УДК 681.785

ПРОБЛЕМЫ ТОЧНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ РЕФЛЕКТОГРАММ

Баяндин Д.В., Бочкова С.Д.

ГОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет Минобрнауки России», Пермь, Россия (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29), e-mail: sooyfar@gmail.com

На сегодняшний день остается не в полной мере решенной и потому актуальной задача получения правильной и точной информации о том, что происходит в линиях оптоволоконного тракта. Такого рода информацию предоставляют измерительные приборы, называемые рефлектометрами. На рынке представлено огромное количество моделей данных приборов. Их популярность связана с широким распространением в телекоммуникациях, а так же непосредственно на производстве оптических приборов и компонентов. Данные, предоставленные такими приборами, формируют на дисплее графическое изображение, которое называется рефлектограммой. Большинство рефлектограмм начинаются с входящего импульса, после чего представляет собой постепенно убывающую кривую, которая может прерываться отклонениями от исходной траектории. Убывание такой кривой обусловлено Рэлеевским рассеянием. И наконец, выходной импульс в конце рефлектограммы является результатом отражения, который возникает на выходной торцевой поверхности оптического волокна. Проанализировав рефлектограмму, можно измерить потери мощности в любом месте волоконно-оптической линии, а также определить расстояние до места, где произошел разрыв линии. Кроме того, визуализированный такими приборами анализ качества волоконного кабеля очень удобен для использования.

Ключевые слова: рефлектометр, релеевское рассеяние, ошибки рефлектограммы OTDR, ложный сигнал.

PROBLEMS OF ACCURACY AND RELIABILITY OF REFLECTOGRAM INFORMATION

Bayandin D.V., Bochkova S.D.

Perm national investigative polytechnical university, Perm, Russia (614990, Perm, Komsomolsky ave., 29), e-mail: sooyfar@gmail.com

Today the task of obtaining correct and accurate information about what is happening in the fiber-optic links is not fully solved and therefore urgent. This kind of information is provided by measuring instruments, called OTDRs. A huge number of models of these devices are on the market. Their popularity is associated with widespread in telecommunications as well as directly on the production of optical instruments and components. Data provided by such devices form on the displays a graphic image, which is called a reflectogram. Most of the reflectogram start with an incoming pulse, after which it is a gradually decreasing curve that can be interrupted by deviations from the original path. The decrease of such a curve is due to Rayleigh scattering. Finally, the output pulse at the end of the reflectogram is the result of reflection that occurs on the output end surface of the optical fiber. After analyzing the reflectogram, it is possible to measure the power loss at any place of the fiber-optic line, as well as to determine the distance to the place where the line was broken. Besides, the fiber cable quality analysis visualized by such devices is very convenient for use.

The key words: reflectometer, Rayleigh scattering, OTDR trace errors, false signal.

Оптические рефлектометры − приборы, позволяющие находить распределение потерь и коэффициентов отражения вдоль волоконно-оптических линий передачи. Такого рода информация дает возможность осуществлять контроль качества линий связи. Она особенно важна для магистральных линий, в которых необходимо измерять потери в строительных длинах оптических кабелей, в сростках волокон и в оптических разъемах.

Одним из самых распространенных и широко используемых видов рефлектометров являются оптические импульсные рефлектометры OTDR (Optical Time Domain Refctometry). Такие рефлектометры работают во временной области; это означает, что прибор отображает развертку изменения амплитуды сигнала со временем. Принцип работы OTDR основан на отправке в оптическую линию связи мощного короткого импульса, после прохождения которого на фотоприемник поступают обратные рассеянные сигналы (релеевские отражения). Время задержки, мощность и форма отраженного сигнала позволяют определять местоположение неоднородностей линии (коннекторы, места сварок, изгибы) и внутренних дефектов самого оптического волокна, из-за которых возникают потери мощности. Все эти данные содержатся в составленной прибором рефлектограмме, характерный вид которой приведен на рисунке 1.

