

ЛИНЕЙНЫЕ КАБЕЛИ ДЛЯ СКС

Линейные кабели для 40- и 100-гигабитных СКС

А.Б. Семенов, д.т.н., директор по развитию АйТи-СКС компании АйТи

Увеличение быстродействия и наращивание количества функций, реализуемых информационно-вычислительной системой (ИВС) современного предприятия, приводит к систематическому росту требований, выдвигаемых в отношении пропускной способности внутрисистемных каналов связи.

В начале текущего десятилетия в практику построения ИВС были внедрены 10-гигабитные сетевые интерфейсы. Однако, возможности 10-гигабитной сетевой аппаратуры уже во многом исчерпаны, и в настоящее время на повестку дня встал вопрос о переходе к следующему поколению сетевой аппаратуры, что требует наращивания производительности линий связи.

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

Области применения техники следующего поколения

Опыт реализации ИВС свидетельствует о том, что на пользователь-

ском уровне для комфортной работы с основными современными программными продуктами достаточно коммутируемого канала Fast Ethernet, а возможность Gigabit Ethernet, несмотря на их широкую доступность, оказываются, невостребованными. Какие-либо признаки, что ситуация изменится в обозримой перспективе, отсутствуют. Как следствие, реализация каналов со скоростью 10 Гбит/с на уровне горизонтальной подсистемы является функционально избыточной и нецелесообразной. Таким образом, техника нового поколения может применяться там, где отсутствуют ограничения, определяемые возможностями человека. Этими областями на исходе первого десятилетия нового века становятся Центры обработки данных (ЦОД), магистральные уровни традиционных СКС и, возможно, крупные СКС промышленного назначения.

Наиболее реальными кандидатами на роль оборудования следующего поколения выглядят интерфейсы Ethernet со скоростью передачи 40 и 100 Гбит/с, окончательное утверждение спецификаций которых должно быть завершено в самое ближайшее время. Данные разновидности технологии не являются антагонистами и вполне могут использоваться на одном уровне информационной системы. Предполагается, что фокусной областью применения 40-гигабитных систем будут линии связи между серверами, а оборудо-

вание со скоростью передачи 100 Гбит/с ориентировано на установку в магистральных каналах.

Кроме того, отдельного упоминания в качестве потенциального потребителя ресурсов структурированной проводки нового поколения в ЦОД заслуживает оборудование для сетей хранения на базе Fibre Channel. Эта технология использует другой формат кадра. Скорости передачи линейного сигнала Fibre Channel близки к тем, которые свойственны для Ethernet, и, что весьма важно, не превышают их как в настоящее время, так и в обозримой перспективе.

Освоение нового диапазона скоростей в ИВС всегда начинается с внедрения линий оптической связи. Такой подход обусловлен:

- первостепенной потребностью внедрения линий оптической связи в магистральной части ИВС, где в полной мере проявляются известные преимущества волоконного световода в первую очередь по широкополосности;
- существенно меньшим затуханием и постоянством этого параметра в широком частотном диапазоне, а также отсутствием сколь-нибудь заметного взаимного влияния между отдельными цепями передачи сигналов;
- возможностью массового использования в новой области технических решений, которые ранее были хорошо отработаны при

ЛИНЕЙНЫЕ КАБЕЛИ ДЛЯ СКС

создании сетей связи общего пользования;

- явно выраженным преимуществом оптических вариантов построения интерфейсов над медно-жильными по энергопотреблению на линиях с протяженностью свыше 30 м, а также массогабаритным показателем линейных кабелей.

Последнее свойство имеет очень большое значение для центров обработки данных (ЦОД), для которых энергопотребление является одним из наиболее важных параметров. Преимущество оптических интерфейсов по заметно меньшей потребляемой мощности начинает иметь значение на таких объектах в том случае, если при их организации используются, по меньшей мере, несколько десятков серверов.

Схема параллельной передачи

Выбор общей структуры сетевого интерфейса нового поколения осуществляется с учетом того, что передача 40- и 100-гигабитного информационного потока в одном канале сопряжена с очень большими техническими сложностями. Это

определяется слишком высокими частотами модуляции даже при использовании наиболее экономичных по ширине спектра сигналов в формате NRZ, которые сочетаются с применением многоуровневой схемы кодирования.

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

В данной ситуации для обеспечения 40- и 100-гигабитной пропускной способности канала связи при достигнутом уровне техники целесообразно использовать принцип многоканальной передачи в нескольких параллельных субканалах. Такой подход дает возможность в разы уменьшить тактовую частоту линейного сигнала, что сопровождается заметным улучшением технико-экономических характеристик решения в целом.

