

15
ЖС 86

102



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, Ким Ю Сен, В.И.Чивкин

602

ЛАБОРАТОРНЫЕ БЛОКИ
РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК

Дубна 1960 год

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, Ким Ю Сен, В.И.Чивкин

602

932/9 чф.
ЛАБОРАТОРНЫЕ БЛОКИ
РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Приводятся основные результаты работы по созданию электронной аппаратуры широкого применения, выполненной в виде отдельных блоков — элементов. Из блоков простыми способами могут быть собраны целые электронные комплексы, сборка осуществляется в вертикальной стойке, снабженной источниками питания.

Описанию каждого типа аппаратуры предшествует обзор существующих методов решения поставленной задачи. Схемы блоков в ряде случаев являются оригинальными, с более высокими параметрами по сравнению с известными решениями.

Аппаратура предназначена для работы с импульсами до 100 вольт с фронтами 0,1 мксек и выше.

Приведены результаты экспериментальной проверки созданных блоков-элементов, а также отдельные результаты исследования промышленных приборов, близких по электрическим параметрам к блокам — элементам.

В работе помимо авторов участвовали: младший научный сотрудник Приходько Л.Л., механики Афанасьев А.В., Иваненко А.И., Соловьев Б.Н.

1. В в е д е н и е

Электронная аппаратура, используемая в физических экспериментах, чрезвычайно разнообразна и базируется, как правило, на промышленных образцах приборов и на приборах, изготовленных силами экспериментаторов.

Разработанная и выполненная в физических лабораториях аппаратура является, как правило, аппаратурой одноцелевого назначения. По окончании эксперимента она теряет свою актуальность, переделка и приспособление ее к новым задачам либо совсем невозможны, либо требуют больше сил, нежели изготовление новых приборов.

Среди многообразия электронной аппаратуры, предназначенной для разнообразных по своему характеру задач экспериментальной физики, можно выделить, однако, элементы, которые выполняют однотипные функции. Например, усилители электрических импульсов, схемы совпадений, дискриминаторы и т.д. Обобщение

таких элементов в группы целесообразно проводить с учетом временного диапазона, в котором должна работать аппаратура.

В настоящее время физика высоких энергий выдвигает задачи освоения наносекундного и пикосекундного временного диапазонов; наряду с этим не утратили своего значения приборы микросекундного диапазона. Если аппаратура пико- и наносекундного диапазонов, как правило, является специальной, разрабатываемой для конкретных задач, то приборы микросекундного диапазона можно отнести к аппаратуре широкого применения.

Рациональным, по нашему мнению, изменением приборного хозяйства физических лабораторий с целью создания приборов широкого применения явился бы выпуск аппаратуры в виде отдельных стандартизированных небольших блоков-элементов, удобно сочленяющихся друг с другом, как конструктивно, так и электрически, из которых простыми способами можно было бы комплектовать различные электронные аппаратурные комплексы для конкретных задач. Это позволит сравнительно небольшими силами осуществить необходимый запас таких элементов в лабораториях, что, во-первых, ускорит наиболее трудоемкие подготовительные работы по созданию аппаратуры, во-вторых, простой заменой вышедшего из строя элемента позволит осуществить ремонт экспериментальной установки, в-третьих, даст возможность использовать те же блоки в другом сочетании в последующих работах.

Компоновка многоблочной аппаратуры из промышленных образцов приборов, входящих в так называемую "линейку" [Л 1], связана с рядом трудностей. Во-первых, приборы "линейки" разработаны по принципу максимальной универсальности, в результате чего элементы "линейки" получились неоправданно сложными, громоздкими и дорогими. Компоновка из таких приборов комплексных электронных установок неудобна из-за габаритов, а также из-за необходимости использовать весь сложный прибор, если нужен лишь отдельный его узел.

Во-вторых, технические параметры ряда приборов, разработка которых велась несколько лет назад, устарели и не удовлетворяют возросшим требованиям к такого сорта аппаратуре.

В-третьих, "линейка" приборов не является полной, что требует в каждом отдельном случае создания дополнительных узлов и блоков со своими источниками питания.

Достаточно широкая унификация элементов физической аппаратуры является задачей солидного конструкторского бюро. Специфика задач отдельной лаборатории (института) выдвигает необходимость стандартизации лишь некоторой части приборного хозяйства более узкого внутрилабораторного применения. Однако, решение этой задачи даже внутри лаборатории, несомненно, будет иметь как экономический эффект, так и значительно расширит возможности экспериментатора и сократит сроки подготовки эксперимента.

Отсутствие промышленных унифицированных элементов физической аппаратуры и необходимость создания электронной аппаратуры для экспериментов, проводимых в нашей лаборатории, побудило нас своими силами провести внутрилабораторную стандартизацию электронных блоков-элементов достаточно широкого применения, из которых простыми методами сборки можно компоновать целые установки.

При этом мы стремились к максимальной конструктивной простоте.

В основу принятой стандартизации были положены следующие принципы:

1. Стандартизуется основной узел, при этом уровень стандартизации, по нашему мнению, не должен спускаться до отдельных схем, блок должен являться в то же время самостоятельным простым элементом (усилитель, дискриминатор и т.д.).

2. Блоки-элементы выполняются на шасси нескольких стандартных размеров без источников питания.

3. Компоновка блоков проводится в вертикальной лабораторной стойке, которая снабжается источниками питания цепи накала : $\sim 6,3$ вольт; цепи анодного питания : $+ 300$ и $+150$ вольт.

4. Соединение между блоками осуществляется при помощи разъемов.

5. Предусматривается возможность небольших схемных изменений и дополнений на входе и выходе блоков путем пайки; например, изменение входного сопротивления, постоянной времени дифференцирования, исключение катодного повторителя и т.д.

6. Первоначально стандартизируются только блоки широкого применения.

Если требуется дополнительная для каждого отдельного случая аппаратура, то она конструируется с учетом принятой компоновки и номиналов питания.

7. Блоки предназначены для работы с импульсами, фронты которых лежат в диапазоне от 0,1 мксек и выше. Блоки-элементы создавались с учетом последних достижений в области физического приборостроения и являются в большинстве случаев лучшими по своим техническим характеристикам, нежели известные промышленные приборы.

Из разработанных блоков было собрано несколько установок, таких как большой детектор нейтронов, в котором использовалось суммирование амплитуд от 4-х фотоумножителей, отбор полезного сигнала по совпадениям и амплитудам, усиление и формирование по 5 счетным каналам. В установку вошли 8 блоков и два блока питания.

В другой установке - "большой $n-\gamma$ детектор" использовалось 11 стандартных блоков.

Опыт создания подобных установок и работа с ними полностью подтвердили целесообразность принятой стандартизации. Вероятно, основные принципы и схемные решения будут полезны физическим лабораториям, имеющим дело с временными характеристиками порядка десятых долей мсек.

Ниже приводятся описания, технические характеристики основных блоков-элементов и результаты экспериментальной проверки работы блоков,

11. Импульсные усилители

Одним из основных элементов регистрирующей физической аппаратуры являются усилители электрических импульсов. Многообразие задач, решаемых с помощью усилителей, обуславливает разнообразие требований к таким устройствам и методы схемных решений.

При определении параметров стандартных блоков усилителей было решено ориентироваться на максимально простые усилители с коэффициентом усиления до 1000. Такое усиление удовлетворяет основным задачам при работе с фотоумно-

жителями, а также не требует применения противошумовых специальных мер, связанных с усложнением первых каскадов усилителя. Большой коэффициент усиления достигается включением двух блоков последовательно, либо работой со специальными предусилителями.

Частотные характеристики усилителей выбирались из соображений временного диапазона работы стандартных блоков и возможностей практического осуществления схем усилителей на распространенных лампах. Усилители с собственным временем нарастания около 0,1 мксек могут быть выполнены без особых схемных усложнений, при этом выходное напряжение усилителей может иметь величину порядка 100 вольт. Учитывая, что для осуществления выходного каскада, способного обеспечить указанное выходное напряжение обеих полярностей, требуется довольно сложная схема, и что в экспериментальных установках усилители работают, как правило, с импульсами только одной полярности (положительными или отрицательными) целесообразно при стандартизации ориентироваться на усилители с однополярным выходным импульсом.

Наконец, необходимо определить требования, предъявляемые к усилителям в отношении работы с повышенными нагрузками по входу и неперегружаемости при больших входных сигналах. Как показали исследования (см. ниже), усилители без особых специальных мер удовлетворительно работают до нагрузок

$\sim 5 \cdot 10^4$ импульсов в секунду. В отношении неперегружаемости усилителей можно заметить следующее. Во-первых, при относительно небольших нагрузках ($10^3 - 10^4$ импульсов в секунду) и сравнительно коротких однополярных импульсах (длительностью до нескольких микросекунд) формировка на входе усилителя не обязательна. Во-вторых, во многих случаях входные импульсы имеют

длительный спад по сравнению с передним фронтом, это позволяет формировать импульсы почти без выбросов обратной полярности. В таких случаях можно осуществить неперегружающиеся усилители без значительных усложнений схем, ввиду чего оправдывается включение такого усилителя в группу стандартизированных усилителей широкого применения.

Неперегружающиеся усилители со специальным формированием (например, с двойным дифференцированием), применяемые для конкретных спектрометрических целей, целесообразно в число стандартных блоков широкого применения не включать.

На основании общей идеи стандартизации блоков и высказанных выше замечаний относительно параметров усилителей в качестве стандартизированных были приняты следующие блоки:

а) Основной усилитель (типа У-2) с положительным выходным сигналом до 100 вольт и собственным временем нарастания меньше 0,1 мксек (см. технические характеристики).

б) Учитывая, что до настоящего времени промышленность не выпускает неперегружающихся усилителей, было решено выполнить неперегружающийся усилитель (типа У-4) по несколько усложненной по сравнению с У-2 схеме (см. технические характеристики). Этот усилитель с успехом применяется при работе с указанными выше входными импульсами (длительностью не более несколько мксек, пологим задним фронтом);

в) Наконец, для получения выходных импульсов отрицательной полярности предусматриваются два типа усилителей: простой (типа У-1) и неперегружающийся (типа У-3) (см. технические характеристики).

Последние усилители используются сравнительно редко, наш опыт показывает, что на 10 усилителей У-2 приходится 1-2 усилителя У-1 (У-3).

1. Методы построения импульсных усилителей

Обзор

Среди импульсных усилителей, используемых в экспериментальной физике, наиболее широкое распространение получили усилители, состоящие из отдельных секций "двоек" и "троек" с отрицательной обратной связью [Л2 - Л6]. Усилители, включающие в себя несколько таких простых секций (как правило, не больше 3,4), обеспечивают усиление импульсов с фронтом нарастания $t_f = 0,1 - 0,3$ мксек при коэффициенте усиления $K = 10^3 - 5 \cdot 10^4$. Усилители надежно работают при отсутствии перегрузок по входу и загрузках до $10^3 - 10^4$ импульсов в секунду.

Линейность амплитудной характеристики таких усилителей определяется, как правило, выходной секцией. Заслуживает внимания выходная усилительная секция, описанная в [Л7], обладающая достоинством в отношении улучшения линейности амплитудной характеристики в широких динамических диапазонах при выходных импульсах положительной полярности. В анодной цепи выходной лампы включена индуктивность, обеспечивающая импульсное повышение напряжения анодного питания выходной лампы. Вместо индуктивности для тех же целей в [Л8,9] применены диоды, однако с точки зрения обеспечения крутого фронта нарастания выходных импульсов лучшей является схема [Л7]. Осуществление выходной секции для импульсов отрицательной полярности достигается без особых трудностей. Схемы [Л8,10], являющиеся, по существу, видоизменением схемы двухэтажного катодного повторителя, обеспечивают выходное напряжение до 125 в при нелинейности меньше 1%. В [Л10] подчеркнуто, что такая усилительная схема отличается низкоомным выходным сопротивлением. Однако проверка приведенного выражения показывает, что выходное сопротивление такой схемы имеет одну и ту же величину по сравнению с обычной "двойкой" с отрицательной обратной связью.

Для предотвращения перегрузки усилителей предложен ряд методов. Одним из простых методов является метод ограничения амплитуд.

Амплитуду сигналов проще всего ограничить выбором сеточного смещения лампы так, чтобы она запиралась, если амплитуда сигналов превосходит допустимые пределы [Л11]. Уровень ограничения в этом случае необходимо выбрать достаточно низким, чтобы предотвратить появление сеточного тока в последующем каскаде. Отсюда вытекает необходимость выбирать рабочую точку вблизи потенциала запирающего, что ухудшает линейность амплитудной характеристики.

Метод ограничения амплитуды с помощью диода, включенного между анодом лампы и делителем напряжения, является более удобным [Л11]. Однако, при этом уровень ограничения зависит от тока лампы и от степени загрузки по входу усилителя.

Видоизмененная схема диодного ограничения [Л10], основанная на включении добавочного катодного повторителя, в значительной степени устраняет эти недостатки.

Можно избежать отрицательного влияния перегрузок усилителя путем уменьшения постоянной времени разряда конденсатора межламповой связи.

Для этого применяется низкоомное сеточное сопротивление, приблизительно равное сопротивлению сетка-катод лампы при сеточном токе (1 - 2 ком) [Л11,12]. Однако, из-за параллельного включения этого сопротивления к анодной нагрузке предыдущей лампы, уменьшается коэффициент усиления каскада.

Применение схемы восстановления постоянной составляющей с помощью диода [Л13] предотвращает уменьшение коэффициента усиления. Однако, из-за значительного увеличения прямого сопротивления диода вблизи нулевой точки точного восстановления нулевой линии не получается.

К третьему методу предотвращения перегрузки можно отнести применение нелинейной обратной связи.

В работе [Л13] использована схема "усиленного диода", основанная на однополярной отрицательной обратной связи по переменной составляющей между анодом и сеткой лампы. Однако, такая схема обладает пониженной стабильностью работы вследствие наличия диода в цепи обратной связи [Л.14]. Кроме того, из-за прохождения большого тока в момент отпириания диода, появляется дополнительное удлинение заднего фронта импульсов.

Включение диода между анодами в двухкаскадной усилительной секции дает возможность получения односторонней отрицательной обратной связи с определенным порогом. Вследствие отсутствия емкости в цепи диода затягивание заднего фронта не возникает. Стабильность коэффициента из-за наличия диода в цепи обратной связи остается также невысокой. Кроме того, постоянство порога зависит в значительной степени от стабильности потенциалов на анодах ламп.

В неперегружающихся усилителях часто применяются схемы дифференциального усилителя с катодной связью.

"Двойка с длинным хвостом" [Л15], состоящая из двух дифференциальных каскадов (каждый каскад выполнен на двойном триоде), охваченная отрицательной обратной связью, обеспечивает неперегружаемость от входных импульсов любой полярности. Частичная положительная обратная связь внутри секции позволяет улучшить фронт нарастания выходного импульса (до 0,1 мксек).

Недостатки этой секции заключаются в небольшом коэффициенте усиления ($K=10$) и непригодности к применению в качестве выходного каскада усилителя из-за трудности получения большого выходного напряжения.

Для усиления импульсов только положительной полярности в [Л16] используется секция, содержащая только один дифференциальный каскад и пентонный усилитель. Применение пентода позволяет несколько повысить коэффициент усиления ($K=25$) и дает возможность построить выходную секцию с большим выходным напряжением.

В усилителях постоянного тока перегрузка устраняется из-за отсутствия разделительных конденсаторов между каскадами.

Такой принцип был применен в работе [Л17]. В этом случае стабильность работы усилителя достигается за счет увеличения глубины обратной связи, т.е. за счет уменьшения коэффициента усиления схемы.

В докладе [Л18] было сообщено, что выполнен неперегружающийся усилитель, построенный на принципе двойственной отрицательной обратной связи - по постоянному и по переменному току.

Подобный усилитель был описан в [Л14]. В этом усилителе обеспечивается сравнительно устойчивая работа по постоянному току при большом коэффициенте усиления для импульсов ($K=200$). Однако, схемы усилителей с использованием гальванических связей получаются достаточно сложными.

Из рассмотрения методов построения неперегружающихся импульсных усилителей можно сделать следующие замечания.

С точки зрения предотвращения перегрузки метод исключения разделительного конденсатора является наиболее эффективным. Однако, при этом возникают трудности, связанные с работой усилителя в режиме постоянного тока.

Использование дифференциального усилителя обеспечивает устойчивую работу, но в этом случае коэффициент усиления секции сравнительно мал.

При небольших нагрузках и отрицательных входных импульсах можно считать удовлетворительным решением применение метода диодного ограничения с катодным повторителем в схеме обычной "двойки" или "тройки".

При использовании разделительных емкостей в усилителях однополярные импульсы могут передаваться только с сопровождением некоторого изменения нулевой линии. Это явление вызывает сдвиг пика в дифференциальных спектрах при амплитудном анализе. Для устранения такого нежелательного явления наиболее простым методом является применение схемы восстановления постоянной составляющей [Л16].

Для спектрометрических усилителей при больших скоростях счета вопрос о формировании импульсов имеет важное значение. Если входные импульсы имеют относительно крутой спад заднего фронта, то возникает трудность, связанная с появлением обратного выброса. Для уменьшения амплитуды обратных выбросов в [Л16] применялась линия формировки, нагруженная на сопротивление, не равное волновому сопротивлению линии. Эффективный метод компенсации обратного выброса был предложен в докладе [Л20], но он нуждается в сравнительно сложной схеме.

За последние годы получил распространение метод, состоящий не в устранении обратного выброса, а в таком формировании импульсов, которое предусматривает получение двухполярного импульса. Метод формирования импульсов в виде двойного дифференцирования, предложенный Fairstein'ом [Л12], является эффективным для устранения смещения пика. При двойном дифференцировании получается ряд преимуществ: отсутствует изменение постоянной составляющей при разных нагрузках; уменьшаются трудности, связанные с определением места включения дифференцирующих цепей; уменьшаются шумы и микрофонный эффект усилителя.

Описание неперегружающегося усилителя с двойным дифференцированием впервые было опубликовано в [Л24], после этого был разработан более совершенный усилитель [Л12], который прекрасно разрешает пик, соответствующий малой энергии при наличии импульсов гораздо большей энергии, при нагрузках до 10^5 имп/сек. В качестве дифференцирующих цепей применены специально подобранные линии формировки.

Двойное дифференцирование может быть достигнуто и при помощи RC -цепей. Неперегружающийся усилитель, построенный на двойном RC -дифференцировании, описан в [Л20]. Для обеспечения равенства площадей верхней и нижней половинок

сформированных биполярных импульсов, применена диодная схема восстановления постоянной составляющей после первичного дифференцирования.

В докладе [Л18] отмечено, что сочетание неперегружающегося усилителя, основанного на двойственной отрицательной обратной связи в схеме усилителя постоянного тока, с методом двойного дифференцирования может привести к удовлетворительному результату.

Заслуживает внимания ряд докладов о методах формирования [Л19 - 23]. В [Л21] был предложен метод формирования с тройственной структурой, который в большой степени компенсирует влияние спада вершины импульсов, происходящего из-за наличия RC -переходных цепей. Однако, такой метод формирования не получил распространения из-за его сложности.

Итак, при построении усилителей, предназначенных для амплитудного анализа при больших нагрузках, наиболее эффективным является применение двойного дифференцирования. При этом усилитель должен быть рассчитан на работу с биполярными импульсами, что значительно усложняет его схему. С другой стороны, усилители с двойной формировкой успешно работают лишь с входными импульсами определенной формы, ввиду чего их применение в значительной степени ограничено.

2. Схема усилителей

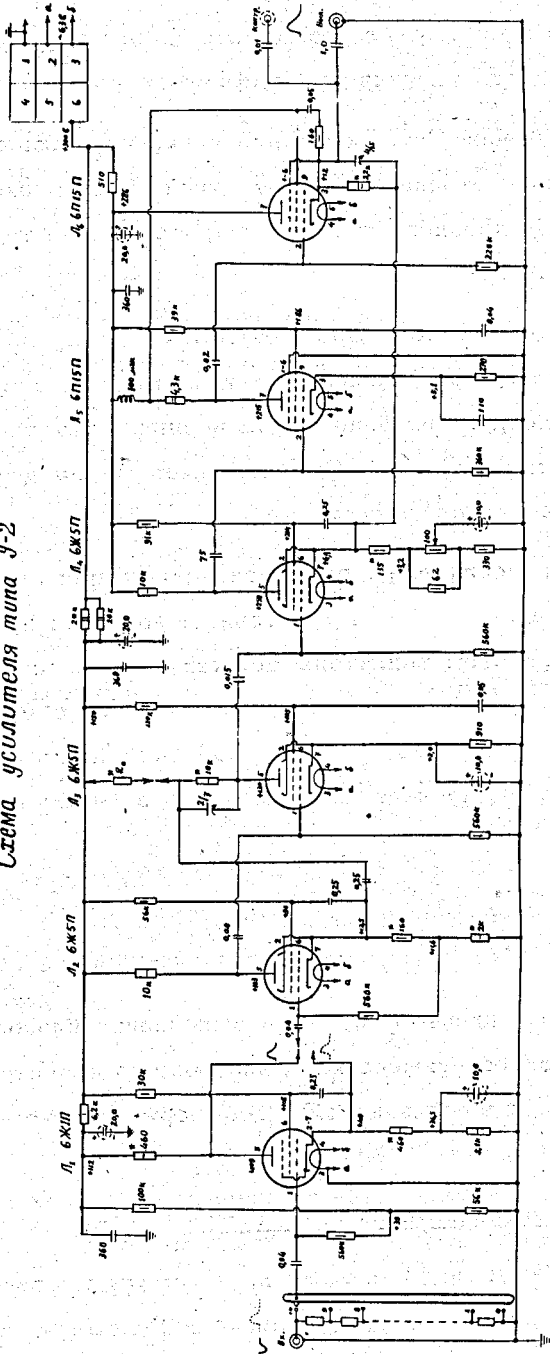
При выборе конкретных схемных методов выполнения блоков усилителей, предназначенных для широкого применения, было решено ориентироваться на простые схемы без применения специальных методов формирования в блоке [Л12,21].

Основной усилитель (У-2)

Основной усилитель У-2 (рис.1) состоит из двух усилительных секций. Для улучшения линейности амплитудной характеристики в выходном каскаде применена схема импульсного повышения напряжения питания [Л7].

Фазоинвертор (L_1) выполнен на входе усилителя, так что требования к его линейности легко выполняются. Он обладает амплитудной характеристикой, линейной до $U_{вых.} = 1,5$ в (нелинейностью меньше 0,5%) с $t_{\varphi} < 0,02$ мксек и имеет $K=0,7$

Схема усилителя типа У-2



- Примечания:
- 1) — обрешетка вакуумных трубок,
 - 2) и индукторы с номиналом Гр,
 - 3) — индукторы 35 ом (тип К100) или 2,65 ком (тип К110).

Рис. 1

Схема регулятора ламп (для 5-ступенчатого)

Схема регулятора ламп (для 5-ступенчатого)

(рис.2). Для компенсации влияния разброса параметров лампы на работу фазоинвертора в катодную цепь включено сопротивление 5,1 ком. В зависимости от полярности входного сигнала вход первого каскада усилителя подключается к анодной (при отрицательном входном сигнале) или катодной нагрузке (при положительном входном сигнале) лампы L_1 .

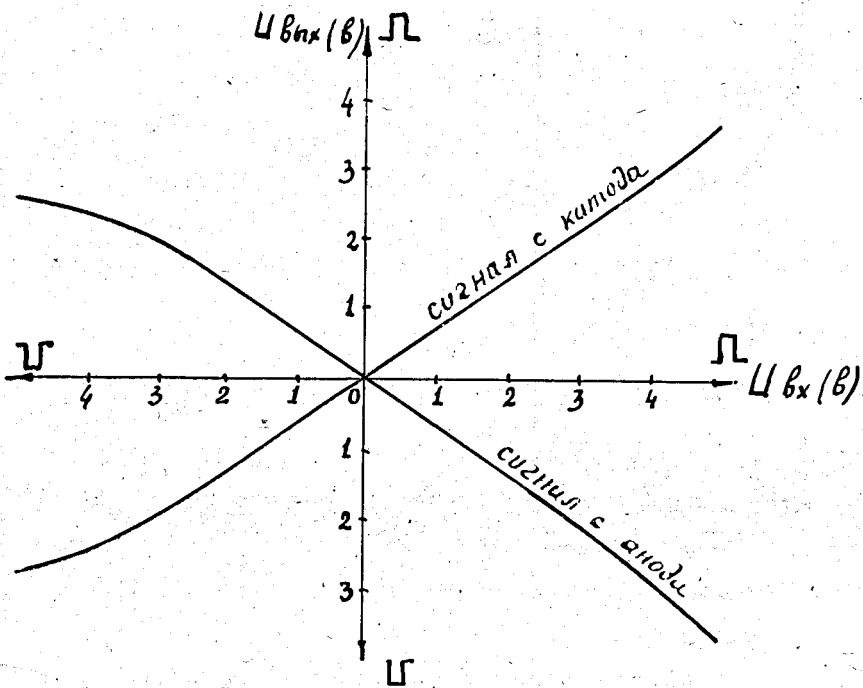


Рис. 2. Амплитудная характеристика фазоинвертора.