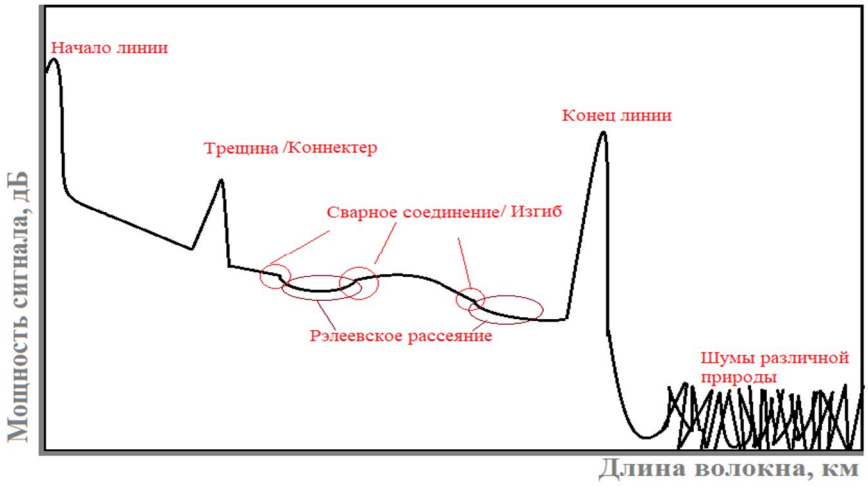

Рис. 1. Виды дефектов на рефлектограмме

Так, однако, дело обстоит только в теории, на практике же всегда выявляются различные недостатки такого метода измерения и затруднения в интерпретации результатов работы самого прибора. Эти проблемы будут рассмотрены нами ниже.

1. Проблемы с дисперсией

В ходе промышленной реализации импульсных рефлектометров В.М. Горохов и Д.В. Сергеев, авторы статьи «Цифровой вейвлет-рефлектометр» [1] выяснили, что в достаточно длинных (порядка нескольких километров) оптических линиях рефлектограмма «размывается». Это связано с тем, что параметры оптоволоконных кабелей зависят от амплитуды, частоты и фазы сигнала, из-за чего возникает дисперсия (зависимость скорости распространения сигнала от частоты). Первоначальный импульс, который посылает прибор, проходя через волоконный кабель, сильно искажается. Особенно трудно идентифицировать эхо-сигнал для импульса простейшей формы − короткого прямоугольного сигнала с

широким спектром. При этом чем шире спектр, тем сильнее сказывается «дисперсионное размытие» на рефлектограмме. Поэтому порой требуется проявлять особое мастерство для получения рефлектограммы приемлемого вида. Возможные варианты повышения надежности анализа графических зависимостей связаны с поиском оптимальной формы исходного зондирующего сигнала, упрощающей распознавание характерных участков отраженного сигнала, в том числе путем его цифровой обработки.

2. Проблемы с диапазонами

Ошибки измерения могут возникать также вследствие неверно заданных диапазонов длин волокна, которые устанавливает оператор в начале работы. Об этом пишут В.Н. Листвин и А.В. Листвин в пособии «Оптическая рефлектометрия» [3]. А именно, если установить на рефлектометре значение длин меньше, чем длина измеряемого волокна, то на рефлектограмме мы будем наблюдать так называемые «ложные сигналы». Их появление связано с тем, что прибор посылает первоначальный импульс раньше, чем успевает возвратиться предыдущий. В результате на приемник одновременно поступят два импульса, отраженных от разных участков волокна. При этом ложный импульс будет отображен ближе к началу рефлектограммы. Это показано на рисунке 2.

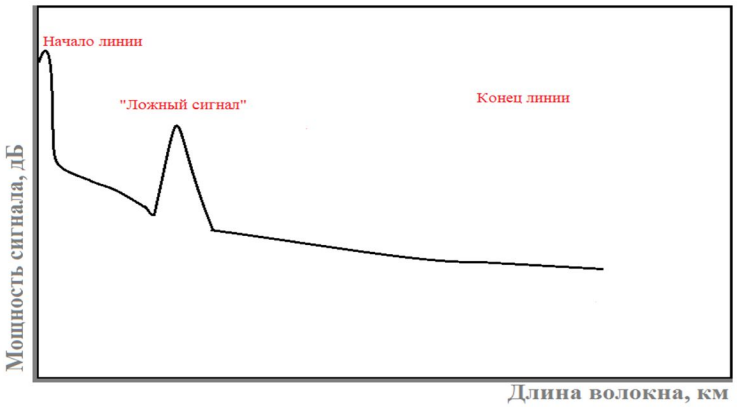

Рис. 2. «Ложный сигнал» на рефлектограмме

3. Проблемы с нелинейностью

Основная часть рефлектограммы представляет собой линию с отрицательным наклоном, который зависит от скорости затухания сигнала в оптическом волокне. Рефлектограмма имеет определенную точность измерений, отклонение от которой считается «нелинейностью». О видах нелинейности пишут П.С. Ржевский и С.В. Веряскин в статье «Рефлектометры: решение проблем с нелинейностью» [5]. Изгибы волокна вносят ошибки в измерения потерь и затуханий.

