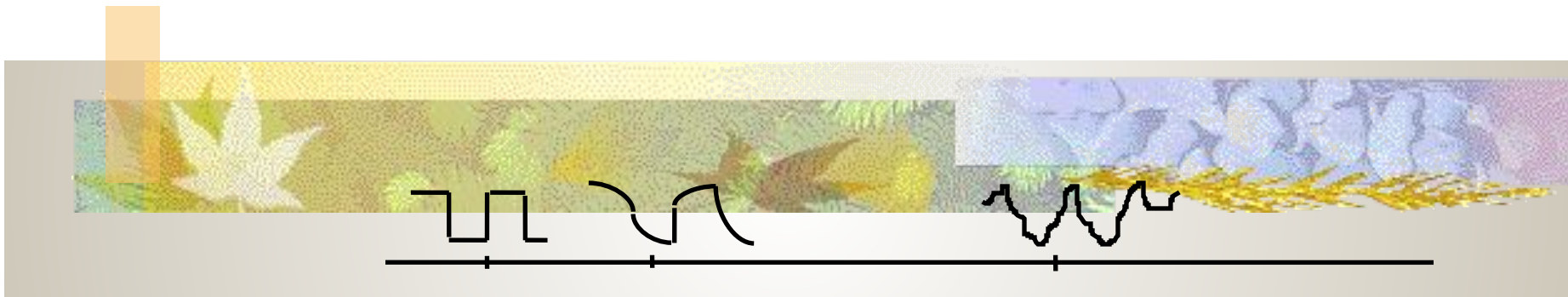
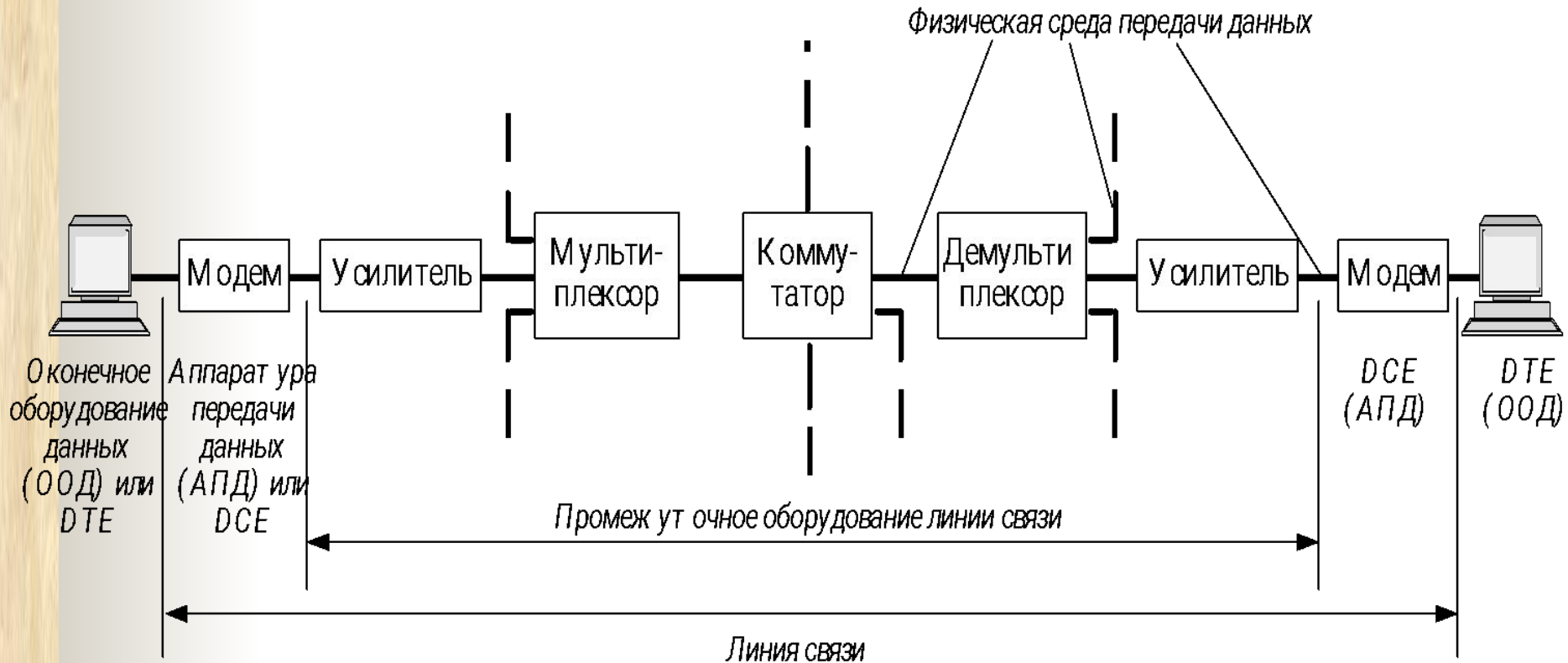


## 2. Основы передачи дискретных данных



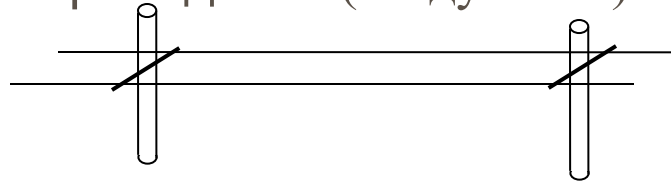
Методы передачи дискретных данных,  
общие для локальных и глобальных сетей  
по длинным линиям связи ( $>10$  м)

# Состав линии связи

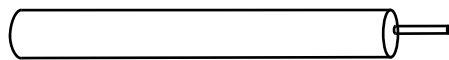


# Типы линий связи

Проводные (воздушные)



Кабельные



Коаксиал

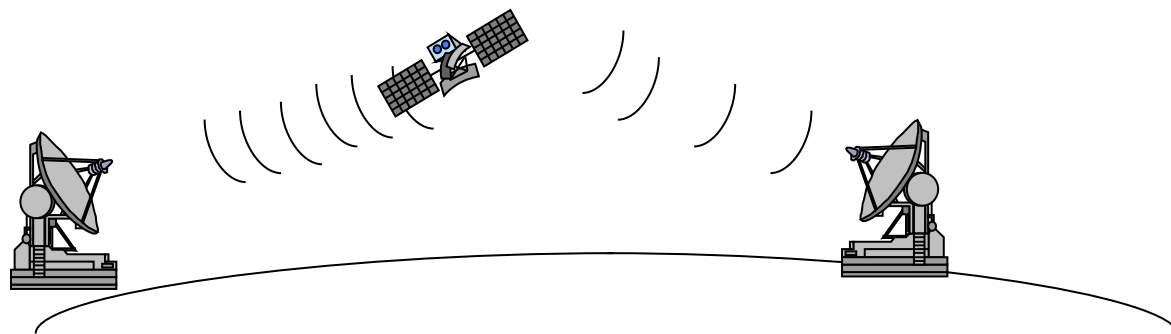


Витая пара

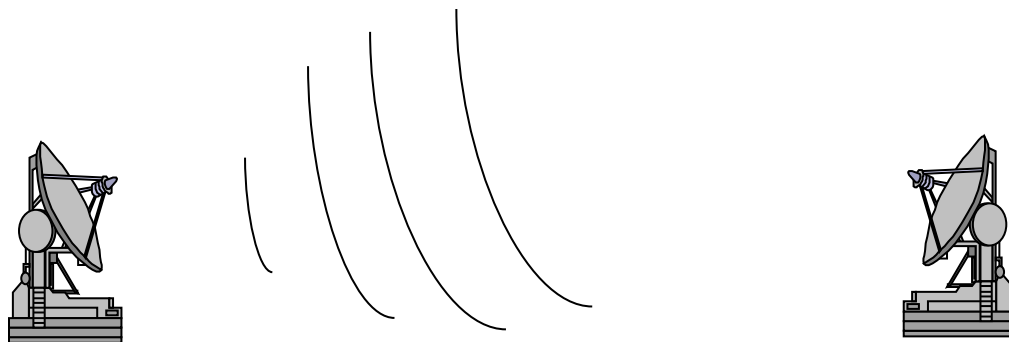


Оптическое волокно

# Радиоканалы наземной и спутниковой связи



# Радиорелейные (СВЧ) каналы



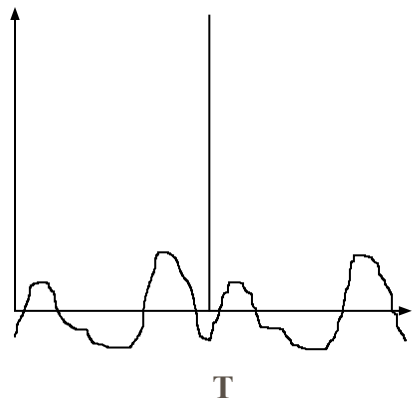


## Характеристики линий связи

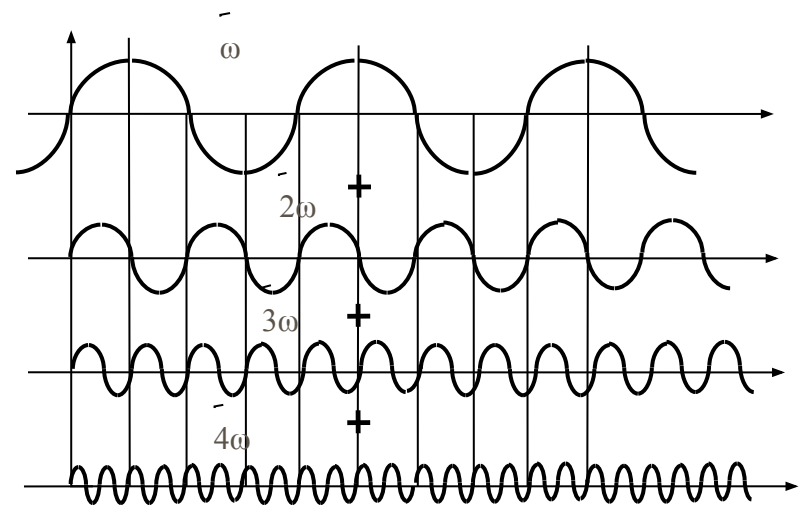
- Амплитудно-частотная характеристика
- Полоса пропускания
- Затухание
- Помехоустойчивость
- Перекрестные наводки на ближнем конце линии (NEXT)
- Пропускная способность
- Достоверность передачи данных
- Удельная стоимость

# Спектральный анализ сигналов на ЛИНИЯХ СВЯЗИ

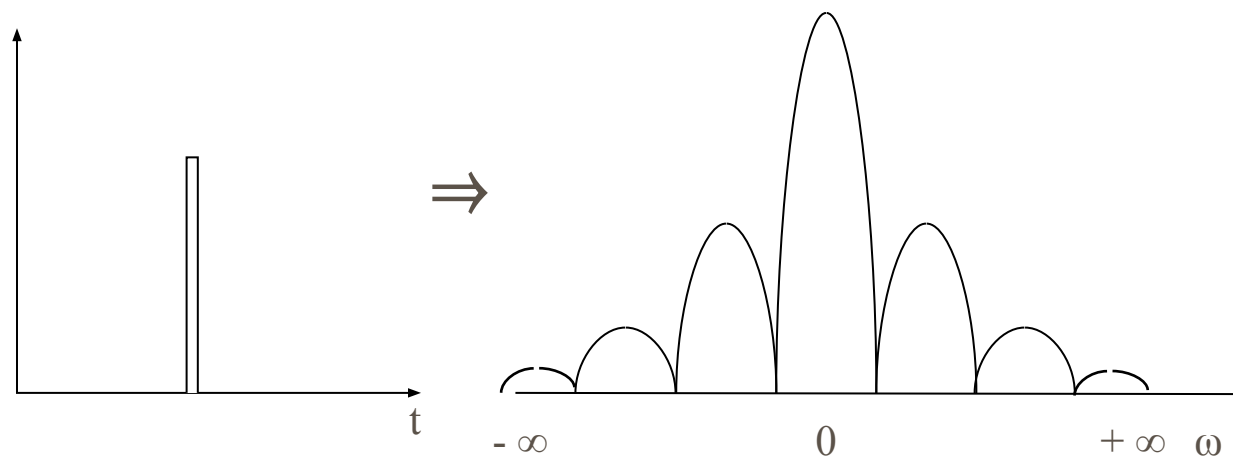
Представление периодического сигнала  
суммой синусоид



