

# Физический уровень Среды передачи Кодирование данных

# Физический уровень

## Physical Layer

- Протоколы физического уровня описывают электрические, механические, функциональные и процедурные средства для активации, поддержки и деактивации физического соединения, обеспечивающего передачу битов из одного сетевого устройства в другое
- Физический уровень определяет:
  - Физические компоненты среды (кабели, разъемы, порты, интерфейсы и др.)
  - Способ кодирования битов кадра (например, манчестерский код, код NRZ и др.)
  - Способ передачи сигналов (изменения электромагнитного поля: амплитуда, частота, фаза)
- Примеры: 10Base-T, 1000Base-FX
- Единица данных – *бит* (*bit* – *binary digit*)

# Назначение физического уровня

- Физический уровень узла-отправителя кодирует биты, из которых состоит кадр канального уровня, и создает электрические, оптические сигналы или радиоволны
- Сигналы поочередно отправляются через среду передачи данных
- Физический уровень узла назначения получает эти отдельные сигналы из среды, восстанавливает их к битовым представлениям и передаёт биты на канальный уровень в виде целого кадра

# Стандарты физического уровня



- **ISO/IEC 8877:** Официальное утверждение разъемов RJ (например, RJ-45, RJ-11)
- **ISO/IEC 11801:** Стандарт прокладки сетевых кабелей (аналог **TIA/EIA 568**)
- **ANSI/TIA/EIA 569-B:** Телеком. трассы и пространства коммерческих зданий
- **TIA 598-C:** Цветовая кодировка оптоволоконного кабеля
- **TIA 942:** Телеком. инфраструктура ЦОД
- **ANSI 568-C:** Разводки коннектора RJ-45
- **ITU-T G.992:** Технология ADSL
- **IEEE 802.3:** Локальные сети Ethernet
- **IEEE 802.11:** Беспроводные сети (WLAN)

# Характеристики сред передачи

- **Пропускная способность (bandwidth)** [бит/с] – способность среды передавать данные; влияют:
  - физические свойства среды передачи
  - выбор технологии передачи и обнаружения сигналов в сети
- **Производительность (throughput)** [бит/с] – измерение скорости передачи битов по среде за указанный промежуток времени; влияют:
  - объем и тип трафика
  - время ожидания (latency) – общее время задержек (delay)
- **Полезная пропускная способность (goodput)** [бит/с] – измерение объема данных, переданных за указанный промежуток времени (производительность полосы минус потери на создание сеансов, подтверждений и инкапсуляции)



# Медные кабели

- Неэкранированная витая пара (UTP)
- Экранированная витая пара (STP)
- Коаксиальные кабели

Передача данных в виде электрических импульсов



## Достоинства

- Невысокая стоимость
- Простота монтажа
- Низкое сопротивление

## Недостатки

- Затухание на расстоянии
- Подверженность помехам
  - Электромагнитные (ЭМП/РЧП): внешние (электродвигатели, флуоресцентные лампы)
  - Перекрестные: ЭМ-поле смежного кабеля

# Коаксиальный кабель

- **Коаксиальный кабель** – вид кабеля связи, состоящий из двух соосных проводников, разделенных диэлектриком



- **Область применения:**
  - Радиосвязь: от передатчика к антенне
  - Гибридная волоконно-коаксиальная связь (HFC)

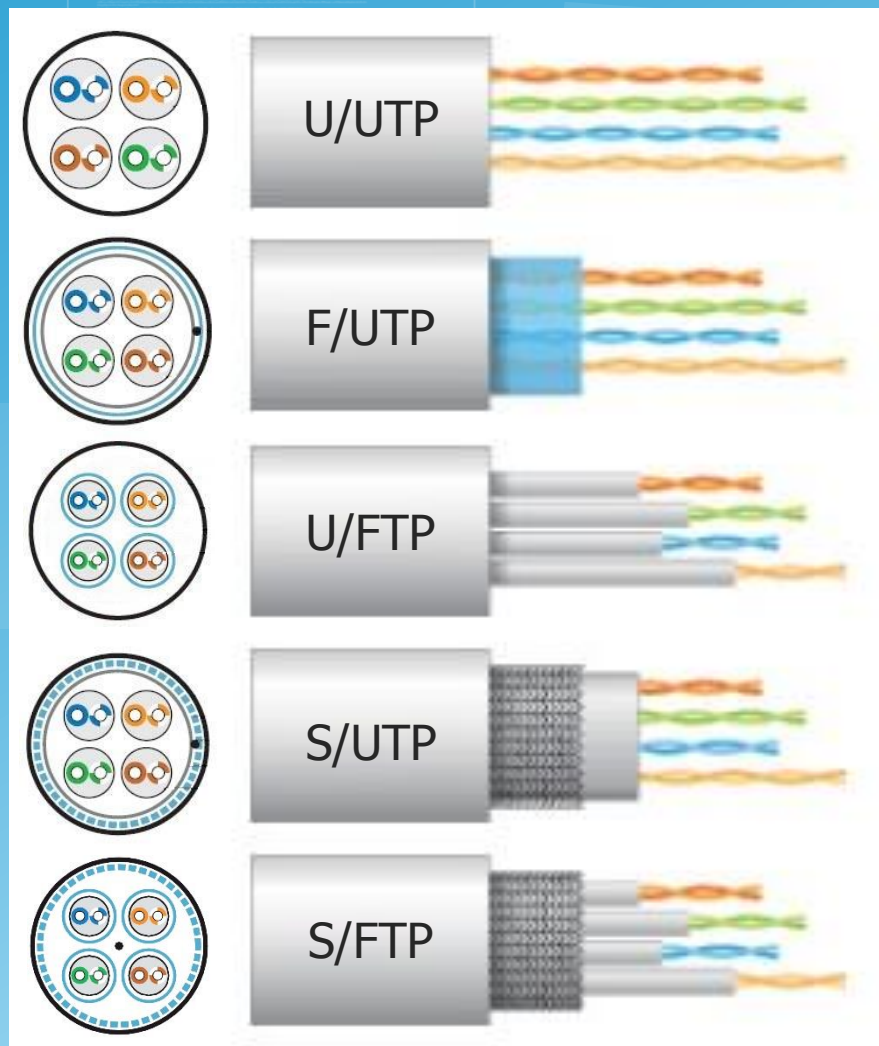
# Витая пара (twisted pair)



