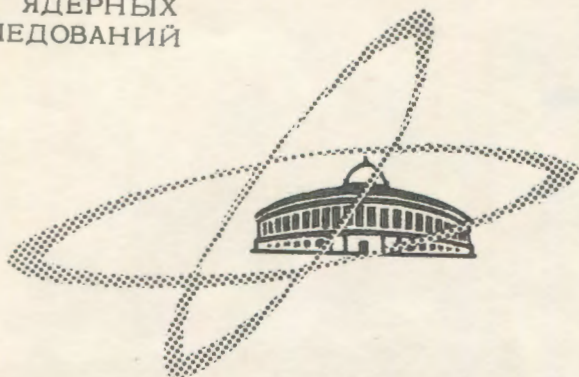


К-143

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1848



Ю.М. Казаринов, Ю.Н. Симонов

ПРИМЕНЕНИЕ СХЕМ СОВПАДЕНИЙ
С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ УСИЛЕНИЕМ
В ОПЫТАХ НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1964

Ю.М. Казаринов, Ю.Н. Симонов

ПРИМЕНЕНИЕ СХЕМ СОВПАДЕНИЙ
С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ УСИЛЕНИЕМ
В ОПЫТАХ НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ

2802/1, из.

Объединенный институт
высоких исследований
СЕРБИИ

В в е д е н и е

При проведении экспериментов с частицами высоких энергий на ускорителях с применением сцинтилляционных счетчиков часто возникает необходимость счета весьма большого числа частиц за короткие промежутки времени. Даже если средние скорости счета сравнительно невелики, необходимо учитывать, что частицы в пучке импульсно распределены во времени. При этом мгновенные загрузки в счетчиках резко возрастают, и применяемые радиотехнические схемы совпадений и антисовпадений должны иметь высокое временное разрешение при минимальном мертвом времени. Высокие требования предъявляются и к стабильности работы схем.

Ряд известных схем имеет высокое временное разрешение, однако при этом мертвое время сравнительно велико. В частности, это относится ко многим схемам, собранным с применением полупроводниковых диодов и транзисторов. В этом случае играет важную роль хорошо известное явление накопления неосновных носителей тока, связанное с механизмом действия $p-n$ -перехода.

В связи с необходимостью преодоления указанных трудностей были предложены схемы совпадений, работающие по методу распределенного усиления^{/1-3/}. В основе этого метода лежит распространение идеи усиления на бегущей волне на область видеочастот, где конструирование ламп бегущей волны оказывается практически невозможным.

Принцип действия усилителя с распределенным усилением подробно освещен в ряде работ^{/4-10/}. В этих работах теоретически разработан расчет подобных усилителей, и получены экспериментальные данные, хорошо согласующиеся с теорией вплоть до частот 100-150 Мгц, когда существенную роль начинают играть высокочастотные эффекты в лампах.

Для обеспечения неискаженной передачи импульсов линии передач усилителей с распределенным усилением должны обладать в рабочей полосе частот постоянным коэффициентом передачи, постоянным волновым сопротивлением и линейной фазовой характеристикой. Этим требованиям удовлетворяют, в известном приближении, характеристики искусственных длинных линий, составленных из ячеек фильтров нижних частот. Эти фильтры хорошо изучены теоретически^{/7,8,11/}. Практически применяются усилители с распределенным усилением, линии которых составлены из производных звеньев типа π . Такие звенья при $m > 1$ обладают удовлетворительными характеристиками и конструктивно просты, т.к. могут быть выполнены в виде катушки индуктивности с отводом от середины и конденсатора^{/11/}.

Схема совпадений по методу распределенного усиления

За последние несколько лет нами было изготовлено большое количество схем совпадений, работающих по методу распределенного усиления. С их помощью выполнен ряд работ с использованием различных пучков частиц синхроциклотрона ОИЯИ^{/12/}.

При разработке радиосхем основное внимание уделялось надежности и стабильности работы в случае применения фотоэлектронных умножителей ФЭУ-33 и ФЭУ-36 среднего качества, простоте регулировок и обслуживания и хорошей воспроизводимости характеристик при многократном изготовлении. В связи с этим не ставилась задача получения предельно достижимого высокого временного разрешения схемы. Типовая блок-схема аппаратуры приведена на рис. 1.

Фотумножители

Типовая схема питания ФЭУ приведена на рис. 2. Подбор сопротивлений R_2 , R_8 , R_{18} , R_{14} , R_{16} делителя напряжений производится индивидуально для каждого экземпляра ФЭУ по максимальной амплитуде выходного импульса. Практически любой ФЭУ пригоден для работы в схеме. Известно, однако,^{/13/} что время пролета электронов через ФЭУ нелинейно меняется при изменении в широких пределах напряжения питания. Поэтому желательно, чтобы рабочие напряжения отдельных ФЭУ, работающих на одну схему, различались не более чем на 200-300 вольт. В этом случае времена пролета электронов в отдельных ФЭУ при одновременном изменении напряжения на них меняются примерно одинаково, и относительные временные сдвиги выходных импульсов ФЭУ практически не меняются. Типовая зависимость изменения времени пролета электронов через ФЭУ от напряжения питания в области 2000-2800 вольт приведена на рис. 3.

Чтобы выходной ток ФЭУ на одну регистрируемую частицу не изменялся при изменении нагрузок вследствие перераспределения напряжений на секциях делителя напряжений, в схему делителя введены конденсаторы, фиксирующие напряжения на диодах ФЭУ. Метод расчета величины требуемой емкости и количества конденсаторов приведен в литературе^{/14/}. Следует помнить, что расчетные формулы при этом получены в предположении, что заряд фиксирующего конденсатора полностью восстанавливается за промежуток времени между двумя соседними импульсами. Постоянная времени зарядной цепи обычно велика, и это условие при работе на синхроциклотроне, как правило, не выполняется. Синхроциклотрон генерирует частицы импульсно в течение около 600 мксек с частотой повторения около 100 гц. Можно считать, что заряд конденсатора происходит только в период между импульсами интенсивности ускорителя, а в течение этого импульса происходит лишь разряд конденсатора. Следовательно, при расчете следует пользоваться не величиной заряда, стекающего с конденсатора за один

импульс интенсивности ускорителя. При этом величина емкости конденсатора оказывается слегка завышенной за счет частичного заряда конденсатора во время импульса интенсивности ускорителя. Некоторые экземпляры ФЭУ-36 имеют склонность к генерации, поэтому полезно вводить последовательно с последними диодами ФЭУ небольшие гасящие сопротивления величиной до 50–100 ом.

Фотоумножители работают непосредственно на кабель РК-50 длиной около 60 м., нагруженный во избежание отражений со стороны усилителя на сопротивление нагрузки, равное волновому сопротивлению кабеля. Со стороны ФЭУ обычно ставится балластное сопротивление величиной в несколько килоом.

Ф о р м и р о в а т е л ь

Формирование импульсов по амплитуде и длительности производится специальным формирующим каскадом (рис. 4), собранным на лампе 6Ж9П. Учитывается, что при больших нагрузках становится неизбежным сдвиг рабочей точки лампы, если связь ее сетки с анодом ФЭУ осуществляется через разделительный конденсатор. По этой причине применено прямое соединение управляющей сетки лампы Л1 и анода ФЭУ. Управляющая сетка Л1 для устранения влияния входной емкости лампы включена в ячейку передающей линии с волновым сопротивлением, равным волновому сопротивлению кабеля.

