

# Учебный курс R&Mfreeenet Теория передачи по медным кабелям

Москва, 2007 г

# Теория передачи по меди

## Содержание:

### ■ Кодирование

- Полоса частот сигнала, Пропускная способность, МГц, бит, бит/сек, Коды, Бод, Уменьшение пропускной способности

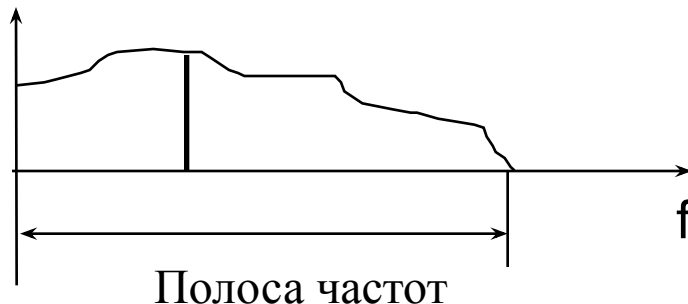
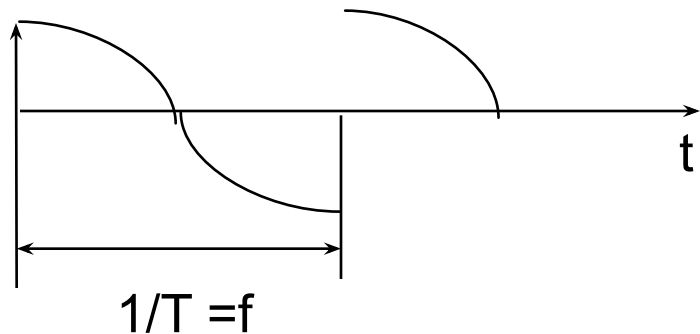
### ■ Параметры

- Модель, Сопротивление по постоянному току, PS-EL-FEXT ...

### ■ Измерения

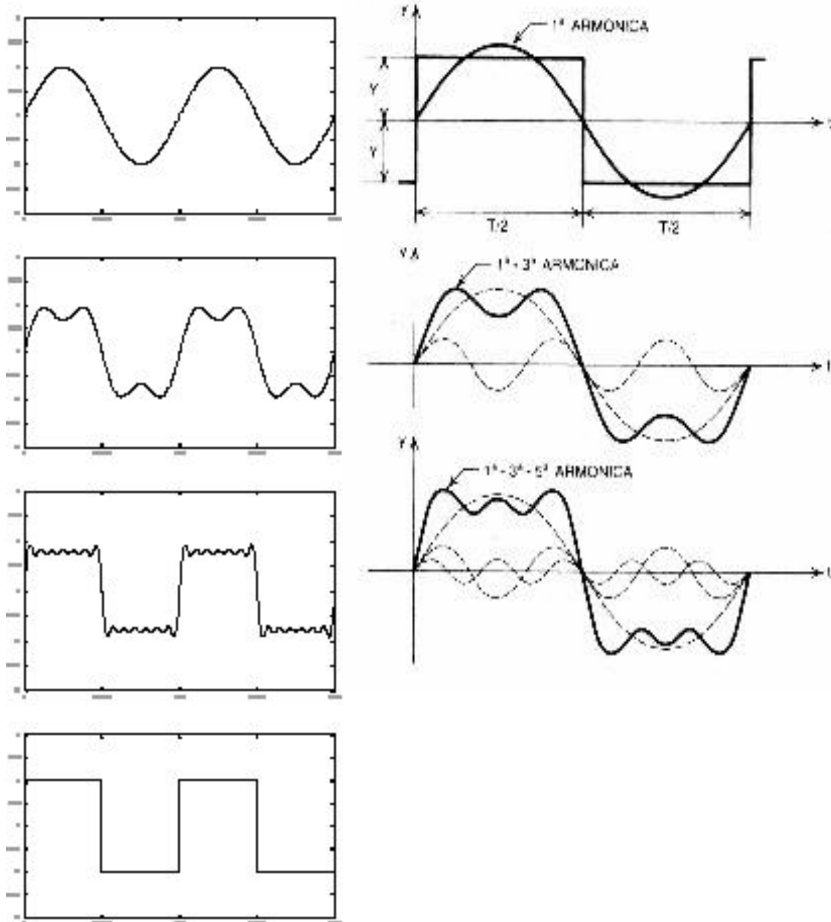
- Кабели, различные тракты, 200...600МГц, особенности

# Частота, полоса частот



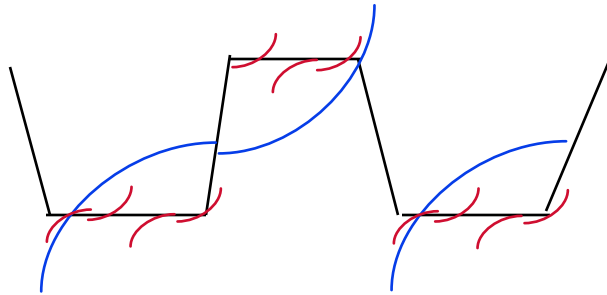
- Частота: количество полных циклов колебаний за секунду
- Единица измерения Герц (Гц)
- 1МГц соответствует 1 миллиону колебаний за 1 секунду
- Полоса частот: Постоянный диапазон частот между двумя граничными значениями частоты-определяет пропускную способность
- Единица измерения Герц (Гц)
- Центральная частота: наиболее используемая частота

# Цифровой сигнал

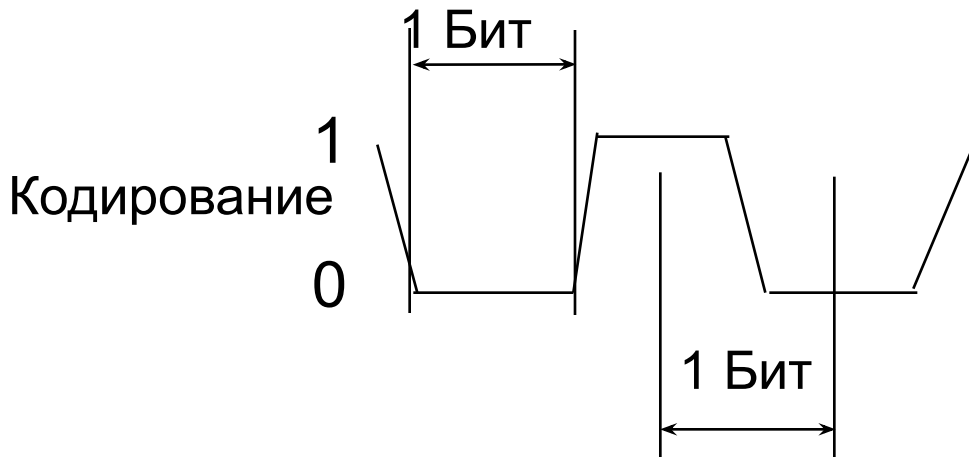


- Электрический сигнал может быть представлен в виде бесконечного ряда гармоник
  - Кабель является фильтром нижних частот и не имеет возможности передать бесконечный спектр частот
  - По кабелю могут быть переданы частоты между 0 Гц и частотой максимально возможной для данного конструктива кабеля
- .....Любой кабель имеет ограниченную полосу пропускания

# Сигнал, Бит, Бит/сек.



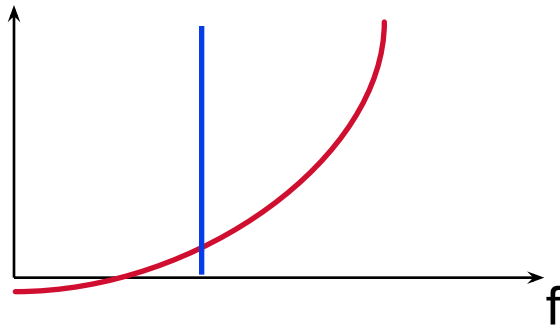
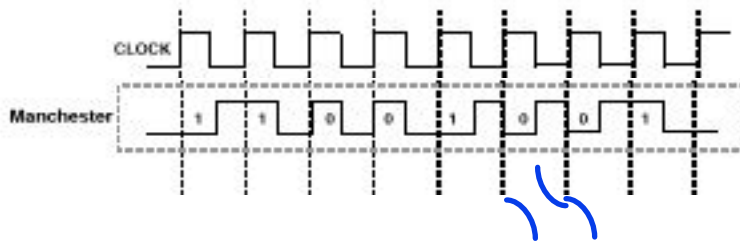
- Сигнал: Совокупность ряда гармоник
- Двоичные коды: уровень нуля или уровень единицы
- Количество битов в секунду определяется как скорость передачи данных
- Для АТМ 155: Передается 155 миллионов Бит за секунду



# Бод

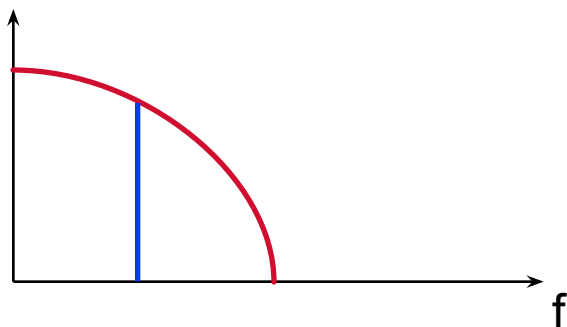
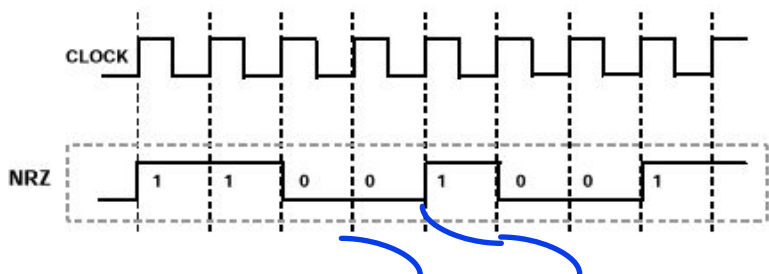
- **Скорость передачи данных** - это число **бит** данных, переданных за одну секунду.
- **Скорость передачи сигнала** - это число **символов**, передаваемых за одну секунду, выражается в **Бодах**.
- Скорость сигнала и Скорость передачи данных могут совпадать или не совпадать в зависимости от используемого кода модуляции.
  - NRZ Код: 2Бит = 1 Символ
  - Manchester: 1Бит = 1 Символа
  - MLT3: 4Бит = 1 Символ
- Пример:
  - 2Бит = 1 Символ
  - Скорость передачи 20МБит/сек
  - Для передачи потока данных 20 МБит/сек требуется линия связи информационной емкостью (**Скорость передачи сигнала**) 10Мсимвол/с

# Manchester Код



- Используется для Ethernet and Token Ring
- Изменение уровня сигнала в середине каждого битового периода
- Код с внутренней синхронизацией
- Отсутствует постоянная составляющая
- 1 Бит = 1 Символа
- Наихудшая последовательность: 00000000
- Необходима в два раза большая пропускная способность
- 10Base-T: 10MHz центральная частота, 20MHz полоса

