

Тема 6

Технологии физического уровня

Содержание темы

- Классификация линий связи и их характеристики.
- Типы кабелей.
- Модуляция и манипуляция сигналами.
- Дискретизация аналоговых сигналов.
- Методы кодирования.
- Частотное, временное и спектральное мультиплексирование.

Содержание темы

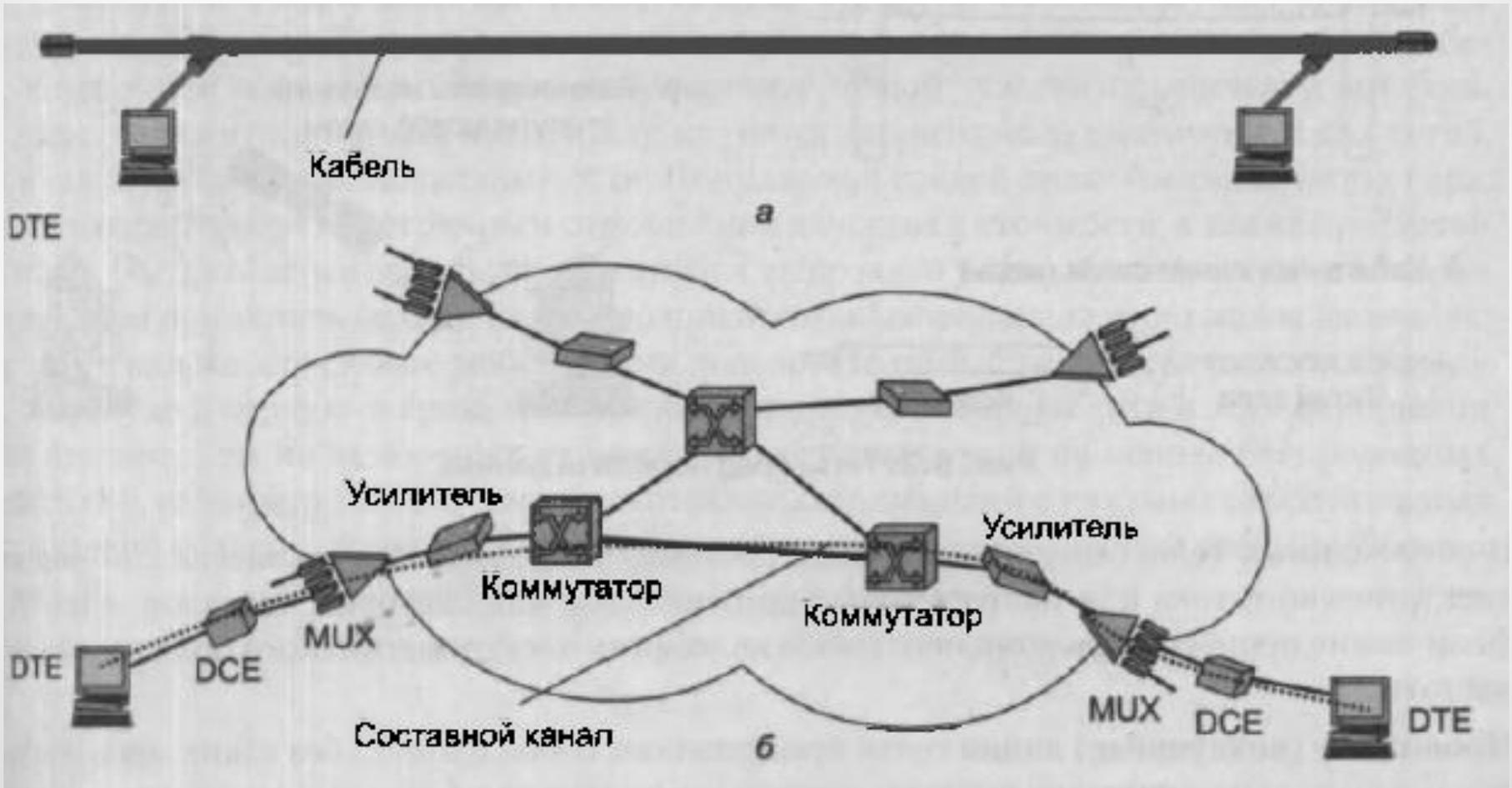
- Особенности беспроводной среды передачи.
- Множественный доступ с кодовым разделением каналов (CDMA).
- Физические стандарты Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10G Ethernet, 100G Ethernet, IEEE 802.11.

Классификация линий СВЯЗИ

Термин **линия связи** может выступать в качестве синонима для следующих понятий:

- **Звено (link)** – это сегмент, обеспечивающий передачу данных между двумя соседними узлами сети;
- **Канал (channel)** – часть пропускной способности звена, используемую независимо при коммутации (например, звено первичной сети может состоять из 30 каналов, каждый из которых обладает пропускной способностью 64 кбит/с);
- **Составной канал (circuit)** – это путь между двумя конечными узлами сети, он образуется отдельными каналами промежуточных звеньев и внутренними соединениями в коммутаторах.

Классификация линий СВЯЗИ



Классификация линий СВЯЗИ

Линии связи классифицируются по **физической среде**:

- с проводной средой передачи:
 - воздушные линии связи;
 - кабельные линии связи:
 - неэкранированная витая пара (Unshielded Twisted Pair, UTP);
 - экранированная витая пара (Shielded Twisted Pair, STP);
 - коаксиальные кабели с медной жилой;
 - волоконно-оптические кабели.
- с беспроводной средой передачи:
 - диапазоны широковещательного радио (MF, HF), очень высоких частот (VHF), ультравысоких частот (UHF), микроволн (SHF, EHF).

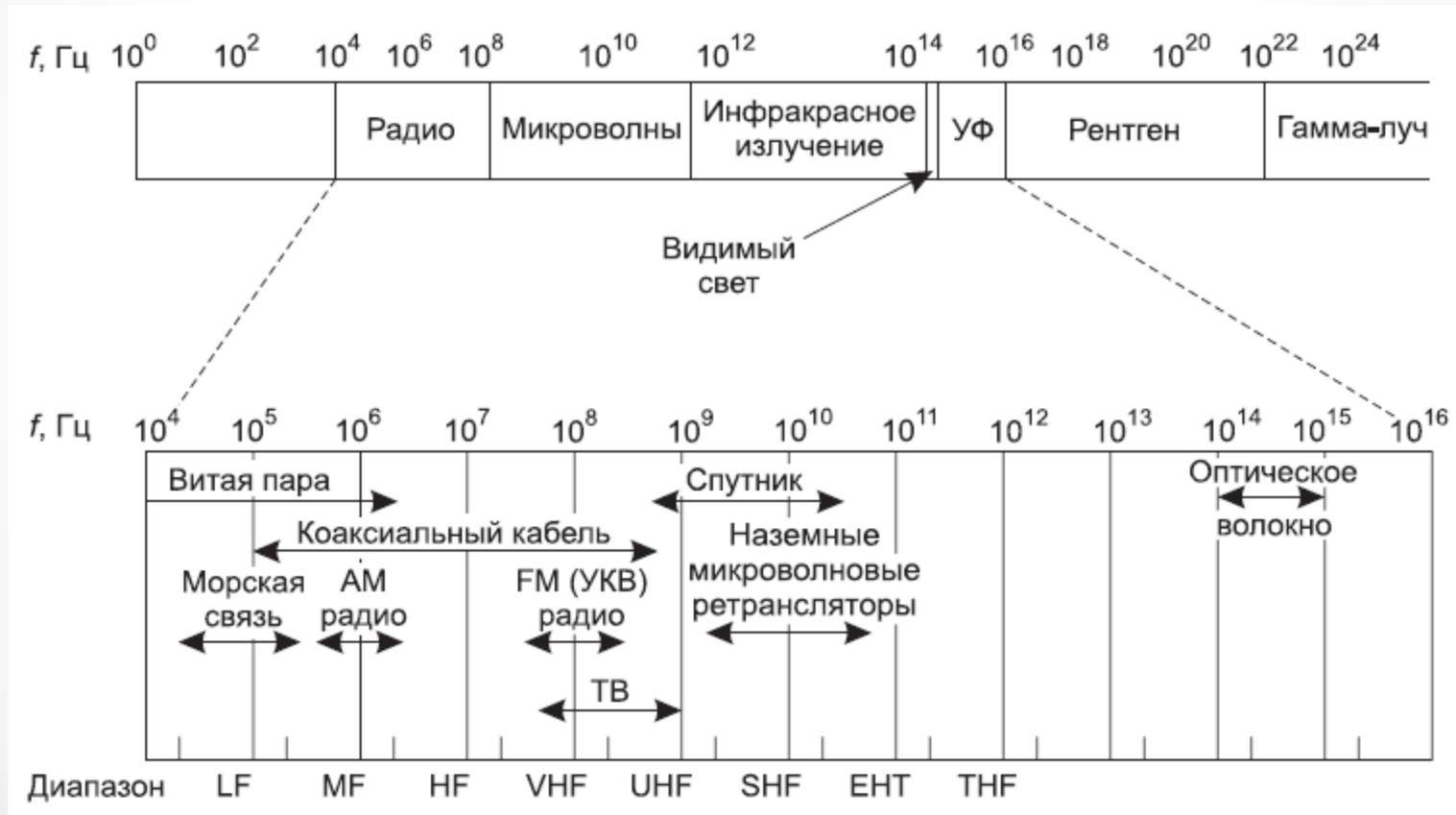
Характеристики линий СВЯЗИ

Основными характеристиками линий связи являются:

- спектр передаваемых по линии связи сигналов;
- затухание и волновое сопротивление;
- помехоустойчивость и достоверность;
- полоса пропускания и пропускная способность.

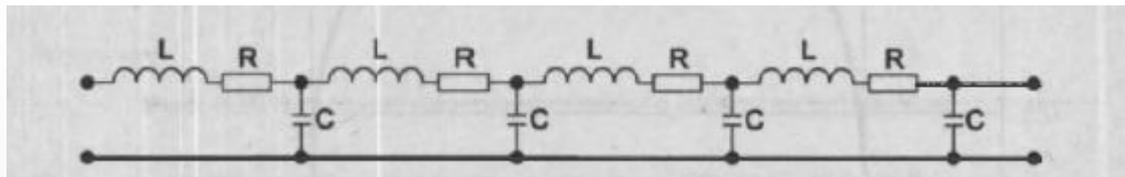
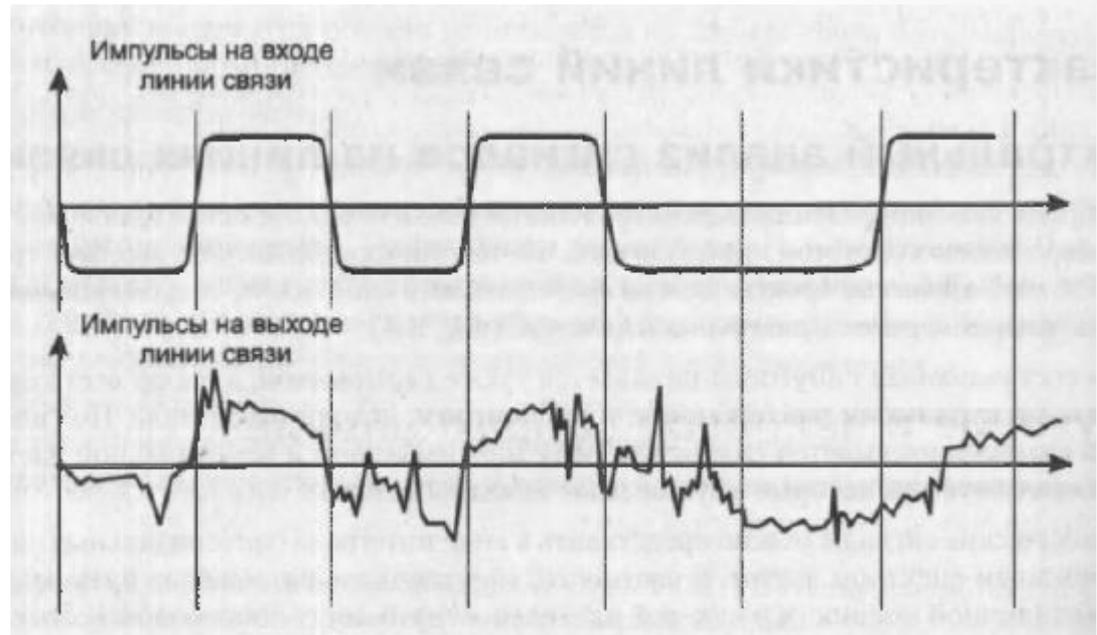
Характеристики линий СВЯЗИ

Электромагнитный спектр и его применение в связи



Характеристики линий СВЯЗИ

Искажение импульсов в линии СВЯЗИ



Медная линия как распределенная индуктивно-емкостная нагрузка

Характеристики линий СВЯЗИ

Затухание показывает, насколько уменьшается мощность эталонного синусоидального сигнала на выходе линии связи по отношению к мощности сигнала на входе этой линии.

$$A = 10 \lg \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

P_{out} - мощность сигнала на выходе линии, P_{in} - мощность сигнала на входе линии.

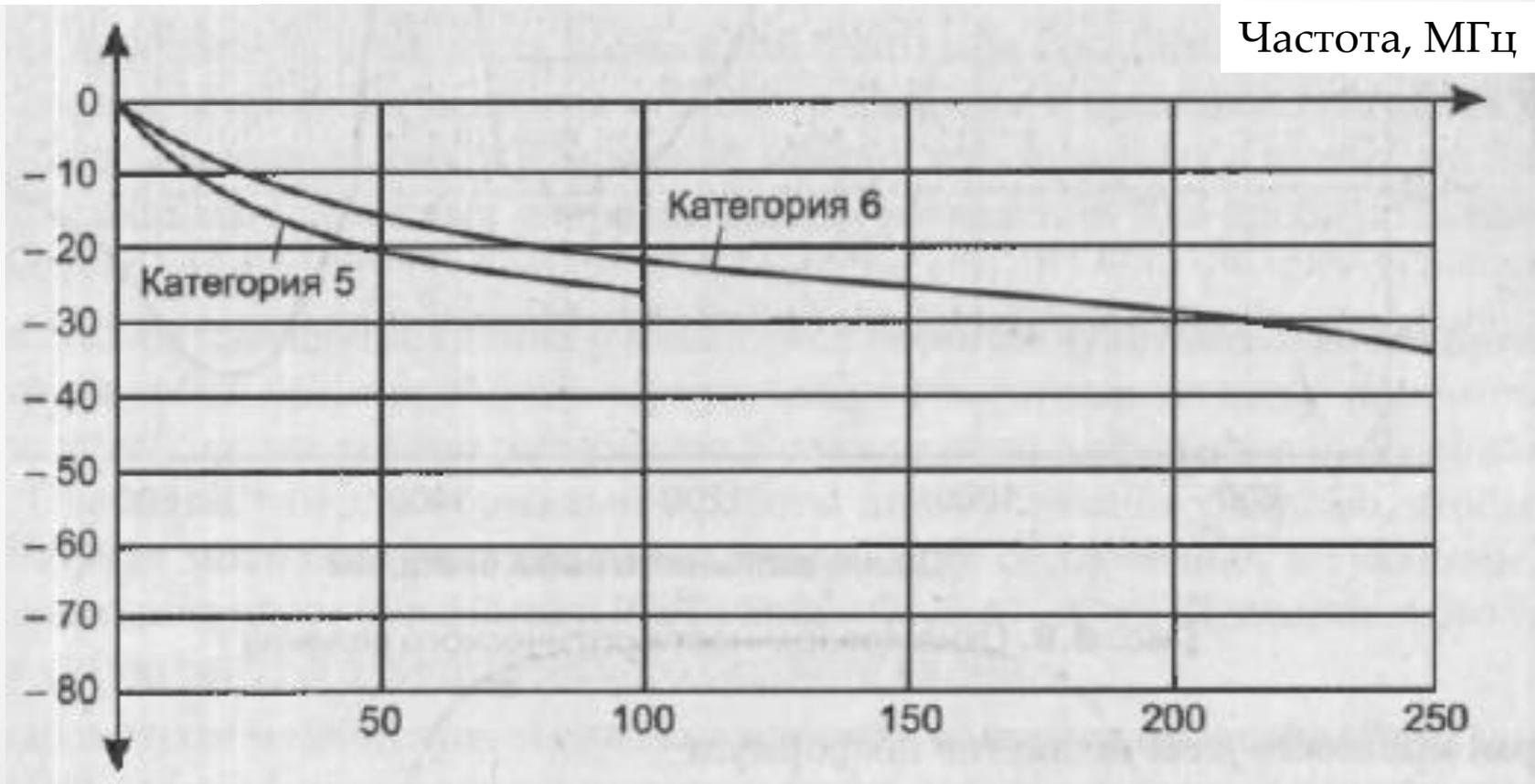
Чаще используется так называемое погонное затухание, то есть затухание на линии связи определенной длины.

