

Тема

2.

---

Анализ уровней модели *OSI*  
в локальных сетях на примере  
*Ethernet* и протоколов *TCP/IP*

## Тема 2. Анализ уровней модели *OSI* в локальных сетях на примере *Ethernet* и протоколов *TCP/IP*

---

✓ Лекция 4. Физический уровень сети

✓ Лекция 5. Уровень передачи данных

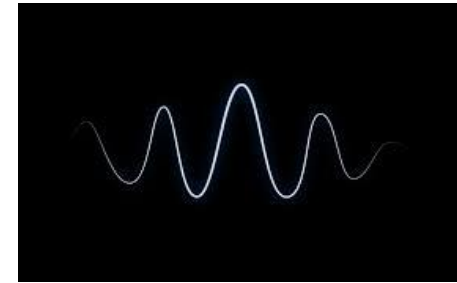
✓ Лекция 6. Подуровень управления доступом к среде

✓ Лекция 7. Сетевой уровень

✓ Лекция 8. Транспортный и сессионный уровень

✓ Лекция 9. Прикладной уровень

# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала *Тема 2.*



1. Параметры сигнала.
2. Линейное кодирование – простейшие случаи.
3. Линейное кодирование – FAST Ethernet.
4. Линейное кодирование – GIGABIT Ethernet.
5. Применение квадратурного модулированного сигнала в сетях.  
Параллельная многочастотная передача модулированного сигнала.
6. Сигнал в беспроводных сетях:
  - расширение спектра перескоком по частоте;
  - расширение прямой последовательностью;
  - расширение комплементарной кодовой последовательностью.
  - многочастотная передача в беспроводных сетях.

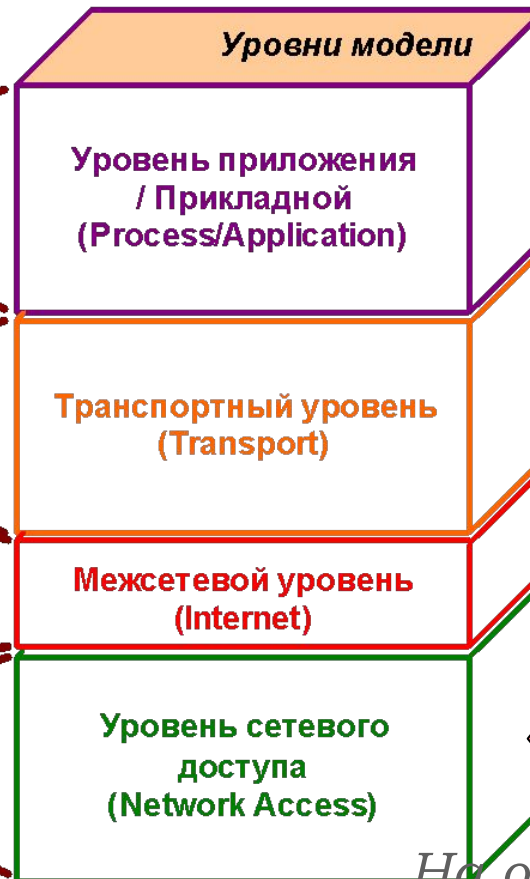
# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

Тема 2.

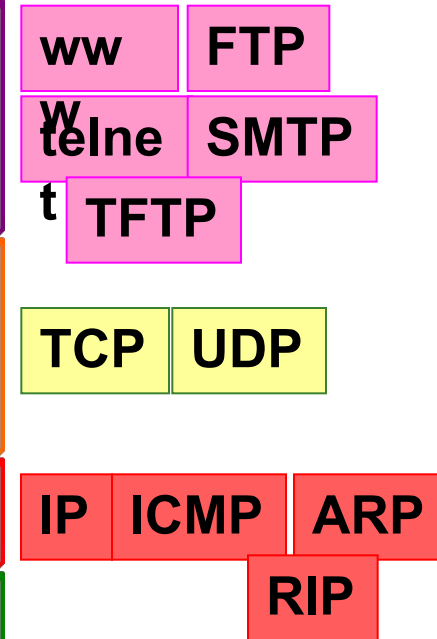
Модель OSI



Модель DoD (TCP/IP)



Стек



Определяет тип локальной сети

На основании чего они строятся?