Существуют два вида нелинейных рефлектограмм:

⇑ «Плавающая» рефлектограмма − находится выше, чем должна быть.

⇓ «Ныряющая» рефлектограмма − находится ниже, чем должна быть.

Авторы рассматривают непосредственно «плавающую» рефлектограмму. На нелинейной рефлектограмме все потери имеют неправильные значения (на несколько дБ ниже, чем на самом деле). На рефлектограмме, изображенной на рисунке 3, очень малое зашумление, что является скорее минусом, чем плюсом, так как может ввести в заблуждение относительно точности измерений.

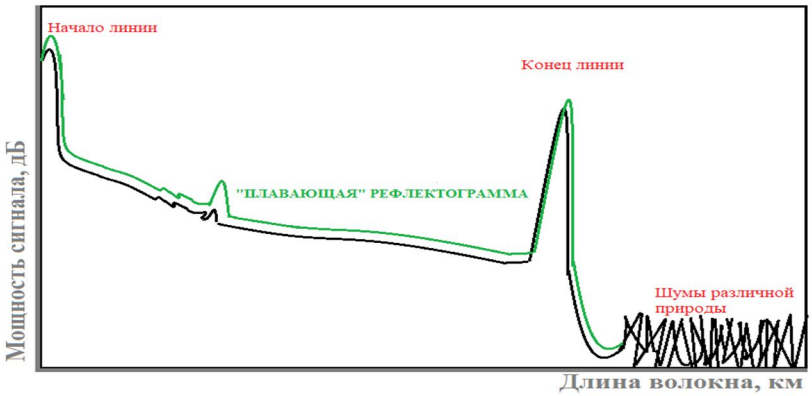

Рис. 3. «Плавающая» рефлектограмма

4. Проблема неоднородностей обратных рассеяний

При попытке измерения потерь в месте сварки двух различных волокон возникает ошибка из-за разницы коэффициентов обратного рассеяния, которые, в свою очередь, приводят к тому, что в фотоприемник поступит различное количество света [4]. В том случае, если у первого волокна потери заметно больше, чем у второго, это ведет к тому, что измеренные рефлектометром потери возрастут на величину ошибочных потерь. Другими словами, это приведет к увеличению «провала» на рефлектограмме.

5. Фантомные отражения

В достаточно коротких оптических линиях существует вероятность возникновения такого необычного явления, как «фантомная неоднородность» [4]. Происходит это вследствие того, что отражение света на конечном коннекторе происходит как прямо, так и в обратном направлении. В результате на рефлектограмме может наблюдаться лже-неоднородность (см. рис. 4).

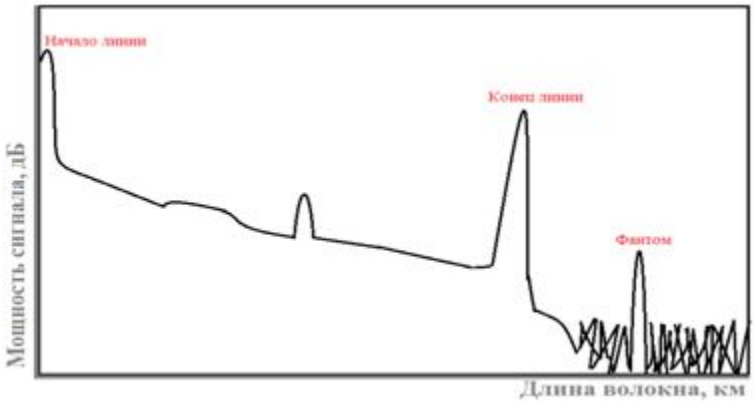

Рис. 4. «Фантомное» отражение

6. Проблемы ограничения разрешающей способности

Разрешающая способность рефлектометра − это параметр, который определяет, как близко друг к другу по времени (и, соответственно, на каком расстоянии в кабеле) находятся отдельные точки с результатами измерений, образующие рефлектограмму. Эта величина выражается в единицах длины.

