



Учебные вопросы:

1. Импульсная модуляция.
2. Преобразования непрерывных сигналов.
Сущность ИКМ.
3. Цифровые методы модуляции сигналов.



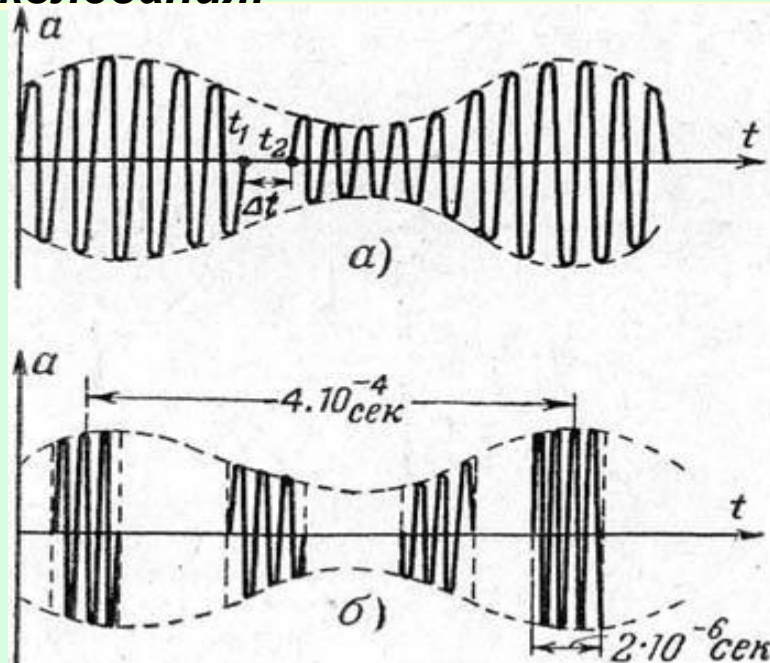
Учебный вопрос № 1

Импульсная модуляция.

ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ - способ модуляции гармонических колебаний, в результате которого они принимают вид кратковременных посылок-импульсов. Импульсной модуляцией называют также изменение параметров видеоимпульсов (высоты, длительности и положения во времени), модулирующих высокочастотные колебания.

Предположим, что при излучении амплитудно-модулированных сигналов

(рис.) в какой-то момент времени t_1 передача вдруг прервалась и возобновилась в момент t_2 через очень малый интервал времени. Совершенно очевидно, что оператор на приемном конце **этот перерыв не ощутит**, поскольку человеческое ухо обладает некоторой **инерционностью**, т.е. свойством "запоминать" отдельные кратковременные раздражения и реагировать на их среднюю накопленную величину (аналогичное свойство глаза позволяет нам видеть в кино вместо отдельных кадров непрерывное движение). **Очевидно**, что можно сделать несколько перерывов в передаче без заметного ухудшения качества воспроизведения сигнала на



Прерывистый характер сигнала можно в еще большей степени сделать малозаметным, если на выходе приемника поставить фильтр, выравнивающий кратковременные пульсации напряжения.

Существует предел, когда дальнейшее уменьшение числа и длительности рабочих импульсов передатчика приводит к появлению заметных искажений в приеме сигналов.

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что для удовлетворительного воспроизведения звукового сигнала необходимо, чтобы передача производилась не менее чем 3-4 раза за время одного периода звукового сигнала в течение коротких интервалов времени порядка единиц микросекунд. Если принять, что наиболее высокая из передаваемых звуковых частот (которой соответствует самый короткий период) равна 3500 Гц, то передачу можно осуществлять

Амплитуда этих импульсов пропорциональна интенсивности полезного сигнала в момент излучения. Интервал между импульсами может быть в сотни раз больше длительности самих импульсов. Это позволяет использовать время интервалов между их посылками для осуществления такой же импульсной передачи другого звукового сигнала с помощью того же передатчика. На приемном пункте оба сигнала могут быть приняты отдельно благодаря тому, что они передаются в разные моменты времени или, как говорят, разделены по времени. Этот вид модуляции **называют амплитудно-**

