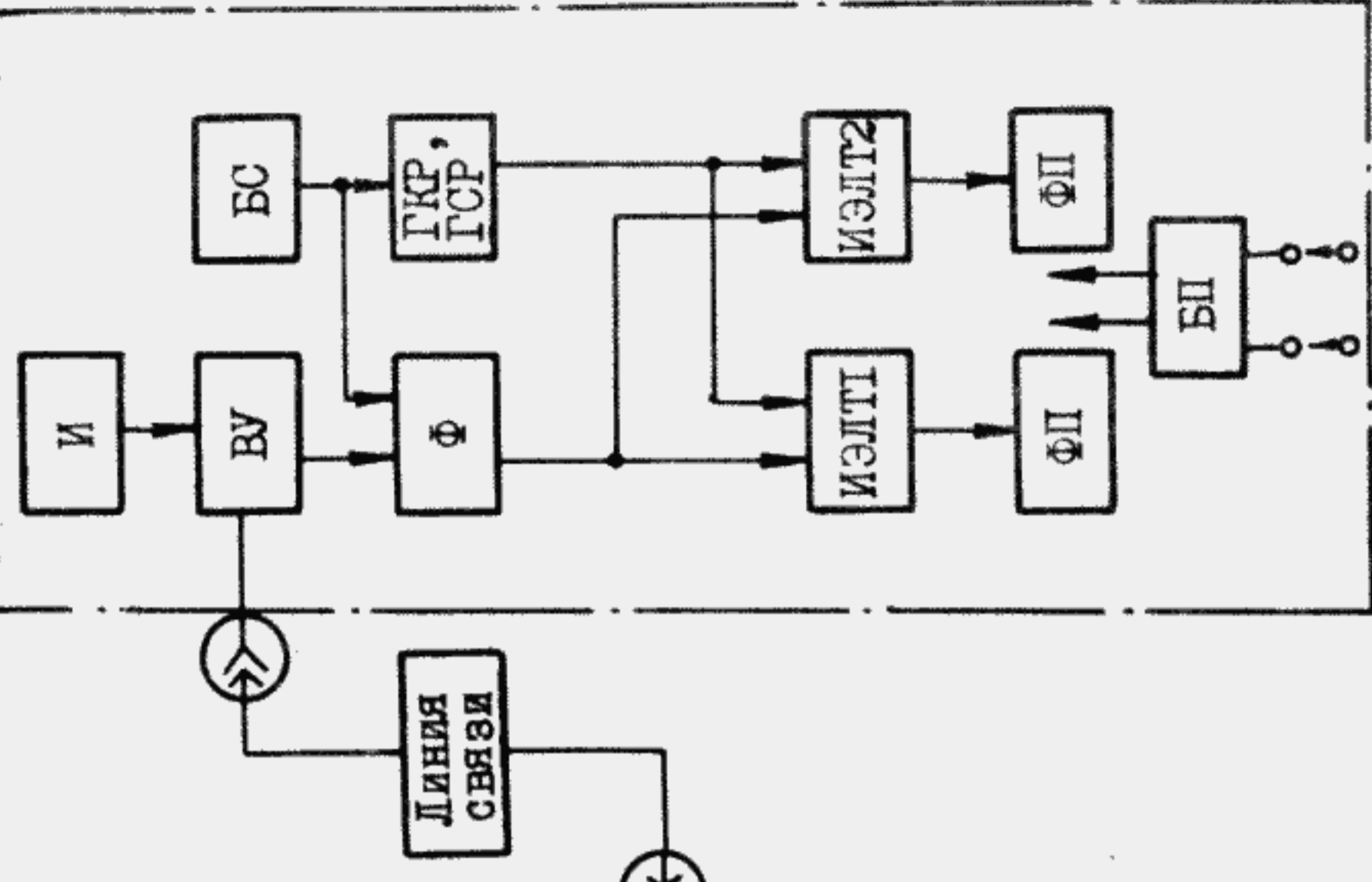


Рис. 18. Структурная схема системы ССПШ:

И - димитатор сигналов; ГРЗ - генератор развертки записи; БС - блок синхронизации; БА - блок автоматаги; ГКР, ГСР - генераторы кадровой и строочной развертки; ГКМ - генератор калибраци- онных меток времени; УС - усилитель считывания; БФ - блок формирователей; БИТ - блок индика- торной трубки; ФП - фотоприставка; БП - блок питания; ВУ - входное устройство; Ф - формиро- ватель; ИЭЛТ - индикаторная ЭЛТ

Передающий полукомплект на основе двух ЗЭЛТ осуществляет масштаб-но-временное преобразование двух независимых сигналов. Наличие блока индикаторной трубки, в котором использована также трубка 18Л047А, но в осциллографическом режиме работы, позволяет восстановить на ее экране форму исследуемого сигнала в преобразованном масштабе времени в виде точечной осциллограммы, которая может быть зафиксирована на фотопленку с помощью фотоприставки с быстрым проявлением.

Телеметрическая регистрация исследуемых сигналов производится при помощи кабельной линии связи (кабель РК75-9-13 длиной до 10 км) и приемного полукомплекта [23]. По линии связи передается дискретная информация в виде посылок сигналов с фазоимпульсной модуляцией, формируемых в блоке формирователей передающего полукомплекта.

В приемном полукомплекте производится выделение импульсов синхронизации (начала строк) и считанных импульсов-отметок, формирование раstra на экране индикаторных трубок каналов I и II, яркость которых промодулирована считанными импульсами-отметками. В результате этого на экранах трубок воспроизводится форма импульсных сигналов в виде точечных осциллограмм. Каждая индикаторная трубка имеет фотоприставку для регистрации указанных осциллограмм на фотопленке.

В системе ССТП1 используется временное разделение каналов, что позволяет передавать информацию о двух преобразованных сигналах по одной линии связи.

Для уменьшения погрешности преобразования в ССТП1 производится временная калибровка и запись нулевой линии для исследуемого сигнала. Временная калибровка осуществляется путем записи на мишени ЗЭЛТ синусоидального колебания, частота которого стабилизирована кварцем (выходы ГКМ1, ГКМ2).

Для увеличения эффективности использования рабочего поля мишени ЗЭЛТ по оси процесса и облегчения электрического режима работы блока формирователей в системе весь цикл регистрации разбит на два подцикла:

- 1) подготовка - запись - считывание нулевой линии и синусоидальных меток времени;
- 2) подготовка - запись - считывание исследуемого сигнала.

В результате этого эффективность использования рабочего поля мишени ЗЭЛТ по оси процесса увеличилась до 80%.

Алгоритм работы системы обеспечивается блоком синхронизации передающего и приемного полукомплектов.

Наличие имитаторов сигналов позволяет проконтролировать работоспособность и качество работы всей системы ССТП1 без использования специальных контрольно-измерительных приборов.

На рис.19,а-в приведены типичные осциллограммы исследуемых сигналов в преобразованном масштабе времени, полученные с экрана индикаторных ЗЭЛТ соответственно передающего и приемного полукомплектов системы ССТП1

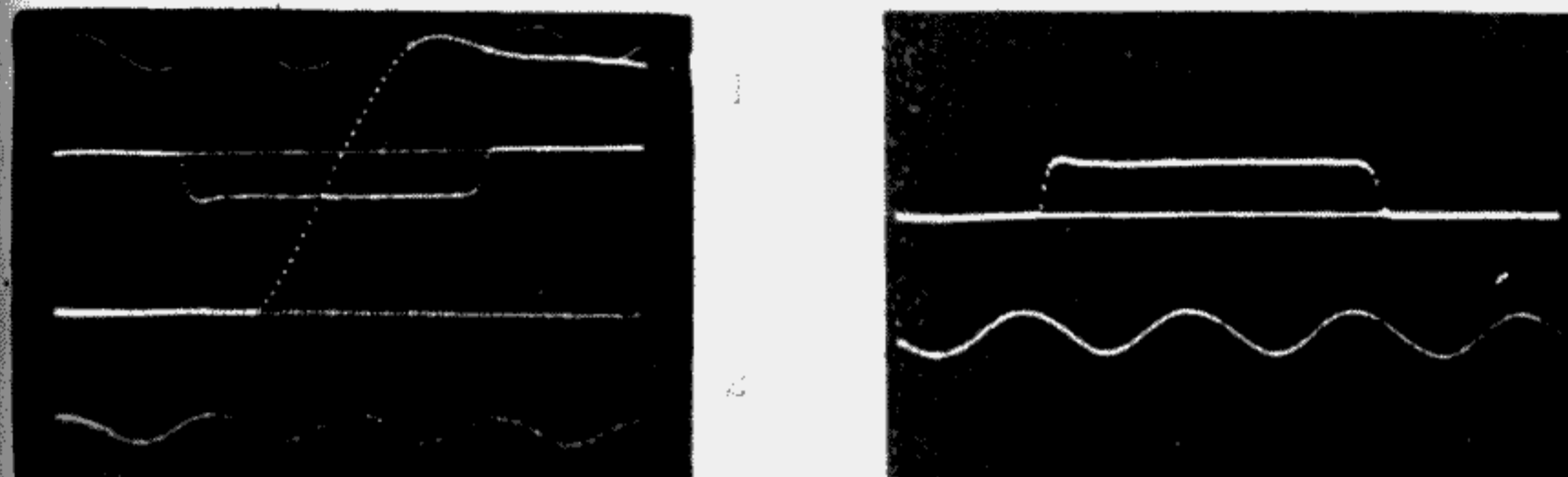


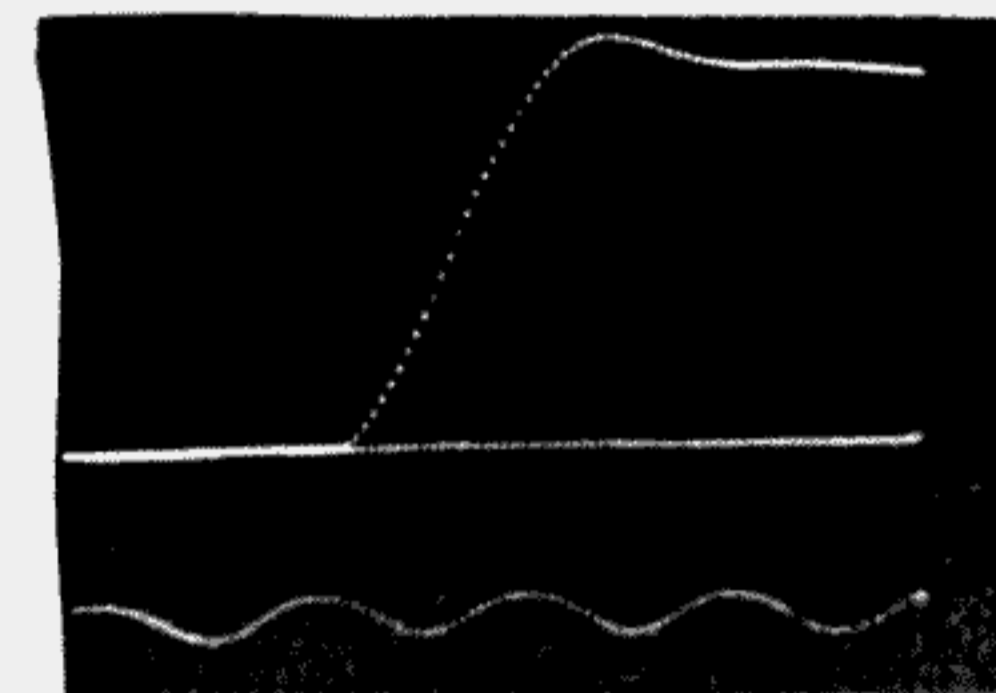
Рис.19. Осциллограммы сигналов системы ССТП1:

а - осциллограмма сигналов передающего полукомплекта:

1 - канал I (метки времени $f=1$ МГц)
2 - канал II ($f=100$ МГц);

б - канал I приемного полукомплекта ($f=1$ МГц);

в - канал II приемного полукомплекта ($f=100$ МГц)



4.5. Цифровой регистратор ОК39

Цифровой регистратор ОК39 (рис.20) предназначен для преобразования широкополосных однократных сигналов в цифровую форму [46]. По аналогии с регистратором ОК35М в нем осуществляется двухступенчатое преобразование масштаба времени, вначале с помощью ЗЭЛТ, а затем с помощью многоканального магнитного барабана. Использование той же ЗЭЛТ в том же режиме работы, что и в регистраторе ОК35М, естественно, не могло увеличить максимальную скорость записи.

В отличие от регистратора ОК35М в регистраторе ОК39 в два раза увеличено число каналов регистрации, в полтора раза шире полоса про-



пускания сигнального тракта, в два раза выше чувствительность усилителя входного сигнала, в четыре раза увеличена емкость магнитного барабана, что обеспечивает запись двух массивов информации по двум каналам регистрации. В структуре прибора предусмотрена возможность управления от внешних команд, поступающих, например, от ЭВМ. Через специальное устройство, входящее в состав регистратора ОКЗ9, имеется возможность вывода информации на перфоратор ПЛ80.

К настоящему времени изготовлены три опытных образца прибора.

4.6. Измеритель наносекундных импульсов ИНИ1

Измеритель предназначен для регистрации однократных электрических импульсов с преобразованием временного масштаба для последующего циклического многократного воспроизведения формы импульса в заданном масштабе времени [20].

