



Сети ЭВМ и телекоммуникации

Лекция 3.

Линии связи. Кодирование сигналов

Задача №2 (решение)

1. Сеть 199.40.123.0 принадлежит к классу C, поскольку номер первого октета – 199 принадлежит диапазону {192 – 223}
2. Маска 255.255.255.224 в двоичной записи выглядит так:
$$224_{10} = E0_{16} = 1110\ 0000_2$$
3. Множество возможных номеров подсетей внутри сети это множество { xxx0 000 } из которого нужно исключить номера { 0000 0000 } и { 1110 0000 }, тогда число подсетей равно: $2^3 - 2 = 8 - 2 = 6$

Задача №2 (решение)

Номера полученных сетей:

Номер подсети		Адрес IP – подсети
Двоичное значение	Десятичное значение	
0010 0000	32	199.40.123.32
0100 0000	64	199.40.123.64
0110 0000	96	199.40.123.96
1000 0000	128	199.40.123.128
1010 0000	160	199.40.123.160
1100 0000	192	199.40.123.192

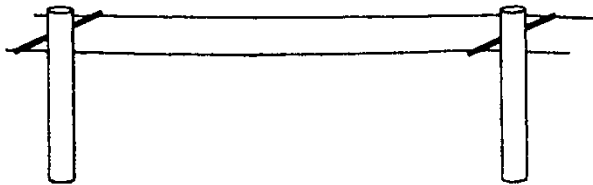
Задача №2 (решение)

4. Допустимые номера узлов подсети, которая имеет номер xxx0 0000 получают при замене 0-позиций в этом номере единичными, при этом помним, что нужно исключить { xxx0 0000 } и { xxx1 1111 }

Адреса узлов подсети		Адрес IP – подсети
Интерфейс	Рабочая станция	
199.40.123.33	199.40.123.34	199.40.123.32
199.40.123.65	199.40.123.66	199.40.123.64
199.40.123.97	199.40.123.98	199.40.123.96
199.40.123.129	199.40.123.130	199.40.123.128
199.40.123.161	199.40.123.162	199.40.123.160
199.40.123.193	199.40.123.194	199.40.123.192

Типы линий связи

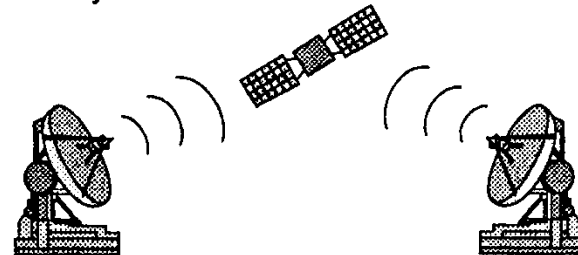
▶ Подводные (воздушные) линии связи



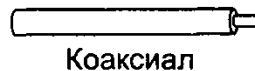
▶ Волоконно-оптические линии связи



▶ Радиоканалы наземной и спутниковой связи



▶ Кабельные линии связи (медь)



Физическая среда передачи данных (*medium*) может представлять собой кабель, то есть набор проводов, изоляционных и защитных оболочек и соединительных разъемов, а также земную атмосферу или космическое пространство, через которые распространяются электромагнитные волны.



Типы линий связи

- В зависимости от типа промежуточной аппаратуры все линии связи делятся на **аналоговые** и **цифровые**
- В **аналоговых линиях** промежуточная аппаратура предназначена для усиления аналоговых сигналов, то есть сигналов, которые имеют непрерывный диапазон значений. При аналоговом подходе обычно используется **техника частотного мультиплексирования (Frequency Division Multiplexing, FDM)**
- В **цифровых линиях** связи передаваемые сигналы имеют конечное число состояний. Как правило, элементарный сигнал, то есть сигнал, передаваемый за один такт работы передающей аппаратуры, имеет 2 или 3 состояния, которые передаются в линиях связи импульсами прямоугольной формы. В данном случае используется принцип **временного мультиплексирования каналов (Time Division Multiplexing, TDM)**

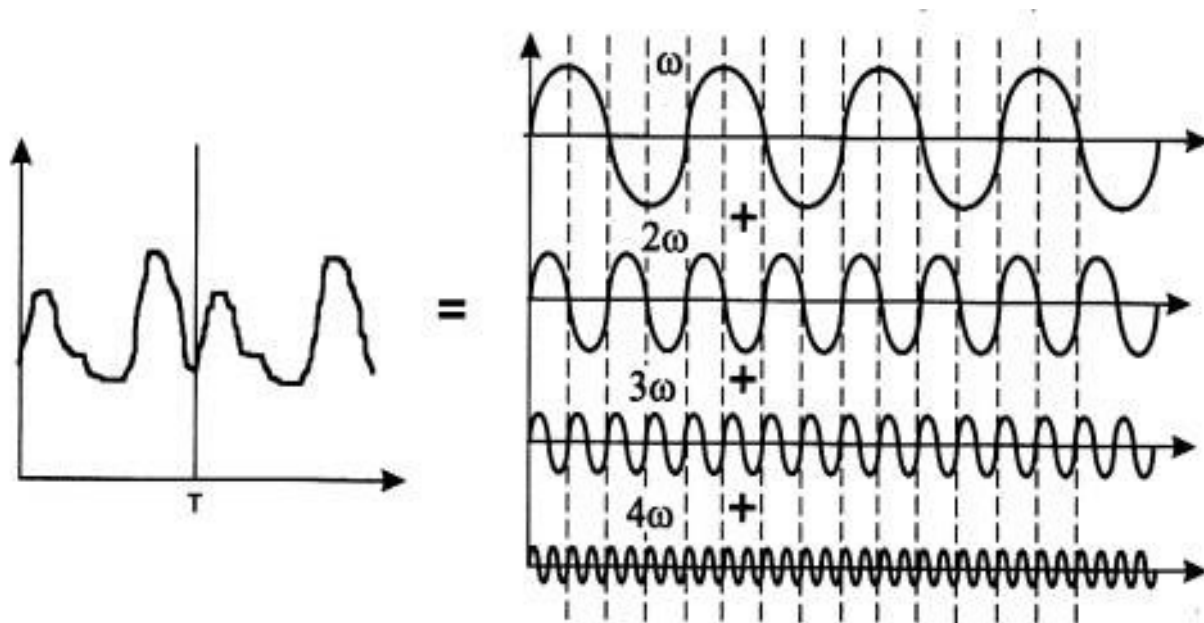


Характеристики линий связи

- амплитудно-частотная характеристика
- полоса пропускания
- затухание
- помехоустойчивость
- перекрестные наводки на ближнем конце линии
- **пропускная способность**
- **достоверность передачи данных**
- удельная стоимость

