Учебный курс R&Mfreenet
Теория передачи по медным кабелям

Москва, 2007 г

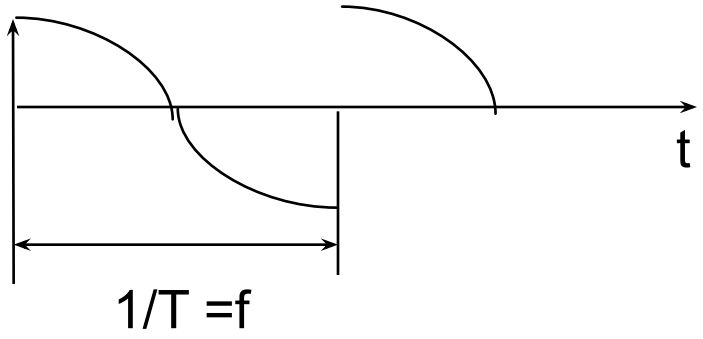
R&M
Convincing cabling solutions

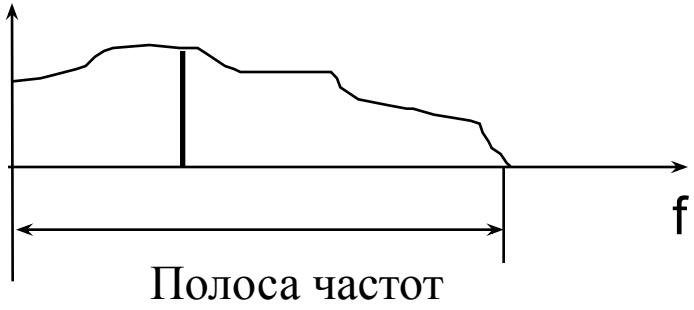
Теория передачи по меди

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

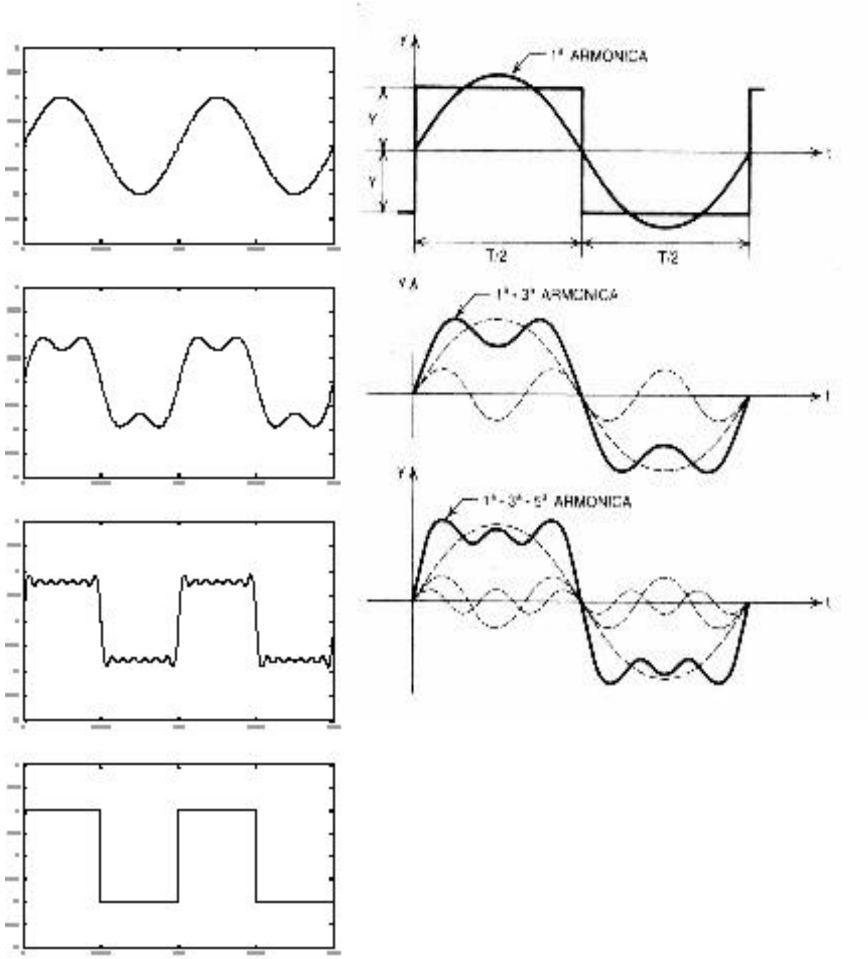
Частота, полоса частот





- Частота: количество полных циклов колебний 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

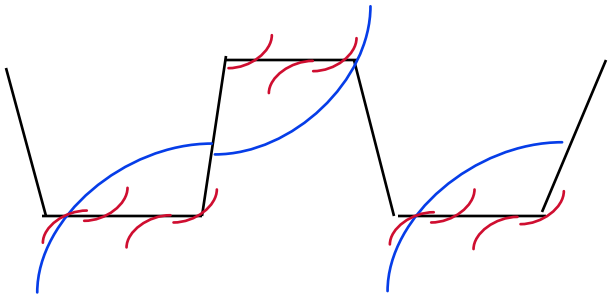
Цифровой сигнал

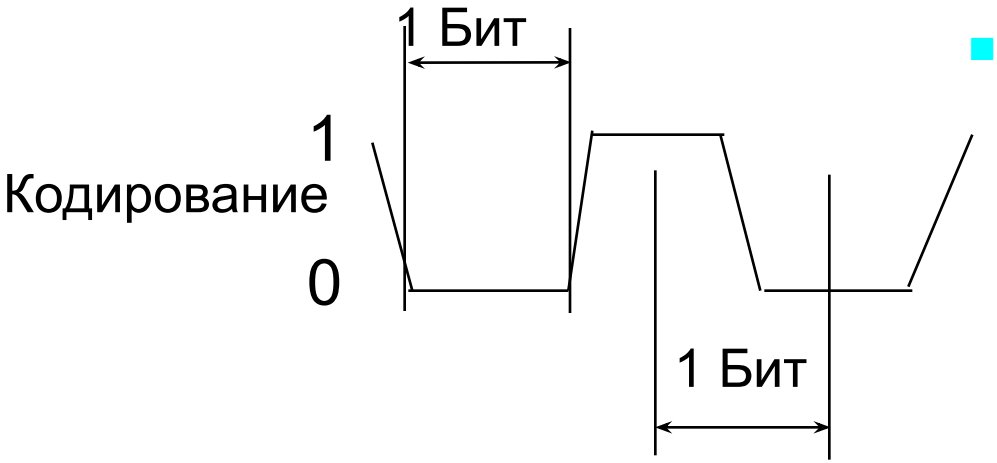


- Электрический сигнал может быть представлен в виде бесконечного ряда гармоник
- Кабель является фильтром нижних частот и не имеет возможности передать бесконечный спектр частот
- По кабелю могут быть переданы частоты между 0 Гц и частотой максимально возможной для данного конструктива кабеля

.....Любой кабель имеет ограниченную полосу пропускания

Сигнал, Бит, Бит/сек.



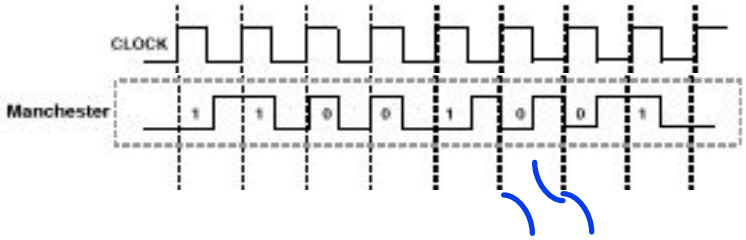


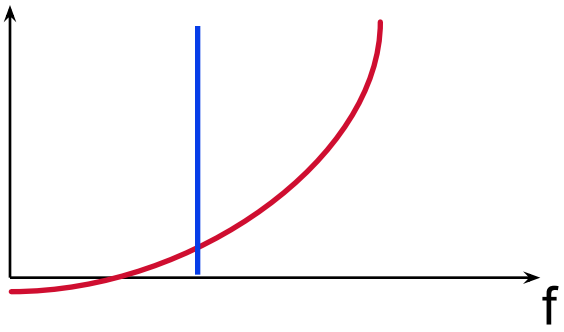
- Сигнал: Совокупность ряда гармоник
- Двоичные коды: уровень нуля или уровень единицы
- Количество битов в секунду определяется как скорость передачи данных
- Для ATM 155: Передается 155 миллионов Бит за секунду

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 =10МБод, центральная частота 10 МГц

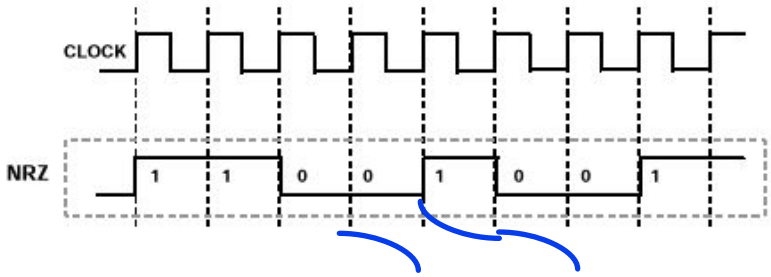
Manchester Код

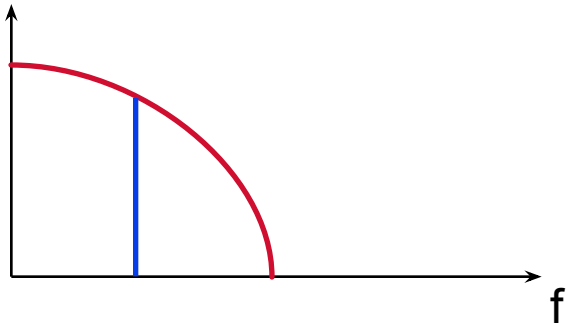




- Используется для Ethernet and Token Ring
- Изменение уровня сигнала в середине каждого битового периода
- Код с внутренней синхронизацией
- Отсутствует постоянная составляющая
- 1 Бит = 1 Символа
- Наихудшая последовательность: 00000000
- Необходима в два раза большая пропускная способность
- 10Base-T: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

