

С 344.3

3-485

ИТЭ, 1966, №4, с. 71-78. ^{3/VIII-65} ✓

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2189



Б.А. Зеленов, Л.К. Лебедева, Й. Манца, Н.С. Мороз

МНОГОКАНАЛЬНАЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ
АППАРАТУРА НА ПОЛУПРОВОДНИКАХ
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ НА 10 ГЭВ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1965

3400/2 нр.

Б.А.Зелеков, Л.К.Лебедева, Й.Мацца, Н.С.Мороз

МНОГОКАНАЛЬНАЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ
АППАРАТУРА НА ПОЛУПРОВОДНИКАХ
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ НА 10 ГЭВ

Направлено в ПТЭ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В в е д е н и е

Имеющаяся в настоящее время интенсивность пучка протонов синхрофазотрона ОИЯИ $8 \cdot 10^{10}$ протонов/цикл дает возможность методами электроники исследовать рассеяние частиц высокой энергии на большие углы.

Для опытов такого рода требуется аппаратура, обладающая достаточным быстродействием и высокой стабильностью. Первое требование обуславливается необходимостью регистрации падающего на мишень большого потока частиц; второе — тем, что рассеянный поток частиц имеет малую интенсивность (до 1 частицы в час).

В данном эксперименте использовались 17 счетчиков, среди которых были сцинтилляционные, черенковские и газовые, что требовало от аппаратуры высокой чувствительности. Применение разработанного нами комплекса аппаратуры в сочетании с газовыми черенковскими счетчиками с ФЭУ-38 дает возможность регистрировать импульс, вызванный 1 фотоэлектроном, выбиваемым с фотокатода.

Малая интенсивность рассеянного пучка требует высокой точности регистрации событий. Такая точность может быть достигнута включением схем вторичных совпадений. Это включение дает возможность при 100% эффективности регистрации устранить возможные нестабильности в разных каналах и повысить достоверность регистрации истинных событий. Блок-схема включения приведена на рис. 1. Контролем правильности работы этого включения является одинаковость счета в канале и в мониторе при подключении их на одни и те же счетчики. При этом требуется соблюдение следующих временных соотношений в аппаратуре:

$$а) \tau_d > \tau_{сп} > T_{пс} ,$$

где τ_d — мертвое время дискриминатора, $\tau_{сп}$ — мертвое время схемы пропускания, $T_{пс}$ — мертвое время пересчетного устройства;

$$б) t_x \geq t_m ,$$

где t_x — разрешающее время схемы совпадения в канале, t_m — разрешающее время схемы совпадения в мониторе;

в) разрешающее время входных блоков (до схем совпадений) $t_{\text{вх}} \leq 10$ нсек, согласно распределению импульсов, поступающих на входы усилителей при рабочих нагрузках (рис. 2).

Принимая во внимание разрешающее время пересчетных устройств, применяемых в работе, мы выбрали следующие мертвые и разрешающие времена аппаратуры:

$$\begin{array}{ll} T_{\text{жс}} = 100 \text{ нсек} & t_{\text{к}} = 10 \text{ нсек} \\ \tau_{\text{сп}} = 120 \text{ нсек} & t_{\text{м}} = 8-10 \text{ нсек} \\ \tau_{\text{д}} = 220 \text{ нсек} & \end{array}$$

При отсутствии ограничений со стороны пересчетного устройства мертвое время дискриминатора и схемы пропускания может быть уменьшено до 60-70 нсек. Аппаратура выполнена в виде небольших блоков: усилителей-размножителей, схем совпадений с антисовпадениями, дискриминаторов, схем пропусканий (вторичных схем совпадений). Соединения между блоками осуществляются кабелем РК-19 длиной 1,5 м (8 нсек). Для надежной работы схем антисовпадений импульсы должны опережать импульсы совпадений. Это достигается подачей импульсов на вход антисовпадений коротким кабелем длиной 0,3 м (1,8 нсек). Между выходом схемы совпадений и входом схемы пропускания включена постоянная задержка, которая компенсирует временной разброс дискриминатора и его задержку. Величина задержки 50 нсек.

Для синхронизации аппаратуры с синхрофазотроном применяется система управления, которая приводит в действие аппаратуру импульсом запуска. Импульс запуска, сформированный схемой запуска, поступает на вход ворот мониторной схемы совпадений. Контроль работы системы управления осуществляется осциллографом ЭНО-1. События регистрируются с помощью декадных пересчетных устройств на транзисторах с разрешающим временем 100 нсек, описанных в работе ^{/1/}. Применение размножителей дает возможность легко осуществлять необходимые переключения в процессе работы.

Во всех схемах применены высокочастотные диффузионные транзисторы с граничной частотой генерирования $f_{\text{гр}} = 700$ Мгц, $V_{\text{ст}} = 100-150$; германиевые туннельные диоды с пиковым током 10 ма и высокочастотные диоды типа Д602А.

Описание схем

Для всех схем была выбрана выходная амплитуда одной полярности и величины. Положительная полярность определена низкоомной нагрузкой на выходах схем транзисторов типа ррр. Максимальная величина амплитуды в соединительных кабелях составляет 0,75 в и определена входами схемы совпадений на диодах. Все согласования с кабелями осуществлены со стороны выходов схем, что дает хорошее согласование в широком диапазоне частот.

Усилитель-размножитель

Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 3. Он состоит из 2-каскадного усилителя T_1, T_2 , эмиттерных повторителей T_3, T_8 и 4-канальных размножителей T_4-T_7 и T_9-T_{12} .

Импульсы с ФЭУ по кабелю РК-2, согласованному со стороны ФЭУ, поступают на вход усилителя.

2-каскадный усилитель выполнен по схеме с общим эмиттером. Для коррекции переднего фронта применяется отрицательная обратная связь в цепи эмиттера (R_3, R_2). Диоды D_2 и D_3 служат для уменьшения времени восстановления усилителя. Увеличение динамического диапазона входных амплитуд до 5 в и предохранение первого триода от амплитудных перегрузок обеспечивается ограничивающим диодом D_1 . Чтобы обеспечить хорошую работу усилителя от пачек импульсов, на входе введена дифференцирующая цепочка $R_1 C_1$ с $\tau = 3$ нсек и переходные емкости увеличены до 5,0 мкф.

Импульсы с коллектора T_2 поступают на 2 размножителя через эмиттерные повторители T_3, T_8 , которые служат для согласования низкоомного входа размножителя с выходом усилителя.

Каскад размножителя построен на четырех транзисторах, базы которых параллельно соединены. Выходы размножителя независимы и нагрузкой их является 51-омный кабель РК-10.

