

123/1-71

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

13 - 5385

Дубна

С 344.3 е

A-65



Р. Анджек

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

СИСТЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ  
ЛОГИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ МАГНИТНОГО  
ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА

1970

13 - 5385

Р. Анджек

СИСТЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ  
ЛОГИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ МАГНИТНОГО  
ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

## В в е д е н и е

Сооружаемый в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ магнитный искровой спектрометр представляет собой универсальную установку для изучения широкого класса неупругих процессов при высоких энергиях.

Система управления спектрометра, состоящая из детекторов элементарных частиц и модулей логической электроники, должна обеспечить регистрацию взаимодействия только определенного вида.

На рис. 1 показан один из вариантов блок-схемы системы управления искровым спектрометром, позволяющий регистрировать неупругое взаимодействие  $\pi^-$ -мезонов,  $K^-$ -мезонов и антипротонов с протонами водородной мишени. Система должна вырабатывать управляющий сигнал для запуска искровых камер только в том случае, когда произошло взаимодействие частиц пучка с мишенью и все вылетающие из нее частицы попадают в искровые камеры спектрометра. Кроме этого система должна регистрировать соответствующим кодом на фотопленке с треками информацию о типе первичной частицы, вызвавшей данную реакцию.

Для выполнения этих требований используются 4 группы детекторов, а именно:

1. 3 сцинтилляционных детектора  $D_1$ ,  $D_4$  и  $D_5$  в схеме совпадений, установленные в пучке.

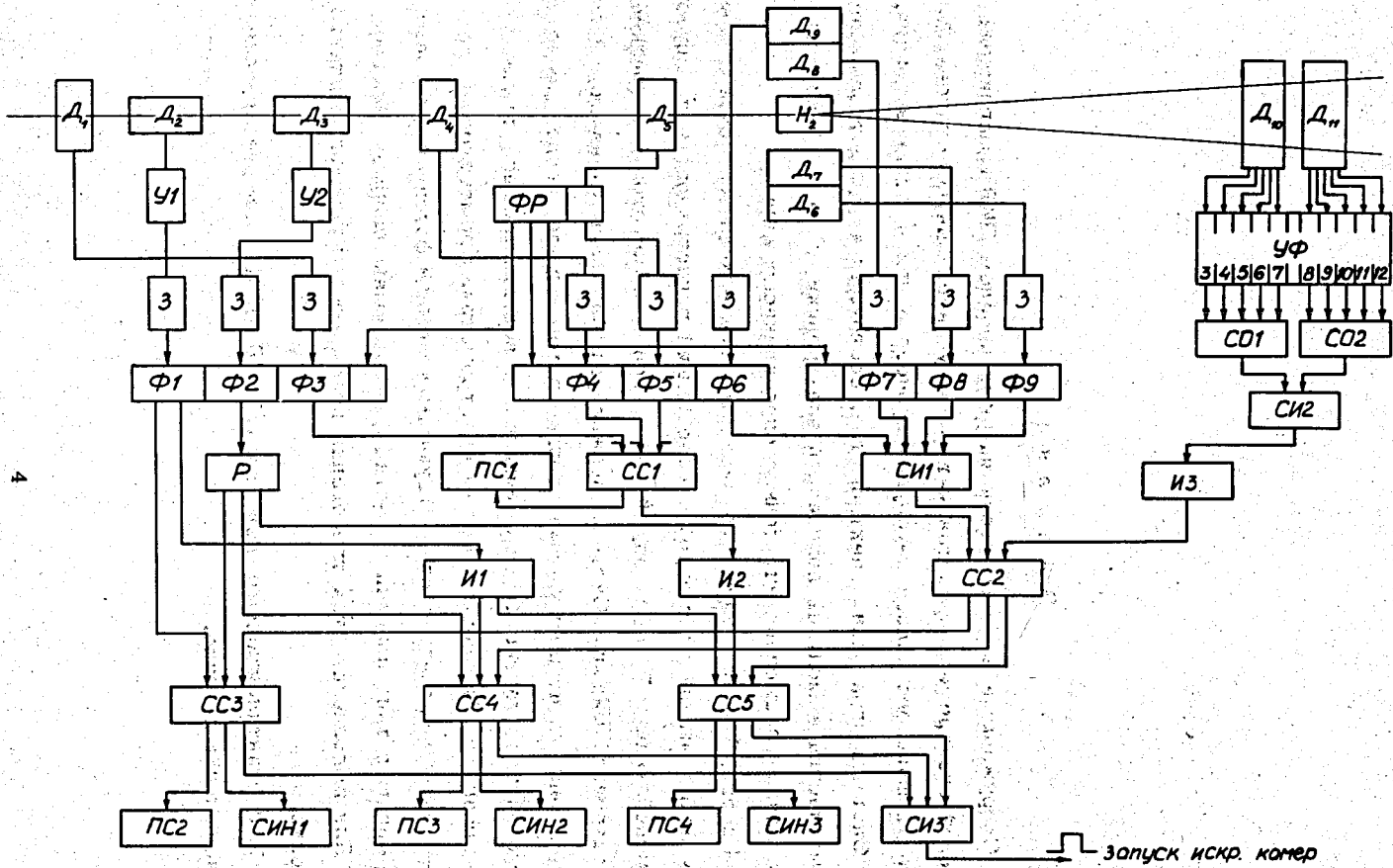


Рис. 1. Блок-схема системы управления искровым магнитным спектрометром.

2. Сцинтилляционные счётчики  $D_6$ ,  $D_7$ ,  $D_8$  и  $D_9$ , окружающие мишень, работающие в режиме антисовпадений и регистрирующие заряженные частицы и гамма-кванты от  $\pi^0$ -мезонов, не попавшие в рабочий объем спектрометра.

3. Управляющие детекторы  $D_{10}$  и  $D_{11}$ , включенные на совпадения. Эти детекторы дают информацию об образовании, по крайней мере, двух заряженных частиц, попавших в спектрометр.

4. Два черенковских счётчика с высокой разрешающей способностью, разделяющие  $\pi^-$ -мезоны,  $K^-$ -мезоны и антипротоны и установленные в пучке.

Логическая обработка информации со счётчиков производится системой логической электроники, в состав которой входят следующие основные функциональные модули:

1. Формирователь-разветвитель ФР.
2. Интегральный дискриминатор-формирователь Ф.
3. Схема пятикратных совпадений СС.
4. Смеситель с инверсией СИ.
5. Инвертор И.
6. Разветвитель Р.
7. Схема отбора СО.
8. Усилитель-формирователь УФ.
9. Схема индикации СИН.

Модули сопрягаются между собой гальванически. Выходное сопротивление всех модулей равно 50 ом.

Интегральный дискриминатор-формирователь преобразует выходной сигнал с ФЭУ в логический стандартный уровень напряжения отрицательной полярности, соответствующий логическому сигналу "да".

Этот отрицательный уровень переключается на положительный, соответствующий логическому сигналу "нет", импульсом сброса, посту-

пающим на отдельный вход и опережающим входной сигнал на время, необходимое для окончания всех переходных процессов внутри схемы при переходе ее с уровня "да" на уровень "нет".

Импульс сброса поступает со счётчика  $D_5$ , стоящего в пучке. Этот импульс формируется в стандартный импульс сброса формирователем-разветвителем ФР и подается одновременно на все входы сброса интегральных дискриминаторов  $\Phi_1 + \Phi_9$ .

Для получения соответствующего опережения импульса сброса относительно сигналов, поступающих на входы интегральных дискриминаторов, служат линии задержки "З".

Импульсы со счётчиков  $D_1$ ,  $D_4$  и  $D_5$  преобразуются формирователями  $\Phi_3$ ,  $\Phi_4$  и  $\Phi_5$  в логические уровни "да" и поступают на вход схемы совпадений СС-1. Разрешающее время схемы совпадений зависит от длины включенных параллельно входам формирующих кабелей. Сигнал с выхода схемы совпадений "СС-1" подается на вход схемы совпадений "СС-2" и на пересчётную схему ПС-1, регистрирующую общее число частиц пучка.

Импульсы со счётчиков  $D_6$ ,  $D_7$ ,  $D_8$  и  $D_9$  формируются интегральными дискриминаторами-формирователями  $\Phi_6$ ,  $\Phi_7$ ,  $\Phi_8$  и  $\Phi_9$  в логические сигналы "да". Эти сигналы логически суммируются и инвертируются в смесителе СИ-1. Полученный на выходе схемы СИ-1 сигнал "нет" поступает на вход схемы совпадений СС-2. Так как использованные здесь схемы СС характеризуются тем, что на их выходах всегда появляется сигнал "нет", если на любой вход поступает сигнал "нет", то и на выходах схем СС-2, СС-4, СС-5 появляются, в данном случае, сигналы "нет".

Эти сигналы суммируются в смесителе с инверсией СИ-3. На выходе схемы СИ-3 появляется отрицательный сигнал, но так как для запуска генераторов, питающих искровые камеры спектрометра, требуются положительные импульсы, то в данном случае запуск не совершится.

Если из мишени вылетит в рабочий объем спектрометра несколько заряженных частиц, то от детекторов  $D_{10}$  и  $D_{11}$ , каждый из которых состоит из пяти групп пропорциональных счётчиков, получим столько же импульсов. Эти импульсы усиливаются и формируются усилителями УФ-1 и УФ-10 и поступают на входы схем отбора СО-1 и СО-2. На выходе схемы отбора получается отрицательный импульс тогда, когда количество совпадающих входных импульсов не меньше заранее установленного.

Сигналы с выходов СО-1 и СО-2 суммируются и инвертируются в смесителе СИ-2. Для получения логических сигналов "да" эти сигналы инвертируются еще раз в инверторе И-3 и поступают на схему СС-2. Выходной сигнал из схемы СС-2 поступает на входы схем совпадения СС-3, СС-4, СС-5. Эти схемы дают информацию о том, каков был тип первичных частиц пучка, вызывающих взаимодействия в мишени. Выделение типа частиц пучка осуществляется двумя пороговыми черенковскими счётчиками  $D_2$  и  $D_3$ .

При прохождении антипротона на выходе детекторов  $D_2$  и  $D_3$  импульсы отсутствуют. При пролете  $K^-$ -мезона получаем импульс с детектора  $D_3$ , а при пролете  $\pi^-$ -мезона - импульсы с детекторов  $D_2$  и  $D_3$ . Эти импульсы усиливаются усилителями У-1 и У-2 и поступают на входы формирователей Ф-1 и Ф-2 соответственно.

В случае взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов на входы схемы совпадений СС-3 поступают три совпадающих сигнала:

- 1-й - с выхода формирователя Ф-1,
- 2-й - с формирователя Ф-2 через разветвитель Р,
- 3-й - со схемы совпадений СС-2.

Выходной сигнал схемы совпадений поступает одновременно на смеситель СИ-3, модуль индикации СИН-1 и пересчётную схему ПС-2.

Модуль индикации генерирует вспышку света, которая в виде кодовой метки регистрируется на том же кадре фотопленки, на котором заснято данное событие.

Количество этих событий считает пересчётная схема ПС-2.

Для предотвращения срабатывания схем совпадений СС-4 и СС-5 на выходы их подается инвертированный (И-1) сигнал с формирователя Ф-1.

При взаимодействии  $K^-$ -мезона на входы схемы совпадений СС-4 поступают три совпадающих сигнала:

- 1-й с выхода формирователя Ф-2 через разветвитель Р,
- 2-й инвертированный (И-1) с выхода формирователя Ф1,
- 3-й со схемы совпадений СС-2.

Выходной сигнал схемы совпадений СС-4 разветвляется так же, как для схемы СС-3. Для предотвращения срабатывания схемы СС-5 на ее вход подается через разветвитель Р инвертированный сигнал с выхода формирователя Ф-2.

При взаимодействии антипротона на схему совпадений СС-5 поступает сигнал со схемы СС-2 и инвертированные сигналы с формирователя Ф-1 и Ф-2. Аналогично, как и в предыдущих случаях, выходной сигнал схемы совпадений СС-5 поступает на модуль индикации, пересчётную схему и смеситель.

Выходной сигнал смесителя СИ-3 запускает импульсные генераторы, питающие систему искровых камер спектрометра.

Конструктивно система модулей выполнена в виде сменных блоков стандартных стоек. Все модули снабжены схемами индикации. Это позволяет осуществить наладку всей системы и контроль за работой отдельных модулей по зажиганию индикаторных ламп при поступлении на эти модули входных импульсов.



