

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра основ радиотехники и защиты информации
А.В. Сбитнев**

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

**ПОСОБИЕ
по выполнению лабораторных работ**

*для студентов III курса
специальности 10.05.02 (090302)
очной формы обучения*

Москва-2015

ББК 6Ф0.3

С23

Рецензент канд. техн. наук, проф. В.И. Петров

Сбитнев А.В.

С23 Волоконно-оптические направляющие системы: пособие по выполнению лабораторных работ. - М.: МГТУ ГА, 2015. - 44 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Волоконно-оптические направляющие системы» по учебному плану для студентов III курса специальности 10.05.02 (090302) очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 26.05.15 г. и методического совета 02.06.15 г.

Подписано в печать 18.06.2015 г.

Печать офсетная

Формат 60x84/16

2,38 уч.-изд. л.

2,6 усл.печ.л.

Заказ № 2036/

Тираж 80 экз.

Московский государственный технический университет ГА

125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20

Редакционно-издательский отдел

125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а

© Московский государственный
технический университет ГА, 2015

Лабораторная работа №1

Изучение конструкций оптических кабелей связи для локальных вычислительных сетей

1. Цель работы

В результате выполнения лабораторной работы студент должен:

- знать типы и марки оптических кабелей фирм «NKT», «CORNING CABLE SYSTEMS», «OPTICABLE BELGIUM», «DAEWOO TELECOM»;
- знать элементы конструкций оптических кабелей и их назначение;
- изучить конструкции волоконно-оптических коннекторов и адаптеров.

2. Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкции некоторых типов кабелей и шнуров для локальных вычислительных сетей.
2. Изучить конструкции волоконно-оптических коннекторов и адаптеров.

3. Содержание отчета

1. Результаты изучения конструкции кабелей.
2. Чертежи поперечного сечения изучаемого кабеля и шнуров.
3. Эскизы адаптеров и коннекторов.

4. Технические характеристики оптических кабелей для локальных вычислительных сетей

Оптический кабель фирмы «NKT» (Финляндия)

Фирма «NKT» выпускает для локальных вычислительных сетей оптический кабель внешней прокладки марки NKT 11943147 OPTICAL FIBRE LAN CABLE WARNING INVISIBLE LASER LIGHT 6 MM 62,5/125 0,275 NA 850/1300 nm. На рисунке 1.1. показан поперечный разрез кабеля.

Кабель имеет внешний поливинилхлоридный шланг 1, наложенный на полиэтиленовую оболочку 2. Поясная изоляция 3 выполнена из синтетической ленты. Сердечник кабеля повивной скрутки находится в гидрофобном заполнителе 4 и содержит шесть модулей из фторопласта 5 и два полиэтиленовых корделя заполнения 6. Модули содержат по одному многомодовому волокну 7. Центральный силовой элемент 8 выполнен в виде стержня из стеклопластика.

Расшифруем марку кабеля:

NKT – Nokia Telecom;

11943147 – код изделия;

OPTICAL FIBRE LAN CABLE – волоконно-оптический кабель для локальных вычислительных сетей;

WARNING INVISIBLE LASER LIGHT – Внимание! Лазерное излучение;

6 – количество волокон в кабеле;

MM – многомодовые волокна;

62,5/125 – диаметр сердцевины/диаметр оболочки волокна, мкм;

0,275 NA – числовая апертура;

850/1300 nm – длина волны оптического излучения, нм.

Толщина внешней поливинилхлоридной оболочки составляет 1мм. Толщина полиэтиленовой оболочки 1.5мм. Диаметр модуля и корделя заполнения 1.5мм. Диаметр центрального силового элемента 3мм. Диаметр кабеля составляет 10мм.

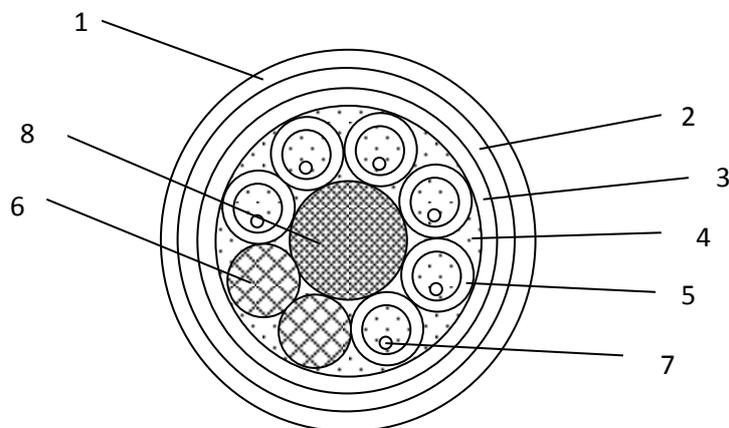


Рис. 1.1. Кабель марки NKT 11943147 OPTICAL FIBRE LAN CABLE WARNING INVISIBLE LASER LIGHT 6 MM 62,5/125 0,275 NA 850/1300 nm

Оптические кабели фирмы «CORNING CABLE SYSTEMS»

Фирма «CORNING CABLE SYSTEMS» выпускает большой ассортимент волоконно – оптических кабелей для локальных вычислительных сетей. По назначению их можно подразделить на кабели внешней прокладки, внутренней прокладки и оптические шнуры. Конструктивно кабели могут быть с повивной скруткой сердечника и одномодульные. Рассмотрим кабели внешней прокладки.

К ним относится кабель марки А – DQ(BN)H 5x12. Поперечный разрез кабеля показан на рис. 1.2.

Кабель имеет полиэтиленовый кордель заполнения 1, неметаллический центральный силовой элемент 2, армирующий элемент 3 из стеклопластика, поясную изоляцию 4 выполнена из крепированной бумаги, модули 5, содержащие по 12 волокон, негорючую оболочку 6, шнур для испаривания внешней оболочки 7.

Расшифруем марку кабеля:

А – кабель внешней прокладки;

D – сердечник модульной скрутки в гидрофобном заполнении;
 Q – водоотталкивающий элемент;
 (BN) – стеклопластиковый армирующий элемент;
 H – безгалогенная оболочка;
 5x12 – 5 модулей по 12 волокон в каждом.

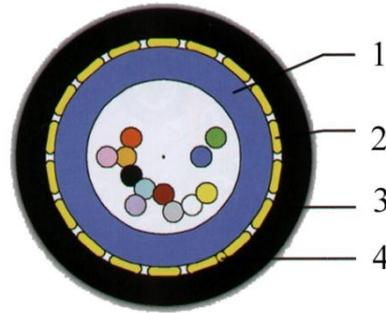
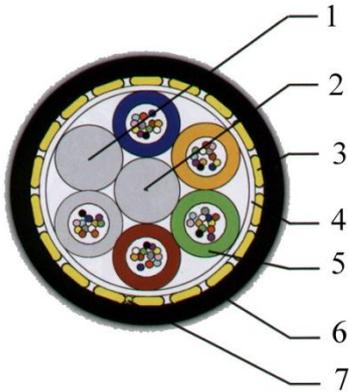


Рис. 1.2. Кабель марки А – DQ(BN)H 5x12

Рис.1.3. Кабель марки А-DQ(BN)H 1x12

В кабеле используются волокна типа InfiniCor 600 (50/125мкм) или InfiniCor 300 (62,5/125мкм). Возможно применение стандартных волокон, таких как SMF-28. Кабели указанного типа максимально могут иметь до 72 волокон. Внешний диаметр кабеля 11,6мм. Вес кабеля 135кг/км. Растягивающее усилие не менее 400кг. Минимальный радиус изгиба 265мм.

Имеется кабель одномодульной конструкции марки А-DQ(BN)H 1x12 (рис.1.3).

Кабель имеет модуль 1, в котором размещено 12 волокон. Имеются армирующие элементы из стеклопластика 2. Пожаробезопасная оболочка 3. Шнур для вспарывания оболочки 4.

Марка расшифровывается аналогично предыдущей, с той разницей, что у кабеля имеется всего один модуль с 12 волокнами. Волокна применяются того же типа что и в предыдущей конструкции. Максимальное количество волокон кабелей этого типа может достигать 24. Диаметр кабеля 7,6мм. Вес кабеля 55кг/км. Допустимое растягивающее усилие 80кг x сила. Допустимый радиус изгиба 150мм.

Применяются, к примеру, кабели марки А-VB(BN)H 1x24. Этот кабель используется на вводах. В одном модуле размещаются оптические волокна с плотно посаженной внешней оболочкой, диаметр которой достигает 900мкм. На рис.1.5. приведена конструкция такого кабеля.

Кабель имеет модуль 1, в котором размещены 24 волокна с усиленной защитной оболочкой. Имеет армирующие элементы из стеклопластика 2, пожаробезопасную оболочку 3, водоотталкивающую оболочку 4. Марка кабеля расшифровывается таким образом:

А – кабель внешней прокладки;

V – одномодульной конструкции;
 В – волокна с усиленной защитной оболочкой;
 (BN) – стеклопластиковый армирующий элемент;
 Н – безгалогенная оболочка;
 1x24 – один модуль с 24 волокнами.

Тип волокон аналогичен предыдущим конструкциям. Максимальное количество волокон может быть до 24. Диаметр кабеля 9,2мм. Вес кабеля 78кг/км. Растягивающие усилие не менее 110кг х сила. Допустимый радиус изгиба 190мм.

Оптические кабели (шнуры) используются типа **J-VY 2 x 1... TB2 FR OR** и **J-VH 2 x 1 ... TB2 FR OR**. Существует две модификации шнуров – с поливинилхлоридной оболочкой и оболочкой без галогена. На рисунке 1.4. показан поперечный разрез кабеля марки **J-VY 2 x 1 E 9/125 0.5F 3.5 + 0.3 H18 TB2 FR OR**.

Оптический кабель содержит два одномодовых модуля, каждый из которых состоит из сердцевины 1, оболочки 2, защитного покрытия 3, пластмассовой трубки 4, слоя арамидной пряжи 5. Внешняя оболочка 6 из поливинилхлорида. Шнур для вспарывания оболочки 7.

Расшифровка марки указанного кабеля такая же как у многоволоконного стационарного, с той разницей, что количество модулей – два по одному волокну записано как 2 x 1.

В табл. 1.1. приведены конструктивные и механические характеристики кабелей указанного типа.

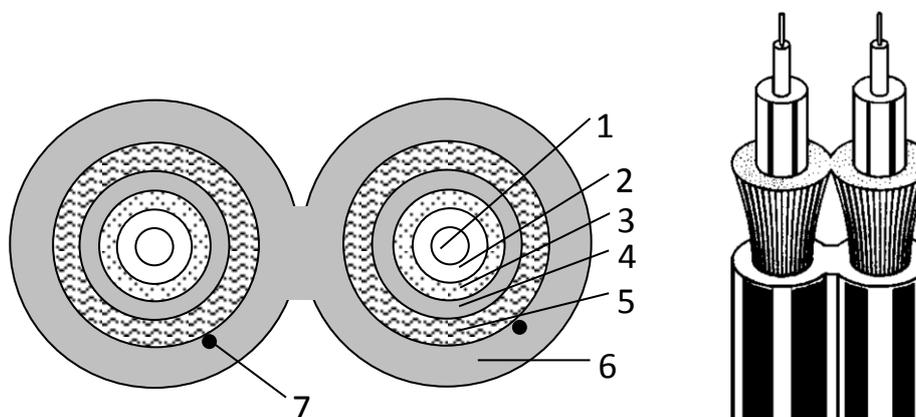


Рис. 1.4. Оптический шнур марки J – VY 2X1 9/125 0,5 F 3,5 + 0,3 H18 TB 2 FR OR

Таблица 1.1

Число волокон	Наружный диаметр	Вес, кг/км		Предел возгорания		Допуст. растяг. усилие, Н	Допуст. радиус изгиба, мм
		ПХВ обол.	Безгал. обол.	ПХВ обол.	Безгал. обол.		
2	2,9 x 5,8	14	15	0,28	0,26	800	30

Строительная длина кабеля составляет 2000 метров. Прокладка кабеля допустима при температуре от -5°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Эксплуатация кабеля при температуре от -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$.

Станционные кабели компании «Opticable»

Рассмотрим станционные кабели компании «Opticable». Эти кабели в основном прокладываются внутри зданий, например, при создании СКС. Волокна в таких кабелях имеют покрытия диаметром 400 мкм и 900 мкм, которые легко сдираются.

Рассмотрим кабель марки **SCM**, которая расшифровывается следующим образом:

S – одноволоконный;

C – шнур;

M – для внутренней прокладки.

Поперечное сечение кабеля представлено на рис. 1.6.

Оптическое волокно 1 диаметром 250 мкм, покрыто промежуточными 2 (400 мкм) и вторичными 3 (900 мкм) покрытиями. Поверх волокна наложен слой арамидной пряжи 4 и наружная безгалогенная негорючая оболочка 5, толщиной 0,6 мм.

Кабель предназначен для использования в качестве кабелей прокладываемых в кабельных шахтах, лотках, а также может использоваться в качестве шнуров для коммутации в распределительных шкафах СКС, оборудования.