Характеристики усилителя:

1. Полярность входных импульсов - отрицательная.
2. Диапазон входных амплитуд при ограничении на выходе 0,1-5 в.
3. Входное сопротивление 80-120 ом в зависимости от амплитуды входных импульсов.
4. Время установления усилителя не хуже 3 нсек.
5. Задержка между входом и выходом 7 нсек.
6. Потребляемая мощность 1,8 вт.

Схемы совпадений-антисовпадений

С выходов усилителя-размножителя импульсы поступают на входы схемы совпадений-антисовпадений.

Шестиканальная схема совпадений с 3-мя каналами антисовпадений с внешним запуском приведена на рис. 4.

Смеситель D_1 - D_8 выполнен на диодах типа Д602А, предварительно отобранных по одинаковым v - a характеристикам на характеристикографе. Ток смещения в каждом диоде 0,3 ма.

Формирование импульсов происходит на входе схемы с помощью короткозамкнутого кабеля РК-19 длиной 70 см. Диод D_7 выполняет функции дискриминирующего элемента, и его порог устанавливается переменным сопротивлением R_8 . Этот диод улучшает амплитудный отбор до 8-10. Амплитудный отбор в общей точке диодов 1,8-2. Последующие два каскада T_2 , T_3 служат для усиления импульсов.

Схема имеет три канала антисовпадений. Входные импульсы, поступающие в каналы антисовпадений, формируются на входах при помощи короткозамкнутого кабеля РК-19 длиной 70 см, усиливаются и переворачиваются по фазе входными усилителями T_5 ; T_6 ; T_7 , коллекторы которых имеют общую нагрузку R_{17} . Чтобы предостеречь последующий каскад от амплитудных перегрузок и устранить импульс положительной полярности включены диоды D_8 , D_9 . Эмиттерный повторитель T_1 служит для согласования между каскадами. Ударный контур формирует импульс по длительности (20 нсек на уровне 0,1). Антисовпадение осуществляется на диоде D_{10} .

Управление работой всей схемы происходит от внешнего импульса запуска, поступающего на вход схемы ворот T_4 (вход управления). При отсутствии управляющего импульса триод T_4 открыт и за счет его малого выходного сопротивления совпадательный импульс шунтируется на входе T_3 . С приходом управляющего импульса триод T_4 закрывается, и импульс (совпадательный) проходит на вход усилителя T_3 . Отношение амплитуд на входе T_3 при открытом и закрытом T_4 равно 10. Схема может работать и без внешнего запуска, что осуществляется переключателем П. Схемы совпадений с внешним запуском предназначены для мониторинговых каналов.

Характеристики схемы совпадений.

- | | |
|--|-----------|
| 1. Число каналов совпадений | - 6 |
| 2. Коэффициент отбора схемы совпадений | - 8 - 10 |
| 3. Длительность выходного импульса на уровне 0,1 от основания | - 16 нсек |
| 4. Время нарастания выходного импульса | - 8 нсек |
| 5. Разрешающее время схемы совпадений | - 8 нсек |
| 6. Задержка между входом и выходом | - 10 нсек |
| 7. Схема разрешает пачку из 10 импульсов без изменения амплитуды на выходе, при расстоянии между импульсами в пачке 38 нсек. | |

Сокращение этого расстояния до 28 нсек приводит к уменьшению амплитуды импульсов, следующих за первым, на 50%

8. Число выходов

Характеристики схемы антисовпадений

- | | |
|-------------------------------------|----------|
| 1. Число каналов антисовпадений | - 3 |
| 2. Разрешающее время антисовпадений | - 9 нсек |
| 3. Эффективность подавления | - 99,3 % |

Характеристики схемы ворот

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Полярность входной амплитуды | - положительная |
| 2. Амплитуда входного импульса | - 0,8 в |
| Потребляемая мощность всего блока | - 1,35 вт. |

Вариант схемы совпадений с расчетверителем на выходе представлен на рис. 5. Входные части схем совпадений и антисовпадений ничем не отличаются по принципу работы от вышеописанной, кроме числа входов антисовпадений.

После усиливающего триода T_1 стоят эмиттерный повторитель T_3 и четырехканальный размножитель T_6-T_9 , применяемые в усилителе-размножителе. В схеме отсутствует внешний запуск. Характеристики схемы те же, что и в предыдущей. Нужно отметить, что в данной аппаратуре используются схемы совпадений и антисовпадений с разным числом входов (см. блок-схему).

Дискриминатор

Импульсы с выхода схемы совпадений поступают на вход дискриминатора, схема которого показана на рис. 6.

Дискриминатор осуществлен на германиевом туннельном диоде с пиковым током 10 ма по схеме одновибратора. Смещение подается через сопротивления R_3 , R_4 . Рабочая точка лежит на туннельной ветви $v-A$ характеристики туннельного диода, и ее положение определяет порог дискриминатора. Порог меняется током, пропускаемым через туннельный диод, и управляется переменными сопротивлениями R_4 , R_5 в схеме управления (рис. 7). Сопротивление R_4 осуществляет грубую регулировку, а сопротивление R_5 плавную. Сопротивление R_1 ограничивает ток через туннельный диод. Индикация порога осуществляется микроамперметром M . Дроссель Dr (рис. 6), намотанный на ферритовом кольце Φ диаметром 8 мм, и емкость C_3 являются фильтром, который устраняет импульсные помехи по цепи питания. Под действием входных импульсов ток через туннельный диод увеличивается, и когда суммарный ток превышает пиковый, туннельный диод переключается в нестабильное состояние, в котором он поддерживается реактивным элементом L_1 . С разрядом индуктивности туннельный диод воз-

вращается в свое исходное состояние. Временем разряда определяется длительность импульсов на выходе туннельного диода. Зависимость длительности импульса от величины индуктивности приведена на рис. 8. Величина амплитуды импульса с туннельного диода 0,4 в. Импульсы с туннельного диода поступают на базу первого транзистора T_1 через корректирующую цепь R_6C_4 , которая согласует туннельный диод с входом усилителя. Первый каскад служит для усиления, переворачивая фазы импульса. После усиления импульс поступает на второй каскад T_2 , который является эмиттерным повторителем с коэффициентом передачи 0,5. На вход двух четырехканальных размножителей поступают импульсы с амплитудой 0,3 в и длительностью 50 нсек. Импульсы в размножителе усиливаются и переворачиваются по фазе.

Характеристики дискриминатора:

1. Динамический диапазон входных амплитуд	- 0,1 - 1,7 в
2. Диапазон длительностей входных импульсов	- 4-30 нсек
3. Длительность выходных импульсов	- 50 нсек
4. Временной разброс на выходе	- 7 нсек
5. Мертвое время дискриминатора	- 220 нсек
6. Задержка между входом и выходом	- 24 нсек
7. Потребляемая мощность	- 2 вт.

