

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

(ТУСУР)

**Кафедра Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)**

Метрология в оптических телекоммуникационных системах

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

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

2014

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

(ТУСУР)

**Кафедра СВЧвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)**

УТВЕРЖДАЮ
Зав. каф. СВЧиКР

_____ Шарангович С.Н.
“ _____ ” _____ 2014г.

Метрология в оптических телекоммуникационных системах

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

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

Разработчики:

доцент кафедры СВЧиКР
_____ Г.Г. Куш

проф.кафедры СВЧиКР
_____ А.Е. Мандель

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	4
2. Метод волоконно-оптической рефлектометрии	4
3. Устройство и основные характеристики рефлектометров.....	8
3.1 Обобщённые характеристики рефлектометров.....	8
3.2 Технические данные рефлектометра OFR – 12.....	10
3.3 Оптические данные рефлектометра OFR – 12.....	10
4. Указания по эксплуатации прибора.....	11
5. Подготовка прибора к работе.....	12
6. Порядок выполнения работы.....	12
7. Содержание отчёта.....	13
8. Контрольные вопросы.....	13
Список литературы	

Цель работы: Изучение принципа действия и устройства оптического рефлектометра OFR – 12 VORSERIE (OFR – 12 V), изучение технологии волоконно-оптической рефлектометрии многомодовых волокон.

1. Введение

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

Всеми вышеперечисленными проблемами, в той или иной степени занимается рефлектометрия оптических волокон. На практике находят применение одномодовые и многомодовые рефлектометры, которые работают во всех основных окнах прозрачности волоконных световодов. Современные рефлектометры выполнены в виде стационарного прибора размером с профессиональный осциллограф (рефлектометры дальнего действия) или в виде портативного мини-рефлектометра.

2. Метод волоконно-оптической рефлектометрии

В основе рефлектометрии лежит 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 (рис.2.1).

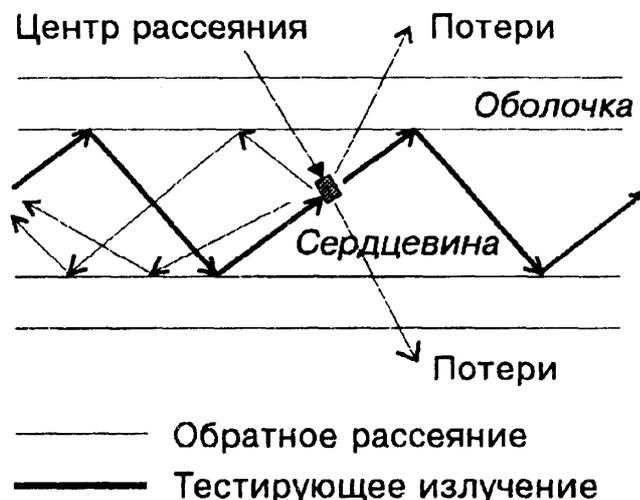


Рис. 2.1. Распространение светового излучения в оптическом волокне

Наиболее перспективным и разработанным методом импульсной рефлектометрии является метод, основанный на измерении мощности обратного рэлеевского рассеяния (OTDR – метод). Принцип измерений основан на введении в волокно импульса оптического излучения и последующем анализе той малой части светового потока, которая возвращается на вход волокна в результате обратного рэлеевского рассеяния и френелевских отражений. В результате математической обработки сигнала фотоприемника на экране рефлектометра формируется изображение, которое называется рефлектограммой. Рефлектограмма представляет зависимость уровня сигнала от расстояния вдоль волокна и позволяет определить затухание и разрыв волокна, вносимые потери компонентов, наличие механических воздействий на волокно, а также, другие важные характеристики линии связи. Типичная рефлектограмма ВОЛС приведена на рисунке 2.2.

