

□□□□O-LINK :: Контрольно-измерительное оборудование в волоконно-оптических линиях связи□□□□□

□В данной статье рассматривается контрольно-измерительное оборудование, используемое при создании и эксплуатации волоконно-оптических линий связи. Описываются основные параметры, определяющие выбор прибора для проведения конкретного измерения, а также приводятся методики измерений основных параметров волоконно-оптических линий связи.Содержание

-Контрольно-измерительное оборудование

-[Оптические измерители мощности](#)

-[Стабилизированные источники оптического сигнала](#)

-[Анализаторы затухания в оптическом кабеле](#)

-[Перестраиваемые оптические аттенюаторы](#)

-[Анализаторы возвратных потерь](#)

-[Оптические рефлектометры](#)

-[Визуальные дефектоскопы](#)

-[Идентификаторы кабеля](#)

-[Оптические эксплуатационные микроскопы](#)

-[Оптические разговорные устройства \(телефоны\)](#)

-Измерения на ВОСП

-[Эксплуатационные измерения](#)

-[Анализ неисправностей в ВОСП](#)

-[Стрессовое тестирование аппаратуры ВОСП](#)

-[Промышленный анализ оптоволоконных кабелей](#)

-[Калибровка эксплуатационного измерительного оборудования](#)

-[Список сокращений](#)

-[Список литературы и Internet ресурсы](#)

Оптические измерители мощности

Оптические измерители мощности (Optical Power Meter - OPM) используются для измерения оптической мощности сигнала, а также для измерения затухания в кабеле. Эти измерители

являются столь же распространенным прибором для инженеров, связанных с оптоволоконными системами, как мультиметр для инженеров-электронщиков.

Рис. 1. Оптический измеритель мощности "GN 6000"

**Оптические измерители мощности** обеспечивают как измерение кабельных линий, так и анализ работы терминального оборудования, передающего сигнал в оптическую линию. В паре со стабилизированным источником сигнала ОРМ обеспечивает измерение затухания - основного параметра качества оптической линии. Особенно важным классом измерений для ОРМ является измерение параметров узлов оптической линии (участков кабеля, интерфейсов, сварочных узлов, аттенюаторов и т.д.).

Основными параметрами ОРМ являются:

-тип детектора

-линейность усилителя

-точность и график необходимой калибровки

-динамический диапазон

-точность и линейность работы

-возможность поддержки различных оптических интерфейсов

Оптический детектор

Наиболее важным элементом оптического измерителя мощности является оптический детектор, который определяет характеристики самого прибора.

Рис. 2. Схема устройства оптического измерителя мощности

Оптический детектор представляет собой твердотельный фотодиод, который принимает входной оптический сигнал и преобразует его в электрический сигнал заданной интенсивности. Полученный электрический сигнал идет через АЦП на сигнальный процессор, где производится пересчет полученного электрического сигнала в соответствии с характеристикой твердотельного фотодиода в единицы измерений (дБм или Вт), представляемые затем на экране прибора (рис. 2). Для обеспечения стабильной работы твердотельного фотодиода используется термостабилизирование. Основной характеристикой прибора является характеристика зависимости выходного сигнала фотодиода от мощности входного оптического сигнала на разных длинах волн, точнее равномерность этой характеристики. В зависимости от этого сигнальный процессор в большей или меньшей степени должен компенсировать возможную нелинейность характеристики. В результате, если характеристика фотодиода сильно неравномерна, для ее компенсации сигнальный процессор должен иметь более сложную структуру. С другой стороны, более высокотехнологичный фотодиод будет иметь более равномерную характеристику, при этом сигнальный процессор может быть довольно простым. При разработке ОРМ основным вопросом является выбор "золотой середины" между стоимостью высокотехнологичного фотодиода и сложностью/стоимостью сигнального процессора. Необходимо также учитывать, что некачественный фотодиод может иметь низкую стабильность характеристики по времени, что

потребуется регулярной калибровки прибора. Другой важной характеристикой фотодиодов является спектральная характеристика, т.е. зависимость эффективности работы фотодиода от длины волны передаваемого сигнала, где эффективность работы фотодиода определяется отношением тока на выходе к мощности принимаемого сигнала. Эта характеристика определяет диапазон использования различных фотодиодов в приборах. На рис. 3. представлены характеристики для трех основных типов фотодиодов: кремниевого (Si), германиевого (Ge) и на основе сплава арсенида галлия (InGaAs).

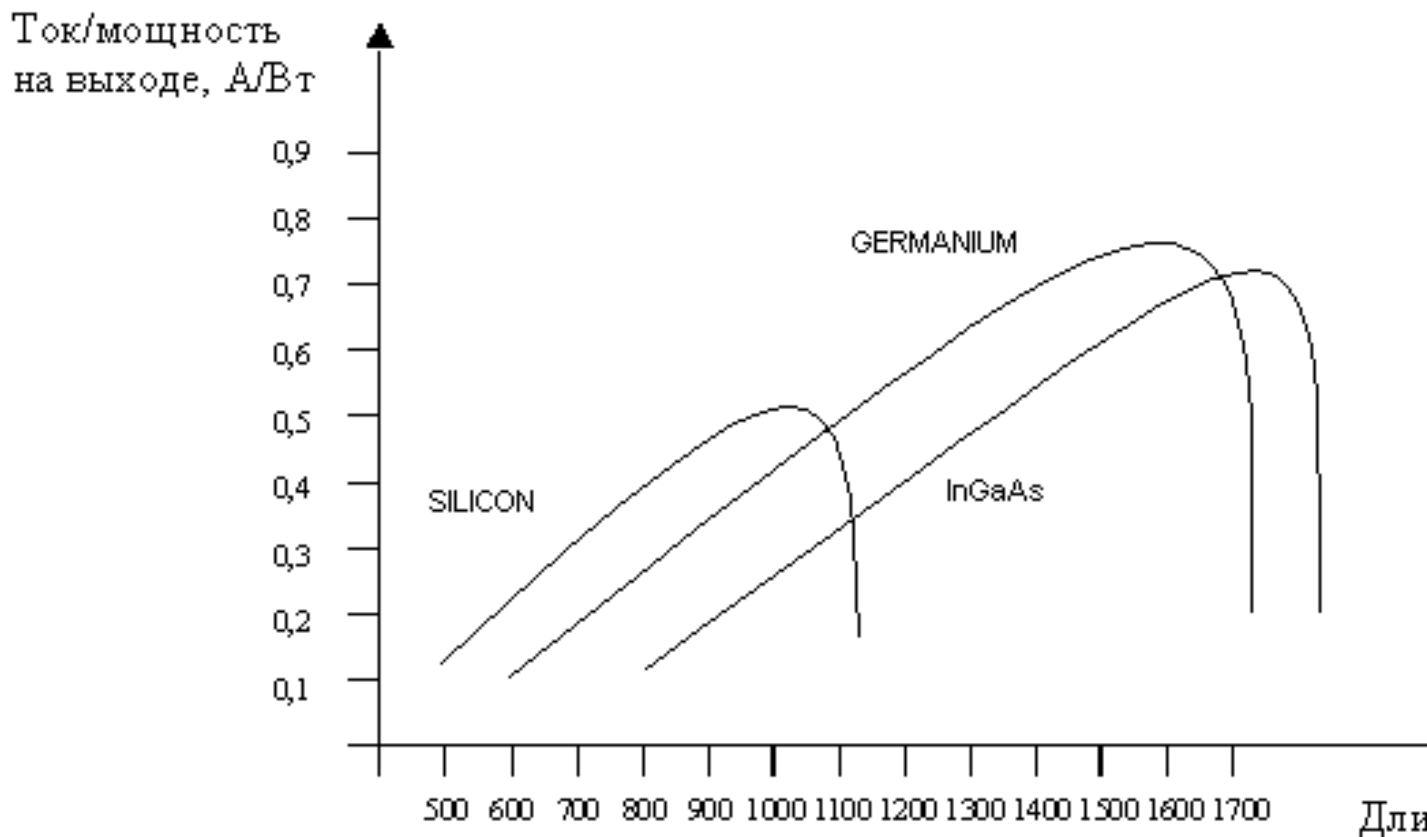


Рис. 3. Характеристики зависимости выходного сигнала фотодиода от длины волны принимаемого сигнала

Из рисунка видно, что кремниевый фотодиод может с успехом использоваться при измерениях оптического сигнала от 800 до 900 нм. На практике, оптические измерители мощности, использующие этот тип детектора калиброваны на более широкий диапазон - от 400-450 до 1000 нм. Для измерений в одномодовых волоконных кабелях 1310 и 1550 нм, получивших наибольшее распространение в современных системах связи, обычно используются германиевые детекторы или фотодиоды на основе сплава InGaAs (табл. 1). Соответственно, ОРМ, использующие эти фотодиоды, калиброваны в диапазонах от 780 до 1600 нм для Ge и от 800 до 1700 нм для InGaAs. Учитывая, что детекторы на основе Ge и InGaAs имеют сходную полосу пропускания, возникает закономерный вопрос о преимуществах и недостатках того или другого фотодиода. Из рисунка видно, что детекторы на основе InGaAs имеют более широкий спектр измерения по длинам волн, что позволяет создавать универсальные ОРМ, калиброванные на все три длины волны: 850, 1310 и 1550 нм.

