

# Многомодовое волокно с улучшенными частотными свойствами

Характеристики волокон даже Категории OM4 уже не в полной мере отвечают требованиям реализации проектов. Выход из сложившейся ситуации очевиден: необходимо создать и внедрить новую, более совершенную многомодовую элементную базу.

Андрей Семенов

Центры обработки данных становятся стержневым элементом информационной инфраструктуры современного предприятия. Одним из основных критериев эффективности ЦОД с точки зрения предоставления сервисов является время реакции на поступающие пользовательские запросы, которое должно быть минимальным. Кроме того, функционирование ЦОД происходит в условиях опережающего роста объемов передаваемых данных. С учетом этих двух факторов информационный обмен между любыми устройствами ЦОД должен осуществляться с максимально высокой скоростью.

Поддержка в отдельно взятом тракте скорости на уровне десятков Гбит/с, что весьма желательно в ЦОД уже сегодня, может быть получена лишь на проводных каналах связи. На практике эти линии пока реализуются только на волоконно-оптической элементной базе. Сами оптические линии допускают несколько основных вариантов построения. Тем не менее при современном уровне техники использование параллельной передачи и многомодовой элементной базы является безусловно необходимым.

## ПОТРЕБНОСТЬ В НОВОМ ТИПЕ МНОГОМODOVЫХ СВЕТОВОДОВ

Согласно действующим стандартам, предельная протяженность оптических линий параллельной передачи составляет 100 м при использовании относительно дешевого волокна Категории OM3. Обращение к более качественному — в первую очередь

в отношении обеспечиваемой широкополосности — волокну Категории OM4 дает возможность увеличить значение максимальной гарантированной дальности связи до 150 м при скорости до 100 Гбит/с, чего на обозримое время вполне достаточно.

Тем не менее характеристики волокон даже Категории OM4 уже не в полной мере отвечают требованиям реализации проектов, так как протяженность линий часто превышает 150 м, о чем свидетельствует статистика (см. Рисунок 1). Несложные расчеты показывают, что с использованием стандартной элементной базы Категории OM4 можно реализовать не более чем 85% линий.

При необходимости обеспечения связи на расстояние свыше указанного в стандарте предела наличие технических ограничений заставляет переходить на дорогостоящую одномодовую технику. При этом никакого выигрыша по таким ключевым характеристикам, как скорость и качество передачи, не достигается. Вместе с тем использование одномодовой элементной базы приводит к усложнению текущей эксплуатации. Это вызвано высокой чувствительностью одномодовых разъемов к неизбежным загрязнениям, а само волокно оказывается заметно более критичным к изгибам с недопустимо малым радиусом. В результате происходит значимое ухудшение технико-экономической эффективности всего проекта.

Выход из сложившейся ситуации очевиден: необходимо создать и внедрить новую, более совершенную многомодовую элементную базу, предназначенную для построения оптической подсистемы СКС для ЦОД. При этом внедрение новой техники будет представлять практический интерес только в том случае, если при неизменной стоимости (или при ее минимальном увеличении) обеспечивается значимый технический выигрыш по основным параметрам. Под последним понимается то, что поддерживаемая скорость передачи составляет не менее 100 Гбит/с, а обеспечиваемая предельная дальность связи должна быть не менее чем на 20% выше той величины, которая зафиксирована в действующих редакциях стандартов.

## ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПРЕДЕЛЬНУЮ ДАЛЬНОСТЬ СВЯЗИ

Обмен данными между двумя устройствами в ЦОД осуществляется



Иллюстрация Натальи Левшиной

исключительно в цифровой форме. Обеспечиваемое качество связи оценивается как вероятность битовой ошибки BER. Последняя величина определяется такими фундаментальными факторами, как затухание в канале связи и вносимые им дисперсионные искажения. Физические механизмы ограничений «по затуханию» и «по дисперсии» существенно различаются.

При слишком большом затухании сигнал становится настолько слабым, что принимающее устройство сетевого интерфейса не может уверенно выделить его на фоне шумов, вследствие чего в канале связи появляются ошибки. Ситуацию можно исправить разными способами: это и увеличение мощности передатчика, и уменьшение затухания в тракте передачи за счет использования более качественной элементной базы, а также устойчивой к помехам модуляции сигнала передатчика и линейных кодов с исправлением ошибок. Все эти подходы заметно увеличивают сложность и в конечном счете стоимость решения, поэтому применяются только в том случае, если это оправданно экономически.