Теоретически многоканальная передача возможна с привлечением самых различных принципов. При практическом внедрении многоканальных схем на уровне аппаратных средств, предназначенных для

построения ИВС широкого применения, для этого привлекаются два основных варианта.

Первым из них является реализация схемы оптического мультиплексирования по схемам CWDM и DWDM, применяемым на линиях большой протяженности (несколько сотен метров и более).

Схема параллельной передачи представляет собой второе решение задачи обеспечения многоканальной связи. В ее основу положена передача сигналов каждого из субканалов по физически отдельной цепи.

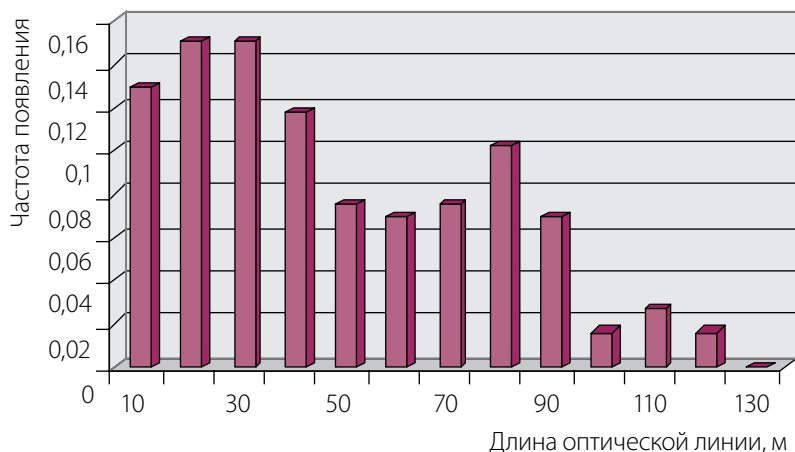
В области сетей связи общего пользования схема параллельной передачи бесперспективна из-за своих крайне неудовлетворительных экономических параметров при передаче на относительно большие (от единиц км и далее) расстояния. В технике ЛВС, где указанное ограничение не так существенно, она пользуется заметно большей популярностью и в массовом масштабе применяется уже свыше десяти лет на уровне межблочного соединения и организации стека коммутаторов.

Заметно лучшие стоимостные характеристики решения при реализации линий небольшой протяженности определяются комплексом причин, в т.ч.:

- отпадает необходимость установки на концах линии модулей оптических мультиплексора и демуплексора, которые даже после радикального снижения цен последних нескольких лет обладают неудовлетворительными стоимостными параметрами;

- в процессе построения линии связи без потери качества передаваемого сигнала можно отказаться от применения дорогостоя-

Рис. 1



ЛИНЕЙНЫЕ КАБЕЛИ ДЛЯ СКС

Таблица 1

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

щих оптических передатчиков с контролируемой длиной волны и узкой спектральной линией излучения (относительные стоимостные параметры 10-гигабитных модулей XFP демонстрирует Таблица 1).

Весьма существенным аргументом в пользу выбора схемы параллельной передачи является возможность применения для ее построения многомодовых волоконных световодов категории OM3, оптимизированных для работы с лазерными излучателями и имеющих коэффициент широкополосности не хуже 2000 МГц·км на длине волны 850 нм. Несколько лучшие характеристики линии достигаются при использовании новейших волокон категории OM4 (A1a3 по стандарту IEC 60793-2-10). Они обеспечивают лазерный коэффициент широкополосности не хуже 4700 МГц·км.

При реализации схемы параллельной передачи организуется четыре или десять (для 40- и 100-гигабитной системы, соответственно) отдельных субканалов со скоростью в 10 Гбит/с в каждом. Приемопередатчики этих субканалов с минимальными схемными из-

менениями заимствуются из хорошо отработанных в производстве сетевых интерфейсов 10G BaseSR. Для значимого 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.