850 нм	Si (к)
850/1300 нм	Ge (г)
1300/1550 нм	
850/1300/1550 нм	

Важным параметром OPM является устойчивость его работы при различных уровнях шумов. Основные источники шумов в оптических детекторах - квантовый шум, остаточный ток и поверхностный ток утечки. Квантовый шум обусловлен статистической конверсией фотонов в электроны на поверхности детектора. Остаточным током называется поток заряженных частиц при отсутствии светового сигнала. Ток утечки зависит от наличия дефектов на поверхности детектора, чистоты поверхности и напряжения смещения. У детекторов на основе сплава InGaAs остаточный ток намного меньше, чем у детекторов на основе Ge.

Рис. 4. Оптический измеритель мощности [FOD 1202](#)

Дополнительным фактором увеличения уровня шумов является температура (температурный шум). Так, например, остаточный ток детекторов на основе Ge значительно зависит от температуры, в то время как для детекторов InGaAs он практически не зависит от нее. Таким образом, OPM на основе детекторов InGaAs могут устойчиво работать в широком диапазоне температур без необходимости дополнительной стабилизации. В то же время детекторы на основе InGaAs являются довольно дорогими, что обеспечило высокое распространение OPM на основе Ge при прокладке и эксплуатации оптических кабелей в полевых условиях, поскольку такие OPM имеют эффективное соотношение цена/качество. OPM на основе InGaAs используются в основном в лабораториях для проведения измерений с высокой точностью, но могут успешно использоваться и при эксплуатации.

Рис. 5. Оптический измеритель мощности [FOD 1204](#)

Другим важным параметром OPM является принцип работы усилителя электрического сигнала детектора, который оказывает влияние на линейность работы OPM, его чувствительность и функциональность.

В практике современной техники усиления используются два основных принципа усиления:

- логарифмическое

- линейное

Использование логарифмического усиления не обеспечивает должной точности измерений и характеризуется рядом недостатков. Обычно OPM представляет результаты измерений в дБм или в Вт, приборы с логарифмическим усилителем не позволяют представлять результаты измерений в Вт, а технология логарифмического усиления, использующая обычно транзисторный p-n переход, приводит к дополнительной зависимости работы усилителя от температуры. Для проведения измерений на нескольких длинах волн логарифмические усилители требуют до 4-6 потенциометров, что также приводит к нежелательным последствиям в результате окисления потенциометров. Таким образом, использование принципов логарифмического усилителя приводит к низкой точности OPM и необходимости

частой калибровки прибора.

Рис. 6. Оптический измеритель мощности "LP 5000"

Всех перечисленных недостатков практически лишены усилители, построенные на основе линейного усиления. Обычно они хорошо стабилизированы, что дает возможность компенсировать как ошибки начального сдвига, так и сдвиг сигнала в процессе измерений из-за климатических и прочих причин. Современные ОРМ содержат специально калиброванные данные в EEPROM, которые используются в режиме автокалибровки линейных усилителей в процессе измерений.

Рис. 7. Оптический измеритель мощности "PM 1100" Точность измерений и график калибровки

Точность измерений и график калибровки для оптических измерителей мощности является еще одним важным параметром, поскольку в зависимости от точности изготовления детектора и параметров работы усилителя его характеристики могут изменяться. Этот параметр определяет стабильность работы прибора в процессе эксплуатации. Как уже отмечалось выше, приборы имеющие линейный усилитель и систему автокалибровки, являются предпочтительными еще и потому, что не требуют частой поверки.

Рис. 8. Оптический измеритель мощности "АЛМАЗ 21" Динамический диапазон

Наиболее существенными характеристиками ОРМ, которые необходимо учитывать при выборе приборов, являются динамический диапазон, разрешающая способность и линейность работы. Все перечисленные параметры напрямую связаны с описанными выше параметрами элементов ОРМ и особенно важны при выборе оборудования. Линейность и точность

Самым важным критерием выбора ОРМ являются линейность его работы и точность. Под точностью понимается метрологическая точность, т.е. соответствие между измеренным значением параметра и значением, измеренным эталонным калиброванным прибором. Линейность прибора определяется стабильностью результатов измерений в зависимости от уровня сигнала, температуры, разрешения по длине волны и т.д. Возможность поддержки различных оптических интерфейсов

Возможность поддержки различных оптических интерфейсов в современных оптических системах передачи также является важным условием выбора прибора. Современные оптоволоконные сети используют различные оптические интерфейсы. Наиболее распространенные типы оптических интерфейсов представлены на рис. 9.



Рис. 9. Наиболее распространенные типы **оптических интерфейсов**

Все перечисленные параметры определяют характеристики оптических измерителей мощности, представленных на отечественном рынке.

Алмаз 21	
<input type="checkbox"/> (н/д)	0,00x
GN 6000(C)	
<input type="checkbox"/> (Nettest)	-70..
<input type="checkbox"/> (-60...+20)	0,00x
GN 6025(C)	
<input type="checkbox"/> (Nettest)	-70..
<input type="checkbox"/> (-60...+20)	0,00x
LP 5000	
<input type="checkbox"/> (Nettest)	0,05..
<input type="checkbox"/> -60...+10	850/
<input type="checkbox"/> 1310/1550	0,05x
LP 5000(C)	
<input type="checkbox"/> (Nettest)	0,10..
<input type="checkbox"/> -45...+20	850/
<input type="checkbox"/> 1310/1550	0,05x
<input type="checkbox"/> (Exfo)	0,002
<input type="checkbox"/> (Exfo)	0,002
<input type="checkbox"/> (Exfo)	0,002
OT-30	
<input type="checkbox"/> (Оптел)	0,00x
OLP-6	
<input type="checkbox"/> (Wavetek)	0,00x
OLP-8	
<input type="checkbox"/> (Wavetek)	0,00x
1202	
<input type="checkbox"/> (FOD)	0,00x
1202Si	
<input type="checkbox"/> (FOD)	0,00x

Стабилизированные источники оптического сигнала

Стабилизированные **источники оптического сигнала** (Stabilized Light Source - SLS) выполняют

роль ввода в оптическую линию сигнала заданной мощности и длины волны. Оптический измеритель мощности принимает этот сигнал и, таким образом, оценивается уровень затухания, вносимого оптическим кабелем. Иногда в качестве стабилизированных источников оптического сигнала используются источники сигнала линейного оборудования. Это имеет место в уже развернутой работающей сети.

Рис. 10. Источник оптического сигнала "Алмаз 11"

Структурная схема SLS представлена на рис. 11. Основным элементом SLS является излучатель, - источник оптического сигнала. Стабильность генерируемого сигнала излучателя поддерживается путем регулирования тока излучателя по сигналу рассогласования источника опорного напряжения и напряжения эталонного фотоприемника. Фотоприемник служит для контроля мощности, генерируемой излучателем. Для этого часть излучаемого оптического сигнала через оптический ответвитель подается на эталонный фотоприемник. Стабилизация рабочей точки излучателя осуществляется компаратором. Температурный режим работы излучателя поддерживается термостабилизатором. В ряде методик измерения параметров оптических систем передачи используются модулированные оптические сигналы, для обеспечения генерации которых в состав SLS включается коммутатор, обеспечивающий модуляцию оптического сигнала за счет управления током излучателя от внешнего или внутреннего генератора.

Рис. 11. Схема устройства стабилизированные источники оптического сигнала

Существует три основных типа SLS , различаемых по типам используемого излучателя:

-лазерные источники,

-светодиодные источники (LED) ,

-источники белого света с вольфрамовой лампой.

Эти источники отличаются, главным образом, характеристикой добротности источника - шириной полосы излучения. Лазерные источники имеют самую высокую добротность, источники белого света - самую низкую.

Ниже подробно рассматриваются характеристики источников перечисленных типов. На рис. 10. показана сравнительная характеристика добротности лазерного и светодиодного источника сигнала.