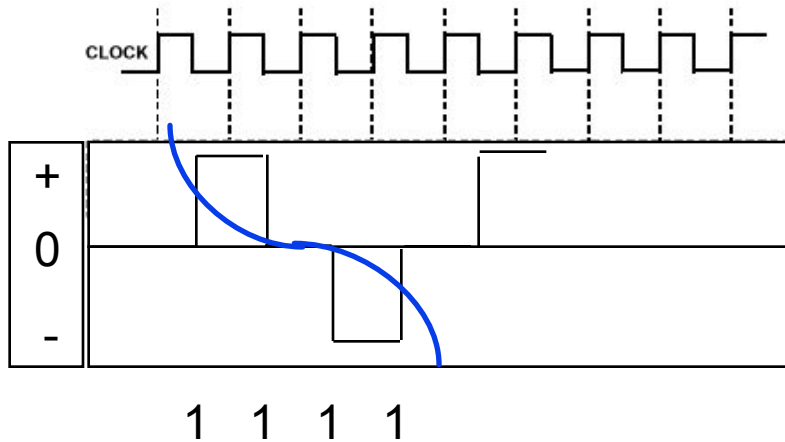
# NRZ Код



- Таймер: обеспечивает синхронизацию при передаче
- Самая простая схема кодирования
- Уровень сигнала изменяется только при изменении значения данных
- 2 Бит = 1 Символ
- Худшая последовательность: 1010101
- Для 10 Base-T: 5 MHz центральная частота, 10MHz полоса



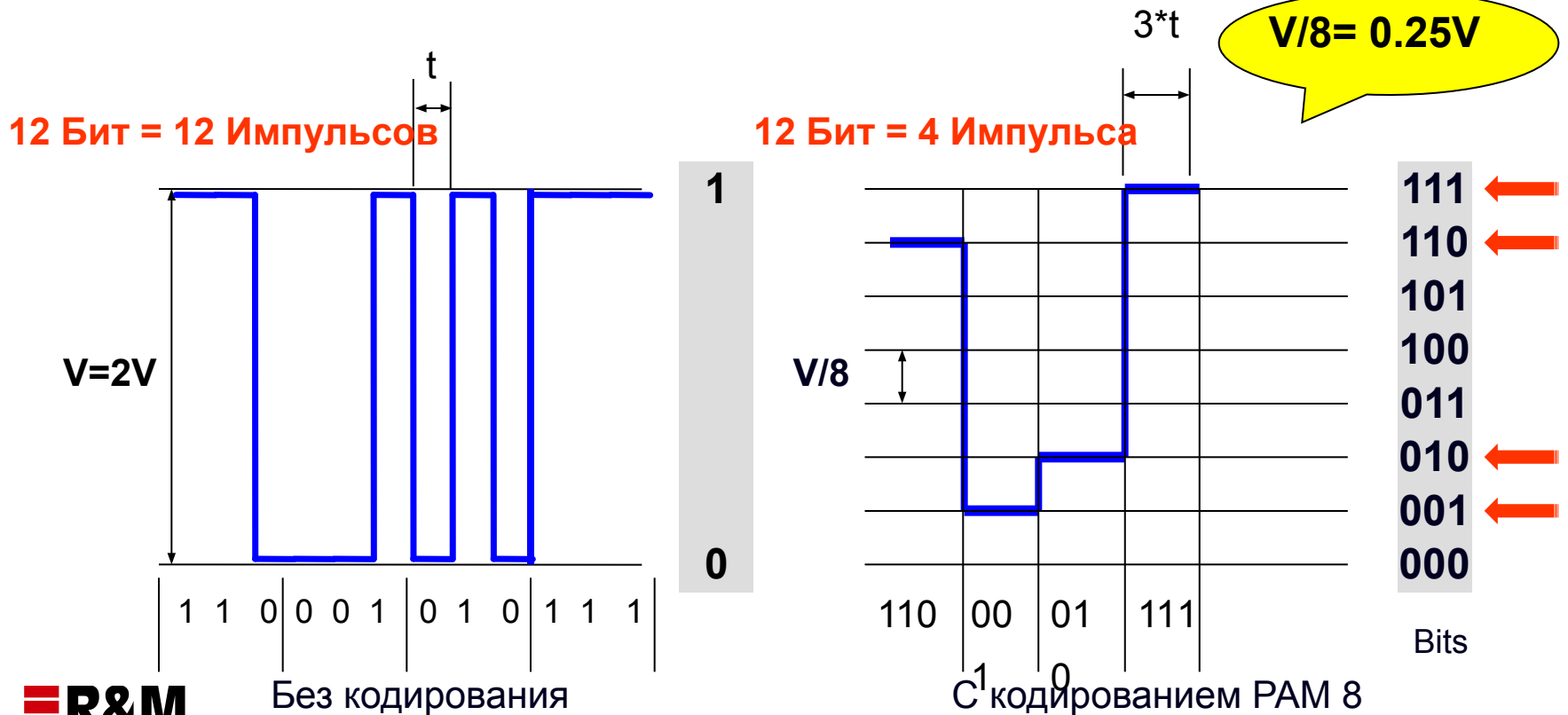
# MLT-3



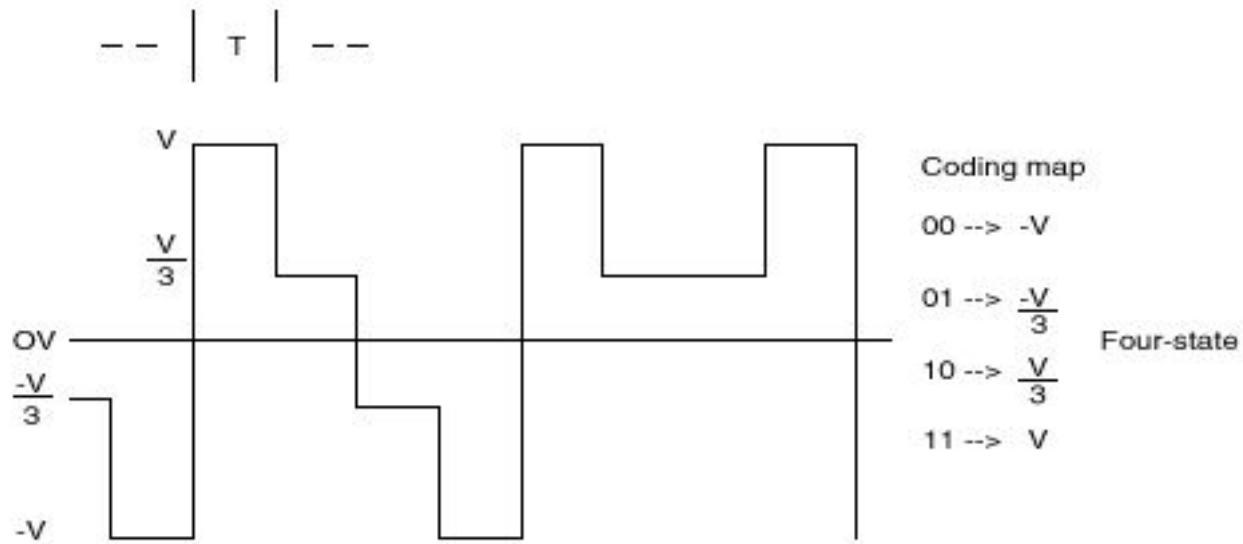
- Ноль не инвертируется
- Единица инвертируется
- Инверсия в середине интервала
- Худший случай 111111111111
- Используется для ATM 155 с кодировкой 4b/5b
- Используется для FDDI TP-PMD и 100baseTX

# Линейное кодирование: на примере PAM 8

- Кодирование уменьшает ширину спектра, но при этом требует лучшего соотношения сигнал/шум.