Для кабелей **локальных сетей** в качестве такой длины обычно используют 100 м, а для **территориальных линий** связи погонное затухание измеряют для расстояния в 1 км.

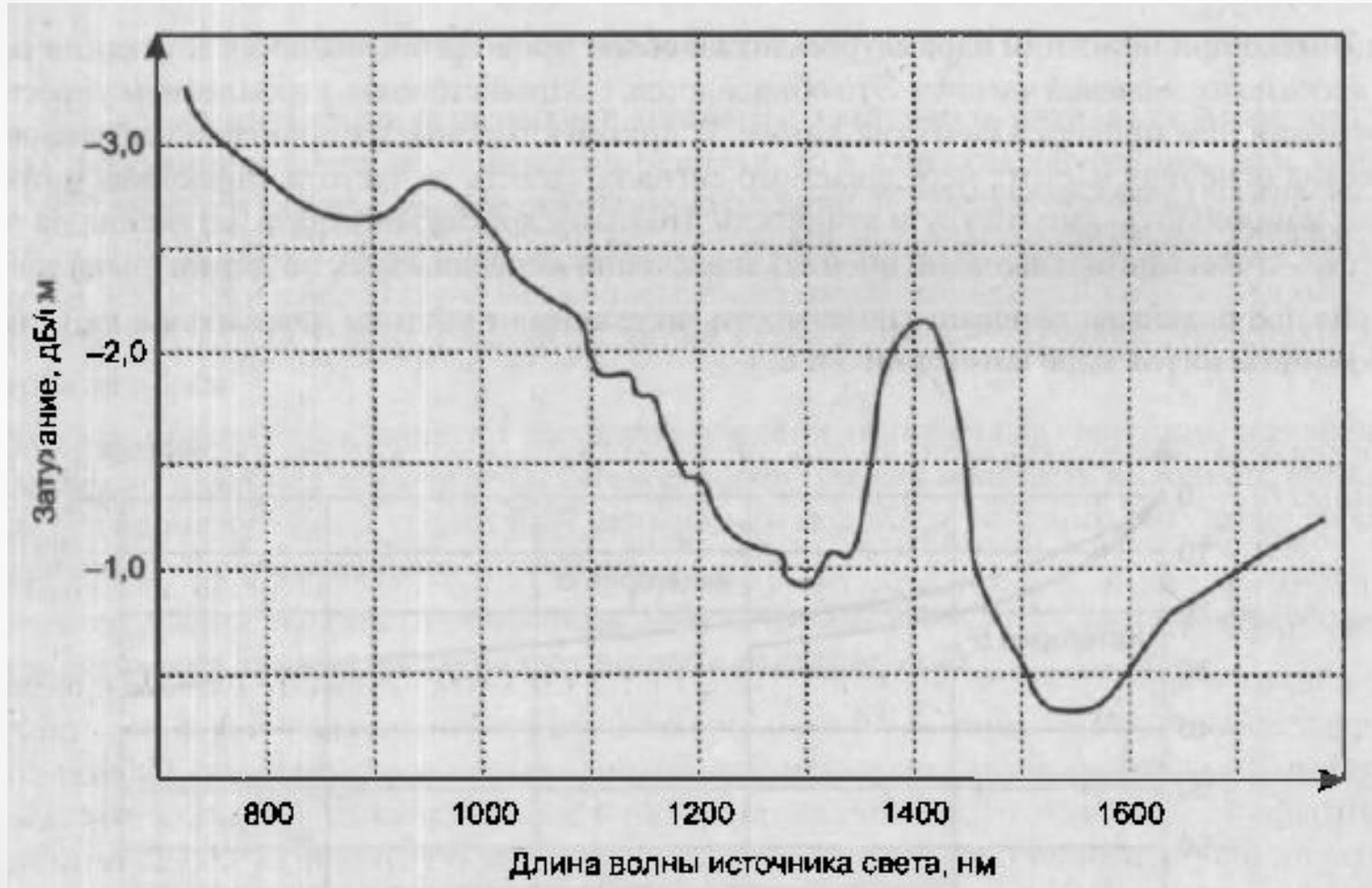
Характеристики линий СВЯЗИ

Затухание, дБ

Частота, МГц



Характеристики линий СВЯЗИ



Характеристики линий СВЯЗИ

Волновое сопротивление - полное (комплексное) сопротивление, которое встречает электромагнитная волна определенной частоты при распространении вдоль однородной цепи.

Волновое сопротивление измеряется в омах и зависит от таких параметров линии связи, как:

- активное сопротивление;
- погонная индуктивность;
- погонная емкость;
- частота самого сигнала.

Выходное сопротивление передатчика должно быть согласовано с волновым сопротивлением линии, иначе затухание сигнала будет чрезмерно большим.

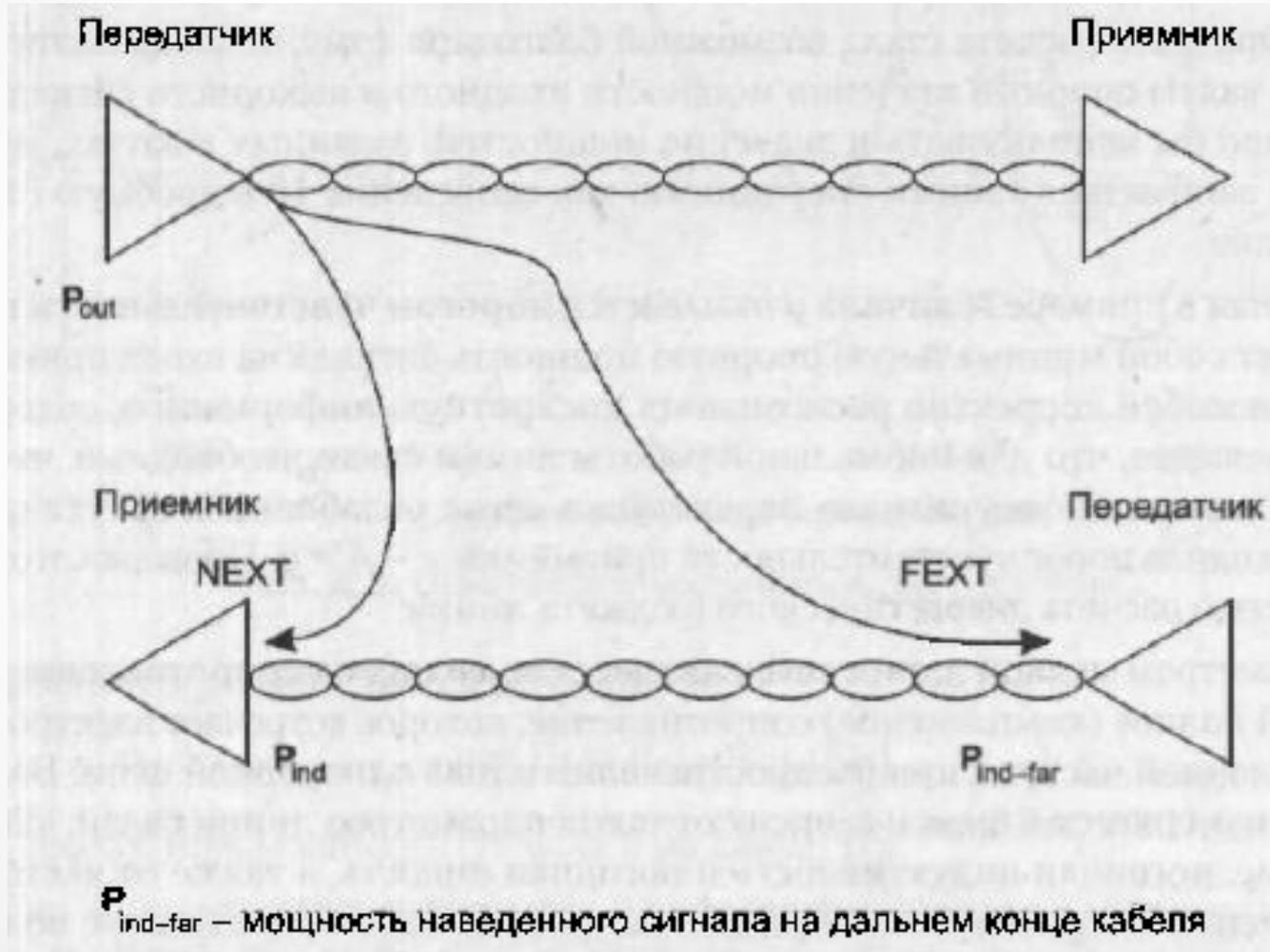
Характеристики линий СВЯЗИ

Помехоустойчивость линии определяет способность линии противостоять влиянию помех, создаваемых во внешней среде или на внутренних проводниках самого кабеля.

Помехоустойчивость линии зависит от типа используемой физической среды, а также от средств экранирования и подавления помех самой линии.

Наименее помехоустойчивыми являются радиолинии, хорошей устойчивостью обладают кабельные линии и отличной - волоконно-оптические линии, мало чувствительные к внешнему электромагнитному излучению.

Характеристики линий СВЯЗИ



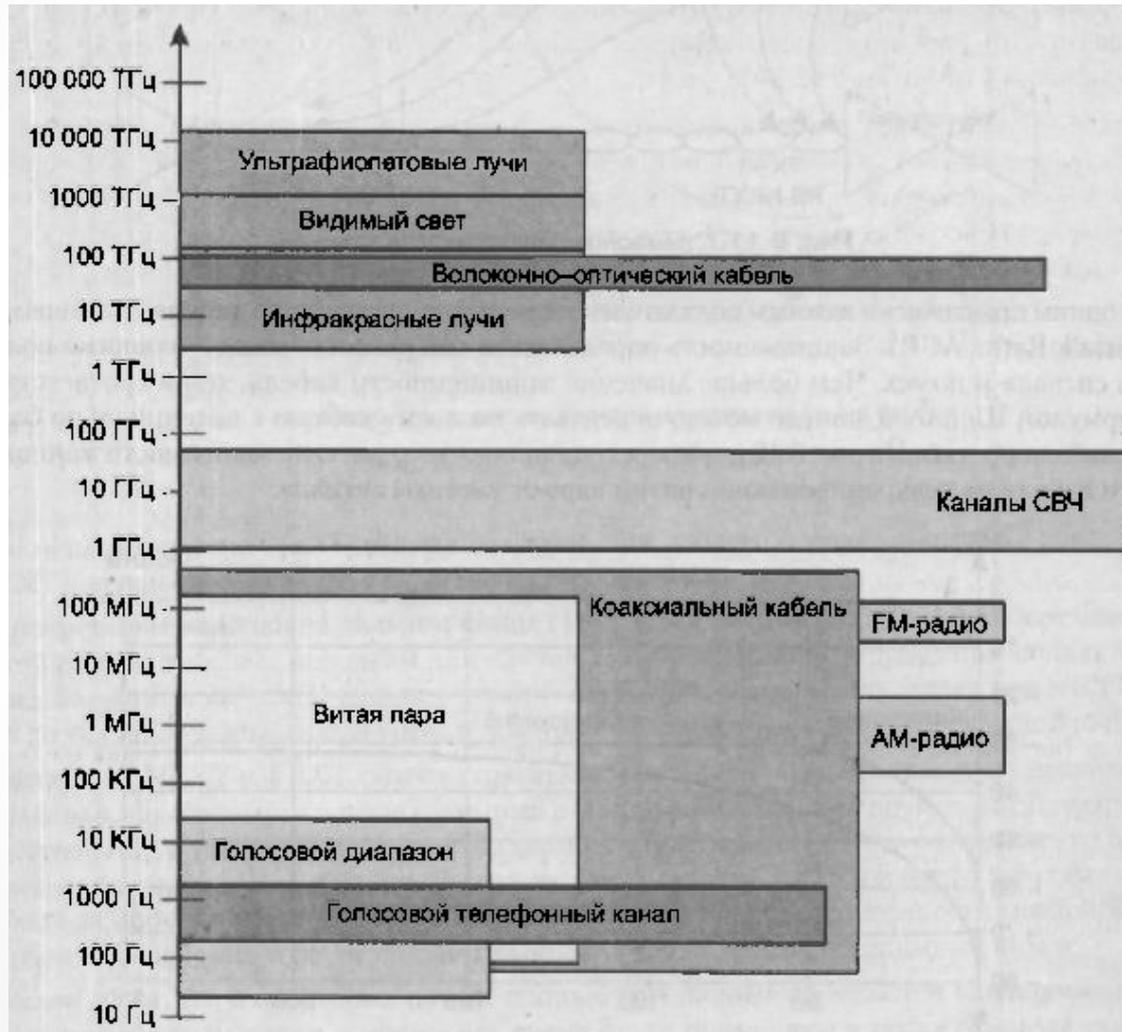
Характеристики линий СВЯЗИ

Достоверность передачи данных характеризует вероятность искажения каждого передаваемого бита данных.

Иногда этот же показатель называют **интенсивностью битовых ошибок (Bit Error Rate, BER)**.

Величина BER для линий связи без дополнительных средств защиты от ошибок (например, самокорректирующихся кодов или протоколов с повторной передачей искаженных кадров) составляет, как правило, 10^{-4} - 10^{-6} , в оптоволоконных линиях связи - 10^{-9} .

Характеристики линий СВЯЗИ



Характеристики линий СВЯЗИ

Полоса пропускания - это непрерывный диапазон частот, для которого затухание не превышает некоторый заранее заданный предел.

Полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений.

Пропускная способность линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных, которая может быть достигнута на этой линии.