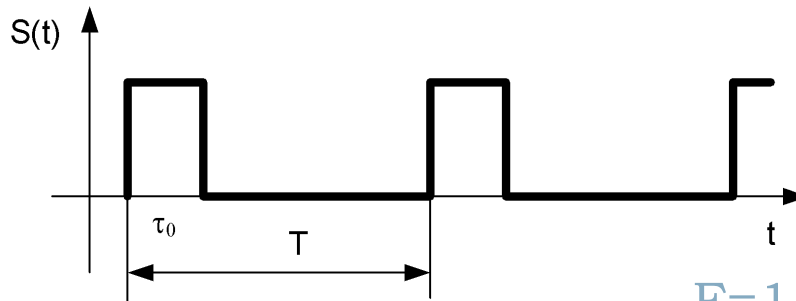
# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

Тема 2.

## 1. Параметры сигнала

### ■ Параметры единичного элемента —

1. Длительность импульса, период, скважность, скорость манипуляции



$$N = T / \tau_0$$

$$B = 1 / \tau_0 \text{ (бод)}$$

$$F = 1 / T = 1 / (N \tau_0) = B / N$$

### ■ Скорость передачи информации $I$ —

Количество информации в единицу времени (бит/с).

$$V = I / \tau_0 = \log_2(m_c / \tau_0) = B \cdot \log_2(m_c)$$

$m_c$  = число значащих позиций кода (двухпозиционный, многопозиционный)

# Лекция 4¾. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 1. Параметры сигнала

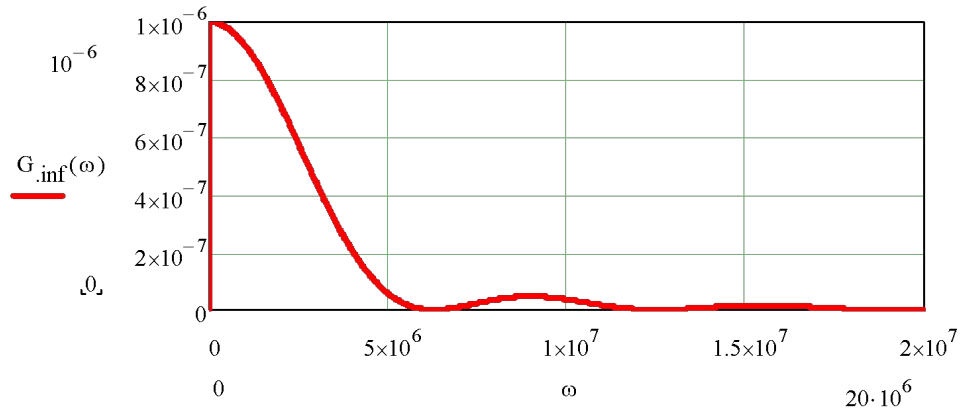
### ■ *Спектр сигнала – спектр случайного сигнала* —

Передаваемые кодовые комбинации – независимые случайные импульсы с известной амплитудой  $U$  и длительностью  $\tau_0$ . Спектр приближенно корреляционную функцию:

$$G_{\text{impls}}(\omega) := 2 \cdot \int_0^{\infty} F_{\text{kor}}(\tau) \cdot \cos(\omega \cdot \tau) \, d\tau$$

$$F_{\text{kor}}(\tau) := U^2 \cdot \left( 1 - \frac{|\tau|}{\tau_0} \right)$$

$$G_{\text{inf}}(\omega) := U \cdot \tau_0 \cdot \frac{\left( \sin\left(\frac{\omega \cdot \tau_0}{2}\right) \right)^2}{\left(\frac{\omega \cdot \tau_0}{2}\right)^2}$$



Спектр бесконечен, но энергетически сосредоточен вблизи постоянной составляющей и нескольких первых гармоник.

# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 1. Параметры сигнала

### ■ Амплитуда —

Выбор амплитуды сигнала  $U$  определяется особенностями физического канала. Так, например, для двухпроводных линий витой пары для допустимого уровня переходных помех в линии связи (скорости передачи, амплитуда, переходное затухание):

$V > 2400$  бод – 3В (87 дБ) - Next  
- 0,3 В (69,5 дБ) - Next

$$\text{Next} = 20 \cdot \lg(U_{11}/U_{33})$$

$$\text{Fext} = 20 \cdot \lg(U_{11}/U_{44})$$

### ■ Требования к сигналу —

- последовательность импульсов должна обеспечивать синхронизацию;
- энергетический спектр не должен содержать пост. составляющую; (межсимвольные помехи, питание);
- уменьшение ВЧ части спектра (диапазон);
- возможность алгоритмизации безошибочной передачи.

# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 1. Параметры сигнала

### ■ Амплитуда —

Выбор амплитуды сигнала  $U$  определяется особенностями физического канала. Так, например, для двухпроводных линий витой пары для допустимого уровня переходных помех в линии связи (скорости передачи, амплитуда, переходное затухание):

$V > 2400$  бод – 3В (87 дБ) - Next  
- 0,3 В (69,5 дБ) - Next

$$\text{Next} = 20 \cdot \lg(U_{11}/U_{33})$$

$$\text{Fext} = 20 \cdot \lg(U_{11}/U_{44})$$

### ■ Требования к сигналу —

- последовательность импульсов должна обеспечивать синхронизацию;
- энергетический спектр не должен содержать пост. составляющую; (межсимвольные помехи, питание);
- уменьшение ВЧ части спектра (диапазон);
- возможность алгоритмизации безошибочной передачи.

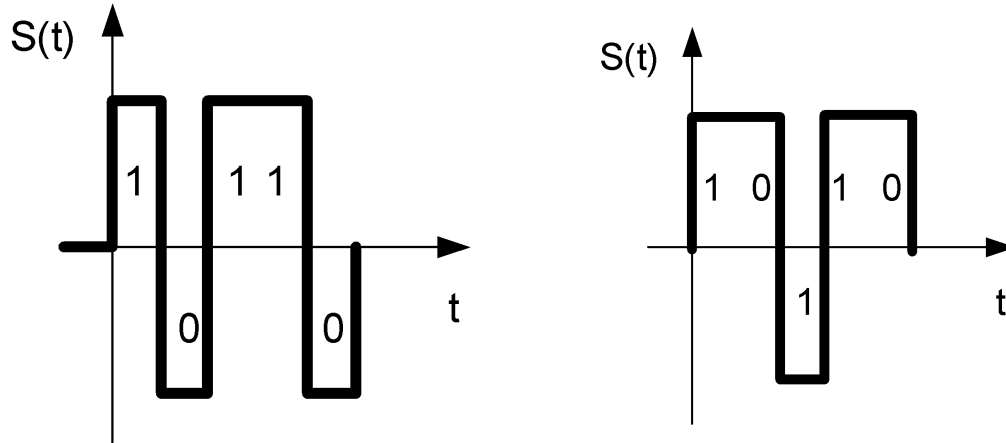
Для удовлетворения этих требований в проводных линиях связи стали применять линейное кодирование.



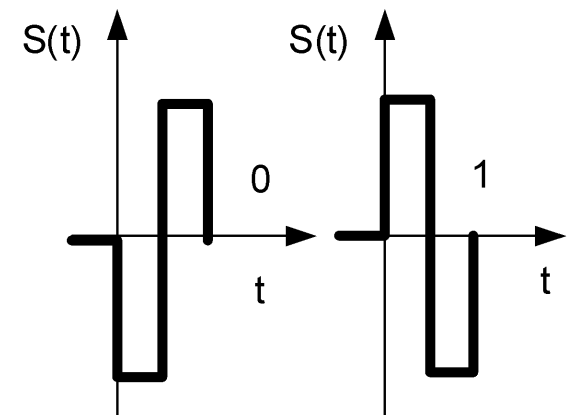
# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 2. Линейное кодирование – простейшие случаи

