

# КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

С ростом скоростей передачи информации у операторов связи возникли проблемы тестирования волоконно-оптических сетей, которые невозможно было предвидеть еще 10 лет назад. Основное значение при принятии решений о переходе на более мощное каналобразующее оборудование при передаче высокоскоростного сигнала в сетях DWDM имеют хроматическая и поляризационная модовая дисперсия. В связи с этим интересен опыт ОАО "ВымпелКом" по использованию универсальных измерительных комплексов компании EXFO (Канада) на различных этапах строительства и эксплуатации волоконно-оптических сетей.

В условиях непрерывного роста передаваемой по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС) информации перед операторами постоянно стоит задача увеличения пропускной способности линии. Наиболее простое и недорогое ее решение — задействовать ранее не используемые (темные) волокна в кабельной системе. При этом "параллельное" приемопередающее оборудование может быть аналогично работающему, например к существующему кольцу стандартного транспортного модуля (STM-4) добавляется еще одно такое же кольцо STM-4.

Однако со временем число темных волокон в кабельной системе исчерпывается, и уже требуется радикальная модернизация ВОЛС, т.е. либо строительство новой линии, либо увеличение скорости передачи по существующим оптическим волокнам (например, переход от STM-4 к STM-16 /64 или использование уплотнения по длине волны CWDM/DWDM). Строительство новых магистральных линий требует очень больших капитальных затрат и длительного периода времени. По сравнению с таким способом модернизация приемопередающего оборудования, позволяющего увеличить скорость передачи по волокну при сохранении прежней кабельной системы, зачастую представляет собой более быстрое и экономичное решение.

Один из наиболее динамично развивающихся отечественных операторов связи — компания ОАО "ВымпелКом" — наряду с активным строительством ВОЛС в новых регионах охвата мобильной связи быстрыми темпами ведет модернизацию приемопередающего оборудования на существующих ВОЛС, где пропускная способность недостаточна. Выбранное решение базируется на технологии уплотнения по длине волны DWDM.

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС EXFO

Кабельная система, легко справляющаяся с "низкоскоростным" трафиком, вообще говоря, может оказаться неудовлетворительной для работы с "высокоскоростным" приемопередающим оборудованием.

А.Горев, Д.Павлов

Чтобы определить возможности имеющейся волоконно-оптической линии передачи при переходе на DWDM, необходимо провести измерения некоторых характеристик оптического волокна, в том числе:

- стандартные измерения, такие как измерение километрического затухания, прямых и возвратных потерь;
- измерения, определяющие готовность системы к высоким скоростям: полосы пропускания и появления различных нелинейных эффектов, хроматической и поляризационной модовой дисперсий.

При наличии подвешенного кабеля и кабеля, проложенного в грунте, желательно провести измерение нагрузок на волокно. Нельзя забывать и такую элементарную вещь, что одним из весомых факторов, влияющих на качество DWDM-сигнала, является чистота оптических коннекторов. Загрязненный коннектор может стать причиной того, что разность между пиками достигнет 10 дБ.

Задача проведения разнообразных измерений оптических волокон значительно упрощается, если вместо множества измерительных приборов использовать модульный универсальный измерительный комплекс, наделенный всеми необходимыми функциями. При использовании такого комплекса существенно сокращаются временные и финансовые затраты.

С учетом этих факторов ОАО "ВымпелКом" определило поставщика контрольно-измерительного оборудования — компанию EXFO (Канада), которая привлекательна в силу очень высоких характеристик своей продукции, темпов развития на рынке измерительного оборудования и быстрого реагирования на изменения в области телекоммуникаций. Немаловажным фактором при выборе именно этого поставщика стало то, что новинки EXFO запущены в массовое производство, благодаря чему отпадают вопросы, связанные с проблемами единичного нестандартного оборудования. Точный математический расчет, удачно выбранные методы измерений, удобство и простота в работе делают измерительный комплекс EXFO предпочтительным и надежным. Возможность применения комплекса в качестве полевого, но с функциями и возможностями лабораторного оборудования, привлекает как профессионалов, так и новичков. Комплекс прошел проверку и внесен в реестр измерительных приборов.

