

Условные обозначения радиометрических приборов

Буквенное обозначение средств измерений в радиометрии состоит из трех элементов.

Первый элемент – функциональное назначение средств измерений: Р – радиометры, С – спектрометры, БД – блоки детектирования, УД – устройство детектирования.

Второй элемент – физическая величина, измеряемая данным средством измерения: К – активность радионуклида в источнике, У – удельная активность радионуклида, Г – объемная активность радионуклида в газе, Ж – объемная активность радионуклида в жидкости, А – объемная активность радиоактивного аэрозоля, З – поверхностная активность радионуклида, Л – поток ионизирующих частиц, П – плотность потока ионизирующих частиц, Е – энергетическое распределение ионизирующего излучения, С – перенос ионизирующих частиц, Ч – временное распределение ионизирующего излучения, К – две и более физических величины.

Третий элемент – вид ионизирующего излучения: А – альфа-излучение, Б – бета-излучение, Г – гамма-излучение, Р – рентгеновское излучение, Н – нейтронное излучение, П – протонное излучение, Т – тяжелые заряженные частицы, С – смешанное излучение, Х – прочие излучения.

Примеры буквенных обозначений средств измерения ионизирующих излучений: РКГ – радиометр для измерения активности нуклида в гамма-источнике; СЕГ – спектрометр для регистрации энергетического распределения гамма-излучения в источнике; БДГ – блок детектирования гамма-излучения; БДБ – блок детектирования бета-излучения.

Устройство и принцип работы радиометрических приборов

Электрические схемы радиометрических приборов представляют собой определенные сочетания соответствующим образом соединенных деталей, предназначенных преимущественно для преобразования параметров электрических сигналов, поступающих в схемы от детекторов ядерных излучений.

Измерительная схема выделяет, преобразует, накапливает, хранит и выдает информацию в виде электрических сигналов, удобных для наблюдения, записи, вычисления или управления другими приборами. Вспомогательные элементы обеспечивают заданные режимы работы детектора и измерительной схемы. К ним относятся источники питания, блоки программирования режима работы, контроля исправности и градуировки, регистрирующие устройства (цифropечатающие устройства, самописцы, осциллографы, счетчики импульсов и т. д.).

Функциональные схемы приборов в значительной мере определяются формой сигналов, поступающих от детекторов излучений и с выхода измерительной схемы (в виде импульсов – дискретная форма информации или в виде медленно меняющегося тока или напряжения - аналоговая форма информации).

Коротко остановимся на основных компонентах радиометрической аппаратуры. В состав радиометрического прибора обычно входят:

- детектор ионизирующего излучения с источником электропитания (здесь энергия ионизирующего излучения преобразуется в электрический сигнал);
- блок преобразования электрических сигналов (здесь осуществляется изменение амплитуды, формы, количества, длительности электрических сигналов и их анализ, т.е. приведение полученных с детектора электрических сигналов к виду, удобному для их расшифровки и регистрации);
- регистрирующее и показывающее устройство (здесь регистрируются преобразованные электрические сигналы, и выдётся информация о параметрах ионизирующего излучения, попавшего на детектор в виде цифровой или компьютерной визуализации);
- источники питания детектора и электронной схемы предусилителя и усилителя сигналов;
- остальные блоки радиометра могут питаться как от основного источника питания радиометра, так и от самостоятельных блоков питания, находящихся в конкретных блоках радиометра.

Функциональная блок-схема основных узлов радиометрического прибора представлена на рисунке 1.

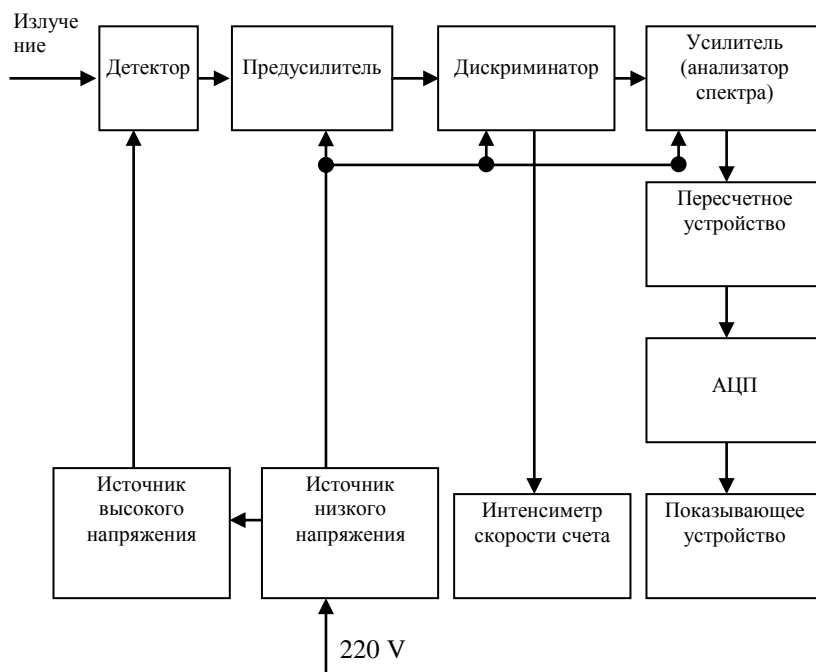


Рис.1. Функциональная блок-схема основных узлов радиометра

Незначительные различия всех приборов состоят лишь в том, что в «простых» радиометрах типа ПП-8, ПП-12, ПП-15, КРК-1, КРВП-3АБ, РКБ4-1еМ и т.п. анализаторы спектра и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) отсутствуют, а для многоканальных спектрометров эти блоки необходимы.

Очень большое значение на качество работы радиометра (шумы, помехоустойчивость, чувствительность) оказывает схема связи детектора с пересчетным блоком. Основные схемы связи детекторов с усилителем (предусилителем) приведены на рисунках 2–5. Схема согласования детекторов для уменьшения шумов, как правило, монтируется в непосредственной близости от выхода детектора, а лучший вариант – непосредственно на анодном выводе детектора.

Схемы связи (согласования) детекторов с электронными устройствами. Детекторы ионизирующих излучений работают в комплекте с различными электронными усилителями, преобразовательными и измерительными показывающими, регистрирующими, индикаторными и другим устройствами, имеющими определенные электронные схемы. Снимаемый с сопротивления нагрузки детектора сигнал поступает на вход электронной схемы, которой часто служит усилительный каскад с определенными входными параметрами. Для обеспечения максимальной амплитуды сигнала входная емкость усилителя должна быть минимальной, а входное сопротивление должно быть больше сопротивления нагрузки. При этом меньше сказывается влияние изменения входного сопротивления на параметры сигнала. Если в схему поступает непосредственно ток детектора, то входное сопротивление усилительного каскада должно быть меньше выходного сопротивления самого детектора.

Связь сопротивления нагрузки R_n с усилительным каскадом бывает гальванической и через разделительный конденсатор (рис.2).

В первой схеме сопротивление нагрузки детектора одновременно является элементом усилительного каскада и подключено к затвору полевого транзистора, а во второй схеме эти функции выполняются разными сопротивлениями и конденсатор связи C_c имеет большой запас по рабочему напряжению с абсолютным отсутствием утечек, которые создают ложные сигналы на входе усилителя. В эквивалентной схеме входа емкость детектора C_d подключена параллельно сопротивлению нагрузки R_n , а емкость входа электронной схемы C_e параллельно сопротивлению R_c . В этой схем сигнал с нагрузки детектора поступав на вход усилителя с минимальным искажениями.

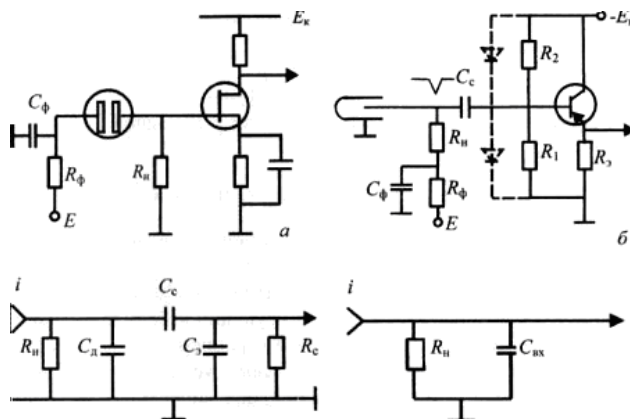


Рис. 2. Схемы связи детекторов с электронными схемами:
 а - гальваническая связь; б - связь через разделительный конденсатор; в - эквивалентная схема входа при передаче сигнала через разделительный конденсатор; г - обобщенная эквивалентная схема.

Для передачи сигнала с выхода ФЭУ сцинтилляционного детектора в соединительный или формирующий кабель применяется составной повторитель (рис. 3). Коэффициент усиления составной схемы определяется коэффициентами усиления входящих в нее транзисторов и поэтому его входное сопротивление может быть значительным. Его выходное сопротивление не зависит от сопротивления источника сигнала. В схеме выход составного повторителя подается на высокочастотный кабель, выполняющий две функции. Часть кабеля ЛЗ₁ служит для передачи сигнала от детектора к электронной установке, а короткозамкнутый отрезок ЛЗ₂ формирует сигнал, укорачивая его. Сопротивление R', включенное на входе кабеля ЛЗ₁ необходимо для согласования выходного сопротивления повторителя и волнового сопротивления кабеля.

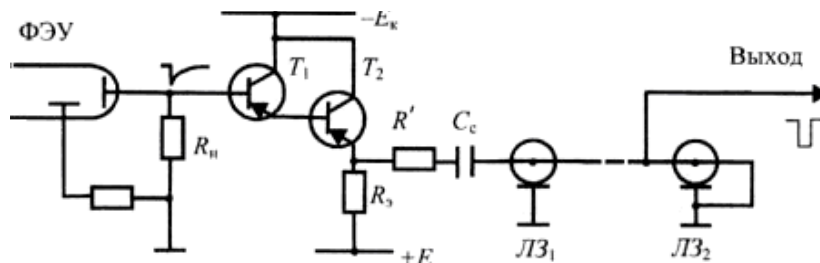


Рис.3. Применение составного повторителя для передачи сигналов с выхода ФЭУ в кабель.

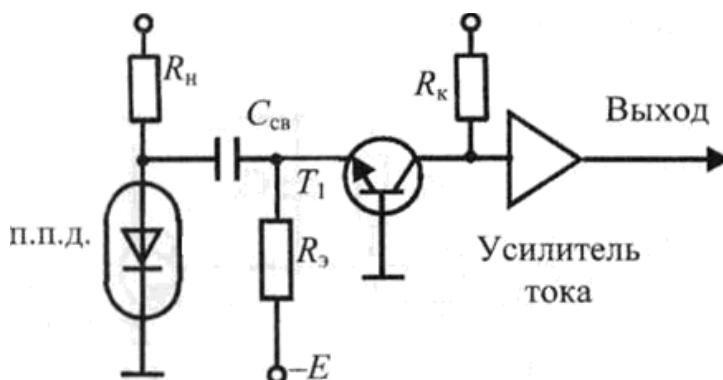


Рис.4. Передача импульса тока полупроводникового детектора каскадом с общей базой.

В быстродействующих схемах, предназначенных для определения временных корреляций и требующих минимальной длительности импульсов, используются непосредственно импульсы тока детектора без предварительного интегрирования. Для передачи импульсов тока применяют схемы с малым входным сопротивлением. Входное сопротивление схемы с общей базой определяется сопротивлениями эмиттерного и базового переходов и не превышает десятков Ом. Поэтому даже при значительной емкости полупроводникового детектора (ППД) постоянная времени входа мала и обеспечивается работа с большими нагрузками. Емкость связи C_{св} подбирается из условий неискаженной передачи импульса тока детектора в низкоомную цепь эмиттера T₁ (Рис.4).

Схема передачи импульсов тока детектора с последующим интегрированием приведена на рисунке 5. Импульс тока ФЭУ сцинтилляционного счетчика через соединительный высокочастотный кабель поступает на вход каскада с заземленной базой T₁. Из-за малого входного сопротивления каскада затягивание импульсов тока на входе не происходит. Необходимое интегрирование производится цепью - R_нC_н, включенной в коллектор T₁. Каскад на эмиттерном повторителе T₂, обладающий высоким входным сопротивлением, обеспечивает передачу импульсов напряжения для последующего усиления. Сопротивление R вводится для согласования малого входного сопротивления схемы с волновым сопротивлением кабеля.

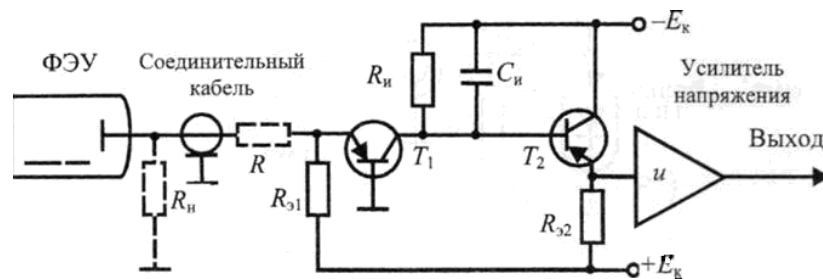


Рис.5. Схема передачи импульса с последующим интегрированием.

