

10-ГИГАБИТНЫЙ ETHERNET: СЕГОДНЯ И ЗАВТРА



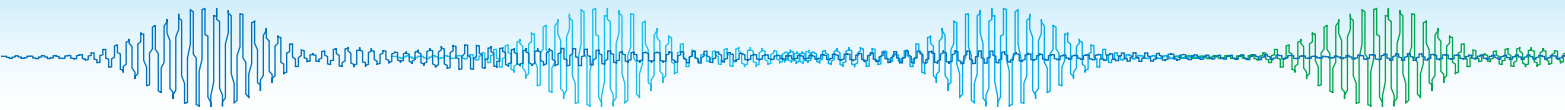
В ноябре 2006 года в Далласе (США) состоялось пленарное заседание Группы высокоскоростных технологий Ethernet (Группа HSSG), созданной в июле 2006 года [1]. Одна из основных целей заседания – обсудить возможность создания следующей высокоскоростной версии Ethernet – 100-гигабитного Ethernet (100GE). Читая сообщение об этом исключительно важном для специалистов в области связи событии, я поймал себя на том, что до сих пор не видел обстоятельных публикаций даже на тему 10-гигабитного Ethernet. Это побудило изучить документацию на стандарты Ethernet [2, 3], а потом и взяться за перо. Что из этого вышло, судить читателю.

ИНТРИГУЮЩЕЕ НАЧАЛО

Технология Ethernet получила наиболее широкое распространение из всех существующих технологий локальных сетей. Она продемонстрировала большие возможности роста скорости передачи, пройдя этапы 10 и 100 Мбит/с, затем 1 и 10 Гбит/с, и заявляя о желании в ближайшей перспективе освоить 100 Гбит/с. Важной вехой в ее развитии был выход на уровень волоконнооптических технологий глобальных сетей. Он стал возможен благодаря взаимодействию с быстро развивающейся технологией IPсетей и ее новым усовершенствованием – технологией MPLS, с одной стороны, а также использованию транспортных возможностей сетей WDM и SDH новой генерации. Рассмотрим основные особенности 10гигабитного Ethernet и возможности дальнейшего развития этой технологии в связи с началом работ над стандартом 100-гигабитного Ethernet.

10-гигабитный Ethernet (10GE, также обозначается 10GbE, 10GigE), описанный сначала в предварительном стандарте IEEE 802.3ae [2], вошел в окончательную редакцию IEEE Std 802.3-2005 [3]. Он являлся развитием гигабитного Ethernet, скорость которого была увеличена еще в 10 раз по сравнению с полудуплексным вариантом гигабитного Ethernet (GE) и в 100 раз – по сравнению с т.н. быстрым Ethernet (FE). При этом (согласно задекларированным намерениям разработчиков) была сделана попытка сохранить основные особенности базовой технологии Ethernet. Однако, начав анализировать стандарт [2], уже в самом начале сталкиваешься с интригующими замечаниями:

- "Полудуплексные операции могут быть использованы с определенными типами сред и конфигураций, указанных в разделе 4.4.2".



ГЛОССАРИЙ

- "В стандарте термин LAN используется как синоним любых сетей (а не только LAN и MAN), использующих протокол Ethernet 802.3 для передачи".
- "При динамической адаптации номинальной скорости данных к скорости SONET/SDH для WAN-совместимых приложений может быть использовано большее межкадровое расстояние (IFS – Interframe Spacing) путем добавления ряда битов".

Вместе с тем в разделе 4.4.2 [2] была представлена сравнительная таблица допустимых реализаций технологии Ethernet (табл.1). Приведенные в ней параметры протоколов Ethernet позволили получить ответы на ряд вопросов об особенностях реализации 10GE.

Первое замечание и таблица говорили о том, что при реализации 10GE разработчики реализовали только дуплексный режим передачи, отказавшись от поддержки полудуплексного (как базового) и монопольного режимов пакетной. Второе и третье замечания указывали, что стандарт [2] будет поддерживать не только LAN и MAN, но и WAN, а именно: позволит осуществить взаимодействие между 10GE и SONET/SDH STS-192c/STM-64c – инкапсуляцию пакетов Ethernet в виртуальные контейнеры 10-гигабитного конкатенированного уровня указанных иерархий [4]. Для этого, наряду с обычным для Ethernet постоянным межкадровым интервалом IFG, стандарт ввел понятие переменного межкадрового пробела IFS. Его минимальная величина составляла 40 BT (на интерфейсе XGMII, DTE) или 47 BT (на интерфейсе AUI, DTE). Она могла быть обусловлена переменными сетевыми задержками или выравниванием точности таймеров синхронизации, а также добавленными битами преамбулы и перекосом таймеров при многопоточной Ethernet-передаче. Допускалось, что минимальная величина IFS может быть расширена путем простого добавления битов для согласования средней скорости MAC-подуровня со скоростью данных фреймов SONET/SDH STS-192/STM-64 при использовании WAN-совместимых приложений.

Интрига однако исчезла вовсе после появления окончательной редакции стандарта [3], опубликованной в 2005 году. В ней уже определенно указано, что 10-гигабитный Ethernet определен для работы только в дуплексном режиме.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Новые интерфейсы и модель физического уровня

Стандарт [3] описывает три новых 10-гигабитных интерфейса:

XGMII – 10-гигабитный интерфейс, не зависящий от среды передачи, с подуровнем его расширения XGXS. Интерфейс является не обязательным, но рекомендуемым, так как допускает максимальную гибкость в использовании

BT – Bit Time – битовый интервал (БИ).

DTE – Data Terminal/Terminating Equipment – оконечное оборудование канала (передачи) данных/оконечное оборудование данных (ООД) – оборудование или устройство абонентского канала данных на стороне абонента, передающее данные на (и/или принимающее данные от) DCE (АКД).

GFP – Generic Framing Procedure – общая процедура фреймирования – стандартная процедура формирования кадров, позволяющая более эффективно гибкоинкапсулировать данные ЛВС в полезную нагрузку фреймов сетей SDH/SONET и OTN (см. ITU-T G.7041/Y.1303).

IFG – Interframe Gap – межкадровый интервал (используется в оригинальной технологии Ethernet. В 10GE наряду с ним появился термин IFS).

IFS – Interframe Spacing – межкадровый пробел (в отличие от IFG, он может иметь переменную длину).

LAN – Local Area Network – локальная сеть (ЛС) или локальная вычислительная сеть (ЛВС) – сеть передачи данных, развернутая локально, т.е. на небольшой площади.