Схема пропускания

Схема пропускания осуществлена в виде нелинейных ворот по двойной схеме совпадения на диодах Д802А (рис. 9). На ее два входа поступают импульсы от дискриминатора и схемы совпадения. Импульс от дискриминатора определяет ширину ворот. Диод D_3 улучшает амплитудный отбор. Его смещение устанавливается переменным сопротивлением R_4 . Дискриминирующее устройство построено на туннельном диоде, работа которого описана в схеме дискриминатора. Импульс с туннельного диода поступает через согласующую цепь R_4C_3 на вход первого каскада усилителя с коэффициентом усиления 3 и переворачивает фазу импульса. Второй каскад - эмиттерный повторитель, который согласует выход первого каскада усилителя со входом раздвоителя. Коэффициент передачи 0,5. Раздвоитель выполнен по схеме размножителя.

Характеристики схемы пропускания

1. Длительность выходных импульсов	- 30 нсек
2. Мертвое время	- 120 нсек
3. Задержка между входом и выходом	- 14 нсек
4. Потребляемая мощность	- 1,0 вт

Система регистрации

Импульсы с выходов схем регистрируются системой пересчетных устройств. Принципиальные схемы быстрых и медленных декад и их подробное описание приведены в работе /1/. В систему входят два пересчетных устройства емкостью 10^8 , четыре - емкостью 10^6 и восемь - емкостью 10^4 . Из-за недостаточной чувствительности декад на их входах применен двухкаскадный усилитель, схема которого приведена на рис. 10.

Характеристики усилителя

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Диапазон входных амплитуд при ограничении на выходе | - 0,5-20 в |
| 2. Полярность выходных импульсов | - положительная |
| 3. Ограниченная амплитуда выходного импульса | - 7 в |
| 4. Выходное сопротивление | - 390 ом |
| 5. Время установления схемы | - 8 нсек |
| 6. Потребляемая мощность | - 0,1 вт |

Усилитель располагается рядом с первой декадой.

Блоки питания

Аппаратура питается от 2-канальных выпрямителей, схема которых приведена на рис. 11.

Характеристики выпрямителя

- | | | |
|--|---------|-------|
| 1. Питание от сети 50 гц 220 в | +10% | -15% |
| 2. Выходное стабилизированное напряжение | +15 в | -15 в |
| 3. Максимальный выходной ток | +1,5а | -1,5а |
| 4. Коэффициент стабилизации | 1000 | |
| 5. Пульсация при токе 0,5А | 10 мв | |
| 6. Выходное сопротивление | 0,05 ом | |

Конструкция

Вся аппаратура выполнена в виде двух отдельных стоек.

В одной из них размещены усилители-размножители, схемы совпадений, дискриминаторы, схемы пропускания и блоки питания к ним. В другой, выполненной в виде пульта управления, размещены пересчетные устройства, схема запуска, контрольная аппаратура и блоки питания.

На рис. 12 показана первая стойка. Она состоит из 8 секций. Все схемы выполнены в виде блоков с монтажными платами из фольгированного с одной стороны стекло-текстолита. На рис. 13 и 14 показаны монтаж и расположение деталей на плате схемы совпадения и усилителя-размножителя.

На рис. 15 показан пульт управления. В двух нижних секциях размещены блоки питания и схема запуска. Пересчетные устройства сосредоточены в верхней секции.

Результаты испытаний

Данная аппаратура работает в течение одного года на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Рабочие характеристики были получены в экспериментах на пучке π^+ -мезонов с энергией $E = 3,17$ Гэв/ц.

На рис. 16 приведена кривая зависимости счѐта мониторной схемы от порога дискриминатора при работе со сцинтилляционными счетчиками. Наклон плато во всем рабочем диапазоне не превышает 7%. Кривые счѐта вторичных схем совпадений снимались на блок-схеме, приведенной на рис. 17. Сцинтилляционные счетчики S_1, S_3 были включены постоянно, счетчики S_4 и Π менялись.

Кривая 1 на рис. 18 соответствует включению 3-х сцинтилляционных счетчиков (S_1, S_2, S_4). Отношение счѐта в канале вторичных совпадений к счѐту монитора составляет 100% в широком диапазоне изменений порога.

Кривая 2 соответствует включению черенковского счетчика, который считает π^+ -мезоны (количество π^+ -мезонов составляет 30% от общего числа частиц в пучке).

Кривые задержанных совпадений при совместной работе сцинтилляционных и черенковских счетчиков приведены на рис. 19. Разрешающее время схемы при длине формирующего кабеля 70 см $\tau_p = 9$ нсек (рис. 19а), при длине формирующего кабеля 35 см $\tau_p = 6$ нсек (рис. 19 б) без потери эффективности. Кривая задержанных анти-совпадений показана на рис. 20. Разрешающее время антисовпадений $\tau_p = 9$ нсек, при этом эффективность подавления составляет 99,3%.

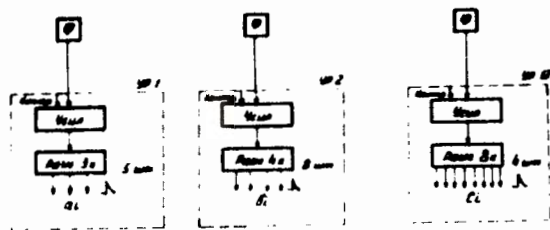
При включении порогового счетчика одновременно на совпадения и антисовпадения эффективность подавления составляет 100%.

Все характеристики снимались при нагрузках на счетчиках 500 000 имп/сек.

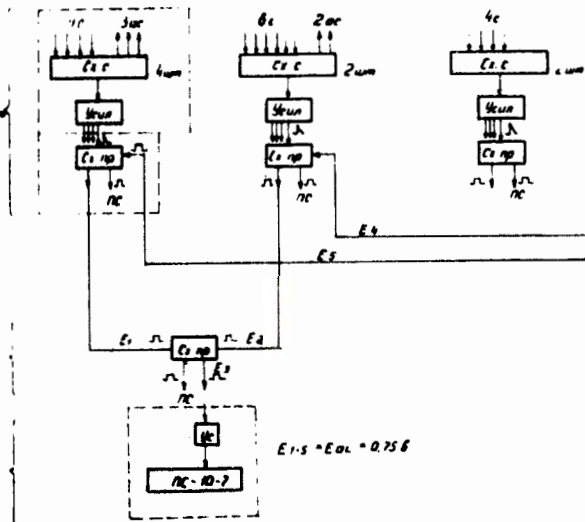
Л и т е р а т у р а

1. Б.А.Зеленов, И.Ф.Колпаков, Н.С.Мороз. Декадный пересчетный прибор на транзисторах на 12 МГц. Препринт ОИЯИ Р-1310, Дубна 1963.
2. Б.Н.Кононов, Ю.А.Чурин. Формирующие устройства на туннельных диодах. ПТЭ, № 4, 1963.
3. R.Madey. Review Scientific Instruments, v. 31, No. 6, 1960, p. 664
4. T.Rabson. Nuclear Instruments Methods, v. 12, 1961, pp 127-130.
5. H.De Vries. Nuclear Electronics, v. 3, 1962, pp59-69,
6. J.Lacour. Proceedings Conference Nuclear Electronics Belgrade 1961, v. 3, pp. 179-193.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 мая 1965 г.

