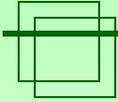




Технологии построения локальных компьютерных сетей



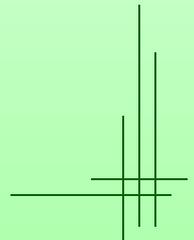
Кафедра обработки и передачи дискретных сообщений

Разработка: студентка СК-34 Романова В.А.
к.т.н. Бородко А.В.

Литература для подготовки к экзамену:

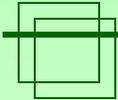
<http://www.citforum.ru/>

<http://www.osp.ru/>

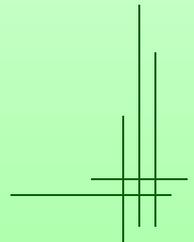




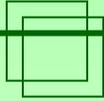
Содержание



- Лекция 1. Стандарты и стеки протоколов, Семиуровневая модель OSI
- Лекция 2. Топология вычислительной сети и методы доступа
- Лекция 3. ЛВС и компоненты ЛВС
- Лекция 4. Физическая среда передачи данных
 - Тема 1. Типы кабелей и структурированные кабельные системы
 - Тема 2. Оптоволоконный кабель
- Лекция 5. Сетевое оборудование Лекция 5. Сетевое оборудование Ethernet



Лекция 1. Стандарты и стеки протоколов, семиуровневая модель OSI



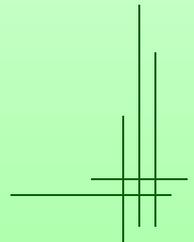
Стандарты, их роль

Стандарты -- правила для производителей. Назначение: обеспечить совместимость продукции.

Открытые системы: многоплатформенность (гетерогенность), открытость, переносимость, совместимость.

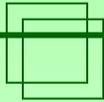
Множество организаций, выпускающих стандарты (ГОСТ и ТУ), комитеты, консорциумы, сообщества.

Лицензирование, General Public License.





Разработчики стандартов



- **American National Standards Institute**

коммуникации: коды, алфавиты, сигнальные схемы;
микрокомпьютеры: языки программирования, SCSI, драйвера ansi.sys;
осн. стандарты и спецификации: интерфейс Token Ring, CSMA/CD,
SQL, алгоритмы шифрования.

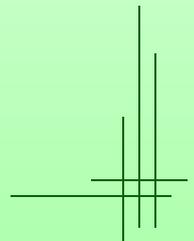
- **Common Open Software Environment**

разработка общей рабочей Unix-среды. В консорциум входят IBM, HP,
SunSoft, Novell.

- **ITU - International Telecommunications Union (Comite
Consultatif Internationale de Telegraphie et Telephonie)**

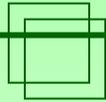
Протоколы ITU-T (ССИТТ - МККТТ - рус.) относятся к модемам,
сетям, передаче факсимильных сообщений.

15 исследовательских групп: А и В – раб. процедуры, термины и
определения, I – ISDN, К и L – защита оборудования, R-U –
терминальные и телеграфные услуги, V – передача данных по
телефонным сетям, X – сети передачи данных.



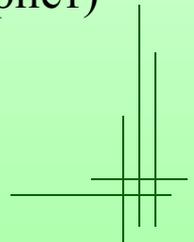


Разработчики стандартов



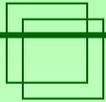
• ITU-T (продолжение)

- v.22 – полнодуплексная модемная передача 1200 бит/с,
- v.22bis – 2400 бит/с
- v.28 – стандарт интерфейса RS-232
- v.32 – асинхр. и синхронная передача 4800-9600 бит/с,
- v.32bis – до 14400
- v.35 – высокоскоростная передача по комбинированным цепям.
- v.42 – проверка ошибок
- v.42bis – сжатие данных
- v.terbo – 19200 бит/с
- v.34 – 28800 бит/с, v.34+ – до 33600 бит/с
- x2, k56flex → v.90, v.92 – до 56кбит/с (асимметричные)
- X.200 (ISO 7498) – эталонная модель OSI
- X.25 (ISO 7776) – сети с коммутацией пакетов
- X.400 (ISO 10021) – обмен сообщениями (электронная почта, не Интернет)
- X.500 (ISO 9594) – служба каталогов
- X.700 (ISO 9595) – Common Management Information Protocol





Разработчики стандартов



- **Electronic Industries Association**

1924год. RS-232 - стандарт последовательного соединения с помощью разъемов DB-9 и DB-25 и макс длиной кабеля 15 метров. Определяется соединение между DTE (терминальное оборудование) и DCE (data communication equipment).

- **Institute of Electrical and Electronic Engineers**

Комитеты, 802 (февраль 1980) (до 802.17)

802.1 – взаимодействие сетей

802.2 – управление логической связью

802.3 – CSMA/CD-сеть (Ethernet)

802.4 – сеть Token Bus

802.5 – сеть Token Ring

802.6 – Metropolitan Area Network

802.7 – широкополосная передача

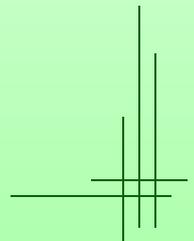
802.8 – оптоволоконная технология

802.9 – интегрированные сети передачи речи/данных

802.10 – безопасность сети

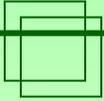
802.11 – беспроводные сети

802.12 – сеть с доступом по приоритету запроса (100VG-AnyLAN)





Разработчики стандартов



- **International Standards Organization**

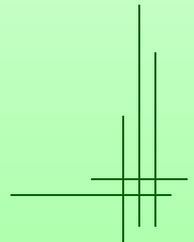
Идеальная модель взаимодействия открытых систем (Open Systems Interconnection Reference Model, OSI/RM)

- **Open Software Foundation**

создает программные среды, объединяя технологии разл. производителей. Unix-подобная ОС - OSF/1, OSF/Motif - граф. интерфейс.

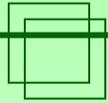
- **SQL Access Group**

совместно с ISO разрабатывает стандарты, определяющие взаимодействие интерфейсных и прикладных систем (в архитектуре клиент-сервер)





Модель OSI/RM



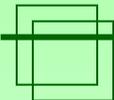
OSI/RM

1984 г. – OSI/RM – метод описания сетевых сред и открытых архитектур.

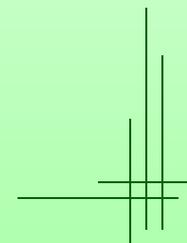
Цель: стандартизация и простота написания драйверов определенного уровня, возможность организации стеков протоколов.



Уровни в модели OSI/RM

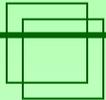


прикладной	Общий доступ к сети, поток данных, Ex: telnet.
представления данных	Определяет формат для обмена данными (переводчик), перевод данных свыше в общепринятый стандарт, шифрование, смена кодовой таблицы, сжатие данных.
сеансовый	Установление, использование и завершение сеанса связи, распознавание имен и защита, расстановка checkpoints, чтоб в случае неудачной передачи начинать с плохого места, некорректное завершение сеанса.
транспортный	Гарантирует доставку пакетов без ошибок, в той же последовательности, без потерь и дублирования. Переупаковка пакетов: длинные разбиваются, короткие объединяются. Сигнал подтверждения приема.





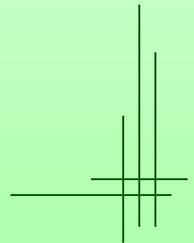
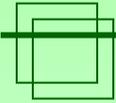
Уровни в модели OSI/RM



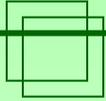
сетевой	Адресация и маршрутизация в глобальных сетях. На основании конкретных сетевых условий, приоритета услуги определяется маршрут пакета. Коммутация пакетов, маршрутизация, перегрузки. Деление на более мелкие пакеты, если адаптер компьютера не может передавать пакеты поступившей длины. Принимающая сторона их обратно соберет.
канальный	Передача кадров с сетевого в среду передачи (паралл. в послед. и наоборот), иногда спец. кодирование. Кадр содержит: адреса получателя и отправителя, управляющую инфу (данные о верхнем уровне), данные и CRC поле. Сетевой уровень считает передачу данных безошибочной.
физический	Сырой поток битов. Электрический, оптический, механический (разъемы) и функциональный (способ передачи данных) интерфейсы сетевой платы с кабелем. Устанавливается длительность передачи каждого бита и правила перевода его в эл.- и опти- сигналы.



OSI и архитектура компьютеров



OSI и IEEE Project 802



В соответствии с расширением OSI/RM канальный уровень делится на два подуровня:

LLC - Logical Link Control (подуровень управления логической связью)

MAC - Medium Access Control (контроль доступа к среде передачи)

Различия у сетевых архитектур находятся на канальном (MAC-подуровень) и физическом уровнях.

Project 802 разрабатывался для канального и физического уровней.

LLC:

– 802.2,

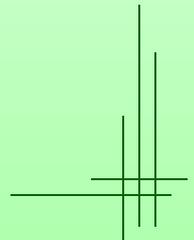
MAC:

– 802.3 (CSMA/CD),

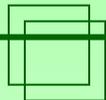
– 802.4 (шинная сеть с передачей маркера),

– 802.5 (кольцо с передачей маркера),

– 802.12 (по приоритету доступа).



Структура пакетов (кадров)

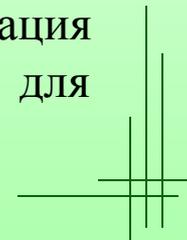


Название порций данных для различных уровней:
прикладной - поток байт (бит),
транспортный - сегмент данных,
сетевой - пакет,
канальный - кадр.

Перед подачей в сеть все данные разбиваются на пакеты. На каждом уровне к пакету добавляется доп. форматирующая или адресная информация. На принимающей стороне по мере поднимания пакета по уровням эта информация отсекается.

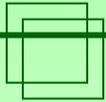
Сетевая карта обеспечивает формирование пакетов (→ пакет → пакет → пакет →), их передачу и сбор с контролем ошибок.

Основные компоненты пакета: адрес источника, адрес места назначения, передаваемые данные, инструкции о дальнейшем маршруте, информация по сбору фрагментированного пакета из кадров, информация для коррекции ошибок передачи.





Структура пакетов (кадров)



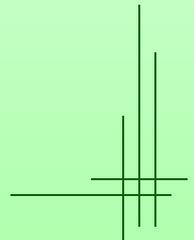
Разделы:

заголовок (сигнал о самом факте передачи пакета, адреса источника и получателя, инфа, синхронизирующая передачу),

данные (от 512 байт до 4кб),

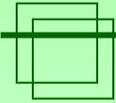
трейлер (CRC поле, после получения также вычисляется контрольная сумма и сравнивается с исходной).

Преамбула кадра	Заголовки шести уровней	Данные	Трейлер канального уровня
--------------------	----------------------------	--------	------------------------------

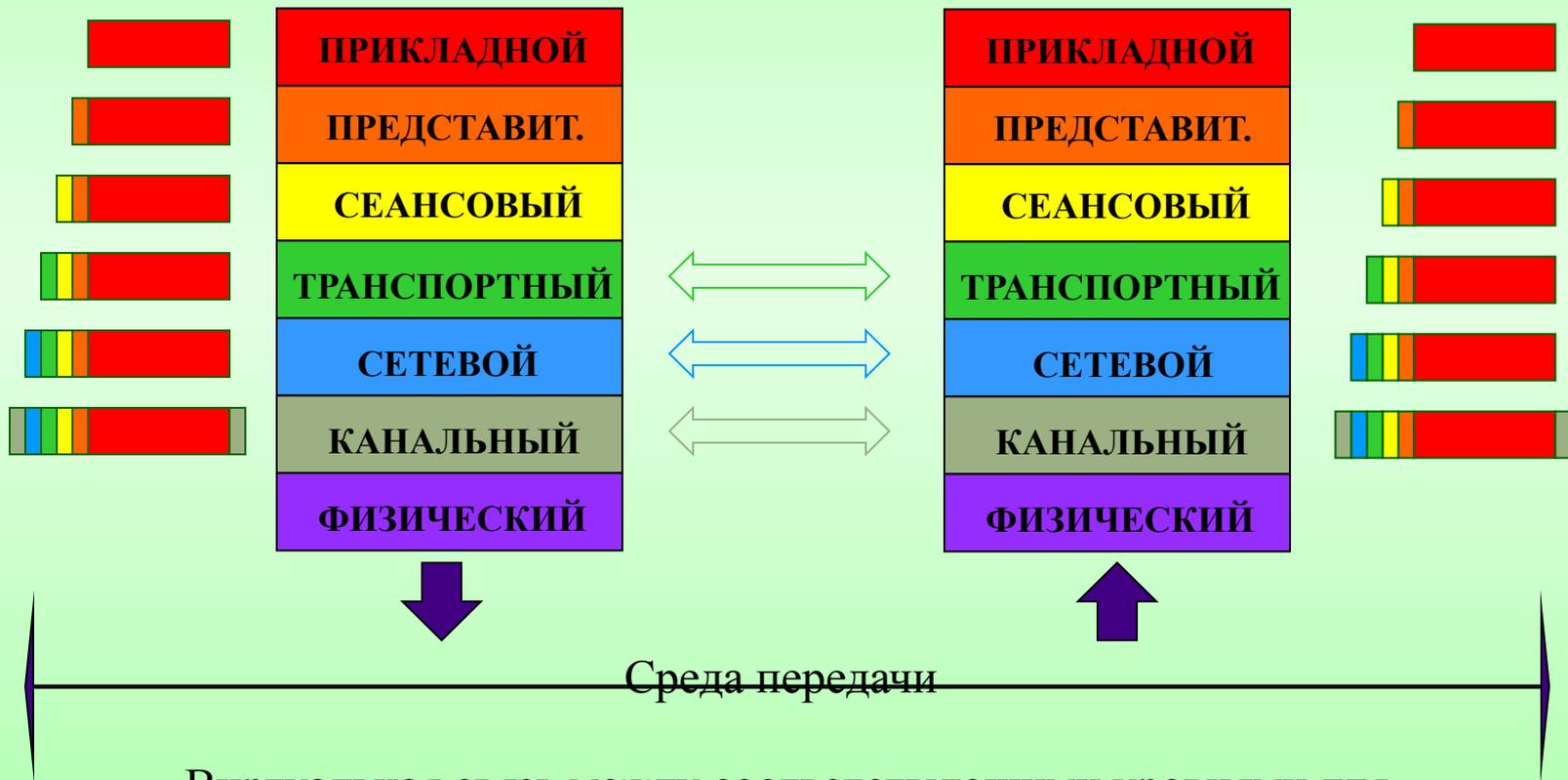




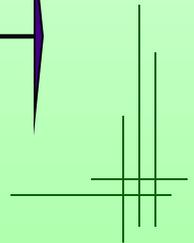
Передача данных по сети



Формирование пакета происходит последовательно на всех уровнях, при получении пакета – отсечение.

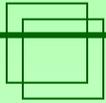


Виртуальная связь между соответствующими уровнями для удаленных машин (прозрачное взаимодействие на нижних уровнях).





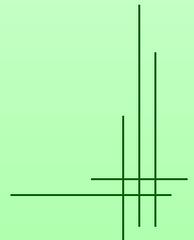
Протоколы



Протоколы – набор правил и процедур, регулирующих порядок осуществления некоторой связи.

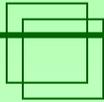
- 1) Их много. Есть преимущества и недостатки.
- 2) Работают на разных уровнях OSI RM. Если, например, протокол работает на физ. уровне, значит, он обеспечивает прохождение пакетов через плату адаптера в сетевой кабель.
- 3) Несколько протоколов могут работать совместно (стек).

Маршрутизируемые и не маршрутизируемые протоколы.





Стеки протоколов



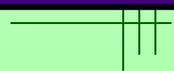
Уровень OSI/RM	Apple Computer	DECnet	Microsoft Networking	Novell Netware	TCP/IP Internet	Xerox XNS
Прикладн.	Прикладные программы, напр. почтовый клиент, веб-сервер, сетевые утилиты					
Представл.	AppleTalk Filling Protocol	Network Application	Server Message Block	Netware Core Protocols	Telnet, SMTP, FTP, HTTP... TCP UDP	Control and Process Interaction
Сеансовый	AppleTalk Session Protocol	Session	NetBIOS	NetBIOS		
Транспорт.	AppleTalk Transaction Protocol	End Communications	NetBEUI	Sequenced Packet Exchange		Sequenced Packet Protocol
Сетевой	Datagram Delivery Protocol	Routing		Internet Packet Exchange	Internet Protocol (IP)	Internet Datagram Protocol
Канальный	Сетевые архитектуры: Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM, LocalTalk, др.					
Физическ.	Среда передачи: витая пара, оптоволокно, радиоволны...					



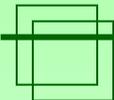
Лекции



Практика



Стеки протоколов



TCP/IP (Transmission Control Protocol / internet Protocol) – стандарт для гетерогенных сетей, популярный межсетевой протокол, спец. разработанные для него протоколы SMTP, FTP, SNMP. Недостатки – большой размер и неторопливость. Проблемы с нехваткой IP адресов

NetBEUI (Network Basic Extended User Interface) – связан с NetBIOS (IBM интерфейс сеансового уровня с ЛВС), а сам NetBEUI – трансп. протокол Микрософта. Небольшой, быстрый, эффективный. Не поддерживает маршрутизацию.

X.25 – сети с коммутацией пакетов, полное соответствие OSI/RM.

XNS – Xerox Network System. Большой и медленный, много широковещательных пакетов.

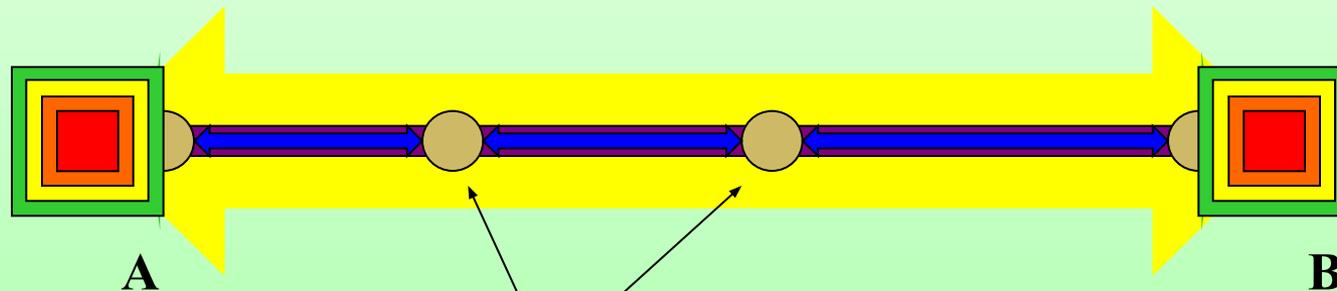
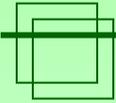
IPX/SPX и **NWLink** (реализация от Microsoft) – наследник XNS, небольшой и достаточно быстрый.

DECnet – собственный стек маршрутизируемых протоколов, на нем впоследствии вырос И-нет, т.к. он ставился на VAX (Virtual Address Extension) машины с операционной системой VMS.

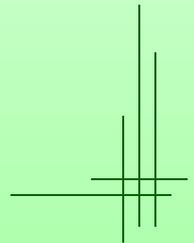
Набор протоколов OSI



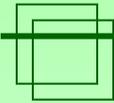
Взаимодействие в глоб. сетях



устройства сетевого уровня



Лекция 2. Топология вычислительной сети и методы доступа



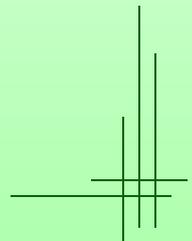
Типы сетей

Типы сетей

- а) одноранговая,
 - б) на основе сервера,
 - в) комбинированные сети.
- а) рабочая группа <10 чел., низкая стоимость, ОСистемы - Win95, 98..., вопросы сетевой защиты не критичны, расширения не планируются, подготовка пользователя-администратора.
 - б) специализированные серверы: файл- и принт-серверы, серверы приложений (посылают только данные на запрос), почтовые, факс- и коммуникационные серверы. Разделение ресурсов, защита (1000 и более пользователей), избыточность данных, резервное копирование, требуются более производительные компьютеры.

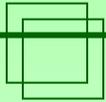
Узкие места в архитектуре компьютеров и сетевом общении (2002-2004 годы - наблюдается баланс между тремя этими подсистемами):

- центральный процессор
- жесткий диск (устройства ввода-вывода)
- сетевая карта





Топологии сетей, шина



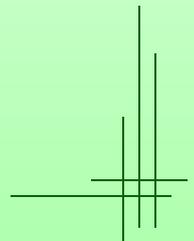
Физическая (по схеме подсоединения кабелей между коммуникационными устройствами, физическому расположению компонентов сети) и **логическая топологии** (по схеме доступа к среде передачи, процедуре и порядку общения между устройствами).

Базовые топологии:

Шина (пассивная технология, компьютеры прослушивают сеть, ничего не транслируя и перемещая по сети, выбирают сами момент для передачи в общую для всех станций среду, обрабатывает кадр только компьютер, которому предназначены данные).

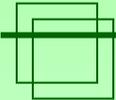
Физические аспекты распространения сигналов в кабельной системе: отражение (терминатор), затухание (репитер), при нарушении целостности сети трудно локализовать проблемы.

Пример: Ethernet, построенный на коаксиальном кабеле (одновременно шинная топология физически и логически).

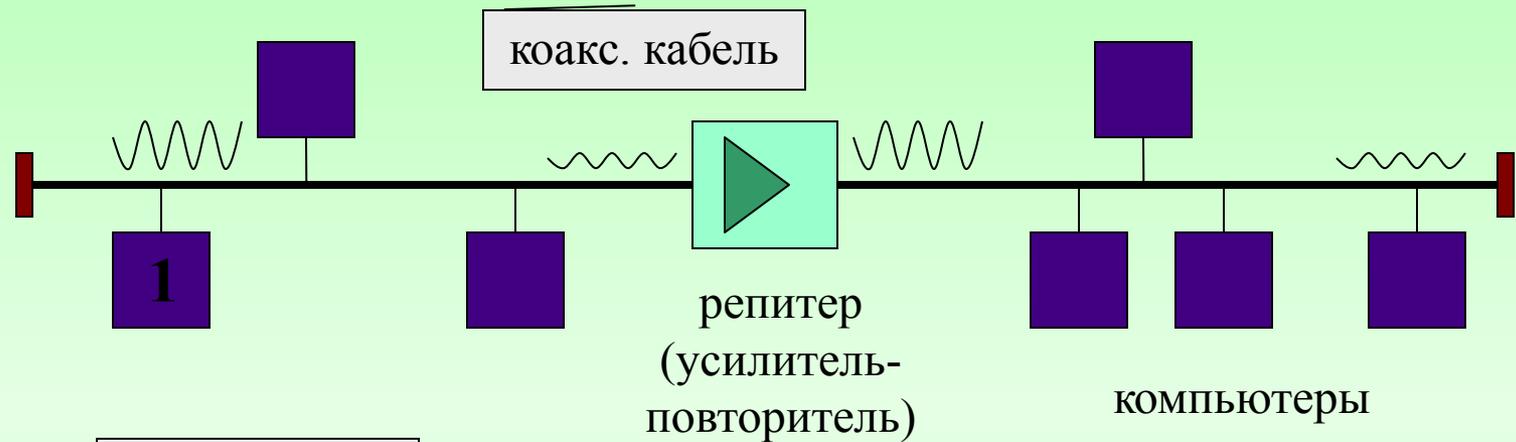




Топология шина (Ethernet)

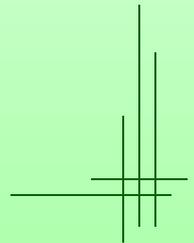
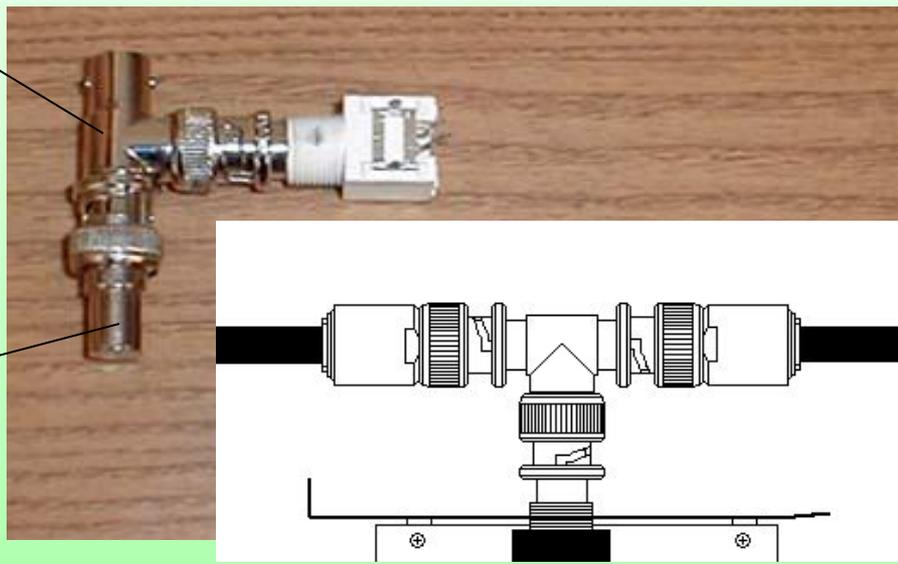


Посланный в сеть сигнал получают **все** станции почти одновременно

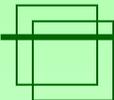


BNC
коннектор

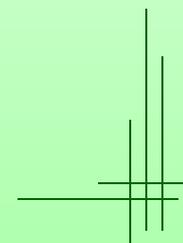
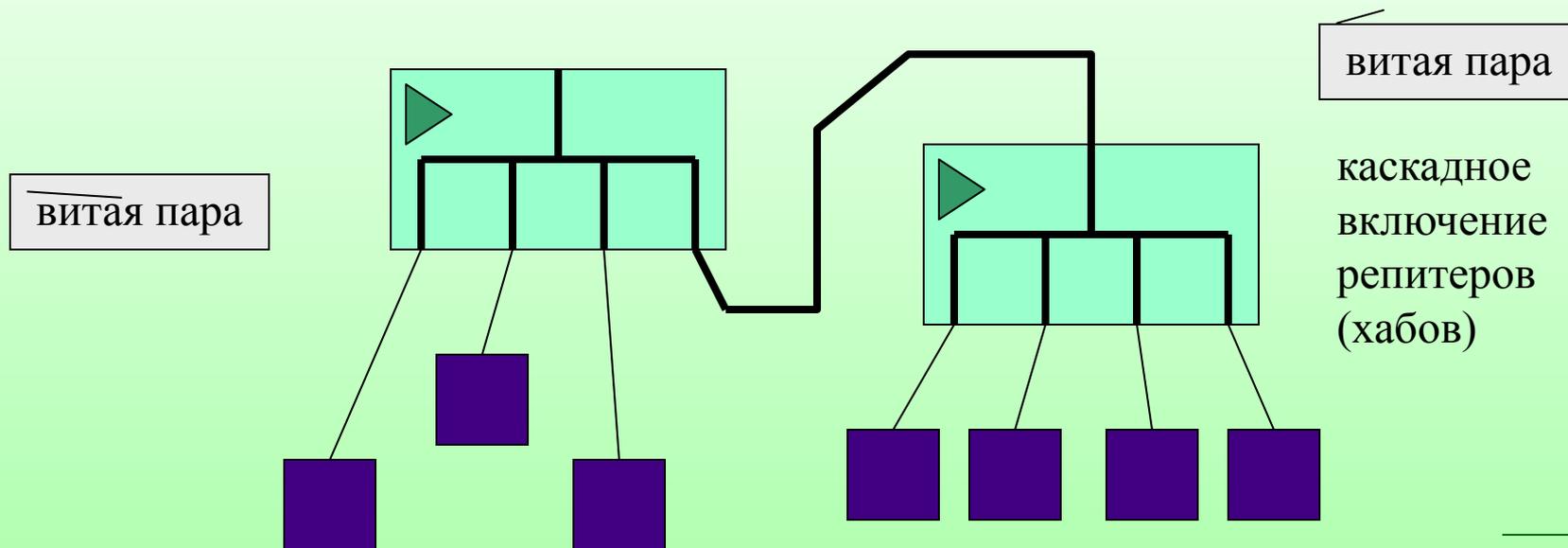
терминатор



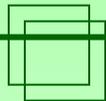
Топология звезда (Ethernet)



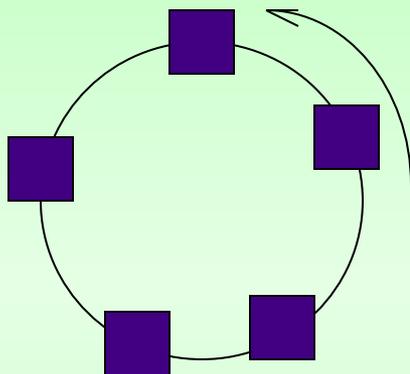
Звезда: концентратор (активные с питанием и пассивные хабы), лишний расход кабеля, возможность отключения компьютеров от сети, простота расширения сети за счет каскадирования, использование различных портов для подключения кабелей разных типов, вытеснила физическую топологию шина.