Lane – поток данных (определенной ширины) – группа сигналов, образующая логическое подмножество потока данных при соединении точка-точка (используется, например, в КСРТ, или SSF, а также в технологии Ethernet типа 10GE – 10GBase-X/10GBase-LX4).

MAN – Metropolitan Area Network – городская/региональная сеть связи. Сеть связи общего пользования для расширения сферы действия локальных сетей (LAN) на более широкую область, хотя и меньшую, чем глобальные сети (WAN). Описана в стандарте IEEE 802.6.

MDI – Media Dependent Interface – интерфейс, зависящий от среды передачи – спецификация подуровня физического уровня для высокоскоростных (100 Мбит/с и выше) технологий Ethernet.

MDIO/MDC – Management Data Input/Output/Management Data Control – ввод-вывод управляющих данных / управление менеджментом данных.

MPLS – Multiprotocol Label Switching – многопротокольная коммутация с использованием меток – новая технология коммутации, использующая метки в пакетах данных и позволяющая создавать выделенные коммутируемые потоки.

PAR – Project Authorization Request – запрос на авторизацию права разработки стандартов.

PCI Express – новая базовая PCI-шина для последовательной передачи данных с помощью сетевых коммутационных структур последовательного типа (КСРТ, или SSF), например коммутаторов Ethernet, для однопоточковой (x1) и многопоточковой (x4) (см. например, PICMG 2.16, 2001).

PCS – Physical Coding Sublayer – подуровень кодирования физического уровня – верхний подуровень физического уровня PHY, расположен над подуровнями WIS и/или PMA, но ниже интерфейса XGMII или XMII, в модели OSI технологии Ethernet для скоростей ≥ 100 Мбит/с (см. IEEE 802.3).

PMA – Physical Medium Attachment – подуровень подсоединения к физической среде (передачи) – средний подуровень физического уровня PHY, расположен над подуровнем PMD, но ниже подуровня WIS и/или PCS, в модели OSI технологии Ethernet для скоростей ≥ 100 Мбит/с (см. IEEE 802.3).

PMD – Physical Medium Dependent – (подуровень) физического уровня, зависящий от среды передачи – нижний подуровень физического уровня PHY, расположен выше интерфейса MDI, но ниже подуровня PMA или PMI, в модели OSI технологии Ethernet для скоростей ≥ 100 Мбит/с.

RS – Reconciliation Sublayer – подуровень согласования – функция отображения 100BASE-T, согласующая сигналы перед интерфейсом Media Independent Interface (MII), связывающим с подуровнем MAC-PLS.

SONET/SDH – Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy – синхронная оптическая сеть/синхронная цифровая иерархия – цифровая технология, используемая в оптоволоконных сетях связи, реализует скорости передачи до 40 Гбит/с.

SSF – Switched Serial Fabric – коммутационная структура последовательного типа (КСРТ).

SVC-I/F – Switched Virtual Circuit-Interface – коммутируемая виртуальная цепь-интерфейс.

WAN – Wide Area Network – глобальная сеть (реже – региональная вычислительная сеть) – сеть передачи информации, покрывающая большую географическую область.

WIS – WAN Interface Sublayer – подуровень интерфейса глобальной сети – один из 4 подуровней физического уровня модели OSI технологии 10GE (вариант 10GBASE-W), расположенный между PCS- и PMA-подуровнями и объединяющий их; содержит функции для выполнения фреймирования и скремблирования SONET STS-192c/SDH VC-4-64c (см. IEEE 802.3).

XGXS – XGMII Extender Sublayer – подуровень расширителя интерфейса Ethernet XGMII.

Таблица 1. Сравнительные параметры различных реализаций Ethernet

| Параметры | Ethernet 802.3 | FE 802.3u | GE 802.3z | 10GE 802.3ae |
|--|----------------|-----------|-----------|--------------|
| Скорость, Мбит/с | 10 | 100 | 1000 | 10 000 |
| Тайм-слот обработки коллизии, БТ (БИ)* | 512 | 512 | 4096 | – |
| IFG (МКИ)**, бит | 96 | 96 | 96 | 96 |
| IFG (МКИ), нс | 9 600 | 960 | 96 | 9,6 |
| Число попыток захвата среды | 16 | 16 | 16 | – |
| Число откатов (применений алгоритма Backoff) | 10 | 10 | 10 | – |
| Длина сообщения о коллизии, бит | 32 | 32 | 32 | – |
| Максимальная длина кадра, байт | 1518 | 1518 | 1518 | 1518 |
| Минимальный размер кадра, бит/байт | 512/64 | 512/64 | 512/64 | 512/64 |
| Длина пакета монопольного режима передачи, бит | – | – | 65 536 | – |
| Относительное расширение пробела IFS, бит | – | – | – | 104 |

*БТ (БИ) – битовый интервал
 **IFG – межкадровый интервал

физических подуровней и интерфейса со стороны оборудования DTE на скорости 10 Гбит/с. Новый интерфейс рассчитан на работу на межмикросхемном уровне (ИС-ИС) и не требует физического разъема.

XAUI – 10-гигабитный интерфейс блока/устройства подключения. Он спроектирован для расширения соединения между 10-Гбит/с MAC-подуровнем и 10-Гбит/с физическим уровнем. Как и XGMII, он не обязателен, используется на уровне ИС-ИС и также не требует физического разъема.

XSBI – 10-гигабитный 16-разрядный интерфейс. Он представляет собой физическую реализацию сервисного интерфейса PMA для физического уровня спецификаций 10GBase-R и 10GBase-W.

Схема использования 10-гигабитных интерфейсов и структура модели физического уровня для трех основных версий 10GE: 10GBase-X, 10GBase-R и 10GBase-W приведена на рис.1. Первая версия (X) использует формат кодирования 8В/10В, как и GE, тогда как две другие (R и W) – формат 64В/66В.

Новая спецификация 802.3 определяет интерфейсы для побитной, побайтной и покадровой передачи, однако в ее рамках можно выбрать для удобства и другие форматы передаваемых данных с учетом следующих ограничений:

- интерфейс XGMII использует формат с шириной потока данных 4 байта (на прием и передачу) (Clause 46);
- интерфейс управляющих данных (MDIO/MDC) использует одноразрядный формат передачи (Clause 45);
- сервисный интерфейс PMA использует 16-разрядный формат передачи (Clause 51);
- интерфейс MDI использует побитную последовательную передачу с волновым мультиплексированием (WDM) четырех несущих длин волн для 10GBase-LX4 (Clause 53) или передачу, соответствующую Clause 52 для других типов PMD.