Ниже рассмотрен принцип работы основных функциональных блоков радиометрических приборов.

Предусилители и усилители импульсов. Амплитуда сигналов детекторов, как правило, недостаточна для срабатывания регистрирующих и анализирующих устройств. Так у импульсных ионизационных камер и полупроводниковых детекторов она составляет единицы – сотни милливольт. В то же время динамический диапазон входных сигналов таких, например, приборов как АЦП (аналого-цифровой преобразователь) обычно составляет 0,1-10 В. Поэтому сигналы детекторов необходимо усиливать до 10^2 раз (сцинтилляционный счётчик, ППД) и до 10^7 раз (ионизационная камера) в зависимости от типа детектора и энергии регистрируемого излучения. Предусилители требуются для улучшения характеристик детекторов, выходной сигнал которых является коротким по времени импульсом тока с низкой амплитудой. Обычный импульс может иметь амплитуду, равную не более 10мВ и длительность – 200нс. Предусилитель преобразует этот импульс тока в импульс напряжения, амплитуда которого пропорциональна энергии, потерянной излучением в процессе взаимодействия с детектором. Для того чтобы получить максимальное отношение сигнал/шум и сохранить информацию относительно энергии излучения, предусилитель следует помещать как можно ближе к детектору. Близость предусилителя минимизирует емкость на входе предусилителя, уменьшая этим уровень выходного шума. Предусилитель также служит в качестве устройства, которое согласует высокий импеданс детектора и низкий импеданс коаксиального кабеля, который передает основному усилителю усиленный сигнал детектора. Усилитель же и предусилитель могут быть разнесены друг от друга на расстояние в несколько сотен метров.

Так как детектор и предусилитель должны располагаться близко друг к другу, то предусилитель часто находится в неудобном месте, окруженном защитой, и недоступен для регулировок в процессе использования. Большинство предусилителей не имеют внешнего управления, поэтому регулировка коэффициента усиления и формы импульса производится в основном усилителе, который обычно находится в более удобном месте, близко к другим электронным устройствам системы. Из-за отсутствия внешнего управления, объем предусилителя составляет лишь несколько сотен кубических сантиметров. Когда предусилитель должен быть расположен внутри защиты детектора, его небольшой объем является достоинством. Предусилитель обычно помещают в небольшую прямоугольную или круглую коробку. Для одиночных детекторов предусилитель часто встраивают в корпус детектора, который имеет панель для включения в схему.

Хотя обычно предусилители почти не управляемы, они содержат несколько разъемов. Обычно это один выходной и один тестовый, через который могут подаваться импульсы от электронного генератора импульсов для моделирования импульсов от детектора с целью проверки работы предусилителя и других устройств обработки сигнала системы. Часто через вмонтированный в блок предусилителя разъем к детектору прикладывается напряжение смещения (ППД) или высокое напряжение (ФЭУ и счетчики Гейгера). Обычно для обеспечения питания предусилителя используется источник питания основного усилителя. Некоторые предусилители получают необходимое низкое напряжение от источника напряжения смещения детектора.

В предусилителях используются различные способы обработки сигналов, в зависимости от типа детектора и от того, измеряется ли амплитуда (энергия) или время. Сигналы от детекторов некоторых типов, таких например, как сцинтилляторы с фотоэлектронными умножителями (ФЭУ), довольно велики, что при временных измерениях и простом счете событий позволяет соединять их непосредственно с усилителями с малыми входными сопротивлениями. А при измерении энергии можно использовать относительно простые предусилители, с учетом того, что они не будут вносить заметного ухудшения и в так невысокое разрешение этих устройств. Для рентгеновской и гамма-спектроскопии, спектроскопии заряженных частиц часто используются детекторы с существенно лучшим энергетическим разрешением, такие как кремниевые и германиевые детекторы и пропорциональные счетчики. Сигналы с этих детекторов малы и важно, чтобы входные цепи предусилителей были малощумящими. Для этого во входных цепях зарядочувствительных предусилителей используют полевые транзисторы. Предусилители для кремниевых и германиевых детекторов заряженных частиц и пропорциональных счетчиков обычно работают при комнатной температуре.

Выходной импульс предусилителя имеет форму быстро растущей положительной ступеньки, за которой следует медленный спад. Время нарастания импульса равно нескольким десятым микросекунды, а время спада изменяется от 50 до 100 мкс. Разработаны различные схемы предусилителей, которые

оптимизированы для различных типов детекторов. Такие параметры, как уровень шума, чувствительность, время нарастания импульса и пропускная способность (максимальная загрузка) могут отличаться для различных моделей. Максимальная загрузка обычно определяется как максимальный заряд в единицу времени (Кл/с), переданный от детектора на вход предусилителя.

При детектировании ядерных излучений в большинстве случаев получается слабый электрический сигнал от предусилителя в виде усреднённого постоянного электрического тока или отдельных электрических сигналов различной формы. В связи с этим, импульсы от предусилителя усиливаются и формируются так, чтобы удовлетворять требованиям анализатора амплитуд или пересчетным устройствам, которые расположены за основным усилителем. В тех и других случаях сигнал преобразуется электронной схемой до параметров, удобных для регистрации. **Приборы, применяемые для увеличения амплитуды электрических сигналов от детекторного блока, называются усилителями.** Для усиления слабого постоянного тока используют усилители постоянного тока, для усиления электрических быстро меняющихся во времени и изменяющих свою полярность сигналов – усилители переменного тока. Усилители переменного тока, специально предназначенные для усиления электрических импульсов, называются импульсными усилителями. Те и другие приборы содержат много элементов в электрических схемах, но имеют специфические особенности.

Сигналы, поступающие от детекторов излучений, имеют крутой передний фронт и довольно пологий спад. Длительность переднего фронта колеблется для различных детекторов излучений в очень широких пределах – от миллисекунд до наносекунд. Во многих задачах возникает необходимость в правильной передаче переднего фронта импульса с минимальными задержками. Такие требования становятся особенно жёсткими в тех случаях, когда необходимо точно знать момент регистрации частицы или кванта. Длительный спад импульса не желателен, так как он ограничивает разрешение устройства. Поэтому спад должен быть уменьшен в схеме самого усилителя. Следовательно, усилители импульсов детекторов излучений должны не только усиливать сигналы, но и формировать их. Для этого в такие усилители вводятся укорачивающие схемы, а их частотная характеристика выбирается из условия правильной передачи переднего фронта импульса. Повышенные требования предъявляются к спектрометрическим усилителям. Для правильной передачи соотношений между амплитудами импульсов усилители должны обладать стабильным коэффициентом усиления, а линейность их амплитудной характеристики должна быть высокой.

Для усиления импульсов напряжения, получаемых от детекторов, в ядерной физике и атомной технике используют импульсные усилители. Основными требованиями, предъявляемыми к усилителям, являются следующие: коэффициент усиления, стабильность коэффициента усиления, время нарастания и время задержки выходного сигнала, завал плоской вершины выходного импульса, входное сопротивление и выходное, уровень собственных шумов, линейность амплитудной характеристики и перегрузочная способность.

Коэффициент усиления определяется как отношение амплитуды сигнала на выходе усилителя к амплитуде сигнала на его входе. В зависимости от назначения усилителя его коэффициент усиления может быть от 20-30 до 10^5 и более раз. Нестабильность коэффициента усиления усилителя показывает, как он может варьировать во времени, при изменении питающих напряжений и других внешних условий.

Время нарастания выходного сигнала усилителя определяется как интервал времени, за который напряжение на выходе усилителя нарастает от 0,1 до 0,9 максимального значения, **время задержки** – как интервал времени между моментом подачи напряжения на вход усилителя и моментом, когда сигнал на выходе достигает половины максимального значения.

Характеристики импульса показаны на рис. 6.

При усилении сигналов, амплитуда которых зависит от энергии излучения, усилитель должен обладать линейной амплитудной характеристикой в широком диапазоне амплитуд усиливаемых импульсов. Амплитудную характеристику импульсных усилителей оценивают величиной, называемой коэффициентом нелинейных искажений:

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_{\text{вых}}} \cdot 100\%,$$

где, δ – коэффициент нелинейных искажений;

ΔU – отклонение амплитудной характеристики от линейного закона;

$U_{\text{вых}}$ – амплитуда выходного сигнала.

При плохой перегрузочной способности усилителя на его выходе могут быть потеряны некоторые сигналы малой амплитуды или возникнуть ложные импульсы. Амплитудная характеристика показана на рис. 7.

Завал плоской вершины выходного импульса – это постепенное уменьшение амплитуды импульса. Он определяется в процентах по отношению к амплитуде в начале плоской части вершины импульса.

Завал плоской вершины выходного импульса – это постепенное уменьшение амплитуды импульса. Он определяется в процентах по отношению к амплитуде в начале плоской части вершины импульса.

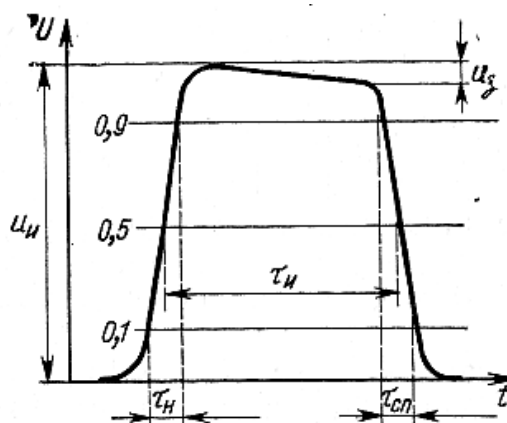


Рис.6. Характеристика импульса: u_n - амплитуда; t_n - длительность; t_n и $t_{сп}$ - время нарастания и спада; u_3 - завал.

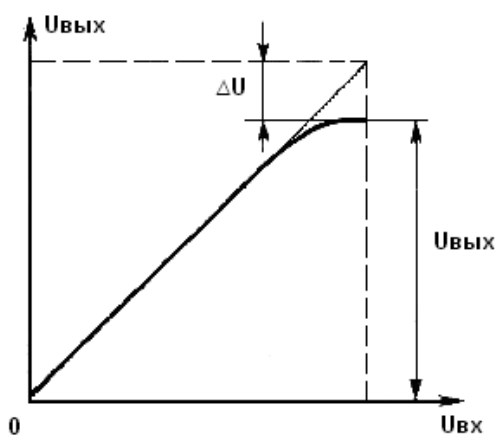


Рис.7. Амплитудная характеристика усилителя.

Уровень собственных шумов определяет минимальный уровень сигнала, который может быть зарегистрирован данным усилителем. Он определяется как напряжение эквивалентного генератора, приложенное к входу усилителя. Для измерения уровня шумов на практике измеряют напряжение на выходе усилителя при замкнутом входе и делят его на коэффициент усиления усилителя.

Кроме того, во многих экспериментах усилители не должны быть подвержены перегрузкам – временному изменению параметров от сигналов больших амплитуд либо от кратковременного значительного увеличения частоты их следования. В усилителях с большим коэффициентом усиления (10^6 - 10^7), рассчитанных для работы с малыми сигналами, следует стремиться к минимальному уровню шумов $u_{ш}$ с целью улучшения отношения $u_{сг}/u_{ш}$, что необходимо как для лучшего отделения полезного сигнала от помехи в случае простой регистрации, так и для повышения точности измерения в спектрометрии. В спектрометрических усилителях импульсов удаётся уменьшить уровень шумов до нескольких микровольт при полосе пропускания, обеспечивающей хорошую передачу сигналов. Таким образом, обычно усилительное устройство сигналов детектора состоит из двух частей – предусилителя и основного усилителя. Основная задача, которую выполняют предусилители – это усилить и преобразовать сигнал с детектора без заметного ухудшения отношения сигнал/шум. Предусилитель располагается как можно ближе к детектору, чтобы свести к минимуму паразитные емкости и наводки на входные цепи. Регулировки, необходимые для оперативной работы, в предусилителе сведены к минимуму. Основной усилитель располагается обычно за радиационной защитой, часто на довольно большом расстоянии от предусилителя и детектора.

