

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧ и КР)

Метрология в оптических телекоммуникационных системах

ОБРАБОТКА РЕФЛЕКТОГРАММ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе для бакалавров, направления 210700.62
"Инфокоммуникационные технологии и системы связи", профиль
"Оптические системы и сети связи"

Министерство образования и науки Российской Федерации
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**
(ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧ и КР)

УТВЕРЖДАЮ

Зав.каф. СВЧ и КР

_____С.Н.Шарангович

«_____»_____2014г.

Метрология в оптических телекоммуникационных системах

ОБРАБОТКА РЕФЛЕКТОГРАММ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе для бакалавров, направления 210700.62
"Инфокоммуникационные технологии и системы связи", профиль
"Оптические системы и сети связи"

Разработчики:

проф.кафедры СВЧиКР

_____А.Е. Мандель

доцент кафедры СВЧиКР

_____Г.Г. Куш

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	4
2. Краткие теоретические сведения.....	4
2.1 Метод волоконно-оптической рефлектометрии.....	4
2.2 Устройство оптического рефлектометра.....	5
2.3 Расшифровка рефлектограммы волокна	7
2.4 Основные характеристики эмуляционного математического обеспечения AQ7931В.....	7
2.4.1 Интерфейс AQ7931В.....	7
2.4.2 Окно просмотра трассы	8
2.4.3 Окно маркеров	9
2.4.4 Окно предварительного просмотра трассы	10
2.4.5 Окно списка локальных неоднородностей	10
2.4.6 Панель инструментов.....	11
2.4.7 Форматы файлов.....	11
2.5 Технология измерения параметров рефлектограммы оптического волокна.....	12
2.5.1 Измерение протяженности линии связи и расстояний до неоднородности	12
2.5.2 Измерение удельного затухания волокна	13
2.5.3 Измерение полного затухания в линии.....	14
2.5.4 Измерение потерь в сварных соединениях методом 4-х точек	15
2.5.5 Измерение потерь в сварных соединениях методом 6-и точек.....	16
2.5.6 Измерение уровня обратного отражения.....	17
3. Экспериментальная часть.....	18
3.1 Порядок выполнения работы.....	18
4. Содержание отчета.....	19
5. Контрольные вопросы	19
6. Список литературы	19

Цель работы: Изучение методов обработки рефлектограмм оптических волокон. Определение основных параметров событий на рефлектограмме оптического волокна.

1. Введение

В последнее время возрос интерес к программным продуктам, позволяющим с помощью персональных компьютеров работать с файлами рефлектограмм, чтобы проводить обработку результатов измерений.

Обрабатывать результаты измерений волоконно-оптических кабелей с помощью персонального компьютера значительно удобнее, чем непосредственно на рефлектограмме, из-за превосходящей вычислительной мощности, значительно большего размера экрана с лучшей разрешающей способностью и удобного интерфейса операционной среды Windows. Ещё большие преимущества вы получите при составлении отчетов по результатам измерений. Существующие программы позволяют автоматизировать задачу по созданию отчетов, сведя ее к выбору стандартных форм и таблиц. Немаловажно также, что в этом случае дорогостоящие рефлектометры будут использоваться только для измерения на трассах, а обработка результатов проводится в удобных «домашних» условиях.

2. Краткие теоретические сведения

2.1 Метод волоконно-оптической рефлектометрии

Для обеспечения эффективной работы ВОСП очень важным является быстрое установление и, соответственно, устранение обрыва волокна. Обрыв в канале с высокой информационной емкостью может привести к закрытию большого количества коммуникационных каналов. Не менее важным является и вопрос определения ослабления оптического кабеля, а также, потерь, вносимых коннекторами и другими компонентами ВОСП при настройке и эксплуатации систем передачи.

В основе решения этих задач лежит рефлектометрия – метод измерения параметров ВОСП, основанный на реакции линии связи на зондирующее оптическое излучение. Реакция оптического волокна на зондирующий световой импульс может проявляться в виде потока обратного излучения, обусловленного эффектами френелевского отражения, (когда размер неоднородностей много больше длины волны), или рэлеевского рассеяния (когда размер неоднородностей сравним или меньше длины волны).

При реализации этого метода измеряемое волокно зондируют оптическими импульсами, вводимыми в ОВ через оптический направленный ответвитель. Из-за флуктуаций показателя преломления сердцевины вдоль волокна, отражений от рассеянных и локальных неоднородностей, распределенных по всей длине волокна, возникает поток обратного

рассеяния. Измеряют уровень мощности этого потока в точке ввода оптических зондирующих импульсов в волокно в зависимости от времени задержки относительно момента посылки зондирующего импульса. В результате получают распределение мощности обратно рассеянного потока вдоль волокна. Регистрируют отдельные реализации характеристики обратного рассеяния, усредняют их по некоторому количеству зондирующих импульсов, а усредненное значение выводят на устройство отображения для дальнейшего анализа.

Уравнение мощности обратно рассеянной световой волны имеет вид:

$$P_p(t) = 0.5 \cdot P_0 \cdot \Delta t \cdot S \cdot \alpha_p \cdot V_{gp} \cdot e^{-\alpha V_{gp} t} \quad (2.1)$$

где P_0 – значение мощности оптического излучения на входе в волокно.

Запись последней формулы через расстояние имеет вид:

$$P_p(z) = 0.5 \cdot P_0 \cdot \Delta t \cdot S \cdot \alpha_p \cdot V_{gd} \cdot e^{-2\alpha x} \quad (2.2)$$

Из этих уравнений следует, что мощность обратно рассеянного сигнала зависит от входной мощности P_0 , длительности импульса Δt оптического излучения, параметров S и α_p оптического волокна, а также, от среднего коэффициента затухания и групповой скорости.

Две последние формулы являются основными в методе импульсной рефлектометрии. Они позволяют по величине сигнала обратного рассеяния $P_p(t)$ изучать распределение параметров волокна по его длине.

2.2 Устройство оптического рефлектометра

Упрощенная блок-схема рефлектометра приведена на рис 2.1.

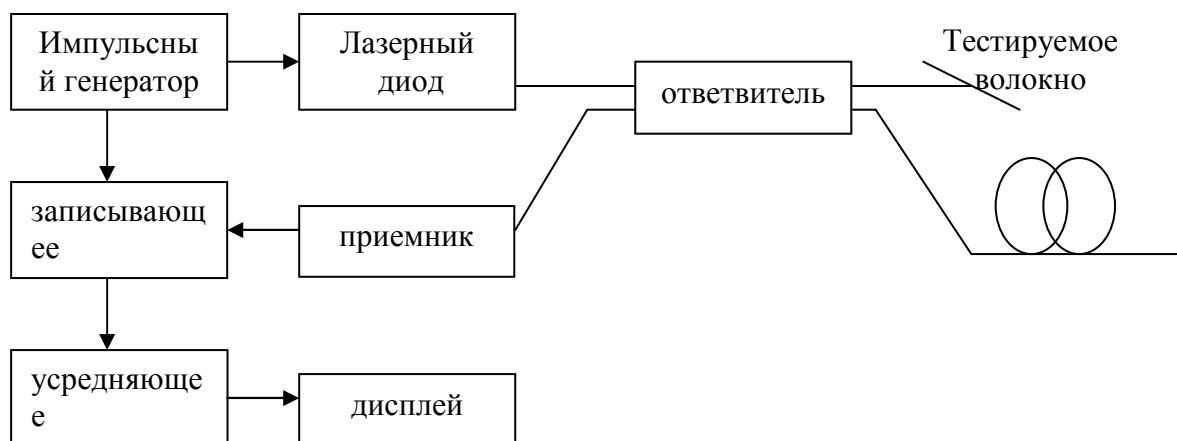


Рисунок 2.1 - Блок-схема оптического рефлектометра

В качестве источника излучения применяют лазер, генерирующий стабильные по мощности, длине волны, длительности и частоте повторения импульсы оптического излучения. Мощность оптического излучения должна быть достаточна для проведения измерений, но не приводит к возникновению нелинейных эффектов в волокне измеряемого оптического кабеля.

