

2280 ч. 3а

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2280



А.А. Омеляненко, К.Г. Родионов, Хен Еен Гынъ

КОМПЛЕКС ТРАНЗИСТИРОВАННЫХ БЛОКОВ
ДЛЯ НЕЙТРОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1965

2280

А.А. Омельяненко, К.Г. Родюнов, Хен Еен Гынь

КОМПЛЕКС ТРАНЗИСТИРОВАННЫХ БЛОКОВ
ДЛЯ НЕЙТРОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

Входная детекторная аппаратура для экспериментов, проводимых на пучке нейтронов ИБР в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, состоит из большого числа электронных схем, требующих значительных инженерных, конструкторских и монтажных работ. Очевидно, что успех физического эксперимента зависит как от качества методической разработки аппаратуры, так и от ее технических характеристик, временной и температурной стабильности, надежности и долговечности.

При растущем многообразии методик эксперимента количество электронных разработок нередко увеличивается в меньшей степени, а каждая новая разработка и ее конструкторско-монтажное оформление удлиняет общее время подготовки эксперимента.

Для сокращения этого времени можно использовать в эксперименте электронные приборы, серийно выпускаемые промышленностью. Однако в большинстве физических экспериментов логика схемных решений измерительных установок вызывает необходимость использования приборов, различных по своему назначению (усилитель, дискриминатор, схема совпадений и т.п.). В экспериментах со многими датчиками приходится использовать множество однотипных приборов. Целый ряд приборов, таких как сумматор, повторитель, инвертор и др. промышленностью не выпускаются. Приборы промышленного изготовления, имеющие подобное назначение, рассчитаны, в основном, на универсальность применения. Они велики по размерам, снабжены собственными источниками питания и потребляют большой ток. Компоновка из таких приборов экспериментальных измерительных установок весьма затруднительна для экспериментатора и не всегда возможна. Экспериментатору важно иметь такую "линейку" приборов, которая позволяла бы относительно просто и быстро собирать из этих приборов системы, отвечающие наиболее оптимальным вариантам измерительных установок. Одна из подобных "линеек" была создана в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ в 1960 году^{/1/}.

"Линейка" состоит из ламповых блоков, стандартизированных по размерам и применяемым номиналам питания и успешно применяется в настоящее время. В некоторых случаях условия эксперимента не позволяют использовать ламповые схемы в качестве блоков спектрометрических трактов. Например, специфичные условия работы

детекторов (для уменьшения шумов фотоумножителей их охлаждают до минусовых температур) делают невозможным размещение таких схем как ограничитель и предусилитель непосредственно на головке ФЭУ. С другой стороны, при измерениях по времени пролета измерительная установка должна переноситься на разные расстояния от источника частиц (ИБР)^{1/2/}. Громоздкость установки, собранной из блоков ламповой "линейки", затрудняет такую перестановку. Кроме того для ряда экспериментов в настоящее время необходимо использовать аппаратуру с лучшими параметрами, чем параметры блоков ламповой "линейки". "Линейка" на полупроводниковых приборах в некоторой степени решает эту задачу. Малые габариты полупроводниковых элементов и схем из них представляют удобства в эксплуатации сложных электронных систем. Повышается стабильность, надежность и долговечность установок.

Комплекс таких спектрометрических блоков ("линейка"), предназначенный для физических измерений на пучке нейтронов ИБР ОИЯИ, был разработан в отделе радиоэлектроники Лаборатория нейтронной физики. Из блоков "линейки" можно собирать измерительные системы различных назначений. Применение таких блоков, улучшая качественные характеристики устройств, сокращает размеры установки (например, многосчетчиковая система по изучению рассеяния быстрых нейтронов на малые углы, состоящая из большого числа однотипных схем), делает систему транспортабельной (например, в эксперименте по измерению реакции (α, γ) на легких ядрах, где измерения производятся на разных пролетных базах нейтронов), позволяет разместить электронную часть установки внутри герметичного устройства.

В настоящее время известно множество спектрометрических схем на полупроводниковых элементах, но их совместное использование невозможно по ряду причин:

- 1) схемы рассчитаны на различные диапазоны входных сигналов и имеют несогласованные между собой входные и выходные параметры;
- 2) имеется отличие в частотно-фазовых характеристиках;
- 3) разноразличия в номиналах питающих напряжений;
- 4) различное конструктивное оформление.

В основу конструирования "линейки", схемы которой описаны ниже, положены следующие требования:

- 1) согласование блоков разного назначения между собой по рабочему диапазону, входным и выходным характеристикам;
- 2) стабильность параметров и надежность работы;
- 3) взаимозаменяемость блоков одного типа;
- 4) использование стандартизированных в ОИЯИ номиналов питания;

- 5) возможность использования печатного монтажа;
- 6) простота схемной конструкции;
- 7) применение стандартизированных в ОИЯИ шасси блоков, стоек и ВЧ-разъемов.

При выборе блоков "линейки", их схем и характеристик учитывались:

- А. Особенности детекторов, используемых в эксперименте.
 1. Малый выходной сигнал.
 2. Наличие шумов, по уровню амплитуды равных амплитуде полезных сигналов.
 3. Возможность появления перегружающих импульсов.
- Б. Особенности эксперимента.
 1. Регистрация импульсов в диапазоне длительностей несколько сотен наносекунд.
 2. Линейное суммирование сигналов от многих датчиков.
 3. Разделение полезных и шумовых импульсов.
 4. Выбор необходимого диапазона импульсов.
 5. Передача импульсов на сравнительно большие расстояния. С учетом этих факторов определены типы основных блоков, вошедших в "линейку".

1. Линейный усилитель импульсов (У-1-1).
2. Схема совпадений с низким порогом срабатывания (СС-1-1).
3. Линейная схема пропускания (СП-1-1).
4. Линейный сумматор на 8 входов (ЛС-1-1).
5. Дифференциальный дискриминатор (Д-1-1).
6. Инвертор (ФИ-1-1).
7. Формирователь с ИЛИ (Ф-1-1).
8. Эмиттерный повторитель (ЭП-1-2).

Кроме основных в "линейку" включены дополнительные блоки, применяемые в экспериментах.

10. Интегральный дискриминатор.
11. Схема входной формировки для пересчетной схемы.
12. Схема входной формировки механического счетчика.
13. Унифицированная пересчетная декада (УПД), разработанная в ЛВЭ^{3/}.
14. Полупроводниковые источники питания типа ИП-2 (разработка ЛЯП).

Блоки 13 и 14 приняты в ОИЯИ в качестве стандартных.

В целях удобства согласования блоков для всех схем принята отрицательная полярность входных и выходных сигналов.

