

ПОТЕРИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ КАБЕЛЕ. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

А. Сергеев
ООО «НТЦ «Метуда»

Трудно переоценить роль потерь при эксплуатации оптического кабеля, ведь их величина определяет способность волокон справляться с трансляцией потока передаваемой информации на необходимое расстояние, в том числе при усложнении структуры сети или увеличении скорости работы передающих систем. Знание величины потерь необходимо для контроля запаса кабельной системы на ремонт и модернизацию. При прокладке кабеля знание затухания мощности передаваемого сигнала в оптических волокнах имеет большое значение, ведь от этого впоследствии зависит способность среды распространения света передавать сигналы без искажения на большие расстояния. Поэтому процедура тестирования кабеля после его получения с завода-изготовителя (входной контроль) очень важна, так же как и контроль потерь при инсталляции.

Требования к различным сегментам ВСС (взаимосвязанной сети связи) сильно различаются, и те из них, которые подходят для локальных или корпоративных сетей, явно не устроят операторов, использующих технологии высокоскоростной передачи больших потоков данных на протяженной сети. Потребности в быстрой передаче, особенно на большие расстояния, приводят к изменению старых и появлению новых принципов и технологий передачи сигналов. Расширяющаяся сфера применения оптического волокна и увеличивающееся влияние эффектов, которым раньше просто не уделяли внимание, заставляет искать пути преодоления различных ограничений, как по скорости передачи, перекрываемым расстояниям, так и по точности передачи формы сигналов. Начинают меняться требования к среде передачи, которая реагирует на новые условия усложнением структуры. В свою очередь, изменения структуры среды передачи приводят к появлению новых факторов и явлений, без учета которых невозможно правильно оценить работоспособность волокна и пригодность его для тех или иных применений. Таким образом, повышение скорости, увеличение объемов передаваемой информации и расширение области применения волоконной оптики приводят к изменениям технологий передачи и самой среды распространения света, что, в свою очередь, влечет за собой появление других ограничивающих факторов и, соответственно, очередное изменение среды. Все это не может не влиять на методы измерения, которые обязаны учитывать новейшие веяния в современных технологиях связи, однако влияние таких факторов не

является революционным. Изменение структур и качества среды передачи оптических сигналов приводит к плавному повышению требований к техническим параметрам измерительных приборов для тестирования волоконных световодов до тех пор, пока не достигнут порог максимальных возможностей парка современного измерительного оборудования, после чего обычно происходит качественный скачок в методах и средствах измерений.

Потери оптической мощности (затухание) – это уменьшение светового сигнала, распространяющегося в среде по мере увеличения пройденного расстояния, включающее в себя все потери, возникающие при передаче. Понятно, что даже небольшой выигрыш по затуханию при инсталляции кабеля приведет к значительному увеличению пропускной способности волокна, поскольку уменьшение потерь эквивалентно увеличению оптической длины кабеля, а также снижению верхней границы его полосы пропускания (и, соответственно, наоборот). В предельных случаях (при гигабитных скоростях передачи) играющую роль может приобрести даже небольшое снижение потерь, составляющее сотые доли децибел. Поэтому в высокоскоростных системах передачи точное знание затухания в кабеле и компонентах кабельной системы является определяющим для оценки его работоспособности и определения запаса оптической среды по скорости передачи и бюджету потерь. Кроме того, при расчете оптической кабельной системы, особенно в локальных сетях небольшой протяженности, необходимо точно знать влияние среды распространения сигнала на энергетические возможности приемопередающей аппаратуры, т.е. правильно оценить влияние передаваемых сигналов на приемник и передатчик.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ

Наиболее распространенными, дешевыми и популярными приборами для измерения потерь являются измерители оптической мощности, обычно используемые в паре с источником стабильного оптического излучения. Для входного контроля оптического кабеля и его последующей эксплуатации, особенно в случае линии связи небольшой протяженности, крайне невыгодно использовать дорогостоящий оптический рефлектометр. Причины этого не только в высокой стоимости подобных приборов, что делает каждое измерение баснословным по цене, но и в их недостаточной точности при небольшом динамическом диапазоне. Короткие длины оптических кабелей, применяе-

