

2.1 Усилители

Амплитуда сигналов детекторов, как правило, недостаточна для срабатывания регистрирующих и анализирующих устройств. Так у импульсных ионизационных камер и полупроводниковых детекторов она составляет единицы – сотни микровольт. В то же время динамический диапазон входных сигналов таких, например, приборов как АЦП (Аналого-цифровой преобразователь) обычно составляет 0-10 В. Поэтому сигналы детекторов необходимо, усилить в 10^2 (сцинтилляционный счётчик) - 10^7 (ионизационная камера) раз в зависимости от типа детектора и энергии регистрируемого излучения.

При детектировании ядерных излучений в большинстве случаев получается слабый электрический сигнал в виде усреднённого постоянного электрического тока или отдельных электрических сигналов различной формы. В тех и других случаях сигнал преобразуется электронной схемой до параметров, удобных для регистрации. Приборы, применяемые для увеличения амплитуды электрических сигналов, 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 и 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. 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.

Обычно усилительное устройство 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.

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 использовать относительно простые предусилители, с учетом того, что они не будут вносить заметного ухудшения в итак 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 малозащумными. 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. Однако для гамма и рентгеновской спектроскопии высокого разрешения, когда германиевые и кремниевые детекторы работают

при азотной температуре, полевые транзисторы предусилителей для уменьшения шума также охлаждают и они помещаются внутри криостата.

В соответствии с назначением, применяемые в эксперименте 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 (~ 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.