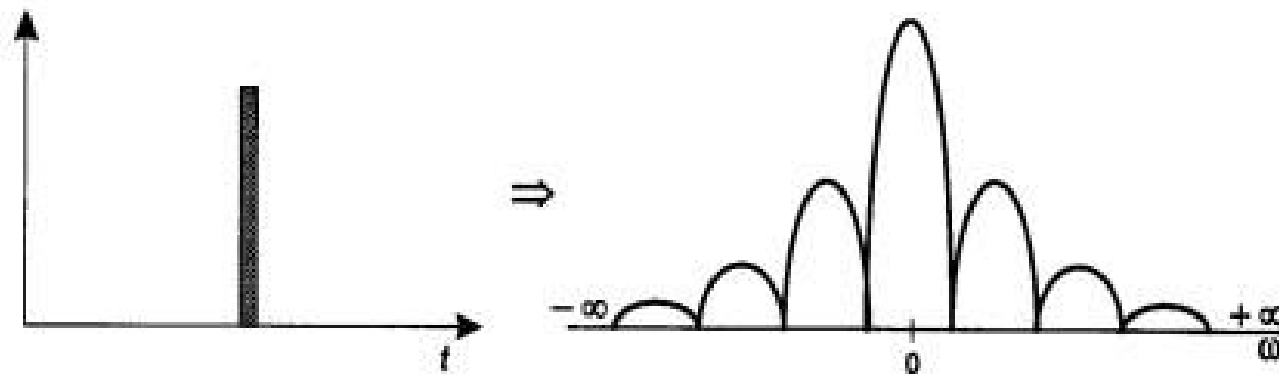
Представление сигналов

Из теории гармонического анализа известно, что любой периодический процесс можно представить в виде суммы синусоидальных колебаний различных частот и различных амплитуд. Каждая составляющая синусоида называется также гармоникой, а набор всех гармоник называют спектральным разложением исходного сигнала

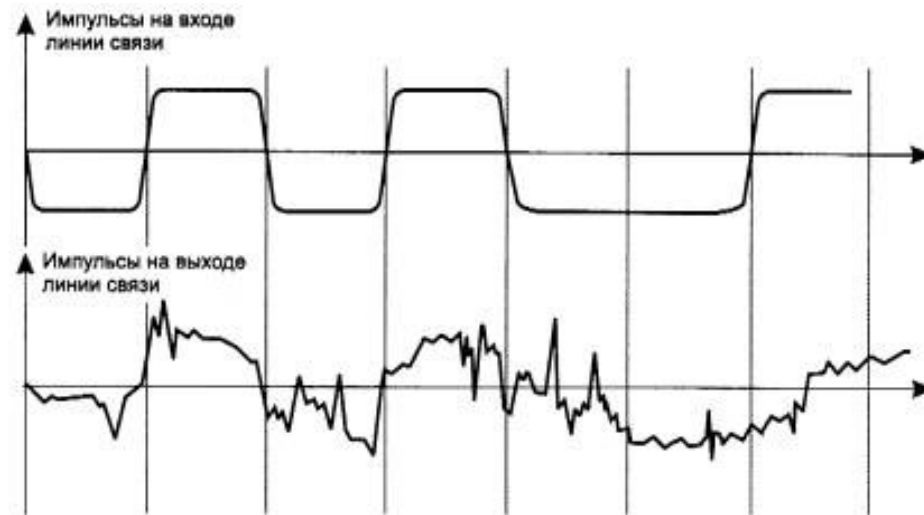


Представление сигналов

Непериодические сигналы можно представить в виде интеграла синусоидальных сигналов с непрерывным спектром частот. Например, спектральное разложение идеального импульса (единичной мощности и нулевой длительности) имеет составляющие всего спектра частот, от $-\infty$ до $+\infty$



Искажение сигналов



Линия связи искажает передаваемые сигналы из-за того, что ее физические параметры отличаются от идеальных.

Степень искажения синусоидальных сигналов линиями связи оценивается с помощью таких характеристик, как **амплитудно-частотная характеристика**, **полоса пропускания** и **затухание на определенной частоте**.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

Амплитудно-частотная характеристика показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии связи по сравнению с амплитудой на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала.



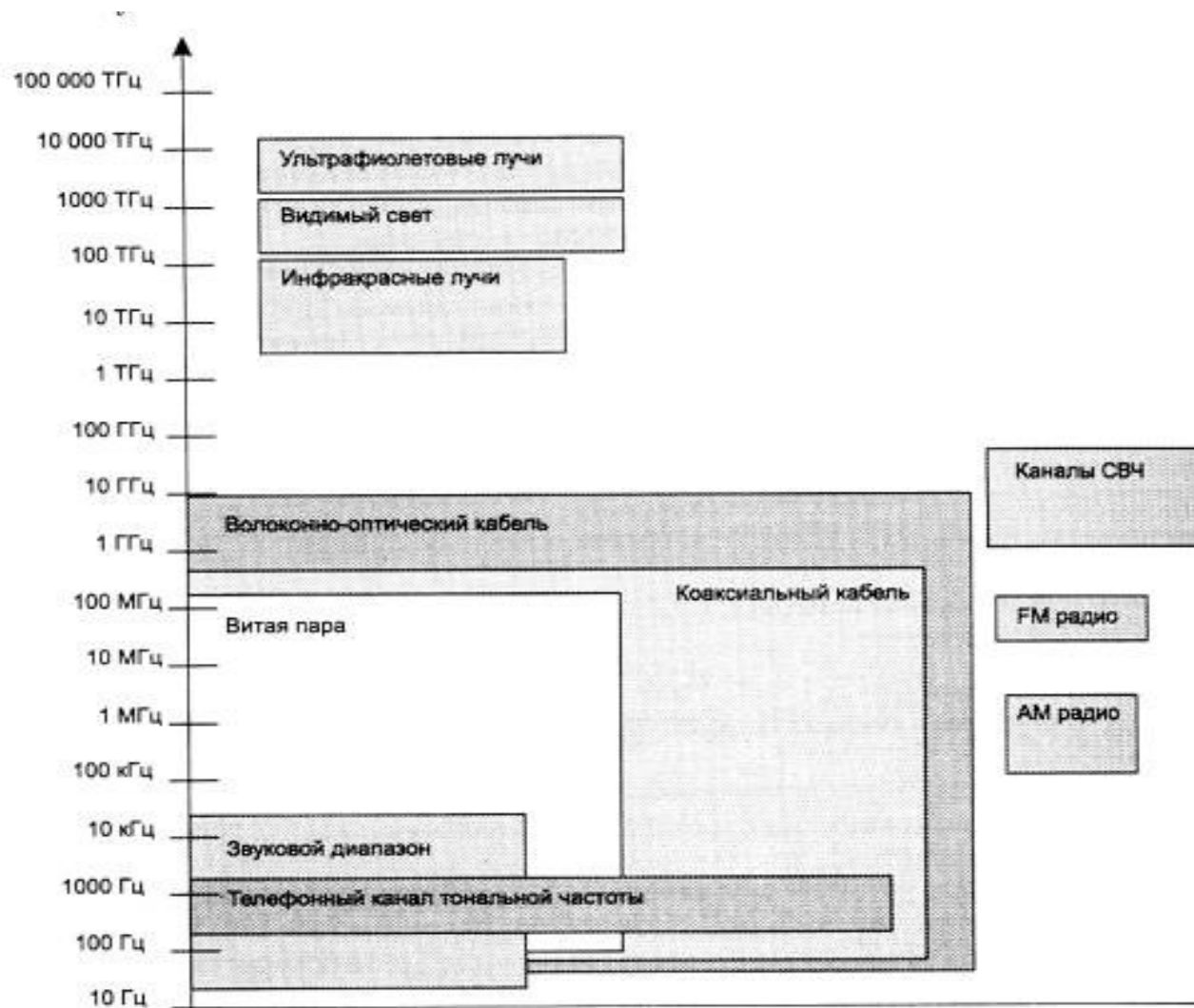
Несмотря на полноту информации, предоставляемой амплитудно-частотной характеристикой о линии связи, ее использование осложняется тем обстоятельством, что получить ее весьма трудно