Описание принципиальных схем блоков "линейки"

1. Линейный импульсный усилитель

Усилитель (рис. 1) выполняет задачу усиления с высокой линейностью импульсов, которые отличаются по величине в 10 - 100 раз и имеют минимальные амплитуды порядка милливольт. Импульсный усилитель состоит из 8 каскадов. Первые и последние каскады представляют собой обычные эмиттерные повторители (транзисторы Т1, Т2, Т6, Т7), которые обеспечивают возможность согласованной работы с другими схемами и между собой. Низкоомный делитель на входе усилителя, ослабляющий сигнал в 10 раз ступенями, позволяет работать с большими сигналами. Третий каскад - собственно усилительный, собранный по каскадной схеме с параллельно-последовательным питанием на транзисторах Т3 и Т4. Режим транзистора Т3 по постоянному току определяется, главным образом, сопротивлениями R_{20} и R_{23} , током транзистора Т4 и выбирается таким образом, чтобы обеспечить наибольший коэффициент усиления по току. Транзистор Т4 работает в режиме малых токов. От сопротивлений R_{21} и R_{21} зависит коэффициент отрицательной обратной связи по напряжению. Выбор сопротивления R_{25} в цепи эмиттера транзистора Т3 влияет на величину коэффициента усиления каскада. С другой стороны, это сопротивление снижает дрейф коэффициента усиления и увеличивает верхнюю граничную частоту.

Технические характеристики

Полярность входных и выходных импульсов - отрицательная. Коэффициент усиления схемы - 50.

Время нарастания - 15 нсек.

Нелинейность амплитудной характеристики не более 1%.

Максимальный выходной сигнал - 5,5 в.

Длительность входных импульсов - 0,1 - 1,0 мксек.

Изменение коэффициента усиления при изменении температуры окружающей среды в диапазоне $+15^{\circ}$ - $+50^{\circ}$ С не более 3%.

Входное сопротивление - 4 ком.

Выходное сопротивление - 12 ом.

Шум, приведенный к входу, + 20 мкв.эфф.

Усилитель допускает 20-кратную перегрузку при частоте перегружающих импульсов до 3 кгц и 40-кратную перегрузку при частоте перегружающих импульсов до 1 кгц без ухудшения линейности.

Напряжение питания - 27 в, + 12 в.

Потребляемый ток - 30 ма.

При изменении напряжения питания на $\pm 10\%$ коэффициент усиления изменяется не более чем на 1%.

Транзисторы Т1, Т2, Т3, Т4, Т6 типа П411А, транзисторы Т5, Т7 - типа П502В.

2. Схема совпадений

Схема совпадений (рис. 2) обладает высокой чувствительностью при малом разрешающем времени, что очень важно для спектрометрии малых сигналов.

Она состоит из двух идентичных каналов, элемента отбора на туннельном диоде (ТДБ) и выходного усилителя с повторителем (транзисторы Т11-Т13). Структурная схема каналов совпадений такова: усилитель - ограничитель и два формирователя на туннельных диодах. Назначение усилителя - ограничителя состоит в повышении чувствительности схемы и в расширении динамического диапазона регистрируемых амплитуд. Общее усиление по каналу составляет 50 при собственном времени нарастания усилителя 8 нсек. Каскады на транзисторах Т1 и Т2 - собственно усилительные, каскад на транзисторе Т3 - ограничительный. Рабочая точка транзистора Т3 выбрана таким образом, что амплитуда выходного импульса на его коллекторе не превышает 0,75 в (транзистор запирается положительным импульсом). На входе и выходе усилителя - ограничителя стоят диодные ограничители (диоды Д1 и Д2). Таким образом, в схеме совпадений предусмотрено ограничение больших входных импульсов, так что в большом диапазоне входных амплитуд импульс на входе первого каскада формирования не превышает 0,3 в. Первый и второй формирователи выполнены по одной схеме. С выхода второго формирователя снимается импульс постоянной амплитуды и длительности. Длительность сформированного импульса задается величиной индуктивностей L_1 и L_2 и составляет 20 нсек. Стандартные по форме импульсы с выходов формирователей обоих каналов, поступают на вход элемента отбора, представляющего собой точно такой же формирователь, что и предыдущие. Его порог срабатывания выбран таким, что туннельный диод срабатывает только при "одновременном" приходе импульсов с обоих каналов. Таким образом, в случае совпадения двух импульсов на элементе отбора образуется сигнал, который затем усиливается выходным усилителем до амплитуды 5 в.

Технические характеристики

Чувствительность схемы - 2 мв.

Разрешающее время - 15 нсек.

Полярность входного импульса - отрицательная.

Длительность входного импульса - 0,05 - 1,0 мксек.

Время нарастания входного импульса - 0,01 мксек.

Параметры выходного импульса:

полярность - отрицательная,
амплитуда - 5в,
длительность - 0,5 мксек,
время нарастания - 0,05 мксек,
напряжение питания ± 12 в $\pm 10\%$.

Схема работоспособна в диапазоне окружающей температуры $+15^{\circ}\text{C}$ - $+60^{\circ}\text{C}$.

В схеме применены транзисторы типа П417А, туннельные диоды - типа ЗИ301Г, стабилизаторы Д3, Д5, Д7, Д8 типа Д808.

3. Линейная схема пропускания

Схема пропускания (рис. 3) обеспечивает пропускание на анализ импульсов, удовлетворяющих требованиям эксперимента в большом линейном диапазоне, с нелинейностью амплитудной характеристики не хуже 1%. По сравнению с большинством известных схем ^{4-8/} мертвое время схемы мало (- 1,0 мксек). Диапазон времени, в течение которого импульсы пропускаются на анализ, определяется времязадающими "воротами", т.е. длительностью импульса разрешения.

Схема пропускания состоит из каскадов формирования импульса "ворот" (транзисторы Т1 - Т4) и канала пропускания (транзисторы Т5, Т6 и диоды Д11- Д14). Формировка импульса "ворот" происходит следующим образом. Импульс разрешения отрицательной полярности и амплитудой не менее 1,2 в поступает на вход 2 схемы пропускания, а именно - на фазоинвертор (транзистор Т1), а положительный импульс, взятый с коллектора фазоинвертора, - на вход триггера на туннельном диоде ТД и "взводит" его. Отрицательный импульс с эмиттера фазоинвертора, задержанный на 1 мксек, через эмиттерный повторитель (транзистор Т2) возвращает триггер в исходное состояние. Таким образом, на базе транзистора Т4 выделяется импульс амплитудой 0,3 - 0,5 в и длительностью 1 мксек. Импульс "ворот", усиленный транзистором Т4, поступает на первичную обмотку трансформатора Тр, а со вторичных обмоток трансформатора импульс положительной полярности и импульс отрицательной полярности поступают на мостиковую схему пропускания, образованную диодами Д10 - Д15. Пока отсутствуют импульсы "ворот", диоды Д10 и Д15 открыты, а диоды Д11 - Д14 закрыты, так что импульс, поступающий на вход 1, не проходит на выход схемы пропускания. Когда диоды Д11 и Д15 закрываются импульсами "ворот", диоды Д11 - Д14 становятся проводящими и на выход схемы пропускания импульсы со входа 1 проходят в течение времени существования импульса "ворот".

