

МЕТОДЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Кукуев А. И.

Алексеев В.Ф. – канд. техн. наук, доцент

В докладе рассмотрены современные методы детектирования радиоактивных излучений, испускаемых радионуклидами, сцинтилляционным счётчиками.

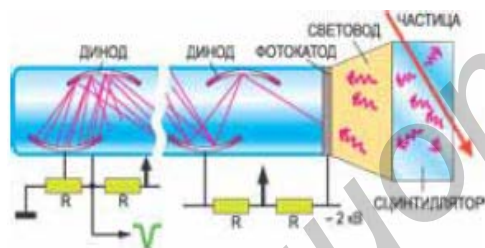
Проходя через любое вещество, излучения растрачивают энергии и, в конце концов, поглощаются. Заряженные частицы отдают свою энергию в актах ионизации – образовании пар ионов. Для измерения излучения применяют особые вещества – детекторы, в которых образуются ионы. Заряд образовавшихся ионов затем создает электрические сигналы, величина которых соответствует энергии излучения, а их число – количеству прошедших через детектор частиц или квантов. Детекторы – это часть приборов, применяющихся для обнаружения ионизирующих излучений, измерения их энергии и других свойств. Эти приборы довольно сложны и нуждаются в периодической поверке.

В зависимости от того, какие изменения в анализируемом веществе используются для регистрации, различают несколько методов обнаружения и измерения радиоактивного излучения: ионизационные; сцинтилляционные; химические; фотографические и физические.

Более подробно в докладе уделено внимание сцинтилляционному методу и приборам, основанным на этом принципе.

Сцинтилляционный счётчик – прибор для регистрации ядерных излучений и элементарных частиц (протонов, нейтронов, электронов, γ -квантов, мезонов и т. д.), основными элементами которого являются вещество, люминесцирующее под действием заряженных частиц (сцинтиллятор), и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) [1...3].

Принцип работы сцинтилляционного счётчика основан на эффекте свечения (люминесценции) некоторых веществ под действием излучения. При попадании заряженной частицы в сцинтиллятор (кристалл, кювету с жидкостью или слой пластика) в нем возникает слабая вспышка люминесценции. Ее свет через световод поступает в фотоэлектронный умножитель, вырабатывающий электрический импульс, амплитуда которого пропорциональна потере энергии налетающей частицы.



Метод регистрации заряженных частиц с помощью счета вспышек света, возникающих при попадании этих частиц на экран из сернистого цинка (ZnS), является одним из первых методов регистрации ядерных излучений. Еще в 1903 Уильям Крукс с коллегами показали, что если рассматривать экран из сернистого цинка, облучаемый α -частицами, через увеличительное стекло в темном помещении, то на нем можно заметить появление отдельных кратковременных вспышек света – сцинтилляций. Было установлено, что каждая из этих сцинтилляций создается отдельной α -частицей, попадающей на экран.

У.Круксом был построен простой прибор, названный спинтарископом Крукса, предназначенный для счета α -частиц. Визуальный метод сцинтилляции был использован в дальнейшем в основном для регистрации α -частиц и протонов с энергией в несколько миллионов электронвольт. Отдельные быстрые электроны регистрировать не удалось, так как они вызывают очень слабые сцинтилляции. Иногда при облучении экраном сернисто-цинкового экрана удавалось наблюдать вспышки, но это происходило лишь тогда, когда на один и тот же кристаллик сернистого цинка попадало одновременно достаточно большое число электронов. Гамма-лучи никаких вспышек на экране не вызывают, создавая лишь общее свечение. Это позволяет регистрировать α -частицы в присутствии сильного γ -излучения.

Первый сцинтилляционный детектор, названный спинтарископом, представлял собой экран, покрытый слоем ZnS . Вспышки, возникавшие при попадании в него заряженных частиц, фиксировались с помощью микроскопа. Именно с таким детектором Гейгер и Марсден в 1909 году провели опыт по рассеянию альфа-частиц атомами золота, приведший к открытию атомного ядра. Эти опыты привели Резерфорда к открытию ядра. Впервые визуальный метод позволил обнаружить быстрые протоны, выбиваемые из ядер азота при бомбардировке их α -частицами, т.е. первое искусственное расщепление ядра. Начиная с 1944 года световые вспышки от сцинтиллятора регистрируют фотоэлектронными умножителями (ФЭУ). Позже для этих целей стали использовать также светодиоды.

Современный сцинтилляционный счетчик представляет собой сочетание сцинтиллятора и фотоэлектронного умножителя. В комплект счетчика входят также источник электрического питания ФЭУ и радиотехническая аппаратура, обеспечивающая усиление и регистрацию импульсов ФЭУ. Иногда сочетание сцинтиллятора с ФЭУ производится через специальную оптическую систему (световод).