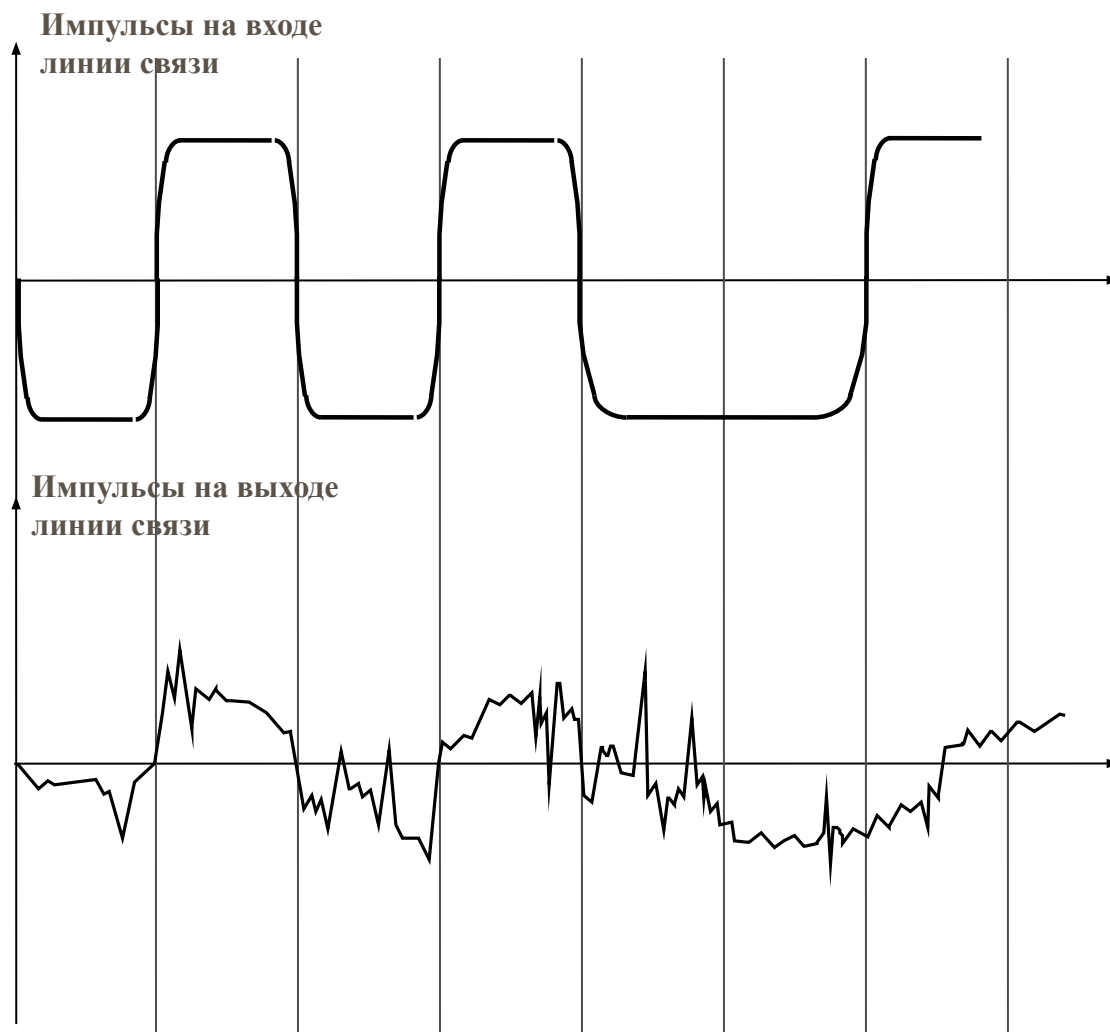
=



## Спектральное разложение идеального импульса ( $\delta$ -функция)

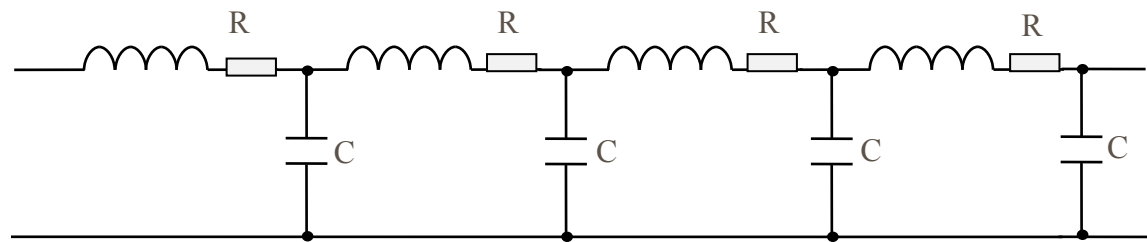


# Искажения импульсов в линиях связи

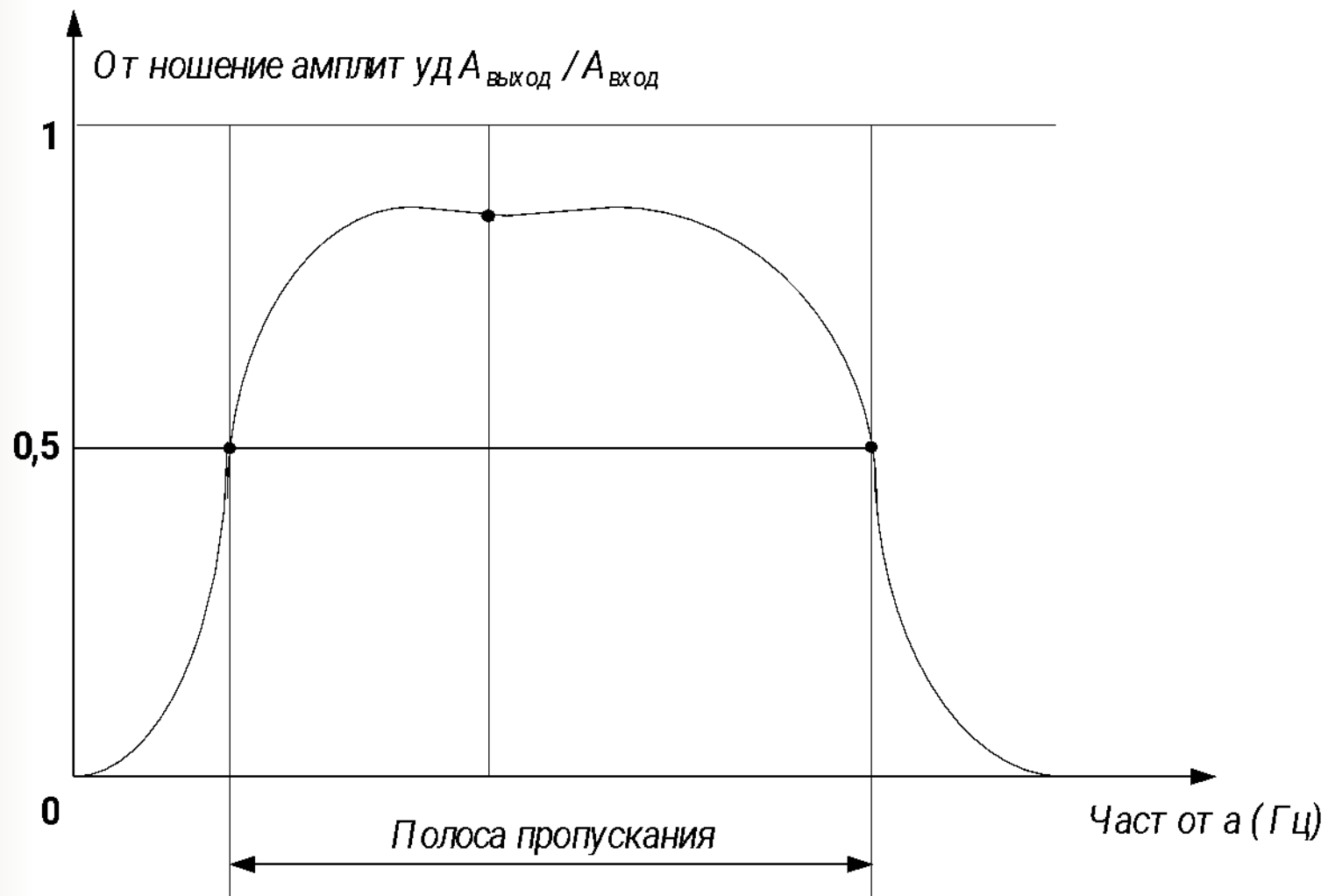




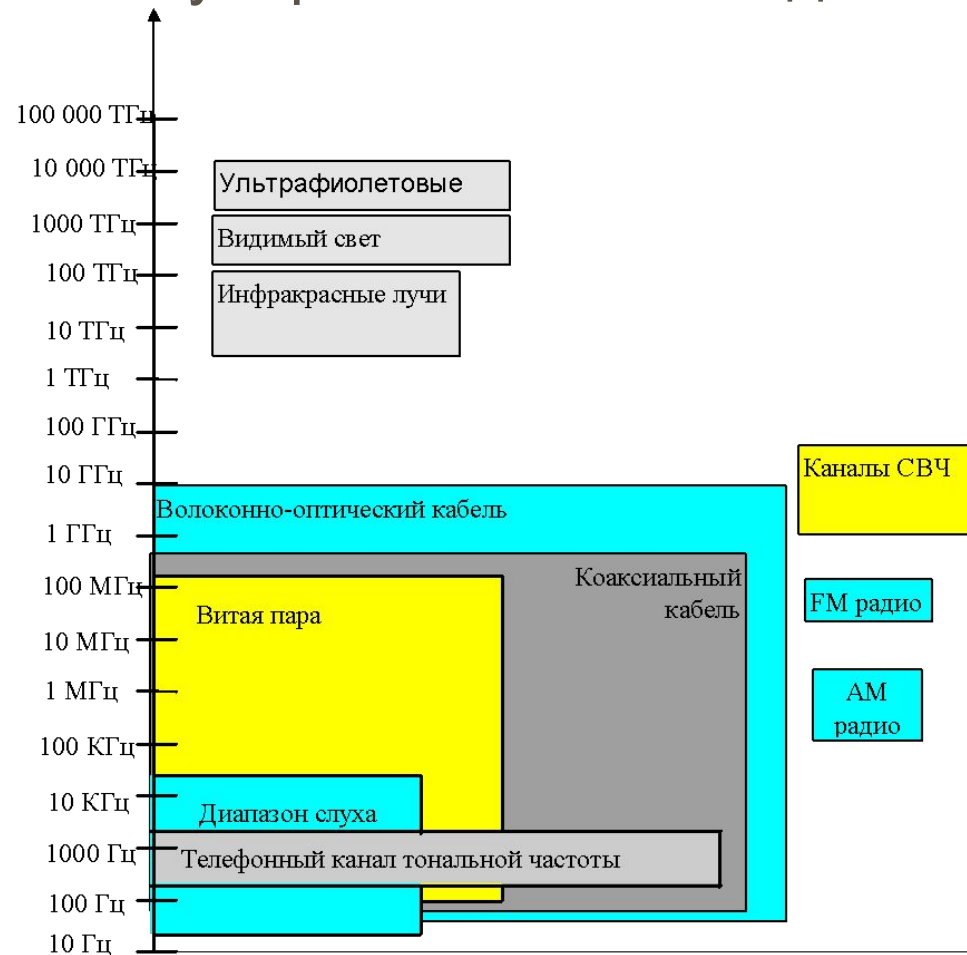
## Представление линии в виде распределенной индуктивно-емкостной нагрузки



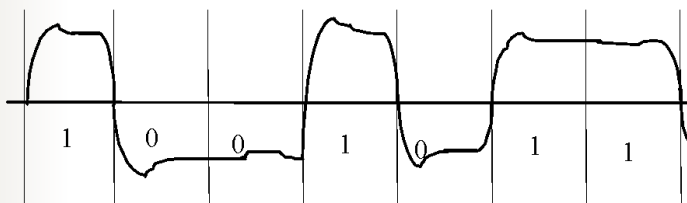
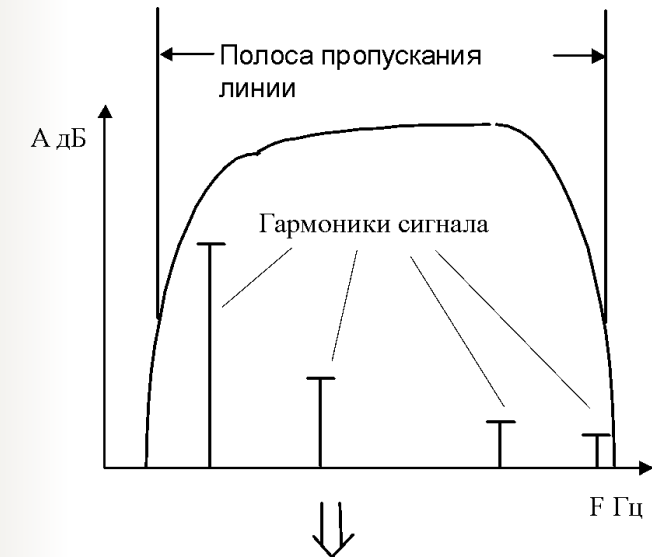
# Амплитудно-частотная характеристика