Направленный ответитель должен обеспечивать эффективную передачу мощности оптического излучения в оптическое волокно измеряемого кабеля и обратнорассеянной мощности к приемнику излучения. Он должен иметь апертуру, соответствующую апертуре волокна измеряемого кабеля.

Приемник излучения должен иметь быстродействие, соответствующее длительности импульса источника излучения, остальным требованиям к источнику излучения должны соответствовать указанным в методе измерения затухания.

Устройство обработки сигнала должно обеспечивать увеличение соотношения сигнал/шум на выходе приемника излучения, достаточное для регистрации обратнорассеянного сигнала. Регистрирующая система должна иметь характеристики, согласованные с устройством обработки рефлектограмм.

Зондирующие импульсы поступают от источника излучения через направленный ответитель в оптическое волокно. Поток обратного рассеяния регистрируется в чувствительном фотоприемном устройстве и преобразуется в электрический сигнал, который после специальной обработки в записывающем и усредняющем устройствах подается на вход устройства отображения (дисплей). При использовании в качестве устройства отображения электронного осциллографа этот сигнал вызывает соответствующее отклонение луча по оси Y на экране. Вертикальная ось экрана градуируется либо в децибелах по мощности (дБм), либо в единицах измеряемого затухания (дБ). Отклонение луча по горизонтальной оси X происходит под действием пилообразного напряжения генератора развертки осциллографа. Вследствие этого положение луча по оси X изменяется в зависимости от времени запаздывания сигнала Δt . Зная групповое время запаздывания оптического сигнала в сердцевине ОВ, можно осуществить градуировку горизонтальной оси в единицах длины для измеряемого типа ОВ.

В приборе имеется блок управления, обеспечивающий согласованную работу лазера, каскадов обработки сигналов и электронного осциллографа. В результате генератор развертки, запускаемый тем же импульсом, что и лазер, создает возможность наблюдения потока обратного рассеяния или полностью, или по частям. Блок управления осуществляет регистрацию и занесение в память реализации временных характеристик мощности обратного рассеяния и их усреднение. Рефлектограмма на экране осциллографа строится по усредненной временной характеристике. Кроме того, указанный блок управляет работой рефлектометра по заданной программе, обрабатывает данные, а также выполняет ряд сервисных функций. Как правило, типичный комплект оптического рефлектометра включает базовый блок и набор сменных блоков, каждый из которых работает на определенных длинах волн (0,85 мкм; 1,3 мкм; 1,55 мкм) и имеет свои характеристики.

2.3 Расшифровка рефлектограммы волокна

В таблице 2.1. показаны шесть событий (включая конец кабеля) и приведены в сжатом виде все наиболее важные сведения о кабеле. В графе "Тип" говорится о том, каким является данное событие: неотражающим (Н/О) (сварное соединение или сильный изгиб), или отражающим (Отр) (механическое соединение), или концом кабеля (Кон). Проглядев различные столбцы таблицы, можно определить, отвечают ли события критериям оценки потерь. По данным в графе "Потери в волокне" можно определить, находится ли волокно на участке между соединениями в диапазоне нормальных потерь. Значение отражения, приведенное в последней графе для последнего события, позволяет судить о том, снабжен ли конец волокна разъемом (если снабжен – значение будет в диапазоне от –20 до –40 дБ) или же он оборван (в этом случае значение, как правило, будет ниже –45 дБ).

Таблица 2.1 - Примерная таблица событий

№	Тип	Потери в волокне дБ/км	Потери на событии дБ	Отражение, дБ
1.	Н/О	0,48	0,28	Непримен.
2.	Н/О	0,47	–0,12	Непримен.
3.	Отр	0,49	0,26	–53,48
4.	Н/О	0,48	0,10	Непримен.
5.	Кон	0,50	>3,00	–37,12

2.4 Основные характеристики эмуляционного математического обеспечения AQ7931B

Программный продукт - эмуляционное математическое обеспечение AQ7931B для персонального компьютера - предназначено для отображения, анализа и составления отчетов по результатам рефлектометрических измерений трасс при работе в операционной среде Windows [2]. Программа работает с файлами рефлектограмм, полученными в процессе работы на рефлектометрах всех моделей фирмы ANDO AQ7250, AQ7210/20, AQ-7140C/D, AQ-7140A/B, AQ-7150 вне зависимости от того, в каком формате они были записаны, а также с файлами в формате Bellcore GR-196-CORE.

2.4.1 Интерфейс AQ7931B

Работа пользователя с AQ7931B осуществляется через экранный графический интерфейс со встроенной функцией HELP, позволяющей упростить работу пользователя и облегчить обучение работе с программой.

Интерфейс состоит из нескольких окон, часть из которых аналогична соответствующим картинкам экрана рефлектометра, а часть присутствует только в AQ7931B. В интерфейсе возможен режим просмотра, при котором одно из окон отображается на весь экран.