Как видно из рис.21 [24], в нем, так же как и у ранее рассмотренных преобразователей ОКЗ5М и ОКЗ9, производится двухступенчатое преобразование масштаба времени с той лишь разницей что первая ступень преобразования осуществляется с помощью трубки 2ЛТК6М, обладающей полосой пропускания 1000 МГц и скоростью записи около 20 000 км/с, а вторая – с помощью гибкого магнитного диска. Существенное отличие в логике второго преобразования у этих приборов заключается в том, что в регистраторах ОКЗ5М и ОКЗ9 запись в блок магнитной памяти производится параллельным двоичным кодом, содержащим информацию об амплитудах дискретных значений исследуемого сигнала, а в ИНИ1 – в виде последовательности сигналов с фазоимпульсной модуляцией [24]. Можно предполагать, что амплитудная погрешность преобразования ИНИ1 должна быть больше или по крайней мере



Рис.21. Структурная схема измерителя наносекундных импульсов ИНИ1

более чувствительна к изменению параметров блока магнитной памяти (например, скорости вращения диска и др.).

При переключении блока магнитной памяти на воспроизведение импульсы синхронизации поступают на блок разверток считывания, выход которого в этом случае подключается к осциллографу С1-20 для создания раstra на его экране; импульсы информации с блока магнитной памяти поступают на вход 2 осциллографа. В результате этого на экране осциллографа появляется точечное изображение исследуемого сигнала с частотой повторения 25 Гц [3]. Одновременно считанные с ИНИ1 сигналы поступают в блок цифровой обработки (представляющий собой, по существу, преобразователь "время-код"), где происходит формирование цифрового эквивалента, соответствующего временному интервалу фазоимпульсной модуляции, т.е. ординате исследуемого сигнала. При этом вначале преобразуется в код ордината относительно начала строки, а затем из этого кода вычитается код, соответствующий интервалу между началом

строки и нулевым уровнем сигнала, за который принимается положение информационных импульсов в первых 5-10 строках, когда амплитуда сигнала на отклоняющих пластинах ЗЭЛТ равна нулю [3]. Поскольку в начале считывающего (воспроизводящего) кадра нулевая линия искривлена, то выбор первых 10 строк в качестве базы для отсчета истинных значений исследуемого сигнала не совсем оправдан.

В приборе отсутствуют устройства амплитудной и временной калибровки, что также является его существенным недостатком. Наличие входа для подключения внешнего генератора калибрационных меток времени, например ГЗ-19, как это предлагается в работе [3], не всегда обеспечивает достаточную точность измерений, так как этот генератор обладает погрешностью установки частоты и ее нестабильностью до 1,5%.

Поскольку в ИНИ1 считывание нулевой линии, синусоидальных меток времени и исследуемого сигнала производится в одном кадре, то эффективность использования рабочего поля мишени ЗЭЛТ относительно низкая и составляет примерно 50%. Это подтверждается осциллограммами сигналов, приведенными в работах [3, 24].

В ИНИ1 ограничен диапазон развертки записи, который состоит из трех фиксированных длительностей 40, 80 и 160 нс. Для таких сравнительно коротких разверток не совсем правильным является применение в качестве ответвителя входного сигнала тройника с резистором развязки 1 кОм [24]. Несущественно ухудшая коэффициент "стоячей" волны напряжения сигнального тракта, это приводит к частотно-зависимому пусковому тракту, а с точки зрения регистрации импульсных сигналов длительностью 10-30 нс - к зависимости порога срабатывания от длительности входного сигнала (при прочих равных условиях) и к изменению геометрического положения сигнала на мишени ЗЭЛТ.

на рис.22 приведена типичная осциллограмма сигналов в преобразованном масштабе времени, полученная с экрана осциллографа С1-20, входящего в состав ИНИ1 [24, с.183].

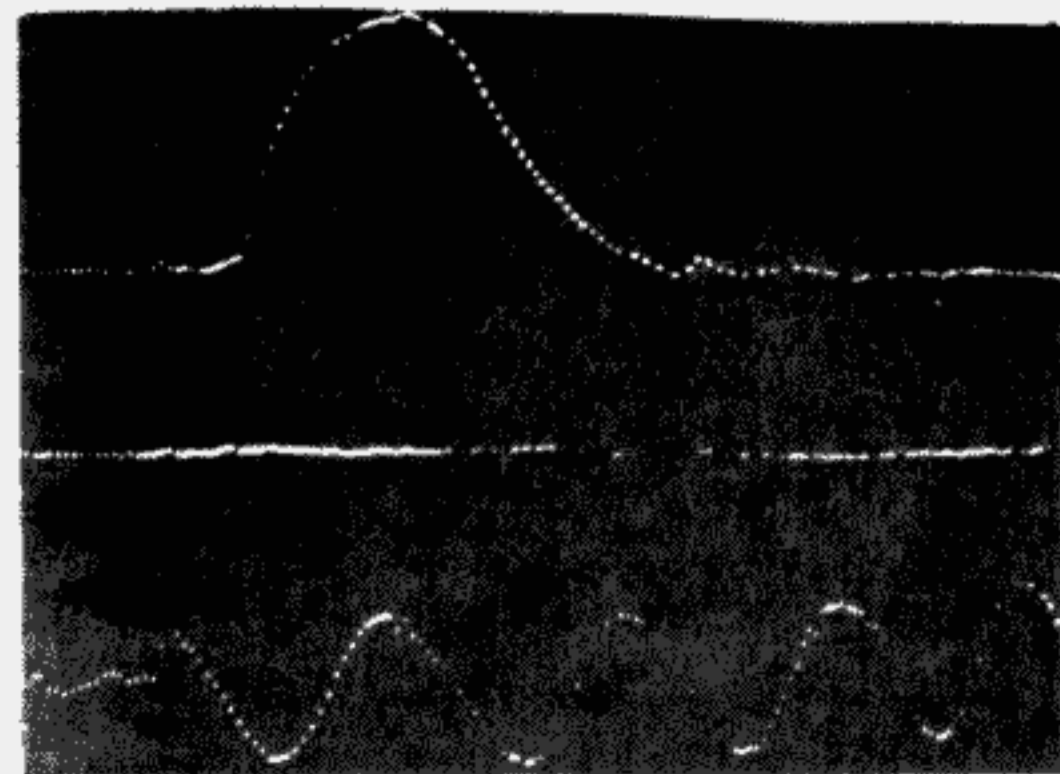


Рис.22. Осциллограмма сигналов ИНИ1 ($f=150$ МГц)

В литературе сообщается также об установках ИНИ2, ИНИ3 (рис.23) [20]. Анализ технических характеристик установок типа ИНИ, приведенных в работе [20], позволяет сделать вывод, что они практически одинаковы по своим возможностям регистрировать однократные сигналы. Так, например, все они обладают полосой частот сигнального тракта 1000 МГц, скоростью записи $20 \cdot 10^3$ км/с, числом строк в считываемом растре 100. Отличие заключается в длительности развертки записи (40, 80, 160 нс для ИНИ1; 30, 100, 200 нс для ИНИ2; 30, 100, 200, 1000 нс для ИНИ3), габаритах и массе (соответственно 210, 150, 120 кг).



Рис.23. Установка ИНИ3

4.7. Двухканальный регистратор РП1

Двухканальный регистратор РП1 является дальнейшим развитием прибора ИНИ1. Как видно из рис.24, в отличие от ИНИ1 он имеет два канала преобразования входных сигналов на основе двух трубок 2ЛТК6М, входное устройство, формирующее пусковой сигнал для генератора развертки записи, и графический регистратор для документальной регистрации входных сигналов на электротермической бумаге в преобразованном масштабе времени [3, 21].

Поскольку в приборе РП1 один генератор развертки записи предназначен для двух ЗЭЛТ, то каналы преобразования являются зависимыми, что для некоторых измерений неприемлемо.

В регистраторе РП1 по сравнению с ИНИ1 расширен диапазон длительностей разверток записи. Минимальная длительность ее равна 20 нс, максимальная - 10 мкс. Это в свою очередь требует использования двух генераторов калибрационных меток времени, так как генератор ГЗ-19А, на который ссылаются авторы работы [21], имеет диапазон частот синусоидального напряжения 30-200 МГц, а следовательно, обеспечивает калибровку максимальной длительности развертки записи около 50 нс.

В отличие от регистратора ОКЗМ система ССПП (рис.17) обеспечивает не только непосредственную, но и телеметрическую регистрацию форм отнократных электрических сигналов микро- и наносекундного диапазона [45].

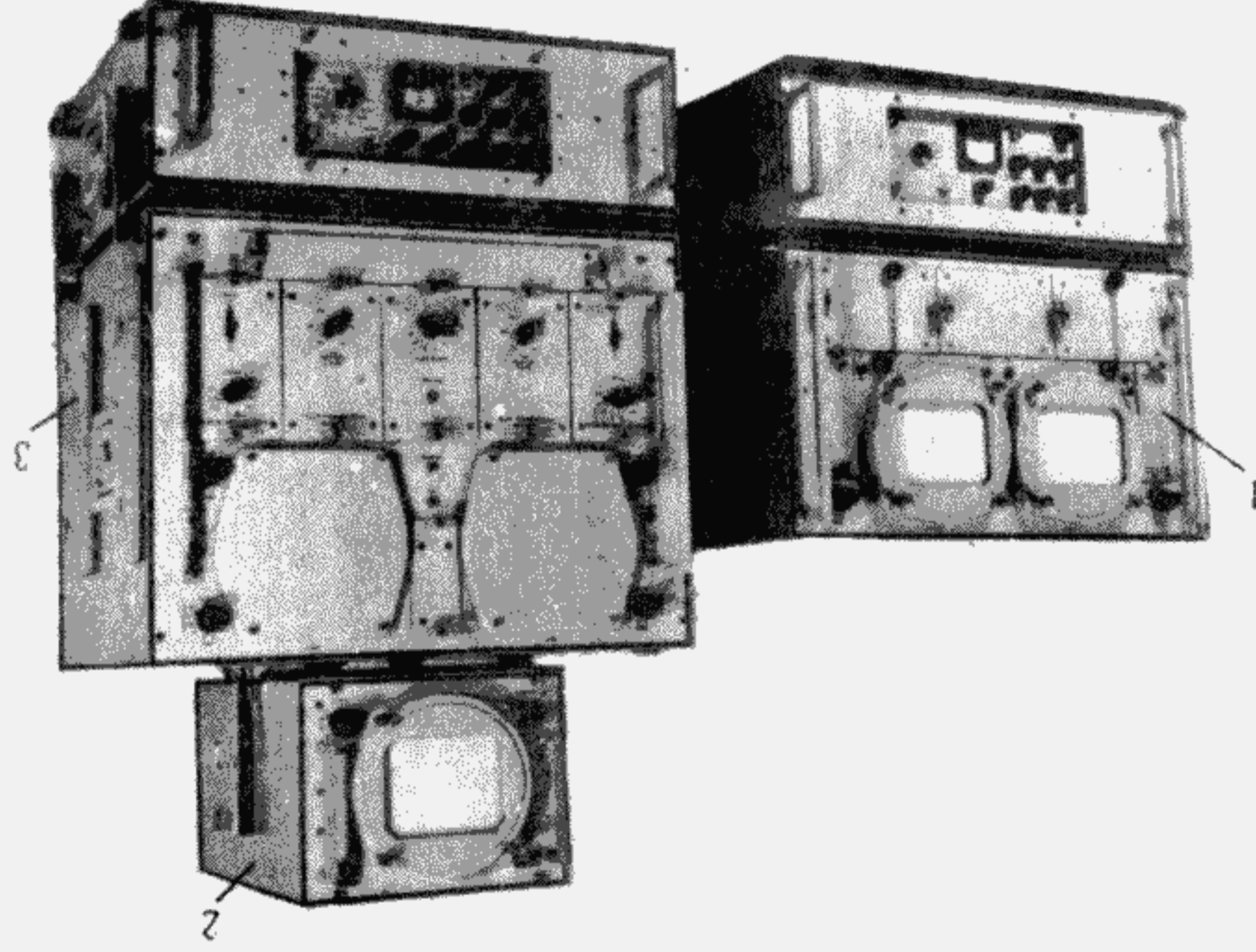
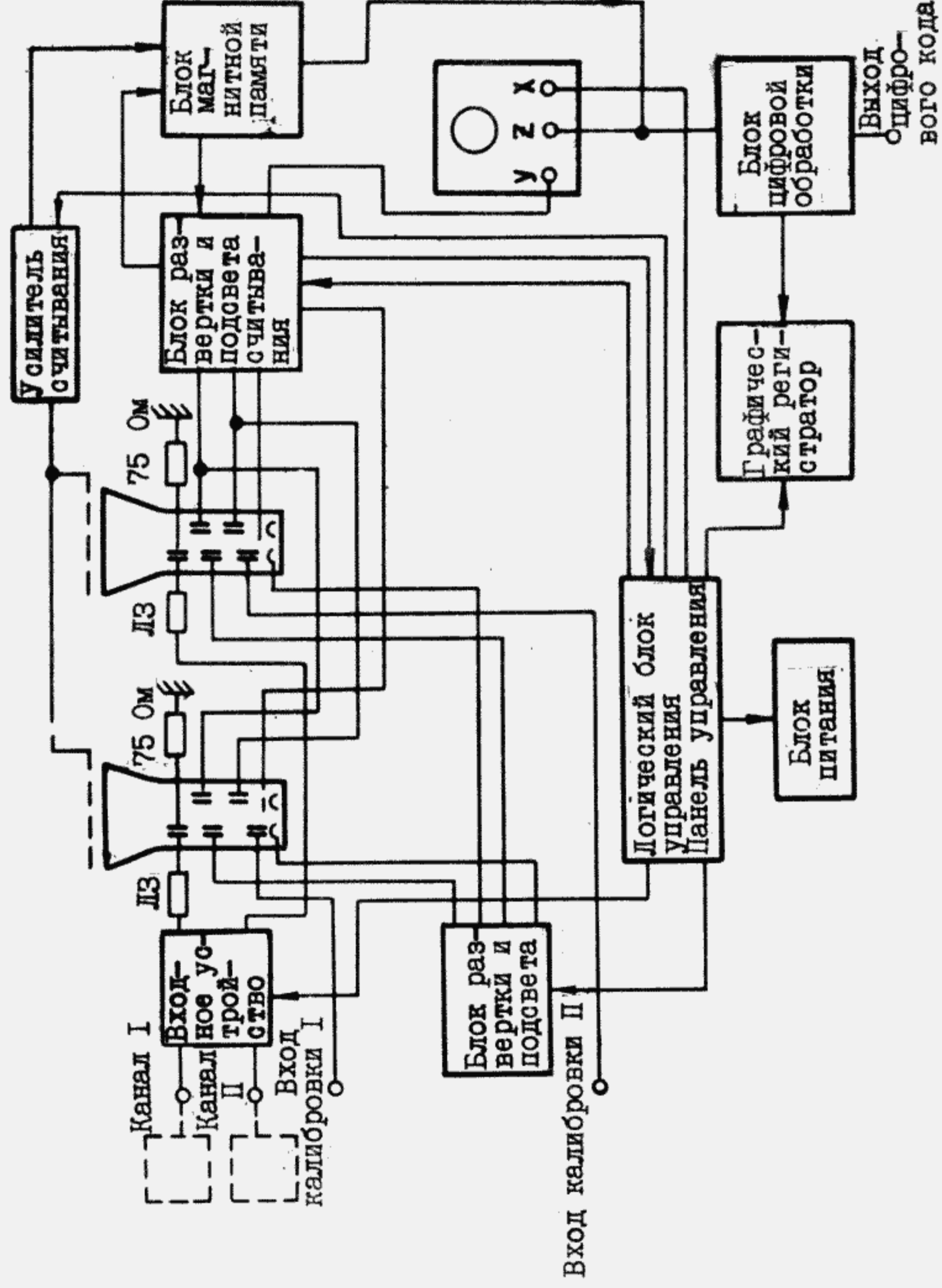