Полоса пропускания и затухание

- **Полоса пропускания (bandwidth)** - это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала ко входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5. То есть полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений. Знание полосы пропускания позволяет получить с некоторой степенью приближения тот же результат, что и знание амплитудно-частотной характеристики.
- **Затухание (attenuation)** определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты, измеряется в дБ

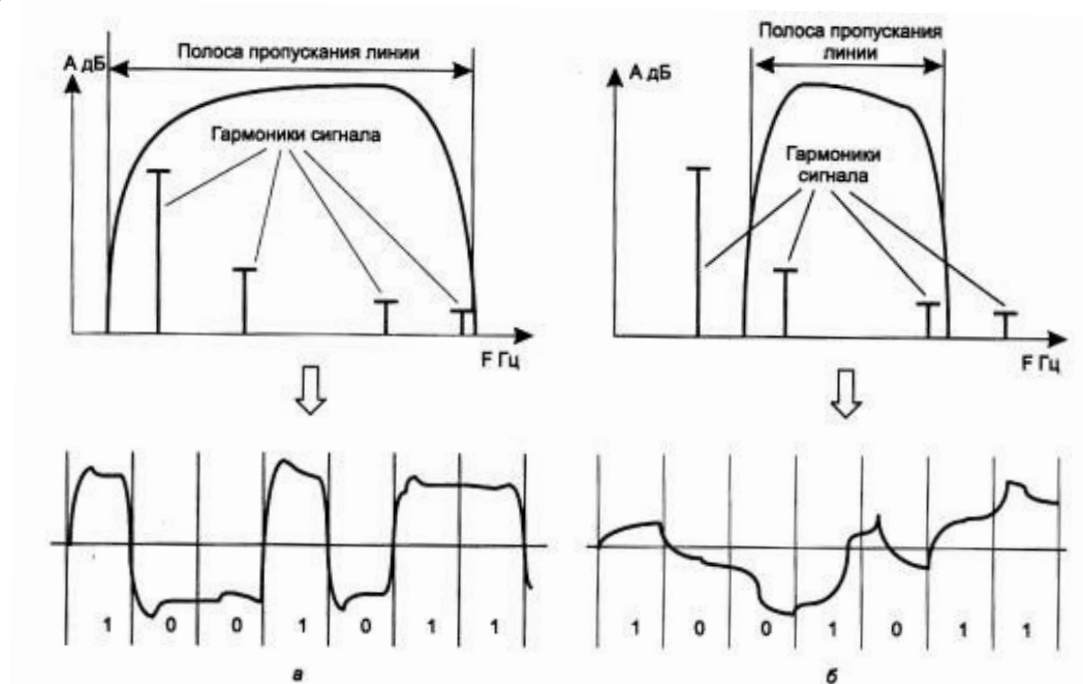
$$A = 10 \log_{10} P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}},$$

Полосы пропускания линий связи



Пропускная способность линии

- **Пропускная способность (throughput)** линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи. Пропускная способность измеряется в битах в секунду - бит/с, а также в производных единицах, таких как килобит в секунду (Кбит/с), мегабит в секунду (Мбит/с), гигабит в секунду (Гбит/с)





Кодирование сигналов

- Выбор способа представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи, называется **физическим** или **линейным кодированием**
- Большинство способов кодирования используют изменение какого-либо параметра периодического сигнала - частоты, амплитуды и фазы синусоиды или же знак потенциала последовательности импульсов. Периодический сигнал, параметры которого изменяются, называют **несущим сигналом** или **несущей частотой**, если в качестве такого сигнала используется синусоида
- Если сигнал изменяется так, что можно различить только два его состояния, то любое его изменение будет соответствовать наименьшей единице информации - биту. Если же сигнал может иметь более двух различимых состояний, то любое его изменение будет нести несколько бит информации

Кодирование сигналов

- Количество изменений информационного параметра несущего периодического сигнала в секунду измеряется в **бодах** (baud). Период времени между соседними изменениями информационного сигнала называется **тактом работы передатчика**
- Пропускная способность линии в битах в секунду в общем случае не совпадает с числом бод. Она может быть как выше, так и ниже числа бод, и это соотношение зависит от способа кодирования
- **Пример:** Если сигнал имеет более двух различных состояний, то пропускная способность в битах в секунду будет выше, чем число бод. Например, если параметрами являются фаза и амплитуда синусоиды и различаются 4 состояния фазы в 0, 90, 180 и 270 градусов и два значения амплитуды сигнала, то информационный сигнал может иметь 8 различных состояний. В этом случае модем, работающий со скоростью 2400 бод (с тактовой частотой 2400 Гц) передает информацию со скоростью 7200 бит/с, так как при одном изменении сигнала передается 3 бита информации