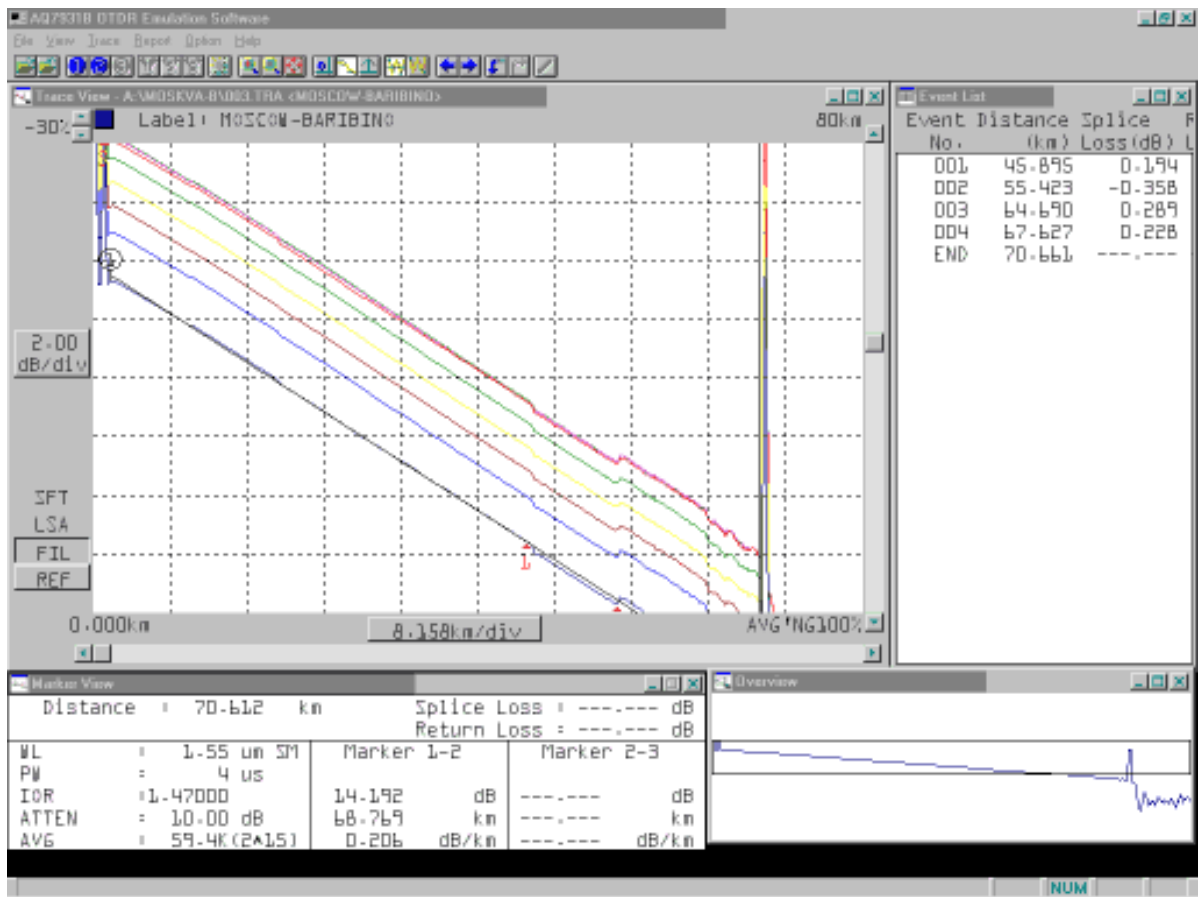


Рисунок 2.2 - Главное окно программы

После загрузки программы на экране компьютера появляется Главное окно (рис.2.2), в верхней части которого расположена панель управления, состоящая из заголовков основных меню и интуитивно понятных кнопок-иконок, стандартных для Windows-программ, а большую часть экрана занимают четыре рабочих окна:

- окно просмотра трассы;
- окно маркеров;
- окно предварительного просмотра трассы;
- окно списка локальных неоднородностей.

Настройка программы, загрузка исходных файлов и работа с рефлектограммами осуществляется стандартными средствами Windows с помощью манипулятора мышью или клавиатуры. Требуемые параметры вводятся в появляющиеся на экране диалоговые окна настройки.

С помощью панели управления осуществляется также работа в каждом из четырёх рабочих окон программы.

2.4.2 Окно просмотра трассы

В окне просмотра трассы (рис.2.3) одновременно могут отображаться до восьми рефлектограмм, что удобно при обработке результатов измерений нескольких волокон из одного кабеля, а также при сравнении результатов измерений одного и того же волокна, полученных в разное время.

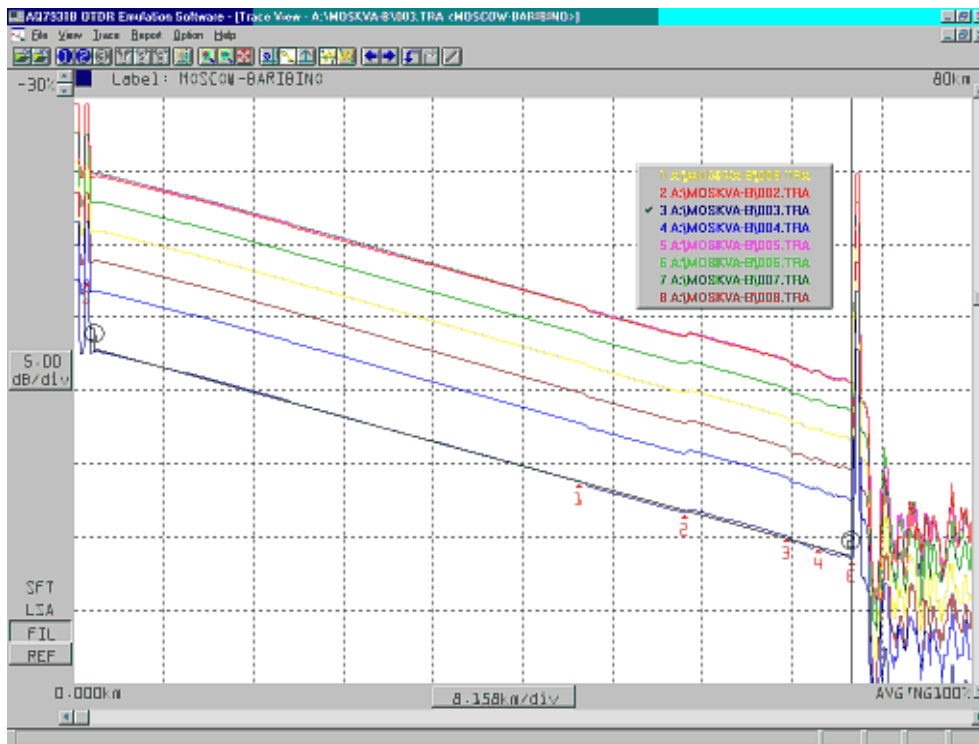


Рисунок 2.3 - Окно просмотра трассы

В этом окне устанавливается масштаб для шкалы расстояний и шкалы потерь и осуществляется расстановка маркеров, значения результатов измерений между которыми отображаются в окне маркеров.

2.4.3 Окно маркеров

В окне маркеров (рис.2.4) помимо результатов измерений для установленных в предыдущем окне маркеров, отображаются также значения параметров рефлектометра, при которых проводились измерения, такие как длина волны излучения, ширина зондирующего импульса, величина предварительного затухания и число усреднений при обработке сигнала. В этом окне изменению доступно только значение показателя преломления волокон, с помощью которого калибруется шкала расстояний.

