

С.А. Миронов, А.О. Вознесенская

**ОПТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ СРЕДЫ
И ПАССИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ**

**Методические указания к лабораторным работам
Часть 1**



Санкт-Петербург

2005

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

С.А. Миронов, А.О. Вознесенская

**ОПТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ СРЕДЫ
И ПАССИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ**

**Методические указания к лабораторным работам
Часть 1**



Санкт-Петербург

2005

Миронов С.А., Вознесенская А.О. **Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи** / Методические указания к лабораторным работам. Часть 1. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. – 41 с.

Методические указания предназначены студентам старших курсов, обучающимся по специальности «Физика и техника оптической связи». Приведены рекомендации для подготовки, выполнения и защиты лабораторных работ по программе дисциплины «Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи».

© Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2005

© С.А. Миронов, А.О. Вознесенская, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Потери соединения волоконных световодов ..	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. Измерение затухания оптических волокон методом обрыва	7
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. Измерение затухания оптических волокон методом вносимых потерь	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. Измерение потерь в оптических волокнах при их изгибах	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. Оптический рефлектометр во временной области (OTDR).....	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6. Оптический ответвитель	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. Источники оптического излучения ВОСП	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. Оптический мульти/демультиплексор	25
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9. Измерение характеристик оптического изолятора.....	28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10. Исследование распространения света в пленочных интегрально-оптических волноводах	31
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11. Измерение профиля показателя преломления градиентной линзы методом фокусировки.....	36
ЛИТЕРАТУРА	40

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Потери соединения волоконных световодов

Цель работы: расширение знаний о механизмах возникновения потерь при соединении волоконных световодов, приобретение навыков их экспериментального исследования и теоретической оценки, реализация оптической юстировки, сравнение потерь для случаев многомодовых и одномодовых световодов.

Работа выполняется на лабораторной установке (рис.1), собранной на оптической скамье (или плите). Она включает в себя: источник оптического излучения (ЛД или СИД), входной (передающий) волоконный световод, выходной (приемный) световод, закрепленный в микропозиционере с линейными и угловыми перемещениями и измеритель оптической мощности.

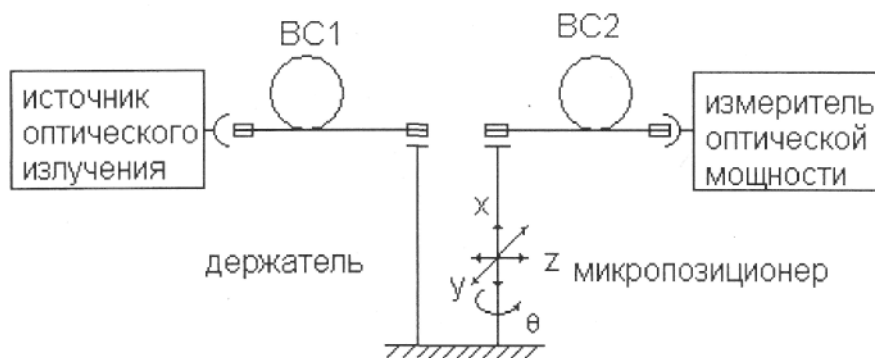


Рис.1 Структурная схема измерительной установки

Оптическое излучение от источника вводится во входной световод BC1 через один конец, а другой конец световода закреплен в неподвижном держателе. Приемный (выходной) волоконный световод BC2 одним концом закреплен в микропозиционере, обеспечивающем линейные и угловые перемещения, а другим концом присоединен к измерителю оптической мощности. Изменение взаимного положения световодов BC1 и BC2, реализуемое с помощью микропозиционера, приводит к изменению коэффициента передачи мощности, т.е. к изменению потерь соединения волоконных световодов.

При соединении волоконных световодов непосредственно торцами (т.е. встык) возникают потери оптической мощности, обусловленные действием трех факторов:

- взаимное расположение световодов;
- неидентичность параметров световодов;
- отражение излучения от торцов световодов.

В данной работе изучаются оптические потери, связанные со взаимным расположением световодов, что наиболее часто встречается на практике.

Основной задачей при соединении волоконных световодов является достижение точной взаимной юстировки световодов по трем наиболее важным параметрам:

- смещение сердцевин световодов в плоскости перпендикулярной к их оси (поперечное смещение);
- угол между осями световодов (угловое рассогласование);
- зазор между торцами световодов (продольное смещение).

Потери соединения определяются по формуле:

$$A = -10 \lg T(x, y, z, \Theta) \text{ [дБ]}, \quad (1)$$

где $T(x, y, z, \Theta)$ - коэффициент передачи по мощности, зависящий от линейного и углового рассогласования соединяемых световодов, а также от типа световода.

Для многомодовых световодов с параболическим профилем показателя преломления имеем (в случае малых смещений):

$$T(x) \cong 1 - 0.85(x/a), \quad (2)$$

$$T(z) \cong 1 - zNA/(4a), \quad (3)$$

$$T(\Theta) \cong 1 - \Theta/NA, \quad (4)$$

где x, z, Θ - поперечное, продольное и угловое смещение световодов соответственно; a - радиус сердцевины световода; NA - числовая апертура.

При этом предполагается, что соединяемые световоды ВС1 и ВС2 являются идентичными и торцы световодов перпендикулярны их продольной оси.

Для одномодовых световодов коэффициенты передачи рассчитываются по следующим формулам:

$$T(x) \cong \exp(-x^2/w^2), \quad (5)$$

$$T(z) \cong (1 + 4z_1^2)/(z_1^2 + (1 + 2z_1^2)^2), \quad (6)$$

$$T(\Theta) \cong \exp[-(\pi\Theta w/\lambda^2)], \quad (7)$$

где w - радиус модового поля в световоде; $z_1 = z/(kw^2)$ - нормированное продольное рассогласование; λ, k - длина волны излучения и волновое число ($k = 2\pi/\lambda$).

Следует отметить, что формулы (2-7) описывают изменение коэффициента передачи при изменении только одного параметра рассогласования. В общем случае $T_{\Sigma} = T(x)T(z)T(\Theta)$.

Порядок выполнения работы

I. Многомодовые световоды ВС1 и ВС2

1.1. Собрать установку в соответствии с рис.1, используя многомодовые световоды; измерить оптическую мощность на выходе световода ВС1 (P_1) при помощи измерителя оптической мощности; с помощью микропозиционера провести юстировку световода ВС2 в оптимальное положение относительно ВС1, чтобы получить максимальную мощность на выходе ВС2 ($P_{2\max}$); определить минимальные потери по формуле:

$$A_{\min} = -10 \lg(P_1/P_{2\max}) \text{ [дБ]}. \quad (8)$$

1.2. Из найденного оптимального положения при помощи шкалы

микропозиционера вводить последовательно различные значения рассогласования: поперечного (x_1, x_2, \dots, x_n), продольного (z_1, z_2, \dots, z_n), углового ($\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n$).

Для этих положений измерить выходную мощность и определить по формуле (8) потери соединения световодов ВС1 и ВС2. Из найденных зависимостей $A(x)$, $A(z)$, $A(\Theta)$ определить величины рассогласований x , z и Θ , которые приводят к увеличению потерь на 1 дБ для многомодовых световодов.

1.3. Провести расчет зависимости потерь соединения многомодовых световодов от величин поперечного (x), продольного (z) и углового (Θ) рассогласований. Сравнить расчетные зависимости потерь и определенные экспериментально в п.1.2.

II. Одномодовые световоды ВС1 и ВС2

2.1. Собрать установку в соответствии с рис.1, используя одномодовые световоды и провести ее юстировку аналогично п.1.1.

2.2. При помощи микропозиционера ввести различные величины поперечных (x), продольных (z), и угловых (Θ) рассогласований и построить экспериментальные зависимости $A(x)$, $A(z)$, $A(\Theta)$ аналогично п.1.2.

2.3. Провести расчет зависимостей $A(x)$, $A(z)$, $A(\Theta)$, используя формулы (5-7), и провести сравнение с экспериментальными зависимостями п.2.2. Определить величины рассогласований x , z и Θ , которые приводят к увеличению потерь на 1 дБ для одномодовых световодов.