К числу существенных достоинств схемы относится возможность линейного про-

пускания импульсов малых амплитуд. Это достигается применением мостиковой схемы пропускания ^{6/}, которая при подборе диодов с идентичными характеристиками и сопротивлений, позволяет полностью устранить "пьедестал". Краевые выбросы убираются с помощью интегрирующей цепочки R_{34}, C_{13} .

Технические характеристики

Полярность пропускаемых импульсов и импульса разрешения - отрицательная.
Амплитуда пропускаемых импульсов - 0,01 - 9 в.
Длительность пропускаемых импульсов - 0,1 - 0,8 мксек.
Амплитуда импульса разрешения - 1,2 - 10 в.
Длительность импульса разрешения - 0,4 - 1,0 мксек.
Нелинейность амплитудной характеристики - не более 1%.
Входное сопротивление линейного тракта - 12 ком.
Входное сопротивление схемы формирования - 7 ком.
Выходное сопротивление линейного тракта - 10 ом.
Мертвое время схемы - 1 мксек.
Напряжение питания - ± 27 , ± 12 в.
Изменение температуры окружающей среды от $+15^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$ при изменении напряжения питания на $\pm 10\%$ не меняет характеристик.
Для мостиковой схемы необходим подбор диодов с одинаковыми характеристиками.
Все транзисторы типа ИТ 308 В/Г/.

4. Линейный сумматор

В многоканальном линейном сумматоре (рис. 4) суммирование выполняется по принципу сложения импульсов от разных датчиков на искусственной линии задержки, секция которой образована индуктивностями $L_1 - L_9$ и емкостями $C_{20} - C_{40}$ ^{17/}.
Общее коллекторное сопротивление, составленное из постоянного и переменного сопротивлений, служит и согласующим - для подавления отраженных колебаний в линии. Все входы сумматора идентичны, и каждый вход представлен двумя каскадами. Первый инвертер, который рассчитан на входные импульсы отрицательной и положительной полярности (транзисторы Т1 - Т8). Второй каскад - суммирующий, нагружен на линию задержки и работает лишь от импульсов отрицательной полярности. Переменное сопротивление в цепи эмиттера второго каскада служит для подстройки коэффициентов передачи равными по каждому входу, а также частично для подгонки характеристик транзисторов, на которых выполняется суммирование.

Технические характеристики

Количество входов - 8.

Количество входов может быть и большим (все каналы идентичны), если входные сигналы укладываются при суммировании в диапазон линейности, указанный ниже.

Полярность входных импульсов - отрицательная (положительная).

Длительность входных импульсов - 0,5- 1,5 мксек.

Линейный диапазон суммарного сигнала - 3 мв - 3,5 в.

Входная амплитуда, передаваемая линейно по одному входу, - 3 мв - 3,5 в.

Нелинейность в указанном диапазоне - 1,5%.

Коэффициент передачи регулируется в пределах 0,8 - 1,2.

Сумматор допускает 40-кратную перегрузку при частоте перегружающих импульсов в 3 кГц.

Входное сопротивление - 10 ком.

Выходное сопротивление - 4 ком.

Диапазон рабочих температур +15°C - +35°C.

Источник питания - 27 в (75 ма).

Схема рассчитана на применение транзисторов типа 1Т308А, Б, В, Г (Т1 - Т16) и типа П418 (Т17, Т18, Т19).

Б. Амплитудный дифференциальный дискриминатор

Дискриминатор (рис. 5) предназначен для амплитудного анализа импульсов отрицательной полярности в диапазоне 0,4 - 10 в. Дискриминатор состоит из двух идентичных пороговых устройств, двух одновибраторов, эмиттерного повторителя в верхнем канале и инвертора в нижнем канале, схемы антисовпадения с формирователем.

Пороговое устройство выполнено на диоде Д18 с малой проходной емкостью (Д3 и Д10). Нижний и верхний пороги задаются положительным запирающим напряжением от делителя (рис. 6). Устранение влияния небольшого разброса импульсных и статических характеристик дискриминирующих диодов достигается подачей некоторого начального регулирующего напряжения смещения через R_5 и R_{21} . Чувствительные одновибраторы^{18/} на транзисторах Т1, Т2 и Т4, Т5 формируют отрицательные импульсы амплитудой 2в и длительностью 0,5 мксек. Режимы транзисторов каждого одновибратора выбраны таким образом, что оба триода в исходном состоянии проводят, но $k\beta < 1$ за счет разрыва цепи положительной обратной связи диодом Д7 (Д14). Только входной отрицательный сигнал, усиленный первым транзистором Т1 (Т4), переводит диод в состояние, обеспечивающее в одновибраторе регенеративный процесс. В одновибраторах предусмотрены цепочки, ускоряющие разряд времязадающих емкостей C_7 и C_{18} (R_{10} и $D_{8/1}$, R_{20} и D_{15}) так, что время их восстановления не превышает 0,5 мксек.

Схема антисовпадения выполнена на туннельном диоде ТД, сопротивлении R_{34} и R_{35} и транзисторе Т7. Необходимая задержка импульса с нижнего канала во всем "окне" вплоть до 10в обеспечивается применением интегрирующей емкости C_{19} , которая шунтирует коллекторное сопротивление инверторного каскада.

Технические характеристики

Полярность входного сигнала - отрицательная.

Диапазон входных амплитуд - 0,4-10в.

Ширина "окна" дискриминатора - 0,1-10в (через 0,1 в).

Длительность входного импульса от 0,1 до 0,5 мксек с фронтом до 0,05 мксек. При импульсах более 1,0 мксек, фронтом более 0,05 мксек необходимо увеличение времени выдержки одновибраторов дискриминатора.

Регулировка порога от 0,4 до 10 в (через 0,1 в).

Мертвое время дискриминатора при "окне" 0,1 в - 1 мксек.

Максимальное мертвое время для двух импульсов с амплитудами 10 в и 0,5 в в "мелк" 10 в составляет 1,5 мксек.

Стабильность порога дискриминации не хуже 0,1%.

Линейность дискриминационной характеристики не хуже 1%.

Полярность выходного импульса - отрицательная.

Длительность выходного импульса - 0,5 мксек.

Амплитуда выходного импульса - 8 в.

Входное сопротивление дискриминатора - 500 ом.

Выходное сопротивление дискриминатора - 300 ом.

Температурное изменение порога в диапазоне температур +15°C - +45°C составляет 0,05%.

Неопределенность порога срабатывания не хуже 0,1%

Напряжение питания - 27в +12 в.

Потребляемый ток - 55 ма.

В схеме применены транзисторы типа П411А (Т₁ - Т₈), 1Т303В (Т₇), туннельный диод ЗИ301А.

В. И н в е р т о р

Все блоки, входящие в "линейку", работают от импульсов отрицательной полярности и, следовательно, все выходные сигналы блоков имеют также отрицательную полярность. Внутри самой "линейки", очевидно, нет необходимости использовать фазоинвертор. Но при необходимости согласования работы отдельных блоков "линейки" с другой аппаратурой, например, с пересчетной декадой УПД, работающей от положительных сиг-

налов, или с блоками ламповой "линейки", используемой в лаборатории, - фазоинвертор необходим.

