

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ РЕФЛЕКТОМЕТРОВ

**Мухамаджан Парпиевич Парпиев**

Доцент Ташкентского государственного аграрного университета.

**Шахноза Абдурахимовна Туляганова**

Ассистент Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми  
[tulyaganova@tuit.uz](mailto:tulyaganova@tuit.uz)

### АННОТАЦИЯ

В данной статье приводится обзор оптических импульсных рефлектометров применяемых для тестирования электрических кабелей.

**Ключевые слова:** OTDR (Оптический рефлектометр во временной области), рефлектометры, волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), PON (пассивных оптических сетей), рэлеевские центры

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее внимание уделяется вопросам увеличения пропускной способности и надежности сетей передачи данных, а значит и вопросам измерения качества систем передачи. Основная доля магистральных сетей построена по технологии волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Все большее развитие получает и технология пассивных оптических сетей PON (Passive Optical Networks). Оптика находит применение в построении локальных вычислительных сетей и высокоскоростных сетей уровня Metro. Все перечисленные технологии предъявляют как общие, так и специфические требования тестирования. Основным методом измерения физических параметров подобных сетей является рефлектометрия.

Рефлектометрические измерения являются важнейшей составной частью работ, проводимых при монтаже и эксплуатации волоконно-оптических линий связи, так как с их помощью определяется качество этих линий. Цель этой статьи состоит в том, чтобы рассмотреть основы теории и практики измерений основных параметров волоконнооптических линий связи, которые в настоящее время выполняются с помощью оптических импульсных рефлектометров (OTDR). Эти вопросы обычно

рассматриваются в описаниях к оптическим рефлектометрам, где основное внимание уделяется изложению методов измерений.

## ЛИТЕРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЯ

### Принцип действия OTDR.

Принцип действия OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) во многом такой же, как и у импульсных рефлектометров, применяемых для тестирования электрических кабелей.

Оба типа рефлектометров посылают в линию мощный зондирующий импульс (оптический или электрический) и измеряют мощность и время запаздывания импульсов, вернувшихся обратно в рефлектометр. Отличие заключается в том, что в электрической линии наблюдаются только отраженные импульсы. Они образуются в местах, где в линии имеются скачки волнового сопротивления. В оптических же волокнах обратная волна образуется не только за счет отражения от больших (по сравнению с длиной волны) дефектов, но и за счет рэлеевского рассеяния.

Рассеяние света происходит на флуктуациях показателя преломления кварцевого стекла, застывших при вытяжке волокна. Размер этих неоднородностей (рэлеевских центров) мал по сравнению с длиной волны и свет на них рассеивается во все стороны, в том числе и назад в моду волокна (рис. 1). В OTDR приходят импульсы света рассеянные назад в моду волокна.

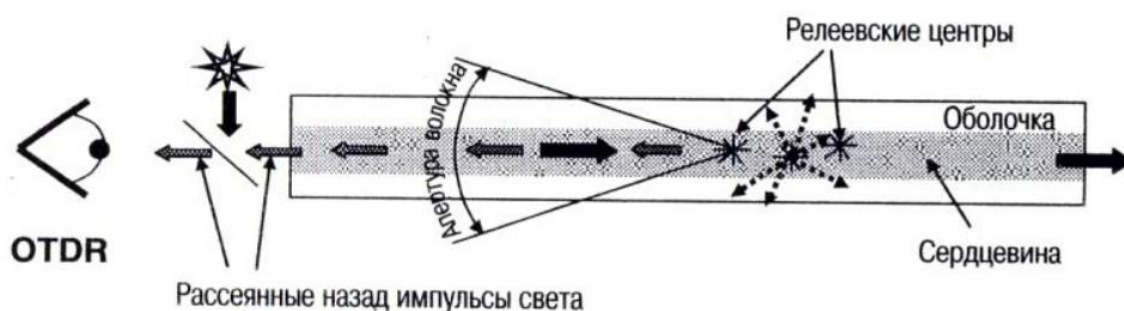


Рис. 1

Рэлеевские центры распределены однородно вдоль волокна, и в рассеянной на них волне содержится информация обо всех параметрах линии, влияющих на поглощение света. Именно за счет детектирования рассеянного излучения удается обнаруживать неотражающие (поглощающие) неоднородности в волокне.