Дисперсионные искажения возникают из-за недостаточной пропускной способности канала связи и оказывают влияние исключительно на форму принимаемого сигнала, не уменьшая его общей мощности. При чрезмерно большой дисперсии отдельные пакеты цифрового сигнала «расплываются» настолько сильно, что частично оказываются в соседних тактовых интервалах, где превращаются в помеху. Данный эффект известен как межсимвольная интерференция (Inter Symbol Interference, ISI) и в графической форме представлен на Рисунке 2, г.

Явление межсимвольной интерференции приводит к тому, что поступающий на приемное устройство сигнал представляет собой сумму нескольких передаваемых импульсов, находящихся в различных тактовых интервалах. Справедливости ради следует отметить, что значимое влияние «через тактовый интервал» приводит к настолько высокой вероятности ошибок в соседних интервалах, что должно быть исключено изначально. Поэтому на практике рассмотрению подлежат только соседние тактовые интервалы.

Таким образом, ограничения, вызываемые межсимвольной интерференцией, оказываются столь же важными, как и выполнение норм по затуханию. Пренебрежение этим эффектом, во-первых, даже при достаточной мощности, то есть при малом влиянии шумов, не позволяет уверенно отли-

чить ноль от единицы, что приводит к ошибкам на приеме и росту BER, а во-вторых, затрудняет поддержание синхронизма в канале связи.

Для дальнейшего изложения важное значение имеет то, что сильное негативное влияние дисперсионных искажений на качество связи вполне может проявиться даже при слабом межинтервальном взаимодействии, то есть когда значимая межсимвольная интерференция и, соответственно, вызываемая ею помеха отсутствуют. Несложный анализ показывает, что классическая межсимвольная интерференция всегда предваряется быстрым падением амплитуды влияющего сигнала. Факт наличия в канале связи нуля или единицы обычно определяется приемником в середине тактового интервала, когда при наличии подобного эффекта сигнал резко уменьшается даже при фиксированном затухании тракта передачи. Данная ситуация в графической форме изображена на Рисунке 2.

В общем случае при проектировании систем передачи информации предполагается, что нормы по затуханию и дисперсионным искажениям контролируются отдельно. Однако линии связи ЦОД со скоростями 10 Гбит/с и выше при проявлении классической межсимвольной интерференции становятся заведомо неработоспособными. На этом основании расчет можно упростить сведением малых дисперсионных искажений к дополнительному затуханию, которое в профильной литературе обозначается как дисперсионный штраф по мощ-

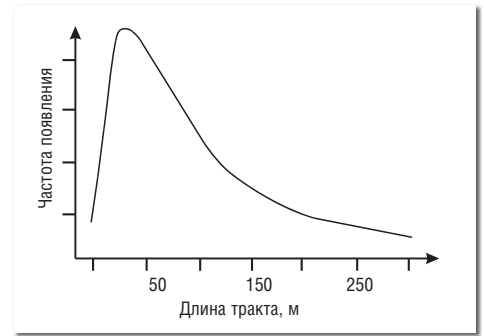


Рисунок 1. Типовое распределение длин линий оптической связи в ЦОД.

ности (англ. dispersion power penalty), или дисперсионный штраф. Его величина равна дополнительным потерям, определяемым уменьшением амплитуды импульса линейного сигнала за счет дисперсии (см. Рисунок 2, в).

На Рисунке 3 показано распределение отдельных составляющих потерь для оптической линии длиной 300 м, собранной из стандартных компонентов Категории OM3, для канальной скорости 10 Гбит/с. Как видим, потери, вызванные дисперсионными искажениями, заметно превышают суммарные потери в кабелях и разъемных соединителях. Таким образом, можно сделать вывод, что увеличение дальности действия сверхскоростного канала оптической связи требует прежде всего улучшения его частотных свойств.