Особенностью пропускной способности является то, что, с одной стороны, эта характеристика зависит от параметров физической среды, а с другой - определяется способом передачи данных.

Характеристики линий СВЯЗИ

Связь между полосой пропускания линии и ее пропускной способностью вне зависимости от принятого способа физического кодирования установил **Клод Шеннон**:

$$C = F \log_2 \left(1 - \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right)$$

Здесь

C - пропускная способность линии в битах в секунду;

F - ширина полосы пропускания линии в герцах;

P_c - мощность сигнала;

$P_{\text{ш}}$ - мощность шума.

Характеристики линий СВЯЗИ

Близким по сути к формуле Шеннона является другое соотношение, полученное **Найквистом**, которое также определяет максимально возможную пропускную способность линии связи, но без учета шума в линии:

$$C = 2F \log_2(M)$$

Здесь

M - количество различных состояний информационного параметра.

Хотя в формуле Найквиста наличие шума в явном виде не учитывается, косвенно его влияние отражается в выборе количества состояний информационного сигнала.

Типы кабелей

В настоящее время как для внутренней (кабели зданий), так и для внешней проводки чаще всего применяются три класса проводных линий связи:

- витая пара;
- коаксиальные кабели;
- волоконно-оптические кабели.

Витая пара

Витой парой называется скрученная пара проводов.

Этот вид среды передачи данных очень популярен и составляет основу большого количества как внутренних, так и внешних кабелей.

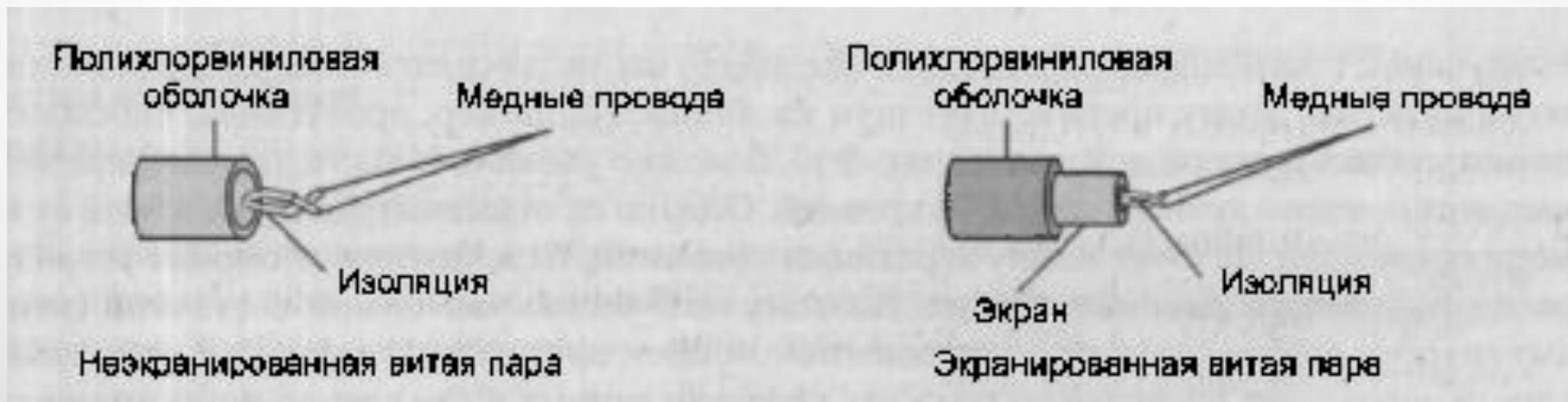
Кабель может состоять из нескольких скрученных пар (внешние кабели иногда содержат до нескольких десятков таких пар).

Скручивание проводов снижает влияние внешних и взаимных помех на полезные сигналы, передаваемые по кабелю.

Витая пара

Кабели на основе витой пары являются **симметричными**, то есть они состоят из двух одинаковых в конструктивном отношении проводников.

Симметричный кабель на основе витой пары может быть как **экранированным (Shielded Twisted Pair, STP)**, так и **неэкранированным (Unshielded Twisted Pair, UTP)**.



Витая пара

Кабели на основе **витой пары**, используемые для проводки внутри здания, разделяются в международных стандартах на категории от 1 до 7:

- Кабели **категории 1** применялись для цифровой и аналоговой передачи голоса и низкоскоростной (до 20 кбит/с) передачи данных. До 1983 года это был основной тип кабеля для телефонной разводки;
- Кабели **категории 2** были впервые применены фирмой IBM и способны передавать сигналы со спектром до 1 МГц;
- Кабели **категории 3** были стандартизованы в 1991 году и их частотный диапазон достигает 16 МГц;
- Кабели **категории 4** являются улучшенным вариантом кабелей категории 3 со спектром до 20 МГц;

В настоящее время кабели категорий 1 – 4 не используются.

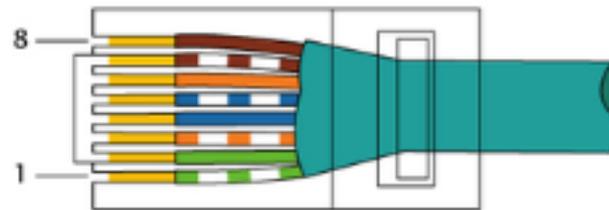
Витая пара

- Кабели **категории 5** были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов. Их характеристики определяются в диапазоне до 100 МГц. Большинство высокоскоростных технологий (FDDI, Fast Ethernet, ATM и Gigabit Ethernet) ориентировано на использование витой пары категории 5;
- Кабели **категории 6** имеют спектр до 250 МГц, они могут быть как экранированными, так и неэкранированными;
- Кабели **категории 7** имеют спектр до 600 МГц и обязательно экранируются, причем как каждая пара, так и весь кабель в целом.

Витая пара

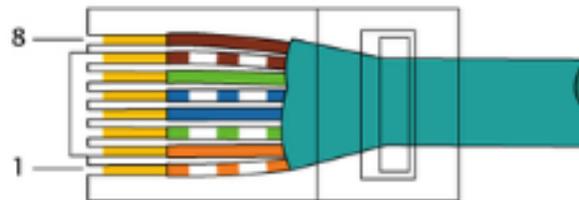
Прямой кабель (Straight Through Cable)

- Вариант по стандарту TIA/EIA-568A



EIA/TIA-568A

- Вариант по стандарту TIA/EIA-568B (используется чаще)

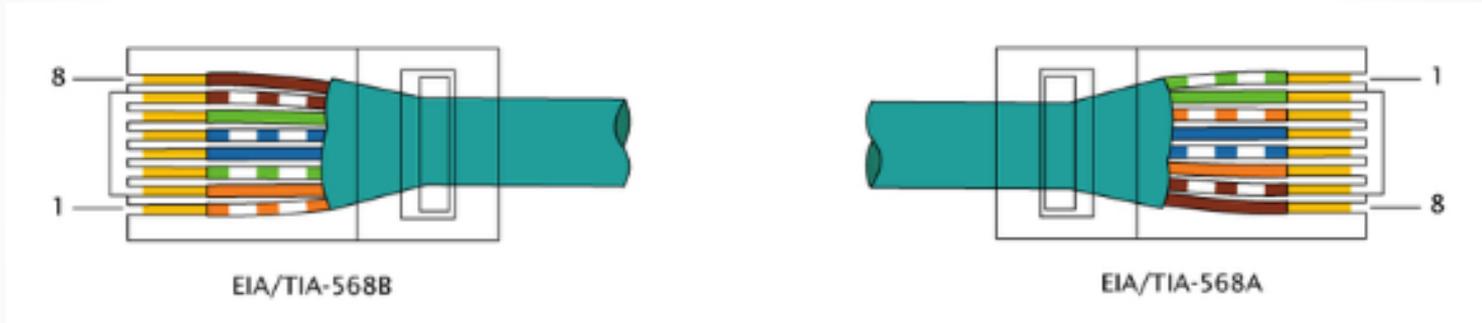


EIA/TIA-568B

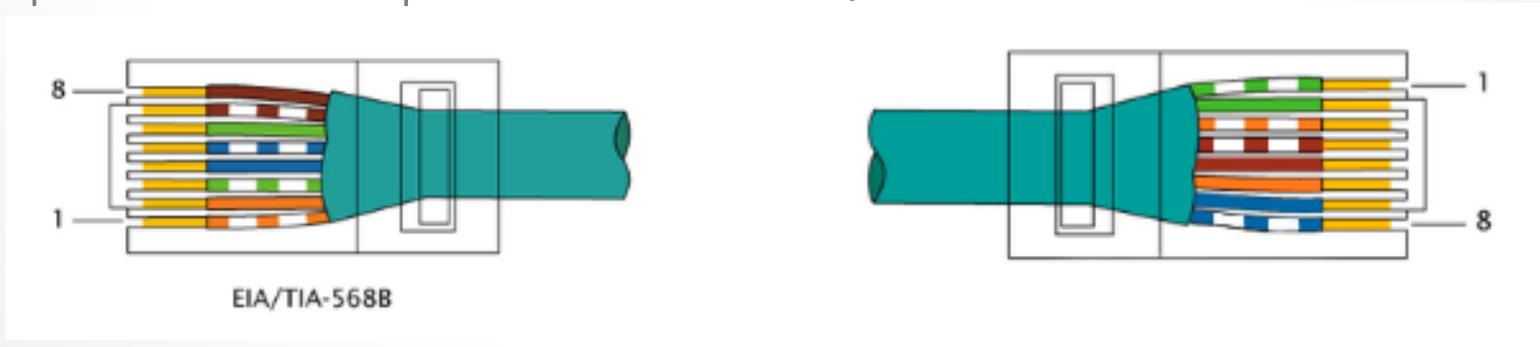
Витая пара

Перекрёстный кабель (Crossover Cable)

- Вариант для скорости 100 Мбит/с



- Вариант для скорости 1000 Мбит/с



Коаксиальный кабель

Коаксиальный кабель состоит из несимметричных пар проводников.

Каждая пара представляет собой внутреннюю медную жилу и соосную с ней внешнюю жилу, которая может быть полый медной трубой или оплеткой, отделенной от внутренней жилы диэлектрической изоляцией.

Внешняя жила играет двойную роль - по ней передаются информационные сигналы и она является экраном, защищающим внутреннюю жилу от внешних электромагнитных полей.



Коаксиальный кабель

Существует несколько типов коаксиального кабеля, отличающихся характеристиками и областями применения:

- **«Толстый»** коаксиальный кабель разработан для сетей Ethernet на разделяемой среде, имеет волновое сопротивление 50 Ом и внешний диаметр около 12 мм;
- **«Тонкий»** коаксиальный кабель предназначен для сетей Ethernet на разделяемой среде, имеет волновое сопротивление 50 Ом и внешний диаметр около 6 мм, он не так прочен, как «толстый» коаксиал, зато обладает гораздо большей гибкостью;
- **Телевизионный кабель** с волновым сопротивлением 75 Ом широко применяется в кабельном телевидении и может использоваться для передачи данных.

Волоконно-оптические кабели

Стандарты волоконно-оптических кабелей разрабатываются ИТУ-Т

Одномодовое волокно (SMF)				Многомодовое волокно (MMF)	
стандартное (SMF)	со смещённой дисперсией (DSF)	с минимизацией затухания (CSF)	с ненулевой смещённой дисперсией (NZDSF)	50 / 125	62,5 / 125
ITU-T G. 652	ITU-T G. 653	ITU-T G. 654	ITU-T G. 655	ITU-T G. 651	IEC 60793-2

ВОК для подвески на опорах

Структура кабеля **ОКЛ**:

1 – центральный силовой элемент (стеклопластиковый стержень);

2 – оптические волокна;

3 – оптический модуль;

4 – тиксотропный гидрофобный наполнитель;

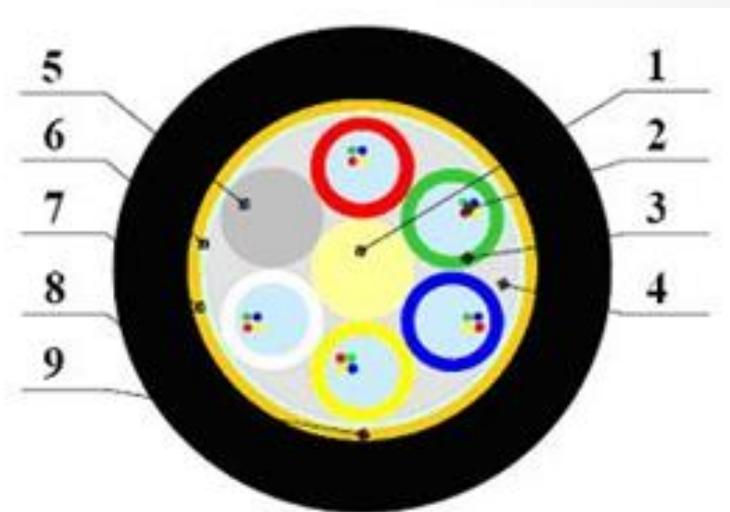
5 – кордель;

6 – скрепляющая обмотка из нитей и лент;

7 – промежуточная оболочка из полиэтилена;

8 – упрочняющий слой (арамидные нити);

9 – наружная оболочка из полиэтилена.



ВОК для подвески на опорах

Структура кабеля **ОКТ**:

1 – оптические волокна,
сгруппированные в пучки;

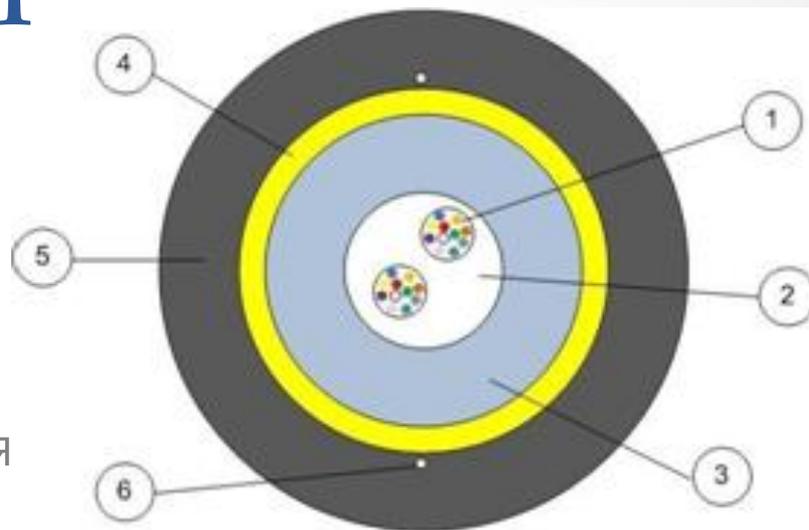
2 – тиксотропный
гидрофобный наполнитель;

3 – центрально-расположенная
трубка;

4 – силовой элемент (пучок арамидных нитей);

5 – оболочка из полиэтилена;

6 – шнур режущий.