Принцип действия сцинтилляционного счётчика состоит в следующем: заряженная частица, проходя через сцинтиллятор, наряду с ионизацией атомов и молекул возбуждает их. Возвращаясь в невозбужденное

(основное) состояние, атомы испускают фотоны. Излученный свет собирается – в спектральном диапазоне сцинтиллятора – на фотоприёмник. В качестве последнего часто служит фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).

Фотоэлектронный умножитель представляет собой стеклянный цилиндр, откаченный до остаточного давления не выше 10⁻⁶ мм рт. ст., в торце которого расположено прозрачное плоское окно, на поверхность которого со стороны эвакуируемого объема нанесён тонкий слой вещества с малой работой выхода электронов (фотокатод), обычно на основе сурьмы и цезия. Далее в эвакуированном пространстве располагается серия электродов – динодов, на которые с помощью делителя напряжения от источника электропитания подаётся последовательно возрастающая разность потенциалов. Диноды ФЭУ изготавливаются из вещества также с малой работой выхода электронов. Они способны при бомбардировке их электронами испускать вторичные электроны в количествах, превышающих число первичных в несколько раз. Последний динод является анодом ФЭУ. Основным параметром ФЭУ является коэффициент усиления при определённом режиме питания. Обычно ФЭУ содержит девять и более динодов и усиление первичного тока достигает для различных умножителей величин 105 – 1010 раз, что позволяет получать электрические сигналы амплитудой от вольт до десятков вольт.

Фотоны, попадая на фотокатод ФЭУ, в результате фотоэффекта выбивают электроны, в результате чего на аноде ФЭУ возникает электрический импульс, который далее усиливается динодной системы за счёт механизма вторичной электронной эмиссии. Анодный токовый сигнал ФЭУ – через усилитель или непосредственно - подается на вход измерительного прибора – счетчика импульсов, осциллографа, аналогоцифрового преобразователя и т.п. Амплитуда и длительность импульса на выходе определяются свойствами как сцинтиллятора, так и ФЭУ.

В ряде случаев на выходе усилителя наблюдается большое число импульсов (обычно малых по амплитуде), не связанных с регистрацией ядерных частиц, а именно, импульсов собственных шумов ФЭУ и ускорителя. Для устранения шумов между усилителем и счётчиком импульсов включается интегральный амплитудный дискриминатор, пропускающий лишь те импульсы, амплитуды которых больше некоторого значения порогового напряжения.

Детектирование нейтральных частиц (нейтронов, γ -квантов) происходит по вторичным заряженным частицам, образующимся при взаимодействии нейтронов и γ -квантов с атомами сцинтиллятора.

Список использованных источников:

1. Современные методы разделения и определения радиоактивных элементов. – М.: Наука, 1989. - 312 с.
2. Harvey D. Modern analytical chemistry. McGraw-Hill, 2000. - 816 p.
3. Moens L., Jakubowski N. Double-Focusing Mass Spectrometers in ICP-MS // Analytical News & Features. - 1998.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Бунцевич Р. Л.

Колбун В. С. – доцент

Частотный синтезатор является ключевым элементом практически любой системы связи, измерения и контроля [1]. Современные частотные синтезаторы СВЧ диапазона требуют постоянного улучшения технических характеристик, расширения функциональных возможностей, снижения габаритов, энергопотребления и конечной стоимости.

Цифровые синтезаторы (DDS – Direct Digital Synthesizer) используют цифровую обработку для конструирования требуемой формы выходного сигнала из базового (тактового) сигнала [2]. На рис. 1 показана функциональная схема синтезатора DDS: его основными узлами являются накопитель значения фазы (аккумулятор фазы), средство преобразования значения фазы в амплитуду (обычно это ПЗУ с табличными значениями функции синуса) и ЦАП. Схема DDS генерирует синусоидальный сигнал с заданной частотой. Частота выходного сигнала определяется двумя параметрами: частотой тактового сигнала и двоичным числом, записанным в регистр частоты. Это двоичное число, записанное в регистр частоты, подается на вход аккумулятора фазы. При использовании ПЗУ с табличными значениями синуса аккумулятор фазы вычисляет адрес (соответствующий мгновенному значению фазы) и подает его на вход ПЗУ, при этом на выходе ПЗУ мы получаем текущее значение амплитуды в цифровом виде. Далее ЦАП преобразует это цифровое значение в соответствующее значение напряжения или тока. Для генерации синусоиды с фиксированной частотой постоянная величина (приращение фазы, определяемое двоичным числом, записанным в регистр частоты) прибавляется к значению, хранящемуся в аккумуляторе фазы, с каждым импульсом тактового сигнала. Скорость генерации цифрового сигнала, главным образом, ограничена цифровым интерфейсом и является весьма высокой, сопоставимой с аналоговыми схемами. Цифровые синтезаторы также обеспечивают довольно малый уровень фазовых шумов, даже демонстрируя уменьшение шумов используемого тактового сигнала.

Универсальный синтезатор частоты использует принцип прямого частотного синтеза (DDS). Его особенности: