

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна»

**Филиал «Протвино»
Кафедра информационных
технологий**

**Модуляция.
Физическое кодирование.**

Старший преподаватель
Ковцова Ирина Олеговна

Введение

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*. Эти способы отличаются шириной спектра результирующего сигнала и сложностью аппаратуры, необходимой для их реализации.

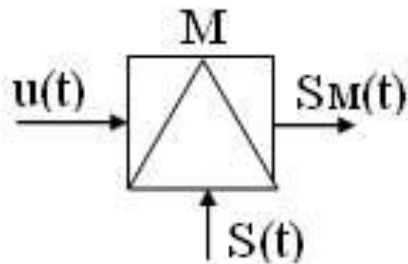
Модуляция – процесс изменения одного или нескольких параметров сигнала, переносящего информацию, в зависимости от параметров первичного сигнала источника сообщения.

Модуляция

- **Модуляция** (лат. *modulatio* — *размеренность, ритмичность*) — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения).
- Передаваемая информация заложена в управляющем (модулирующем) сигнале, а роль переносчика информации выполняет высокочастотное колебание, называемое несущим. Модуляция, таким образом, представляет собой процесс «посадки» информационного колебания на заведомо известную несущую.
- **В результате модуляции спектр низкочастотного управляющего сигнала переносится в область высоких частот. Это позволяет при организации вещания настроить функционирование всех приёмопередающих устройств на разных частотах с тем, чтобы они «не мешали» друг другу.**
- В качестве несущего могут быть использованы колебания различной формы (прямоугольные, треугольные и т. д.), однако чаще всего применяются гармонические колебания (колебания, при которых физическая величина изменяется с течением времени по синусоидальному или косинусоидальному закону.). В зависимости от того, какой из параметров несущего колебания изменяется, различают вид модуляции (амплитудная, частотная, фазовая и др.). Модуляция дискретным сигналом называется цифровой модуляцией или манипуляцией.

Модуляция

- Использование модуляции позволяет:
 - согласовать параметры сигнала с параметрами линии;
 - повысить помехоустойчивость сигналов;
 - увеличить дальность передачи сигналов;
 - организовать многоканальные системы передачи.
- Модуляция осуществляется в устройствах *модуляторах*.
Условное графическое обозначение модулятора имеет вид:



При модуляции на вход модулятора подаются сигналы:

$u(t)$ — *модулирующий*, данный сигнал является информационным и низкочастотным (его частоту обозначают W или F);

$S(t)$ — *модулируемый (несущий)*, данный сигнал является неинформационным и высокочастотным (его частота обозначается w_0 или f_0);

$S_M(t)$ — *модулированный сигнал*, данный сигнал является информационным и высокочастотным.

Модуляция

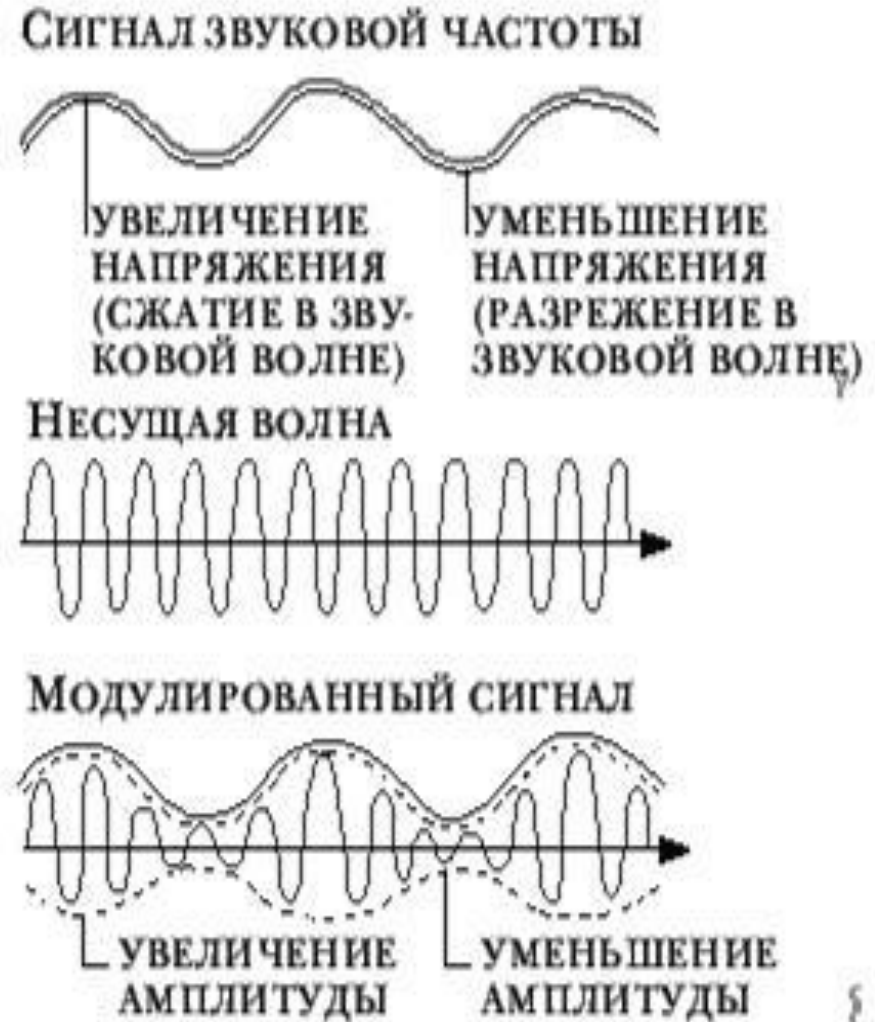
- В качестве несущего сигнала может использоваться:
 - гармоническое колебание, при этом модуляция называется *аналоговой* или *непрерывной*;
 - периодическая последовательность импульсов, при этом модуляция называется *импульсной*;
 - постоянный ток, при этом модуляция называется *шумоподобной*.
- Так как в процессе модуляции изменяются информационные параметры несущего колебания, то название вида модуляции зависит от изменяемого параметра этого колебания.
- 1. Виды аналоговой модуляции:
 - *амплитудная модуляция (АМ)*, происходит изменение амплитуды несущего колебания;
 - *частотная модуляция (ЧМ)*, происходит изменение частоты несущего колебания;
 - *фазовая модуляция (ФМ)*, происходит изменение фазы несущего колебания.

Амплитуда

- Амплитуда – это максимальное отклонение напряжения сигнала от нулевого порога в область положительных или отрицательных значений.
- Представляет собой пределы, в которых изменяется сигнал.
- Амплитуда обычно измеряется в Вольтах (В).
- Если амплитуда будет слишком большой, то проводник может перегреться и выйти из строя.
- При недостаточном напряжении сигнал будет затухать в проводнике слишком быстро и не достигать получателя.

Методы аналоговой модуляции

- При **амплитудной модуляции** для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей частоты, а для логического нуля - другой. Этот способ редко используется в чистом виде на практике из-за низкой помехоустойчивости, но часто применяется в сочетании с другим видом модуляции - фазовой модуляцией.



Частота

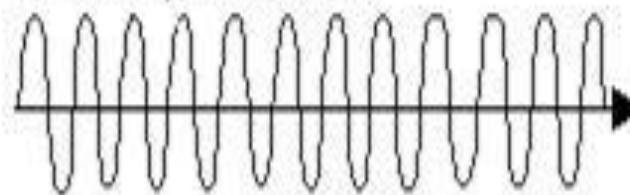
- Частота – это количество колебаний сигнала в единицу времени.
- Для стандартизации принято в качестве единицы времени используется одна секунда.
- Единицей измерения частоты служит Герц (Гц).
- Один Герц соответствует одному колебанию сигнала в секунду.
- Если, например, говорят о 100 Гц, то подразумевают, что сигнал совершил 100 последовательных переходов из максимального в минимальное значение и в обратном направлении.
- Величиной обратной частоте является период, который показывает задержку времени между соседними значениями сигнала равной величины (например, максимальными значениями).

- 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.

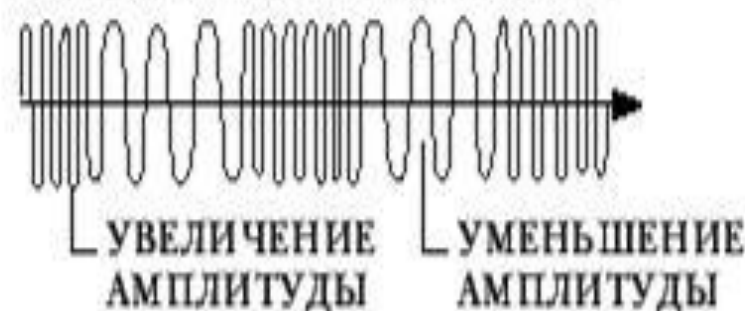
СИГНАЛ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ



НЕСУЩАЯ ВОЛНА



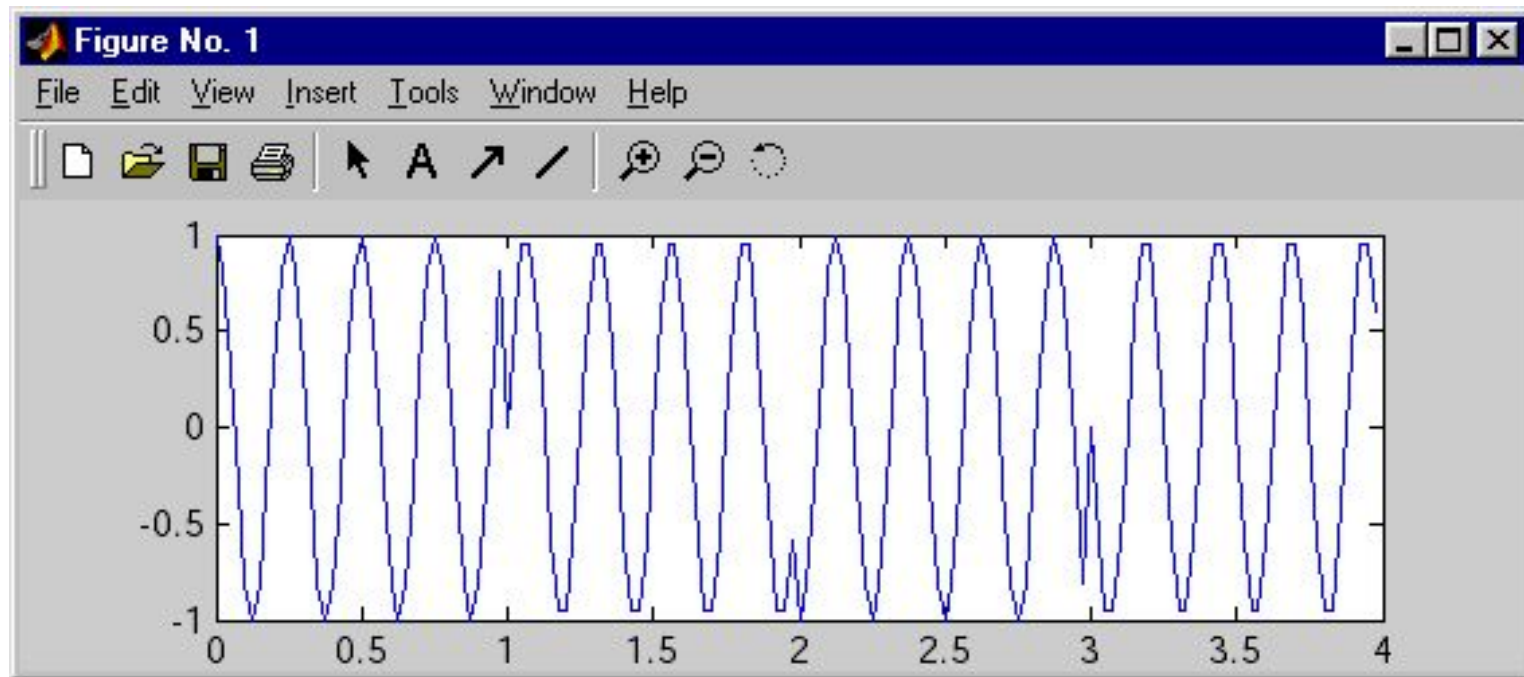
МОДУЛИРОВАННЫЙ СИГНАЛ



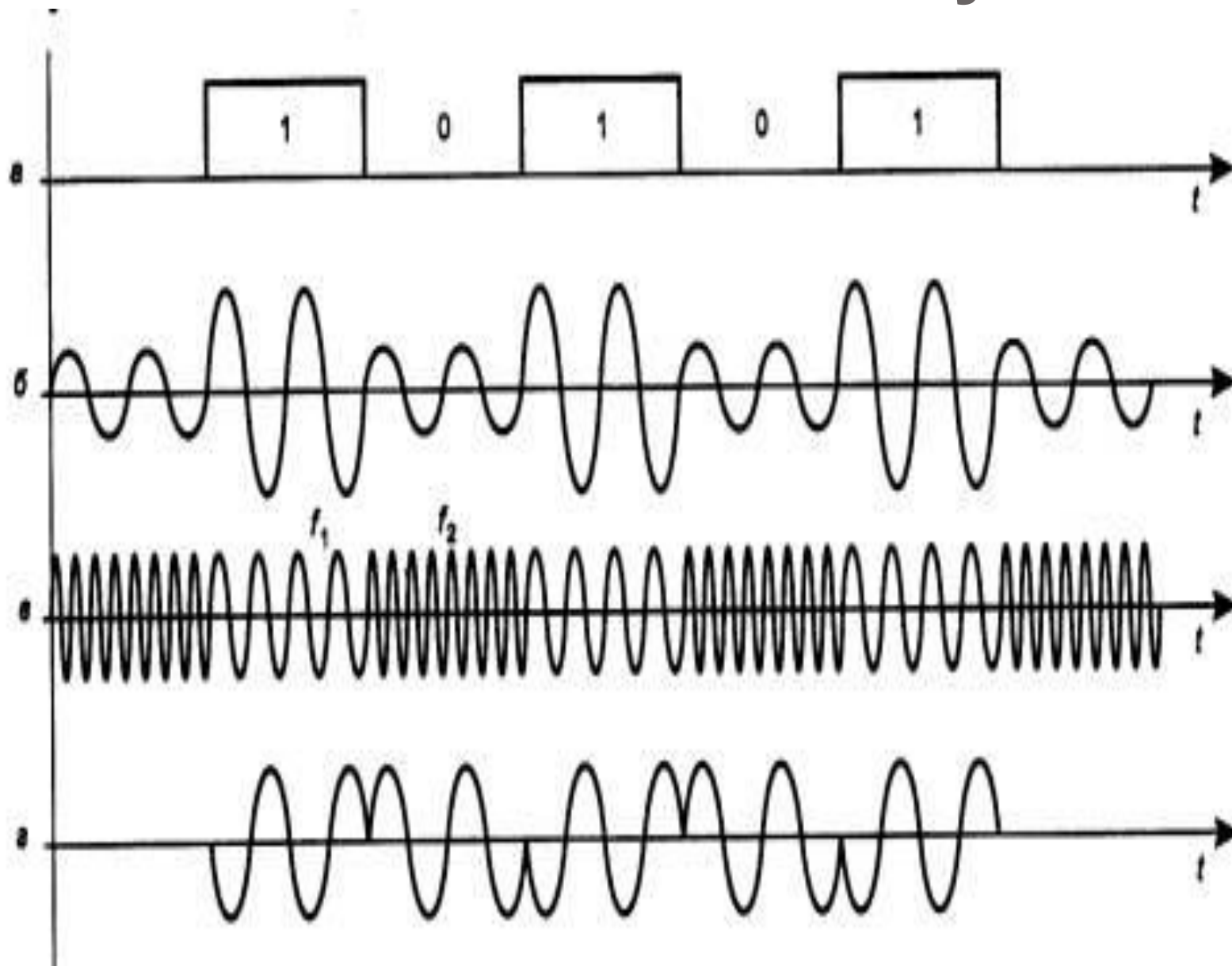
Фаза

- Фаза показывает, из какого первоначального значения начинает изменяться синусоида. Фаза измеряется в градусах или радианах. Если речь идет о градусах, то значение фазы может быть в пределах от 0 до 360. Фаза 0 градусов означает, что сигнал начинает изменяться от 0В к максимальному значению, 90 градусов – от максимального значения к минимальному, 180 градусов – от 0В к минимальному значению, а 270 – от минимального к максимальному. Исходя из этого не сложно представить себе другие промежуточные значения фазы.

- 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



Методы аналоговой модуляции



Аналоговая модуляция

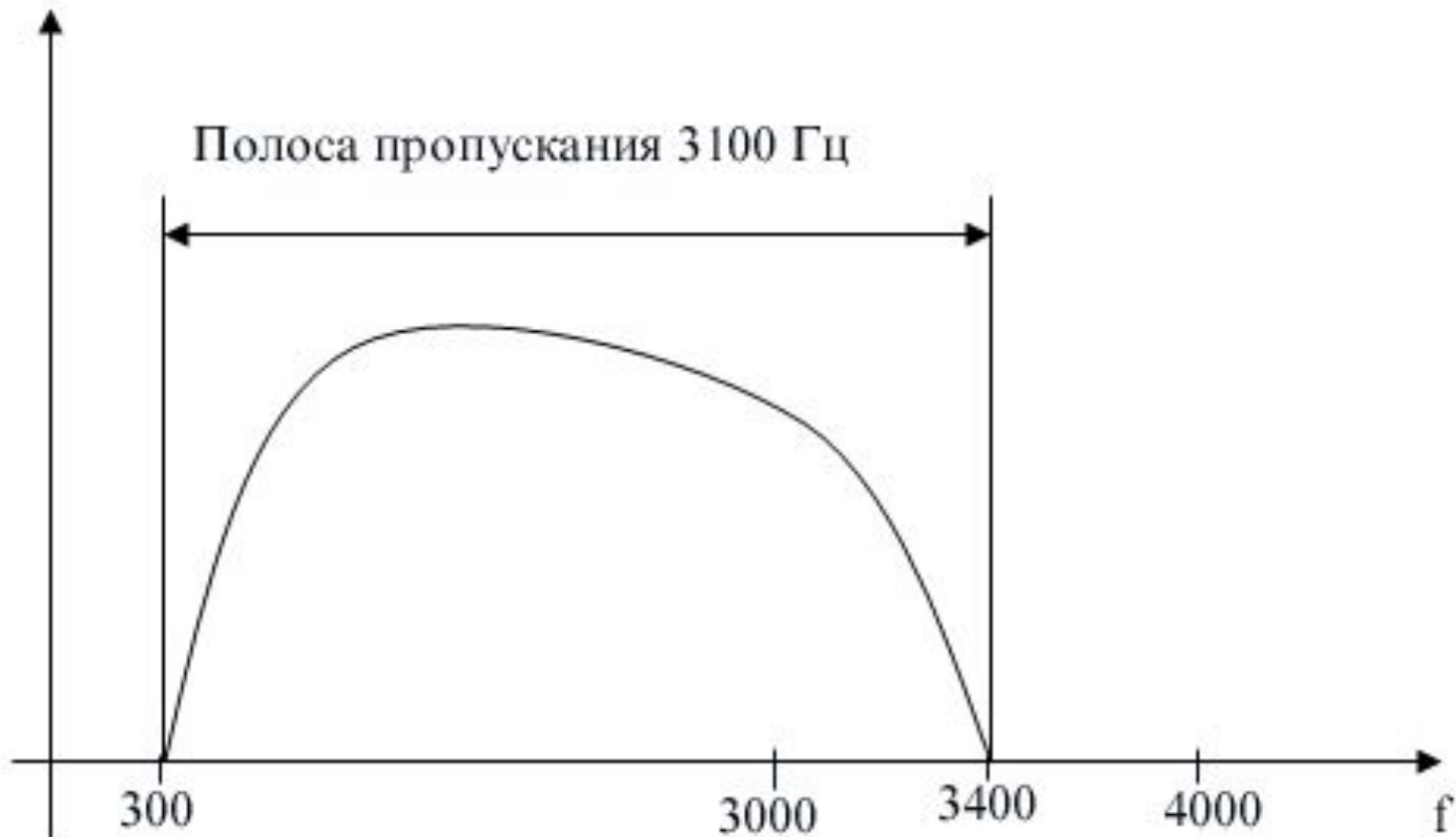
Аналоговая модуляция применяется для передачи дискретных данных по каналам с узкой полосой частот, типичным представителем которых является канал тональной частоты, предоставляемый в распоряжение пользователям общественных телефонных сетей.