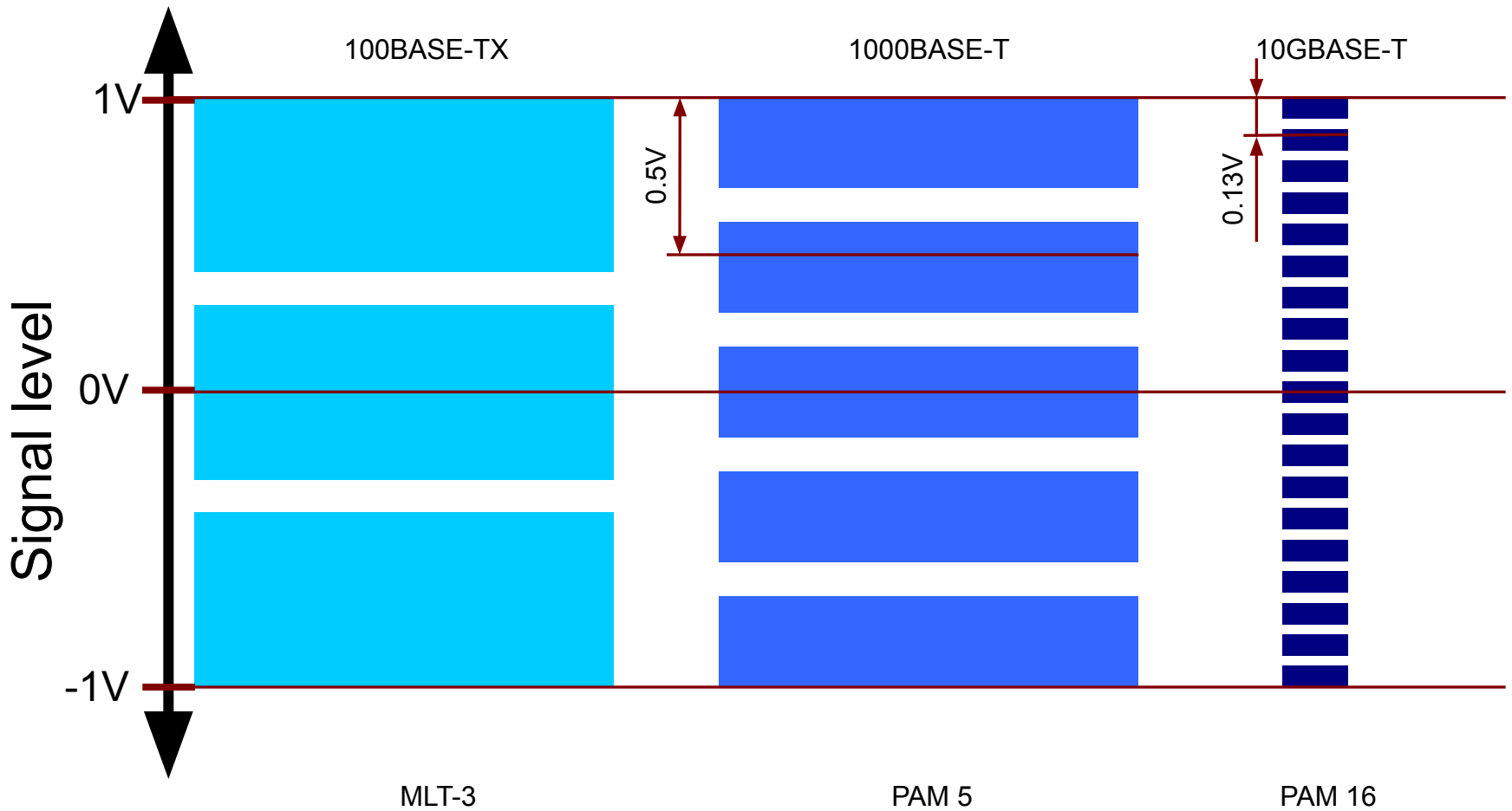
# 2B1Q



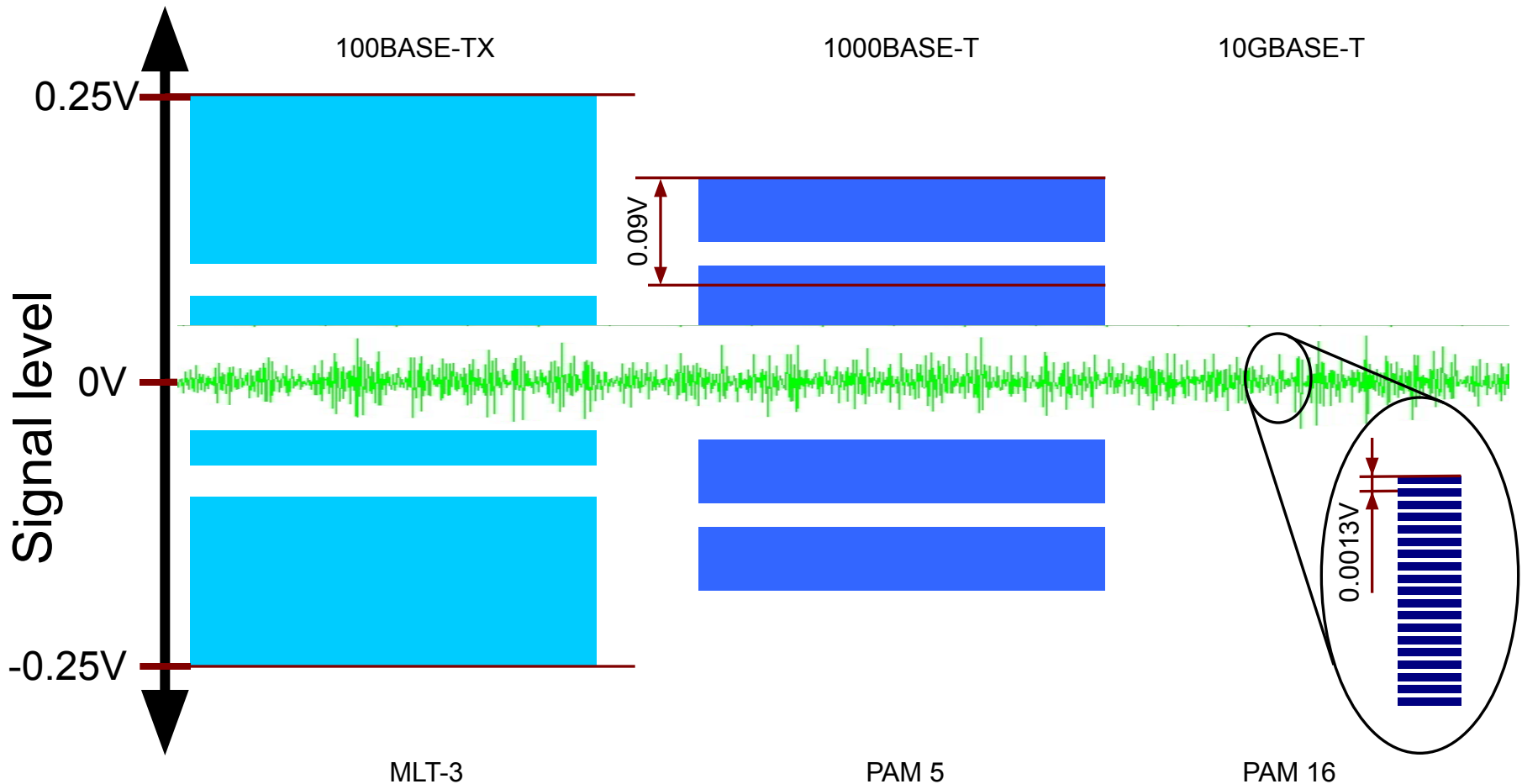
# Многоуровневые способы кодирования

Line Code	Bits/ baud	Signal Bandwidth [MHz]	Baud Rate [MS/s]	ACR [dB]
MLT 3	1	1250	2500	21
PAM-5	2	625	1250	25
PAM-9	3	416	833	31
PAM-17	4	312.5	625	36
PAM-33	5	156.25	312.5	42

# Применение кодировок для протоколов (передача)

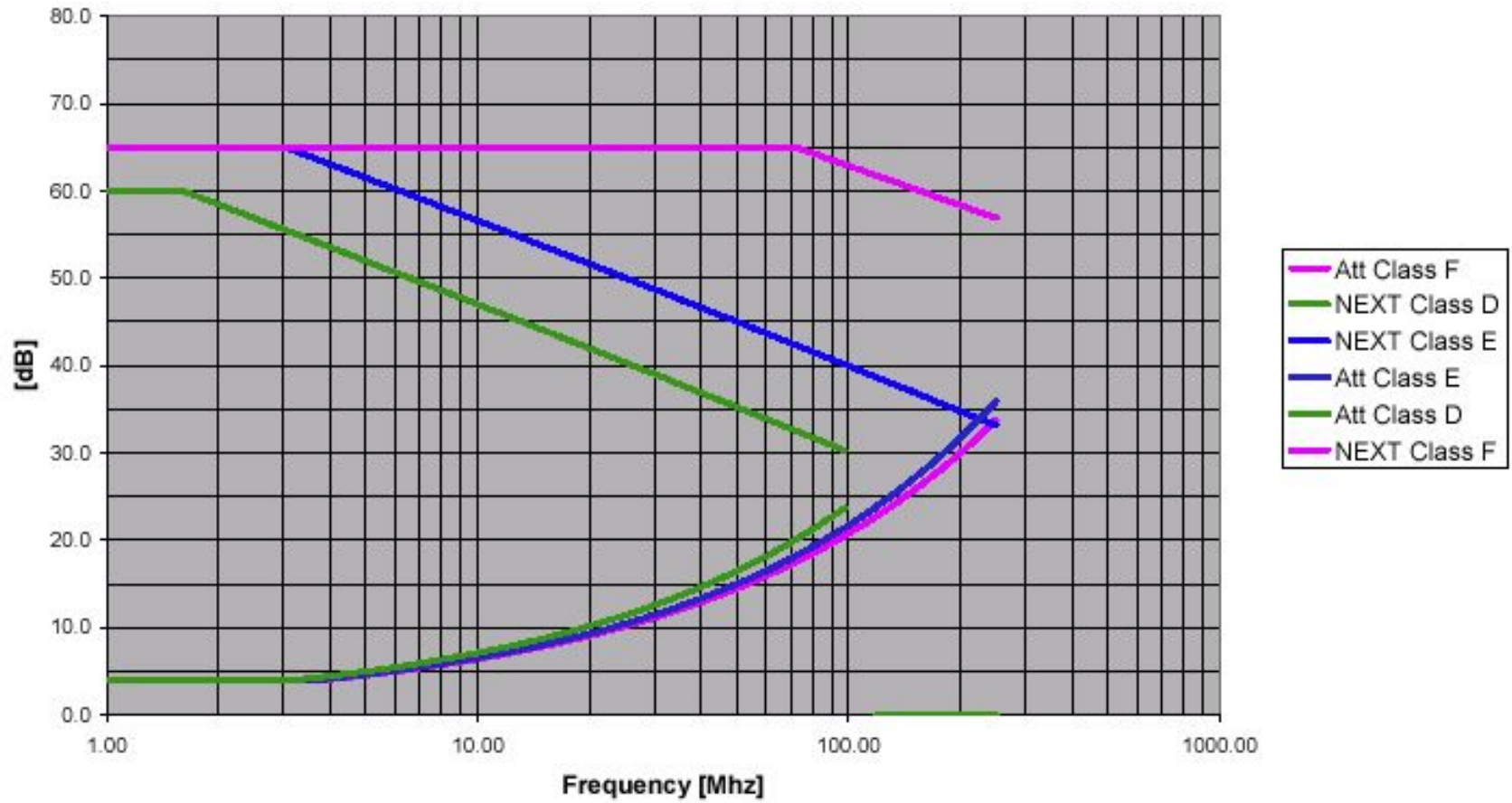


# Применение кодировок для протоколов (прием)



# Многоуровневые способы кодирования

NEXT, Att, ACR



# Используемые способы кодирования

Line Application	Encoding Rate	Transmission Method	Bandwidth
ISDN (basic rate)	160 kb/s	2B1Q	40 kHz
ISDN (primary rate)	1.544 Mb/s	Bipolar	772 kHz
HDSL	2 x 784 kb/s	2B1Q	196 kHz
ADSL	up to 7 Mb/s	DMT or CAP	1.04 MHz
IBM System 3X	1.0 Mb/s	Manchester	750 kHz
IBM System 3270	2.35 Mb/s	Manchester	1.76 MHz
Wang VS/OIS	4.27 Mb/s	Manchester	3.2 MHz
IEEE 802.5 token ring	4 Mb/s	Differential	3.0 MHz
IEEE 802.5 token ring	16 Mb/s	Differential	12.0 MHz
IEEE 802.3			
10BASE-T	10 Mb/s	Manchester	7.5 MHz
100BASE-TX	100 Mb/s	4B5B/MLT-3	62.5 MHz
100BASE-T4	100 Mb/s	8B6T	12.5 MHz
1000BASE-T	1000 Mb/s	8B/1Q4 PAM5	62.5 MHz
ATM	12.96 Mb/s	CAP-2	12.96 MHz
ATM	25.6 Mb/s	4B5B	32 MHz
ATM (STS-1)	51.8 Mb/s	CAP-16	29 MHz
ATM (STS-3)	155 Mb/s	NRZ	77 MHz
TP-PMD	125 Mb/s	MLT-3	62.5 MHz

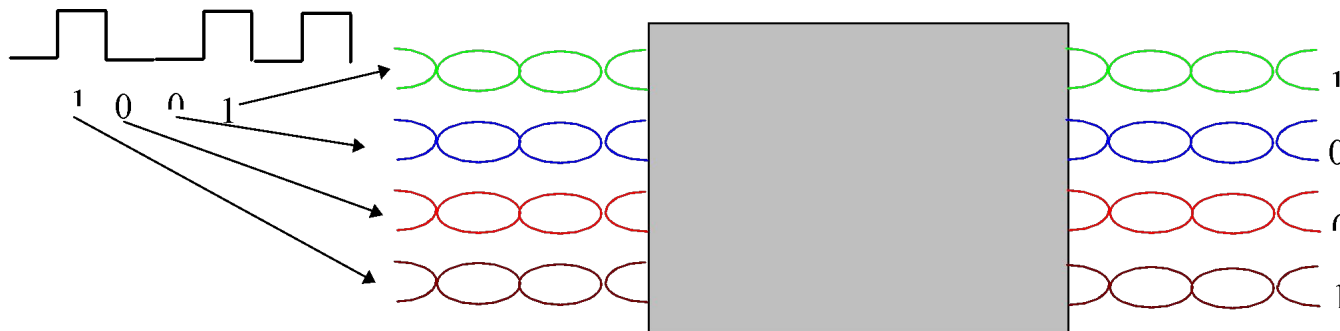


# Достижение пропускной способности

- Для более высокой скорости передачи необходима большая пропускная способность
- Пример:  
Передача сигнала 200 МБит/сек. по медному кабелю с пропускной способностью 100 МГц. С кодом NRZ нам нужно полосу 200МГц --> что не возможно
- Возможности:
  - больше уровней напряжений (MLT3: -1, 0, 1)
  - передача двух потоков данных с 90 градусным сдвигом фаз
  - Другие способы модуляции (AM , FM)
  - Комбинации