- **Витая пара** – вид кабеля связи, представляет собой несколько пар изолированных медных проводников, попарно скрученных между собой и покрытых оболочкой ПВХ
- Стандарт ISO 11801 (EIA/TIA 568)
  - Физические параметры кабеля
  - Цветовая маркировка пар
  - Коннектор RJ-45



# Витая пара: виды и категории

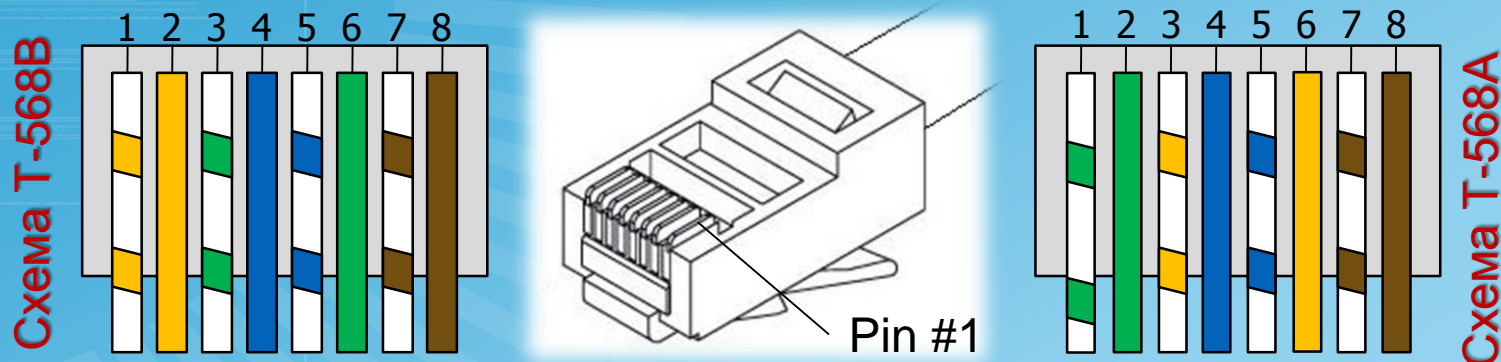


## Виды витой пары:

- Неэкранированная (Unshielded – UTP)
- Фольгированная (Foiled – FTP)
- Экранированная (Shielded – STP)

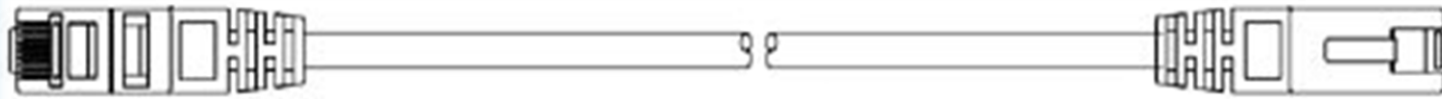
## Категория ВП (1 – 8) определяет совокупность характеристик: число пар, полосу частот, пропускную способность (см. ISO/IEC 11801)

# Витая пара – коннектор RJ-45



<b>T568B</b>	<b>Pin #</b>	<b>100 B-TX</b>	<b>1000 B-T</b>	<b>T568A</b>
Бело-оранжевый	1	Transmit +	BI_DA +	Бело-зелёный
Оранжевый	2	Transmit -	BI_DA -	Зелёный
Бело-зелёный	3	Receive +	BI_DB +	Бело-оранжевый
Синий	4	N/A	BI_DB -	Синий
Бело-синий	5	N/A	BI_DC+	Бело-синий
Зелёный	6	Receive -	BI_DC -	Оранжевый
Бело-коричневый	7	N/A	BI_DD +	Бело-коричневый
Коричневый	8	N/A	BI_DD +	Коричневый