Топология кольцо (Token Ring)

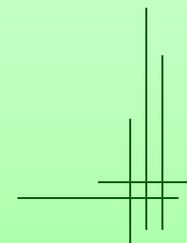
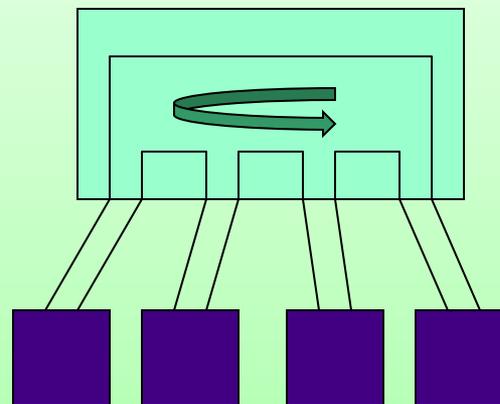


Кольцо: каждый компьютер в роли репитера (активность), передача маркера, сложнее локализовать проблемы кабельной системы.



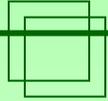
направление продвижения маркера и информационных кадров

На практике при монтаже сети с логической топологией кольцо применяется физическая топология звезда

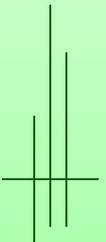
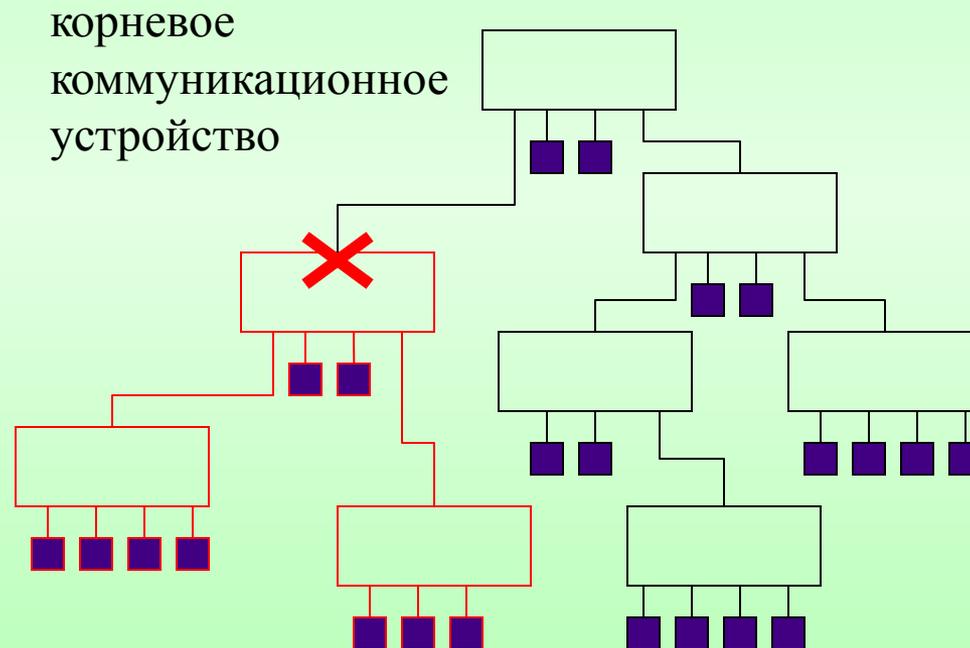




Иерархическая топология

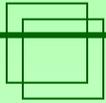


Иерархическая топология: устройство на высшем уровне иерархии управляет распространением трафика между устройствами низшего уровня иерархии. Отказ одного из управляющих устройств влечет за собой отказ всей нижеследующей ветки. Возможны перегрузки сети.



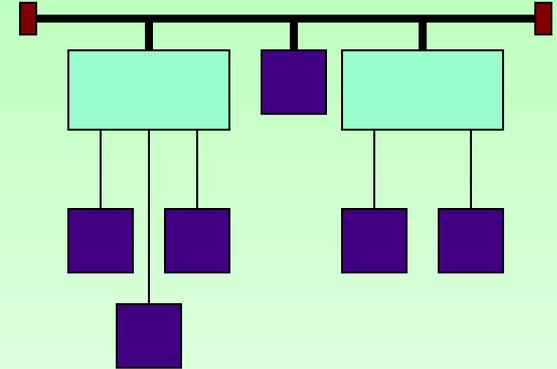


Другие топологии

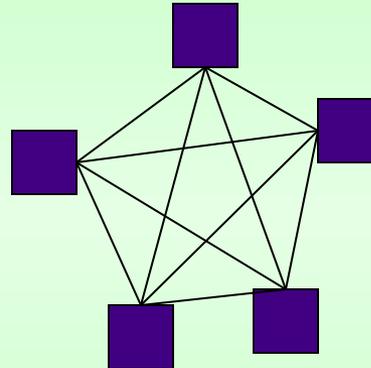


Комбинированные технологии: звезда-шина, звезда-кольцо.

Концентраторы соединены магистральной линейной шиной или используют звезду на основе главного концентратора.

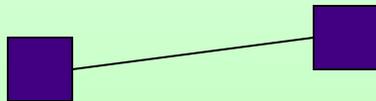


Сеть (mesh): все со всеми.

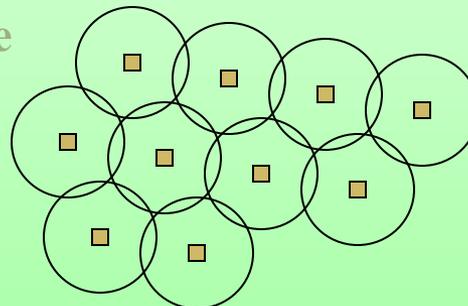


Спутниковая связь: один ко многим (не звезда)

Точка-точка (point-to-point): один к одному

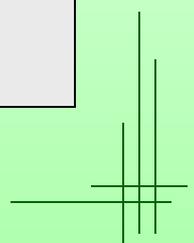


Соты (радиодоступ), мобильные сети: базовые станции часто связаны между собой обычными наземными каналами.



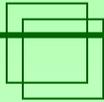
зона
покрытия
каждой базы

базовая
станция





Беспроводные сети



Способы передачи:

инфракрасное излучение (прямое, рассеянное, отраженное),

лазер (прямая видимость),

радиопередача в узком спектре (необходимо вкладывать большую мощность в одну частоту - помехи окружающим),

радиопередача в рассеянном спектре (в безлицензионном диапазоне)

а) Метод скачущей частоты (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)

Передача коротких серий данных на одной частоте, потом на другой, потом на третьей... Сложно декодировать (подслушать), приемник должен знать алгоритм перепрыгивания по частотам. Помехи друг другу, в результате, при совпадении частот у двух передатчиков они вынуждены будут снова передать небольшую серию.

б) Метод прямой последовательности (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)

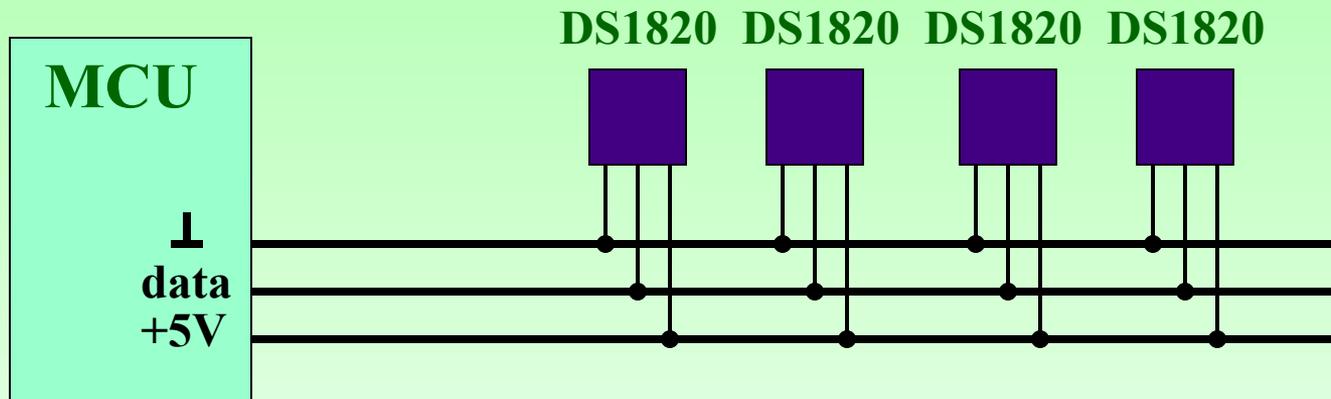
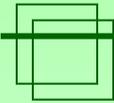
Каждый бит заменяется псевдослучайной последовательностью более 10 бит, таким образом повышается частота модулируемого сигнала, а сл. более размытый спектр. Псевдослучайность гарантирует "хорошее" размытие. Сигнал очень сложно декодировать, т.к. надо знать заранее этот алгоритм кодирования, а также из-за спектрального размытия сигнал очень похож на шум.

Напр., сначала "0" кодируется 0100011011, потом 0111101001 и т.д.





Вопрос

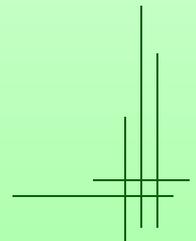


Дано:

1. Все устройства (например, датчики DS1820) подключаются параллельно по одним и тем же трем проводам к микроконтроллеру
2. Каждый датчик имеет свой собственный уникальный 8-байтовый идентификационный номер
3. Микроконтроллер последовательно опрашивает все датчики по возрастанию их номеров

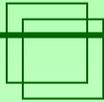
Вопрос:

Какова физическая и логическая топология в этом случае?





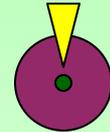
Кабельные системы



Коаксиальный кабель

Ethernet 10Base2,5 (устарел)

тонкий (185 м, BNC T-коннектор, баррел-коннектор, терминатор),
толстый (500 м, трансивер, к магистрали через AUI до 50м, зуб вампира,
DB-15, дороже, неудобнее работать).



Витая пара (экранированная, неэкранированная)

Shielded (Unshielded) Twisted Pair, STP, UTP

Категории UTP: **1** - телефонный кабель, **3** - 10Мбит/с, **5** - 100 Мбит/с, **6-7** - 1 Гбит/с.

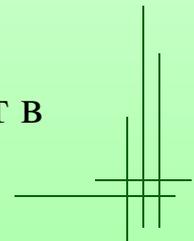
Везде по 4 витых пары кроме категорий 1 и 2, RJ-45 (кроме Gigabit Eth.).

STP (уменьшены перекрестные помехи, сл. более высокие скорости и дальние расстояния).

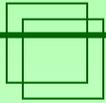


Оптоволокно, Fiber

Защита информации, неподверженность помехам. Жила, стеклянная оболочка, внешняя защитная оболочка. Эффект полного внутреннего отражения. Многомодовое, одномодовое. Обычно два оптоволоконка идут в паре (прямой, обратный). Теоретич. возможная скорость высока.



Лекция 3. ЛВС и компоненты ЛВС



Основными аппаратными компонентами сети являются следующие:

Абонентские системы:

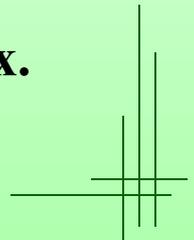
- компьютеры (рабочие станции или клиенты и серверы);
- принтеры;
- сканеры и др.

Сетевое оборудование:

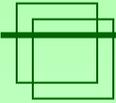
- сетевые адаптеры;
- концентраторы (хабы);
- мосты;
- маршрутизаторы и др.

Коммуникационные каналы:

- кабели;
- разъемы;
- устройства передачи и приема данных в беспроводных технологиях.



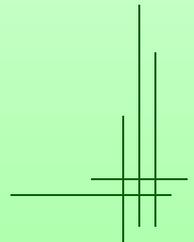
Лекция 4. Физическая среда передачи данных



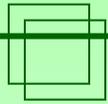
Тема 1. Типы кабелей и структурированные

кабельные системы

Тема 2. Оптоволоконный кабель



Тема 1. Типы кабелей и структурированные кабельные системы

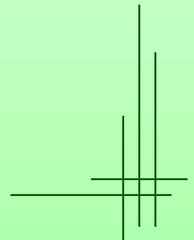


Витая пара

Витая пара - это изолированные проводники, попарно свитые между собой некоторое число раз на определенном отрезке длины, что требуется для уменьшения перекрестных наводок между проводниками.

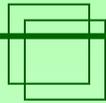
Параметры: диаметр жилы, шаг скрутки, диаметр изоляции, материал изоляции.

1990 год - стандартизована 3 категория витой пары. Шаг скрутки очень большой - неск. десятков сантиметров. Для кабелей 5 категории шаг скрутки разный для разных пар (напр. 13, 15, 20, 24 см.)

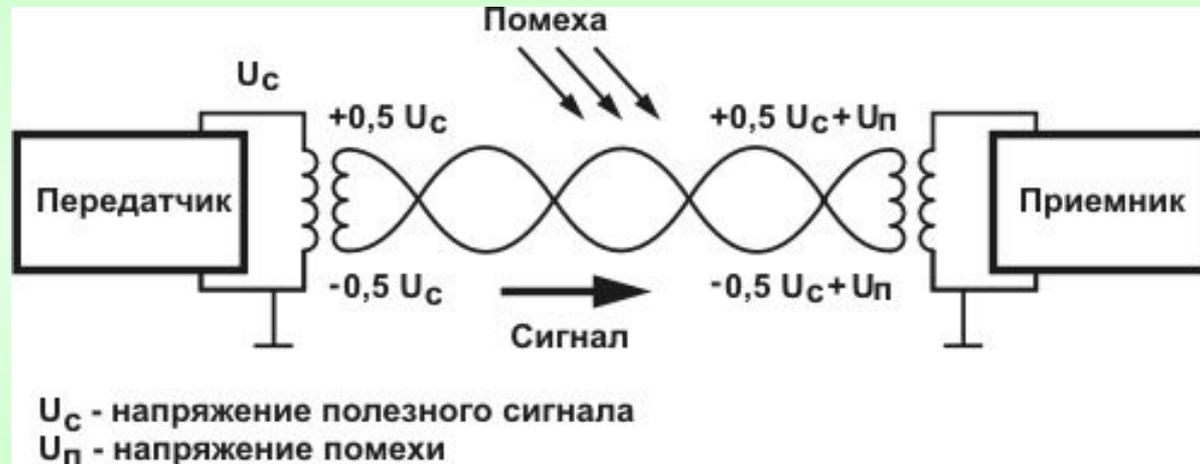




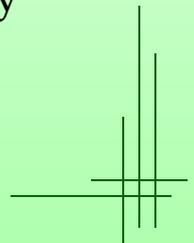
Витая пара, токовая развязка



Симметричная цепь, помеха синфазна, во вторичные обмотки приемника сигнал шума не передается, потому как на выходном трансформаторе напряжение на обмотке равно U_c (защита от ЭМ помех).

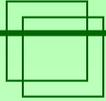


Но! Гальваническая развязка токовой петлей не подразумевает передачу постоянной составляющей сигнала.



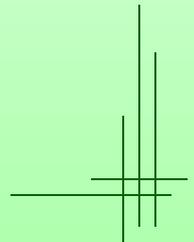


Витая пара, экранирование

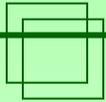


Экранирование применяется как для каждой витой пары, так и для всех пар вместе. Плетеные из медной проволоки экраны уменьшают низкочастотные помехи, а экраны из тонкой алюминиевой фольги гасят высокочастотную компоненту. Кроме этого, экран блокирует распространение в эфир ЭМВолн, генерируемых переменным электрическим сигналом в проводах.

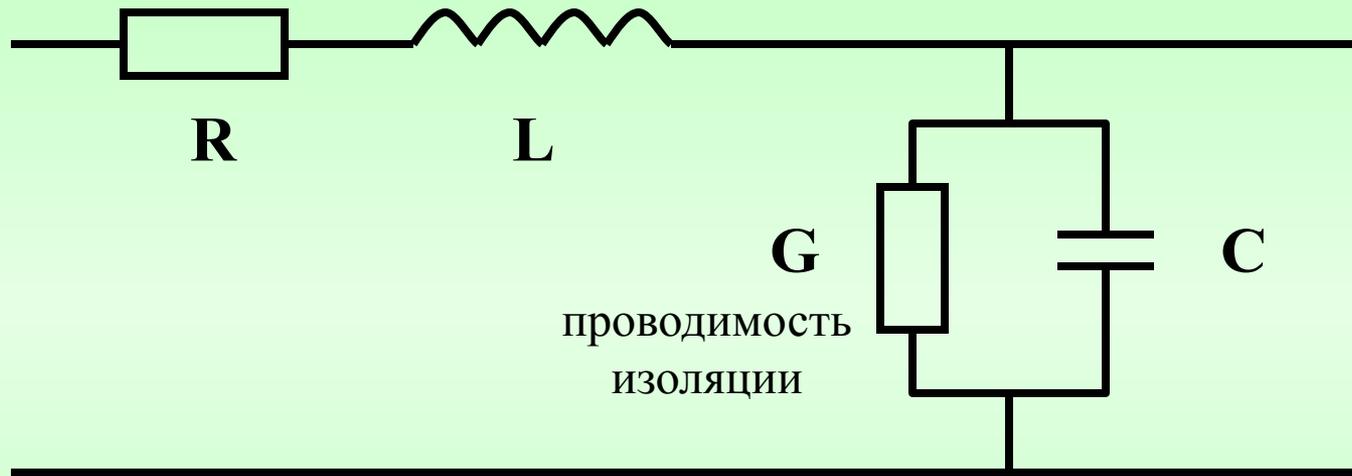
Но! Экранирование увеличивает емкость, а сл. затухание в кабеле, а также за счет отражения увеличивает перекрестные помехи между витыми парами.



Электрические характеристики



Упрощенная эквивалентная электрическая схема витой пары

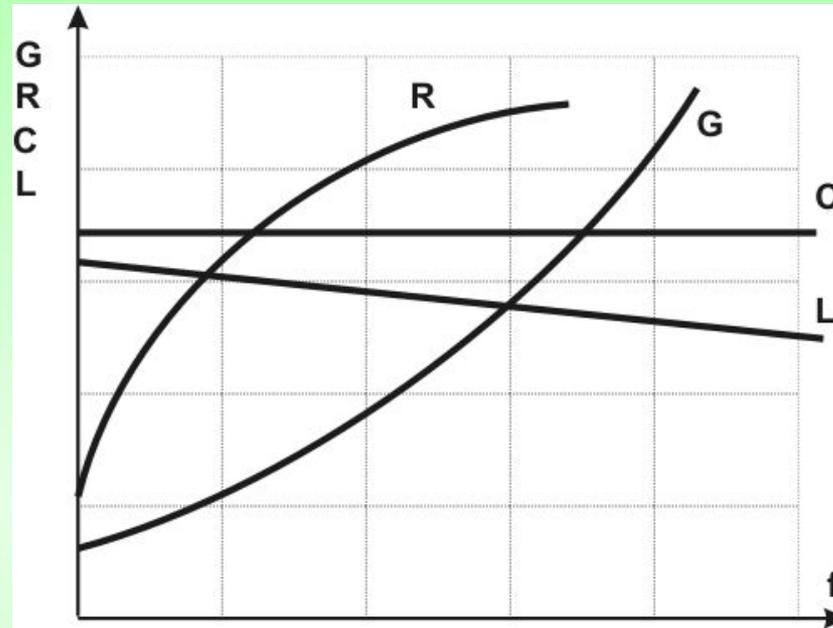
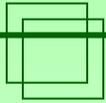


R , G определяют тепловые потери в меди и диэлектрике, L и C определяют частотные свойства кабеля.

R растет при увеличении частоты (ток идет в близости от другого проводника, а также вносит свою лепту скин-эффект, когда ток вытесняется на поверхность проводника).



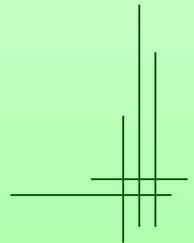
Электрические характеристики



Волновое сопротивление $Z = ((R + j\omega L) / (G + j\omega C))^{1/2}$, для высоких частот формула для Z упрощается:

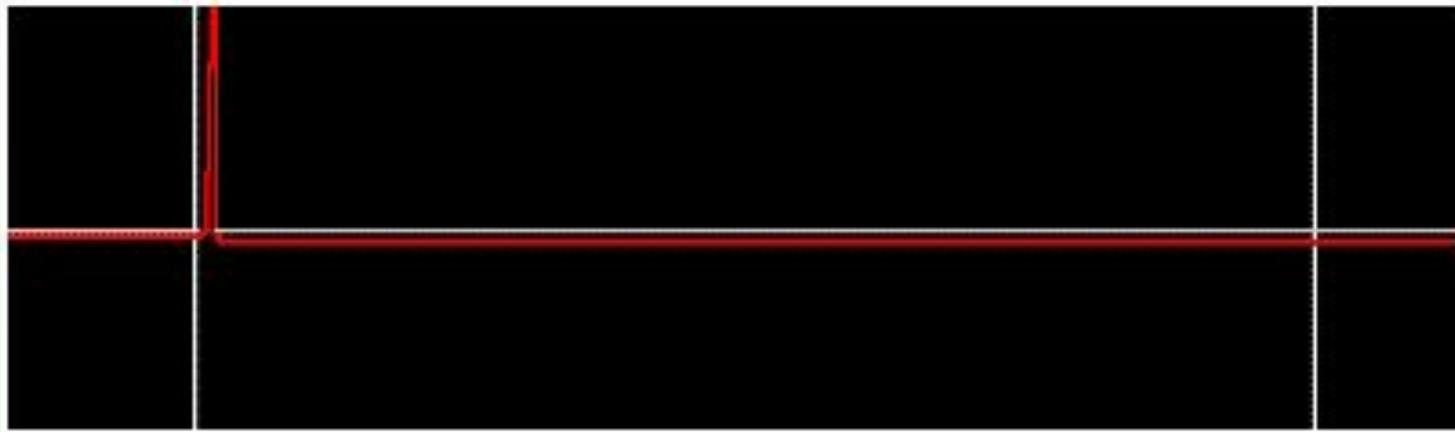
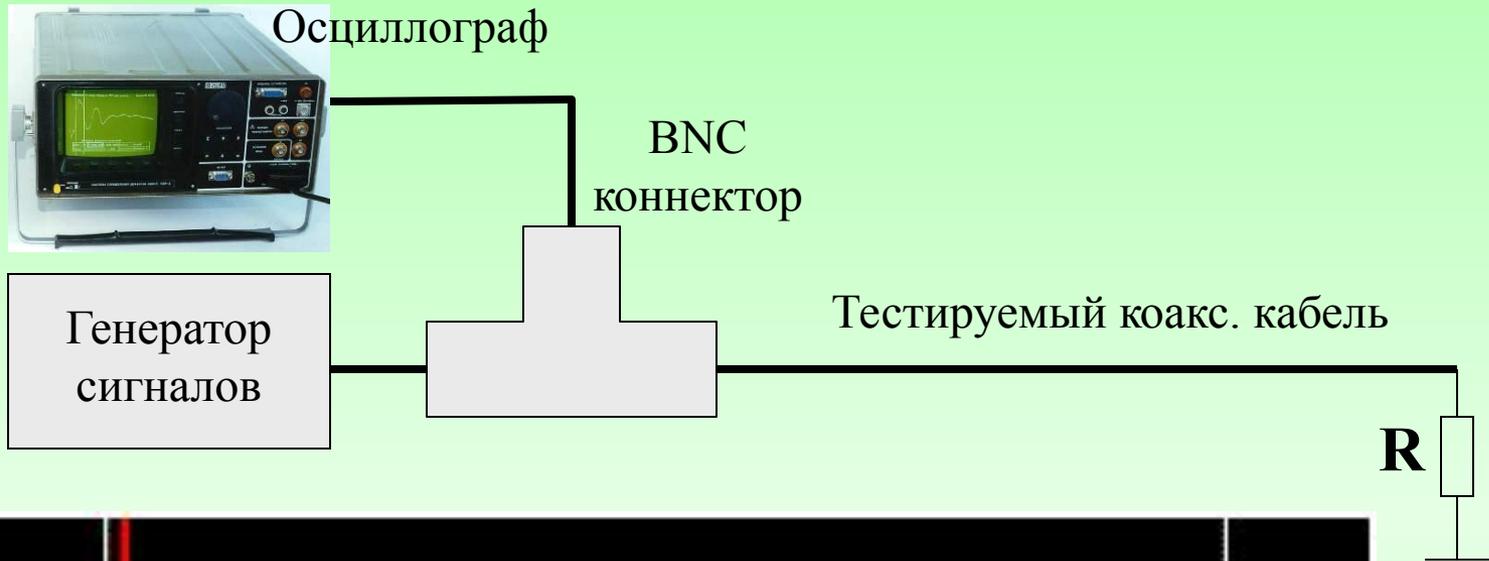
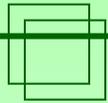
$$Z = (L/C)^{1/2}$$

В рабочем диапазоне частот для витой пары $Z = 100 \pm 15\%$ Ом, для коаксиального кабеля - 50 Ом, для телевизионного кабеля - 75 Ом. Для определения Z достаточно измерить емкость отрезка кабеля, разомкнутого на конце, затем индуктивность этого же отрезка, но замкнутого на конце.

