

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ РЕФЛЕКТОМЕТРОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Лола Маннаповна Мухамедаминова

Старший преподаватель Ташкентского университета информационных технологий
имени Мухаммада аль-Хорезми

Шахноза Абдурахимовна Туляганова

Ассистент Ташкентского университета информационных технологий имени
Мухаммада аль-Хорезми

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7488622>

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

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

APPLICATION OF OPTICAL REFLECTOMETERS IN TELECOMMUNICATIONS

Abstract. This article provides an overview of optical pulse reflectometers used for testing electrical cables in telecommunications.

Keywords: OTDR (Optical time domain reflectometer), reflectometers, fiber optic communication lines (FOCL), PON (passive optical networks), Rayleigh centers.

ВВЕДЕНИЕ

В статье подробно рассмотрены современные типы оптических рефлектометров и их основные характеристики, такие как динамический и рабочий диапазон, пространственное разрешение. Описаны основные понятия – рэлеевское рассеяние, мертвая зона по затуханию и событию, приведены методики измерения длины оптической линии, потерь и коэффициента отражения, а также типичные ошибки оператора. Практическую ценность представляет раздел с описанием критериев выбора необходимого динамического диапазона рефлектометра в зависимости от требуемого разрешения, величины потерь на событие и общего затухания линии. 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.

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. В OTDR приходят импульсы света рассеянные назад в моду волокна.

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 сращениях 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. Блок схема OTDR.

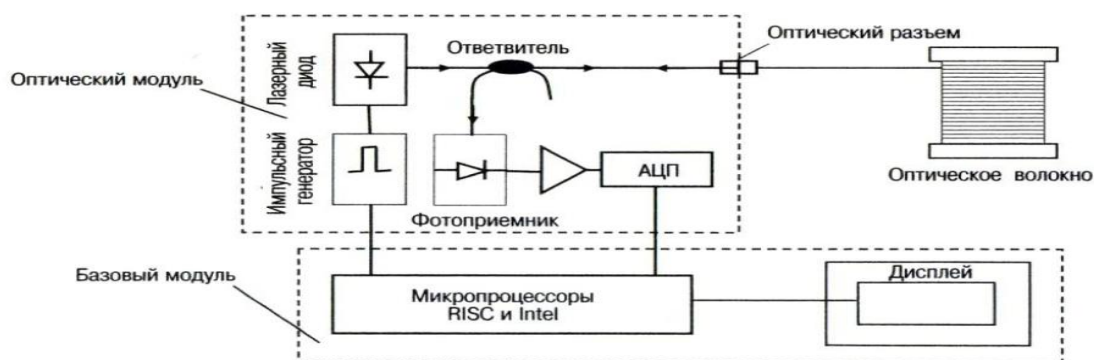


Рис. 1.

В качестве источника излучения в оптическом модуле обычно используются 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 кГц. 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 прохождение линии мало (100 км свет проходит за 1 мкс). 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. Обработка большого массива данных и создание дружественного пользователю интерфейса осуществляется с помощью двух микропроцессоров.

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 22

этих прямых прямо 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.

Оптические рефлектометры применяются в телекоммуникациях. Измерения параметров линии с помощью OTDR обычно выполняются в автоматическом режиме, что позволяет выполнить измерения наиболее быстрым и удобным способом, не требует от оператора специальных навыков и обеспечивает получение всех необходимых данных. Однако для интерпретации событий, наблюдаемых на рефлектограмме, и многочисленных данных, выводимых на дисплей, необходимо иметь представление об основных методиках измерений и алгоритмах обработки рефлектограмм. Так, например, потери в волокнах находятся не прямым методом (по изменению прошедшей мощности), а косвенным способом по изменению рассеянной в волокне мощности света. Из-за нерегулярности коэффициента релеевского рассеяния света в волокне такой косвенный способ измерения потерь приводит к появлению систематической погрешности. Для того, чтобы устранить эту погрешность, приходится измерять рефлектограммы с обеих сторон волокна. В этой главе рассмотрены основные методики измерений, проводимых с помощью OTDR. Они весьма разнообразны и специфичны и включают в себя измерение расстояний, потерь и коэффициентов отражений.