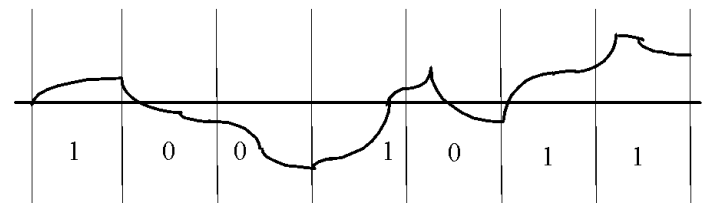
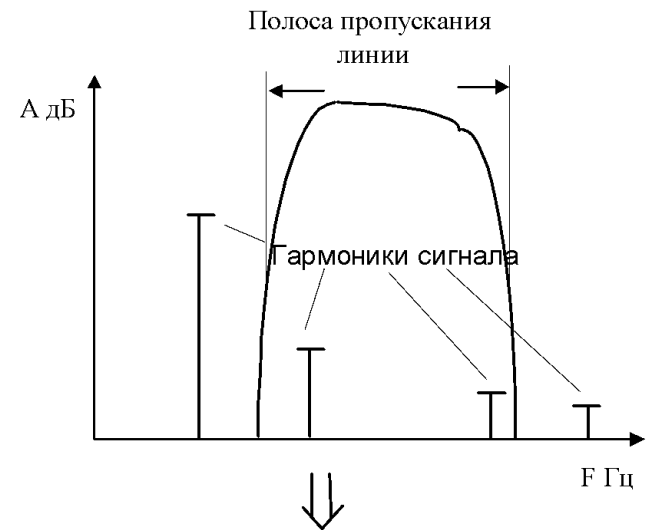
# Полосы пропускания линий связи и популярные частотные диапазоны



# Соответствие между полосой пропускания линии связи и спектром сигнала



а) Спектр сигнала уместается в полосу пропускания линии



б) Спектр сигнала выходит за пределы полосы пропускания линии



## Пропускная способность - $C$ (бит/с)-

*максимально возможное число бит информации, которые могут быть переданы в секунду*

$$C(\text{бит/с}) = F \times \log_2(1 + P_c/P_m)$$

$F$  - полоса пропускания (Гц)

Типичные значения пропускной способности (bandwidth) линий связи вычислительных сетей:

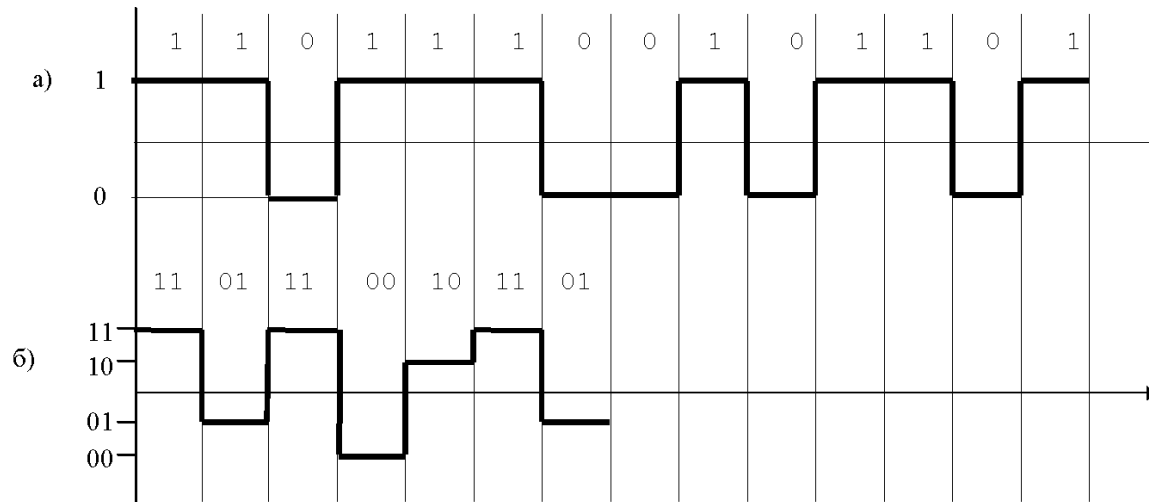
2400, 4800, 9600, 14400, 28800, 33600 б/с

56, 64 Кб/с; 1.544, 2.048, 10, 16, 34, 45, 155, 622 Мб/с

## Повышение скорости передачи за счет дополнительных состояний сигнала

$C = 2F \log_2 M$ , где  $M$  - количество состояний одного элемента данных

а) сигнал имеет 2 состояния;



б) сигнал имеет 4 состояния



## Помехоустойчивость линии:

определяется мощностью шумов, создаваемых в линии внешней средой и возникающих в самой линии

низкая  $\Rightarrow$  хорошая  $\Rightarrow$  отличная  
*Кабельны*  $\Rightarrow$  *Радиолинии*  $\Rightarrow$  *Оптоволоконны*  
е  $\Rightarrow$  е  $\Rightarrow$  е  
*линии*  $\Rightarrow$  *линии*  $\Rightarrow$  *линии*



***Достоверность передачи данных:***

вероятность искажения бита данных  
( $10^{-3} \div 10^{-9}$  без дополнительных средств,  
 $10^{-9}$  - оптоволокно)

***Удельная стоимость линии:***

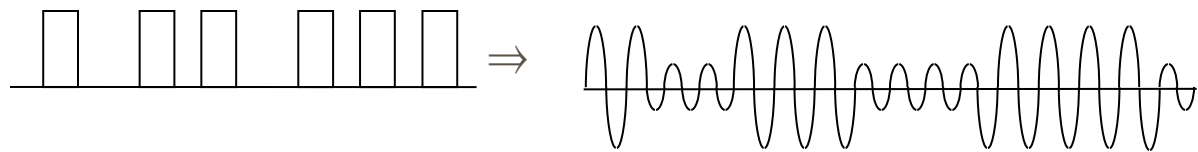
затраты на создание 1 км линии - от \$0.4  
до \$8



# Методы передачи дискретных данных

- Аналоговая модуляция
- Кодирование (дискретная модуляция)

**Аналоговая модуляция:** предназначена для передачи дискретных данных, имеющих широкий спектр, по аналоговым линиям связи с узкой полосой пропускания

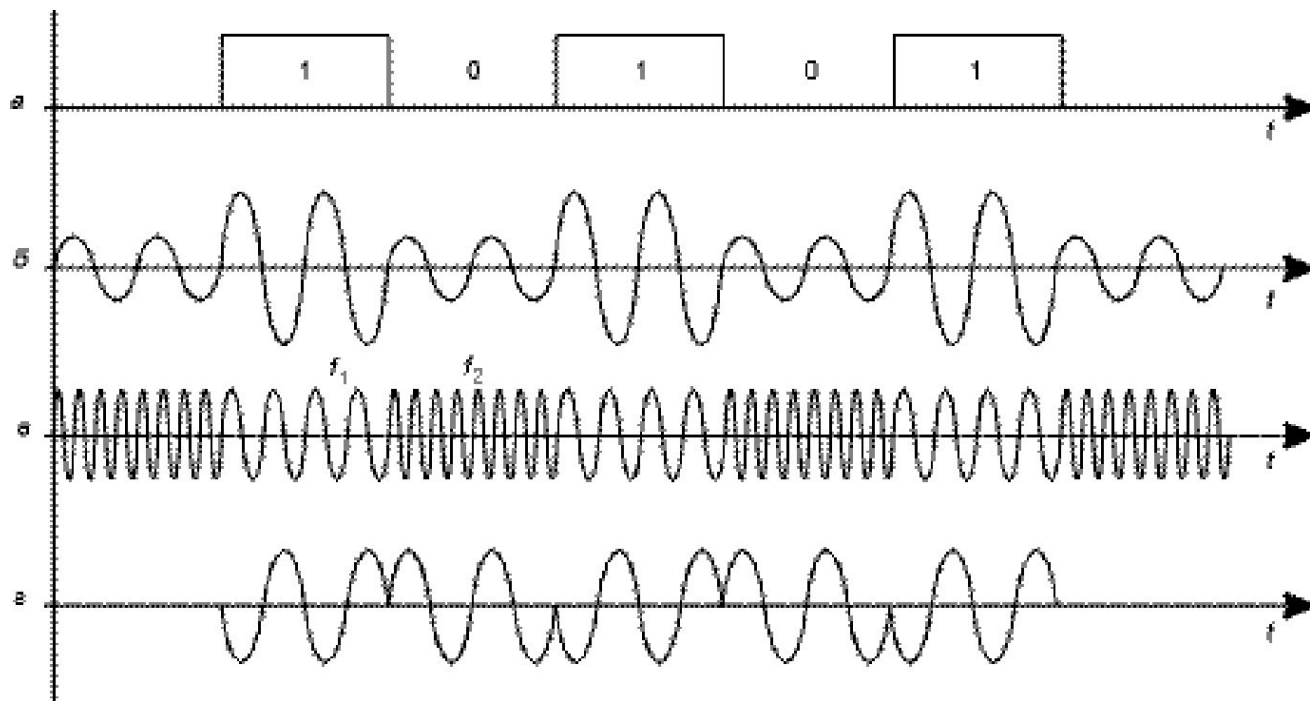


## Виды аналоговой модуляции:

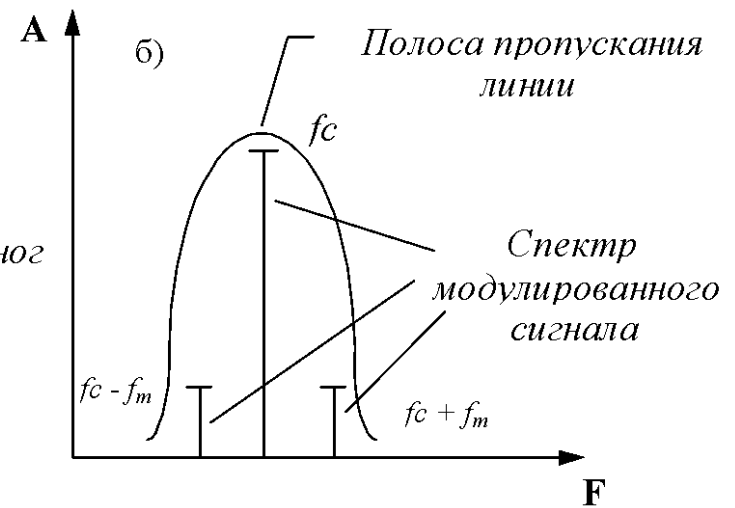
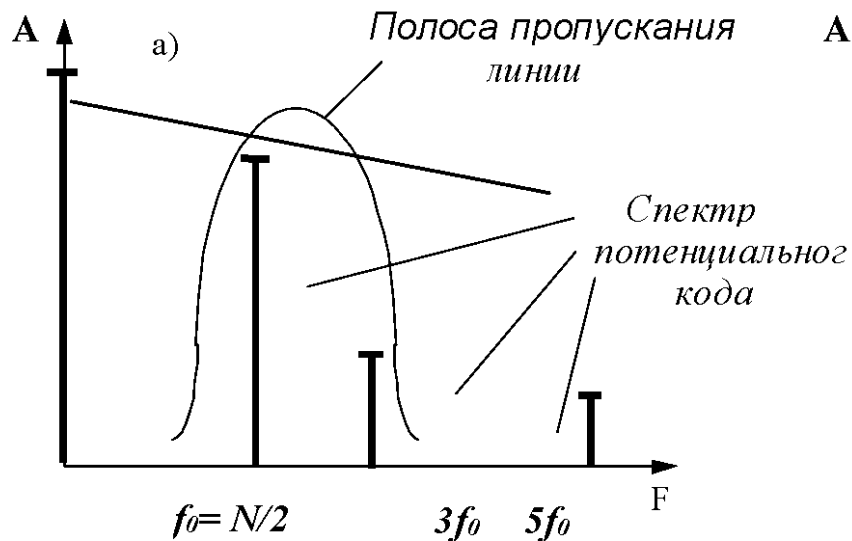
б) амплитудная