## 1. Формирователи

В системе функциональных модулей логической электроники магнитного искрового спектрометра применены два типа формирователей: интегральный дискриминатор-формирователь Ф и формирователь-разветвитель ФР.

### Интегральный дискриминатор-формирователь Ф

Интегральный дискриминатор-формирователь преобразует импульс с ФЭУ в стандартный уровень напряжения отрицательной полярности, соответствующий логическому сигналу "да". Электрическая схема формирователя показана на рис. 2.

Импульсы с ФЭУ поступают через амплитудный ограничитель (диоды  $D_1$  и  $D_2$ ) на базу транзистора  $T_1$ , работающего в усилителе с отрицательной обратной связью ( $R_7$ ). Выход усилителя связан гальванически с бистабильным триггером, построенным на туннельном диоде ( $D_5$ ). Бистабильный режим работы триггера обеспечивается высокоомной нагрузкой туннельного диода.

На рис. 3 изображена вольтамперная и нагрузочные характеристики туннельного диода, а на рис. 4 - часть схемы формирователя, относящаяся к триггеру.

Через туннельный диод протекает ток  $I_{\text{тд}} = I_2 - I_1 - I_3$ .

Ток  $I_3$  протекает через туннельный диод только в том случае, когда диод  $D_5$  открыт. Это имеет место тогда, когда рабочая точка туннельного диода находится на диффузной ветви.

Допустим, что в начальном состоянии рабочая точка туннельного диода находится в точке А. Через туннельный диод протекает разностный ток  $I_{\text{тда}} = I_2 - I_1$ . При поступлении на базу транзистора  $T_1$

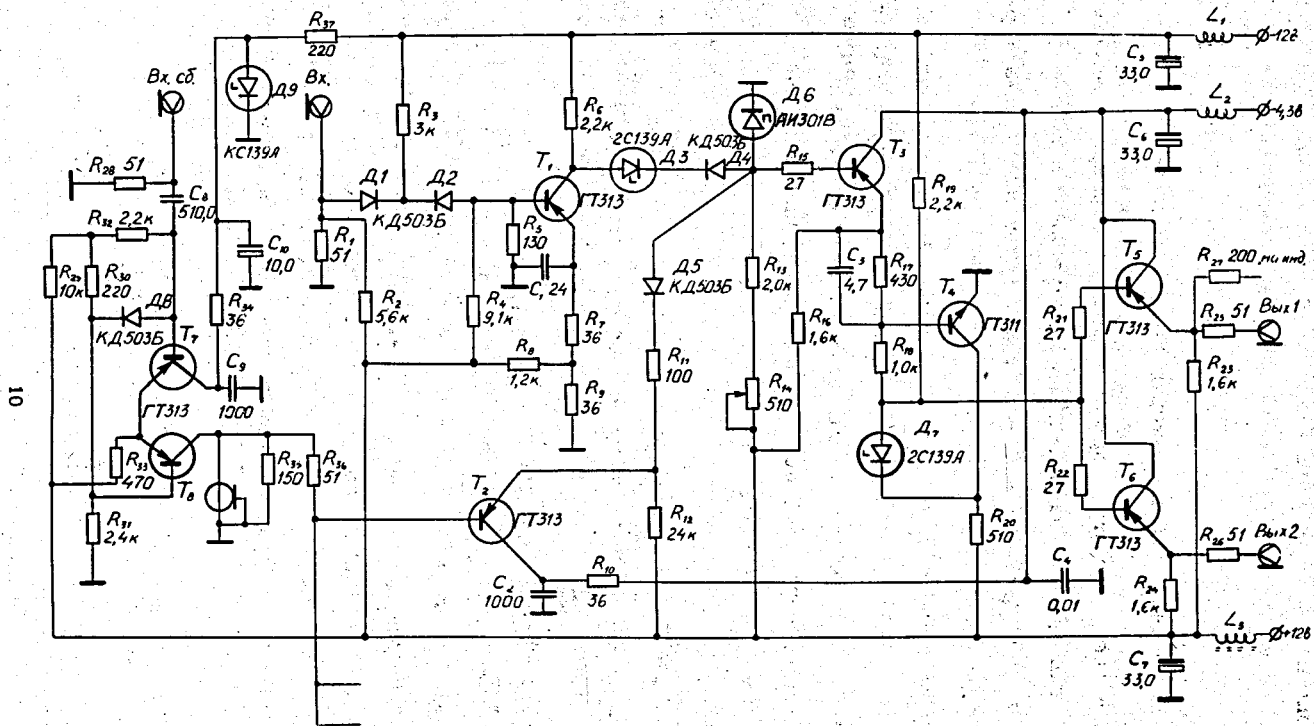


Рис. 2. Электрическая схема интегрального дискриминатора-формирователя.

отрицательного импульса ток  $I_1$  уменьшается, вследствие чего рабочая точка с А перемещается в направлении точки Р. При определенной амплитуде входного импульса суммарный ток, протекающий через туннельный диод, становится равным пиковому, и происходит переключение диода в точку В. Уровень порога дискриминации можно в данной схеме менять в пределах 0,25 + 0,6 в при помощи переменного сопротивления  $R_{14}$ , что дает возможность установить одинаковые пороги дискриминации у всех формирователей.

Ток, протекающий через туннельный диод, когда его рабочая точка находится в В, равен

$$I_{\text{ТДВ}} = I'_2 - I'_1 - I'_3 .$$

где  $I'_3$  - ток, который протекает через диод  $D_5$  и сопротивление  $R_{11}$  вследствие того, что диод  $D_5$  открыт из-за разницы напряжений между туннельным диодом (+0,9 в) и эмиттером транзистора  $T_2$  (+0,3 в).

При поступлении на вход схемы сброса отрицательного импульса на эмиттере транзистора  $T_2$  появляется сформированный вспомогательной схемой (транзисторы  $T_7$ ,  $T_8$  и формирующий кабель ФК) отрицательный импульс с амплитудой 1 в и длительностью 10 нсек. В течение этого времени ток  $I'_3$  возрастает приблизительно до 10 ма и рабочая точка туннельного диода перемещается с В в С. После окончания импульса сброса рабочая точка возвращается в точку А. В этом состоянии схема готова к следующему циклу работы.

Импульс сброса с вспомогательной формирующей схемы подается одновременно на три дискриминатора, смонтированных на одной монтажной плате.

Для устойчивой работы формирователя должны выполняться следующие условия:

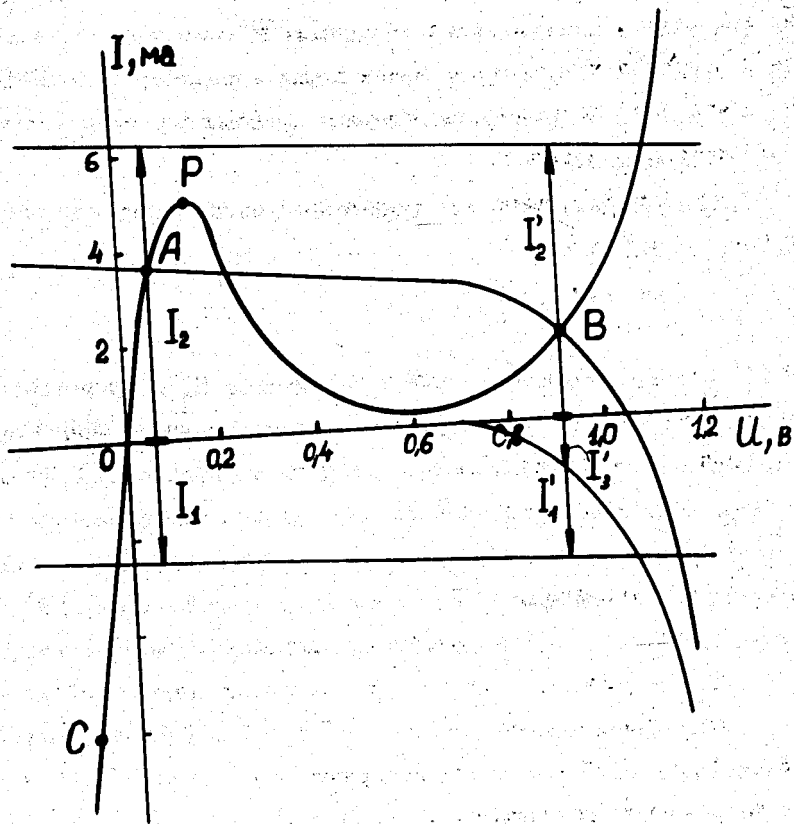


Рис. 3. Вольтамперная и нагрузочные характеристики туннельного диода.

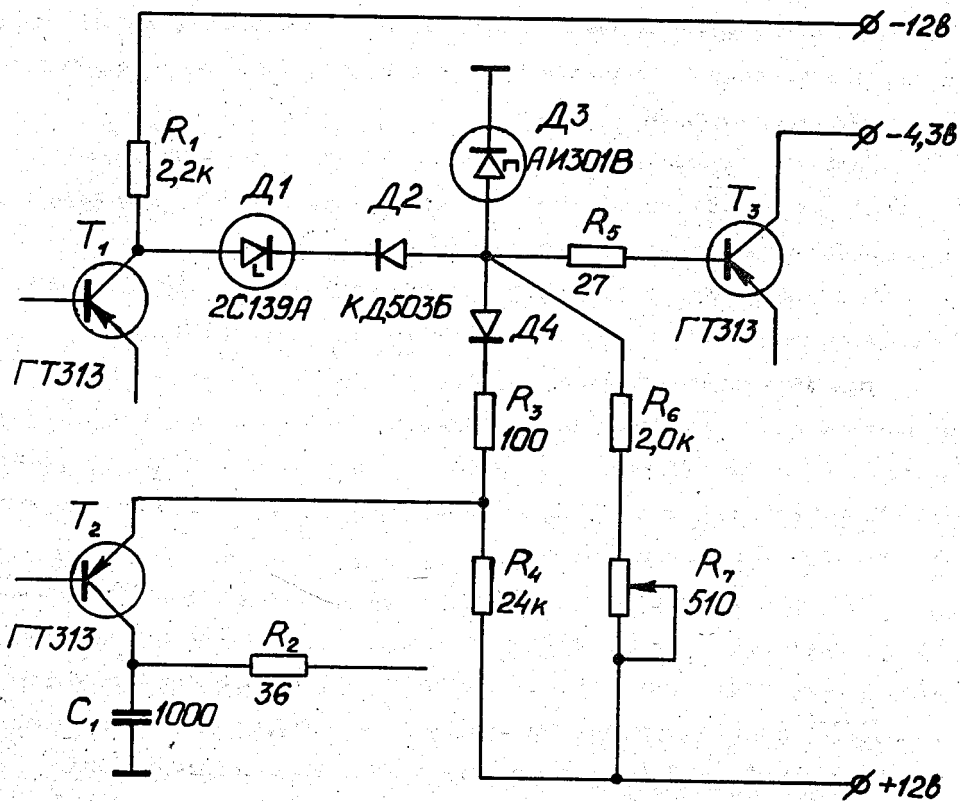


Рис. 4. Электрическая схема триггера.

1. Когда рабочая точка туннельного диода находится в А, положительные перебросы, поступающие на транзистор  $T_2$ , не должны перемещать ее в точку Р. В противном случае произойдет переключение диода  $D_6$ , и на выходе формирователя появится ложный сигнал.

2. Когда рабочая точка туннельного диода находится в В, положительные перебросы, поступающие на базу транзистора  $T_1$ , не должны уменьшать текущего через диод тока больше чем на  $\Delta I$ , где  $\Delta I = I_b - I_v$ .

В противном случае наступит обратное переключение туннельного диода, как будто бы на вход схемы сброса поступил импульс.

3. Сброс формирователя должен быть надежным даже в том случае, если одновременно с протеканием процесса сброса на вход дискриминатора поступает случайный импульс.

Условие 1 выполняется в схеме благодаря применению диода  $D_5$ , который отсоединяет цепь эмиттера транзистора  $T_2$  от туннельного диода, когда тот находится в области низких напряжений.

Для выполнения условия 2 через транзистор  $T_1$  в режиме покоя протекает ток ( $I_{э} = 1$  ма) меньший, чем  $\Delta I$  ( $\Delta I = 2$  ма).