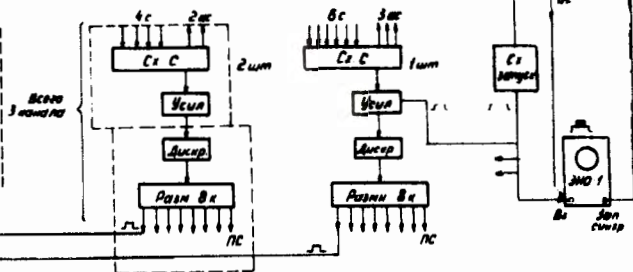


Схемы соединений - СС



$$E_1 \cdot S = E_{01} = 0,25 \text{ Б}$$

Монитор - СМ



Параметры сс запущено

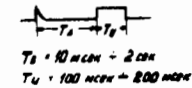


Рис. 1. Блок-схема.

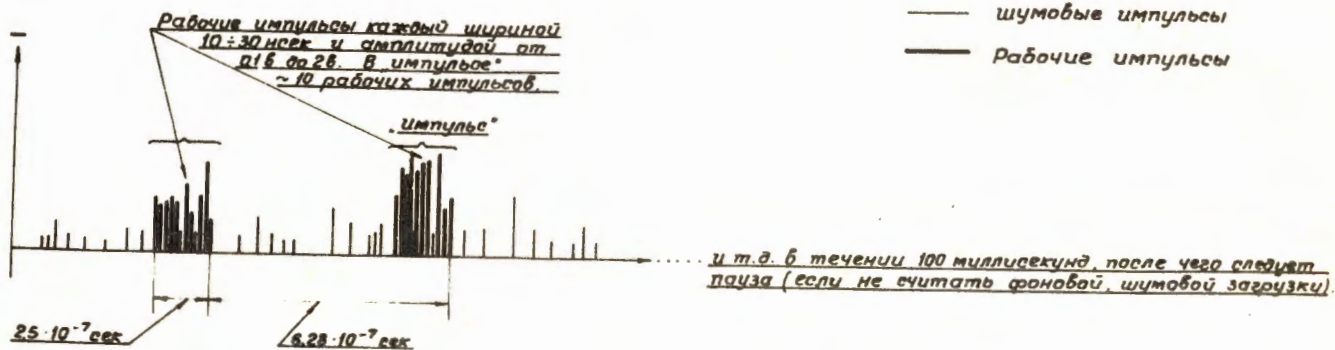


Рис. 2. Осциллограмма напряжения на входе усилителя.

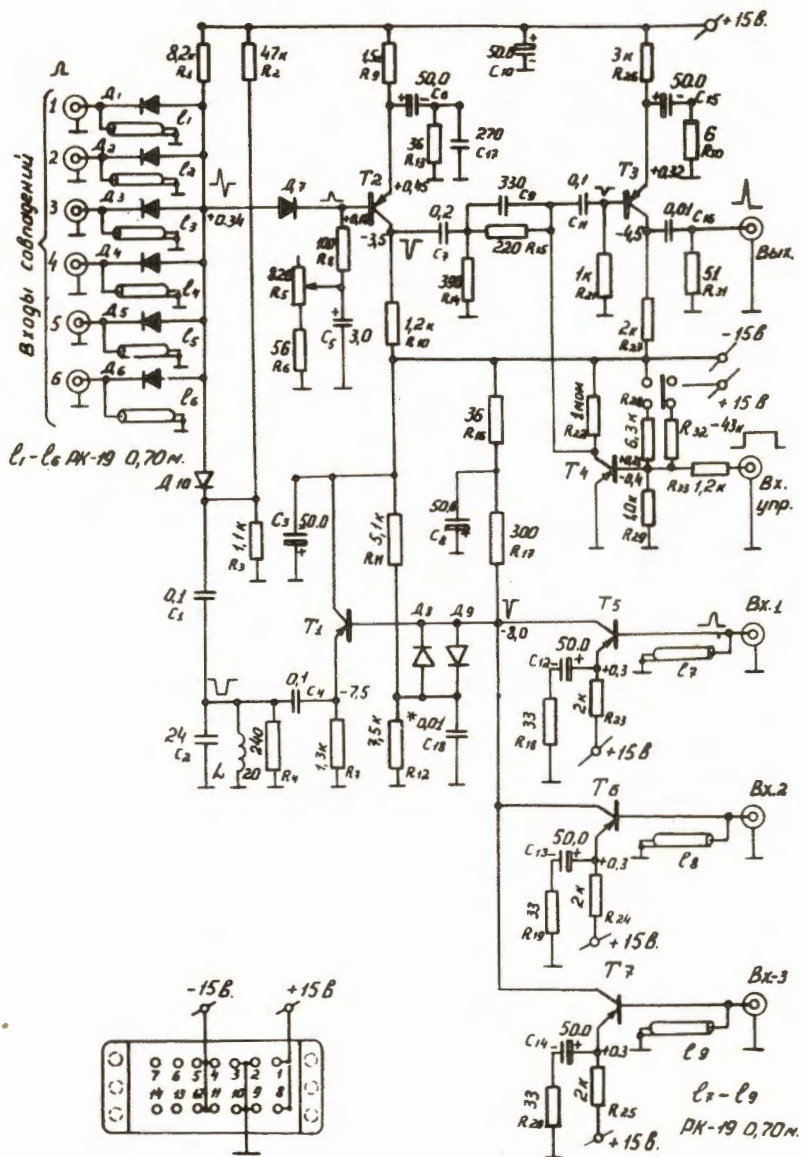


Рис. 4. 6-канальная схема совпадения с тремя каналами антисовпадения с внешним запуском.