ВОК для подвески на опорах

Структура кабеля **ОКЛ8**:

1 – несущий элемент (стальной канат);

2 – центральный силовой элемент (стеклопластиковый стержень);

3 – оптические волокна;

4 – оптический модуль;

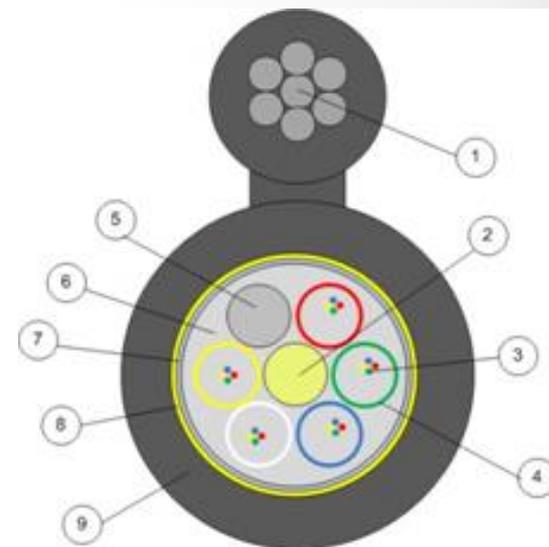
5 – кордель (по заказу медные изолированные жилы дистанционного питания);

6 – тиксотропный гидрофобный наполнитель;

7 – скрепляющая обмотка из нитей и лент;

8 – периферийный силовой элемент (арамидные нити);

9 – оболочка из полиэтилена.



ВОК для подвески на опорах

Структура кабеля **ОКТ8**:

1 – несущий элемент
(стальной канат);

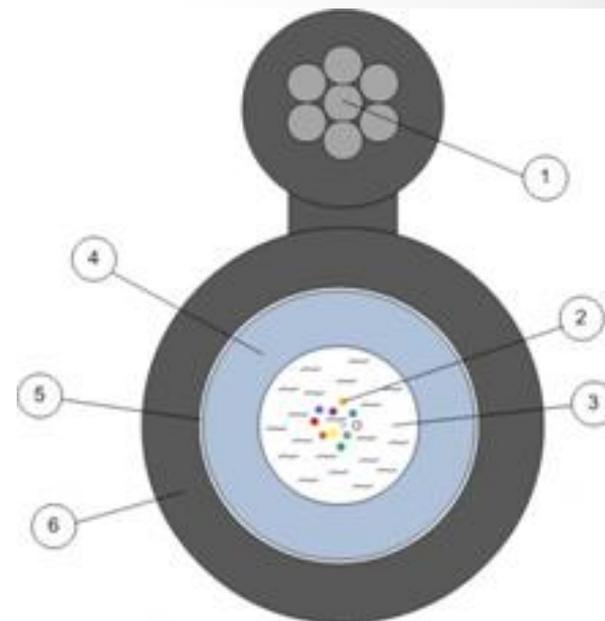
2 – оптические волокна;

3 – тиксотропный гидрофобный
заполнитель;

4 – центрально-расположенная трубка;

5 – водоблокирующая лента;

6 – металлопластмассовая оболочка с применением
алюминиевой ламинированной ленты.



ВОК для подвески на опорах

Структура кабеля **ДПМ**:

1 – центральный силовой элемент (стеклопластиковый стержень);

2, 3 – ПБТ-модуль со свободно уложенными оптическими волокнами и гидрофобным гелем;

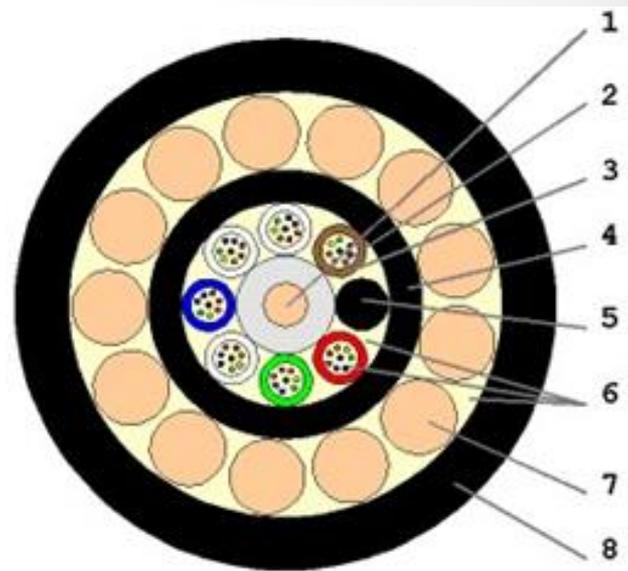
4 – промежуточная полиэтиленовая оболочка;

5 – кордель ;

6 – межмодульный гидрофобный наполнитель

7 – армирование стеклопластиковыми стержнями;

8 – наружная черная полиэтиленовая оболочка с маркировкой.



ВОК для подвески на опорах

Структура кабеля **ДПТ**:

1 – центральный силовой элемент (стеклопластиковый стержень);

2 – ПБТ-модуль со свободно уложенными оптическими волокнами и гидрофобным гелем;

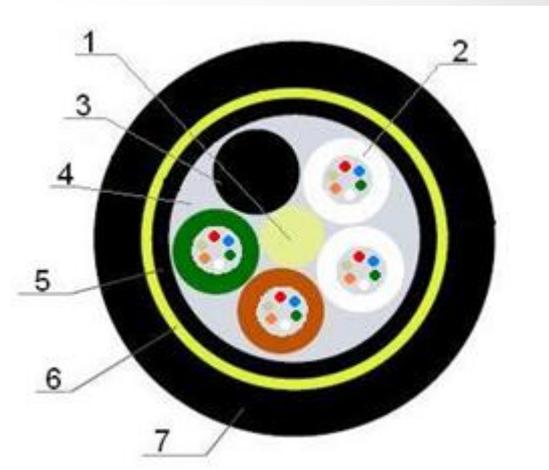
3 – кордель;

4 – межмодульный гидрофобный наполнитель;

5 – промежуточная полиэтиленовая оболочка (для кабелей в исполнении с усиленной баллистической защитой оболочка из полиамидных материалов);

6 – повив из арамидных нитей с подклеивающим компаундом;

7 – наружная черная полиэтиленовая оболочка с маркировкой.



ВОК для прокладки в грунт

Структура кабеля **ОКЛК**:

1 – центральный силовой элемент (стеклопластиковый стержень);

2 – оптические волокна;

3 – оптический модуль;

4 – тиксотропный гидрофобный наполнитель;

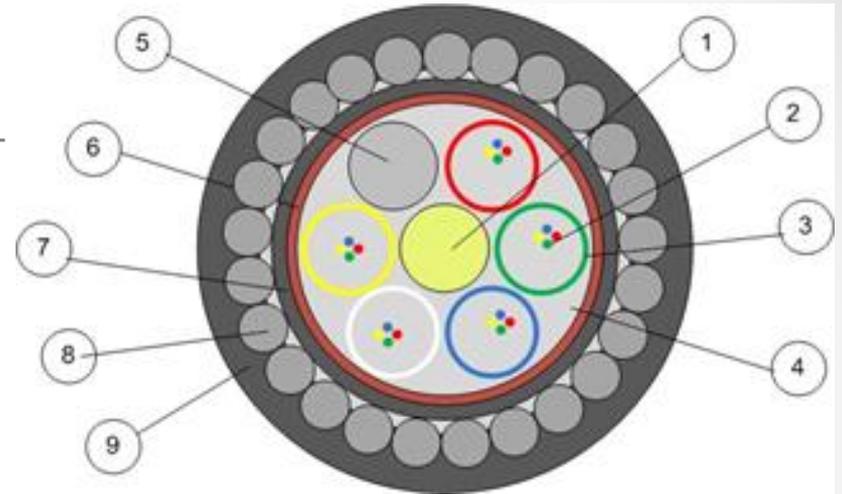
5 – кордель (по заказу медные изолированные жилы дистанционного питания);

6 – скрепляющая обмотка из нитей и лент;

7 – оболочка из полиэтилена;

8 – броня из круглых стальных оцинкованных проволок;

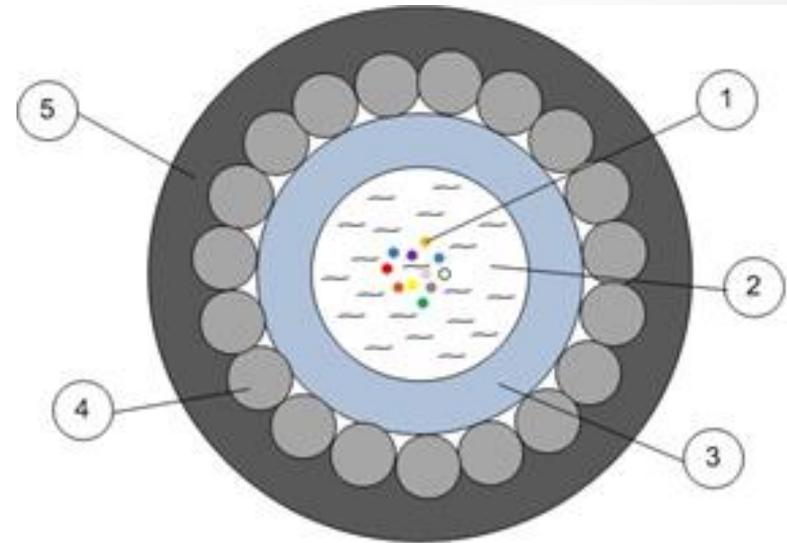
9 – защитный шланг из полиэтилена.



ВОК для прокладки в грунт

Структура кабеля **ОКТК**:

- 1 – оптические волокна;
- 2 – тиксотропный гидрофобный наполнитель;
- 3 – центрально-расположенная трубка;
- 4 – броня из круглых стальных оцинкованных проволок;
- 5 – защитный шланг из полиэтилена.



ВОК для прокладки в грунт

Структура кабеля **ОКТБг**:

1 – оптические волокна, сгруппированные в пучки;

2 – тиксотропный гидрофобный наполнитель;

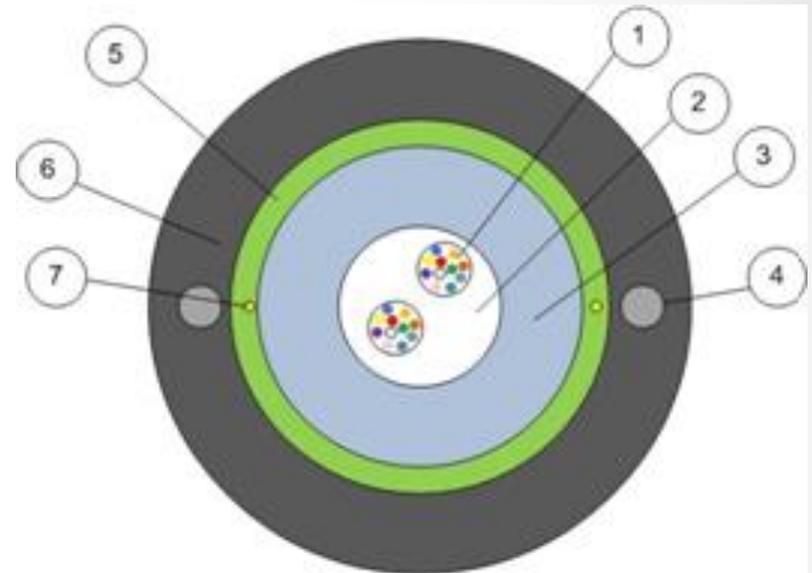
3 – центрально-расположенная трубка;

4 – силовой элемент (продольно расположенные стальные проволоки);

5 – броня из гофрированной стальной ламинированной ленты;

6 – защитный шланг из полиэтилена;

7 – шнур режущий.



ВОК для прокладки в грунт

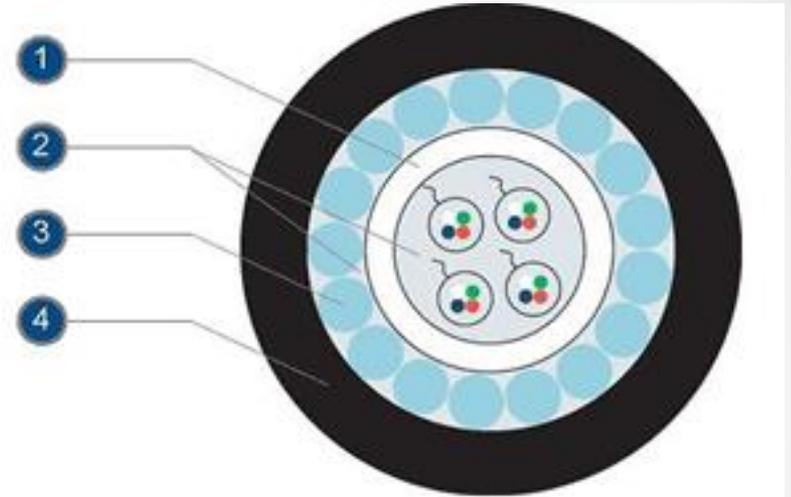
Структура кабеля **ОПС**:

1 – осевой элемент (центральная трубка с гидрофобным наполнителем и оптическими волокнами, сгруппированными в пучки или уложенными свободно);

2 – межмодульный гидрофобный наполнитель;

3 – броня из круглых стальных проволок;

4 – защитная оболочка (полиэтилен или материал, не распространяющий горение).



Модуляция и манипуляция сигналов

Исторически модуляция начала применяться для **аналоговой информации** и только потом для **дискретной**.

Необходимость в модуляции аналоговой информации возникает, когда нужно передать **низкочастотный аналоговый сигнал** через канал, находящийся в **высокочастотной** области спектра.

Примерами такой ситуации является передача голоса по радио или телевидению.

Модуляция и манипуляция сигналов

Если амплитуду высокочастотного несущего сигнала изменяют (модулируют) в соответствии с изменением низкочастотного голосового сигнала, то такой тип модуляции называется **амплитудной модуляцией (Amplitude Modulation, AM)**;

Если в качестве информационного параметра используют частоту синусоидального сигнала, то такой тип модуляции называется **частотной модуляцией (Frequency Modulation, FM)**.