- **NRZ, NRZI** —  
кодирование информации  
разнополярными сигналами



- **Manchester | DiffManchester code** —  
кодирование информации  
расширением спектра (передача 2х символов )



# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 2. Линейное кодирование – Fast Ethernet (4В/5В,Т)

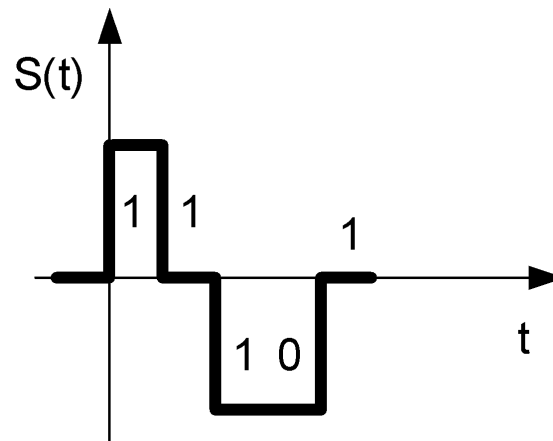
### ■ *MLT-3* – MultiLevel Transmission 3



трехпозиционное кодирование. Относится к кода xByT (4В3Т)

1 – переход из одного состояния в другое

0 – неизменное состояние



Передача по 5 бит в трехпозиционном коде вместо 4-х бит.

# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 2. Линейное кодирование – Fast Ethernet (4В/5В,Т)

### ■ **MLT-3** – MultiLevel Transmission 3

трехпозиционное кодирование (3 состояния) .

*Принцип формирования из бинарной последовательности:*

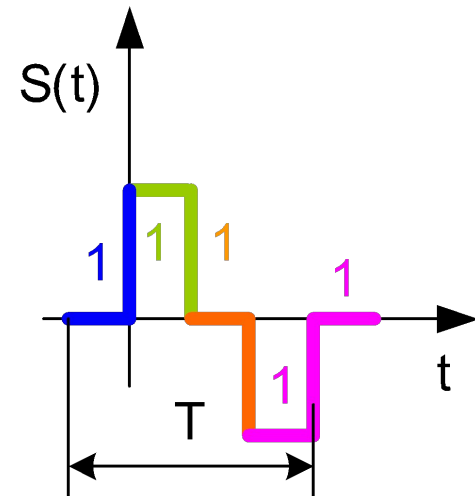
1 – переход из одного состояния в другое;

0 – неизменное состояние.

*Преимущество:* в случае передачи набора 1ц, для формирования периода/цикла необходимо 4 перехода (4 бита) - частота несущей уменьшается в 4 раза .



Применяется не только как прямое изменение вида сигнала, но также как замена бинарной последовательности. Относится к коду xByT (**4В3Т**)



Передача по 5 бит в трехпозиционном коде вместо 4-х бит.

# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 2. Линейное кодирование – Fast Ethernet (4В/5В,Т)

### ■ *MLT-3* – MultiLevel Transmission 3



Декодировка на приёме:

| Т<br>3 бита | В<br>4 бита | Т<br>3 бита | В<br>4 бита | Т<br>3 бита | В<br>4 бита |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| +U 0 +U     | 0000        | -U +U +U    | 0110        | +U 0 -U     | 1011        |
| 0 -U 0      | 0000        | -U -U +U    | 0110        | +U +U +U    | 1100        |
| 0 - +U      | 0001        | -U 0 +U     | 0111        | -U +U -U    | 1100        |
| +U -U 0     | 0010        | +U 0 0      | 1000        | 0 +U 0      | 1101        |
| 0 0 +U      | 0011        | 0 -U -U     | 1000        | -U 0 -U     | 1101        |
| -U -U 0     | 0011        | +U -U +U    | 1001        | 0 +U -U     | 1110        |
| -U +U 0     | 0100        | -U -U -U    | 1001        | +U +U 0     | 1111        |
| 0 +U +U     | 0101        | +U +U -U    | 1010        | 0 0 -U      | 1111        |
| -U 0 0      | 0101        | +U -U -U    | 1010        | 0 0 0       | X           |