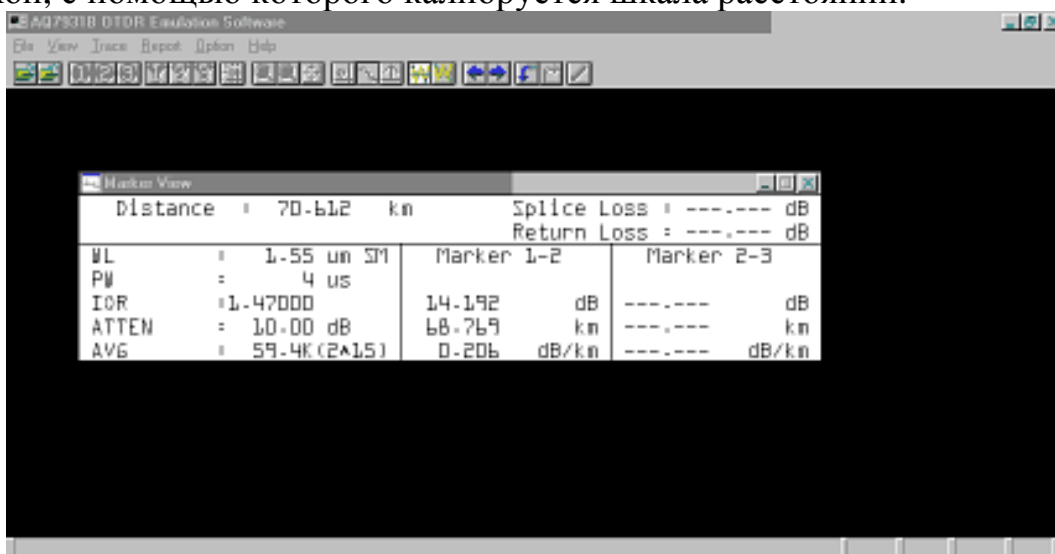


Рисунок 2.4 - Окно маркеров

2.4.4 Окно предварительного просмотра трассы

В этом окне присутствует изображение всей трассы (рис.2.5), а с помощью контурной рамки выделяется участок трассы, отображаемый в данный момент на экране в окне просмотра трассы. С помощью мыши можно производить быстрое перемещение контурной рамки вдоль трассы, при этом соответственно будет изменяться изображение и в окне просмотра трассы.

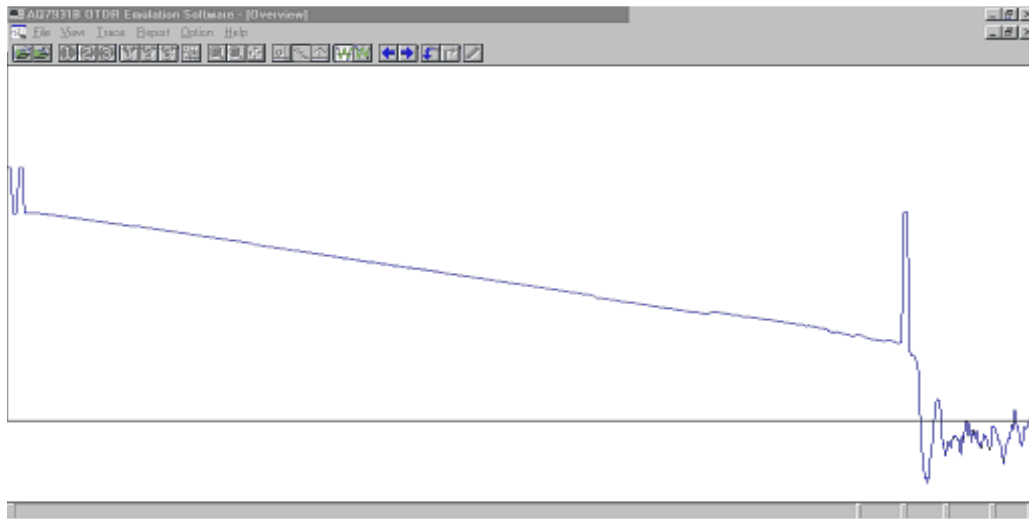


Рисунок 2.5 - Окно трассы

2.4.5 Окно списка локальных неоднородностей

В окне списка локальных неоднородностей (рис.2.6) присутствует таблица с характеристиками всех неоднородностей анализируемой трассы, выявленных в режиме автопоиска, для значений параметров, заданных в соответствующем меню панели управления.

Event No.	Distance (km)	Splice Loss (dB)	Return Loss (dB)	Cumulative Loss (dB)	Unit Loss (dB/km)	Event Type
001	4.420	0.099	----	0.495	0.214	S+
002	7.981	0.545	----	1.294	0.196	S+
003	13.968	1.069	----	1.374	-0.077	S+
004	16.743	0.174	----	3.525	0.390	S+
005	23.529	0.594	----	5.909	0.325	S+
006	25.989	0.728	< 37.929	6.997	0.200	R
007	30.053	0.598	----	8.186	0.113	S+
008	41.165	0.383	----	11.355	0.231	S+
009	47.832	-0.117	----	13.080	0.200	S-
010	50.602	0.431	----	13.870	0.326	S+
011	54.499	1.603	< 30.276	15.560	0.323	R
012	60.756	0.228	----	23.418	0.999	S+
END	65.070	----	< 33.140	26.183	0.587	R

Рисунок 2.6 - Окно списка неоднородностей

2.4.6 Панель инструментов



кнопки чтобы открыть и закрыть файл, соответственно



кнопки маркеров



кнопка очистки маркеров и курсора (при нажатии в первый раз, удаляются маркеры, при повторном нажатии удаляется курсор)



кнопки масштаба



возвращение экрана масштаба рефлектограммы в первоначальное состояние



включает/выключает связь между маркерами



кривая аппроксимации



метка контроля расстояния



включает LSA аппроксимацию



включает TRA аппроксимацию



предыдущее событие или следующее событие



вставляет или удаляет событие



вставляет комментарий к событию

2.4.7 Форматы файлов

При работе с AQ7931B осуществляется поддержка при считывании, обработке и запоминании перечисленных в таблице форматов файлов с результатами рефлектометрических измерений.

Таблица 2.2 – Тип расширения файлов, поддерживаемых программой AQ7931b

Тип формата	Описание
*.TRB	Стандартный формат для рефлектометра AQ7250
*.TRA	Стандартный формат для рефлектометра AQ7220
*.4	Стандартный формат для рефлектометра AQ7140C/D
*.5	Стандартный формат для рефлектометра AQ7150C
*.WAV	Стандартный формат для рефлектометра AQ7150A
*.AOD	Внутренний формат данной эмуляции, содержащий рефлектограммы трасс (не может быть считан рефлектометром)

*.CSV	Внутренний формат данной эмуляции, содержащий результаты анализа рефлектограмм - список локальных неоднородностей (не может быть считан рефлектометром)
*.SOR	Формат Bellcore GR-196-CORE - стандартный формат, поддерживаемый рефлектометрами большинства фирм-производителей

Предусмотрена конвертация из форматов *.TRB, *.TRA, *.4, *.5, *.WAV, *.AOD в форматы *.AOD или *.SOR.

2.5 Технология измерения параметров рефлектограммы оптического волокна

2.5.1 Измерение протяженности линии связи и расстояний до неоднородности

Измерение расстояний производится с помощью маркеров. Переместив маркер к какой-либо точке рефлектограммы, можно определить расстояние от начала рефлектограммы до этой точки (рис.2.7).