Таким образом, в соответствии с назначением, применяемые в радиометрах усилители можно разделить на два основных типа: временные и спектрометрические или линейные. Временные усилители служат для извлечения прецизионной временной информации о регистрируемых событиях в наносекундном и субнаносекундном диапазонах, а также для счета событий с высокой частотой следования. Временные усилители должны хорошо передавать короткие фронты сигналов от предусилителей и соответственно обладать широкой полосой пропускания (до 10^8 - 10^9 Гц). Однако, желательно, чтобы полоса пропускания усилителя не была избыточна, т.к. в этом случае не улучшив временные характеристики, будет ухудшено отношение сигнал/шум. Длительность импульсов быстрых усилителей меньше 20 нс. Таким образом,

возможен счет событий со средней частотой в несколько МГц всего с $\sim 10\%$ потерями на мертвое время. Коэффициент усиления временных усилителей не превышает 100-200. Во временных усилителях может быть предусмотрена возможность формирования импульсов. Они используются с ФЭУ и кремниевыми детекторами заряженных частиц. Для получения временной информации при работе с германиевыми детекторами обычно используются быстрые усилители без формирования импульсов. Соответственно длительность выходных импульсов в таких усилителях определяется предшествующей электроникой и детектором.

Спектрометрические усилители используются при амплитудном анализе сигналов. Одна из функций спектрометрических усилителей - линейное увеличение амплитуд выходных сигналов предусилителей, которые находятся в диапазоне милливольт, до диапазона 0,1-10 В, в котором работают амплитудные анализаторы. Коэффициенты усиления спектрометрических усилителей бывают до нескольких тысяч. Кроме того, спектрометрические усилители должны иметь хорошую линейность ($< 0.2\%$). Для амплитудного анализа важно обеспечить хорошее отношение сигнал/шум, так как оно определяет амплитудное, а стало быть, и энергетическое разрешение спектрометра. Так как источники шума в детекторе и первых усилительных каскадах имеют более широкую частотную полосу, чем полоса полезной информации, отношение сигнал/шум может быть улучшено соответствующей фильтрацией. Но оптимальное энергетическое разрешение требует довольно длительных импульсов. Длительность выходных сигналов спектрометрических усилителей находится в микросекундном диапазоне ($\sim 3-70$ мкс). Однако при высоких скоростях регистрации событий для минимизации наложений импульсов, они наоборот должны быть короткими. Кроме того, нередко нужно сохранить и временную информацию, а это связано с достаточно широкой полосой пропускания. Оптимальное решение часто является результатом компромисса. Современные линейные усилители позволяют работать при нагрузках до ~ 7000 с $^{-1}$ без ухудшения разрешения и до ~ 90000 с $^{-1}$ с небольшим его ухудшением.

Передача сигнала от детектора на усилитель. Передача сигнала от детекторного блока на измерительно-показывающие устройства является одним из важных вопросов в конструировании радиометрической аппаратуры. Обычно эти две составные части прибора разделены расстоянием от 1 метра до десятков метров, и правильная передача сигнала особенно важна в спектрометрии излучений.

Поскольку основные виды детекторов радиоактивного излучения (камеры, сцинтилляционные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера и пропорциональные счетчики) представляют собой генераторы тока, возможна передача от детекторного блока к измерительному как импульса тока, так и импульса напряжения, создаваемого на выходной $R_g C_g$ -цепи детектора при прохождении импульса тока.

Например, при размещении детектора в окружающей среде с очень высокой температурой (более 100°C) или в сильных радиационных полях исключается возможность введения в детекторный блок электронных узлов; при этом передача импульсов тока предпочтительней. Если же детектор близко расположен от пересчетного блока и по задачам измерения необходимо обеспечить сбор заряда, то передача импульсов напряжения более целесообразна. Иногда в детекторный блок вводят и источник высокого напряжения, что исключает использование специального высоковольтного кабеля.

Пример передачи сигнала в виде импульса тока с предварительным интегрированием показан на рис. 8.

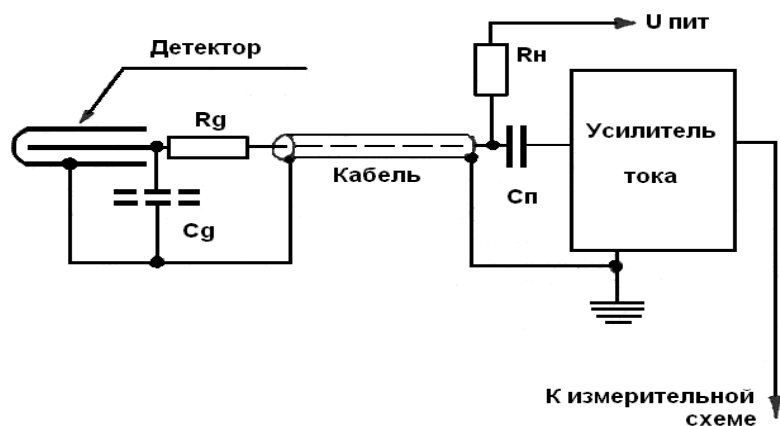


Рис.8. Схема передачи сигнала с предварительным интегрированием.

Сигналы с детектора подаются на усилитель через дополнительное активное сопротивление R_g , и на емкости детектора C_g происходит интегрирование импульса с постоянной времени $R_g \cdot C_g$. При такой схеме включения детектора сигнал можно передавать на расстояние до 1км.

Дискриминаторы. В радиометрии имеется большой круг задач, связанных с исследованием амплитуды и формы импульсов, получаемых от детекторов излучений. Простейший метод амплитудного анализа импульсов состоит в отделении (дискриминации) импульсов, соответствующих исследуемому излучению от сигналов меньших амплитуд, например от шумов или от импульсов более мягкого излучения. Для этого применяются амплитудные дискриминаторы.

Дискриминатор (от лат. Discrimino – отделяю, различаю), устройство, преобразующее изменение контролируемого параметра электрического сигнала (на входе) в изменение полярности напряжения (на выходе). Амплитудный дискриминатор выдаёт импульс на выходе в том случае, когда амплитуда входного сигнала превышает некоторую определённую величину – порог дискриминации $u_{пор}$. Обычно имеется возможность изменять порог дискриминации в широких пределах и тем самым отделять для последующей регистрации импульсы определённых амплитуд.

В дискриминаторе сравниваются значения параметра (амплитуды, длительности, полярности, частоты, фазы) входного сигнала с выбранным (номинальным) значением этого параметра отдельного (опорного) источника сигнала. В результате сравнения на выходе дискриминатора возникает разностное напряжение (напряжение рассогласования). Его амплитуда и полярность определяются степенью и знаком отклонения значения данного параметра входного сигнала от номинального. Дискриминаторы различают по сравниваемым параметрам сигнала. Амплитудный дискриминатор имеет определённый уровень срабатывания и пропускает только сигналы с амплитудой выше (ниже) номинального значения. Во временном дискриминаторе, собранном по схеме совпадений, сигнал на его выходе появляется, а в дискриминаторе, собранном по схеме антисовпадений, – пропадает при совпадении во времени входного и опорного импульсных сигналов. При частотном и фазовом детектировании промодулированные по частоте и фазе колебания высокой частоты преобразуются дискриминатором в амплитудно-модулированные колебания, которые затем в большинстве случаев подаются на детектор. В этом случае в фазовом дискриминаторе применяют опорный сигнал с фиксированной начальной фазой. Временная привязка (хронирование) служит для фиксации момента регистрации события в детекторе.

Различается два типа устройств, реализующих временную привязку. Одни используют "медленные" спектрометрические сигналы. Это временные одноканальные анализаторы. Другие, быстрые дискриминаторы, используют сигналы либо непосредственно от детекторов, либо от быстрых усилителей.

И в тех, и в других устройствах используются следующие методы временной привязки:

- привязка по переднему фронту импульса,
- привязка по нулю биполярного импульса,
- метод следящего порога и его разновидности.

Амплитудный дискриминатор - один из основных узлов спектрометрической аппаратуры, используемой для амплитудного анализа импульсов напряжения, пропорциональных энергии ядерного излучения. Дискриминатор предназначен для пропуска импульсов в последующие устройства анализатора только с определёнными амплитудами.

Амплитудный дискриминатор – устройство, автоматически выделяющее электрические сигналы, амплитуда которых превышает определённое (пороговое) значение величины. Амплитудные дискриминаторы применяют для выделения полезного сигнала из шумов и при исследовании случайных процессов с помощью амплитудных анализаторов.

Схема дискриминатора на одном транзисторе приведена на рис. 9. По принципу действия эта схема ближе к электронному затвору. Положительный входной сигнал поступает на эмиттер (1), а на базу транзистора подается регулируемое положительное напряжение (3), запирающее транзистор. Когда напряжение входного сигнала превышает напряжение базы, транзистор начинает проводить, и в цепи коллектора вырабатывается положительный выходной сигнал (2).

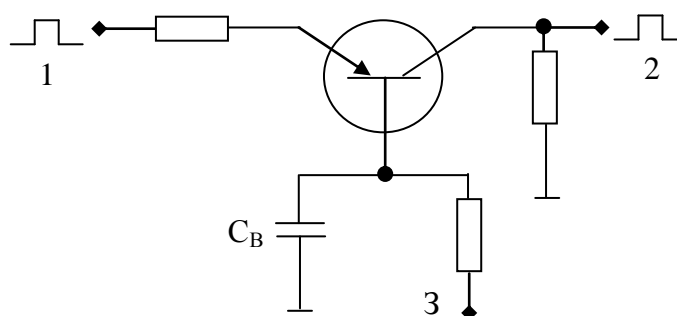


Рис.9 Схема дискриминатора на одном транзисторе.

Сигналы некоторых детекторов несут информацию об энергии зарегистрированного кванта или частицы: их амплитуда пропорциональна энергии. Поэтому, исследуя распределение амплитуд импульсов нетрудно получить спектр излучения. В простейшем случае такие измерения могут быть выполнены также с помощью амплитудного дискриминатора.

Для этого производится подсчёт импульсов на выходе дискриминатора при разных порогах срабатывания в течение одинаковых интервалов времени. Получаемая при этом кривая $n=f(u_{пор})$ (Рис. 10а) называется интегральным амплитудным спектром. Каждая точка кривой показывает какое число импульсов имеет амплитуду A , превышающую порог срабатывания $u_{пор}$ дискриминатора. По форме интегральной кривой можно судить о составе спектра исследуемого излучения. Интегральный дискриминатор

вырабатывает выходной сигнал под действием каждого входного сигнала, напряжение которого превышает заданный уровень, называемый порогом дискриминатора. В зависимости от требований, предъявляемых к интегральному дискриминатору, выходной сигнал или воспроизводит в определённом масштабе часть входного импульса, лежащего над порогом дискриминатора, или является стандартным по амплитуде и форме.

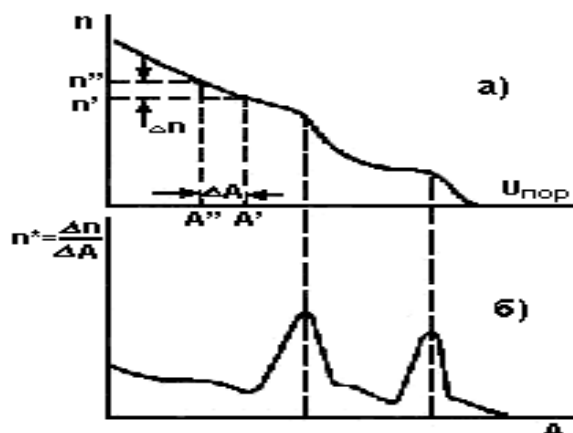


Рис. 10. Амплитудные спектры:
а)-интегральный; б)- дифференциальный.

В первом случае дискриминатор имеет линейно-ломаную амплитудную характеристику (рис. 10а), тангенс угла наклона которой выражает коэффициент усиления входного импульса. Такой дискриминатор в сочетании с усилителем на выходе применяется для дополнительного растягивания интересующей части спектра и называется расширителем динамического диапазона или экспандером.

Расширитель – устройство, преобразующее входные импульсы в импульсы прямоугольной формы, сохраняя при этом амплитуду. Расширители используются при сложении аналоговых сигналов или для уменьшения искажений амплитудных распределений, вызванных так называемыми "резаными" импульсами в АЦП. Этот эффект возникает когда аналого-цифровой преобразователь, обработав сигнал, открывается для обработки следующего во время его спада. Использование сигналов с плоской вершиной и коротким задним фронтом уменьшают вероятность таких событий (рис. 11а).

Во втором случае, когда выходной сигнал является стандартным по амплитуде и форме, дискриминатор имеет скачкообразную характеристику (Рис. 11б) и в сочетании с формирующим устройством на выходе применяется для получения интегрального спектра. В большинстве случаев удобнее пользоваться дифференциальным амплитудным спектром, который показывает сколько имеется импульсов каждой амплитуды. Дифференциальный спектр может быть получен из интегрального спектра путём дифференцирования последнего. Подобный метод получения дифференциального спектра связан с длительными расчётами, требует повышенной стабильности порога срабатывания дискриминаторов и вынуждает вести измерения интегрального спектра с очень большой статистической точностью.

Для непосредственного получения дифференциального спектра разработаны специальные приборы – одноканальные и многоканальные дифференциальные амплитудные анализаторы.