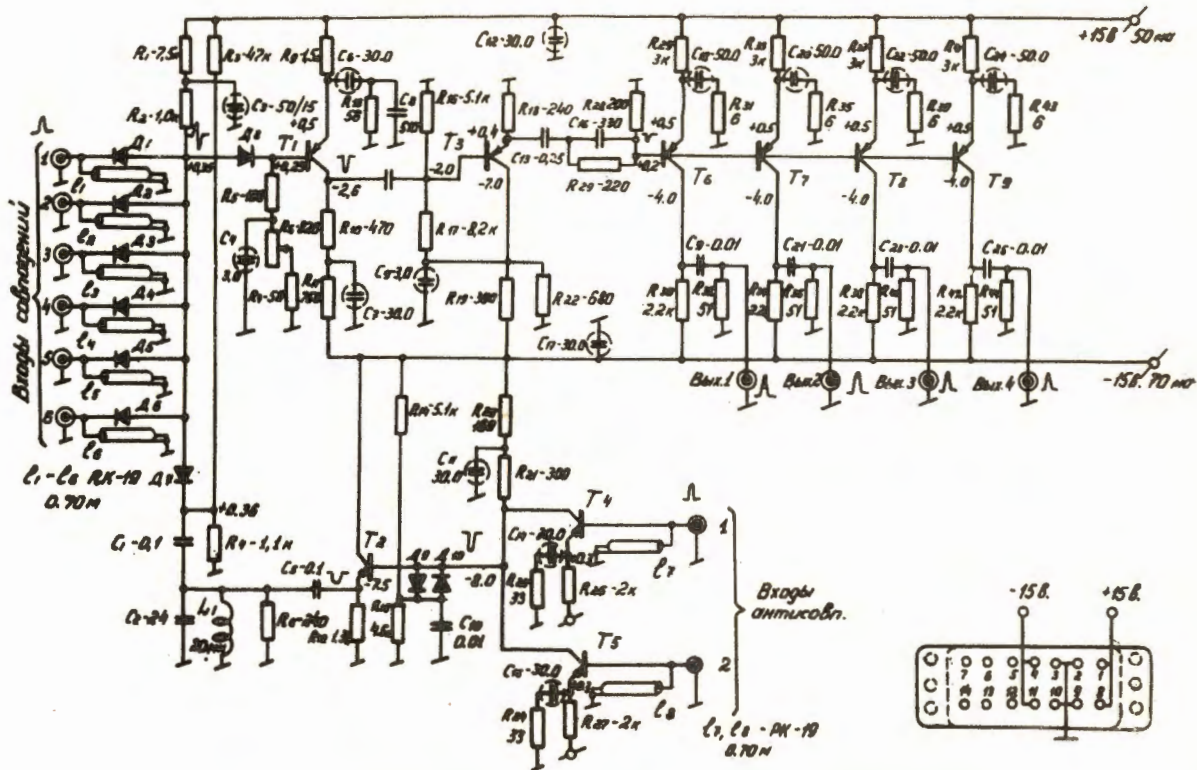


Рис. 5. 8-канальная схема совпадений с двумя каналами антисовпадений.

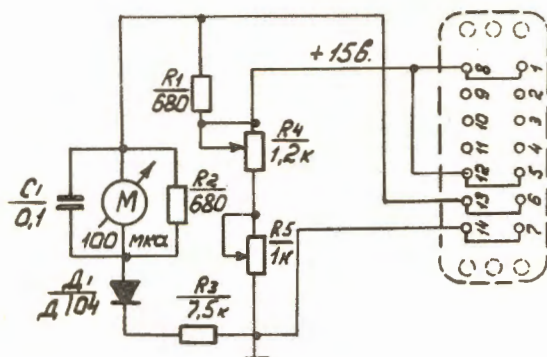


Рис. 7. Схема управления порогом дискриминаторов и схем пропусаний.

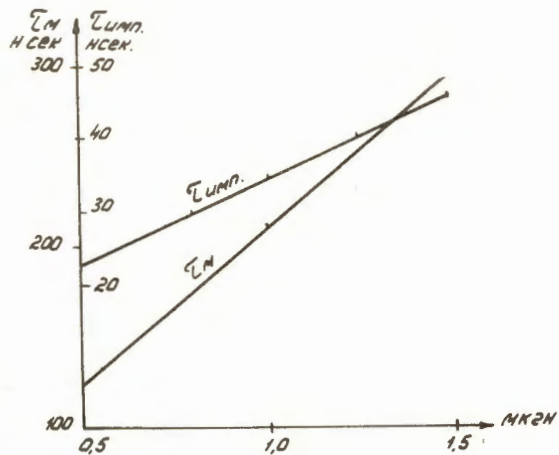


Рис. 8. Зависимость длительности импульса от величины индуктивности для дискриминатора.

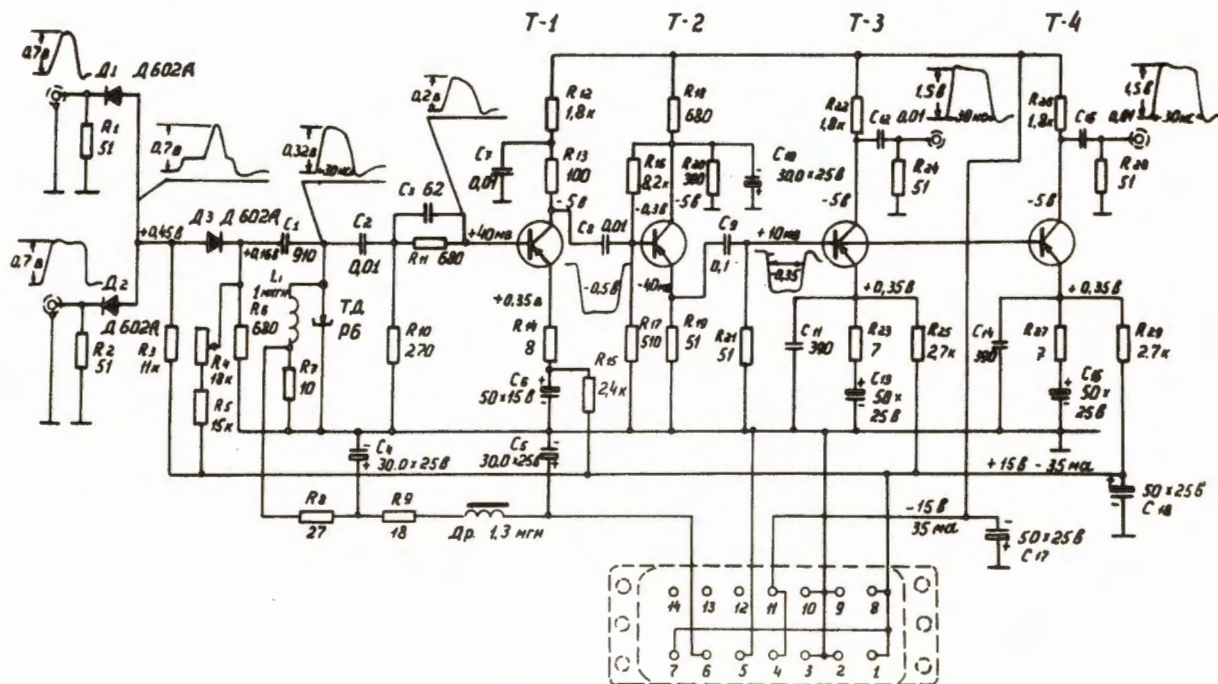


Рис. 8. Схема пропускания.