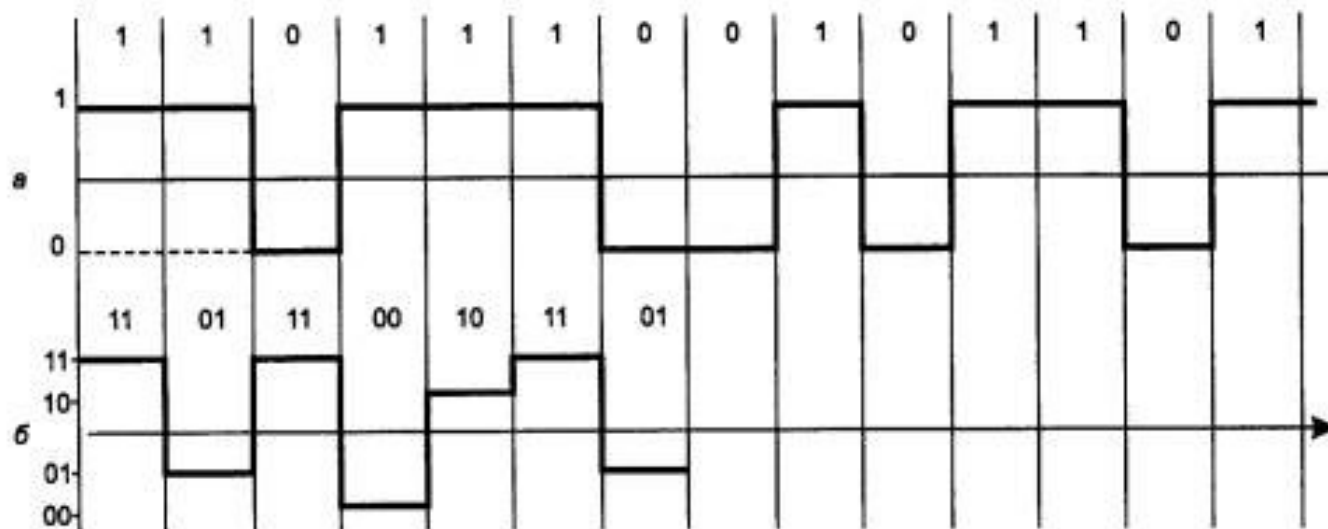


Кодирование сигналов

- На пропускную способность линии оказывает влияние не только физическое, но и **логическое кодирование**.
- **Логическое кодирование** выполняется до физического кодирования и подразумевает замену бит исходной информации новой последовательностью бит, несущей ту же информацию, но обладающей, кроме этого, дополнительными свойствами, например возможностью для приемной стороны обнаруживать ошибки в принятых данных.
- **Пример:** Сопровождение каждого байта исходной информации одним битом четности - это пример очень часто применяемого способа логического кодирования при передаче данных с помощью модемов.
- **Другим примером** логического кодирования может служить шифрация данных, обеспечивающая их конфиденциальность при передаче через общественные каналы связи. При логическом кодировании чаще всего исходная последовательность бит заменяется более длинной последовательностью, поэтому пропускная способность канала по отношению к полезной информации при этом уменьшается.

Кодирование сигналов

Повышение скорости передачи за счет дополнительных состояний сигнала



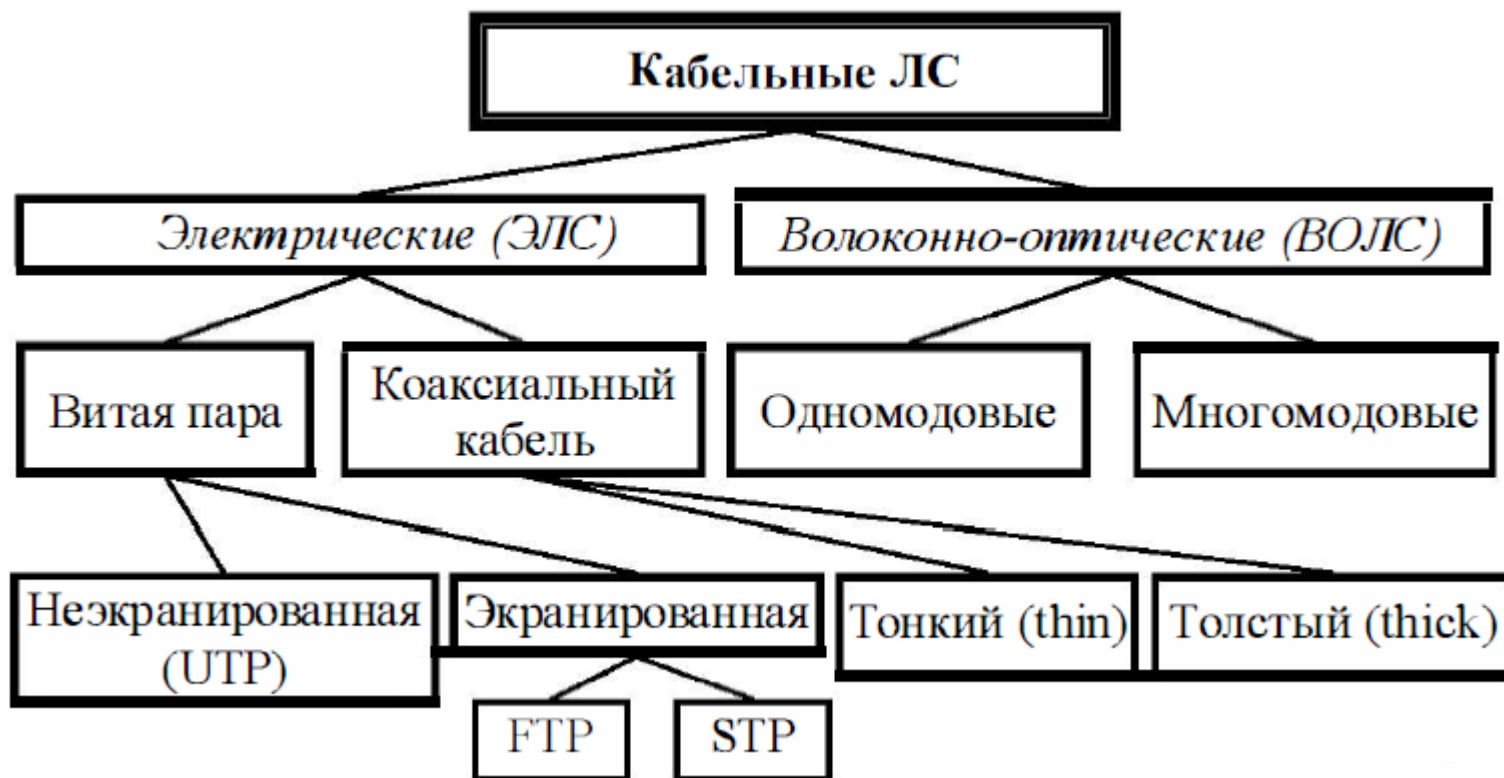
а – для кодирования данных используется 2 состояния

б – для кодирования данных используется 4 состояния

Помехоустойчивость и достоверность

- **Помехоустойчивость линии** определяет ее способность уменьшать уровень помех, создаваемых во внешней среде, на внутренних проводниках. Помехоустойчивость линии зависит от типа используемой физической среды, а также от экранирующих и подавляющих помехи средств самой линии. Наименее помехоустойчивыми являются радиолинии, хорошей устойчивостью обладают кабельные линии и отличной - волоконно-оптические линии
- **Достоверность передачи данных** характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных. Иногда этот же показатель называют **интенсивностью битовых ошибок** (Bit Error Rate, BER). Величина BER для каналов связи без дополнительных средств защиты от ошибок (например, самокорректирующихся кодов или протоколов с повторной передачей искаженных кадров) составляет, как правило, 10^{-4} - 10^{-6} , в оптоволоконных линиях связи - 10^{-9}