Рис.17. Двухканальная телеметрическая система ССПП:
1 - приемный полукомплект; 2 - блок индикаторной трубки;
3 - передающий полукомплект

Принцип действия системы основан на масштабно-временном преобразовании сигналов при помощи ЗЭИТ, в качестве которой использована осциллографическая трубка 181047А в режиме накопления зарядов $U_c + U_s$. Благодаря выбранному режиму работы ЗЭИТ максимальная скорость записи ССПП примерно в полтора раза больше, чем у регистратора ОКЗМ. Это позволило при выбранной максимальной допустимой геометрической крутизне фронта преобразованного сигнала на мишени трубки (не более 50°) уменьшить длительность записи до 50 нс на 100 мм радиуса поля мишени. При углах более 50° возрастает погрешность амплитудных измерений.

Система ССПП состоит из двух полукомплектов: передающего и приемного (рис.18).

Рис.24. Структурная схема двухканального регистратора РПД



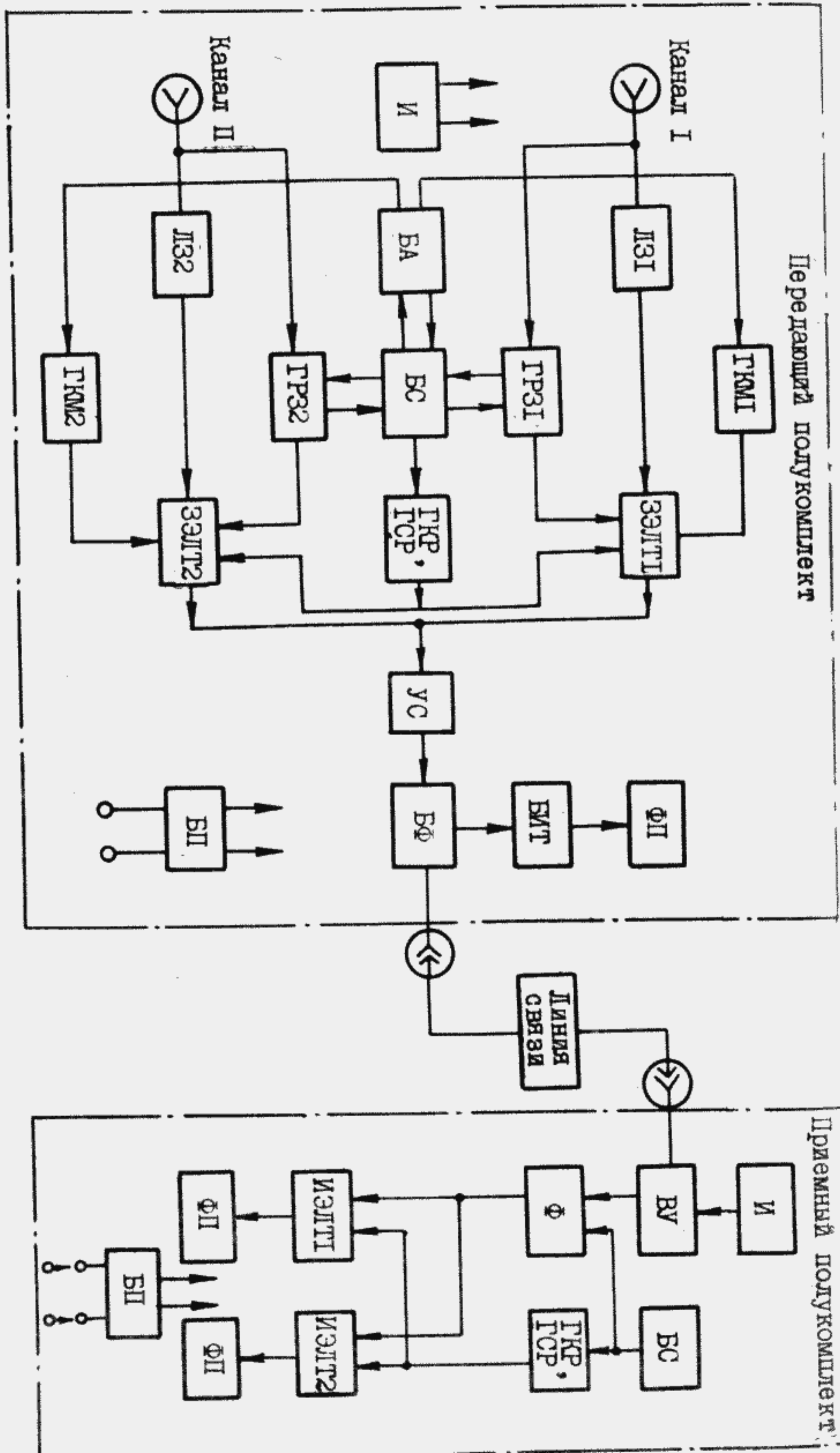


Рис.18. Структурная схема системы ССТП:
 И - лимитатор сигналов; ГРЗ - генератор развертки записи; БС - блок синхронизации; ВА - блок автоматизации; ГРП, ГСР - генераторы кадровой и строочной развертки; ГМ - генератор калибровочных меток времени; УС - усилитель считывания; ФФ - блок формирования; ФПТ - блок формирования; ФП - фотопроставка; БП - блок питания; ВУ - входное устройство; Ф - формирова-
 ватель; ИЭЛТ - индикаторная ЭЛТ

Следует отметить, что у регистратора РП1 уменьшена длительность развертки записи до 20 нс по сравнению с 40 нс у ИНИ1, хотя в обоих приборах используется одна и та же ЗЭЛТ в одном и том же режиме работы 0, +, + [3,21].

Запись информации на графический регистратор (его тип не приводится) осуществляется параллельным семиразрядным двоичным кодом, формируемым в блоке цифровой обработки [3]. Информация каждой последующей строки выбирается через один оборот магнитного диска после предыдущей (частота вращения диска 3000 об/мин). Скорость протяжки бумаги 2 м/с, 50, 5 и 2,5 см/с; ширина бумаги 80 мм; число электронов гребенки 128.

Типичная осциллограмма сигналов (рис.25), зарегистрированных прибором РП1 и воспроизведенных на экране индикаторного устройства (осциллографа С1-20) в преобразованном масштабе времени, приведена в работе [21, с.192].

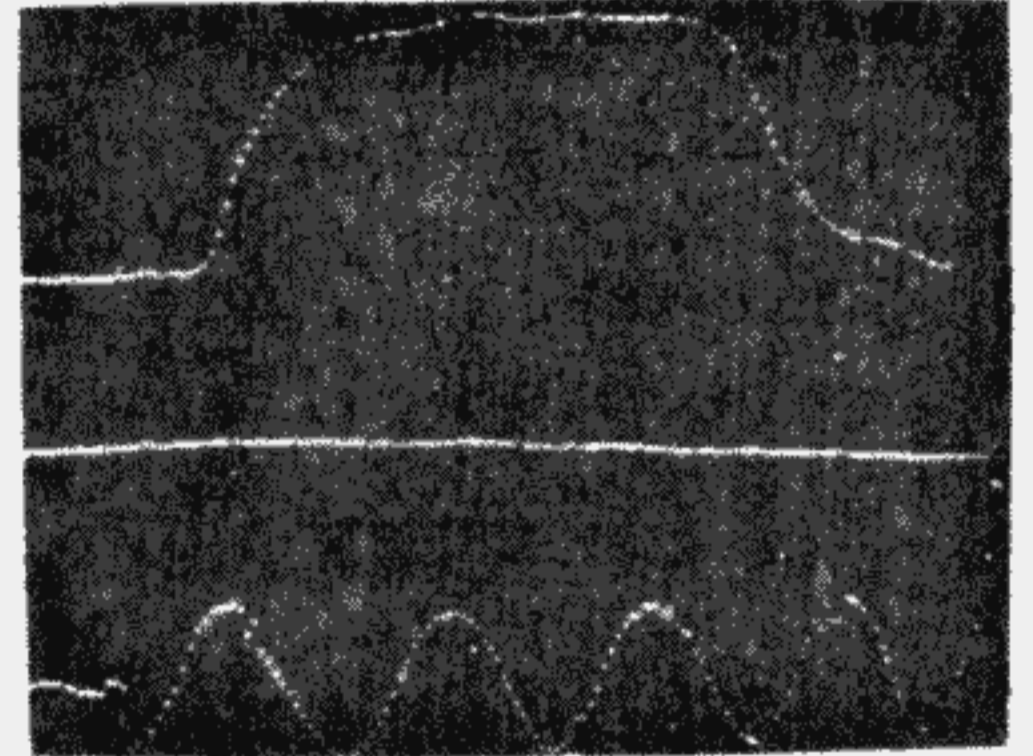


Рис.25. Осциллограмма сигналов регистратора РП1 (f=250 МГц, амплитуда импульса 80 В)

4.8. Телеметрическая система ПСДМ

Двухканальная телеметрическая система ПСДМ предназначена для регистрации формы однократных наносекундных электрических сигналов и передачи данных о параметрах этих сигналов на заданное расстояние от объекта исследования [20]. Система состоит из двух устройств: передающего и приемного, связь между которыми осуществляется по кабельной линии.

Система обеспечивает преобразование масштаба времени исследуемых сигналов, передачу измерительной информации на расстояние до 3 км, хранение и воспроизведение в периодическом режиме формы этих сигналов на экране ЭЛТ в приемном устройстве.

По принципу построения она в основном аналогична ранее разработанной двухканальной телеметрической системе ССТП1. Отличительным признаком ее является наличие блока магнитной записи в составе передающего и приемного устройств, а также применение ЗЭЛТ со скоростью записи 15 000 км/с. Диапазон длительности развертки записи 35-2000 нс, число строк в считываемом растре 100, полоса пропускания сигнального тракта 1000 МГц.

По условиям эксплуатации система ПСДМ соответствует требованиям ГОСТ 9763-67 для приборов первой группы [20].

4.9. Масштабно-временной преобразователь ССТП2

МВП ССТП2 (рис.26) является дальнейшим развитием аппаратуры ССТП1 с точки зрения увеличения скорости записи, полосы пропускания сигнального тракта, цифрового представления информации об исследуемом сигнале, уменьшения погрешности преобразования, увеличения стабильности его выходных параметров и удобств в эксплуатации. В нем использовано специально разработанное быстродействующее электронно-лучевое запоминающее устройство СОЗУ2, обладающее скоростью записи до 15 000 км/с и полосой пропускания не менее 500 МГц.

Как показано на рис.27, преобразователь состоит из четырех основных блоков: преобразователя цифровой информации СКУС2, устройства программного управления СМБУ2, низковольтного и высоковольтного блоков питания (соответственно СБП44 и СБП43) [17].