Остановимся более подробно на его особенностях и возможностях. Основу комплекса составляет промышленный ноутбук, помещенный в легкий и прочный корпус из магниевого сплава, надежно защищающий измерительную аппаратуру от попадания влаги и пыли. Резиновые амортизаторы эффективно гасят сотрясения и удары, неизбежные при работе в полевых условиях. Комплекс оснащен процессором Pentium II и оперативной памятью 512 Мбит, работающих под управлением операционной системы Windows 2000. Мощность

процессора и объем оперативной памяти позволяют одновременно вести измерения несколькими модулями, сразу обрабатывать результаты и создавать отчеты с помощью стандартных средств Windows. К комплексу можно подключить все стандартные периферийные устройства. Он имеет гибкую модульную архитектуру, выпускается в трех модификациях (с двумя, семью и восемью слотами) и позволяет в полевых условиях решать широкий спектр оптических измерительных задач.

Для проведения стандартных измерений затухания на погонный километр, прямых и возвратных потерь используются модули оптического рефлектометра и тестера. У компании ОАО "ВымпелКом" значительная доля волоконно-оптических кабельных коммуникаций находится как внутри городов, так и за их пределами. Поэтому большое значение придается скорости проведения измерений, максимальному снижению влияния человеческого фактора и универсальности прибора.

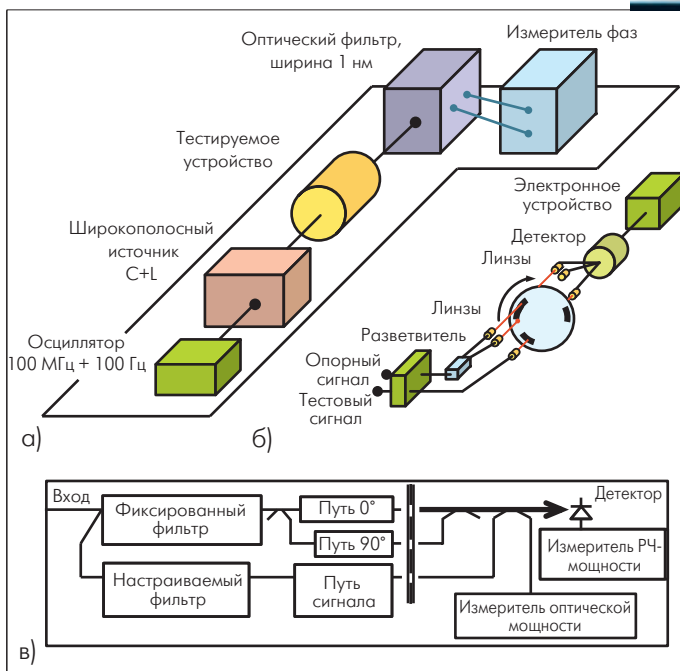
Модуль оптического тестера FTB-3930 проводит полное автоматическое тестирование потерь за 10 с на трех длинах волн, а также автоматические измерения оптических возвратных потерь и длины волокна. Новый модуль оптического рефлектометра предназначен для измерения городских сетей. Его мертвая зона менее 1 м, а динамический диапазон достаточен для измерения магистральных сетей.

Для измерения спектральных характеристик используется анализатор оптического спектра. Одно из основных его применений – проверка передающего оборудования DWDM. Другое немаловажное применение – проверка линии связи на появление нелинейных эффектов при внедрении системы уплотнения по длине волны. Эти явления становятся существенными при использовании большого числа длин волн в линии связи. Для измерения эффекта четырехволнового смешения (наиболее важное нелинейное явление) используют два источника – два перестраиваемых лазера совместно с анализатором оптического спектра. Источники излучения подключают на дальнем конце линии связи при помощи оптического разветвителя, а анализатор оптического спектра подключают к ближнему концу линии связи. В ходе измерений два идентичных источника поляризованного света равной мощности настраивают так, чтобы их длины волн были как можно ближе друг к другу. При некотором расстоянии по длине волны обоих источников в спектре на ближнем конце линии появятся два дополнительных пика, обусловленные проявлением нелинейного эффекта. Мощность дополнительных пиков и расстояние между ними указывают на качество линии связи. В том случае, если мощность пиков или интервал между ними велики, могут возникнуть проблемы при установке системы DWDM.

### ХРОМАТИЧЕСКАЯ ДИСПЕРСИЯ

Хроматическая дисперсия (ХД) – это явление уширения светового импульса при распространении по волокну, связанное с различием групповых скоростей распространения спектральных составляющих импульса. Возникновение этого явления ограничивает скорость и дальность передачи информации по одномодовому волокну с использованием одного спектрального канала.