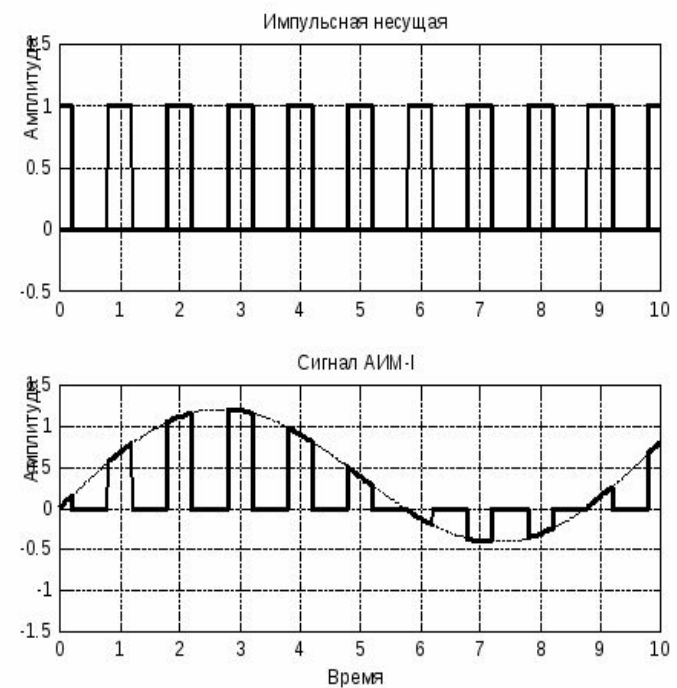


Рис.1.2. Формирование сигнала АИМ-1

Таким образом, **импульсная модуляция дает возможность** проводить одновременно **несколько независимых друг от друга передач** с помощью одного передающего устройства. Такой вид использования аппаратуры называют **многоканальной связью**. Возможность ее осуществления является важнейшим достоинством импульсной модуляции. К недостаткам линий связи с амплитудно-импульсной модуляцией следует отнести **слабую помехозащищенность**, как и при обычной амплитудной модуляции. Необходимо также отметить, что в спектре кратковременных импульсных сигналов амплитуда колебаний боковых частот спадает очень медленно с ростом номера боковой частоты, и это происходит тем медленнее, чем меньше длительность импульсов. Поэтому для удовлетворительного воспроизведения импульсного сигнала требуется приемник с очень широкой полосой пропускания.

Это в сотни раз превышает полосу пропускания приемника амплитудно-модулированных сигналов и в несколько раз - полосу приемника частотно-модулированных сигналов. Поэтому импульсную модуляцию невозможно использовать в диапазонах средних, длинных и коротких волн. **Наибольшее применение этот вид модуляции нашел в многоканальных линиях связи, работающих на дециметровых и**

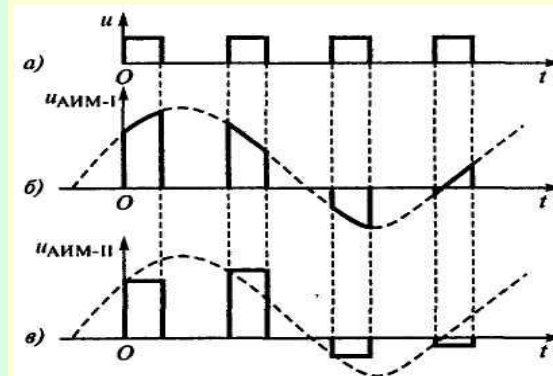
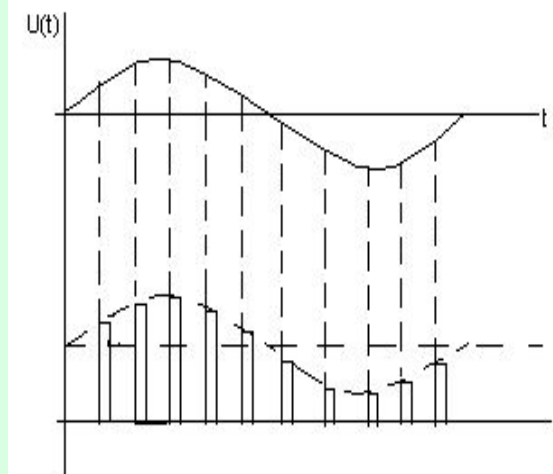