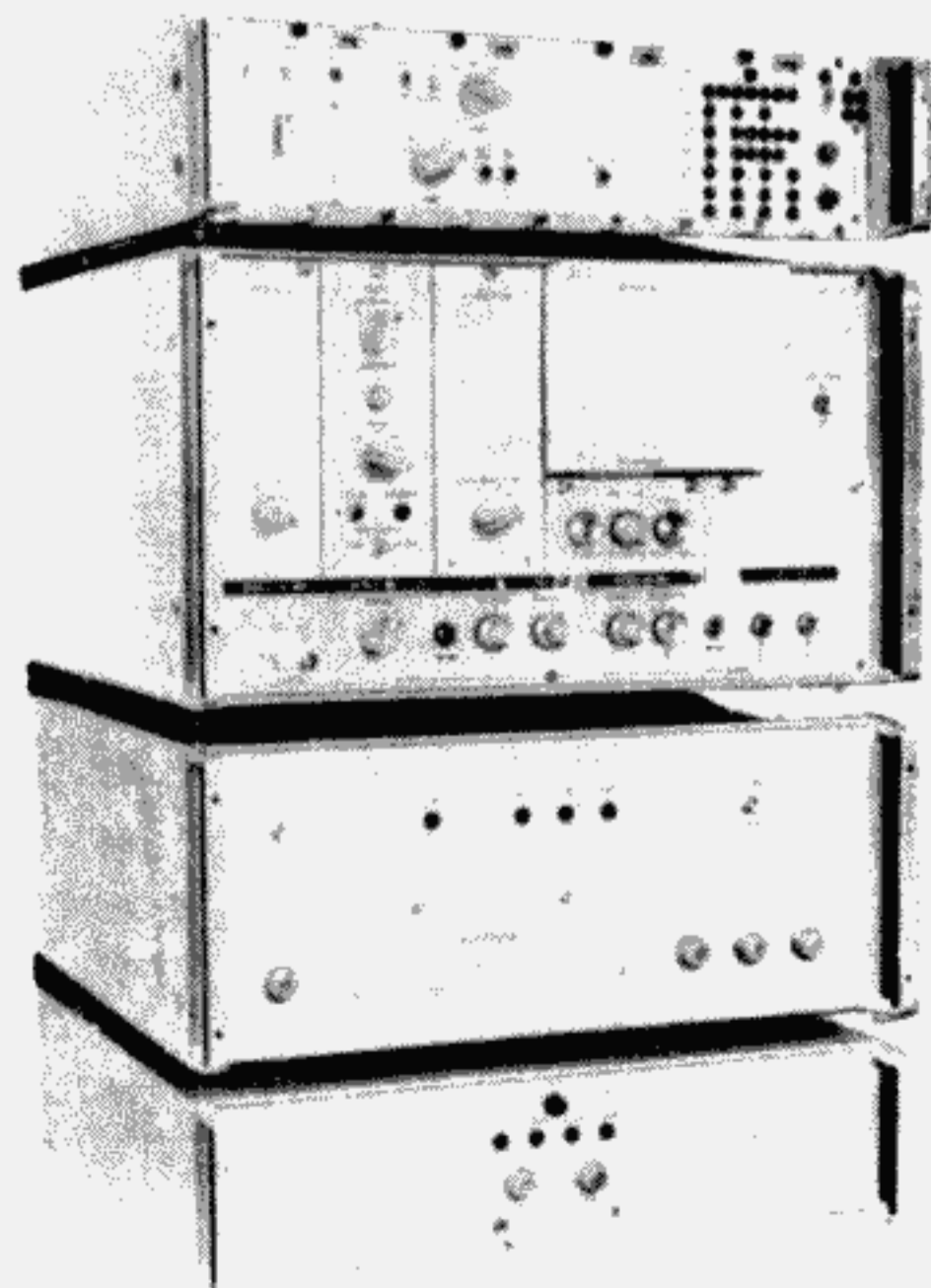


Рис.26. МВП ССТП2

—
п
—
Т—
—
—
Й
ЛТ
—
,
н—
у—
—
ы
е—
Т—
—
н—

Работа преобразователя ССП2 состоит из пяти циклов: четырех калибровочных (вспомогательных) и одного рабочего (основного). Каждый цикл имеет три последовательные стадии: подготовки, записи и считывания, которые свойственны всем МВП на основе ЗЭЛТ с "толстой" мишенью с записью вторичной электронной эмиссией на отражение и достаточно подробно описаны в литературе [2,4,23].

Отличительной особенностью преобразователя ССП2 от МВП, рассмотренных ранее (кроме ССП1, у которого имеется устройство временной калибровки), является наличие устройств амплитудной и временной калибровки, обеспечивающих соответствующую калибровку тракта преобразования и тракта воспроизведения непосредственно перед регистрацией исследуемого сигнала.

Амплитудная калибровка осуществляется путем записи на мишени ЗЭЛТ поочередно трех горизонтальных линий (линии "1", "0,5", "0"), соответствующих трем уровням напряжения постоянного тока (например, 30, 0, -30 В), заданным с погрешностью не более 0,5%. В преобразователе предусмотрен режим работы от внешнего калибратора. Это позволяет снимать сетку горизонтальных линий, определять и учитывать дифференциальную чувствительность по рабочему полю ЗЭЛТ.

В процессе временной калибровки на мишени ЗЭЛТ записывается синусоидальное колебание с выхода генератора, частота которого стабилизирована кварцем. Это обеспечивает нестабильность частоты не более 0,1%.

Работа всех устройств, входящих в состав преобразователя ССП2, синхронизируется импульсами от задающего генератора, частота которого стабилизирована кварцем. В приборе предусмотрена возможность синхронизации от внешнего генератора (например, в режиме его работы совместно с радиотелеметрической системой).

В результате использования специальной конструкции СВЧ-ответвителя для запуска развертки записи время установления пускового тракта τ_y уменьшено примерно на порядок по сравнению с этим же параметром прибора ИНИ1, у которого отбор сигнала на запуск развертки осуществляется через резистор 1 кОм [24]. Это обстоятельство имеет большое практическое значение, так как при регистрации сигналов с длительностью $t_u < \tau_y$ наблюдается зависимость порога срабатывания входного устройства от длительности этого сигнала.

Преобразователь ССП2 отличается высокой стабильностью всего тракта преобразования временного масштаба. Экспериментально измерен-

ная и приведенная к реальному масштабу времени эквивалентная нестабильность пуска развертки записи составляет не более 500 пс.

Выбранный режим поочередного считывания информации с мишени ЗЭЛТ обеспечил наибольшую эффективность использования ее рабочего поля (до 80%).

Восьмиразрядный регистр амплитуд в преобразователе "время-код" обеспечивает в два раза меньшую погрешность блока цифровой обработки по сравнению с указанной погрешностью приборов типа ИНИ и РП1, у которых аналогичный регистр имеет семь разрядов [3].

Наличие цифро-аналогового преобразователя позволяет с помощью сравнительно низкочастотного осциллографа (с полосой пропускания 0-1 МГц) наблюдать форму однократного сигнала длительностью несколько наносекунд.

Кроме "аналогового" выхода преобразователь ССТП2 имеет выход последовательного двоичного девятиразрядного (старший разряд - служебный) кода, параллельного двоичного кода, пятиразрядного четырехпозиционного кода, сигналов фазоимпульсной модуляции [17]. Указанные выходы (кроме "аналогового" и параллельного двоичного кода) рассчитаны на сопротивление нагрузки 75 Ом, что позволяет передавать информацию по радиочастотному кабелю (например, РК75-9-13) на расстояние до 5 км.

Для обеспечения возможности наблюдения точечной осциллограммы исследуемого сигнала в преобразованном масштабе времени на экране низкочастотного осциллографа или монитора имеется выход сигналов генератора строчной развертки, синхроимпульсов начала строк и видеоимпульсов (считанных импульсов-отметок).

В преобразователе предусмотрено автоматическое переключение питания с сети 220 В (50 Гц) на сеть постоянного тока 24 В в случае аварийного выхода из строя первой.

По условиям эксплуатации ССТП2 соответствует требованиям ГОСТ 9763-67 для приборов третьей группы. Возможны варианты применения преобразователя в стандартных системах (рис.28).

С использованием преобразователя ССТП2 можно построить по крайней мере три телеметрические системы. Это обеспечивает передачу информации об однократном быстропротекающем процессе на расстояние до нескольких сотен километров, воспроизведение формы исследуемого процесса в виде фотоосциллограмм, графиков и таблиц на бумаге, а также запись цифровой информации на магнитную ленту, перфоленту и автоматическую обработку при помощи ЭВМ.

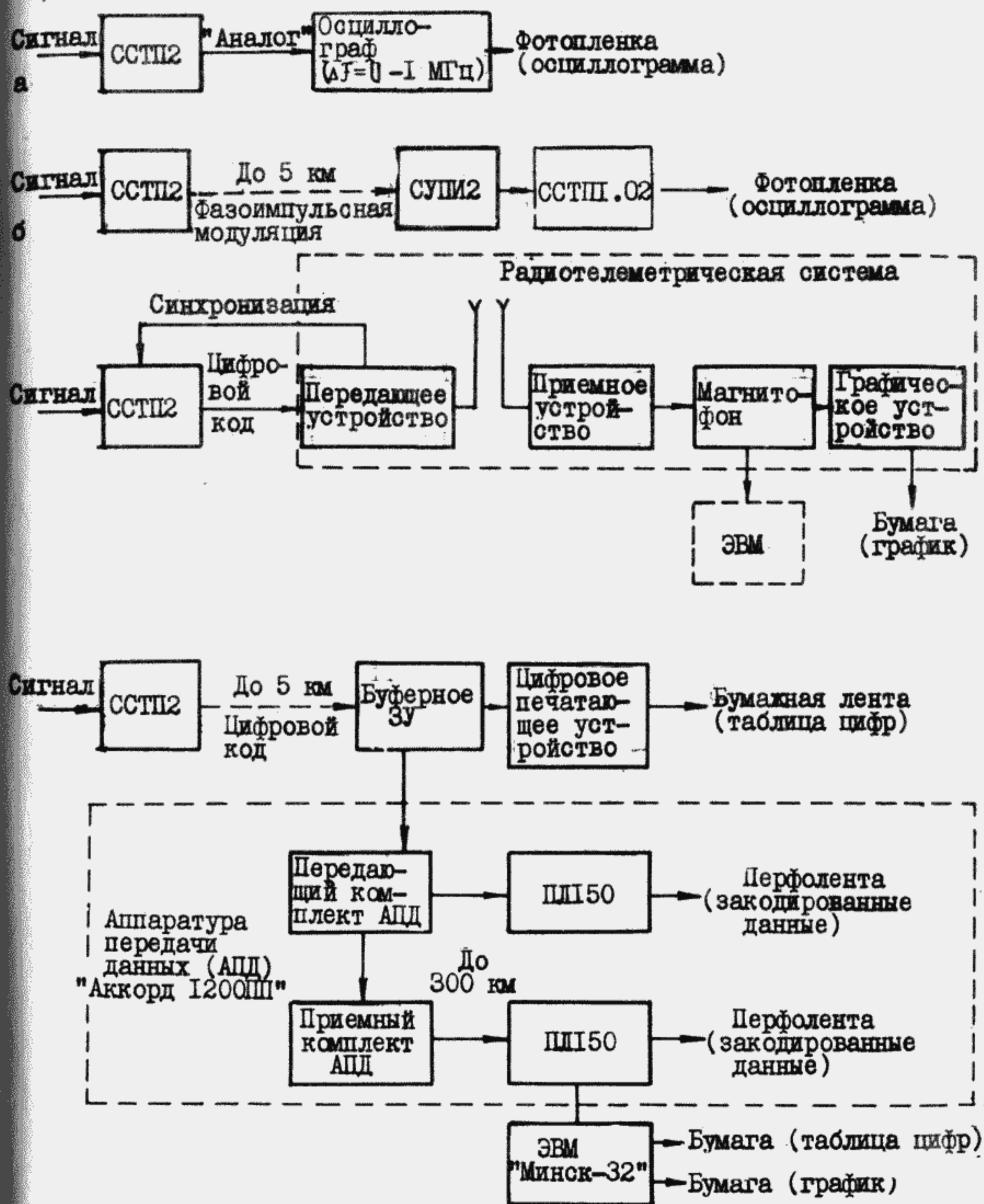
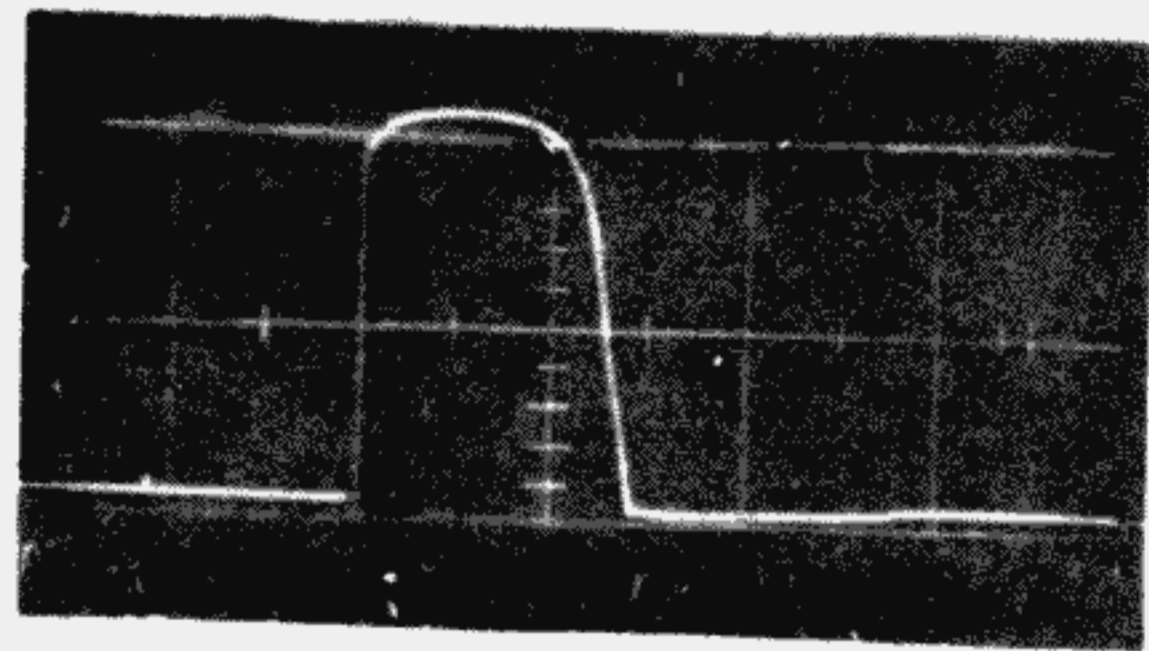
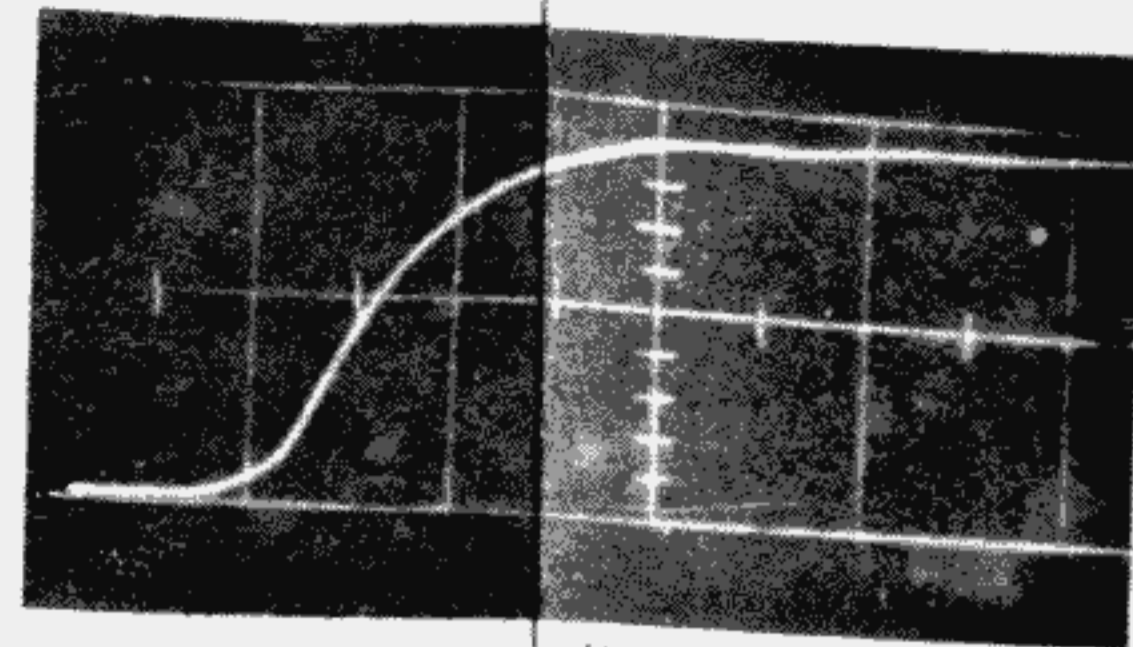