Рис. 12. Спектральная характеристика лазерного и светодиодного источников Лазерные источники оптического сигнала

Эти **источники** имеют узкую полосу излучения и генерируют практически монохроматический сигнал. В отличие от светодиодных источников сигнала, лазерные источники не имеют постоянной характеристики в излучаемом диапазоне. Характеристика лазерного источника имеет несколько дискретных частот излучения по краям основной частоты. Таким образом, спектральная характеристика лазерных источников характеризуется значительной

неравномерностью, что может приводить к искажениям при измерениях (см. об этом ниже). Эти источники являются самыми мощными, однако самыми дорогими. Они используются для измерения оптических потерь в одномодовом кабеле на большом расстоянии (уровень потерь более 10 дБ). Для измерения многомодовых кабелей обычно не рекомендуются лазерные источники из-за дисперсии в кабеле.

Рис. 13. Источник оптического сигнала "GN 6150" Светодиодные оптические источники

Этот тип оптических источников сигнала имеет более широкий спектр излучения, обычно в пределах 50-200 нм. В **светодиодных источниках** используется принцип спонтанного излучения света, поэтому сигнал светодиода является некогерентным и спектрально более однородным. Для стабилизации уровня выходной мощности LED достаточно стабилизировать цепь питания источника, поэтому светодиодные источники отличаются повышенной стабильностью выходного уровня. Они дешевле лазерных и часто применяются для анализа потерь в кабелях малой длины, например, в приложениях анализа кабелей ЛВС. Однако использование их для анализа наихудшего случая распространения сигнала, когда нужна значительная мощность передаваемого сигнала, нецелесообразно. Источники белого света с использованием вольфрамовой лампы

Эти источники являются альтернативными LED дешевыми источниками сигнала. В сочетании с кремниевым детектором они могут использоваться для измерения уровня затухания в оптическом кабеле на длине волны 850 нм, в сочетании с детектором InGaAs - на длине волны 1310 нм, поскольку суперпозиция спектральной характеристики OPM и источника белого света дают центральную частоту 1300 нм.

Источники белого света могут использоваться для измерений, не требующих особой точности, а также для визуального обнаружения обрывов или деградации кабеля без опасности повреждения глаз, которая имеется при использовании лазерных источников.

В настоящее время источники белого света практически вытеснены с телекоммуникационного рынка в связи со значительным снижением цены на лазерные и светодиодные источники.

Основными техническими характеристиками стабилизированных источников являются:  
-стабильность работы

-выходная мощность

-частота модуляции

Стабильность работы SLS - техническая характеристика SLS как прибора - включает в себя как стабильность по выходному уровню, так и спектральную стабильность в зависимости от времени и температуры и является основной. Стабильность работы во времени определяет частоту калибровки SLS, а температурная стабильность является характеристикой применимости прибора в эксплуатационных измерениях. Данные параметры прибора зависят как от самого источника оптического сигнала, так и от механизма ввода оптического сигнала в волоконно-оптический кабель. Наиболее существенным внешним фактором воздействия на работу SLS является температура, это особенно важно для лазерных источников сигнала. Для компенсации температурного воздействия в SLS обычно используется термостатирование.

Выходная мощность SLS зависит от параметров источника сигнала и от эффективности



механизма ввода оптического сигнала в кабель. В лазерных источниках сигнала обеспечивается высокая эффективность ввода (до 30%) за счет использования специального загрузочного кабеля (pigtail), что дополнительно увеличивает их стоимость, в светодиодных SLS, представляющих более дешевые средства, эффективность ввода невелика и составляет обычно 5%. Как уже отмечалось выше, ширина спектральной характеристики лазерных источников сигнала составляет обычно 2-5 нм, для светодиодных - 30-100 нм (некоторые модели обеспечивают до 170 нм на длине волны 1310 нм). Большая спектральная характеристика приводит к значительным ошибкам при передаче, главным образом за счет воздействия дисперсии.

Предельная частота модуляции определяется временем нарастания и спада сигнала. Если время нарастания сигнала связано с работой цепей питания, то время спада определяется характеристиками источника. Наиболее высокую частоту модуляции сигнала обеспечивают лазерные источники. Анализаторы затухания в оптическом кабеле

Рис. 14. Тестер OT-2-1

**Анализатор затухания**, вносимого оптическим кабелем (Optical Loss Test Set - OLTS), представляет собой комбинацию оптического измерителя мощности и источника оптического сигнала. Различают интегрированные и отдельные измерители потерь. Интегрированные имеют источник сигнала и измеритель мощности в одном устройстве, а отдельные измерители представляют собой набор из источника сигнала и OPM. Соответственно, технические параметры анализаторов потерь содержат все перечисленные параметры для источников сигнала и оптических измерителей мощности.

Рис. 15. Тестер FOT-920 MaxTester

Анализаторы потерь оптической мощности обеспечивают пошаговый анализ оптической линии передачи, включая участки кабеля, места соединений и сварок. Это в первую очередь касается отдельных эксплуатационных анализаторов потерь оптической мощности. В то же время интегрированные анализаторы потерь, которые обычно применяются для промышленного анализа, обладают повышенной функциональностью и точностью измерений. Например, многие двух-частотные анализаторы могут выполнять измерения на длинах волн 1310 и 1550 нм автоматически. Перестраиваемые оптические аттенюаторы

Перестраиваемые **оптические аттенюаторы** используются для имитации потерь в оптической линии, что применяется для стрессового тестирования линии, т.е. для анализа работоспособности устройств (в первую очередь, линейного и терминального оборудования) при различных условиях работы сети.

Рис. 16. Перестраиваемый оптический аттенюатор DB-2910

Обычно различают три типа оптических перестраиваемых аттенюаторов:

-дискретно-перестраиваемые,

-непрерывно перестраиваемые,

-комбинированные, в которых дискретный переключатель обычно выполняет роль полного подавления входящего сигнала.

Все аттенюаторы, как правило, широкополосные. В аттенюаторах используются различные методы внесения затухания: осевое и радиальное смещение, использование различных фильтров и призм.

На входе аттенюатора расположены две линзы для преобразования светового потока. Основным элементом аттенюатора является призма с низким уровнем потерь, связанных с поляризацией (Polarization Dependence Loss - PDL). Уровень затухания, вносимого аттенюатором, зависит от положения призмы и регулируется позиционером. Важным условием является отсутствие при работе аттенюатора краевых эффектов и точность позиционирования. Для достижения приемлемой точности работы устройства в его состав включены цифровые цепи управления и микропроцессор.

Рис. 17. Перестраиваемые оптические аттенюаторы АОИ-3

Основными характеристиками перестраиваемых аттенюаторов являются:

-точность (линейность),

-PDL,

-уровень возвратных потерь,

-повторяемость,

-разрешение,

-остаточное вносимое затухание.

Все эти характеристики проверяются в ходе обязательной калибровки приборов, частота которой также является важным техническим параметром аттенюаторов.

Рис. 18. Перестраиваемый [оптический аттенюатор FVA-60B](#)

Линейностью аттенюатора называется разница между задаваемым и измеряемым в ходе поверки затуханием, вносимым этим прибором во всем динамическом диапазоне. Соответственно, точность работы определяется как линейность в заданном диапазоне. Потери, связанные с дисперсией призмы (PDL), зависят, главным образом, от качества стекла, из которого она изготовлена. Сдвиг фазы, обусловленный дисперсией, приводит к уменьшению мощности передаваемого сигнала, как следствие, к дополнительному затуханию, связанному с PDL. Еще одним важным параметром оптических аттенюаторов, помимо диапазона вносимых потерь и точности, является уровень возвратных потерь, связанных с отражением части сигнала в линию. Основное требование к аттенюаторам - требование наиболее низкого собственного уровня отражения, который достигается покрытием интерфейсных линз антиотражающим материалом. Остаточное вносимое затухание - это минимальное затухание, вносимое аттенюатором. Описанная модель аттенюатора,

подключенная к волокну, содержит призму и не может не вносить затухание, поэтому параметр остаточного затухания определяет начало отсчета вносимых потерь.

Рис. 19. Перестраиваемый оптический аттенюатор PHOTOM 780ZA Анализаторы возвратных потерь

Роль измерений возвратных потерь (Optical Return Loss - ORL) в современных телекоммуникационных системах выросла только в последнее время в связи с развитием широкополосных цифровых систем передачи, в результате чего повысились требования к подавлению возвратных потерь в оптических системах. Наличие возвратных потерь приводит к увеличению параметра ошибки в цифровых системах передачи и понижению отношения сигнал/шум в аналоговых системах. Применительно к оптическим системам передачи влияние ORL существенно для систем, использующих различные типы модуляции, например, для систем кабельного телевидения, где используется амплитудная модуляция (AM), чувствительная к уровню отражения в кабеле. Измерения параметра возвратных потерь касается всех участков волоконно-оптической системы передачи, включая кабель, оптические интерфейсы, разветвители и другие компоненты.