При выбранном режиме лампы формирователя (рабочая точка выбрана на колене анодно-сеточной характеристики лампы при $I_a = 4$ ма, $I_{г2} = 1$ ма и $E_{г1} = -1,25$ в) входные отрицательные импульсы, превышающие по амплитуде I_v , эффективно ограничиваются схемой.

Формирование импульсов по длительности производится короткозамкнутым отрезком кабеля РК-50 (типовая длина 75 см) в аноде Л1.

Настройка формирующего каскада сводится к установлению расчетных токов через лампу путем изменения напряжения на экранной сетке (это необходимо ввиду значительного разброса характеристик ламп 6Ж9П при их производстве).

У с и л и т е л ь

Схема совпадений по принципу распределенного усиления имеет чувствительность порядка нескольких вольт. Поэтому после формирующего каскада необходим усилитель. В схеме применен трехкаскадный распределенный усилитель (рис. 5) с линиями, составленными из ячеек фильтров нижних частот типа m . При этом параметр m выбран равным 1,27, что обеспечивает получение наилучших частотных и фазовых характе-

ристик каскадов. Граничная частота линий была выбрана равной 140 Мгц. Хотя точную оценку искажений импульсов при прохождении их через распределенный усилитель в общем случае дать невозможно, ориентировочно можно считать, что полоса пропускания усилителя составляет в нашем случае 0,65 - 0,75 от граничной частоты и равняется примерно 100 Мгц.

Центральным вопросом конструирования распределенных усилителей на полосу частот, превышающую 100 Мгц, является выбор ламп. Известно, что на высоких частотах электронные лампы обладают активной входной проводимостью за счет влияния индуктивностей вводов ламп и времени пролета электронов в лампах. При частоте, превышающей 100 Мгц, могут применяться лишь лампы типов 6Ж1П и 6Ж9П, т.к. только их входное сопротивление остается достаточно высоким. По этой причине для использования в усилителе выбраны лампы 6Ж1П как наиболее экономичные и обладающие наименьшим разбросом параметров.

Для устранения нежелательных отражений сеточная линия первого каскада имеет волновое сопротивление, равное волновому сопротивлению формирующего кабеля.

Анодная линия третьего каскада также имеет для согласования волновое сопротивление, равное волновому сопротивлению выходного кабеля, соединяющего усилительный канал с одним из входов схемы совпадений.

Вопросы, связанные с настройкой распределенных усилителей, достаточно полно освещены в литературе.

На рис. 6 приведена амплитудная характеристика канала, снятая от входа дискриминатора до входа схемы совпадений. Видно, что канал обладает достаточно хорошими ограничивающими свойствами.

На рис. 7 приведены амплитудно-частотные характеристики двух усилительных каналов, снятые от входа канала до сетки лампы совпадений. Усилительные каналы одинаковы по конструкции, но изготовлены в разное время и для разных установок. Каналы после изготовления не подвергались никакой подстройке. Характеристики сняты после изготовления и проверки режимов ламп по постоянному току. При этом режимы каскадов по постоянному току при снятии этих характеристик несколько смешались в сторону линейного режима работы, что не могло изменить результатов. Видно, что достигнута вполне удовлетворительная повторяемость амплитудно-частотных характеристик при многократном изготовлении схемы.

Собственное время установления усилительного канала измерено при подаче на вход импульса с передним фронтом менее 1 нсек и составляет около 4 нсек.

Схемы совпадений по принципу распределенного усиления (рис. 8) собраны на лампах 6Ж9П. Отрицательный импульс с выхода каждого усилительного канала поступает на управляющую сетку соответствующей лампы схемы совпадений, включенную в ячейку передающей линии, согласованную с кабелем. В случае, если необходимо подать входной импульс на другие схемы, вместо нагрузки включается дополнительный кабель с тем же волновым сопротивлением и согласование его с нагрузкой производится в последней по порядку схеме.

Аноды всех ламп схемы совпадений включены в общую передающую линию с волновым сопротивлением 517 ом. Согласование анодной линии с нагрузкой производится лишь слева, а справа сигнал отражается с удвоением напряжения. При выбранных режимах ламп это позволяет получить выходное напряжение около 7 вольт на вход, что существенно облегчает работу дискриминатора.

Импульс с выхода схемы совпадений поступает на дискриминатор Л4, представляющий собой пентод 6Ж9П, запертый по управляющей сетке отрицательным смещением. Такой дискриминатор работает надежно и стабильно, т.к. входные импульсы достаточно велики. В нем практически отсутствует прямая передача импульса на выход через проходную емкость лампы, неизбежная при применении в качестве дискриминатора кристаллического диода. Не требуется также применения каких-либо схем температурной компенсации, совершенно необходимых для обеспечения длительной стабильности схемы с кристаллическим диодом. Если необходимо получить со схемы положительный выходной импульс, в аноде дискриминатора можно установить импульсный трансформатор в виде нескольких витков провода на ферритовом кольце. При дальнейшем использовании этого импульса необходимо учитывать, что трансформатор, если он специально не сконструирован, будет иметь ограниченную полосу пропускания.

Применение в качестве дискриминатора катодного повторителя нежелательно. Для импульсов наносекундной длительности катодный повторитель по существу превращается в емкостный делитель, и его работа мало зависит от работы лампы. Следовательно, из-за прямого прохождения входных импульсов на выход невозможно получить высокий коэффициент отбора.

Схема может быть легко изменена, чтобы получить антисовпадения с высоким разрешающим временем.^{х/} Для этого достаточно лампу одного из входов схемы совпадений поставить в режим, при котором через нее не протекает анодный ток. На управляющую сетку этой лампы поступает положительный импульс антисовпадений с одного

^{х/} В нашей лаборатории подобная схема впервые была практически осуществлена С.В. Медведем.

из счетчиков. Импульс ограничен по амплитуде на нужном уровне. При этом импульс антисовпадений вычитается из выходного импульса схемы совпадений. Для снижения числа ложных антисовпадений за счет фона импульс счетчика совпадений может быть предварительно заведен на схему совпадений с одним или несколькими импульсами счетчиков совпадений^{/15/}, однако чаще всего этого не требуется, поскольку разрешающее время схемы антисовпадений достаточно мало и мало ее мертвое время.

Рабочие характеристики аппаратуры

Рабочие характеристики аппаратуры рассмотрим на примере изучения процессов мезообразования в столкновениях нейтронов с протонами. При этом аппаратура работает в очень трудных условиях, т.к. требуется одновременно регистрировать протоны отдачи и π -мезоны с широкими энергетическими спектрами, а также электроны и μ -мезоны, присутствующие в пучке в виде примеси. Амплитуды импульсов на выходе ФЭУ резко зависят от вида частиц и от их энергии. В этом случае необходим весьма тщательный выбор характеристик и рабочих режимов измерительной аппаратуры, чтобы избежать внесения в результаты измерений заметных аппаратурных систематических ошибок.