Канал тональной частоты (*voice frequency circuit*) — это совокупность технических средств и среды распространения, обеспечивающая передачу электрических сигналов связи в эффективно передаваемой полосе частот (ЭППЧ) 0,3 — 3,4 кГц.

Т.е. этот канал передает частоты в диапазоне от 300 до 3400 Гц, таким образом, его полоса пропускания равна 3100 Гц. Хотя человеческий голос имеет гораздо более широкий спектр — примерно от 100 Гц до 10 кГц, — для приемлемого качества передачи речи диапазон в 3100 Гц является хорошим решением. Строгое ограничение полосы пропускания тонального канала связано с использованием аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях.

Устройство, которое выполняет функции модуляции несущей синусоиды на передающей стороне и демодуляции на приемной стороне, носит название *модем* (*модулятор-демодулятор*).

Аналоговая модуляция



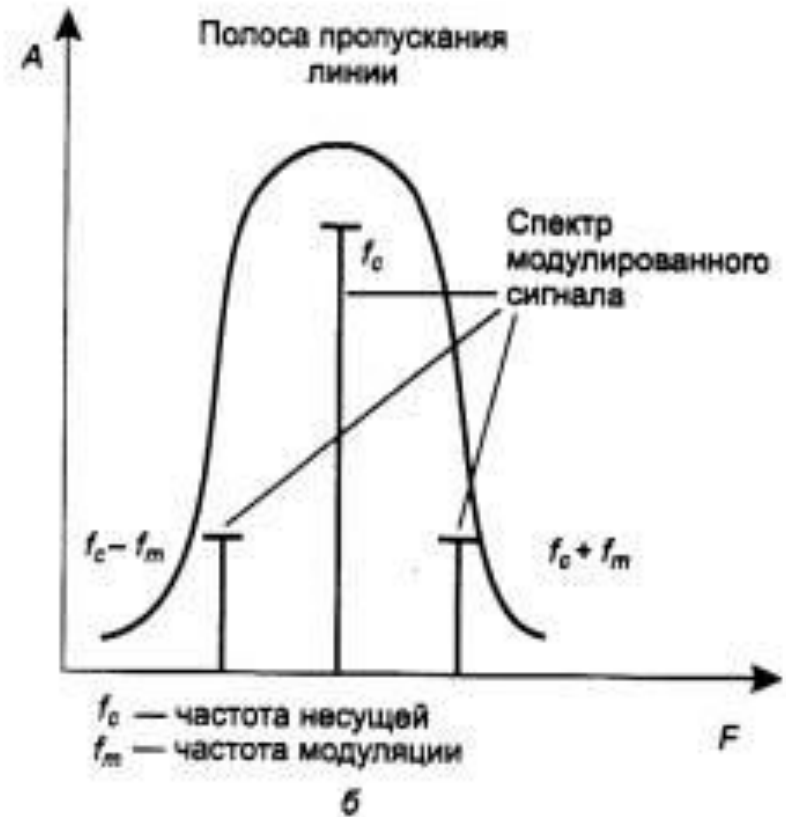
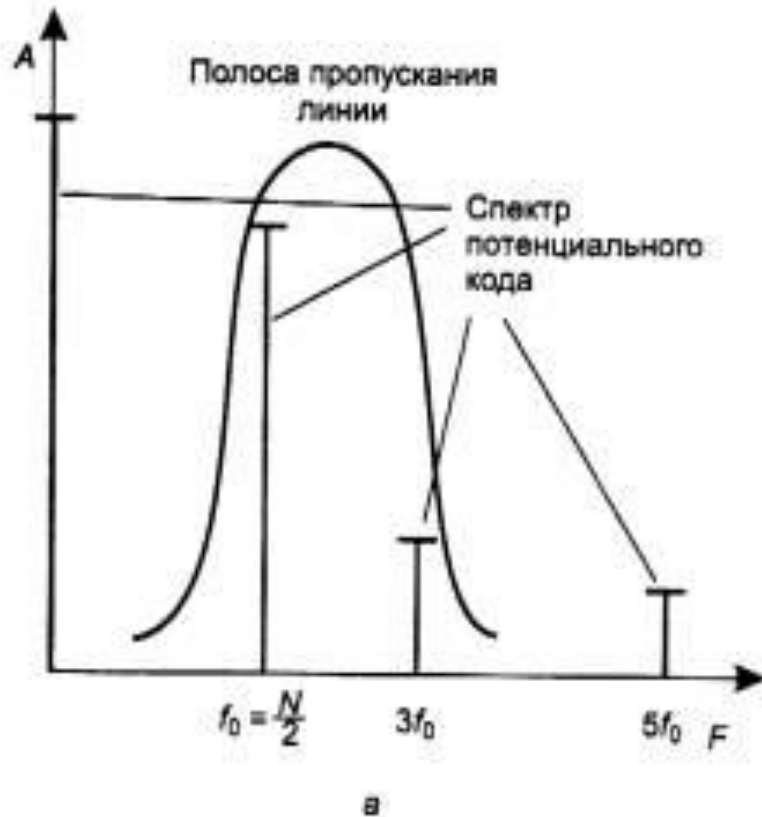
Спектр модулированного сигнала

Спектр результирующего модулированного сигнала зависит от типа модуляции и скорости модуляции, то есть желаемой скорости передачи бит исходной информации. В спектре сигнала при потенциальном кодировании логическая 1 кодируется положительным потенциалом, а логический 0 — отрицательным потенциалом такой же величины. Для упрощения вычислений предположим, что передается информация, состоящая из бесконечной последовательности чередующихся единиц и нулей.

Спектр сигнала при потенциальном кодировании

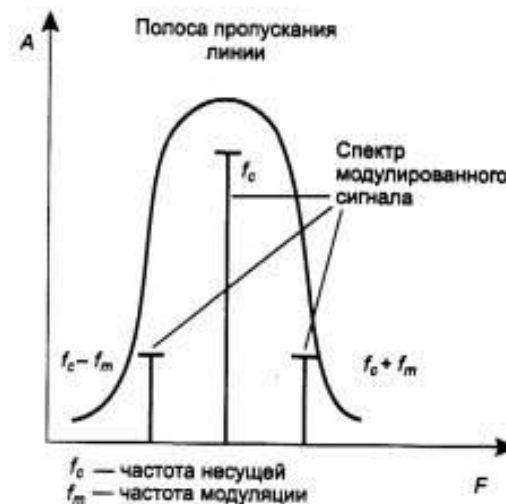
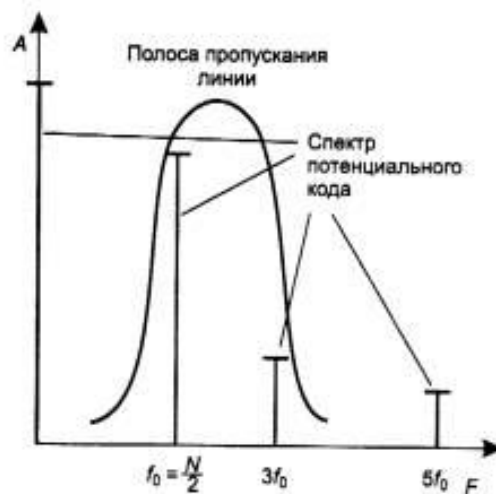
- Для потенциального кодирования спектр непосредственно получается из формул Фурье для периодической функции.
- Если дискретные данные передаются с битовой скоростью N бит/с, то спектр состоит из постоянной составляющей нулевой частоты и бесконечного ряда гармоник с частотами $f_0, 3f_0, 5f_0, 7f_0, \dots$, где $f_0 = N/2$.
- Амплитуды этих гармоник убывают достаточно медленно - с коэффициентами $1/3, 1/5, 1/7, \dots$ от амплитуды гармоники f_0 .
- В результате спектр потенциального кода требует для качественной передачи широкую полосу пропускания.
- Кроме того, нужно учесть, что реально спектр сигнала постоянно меняется в зависимости от того, какие данные передаются по линии связи.
- Например, передача длинной последовательности нулей или единиц сдвигает спектр в сторону низких частот, а в крайнем случае, когда передаваемые данные состоят только из единиц (или только из нулей), спектр состоит из гармоники нулевой частоты.
- При передаче чередующихся единиц и нулей постоянная составляющая отсутствует. Поэтому спектр результирующего сигнала потенциального кода при передаче произвольных данных занимает полосу от некоторой величины, близкой к 0 Гц, до примерно $7f_0$ (гармониками с частотами выше $7f_0$ можно пренебречь из-за их малого вклада в результирующий сигнал).
- Для канала тональной частоты верхняя граница при потенциальном кодировании достигается для скорости передачи данных в 971 бит/с, а нижняя неприемлема для любых скоростей, так как полоса пропускания канала начинается с 300 Гц. В результате потенциальные коды на каналах тональной частоты никогда не используются.

Спектры сигналов при потенциальном кодировании(а) и амплитудной модуляции(б).

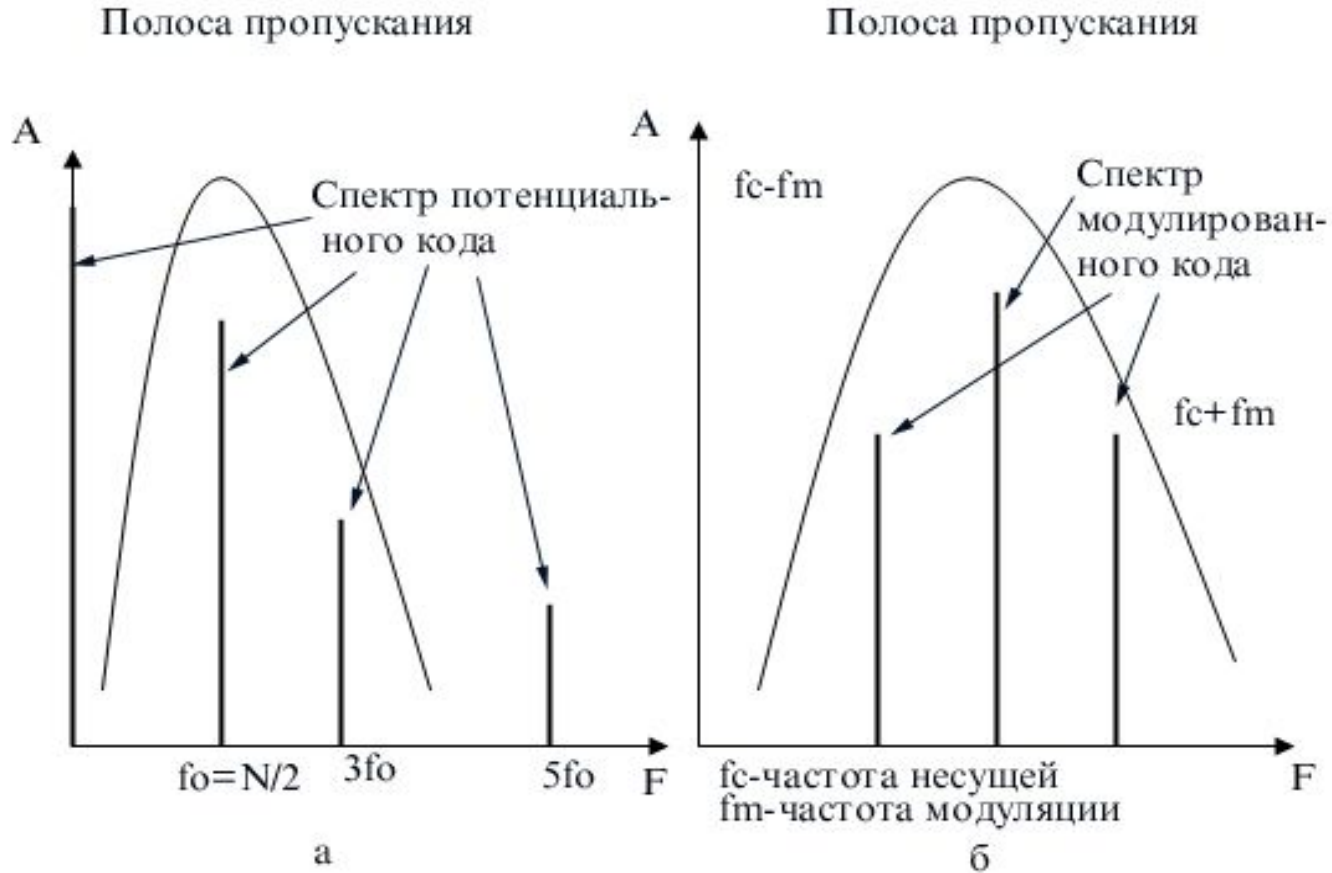


Спектр сигнала при амплитудной модуляции

- При амплитудной модуляции спектр состоит из синусоиды несущей частоты f_c и двух боковых гармоник: $(f_c + f_m)$ и $(f_c - f_m)$, где f_m - частота изменения информационного параметра синусоиды, которая совпадает со скоростью передачи данных при использовании двух уровней амплитуды. Частота f_m определяет пропускную способность линии при данном способе кодирования.
- При небольшой частоте модуляции ширина спектра сигнала будет также небольшой (равной $2f_m$), поэтому сигналы не будут искажаться линией, если ее полоса пропускания будет больше или равна $2f_m$.
- Для канала тональной частоты такой способ модуляции приемлем при скорости передачи данных не больше $3100/2=1550$ бит/с. Если же для представления данных используются 4 уровня амплитуды, то пропускная способность канала повышается до 3100 бит/с.



Аналоговая модуляция



Аналоговая модуляция

При фазовой и частотной модуляции спектр сигнала получается более сложным, чем при амплитудной модуляции, так как боковых гармоник здесь образуется более двух, но они также симметрично расположены относительно основной несущей частоты, а их амплитуды быстро убывают. Поэтому эти виды модуляции также хорошо подходят для передачи данных по каналу тональной частоты.

Для повышения скорости передачи данных используют комбинированные методы модуляции. Наиболее распространенными являются методы **квадратурной амплитудной модуляции** (*Quadrature Amplitude Modulation, Q4.M*). Эти методы основаны на сочетании фазовой модуляции с 8 значениями величин сдвига фазы и амплитудной модуляции с 4 уровнями амплитуды.

Физическое кодирование

- Самым нижним уровнем в иерархии кодирования является физическое кодирование, которое определяет число дискретных уровней сигнала (амплитуды напряжения, амплитуды тока, амплитуды яркости).
- Физическое кодирование рассматривает кодирование только на самом низшем уровне иерархии кодирования — на физическом уровне и не рассматривает более высокие уровни в иерархии кодирования, к которым относятся логические кодирования различных уровней.
- С точки зрения физического кодирования цифровой сигнал может иметь два, три, четыре, пять и т. д. уровней амплитуды напряжения, амплитуды тока, амплитуды света.
- Ни в одной из версий технологии Ethernet не применяется прямое двоичное кодирование бита 0 напряжением 0 вольт и бита 1 — напряжением +5 вольт, так как такой способ приводит к неоднозначности.
- Если одна станция посылает битовую строку 00010000, то другая станция может интерпретировать её либо как 10000, либо как 01000, так как она не может отличить «отсутствие сигнала» от бита 0.
- Поэтому принимающей машине необходим способ однозначного определения начала, конца и середины каждого бита без помощи внешнего таймера. Кодирование сигнала на физическом уровне позволяет приемнику синхронизироваться с передатчиком по смене напряжения в середине периода битов.

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.

манипуляция)

- 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.

Синхронизация передатчика и приемника

- Синхронизация передатчика и приемника нужна для того, чтобы приемник точно знал, в какой момент времени необходимо считывать новую информацию с линии связи.
- Эта проблема в сетях решается сложнее, чем при обмене данными между близко расположенными устройствами, например между блоками внутри компьютера или же между компьютером и принтером.
- На небольших расстояниях хорошо работает схема, основанная на отдельной тактирующей линии связи, так что информация снимается с линии данных только в момент прихода тактового импульса.
- В сетях использование этой схемы вызывает трудности из-за неоднородности характеристик проводников в кабелях. На больших расстояниях неравномерность скорости распространения сигнала может привести к тому, что тактовый импульс придет настолько позже или раньше соответствующего сигнала данных, что бит данных будет пропущен или считан повторно. Другой причиной, по которой в сетях отказываются от использования тактирующих импульсов, является экономия проводников в дорогостоящих кабелях.