Основные параметры кабелей **SCM** представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Число волокон в кабеле	Наружный диаметр кабеля, мм	Вес кабеля, кг/км	Растягивающее усилие, Н	Минимальный радиус изгиба, мм	Усилие сжатия, Н/м	Строит. длина, м
1	2,95 \pm 0,15	8	750	35	25000	1070 2170 4370

Температурный диапазон прокладки и эксплуатации кабеля от -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$, хранения и перевозки от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$.

Кабель имеет по оболочке следующую надпись:

OPTICABLE BELGIUM SCM – xx + метка метража, где xx – тип волокна.

Рассмотрим сдвоенные кабели марок **DCM** и **ZCM**. Марки кабелей расшифровываются следующим образом:

D – объединённый в одной оболочке;

Z – сдвоенный в виде восьмёрки;

С – шнуры;

М – для внутренней прокладки.

Поперечные сечения этих кабелей приведены на рис. 1.7, 1.8.

Оптическое волокно 1 с первичным покрытием 250 мкм покрыто слоями промежуточного 2 (400 мкм) и вторичного 3 (900 мкм) покрытиями. Поверх волокон наложен слой арамидной пряжи 4 и безгалогенная негорючая оболочка 5. кабель **DCM** имеет общую безгалогенную негорючую оболочку 6. Толщина наружной оболочки 0,6 мм. Толщина общей оболочки 0,4 мм.

Кабели могут быть использованы в качестве шнуров в распределительных шкафах СКС, соединительных линий в ЛВС. Кабели могут прокладываться в специальных стояках, кабельных шахтах, кабельных лотках.

Основные параметры кабеля приведены в табл. 1.3.

Температурный диапазон прокладки и эксплуатации кабелей от -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$, хранения и перевозки от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$.

На оболочках кабелей имеются следующие надписи:

OPTICABLE BELGIUM ZCM – x;

OPTICABLE BELGIUM DCM – x, где x – тип волокна:

4 – одномодовое;

1 – многомодовое 50/125;

5 – многомодовое 62,5/125.

Таблица 1.3

Марка кабеля	Число волокон в кабеле	Наружный диаметр кабеля, мм	Вес кабеля, кг/км	Растягивающее усилие, Н	Минимальный радиус изгиба, мм	Усилие сжатия, Н/м	Строит. длина, м
DCM	2	3.6/6.8 \pm 0,15	32	1500	35	20000	1070 2170 4370
ZCM	2	2.95/6.2 \pm 0,15	16	900	35	20000	1070 2170 4370

Рассмотрим многоволоконные стационарные кабели, которые могут содержать волокна с диаметром 900мкм или кабели, состоящие из шнуров **SCM** (breakout кабели).

Рассмотрим кабель марки **MLT (1)**. Кабель является распределительным. Марка расшифровывается следующим образом:

М – многоволоконный;

L – распределительный;

T – вводный;

(1) – первая версия кабеля этого типа, с числом волокон от 2 до 24;

(2) – вторая версия кабеля этого типа с числом волокон от 32 до 108.

Поперечное сечение кабеля **MLT (1)** приведено на рис. 1.9.

Оптическое волокно с первичным покрытием 250 мкм имеет слои промежуточного 2 (400мкм) и вторичного 3 (900мкм) покрытия. До 24 волокон скручены вместе с арамидной пряжей 4. Кабель имеет безгалогенную негорючую оболочку 5 и шнур для её вспарывания. Толщина оболочки кабеля 0,7мм.

Кабель применяется в кабельной системе здания сети СКС, а также на магистралях ЛВС и подходит для прямого соединения волокон со всеми типами соединителей. Прокладывается кабель в специальных стояках, кабельных шахтах, кабельных лотках, как горизонтальных, так и вертикальных.

Основные параметры кабеля **MLT (1)** приведены в табл. 1.4.

Температурный диапазон прокладки и эксплуатации кабеля от -20⁰С до +60⁰С, хранения и перевозки от -40⁰С до +70⁰С.

Кабель имеет надпись на оболочке:

OPTICABLE BELGIUM MLT - x ууу + метка метража, где x – тип волокна; ууу – число волокон (002 ÷ 024).

Таблица 1.4

Число волокон в кабеле	Наружный диаметр кабеля, мм	Вес кабеля, кг/км	Растягивающее усилие, Н	Минимальный радиус изгиба, мм	Усилие сжатия, Н/м	Строит. длина, м
2,4	4,7	20	800	35	10000	1070 2170
6,8	5,5	25	1000	35	10000	
10,12	5,6	31	1400	50	10000	
14,16	6,5	35	1400	50	10000	
18,20	7	39	1400	50	10000	
22,24	7,5	44	1400	50	10000	

Рассмотрим breakout кабель «Opticable». Кабель марки **МСІ** состоит из общей оболочки, под которой имеется, повив волокон, находящихся в арамидной пряже.

Марка кабель расшифровывается следующим образом:

М – многоволоконный;

С – шнур;

І – для внутренней прокладки.

Поперечное сечение кабеля представлено на рис. 1.10.

Оптическое волокно 1 с первичным покрытием имеет слои промежуточного 2 и вторичного покрытия 3. Волокна покрыты слоем арамидной пряжи 4, и заключены в общую внутреннюю безгалогенную негорючую оболочку 6. В центре оболочки помещен центральный силовой элемент из стеклопластика 5. Кабель имеет внешнюю безгалогенную

негорючую оболочку 7, под которой расположен шнур для вспаривания оболочки 8. толщина оболочки 1,5мм.

Кабель может применяться на локальных сетях зданий для прокладки внутри зданий на короткие расстояния в кабельных лотках, шахтах и стояках.

Основные параметры кабеля **МСІ** приведены в табл. 1.5.

Температурный диапазон прокладки и эксплуатации кабеля от -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$, хранения и перевозки от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$.

Кабель имеет следующую надпись на оболочке:

ОРТИСАВЛЕ БЕЛГИУМ МСІ – х уу + метка метража,

где х – тип волокна; уу – число волокон (06÷12).

Таблица 1.5

Число волокон в кабеле	Наружный диаметр кабеля, мм	Вес кабеля, кг/км	Растягивающее усилие, Н	Минимальный радиус изгиба, мм	Усилие сжатия, Н/м	Строит. длина, м
6 до 12	10,5 (15,2)	104 (201)	3000 (6000)	200 (300)	3000	1070 2170

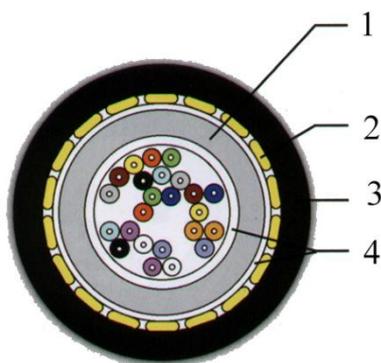


Рис.1.5. Кабель марки А-VB(BN)Н 1x24

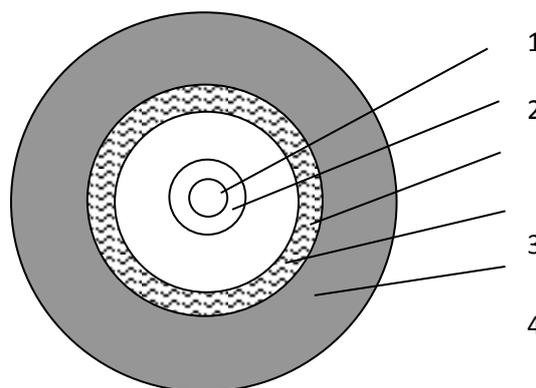


Рис.1.6. Поперечное сечение кабеля марки SCM

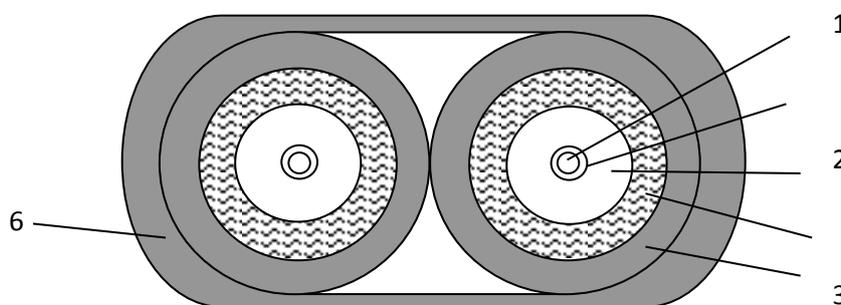


Рис. 1.7. Поперечное сечение кабеля марки DCM

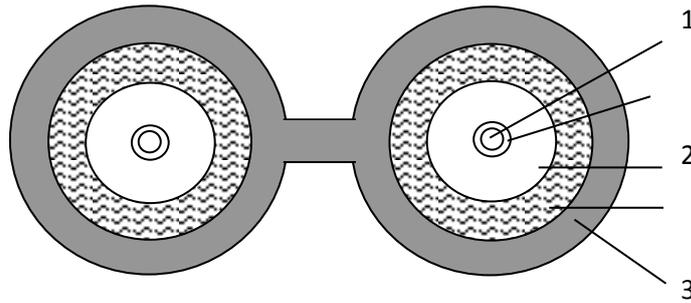


Рис. 1.8. Поперечное сечение кабеля марки ZCM

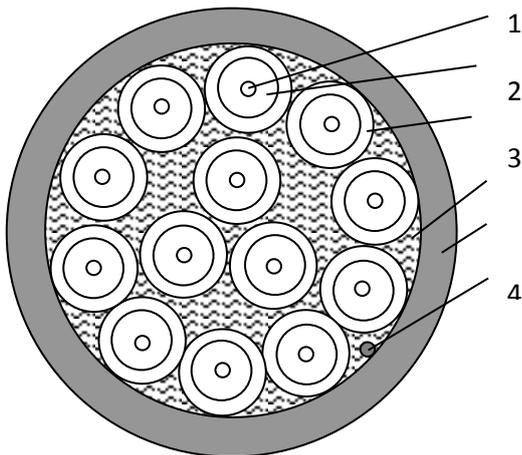


Рис. 1.9. Поперечное сечение кабеля марки MLT(1)

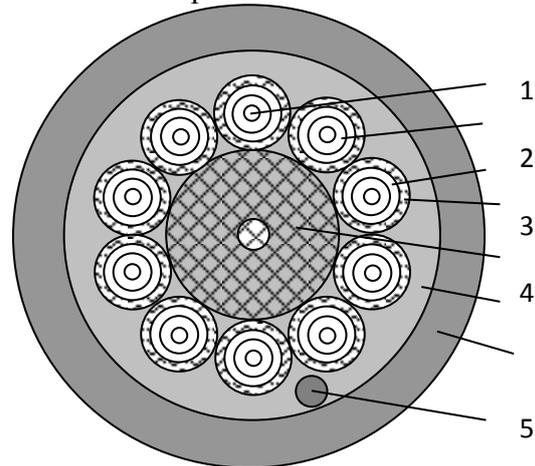


Рис.1.10. Поперечное сечение кабеля марки MCI

Станционные кабели компании «Daewoo Telecom»

Компания «DAEWOO Telecom» выпускает три вида станционных кабелей:

1. Одиночные или сдвоенные кабели (шнуры).
2. Распределительные кабели с несколькими волокнами, имеющими вторичное покрытие.

3. Вводные кабели, в составе которых находятся готовые шнуры.

Волокно, как правило, имеет первичное покрытие из акрилата, а вторичное покрытие из других полимерных материалов.

Рассмотрим кабель марки **DWTC - S25P1A 0,4 1310** (рис. 1.11а).

Оптическое волокно 1 покрыто вторичным покрытием 2. В качестве силового элемента используется слой арамидной пряжи 3. Кабель имеет полихлорвиниловую оболочку 4.

Также имеется сдвоенный кабель марки: **DWTC-S25P2A 0,4 1310** (рис. 1.11б).

Марка кабеля расшифровывается следующим образом:

DWTC – кабель компании DAEWOO с волокнами, имеющими вторичное покрытие;

S – одномодовое волокно;

25 – наружный диаметр волокна с первичным покрытием – 250мкм;

P – полихлорвиниловое вторичное покрытие;

1(2) – число волокон в кабеле;

A – негорючая полихлорвиниловая оболочка;

0,4 – коэффициент затухания волокна, дБ/км;

1310 – рабочая длина волны, нм.

Рассмотрим распределительный стационарный кабель марки: **DWTC-S25N8A 0,4 1310** (рис. 1.12).

Кабель имеет оптические волокна 1, покрытые вторичным покрытием 2. Восемь волокон скручены вокруг центрального силового элемента 3. Сердечник кабеля обмотан арамидной пряжей 4 и покрыт полихлорвиниловой оболочкой 5.

Марка кабеля расшифровывается следующим образом:

DWTC – кабель компании DAEWOO с волокнами, имеющими вторичное покрытие;

S – одномодовое волокно;

25 – наружный диаметр волокна с первичным покрытием – 250мкм;

N – нейлоновое вторичное покрытие;

8 – число волокон в кабеле;

A – негорючая полихлорвиниловая оболочка;

0,4 – коэффициент затухания волокна, дБ/км;

1310 – рабочая длина волны, нм.

Также имеются вводные кабели марки: **DWTC - S25N18 B 0,3 1550** (рис. 1.13).