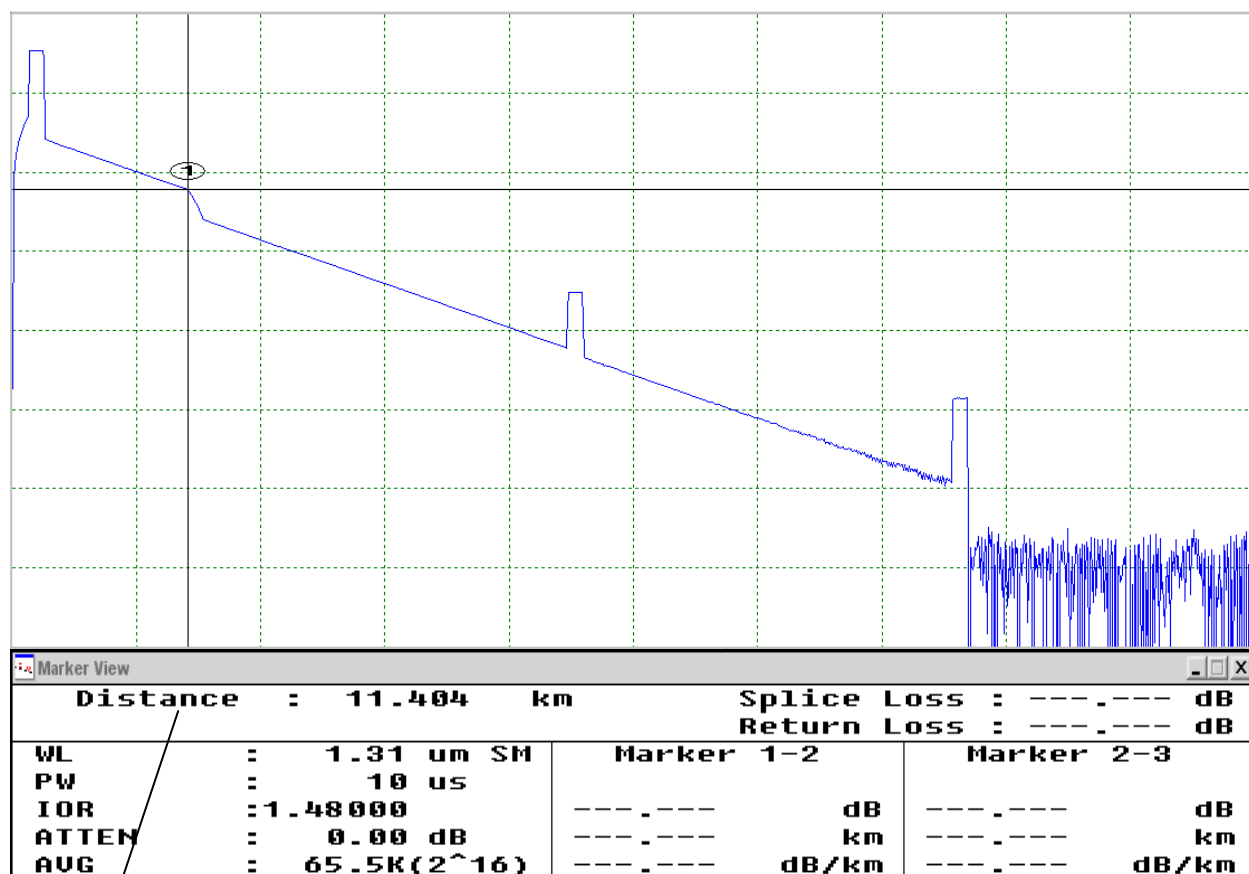


Рисунок 2.7 – Измерение расстояния до неоднородностей

а

[а] – расстояние между началом линии связи и текущей позицией маркера.

2.5.2 Измерение удельного затухания волокна

Установите маркер 1 на монотонно падающем участке строительной длины, а маркер 2 на монотонно падающем участке, но на некотором расстоянии от маркера 1 (рис.2.8).

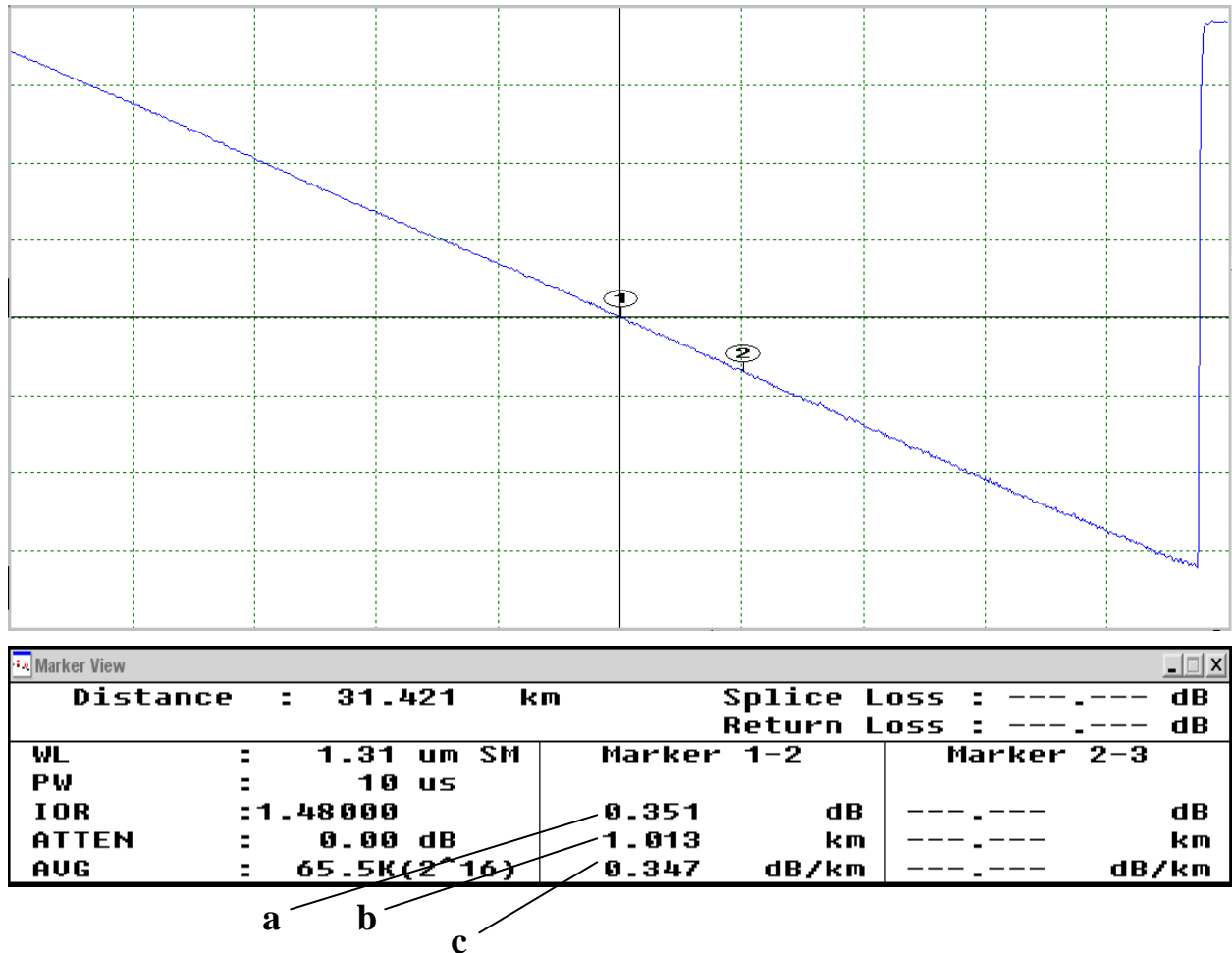


Рисунок 2.8 – Измерение удельного затухания волокна

- [a] – потери между маркером 1 и 2 без учета потерь в соединении;
- [b] – расстояние между маркерами 1 и 2;
- [c] – удельные потери между маркерами 1 и 2.