в) частотная

г) фазовая



# Спектры сигнала при потенциальном кодировании и амплитудной модуляции



$f_c$  - частота несущей  
 $f_m$  - частота модуляции



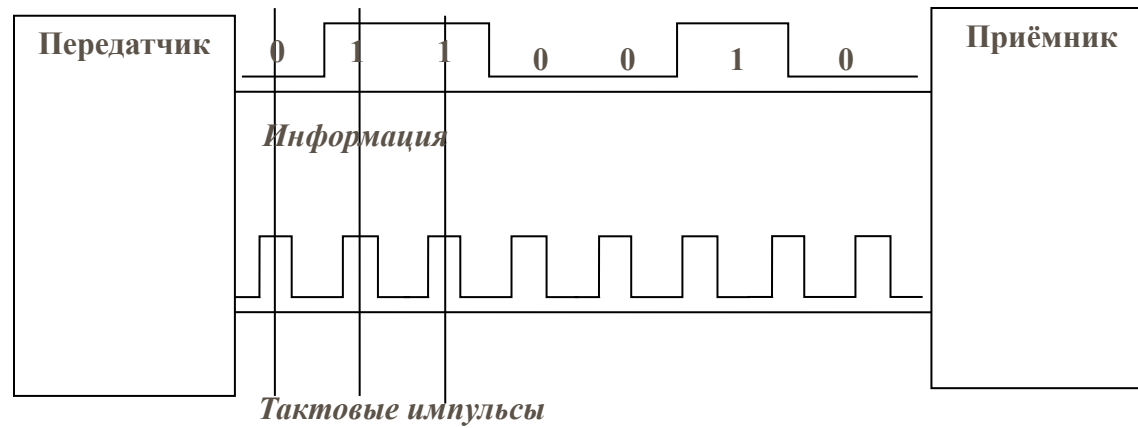
# Кодирование

*Кодирование* в узком смысле - способ представления дискретных данных импульсными сигналами для передачи по широкополосным линиям (без модуляции)

## *Цели кодирования:*

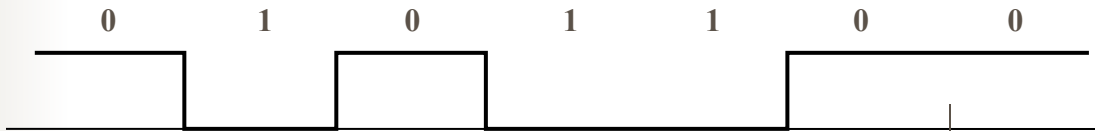
1. Сужение полосы частот результирующего сигнала. Чем меньше изменений потенциала сигнала в единицу времени (измеряется в бодах), тем уже спектр сигнала, тем выше может быть битовая скорость на линии с фиксированной полосой пропускания
2. Синхронизация приемника и источника

## Синхронизация приемника и передатчика на небольших расстояниях



# Методы кодирования

а) Потенциальный код или NRZ-код



Полоса узкая (бод  $\leq$  б/с) (4 бода)

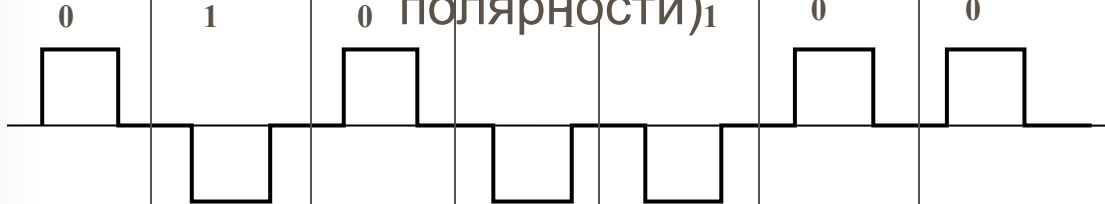
Самосинхронизация плохая

б) Потенциальный код с инверсией при единице NRZI



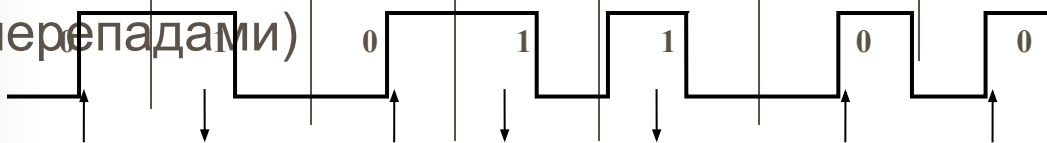
(3 бода)

в) Биполярный код (импульсы разной полярности)



Полоса широкая (бод  $\sim 2$  б/с) (14 бод)  
Самосинхронизация отличная

г) Манчестерский код (кодирование перепадами)



Полоса средняя (б/с  $\leq$  бод  $\leq 2$  б/с) (9 бод)  
Самосинхронизация хорошая

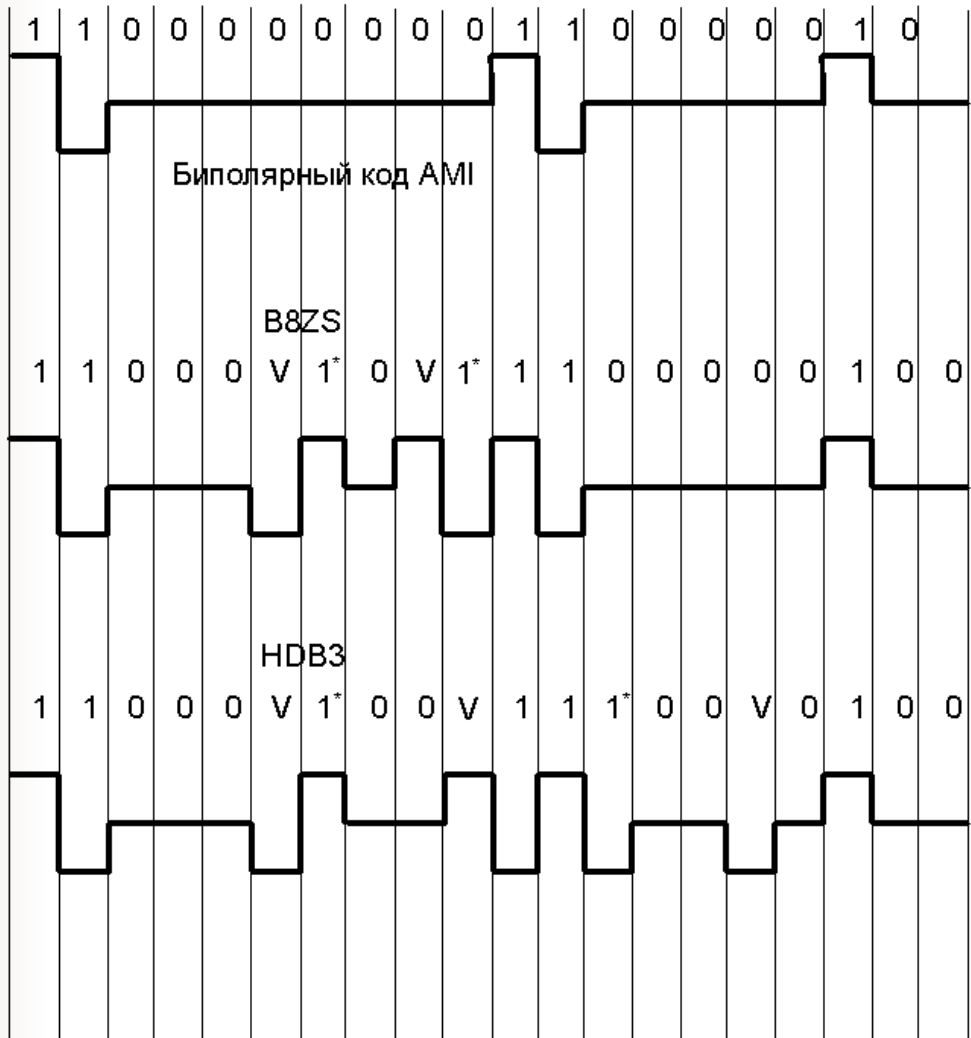
## **Избыточные потенциальные коды (4В/5В, 5В/6В)**

К каждому  $N$  битам исходного кода добавляется 1 избыточный бит, значение которого выбирается так, чтобы потенциал гарантированно менял свое значение через каждые  $2N$  бит

### **Код 4В/5В:**

<b>4 бита исходного кода</b>	<b>5 бит результирующего кода</b>
<b>0000</b>	<b>11110</b>
<b>0001</b>	<b>01001</b>
<b>0010</b>	<b>10100</b>
<b>0011</b>	<b>10101</b>
<b>0100</b>	<b>01010</b>
<b>0101</b>	<b>01011</b>
<b>0110</b>	<b>01110</b>
<b>0111</b>	<b>01111</b>
<b>⋮</b>	<b>⋮</b>

# Коды глобальных каналов





# Скрэмблирование

«Перемешивание» данных по известному закону:

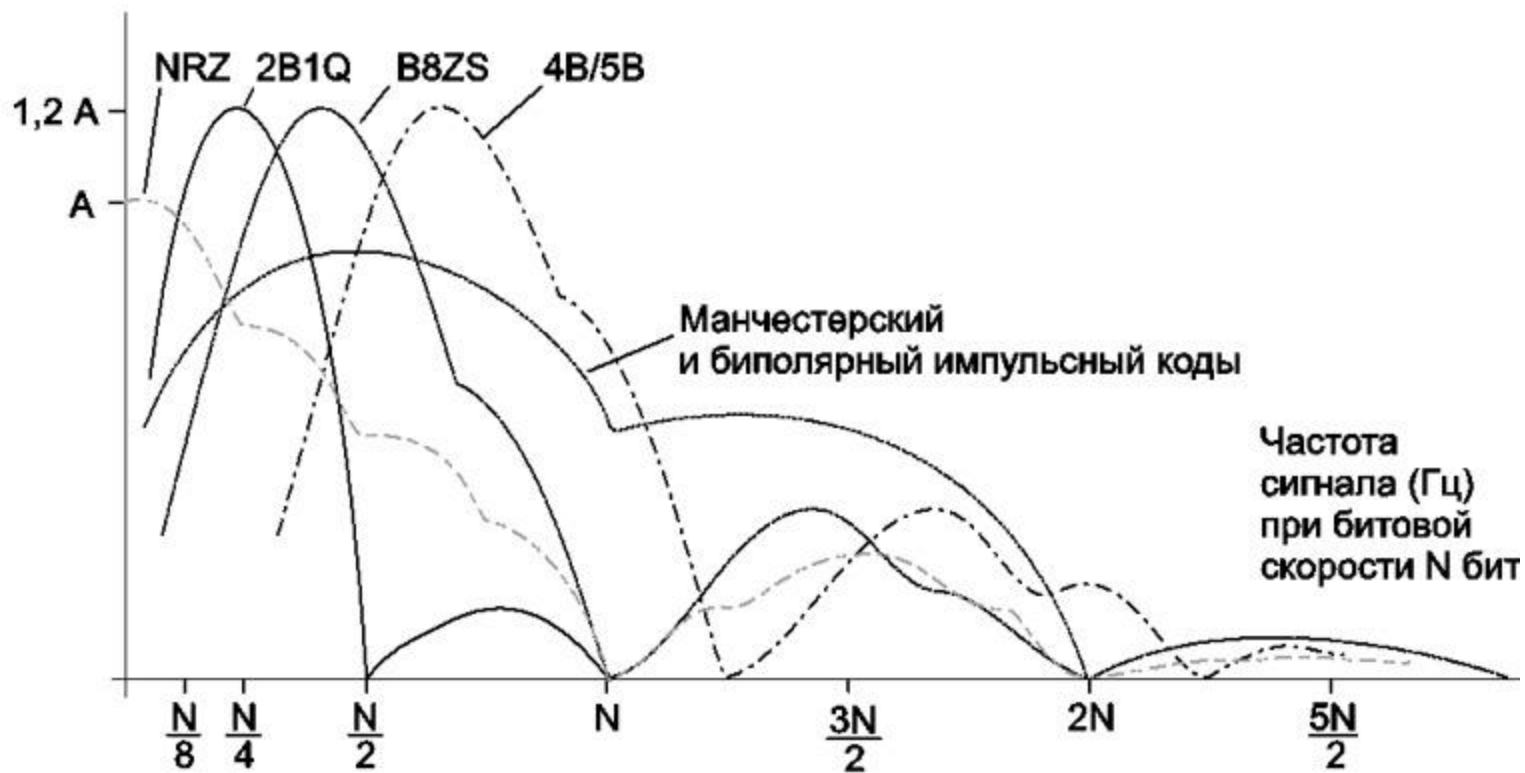
$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$$