мых в локальных сетях, зачастую создают проблемы при их тестировании оптическим рефлектометром, которые проявляются не только в виде ложных отражений, но и в недопустимо больших мертвых зонах для измерения как затухания, так и нахождения места расположения неоднородности. Естественным выходом из такого положения служит применение оптического тестера, являющегося недорогим средством для определения целостности волокон проложенного кабеля и оценки качества его инсталляции и эксплуатации.

Измерители оптической мощности (ИОМ) используются для измерения выходной мощности пассивных и активных компонентов волоконно-оптической системы (табл. 1). Обычно их изготавливают с возможностью индикации мощности как в абсолютных (Вт, мВт, мкВт, нВт), так и в относительных (дБ, дБм) единицах. Измеритель оптической мощности – это основной прибор для проведения волоконно-оптических измерений, весьма сходный с цифровым мультиметром в электронике. Благодаря разным типам фоточувствительных датчиков (обычно фотодиод, но может быть и фоторезистор, фототранзистор или фототиристор) измерители оптической мощности могут работать в различных спектральных диапазонах, необходимых для тех или иных применений. Так, в измерителях, предназначенных для тестирования волокна на линиях связи, используются кремниевые (хорошо работающие на длине волны 850 нм), германиевые (спектральный диапазон работы – 1300-1500 нм) или индий-арсенид-галлиевые (850-1550 нм) фотодиоды. Измерители с последним типом фотодиодов могут измерять оптическую мощность во всех трех основных, так называемых, «окнах прозрачности» (участках спектра света, в которых потери сигнала в волокне минимальны), применяемых в связи и телекоммуникациях. Центральные длины волн этих окон расположены на отметках 850, 1300 и 1550 нм при спектральной ширине «окна» 30 нм.

Многие ИОМ могут отображать непосредственно потери в волокне или на от-

дельных компонентах оптической кабельной системы. Для этого в них предусмотрен режим измерения относительных уровней мощности, с помощью которого запоминается какой-либо опорный уровень (например, уровень мощности излучения источника света), а все последующие измерения проводятся относительно этого уровня. Следует иметь в виду, что в процессе измерения оптической мощности может возникнуть некоторая погрешность (0,2-0,5 дБ), вызванная разными условиями ввода света от источника в измеряемое волокно и условиями вывода мощности в приемное волокно измерителя.

При выборе измерителя, наиболее подходящего для решения возникших задач, потенциальному пользователю желательно обращать внимание на следующие параметры:

1. Тип фотодетектора и адаптера (или наличие интерфейса – универсального оптического входа).
2. Динамический диапазон измерений.
3. Линейность прибора во всем динамическом диапазоне.
4. Возможность измерения относительных уровней (измерение затухания).
5. Наличие компенсации чувствительности прибора к длине волны.

Наиболее важным элементом ИОМ является оптический детектор, который определяет почти все характеристики прибора. В качестве детектора обычно применяется фотодиод, вход которого оборудуется адаптером определенного вида (для одного типа коннектора) или универсальным интерфейсом, который благодаря сменным адаптерам может соединяться с широким диапазоном выпускаемых стандартных коннекторов.

Еще одним значимым параметром прибора является динамический диапазон. Его величина определяется разностью самого высокого и самого низкого уровней принимаемого сигнала, между которыми погрешность показаний прибора не выходит за рамки, очерченные в сопроводительной технической документации. Поэтому, чем больше динамический диапазон измерителя, тем более широкий спектр задач он может решить. Однако платой за это могут стать весь-

ма высокая стоимость и пониженные значения других технических параметров.

Теперь о линейности измерителя.