Фазоинвертор (рис. 7) выполнен на четырех транзисторах. На транзисторе Т1 - повторитель, на транзисторах Т2 и Т3 и Т4 - усилитель, охваченный глубокой отрицательной обратной связью. В цепь отрицательной обратной связи входит транзистор Т3, сопротивление R_1 и емкость C_4 . Эмиттерный повторитель Т3 питает цепь обратной связи постоянным током, не нагружая коллектор транзистора Т4, что позволяет получить широкий динамический диапазон. Сопротивления R_1 и R_{10} определяют усиление по петле обратной связи и, следовательно, коэффициент передачи фазоинвертора. Диоды D_2 и D_3 - защита первого транзистора от перегружающих положительных и отрицательных импульсов.

Технические характеристики

Полярность входного сигнала - отрицательная.

Длительность входного сигнала - 0,1-1,0 мксек.

Полярность выходного сигнала - положительная.

Диапазон линейности - 10 мв - 10 в.

Собственное время нарастания - 10 нсек.

Входное сопротивление - 10 ком.

Выходное сопротивление - 75 ом.

Источник питания + 27 в.

Транзисторы Т1, Т2 - типа П411А; Т3 Т4 - типа П502В.

8. Схема ИЛИ с формирователем

Со схемы может быть получен и сформирован импульс управления для анализирующих блоков системы при наличии многих датчиков. Сборка (рис. 8) представляет собой сочетание обычной диодной схемы ИЛИ (диоды $D_1 - D_8$), формирователя на туннельном диоде ТД и транзисторе Т1, так что суммарная емкость переходов диодов не определяет времени нарастания выходного импульса. Оно зависит, главным образом, от свойств формирующего каскада. Входные импульсы отрицательной полярности заставляют срабатывать туннельный диод, что приводит к появлению на базе транзистора Т1 импульса отрицательной полярности, амплитудой 0,8 в и длительностью, повторяющей длительность входного импульса. С коллектора транзистора Т1 усиленный импульс положительной полярности инвертируется (транзистор Т2) и поступает на выходной эмиттерный повторитель (транзистор Т3). Мертвое время схемы определяется лишь длительностью входного импульса.

Количество входов - 8 (число входов может быть увеличено без существенных изменений характеристик схемы).

Полярность входного и выходного импульсов - отрицательная.

Амплитуда входного импульса - не менее 1 в.

Длительность входного сигнала - 0,1 - 0,5 мксек.

Амплитуда выходного импульса - 4,5 в.

Время нарастания выходного импульса определяется, главным образом, свойствами формирующего каскада и составляет для 8-ми входов 50 нсек (в том случае, если на вход подан импульс от генератора Г-5-15).

Изменение температуры окружающей среды в пределах $+15^{\circ}\text{C} - +50^{\circ}\text{C}$ изменяет амплитуду выходного импульса не более, чем на 2%.

Источник питания - 12 в (15 ма).

Использованы транзисторы типа 1Т308А, Б, В, Г и туннельный диод типа ЗИ-301А.

8. Эмиттерный повторитель ЭП-1-1

Эмиттерный повторитель (рис. 9) предназначается для линейной передачи импульсов отрицательной полярности по длинному кабелю и для согласования отдельных блоков спектрометрической аппаратуры между собой^{/8/}.

Повторитель выполнен на четырех транзисторах. Два обычных повторителя на транзисторах Т1 и Т2, включенные последовательно, предназначаются для увеличения общего входного сопротивления и уменьшения входной емкости схемы при большой емкостной нагрузке.

В оконечном каскаде эмиттерной нагрузкой транзистора Т3 служит сопротивление коллектор-эмиттер транзистора Т4, которое обладает высоким динамическим сопротивлением для переменной составляющей и малым для постоянной составляющей тока эмиттера. Это резко увеличивает входное сопротивление оконечного каскада, работающего на низкоомную нагрузку, обеспечивая в то же время низкое выходное сопротивление схемы.

Выбор элементов повторителя производился из условий расширения диапазона линейности в область милливольтных сигналов и возможного его применения в условиях низких температур.

Технические характеристики

Полярность входного и выходного импульсов - отрицательная.

Входное сопротивление 100 ком (для $C_{вх} = 10$ пф).

Выходное сопротивление - 15 ом.

Диапазон линейно-передаваемых импульсов - 0,003 - 3в (с нелинейностью не хуже 1%).

Длительность входных импульсов - 0,1 - 1,0 мксек.

Время нарастания - 0,01 мксек.

Коэффициент передачи - 0,8.

Повторитель допускает 80-кратную перегрузку при частоте перегружающих импульсов 10 кгц без ухудшения характеристики схемы (перегрузка определяется по отношению площадей перегружающего и рабочего импульсов).

Шум, приведенный к входу, - не более 50 мкв, эфф.

Область рабочих температур - 20°C - +50°C.

Источник питания - 12 в (4ма).

Применены транзисторы типа 1Т308А, Б, В, Г.

9. Эмиттерный повторитель ЭП-2

Эмиттерный повторитель ЭП-2-2 (рис. 10) сконструирован для непосредственного размещения на головке ФЭУ. Повторитель соединяется длинным кабелем с источником питания и нагрузочным сопротивлением $R_{н}$, которые могут располагаться на значительном расстоянии от ФЭУ/10/. Наряду с отрицательными обратными связями по постоянному току в схеме использована и положительная обратная связь по постоянному и переменному току, что позволяет передавать короткий фронт и обеспечивает достаточно высокое входное и низкое выходное сопротивление.

Технические характеристики

(для кабеля РК-1 длиной 20 м)

Полярность входного и выходного сигналов - отрицательная.

Входное сопротивление (для $C_{вх} = 5$ пф) - 50 ком.

Выходное сопротивление - 10 ом.

Диапазон линейности - 0,003 - 3 в.

Длительность входных импульсов - 0,1 - 1,0 мксек.

Собственное время нарастания - 8 нсек.

Коэффициент передачи - 0,9.

Область рабочих температур - + 20°C - + 50°C.

Источник питания - 12 в (8 ма).

Применены транзисторы типа 1Т308В (транзистор Т1) и типа 2Т301В (транзистор Т2).

10. Быстрый интегральный амплитудный дискриминатор

Применение туннельных диодов в качестве пороговых элементов позволило существенно улучшить многие характеристики дискриминатора (рис. 11) по сравнению с аналогичными транзисторными схемами. Например, чувствительность, температурную стабильность порога. Кроме того, возможно уменьшение минимальной длительности входного сигнала, мертвого времени задержки срабатывания и ее разброса. Помимо этого, дискриминатор наносекундного диапазона на туннельных диодах значительно проще транзисторных аналогов /11/.