**Анализаторы возвратных потерь** предназначены для измерения уровня отражения от ВОСП и представляют собой оптические рефлектометры с постоянным сигналом (Optical Continuous Wave Reflectometer - OCWR). Устройство анализаторов аналогично устройству оптического рефлектометра, представленному на рис. 8.16 с той лишь разницей, что в анализаторах ORL в качестве источника сигнала используется SLS непрерывного действия, а в качестве измерителя мощности отраженного сигнала - OPM. В отличие от оптических рефлектометров, обеспечивающих анализ уровня отражения от времени, анализаторы возвратных потерь дают интегральную характеристику среднего уровня отражения от ВОСП. В то же время использование анализаторов возвратных потерь оправдано в случае необходимости точных измерений уровня отражения, OTDR обеспечивают лишь оценку этого параметра.

Основным фактором, влияющим на работу анализатора ORL, является стабильность источника сигнала. В анализаторах возвратных потерь могут использоваться как внутренние, так и внешние источники сигнала. Обычно используются лазерные SLS. Спектральная нестабильность источника приводит к удвоению ошибки измерения за счет отражения. В качестве OPM используется оптический детектор на основе InGaAs с линейным оптическим усилителем, таким образом, все факторы, влияющие на работу OPM, актуальны для анализаторов возвратных потерь. Дополнительно на работу анализатора ORL могут оказывать влияние параметры оптического разветвителя, такие как чувствительность к поляризации отраженного сигнала. Оптические рефлектометры

Оптические рефлектометры (Optical Time Domain Reflectometer - OTDR) являются наиболее полнофункциональным прибором для эксплуатационного анализа оптических кабельных сетей.

Рис. 20. Оптический мини-рефлектометр MTS 5100

Рефлектометр представляет собой комбинацию импульсного генератора, разветвителя и измерителя сигнала и обеспечивает измерение отраженной мощности при организации

измерений с одного конца. Рефлектометры действуют по принципу радара: в линию посылается импульс малой длительности, который распространяется по оптическому кабелю в соответствии с релеевским рассеянием и френелевским отражением на неоднородностях в оптическом кабеле (дефекты материала, сварки, соединители и т.д.). Управляющий процессор обеспечивает согласованную работу лазерного диода и электронного осциллографа, создавая возможность наблюдения потока обратного рассеяния полностью или по частям. Для ввода импульсов в волокно используются направленный ответвитель и оптический соединитель. Поток обратного рассеяния через оптический соединитель и направленный ответвитель поступает на высокочувствительный фотоприемник, где преобразуется в электрическое напряжение. Это напряжение подается на вход Y электронного осциллографа, вызывая соответствующее мощности потока обратного рассеяния отклонение луча осциллографа. Ось X осциллографа градуируется в единицах расстояния, а ось Y - в децибелах.

Рис. 21. Оптический рефлектометр Дельта-7

Основными характеристиками рефлектометров являются:

- рабочая длина волны
- разрешающая способность
- динамический диапазон
- размер мертвой зоны
- точность
- тип оптического интерфейса

Важный параметр OTDR - диапазон возможного затухания (backscatter range) или динамический диапазон измерений - определяет возможный диапазон измерений потерь оптической мощности в линии и, как следствие, диапазон измерений по расстоянию. Динамический диапазон определяется как разность показаний рефлектометра в начальной точке и уровня порога шумов в конце рефлектограммы. Длина импульса оптического сигнала определяет энергию светового сигнала, вносимого в оптический кабель, следовательно, большему значению импульса будет соответствовать больший динамический диапазон. Поэтому динамический диапазон рефлектометров специфицирован для всех значений длины импульса, поскольку варьируется в зависимости от длины импульса.

Рис. 22. Оптический рефлектометр ОР-2-1

Разрешение или разрешающая способность рефлектометра трактуется по-разному. В некоторых описаниях под разрешающей способностью понимается минимальное расстояние, при котором возможно различить два близко стоящих дефекта, в других - разрешающей способностью называется расстояние между двумя последовательными отсчетами на рефлектограмме, которое обычно в несколько раз меньше расстояния различения двух дефектов. Чем больше разрешающая способность, тем точнее определяется дефект на рефлектограмме.

### Рис. 23. Оптический мини-рефлектометр AQ7250

Важным параметром, связанным с разрешающей способностью рефлектометра в ближней зоне, является размер мертвой зоны (Event Dead Zone - EDZ). Существует два значения этого параметра: мертвая зона до первого соединения определяет минимальную дистанцию, необходимую для различения двух соединителей, в то же время мертвая зона до первого сварочного узла определяет минимальную дистанцию, необходимую для различения одного отражающего узла и одного неотражающего объекта. В практике эти два параметра называют EDZ по отражению и EDZ по затуханию. Мертвая зона обусловлена френелевским отражением в начале кабеля. На уровне большого сигнала, отраженного от начала кабеля, практически невозможно обнаружение дефекта. Единственным средством для обнаружения такого рода дефектов является использование добавочного кабеля (pigtail) длиной, равной EDZ.

Встречается мнение, что рефлектометры полностью заменяют анализаторы потерь оптической мощности. Однако в действительности оказывается, что это не так. Измерения, производимые рефлектометрами - это всегда балансирование между параметрами диапазона возможного затухания в линии, расстояния до источника отражения и разрешающей способности рефлектометра. Диапазон возможного затухания обычно оценивается по средней длине измеряемого кабеля, которая может превышать 10 км для мощных рефлектометров. Как правило, максимальная длина измеряемого кабеля в два раза больше, она и является границей диапазона возможного затухания.

Рефлектометры обычно разделяются на два класса:

-рефлектометры дальнего действия

-мини-рефлектометры

**Мини-рефлектометры** имеют обычно высокое разрешение и обеспечивают локализацию неисправности и различение двух объектов на расстоянии менее 10м, тогда как мертвая зона рефлектометров дальнего действия обычно превышает 10 м. Мини-рефлектометры используют при эксплуатации кабелей длиной 100 м - 50 (100) км. В случае более длинных кабелей необходимо использовать рефлектометры дальнего действия. Визуальные дефектоскопы

**Визуальные дефектоскопы** (Visual Fault Locator) представляют собой источники оптического сигнала видимого диапазона 400-700 нм, которые могут использоваться для визуального обнаружения повреждений в кабелях и интерфейсах, обнаружения неоднородностей и оценки качества сварных швов. Сигнал от визуального дефектоскопа рассеивается на крупных неоднородностях в кабеле, то есть наблюдается оператором в виде светлых пятен (источников рассеяния) через пластиковую оболочку кабеля.

### Рис. 24. Портативный визуальный дефектоскоп FLS-230a

Визуальные дефектоскопы часто используются в комплекте с оптическими рефлектометрами, диапазон действий которых ограничен границей мертвой зоны (EDZ). В этом случае визуальный дефектоскоп обеспечивает оценку качества оптического интерфейса и позволяет обнаружить неоднородности в пределах мертвой зоны.

В остальных случаях портативные визуальные дефектоскопы используются как удобный инструмент при монтаже и эксплуатации оптических кабелей.

Рис. 25. Портативный визуальный дефектоскоп FLS-235b

Обычно в визуальных дефектоскопах используются полупроводниковые лазеры или гелий-неоновые лазерные источники (HeNe). Гелий-неоновые лазеры мощнее полупроводниковых, однако требуют в 50 раз большей мощности питания и имеют большие габариты. Использование полупроводниковых лазеров позволяет создавать портативные визуальные дефектоскопы, пример которых представлен на рис. 6.

Для визуальной дефектоскопии наиболее эффективным было бы использование длины волны 550 нм, которой соответствует наибольшая яркость визуального восприятия. Однако на практике визуальные дефектоскопы используют лазерные источники сигнала в диапазоне 630-670 нм.

Рис. 26. Портативный визуальный дефектоскоп VFL-670

Наиболее часто применяются визуальные дефектоскопы с центральной частотой источника 635, 650 или 670 нм. Использование той или другой длины волны имеет как преимущества, так и недостатки. Применение коротких волн диапазона видимого спектра (600-700 нм) обусловлено большей интенсивностью воспринимаемого человеческим глазом света в этом диапазоне. Так сигнал 635 нм видится человеческим глазом в семь раз ярче сигнала 670 нм. Недостатком использования коротких волн является большой уровень затухания сигнала в кабеле. Так для сигнала 635 нм уровень погонного затухания в оптическом кабеле обычно составляет 11 дБ/км, тогда как для сигнала 670 нм - 6 дБ/км. Учитывая параметры интенсивности и затухания, можно оценить пороговое значение максимальной дальности использования визуальных дефектоскопов - 1,75 км. Для измерений на коротких расстояниях до 1,75 км с успехом могут использоваться дефектоскопы 635 нм, для измерений свыше 1,75-2 км - дефектоскопы 670 нм, а для измерений в промежуточном диапазоне - дефектоскопы с лазерами 650 нм.