# Достижение пропускной способности

- Разделение сигнала на 4 пары



# BER

- Частота появления ошибочных битов BER - отношение количества ошибочных битов к общему количеству битов за условленный промежуток времени.
- Для нормальной передачи BER должна быть в области  $10^{-10}$ .
- Низкая BER:  $10^{-13}$  хорошая передача, Биты переданы
- Высокая BER:  $10^{-5}$  плохая передача, Биты не переданы

# Выводы

- Различия MHz, полоса частот, центральная частота
- Бит, Бит/сек, Бод
- Возможности кодирования
- Возможности достижения пропускной способности

# Содержание. Передача по меди

- Модель кабеля
- Симплекс, полный дуплекс
- Модель витой пары
- Параметры
- Выводы

# Децибел

- Относительная единица соотношения между двумя физическими величинами

$$dB = 20 \log_{10} ( V_1/ V_2 ) \quad dB = 20 \log_{10} ( I_1/I_2 ) \quad dB = 10 \log_{10} ( P_1/ P_2 )$$

**Example:**

Xmitted	1 mW	$\longrightarrow$	$dB = 10 \log_{10} ( 20/ 1000 ) = -16.9..db$
Received	20 uW		

**Уменьшение мощности в половину = 3дБ**

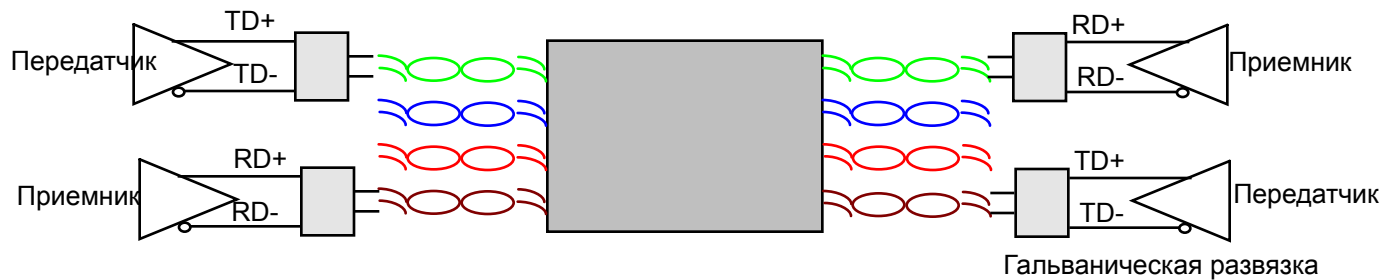
# Модель системы



- Черный ящик
- Возможно создать модель Постоянной линии, Тракта, и т.д.
- Входят и выходят 4 пары
- Возможность добавить источники

# Симплекс / Дуплекс

- Симплекс: В каждый момент времени передача происходит только в одном направлении



- Полный дуплекс. Вариант 1.
- Используются 2 пары
- 1 пара для передачи, другая для приема
- Классическая модель: 10Base-T

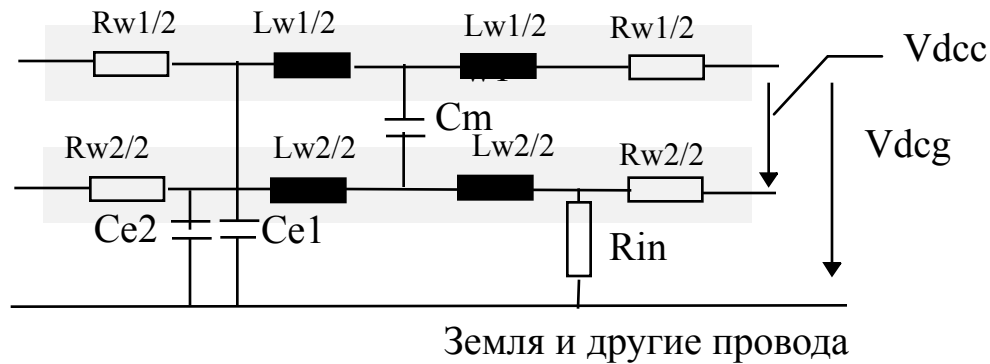


## Полный дуплекс. Вариант 2.



- Используется одна пара
- Передача и прием по одной паре
- Гибрид: разделение сигнала
- Более сложная ИС
- Уменьшение необходимой полосы частот если сигнал разделяется в 4 парах
- Предложение для Gigabit-Ethernet

# Модель витой пары по постоянному току



- Можно построить модель витой пары с сосредоточенными параметрами
- Возможны другие модели
- $V_{dcs}$ : напряжение между проводами --> симметричное напряжение
- $V_{dca}$ : напряжение между одним проводом и землей--> асимметричное напряжение

# DC-сопротивление и емкость

- DC -сопротивление зависит от:
  - материал
  - диаметр
  - длина
  - температура
- Измеряется омметром
- Сопротивление контура ( $R_{w1} + R_{w2}$ ) в системе класса D должен быть  $< 25 \text{ Ohm}$ .
- Различие между  $R_{w1}$  и  $R_{w2}$  - рассогласование по сопротивлению
- Взаимная емкость:
  - Емкость между проводами зависит от:
    - Материал изоляции
    - Толщина изоляции
    - Повив пар
  - Другие емкости: Между парами, между одной парой и остальными парами и экраном

# Другие DC-параметры

- $R_i$ : Сопротивление изоляции
  - Зависит от толщины и изоляции материалов
  - перекрестные токи могут течь если сопротивление имеет низкий уровень
- $V_d$ : Электрическая прочность
  - Зависит от материала изоляции
  - Не должна быть возможна связь при броске напряжения
  - Напряжение телефонии возможно  $>150V$

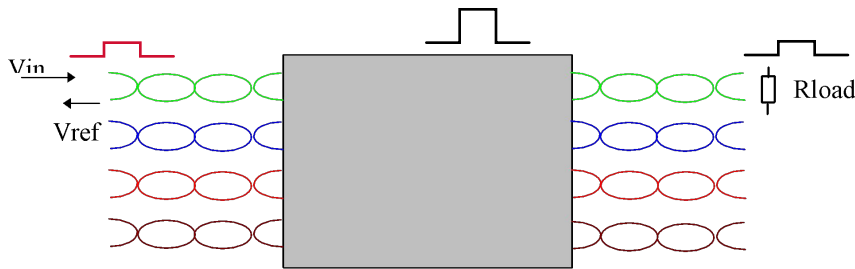
# Характеристический импеданс

- Параметры изменяются в зависимости от частоты
- Сигнал начинает распространяться в проводе как волна
- Волновое сопротивление является высокочастотным эквивалентом сопротивления по постоянному току
  - Зависит от геометрии материалов
  - Возможно обеспечение номинального волнового сопротивления

$$Z_w = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

- Величина волнового сопротивления является комплексной

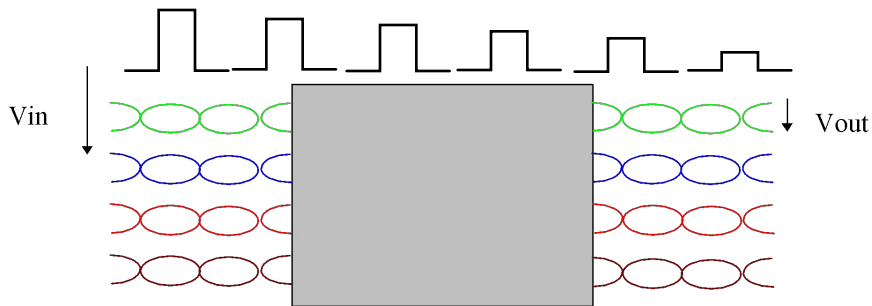
# Обратные потери (потери при отражении)



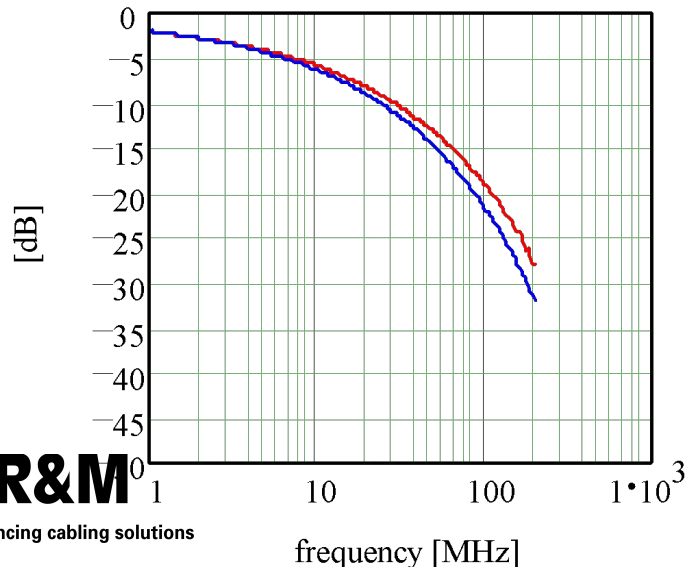
$$RL = -20 * \log\left(\frac{V_{ref}}{V_{in}}\right)$$

- Отношение отраженного сигнала к входному сигналу
- Номинальный характеристический импеданс звена кабельной линии может иметь значения  $100\Omega \pm 15\Omega$  от 1 MHz и выше.
- Отражение происходит на плохих коннекторах, некачественном оборудовании при возникновении неоднородностей в проводнике или диэлектрике, из-за изменения волнового сопротивления звена кабельной линии .
- высокий RL --> подобранные компоненты, низкая BER
- низкий RL --> плохая инсталляция, передатчик может быть выведен из строя, высокая BER

# Затухание



$$Att = -20 * \log\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)$$

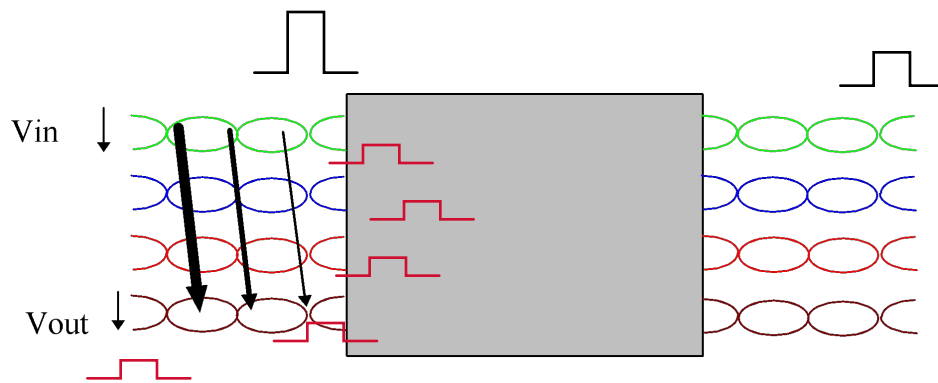


- Параметры являются частотно-зависимыми
- Чем выше частота, тем выше затухание
- Ключевой показатель
- Приемник должен обнаружить сигнал
- Сигнал > Шум
- Затухание важно для определения уровня передачи
- 10Base-T: 0...20 МГц