Дифференциальный дискриминатор срабатывает и выдаёт на выходе стандартный сигнал только от импульсов с амплитудами, лежащими в определённых пределах, задаваемых двумя порогами дискриминатора – нижним и верхним. Разница между порогами называется **шириной окна**. Изменяя синхронно нижний и верхний пороги дискриминатора, можно получать дифференциальный спектр. Дифференциальный дискриминатор включает в себя два интегральных дискриминатора с порогами срабатывания, отличающимися на ширину окна, и схему антисовпадений, запрещающую прохождение на выход сигнала с амплитудой, большей срабатывания верхнего дискриминатора. Дифференциальный дискриминатор имеет двойную скачкообразную амплитудную характеристику (Рис. 11в).

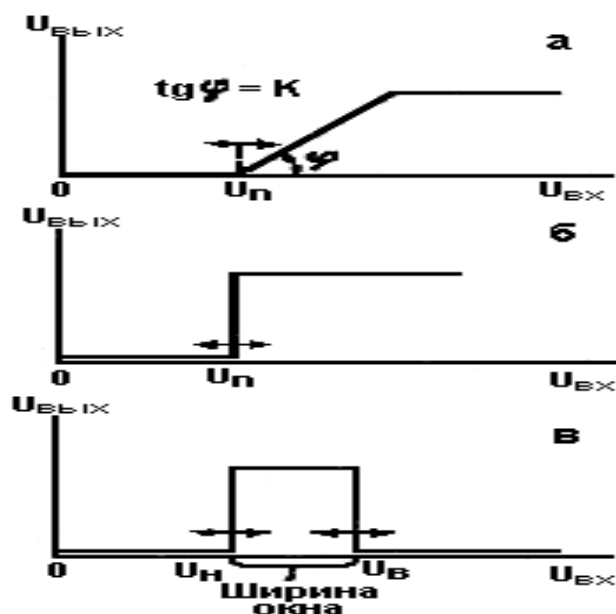


Рис. 11. Амплитудные характеристики дискриминаторов:
 а – экспандера; б – интегрального дискриминатора;
 в – дифференциального дискриминатора.

К дискриминаторам предъявляются общие требования:

- стабильность порога срабатывания во времени,
- линейность и чёткость излома амплитудной дискриминационной характеристики,
- нечувствительность к амплитудным перегрузкам и постоянство порога срабатывания для импульсов, различающихся по длительности и фронту нарастания,
- высокое быстродействие (малое разрешающее время),
- постоянство сопутствующей задержки импульсов и большое входное сопротивление для исключения влияния на предшествующие каскады.

Важным параметром дискриминатора является его входная чувствительность.

В амплитудном дискриминаторе используют электронные схемы, имеющие амплитудную характеристику с резко выраженной нелинейностью (изломом) (рис. 12).

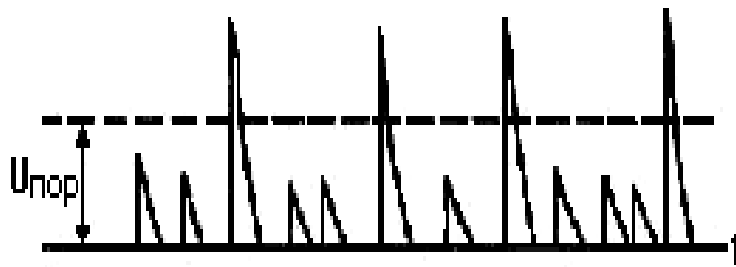


Рис. 12. Простая дискриминация импульсов по амплитуде.

Таковыми характеристиками обладают диоды (особенно электровакуумные), некоторые приёмно-усилительные лампы и специальные электронные спусковые схемы. Наиболее распространена диодная схема с использованием излома характеристики анодного тока. В зависимости от запирающего напряжения, которое в такой схеме равно порогу дискриминации, через диод проходят только сигналы с амплитудой, превышающей запирающее напряжение. Точность такого амплитудного дискриминатора в основном определяется стабильностью диодной характеристики. Для надёжной работы с сигналами малой амплитуды применяют предварительное усиление, а для исследования наносекундных импульсов производят дополнительное формирование сигналов с помощью специальных схем. Спусковые схемы в качестве амплитудного дискриминатора позволяют получить на выходе импульсы, амплитуда и длительность которых не зависят от формы входного сигнала.

Медленный дифференциальный дискриминатор (одноканальный анализатор) это устройство, которое анализирует амплитуду входного сигнала и, если она находится в установленных пределах (между нижним и верхним уровнями дискриминации), генерирует стандартный логический импульс (Рис. 13). Нижний (LLD) и верхний (ULD) уровни дискриминации могут устанавливаться независимо. При установке ULD на максимум одноканальный анализатор работает в интегральном режиме. В одноканальных анализаторах также обычно есть режим, когда устанавливается нижний уровень дискриминации и ширина окна ΔE . Таким образом $ULD = LLD + \Delta E$.

Как видно из рисунка 13, время появления выходного импульса в таких одноканальных анализаторах не зависит от амплитуды и формы входного импульса. Они в основном используются для счета событий. Одноканальные анализаторы устанавливаются в «медленных» спектрометрических цепях. Входные импульсы они обычно получают от спектрометрических усилителей и от время-амплитудных конвертеров.

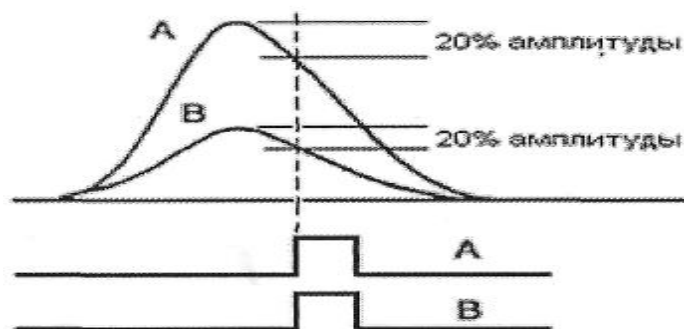


Рис. 13. Входные и выходные импульсы временного одноканального анализатора с временной привязкой к определённой доле амплитуды на заднем фронте входного импульса.

Большими возможностями обладают одноканальные анализаторы с **временной привязкой или временные одноканальные анализаторы**. В них выходные сигналы привязаны по времени к моменту появления входных импульсов. Существует несколько способов временной привязки (к максимуму импульса, по переднему фронту импульса, по нулю биполярного импульса, привязка со следящим порогом). Временные одноканальные анализаторы используются не только для амплитудного, но и временного анализа. Их сигналы подаются на схемы "медленных" совпадений/антисовпадений и на время-амплитудные конвертеры. Точность временной привязки во временных одноканальных анализаторах варьируется от единиц наносекунд до ~100 нс. Для временного согласования временные анализаторы обычно имеют встроенную регулируемую задержку выходных импульсов до ~10 мкс.

Анализаторы импульсов. Дифференциальные амплитудные анализаторы используются для непосредственного получения дифференциального амплитудного спектра. **Амплитудный анализатор импульсов** – устройство для определения закона распределения амплитуд электрических импульсов. С помощью амплитудного анализатора обычно анализируют распределение амплитуд случайного импульсного процесса, по зависимости числа появлений импульсов в заданном интервале амплитуд.

Амплитудный анализатор широко применяют для анализа распределения энергии частиц различных видов излучения, для исследования непрерывных стационарных случайных процессов при условии выделения дискретных амплитудных значений случайного процесса в виде последовательности импульсов. В состав простейшего одноканального амплитудного анализатора входят два амплитудных дискриминатора и схема антисовпадений, пропускающая на выход сигналы с амплитудами, значения которых укладываются в разность между уровнями дискриминаторов (ширина канала) (рис. 14).



Рис.14. Блок-схема одноканального амплитудного анализатора

Исследование спектра производят последовательными измерениями при постоянной ширине канала, но с разными абсолютными значениями уровней дискриминации. Существует много различных систем амплитудных анализаторов, отличающихся диапазоном и одновременностью измеряемых величин, точностью, наличием регистрации на выходе: многоканальные амплитудные анализаторы, с электронным коммутатором, и др.

Одноканальный амплитудный анализатор регистрирует все импульсы, амплитуды которых превышают некоторый нижний порог **Упор.н** и не достигают верхнего порога **Упор.в** (рис. 15). Разность **Упор.в – Упор.н = Ук** называется шириной канала амплитудного анализатора. При снятии дифференциального спектра ширина канала **Ук** сохраняется неизменной, меняется только его положение. Так, первое измерение

ведётся при $U_{пор,н}=0$; второе – $U_{пор,н}=U_k$; третье – при $U_{пор,н}=2U_k$. Все измерения проводятся в течение одинаковых интервалов времени; когда интервалы неодинаковы, результаты нормируются.

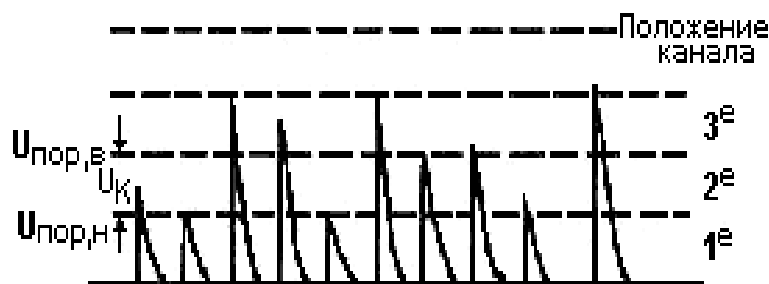


Рис. 15. Измерение дифференциального амплитудного спектра.

Нетрудно видеть, что во время измерений одноканальным анализатором регистрируется лишь небольшая часть импульсов, амплитуды которых лежат в пределах канала ($U_{пор,н} \leq A \leq U_{пор,в}$); все остальные импульсы теряются. Поэтому в тех случаях, когда исследуются слабые эффекты, или короткоживущие изотопы, применяются многоканальные амплитудные анализаторы (рис.16).

В многоканальном анализаторе регистрация возможна в любом из N каналов с шириной U_k . Обычно каналы устанавливаются так, что их нижние пороги соответственно равны $0, 1U_k, 2U_k, 3U_k$ и т.д.

Существуют разные системы многоканальных анализаторов с числом каналов от нескольких десятков до нескольких тысяч.

Число каналов амплитудного анализатора определяется в основном энергетическим разрешением детектора.

Увеличение числа каналов в современных анализаторах достигается применением специальных запоминающих устройств. Кроме прямого измерения амплитуд импульсов, в некоторых экспериментах (например, при исследовании осколков деления) требуется определять отношения амплитуд двух импульсов A_1/A_2 . В этом случае используются специальные схемы, позволяющие получать распределение таких отношений. Разработаны также методы для разделения импульсов сцинтилляционных детекторов по их форме, зависящей от типа регистрируемого излучения.

Существуют анализаторы, определяющие зависимость числа импульсов от двух и более параметров. Например, при исследовании гамма-лучей от реакции захвата нейтронов измеряется ряд спектров гамма-лучей для разных энергий нейтронов $n=f(E_n; E_\gamma)$.

Анализаторы, предназначенные для этих целей, регистрируют момент появления импульса от гамма-кванта и его амплитуду A , т.е. $n=f(t, A)$.



Рис. 16. Функциональная блок-схема многоканального анализатора.

В результате измерений получается двумерный спектр. Многомерные измерения находят место также в гамма-спектрометрии при исследовании каскадных переходов; в экспериментах по рассеянию нейтронов; в исследованиях с частицами высоких энергий. В последних двух случаях анализаторами накапливается и сортируется информация, поступающая от большого числа детекторов, расположенных в пространстве. Анализаторы, предназначенные для решения подобных задач, называются двумерными, трёхмерными и т.д., иначе многомерными или многопараметрическими (рис. 17).

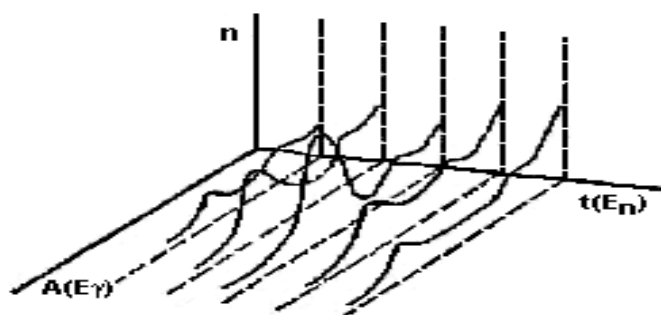


Рис. 17. Двумерный амплитудно-временной спектр.