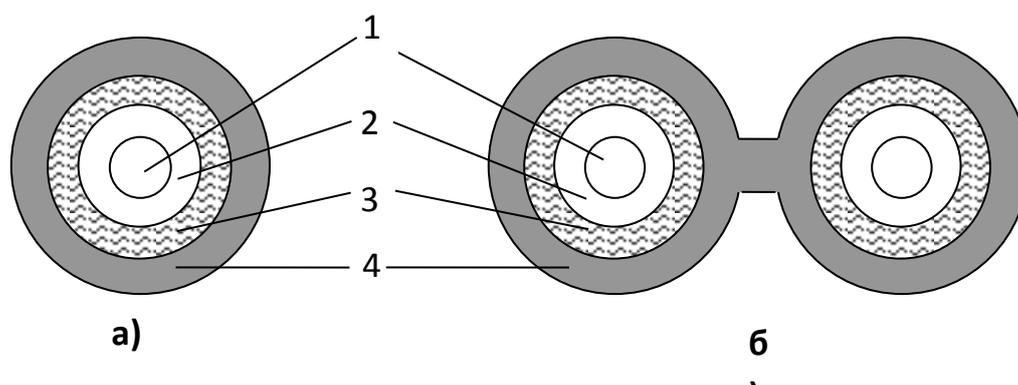


Рис. 1.11. Поперечное сечение кабеля марки

а) DWTC – S25P1A 0,4 1310;

б) DWTC – S25P2A 0,4 1310

Кабель имеет оптические волокна 1 со вторичным покрытием 2. Волокна в два слоя скручены вокруг центрального силового элемента 3. Волокна скручены вместе с нитями арамидной пряжи 4. Кабель имеет наружную оболочку 5.

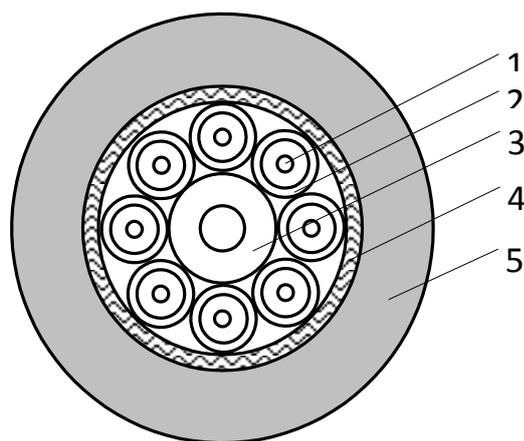


Рис. 1.12. Поперечное сечение кабеля марки DWTC - S25N8A 0,4 1310

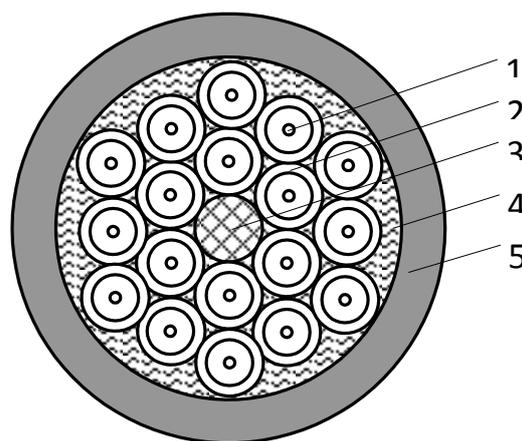


Рис. 1.13. Поперечное сечение кабеля марки DWTC - S25N18 B 0,3 155

Марка кабеля расшифровывается следующим образом:

DWTC – кабель компании DAEWOO с волокнами, имеющими вторичное покрытие;

S – одномодовое волокно;

25 – наружный диаметр волокна с первичным покрытием – 250мкм;

N – нейлоновое вторичное покрытие;

18 – число волокон в кабеле;

B – оболочка из полиуретана;

0,3 – коэффициент затухания волокна, дБ/км;

1550 – рабочая длина волны, нм.

Волоконно-оптические коннекторы и адаптеры

Оптическими коннекторами армируются кабели и соединительные шнуры. Основной деталью любого коннектора является осесимметричный наконечник с центральным отверстием, в котором зафиксирован конец волоконного световода. Для уменьшения потерь в точке срачивания торец световода обязательно шлифуется и полируется заподлицо с торцом наконечника. Большинство конструкций оптических коннекторов основано на применении цилиндрических наконечников диаметром 2,5мм, имеются коннекторы с наконечниками конической формы. Для изготовления наконечников применяется керамика, металл и пластмасса. Керамические наконечники имеют большую долговечность и стабильность параметров, допуская до 500 и более циклов включения-отключения, а также более жёсткие допуски на геометрию, за счёт чего обеспечивают меньшие вносимые потери (до 0,2...0,3дБ). Использование пластмассы для изготовления этой детали обосновывается главным образом соображениями минимизации стоимости коннектора за счет некоторого ухудшения параметров разъёмного соединителя по стабильности и потерям. Некоторые типы коннекторов имеют металлический наконечник, и по своим характеристикам занимают

промежуточное положение между изделиями с керамическими и пластмассовыми наконечниками.

Для увеличения эксплуатационной надёжности коннектора при его установке на шнур со шлангом диаметром 2...3мм в конструкцию современных коннекторов введена втулка длиной 2...3мм с упорным фланцем, которая надевается на буферную оболочку 0,9мм световода и вводится «внатяг» под шланг. Наличие этой втулки обеспечивает свободное перемещение световода относительно внешнего защитного шланга в процессе сборки и использовании коннектора [1].

Рассмотрим коннекторы типа ST.

Коннектор типа ST (от англ. Straight tip connector) или неофициально (Stick – and – Twist – «вставь и поверни») разработан компанией Lucent Technologies в середине 80-х годов и в настоящее время получил наибольшее распространение в локальных оптических сетях (рис.1.14).

Конструкция коннектора основана на керамическом наконечнике диаметром 2,5мм с выпуклой торцевой поверхностью, которая обеспечивает физический контакт сращиваемых световодов. Для защиты наконечника от проворачивания в момент установки использован выступ, вводимый в паз адаптера. Фиксация коннектора выполняется подпружиненным байонетным элементом.

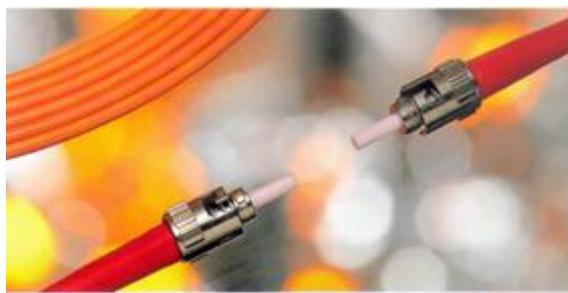


Рис. 1.14. Коннектор типа ST



Рис 1.15. Коннектор типа SC

Рассмотрим коннекторы типа SC.

Коннекторы типа SC (от англ. Subscriber connector, иногда используется неофициальная расшифровка Stick – and – Click «вставь и защёлкни») (рис. 1.15).

Основная идея, заложенная в его конструкцию, состояла в создании устройства с пластмассовым корпусом с прямоугольным сечением формы, хорошо защищающим наконечник, обеспечивающий плавное подключение и эффективную механическую развязку фиксирующего элемента и кабеля.

Коннектор типа FC (рис 1.16) разработан японской телекоммуникационной компанией NTT, и предназначен для применения в одномодовых системах FC (от англ Fiber Connector «коннектор для волокна»).

Для получения низкого уровня потерь и минимума обратного отражения наконечник коннектора изготавливают с жёсткими допусками на геометрические параметры со скруглением на конце.



Рис. 1.16. Коннектор типа FC

Последнее обеспечивает нахождение световедущей сердцевины волокна в вершине наконечника и физический контакт сращиваемых световодов (иногда это подчёркивают тем, что в названии коннектора указывают буквы FC – Physical contact). Конструкция коннектора позволяет добиться надёжной защиты керамического наконечника от загрязнений, а применение для фиксации накидной гайки даёт большую герметичность зоны соединения.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются оптические кабели по назначению и типам?
2. Какие типы и марки оптических кабелей применяются на магистральной сети?
3. Какие марки оптических кабелей используются на зонной сети?
4. Какие марки оптических кабелей используются на городской телефонной сети?
5. Какие длины волн передаются по оптическим кабелям?
6. Как определить количество каналов, организуемых по оптическим кабелям, работающим на магистральной, зонной, городских сетях?
7. Из каких основных конструктивных элементов состоит оптический кабель?
8. Как подразделяются оптические волокна по конструкции?
9. Какое значение имеют силовые и армирующие элементы в кабеле?

Литература

1. Семёнов А.Б. – Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи. – М.: КомпьютерПресс, 1998.
2. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие для вузов (1990).

Лабораторная работа №2

Изучение методики измерения оптических потерь

1. Цель работы

1. Изучить основные методики измерения потерь в оптических волокнах с помощью оптических тестеров.
2. Получить практические навыки работы с оптическими тестерами EXFO FLS-600 и FOT-600.

2. Порядок выполнения работы

1. Если необходимо выполните обнуление.
2. Проведите проверку и чистку ваших волокон для получения оптимальных результатов.
3. Для измерений потерь, проведите измерение опорных значений, затем выключите источник.
4. Используя правильный адаптер и коммутационные шнуры (патч-корды) подключить тестируемое волокно к источнику излучения (такому как FLS-600 или FOT-600) и к порту детектора вашего измерителя мощности (рис. 2.1) (если вы только что измерили опорное значение, просто подключите тестируемое волокно к соединительным патч-кордам, которые использовались для этого измерения).



Рис. 2.1. Подключение тестируемого волокна

5. Включить источник на желаемой длине волны.
6. Установить длину волны приемника равную длине волны источника (если источник излучает сигнал автоматической установки длины волны, измеритель автоматически устанавливает свою длину волны или нажмите « λ » для переключения между предустановленными длинами).
7. Если вы желаете увидеть значение потерь, а ваш измеритель мощности выдает показания в Вт или дБм, удерживайте «dBm/WdB» несколько секунд для перехода в режим опорного значения. При обнаружении модулированного сигнала, измеритель подает звуковой сигнал и отображает

значение модуляции и среднее значение мощности или потерь. Вы можете также заметить небольшую нестабильность показаний последней цифры.

8. При необходимости, измените единицы измерения, нажав «dBm/WdB».

9. Повторить процедуру для других длин волн.

10. Полученные результаты оформить в виде таблицы и сделать выводы.

3. Содержание отчета

1. Краткая теория.
2. Результаты измерений и расчетов потерь в оптических волокнах.
3. Выводы по работе и ответы на контрольные вопросы.

4. Методики измерения оптических потерь

Потери в изогнутых волокнах

Спектры потерь в изогнутых и в «прямых» волокнах могут существенно различаться. Так, например, в «прямых» волокнах потери на $\lambda=1550\text{нм}$ меньше чем на $\lambda=1310\text{нм}$. В то же время потери, вносимые при изгибе волокна, на $\lambda=1550\text{нм}$ больше чем на $\lambda=1310\text{нм}$ (рис. 2.1). Для лучших образцов SM волокон потери на длине волны 1550нм составляют 0,18...0,19дБ/км (такие волокна поставляются по специальному заказу). Кроме того, SM волокна обладают более совершенными геометрическими параметрами и стабильным диаметром модового пятна, что позволяет достигать минимальных потерь в срезках таких волокон (типичное значение 0.02дБ).

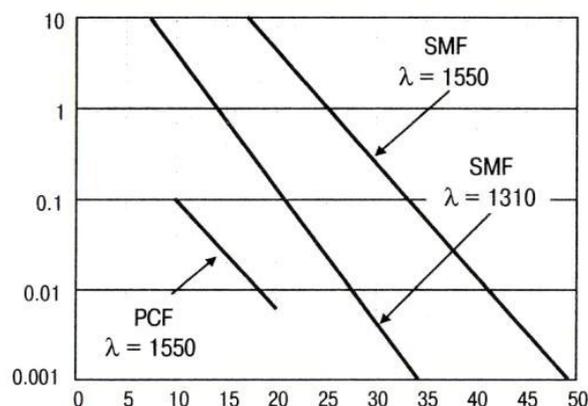


Рис. 2.1. Зависимость величины вносимых потерь от диаметра намотки для SMF и PCF волокон

В прямом волокне потери (в рабочих диапазонах волн) возникают в основном из-за релеевского рассеяния и уменьшаются с увеличением длины волны $\sim \frac{1}{\lambda^4}$. В изогнутом волокне возникают дополнительные потери из-за того, что периферийная часть моды распространяется со скоростью большей

скорости света в оболочке. Потери, вносимые при изгибе волокна, тем меньше, чем больше скачок показателя преломления между сердцевиной и оболочкой, и чем ближе рабочая длина волны к длине волны отсечки. В SM волокне длина волны отсечки немного меньше 1310 нм и SM волокно поддерживает одномодовый режим не только на $\lambda=1550$ нм, но и на $\lambda=1310$ нм. Однако так как $\lambda=1550$ нм находится дальше от длины волны отсечки, то потери, вносимые при изгибе волокна, как видно из рис. 2.1, на этой длине волны заметно больше, чем на $\lambda=1310$ нм. Этот факт используется в рефлектометрии для поиска мест изгиба волокон.

В правильно сконструированном кабеле диаметр изгиба SM волокон обычно заметно больше 40 мм и потери, вносимые за счет изгиба волокон, пренебрежимо малы. Однако при укладке оптических шнуров (их обычно изготавливают из SM волокон) в распределительные шкафы для уменьшения габаритов этих шкафов желательно иметь возможность изгибать волокна значительно сильнее. В то же время, как видно из рисунка 2.1, при диаметре изгиба порядка 20 мм вносимые потери в SM волокнах достигают нескольких децибел.

Потери в месте соединения волокон

Распределение интенсивности первой моды в поперечном сечении волокна хорошо описывается функцией Гаусса: $I(r)=I_0 \exp(-8r^2/w^2)$, где w – диаметр модового пятна. Поэтому расчет потерь в месте соединения волокон сводится к хорошо известной задаче об эффективности согласования двух гауссовых пучков. Основной вклад в потери дает смещение сердцевины волокон друг относительно друга (d) и неравенство диаметров модовых пятен (Δw)

$$\alpha(\text{дБ}) \cong 4.34 \left[(2d/w)^2 + (\Delta w/w)^2 \right]. \quad (2.1)$$

В принципе, существуют еще потери, возникающие из-за отражения света от торца волокна, из-за эллиптичности модовых пятен и не параллельности осей соединяемых волокон. Потери, обусловленные френелевским отражением пренебрежимо малы, так как волокна стремятся соединить так, чтобы между ними возник оптический контакт. Например, френелевские потери в оптическом разъеме с коэффициентом отражения $R=10^{-4}$ (–40 дБ) равны: $\alpha_\phi(\text{дБ}) = -10 \log T = -10 \log(1-R) \cong -4.34 \ln(1-R) \cong 4.34R \cong 0.0004 \text{ дБ}$.

Потери, вызванные эллиптичностью модовых пятен также малы, так как современные волокна обладают малой эллиптичностью.

Потери в месте соединения волокон, вызванные смещением их сердцевины, в принципе, могут быть практически полностью устранены. Так происходит, например, при сварке высококачественных SM волокон с помощью высокоточных сварочных аппаратов, где осуществляется коррекция эксцентриситета сердцевины волокон. При идеальной юстировке волокон и

отсутствии дефектов величина потерь в месте соединения волокон, как видно из (2.1), определяется разностью диаметров модовых пятен.

Оценим величину средних потерь в месте соединения волокон в предположении, что диаметры модовых пятен распределены по нормальному закону с дисперсией равной σ^2 . Тогда разность диаметров модовых пятен Δw также будет распределена по нормальному закону, но для нее дисперсия будет в два раза больше: $\langle \Delta w^2 \rangle = 2\sigma^2$ (угловые скобки означают операцию усреднения). С помощью (2.1) находим

$$\langle \alpha_{\Delta w}(\text{дБ}) \rangle \cong 4.34 \times 2 \langle \Delta w^2 \rangle / w^2 \cong 8.78 \sigma^2 / w^2. \quad (2.2)$$

Запишем выражение для средних потерь через допуск на диаметр модового пятна Δw_d так как в спецификациях обычно приводится именно эта величина, а не величина стандартного отклонения σ . Учитывая, что $\Delta w_d = 3\sigma$, с помощью (2.2) получаем

$$\langle \alpha_{\Delta w}(\text{дБ}) \rangle \cong \Delta w_d^2 / w^2. \quad (2.3)$$

При $w \cong 10$ мкм и $\Delta w_d = 0,4$ мкм получаем оценку: $\langle \alpha(\text{дБ}) \rangle \cong 0,0016$ дБ. Следовательно, при соединении высококачественных волокон одного производителя потерями из-за разности диаметров модовых пятен можно пренебречь и основной вклад в потери возникает из-за смещения сердцевин волокон.

Потери из-за смещения сердцевин волокон являются преобладающими в тех случаях, когда юстировка волокон осуществляется по оси кварцевой оболочки, например, в оптических разъемах, в механических соединителях, а также при массовой сварке волокон (без юстировки волокон по сердцевине). При этом на величину смещения сердцевин волокон влияет несколько факторов: эксцентриситет сердцевины/оболочки, величина допуска на диаметр кварцевой оболочки волокна, ее эллиптичность и радиус собственного изгиба волокна.

Средняя величина потерь для механических соединителей – порядка 0,05 дБ, а для оптических разъемов – порядка 0,1...0,5 дБ. Дополнительные потери в оптических разъемах возникают из-за смещения кварцевой оболочки волокна относительно оси наконечников в разъемах и смещения осей наконечников в соединительной втулке. Потери из-за непараллельности осей соединяемых волокон, как правило, малы, так как волокна обладают большим радиусом собственного изгиба и юстируются в прецизионных V-образных канавках и капиллярах. Средние потери в сростках высококачественных SM волокон малы (~0,02 дБ) и обусловлены совокупным действием всех факторов, влияющих на величину потерь в месте соединения волокон.

Измерение потерь с помощью оптических тестеров

Существуют два метода измерения потерь в оптических волокнах, которые принято считать эталонными – метод облома волокна и метод

вносимых потерь. В них измерения потерь осуществляются с помощью оптических тестеров. В методе облома волокна измеряется мощность P_1 (в дБм), прошедшая через все волокно. Затем волокно обламывается на расстоянии около двух метров от места ввода излучения (рис. 2.2) и измеряется мощность P_2 (в дБм), прошедшая через оставшийся короткий участок волокна. Величина потерь в волокне определяется как разность $A(\text{дБ})=P_1(\text{дБм})-P_2(\text{дБм})$.

Метод облома волокна обеспечивает наивысшую точность, так как в нем доля мощности, введенная в волокно, остается неизменной. Его недостаток в том, что нарушается целостность волокна и его нельзя использовать в процессе монтажа линии передачи. Поэтому более распространенным является метод вносимых потерь (рис. 2.3). В этом методе вначале измеряется величина опорной мощности P_1 (в дБм). Затем между измерителем оптической мощности и источником оптического излучения вставляется тестируемое волокно или линия передачи и измеряется величина прошедшей мощности P_2 (в дБм). Величина потерь определяется как разность $A(\text{дБ})=P_1(\text{дБм})-P_2(\text{дБм})$.

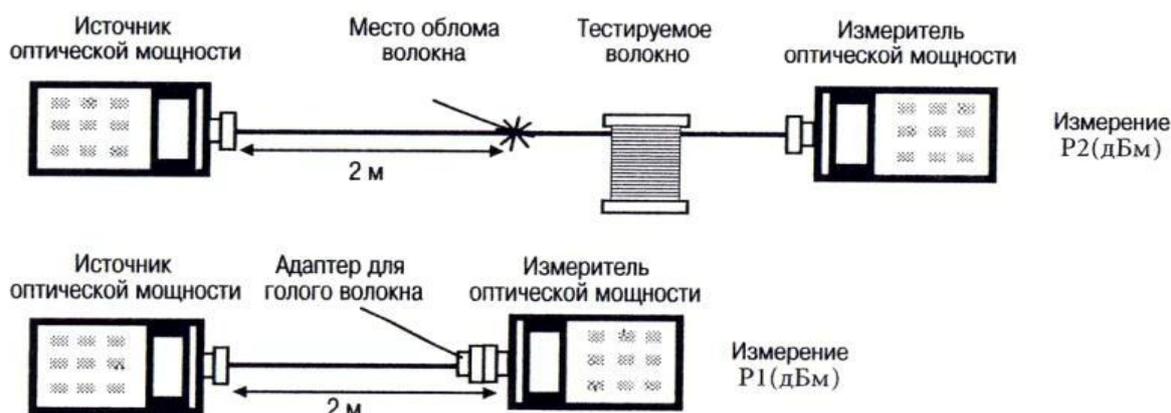


Рис. 2.2. Схема измерения потерь в волокне методом облома волокна

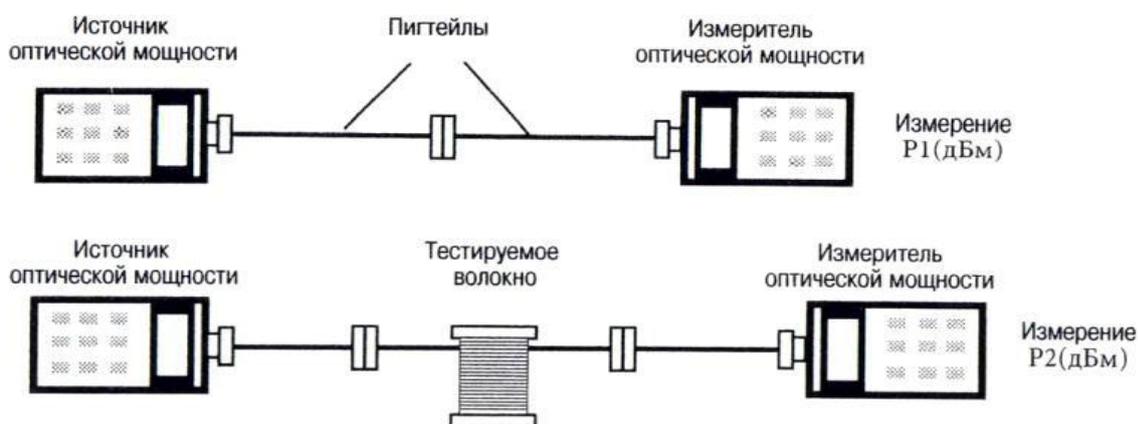


Рис. 2.3. Схема измерения потерь вносимых оптическим волокном

Метод вносимых потерь используется при измерении полных потерь в линии передачи. Из-за того, что концы линии разнесены обычно на большое

расстояние, при таких измерениях надо проводить дополнительную калибровку лазерного и фотоприемного модуля (рис. 2.4). Фотоприемный блок оптического тестера, в пункте А, используется для измерения опорного значения мощности излучения лазерного блока, а фотоприемный модуль оптического тестера, в пункте Б – для измерения мощности излучения, прошедшей через линию связи.

Вначале оператор, находящийся в пункте А, соединив вход и выход оптического тестера оптическим шнуром, измеряет величину опорного сигнала. Затем он отсоединяет разъем шнура от розетки фотоприемного блока и подсоединяет его к разъему на входе в линию. Оператор, находящийся в пункте Б, подключает с помощью оптического шнура свой оптический тестер к выходу линии и измеряет величину сигнала. Затем с помощью оптического телефона (или каким-либо другим способом) он сообщает результат измерений оператору, находящемуся в пункте А. Величина потерь (с учетом разности показаний фотоприемных блоков, полученных в процессе их сверки) рассчитывается по формуле: $A(\text{дБ}) = \text{опорный сигнал в дБм} - \text{сигнал в дБм}$.



Рис. 2.4. Измерение потерь в ВОЛС с помощью оптических тестеров

При такой схеме измерений погрешность возникает по следующим причинам:

- нестабильность источника излучения;
- нелинейность шкалы мультиметра;
- разная чувствительность фотоприемных блоков на разных концах линии;
- отклонения величины потерь в разъёмах от их номинального значения.

Кратковременная нестабильность лазерного блока (например, по паспортным данным AQ 2150) равна 0,02дБ, реально же она не превышает цену деления его шкалы (0.01дБ). Стабильность светодиодного блока выше, чем у лазерного, однако при его использовании величина потерь в волокне

оказывается завышенной примерно на 5% из-за относительно широкой полосы излучения светодиода (50...100нм).

Нелинейность оптического тестера в диапазоне от 0 до 30дБ также не превышает его цены деления. Погрешность, возникающая из-за разной чувствительности фотоприемных блоков, устраняется путем сверки их показаний до начала измерений потерь в линии и после их окончания. Наибольшая же погрешность возникает из-за того, что не известна точно величина потерь в разъемах.

Как известно, при соединении разъемов «любого с любым» величина потерь в месте соединения разъемов может отличаться от их номинального значения на величину порядка среднего значения этих потерь (~0.2дБ). Эта неопределенность величины потерь в разъемах и даст основной вклад в результирующую погрешность, возникающую при измерении полных потерь в линии.

Хотя потери в одномодовом волокне не зависят от направления распространения света, принято проводить измерения потерь в линии в обоих направлениях. Таким образом, удастся исключить некоторые систематические погрешности. Например, если по ошибке к одномодовому волокну (в оптическом кабеле) был приварен пигтейл из многомодового волокна. Тогда потери в линии будут зависеть от направления распространения света (т.е. различаться больше чем погрешность измерений), так как коэффициент передачи со стороны одномодового волокна больше, чем со стороны многомодового волокна. Или, например, усреднив результаты измерений потерь во встречных направлениях, можно исключить систематическую ошибку, возникающую из-за разной чувствительности фотоприемных блоков мультиметров, размещенных на разных концах линии.

Принцип действия OTDR (оптического рефлектометра)

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 релеевского рассеяния. Рассеяние света происходит на флуктуациях показателя преломления кварцевого стекла, застывших при вытяжке волокна. Размер этих неоднородностей (релеевских центров) мал по сравнению с длиной волны и свет на них рассеивается во все стороны, в том числе и назад в моду волокна (рис. 2.5).

Релеевские 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 релеевского 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.

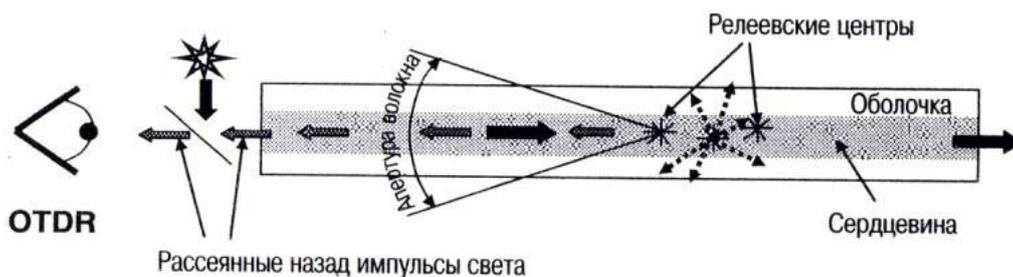


Рис. 2.5. В OTDR приходят импульсы света, рассеянные назад в моду волокна

Доля мощности света, рассеиваемая назад в моду волокна крайне мала. Например, при ширине импульса 1м (длительность импульса 10нс) коэффициент обратного релеевского рассеяния составляет величину около – 70дБ. Поэтому, в OTDR в волокно посылаются импульсы большой мощности и большой длительности, а для детектирования рассеянных назад импульсов света применяются высокочувствительные фотоприемники.

В большинстве моделей OTDR используется модульная конструкция (рис. 2.6). 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.

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.

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 100км (с оптическими усилителями ~1000км), то ясно, что подключать измерительную аппаратуру только к одному концу такой линии значительно проще.

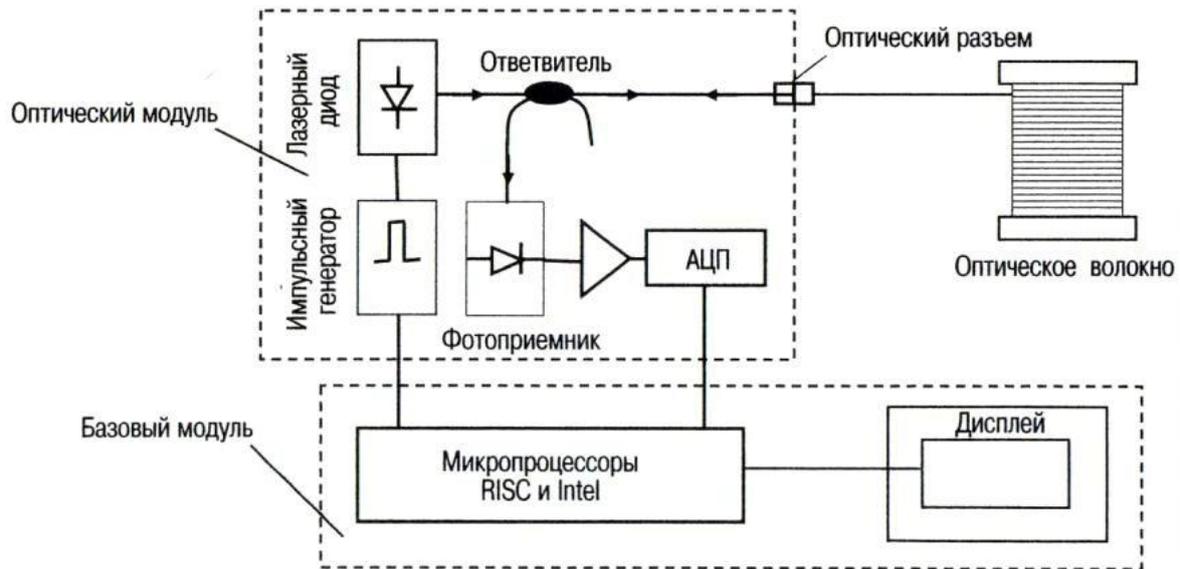


Рис. 2.6. Блок схема OTDR

Контрольные вопросы

1. Перечислите методы измерения потерь в оптических волокнах.
2. Какой метод измерения потерь в оптических волокнах более распространен? Почему?
3. Из-за чего возникают потери в изогнутом оптическом волокне?
4. Из-за чего возникают потери в прямом оптическом волокне?
5. Из-за чего возникают потери в месте соединения оптических волокон?
6. Каковы причины появления погрешности при измерении потерь в оптических волокнах?
7. Принцип действия рефлектометра.
8. Достоинства использования рефлектометра.

Литература

1. Листвин А.В., Листвин В.Н. – Рефлектометрия оптических волокон. – М.: ЛЕСАРарт, 2005.
2. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие для вузов (1990).

Лабораторная работа №3

Определения места и характера повреждения оптического кабеля с использованием оптического рефлектометра

1. Цель работы

1. Изучить методику определения места и характера повреждения оптического кабеля с использованием оптического рефлектометра.
2. Получить практические навыки работы с оптическими тестерами EXFO FTB-200 и FTB-7000.

2. Порядок выполнения работы

1. Подключить один конец оптоволоконного кабеля к рефлектометру (см. рис. 3.1).



Рис. 3.1

2. Во вкладке «Модули» внизу в приложениях выбирать «Расширенный OTDR» и нажимаем кнопку «Старт».
3. Далее внизу экрана выбрать необходимую длину волны (для выбранной длины волны можно изменить расстояние (km), длительность импульса (ns), и время (s) проведения теста).
4. После установки настроек нажать зелёную кнопку «Старт» в правой верхней части экрана.
5. Получаем результат измерения и график. Длина волокна определяется по переднему фронту импульса отражённых от торца волокна, что можно увидеть во вкладке «События». Также длину оптоволоконного кабеля можно посмотреть во вкладке «Сводка» слева вверху.
6. Повторить процедуру для других длин волн, нескольких значений длительности импульса и оптических волокон различной длины.
7. Полученные результаты оформить в виде таблицы и сделать выводы.

3. Содержание отчета

1. Краткая теория.
2. Результаты измерений, расчетов и графики.
3. Выводы по работе и ответы на контрольные вопросы.

4. Методика измерения длины волокна

Одной из важнейших задач, решаемых с помощью оптического рефлектометра 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

$$L = (c/n_T)(T/2), \quad (3.1)$$

где c/n_T – групповая скорость распространения света в волокне, c – скорость света в вакууме, n_T – 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 $c=3 \cdot 10^5$ км/с и $n_T=1,5$. Тогда коэффициент пересчета времени в расстояние получается равным $0,1 \text{ км/мкс} = 0,1 \text{ м/нс}$.

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 2нс до 20мкс). Обусловлено это тем, что положение неоднородности на рефлектограмме определяется по переднему фронту импульса, как это показано на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Измерение длины волокна по сигналу отражения от конца волокна

На рис. 3.2 представлены рефлектограммы отрезка волокна длиной около 5 км с погонными потерями порядка $0,2 \text{ дБ/км}$ на $\lambda=1550 \text{ нм}$. Рефлектограммы измерены при двух значениях длительности импульса 100нс (сплошная линия) и 1мкс (пунктирная линия). Рефлектограммы представляют собой прямые линии (с углом наклона $\sim 0,2 \text{ дБ/км}$) 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.

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. 3.2, 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 (1мкс) 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 (~0,5км). При уменьшении длительности импульса до 100нс ширина мертвой зоны уменьшается примерно в 10 раз. При этом уровень сигнала обратного релеевского рассеяния уменьшается на 5дБ, 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.

При неправильной установке диапазона измеряемых длин в конце рефлектограммы не будет виден всплеск сигнала отражения от торца волокна и не будет видна шумовая дорожка, образующаяся в отсутствие сигнала обратного рассеяния света в волокне.

Величина ошибки в определении положения конца волокна зависит от крутизны фронта импульса, коэффициента отражения от неоднородности и коэффициента обратного релеевского рассеяния света в волокне. При хорошем сколе торца волокна в конце рефлектограммы наблюдается всплеск сигнала, обусловленный отражением (кривая А, рис. 3.3). Амплитуда этого всплеска пропорциональна мощности оптического импульса, а крутизна начала всплеска пропорциональна крутизне переднего фронта импульса.

Положение конца волокна (L_A) определяется по моменту времени, когда этот всплеск достигнет верхнего порогового уровня, пересечение которого

означает обнаружение отражающей неоднородности. Чем круче начало всплеска сигнала (чем больше крутизна фронта импульса), тем точнее определяется положение такой неоднородности. Минимальная ошибка, с которой можно определить положение отражающей неоднородности, примерно равно половине ширины интервала между измеряемыми точками.

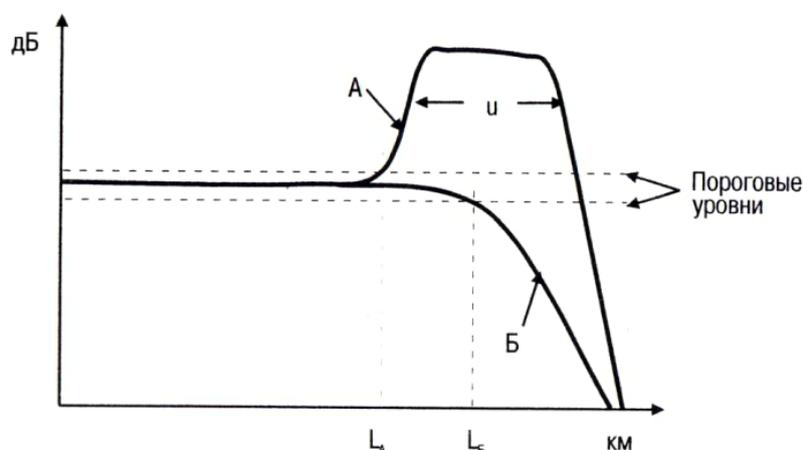


Рис. 3.3. Нахождение положения конца волокна в рефлектограмме при разных значениях коэффициента отражения от торца (u - ширина импульса), (А) Френелевский коэффициент отражения от торца волокна, (Б) Конец волокна погружен в иммерсию

Если же отражение отсутствует, например, из-за того, что конец волокна погружен в иммерсию или на конце волокна создана петелька с большими потерями, то в конце рефлектограммы наблюдается уменьшение сигнала (кривая Б). В этом случае положение конца волокна (L_B) определяется по моменту, когда сигнал достигнет нижнего порогового уровня.

В результате оказывается, что измеренное значение длины волокна зависит от качества скола торца волокна и может превысить его истинное значение на несколько десятков метров. Эта методическая ошибка может существенно повлиять на точность определения места повреждения волокна в линии передачи. Поэтому целесообразно рассмотреть более подробно характерные типы повреждений волокна.

Определение места повреждения волокна

Срок службы линии передачи не менее 25 лет. За это время кабель, обладающий высокой степенью надежности, может быть поврежден случайно или умышленно. Случайные повреждения кабеля происходят, в основном, при земляных работах (около 40%), умышленно его повреждают при кражах кусков кабеля (думая, что медный) или при стрельбе по нему из охотничьих ружей. Кроме того, кабель может быть поврежден грызунами или на линии может произойти авария (подвижка грунта, наводнение, удар молнии и т.д.).

В большинстве случаев (~80%) повреждаются сразу все волокна в кабеле, что приводит к простою линии и, соответственно, к большим финансовым

потерям. Поэтому место повреждения кабеля должно быть найдено максимально быстро. Однако сделать это, учитывая большую протяженность регенерационного участка линии (типичная длина ~100км), часто бывает сложно.

С помощью рефлектометра можно измерить с хорошей точностью (порядка нескольких метров) длину волокна от начала линии до места повреждения волокна. Однако знания длины волокна недостаточно для того, чтобы определить положение места повреждения кабеля на трассе. Для этого нужно еще осуществить привязку рефлектограммы к местности. Сделать это необходимо потому, что длина волокна, уложенного в кабель, обычно превышает длину кабеля, а длина кабеля в свою очередь превышает длину трассы.

Общим для всех конструкций оптического кабеля является то, что деформации кабеля, неизбежно возникающие под действием окружающей среды, не должны приводить к возникновению напряжения в волокне. Только в этом случае удастся избежать появления в волокне дополнительных потерь и обеспечить большой срок службы кабеля. Так, например, для достижения срока службы ~25 лет величина относительного удлинения волокна не должна превышать 0,2%, что в несколько раз меньше допустимой величины относительного удлинения кабеля.

Наиболее простым конструктивным решением, обеспечивающим механическую развязку волокна от несущих элементов кабеля, является свободная укладка волокна в кабель в виде спирали. При этом избыток волокна должен быть достаточно большим для того, чтобы деформации, которым подвергается кабель, приводили только к изменению шага спирали, и не создавали в волокне натяжения.

Величина избытка волокна зависит от конструкции кабеля. Так, например, волокно может быть уложено в виде спирали в трубчатом модуле (пластмассовом или металлическом). Избыток волокна в таком модуле составляет 0,4...0,8%. Эти модули обычно свиваются слоями (повивами) вокруг центрального элемента кабеля. Возникающий при этом избыток волокна может достигать уже нескольких процентов.