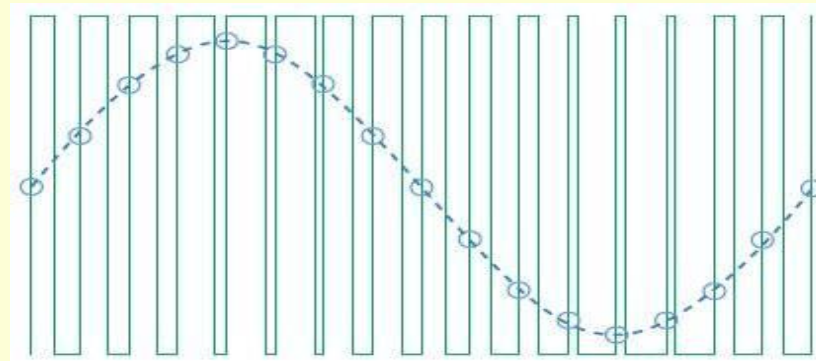
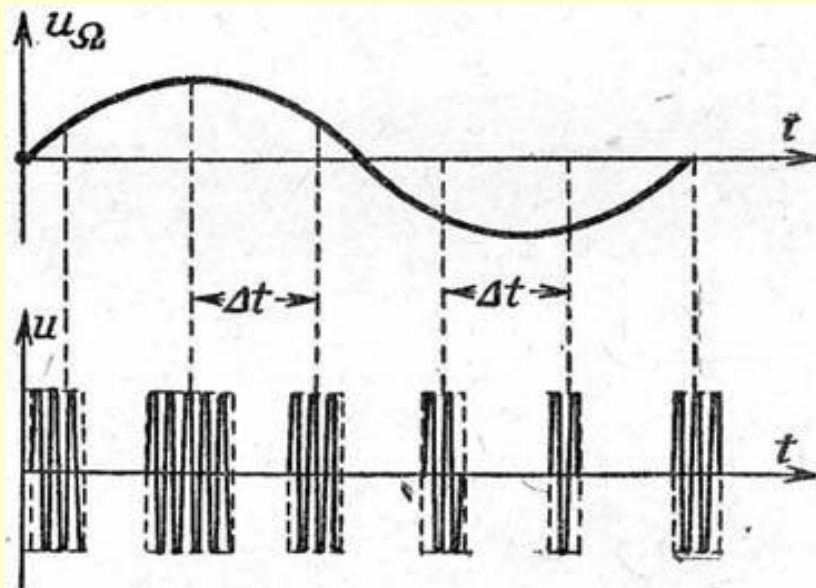
Рис. 2.41. Формирование АИМ-сигналов:
а — импульсная несущая; б — АИМ-I;
в — АИМ-II

Более высокой помехоустойчивостью обладают линии связи при других видах импульсной модуляции.

Исторически первым видом импульсной модуляции был предложенный в 1927 г. А.Н.Щукиным **метод широтно-импульсной модуляции**, сокращенно **ШИМ**.

Колебания при широтно-импульсной модуляции имеют вид, представленный на рис. 1.

Импульсы высокочастотных колебаний излучаются через одинаковые промежутки времени, причем длительность каждого из них соответствует значениям модулирующего сигнала в момент излучения. При таком виде модуляции амплитуда импульсов не изменяется, что позволяет срезать в приемном устройстве помехи, искажающие амплитуды принятых импульсов. Его **недостатком** является **необходимость выбора полосы пропускания по самому короткому импульсу**. При этом она получается излишне широкой для всех остальных более длительных импульсов. **Расширение же полосы пропускания приемника приводит к**

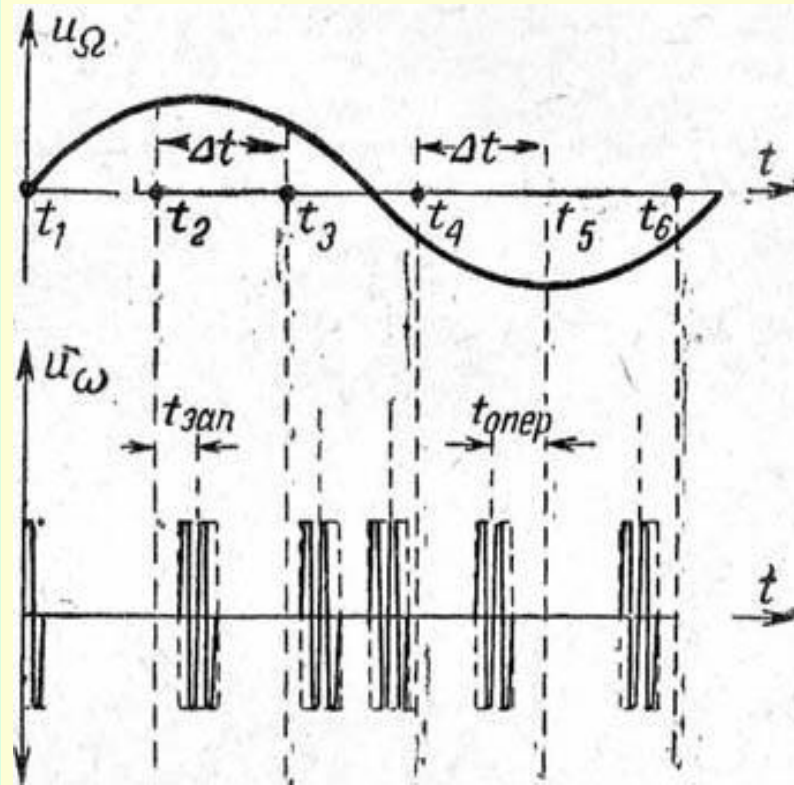


Пример ШИМ
Синус — аудио вход
Импульсы — выход ШИМ

Более **рациональное использование полосы пропускания** приемника достигается при **фазо-импульсной модуляции**, сокращенно **ФИМ**. Этот вид модуляции осуществляется путем посылки импульсов одинаковой длительности и постоянной амплитуды.