Счетная характеристика телескопа по напряжению на ФЭУ

На рис. 9 и 10 приведены счетные характеристики телескопа из трех сцинтилляционных счетчиков при одновременном изменении напряжения на всех ФЭУ. Характеристика, снятая по протонам, имеет область "плато" от 1700–1800 до 2200–2300 в. Характеристика, снятая по π -мезонам, имеет область "плато" от 2000–2100 до 2300 в. Более высокое напряжение опасно для данных экземпляров ФЭУ и сопровождается резким ростом фона, измеренного в тех же условиях, но при снятом с одного из ФЭУ сцинтилляторе.

Таким образом, "плато" счетной характеристики по π -мезонам оказывается сдвинутым относительно "плато" по протонам на 250–300 в. Причиной этого является заметное различие по амплитуде выходных импульсов ФЭУ, вызванных протонами и π -мезонами. Амплитуды были оценены разными способами:

- а) по зависимости коэффициента усиления ФЭУ от напряжения питания на основании величины сдвига области "плато" амплитуды отличаются в 2–3 раза^{/16/};
- б) по выходу света от протонов и π -мезонов в условиях опыта при одинаковом напряжении на ФЭУ выходные импульсы отличаются примерно в 2 раза^{/14/};

в) по измерениям на осциллографе с ограниченной полосой пропускания при изменении напряжения на ФЭУ на 200 в выходные импульсы на входе усилителя изменяются в 3 раза (для данных экземпляров ФЭУ).

Все три оценки хорошо согласуются. Таким образом, можно считать, что в условиях опыта амплитуды выходных импульсов ФЭУ, вызванных протонами и π -мезонами, отличаются по крайней мере в 2 раза. Как будет показано ниже, это обстоятельство существенно для правильного выбора режима работы дискриминатора.

Характеристики дискриминатора

По условиям опыта необходимо измерять отношение выхода π -мезонов к выходу протонов отдачи от обменного рассеяния нейтронов протонами. При этом важно знать счетную характеристику дискриминатора в зависимости от напряжения смещения на нем при регистрации как протонов, так и π -мезонов, при одном напряжении на ФЭУ. Эти характеристики нужно знать с высокой точностью. Однако получить такую характеристику для π -мезонов весьма затруднительно. Скорость счета π -мезонов в условиях опыта мала, и для достижения высокой статистической точности потребовалось бы неразумно большое время работы ускорителя.

Была снята характеристика дискриминатора в зависимости от напряжения смещения на нем при регистрации протонов при напряжении на ФЭУ 2100 и 1900 в (рис. 11). При 2100 в на ФЭУ длительность горизонтальной части характеристики дискриминатора составляет около 6 в с наклоном 1,4% на вольт (за вычетом фона в отсутствие сцинтилляторов на ФЭУ). Без вычета фона наклон составляет 2,4% на вольт. При напряжении 1900 в на ФЭУ длительность горизонтальной части характеристики дискриминатора составляет около 4,5 в. Без вычета фона, который при этом напряжении на ФЭУ пренебрежимо мал, наклон составляет 4,4% на вольт.

Таким образом, разница в наклонах горизонтальной части характеристики дискриминатора при изменении величины выходных импульсов ФЭУ в 2 раза (что соответствует изменению напряжения на ФЭУ на 200 в) составляет около 3% на вольт.

Для сравнения снята с гораздо худшей точностью характеристика дискриминатора по π -мезонам при напряжении на ФЭУ 2100 в (рис. 12). Длительность горизонтальной части характеристики составляет около 4 в. Наклон характеристики за вычетом фона оказался равным 3,5% на вольт. Наклон характеристики без вычета фона равен 10-11% на вольт. Такое заметное влияние фона объясняется низкой скоростью счета π -мезонов.

Из сравнения приведенных характеристик дискриминатора можно сделать следующие выводы:

а) Характеристика дискриминатора по π -мезонам хорошо совпадает с характеристикой дискриминатора по протонам, снятой при сниженном на 200 в напряжении на ФЭУ. Это лишний раз подтверждает данные о том, что выходные импульсы ФЭУ, вызванные протонами и π -мезонами, отличаются по амплитудам примерно вдвое.

б) Отношение выхода π -мезонов к выходу протонов отдачи при одном напряжении на ФЭУ зависит от напряжения смещения на дискриминаторе. Эта зависимость должна быть примерно такой же, что и в разности наклонов характеристик дискриминатора, снятых на протонах при изменении напряжения на ФЭУ на 200 в, т.е. около 3% на вольт.

В процессе опыта было проведено 17 измерений указанного отношения при разных напряжениях смещения на дискриминаторе от 0,1 до 3,75 в от границы отстройки от двойных совпадений (рис. 13). Через полученные точки методом наименьших квадратов проведена прямая вида $A + BX$, где X -напряжение смещения на дискриминаторе в вольтах. Получено выражение

$$Y = (3,14 \pm 0,07) - (0,099 \pm 0,049) X.$$

Таким образом, наклон характеристики дискриминатора для отношения выходов π -мезонов и протонов при одинаковом напряжении на ФЭУ экспериментально оказался равным 3% на вольт, что хорошо согласуется с ожидаемым из оценок значением этой величины.

Очевидно, что если работать при фиксированном напряжении смещения на дискриминаторе, в результате измерений будет внесена аппаратная систематическая ошибка, зависящая от выбранного напряжения смещения. По существу дела, измерения нужно вести при нулевом напряжении смещения на дискриминаторе относительно отстройки от двойных совпадений, чтобы устранить возможные потери в счете. Поскольку это практически невозможно, следует работать при разных напряжениях смещения на дискриминаторе, а затем экстраполировать полученную характеристику дискриминатора для отношения выходов π -мезонов и протонов отдачи к нулевому напряжению смещения. Закон экстраполяции, вообще говоря, может быть и нелинейным. Так, вполне возможно (рис. 13), что при малых напряжениях смещения на дискриминаторе рост отношения выходов π -мезонов и протонов отдачи объясняется не только статистическим разбросом результатов измерений, а и отклонением этого роста от линейного закона. Ввиду того, что фоны всех видов тщательно исследовались, этот рост не может быть объяснен ростом фона. Он не может быть объяснен и наводками на аппаратуру, т.к. этот вопрос также исследовался экспериментально. Не может быть причиной и нестабильность работы дискриминатора, в том числе "пролезание" через него двойных совпадений. В этом случае наблюдался бы еще больший рост счета при регистрации

протонов отдачи по сравнению с регистрацией мезонов, т.к. в этом случае загрузки значительно выше и входные импульсы больше по амплитуде. Вероятнее всего, что возможное отклонение от линейного закона объясняется физическими причинами. Так, при малых напряжениях смещения на дискриминаторе могут полностью или почти полностью считаться электроны, примесь которых по оценке составляет в условиях опыта 10-15% к числу π -мезонов. При больших смещениях этот счет может быть неполным.