Чем выше разрешающая способность, тем ближе друг к другу могут находиться измеренные точки, и тем больше данных будет получено о волокне. Но при этом измерение займет больше времени, чем при более низкой разрешающей способности, поскольку время тестирования растет с изменением разрешающей способности приблизительно линейно [2].

Это означает, что добиться точного измерения можно только в том случае, если не ограничивать время тестирования, и наоборот, для быстрого измерения приходится жертвовать точностью. Решение данной проблемы связано с поиском оптимального соотношения время/точность.

7. Проблема «ослепления» фотоприемника

Фотоприемник, входящий в состав рефлектометра, имеет высокую чувствительность. Это приводит к тому, что обратные отражения могут «насыщать» или «перегружать» фотоприемник, после чего ему требуется некоторое время для восстановления. На рисунке 5 видно, что в это время рефлектограмма имеет положительный наклон.

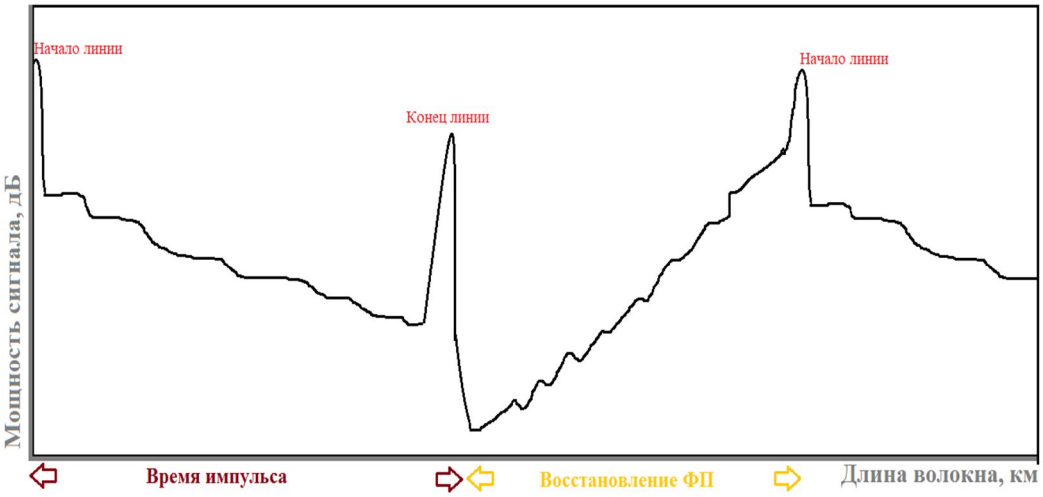

Рис. 5. Восстановление фотоприемника

8. Другие проблемы

Нет сомнений, вышеперечисленные проблемы более значительны по сравнению с другими.

Однако существуют также проблема чувствительности фотоприемника, из-за которой возникают шумы в начале рефлектограммы, и проблемы, связанные с поляризационной анизотропией оптического волокна [3]. Последние обычно возникают из-за волоконного ответвителя, в котором меняется состояние поляризации сигнала вследствие возникновения эффекта двулучепреломления. Бороться с такими шумами помогает модулятор, установленный на выходе устройства.

Заключение

В настоящее время практически по всем самым необходимым приборам в телекоммуникациях и оптическом приборостроении имеются большие вопросы к их точности. По сей день ведутся споры о путях решения некоторых из них. Но если владеть информацией о том, почему полученные данные могут быть неверны и как это исправить, то можно смело работать с любыми разновидностями оптических импульсных рефлектометров, а также модифицировать уже существующие образцы.

Список литературы

1. Горохов В.М., Сергеев Д.В. Цифровой вейвлет-рефлектометр // Связьприбор. URL: http://www.svpribor.ru/vestnik.php?id=070302015011.

2. Влияние разрешающей способности оптического рефлектометра на точность измерений. URL: http://www.stroi-tk.ru/info/articles/vols-stat1/vliznnastr/

3. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРарт, 2005. 208 с.

4. Немного о работе рефлектометра. URL: http://foptic.narod.ru/Reflectometer.htm

5. Ржевский П.С., Веряскин С.В Рефлектометры: решение проблем с нелинейностью // Фотон-экспресс. 2010. №1 (81). С. 36−37.

Сведения об авторах :

Баяндин Дмитрий Владиславович − кандидат физ.-мат. наук, доцент, ПНИПУ, г.Пермь.

Бочкова Софья Дмитриевна – студентка 3-го курса ПНИПУ, г.Пермь.