Двойка с отрицательной обратной связью, примененная в первой усилительной секции, выполнена на двух лампах L_2-L_3 . Коэффициент усиления этой секции определяется сопротивлением R_o : при $R_o = 90$ ом - $K = 100$; при $R_o = 2,45$ ком - $K = 10$. Линейный диапазон амплитудной характеристики при нелинейности меньше 1% находится в пределах до 10 в по выходу (рис.3). Время нарастания этой двойки в области $U_{вх} \leq 10$ в составляет $t_{\phi} \leq 0,07$ мксек.

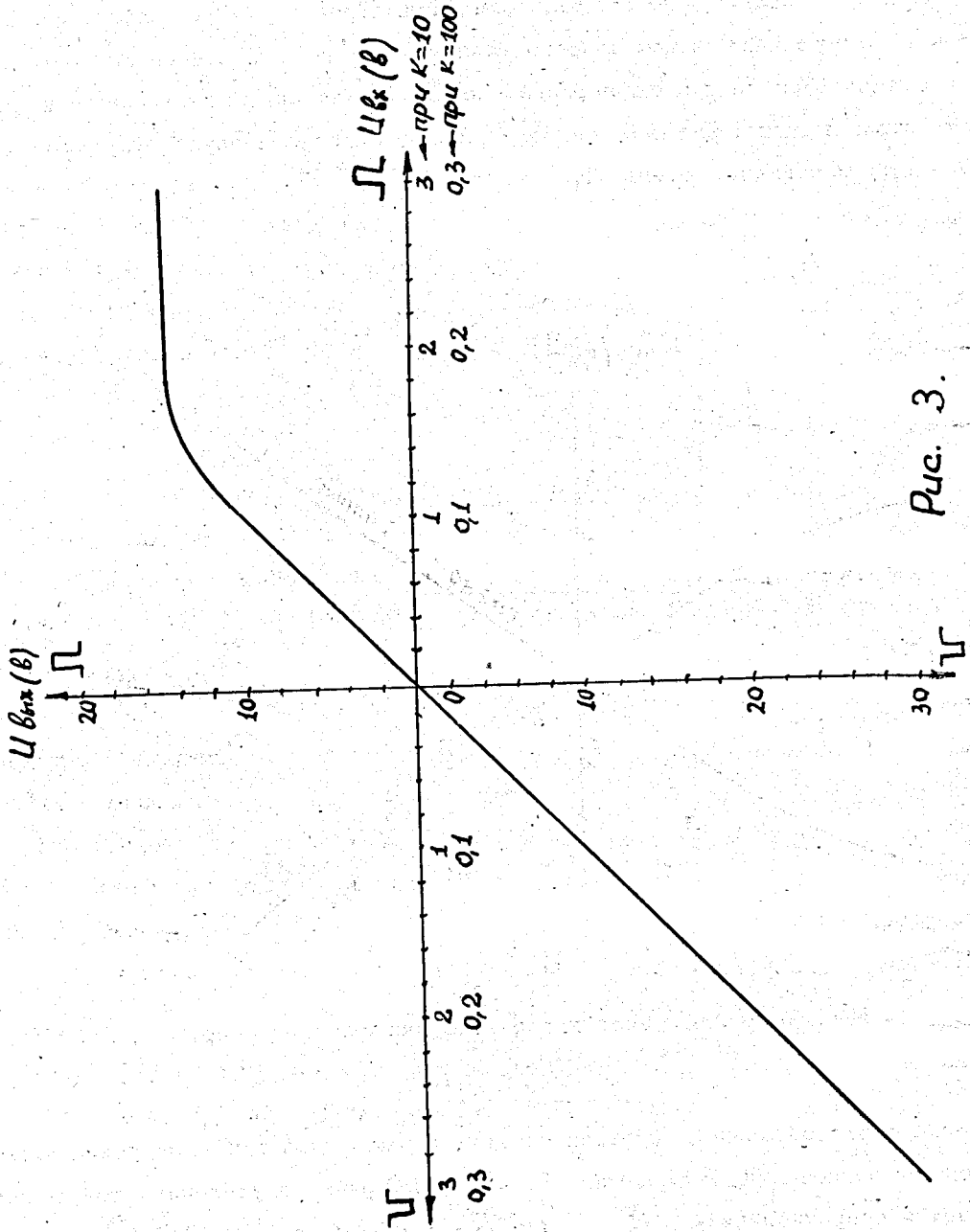


Рис. 3.

Амплитудная характеристика двойки.

Выходная секция состоит из трех ламп $L_3 - L_6$. Эта секция обеспечивает линейную амплитудную характеристику в пределах $U_{\text{вых}} \leq 125 \text{ В}$ $t_{\text{ф}} = 0,05$ мсек. Коэффициент усиления выходной секции выбран несколько больше 10, т.е. $K=14,3$, чтобы компенсировать коэффициент усиления в пределах порядка $\pm 10\%$.

Ступенчатая регулировка коэффициента усиления осуществляется делителем, включенным на входе усилителя. Применяются два типа делителей: делитель типа А, позволяющий изменять коэффициент усиления по десятичной системе и делитель типа Б, меняющий усиление приблизительно по двоичной системе (см. технические характеристики). Первый делитель состоит из 10 сопротивлений типа БЛП-0,25 по 510 ом, делитель типа Б выполнен из 10 сопротивлений 2500-1000-500-500-250-100-50-50-25-25 ом.

Максимальный коэффициент усиления усилителя фиксируется на $K = 100$ или $K = 1000$. Переключение от одного коэффициента усиления ($K=100$) на другой ($K=1000$) осуществляется перепайкой сопротивления R_0 в анодной цепи L_3 .

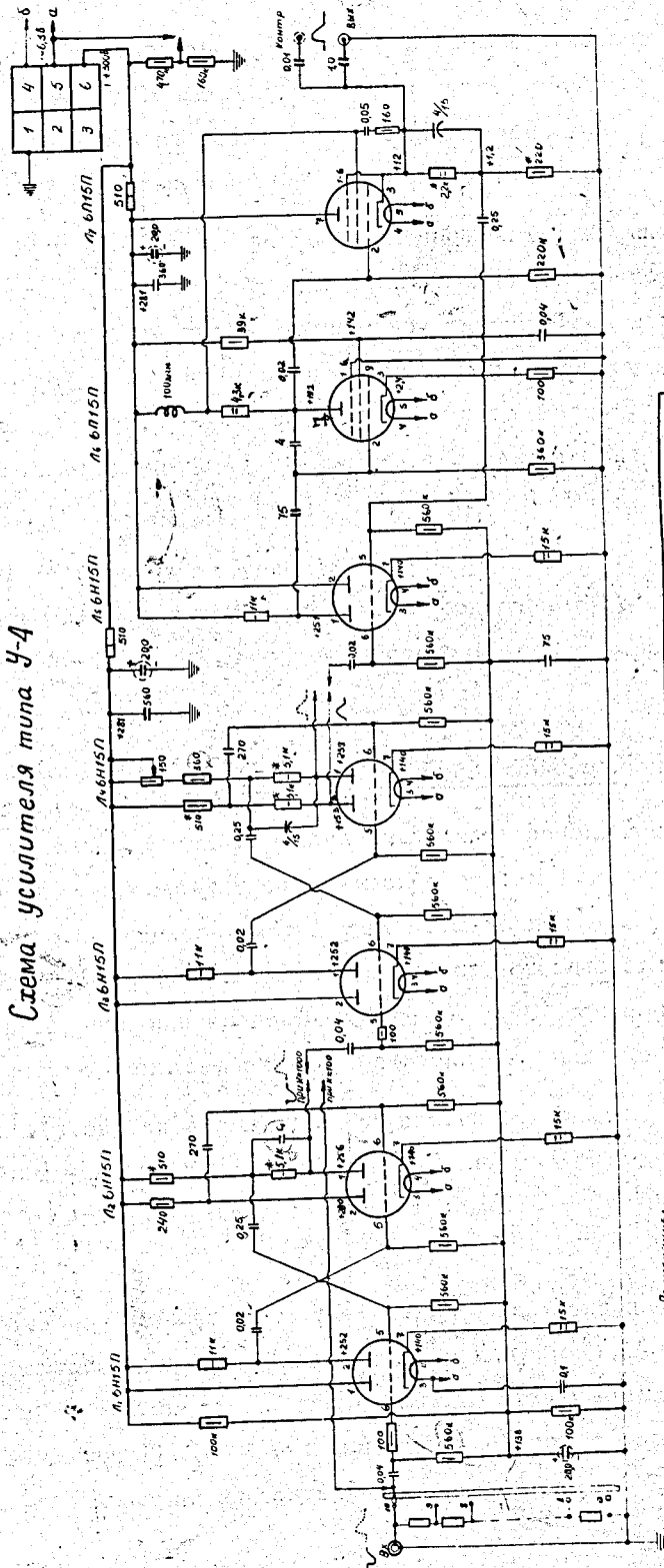
Неперегружающийся усилитель (У-4)

Основной неперегружающегося усилителя является схема "двойки с длинным хвостом" [Л15]. Так как такая двойка обладает сравнительно небольшим коэффициентом усиления ($K = 10$), применяются две таких секции. При этом одну секцию целесообразно видоизменить для того, чтобы исключить надобность в применении в блоке фазоинвертора. В качестве выходной секции использован так же, как и в усилителе У-2, метод импульсного повышения анодного питания.

Схема неперегружающегося усилителя У-4 приведена на рис. 4. Первая секция усилителя выполнена на лампах $L_1 - L_3$ и имеет $K=10$ $t_{\text{ф}} = 0,07$ мсек при $U_{\text{вых}} \leq 10$ в. Линейный участок амплитудной характеристики до $U_{\text{вых}} = 15$ в (при нелинейности меньше 0,5%).

Вторая секция, выполненная на $L_3 - L_4$, имеет два выхода, на которых получаются импульсы, равные по амплитуде и противоположные по полярности. В зависимости от полярности входных импульсов положительный сигнал на последующую выходную секцию снимается с одного из анодов лампы L_4 . Переменное сопротивление (150 ом) в аноде L_4 предназначается для подрегулировки коэффициента

Схема усилителя типа У-4



Примечание:
 1) — обозначает величины номиналы,
 2) — обозначает с точностью 1%,
 3) — обозначается в пределах ± 10%.

рис 4

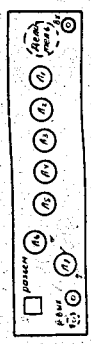


Схема расположения ламп/вводов в сторону монтажа.

усиления ($\pm 10\%$). Коэффициент усиления, время нарастания и линейный участок амплитудной характеристики - такие же, как и у первой секции.

Выходная секция ($L_5 - L_7$) отличается от той же секции У-2 дифференциальным включением лампы L_5 и некоторым изменением режима работы лампы L_6 . Секция имеет $K=10$, $t_{\varphi} = 0,06$ мксек при $U_{\text{вых}} \leq 100$ в. Выходное напряжение линейно до $U_{\text{вых}} = 125$ в (см. технические характеристики).

Переключение максимального коэффициента усиления всего усилителя от $K=1000$ на $K = 100$ осуществляется исключением первой секции, для этого входной сигнал с делителя подается на сетку L_3 .

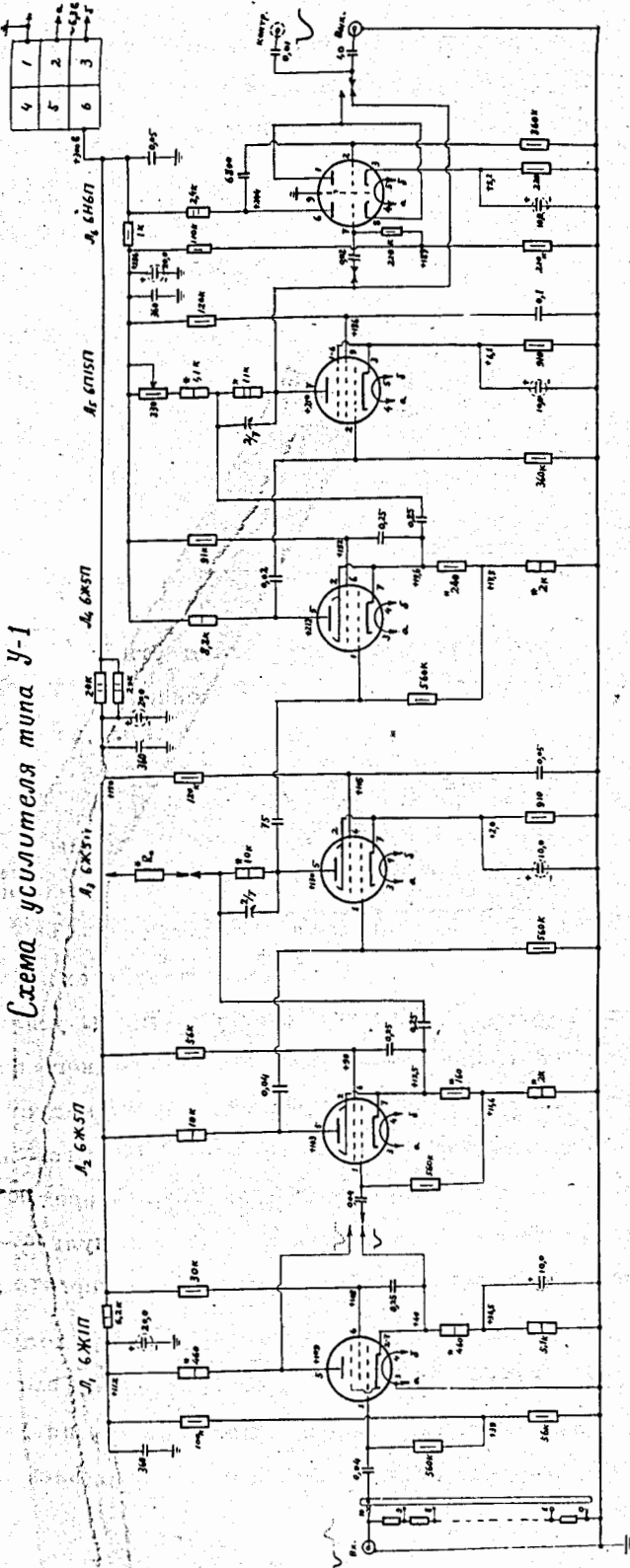
Усилители У-1, У-3.

Для расширения области возможных применений стандартных блоков были разработаны усилители с отрицательным выходным напряжением. Эти усилители реже применяются и изготавливаются в меньшем количестве, нежели усилители У-2 и У-4.

Схема усилителя У-1 приведена на рис. 5 и отличается от схемы У-2 лишь выходной секцией. Выходная секция У-1 состоит из двойки с отрицательной обратной связью на лампах $L_4 - L_5$. Линейное выходное напряжение $U_{\text{вых}} \leq 160$ в ($K=14,3$, $t_{\varphi} = 0,05$). Для подрегулировки коэффициента усиления включено в анодную цепь L_5 переменное сопротивление (330 ом). В случае работы усилителя на емкостную нагрузку наблюдается значительное затягивание заднего фронта (при $C_{\text{нагр.}} = 150$ пф - $t_{\text{затяг.}} = 1$ мксек). Для устранения такого недостатка был предусмотрен выходной катодный повторитель ($K 0,95$). При этом линейный участок выходного напряжения сокращается до $U_{\text{вых}} \leq 110$ в. Переключение максимального коэффициента усиления и полярности входного импульса осуществляется так же, как и в усилителе типа У-2 (см. технические характеристики).

Схема неперегружающегося усилителя У-3 с отрицательным выходным импульсом приведена на рис. 6. Первая секция У-3 (лампы $L_1 - L_2$) выполнена так же как и вторая секция У-4 ($L_3 - L_4$ рис. 4). Выходная секция У-3 (лампы $L_3 - L_6$) выполнена по схеме выходной секции У-1 с добавлением ограничи-

Схема усилителя типа У-1



- Примечание:
- 1) — обозначает возможность пеработки,
 - 2) X — подмагничивание с током около 1 мА,
 - 3) R_к — подмагничивание 96 мВ (при K=1000) или 2,45 мВ (при K=100).

Рис. 5

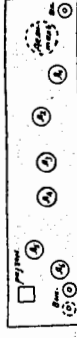


Схема релеуправления ламп. (Вуз со старыми лампами)

теля амплитуд на лампе L_4 [Л 10] и некоторым изменением режима работы ламп. Ограничение амплитуд в данной схеме производится на уровне 7 - 9 вольт. Выходная секция имеет линейный участок амплитудной характеристики в пределах до 110в. Максимальный коэффициент усиления подбирается перепайкой сопротивления обратной связи R_0 в анодной цепи L_5 . В зависимости от полярности входного импульса сигнал с первой секции снимается с одного из анодов лампы L_2 .

3. Работа усилителей при повышенных нагрузках и перегрузках

При испытании усилителей возникает вопрос о методике измерения загрузочных и перегрузочных характеристик.

В работе [Л10] описан простой метод измерения перегрузочных характеристик. На вход усилителя одновременно подавались полезные и перегружающие импульсы от двух генераторов, работающих на разных частотах.

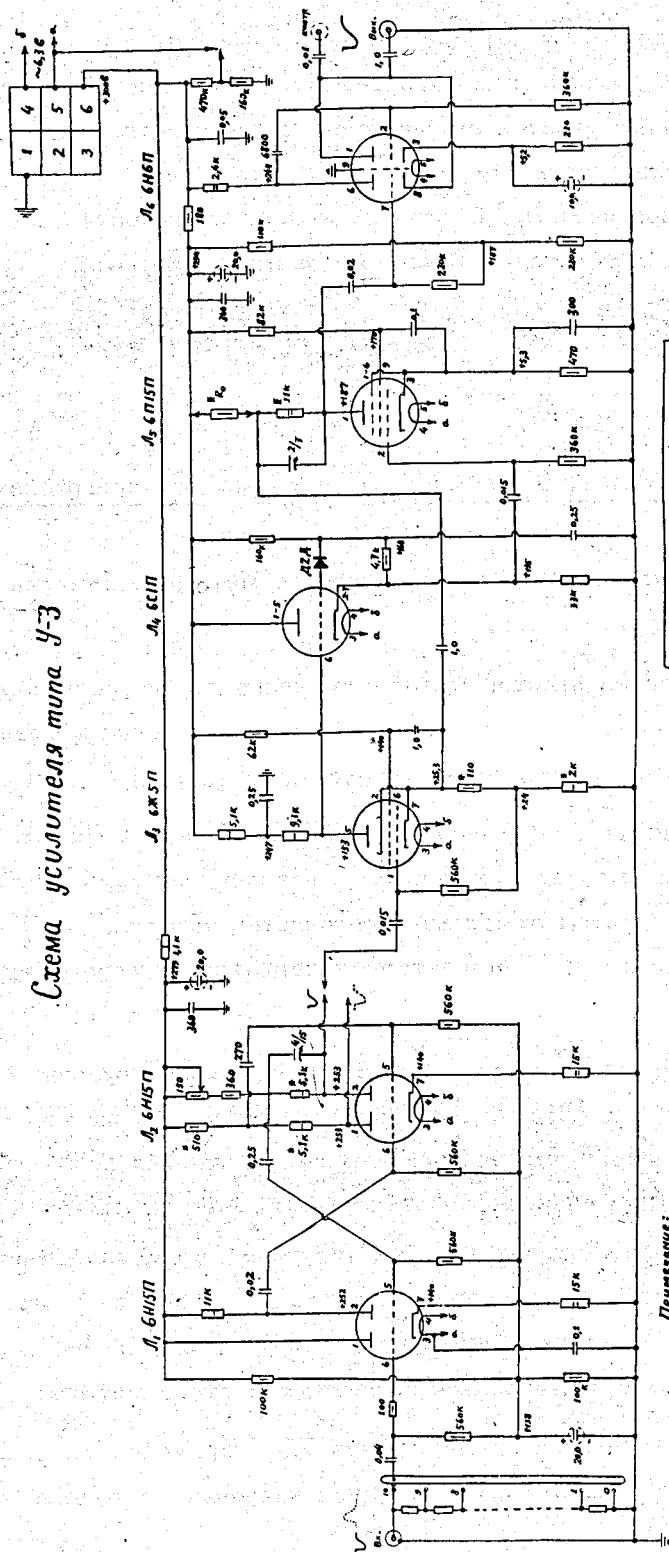
Проверкой постоянства коэффициента усиления для полезных импульсов при наличии перегружающих импульсов оценивалась непергружаемость усилителя. Однако, в этой работе не указан метод измерения постоянства коэффициента усиления для полезных импульсов, размытых по амплитуде вследствие их совпадений с перегружающими сигналами.

Более конкретный и рациональный метод измерения загрузочных и перегрузочных характеристик описан в [Л16]. Загрузочные свойства усилителя проверялись с источником Co^{60} , определялась зависимость изменения положения фотопиков 1,17 и 1,33 Мэв, а также разрешение фотопика 1,33 Мэв от скорости счета.

Перегрузочные свойства усилителя были изучены путем определения смещения пика рентгеновского излучения препарата Cs^{137} (32 Кэв) при наличии излучения много большей энергии (γ -излучение 661 Кэв). Неизбежное влияние характеристик фотоумножителя является недостатком этого метода.

Такого отрицательного влияния можно избежать применением дополнительного тракта, как это сделано в работе [Л12]. При измерении загрузочных характеристик

Схема усилителя типа УЗ



Примечание:
 1) — обозначение вакуумных приборов,
 2) R — обозначение с мощностью 1%,
 3) R₀ обозначение 31 ом (при K=1000) или 3,16 ом (при K=100).

Рис. 6

на вход усилителя подавались импульсы по двум трактам: по первому тракту - импульсы от генератора, по второму тракту - импульсы от источника Co^{60} . При этом изменение загрузки вводилось только во второй тракт. По разрешающей способности и сдвигу пика импульсов от генератора при изменении загрузки Co^{60} оценивались загрузочные характеристики усилителей.

При проверке перегрузочных свойств подавались импульсы от источника Co^{137} по первому тракту, были измерены разрешающая способность рентгеновского излучения (32 Кэв) и положение пика в зависимости от изменения загрузки Co^{60} по второму тракту.

До сих пор отсутствует четкое определение коэффициента перегрузки усилительных устройств (Л10, 13, 14, 16, 25). По-видимому, в случае применения термина "коэффициент перегрузки" [Л10, 14, 25] нужно указывать дополнительное условие. Например, для периодически повторяющихся импульсов необходимо указывать длительность перегружающих импульсов и расстояние между перегружающим и полезным (исследуемым) импульсами. В случае работы со статистически распределенными импульсами необходимо дополнительно указывать длительность и загрузки полезных и перегружающих импульсов. В обоих случаях коэффициентом перегрузки можно называть отношение амплитуды перегружающих импульсов к амплитуде максимального импульса, усиливаемого линейно. Неперегружаемость усилителей при данном коэффициенте перегрузки оценивается постоянством амплитуды полезных импульсов на выходе усилителя для периодически повторяющихся импульсов или степенью смещения пика и ухудшения разрешающей способности полезных импульсов в случае статистически распределенных импульсов.

При измерении усилителей по загрузочным и перегрузочным характеристикам был применен метод [Л12] с некоторым изменением. Для измерений изготовлена специальная установка, блок-схема которой приведена на рис. 7.