Пересчетные схемы. Регистрируемые с помощью детекторов излучений события носят статистический характер, поэтому в радиометрии при проведении различных измерений для уменьшения вероятностной ошибки производится подсчет большого числа событий. В простейших измерениях подсчитываются все импульсы, возникающие при нагрузке детектора, в более сложных задачах определяется число импульсов, имеющих определенную амплитуду либо возникающих в определенный момент времени и т.п. в большинстве экспериментов измеряется число импульсов в течение некоторого интервала времени. Иногда решается обратная задача – измеряется время, в течение которого регистрируется определенное число импульсов. Информация в виде числа импульсов, зарегистрированных в течение некоторого времени очень удобна. Она позволяет легко вычитать фон, вести количественную обработку и т.п. Для измерения числа импульсов пересчетные схемы и запоминающие устройства.

Счетные системы являются дискретными (цифровыми) устройствами и регистрируют абсолютное число сигналов, поступивших за произвольный интервал времени и распределенных в нём равномерно или случайно. В радиометрической аппаратуре счетные схемы применяют для регистрации числа электрических импульсов, создаваемых детектором ядерного излучения, для счета совпадений, антисовпадений, импульсов от амплитудных дискриминаторов, а также в ряде других случаев. С помощью специальных счетных систем, регистрирующих, например, разность числа сигналов от двух детекторов или определяющих отношение между скоростями их поступления, ведущих измерения сразу в нескольких энергетических или временных интервалах (многоканальные анализаторы) и т.п., можно получить более полное представление об измеряемом объекте, а также сократить при этом время накопления необходимой информации. На вход пересчетных устройств обычно подаются стандартные логические сигналы от быстрых дискриминаторов или одноканальных анализаторов. Если длительность сигналов детектора не является лимитирующим фактором, быстрые дискриминаторы позволяют обеспечить разрешающее время от 5 до 65 нс. Разрешающее время в данном случае нужно понимать, как способность различать два следующих один за другим сигнала. Для статистически распределенных по времени сигналов максимальная скорость счета, которая ограничивается разрешающим временем при этом может достигать $\sim 20 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ при $\sim 10\%$ потерях за счет мертвого времени. Такие детекторы как ФЭУ и микроканальные пластины вместе с быстрыми дискриминаторами позволяют получить временное разрешение $\sim 5 \text{ нс}$. С другими детекторами, такими как сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы, разрешающее время будет заметно больше.

Разрешающее время счетной системы – минимальный интервал времени между двумя входными сигналами, при котором они регистрируются счетной системой ещё как отдельные.

Одноканальное пересчетное устройство считает количество поступивших на его вход импульсов. Оно может запускаться и останавливаться вручную. Можно также использовать автоматическую остановку. В этом случае могут быть два режима. В одном из них предварительно устанавливается время измерения и результатом, который может отражаться на дисплее устройства, является количество импульсов сосчитанных за это время, в другом – устанавливается количество импульсов и результатом является время, за которое предустановленное количество импульсов сосчитано. Одноканальное пересчетное устройство с внешним автоматическим управлением (например, от компьютера) позволяет также получать зависимости скорости счета от времени. Мертвое время, в данном случае это время между измерениями, необходимое для считывания, сброса информации и повторного запуска счета, у обычных пересчетных устройств довольно большое (от микросекунд до миллисекунд). Кроме того, временные интервалы Δt , которые могут устанавливаться у одноканальных пересчетных устройств, редко бывают меньше 10 мс. Устройство многоканального пересчета считает количество поступающих на его вход в интервал времени от t до $t + \Delta t$ импульсов как функцию времени. Время квантуется,

$$t = n \cdot \Delta t,$$

где n – номер канала.

Результаты счета последовательно ("поканально") записываются в память. Минимальное квантование Δt у устройств многоканального пересчета может быть от нескольких микросекунд до нескольких наносекунд, максимальное – до нескольких часов. Разрешающее время у устройств многоканального пересчета может составлять $\sim 5 \text{ нс}$, а мертвое время быть практически нулевым. Ёмкость счета – максимальное число сигналов, которое может быть зарегистрировано и храниться в счетной системе. Определяет предельное значение статистической счетной системы. Разрешающее время и ёмкость счетной

системы определяют время, необходимое для измерения средней скорости поступления случайных сигналов с заданной погрешностью.

Измерители скорости счёта. В некоторых радиометрических приборах, а также в промышленных установках часто необходимо измерять скорость счёта, т.е. определять среднее число импульсов в единицу времени. Для этой цели применяются **измерители скорости счёта (интенсиметры)**. Их показания либо считываются со шкалы электроизмерительного прибора, либо автоматически вычерчиваются на бумажной ленте самописца, либо поступают непосредственно в компьютер.

Измерители скорости счёта – интенсиметры – предназначены для непрерывного контроля средней скорости счёта или её изменений во времени. Для непрерывного контроля скорости счёта в отличие от обычных пересчётных устройств применяются специальные схемы, каждая из которых включает три основных элемента: устройство формирования импульса, интегрирующую систему, регистрирующее устройство. Устройство формирования импульса предназначено для создания электрического импульса с постоянной амплитудой и минимально необходимой длительностью каждый раз, когда с детектора излучений поступает усиленный сигнал. В качестве формирующих устройств чаще всего применяются ждущие мультивибраторы и пересчётные ячейки. Интегрирующая система превращает дискретную информацию (в виде нормализованных импульсов) в непрерывную в виде постоянного напряжения, величина которого пропорциональна среднему числу импульсов, поступающих в единицу времени, т.е. средней скорости счёта.

Интегрирование сформированных импульсов тока может быть осуществлено обычным стрелочным прибором с сильным демпфированием. Распространённым методом является использование простой интегрирующей RC-цепи, в которой конденсатор большой ёмкости C зашунтирован разрядным сопротивлением R . Для повышения точности, стабильности и разрешающей способности в интегрирующую цепь добавляют дозирующий конденсатор.

Схема антисовпадений. Схема антисовпадений используется в установке для регистрации очень малых активностей. В такой установке детектор должен быть очень хорошо защищён от внешних излучений. Однако свинцовая и бетонная защита не могут полностью исключить попадание в детектор космических лучей и частиц от радиоактивного загрязнения материалов. Поэтому установка защищается «ковром» из счётчиков, которые вместе с детектором, регистрирующим излучение исследуемого образца, подключаются к схеме антисовпадений. Задача схемы антисовпадений заключается в том, чтобы выдавать сигнал на выходе, когда на неё приходит импульс от внутреннего детектора, и не давать сигнала, когда на её входы приходит одновременно импульсы от внутреннего детектора и от ковра счётчиков. Таким образом, исключается регистрация внешнего излучения, пронизывающего счётчики защиты и внутренний рабочий счётчик (рис.18).

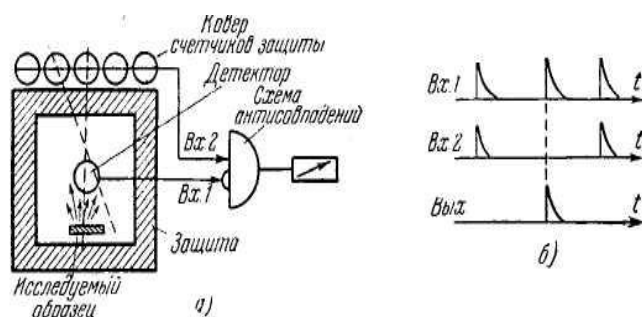


Рис. 18. Работа схемы антисовпадений.

Схема антисовпадений – электронное устройство, действие которого основано на выделении определённой группы событий (появление электрических импульсов, ионизирующих частиц и др.) при условии, что по крайней мере одно из них произошло не одновременно с другими в пределах заданного промежутка времени. Схемой антисовпадений называется импульсная схема, в которой электрический сигнал на выходе возникает только при отсутствии сигнала в одном из каналов. Схему антисовпадений можно рассматривать как частный вариант схемы совпадений. Для надёжной работы схемы антисовпадений необходимо, чтобы запрещающий сигнал поступал с некоторым опережением во времени, учитывая реакцию схемы, что гарантирует необходимые условия для надёжного запрещения импульсов, поступающих на сигнальные входы. Схемы антисовпадений широко применяются в амплитудных анализаторах, дискриминаторах и др. Наиболее распространены схемы антисовпадений диодно-реостатные, диодно-трансформаторные, выполненные на многосеточных электронных лампах или на транзисторах, с различным числом входов, но с одним выходом. В случае двух входов схема антисовпадений реализует элементарную логическую функцию $X_1 \cdot X_2$. Схема антисовпадений характеризуется числом входов и разрешением во времени, т.е. способностью разделять события, происходящие через малые промежутки времени (до 10 нсек).

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП). АЦП служит для измерения напряжения, т.е. преобразования аналоговой информации в цифру. Амплитудам в диапазоне $V_n + \Delta V$ ставится в

соответствие число n . Одной из характеристик АЦП является его разрядность, т.е. количество дискретных значений напряжения, на которые может делиться весь рабочий диапазон входных (анализируемых) напряжений. Когда АЦП используется для амплитудного анализа, число, получаемое на выходе АЦП используется для адресации памяти и называется номером канала, а ΔV – шириной канала. Номер канала несет информацию об амплитудном значении сигнала. Амплитуда в свою очередь связана с измеряемой физической величиной (энергией, временем и т.п.). Максимальное количество каналов связано с разрядностью АЦП. АЦП нередко служат интерфейсом между измерительной аппаратурой и компьютером. Современные АЦП обычно имеют до 14 двоичных разрядов (16384 каналов). В зависимости от требований эксперимента измерения могут производиться при разных диапазонах конверсии (512, 1024 и т.д.) вплоть до максимального, определяемого разрядностью АЦП. Важными характеристиками АЦП, используемых для спектроскопии, являются интегральная и дифференциальная нелинейности.

Показывающие устройства. После преобразования и усиления (ограничения) импульсы поступают на вход пересчетной схемы, а затем на показывающее устройство. Это, как правило, счетчик импульсов в декадном исполнении. Подсчитанные импульсы отображаются с помощью: декастронов ОГ-3, ОГ-4, ОГ-8 (установленные в радиометрах КРВП-3АБ, ПП-8, ПП-12); газоразрядных индикаторов ИН-2, ИН-8 и т.п. (ПП-15, РКБ4–1еМ); многоразрядных люминесцентных цифровых индикаторов (РКГ-01 «Алиот»); светодиодных семисегментных матриц типа АЛС-324 и т.п. (РУГ-92 «Адани») или жидкокристаллических индикаторов (радиометры РКГ-02А, РКГ-АТ1320).

В современных многоканальных спектрометрах информация выводится на монитор компьютера (радиометр МКС-АТ1315).

В качестве измерителя времени используется встроенный в блок электронный секундомер (ПП-8, ПП-12, ПП-15), встроенные в прибор механические часы (КРВП-3АБ) или цифровые часы с кварцевой стабилизацией в памяти схемы с выдачей звукового сигнала через 5 мин (РКГ-01), через 2 или 20 мин (РУГ-92 «Адани»), а также с возможностью на электронных часах задать время измерения пробы от нескольких минут до десятков часов (РКГ-АТ1320, МКС- АТ1315).

Источники высокого напряжения детекторных блоков.

Источник высокого напряжения (высоковольтный выпрямитель) является обязательным узлом радиометрической аппаратуры. Основными требованиями, предъявляемыми к нему, являются, как правило, стабильность напряжения питания детекторов во времени, а также нечувствительность к температуре окружающей среды и колебаниям напряжения питающей сети и току нагрузки детектора.

Наименьшие требования предъявляются к газоразрядным счетчикам, так как они имеют достаточно протяжённое плато (80-300 вольт) и их амплитуда выходного импульса не зависит от энергии частицы. Здесь достаточно иметь стабильность не менее 2-3%. При повышенных частотных нагрузках наклон плато увеличивается, поэтому при прецизионных измерениях необходимо более жестко стабилизировать высокое напряжение.

Для пропорциональных счетчиков дрейф напряжения не должен превышать 0,05-0,10%.

Сцинтилляционные счетчики на основе ФЭУ обладают резкой зависимостью выходного сигнала от напряжения питания. Обычно напряжение питания составляет 1000–5000 В. Точность поддержания напряжения составляет 0,07-0,10% для спектрометрии и до 1% при использовании ФЭУ в счетных схемах. Для уменьшения пульсаций, поступающих от источника питания на вход предусилителя, анод ФЭУ заземляют через сопротивление нагрузки. Высокий входной потенциал, создаваемый на фотокатоде умножителя относительно корпуса, приводит к повышению уровня шума ФЭУ, но все же, такой режим предпочтительнее.

В "простых" радиометрах используется высоковольтный трансформатор со стабилизацией выпрямленного напряжения с помощью газоразрядных коронных стабилизаторов типа: СГ-301С, СГ-302С, СГ-303С. Иногда используется высоковольтный стабилизированный источник с регулируемым выходным напряжением (например, в радиометре ПП-8 блок высокого напряжения ВСВ-2 поддерживает напряжение от 400 до 2200В).

В современных радиометрах, как правило, в качестве источника высокого напряжения используют умножители напряжения с использованием диодов и конденсаторов (рис. 19).