Например, по сигналу обратного рэлеевского рассеяния света можно измерить распределение потерь в строительных длинах оптических кабелей и потери в сростках волокон. Такие измерения нельзя выполнить, регистрируя только отраженное (а не рассеянное) излучение. Доля мощности света, рассеиваемая назад в моду волокна крайне мала. Например, при ширине импульса 1м (длительность импульса 10 нс) коэффициент обратного рэлеевского рассеяния составляет величину около  $-70$  дБ. Поэтому, в OTDR в волокно посылаются импульсы большой мощности и большой длительности, а для детектирования рассеянных назад импульсов света применяются высокочувствительные фотоприемники. 20 В большинстве моделей OTDR используется модульная конструкция

Она содержит базовый модуль и несколько сменных оптических модулей. Базовый модуль представляет собой персональный компьютер, приспособленный для обработки сигнала и вывода его на дисплей.

Оптический модуль включает в себя лазерный диод, фотоприемник, оптический ответвитель и оптический разъем. Стоимость оптического модуля зависит от величины его динамического диапазона и может в несколько раз превышать стоимость базового модуля. Модульная конструкция OTDR позволяет потребителю не только выбрать необходимую ему на данный момент конфигурацию прибора, но и в дальнейшем модернизировать прибор, например, установив, многомодовый модуль или одномодовый модуль с большим динамическим диапазоном. Рис. 1.2. Блок схема OTDR.

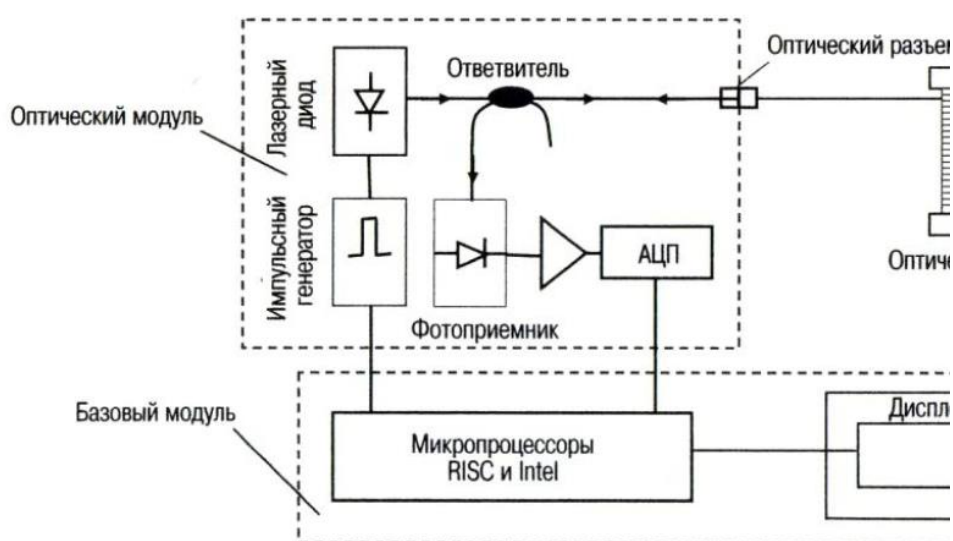


Рис. 1.2.

В качестве источника излучения в оптическом модуле обычно используется лазерные диоды типа Фабри-Перо, наибольшая же мощность излучения (и, соответственно, динамический диапазон рефлектометра) достигается с помощью лазерных диодов с квантовыми ямами. С их помощью генерируются импульсы мощностью 10...1000 мВт, длительностью от 2 нс...20 мкс и частотой повторения несколько килогерц.

Эти импульсы поступают через ответвитель на оптический разъем, к которому подключается исследуемое волокно. Рассеянные в волокне импульсы света возвращаются в оптический модуль и передаются с помощью ответвителя на фотоприемник (лавинный фотодиод), где они преобразуются в электрический сигнал. Этот сигнал усиливается, накапливается, обрабатывается в базовом модуле и отображается на дисплее в графической форме в виде рефлектограммы. Такое представление информации позволяет анализировать её как визуально, так и автоматически с помощью встроенных программных алгоритмов.