$\oplus$ - сложение по модулю 2

Обратное преобразование:

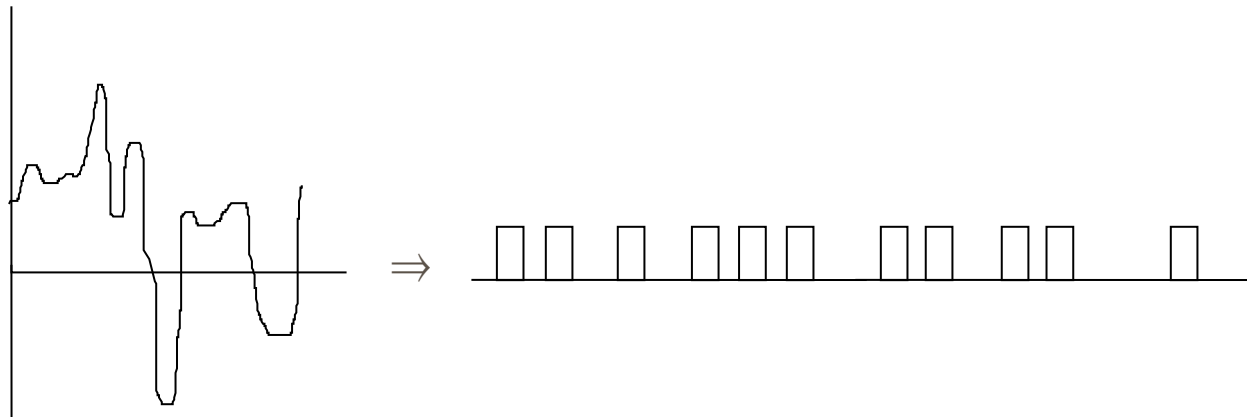
$$C_i = B_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} = B_i = (A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}) \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5} = A_i$$

# Спектры кодов



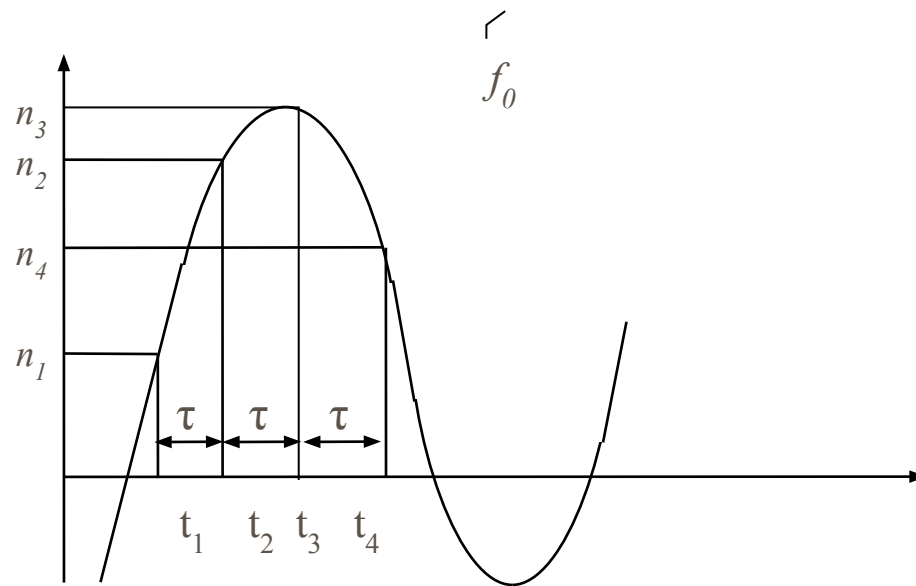
## ***Кодирование аналоговых сигналов:***

предназначено для передачи аналоговых данных по линиям связи, имеющим широкую полосу пропускания, достаточную для передачи импульсов



# Кодирование (дискретная модуляция)

Дискретизация непрерывного сигнала по амплитуде и по времени



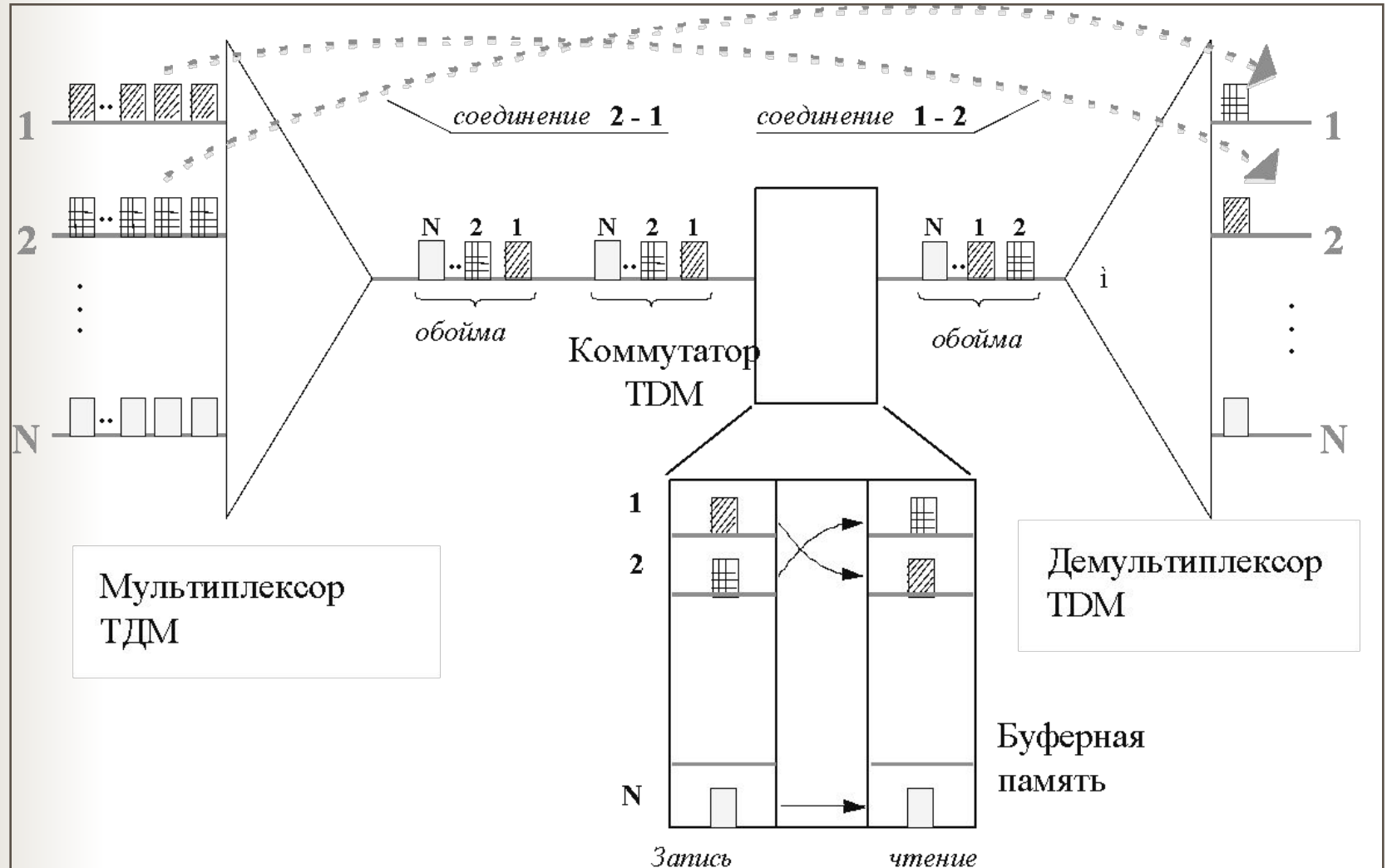
Частота квантования:  $f=1/\tau$

$n_1, n_2, n_3, \dots$  - "оцифрованный" сигнал

$$f \geq 2f_0$$

*Теорема Котельникова-Найквиста*

# Коммутация каналов — синхронное разделение во времени (Time Division Multiplexing, *TDM* или *STM*)

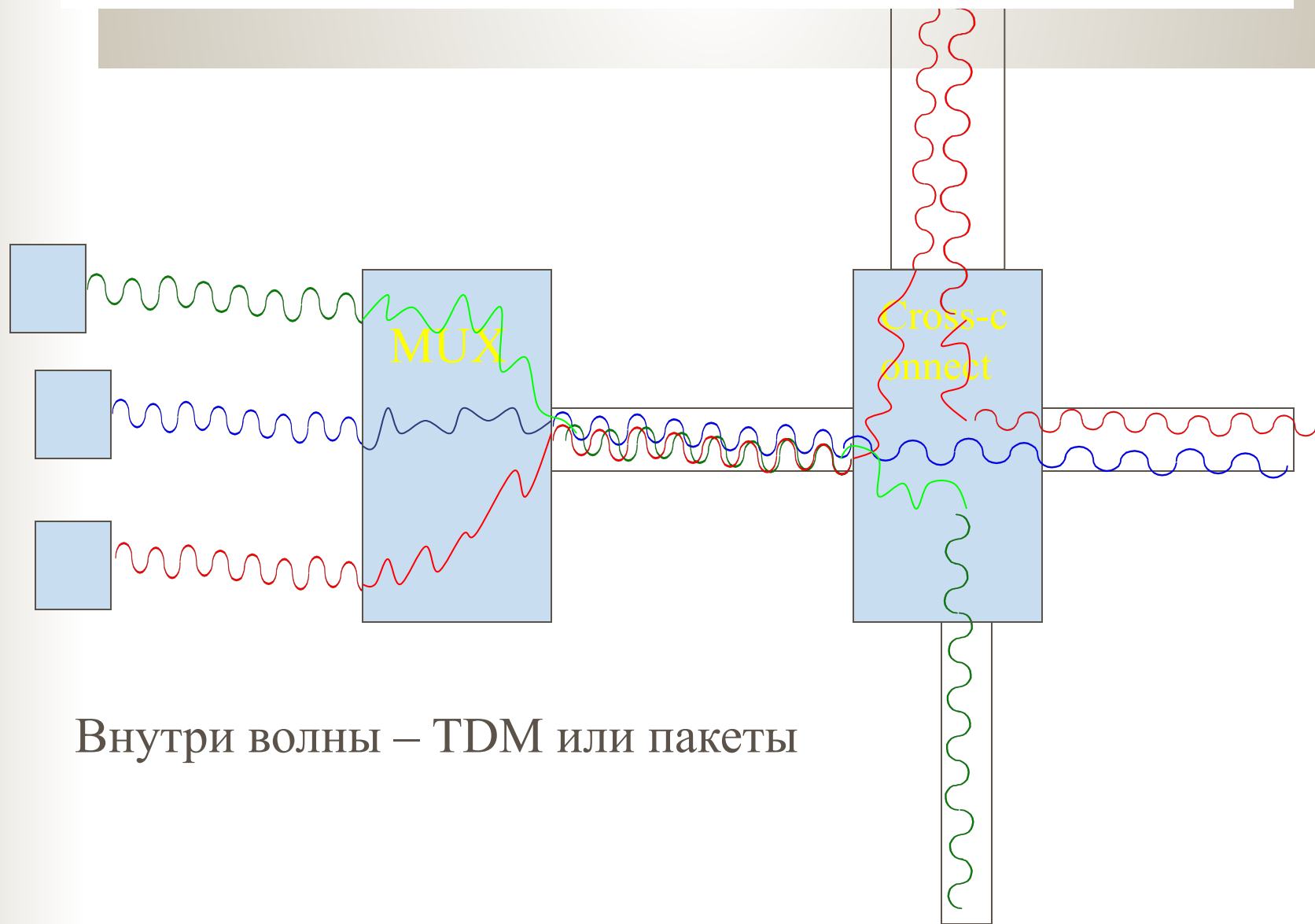




## TDM

- Все оборудование должно работать синхронно и циклически. Цикл работы TDM-оборудования - 125 мкс
- Мультиплексор принимает данные от каждого конечного абонента со скоростью 64 Кбит/с - 1 байт каждые 125 мкс.
- Мультиплексор передает обобщенные данные на выходной канал с битовой скоростью  $N \times 64 \frac{\text{Кбит}}{\text{с}}$
- Каждое соединение обладает фиксированной пропускной способностью, кратной 64 Кбит/с.
- Каждому соединению выделяется один квант времени цикла работы аппаратуры - тайм-слот
- Длительность тайм-слота обслуживаемых TDM-оборудованием зависит от числа абонентских каналов,
- Тайм-слот закрепляется за абонентом на все время соединения