Первый каскад дискриминатора на транзисторе Т1 является согласующим, импульс напряжения преобразуется в импульс тока с помощью усилителя с эмиттерным выходом. Высокоомный источник сигнала также способствует более устойчивой работе дискриминирующего туннельного диода и позволяет получить интегральную линейность дискриминационной характеристики порядка 1%. Собственно дискриминатор на туннельном диоде ТД1 получает стабильный ток питания через транзисторные каскады на Т2 и Т3. Здесь рабочий ток ТД1 задается на обратной ветви вольт-амперной характеристики для получения большого динамического диапазона через транзистор Т2. Транзистор Т3 включен инверсно транзистору Т2, таким образом осуществляется компенсация температурного изменения тока смещения ТД1. В диапазоне изменения температуры окружающей среды + 20°C - +80°C изменение порога менее 1 мв/град С против 10 мв/град С для некомпенсированной схемы питания. При подборе транзисторов Т2 и Т3 с одинаковыми температурными характеристиками температурная нестабильность порога может быть еще уменьшена.

Вследствие высокой температурной стабильности характеристик туннельных диодов из арсенида галлия температурной компенсации для дискриминирующего туннельного диода не требуется. Это позволило выбрать рабочую точку туннельного диода ТД1 таким образом, чтобы обеспечить чувствительность дискриминатора 50 мв.

Начальная рабочая точка дискриминатора устанавливается с помощью переменного сопротивления R_{41} ; делитель Д служит для задания порога. Посредством переменного сопротивления R_{36} можно менять наклон дискриминационной характеристики и, следовательно, подгонять вольт-амперные характеристики туннельных диодов при калибровке дискриминатора.

Импульс с выхода ТД1 дополнительно формируется с помощью формирователя на туннельном диоде ТД2 и транзисторе Т4, в исходном состоянии закрытого, входное сопротивление которого служит динамической нагрузкой формирователя. Таким образом,

с выхода ТД2 получается импульс, строго постоянный по амплитуде и длительности. Этот импульс затем усиливается и через эмиттерный повторитель поступает на выход.

Технические характеристики

Полярность входных сигналов - отрицательная.
Диапазон дискриминации - 100 мВ - 10 В (через 0,1 В).
Длительность входного импульса - 8 - 300 нсек.
Время нарастания входного импульса - не более 10 нсек.
Интегральная нелинейность не хуже 1%.
Нестабильность порога срабатывания - 10 мВ.
Мертвое время дискриминатора - 25 нсек.
Входное сопротивление - 700 Ом.
Выходное сопротивление - 20 Ом.
Параметры выходного импульса:
полярность - отрицательная,
амплитуда - 5 В,
длительность - 15 нсек.
Источник питания - 12 В (13 мА), + 12 В (37 мА).
Применены транзисторы типа П411А (T_4 , T_5 , T_6), П602В (T_1 , T_2 , T_3) туннельный диод ЗИ301Г.

11. Выходной формирователь

Схема предназначена для формирования импульсов, подаваемых на пересчетную схему УПД (рис. 12).

Технические характеристики

Полярность входного импульса - положительная.
Амплитуда входного импульса - 1,5 - 50 В.
Длительность входного импульса - 0,1 - 10 мксек.
Напряжение питания - 12 В.
Применен транзистор - 1Т308В.

12. Выходной формирователь

Схема (рис. 13) предназначена для включения на выход УПД механического счетчика типа ТСБ - 1/50.

В схеме применены транзисторы типа П14 (T_1) и П28 (T_2).

Конструкция

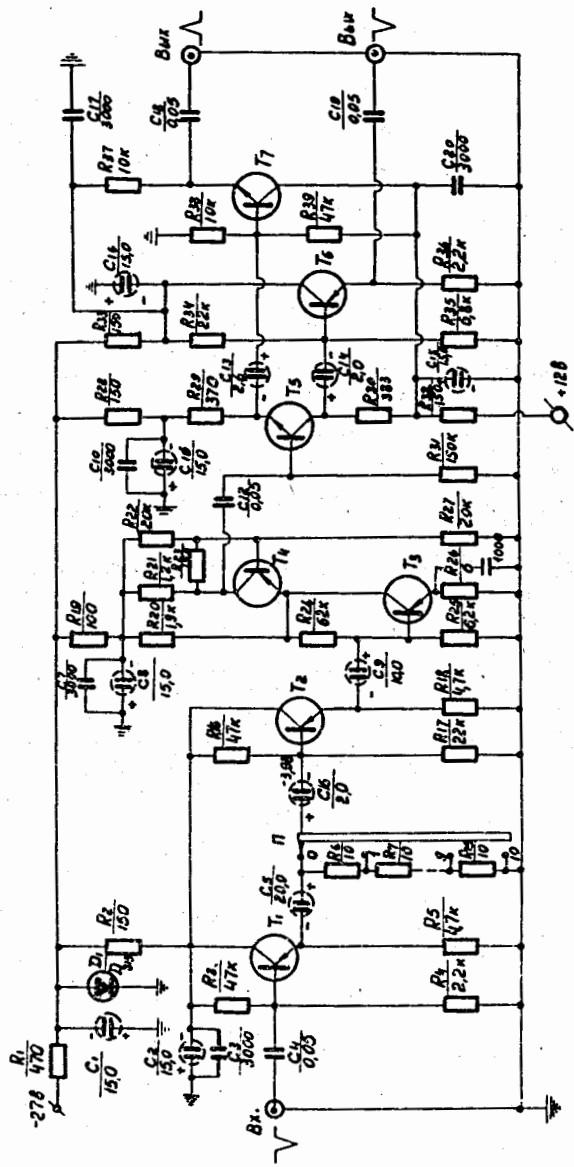
Оформление схем "линейки" - блочное. Монтаж выполнен на печатных платах для типовых шасси. Питание блоков осуществляется через контакты разъемов. Входные и выходные ВЧ - разъемы, а также ручки управления выведены на переднюю панель. Размер передней панели определяется типом блока. При необходимости ширина панели может быть увеличена.

Для сборки установки из блоков "линейки" используются типовые стойки.