# Витая пара – типы кабелей

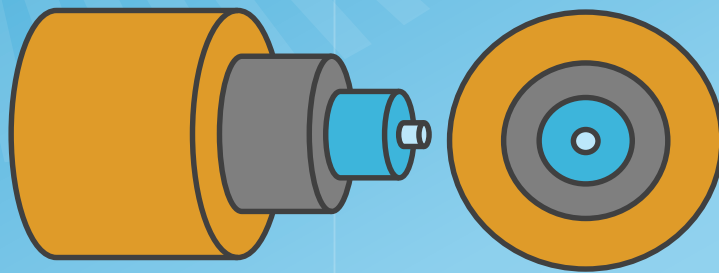


- **Прямой (straight-through)** используется для подключения конечного устройства к промежуточному (сетевой адаптер – коммутатор, коммутатор – маршрутизатор и т.д.)
  - T568-A — T568-A
  - T568-B — T568-B
- **Перекрёстный (cross-over)** используется для соединения однотипных устройств (коммутатор – коммутатор, сетевой адаптер – маршрутизатор)
  - T568-A — T568-B
- **Инверсный (rollover)** используется для управления сетевым оборудованием (через консольный порт)
  - (1-2-3-4-5-6-7-8) — (8-7-6-5-4-3-2-1)

# Волоконно-оптические кабели

■ **Оптическое волокно** (optical fiber) – вид кабеля связи, используемый для передачи световых импульсов по тонкому и гибкому световоду

- **Сердечник** (Core) – светопередающая среда – тончайшая нить сверхчистого стекла или кварца, коэффициент преломления  $n_1$
- **Оболочка** (Cladding) – цилиндрическое зеркало вокруг сердечника, коэффициент преломления  $n_2$  ( $n_2 < n_1$ )