Скорость передачи информации в оптической линии связи по одному каналу максимальна в том случае, когда групповая задержка не зависит от длины волны, т.е. если коэффициент хроматической дисперсии равен нулю. При этом ширина сигнала практически не изменяется. Если коэффициент отличен от нуля, наблюдается изменение ширины сигнала при распространении по волокну, что вызывает искажения и сбои в работе системы. Но чем меньше коэффициент хроматической дисперсии, тем более вероятны проявления нелинейных эффектов.



**Рис. 1: а) схема определения ХД на основе метода измерения сдвига фаз; б) измеритель фаз; в) электронное устройство**

Для того чтобы избежать негативных последствий ХД, необходимо проводить ее измерения на линиях связи при монтаже и вводе в эксплуатацию. Результаты подобных измерений позволят узнать точное значение хроматической дисперсии линии, которое необходимо учитывать при установке приемопередающего оборудования для предотвращения сбоев в работе системы связи. Кроме того, измерения ХД нужно проводить и на смонтированных линиях связи при установке нового современного оборудования – WDM-систем.

Сегодня на рынке предлагаются анализаторы, которые используют различные принципы измерения ХД. Распространены два типа анализаторов.

**Тип 1.** Оптический рефлектометр с возможностью измерения ХД. Его основное преимущество – возможность измерения линии с одного конца. Недостаток – низкий динамический диапазон, очень низкая точность измерения (возможно измерение только по четырем точкам, что не позволяет использовать полученные результаты для расчета компенсаторов дисперсии) и ограниченное применение.

**Тип 2.** В основе используется метод измерения сдвига фаз (рис.1). Основной недостаток метода – необходимость обратной связи с источником, для чего требуется отдельное волокно. Отсутствует возможность тестирования с помощью оптических усилителей.

Компания EXFO усовершенствовала данный метод, в результате чего отпала необходимость во втором волокне. В измерительной же системе практически исключены ограничения по длине тестируемой линии. Было успешно проведено испытание трансатлантической линии связи протяженностью свыше 5500 км, включающей в себя 121 эрбиевый оптический усилитель.

### ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ МОДОВАЯ ДИСПЕРСИЯ

Поляризационная модовая дисперсия (ПМД) – это явление увеличения длительности импульса сигнала, связанное с различием скоростей распространения сигнала двух поляризаций по оптическому волокну.

Развитие волоконно-оптических систем передачи столкнулось с новой проблемой – влиянием анизотропии волокна. С большой степенью точности материал, из которого изготавливаются волокна, считается изотропным. Но идеально круглая форма оболочки

на практике имеет отклонения, что допускается нормативными документами. В результате форма волокон в сечении становится эллиптической, идеальная симметрия нарушается, появляется анизотропия и связанное с этим двулучепреломление и распространение лучей разных поляризацій с неодинаковыми скоростями.

На протяженных участках волокна изменение формы и нарушение симметрии распределены случайным образом и поддаются лишь статистическому описанию. Поэтому ПМД имеет статистическую природу и не может быть точно предсказана или рассчитана для протяженной линии. Вот почему необходимо проводить измерения ПМД на линиях связи как строящихся, так и проложенных, с целью оценки характеристик и соответствия тем или иным параметрам систем передачи сигнала.

При измерениях ПМД были получены следующие важные результаты: значения коэффициентов ПМД протестированных волокон на участках линии связи менялись от 0,053 пс/км<sup>1/2</sup> до 1,099 пс/км<sup>1/2</sup>, что составляет около полутора порядков; максимальное значение групповой задержки, вызванной влиянием ПМД, достигало 8,721 пс. В табл. 1 приведены критерии оценки коэффициента ПМД, обеспечивающие необходимый относительный уровень ошибок по битам приемника, которые разработаны международной организацией ITU-T.

Таблица 1. Критерии оценки ПМД

| Скорость передачи, Гбит/с | Максимальная задержка, пс | Коэффициент ПМД для волокна длиной 400 км, пс/км <sup>1/2</sup> |
|---------------------------|---------------------------|---|
| 2,5                       | 40                        | 2,0   |
| 10                        | 10                        | 0,5   |
| 20                        | 5                         | 0,25  |
| 40                        | 2,5                       | 0,125   |

С учетом полученных при тестировании волокон значений задержек и коэффициента ПМД на различных участках линии можно для каждого участка определить возможные скорость передачи и систему передачи. Для вычисления ПМД линии связи, состоящей из нескольких участков, выполняется процедура статистического суммирования. Общая ПМД линии связи определяется как квадратный корень из суммы квадратов ПМД отдельных участков, образующих линию. Поэтому один некачественный участок по значению ПМД может испортить параметры всей линии, и скорость передачи ограничится значением скорости, возможным на данном участке.