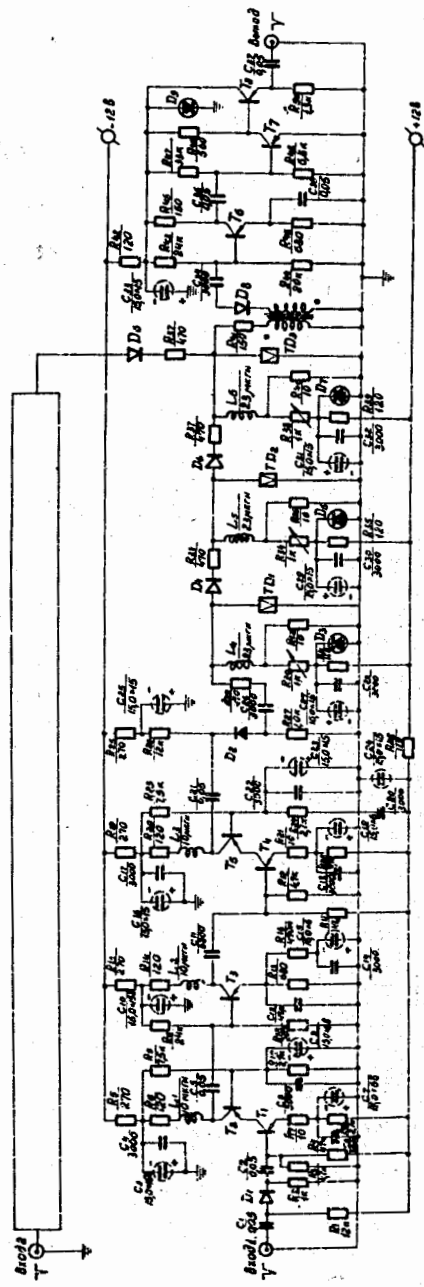
Литература

1. Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин и др. Лабораторные блоки регистрирующих установок. Препринт ОИЯИ 602, Дубна (1961).
2. Г.И. Забиякин и др. Препринт ОИЯИ 958, Дубна (1962) стр. 38.
3. А.Г. Грачев, С.С. Кириллов. Препринт ОИЯИ 1022, Дубна (1965).
4. Л.С. Горь, Б.Н. Хазанов. Транзисторы в радиометрической аппаратуре. Госатомиздат, 1961 г.
5. Л.С. Горь, И.С. Крашениников, Б.Н. Хазанов. Электроника в спектроскопии ядерных измерений. Госатомиздат, 1963 г.
6. P.R.Chagnon, RSI, v. 32, 1, 68 (1961).
7. Ю.Н. Прозоровский, А.М. Харченко. Авторское свидетельство № 130823.
8. О.Н. Безменов и др. ПТЭ, 6, 56, 1960 г.
9. Cassidy and Graveson. IEEE Trans on Nucl. Sc., NS-10, 3, 61, 1963.
10. M. Banner et J. Teiger, NJM, v. 31, 205-212 (1964).

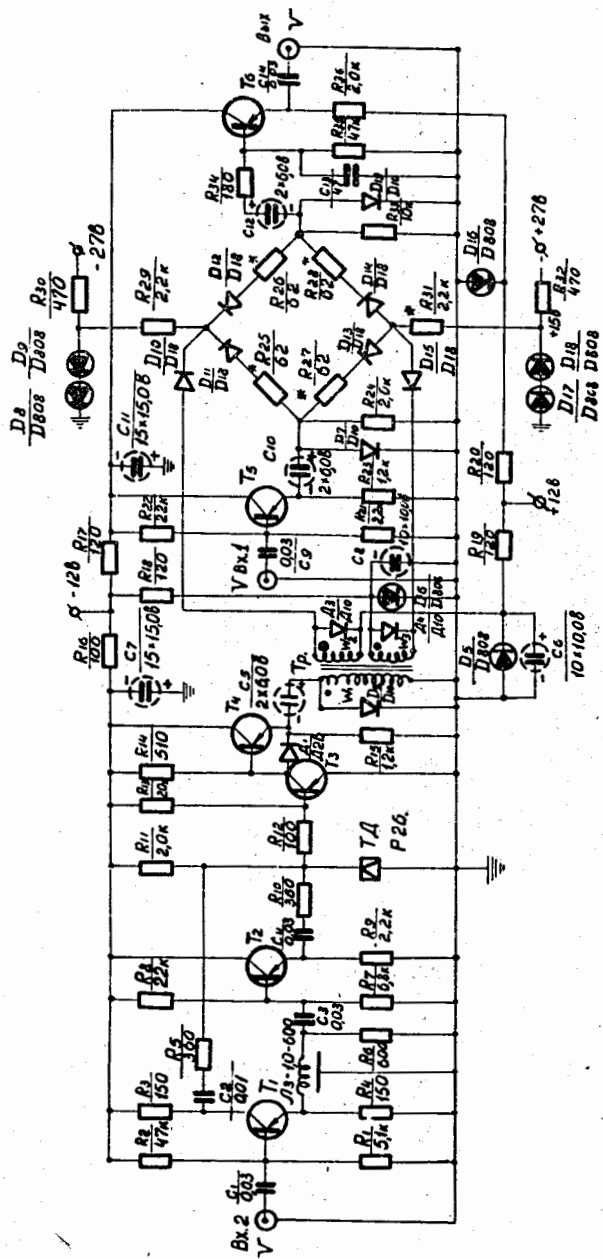
Рукопись поступила в издательский отдел
17 июля 1965 г.



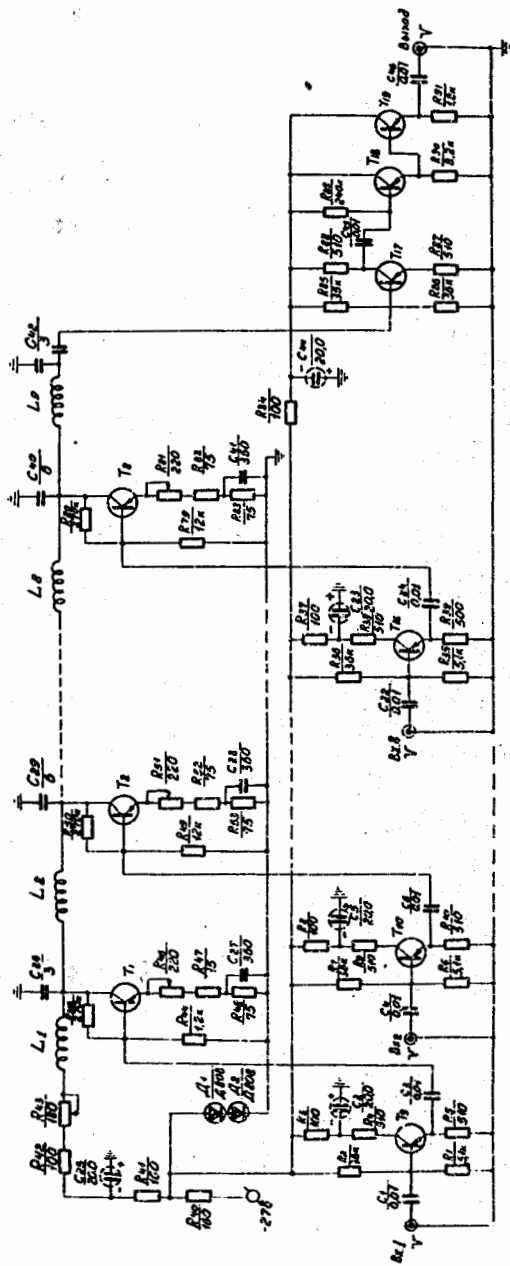
Р и с. 1. Усилитель импульсов.