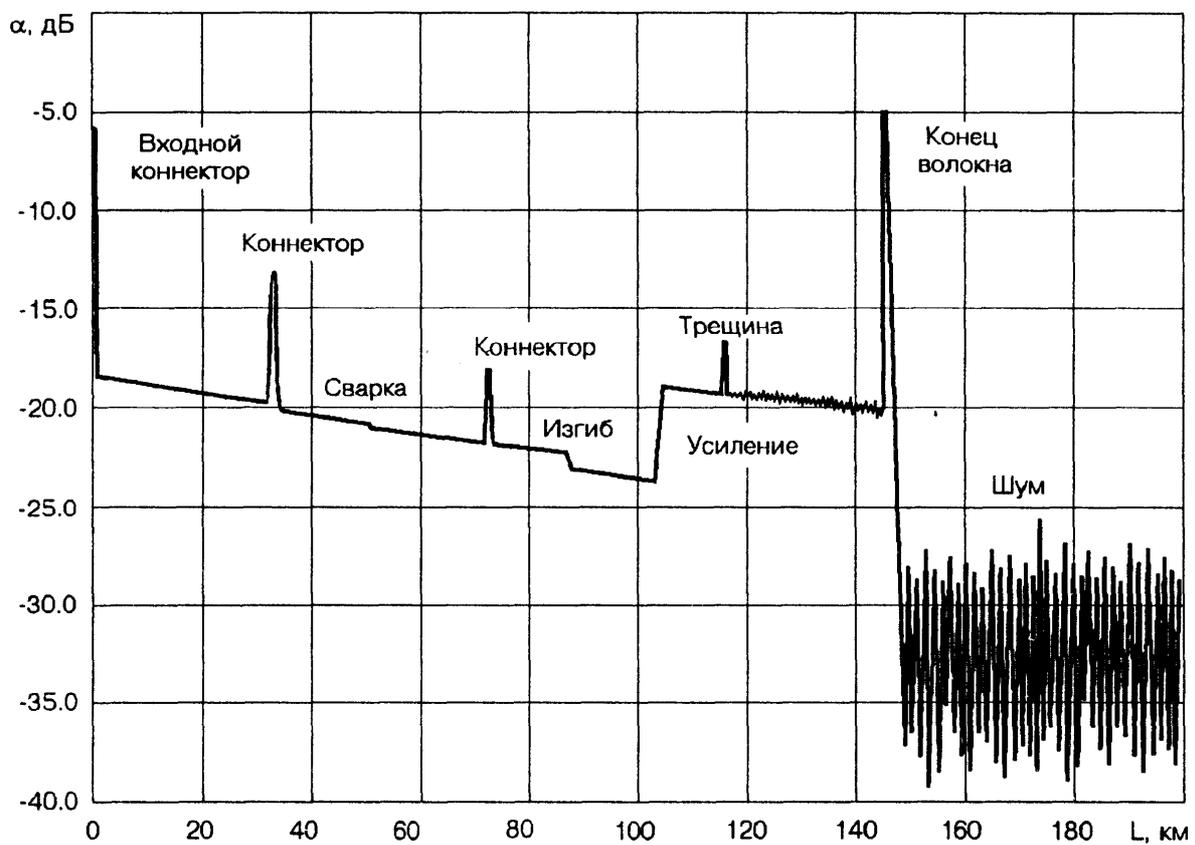


Рис. 2.2. Типовая рефлектограмма ВОЛС

Рассмотрим теоретические основы метода обратного рэлеевского рассеяния.

Пусть на вход оптического волокна в момент t_0 подается световой импульс прямоугольной формы, длительностью Δt и энергией E_0 . Пусть световая энергия, дошедшая до точки x равна $E(x)$ (рис. 2.3).

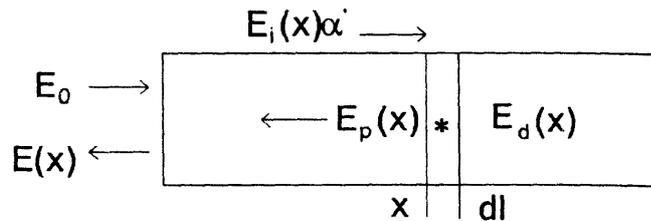


Рис.2.3. Прямая и обратная световые волны в оптическом волокне

Будем считать, что на участке длиной \$dl\$ энергия светового импульса \$E(x)\$ меняется незначительно. Тогда энергию, рассеянную назад участком \$dl\$ волокна можно записать так:

$$dE_p(x) = E_0 \alpha_p(x) S(x) dx, \quad (2.1)$$

где \$\alpha_p\$ – эффективный коэффициент рассеяния, который учитывает рэлеевское рассеяние, определяемое рабочей длиной волны света, локальными неоднородностями (примесями, наличием микроизгибов) и дефектами волокна; \$S(x)\$ – фактор обратного рассеяния, определяющий, какая часть общей рассеянной мощности захватывается апертурой волокна и распространяется по нему в обратном направлении.