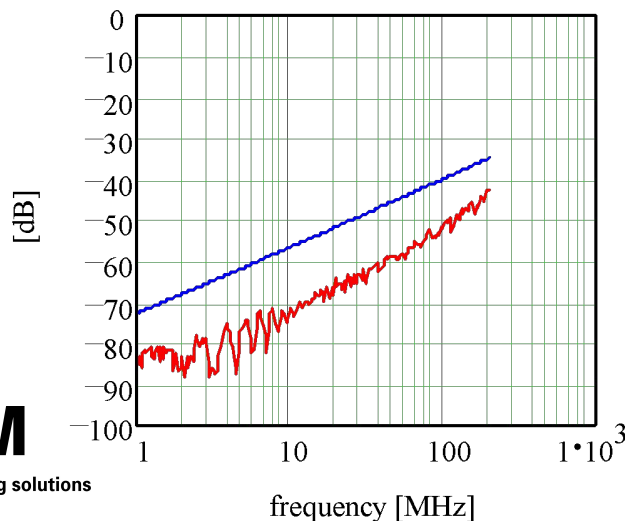
$$Att = \sum A_{\text{разъема}} + A_{\text{кабеля на 100м}} \times (L_{\text{кабеля}} + 1,2 \times \sum L_{\text{шнуров}}) / 100\text{м}$$

$$Att(t^{\text{M}}) = A_{\text{max}20^{\text{M}}} (1 + k(t^{\text{M}} - 20^{\text{M}})), \quad k = 0,004$$

# NEXT- потери перекрестной наводки на передающей стороне



$$Next = -20 * \log\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)$$



- Затухание сигнала помехи, наведенного сигналом, проходящим по одной паре проводников, на другую расположенную поблизости
- NEXT преобладает на начальном участке (30м)
- Измеряется с обоих концов.
- Уменьшение достигается повивом или экранированием
- Большие перекрестные наводки --> высокий BER

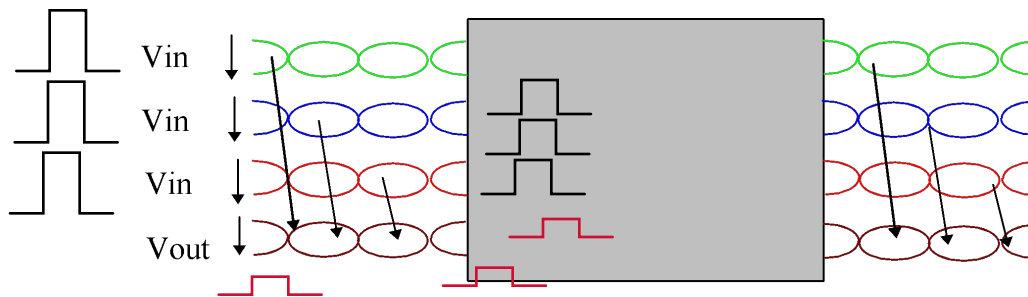
$$Next = -20 \lg(10^{-Next_{кабеля}/20} + n \times 10^{-Next_{разъема}/20})$$



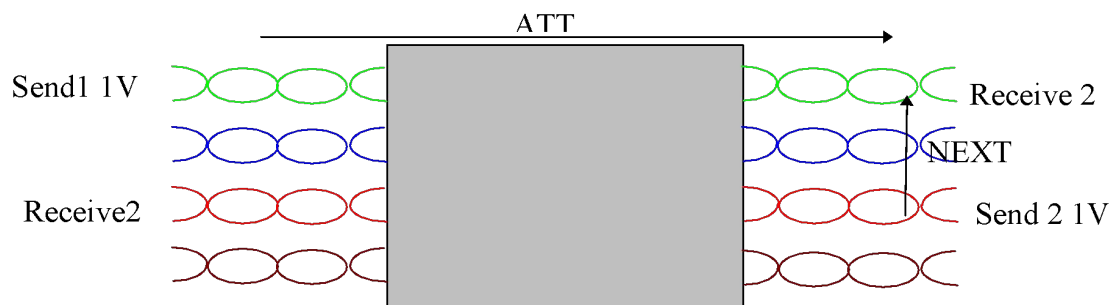
# PS- NEXT

$$P.S.NEXT = 10 * \text{Log} \sum_{n=1}^n 10^{-\frac{Next_n}{10}}$$

- Для передачи используются более чем две пары (магистральные кабели)
- В один и тот-же момент времени по всем парам может быть как прием так и передача
- Худший случай: NEXT-4.8 dB
- Необходимый для Gigabit Ethernet



# ACR, PS-ACR соотношение затухания и потерь перекрестной наводки



$$ACR = Next - ATT$$

- Для определения канала
- Разница между Затуханием и NEXT
- Современные сети работают только с положительным ACR
- Для передачи по четырем парам --> PS-ACR = PS- NEXT -ATT
- с увеличением ACR, BER уменьшается

# Пример ACR

3 случая: На входе 1Вольт

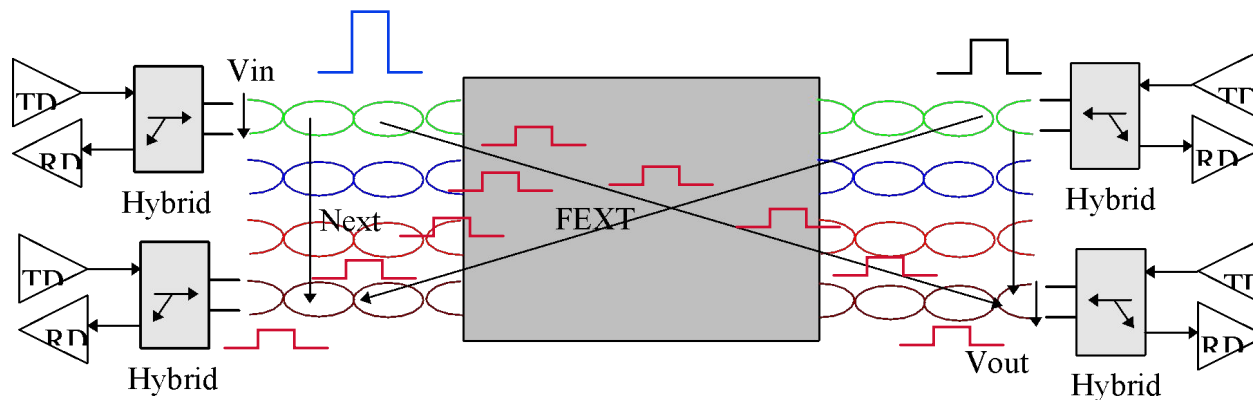
Случай 1: Затухание 30dB (коэф. 31,6), Next 40dB (коэф. 100)

Случай 2: Затухание 30dB (коэф. 31,6), Next 30dB (коэф. 31.6)

Случай 3: Затухание 40dB (коэф. 100), Next 30dB (коэф. 31.6)

- **Случай 1:** Передан сигнал напряжением в 1В, принят сигнал ослабленный в 31,6раз равный 31,6мВ. В это же время возникла перекрестная помеха, от переданного сигнала по соседней паре. Возникшее напряжение будет иметь амплитуду  $1В / 100 = 10мВ$ . В этом случае перекрестная помеха не мешает приемнику правильно принять сигнал, так как уровень сигнала в три раза выше.
- **Случай 2:** Если уровень NEXT и АТТ имеет одинаковое значение, отсутствует гарантия, что сигнал будет правильно получен. Связь может быть возможной только с очень высокой частотой появления ошибочных битов.
- **Случай 3:** Затухание АТТ больше, чем потери перекрестной наводки NEXT. Принимаемый информационный сигнал имеет в три раза меньшую амплитуду, чем шум. Не возможно соединение.

# FEXT, PS-FEXT



- Необходимы в случае если на одной стороне находятся более, чем один приемник/передатчик.
- PS-FEXT если используются все четыре пары (Gigabit-Ethernet)
- Модули оптимизированы по NEXT, но FEXT не лимитируемый параметр

# EL-FEXT, PS-EL-FEXT

- FEXT - параметр зависящий от длины, для активных компонентов он необходим, чтобы определить максимальную длину
- $EL-FEXT = FEXT-ATT$
- является параметром ACR для FEXT
- должен быть положительным
- EL-FEXT величина предлагаемая для Gigabit-Ethernet
- Если используются 4 пары:  $PS-EL-FEXT = PS-FEXT-ATT$

# Временная задержка распространения сигнала

- Электромагнитная волна имеет скорость, зависящую от среды распространения.
- Сигнал имеет задержку при прохождении по кабельной системе.
- Максимальную скорость распространения имеет свет в вакууме. При прохождении сигналов по меди, возникает задержка сигнала которую можно соизмерить в процентном соотношении к скорости света.
- NVP: номинальная скорость распространения

Пример: NVP 70%

Волна распространяется с скоростью  $300'000\text{km/s} * 0.7 = 210'000\text{km/s}$  через медный кабель.

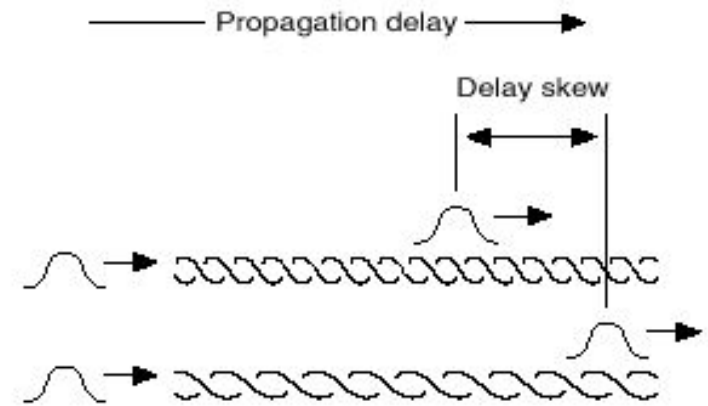
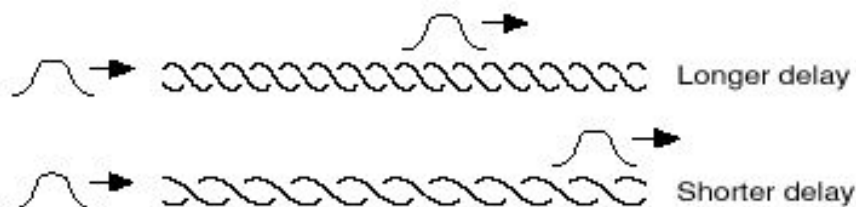
Для кабеля длиной 100m сигнал от передатчика к приемнику будет задержан на-->  $100\text{m}/210'000\text{km/s}=476\text{ns}$  --> задержка распространения

Максимальное задержка распространения в горизонтальной кабельной линии не должна превышать 1µs.