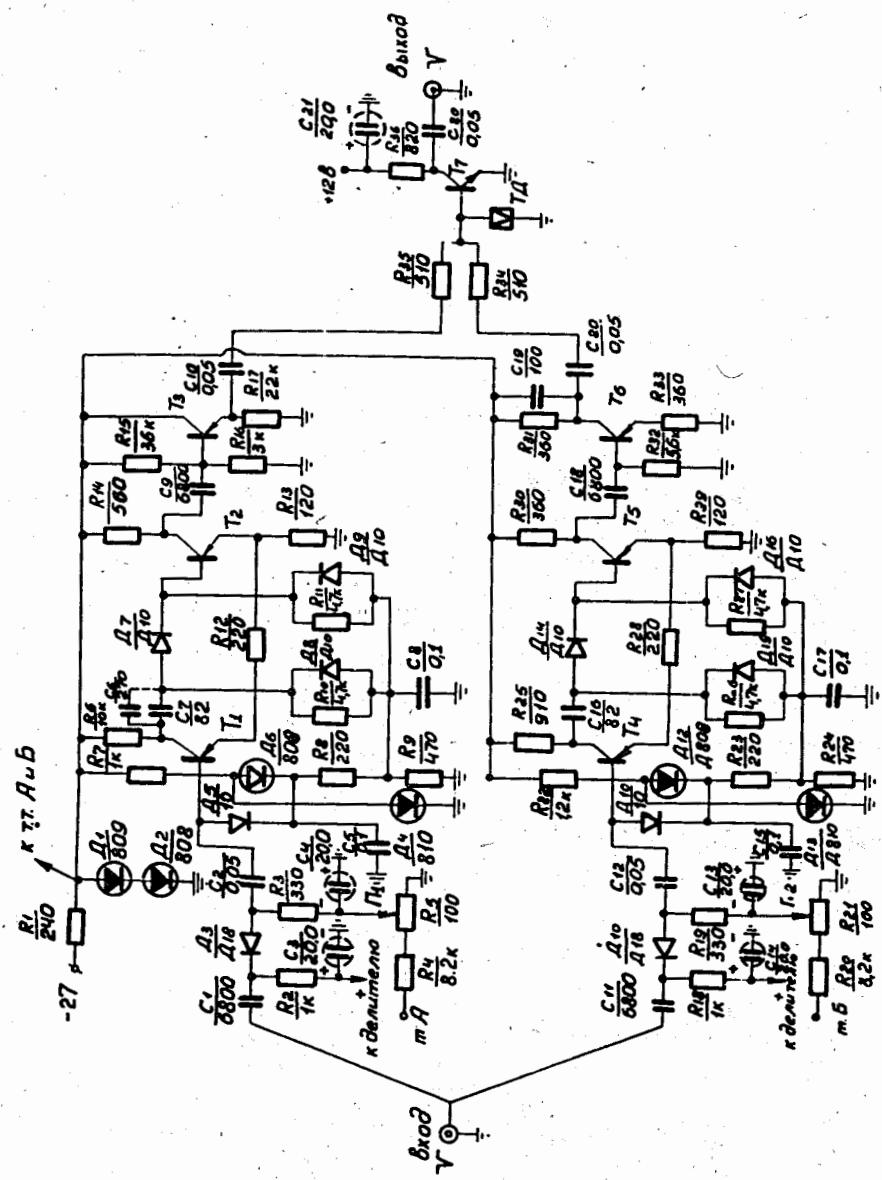
Р и с. 2. Схема совпадений.



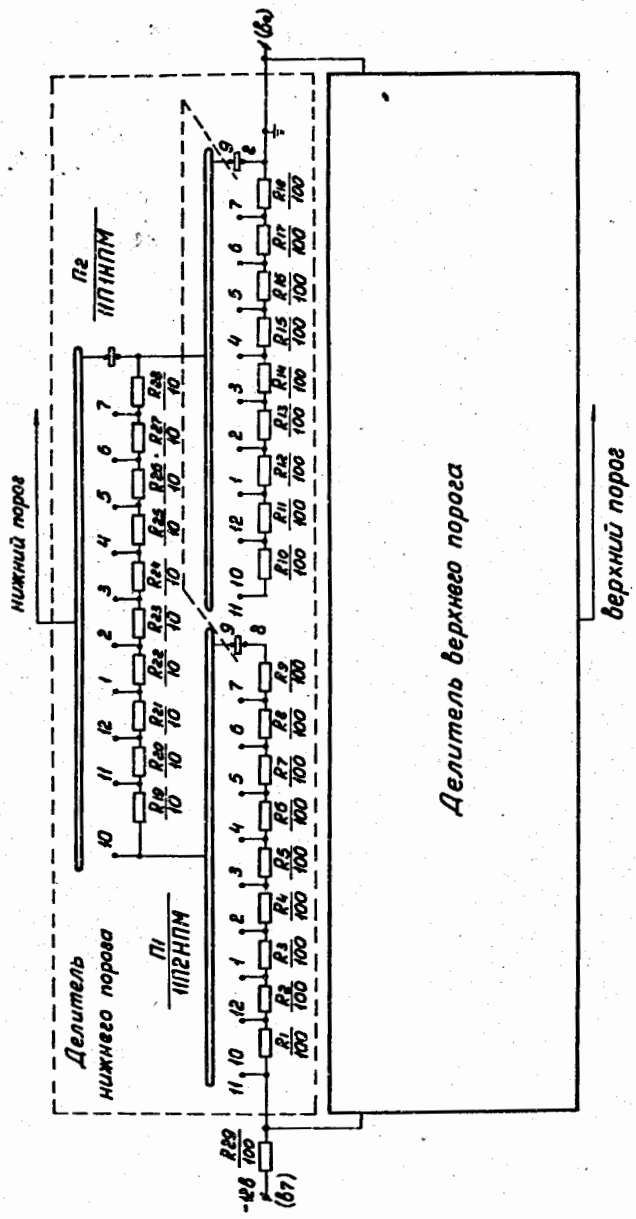
Р и с. 3. Схема пропускания.



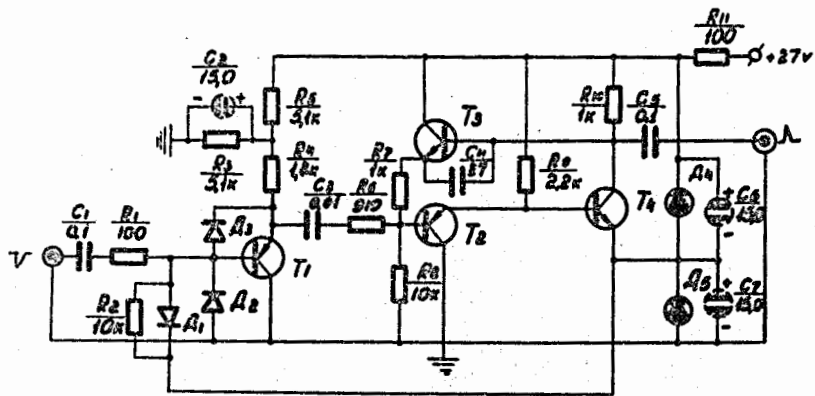
Р и с. 4. Суммирующий.