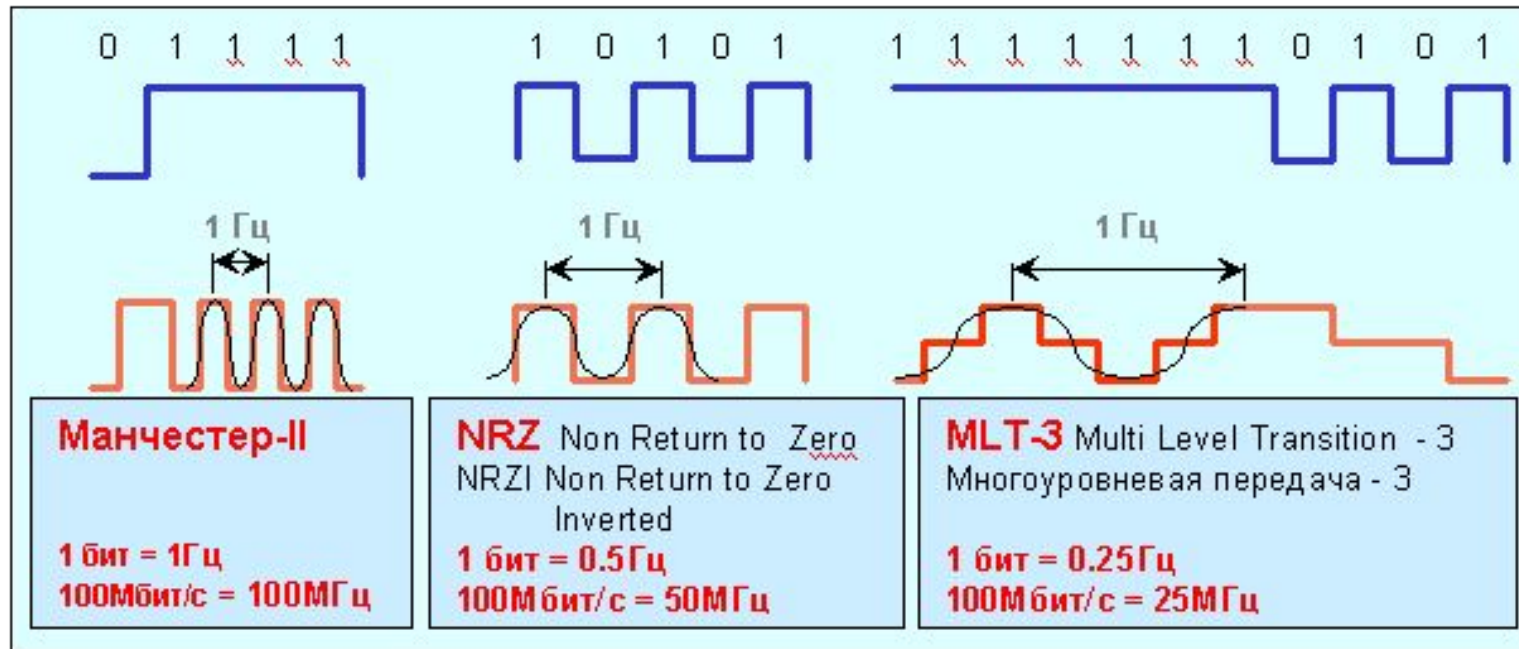
# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 2. Линейное кодирование – Fast Ethernet (4В/5В,Т)

### ■ *MLT-3* – MultiLevel Transmission 3



Частота несущей:



# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 2. Линейное кодирование – Fast Ethernet (4В/5В,Т)

### ■ **4В/5В** — Дополнительное кодирование MLT-3

Код передачи для дополнительной помехоустойчивости и синхронизации предварительно кодируется – каждый 4 бита заменяются 5ю.