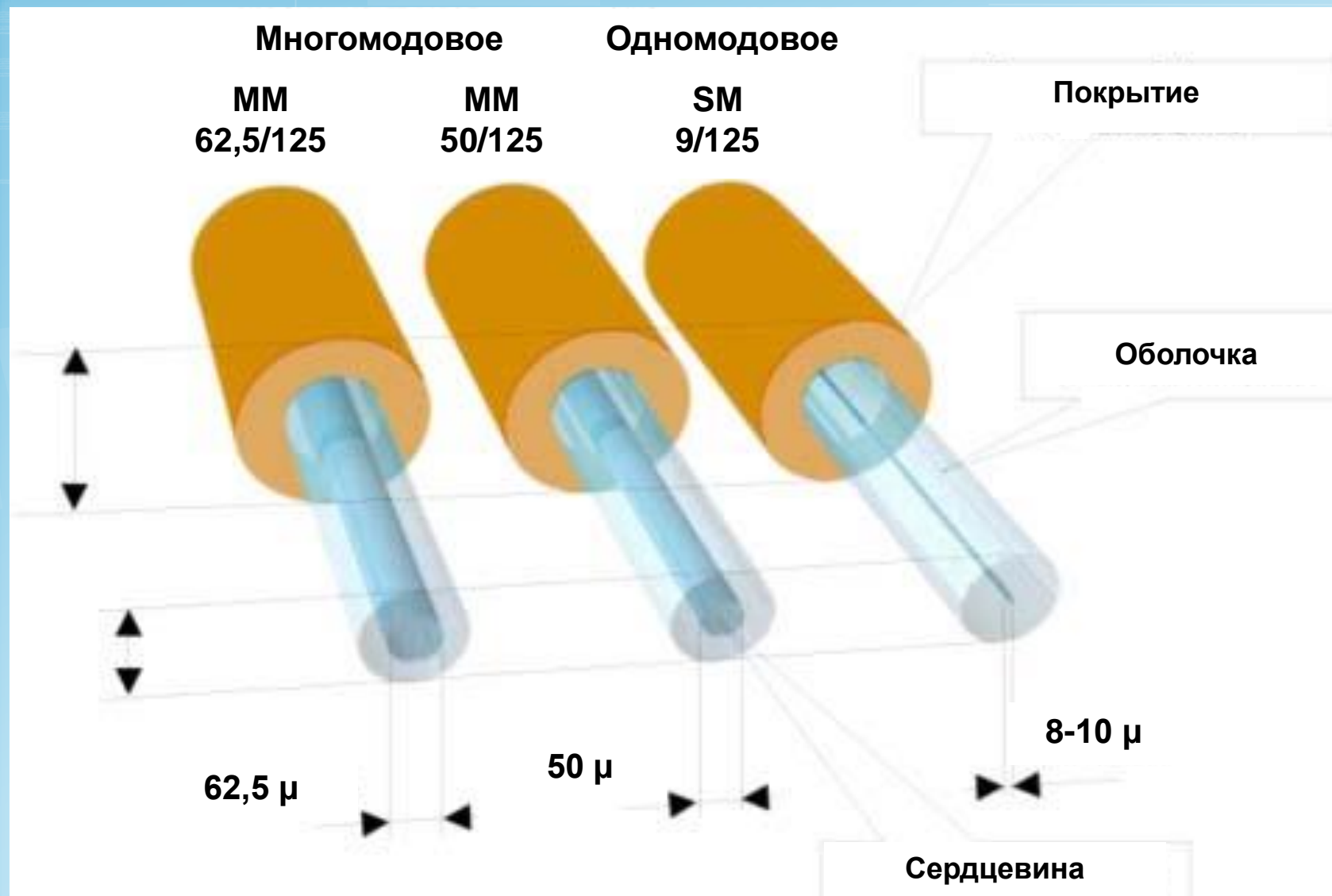


Передача данных в виде  
световых импульсов



- **Буфер** (Buffer) – уплотняющий слой из кевлара, защита от растяжений
- **Защитное покрытие** (Coating) – внешнее защитное покрытие для защиты от истирания и агрессивных сред. Состав внешней оболочки зависит от области применения кабеля (обычно ПВХ).

# Типы оптических волокон





# Модовая дисперсия

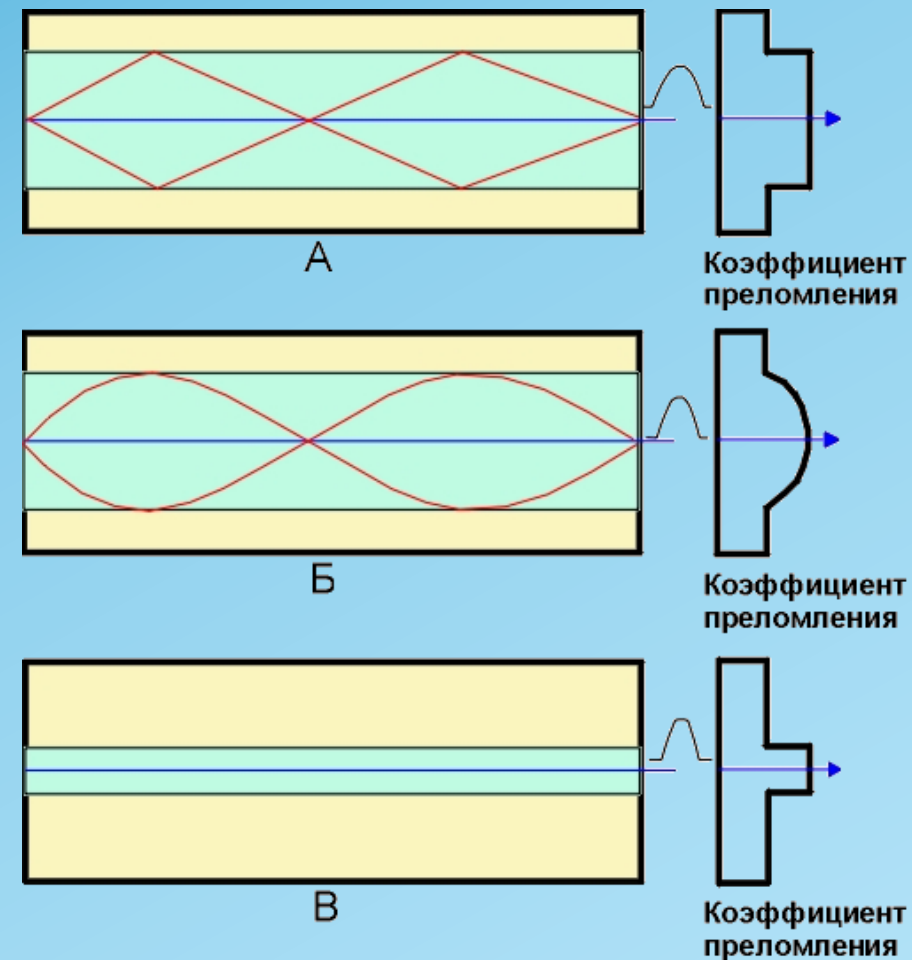
- **Мода** – это одна из возможных траекторий распространения света в волокне (одно из возможных решений уравнения Максвелла)
- Дисперсионное искажение формы сигнала (модовая дисперсия) прямо пропорционально числу мод  $N$ :

$$N = \frac{2\pi^2 D^2 \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{\lambda^2}$$

$D$  – диаметр ядра волокна,

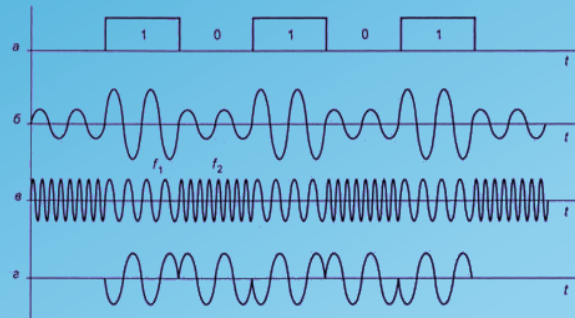
$\lambda$  – длина волны света

$n_1, n_2$  – коэффициенты преломления



# Беспроводные среды передачи

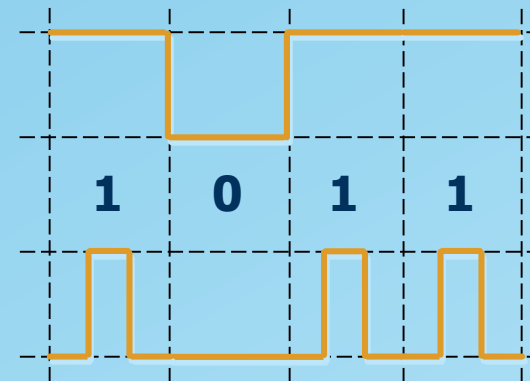
Передача данных в виде электромагнитных волн сверхвысокой частоты