Контрольные вопросы

1. Каковы причины возникновения потерь при соединении волоконных световодов?
2. Какие рассогласования наиболее сильно влияют на потери соединения световодов?
3. Сравнить величины рассогласований, приводящих к одинаковому изменению потерь для многомодовых и одномодовых световодов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. Измерение затухания оптических волокон методом обрыва

Цель работы: освоение методик измерения затухания оптических волокон.

Метод обрыва основан на сравнении значения мощности оптического излучения, измеренного на выходе длинного отрезка оптического волокна (ОВ), со значением мощности, измеренным на выходе его короткого участка, образованного за счет обрыва ОВ в начале измеряемого образца. При измерении необходимо обеспечить постоянство мощности, вводимой в измеряемое ОВ, и неизменность модового состава излучения. Метод обрыва

применяют для измерения затухания ОВ, не армированных оптическими соединителями.

Для измерения затухания отбирают отрезки ОВ с известной длиной. Торцевые поверхности ОВ должны быть перпендикулярны оси ОВ и не иметь сколов и повреждений, препятствующих прохождению оптического излучения. Перпендикулярность торцевых поверхностей к оси ОВ и отсутствие на них скола определяют с помощью микроскопа с кратностью увеличения не менее 20.

Измерение затухания методом обрыва осуществляется на установке, схема которой показана на рис.1. В качестве источника излучения используется светодиод или лазер (длина волны излучения фиксированная). Положение источника излучения относительно торца ОВ, а также интенсивность излучения должны быть неизменны в течение времени проведения измерений. В настоящей работе используется источник оптической мощности ОТМ-1 ($\lambda=1550$ нм). Устройство ввода обеспечивает юстировку входного конца ОВ в трех взаимно перпендикулярных плоскостях для осуществления оптимального ввода энергии в ОВ и жесткой фиксации ОВ. Смеситель мод обеспечивает возбуждение измеряемого ОВ с модовым составом, соответствующим установившемуся модовому распределению, для данного типа ОВ. Критерием установившегося модового распределения является идентичность распределения излучения в дальней зоне на выходе смесителя мод и измеряемого ОВ. Фильтр мод оболочки, включенный последовательно со смесителем мод, обеспечивает вывод мод, распространяющихся в оболочке ОВ. Критерием вывода мод оболочки является отсутствие излучения в оболочке ОВ после фильтра мод оболочки. Приемник излучения должен иметь фоточувствительную площадку, достаточную для регистрации всего конуса излучения, выходящего из ОВ. Чувствительность приемника должна быть однородна по всей его площади, а преобразовательная характеристика – линейной или известной. Регистрирующее устройство должно обеспечивать регистрацию сигнала во всем диапазоне сигналов, поступающих с приемника излучения. В настоящей работе в качестве приемника излучения и регистрирующего устройства используется измеритель оптической мощности ОТМ-1 ($\lambda=1550$ нм).

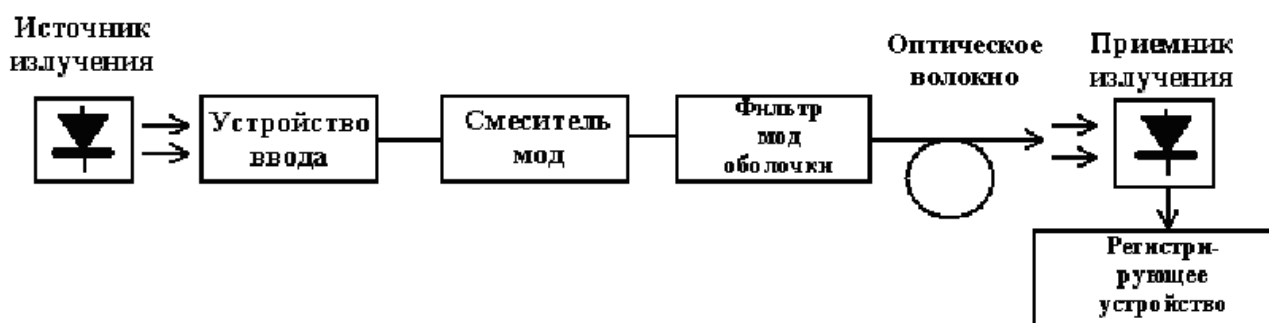


Рис. 1. Схема установки для измерения затухания ОВ методом обрыва

Порядок выполнения работы

1. Перед измерениями ОВ выдерживают в нормальных климатических условиях не менее 3 ч.
2. С помощью устройства ввода провести юстировку входного торца измеряемого ОВ по максимуму сигнала на выходе измерителя оптической мощности. Фиксируют положение выходного торца ОВ и зарегистрировать значение сигнала на выходе ОВ.
3. Не изменяя положения ОВ в устройстве ввода, от выходного конца измеряемого ОВ обломать кусок длиной 0,5 – 3 см. Обработать торец в соответствии с требованиями, отмеченными ранее. Подготовленный выходной торец ОВ вновь установить вблизи фоточувствительной площадки так, чтобы все излучение попадало на площадку приемника. Зарегистрировать значение сигнала на выходе ОВ. Повторить измерения не менее трех раз.
4. Не изменяя положения ОВ в устройстве ввода, от выходного конца измеряемого ОВ обломать кусок длиной $1 \pm 0,2$ м. Обработать торец в соответствии с требованиями, отмеченными ранее. Подготовленный выходной торец ОВ вновь установить вблизи фоточувствительной площадки так, чтобы все излучение попадало на площадку приемника. Зарегистрировать значение сигнала на выходе ОВ. Повторить измерения не менее трех раз.
5. Повторить п.3.
6. Рассчитать полные потери в измеряемом ОВ по формуле
$$A(\lambda) = T_1(\lambda) - T_2(\lambda), \quad (1)$$
где $A(\lambda)$ - затухание ОВ, дБ; $T_1(\lambda)$, $T_2(\lambda)$ - значения сигналов, соответствующих уровням мощности на входе и выходе ОВ, дБм; λ - длина волны, на которой проведены измерения, мкм.
7. Рассчитать коэффициент затухания измеряемого ОВ на фиксированной длине волны по формуле
$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L_2 - L_1}, \quad (2)$$
где $\alpha(\lambda)$ - коэффициент затухания ОВ; L_1 - длина короткого отрезка ОВ, км; L_2 - длина длинного отрезка ОВ, км.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные типы потерь в ОВ?
2. Каков механизм потерь в коротковолновой области спектра?
3. Каков механизм потерь в длинноволновой области спектра?
4. Что такое межмодовая дисперсия?
5. Что такое материальная дисперсия?
6. В чем основная идея метода обрыва?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. Измерение затухания оптических волокон МЕТОДОМ ВНОСИМЫХ ПОТЕРЬ

Цель работы: освоение методик измерения затухания оптических волокон.

Метод вносимых потерь основан на использовании вспомогательного оптического волокна. Метод вносимых потерь применяют для измерения затухания оптических волокон (ОВ), армированных оптическими соединителями.

Измерение затухания методом вносимых потерь осуществляется на установке, схема которой показана на рис.1. Требования к источнику излучения, устройству ввода, смесителю мод, приемнику излучения и регистрирующему устройству соответствуют требованиям, указанным в методе обрыва. Оптические соединители, которыми армированы ОВ, должны иметь известный уровень потерь на соединении.