Классификация кабельных ЛС



Характеристики кабелей

- **Затухание (Attenuation)** - измеряется в децибелах на метр для определенной частоты или диапазона частот сигнала
- **Перекрестные наводки на ближнем конце (Near End Cross Talk, NEXT)** - Измеряются в децибелах для определенной частоты сигнала
- **Импеданс (волновое сопротивление)** - это полное (активное и реактивное) сопротивление в электрической цепи
- **Активное сопротивление** - это сопротивление постоянному току в электрической цепи. В отличие от импеданса активное сопротивление не зависит от частоты и возрастает с увеличением длины кабеля
- **Емкость** - это свойство металлических проводников накапливать энергию
- **Уровень внешнего электромагнитного излучения или электрический шум**
- **Диаметр** или **площадь** сечения проводника



Неэкранированная витая пара (UTP)

- **Медный неэкранированный кабель UTP** в зависимости от электрических и механических характеристик разделяется на 5 категорий (Category 1 - Category 5). Кабели категорий 1 и 2 были определены в стандарте EIA/TIA-568, но сейчас считаются устаревшими
- **Кабели категории 3** предназначен как для передачи данных, так и для передачи голоса. Шаг скрутки проводов равен примерно 3 витка на 1 фут (30,5 см). Кабели категории 3 сейчас составляют основу многих кабельных систем зданий, в которых они используются для передачи и голоса, и данных
- **Кабели категории 4** хорошо подходят для применения в системах с увеличенными расстояниями (до 135 метров) и в сетях Token Ring с пропускной способностью 16 Мбит/с. На практике используются редко
- **Кабели категории 5** были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов. На этом кабеле работают протоколы со скоростью передачи данных 100 Мбит/с

Экранированная витая пара (STP)

- **Экранированная витая пара STP** хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а также меньше излучает электромагнитных колебаний вовне, что защищает, в свою очередь, пользователей сетей от вредного для здоровья излучения. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку, так как требует выполнения качественного заземления
- Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся не на категории, а на типы: Type 1, Type 2,..., Type 9

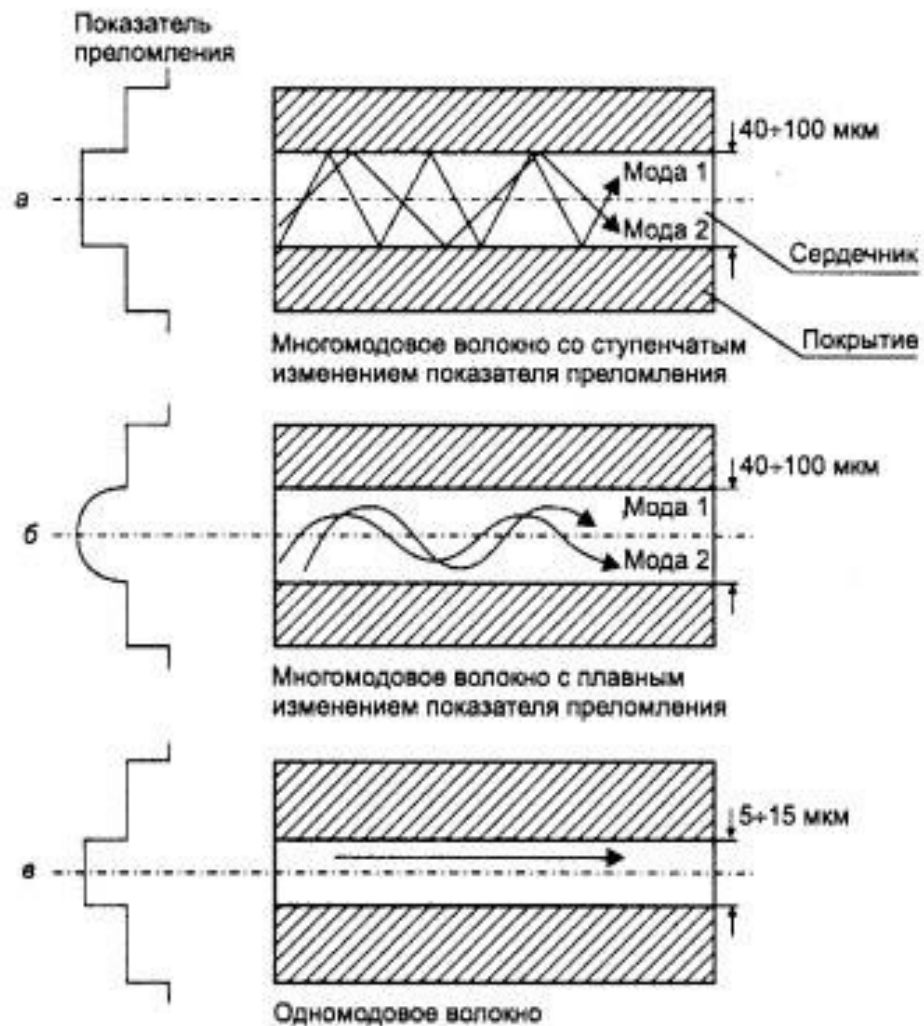




Волоконно-оптические кабели

- **Волоконно-оптические кабели** состоят из центрального проводника света (сердцевины) - стеклянного волокна, окруженного другим слоем стекла - оболочкой, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за ее пределы, отражаясь от покрывающего слоя оболочки. В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника различают
 - **многомодовое волокно** со ступенчатым изменением показателя преломления
 - **многомодовое волокно** с плавным изменением показателя преломления
 - **одномодовое волокно**

Волоконно-оптические кабели





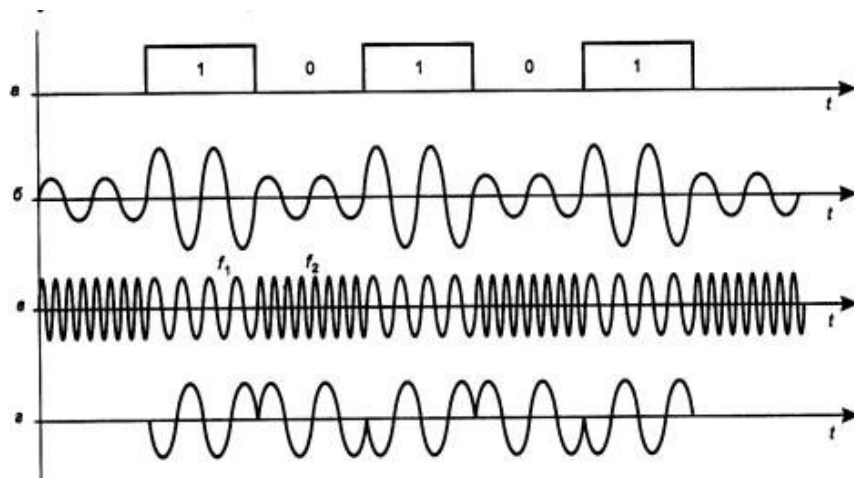
Волоконно-оптические кабели

- **Волоконно-оптические кабели** обладают отличными характеристиками всех типов: электромагнитными, механическими (хорошо гнутся, а в соответствующей изоляции обладают хорошей механической прочностью). Однако у них есть один серьезный недостаток - сложность соединения волокон с разъемами и между собой при необходимости наращивания длины кабеля
- **Стоимость** волоконно-оптических кабелей ненамного превышает стоимость кабелей на витой паре, однако проведение монтажных работ с оптоволокном обходится намного дороже из-за трудоемкости операций и высокой стоимости монтажного оборудования. Так, присоединение оптического волокна к разъему требует проведения высокоточной обрезки волокна в плоскости строго перпендикулярной оси волокна, а также выполнения соединения путем сложной операции склеивания, а не обжатия, как это делается для витой пары