$$L_{\text{кабеля}} = NVP \times C \times T_{\text{изм}} / 2$$

# Рассогласование из-за задержки

- Становится важным при передаче по 4-м парам
- Распределенный сигнал должен прибыть в одно и то-же время
- Из-за разного шага повива--> разная длина кабеля--> разные задержки.
- Это различие = Рассогласование задержки
- Этот параметр необходим для производителей активного оборудования, чтобы определить буферное запоминающее устройство на входе
- большое рассогласование задержки: бит скомпонованы вместе



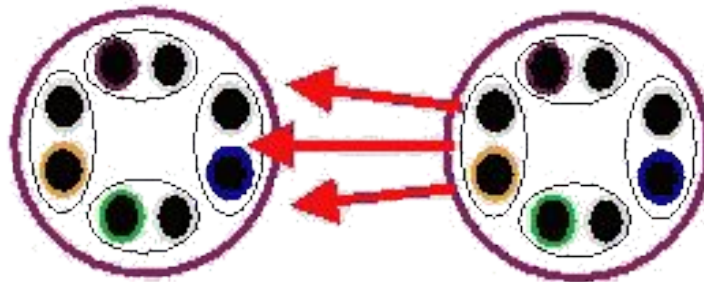
# Передаточное сопротивление

- Показывает эффективность экранирования
- Высокочастотное сопротивление экрана
- Только лабораторная величина
- Невозможно измерить сопротивление в установленной системе
- Хорошее экранирование от электромагнитных полей: Хороший контакт экрана с компонентами --> низкое сопротивление по постоянному току



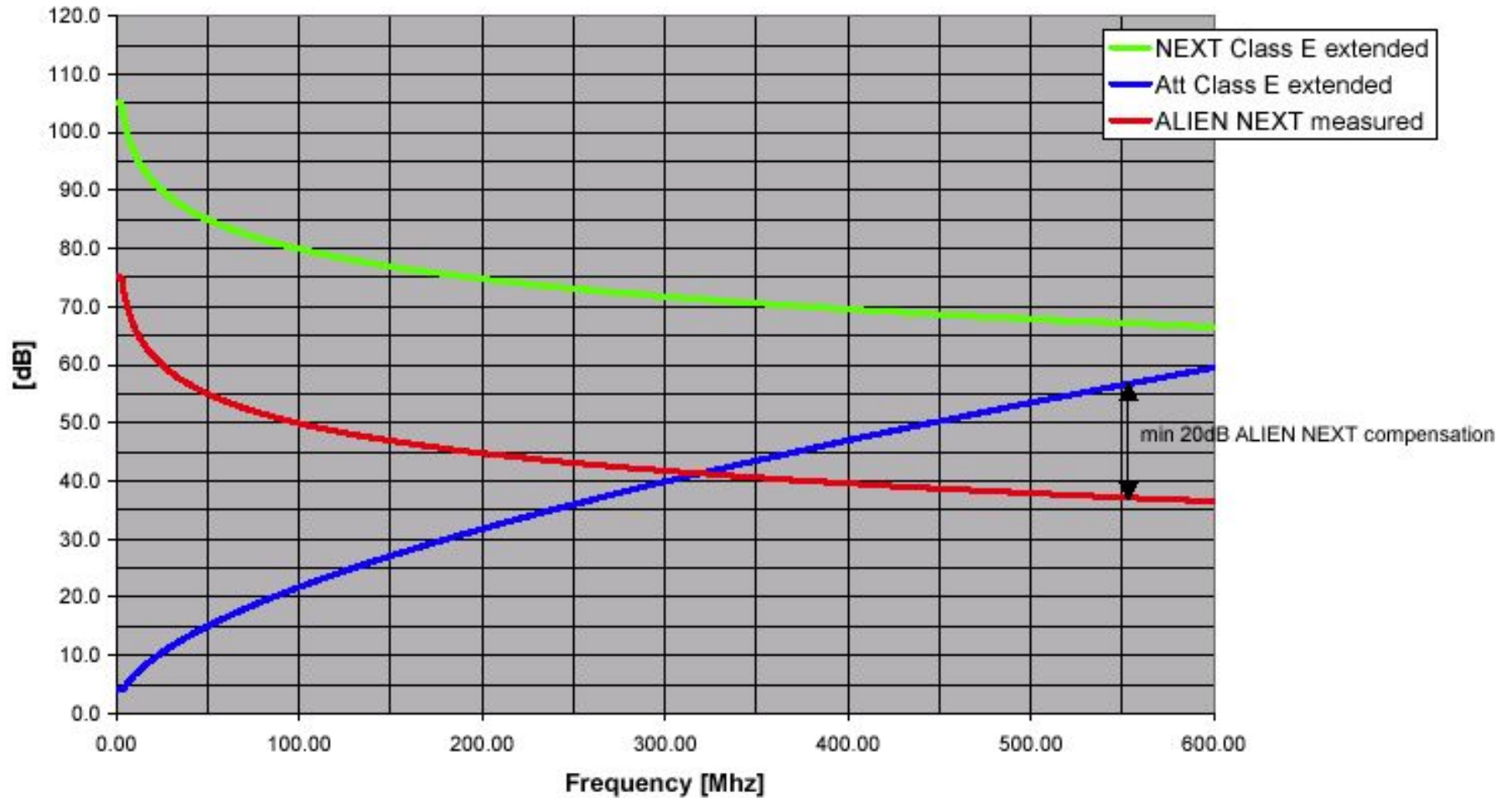
# Alien Crosstalk

- Когда кабели расположены вплотную наводка с одного из них оказывает влияние на другой. Этот эффект называется внешней перекрестной наводкой.
- Особенно значимым является для кабелей UTP, связанных в пучки длиннее 15 м.
- Этот эффект нельзя предсказать и компенсировать электроникой.
- Большая сложность измерения. Пока нет методики.