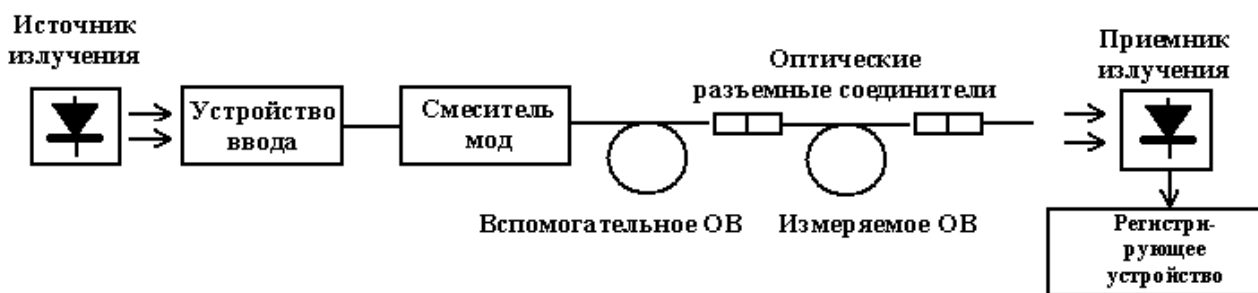


Рис. 1. Схема установки для измерения затухания ОВ методом вносимых потерь

Порядок выполнения работы

1. Перед измерениями ОВ необходимо выдержать в нормальных климатических условиях не менее 3 ч.
2. Один конец измеряемого ОВ, заделанного в соединитель, сочленить с соединителем на конце вспомогательного ОВ, второй – с соединителем, установленным на измерителе оптической мощности (для сочленений использовать переходные втулки). Зарегистрировать уровень мощности на данной длине волны ($\lambda=1550$ нм).
3. Отсоединить измеряемое ОВ. Сочленить соединитель вспомогательного ОВ с соединителем измерителя оптической мощности. Зарегистрировать значение уровня мощности на выходе вспомогательного ОВ.
4. Повторить измерения (п.п.2, 3) не менее трех раз.
5. Рассчитать полные потери в измеряемом ОВ по формуле

$$A(\lambda) = T_1(\lambda) - T_2(\lambda) - A_0, \quad (1)$$

где $A(\lambda)$ - затухание ОВ, дБ; $T_1(\lambda)$, $T_2(\lambda)$ - значения сигналов, соответствующих

уровням мощности на выходе вспомогательного и измеряемого ОВ, дБм; A_0 - среднее значение потерь в оптическом соединителе, дБ; λ - длина волны, на которой проведены измерения, мкм.

6. Рассчитать коэффициент затухания измеряемого ОВ на фиксированной длине волны по формуле

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L}, \quad (2)$$

где $\alpha(\lambda)$ - коэффициент затухания ОВ; L - длина измеряемого ОВ, км.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные способы соединения ОВ. Поясните их суть.
2. Какие основные типы оптических соединителей существуют? В чем их различия?
3. Чем обусловлены потери в оптических соединителях?
4. В чем основная идея метода вносимых потерь?
5. Какую функцию выполняет смеситель мод? Что он из себя представляет?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. Измерение потерь в оптических волокнах при их изгибах

Цель работы: изучение зависимости потерь в оптических волокнах от их изгибов и измерение этой зависимости.

При изгибах оптических волокон (ОВ) часть света (моды высших порядков, для которых перестает выполняться закон полного внутреннего отражения) не отражается от оболочки ОВ, а распространяется в ней и таким образом теряется.

Измерение потерь в ОВ при их изгибах осуществляется на установке, схема которой показана на рис.1. Требования к источнику излучения, устройству ввода, смесителю мод, фильтру мод оболочки, приемнику излучения и регистрирующему устройству соответствуют требованиям, указанным в методе обрыва.

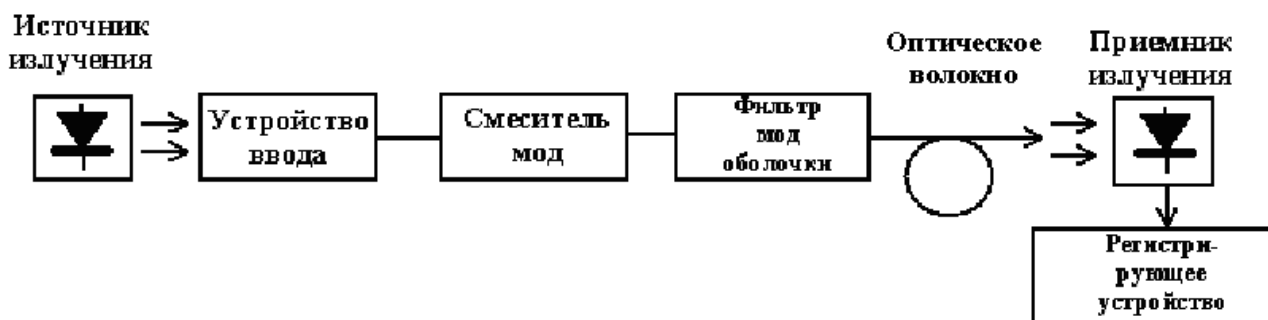


Рис. 1. Схема установки для измерения зависимости потерь в ОВ при изгибах

Порядок выполнения работы

1. Перед измерениями ОВ выдерживают в нормальных климатических условиях не менее 3 ч.
2. С помощью устройства ввода провести юстировку входного торца измеряемого ОВ по максимуму сигнала на выходе измерителя оптической мощности. Фиксируют положение выходного торца ОВ и зарегистрировать значение сигнала на выходе ОВ A_0 , дБм.
3. Осторожно создать петлю из ОВ и вложить ее в углубление наибольшего радиуса ($R=4$ см). Зарегистрировать значение сигнала на выходе ОВ A_1 , дБм. Определить потери на изгиб в ОВ, используя формулу
$$\alpha = A_1 - A_0. \quad (1)$$
4. Провести аналогичные измерения потерь, используя углубления меньших радиусов ($R=3, 2, 1$ см). определить потери.
5. Построить зависимость потерь от радиуса изгиба ОВ.
6. Используя полученные экспериментальные данные и взяв среднее арифметическое, определить окончательное значение диаметра сердцевины ОВ из формулы
$$\alpha = -10 \lg\{1 - a/(R\Delta)\}, \quad (2)$$
где a - диаметр сердцевины ОВ, мкм; R - радиус изгиба ОВ, мкм; $\Delta = 0,01$.

Контрольные вопросы

1. В чем физический смысл моды в ОВ?
2. Какие параметры влияют на величину потерь при изгибе ОВ?
3. Как физически объясняется увеличение потерь при уменьшении радиуса изгиба ОВ?
4. Что такое критический радиус изгиба ОВ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. Оптический рефлектометр во временной области (OTDR)

Цель работы: ознакомление с принципом действия импульсного оптического рефлектометра во временной области (OTDR), приобретение навыков практической работы на рефлектометре, измерение затухания волоконно-оптического тракта, измерение потерь на отражение и определение места повреждения оптического волокна.

Оптический рефлектометр (ОР) обеспечивает возможность дистанционного мониторинга и быстрой диагностики состояния оптических волокон (ОВ), кабелей и ВОЛС в целом.

Рефлектометр позволяет:

- определять распределение потерь вдоль ВОЛС;
- выявлять дефектные участки или элементы линий связи;
- определять точное расположение обрывов или дефектных участков ВОЛС;
- оценивать полные потери в ВОЛС при приемке ВОЛС и периодическом тестировании;
- измерять потери в разъемных и неразъемных (сварных) соединениях;
- измерять коэффициенты отражения.

Достоинством ОР является возможность оперативной неразрушающей диагностики ВОЛС с использованием доступа только к одному концу ОВ.

Принцип работы ОР основан на реализации метода обратного релеевского рассеяния. Зондирующие импульсы от лазера относительно высокой мощности вносятся в исследуемое ОВ через оптический разветвитель. Высокочувствительный фотоприемник регистрирует и измеряет временную зависимость той части оптического излучения, которая возвращается из ОВ в результате рассеяния и отражений обратно в рефлектометр. Блок-схема импульсного рефлектометра приведена на рис.1.

Источником зондирующих импульсов является мощный полупроводниковый лазер 1 с прямой модуляцией по току накачки. При фиксированном токе накачки лазер генерирует световые импульсы фиксированной мощности ($P_u \sim 1 \text{ мВт}$) и переменной длительности ($\tau_u = 10 \text{ нс} \dots 10 \text{ мкс}$), задаваемой длительностью импульса тока накачки, вырабатываемого блоком управления 7. Блок управления 7 вырабатывает импульсы тока накачки с частотой, устанавливаемой оператором вручную или определяемой автоматически по установленной максимальной длине тестируемого участка ВОЛС. Одновременно на блок обработки данных 5 подаются синхронизирующие электрические импульсы.

Зондирующий световой импульс попадает в тестируемую ВОЛС 3 через оптический разветвитель 2. С помощью этого разветвителя сигнал обратного рассеяния от ВОЛС попадает на фотоприемник 4, который преобразует оптические сигналы в электрические таким образом, что величина электрического тока прямо пропорциональна мощности светового сигнала.

Основные требования к фотоприемнику: высокая чувствительность, малый уровень шумов, широкая полоса частот, высокая линейность преобразования в большом динамическом диапазоне мощностей светового сигнала.