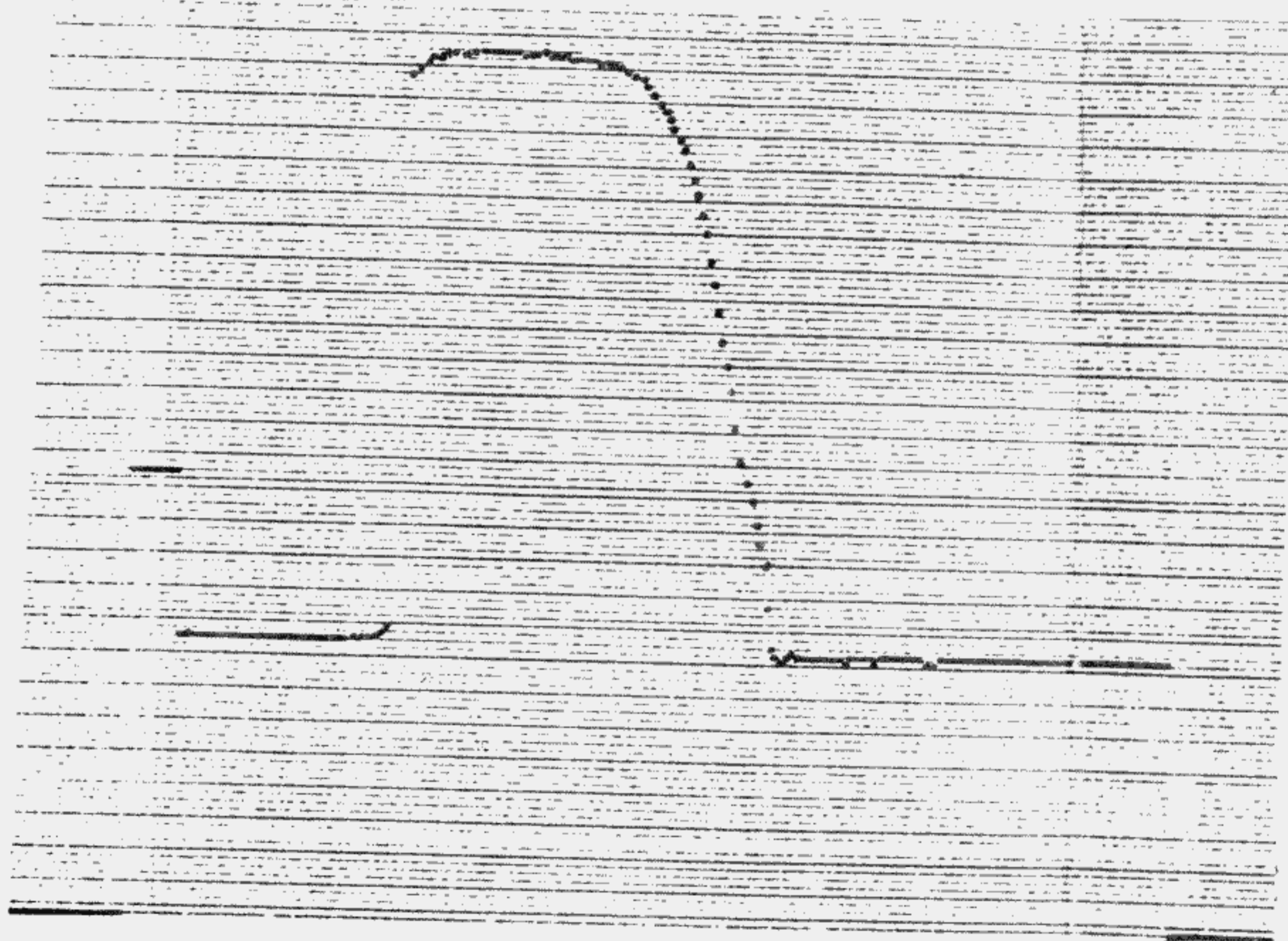
Рис.28. Варианты применения МВП ССТП2 в стандартных системах (а-г)



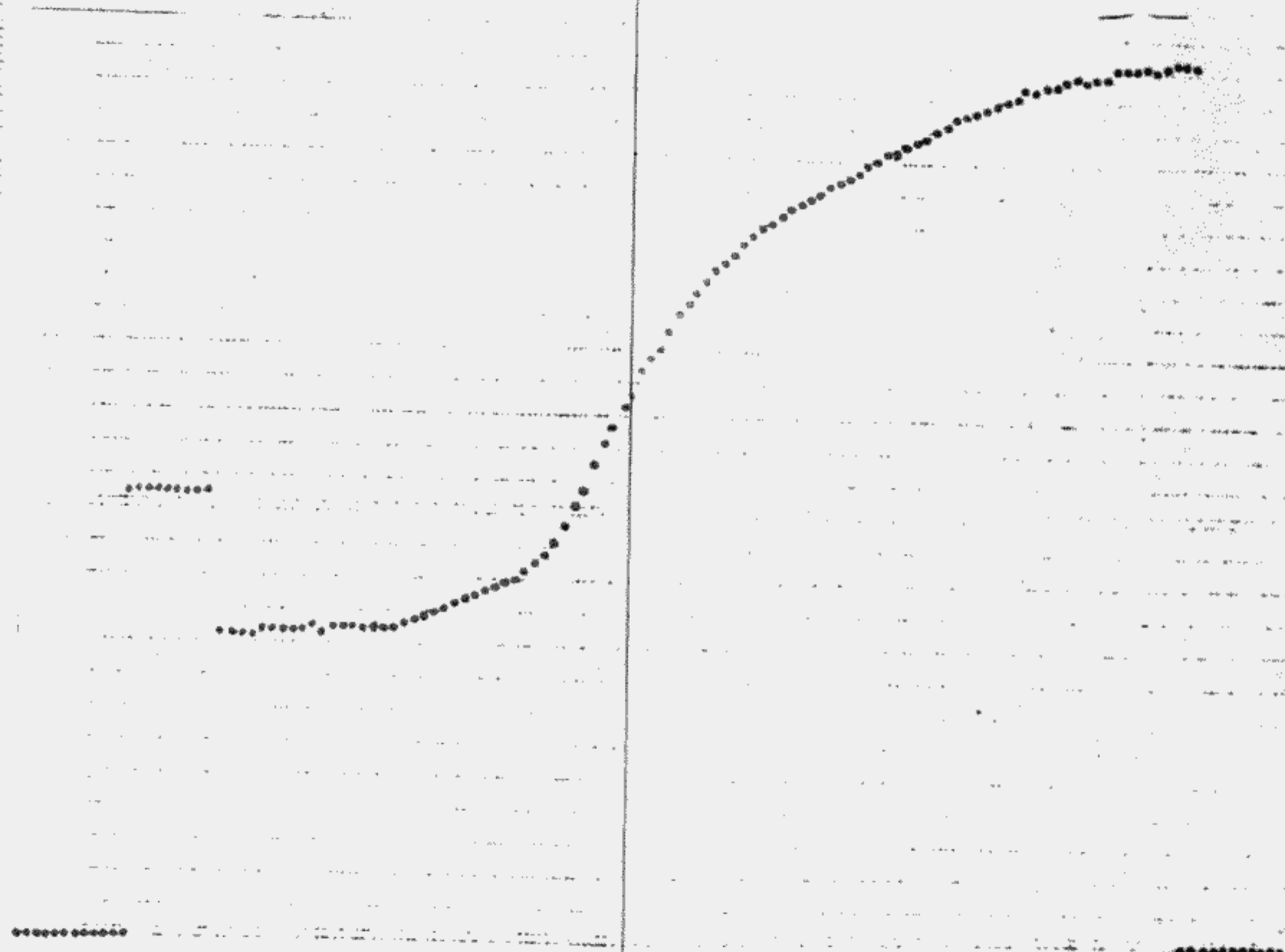
а



б



в



г

Рис.30. Вариант применения преобразователя ССП2 совместно с радиотелеметрической системой:
 а, в - осциллограммы сигналов в реальном масштабе времени с экрана осциллографа 519 фирмы "Тектроникс" (длительность развертки 500 и 5 нс/деление соответственно); б, г - графики тех же сигналов в преобразованном масштабе времени на электрохимической бумаге графического устройства радиотелеметрической системы (длительность развертки записи преобразователя ССП2 2 мкс и 15 нс соответственно)

4.10. Цифровая система
для регистрации наносекундных процессов

В работе [11] описана система для регистрации в цифровой форме быстропротекающих процессов путем масштабно-временного преобразования их формы на основе ЗЭЛТ В6288А, разработанная фирмой "Сандиа" (США).

Система обеспечивает регистрацию двух однократных процессов общей длительностью менее 500 нс при разрешающей способности по амплитуде 1/256, по времени 1/512 (рис.31).

Принципиальным отличием этой системы от рассмотренных в подразд. 4.3 - 4.9 является использование в ее составе мини-ЭВМ типа PDP8/I для хранения цифровой информации о преобразованном сигнале в памяти ЭВМ, амплитудной и временной калибровки тракта преобразования, корректировки результатов измерений, обнаружения недостоверных данных.

Ввод информации в ЭВМ производится с помощью устройства сопряжения, которое обеспечивает также вывод этой информации из ЭВМ для отображения формы исследуемого процесса в преобразованном масштабе времени на экране индикаторной ЭЛТ (монитора).

Одной из важных особенностей системы является автоматическая амплитудная калибровка, выполняемая непосредственно перед регистрацией исследуемого процесса. Она обеспечивает погрешности порядка 1% максимального значения установленной измерительной шкалы. Калибровка занимает менее 1 мин и включает следующие операции:

- перевод закодированных данных в технические единицы (вольты, амперы и т.д.);
- компенсацию нелинейности в развертках и трактах вертикального отклонения (коэффициента усиления);
- устранение рассогласования между отклоняющими системами.