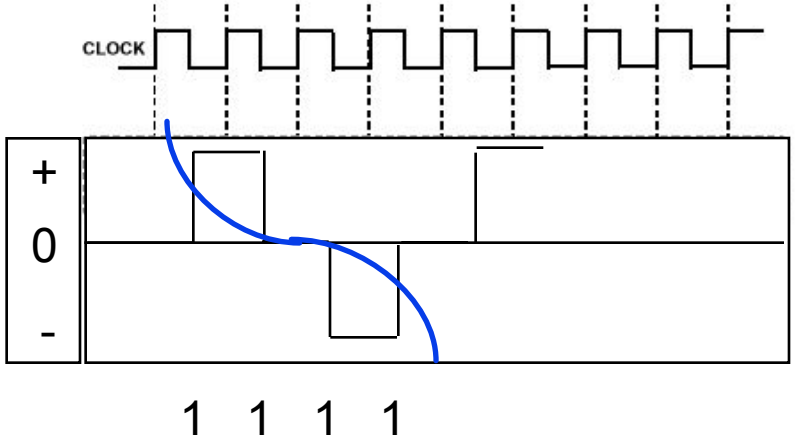
NRZ Код





- 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

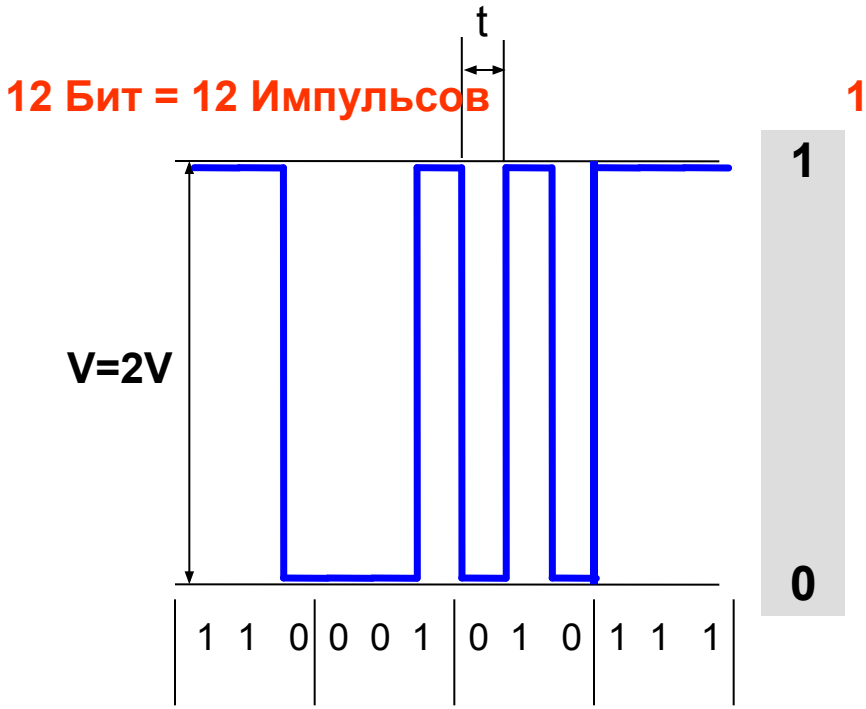
MLT-3



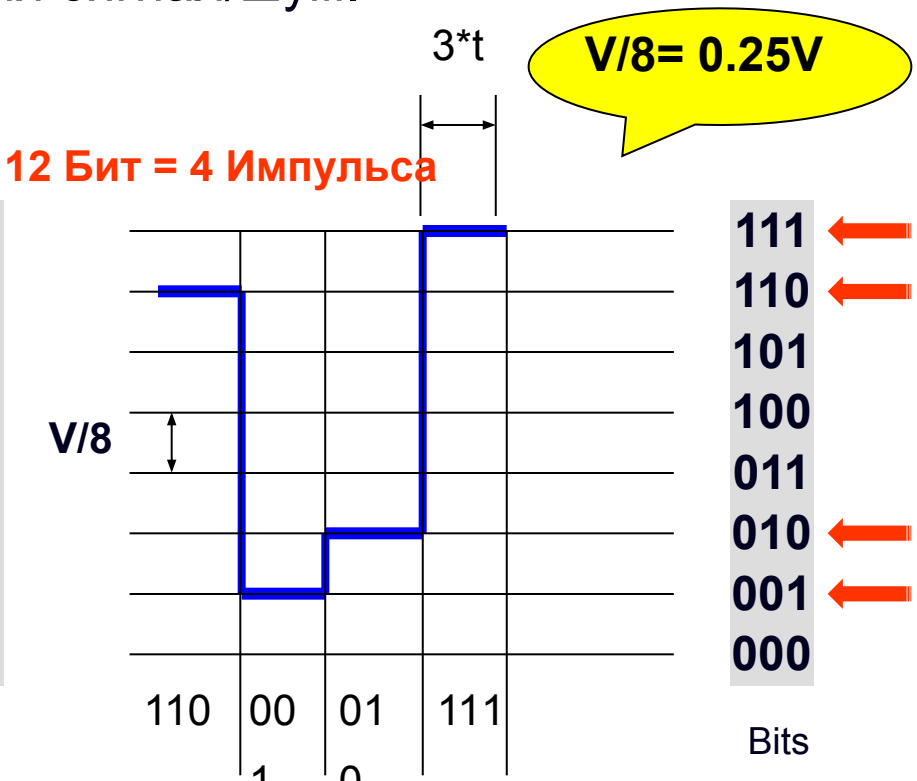
- Ноль не инвертируется
- Единица инвертируется
- Инверсия в середине интервала
- Худший случай 111111111111
- Используется для ATM 155 с кодировкой 4b/5b
- Используется для FDDI TP-PMD и 100baseTX