Блок обработки данных 5 обеспечивает обработку данных электрических сигналов фотоприемника. В результате математической обработки на экране дисплея 6 формируется изображение, которое носит название рефлектограммы, представляющей собой зависимость уровня принятого сигнала от расстояния вдоль ОВ. В этом же блоке осуществляются все виды автоматической обработки рефлектограмм и автоматических измерений. Блок обработки современных рефлектометров обычно состоит из аналогово-цифрового преобразователя и блока цифровой обработки – специализированного компьютера. Для уменьшения уровня шума и, следовательно, расширения

динамического диапазона в блоке цифровой обработки осуществляется накопление данных от большого числа отраженных сигналов.

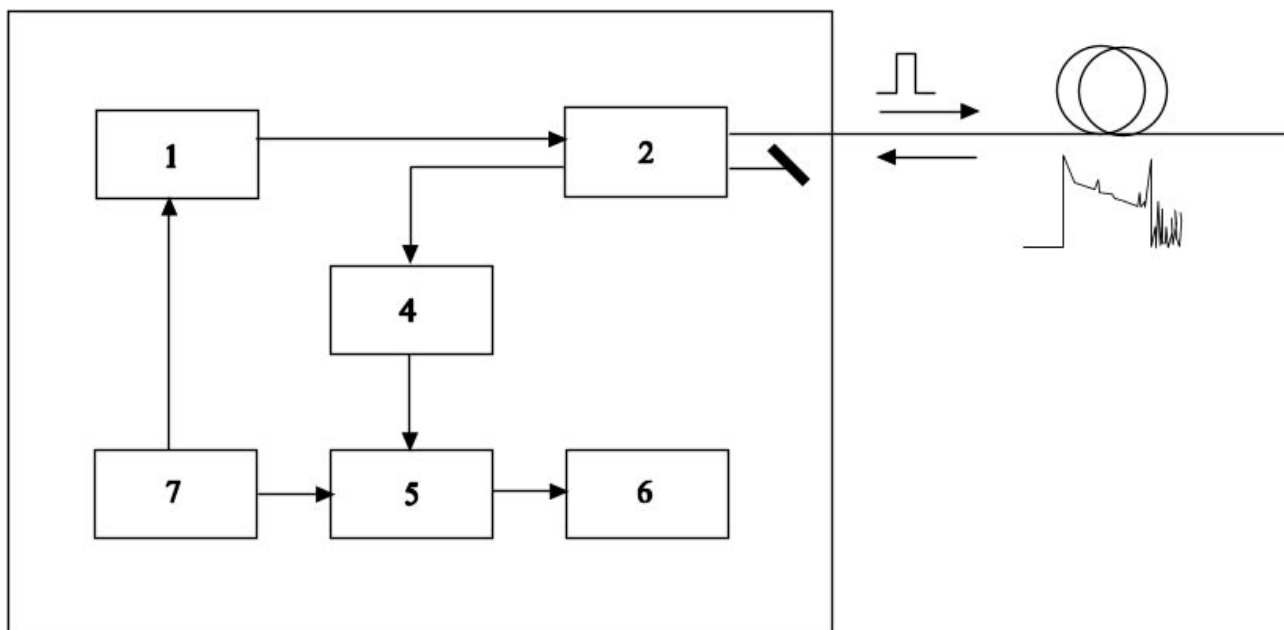


Рис. 1. Структурная схема оптического рефлектометра: 1 – импульсный лазерный диод, 2 – оптический разветвитель, 3 – тестируемое оптическое волокно, 4 – фотоприемник, 5 – блок обработки данных, 6 – дисплей, 7 – блок управления

Типичная рефлектограмма сигнала обратного рассеяния оптического тракта ВОЛС представлена на рис.2. Сигналом обратного рассеяния (СОР) называют совокупность рассеянного и отраженного излучения из исследуемого ОВ, приходящего на вход фотоприемника. Как видно из рис.2., на рефлектограмме можно выделить однородные участки 2 с постоянным коэффициентом затухания α , на которых СОР выгладит как прямая линия (в логарифмическом масштабе), наклон которой определяет коэффициент затухания. Наряду с линейным изменением уровня СОР на рефлектограмме имеются особенности, обусловленные различными неоднородностями. Начальный выброс сигнала 1 вызван френелевским отражением от входного торца исследуемого ОВ. Как правило, он вводит фотоприемник в насыщение, а время выхода из него определяет важный параметр рефлектометра – «мертвую зону», т.е. расстояние Δl_m , на котором невозможно обнаружить неоднородности и измерить коэффициент затухания. Выброс сигнала с перепадом затухания 4 возникает при наличии в тракте разъёмного соединителя, а также при наличии в ОВ малых включений инородных примесей или пузырьков воздуха. Такие отражения характеризуются возвратными потерями, которые рассчитываются по формуле

$$\alpha_s = -10 \lg R, \quad (1)$$

где R - коэффициент френелевского отражения.

Неразъемные соединения (сварные, клеевые и механические сростки ОВ), в

которых обычно отсутствуют отражения, отображаются на рефлектометре ступенькой 3. конец тракта ОВ или его обрыв определяется по отраженному от заднего торца импульсу 5 и следующему за ним участку 6 м резкими случайными перепадами уровня регистрируемого сигнала, обусловленными шумами фотоприемника. Пиками характеризуются отражающие элементы. Мощность отраженного сигнала, а, следовательно, положение вершины пика определяется мощностью зондирующего импульса и коэффициентом отражения, но не зависит от его длительности. Амплитуда пика характеризует качества соединения ОВ. Отсутствие отражения на качественных сварных соединениях связано с отсутствием скачка показателя преломления, т.к. сколотые торцы ОВ сплавляются друг с другом. Для хорошо сваренного соединения ОВ появляющаяся «ступенька» на рефлектограмме очень мала. Потери на микроизгибах имеют аналогичные характеристики и их трудно отличить от потерь на сварных или механических соединениях.

Таким образом, рефлектограмма позволяет судить о качестве ВОЛС, дает возможность обнаружить и локализовать подозрительные участки ВОЛС, проводить измерение потерь на соединениях и возвратных потерь на различных неоднородностях.

Структурная схема лабораторной установки приведена на рис.3. В состав оборудования входят: 1 – оптический рефлектометр, 2 – многомодовое оптическое волокно длиной L_1 , 3 – многомодовое оптическое волокно длиной L_2 , оптические волокна 2 и 3 соединены при помощи разъемного оптического соединителя 4.