Все сказанное выше означает, что задача улучшения дисперсионных свойств многомодового волокна для лазерной передачи приобретает чрез-

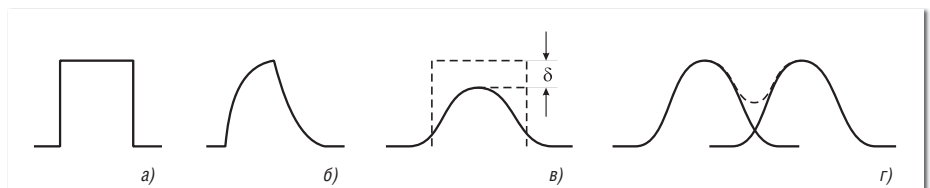


Рисунок 2. Искажения сигнала в канале связи: а — исходный сигнал; б — дисперсионные искажения; в — дисперсионный штраф; г — межсимвольная интерференция.

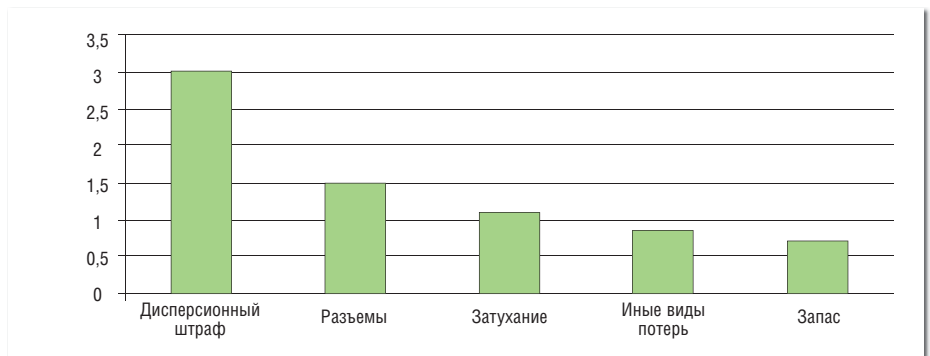


Рисунок 3. Величины различных составляющих затухания (дБ) многомодовой оптической линии протяженностью в 300 м и скоростью передачи в 10 Гбит/с.

вычайную актуальность. Ее эффективное решение позволит увеличить допустимую протяженность линии с одновременным сохранением стоимостных преимуществ многомодовой элементной базы.

### ДИСПЕРСИОННЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

В дальнейшем ограничимся рассмотрением дисперсионных характеристик только многомодового волоконного световода. Быстродействие и пропускная способность остальных компонентов настолько высоки, что их влияние на результирующую дисперсию тракта может считаться пренебрежимо малым.

Частотные свойства собственно световода определяются рядом одновременно действующих механизмов. Интенсивность каждого из них описывается своей разновидностью дисперсии. Наиболее заметный вклад в искажение формы импульса вносят межмодовая и хроматическая дисперсии. Остальными составляющими (например, дифференциальной модовой задержкой, поляризационной модовой дисперсией и т. д.) для рассматриваемой области применения можно пренебречь без потери точности анализа. Их учет осуществляется путем введения дополнительных запасов на потери помехоустойчивости величиной не более нескольких десятых дБ.

Межмодовая дисперсия возникает в многомодовом световоде из-за того, что результирующий сигнал представляет собой сумму отдельных составляющих (мод), каждая из которых характеризуется своим индивидуальным временем прохождения тракта. Данное время зависит как от длины оптического пути луча в волокне, так и от скорости его распространения. Последняя, в свою очередь, определяется показателем преломления материала световедущей сердцевинки.

Стремление к минимизации вредного влияния межмодовой дисперсии на качество связи стало основным побудительным мотивом создания так называемых градиентных световодов, где лучи отдельных мод имеют вид гладких кривых. Эти волокна имеют довольно сложный специальный профиль показателя преломления сердцевинки. Закон его изменения подобран таким образом, чтобы моды высших порядков, лучи которых глубоко заходят в периферийную часть сердцевинки, на большей части своей траектории находились в стекле с меньшей оптической плотностью (меньшим пока-

зателем преломления). В результате такие моды проходят в стекле больший путь, но с более высокой средней скоростью. При надлежащем выборе профиля показателя преломления (в оптимальном случае его форма значительно отличается от квадратичной параболы) это приводит к тому, что разность промежутков времени, требуемого для распространения каждой из направляемых мод, становится достаточно малой, что эквивалентно снижению дисперсии.

