

Лабораторная работа №2.

Временной и амплитудный анализаторы.

Цель работы:

Ознакомиться с работой временных и амплитудных анализаторов

Временные и амплитудные измерения очень важны в экспериментальной ядерной физике. Задачи временных измерений возникают во многих физических экспериментах: при измерении времени жизни возбужденных ядерных состояний, при идентификации частиц, при время - пролетных экспериментах, при исследовании вещества с помощью положительных мюонов и др. Амплитудные измерения позволяют получать энергетические спектры частиц, исследование которых является одной из важнейших задач ядерной физики.

Временной анализатор.

Спектрометрирование коротких временных интервалов осуществляется с помощью устройств, в которых временной интервал тем или иным способом преобразуется в удобную для измерения величину. Такой величиной может быть амплитуда импульса (время - амплитудной преобразование), временной интервал большей длительности (преобразование время - время) или количество импульсов (преобразование время-код). Из аналоговых преобразователей широкое распространение получили время - амплитудные преобразователи (ВАП), так как они позволяют практически без переделок использовать стандартные амплитудные анализаторы, имеющиеся в большинстве физических лабораториях. Преобразователи такого типа удобны в эксплуатации: их рабочий диапазон легко измерить, они имеют сравнительно простые схемы, их собственное временное разрешение составляет единицы пикосекунд. Что существенно превышает характеристики детекторов.

С развитием методов непосредственного кодирования временных интервалов и отказом от амплитудных анализаторов в пользу ЭВМ расширилось использование преобразователей время-время (ПВВ).

В спектрометрической системе, состоящей из каскадно включенных ПВВ и быстрого временного кодировщика, можно получить лучшие измерительные характеристики, чем в стандартной системе, состоящей из ВАП и амплитудного анализатора.

Качество работы преобразователей интервалов характеризуются следующими характеристиками: временное разрешение, дифференциальная и интегральная линейности преобразования, стабильность и определенность крутизны преобразования, диапазон измерений, мертвое время и др. Многие из этих параметров в значительной степени определяют характеристики всей временной спектрометрической системы.

Устройства, преобразующие временные интервалы непосредственно в цифровой код, хотя и уступают аналоговым преобразователям по временному разрешению, в значительной степени свободны от недостатков, присущих последним. Преобразователи время—код (ПВК) универсальны, имеют стабильную временную шкалу, высокую дифференциальную линейность и практически не нуждаются в градуировке.

Простейший преобразователь время — код (Рис.1) работает по принципу счета двоичным счетчиком числа импульсов стабильной частоты, заполняющих измеряемый временной интервал. Сигналы, фиксирующие начало и конец измеряемого интервала, поступают на RS-триггер (Э1), формирующий импульс, равный по длительности измеряемому интервалу. Из непрерывной последовательности эталонных импульсов,

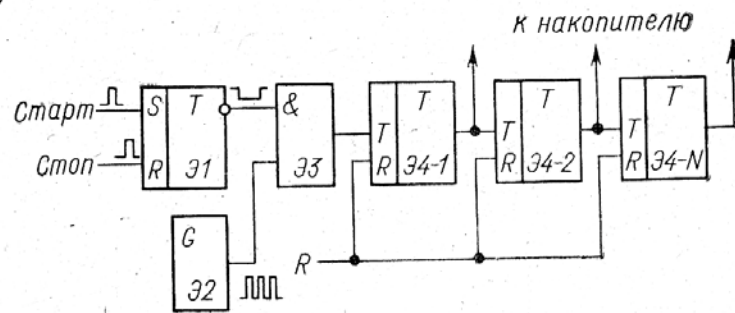


Рис.1 Схема, иллюстрирующая принцип действия счетно-импульсного ПВК.

вырабатываемых генератором Э2, вентиль Э3 выделяет серию, счет и регистрацию импульсов которой осуществляет двоичный счетчик на Т-триггерах (Э4). После того как код измеренного временного интервала передан во внешнее запоминающее устройство, счетчик сбрасывается по шине R. Максимальное число уровней преобразования такого ПВК определяется стабильностью частоты используемого генератора. При стабилизации частоты генератора кварцем можно получить 10^5 — 10^6 уровней преобразования, что удовлетворяет требованиям большинства физических экспериментов. Временное разрешение ПВК, построенного по схеме рис. 1, определяется быстродействием используемого счетчика. Временные диаграммы работы ПВК представлены на рисунке 2.