Визуальные дефектоскопы могут работать как в режиме непрерывной генерации оптического сигнала, так и в режиме мерцания с частотой 1 Гц. Обычно выходная мощность визуального дефектоскопа составляет 1 мВт. Идентификаторы кабеля

В практике эксплуатации оптических кабелей часто возникает задача тестирования кабеля без нарушения его целостности. Для этой цели используются идентификаторы оптического кабеля. С помощью этих приборов можно тестировать целостность волокна, проверять маркировку кабеля или подтвердить наличие или отсутствие сигнала перед изменением маршрута или техническим обслуживанием, вводить и выводить оптический сигнал через изгиб волновода.

Спецификация измерений, выполняемая идентификаторами обычно невелика, поскольку эти устройства рассматриваются скорее как эксплуатационный инструмент.

Рис. 27. Детектор активных волокон LFD-100

Обычно спецификация включает следующие измерения:

-наличие или отсутствие сигнала (темное волокно);

-тип сигнала (сигнал нагрузки, сигнал с незатухающей гармонической волной или модулированный испытательный сигнал с частотой 270 Гц, 1 кГц или 2 кГц).

Идентификаторы кабелей можно эффективно использовать вместо измерителя мощности в задачах оптимизации расположения волокна в лотке и т.д. Идентификаторы представляют собой мощный инструмент для пошагового прохода (трассировки) оптического кабеля.

Особенно важной функцией идентификаторов кабелей является возможность использовать их в качестве устройств ввода/вывода оптического сигнала без нарушения связности кабеля. Эта функция эффективно используется для организации связи по проложенному кабелю, когда идентификаторы кабеля используются в комплекте с оптическими разговорными устройствами. Оптические микроскопы

Распространенной причиной деградации качества в оптических интерфейсах и в сварочных муфтах ВОСП является нарушение качества полировки оптического волокна. В связи с этим возникает задача анализа качества полировки, чистоты и дефектов в волокне. Для этой цели применяются оптические эксплуатационные микроскопы, обеспечивающие визуальный анализ среза волокна.

Рис. 28. [Оптический микроскоп OFS 300](#)

Усиление эксплуатационных микроскопов варьируется от 30 до 800 крат, наибольшее распространение в эксплуатации получили микроскопы с 30-100-кратным усилением. Оптическое волокно может наблюдаться напрямую или под некоторым углом.

Рис. 29. [Профессиональный волоконно-оптический видеомикроскоп NOYES VFS 1](#)

В результате анализа срезов волокна может быть обнаружена причина деградации качества. Эксплуатационные измерения с использованием микроскопов могут проводиться как в лаборатории при подготовке кабелей к прокладке, так и в полевых условиях для обнаружения причин деградации связи. Оптические разговорные устройства

Оптические разговорные устройства представляют собой важный инструмент при прокладке кабеля и его тестирования непосредственно после прокладки в полевых условиях. Действительно, важным условием эффективной работы в процессе прокладки кабелей является наличие бесперебойной связи между бригадами. Для этого используются оптические разговорные устройства или оптические телефоны, обеспечивающие голосовую связь по оптическому кабелю.

В оптических разговорных устройствах могут использоваться различные принципы работы:

- принцип тангенты

- активация волокна голосом

- разделение сигналом по длине волны (WDM)



-временное разделение каналов.

Рис. 30. Оптический телефон OVS6000 фирмы GN Nettest

Оптические телефоны, работающие на принципе тангенты, включают режим преобразования акустического сигнала в оптический при нажатии специальной кнопки. Для передачи сигнала используется частотно-модулированный сигнал. Использование алгоритма тангенты обеспечивает полудуплексную связь. Неудобством этого способа организации связи является невозможность свободных рук во время разговора. Этому недостатку лишено использование алгоритма активации сигнала от голоса, которое также обеспечивает полудуплексный режим работы. Оба способа могут использоваться только на коротких длинах кабеля, поскольку не позволяют осуществить регенерацию и усиление оптического сигнала.

Технология WDM предполагает полнодуплексную связь с разделением двух каналов по длине волны. Неудобством метода является то, что оптические телефоны являются в этом случае парными в том смысле, что они должны передавать и принимать на разных длинах волн. Использование одинаковых оптических телефонов WDM может привести к несовместимости.

Рис. 31. Переговорное устройство ПУ-2

Использование технологии с временным разделением (TDM) обеспечивает полнодуплексную связь на одной длине волны и, таким образом, лишено недостатков перечисленных методов. Дополнительным преимуществом оптических телефонов TDM является использование цифровых методов кодирования речи, что обеспечивает высокое качество связи. Недостатком технологии является сравнительно высокая стоимость цифровых оптических разговорных устройств.

Наибольшее распространение в современной практике получили полнодуплексные разговорные устройства с частотной модуляцией (ЧМ) и цифровые телефоны с временным разделением.

Основным параметром оптических разговорных устройств является динамический диапазон, который определяет максимальное дальное действие оптических телефонов.

На параметры работы оптических телефонов оказывает большое влияние уровень отражения в кабеле (ORL).

Рис. 32. Схема оптического разговорного устройства

Оптическое разговорное устройство включает в себя лазерный источник и оптический детектор, подключаемые к оптическому кабелю через оптический разветвитель (рис. 10). Высокий уровень ORL может привести к тому, что отраженная часть сигнала лазерного передатчика будет уменьшать отношение сигнал/шум на входе детектора. Обычно в оптических телефонах с использованием ЧМ-модуляции отношение сигнал/шум составляет 12-25 дБ, с использованием цифровых методов -25-30 дБ, в то же время уровень возвратных потерь хуже 35 дБ может привести к уменьшению динамического диапазона на 15-25 дБ.



Цифровые оптические разговорные устройства используют режим битовой синхронизации при передаче речевой информации и поэтому более защищены от высокого уровня ORL.

#### Эксплуатационные измерения на ВОСП

Эксплуатационные измерения включают в себя:

- измерение уровней оптической мощности и затухания
- измерение возвратных потерь
- определение места и характера повреждения оптоволоконного кабеля
- стрессовое тестирование аппаратуры ВОСП

Дополнительно к эксплуатационным могут быть отнесены измерения спектральных характеристик источника и анализ дисперсии ВОСП, однако они редко проводятся в полевых условиях и на современном уровне развития технологии ближе к системным и лабораторным измерениям.

Для проведения этих измерений используются эксплуатационные приборы, перечисленные в таблице 3.

Таблица 3. Эксплуатационные измерения ВОЛС

Оптическая мощность (выход источников, уровень принимаемого сигнала)	ОРМ,
Затухание в кабеле, интерфейсах и волокнах	ОРМ,
Уровень возвратных потерь	Анал
Определение места и характера повреждения оптоволоконного кабеля	Визу
Определение спектральных характеристик источника*	Опти
Определение параметров дисперсии*	Анал
Стрессовое тестирование ВОСП	Пере

\* При эксплуатации практически не проводятся Измерения уровней оптической мощности и измерения затухания

Измерения уровней оптической мощности и измерения затухания являются взаимосвязанными. Как известно, измерение затухания в любой системе передачи связано с определением уровня сигнала (его мощности) на входе и выходе. Применительно к оптическим системам передачи решение этой простой задачи имеет определенные трудности, поскольку измерение уровня сигнала в ВОСП зависит от параметров оптического интерфейса генератора тестового оптического сигнала (качества обработки торца волокна, точности юстировки излучателя относительно этого торца и др.). Кроме того, существенным является требование постоянства условий согласования источника сигнала с волокном. Все многообразие технических решений по измерению затухания в оптическом кабеле объясняется различными способами решения этих проблем.

#### Метод прямого измерения затухания, вносимого оптическим кабелем

Схема такого измерения представлена на рис. &&&& и представляет собой типичную схему измерения "точка-точка", когда тестовый генератор и анализатор расположены по разным концам тестируемой линии.