Для увеличения операционной длины интерфейса XGMII можно использовать расширитель (рис.2), представляющий собой связку интерфейсов XGXS-XAUI-XGXS. Расширитель имеет отдельные пути приема и передачи данных шириной

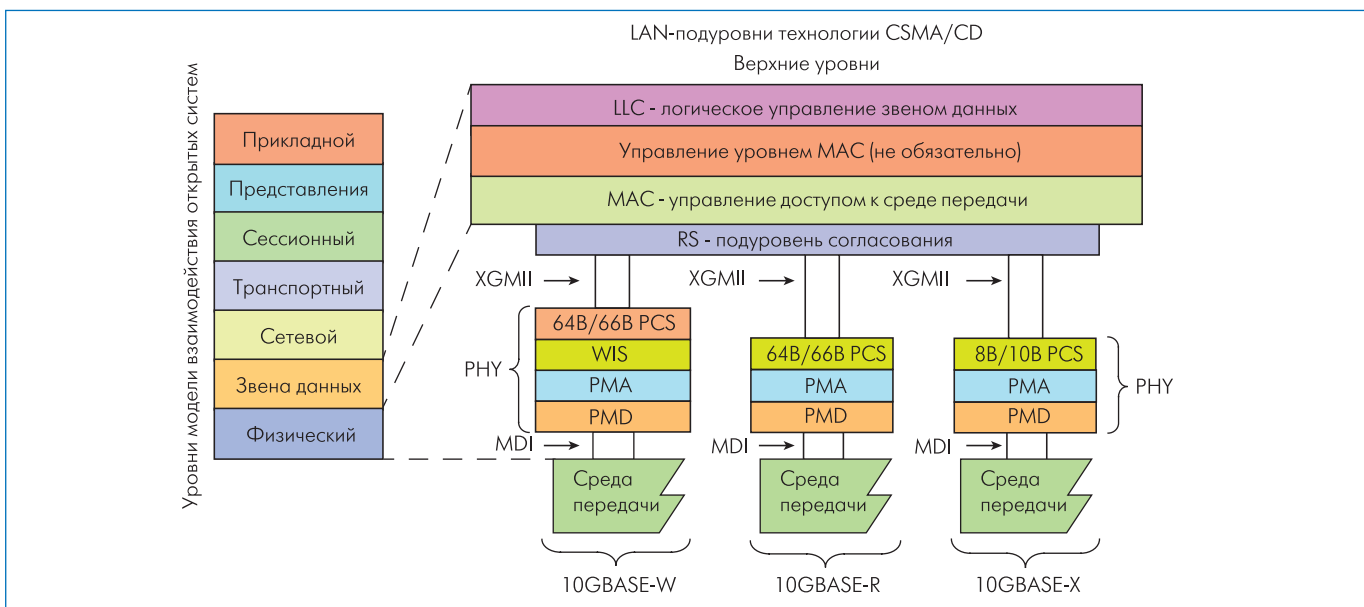


Рис.1 Структура модели 1 и 2 уровней OSI в технологии 10GE

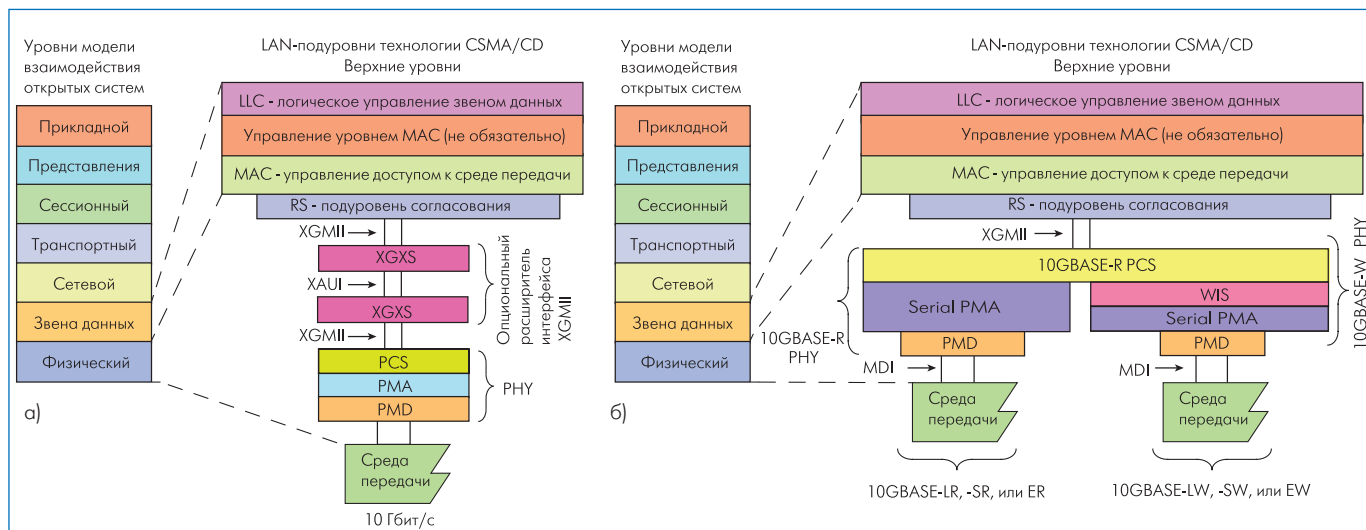


Рис.2 Схема использования расширителей интерфейса XGMII

32 бита каждый (4 потока по 8 бит), применяет дифференциальный метод передачи данных с пониженным напряжением и использует двоичное интерфейсное кодирование данных в потоке типа 8В/10В.

Типы спецификаций 10-Гбит Ethernet

В зависимости от версии 10GE в стандарте [3], кодирование данных на физическом уровне осуществляется по алгоритму 64/66В (требуемая полоса – 10,3125 Гбит/с) или 8В/10В (требуемая полоса – 12,5 Гбит/с). Стандарт описывает три семейства версий 10GE:

Спецификация 10GBase-X описывает семейство версий 10GE, использующих четырехпоточковую передачу (в формате 4x8 бит) с кодированием каждого потока кодом 8В/10В. Эта спецификация поддерживается практически всеми уровнями и интерфейсами: MAC, RS, XGMII, XGXS, XAUI, PCS, PMA и PMD (см. глоссарий) и может передаваться по медным шинам, медным парам и волоконно-оптическому кабелю (ВОК). К этому семейству принадлежит версия 10GBase-LX4 – стандарт 10GE для среды передачи на базе ВОК, работающей на четырех длинах волн с шагом 13,4 нм во втором окне прозрачности (1300 нм). Каждая длина волны передает один из четырех потоков данных (Lane). Потоки объединяются мультиплексором WDM на передающей стороне перед подачей в ВОК и демультимплексируются на приемной стороне.