В процессе калибровки амплитуды на вертикальную систему отклонения поочередно подаются семь уровней напряжений постоянного тока: 30, 20, 10, 0, -10, -20, -30 В. На мишени совершенной ЗЭЛТ с идеальными линейными развертками этим семи уровням будут соответствовать семь идеальных прямых линий с постоянным шагом. В таких идеализированных условиях вертикальная чувствительность будет характеризоваться одним числом S (В/счетный импульс) по всей мишени. В действительности, как это показано на рис.32, линии, отвечающие этим уровням, могут иметь некоторый наклон и небольшую нелинейность, а также располагаться с непостоянным шагом. С целью компенсации этих отклонений ЭВМ вычисляет корректирующие коэффициенты. Она делит линию, от-

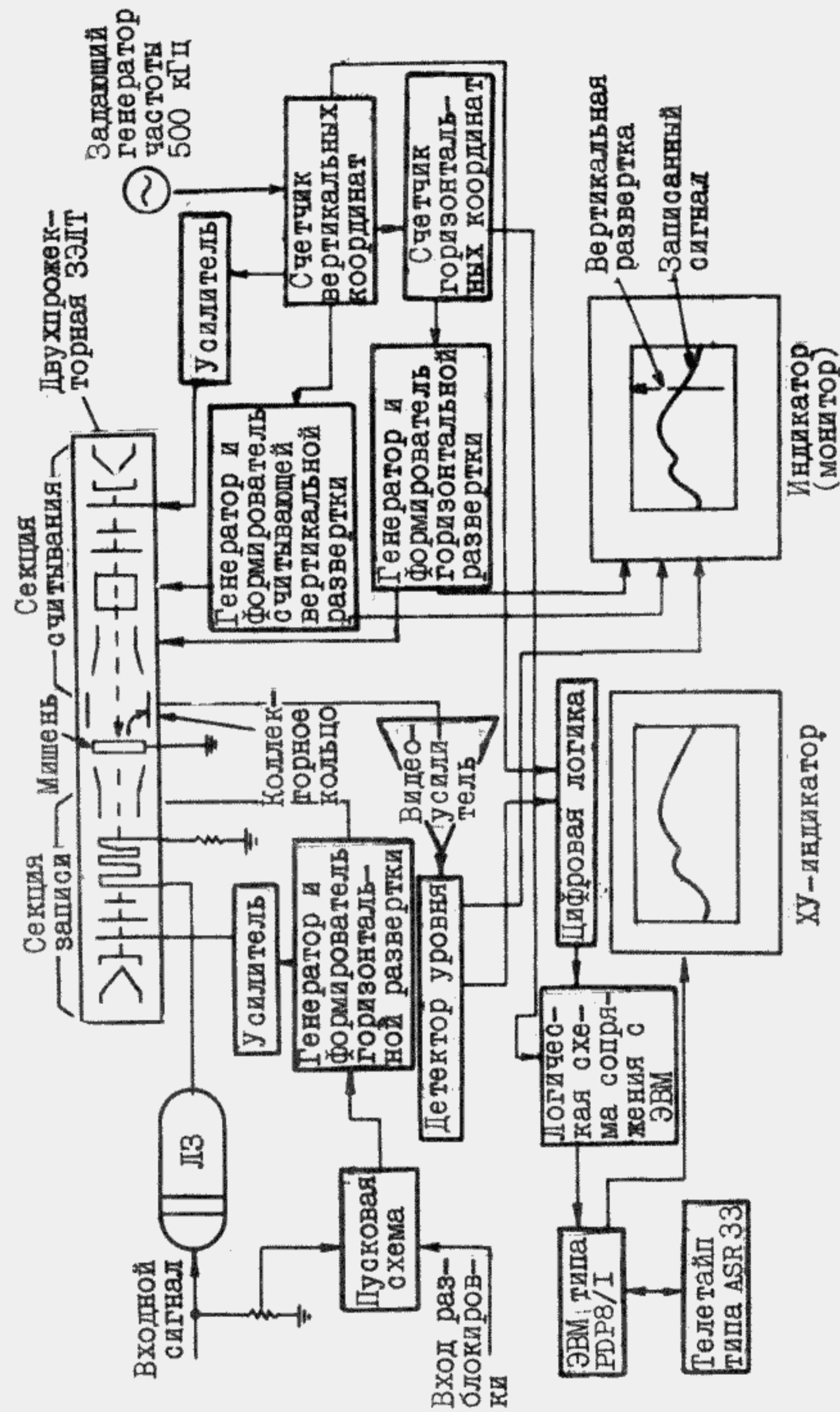


Рис.31. Структурная схема одного канала цифровой системы для регистрации наносекундных процессов

вещающую каждому уровню, на 10 участков, находит средний уровень по 50 отсчетам по каждому участку и запоминает 10 средних значений по каждому из семи участков. Таким образом, 70 чисел, хранимых для каждого канала системы, являются коэффициентами корректировки амплитуды, соответствующими 80 различным участкам мишени ЗЭЛТ. Для обеспечения правильного воспроизведения регистрируемого процесса на экране ХУ-индикатора ЭВМ воспроизводит семь калибровочных уровней путем выполнения линейной интерполяции между 10 усредненными числами, хранимыми в ее памяти по каждому уровню [11].

Наклон, обусловленный поворотом системы отклонения считывающей секции на некоторый угол относительно отклонения записывающей секции

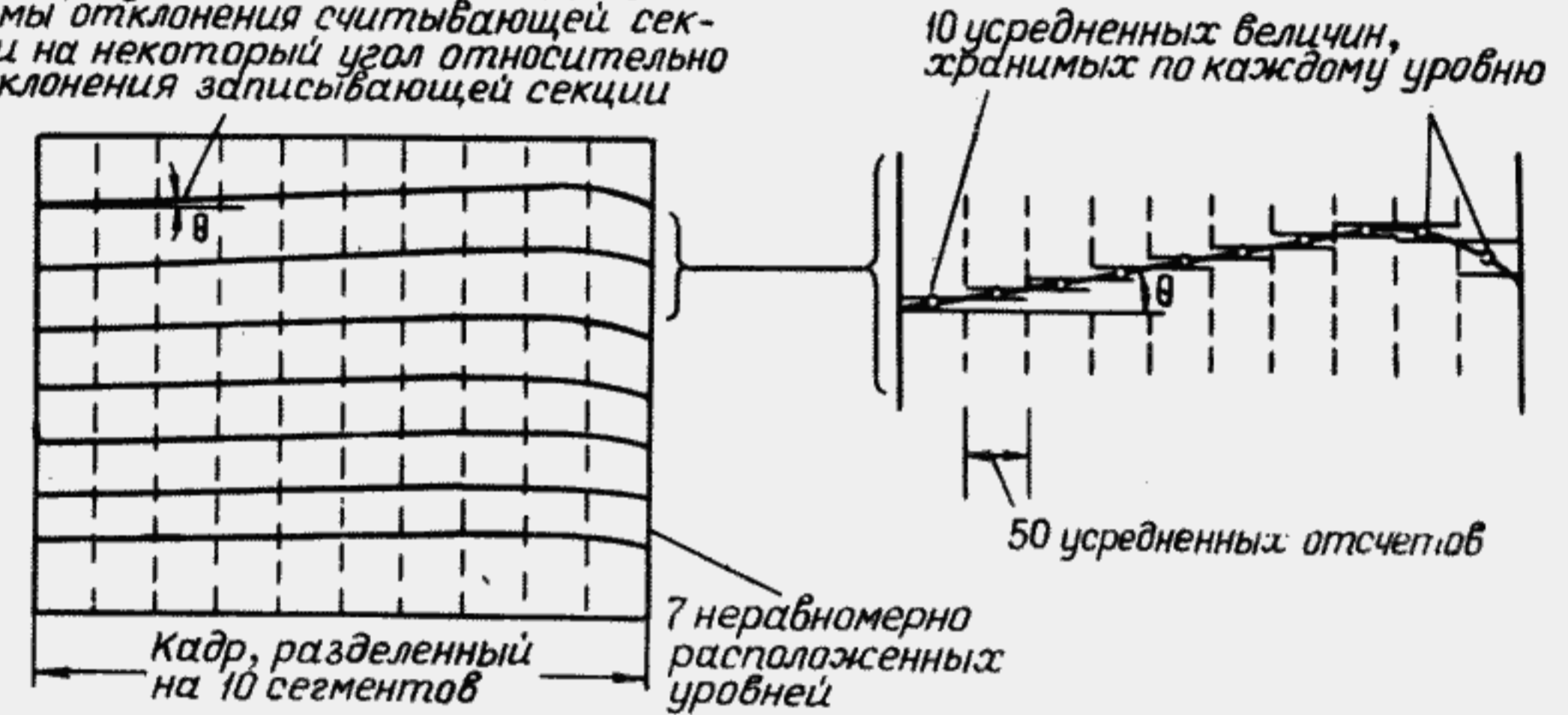


Рис.32. Амплитудная калибровка и устранение рассогласования между отклоняющимися системами

ЭВМ вычисляет также угол рассогласования между системами отклонения считывающей и записывающей секций ЗЭЛТ (см.рис.32), определяя его по среднему наклону линии, отвечающей первому уровню. Если этот угол известен, можно путем соответствующего поворота скорректировать каждую точку [11].

Временная калибровка осуществляется путем записи на мишени ЗЭЛТ синусоидального колебания с выхода кварцевого генератора, который обеспечивает временную погрешность 0,02%. ЭВМ определяет пересечения синусоиды с нулевым уровнем, используя в качестве этого уровня результат амплитудной калибровки. Затем ЭВМ рассчитывает временную коррекцию для каждого интервала между двумя пересечениями, равного периода колебания. Это обеспечивает определение точного масштаба записывающей горизонтальной развертки и позволяет компенсировать любые временные нелинейности как в считывающей, так и в записывающей развертке [11].

Если в процессе масштабного-временного преобразования исследуемого сигнала или калибровки появляются ложные точки (данные), причи-

ной которых является недостаточная амплитуда считанных импульсов-отметок или же "шумящий" участок мишени ЗЭЛТ, ЭВМ применяет алгоритм, выявляющий эти точки, и заменяет их расчетными. Когда в программу ЭВМ вводятся один или несколько недостоверных информационных кодов, она осуществляет линейную интерполяцию между ближайшими достоверными точками. При воспроизведении данных значения, полученные в результате интерполяции, помечаются звездочками.

На рис.33,а-г представлены осциллограммы быстропротекающего процесса, возникающего при взрыве проволочки электровзрывателя [11].

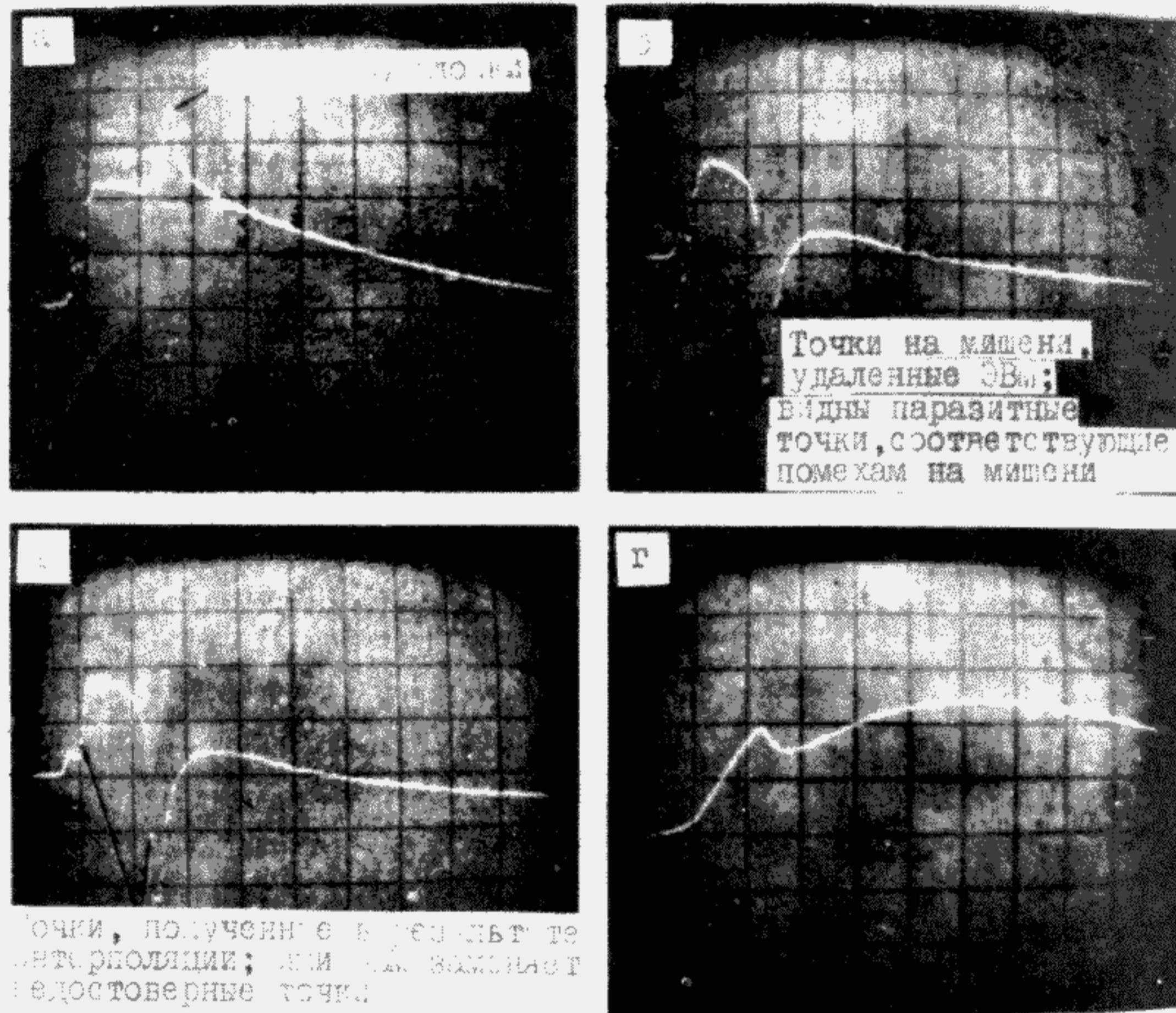


Рис.33. Осциллограммы сигналов в преобразованном масштабе времени, полученные с экрана монитора цифровой системы для регистрации наносекундных процессов:

а - напряжение на проволочке электровзрывателя в первом канале системы, не подвергнутое обработке; б - продифференцированный ток (di/dt) через проволочку электровзрывателя в другом канале; в - скорректированная осциллограмма; г - окончательная осциллограмма тока через проволочку электровзрывателя

4.11. Цифровой преобразователь R7912

Цифровой преобразователь R7912, разработанный фирмой "Тектроникс", является в настоящее время наиболее быстродействующим МВП однократных электрических сигналов на основе ЗЭЛТ. Максимальная скорость записи на мишени ЗЭЛТ составляет около 60 000 км/с ($2 \cdot 10^{12}$ линия/с) при разрешающей способности 420 линий на ширину считывающего растра и отношении сигнал:шум около 10. Сигнальный тракт преобразования имеет полосу пропускания не менее 1 ГГц и чувствительность, обеспечивающую отклонение сигнала на все рабочее поле мишени (около 320 линий) при амплитуде 32 В [16,22,25-28,35]. С использованием предусилителя он обеспечивает полосу пропускания 500 МГц при отклонении сигнала амплитудой 80 мВ на все рабочее поле мишени.

