

# ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КОННЕКТОРОВ

**В** оптических сетях общего пользования традиционно применяют одномодовый оптический кабель, для монтажа которого требуются высокотехнологичный инструмент и оборудование. Производители сетевого оборудования и материалов уделяют большое внимание влиянию пассивных соединительных компонентов на общее затухание, производительность и надежность сети.

Основными оптическими пассивными соединительными компонентами являются оптические адаптеры (розетки) и соединительные/монтажные оптические шнуры (патчкорды/пигтейлы), содержащие оптические коннекторы. Каждый из указанных компонентов оказывает влияние на оптический сигнал — ослабляет его мощность (вносит затухание), создает условия для существования отраженного сигнала, распространяемого в обратном направлении по отношению к основному сигналу (возвратные отражения). Величины вносимых искажений напрямую зависят от ряда механических и геометрических параметров компонентов. В данной статье речь пойдет об исследовании и контроле геометрических параметров торцов оптических коннекторов.

В настоящее время контроль только оптических параметров коннекторов недостаточен. Контроль геометрических параметров важен не только для конечного пользователя (оператора), так как обеспечивает надежность сети и совместимость с оборудованием разных поставщиков, но и для самого производителя оптических шнуров, так как позволяет вовремя корректировать технологический процесс и менять оснастку в случае ее износа.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТОРЦУ КОННЕКТОРА

Оптический коннектор обычно представляет собой оптическое волокно, окруженное оболочкой (ферулом). Ферул имеет цилиндрическую форму с тонким сквозным отверстием вдоль

оси симметрии, в которое вклеено волокно. Торцевая поверхность ферулы полируется по сферической форме (рис.1).

Очевидной задачей оптических коннекторов является обеспечение передачи оптического сигнала из одного оптического кабеля в другой. В идеале два оптических коннектора соприкасаются ферулами и волокнами так, что оси оптических волокон совмещаются и между волокнами не остается воздушного зазора. В этом случае ферулы берут на себя большую часть давления, оказываемого коннекторами при соединении, исключая излишнюю сдавленность волокон (излишнее давление волокон друг на друга ускоряет старение волокна в месте контакта и ведет к потере рабочих характеристик соединения). Отсутствие воздушного зазора между волокнами гарантирует отсутствие различного рода возвратных отражений, возникающих на границе сред. Для выполнения таких требований к соединению волокон геометрия полировки торцов ферул должна соответствовать достаточно жестким параметрам, ко-

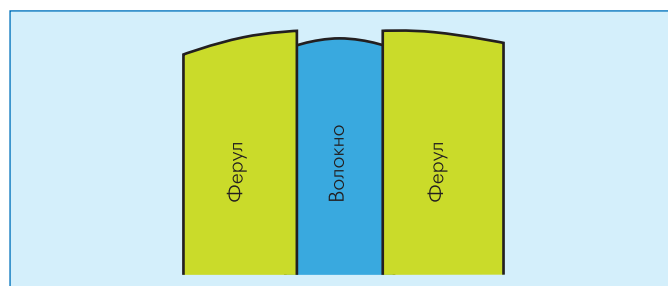
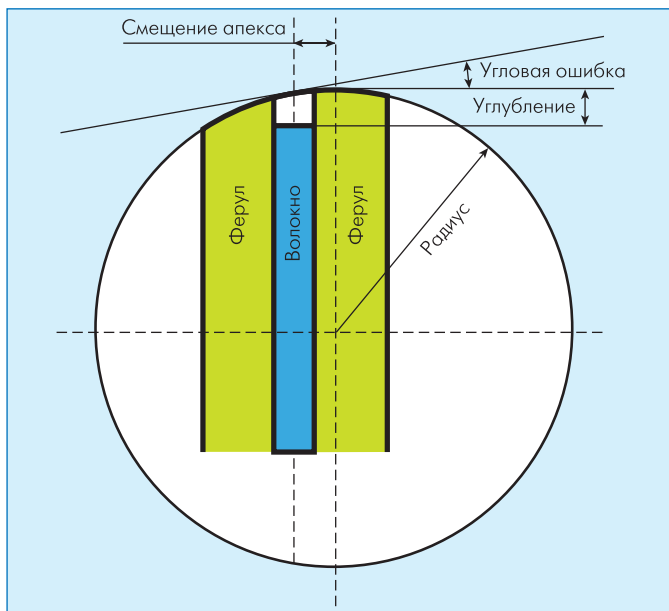