Стабилизированные по амплитуде импульсы модулируются шумами, в результате чего получаются импульсы, размытые в небольших пределах по амплитуде. Они используются в качестве опорных импульсов. Для получения статистически распределенных импульсов можно использовать источник Co^{60} , но при этом получают импульсы, распределенные не только во времени, но и по амплитуде. Такие импульсы пригодны для измерения загрузочных свойств, но для измерения перегру-

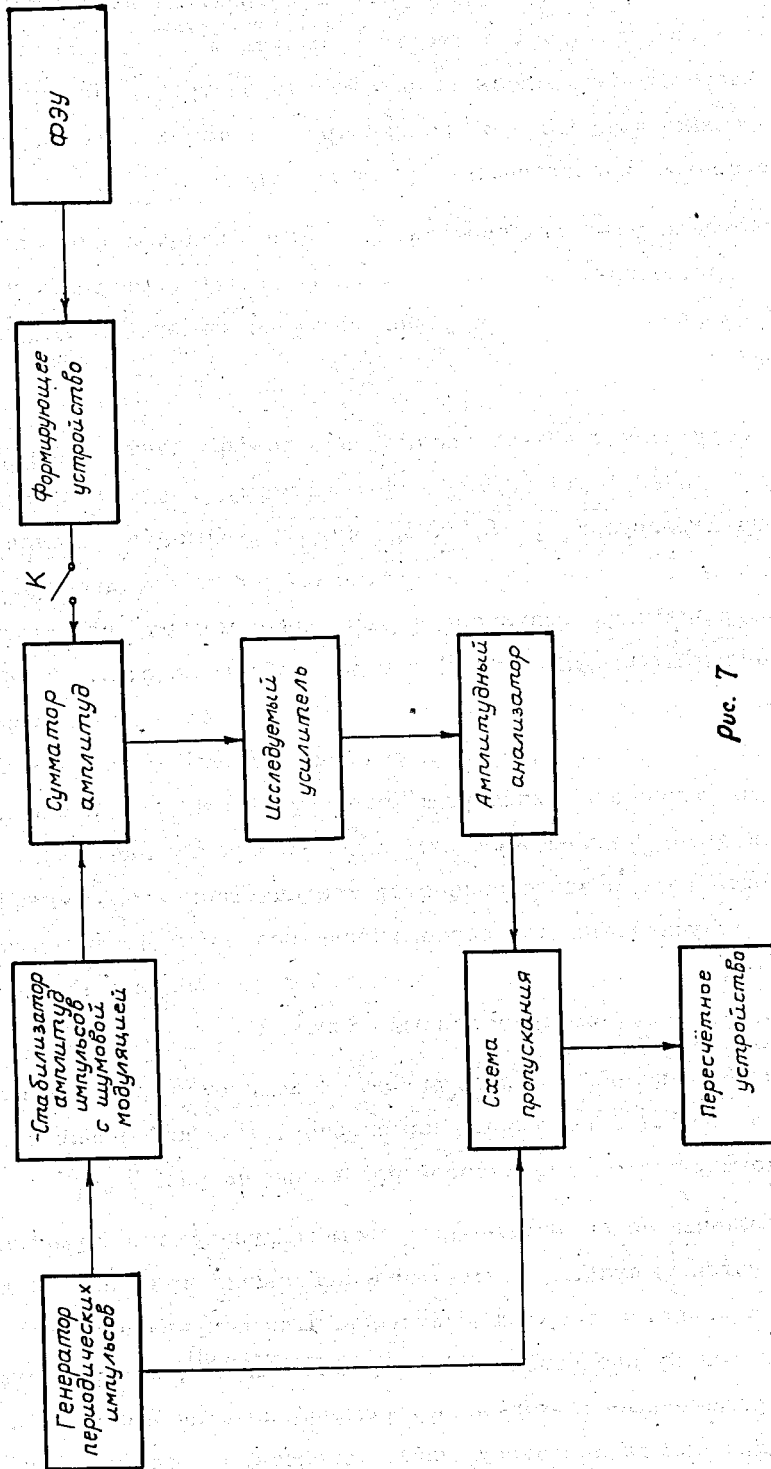


Рис. 7

зочных характеристик требуются статистически распределенные во времени импульсы с постоянной амплитудой. Поэтому было предусмотрено специальное формирующее устройство в тракте импульсов от фотоумножителя.

Сначала на вход усилителя подаются только опорные импульсы и снимается спектр этих импульсов с помощью амплитудного анализатора. После этого включается тракт импульсов от фотоумножителя. Изменяя амплитуду и загрузку импульсов от фотоумножителя и снимая спектр опорных импульсов, можно проверять загрузочные и перегрузочные свойства усилителя. Для отделения спектра опорных импульсов от спектра загрузочных или перегрузочных импульсов включена схема пропуска-

Измерение загрузочных характеристик было произведено для следующих усилителей: У-2, У-4, У-1, У-3, усилитель Вяземского [Л14] (при $K=1000$), усилитель Мелиоранского [Л16] ($K=1000$, без формировки), "Сирень" [Л3] и усилитель ААДО-1 [Л6]. Результат измерения показывает, что все усилители имеют примерно одинаковые загрузочные характеристики (рис. 8).

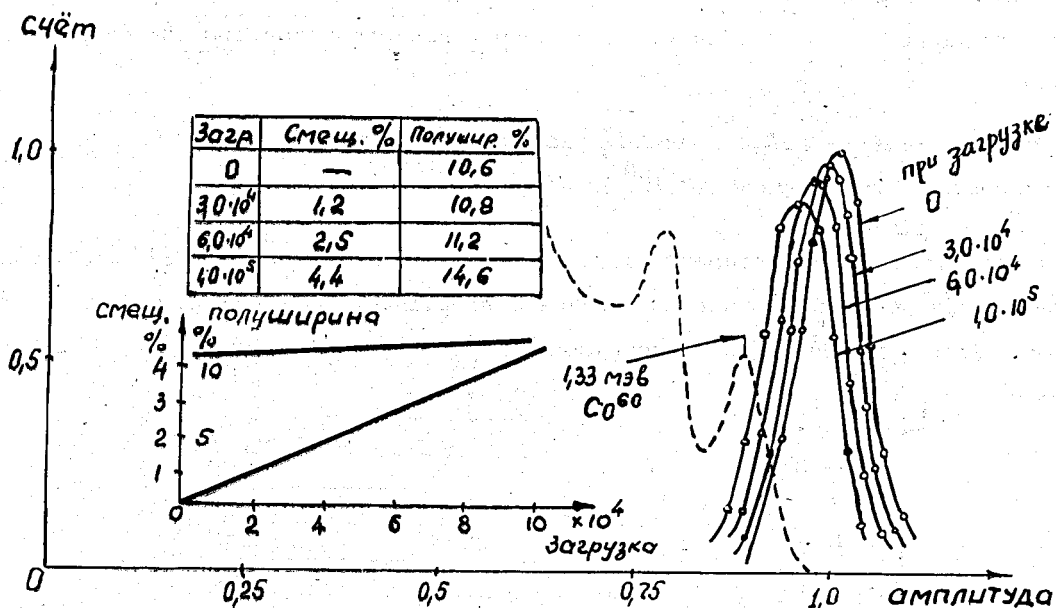


Рис. 8.

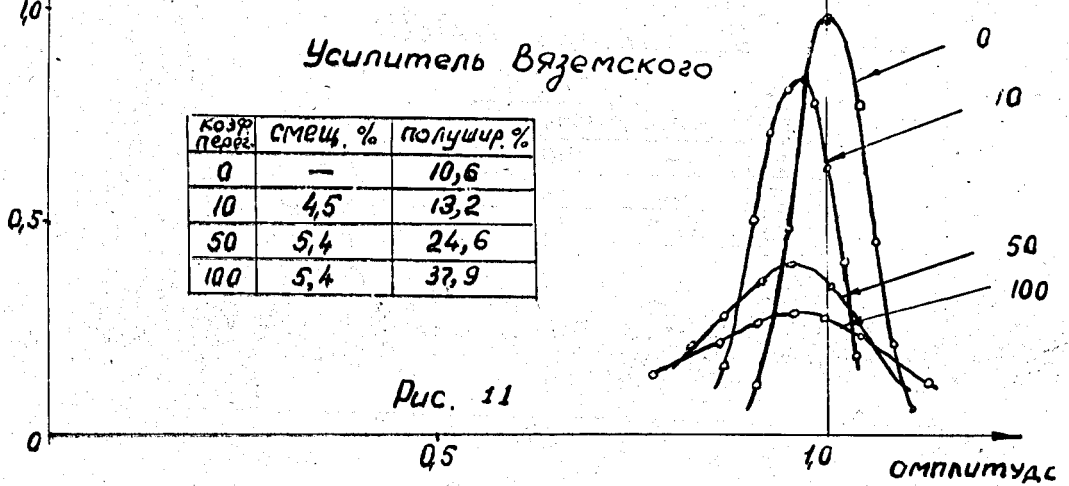
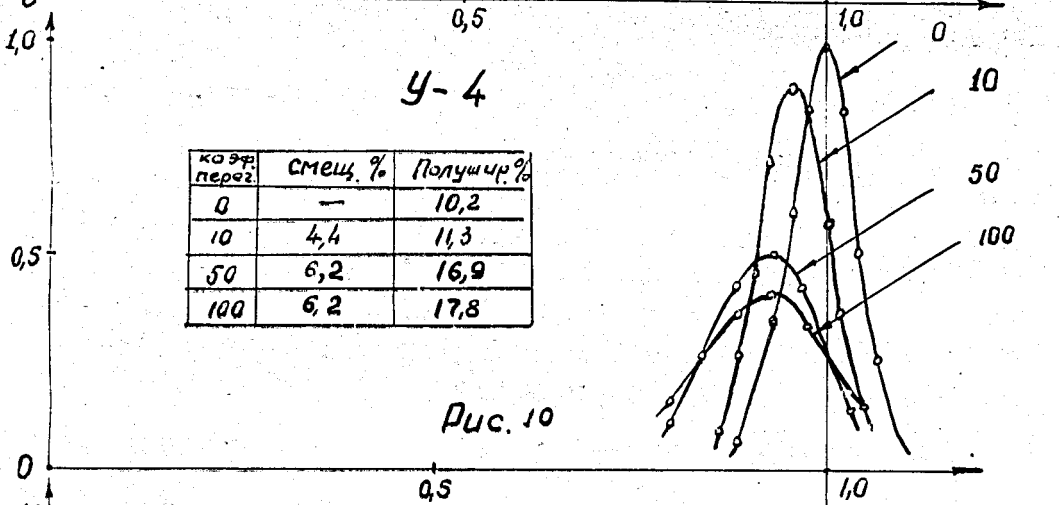
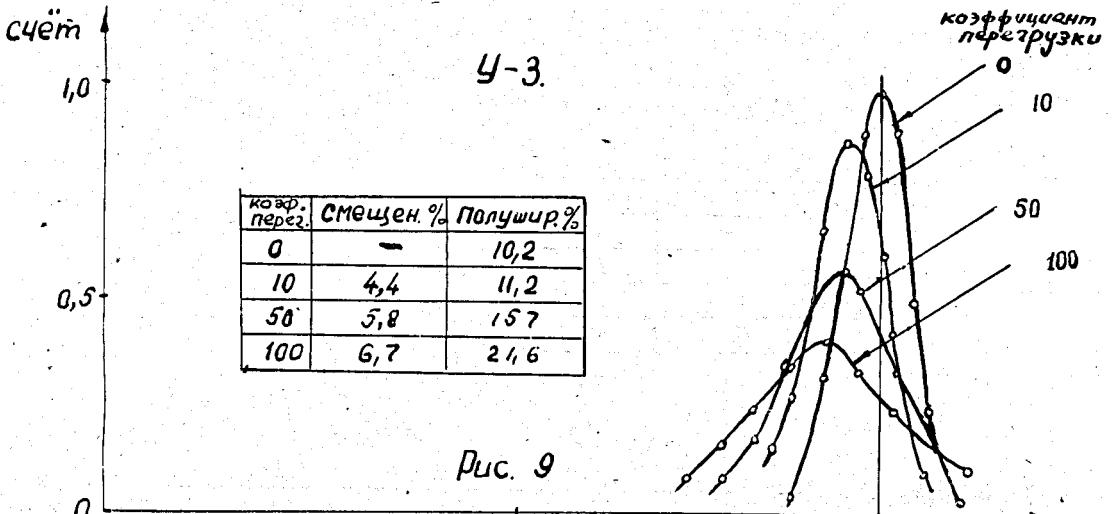
Амплитуда и счет обозначены в относительных величинах.

При измерении были использованы опорные импульсы с длительностью 1 мксек и частотой повторения 10 кгц. Для получения загрузочных импульсов применен источник Co^{60} . Длительность загрузочных импульсов установлена около 1 мксек (на уровне полуамплитуды). Амплитуда загрузочных импульсов подобрана так, чтобы фотопик 1,33 Мэв находился вблизи пика опорных импульсов, но не перекрывался (на рис. 8 показан пунктиром спектр Co^{60}).

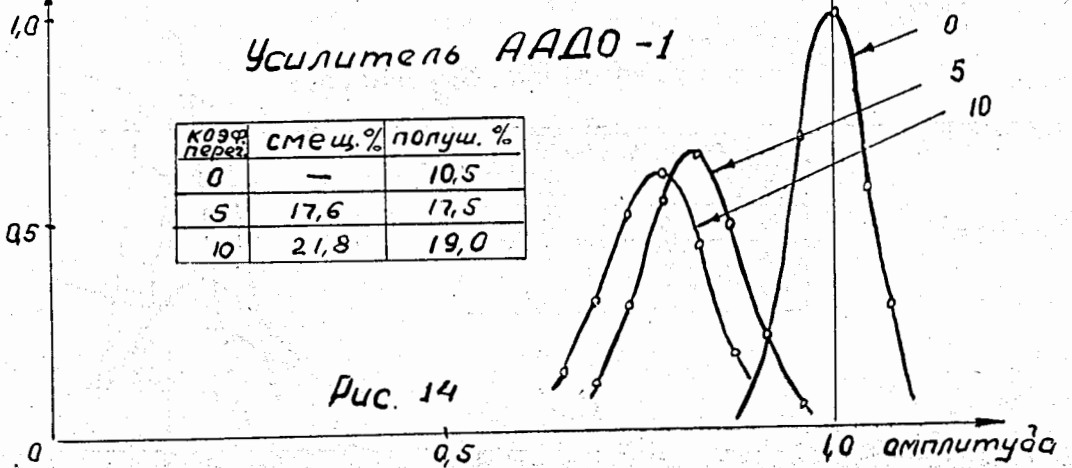
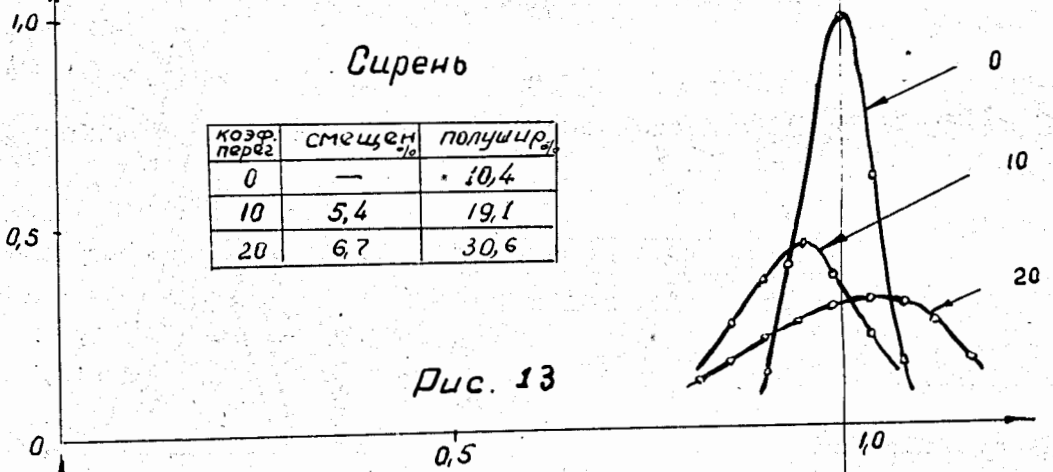
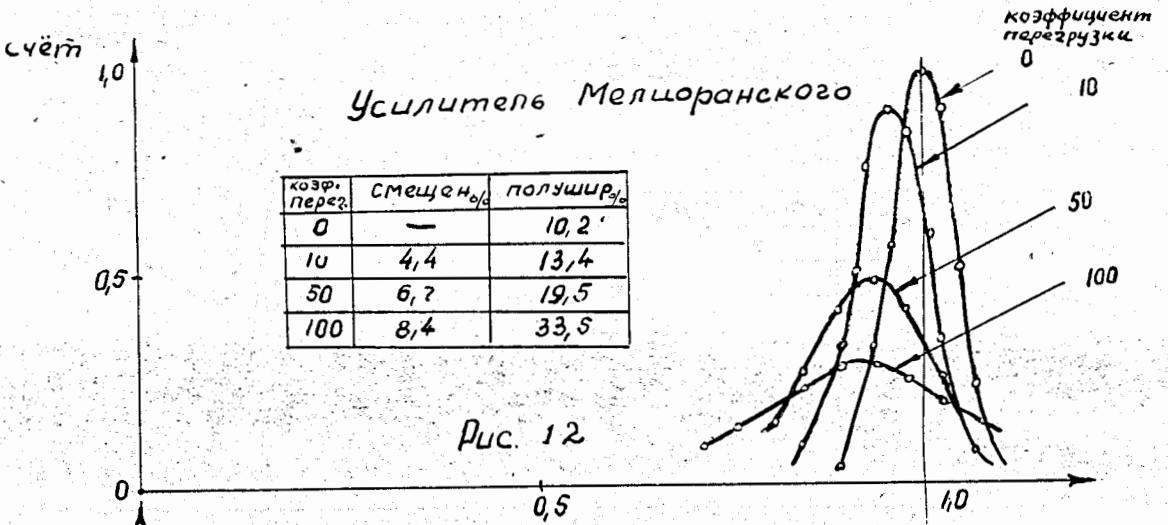
С учетом того, что применение схемы восстановления постоянной составляющей в амплитудном анализаторе может привести к затруднению оценки характеристик усилителя из-за совмещения характеристик обеих схем, измерение произведено без схемы восстановления постоянной составляющей. Смещение пика в левую сторону (рис. 8) в зависимости от увеличения загрузки объясняется перемещением нулевой линии вследствие наличия переходных емкостей. Это оправдывается следующими фактами: имеется прямо пропорциональная зависимость смещения пика от величины загрузки (рис. 8); величина смещения пика достаточно хорошо совпадает с расчетной величиной перемещения нулевой линии (расчет проведен для треугольных импульсов, с временем нарастания 0,25 мксек, временем спада 2 мксек) характер смещения пика не зависит от величины начальной полуширины опорных импульсов.

Как показывает график (рис.8), разрешающая способность усилителей почти не изменяется при загрузке до 10^5 имп/сек.

Перегрузочные характеристики усилителей показаны на рис. 9-14. Для сопоставления неперегружающихся усилителей с простыми усилителями, выпускаемыми промышленностью, приведены перегрузочные характеристики усилителей ААДО-1 и "Сирень".



Примечание:
 Амплитуда и счёт обозначены в относительных величинах



Примечание:
Амплитуда и счёт в относительных величинах.

Параметры опорных импульсов такие же, как и при измерении загрузочных характеристик. Загрузка перегружающих импульсов ($t_{\phi}=0,25$ мксек, длительность = 1 мксек на уровне полуамплитуды), имеющих постоянную амплитуду, установлена на $1,5 \cdot 10^4$ имп/сек. При расчете коэффициента перегрузки принята за единицу амплитуда входного импульса, соответствующая $U_{\text{вых}} = 100$ в на выходе усилителя.

Как и в случае измерения загрузочных характеристик, не применялась схема восстановления постоянной составляющей.

Для того, чтобы наглядно сопоставлять перегрузочные характеристики усилителей, составлены графики, приведенные на рис. 15 и рис.16. Усилители У-4 и У-3 дают удвоенное увеличение полуширины при коэффициенте перегрузки 100, а усилитель Мелиоранского и усилитель Вяземского дают несколько большее увеличение полуширины при том же условии. Разрешающая способность усилителей ААДО-1 и "Сирень" значительно ухудшается даже при коэффициенте перегрузки 10-20. Смещение пика получается одинаковым у усилителей У-4, У-3, Мелиоранского и Вяземского. Значительное увеличение смещения пика в области коэффициента перегрузки до 10, по-видимому, объясняется увеличением длительности выходных импульсов для перегружающих импульсов по мере увеличения коэффициента перегрузки в этой области, т.е. причина смещения пика у этих усилителей тоже заключается в изменении нулевой линии вследствие наличия переходной емкости. Смещение пика у усилителей ААДО-1 и "Сирень" имеет совсем другой характер. В этом случае видно, что причина смещения пика заключается, главным образом, в перегрузках усилителей.

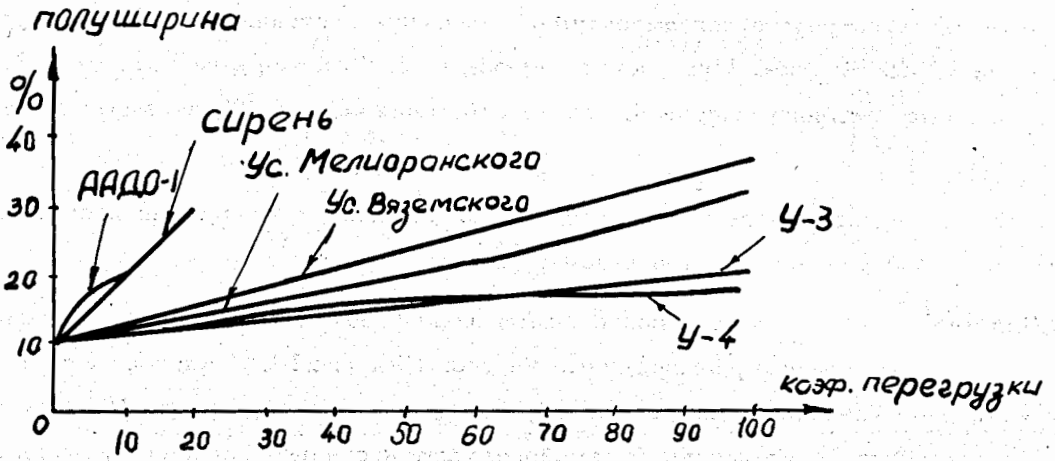


Рис. 15

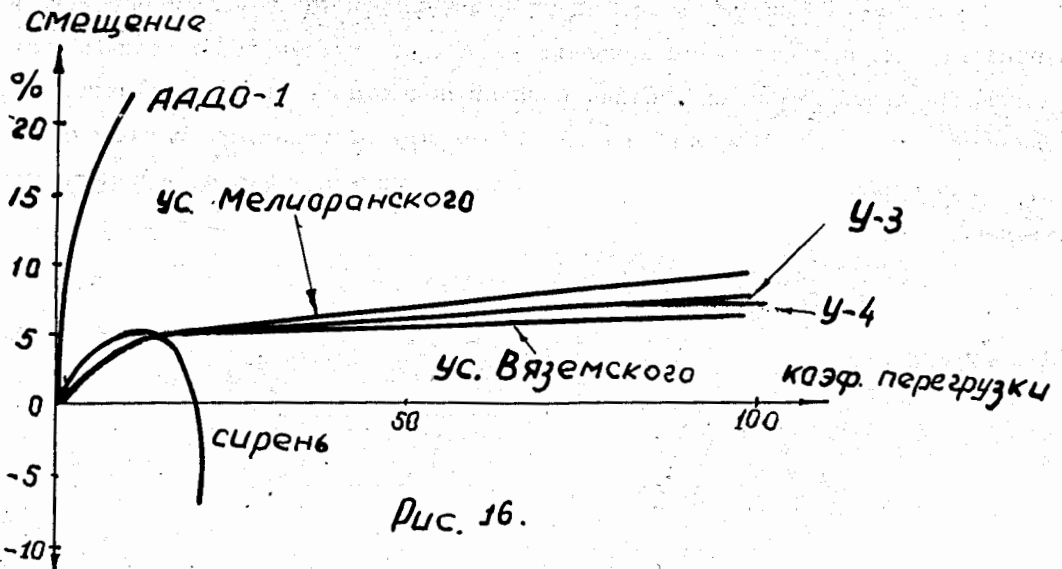


Рис. 16.

В результате сравнения стандартизированных блоков усилителей с промышленными образцами и опубликованными схемами усилителей [Л3,4,5,6,14,16] можно заключить, что созданные усилители по основным параметрам являются лучшими, нежели промышленные образцы (меньшее собственное время нарастания при выходном напряжении 100 вольт и более и нелинейности не более 1%, лучшие неперегружающиеся свойства, экономичней и, наконец, удобней для стоечной компоновки). По сравнению с опубликованными схемами созданные усилители являются более простыми и экономичными, не требуют двух источников анодного питания [Л10,14,16], а по загрузочным и перегрузочным свойствам не уступают таковым.

4. Технические характеристики усилителей

| Тип усилителей | У-2 | У-4 | У-1 | У-3 |
|--|---------------------------------|---------------|--|-----------------|
| Полярность выходного импульса | положит. | положит. | отриц. | отриц. |
| Полярность входных импульсов | Положительная или отрицательная | | | |
| Регулируемый коэффициент усиления | До 1000 или до 100 | | | |
| Предел подрегулировки коэффициента усиления | +10% | | | |
| Собственное время нарастания при $U_{вых} \leq 100$ в, /мксек/ | 0,09 | 0,11 | 0,08 | 0,09 |
| Коэффициент перегрузки | - | не меньше 100 | | - не меньше 100 |
| Спад вершины при усилении прямоугольных импульсов длительностью 10 мксек | 5% | | | |
| Максимальное выходное напряжение при нелинейности амплитудной характеристики не более 1% /в/ | 125 | 125 | 110/с катодным повторителем 160 /без к.п./ | 110 |
| Выходное сопротивление /ом/ | 50 | 50 | 30 | 30 |
| Максимальное изменение коэффициента усиления при изменении напряжения накала + 10% | ±1% | | | |
| Выходное напряжение шумов при $K=1000$ | меньше 0,07 в эфф. | | | |

| | | | | |
|-----------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Питание накалов | 6,3В (3а) | 6,3В (3,8а) (при $K \leq 1000$) | 6,3В (3а) (с.к.п.) | 6,3В (3а) |
| | | 6,3В (2,9а) (при $K \leq 100$) | 6,3В (2,3а) (без к.п.) | |
| Питание анодов | +300В (42Ма) | +300В (75Ма) (при $K \leq 1000$) | +300В (52Ма) (с.к.п.) | +300В ()70 Мэ |
| | | +300В (57Ма) (при $K \leq 100$) | +300В (29Ма) (без к.п.) | |

Коэффициент усиления всех усилителей может меняться степенями соответственно следующей таблице:

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--|
| Положение переключателя | | 0 | | | | | | | | | | | |
| С делителем: типа А | $K \leq 1000$ | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | |
| | $K \leq 100$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | |
| С делителем типа Б | $K \leq 1000$ | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 | |
| | $K \leq 100$ | 0 | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 | |

111. Дискриминаторы амплитуд

Дискриминатор - прибор, селектирующий импульсы заданной части амплитудного спектра. Интегральный дискриминатор селекционирует все импульсы, превысившие заданный порог, одноканальный - импульсы заданной полосы (канал) амплитудного спектра.