Цифровое кодирование

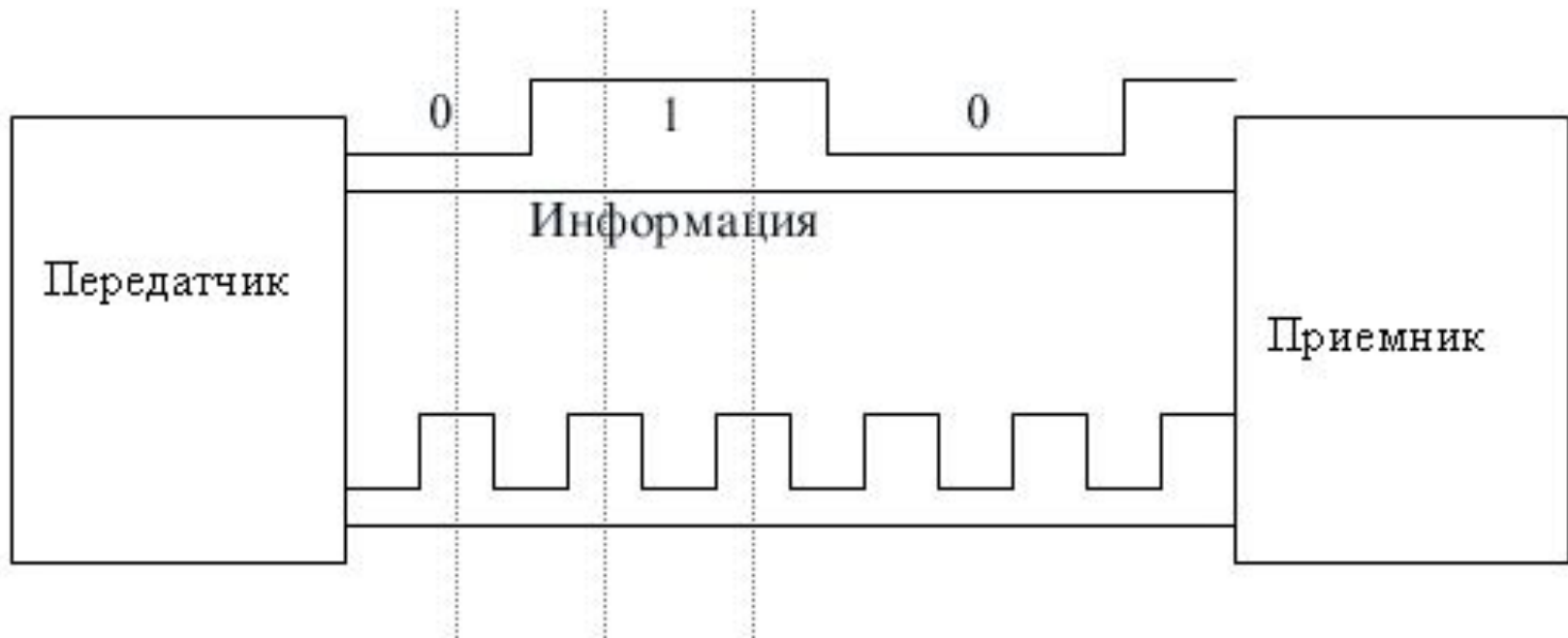


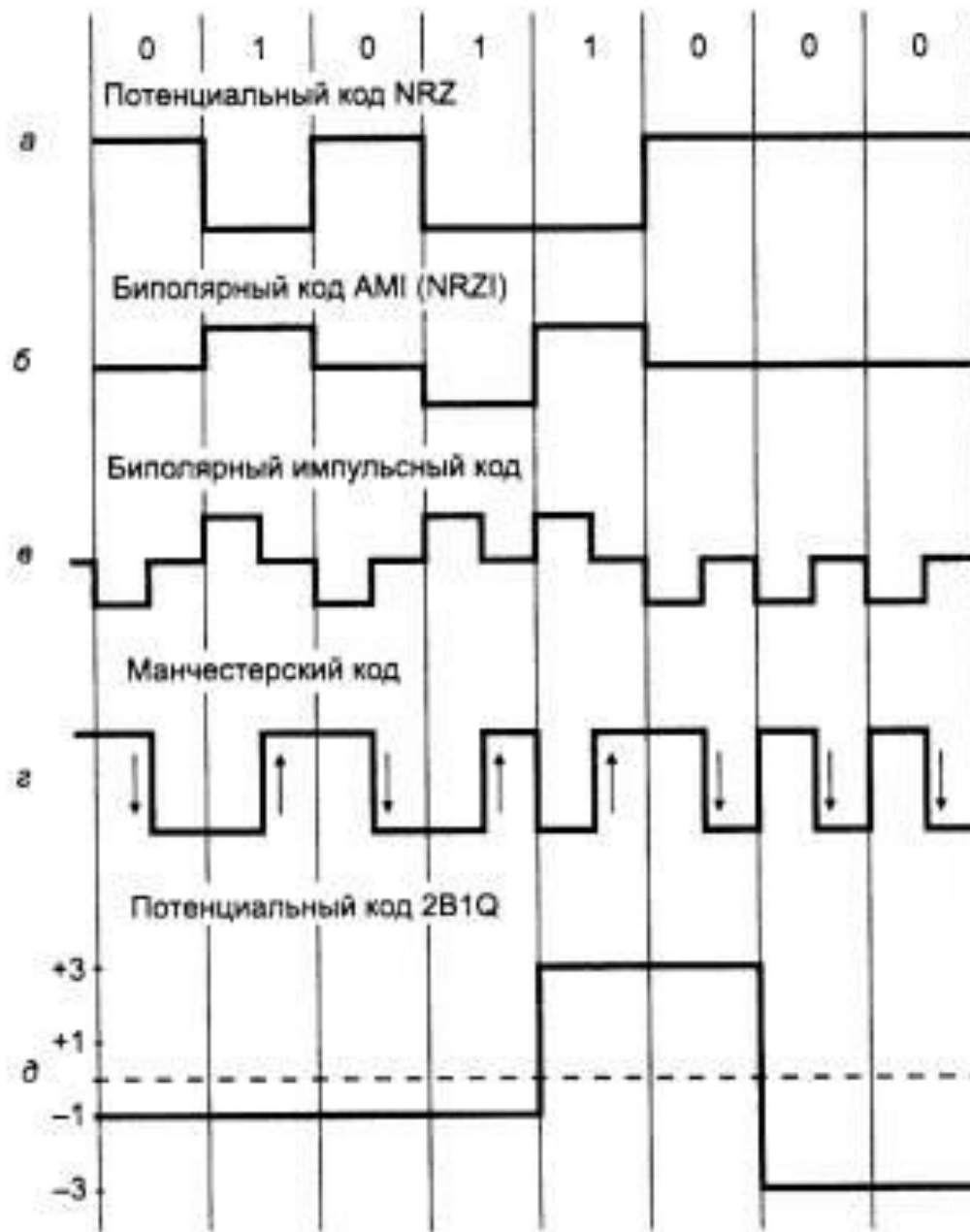
Рис. Синхронизация приемника и передатчика на небольших расстояниях

Цифровое кодирование

- Поэтому в сетях применяются так называемые **самосинхронизирующиеся коды**, сигналы которых несут для передатчика указания о том, в какой момент времени нужно осуществлять распознавание очередного бита (или нескольких бит, если код ориентирован более чем на два состояния сигнала). Любой резкий перепад сигнала - так называемый фронт - может служить хорошим указанием для синхронизации приемника с передатчиком.
- При использовании синусоид в качестве несущего сигнала результирующий код обладает свойством самосинхронизации, так как изменение амплитуды несущей частоты дает возможность приемнику определить момент появления входного кода.
- Распознавание и коррекцию искаженных данных сложно осуществить средствами физического уровня, поэтому чаще всего эту работу берут на себя протоколы, лежащие выше: канальный, сетевой, транспортный или прикладной. С другой стороны, распознавание ошибок на физическом уровне экономит время, так как приемник не ждет полного помещения кадра в буфер, а отбраковывает его сразу при распознавании ошибочных бит внутри кадра.

нулю

- Требования, предъявляемые к методам кодирования, являются взаимно противоречивыми, поэтому каждый из рассматриваемых ниже популярных методов цифрового кодирования обладает своими преимуществами и своими недостатками по сравнению с другими.
- **Кодирование без возвращения к нулю (Non Return to Zero, NRZ).**
- При передаче последовательности единиц сигнал не возвращается к нулю в течение такта (в других методах кодирования возврат к нулю в этом случае происходит).
- Метод NRZ прост в реализации, обладает хорошей распознаваемостью ошибок (из-за двух резко отличающихся потенциалов), но не обладает свойством самосинхронизации.
- 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. Даже при наличии высокоточного тактового генератора приемник может ошибиться с моментом съема данных, так как частоты двух генераторов никогда не бывают полностью идентичными. Поэтому при высоких скоростях обмена данными и длинных последовательностях единиц или нулей небольшое рассогласование тактовых частот может привести к ошибке в целый такт и, соответственно, считыванию некорректного значения бита.



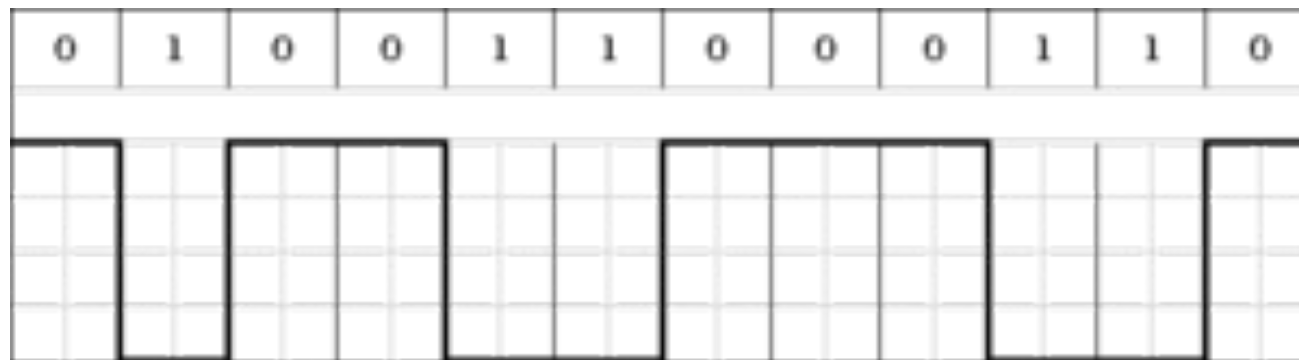
Способы дискретного кодирования данных.

NRZ

- Для передачи единиц и нулей используются два устойчиво различаемых потенциала:

NRZ (прямой):

- биты 0 представляются нулевым напряжением 0 (В);
- биты 1 представляются значением U (В).
- NRZ (перевёрнутый):
 - биты 0 представляются значением U (В);
 - биты 1 представляются нулевым напряжением 0 (В).

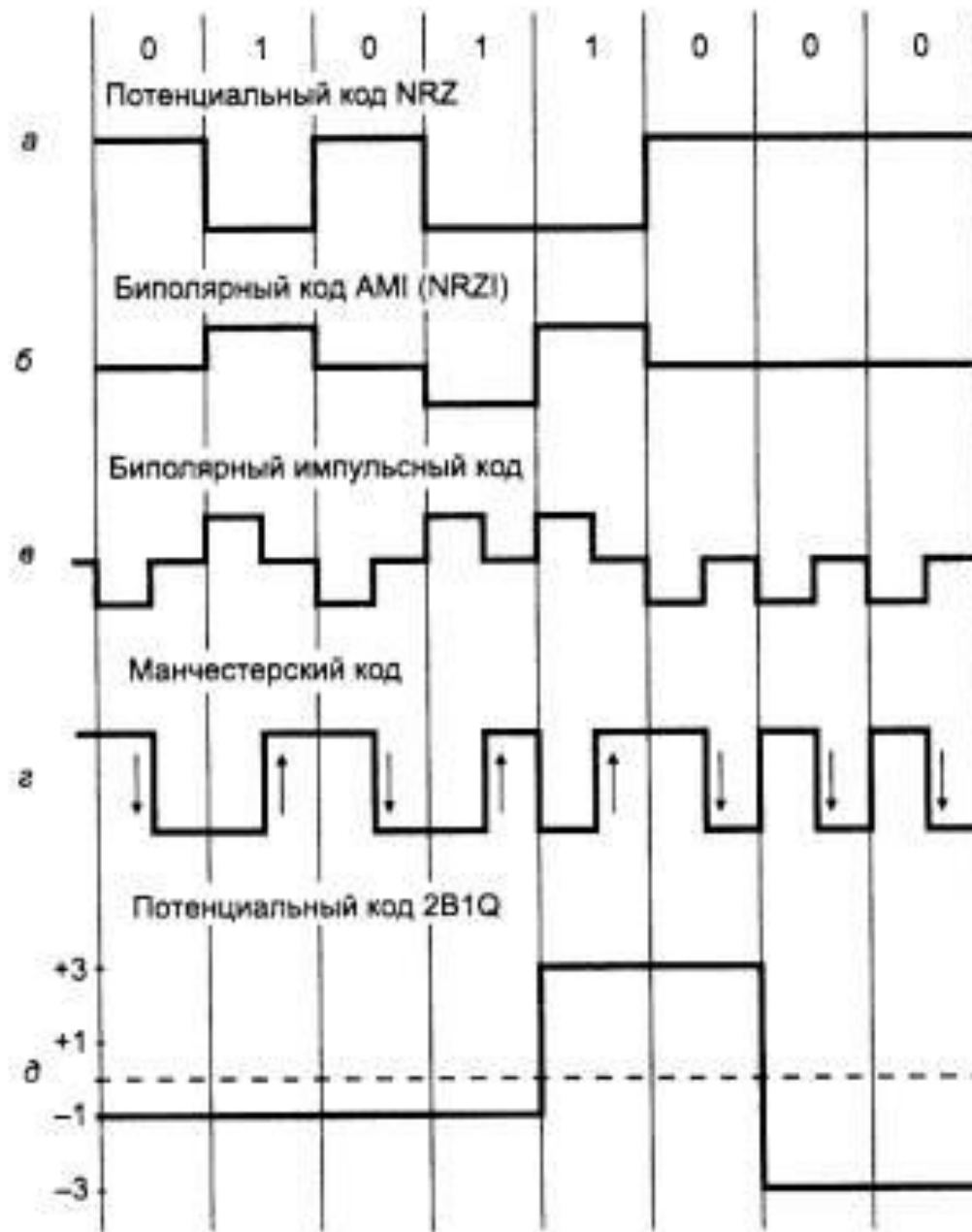


NRZ

- 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.
- В результате в чистом виде код NRZ в сетях не используется. Тем не менее используются его различные модификации, в которых устраняют как плохую самосинхронизацию кода NRZ, так и наличие постоянной составляющей.
- Привлекательность кода NRZ, из-за которой имеет смысл заняться его улучшением, **состоит в достаточно низкой частоте основной гармоники f_0** , которая равна $N/2$ Гц,
- где N - битовая скорость передачи данных

Метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией

- Одной из модификаций метода NRZ является метод **биполярного кодирования с альтернативной инверсией (Bipolar Alternate Mark Inversion, AMI)**.
- 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.
- Код AMI частично ликвидирует проблемы постоянной составляющей и отсутствия самосинхронизации, присущие коду NRZ. Это происходит при передаче длинных последовательностей единиц. В этих случаях сигнал на линии представляет собой последовательность разнополярных импульсов с тем же спектром, что и у кода NRZ, передающего чередующиеся нули и единицы, то есть без постоянной составляющей и с основной гармоникой $N/2$ Гц (где N - битовая скорость передачи данных).
- Длинные же последовательности нулей также опасны для кода AMI, как и для кода NRZ - сигнал вырождается в постоянный потенциал нулевой амплитуды. Поэтому код AMI требует дальнейшего улучшения, хотя задача упрощается - осталось справиться только с последовательностями нулей.



Способы дискретного кодирования данных.

Метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией

- В целом, для различных комбинаций бит на линии использование кода АМІ приводит к более узкому спектру сигнала, чем для кода NRZ, а значит, и к более высокой пропускной способности линии. Например, при передаче чередующихся единиц и нулей основная гармоника f_0 имеет частоту $N/4$ Гц.
- Код АМІ предоставляет также некоторые возможности по распознаванию ошибочных сигналов. Так, нарушение строгого чередования полярности сигналов говорит о ложном импульсе или исчезновении с линии корректного импульса. Сигнал с некорректной полярностью называется запрещенным сигналом (signal violation).
- 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, что является общим недостатком кодов с несколькими состояниями сигнала по сравнению с кодами, которые различают только два состояния.

Потенциальный код с инверсией при единице

- Существует код, похожий на АМІ, но только с двумя уровнями сигнала.

- При передаче нуля он передает потенциал, который был установлен в предыдущем такте (то есть не меняет его), а при передаче единицы потенциал инвертируется на противоположный.

- Этот код называется **потенциальным кодом с инверсией при единице (Non Return to Zero with ones Inverted, NRZI)**.

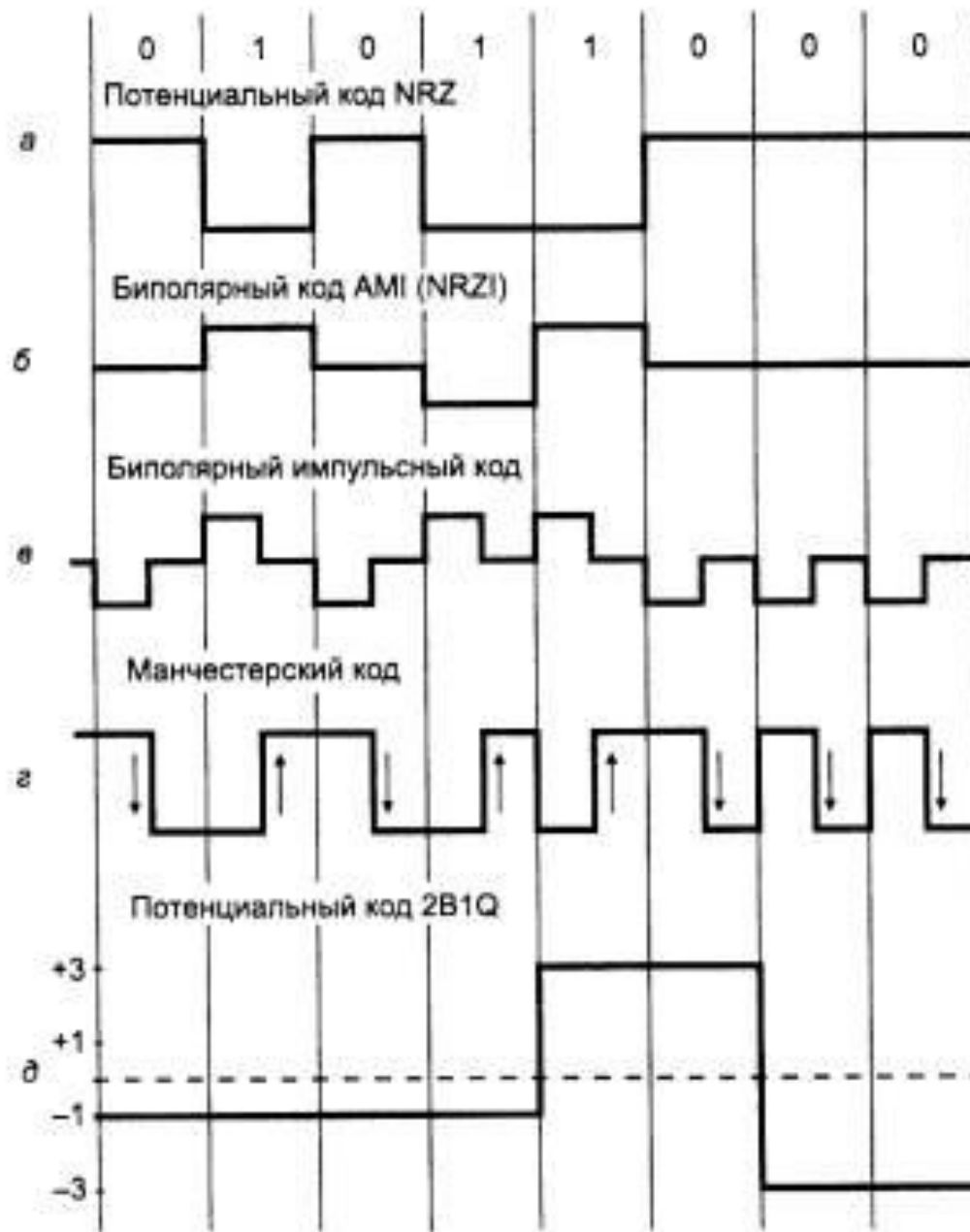
- Этот код удобен в тех случаях, когда использование третьего уровня сигнала весьма нежелательно, например в оптических кабелях, где устойчиво распознаются два состояния сигнала - свет и темнота.