Известно, что выходные импульсы ФЭУ, вызванные электронами с ожидаемым по условиям опыта спектром энергий, примерно вдвое меньше, чем импульсы, вызванные π -мезонами. Следовательно, область "плато" на счетной характеристике телескопа по напряжению на ФЭУ должна быть сдвинута примерно на 200 в в область более высоких напряжений. Этот факт необходимо учитывать при расчете соответствующей поправки на примесь электронов, которую нужно внести в результаты измерений. Потери в счете части электронов вполне достаточно, чтобы объяснить возможное небольшое превышение (порядка нескольких процентов) отношения выходов π -мезонов и протонов отдачи по сравнению со значением, полученным из линейной экстраполяции.

Кривая задержанных совпадений

На рис. 14 приведены кривые задержанных совпадений, снятые на пучке монохроматических протонов с энергией около 300 Мэв при разных напряжениях на ФЭУ. Временная задержка вводилась в канал одного из счетчиков. Кривые задержанных совпадений оказались симметричными относительно нулевого сдвига (на рис. 14 приведены лишь половины кривых). Разрешающее время схемы совпадений (полуширина кривой задержанных совпадений на полувысоте) определялось длиной формирующего кабеля в аноде лампы формирователя и составляло около 10 нсек при напряжении на ФЭУ, равном 2200 в. При изменении напряжения на 200 в, что соответствует уменьшению выходных импульсов ФЭУ примерно вдвое, разрешающее время уменьшалось до 9 нсек.

На рис. 15 показано влияние напряжения смещения на дискриминаторе на форму кривой задержанных совпадений. Использовались протоны отдачи с широким энергетическим спектром в опытах по изучению процессов мезообразования в столкновениях нейтронов с протонами. Разрешающее время схемы совпадений при напряжении на ФЭУ, равном 2100 в, уменьшается с 10,5 до 8,5 нсек при изменении напряжения смещения на дискриминаторе от 0,15 до 2,1 в от уровня отстройки от двойных совпадений.

Аппаратурные систематические ошибки

Как следует из приведенных выше результатов, рабочие характеристики аппаратуры оказываются тесно связанными и зависят как от рабочих режимов в радиосхемах, так и от вида регистрируемых частиц.

Это обстоятельство может при недостаточно внимательном подходе служить источником заметных систематических ошибок, вносимых в результаты измерений. Практически перед началом основных измерений в процессе опыта производится настройка аппаратуры на пучке частиц ускорителя. С целью экономии времени работы ускорителя для настройки часто применяются свободные пучки частиц при проведении основных измерений в другом опыте. Существенно, чтобы условия работы аппаратуры были при настройке максимально близкими к рабочим. Несоблюдение этого условия может привести к систематическим ошибкам в рабочих измерениях. Так, например, при настройке на пучке протонов с энергией 100–200 Мэв аппаратуры с разными в пространстве счетчиками, предназначенной для регистрации частиц со скоростями, близкими к скорости света, можно получить вполне удовлетворительные на первый взгляд характеристики. Однако при переносе аппаратуры на рабочий пучок быстрых частиц она может оказаться частично или полностью непригодной из-за изменения формы кривой разрешения и из-за потерь в счете вследствие разницы во времени пролета частиц между счетчиками при настройке и в рабочих условиях. Аналогичным образом может быть, например, искажено угловое распределение рассеянных частиц, энергия которых резко меняется с углом рассеяния. Если временное разрешение аппаратуры чересчур высоко, а настройка ее ведется лишь на одном угле измерений, неизбежно появится систематическая ошибка при переходе от одного угла измерений к другому.

Из сказанного очевидно, что выбору характеристик аппаратуры следует уделять самое серьезное внимание, причем неоправданное завышение требования к временному разрешению легко может привести к снижению точности полученных результатов измерений.

Изготовление и настройка схемы

Было изготовлено большое число схем, в состав которых входило несколько десятков каналов. Механический монтаж производился по шаблону. Секции передающих линий изготавливались по образцу, индуктивность которого соответствовала расчетной. При этом параметры рабочих секций линий не контролировались, и намотка велась по числу витков. Лампы перед установкой в схему проверялись на годность с помощью испытателя ламп. После изготовления схемы проверялись режимы ламп на совпадение с расчетными.

Снятие характеристик производилось выборочно. При монтаже соблюдались обычные правила для монтажа схем с распределенным усилением. Цепи накала следует выполнять двухпроводными. Несоблюдение этого требования может привести к трудноустраняемой низкочастотной генерации.

Окончательная настройка схем велась на пучке частиц. Единственным элементом регулировки при этом служил потенциометр смещения дискриминатора. Сначала путем регулировки рабочего напряжения на отдельных ФЭУ выравнивались по амплитуде выходные импульсы ФЭУ на входах каналов при наблюдении по осциллографу. После этого подавался импульс от одного из счетчиков на один из входов схемы, и напряжение дискриминатора менялось до полного прекращения счета на выходе. Затем на второй вход подавался импульс от второго счетчика, и в каналы обоих счетчиков вводились переменные временные задержки. Таким образом определялся относительный временной сдвиг пары импульсов от этих двух счетчиков. Временные сдвиги импульсов остальных ФЭУ определялись относительно первого счетчика тем же способом. После этого в каналы, где это требовалось, вводились постоянные задержки нужной величины для того, чтобы все импульсы поступали на схему совпадений одновременно. Если рабочие напряжения счетчиков различаются не очень сильно, операцию выбора сдвигов лучше проводить при сниженном напряжении на счетчиках, т.к. в этом случае относительный сдвиг импульсов слабо зависит от напряжения, а кривые задержанных совпадений заметно сужаются. После выбора сдвигов снимается зависимость скорости счета от напряжения на ФЭУ. Напряжение при этом меняется одновременно на всех ФЭУ. Резкий рост счета в зависимости от увеличения напряжения на ФЭУ при напряжениях ниже области плато на счетной характеристике указывает на то, что временные сдвиги импульсов выбраны удовлетворительно. Затем снимается характеристика дискриминатора, т.е. зависимость счета на выходе схемы от напряжения смещения на дискриминаторе. На наш взгляд, такая методика настройки является наименее трудоемкой.

Преимущества и недостатки схемы

Схема, использующая принцип распределенного усиления, отличается повышенной надежностью и стабильностью в работе. Запас усиления в канале достаточно велик. Даже при выходе из строя одной-двух ламп в любом усилительном каскаде схема полностью сохраняет работоспособность. При этом неисправные лампы не должны удаляться из схемы, т.к. их междуэлектродные емкости включены в ячейки передающих линий. Обслуживание схемы сводится к периодической проверке и замене вышедших из строя ламп. Не требуется применения дефицитных радиоламп и радиодеталей. Конструкция проста, и характеристики хорошо воспроизводятся при многократном изготовлении. Практически не требуется никакой специальной подстройки. Применялись схемы совпадений разной кратности от двух - до пятикратной. Имеется только один орган регулировки-потенциометр напряжения смещения на дискриминаторе. С его помощью кратность схемы может легко меняться от максимальной до однократной, что обеспечивает весьма гибкое применение. Отдельные элементы схемы легко сопрягаются друг с

другом. Это позволяет без всяких затруднений менять схему в процессе эксперимента. Сложная установка может быть собрана из готовых элементов за весьма короткое время. Все элементы схем могут использоваться многократно в разных экспериментальных установках.