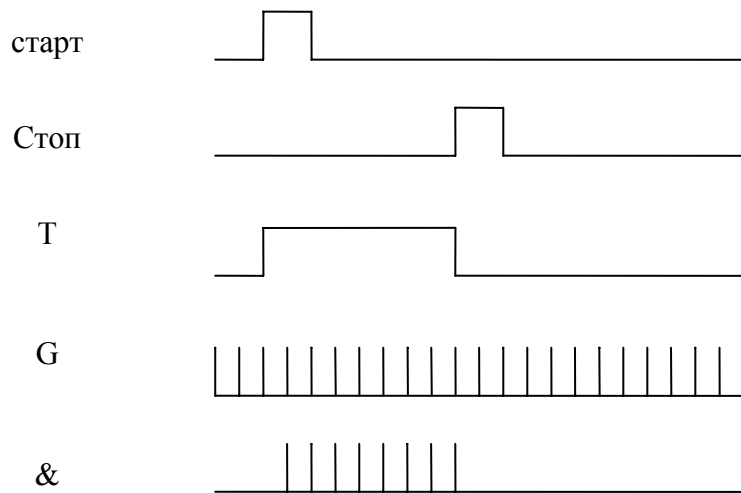


Рис. 2 Временные диаграммы работы ПВК.

Наиболее перспективным направлением дальнейшего совершенствования методов измерения временных интервалов является развитие цифровых измерителей временных интервалов интерполяционной группы. Ниже описан один из таких приборов, в котором использован метод прямого преобразования в сочетании с преобразователем время-время-код, который будет использован в лабораторной работе. За единицу шкалы отсчета принят период кварцевого генератора. Частота следования импульсов генератора равна 100 МГц, что наиболее рационально при современном уровне развития элементной базы.

Отличительной особенностью преобразователя является способ выделения интерполяционных интервалов, позволяющий использовать для кодирования стартового и стопового интерполяционных участков общий преобразователь масштаба времени и счетчик точного измерения.

Схема кодировщика (рис. 3) работает следующим образом. Старт-импульсы, пройдя схему блокировки БЛ, поступают на вход схемы фазирования Ф1 с импульсами

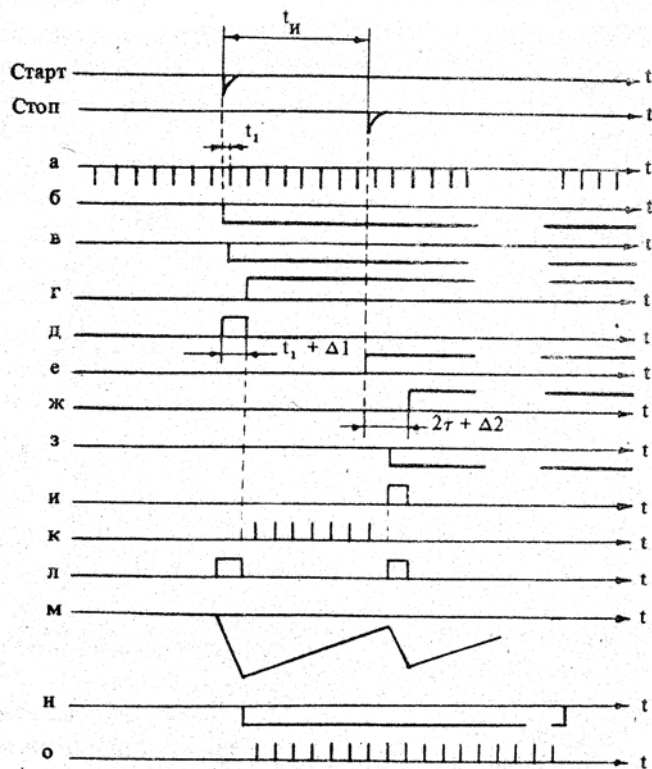


Рис. 4. Временные диаграммы работы кодировщика

Описанный выше преобразователь сочетает в себе положительные характеристики аналоговых преобразователей и преобразователей время-код. Он обладает малым мертвым временем, низкой дифференциальной нелинейностью и хорошим разрешением, что расширяет область его применимости.

Амплитудный анализатор.