Требования, предъявляемые к дискриминатору, а также и его характеристики существенно зависят от параметров рабочих импульсов.

Дискриминаторы наносекундного диапазона являются, как правило, специальной аппаратурой, тогда как дискриминаторы микросекундного диапазона можно отнести к аппаратуре широкого применения. Поэтому нами был рассмотрен вопрос стандартизации дискриминатора микросекундного диапазона.

Примерные характеристики одноканального дискриминатора в качестве стандартизированного блока - элемента должны быть, по нашему мнению, следующими:

1. Дискриминатор должен работать с входными импульсами от десятых долей мксек до нескольких мксек.
2. Уровни дискриминации должны лежать в пределах от 0 до 100 вольт и регулироваться через 1 вольт.
3. Ширина "окна" дискриминатора должна быть переменной с возможностью регулировки в пределах 100 в.
4. Разрешающее время дискриминатора должно быть порядка нескольких мксек.
5. Примерные загрузки статистически распределенных импульсов по входу дискриминатора - 10^4 имп/сек.

Примерно такие же характеристики (исключая пункт 3) должен иметь и интегральный дискриминатор. Кроме указанных выше основных характеристик уделялось внимание динамическим перегрузочным характеристикам дискриминатора.

1. Узлы дискриминаторов

В одноканальных дискриминаторах можно выделить элементы, общие для большинства подобных устройств. Такими элементами являются: собственно дискриминатор, узел формирования и схема антисовпадений. В интегральных дискриминаторах последний узел отсутствует.

В качестве дискриминирующих элементов применяются: диоды кристаллические и накальные, дифференциальные усилители, запертые формирующие элементы.

В исходном состоянии диод запирается пороговым напряжением и отпирается только тогда, когда амплитуда входного сигнала превышает уровень порогового напряжения.

Особенностью накальных диодов является то, что они имеют нулевой ток, который может меняться с изменением температуры и эммитирующей способности катода. Межэлектродная емкость накальных диодов, обычно больше, чем у

кристаллических, но она постоянна, что очень существенно, т.е. ее можно компенсировать [Л26] .

Кристаллические диоды свободны от перечисленных выше недостатков, но их характеристики изменяются с изменением температуры. Эти изменения могут вызвать флюктуацию порога в пределах, примерно, 0,1 в [Л27] .

Дискриминирующие элементы, выполненные на ламповых диодах, отличаются друг от друга только схемой компенсации влияния проходной емкости диода. Чаще всего компенсация осуществляется следующим образом. Входной сигнал дифференцируется, изменяется по фазе на 180° и подается на выход дискриминирующего элемента.

В мостиковых схемах дискриминирующих элементов [Л26] сигнал, превысивший уровень дискриминации, открывает диод и тем самым разбалансирует мост. Это приводит к появлению сигнала на выходе дискриминирующего элемента.

Из кристаллических диодов предпочтительнее точечные германиевые диоды [Л27] .

В случае применения дифференциального усилителя в качестве дискриминирующего элемента на одну из ламп подается запирающее напряжение, определяющее порог. Если амплитуда входного импульса больше напряжения порога, то запертая лампа открывается и на выходе усилителя возникает импульс. Выходной импульс ограничивается запирающим второй лампы.

Добавление проводящего диода между анодами ламп делает излом амплитудной характеристики дифференциального усилителя более резким [Л 28] .

Для компенсации емкости сетка-катод входной лампы в качестве катодной нагрузки иногда применяют третью лампу, на сетку которой подается продифференцированный входной сигнал [Л29] .

Запертые формирующие элементы применяются в тех случаях, когда не ставятся перед дискриминатором требования высокой линейности в широком диапазоне амплитуд (до 100 вольт).

При работе с импульсами наносекундного диапазона большое влияние на работу дискриминатора оказывают паразитные емкости. Для уменьшения числа элементов, вносящих искажения, иногда исключают дискриминирующий элемент.

Порог устанавливают подачей запирающего напряжения непосредственно на формирующий элемент [Л30, 31] .

В наносекундном диапазоне применение формирующих элементов оправдывается сокращением числа каскадов в схеме, вносящих искажения входных импульсов, однако диапазон рабочих амплитуд для таких устройств не превышает, как правило, 20 вольт.

Сравнивая рассмотрение схемы дискриминирующих элементов, можно сделать следующие замечания. С точки зрения точности установления порога дискриминирующие элементы на ламповом и на кристаллическом диодах примерно одинаковы.

Для всех типов дискриминирующих элементов максимальный порог лежит в пределах до 100-120 в. Для ламповых схем он определяется работой схемы компенсации, для кристаллических диодов - предельно допустимым обратным напряжением.

Особенностью дискриминирующих элементов на диодах является неизбежное затягивание заднего фронта импульса. Затягивание обусловлено паразитными емкостями на выходе дискриминирующего элемента и большим обратным сопротивлением диода.

Уменьшение влияния емкостей достигается включением дополнительного проводящего диода на выходе схемы [Л32] .

Дифференциальные усилители не имеют перечисленных выше недостатков, кроме того они имеют большое входное сопротивление и ограничивают выходные сигналы сверху, что облегчает работу формирующего элемента.

Однако схемы дифференциального усилителя сложнее, требуют 2-3 лампы и более тщательной настройки.

Учитывая сформулированные выше примерные требования к дискриминаторам, можно заключить, что дискриминирующие элементы на кристаллических диодах могут с успехом быть приведены в указанных диапазонах амплитуд и длительностей входных импульсов, а по сравнению с ламповыми - проще и надежнее.

Ввиду этого, при разработке стандартизированных дискриминаторов за основу дискриминирующего элемента была взята схема [Л32] .

Формирующий элемент должен одинаково реагировать на импульсы разной длительности и иметь стабильный порог срабатывания при изменении фронта входного импульса, так как форма отсеченной части импульса после дискриминирующего элемента меняется в зависимости от амплитуды входного импульса и величины уровня дискриминации. Помимо этого, желательно, чтобы формирующий элемент имел возможно меньший порог срабатывания, так как наличие порога срабатывания приводит к тому, что дискриминационная характеристика начинается не от нуля. Кроме того на пороге срабатывания формирующий элемент должен работать четко - выдавать стандартный по амплитуде импульс.

В дискриминаторах, как правило, применяются два типа формирующих элементов - одновибраторы и триггеры Шмитта.

Тип формирующего элемента определяет выбор схемы антисовпадений и ограничения, которые накладываются на длительность входных импульсов.

Классические (простые) схемы одновибраторов позволяют строить схемы с разрешающим временем порядка нескольких мксек с чувствительностью 2-3 в.

Триггерные схемы имеют чувствительность такого же порядка. При одной и той же длительности импульса триггерные схемы имеют, как правило, меньше время восстановления по сравнению с одновибраторами. Однако способность триггера изменять длительность выходного импульса вызывает дополнительные трудности при построении схемы антисовпадений, особенно если фронт входного импульса больше собственного времени выдержки триггера.

Усовершенствование формирующих элементов идет, в основном, в направлении увеличения скорости срабатывания (большая скорость срабатывания необходима при работе с импульсами наносекундного диапазона), уменьшения разрешающего времени и порога срабатывания, а также повышения стабильности работы.

Схема быстрого триггера Шмитта с малым разрешающим временем, примененного в качестве формирующего элемента, описана в [Л28]. Для увеличения быстродействия в схему добавлено два диода между анодами ламп, один из которых применен для исключения нелинейного участка характеристик ламп, другой - для ограничения перепада анодного напряжения. Вместо общего катодного сопротивления в схеме применена лампа, усиливающая обратную связь. Схема разрешает два импульса, длительностью 20 н/сек на расстоянии 20 н/сек.

В [Л27] описана другая схема быстрого формирующего элемента, оригинально связанного с дискриминирующим элементом. Схема представляет собой симметричный одновибратор, сетки ламп которого "опираются" на аноды дифференциального усилителя. Особенностью этой схемы является, с одной стороны, то, что дискриминирующий элемент включен в петлю обратной связи, что увеличивает реакцию на короткие импульсы, с другой стороны, для этой же цели производится запуск по двум сеткам одновременно. Пределы дискриминации - до 120 вольт. Однако, данная схема имеет сравнительно большое разрешающее время порядка 3 мксек.

Оригинальную схему дискриминатора с низким уровнем предложил K.Kandiah [Л33]. Порог меняется от 1 мв до 100 мв. Недостатком этой схемы является большое разрешающее время (70 мксек).

В [Л32] описан измененный вариант этой схемы. Схема отличается от обычного одновибратора тем, что в качестве сеточного сопротивления второй лампы применен проводящий диод. Благодаря этому схема находится в устойчивом состоянии, несмотря на то, что обе лампы открыты. Разрешающее время этой схемы 1 мксек. В результате оценки и экспериментальной проверки некоторых схем формирующих элементов можно сделать вывод, что для быстродействующих дискриминаторов (порядка 0,1 мксек) с успехом может быть применена схема [Л28].

Исходя из задач данной работы, можно предполагать, что и более простые схемы формирующих элементов удовлетворяют поставленным требованиям. В свете этого за основу была взята схема одновибратора [Л32].

Схема антисовпадений в одноканальных дискриминаторах производит отбор импульсов, попавших в канал дискриминатора. Воздействие сигнала верхнего порога (В.П.) на схему антисовпадений должно быть превалирующим, т.е. начинаться до прихода сигнала нижнего порога (Н.П.) и заканчиваться после его окончания.

Наличие конечного фронта входного импульса приводит к тому, что формирующее устройство Н.П. срабатывает раньше, чем формирующее устройство В.П. Это накладывает дополнительные условия на работу схемы антисовпадений.

Если в качестве формирующих устройств используются триггеры Шмитта, то сигнал В.П. может оказаться сигналом Н.П. В этом случае сигнал Н.П. обычно формируется по переднему или заднему фронту. В обоих случаях

в один из каналов дискриминатора вводится задержка. Изменение уровня нижнего порога вызывает сдвиг переднего фронта импульса Н.П. относительно В.П. Это накладывает ограничения на величину переднего фронта входного импульса.

Длительность импульсов одновибратора обычно делается примерно равной длительности входного импульса. Это облегчает режим работы одновибратора и позволяет легко подобрать нужную задержку.

2. Стандартные блоки дискриминаторов

Исходя из сформированных выше требований к дискриминаторам, целесообразно в качестве основных принять два типа дискриминаторов: одноканальный и интегральный.

При этом целесообразно, по нашему мнению, одноканальные дискриминаторы разделить на две подгруппы: во-первых, простой, с небольшим числом ламп, одноканальный дискриминатор для работы с импульсами от ФЭУ с разрешающим временем — 5 мксек, и во-вторых, более сложный и универсальный, с точки зрения области применения, дискриминатор с разрешающим временем до 1 мксек.

Второй одноканальный дискриминатор предназначен для работы с импульсами различной формы (не только от ФЭУ) при повышенных нагрузках (порядка $2 \cdot 10^4$ импульсов в секунду) при наличии перегружающих импульсов на его входе.

Оба типа одноканальных дискриминаторов могут снабжаться одним из двух типов делителей (ДН-2) или (ДН-3), которые позволяют регулировать порог ступенями от 0 до 100 вольт через 1 в.

Делитель ДН-2 (рис.17) позволяет регулировать ширину "окна" от 1 в. до 100 в. через 1 в.

Делитель ДН-3 (рис.18) позволяет регулировать ширину "окна" ступенями: 0,5 в, 1в, 2в, 5в, 10 в.

Оба типа делителей монтируются на отдельной панели из сопротивлений БЛП-0,25 (точность — 0,5%) или проволочных сопротивлений.

Делитель и дискриминатор монтируются совместно в общем блоке.

Дискриминатор общеканальный ДД-5.

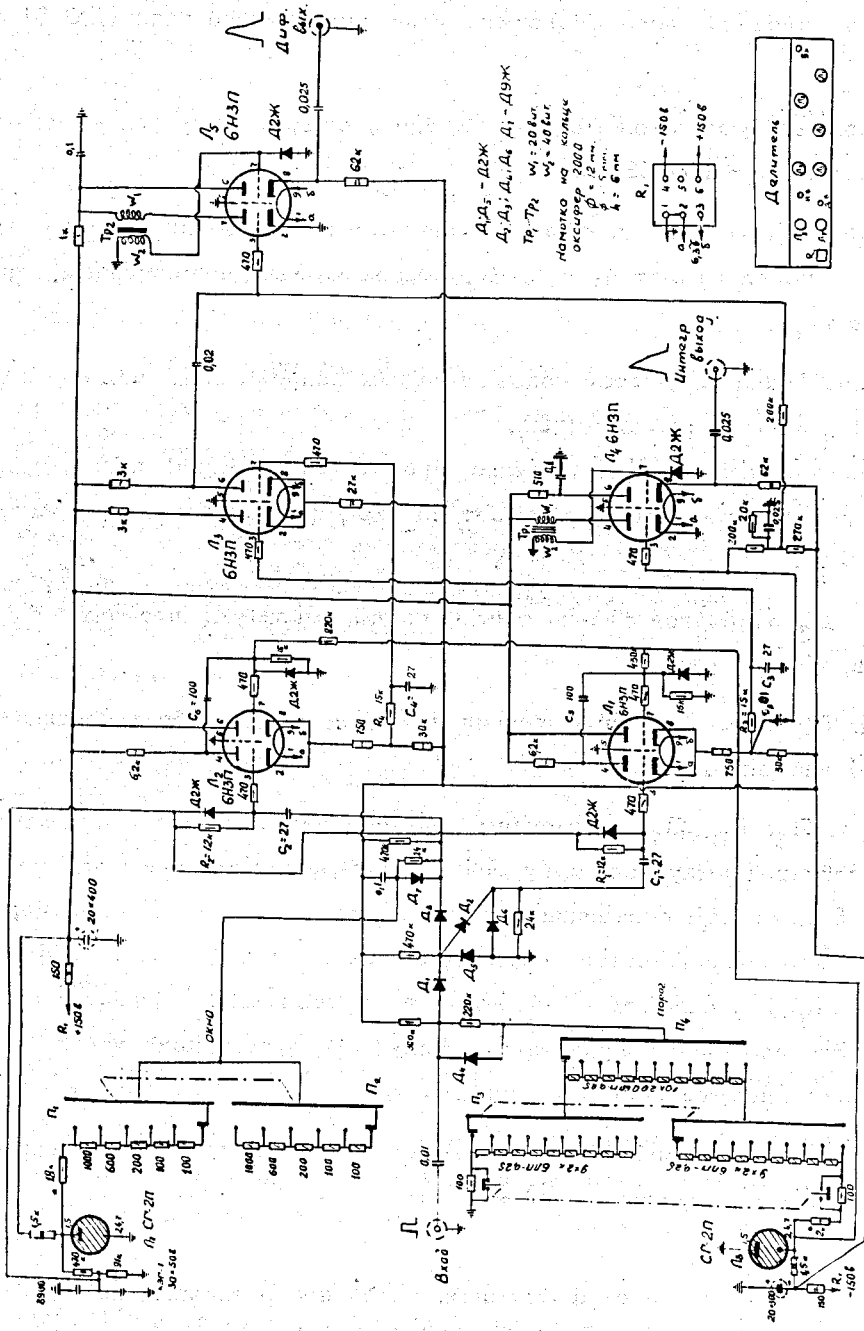


Рис 17.

3. Одноканальный дискриминатор ДО-5

Схема одноканального дискриминатора упрощенного типа (ДО-5) приведена на рис. 17.

Дискриминирующие элементы нижнего и верхнего порогов выполнены на германиевых диодах D_1 - D_7 [Л32].

Дискриминирующим диодом нижнего порога является D_1 , верхнего порога - D_3 . Нижний порог задается через D_4 отрицательным напряжением, снимаемым с делителя P_3 и P_4 .

Ширина "окна" задается положительным напряжением, подаваемым на D_3 с делителя P_2 и P_1 через диод D_7 .

Положительный входной импульс, превысивший нижний порог, проходит через D_1 . Этот импульс через D_2 поступает на вход формирующего устройства нижнего порога L_1 .

Диод D_3 откроется только тогда, когда амплитуда прошедшего через D_1 импульса превысит ширину "окна".

Диод D_2 применен для выравнивания импедансов обоих каналов дискриминирующего элемента.

Диоды D_5 , D_6 , D_7 применены, с одной стороны, для восстановления постоянной составляющей импульса, с другой стороны, для компенсации паразитных емкостей. В исходном состоянии эти диоды открыты. Прошедший через D_1 импульс дополнительно ограничивается снизу диодами D_5 и D_6 на 0,4 в. Импульс, прошедший через D_3 , дополнительно ограничивается диодом D_7 примерно на такую же величину. Это позволяет ограничивать импульсы, прошедшие через емкости, шунтирующие дискриминирующие диоды.

Для уменьшения временной дисперсии импульсов нижнего и верхнего каналов применен метод дифференцирования [Л32].

Вершины импульсов от фотоумножителей при различных амплитудах совпадают во времени (рис.19 а,б). Если продифференцировать входные импульсы, то полученные сигналы пересекают нулевую линию в одно и то же время. Используя

отрицательные части продифференцированных импульсов для запуска формирующих элементов, можно значительно уменьшить временную дисперсию. Импульсы с дискриминирующих диодов D_1 и D_3 поступают через дифференцирующие цепочки R_1, C_1 и R_2, C_2 на формирующие элементы. Формирующий элемент нижнего L_1 и верхнего L_2 порогов выполнены идентично.

В исходном состоянии обе лампы одновибратора открыты. Такой режим возможен благодаря применению проводящего диода в сетке правой лампы. Порог срабатывания выбран 0,2 в. Выходной импульс положительной полярности снимается с катода одновибратора. Длительность импульса 2,5 - 3 мксек. В случае работ с входными импульсами длительностью 3 мксек и более нужно увеличить длительность импульсов одновибраторов путем перепайки емкостей C_5 и C_6 согласно таблице 1. Положительные сигналы с катодов L_1 и L_2 интегрируются R_3, C_3 и R_4, C_4 и подаются на входы схемы ^{схемы} совпадений L_3 , которая представляет собой дифференциальный усилитель. С выхода схемы антисовпадений положительный сигнал поступает на формирующее устройство дифференциального выхода L_5 . Левая половина лампы представляет собой усилитель с принудительным смещением. В качестве анодной нагрузки применен импульсный трансформатор. С помощью вторичной обмотки импульс инвертируется и подается на сетку правой половины L_5 , которая является катодным повторителем.

Формирующее устройство интегрального выхода L_4 выполнено аналогично формирующему устройству дифференциального выхода.

4. Основные характеристики одноканального дискриминатора ДО-5

1. Полярность входного импульса - положительная.
2. Длительность входного импульса от 0,2 мксек до 2,5 мксек с фронтом от 0,1 мксек до 0,8 мксек. При импульсах длительностью более 2 мксек и фронтом более 0,5 мксек, необходимо увеличение времени выдержки одновибратора согласно таблице 1.
3. Регулировка порога - от 0 до 100 вольт через 1 вольт.

4. Ширину "окна" можно устанавливать:
- от 1 в до 100 в через 1 вольт с делителем ДН-2;
 - 0,5 в, 1 в, 2в, 5в, 10в с делителем ДН-3.
5. Разрешающее время - не хуже 5 мксек.
6. Стабильность ширины "окна" при изменении порога от 0 до 100 в - не хуже 1%.
7. Линейность дискриминационной характеристики - не хуже 2%.
8. Импульс дифференциального выхода - положительный, амплитуда 90 вольт.
9. Импульс интегрального выхода - положительный, амплитуда 40 вольт.
10. Питание: + 150 в, (40 ма), - 150в (40 ма).
6,3 в (2,1а) заземлен.
11. Дискриминатор совместно с делителем смонтирован в блоке размерами 180x430 мм.

Т а б л и ц а 1.

| Время вкл. одновибр. | 3 | 4 | 6 | 7,5 | 11,5 | 14 | 20 | 35 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|
| С, С | 120 | 150 | 240 | 300 | 430 | 510 | 620 | 1300 |

5. Одноканальный дискриминатор ДО-7

Принципиальная схема ДО-7 показана на рис. 18. Дискриминирующие элементы нижнего и верхнего порогов выполнены на германиевых диодах Д₁-Д₇ идентичис схеме, примененной в ДО-5. С выхода дискриминирующих элементов сигнал поступает на каскады предварительной формировки (Л₂ - нижнего и Л₁ - верхнего порогов), которые предназначены для ограничения и укорачивания входных импульсов.

Каскад представляет собой дифференциальный усилитель, собранный на двойном триоде с дифференцирующим трансформатором в аноде правой половины лампы. Вторичная обмотка трансформатора инвертирует импульс, так что на выходе снимается сигнал отрицательной полярности, максимальная длительность которого 0,5 мксек и максимальная амплитуда - 15 в. Далее импульсы поступают на формирующие элементы нижнего L_4 и верхнего L_5 порогов, которые представляют собой несколько измененные схемы одновибраторов блока ДО-5.

Импульс нижнего порога с L_4 через катодный повторитель L_5 подается на формирующую линию \mathcal{L} . Положительный сигнал с линии, полученный от заднего фронта, поступает на первую сетку L_7 . Если схема верхнего порога не сработала, то L_7 открывается, импульс с ее анода, усиленный L_8 , поступает на фишку "дифференциальный выход".

Импульс верхнего порога через катодный повторитель L_5 и диод D_{13} подается в катод L_6 . На первую сетку L_6 подается "разрешающий" импульс нижнего порога.

В исходном состоянии L_6 открыта. Отрицательный импульс нижнего порога запирает L_6 . Ток через диод L_{14} прекращается. Это позволяет отрицательному импульсу верхнего порога через диод D_{13} зарядить емкость C_{13} и запереть L_7 по третьей сетке.

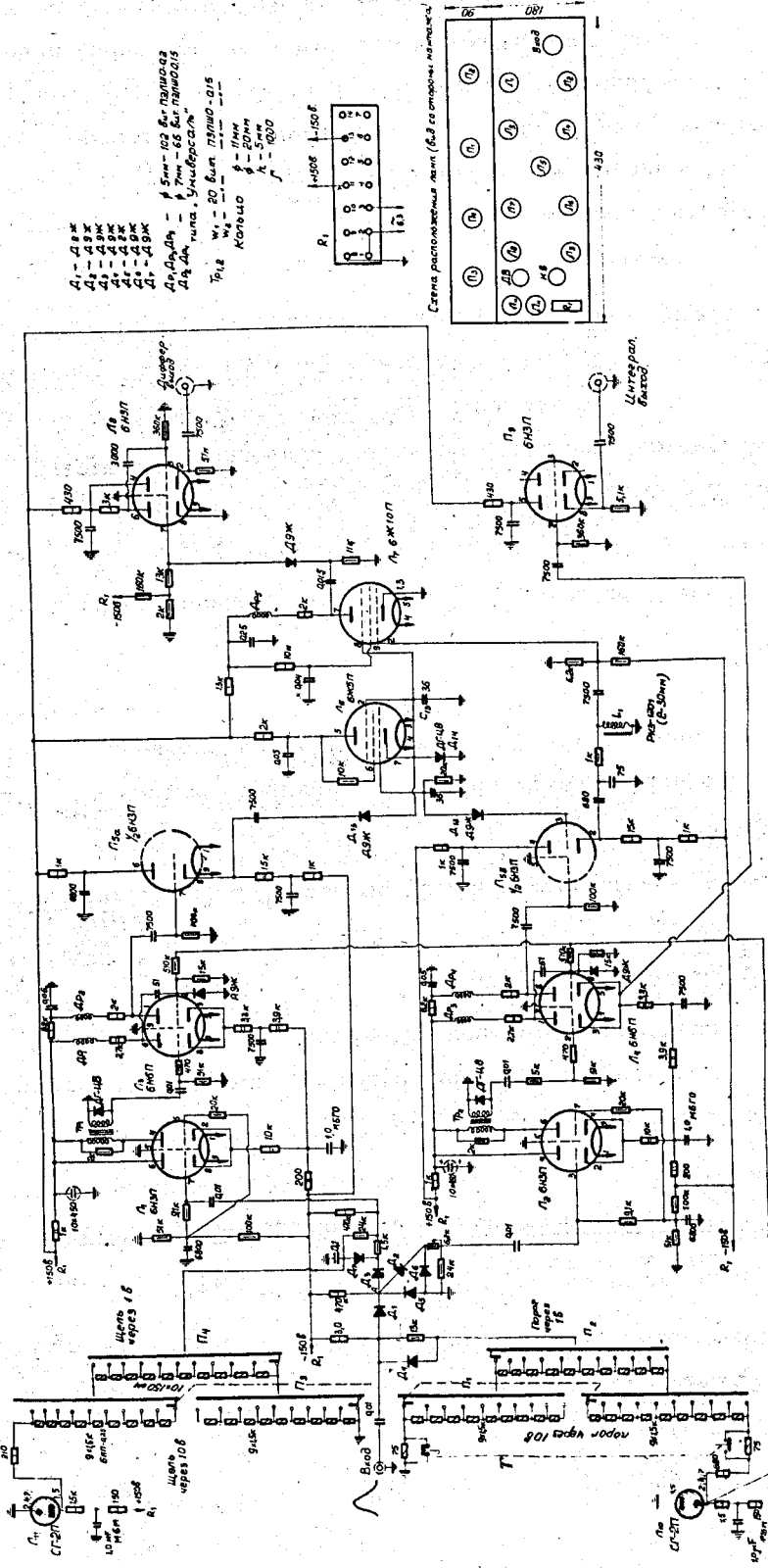
После окончания импульса нижнего порога L_6 открывается и своим током разряжает C_{13} . Таким образом, импульс верхнего порога, поданный на L_7 (схему антисовпадений), всегда оканчивается после импульса нижнего порога.