Энергия \$E(x)\$ связана с входной энергией соотношением:

$$E(x) = E_0 e^{-\alpha(x)x} \quad (2.2)$$

где \$\alpha(x)\$ – среднее значение коэффициента затухания световой волны при прямом распространении света на участке \$(0,x)\$.

Энергия, поступившая на вход волокна за счет обратного рассеяния от участка \$dl\$ составляет:

$$dE_p(x) = E_0 \alpha_p(x) S(x) e^{-2\alpha(x)x} dx \quad (2.3)$$

Формула (2.3) связывает интенсивность обратно рассеянного излучения, прошедшего на вход волокна с параметрами волокна. Однако, экспериментально определяется временная форма обратно рассеянного сигнала, поэтому необходимо установить связь между пространственной координатой \$x\$ и временной \$t\$.

Переходя от переменных \$E\$ и \$x\$ к мощности \$P\$ и времени \$t\$, т.е. учитывая что:

$$E_0 = P_0 \Delta t, \quad 2x = V_{гр} t, \quad dx = \frac{1}{2} V_{гр} dt$$

уравнение мощности обратно рассеянной световой волны примет вид:

$$P_p(t) = 0.5 \cdot P_0 \cdot \Delta t \cdot S \cdot \alpha_p \cdot V_{gp} \cdot e^{-\alpha V_{gp} t} \quad (2.4)$$

где P_0 – значение мощности оптического излучения на входе в волокно; Δt – длительность импульса на входе в волокно по уровню 0,5 максимальной интенсивности; V_{gp} – средняя групповая скорость, с которой световой импульс движется по волокну.

Запишем последнюю формулу через расстояние:

$$P_p(x) = 0.5 \cdot P_0 \cdot \Delta t \cdot S \cdot \alpha_p \cdot V_{gp} \cdot e^{-\alpha x} \quad (2.5)$$

Из этих уравнений следует, что мощность обратно рассеянного сигнала зависит от входной мощности P_0 , длительности импульса Δt оптического излучения, параметров S и α 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.

Ценную информацию могут дать и спектральные измерения. Например, сравнение распределений коэффициента затухания волокна на разных длинах волн позволяет исследовать распределение по длине волокна различных поглощающих примесей (Fe, радикалов ОН и других), даже если содержание этих примесей низкое. Другим следствием выражений (2.4) и (2.5) является возможность обнаружения таких локальных неоднородностей в сердцевине волокна, как вкрапления, пузырьки и т.п.

При резком изменении показателя преломления сердцевины волокна имеет место Френелевское отражение, которое определяется по формуле

$$R^2 = \left(\frac{P_{отр}}{P_0} \right) = \left(\frac{n_c - n_u}{n_c + n_u} \right)^2 \quad (2.6)$$

где R – коэффициентом отражения по полю; $P_{отр}$, P_0 – величина мощности отраженного и падающего сигналов, соответственно; n_c , n_u – показатели преломления сердцевины и оболочки.

В этом случае в сигнале обратного рассеяния получим локальный пик. Как правило, первый пик резкого изменения показателя преломления имеет место на входном участке при вводе излучения в волокно. Отраженный от входа волокна сигнал, как правило, перегружает приемник, а на его восстановление требуется время. Этот интервал времени, при котором рефлектометр нечувствителен к другим сигналам отражения, называется “мертвой зоной”.