При решении задач построения энергетического спектра обычно используются детекторы, амплитуда сигнала на выходе которых пропорциональна потерянной частицей в детекторе энергии. Таким образом, амплитудное распределение импульсов на выходе детектора с точностью до нормирующих множителей и дисперсии, вносимой самим детектором, соответствует распределению исследуемых частиц по энергии. Кроме того, по методическим соображениям довольно часто используют преобразование физических величин, например интервалов времени, в сигналы, амплитуды которых пропорциональны этим величинам. Именно поэтому среди анализирующих устройств различного типа наиболее широкое применение получили многоканальные амплитудные анализаторы — неотъемлемая принадлежность современных ядерно-физических лабораторий.

Создание современных анализаторов с большим числом каналов стало возможным с применением в качестве регистраторов запоминающих устройств (ЗУ) большой емкости. ЗУ в свою очередь требуют для записи и считывания информации использования методов цифровой вычислительной техники. Поэтому, в многоканальных анализаторах с ЗУ для измерения амплитуд импульсов обычно применяют аналого-цифровые преобразователи (преобразующие аналоговую величину в дискретную, т. е. в код).

Естественно, что преобразование непрерывной величины в дискретную вносит в измерения дополнительную погрешность. Однако эта погрешность при достаточно большом числе уровней дискретизации становится меньше статистической погрешности и не имеет существенного значения.

Измерения амплитуд импульсов в многоканальных амплитудных анализаторах с ЗУ осуществляют следующим образом. Прежде всего выделяют диапазон амплитуд, подлежащих измерению, $U_{\text{мин}}$ и $U_{\text{макс}}$ (например, $0,1 — 10 \text{ В}$). Этот диапазон разбивают на конечное число равных по ширине участков (каналов). Каждому каналу отводят отдельную ячейку ЗУ. Емкость каждой ячейки зависит от типа анализатора и, как правило, составляет $10^4—10^6$ импульсов. Входные импульсы в соответствии с их амплитудами сортируют по каналам входным распределительным устройством. Таким образом, в каждом канале ЗУ хранится некоторое число, соответствующее количеству зарегистрированных импульсов с данной амплитудой (измеренной с точностью до ширины канала).

Выбор нужного канала ЗУ осуществляет так называемый адресный блок — обычно двоичный или десятичный счетчик. Его функции состоят в том, чтобы в соответствии с пришедшим адресом — кодом измеряемой амплитуды — выбрать нужную ячейку памяти и организовать ее связь с арифметическим блоком — устройством, осуществляющим операцию прибавления единицы к числу, уже хранящемуся в ячейке памяти. Таким образом, адресный и арифметический блоки являются чисто цифровыми устройствами, а измерения амплитуды проводятся на стадии выработки адреса (кода) устройством, которое носит название амплитудного кодировщика (или амплитудно-цифрового преобразователя). Чаще всего на практике применяют линейное кодирование — номер канала равен числу импульсов в канальной серии: первому каналу соответствует один импульс серии, второму — два и т. д. Этот способ наиболее точный и простой в техническом отношении. Иногда в целях повышения быстродействия кодирования применяют и более сложные методы кодирования.

Из сказанного видно, что амплитуду того или иного импульса в абсолютных единицах (вольтах) можно рассчитать (с точностью до ширины канала) следующим образом: $U = kN + U_{\text{мин}}$, где N — номер канала анализатора (или число импульсов канальной серии); k — коэффициент преобразования амплитуды в код; $U_{\text{мин}}$ — порог преобразования. Очевидно, что точность измерения амплитуды импульса в первую очередь определяется свойствами амплитудного кодировщика (аналого-цифрового преобразования), т. е. стабильностью коэффициента и соответствием истинной функции преобразования амплитуды в код линейной функции: $U = kN + U_{\text{мин}}$.

Наиболее широкое применение в амплитудных анализаторах получили аналого-цифровые преобразователи с амплитудно-временным преобразованием. В таких преобразователях амплитуда импульса предварительно преобразуется в пропорциональный ей временной интервал. Такое преобразование удается осуществить с очень малой погрешностью ($0,1—0,01 \%$). Измерение (кодирование) временного интервала обычно выполняют сравнением его с известным периодом специального генератора. Число периодов генератора (генератора канальных импульсов), укладывающихся в этом интервале, является кодом измеряемой амплитуды, т. е. определяет номер того канала, в котором должен быть зарегистрирован исследуемый импульс.