В дискриминаторе предусмотрен интегральный счет импульсов. Для этой цели с катода L_4 через катодный повторитель L_9 импульсы подаются на фишку "интегральный выход".

6. Основные характеристики одноканального дискриминатора ДО-7

1. Полярность входного импульса - положительная.
2. Фронт входного импульса - от 0,1 мксек до 0,4 мксек. Допустима работа с импульсами, фронты которых более 0,4 мксек. Для этого нужно увеличить емкости C_{12} и C_{13} (рис. 18).

Схема дискриминатора одноканального ДД-7



- Д1 - Д1Ж
 - Д2 - Д2Ж
 - Д3 - Д3Ж
 - Д4 - Д4Ж
 - Д5 - Д5Ж
 - Д6 - Д6Ж
 - Д7 - Д7Ж
 - Д8, Д9, Д10 - Д8, Д9, Д10Ж - ПЭМ-02
 - Д11, Д12, Д13 - Д11, Д12, Д13Ж - ПЭМ-015
 - Д14, Д15, Д16 - Д14, Д15, Д16Ж - ПЭМ-015
 - Д17, Д18, Д19 - Д17, Д18, Д19Ж - ПЭМ-015
- Тр. 1,2 - 20 Ватт ПЭМ-015
 Кольцо - 11 мм
 φ - 20 мм
 L - 1000

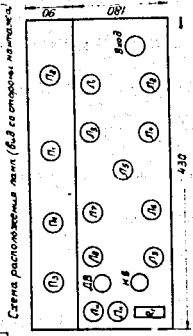
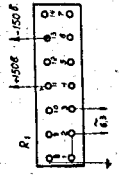
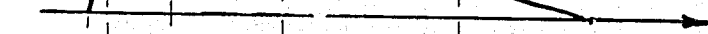


Рис. 18.

входной импульс

верхний порог (В.п.)

нижний порог (Н.п.)



a

импульс на входе формирующего элемента (Н.п.)

σ_0

импульс на входе формирующего элемента (В.п.)

Δt

0

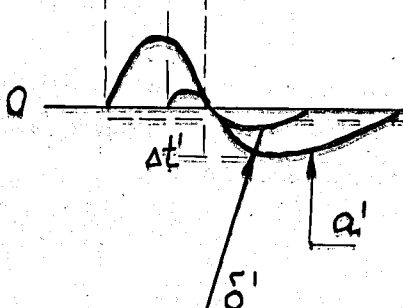
продифференцированные импульсы на входах формирующих элементов

$\Delta t'$

σ_0'

a'

порог срабатывания формирующих элементов



3. Длительность входного импульса - от 0,2 мксек до 10 мксек и более.
4. Изменение порога - от 0 до 100 в через 1 вольт.
5. Изменение ширины "окна" - от 0 до 100 в через 1 вольт с ДН-2 и ступенями 0,5 в, 1в, 2в, 5 в, 10в с ДН-3.
6. Разрешающее время - 1 мксек.
7. Стабильность ширины "окна" при изменении порога от 0 до 100 в - не хуже 1%.
8. Линейность дискриминационной характеристики - не хуже 1,5%.
9. Импульс дифференциального выхода - положительный, амплитуда 15 в, длительность 1,0 мксек.
10. Импульс интегрального выхода - положительный, амплитуда 10 вольт, длительность 0,6 мксек.
11. Требуемые напряжения: ± 150 в (125 ма), 6,3 в (4а) заземлен.

7. Результаты экспериментальной проверки одноканальных дискриминаторов

Проверка работы стандартизированных блоков одноканальных дискриминаторов проводилась, во-первых, при работе с генератором импульсов, во-вторых, при работе с источником статистически распределенных импульсов (фотоумножитель с кристаллом $NaJ(Te)$). При этом для сравнения снимались аналогичные характеристики промышленного одноканального дискриминатора ААДО-1.

Дискриминационная характеристика дискриминаторов не выходит за 1-1,5% при изменении порогов от 0 до 100 в.

Постоянство ширины "окна" при изменении порога дискриминации проверялось с помощью генератора импульсов с линейно меняющейся амплитудой. Измерения ширины окна не превышали 1%.

Разрешающее время дискриминаторов для верхнего и нижнего каналов измерялось в отдельности. На вход дискриминатора подавались сдвинутые импульсы от генератора ГИС-2. Срабатывание одновибратора фиксировалось с помощью

осциллографа. Измерения разрешающего времени проводились для двух случаев:

- а) когда амплитуды двух входных импульсов равны установленному порогу и
- б) когда амплитуды превышают порог на 0,5 вольта.

Этот метод позволяет качественно оценить размытие порогов дискриминатора.

Результаты измерений приведены в таблице 2. Из таблицы видно, что разрешающее время для ДО-5 лежит в пределах от 3 до 5 мксек, а для ДО-7 - в пределах от 1 до 1,6 мксек, в то время как для ААДО-1 время может колебаться в пределах от 1,5 до 10 мксек. Последнее объясняется неидентичностью схем верхнего и нижнего каналов дискриминатора ААДО-1.

Т а б л и ц а 2.

| Тип Дискри- минатора | Порог | Разрешающее время (t) мс | | | |
|----------------------------|--------|------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|
| | | на пороге срабат. | | при превышении порога на 0,5в | |
| | | Начало просчета | Полный просчет | Начало просчета | Полный просчет |
| ДО-5 | Верх. | 5 | 4,4 | 4,15 | 3,75 |
| | Нижн. | 4,85 | 4,3 | 3,0 | 2,7 |
| ДО-7 | Верхн. | 1,6 | 1,5 | 1,1 | 1,0 |
| | Нижн. | 1,6 | 1,5 | 1,15 | 1,0 |
| ААДО-1 | Верхн. | 10 | 9 | 4,75 | 4,5 |
| | Нижний | 2,25 | 2,0 | 1,65 | 1,5 |

Работа дискриминаторов при статистически распределенных импульсах оценивалась путем измерения спектра Co^{60} при нагрузках до 10^5 имп/сек. Результаты позволяют заключить, что дискриминаторы ДО-5 и ААДО-1 примерно одинаково разрешают два пика Co^{60} (с энергией 1,17 и 1,33 Мэв) при нагрузках до 10^4 имп/сек. Дискриминатор ДО-7 дает несколько лучшее разрешение, однако при нагрузках более 10^4 имп/сек сказывалось влияние переходных цепочек на положение пика в спектрах, ввиду чего количественные измерения не проводили

8. Интегральный дискриминатор Д-2

Интегральный дискриминатор пропускает импульсы, превысившие порог, и, как уже отмечалось выше, состоит из дискриминирующего элемента, формирующего элемента и делителя напряжения, задающего порог. В дискриминаторе Д-2, кроме того, применен ограничитель амплитуд, что позволило исключить возможность перегрузки формирующего элемента.

Принципиальная схема интегрального дискриминатора Д-2 показана на рис.20. Дискриминирующий элемент выполнен на кристаллических диодах $D_1 - D_3$. Диод D_1 запирается отрицательным напряжением, подаваемым с делителя напряжения Π_1 . Диоды D_2 и D_3 являются восстанавливающими. Диод D_3 , кроме того, применен для "компенсации" паразитных сигналов, прошедших через емкость диода D_1 .

Вершины импульсов, прошедших через дискриминирующий диод D_1 , подаются на ограничитель амплитуд L_{1a} и D_4 , который представляет собой "реостатно-диодный" делитель. В исходном состоянии через цепь R_1, R_2 , открытый диод D_4 и R_k протекает ток 1 ма. При поступлении на вход L_{1a} положительного импульса сопротивление диода D_4 увеличивается, увеличивается соответственно падение напряжения на нем. Однако, при потенциале на аноде диода, равном потенциалу на емкости C_1 , диод D_4 полностью закрывается, и дальнейший рост потенциала на его аноде прекращается.

С выхода ограничителя сигнал поступает на формирующее устройство L_2 , которое представляет собой несколько измененную схему одновибратора, примененного в ДО-5. Отличие заключается в том, что в данной схеме одновибратора левая лампа в исходном состоянии проводит меньший ток, чем правая, и, кроме того, изменена полярность проводящего диода D_6 . Одновибратор срабатывает от положительного импульса амплитудой 0,15 в. Импульс одновибратора снимается с анода правой половины L_2 и через катодный повторитель L_{16} поступает на выход.

Интегральный дискриминатор И-2.

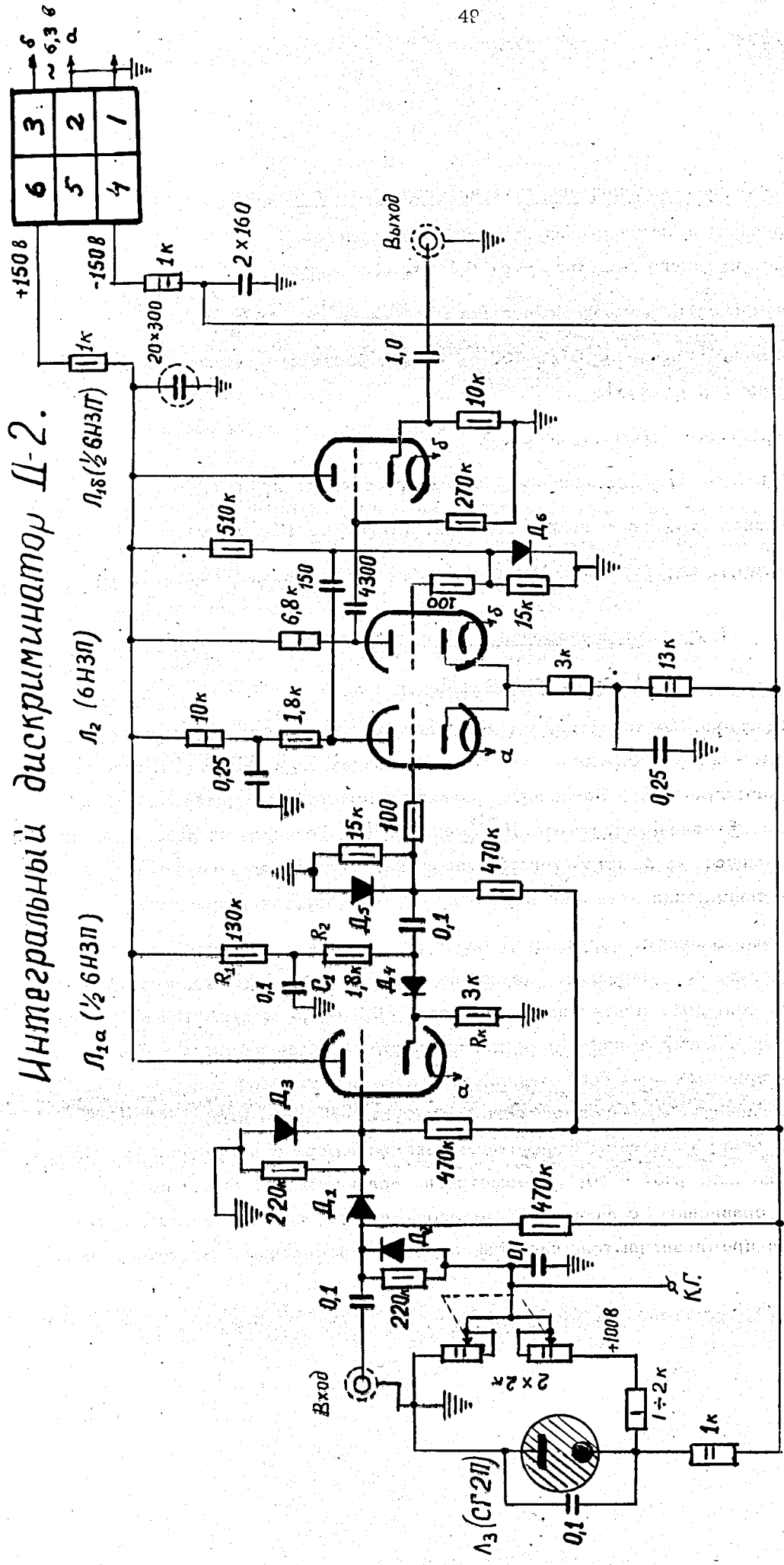


Схема расположения ламп (вид со стороны монтажа).

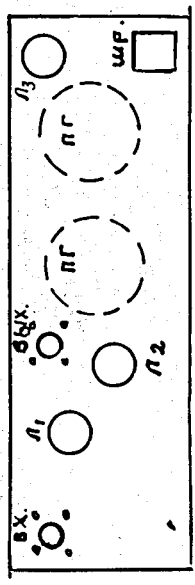


Рис. 20

9. Технические характеристики интегрального дискриминатора Д-2

1. Полярность входного импульса - положительная.
2. Фронт входного импульса - от 0,1 мксек и более.
3. Длительность входного импульса - от 0,2 мксек до 10 мксек.
4. Изменение порога от 0 до 100 в плавно (возможно применение ступенчатого делителя напряжения).
5. Разрешающее время 2 мксек.
6. Линейность дискриминационной характеристики не хуже 1,5%.
7. Выходной импульс - положительный, амплитуда 12в, длительность 1,5 мксек.
8. Требуемые напряжения: +150 в/12 ма/, -150 в/32ма/, ~6,3в /0,7а / (заземлен).

1У. Блоки совпадений и антисовпадений

1. Блок совпадений

Среди различной по характеру применения техники совпадений в экспериментальной физике можно проследить три основные направления развития и совершенствования схемных решений. Во-первых, развитие метода совпадений для области наносекундного диапазона вплоть до 10^{-11} сек [Л34]. Техника эта использует импульсы с длительностью фронтов того же порядка. Достаточно полный обзор наносекундных схем совпадений приведен в работах [Л35,36].

Вторым направлением, получившим развитие за последние годы, является методика совпадений с умеренным разрешением (10^{-7} - 10^{-8} сек) для импульсов с относительно большой длительностью фронта (0,2 - 0,5 мксек). В этом случае для компенсации влияния амплитуды и длительности фронта входных импульсов на разрешающее время схемы совпадений используются методы предварительной формировки с переменным (в зависимости от амплитуды входного импульса) порогом, либо не менее сложные методы формировки как, например, двойное дифференцирование входного сигнала [Л37 - 40]. Несмотря на получаемый выигрыш во временном разрешении по сравнению с фронтом входного импульса, все эти методы достаточно громоздки и предназначаются, как правило, для определенных конкретных задач.

К третьему направлению можно отнести схемы совпадений более раннего развития, хотя и не утратившие своего значения до настоящего времени, это схемы микросекундного диапазона [Л41-44].

Для этой группы характерно разнообразие схемных решений, в том числе использование методов наносекундной техники.

Работы нашей лаборатории не выходят за временной диапазон десятых и сотых долей микросекунд, поэтому наш интерес распространяется, прежде всего, на две последние группы схем совпадений.

В основу блока совпадений положен метод усиления и предварительной формировки входных импульсов. Благодаря применению формирующего элемента с низким порогом срабатывания имеется возможность работать с относительно небольшим предварительным усилением.

Второй особенностью описываемого блока совпадений является то, что элемент предварительной формировки не определяет разрешающее время совпадения, как это сделано в промышленном приборе "Яблоня" [Л45]. Ввиду этого устранена основная причина нестабильности разрешающего времени, характерная для "Яблони" (особенно при малых разрешающих временах).

После исследования ряда схем в выбранном временном диапазоне было решено за основу взять видоизмененную схему [Л42] с общей анодной нагрузкой, функции которой выполняет коротко замкнутая линия задержки.

Такая схема совпадений, во-первых, является одновременно элементом, определяющим разрешающее время схемы совпадений вне зависимости от длительности входных импульсов, во-вторых, позволяет сравнительно просто изменять разрешающее время схемы путем смены линии задержки, в-третьих, мертвое время схемы практически определяется длительностью входных импульсов.

Помимо этого, увеличение числа каналов, включенных на совпадение, достигается простым увеличением ламп, работающих на короткозамкнутую линию.

Полная схема двухканального блока совпадений /С/с-2/ приведена на рис. 21. В него входят: усилители-ограничители на лампах L_1 и L_2 (соответственно по второму каналу L_5 , L_6), формирующие одновибраторы L_3 (соответственно L_7), собственно схема совпадений L_4 , элемент отбора на диодах D_6, D_7 , усилитель L_9 и одновибратор выходного импульса L_{10} с фазоинвертором L_{11} .

Схема собладений 9/c-2

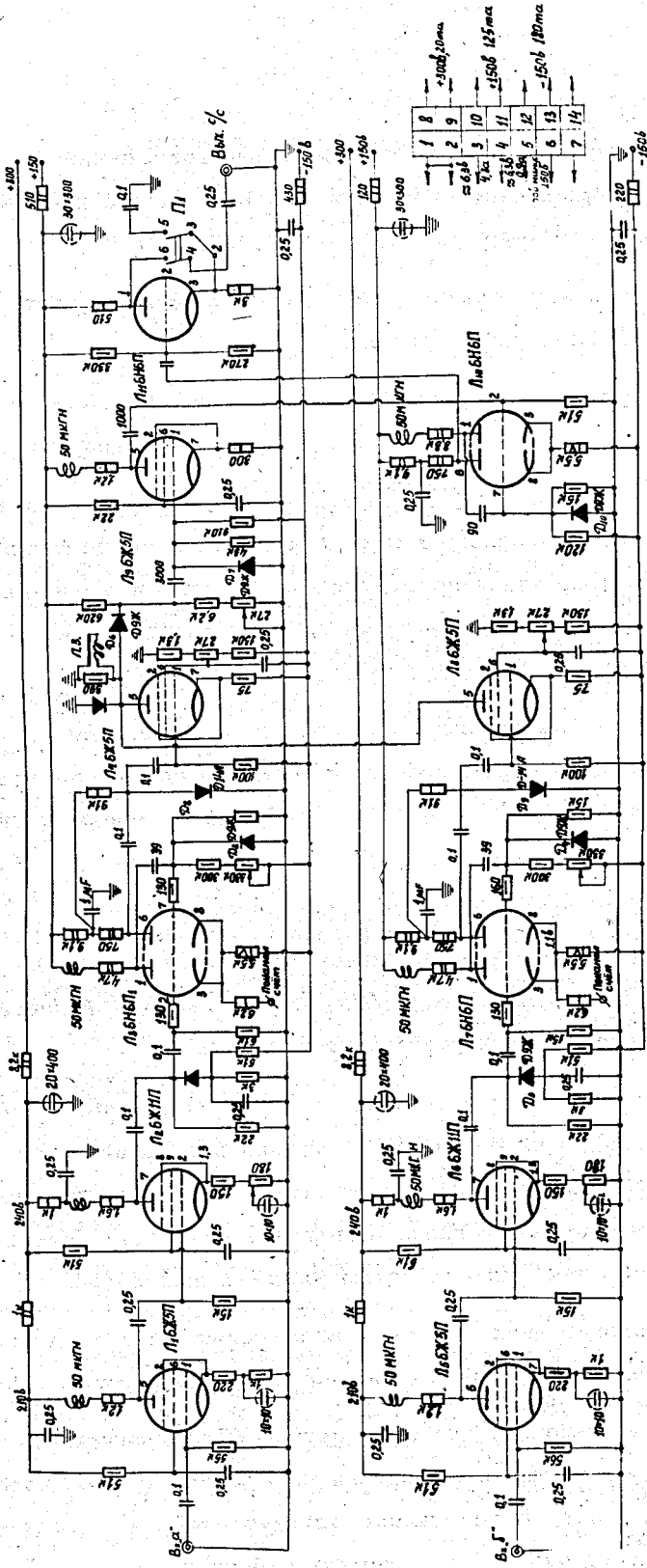


Схема расположения ламп (вид с торцов монтажа)

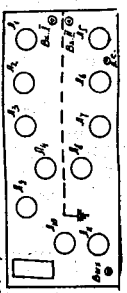


Рис. 21.

Усилитель-ограничитель рассчитан на работу с импульсами отрицательной полярности. Ограничение входного сигнала происходит на уровне 1,8 вольта, при котором лампа L_1 / L_5 полностью запирается.

Максимальный положительный импульс на аноде L_1 / L_5 при этом не перегружает последующий каскад усилителя L_2 / L_6 . Коэффициент усиления усилителя может меняться в пределах от 10 до 15 с помощью переменного сопротивления в катоде лампы L_2 / L_6 .

В блоке совпадений предусмотрена возможность постановки входного ступенчатого или плавного делителя напряжения между входными фишками и лампами L_1 и L_5 .

На выходе усилителя включен диод D_2 / D_4 , ограничивающий импульс, поступающий на запуск формирующего одновибратора, на уровне 7 вольт.

В случае работы с импульсами, передний фронт которых превышает разрешающее время схемы совпадений, входные импульсы формируются одновибраторами L_3 / L_7 .

Одновибраторы выполнены по измененной схеме [Л46] и имеют низкий уровень срабатывания - порядка 0,1 в. Низкий уровень срабатывания дает возможность уменьшить предварительное усиление или включить схему совпадений вообще без предварительного усиления.

Четкое срабатывание и малая чувствительность обеспечиваются режимом лампы в исходном состоянии (обе лампы одновибратора проводят) и применением диода D_2 , который шунтирует сетку правого триода L_3 (L_7).

Так как формирующий одновибратор работает в условиях временной селекции, детально были исследованы причины, могущие вызвать поканальные задержки. Исследования показали удовлетворительную работу одновибратора при различных амплитудах и длительностях переднего фронта входных импульсов.

На рис. 23 приведена зависимость задержки срабатывания одновибратора t зад. от амплитуды входных импульсов с фронтом 0,12 мксек и 0,26 мксек. Видно, что уже при амплитуде импульса на входе одновибратора 0,2 вольта и выше запаздывание выходного импульса меньше минимального разрешающего времени схемы совпадений (0,03 мксек) и практически не зависит от фронта входного импульса.

Мертвое время одновибратора является определяющим для мертвого времени схемы совпадений. Зависимость этого времени от амплитуды входных импульсов приведена на рис. 22, из которого видно, что мертвое время одновибратора для рабочих амплитуд импульсов практически остается постоянным.

В случае работы блока совпадений с входными импульсами, длительность которых превышает мертвое время одновибратора (1 мксек) целесообразно для предотвращения влияния длительности входных импульсов на мертвое время схемы совпадений увеличить длительность выходного импульса одновибратора. В блоке это осуществляется путем смены емкости связи между анодом и сеткой L_3/L_7 согласно таблице 3. Там же приведены длительности выходных импульсов и получаемое при этом мертвое время одновибратора.

Т а б л и ц а 3

| С пф | 39 | 53 | 82 | 270 | 600 | 820 | 1400 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| $t_{\text{импул.}}$ мксек | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 2 | 4 | 5 | 10 |
| Мертвое время мксек | 0,9 | 1,2 | 2,0 | 4 | 8 | 11 | 22 |

Выходные отрицательной полярности импульсы одновибраторов с амплитудой более 10 вольт и фронтом менее 80 нсек поступают соответственно на сетки ламп L_4 и L_8 собственно схемы совпадений.

Схема совпадений выполнена по принципу [Л42]. В анодной цепи ламп включена короткозамкнутая линия задержки, формирующая импульсы с длительностью, равной удвоенному времени задержки, по переднему и заднему фронту входного импульса.

В качестве линии задержки используется отрезок кабеля РКЗ-401 с волновым сопротивлением 400 ом.

Этот кабель был выбран из следующих соображений: во-первых, его частотные характеристики обеспечивают формирование импульсов с достаточно крутыми для наших требований фронтами; во-вторых, кабель допускает достаточно простую смену (в нашем случае отрезки кабеля распаиваются на специальные фишки, ответ-

ные гнезда которых крепятся непосредственно на панели блока); в -третьих, волновое сопротивление кабеля позволяет получать импульсы напряжения порядка нескольких вольт при сравнительно небольших токах через лампы L_3, L_8 (в нашем случае ток равен 15 ма).