Расширение комбинаций кода позволяет использовать более равномерное изменение битов в последовательности (не более 3 нулей подряд), а также добавляются служебные комбинации.

Передача по 5 бит в трехпозиционном коде вместо 4-х бит.

# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 2. Линейное кодирование – Fast Ethernet (4В/5В,Т)

### ■ 4В/5В – Дополнительное кодирование MLT-3

| 4 В  | 5 В   |  | 4 В  | 5 В   |  | 4 В                     | 5 В   |
|------|-------|--|------|-------|--|-------------------------|-------|
| 0000 | 11110 |  | 1001 | 10011 |  | Ожидание                | 11111 |
| 0001 | 01001 |  | 1010 | 10110 |  | Начало потока           | 11000 |
| 0010 | 10100 |  | 1011 | ///   |  | Начало потока           | 10001 |
| 0011 | 10101 |  | 1100 | ///   |  | Конец потока            | 01101 |
| 0100 | 01010 |  | 1101 | ///   |  | Конец потока            | 00111 |
| 0101 | 01011 |  | 1110 | ///   |  | Ошибка передачи         | 00100 |
| 0110 | 01110 |  | 1111 | ///   |  | Недопустимые комбинации | ///   |
| 0111 | 01111 |  | 1000 | 10010 |  |                         |       |

# Лекция 4¾. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

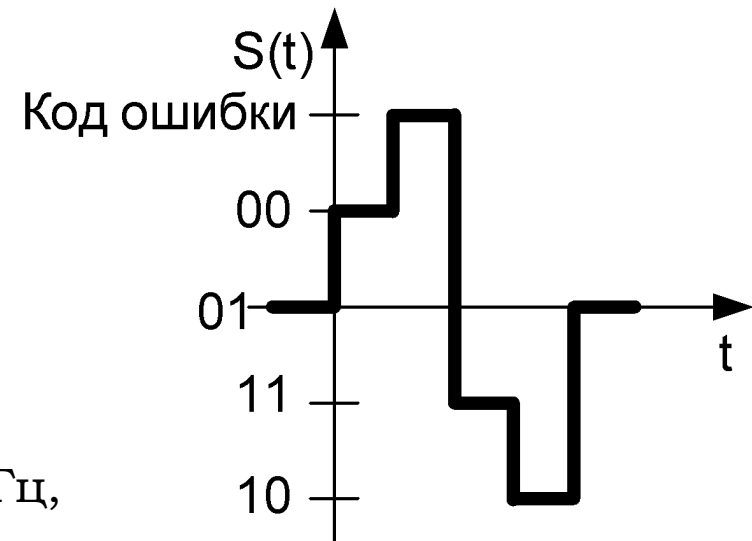
## 2. Линейное кодирование – Gigabit Ethernet (PAM-5)

- **PAM-5** – Pulse Amplitude modulation  
пятипозиционное кодирование



Обеспечивает одновременную передачу 2 бит:

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 10         | → | - 1 U ;   |
| 11         | → | - 0,5 U ; |
| 01         | → | 0,5 U ;   |
| 00         | → | 1 U ;     |
| код ошибки | → | 0 U ;     |



Частота несущего колебания может быть уменьшена в 2 раза.

При тактировании как в FastEthernet 125 МГц, за счет 4 пар и 2битной передачи скорость передачи в GigEth=  $125 \cdot 2 \cdot 4 = 1000$  Мбит/с.

Возможность исправления ошибок увеличивает помехоустойчивость кода.



# Лекция 4<sup>3/4</sup>. Построение физического и канального уровня – формирование сигнала

## 4. Применение квадратурного модулированного сигнала в сетях

- **QPSK** – Quadrature Phase Shift Keying – квадратурная фазовая модуляция



Частный случай квадратурной амплитудной модуляции (QAM-4). Количество позиций кода – 4, каждая позиция соответствует своему значению фазы несущего колебания (разница между позициями -  $90^\circ$ ).

Сигнал получают путем сложения синфазной (I – In Phase) и противофазной составляющей Q(Quadrature) с одинаковой частотой.