Мощность рассеянных назад импульсов на 80...50 дБ (в зависимости от их длительности) меньше мощности импульсов, вводимых в волокно. Поэтому для улучшения отношения сигнал/шум используется многократное усреднение результатов измерений. Причем для их эффективного усреднения достаточно нескольких секунд, так как время, затрачиваемое на прохождении линии мало (100 км свет проходит за 1 мсек). Типичная рефлектограмма содержит около 32 000 измеряемых точек и при вычислении каждой такой точки усредняется несколько тысяч импульсов.

Весь этот массив данных рефлектометр обрабатывает за долю секунды. Первая измеренная рефлектограмма сразу выводится на дисплей. Далее на дисплей выводятся усредненные рефлектограммы. При каждом удвоении времени измерений шумы в усредненной рефлектограмме уменьшаются примерно на 0.75 дБ. 21 Обработка большого массива данных и создание дружественного пользователю интерфейса осуществляется с помощью двух микропроцессоров.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Первый, быстродействующий процессор RISC, дает возможность усреднять до 50 миллионов точек в секунду. Второй процессор Intel обеспечивает работу интерфейсной части программы, автопоиск дефектов в линии, вывод данных на

дисплей. Он обеспечивает также совместимость с ПК, что позволяет применять не только обычное программное обеспечение, но и стандартное компьютерное оборудование, такое как клавиатура, мышь, принтер, факс/модем и жесткий диск (в стандарте PCMCIA). Такой рефлектометр может использоваться и как измерительный прибор, и как персональный компьютер, представляющей широкие возможности для обработки информации. Например, для того, чтобы восстановить в увеличенном виде любую из частей рефлектограммы, создать полный список неоднородностей в линии и погонного затухания на участках между неоднородностями, оформить отчет и т.д.

Назначение OTDR Каждый тип неоднородности (сварное соединение волокон, трещина, оптический разъем и т.д.) имеет свой характерный образ на дисплее OTDR, и может быть легко идентифицирован оператором. В автоматическом режиме OTDR сам определяет тип неоднородности, рассчитывает потери на участках линии, коэффициенты отражения от неоднородностей и т.д.

Так, например, отражающие неоднородности (разъемные соединения волокон, трещины, торец волокна) проявляются на рефлектограмме в виде узких пиков, а неотражающие неоднородности (сварные соединения и изогнутые участки волокон) - в виде изгибов в рефлектограмме. Участки рефлектограммы, расположенные между неоднородностями, имеют вид прямых линий с отрицательным наклоном. Угол наклона  $\alpha$  этих прямых пропорционален величине потерь в волокне. Основные параметры линии передачи, измеряемые с помощью оптического рефлектометра, приведены в таблице №1

Таблица 1

Наименование объекта	Измеряемый параметр
Каждая неоднородность в линии передачи	местоположение потери коэффициент потери
Каждый оптический кабель	строительная длина, полные потери в дБ, погонные потери в дБ/км, полные обратные потери (ORL)
Полностью смонтированная линия передачи	длина линии полные потери в дБ полные обратные потери (ORL)

Таблица № 1. Параметры линии передачи, измеряемые с помощью OTDR. Наименование объекта измерений

Измеряемый параметр Каждая неоднородность в линии передачи местоположение потери коэффициент отражения Каждый оптический кабель строительная длина, полные потери в дБ, погонные потери в дБ/км, полные обратные потери (ORL) Полностью смонтированная линия передачи длина линии полные потери в дБ полные обратные потери (ORL).

Важным достоинством рефлектометрических измерений является то, что в них измерительный прибор подключается только к одному концу линии. Так как типичная длина регенерационного участка в магистральной линии передачи составляет около 100 км (с оптическими усилителями ~ 1000 км), то ясно, что подключать измерительную аппаратуру только к одному концу такой линии значительно проще. Рефлектометр подключается только к одному из концов линии после того, как линия смонтирована, измеряются потери во всех соединениях волокон и расстояния до них.

