

# СОВРЕМЕННЫЕ КОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ. ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ. Часть 3\*

Григорий Марков, компания «Технориум»

**Пропускная способность, дальность передачи и помехозащищенность коммуникационных сетей, построенных с использованием волоконно-оптических линий связи, многократно превышают показатели сетей на базе медных кабельных линий. В статье рассматривается развитие оптических систем связи на современном этапе, а также их характеристики, преимущества и технологии.**

История оптических систем связи едва ли насчитывает 30 лет. Первая волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) была запущена в эксплуатацию в 1977 г. североамериканским оператором связи AT&T в Чикаго. В настоящее время практически вся инфраструктура операторов связи построена с использованием оптоволоконного кабеля и соответствующего оптоэлектронного оборудования.

## КОМПОНЕНТЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### Кабель

В системах связи применяют кабели со стеклянными волокнами двух типов: одномодовое (Single Mode Fiber, SMF) и многомодовое (Multi Mode Fiber, MMF). Отличаются они тем, что оптическое излучение в волокне SMF распространяется без отражений от границ волокна по единственному пути, отсюда и название — одномодовое волокно. Оптическое излучение распространяется по многомодовому волокну с отражением от границ волокна и буферного покрытия, имеющего отличный от волокна коэффициент преломления (см. рис 1). Одномодовое волокно имеет диаметр сердцевины около 9 мкм, а многомодовое — 50 или 62,5 мкм.

В многомодовых волокнах время распространения сигнала вдоль волокна различно для разных мод, что выражается в уширении импульсов на выходе волокна — модовой дисперсии. Разность между временем распространения различных мод называется дифференциальной модовой задержкой (Differential Mode Delay, DMD). Модовая дисперсия ограничивает пропускную способность многомодового волокна — как скорость передачи, так и максимально возможное расстояние.

В то же время в одномодовом волокне отсутствует эффект DMD, и это замечательное свойство позволяет строить высокоскоростные линии связи большой протяженности (см. рис. 2). Однако у систем, построенных на одномодовом волокне, есть существенный минус — более высокая цена, как оборудования, так и самого оптоволоконного кабеля. Это вызвано дополнительными затратами на более прецизионный технологический процесс производства компонентов и их монтажа на объектах связи. По этой причине использование одномодовых волокон экономически эффективно при строительстве протяженных линий связи, городских и региональных сетей. Однако и многомодовые волокна могут поддерживать высокие скорости передачи данных, но на небольших расстояниях. Большой диаметр сердцевины многомодового волокна упрощает ввод оптического излучения в волокно, а более мягкие требования к допустимым отклонениям для многомодового волокна позволяют уменьшить стоимость оптических приемопередатчиков. Современное оборудование сетей связи при использовании многомодового кабеля позволяет достичь дистанции передачи 2 км. Это условная граница, за которой более целесообразно использовать одномодовый кабель.

### Источники излучения

Все излучатели, преобразующие электрический ток в свет, базируются на полупроводниках и используют р-п-переход. Наибольшее распространение получили два типа источников света: светодиоды и лазерные диоды. Светодиоды являются недорогими и довольно эффективными источниками света для связи на коротких расстояниях (как правило до 2 км) с исполь-

зованием многомодовых кабелей. Но вместе с тем светодиоды имеют существенный недостаток, препятствующий их использованию на больших дистанциях: по сравнению с лазерными излучателями их свечение немонохромно, что ограничивает расстояние уверенного приема и не позволяет работать на одномодовое волокно. Для работы на больших дистанциях и при больших скоростях передачи используют более дорогие излучатели на базе лазерных диодов, которые в отличие от светодиодов рассчитаны на работу, как с многомодовым, так и с одномодовым волокнами.

### Приемники излучения

В качестве приемников излучения используются преобразователи светового излучения, а электрический сигнал — фотодиоды на базе р-и-п-перехода или лавинного эффекта. В фотодиодах типа р-и-п между слоями с п- и р-проводимостью вводится слой с собственной проводимостью (intrinsic area). При подаче обратного напряжения смещения он обедняется свободными носителями. Таким образом, в приборе создаются два перехода: типа р-и и типа п-и. В результате поглощения света в этом слое образуются носители, которые затем ускоряются посредством сильного электрического поля.

Физические процессы в лавинном фотодиоде отличаются допол-

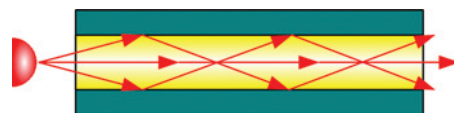


Рис. 1. Распространение излучения в многомодовом оптическом волокне



Рис. 2. Распространение излучения в одномодовом оптическом волокне

\* Части 2 и 3 опубликованы в журнале «Электронные компоненты» №№ 5, 8, 2007.



Рис. 3. Медиаконвертер для передачи трафика FastEthernet по многомодовому оптоволокну

нительным лавинным размножением носителей, которые генерируются светом в запирающем слое электронно-дырочного перехода. В результате этого ток во внешней цепи фотодиода увеличивается по сравнению с током, вызванным световой генерацией пар зарядов, и темновым током.

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ**

Волоконно-оптические системы связи имеют огромный потенциал и являются основой транспортных сетей операторов связи. Современные аппаратные решения позволяют строить волоконно-оптические системы сети связи любого масштаба — как в масштабах страны, так и в пределах одного здания. Рассмотрим наиболее распространенные решения.

**Сети Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)**

Технология PDH изначально использовалась для построения транспортных сетей операторов связи и является сетью с коммутацией каналов. Со временем требования к пропускной способности сетей связи

возрастали, и технология PDH на магистральных участках сетей операторов уступила место более современной и высокоскоростной технологии SDH. Системы PDH остались на низкоскоростных участках сетей операторов связи и используются как самостоятельные решения для создания небольших отказоустойчивых сетей передачи данных.

Основным активным элементом сетей PDH является мультиплексор с временным разделением (Time Division Multiplexing, TDM). Мультиплексоры имеют как медные, так и оптические приемо-передающие порты. Последние служат для объединения мультиплексоров в сеть с заданной топологией. Наиболее распространена топология отказоустойчивого кольца, которая нечувствительна к отказу одной из линий связи. Типовой мультиплексор PDH кроме оптических магистральных портов имеет медные порты для подключения абонентов к созданной сети. Наиболее распространены порты 2 Мбит/с E1, 10 Мбит/с Ethernet и 100 Мбит/с FastEthernet.

**Сети Synchronous Digital Hierarchy (SDH)**

Технология SDH является развитием технологии PDH и ориентирована на создание масштабируемых и высокопроизводительных транспортных сетей операторов связи. Кроме более высоких скоростей передачи важным отличием технологии SDH от технологии PDH является возможность гибко настраивать скорость каждого канала в сети (сети SDH, так

же как и сети PDH, являются сетями с коммутацией каналов).

**Оптический Ethernet**

Широко распространенная технология локальных вычислительных сетей была адаптирована для работы по оптоволокну. Это позволило раздвинуть границы сетей Ethernet за пределы «медных» 100 метров. Оптические сети Ethernet работают на таких же скоростях, как и их медные «собратья». Главное их преимущество в существенном увеличении дистанции передачи, измеряемой десятками километров. На практике обычно ограничиваются соединением локальных сетей нескольких зданий между собой. Одними из самых распространенных устройств для этих целей являются медиаконвертеры (см. рис. 3). Их задача состоит в прозрачном преобразовании передаваемых по сети данных из одной физической среды передачи в другую. Другим вариантом активного устройства являются коммутаторы с оптическими портами.

**Fibre Channel**

Fibre Channel — это специализированная технология для объединения ресурсов серверных узлов и хранилищ данных, а также построения сетей их хранения. Характеристики технологий, использующих оптическую среду передачи, представлены в таблице 1.

**Системы спектрального уплотнения WDM**

Технология спектрального уплотнения, а точнее мультиплексирования разделением по длине волны (Wavelength Division Multiplexing, WDM) позволяет одновременно передавать трафик различных сетевых технологий по одному оптическому волокну на разных несущих частотах, организовав несколько оптических каналов. Каждый канал характеризуется собственной длиной волны или «цветом». При помощи мультиплексирования в едином световом потоке, пересылаемом по оптическому волокну, можно объединить до 100 (и даже более) информационных каналов с разной длиной волны. На приемной стороне осуществляются демуплексирование каналов и выделение информационных сигналов с преобразованием их к исходному виду.

Существующие системы WDM условно делятся на системы грубого спектрального мультиплексирования (Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM) и системы плотного спектрального мультиплек-

Таблица 1. Характеристики технологий, использующих оптическую среду передачи

Сетевая технология	Сфера применения	Максимальная транспортная скорость	Волокно	Типовая дистанция передатчик-приемник
Сети SDH	Высокоскоростные транспортные сети операторов связи и крупных предприятий	40 Гбит/с	Одномодовое	Сотни и десятки километров
Сети PDH	Низкоскоростные участки транспортных сетей операторов связи	139 Мбит/с	Одномодовое, многомодовое	Десятки километров
PON	Сети доступа	2,5 Гбит/с для GPON	многомодовое	Десятки километров
FastEthernet	Объединение сегментов локальных сетей	100 Мбит/с	Одномодовое, многомодовое	Десятки километров
Gigabit Ethernet	Объединение сегментов локальных сетей, городские сети	1 Гбит/с	Одномодовое, многомодовое	Десятки километров
10 Gigabit Ethernet	Локальные транспортные сети операторов связи, сети хранения данных	10 Гбит/с	Одномодовое, многомодовое	300 м
Fibre Channel	Сети хранения данных	4 Гбит/с	Одномодовое, многомодовое	Единицы километров

сирования (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM).