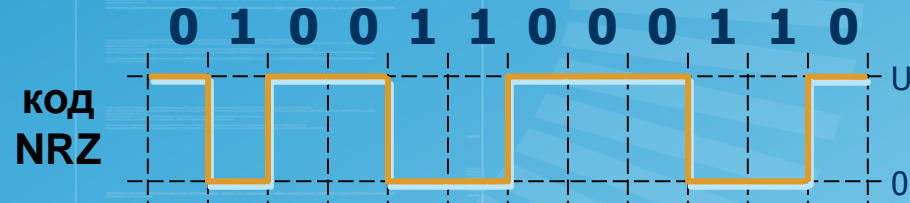
- Особенности беспроводных сред
  - Зона покрытия и препятствия
  - Восприимчивость к помехам (ЭМП/РЧП)
  - Требования к информационной безопасности

# Кодирование

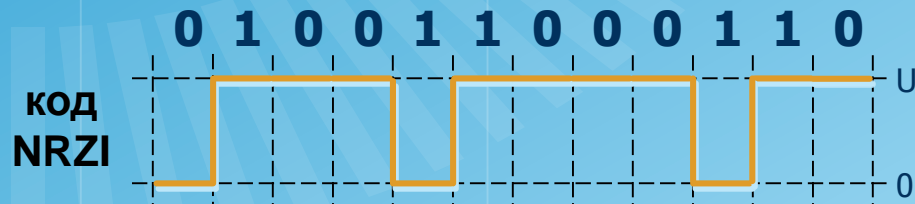
- **Кодирование** – способ преобразования потока бит в predetermined битовый код, понятный и отправителю, и получателю
- Кодирование определяется правилом изменения уровней напряжения и тока, используемого для представления бит
  - потенциальное (без возврата к нулю)
  - импульсное (с возвратом к нулю)
  - улучшенное



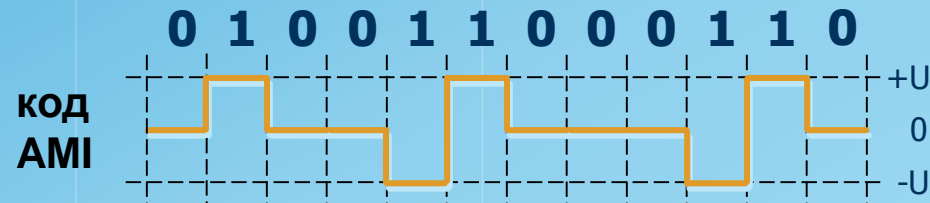
# Потенциальное кодирование



- бит 0 представляется значением  $U$  (В)
- бит 1 представляется нулевым напряжением (0 В)



- смена уровня сигнала при передаче бита 1
- неизменный уровень сигнала при передаче бита 0



- биты 0 представляются нулевым напряжением (0 В)
- биты 1 представляются поочерёдно значениями  $-U$  и  $+U$  (В)

Значимой является величина сигнала в течение такта

## Достоинства:

- простая реализация
- распознаваемость ошибок
- малое затухание сигналов
- низкая частота (1/2 битовой скорости)

## Недостатки:

- отсутствие самосинхронизации
- появление постоянной составляющей при передаче длинной последовательности нулей/единиц

# Импульсное кодирование

Значимым является не уровень сигнала в течение такта, а его изменение за такт

## Область применения:

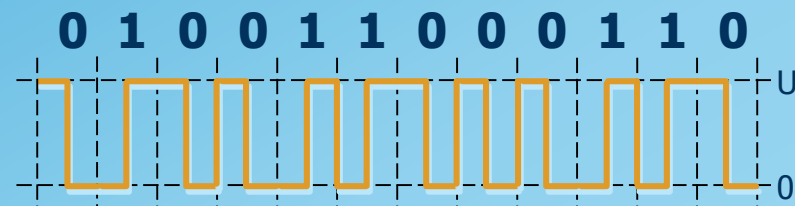
- Локальные сети Ethernet предыдущего поколения
- Бесконтактные устройства (RFID и NFC)

## Достоинства:

- самосинхронизация
- отсутствие постоянной составляющей

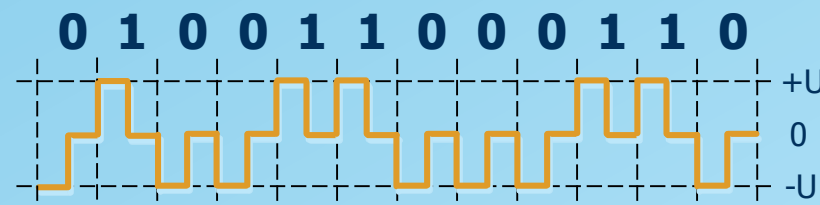
## Недостатки:

- высокая частота (сопоставима с битовой скоростью)



Манчестерский код

- каждый такт делится пополам;
- бит 0 представляется перепадом вниз ( $U \rightarrow 0$ )
- бит 1 представляется обратным перепадом



биполярный импульсный код

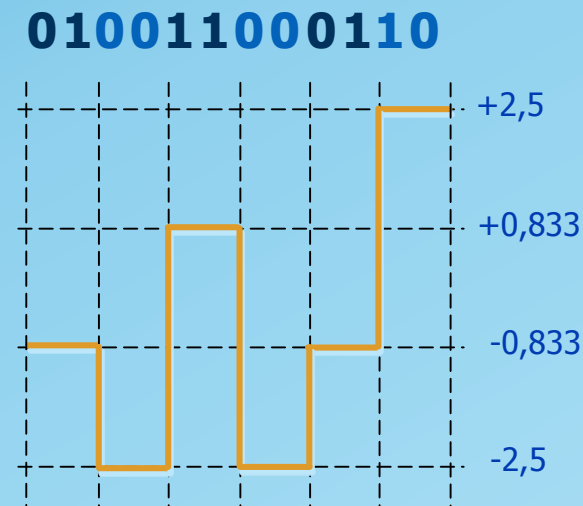
- каждый такт делится пополам;
- бит 0 представляется перепадом  $-U \rightarrow 0$
- бит 1 представляется перепадом  $+U \rightarrow 0$



# Улучшенные коды

- Увеличение битовой скорости требует применения усложненных кодов, таких как 2B1Q, MLT3, B8ZS, HDB3 и др.

Кодовая группа	Кодовый символ	Кодовое напр.
00	-3	-2,5 В
01	-1	-0,833 В
10	+3	+2,5 В
11	+1	+0,833 В



## код 2B1Q (2 binary – 1 quandary)

- четыре допустимых уровня сигнала;
- каждые 2 бита (2B) кодируются 1 из 4 сигналов (1Q);

# Скремблирование

- **Скремблирование** – модификация исходной кодовой последовательности путём побитового вычисления результирующего кода на основании соответствующих бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит результирующего кода (например, для подавления постоянной составляющей)

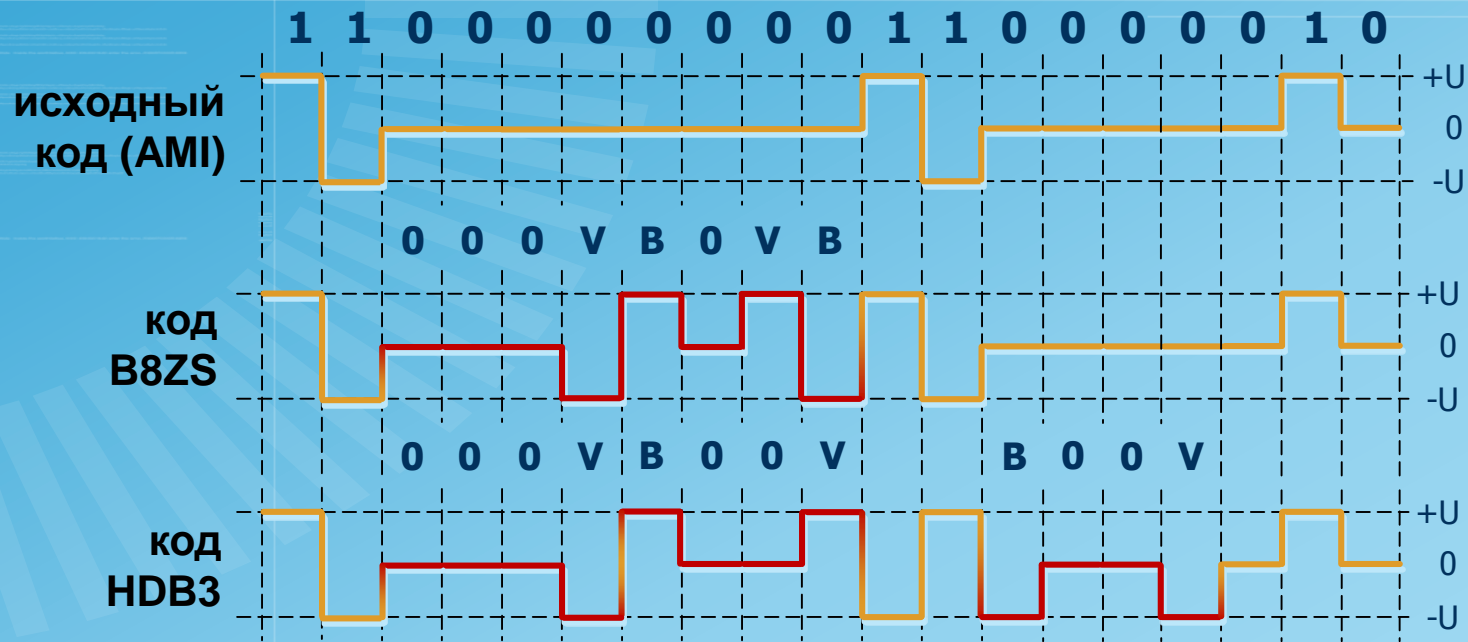
Пример:

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

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
B	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1
C	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1

# Скрембл-коды



- Код **B8ZS** (Bipolar Eight Zero Substitution) заменяет каждые **0000 0000** последовательностью **000V B0VB**
- Код **HDB3** (High Density Bipolar 3) заменяет каждые **0000**
  - последовательностью **000V** после чётного числа единиц результирующего кода
  - последовательностью **B00V** после нечётного числа единиц результирующего кода
  - V** – сигнал единицы запрещённой полярности
  - B** – сигнал единицы разрешённой полярности, соответствующий **0** в исходном коде

# Режимы передачи

- **Асинхронный:** сигналы данных передаются без соответствующего тактового сигнала
  - временные промежутки между символами или группами данных могут быть произвольными
  - для обозначения начала и конца кадра необходимы флаги
- **Синхронный:** сигналы данных посылаются в соответствии с тактовым сигналом, который отмеряет равные промежутки времени (время передачи бита)

# Модуляция

**Модуляция** – способ передачи сигналов, основанный на изменении характеристик *несущего* сигнала в соответствии с изменениями входного *информационного* сигнала

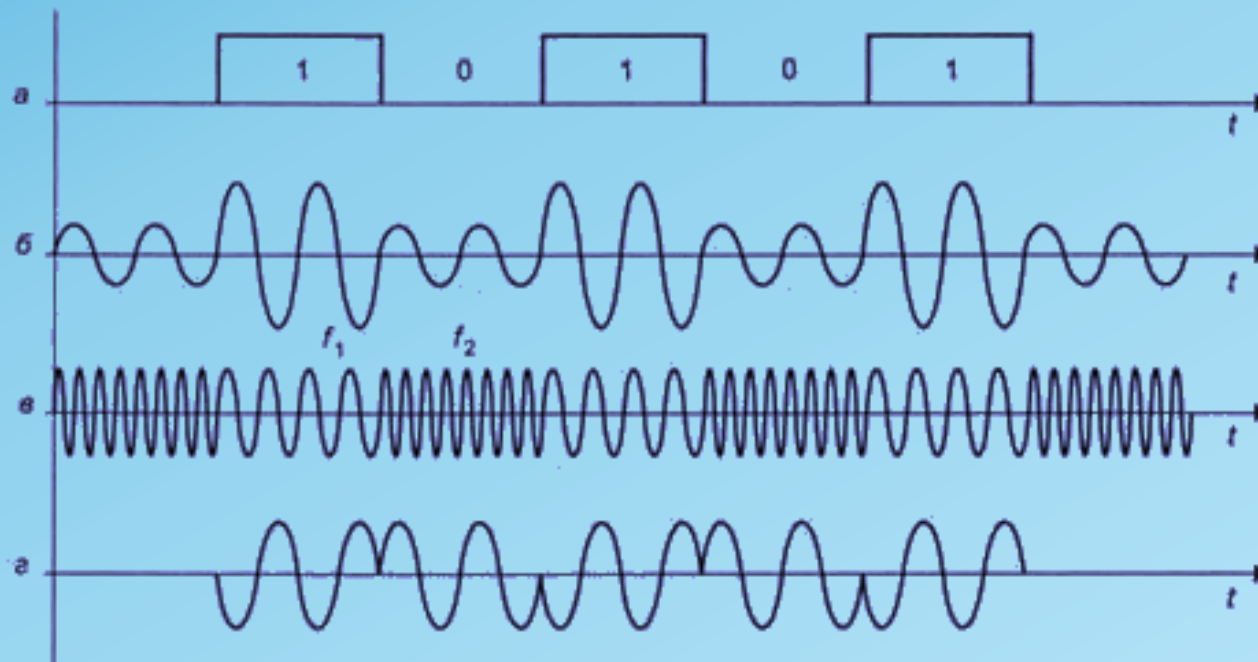
$$A_1 \sin(\omega_1 t) \cdot A_2 \sin(\omega_2 t) = \frac{1}{2} A_1 A_2 [\sin(\omega_1 + \omega_2)t + \sin(\omega_1 - \omega_2)t]$$

Информационный  
(входной) сигнал

Амплитудная  
модуляция (АМ)

Частотная  
модуляция (FM)

Фазовая  
модуляция (PM)