Рис. 1 Продольный разрез ферулы с волокном

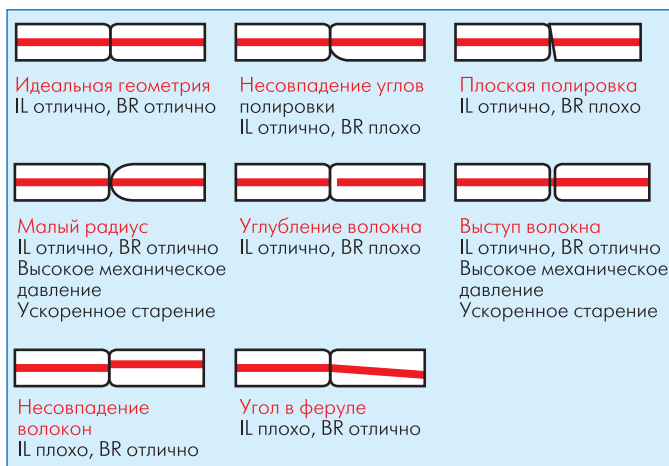


**Рис.2** Контролируемые при производстве параметры торца ферула

торые должны контролироваться при производстве (рис.2). Очевидно, что погрешности геометрии влияют на параметры соединения (рис.3). Отметим, что максимально допустимое углубление волокна зависит от радиуса полировки и величины смещения осей. И хотя в современных стандартах требования по этим параметрам отсутствуют, от них напрямую зависят оптические характеристики соединения.

Рассмотрим, например, требования к геометрическим параметрам разъемов SC (Subscriber Connector, т. е. "абонентский разъем") по IEC\*, широко используемых в сетях Fast Ethernet (табл.). Изготавливается он из пластмассы, для его фиксации используются защелкивающие механизмы, наконецник разъема SC плавающий, он имеет небольшой свободный ход. Измеряемая область над торцом ферула обычно

\*Международные стандарты ISO/IEC (International Electrotechnical Commission) обобщают и отражают мировой опыт в информационных технологиях (прим. ред.).



**Рис.3** Типичные погрешности геометрии и их влияние на параметры соединения

### Требования к геометрическим параметрам разъемов SC по IEC

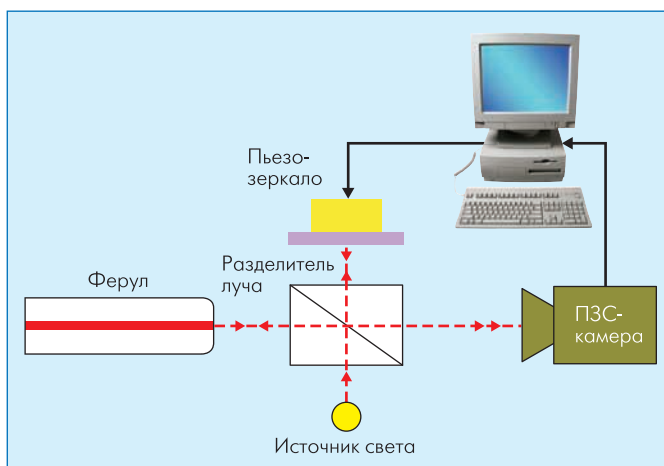
	Радиус, мм		Углубление волокна, нм		Смещение оси, мкм	
	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
Полировка PC	10	25	0	100	0	50
Полировка APC	5	12	-100	100	0	50

составляет 250 мкм, а по оси Z – менее одного микрона, что позволяет достаточно точно определить значение углубления волокна. Обычно поверхность полированного торца ферула не имеет резких (ярко выраженных) изменений по высоте. В таком случае оптическая монохромная интерферометрия в комбинации с фазовым сдвигом является идеальным инструментом для контроля геометрических параметров.