Передача данных

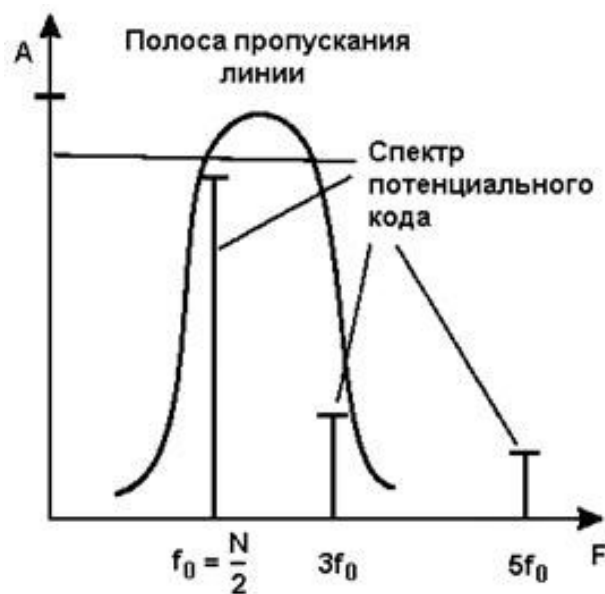
- При передаче дискретных данных по каналам связи применяются два основных типа физического кодирования - на **основе синусоидального несущего сигнала** и на основе **последовательности прямоугольных импульсов**
- Первый способ часто называется также **модуляцией** или **аналоговой модуляцией**, подчеркивая тот факт, что кодирование осуществляется за счет изменения параметров аналогового сигнала
- Второй способ обычно называют **цифровым кодированием**
- При использовании прямоугольных импульсов спектр результирующего сигнала получается весьма широким. Это не удивительно, если вспомнить, что спектр идеального импульса имеет бесконечную ширину. Применение синусоиды приводит к спектру гораздо меньшей ширины при той же скорости передачи информации. Однако для реализации синусоидальной модуляции требуется более сложная и дорогая аппаратура, чем для реализации прямоугольных импульсов

Методы аналоговой модуляции

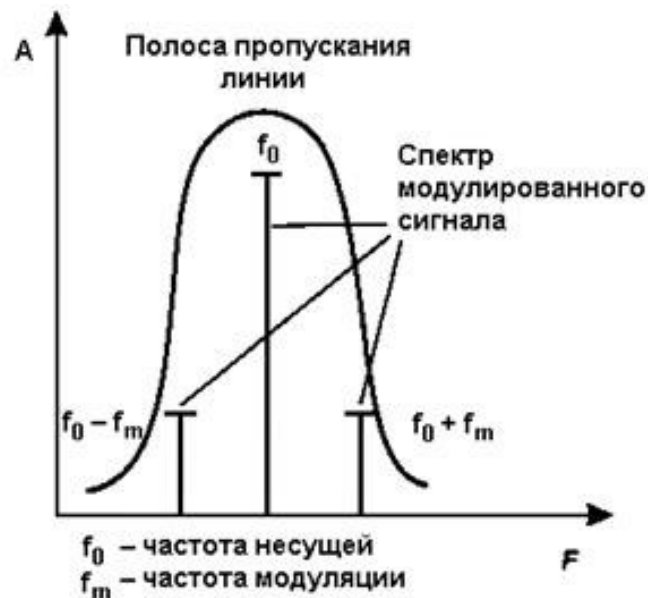


- При амплитудной модуляции для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей частоты, а для логического нуля - другой.
- При частотной модуляции значения 0 и 1 исходных данных передаются синусоидами с различной частотой - f_0 и f_1 . Этот способ модуляции не требует сложных схем в модемах и обычно применяется в низкоскоростных модемах, работающих на скоростях 300 или 1200 бит/с.
- При фазовой модуляции значениям данных 0 и 1 соответствуют сигналы одинаковой частоты, но с различной фазой, например 0 и 180 градусов или 0, 90, 180 и 270 градусов

Зачем нужна модуляция



а



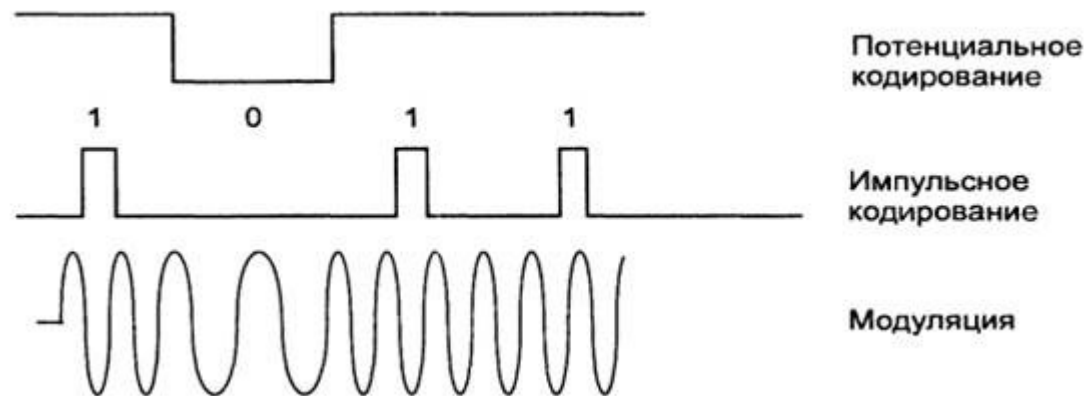
б

а – Спектр сигнала при потенциальном кодировании

б – Спектр сигнала при амплитудной модуляции

Цифровое кодирование

- При цифровом кодировании дискретной информации применяют **потенциальные** и **импульсные** коды
- В **потенциальных кодах** для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала, а его перепады, формирующие законченные импульсы, во внимание не принимаются
- **Импульсные коды** позволяют представить двоичные данные либо импульсами определенной полярности, либо частью импульса - перепадом потенциала определенного направления