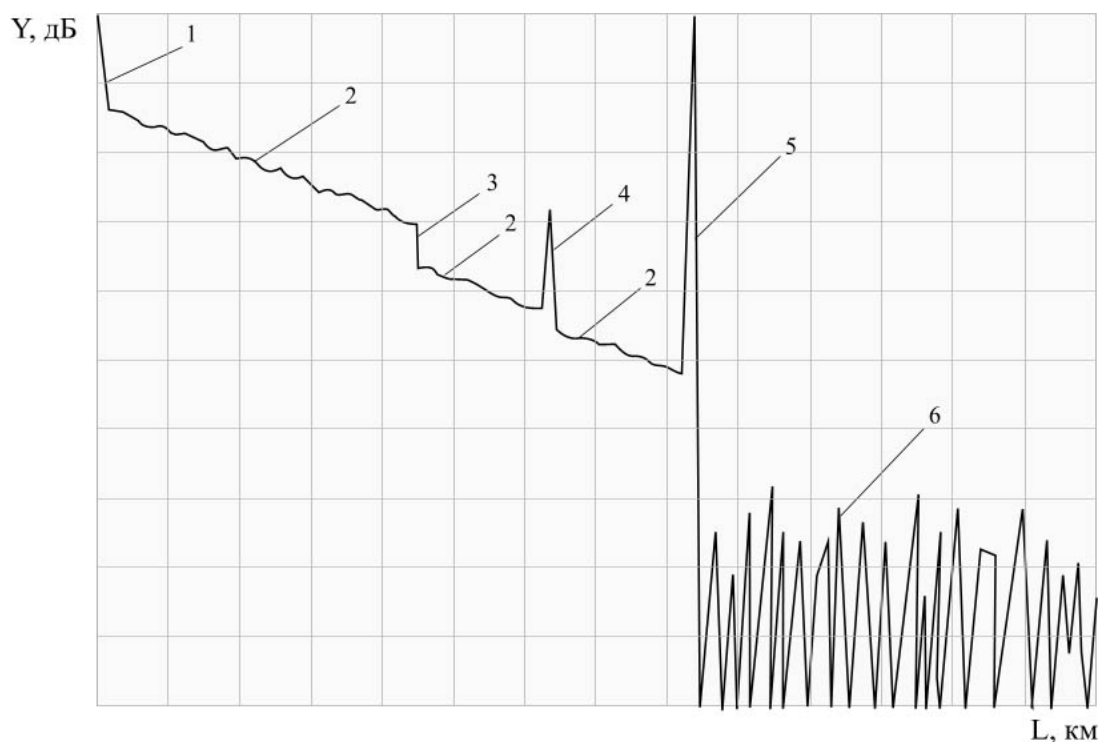


Рис. 2. Пример рефлектограммы

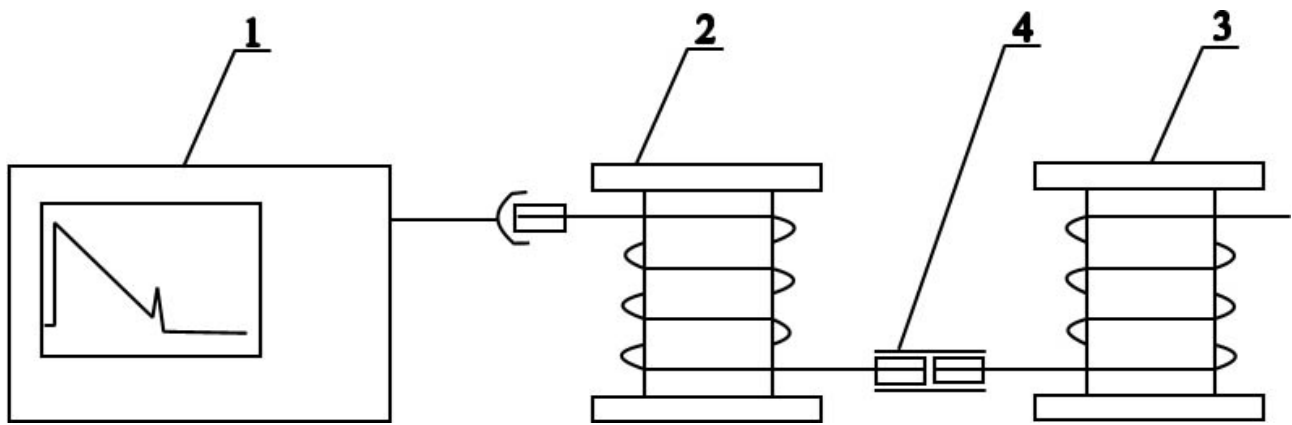


Рис.3. Структурная схема измерительной установки: 1 – оптический рефлектометр, 2 – многомодовое оптическое волокно длиной L_1 , 3 – многомодовое оптическое волокно длиной L_2 , 4 – волоконно-оптический соединитель

Методические указания к выполнению работы

1. Изучить принцип работы ОР.
2. Ознакомиться с руководством пользователя ОР.
3. Вывести на дисплей рефлектограмму двух соединенных ОВ длиной L_1 и L_2 .
Измерить оптическое затухание α_1 и α_2 в ОВ длиной L_1 и L_2 , а также потери в разъемном оптическом соединителе и возвратные потери.

3.1. Измерение расстояния вдоль линейного тракта

Расстояние L вдоль линейного тракта определяется из рефлектограммы, на которой с помощью одного или чаще двух курсоров отмечаются характерные точки, между которыми необходимо найти расстояние по формуле

$$L = \frac{ct}{n}, \quad (2)$$

где t - интервал времени между точками на рефлектограмме, n - коэффициент преломления сердцевины ОВ, c - скорость света в вакууме.

Аналогичным образом по положению на рефлектограмме отраженного импульса можно определить расстояние до места обрыва ОВ или его длину. Мощность отраженного “френелевского” импульса на 3 – 4 порядка больше мощности сигнала обратного сигнала рассеяния, поэтому диапазон измерений и дальность просмотра в режиме измерения места обрыва значительно больше, чем в режиме измерения затухания.

3.2. Измерение затухания между двумя точками и коэффициента затухания однородного участка волоконного тракта

Измерение затухания из рефлектограммы основано на том факте, что каждая точка однородного участка ОВ дает один и тот же уровень сигнала обратного рассеяния. Уменьшение уровня сигнала обратного рассеяния, наблюдаемое на рефлектограмме, вызвано общим затуханием в ОВ, а не только рассеянием света.

Затухание сигнала A [дБ] между точками 1 и 2 (см. рис.4) определяется как

$$A = Y_1 - Y_2, \quad (3)$$

где Y_1 и Y_2 - уровни сигнала обратного рассеяния [дБ] в точках 1 и 2, соответственно. Средний коэффициент затухания α [дБ/км] между точками 1 и 2 ОВ рассчитывается по формуле

$$\alpha = \frac{Y_1 - Y_2}{L_2 - L_1}. \quad (4)$$

Выбор точек, между которыми определяется затухание, осуществляется с помощью двух курсоров, перемещаемых по экрану дисплея. В современных ОР расстояние между курсорами ($L_2 - L_1$), разность уровней ($Y_1 - Y_2$) и средний коэффициент затухания постоянно отображаются на дисплее. Если точки 1 и 2 лежат на однородном участке ОВ, то средний коэффициент затухания α соответствует коэффициенту затухания ОВ на участке (1 - 2). При измерении затухания между двумя точками неоднородного волоконного тракта возникает методическая погрешность, которую можно исключить, проведя измерения с двух концов волоконного тракта и усреднив результаты измерений.

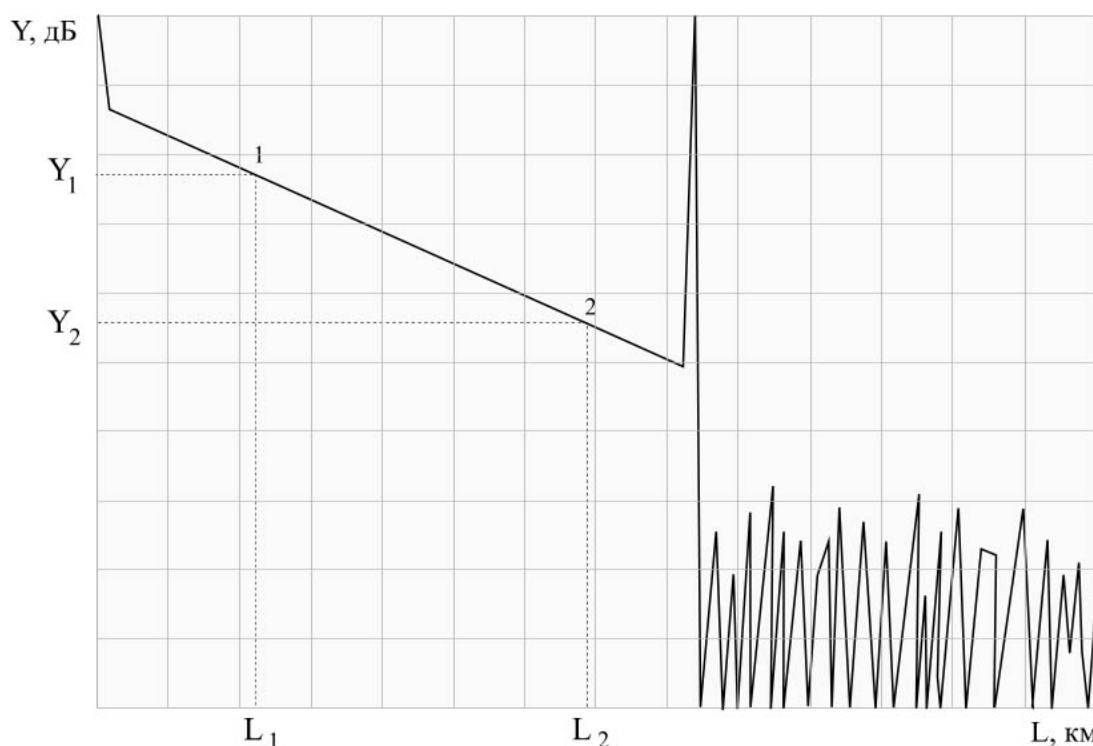


Рис.4. Измерение затухания между двумя точками однородного участка ОВ, отмеченные курсорами 1 и 2

3.3. Измерение потерь в разъёмном соединении

В разъёмных (и неразъёмных) соединениях ОВ в общем случае возникают вносимые и возвратные потери. Вносимые потери определяются отношением падающей на соединение к прошедшей через него мощности. Возвратные потери определяются отношением падающей на соединение оптической мощности к отраженной от него мощности и могут быть выражены через коэффициент отражения. Наличие возвратных потерь характерно для разъёмных соединений, когда между торцами соединяемых ОВ образуется

соединениях, на локальных дефектах, на концах ОВ возникают френелевские отражения, которые могут оказывать дестабилизирующее действие на источники излучения ВОСП.