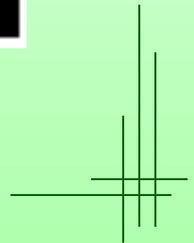




Сигнал в линиях связи

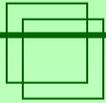


Правильно затерминированная линия: вся энергия импульса поглощается. Все неравномерности в волновом сопротивлении ухудшают сигнал.

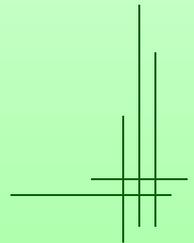




Рефлектометр

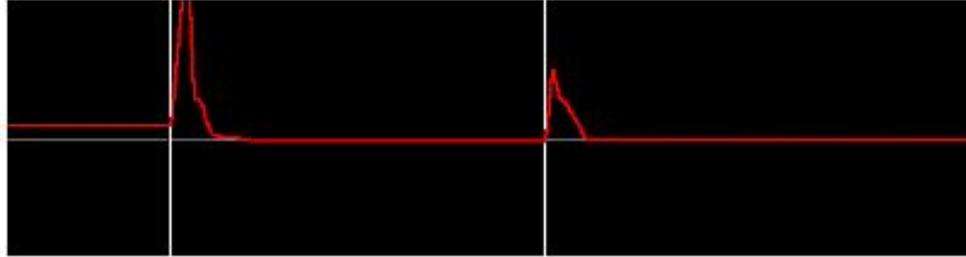
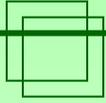


Импульсный рефлектометр РИ-10М





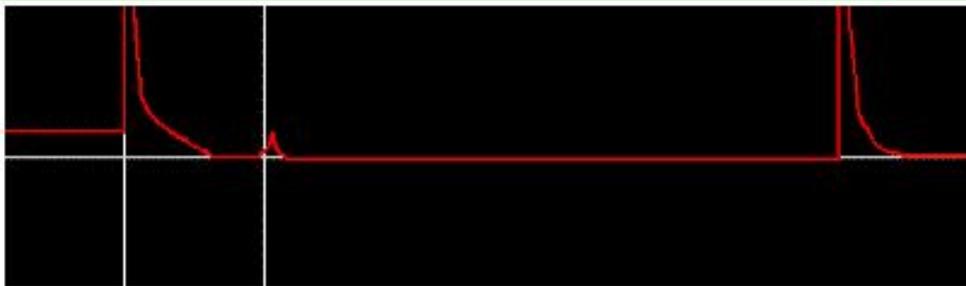
Сигнал в линиях связи



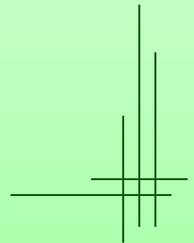
Обрыв кабеля (коаксиал)



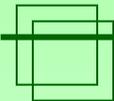
Замыкание (коаксиал)



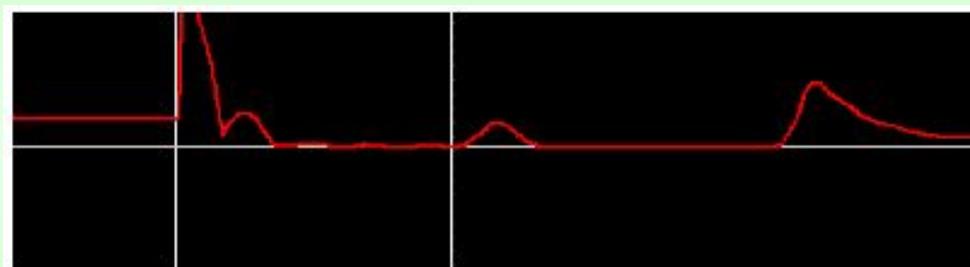
Соединение (муфта) (коаксиал)



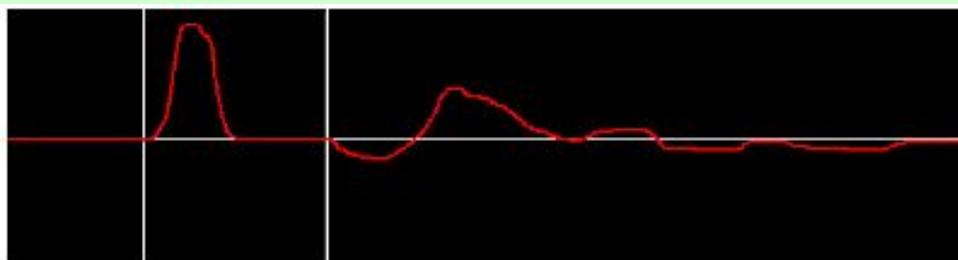
Сигнал в линиях связи



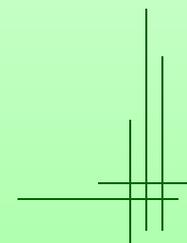
Несколько правильно затерминированных отводов (коаксиал)



Дефект кабеля, а затем обрыв (витая пара)

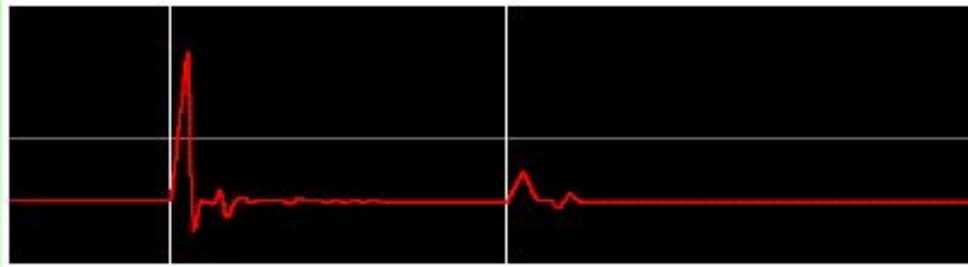
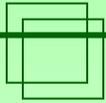


Вторая половина кабеля мокрая (витая пара)

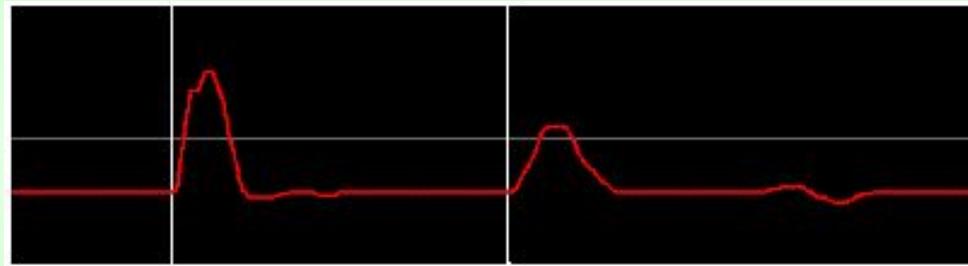




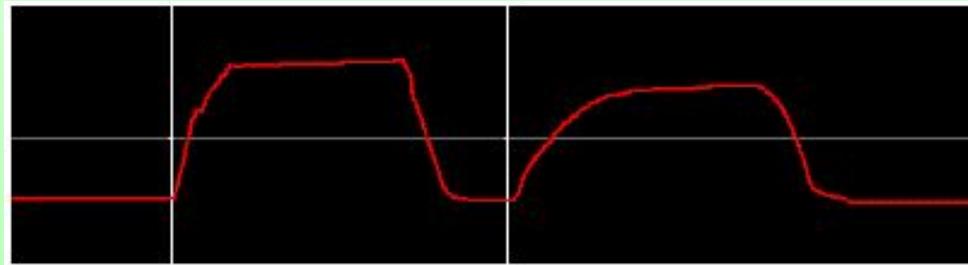
Сигнал в линиях связи



Испытание кабеля импульсом в 2 наносекунды (витая пара)

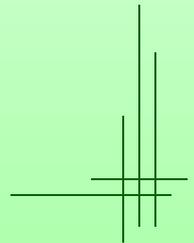


Тот же кабель, но испытание импульсом в 10 наносекунд



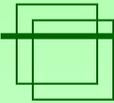
Тот же кабель, но испытание импульсом в 100 наносекунд

Высокие частоты не пропускаются кабелем





Погонное затухание

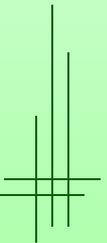


Погонное затухание (attenuation) - потеря мощности сигнала, выражаемая в децибелах (дБ, dB):

$$dB = 10 * \log_{10}(P_{ВХ} / P_{ВЫХ})$$

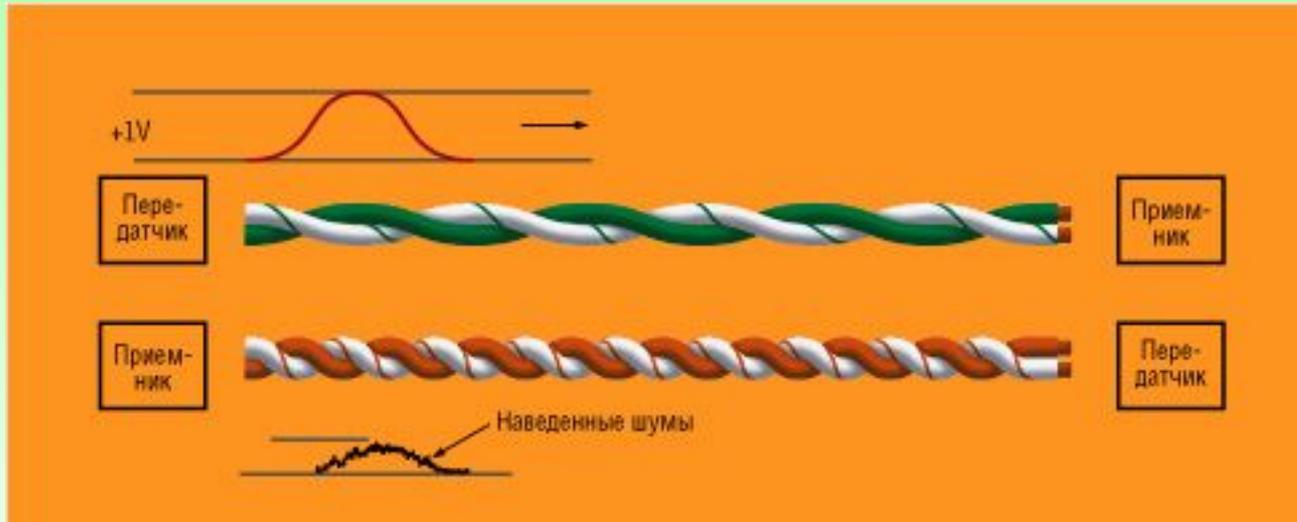
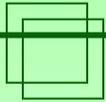
Затухание в кабеле зависит от таких факторов, как размер и состав проводника (Al, Cu, Ag), материала изоляции, рабочей частоты (диапазона частот) и длины кабеля.

Затухание ,ослабление мощности сигнала	
дБ	процент потерь
3	50%
6	75%
10	90%
15	97%
20	99%



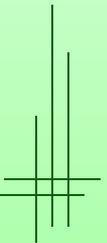


Перекрестные помехи



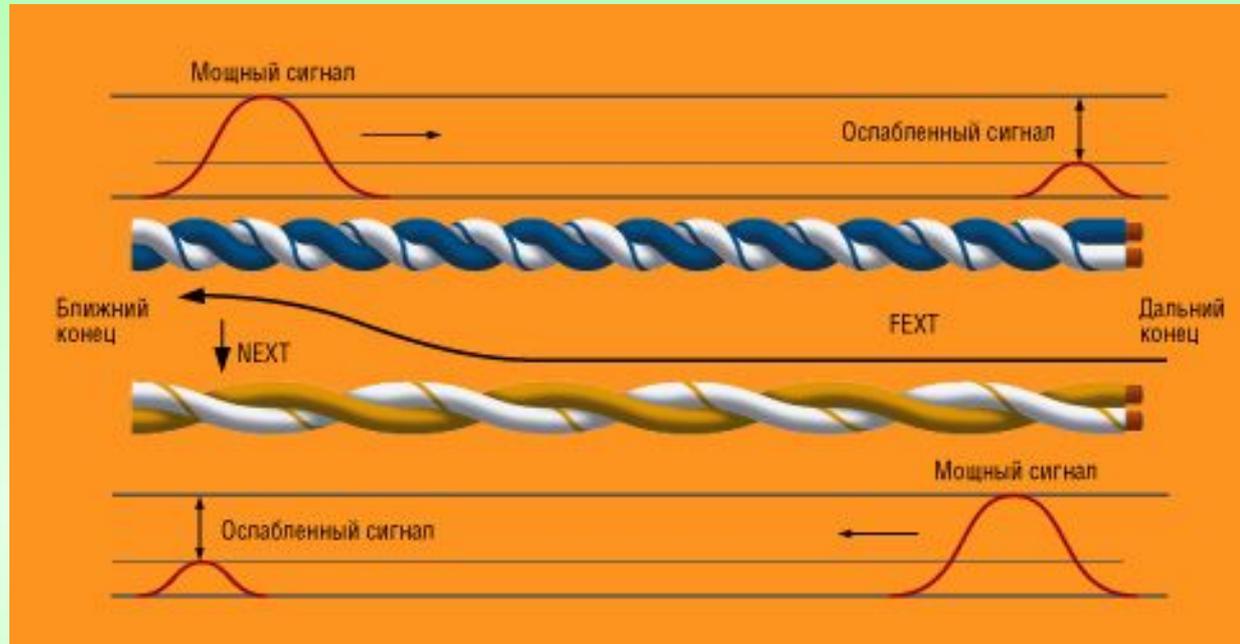
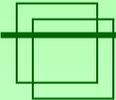
Переходное затухание (перекрестные помехи) характеризует помехи от активного сигнала, наведенные в соседней витой паре; выражается в децибелах (дБ, dB):
$$dB = 20 * \log_{10}(U_{вх} / U_{наведен.})$$

Переходное затухание, dB	Напряжение в активной паре, В	Наведенное напряжение в соседней паре, В
3	1	0.7
6	1	0.5
10	1	0.3
20	1	0.1





Виды переходного затухания



PS NEXT

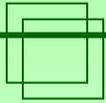
Переходное затухание на ближнем конце (NEXT, Near End Cross Talks). Сигнал имеет наибольшую мощность сразу же после момента передачи данных, поэтому именно на ближнем конце он производит наибольшие наводки в соседней витой паре.

Суммарное переходное затухание (PS NEXT, Power Sum NEXT). Некоторые сетевые архитектуры задействуют сразу несколько пар при передаче в одном направлении, поэтому PS NEXT важно контролировать после прокладки СКС.





Виды переходного затухания



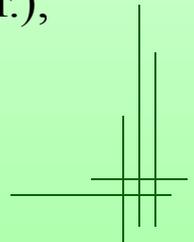
Переходное затухание на дальнем конце (FEXT, Far End Cross Talks).

С одной стороны кабеля сигнал пускают в линию, с другой на неактивной паре измеряют наводки. Также этот параметр актуален для систем, использующих несколько витых пар при передаче одновременно, например, Gigabit Ethernet. FEXT характеризует последствия полнодуплексных операций, когда сигналы генерируются одновременно на ближнем и дальнем концах.

Возратные помехи (Return Loss, см. рисунок на след. слайде).

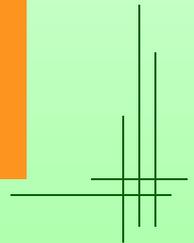
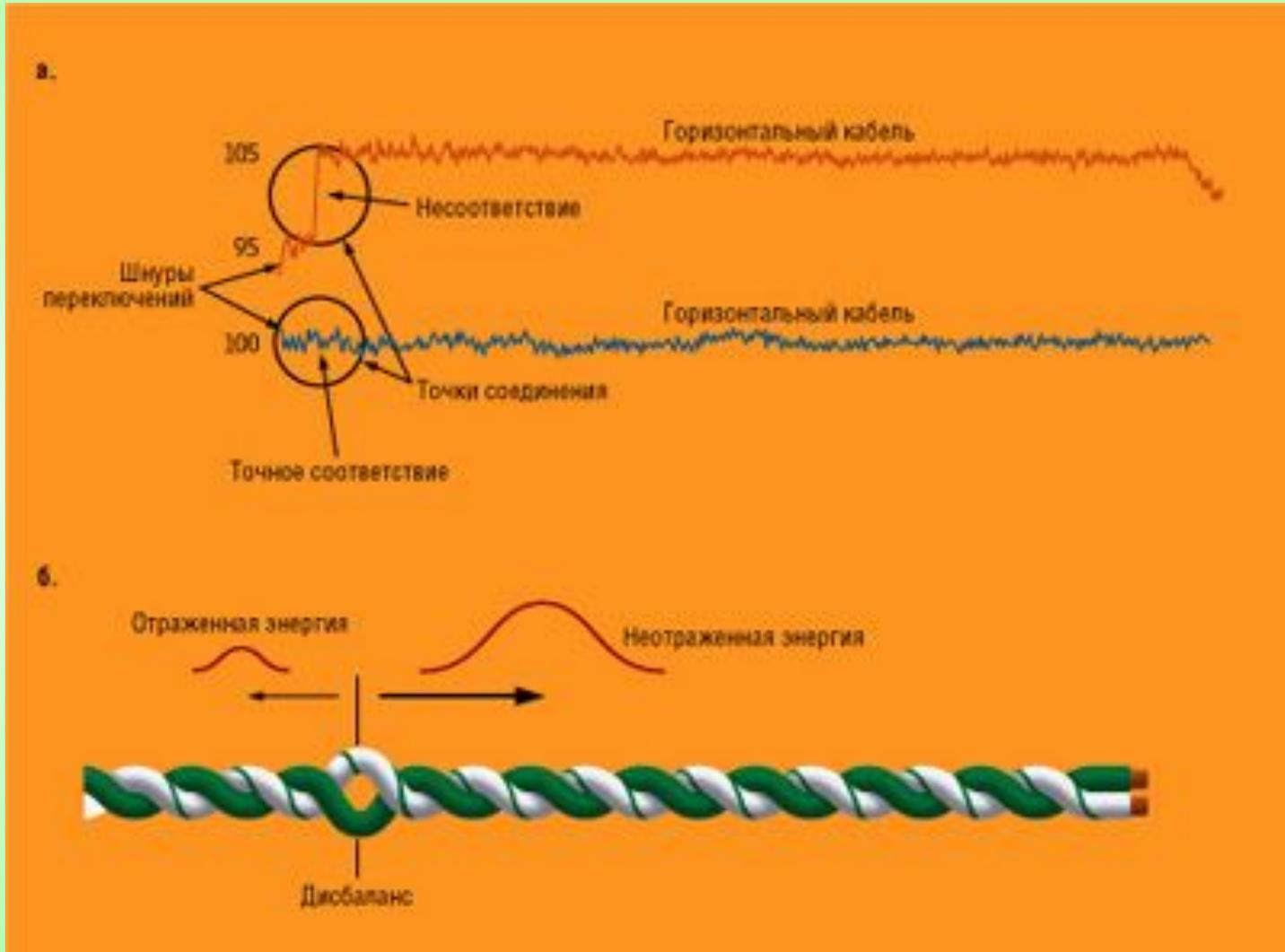
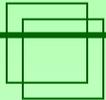
Любое отклонение от импеданса кабельной сети по длине кабеля приведет к тому, что часть сигнала отразится назад к источнику данных (т.е. уменьшится энергия сигнала в прямом направлении). Изменение импеданса может быть вызвано множеством причин:

- несоблюдение технологии в процессе изготовления (расстояние между проводниками, нарушение свойств изолирующего материала);
- несоответствие компонентов (кабель 5 категории, розетка - для 3 кат.);
- неправильная укладка СКС (несоблюдение норм на радиус изгиба, монтажа разъемов на кабель).



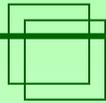


Импеданс, возвратные помехи

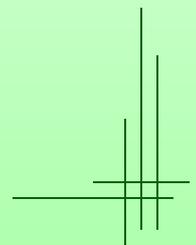
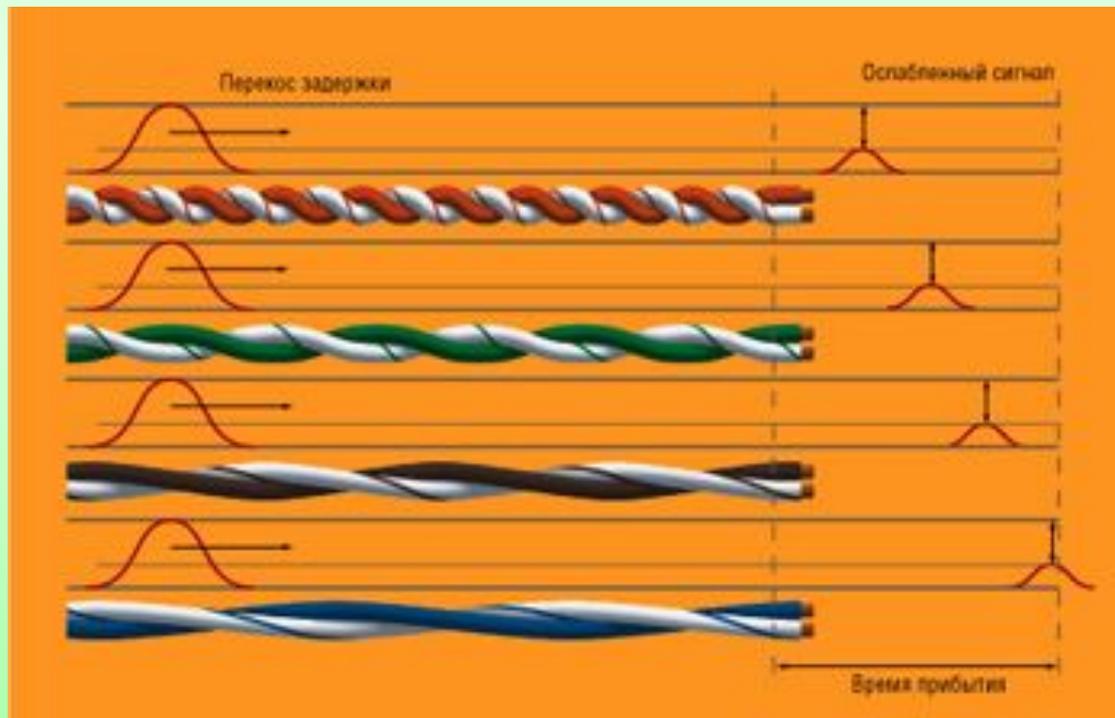




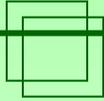
Переко́с заде́ржки



Пере́кос заде́ржки (Skew) характеризует рассинхронизацию сигналов (например, из-за разного шага скрутки, а, сл., разной длины провода), идущих по разным витым парам внутри одного кабеля. Этот параметр важен для сетевых архитектур со скоростями передачи более 100 Мбит/с (каждый метр расхождений в длине витых пар - примерно 3нс расхождения по времени).

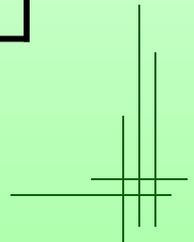


Характеристика 100BaseT



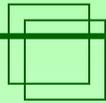
Для сети Fast Ethernet (100BaseT) характерна следующая зависимость скорости передачи от качества СКС. Увеличение числа ошибок при передаче данных до одного процента приводит к снижению пропускной способности на 80%.