Основным недостатком схемы является применение большого числа ламп и большой ток анодного питания, составляющий около 320 ма для трехкратной схемы. При этом, однако, лампы работают, как правило, в сильно облегченных режимах, что обеспечивает стабильность и надежность схемы в эксплуатации. Применение усилителя не обязательно, если ФЭУ обеспечивают достаточно большую амплитуду выходного импульса тока. Однако практика показала, что наличие усилителя хотя бы с небольшим усилением весьма желательно для работы с любой схемой совпадений, если используется пучок частиц с широким энергетическим спектром или если используются сцинтилляторы больших размеров.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить С.В. Медведева за многочисленные обсуждения затронутых в статье вопросов и ряд полезных советов.

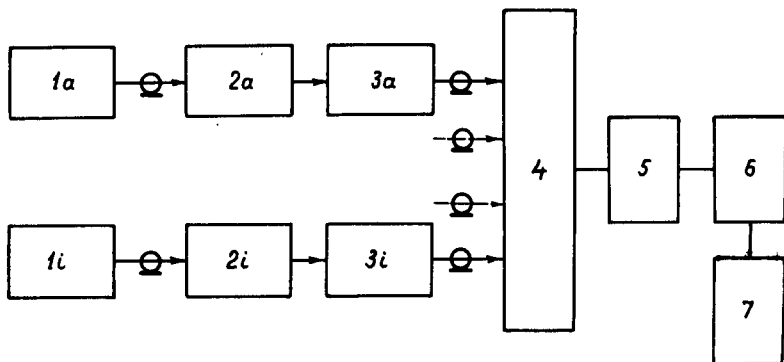
Л и т е р а т у р а

1. M.Beneventano et al. Proc. of the Int. Symposium on Nuclear Electronics. Paris, 1958, p. 107.
2. J.C.Brisson et al. Proc. of the Intern. Symposium on Nuclear Electronics. Paris, 1958, p.223.
3. U.Pellegrini, B.Rispoli, A.Serra. N. Cim., 9, 171 (1958).
4. E.L.Ginzton et al. Proc. IRE, 36, 956 (1948).
5. W.H.Horton. et al. Proc. IRE, 38, 748 (1950)
6. D.G.Sarna. Proc. Inst. El. Eng., No. 5, 689 (1955).
7. М.М. Айзинов. Переходные процессы в элементах радиоустройств. Ленинград, изд. "Морской транспорт", 1955.
8. И. Льюис и Ф. Уэлс. Миллимикросекундная импульсная техника. ИЛ., 1956.
9. H.Stockman. Introduction to Distributed Amplification. Serco Waltham, Mass. USA, 1956.
10. И.Г. Мамонкин. Импульсные усилители. Москва-Ленинград. Госэнергоиздат, 1958.
11. Л.А. Меерович, Л.Г. Зеличенко. Импульсная техника, М., изд. "Советское радио", 1953.
12. Yu.M.Kazarinov, Yu.N.Simonov. Proc. 1960 Int. Conf., Rochester 1960, p.66;
Ю.М. Казаринов, Ю.Н. Симонов. ЖЭТФ, 43, 35 (1962);
Ю.М. Казаринов, Ф. Легар, Ю.Н. Симонов. Препринт ОИЯИ, Р-1207, Дубна, 1963;

Ю.М. Казаринов, В.И. Сатаров, Ю.Н. Симонов. Препринт ОИЯИ, Р-1824, Дубна, 1964.

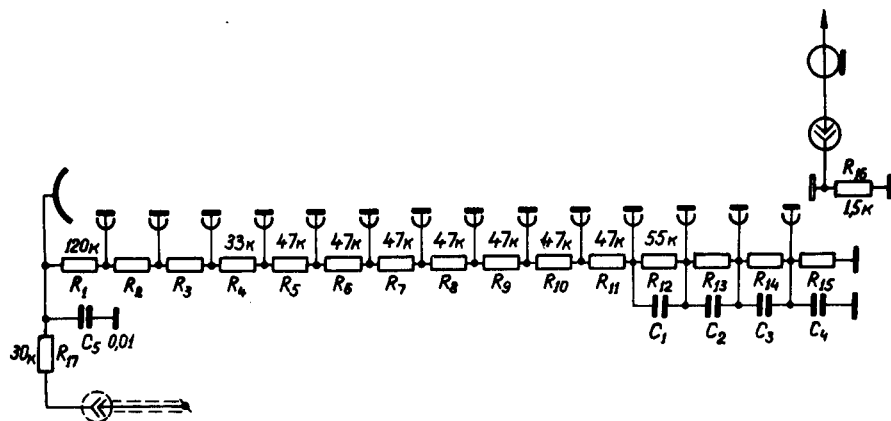
13. В.М. Горбачев, Л.Д. Усенко, Н.А. Уваров. ПТЭ, № 1, 69 (1960).
14. Ю.К. Акимов. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий. Изд. Московского университета, 1963;
Ю.К. Акимов. Препринт ОИЯИ, Р-404, Дубна, 1959.
15. М.М. Кулюкин. ПТЭ, № 2, 61 (1956).
16. Н.О. Чечик, С.М. Файнштейн, Т.М. Лифшиц. Электронные умножители. М., изд. технико-теоретической литературы, 1957.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 октября 1964 г.



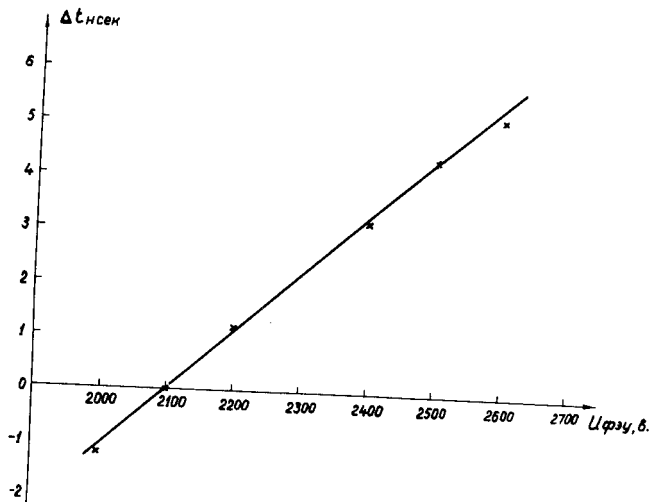
Р и с. 1. Типовая блок-схема аппаратуры.

1 - фотоумножитель, 2- формирователь, 3- усилитель, 4- схема совпадений, 5- дискриминатор, 6- усилитель, 7- пересчетная схема.

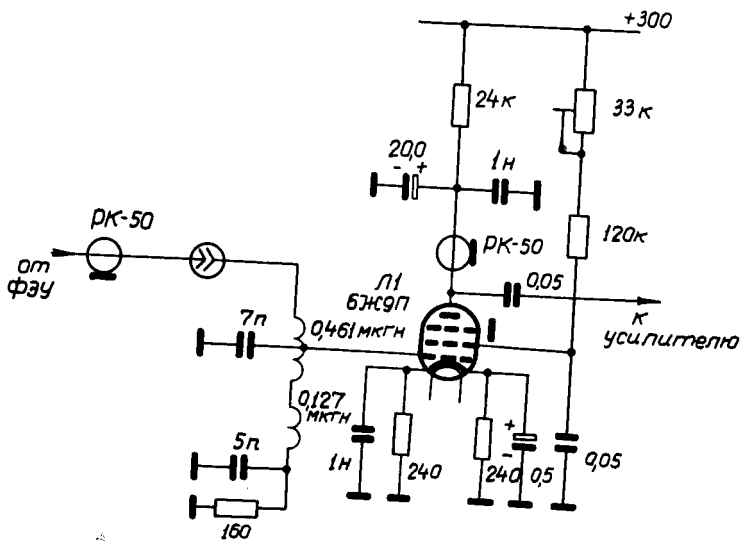


Р и с. 2. Типовая схема питания ФЭУ.