# Коммутация каналов – разделение по длине волны (Wave Division Multiplexing, WDM или Dense WDM)



Внутри волны – TDM или пакеты



## Сравнение методов коммутации каналов и пакетов

<b>Коммутация каналов</b>	<b>Коммутация пакетов</b>
Гарантированная пропускная способность (полоса) для взаимодействующих абонентов	Пропускная способность сети для абонентов неизвестна, задержки передачи носят случайный характер
Сеть может отказать абоненту в установлении соединения	Сеть всегда готова принять данные от абонента
Трафик реального времени передается без задержек	Ресурсы сети используются эффективно при передаче пульсирующего трафика
Адрес используется только на этапе установления соединения	Адрес передается с каждым пакетом



## Области применимости методов коммутации

Коммутация каналов применяется

для передачи трафика **с постоянной скоростью** и **чувствительного к задержкам**. Пример: речь

Недостатки - в случае временного не использования канала абонентами его пропускную способность нельзя отдать другим абонентам – отсутствует адресная информация в потоке данных

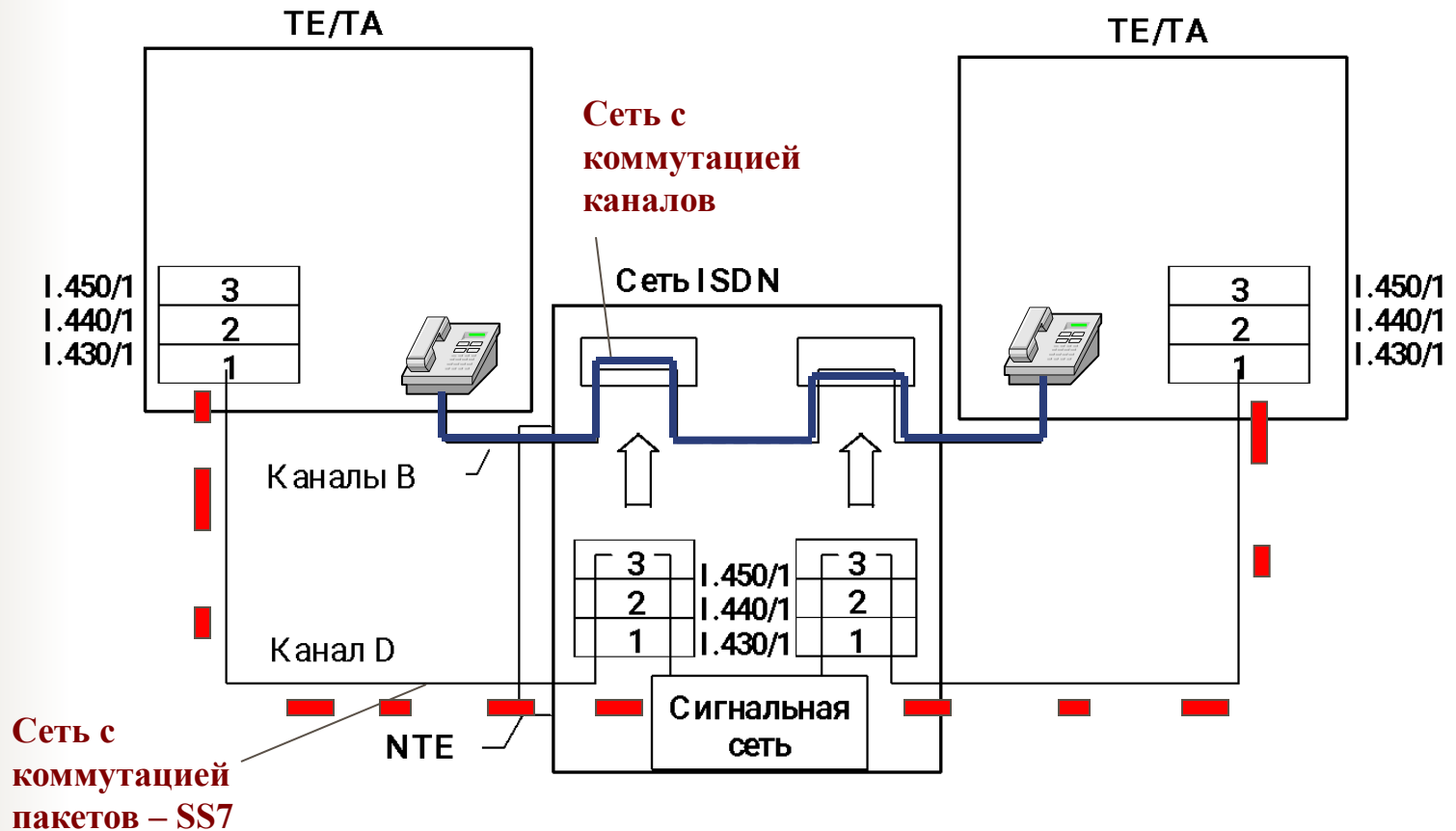
Коммутация пакетов применяется

для передачи пульсирующего трафика **с переменной скоростью** и **не чувствительного к задержкам**. Пример: передача текстовых документов, просмотр Web-страниц

Недостатки - нет гарантий пропускной способности, переменные задержки – сложно передавать потоковый трафик реального времени – речь, видео

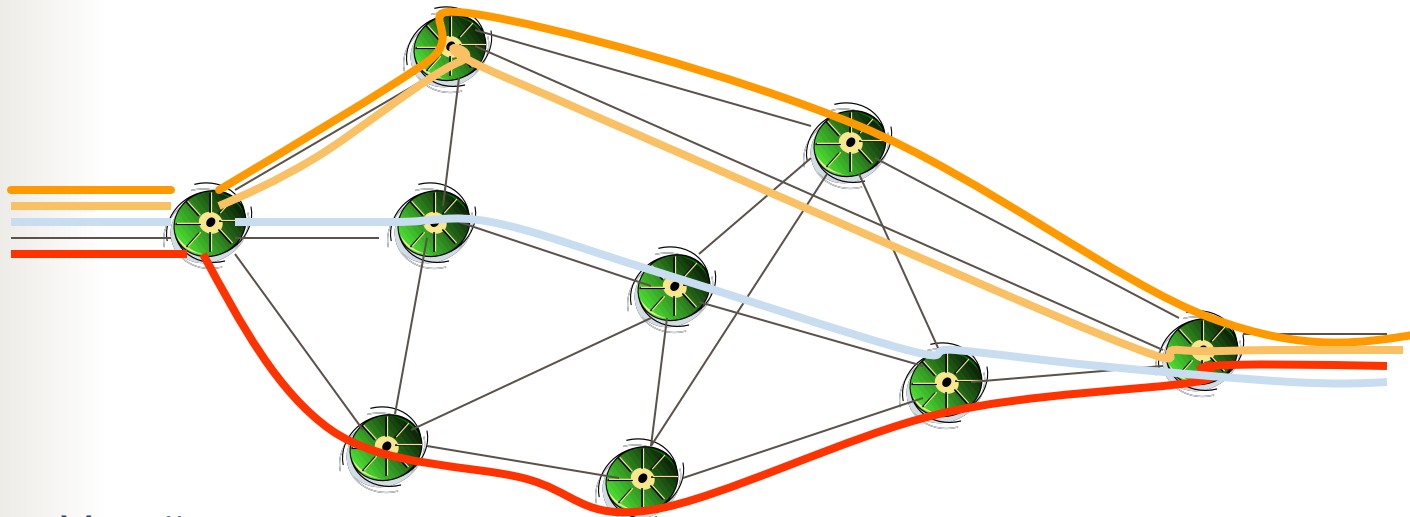
# Комбинирование методов коммутации каналов и пакетов

1. Коммутация каналов для передачи пользовательских данных и коммутации пакетов для передачи служебной



# Комбинирование методов коммутации каналов и пакетов

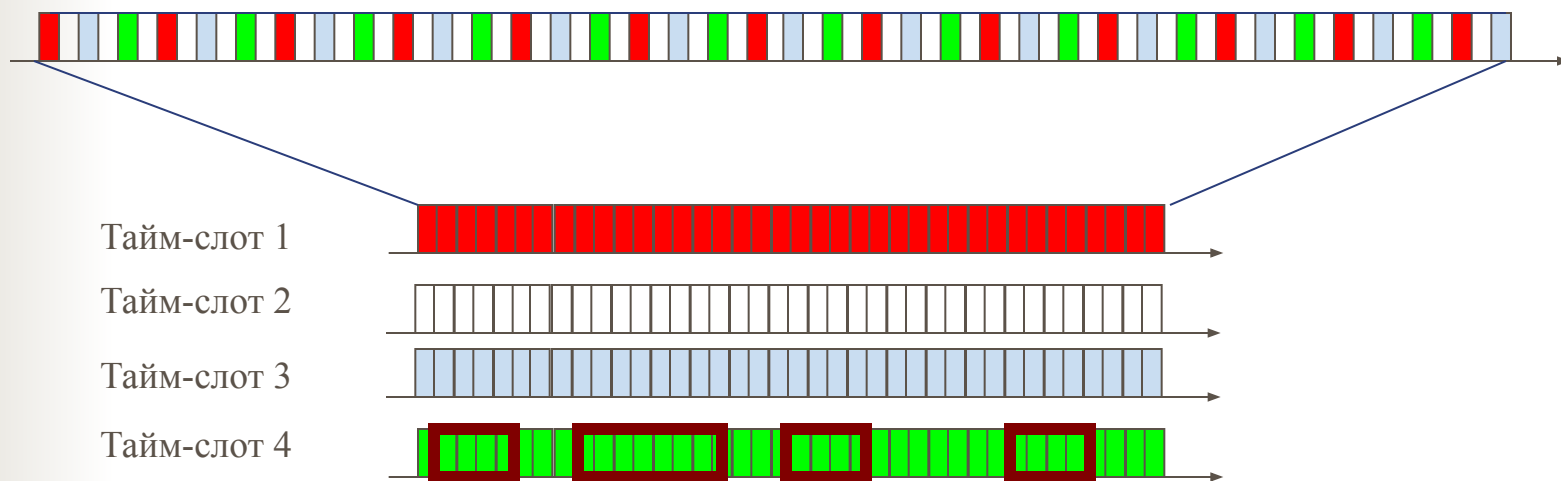
## 2. Виртуальные каналы в сетях с коммутацией пакетов



- Устойчивые маршруты перемещения пакетов
- Вместо адреса конечного узла используется условный номер виртуального канала
- Имеется процедура предварительного установления канала


# Комбинирование методов коммутации каналов и пакетов

## 3. Вложенность методов коммутации



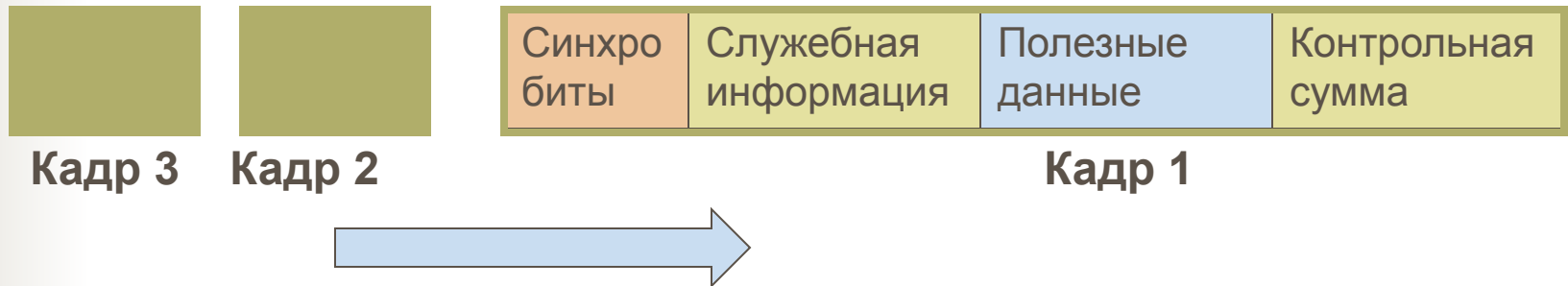
Поток тайм-слота 4 делится на пакеты - метод коммутации пакетов вложен в метод коммутации каналов

