

УДК 621.315.21

## ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ ДЛЯ 40- И 100-ГИГАБИТНЫХ СКС

**А. Б. Семенов**, директор по развитию АйТи-СКС компании ЗАО «Фирма АйТи. Информационные технологии», д. т.н.; ASeменов@it.ru

**Ключевые слова:** оптический кабель, Ethernet 40 Гбит/с, Ethernet 100 Гбит/с, ленточное волокно, оптический модуль.

Повышение быстродействия и наращивание функциональности, реализуемые в современной информационно-вычислительной системе (ИВС), приводят к систематическому росту пропускной способности внутрисистемных каналов связи.

В начале десятилетия при построении ИВС стали применяться сетевые интерфейсы, обеспечивающие скорость передачи 10 Гбит/с. Однако возможности 10-гигабитной сетевой аппаратуры во многом исчерпаны, и в настоящее время на повестке дня стоит вопрос о наращивании производительности линий связи и переходе к следующему поколению сетевой аппаратуры.

Физический уровень современных ИВС в подавляющем большинстве случаев реализуется в форме структурированной кабельной системы (СКС) [1]. Параметры СКС во многом определяют технические решения, которые используются в процессе разработки сетевых устройств. В свою очередь, конструктивные решения сетевых интерфейсов оказывают сильное обратное влияние на оборудование СКС.

Как известно, освоение нового диапазона скоростей в ИВС начинается с внедрения линий оптической связи. Такой подход обусловлен:

- необходимостью внедрения оптических линий связи в магистральной части ИВС, где в полной мере проявляются известные преимущества волоконного световода;
- существенно меньшей величиной затухания и постоянством этого параметра в широком частотном диапазоне, а также отсутствием какого-либо заметного взаимного влияния между отдельными цепями передачи сигналов;
- возможностью широкого применения хорошо отработанных технических решений при создании сетей связи общего пользования нового поколения;
- преимуществом оптических вариантов построения интерфейсов над медножильными (по энергопотреблению на линиях протяженностью свыше 30 м и массогабаритным показателям линейных кабелей).

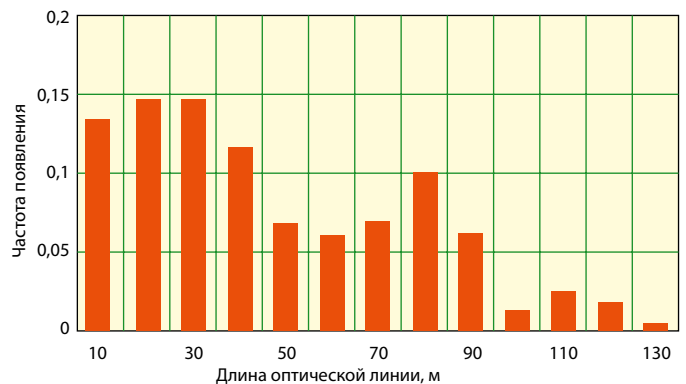


Рис. 1

Последнее свойство имеет большое значение для центров обработки данных (ЦОД), для которых энергопотребление — один из наиболее важных параметров. На таких объектах преимущество оптических интерфейсов по потребляемой мощности особенно проявляется в том случае, если они содержат по меньшей мере несколько десятков серверов.

**Схема параллельной передачи.** Выбор общей структуры сетевого интерфейса нового поколения производится с учетом того, что передача 40- и 100-гигабитного информационного потоков в одном канале сопряжена с большими техническими сложностями. Это определяется слишком высокими частотами модуляции даже при использовании наиболее экономичных по ширине спектра сигналов в формате NRZ, которые сочетаются с многоуровневой схемой кодирования.

Кроме того, статистика реализованных проектов (рис. 1) наглядно свидетельствует о том, что протяженность примерно 90% оптических линий СКС не превышает 100 м.

В данной ситуации для обеспечения 40- и 100-гигабитной пропускной способности канала связи на существующем оборудовании целесообразно использовать принцип

Назначение модуля	Для систем параллельной передачи, $\lambda = 850$ нм	Общего применения, $\lambda = 850$ нм	Общего применения, $\lambda = 1300$ нм	Для систем CWDM, $\lambda = 1300$ нм	Для систем DWDM, $\lambda = 1550$ нм
Относительная стоимость	0,15	0,2	1	1,2	2,5

многоканальной передачи в нескольких параллельных субканалах. Такой подход дает возможность в разы уменьшить тактовую частоту линейного сигнала.