### ОСНОВЫ МОНОХРОМНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Интерферометрия – это метод бесконтактного оптического исследования поверхностей, например, таких, как торец ферула. Метод позволяет проводить измерения по оси Z с высокой точностью (обычно до нескольких нанометров).

Интерферометрия использует волновые свойства света. В обычном интерферометре два изображения исследуемого объекта совмещаются на видеокамере. Одно изображение берется с плоской поверхности (с зеркала), второе – непосредственно с измеряемого объекта (рис.4). Интерферометр позволяет проводить измерения с точностью до нескольких



**Рис.4** Схема получения изображения в интерферометре

нанометров. При определенных условиях суперпозиция изображений (волновых фронтов) может создать интерференцию, результат которой носит название "интерферограмма" (рис.5). Просмотр данного изображения дает представление о реальной поверхности торца ферула.

Интерференционные кольца по аналогии с географическими картами представляют собой линии одинаковой высоты (горизонтали). Изменение по высоте разделяет кольцо точно посередине длины волны источника света, в данном случае 0,33 мкм. Кольцевая структура черных и белых полос означа-

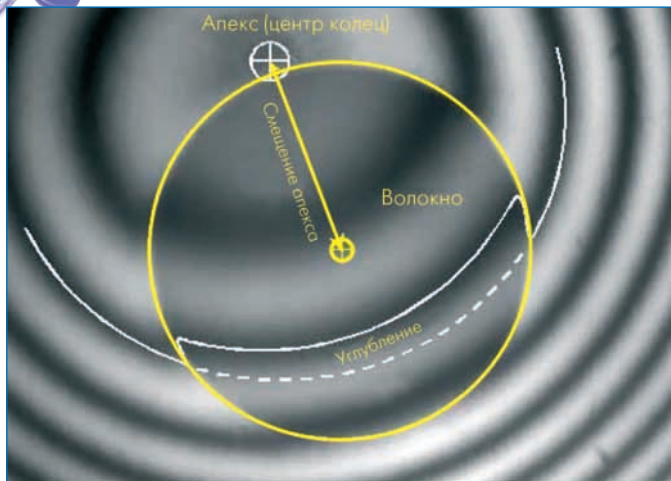


Рис.5 Интерферограмма

ет сферическую исследуемую поверхность. Центр колец совпадает с наивысшей точкой торца (апексом). В идеальном случае апекс должен совпадать с осью волокна. Если апекс и центральная ось волокна не совпадают, то величину несовпадения называют "смещение апекса". Количество видимых колец позволяет оценить радиус сферической поверхности полировки, а ступеньки на кольцах показывают различие по высоте между ферулом и волокном.

Количественный и автоматизированный анализ топологии поверхности возможен с использованием технологии, называемой "техника смещения фаз".

### ТЕХНИКА СМЕЩЕНИЯ ФАЗ

Данная техника основана на идее, что кривизна измеряемой поверхности связана с разницей фаз каждой точки изображения между двумя интерферирующими фронтами. Однако наши глаза и другие сенсоры определяют только интенсивность, а фазу они определить не могут. Интерференция пре-