Для выполнения условия 3 амплитуда тока сброса ( $\approx 10$  ма), подаваемого в туннельный диод, должна быть больше, чем максимально возможная амплитуда тока ( $\approx 2,6$  ма), получаемая с выхода усилителя ( $T_1$ ). Величина этого тока ограничивается с помощью коллекторного сопротивления  $R_6$  транзистора  $T_1$ .

Сигнал с туннельного диода поступает на усилитель, построенный на транзисторах  $T_3$  и  $T_4$ . Этот усилитель характеризуется высокоомным входом, низкоомным выходом и глубокой отрицательной обратной связью. С выхода усилителя сигнал разветвляется на два эмиттерных повторителя ( $T_5$  и  $T_6$ ), которые согласованы с 50-омным кабелем.

Как было сказано выше, главной частью формирователя является бистабильный триггер, который в первое устойчивое состояние приво-

дится импульсом сброса, а во второе – импульсом, поступающим на его вход. Для нормальной работы схемы импульс сброса должен опережать входной сигнал. Минимально возможная величина опережения равна 10 нсек.

Сигналы сброса генерируются формирователем-разветвителем только тогда, когда временной интервал между импульсами, поступающими с ФЭУ, больше определенной фиксированной величины.

Описанный принцип работы интегрального дискриминатора-формирователя имеет ряд положительных свойств, особенно пригодных для триггерной логики, а именно:

1. Истинный импульс, если его величина превысит порог дискриминации, всегда переключит формирователь на логический уровень "да". Случайный импульс, опережающий истинный, может раньше истинного переключить формирователь, но и в этом случае после поступления на вход истинного сигнала выходной уровень напряжения будет находиться на логическом уровне "да". Благодаря этому эффективность регистрации антисовпадений равна 100%.

Обычные формирователи с фиксированной длительностью выходного импульса обладают некоторым мертвым временем, в течение которого может быть потеряна сигнал антисовпадений.

2. Входные сигналы большой длительности не вызывают генерирования формирователем серии нежелательных импульсов.

3. Длительность импульсов на входах схем совпадений-антисовпадений, определяющая разрешающее время этих схем, может быть выбрана в довольно широком интервале.

На рис. 5 показана зависимость задержки выходного сигнала формирователя от амплитуды входного. Задержка сигнала сброса равна 7 нсек. Время нарастания сигналов на выходе формирователя 3+ 5 нсек. Температурный коэффициент нестабильности порога дискриминации равен – 0,55%/градус.

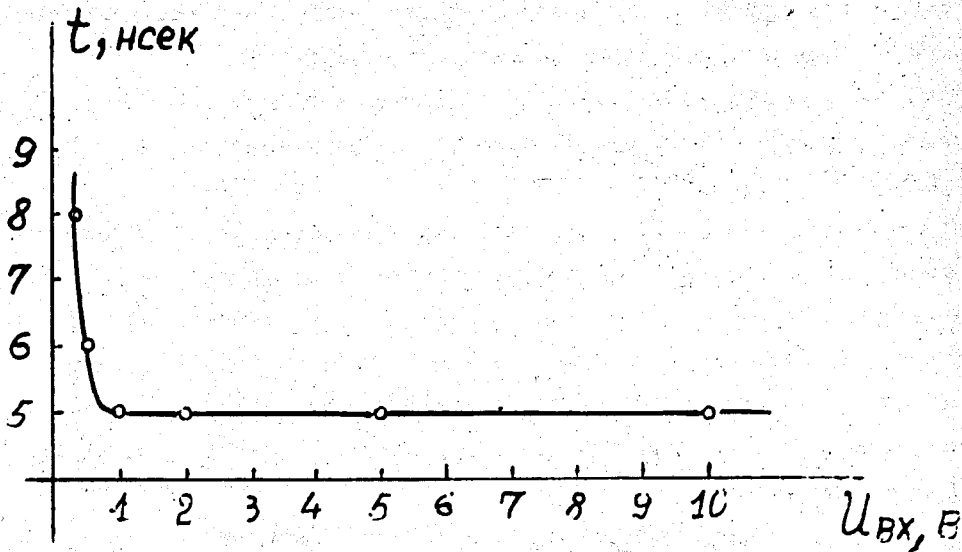


Рис. 5. Зависимость задержки выходного сигнала формирователя от амплитуды входного импульса.



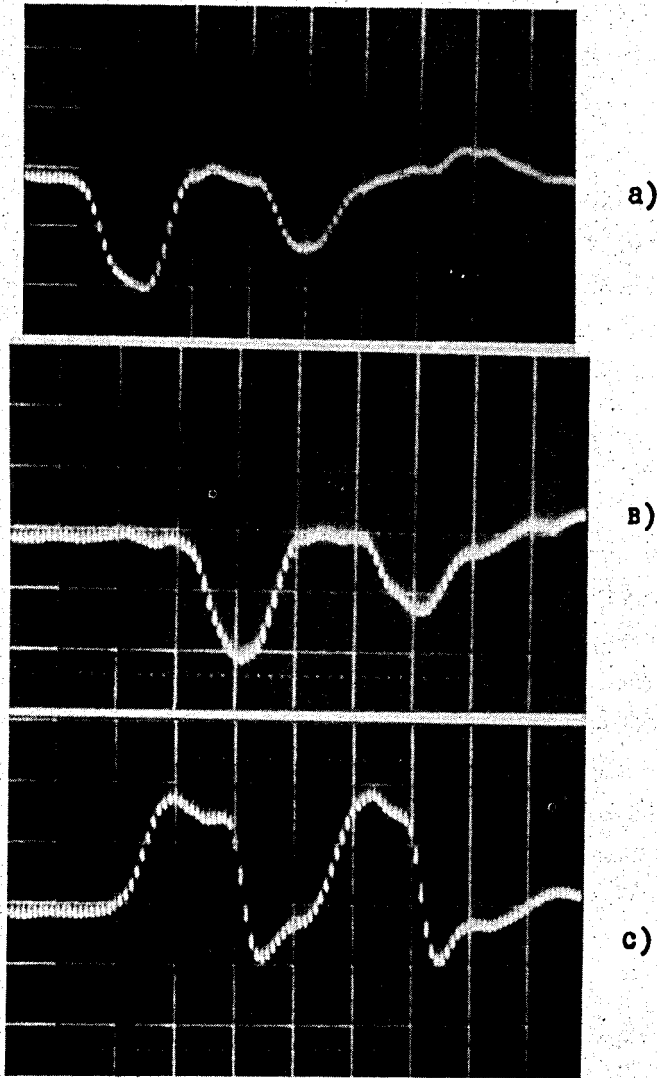


Рис. 6. Осциллограммы входных и выходных импульсов формирователя.

Скорость развертки 10 нсек/см

Чувствительность 1 в/см

a) на входе схемы сброса

b) на входе формирователя

c) на выходе формирователя

На рис. 6 представлены осциллограммы входных и выходных импульсов формирователя.

### Формирователь-разветвитель ФР

Формирователь-разветвитель преобразует сигнал с детектора, стоящего на пучке, в импульс сброса.

Для правильной работы системы Ф-ФР должны быть выполнены описанные ниже временные соотношения между их сигналами, а также соответствующее соотношение между величинами порогов этих схем, а именно:

1) Импульс сброса должен опережать ожидаемый сигнал, поступающий на вход интегрального дискриминатора-формирователя на время, необходимое для переключения формирователя на логический уровень "нет" и окончания связанных с этим переходом процессов внутри схемы. Минимальное опережение для описанных выше интегральных дискриминаторов-формирователей равно 10 нсек.

2) Импульс сброса должен вырабатываться только тогда, когда временной интервал между сигналами, поступающими с детектора, больше определенной фиксированной величины  $\tau$ , причем должно выполняться условие:

$$\tau_{\text{сб}} > \tau_{\text{зс}} + \tau_{\text{н}}$$

где  $\tau_{\text{зс}}$  - задержка сигнала, поступающего на вход интегрального дискриминатора относительно соответствующего ему сигнала сброса,

$\tau_{\text{н}}$  - время нарастания сигналов на выходе интегрального дискриминатора.

Если  $\tau_{\text{сб}} = \tau_{\text{зс}}$  и после истинного сигнала следует какой-нибудь второй импульс, задержанный на время  $\tau_{\text{зс}}$ , тогда вследствие совпа-

дения истинного сигнала с импульсом сброса, вызванного вторым сигналом, наступила бы потеря события.

Добавочный интервал  $\tau_n$  необходим для того, чтобы выходной сигнал формирователя достиг полной амплитуды.

Увеличение  $\tau_{сб}$  желательно с точки зрения наладки системы логики, но максимальная ее величина ограничена условием получения хорошей эффективности совпадений при данной средней частоте следования частиц пучка.

3) Порог дискриминации формирователя-разветвителя  $U_{пфр}$ , необходимо установить выше порога дискриминации интегрального дискриминатора-формирователя  $U_{пф}$ .

Если бы  $U_{пфр} < U_{пф}$ , тогда все сигналы, амплитуды которых находятся в пределах  $U_{пфр} - U_{пф}$ , переключали бы интегральные дискриминаторы-формирователи только на логический уровень "нет". Следствием этого было бы уменьшение эффективности совпадений и антисовпадений.

4) Разница между порогами формирователя разветвителя и интегрального дискриминатора должна быть небольшой, так как в противном случае входные сигналы, амплитуды которых находятся в интервале  $U_{пфр} - U_{пф}$ , могут быть потеряны.

На рис. 7 показаны временные диаграммы, иллюстрирующие описанные выше условия работы системы ФР-Ф.

На рис. 8 представлена электрическая схема формирователя-разветвителя. Поступающий на его вход сигнал подается одновременно на эмиттерный повторитель ( $T_1$ ), схему, генерирующую импульс запрета, и формирователь импульсов сброса.

Эмиттерный повторитель служит для линейного переноса входного сигнала на один из выходов формирователя-разветвителя.

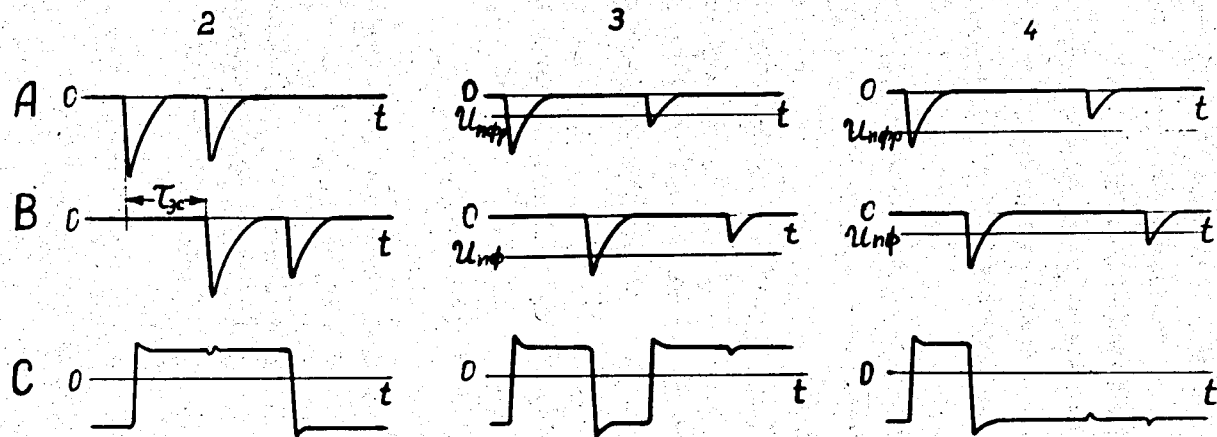


Рис. 7. Временные диаграммы, иллюстрирующие работу системы ФР-Ф.  
 А - импульсы на входе схемы сброса, В - импульсы на входе формирователя Ф, С - импульсы на выходе формирователя Ф.