2.5.3 Измерение полного затухания в линии.

Установите маркер 1 в начале линии связи, но сразу после мертвой зоны рефлектометра, а маркер 2 в конце линии связи, но перед входным коннектором (рис.2.9).

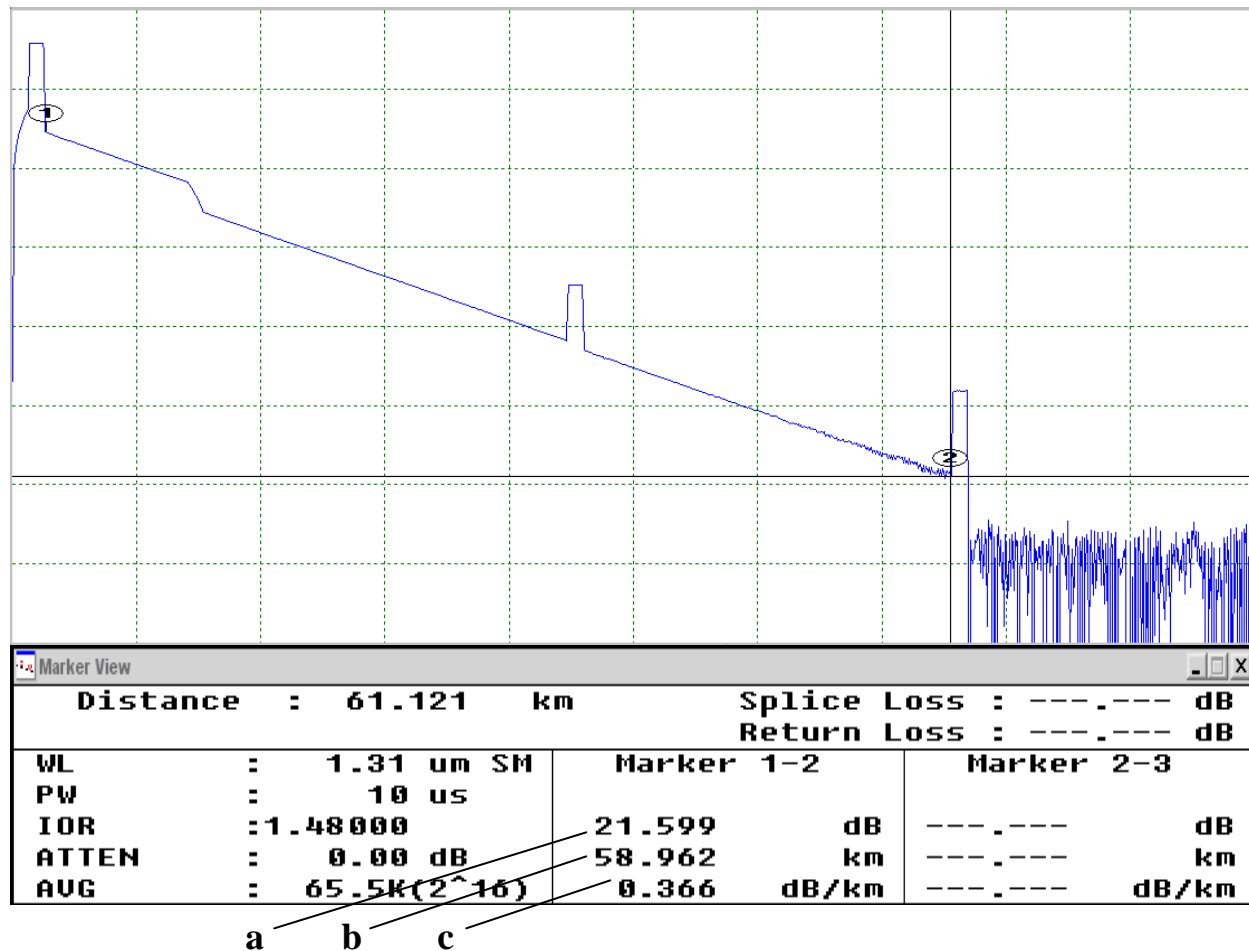
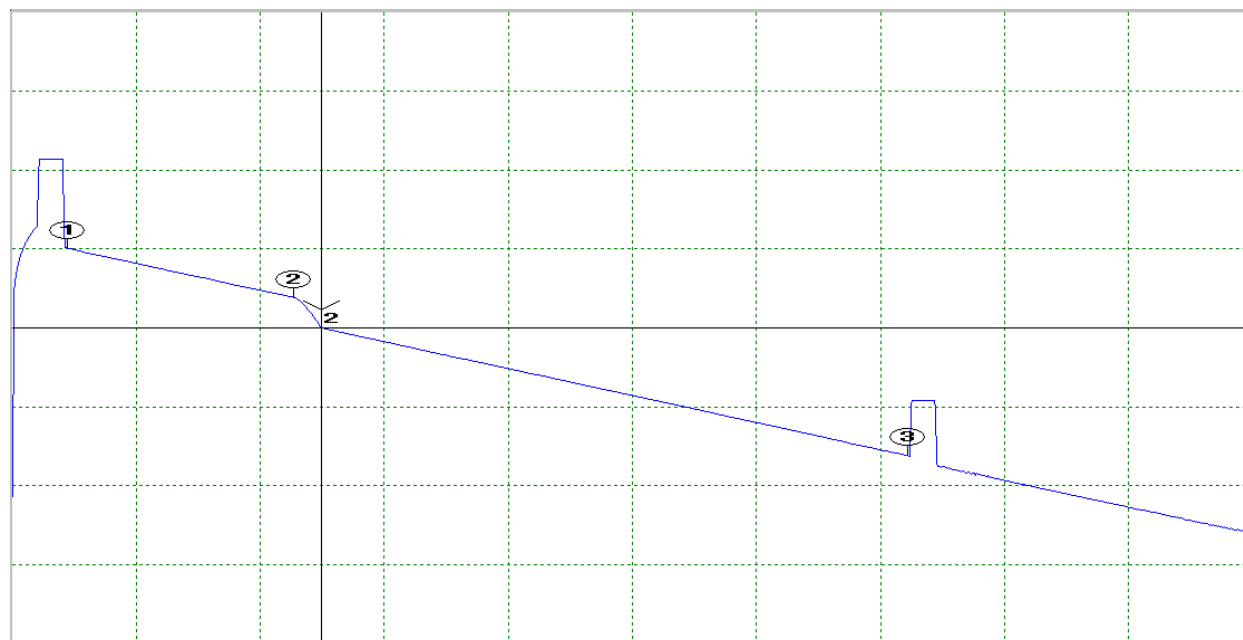


Рисунок 2.9 – Измерение полного затухания линии связи

- [a] – потери между маркером 1 и 2 без учета потерь в соединении;
- [b] – расстояние между маркерами 1 и 2;
- [c] – удельные потери между маркерами 1 и 2.