Поток тайм-слота 1 делится на более мелкие тайм-слоты – иерархия каналов PDH/SDH



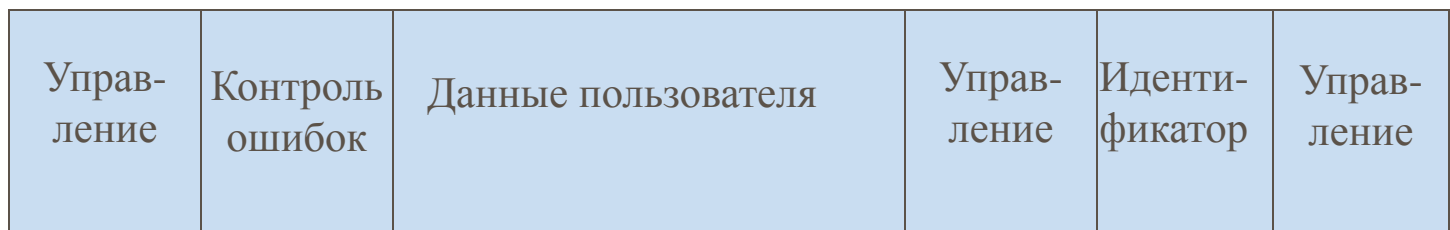
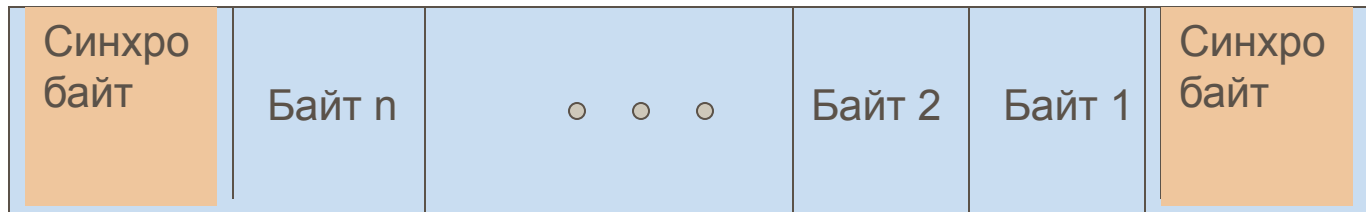
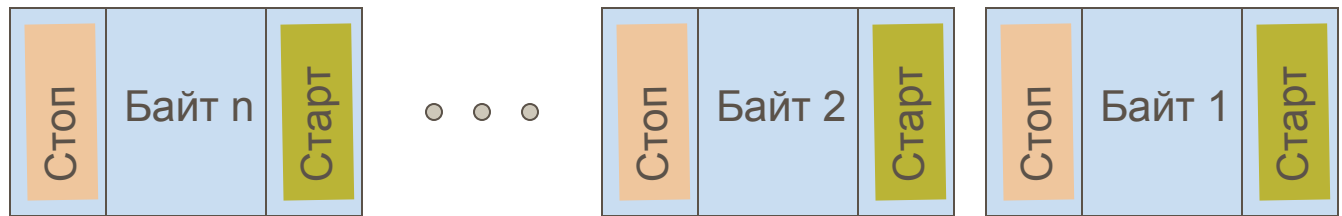
**Принципы работы  
протоколов  
в сетях с коммутацией  
пакетов**

# Структура пакетов и кадров

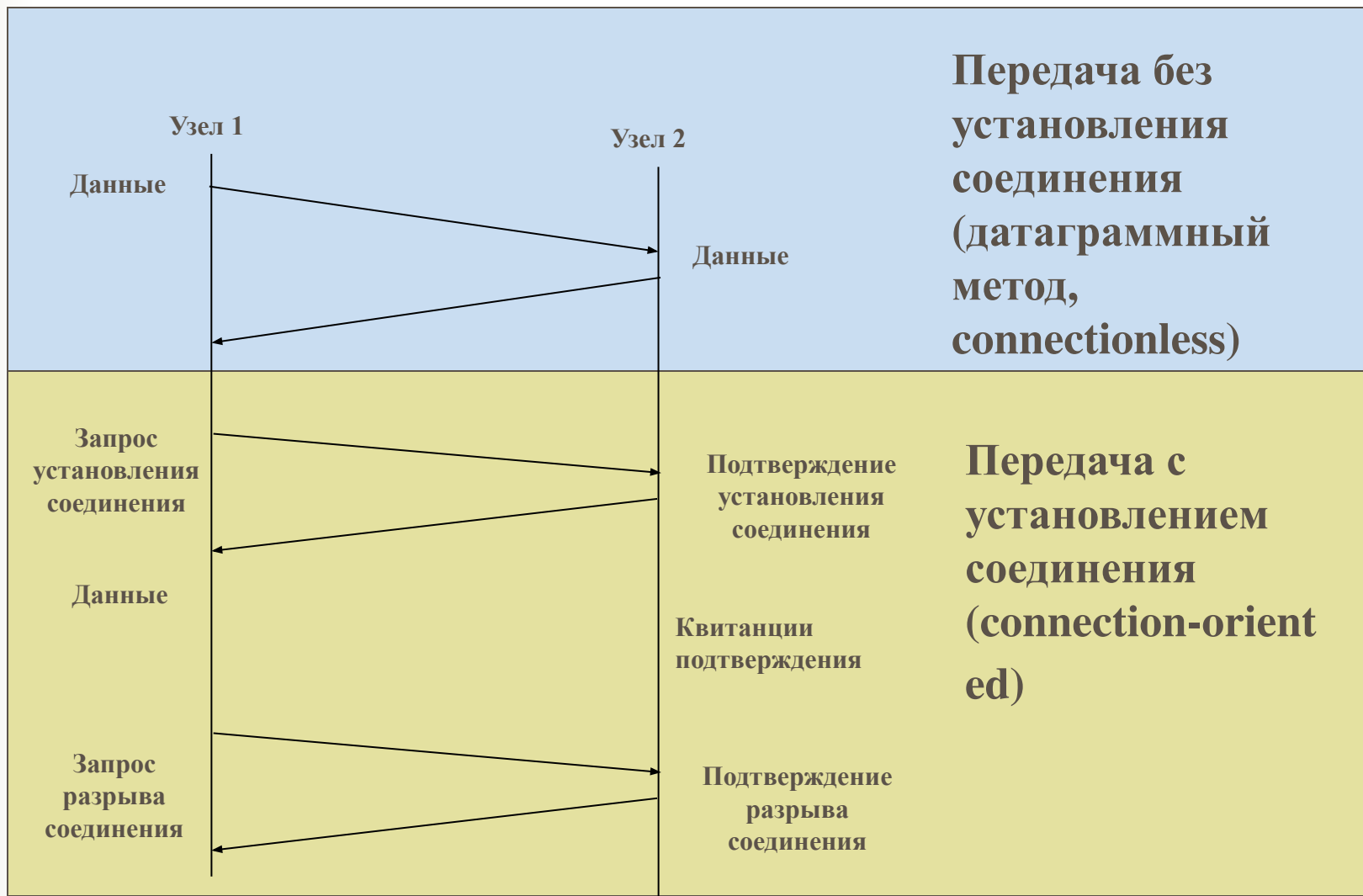


# Синхронизация приемника и источника

## Асинхронная и синхронная передача



# Установление соединений





# Методы вычисления контрольной суммы кадра информации

## 1. Контроль по паритету - применяется для байтов

8		7		6		5		4		3		2		1			
1	+	0	+	0	+	1	+	1	+	0	+	1	+	0	=	0	(по чётности, even)
																1	(по нечёт-ти, odd)

Обнаруживает только одиночные ошибки

## 2. Вертикальный и горизонтальный контроль по паритету блоков символов

Обнаруживает большинство двойных ошибок, но не все

P	B <sub>7</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>
0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1

Биты паритета байтов (нечётность)


Биты паритета столбцов (чётность)

### 3. Циклические коды контроля двоичных кадров (CRC, Cyclic Redundancy Check)

1	0	0	1	1	0	1	0

Биты  
кадра

2 или 4 байта  
контрольного  
циклического кода  
(CRC)

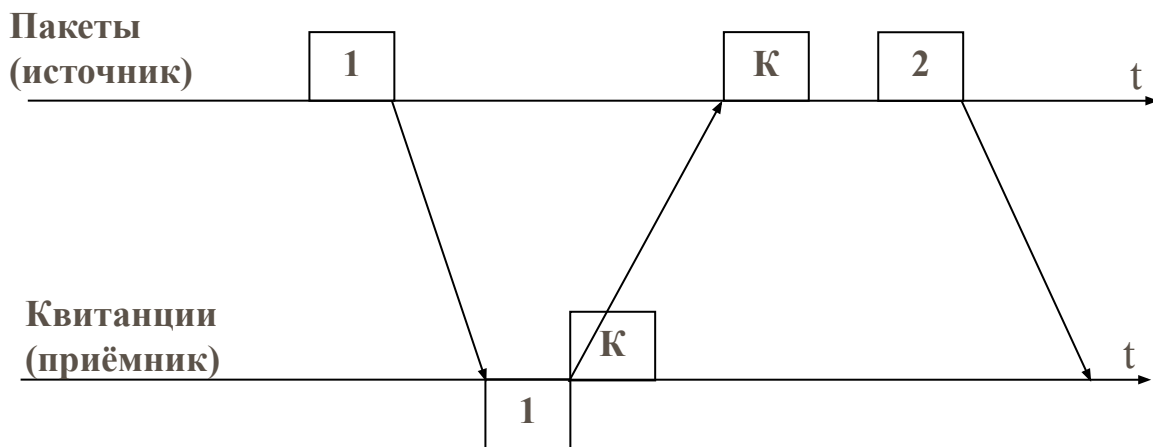
- 
1. Код CRC равен остатку от деления кадра, рассматриваемого как двоичное число, на заданное двоичное число (например, на  $2^{16}+2^{15}+2^2+1$ )
  2. При получении кадра с кодом CRC общая последовательность бит (данные + CRC) снова делится на общий делитель.
  3. Если ошибок нет, то результат деления должен быть равен 0.

*При делителе длиной  $R$  бит обнаруживаются:*

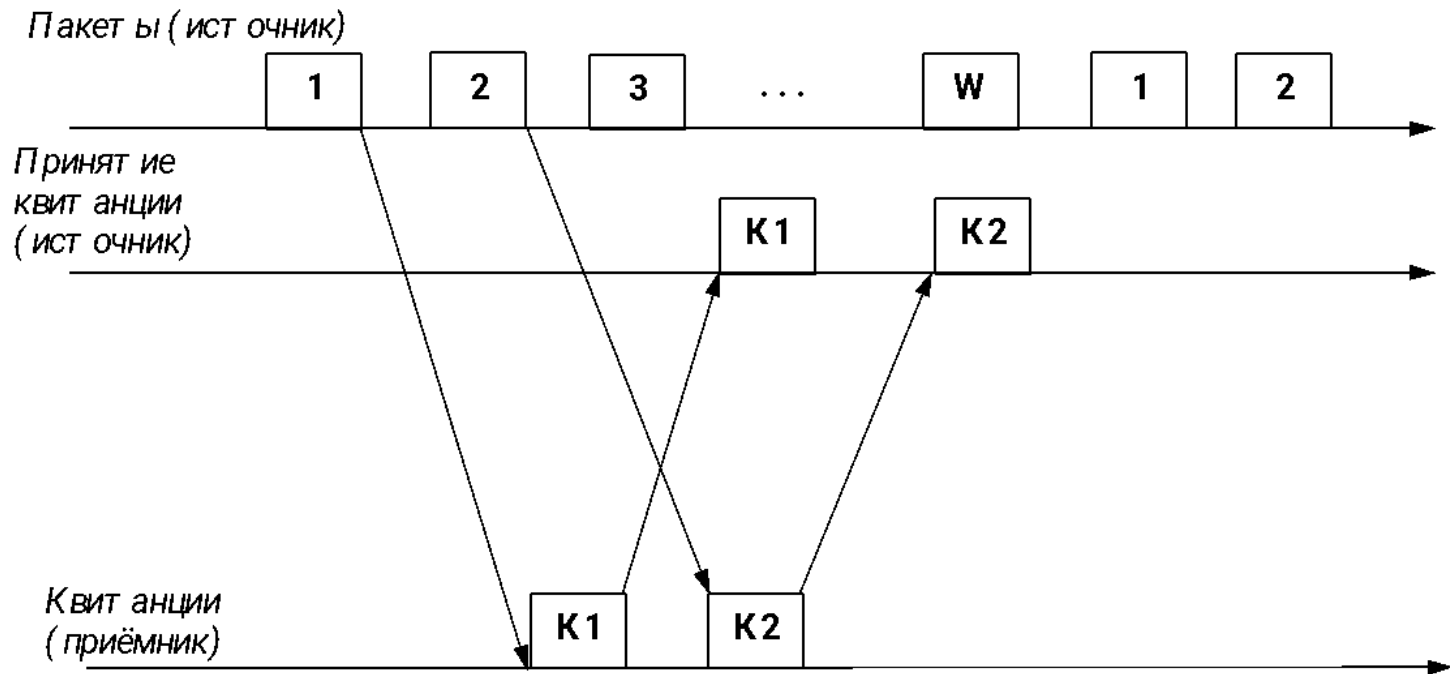
- *все однократные битовые ошибки*
- *все двойные битовые ошибки*
- *все ошибки в нечетном количестве бит*
- *все ошибочные последовательности длиной  $< R$*   
*(последовательность бит между двумя соседними ошибочными битами)*