Как и в случае анализаторов хроматической дисперсии, для анализа ПМД разработаны различные методы. Наибольшее распространение получили следующие:

- метод фиксированного анализатора Fixed Analyzer (FA), реализованный в оптических анализаторах спектра;
- интерферометрический метод (INTY), который включает в себя оба метода: обобщенный (GINTY) и традиционный (TINTY);
- метод оценки параметра Стокса (SPE), который включает методы: собственный анализ матрицы Джонса (JME) и анализ сферы Пуанкаре (PSA).

Каждый специалист обычно отстаивает тот метод, который он использует. Куда обратиться с большим числом расходящихся и противоречивых мнений, чтобы получить ответ, достойный доверия? Например, когда необходимо провести точные измерения ПМД в условиях, далеких от лабораторных. Или какой метод наилучший? Как насчет плохой погоды с сильным ветром? Имеется ли один метод, который подходит ко всем условиям? Можно определенно сказать, что ПМД – очень сложное явление. С ним связаны многие проблемы, а с обилием методов измерений и большим количеством заявлений специалистов оно становится еще сложнее.

Разобраться в подобных вопросах помогают организации, занимающиеся стандартизацией, такие как Международная электротехническая комиссия (IEC) и Ассоциация телекоммуникационной промышленности (TIA). Главная задача этих организаций – выработка руководящих принципов и рекомендаций. В качестве примера можно привести следующие документы.

В феврале 2004 года TIA опубликовала документ FOTP-124-A Polarization Mode Dispersion Measurement for Single-Mode Optical Fibers by Interferometry – Измерение поляризационной модовой дисперсии в одномодовых оптических волокнах с помощью интерферометрического метода (TIA-455-124-A является обновленной версией TIA/EIA-455-124). Поскольку интерферометрический метод известен давно, почти так же, как и само явление ПМД, он получил название "традиционный интерферометрический анализ (TINTY)" и уже был полностью описан в TIA-455-124. Однако традиционный метод позже был усовершенствован и обобщен, что в результате привело к пересмотру TIA. Обобщенный интерферометрический анализ (GINTY) повышает точность и расширяет область применений интерферометрического метода. Например, GINTY может применяться в экстремальных условиях без тех ограничений, которые мешали применять традиционный метод. Поскольку GINTY также соответствует TIA-455-124, он был одобрен для включения в переработанное издание A вместе с оригинальным методом с тем, чтобы четко показать разницу.

В настоящее время IEC разработала два руководящих документа для измерения ПМД в полевых условиях:

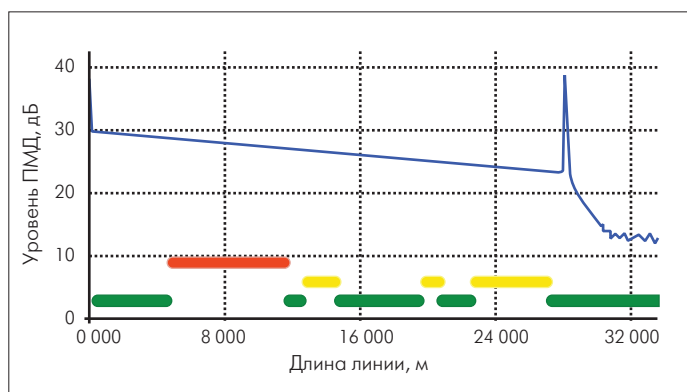
- IEC 61280-4-4: Fibre-optic communication subsystem basic test procedures – Test procedures for fibre-optic cable plant and links – Part 4-4: Polarization mode dispersion measurement for installed links (Волоконно-оптические подсистемы связи. Основные процедуры тестирования. Процедуры тестирования для установленных волоконно-оптических кабелей и соединений. Часть 4: Измерения поляризационной модовой дисперсии для установленных линий). Этот документ утверждает, что для полевых применений рекомендуется только INTY, TINTY – для определенных условий, GINTY – для всех применений без ограничений и запретов;
- IEC 61282-9: Fibre-optic communication system design guides. Part 9: Guidance on polarization mode dispersion measurements and theory (Руководство по созданию волоконно-оптических систем передачи. Часть 9: Руководство по измерению поляризационной модовой дисперсии и теории).

IEC 61282-9 содержит таблицу применения методов. Несколько текущих заключений относительно применения методов в полевых условиях приведены в табл.2.