Указанные параметры прибора получены в результате применения в нем ЗЭЛТ с кремниевой мишенью, описанной в подразд.4.2.

Как видно из рис.34 [25], пушка записи ЗЭЛТ преобразователя управляется с помощью электронных схем осциллографического типа. В приборе используется блок развертки записи 7B92 и блок усилителя 7A19, являющиеся базовыми в осциллографах серии "7000" фирмы "Тектроникс" [16].

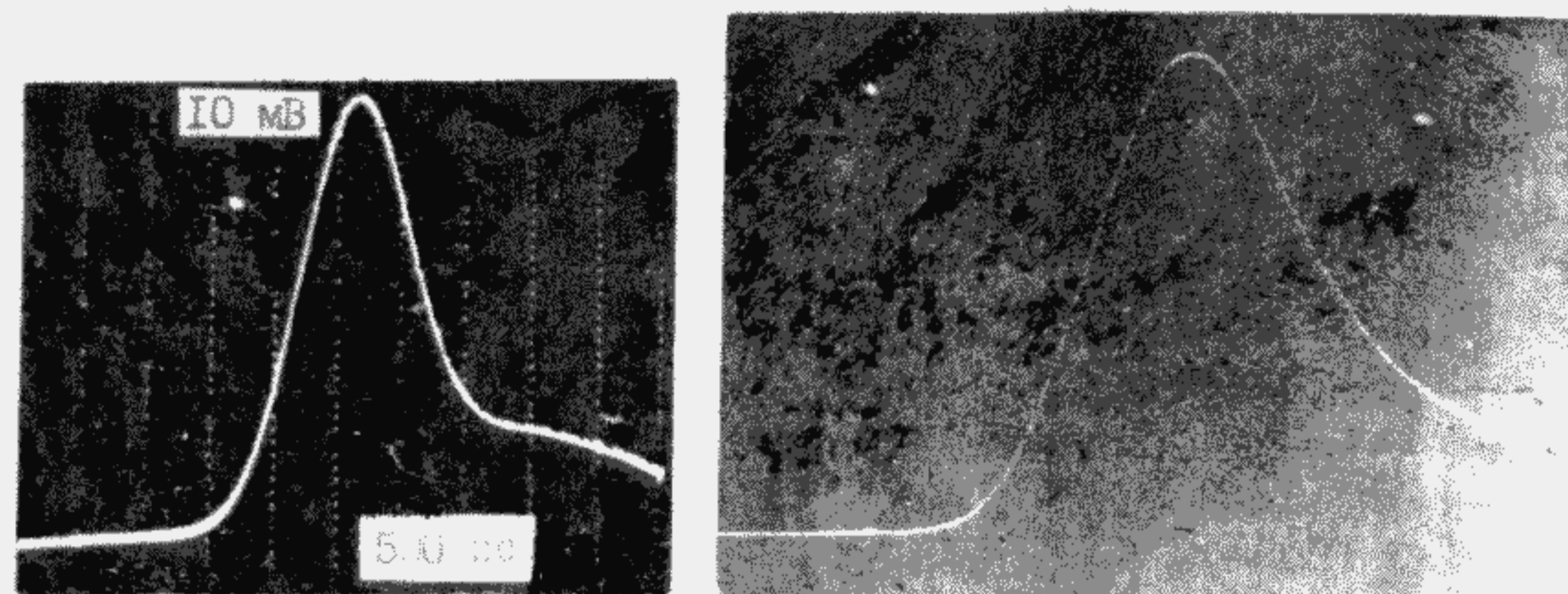
Схемы считывающей части преобразователя разработаны с учетом двух режимов работы. В одном режиме пушка считывания сканирует мишень в соответствии с телевизионным форматом, т.е. 525 строк в кадре при частоте кадров 60 Гц.

Сигналы, считанные с мишени, после предварительного усиления используются для модуляции по яркости обычного телевизионного монитора, например типа 632 [16,25], в результате чего на его экране получаются большие яркие осциллограммы исследуемых сигналов. Разрешающая способность преобразователя в этом режиме свыше 420 линий по горизонтали и 320 линий по вертикали. Это по крайней мере в два раза больше, чем у лучших современных осциллографов [25]. Эквивалентная скорость записи, приведенная к рабочему полю монитора, составляет 30 деление/нс.

В другом режиме работы преобразователя R7912 выбрана другая система сканирования мишени ЗЭЛТ. Записанный на мишени исследуемый сигнал дискретизируется по оси времени (горизонтали) и квантуется по оси амплитуд (вертикали) в матрицу из 512x512 значений, согласующихся с разрешающей способностью трубки. Мишень сканируется по

мени и воспроизведенных с экрана монитора в преобразованном масштабе времени.

В США разработана передвижная автоматизированная система "Трайлер 100", предназначенная для записи, обработки и передачи данных при регистрации коротких однократных переходных процессов в полевых условиях. Наряду с другими преобразователями информации в системе "Трайлер 100" используются масштабно-временные преобразователи типа R7912, которые являются основными для оцифровки формы указанных процессов [47].



а

Рис.36. Осциллограммы сигналов преобразователя R7912:

а - импульс, записанный однократно и воспроизведенный на экране ТВ-монитора; б - импульс длительностью 1,2 нс (на уровне 0,5), записанный однократно и воспроизведенный на экране ХУ-монитора

В 1977, 1978 гг. в научно-технической литературе, издаваемой в США, появились сообщения о новой разработке МВП фирмой "Тектроникс" - цифровом преобразователе 7912AD с использованием микропроцессоров типа 6800 и 2900, программируемых блоков усилителя 7A16P и развертки 7B90P [48-50].

Этот прибор является модифицированным вариантом цифрового преобразователя R7912.

Наличие микропроцессоров и программируемых блоков обеспечивает преобразователю 7912 AD:

- самопроверку после включения;
- установку требуемого режима работы;
- установку длительности развертки монитора, частоты воспроизведения преобразованного сигнала;

- управление внутренним ЗУ при обработке больших массивов информации;

- диалог с ЭВМ.

Полностью программируемый режим работы осуществляется для исследуемых сигналов в полосе частот до 200 МГц, что, по-видимому, ограничено техническими характеристиками современной элементной базы. При работе преобразователя в непрограммируемом режиме с использованием соответствующих вставных блоков из серии "7000" (фирмы "Тектроникс") обеспечивается регистрация исследуемых сигналов в полосе частот до 1000 МГц.

Наибольшая эффективность преобразователя 7912AD при проведении измерений достигается, когда он используется совместно с контроллером CP4165 фирмы "Тектроникс" по программам обработки сигналов ТЕК, SPS BASIC.

Сообщается о применении преобразователя 7912AD в подсистемах типа WP, в частности WP2050 и WP2250 системы обработки сигналов SPS.

Основные технические характеристики МВП на ЗЭЛТ приведены в табл.3.

4.12. Выводы и предложения

В настоящее время МВП на ЗЭЛТ позволяют производить масштабно-временное преобразование формы однократных сигналов с минимальной длительностью фронта около 500 пс при числе выборок мгновенных значений сигнала 50 [22]. Разработано около десяти типов преобразователей. Самым быстродействующим из них является цифровой преобразователь R7912 фирмы "Тектроникс", в котором применена ЗЭЛТ с матрицей из р-п-переходов, обеспечивающая скорость записи около $2 \cdot 10^{12}$ линия/с (при отношении сигнал:шум, равном 10), полосу пропускания отклоняющей системы около 2,3 ГГц, линейную разрешающую способность 320x420 линий и чувствительность по отклонению около 30 В на рабочее поле [22,25]. Из отечественных приборов следует отметить МВП ССТП2, обеспечивающий регистрацию однократных сигналов с длительностью фронта 1-2 нс [17].

Современные МВП на ЗЭЛТ имеют цифровой выход, позволяющий вводить информацию о преобразованном сигнале в ЭВМ [11,16].

Имеется тенденция к применению в МВП буферного ЗУ. В отечественных приборах эту функцию выполняет магнитный диск [3,21,24] или магнитный барабан [37,46], в зарубежных - либо оператив-

Характеристика	МВП							
	ССТП	ОКЗ5М	ОКЗ9	ИНИ	РП	ССТП2	Цифровая система	К7912
	ЗЭЛТ							
	I8Л047A		2ЛТК6М		С03У2	Р6288		
Полоса пропускания тракта преобразования ΔF , МГц	100	20	30	1000	1000	500	40	1000
Рабочее поле на мишени ЗЭЛТ для преобразуемого сигнала	$Y \times X$, мм $N_y \times N_x$, линия 60x100 86x142	45x100 64x142	45x100 64x142	45x100 ¹⁾ 94x208 ²⁾	45x100 ¹⁾ 94x208 ²⁾	36x45 100x125	-	500 9,5x12,7 320x420
Минимальная величина преобразуемого сигнала регистрации входного сигнала $U_{мин}$, В	3,5	$14 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	2,4 ²⁾	2,4 ²⁾	1,5	-	$100 \cdot 10^{-3}$ $250 \cdot 10^{-6}$
Динамический диапазон D_u , дБ	38	36	36	37 ²⁾	37 ²⁾	40	-	-
Длительность развертки записи T_p , нс	50-10 ⁴	300-10 ⁷	300-10 ⁷	40-160	20-10 ⁴	10-10 ⁴	500-2 · 10 ³	5-10 ⁸
Коэффициент трансформации K_m макс	4 · 10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵	~2,5 · 10 ⁵	~5 · 10 ⁵	1,4 · 10 ⁷	~10 ⁶	~3 · 10 ⁶
Число дискретных значений преобразованного сигнала N_t	100 ($T_p \leq 500$ нс) 200 ($T_p > 500$ нс)	200	200	≥100	≥100	110 или 220	512	512 или 525
Число двоичных разрядов регистра амплитуд q	-	8	8	7	7	8	8	9
Частота дискретизации (считывания), кГц	10	6,6	-	10	10	1,6 или 8	-	-
Число каналов преобразования	2	1	2	1	2	1	2	1
Погрешность уот-роЙств калибровки преобразователя, %	по амплитуде δ_u^* по времени δ_t^*	-	-	-	-	0,5 ($p=0,95$) ³⁾	1	-
		0,5	-	-	-	0,1 ($p=0,95$)	0,02	-
Погрешность преобразования, %	по амплитуде δ_u по времени δ_t	5	-	-	5 ⁴⁾	7 ⁴⁾	-	-
		2	-	-	2 ⁴⁾	2 ⁴⁾	-	-
Потребляемая мощность, В · А	800	700	600	600	550	360	-	250
Габариты, мм ³	700x610x680	1180x550x630	1730x660x680	1490x650x700	1700x560x700	730x480x500	-	-
Масса, кг	120	110	-	210	-	110	-	33
Источник	[2,23,45]	[37]	[46]	[3,20,24]	[3,21]	[17,38]	[11]	[16,22,25-28,35]

1) С учетом записи нулевой линии (физического нуля) и калибровочной синусоиды.

2) Для среднего значения диаметра луча записи 2ЛТК6М (см.табл.2).

3) p - доверительная вероятность.

4) При условии записи калибровочных уровней и калибровочной синусоиды ([21], с.191; [24], с.184).

ная память ЭВМ [11], либо полупроводниковые ЗУ [35]. использование полупроводникового ЗУ, по-видимому, является наиболее перспективным, так как оно обладает сравнительно небольшими размерами, малой потребляемой мощностью и существенно расширяет функциональные возможности МВП.

МВП, разработанные за рубежом [11,16,35], строятся по принципу записи-считывания-преобразования информации в цифровую форму. Дальнейшая обработка и отображение информации обеспечиваются тем или иным вариантом системы регистрации, в которую входит МВП в качестве базового элемента. Конструкция преобразователей предусматривает возможность замены отдельных блоков по мере развития и усовершенствования элементной базы и схемных решений [16]. В СССР по такому принципу разработан преобразователь ССТП2 [17].

Современные МВП на ЗЭЛТ оснащены микропроцессорами и программируемыми устройствами, что обеспечивает высокую эффективность их применения на всех этапах проведения физического эксперимента [48-50].