Линейное кодирование: на примере PAM 8

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



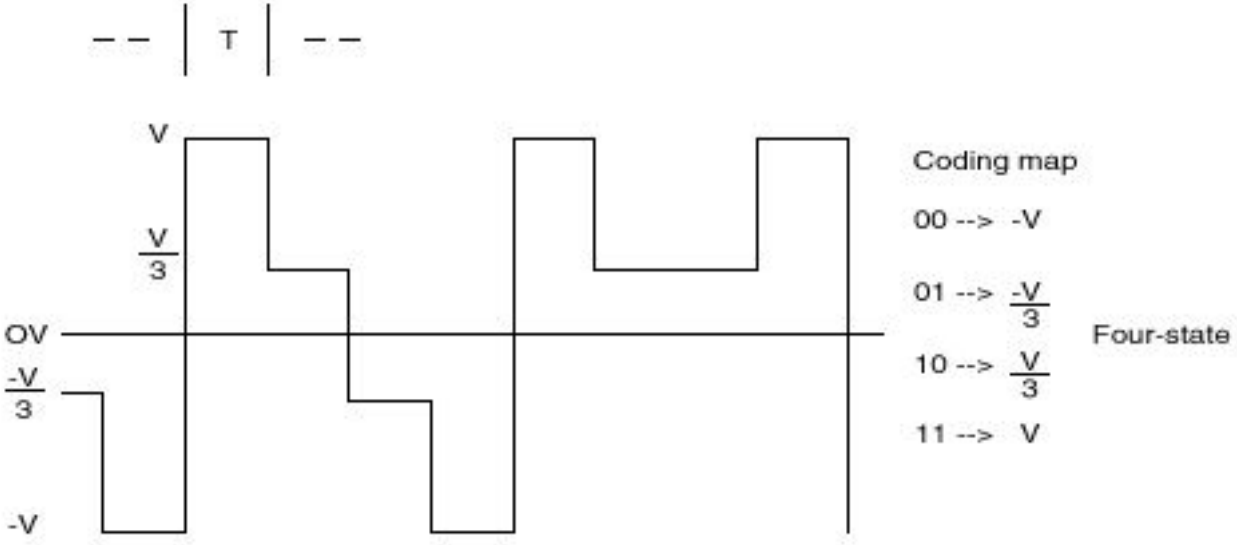
Без кодирования



С кодированием PAM 8

R&M
Convincing cabling solutions

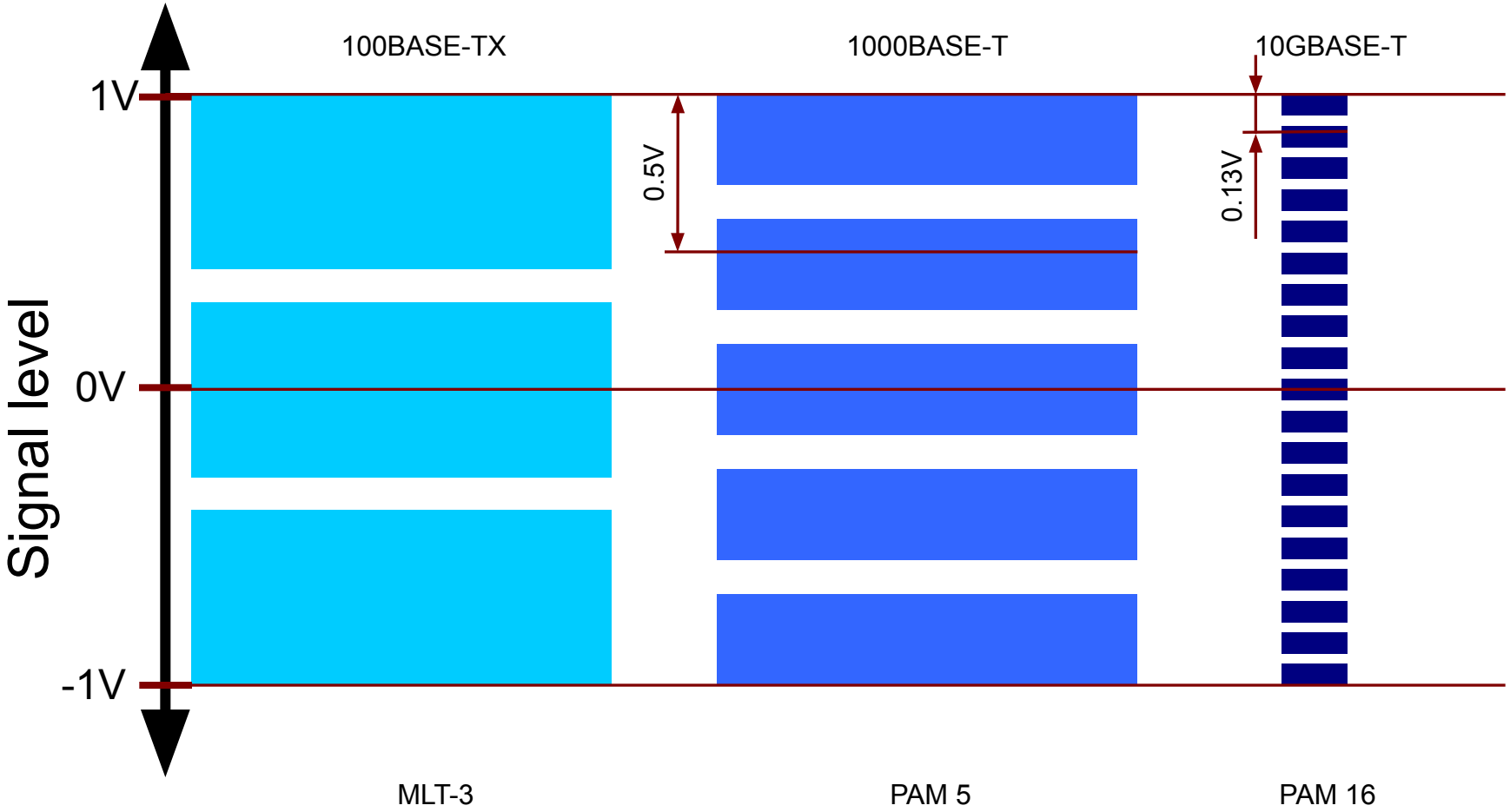
2B1Q



Многоуровневые способы кодирования

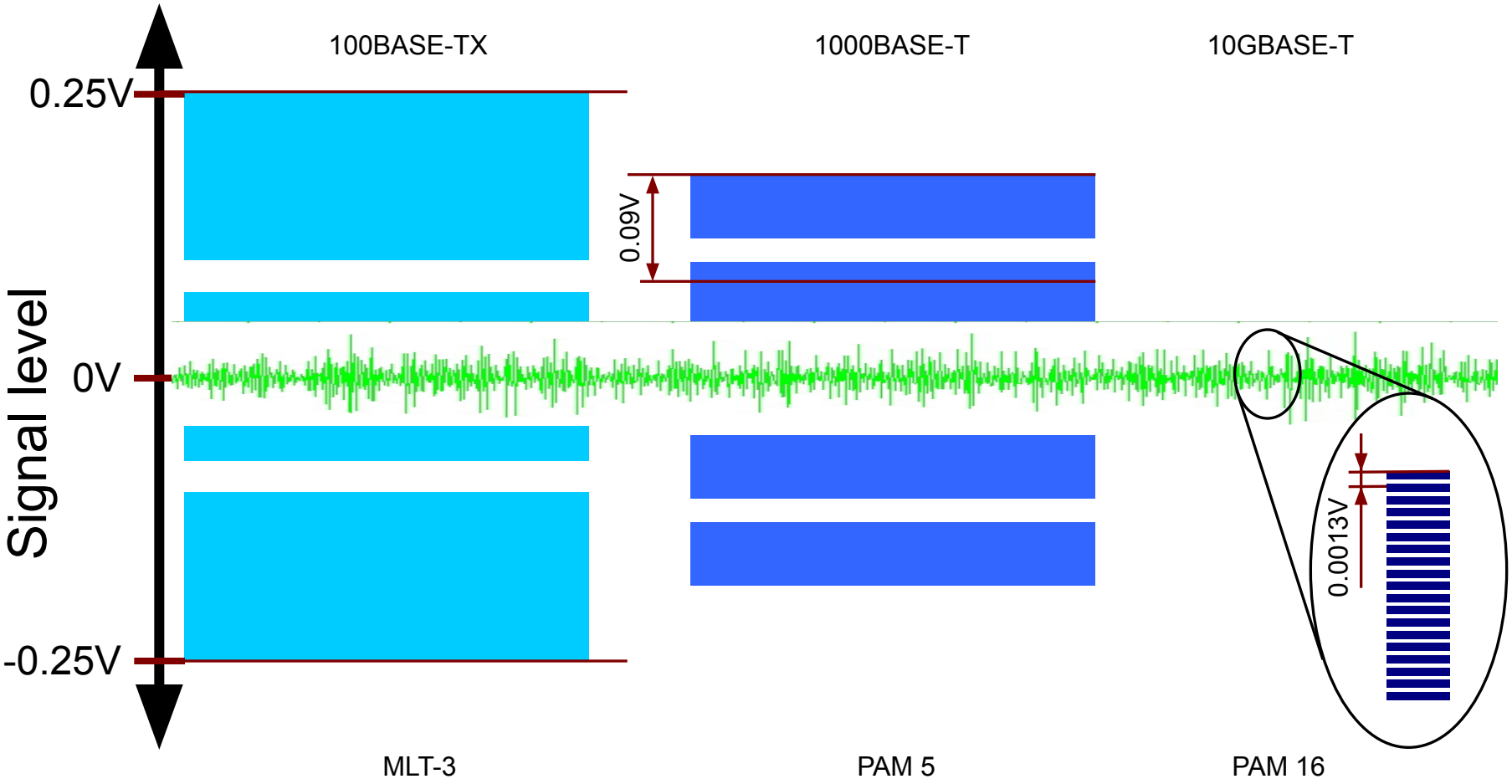
Line Code	Bits/baud	Signal Bandwith [MHz]	Baud Rate [MS/s]	ACR [dB]
MLT 3	1	1250	2500	21
PAM-5	2	625	1250	25
PAM-9	3	416	833	31
PAM-17	4	312.5	625	36
PAM-33	5	156.25	312.5	42

Применение кодировок для протоколов (передача)