В хорошем измерителе равным приращением оптической мощности соответствует одинаковое приращение показаний прибора. Для того чтобы выполнялось такое условие, необходимо иметь фотодиод с линейной зависимостью фототока от мощности оптического излучения и хорошую схему обработки преобразованного в электрический вид оптического сигнала. При нарушении линейности измерителя показания прибора не отражают истинного уровня принимаемого сигнала. Особенно важна линейность при измерении очень малых и очень больших уровней сигнала, т.е. на границах динамического диапазона, где возможности линейного детектирования ограничиваются линейным же участком ватт-амперной характеристики фотодиода.

На малых уровнях к измеряемой оптической мощности добавляются собственные шумы фотодиода и тепловые шумы электронных элементов входных цепей. При этом ошибка измерения может достигать величины 50% и более, в зависимости от отношения величины сигнала к уровню шумов. Свой вклад в показания вносят условия окружающей среды и механические воздействия. Кроме того, внутренние электронные схемы обработки сигнала также могут вносить погрешность в показания. Для проверки погрешности, заложенной в прибор при изготовлении, и контроля ее величины с течением времени измерительные приборы оптического диапазона должны проходить первичную поверку при выпуске из производства (с отметкой в паспорте на прибор или вкладышем о первичной поверке). В процессе эксплуатации из-за старения электронных компонентов и условий работы технические характеристики прибора могут измениться. Поэтому необходимо предъявлять их на ежегодную поверку в метрологические организации. Поверку измерительной техники для оптического волокна производят такие организации, как ВНИИОФИ (Москва) или ТЕСТ (Санкт-Петербург).

Возможность непосредственного изме-

Таблица 1. Сравнительные технические характеристики измерителей оптической мощности различных предприятий-производителей

ПРОИЗВОДИТЕЛЬ	ЛОНИИР	КБВП	ANDO	W&G	EXFO	EXFO
Марка	«Алмаз21»	FOD 1202	AQ2160	OLP18	FOT 700	FOT 10A
Тип приемника	InGaAs	InGaAs	InGaAs	InGaAs	InGaAs	Ge
Динамический диапазон, дБ	+3...-60	+3...-60	+10...-70	+26...-60	+4...-70	+6...-60
Погрешность измерения относительных уровней, дБ	0,2	0,25	Н/д	0,13	0,1	0,2
Возможность усреднения	+	-	+	-	Н/д	Н/д
Диапазон длин волн, нм	800...1600	Н/д	750...1700	800...1600	850...1625	Н/д
Основная относительная погрешность измерения на длине волны калибровки, дБ	0,5	Н/д	0,05	Н/д	0,1	Н/д
Наличие порта RS232 для связи с компьютером	+	-	USB	-	+	+
Время непрерывной работы от одного комплекта батарей, ч	40	Н/д	40	12	195	Н/д
Габариты, мм	195x100x41	150x90x30	70x40x32	185x95x49	227x110x64	Н/д
Вес, г	Н/д	300	250	500	860	Н/д

рения затухания является одним из достоинств большинства измерителей оптической мощности. При наличии такой функции освобождается много времени, затрачиваемого, в противном случае, на записи и расчеты потерь. При выборе ИОМ желательно оценить необходимость такой функции, если ее наличие влияет на стоимость прибора.

Источники оптического излучения (ИОИ) предназначены для ввода в оптическую систему стабильного светового потока известной мощности и длины волны (табл. 2). В данном случае измеритель мощности калибруется для работы на длине волны источника. Для гарантированной точности измерения потерь в волокне источник должен как можно более точно имитировать рабочие характеристики передающего оборудования:

1. Работу на соответствующей длине волны от источника предпочтительно такого же типа (светодиод или лазер).
2. Стабильную по времени и величине выходную мощность и спектральные характеристики в течение всего времени проведения измерений.
3. Параметры коннектора и выходного волокна должны соответствовать параметрам компонентов передатчика системы.
4. Величина выходной оптической мощности должна быть достаточной для проведения измерений в самом худшем случае, который может возникнуть в оптической кабельной системе.