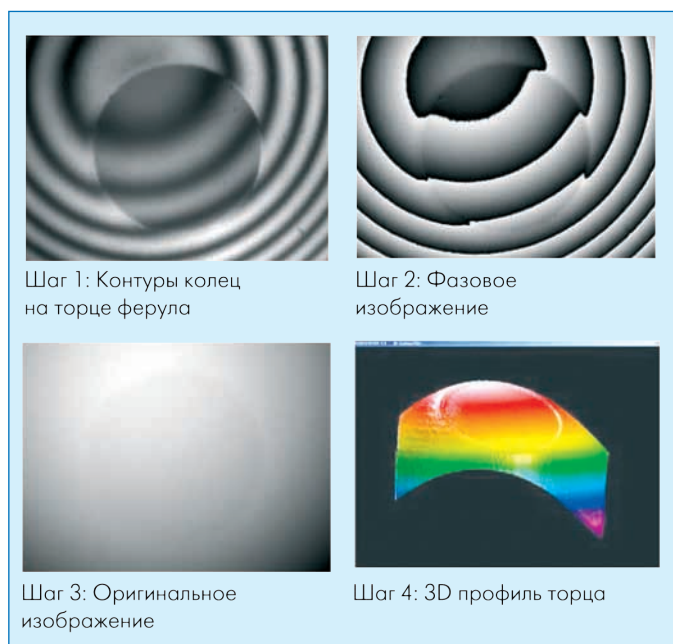


Рис.6 "Карта фаз", полученная в результате фазового сдвига между двумя интерференционными волновыми фронтами

образует данные о фазе, которые мы не можем наблюдать, в информации об интенсивности, которую мы можем оценить количественно. В каждой точке изображения интенсивность интерференционного наложения является функцией трех неизвестных, названных амплитудой, контрастом и фазовым сдвигом двух волновых фронтов (последний параметр как раз и нужно измерить).

Последовательно внося в известный фазовый сдвиг между двумя интерференционными волновыми фронтами и записывая каждый раз (три и более) результирующее изображение, можно измерить три неизвестных параметра: амплитуду, контраст и значение фазового сдвига для каждой точки. В результате будет получена "карта фаз" (рис.6). Расчет и отображение топологии поверхности торца ферула с использованием техники сдвига фаз и благодаря вычислительным возмож-

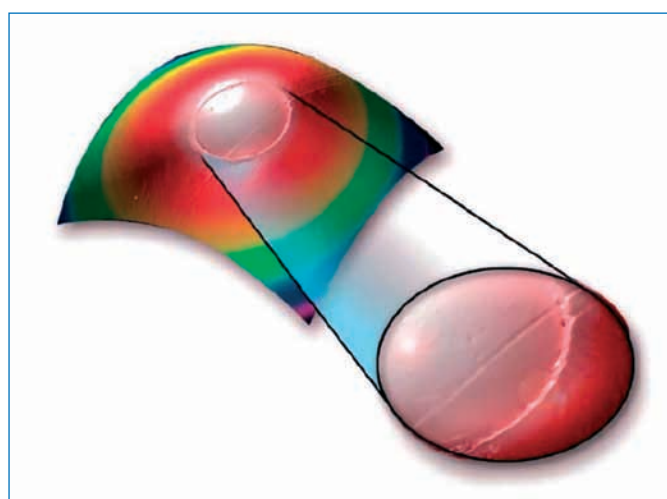


Рис.7 3D-поверхность торца ферула

ностям современных компьютеров занимает несколько секунд. Данные по вычисленной однажды поверхности позволяют быстро и точно определить геометрические параметры поверхности (радиус, смещение апекса, углубление и т.п.).

Рассмотрим пример, где смоделирована 3D-поверхность торца ферула (рис.7). Волокно, расположенное в центральной части изображения, содержит глубокую царапину. Также видны пузырьки в эпоксидном клее на границе между волокном и ферулом. Величина углубления в данном примере около 140 нм. Отчет интерферометра будет сгенерирован автоматически (рис.8). Значения измеренных параметров могут быть автоматически сравнены с предустановленными (эталонными) значениями. На основе их сравнения может быть сгенерировано решение о соответствии коннектора принятым стандартам. Даже визуальный контроль данного образца позволяет говорить о его несоответствии стандартам (на рис.8 приведен пример автоматически сгенерированного отчета интерферометра по коннектору, соответствующему стандартам).