Возвратные потери можно определить из рефлектограммы, на которой виден выброс сигнала, обусловленный френелевским отражением в разъемном соединении (рис. 6). Этот выброс не должен вызывать перегрузку фотоприемника. Из рефлектограммы находят уровни сигналов рассеяния Y_S и Y_F .

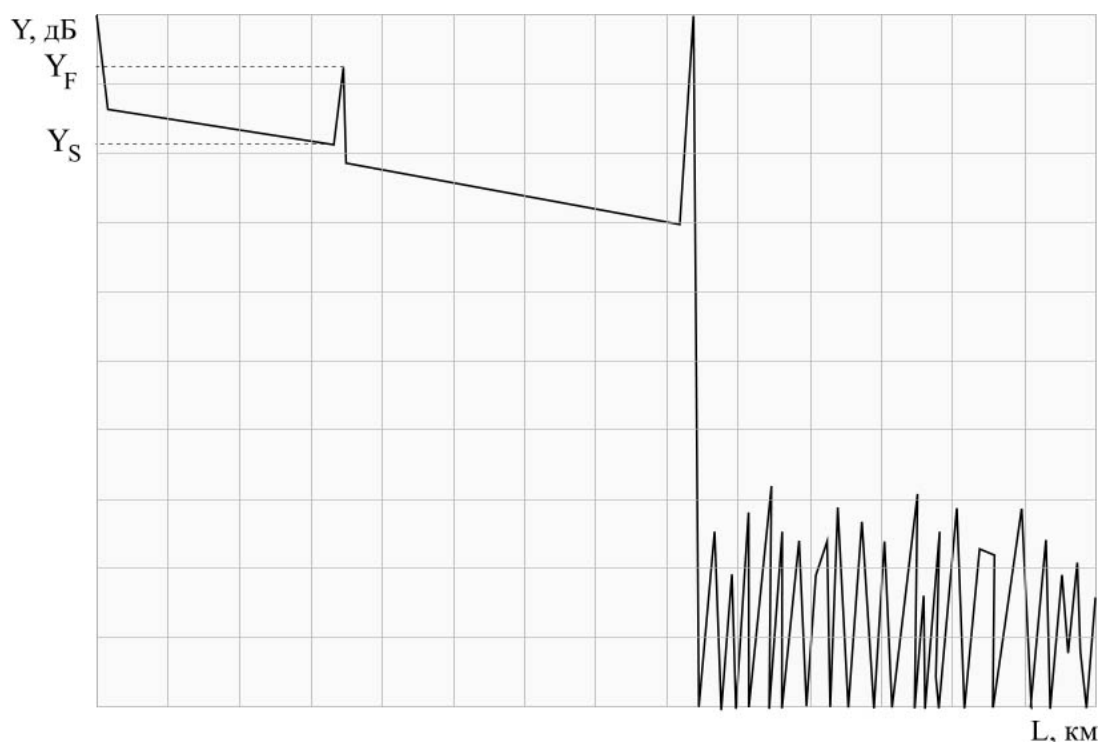


Рис.6. Измерение возвратных потерь в разъемном соединении оптических волокон

Для расчета возвратных потерь из рефлектограммы используют выражение

$$\alpha_B = -2Y_{S_0} - 10 \lg \frac{t_u}{t_{b0}} - 10 \lg \left(10^{\frac{Y_F - Y_S}{5}} - 1 \right), \quad [\text{дБ}] \quad (7)$$

где Y_{S_0} - относительный уровень сигнала обратного рассеяния в ОВ при длительности зондирующего импульса t_{u0} (см. Табл.1); t_u - длительность зондирующего импульса, при которой была зарегистрирована рефлектограмма.

Табл.1

Типичные значения относительного уровня сигнала обратного рассеяния при длительности зондирующего импульса 1 нс

Тип оптического волокна	Рабочая длина волны, мкм	Y_{s0} , дБ
Многомодовое	0,85	-35,0
	1,31	-37,5
Одномодовое	1,31	-39,5
	1,55	-40,5

Порядок выполнения работы

1. Собрать измерительную установку согласно схеме, показанной на рис.3.
2. Включить ОР и к выходному разъему присоединить контрольный осциллограф.
3. Включить источник излучения на ОР.
4. Запустить режим вывода рефлектограммы. При этом на дисплее появятся импульсные сигналы от зондирующих импульсов. Процесс определения параметров ОВ происходит путем усреднения результатов измерения по многим (до 2^{16} шт.) зондирующим импульсам. Поэтому после запуска режима вывода рефлектограммы необходимо подождать около 1 – 2 минут для реализации накопления.
5. Выставить в ОР необходимый масштаб рефлектограммы и дождаться ее построения на дисплее. Для вычисления параметров ОВ необходимо ввести показатель преломления сердцевины ОВ на рабочей длине волны.
6. В начале рефлектограммы высвечивается точка маркера для точного измерения параметров ОВ. Установить маркер в удобную для измерений позицию и зафиксировать ее при помощи соответствующих кнопок на ОР. После этого переместить маркер во вторую требуемую позицию и также зафиксировать ее. Далее при помощи соответствующих управляющих кнопок на ОР из его памяти на дисплей выводятся результаты измерений расстояния вдоль волоконного тракта, потерь и времени задержки.
7. Снять рефлектограмму двух соединенных ОВ длиной L_1 и L_2 , соответственно. Измерить оптическое затухание α_1 и α_2 в данных ОВ, а также вносимые и возвратные потери разъемного оптического соединителя. При проведении измерений использовать методические указания 3.1. – 3.3.

Контрольные вопросы

1. Какие характеристики можно измерять при помощи оптического рефлектометра?
2. Назовите достоинства оптического рефлектометра как измерительного прибора.
3. В чем заключается принцип действия оптического рефлектометра?
4. Какие неоднородности волоконного тракта можно диагностировать по рефлектограмме?
5. Как измерить затухание оптического волокна с помощью оптического рефлектометра?
6. Как измерить потери соединения двух оптических волокон?
7. Как измерить возвратные потери в местах неоднородностей волоконного тракта?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6. Оптический ответвитель

Цель работы: Изучение характеристик волоконно-оптического ответвителя, приобретение навыков практического использования ответвителей.

Схема установки для измерения вносимых потерь и коэффициента усиления ответвителя приведена на рис.1.

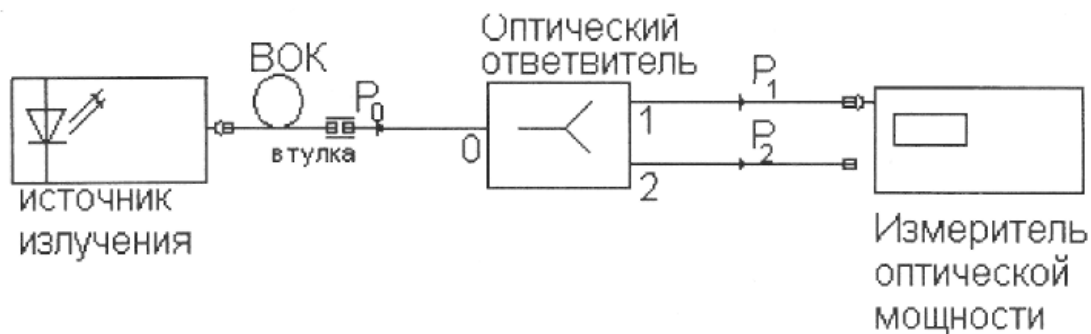


Рис.1. Структурная схема установки для измерения вносимых потерь и коэффициента оптического усиления оптического ответвителя

Схема установки для измерений направленности ответвителя приведена на рис.2.