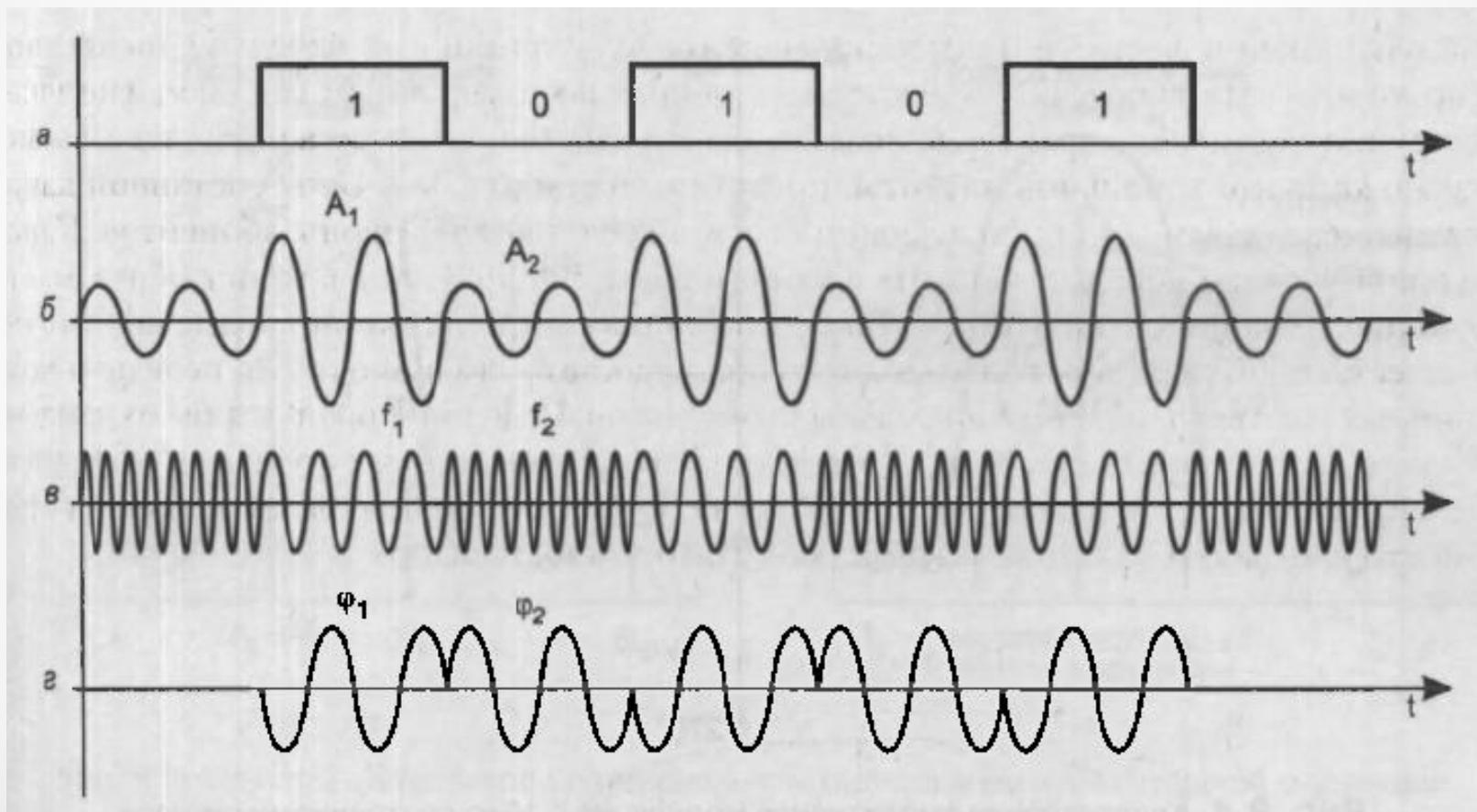
Модуляция и манипуляция сигналов

При передаче **дискретной информации** посредством модуляции единицы и нули кодируются изменением амплитуды, частоты или фазы несущего синусоидального сигнала. В этом случае вместо термина «**МОДУЛЯЦИЯ**» используется термин «**МАНИПУЛЯЦИЯ**».

Выделяют следующие виды манипуляции:

- **амплитудную (Amplitude Shift Keying, ASK);**
- **частотную (Frequency Shift Keying, FSK);**
- **фазовую (Phase Shift Keying, PSK).**

Модуляция и манипуляция сигналов

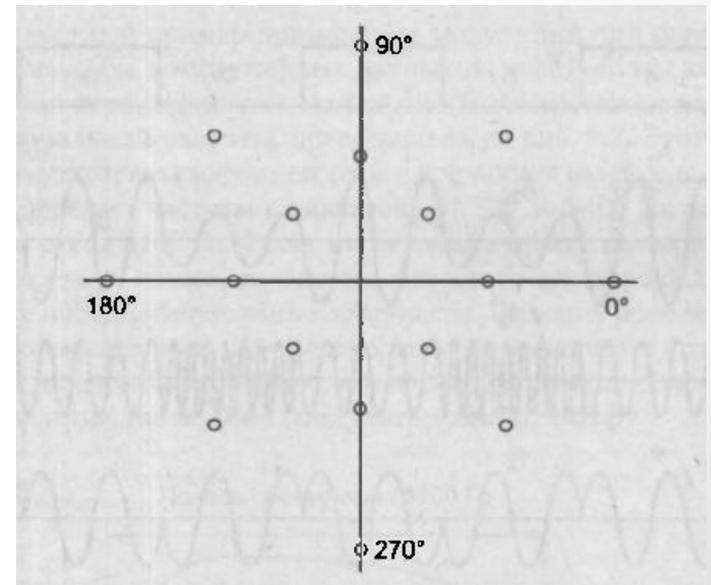


Модуляция и манипуляция сигналами

Для повышения скорости передачи данных прибегают к комбинированным методам модуляции.

Наиболее распространенными являются методы **квадратурной амплитудной модуляции (Quadrature Amplitude Modulation, QAM)**.

Эти методы основаны на сочетании фазовой и амплитудной модуляции.



Дискретизация аналоговых сигналов

В то время, когда на смену аналоговой технике записи и передачи звука и изображений пришла цифровая техника, стала использоваться так называемая **дискретная модуляция** исходных непрерывных во времени аналоговых процессов.

Дискретная модуляция выполняется за счет:

- **дискретизации по времени**, когда амплитуда исходной непрерывной функции измеряется с заданным периодом дискретизации;
- **дискретизации по значениям**, когда каждый замер ставится в соответствие с дискретным множеством возможных значений амплитуды функции;
- **кодирования**, когда дискретное множество возможных значений амплитуды функции представляется в виде двоичных чисел определенной разрядности.

Дискретизация аналоговых сигналов

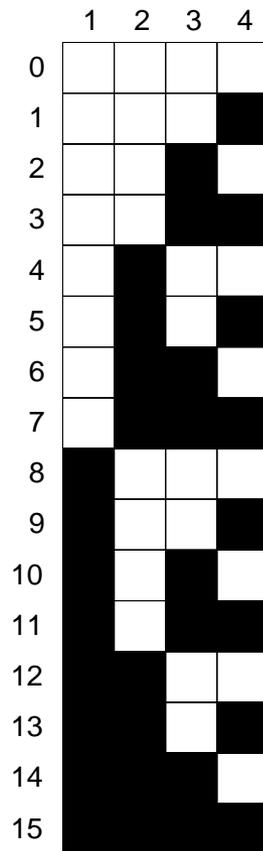
Устройство, которое выполняет дискретизацию аналоговых сигналов, называется **аналого-цифровым преобразователем (АЦП)**.

После дискретизации замеры передаются по линиям связи в виде последовательности единиц и нулей.

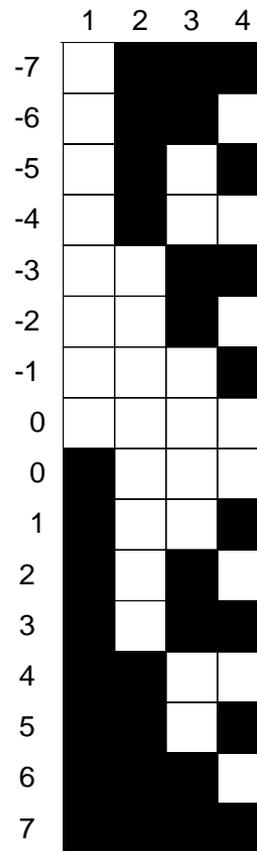
На приемной стороне линии специальная аппаратура, называемая **цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП)**, производит демодуляцию оцифрованных амплитуд, восстанавливая исходную непрерывную функцию времени.

Дискретизация аналоговых сигналов

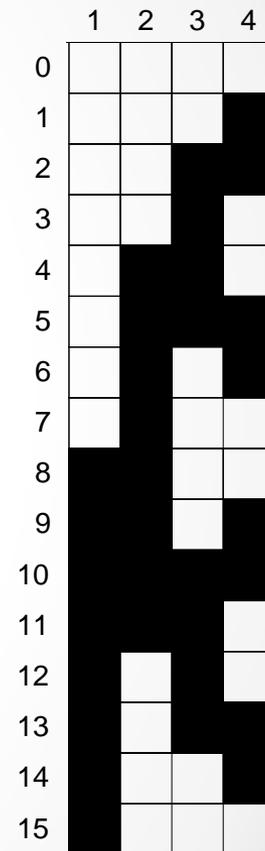
- а) натуральный
двоичный
четырёхразрядный код;
б) симметричный
двоичный код;
в) код Грея.



а



б



в

Дискретизация аналоговых сигналов

Как аналоговый сигнал тональной частоты (300 – 3400 Гц) передать с использованием цифровой системы передачи?

Какой цифровой канал для этого понадобится?

Какова необходимая пропускная способность такого канала?

Методы кодирования

При выборе способа кодирования нужно одновременно стремиться к достижению нескольких целей:

- минимизировать ширину спектра сигнала, полученного в результате кодирования;
- обеспечивать синхронизацию между передатчиком и приемником;
- обеспечивать устойчивость к шумам;
- обнаруживать и по возможности исправлять битовые ошибки;
- минимизировать мощность передатчика.

Методы кодирования

Коды разделяют на:

- **потенциальные**, при которых единице соответствует один уровень напряжения, а нулю – другой;
- **импульсные**, в которых данные представлены полным импульсом или же его частью – фронтом.

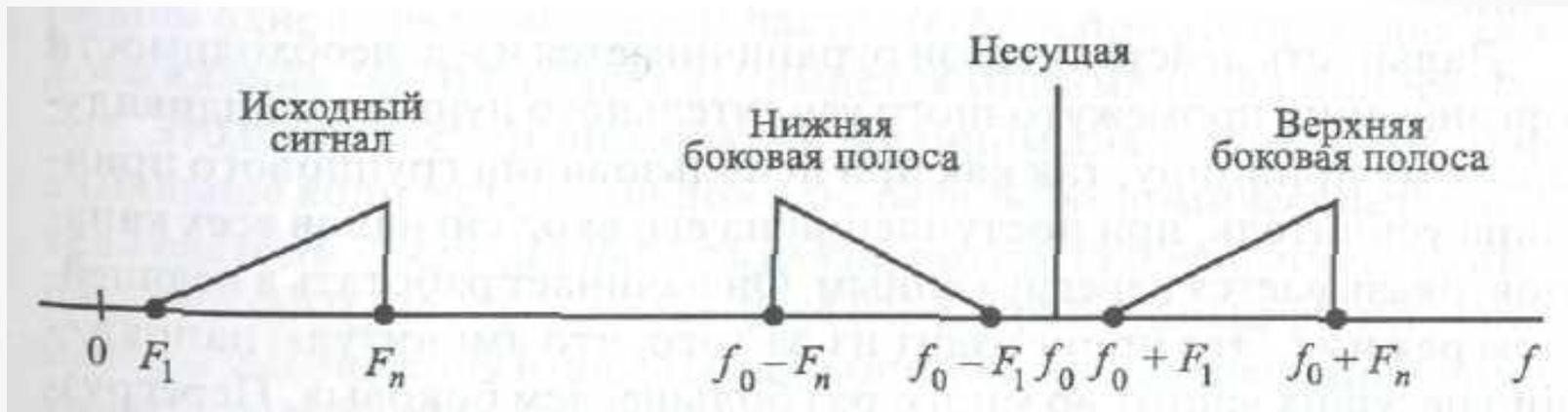
Частотное мультиплексирование

Техника **частотного мультиплексирования (Frequency Division Multiplexing, FDM)** была разработана для телефонных сетей, но применяется она и для других видов сетей.

Основная идея этого метода состоит в выделении каждому соединению **собственного диапазона частот** в общей полосе пропускания линии связи.

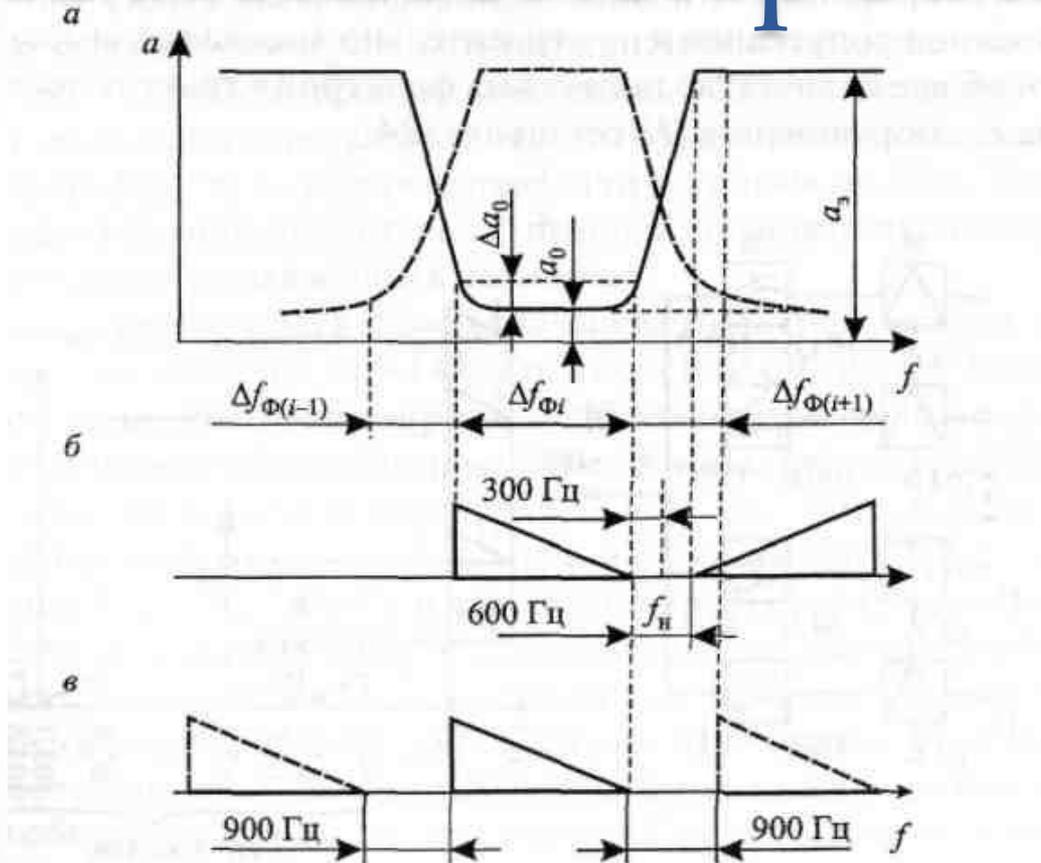
На основе этого диапазона создается **канал**.