Создание 40- и 100-гигабитной техники в области оптической подсистемы не требует проведения масштабных НИР. Это обусловлено тем, что промышленностью еще в конце 90-х гг. прошлого столетия было освоено серийное производство:

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

подсистема) или свыше 4 витых пар (симметричные тракты)

Необходимость новых типов линейных кабелей оптической подсистемы

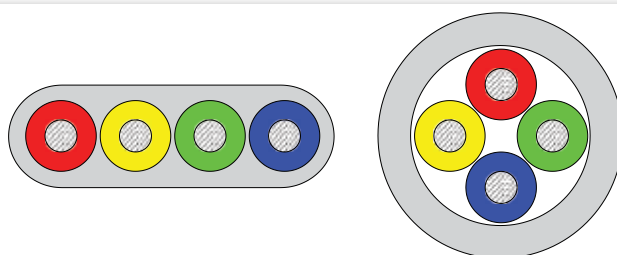
Несмотря на наличие большого технологического задела, практическое освоение нового диапазона скоростей требует создания новых разновидностей кабелей.

В области оптической подсистемы существующие распределительные кабели внутренней прокладки мало пригодны для построения СКС следующего поколения скоростей. Из-за большого разброса длин отдельных световодов они не позволяют добиться величины параметра skew не свыше 0,75 нс/100 м, задаваемой действующими на начало текущего года проектами спецификаций.

Один из путей решения задачи достижения требуемой величины skew состоит в применении волоконных сборок, конструкция которых обеспечивает жесткий контроль механической длины отдельных волокон. Этим требованиям изначально отвечают ленточные световоды.

Для 40-гигабитных оптических систем возможно использование нового типа изделий, которые называются волоконными модулями (fiber unit). От хорошо известных оптических модулей (loose tube) кабелей внешней прокладки они отличаются тем, что их трубка плотно охватыва-

Рис. 2



ЛИНЕЙНЫЕ КАБЕЛИ ДЛЯ СКС

ют волокна и, за счет этого, не дают им свободно перемещаться внутри своего внутреннего объема и выравнивают их длину. Такой прием вполне корректен из-за заметно меньших механических нагрузок и допустимых изменений окружающей температуры, определяемых областью эксплуатации. Внешний диаметр модуля не превышает 0,9 мм, т.е. с точки зрения компактности (порядка 0,15 — 0,25 мм² на волокно) ленточное и модульное решения близки друг к другу.

Лучшие образцы оптических кабелей для параллельной передачи обеспечивают величину параметра skew не хуже 0,1 нс/100 м, что открывает перспективы увеличения предельной протяженности тракта по крайней мере до 150 м. При этом круглый кабель модульного типа оказывается заметно более удобным при прокладке.

Основной недостаток модульного решения состоит в некоторой сложности получения механически стабильной 10- или 20-волоконной структуры, что является обязательным условием построения 100-гигабитного оптического тракта.

Симметричные кабели следующего поколения

Симметричные кабели по своим характеристикам вполне могут привлекаться для построения трактов передачи, изначально рассчитанных на скорость передачи свыше 10 Гбит/с. При этом они должны иметь конструктивное исполнение на уровне не ниже S/FTP (индивидуальное экранирование каждой пары в сочетании с общим экраном).

Достаточно популярные в кабельных трактах класса Ea т.н. полуэкранированные конструкции

(кабели с незаземленным экраном) в случае строго соответствия их параметров требованиям стандартов изначально имеют теоретическую шенноновскую пропускную способность порядка 18 Гбит/с. Для поддержки 40-гигабитного Ethernet требуется ее увеличение примерно в четыре раза. На сегодняшний день выполнение этой работы представляется мало перспективным. Наиболее существенным преимуществом полуэкранированных конструкций является возможность отказа от построения качественной системы телекоммуникационного заземления. ЦОД как фокусная область применения этой техники обычно отличается очень умеренными габаритами. Поэтому эффективно «разыграть карту» упрощения выполнения архитектурной фазы реализации СКС не получается.

В качестве прототипа изделий для поддержки функционирования 40-гигабитных сетевых интерфейсов могут быть использованы кабели категории 7, имеющие теоретическую пропускную способность в 55 Гбит/с. При выборе конкретных технических решений целесообразно привлекать задел, накопленный отраслью за последние полтора десятка лет при создании т.н. мультимедиа-кабелей и кабелей новейшей категории 7a. Лучшие образцы мультимедиа-кабелей (изделия нестандартизованной категории 8) имеют верхнюю граничную частоту свыше 2 ГГц. Кабели категории 7a в соответствии с требованиями стандарта нормируются в полосе частот до 1 ГГц.

Разъемные соединители

Функции разъемных многоволоконных (групповых) соединителей оптической подсистемы, которые

идеально вписываются в схему параллельной передачи, вполне могут выполнять изделия типа MPO. Они хорошо зарекомендовали себя на практике в последние несколько лет в процессе эксплуатации реальных кабельных систем как один из обязательных компонентов оптических модульно-кассетных решений [2].