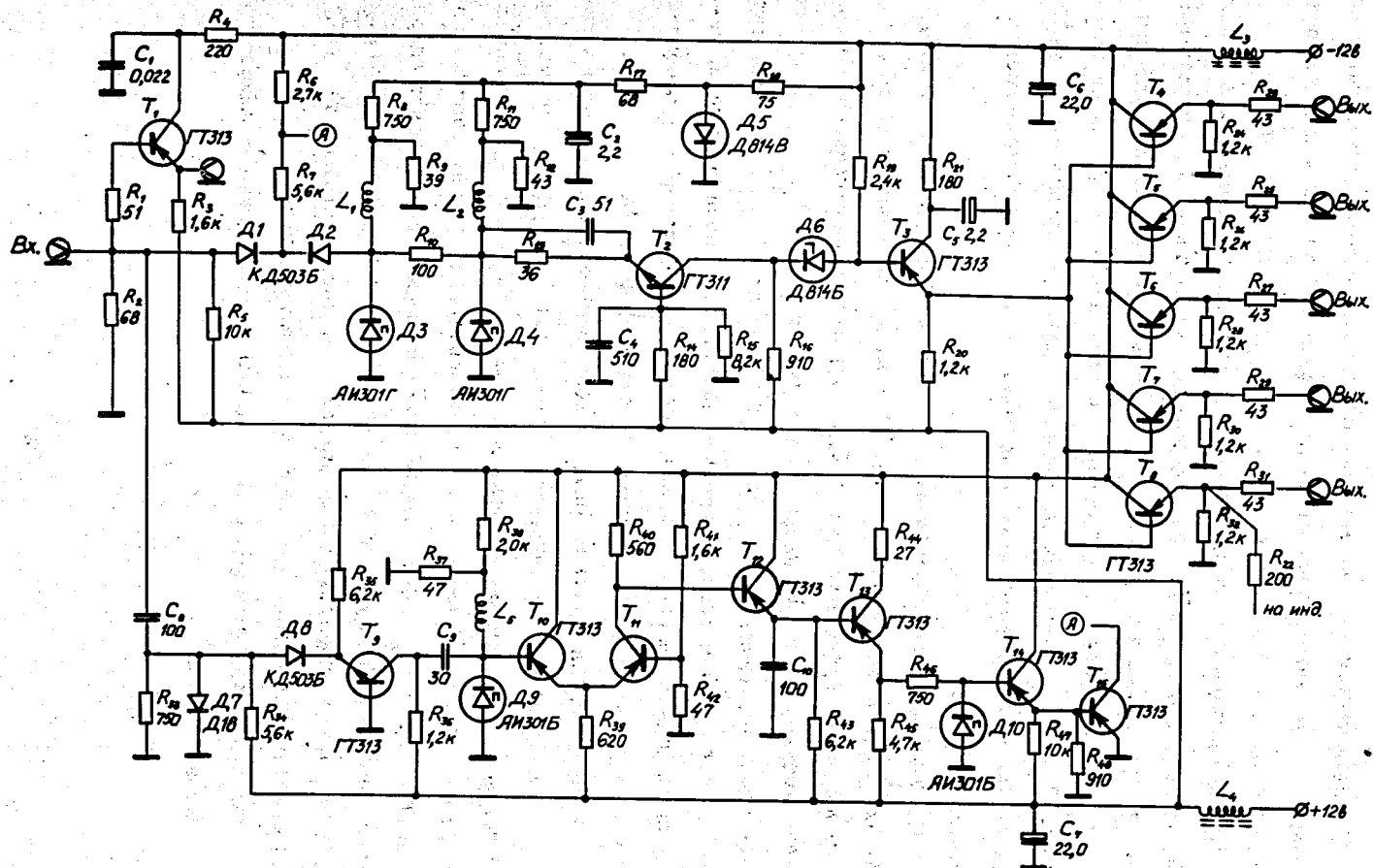


Рис. 8. Электрическая схема формирователя-разветвителя.

В схеме формирователя импульсов сброса имеется чувствительный одновибратор на туннельном диоде  $D_3$ , порог срабатывания которого задается токами, протекающими через диод  $D_2$  и индуктивность  $L_1$ .

На входе формирователя имеется амплитудный ограничитель, построенный на диодах  $D_1$  и  $D_2$ . Одновибратор, настроенный на туннельном диоде  $D_4$ , дополнительно формирует по длительности и амплитуде импульсы с  $D_3$ , которые затем усиливаются усилителем, собранным на транзисторах  $T_2$  и  $T_3$ . С усилителя сигналы подаются одновременно на 5 эмиттерных повторителей, выходы которых согласованы с 50-омным кабелем.

Поступающий на схему запрета сигнал после ограничения ( $D_8$ ), усиления ( $T_9$ ) и дифференцирования ( $C_9$ ) запускает одновибратор, построенный на туннельном диоде  $D_9$ . Сформированный одновибратором импульс усиливается дифференциальным усилителем ( $T_{10}$ ,  $T_{11}$ ) и через эмиттерный повторитель ( $T_{12}$ ) заряжает емкость  $C_{10}$ . В течение времени  $\tau_p$ , определяемого разрядом емкости  $C_{10}$  до напряжения, равного порогу срабатывания триггера Шмидта, транзистор  $T_{15}$ , работающий в режиме электронного ключа, заземляет точку А.

Если интервал времени между входными импульсами меньше времени  $\tau_p$ , то емкость  $C_{10}$  подзаряжается каждым импульсом до максимального напряжения, и формирователь импульсов сброса остается все время запертым по входу. Только тогда, когда интервал между входными импульсами больше  $\tau_p$ , вход открывается и схема генерирует стандартный импульс сброса. При указанных на рис. 8 номиналах элементов схемы время  $\tau_p$  равно 200 нсек. Импульс запрета, подаваемый в точку А, задержан на 10 нсек по отношению к входному сигналу.

Эта задержка достаточна для нормального запуска формирователя импульсов сброса.

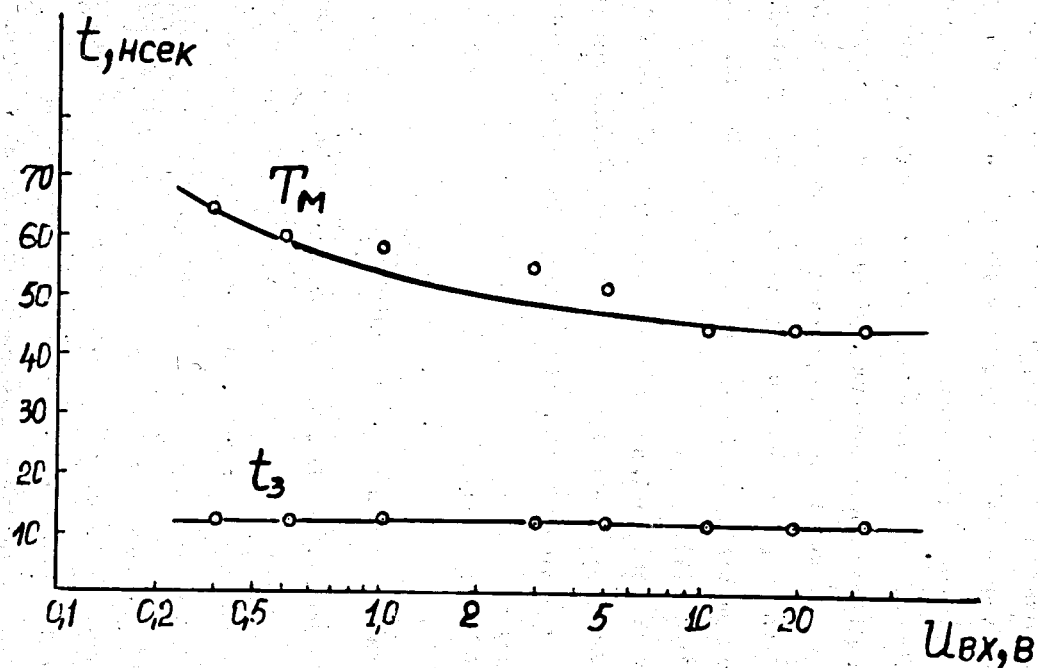


Рис. 9. Зависимость мертвого времени и задержки ФР от амплитуды входных сигналов при фиксированной амплитуде первого сигнала, равной 0,5 в.

Амплитуда импульсов, сформированных схемой сброса на нагрузке 50 ом, равна 2,2 в и не меняется при изменении амплитуд входных сигналов от 0,3 до 30 в. Длительность выходного импульса (13 нсек) и его время нарастания (3,5 нсек) тоже не меняются при изменении амплитуд входных сигналов в указанном интервале.

На рисунках 9,10 и 11 представлена зависимость мертвого времени и задержки от амплитуды сигналов при отключенной схеме запрета. Зависимость мертвого времени  $T_M$  у формирователя ФР снималась при фиксированной амплитуде первого сигнала, равной 0,5 в (рис. 9); при фиксированной амплитуде второго импульса, равной 0,5 в (рис. 10), и при равных амплитудах (рис. 11).

На рисунках 12,13 и 14 показаны осциллограммы входных и выходных импульсов, соответствующие представленным выше зависимостям.

Средняя величина температурного коэффициента нестабильности порога равна +2,5 %/град.

#### Схема пятикратных совпадений СС

Схема пятикратных совпадений, представленная на рис. 15, является основным элементом системы функциональных модулей логической электроники магнитного искрового спектрометра. Схема может регистрировать двух-, трех-, четырех- и пятикратные совпадения без каких-либо переключений. Кратность совпадений, регистрируемых схемой, зависит от количества входов, на которые подаются стандартные логические сигналы. Например, для получения трехкратных совпадений достаточно подать на три любые входа схемы совпадений сигналы от соответствующих модулей (формирователя, инвертора, смесителя и т.д.) логической электроники. Требуемое разрешающее время схемы совпадений устанавливается включением параллельно ее входу формирующего кабеля соответствующей длины.



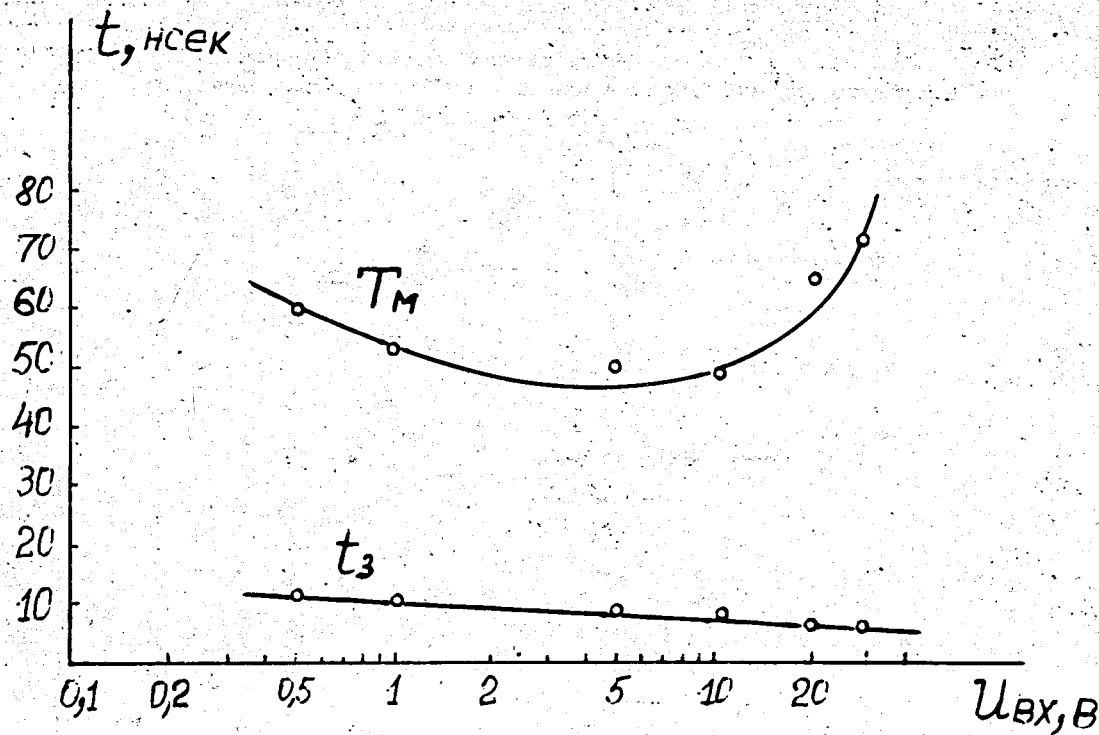


Рис. 10. Зависимость мертвого времени и задержки ФР от амплитуды входных сигналов при фиксированной амплитуде второго сигнала, равной 0,5 в.

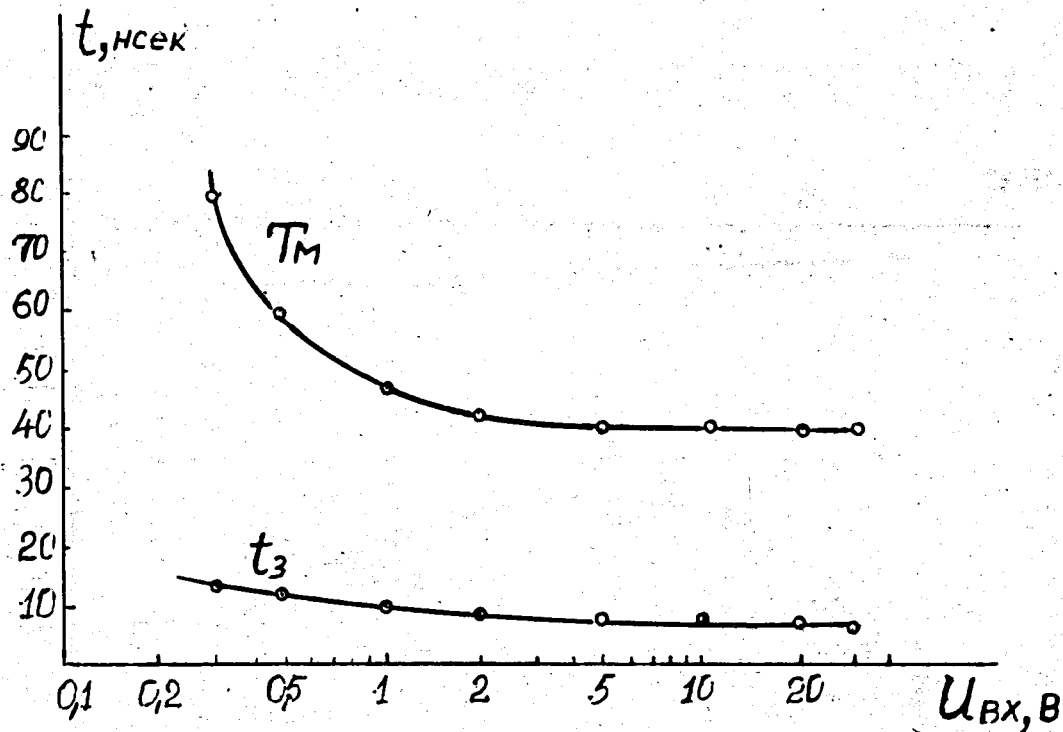


Рис. 11. Зависимость мертвого времени и задержки ФР от амплитуды входных сигналов при равных амплитудах.

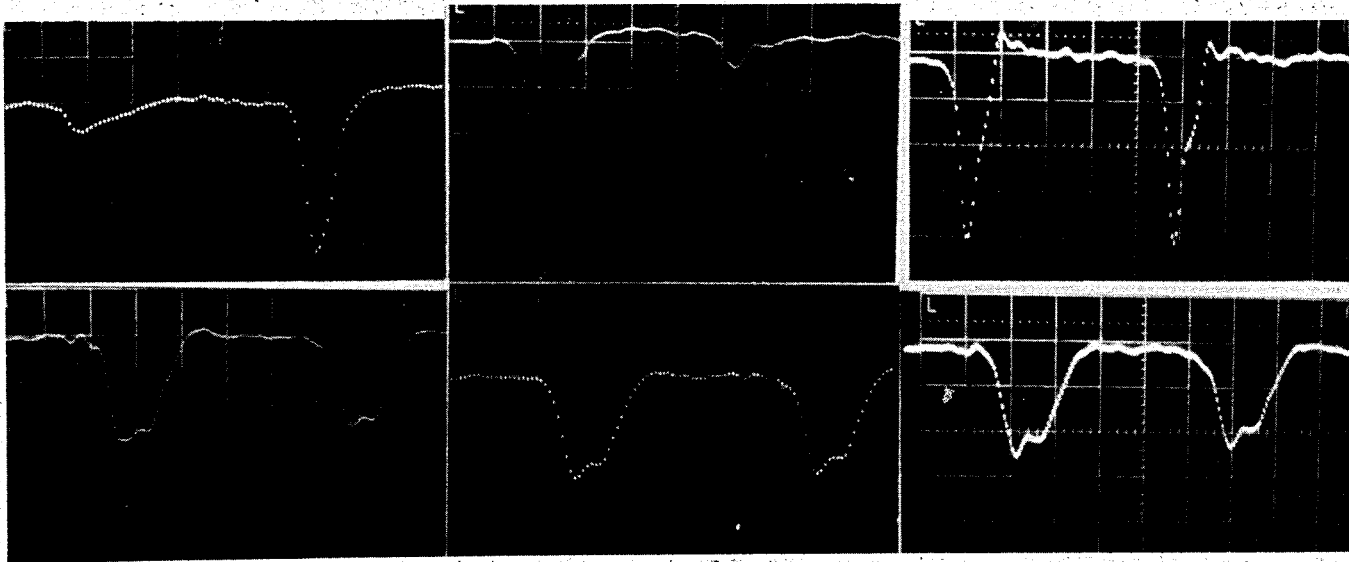


Рис. 12.

Рис. 13.

Рис. 14.

Осциллограммы входных и выходных импульсов формирователя-разветвителя.  
 Скорость развертки 10 нсек/см, чувствительность 1 в/см.

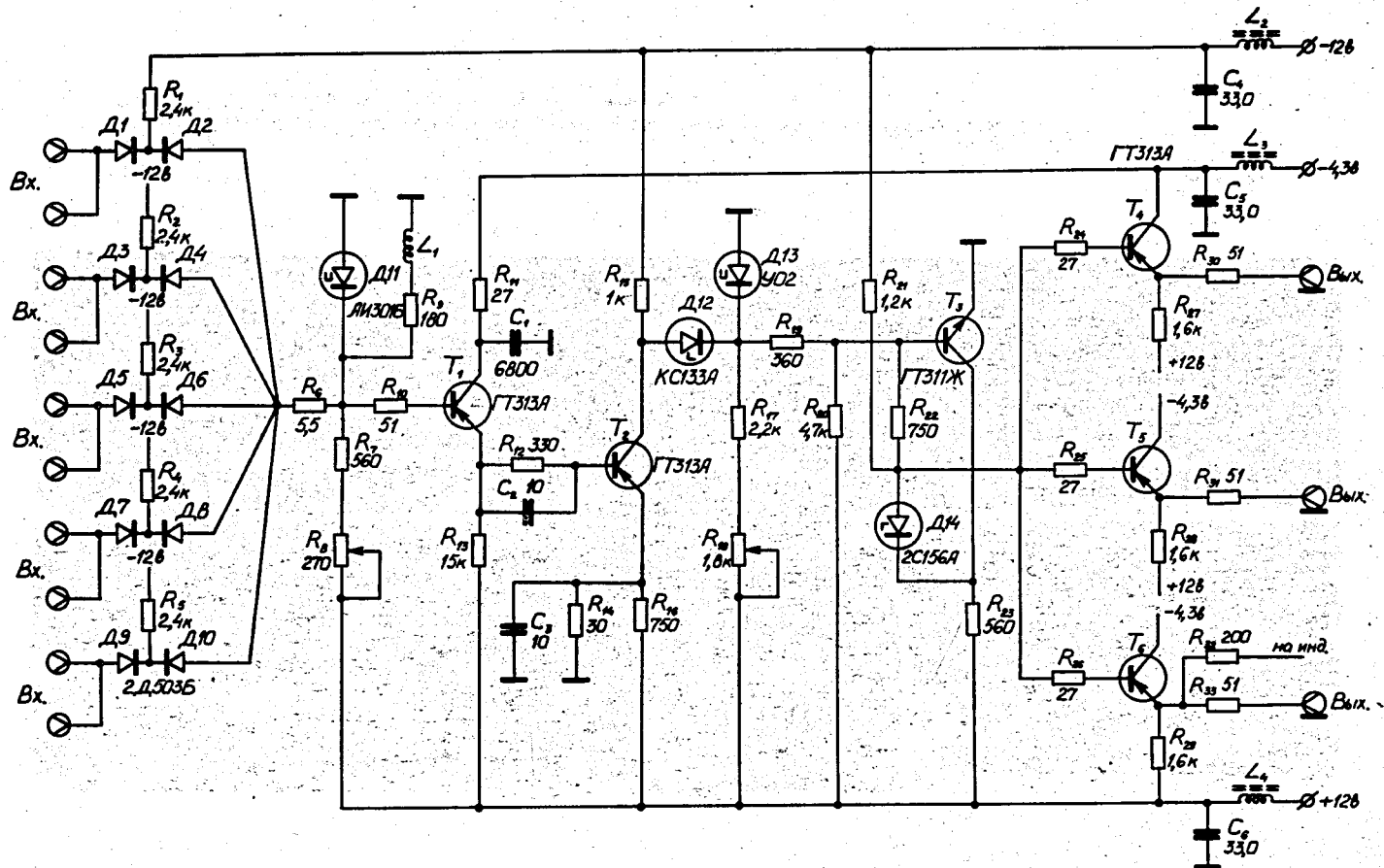


Рис. 15. Схема пятикратных совпадений.

Длительность выходного импульса соответствует интервалу времени, в котором совпадают все входные сигналы. Уровни сигналов на выходе схемы совпадений равны стандартным логическим напряжениям -  $(1,2 \pm 0,1)$  в ("да") и  $(0,7 \pm 0,1)$  в ("нет").

Для получения антисовпадений достаточно подать на любой вход схемы совпадений логический стандартный сигнал "нет".

Схема работает следующим образом. На каждый вход схемы совпадений (рис. 15) подается через сопротивления 2,4 ком ( $R_1 - R_5$ ) ток 4,3 ма. Сумма этих токов минус ток смещения, подаваемый через сопротивления  $R_7$  и  $R_8$ , протекает через туннельный диод  $D_{11}$  на землю. В этом случае рабочая точка туннельного диода находится в точке 0, как это показано на рис. 16. Рабочая точка будет находиться в 0 и тогда, когда на входы СС подается логический уровень напряжения "да" (-1,2в), так как в этом случае диоды  $D_1 - D_5$  работают в режиме отсечки. Когда на один вход СС подается логический уровень "нет", суммарный ток, текущий через туннельный диод, уменьшается на 4,3 ма и рабочая точка переходит в точку 1.

Если сигнал "нет" подать на два входа СС, рабочая точка туннельного диода перемещается в точку 2, если на три - в точку 3 и т.д. При совпадении всех входных сигналов "да" туннельный диод переключается в точку 0. После окончания совпадений туннельный диод переключается в исходную точку.

Для переключения туннельного диода в прямом и обратном направлении необходимо выполнить следующие условия:

$$I_p - I_1 < 4,3 \text{ ма}$$

(рис. 16)

$$I_0 - I_v < 4,3 \text{ ма}$$

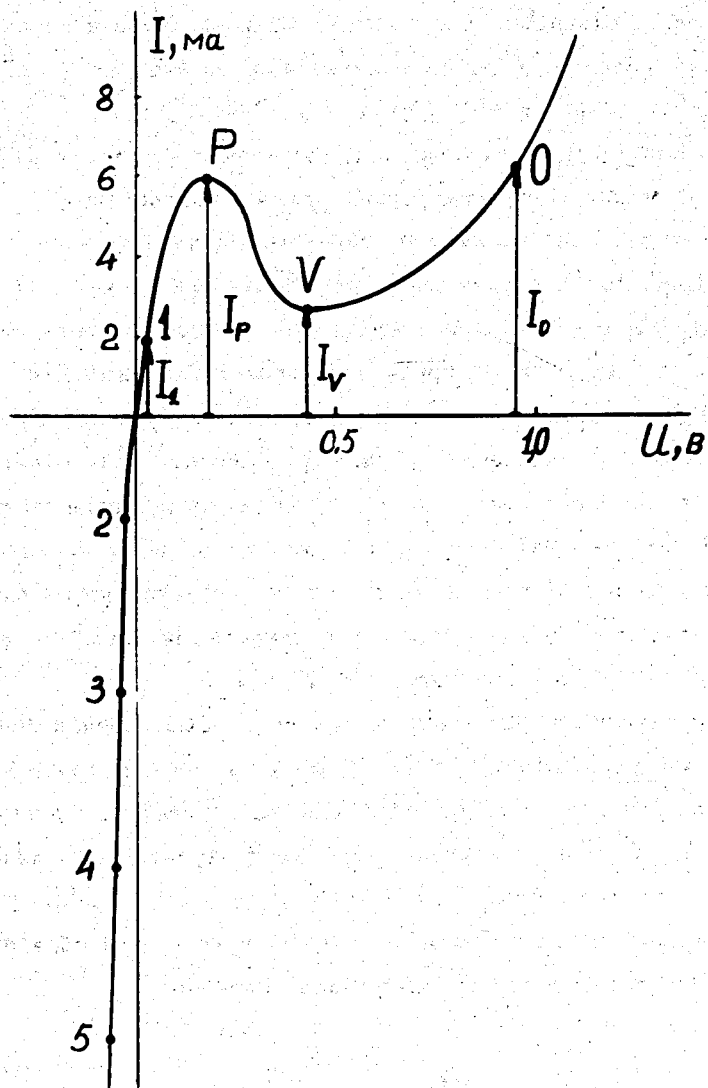


Рис. 16. Вольтамперная характеристика туннельного диода СС.