Рис. 33. Типовая схема измерения затухания в оптическом кабеле

По определению затухание в линии определяется выражением:

На практике обычно производят измерения не затухания в оптическом кабеле, а вносимое затухание, которое является суммой затухания в линии и потерями мощности в оптических интерфейсах передатчика и приемника. Обычно модификации схемы на рис. 8.15 и технические решения основаны на принципе уменьшения и учета влияния затухания в оптических интерфейсах приборов. При проведении приемосдаточных измерений влияние оптических интерфейсов линейного оборудования ВОСП должно измеряться и учитываться.

Существует две разновидности схемы измерений:

-измерение затухания без разрушения кабеля

-измерение с разрушением кабеля

Измерение затухания без разрушения кабеля

Данный метод в точности соответствует схеме, представленной на рис. 33. Он используется обычно для измерения узлов ВОСП, проведения пошагового тестирования ВОСП в точках, позволяющих подключить источник сигнала и OPM. Для повышения точности метода обычно используют статистическое накопление результатов или повторение измерений после разрушения нескольких сантиметров кабеля. Основной ошибкой при проведении измерений без разрушения кабеля является несогласование источника и приемника по спектру передаваемого сигнала.

В описываемом методе могут использоваться не только пара OPM-SLS, но и два прибора OLTS, что обеспечивает дополнительные возможности анализа кабеля с учетом факторов направления. Дело в том, что оптические характеристики кабеля, измеренные от точки А до точки В, могут отличаться от результатов от точки В до А. В этом случае использование OLTS позволяет проводить попеременное тестирование с источником сначала в точке А, а потом - в точке В. Результаты измерений усредняются.

Метод измерения с разрушением кабеля

Для измерения затухания кабеля при проведении строительно-монтажных работ иногда используют метод измерения с разрушением кабеля, при котором производят обрыв волокна на расстоянии нескольких метров от входного конца и измеряют разность значений оптической мощности на всей длине кабеля и на коротком участке обрыва. При этом измеренное значение мощности на дальнем конце кабеля считают  $P_L$ , а измеренное значение после обрыва кабеля -  $P_0$ . Разность этих двух значений определяет величину затухания в кабеле. Для повышения точности метода измерения повторяют несколько раз путем дополнительных обрывов волокна длиной несколько сантиметров. Недостатком этого метода измерения является то, что он разрушает волокно, поэтому метод не имеет особенной эксплуатационной ценности. Обычно этот метод используется для лабораторного анализа кабелей.

Метод обратного рассеяния для измерения затухания

Метод основан на использовании оптических рефлектометров. В основе метода лежит явление обратного релеевского рассеяния. Для реализации этого метода измеряемое волокно зондируют мощными оптическими импульсами, вводимыми через направленный ответвитель. Вследствие отражения от рассеянных и локальных неоднородностей, распределенных по всей длине волокна, возникает поток обратного рассеяния. Регистрация этого потока позволяет определить функцию затухания по длине с того же конца кабеля, что является важным достоинством метода. Одновременно фиксируют местоположения и характер неоднородностей.

Генератор оптического сигнала в составе рефлектометра посылает короткий импульс, который отражается на неоднородностях А и В. При отражении от каждой неоднородности возникает проходящий и отраженный сигналы. В результате на анализаторе мощности относительно времени прихода импульса можно получить график зависимости отраженного от неоднородностей сигнала от длины линии (рефлектограмму).

На графике этой зависимости представлены следующие изменения отраженного сигнала:  
-отражение от А

-отражение от В

-интермодуляционные отражения высших порядков (В-А-В и т.д.)  
которые обычно малы по амплитуде и воспринимаются как шум

Угол наклона кривой определяет удельное затухание оптического сигнала в линии.

Таким образом, при измерении с одного конца кабеля инженер знает о затухании сигнала в зависимости от длины кабеля. Измерения с одного конца кабеля удобны, дают возможность быстрой локализации неисправности уже уложенного кабеля. Эти преимущества рефлектометров по сравнению с анализаторами потерь оптической мощности, которые требуют организации измерений по схеме "точка-точка", обусловило их популярность в эксплуатации и широкое распространение в современных телекоммуникациях. Кроме этого, нельзя не признать, что визуальный анализ качества кабелей чрезвычайно удобен в эксплуатации.

Рис. 34. Зависимость отражаемой мощности от длины кабеля

Типичная рефлектограмма представлена на рис. 34. На приведенном графике видны отражения, связанные с плохим соединением кабелей, отражение от сварки, областей случайного рассеяния и отражения, связанные с технологическими неоднородностями в материале кабеля, наконец, отражение от дальнего конца кабеля. Начальный выброс уровня обусловлен френелевским отражением в разъёмном оптическом интерфейсе, соединяющем прибор с испытуемым кабелем. Точка сочленения кабеля при отсутствии френелевского отражения вносит лишь затухание, величина которого соответствует падению уровня в этой точке. Конец кабеля или его обрыв дают выброс, обусловленный френелевским отражением. При повреждениях кабеля френелевское отражение может отсутствовать (скол волокна в наклонной к оси плоскости), и тогда место обрыва характеризуется резким падением уровня.

По рефлектограмме можно определить величину затухания на разности длин как половину от разности мощностей сигнала на рефлектограмме.

Обычно с одной стороны кабеля рефлектометры позволяют измерять затухание в диапазоне 15-20 дБ, поэтому при превышении этого затухания измерения следует проводить с обеих сторон. На относительно коротких отрезках кабеля это позволяет повысить точность измерений.

Основным недостатком данного метода является небольшой динамический диапазон измерений, что обусловлено малой мощностью излучения обратного рассеяния. Кроме того, рефлектометры довольно дорогие приборы, не всегда доступные для служб эксплуатации.

Применимость метода обратного рассеяния с использованием OTDR требует анализа объективных и субъективных погрешностей измерения. Выше уже обсуждался вопрос о сравнении эффективностей измерения затухания при помощи OTDR и OLTS. Обсуждались также объективные неточности, связанные с принципами работы рефлектометра (разрешающая способность, размер мертвой зоны и т.д.). Однако при проведении измерений с использованием рефлектометров могут возникать не только ошибки, связанные с техническими характеристиками рефлектометра, но и ошибки, связанные с распространением сигнала в оптическом кабеле. Ограничения по точности измерений связаны как с измерением потерь в кабеле, так и с измерениями расстояний.

При измерениях расстояний на точность измерений OTDR влияют два основных фактора:

- скорость распространения оптического сигнала в кабеле

- длина оптического волокна в оптическом кабеле

Скорость распространения оптического сигнала в кабеле является функцией коэффициента преломления стекла, который может варьироваться в пределах нескольких процентов для разных кабелей. Учесть влияние этого параметра можно, протестировав кабель известной длины того же типа.

Вторым параметром, влияющим на точность измерения длин является избыточное количество волокна в кабеле. Обычно при производстве кабеля закладывается избыток волокна в кабеле для повышения устойчивости его к растяжениям и изгибам. Разница между длиной кабеля и длиной волокна в нем составляет 1-2%. Поскольку рефлектометр производит измерения по длине волокна, а не кабеля, избыток волокна приводит к ошибке измерений до 10-20 м на километр кабеля, которую необходимо учитывать при проведении измерений.

При измерениях потерь с использованием рефлектометров возникают два основных вопроса: почему результаты измерений OTDR и OLTS отличаются и почему отличаются результаты измерений с использованием рефлектометра, если измерения проводятся с разных концов кабеля? Для ответа на эти вопросы необходимо еще раз проанализировать работу рефлектометра при измерении потерь в кабеле.

Как описывалось выше, лазерный источник OTDR посылает импульсный сигнал, который отражается от неоднородности и принимается анализатором. Необходимо учитывать, что на принимаемый сигнал оказывают влияние три фактора: затухание сигнала до неоднородности, отражение сигнала и затухание сигнала от неоднородности до анализатора. Обычно предполагается, что коэффициент отражения постоянный, и поэтому можно автокалибровать рефлектометр для измерения затухания в оптическом кабеле. Однако на практике малейшие изменения в диаметре волокна (порядка 1%) приводят к значительному изменению параметра отражения, и как следствие, к значительному изменению значения измеряемого затухания (порядка 0,1 дБ). Так как изменение параметра отражения может изменяться вдоль длины кабеля, это приводит к существенной разнице в измеренных величинах затухания при

измерениях с разных концов кабеля.

Возможны три варианта прохождения сигнала через сварочный шов с разными типами рефлектограмм:

-Если производится сварка двух идентичных волокон, то результаты измерений затухания с двух сторон кабеля будут одинаковыми и совпадать с результатами измерений OLTS.

-Если принимаемое волокно в сварке имеет меньший коэффициент отражения, то отраженная мощность сигнала после сварочного шва будет меньше, в результате OTDR идентифицирует затухание больше реального значения.