использование МВП на ЗЭЛТ в составе телеметрических систем в информационно-измерительных комплексах обеспечивает регистрацию однократных сигналов длительностью менее 1 нс на расстоянии десятки, сотни километров и более.

Наличие цифрового выхода позволяет при работе МВП совместно с ЭВМ не только ускорить процесс обработки результатов измерений, но и существенно повысить их достоверность [11]. В настоящее время использование преобразователей совместно с ЭВМ обеспечивает следующие виды обработки информации:

- вычисление корректирующих коэффициентов и угла рассогласования между системами отклонения считывающей и записывающей секций ЗЭЛТ [11]; умножение, деление, усреднение, интегрирование, дифференцирование, свертку сигналов и др. [16,26];

- выделение и замену ложных точек на осциллограмме воспроизведенного процесса, осуществление линейной интерполяции между ближайшими достоверными точками и др. [11]. Указанная обработка информации осуществляется за несколько секунд [11,26].

Таким образом, МВП на ЗЭЛТ отвечают основным требованиям современной измерительной техники и обеспечивают решение многих задач различных областях науки и техники.

Основные техни

Таблица 3

Характеристика	ССТП2	Цифровая система	Р7912
	СОЗУ2	Р6288	-
Полоса пропускания преобразователя	500	40	1000 500
Рабочее поле мишени ЗЭЛТ для преобразуемого сигнала	6x45 100x125	-	9,5x12,7 320x420
Минимальная разность входного сигнала	1,5	-	100 · 10 ⁻³ 250 · 10 ⁻⁶
Динамический диапазон	40	-	-
Длительность записи T _p , нс	10-10 ⁴	500-2 · 10 ³	5-10 ⁸
Коэффициент K _m макс	1,4 · 10 ⁷	~10 ⁶	~3 · 10 ⁶
Число дискретных преобразований	10 или 20	512	512 или 525
Число двоичных регистров амплитуды	8	8	9
Частота дискретизации), кГц	0,6 или 1	-	-
Число каналов	1	2	1
Погрешность устройств калибровки преобразователя	0,5 p=0,95) ³⁾ 0,1 p=0,95)	1 0,02	-
Погрешность преобразования	0,5 p=0,95) 0,1 p=0,95)	-	-
Потребляемая мощность	60	-	250
Габариты, мм	100x480x500	-	-
Масса, кг	110	-	33
Источник	7,38]	[11]	[16,22,25-28,35]

- 1) С учетом
- 2) Для средн
- 3) p - довер
- 4) При услов

Проведенный анализ физических принципов работы различных типов МВП, а также возможных вариантов их практической реализации позволяет сделать прогноз развития МВП на ближайшее десятилетие для целей регистрации однократных электрических сигналов нано- и пикосекундного диапазонов длительностей.

Преобразователи на параметрических системах и на ЛЗ с элементами отбора сравнительно просты в теоретическом рассмотрении, однако их практическая реализация существенно затруднена, что в конечном итоге сводит на нет их теоретические возможности.

МВП на параметрических системах имеют небольшую величину коэффициента трансформации ($K_M \leq 30$), что не позволяет преобразованный сигнал передавать по каналу связи (например, радиочастотному кабелю) на расстояние сотни метров и более без существенного искажения формы сигнала или вводить его в аналоговую ЭВМ для дальнейшей обработки. В этой связи, по-видимому, целесообразно указанные преобразователи использовать в совокупности с менее быстродействующими МВП, но обладающими большим коэффициентом K_M и сравнительно высокой чувствительностью (десятки-сотни милливольт). Если в перспективе и возможно увеличить быстродействие преобразователей на параметрических системах (например, на электронных пучках) за счет выбора более широкополосной системы ввода сигнала, то вряд ли можно ожидать существенного увеличения коэффициента трансформации. Таким образом, проблема последующей регистрации и обработки сигналов остается нерешенной.

Преобразователи на ЛЗ с элементами отбора в соответствии с их принципом работы, рассмотренным в разд.3, позволяют существенно увеличить коэффициент трансформации ($K_M \leq 10^4$), что обеспечивает передачу информации о преобразованном сигнале по сравнительно низкочастотным каналам связи и ввод этой информации в ЭЦВМ. Однако временной диапазон преобразуемых сигналов у них сравнительно небольшой и составляет сотни наносекунд, число дискретных значений преобразуемого сигнала ограничено 20-40. Перспективы дальнейшего развития таких МВП в значительной степени определяются уровнем развития полупроводниковой техники, микроэлектроники и др. В частности, для преобразования сигналов длительностью менее 50 нс необходима разработка полупроводниковых элементов (транзисторов, лавинно-пролетных диодов, диодов с накоплением зарядов и др.), способных форми-

ровать перепады сигналов с длительностью фронта 100 пс и менее. Практическая реализация таких преобразователей, естественно, требует расширения полосы пропускания контрольно-измерительных приборов (например, осциллографов с высокой чувствительностью) до 20 ГГц, что является самостоятельной проблемой, а также уменьшения длительности фронта генераторов импульсов до 30 пс и решения ряда других проблем.

Отмеченные недостатки (малый коэффициент трансформации, относительно малое число дискретных значений сигнала, небольшой временной диапазон длительностей преобразуемых сигналов и др.) и трудности практической реализации (наличие сверхбыстродействующей элементной базы, сверхширокополосных контрольно-измерительных приборов, перекрестных искажений, проникновение управляющих сигналов в канал преобразования и др.), свойственные преобразователям на параметрических системах и ЛЭ с элементами отбора, во многом устраняются в МВП на быстродействующих ЭЭЛТ, рассмотренных в разд. 4. Быстродействие таких МВП (в частности, скорость записи) в основном ограничено физическими свойствами мишени ЭЭЛТ, а также плотностью тока электронного пучка записи.

Проблема увеличения плотности тока записывающего луча в ЭЭЛТ аналогична той же проблеме в скоростных осциллографических ЭЛТ. Усилия разработчиков осциллографических ЭЛТ, направленные на увеличение плотности тока луча путем оптимизации прожектора, наталкиваются на большие трудности и не могут полностью решить проблему скорости записи, поскольку они вступают в противоречие с проблемой обеспечения высокой чувствительности по отклонению и достаточной долговечности прибора [51].

Ограничения, связанные с полосой пропускания сигнальной отклоняющей системы ЭЭЛТ, не являются проблемой, так как в настоящее время разработаны трубки с полосой пропускания до 5-7 ГГц [47, 48], например ЭЛТ ТМС4 лаборатории прикладной физики СЕР (Франция). Как сообщается в работе [52], современный уровень развития электровакуумной техники такой, что весьма реальна разработка ЭЛТ с полосой пропускания 12-14 ГГц.

МВП на ЭЭЛТ позволит также существенно увеличить линейную разрешающую способность преобразователя. Так, например, преобразовательная трубка фирмы "Томсон" (Франция) типа ТМ9559, узел мишени которой выполнен на р-п-переходах кремния, обладает линейной разрешающей способностью до 700 линий при диаметре мишени 16 мм [53]. Как

известно, ЭЭЛТ в преобразователе R7912 фирмы "Тектроникс" имеет линейную разрешающую способность 320x420 линий при размере мишени 9,5x12,7 мм [22]. Насколько известно, ни одна осциллографическая ЭЛТ не обладает разрешающей способностью 30 линия/мм при скорости записи около 10^{12} линия/с.

С учетом вышеизложенного основной проблемой при разработке сверхбыстродействующих МВП с высокой разрешающей способностью на ЭЭЛТ является возможность существенного увеличения именно скорости записи за счет увеличения тока вторичных электронов при электронной эмиссии диэлектрической мишени (например, электронная эмиссия, усиленная полем), а также увеличения коэффициента усиления тока проводниковой мишенью (например, на основе матрицы р-п-переходов).

В настоящее время уже разработана ЭЭЛТ, обеспечивающая скорость записи $2 \cdot 10^{12}$ линия/с, полосу пропускания 2,3 ГГц, отклонение луча на все рабочее поле мишени (на 320 линий) при амплитуде сигнала около 30 В. Это позволяет регистрировать однократные электрические сигналы длительностью в сотни пикосекунд [25].

Для увеличения скорости записи весьма интересна идея использования микроканального умножения первичного тока записи, аналогичная использованию микроканальной пластины в осциллографических трубках для повышения скорости записи [54, 55].

Можно предполагать, что эффективность применения микроканальной пластины в ЭЭЛТ для МВП будет выше, чем в ЭЛТ для осциллографа, так как в последнем случае, как известно, всегда имеют место потери в люминофоре, стекле, оптической системе фоторегистрации и др. В ЭЭЛТ увеличение тока электронного луча при записи приводит непосредственно к увеличению зарядного рельефа и вследствие этого к увеличению считанного сигнала.

Широкое развитие лазерной техники, физики плазмы и т.д. делает актуальной проблему регистрации и автоматической обработки с помощью ЭВМ световых сигналов длительностью десятки-сотни пикосекунд. Разработка гибридных электронно-лучевых преобразователей на основе электронно-оптического преобразователя для записи информации и ЭЭЛТ для оперативного хранения и последующего считывания информации открывает широкие возможности применения МВП для регистрации указанных величин, так как исключает первичный преобразователь информации (детектор) и обеспечивает в перспективе временное разрешение 5-50 пс.

В дальнейшем МВП будут оснащаться встроенными микропроцессорами программируемыми устройствами, обеспечивающими автоматическую

проверку работоспособности МВП, установку требуемого режима работы, предварительную обработку результатов измерений перед выводом информации на ЭВМ для окончательной обработки.

Заключение

Как следует из рассмотрения современного состояния разработок МВП, наибольшим быстродействием и возможностью оцифровки формы коротких однократных сигналов обладают МВП с использованием ЗЭЛТ в качестве ЗУ.

Быстродействие МВП определяется в основном быстродействием ЗУ. Современная элементная база не позволяет создать ЗУ для МВП однократных коротких сигналов на других элементах, с использованием других физических явлений и эффектов, конкурирующих по быстродействию с ЗЭЛТ.

Современные ЗЭЛТ по конструкции, режиму работы и скоростям записи существенно отличаются от потенциалоскопов и других запоминающих трубок, имевших распространение 15-20 лет назад.

Комплексное решение вопросов разработки конструкции и определения оптимальных режимов работы ЗЭЛТ позволили обеспечить реализацию больших скоростей записи однократных сигналов. Был создан принципиально новый тип запоминающих электронно-лучевых приборов - быстродействующие ЗЭЛТ. Не случайным поэтому является все возрастающее, особенно в последнее время, число разработок МВП с использованием современных ЗЭЛТ, тогда как МВП с использованием других типов ЗУ практически не разрабатываются для сигналов нано- и субнаносекундного диапазонов.

Недостаточная разработанность теории ЗЭЛТ не позволяет еще назвать предельные возможности МВП с использованием запоминающих электронно-лучевых приборов.

Список литературы

1. Черницер В.М., Кадук В.Г. Преобразователи временного масштаба. М., Советское радио, 1972.

2. Архипов В.К. Масштабно-временное преобразование коротких сигналов при помощи электронно-лучевых трубок памяти. М., Энергия, 1968.

3. Гельман М.М., Степанов Б.М., Филинов В.И. Дискретные преобразования моноимпульсных электрических сигналов. М., Атомиздат, 1975.

4. Денбновецкий С.В., Семенов Г.Ф. Запоминающие трубки в устройствах обработки информации. М., Советское радио, 1973.

5. Найденов А.И. Трансформация спектра наносекундных импульсов. М., Советское радио, 1973.

6. Фомин Л.А., Фомин Э.А. Трансформация частотного спектра в линиях со скачкообразным изменением параметров. - Вопросы радиоэлектроники. Серия: Радиоизмерительная техника, 1971, вып.5.

7. Герман В.А., Денисов А.Ф. Об оптимальном числе выборок при дискретном преобразовании однократных сигналов. - Вопросы радиоэлектроники. Серия: Радиоизмерительная техника, 1968, вып.6.

8. Богатырев Ю.К. Импульсные устройства с нелинейными распределенными параметрами. М., Советское радио, 1974.

9. Харкевич А.А. Спектры и анализ. М., Физматгиз, 1962.

10. Найденов А.И., Фомин Э.А. Трансформация спектра электрических сигналов в длинных линиях с переменными параметрами. - Радиотехника, 1968, т.23, № 1.

11. Миллс Г., Трикс Р. Цифровая система для регистрации наносекундных процессов. - Электроника, 1971, т.44, № 25.

12. Денбновецкий С.В., Медведенко Б.Н. Применение запоминающих ЭЛТ в устройствах связи оператора с ЭЦВМ. - В кн.: Автоматизация проектирования в электронике. Вып.2. Киев, Техника, 1970.

13. Денбновецкий С.В., Зинченко В.Я., Черевко Ю.И. Устройство для регистрации одиночных импульсов перфоратором и самописцем. - Приборы и техника эксперимента, 1969, № 2.

14. Поцус Р.-В.П., Найденов А.И. Особенности восстановления входного сигнала в преобразователях временного масштаба однократных импульсов. - Изв. вузов Литовской ССР: Радиоэлектроника, 1974, т.10, № 2.

15. Виноградов В.И., Денисов А.Ф. Применение метода линейной трансформации временного масштаба при регистрации быстропротекающих однократных сигналов. Импульсная фотометрия. Вып. 2. М., Машиностроение, 1972.

16. Каталог фирмы "Тектроникс". 1975.