Многоканальная передача возможна по различным схемам. На практике (при внедрении на уровне аппаратных средств широкого применения) используются два варианта.

Первый из них — реализация схемы оптического мультиплексирования по технологиям CWDM и DWDM, применяемым на линиях большой протяженности (несколько сотен метров и более).

Второе решение задачи — схема параллельной передачи, основанная на передаче сигналов каждого из субканалов по физически отдельной цепи.

В области сетей связи общего пользования применение схемы параллельной передачи бесперспективно из-за крайне неудовлетворительных экономических параметров при передаче на относительно большие (от нескольких километров и более) расстояния. В технике ЛВС, где на основании статистики (рис. 1) указанное ограничение не так существенно, она наиболее востребована. В частности, в массовом масштабе данный принцип применяется свыше десяти лет на уровне межблочного соединения и организации стека коммутаторов.

Заметно лучшие стоимостные характеристики имеют решения для реализации линий небольшой протяженности. При этом:

- не требуется установка на концах линии модулей оптических мультиплексора и демультимплексора, которые даже после радикального снижения цен за последние несколько лет обладают неудовлетворительными стоимостными параметрами;
- можно не применять сложные линейные коды и во многом унифицировать оборудование 10-гигабитных систем с более скоростными системами;
- отказаться от применения дорогостоящих оптических передатчиков с контролируемой длиной волны и узкой спектральной линией излучения в процессе построения линии связи (без потери качества передаваемого сигнала).

Относительные стоимостные параметры 10-гигабитных модулей XFP приведены в таблице.

Весьма существенный аргумент при выборе схемы параллельной передачи — возможность применения для ее построения многомодовых волоконных световодов категории OM3, оптимизированных для работы с лазерными излучателями и имеющих коэффициент широкополосности не хуже  $2000 \text{ МГц} \times \text{км}$  на длине волны 850 нм. Несколько лучшие характеристики линии достигаются при использовании новейших волокон категории OM4 (A1a3, стандарт IEC 60793-2-10). Они обеспечивают лазерный коэффициент широкополосности не хуже  $4700 \text{ МГц} \times \text{км}$  и дают гарантированный ценовой выигрыш (по сравнению с одноименной техникой) при общей протяженности тракта вплоть до 600 м (рис. 2).

При реализации схемы параллельной передачи организуются четыре или десять (для 40- и 100-гигабитной системы соответственно) отдельных субканалов со скоростью 10 Гбит/с каждый. Приемопередатчики этих субканалов с минимальными схемными изменениями заимствуются из хорошо зарекомендовавших себя сетевых интерфейсов 10G BaseSR. Для улучшения экономических параметров решения в целом и с учетом малой протяженности тракта допустимая ширина спектра излучения VCSEL-лазера увеличивается до 0,65 нм против 0,45 нм у прототипа.

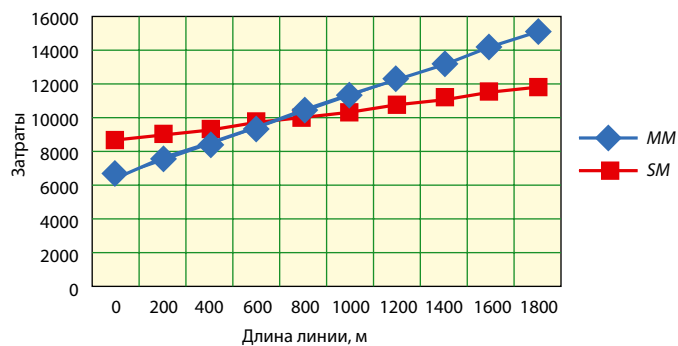


Рис. 2

Создание 40- и 100-гигабитного оборудования не требует проведения масштабных комплексных НИР. Это обусловлено тем, что еще в конце 90-х гг. прошлого столетия было освоено серийное производство:

- ленточных сборок волокон;
- механических сплайсов и сварочных аппаратов, изначально ориентированных на работу с ленточным волокном;
- групповых разъемных соединителей, позволяющих одновременно коммутировать до нескольких десятков волокон.

Функции разъемных многоволоконных (групповых) соединителей вполне могут выполнять изделия типа MPO. В последние несколько лет они хорошо зарекомендовали себя в процессе эксплуатации реальных кабельных систем (как один из обязательных компонентов оптических модульно-кассетных решений) [2]. Количество световодов, которые позволяют одновременно коммутировать известные варианты этих соединителей (производимых серийно), достигает 72 штук. Таким образом, разъем данного типа с заметным запасом удовлетворяет практическим требованиям.