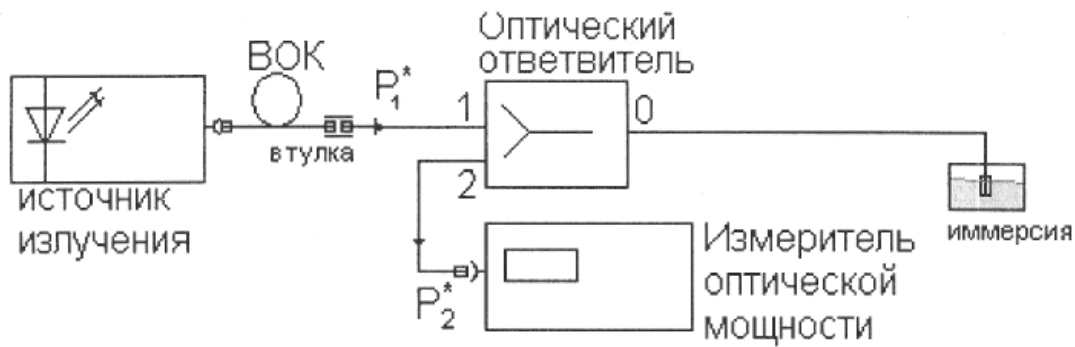


Рис.2. Структурная схема установки для измерения направленности ответвителя

Порядок выполнения работы

1. Собрать установку в соответствии со схемой рис.1. Оптическое излучение от источника падает через катушку ВОК и соединительную втулку на порт 0 исследуемого оптического ответвителя. К выходному порту 1 присоединен измеритель оптической мощности.
2. Измерить величину выходной мощности P_1 в порту 1. Отсоединить измеритель мощности от порта 1 и присоединить его к порту 2. Измерить величину выходной мощности P_2 в порту 2.
3. Отсоединить измеритель мощности от порта 2 ответвителя. Отсоединить порт 0 от катушки ВОК. Присоединить измеритель мощности к выходному концу катушки ВОК и измерить величину входной мощности P_0 .
4. Собрать установку в соответствии со схемой рис.2. Присоединить источник излучения через катушку ВОК и втулку к порту 1 ответвителя. Присоединить измеритель мощности к порту 2. Волоконный световод порта 0 поместить в иммерсионную жидкость, чтобы убрать отражение от торца волокна.
5. Измерить величину выходной мощности P_2^* . Отсоединить порт 1 от катушки ВОК. Измерить величину мощности на выходе катушки ВОК P_1 . Поменять местами порты 1 и 2 и измерить аналогично величины выходной мощности из порта 1 P_1^{**} и мощности на входе P_2^{**} .
6. Рассчитать параметры оптического ответвителя, используя следующие формулы:

Вносимые потери:

$$A = -10 \lg((P_1 + P_2) / P_0) \quad [\text{дБ}]. \quad (1)$$

Коэффициент деления:

$$K = P_1 / P_2 \quad \%. \quad (2)$$

Направленность:

$$D_1^{1 \rightarrow 2} = -10 \lg P_2^* / P_1^* \quad [\text{дБ}], \quad (3)$$

$$D_1^{2 \rightarrow 1} = -10 \lg P_2^{**} / P_1^{**} \quad [\text{дБ}]. \quad (4)$$

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные технические характеристики оптического ответвителя.
2. Как определить потери сигнала в каждом из портов ответвителя?
3. Где в аппаратуре ВОСП используется свойство направленности ответвителя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. Источники оптического излучения ВОСП

Цель работы: Расширение знаний о принципах работы полупроводниковых источников излучения - лазерных диодов (ЛД) и светоизлучательных диодов (СИД), экспериментальное изучение основных рабочих характеристик ЛД и СИД - Вт/А характеристик, спектра излучения и диаграммы направленности, приобретение навыков практической работы с источниками излучения ВОСП.

Измерение Вт/А характеристик ЛД и СИД производится на установке, схема которой приведена на рис.1.

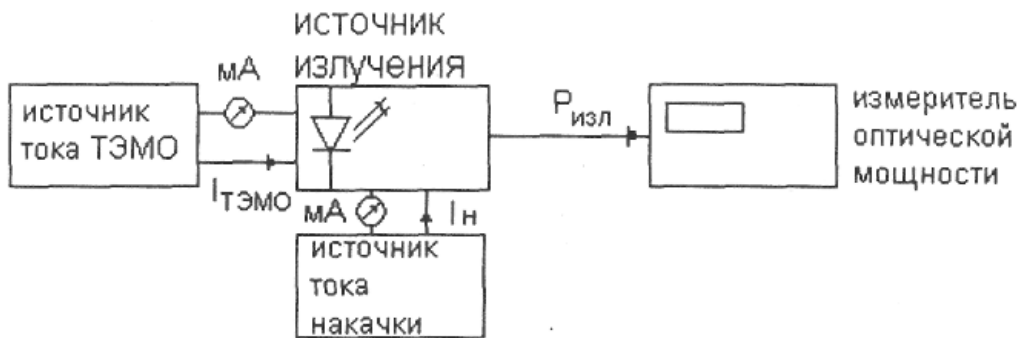


Рис.1. Структурная схема установки для измерения Вт/А характеристики

Измерение спектра излучения производится на установке, схема которой приведена на рис.2.

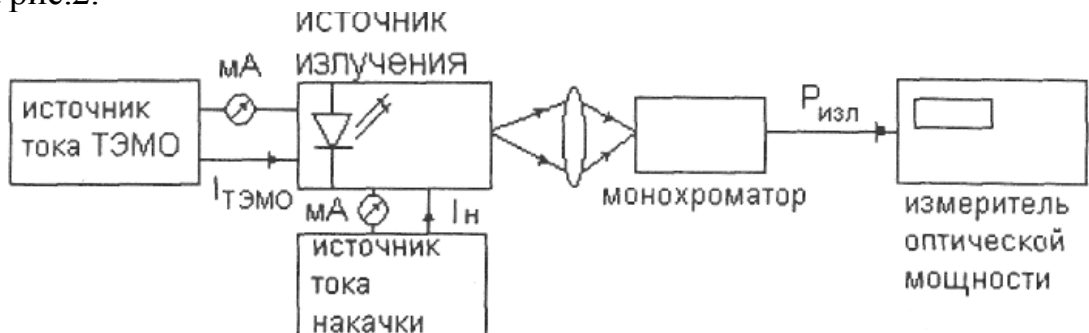


Рис.2. Структурная схема установки для измерения спектральной характеристики

Измерение диаграммы направленности, т.е. пространственной излучения проводится на установке, схема которой приведена на рис.3.

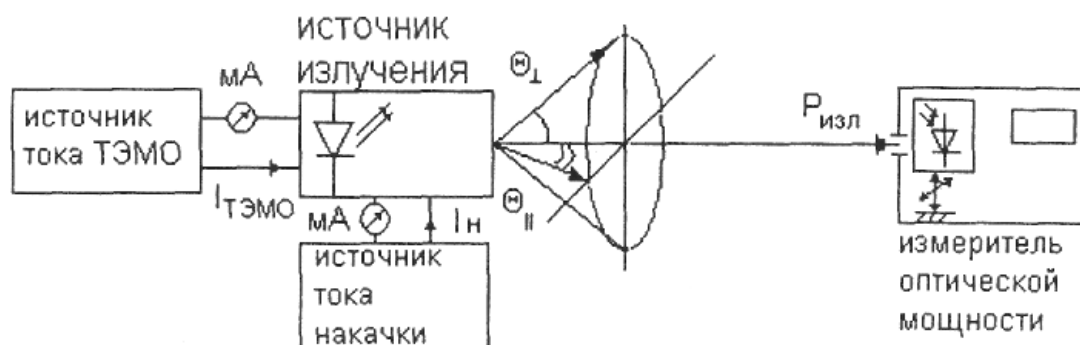


Рис.3. Структурная схема установки для измерения диаграммы направленности

Порядок выполнения работы

I. Вольт-амперная характеристика

1.1. Собрать установку в соответствии со схемой рис.1. В качестве источника излучения установить светоизлучающий диод (СИД). Изменяя ток накачки I_H и регистрируя мощность излучения $P_{изл}$, снять зависимость $P_{изл}(I_H)$ для СИД.