3. Устройство и основные характеристики рефлектометров

3.1 Обобщённые характеристики рефлектометров

Обобщенная схема типового рефлектометра, которая приведена на рис. 3.1, содержит источник оптического излучения (лазерный диод), фотоприемник, волоконно-оптический направленный ответвитель с оптическим соединителем, блок управления, а также устройство обработки информационного сигнала и отображения результатов измерений. Вертикальная ось последнего градуируется в децибеллах, а положение луча по горизонтальной оси изменяется в зависимости от времени запаздывания оптического сигнала при его распространении по волокну. Горизонтальная ось градуируется в единицах длины конкретного типа волокна, определяемого его коэффициентом преломления. Блок управления предназначен для синхронизации работы источника оптического излучения и устройства отображения. Устройство обработки информационного сигнала осуществляет регистрацию и занесение в память временных характеристик мощности обратного рассеяния и преобразования данных для соответствующего представления устройством отображения.

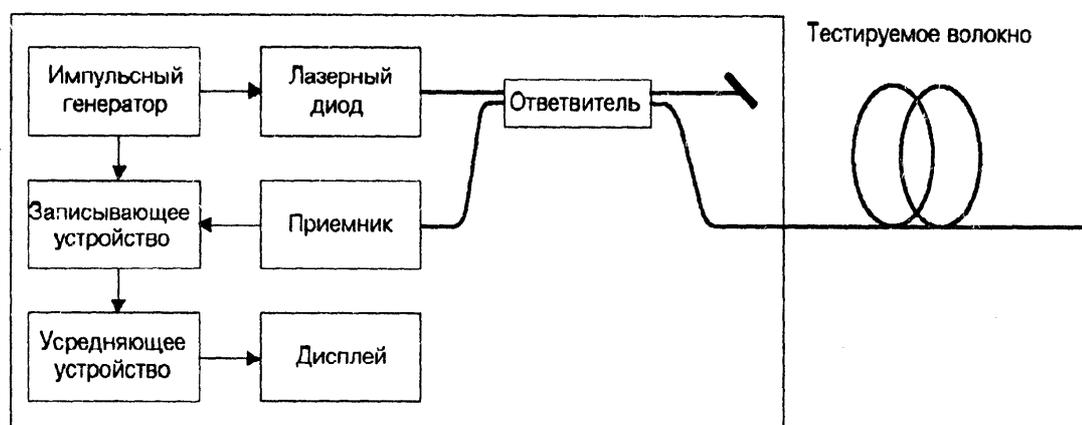


Рис. 3.1. Структурная схема рефлектометра

Современные рефлектометры включают базовый и ряд сменных блоков, которые отличаются рабочей длиной волны и динамическим диапазоном. Кроме того, рефлектометр может быть объединен с принтером, а также блоком дистанционного управления и коммутатором оптических волокон, что позволяет его использовать в качестве устройства удаленного оптического тестирования.

Основными характеристиками рефлектометров, позволяющими сравнивать их между собой, являются: динамический диапазон; диапазон измерения; мертвая зона; разрешающая способность.

Динамический диапазон является основным параметром, представляющим интерес для пользователя, поскольку именно он определяет максимальную длину контролируемого прибором волокна. Наиболее надежный способ сравнения различных рефлектометров заключается в определении динамического диапазона в децибеллах в виде отношения максимальной излучаемой мощности P_0 к минимальной регистрируемой мощности P_{\min}

$$D = -10 \lg (P_0 / P_{\min})$$

В современных рефлектометрах динамический диапазон достигает 40 дБ. Трудность в достижении более высокого динамического диапазона связана с методикой измерений. Волокно вносит потери, которые возрастают с увеличением длины волокна и, в конечном счете, световой поток, возвращаемый к фотоприемнику, становится настолько малым, что его невозможно интерпретировать. Максимальное расстояние, с которым мог бы работать рефлектометр с динамическим диапазоном 40 дБ, составляет 200÷240 км. Длину в 300 км может обеспечить прибор с $D = 46$ дБ.

На практике, динамический диапазон определяют как выраженную в децибеллах разницу между начальным уровнем обратного рассеяния и уровнем шума по истечении 3 минут одностороннего измерения потерь волокна. Это значение динамического диапазона часто указывается в литературе.

Диапазон измерения рефлектометра определяется как максимальное ослабление, которое прибор в состоянии измерить. В качестве события, которое должно быть идентифицировано, обычно выбирают сращивание волокон, создающее потери порядка 0,5 дБ.