Закон модуляции передается изменением момента их посылки (рис.). При отсутствии модулированного напряжения импульсы посылаются в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n , отстоящие один от другого на одинаковые интервалы времени.

Когда начинается передача сигнала, начало излучения каждого из импульсов изменяется **в сторону отставания (запаздывания)** от данных моментов времени на интервалы, пропорциональные величине положительного модулирующего напряжения, действующего в данный момент времени, или **в сторону опережения** (интервалы $t_{опер}$), пропорционально отрицательной величине модулирующего



Высокая помехозащищенность линии связи и **рациональное использование полосы пропускания** приемного устройства явились причиной **широкого практического использования** фазо-импульсной модуляции.

Известны и другие методы осуществления импульсной модуляции, обладающие теми или иными достоинствами и недостатками



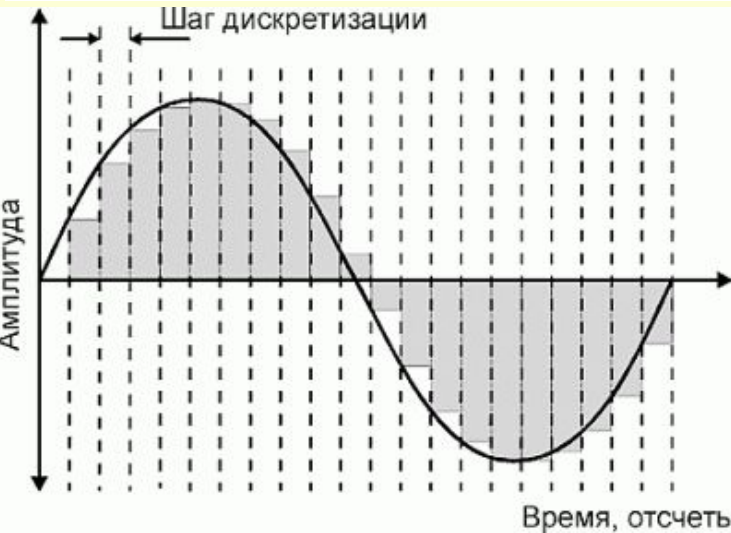
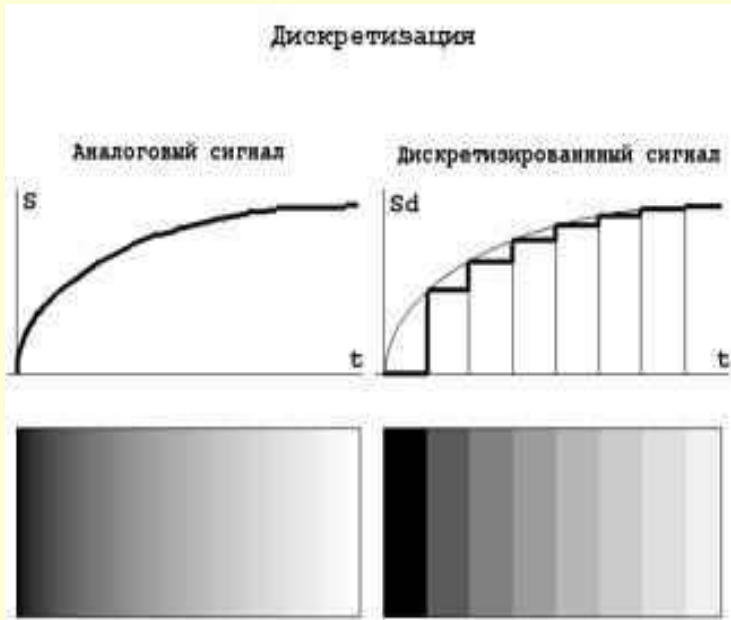
Учебный вопрос № 2

**Преобразования непрерывных сигналов.
Сущность ИКМ.**

Для преобразования любого **аналогового сигнала** (звука, изображения) в цифровую форму необходимо выполнить **три основные операции**: дискретизацию, квантование и кодирование.

Дискретизация - представление непрерывного аналогового сигнала последовательностью его значений (отсчетов). Эти отсчеты берутся в моменты времени, отделенные друг от друга интервалом, который называется **интервалом (шагом) дискретизации**. Величину, обратную интервалу между отсчетами, называют **частотой дискретизации**.