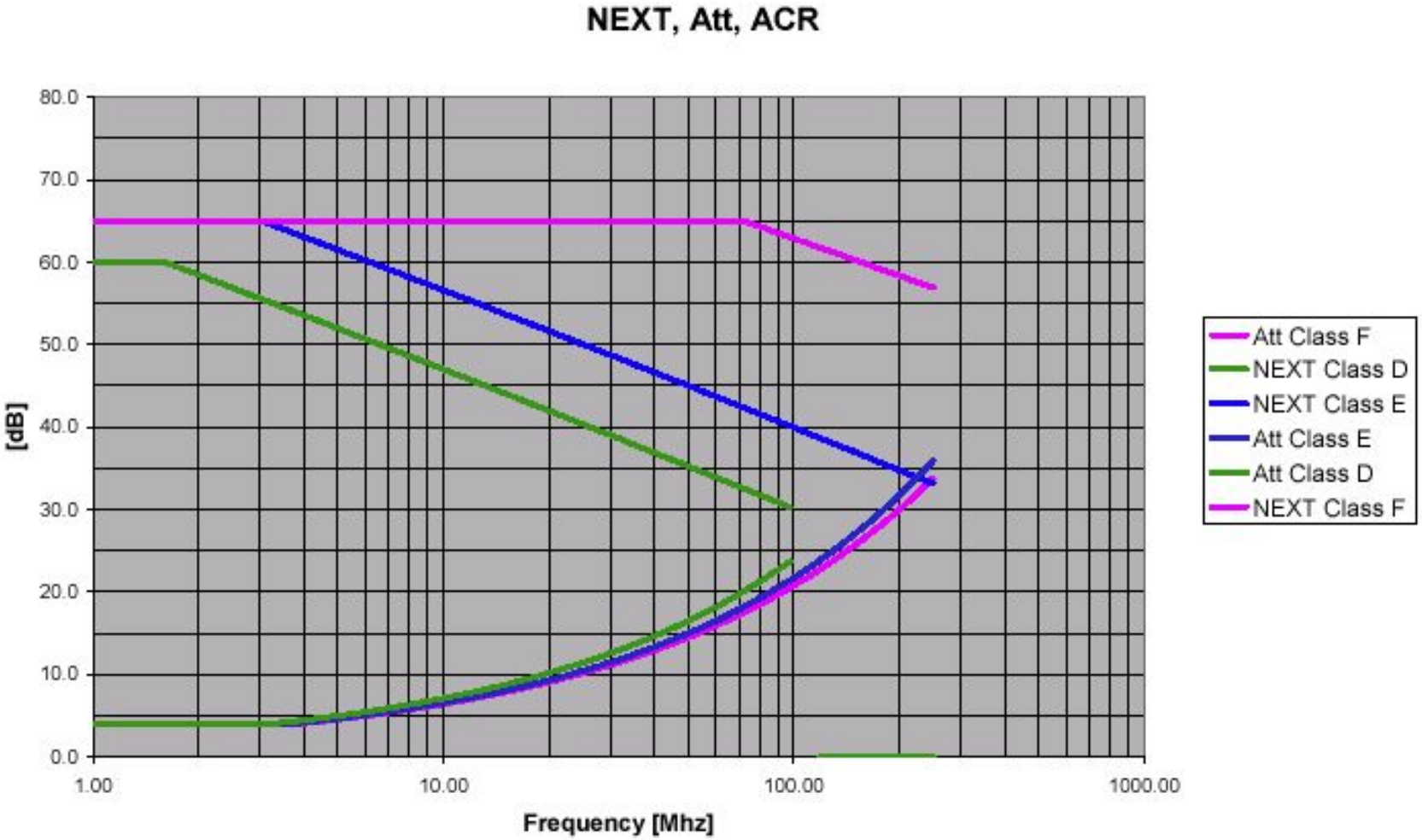
R&M
Convincing cabling solutions

Применение кодировок для протоколов (прием)



R&M
Convincing cabling solutions

Многоуровневые способы кодирования



R&M
Convincing cabling solutions

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

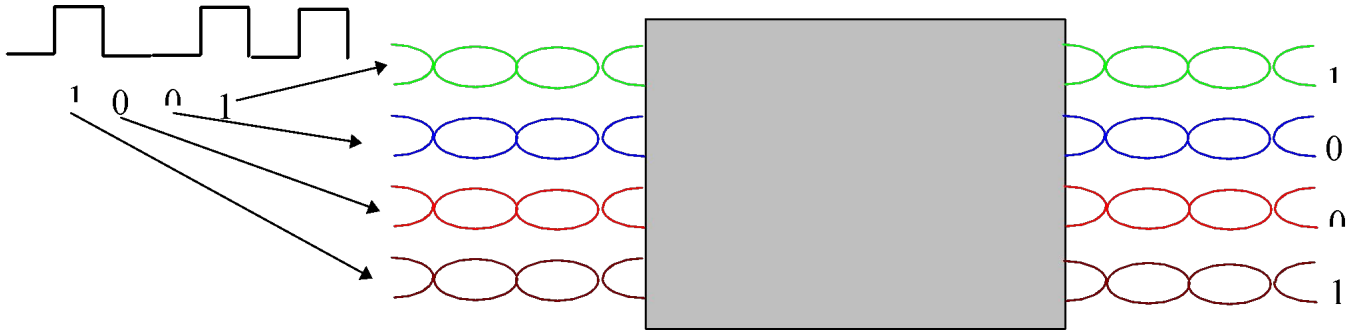
- Для более высокой скорости передачи необходима большая пропускная способность
- Пример:

  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

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

Example:

Xmitted 1 mW
Received 20 uW

$\Longrightarrow$ $\mathbf{dB} = 10 \log_{10} (20 / 1000)$ **= -16.9..db**

Уменьшение мощности в половину = 3дБ

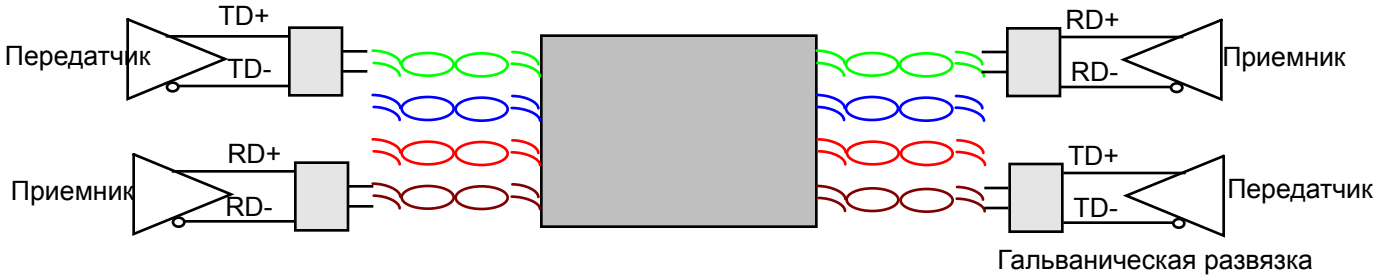
R&M
Convincing cabling solutions

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

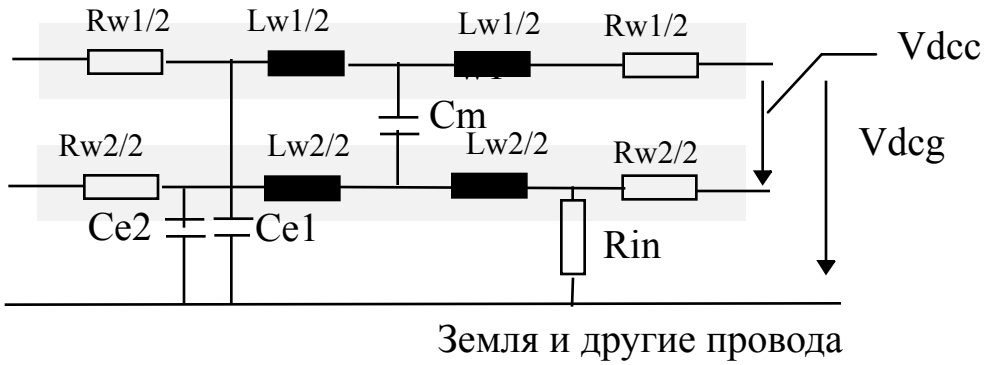


- Полный дуплекс. Вариант 1.
- Используются 2 пары
- 1 пара для передачи, другая для приема
- Классическая модель: 10Base-T

Полный дуплекс. Вариант 2.

- Используется она 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
- Vdcc: напряжение между проводами --> симметричное напряжение
- Vdcg: напряжение между одним проводом и землей--> асимметричное напряжение

DC-сопротивление и емкость

- DC -сопротивление зависит от:
  - материал
  - диаметр
  - длина
  - температура
- Измеряется омметром
- Сопротивление контура (Rw1 +Rw2) в системе класса D должен быть < 25 Ohm.
- Различие между Rw1 и Rw 2 - 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

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

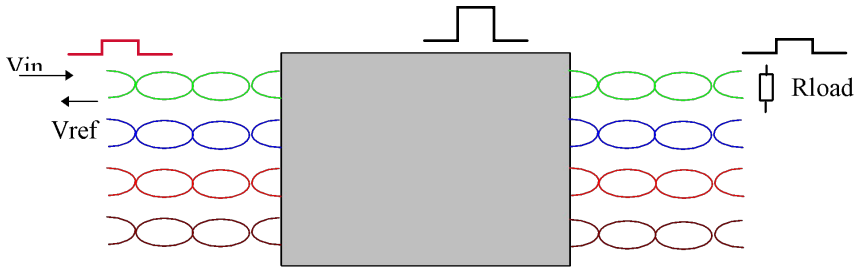
Характеристический импеданс

- 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)

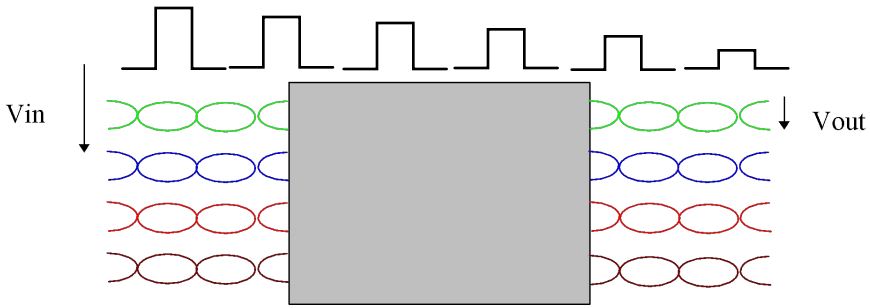


$$RL = -20 * \log\left(\frac{V_{ref}}{V_{in}}\right)$$

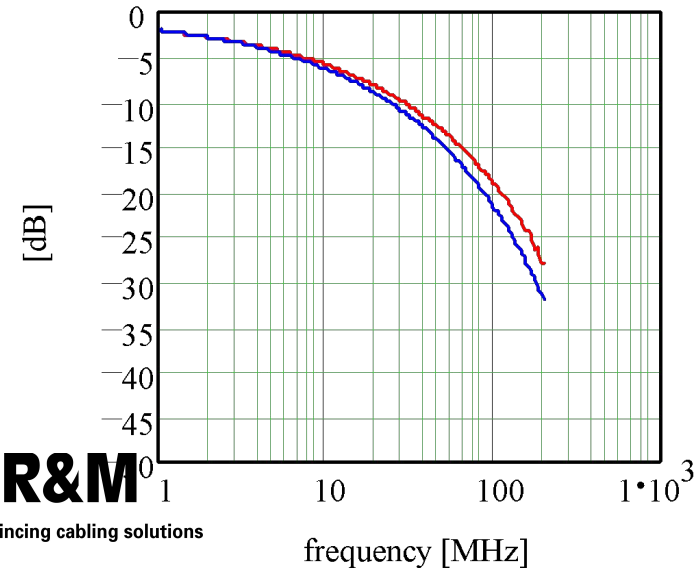
- Отношение отраженного сигнала к входному сигналу
- Номинальный характеристический импеданс звена кабельной линии может иметь значения 100Ω ±15Ω от 1 MHz и выше.
- Отражение происходит на плохих коннекторах, некачественном оборудовании при возникновении неоднородностей в проводнике или диэлектрике, 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