# Методы подтверждения корректности передачи кадров

## 1. С простым источником



## 2. Метод "скользящего окна"



**W** - размер окна - количество кадров, которые разрешается передавать без получения квитанции

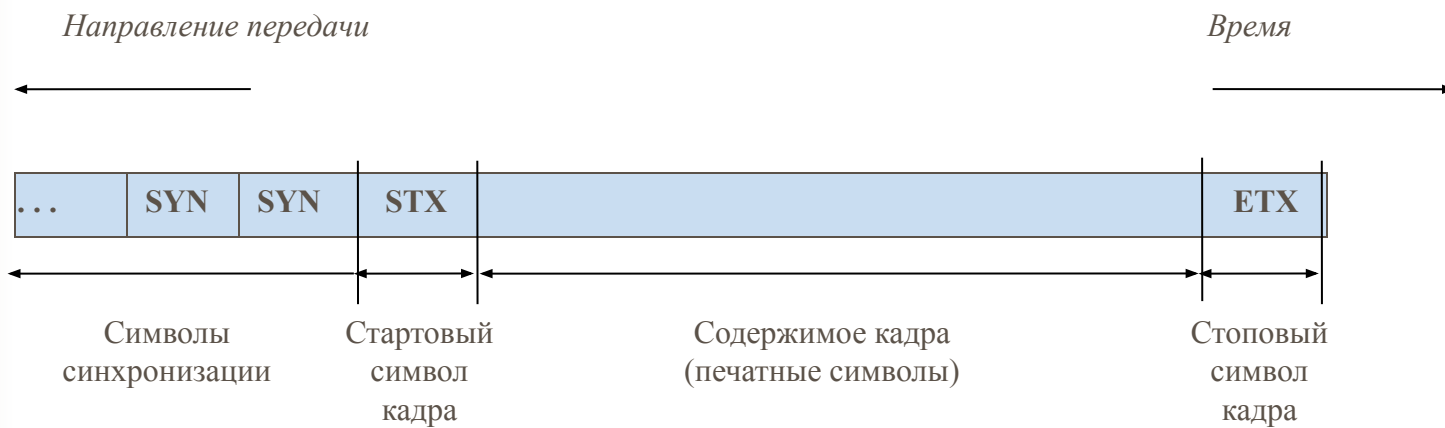


## Синхронизация символов и кадров

Дополняет синхронизацию бит при синхронном способе передачи

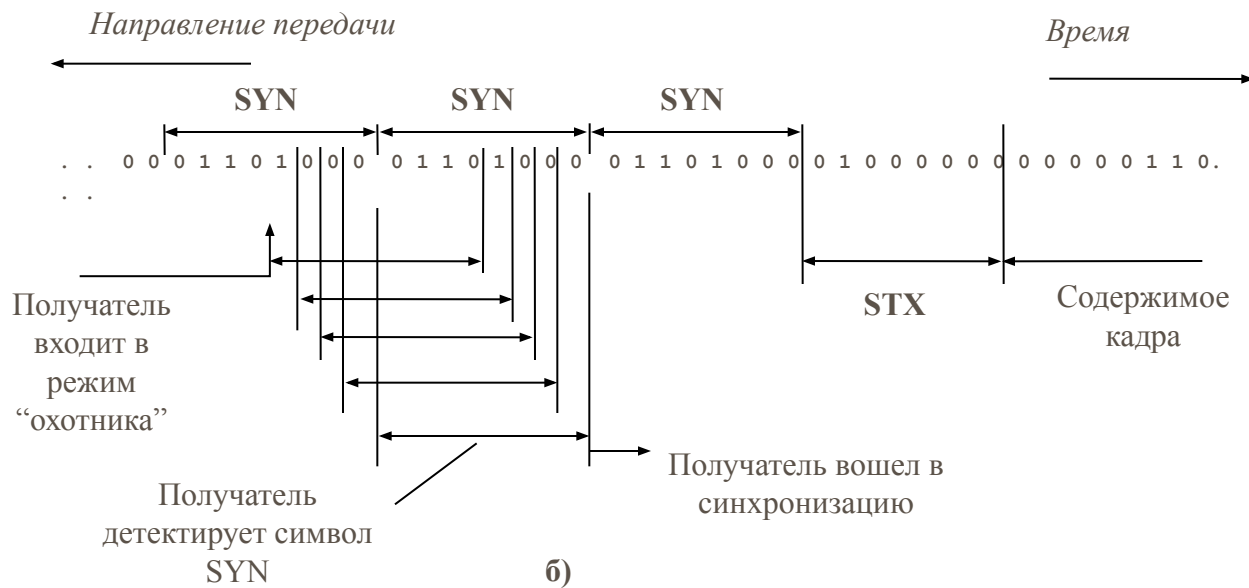
### ***2 метода:***

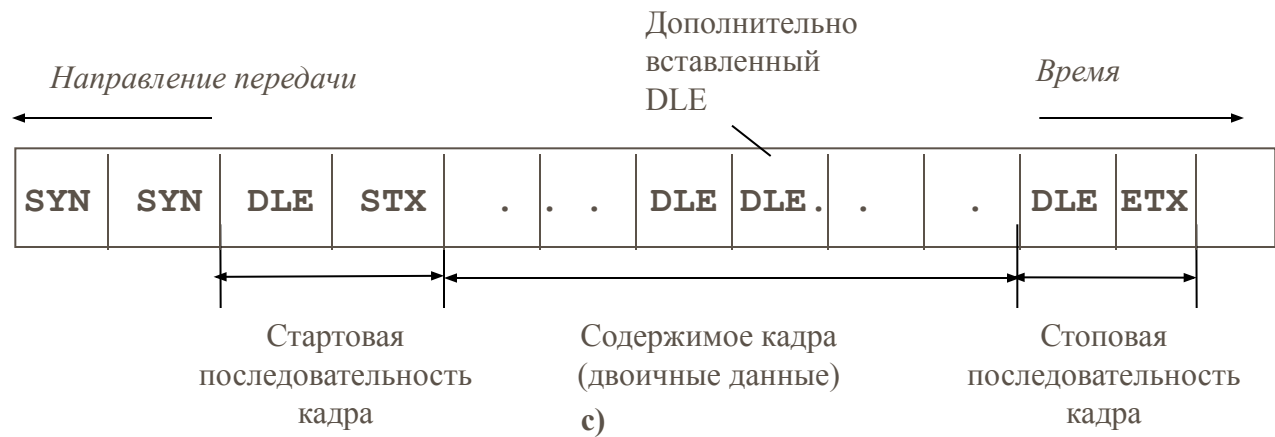
- ◆ Символьно-ориентированная передача
- ◆ Бит-ориентированная передача



а)

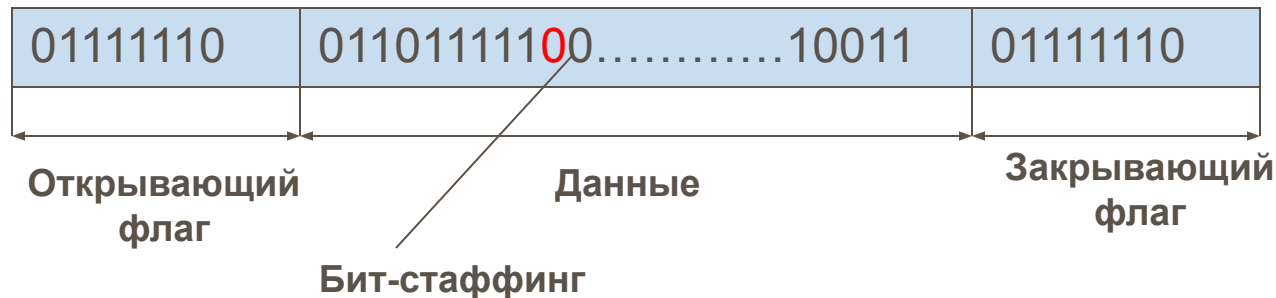






# Методы синхронизации при бит-ориентированной передаче кадров

а) Открывающий и закрывающий флаги

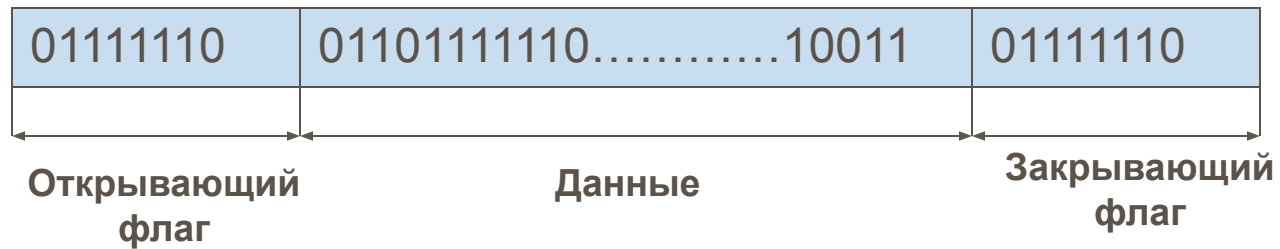


б) Открывающий флаг и поле длины



# Методы синхронизации при бит-ориентированной передаче кадров


в) Открывающий и закрывающий флаги с особыми кодами



**Бит-стаффинг не нужен**

# Вопросы

1. Могут ли цифровые линии связи передавать аналоговые данные?
  2. Каким будет теоретический предел скорости передачи данных в бит/с с по каналу с шириной полосы пропускания в 20 кГц, если мощность передатчика составляет 0,01 мВт, а мощность шума в канале равна 0,0001 мВт?
  3. Определите пропускную способность канала связи для каждого из направлений дуплексного режима, если известно, что его полоса пропускания равна 600 кГц, а метода кодирования использует 10 состояний сигнала.
  4. Рассчитайте задержку распространения сигнала и задержку передачи данных для случая передачи пакета в 128 байт по:
    - кабелю витой пары длиной в 100 м при скорости передачи данных 100 Мбит/с,
    - коаксиальному кабелю длиной в 2 км при скорости передачи в 10 Мбит/с,
    - спутниковому геостационарному каналу протяженностью в 72 км при скорости передачи данных 128 Кбит/с.
- Считайте скорость распространения сигнала равной скорости света в вакууме 300 000 км/с.



**Какой кадр передаст на линию передатчик, если он работает с использованием техники бит-стаффинга с флагом 7E, а на вход передатчика поступила последовательность 24 A5 7E 56 8C (все значения — шестнадцатеричные)?**

**6. Поясните из каких соображений выбрана пропускная способность (64 Кбит/с) элементарного канала цифровых телефонных сетей?**

**9. Как передатчик определяет факт потери положительной квитанции в методе скользящего окна?**

**10. Сеть с коммутацией пакетов испытывает перегрузку. Для устранения этой ситуации размер окна в протоколах компьютеров сети нужно увеличить или уменьшить?**

**11. Как влияет надежность линий связи в сети на выбор размера окна?**

**12. В чем проявляется избыточность TDM-технологии?**

**13. Какой способ коммутации более эффективен: коммутация каналов или коммутация пакетов?**