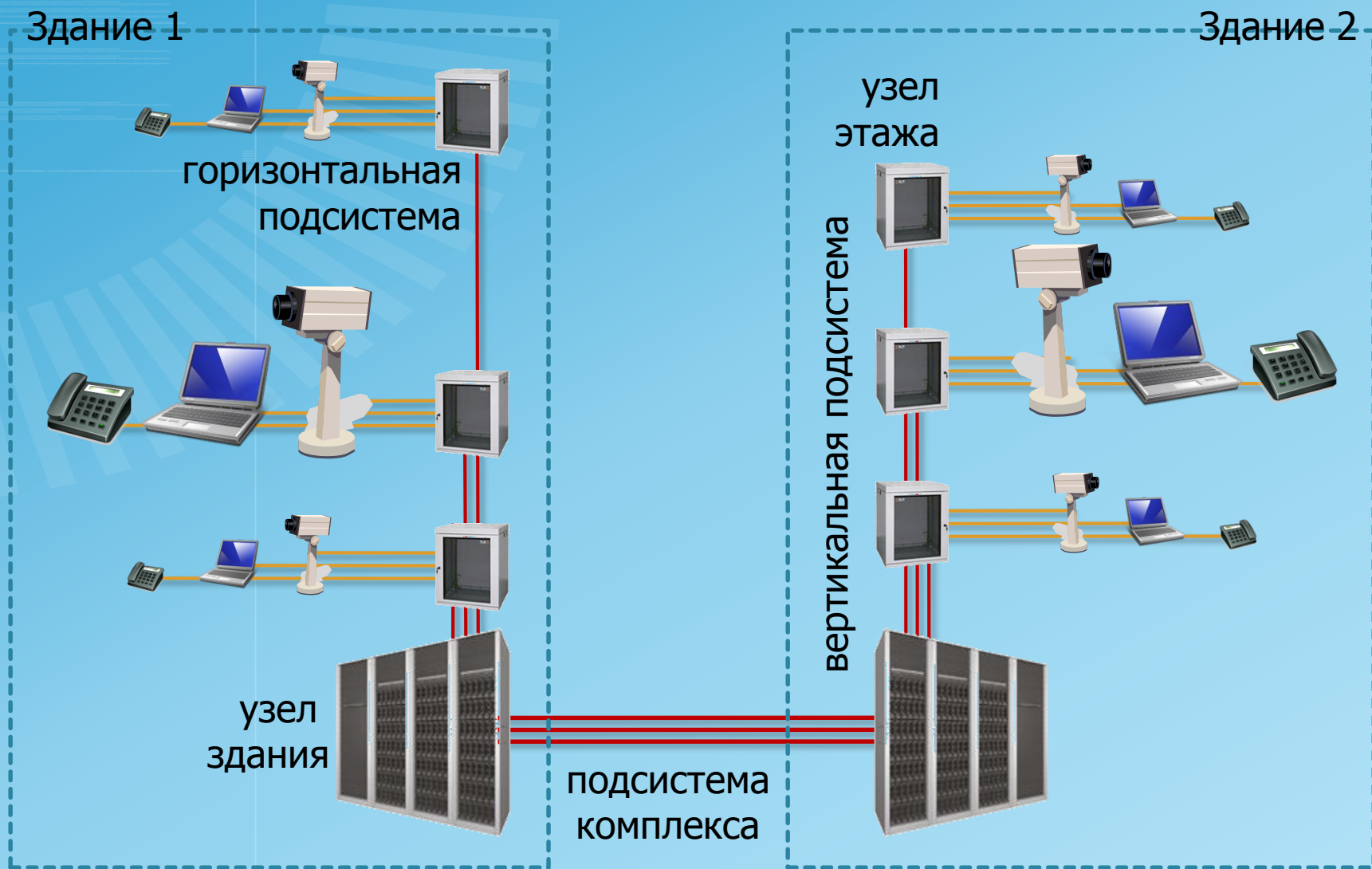




# Структурированная кабельная система (СКС)

- **СКС** – универсальная телекоммуникационная инфраструктура здания или комплекса зданий, обеспечивающая передачу сигналов всех типов, включая речевые, информационные, видео
- Стандарт ISO/IEC 11801
- Подсистемы СКС:
  - магистральная подсистема комплекса – соединяет магистральные системы зданий
  - магистральная подсистема здания (вертикальная) – соединяет коммутационные узлы этажей
  - горизонтальная подсистема здания – соединяет абонентов с ТК узлом этажа

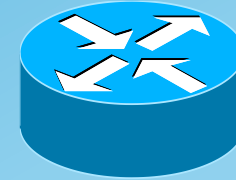
# Структура СКС



# Телекоммуникационное оборудование

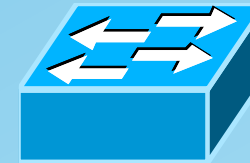
Сетевой  
Канальный  
Физический

- **Маршрутизатор (router)** – сетевое устройство, предназначенное для объединения сетей (в т.ч. различных) в составные сети



Канальный  
Физический

- **Коммутатор (switch)** – сетевое устройство, предназначенное для объединения сегментов сети в локальную сеть



Физический

- **Повторитель (repeater)** – сетевое устройство, предназначенное для увеличения расстояния сетевого соединения путем повторения электрического сигнала «один в один»
- **Концентратор (hub)** – сетевое устройство для объединения нескольких других устройств в общий сегмент сети путем повторения электрического сигнала «один во все»