Частотное мультиплексирование



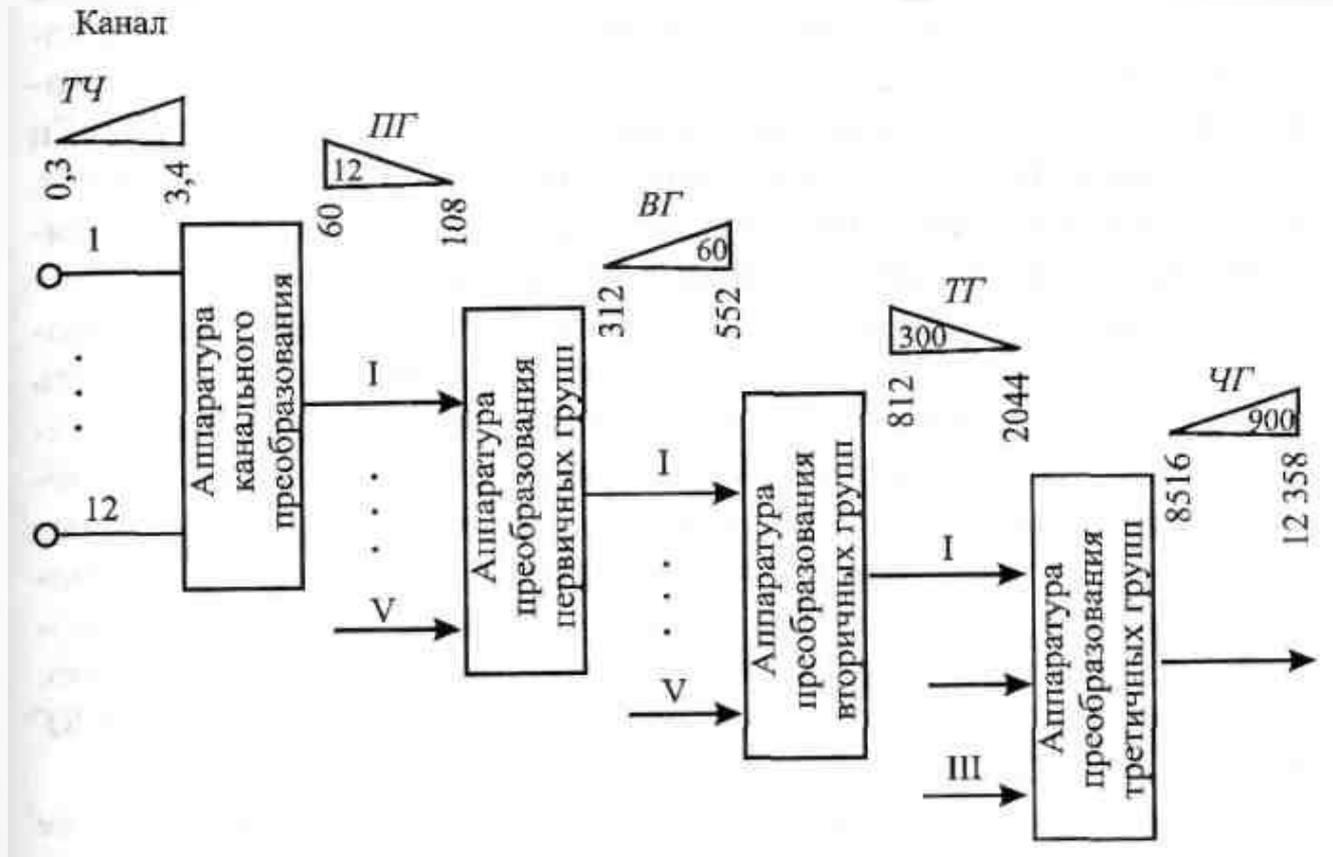
Преобразование частот при амплитудной модуляции – один из способов перенести диапазон частот сигнала в другую область спектра.

Частотное мультиплексирование



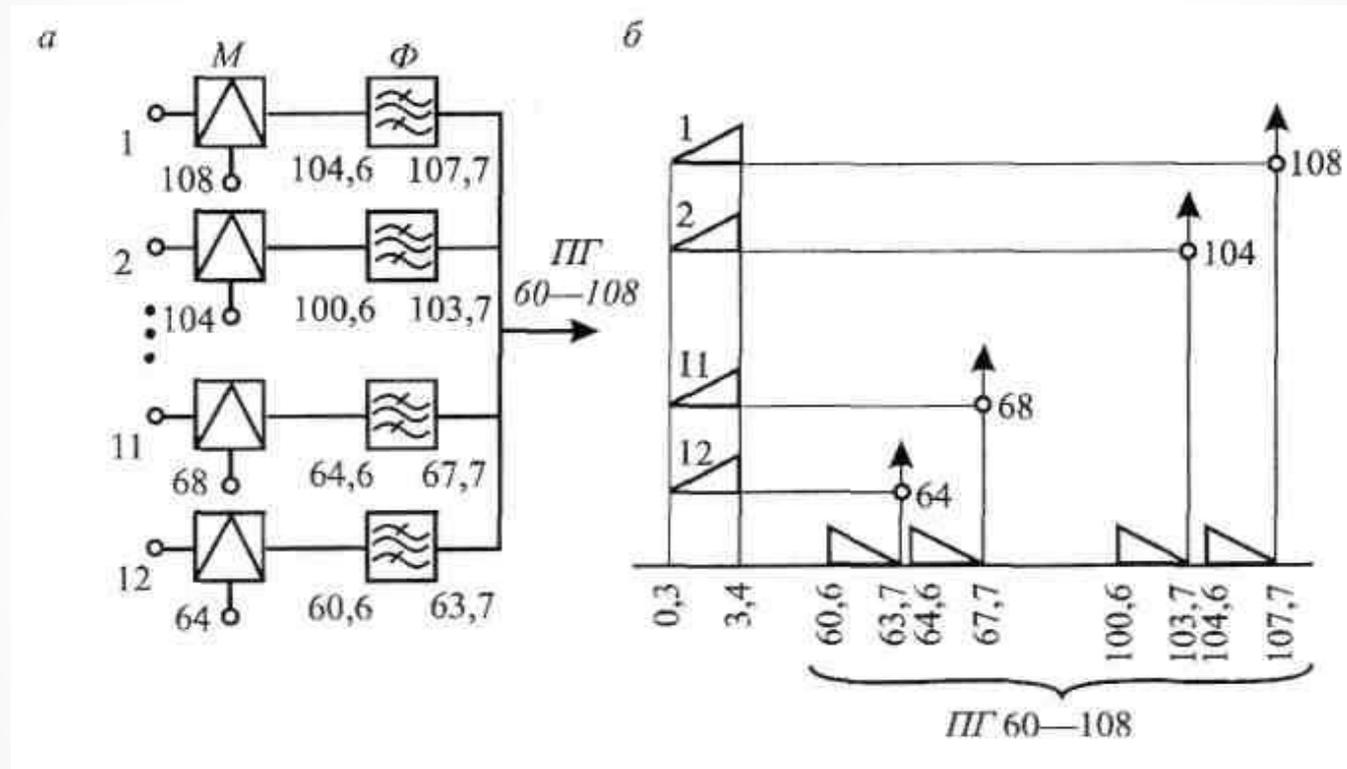
Фильтрация нижней боковой полосы частот

Частотное мультиплексирование



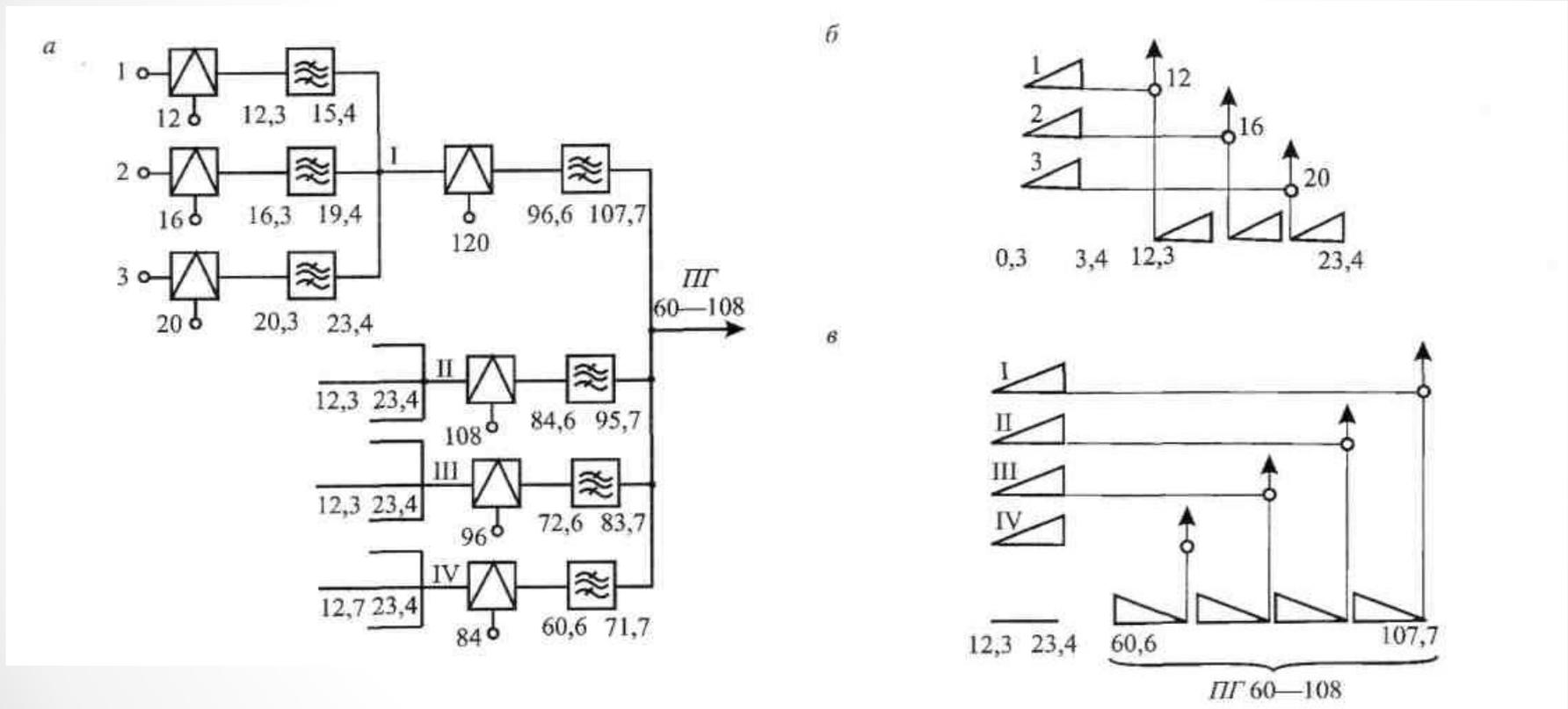
Стандартизация спектрообразования при частотном разделении каналов

Частотное мультиплексирование



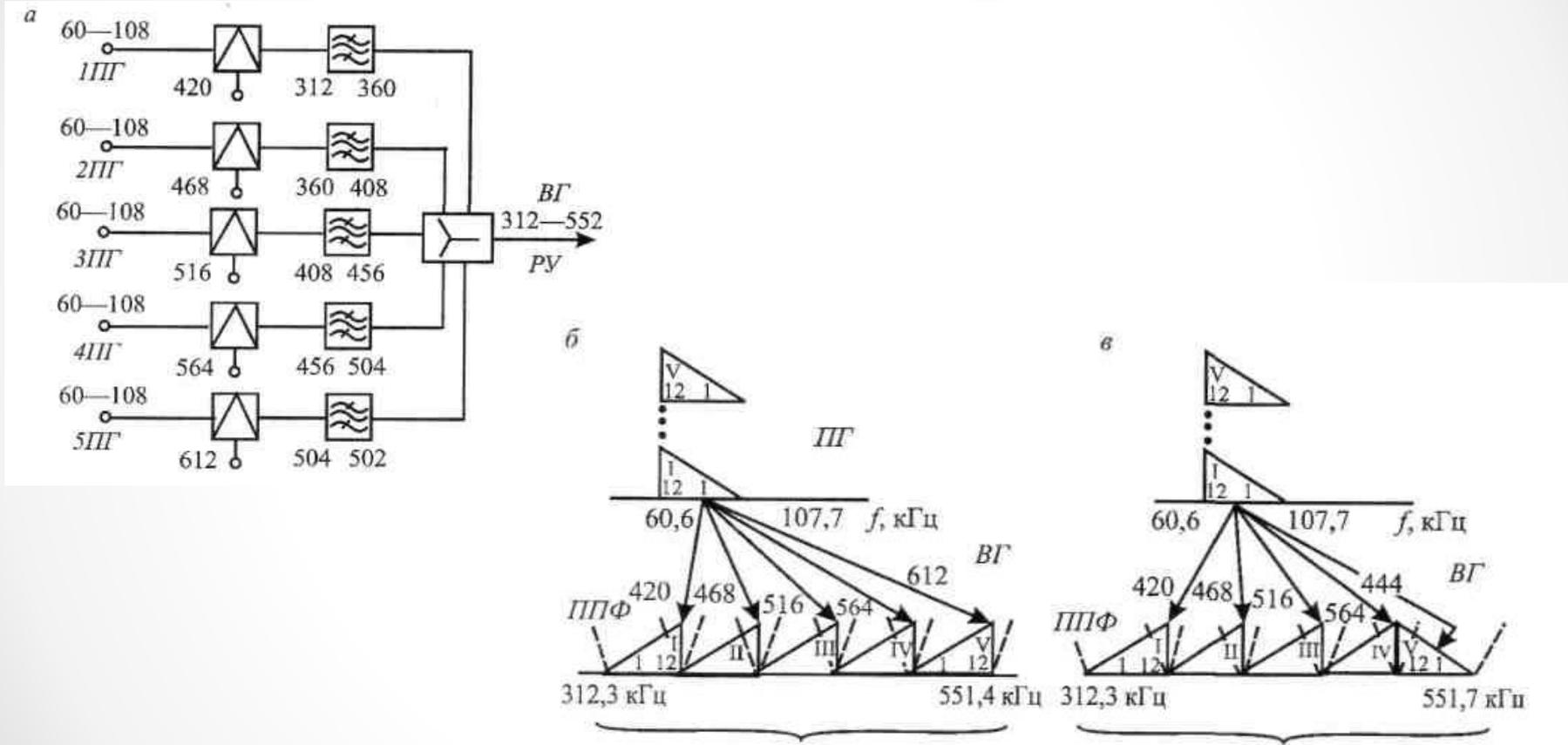
Образование первичной группы каналов

Частотное мультиплексирование



Образование первичной группы каналов

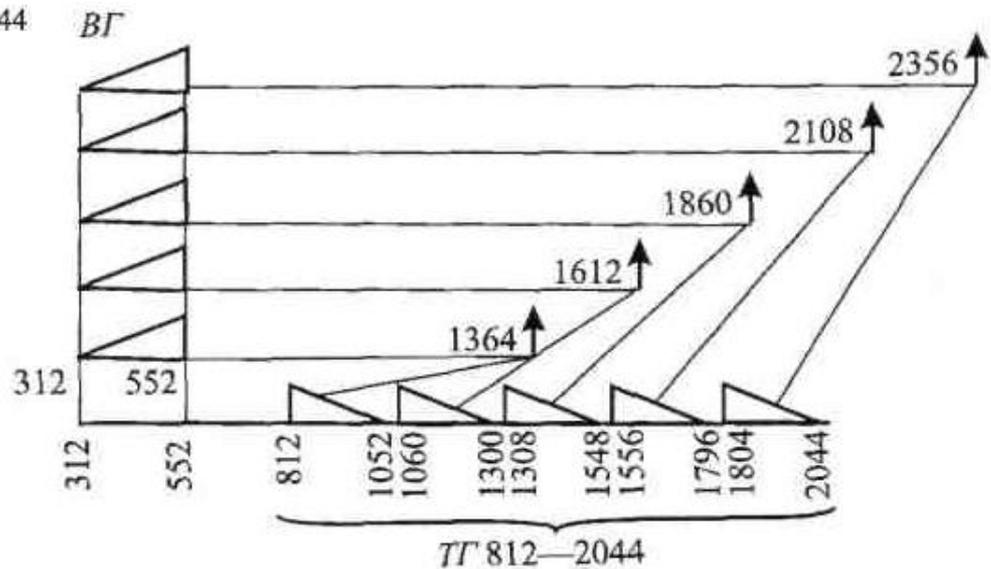
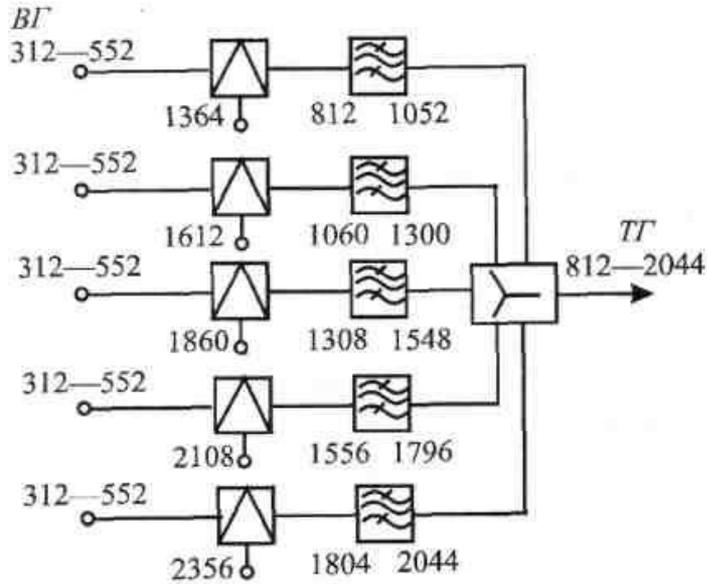
Частотное мультиплексирование