При этом фиксируется рефлектограмма всего регенерационного участка линии со всеми её особенностями, указывающими местоположение сварных соединений волокон и величину потерь в них. Эта рефлектограмма используется для географической привязки к местности и в дальнейшем служит для контроля деградации линии в процессе её старения. В качестве примера приведены рефлектограммы (новая и старая) одного и того же регенерационного участка линии длиной около 30 км, измеренные при сдаче и после одного года эксплуатации линии. Видно, что по прошествии года потери в сварном соединении волокон, расположенном на расстоянии около 17 км от начала линии, увеличились на несколько дБ. Это значит, что линия уже практически вышла из строя, и для того, чтобы восстановить линию, это сварное соединение волокон необходимо переделать. Контроль изменения полных потерь в линии передачи в процессе её старения.

Разрушение волокон в оптических кабелях происходит в основном из-за натяжения волокон и проникновения в кабель воды. Избыточные натяжения волокон могут возникнуть как из-за нарушений технологии изготовления кабеля на заводе, так и при деформации кабелей, подвешенных на линиях электропередачи или уложенных в грунт подверженный мерзлотным деформациям, землетрясениям и т.д.

Однако с помощью OTDR нельзя измерить натяжение волокон в оптических кабелях. Для этого необходим значительно более дорогой и сложный бриллюэновский рефлектометр (BOTDR). Многие оптические кабели в линиях передачи содержат

запасные (темные) волокна. Потери в темных волокнах можно контролировать с помощью рефлектометра обычным способом, подключившись к одному концу темного волокна, в то время как передача трафика осуществляется по соседним (активным) волокнам. При этом измерения можно проводить на тех же длинах волн, на которых обычно ведется передача трафика. Эффективность такого способа обусловлена тем, что, как показывает практика, примерно в 80% случаев повреждение кабеля нарушает работу одновременно всех волокон. Для повышения надежности линии передачи необходимо проводить тестирование активных волокон.

Тестирование активных волокон обычно проводится на более длинных волнах, так как в изогнутом волокне потери быстро возрастают при увеличении длины волны. Так, если передача ведется на длине волны 1310 нм, то для тестирования используется длина волны 1550 нм, а если передача ведется на длине волны 1550 нм, то тестирование линии осуществляется на длинах волн 1610...1650 нм (рис. 1.3).

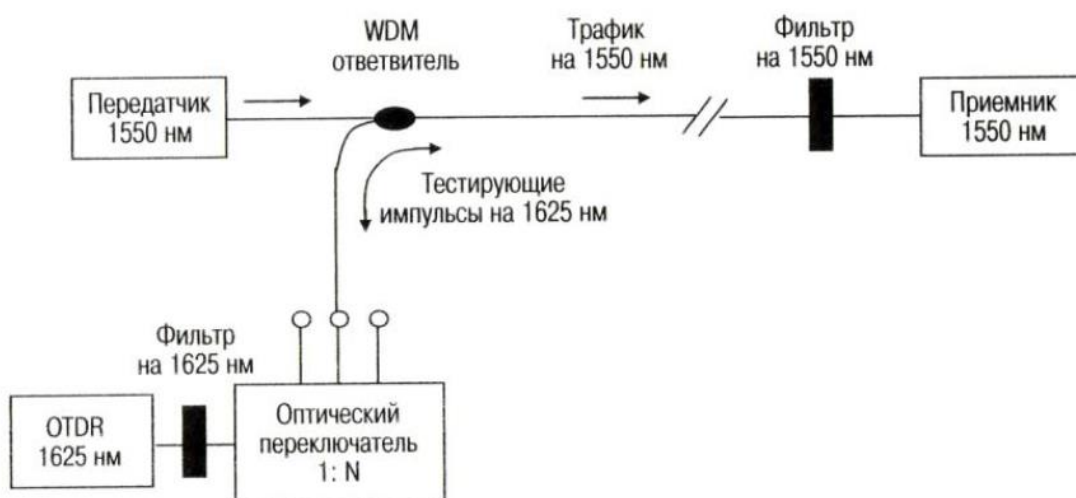


рис. 1.3

С помощью WDM ответвителя рефлектометр может быть подключен к линии передачи практически без потерь на рабочей длине волны линии. Такой ответвитель пропускает излучение с длиной волны, на которой ведется передача трафика и ответвляет излучение с длиной волны, на которой проводится тестирование линии.