Улучшение потенциальных кодов

- Для улучшения потенциальных кодов, подобных AMI и NRZI, используются два метода.
- Первый метод основан на добавлении в исходный код избыточных бит, содержащих логические единицы. Очевидно, что в этом случае длинные последовательности нулей прерываются и код становится самосинхронизирующимся для любых передаваемых данных. Исчезает также постоянная составляющая, а значит, еще более сужается спектр сигнала. Но этот метод снижает полезную пропускную способность линии, так как избыточные единицы пользовательской информации не несут.
- Другой метод основан на предварительном «перемешивании» исходной информации таким образом, чтобы вероятность появления единиц и нулей на линии становилась близкой. Устройства, или блоки, выполняющие такую операцию, называются **трамблерами** (scramble - свалка, беспорядочная сборка). При скремблировании используется известный алгоритм, поэтому приемник, получив двоичные данные, передает их на **дескранблер**, который восстанавливает исходную последовательность бит. Избыточные биты при этом по линии не передаются. Оба метода относятся к логическому, а не физическому кодированию, так как форму сигналов на линии они не определяют.

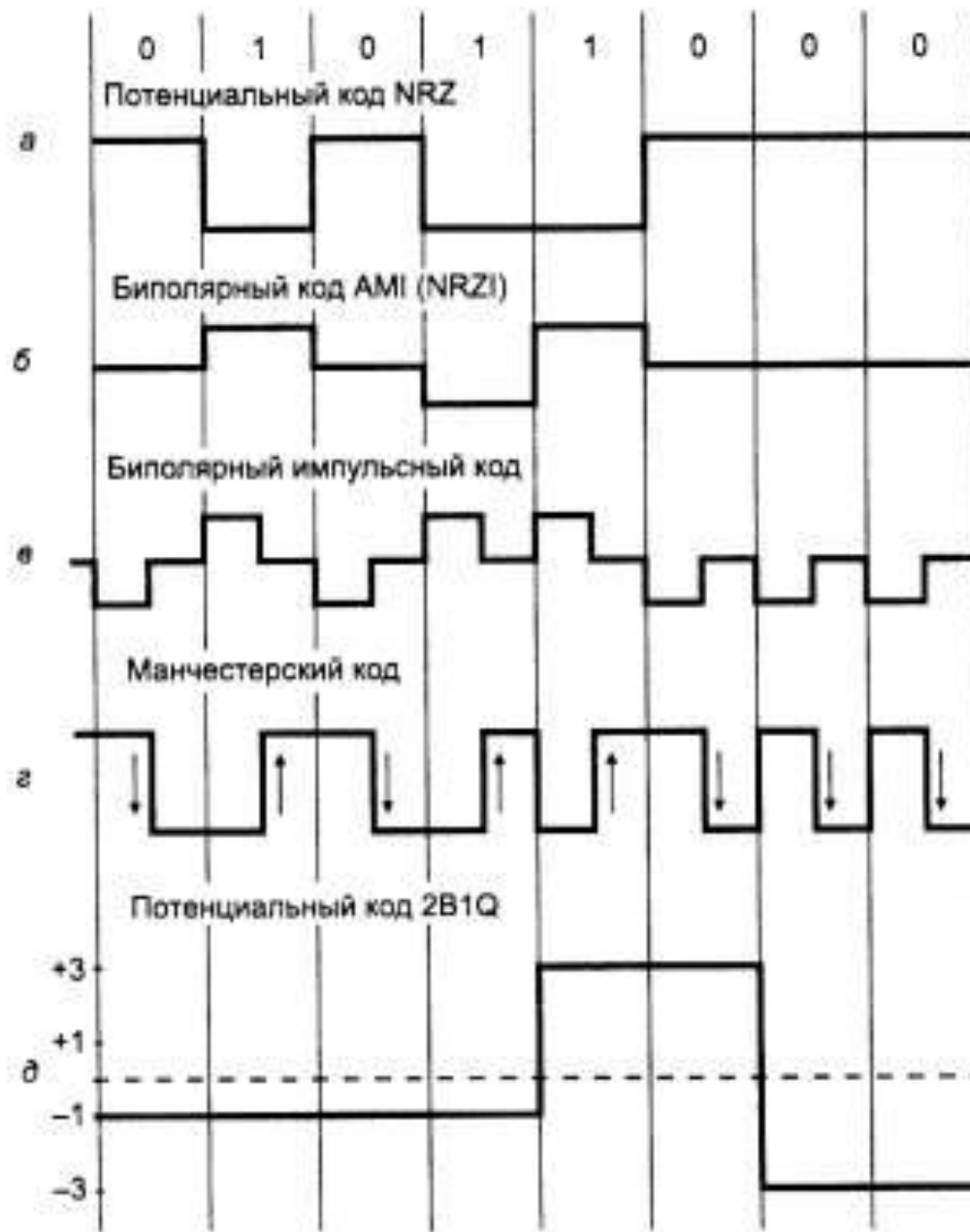
Биполярный импульсный код

- Кроме потенциальных кодов в сетях используются и импульсные коды, когда данные представлены полным импульсом или же его частью - фронтом. Наиболее простым случаем такого подхода является **биполярный импульсный код**, 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. Кроме того, спектр у него шире, чем у потенциальных кодов. Так, при передаче всех нулей или единиц частота основной гармоники кода будет равна N Гц, что в два раза выше основной гармоники кода NRZ и в четыре раза выше основной гармоники кода AMI при передаче чередующихся единиц и нулей. Из-за слишком широкого спектра биполярный импульсный код используется редко.



Манчестерский код

- В локальных сетях до недавнего времени самым распространенным методом кодирования был так называемый **манчестерский код**. Он применяется в технологиях Ethernet и Token Ring.
- 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. Так как сигнал изменяется по крайней мере один раз за такт передачи одного бита данных, то манчестерский код обладает хорошими самосинхронизирующими свойствами.



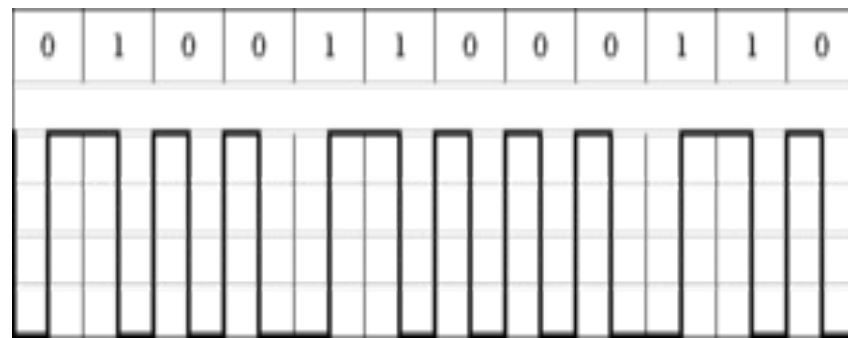
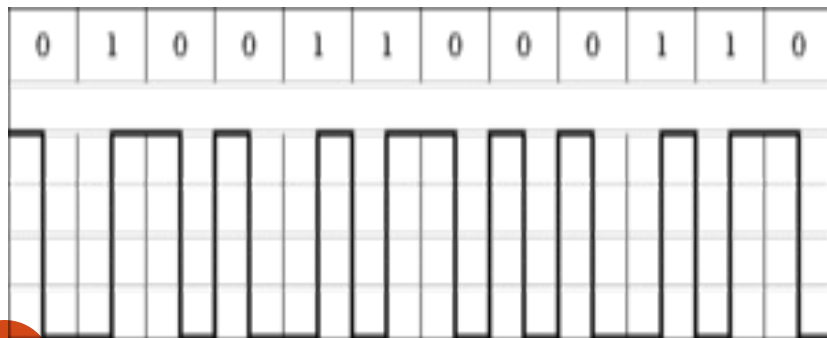
Способы дискретного кодирования данных.

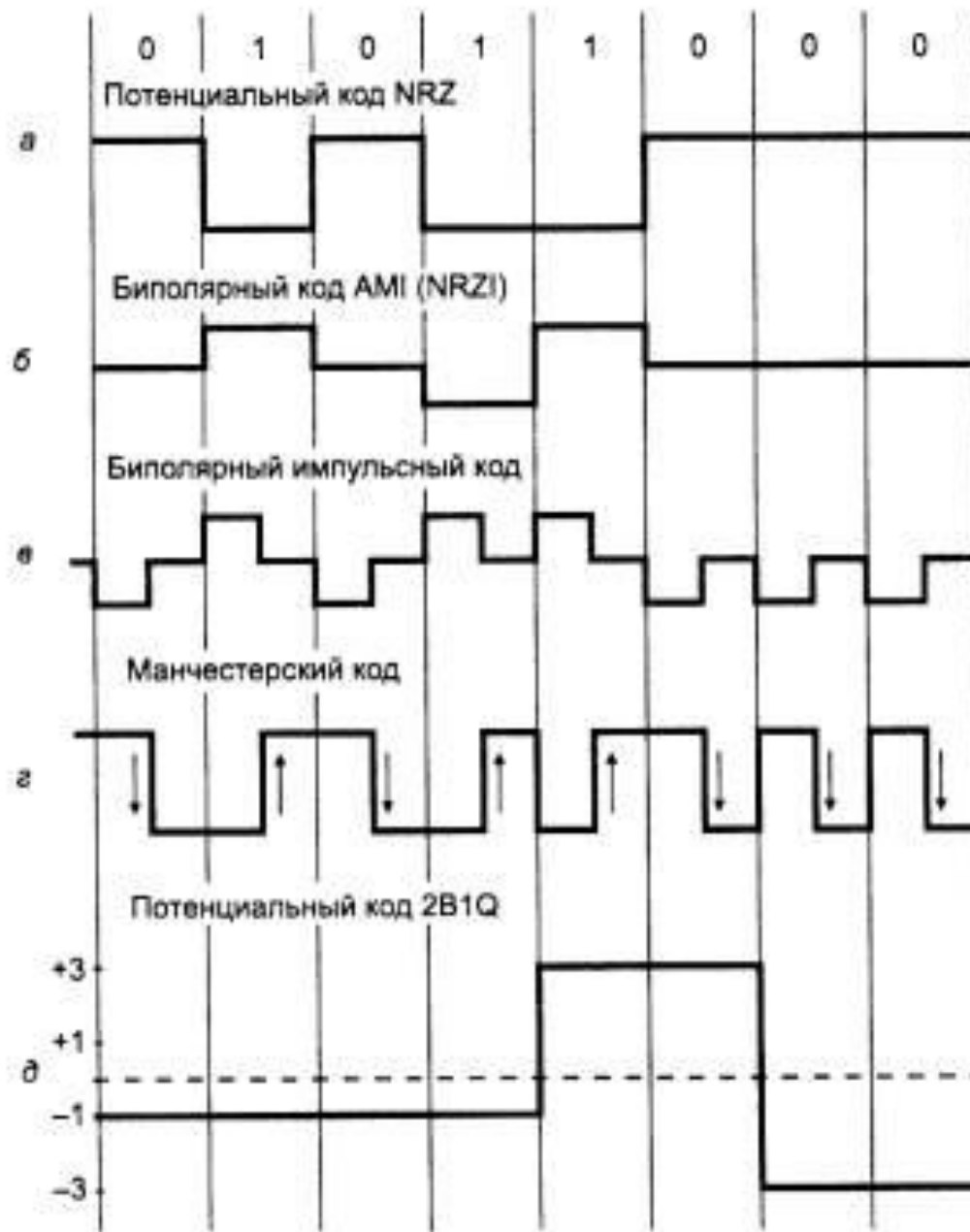
Манчестерский код

- Полоса пропускания манчестерского кода уже, чем у биполярного импульсного.
- У него также нет постоянной составляющей, а основная гармоника в худшем случае (при передаче последовательности единиц или нулей) имеет частоту N Гц, а в лучшем (при передаче чередующихся единиц и нулей) она равна $N/2$ Гц, как и у кодов AMI или NRZ.
- В среднем ширина полосы манчестерского кода в полтора раза уже, чем у биполярного импульсного кода, а основная гармоника колеблется вблизи значения $3N/4$.
- Манчестерский код имеет еще одно преимущество перед биполярным импульсным кодом. В последнем для передачи данных используются три уровня сигнала, а в манчестерском - два.

Дифференциальное манчестерское кодирование

- При дифференциальном манчестерском кодировании в течение битового интервала (времени передачи одного бита) уровень сигнала может меняться дважды. Обязательно происходит изменение уровня в середине интервала, этот перепад используется для синхронизации. Получается, что при передаче нуля в начале битового интервала происходит перепад уровней, а при передаче единицы такой перепад отсутствует.

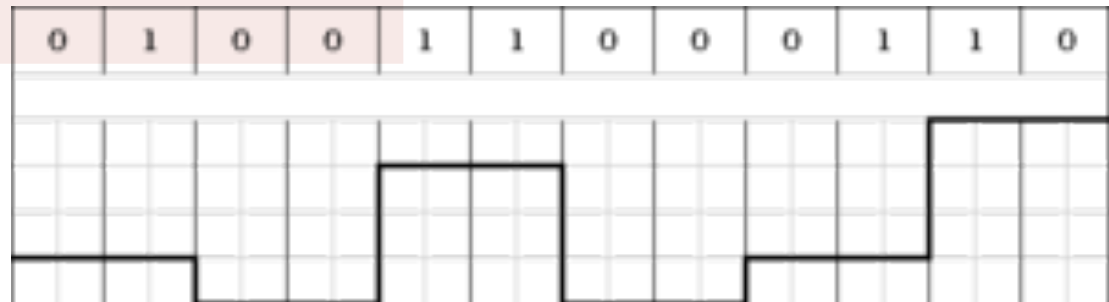




2B1Q (Two-binary, one-quaternary)

- Потенциальный код 2B1Q передает пару бит за один битовый интервал. Каждой возможной паре в соответствие ставится свой уровень из четырех возможных уровней потенциала.

Пара	Соответствующий потенциал, Вольт
00	-2,5
01	-0,833
11	+0,833
10	+2,5



2B1Q (Two-binary, one-quaternary)

- Достоинство метода 2B1Q Сигнальная скорость у этого метода в два раза ниже, чем у кодов NRZ и AMI, а спектр сигнала в два раза уже. Следовательно с помощью 2B1Q-кода можно по одной и той же линии передавать данные в два раза быстрее.
- Недостаток метода 2B1Q Реализация этого метода требует более мощного передатчика и более сложного приемника, который должен различать четыре уровня.

Логическое кодирование

- Логическое кодирование используется для улучшения потенциальных кодов типа AMI, NRZI.
- Логическое кодирование должно заменять длинные последовательности бит, приводящие к постоянному потенциалу, вкраплениями единиц. Как уже отмечалось выше, для логического кодирования характерны два метода — избыточные коды и скремблирование.
- *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.
- Логический код **4В/5В**, используемый в технологиях FDDI и Fast Ethernet, заменяет исходные символы длиной в 4 на символы длиной в 5 бит. Кроме устранения постоянной составляющей и придания коду свойства самосинхронизации, избыточные коды позволяют приемнику распознавать искаженные биты.

•

Логическое кодирование

Соответствие исходных и результирующих кодов 4В/5В представлено ниже.

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

Скрэмблирование

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.

$$V_i = A_i \oplus V_{i-3} \oplus V_{i-5}.$$

Здесь V_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, V_{i-3} и V_{i-5} — двоичные цифры результирующего кода, полученные на предыдущих тактах работы скрэмблера (соответственно на 3 и на 5 тактов ранее текущего такта) и объединенные операцией исключающего ИЛИ (сложение по модулю 2).

Скрэмблирование

- Например, для исходной последовательности 110110000001 скрэмблер даст с дующий результирующий код:

$B_1 = A_2 = 1$ (первые три цифры результирующего кода будут совпадать с исходным, так как еще нет нужных предыдущих цифр)

$$B_2 = A_2 = 1$$

$$B_3 = A_3 = 0$$

$$B_4 = A_4 + B_1 = 1 + 1 = 0$$

$$B_5 = A_5 + B_2 = 1 + 1 = 0$$

$$B_6 = A_6 + B_3 + B_1 = 0 + 0 + 1 = 1$$

$$B_7 = A_7 + B_4 + B_2 = 0 + 0 + 1 = 1$$

$$B_8 = A_8 + B_5 + B_3 = 0 + 0 + 0 = 0$$

$$B_9 = A_9 + B_6 + B_4 = 0 + 1 + 0 = 1$$

$$B_{10} = A_{10} + B_7 + B_5 = 0 + 1 + 0 = 1$$

$$B_{11} = A_{11} + B_8 + B_6 = 0 + 0 + 1 = 1$$

$$B_{12} = A_{12} + B_9 + B_7 = 1 + 1 + 1 = 1$$

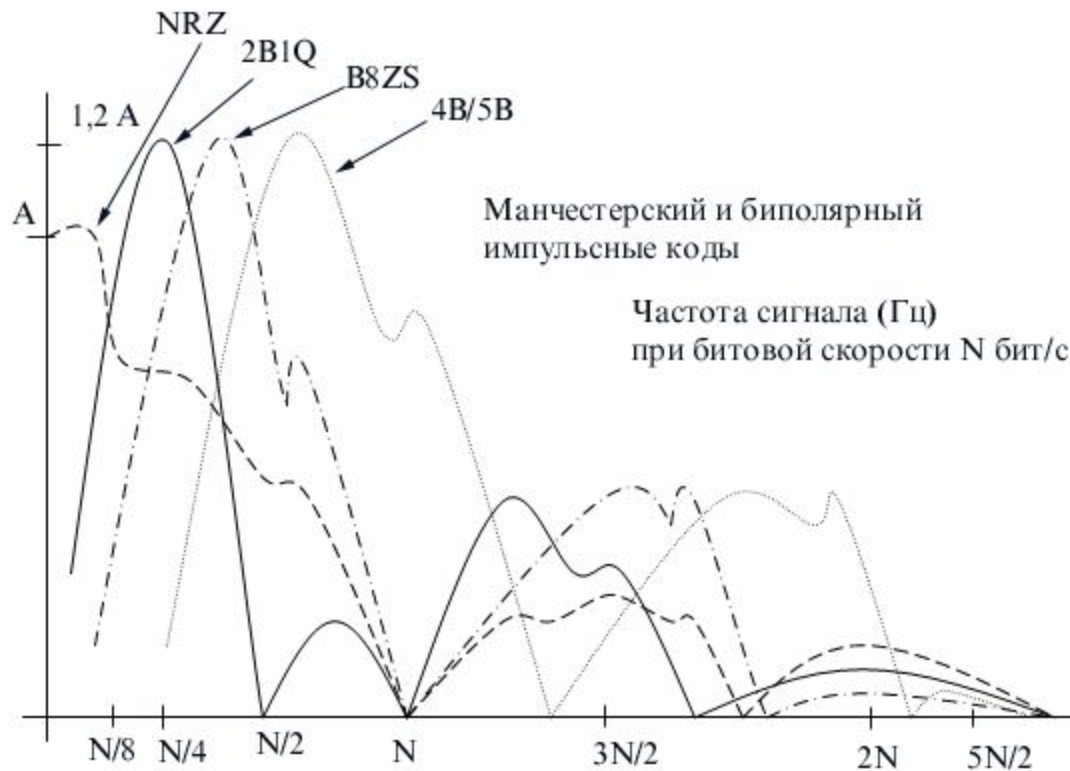
Скрэмблирование

- Таким образом, на выходе скрэмблера появится последовательность 110001101111, в которой нет последовательности из шести нулей, присутствовавшей в исходном коде.

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

$$C_i = V_i + V_{i-3} + V_{i-5} = (A_i + V_{i-3} + V_{i-5}) + V_{i-3} + V_{i-5} = A$$

Скрэмблирование



Спектры потенциальных и импульсных кодов

RS-232

- **RS-232** (англ. *Recommended Standard 232*) — физический уровень) — физический уровень для асинхронного (UART)) — физический уровень для асинхронного (UART) интерфейса. Исторически имел широкое распространение в телекоммуникационном оборудовании для персональных компьютеров. В настоящее время всё ещё широко используется для подключения всевозможного специального (а так же устаревшего) оборудования к компьютерам, однако в основном он уже вытеснен интерфейсом USB.