На рис. 1 показаны исходный аналоговый сигнал и его дискретизированная копия. Чем **меньше интервал дискретизации** Δt , соответственно, выше частота дискретизации, тем **меньше различия между исходным сигналом** и его дискретизированной копией. Ступенчатая структура дискретизированного сигнала может быть сглажена с помощью фильтра нижних частот. Таким образом и осуществляется восстановление аналогового сигнала из дискретизированного.



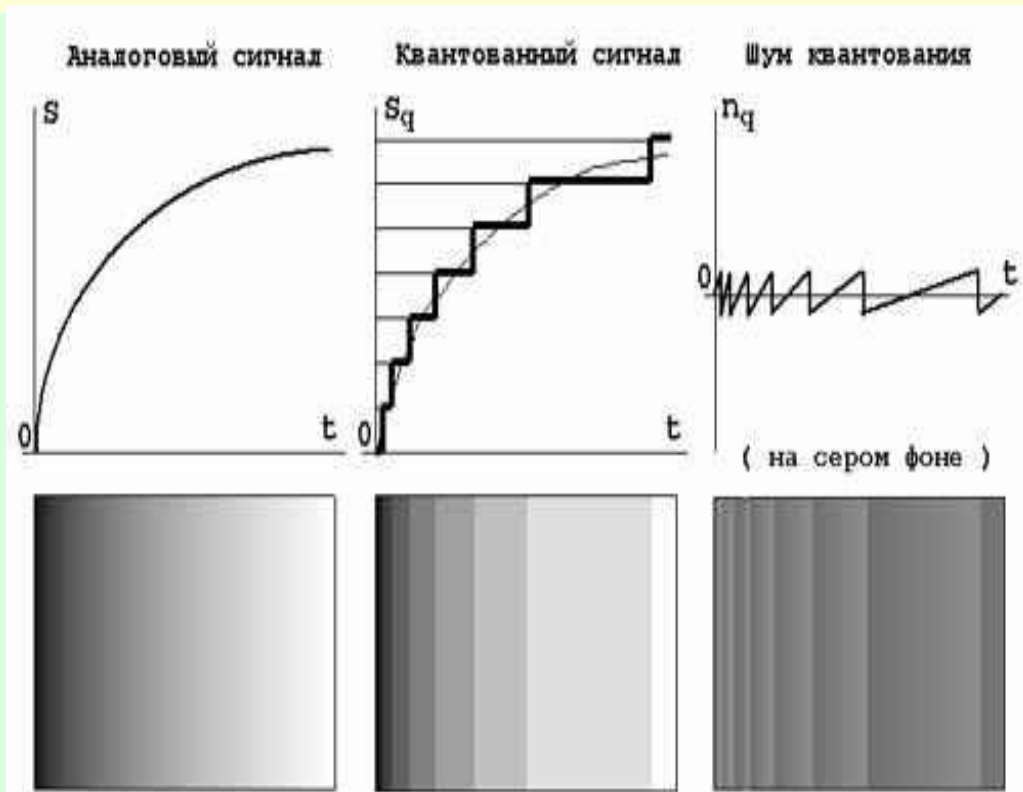
Время, отсчеты



Квантование - представляет собой замену величины отсчета сигнала ближайшим значением из набора фиксированных величин - уровней квантования. Другими словами, квантование - это округление величины отсчета.

Уровни квантования делят весь диапазон возможного изменения значений сигнала на **конечное число интервалов - шагов квантования**.

Расположение уровней квантования обусловлено шкалой квантования. Используются как равномерные, так и неравномерные шкалы. **На рис. показаны** исходный аналоговый сигнал и его квантованная версия, полученная с использованием равномерной шкалы квантования, а также соответствующие сигналам



Искажения сигнала, возникающие в процессе квантования, называют **шумом квантования**. При инструментальной оценке шума вычисляют разность между исходным сигналом и его квантованной копией, а в качестве **объективных показателей** шума принимают, например, среднеквадратичное значение этой разности.