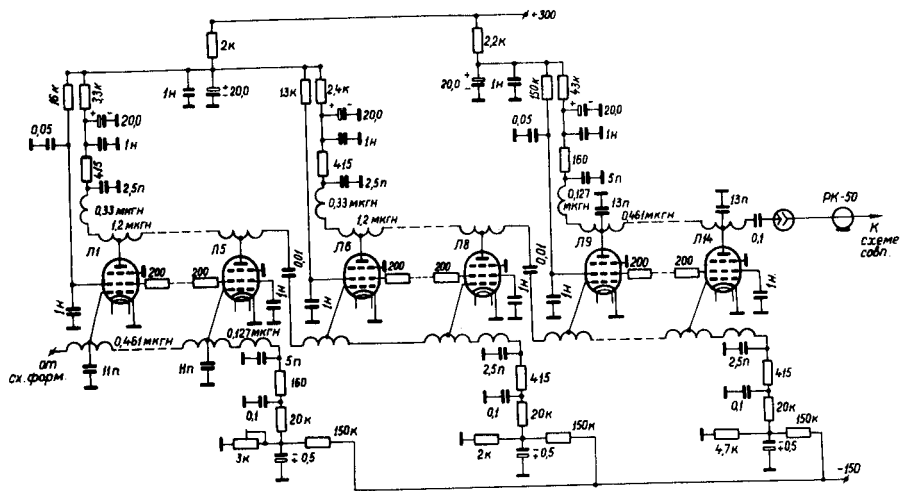
Величины конденсаторов $C_1 - C_4$ зависят от ожидаемых нагрузок. Сопротивления $R_2, R_3, R_{13}, R_{14}, R_{15}$ подбираются при наладке.



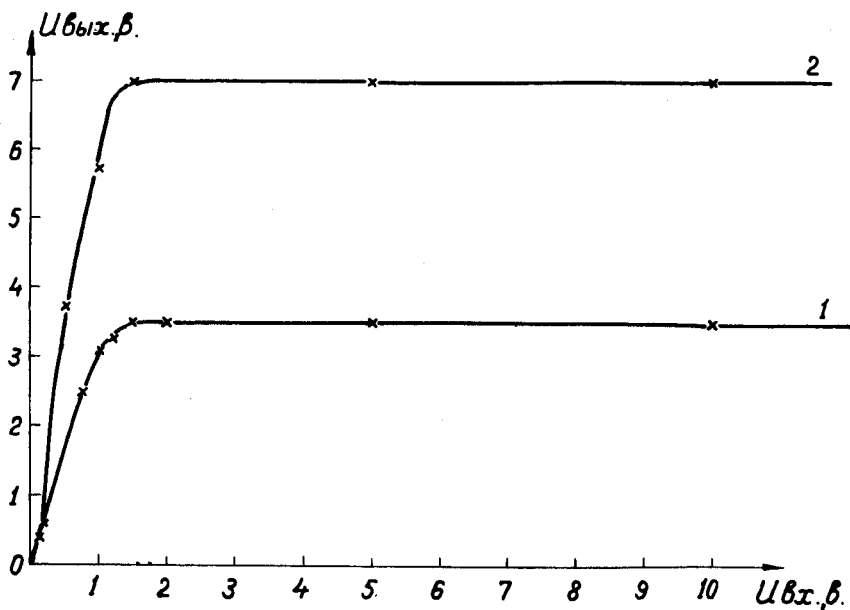
Р и с. 3. Типовая зависимость изменения времени пролета электронов через ФЭУ от напряжения питания.



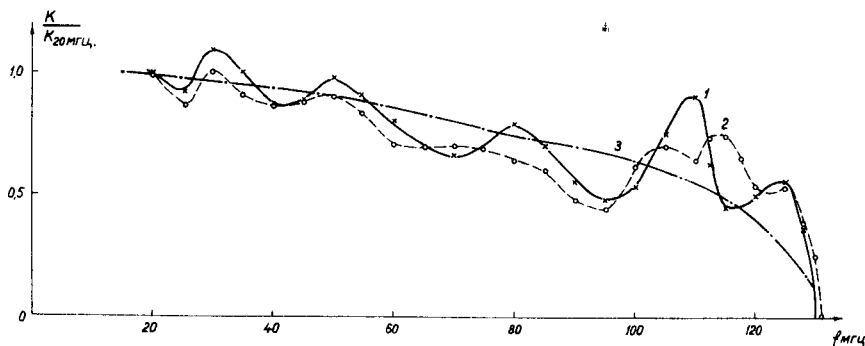
Р и с. 4. Схема формирователя импульсов по амплитуде и длительности.



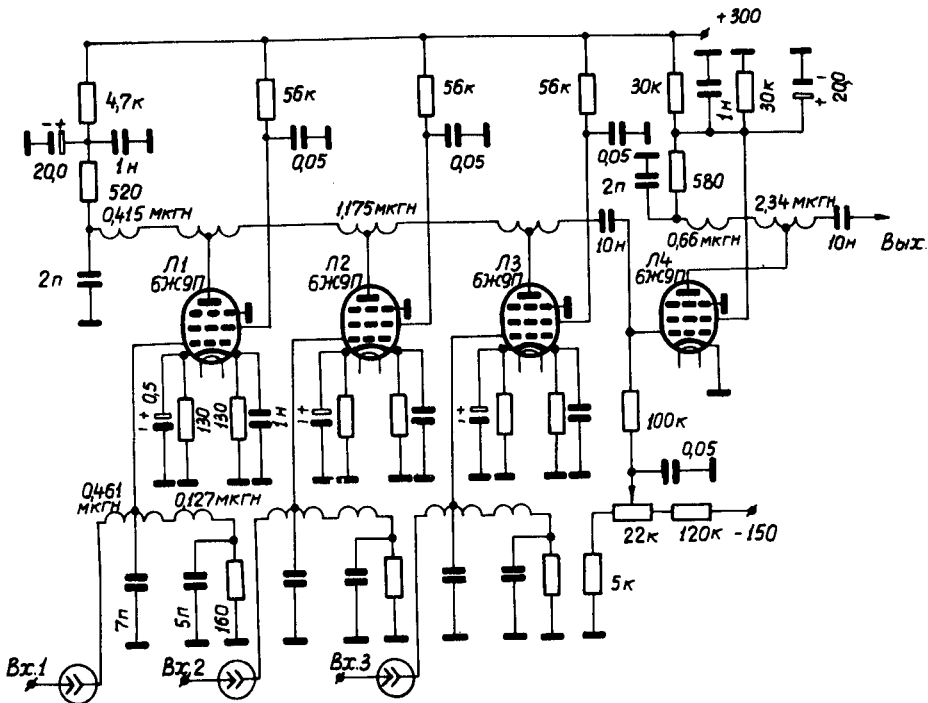
Р и с. 5. Схема усилительного канала. Все лампы - типа 6Ж1П.