-Если же сварку тестируют с другого конца кабеля, рефлектометр покажет затухание меньше реального значения, и может возникнуть ситуация, когда разница между коэффициентами отражения будет выше затухания в сварке, рефлектометр покажет "усиление" оптического сигнала.

Эффективным способом устранения описанных ошибок измерений является проведение измерений с двух сторон кабеля с последующим усреднением. Этот способ обеспечивает высокую точность измерений (до 0,01 дБ), однако ликвидирует основное преимущество использования OTDR - возможность проведения измерений с одного конца кабеля.

Определение места и характера повреждения оптоволоконного кабеля

Рис. 35. Алгоритм поиска неисправностей в ВОСП

Первой задачей поиска неисправности в ВОСП является анализ, относится ли неисправность к электрической части оборудования или к оптической. Для этого с помощью OPM измеряется уровень оптической мощности и затем производится сравнение с нормативным. Если уровень оптической мощности находится в пределах нормы, неисправность находится в электронной части аппаратуры передачи, которая нуждается в замене или ремонте. Если уровень принимаемой мощности слишком низкий, неисправность находится либо в передатчике, либо в волоконно-оптическом кабеле. Для дальнейшего поиска необходимо измерение выходной мощности передатчика, для этого используются OPM и тестовый кабель. Если выходная мощность передатчика низкая, он должен быть отремонтирован. Если мощность находится в пределах нормы, неисправность связана с волоконным кабелем.

Поиск неисправности в кабеле начинается с анализа его связности с использованием визуального дефектоскопа в случае кабелей малой протяженности или OTDR в случае протяженных кабелей. Основными неисправностями кабеля обычно являются коннекторы, сварки с плохим качеством, соединения и обрывы кабеля, обусловленные внешними воздействиями. Для поиска неисправности в коннекторах применяются эксплуатационные микроскопы. Для диагностики сварок и локализации обрывов применяются OTDR с учетом описанных выше ограничений на точность измерений.

Основные виды неисправностей в ВОСП приведены в табл. 4.

Таблица 4. Основные виды неисправностей в ВОСП

Коннектор	Микр
Кабель pigtail	Верх
Локальный всплеск затухания в кабеле	Сред
Распределенное увеличение затухания в кабеле	Виде
Потери в сварочном узле	Нека
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Потери, связанные с близким расположением волокон в сварочном узле	ОТД
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Визуальный дефектоскоп	Вскр
Обрыв кабеля	Виде

Локализация обрывов и определение характера повреждений в оптическом кабеле

Для проведения аварийных эксплуатационных измерений особенно важным является определение участков и причин деградации качества передачи сигнала. Для этой цели используются рефлектометры.

Понятно что, рефлектограмма не только описывает функцию распределения затухания по длине кабеля, но и может использоваться для локализации участков и причин деградации качества. Так, участки сварочных узлов и точки случайного рассеяния, связанного с дефектами оптического волокна, на рефлектограмме отображаются как точки увеличения затухания без всплеска мощности отраженного сигнала. Это означает, что точки являются точками релеевского рассеяния без френелевского отражения. В то же время точки плохого соединения, обрыва или значительного повреждения кабеля отображаются как точки отражения с характерными всплесками мощности отраженного сигнала.

Рефлектометры обеспечивают анализ кабеля на предмет поиска неоднородностей. При этом визуальный анализ формы рефлектограммы позволяет качественно оценить характер повреждения в кабеле. Спецификой оптического волокна по сравнению с электрическими кабелями является то, что отраженная мощность точки повреждения зависит от угла скола волокон. В случае воздействия на волокно только растягивающей силы возникает плоская поверхность излома, если же волокно разрушается от удара, то поверхность не является плоской. Соответственно будут различаться сигналы на рефлектограмме. Поиск неисправностей в оптических коннекторах

Для поиска неисправностей в оптических коннекторах применяются методы визуального анализа с использованием эксплуатационных микроскопов. Для анализа необходимо правильно выбрать параметр усиления микроскопа (как правило в пределах 30-100 кратного увеличения). Малое увеличение эксплуатационных микроскопов не обеспечивает разрешающей способности, необходимой для поиска дефектов полировки и целостности волокна в коннекторе, с другой стороны, излишне большое увеличение будет приводить к тому, что неоднородности будут казаться более существенными, чем это есть на самом деле. Поэтому обычно выбирается среднее увеличение в описанном диапазоне с учетом субъективно зрительного восприятия монтажника.

Обычно используются три основных схемы визуального анализа коннектора:

-прямое наблюдение полированной поверхности волокна с подсветкой

-прямое наблюдение поверхности с подсветкой и с наличием оптического сигнала в волокне

-наблюдение под углом

Рис. 36. Поиск неисправностей в коннекторах с использованием микроскопа

Анализ коннектора методом прямого наблюдения позволяет проанализировать правильность центрирования, количество связующего вещества и т.д., однако анализ полированной поверхности волокна затруднен, можно увидеть только самые глубокие царапины. Анализ волокна с оптическим сигналом позволяет наблюдать дополнительно трещины и сколы, вызванные давлением или нагреванием в процессе полировки коннектора.

Анализ коннектора методом наблюдения под углом позволяет более детально анализировать полированную поверхность волокна за счет возникающих теней от царапин.

Необходимо очень осторожно относиться к визуальному анализу с использованием микроскопов, поскольку такие измерения не лишены субъективности. Следует помнить, что только дефекты сердцевин оптического волокна приводят к деградации качества оптической передачи. Дефекты стеклянной оболочки волокна практически не влияют на функцию коннектора к передаче оптического сигнала по сердцевине волокна. Таким образом, дефекты оболочки волокна не вызывают дополнительного затухания. Стрессовое тестирование аппаратуры ВОСП

Проектирование волоконно-оптических систем передачи обязательно включает в себя расчет энергетического бюджета оптического сигнала в ВОСП. Реальное значение обычно отличается от расчетного в связи с различием в качестве сварочных узлов, соединений и т.д. Реальное значение энергетического бюджета оптического сигнала, полученное в ходе приемо-сдаточных испытаний, включается в паспорт ВОСП. В связи с тем, что расчетное значение, как правило, имеет запас по мощности по сравнению с реальным значением, возникает вопрос оценки потенциального запаса по мощности в ВОСП. Знание величины этого запаса может быть использовано для анализа влияния различных условий эксплуатации: например, каково предельное значение затухание заданного узла ВОСП, при котором система передачи еще будет работать.

Для анализа этого запаса по мощности применяются принципы стрессового тестирования, т.е. имитации плохих условий функционирования ВОСП. Для имитации плохого качества ВОСП используются оптические аттенюаторы. Измерения могут сопровождаться анализом цифрового канала связи по параметру ошибки (BER) в зависимости от уровня сигнала в линии.

В линию передачи включается оптический аттенюатор, который вносит дополнительное затухание в ВОСП. При этом измеряется зависимость параметра ошибки BER от уровня вносимого затухания. Предельное значение вносимого затухания, при котором аппаратура ВОСП функционирует согласно ТУ, определяет запас по мощности в ВОСП. Промышленный анализ оптоволоконных кабелей

Промышленный анализ включает в себя измерения следующих параметров:

-погонного затухания в оптическом волокне

-полосы пропускания и дисперсии

-длины волны отсечки

- профиля показателя преломления
- числовой апертуры
- диаметра модового поля
- геометрических и механических характеристик оптоволоконного кабеля
- энергетического потенциала и чувствительности фотоприемного устройства
- уровней оптической мощности устройств.

Измерения погонного затухания в оптическом кабеле в лабораторных условиях (анализ кабеля в бухтах) выполняется по прямому методу анализа с использованием высокоточных анализаторов затухания. Эти измерения уже были описаны выше.

Измерения полосы пропускания и дисперсии волокна. Для измерения полосы пропускания используют частотный или импульсный метод. При частотном методе полосу пропускания кабеля определяют по амплитудно-частотной модуляционной характеристике (АЧМХ). Для проведения измерений применяют генератор и фотоприемник с гармонической модуляцией интенсивности в полосе частот, превышающей ширину полосы пропускания кабеля. В результате измерений получают зависимость уровня мощности на выходе кабеля от частоты модуляции. При импульсном методе полосу пропускания определяют путем последовательной регистрации импульса оптического излучения на выходе измеряемого кабеля и импульса на выходе его короткого отрезка, образованного путем обрыва кабеля в начале. Форму последнего импульса принимают за форму импульса на входе кабеля. Далее вычисляют амплитудные спектры импульсов и АЧМХ измеряемого кабеля, а по ней определяют полосу пропускания.