R&M
Convincing cabling solutions

Затухание



$$Att = -20 * \log(\frac{Vout}{Vin})$$



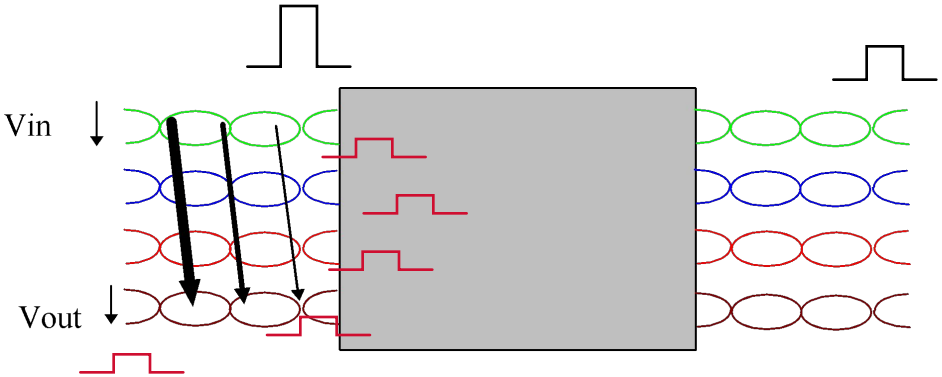
- Параметры являются частотно-зависимыми
- Чем выше частота, тем выше затухание
- Ключевой показатель
- Приемник должен обнаружить сигнал
- Сигнал > Шум
- Затухание важно для определения уровня передачи
- 10Base-T: 0...20 МГц

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

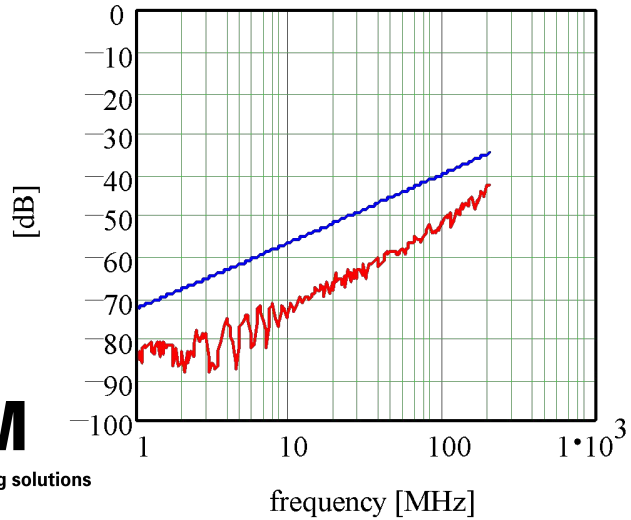
$$Att(t^{\circ}) = A_{max20^{\circ}}(1 + k(t^{\circ} - 20^{\circ})), \quad k = 0{,}004$$

R&M
Convincing cabling solutions

NEXT- потери перекрестной наводки на передающей стороне



$$Next = -20 * \log(\frac{Vout}{Vin})$$



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

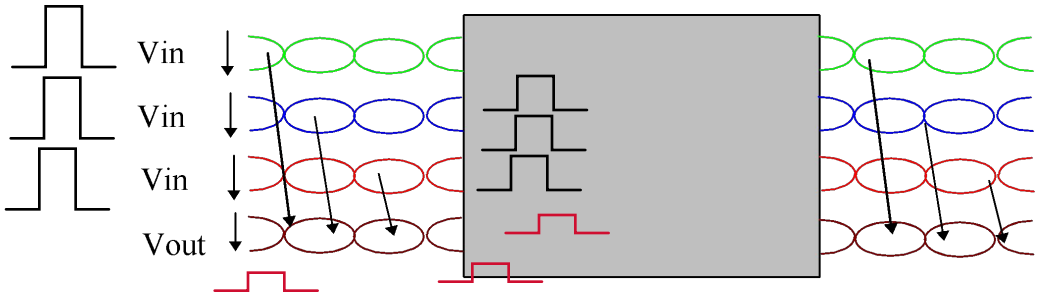
$$Next = -20\lg(10^{-Next_{кабеля}/20} + n \times 10^{-Next_{разъема}/20})$$

R&M
Convincing cabling solutions

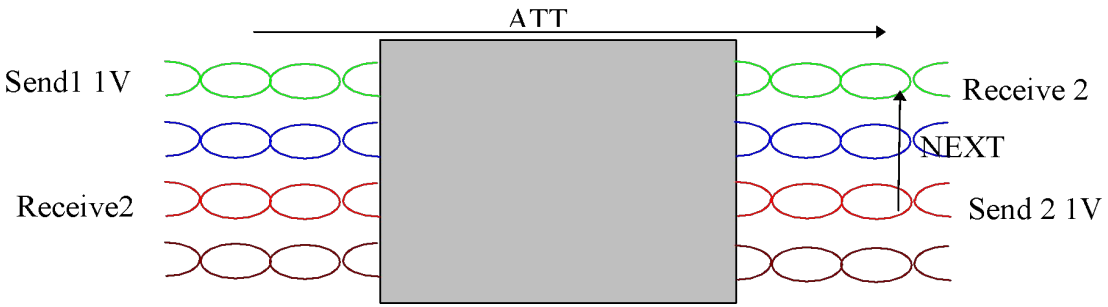
PS- NEXT

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

- 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

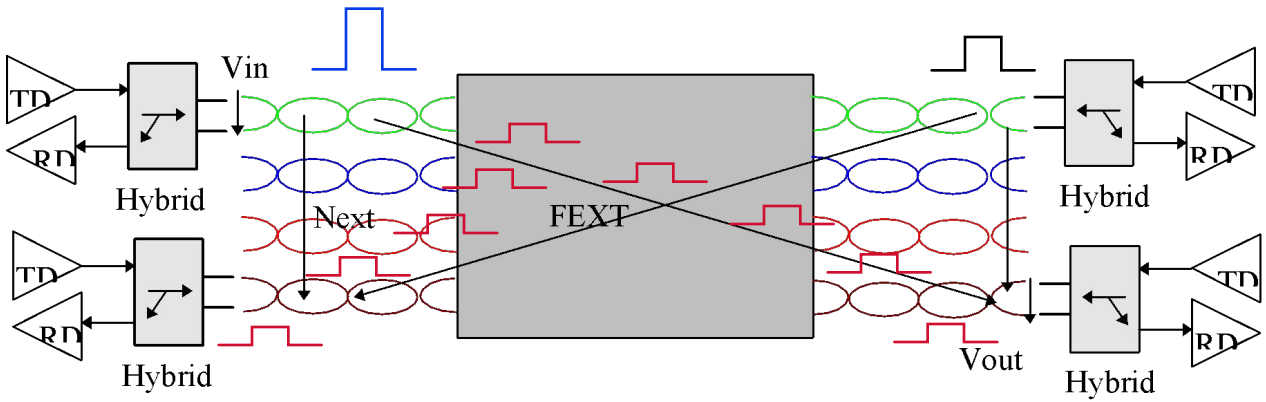
Случай 1: Затухание 30dB (коэф. 31,6), Next 40dB (коэф. 100)

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 помешает приемнику править принять сигнал, так как уровень сигнала в три раза выше.
- **Случай 2**: Если уровень NEXT и ATT 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 ATT 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 300’000km/s * 0.7 = 210’000km/s через медный кабель.

Для кабеля длиной 100m сигнал от передатчика к приемнику будет задержан на--> 100m/210’000km/s=476ns --> задержка распространения

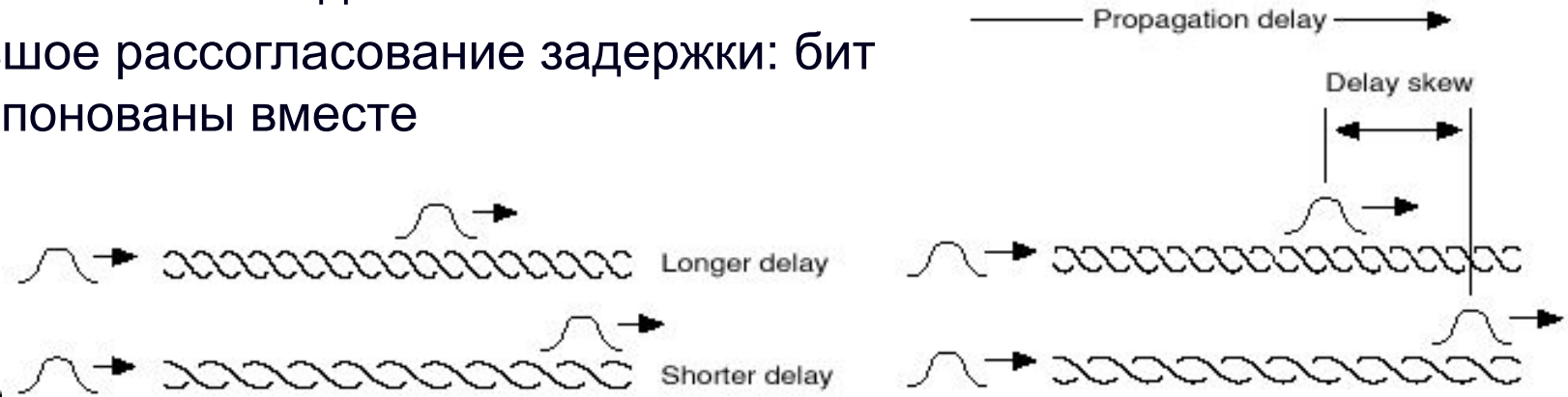
Максимальное задержка распространения в горизонтальной кабельной линии не должна превышать 1μs.