Формирование четырех потоков данных (рассмотрена только передающая сторона) осуществляется по схеме на рис.1 (правая часть):

$$\{MAC\} \rightarrow \{RS\} \text{-XGMII-} \{PCS \text{ (Кодер 8В/10В)}\} \rightarrow \{PMA\} \rightarrow \{PMD\} \text{-MDI-} \{Среда \text{ передачи}\}.$$

Последовательный поток данных MAC-подуровня делится на подуровне согласования RS на 4 потока (Lane 0–3) группами по одному байту. К каждому байту на XGMII присоединяется 1 бит управляющего заголовка (TxС). В подуровне PCS кодер 8В/10В перекодирует данные, формируя в PMA 4 группы 10-битовых последовательностей (Tcg), передаваемых в PMD, а затем через MDI – на модуляторы четырех несущих

(подробнее см. Clause 48 и Annex 44A). На приемной стороне реализован обратный процесс.

Спецификация 10GBase-R – это семейство версий (10GBase-SR, 10GBase-LR и 10GBase-ER), работающих на ВОК в трех разных окнах прозрачности: 850 нм (S), 1300 нм (L) и 1550 нм (E), соответственно. Эти спецификации используются либо самостоятельно (после кодирования данных на подуровне PCS по схеме 64В/66В), либо они могут превращаться в спецификации 10GBase-W (если потоки данных после PCS передаются WAN-интерфейсу Wis).

Если спецификации 10GBase-R используются самостоятельно, то данные передаются на физический уровень и среду передачи по схеме, представленной на рис.1 (средняя часть с учетом рис.2а, б):

$$\{MAC\} \rightarrow \{RS\} \text{-XGMII-} \{DTE \text{ XGXS (Кодер 8В/10В)}\} \text{-XAUI-} \{PHY \text{ XGXS (Декодер 8В/10В)}\} \text{-XGMII-} \{PCS \text{ (Кодер 64В/66В + Скремблер + Делитель 64/16)}\} \text{-XSBI-} \{PMA\} \rightarrow \{LAN \text{ PMD}\} \text{-MDI-} \{Среда \text{ передачи}\}.$$

Здесь поток данных MAC-подуровня (рассмотрена только передающая сторона), как и для 10GBase-X, делится на RS-подуровне на 4 потока (Lane 0–3) группами по 1 байту. К каждому байту на XGMII присоединяется 1 бит управляющего заголовка (TxС). На верхнем подуровне XGXS кодер 8В/10В перекодирует данные, формируя 4 кодовые группы 10-битовых последовательностей (Cg), передаваемых через интерфейс XAUI. Группы Cg в нижнем подуровне XGXS декодируются и объединяются подуровнем PCS в группу из 66 бит (2 бита синхронизации (01)+64 бита данных), то есть кодируются по схеме 64В/66В. Этот код поддерживает биты данных и управления, позволяющие обнаруживать ошибки. Затем данные скремблируются и разбиваются (при переходе через интерфейс XSBI в PMA) на 16-битные блоки данных, передаваемые в подуровне LAN PMD, а затем через интерфейс MDI на модулятор оптической несущей (подробнее см. Clause 49 и Annex 44A). На приемной стороне осуществляется обратный процесс.



Спецификация 10GBase-W – это семейство из трех версий: 10GBase-SW, 10GBase-LW и 10GBase-EW, также работающих через BOK в трех разных окнах прозрачности: 850 нм (S), 1300 нм (L) и 1550 нм (E). В соответствии с этими спецификациями потоки указанных версий, после кодирования в подуровне PCS по схеме 64B/66B, подключаются к WAN-интерфейсу WIS, чтобы далее инкапсулироваться во фреймы, формируемые в технологиях SONET и SDH для транспорта потоков 10GBASE-SW, 10GBASE-LW и 10GBASE-EW через физический уровень. Осуществляется это по схеме (рассмотрен только режим передачи), представленной на рис.1 (левая часть с учетом рис.2а,б):

{MAC}→{RS}–XGMII–{DTE XGXS (Кодер 8B/10B)}–
 –XAUI–{PHY XGXS (Декодер 8B/10B)}–XGMII–
 –{PCS (Кодер 64B/66B + Скремблер + Делитель 64/16)}–
 –WIS–SVC–I/F–{WIS (Генератор фрейма)}–XSBI–{PMA}→
 → {WAN PMD}–MDI–{Среда передачи}.

Здесь поток данных обрабатывается, как и для спецификации 10GBase-R, вплоть до интерфейса WIS-SVC-I/F, пройдя через который, получают 16-битные группы данных (Tdu). Далее на подуровне WIS формируется (с помощью генератора) заголовок фрейма SONET STS-192с или SDH STM-64с и осуществляется дополнительное скремблирование. В результате поток данных Ethernet адаптируется к скорости передачи данных SONET/SDH. После перехода через интерфейс XSBI в PMA 16-битные блоки данных передаются на подуровень WAN PMD, а затем через интерфейс MDI на модулятор оптической несущей (подробнее см. [3] Clause 49 и Annex 44A). На приемной стороне осуществляется обратный процесс.

Итак, три базовые технологии: 10GBase-X, 10GBase-R и 10GBase-W позволили разработать и реализовать 7 версий (табл.2):

10GBase-LX4 – стандарт 10GE для медного кабеля (4 пары/шины) и для среды передачи на базе многомодового BOK, работающего на четырех длинах волн в диапазоне 1260–1355 нм;

10GBase-SR, 10GBase-SW – стандарты 10GE для среды передачи на базе многомодового BOK, работающего на длине волны 850 нм;

10GBase-LR, 10GBase-LW – стандарты 10GE для среды передачи на базе многомодового BOK, работающего на длине волны 1300 нм;

10GBase-ER, 10GBase-EW – стандарты 10GE для среды передачи на базе многомодового BOK, работающего на длине волны 1300 нм и OM BOK, работающего на длине волны 1550 нм.

Все перечисленные версии реализуют только дуплексный режим работы и поддерживают топологию "точка-точка".

ТРАКТЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Тракты передачи 10GE отражают характер используемой топологии "точка-точка" и делятся на категории многопоточковой передачи (10GBase-X) и однопоточковой передачи (10GBase-R/W). Многопоточковый тракт использует мультиплексирование с разделением по длине волны WDM [4] для формирования агрегатного потока из четырех потоков входных данных (называемых иногда не потоками, а полосами), а в однопоточковом тракте – мультиплексирование WDM не применяется. Оба типа трактов рассмотрены применительно к оптоволоконной среде передачи.

Тракт передачи по спецификации 10GBase-X

Спецификация 10GBase-X представлена реализованной версией 10GBase-LX4. Блок-схема тракта передачи приведена на рис.3. Тракт осуществляет функции передачи и приема

Таблица 2. Сравнительные характеристики реализаций 10-гигабитного Ethernet

| Параметры | 10GBase-LX4 | 10GBase-SR/SW | 10GBase-LR/LW | 10GBase-ER/EW |
|--|---|--|---|---|
| Двоичный интерфейсный (внешний) код | 8B/10B, 4 потока | 64B/66B | 64B/66B | 64B/66B |
| Номинальная скорость сигнала, Гбит/с | 4×3,125 | SR: 10,3125 SW(PMA): 9,95328 SW(SDH): 9,58464 | LR: 10,3125 LW(PMA): 9,95328 LW(SDH): 9,58464 | ER: 10,3125 EW(PMA): 9,95328 EW(SDH): 9,58464 |
| Допуск на изменение скорости, 10 ⁻⁶ | 100 | 100/20 | 100/20 | 100/20 |
| Среда передачи | Медная шина, BOK | MM BOK | MM BOK | MM/OM BOK |
| Рабочий диапазон несущих, нм | 1260–1355 (4 потока) | 840–860 | 1260–1355 | 1260–1355/1530–1565 |
| Поддерживаемый уровень BER | 10 ⁻¹² | 10 ⁻¹² | 10 ⁻¹² | 10 ⁻¹² |
| Длина кодовой группы на выходе, бит | 4×10 | 16 | 16 | 16 |
| Кодовая группа Idle | 07070707 ₁₆ | 00 ₁₆ (R)/07 ₁₆ (XGMII) | Нет данных | Нет данных |
| Задержка на распространение пакета, БТ | 2048 | 3584/14336 | Нет данных | Нет данных |
| Номинальная длина передачи, м | до 300 (62,5 мкм) ¹ до 240-300 (50 мкм) ² до 10 км (OM) | до 26-33 (62,5 мкм) ³ до 66-82-300 (50 мкм) ⁴ | до 10 км | до 30/40 ⁵ км (OM) |
| Бюджет мощности, дБ | 7,5 (MM)/8,2 (OM) | 7,3 | 9,4 | 15 |

Примечание. 1 – для широкополосности BOK 500 МГц·км; 2 – 400 и 500 МГц·км; 3 – 160 и 200 МГц·км; 4 – 400/500/2000 МГц·км; 5 – дальности передачи 40 км можно достичь (при том же бюджете мощности) путем определенных инженерных решений, например при уменьшенном затухании в ОВ относительно номинального.

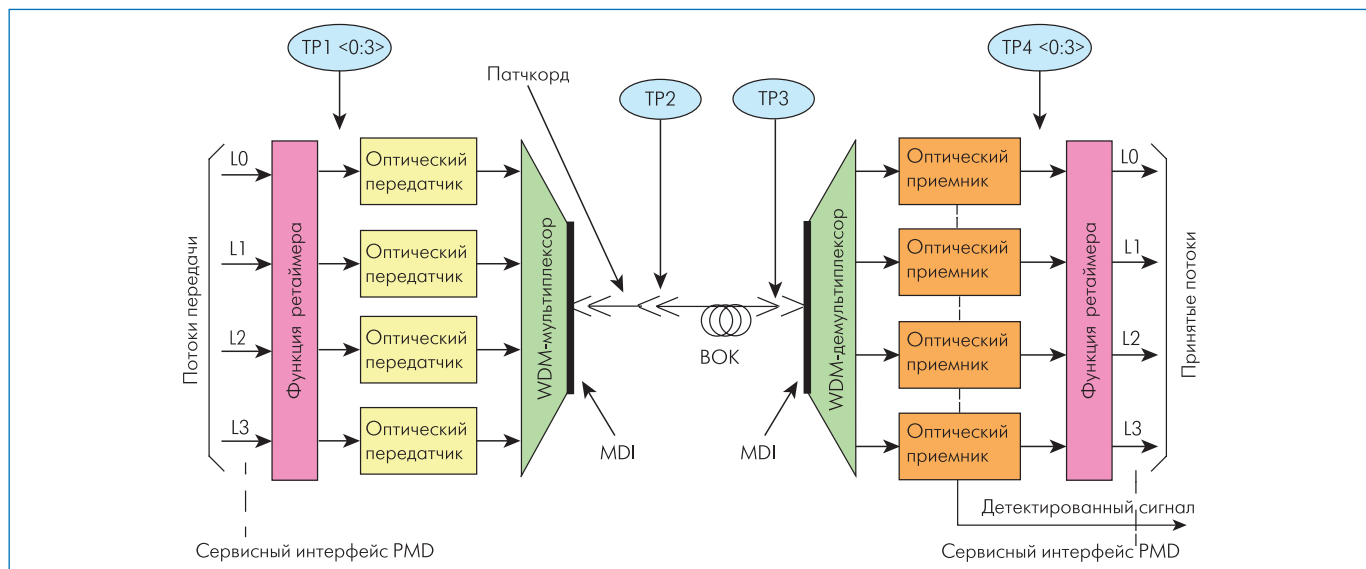


Рис.3 Блок-схема тракта приема/передачи для версии Ethernet 10GBase-LX4

между сервисными PMD-интерфейсами и MDI-интерфейсами и включает различные функции управления, которые можно реализовать при наличии устройства ввода-вывода управляющих данных MDIO.

Четыре входных электронных потока данных с номинальной скоростью 3,125 Гбит/с каждый подаются на интерфейс PMD. Здесь они выравниваются и ресинхронизируются с помощью функции ретайминга, необходимой для согласования уровней точности поддержания синхронизации на выходе генератора потока данных и на входе системы WDM (контрольные точки TP1, см. рис.3). Затем электронные потоки данных преобразуются в оптические с помощью модуляторов оптических несущих выходного транспондера. Несущие располагаются в четырех поддиапазонах волн 1269,0–1282,4; 1293,5–1306,9; 1318,0–1331,4; 1342,5–1355,9 нм шириной 13,4 нм каждый. Расстояние между поддиапазонами составляет 11,1 нм.