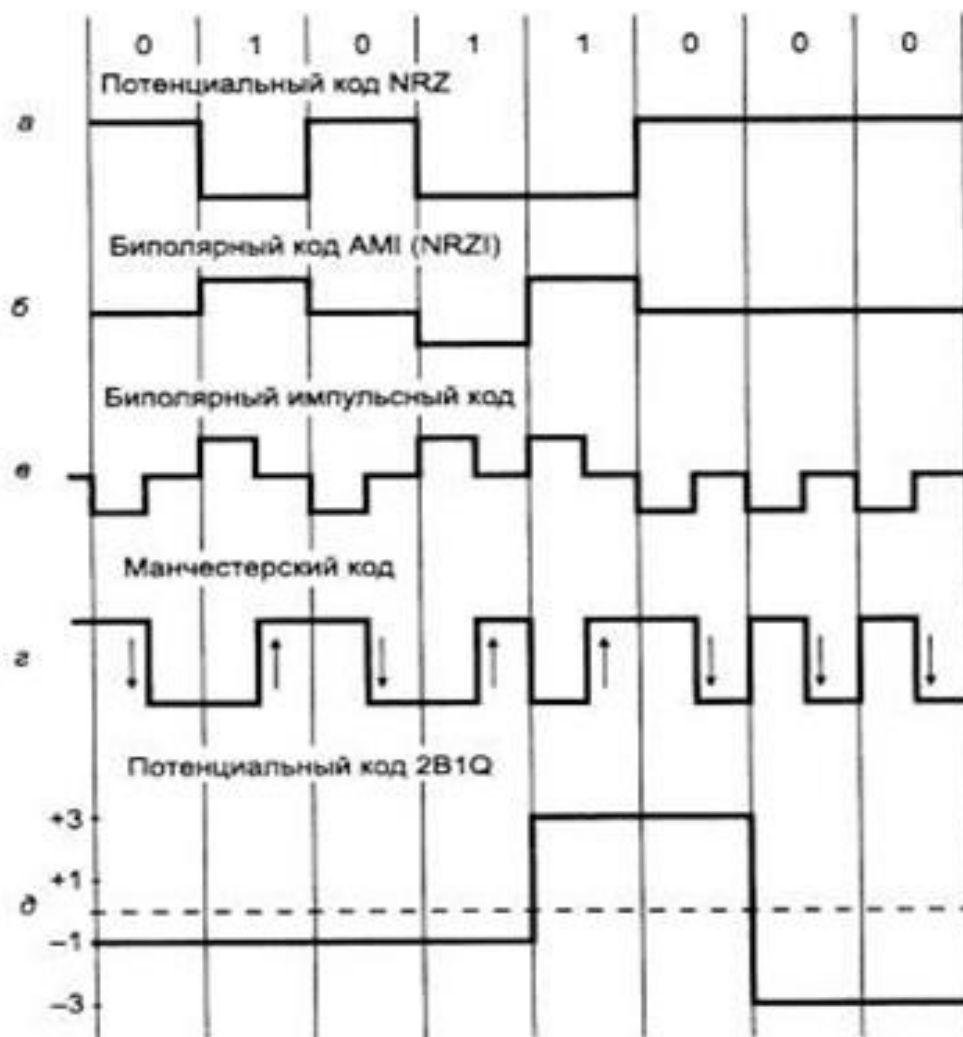


Требования к методам цифрового кодирования

При использовании прямоугольных импульсов для передачи дискретной информации необходимо выбрать такой способ кодирования, который одновременно достигал бы нескольких целей:

- имел при одной и той же битовой скорости наименьшую ширину спектра результирующего сигнала
- обеспечивал синхронизацию между передатчиком и приемником
- обладал способностью распознавать ошибки
- обладал низкой стоимостью реализации

Методы цифрового кодирования



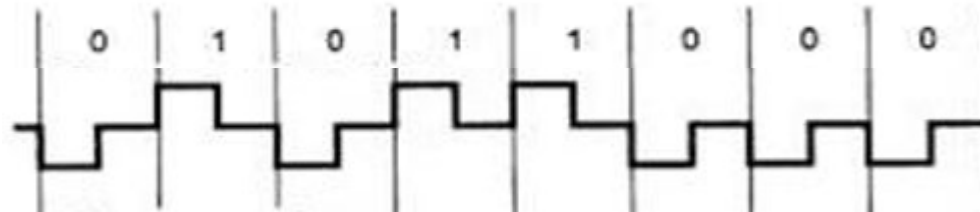
Код NRZ (Non Return to Zero)

- **Метод потенциального кодирования**, называемый также кодированием без возвращения к нулю (Non Return to Zero, NRZ) отражает то обстоятельство, что при передаче последовательности единиц сигнал не возвращается к нулю в течение такта
- При передаче длинной последовательности единиц или нулей сигнал на линии не изменяется, поэтому приемник **лишен возможности определять** по входному сигналу моменты времени, когда нужно в очередной раз считывать данные
- Другим серьезным недостатком метода NRZ является **наличие низкочастотной составляющей**, которая приближается к нулю при передаче длинных последовательностей единиц или нулей. Из-за этого многие каналы связи, не обеспечивающие прямого гальванического соединения между приемником и источником, этот вид кодирования не поддерживают

Биполярный код АМІ

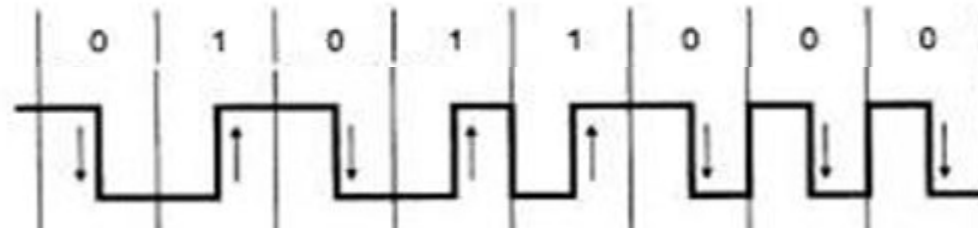
- Одной из модификаций метода NRZ является метод **биполярного кодирования с альтернативной инверсией** (Bipolar Alternate Mark Inversion, АМІ). В этом методе используются три уровня потенциала - отрицательный, нулевой и положительный. Для кодирования логического нуля используется нулевой потенциал, а логическая единица кодируется либо положительным потенциалом, либо отрицательным, при этом потенциал каждой новой единицы противоположен потенциалу предыдущей
- При передаче длинной последовательности нулей сигнал на линии **не изменяется**
- В коде АМІ используются не два, а три уровня сигнала на линии. Дополнительный уровень требует **увеличение мощности передатчика** примерно на 3 дБ для обеспечения той же достоверности приема бит на линии