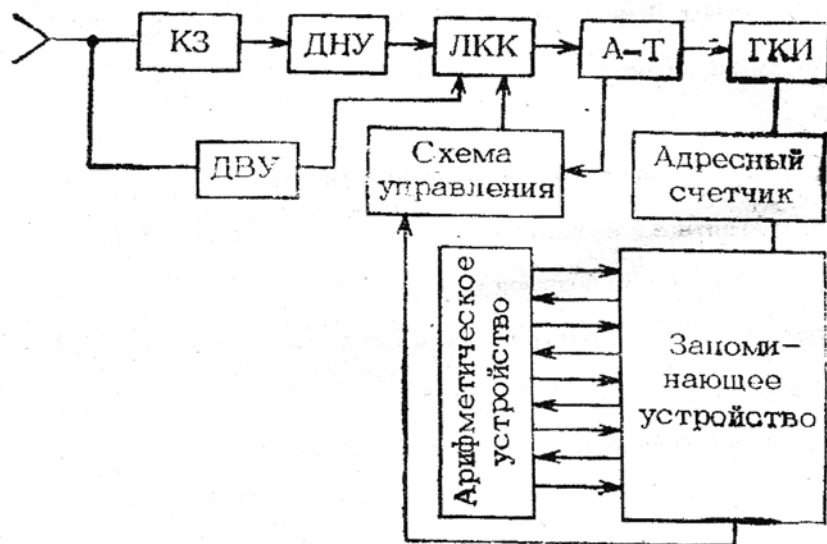


Рис. 5 Функциональная схема амплитудного анализатора.

Основными узлами любого амплитудного анализатора, использующего принцип амплитудно-временного преобразования, являются: зарядно-разрядное устройство, преобразующее амплитуду во временной интервал; генератор каналов импульсов (ГКИ), кодирующий временной интервал серией импульсов; адресное, арифметическое и запоминающее устройства. Кроме того, в состав амплитудного анализатора входят вспомогательные элементы, такие как дискриминаторы верхнего и нижнего уровней (ДНУ, ДВУ), линейный ключевой каскад (ЛКК) и блок, осуществляющий управление этими элементами. Анализатор (рис. 5) работает следующим образом. Импульс, амплитуда которого подлежит измерению, через вспомогательные элементы (каскад задержки *КЗ*, дискриминатор нижнего уровня *ДНУ* и линейный ключевой каскад *ЛКК* — назначение этих элементов рассмотрено ниже — поступает на вход блока амплитудно-временной трансформации *А—Т*, где происходит преобразование измеряемой амплитуды в пропорциональный ей интервал времени. Основным элементом блока *А—Т* является зарядно-разрядное устройство с конденсатором памяти *Сп*. Преобразование *А—Т* осуществляется следующим образом (рис.6).

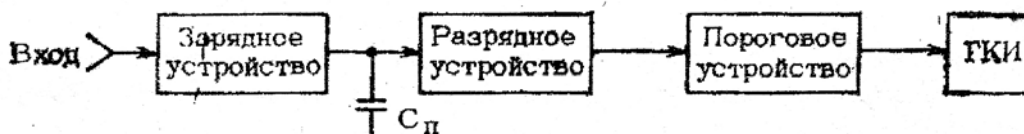


Рис. 6 Функциональная схема преобразователя амплитуда — время — последовательный код.

Входной сигнал с помощью зарядного устройства заряжает конденсатор памяти до потенциала, равного амплитуде этого сигнала (т. е. амплитуде, подлежащей измерению). Для выполнения этого условия необходимо, чтобы конденсатор *Сп* успел зарядиться за время длительности фронта исследуемого сигнала, что накладывает на последний определенные ограничения (обычно $t_{\phi} > 10^{-7}$ с). После заряда конденсатора к нему автоматически подключается разрядный генератор постоянного тока, осуществляющий линейный разряд конденсатора *Сп* до исходного потенциала. Очевидно, что время разряда пропорционально амплитуде входного сигнала. Следящее пороговое устройство (обычно триггер Шмитта) фиксирует моменты начала и окончания разряда конденсатора *Сп*, вырабатывая прямоугольный импульс напряжения, длительность которого равна времени

линейного разряда. Фронт и спад этого импульса используются для пуска и остановки ждущего генератора, вырабатывающего последовательную серию импульсов (код), число которых, очевидно, пропорционально длительности импульса, а стало быть, и амплитуде входного сигнала.