Эти условия выполнены в схеме совпадений благодаря шунтирующему действию сопротивления  $R_9$  (рис. 15).

Если на любой вход СС подается логический сигнал "нет", тогда рабочая точка в случае совпадения сигналов "да" на остальных входах может переместиться только до точки 1 и туннельный диод не переключится.

Самым критическим режимом работы СС является такой, когда на ее четыре входа (например, 1-4) поступают совпадающие сигналы "да", а к пятому входу подключен формирующий кабель. Из-за диффузионных емкостей диодов  $D_1, D_3, D_5, D_7$  и отличного от нуля импеданса формирующего кабеля могло бы наступить переключение туннельного диода в точку 0. Для того чтобы это не произошло, служит сопротивление  $R_6$ . Суммарный ток с четырех входов создает на этом сопротивлении перепад напряжений, равный  $\approx 100$  мв.

Вследствие этого через диод  $D_9$  течет на землю ток, гораздо больший чем ток, протекающий через диод  $D_{10}$  и туннельный диод.

Благодаря этому схема предохранена от ложного срабатывания. Часть схемы совпадений, следующая за диодом  $D_{11}$ , должна формировать стандартный выходной сигнал, когда наступает переключение туннельного диода, и не допускать изменения выходного напряжения, когда рабочая точка перемещается по вольтамперной характеристике туннельного диода от точки Б до точки Р (рис. 16). Чтобы это осуществить, сигнал с диода  $D_{11}$  усиливается ( $T_1$  и  $T_2$ ) и подается на дискриминатор, в качестве которого использован обращенный диод  $D_{13}$ . Когда рабочая точка туннельного диода  $D_{11}$  находится в области малых напряжений (отрезок вольтамперной характеристики между точками Б и Р), обращенный диод смещен в прямом направлении и напряжение на нем равно  $\approx 0,6$  в. Когда туннельный диод переключается на диффузионную ветвь, обращенный диод переключается в область низких напряжений.

Сигнал с обращенного диода усиливается ( $T_3$ ) и подается на базы транзисторов трех эмиттерных повторителей, выходы которых согласованы на 50-омную нагрузку.

Задержка входных сигналов схемой совпадения равна 10 нсек; время нарастания выходных сигналов - 4 нсек.

На рис. 17 представлены кривые временного разрешения для 2-кратных совпадений, снятые при разных длинах формирующих кабелей, подключенных к входам схемы совпадений.

При 90%-ной эффективности разрешающее время СС равно 4 нсек. При 100%-ной эффективности разрешающее время схемы не более 10 нсек. На рис. 18 показаны кривые временных разрешений при 3-кратных и 5-кратных совпадениях.

На рис. 19 показана зависимость скорости счёта СС при двух каналах, включенных на совпадениях, от задержки в канале антисовпадений.

Снятие приведенных зависимостей производилось на пучке синхротрона ОИЯИ с использованием модулей Ф, ФР и СИ. Коэффициент отбора схемы пятикратных совпадений не меньше трех.

### Схема отбора СО

Схема отбора формирует логический импульс "да", когда на ее входы поступает с усилителей-формирователей УФ количество совпадающих сигналов, не меньшее заранее установленного.

Схема отбора (рис. 20) состоит из порогового элемента отбора, построенного на туннельном диоде  $D_1$ , усилителя ( $T_1$  и  $T_2$ ) и выходного эмиттерного повторителя ( $T_3$ ).



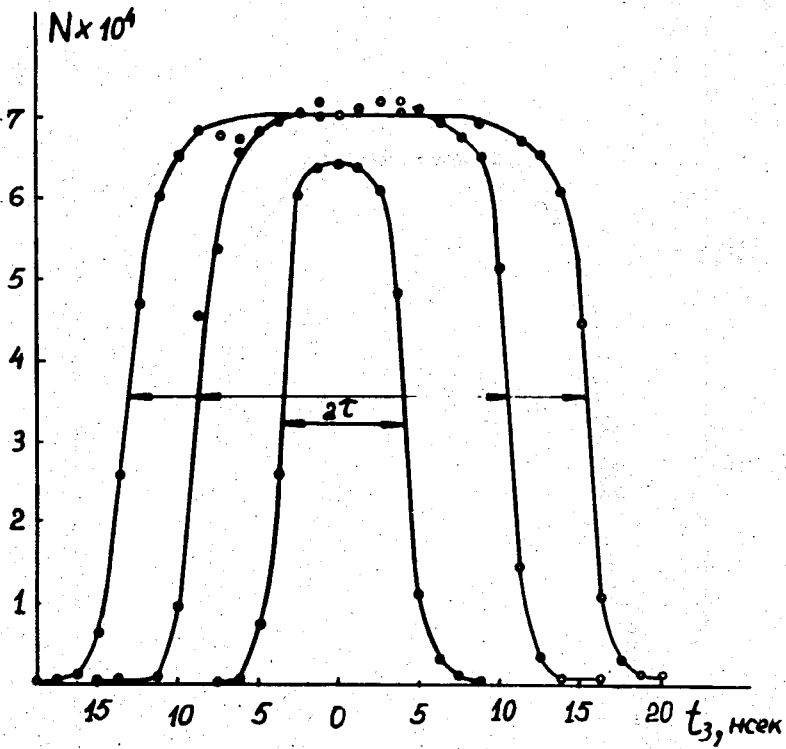


Рис. 17. Кривые временного разрешения для 2-кратных совпадений.

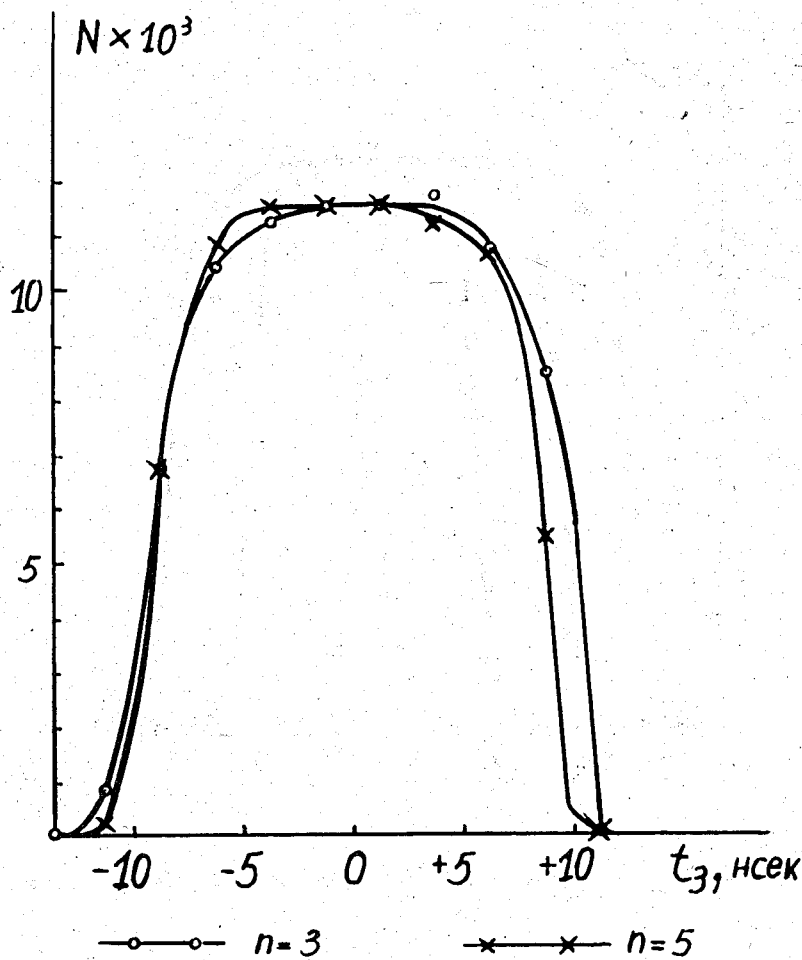


Рис. 18. Кривые временного разрешения при 3- и 5-кратных совпадениях.

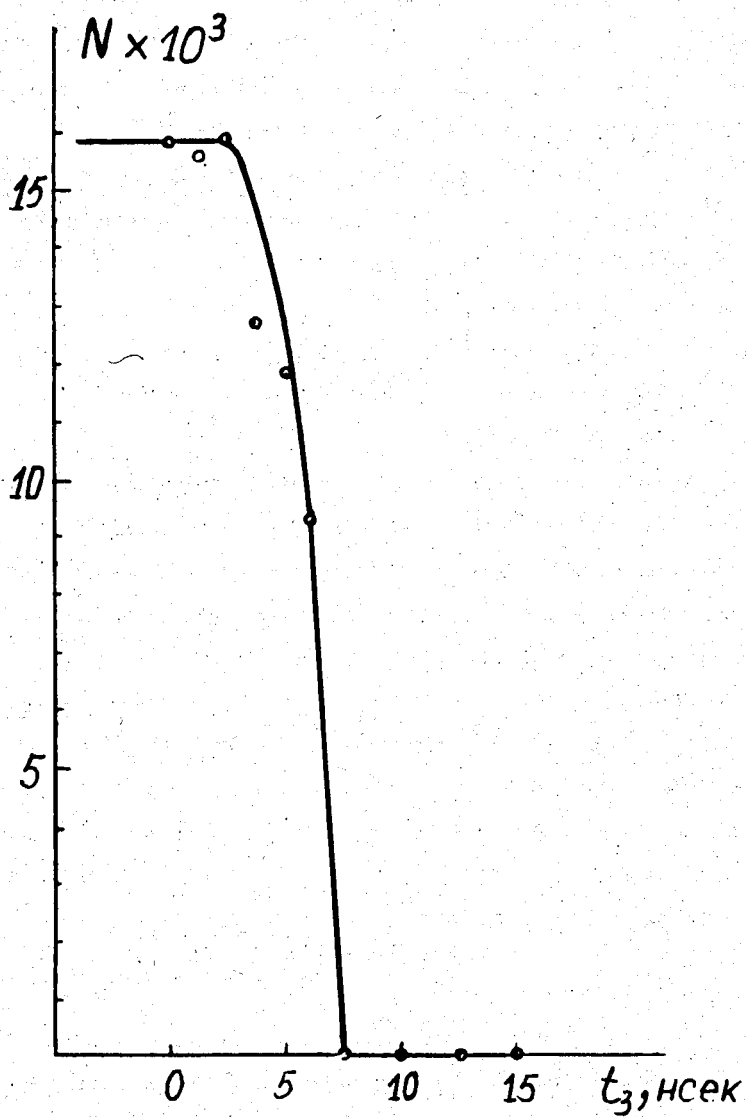


Рис. 19. Зависимость скорости счёта СС от задержки в канале антисовпадений.

На пороговый элемент отбора поступает ток смещения с делителя  $R_7 - R_{11}$  и сумма токов с пяти входов ( $5 \times 4,1$  ма), соединенных с выходами усилителей-формирователей УФ. Изменяя ток смещения туннельного диода  $D_1$  при помощи переключателя  $P_1$ , можно установить такой режим работы элемента отбора, при котором он срабатывает при поступлении сигнала на один, два, три, четыре или пять входов СО.

Следовательно, эта схема может работать как смеситель или как схема 2,3,4 или 5-кратных совпадений.

На рис. 21 показана вольтамперная характеристика туннельного диода с учётом шунтирующего действия сопротивления  $R_8$ ,  $R_{12}$  и диода  $D_2$ . Рабочие точки, обозначенные на рисунке цифрами 1,2,3,4 и 5, соответствуют одноименным положениям переключателя  $P_1$ .