Пространственная разрешающая способность рефлектометра Δl характеризует способность прибора обнаружить два соседних события и определяет возможность выделения близко расположенных неоднородностей. Разрешающая способность Δl зависит от длительности импульса Δt , излучаемого лазером, ширины полосы пропускания усилителя Δf и определяется выражением:

$$\Delta l = \frac{c}{2n} \sqrt{\Delta t^2 + \left(\frac{1}{\Delta f}\right)^2} \quad (3.1)$$

Для повышения разрешающей способности необходимо уменьшать длительность зондирующих импульсов и расширять полосу пропускания усилителя.

Мертвая зона. Отраженный от входа волокна сигнал, как правило, перегружает приемник, а на его восстановление требуется время. Этот интервал времени, при котором рефлектометр нечувствителен к другим сигналам отражения, называется “мертвой зоной”. “Мертвая зона”, в основном, зависит

от длительности импульса светового излучения, проходящего по волокну. Чем больше длительность импульса в секундах, тем больше “мертвая зона” в метрах. “Мертвые зоны” могут возникнуть и при отражении сигналов от элементов линии связи (например, коннекторов) с высокой отражательной способностью.

3.2 Технические данные рефлектометра OFR – 12

Диапазоны измерения:	0...0,5 км 0...1 км 0...2 км 0...5 км 0...10 км
Временной ход измерения:	через передвижение полученных точек в рефлектограмме.
Мёртвая зона	100м
Растяжение:	Рефлектограмма горизонтально может принять 5 растяжений, причём положение освещаемой точки не изменится.
Установка скорости группового потока (света):	Четырёхзначным цифровым предварительным переключателем. $V/2 = 94.0...104.0$ м/мкс
Индикация расстояния (дистанции):	Четырёхзначное число в метрах (на цифровом табло).
Погрешность индикации расстояния (дистанции):	± 2 м

3.3 Оптические данные рефлектометра OFR – 12

Рабочая длина волны:	850 нм ± 10 нм
Длительность зондирующего импульса	20 нс.
Энергия зондирующего импульса	$4 \cdot 10^{-9}$ Дж.
Лучевая расходимость	0,4 рад.

Числовая апертура:	0,2
Динамический диапазон:	> 83 dB (
Диапазон измерения ослабления при обратном рассеянии	14 dB с 2 dB/дел. при логарифмическом изображении
Ошибка калибровки затухания:	6% при логарифмическом изображении

4. Указания по эксплуатации прибора

Перед началом работы ознакомьтесь с расположением и назначением органов управления и контроля на передней панели рефлектометра. Элементы лицевой панели рефлектометра приведены на рисунке (4.1)

1. Экран рефлектометра;
2. Индикатор неоткалиброванности экрана (прибора);
3. Цифровое табло;
4. Калибровка табло;
5. Индикация расстояния в метрах;
6. Индикация затухания в децибелах;
7. Кнопки установки скорости группового потока;
8. Ручка калибровки экрана;
9. Ручка установки положения изображения по вертикали;
- 10, 11. Отображаемый масштаб по вертикали;
12. Пределы измеряемых длин;
13. Установка длительности зондирующего импульса;
14. Разъём для подключения исследуемого волокна;
15. Лампа
16. Индикатор работы (излучения) зондирующего СИДа;
17. Тумблер установки режима работы зондирующего СИДа;
- 18,19,20,21. Служебные установки параметров изображения;
22. Ручка перемещения (рабочего) маркера;
23. Установка типа отображаемой информации на цифровом табло и закрепления стационарного маркера;
24. Электронная лупа;
25. Усреднение отображаемой информации;
26. Усиление;
27. Индикатор применения усиления;
28. (не обозначено) Ручка установки режима работы рефлектометра;
29. Индикатор зарядки батареи;
30. Индикатор уровня заряда батареи;

31. Кнопка включения питания.