Наибольшее количество световодов, которые дают возможность одновременно коммутировать известные варианты изделия типа MPO, доведенного до уровня серийного продукта еще в конце 90-х гг., достигает 72 штук. Таким образом, разъем данного типа с заметным запасом удовлетворяет потребностям практики.

Разъемные соединители, применяемые для формирования симметричных кабельных трактов следующего поколения, будут обязательно экранированными. Характеристики изделий типов Tera и ARJ-45, сертифицированные в диапазоне свыше 1 ГГц, делают выполнение новых разработок нецелесообразным. Фокусная область применения (ЦОД) ставит перед практикой еще одну задачу: создание группового варианта этих разъемов для формирования разветвителя типа гидра. В качестве прототипа могут быть использованы Tera и ARJ-45, что потенциально открывает перспективы подключения к розеточной части вилок одиночных шнуров при возникновении подобной необходимости.

Возможные изменения в стандартизации СКС

Внедрение техники следующего поколения в массовую практику реализации проектов требует соответствующей коррекции стандартов СКС. Обычно техника структуриро-

ЛИНЕЙНЫЕ КАБЕЛИ ДЛЯ СКС

ванного каблирования несколько опережает в этой области технику ЛВС. В полном соответствии с данной тенденцией в широкую инженерную практику вводятся 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. Отдельную самостоятельную задачу представляет собой создание и налаживание серийного производства тестирующего оборудования для контроля этого параметра. Ее эффективное решение сопряжено с существенными сложностями, обусловленными в первую очередь необходимостью фиксации малых различий времен прохождения тестовых каналов по отдельным волокнам.

Для медножильной подсистемы подобная задача представляется несколько менее сложной. В данном случае свою роль играет то, что увеличение скорости передачи до 40 Гбит/с за счет использования многоуровневых линейных кодов не требует наращивания верхней граничной частоты свыше 1 ГГц. Тестирование ряда характеристик кабельных трактов СКС в этом частотном диапазоне достаточно уверенно освоено производителями кабельных сканеров еще в середине первого десятилетия нового столетия. Кроме того, известные ме-

тодики определения фактического значения величины межкабельного переходного затухания, несмотря на свой статистический характер, по обеспечиваемой точности вполне соответствуют требованиям практики.

В области оптической подсистемы обеспечение дальности связи порядка даже 200 — 300 метров при использовании схемы параллельной передачи на экономически выгодной длине волны 850 нм нецелесообразно из-за неудовлетворительных дисперсионных характеристик существующих многомодовых волокон и сложностей гарантированного выполнения требований по параметру skew. В этой ситуации естественным выходом видится введение в СКС нового класса OF-100 оптических линий. Фокусной областью применения подобных комплексных объектов видятся ЦОД и офисные здания. Ранее линии данного класса нормировались только для кабельных систем промышленного назначения [3].

При этом введение нового класса OF-100 приводит к некоторым коллизиям его численного индекса и гарантированной протяженности тракта на волокнах категории OM4 (125 м). По аналогии со своими менее скоростными предшественниками линии с длиной свыше 100 м в данной ситуации могут строиться с опорой исключительно на фирменные нормы.

Выводы

1. Серийная и особенно вновь внедряемая техника СКС имеет очень серьезные резервы по пропускной способности и вполне пригодна для полномасштабной поддержки функционирования сетевых

интерфейсов со скоростями передачи в 40 и 100 Гбит/с (в последнем случае в области оптической подсистемы).

2. Разработка специальных конструкций линейных кабелей внешней прокладки для поддержки функционирования оптических сетевых интерфейсов 40G и 100G Ethernet не требуется.

3. Целесообразна разработка и наладка серийного выпуска специальных конструкций внутренней прокладки на основе оптических модулей и ленточных сборок.

4. Для реализации оптических линий подсистемы внутренних магистралей, изначально рассчитанных на работу с 40- и 100-гигабитными информационными потоками, целесообразно применять специализированные многомодовые кабели с волокнами категорий OM3 и OM4, а также групповых соединителей типа MPO.

5. Конструкция симметричных кабелей для поддержки функционирования 40-гигабитных систем должна целенаправленно оптимизироваться для обеспечения простоты сопряжения с групповыми и многоканальными соединителями.

Литература

1. Семенов А.Б., Стрижаков С.К., Сунчелей И.П. 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.