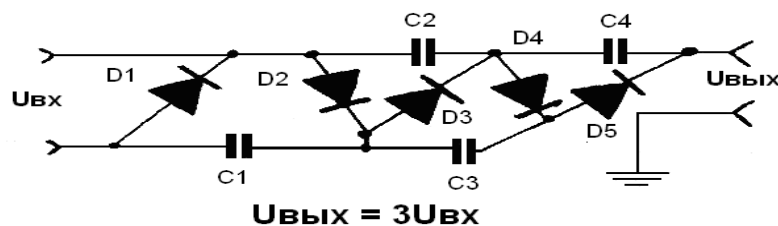


Рис.19. Умножитель напряжения на 3.

Стабилизация режима работы сцинтилляционного детектора. Особенно большую нестабильность сцинтилляторы имеют при работе в условиях изменяющейся температуры. В интервале температур от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$ изменение выходного сигнала может достигать 20%. Основная причина дрейфа, это изменение параметров кристалла, в частности, изменение спектральной характеристики. Если фотокатоды ФЭУ нанесены без подложки, нестабильность еще больше увеличивается.

Для снижения погрешности, вызванной нестабильностью работы спектрометрического детектора, используют устройство автоматической стабилизации работы сцинтилляционного детектора с помощью контрольного сигнала. Стабилизирующее устройство с помощью цепи обратной связи изменяет коэффициент усиления одного из элементов усилительного тракта так, чтобы амплитуда контрольного сигнала была постоянной. В качестве контрольного сигнала, как правило, используется спектральная линия от опорного моноэнергетического излучения радиоактивного препарата, вводимого в сцинтиллятор.

В системе стабилизации по интегральному спектру амплитуда сигналов контрольного источника должна превышать максимальную амплитуду рабочих сигналов, а интенсивность сигналов должна быть постоянной. Например, в радиометрах РКГ-01 «Алиот» в качестве репера используется радионуклид америций-241 с энергией 59,53 кэВ. Тумблером «обратная связь», находящимся на задней панели радиометра, при необходимости можно отключить обратную связь, в результате стабилизация амплитуды контрольного источника не будет поддерживаться.

Если условия измерений не позволяют располагать контрольный пик в области больших энергий, применяется система стабилизации по дифференциальному спектру. Измерение амплитуды контрольного сигнала осуществляется двухканальным дискриминатором, оба канала которого имеют одинаковую ширину и общую границу.

В качестве элемента для регулирования усиления измерительной схемы удобно использовать один из диодов ФЭУ, изменяя напряжение смещения на нем. При этом в спектр не вносятся никаких искажений (рис.20).

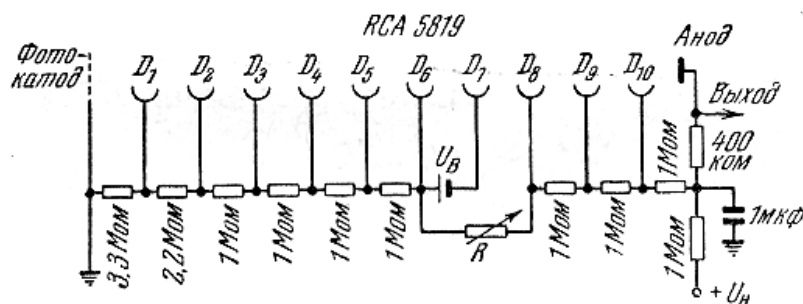


Рис.20. Схема стабилизации усиления ФЭУ.

Факторы, влияющие на качество работы электронной аппаратуры.

Воздействие температуры. Температурные воздействия, и особенно резкие перепады температуры, крайне отрицательно сказываются почти на всех видах детекторов и других элементах блоков детектирования.

Наибольшей температурной нестабильностью обладают сцинтилляционные счетчики. Изменение температуры влияет на световыход сцинтиллятора, коэффициент усиления ФЭУ, что приводит к температурной погрешности порядка процента на один градус.

Параметры газонаполненных счетчиков ионизирующих излучений меняются под воздействием температуры в меньшей степени. При изменении температуры происходит увеличение напряжения начала счета и наклона плато, сокращается протяженность плато, увеличивается уровень шумов. Газонаполненные детекторы в зависимости от типа, режима работы и конструкции имеют разную температурную нестабильность, как правило, она составляет доли процента на один градус.

Полупроводниковые детекторы ионизирующих излучений заметно меняют параметры при повышении температуры. Более того, некоторые типы ППД обладают настолько низкой термопрочностью, что их хранение при комнатной температуре приводит к резкому ухудшению параметров детектора. Повышение температуры окружающей среды приводит к возрастанию уровня шумов и ухудшению энергетического разрешения полупроводниковых детекторов. Из элементов электрических схем блоков детектирования наиболее подвержены воздействию температуры полупроводниковые диоды и триоды.

Борьба с воздействием температуры сводится к следующему: выбору детектора и элементов электронных схем блока детектирования, наименее чувствительных к воздействию температуры; применению в электронных схемах элементов, зависимость параметров которых от воздействий температуры имеет характер, позволяющий скомпенсировать температурную нестабильность остальных элементов блока детектирования; наконец, компенсации изменения параметров блока детектирования под воздействием температуры с помощью специальных электронных схем. В некоторых случаях применяется

принудительное охлаждение жидкими газами, (для блоков детектирования с ППД) или водой, протекающей в зазоре между внешним и внутренним кожухами блока детектирования.

Температурные воздействия являются одной из наиболее важных и часто встречающихся в практике эксплуатации причин возникновения дополнительных погрешностей измерений, ухудшающих точность и повторяемость измерений. Значения температурных погрешностей указываются в технических условиях, и их необходимо учитывать при интерпретации результатов измерений.

С температурными воздействиями связан еще один важный эксплуатационный параметр блоков детектирования ионизирующих излучений, так называемое время установления рабочего режима. Действительно, даже при жесткой стабилизации условий внешней среды, температура внутри блока детектирования будет меняться в течение некоторого времени, после момента его включения, за счет нагревания элементов электрической схемы блока детектирования. Момент установления теплового равновесия можно считать началом рабочего режима блока детектирования. В период установления рабочего режима параметры блока детектирования меняются в значительной степени, что делает результаты измерений малодостоверными. Время установления рабочего режима зависит от конструкции блока детектирования, типа примененного детектора и элементов электрической схемы и на практике бывает равно 30-60 мин с момента включения.

Воздействие влаги. Воздействие влаги на детекторы и блоки детектирования может привести к коррозии материалов конструкции блока детектирования, понижению сопротивления изоляции и появлению токов утечки, поверхностных пробоев и т.п., что может явиться причиной ухудшения параметров блоков детектирования или полному выходу его из строя.

Проникновение влаги в контейнеры, в которые упакованы гигроскопичные сцинтилляторы, вызывает нарушение прозрачности сцинтилляторов и резко ухудшает его параметры. В соответствии с этим допустимая относительная влажность для ионизационных камер и гигроскопичных сцинтилляционных детекторов обычно составляет не более $65 \pm 10\%$. Для фотоумножителей эта величина равна $95-98\%$ относительной влажности.

Надежным способом защиты блоков детектирования от воздействия влаги и агрессивных сред является герметизация внутреннего объема с помощью кожухов с резиновыми уплотнениями, прокладками и сальниками. При эксплуатации блоков детектирования необходимо тщательно следить за состоянием элементов конструкции блоков детектирования, обеспечивающих герметизацию внутреннего объема, так как нарушение герметичности может привести к значительным погрешностям измерений и к выходу из строя блока детектирования. В блоках детектирования для измерения бета-активных газов, альфа- и бета-активных зольей разгерметизация может привести к заражению окружающей среды радиоактивными веществами.

Воздействие электромагнитных полей. Влияние электромагнитных полей почти не сказывается на параметрах газоразрядных детекторов и ППД, но для фотоумножителей, характеристики которых во многом зависят от качества электроннооптической фокусировки, это влияние весьма существенно. Установлено, например, что влияние постоянного магнитного поля изменяет не только коэффициент усиления ФЭУ, но и его амплитудное разрешение.

Для защиты от электромагнитных полей блоки детектирования, использующие чувствительные к их воздействию детекторы, имеют экраны из материалов с большой магнитной проницаемостью. Однако в процессе эксплуатации следует помнить, что подобная экранировка обеспечивает работоспособность блоков детектирования только при напряженности электромагнитного поля, по величине не превышающего оговоренного в технических условиях. Если имеется необходимость эксплуатировать блок детектирования в электромагнитных полях, превышающих указанные в технических условиях, то нужно прибегнуть к дополнительной экранировке блока детектирования.

Воздействие ионизирующих излучений. Из ряда понятий, характеризующих воздействие ионизирующих излучений на детекторы и элементы электрических схем блоков детектирования, основными являются радиационная устойчивость и радиационная прочность детекторов и элементов блока детектирования. Радиационная устойчивость детекторов характеризует зависимость параметров детектора от влияния одного излучения при регистрации другого резиновыми уплотнениями, прокладками и сальниками. При эксплуатации блоков детектирования необходимо тщательно следить за состоянием элементов конструкции блоков детектирования, обеспечивающих герметизацию внутреннего объема, так как нарушение герметичности может привести к значительным погрешностям измерений и к выходу из строя блока детектирования. В блоках детектирования для измерения бета-активных газов, альфа- и бета-активных зольей разгерметизация может привести к заражению окружающей среды радиоактивными веществами.

Воздействие механических нагрузок. По отношению к воздействию механических нагрузок детекторы ионизирующих излучений обладают относительно низкой устойчивостью. Вибропрочность счетчиков обычно не превышает 3-10 g, для ФЭУ вибропрочность гарантируется при ускорениях не более 4-10 g. Некоторые специально разработанные детекторы могут иметь значительно большую механическую прочность.

Защита от механических нагрузок обеспечивается как амортизацией блоков детектирования в целом, так и индивидуальной амортизацией отдельных его элементов, наиболее чувствительных к воздействию механических нагрузок, например, амортизацией ФЭУ.

Таким образом, среди многих факторов внешней среды, влияющих на качество работы электронной аппаратуры, можно выделить следующие основные виды воздействия: температура, влажность, электромагнитные поля, ионизирующие излучения, механические нагрузки.

Фон радиометрической установки.

Каждая измерительная установка характеризуется определенными метрологическими параметрами, которые необходимо знать при оценке возможности применения прибора для радиометрического анализа и выбора оптимальных условий измерений.

К общим метрологическим параметрам радиометрических установок интегрального типа можно отнести фон, чувствительность и порог чувствительности (минимальная детектируемая активность).

Основными факторами возникновения фоновых сигналов могут быть следующие причины:

- наличие естественных радионуклидов в деталях блока детектирования;
- внешнее излучение;
- внешнее загрязнение поверхности блоков детектирования;
- собственные флюктуации блока детектирования и линейной части прохождения сигналов;
- электрические помехи.

После подготовки прибора к работе и выбора оптимальных режимов необходимо достаточно точно оценить среднее значение фона и уровня его флюктуации.

Если имеется n измеренных значений скорости счета фона ($\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$), то среднее значение составит:

$$\bar{\Phi} = \left(\sum_{i=1}^n \Phi_i \right) / n,$$

где, Φ_i — результат i -го измерения фона.

Средняя квадратическая погрешность:

$$\sigma_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Phi_i - \bar{\Phi})^2 / n(n-1)}.$$

Стандартная погрешность отдельного измерения σ_Φ при условии, что все замеры произведены в одинаковых условиях, с одинаковой тщательностью и одинаковой точностью (равноточные измерения):

$$\sigma_\Phi = \sigma_n \sqrt{n} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Phi_i - \bar{\Phi})^2 / n(n-1)}.$$

Чувствительность установки h определяется как отношение приращения регистрируемой скорости счета I к изменению измеряемой величины активности A :

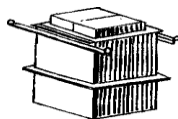
$$h = dI/dA; \text{ или } h = I/A,$$

где, I – скорость счета от источника за вычетом фона, имп/с;

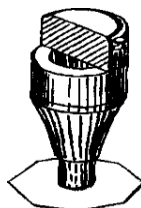
A – активность источника, Бк.

Порог чувствительности s определяет минимальное значение измеряемой величины, при котором регистрируемая прибором скорость счета статистически достоверно ($P=0,997$) отличается от фона установки.

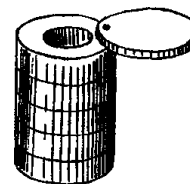
Как правило, детекторы гамма-излучения помещают в специальные свинцовые контейнеры, которые называют защитой. Защита экранирует детектор от фонового гамма-излучения и, в какой-то мере, от космического излучения. Тем самым повышается точность измерения очень малых активностей радионуклидов. С этой же целью лаборатории гамма – спектрометрии располагают на первых или цокольных этажах зданий или в подвалах. Существует множество конструкций защит, некоторые из наиболее типичных и широко распространенных конструкций защит представлены на рисунке 21.