Модулированные оптические несущие мультиплексируются (4:1) с помощью мультиплексора WDM, формируя агрегированный транспортный поток $4 \times 3,125 = 12,5$ Гбит/с на

выходе интерфейса MDI. Формально контрольной точкой TP2 (см. рис.3) считают выход соединительного шнура длиной 2–5 метров. В этой точке (если особо не оговорено иное) проводят все необходимые измерения на стороне передатчика. Оптический сигнал общего приемника определяется на выходе BOC перед MDI (контрольная точка TP3). В этой точке проводятся все необходимые на стороне приемника измерения.

На приемной стороне агрегированный сигнал демультиплексируется, и четыре потока (Lanes) оптических сигналов выделяются на выходе оптических приемников (контрольная точка TP4). Эти четыре потока вновь ресинхронизируются и поступают на приемный интерфейс PMD.

Тракт передачи спецификаций 10GBase-R/W

Спецификации 10GBase-R/W представлены шестью реализованными версиями: 10GBase-SR/SW, 10GBase-LR/LW и 10GBase-ER/EW. Тракт передачи (рис.4) также осуществляет функции передачи и приема между PMD/MDI-интерфейсами и включает различные функции управления, которые могут

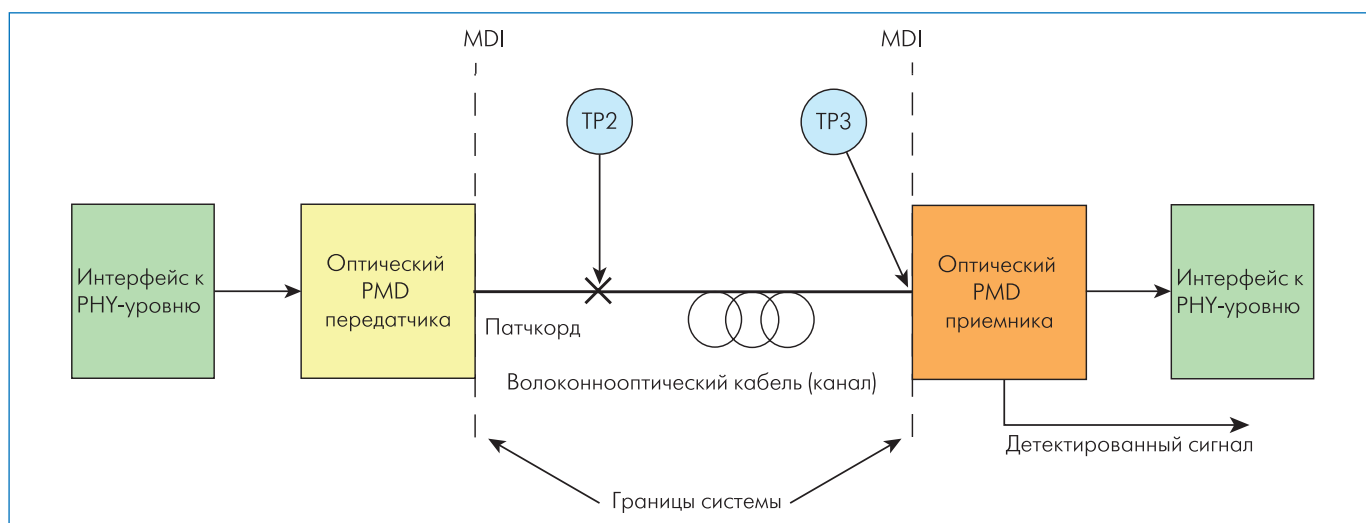


Рис.4 Блок-схема тракта приема/передачи для R- и W-версий Ethernet 10GBase-S/L/E



быть реализованы при наличии устройства ввода-вывода управляющих данных MDIO. Однако схема тракта значительно проще предыдущего, так как она одноканальная и не требует мультиплексирования. Контрольные точки TP1 и TP4 отсутствуют, а положение точек TP2 и TP3 осталось тем же.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТОВОЛОКОННОЙ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ

Модель оптоволоконной среды передачи (оптоволоконного канала) представлена на рис.5. Среда передачи соединяет интерфейсы MDI. Модель симметрична, ее центральной частью является звено передачи – канал ВОК. Он слева и справа через оптическое соединение (например, оптический разъем) и соединительный шнур связан с MDI.

Характеристики оптоволоконного канала зависят от типа используемого ОВ (ОМ или ММ), типа и широкополосности многомодового волокна, рабочего окна прозрачности, в котором этот канал организован. Для многомодового волокна параметры канала также зависят от типа используемого источника излучения и степени заполнения светом сердцевины (табл.3 и 4).

100-гигабитный Ethernet

Пленарное заседание Группы HSSG в ноябре 2006 года в Далласе [1] имело своей целью обсудить возможность создания 100-гигабитного Ethernet (100GE). Для изучения этой возможности был предложен следующий график работ:

- март 2007 – формулировка целей и задач высокоскоростной технологии 100GE;
- май 2007 – разработка проекта PAR – запроса на авторизацию права разработки стандартов;
- сентябрь 2007 – утверждение проекта PAR;
- ноябрь 2007 – представление проекта PAR в формате Группы поддержки (TF) Проекта высокоскоростного Ethernet (HSE);

- март 2008 – последний вариант доработки нового предложения;
- май-ноябрь 2008 – первые три проекта стандарта (Draft D1, D2, D3);
- январь 2009 – последние технические изменения;
- март-июль 2009 – последние два проекта стандарта (Draft D4, D5);
- ноябрь 2009 – выпуск стандарта 100GE.

В результате предварительного рассмотрения и обсуждения проекта, а также руководствуясь общей практикой разработки предыдущей версии Ethernet 10GE, Группа HSSG предложила следующие цели проекта HSE, которые объясняют основные особенности будущей технологии:

- поддерживать только полнодуплексную версию Ethernet;
- сохранить формат кадра Ethernet 802.3 на уровне сервисного интерфейса клиента MAC;
- сохранить минимальный и максимальный размеры кадров текущего стандарта 802.3;
- поддержать скорость 100 Гбит/с на интерфейсе MAC/PLS;
- обеспечить длину передачи не меньше 10 км на одномодовом ОВ;
- обеспечить длину передачи не меньше 100 м на многомодовом ОВ.

Можно сказать, что счетчик времени включен, и нам остается только следить за выполнением намеченного графика работ.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ETHERNET

С момента официального появления технологии Ethernet в 1980 году прошло уже 26 лет. Традиционные версии 10- и 100-мегабитного Ethernet нашли широкое (если не подавляющее) применение в локальных сетях. Многочисленные примеры их использования можно найти, например, в работах [6, 7].