Методика измерения длины волокна. Одной из важнейших задач, решаемых с помощью OTDR, является измерение расстояний до неоднородностей. Это расстояние определяется по времени запаздывания импульсов, отразившихся от неоднородности и

вернувшихся обратно в рефлектометр. Пересчет времени в расстояние осуществляется автоматически с помощью формулы

$$L=cT/2n_{\Gamma}$$

где c/n_{Γ} – групповая скорость распространения света в волокне, c – скорость света в вакууме, n_{Γ} – групповой показатель преломления волокна. Множитель $1/2$ учитывает то, что импульс света проходит участок длиной L дважды – в прямом и обратном направлении. При оценках обычно используют приближенные значения $c = 3105$ км/с и $n_{\Gamma} = 1.5$. Тогда коэффициент пересчета времени в расстояние получается равным 0.1 км/мкс = 0.1 м/нс. В результате такого пересчета рефлектограмма представляется на дисплее OTDR как функция длины волокна. При этом точность измерения расстояния с помощью рефлектометра ограничивается теми же факторами, что и при классических способах измерения расстояния (например, с помощью линейки). А именно, точностью определения положения начала и конца отсчета и точностью калибровки шкалы прибора. Для OTDR характерно то, что точность измерения расстояния практически не зависит от длительности (τ) зондирующих импульсов, которая может меняться в широких пределах (от 2 нс до 20 мкс). Обусловлено это тем, что положение неоднородности на рефлектограмме определяется по переднему фронту импульса.

На рис. 1.2 представлены рефлектограммы отрезка волокна длиной около 5 км с погонными потерями порядка 0.2 дБ/км на $\lambda = 1550$ нм. Рефлектограммы измерены при двух значениях длительности импульса 100 нс (сплошная линия) и 1 мкс (пунктирная линия). Рефлектограммы представляют собой прямые линии (с углом наклона ~ 0.2 дБ/км) и с всплесками сигнала в начале и в конце линии. Эти всплески сигнала вызваны отражением импульсов света от оптического разъема рефлектометра и от торца волокна и представляют собой по существу осциллограммы отраженных импульсов. Причем передний фронт отраженных импульсов отображается ближе к началу рефлектограммы, так как он приходит на фотоприемник раньше, чем его задний фронт.



Рис. 2. Измерение длины волокна по сигналу отражения от конца волокна

Длина волокна находится по расстоянию между передними фронтами импульсов, отраженных от оптического разъема рефлектометра и от заднего торца волокна. Это расстояние, как видно из рис. 3, не зависит от ширины импульса. Точность, с которой

определяется положение начала и конца волокна тем выше, чем больше крутизна переднего фронта импульса. Длительность импульсов определяет величину сигнала обратного релеевского рассеяния света в волокне и ширину мертвой зоны в начале рефлектограммы. При большой длительности импульса (1 мкс) сигнал обратного релеевского рассеяния заметно превосходит уровень шумов в конце рефлектограммы, но при этом мертвая зона делает недоступным для измерения большой участок в начале волокна (~ 0.5 км). При уменьшении длительности импульса до 100 нс ширина мертвой зоны уменьшается примерно в 10 раз. При этом уровень сигнала обратного релеевского рассеяния уменьшается на 5 дБ, и вклад шумов может уже стать заметным.