Причина появления хроматической дисперсии состоит в том, что спектр излучения полупроводникового лазера зачастую имеет довольно большую ширину и, в частности, в случае многомодовой техники может достигать десятков нанометров. Скорость распространения света в стекле существенно зависит от длины волны: при прохождении по нему такого сигнала отдельные спектральные составляющие приходят на приемник разномоментно, и в результате появляется дисперсия. Хроматическая дисперсия имеет две составляющие. Первая, называемая материальной, определяется физическими свойствами стекла сердцевинки, а вторая, волноводная, — параметрами волокна. Последнюю можно менять, варьируя характеристики как световедущей сердцевинки, так и непосредственно прилегающих к ней областей оболочки. Отдельно укажем на то, что материальная и волноводная составляющая хроматической дисперсии имеют различные знаки и частично компенсируют друг друга при преобладающем характере материальной составляющей.

Конкретные численные значения материальной и волноводной составляющих дисперсии таковы, что величиной общей хроматической дисперсии и ее спектральной характеристикой можно управлять в довольно широких пределах путем простого подбора технологических параметров волокна в процессе формирования его заготовки. Данная возможность широко используется в современной одномодовой технике и положена в основу создания хорошо известных световодов со смещенной и ненулевой смещенной дисперсией (волокна G.653 и G.655, согласно общепринятой классификации Международного телекоммуникационного союза ИТУ).

### ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ СХЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Хорошие экономические параметры многомодовой схемы параллельной передачи во многом определяются

применением в оптических передатчиках специальной разновидности излучателя, известного как VCSEL-лазер. Дешевизна этих изделий достигнута за счет использования в них специальной и очень простой с технологической точки зрения геометрии активной области. В результате при производстве обеспечивается очень высокий процент выхода кристаллов, пригодных для использования в качестве источника света оптического передатчика. Однако VCSEL-лазер неплохо работает только в спектральном диапазоне окна прозрачности 850 нм. Попытки создания недорогого излучателя этого типа для длины волны 1300 нм, более эффективной с точки зрения оптической связи, пока не увенчались успехом.

Наиболее дорогим компонентом линии оптической связи, работающей в окне прозрачности 850 нм, является оптический передатчик, стоимость которого определяется ценой его излучателя. Для схем параллельной передачи необходимо применять несколько таких излучателей. Стремление к максимальному удешевлению решения привело к тому, что для VCSEL-лазера, предназначенного для применения в оптических передатчиках сетевых интерфейсов 40–100 Гбит/с, согласно спецификации стандарта IEEE 802.3ba установлена достаточно большая ширина спектра линии излучения: 40–65 нм. Это более чем на два порядка превышает аналогичную характеристику лазеров диапазона 130–1550 нм, которые ориентированы на применение в линиях городской и междугородной связи и сконструированы с привлечением механизмов распределенной обратной связи или путем обращения к резонатору Фабри — Перо. Столь явная мягкость норм оправдывается сравнительно небольшими максимальными длинами линий, типичными для схем параллельной передачи (100–150 м, согласно требованиям действующих нормативных документов).

В начале нового тысячелетия была обнаружена интересная особенность VCSEL-лазера. Она заключается в том, что длина волны генерируемого света начинает быстро падать по мере удаления от центра излучающей площадки и роста апертурного угла. Именно этим эффектом в немалой степени определяется большая ширина линии излучения. Данное фундаментальное свойство открывает перспективы улучшения частотных свойств многомодовых световодов для лазерной передачи и расширения функциональных возможностей линий на их основе.

## НАПРАВЛЕНИЕ УЛУЧШЕНИЯ ДИСПЕРСИОННЫХ СВОЙСТВ МНОГОМОДОВЫХ ВОЛОКОН

До последнего времени возможность улучшения различных параметров волоконного световода рассматривалась отдельно от характеристик излучателя. В ряде случаев подобный подход приводит к тому, что теоретические выводы не соответствуют практически наблюдаемой картине. Например, при высокой направленности излучения, характерной для лазерных источников света, удельные потери в волокне на так называемой длине установления в несколько сотен метров будут несколько меньше ожидаемых и полученных на основании модели равномерного возбуждения всех мод. Однако выигрыш от этого эффекта оказывается небольшим, и в существующих методиках он рассматривается как малый запас расчета, не оказывающий значимого и даже качественного влияния на конечный результат.