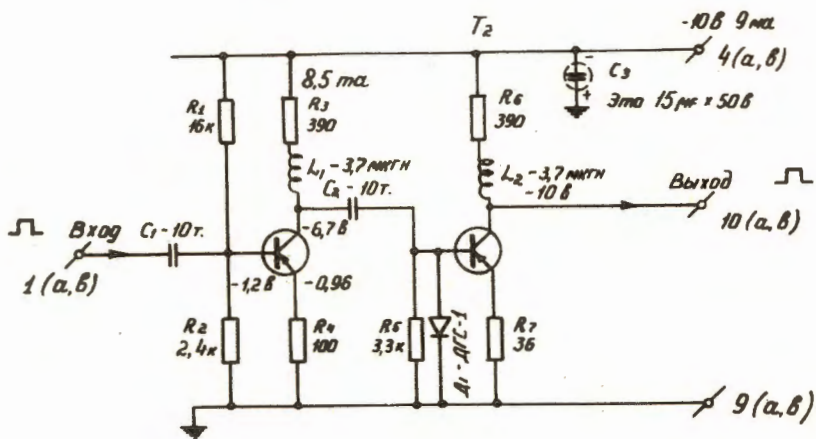


Рис. 10. Усилитель для 12 МГц пересчетной декады.

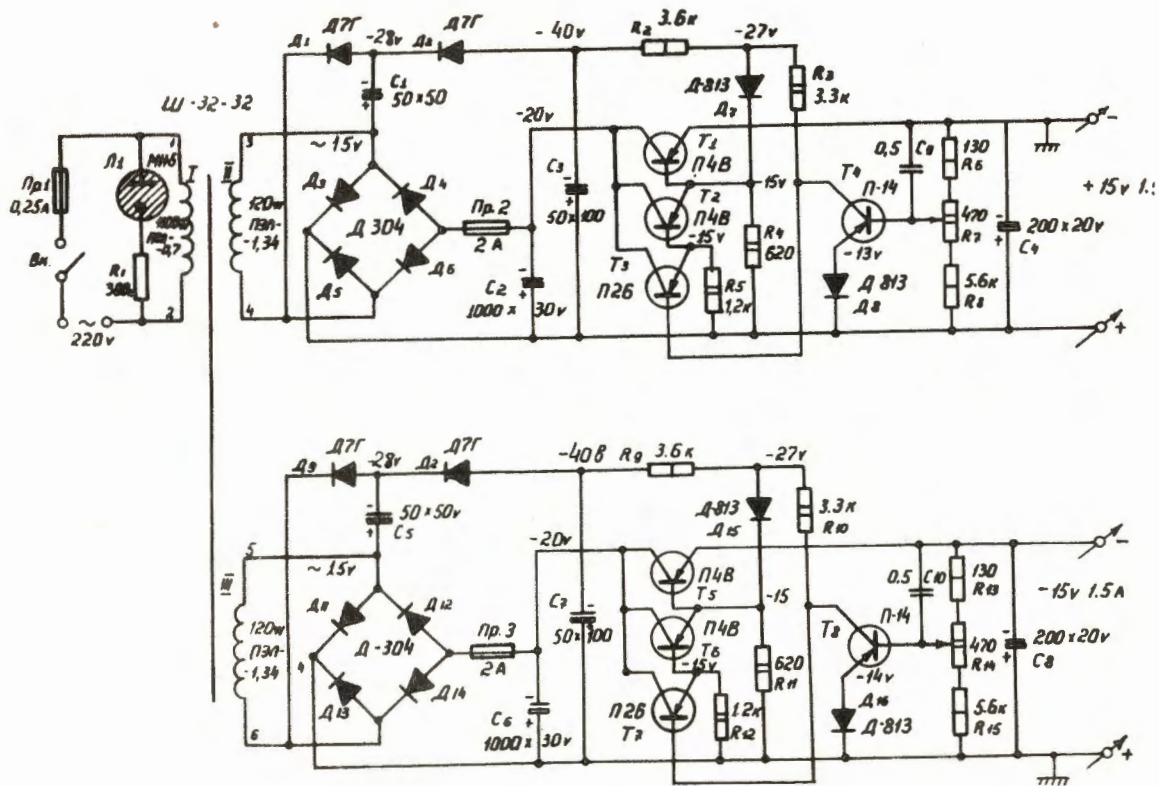


Рис. 11. 2-канальный выпрямитель.

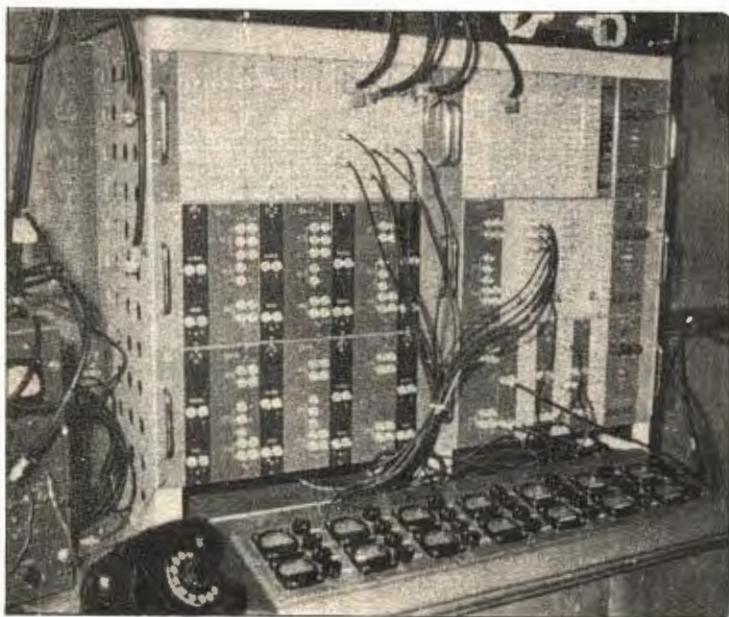


Рис. 12. Внешний вид стойки.