Равенство токов ламп, работающих на линию, регулируется путем изменения потенциала экранной сетки.

В схеме отбора совпадений, выполненной на диодах D_6, D_7 , резкий излом характеристик обеспечивается нормально проводящим диодом D_7 .

Включение этого диода уменьшает затягивание импульса на входе усилительной лампы L_9 и, практически, устраняет изменение дискриминирующего уровня при работе блока совпадений с различными нагрузками. Характеристика элемента отбора совпадений приведена на рис. 24. Уровень срабатывания выходного одновибратора, приведенный к сетке лампы L_9 , равен 0,12 вольта, это обеспечивает его срабатывание только при совпадениях импульсов по обоим каналам блока.

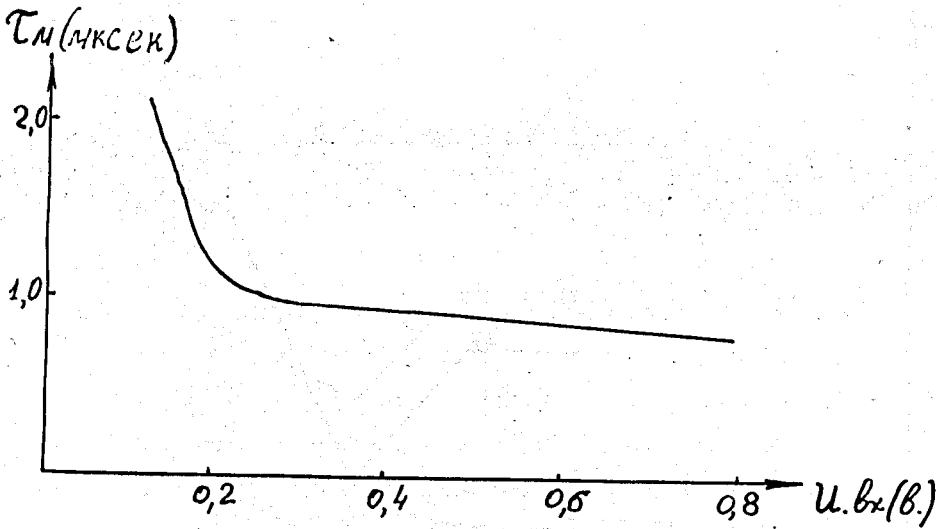


Рис. 22.

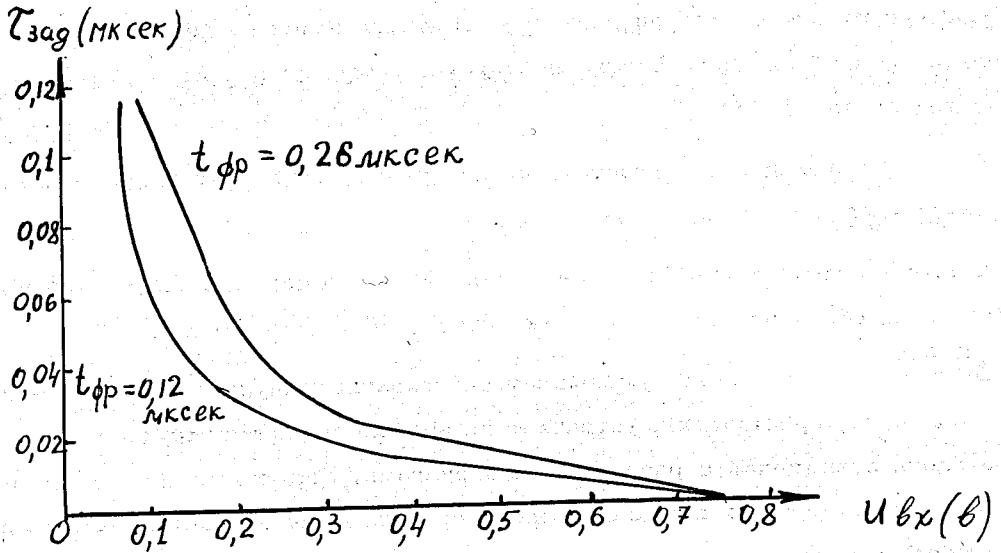


Рис. 23.

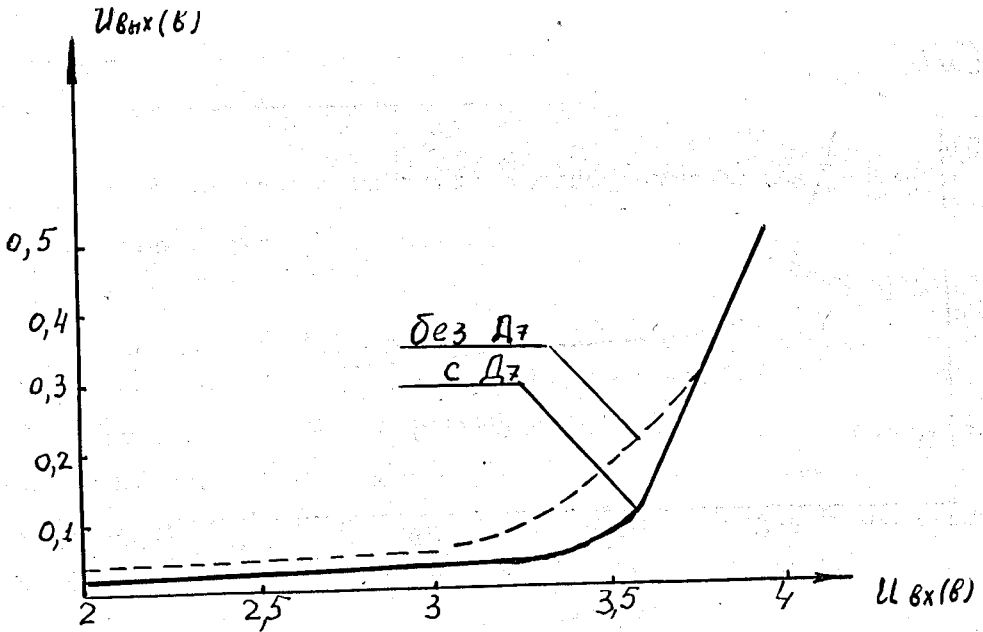


Рис. 24.

Амплитуда импульса на анодах ламп L_4 L_8 при совпадении равна 5,7 в, при несовпадении - 2,8 в.

Одновибратор L_{10} формирует импульс с амплитудой 15 вольт. Мертвое время одновибратора при длительности импульса 0,5 мксек составляет 1,8 мксек.

Выходной импульс блока совпадений в зависимости от положения переключателя Π_1 может иметь любую полярность, длительность его соответствует длительности импульса одновибратора. При этом длительность последнего может быть увеличена путем смены емкости связи.

Изменение параметров выходного импульса и мертвое время выходного одновибратора при различных емкостях связи приведены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4

| | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| С связи | 51 | 75 | 84 | 100 |
| t импул. | 0,5 | 0,8 | 0,9 | 1,2 |
| Мертвое время мксек | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,5 |

2. Режимы работы блока совпадений

Для расширения области применения блока совпадений предусматривается возможность работы в следующих 3-х режимах.

1. При работе с входными импульсами отрицательной полярности с амплитудой более 5 вольт с фронтом меньше разрешающего времени схемы совпадений и длительностью входного импульса больше этого времени. При этом возможна работа без формирующих одновибраторов. В этом случае входные импульсы со "входов" блока подаются непосредственно на сетки ламп схемы совпадений $L_4 L_8$. Поканальное мертвое время блока совпадений в этом случае равно, примерно, длительности входных импульсов.

2. Если фронт входных импульсов превышает разрешающее время схемы совпадений, то перед поступлением на схему совпадений импульсы формируются одновибраторами. Уровень формирования равен 0,1 вольту. Входные импульсы в этом случае могут подаваться непосредственно на сетки ламп одновибраторов L_3/L_7 .

3. Работа с усилителями-ограничителями $L_1 L_2 / L_5 L_6$. Уровень формирования при этом равен примерно 10 милливольтам. Указанные режимы осуществляются путем перепайки провода, идущего от входной фишки к сеткам ламп L_4, L_3, L_1 (L_8, L_7, L_5) соответственно.

3. 4-х канальные совпадения

Два блока, у которых лампы схемы совпадений включены на одну линию, могут работать на совпадение по 4-м каналам. В этом случае две панели рис.21 крепятся в одном шасси, аноды ламп L_4, L_8 двух блоков соединяются вместе, в работе участвует одна из формирующих линий с последующей схемой отбора.

Сигнал на аноде ламп совпадений составляет около 12 вольт, для отбора 4-х совпадений смещение на диоде отбора D_6 устанавливается 9,2 вольт.

4. 3-х канальные совпадения

Аналогичным образом, используя два блока совпадений, можно получить трехканальную схему совпадений. В этом случае смещение на диоде отбора D_6 устанавливается на уровне 5,8 вольт.

5. Некоторые экспериментальные характеристики блока совпадений

Экспериментальная проверка работы блока совпадений предусматривала, с одной стороны, определение реального разрешающего времени схемы совпадений, с другой стороны, исследование постоянства основных характеристик блока при различных условиях работы.

Реальное временное разрешение блока совпадений определялось методом задержанных совпадений с источником Zn^{65} при работе с ФЭУ-19 и кристаллом стильбена.

Результаты, полученные при различных линиях формирования, приведены на рис. 25 и в таблице 5.

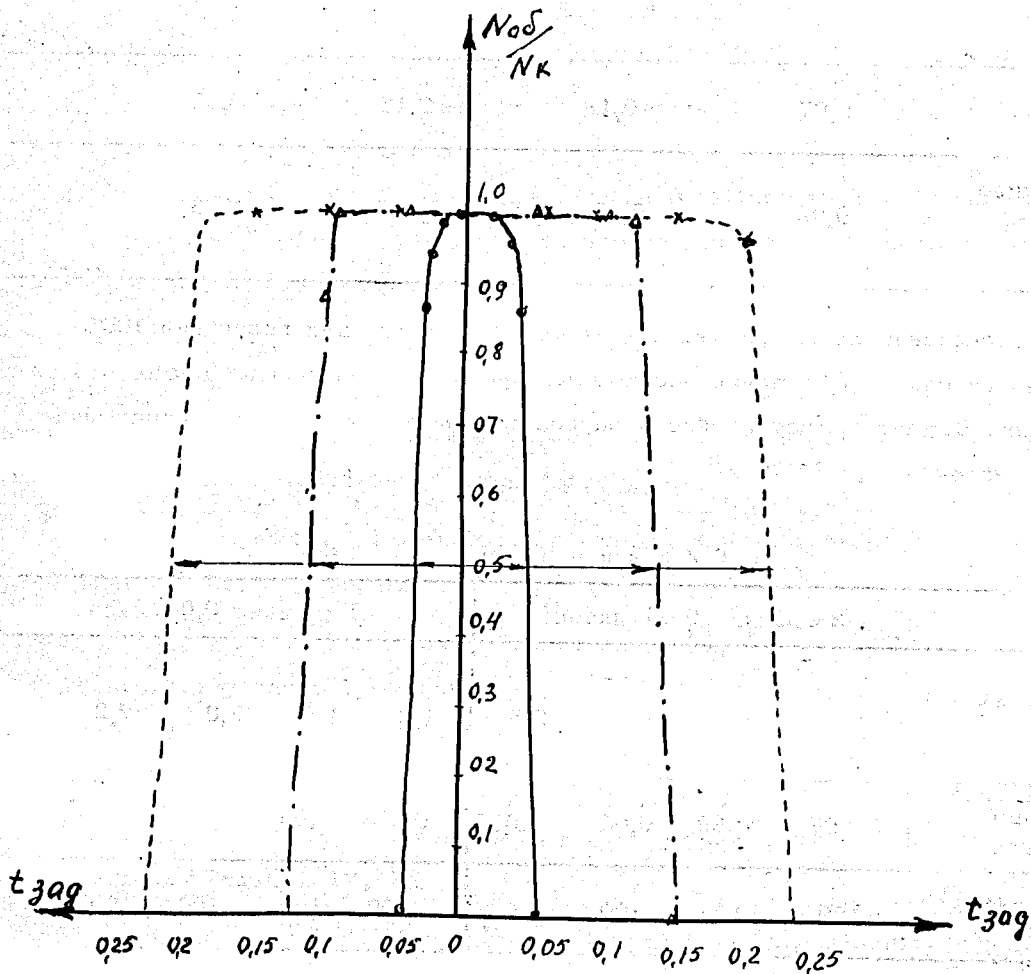


Рис. 25.

Примечание: $U_{сш} = 2,858$.

1. x - - - - - Три линии $0,25 \text{ мксек} = 2\tau$
 2. Δ - . - . - - - - - " " - $2\tau = 0,15 \text{ мксек}$
 3. • - - - - - " " - $2\tau = 0,07 \text{ мксек}$
- 3 $\frac{N_{\delta\delta}}{N_k}$ — счёт на выходе с/с
счёт поканальн.

Т а б л и ц а 5

| | | | | |
|-------------------------------------|------|------|-------|------|
| 2 t линии мксек | 0,07 | 0,1 | 0,15 | 0,25 |
| Разрешающее время с/с-2 мксек | 0,09 | 0,12 | 0,245 | 0,43 |

При укорочении линии формирования ниже 0,07 мксек для получения 100% эффективности счета совпадений необходимо снижать потенциал на диоде отбора D_8 .

Таблица 6 дает представление о разрешающем времени схемы совпадений ниже 0,09 мксек.

Т а б л и ц а 6

| | 2 t линии 0,05 мксек | | | | 2 t линии 0,04 мксек | | | |
|---------------------------------------|----------------------|------|------|-------|----------------------|------|-------|------|
| Смещение на диоде D_8 /вольт/ | 1,8 | 1,95 | 2,2 | 2,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 |
| Разрешающее время /мксек/ | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,035 | 0,073 | 0,05 | 0,035 | 0,01 |
| Эффективность / % / | 100 | 100 | 100 | 93 | 100 | 100 | 100 | 90 |

Работа с разрешающим временем ниже 0,09 мксек с данным блоком вполне возможна, однако ввиду того, что блок в этом случае работает в режимах, близких к предельному, эти режимы не стандартизуются.

Постоянство разрешающего времени проверялось при загрузках до $3 \cdot 10^4$ импульсов в секунду. При этом форма кривых задержанных совпадений практически не менялась, оставалось постоянным и разрешающее время, определяемое по методу случайных совпадений.

Стабильность разрешающего времени в течение нескольких месяцев работы оценивалась лучше 1%.

6. Основные технические характеристики блока совпадений с/с-2

1. Блок совпадений позволяет регистрировать:

- а) Совпадения в 2-х каналах;
- б) Совпадения в 3 - 4 каналах при параллельной работе 2-х блоков;
- в) Совпадения в 2-3 -х каналах и антисовпадения в 1-м канале при

параллельной работе блока совпадений с блоком антисовпадений.

2. Разрешающее время на совпадение можно менять путем смены линии формирования в пределах 0,09 до 0,5 мксек (большое разрешающее время можно получить путем изменения емкости в формирующих одновибраторах (таблица 3) и применением линии с большой задержкой).

3. Мертвое время при входных импульсах отрицательной полярности с амплитудой более 10 мв, составляет:

- а) поканально - менее 1 мксек (см. таблицу 3);
- б) по выходу блока 1,8 мксек

(определяется мертвым временем выходного одновибратора, таблица 4).

4. Входные импульсы - отрицательной полярности. В зависимости от амплитуды и фронта входных импульсов предусматривается режим работы с формировкой и без формировки (раздел 1У,2).

5. Выходные импульсы - отрицательной и положительной полярности с амплитудой 15 вольт, длительность 1 мксек и более (см. таблицу 4).

6. Блок выполнен на шасси размером 180 мм.

7. Питание блока. Накал: $\sim 6,3$ в, 4,8 а под потенциалом земли и $\sim 6,3$ в, 0,9 а под потенциалом - 150 в. Анодные цепи: + 300 в 20 ма; +150 в 125 ма; - 150 в 180 ма.

7. Блок антисовпадений /а/ с-2/

Блок антисовпадений разрабатывался на основе блока совпадений с учетом возможной совместной работы блоков совпадений и антисовпадений.

Полная схема блока антисовпадений приведена на рис. 26. Блок выполнен, практически, по той же схеме, что и блок совпадений за исключением собственно схемы антисовпадений $L_4 L_8$:

Схема автооблавления. СЛ-2

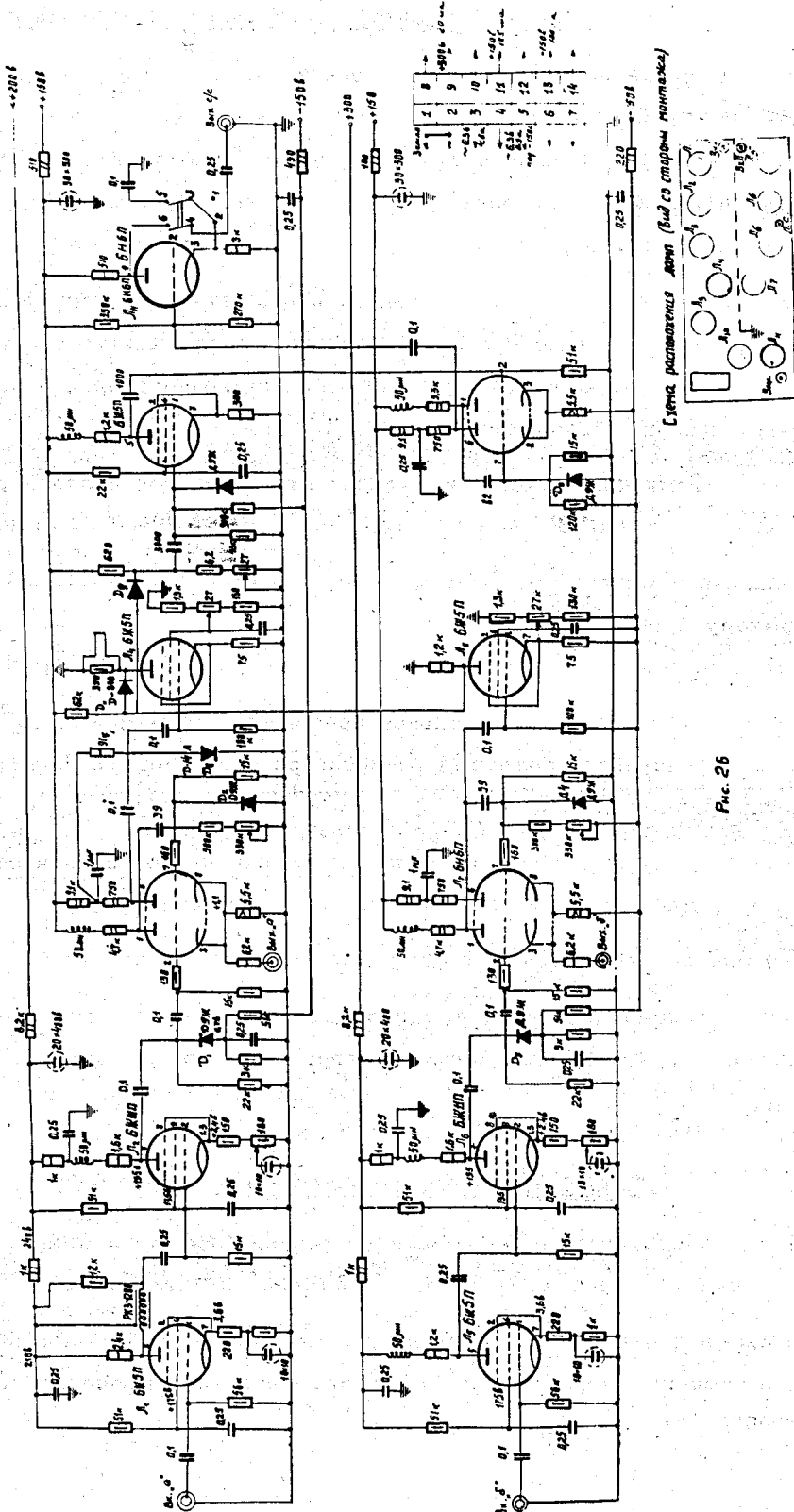


Рис. 26

- а) В катоде лампы L_8 включено сопротивление 1,4 ком;
- б) Сигнал на сетку лампы L_8 снимается с анода левой лампы формирующего одновибратора L_7 ;
- в) Изменена цепь отбора антисовпадений.

В канале "а" предусмотрена задержка входного сигнала с помощью линии, включенной в анодную цепь первой лампы.

Канал "а" работает аналогично каналу в схеме совпадения, работа которого описана выше.

Канал "б" является запрещающим. Длительность запрещающего импульса может меняться путем смены конденсатора связи в одновибраторе L_7 согласно таблице 3.

В случае отсутствия запрещающего импульса на аноде лампы L_4 формируются прямоугольные импульсы положительной (по переднему фронту) и отрицательной (по заднему фронту входного импульса) полярности, в результате чего после элемента отбора - диода D_6 появляется положительный импульс, запускающий выходной одновибратор L_{10} .

При наличии запрещающего импульса по каналу "б" потенциал анода лампы L_8 понижается, вследствие чего диод D_6 остается закрытым и запуск одновибратора не происходит.

Аналогично, режимом блока совпадений, в зависимости от амплитуды и фронта, входные импульсы могут подаваться:

- а) непосредственно на сетки ламп антисовпадений L_4 , L_7 (при амплитудах более 5 вольт и фронте менее двойного времени задержки линии в аноде L_4);
- б) на вход формирующих одновибраторов;
- в) на вход усилителей-ограничителей (подробней см. раздел 1У.2).

8. Работа на совпадения и антисовпадения

Совместная работа блоков совпадений и антисовпадений обеспечивается соединением на одну формирующую линию анодов всех канальных ламп собственно схем совпадений.

Кроме того изменяется потенциал отбора совпадений на диоде D_6 . Для отбора 3-х совпадений потенциал устанавливается 5,4 вольта, для отбора 2-х совпадений - потенциал 3,4 вольта.

Схема отбора и выходной одновибратор блока совпадений в этом случае в работе не участвуют.

9. Основные технические характеристики блока антисовпадений а/с-2

1. Блок антисовпадений позволяет регистрировать:

- а) антисовпадения по двум каналам;
- б) совпадения в 2-3 -х каналах и антисовпадения в 1-м канале при параллельной работе блока совпадений с блоком антисовпадений.

2. Время блокировки при работе на антисовпадения может изменяться от 0,6 мксек до 10 мксек путем смены емкости связи в формирующем одновибраторе L_7 (см. таблицу 3).

3. Входные импульсы - отрицательной полярности. В зависимости от амплитуды и фронта возможен режим работы с формировкой и без формировки (см. раздел 1У.6 и 1У.2).

4. Мертвое время, выходные импульсы, размеры блока и номиналы питания такие же, как у блока совпадений (раздел 1У.6).

У. Линейный сумматор амплитуд

Для многоканального линейного сумматора амплитуд применяются, обычно, схема с общей анодной нагрузкой и схема, построенная по принципу анодного повторителя [Л,47,48].

Схема с общей анодной нагрузкой обладает высокоомным входом, что является ее достоинством, но она неудобна для суммирования входных импульсов положительной полярности (схема может перегружаться из-за возникновения сеточного тока). Кроме того, линейность суммирования такой схемы ограничена несколькими вольтами.

Сумматор по схеме анодного повторителя имеет ряд преимуществ:

- а) линейный диапазон амплитудной характеристики простирается до нескольких десятков вольт;
- б) имеется возможность суммирования импульсов любой полярности;
- в) можно построить многоканальный линейный сумматор на одной лампе;
- г) стабильность работы при изменении напряжения питающей сети высока;
- д) отсутствует необходимость подрегулировки коэффициента передачи каналов в зависимости от изменения параметров ламп при их смене.

К недостаткам сумматора по схеме анодного повторителя следует отнести:

- а) сравнительно низкоомное входное сопротивление ;
- б) влияние величины выходного сопротивления источника сигнала на коэффициент передачи. Однако эти недостатки являются несущественными, так как на практике обычно входы сумматора шунтируются низкоомными сопротивлениями для согласования соединительных кабелей.

Из вышеприведенного вытекает, что для стандартного блока - линейного сумматора амплитуд целесообразно применять последнюю схему.

Принципиальная схема линейного сумматора (ЛС-1) показана на рис. 27. Первый каскад на лампе L_1 является суммирующим, а второй каскад L_2 - выходным катодным повторителем.

Для уменьшения влияния разброса параметров ламп на работу схемы включено сопротивление отрицательной обратной связи (1 ком) в катодную цепь.

Цепь $R_1 C_1$ (с анода на сетку L_1) вызывает ослабление обратной связи с уменьшением частоты. Это может привести к подъему вершины импульса. Для компенсации этого явления уменьшена постоянная времени переходной цепи между L_1 и L_2 .