На сильную зависимость частотных свойств многомодового волокна от условий возбуждения мод указывает зафиксированный в нормативных документах метод определения

коэффициента широкополосности  $\Delta F$  световодов Категории OM3 и OM4. Он основан на сканировании торцевой поверхности волокна лучом, диаметр которого заметно меньше диаметра сердцевины, с последующим усреднением полученных результатов и пересчетом в параметр  $\Delta F$ .

Целью разработки многомодовых волоконных световодов OM3 и OM4 было достижение минимального значения межмодовой дисперсии, которая еще десять лет назад являлась доминирующей. Для решения этой задачи проводилась целенаправленная оптимизация профиля показателя преломления: устранение дефектов профиля в его осевой части и ближайших к ней смежных областях, поддержание предельно малых отклонений функции, описывающей профиль, от ее оптимальных значений, а также тщательная отработка области перехода от сердцевины к оболочке.

Дисперсионные свойства многомодового световода в частотной области традиционно характеризует уже упомянутый выше коэффициент широкополосности. Хроматическая дисперсия  $\tau$  нормируется во временной области, обращаясь к которой

удобно из-за возможности упрощения последующих расчетов современных линий связи, где используется исключительно цифровая аппаратура.


Параметры коэффициента широкополосности и дисперсии связаны между собой простым соотношением:  $\Delta F = k/\tau$ , где  $k$  меняется в интервале от 0,2 до 0,34 в зависимости от формы входного импульса. Пересчет показывает, что при  $k = 0,34$  стандартное волокно Категории OM4 имеет  $\tau = 75$  пс/км, то есть частотные свойства волокон Категории OM4 определяются преимущественно материальной дисперсией.

Теперь с целью улучшения частотных свойств многомодового оптического тракта и создания сверхвысокоскоростных многомодовых линий разработчику элементной базы остается только найти устойчивый механизм взаимной компенсации материальной и межмодовой дисперсионных составляющих. В общем случае это невозможно, так как характеры изменения хроматической и межмодовой дисперсионных составляющих не скоррелированы между собой.

Тем не менее следует отметить, что отсутствие общей корреляции

РЕКЛАМА

> online-каталог:  
[www.quintela-russia.ru](http://www.quintela-russia.ru)



# Кабельные каналы Quintela

## вернулись на российский рынок

- европейские технологии, российское производство
- 3 серии кабельных каналов: Classic, Direct45, Mini, множество аксессуаров
- напольные кабельные каналы, лючки и алюминиевые колонны
- монтаж без суппортов: электроустановочные изделия стандарта 45x45 устанавливаются в кабель-каналы серии Direct45, колонны и лючки простым защелкиванием

Представительство в России: ООО «ФИРЭЛЕК»  
107023 Москва, ул. Малая Семеновская, д.9, стр.12 Тел.: +7 495 660-75-50/60 [bureau.moscou@legrand.ru](mailto:bureau.moscou@legrand.ru)

вовсе не означает, что не имеется и ее локального проявления в неких специальных случаях. Фактически этим задается дальнейшее направление поиска. Таким образом, значимое улучшение частотных свойств многомодового тракта возможно только в том случае, если осуществляется целенаправленная оптимизация дисперсионных характеристик уже на более высоком уровне. Иначе говоря, необходимо улучшить характеристики на уровне системы из волокна и излучателя.

В основу системной оптимизации был положен эффект устойчивой и достаточно хорошо предсказуемой вариации длины волны излучения серийных VCSEL-лазеров. О целесообразности поиска путей практического использования данного механизма свидетельствуют известные результаты экспериментальных исследований. Как было продемонстрировано, два разных волокна с равной длиной и одинаковым коэффициентом широкополосности, измеренным по традиционной методике, при абсолютно равных условиях возбуждения дают значимое, исчисляемое несколькими порядками, различие вероятности ошибки на приемнике, то есть меняется качество связи. Данный эксперимент может свидетельствовать как о недостатке существующих методик определения величины  $\Delta F$ , так и о наличии дополнительных эффектов, использование которых открывает перспективы улучшения телекоммуникационных характеристик линии.