Процент повторных передач	Потенциальная пропускная способность, Мбит/с
0	100
1%	20
2%	4
3%	0.8
4%	0.16
5%	0.032





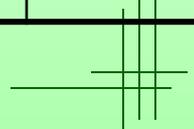
Сравнит. показатели UTP



Час- тота [МГц]	Cat. 3		Cat. 5		Cat. 5e		Cat. 6		Cat. 7	
	Att. [dB]	NEXT [dB]								
1	2.6	41.0	2.1	62.0	2.1	65.0	2.1	66.0	2.1	80.0
4	5.6	32.0	4.3	53.0	4.3	56.0	3.8	66.0	3.9	80.0
10	9.7	26.0	6.6	47.0	6.6	50.0	6.0	60.0	6.0	80.0
20			9.2	42.0	9.2	45.0	8.5	55.5	8.5	80.0
62,5			17.1	35.0	17.1	38.0	15.5	48.1	15.0	75.0
100			22.0	32.0	22.0	35.0	19.9	45.0	19.0	71.0
155							25.3	42.2	24.0	68.0
200							29.2	40.5	27.0	66.0
300									33.0	64.0
600									50.0	60.0

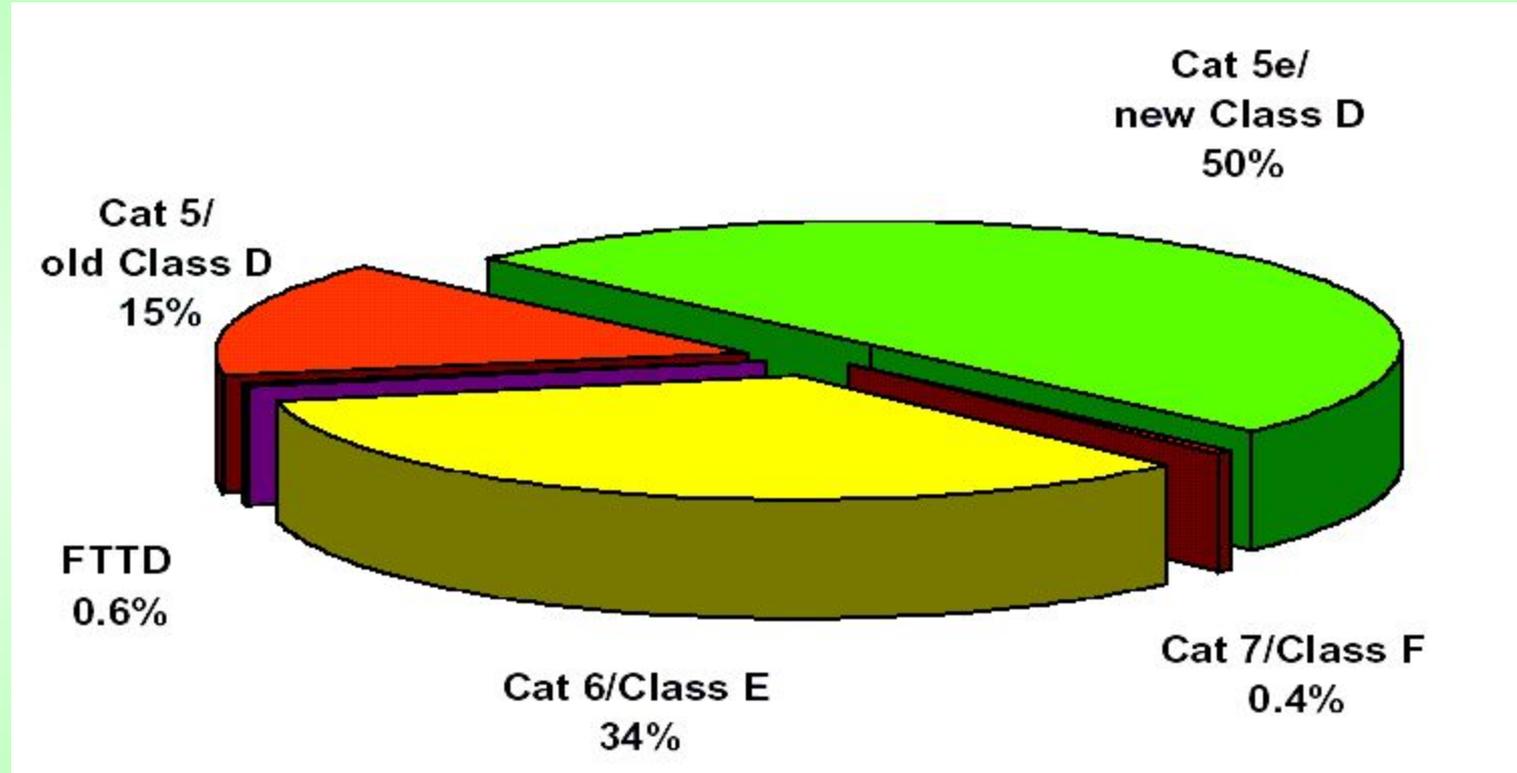
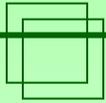
Att. (attenuation) - погонное затухание

NEXT - переходное затухание на ближнем конце

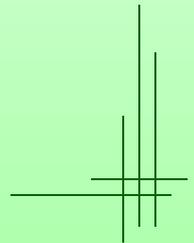




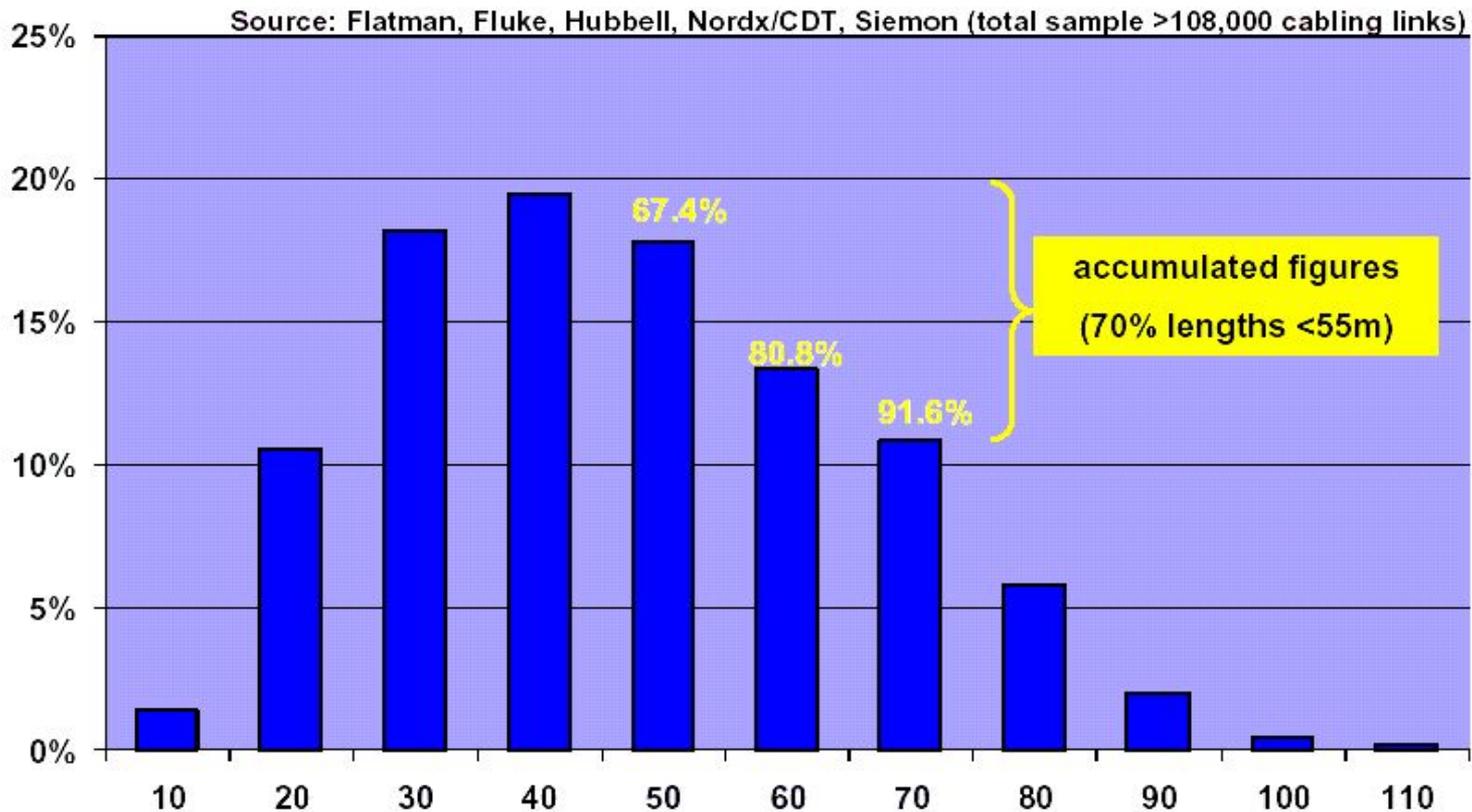
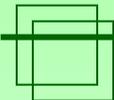
Распространенность UTP



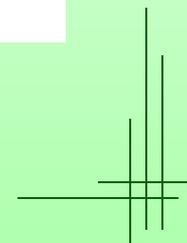
Распространенность разных категорий витой пары.
Источник: журнал LAN Technologies (Jan. 2003)



Длина проводов UTP

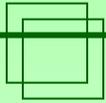


Длина проводных сегментов в сетях, построенных на витой паре.
70% кабелей имеют длину менее 55 метров.





Ошибки при монтаже СКС

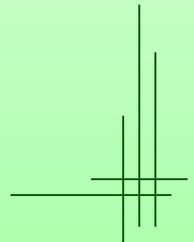


При монтаже СКС следует избегать следующего:

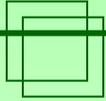
- перекручивания кабеля во время протягивания или монтажа;
- растягивания кабельных пучков под действием собственного веса на кабельных подвесках;
- тугого затягивания провода кабельными хомутами;
- резких изгибов кабеля ($R_{\text{изгиба}} > 4 * \varnothing$ внешней оболочки витой пары).

Горизонтальные кабели должны использоваться в сочетании с коммутационным оборудованием и пэтч-кордами (или кроссировочными перемычками) той же, или более высокой, категории рабочих характеристик.

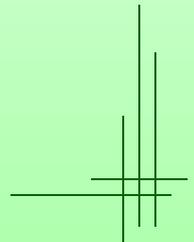
Следует помнить, что смонтированная кабельная система UTP классифицируется в соответствии с наихудшими рабочими характеристиками компонента линии!



Оптоволокно, физ. особенности

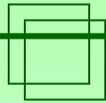


- ✓ Широкополосность оптических сигналов, несущая $f=10^{14}-10^{15}$ Гц. Следовательно в такой среде можно передавать полезный сигнал с частотой 10^{12} Гц, или Тбит/с.
- ✓ Скорость передачи может быть увеличена вдвое за счет того, что подному волокну можно передавать одновременно в двух направлениях.
- ✓ Скорость можно поднять еще в два раза благодаря использованию волн перпендикулярных друг другу поляризаций.
- ✓ Частотное уплотнение по оптоволоконным линиям связи - передача разных сигналов на разных длинах волн.
- ✓ Очень малое затухание светового сигнала в среде передачи (до 0.15 дВ/км, теоретический предел для фторцирконатных волокон 0.02 дВ/км).
- ✓ Неподверженность электромагнитным помехам.
- ✓ Химическая стойкость.



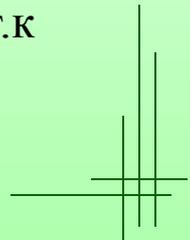


Тема 2. Оптоволоконный кабель

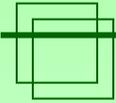


Оптоволоконно, тех. особенности

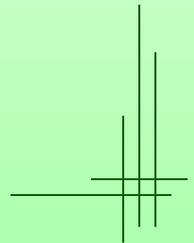
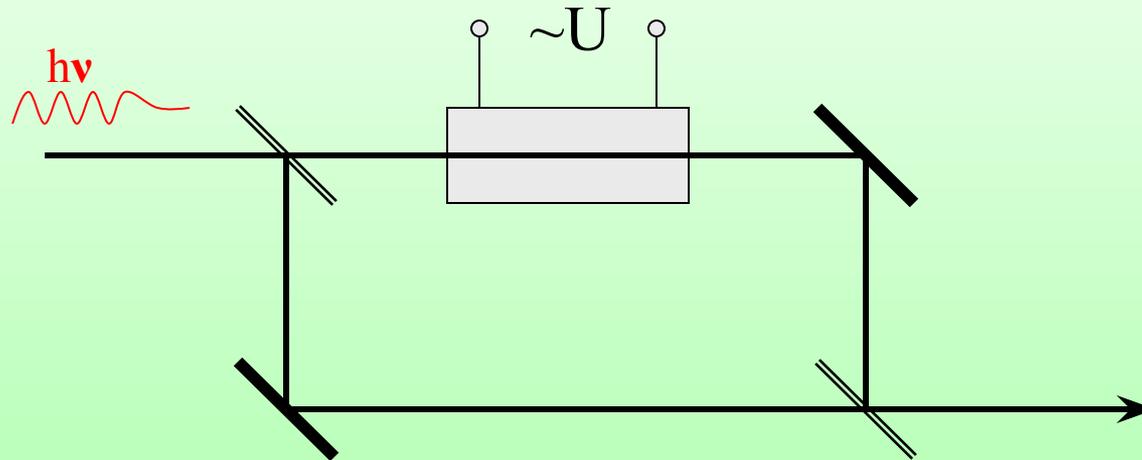
- ✓ Основа оптоволокна - кварц (SiO_2), самый распространенный в природе материал, недорогой в отличие от меди.
- ✓ Оптические волокна имеют диаметр менее 100 микрон, имеют малый вес, могут применяться в авиации, приборостроении, кабельной технике.
- ✓ Оптоволоконно - гальваническая развязка между контурами, существует возможность встраивать оптоволоконные кабели в высоковольтные линии (человеку сложно навредить, и для волокна не надо делать подвесов - висит на силовом кабеле).
- ✓ Долговечность (более 25 лет).
- ✓ Возможность наращивать пропускную способность постоянно благодаря смене оконечного оборудования.
- ✓ Сложно "подслушать" передачу неразрушающим средоу способом, т.к целостность оптоволокна постоянно контролируется.



Шифрация передачи по оптике

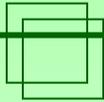


Можно модулировать сигнал не по амплитуде, а по фазе (например, с помощью интерферометра Майкельсона). При таком способе передачи информация не может быть перехвачена обычным амплитудным приемником, т.к. он регистрирует сигнал постоянной интенсивности. Можно даже специально добавлять шумовой сигнал для ухудшения приема. Восстанавливать исходный сигнал придется также с использованием техники интерферометрии.

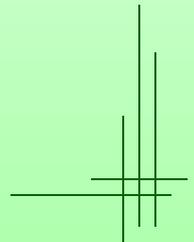




Недостатки оптики

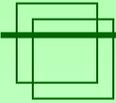


- ☠ Электроника отстает от оптики по частотам.
- ☠ Оконечное оборудование с электрооптическими и оптоэлектрическими преобразователями очень дорогое.
- ☠ Необходимы оптические соединители с очень малыми потерями (иначе нагрев).
- ☠ Технологически необходимы охладители мощных электрооптических преобразователей (например, лазеров).
- ☠ Для монтажа оптоволоконных линий требуется прецизионное оборудование.
- ☠ Восстановление работоспособности при авариях оптомагистралей обходится намного дороже, чем при авариях на медных и радиорелейных линиях связи.



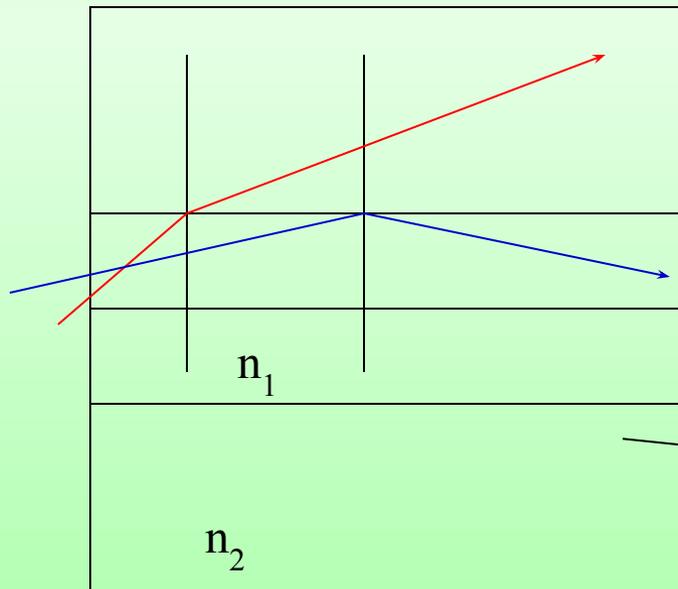


Структура оптоволокна



Показатель преломления сердцевины больше показателя преломления оболочки ($n_1 > n_2$), только тогда возникает эффект полного внутреннего отражения.

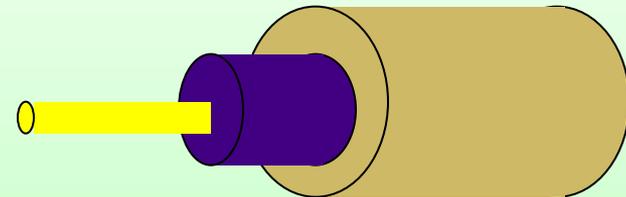
— Луч
поглощается



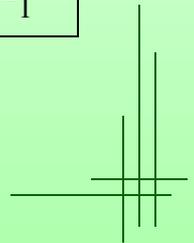
— Луч
отражается

Оболочка, n_2

Защитное
покрытие

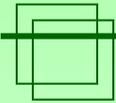


Сердцевина, n_1

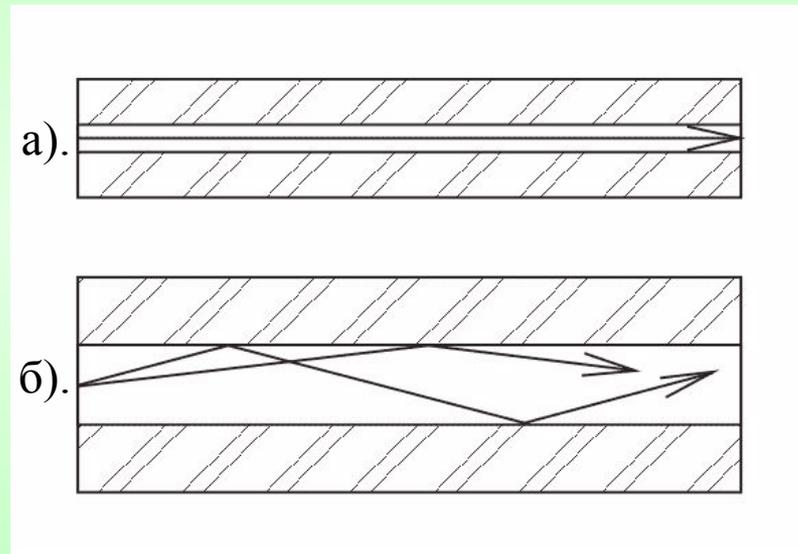




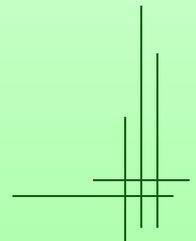
Виды волокон



Лучи, входящие под разными углами в оптоволокно называются **модами**, а волокно, поддерживающее несколько мод - многомодовым. По одномодовому волокну распространяется только один луч.

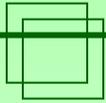


- а). одномодовое оптоволокно
- б). многомодовое оптоволокно





Показатель преломления



Оптическое волокно различается по характеру распределения показателя преломления вдоль диаметра сердцевины.

Характерные размеры.

Одномодовое:

Диаметр сердцевины - 8-10 мкм.

Диаметр оболочки - 125 мкм.

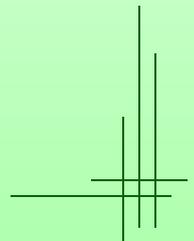
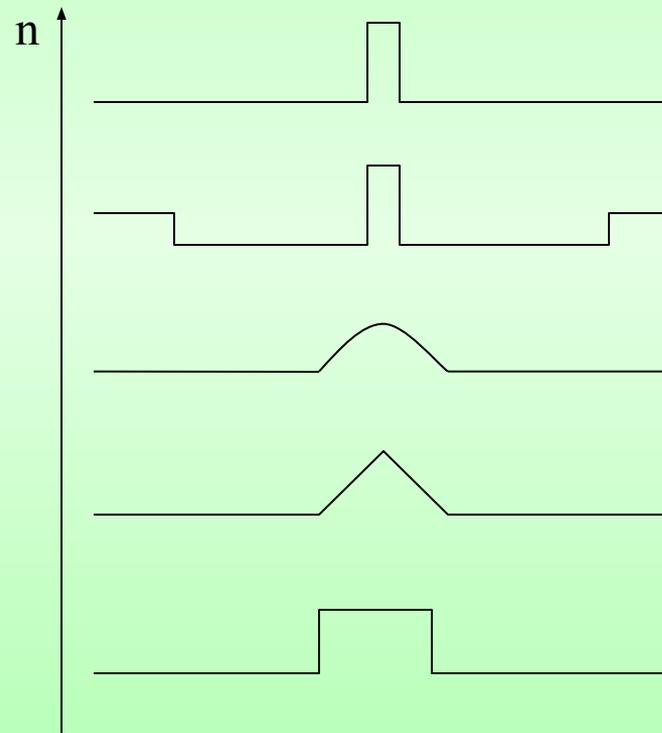
Близость к дифракционному пределу.

Многомодовое:

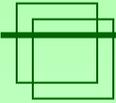
Диаметр сердцевины (градиентное оптоволокно) - 50-62.5 мкм.

Диаметр оболочки - 125 мкм.

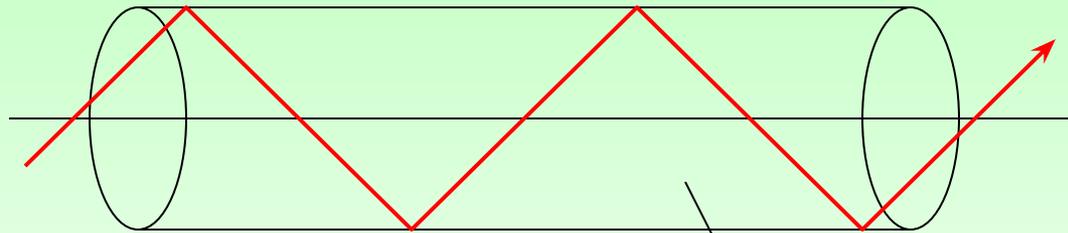
Диаметр сердцевины (ступенчатое оптоволокно) - 100-500 мкм.



Ход лучей в многомод. волокне

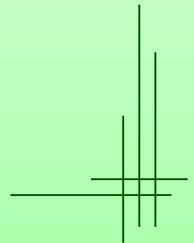


ступенчатое
оптоволокно



Сердцевина

градиентное
оптоволокно

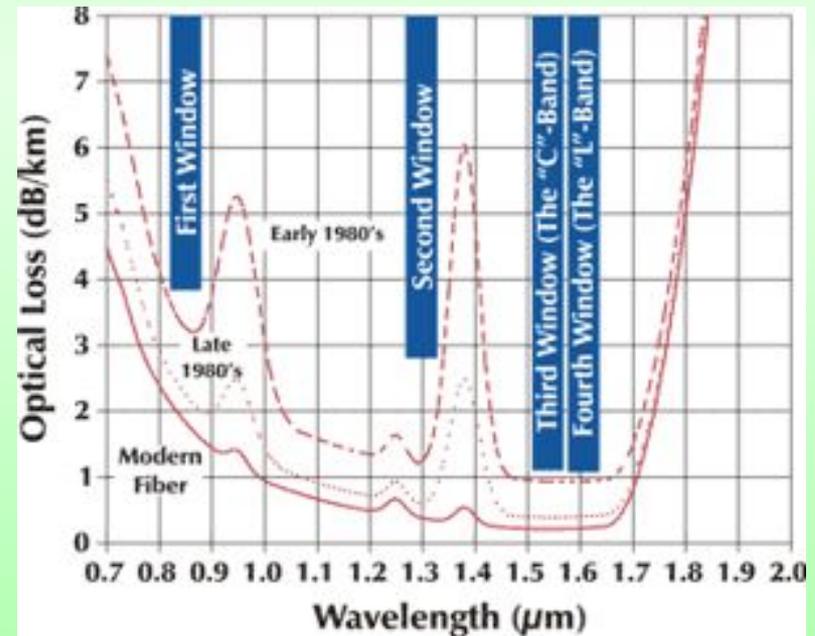
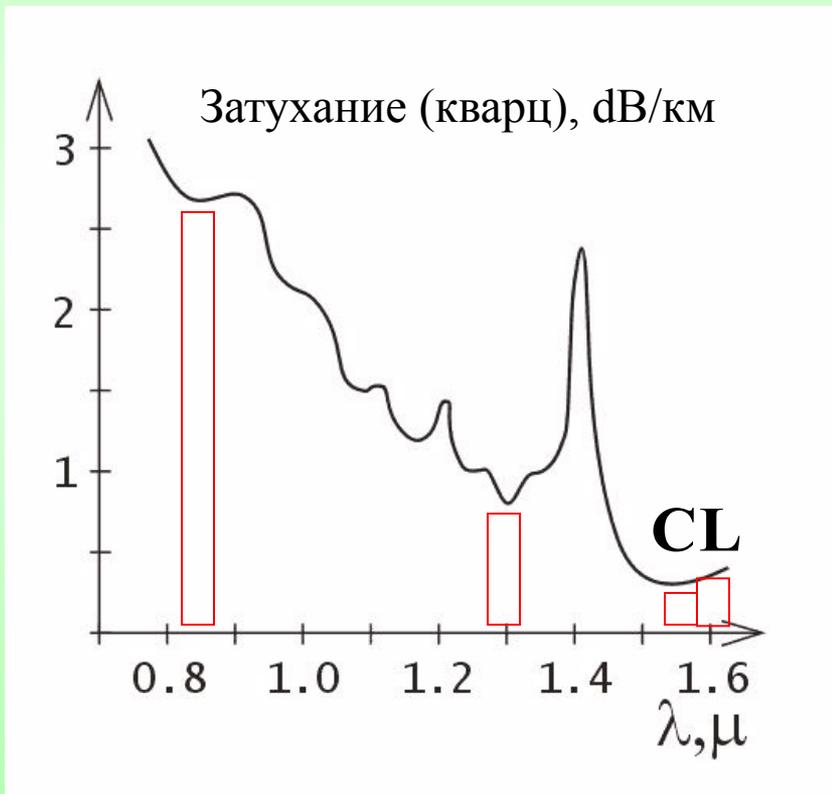




Спектр поглощения

Окна прозрачности (все в инфракрасном диапазоне): 0.85мкм, 1.3мкм, 1.55 мкм. В соответствие этим окнам выпускаются и излучатели. На данный момент все скоростные системы оптической передачи работают в одном из трех диапазонов:

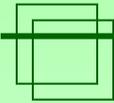
- С-полоса (1530-1565нм)
- L-полоса (1565-1620нм)
- окно прозрачности вблизи 1.3мкм



Источник: David R. Goff. *Fiber Optic Reference Guide*



Дисперсия

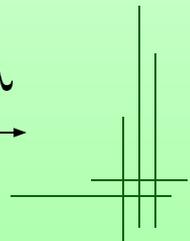
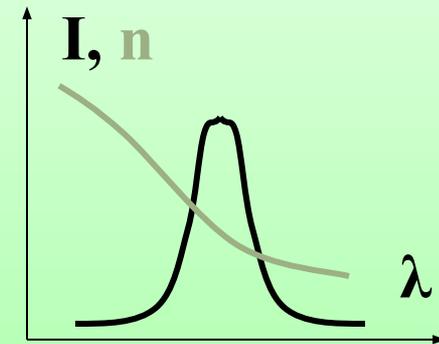


Модовая дисперсия: лучи, одновременно вошедшие в оптоволокно, выйдут из него в разное время в зависимости от угла входа. Это явление характерно для многомодовых волокон, оно сильно понижает максимальную дальность передачи сигнала. Например, для 100Мбитной сети при использовании многомодовых оптических волокон максимальная длина сегмента составляет 2 км.