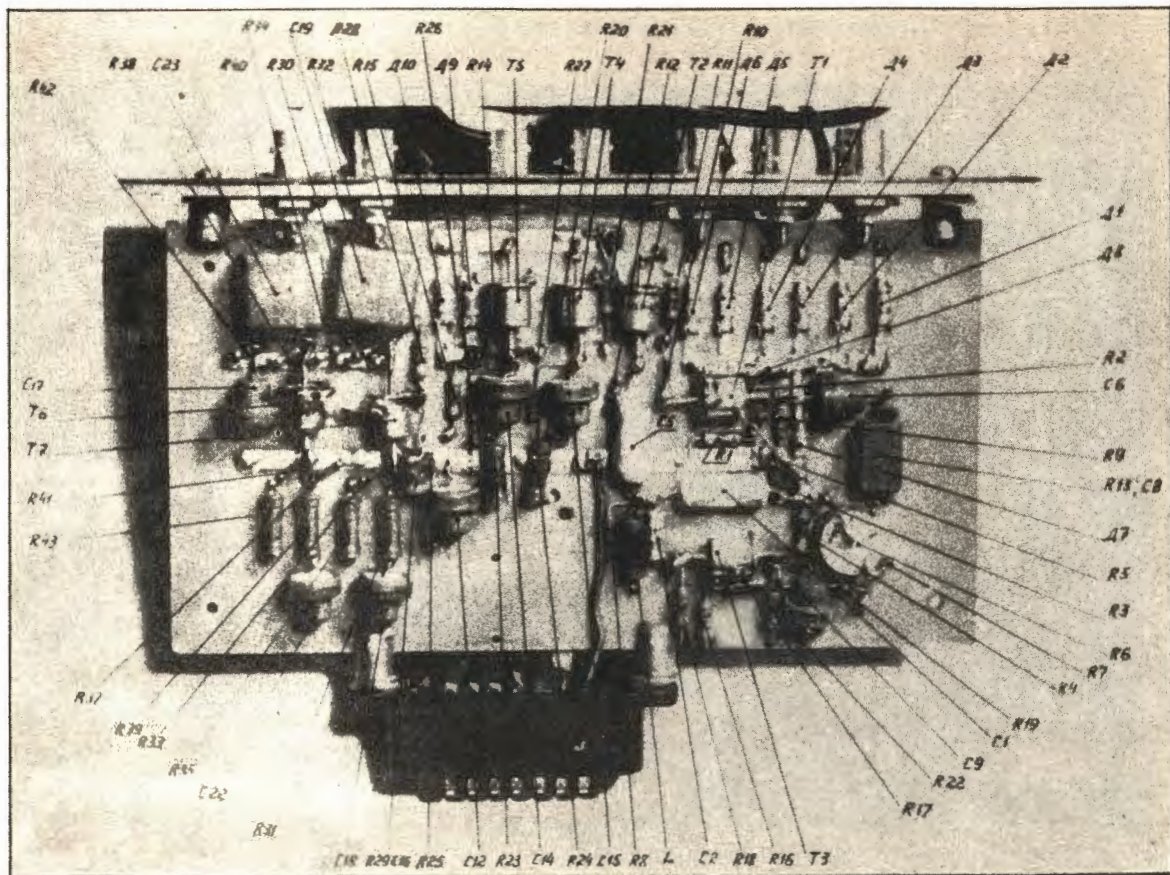


Рис. 13. Расположение деталей на плате схемы совпадения.

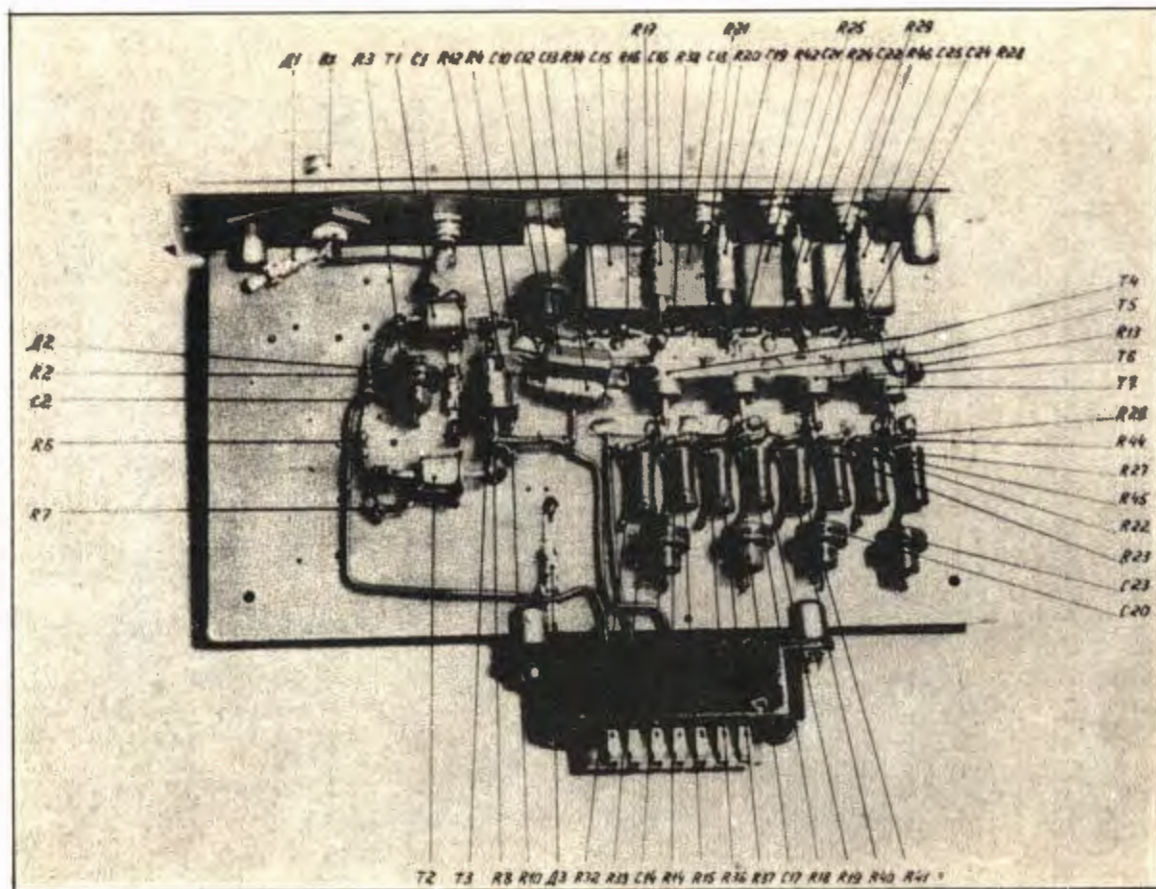


Рис. 14. Расположение деталей на плате усилителя-размножителя.