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

R&M
Convincing cabling solutions

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

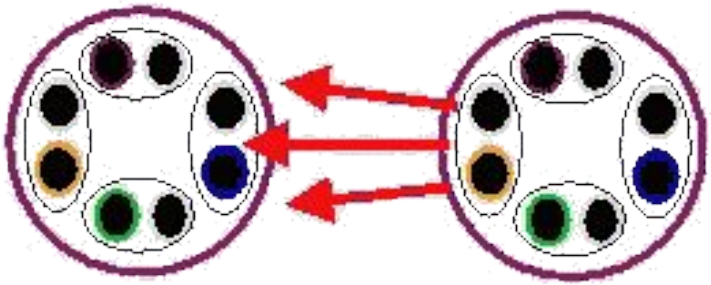


Передаточное сопротивление

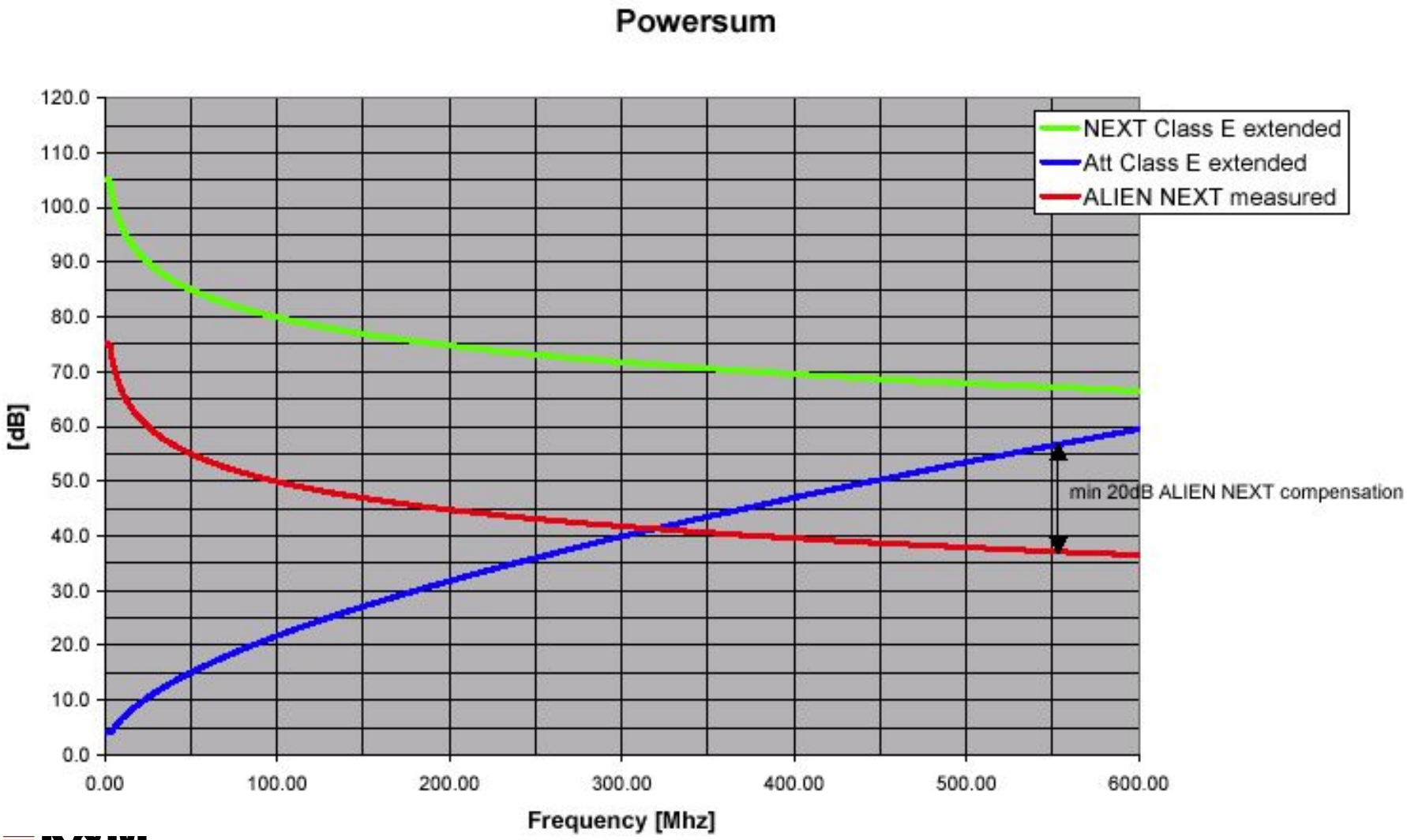
- Показывает эффективность экранирования
- Высокочастотное сопротивление экрана
- Только лабораторная величина
- Невозможно измерить сопротивление в инсталлированной системе
- Хорошее экранирование от электромагнитных полей: Хороший контакт экрана с компонентами --> низкое сопротивление по постоянному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

Alien Crosstalk

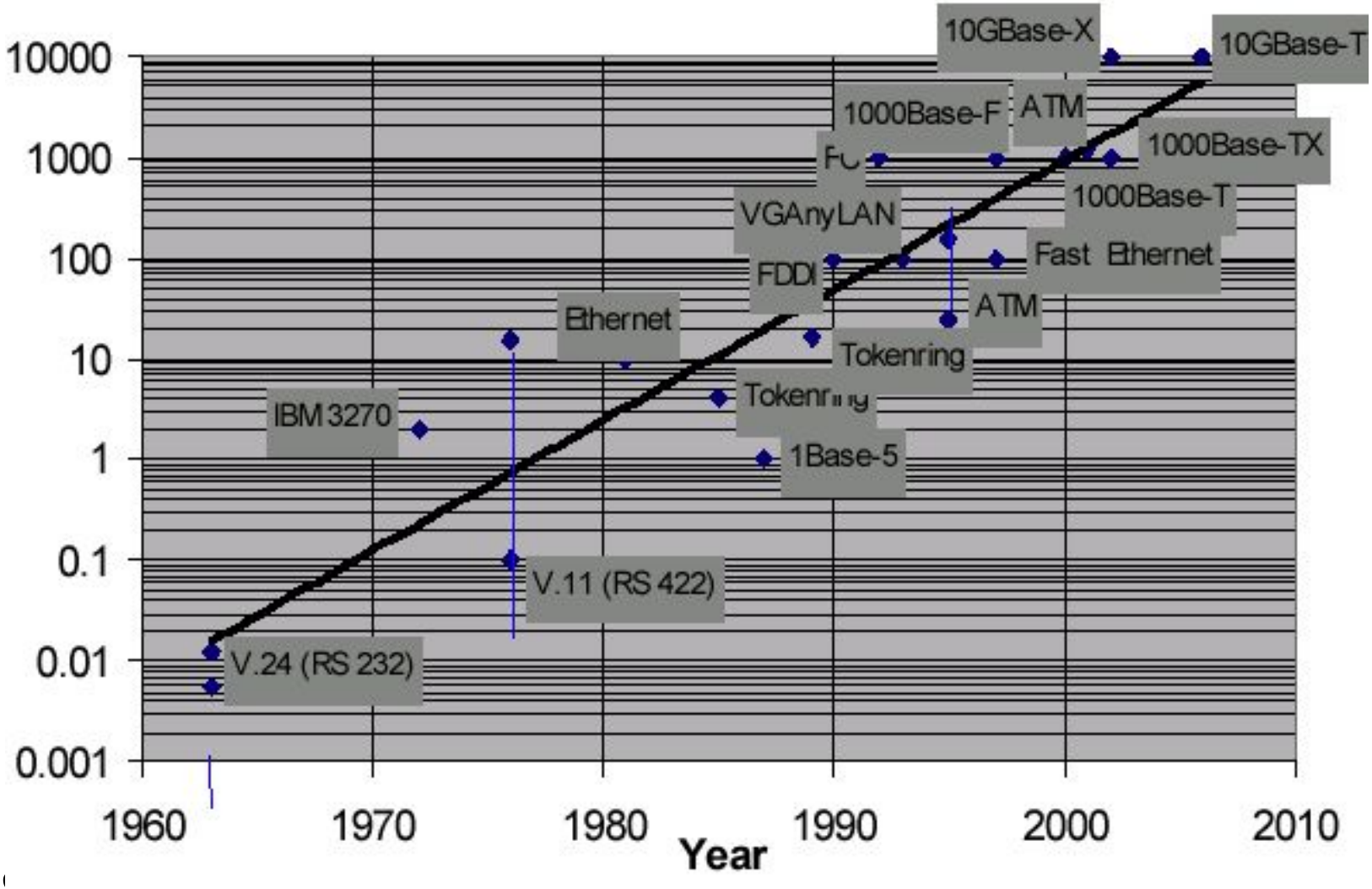
- Когда кабели расположены вплотную наводка с одного из них оказывает влияние на другой. Этот эффект называется внешней перекрестной наводкой.
- Особенно значимым является для кабелей UTP, связанных в пучки длиннее 15 м.
- Этот эффект нельзя предсказать и компенсировать электроникой.
- Большая сложность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