Существует *три разновидности источников оптической мощности*:

1. **Лазерный диод.** Он излучает свет, спектр которого заключен в узком диапазоне 1-5 нм. Такой спектр близок к монохроматическому, т.е. имеющему единственную основную (центральную) длину волны. Однако чаще всего с каждой стороны центральной длины волны имеется несколько отчетливых всплесков на дополнительных длинах волн. Лазерные диоды наиболее часто применяются для измерений протяженных одномодовых волокон с потерями, превосходящими 10 дБ. Для измерений многомодового волокна лучше использовать светодиодный источник, особенно на коротких длинах волн и при небольшой

протяженности кабеля. Уровень мощности излучения источников с лазерными диодами составляет от -6 дБм до +3 дБм (в волокне). В некоторых случаях (для оригинальных или нестандартных применений) эта величина может выходить за указанные пределы, например в источниках излучения приборов, предназначенных для кабельного телевидения.

2. **Светодиод.** Такой источник имеет более широкую спектральную характеристику, чем лазер, ширина которой находится в пределах 10-200 нанометров. Излучение светодиода некогерентно (моды излучения не синхронизированы по частоте и фазе), но более стабильно по мощности. Выходная мощность таких источников невелика (порядка -10 ÷ -30 дБ в волокне), поэтому ее может не хватить при определении потерь в наихудшем случае. Светодиодные источники обычно используются на коротких длинах волокон и в локальных многомодовых сетях.
3. **Источник белого света.** В качестве источника белого света можно использовать лампу с вольфрамовой нитью. Такой источник можно применять для измерения небольших потерь на длине волны 850 нм в сочетании с измерителем, оборудованным кремниевым фотодиодом, или на длине 1300 нм в комбинации с трехкомпонентным InGaAs-фотодиодом. Источник белого света можно также использовать для контроля целостности волокна и идентификации волокон, а также при решении научных или исследовательских задач. Для других целей такой источник не применяется. В настоящее время в сетях связи вместо источника белого света для определения обрывов волокна в ближней зоне часто применяется светодиодный или лазерный излучатель видимого света красного диапазона.

Комбинация ИОМ и ИОИ образует оптический тестер. В случае заключения этих приборов в один общий корпус они называются оптическим мультиметром. Такие приборы из-за их высокой стоимости оборудуются универсальными интерфейсами, а источник оптического излучения имеет сменные оптические головки на разные дли-

ны волн. Основным недостатком мультиметров является то, что для проведения качественных измерений необходимо иметь комплект из двух приборов, а это увеличивает срок их окупаемости и удорожает стоимость измерений.

Вспомогательные устройства. Кроме чисто измерительных приборов, для проведения ремонтных и контрольно-измерительных работ желательно иметь под рукой вспомогательные устройства, значительно облегчающие работу. К таким устройствам относятся волоконно-оптические переговорные устройства или телефоны, измерители расстояния до места обрыва волокна и визуальные определители дефектов линии.

Волоконно-оптические переговорные устройства обычно применяются на линиях большой протяженности, но в некоторых случаях без них не обойтись и при работе на коротких линиях. Такая необходимость появляется при работе в местах с трудными условиями прохождения радиоволн, например в условиях сильных радиопомех или под непроницаемыми для радиоволн экранами (например, под землей). Переговорные устройства обычно работают по двум волокнам или по одному волокну с разделением каналов по длине волны. Кроме того, производятся телефоны, совмещенные с оптическим тестером в одном корпусе. Ниже приведены основные технические параметры оптических телефонов.

Выпуск измерителей расстояния до места повреждения волокна осуществляется на территории СНГ минским Институтом информационных технологий под торговой маркой «Обрыв». Он позволяет определять обрыв волокна на расстоянии до 120 км.

Визуальный определитель дефектов линии – это устройство, работающее в красной области спектра, имеющее на выходе мощное излучение, способное высветить яркой красной точкой обрывы и трещины на расстоянии до 4 км. Конечно, для того, чтобы обнаружить неисправность, необходимо иметь доступ хотя бы к первичному покрытию волокна.