Точка А соответствует случаю, когда переключатель  $P_1$  находится в положении 1 и на один из входов поступает сигнал. Точка В соответствует случаю, когда на все пять входов поступают сигналы, а переключатель находится в прежнем положении. Для уменьшения амплитудного разброса выходных сигналов, вызванного разницей напряжений  $\Delta U = U_B - U_A$ , служит ограничивающий диод  $D_2$ .

Задержка входного сигнала схемой отбора равна 10 нсек; время нарастания выходных сигналов - 4 нсек. Разброс амплитуд выходных сигналов при разных положениях переключателя  $P_1$  и различном числе входных сигналов находится в пределах  $1,8 + 2,2$  в.

### Разветвитель Р

Разветвитель (рис. 22) предназначен для увеличения числа логических выходов и представляет собой усилитель с 5 выходами и коэффициентом передачи  $K = 1$ . Он состоит из триггера Шмидта, построенного на туннельном диоде  $D_1$ , усилителя ( $T_1$  и  $T_2$ ) и пяти выходных эмиттерных повторителей.

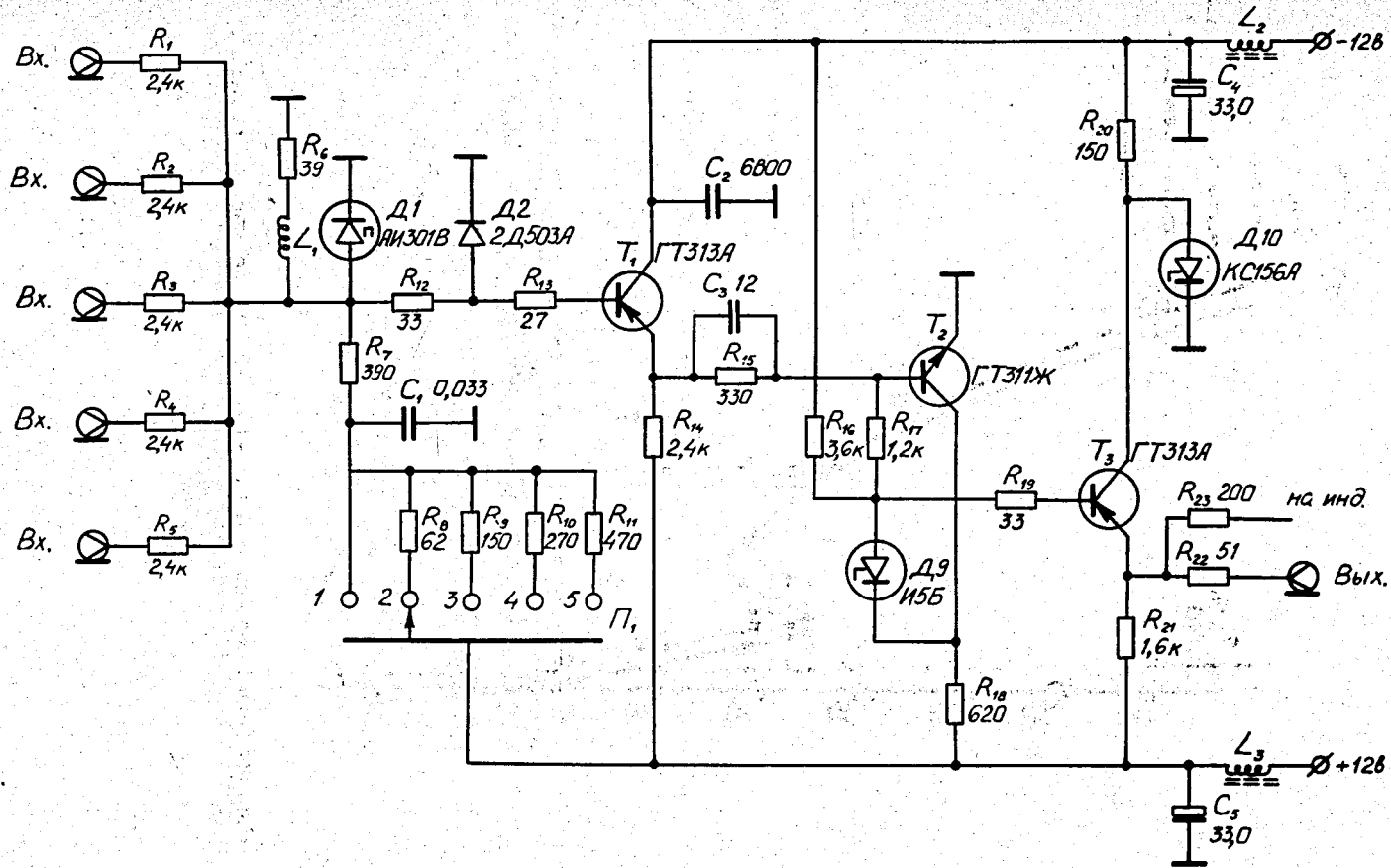


Рис. 20. Схема отбора.

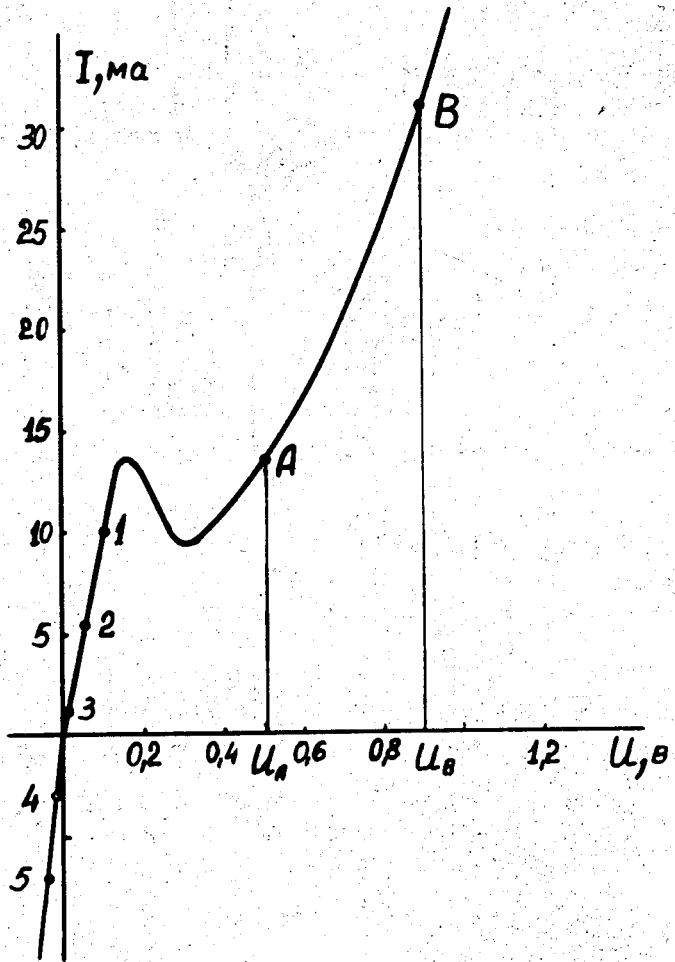


Рис. 21. Вольтамперная характеристика туннельного диода СО.

Триггер Шмидта позволяет получить на выходе схемы стабильные логические уровни напряжения, практически не зависящие от разброса уровней входных сигналов. Это относится также к времени нарастания выходных сигналов разветвителя.

Задержка выходного сигнала разветвителя относительно входного равна 5 нсек; время нарастания выходного сигнала равно 3 нсек.

На рис. 23 показаны осциллограммы входного и выходного сигналов.

### Инвертор И

Для инвертирования логических уровней в системе функциональных модулей логической электроники магнитного искрового спектрометра служит инвертор. Он должен давать на своем выходе напряжение  $+0,7$  в при поступлении на его вход напряжения  $-1,2$ ; или  $-1,2$  в при подаче на его вход  $+0,7$  в.

Схема инвертора показана на рис. 24. Он состоит из триггера Шмидта, построенного на туннельном диоде  $D_1$ , усилителя ( $T_1$ ) и двух выходных эмиттерных повторителей ( $T_3$  и  $T_4$ ).

Триггер Шмидта так же, как и схема разветвителя, позволяет получать на выходе схемы стабильные стандартные логические уровни напряжения, не зависящие практически от разброса уровней входных сигналов. Это относится также к времени нарастания входных сигналов инвертора.

Сигнал с триггера Шмидта усиливается и инвертируется усилителем, выполненным на транзисторе  $T_1$ , и подается на два выходных эмиттерных повторителя.

Задержка входного сигнала инвертором равна 3 нсек, время нарастания выходных сигналов равно 3,5 нсек.

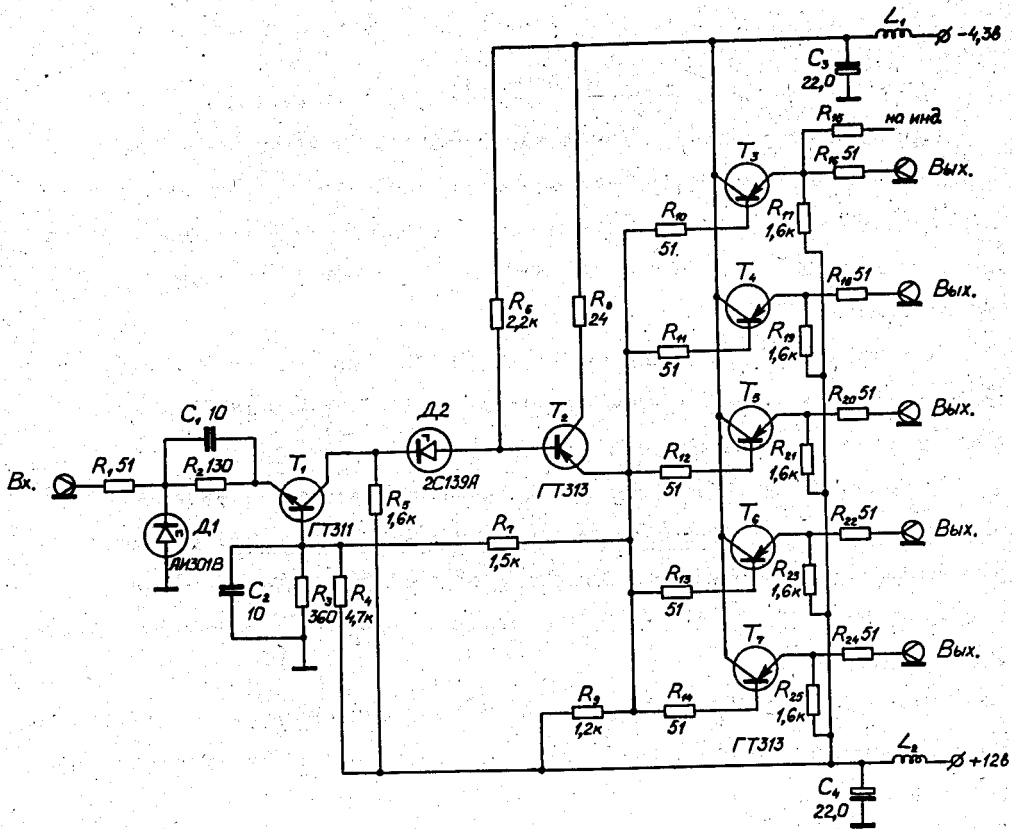
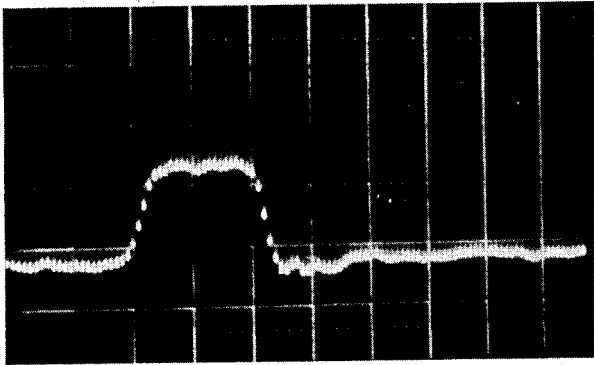
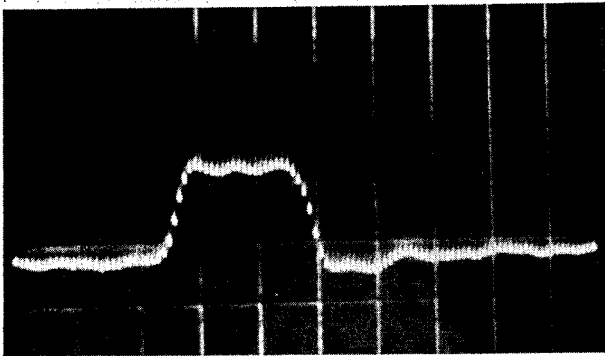


Рис. 22. Электрическая схема разветвителя.