Таблица 3. Характеристики ОВ-канала для 10GBase-X

| Характеристики | ММ ОВ 62,5 мкм | ММ ОВ 50 мкм | | ОМ ОВ (G.652) |
|--|----------------|--------------|-----|---------------|
| Рабочее окно прозрачности, нм | 1300 | 1300 | | 1310 |
| Широкополосность ОВ ¹ , МГц·км | 500 | 400 | 500 | – |
| Максимальная длина передачи, м | 300 | 240 | 500 | 10 000 |
| Максимальные вносимые потери ² , дБ | 2,5 | 2,0 | | 6,6 |
| Ширина гауссовской несущей, нм | 0,62 | 0,62 | | 0,62 |
| Средняя вводимая мощность (4 потока), дБм | 5,5 | 5,5 | | 5,5 |
| Бюджет мощности, дБ | 7,5 | 7,5 | | 8,2 |
| Максимальное затухание ВОК, дБ/км | 1,5 | 1,5 | | 0,4 |
| Минимальные возвратные потери, дБ | 12 | 12 | | 12 |
| Возвратные потери оптического соединения, дБ | >20 | >20 | | >26 |

Примечание. 1 – измеряется по методу OFL BW – полное заполнение светом сердцевины от светоизлучающего диода [5]; 2 – потери определяются от TP2 до TP3, используя соединительный шнур со смещенным вводом излучения [5], по стандартам ANSI/TIA/EIA-526-14A (Метод В) и 526-7 (Метод А-1). Допустимые потери с учетом соединительного шнура могут быть на 0,5 дБ больше.

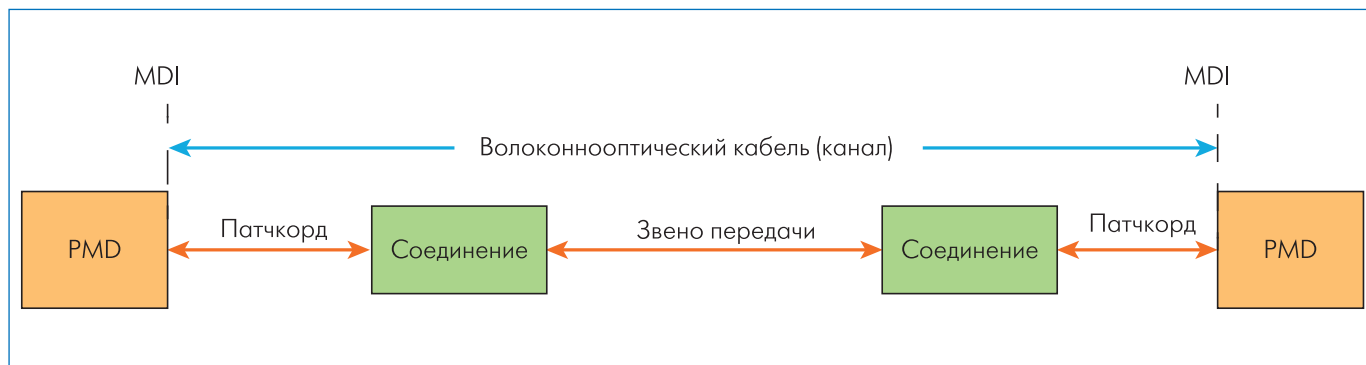


Рис.5 Модель оптоволоконной среды передачи

С момента внедрения **гигабитного Ethernet** также прошел большой срок – 8 лет. Его появление стало не только новой вехой в истории развития технологии Ethernet, но и позволило этой технологии выйти за рамки традиционного применения – только в локальных сетях. Технология Ethernet, будучи сугубо локальной, не имела ни одного из трех основных признаков глобальных сетей [4]. Гигабитный Ethernet, однако, заявил о себе как о технологии, которую можно (для начала с помощью других глобальных технологий) применять в глобальных сетях. Это подтверждают следующие приложения:

- разработка интерфейсов GE для его передачи по транспортным сетям WDM и CWDM [8];
- разработка на основе методов виртуальной конкатенации, развитых в сетях SDH нового поколения, нового метода GFP-инкапсуляции кадров GE в синхронный транспортный модуль сетей SDH с целью его передачи по сетям SDH/WDM [9];
- использование метода многопротокольной коммутации по меткам (MPLS) совместно с технологией GE для организации (с помощью технологии IP) больших (подобных глобальным) сетей передачи данных [10];

- создание технологии EPON (пассивной гигабитной оптической сети на базе технологии GE), позволившей расширить рамки сети до 20 км и сделать ее мультисервисной, похожей на глобальные сети [11];
- разработка и внедрение коммутируемых структур последовательного типа (КСПТ) на основе гигабитного Ethernet для замены традиционной параллельной схемы передачи данных по шине PCI на последовательную многопоточную (multi-lanes) передачу данных (PCI Express) [12].

Применение **10-гигабитного Ethernet** практически не отличается от применения гигабитного Ethernet. Та же разработка интерфейсов 10GE для WDM и инкапсуляция в конкатенированные структуры SDH. То же использование MPLS-IP сетей и желание продвинуть технологию КСПТ на основе гигабитного Ethernet до уровня 10GE. Однако принципиальная разница все же есть. Она в том, что 10GE был разработан с прицелом на использование в глобальных сетях. Его версии 10GBase-SW, 10GBase-LW и 10GBase-EW имеют средства и функции синхронизации потока кадров, а также рассчитаны на инкапсуляцию в контейнеры SDH STM-64/STM-256.