Процесс контроля качества каждого изделия многоступенчатый. Вместе с паспортизацией изделия он занимает до 4 мин на один оптический шнур. Естественно, контроль



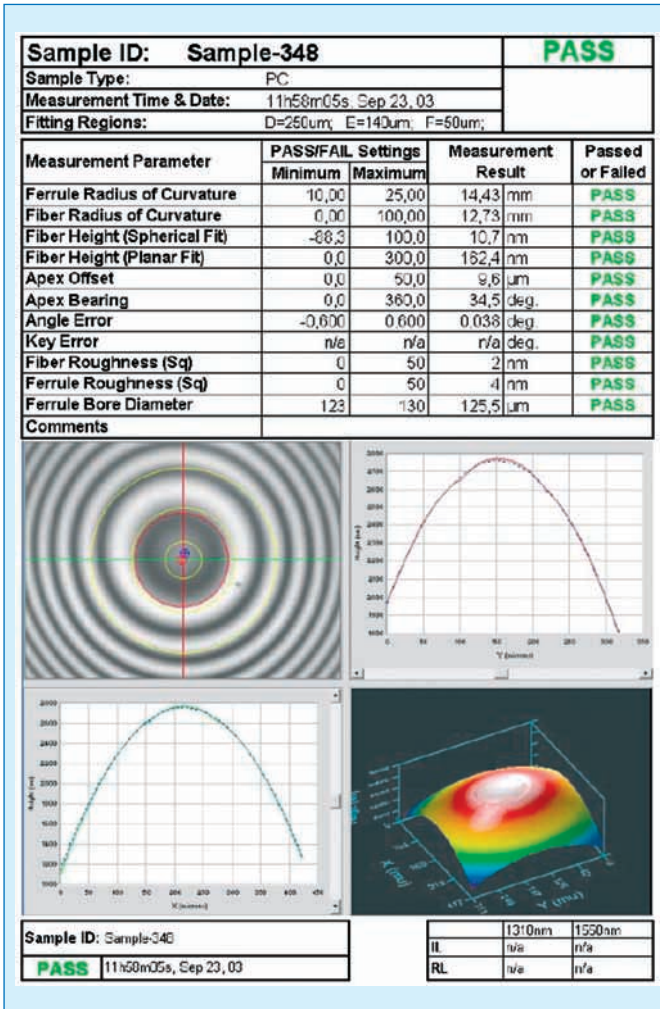


Рис. 8 Автоматически сгенерированный отчет интерферометра о коннекторе

качества сказывается на цене изделия. Между тем, множество производств оптических шнуров ограничиваются лишь приобретением полировальной машины, микроскопа и измерителей потерь и затухания. При этом в условиях массового производства нередко паспортизация на деле не производится, а вместо соответствующих измерений вписыва-



Рис. 9 Рабочее место паспортизации оптических шнуров на производстве

ются стандартные параметры с незначительным разбросом для придания "правдоподобности". В условиях нашей лаборатории были проверены сотни таких оптических шнуров, и в большинстве случаев паспорт изделия не соответствовал фактическим характеристикам, т.е. был выписан без проведения измерений. Геометрия ферула во многих случаях не соответствовала стандартам.

Конечно, оптические шнуры, произведенные в условиях скоростного и массового производства, в котором есть контроль оптических характеристик, но отсутствует контроль геометрии коннекторов, работоспособны. В большинстве задач (например, когда длины магистралей не превышают ~20 км, а скорости передачи данных ограничены 1 Гбит/с) дешевые патчкорды и пигтейлы не принесут ощутимых проблем. Но на сетях масштаба города и тем более на протяженных магистралах со скоростями передачи 10 Гбит/с и выше, а также при использовании технологии CWDM и DWDM, правильная геометрия коннекторов становится одним из решающих факторов, определяющих работоспособность и надежность сети. Поэтому контроль качества при производстве оптических



шнуров обязательно должен включать в себя проверку интерферометром. Причем желательно 100% от всего количества полируемых коннекторов. От ряда производителей оптических шнуров можно услышать утверждение, что достаточно контролировать по одному коннектору из партии. Это справедливо при новом производстве. Спустя полгода или чуть больше в условиях массового производства технологическое оборудование изнашивается настолько, что постепенно это начинает сказываться на результате.