Для измерения хроматической дисперсии одномодовых кабелей в основном используются два метода, первый из которых связан с измерением во временной области (метод временной задержки), а второй - в частотной области (фазовый метод). Оба метода удовлетворяют требованиям точности и воспроизводимости результатов и одобрены ИТУ-Т. Однако метод временной задержки является более сложным по сравнению с фазовым методом, и поэтому последний чаще используется на практике.

Фазовый метод основан на измерении фазового сдвига сигнала, модулированного по интенсивности излучения, зондирующего кабель на различных длинах волн. Частота модуляции интенсивности обычно фиксирована и лежит в пределах 30...100 МГц. Измерение зависимости фазового сдвига между сигналами на различных длинах волн позволяет найти зависимость временной задержки сигнала от длины волны, а последующее ее дифференцирование - хроматическую дисперсию.

Измерения длины волны отсечки выполняются методами изгиба, передаваемой мощности и диаметра модового поля.

Метод изгиба основан на зависимости потерь при изгибе волокна от длины волны распространяющегося излучения. Измеряемое волокно возбуждается источником излучения с перестраиваемой длиной волны. Измерения проводят при слабом и сильном изгибах волокна.

Метод передаваемой мощности основан на зависимости мощности излучения от длины волны.



В методе диаметра модового поля используется явление изменения диаметра поля излучения в волокне в зависимости от длины волны. Измерение заключается в определении на выходе волокна диаметра поля на различных длинах волн и в нахождении по кривой длины отсечки. Этот метод измерения длины волны отсечки более сложен, чем два предыдущих.

Измерение профиля показателя преломления - основного параметра широкополосности оптических кабелей - выполняется различными высокоточными методами: интерферометрически-ми, лучевыми и рассеяния, сканирования отражения от торца, пространственного распределения излучения (в ближней и дальней зонах) и др. Эти измерения довольно сложны и требуют отдельного рассмотрения, выходящего за рамки данной книги.

Измерение числовой апертуры необходимо для разработки соответствующих устройств ввода-вывода и устройств сочленения с целью уменьшения потерь в них. Несогласованность соединяемых волокон по числовой апертуре может привести к существенным потерям. Для измерения числовой апертуры обычно определяют апертурный угол. Апертурный угол волокна, находящегося в равновесном возбуждении мод, измеряют, как правило, путем наблюдения распределения выходящей мощности в дальней зоне. Для этого на некотором расстоянии от выходного торца устанавливают отражающий экран с градуированной шкалой. По видимому диаметру светового пятна на экране определяют апертурный угол.

Измерение диаметра модового поля - основного параметра для определения ширины диаграммы направленности и для расчета потерь на соединениях и микроизгибах - осуществляется методами ближнего поля, поперечного смещения и др. Метод ближнего поля обеспечивает прямое измерение диаметра модового поля. Для этого на выходном торце волокна с помощью хорошо сфокусированного микроскопа измеряют распределение мощности излучения по торцу. Метод поперечного смещения основывается на измерении мощности излучения, выходящего из двух последовательно соединенных одномодовых волокон при их взаимном радиальном смещении в месте соединения.

Измерения геометрических и механических характеристик кабеля являются сугубо промышленными тестами и описываются в специальной литературе.

Измерения чувствительности фотоприемных устройств и уровней оптической мощности передатчиков оптического сигнала выполняются высокоточными оптическими измерителями мощности и стабилизированными источниками сигнала. Особенности этих измерений были описаны выше. Калибровка эксплуатационного измерительного оборудования

Задачи калибровки эксплуатационного измерительного оборудования являются важными, поскольку оно широко распространено на сетях связи. Возникает задача анализа стабильности работы источников оптического сигнала, ошибок измерений ОРМ и т.д. В отечественной практике вопросы калибровки в настоящий момент становятся все более актуальными, поскольку до сих пор шел процесс формирования и насыщения рынка эксплуатационного измерительного оборудования. Системное оборудование, применяемое при калибровке, до последнего времени находилось вне финансирования и рассмотрения. Тем не менее в будущем вопросы калибровки будут иметь большое значение. Ниже описаны основные схемы калибровки различного эксплуатационного измерительного оборудования. Калибровка оптических измерителей мощности

Для калибровки ОРМ используются высокостабильные источники оптического сигнала, оптические измерители мощности высокого класса точности и перестраиваемые аттенюаторы.

При этом существует две основных методики проведения измерений:

-прямой метод калибровки

-метод сравнения

Метод прямого измерения сводится к передаче высокостабильного по мощности сигнала через оптический аттенюатор на калибруемый ОРМ. При этом в автоматическом режиме измеряется зависимость показаний ОРМ от уровня эталонного сигнала. В систему калибровки в этом случае установлены модули высокостабильного источника оптического сигнала, оптического измерителя мощности и аттенюатора. Сигнал с модуля источника сигнала подается на аттенюатор, а затем на калибруемый ОРМ. Затем производится сравнение заданных уровней оптического сигнала и значений, измеряемых калибруемым ОРМ.

Метод сравнения является модификацией описанного метода прямой калибровки и состоит в сравнении показаний калибруемого ОРМ с высокоточным ОРМ в составе калибровочной системы. Основное преимущество этого метода в том, что результат калибровки не зависит от затухания, вносимого соединительными кабелями. Калибровка стабилизированных источников оптического сигнала

Для калибровки SLS необходимы измерения стабильности источника по мощности и измерения его АЧХ. Для измерения стабильности работы источника от времени и условий работы (например, от температуры), используют высокоточные ОРМ с возможностью временной записи результатов измерений. Для измерения АЧХ источников используются оптические анализаторы спектра.

Для анализа источников оптического сигнала крайне важна характеристика его устойчивости к отраженной мощности. Для анализа устойчивости характеристик стабильности работы источника по мощности и спектральной стабильности в зависимости от отражения сигнала из линии, используются перестраиваемые рефлекторы - устройства, обеспечивающие передачу части оптической мощности в линию и отражающие остальную часть. При этом SLS генерирует сигнал, который подается на оптический перестраиваемый рефлектор, передающий заданную часть мощности сигнала на высокоточный оптический измеритель мощности (или оптический анализатор спектра), а остальную часть отражающий обратно в линию. Описанная схема измерений дает возможность анализа устойчивости работы SLS в условиях отражения сигнала. Калибровка оптических рефлектометров

Для калибровки оптических рефлектометров используются перестраиваемые рефлекторы и эталонные кабели. Схема измерений с оптическим рефлектором в целом аналогична схеме калибровки SLS с использованием оптического рефлектора и обеспечивает анализ устойчивости работы рефлектометра при большом уровне отражения в линии. Эталонным кабелем (golden fiber) называется откалиброванный кабель с описанными в паспорте неоднородностями. Сравнение измеренной рефлектометром рефлектограммы с паспортной характеристикой эталонного кабеля позволяет провести калибровку рефлектометра. Современные эталонные кабели выпускаются в виде портативных настольных приборов, что обеспечивает необходимую защиту кабеля от внешних воздействий и удобство при проведении лабораторных измерений. Кроме того, для анализа характеристик импульсного генератора могут применяться оптические анализаторы спектра и анализаторы формы сигнала. Список сокращений

BERBit Error Rate - параметр ошибки по битам, равный отношению количества ошибочных битов к общему количеству переданных битов  
EDZEvent Dead Zone - Мертвая зона (в теории рефлектометрии)  
ITU-TInternational Telecommunication Union - Telephony group -  
Международный союз электросвязи - подразделение телефонии  
LEDLight Emitting Diode -

Светодиод  
OLTS Optical Loss Test Set - Анализатор потерь оптической мощности  
OPM Optical Power Meter - Оптический измеритель мощности  
ORL Optical Return Loss - Возвратные потери в оптическом кабеле  
OTDR Optical Time Domain Reflectometer - Оптический рефлектометр  
PDL Polarization Dependent Loss - потери, связанные с поляризацией  
SLS Stabilized Light Source - Стабилизированный источник оптического сигнала  
АЧМХ Амплитудно-частотная модуляционная характеристика  
АЧХ Амплитудно-частотная характеристика  
ВОЛС Волоконно-оптические линии связи  
ВОСП Волоконно-оптические системы передачи  
ТУ Технические условия  
Список литературы

-Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи. -М.: Из-во "Эко-Трендз", 1999 г., стр. 88.

-Семенов А.Б. Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи. -М.: Из-во "Компьютер пресс", 1998г.

-Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы. -С.Пб.: Из-во "Питер", 2001г.

-Потапов Т.В. Измерение потерь мощности излучения в ВОЛС. Бюллетень "Фотон - экспресс" Август, 2000 г., стр. 13.

Источник: [kunegin.narod.ru](http://kunegin.narod.ru)