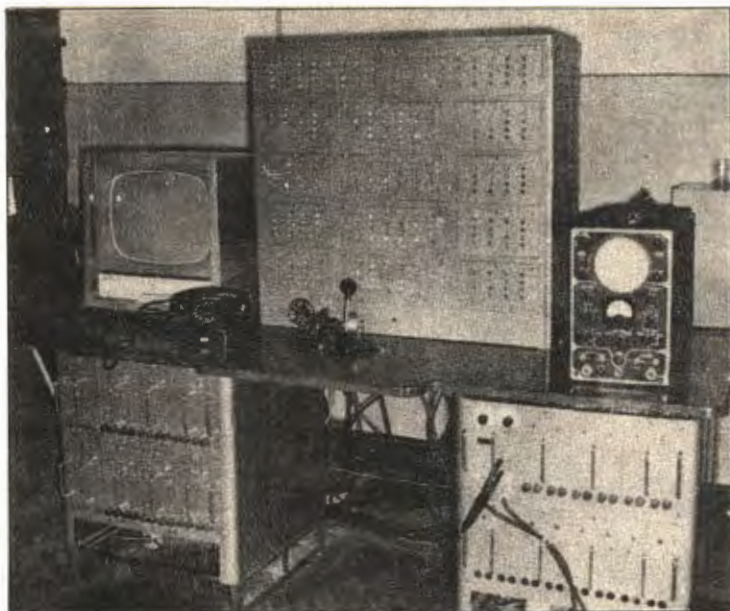


Рис. 15. Пульт управления.

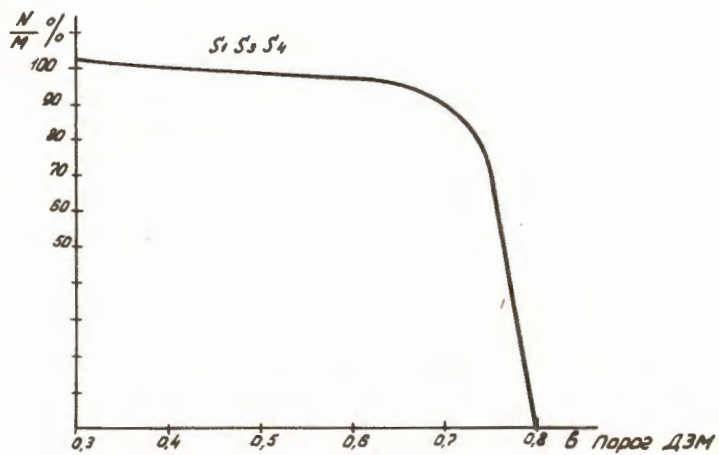
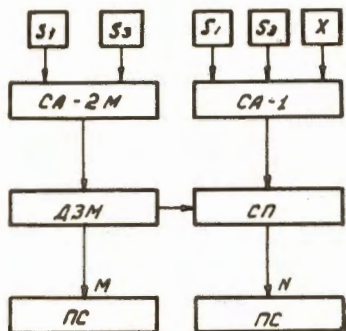


Рис. 16. Зависимость счёта от порога дискриминатора.



S - Сцинтиляционные счетчики
 Π - Черенковский счетчик
 СА-2М - мониторная схема совпадений
 СА-1 - Схема совпадений канала
 ДЗМ - Дискриминатор
 СП - Схема пропускания (вторичная
 схема совпадений)
 ПС - пересчетные устройства
 $X = \Pi$ или S_4

Рис. 17. Блок-схема.

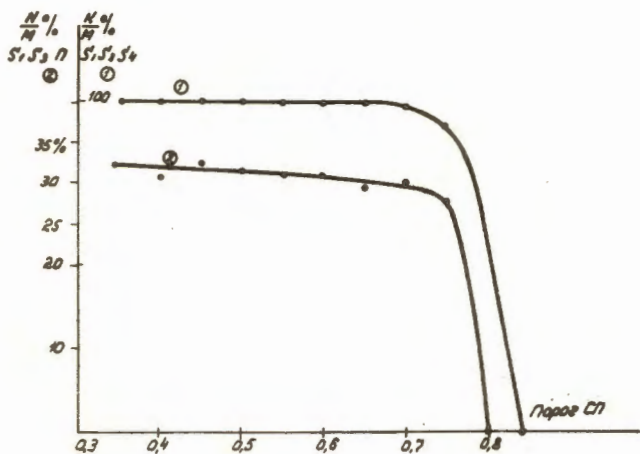


Рис. 18. Зависимость счета от порога схемы пропускания (вторичной схемы совпадения).

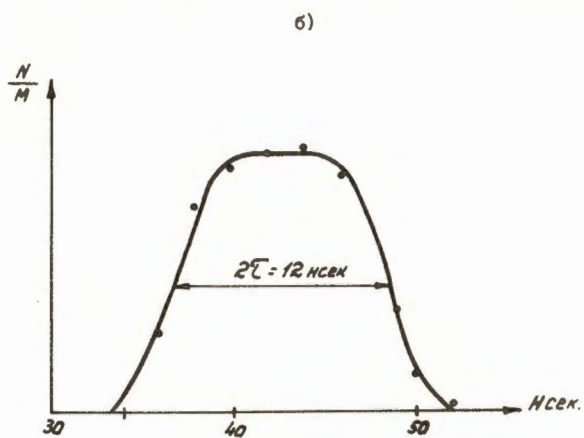
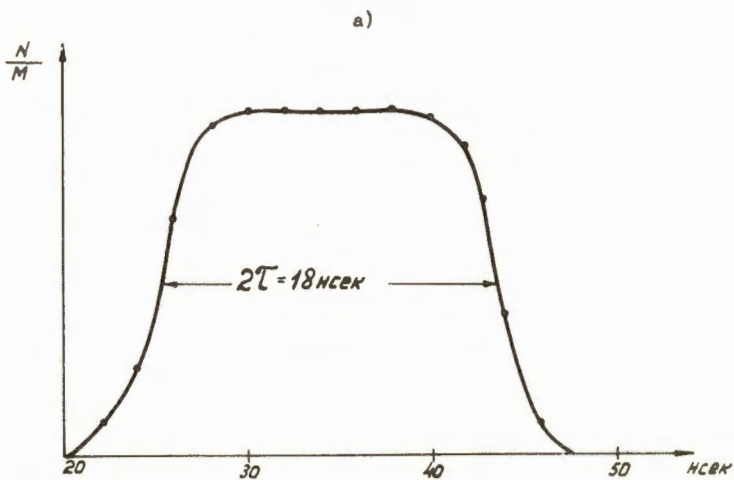


Рис. 19. Кривая задержанных совпадений.

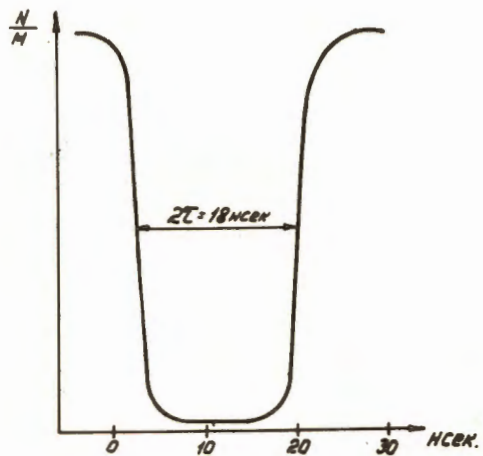


Рис. 20. Кривая задержанных антисовпадений.