Биполярный импульсный код



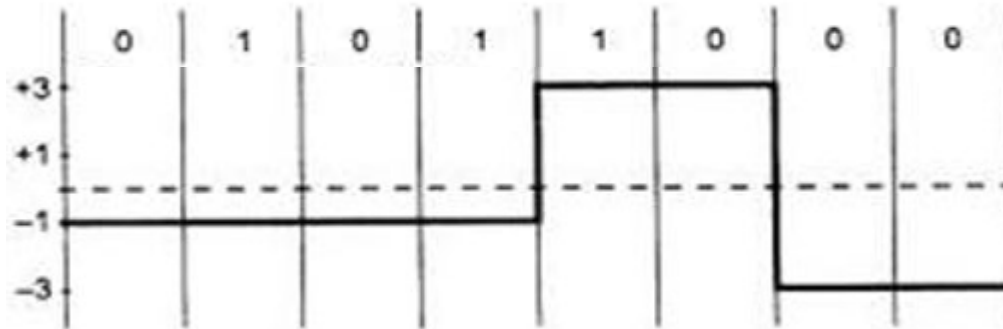
- **Биполярный импульсный код** – это метод импульсного кодирования, в котором единица представлена импульсом одной полярности, а ноль - другой
- Каждый импульс длится половину такта
- Такой код обладает отличными самосинхронизирующими свойствами, но постоянная составляющая, может присутствовать, например, при передаче длинной последовательности единиц или нулей
- Из-за слишком широкого спектра биполярный импульсный код используется редко

Манчестерский код



- В **манчестерском коде** для кодирования единиц и нулей используется перепад потенциала, то есть фронт импульса
- При манчестерском кодировании каждый такт делится на две части
- Информация кодируется перепадами потенциала, происходящими в середине каждого такта. Единица кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, а ноль - обратным перепадом
- В начале каждого такта может происходить служебный перепад сигнала, если нужно представить несколько единиц или нулей подряд

Потенциальный код 2B1Q



- Метод **2B1Q** - потенциальный код с четырьмя уровнями сигнала для кодирования данных
- Каждые два бита (2B) передаются за один такт сигналом, имеющим четыре состояния (1Q)
- При этом способе кодирования требуются дополнительные меры по борьбе с длинными последовательностями одинаковых пар бит, так как при этом сигнал превращается в постоянную составляющую
- С помощью кода 2B1Q можно по одной и той же линии передавать данные в два раза быстрее



Логическое кодирование

- **Логическое кодирование** используется для улучшения потенциальных кодов типа AMI, NRZI или 2Q1B. Логическое кодирование должно заменять длинные последовательности бит, приводящие к постоянному потенциалу, вкраплениями единиц
- Для логического кодирования характерны два метода:
 - **избыточные коды**
 - **скрэмблирование**

Избыточные коды

- **Избыточные коды** основаны на разбиении исходной последовательности бит на порции, которые часто называют символами. Затем каждый исходный символ заменяется на новый, который имеет большее количество бит, чем исходный
- Например, логический код **4B/5B**, используемый в технологиях FDDI и Fast Ethernet, заменяет исходные символы длиной в 4 бита на символы длиной в 5 бит
- В результирующем коде можно отобрать 16 таких комбинаций, которые не содержат большого количества нулей, а остальные считать **запрещенными кодами**
- Кроме устранения постоянной составляющей и придания коду свойства самосинхронизации, избыточные коды позволяют приемнику распознавать **искаженные биты**. Если приемник принимает запрещенный код, значит, на линии произошло искажение сигнала

Избыточные коды

- Таблица соответствия

Исходный код	Результирующий код	Исходный код	Результирующий код
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Символы кода 4В/5В длиной 5 бит гарантируют, что при любом их сочетании на линии не могут встретиться более трех нулей подряд

Скремблирование

- Перемешивание данных **скрэмблером** перед передачей их в линию с помощью потенциального кода является другим способом логического кодирования
- Методы скрэмблирования заключаются в побитном вычислении результирующего кода на основании бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит результирующего кода
- Например, скрэмблер может реализовывать следующее соотношение

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$$

Где B_i - двоичная цифра результирующего кода, полученная на i -м такте работы скрэмблера, A_i - двоичная цифра исходного кода, поступающая на i -м такте на вход скрэмблера, B_{i-3} и B_{i-5} - двоичные цифры результирующего кода, полученные на предыдущих тактах (3 и 5) работы скрэмблера

Скремблирование

Пример:

Исходная последовательность: $A = 110110000001$

1. $B_1 = A_1 = 1$ (предыдущих цифр еще нет)

2. $B_2 = A_2 = 1$

3. $B_3 = A_3 = 0$

4. $B_4 = A_4 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 = 0$

5. $B_5 = A_5 \oplus B_2 = 1 \oplus 1 = 0$

6. $B_6 = A_6 \oplus B_3 \oplus B_1 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$

7. $B_7 = A_7 \oplus B_4 \oplus B_2 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$

8. $B_8 = A_8 \oplus B_5 \oplus B_3 = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$

9. $B_9 = A_9 \oplus B_6 \oplus B_4 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$

10. $B_{10} = A_{10} \oplus B_7 \oplus B_5 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$

11. $B_{11} = A_{11} \oplus B_8 \oplus B_6 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$

12. $B_{12} = A_{12} \oplus B_9 \oplus B_7 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$$

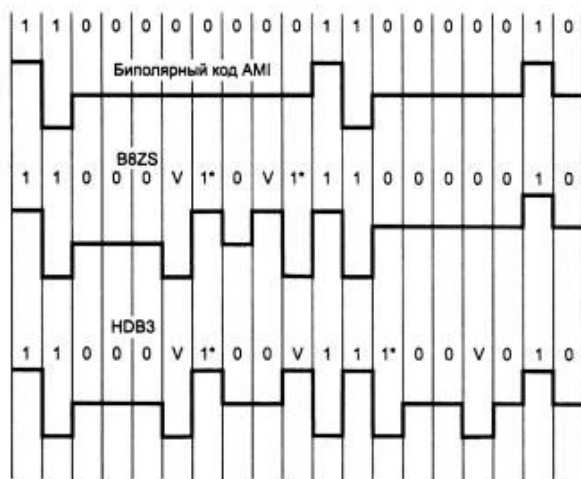
Результирующая последовательность: $B = 110001101111$

Скремблирование

- После получения результирующей последовательности приемник передает ее дескремблеру, который восстанавливает исходную последовательность на основании обратного соотношения:

$$C_i = B_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} = (A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}) \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} = A_i$$

- Различные алгоритмы скремблирования отличаются количеством слагаемых, дающих цифру результирующего кода, и сдвигом между слагаемыми



Показано использование метода B8ZS (Bipolar with 8-Zeros Substitution) и метода HDB3 (High-Density Bipolar 3-Zeros) для корректировки кода AMI. Исходный код состоит из двух длинных последовательностей нулей: в первом случае - из 8, а во втором - из 5

Дискретная модуляция аналоговых сигналов

- Дискретные способы модуляции основаны на дискретизации непрерывных процессов как по амплитуде, так и по времени
- Амплитуда исходной непрерывной функции измеряется с заданным периодом - за счет этого происходит дискретизация по времени. Затем каждый замер представляется в виде двоичного числа определенной разрядности, что означает дискретизацию по значениям функции - непрерывное множество возможных значений амплитуды заменяется дискретным множеством ее значений.



Устройство, которое выполняет подобную функцию, называется **аналого-цифровым преобразователем (АЦП)**