Alien Crosstalk



Увеличение скоростей передачи



Convincing cabling solutions

Измерения

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

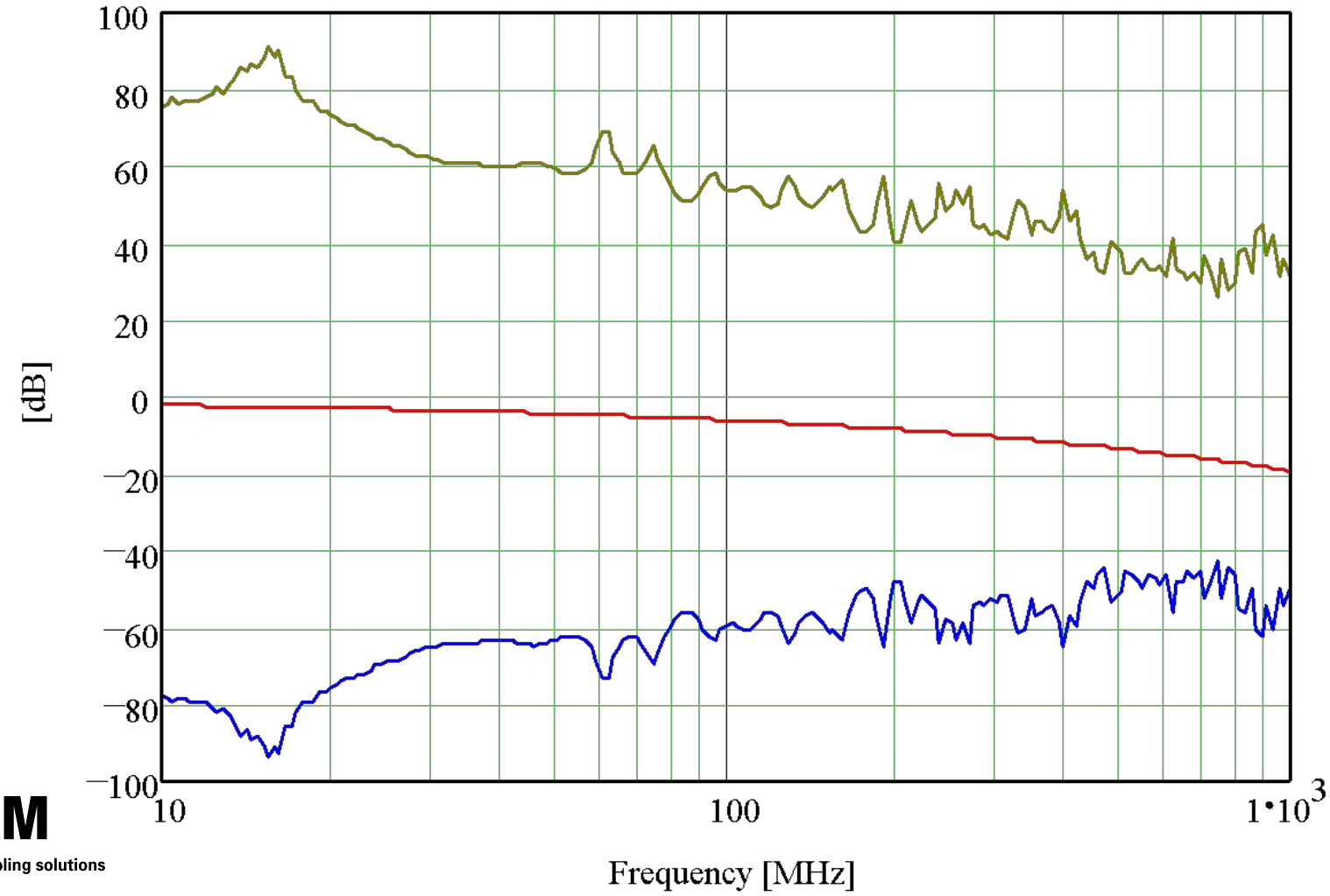
Типы кабелей

- 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

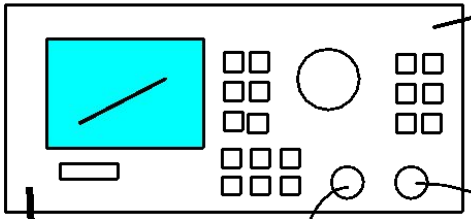


R&M
Convincing cabling solutions

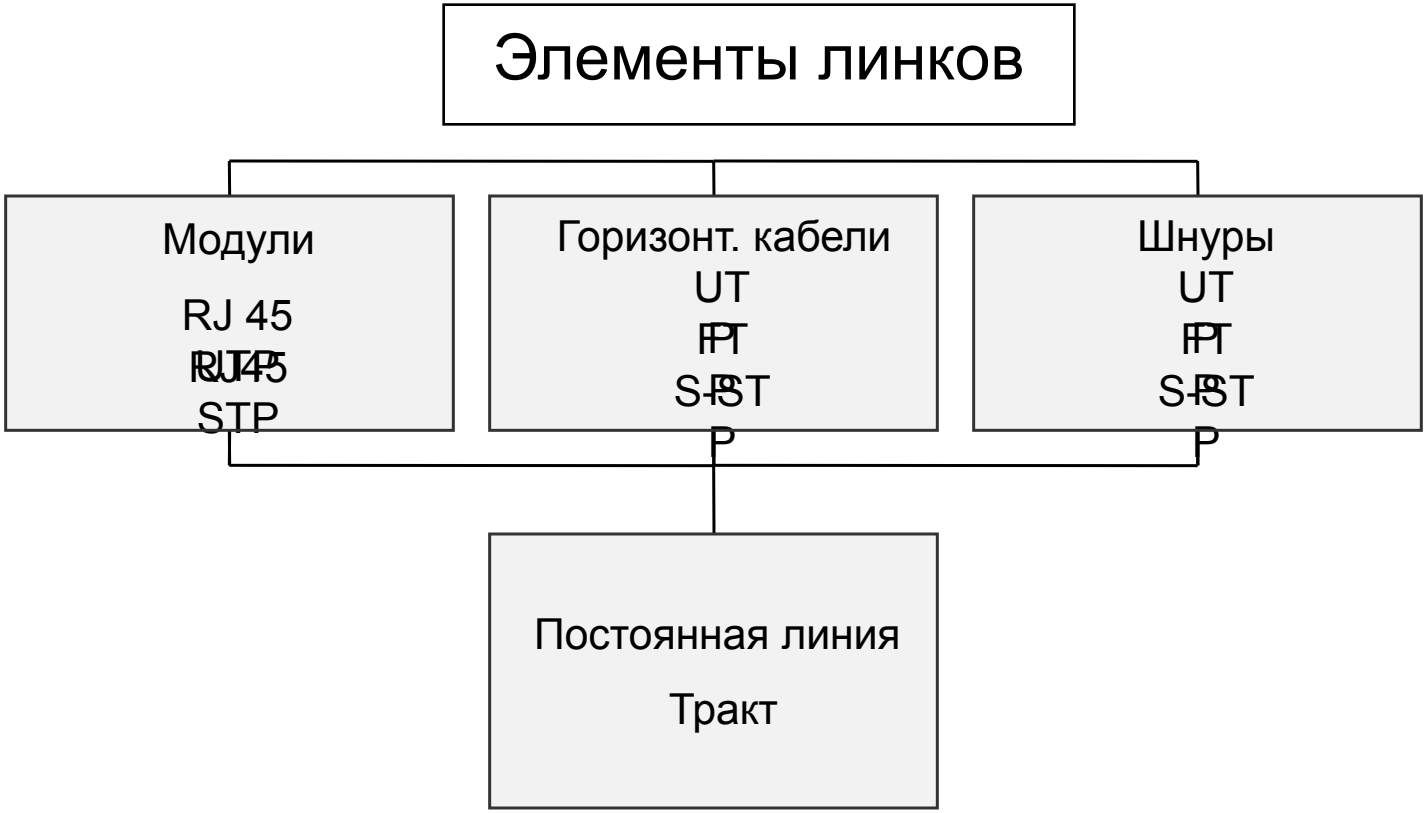
Типичные ошибки?