РАЗНОВИДНОСТИ ПОТЕРЬ В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

Какие виды потерь необходимо контролировать при инсталляции и эксплуатации оптических кабельных систем? Во-первых, это прямые потери мощности сигнала или общие потери света при распространении. Во-вторых, возвратные потери, представляющие собой смесь отраженных сигналов с фоновым шумом и обратным рассеянием Релэя.

Прямые потери – это ослабление сигнала при прохождении от источника излучения к фотоприемнику, расположенному на дальнем конце оптического волокна. Этот вид потерь накладывает ограничения на расстояние и, косвенным образом, на ширину полосы пропускания волокна, следовательно, и на скорость передачи. Прямые потери разделяют на потери на поглощение и потери на рассеяние. Потери на поглощение,

Таблица 2. Сравнительные технические характеристики источников оптического излучения различных предприятий-производителей

ПРОИЗВОДИТЕЛЬ	ЛОНИИР	КБВП	Wavetek	ANDO	EXFO
Марка	«Алмаз11»	FOD 2107	OLS-6	AQ4251	FOT 700
Тип источника	Лазер	Лазер	Лазер	Лазер	Лазер
Длина волны, нм	850 1310 1550	1550	1310 1550	1310 1550	1310 1550
Уровень выходного сигнала, дБ	≥ -3	-3	-7	-7	-4
Нестабильность выходного уровня, дБ	0,1	0,05	Н/д	0,05 (за 5 минут)	0,1 (за 8 часов)
Ширина спектра излучения, нм	≤ 5	Н/д	Н/д	≤ 5	≤ 5
Время непрерывной работы от одного комплекта источников, ч	30	24	Н/д	15	195
Габариты, мм	195x100x41	150x90x30	185x95x49	265x88x43	227x110x64
Вес, г	Н/д	300	500	450	860

НАЗВАНИЕ КОМПАНИИ	МОДЕЛЬ	ВИД	ПЕРЕКРЫВАЕМОЕ РАССТОЯНИЕ, КМ	РЕЖИМ РАБОТЫ
«ОПТЕЛ»	ОТУ-30	Портативный	До 150	Дуплекс
ЛОНИИР	ДИАЛОГ-7	Портативный	До 200	Дуплекс
EXFO	FOT-920	Портативный	От 55 до 200	Дуплекс
	VCS-10	Портативный	От 6 до 38	Полудуплекс
	VCS-15A	Портативный	От 115 до 200	Дуплекс
	VCS-20A	Портативный	От 55 до 200	Дуплекс

Таблица 3. Технические параметры волоконно-оптических телефонов

в свою очередь, делятся на потери на инфракрасное поглощение (преобладает на длинах волн > 1500 нм) и ультрафиолетовое поглощение (действует до длины волны 1400 нм). Потери на рассеяние делятся на потери за счет рассеяния Рэлея, рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и вынужденное комбинационное рассеяние (последние два вида преобладают в системах с высокой мощностью передаваемого сигнала).

Возвратные потери имеют большое значение для качественной передачи сигналов и определяют величину возвратившейся к источнику излучения оптической мощности. Они представляют собой логарифмическое отношение отраженного и прямого сигналов и измеряются в децибелах с отрицательным знаком. Чем больше величина возвратных потерь (по абсолютному значению, т.е. без учета знака), тем меньше возвращаясь к источнику оптическая мощность и, следовательно, лучше условия работы источника оптического излучения. При этом снижается мощность фонового шума и увеличивается отношение «сигнал/шум» на дальнем конце линии, что приводит к более устойчивой работе приемопередающей аппаратуры, что особенно важно для одно-модовых систем, в которых большая величина возвращаясь в источник оптической мощности может вызвать перескок моды, и для систем кабельного телевидения, в которых мощность выходного сигнала может достигать 100 мВт (+20 дБм).