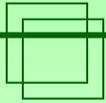
Материальная дисперсия обусловлена тем, что лучи света разных длин волн распространяются с разной скоростью, а, следовательно, размывают фронты импульсов. Это явление необходимо учитывать для одномодовых волокон.

$$V(\lambda) = c/n(\lambda)$$





Полоса пропускания

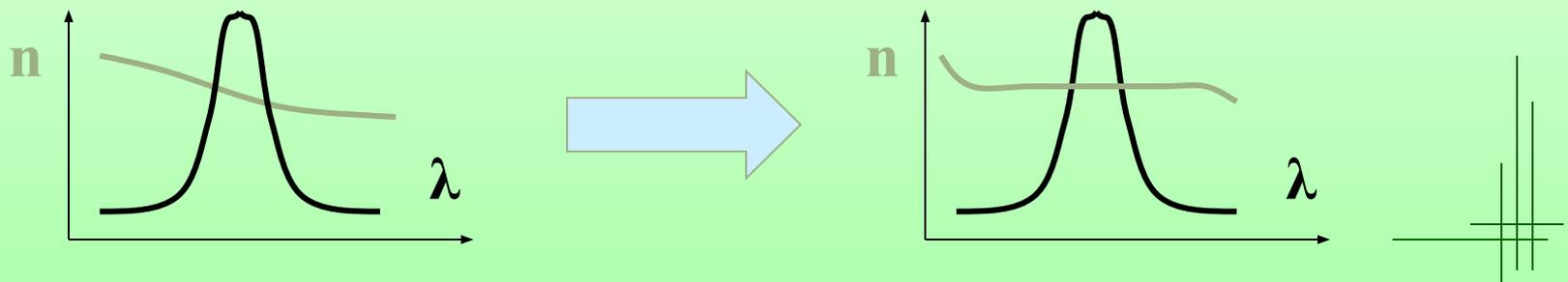


Материальная дисперсия ограничивает полосу пропускания, которая измеряется в МГц/км (ГГц/км, ТГц/км).

Пример. Если ширина спектра излучения светодиода со свечением в ближнем инфракрасном диапазоне (800нм) составляет 50нм, то световые импульсы расширяются на 5нс при прохождении каждого километра, следовательно, сквозь такую километровую линию можно пропустить сигнал с максимальной частотой примерно 100МГц, а полоса пропускания кабеля будет 100МГц/км.

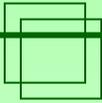
К счастью, длины волн 1.3мкм и 1.5мкм (минимумы по поглощению для волокон некоторых типов) являются также точками минимальной материальной дисперсии.

Подбор состава и легирование оптических волокон позволяют выровнять зависимость $n(\lambda)$ в небольшом диапазоне длин волн.





Затухание



Рассеяние энергии происходит из-за микроскопических неоднородностей в волокне.

Поглощение - преобразование энергии света в тепловую из-за микровкраплений.

Современные технологии позволяют создать такие среды, в которых поглощение на 6 метрах длины оказывается меньше, чем в обычном оконном стекле толщиной 3 мм.

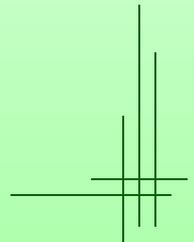
Потери на стыках

Центровка, параллельность сколов, их качество.

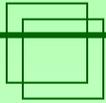
Потери на изгибах

Выход излучения за пределы сердцевины и поглощение в оболочке.

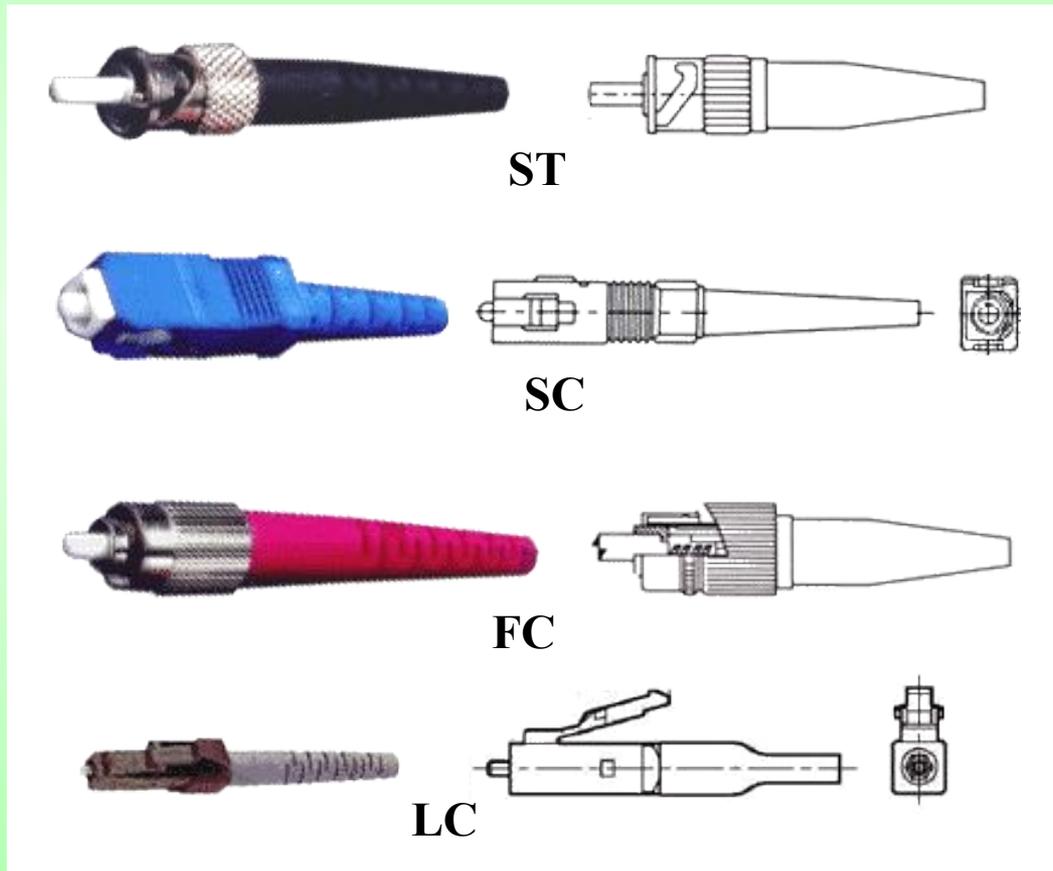
Для оптических кабелей, на основе одномодовых волокон, работающих на длинах волн 1.3 и 1.5 мкм, изгиб не сильно критичен, поскольку волокна в кабеле уже предварительно закручены вокруг оси.



Монтаж оптоволоконна, разъемы



В России при монтаже волоконно-оптических сетей используют следующие виды разъемов.



ST: дешевый, самый распространенный (используется обычно на 10 Мбит)

SC: также достаточно популярный

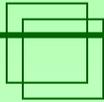
FC: с винтовой резьбой, похож на ST

LC: миниатюрен, более удобен в коммутационном оборудовании, но дорогой





Монтаж оптоволоконна

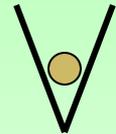


Сплайсы - коробочки с автоматическим центрированием жил без клея (до 0.1dB), нужен качественный перпендикулярный скол.

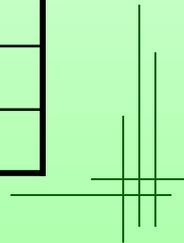
Либо во втулку наливают гель - он и герметик, и обеспечивает оптический контакт.

Сварка - 0.01dB

Последовательность операций при оконцовывании оптоволоконна: снятие изоляции, удаление грязи, протирка, защита оптоволоконна кембриком, нанесение двухкомпонентного клея, продевание оптоволоконна сквозь разъем, скол оптоволоконна, шлифовка скола (контроль с помощью микроскопа).

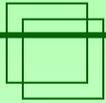


Материал, способ соединения	Время установки	Стоимость комплекта инструментов (2000г.)	Стоимость конструкции
клей	5-20 мин.	600-1500\$	3-12\$
иммерсионные разъемы (гель)	2-3 мин.	600-1200\$	8-15\$
мех. сплайс	1-3 мин.	1000\$	7-20\$
сварка	1-2 мин.	10000-30000\$	10-20\$



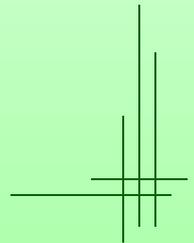
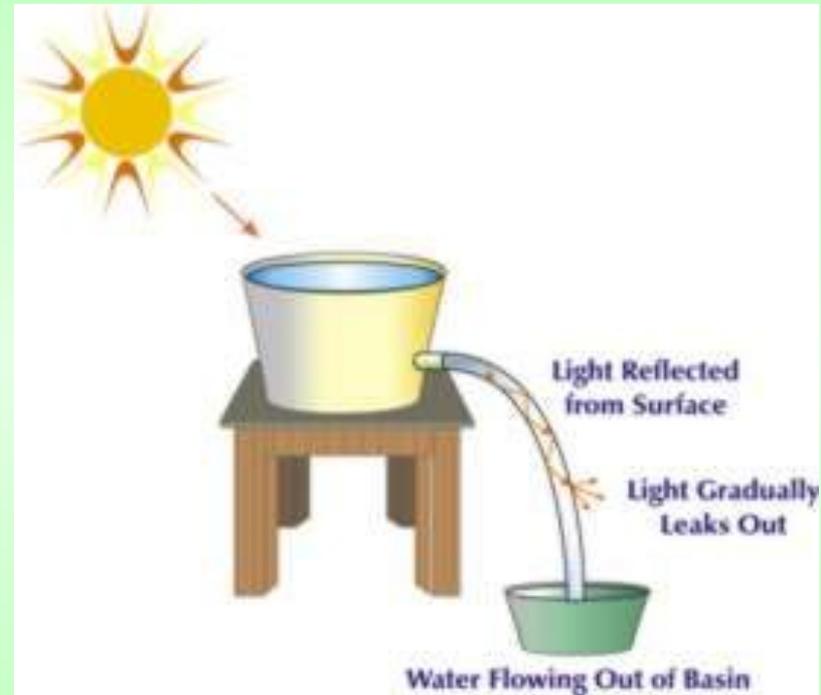


История развития



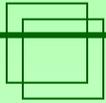
В 1870 году Джон Тиндалл (John Tyndall) продемонстрировал движение светового луча внутри оптически более плотной среды.

В 1880 году Александр Грахам Белл (Alexander Graham Bell) создал систему передачи звука по световому лучу (расстояние 200 метров).



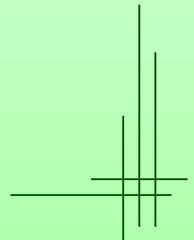


Поколения ВОЛС



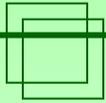
Поколения передачи и приема оптической информации:

1. 1975 г. - диод, работающий на длине волны 0.85 мкм, многомодовое оптоволокно, AlGaAs/GaAs светодиодный или лазерный передатчик, кремниевый детектор.
2. 1982 г. - одномодовые передатчики, работающие на длине волны 1.3 мкм.
3. 1989 г. - диодные лазеры 1.55 мкм, одномодовое волокно со смещенной дисперсией.
4. Когерентные системы связи, частотная или фазовая модуляция - большая дальность передачи. Безрегенераторная когерентная ВОЛС STM-16 на скорость передачи 2.48832 Гбит/с протяженностью в 300 км. В лабораториях NTT в 1990 году ученые впервые создали систему связи с применением оптических усилителей на скорость 2.5 Гбит/с на расстояние 2223 км.





Поколения ВОЛС



5. Положение дел сейчас:

Применение с сер. 1990х годов оптических усилителей на основе световодов, легированных эрбием, усиление до 30 dB. В эксплуатации трансатлантические линии связи США-Европа TAT-8 и TAT-9, Тихоокеанская линия США-Гавайские острова-Япония TPC-3. ВОЛС прокладываются по побережьям всех континентов.

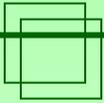
Специалистам компании Alcatel удалось передать данные по подводному оптоволоконному кабелю на расстояние свыше 320 км со скоростью 1,6 Тбит/с без применения повторителей. Flag-Atlantic (FA-1) - 2001 г. - 2.4 Тбит/сек. Развивается технология DWDM.

6. В последние годы наряду с когерентными системами связи развивается альтернативное направление: солитоновые системы связи. Солитон - это световой 10пс импульс с необычными свойствами: он сохраняет свою форму и теоретически может распространяться по "идеальному" световоду бесконечно далеко. Солитоновые системы, в которых отдельный бит информации кодируется наличием или отсутствием солитона, могут иметь пропускную способность не менее 5 Гбит/с на расстоянии 10 000 км.





Стоимость ВОЛС



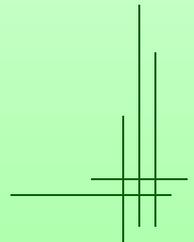
Прокладка 1 км. оптоволоконного кабеля под водой - 80000\$.
Прокладка 1 км. кабеля под землей - 10000\$ (2000 год, Россия).

Стоимость сооружения ВОЛС в расчете на 1 Мбит/сек:

1998 год -- 650000\$ за 1Мбит/сек.

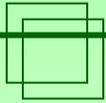
2001 год -- 400\$ в FA-1 за 1Мбит/сек.

Соответственно, тарифы на трафик должны постоянно уменьшаться.



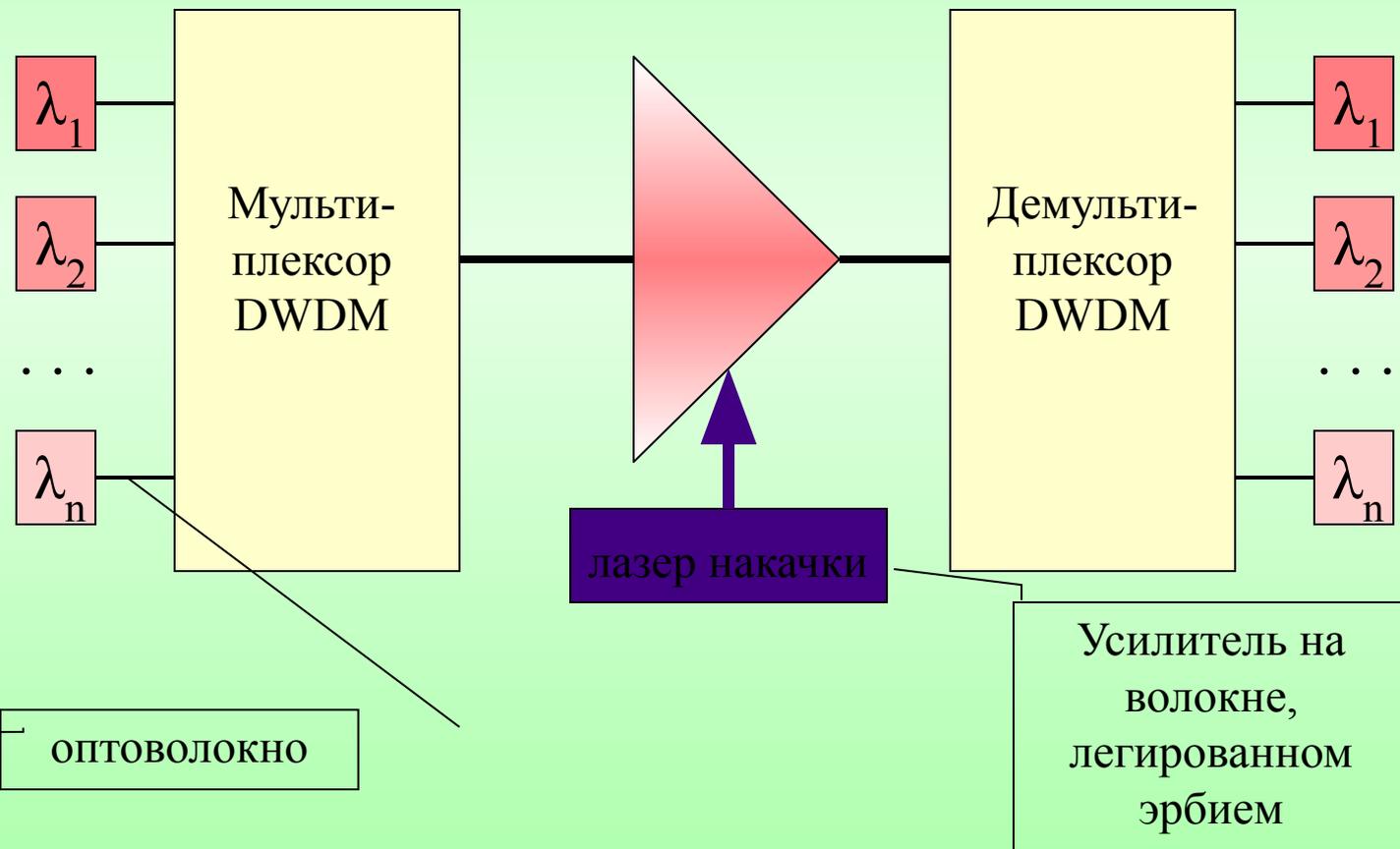


DWDM



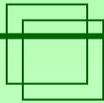
Dense Wavelength Division Multiplexing

(спектральное уплотнение с мультиплексирование по длине волны)

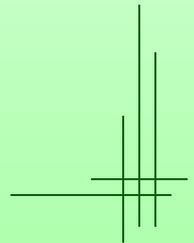
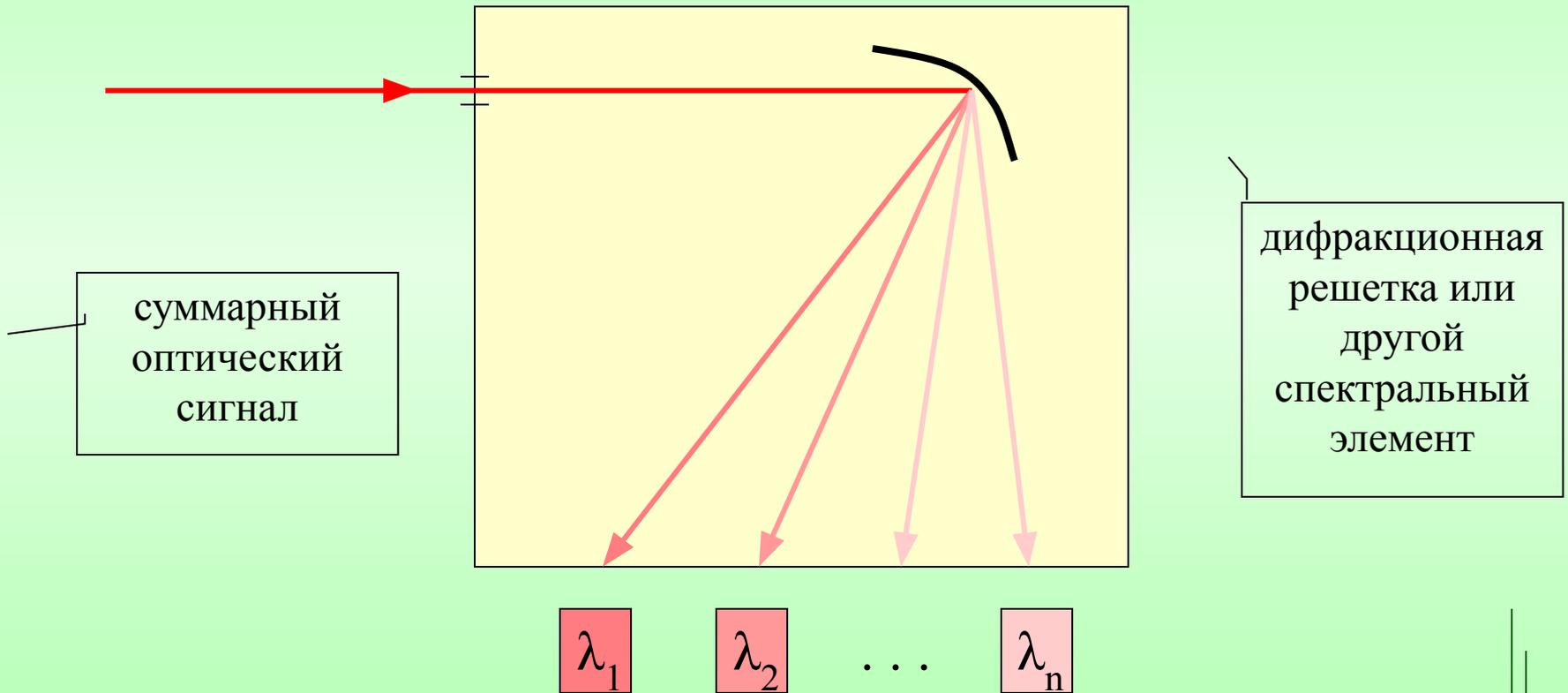




WDM демультиплексор

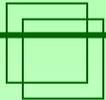


Оптический демультиплексор работает по принципу спектрометра (фильтра определенных частот).

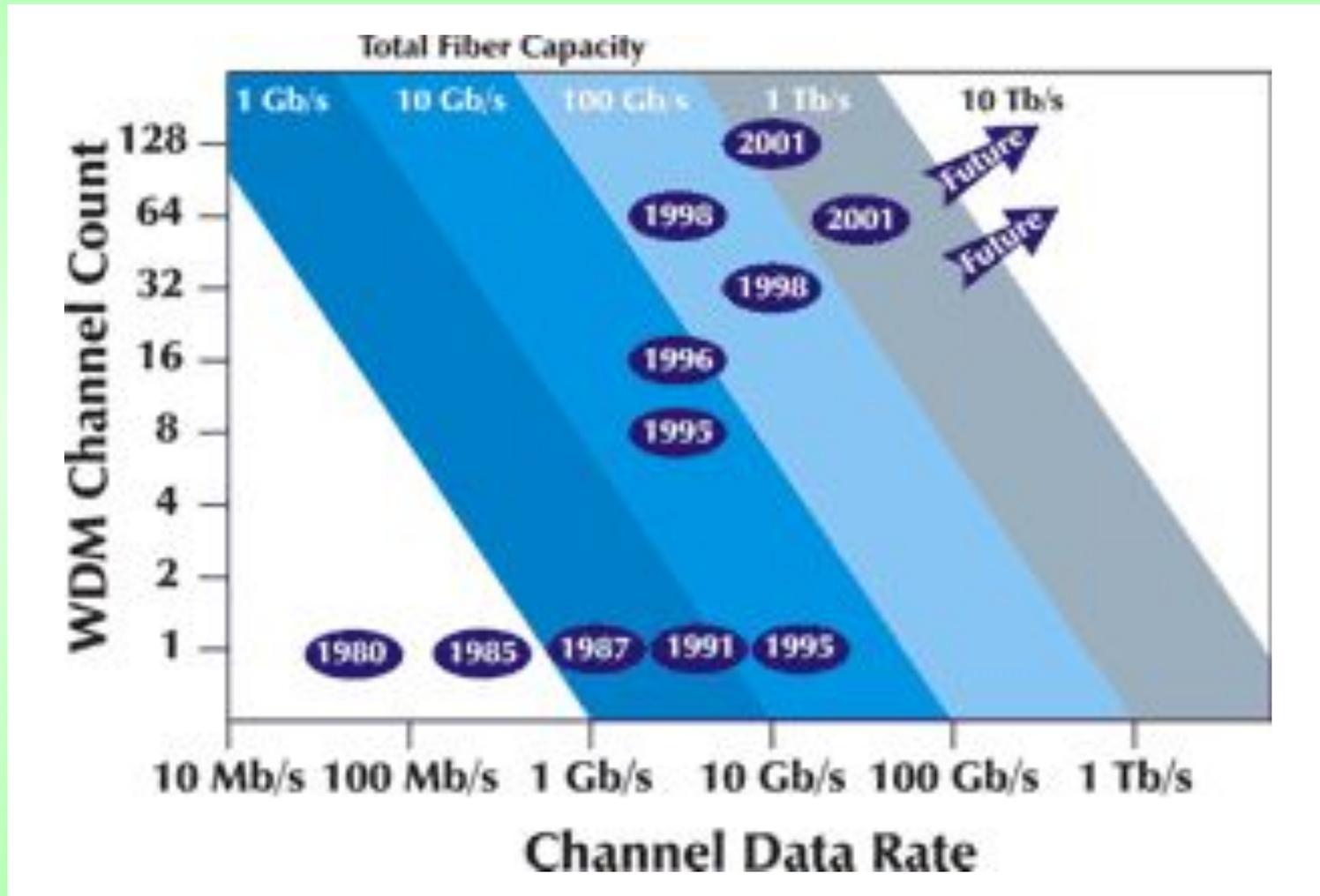




DWDM, прогресс

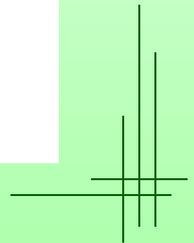


Общая пропускная способность кабеля

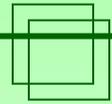


Кол-во
каналов
WDM

Пропускная способность одного канала



Лекция 5. Сетевое оборудование Ethernet

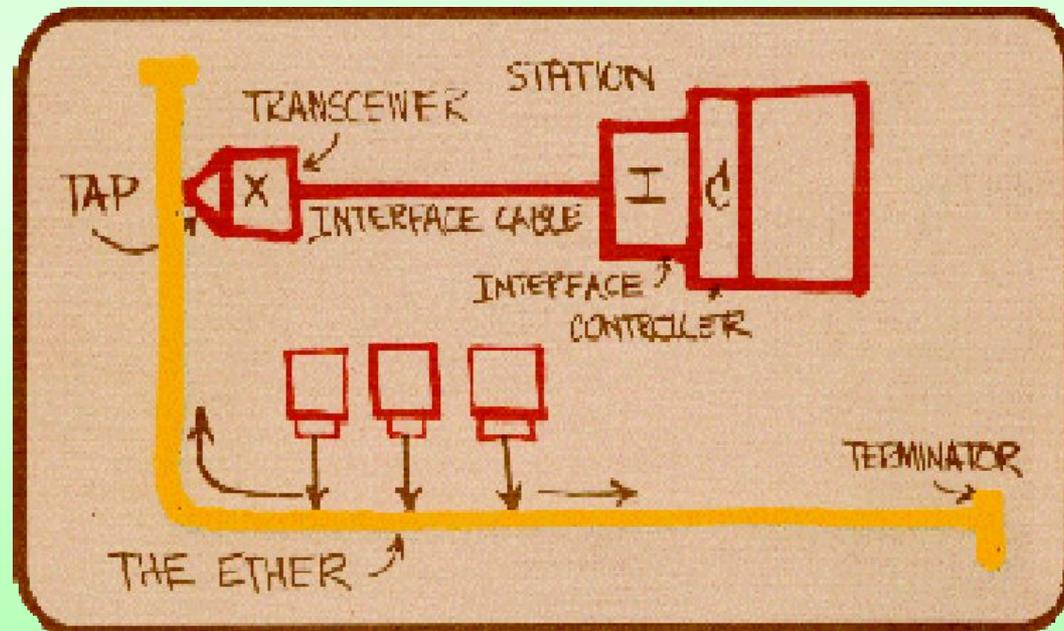


История создания Ethernet

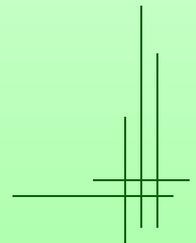
В 1973 году Роберт Меткалф и Давид Боггс (R. Metcalfe, D. Boggs) сотрудники лаборатории Херох в Пало-Альто разработали Ethernet, как сеть передачи информации между первыми графическими РС. Скорость передачи - 2.94 Мбит/с. По аналогии с законом Мура (Gordon Moore, сооснователь Intel), Р.Меткалф предсказал экспоненциальный рост сетей.