Защита из свинцовых кирпичей



Литая свинцовая защита (5 частей)



Цилиндрическая защита из чугунных или свинцовых колец

Рис.21. Примеры некоторых конструкций защит

Как правило, защиты делают из свинца толщиной 5–10 см. Для уменьшения токсического воздействия свинца защиты покрывают краской.

Для особо малофоновых лабораторий защиту изнутри выкладывают чистой электролизной медью, снаружи – полиэтиленовыми, парафиновыми или тефлоновыми блоками. Лучшие защиты позволяют уменьшить фон до 1–2 фоновых событий в минуту.

Минимально детектируемая активность.

Основной характеристикой для спектрометрических и радиометрических установок является минимально детектируемая активность (МДА), иногда ее называют минимально измеряемая активность (МИА), это величина, которая определяет чувствительность анализа. Значение МДА зависит от типа детектора, эффективности регистрации гамма-квантов, времени измерения пробы, относительной погрешности измерения. Главная проблема определения содержания радиоактивности в пробах окружающей среды состоит в низком содержании активности в этих пробах, кроме того, результаты измерений для достоверности должны обладать точностью не менее 50 %, поэтому приходится использовать дорогие, но чувствительные электронно-физические измерительные комплексы с детекторами, которые позволяют решать поставленные задачи. Для гамма- и рентгеновских спектрометров – это полупроводниковые детекторы большого объема из особо чистого германия и планарные низкоэнергетические детекторы с максимальной площадью входного окна (более 600 мм), задача которых с максимальной чувствительностью анализировать всю энергетическую шкалу гамма-квантов, начиная от 2 кэВ до 2 МэВ и выше.

Для проб с низким содержанием радиоактивности основным источником погрешностей служат статистические флуктуации. Даже при больших временах измерения их величина может оказаться недопустимой, что влияет на МДА. Кроме этого, если в пробе присутствуют большие и малые активности разных радионуклидов, то определение прямым методом малых активностей на фоне больших становится затрудненным. Поэтому сверхнизкие концентрации радионуклидов в пробах окружающей среды определяют после концентрирования или радиохимического выделения.

Минимально детектируемая активность оценивается по разрешению пика в канале, числу фоновых импульсов в пике полного поглощения и эффективности полупроводникового детектора (ППД).

При проведении сравнительных испытаний определения чувствительности разных полупроводниковых детекторов гамма-излучений в эксперименте был выбран лучший серийный российский детектор типа ДГДК-125В и детектор из особо чистого Ge типа GC10023 с относительной эффективностью 100,3 % производства США. У отечественных детекторов цифра 125 показывает объем активной области, который определяет его чувствительность, а у зарубежных полупроводниковых детекторов берется отношение чувствительности его самого к детектору на основе кристалла NaI(Tl) объемом 3х3 дюйма, которая называется относительной эффективностью полупроводниковых детекторов. Для измерения была приготовлена насыпная мера с радионуклидами, энергия гамма-излучения которых лежит в диапазоне от десятков кэВ до 1000 кэВ и более, т. е. в пределах почти всей шкалы определения гамма-квантов. Активность каждого радионуклида составляла приблизительно 3 Бк, т. е. их значения активности были близки к пределу обнаружения и чувствительности аппаратуры. Данную насыпную меру измеряли с разной экспозицией от 60 до 5000 с, проводили идентификацию радионуклидов и регистрировали его ошибку определения. Было установлено, что уже через 1000 с детектор из особо чистого Ge типа GC10023 определил все радионуклиды с максимальной ошибкой определения 33 %. При увеличении экспозиции уменьшалась величина ошибки измерения. Российский детектор типа ДГДК-125В не смог идентифицировать радионуклиды ^{133}Ba , ^{152}Eu и ^{240}Am за максимальное время измерения 5000 с.

Результаты исследований еще раз показывают, что при прецизионных измерениях и при определении низких содержаний активностей в пробах внешней среды требуется применять чувствительные гамма-детекторы с большой областью регистрации гамма-квантов.

Сцинтилляционный метод позволяет измерять активность радионуклидов в пробах с основной относительной погрешностью в диапазоне 10–50 %.

Нижний предел измеряемой минимальной измеряемой активности (МДА) определяется при аттестации сцинтилляционного гамма-спектрометра и составляет как правило величину 1-100 Бк/пробу.

Методика измерения низких активностей рассчитана на равномерное распределение радионуклида по объему пробы, поэтому она должна быть тщательно перемешана и измельчена. При измерении удельной активности продуктов питания их подвергают очистке или мытью, как на первом этапе приготовления пищи, для удаления возможного поверхностного загрязнения.

При выборе измерительной кюветы необходимо учитывать объем подготовленной на анализ пробы, ожидаемый уровень радиоактивного загрязнения, время и погрешность измерения. Перед измерениями необходимо убедиться, что интегральный фон гамма-спектрометра не увеличивается более чем на 10 % при размещении пустой кюветы в защите детектора, что будет являться свидетельством радиационной чистоты кюветы.

Заполнение измерительной кюветы до нужного объема проводят, используя заранее нанесенные на поверхности кюветы метки либо отмеривая объем мерной посудой. Объем заполнения должен соответствовать номинальному значению кюветы с погрешностью не более + 10 %. Массу пробы определяют взвешиванием до и после заполнения кюветы с погрешностью не более +2 %. Плотность пробы — путем деления массы на ее объем.

Практически обработка сцинтилляционных спектров базируется на одном из двух методов, которые можно условно назвать: «**модельный**» метод и метод «**окон**».

В «модельном» методе проводят аппроксимацию информативных участков, содержащих пики полного поглощения (ППП). В этом случае основным информационным параметром является площадь ППП.

В методе «окон» необходимо наличие аттестованных по активности отдельных калибровочных источников для каждого из радионуклидов, которые могут присутствовать в спектре. В спектре выделяется некоторое количество интервалов – «окон», соответствующих наиболее характерным участкам спектра каждого радионуклида. Это области, содержащие ППП наиболее интенсивных линий измеряемых радионуклидов.

Суммарная активность. Для радиометров не имеющих анализаторов спектра при измерении активности проб без применения методик выделения радионуклидов из проб используется понятие «суммарная активность».

Понятие "**суммарная активность**" используется в радиационном контроле уже около сорока лет. И все эти годы ему придавали различный смысл, что вызывало некоторую путаницу.

На самом деле, суммарная активность и физическая величина – "активность" – это совершенно разные понятия. Определение активности как физической величины можно найти в словаре метрологических понятий и в справочниках. Активность – это ожидаемое количество спонтанных ядерных превращений в образце в единицу времени. Суммарная же активность – ожидаемое количество отсчетов радиометра в единицу времени за вычетом собственного фона прибора при измерении данного счетного образца. Другими словами, **суммарная активность – мера реакции прибора на пробу неизвестного состава.**

Отклик радиометра может служить (и служит в большинстве измерений) мерой активности, но при условии, что в состав измеряемого счетного образца входит один известный радионуклид. В этом случае радиометр выступает в качестве компаратора, т. е. прибора, сравнивающего две величины. Одна величина в этом случае – неизвестная активность измеряемого образца, другая – известная активность другого, как правило, идентичного или близкого по физическим свойствам и химическому составу к измеряемому, образца сравнения. В случае равенства скоростей счета радиометра от этих образцов можно утверждать, что активности их равны с точностью до погрешности измерения.

Если в предложенной схеме убрать утверждение о наличии лишь одного, и притом известного радионуклида в измеряемом образце, то измерение активности становится невозможным. Однако определение суммарной активности как раз и не предполагает, что состав измеряемого счетного образца известен заранее.

Если внимательно изучить методики, то можно заметить, что все они относятся к так называемым "относительным измерениям", т.е. измерениям, проводимым по одной и той же методике на одном и том же типе прибора периодически в течение длительного времени, с целью отслеживания изменений того или иного радиационного фактора.

Например, в качестве образца сравнения используется равновесный источник (Sr-90+Y-90). Это означает, что если скорости счета от измеряемого образца и от образца сравнения (Sr-90+Y-90) равны, то суммарная активность измеряемого образца равна активности образца сравнения. Понятно, что в этом случае суммарная активность является условной, а не физической величиной.

Выбор образца сравнения важнейший этап методики, предназначенной для измерения суммарной активности. Образец сравнения должен удовлетворять следующим требованиям.

1. Образец сравнения должен быть максимально приближен по своим физическим свойствам и химическому составу к типичным счетным образцам.

2. По типу и характеристикам излучения образец сравнения должен быть близок к типичному составу измеряемых счетных образцов.

3. Нуклидный состав образца сравнения не должен меняться с течением времени. Это значит, что в образце сравнения следует использовать либо долгоживущие радионуклиды, либо радионуклиды с близкими периодами полураспада, чтобы характеристики излучения образца сравнения не менялись.

Второй этап разработки методики – **выбор радиометра**. К радиометрам предъявляются следующие требования.

1. Радиометр должен быть способен измерять счетные образцы того агрегатного состояния и размеров, которые получаются в результате применения методики пробоподготовки.

2. Радиометр должен иметь близкие значения эффективности ко всем радионуклидам, могущим появиться в пробе и представляющим интерес с точки зрения задачи методики. Необходимо отметить, что для регистрации некоторых радионуклидов могут использоваться предшественники или дочерние продукты распада, тогда сказанное относится к ним.

3. Нижний предел измерений радиометра должен быть по крайней мере в пять раз меньше установленных контрольных уровней.

Таким образом, понятие суммарной активности имеет смысл только в том случае, если определены методика пробоподготовки, образец сравнения и радиометр (или хотя бы установлены требования к ним).

На практике методики измерения суммарной активности реализуются следующим образом. После выбора конкретного радиометра проводят его градуировку с помощью образца сравнения, определяя эффективность регистрации (или коэффициент связи) радиометра в зависимости от характеристик счетного образца (массы, плотности, геометрических размеров и т. д.). Впоследствии градуировочные характеристики используются для приведения скорости счета радиометра при измерении счетного образца к суммарной активности.

Важной особенностью суммарной активности является невозможность проверки полученного результата с помощью радиометра другого типа. Пренебрежение этим фактом может привести (и часто приводит) к недоразумениям, хотя оба радиометра могут быть исправны и поверены. В настоящее время все большую популярность приобретает концепция двухуровневого радиационного контроля. Она предполагает принятие контрольных уровней для величин, которые можно легко и быстро измерить с большой степенью надежности и которые являлись бы обобщенными критериями безопасности для определенного вида проб. Если проба не превышает контрольного уровня по такой величине, то предполагается, что дальнейшее ее исследование нецелесообразно и в этом случае говорят, что проба "снимается с контроля". В случае превышения контрольного уровня необходимо проведение дополнительных исследований.

Суммарная активность – это условная активность счетного образца, полученного с помощью регламентированной методики пробоподготовки. Она численно равна активности назначенного образца сравнения при одинаковых показаниях используемого радиометра.

Предлагаемое определение характерно тем, что объединяет целое семейство определений, отличающихся методиками пробоподготовки, образцами сравнения и используемыми радиометрами. Каждая попытка организовать измерение суммарной активности или ввести это понятие в нормативные документы должна сопровождаться конкретизацией определения суммарной активности.

Измерение суммарной активности, при условии правильного выбора методики пробоподготовки, образца сравнения и радиометра, является мощным методом радиационного контроля, позволяя надежно, быстро и недорого проводить измерения и принимать решения, используя интегральные контрольные уровни.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под амплитудными интегральными измерениями?
2. Что понимают под амплитудными дифференциальными измерениями?
3. Как называют радиоэлектронные блоки усиления сигналов?
4. Что такое коэффициент усиления усилителя импульсов?
5. Начертите форму импульса, приведите его основные характеристики.
7. Объясните принцип интегрального метода дискриминирования сигнала.
8. Объясните принцип дифференциального метода дискриминирования сигнала.
9. Начертите схему передачи сигнала от детектора к пересчетному прибору.
10. Какие основные требования предъявляются к источникам высокого напряжения?
11. Объясните принцип стабилизации режима работы детектора с помощью контрольного сигнала.
12. Какие элементы индикации используют в современных радиометрах?
13. Начертите функциональную блок-схему радиометра.
14. Что такое суммарная активность?
15. В каких случаях используют схему совпадений?

Лабораторная работа №3.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ РАДИОМЕТРА ПП-8

Радиометрическая установка ПП-8 (стационарный радиометр ПП-8) применяется для количественного определения радиоактивности проб.

Радиометр ПП-8 состоит из четырех блоков (рис. 22).