Вследствие того, что величина динамического диапазона, требуемого для измерения затухания отражения (потери сигнала на отражениях) и возвратных потерь, составляет -30... -80 дБ, для таких измерений необходим лазерный источник с большой мощностью излучения. Кроме того, излучение лазера должно быть достаточно стабильным, поскольку измерения проводятся в течение продолжительного времени.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ

ГОСТ 26814-86 («Кабели оптические. Методы измерения параметров») определяет два метода измерения затухания: метод обрыва и метод вносимых потерь.

Метод обрыва

Метод обрыва представляет собой сравнение мощностей оптического излучения на входе и выходе волокна (рис. 1). Этот метод применяют для измерения затухания в оптических волокнах, не армированных оптическими коннекторами.

Точность измерения потерь методом обрыва существенно выше, чем методом вносимых потерь, поскольку при измерении введенной в волокно мощности она вся попадает на фоточувствительную площадку измерителя, размеры которой достаточно велики, по сравнению с диаметром оптического волокна (1-5 мм и 10, 50 и 62,5 мкм, соответственно).

Многие зарубежные методики определения потерь рекомендуют проводить измерения с максимальным использованием сварных соединений, потери в которых почти не влияют на величину реальных потерь в тестируемом устройстве (рис. 2).

При этом потери в волокне составляют: $a = P_0 - P_1$, дБ.

Достоинством данного метода является тот факт, что в этом случае нет необходимости переключать волокна и, соответственно, менять условия ввода, а погрешность определяется лишь качеством выполненных сварочных работ и может составлять 0,02 дБ.

Метод вносимых потерь

Базовая схема измерений потерь приведена на рис. 3.

Потери в измеряемом устройстве:

$$a \text{ (дБ)} = P_0 \text{ (дБм)} - P_1 \text{ (дБм)}$$

Смеситель мод – специальное устройство, предназначенное для выравнивания оптических мощностей отдельных мод и установления режима равновесного распределения энергии мод – РРМ. Следует заметить, что многие рекомендуемые зарубежными разработчиками методики измерения затухания требуют обязательного применения смесителей при проведении любых измерений, в том числе при измерении потерь с помощью импульсного оптического рефлектометра (OTDR). Того же требуют и действующие в России ГОСТы. Примем это за обязательное условие и во всех вышеприведенных схемах будем иметь в виду присутствие смесителя, даже если он на них не изображен.

В качестве источника излучения применяют све-

тодиод, лазер с фиксированной длиной волны или лампу белого света с монохроматором при измерении спектральных потерь на отдельных длинах волн.

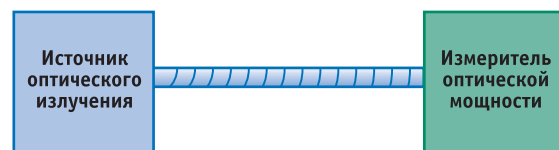
В приведенной схеме на рис. 3, а в целом обеспечиваются условия ввода оптического излучения в измеряемое волокно. Считается, что для большинства случаев таких условий ввода вполне достаточно. Однако после присоединения измеряемого устройства к калибровочному волокну условия ввода излучения могут измениться, поскольку при проведении калибровки по рис. 3, а свет из волокна полностью попадает на фоточувствительную площадку измерителя, а при подключении измеряемого устройства вследствие неточной юстировки в него может попасть не вся, а лишь часть мощности, вышедшей из калибровочного волокна. Для того чтобы компенсировать такую погрешность, желательно схему рис. 1, а несколько усложнить (рис. 4).

Измеряемое устройство включается в разрыв между двумя калибровочными волокнами. При этом как калибровочные волокна, так и измеряемое устройство по возможности должны быть выполнены из одного и того же волокна (если измеряемое устройство является волокном). При таком включении появляются две оптические розетки, каждая из которых вносит определенные изменения, отличающиеся от паспортных величин. Эти изменения могут быть впоследствии учтены и исключены из результатов.