В свою очередь, длина кабеля может значительно (в 1,5 раза) превысить длину трассы. Происходит это потому, что кабель должен обходить различные препятствия и, кроме того, в линии имеются конструктивные запасы кабеля необходимые для его ремонта. Поэтому, несмотря на то, что с помощью рефлектометра можно с достаточно хорошей точностью измерить длину волокна от начала линии до места ее повреждения, положение места повреждения волокна на местности будет известно с невысокой точностью порядка нескольких сот метров.

Неопределенность в определении места повреждения волокна можно уменьшить, представив рефлектограмму как функцию длины кабеля (а не как

функцию длины волокна). Сделать это можно, если вместо группового показателя волокна установить в рефлектометре некий эффективный показатель преломления $n_{эфф}$, позволяющий учесть избыток волокна в кабеле.

Для того, чтобы рассчитать величину $n_{эфф}$, нужно знать длину кабеля L_K (ее можно взять, например, из документации на кабель), групповой показатель преломления волокна n_r (он обычно указывается производителем в спецификации на волокно) и длину волокна L_B (она измеряется рефлектометром).

$$n_{эфф} = (L_B \cdot n_r) / L_K. \quad (3.2)$$

Найти величину $n_{эфф}$ можно и несколько иным способом, используя при вычислениях рефлектометр. Для этого надо установить курсоры на начало и конец кабельного участка известной длины и подобрать такое значение показателя преломления, при котором оптическая длина волокна будет равна физической длине кабеля.

Далее с помощью функции автопоиска надо идентифицировать все строительные длины кабелей в линии и ввести в рефлектометр соответствующий им эффективный показатель преломления. В результате рефлектограмма будет представлена, как функция длины кабельной линии.

На следующем этапе проводится привязка рефлектограммы к местности. Для этого, после завершения монтажа каждой муфты, записываются метки на кабеле с указанием его длины, а также километраж железной дороги или другого протяженного объекта, вдоль которого прокладывается кабель.

Контрольные вопросы

1. Факторы ограничивающие точность измерения расстояния с помощью рефлектометра.
2. Что такое «Мертвая зона»?
3. Факторы влияющие на ширину «Мертвой зоны».
4. Каковы причины возникновения неопределенности в определении места повреждения волокна?
5. Каковы причины несовпадения длины оптоволокна и длины трассы?
6. Каковы причины появления погрешности при измерении длины оптического волокна?
7. Принцип действия рефлектометра.
8. Достоинства использования рефлектометра.

Литература

1. Листвин А.В., Листвин В.Н. – Рефлектометрия оптических волокон. – М.: ЛЕСАРарт, 2005.
2. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие для вузов (1990).

Лабораторная работа №4

Измерения отражения и расчета оптических потерь отражения в оптическом кабеле

1. Цель работы

1. Изучить методику измерения отражения и расчета оптических потерь отражения в оптическом кабеле.
2. Получить практические навыки работы с оптическими тестерами EXFO FTB-200 и FTB-7000.

2. Порядок выполнения работы

1. Подключить один конец оптоволокна к рефлектометру.
2. Во вкладке «Модули» внизу в приложениях выбирать «Расширенный OTDR» и нажимать кнопку «Старт».
3. Далее внизу экрана выбрать необходимую длину волны (для выбранной длины волны можно изменить расстояние (km), длительность импульса (ns), и время (s) проведения теста).
4. После установки настроек нажать зелёную кнопку «Старт» в правой верхней части экрана.
5. Получаем результат измерения и график.
6. В появившемся окне результатов выбрать вкладку «События» и смотрим столбец «Отр».
7. Общая информация о коэффициенте отражения приведена во вкладке «Измерение».
8. По формулам приведенным в теоретическом материале рассчитать коэффициент отражения.
9. Повторить процедуру для других длин волн, нескольких значений длительности импульса и оптических волокон различной длины.
10. Полученные результаты оформить в виде таблицы и сделать выводы.

3. Содержание отчета

1. Краткая теория.
2. Результаты измерений, расчетов и графики.
3. Выводы по работе и ответы на контрольные вопросы.

4. Измерение коэффициентов отражения

Методика измерения коэффициента отражения

Коэффициент отражения ($R=P_{om}/P_o$) определяется как отношение мощности волны, отраженной от неоднородности P_{om} к мощности падающей

волны P_o . В единицах децибел выражение для коэффициента отражения записывается в виде:

$$r = 10 \log(P_{om}/P_o). \quad (4.1)$$

Обычная процедура нахождения коэффициента отражения заключается в измерении относительной величины отраженной мощности (P_{om}/P_o) (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Для нахождения величины коэффициента отражения необходимо выполнить два измерения

Однако с помощью рефлектометра нельзя измерить мощность падающей на неоднородность волны P_o , но можно найти величину всплеска сигнала отражения (рис. 4.2)

$$f = 5 \log \left[\frac{(P_{om} + P_{pac})}{P_{pac}} \right] = 5 \log \left[\frac{(R + Q)}{Q} \right]. \quad (4.2)$$

Как видно из (4.2), величина всплеска сигнала f однозначно определяется величиной отношения $P_{om}/P_{pac} = R/Q$, где $Q = P_{pac}/P_{om}$ – коэффициент обратного релеевского рассеяния. Потенцируя (4.2), получаем выражение для коэффициента отражения: $R = (10^{f/5} - 1)Q$. В единицах децибел оно принимает вид:

$$r = 10 \log(10^{f/5} - 1) + q. \quad (4.3)$$

Таким образом, для нахождения коэффициента отражения с помощью рефлектометра достаточно одного измерения (величины всплеска сигнала f), но при этом необходимо знать величину коэффициента обратного релеевского рассеяния $q = 10 \log Q$.

В общем случае, как видно из (4.3), коэффициент отражения r и высота всплеска сигнала на рефлектограмме f связаны между собой довольно громоздким нелинейным выражением. Однако во многих практически интересных случаях всплеск сигнала получается достаточно большим так, что выполняется условие: $f > 5$ дБ. В этом приближении выражение (4.3) упрощается:

$$r = q + 2f. \quad (4.4)$$

Его можно получить непосредственно из (4.2), положив, что $R \gg Q$. Тогда выражение для всплеска сигнала преобразуется к виду $f \cong 5 \log(R/Q) = (r - q)/2$, что эквивалентно (4.4). Приближенное выражение (4.4) имеет простой физический смысл. Оно означает, что разность между отраженной и рассеянной мощностью (в единицах дБм) равна удвоенной величине всплеска сигнала (удвоенной потому, что на вертикальной шкале рефлектометра откладывается $5 \log$, а не $10 \log$).

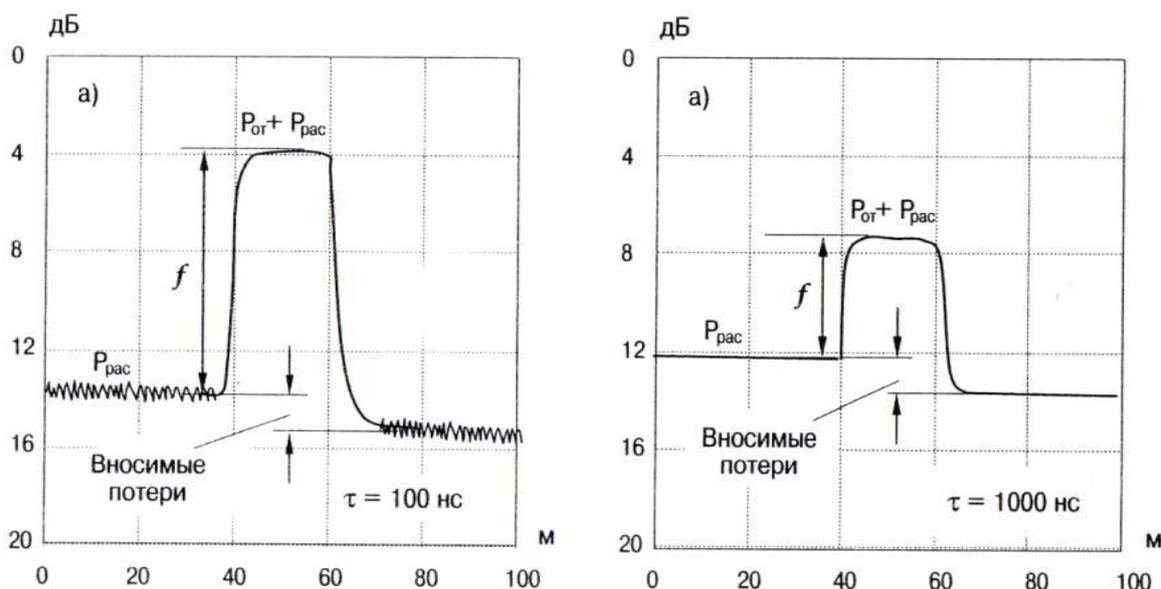


Рис. 4.2. Рефлектограммы участка линии с оптическим разъемом. Коэффициент отражения $r = -40$ дБ, длительность импульса (а) 100 нс, (б) 1000 нс

Коэффициент обратного релеевского рассеяния определяется, как доля мощности прямой волны рассеянной назад в основную моду волокна с участка длиной, равной полуширине импульса света в волокне: $Q = S\alpha_p v\tau/2$, где $S \approx 1.2 \cdot 10^{-3}$ – коэффициент захвата рассеянного излучения модой волокна, $\alpha_p = 3.9 \cdot 10^{-2} \text{ км}^{-1}$ (0,17 дБ/км) – коэффициент потерь света в SM волокне из-за релеевского рассеяния на $\lambda = 1550 \text{ нм}$, $v = c/n_f \approx 2 \cdot 10^5 \text{ км/с}$ – групповая скорость света в волокне, τ – длительность импульса.

При длительности импульса 1 нс коэффициент обратного релеевского рассеяния равен примерно – 78 дБ на $\lambda = 1310 \text{ нм}$ и – 82 дБ на $\lambda = 1550 \text{ нм}$.

В дальнейшем при оценках для обеих длин волн мы будем полагать коэффициент обратного релеевского рассеяния равным – 80 дБ (при $\tau = 1 \text{ нс}$). Тогда зависимость коэффициента обратного релеевского рассеяния от длительности импульсов τ можно записать в виде:

$$q = -80 \text{ дБ} + 10 \log(\tau[\text{нс}]/1[\text{нс}]). \quad (4.5)$$

Другой удобной для запоминания величиной является коэффициент обратного релеевского рассеяния с единицы длины волокна: $Q/L = S\alpha_p = -70 \text{ дБ/м}$. Зависимость коэффициента обратного релеевского рассеяния от длительности импульсов изображена на рис. 4.3.

Используя диаграммы (рис. 4.3), с помощью выражения (4.4) можно оценить величину всплеска сигнала f . Так, например, для Super PC разъемов разность $r - q$ при $\tau \sim 1 \text{ мкс}$ равна 10 дБ и, соответственно, высота всплеска f должна быть равна 5 дБ. Или, наоборот, по величине всплеска на рефлектограмме можно определить величину коэффициента отражения. Например, величина всплеска на рис. 4.2а равна 10 дБ (при $\tau \sim 100 \text{ нс}$) и,

соответственно, разность $r-q$ равна 20дБ. А так как при $\tau \sim 100$ нс коэффициент обратного релеевского рассеяния $q = -60$ дБ (рис. 4.3), то получаем, что $r = -40$ дБ.