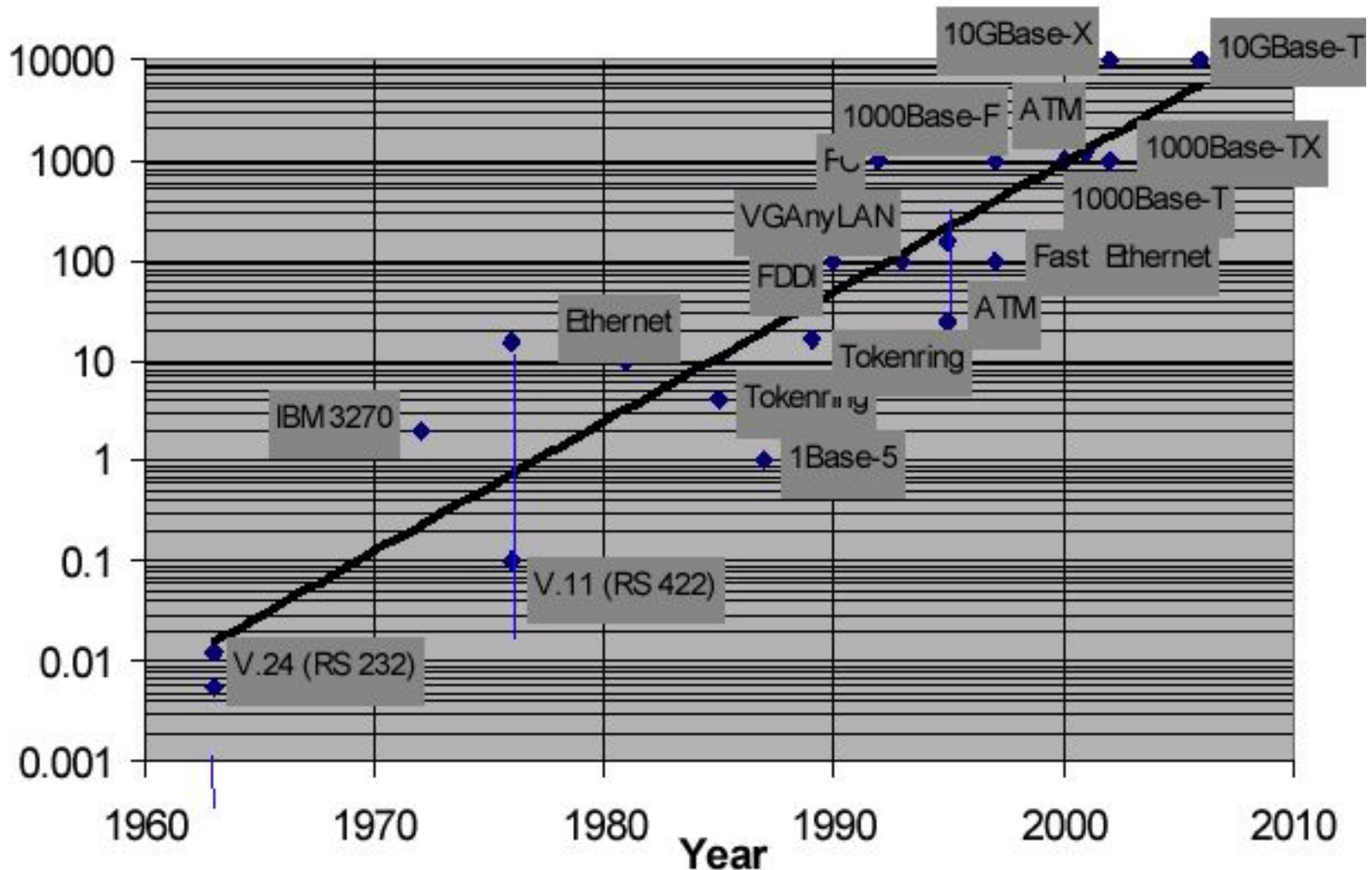


# Alien Crosstalk

## Powersum



# Увеличение скоростей передачи



# Измерения

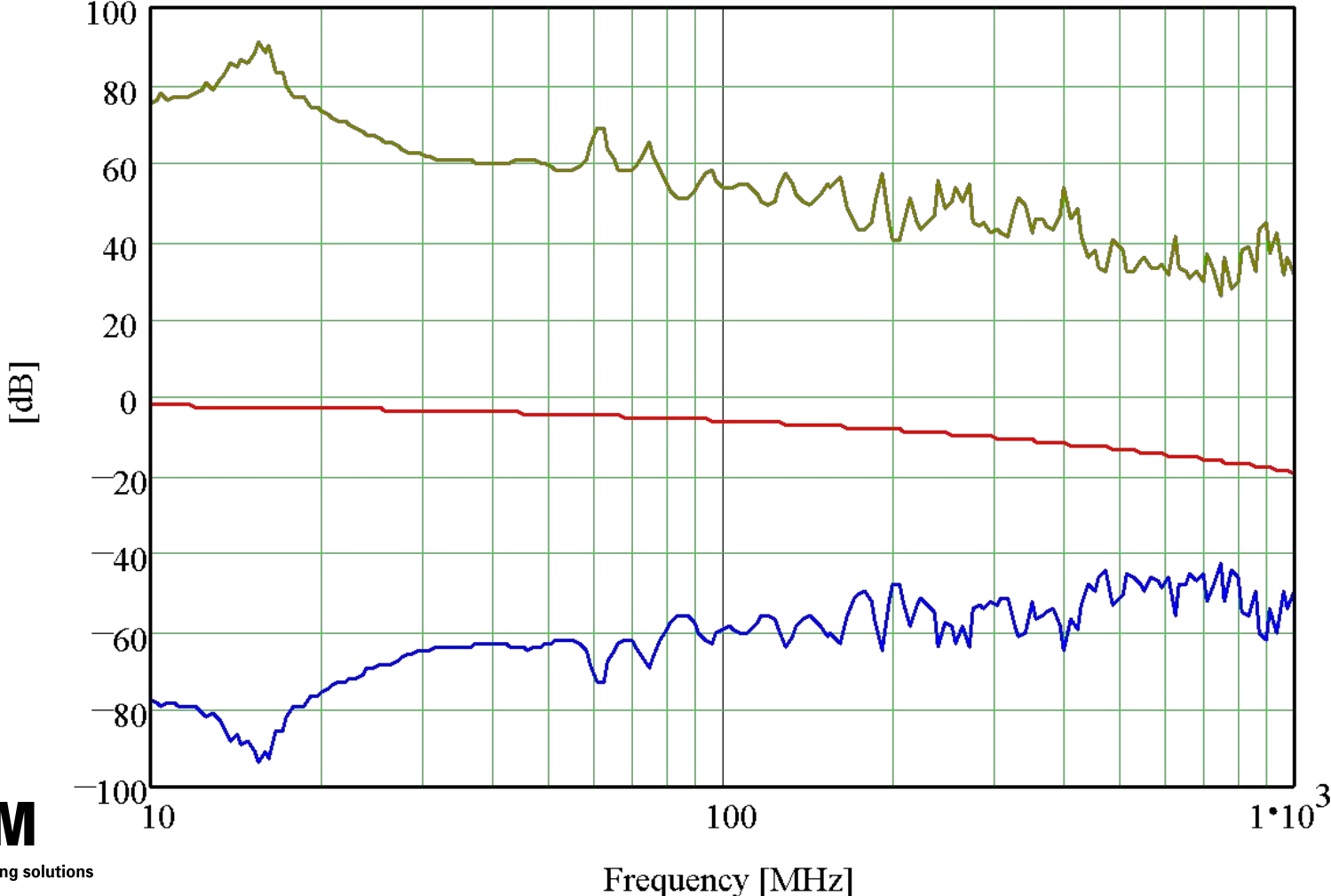
- Кабели и компоненты
- Постоянная линия
- Тракт
- Измерения до 200, 600 MHz

# Типы кабелей

- Различные типы в сравнении с UTP
- Затухание сигнала: При увеличении диаметра проводника затухание уменьшается
- NEXT: качественный повив минимизирует NEXT
- UTP, FTP, S-FTP имеют приблизительно одинаковые электрические характеристики

Влияние	FTP	S-FTP	S-STP (PIMF)
Затухание	одинаковое	одинаковое	одинаковое
NEXT	одинаковое	одинаковое	значительно лучше
ACR	одинаковое	одинаковое	значительно лучше
Экранирование	лучше	значительно лучше	значительно лучше

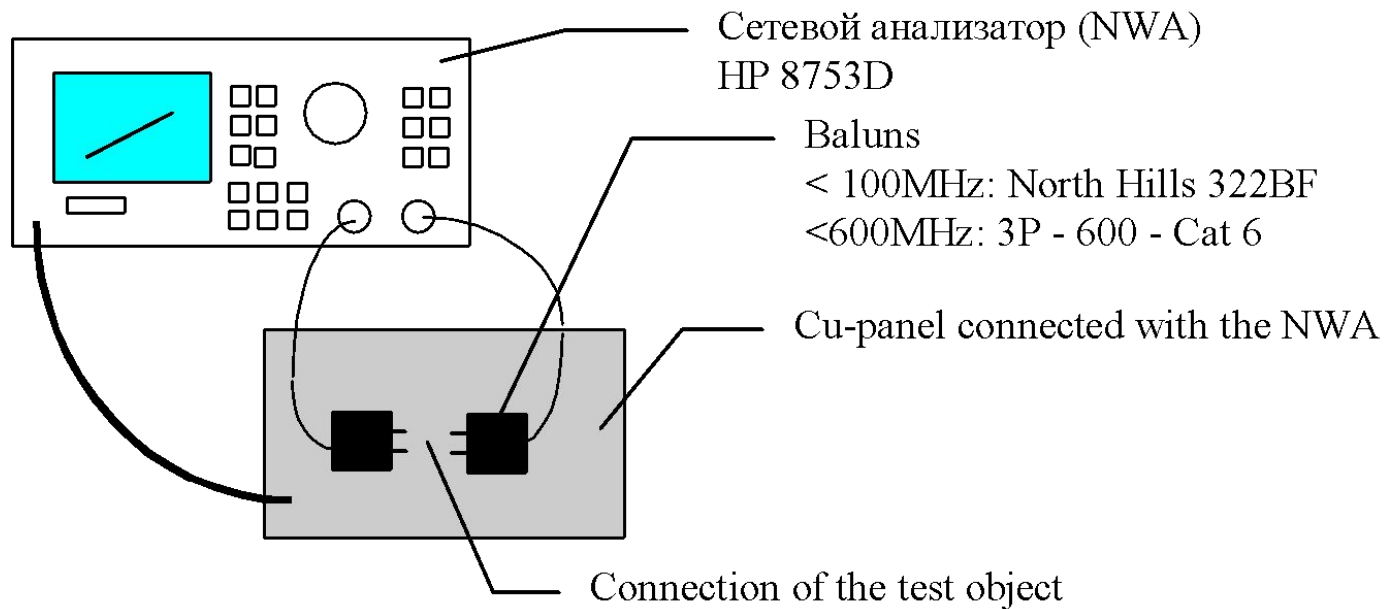
# Пример



# Типичные ошибки?

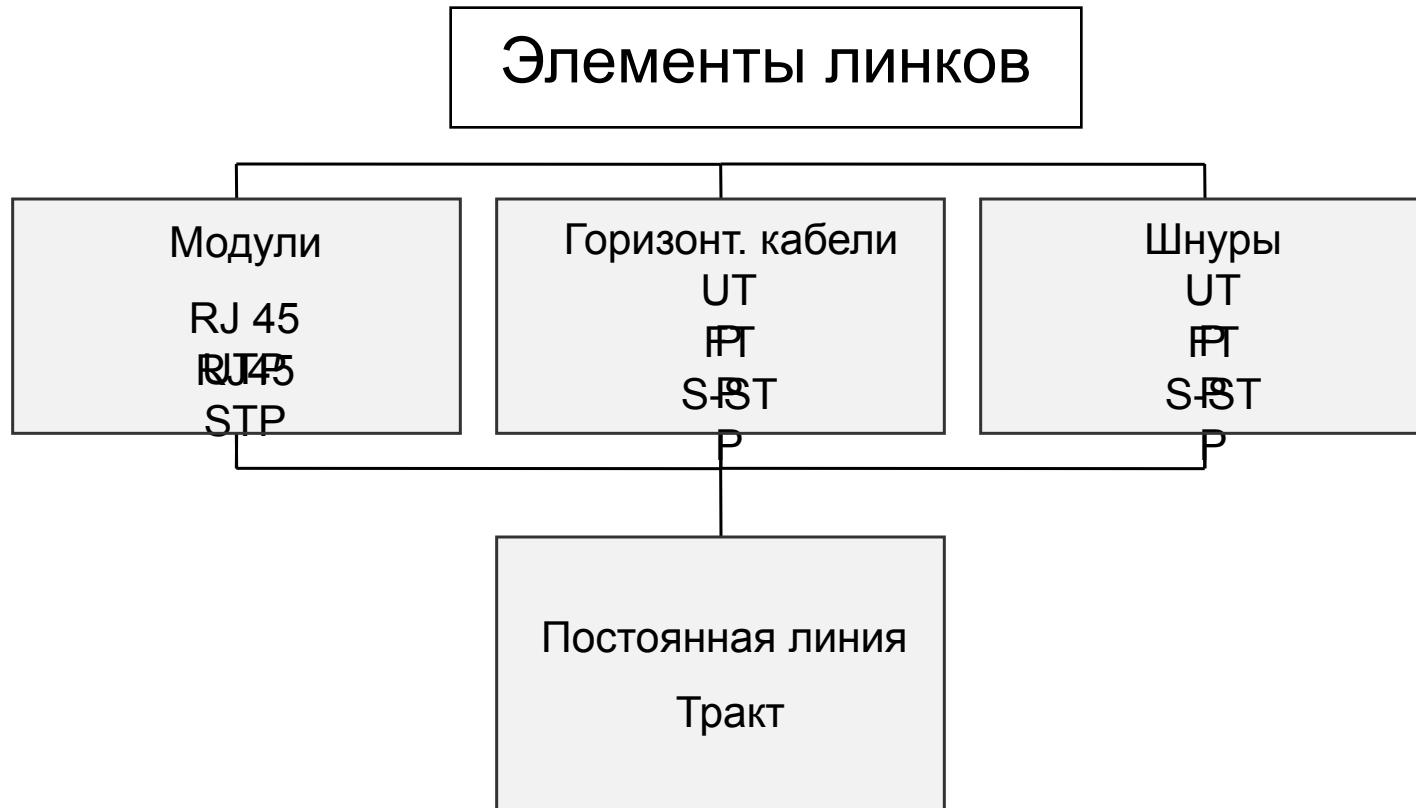
- Что измерено (Постоянная линия, Тракт, компоненты)?
- Частоты?
- Где, кем и чем были проведены измерения?
- Стандарт?

# Метод измерения компонентов





# Измерения



# Параметры компонентов

## ■ Коннектор

### ■ Затухание

- < 0.4 dB на 100 MHz Кат.5
- < 0.2 dB на 100 MHz Кат.6
- < 0.32 dB на 250 MHz Кат.6