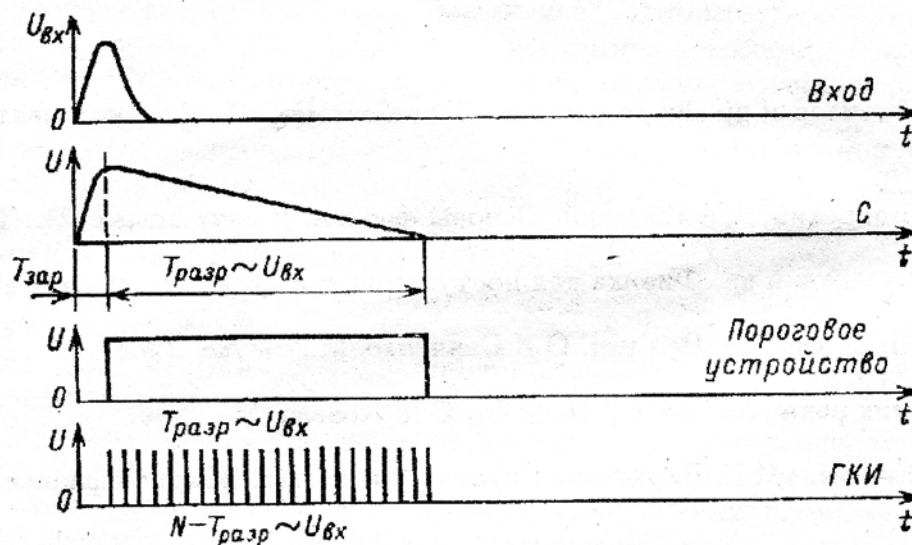


Рис. 7. Временные диаграммы работы преобразователя амплитуда – время – код.

Код амплитуды импульса поступает в адресный счетчик, где запоминается на время, требуемое для обращения к ЗУ. По этому коду находится соответствующий канал ЗУ. Содержимое выбранного канала выводится в арифметическое устройство, где осуществляется операция добавления единицы. После этого новое число записывается в тот же канал ЗУ, и на этом заканчивается процесс измерения амплитуды данного импульса. Одновременно арифметический блок вырабатывает сигнал *конец преобразования*, который сбрасывает на нуль адресный счетчик, коммутирует входные логические элементы и, таким образом, подготавливает анализатор к анализу следующего импульса.

Поскольку сигналы на выходе детектора излучения распределены во времени случайно, имеется конечная вероятность попадания сигнала на вход анализатора, когда еще не закончено измерение амплитуды предыдущего импульса. Поступившие во время преобразования импульсы могут исказить амплитуду предыдущего сигнала и нарушить нормальную работу арифметического устройства. Для устранения этих явлений на входе анализатора включают линейный ключевой каскад ЛКК, при помощи которого вход блокируется на все время амплитудно-цифрового преобразования и обращения к памяти. Линейный ключевой каскад выполняют нормально открытым. ЛКК закрывается сразу после окончания фронта входного сигнала и снова открывается после полного завершения анализа импульса.

Задание.

1. Включить генератор импульсов БГТ8А. Задать частоту следования импульсов 30000-40000 1/с. Включить блок детекторов, получить сформированные импульсы с детектора. Добиться частоты их следования ~ 30000 1/с. Подать сигнал с генератора импульсов на стартовый вход временного кодировщика БПТ12, и сформированный сигнал с детектора на стоповый вход. Снять спектр равновероятных временных интервалов. Оценить дифференциальную нелинейность преобразования.
2. Задать частоту следования импульсов с генератора БГТ8А 1000 1/с. Через разветвитель подать импульсы на стартовый канал БПТ12 и через линию задержки

на стоповый. Меняя значение задержки определить цену канала БПТ12 и его временное разрешение.

3. Запустить генератор БГТ8А и подать через разветвитель сигналы на строб и через аттенюатор на вход амплитудного преобразователя БПА-30А. Меняя с помощью аттенюатора амплитуду импульса, построить спектр линий. Определить цену канала преобразователя и его разрешение

Литература.

1. В. А. Григорьев, А. А. Колюбин, В. А. Логинов. «Электронные методы ядерно-физического эксперимента»
2. Лабораторный практикум по экспериментальным методам ядерной физики. Под ред. К. Г. Финогенова.
3. Мелешко Е. А. «Наносекундная электроника в экспериментальной физике»
4. Н. А. Бессонова, А. Г. Морозов. Широкодиапазонный преобразователь время-код. Препринт ИАЭ-4366/16 1986