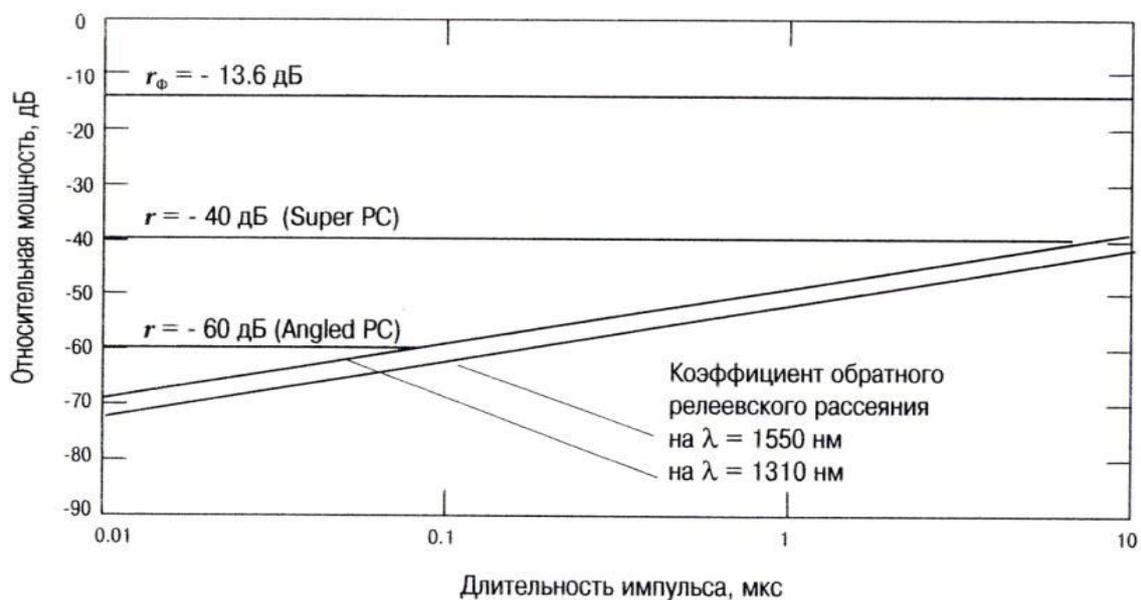


Рис. 4.3. Зависимость доли отраженной и рассеянной в волокне мощности света от длительности импульсов

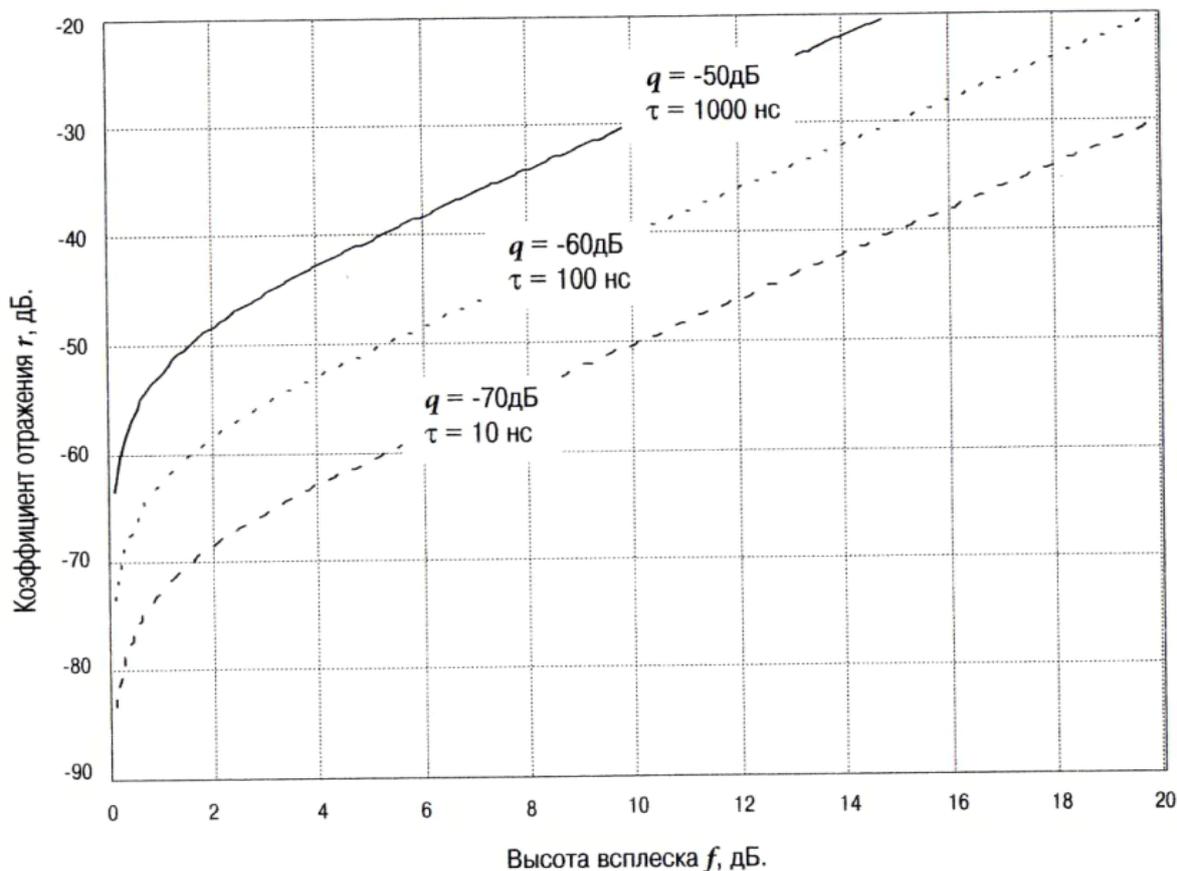


Рис. 4.4. Зависимость коэффициента отражения r от высоты всплеска на рефлектограмме f

Приближенное выражение (4.4) применимо при $f > 5$ дБ. При меньших значениях зависимость r от f становится нелинейной. В этом случае для оценок нужно использовать выражение (4.3) или графики, приведенные на рис. 4.4.

Как видно из рис. 4.4, при $f < 5$ дБ и $r < -60$ дБ высота всплеска сигнала f быстро уменьшается с увеличением длительности импульса. Например, для того, чтобы обнаружить сварное соединение волокон с коэффициентом отражения $r = -70$ дБ, ширина импульса должна быть менее 100 нс, а при коэффициенте отражения $r = -80$ дБ – менее 10 нс.

Измерение обратных потерь (ORL)

Хорошо известно, что даже небольшая часть волны, вернувшаяся обратно в лазерный диод, ухудшает стабильность системы передачи. Наиболее сильно обратная волна влияет на работу аналоговых систем кабельного телевидения. Обратная волна в волокне образуется как за счет рассеяния, так и за счет отражения света. В кварцевом волокне свет рассеивается равномерно со всех участков волокна, а отражается только в местах нарушения однородности волокна (чаще всего в оптических разъемах).

Мощность, отраженная от удаленной неоднородности в длинном волокне, как правило, меньше мощности рассеянной назад во всем волокне, но она, оказывает значительно более сильное воздействие на лазерный диод. Обусловлено это тем, что участок волокна, расположенный между отражающей неоднородностью (например, оптическим разъемом) и лазерным диодом, образует дополнительный резонатор, связанный оптически с основным резонатором лазерного диода. Оптическая длина этого резонатора изменяется под действием окружающей среды, что приводит к флуктуациям мощности, частоты и длины когерентности излучения лазерного диода.

Долю мощности, вернувшейся обратно к источнику излучения, принято характеризовать величиной обратных потерь (optical return loss):

$$ORL = 10 \log(P_o / P_{об}), \quad (4.6)$$

где P_o – мощность, введенная в волокно, $P_{об}$ – вернувшаяся обратно мощность. Запишем (4.6) в единицах дБм ($p = 10 \log(P/1[\text{мВт}])$)

$$ORL = P_o - P_{об}. \quad (4.7)$$

Отсюда видно, что ORL имеет смысл потерь на преобразование мощности введенной в волокно в мощность волны вернувшейся обратно к источнику излучения.

Величиной ORL можно характеризовать как отдельную неоднородность (например, оптический разъем), так и весь регенерационный участок линии передачи. Для отдельной неоднородности, как видно из сравнения выражений (4.1) и (4.6), ORL отличается от коэффициента отражения только знаком ($ORL = -r$). Поэтому качество оптического разъема с равным успехом можно характеризовать как величиной коэффициента отражения, так и величиной ORL .

В тоже время понятие коэффициента отражения нельзя использовать для характеристики доли мощности, вернувшейся обратно с участка линии передачи, так как оно определено только для отдельной (локальной) неоднородности. Мощность же, вернувшаяся с участка линии, складывается как из мощности, рассеянной в волокне, так и мощности отраженной от нескольких неоднородностей линии. Отражательную способность такой распределенной системы принято характеризовать величиной *ORL*.

Мощность волны, вернувшейся в рефлектометр, складывается из мощности рассеянной назад в моду волокна и мощности отраженной от торца волокна $P_{об}(L) = P_o [S\alpha_p L_{эфф} + R_T \exp(-2\alpha L)]$, где $L_{эфф} = [1 - \exp(-2\alpha L)] / (2\alpha)$ – эффективная длина участка волокна, с которого приходит рассеянная назад мощность (она ограничена из-за потерь света в волокне). При $\alpha L \ll 1$ эффективная длина $L_{эфф} = L$, а при $\alpha L \gg 1$ она не зависит от L и определяется только величиной потерь в волокне ($L_{эфф} = 1/(2\alpha)$) Подставив выражение для $P_{об}(L)$ в (4.6) найдем *ORL* для отрезка волокна:

$$ORL = -10 \log [S\alpha_p L_{эфф} + R_T \exp(-2\alpha L)]. \quad (4.8)$$

Выражение для *ORL* содержит два члена. Первый член учитывает мощность света, рассеянную в волокне. Второй член учитывает мощность, отраженную от торца волокна. Эта мощность пропорциональна коэффициенту отражения от торца волокна R_T и экспоненциально уменьшается с увеличением длины L волокна. Двойка перед коэффициентом поглощения α в показателе экспоненты появилась из-за того, что свет проходит через волокно дважды.

Величина *ORL* для всего регенерационного участка линии должна быть больше 24 дБ, а для отдельных неоднородностей в линии больше 27 дБ.

Контрольные вопросы

1. Запишите выражение для нахождения коэффициента отражения.
2. Как связаны коэффициент отражения и высота всплеска сигнала на рефлектограмме?
3. Что такое коэффициент обратного релеевского рассеяния?
4. Как зависит коэффициент обратного релеевского рассеяния от длительности импульса?
5. Как образуется обратная волна в оптическом волокне?
6. Что такое «обратные потери»?
7. Физический смысл *ORL*.

Литература

1. Листвин А.В., Листвин В.Н. – Рефлектометрия оптических волокон. – М.: ЛЕСАРпт, 2005.
2. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие для вузов (1990).

Лабораторная работа №5

Измерение полных и погонных потерь с использованием оптического рефлектометра

1. Цель работы

1. Изучить методику измерения и расчета полных и погонных потерь в оптоволокне.
2. Получить практические навыки работы с оптическими тестерами EXFO FTB-200 и FTB-7000.

2. Порядок выполнения работы

1. Подключить один конец оптоволокна к рефлектометру.
2. Во вкладке «Модули» внизу в приложениях выбирать «Расширенный OTDR» и нажимать кнопку «Старт».
3. Далее внизу экрана выбрать необходимую длину волны (для выбранной длины волны можно изменить расстояние (km), длительность импульса (ns), и время (s) проведения теста).
4. После установки настроек нажать зелёную кнопку «Старт» в правой верхней части экрана.
5. Получаем результат измерения и график.
6. Полные потери можно увидеть во вкладке «Измерения». Для расчета погонных потерь необходимо найти визуально линейный участок рефлектограммы и поставить маркеры «А» и «В» в начало и в конец данного участка и разделить разницу уровней на расстояние между точками. Общая информация о коэффициенте отражения приведена во вкладке «Измерение».
7. Также можно рассчитать потери в срезке волокон, которые равны разнице уровней сигналов в начале и конце изгиба рефлектограммы в месте срезки. Оптический кабель имеет множество неоднородностей, поэтому в качестве примера можно рассмотреть самое очевидное изменение уровня.
8. Повторить процедуру для других длин волн, нескольких значений длительности импульса и оптических волокон различной длины.
9. Полученные результаты оформить в виде таблицы и сделать выводы.

3. Содержание отчета

1. Краткая теория.
2. Результаты измерений, расчетов и графики.
3. Выводы по работе и ответы на контрольные вопросы.

4. Измерение полных и погонных потерь

Показания рефлектометра изменяются пропорционально логарифму отношения мощностей импульса света рассеянных в начале линии и на

расстоянии z . Это отношение зависит от коэффициента пропускания линии ($T(z)$) и от коэффициента обратного релеевского рассеяния в $Q(z)$, как: $P_{об}(z)/P_{об}(0) = T^2(z)[Q(z)/Q(0)]$. Коэффициент пропускания входит в квадрате, так как свет проходит через линию дважды: в качестве прямой и в качестве обратной волны. При этом учитывается, что в линии с одномодовыми волокнами коэффициент пропускания не зависит от направления распространения света.

Так как мощность обратной волны пропорциональна квадрату коэффициента пропускания, то в логарифмической шкале рефлектометра используется в два раза меньший коэффициент (логарифмические единицы выделены жирным курсивом): $A(z) = 5\log[P_{об}(0)/P_{об}(z)]$. Подставив сюда выражение для отношения мощностей рассеянных в волокне импульсов, получаем

$$A(z) = -10\log T(z) + 5\log[Q(0)/Q(z)], \quad (5.1)$$

где первый член ($A_{ист}(z) = -10\log T(z)$) в (5.1) равен величине истинных потерь (в единицах дБ) на участке линии от 0 до z , а второй член представляет собой систематическую ошибку, возникающую из-за вариаций коэффициента обратного релеевского рассеяния.

Распределение потерь в такой линии принято характеризовать тремя параметрами: полными потерями в линии (A (дБ)), погонными потерями в строительных длинах оптических кабелей (α (дБ/км)) и потерями в сращениях волокон (a (дБ)). Полные потери в линии важны потому, что они определяют бюджет ее мощности. Полные потери складываются в основном из потерь в строительных длинах оптических кабелей и потерь в сращениях волокон. Величину этих потерь необходимо контролировать как в процессе монтажа, так и в процессе эксплуатации линии.

Как это видно из рис. 5.1, полные потери в линии передачи (A) равны разности уровней сигналов в начале и в конце рефлектограммы. Потери в сращении волокон (a) равны разности уровней сигналов в начале и конце изгиба рефлектограммы в месте положения сращения. Величина погонных потерь в строительных длинах оптического кабеля α (дБ/км) равна углу наклона линейных участков рефлектограммы.