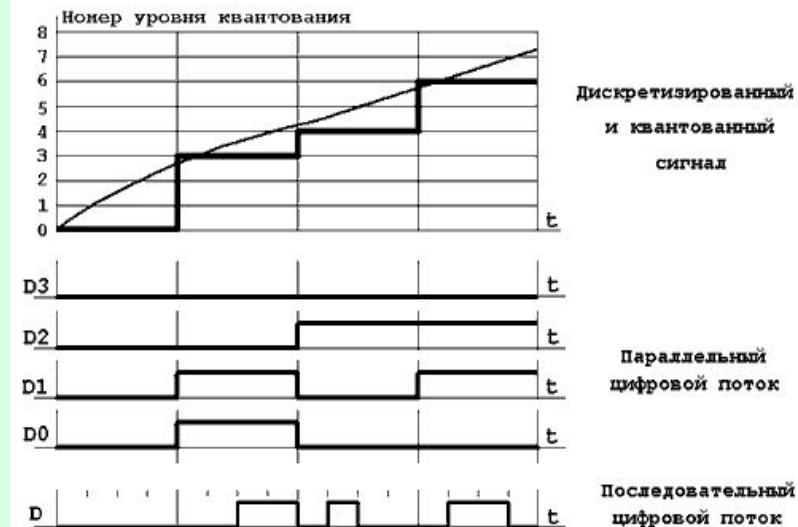
Цифровое кодирование.

Квантованный сигнал, в отличие от исходного аналогового, может принимать только **конечное число значений**. Это позволяет представить его в пределах каждого интервала дискретизации числом, равным порядковому номеру уровня квантования. В свою очередь это число можно выразить комбинацией некоторых знаков или символов. **Совокупность знаков (символов) и система правил**, при помощи которых данные представляются в виде набора символов, **называют кодом**. Конечная последовательность символов **называют кодом** и способом

преобразовать в последовательность кодовых слов. Эта операция и называется **кодированием**. Каждое кодовое слово передается в пределах одного интервала дискретизации. Для кодирования сигналов звука и изображения широко применяют двоичный код.

Кодовые слова можно передавать в параллельной или последовательной

Символы кодового слова одновременно передаются по линиям в пределах интервала дискретизации. Для передачи в последовательной форме интервал дискретизации надо разделить на n подинтервалов-тактов. В этом случае символы слова передаются последовательно по одной линии. Каждый символ слова передается с помощью одного или нескольких дискретных сигналов - импульсов. **Преобразование аналогового сигнала в последовательность кодовых слов называют импульсно-кодовой модуляцией**.