Для коррекции выброса, появляющегося при крутых фронтах (меньше 0,1 мксек), на переднем фронте выходного импульса, включены сопротивления в сеточные цепи L_1 (130 ом) и L_2 (4,7 ком). При входных импульсах отрицательной полярности величина дополнительного сопротивления в сетке L_2 уменьшается из-за

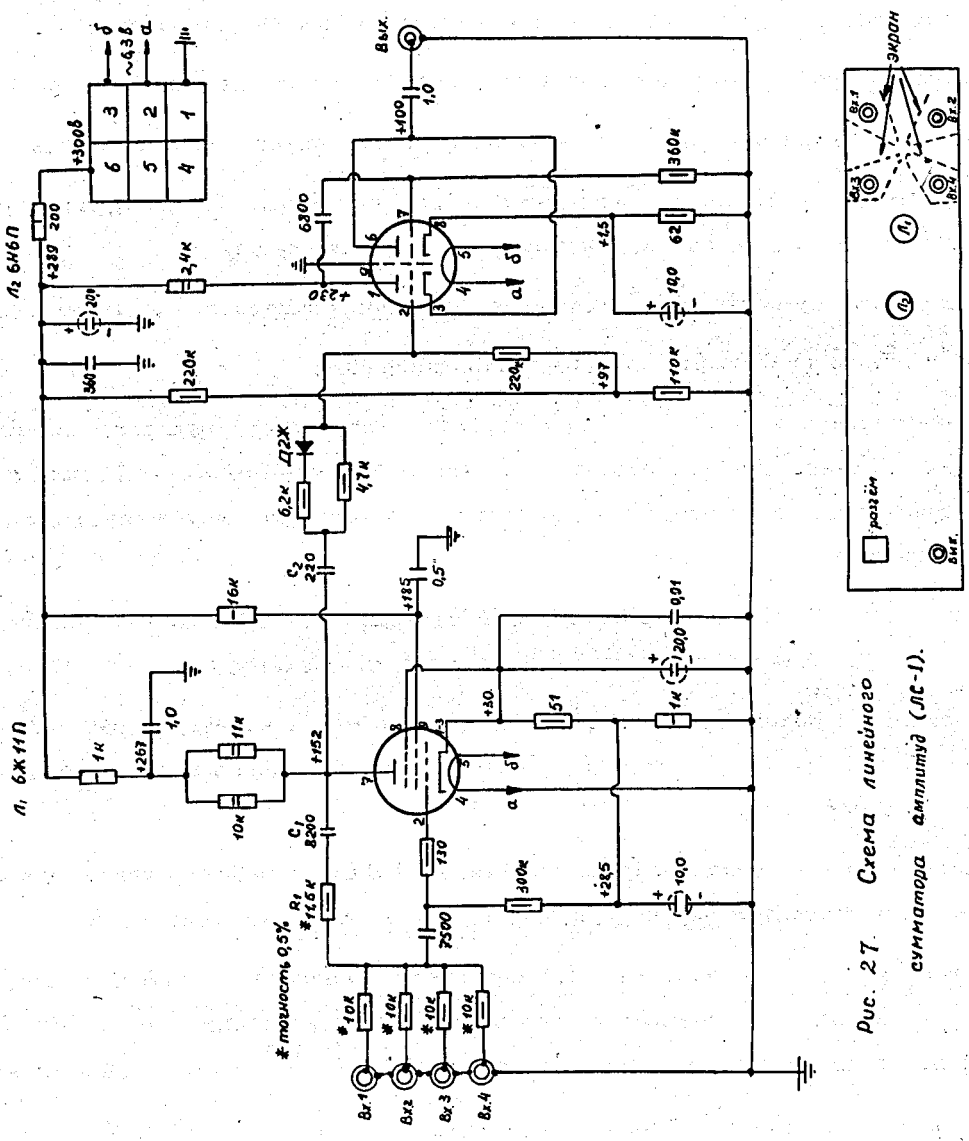


Рис. 27 Схема линейного сумматора амплитуд (ЛС-1).

Схема расположения ламп (вид со стороны монтажа)

параллельного включения сопротивления 6,2 ком. Такая переменность величины дополнительного сопротивления нужна потому что величина выброса у выходных импульсов зависит от полярности.

Величина суммирующих сопротивлений, являющихся частями цепи обратной связи, подобрана в 10 ком. Если используются высокоомные сопротивления выше 10 ком, то повышается уровень шумов. Учитывая коэффициент передачи катодного повторителя ($K=0,95$) и падение напряжения на элементах межкаскадной связи, коэффициент передачи суммирующего каскада мы выбрали несколько больше единицы. Для этого применялось сопротивление обратной связи $R_1 = 11,5$ ком.

Амплитудная характеристика сумматора приведена на рис. 28. При $U = 60$ в положительной полярности сигнал на сетке L_1 почти достигает величины заперения лампы, так что значительно ухудшается линейность амплитудной характеристики. При $U_{\text{вых}} > 85$ в отрицательной полярности лампа L_1 работает в режиме сеточных токов, т.е. сумматор перегружается. Поэтому эффективный рабочий диапазон сумматора установлен в пределах $U_{\text{вых}} > 50$ в положительной полярности, $\div U_{\text{вых}} < 75$ - в отрицательной полярности.

Сумматор смонтирован на 90-миллиметровом стандартном шасси. Для устранения взаимной наводки входов применена экранировка между входными фишками.

Ввиду устранения переходных конденсаторов на входах сумматора необходимо иметь их на выходах источников сигнала.

Технические характеристики линейного сумматора амплитуд

/ ЛС-1 /

1. Максимальное число суммируемых каналов (входов) - 4.
2. Коэффициент передачи по каждому каналу: $K = 1$. (Расхождение коэффициента передачи одного канала от другого - не более 1%).
3. Полярность суммируемых импульсов - любая. (Выходной импульс имеет противоположную полярность относительно входа).
4. Максимальная амплитуда выходных импульсов при нелинейности меньше 1%. $U_{\text{вых}} = 50$ в (положительной полярности), $U_{\text{вых}} = 75$ в (отрицательной полярности).
5. Время нарастания: $t_{\text{ф}} < 0,05$ мксек.

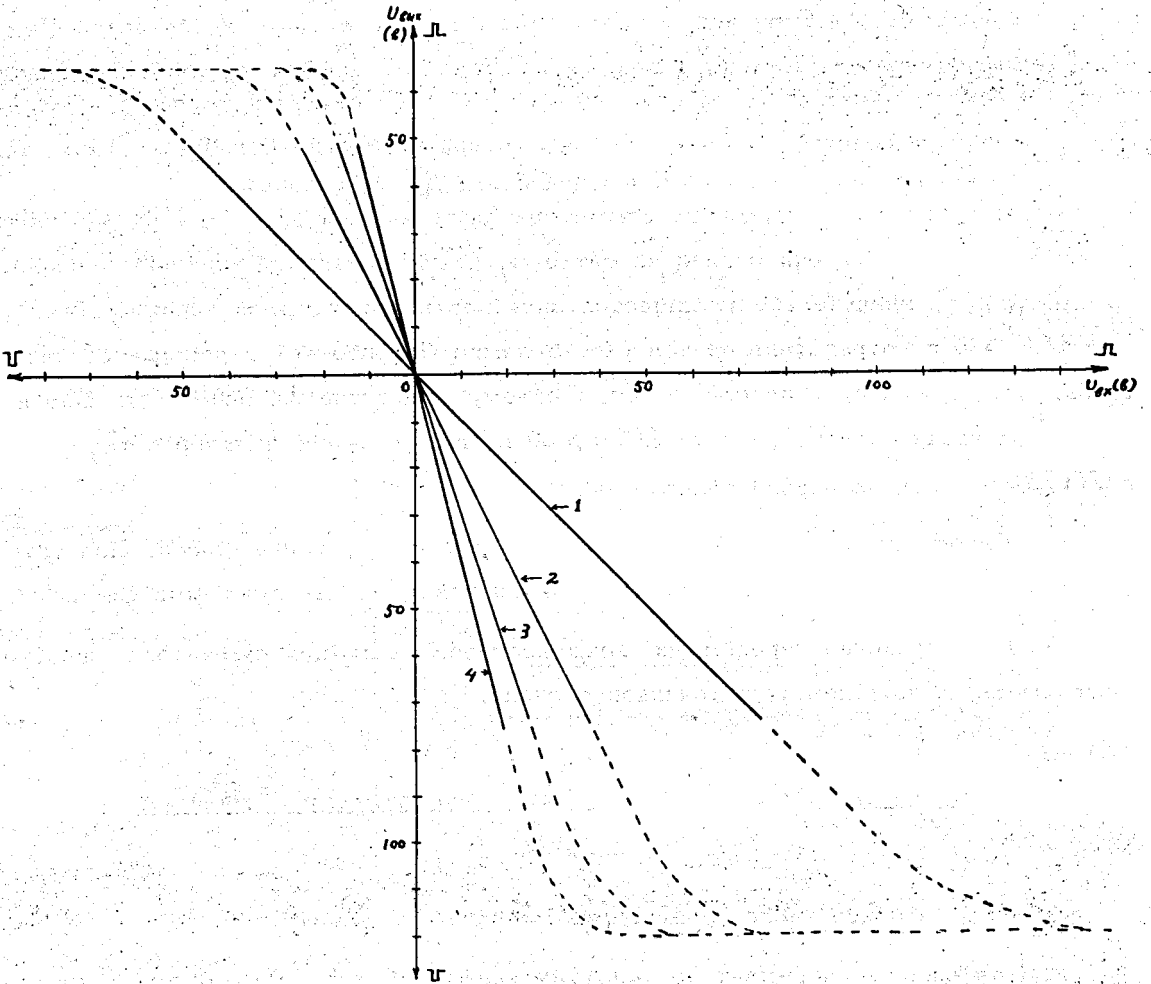


Рис. 28. Амплитудная характеристика линейного сумматора ЛС-1

— рабочий диапазон,
 ---- вне рабочего диапазона.

6. Спад вершины при длительности импульсов 10 мксек - не более 1%.
7. Входное сопротивление каждого канала (без согласующего сопротивления на входной фишке) - не менее 10 ком.
8. Выходное сопротивление - 30 ом.
9. Максимальное изменение коэффициента передачи при колебании напряжения накала в пределах $\pm 10\%$ - не более $\pm 0,5\%$.
10. Выходное напряжение шумов - 150 мкв двойной амплитуды.
11. Питание: $\sim 6,3$ в (1,2а) (заземлен) , +300 в (53ма).

У1. Линейная схема пропускания С/П - 2

При амплитудном анализе импульсов часто бывает необходимо еще до анализатора отделить исследуемые импульсы от сопутствующих фоновых. Обычно это осуществляется схемой, пропускающей импульсы только при наличии "разрешающих" сигналов.

При работе с короткими импульсами с фронтом 0,1 мксек и меньше возникают трудности линейной передачи импульсов через такие схемы пропускания. С другой стороны, большинство схем пропускания имеют "пьедестал", нестабильность которого вносит ошибку в спектр передаваемых амплитуд.

Среди известных быстрых схем пропускания наиболее перспективными являются схемы, использующие лампу с отклонением луча [Л49], позволяющие производить переключение каналов. Однако, в настоящее время отсутствуют такие лампы серийного производства. Схема пропускания [Л50], в которой использована та же идея "переключения" каналов, но выполненная на обычных лампах, получается достаточно сложной, кроме того, эти схемы изменяют полярность входных сигналов.

Использованные методы "самокомпенсации" [Л51] в схемах пропускания вызывают трудности компенсации крутых фронтов, кроме того, такие схемы требуют тщательной настройки для конкретной формы сигнала.

Линейные схемы пропускания, использующие метод "реостатно-лампового" делителя [Л52], заключают в себе два противоречивых требования. С одной стороны, для увеличения диапазона линейного пропускания импульсов необходимо увели-

чение гасящего сопротивления R , с другой стороны, для уменьшения завала фронта передаваемого импульса необходимо уменьшение R . Совместить эти два требования для импульсов с амплитудой до 100 вольт при фронте 0,1 мксек довольно трудно.

Используемая схема отличается низким "пьедесталом" ($\sim 0,75$ в), а также способностью ограничивать импульсы по максимуму. В основу схемы положена схема совпадений рис. 29, принцип работы которой описан ниже.

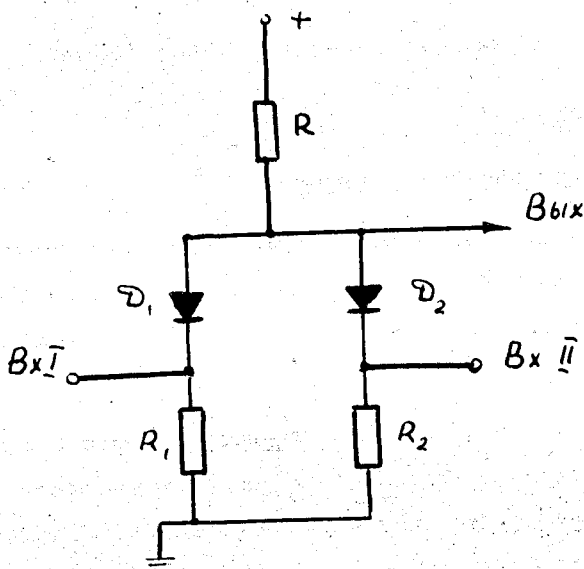


Рис. 29.

При подаче на один из входов (например $Vx 1$) положительного импульса диод D_1 запирается, а диод D_2 остается открытым. При надлежащем выборе сопротивлений потенциал на выходе практически не изменится. При подаче на оба входа одновременно двух положительных импульсов оба диода закрываются и на выходе возникает импульс, примерно одинаковый по величине с меньшим из входных.

Недостатком этой схемы являются низкие входные сопротивления.

Использование катодных повторителей вместо R_1 и R_2 (рис.30) значительно увеличивает входные сопротивления схемы и, кроме того, позволяет расширить величину линейного диапазона пропускаемых импульсов.

Схема пропускания С/П-2.

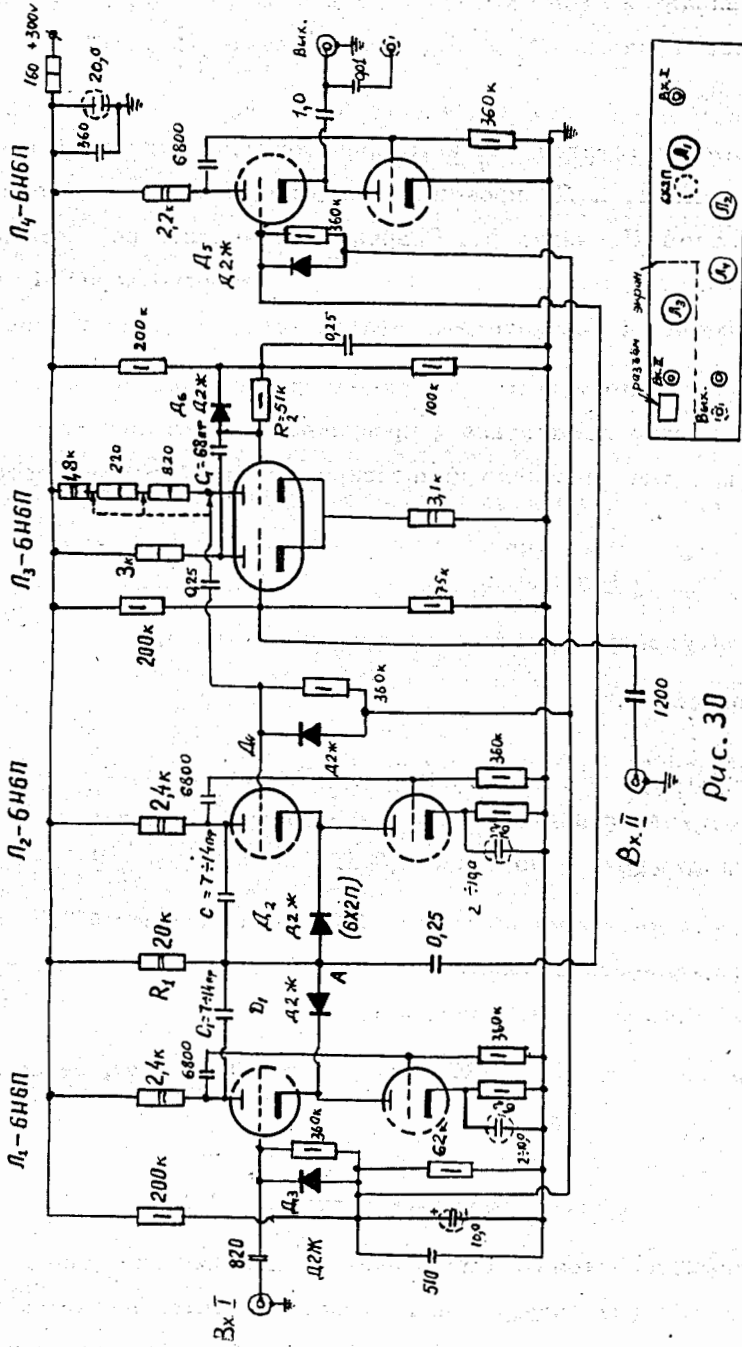


Схема расположения ламп (вкл. со стороны монтажа)

Рис. 30

Принципиальная схема С/П-2 показана на рис. 30. В собственно схему пропускания входят диоды D_1 и D_2 , сопротивление $R_4 = 20$ ком и катодные повторители L_1 и L_2 .

Катодные повторители L_1 и L_2 выполнены по каскадной схеме. В исходном состоянии диоды D_1 и D_2 проводят ток. Входной сигнал положительной полярности подается на диод D_1 через L_1 . Разрешающий сигнал со входа \bar{II} поступает на одновибратор L_3 , положительный импульс которого через L_2 подается на D_2 . Сигнал с точки А через катодный повторитель L_4 подается на выход.

Некоторым недостатком этой схемы является наличие небольшого выброса на переднем фронте пьедестала и пропускаемого импульса при фронтах меньше 0,05 мксек, которые частично компенсируются подбором емкостей C_1 и C_2 .

Технические характеристики С/П-2

1. Амплитуда пропускаемого импульса до 100 в.
2. Линейность 1%.
3. Фронт нарастания - не хуже 0,05 мксек.
4. Амплитуда "стола": с кристаллическими диодами - не более 0,75 в; с накальными диодами - не более 2,5 в.
5. При входных импульсах до 100 в и "закрытой" схеме пропускания, импульс на выходе при использовании кристаллических диодов - не более 0,5в; с накальными диодами - не более 2 в.
6. Питание: + 300в (125 ма), ~ 6,3 в (3а), заземлен.

У11. Пороговый усилитель ПУ - 1

Пороговый усилитель предназначается для линейного расширения по оси энергии (амплитуды) определенного участка спектра при амплитудном анализе, когда исследуемый диапазон амплитуд находится в районе максимальной энергии.

Пороговый усилитель обычно выполняется по схеме дифференциального усилителя с отрицательной обратной связью, причем лампа, на которую подается

входной сигнал, нормально заперта напряжением, задающим порог отсечки. В связи с этим возникает трудность, обусловленная работой этой лампы на нелинейном участке характеристики. В пороговом усилителе типа ПУ-1 была применена простая схема для укорочения нелинейного участка амплитудной характеристики.

Пороговый усилитель типа ПУ-1 включает в себя также формирующее устройство, с помощью которого может быть снят интегральный спектр.

Принципиальная схема порогового усилителя (ПУ-1) показана на рис. 31. Усилитель состоит из дифференциального усилителя, построенного на лампах L_1-L_2 , в общей катодной цепи которых включен пентод L_3 , предназначенный для расширения диапазона амплитуд входных импульсов. Кроме того, лампа L_3 уменьшает паразитное прохождение импульсов со входа схемы через емкость сетка-катод лампы L_1 . В нормальном состоянии лампа L_2 проводит ток порядка 30 ма, а L_1 - заперта. Диод D_1 включен для улучшения линейности амплитудной характеристики. Потенциал точки "А" может подниматься только тогда, когда величина тока, протекающего через лампу L_1 , превышает величину начального тока через диод D_1 (7;5 ма). Линейность начального участка зависит от резкости изгиба вольт-амперной характеристики диода вблизи нулевой точки. Рис. 32 показывает, что включение диода D_1 сокращает нелинейный участок до 2 в, без диода нелинейный участок достигает 15 в.

Напряжение порога подается на сетку L_1 с помощью делителя P_1 . Порог можно менять через 10 вольт. Переключением тумблера P_3 можно дополнительно изменить порог на 5 в. Для точного установления порога предусмотрено подстроечное сопротивление R_2 , позволяющее изменять в небольших пределах начальный потенциал управляющей сетки L_2 .

Пороговый усилитель охвачен отрицательной обратной связью через катодный повторитель L_4 . Переключение коэффициента усиления осуществляется изменением глубины обратной связи (делитель P_2). Потенциометр R_3 позволяет регулировать коэффициент усиления в пределах $\pm 10\%$.

К выходу катодного повторителя подключен формирующий каскад, позволяющий регистрировать импульсы, превысившие порог усилителя.

Формирование выполняется на одновибраторе L_5 , который запускается импульсами с выхода порогового усилителя (L_4). Диоды D_2 и D_3 выполняют функцию

Схема простого усилителя типа ПУ-1

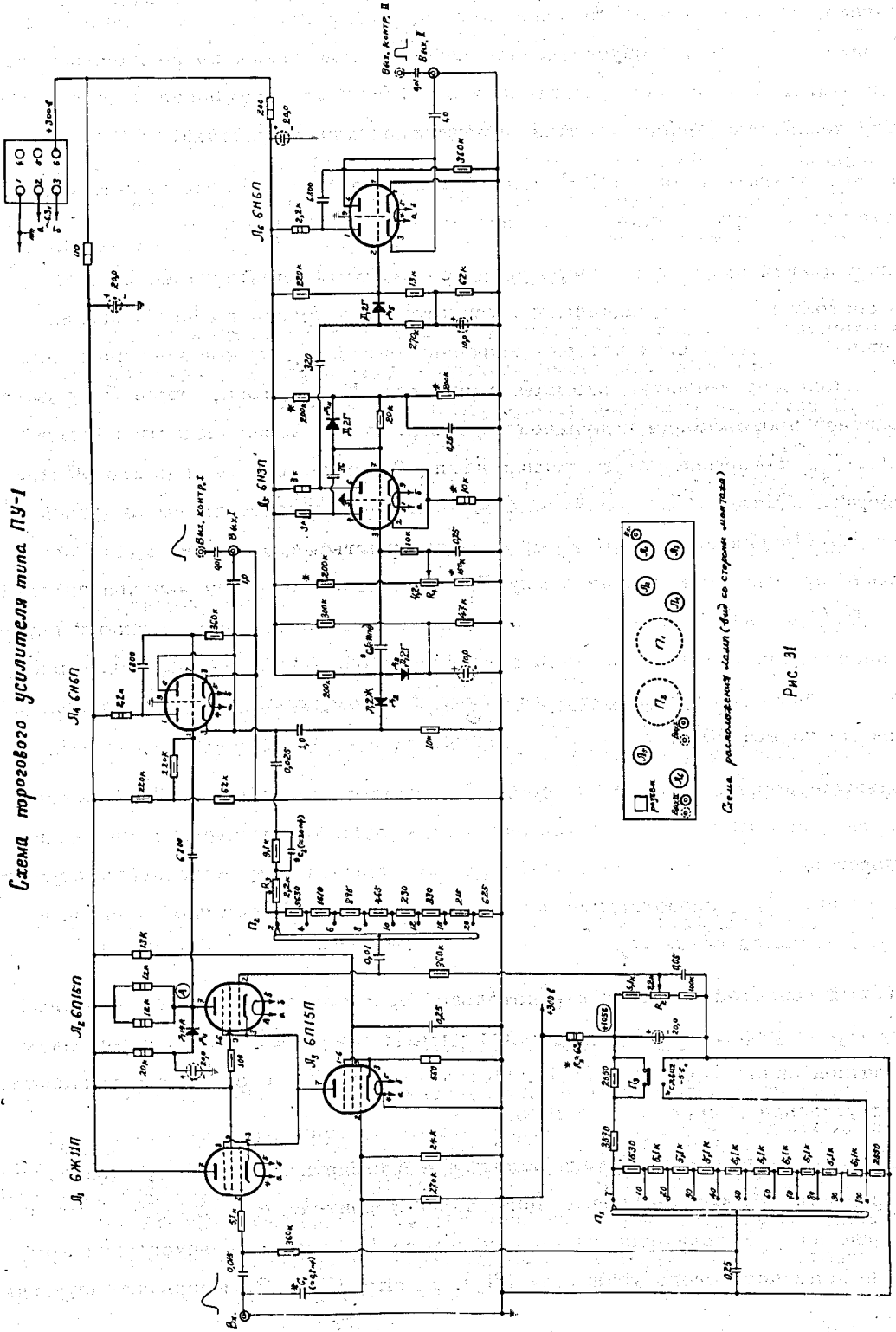


Схема расположения ламп (вид со стороны шасси)

Рис. 31

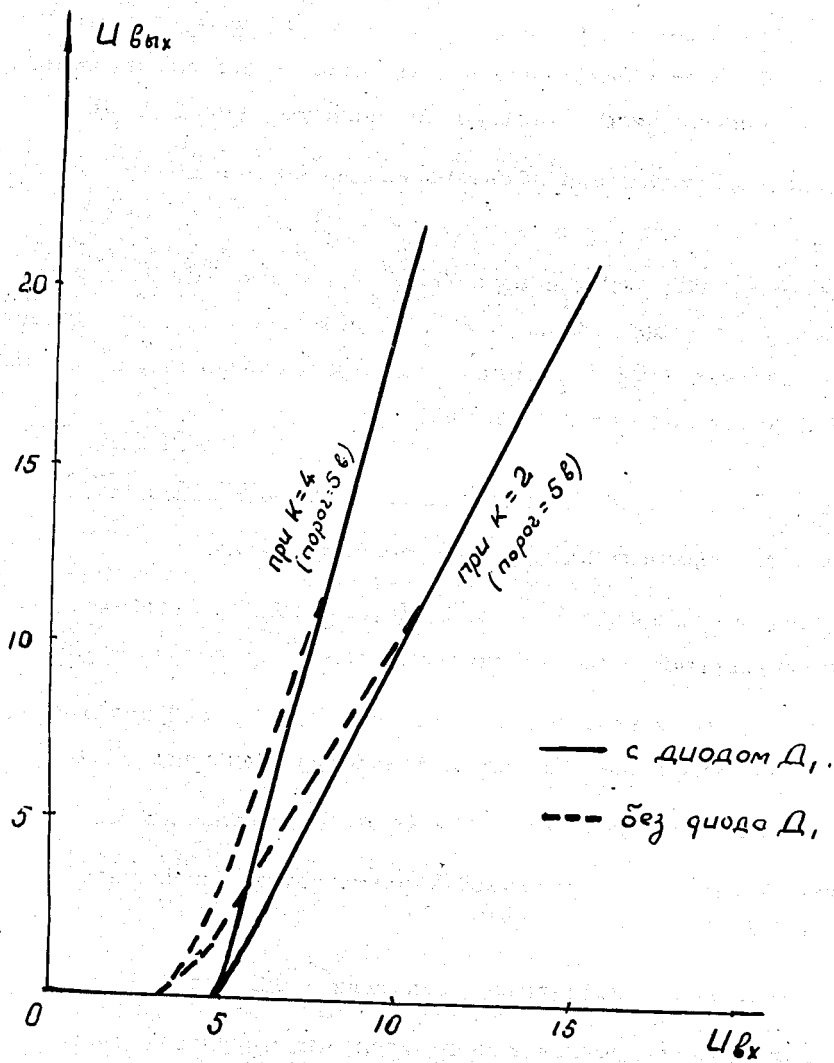


Рис. 32

ограничения запускающих импульсов по максимуму. В исходном состоянии D_2 проводит, а D_3 заперт. Импульсы, превысившие потенциал, на который заперт диод D_3 , вызывают запирающие D_2 . Диод D_4 , включенный в цепь сетки правой лампы L_5 , способствует восстановлению одновибратора (мертвое время одновибратора не превышает 2 мксек). Чувствительность одновибратора устанавливается потенциометром R_4 .