2.5.4 Измерение потерь в сварных соединениях методом 4-х точек

Установите маркер 1 на монотонно падающем участке одной строительной длины. Маркер 2 в месте стыка. Маркер Y2 в конце стыка. Маркер 3 на монотонно падающем участке другой строительной длины (рис.2.10).



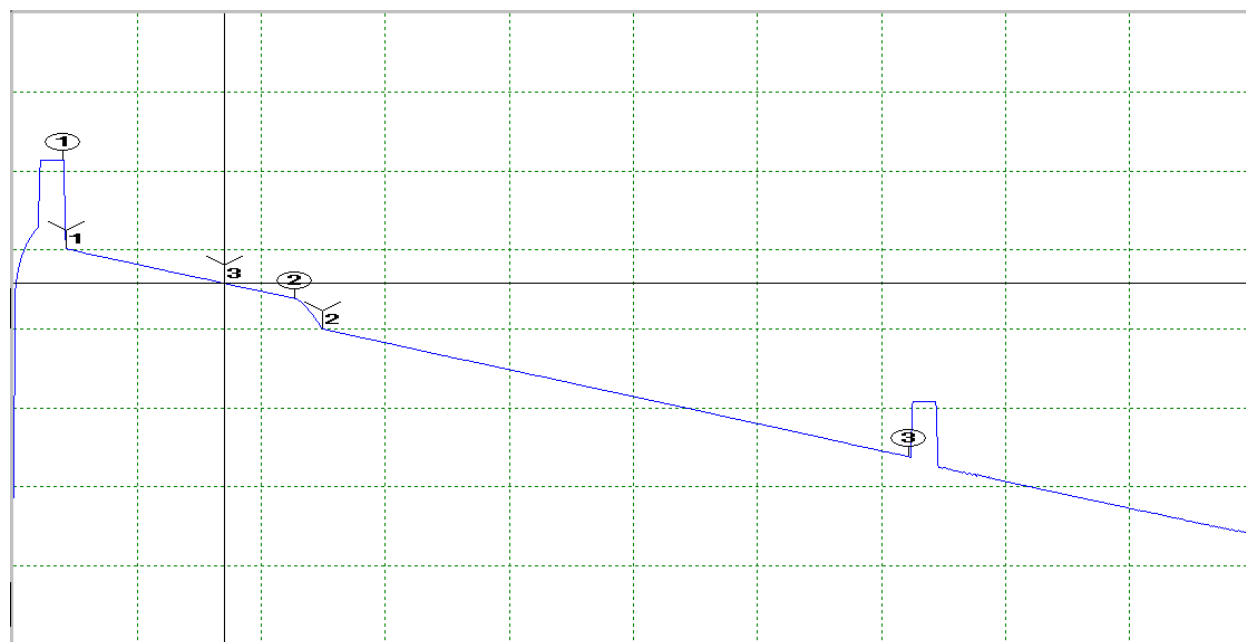
Distance : 12.441 km		Splice Loss : 1.549 dB		Return Loss : ---.--- dB	
WL	: 1.31 um SM	Marker 1-2		Marker 2-3	
PW	: 10 us	3.103	dB	8.458	dB
IOR	: 1.48000	9.111	km	24.737	km
ATTEN	: 0.00 dB	0.340	dB/km	0.342	dB/km
AUG	: 65.5K(2 ¹⁶)				

Рисунок 2.10 – Измерение потерь в сварном соединении методом 4-х точек

- [a] – расстояние между началом линии связи и текущей позицией курсора
- [b] – потери в соединении
- [c] – обратные потери (не отображено)
- [d] – потери между маркером 1 и 2
- [e] – расстояние между маркерами 1 и 2
- [f] – удельные потери между маркерами 1 и 2
- [g] – потери между маркерами 2 и 3 без учета потерь на соединении
- [h] – расстояние между маркерами 2 и 3
- [i] – удельные потери между маркерами 2 и 3

2.5.5 Измерение потерь в сварных соединениях методом 6-и точек

Установите маркер 1 в место предыдущего начала стыка. Маркер Y1 в место предыдущего конца стыка. Маркер Y3 на монотонном участке одной строительной длины. Маркер 2 в месте стыка. Маркер Y2 в конце стыка. Маркер 3 на монотонном участке другой строительной длины (рис.2.11).



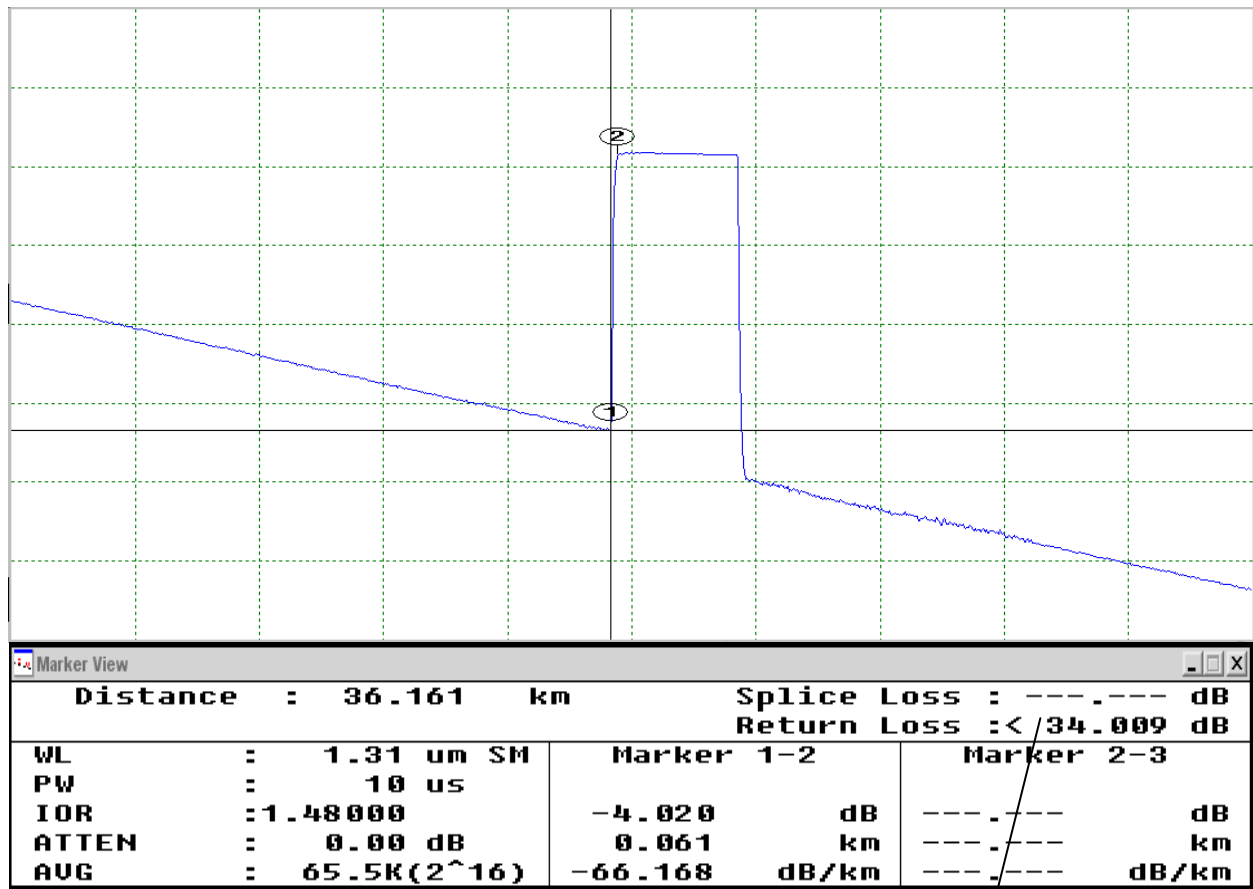
Distance : 12.441 km		Splice Loss : 1.549 dB	
		Return Loss : ---- dB	
WL	: 1.31 um SM	Marker 1-2	
PW	: 10 us		
IOR	: 1.48000	3.103 dB	8.458 dB
ATTEN	: 0.00 dB	9.111 km	24.737 km
AUG	: 65.5K(2 ¹⁶)	0.340 dB/km	0.342 dB/km