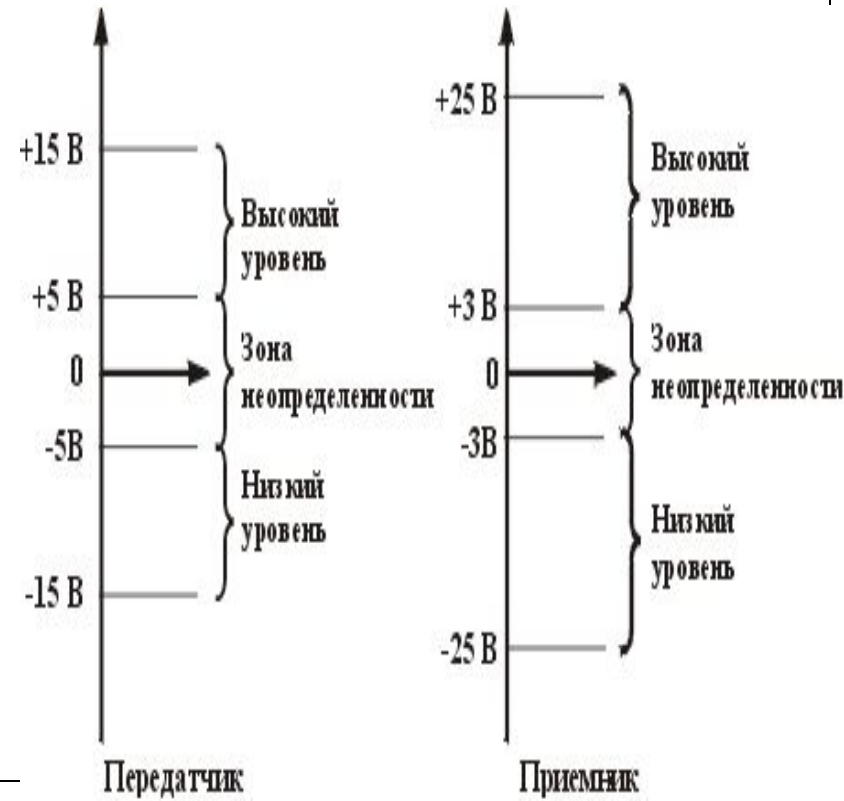


RS-232

- Изначально создавался для подключения телефонных модемов к компьютерам.
- Постепенно телефонные модемы перешли на другие интерфейсы (USB), но разъем RS-232 имелся на всех персональных компьютерах и многие изготовители оборудования использовали его для подключения своего оборудования.
- В настоящее время чаще всего используется в промышленном и узкоспециальном оборудовании, встраиваемых устройствах.
- На портативных компьютерах (ноутбуках, нетбуках, КПК и т. п.) RS-232 уже не ставят, однако материнские платы стационарных персональных компьютеров обычно ещё содержат RS-232 — либо в виде уже готового разъёма на задней панели, либо в виде внутренней контактной панели, к которой можно подключить шлейф.
- Также возможно использование переходников-преобразователей, например, типа USB→RS-232.

RS-232

- Информация передается по проводам двоичным сигналом с двумя уровнями напряжения. Логическому «0» соответствует положительное напряжение (от +5 до +15 В для передатчика), а логической «1» отрицательное (от -5 до -15 В для передатчика).
- Помимо линий входа и выхода данных RS-232 регламентировал ряд необязательных вспомогательных линий для аппаратного управления потоком данных и специальных функций.

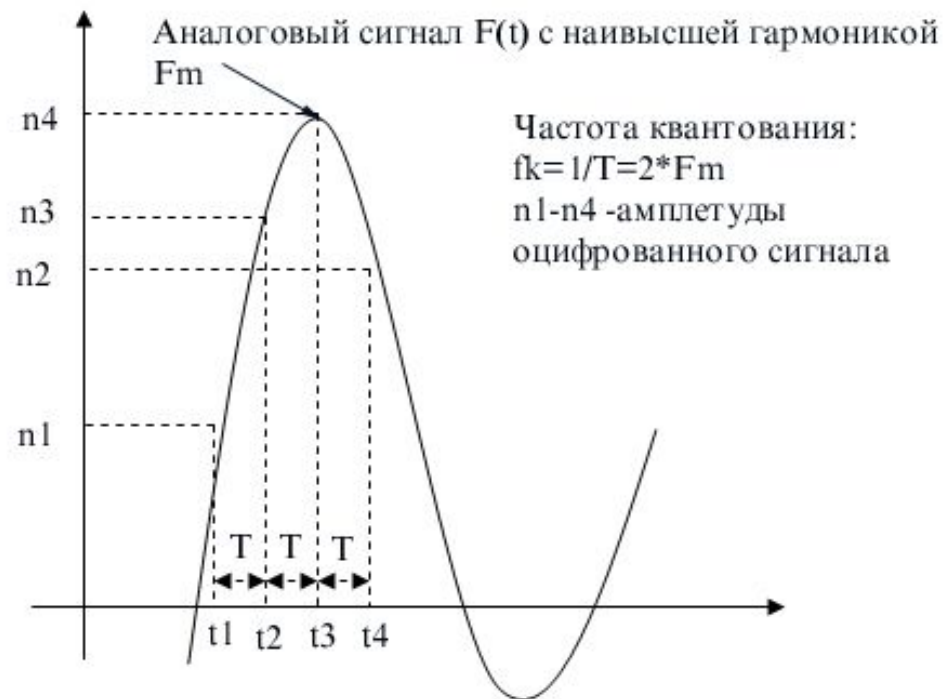


Дискретная модуляция аналоговых сигналов

Одной из основных тенденций развития сетевых технологий является передача в одной сети как дискретных, так и аналоговых по своей природе данных. Источниками дискретных данных являются компьютеры и другие вычислительные устройства, а источниками аналоговых данных являются такие устройства, как телефоны, видеокамеры, звуко и видео воспроизводящая аппаратура. На ранних этапах решения этой проблемы в территориальных сетях все типы данных передавались в аналоговой форме, при этом дискретные по своему характеру компьютерные данные преобразовывались в аналоговую форму с помощью модемов.

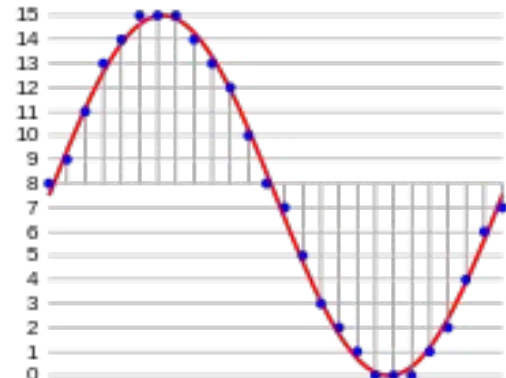
Дискретная модуляция аналоговых сигналов

Дискретные способы модуляции основаны на дискретизации непрерывных процессов как по амплитуде, так и по времени. Рассмотрим принципы дискретной модуляции на примере импульсно-кодовой модуляции, ИКМ (Pulse Amplitude Modulation, PAM), которая широко применяется в цифровой телефонии.



Дискретная модуляция аналоговых сигналов

- Чтобы получить на входе канала связи (передающий конец) ИКМ-сигнал из аналогового, мгновенное значение аналогового сигнала измеряется АЦП через равные промежутки времени.
- Количество оцифрованных значений в секунду (или скорость оцифровки, частота дискретизации) должно быть не ниже 2-кратной максимальной частоты в спектре аналогового сигнала (по теореме Котельникова).
- Мгновенное измеренное значение аналогового сигнала округляется до ближайшего уровня из множества заранее определённых значений. Этот процесс называется квантованием. Количество уровней всегда берётся кратным степени двойки, например, $2^3 = 8$, $2^4 = 16$, $2^5 = 32$, $2^6 = 64$ и т. д. Номер уровня может быть соответственно представлен 3, 4, 5, 6 и т. д. битами. Таким образом, на выходе модулятора получается набор битов (0 и 1).
- Обычно процесс ИКМ выполняется одной интегральной схемой, называемой аналого-цифровой преобразователь (АЦП).



Дискретная модуляция аналоговых сигналов

- После этого замеры передаются по каналам связи в виде последовательности единиц и нулей. При этом применяются те же методы кодирования, что и в случае передачи изначально дискретной информации.
- На приемной стороне линии коды преобразуются в исходную последовательность бит, а специальная аппаратура, называемая *цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП)*, производит демодуляцию оцифрованных амплитуд непрерывного сигнала, восстанавливая исходную непрерывную функцию времени.
- Преимуществом цифровых методов записи, воспроизведения и передачи аналоговой информации является возможность контроля достоверности считанных с носителя или полученных по линии связи данных. Для этого можно применять те же методы, которые применяются для компьютерных данных - вычисление контрольной суммы, повторная передача искаженных кадров, применение самокорректирующихся кодов.

Дискретная модуляция аналоговых сигналов

- Для качественной передачи голоса в методе ИКМ используется частота квантования амплитуды звуковых колебаний в 8000 Гц.
- Это связано с тем, что в аналоговой телефонии для передачи голоса был выбран диапазон от 300 до 3400 Гц, который достаточно качественно передает все основные гармоники собеседников.
- В методе ИКМ обычно используется 7 или 8 бит кода для представления амплитуды одного замера. Соответственно это дает 127 или 256 градаций звукового сигнала, что оказывается вполне достаточным для качественной передачи голоса.
- При использовании метода ИКМ для передачи одного голосового канала необходима пропускная способность 56 или 64 Кбит/с в зависимости от того, каким количеством бит представляется каждый замер. Если для этих целей используется 7 бит, то при частоте передачи замеров в 8000 Гц получаем:
 - $8000 * 7 = 56000$ бит/с или 56 Кбит/с;
 - а для случая 8-ми бит:
 - $8000 * 8 = 64000$ бит/с или 64 Кбит/с.
- Стандартным является цифровой канал 64 Кбит/с, который также называется *элементарным каналом цифровых телефонных сетей*.

Дискретная модуляция аналоговых сигналов

- Передача непрерывного сигнала в дискретном виде требует от сетей жесткого соблюдения временного интервала в 125 мкс (соответствующего частоте дискретизации 8000 Гц) между соседними замерами, то есть требует синхронной передачи данных между узлами сети.
- При несоблюдении синхронности прибывающих замеров исходный сигнал восстанавливается неверно, что приводит к искажению голоса, изображения или другой мультимедийной информации, передаваемой по цифровым сетям.
- Так, искажение синхронизации в 10 мс может привести к эффекту «эха», а сдвиги между замерами в 200 мс приводят к потере распознаваемости произносимых слов.
- В то же время потеря одного замера при соблюдении синхронности между остальными замерами практически не сказывается на воспроизводимом звуке. Это происходит за счет сглаживающих устройств в цифро-аналоговых преобразователях, которые основаны на свойстве инерционности любого физического сигнала - амплитуда звуковых колебаний не может мгновенно измениться на большую величину.
- На качество сигнала после ЦАП влияет не только синхронность поступления на его вход замеров, но и погрешность дискретизации амплитуд этих замеров. Соответственно искажается восстановленный непрерывный сигнал, что называется шумом дискретизации (по амплитуде).

Дискретная модуляция аналоговых сигналов

Дискретная модуляция основана на теории отображения Найквиста — Котельникова. В соответствии с этой теорией, аналоговая непрерывная функция, переданная в виде последовательности ее дискретных по времени значений, может быть точно восстановлена, если частота дискретизации была в два или более раз выше, чем частота самой высокой гармоники спектра исходной функции.

Вывод

- При передаче дискретных данных по узкополосному каналу тональной частоты, используемому в телефонии, наиболее подходящими оказываются способы аналоговой модуляции, при которых несущая синусоида модулируется исходной последовательностью двоичных цифр. Эта операция осуществляется специальными устройствами — модемами.
- Для низкоскоростной передачи данных применяется изменение частоты несущей синусоиды. Более высокоскоростные модемы работают на комбинированных способах квадратурной амплитудной модуляции (QAM), для которой характерны 4 уровня амплитуды несущей синусоиды и 8 уровней фазы. Не все из возможных 32 сочетаний метода QAM используются для передачи данных, запрещенные сочетания позволяют распознавать искаженные данные на физическом уровне.
- На широкополосных каналах связи применяются потенциальные и импульсные методы кодирования, в которых данные представлены различными уровнями постоянного потенциала сигнала либо полярностями импульса или его фронта.

Вывод

- При использовании потенциальных кодов особое значение приобретает задача синхронизации приемника с передатчиком, так как при передаче длинных последовательностей нулей или единиц сигнал на входе приемника не изменяется и приемнику сложно определить момент съема очередного бита данных.
- Наиболее простым потенциальным кодом является код без возвращения к нулю (NRZ), однако он не является самосинхронизирующимся и создает постоянную составляющую.
- Наиболее популярным импульсным кодом является манчестерский код, в котором информацию несет направление перепада сигнала в середине каждого такта. Манчестерский код применяется в технологиях Ethernet и Token Ring.
- Для улучшения свойств потенциального кода NRZ используются методы логического кодирования, исключающие длинные последовательности нулей. Эти методы основаны:
 - на введении избыточных бит в исходные данные (коды типа 4B/5B);
 - скремблировании исходных данных (коды типа 2B1Q).

Асинхронная и синхронная передачи

- Обычно достаточно обеспечить синхронизацию на указанных двух уровнях — битовом и кадровом, — чтобы передатчик и приемник смогли обеспечить устойчивый обмен информацией. Однако при плохом качестве линии связи (обычно это относится к телефонным коммутируемым каналам) для удешевления аппаратуры и повышения надежности передачи данных вводят дополнительные средства синхронизации на уровне байт.
- Асинхронным описанный режим называется потому, что каждый байт может быть несколько смещен во времени относительно побитовых тактов предыдущего байта. Такая асинхронность передачи байт не влияет на корректность принимаемых данных, так как в начале каждого байта происходит дополнительная синхронизация приемника с источником за счет битов «старт». Более «свободные» временные допуски определяют низкую стоимость оборудования асинхронной системы.
- Назначение этих сигналов состоит в том, чтобы, во-первых, известить приемник о приходе данных и, во-вторых, чтобы дать приемнику достаточно времени для выполнения некоторых функций, связанных с синхронизацией, до поступления следующего байта. Сигнал «старт» имеет продолжительность в один тактовый интервал, а сигнал «стоп» может длиться один, полтора или два такта, поэтому говорят, что используется один, полтора или два бита в качестве стопового сигнала, хотя пользовательские биты эти сигналы не представляют.

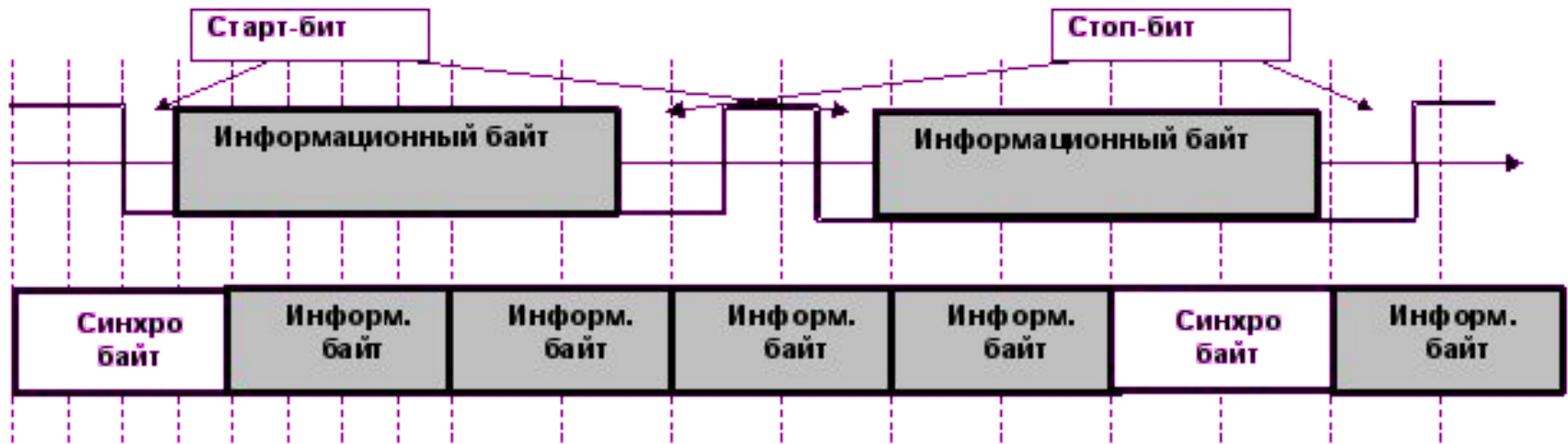
Асинхронная и синхронная передачи

При синхронном режиме передачи старт-стопные биты между каждой парой байт отсутствуют.

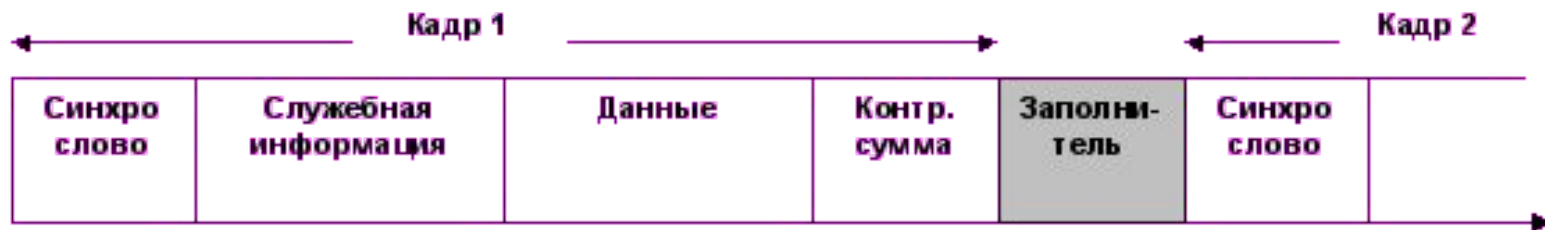
Пользовательские данные собираются в кадр, который предваряется байтами синхронизации. Байт синхронизации — это байт, содержащий заранее известный код, например 0111110, который оповещает приемник о приходе кадра данных.

При его получении приемник должен войти в байтовый синхронизм с передатчиком, то есть правильно понимать начало очередного байта кадра. Иногда применяется несколько синхробайт для обеспечения более надежной синхронизации приемника и передатчика. Так как при передаче длинного кадра у приемника могут появиться проблемы с синхронизацией бит, то в этом случае используются самосинхронизирующиеся коды.

Дискретное кодирование данных



Асинхронная и синхронная передача на уровне байт



Кадровая структура синхронных протоколов

Виды связи

- Телекоммуникационные системы по видам связи, а также режимам передачи и приема данных делятся на следующие виды связи:
- **Симплексная связь** – это односторонняя связь между двумя абонентами, в которой направление осуществляется в одну сторону и по одному и тому же каналу связи. Т.е. при симплексной связи второй абонент, кому направлено сообщение или послание, не может ни ответить, ни подтвердить ничего, а только слушать.