**Разработка новых типов кабелей.** На практике освоение нового диапазона скоростей требует создания новых типов кабелей. Существующие распределительные кабели, используемые для внутренней прокладки, мало пригодны для указанной области. Из-за большого разброса длин отдельных световодов они не позволяют добиться требуемой величины параметра skew не выше 0,75 нс/100 м.

Один из путей решения задачи достижения требуемой величины skew — применение кабелей, конструкция которых обеспечивает жесткий контроль механической длины отдельных волокон. Этим требованиям изначально отвечают ленточные световоды (рис. 3).

Для 40-гигабитных систем возможно использование так называемых волоконных модулей. От модулей кабелей для внешней прокладки они отличаются тем, что не дают возможности волокнам свободно перемещаться внутри трубки. Внешний диаметр модуля не превышает 0,9 мм, т. е. по параметру компактности (порядка  $0,2 \text{ мм}^2$  на волокно) этот элемент практически не уступает ленточному решению. При

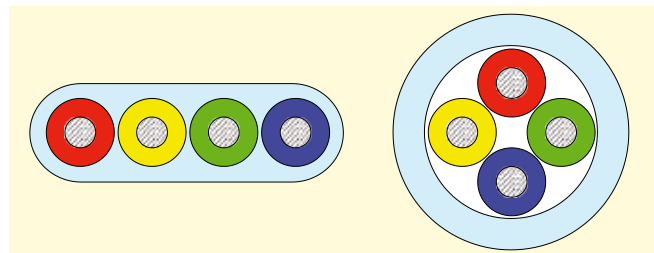


Рис. 3

этом круглый кабель модульного типа оказывается заметно более удобным при прокладке по сравнению с плоским ленточным.

Ленточные сборки и волоконные модули, изначально предназначенные для параллельной передачи, обеспечивают величину параметра skew не хуже 0,1 нс/100 м, что позволяет увеличить предельную протяженность тракта по крайней мере до 150 м.

**Изменения в стандартах.** При реализации проектов внедрения оборудования следующего поколения требуются соответствующей коррекции стандартов СКС. Обычно техника СКС несколько опережает в этой области технику ЛВС. В полном соответствии с данной тенденцией применяются многомодовые волоконные световоды категории OM4, характеристики которых позволяют с заметно большей эффективностью создавать линии с пропускной способностью 40 и 100 Гбит/с.

Использование техники параллельной передачи немедленно влечет за собой необходимость разработки нормативной базы и методик измерения параметра skew для основных комплексных объектов (стационарных линий и трактов различных видов) оптической подсистемы СКС. При этом отдельными самостоятельными задачами являются создание и серийное производство тестирующего оборудования для контроля этого параметра. Их эффективное решение сопряжено с существенными сложностями, обусловленными, в первую очередь, необходимостью фиксации малых различий во времени прохождения тестовых каналов по отдельным волокнам.

Обеспечение дальности связи порядка нескольких сотен метров при использовании схемы параллельной передачи на экономически выгодной длине волны 850 нм нецелесообразно из-за неудовлетворительных дисперсионных характеристик существующих многомодовых волокон. В этой ситуации естественным выходом видится введение в СКС нового класса OF-100 оптических линий, ориентированных на применение в ЦОД и в офисных зданиях. Ранее такие линии нормировались только для кабельных систем промышленного назначения [3].

**Заключение.** Серийные многомодовые волоконные световоды оптических кабелей СКС имеют достаточные резервы пропускной способности и вполне пригодны для полномасштабной поддержки функционирования сетевых интерфейсов (скорость передачи в 40 и 100 Гбит/с) в весьма важном для практического применения диапазоне длин трактов передачи. Целесообразна разработка и наладка серийного производства специализированных многомодовых кабелей с волокнами категорий OM3 и OM4, а также групповых соединителей типа MPO для внутренней прокладки. Разработка специальных конструкций линейных кабелей внешней прокладки для поддержки функционирования оптических сетевых интерфейсов 40G и 100G Ethernet не требуется.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов А.Б., Стрижаков С.К., Сунчелей И.Р. Структурированные кабельные системы//М.: ДМК-Пресс, 2002. — 640 с.
2. Семенов А.Б. Модульно-кассетные решения для оптики//LAN/Журнал сетевых решений — 2004. — № 11. — С. 64—78.
3. Семенов А.Б. Международный стандарт на СКС промышленного назначения//LAN/Журнал сетевых решений. — 2007. — № 10. — С. 70—84.

Получено 25.12.10