### ■ NEXT

- > 45dB на 100 MHz Кат.5e
- > 54dB на 100 MHz Кат.6
- > 46dB на 250 MHz Кат.6

## ■ Кабели

### ■ Затухание (100MHz)

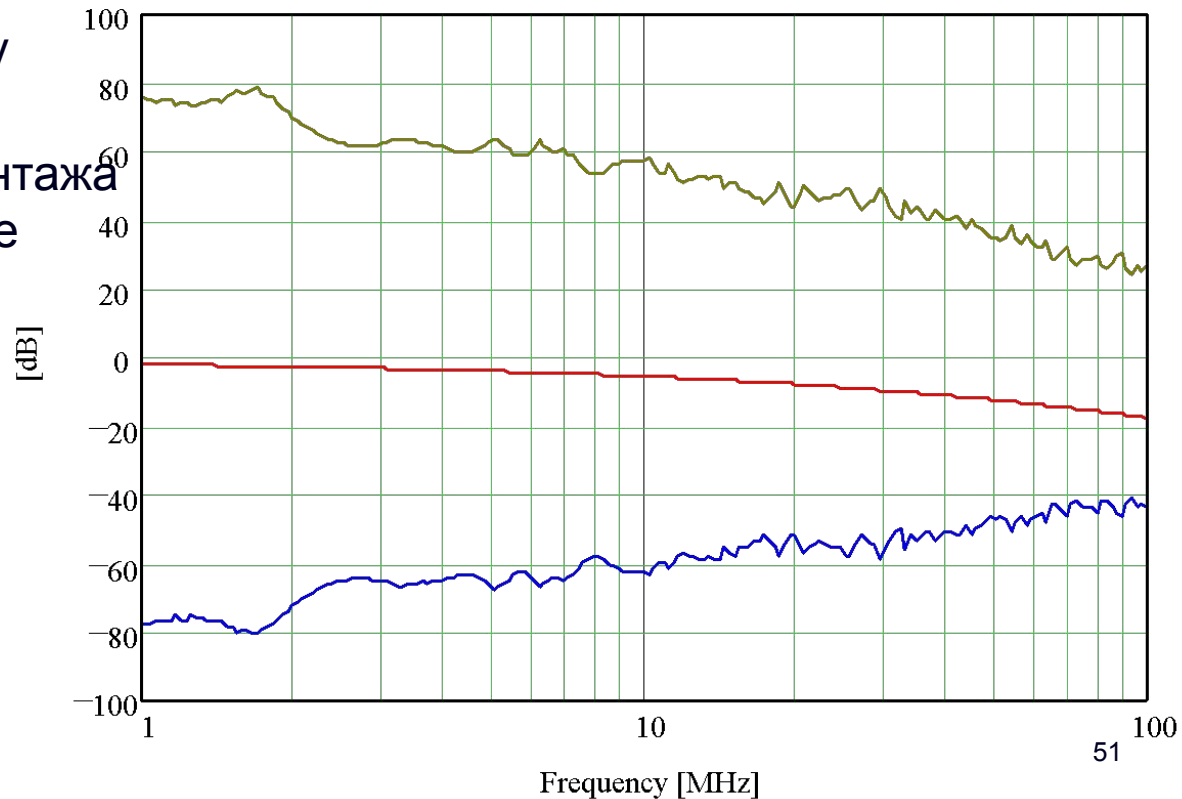
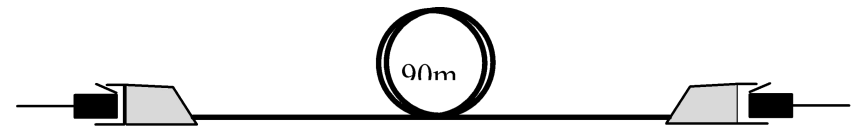
- AWG 23 (0.58mm) 18,0 dB/100m Кат.7 SSTP
- AWG 23-24 (0.55mm) 18,9 dB/100m Кат.6 SSTP
- AWG 23 (0.58mm) 18,7 dB/100m Кат.6 UTP
- AWG 24 (0.51mm) 20,3 dB/100m Кат.5
- AWG 26 (0.14mm<sup>2</sup>) 30 dB/100m

### ■ NEXT (100MHz)

- UTP, FTP >42 dB Кат.5
- UTP, FTP >49 dB Кат.6
- SSTP >90 dB Кат.7

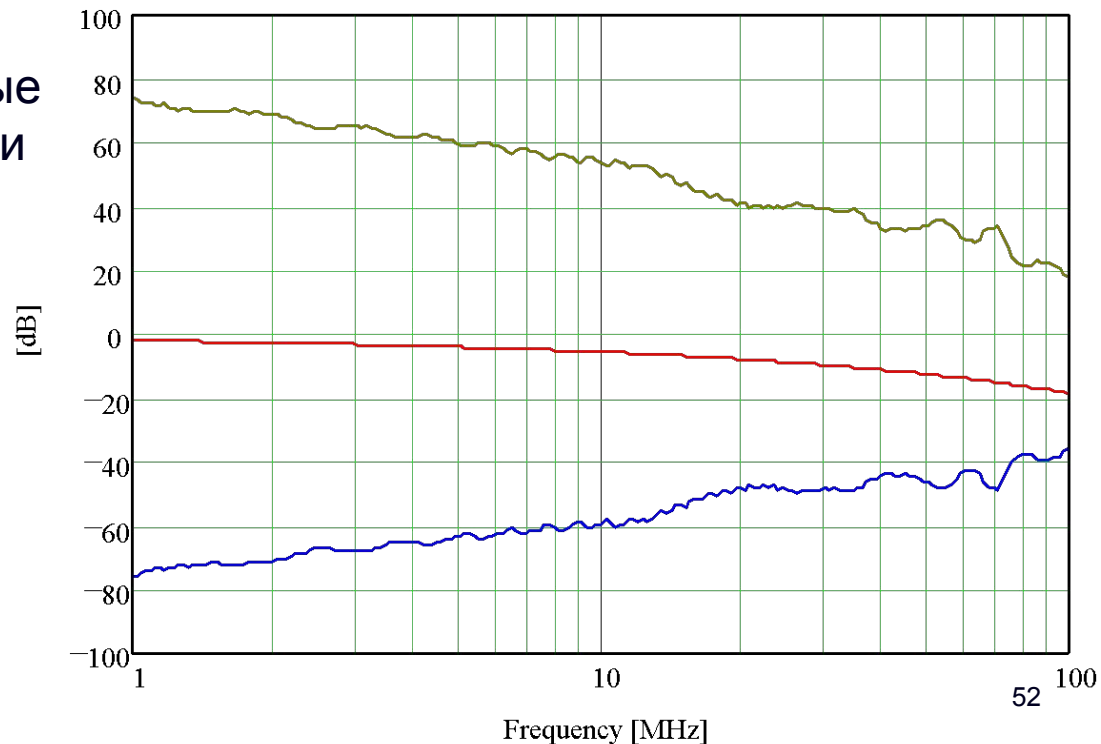
# Постоянная линия

- Кабель S-FTP
- Кабель имеет наибольшее влияние
- NEXT кабеля лучше, чем у модуля
- Для проверки качества монтажа должны быть измерены все кабели



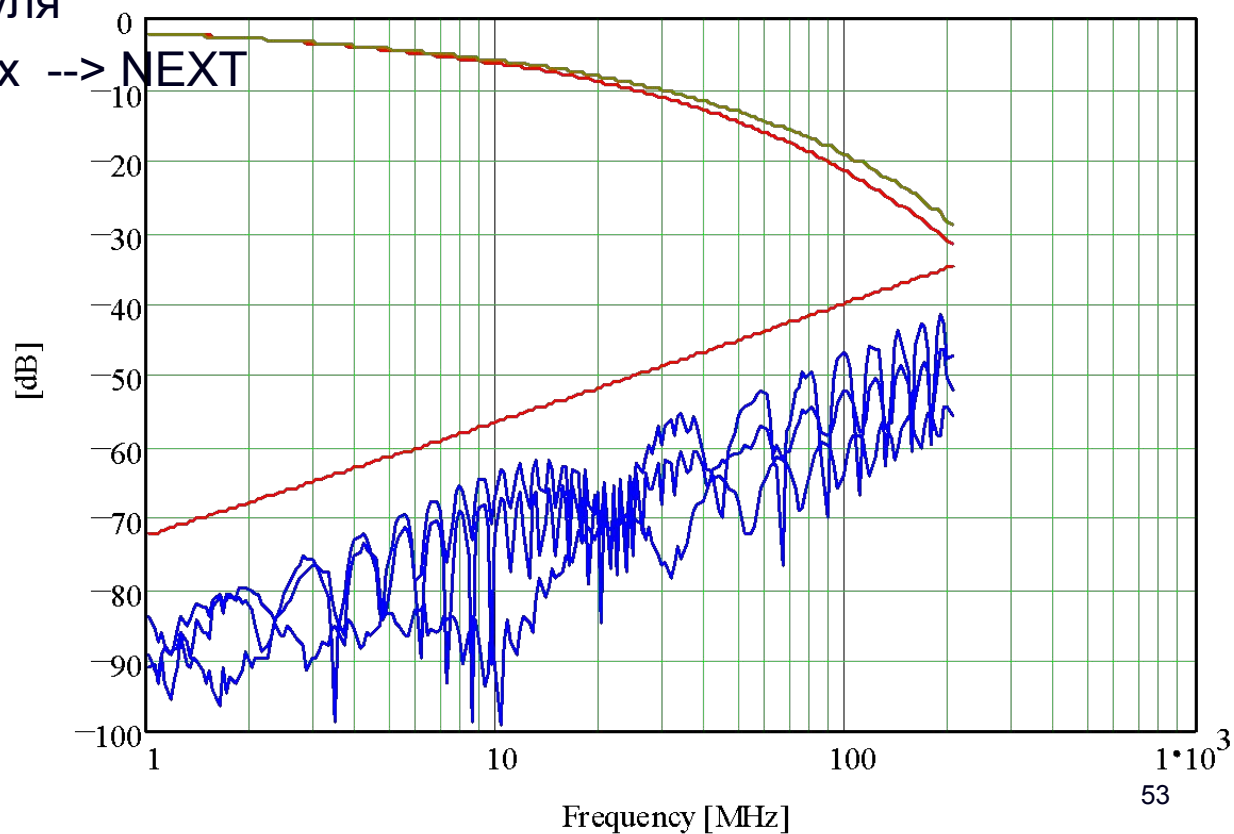
# Тракт (интерконнект)

- Горизонтальный кабель S-STP
- Коммутационный шнур S-FTP
- Коммутационный шнур и разъемы влияют на тракт
- Качественные горизонтальные кабели, плохие коммутационные шнуры --> выброшенные деньги
- Для всех типов кабелей
- Показан худший случай



# Тракт

- Горизонтальный кабель S-STP
- Коммутационный шнур S-STP
- Показано влияние модуля
- 2 модуля на 5-ти метрах --> NEXT становится хуже



# Тестирование коммутационных шнуров



## DSP Patch Cord Test Adapter



# Измерения до 200 или 600MHz

- UTP до 200 MHz
- необходимость в лучших кабелях
- Комбинация Модуль-Вилка-должны соответствовать--> Невозможно достичь необходимых параметров с использованием любых коммутационных шнуров.
- Система R&M FreeNet обеспечивает параметры тракта для Класса E
- **Нет гарантии с другими Вилками!**
- S-STP до 600MHz
- Возможны только с использованием специальных коммутационных шнуров
- Возможно только с использованием 1/2-7/8 пар!!!
- Модуль должен быть правильно подключен --> необходимо больше времени.
- Система R&M FreeNet обеспечивает параметры тракта для Класса F до 600MHz на 1/2-7/8 парах
- **Нет гарантии если используются другие коммутационные провода**

# Выводы

- Различия между трактами
- Узнали влияние различных компонентов
- Можете получить результаты измерений
- UTP, FTP системы: доминирующим является влияние кабелей
- Смешанные системы: доминирующими являются коммутационные шнуры
- STP системы: доминирующими являются коннекторы
- S-STP измерения до 600MHz нужны соответствующие соединительные компоненты и специальные навыки



# Наши преимущества

- Наилучшие параметры при собранных компонентах
- «Easy lock» для кабелей
- эффективное экранирование модуля
  
- **Сертификаты**

# Сертификаты

- **Alflab, UL**
- Тесты надежности
- Только модули
  - Циклы коммутации
  - Качество контакта
  - Долговечность
  - Температурное старение
- **3P**
- Только тесты передачи
  - **Тестовая лаборатория в Европе**
  - Сертификация канала
  - NEXT, Затухание - соответствие стандарту