Виды связи

- **Полудуплексная связь** – это двусторонняя связь между двумя абонентами, в которой по одному и тому же каналу связи прием и передача данных осуществляется поочередно. Первый абонент посылает сообщение и должен освободить свой канал. Второй, получив сообщение, по этому же каналу отправляет (посылает) ответное сообщение. И так может продолжаться сколь угодно долго. В фильмах часто звучат подобные диалоги:
 - — Первый, это айсберг – ПРИЕМ
 - — Айсберг, твое послание услышал, ПРИЕМ
 - — Конец связи.
- В этом примере полудуплексной связи слово «ПРИЕМ» как раз и означает, что сообщение послано и можно переходить в режим ответа.

Виды связи

● **Дуплексная связь** – это двусторонняя связь, которая может осуществляться одновременно. Т.е. два абонента могут, как принимать, так и посылать сообщение по одному каналу связи. Различные телефонные разговоры являются отличным примером дуплексной связи.

В большинстве случаев, канал связи предоставляет средства для односторонней передачи данных. С помощью всего одной линии связи можно обеспечить реализацию сразу нескольких каналов связи. Такая связь называется многоканальной.

Технология модемов

- Модем (modem) — это устройство, которое позволяет компьютерам обмениваться данными по телефонной линии.
- Появление модемов стало следствием появления глобальных компьютерных сетей.
- Когда были созданы первые такие сети, то, естественно, возник вопрос о возможности использования телефонных линий для передачи информации от одного компьютера к другому (ведь они уже тогда “опутывали” практически весь земной шар).
- Реализации этой возможности мешала следующая проблема: в компьютерах информация представлена в цифровой (двоичной) форме, а телефонные линии являются аналоговыми (по ним передается ток).
- Понадобилось устройство, которое бы преобразовывало сигналы из цифровой формы в аналоговую и наоборот.
- И такие устройства были созданы, а поскольку только что упомянутые процессы преобразования сигналов в технике называют модуляцией и демодуляцией сигнала, то их назвали модемами (МОдуляция/ДЕМОдуляция).

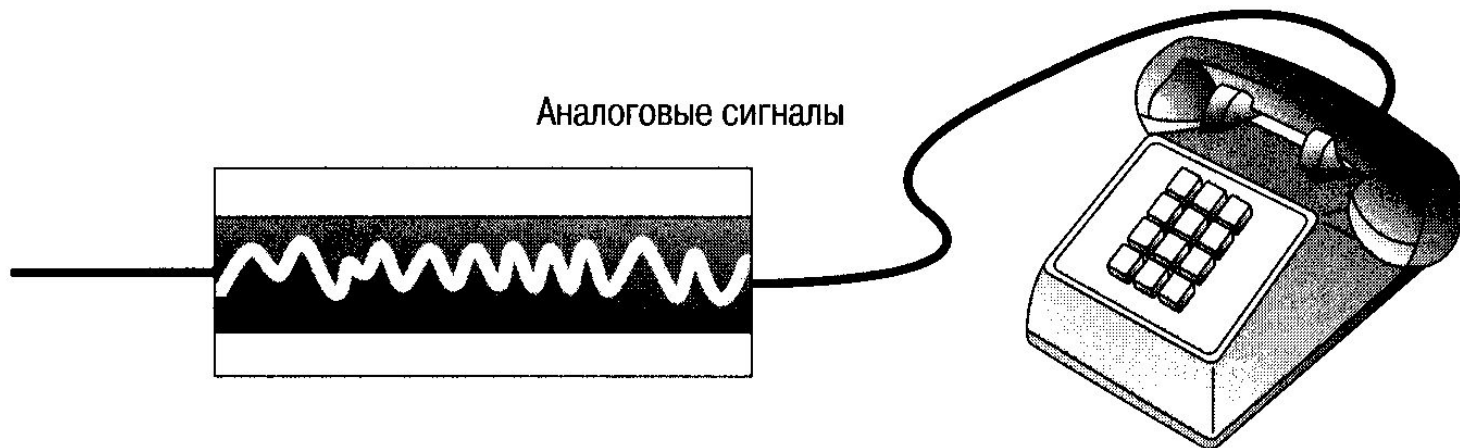
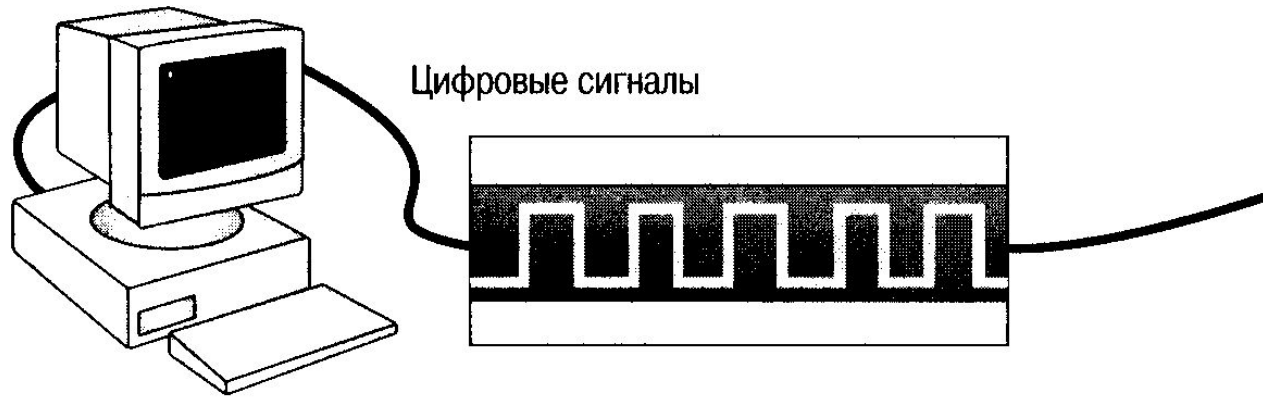
Бывают такие:



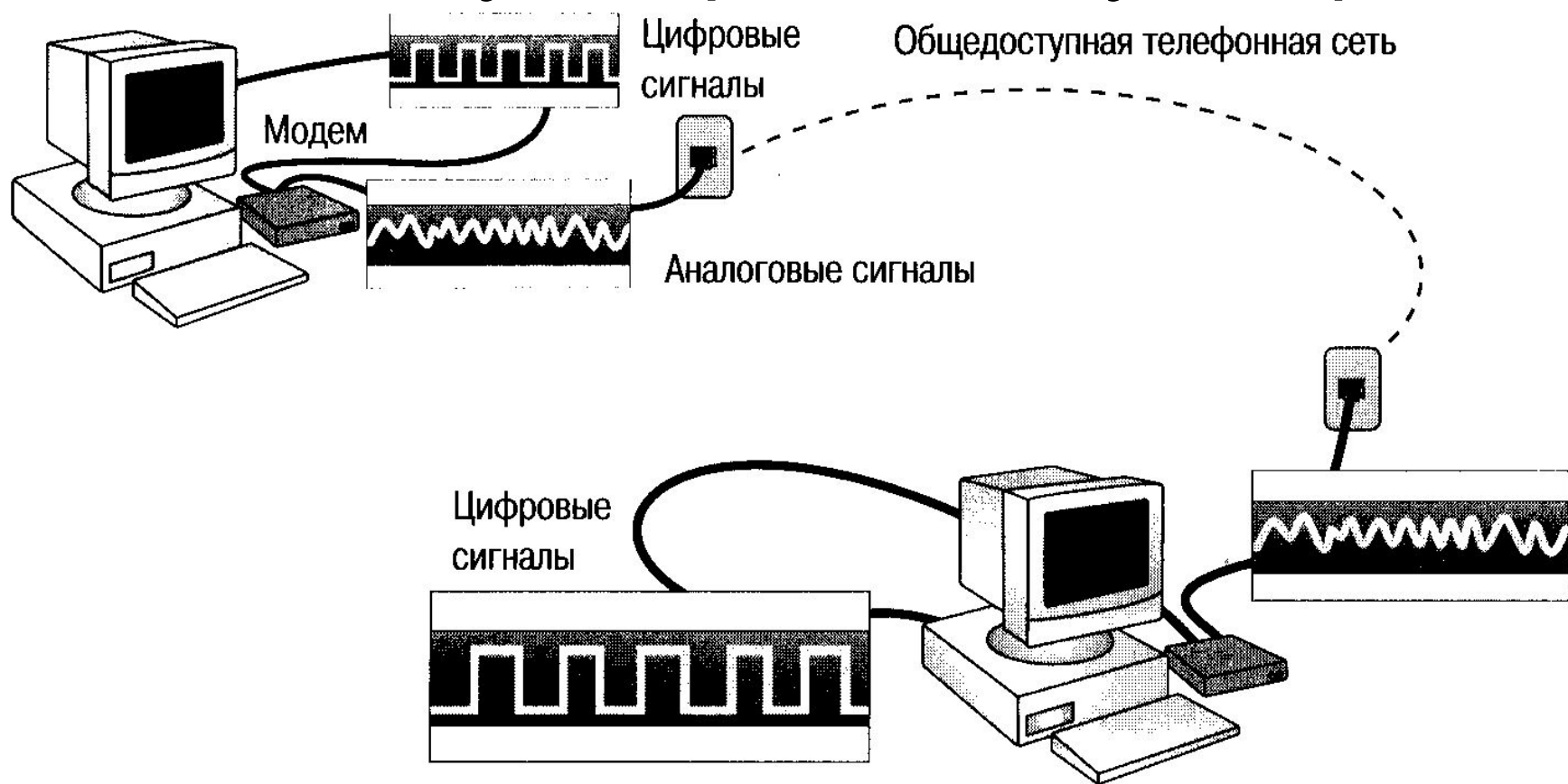
Первый компьютерный модем

- Первый модем появился в 1958 году. Американская телефонная компания АТ&Т ввела дейтафонное обслуживание (передача информации по телефонному каналу). Первым модемом был Bell Dataphone 103, скорость передачи которого составляла 300 бит/с.
- В 1979 году компанией Hayes Microcomputer Products специально для персонального компьютера Apple II и назывался Micromodem II.
- Стоил \$380
- Скорость передачи данных достигала 300 бит/с

Компьютер vs линия



МОдулятор - ДЕМОдулятор



- Передающий модем модулирует (modulate) цифровой сигнал в аналоговый, а принимающий модем демодулирует (demodulate) аналоговый сигнал обратно в цифровые сигналы.

Типы модемов для компьютеров

- **По исполнению:**
- **Внешние** — подключаются к COM или USB порту, обычно имеют внешний блок питания.
- **Внутренние** — устанавливаются внутрь компьютера.
- **Встроенные** — являются внутренней частью устройства, например ноутбука или док-станции.
- **Беспроводной модем** (модуль или шлюз) — это приёмопередатчик, использующий сети операторов мобильной связи для передачи и приёма информации. Для использования сети сотовой связи в модем обычно вставляется SIM-карта. Беспроводные модемы могут использоваться вместо обычных телефонных модемов (в банкоматах, торговых автоматах, охранных системах, системах дистанционного управления, компьютерах), а также для интеграции в программно-аппаратные комплексы. Используется в местах, где доступна мобильная связь и можно подключить ноутбук либо персональный компьютер к Интернет и отправлять электронные сообщения, пересылать, получать данные и мультимедийные файлы. Некоторые типы беспроводных модемов могут работать как телефонные шлюзы для передачи голосовых, видео и текстовых данных там, где не может быть использована традиционная фиксированная линия, или, где дешевле использовать сотовое средство сообщения.

Типы модемов для компьютеров

- По принципу работы:
- **Аппаратные** — все операции преобразования сигнала, поддержка физических протоколов обмена, производятся встроенным в модем вычислителем (например, с использованием DSP, контроллера). Так же в аппаратном модеме присутствует ПЗУ, в котором записана микропрограмма, управляющая модемом.
- **Win-модемы** — аппаратные модемы, лишённые ПЗУ с микропрограммой. Микропрограмма такого модема хранится в памяти компьютера, к которому подключён модем. Работоспособен только при наличии драйверов, которые обычно писались исключительно под операционные системы семейства MS Windows. Самая главная часть - это чип (процессор). Он нужен модему как компьютеру для выполнения команд. Команды модему передаются пользователем в виде символов.
- **Полупрограммные (Controller based soft-modem)** — модемы, в которых часть функций модема выполняет компьютер, к которому подключён модем.
- **Программные (Host based soft-modem)** — все операции по кодированию сигнала, проверке на ошибки и управление протоколами реализованы программно и производятся центральным процессором компьютера. При этом в модеме находится аналоговая схема и преобразователи: АЦП, ЦАП, контроллер интерфейса (например, USB).

Типы модемов для компьютеров

- **По типу:**
- **Аналоговые** — наиболее распространённый тип модемов для обычных коммутируемых телефонных линий
- **ISDN** (англ. Integrated Services Digital Network) — модемы для цифровых коммутируемых телефонных линий. Для объединения в сети ISDN различных видов трафика используется технология TDM (англ. Time Division Multiplexing, временное разделение). Для каждого типа данных выделяется отдельная полоса, называемая элементарным каналом (или стандартным каналом). Для этой полосы гарантируется фиксированная, согласованная доля полосы пропускания. Выделение полосы происходит после подачи сигнала CALL по отдельному каналу, называемому каналом внеканальной сигнализации.
- **DSL** (англ. Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия) — используются для организации выделенных (некоммутируемых) линий используя обычную телефонную сеть. Отличаются от коммутируемых модемов кодированием сигналов. Обычно позволяют одновременно с обменом данными осуществлять использование телефонной линии в обычном порядке.

Типы модемов для компьютеров

- По типу:
- **xDSL** — семейство технологий, позволяющих значительно расширить пропускную способность абонентской линии местной телефонной сети путём использования эффективных линейных кодов и адаптивных методов коррекции искажений линии на основе современных достижений микроэлектроники и методов цифровой обработки сигнала.
- В аббревиатуре xDSL символ «x» используется для обозначения первого символа в названии конкретной технологии, а DSL обозначает цифровую абонентскую линию.
- Технологии xDSL позволяют передавать данные со скоростями, значительно превышающими те скорости, которые доступны даже самым лучшим аналоговым и цифровым модемам.
- Эти технологии поддерживают передачу голоса, высокоскоростную передачу данных и видеосигналов, создавая при этом значительные преимущества как для абонентов, так и для провайдеров.
- Многие технологии xDSL позволяют совмещать высокоскоростную передачу данных и передачу голоса по одной и той же медной паре. Существующие типы технологий xDSL, различаются в основном по используемой форме модуляции и скорости передачи данных.

xDSL

- Службы xDSL разрабатывались для решения определенных целей: они должны работать на существующих телефонных линиях, они не должны мешать работе различной аппаратуры абонента, такой как телефонный аппарат, факс и т.д., скорость работы должна быть выше теоретического предела в 56Кбит/сек., и наконец, они должны обеспечивать постоянное подключение.
- К основным типам xDSL относятся ADSL, HDSL, IDSL, MSDSL, PDSL, RADSL, SDSL, SHDSL, UADSL, VDSL. Все эти технологии обеспечивают высокоскоростной цифровой доступ по абонентской телефонной линии. Существующие технологии xDSL разработаны для достижения определенных целей и удовлетворения определенных нужд рынка.
- Некоторые технологии xDSL являются оригинальными разработками, другие представляют собой просто теоретические модели, в то время как третьи уже стали широко используемыми стандартами. Основным различием данных технологий являются методы модуляции, используемые для кодирования данных.

По типу:

- **Кабельные** — используются для обмена данными по специализированным кабелям — к примеру, через кабель коллективного телевидения по протоколу DOCSIS.
- **Радио**
- **Спутниковые**
- **PLC** (англ. Power line communication) — Так называемый «Интернет из розетки», базирующаяся на использовании внутридомовых и внутриквартирных электросетей для высокоскоростного информационного обмена. В этой технологии, основанной на частотном разделении сигнала, высокоскоростной поток данных разбивается на несколько низкоскоростных, каждый из которых передается на отдельной частоте с последующим их объединением в один сигнал. При этом PLC-устройства могут «видеть» и декодировать информацию, хотя обычные электрические устройства — лампы накаливания, двигатели и т. п. — даже «не догадываются» о присутствии сигналов сетевого трафика и работают в обычном режиме.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕМОВ:

- 1. Скорость передачи данных - скорость, с которой модем способен передавать информацию. Существуют стандартные скорости и измеряются они в битах в секунду или бодах (бит/с = бод). Самые первые модемы соединялись на очень низких скоростях (2400 - предел), причем это много меньше 1 Кб/с. Реальные скорости ниже теоретических (для 33600 (4.2 Кб/с), реальная максимальная где-то 3.8 Кб/с, для 57600 (7.2 Кб/с), реальная максимальная где-то 6.8 Кб/с).
- 2. Протоколы модуляции. Протокол - набор правил для выполнения какого-либо действия (например, передачи данных).
- Согласно протоколу данные режутся на пакеты, к ним добавляется информация для коррекции ошибок и другие сведения, и пакет отправляется по сети; после этого, если другой компьютер получил пакет без ошибок, то он отправляет уведомление компьютеру, который послал пакет о том, что всё правильно; в противном случае он посылает повторный запрос на тот же самый пакет. Это примитивная схема работы протокола. Применительно к модемам, протокол может определять скорость передачи данных, сжатие данных, коррекцию ошибок.

Работа модема

- Для любого стандартного модема возможны два режима, в которых он может находиться.
- **Первый режим - режим передачи данных.** Модем принимает данные от компьютера, преобразует их в сигнал, и посылает в телефонную линию. Аналогично, тот сигнал, что пришел из линии преобразуется в данные, и передается компьютеру.
- **Второй режим - командный.** В этом режиме никакой модуляции/демодуляции модем не делает, и в линию ничего не посылает. Все данные, которые к нему поступают от компьютера, он рассматривает как команды, и пытается их выполнить. Этот режим является для модема базовым, то есть когда модем включается, он начинает свою работу в командном режиме.
- В этом режиме можно посылать модему различные команды, заставить его поднять или опустить трубку, набрать номер, включить или выключить динамик, настроить параметры передачи данных.

АТ команды

- Самая простая команда состоит всего из двух букв "АТ", она заставляет модем "подать голос", ответить, что с ним все в порядке.
- Этот ответ выглядит как надпись "ОК", выдаваемая модемом.
- Как правило, модемы автоматически настраиваются на скорость и другие параметры СОМ-порта, к которому они подключены, так что любой исправный стандартный модем, находящийся в командном режиме должен откликаться на эту простую команду.
- Если же модем не может понять тот бред, который на него свалился, он ругается "ERROR", что значит ошибка.

Методы передачи данных канального уровня

Методы передачи данных канального уровня

- Канальный уровень обеспечивает передачу пакетов данных, поступающих от протоколов верхних уровней, узлу назначения, адрес которого также указывает протокол верхнего уровня.
- Протоколы канального уровня оформляют переданные им пакеты в кадры собственного формата, помещая указанный адрес назначения в одно из полей такого кадра, а также сопровождая кадр контрольной суммой.
- Протокол канального уровня имеет локальный смысл, он предназначен для доставки кадров данных, как правило, в пределах сетей с простой топологией связей и однотипной или близкой технологией, например в односегментных сетях Ethernet или же в многосегментных сетях Ethernet и Token Ring иерархической топологии, разделенных только мостами и коммутаторами.
- Во всех этих конфигурациях адрес назначения имеет локальный смысл для данной сети и не изменяется при прохождении кадра от узла-источника к узлу назначения. Возможность передавать данные между локальными сетями разных технологий связана с тем, что в этих технологиях используются адреса одинакового формата, к тому же производители сетевых адаптеров обеспечивают уникальность адресов независимо от технологии.