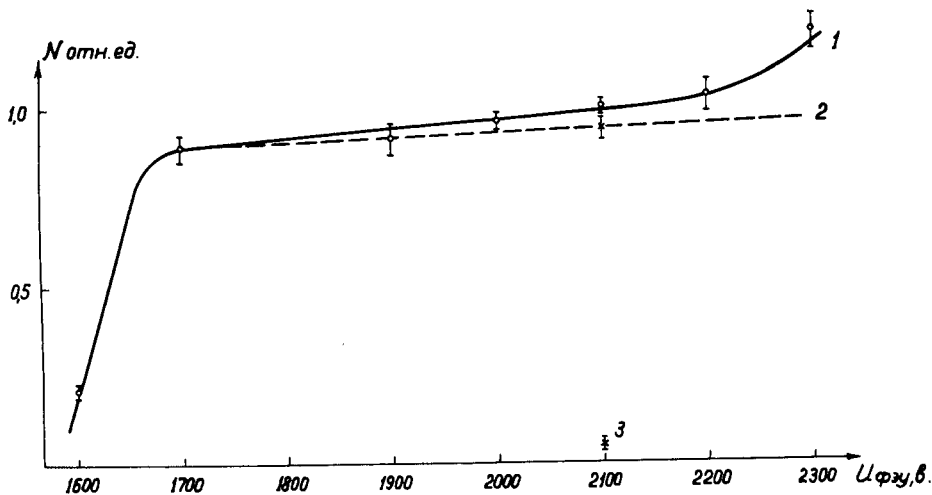
Р и с. 6. Амплитудные характеристики усилительного канала. Кривая 1- в сетке ламп совпадений согласованная с кабелем нагрузка, равная 180 ом, кривая 2- в сетке ламп совпадений нагрузка увеличена до 150 ком (работа с отражением).



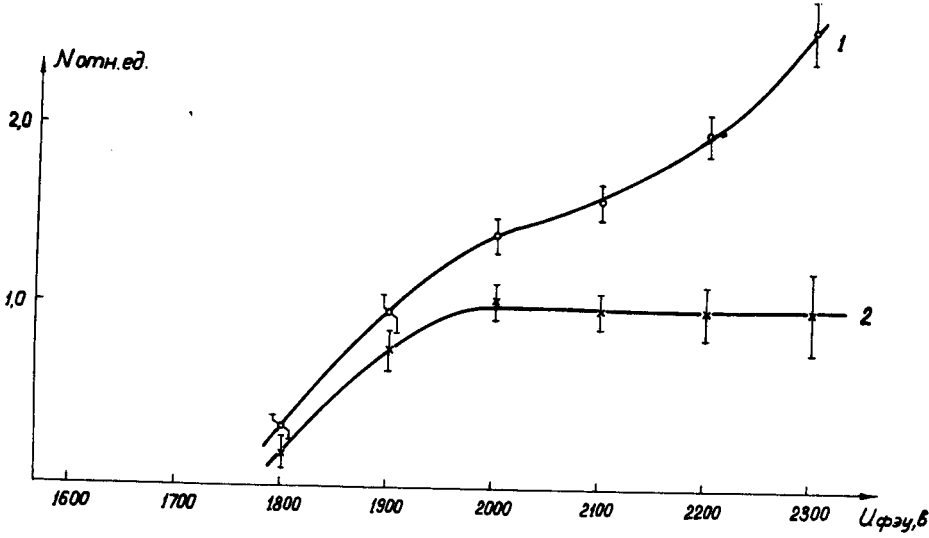
Р и с. 7. Амплитудно-частотная характеристика усилительного канала. 1- для канала № 1; 2 - для канала № 2; 3- усредненная амплитудно-частотная характеристика.



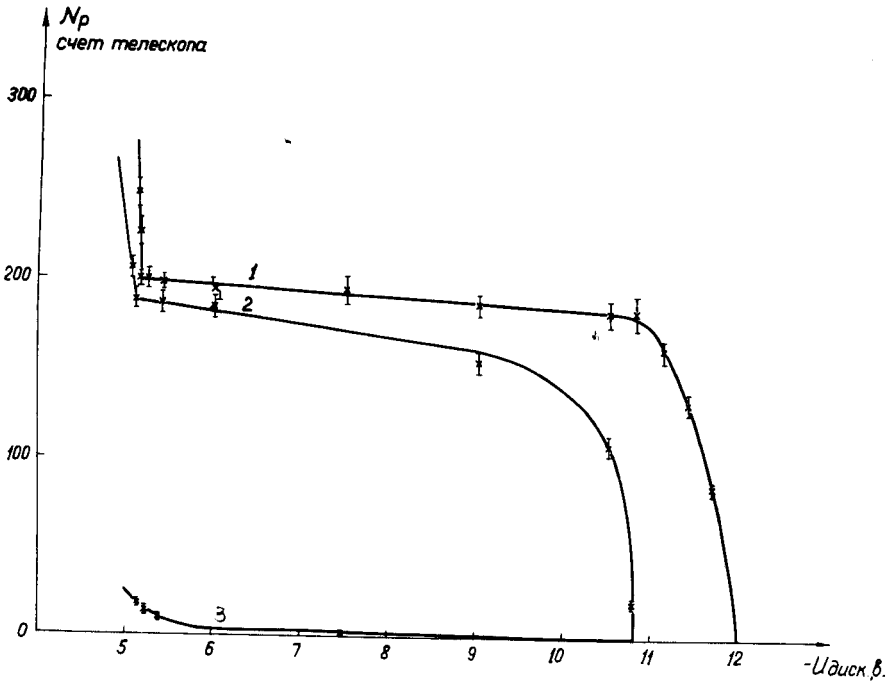
Р и с. 8. Схема совпадений по методу распределенного усиления с дискриминатором.



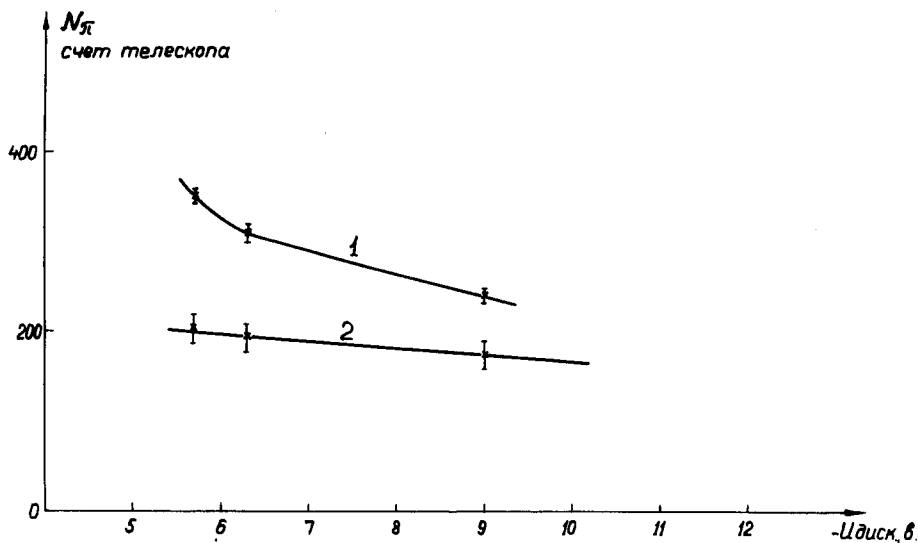
Р и с. 8. Счетная характеристика телескопа по напряжению на ФЗУ, снятая по протонам. 1-без вычета фонов, 2- за вычетом фонов всех видов, 3- сумма фонов всех видов.