Ошибки в измерении потерь минимальны, когда рефлектограмма не зашумлена, ширина зон нечувствительности (мертвых зон) мала, а коэффициент обратного релеевского рассеяния не зависит от продольной координаты z . В этом приближении ошибка в измерении величины полных потерь ΔA (дБ) = $A - A_{ист}$ обусловлена нелинейностью вертикальной шкалы рефлектометра: K (дБ/дБ) = $(A - A_{ист})/A_{ист}$, где A – измеренное значение истинных потерь, а $A_{ист}$ – истинное значение потерь. Ошибка ΔA выражается через коэффициент нелинейности K соотношением

$$\Delta A = K \cdot A. \quad (5.2)$$

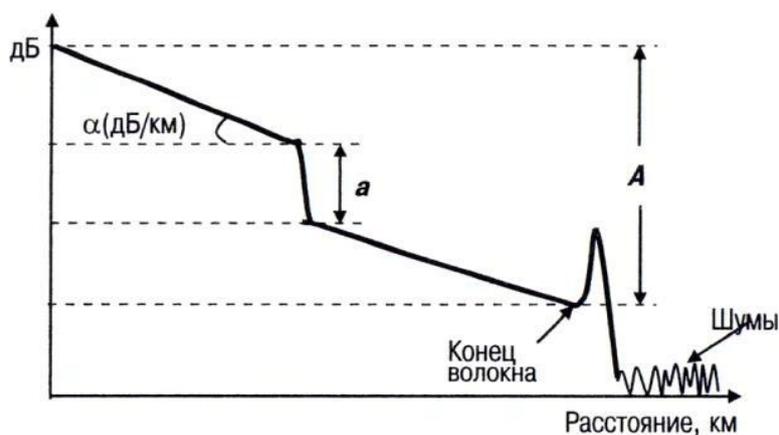


Рис. 5.1. Схема расчета потерь по рефлектограмме

Ошибка при измерении погонных потерь $\alpha(\text{дБ/км})=A/L$ складывается из ошибки в измерении полных потерь A на участке линии длиной L и ошибки в измерении длины этого участка линии. Учитывая, что точность измерения длины намного выше, чем точность измерения полных потерь, погрешность в измерении величины погонных потерь также определяется величиной коэффициента нелинейности (K)

$$\Delta\alpha(\text{дБ/км})=K \cdot \alpha(\text{дБ/км}). \quad (5.3)$$

Для типичной величины погонных потерь $\alpha(\text{дБ/км})=0,20\text{дБ/км}$ (на $\lambda=1550\text{нм}$) с помощью (5.3) получаем: $\Delta\alpha=0,004\text{дБ/км}$.

Влияние мертвых зон

Конечная ширина импульсов приводит к появлению на рефлектограмме зон нечувствительности (мертвых зон). Наиболее широкие мертвые зоны возникают вблизи отражающих неоднородностей (рис. 5.2), так как мощность отраженных импульсов обычно значительно превышает мощность импульсов, рассеянных на релейских центрах в волокне. Причем отражение от оптического разъема рефлектометра, как правило, приводит к насыщению фотоприемника, и поэтому мертвая зона в начале рефлектограммы получается наиболее широкой.

Появление на рефлектограмме мертвых зон осложняет процедуру измерений. Так, например, для расчета полных потерь в линии (A) необходимо знать начальный уровень сигнала на вертикальной оси (оси ординат). Положение этого уровня маскируется мертвой зоной в начале рефлектограммы. Поэтому первый линейный участок рефлектограммы экстраполируется (продолжается) до пересечения с осью ординат. Точка пересечения этой прямой с осью ординат принимается за положение начального уровня сигнала.

Величина потерь в неоднородностях (a) находится по расстоянию между прямыми линиями, продолжающими линейные участки рефлектограммы до и после неоднородности.

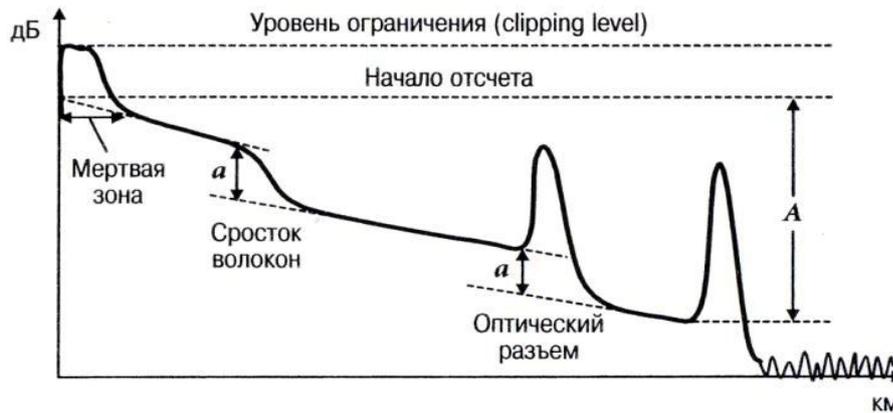


Рис. 5.2. Схема нахождения распределения потерь в линии по рефлектограмме с мертвыми зонами

Применение согласующего кабеля

Оптический разъем – единственный оптический элемент рефлектометра, к которому имеется непосредственный доступ. Если оптический разъем рефлектометра поврежден или к нему подсоединено волокно с некачественным оптическим разъемом, то это может привести к уменьшению мощности света вводимой в волокно и к увеличению ширины мертвой зоны (рис. 5.3).

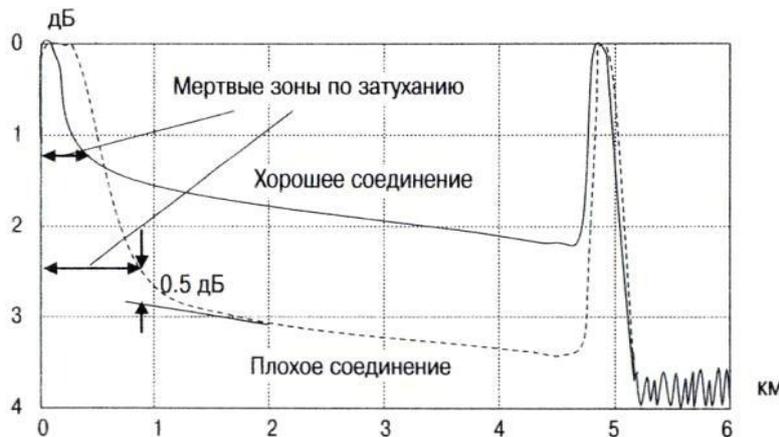


Рис. 5.3. Рефлектограммы, полученные при хорошем и плохом качестве подключения к оптическому разъему рефлектометра (без согласующего кабеля)

Длина оптического шнура обычно составляет несколько метров, т.е. она значительно меньше ширины мертвой зоны на входе в рефлектометр. Поэтому если качество соединения оптических волокон с рефлектометром получается плохим, то по рефлектограмме трудно определить конкретное место повреждения. Так, например, всплеск сигнала в начале рефлектограммы может быть вызван как отражением от места соединения оптических разъемов рефлектометра и оптического шнура, так и отражением от места соединения оптических разъемов исследуемого волокна и оптического шнура.

Для того чтобы можно было локализовать место повреждения, длина оптического шнура должна быть больше ширины мертвой зоны на входе в рефлектометр. Для этих целей обычно используют уложенный в бухту оптический шнур длиной около 1 км. Чаще всего его устанавливают на входе в линию, и тогда он называется согласующим кабелем (launch cable). Если же он устанавливается на выходе линии, то его называют приемным кабелем (receive cable). В соответствии с требованиями руководства по строительству линий передачи, согласующий кабель должен применяться практически на всех этапах монтажа линии.

Рефлектограмма отрезка волокна с согласующим кабелем на входе и приемным кабелем на выходе приведена на рис. 5.4. На рефлектограмме виден всплеск сигнала, вызванный отражением от места соединения оптических разъемов согласующего кабеля и исследуемого волокна. До и после этого всплеска сигнала видны наклонные участки, обусловленные релеевским рассеянием света в волокне.

Как известно, величина потерь в месте соединения оптических разъемов равна расстоянию между прямыми линиями, проведенными через эти наклонные участки рефлектограммы. Таким образом, при использовании согласующего кабеля можно измерить величину потерь в месте соединения оптических разъемов согласующего кабеля и исследуемого волокна и проконтролировать качество этого соединения.

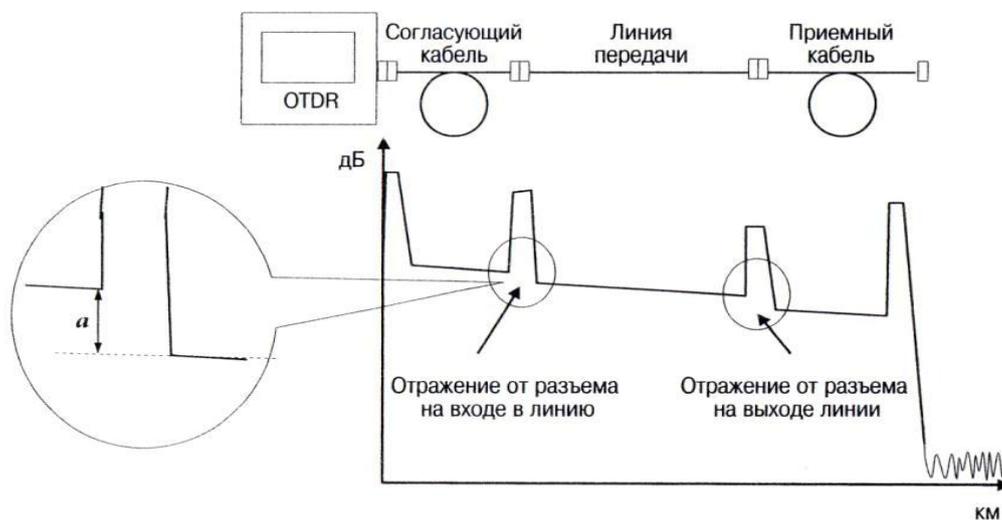


Рис. 5.4. Рефлектограмма трассы с согласующим и приемным кабелем

В тоже время измерить величину потерь в месте соединения оптических разъемов согласующего кабеля и рефлектометра по-прежнему нельзя. Из рис. 5.4 видно, что всплеск сигнала, вызванный отражением от места соединения этих разъемов, примыкает непосредственно к началу рефлектограммы и рядом с ним имеется только один наклонный участок рефлектограммы. Поэтому о качестве соединения оптических разъемов согласующего кабеля и

рефлектометра можно судить только по ширине мертвой зоны на входе в рефлектометр – она должна быть близка к значению, специфицированному для данного типа рефлектометра.

Если на конце линии установлен приемный кабель, то, как видно из рис. 5.4, можно измерить величину потерь в месте соединения оптических разъемов приемного кабеля и тестируемого волокна. Более того, если линия достаточно длинная, то пик отражения от места соединения этих разъемов не насыщается и по его величине можно оценить величину коэффициента отражения от этих разъемов.

Иногда согласующий кабель подключают к линии, сваривая волокна. Делают это для того, чтобы уменьшить ширину мертвой зоны на входе в линию. Ширина мертвой зоны, образующаяся при сварном соединении волокон, примерно равна ширине импульса света в волокне, а ширина мертвой зоны, образующаяся при соединении волокон с помощью оптических разъемов обычно почти на порядок больше (она зависит от величины коэффициента отражения света в месте соединения этих разъемов).

При измерении потерь в многомодовых оптических волокнах также используется согласующий кабель, но из многомодового волокна длиной 0,5...1км. Его обычно называют нормализующей катушкой. Как известно в многомодовых волокнах, в отличие от одномодовых волокон, потеря света в волокне зависит от условия возбуждения мод (потери увеличиваются с увеличением номера моды). Поэтому для корректного измерения величины потерь необходимо обеспечить равномерное заполнение светом всех мод волокна. Проще всего это сделать, пропустив предварительно свет через достаточно длинный отрезок многомодового волокна (нормализующую катушку).

Контрольные вопросы

1. Что такое полные потери?
2. Что такое погонные потери?
3. Что такое «Мертвая зона»? Как она получается?
4. Каким образом «Мертвые зоны» мешают определять величину полных потерь?
5. Что такое «Согласующий кабель»? С какой целью его используют?
6. Как можно оценить качество соединения оптического разъема «Согласующего кабеля» и рефлектометра?

Литература

1. Листвин А.В., Листвин В.Н. – Рефлектометрия оптических волокон. – М.: ЛЕСАРпт, 2005.
2. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие для вузов (1990).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Образец титульного листа

Московский государственный технический университет гражданской авиации

Кафедра ОРТЗИ

Отчет по лабораторной работе №__

**Измерение полных и погонных потерь с использованием оптического
рефлектометра**

Выполнил: студент __-го курса гр. БИТ 3-1

Иванов И.И.

Преподаватель:

Сбитнев А.В.

Москва 20__

Содержание

1. Лабораторная работа №1.....	3
2. Лабораторная работа №2.....	16
3. Лабораторная работа №3.....	25
4. Лабораторная работа №4.....	31
5. Лабораторная работа №5.....	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	43