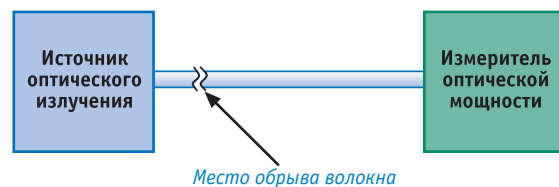
Метод измерения возвратных потерь

Для измерения возвратных (или обратных) потерь, большая величина которых может внести значительное ухудшение качества передачи в системе связи (особенно одномодовой), применяется метод, получивший в западной литературе название Optical Continuous Wave Reflectometer

а – измерение полных потерь в измеряемом устройстве



б – обрыв волокна вблизи источника



в – измерение введенной в измеряемое волокно мощности

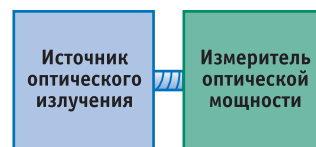
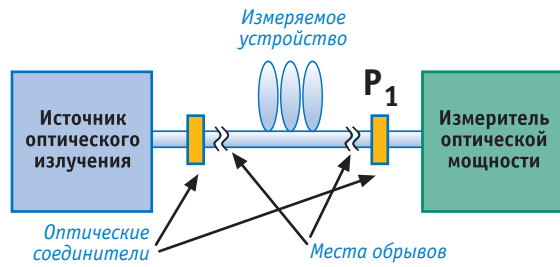


Рис. 1. Измерение потерь методом обрыва

Рис. 2. Модифицированный метод обрыва с использованием сварки:

а – Начальная схема измерения мощности



б – схема определения вводимой в устройство мощности

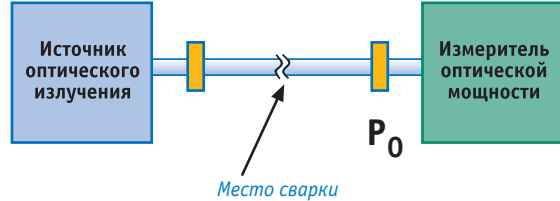
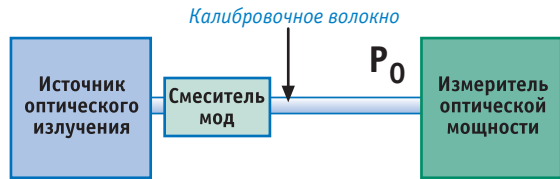


Рис. 3. Основная схема проведения измерений потерь методом вносимых потерь:

а – калибровка измерителя перед началом измерений



б – проведение измерений

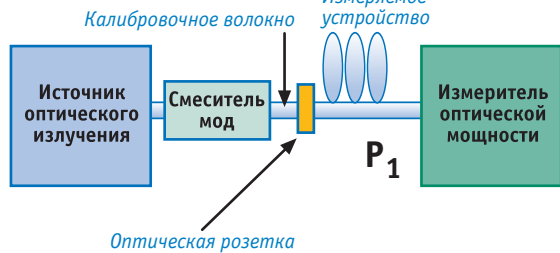


Рис. 4. Усовершенствованная схема калибровки измерителя

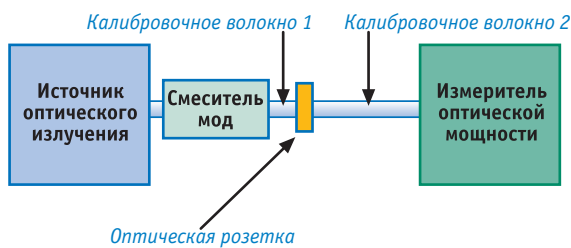
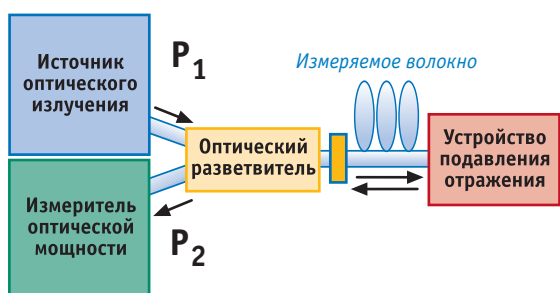


Рис. 5. Измерение возвратных потерь методом OCWR



(OCWR) – оптический рефлектометр непрерывного излучения. Рефлектометр изображен на рис. 5.