Инструментальные ошибки в измерении длины волокна по рефлектограмме складываются из ошибки в определении начала волокна (смещение нуля), ошибки в калибровке горизонтальной шкалы рефлектометра и ошибки в определении положения конца волокна. Ошибка в определении положения конца волокна обусловлена конечной шириной интервала между измеряемыми точками (ценой деления) и неточностью фиксации положения переднего фронта импульса, отраженного от конца волокна. Смещение нуля возникает из-за ошибки в фиксации момента испускания импульса и примерно одинаково (± 1 м) для всех моделей mini-OTDR.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Точность калибровки горизонтальной шкалы рефлектометра определяется точностью, с которой измеряется ход времени в рефлектометре ($\approx 3 \times 10^{-5}$) и точностью, с которой специфицируется величина группового показателя преломления волокна. В большинстве случаев точность, с которой специфицируется величина группового показателя преломления волокна, составляет около 3×10^{-5} . Оба эти фактора дают одинаковый вклад в результирующую ошибку, равную примерно $5 \times 10^{-5} L$, где L – длина волокна. Инструментальная ошибка в определении положения конца волокна равна половине ширины интервала между измеряемыми точками L_0/N , где L_0 – диапазон измеряемых длин, N – число измеряемых точек (рис.). Устанавливаемый в рефлектометре диапазон измеряемых длин L_0 обычно немного превышает длину волокна. Полагая $L_0 = L$ для типичного значения $N = 32\ 000$ получаем, что эта инструментальная ошибка равна примерно $3 \times 10^{-5} L$.

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.

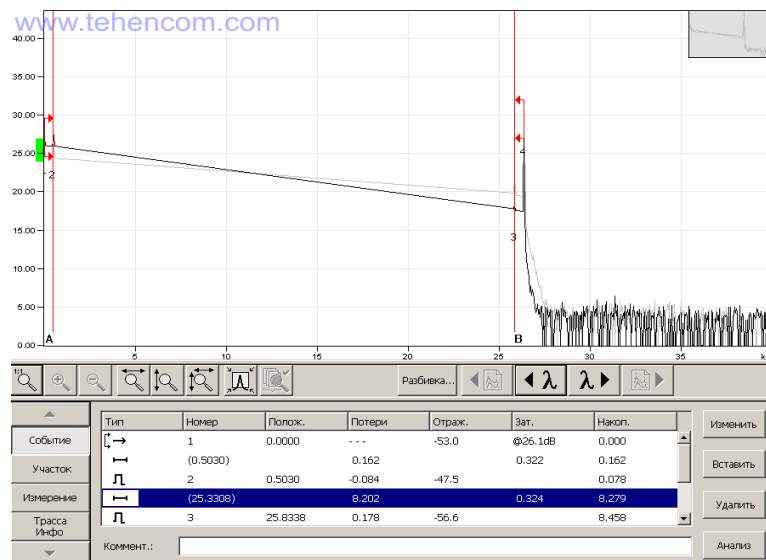


Рис. 3. Рефлектограмма и таблица событий для бухты одномодового оптоволокна длиной 25 км.

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.

REFERENCES

1. Парпиев М.П., Туляганова Ш.А. Технические возможности оптических импульсных рефлектометров // Academic Research in Educational Sciences. Volume 3. Issue 4. – 2022. с. 3-5.
2. Аджемов С.С., Урядников Ю.Ф. Технологии широкополосного доступа: динамика и перспективы развития // Электросвязь. -2011.- №1. -с. 19-23.
3. Хорев А.А. Средства перехвата информации с проводных линий связи // Защита информации. INSIDE -2011 // -№1. с. 22-32.
4. Системы оптического доступа следующего поколения. По материалам журнала New Breeze // Век качества. -2017. -№8. -с. 45-47.
5. Никульский И.Е. Модель оптической сети доступа GPON // Вестник связи. -2011. -№ 2. -с. 49-50.
6. Абрамова У.С., Павлова., М.С.Кортунин Последние достижения подводной оптической связи // Вестник связи.-2021. -№12. -с. 13-20.
7. <http://ntc.metrotek.ru/b45otdr.html> — страница измерительного прибора, для которого разрабатывался модуль рефлектометра
8. WWW. tehencom.com.