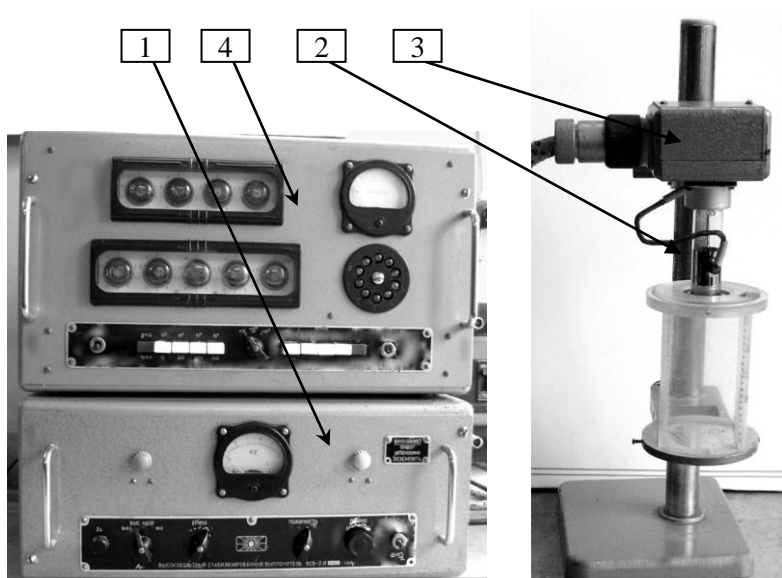


Рис. 22. Радиометрическая установка ПП-8:

1 – высоковольтный стабилизированный выпрямитель ВСВ-2; 2 – газоразрядный счетчик; 3 – блок УГС-1; 4 – пересчетный прибор ПСТ-100.

Высоковольтный стабилизированный выпрямитель ВСВ-2 выдает высокое напряжение, регулируемое в пределах 400–2200 В, которое подается на детектор (счетчик). Для разных видов счетчиков необходимо различное по величине и полярности напряжение.

Блок УГС-1 является усилителем-ограничителем импульсов напряжения, посылаемых от газоразрядного счетчика. Импульсы малой величины усиливаются, а большой, наоборот, ограничиваются приблизительно до 6 В, причем полярность импульсов меняется на положительную. В результате на выходе блока УГС-1 получаются импульсы напряжения одинаковой амплитуды, одинаковой продолжительности и положительной полярности. Эти импульсы напряжения подаются на вход пересчетного прибора ПСТ-100. В качестве детектора ионизирующего излучения используется либо счетчик Гейгера, либо сцинтилляционный счетчик на основе йодистого натрия.

Пересчетный прибор ПСТ-100 выполняет следующие функции:

- а) регистрирует количество импульсов, поступающих от блока УГС или от сети переменного тока (при проверке пересчетного прибора);
- б) регистрирует время работы;
- в) измеряет среднюю скорость счета импульсов;
- г) производит автоматическую остановку.

Регистрация количества импульсов производится при помощи счетчика импульсов. Счетчик импульсов имеет пять декатронов и десять неоновых лампочек, расположенных на черном диске. На защитном стекле счетчика импульсов имеется надпись «импульсы». Число зарегистрированных импульсов определяется по цифрам, возле которых горят лампочки. Результат читается слева направо. Число импульсов всегда целое.

Регистрация времени работы прибора производится при помощи электронного секундомера. На защитном стекле секундомера имеется надпись «секунды». Электронный секундомер имеет четыре декатрона. Показание электронного секундомера определяется по цифрам, возле которых горят разрядные промежутки декатронов. Измерение времени производится с точностью до одной десятой секунды. Десятые доли секунды отсчитывает крайний правый декатрон.

Измерение средней скорости счета импульсов производится стрелочным прибором – интенсиметром (имп/с). Чувствительность интенсиметра изменяется при помощи переключателя, расположенного внизу на передней панели прибора ПСТ-100. Измерения производятся на трех диапазонах. При определении скорости счета необходимо показание индикатора умножить на тот коэффициент, на который указывает переключатель. Этим прибором пользуются при больших скоростях счета.

Автоматическая остановка прибора ПСТ-100 может производиться в двух вариантах:

- а) по заданному количеству набранных импульсов;
- б) по заданному интервалу времени.

Чтобы прибор автоматически остановился по заданному количеству импульсов, необходимо тумблер таймера поставить в положение «имп» (верхнее положение) и нажать одну из белых кнопок, над которыми имеются надписи количества импульсов: 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 .

Чтобы прибор производил автоматическую остановку по заданному интервалу времени, следует тумблер таймера поставить в положение «сек» (нижнее положение) и нажать одну из белых кнопок, под которыми имеются надписи интервалов времени в секундах: 10, 100, 1000. При нажатии кнопки с надписью «∞» автоматическая остановка осуществляться не будет.

Внизу на лицевой панели пересчетного прибора расположены все органы управления, состоящие из:

- а) кнопки «накал» (справа, красного цвета) – для включения / выключения накальных цепей прибора;
- б) кнопки «анод» (слева, красного цвета) – для включения / выключения анодных цепей прибора;
- в) кнопки «пуск» – для включения работы в режим регистрации импульсов напряжения от газоразрядного счетчика;

- г) кнопки «стоп» – для ручной остановки работы прибора;
- д) кнопки «сброс» – для установки электронного секундомера и счетчика импульсов на ноль;
- е) кнопки «проверка» – для проверки правильности работы пересчетного прибора.

Переключатель полярности входного сигнала при работе с газоразрядным счетчиком должен находиться в положении «+», так как блок УГС-1 выдает импульс положительной полярности.

Подготовка прибора к работе:

1. Включить пересчетный прибор ПСТ-100.

1.1. Проверить заземление пересчетного прибора и выпрямителя.

1.2. **Внимательно осмотреть переднюю панель прибора. В исходном состоянии красные кнопки выключения цепей накала и анода должны быть вдавлены (цепи выключены).**

1.3. Осмотреть заднюю панель прибора. Проверить, хорошо ли вставлены соединительные кабели.

Проверить наличие заземления.

1.4. Включить шнуры питания выпрямителя и пересчетного прибора в розетку электрической сети.

1.5. Включить накальные цепи электронных ламп прибора, нажав кнопку «стоп». Должна загореться лампочка в звездочке в правой части прибора.

1.6. По истечении 3–5 минут (это время необходимо для подогрева катодов электронных ламп) включить анодные цепи прибора, нажав кнопку «1000». Должны загореться отдельные промежутки всех декатронов и одна из неоновых лампочек.

1.7. Нажать кнопку «сброс». **Прибор готов к работе.**

1.8 Проверка исправности пересчетного прибора ПСТ-100. Нажать кнопку «проверка». При этом в качестве генератора импульсов используется сеть переменного тока. Частота тока в сети переменного тока равна 50 Гц и является весьма стабильной. Вход счетчика импульсов связан с трансформатором через полупроводниковый диод, вследствие чего на вход счетчика импульсов поступает только положительная часть синусоидального напряжения, т.е. за 1с на вход счетчика поступает 50 импульсов, а за одну минуту (60 с) поступает 3000 импульсов (50 импульсов × 60 секунд = 3000 импульсов/мин). Таким образом, если счетчик импульсов исправен, то за 1мин он зафиксирует 3000 импульсов. Количество импульсов, зафиксированное прибором за единицу времени, называется **скоростью счета**.

По истечении $t=360$ с нажать кнопку «стоп». Записать количество зарегистрированных прибором импульсов n .

Рассчитать скорость счета импульсов по формуле:

$$N = n/t, \text{ имп/мин.}$$

Рассчитать относительную ошибку скорости счета:

$$\varepsilon = \frac{(N - 3000)}{3000} \cdot 100\%.$$

Относительная ошибка не должна превышать 1%, (прибор считается исправным).

Выключить пересчетный прибор, нажав красные кнопки сначала «анод», затем «накал».

Выпрямитель ВСВ-2 выдает регулируемое высокое напряжение от 400 до 2200 В. Напряжение стабилизируется при помощи электронного стабилизатора. Это напряжение снимается с одного из гнезд «вых. напр.» на задней панели выпрямителя. По экранированному кабелю высокое напряжение подводится к пересчетному прибору и далее к газоразрядному счетчику.

На передней панели выпрямителя расположены ручки управления и стрелочный измерительный прибор – киловольтметр. Цена деления киловольтметра равна 0,1 кВ (100 В). При выключенном высоковольтном выпрямителе, если рукоятки «грубо» и «плавно» находятся в крайнем левом положении, стрелка киловольтметра указывает не «0», а начальное стабилизированное напряжение (400–500 В). Не следует при помощи винта корректора возвращать ее в нулевое положение. Назначение ручек управления: тумблер «сеть» – для подключения прибора к сети, ручки «плавно» и «грубо» – для регулирования высокого напряжения, ручка «выс. напр.» – для включения высокого напряжения, а также переключатель полярности. При работе с газоразрядными счетчиками эта ручка должна находиться в положении «+».

Слева внизу расположен держатель предохранителя.

Справа от киловольтметра находится зеленый колпачок, а под ним – индикаторная лампочка включения сети, слева – красный колпачок, под которым расположена индикаторная лампочка включения высокого напряжения.

Исходное положение ручек управления блоком ВСВ-2:

- а) «сеть» – в положение «выкл.»;

- б) «плавно» – в крайнее левое положение;
- в) «полярность» – в положение «+»;
- г) «грубо» – в положение крайнее левое;
- д) «выс. напр.» – в положение «выкл.».

Включение блока ВСВ-2. Выключатель «сеть» поставить в верхнее положение. Должна загореться лампочка под зеленым колпачком. При этом включаются только накальные цепи электронных ламп выпрямителя.

По истечении 3–5 минут переключатель «выс. напр.» следует повернуть в положение «вкл.». Должна загореться индикаторная лампочка под красным колпачком. Стрелка киловольтметра установится на 0,4–0,5 кВ (400–500В).

При установке напряжений нужно соблюдать следующее правило: **регулирование высокого напряжения всегда начинать ручкой «плавно».** Если не удастся достичь заданного напряжения, ручку «плавно» переводят в крайнее левое положение, а ручкой «грубо» делают один щелчок вправо. Затем снова ручкой «плавно» начинают регулировать высокое напряжение до нужной величины.

Выключение высоковольтного выпрямителя ВСВ-2:

- ручки «плавно» и «грубо» повернуть в крайнее левое положение;
- ручку «выс. напр.» повернуть в положение «выкл.»;
- выключатель «сеть» поставить в положение «выкл.».

Контрольные вопросы

1. Каково назначение радиометра ПП-8?
2. Какие функции выполняет пересчетный прибор ПСТ-100?
3. Для чего предназначены газоразрядные счетчики?
4. Какие функции выполняет блок УГС-1?
5. Как отсчитывается время по электронному секундомеру прибора ПСТ-100?
6. Правило включения пересчетного прибора ПСТ-100. 7. Правило установки необходимого высокого напряжения на блоке ВСВ-2.
8. Как провести проверку правильности работы блока ПСТ-100?
9. Как работает автоматическая остановка блока ПСТ-100?
10. Правило выключения блоков ПСТ-100 и ВСВ-2.

Измерение и регулировка уровня дискриминации пересчетной установки ПСТ-100.

На рис. 23, приведена блок-схема экспериментальной установки для выполнения задания.

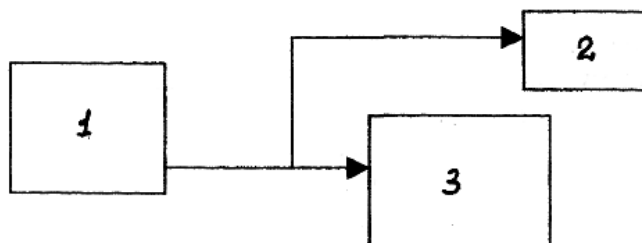


Рис. 23. Блок-схема установки для измерения уровня дискриминации:
 1. Генератор импульсов; 2. Пересчетный блок;
 3. Импульсный вольтметр или осциллограф.

Цель работы. Определить уровень дискриминации пересчетной установки ПСТ-100 и установить его равным значению, рекомендуемым заводом-изготовителем.

Материалы и оборудование: радиометр ПП-8, генератор прямоугольных импульсов Г5-2А, осциллограф С1-77, технический паспорт радиометра.

Выполнение работы. 1. Включите кнопку «сеть» радиометра, выдержите радиометр в этом положении 5 минут. Эти же операции повторите с генератором и осциллографом.

2. Подключите выходной кабель генератора ко входу пересчетного блока ПСТ-100 на задней панели.
3. Подключите выход генератора ко входу "Y" осциллографа.
4. Нажмите кнопку «пуск» на панели ПСТ-100.
5. Увеличивайте выходное напряжение генератора до появления импульсов на пересчетном блоке.
5. Определите по шкале осциллографа амплитуду подаваемых импульсов (уровень дискриминации).
6. Если уровень дискриминации не соответствует паспортным данным, то установите на выходе генератора необходимый уровень дискриминации.
7. Вращая ось подстроечного резистора на плате дискриминатора отрегулируйте его до появления импульсов на декаде из неоновых лампочек.

6. Подкорректируйте резистором уровень дискриминации так, чтобы при вращении оси в одну сторону – счет импульсов прекращался, в другую – начинался.