Рис.2.11 – Измерение потерь в сварном соединении методом 6-и точек

- [a] – расстояние между началом линии связи и текущей позицией курсора
- [b] – потери в соединении
- [c] – обратные потери (не отображено)
- [d] – потери между маркером 1 и 2
- [e] – расстояние между маркерами 1 и 2
- [f] – удельные потери между маркерами 1 и 2
- [g] – потери между маркерами 2 и 3 без учета потерь на соединении
- [h] – расстояние между маркерами 2 и 3
- [i] – удельные потери между маркерами 2 и 3

2.5.6 Измерение уровня обратного отражения.

Установите маркер 1 в позицию до точки соединения коннектора, а маркер 2 на пике точки соединения коннектора (рис.2.12).



a

Рисунок 2.12 – Измерение потерь обратного отражения от неоднородности

[a] – обратные потери

3. Экспериментальная часть

3.1 Порядок выполнения работы

- 1) Загрузить исполняемый файл varreflect.exe, находящийся в папке c:\Лаб.раб.рефлектометры\
- 2) Исходя из назначенного руководителем варианта задания выбрать в запущенной программе свой вариант и нажать кнопку «Начать лабораторную работу»
- 3) По загруженному файлу изучить основы рефлектометрии
- 4) Запустить исполняемый файл Aq7931b.exe, находящийся в папке c:\Лаб.раб.рефлектометры\ РефлектометрAq7931b \
- 5) Открыть файл рефлектограммы, исходя из варианта задания (рис.3.1.).

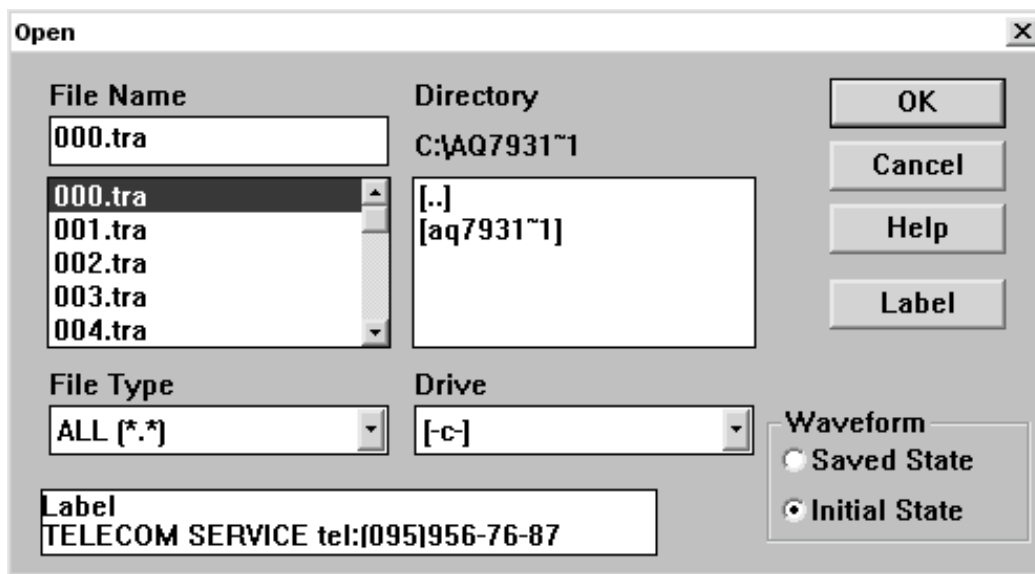


Рисунок 3.1 - Окно Open

- 6) Измерить общую длину линии; измерить все расстояния до неоднородностей.
- 7) Измерить удельное затухание волокна.
- 8) Измерить полное затухание в линии.
- 9) Измерить потери в сварных соединениях методом 4-х точек и методом 6-и точек.
- 10) Измерить уровень обратного отражения от неоднородностей.
- 11) Все проведенные измерения занести в таблицу 3.1.
- 12) Сделать выводы по проделанной работе

Таблица 3.1.

№	Тип	Потери в волокне (дБ/км)	Потери на событии (дБ)	Расстояние до Отражение неоднородности (км) (дБ)
1.				
2.				
...				

4. Содержание отчета

- 4.1 Цель работы.
- 4.2 Структурная схема установки с кратким описанием блоков.
- 4.3 Результаты экспериментов.
- 4.4 Выводы по проделанной работе.

5. Контрольные вопросы

- 5.1 Назначение оптического рефлектометра?
- 5.2 Поясните принцип работы оптического рефлектометра.
- 5.3 Чем определяется «мертвая зона» рефлектометра?
- 5.4 Чем определяется «динамический диапазон» рефлектометра, от чего он зависит?
- 5.5 Поясните методы волоконно-оптической рефлектометрии.
- 5.6 Чем определяется «мертвая зона» события рефлектометра?
- 5.7 Чем определяется пространственная разрешающая способность рефлектометра?
- 5.8 Чем определяется разрешающая способность по потерям рефлектометра?
- 5.9 От чего зависит точность измерения расстояний рефлектометром?
- 5.10 Опишите метод измерения расстояний на рефлектограмме.
- 5.11 Опишите метод измерения полных потерь в волоконно-оптической линии передач.
- 5.12 Опишите методы определения потерь на оптоволоконном соединении.

6. Список литературы

1. Мандель А.Е. Методы и средства измерения в волоконно-оптических линиях связи [Электронный ресурс]: Уч. пособие. - Электрон. текстовые дан. - Томск: ТУСУР, 2012. – 123 с. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/771>.
2. Бакланов И. Г. Тестирование и диагностика систем связи: научное издание.- М.: Эко-Трендз, 2006. - 268 с.
3. Современные проблемы волоконно-оптических линий связи: Справочник. Т. 4: Активные элементы и средства контроля ВОЛС. Под ред. В. Ф. Мышкина, В. А. Хана, А. В. Шмалько. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2005г. -371 с.