Образование вторичной группы каналов

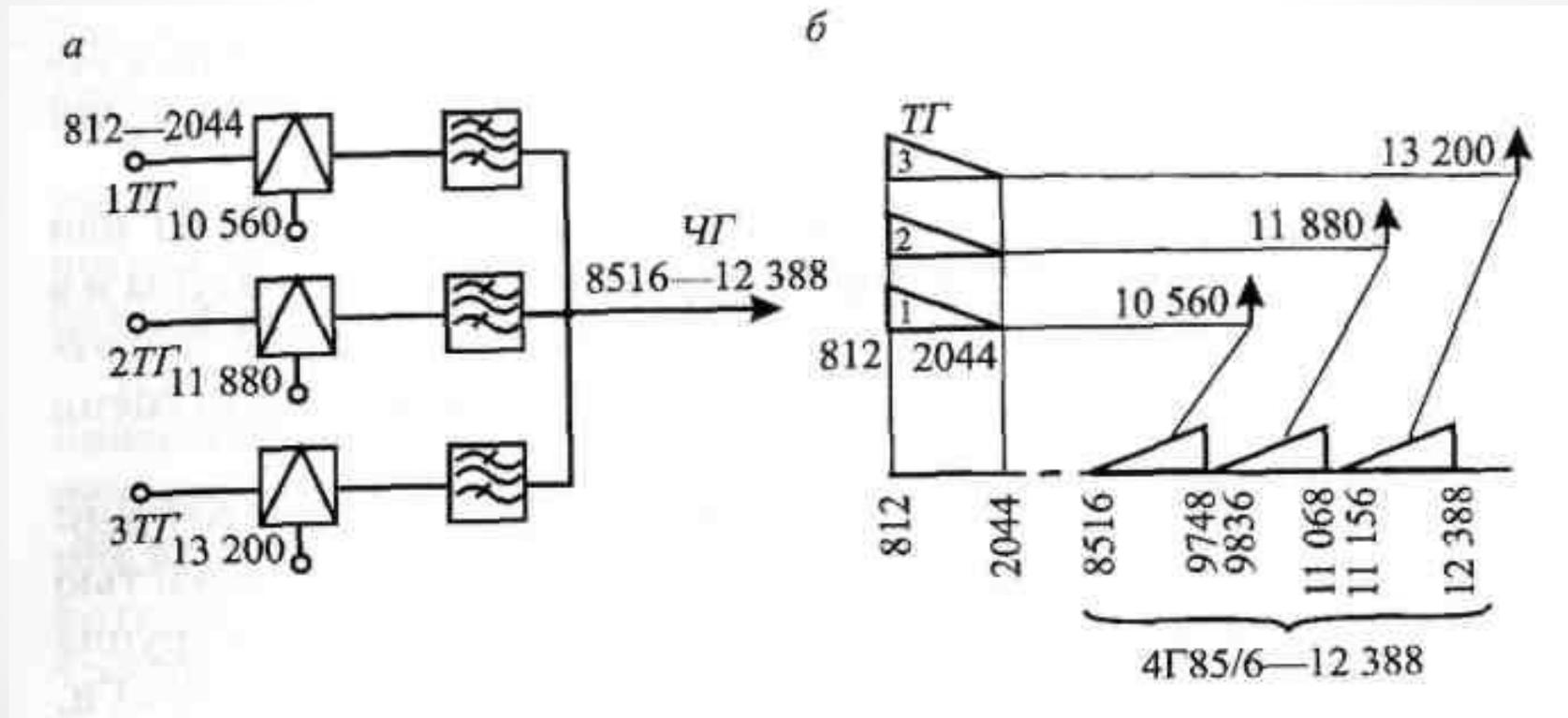
Частотное мультиплексирование

a



Образование третичной группы каналов

Частотное мультиплексирование



Образование четвертичной группы каналов

Спектральное мультиплексирование

В методе **спектрального (волнового) мультиплексирования (Wave Division Multiplexing, WDM)** используется тот же принцип частотного разделения каналов, но только в другой области электромагнитного спектра.

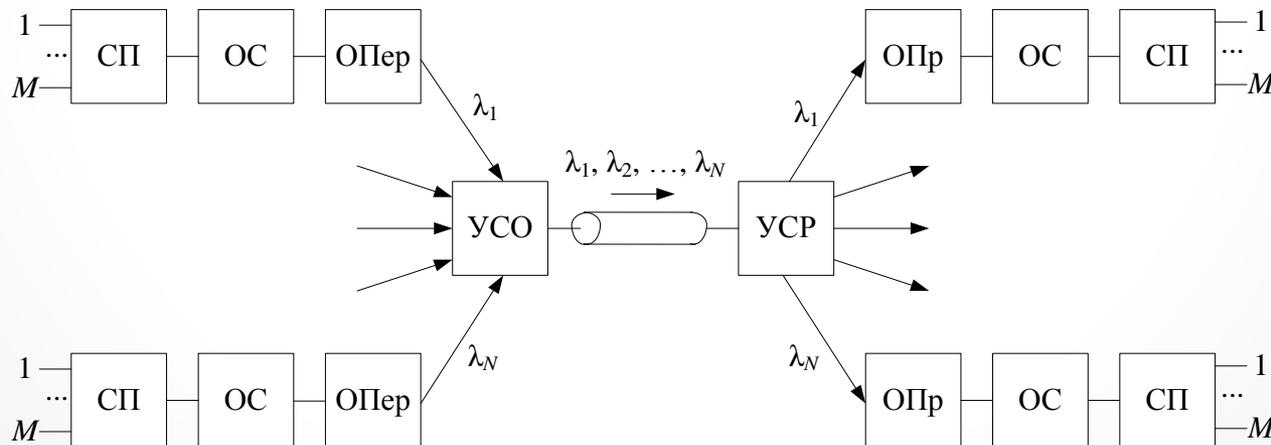
Информационным сигналом является не электрический ток и не радиоволны, а **свет**.

Для организации WDM-каналов в волоконно-оптическом кабеле задействуют волны инфракрасного диапазона длиной от **850** до **1565 нм**, что соответствует частотам от **196** до **350 ТГц**.

Спектральное мультиплексирование

В магистральном канале обычно мультиплексируется несколько спектральных каналов - 16, 32, 40, 80 или 160.

Начиная с 16 каналов, такая техника мультиплексирования называется **уплотненным волновым мультиплексированием (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM)**.

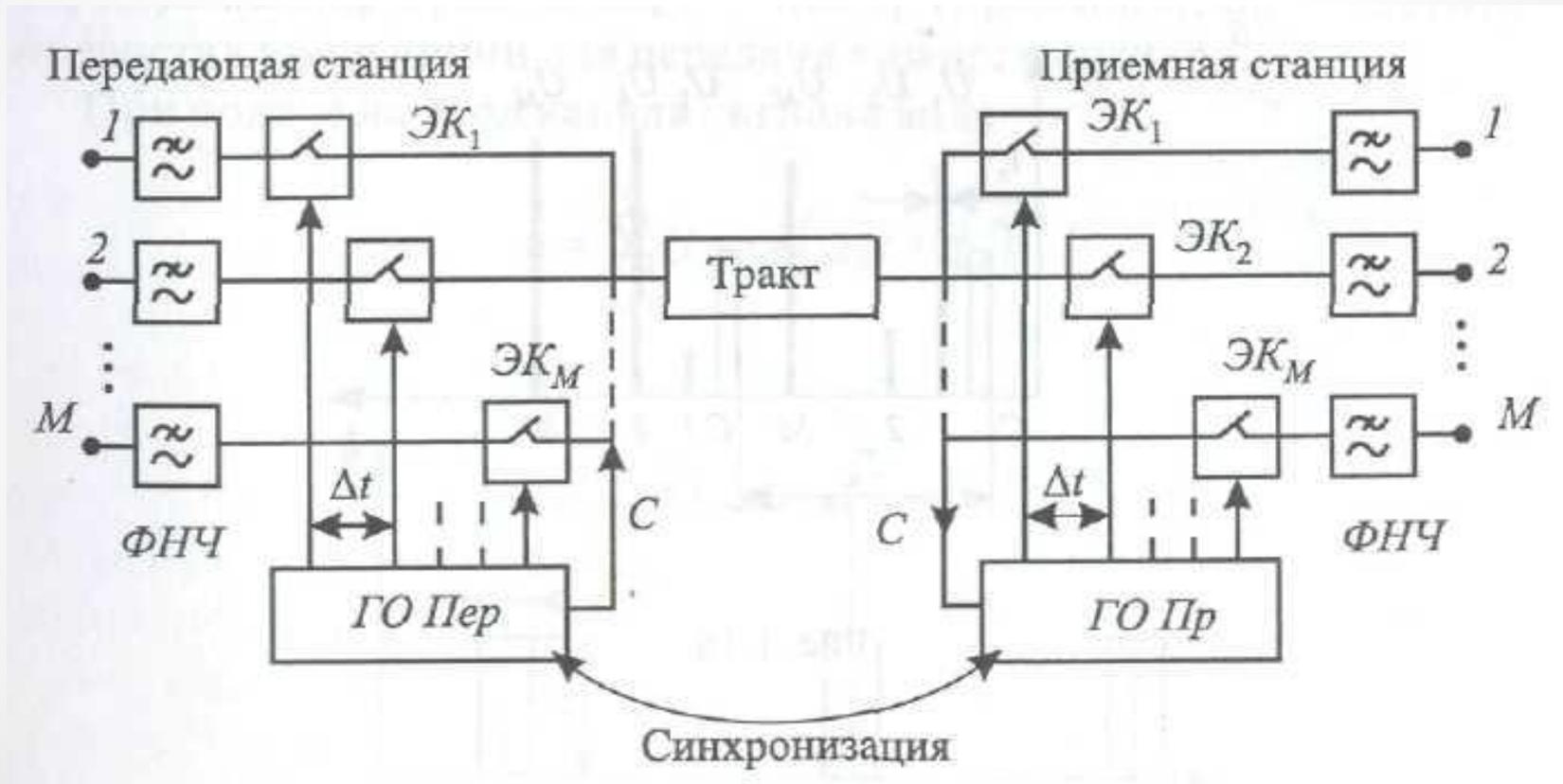


Временное мультиплексирование

Переход к цифровой форме представления голоса стимулировал разработку новой техники мультиплексирования, ориентированной на дискретный характер передаваемых данных и носящей название **временного мультиплексирования (Time Division Multiplexing, TDM)**.

Принцип временного мультиплексирования заключается в выделении канала каждому соединению на определенный период времени.

Временное мультиплексирование



Временное мультиплексирование

Работа TDM-оборудования напоминает работу сетей с коммутацией пакетов, так как каждый байт данных можно считать некоторым элементарным пакетом.

«Пакет» TDM-сети не имеет индивидуального адреса. Его адресом является порядковый номер в кадре или номер выделенного тайм-слота в мультиплексоре или коммутаторе.

Сети, использующие технику TDM, требуют синхронной работы всего оборудования, что и определило второе название этой техники – синхронный режим передачи (**Synchronous Transfer Mode, STM**).

Беспроводная среда передачи

Отказ от проводов и обретение мобильности приводит к высокому уровню помех в беспроводных линиях связи.

Если интенсивность битовых ошибок (BER) в проводных линиях связи равна 10^{-9} - 10^{-10} , то в беспроводных линиях связи она достигает величины 10^{-3} .

Методы повышения качества радиосигналов

Техника расширенного спектра разработана специально для беспроводной передачи. Она позволяет повысить помехоустойчивость кода для сигналов малой мощности, что очень важно в мобильных приложениях.

Выделяют следующие методы расширения спектра сигнала:

- **расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS);**
- **прямого последовательного расширения спектра (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS).**

Совместно с FHSS и DSSS может использоваться метод **множественного доступа с кодовым разделением (Code Division Multiplexing Access, CDMA).**

CDMA

Кодирование методом **DSSS** позволяет мультиплексировать несколько каналов в одном диапазоне.

Техника такого мультиплексирования называется **множественным доступом с кодовым разделением (Code Division Multiplexing Access, CDMA)**.

CDMA широко используется в сотовых сетях.

CDMA

В **CDMA** каждая станция может при передаче все время пользоваться **полным спектром частот**.

В **CDMA** применения теории кодирования (**коды Уолша**), что делает его **более терпимым к помехам**, а также позволяет нескольким сигналам от различных пользователей **совместно** использовать общий диапазон частот.

В CDMA каждый битовый интервал разбивается на **m** коротких периодов (чипов). Обычно в битовом интервале помещаются 64 или 128 элементарных сигналов.

Каждой станции соответствует уникальный m -битный код, называющийся **элементарной последовательностью**.

CDMA

Например, если $m = 8$ и если станции A соответствует последовательность:

$$(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1),$$

то она может послать бит «1», передав элементарную последовательность:

$$(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1),$$

а бит «0», передав:

$$(+1 +1 +1 -1 -1 +1 -1 -1),$$

Здесь +1 и -1 - сигналы с такими уровнями напряжения.

CDMA

Чтобы увеличить количество информации, которое необходимо передавать (чтобы скорость составила b бит/с, нужно отправлять $m \times b$ элементарных сигналов в секунду), необходимо увеличить в m раз пропускную способность канала связи.

Таким образом, для CDMA нужна в m раз **большая пропускная способность**, чем для станции не применяющей CDMA, если никаких изменений в методах модуляции и кодирования не производится.