IEC 61280-4-4 и IEC 61282-9 прошли процесс одобрения и приняты как стандарты. Эти документы появились после долгих всесторонних обсуждений между наиболее авторитетными в мире экспертами по ПМД. Поэтому, если конкретный метод тестирования не рекомендован для определенных применений, значит решение отклонить его объяснялось продуманными, подкрепленными практикой причинами. Так что конечному потребителю можно рекомендовать не поддаваться различным утверждениям и суждениям специалистов в пользу того или иного метода измерения ПМД, а формировать свою позицию на основе документов, издаваемых стандартизирующими организациями.

Таблица 2. Рекомендации по методам измерения ПМД (по применению)

| Тип линии                                     | JME                                | FA  | TINTY                              | GINTY |
|---|------------------------------------|-----|------------------------------------|-------|
| Воздушные                                     | Нет                                | Нет | Запрещено для определенных условий | Да    |
| Проложенные в земле и под водой без усилителя | Запрещено для определенных условий | Нет | Запрещено для определенных условий | Да    |
| Проложенные в земле и под водой с усилителем  | Запрещено для определенных условий | Нет | –                                  | Да    |



**Рис.2. Уровень PMD вдоль линии связи: синяя линия – рефлектограмма; красным обозначены области с повышенной вероятностью высокого PMD, зелёным – с низкой вероятностью, желтым – со средней вероятностью; чрезмерный уровень PMD находится на участке линии 5–12 км**

Теперь можно получить простые и четкие ответы на вопросы, возникающие при выборе наиболее подходящего метода измерения PMD в полевых условиях. Возможно, скоро и тестирование PMD станет не такой сложной процедурой!

До недавнего времени, если волокно имело слишком большое значение PMD, оно признавалось непригодным для высокоскоростной передачи данных. Если же возникала необходимость обеспечить высокоскоростную передачу данных именно на этом маршруте, то не было другого выбора, как строить полностью новую линию. Но высокий уровень PMD интегрально по всей линии не означает, что все ее участки должны быть заменены в обязательном порядке.

Не исключено, что высокий уровень PMD вызван отдельными участками. Следовательно, обнаружение и определение PMD на этих "плохих" участках могло бы позволить оператору сети заменить не всю линию связи, а только отдельные участки, существенно снизив стоимость ремонта. До недавнего времени дифференциально измерить PMD вдоль линии связи не представлялось возможным. Теперь решение такой задачи найдено – компания EXFO для этих целей создала новый поляризационный рефлектометр POTDR-1100. Этот прибор позволяет обнаружить наихудшие секции. Например, если линия состоит из пяти участков, которые имеют значения PMD 0,5, 3, 9, 4 и 1 пс, соответственно, общее значение PMD будет 10,36 пс (согласно формуле  $[0,25 + 9 + 81 + 16 + 1]^{1/2}$ ), что превышает порог для нормальной передачи на скорости 10 Гбит/с. В данном случае участок с PMD 9 пс (участок между 5 и 12 км) будет идентифицирован как наихудший (рис.2).

Точное обнаружение участков с высоким уровнем PMD позволяет обходить или заменять эти участки без необходимости замены целой линии или признания ее непригодной. В приведенном примере удаление участка с PMD 9 пс снизит общее значение PMD, которое станет немного более 5 пс, что не превышает пороговых значений.

Эффективное решение проблем тестирования ВОЛС с высокой скоростью передачи информации возможно лишь с помощью достаточно сложных технических средств. Однако эти средства со временем станут значительно проще и скорее всего войдут в число самых обычных приборов и будут на вооружении у большинства операторов связи.

### **Тестовая система N2X для анализа сетей EPON**

Фирма Agilent анонсировала первую промышленную систему N2X, выполняющую полный анализ работы Ethernet пассивных оптических сетей (EPON). Система разработана для быстрой проверки и отладки сетей. N2X – единственное многопортовое решение трафика, которое включает возможности тестирования национальных EPON. Система генерирует реальный трафик через EPON и контролирует как данные, так и протокол управления непосредственно на EPON. Она обнаруживает неисправности относительно ONU (Optical Network Unit) и OLT (Optical Line Terminal), анализирует протокол управления и измеряет время сообщений для соответствия спецификации IEEE 802.3ah. Система испытана в лабораториях фирмы и определена как лучшее решение для тестирования EPON с гигабитными скоростями.

[www.agilent.com](http://www.agilent.com)