Перед приемником в линии передачи устанавливается оптический фильтр, не пропускающий излучение на той

длине волны, на которой работает рефлектометр, а перед рефлектометром фильтр, не пропускающий излучение, на той длине волны, на которой ведется передача трафика. Это делается для того, чтобы избежать перекрестных помех, возникающих при попадании в фотоприемник излучения с другой длиной волны.

### Непосредственные измерения.

Подключают оптический рефлектометр к проверяемому волокну с помощью переходного патчкорда (обычно трёхметрового) или компенсационной катушки (длиной от 300 до 500 метров). Что использовать: короткий патчкорд или длинную катушку? Это зависит от Ваших целей: если просто хотите найти повреждение в оптоволокне, то можно использовать короткий патчкорд, а если планируете получить сертификат на оптические волокна, то придётся измерять с двумя катушками (по одной на каждом конце волокна), к тому же измерение каждого волокна необходимо будет провести в двух направлениях.

Важно чтобы тип волокна патчкорда или катушки совпадал с проверяемым волокном. Например, если тестируете одномодовое волокно на длинах волн 1310 нм и 1550 нм, то надо использовать одномодовые патчкорды или катушки со стандартным G.652 волокном. Если тестируете на длинах волн 850 нм и 1300 нм многомодовое волокно с сердцевиной 50 мкм, то соединительные патчкорды или катушки также должны быть из многомодового волокна того же типа с сердцевиной 50 мкм.

Когда всё правильно подключено, можно начинать измерять. Перед запуском первого измерения, необходимо выбрать нужные длины волн и грамотно задать начальные настройки рефлектометра: измеряемое расстояние, длительность зондирующих импульсов и общее время измерения на одной длине волны

**Длины волн.** Это самая простая настройка. В 99% случаев одномод измеряют на длинах волн 1310 и 1550 нм, а многомод на длинах волн 850 и 1300 нм. Исключение составляют рефлектометры для PON с тремя длинами волн 1310/1490/1550 нм, а также улучшенный поиск макроизгибов на длинах волн 1310/1625 нм и измерения на активных волокнах (обычно используют 1625 нм, реже 1650 нм), но на практике такие рефлектометры встречаются не часто. Так что, если Вы измеряете одномодовые волокна, то устанавливайте 1310 и 1550 нм, а если многомодовые, то 850



и 1300 нм. Правда, если нужно просто определить длину волокна или место обрыва, то для ускорения можно выбрать только одну длину волны.

**Измеряемое расстояние.** Главное правило, которому надо следовать при установке расстояния: на рефлектограмме всегда должен быть виден конец оптической линии. Если у Вас линия 500 метров, устанавливайте расстояние 1,25 км. Если у Вас линия 4 км, устанавливайте расстояние 5 км. Это важно для автоматической обработки рефлектограммы самим прибором. Если рефлектометр не видит конца оптического волокна, ему будет трудно рассчитать положение переотражений света в оптоволокне и на рефлектограмме могут появиться ложные события (например фантомные пики). Поэтому всегда проводите измерение полной длины волокна, плюс небольшой запас по расстоянию. Если точная длина волокна неизвестна, проведите быстрое измерение на одной длине волны и на большом расстоянии, так Вы узнаете длину волокна.

**Длительность зондирующих импульсов.** Длительность импульса прямо влияет на динамический диапазон и мёртвую зону рефлектометра. Чем меньше импульс, тем лучше мёртвая зона, а значит и способность рефлектометра различать близко расположенные события. Но при малых импульсах (5 - 10 нс) у оптического рефлектометра минимальный динамический диапазон, а значит можно будет уверенно измерять только короткие линии. Поэтому длительность импульса, которую Вы будете использовать для измерения, напрямую зависит от качества рефлектометра, протяжённости оптического волокна и суммарного затухания в этом волокне. Для коротких линии (до 2-3 км) устанавливайте импульс 10 или 30 нс. Для линий средней длины (до 20-30 км) устанавливайте импульс от 100 до 500 нс. Для протяжённых магистралей (более 50 км) используйте мощные импульсы длительностью 1 мкс и более. Экспериментируйте с этой настройкой. Необходимо, чтобы рефлектограмма, которую Вы получите не содержала шума и на ней хорошо были видны все события.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отдельный вопрос - это выбор длительности импульса для пассивных оптических сетей. Для измерения только первого сплиттера со стороны абонента подойдут импульсы 50 нс или 100 нс. А для сквозного измерения всего волокна (от абонента до OLT),

содержащего два или три сплиттера, необходимо использовать мощные импульсы 500 нс или 1 000 нс.