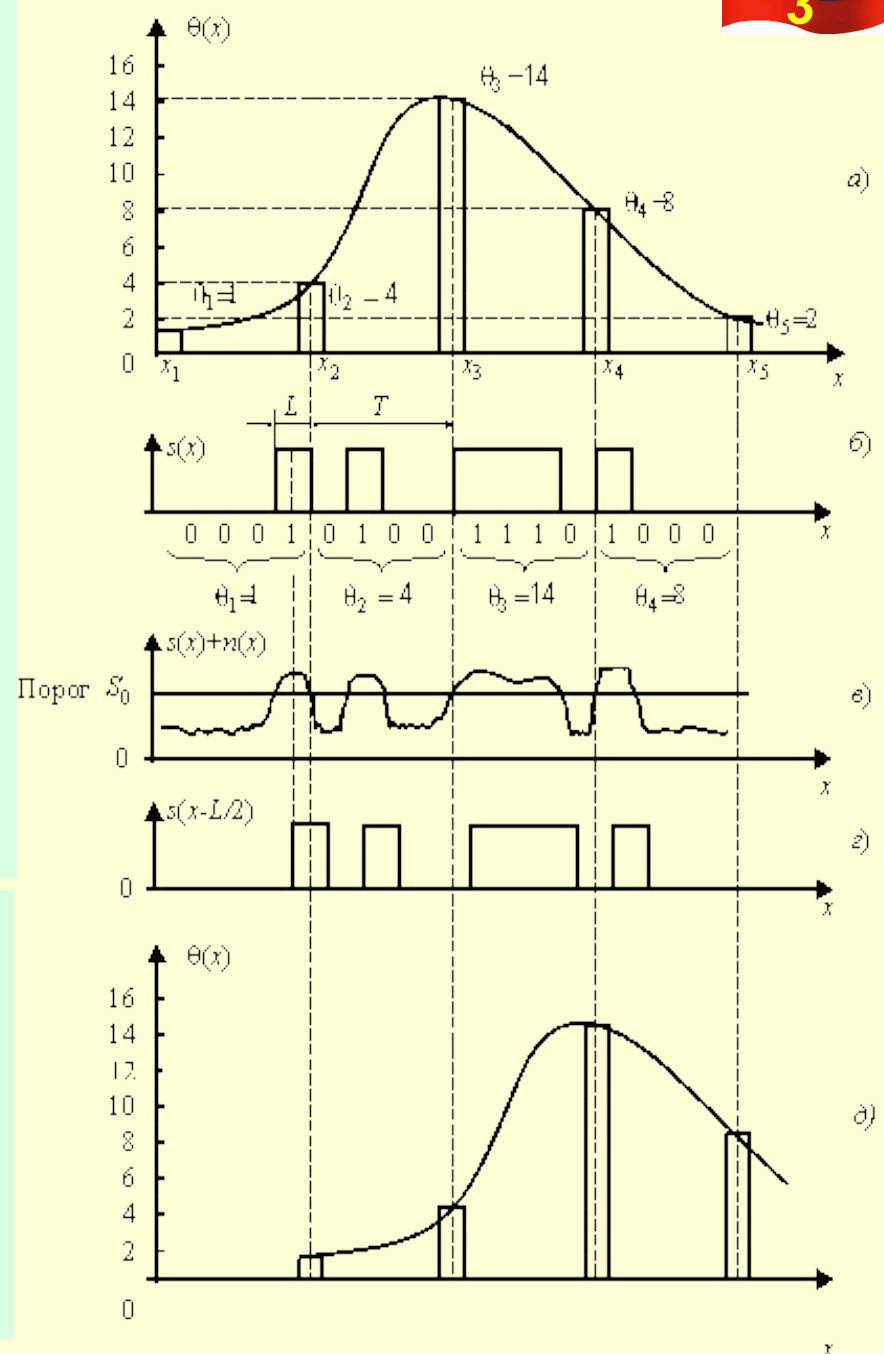


Учебный вопрос № 3

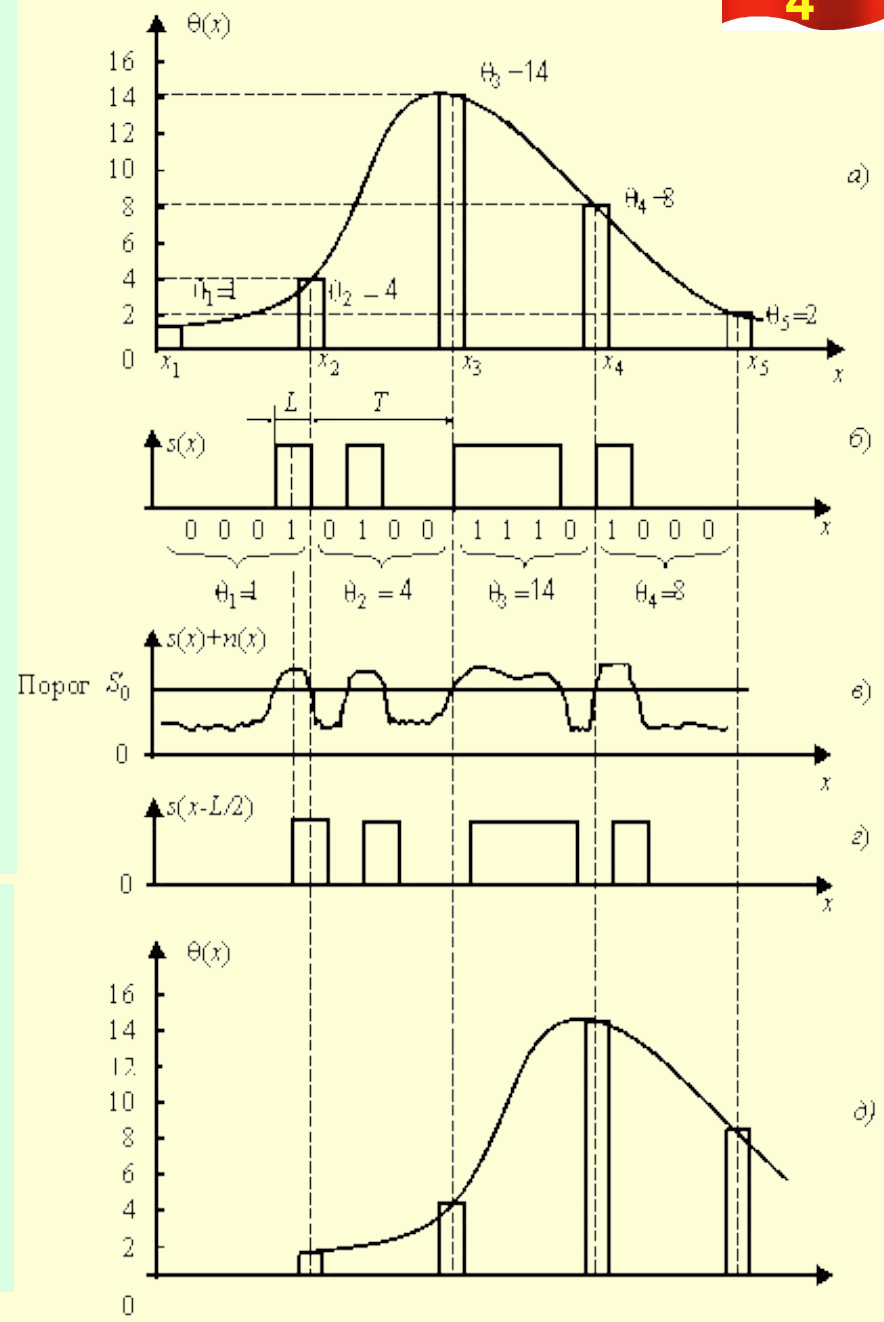
Цифровые методы модуляции сигналов.