### **МНОГОМОДОВОЕ ВОЛОКНО ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ПЕРЕДАЧИ С ДИСПЕРСИОННОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ**

Первая попытка создания многомодового волокна нового поколения с улучшенными дисперсионными свойствами для лазерной передачи была успешно осуществлена компанией Panduit. В 2012 году этот производитель анонсировал новый тип 50-микронного волокна Signature Core. Фокусной областью его применения являются оптические кабельные линии в ЦОД. При создании этого волокна разработчик исходил из двух предпосылок.

Во-первых, источник света — VCSEL-лазер — имеет небольшие размеры излучающей площадки и обеспечивает довольно высокую направленность излучения. С учетом общих свойств градиентного волокна радиальное отклонение точки ввода луча от его оси и увеличение апертур-

ного угла форсированно определяют порядок моды. Это означает, что по мере роста порядка моды уменьшается длина волны и, соответственно, происходит некоторое увеличение задержки прохождения сигнала вследствие хроматической составляющей дисперсии.

Во-вторых, профиль показателя довольно легко изменить посредством известных технологических приемов и сформировать так, чтобы, в отличие от широкополосных световодов традиционной конструкции, разность времени прохождения волокна для мод низкого и старшего порядков была компенсирована не полностью. Иначе говоря, волокно Signature Core обладает заметной остаточной положительной межмодовой дисперсией.

Совместное и разнонаправленное действия двух факторов статистического характера позволили обеспечить частичную компенсацию двух дисперсионных составляющих и тем самым улучшить частотные свойства волокна, то есть заметно снизить дисперсионный штраф. Основываясь на полученных результатах, производитель гарантирует увеличение предельной дальности передачи стандартных сетевых интерфейсов 100G Ethernet минимум на 20% и поддержку их нормальной работоспособности при максимальной протяженности тракта в 180 м.

Целевые изменения профиля показателя преломления обеспечиваются путем применения легирующих добавок с предельно низкими концентрациями. Таким образом, по своим ключевым параметрам волокно нового типа полностью совместимо с традиционными 50-микронными световодами и без ограничений может использоваться вместе с ними в составе одного тракта.

### **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОСТРОЕНИЯ 100-ГИГАБИТНЫХ СЕТЕВЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ**

Одной из особенностей телекоммуникационной инфраструктуры ЦОД является необходимость совместной эксплуатации различных разновидностей сетевого оборудования с разной линейной скоростью. В частности, ожидается, что уже в 2015–17 годах в ЦОД будут одновременно применяться сетевые интерфейсы со скоростями от 1 до 100 Гбит/с. Если 1- и 10-гигабитные интерфейсы используют одноканальную схему передачи по паре световодов, то в 40- и 100-гигабитной технике приходится прибегать к

параллельной передаче по нескольким отдельным субканалам.

Переход от одноканальной схемы к многоканальной не представляет серьезных проблем, когда для формирования линейного тракта изначально используется модульно-кассетная техника. Заметно сложнее обстоит дело при замене 40-гигабитного оборудования на 100-гигабитное. Классическая схема параллельной передачи на основе 10-гигабитных субканалов предусматривает в общей сложности 8 волокон для скорости 40 Гбит/с и 20 волокон для скорости 100 Гбит/с. В первом случае задача решается за счет применения одного 12-волоконного разъема MTP/MPO на тракт. При более высокой скорости придется делать выбор из следующих вариантов: либо впоследствии устанавливать два таких разъема на приемной и передающей сторонах на каждый тракт, либо изначально использовать 24-волоконный вариант разъема MTP/MPO. В любом случае будет наблюдаться несоответствие количества разъемных соединителей и числа обслуживаемых сетевых интерфейсов. Это указывает на неоптимальное использование оборудования или на необходимость изменения конфигурации оптического кросса, что крайне нежелательно.