Методы передачи данных канального уровня

- Другой областью действия протоколов канального уровня являются связи типа «точка-точка» глобальных сетей, когда протокол канального уровня ответственен за доставку кадра непосредственному соседу. Адрес в этом случае не имеет принципиального значения, а на первый план выходит способность протокола восстанавливать искаженные и утерянные кадры, так как плохое качество территориальных каналов, особенно коммутируемых телефонных, часто требует выполнения подобных действий.
- Если же перечисленные выше условия не соблюдаются, например связи между сегментами Ethernet имеют петлевидную структуру, либо объединяемые сети используют различные способы адресации, как это имеет место в сетях Ethernet и X.25, то протокол канального уровня не может в одиночку справиться с задачей передачи кадра между узлами и требует помощи протокола сетевого уровня.

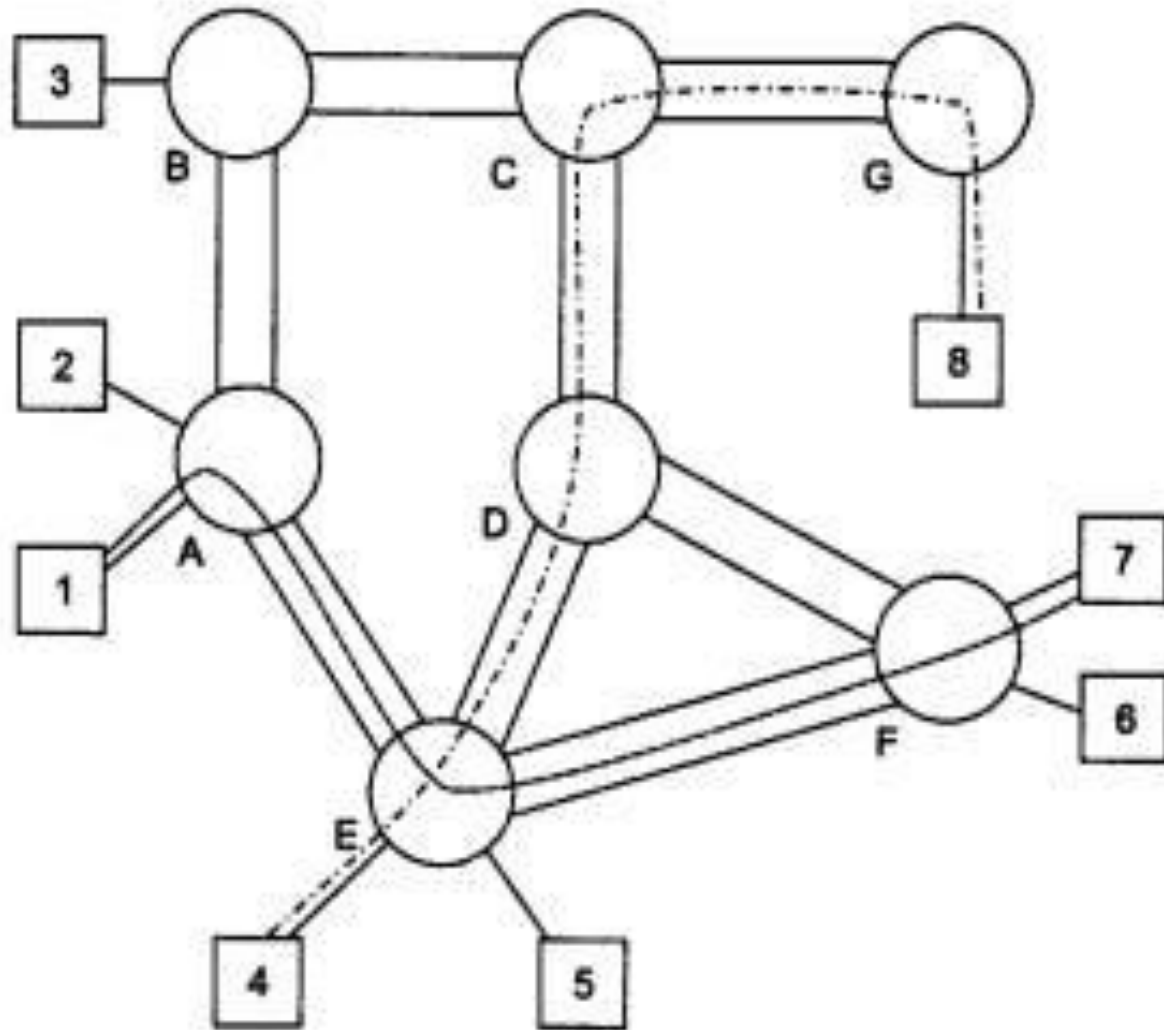
Методы передачи данных канального уровня

- Наиболее существенными характеристиками метода передачи, а значит, и протокола, работающего на канальном уровне, являются следующие:
- асинхронный/синхронный;
- символьно-ориентированный/бит-ориентированный;
- с предварительным установлением соединения/дейтаграммный;
- с обнаружением искаженных данных/без обнаружения;
- с обнаружением потерянных данных/без обнаружения;
- с восстановлением искаженных и потерянных данных/без восстановления;
- с поддержкой динамической компрессии данных/без поддержки.
- Многие из этих свойств характерны не только для протоколов канального уровня, но и для протоколов более высоких уровней.

Методы коммутации

- Любые сети связи поддерживают некоторый способ коммутации своих абонентов между собой.
- Этими абонентами могут быть удаленные компьютеры, локальные сети, факс-аппараты или просто собеседники, общающиеся с помощью телефонных аппаратов.
- Практически невозможно предоставить каждой паре взаимодействующих абонентов свою собственную некоммутируемую физическую линию связи, которой они могли бы монопольно «владеть» в течение длительного времени.
- Поэтому в любой сети всегда применяется какой-либо способ коммутации абонентов, который обеспечивает доступность имеющихся физических каналов одновременно для нескольких сеансов связи между абонентами сети.

Структура сети с коммутацией абонентов.



Методы коммутации

- Существуют три принципиально различные схемы коммутации абонентов в сетях:
- *коммутация каналов (circuit switching),*
- *коммутация пакетов (packet switching) и*
- *коммутация сообщений (message switching).*
- Сети с коммутацией каналов имеют более богатую историю, они ведут свое происхождение от первых телефонных сетей.
- Сети с коммутацией пакетов сравнительно молоды, они появились в конце 60-х годов как результат экспериментов с первыми глобальными компьютерными сетями.
- Сети с коммутацией сообщений послужили прототипом современных сетей с коммутацией пакетов и сегодня они в чистом виде практически не существуют.

Методы коммутации

- Как сети с коммутацией пакетов, так и сети с Коммутацией каналов можно разделить на два класса по другому признаку - на сети с *динамической коммутацией* и сети с *постоянной коммутацией*.
- Динам. коммут. - сеть разрешает устанавливать соединение по инициативе пользователя сети.
- Коммутация выполняется на время сеанса связи, а затем (опять же по инициативе одного из взаимодействующих пользователей) связь разрывается.
- В общем случае любой пользователь сети может соединиться с любым другим пользователем сети. Обычно период соединения между парой пользователей при динамической коммутации составляет от нескольких секунд до нескольких часов и завершается при выполнении определенной работы - передачи файла, просмотра страницы текста или изображения и т. п.

Методы коммутации

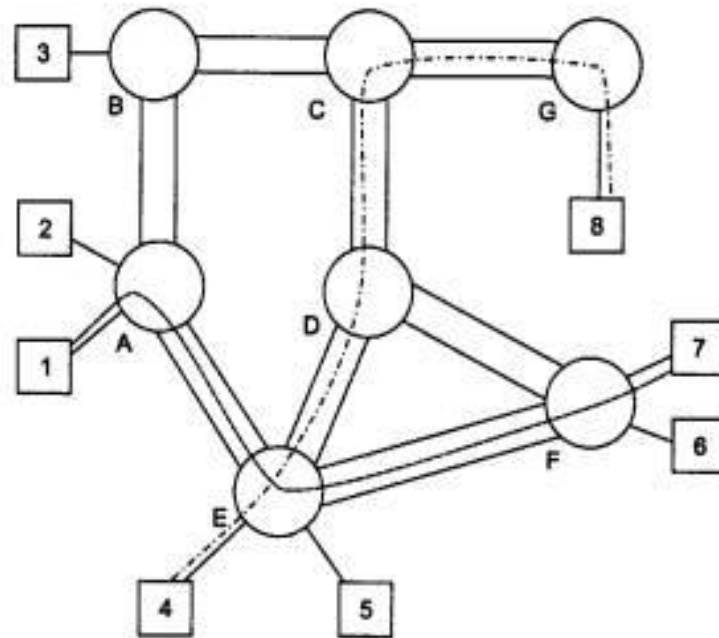
- **Постоянная коммутация**-сеть не предоставляет пользователю возможность выполнить динамическую коммутацию с другим произвольным пользователем сети.
- Вместо этого сеть разрешает паре пользователей заказать соединение на длительный период времени.
- Соединение устанавливается не пользователями, а персоналом, обслуживающим сеть.
- Время, на которое устанавливается постоянная коммутация, измеряется обычно несколькими месяцами.
- Режим постоянной коммутации в сетях с коммутацией каналов часто называется сервисом *выделенных (dedicated)* или *арендуемых (leased)* каналов.

Методы коммутации

- Примерами сетей, поддерживающих режим динамической коммутации, являются телефонные сети общего пользования, локальные сети, сети ТСП/IP.
- Наиболее популярными сетями, работающими в режиме постоянной коммутации, сегодня являются сети технологии SDN, на основе которых строятся выделенные каналы связи с пропускной способностью в несколько гигабит в секунду.
- Некоторые типы сетей поддерживают оба режима работы. Например, сети X.25 и АТМ могут предоставлять пользователю возможность динамически связаться с любым другим пользователем сети и в то же время отправлять данные по постоянному соединению одному вполне определенному абоненту.

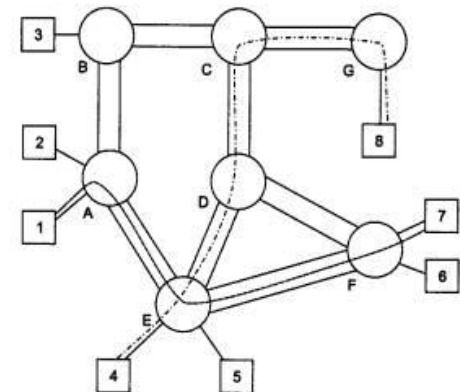
Коммутация каналов

- *Коммутация каналов* подразумевает образование непрерывного составного физического канала из последовательно соединенных отдельных канальных участков для прямой передачи данных между узлами. Отдельные каналы соединяются между собой специальной аппаратурой - коммутаторами, которые могут устанавливать связи между любыми конечными узлами сети. В сети с коммутацией каналов перед передачей данных всегда необходимо выполнить процедуру установления соединения, в процессе которой и создается составной канал.



Коммутация каналов

- Например, по технологии коммутации каналов, узел 1, чтобы передать данные узлу 7, прежде всего должен передать специальный запрос на установление соединения коммутатору А, указав адрес назначения 7. Коммутатор А должен выбрать маршрут образования составного канала, а затем передать запрос следующему коммутатору, в данном случае Е. Затем коммутатор Е передает запрос коммутатору F, а тот, в свою очередь, передает запрос узлу 7. Если узел 7 принимает запрос на установление соединения, он направляет по уже установленному каналу ответ исходному узлу, после чего составной канал считается скоммутированным и узлы 1 и 7 могут обмениваться по нему данными, например, вести телефонный разговор.



Коммутация каналов

- Коммутаторы, а также соединяющие их каналы должны обеспечивать одновременную передачу данных нескольких абонентских каналов. Для этого они должны быть высокоскоростными и поддерживать какую-либо технику мультиплексирования абонентских каналов.
- В настоящее время для мультиплексирования абонентских каналов используются две техники:
- техника частотного мультиплексирования (Frequency Division Multiplexing, FDM);
- техника мультиплексирования с разделением времени (Time Division Multiplexing, TDM).

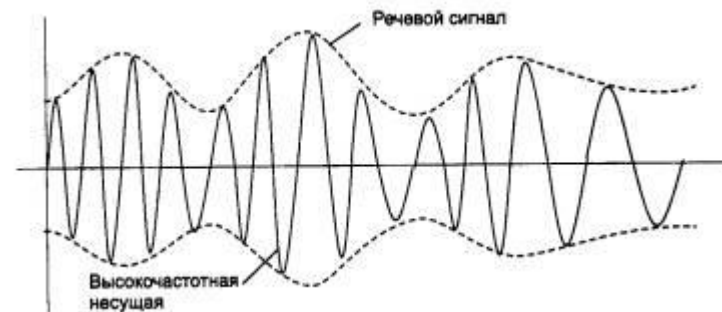
Частотного мультиплексирования

- Техника частотного мультиплексирования каналов (FDM) была разработана для телефонных сетей, но применяется она и для других видов сетей, например сетей кабельного телевидения.
- Рассмотрим особенности этого вида мультиплексирования на примере телефонной сети.
- Речевые сигналы имеют спектр шириной примерно в 10 000 Гц, однако основные гармоники укладываются в диапазон от 300 до 3400 Гц. Поэтому для качественной передачи речи достаточно образовать между двумя собеседниками канал с полосой пропускания в 3100 Гц, который и используется в телефонных сетях для соединения двух абонентов.
- В то же время полоса пропускания кабельных систем с промежуточными усилителями, соединяющих телефонные коммутаторы между собой, обычно составляет сотни килогерц, а иногда и сотни мегагерц.
- Однако непосредственно передавать сигналы нескольких абонентских каналов по широкополосному каналу невозможно, так как все они работают в одном и том же диапазоне частот и сигналы разных абонентов смешаются между собой так, что разделить их будет невозможно.

Частотного

мультиплексирования

- Для разделения абонентских каналов характерна техника модуляции высокочастотного несущего синусоидального сигнала низкочастотным речевым сигналом .
- Эта техника подобна технике аналоговой модуляции при передаче дискретных сигналов модемами, только вместо дискретного исходного сигнала используются непрерывные сигналы, порождаемые звуковыми колебаниями. В результате спектр модулированного сигнала переносится в другой диапазон, который симметрично располагается относительно несущей частоты и имеет ширину, приблизительно совпадающую с шириной модулирующего сигнала.
- Если сигналы каждого абонентского канала перенести в свой собственный диапазон частот, то в одном широкополосном канале можно одновременно передавать сигналы нескольких абонентских каналов.



Коммутация каналов на основе частотного мультиплексирования

- На входы FDM-коммутатора поступают исходные сигналы от абонентов телефонной сети.
- Коммутатор выполняет перенос частоты каждого канала в свой диапазон частот.
- Обычно высокочастотный диапазон делится на полосы, которые отводятся для передачи данных абонентских каналов .
- Чтобы низкочастотные составляющие сигналов разных каналов не смешивались между собой, полосы делают шириной в 4 кГц, а не в 3,1 кГц, оставляя между ними страховой промежуток в 900 Гц.
- В канале между двумя FDM-коммутаторами одновременно передаются сигналы всех абонентских каналов, но каждый из них занимает свою полосу частот. Такой канал называют *уплотненным*.
- Выходной FDM-коммутатор выделяет модулированные сигналы каждой несущей частоты и передает их на соответствующий выходной канал, к которому непосредственно подключен абонентский телефон.

Коммутация каналов на основе частотного мультиплексирования

- В сетях на основе FDM-коммутации принято несколько уровней иерархии уплотненных каналов.
- Первый уровень уплотнения образуют 12 абонентских каналов, которые составляют *базовую группу* каналов, занимающую полосу частот шириной в 48 кГц с границами от 60 до 108 кГц.
- Второй уровень уплотнения образуют 5 базовых групп, которые составляют *супергруппу*, с полосой частот шириной в 240 кГц и границами от 312 до 552 кГц.
- Супергруппа передает данные 60 абонентских каналов тональной частоты.
- Десять супергрупп образуют *главную группу*, которая используется для связи между коммутаторами на больших расстояниях. Главная группа передает данные 600 абонентов одновременно и требует от канала связи полосу пропускания шириной не менее 2520 кГц с границами от 564 до 3084 кГц.

Коммутация каналов на основе частотного мультиплексирования

- Коммутаторы FDM могут выполнять как динамическую, так и постоянную коммутацию.
- При динамической коммутации один абонент инициирует соединение с другим абонентом, посылая в сеть номер вызываемого абонента. Коммутатор динамически выделяет данному абоненту одну из свободных полос своего уплотненного канала.
- При постоянной коммутации за абонентом полоса в 4 кГц закрепляется на длительный срок путем настройки коммутатора по отдельному входу, недоступному пользователям.
- Принцип коммутации на основе разделения частот остается неизменным и в сетях другого вида, меняются только границы полос, выделяемых отдельному абонентскому каналу, а также количество низкоскоростных каналов в уплотненном высокоскоростном.

Коммутация каналов на основе разделения времени

- Коммутация на основе техники разделения частот разрабатывалась в расчете на передачу непрерывных сигналов, представляющих голос.
- При переходе к цифровой форме представления голоса была разработана новая техника мультиплексирования, ориентирующаяся на дискретный характер передаваемых данных.
- Эта техника носит название *мультиплексирования с разделением времени (Time Division Multiplexing, TDM)*. Реже используется и другое ее название - техника *синхронного режима передачи (Synchronous Transfer Mode, STM)*.

Коммутация каналов на основе разделения времени

- Аппаратура TDM-сетей - мультиплексоры, коммутаторы, демультимплексоры - работает в режиме разделения времени, поочередно обслуживая в течение цикла своей работы все абонентские каналы.
- Цикл работы оборудования TDM равен 125 мкс, что соответствует периоду следования замеров голоса в цифровом абонентском канале.
- Это значит, что мультиплексор или коммутатор успевает вовремя обслужить любой абонентский канал и передать его очередной замер далее по сети.
- Каждому соединению выделяется один квант времени цикла работы аппаратуры, называемый также тайм-слотом.
- Длительность тайм-слота зависит от числа абонентских каналов, обслуживаемых мультиплексором TDM или коммутатором.

Коммутация каналов на основе разделения времени

- Мультиплексор принимает информацию по N входным каналам от конечных абонентов, каждый из которых передает данные по абонентскому каналу со скоростью 64 Кбит/с - 1 байт каждые 125 мкс. В каждом цикле мультиплексор выполняет следующие действия:
- прием от каждого канала очередного байта данных;
- составление из принятых байтов уплотненного кадра, называемого также облоймой;
- передача уплотненного кадра на выходной канал с битовой скоростью, равной $N \cdot 64$ Кбит/с.

Коммутация каналов на основе разделения времени

- **Демультимплексор** выполняет обратную задачу - он разбирает байты уплотненного кадра и распределяет их по своим нескольким выходным каналам, при этом он считает, что порядковый номер байта в обойме соответствует номеру выходного канала.
- **Коммутатор** принимает уплотненный кадр по скоростному каналу от мультимплексора и записывает каждый байт из него в отдельную ячейку своей буферной памяти, причем в том порядке, в котором эти байты были упакованы в уплотненный кадр. Для выполнения операции коммутации байты извлекаются из буферной памяти не в порядке поступления, а в таком порядке, который соответствует поддерживаемым в сети соединениям абонентов. «Перемешивая» нужным образом байты в обойме, коммутатор обеспечивает соединение конечных абонентов в сети.