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

Метод измерения компонентов



Измерения


Элементы линков
Модули
RJ 45
RJ 45
STP
Горизонт. кабели
UTP
FTP
S-ST
P
Шнуры
UTP
FTP
S-ST
P
Постоянная линия
Тракт

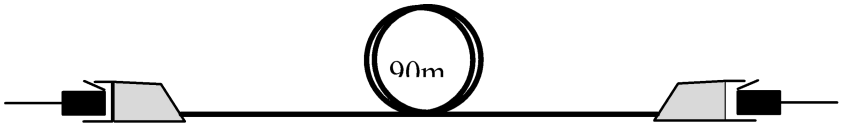
Параметры компонентов

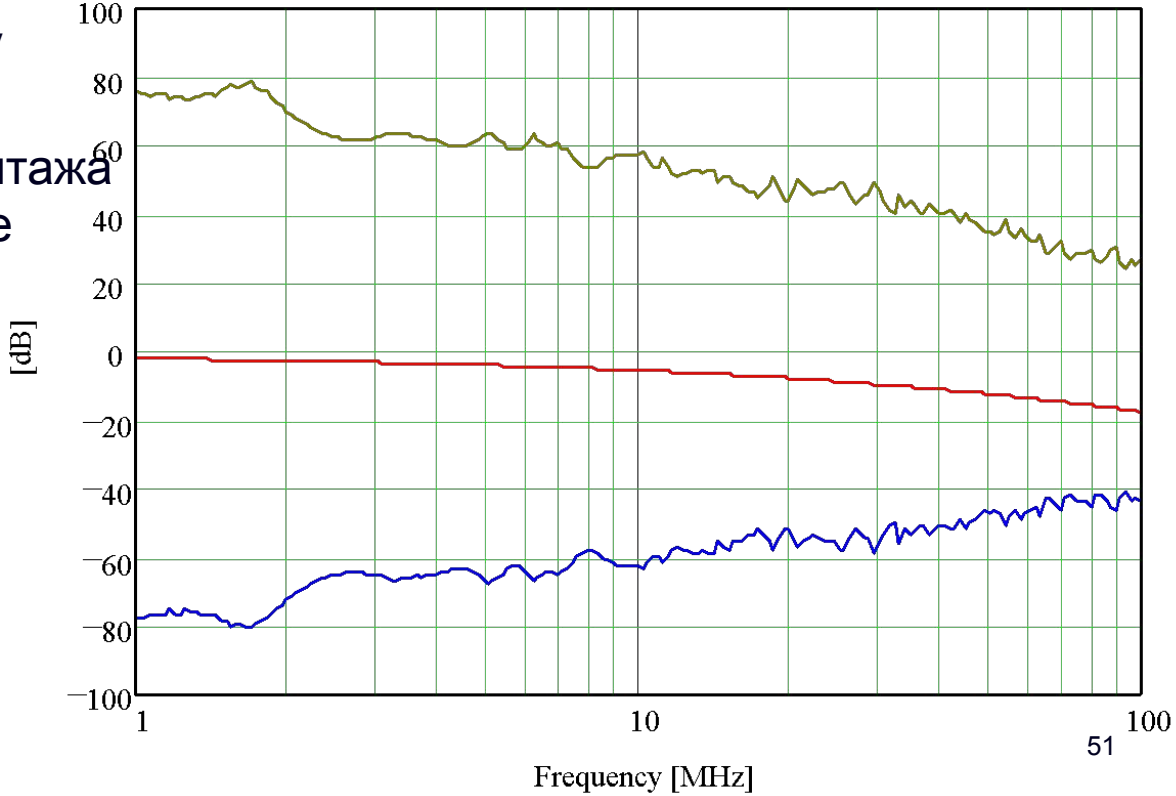
- **Коннектор**
- Затухание
  - < 0.4 dB на 100 MHz Кат.5
  - < 0.2 dB на 100 MHz Кат.6
  - < 0.32 dB на 250 MHz Кат.6
- NEXT
  - > 45dB на 100 MHz Кат.5e
  - > 54dB на 100 MHz Кат.6
  - > 46dB на 250 MHz Кат.6

- **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 (0.14mm2) 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

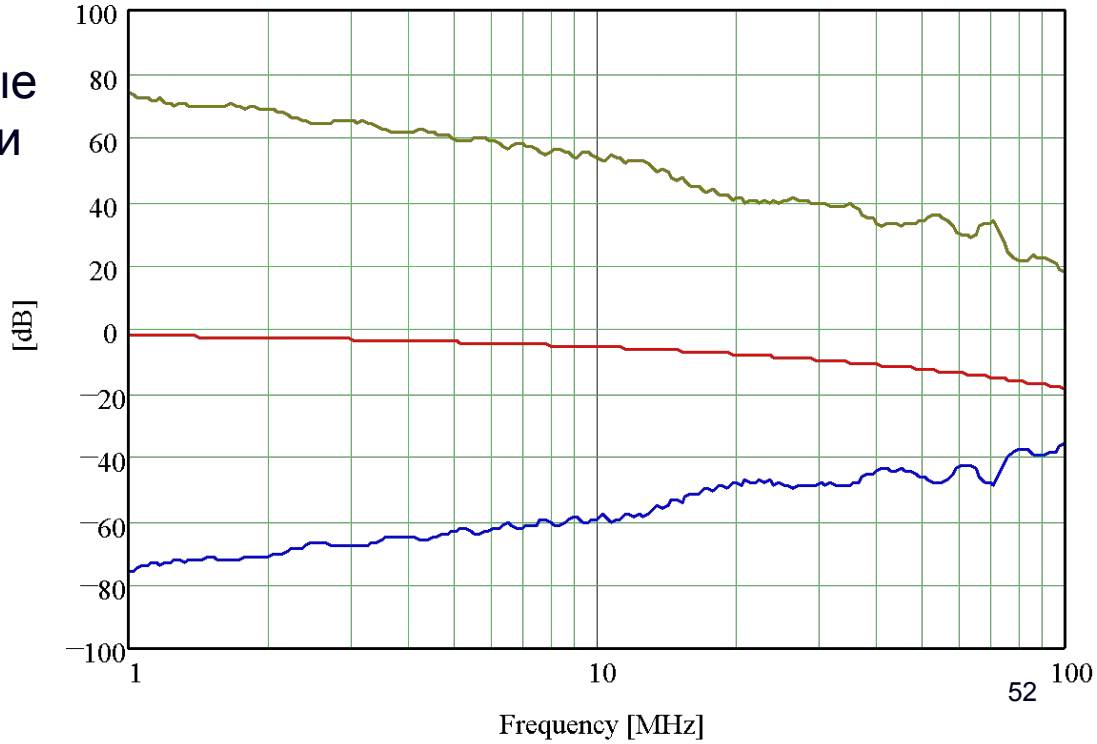




R&M
Convincing cabling solutions

Тракт (интерконнект)

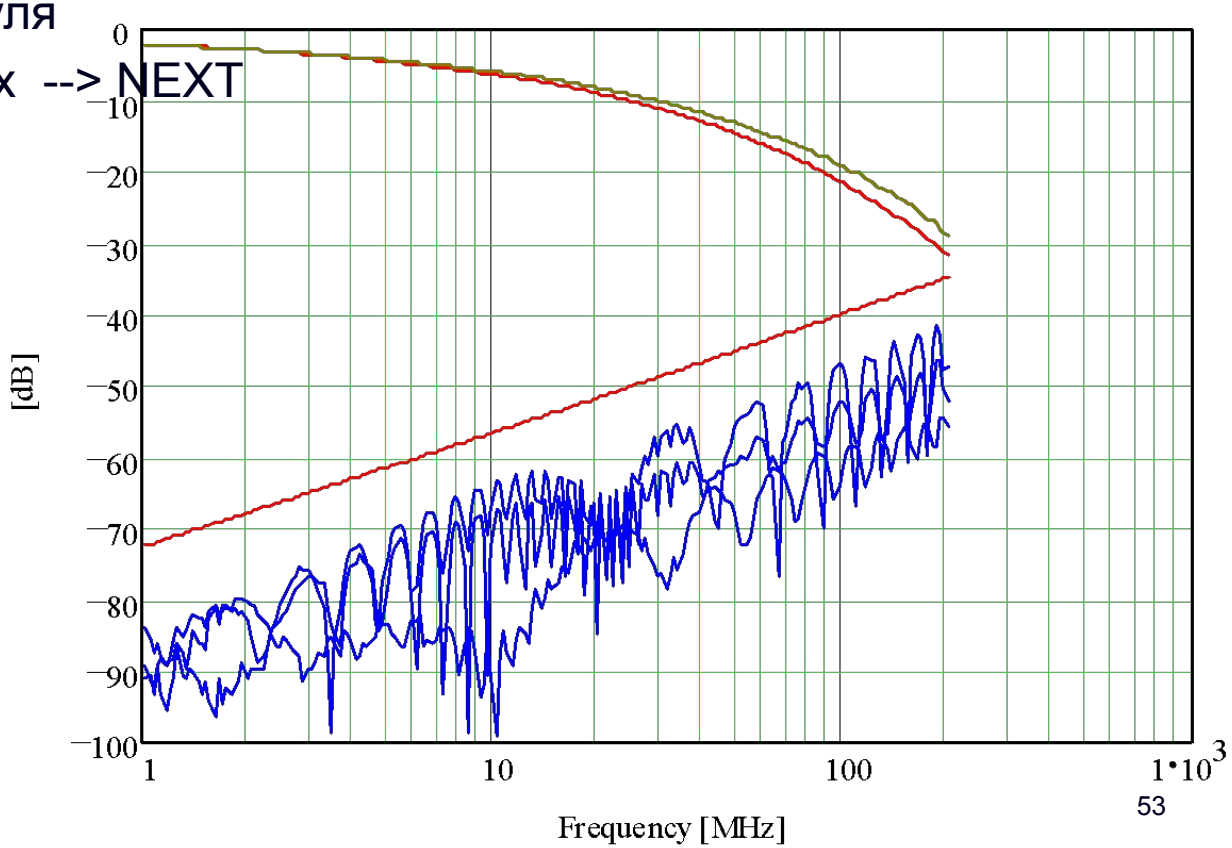
- Горизонтальный кабель S-STP
- Коммутационный шнур S-FTP
- Коммутационный шнур и разъемы влияют на тракт
- Качественные горизонтальные кабели, плохие коммутационные шнуры --> выброшенные деньги
- Для всех типов кабелей
- Показан худший случай



R&M
Convincing cabling solutions

Тракт

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



R&M
Convincing cabling solutions

Тестирование коммутационных шнуров

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