Р.Меткалф

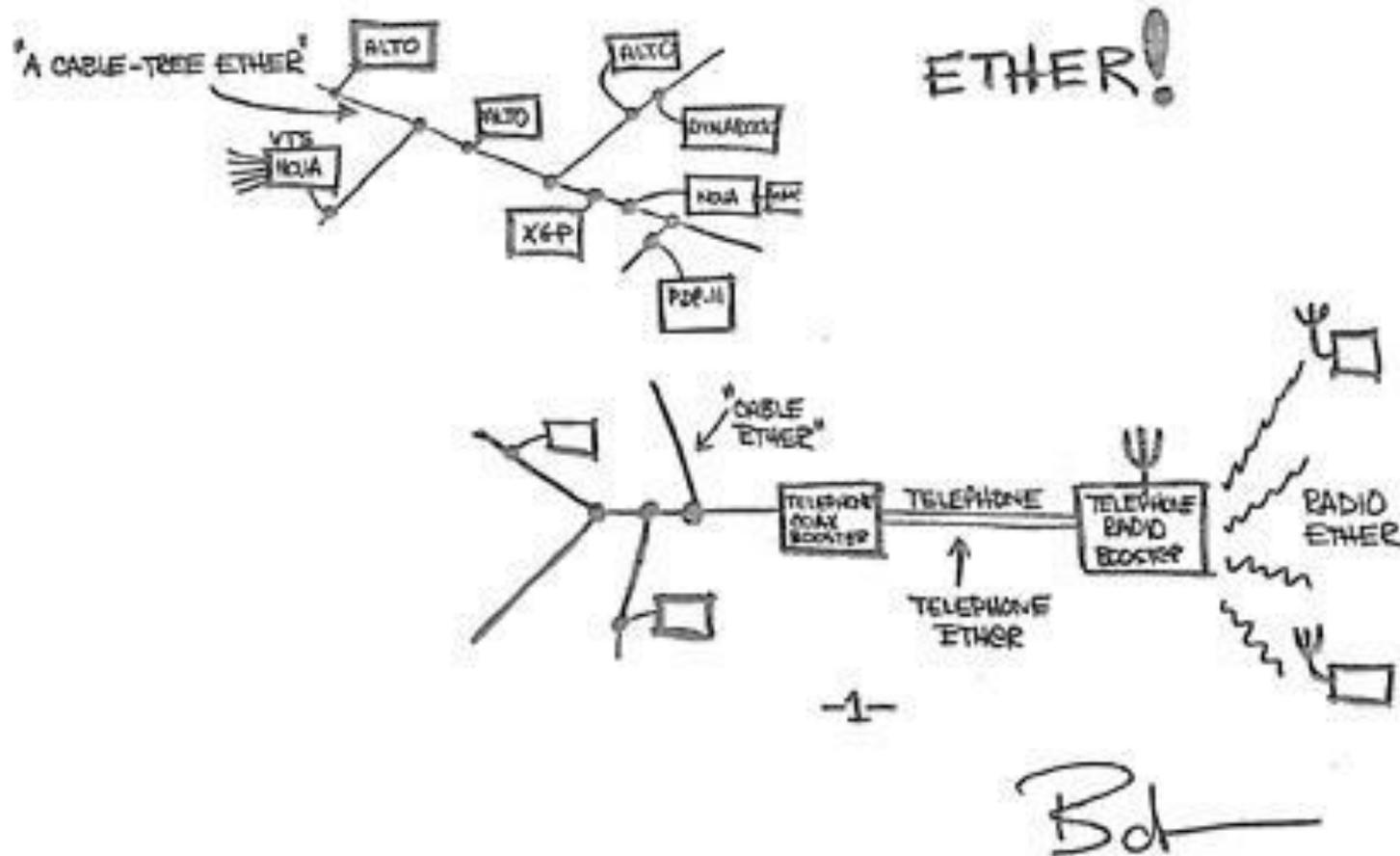


Эскиз технологии Ethernet (Р.Меткалф)





История создания Ethernet



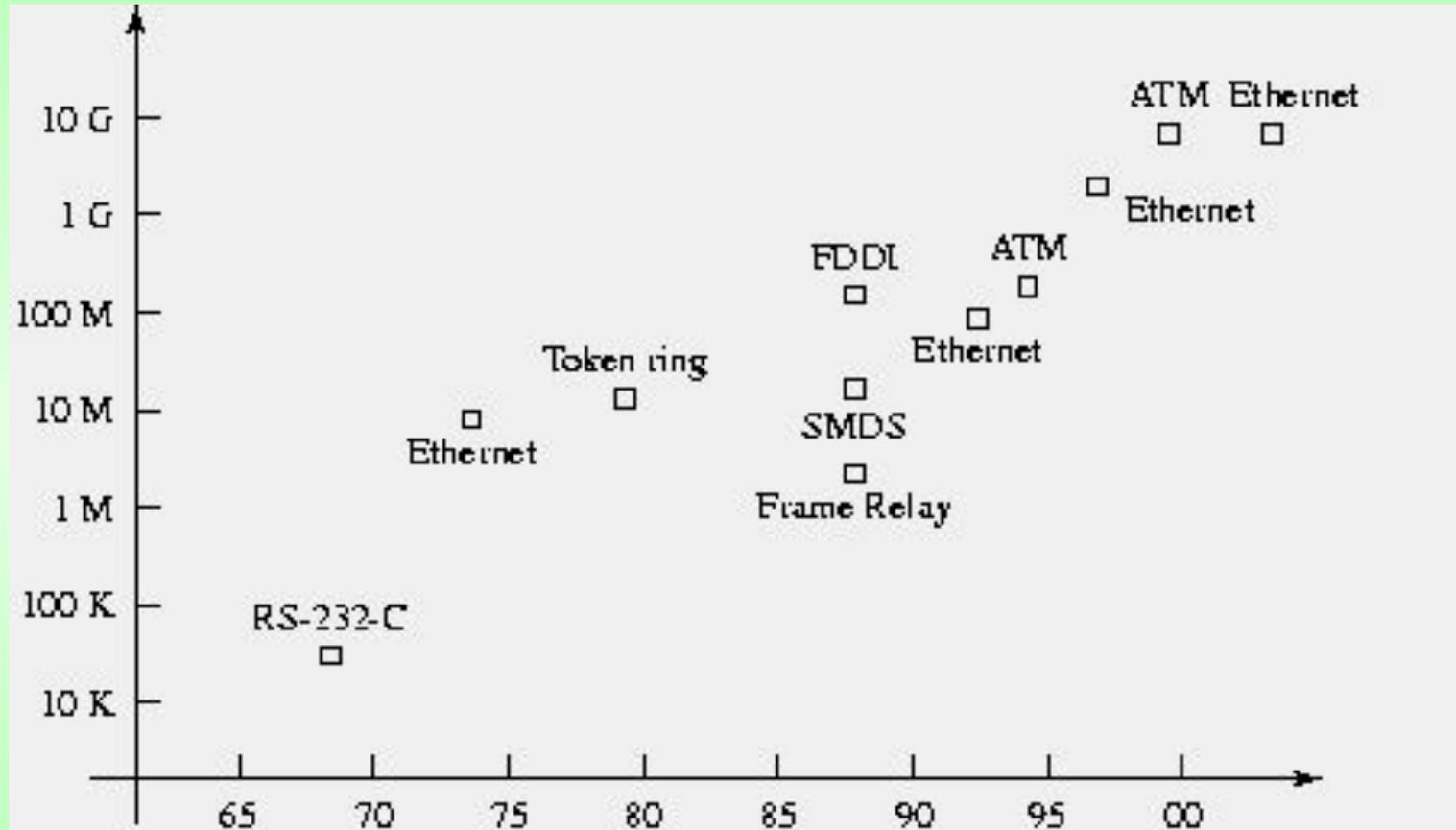
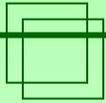
XEROX

Эскиз технологии Ethernet (Р.Меткалф)

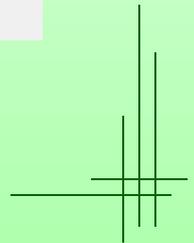
Источник: <http://www1.chapman.edu/soe/faculty/piper/teachtech/history.htm>



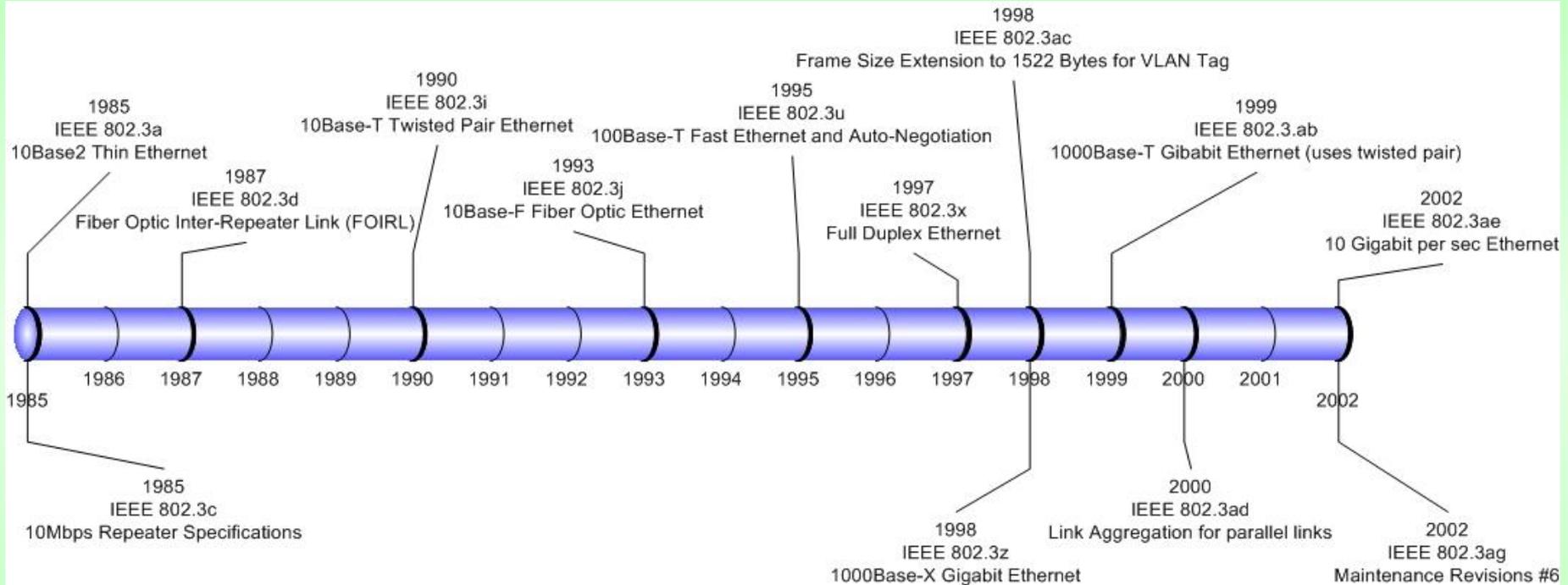
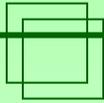
История развития сетей



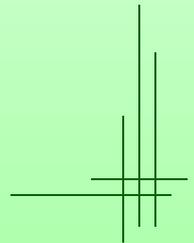
Источник: http://www.ciw.cl/recursos/Ferguson/new_networks.htm



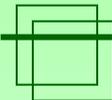
История развития Ethernet



Источник: http://www.dcs.gla.ac.uk/~bryce/Ethernet/IEEE_802.3_Extensions.htm



Характеристики Ethernet

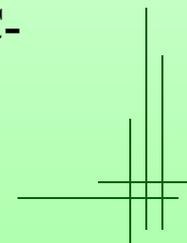


Ethernet – технология (сетевая архитектура) локальных вычислительных сетей, описанная стандартами физического и канального уровней модели **OSI/RM**.

Скорость передачи данных – 10 Мбит/с, 100 Мбит/с (Fast Ethernet), 1 Гбит/с (Gigabit Ethernet), 10 Гбит/с (10 Gigabit Ethernet). Внутри каждой спецификации существует еще несколько подвидов (например, 100Base-TX, 100Base-FX для Fast Ethernet), характеризующихся различными видами подключения к среде передачи (оптоволокно, витая пара, коаксиальный кабель), а также методами кодирования сигнала и включением/выключением тех или иных коммуникационных опций.

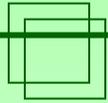
Как уже было сказано, на канальном уровне все устройства имеют свой адрес, обычно определенный аппаратно. В технологии Ethernet в качестве адреса используется 6-байтовый идентификатор **MAC** (medium access control, например, 00:00:C0:5E:83:0E).

Различают широковещательные (broadcast), уникальные (unicast) **MAC**-адреса и **MAC**-адреса групповой рассылки (multicast).





Характеристики Ethernet

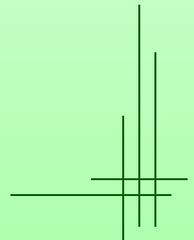


- 10 Мбит/с — Ethernet (10Base)
- 100 Мбит/с — Fast Ethernet (100Base)
- 1000 Мбит/с — Gigabit Ethernet (1000Base)
- 10 Гбит/с (некоторые спецификации на стадии принятия)

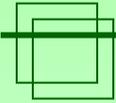
Среда передачи: экранированная и неэкранированная витая пара, оптоволокно, радиоволны.

Кодирование на физическом уровне (для 10Мбит/с): манчестерский код (униполярный сигнал), повышение среднего напряжения в линии в случае коллизий отлавливается аппаратурой.

Характеристики: широковещательная система, станция может начать передачу в любой момент, конкуренция за среду передачи.



CSMA/CD



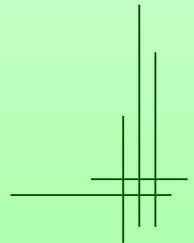
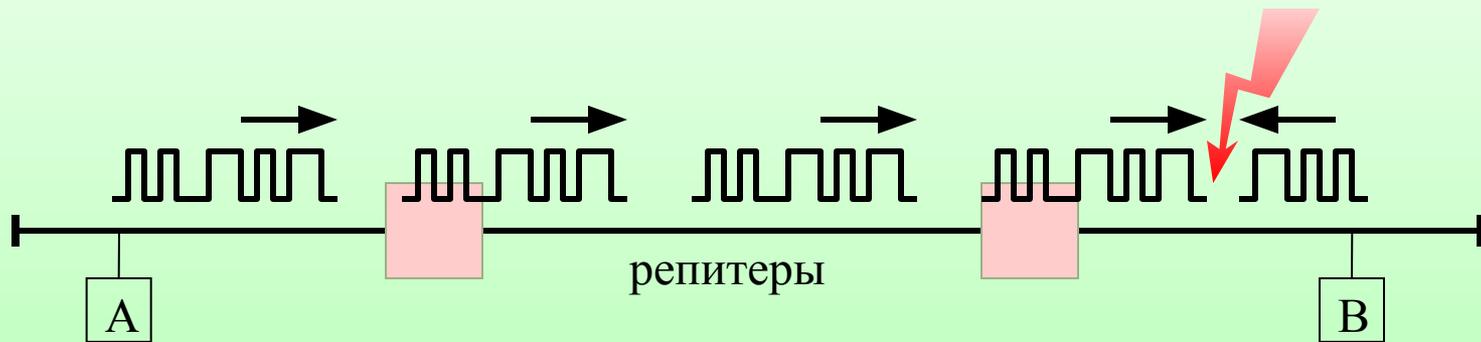
Метод доступа к среде передачи - множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов **CSMA/CD**.

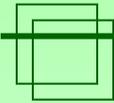
CS (carrier sense) - постоянная проверка среды передачи (idle, busy).

MA (multiple access) - если среда свободна, любая станция может начать передачу.

CD (collision detect) - обнаружение коллизий.

CSMA/CD работает только при включении полудуплексного режима.



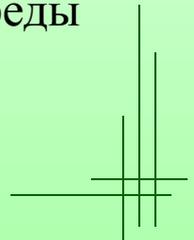


При обнаружении коллизии станция выдает в среду передачи специальный сигнал, называемый jam-последовательностью, облегчающий обнаружение коллизии другими станциями. Обычно jam-последовательность выдается с нарушением схемы физического кодирования.

После обнаружения коллизии каждый узел, который передавал кадр и столкнулся с коллизией, после некоторой задержки пытается повторно передать свой кадр.

Длина кабельной системы выбирается таким образом, чтобы за время передачи кадра минимальной длины сигнал коллизии успел бы распространиться до самого дальнего узла сети.

Между двумя последовательно передаваемыми по общей шине кадрами информации должна выдерживаться пауза в 96 тактов (9.6 мкс для скорости 10 Мбит/сек); эта пауза нужна для приведения в исходное состояние сетевых адаптеров узлов, а также для предотвращения монопольного захвата среды передачи данных одной станцией.

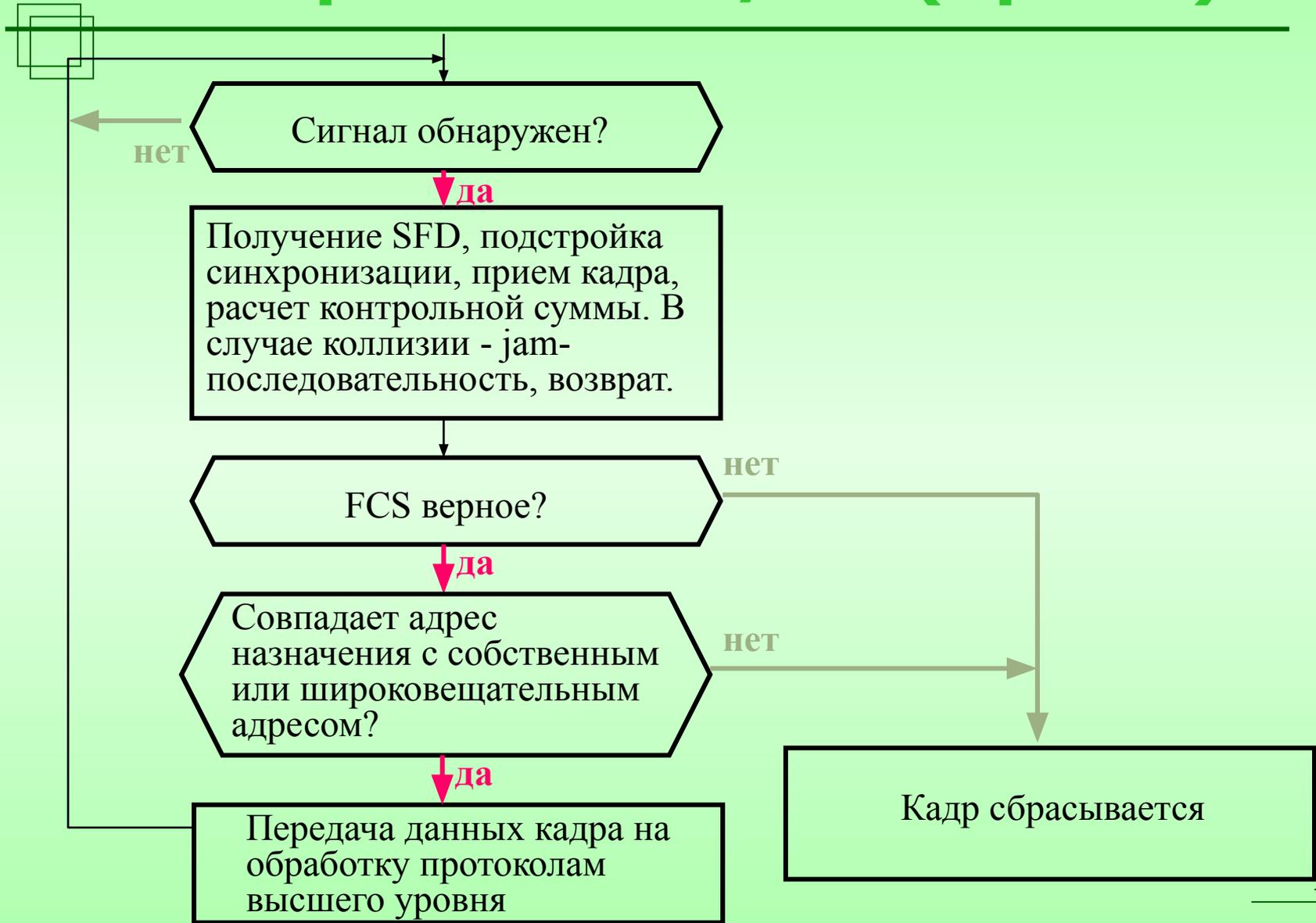


Алгоритм CSMA/CD (передача)



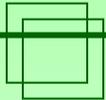


Алгоритм CSMA/CD (прием)





Домены коллизий



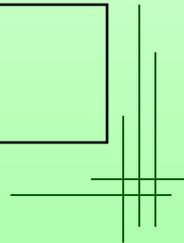
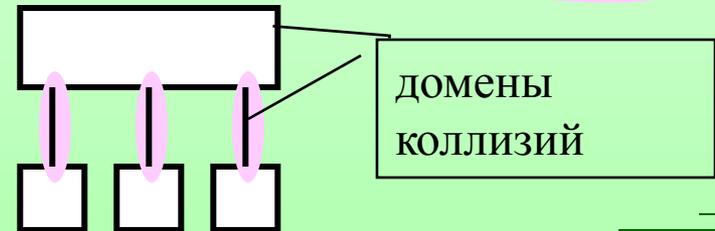
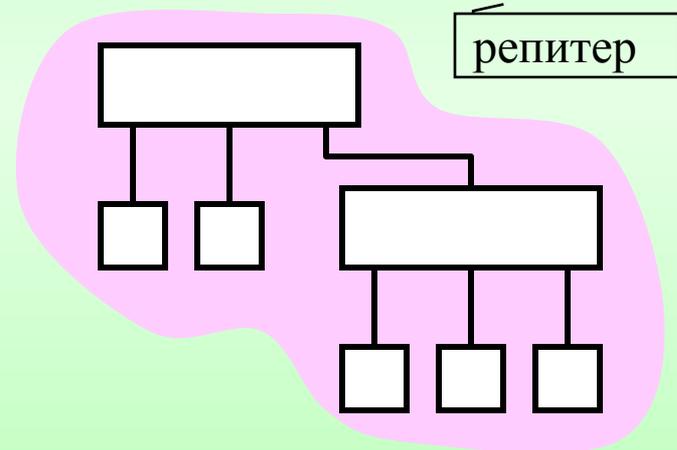
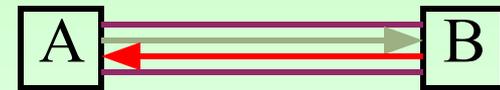
Домен коллизий - часть сети Ethernet, в которой нет буферизирующих кадры устройств (например, коммутаторов с проверкой корректности полученного кадра) **или** множество всех станций сети, одновременная передача любой пары из которых приводит к коллизии.

витые пары

 Коллизий не существует (сетевые карты работают в дуплексном режиме)

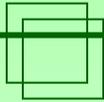
 Если сеть построена на репитерах, то домен коллизий включает в себя всю кабельную систему, (сетевые карты работают в режиме полудуплекса)

 Домен коллизий ограничен кабелем от сетевой карты до коммутатора (сетевые карты работают в полудуплексном режиме)



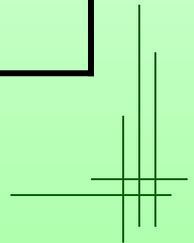


Полудуплекс Ethernet



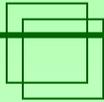
Сравнительные характеристики Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet для полудуплексного режима передачи

Скорость передачи	10 Мбит/с	100 Мбит/с	1000 Мбит/с
Минимальный размер кадра	64 байта	64 байта	520 байт (с добавленным полем расширения)
Макс. длина кабеля	100 м. UTP	100 м. UTP 412 м. оптоволокно	100 м. UTP 316 м. оптоволокно
Макс. размер домена коллизий	2500 м.	205 м.	200 м.
Макс. кол-во репитеров в сети	4	2	1





Форматы кадров Ethernet



Pre+SFD	DA	SA	T L	LLC data	(Pad)	FCS
Преамбула +SFD	Адрес назначен ия	Адрес источни ка	Тип или длина кадра	Данные верхних уровней	Поле заполнения	Контрольная сумма

Pre - преамбула (7 байт 10101010) для синхронизации на приемной стороне

SFD - начальный ограничитель кадра (Starting Frame Delimiter, 10101011)

DA - адрес назначения (Destination Address, 6 байт - MAC адрес)

SA - адрес источника (Source Address, 6 байт - MAC адрес)

T - тип кадра, 2 байта (для кадра **Ethernet II**)

L - длина кадра, 2 байта (для кадров **Ethernet 802.3**, **Ethernet 802.2**, **Ethernet SNAP**)

LLC data - 0-1500 байт, информация с заголовками верхних уровней

Pad - поле заполнения, если поле **LLC data** меньше 46 байт

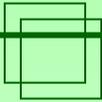
FCS - контрольная сумма кадра (Frame Check Status, 4 байта, циклический избыточный код по всем полям, кроме Pre+SFD и FCS)

Общая длина кадра Ethernet - **64-1518** байт, длина заголовочной и трейлерной частей (без преамбулы) - 18 байт





Типы MAC адресов



- **Unicast**

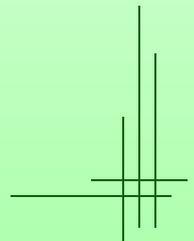
Каждое терминальное коммуникационное устройство, как правило, имеет уникальный адрес канального уровня. Первый бит шестибайтовой последовательности всегда 0.

- **Multicast**

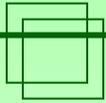
Такой адрес идентифицирует станции, выделенные в группу администратором. Первый бит - 1, остальные любые, кроме всех 1. Не может быть адресом отправителя SA.

- **Broadcast**

Все биты адреса выставляются в 1, т.е. адреса выглядит FF-FF-FF-FF-FF-FF. Кадр с таким адресом предназначен для всех станций в сети.



Форматы кадров Ethernet



Если значение поля **Тип** > 1500 (0x05DC), то данный кадр - **Ethernet II**, а значение в этом поле указывает на протокол верхнего уровня. 0x0800 для IP, 0x0806 для ARP, 0x809B для AppleTalk, 0x0600 для XNS, и 0x8137 для IPX/SPX.

LLC data = LLC заголовок (3 байта: DSAP, SSAP, поле управления) + данные. DSAP, SSAP - Destination (Source) Service Access Point - код службы на приемной и передающей сторонах.

Если Длина < 1500, то:

Если 2 байта (DSAP, SSAP) = 0xFFFF, то кадр - **Ethernet 802.3** (устарел);

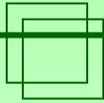
Если 2 байта (DSAP, SSAP) = 0xAAAA, то **Ethernet SNAP** (популярный формат в сетях TCP/IP, более гибкий стандарт, чем **Ethernet II**);

Иначе - кадр **Ethernet 802.2** (используется фирмой Novell).