5. Подготовка прибора к работе

5.1. Установить ручки и тумблеры на лицевой панели рефлектометра в начальное положение. Начальное положение ручек и тумблеров (см.рис.4.1):

- 8 - Произвольное положение
- 9 - Среднее положение;
- 12 - Произвольное положение;
- 13 - Произвольное положение;
- 17 - В положение STAND BY (положение готовности);
- 22 - Произвольное положение;
- 23 - Произвольное положение;
- 24 - В положении NORMAL ;
- 25 - В положении SHORT
- 26 - Усиление выключено (ручка нажата, индикатор 27 не горит);
- 28 - В положении NORMAL

5.2. Вставить коннектор исследуемого волокна в разъём (14) и закрепить его там вращением гайки разъёма.

6. Порядок выполнения работы

6.1. Включить рефлектометр, нажав кнопку «ON» (31), на лицевой панели.

6.2. Перевести тумблер (17) в верхнее положение «MODE AJUST».

6.3. Вращая ручку «вертикальное положение» (9) выставить удобное для исследования положение изображения по вертикали на экране ЭЛТ. (нажав или потянув эту ручку на себя, можно выбрать удобный для исследования масштаб по вертикали), а переключателем «HOR. RANGE» (12) установить необходимую дистанцию, для удобства измерения расстояний и затухания.

Заметим, что операцию 6.3. необходимо производить в ускоренном темпе, так как при переведении тумблера (17) в положение «MODE AJUST» зондирующий СИД начинает работать длительное время без перерыва, что в большой степени нежелательно.

6.4. По завершению операции 6.3. перевести тумблер (17) в среднее положение «STAND BY».

6.5. В зависимости от предполагаемого размера неоднородностей в исследуемом волокне, тумблером «PULSE» (13) выбрать длительность зондирующего импульса.

6.6. Получить рефлектограмму исследуемого волокна на экране рефлектометра.

6.7. Определить затухание отдельных участков исследуемого волокна, указанных преподавателем. Для этого:

Вращением ручки «MARKER» (22), выставить электронный маркер, на экране ЭЛТ, на начало измеряемого участка рефлектограммы и перевести тумблер «MODE» (23) в самое нижнее положение «REF dB» (тем самым зафиксировав маркер на выбранной позиции).

Вращением ручки «MARKER» (22), выставить электронный маркер на конец измеряемого участка. На цифровом табло высветится затухание в dB, которое даёт выделенный участок.

6.8. Перевести тумблер «MODE» (23) в самое верхнее положение «m». При этом на цифровом табло высветится длина измеряемого участка в метрах.

Примечание:

1. Если по каким либо причинам понадобится повторное зондирование исследуемого волокна, то для включения излучателя тумблер (17) необходимо перевести в положение «MEASURE» и удерживать его до момента полного появления рефлектограммы на экране ЭЛТ (5 – 7 секунд).

2. При наличии на рефлектограмме большого количества всевозможных осцилляций, провести усреднение изображения путём перевода тумблера «AVG» (25) в верхнее положение «LONG». Через некоторое время на экране рефлектометра появится сглаженное, усреднённое изображение, которое более удобно для снятия показаний длин и затухания. Заметим, что эту функцию рекомендуется использовать в последнюю очередь, перед снятием цифровых показаний, так как при переводе тумблера «AVG» (25) в положение «LONG» зондирующий СИД начинает работать без перерывов длительное время, что нежелательно.

3. Смену исследуемого волокна, установку констант и т.п. можно производить при включенном питании рефлектометра, но при выключенном СИДе.

6.9. Выключение прибора производится повторным нажатием кнопки ON (31).

6.10. По завершению снятия показаний занести данные в отчет и сделать выводы о проделанной работе.

7. Содержание отчёта

5.1 Цель работы

5.2 Структурная схема рефлектометра с кратким описанием основных составляющих.

5.3 Результаты измерений по пп. 6.6 и 6.7.

5.4 Выводы по результатам измерений и проделанной работе.

8. Контрольные вопросы

6.1 Какие методы измерения оптических потерь вы знаете, в чём они заключаются ?

6.2. На чем основан принцип действия оптического рефлектометра?

6.3. Из каких элементов состоит типовой рефлектометр?

6.4. Что означает понятие “мертвая зона” рефлектометра.

6.5. Перечислите основные характеристики рефлектометров, позволяющие сравнивать их между собой.

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.