Коммутация каналов на основе разделения времени

- Однажды выделенный номер тайм-слота остается в распоряжении соединения «входной канал-выходной слот» в течение всего времени существования этого соединения, даже если передаваемый трафик является пульсирующим и не всегда требует захваченного количества тайм-слотов. Это означает, что соединение в сети TDM всегда обладает известной и фиксированной пропускной способностью, кратной 64 Кбит/с.
- Сети, использующие технику TDM, требуют синхронной работы всего оборудования. Нарушение синхронности разрушает требуемую коммутацию абонентов, так как при этом теряется адресная информация. Поэтому перераспределение тайм-слотов между различными каналами в оборудовании TDM невозможно, даже если в каком-то цикле работы мультиплексора тайм-слот одного из каналов оказывается избыточным, так как на входе этого канала в этот момент нет данных для передачи (например, абонент телефонной сети молчит).

Коммутация каналов на основе разделения времени

- Существует модификация техники TDM, называемая *статистическим разделением канала во времени (Statistical TDM, STDM)*.
- Эта техника разработана специально для того, чтобы с помощью временно свободных тайм-слотов одного канала можно было увеличить пропускную способность остальных.
- Для решения этой задачи каждый байт данных дополняется полем адреса небольшой длины, например в 4 или 5 бит, что позволяет мультиплексировать 16 или 32 канала.
- Однако техника STDM не нашла широкого применения.
- Развитием идей статистического мультиплексирования стала технология асинхронного режима передачи - АТМ, которая вобрала в себя лучшие черты техники коммутации каналов и пакетов.

Коммутация каналов на основе разделения времени

- Существует модификация техники TDM, называемая *статистическим разделением канала во времени (Statistical TDM, STDM)*.
- Эта техника разработана специально для того, чтобы с помощью временно свободных тайм-слотов одного канала можно было увеличить пропускную способность остальных.
- Для решения этой задачи каждый байт данных дополняется полем адреса небольшой длины, например в 4 или 5 бит, что позволяет мультиплексировать 16 или 32 канала.
- Однако техника STDM не нашла широкого применения.
- Развитием идей статистического мультиплексирования стала технология асинхронного режима передачи - АТМ, которая вобрала в себя лучшие черты техники коммутации каналов и пакетов.

Общие свойства сетей с коммутацией каналов

- Сети с динамической коммутацией требуют предварительной процедуры установления соединения между абонентами.
- Для этого в сеть передается адрес вызываемого абонента, который проходит через коммутаторы и настраивает их на последующую передачу данных.
- Запрос на установление соединения маршрутизируется от одного коммутатора к другому и в конце концов достигает вызываемого абонента.
- Сеть может отказать в установлении соединения, если емкость требуемого выходного канала уже исчерпана.
- Для FDM-коммутатора емкость выходного канала равна количеству частотных полос этого канала, а для TDM-коммутатора - количеству тайм-слотов, на которые делится цикл работы канала.
- Сеть отказывает в соединении также в том случае, если запрашиваемый абонент уже установил соединение с кем-нибудь другим. В первом случае говорят, что занят коммутатор, а во втором - абонент.
- Возможность отказа в соединении является недостатком метода коммутации каналов.

Общие свойства сетей с коммутацией каналов

- Если соединение может быть установлено, то ему выделяется фиксированная полоса частот в FDM-сетях или же фиксированная пропускная способность в TDM-сетях.
- Эти величины остаются неизменными в течение всего периода соединения.
- Гарантированная пропускная способность сети после установления соединения является важным свойством, необходимым для таких приложений, как передача голоса, изображения или управления объектами в реальном масштабе времени.
- Однако динамически изменять пропускную способность канала по требованию абонента сети с коммутацией каналов не могут, что делает их неэффективными в условиях пульсирующего трафика.

Общие свойства сетей с коммутацией каналов

- Модемы для организации дуплексного режима работы на двухпроводной линии применяют технику FDM.
- Модемы, использующие частотную модуляцию, работают на четырех частотах: две частоты - для кодирования единиц и нулей в одном направлении, а остальные две частоты - для передачи данных в обратном направлении.
- При цифровом кодировании дуплексный режим на двухпроводной линии организуется с помощью техники TDM. Часть тайм-слотов используется для передачи данных в одном направлении, а часть - для передачи в другом направлении. Обычно тайм-слоты противоположных направлений чередуются.

Коммутация пакетов

- *Коммутация пакетов* - это техника коммутации абонентов, которая была специально разработана для эффективной передачи компьютерного трафика.
- Эксперименты по созданию первых компьютерных сетей на основе техники коммутации каналов показали, что этот вид коммутации не позволяет достичь высокой общей пропускной способности сети.
- Суть проблемы заключается в пульсирующем характере трафика, который генерируют типичные сетевые приложения.
- Например, при обращении к удаленному файловому серверу пользователь сначала просматривает содержимое каталога этого сервера, что порождает передачу небольшого объема данных.
- Затем он открывает требуемый файл в текстовом редакторе, и эта операция может создать достаточно интенсивный обмен данными, особенно если файл содержит объемные графические включения.
- После отображения нескольких страниц файла пользователь некоторое время работает с ними локально, что вообще не требует передачи данных по сети, а затем возвращает модифицированные копии страниц на сервер - и это снова порождает интенсивную передачу данных по сети.

Коммутация пакетов

- При коммутации пакетов все передаваемые сообщения разбиваются в исходном узле на сравнительно небольшие части, называемые пакетами.
- Сообщением называется логически завершенная порция данных - запрос на передачу файла, ответ на этот запрос, содержащий весь файл, и т. п.
- Сообщения могут иметь произвольную длину.
- Напротив, пакеты обычно тоже могут иметь переменную длину, но в узких пределах, например от 46 до 1500 байт.
- Каждый пакет снабжается заголовком, в котором указывается адресная информация, необходимая для доставки пакета узлу назначения, а также номер пакета, который будет использоваться узлом назначения для сборки сообщения .
- Пакеты транспортируются в сети как независимые информационные блоки. Коммутаторы сети принимают пакеты от конечных узлов и на основании адресной информации передают их друг другу, а в конечном итоге - узлу назначения.

Коммутация пакетов

- При коммутации пакетов все передаваемые сообщения разбиваются в исходном узле на сравнительно небольшие части, называемые пакетами.
- Сообщением называется логически завершенная порция данных - запрос на передачу файла, ответ на этот запрос, содержащий весь файл, и т. п.
- Сообщения могут иметь произвольную длину.
- Напротив, пакеты обычно тоже могут иметь переменную длину, но в узких пределах, например от 46 до 1500 байт.
- Каждый пакет снабжается заголовком, в котором указывается адресная информация, необходимая для доставки пакета узлу назначения, а также номер пакета, который будет использоваться узлом назначения для сборки сообщения .
- Пакеты транспортируются в сети как независимые информационные блоки. Коммутаторы сети принимают пакеты от конечных узлов и на основании адресной информации передают их друг другу, а в конечном итоге - узлу назначения.

Коммутация пакетов

- Коммутаторы пакетной сети отличаются от коммутаторов каналов тем, что они имеют внутреннюю буферную память для временного хранения пакетов, если выходной порт коммутатора в момент принятия пакета занят передачей другого пакета .
- В этом случае пакет находится некоторое время в очереди пакетов в буферной памяти выходного порта, а когда до него дойдет очередь, то он передается следующему коммутатору.
- Такая схема передачи данных позволяет сглаживать пульсации трафика на магистральных связях между коммутаторами и тем самым использовать их наиболее эффективным образом для повышения пропускной способности сети в целом.



Коммутация пакетов

- Коммутаторы пакетной сети отличаются от коммутаторов каналов тем, что они имеют внутреннюю буферную память для временного хранения пакетов, если выходной порт коммутатора в момент принятия пакета занят передачей другого пакета .
- В этом случае пакет находится некоторое время в очереди пакетов в буферной памяти выходного порта, а когда до него дойдет очередь, то он передается следующему коммутатору.
- Такая схема передачи данных позволяет сглаживать пульсации трафика на магистральных связях между коммутаторами и тем самым использовать их наиболее эффективным образом для повышения пропускной способности сети в целом.



Коммутация пакетов

- Более высокая эффективность сетей с коммутацией пакетов по сравнению с сетями с коммутацией каналов (при равной пропускной способности каналов связи) была доказана в 60-е годы как экспериментально, так и с помощью имитационного моделирования.
- Здесь уместна аналогия с мультипрограммными операционными системами. Каждая отдельная программа в такой системе выполняется дольше, чем в однопрограммной системе, когда программе выделяется все процессорное время, пока она не завершит свое выполнение. Однако общее число программ, выполняемых за единицу времени, в мультипрограммной системе больше, чем в однопрограммной.

Виртуальные каналы в сетях с коммутацией пакетов

- Описанный выше режим передачи пакетов между двумя конечными узлами сети предполагает независимую маршрутизацию каждого пакета.
- При таком режиме работы сети называется дейтаграммным, и при его использовании коммутатор может изменить маршрут какого-либо пакета в зависимости от состояния сети - работоспособности каналов и других коммутаторов, длины очередей пакетов в соседних коммутаторах и т. п.
- Существует и другой режим работы сети - передача пакетов по *виртуальному каналу (virtual circuit или virtual channel)*. В этом случае перед тем, как начать передачу данных между двумя конечными узлами, должен быть установлен виртуальный канал, который представляет собой единственный маршрут, соединяющий эти конечные узлы.
- Виртуальный канал может быть динамическим или постоянным. Динамический виртуальный канал устанавливается при передаче в сеть специального пакета - запроса на установление соединения. Этот пакет проходит через коммутаторы и «прокладывает» виртуальный канал. Это означает, что коммутаторы запоминают маршрут для данного соединения и при поступлении последующих пакетов данного соединения отправляют их всегда по проложенному маршруту. Постоянные виртуальные каналы создаются администраторами сети путем ручной настройки коммутаторов.

Пропускная способность сетей с коммутацией пакетов

- При отказе коммутатора или канала на пути виртуального канала соединение разрывается, и виртуальный канал нужно прокладывать заново. При этом он, естественно, обойдет отказавшие участки сети.
- Каждый режим передачи пакетов имеет свои преимущества и недостатки.
- Дейтаграммный метод не требует предварительного установления соединения и поэтому работает без задержки перед передачей данных. Это особенно выгодно для передачи небольшого объема данных, когда время установления соединения может быть соизмеримым со временем передачи данных. Кроме того, дейтаграммный метод быстрее адаптируется к изменениям в сети.
- При использовании метода виртуальных каналов время, затраченное на установление виртуального канала, компенсируется последующей быстрой передачей всего потока пакетов. Коммутаторы распознают принадлежность пакета к виртуальному каналу по специальной метке - номеру виртуального канала, а не анализируют адреса конечных узлов, как это делается при дейтаграммном методе.

Пропускная способность сетей с коммутацией пакетов

- Одним из отличий метода коммутации пакетов от метода коммутации каналов является неопределенность пропускной способности соединения между двумя абонентами.
- В методе коммутации каналов после образования составного канала пропускная способность сети при передаче данных между конечными узлами известна - это пропускная способность канала.
- Данные после задержки, связанной с установлением канала, начинают передаваться на максимальной для канала скорости .
- Задержка распространения сигнала зависит от скорости распространения электромагнитных волн в конкретной физической среде, которая колеблется от 0,6 до 0,9 скорости света в вакууме.
- Время передачи сообщения равно V/C , где V - объем сообщения в битах, а C - пропускная способность канала в битах в секунду.

Пропускная способность сетей с коммутацией пакетов

- Процедура установления соединения в этих сетях, если она используется, занимает примерно такое же время, как и в сетях с коммутацией каналов, поэтому будем сравнивать только время передачи данных.
- Проведем грубую оценку задержки в передаче данных в сетях с коммутацией пакетов по сравнению с сетями с коммутацией каналов на простейшем примере.
- Пусть тестовое сообщение, которое нужно передать в обоих видах сетей, составляет 200 Кбайт. Отправитель находится от получателя на расстоянии 5000 км. Пропускная способность линий связи составляет 2 Мбит/с.
- Время передачи данных по сети с коммутацией каналов складывается из времени распространения сигнала, которое для расстояния 5000 км можно оценить примерно в 25 мс, и времени передачи сообщения, которое при пропускной способности 2 Мбит/с и длине сообщения 200 Кбайт равно примерно 800 мс, то есть всего передача данных заняла 825 мс.

Пропускная способность сетей с коммутацией пакетов

- Оценим дополнительное время, которое потребуется для передачи этого сообщения по сети с коммутацией пакетов.
- Будем считать, что путь от отправителя до получателя пролегает через 10 коммутаторов.
- Исходное сообщение разбивается на пакеты в 1 Кбайт, всего 200 пакетов.
- Вначале оценим задержку, которая возникает в исходном узле.
- Предположим, что доля служебной информации, размещенной в заголовках пакетов, по отношению к общему объему сообщения составляет 10 %.
- Следовательно, дополнительная задержка, связанная с передачей заголовков пакетов, составляет 10 % от времени передачи целого сообщения, то есть 80 мс.
- Если принять интервал между отправкой пакетов равным 1 мс, тогда дополнительные потери за счет интервалов составят 200 мс. Итого, в исходном узле из-за пакетирования сообщения при передаче возникла дополнительная задержка в 280 мс.

Пропускная способность сетей с коммутацией пакетов

- Каждый из 10 коммутаторов вносит задержку коммутации, которая может иметь большой разброс, от долей до тысяч миллисекунд.
- В данном примере примем, что на коммутацию в среднем тратится 20 мс.
- Кроме того, при прохождении сообщений через коммутатор возникает задержка буферизации пакета. Эта задержка при величине пакета 1 Кбайт и пропускной способности линии 2 Мбит/с равна 4 мс.
- Общая задержка, вносимая 10 коммутаторами, составит примерно 240 мс.
- В результате дополнительная задержка, созданная сетью с коммутацией пакетов, составила 520 мс. Учитывая, что вся передача данных в сети с коммутацией каналов заняла 825 мс, эту дополнительную задержку можно считать существенной.
- Хотя приведенный расчет носит очень приблизительный характер, но он делает более понятными те причины, которые приводят к тому, что процесс передачи для определенной пары абонентов в сети с коммутацией пакетов является более медленным, чем в сети с коммутацией каналов.

Пропускная способность сетей с коммутацией пакетов

- На эффективность работы сети существенно влияют размеры пакетов, которые передает сеть.
- Слишком большие размеры пакетов приближают сеть с коммутацией пакетов к сети с коммутацией каналов, поэтому эффективность сети при этом падает.
- Слишком маленькие пакеты заметно увеличивают долю служебной информации, так как каждый пакет несет с собой заголовок фиксированной длины, а количество пакетов, на которые разбиваются сообщения, будет резко расти при уменьшении размера пакета.
- Обычно нижний предел поля данных выбирается равным нулю, что разрешает передавать служебные пакеты без пользовательских данных, а верхний предел не превышает 4-х килобайт.
- Приложения при передаче данных пытаются занять максимальный размер поля данных, чтобы быстрее выполнить обмен данными, а небольшие пакеты обычно используются для квитанций о доставке пакета.
- При выборе размера пакета необходимо учитывать также и интенсивность битовых ошибок канала. На ненадежных каналах необходимо уменьшать размеры пакетов, так как это уменьшает объем повторно передаваемых данных при искажениях пакетов.

Коммутация сообщений

- Под *коммутацией сообщений* понимается передача единого блока данных между транзитными компьютерами сети с временной буферизацией этого блока на диске каждого компьютера.
- Сообщение в отличие от пакета имеет произвольную длину, которая определяется не технологическими соображениями, а содержанием информации, составляющей сообщение. Например, сообщением может быть текстовый документ, файл с кодом программы, электронное письмо.



Коммутация сообщений

- Транзитные компьютеры могут соединяться между собой как сетью с коммутацией пакетов, так и сетью с коммутацией каналов.
- Сообщение хранится в транзитном компьютере на диске, причем время хранения может быть достаточно большим, если компьютер загружен другими работами или сеть временно перегружена.
- По такой схеме обычно передаются сообщения, не требующие немедленного ответа, чаще всего сообщения электронной почты. Режим передачи с промежуточным хранением на диске называется режимом «*хранение-и-передача*» (*store-and-forward*).
- Режим коммутации сообщений разгружает сеть для передачи трафика, требующего быстрого ответа, например трафика службы WWW или файловой службы.

Коммутация сообщений

- Если компьютеры подключены к сети с коммутацией пакетов, то число промежуточных компьютеров обычно уменьшается до двух.
- Например, пользователь передает почтовое сообщение своему серверу исходящей почты, а тот сразу старается передать сообщение серверу входящей почты адресата.
- Но если компьютеры связаны между собой телефонной сетью, то часто используется несколько промежуточных серверов, так как прямой доступ к конечному серверу может быть невозможен в данный момент из-за перегрузки телефонной сети (абонент занят) или экономически невыгоден из-за высоких тарифов на дальнюю телефонную связь.
- Техника коммутации сообщений появилась в компьютерных сетях раньше техники коммутации пакетов, но потом была вытеснена последней, как более эффективной по критерию пропускной способности сети.
- Сегодня коммутация сообщений работает только для некоторых не оперативных служб, причем чаще всего поверх сети с коммутацией пакетов, как служба прикладного уровня.

Выводы

- В сетях для соединения абонентов используются три метода коммутации: коммутация каналов, коммутация пакетов и коммутация сообщений.
- Как коммутация каналов, так и коммутация пакетов может быть либо динамической, либо постоянной.
- В сетях с коммутацией каналов абонентов соединяет составной канал, образуемый коммутаторами сети по запросу одного из абонентов.
- Для совместного разделения каналов между коммутаторами сети несколькими абонентскими каналами используются две технологии: частотного разделения канала (FDM) и разделения канала во времени (TDM). Частотное разделение характерно для аналоговой модуляции сигналов, а временное - для цифрового кодирования.

Выводы

- Сети с коммутацией каналов хорошо коммутируют потоки данных постоянной интенсивности, например потоки данных, создаваемые разговаривающими по телефону собеседниками, но не могут перераспределять пропускную способность магистральных каналов между потоками абонентских каналов динамически.
- Сети с коммутацией пакетов были специально разработаны для эффективной передачи пульсирующего компьютерного трафика. Буферизация пакетов разных абонентов в коммутаторах позволяет сгладить неравномерности интенсивности трафика каждого абонента и равномерно загрузить каналы связи между коммутаторами.
- Сети с коммутацией пакетов эффективно работают в том отношении, что объем передаваемых данных от всех абонентов сети в единицу времени больше, чем при использовании сети с коммутацией каналов. Однако для каждой пары абонентов пропускная способность сети может оказаться ниже, чем у сети с коммутацией каналов, за счет очередей пакетов в коммутаторах.

Выводы

- Сети с коммутацией пакетов могут работать в одном из двух режимов: дейтаграммном режиме или режиме виртуальных каналов.
- Размер пакета существенно влияет на производительность сети. Обычно пакеты в сетях имеют максимальный размер в 1-4 Кбайт.
- Коммутация сообщений предназначена для организации взаимодействия пользователей в режиме off-line, когда не ожидается немедленной реакции на сообщение. При этом методе коммутации сообщение передается через несколько транзитных компьютеров, где оно целиком буферизуется на диске.