Кадры различных форматов могут сосуществовать в одной сети. Различия в форматах кадров технологии Ethernet могут иногда приводить к несовместимости аппаратуры, рассчитанной на работу только с одним стандартом. Производится автоматическое детектирование типов кадров по характерным значениям некоторых полей.

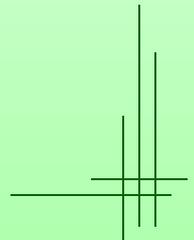


Типы процедур обмена данными



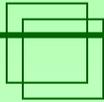
Три типа процедур обмена данными:

- 1. LLC 1** определяет обмен данными без предварительного установления соединения и без повторной передачи кадров в случае обнаружения ошибочной ситуации, то есть является процедурой дейтаграммного типа. Этот тип процедуры используется во всех практических реализациях Ethernet. Поле управления для этого типа процедур имеет значение 03, что определяет все кадры как нумерованные.
- 2. LLC 2** определяет режим обмена с установлением соединений, нумерацией кадров, управлением потоком кадров и повторной передачей ошибочных кадров. В локальных сетях Ethernet этот режим используется редко.
- 3. LLC 3** определяет режим передачи данных без установления соединения, но с получением подтверждения о доставке информационного кадра адресату. Только после этого может быть отправлен следующий информационный кадр.





Спецификации Ethernet



10Base-5 - коаксиальный кабель диаметром 0.5 дюйма, называемый "толстым" коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом.

Максимальная длина сегмента - 500 метров (без повторителей).

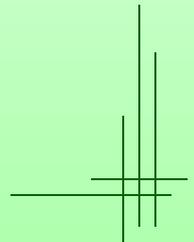
10Base-2 - коаксиальный кабель диаметром 0.25 дюйма, называемый "тонким" коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом.

Максимальная длина сегмента - 185 метров (без повторителей).

10Base-T - кабель на основе неэкранированной витой пары (Unshielded Twisted Pair, UTP). Образует звездообразную физическую топологию с концентратором. Расстояние между концентратором и конечным узлом - не более 100 м. Передача и прием ведется по двум парам из четырех.

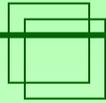
10Base-F - оптоволоконный кабель. Топология аналогична стандарту на витой паре. Имеется несколько вариантов этой спецификации - FOIRL, 10Base-FL, 10Base-FB.

Для всех стандартов Ethernet логическая топология - **шина** (если сеть построена не на коммутаторах).

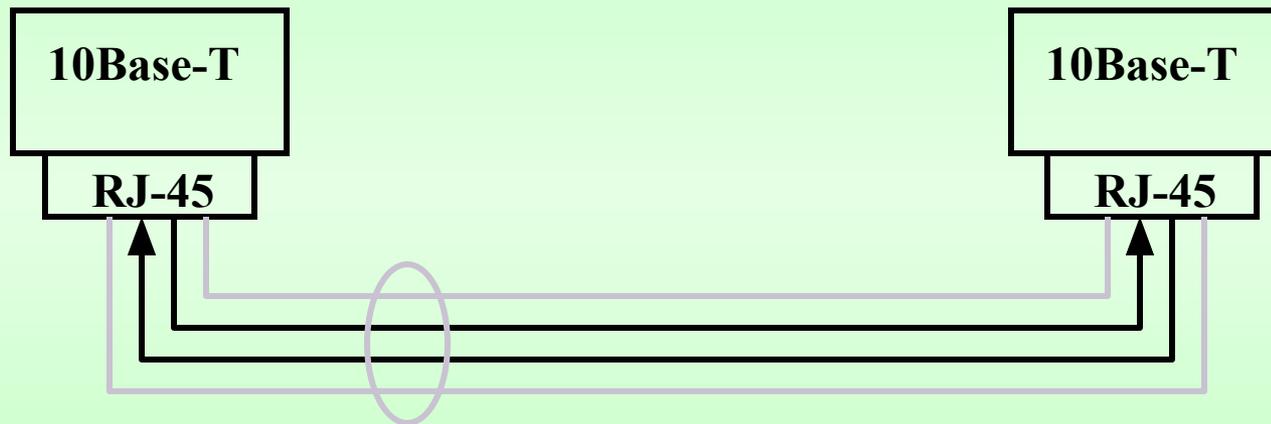




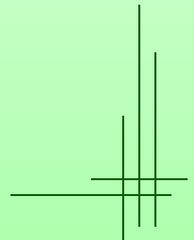
Ethernet 10Base-T



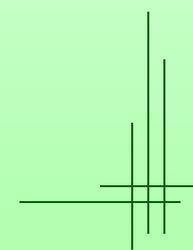
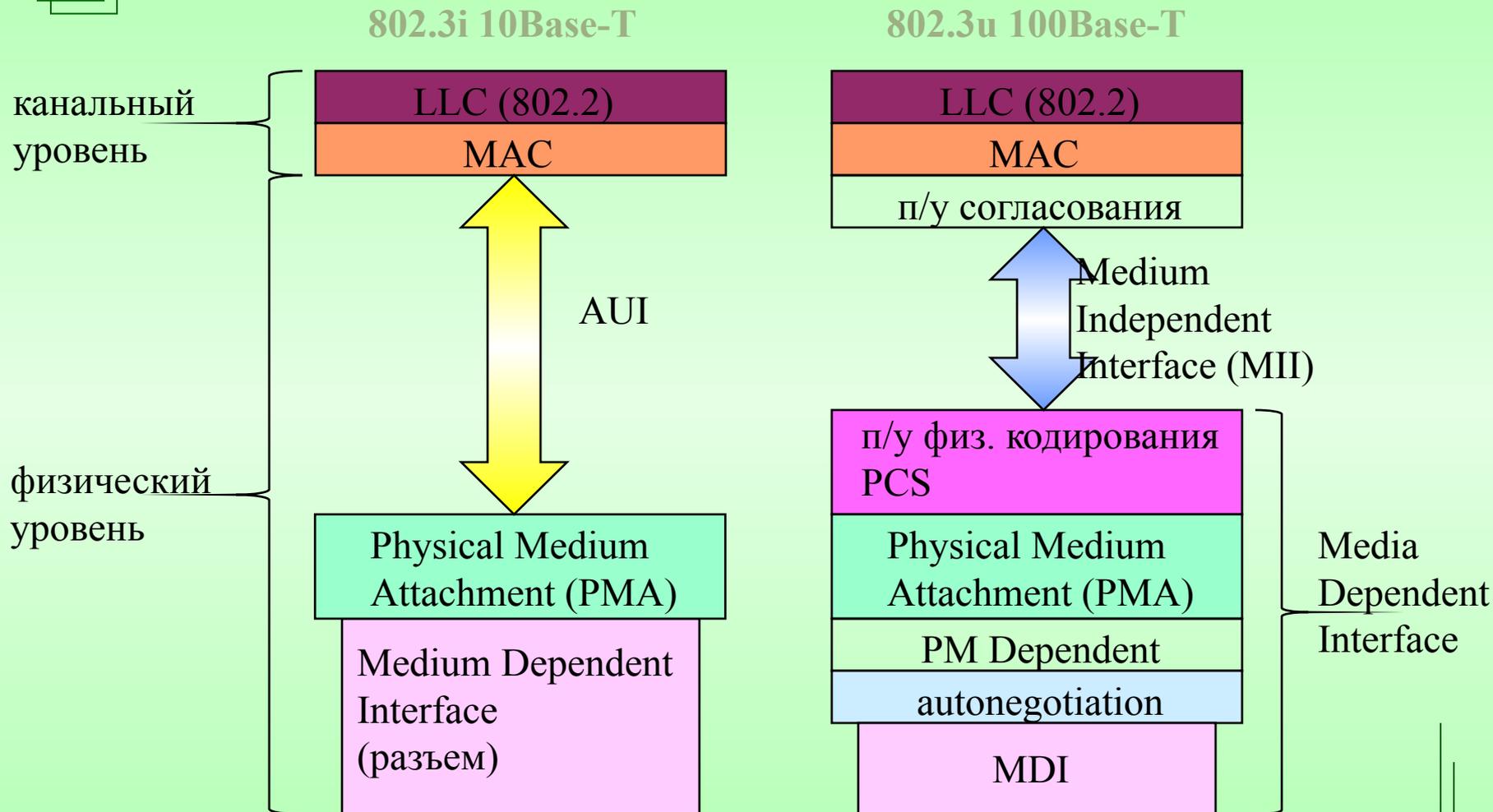
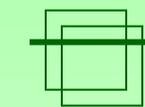
10Base-T может поддерживать как дуплексную, так и полудуплексную передачу, поскольку передача ведется по двум симплексным витым парам с использованием разъема RJ-45.



Четырех-парный кабель UTP 3 и 5 категории.
Используется только две однонаправленных пары.

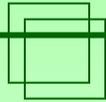


Стеки Ethernet и Fast Ethernet



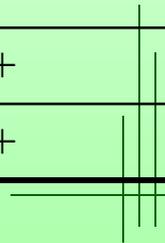


Fast Ethernet (100 Mbps)

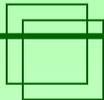


В мае 1995 года комитет IEEE принял спецификацию Fast Ethernet в качестве стандарта 802.3u. Отличия FE от E обусловлены не только использованием различных вариантов кабельных систем и электрических параметров импульсов, как это сделано в технологии 10 Мб/с Ethernet, но и способом кодирования сигналов и количеством используемых в кабеле проводников.

Спецификации Ethernet	Скорость передачи, baud	Кодирование	Кабельная система	Возможность работы в дуплексном режиме
10Base-T	10 Mbd	Manchester II	2 пары UTP 3 кат.	+
100Base-TX	125 Mbd	4B/5B, MLT-3	2 пары UTP 5 кат., STP 1	+
100Base-T4	33 Mbd	8B/6T	4 пары UTP 3 кат.	-
100Base-T2	25 Mbd	РАМ-5	2 пары UTP 3 кат.	+
100Base-FX	125 Mbd	4B/5B, NRZI	оптоволокно	+

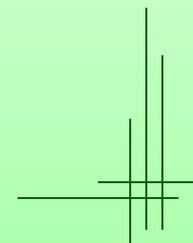
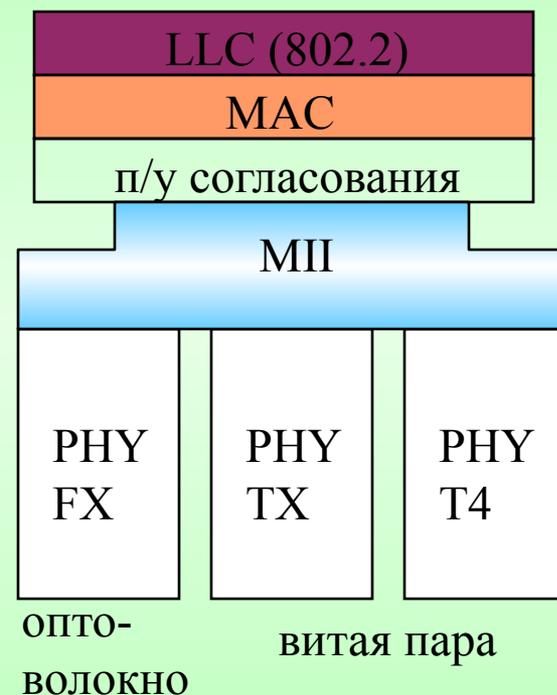


Физический уровень FEthernet

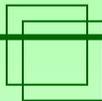


Физический уровень состоит из трех подуровней:

- 1) **подуровень согласования** (reconciliation sublayer)
- 2) **независимый от среды интерфейс** (Media Independent Interface, МИИ, внутренний и внешний (40 Pin, 1м, 5v)) - поддерживает независимый от используемой физической среды способ обмена данными между MAC-подуровнем и подуровнем РНУ. Похож на АUI, только АUI между РНУ (там всегда одинаковое кодирование) и РМА
- 3) **устройство физического уровня** (Physical layer device, РНУ) - обеспечивает кодирование данных, поступающих от MAC-подуровня для передачи их по кабелю определенного типа, синхронизацию передаваемых по кабелю данных, а также прием и декодирование данных в узле-приемнике



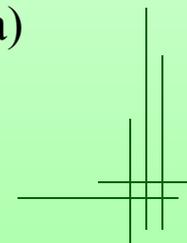
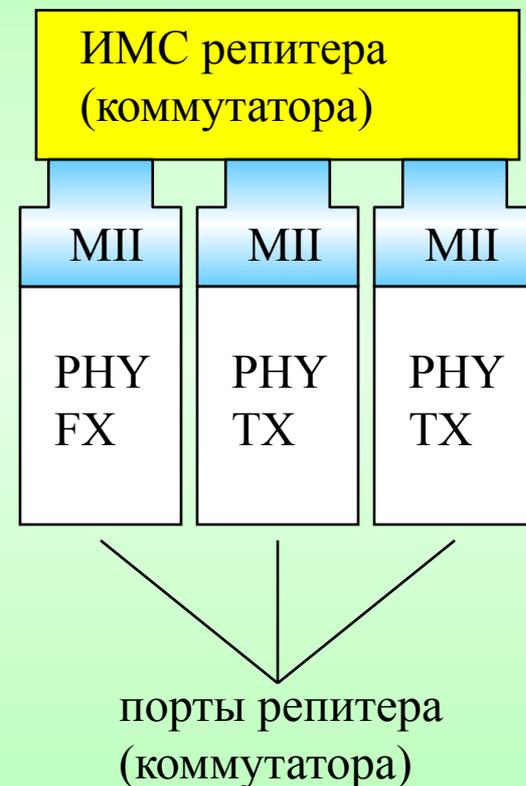
Media Independent Interface



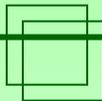
Media Independent Interface, МИИ.

Интерфейс МИИ может использоваться не только для связи РНУ с МАС, но и для соединения устройств РНУ с микросхемой повторения сигналов в многопортовом повторителе-концентраторе.

Данные о конфигурации, а также о состоянии порта и линии хранятся соответственно в двух регистрах: регистре управления (*Control Register*, для установки скорости работы порта, для указания, будет ли порт принимать участие в процессе автопереговоров о скорости линии (наиб. высокоскоростной режим), для задания режима работы порта - полудуплексный или полнодуплексный, и т.п.) и регистре статуса (*Status Register*, информацию о действительном текущем режиме работы порта).



Физический уровень 100Base-FX



Многомодовое оптоволокно.

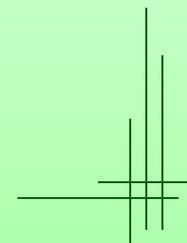
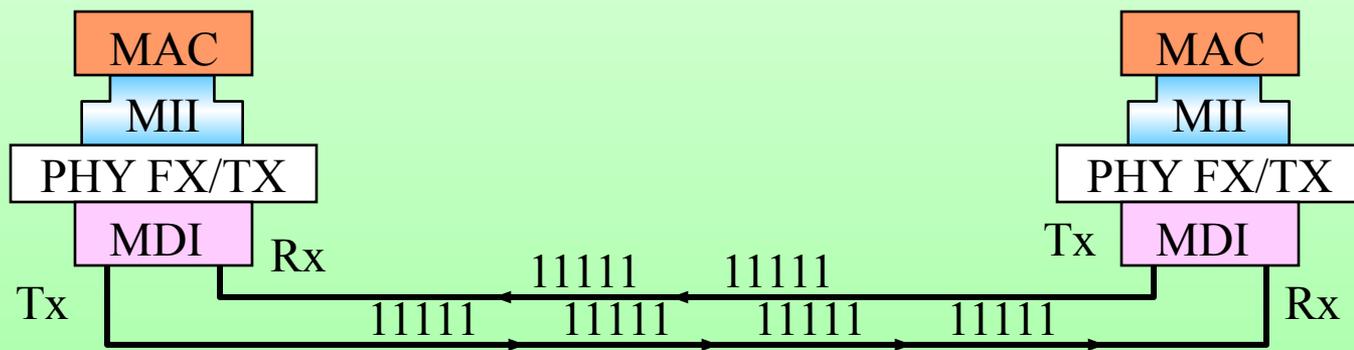
Прием данных в параллельной форме от MAC-подуровня, трансляция их в один поток бит (TX или FX) и передача их через разъем в кабель и наоборот на приемной стороне.

PHY FX == PCS (4b/5b), PMA, PMD. PHY FX и TX похожи.

4b/5b: физ. кодирование - NRZI, сл. для того, чтобы избавиться от длинных последовательностей 0 применяют логического кодирование - 4b/5b.

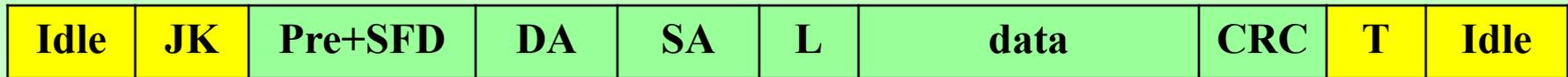
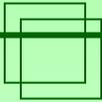
Из 32 комбинаций 5 бит используется 16, остальные - под служебные.

Схема непрерывного обмена информацией. В отличие от 10BaseT, незанятая сеть наполнена символами Idle (1111) - поддерживается синхронизм и проверяется целостность сети. Есть запрещенные комбинации, сл. повышается устойчивость сети за счет отбрасывания таких символов.



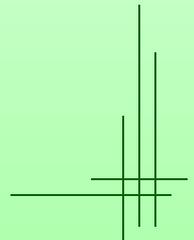


Кадр Fast Ethernet

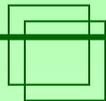


Для отделения кадра Ethernet от символов Idle используется комбинация символов Start Delimiter (пара символов JK, также из числа избыточных символов для логического кодирования 4b/5b), а после завершения кадра перед первым символом Idle вставляется символ T - ограничитель конца потока значащих символов.

Результирующий код (4b/5b+NRZI) передается со скоростью 125Мбод (125МГц - тактовая частота), 8нс - битовое расстояние.



Физический уровень 100Base-TX



Двухпарная витая пара (5 кат. или STP 150 Ом).

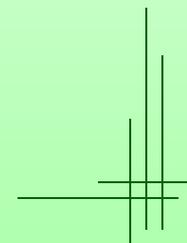
PHY FX == PCS (4b/5b), PMA, TP-PMD + Auto-negotiation.

Отличия от FX - использование метода MLT-3 для передачи 5-битовых порций и договор о скорости работы порта.

Auto-negotiation - автопереговоры по принятию режима работы порта (PHY TX и PHY T4).

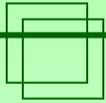
Автопереговоры позволяют сетевым картам проделать следующее: сообщить о спецификации Ethernet и доп. возможностях на другой конец UTP и договориться о максимальном приемлемом для обоих режиме (из пяти возможных по убыванию для Fast Ethernet):

- 100Base-TX full-duplex (2 пары категории 5 (или Type 1A STP))
- 100Base-T4 (4 пары категории 3)
- 100Base-TX (2 пары категории 5 (или Type 1A STP))
- 10Base-T full-duplex (2 пары категории 3)
- 10Base-T (2 пары категории 3)





Autonegotiation

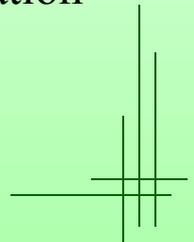


Переговорный процесс происходит при включении питания устройства, а также может быть инициирован и в любой момент модулем управления. Для организации переговорного процесса используются служебные сигналы проверки целостности линии технологии 10Base-T - link test pulses, если узел-партнер поддерживает только стандарт 10Base-T. Внутри них инкапсулируется информация переговорного процесса Auto-negotiation - Fast Link Pulse burst (FLP).

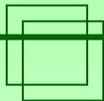
Устройство, начавшее процесс auto-negotiation, посылает своему партнеру пачку импульсов FLP, в котором содержится 8-битное слово, кодирующее предлагаемый режим взаимодействия, начиная с самого приоритетного, поддерживаемого данным узлом. Если узел не понимает автодоговора, то он шлет в сеть каждые 16мс link test pulses.

Пример: две сетевых карты 100Base-TX, но только одна может работать в полнодуплексном режиме. Установленный режим в результате autonegotiation - 100 Мбит/с полудуплекс.

10Base-T и 100Base-TX --> 10Base-T (скорее всего полудуплекс), редко бывает, что вообще не договорятся.



Физический уровень 100Base-T4



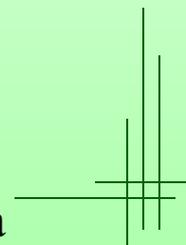
Четырехпарная витая пара PHY T4 для старых сетей на категории 3.

PHY T4 == PCS (8B/6T), PMA + Auto-negotiation.

8B/6T (8 бит / 6 триад): каждые 8 бит информации MAC-уровня кодируются 6-ю троичными цифрами (ternary symbols), то есть цифрами, имеющими три состояния, битовое расстояние - 40 наносекунд. ($2^8=256$, $3^6=729$, введена избыточность)

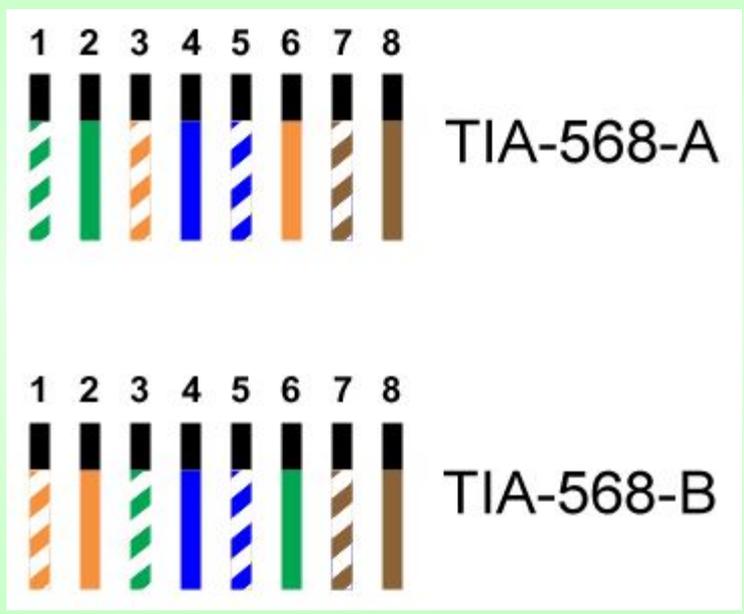
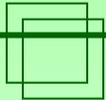
Группы из 6-ти троичных цифр затем передаются в три передающих витых пары. Четвертая пара - для прослушивания несущей частоты в целях обнаружения коллизии. $3 * 25 \text{ МГц (такт)} * 8/6 = 3 * 33.3 \text{ Мбит/с} = 100 \text{ Мбит/с}$.

Соединение RJ-45 карты с портом репитера по спецификации PHY T4:





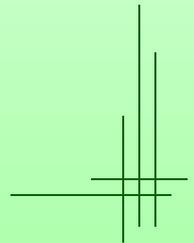
Две разводки кабеля (А и В)



Ultimate cross over cable's How To

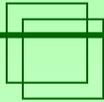
Follow the code of colors to find out how to put the wires

WO	O	WG	Bl	WBl	G	WBr	Br	
	1	2	3	4	5	6	7	8
WG	G	WO	Bl	WBl	O	WBr	Br	





Поддержка VLAN

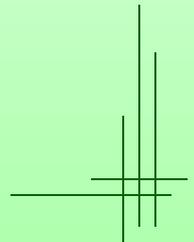


VLAN - Virtual Local Area Networks, возможность создания виртуальных локальных сетей на коммутаторах (1998 год).

Технология коммутации кадров позволяет сделать логическую конфигурацию локальной сети независимой от ее физической инфраструктуры.

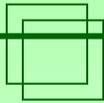
Цели нововведения:

1. обеспечить средства поддержки приложений, критичных ко времени задержки и стабильности пропускной способности;
2. позволить объединять станции в независимые логические группы, обеспечить коммуникацию внутри группы, разграничив внутренний и внешний трафики (коммутаторы отсылают кадры, в том числе широковещательные, только станциям в группе, идентификатор которой обнаружен в заголовках кадра);
3. упростить конфигурирование локальных сетей.





Кадр с тегом VLAN



Кадр MAC уровня был увеличен до 1522 байт (добавлено 4 байта).

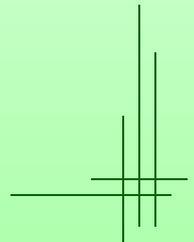
Заголовок VLAN состоит из двух полей:

VLAN type ID (два байта на прежнем месте поля T|L, имеющие заранее определенное стандартное значение) и

Tag Control Information (два байта, указывающие на приоритетность кадра (0-минимальный, 7 - максимальный), а также на идентификатор конкретной VLAN).

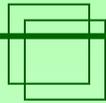
Информацией в заголовке VLAN пользуется коммутаторы при принятии решения в какой(ие) порт(ы) переправлять кадр. При принятии кадра VLAN конечной станцией, она выбрасывает информацию в теге VLAN и обрабатывает кадр как обычно.

Для функционирования сетей VLAN необходимо, чтобы все станции "понимали" этот формат кадра!