CDMA

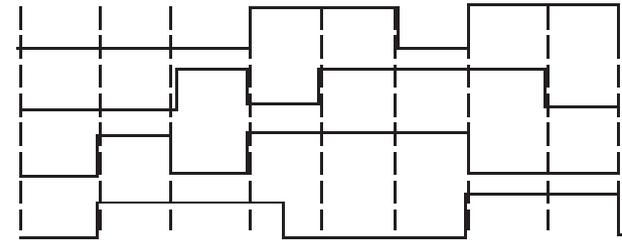
$$A = (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$$

$$B = (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$$

$$C = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$$

$$D = (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)$$

а



б

$$S_1 = C = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$$

$$S_2 = B+C = (-2 0 0 0 +2 +2 0 -2)$$

$$S_3 = A+\overline{B} = (0 0 -2 +2 0 -2 0 +2)$$

$$S_4 = A+\overline{B}+C = (-1 +1 -3 +3 +1 -1 -1 +1)$$

$$S_5 = A+B+C+D = (-4 0 -2 0 +2 0 +2 -2)$$

$$S_6 = A+B+\overline{C}+D = (-2 -2 0 -2 0 -2 +4 0)$$

в

$$S_1 \cdot C = [1+1-1+1+1+1-1-1]/8 = 1$$

$$S_2 \cdot C = [2+0+0+0+2+2+0+2]/8 = 1$$

$$S_3 \cdot C = [0+0+2+2+0-2+0-2]/8 = 0$$

$$S_4 \cdot C = [1+1+3+3+1-1+1-1]/8 = 1$$

$$S_5 \cdot C = [4+0+2+0+2+0-2+2]/8 = 1$$

$$S_6 \cdot C = [2-2+0-2+0-2-4+0]/8 = -1$$

г

Последовательности CDMA

а) - двоичные элементарные последовательности для четырех станций; б) - биполярные элементарные двоичные последовательности; в) - шесть примеров передачи; г) - восстановление сигнала станции С.

CDMA

Когда две или более станции пытаются осуществить одновременную передачу, их биполярные сигналы линейно складываются.

Например, если при передаче одного элементарного сигнала три станции послали +1, а одна послала -1, то в результате получится +2. Можно рассматривать это как сложение напряжений: три станции имеют на выходе +1 В, а одна имеет на выходе -1 В. В результате сложения получаем +2 В.

Все элементарные последовательности должны быть попарно **ортогональны**.

$$A = (-1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1)$$

$$B = (-1 \ -1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1)$$

$$C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$D = (-1 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1 \ -1)$$

$$S_1 = C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$S_2 = B+C = (-2 \ 0 \ 0 \ 0 \ +2 \ +2 \ 0 \ -2)$$

$$S_3 = A+B = (0 \ 0 \ -2 \ +2 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2)$$

$$S_4 = A+B+C = (-1 \ +1 \ -3 \ +3 \ +1 \ -1 \ -1 \ +1)$$

$$S_5 = A+B+C+D = (-4 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2 \ 0 \ +2 \ -2)$$

$$S_6 = A+B+C+D = (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ +4 \ 0)$$

CDMA

Чтобы восстановить исходный битовый поток каждой из станций, приемник должен заранее знать элементарные последовательности всех передатчиков, с которыми он работает.

$$A = (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$$

$$B = (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$$

$$C = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$$

$$D = (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)$$

Восстановление осуществляется путем вычисления нормированного скалярного произведения принятой последовательности (то есть линейной суммы сигналов всех станций) и элементарной последовательности той станции, чей исходный сигнал восстанавливается.

$$S_1 \cdot C = [1+1-1+1+1+1-1-1]/8 = 1$$

$$S_2 \cdot C = [2+0+0+0+2+2+0+2]/8 = 1$$

$$S_3 \cdot C = [0+0+2+2+0-2+0-2]/8 = 0$$

$$S_4 \cdot C = [1+1+3+3+1-1+1-1]/8 = 1$$

$$S_5 \cdot C = [4+0+2+0+2+0-2+2]/8 = 1$$

$$S_6 \cdot C = [2-2+0-2+0-2-4+0]/8 = -1$$

Физические стандарты Ethernet

10Base5:

- 10 – скорость 10Мбит/с;
- Base – сокращение от «baseband» signaling (метод передачи данных при котором только один Ethernet-сигнал может находиться на линии в конкретный момент времени);
- 5 – толстый коаксиальный Ethernet

Максимальная длина сегмента – 500 метров.

10Base2 – тонкий коаксиальный Ethernet. Максимальная длина сегмента – 185 метров.



Физические стандарты Ethernet

10BASE-T – физический интерфейс Ethernet, позволяющий компьютерам связываться при помощи кабеля типа «витая пара» (*twisted pair*). Максимальная длина сегмента – 100 метров.



10BASE-FL (Fiber Link) – стандарт для Технологии Ethernet, использующий для передачи данных оптический кабель. Максимальная длина сегмента – 2 км.



Физические стандарты Ethernet

100BASE-T – «витая пара». Максимальная длина сегмента – 100 метров.

100BASE-T4 – кабель из 4-х витых пар 3-й категории.

100BASE-TX – используется в сетях топологии «звезда» с кабелем 5-й категории. Максимальная длина сегмента – 100 метров.

Физические стандарты Ethernet

100BASE-FX – стандарт, использующий многомодовое волокно. Максимальная длина сегмента 400 метров в полудуплексе (для гарантированного обнаружения коллизий) или 2 километра в полном дуплексе.

100BASE-FX WDM – стандарт, использующий одномодовое волокно. Максимальная длина ограничена только величиной затухания в ВОК и мощностью передатчиков.

Интерфейсы бывают двух видов: А(1310) и В(1550).

В паре могут работать только парные интерфейсы: с одной стороны передатчик на 1310 нм, а с другой – на 1550 нм.

Физические стандарты Ethernet

1000BASE-T – «витая пара» категории 5. Максимальная длина сегмента – 100 метров.

1000BASE-TX – «витая пара» категории 6.

1000BASE-SX – многомодовое волокно в первом окне прозрачности (850 нм). Дальность прохождения сигнала составляет до 550 метров.

1000BASE-FX – одномодовое или многомодовое оптическое волокно во втором окне прозрачности (1310 нм). Дальность прохождения сигнала 5 км (одномодовое волокно), 550 метров (многомодовое волокно).

Физические стандарты Ethernet

10GBASE-CX4 – для коротких расстояний (до 15 метров), используется медный кабель CX4 и коннекторы InfiniBand.



10GBASE-SR – для коротких расстояний (до 26 или 82 метров, в зависимости от типа кабеля), используется многомодовое волокно.

10GBASE-LX4 – использует уплотнение по длине волны для поддержки расстояний от 240 до 300 метров по многомодовому волокну. Также поддерживает расстояния до 10 километров при использовании одномодового волокна.

Физические стандарты Ethernet

10GBASE-LR – передача до 10 километров по одномодовому волокну.

10GBASE-ER – передача до 40 километров по одномодовому волокну.

10GBASE-SW, 10GBASE-LW и 10GBASE-EW – аналогичны **10GBASE-SR, 10GBASE-LR и 10GBASE-ER** и поддерживают интерфейсы синхронной цифровой иерархии (SDH) STM-64.

10GBASE-T – «витая пара» категории 6 при максимальной длине сегмента – 55 метров и категории 5 – 100 метров.

Физические стандарты Ethernet

Физический интерфейс	100Base-FX	100Base-TX	100Base-T4
Порт устройства	Duplex SC	RJ-45	RJ-45
Среда передачи	Оптическое волокно	Витая пара UTP Cat.5 (5e)	Витая пара UTP Cat. 3,4,5
Сигнальная схема	4В/5В	4В/5В	8В/6Т
Битовое кодирование	NRZI	MLT-3	
Число витых пар/волокон	2 волокна	2 витых пары	4 витых пары
Протяженность сегмента	До 412 м (МмВ), до 2 км (дуплекс, МмВ), до 100 км (ОмВ)	До 100 м	До 100 м

Физические стандарты Ethernet

Название	Среда	Расстояние
1000BASE-BX10	Одномодовое оптоволокно (WDM: 1490 нм на приём, 1310 нм на передачу)	10 км
1000BASE-CX	Экранированный сбалансированный медный кабель	25 м
1000BASE-EX	Одномодовое оптоволокно (1310 нм)	~ 40 км
1000BASE-KX	Медная объединительная плата	1 м
1000BASE-LX	Многомодовое оптоволокно	550 м
1000BASE-LX	Одномодовое оптоволокно	5 км
1000BASE-LX10	Одномодовое оптоволокно (1310 нм)	10 км
1000BASE-SX	Многомодовое оптоволокно	220—550 м в зависимости от диаметра и пропускной способности кабеля
1000BASE-T	Витая пара (категории 5, 5e, 6, 7)	100 м
1000BASE-TX	Витая пара (категории 6, 7)	100 м
1000BASE-ZX	Одномодовое оптоволокно (1550 нм)	~ 70 км

Физические стандарты Ethernet

Физический уровень	40-гигабитный Ethernet	100-гигабитный Ethernet
до 1 м по объединительной плате	40GBASE-KR4	
до 7 м по медному кабелю	40GBASE-CR4	100GBASE-CR10
до 100 м по OM3 MMF	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10
до 150 м по OM4 MMF	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10
до 10 км по SMF	40GBASE-LR4	100GBASE-LR4
до 40 км по SMF		100GBASE-ER4
до 2 км SMF	40GBASE-FR	
до 30 м витой пары категории 8 (4 пары)	40GBASE-T (в разработке)	

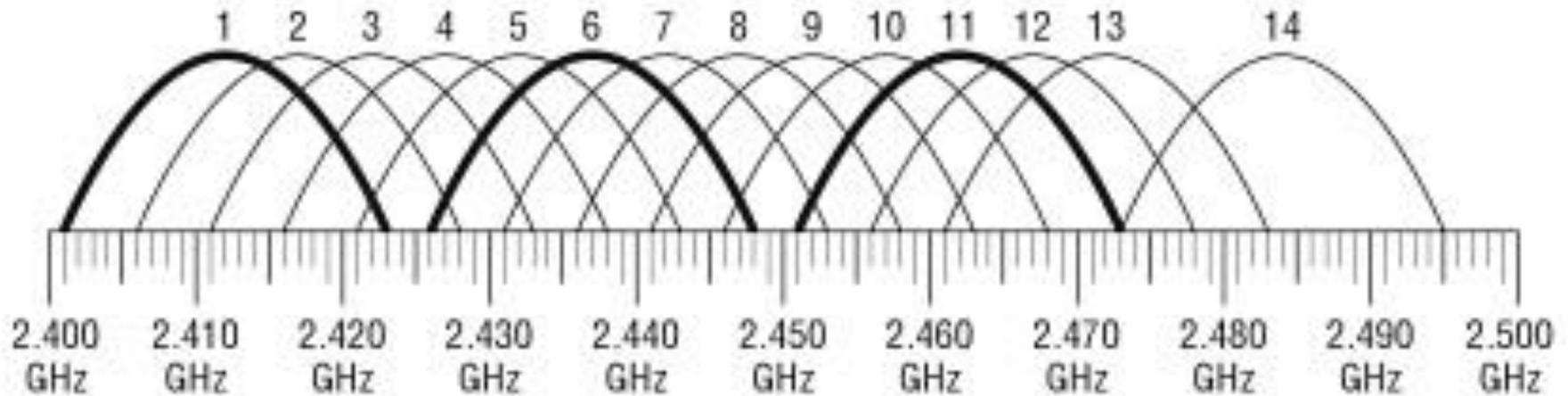
Физические стандарты IEEE 802.11

Стандарт	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Дата сертификации стандарта	1997	1999	1999	2003
Доступная полоса пропускания	83.5 МГц	300 МГц	83.5 МГц	83.5 МГц
Частота операций	2.4 – 2.4835 ГГц	5.15 – 5.35 ГГц	2.4 – 2.4835 ГГц	2.4 – 2.4835 ГГц
Типы модуляции	DSSS, FHSS	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM
Скорость передачи данных по каналу	2, 1 Мбит/с	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6 Мбит/с	11, 5.5, 2, 1 Мбит/с	54, 36, 33, 24, 22, 12, 11, 9, 6, 5.5, 2, 1 Мбит/с

Физические стандарты IEEE 802.11

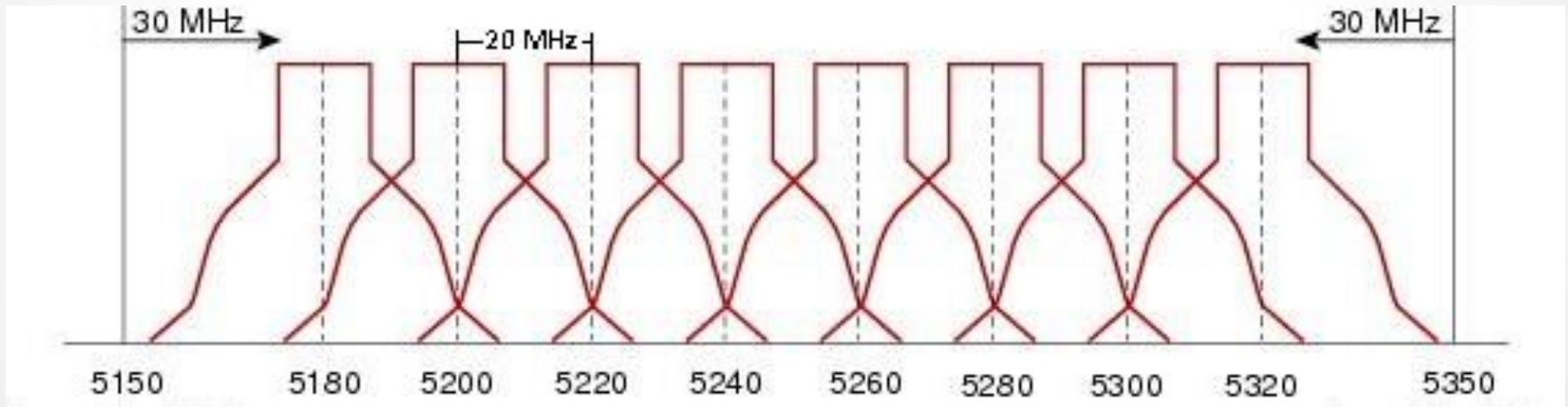
	802.11n	802.11ac	802.11ad
<u>Спектр</u>	2.4GHz и 5GHz	5GHz	60GHz
Скорости	до 600 Mbps, более реальный максимум 450 Mbps (4 пп, частотная полоса 40MHz на каждый поток)	- До 3.47Gbps (8пп,160MHz каждый пп), по информации от Broadcom, <i>хотя в Интернете встречаются и значительно более оптимистичные цифры, например до 7.8 Gbps</i>	- до 6.7Gbps на OFDM (64QAM), - до 4.6Gbps на SC/Single Carrier (16QAM). Некоторые вендоры больше продвигают SC(Marvel), вероятно из-за меньших требований к мобильным устройствам и батарее
Модуляция	До 64QAM	<u>До 256QAM</u>	64QAM / OFDM 16QAM / SC
Канальная полоса	20MHz и 40MHz(20+20)	до 160 MHz	2.16 GHz
MIMO и кол-во пространственных потоков (пп)	до 4-х	до 8-и	до 1
Спец. Функции MIMO	SU-MIMO	MU-MIMO	

Физические стандарты IEEE 802.11



Общая диаграмма перекрытия частотных каналов Wi-Fi в 2,4 ГГц

Физические стандарты IEEE 802.11



Формирование каналов Wi-Fi в 5 ГГц