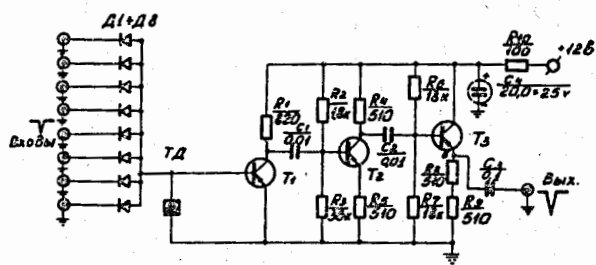
Р и с. 5. Дифференциальный дискриминатор.



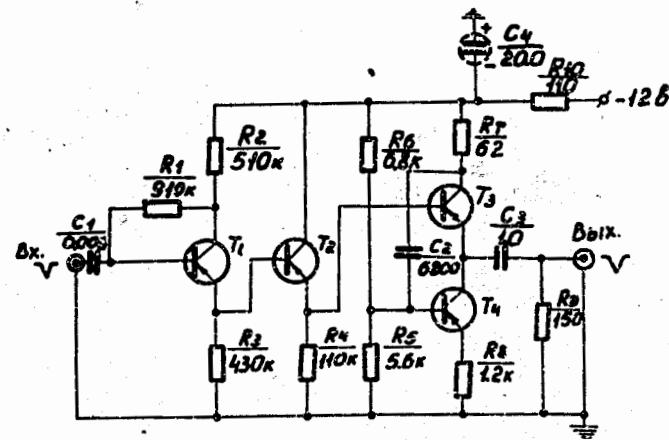
Р и с. 6. Делитель напряжений.



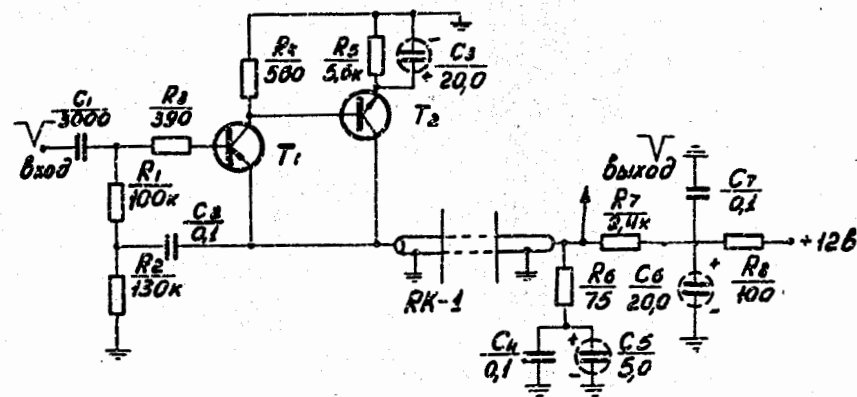
Р и с. 7. Инвертор.



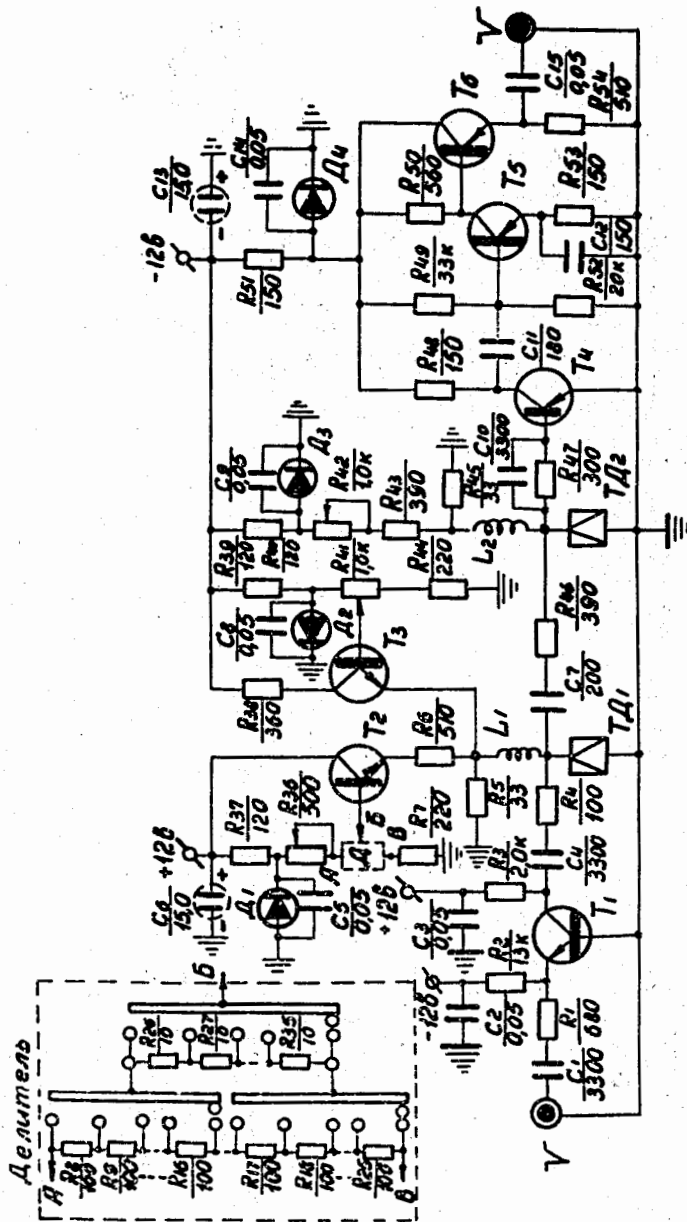
Р и с. 8. Схема "ИЛИ" с формирователем.



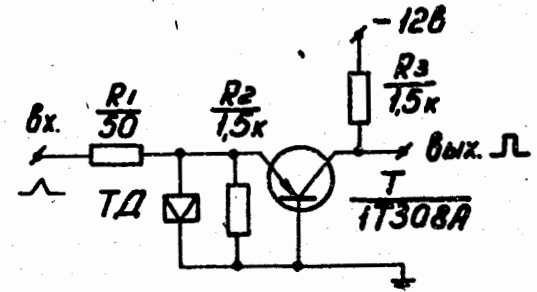
Р и с. 9. Эмиттерный повторитель.



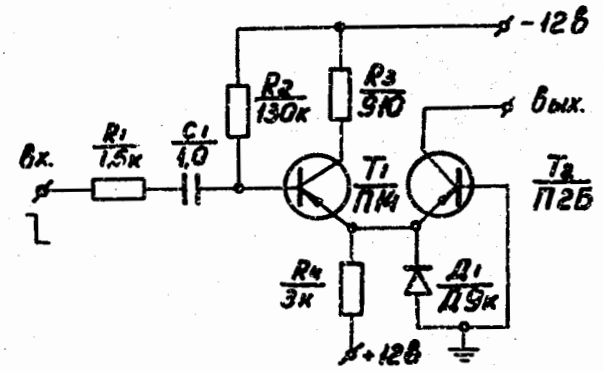
Р и с. 10. Эмиттерный повторитель.



Р и с. 11. Интегральный дискриминатор.



Р и с. 12. Входной формирователь.



Р и с. 13. Выходной формирователь.