Системы CWDM состоят из пассивных оптических мультиплексоров и приемо-передатчиков с излучателями, работающими на разных длинах волн. Мультиплексоры CWDM — полностью пассивные устройства, обеспечивающие объединение и разделение нескольких оптических сигналов. Так, системы CWDM позволяют передавать по одному оптоволокну до 8 сигналов с длинами волны 1470 нм, 1490 нм, 1510 нм, 1530 нм, 1550 нм, 1570 нм, 1590 нм и 1610 нм. Все сигналы расположены вокруг длины волны 1550 нм — области минимальных потерь при передаче света в одномодовом оптоволоконном кабеле.

Более дорогостоящие системы DWDM могут передавать по одному оптоволокну до 80 и более оптических каналов. Это достигается за счет более плотного расположения волн каждого канала в спектре излучаемого сигнала. Технология DWDM предъявляет гораздо более жесткие требования к оптическим источникам излучения и оптоволоконному кабелю, нежели остальные оптические технологии.

#### FTTx — свет в каждый дом

FTTx — направление развития оптических технологий для замены медной «последней мили» от оператора связи к абоненту. Fiber To The Home (FTTH) — оптоволоконный кабель в дом (частный дом) и Fiber To The Building (FTTB) — оптоволоконный кабель в здание (многоквартирный дом или бизнес-центр). Цены на оптическое оборудование и оптический кабель постоянно снижаются, и уменьшающаяся доля стоимости этих составляющих в капитальных затратах на строитель-

ство сетей доступа делает экономически выгодным подвод оптического кабеля непосредственно к абоненту. С другой стороны, растущая популярность широкополосной связи и появление требующих большой пропускной способности современных услуг, таких как видео по запросу (VoD), игры через интернет и IPTV, сделали технологии доступа по оптоволокну FTTx одним из главных направлений развития фиксированных сетей. Предполагается, что основой сетей FTTx будут различные варианты технологии пассивных оптических сетей — Passive Optical Network, PON.

#### Большой потенциал PON

Технология PON основана на построении полностью пассивной оптической сети, имеющей древовидную топологию, между центральным узлом сети и удаленными узлами. В промежуточных узлах «дерева» размещаются только пассивные оптические сплиттеры (разветвители оптического излучения) — небольшие устройства, не требующие питания и обслуживания. Активные устройства устанавливаются на центральном узле и непосредственно в точке подключения сетевого оборудования удаленного узла. В терминологии PON их называют терминалами. На центральном узле размещается терминал оптической линии (Optical Line Terminal — OLT). В удаленных узлах — оптические сетевые терминалы (Optical Network Terminal — ONT).

Преимущества PON:

— существенная экономия волокон. В технологии PON для подключения к сети нескольких десятков узлов используется только одно волокно. Так, в сети PON составляющая стоимости

пассивной кабельной инфраструктуры не превышает 20%, в то время как в классических системах (точка—точка, SDH) она доходит до 50%;

— надежность. В промежуточных узлах «дерева» находятся только пассивные оптические разветвители без движущихся частей, не требующие обслуживания и питания.

— масштабируемость. Древовидная топология сети позволяет подключать новые узлы без значительных временных затрат и изменения уже существующей топологии сети.

По мнению специалистов, в ближайшие год...два года мировой рынок пассивных оптических сетей будет расти умеренными темпами. Массовое внедрение технологий PON начнется позднее, с развитием сетей оптического доступа в общественном секторе. Пока же на рынке будут доминировать менее дорогие медные технологии с меньшей пропускной способностью.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ

В настоящее время наиболее перспективными и быстроразвивающимися технологиями волоконно-оптических сетей являются технологии PON и WDM. На сегодня в рекомендациях ITU-T G.984.x стандартизирована технология Gigabit PON (GPON), обеспечивающая скорость в канале до 2,5 Гбит/с. Перспективным направлением является также технология локальных, в пределах здания, сетей с использованием полимерных оптических волокон Polymer Optic Fiber — POF. Эта технология позволяет создавать системы связи из более дешевых и технологичных полимерных волокон, сопоставимые по цене с медными линиями связи.