а)



в)

Рис. 23. Осциллограммы входного и выходного сигналов разветвителя.

Скорость развертки 10 нсек/см  
Чувствительность 1 в/см.

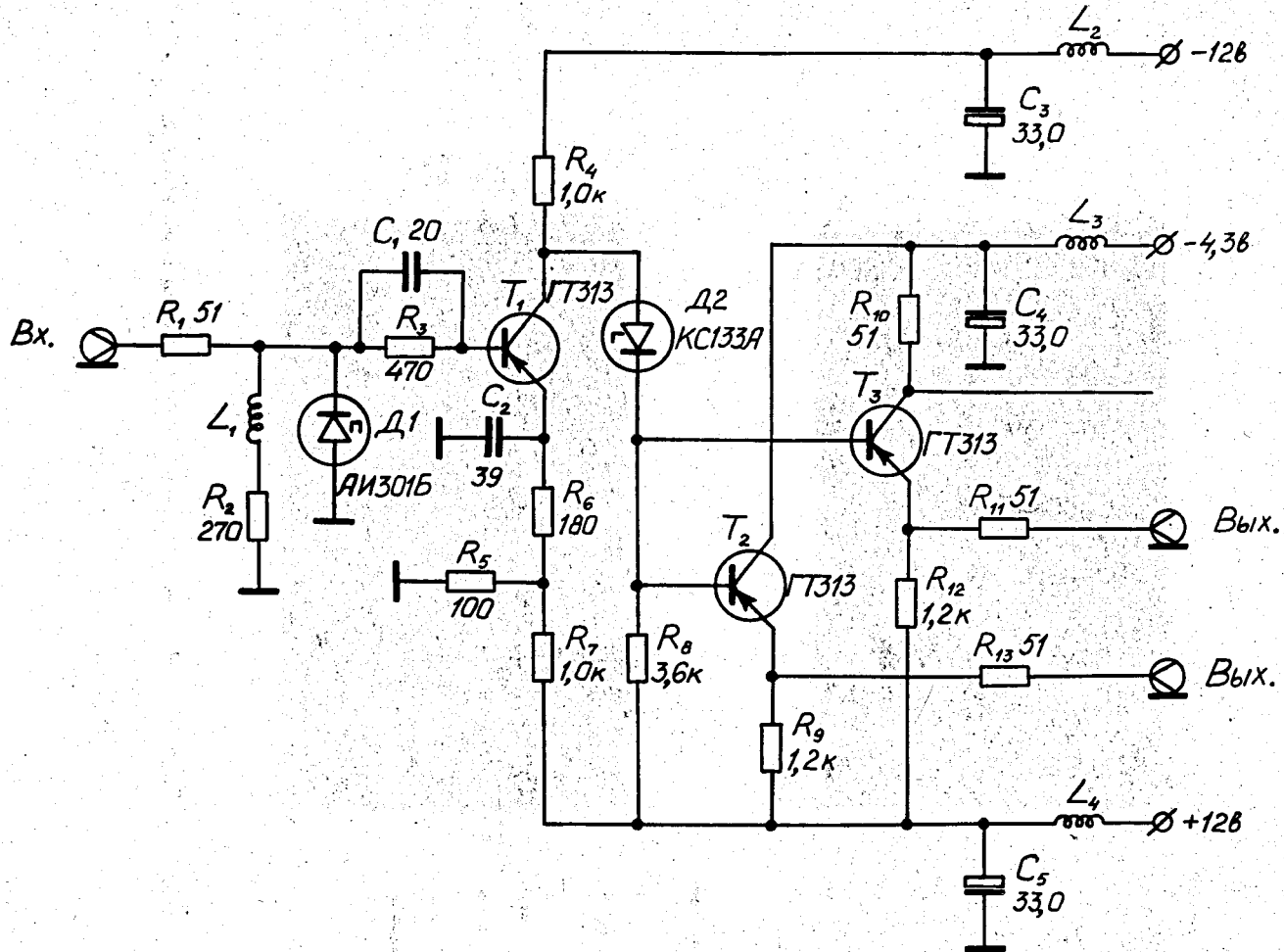


Рис. 24. Электрическая схема инвертора.

## Схема индикации СИН

Каскад индикации состоит из одновибратора, который преобразует отрицательный наносекундный импульс в импульс миллисекундной длительности, и низкочастотного усилителя, в коллектор которого включена лампа накаливания.

Схема индикации представлена на рис. 25, а вольтамперная и нагрузочные характеристики туннельного диода - на рис. 26.

В устойчивом состоянии через туннельный диод  $D_2$  протекает ток  $\approx 1$  ма (рис. 26), транзистор  $T_1$  закрыт и емкость  $C_2$  заряжена до напряжения - 12 в. Поступающий на вход СИН импульс дифференцируется ( $C_1, R_2$ ), а его отрицательная составляющая проходит через диод  $D_1$  и переключает туннельный диод в точку 2. Транзистор  $T_1$  отпирается и разряжает емкость  $C_2$  током  $\beta I_B$ . При разряде конденсатора  $C_2$  до напряжения, близкого к нулевому, транзистор  $T_1$  насыщается, его входное сопротивление резко падает (кривая С), и туннельный диод переключается на туннельную ветвь вольтамперной характеристики.

Транзистор  $T_1$  закрывается и через его коллекторную нагрузку  $R_4$  и переход база-эмиттер транзистора  $T_2$  начинается заряд конденсатора  $C_2$ . Процесс заряда конденсатора  $C_2$  вызывает отпирание транзистора  $T_2$  и вспышку индикаторной лампочки Л.

Диод  $D_3$  предохраняет переход эмиттер-база транзистора  $T_2$  от пробоя во время разряда конденсатора  $C_2$ .

Этот каскад индикации используется во всех схемах модулей системы логической электроники за исключением усилителей-формирователей.

В заключение пользуюсь случаем выразить глубокую благодарность В.В. Вишнякову за полезные советы и всестороннюю помощь во время разработки вышеописанных схем и их проверки на синхроциклотроне ОИЯИ.

## Л и т е р а т у р а

1. Р. Анджежк, Е.М. Андреев, А.П. Бирюков, И.М. Василевский, В.В. Вишняков, Ю.Н. Зыкин, З. Женчикевич, Н.Д. Крахотин, В.И. Никоноров, А.Ф. Писарев, Н.С. Толстой, А.А. Тяпкин, В.М. Шешунов. Препринт ОИЯИ 13-3588, Дубна 1967.
2. W. Beusch. Preprint CERN, 65-21, Geneve, 1965.
3. Ю.Б. Бушнин, А.Ф. Дунайцев, В.А. Сенько. Препринт ИФВЭ, СЭФ-36-К, Серпухов 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 сентября 1970 года.

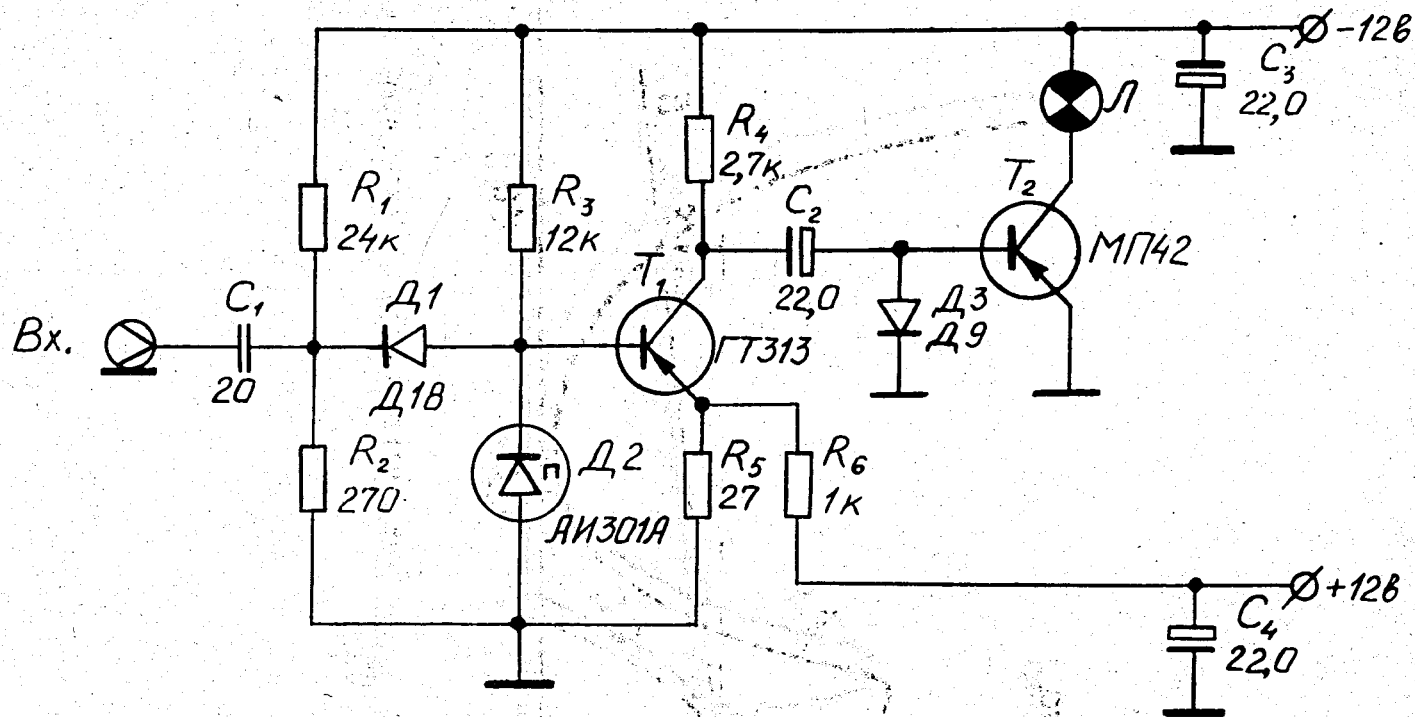


Рис. 25. Схема индикации.

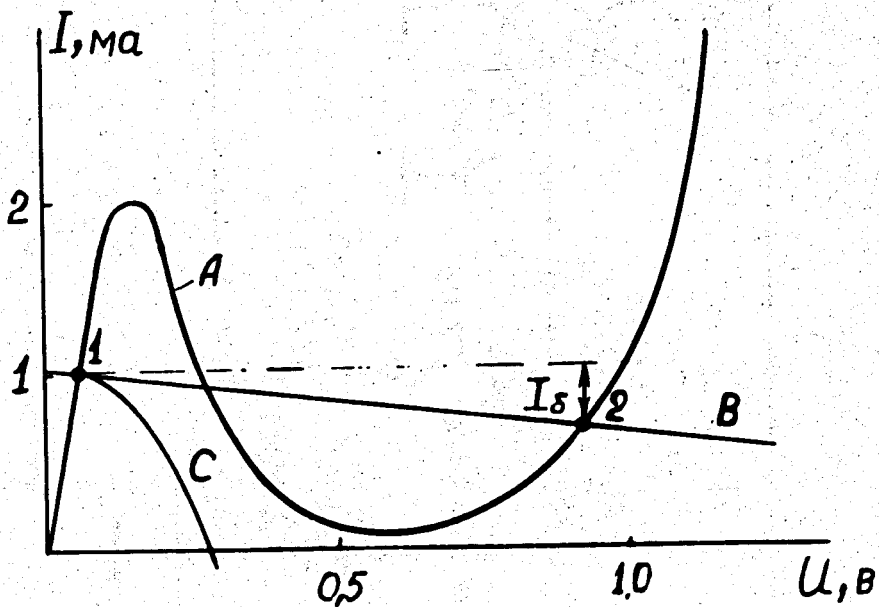


Рис. 26. Вольтамперная и нагрузочные характеристики туннельного диода в СИИ.