Оптические возвратные потери (в английской аббревиатуре – ORL) – это отношение оптической мощности, вернувшейся назад (к источнику излучения), к мощности, введенной в систему источником. В одномодовых системах большие возвратные потери могут стать главным источником возникновения и передачи ошибочных битов. Особенно опасными бывают отражения от торцов световодов в коннекторах, где величина отражения может достигать 4-5% от падающей на них мощности. Отраженный свет попадает в кристалл лазерного диода и может вызвать перескок моды и модальный шум.

Точность метода OCWR зависит от вносимых потерь и отраженных компонентов. Для повышения точности должно быть выполнено 2 условия:

- 1) прибор должен быть откалиброван по известному отражению;
- 2) должны быть измерены фоновые излучения (фоновые возвратные потери – уровни мощности, отраженные от устройств, не подлежащих измерению, которые потом необходимо вычесть из результатов измерения).

С целью калибровки OCWR для точных измерений к выходу источника подключают калибровочный кабель. Затем измеряют уровень вернувшейся мощности, с которым сравнивают все последующие измерения.

Для надежного тестирования линии необходимо применять приборы с длиной волны и типом источника, соответствующим рабочей длине волны и типу излучателя системы передачи. Если такое соответствие нарушить, результат тестирования будет иметь погрешность. Обычно для многомодового источника максимально возможная спектральная ширина излучения составляет 50 нм для длины волны 850 нм и 150 нм для длины волны 1300 нм. Однако это не означает, что источник системы передачи будет занимать весь указанный спектральный диапазон. Как правило, спектральная ширина светодиодного источника составляет 10-200 нм, а лазерного диода – 1-5 нм при разбросе центральной длины волны ± 30 нм. Разброс центральной длины волны тестирующего источника может также составлять ± 30 нм. Таким образом, в результате измерения может добавиться спектральная погрешность, вызванная разными параметрами источника оптического излучения системы передачи и тестирующего источника. Для уменьшения такого рода погрешности в коротких многомодовых линиях лучше применять в качестве тестирующего источника светодиодный источник с центральной длиной волны, не выходящей за пределы спектральной ширины источника системы передачи.

Итак, задача измерения потерь в оптическом волокне не является такой уж простой, как может показаться. И даже применяя рассмотренные нами методы и правила, можно получить результат, лежащий далеко от истины. Причем погрешность может составлять от 10 до 100%, в зависимости от выполнения дополнительных правил, которые познаются в процессе работы. Далеко не последнюю роль играет чистота рук, инструментов, приборов, волокна и окружающей среды. Например, процедура очистки оптического волокна жестко регламентируется рекомендациями ИТУ-Т (Международный телекоммуникационный союз по телефонии). Российские же ГОСТы, ОСТы и РД по подготовке оптического волокна для проведения измерений, к сожалению, до сих пор не разработаны, поэтому монтажники подходят к процедуре измерений так же, как они действовали при работе с металлическими жилами. А при работе с волокном необходимо учитывать каждую мелочь – ведь высокий статический заряд кварца, из которого изготавливается сердцевина волокна, притягивает мельчайшие частицы пыли, соизмеримые с его поперечными размерами. Оседая на торце сердцевины, такие частицы перекрывают путь распространения света, внося тем самым значительные потери, особенно в одномодовых волокнах, у которых мал диаметр сердцевины.

В рамках представленной статьи нами не рассматривались рефлектометрические методы измерения потерь и методы, связанные с применением аттенюаторов оптического излучения, потому что такие методы являются темой отдельного материала.