После разработки версии 10GE стандарта [3] была сформирована рабочая группа 10GEPON для разработки стандарта

Таблица 4. Характеристики ОВ-канала для 10GBase-R/W

| Характеристики | ММ ОВ 62,5 мкм | | ММ ОВ 50 мкм | | | ОМ ОВ (G.652) | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------|-----------|-------|
| | | | | | | | | |
| Рабочее окно прозрачности, нм | 850 | | 850 | | | 1310 | 1550 | |
| Широкополосность ОВ, МГц·км | 160 ¹ | 200 ¹ | 400 ¹ | 500 ¹ | 2000 ² | – | – | |
| Максимальная длина передачи, м | 26 | 33 | 66 | 82 | 300 | 10 км | 30 км | 40 км |
| Максимальные вносимые потери ³ , дБ | 2,6 | 2,5 | 2,2 | 2,3 | 2,6 | 6,0 | 11,0 | |
| Максимально допустимая дисперсия, пс/нм | – | – | – | – | – | – | 546 | 728 |
| Дифференциальная групповая задержка ⁴ , пс | – | – | – | – | – | 10 | 19 | |
| Бюджет мощности, дБ | 7,3 | | 7,3 | | | 9,4 | 15 | |
| Максимальное затухание ВОК, дБ/км | 3,5 | | 3,5 | | | 0,4 | 0,20–0,25 | |
| Минимальные возвратные потери, дБ | Нет данных | | | | | 12 | 21 | |
| Возвратные потери оптического соединения, дБ | >20 | | >20 | | | >26 | >26 | |

Примечания: 1. Измеряется по методу OFL BW – полное заполнение светом сердцевины IEC 60793-1-41 или ANSI/TIA/EIA 455-204-2000; 2. Измеряется по методу TIA/EIA-492AAAC-2002; 3. Потери определяются на соответствующей длине волны от TP2 до TP3, используя соединительный шнур. Они включают: потери кабеля, разъемов и сростков; 4. ДГЗ – разница во времени между скоростями распространения ортогонально поляризованных мод импульса, которая допускается в системе.



IEEE 802.av. Ее цель – создать 10-гигабитный вариант технологии EPON, используемой в сетях доступа. Новый стандарт предусматривает две конфигурации 10GE PON: симметричную (10 Гбит/с вверх и вниз) и несимметричную (10 Гбит/с вниз (к пользователю) и 1 Гбит/с вверх) при использовании OM 3B. При этом предполагается сохранить дальность доставки сервисного трафика 20 км и число разветвлений до 32.

100-гигабитный Ethernet, помимо применения в традиционных приложениях, благодаря своей скорости передачи позволяет транслировать данные в многопроцессорных суперкомпьютерных системах, которые стремительно превращаются в массовый продукт. Этот тип приложений уже не нов, он уже осваивается с внедрением КСПТ на основе гигабитного Ethernet для замены традиционной шины PCI. Здесь

важно отметить, что для работы в среде суперкомпьютера, кроме скорости, необходимо передавать данные по крайней мере на 30 м (а лучше на 100 м).

Другое важное для 100-гигабитного Ethernet приложение – его применение в рамках транспортных сетей высокой производительности, которые могут составить конкуренцию традиционным сетям SDH/WDM кампусной архитектуры протяженностью до 10 км, даже если к тому времени появится 160-гигабитный вариант SDH (STM-1024) или 80-гигабитный SONET (STS-1536).

Можно также ожидать, что к моменту выхода стандарта 100GE пассивные оптические сети (PON) будут развиты настолько, что смогут передать эстафету от нарождающегося сейчас 10GE PON его преемнику 100GE PON.

НОВЫЕ КНИГИ

ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"

И. Шахнович

Современные технологии беспроводной связи
М.: Техносфера, 2006. – 288 с. ISBN 5-94856-070-9

Монография посвящена современным технологиям беспроводной радиосвязи, принципам построения беспроводных сетей передачи информации. Описываются персональные беспроводные сети с технологиями Bluetooth, ZigBee, IEEE 802.15.1, 3/3a, локальные беспроводные сети (стандарты IEEE 802.11 a/b/g и DECT, а также перспективный проект стандарта IEEE 802.11n), региональные сети стандарта широкополосного вещания IEEE 802.16. Рассказано о технологиях сотовой телефонии (GSM с расширениями GPRS и EDGE, CDMA, стандарты 3G) и транковых сетях, системах цифрового телевидения (DVB, ATSC) и радиовещания (DAB), а также о спутниковых системах связи. Описаны перспективные сверхширокополосные системы связи (UWB).

Весь материал представлен в исторической ретроспективе, что показывает как устойчиво сохраняющиеся тенденции, так и динамику, перспективы и основные направления развития систем беспроводной связи. Для ряда особо значимых беспроводных технологий приведены примеры аппаратной реализации устройств, описана их электронная компонентная база.

При описании технологий основное внимание уделено принципам построения аппаратуры и необходимой для этого элементной базы, приведены конкретные примеры. Рассмотрены вопросы модуляции, кодирования источника, схем доступа к каналу связи.

В целом, не являясь руководством разработчика и не заменяя описание стандартов, книга знакомит с основными понятиями и принципами современных беспроводных технологий радиосвязи и может стать основой для последующего глубокого изучения данного предмета. Особо отметим, что отдельные главы можно читать независимо друг от друга, поэтому монографию правомерно рассматривать как справочник по современным беспроводным технологиям передачи информации. Книга предназначена для широкого круга читателей – разработчиков аппаратуры, технических специалистов, связанных с телекоммуникациями, а также для студентов соответствующих специальностей и всех, интересующихся современными технологиями связи.

Как заказать наши книги?

По почте: **125319 Москва, а/я 594**

По тел./факсу: **(495) 956-3346, 234-0110**

E-mail: **knigi@technosphera.ru; sales@technosphera.ru**

ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE 802.3 Plenary Meeting. High Speed Study Group (HSSG). – Dallas, 14–16 Nov. 2006.
2. IEEE 802.3ae-2002 – Amendment: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layer and Management Parameters for 10 Gb/s Operation (30.08.02) (Предварительный стандарт 10-гигабитного Ethernet – 10GE).
3. IEEE 802.3-2005 – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.
4. **Слепов Н.Н.** Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET и WDM). 2-е изд., исправ. – М.: Радио и связь, 2003.
5. **Слепов Н.** Весенний семинар компании Corning в Москве. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №5, с.82–84.
6. Технология Ethernet. – В кн.: Руководство по технологиям объединенных сетей. 3-е изд. – М., С.-Пб., К.: Изд. дом "Вильямс", 2002.
7. Ethernet. "Data Networking. Course LZU 102 371. R1A", – Ericsson Radio Systems AB, May 2001.
8. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. – Сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н., 2-е изд. перераб. и доп. – М.: АО "ВОТ", 2005.
9. **Слепов Н.** Сети SDH новой генерации и их использование для передачи трафика Ethernet. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №3, с.56–62; №4, с.60–63.
10. **Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С.** Технология и протоколы MPLS. – С.-Пб.: BHV, 2005. – 304 с.
11. **Убайдуллаев Р., Петренко И.** Пассивные оптические сети PON. – Глава Д3 в книге: Р.Фриман. Волоконно-оптические системы связи. 3-е доп. изд. – М.: Техносфера, 2006.
12. **Рыбаков А., Слепов Н.** Компьютерные встраиваемые технологии - тенденции развития. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2006, №3, с.24–32; №4, с.44–49.