Выборочный контроль не сможет, например, отследить износ одного или даже нескольких посадочных мест в фикстуре, удерживающей коннекторы при полировке. А это означает, что покупателю может попасть некачественный коннектор. Основные приборы на рабочем месте, где производится паспортизация оптических шнуров, это микроскоп, интерферометр и измерители возвратных потерь и затухания (рис.9). На каждое изделие должен выписываться паспорт, вариант которого представлен на рис.10. Для каждого коннектора должны указываться параметры возвратных и вносимых потерь для двух длин волн – 1310 и 1550 нм. Также в паспорте приводятся данные производителя, наименование, уникальный серийный номер изделия и штрихкод.

## ВЫБОР ИНТЕРФЕРОМЕТРА

В настоящее время на рынке интерферометров можно встретить недорогие модели, не использующие технику смещения фаз, что существенно уменьшает время непосредственного измерения. Но для таких интерферометров присущи и другие недостатки:

- Интерферограмма выглядит "нелогичной" – хороший коннектор выглядит плохим, плохой коннектор может выглядеть хорошим, так как центр колец значительно смещен от центра волокна.
- Нет автоматической фокусировки и автоматического центрирования изображения – большая часть времени тратится на подготовительные операции.



Рис. 10 Паспорта оптических шнуров

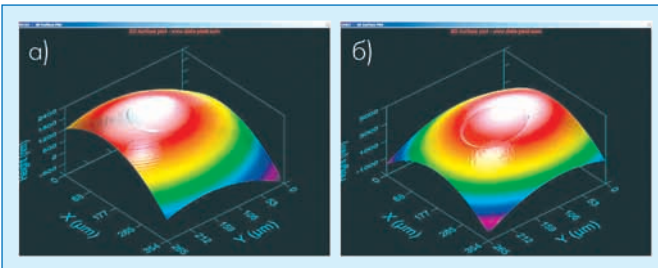


Рис. 11 Сравнение 3D-поверхностей торцов ферула на оптических шнурах высокого (а) и низкого (б) качества

- Для каждого типа ферула и для каждого типа полировки требуется калибровка.
- Низкая точность измерений –  $\pm 10$  нм для оценки углубления волокна и  $\pm 4$  мкм для оценки смещения апекса. Хороший интерферометр должен:
- Использовать технику смещения фаз для обеспечения высокой точности измерений (рис.11).
- Иметь автофокусировку и автоматическое центрирование изображения для уменьшения времени подготовительных операций.
- Иметь функцию автоматической калибровки – достаточно выполнить калибровку для одного типа коннекторов, причем процедура калибровки должна быть простой.
- Иметь виброустойчивое исполнение.
- Иметь простое и наглядное программное обеспечение с возможностью настройки отчетов и интеграции с другим измерительным оборудованием.

## Новые книги издательства

### "ТЕХНОСФЕРА"

**Системы поллинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях /**  
 Вишнеvский В., Семенова О.  
 Москва: Техносфера, 2007. – 312 с.  
 Цена: 370 р.



Книга посвящена обобщению и систематизации моделей и методов исследования стохастических систем с циклическим опросом (систем поллинга) и их применению для проектирования широкополосных беспроводных сетей. Рассмотрены новые модели, адекватно описывающие функционирование широкополосных беспроводных сетей под управлением протоколов Wi-Fi и Wi-MAX с централизованным механизмом управления. Дано определение и классификация систем поллинга. Изложены условия стационарности и методы анализа и оптимизации характеристик систем поллинга. В исследовании представлены системы с механизмом резервирования и пороговыми дисциплинами обслуживания, а также новые модели с ограниченным обслуживанием очереди, анализ которых представляет как теоретический, так и прикладной интерес. Рассмотрены приоритетные системы, которые представляют собой системы поллинга с приоритетной политикой обслуживания. Приведены численные результаты проектирования и оценки производительности широкополосных беспроводных сетей с централизованным управлением и адаптивным механизмом циклического опроса на базе моделей поллинга.

Книга будет полезна специалистам в области стохастических систем, проектировщикам компьютерных сетей, аспирантам и студентам высших учебных заведений.

**Подробная информация о книгах, выпускаемых издательством ТЕХНОСФЕРА на сайте: <http://www.technosphere.ru>**  
**Заявки на книги принимаются по адресу [sales@technosphere.ru](mailto:sales@technosphere.ru)**