Применение многомодовых волокон с компенсацией дисперсии позволяет довольно эффективно решить указанную проблему и создать в ЦОД оптическую кабельную систему, конфигурация стационарных линий которой не претерпевает изменений на протяжении всего срока проектной эксплуатации объекта. Для этого разработчику сетевого интерфейса достаточно обратиться к опыту, накопленному в процессе создания активного оборудования, предназначенного для сетей связи общего пользования. При помощи простого заимствования соответствующих схемных решений или использования их в качестве прототипа он сможет перейти в каждом субканале на скорость 25 Гбит/с. Подобный подход не требует увеличения количества волокон в линейном тракте в процессе миграции от 40- к 100-гигабитной технике. Однако для применения сложной многопозиционной модуляции линейного сигнала такая техника должна поддерживать канальную тактовую частоту в 12,5 ГГц. Оставшиеся 20% дополнительной пропускной способности тракта, требуемой для сохранения неизменной гарантированной дальности связи, обеспечивают новые волокна с улучшенными частотными свойствами.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВВЕДЕНИЯ НОВОЙ КАТЕГОРИИ МНОГОМОДОВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Разработчик волокна Signature Core пока не дает детального описания своего нового продукта, но уже ясно, что использованный им механизм взаимной компенсации межмодовой и хроматической дисперсии реализуется путем применения технологических приемов и поэтому является далеко не единственным. В силу этого обойти имеющиеся патентные ограничения не составит большой сложности.

Вместе с тем ограничения на предельную протяженность 100-гигабитного многомодового параллельного тракта, существующие в действующих редакциях нормативных документов, отражают состояние техники на середину минувшего десятилетия. О высокой потенциальной потребности в экономичных линиях протяженностью свыше 100–150 м свидетельствуют многочисленные эксперименты по передаче параллельных потоков на сотни метров. Сообщения о них поступают с завидной периодичностью от многих ведущих производителей техники СКС.

Не стоит недооценивать перспективность 100-гигабитных сетевых интерфейсов, где используется схема передачи 4×25 Гбит/с. Последняя из соображений достижения обратной совместимости с 40-гигабитными линиями требует обязательного улучшения частотных свойств тракта по сравнению с теми значениями, которые обеспечивает стандартная элементная база Категории OM4.

В этой связи подход, основанный на взаимной компенсации межмодовой и хроматической дисперсионных составляющих, представляется одним из наиболее перспективных направлений развития техники сверхвысокоскоростной оптической передачи информации, предназначенной для применения в ЦОД. Не исключено, что к разработке новой категории многомодовых световодов со следующим порядковым индексом OM5 подключатся органы по стандартизации. Пока же разработчику Signature Core и их возможным последователям приходится обращаться к заметно менее выгодному с маркетинговой точки зрения обозначению OM4+.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Оптимизация на уровне системы, состоящей из излучателя и многомодового световода для лазерной передачи, позволяет успешно справиться с задачей увеличения

гарантированной предельной дальности действия существующих серийных многомодовых сетевых интерфейсов 40G и 100G Ethernet. Тем самым заметно расширяются функциональные возможности многомодовой элементной базы и обеспечивается ряд эксплуатационных преимуществ.

2. Сильной стороной многомодового световода с дисперсионной компенсацией являются его полная обратная совместимость с существующими 50-микронными волокнами традиционной конструкции, а также сохранение его положительных свойств при работе с серийными оптическими передатчиками.
3. Благодаря существенному улучшению частотных свойств тракта пере-

дачи информации, реализуемого на его основе, многомодовые волокна с дисперсионной компенсацией в перспективе вполне могут быть выделены в отдельную категорию с присвоением им, например, индекса OM5.

4. Волокно с дисперсионной компенсацией потребует введения новых методик определения коэффициента широкополосности или глубокой модернизации существующих, а также расчета многомодового оптического тракта.

Автор благодарит сотрудников компании Panduit Александра Андреева и Стива Морриса за предоставленную техническую информацию. **LAN**

*Андрей Семенов — технический директор представительства RiT в России.*



**ИНТУИТ**  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОТКРЫТЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Предлагает **ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ** с выдачей **ОФИЦИАЛЬНЫХ ДИПЛОМОВ** по программам профессиональной переподготовки

Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ» предлагает учебные программы для Директоров информационных служб (CIO)

- Менеджмент для ИТ-директора
- Руководитель службы информационной безопасности
- Руководитель отдела разработки программного обеспечения

Программа рассчитана на лиц, имеющих высшее образование. Выпускники получают официальный диплом.

**ПОДАРОК!**

e-mail: dpo@intuit.ru  
ICQ: INTUIT.ru (632-332-736)  
Skype: INTUIT.ru

Всем учащимся в подарок Apple iPad New 64Gb Wi-Fi + Cellular со всеми учебными курсами, входящими в программу.

Лицензия на право образовательной деятельности  
РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № 0286241 от 5 АПРЕЛЯ 2011 г.

**WWW.INTUIT.RU**