полные потери в волокне бухты 8,2 дБ, затухание 0,324 дБ/км.

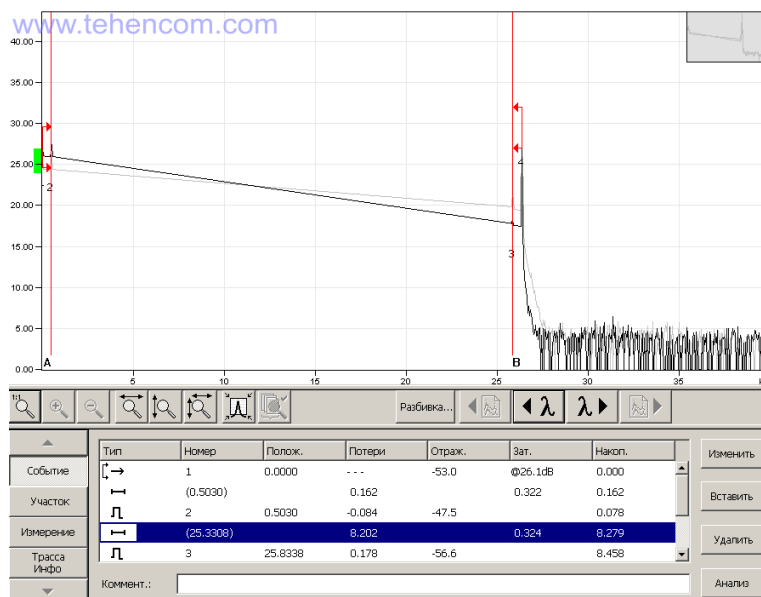


Рис.-1.4.

Рефлектограмма и таблица событий для бухты одномодового оптоволокна длиной 25 км.

А вот так выглядит рефлектограмма [имитатора PON сети](#), содержащего три сплиттера: 2 шт. с коэффициентом деления 1x8 и 1 шт. с коэффициентом деления 1x2. Рефлектограмма измерена при неактивном волокне на двух длинах волн (1310 нм и 1550 нм). Измерения проводились со стороны подключения абонента с помощью рефлектометра EXFO MaxTester 730C. Длительность тестового импульса равнялась 1 000 нс, а для уменьшения шума, было установлено большое время усреднения, равное 180 секунд.

На этой рефлектограмме первый делитель 1x8 находится на расстоянии 500 метров и отмечен как событие №2. Второй делитель 1x8 находится на расстоянии чуть более 1,5 км (событие №4). Третий делитель 1x2 (событие №5) находится на расстоянии около 2,1 км.



Рис.-1.5.

Рефлектограмма PON сети, содержащей три сплиттера с общим коэффициентом деления 128.

## REFERENCES

1. Аджемов С.С., Урядников Ю.Ф. Технологии широкополосного доступа: динамика и перспективы развития // Электросвязь. -2011.- №1. -с. 19-23.
2. Хорев А.А. Средства перехвата информации с проводных линий связи // Защита информации. INSIDE -2011 // -№1. с. 22-32.
3. Системы оптического доступа следующего поколения. По материалам журнала New Breeze // Век качества. -2017. -№8. -с. 45-47.
4. Никульский И.Е. Модель оптической сети доступа GPON // Вестник связи. - 2011. -№ 2. -с. 49-50.
5. Абрамова У.С., Павлова., М.С.Кортунин Последние достижения подводной оптической связи // Вестник связи.-2021. -№12. -с. 13-20.
6. <http://ntc.metrotek.ru/b45otdr.html> — страница измерительного прибора, для которого разрабатывался модуль рефлектометра
7. WWW. tehencom.com.