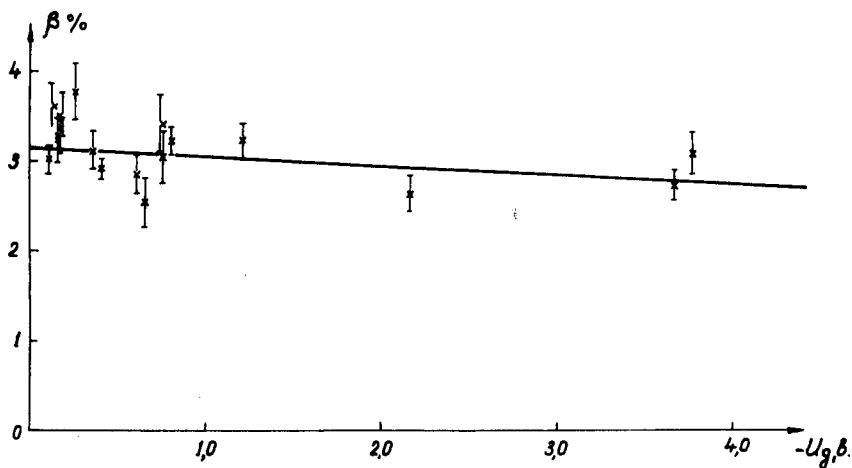
Р и с. 10. Счетная характеристика телескопа по напряжению на ФЭУ, снятая по π - мезонам. 1 - без вычета фонов, 2 - за вычетом фонов всех видов.



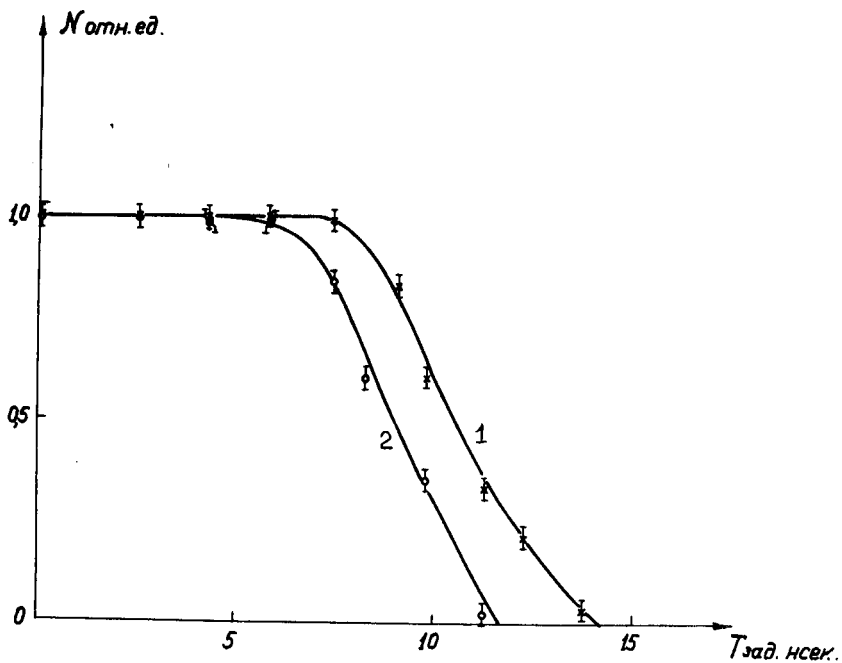
Р и с. 11. Счетная характеристика дискриминатора в зависимости от напряжения смещения на дискриминаторе при регистрации протонов. 1 - при напряжении на ФЭУ, равном 2100 в; 2 - при напряжении на ФЭУ, равном 1800 в; 3 - сумма фонов при снятых поочередно синцитляторах при напряжении на ФЭУ, равном 2100 в.



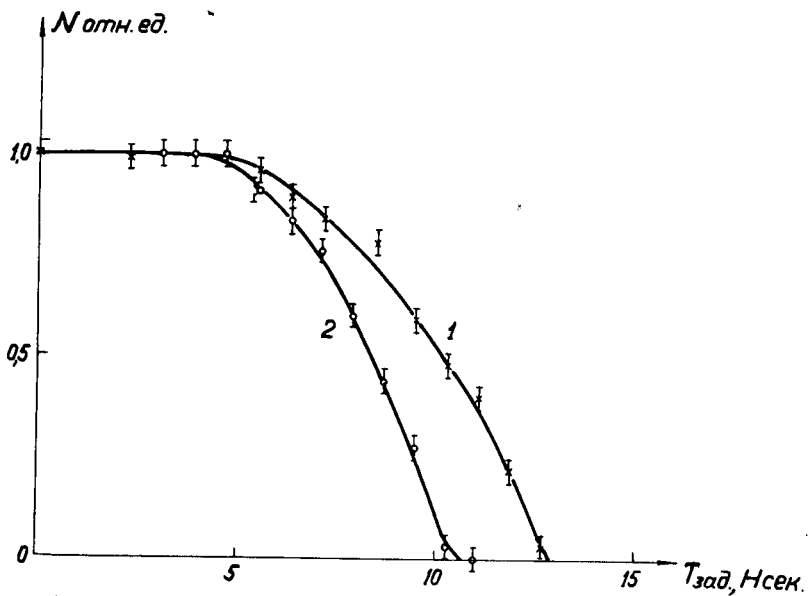
Р и с. 12. Счетная характеристика дискриминатора в зависимости от напряжения смещения на дискриминаторе при регистрации π -мезонов. Напряжение на ФЭУ равно 2100 в. 1 - без вычета фонов, 2 - за вычетом фонов всех видов.



Р и с. 13. Зависимость отношения выхода π -мезонов к выходу протонов в зависимости от напряжения смещения на дискриминаторе. Напряжение отсчитывается относительно уровня отстройки от двойных совпадений



Р и с. 14. Влияние напряжения на ФЭУ на форму кривой задержанных совпадений. 1 - напряжение на ФЭУ равно 2200 в, 2 - напряжение на ФЭУ равно 2000 в.



Р и с. 15. Влияние напряжения смещения на дискриминаторе на форму кривой задержанных совпадений. 1 - напряжение смещения на дискриминаторе равно 0,15 в от границы отстройки от уровня двойных совпадений, 2 - напряжение смещения на дискриминаторе равно 2,1 в от границы отстройки от уровня двойных совпадений