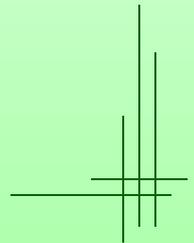
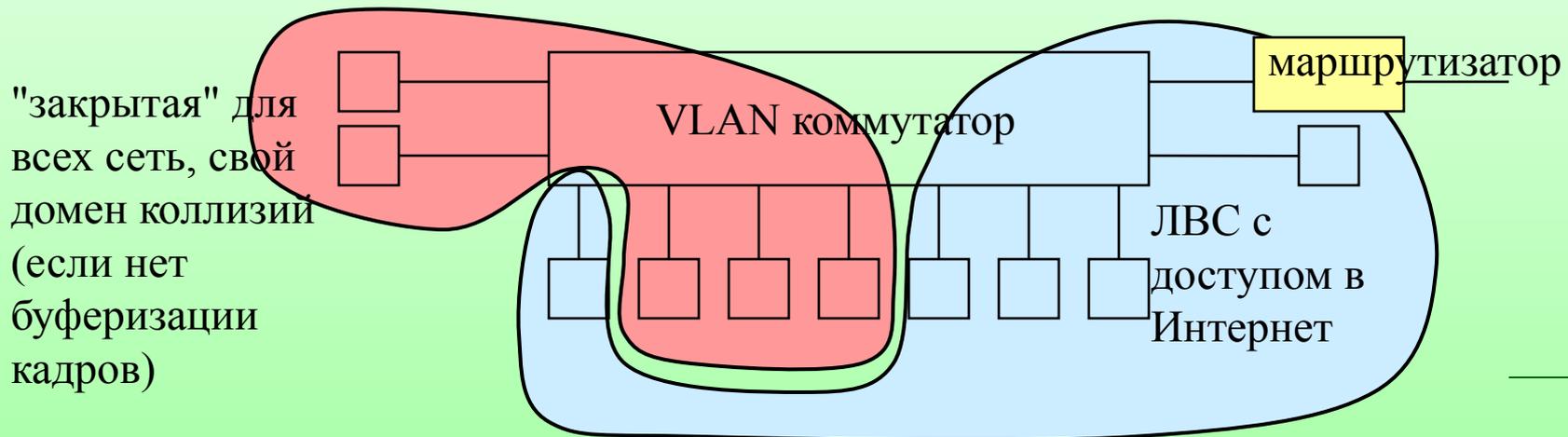




Реализация VLAN

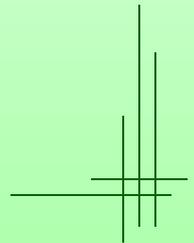
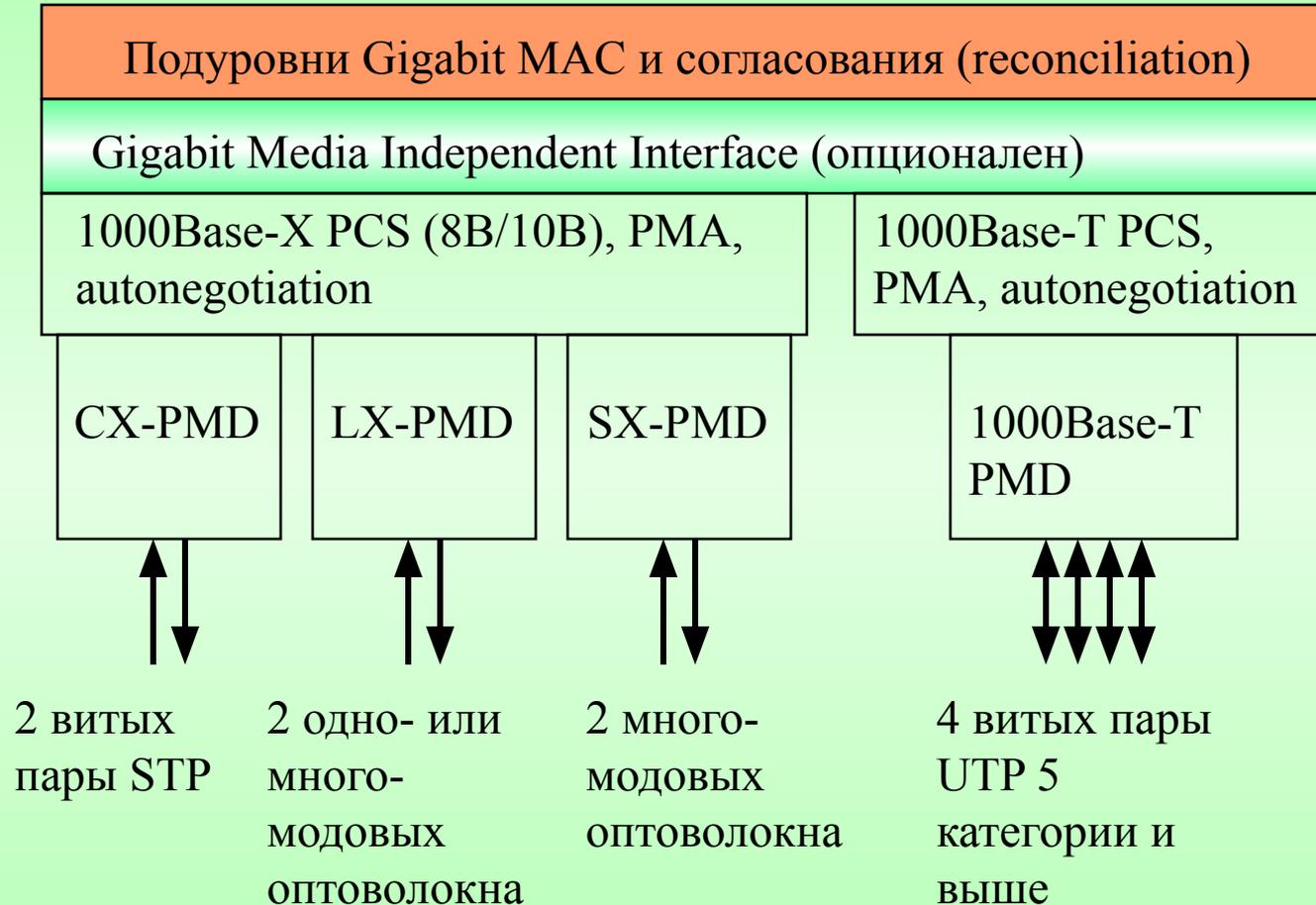
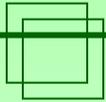


- Появилась возможность защищать корпоративные сети благодаря выделению части станций в недоступную для всех VLAN.
- Показателем правильной конфигурации топологии VLAN и размещения информационно-вычислительных ресурсов является соотношение объема внутрисетевого трафика к трафику, передаваемому в другие VLAN. Хорошим соотношением является 80/20, когда 80% трафика передается в рамках одной VLAN и не требует маршрутизации, а обмен данными с другими виртуальными сетями составляет 20%.
- Желательно, чтоб каждая виртуальная сеть имела канал с маршрутизатором (или маршрутизаторами), адекватный по пропускной способности интенсивности межсетевого трафика.



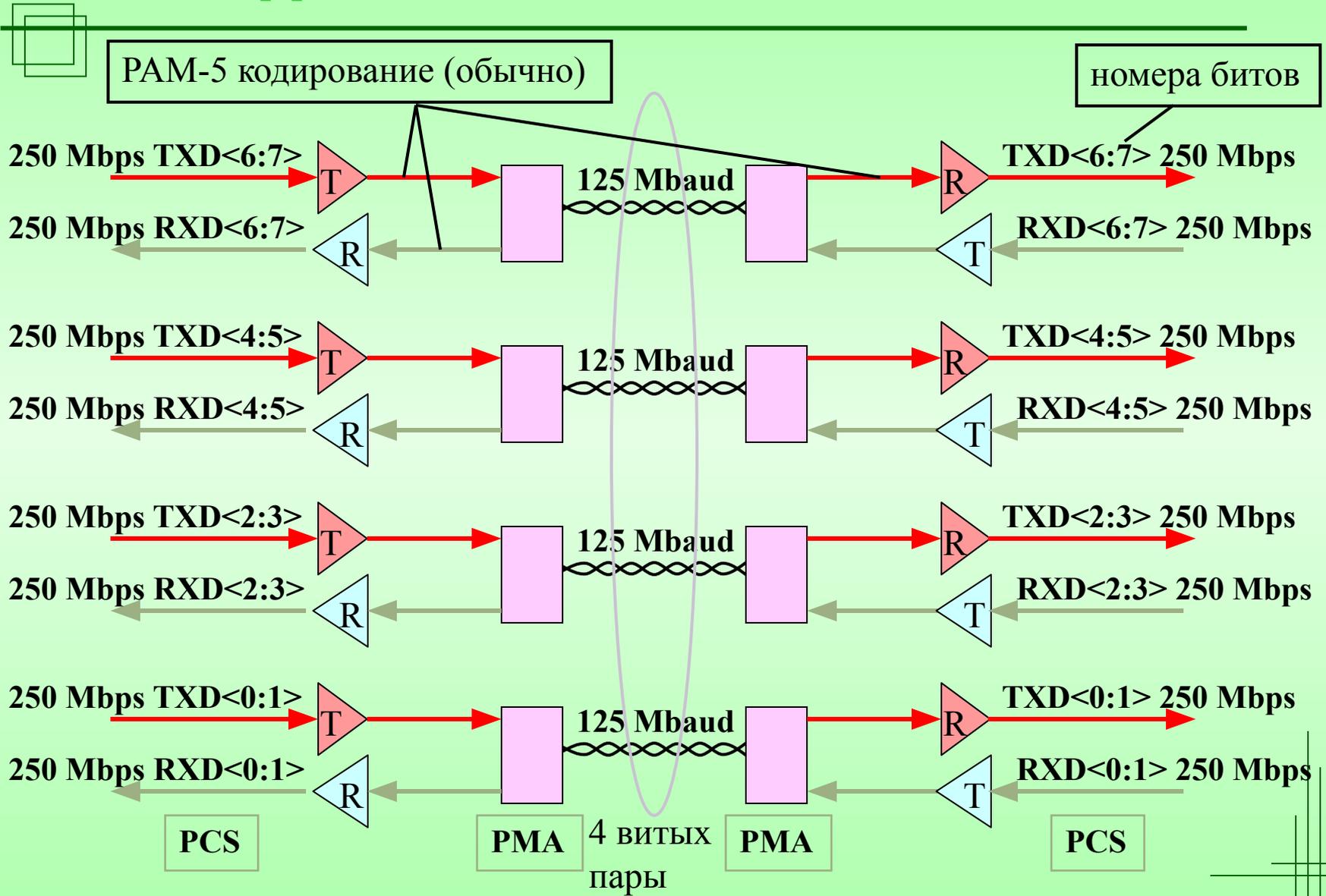


Gigabit Ethernet



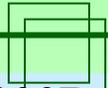


Соединение 1000Base-T





Спецификации GEthernet



1000Base-LX
 $\lambda=1300\text{нм}$

9 мкм, одномодовое

50 или 62.5 мкм, многомодовое
400 или 500 МГц-км

1000Base-SX
 $\lambda=850\text{нм}$

50 мкм, многомодовое
500 МГц-км

50 мкм, многомодовое
400 МГц-км

62.5 мкм, многомодовое
200 МГц-км

62.5 мкм, многомодовое
160 МГц-км

1000Base-T

4 пары кат. 5
UTP

1000Base-CX

витая пара STP

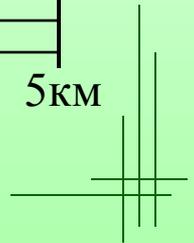
25м

220м 275м

500м 550м

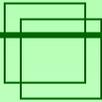
5км

Кроме этого вне основных стандартов 802.3 существуют
1000Base-LH (10км) и 1000Base-ZX (90км)





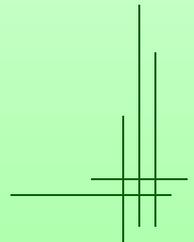
Кодирование 8В/10В



Кодирование 8В/10В (8 бит --> 10 бит) применяется также в Fibre Channel.

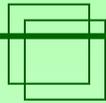
Характеристики:

- введена избыточность (256 состояний кодируются в 1024);
- избыточность позволяет восстанавливать неправильно переданный сигнал без повторной передачи;
- возможность самосинхронизации за счет часто встречающихся фронтов импульсов;
- убран дисбаланс между количеством "0" и "1" по сравнению с 4b/5b (нет зависимости нагрева лазеров от передаваемых данных, повышается стабильность, а также нет накопления потенциала для электропроводных линий);
- кодирование позволяет отличать данные от управляющих сигналов.





Расширение кадра GEthernet



Slot_time (окно коллизий) зависит от размеров сегмента и должно быть больше, чем время двойного прохождения сигнала по среде передачи.

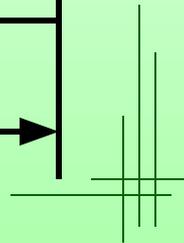
Для того, чтобы надежно обнаруживать коллизию при повышении скорости передачи есть два способа:

- а) уменьшить длину сегмента коллизий, а, следовательно, и Slot_time;
- б) увеличить минимальную длину кадра.

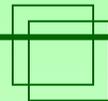
При переходе от Ethernet к Fast Ethernet был уменьшен размер сегмента коллизий до 205 метров для UTP.

Для функционирования Gigabit Ethernet выбрали путь увеличения минимальной длины кадра до 416 байт (для 1000Base-X) или 520 байт (для 1000Base-T) путем добавления к нему расширения кадра. Различия в длине связаны с дополнительным логическим кодированием 8В/10В для 1000Base-X.

Расширение кадра игнорируется на приемной стороне.



Уплотнение (Packet bursting)



Расширение кадра позволило избежать проблем с Slot_time, но во многих случаях для маленьких пакетов приходится передавать слишком много ненужной информации (448 байт расширения из 520). Пропускная способность падает до скоростей Fast Ethernet.

Во избежание неполного использования канала передачи используется уплотнение кадров. Первый кадр передается, если нужно, с расширением, а вместо межкадровых промежутков (IFG*), когда станция должна "молчать", она выдает в среду символы расширения (для того, чтобы другие станции не захватили среду), а затем после первого IFG* следуют другие кадры, но уже без расширения (промежутки между кадрами опять заполняются символами расширения). В этом случае полоса пропускания используется намного более практично.

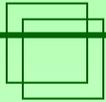


IFG* - во время межкадрового интервала станция выдает в среду передачи символы расширения кадра. Ethernet и Fast Ethernet не поддерживают расширение кадров и packet bursting.

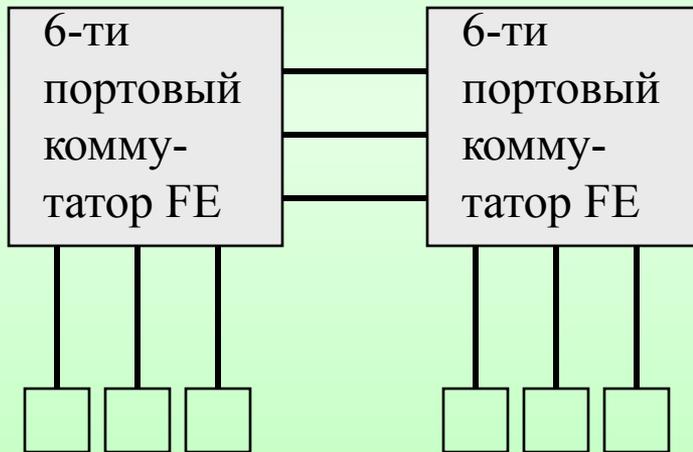




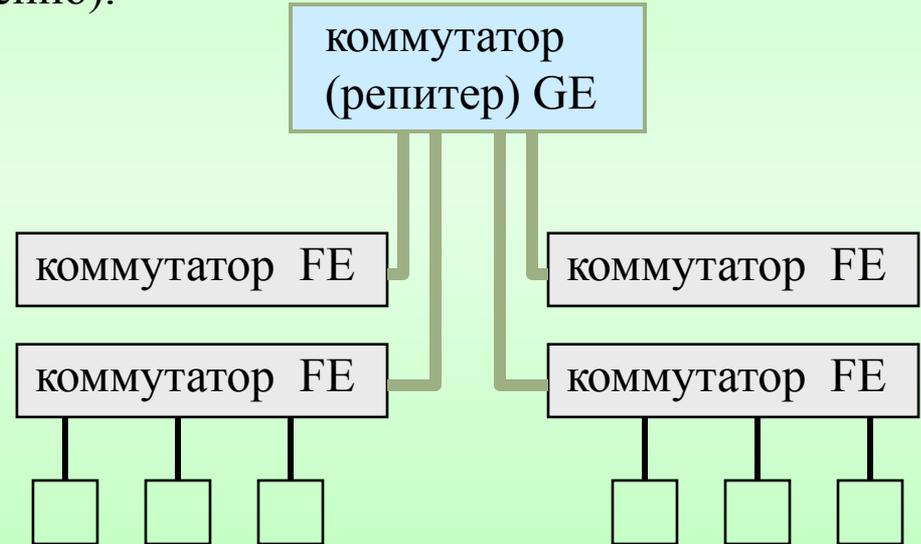
Применение GEthernet



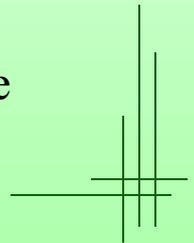
Переход от Fast Ethernet к более высокоскоростным сетям (напр., Gigabit Ethernet) происходит либо заменой (дополнительной закупкой) оборудования (коммутаторов, репитеров), либо благодаря использованию агрегации каналов (возможность параллельной пересылки данных между коммутаторами по нескольким витым парам одновременно).



Агрегация каналов FE

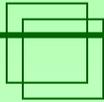


Использование GE в качестве основной сети (backbone)





10 Gigabit Ethernet



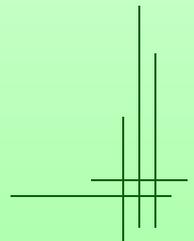
10 Gigabit Ethernet Alliance -> IEEE 802.3ae

Работа над стандартом началась в 1999 году, закончилась в середине 2002.

Особенности 10GE:

- а) сохранен формат кадра (MAC подуровень);
- б) передача только в полнодуплексном режиме;
- в) использование оптоволоконна (преимущественно одномодового) в качестве среды передачи (на 2003 год не было спецификаций на меди, но работа ведется, завершение ожидалось в 2006 году, гарантируется поддержка 100 метровых сегментов для витой пары 7 категории, 55-100 метров для 6 категории);
- г) метод доступа CSMA/CD не нужен.

Для небольших расстояний в сетях на одномодовых оптоволоконнах могут использоваться неохлаждаемые оптические элементы, а иногда и п/п лазерные диоды, что сильно удешевляет технологию.

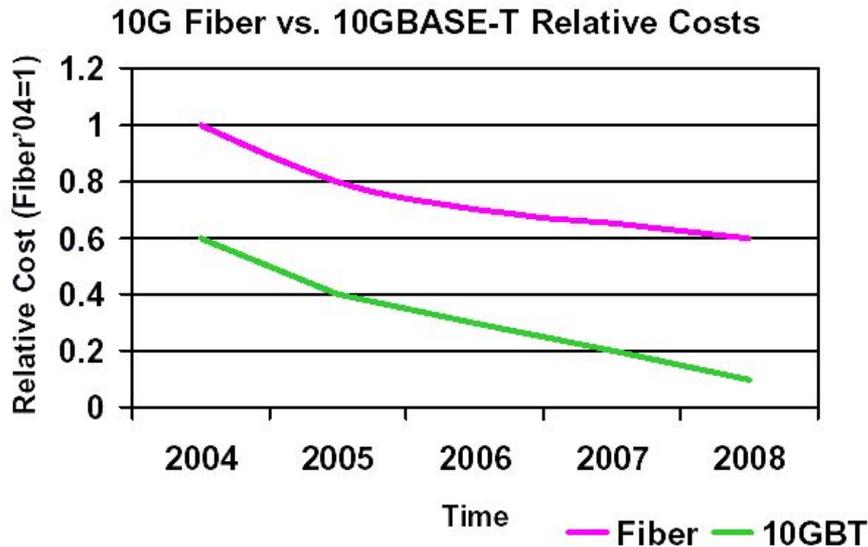
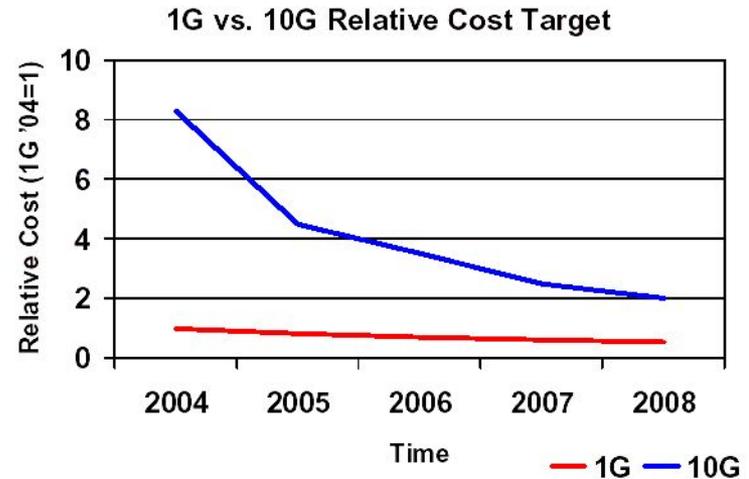


Сравнение GE и 10GE

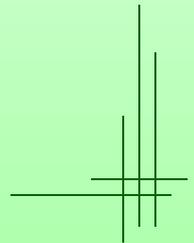


Разница в стоимости портов GE и 10GE в течение 5 лет снизится до 2-3 раз (8-9 раз в 2004 году).

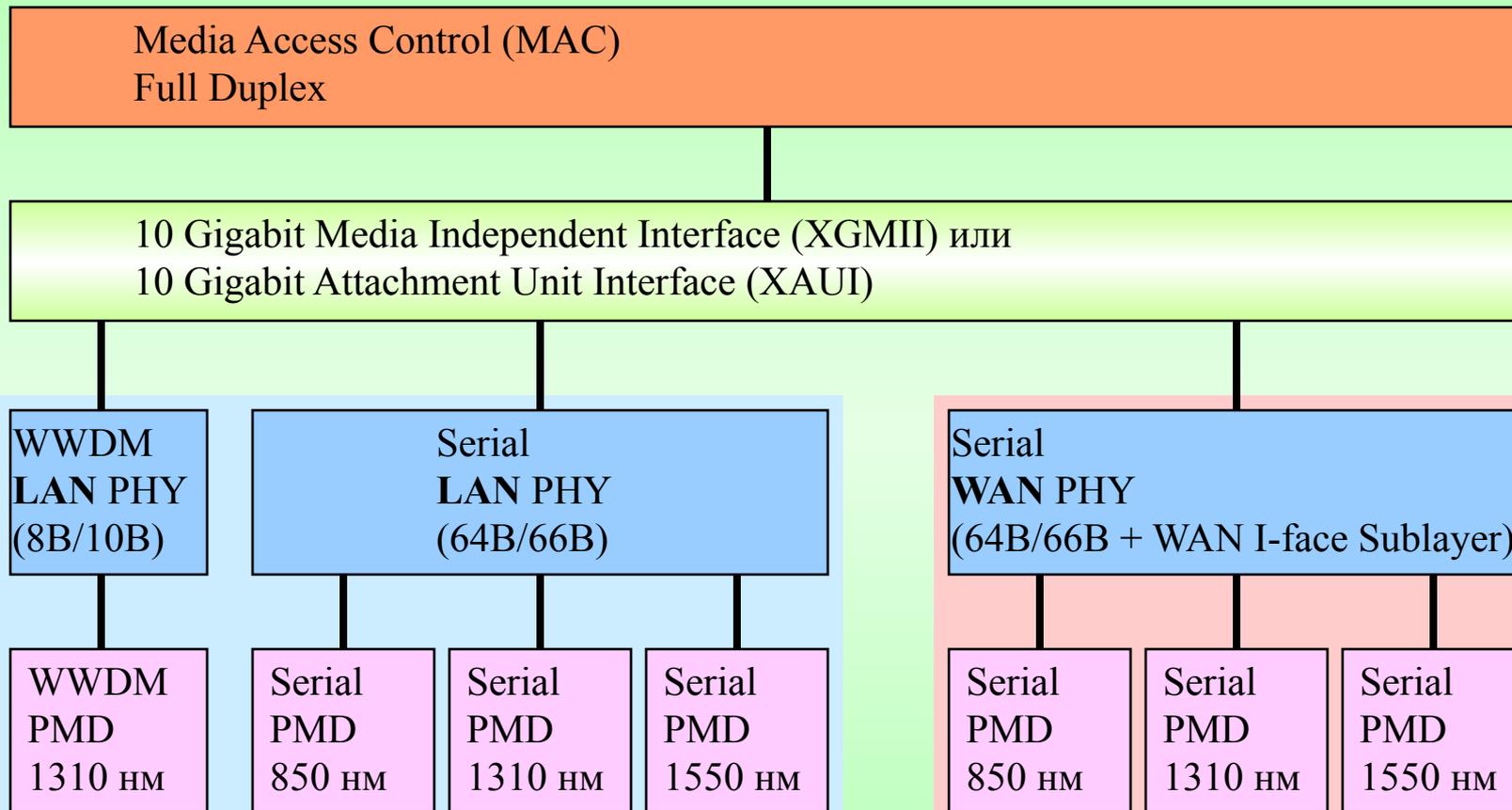
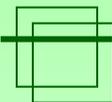
Источник: Cahners In-stat, CFI Group



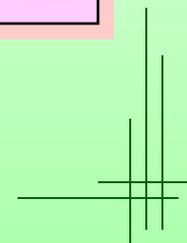
Также будут стремительно развиваться спецификации 10GE на медных проводах (в 2008 году ожидается соотношение стоимости 10 GE медь/оптоволокно = 0.15).



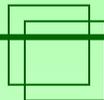
Стек 10 Gigabit Ethernet



Две спецификации устройств физического уровня: **LAN** и **WAN** для использования в локальных и глобальных сетях соответственно.



Спецификации 10 GEthernet

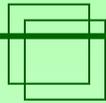


Специф-ция	8B/10B PCS	64B/66B PCS	WIS	850 нм Serial	1310 нм WWDM	1310 нм Serial	1550 нм Serial
10GBase-SR		✓		✓			
10GBase-SW		✓	✓	✓			
10GBase-LX4	✓				✓		
10GBase-LR		✓				✓	
10GBase-LW		✓	✓			✓	
10GBase-ER		✓					✓
10GBase-EW		✓	✓				✓

Спецификация WAN основана на использовании глобальных сетей SONET/SDH (Synchronous Optical Network / Synchronous Digital Hierarchy) благодаря инкапсуляции данных в кадр SONET канала OC-192, пропускная способность которого близка к 10 Гбит/сек.

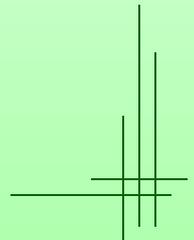


Многомодовое волокно и 10GE

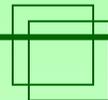


Использование многомодового оптоволокна в различных спецификациях 10 Gigabit Ethernet (по стандарту 802.3ae)

Многомодовое оптическое волокно (MMF)	62.5u MMF		50u MMF		
	160	200	400	500	2000
МГц*км	160	200	400	500	2000
850нм Serial	26м	33м	66м	82м	300м
1310нм LX4	300м при 500МГц*км		240м	300м	



Применение 10 Gigabit Ethernet



Скорость передачи данных, время задержки и другие характеристики ставят 10GE в один ряд с высокоскоростными интерфейсами (Fibre Channel, HIPPI, Ultra SCSI, ATM), применяемыми для связи серверов обработки данных и блоков их хранения.

Применение:

- коммутатор-коммутатор
- коммутатор-сервер (серверный стек)
- между зданиями
- сеть городского масштаба (для одномодового волокна до 40 км. для излучения с длиной волны 1550 нм., и 10 км. для 1310 нм.)

В отличие от синхронных сетей SONET/SDH, где вся сеть привязана к одному генератору, и где нельзя задерживать кадры на промежуточных устройствах, 10GE (как и любой Ethernet) не может обеспечить синхронность, поскольку устройства канального и сетевого уровня могут буферизировать и обрабатывать данные на основании алгоритмов производителей данной аппаратуры.