используются для передачи кодированных сообщений дискретными методами. **Сущность цифровой модуляции** заключается в том, что передаваемый непрерывный сигнал дискретизируется во времени, квантуется по уровню и полученные отчеты, следующие в дискретные моменты времени, преобразуются в кодовые комбинации. Полученной последовательностью кодовых видеосигналов модулируется высокочастотный сигнал-переносчик.

Следовательно, **цифровые методы модуляции** основаны (как было показано ранее) **на трех необходимых преобразованиях** полезных непрерывных сигналов: дискретизации, квантования и кодирования. На рис. (справа) показаны временные диаграммы сигналов в системе с ИКМ. На **рис. а** представлены исходный непрерывный сигнал с ограниченным спектром и дискретизированный сигнал с интервалом дискретизации. На **рис. б** показана полученная в результате квантования и кодирования последовательность двоичных видеопульсов.



канале принятая видеопоследовательность (рис. в) отличается от переданной. Выбирается пороговый уровень, его превышение в моменты отсчета (стробирования) значения сигнала означает наличие импульса, а непревышение — отсутствие импульса. С помощью формирующих устройств из принятой видеопоследовательности создается «очищенная» последовательность, которая поступает на декодер. С выхода декодера импульсы, площадь которых равна соответствующим импульсным отсчётам исходного сигнала (рис. д), поступают на демодулятор, в простейшем случае на вход фильтра нижних частот, на выходе которого восстанавливается копия для получения регенерированной кодовой последовательности отсчёты принимаемого сигнала берутся в середине каждого тактового интервала длительностью L (рис. б и в). Это делается для того, чтобы исключить влияние на работу демодулятора запаздывания и фазовых искажений сигналов в канале связи.



Эффективным способом **Дельта-модуляция** преобразования сигналов в цифровую форму является **дельта-модуляция**, которая иллюстрируется рис. 1.

В каждый момент отсчета сигнал сравнивается с пилообразным напряжением на каждом шаге дискретизации **d**.

Если отсчет сигнала превышает по амплитуде пилообразное напряжение, то последнее нарастает до следующей точки дискретизации, в противном случае оно спадает. **В простейшей системе** наклон пилообразного напряжения сохраняется неизменным на всем протяжении процесса.

Полученный бинарный сигнал можно рассматривать как производную от пилообразного напряжения. Выбирая достаточно малым значение шага **d**, можно получить любую заданную точность представления сигнала.

Преимущество дельта-модуляции по сравнению с ИКМ, которая также образует бинарный сигнал, заключается не столько в реализуемой точности и, сколько в простоте реализации.

Пилообразное напряжение можно восстановить из бинарного сигнала путем интегрирования, а более гладкая аппроксимация достигается последующим пропусканием сигнала через фильтр нижних частот. **Скорость передачи цифровых кодов**, необходимую для получения заданного качества, можно значительно **уменьшить**, используя, например, линейное кодирование с предсказанием



Импульсная модуляция



- Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ или РСМ — *Pulse Code Modulation*);
 - Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (ДИКМ или ДРСМ — *Differential PCM*);
 - Адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (АДИКМ или АДРСМ — *Adaptive DPCM*);
- Широтно-импульсная модуляция (ШИМ);
- Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ);
- Частотно-импульсная модуляция (ЧИМ);
- Сквозностно-импульсная модуляция;
- Фазово-импульсная модуляция (ФИМ);
- Дельта-модуляция (ДМ или Δ -модуляция);

Достоинствами цифровых методов модуляции являются:

- высокая помехоустойчивость даже при использовании каналов с нестабильными характеристиками и большим уровнем шумов;
- возможность восстановления сигналов в узлах связи сетей, что значительно ослабляет эффект накопления искажений сигналов при передаче информации по линиям большой протяженности;
- универсальная форма представления сигналов для различных сообщений (речь, телевизионное изображение, дискретные данные и т.п.);
- низкая чувствительность к нелинейным искажениям в групповом тракте многоканальных систем;
- простое согласование этих систем с компьютерами и электронными автоматическими телефонными станциями;
- возможность автоматизации передачи и обработки сигналов с помощью компьютеров.