Для получения низкоомного сопротивления и срезания сигналов, получаемых при работе одновибратора вблизи порога срабатывания, включен выходной катодный повторитель L_6 с ограничением амплитуд по минимуму (диод D_5).

Схема порогового усилителя смонтирована на 90-миллиметровом стандартном шасси.

Переключатель напряжения порога $/\Pi_1/$, переключатель коэффициента усиления $/\Pi_2/$, тумблер для сдвига порога $/\Pi_3/$ и потенциометр для подрегулировки коэффициента усиления $/R_3/$ выведены на переднюю панель, а остальные потенциометры выведены на заднюю панель блока.

Технические характеристики порогового усилителя ПУ-1

1. Полярность входных импульсов - положительная.
2. Коэффициент усиления: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20. (Имеется потенциометр для подрегулировки коэффициента усиления в пределах $\pm 10\%$).
3. Порог отсечки меняется ступенями 2,5, 7, 10 вольт и далее через 5 и 100 вольт. (Сдвиг порога на 5в осуществляется тумблером Π_3).
4. Полярность выходных импульсов (вых. 1) - положительная.
5. Линейный участок амплитудной характеристики (с нелинейностью 1%) от 2 до 100 вольт.
6. Собственное время нарастания усилителя - 0,2 мксек.
7. Спад вершины при усилении прямоугольных импульсов длительностью 10 мксек - 1%.
8. Максимальная амплитуда выходных импульсов (вых. 1) - около 120 в.
9. Амплитуда входных импульсов - не более 100 в.

10. Полярность выходного импульса интегрального дискриминатора (вых. $\bar{\Pi}$) - положительная.

11. Амплитуда выходного импульса интегрального дискриминатора - порядка 15 в с фронтом нарастания 0,1 мксек.

12. Длительность выходного импульса интегрального дискриминатора - около 1 мксек.

13. Порог интегрального дискриминатора соответствует порогу отсечки усилителя при коэффициенте (Π_2) $K=20$.

14. Мертвое время интегрального дискриминатора - около 2 мксек.

15. Нестабильность коэффициента усиления при колебании напряжения накала на $\pm 10\%$ - не больше $\pm 1\%$.

16. Питание: $\sim 6,3$ (3,8a) (заземлен). + 300 в (130 ма).
(При исключении интегрального дискриминатора /Л₅-Л₆/ потребляется ток 85ма).

У111. Фазоинвертор, катодный повторитель, делитель ФКД-1

Компановка комплексной электронной регистрирующей аппаратуры в значительной степени облегчается, если к числу стандартизированных блоков отнести также вспомогательный блок с функциями фазоинвертора, катодного повторителя и делителя напряжения.

Широко применяемые схемы фазоинверторов целесообразно разделить на две группы: к первой отнести фазоинверторы с амплитудной характеристикой, линейной до нескольких десятков вольт, ко второй - линейной в области всего принятого амплитудного диапазона, т.е. до 100 вольт. Первые схемы достаточно просты и, как правило, включаются в основные стандартные блоки. Для вторых удобнее иметь отдельные блоки с регулируемым коэффициентом передачи.

Фазоинверторные схемы обычно выполняются либо по схеме с катодно-анодной нагрузкой (Л 53), либо по схеме анодного повторителя (Л54). Первая схема обладает высокоомным входом, что является ее достоинством, однако, максимальное выходное напряжение ограничивается, обычно, несколькими десятками вольт.

Фазоинверторный каскад, выполненный по схеме анодного повторителя, позволяет получить широкий линейный диапазон амплитудной характеристики. Некоторый недостаток такой схемы заключается в сравнительно низкоомном входном сопротивлении. Однако, в большинстве случаев выходное сопротивление блоков-элементов, предшествующих фазоинвертору, достаточно мало, так что указанный недостаток не является существенным.

Применение схемы импульсного повышения анодного питания Л55 в схеме фазоинвертора позволяет получить линейное выходное напряжение положительной полярности до 100 в с фронтом нарастания меньше 0,1 мксек.

Принципиальная схема блока ФКД-1 показана на рис. 33. Схема состоит из трех частей:

- а) фазоинвертор на лампах $L_1 - L_2$,
- б) катодный повторитель (L_3),
- в) делитель напряжения ($\Pi_1 - \Pi_2$).

Фазоинверторный каскад выполнен по схеме анодного повторителя с импульсным повышением анодного питания. Фазоинвертор работает с катодным повторителем, так как выходное сопротивление фазоинвертора сравнительно велико. В соответствии с полярностями входного импульса режим работы лампы L_1 и L_3 переключается с помощью переключателя Π_4 . Катодный повторитель выполнен по каскадной схеме (Л 54,56).

Блок может работать как катодный повторитель, в этом случае анодное питание ламп L_1 и L_2 выключается переключателем Π_3 .

Делитель напряжения выполнен таким образом, чтобы он перекрывал весь диапазон коэффициента передачи в пределах $K = 0 - 1$. Для этого он имеет ступенчатый переключатель Π_1 и подрегулировочный потенциометр Π_2 .

Схема ФКД-1 смонтирована на стандартном 90-миллиметровом шасси.

Переключатели для ступенчатой регулировки коэффициента передачи (Π_1) для плавной регулировки коэффициента передачи (Π_2), для включения и выключения фазоинвертора (Π_3) и для переключения схемы в соответствии с полярностями передаваемых импульсов (Π_4) выведены на переднюю панель.

Исключение делителя напряжения производится перепайкой.

Технические характеристики ФКД-1

| | Фазоинвертор с катодным повто- рителем | Катодный повторитель | Делитель напряжения |
|---|--|--------------------------|----------------------------------|
| Коэффициент передачи | 1 ^{х)} | 0,95 | Плавно пере- крыв. весь диап. |
| Максимальное выходное напряжение при нелиней- ности 1% | 100в | 100в | - |
| Полярность импульсов | Положит. или отрицат. | Положит. или отриц. | - |
| Собственное время нарастания | 0,06 мксек | 0,05 мксек | 0,15 мксек |
| Спад вершины при длительности импульсов 10 мксек | 2% | 1% | - |
| Входное сопротивление | 20 ком | 200 ком | 5 ком. |
| Выходное сопротивление | 50 ом | 50 ом | - |
| Максимальное изменение коэффициента передачи при изменении напряжения накала на $\pm 10\%$ | $\pm 1\%$ | $\pm 0,5\%$ | - |
| Выходное напряжение шумов | 0,02 в эфф. | 0,01 в. эфф. | - |
| Питание накала (заземлен) | $\sim 6,3$ в (2,3 а) | $\sim 6,3$ в (0,75 а) | - |
| Питание анода | +300 в (63ма) | +300 в (27ма) | - |

х) Можно получить другой коэффициент передачи, например, $K=0,95$ путем подбора сопротивления $R_0 = 20$ ком (рис.33).

1X. Замечания по конструктивному оформлению

Компановка измерительных установок из стандартных блоков проводится в вертикальной стойке, внизу которой располагаются два блока питания (рис. 34).

Блоки питания выполняются двух типов: первый на два стабилизированных напряжения любой полярности (300 вольт - 200 ма и 150 вольт - 200 ма) с накальным трансформатором и второй - с одним стабилизированным напряжением (либо 300 вольт - 200 ма, либо 150 вольт - 200 ма - изменения напряжения проводятся путем перепайки отводов во вторичной обмотке трансформатора).

Стойка может снабжаться одним, либо двумя источниками питания в зависимости от сложности создаваемой установки. В случае использования двух источников они коммутируются так, что включение и выключение их происходит одновременно.

Монтаж блоков проводится на плоском днище (рис. 35), которое после монтажа крепится с помощью винтов к шасси (рис. 36). Передняя панель шасси выполняется съемной, чтобы облегчить доступ к схеме во время наладки.

Приняты следующие основные размеры высоты блоков^{х/}: 90, 180, 270 и 360 мм.

Электрические соединения между блоками осуществляются при помощи разъемов; цепи питания - с помощью разъемов типа А, сигнальные цепи - с помощью малогабаритных фишек под кабель РК-1.

Такое конструктивное решение удобно, во-первых, тем, что позволяет производить быструю смену блоков, во-вторых, обеспечивает удобный доступ, практически ко всем узлам схемы, в-третьих, сравнительно несложно в изготовлении.

Авторы благодарны И.М.Франку, Ф.Л.Шапиро и Ю.С.Язвickому за интерес к постановке данной работы.

х) Конструкция блоков заимствована в ФИАНЕ, у группы И.В.Штрихана.

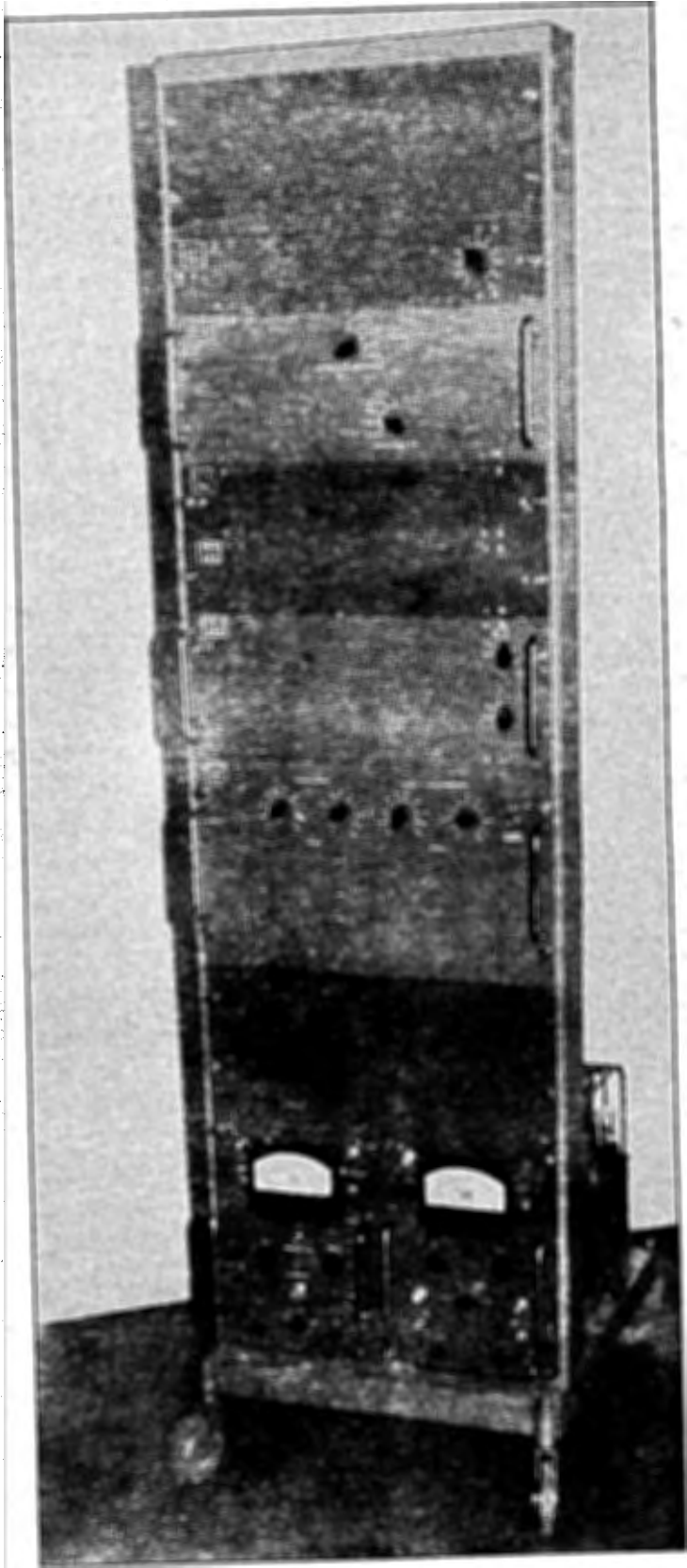


Рис. 34.

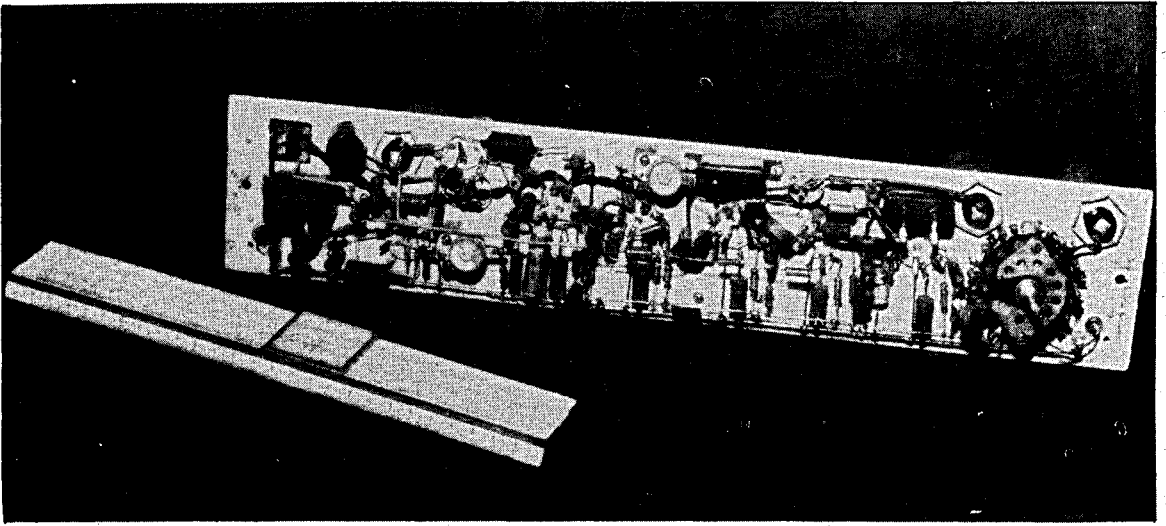


Рис. 35.

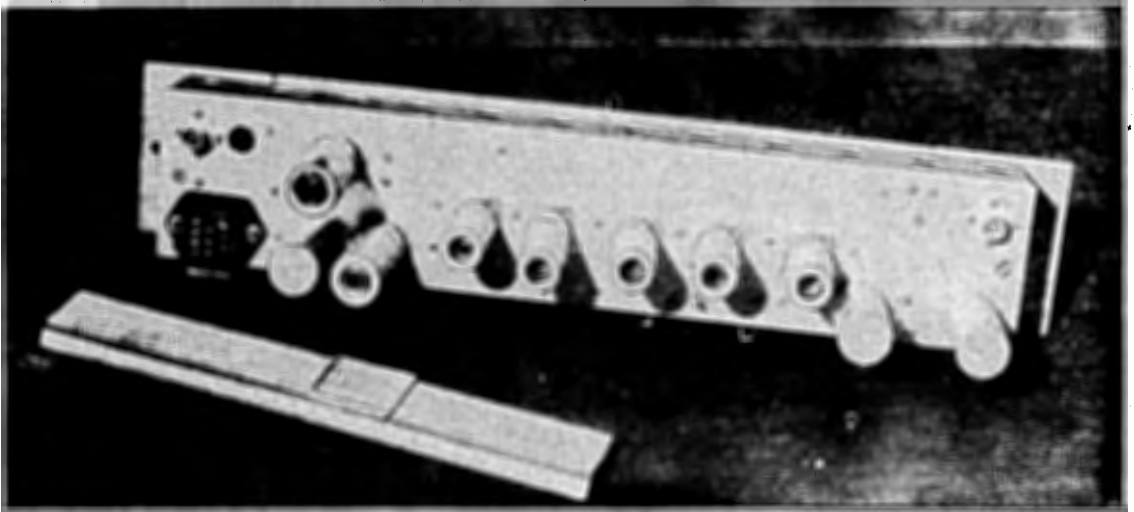


Рис. 36.

Л и т е р а т у р а

Раздел I.

1. Успенский Д.Д., Салицкий П.С., Синецын В.И., Шталь А.С. Справочник по дозиметрическим, радиометрическим, электронно-физическим приборам, счетчикам, сцинтилляторам и фотоумножителям. Издательство Главного Управления по использованию атомной энергии при Совете Министров СССР.

Раздел II

2. Jordan W., Bell P., Rev.Sci.Instr. 18, 703 (1947).
3. Описание широкополосного усилителя типа УШ-2 ("Сирень") МРТП СССР.
4. Описание широкополосного усилителя типа УШ-10 ("Эвкалипт") МРТП СССР.
5. Описание усилителя типа ДМ.
6. Анализатор амплитудный дифференциальный одноканальный типа ААДО-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
7. Fairstein E., Rev.Sci.Instr. 25, 1134 (1954).
8. Moody N., Battell W.- Howell W., Japlin R. Rev.Sci.Instr., 22, 557 (1951).
9. Hutchinson G., Rev.Sci.Instr. 27, 592 (1956).
10. Penfold A., Rev.Sci.Instr., 29, 765 (1958).
11. Бонч-Бруевич А.М. Применение электронных ламп в экспериментальной физике. Гостехиздат, М., (1956).
12. Fairstein E., Rev.Sci.Instr. 27, 475 (1956).
13. Magee F., Bell P., Jordan W., Rev.Sci.Instr. , 23, 30 (1952).
14. Вяземский В.О., Драпчинский Л.В., Писаревский А.Н., Трифонов В.В., Фирсов Е.И. ПТЭ, № 5, 40 (1958).
15. Chase R., Higginbotham W., Rev.Sci.Instr., 23, 34 (1952).
16. Мелиоранский А.С., Останевич Ю.М. ПТЭ, № 1, 73 (1959).
17. Schultz M., Proc.Instr. of Rad.Eng., 38, 475 (1950).
18. Gatti E., L'électronique nucleaire, Colloque international organise par la societe des Radio-Electro- Electriciens Paris, Agence internationale de l'energie atomique. (1958). 273.

19. Chase R., Multichannel pulse height analysers, Proceeding of an informal Conference. Gatlinburg, Tenn., Sept. 26-28, 1956. Publication No. 467, National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, D.C., (1957), p. 19.
20. Fairstein E. Там же, стр. 21.
21. Maeder P. Там же, стр. 27.
22. Sands M. Там же, стр. 30.
23. McMahon J. Там же, стр. 32.
24. Francis I., Bell P., Kelley G., Nucleonics, 12, No.3 (1954).
25. Санин А.А. ПТЭ № 4, 162 /1959/.

Раздел III

26. Анализатор амплитудный дифференциальный одноканальный типа ААДО-1.
27. By Kenneth, A.Mc Collom. Discriminators Nucleons, Nucleonics Instrumentation, 17, No.6, 73 (1959).
28. F.G.M.Ferley, Rev.Sci.Instr., 29, 595 (1958).
29. Описание и инструкция к установке типа "Сирень". МРТП СССР.
30. J.A.Narud, IRE National Convention Record, 5, Part 5, 103 (1957).
31. G.G.Kelly in ORNL - 2204; 55 (1956).
32. E.C.Park (I.S.I., August 1955).
33. K.Kandiah, Proc.Instr.Elec.Eng. (London), 11, 101, 239 (1954).

Раздел IV.

34. Z.Bay, V.P.Henri, H.Kanner, Phys.Rev., (1955), 100, 4, 1197.
35. Z.Bay, Nucleonics, t. 14, April-June (1956).
36. А.В.Куценко. Приб. и техника эксперимента (1960), № 1.
37. P.Winzierl. Rev.Sci.Instr., WU, No.4, 226 (1956).
38. Johansson, Nuclear Instr. 1, 274 (1957).
39. W.Grunle, Nucl.Instr.Methods, V.4 (1959), No. 2, p. 112.
40. Nuclear Electronics No. 2, 1959.
41. Rossi, Natura, 125, 636 (1930).

42. Bell R.E., Graham R.L., Patch H.E., Can J., Phys. 30, 35 (1952).
 43. Ю.К.Акимов. Приб. и техника и эксп. (1957), № 1.
 44. Garwin, Rev.Sci.Instr. 24, 618 (1953).
 45. Установка для регистрации совпадений и антисовпадений импульсов "Яблоня"
 (Описание и инструкция. Мос.гор.совнархоз).
 46. K.Kandiah, Proc.Instr. Eng. (London), 11, 101, 239 (1954).

Р а з д е л У.

47. Ламповые усилители, ч.1, перевод с английского под редакцией В.И.Сушкевича
 "Советское радио" (1950).
 48. Мамонкин И.Г. Импульсные усилители, Госэнергоиздат (1958).

Раздел У1.

49. E.L.Garwin, A.S.Penfold, Rev.Sci.Instr., 1957, 28, 116.
 50. В.О.Вяземский, А.Н.Писаревский, Ю.Е.Селяников, ПТЭ № 2 1959г.
 51. Paul R. Chagnon, R.S.J. 24, 990 (1953).
 52. G.A.Sample, Electronic Industries and Tele-Tech, 1957, No. 7, pp.59, 94. No.7,

Раздел У111

53. Бонч-Бруевич А.М. Применение электронных ламп в экспериментальной физике.
 Гостехиздат, М, /1956/.
 54. Moody N., Battell W., Howell W., Japlin R., Rev.Sci.Instr. 22, 557 (1951).
 55. Fairstein E., Rev.Sci.Instr. 25, 1134 (1954).
 56. Воронков А.Е., Кораблев Л.Н., Мурин И.Д., Штраних И.В. Быстродействующий
 многоканальный амплитудный анализатор. Передовой научно-технический и
 производственный опыт. М, /1957/.

ПРИМЕЧАНИЕ:

Сведения об усилителях типа "Сирень", "Эвкалипт", "Яблоня", "ДМ" опубликованы в "Справочнике по дозиметрическим, радиометрическим и электронно-физическим приборам, счетчикам, сцинтилляторам и фотоумножителям". Издательство Главного управления по использованию атомной энергии при СМ СССР, Москва, 1959 г.

Описание анализатора ААДО-1 см. в сборнике "Радиоэлектронные приборы широкого применения", вып. 28. Центральное бюро научно-технической информации. Москва 1959 г.