1.2. Установить вместо СИД лазерный диод (ЛД). Установить ток термоэлектрического микроохлаждителя $I_{ТЭМО}$, соответствующий температуре $T=20\text{ }^\circ\text{C}$. Изменяя ток накачки I_H , снять зависимость $P_{изл}(I_H)$ для ЛД при $T=20\text{ }^\circ\text{C}$. По измеренной зависимости определить величину порогового $I_H^{пор}$ при $T=20\text{ }^\circ\text{C}$. Установить $I_{ТЭМО}$, соответствующий температуре $T=50\text{ }^\circ\text{C}$. Снять зависимость $P_{изл}(I_H)$, определить $I_H^{пор}$ для $T=50\text{ }^\circ\text{C}$.

1.3. Провести сравнение Вт/А характеристик для СИД и ЛД (по величине мощности $P_{изл}$ и характеру зависимости $P_{изл}(I_H)$).

II. Спектральная характеристика

2.1. Собрать установку в соответствии со схемой рис.2. В качестве источника излучения установить СИД. С помощью линзы сфокусировать излучение на входную щель монохроматора.

Изменяя настройку монохроматора, измерить зависимость мощности излучения $P_{изл}$ от длины волны λ .

По измеренной характеристике $P_{изл}(\lambda)$ определить центральную длину волны λ_0 и ширину спектра излучения $\Delta\lambda$, по уровню 0,5.

2.2. Установить в схеме ЛД вместо СИД.

Провести измерение спектральной характеристики ЛД аналогично п.2.1.

2.3. Провести значение спектральных характеристик излучения СИД и ЛД по ширине спектра и характеру излучения.

III. Диаграмма направленности

3.1. Собрать установку в соответствии со схемой рис.3. В качестве источника излучения установить светоизлучающий диод (СИД). При помощи микропозиционера провести юстировку приемной части (диафрагма +

фотодиод) по максимальному сигналу.

При помощи микропозиционера изменять положение приемной части в горизонтальной и вертикальной плоскости (углы Θ_{\perp} и Θ_{\parallel}) с соответствующей регистрацией величины принятого сигнала. Измерить зависимости $P_{\text{изл}}(\Theta_{\perp})$ и $P_{\text{изл}}(\Theta_{\parallel})$. По измеренным зависимостям ширину диаграммы направленности в ортогональных плоскостях.

3.2. Установить в схеме ЛД вместо СИД. Провести измерение диаграммы направленности ЛД аналогично п.3.1.

3.3. Провести сравнение пространственных характеристик излучения $P(\Theta)$ для СИД и ЛД.

Контрольные вопросы

1. Каковы механизмы генерации излучения в СИД и ЛД?
2. Пояснить различие Вт/А СИД и ЛД?
3. В чем различие спектров излучения СИД и ЛД?
4. Объяснить различную направленность излучения СИД и ЛД.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. Оптический мульти/демультиплексор

Цель работы: изучение принципа действия и основных характеристик оптического мульти/демультиплексора, используемого в аппаратуре ВОСП со спектральным уплотнением каналов в диапазонах длин волн 1.33/1.55 мкм.

Схема установки для измерения характеристик устройства в режиме мультиплексирования (объединения спектральных каналов) приведена на рис.1.

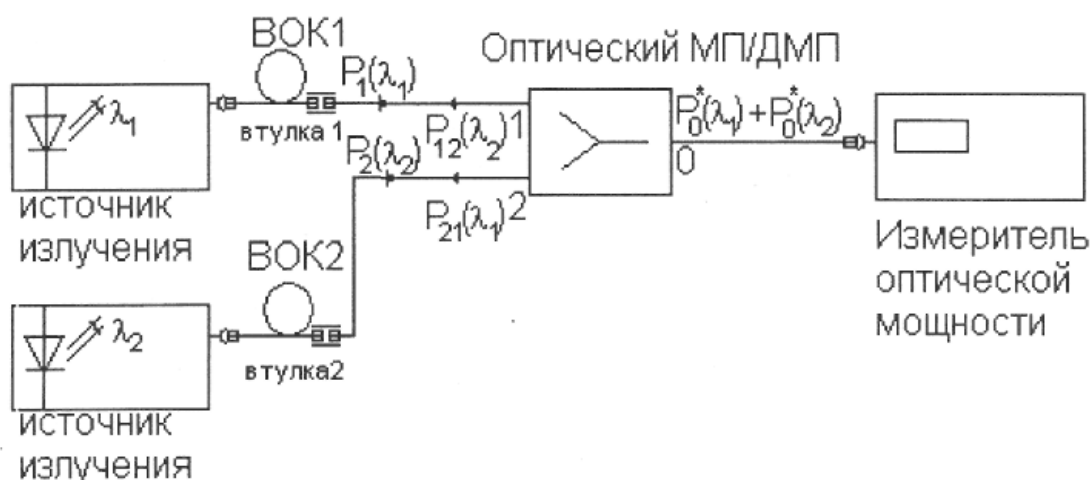


Рис.1 Структурная схема установки для измерения характеристик оптического мультиплексора

Схема установки для измерения характеристик устройства в режиме демультиплексирования (спектрального разделения каналов) приведена на рис.2.

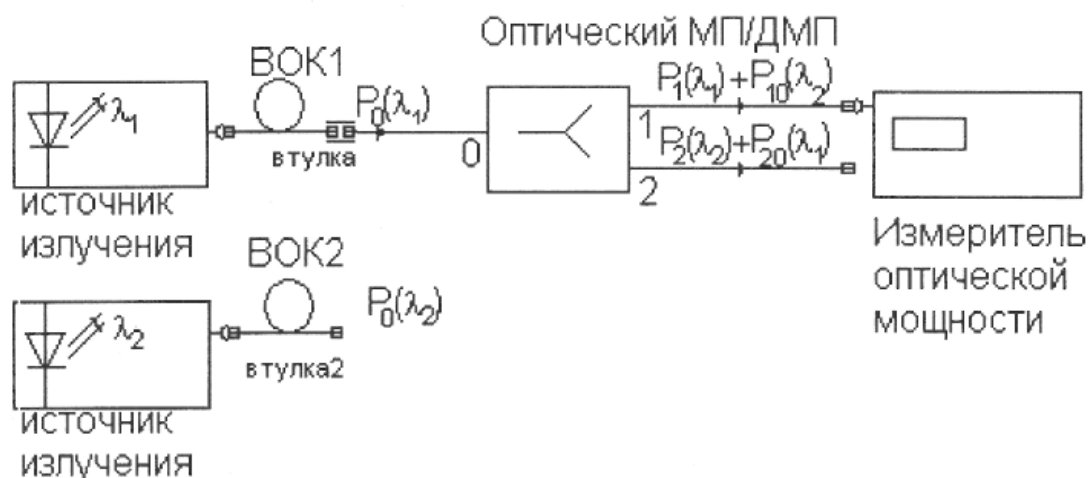


Рис. 2. Структурная схема установки для измерения характеристик оптического демультиплексора

Порядок выполнения работы

I. Работа в режиме мультиплексора

1.1. Собрать схему установки в соответствии с рис.1. На входной порт 1 подается оптическое излучение с длиной волны $\lambda_1=1,3$ мкм от источника излучения через катушку ВОК1 и соединительную втулку 1. На входной порт 2 подается оптическое излучение $\lambda_2=1,55$ мкм от другого источника излучения. К выходному порту 0 присоединяется измеритель оптической мощности.

1.2. Включить источник излучения с длиной волны λ_1 и измерить величину оптической мощности на выходе порта 0 $P_0^*(\lambda_1)$. Присоединить измеритель мощности к выходу катушки ВОК1 и измерить величину входной мощности $P_1(\lambda_1)$.

1.3. Присоединить источник с λ_1 к порту 1, а измеритель мощности к порту 2, и измерить мощность $P_{21}(\lambda)$ на выходе порта 2 на длине волны λ_1 . Проверить величину входной мощности $P_1(\lambda_1)$.

1.4. Включить источник излучения с длиной волны λ_2 , излучение которого поступает на порт 2. Присоединить измеритель оптической мощности к порту 0 и измерить величину выходной мощности на длине волны λ_2 , т.е. $P_0^*(\lambda_2)$. Присоединить измеритель оптической мощности к выходу катушки ВОК2 и измерить величину входной мощности $P_2(\lambda_2)$.

1.5. Присоединить источник с λ_2 к порту 2, и измерить мощность $P_{12}(\lambda_2)$ на выходе порта 1 на длине волны λ_2 . Проверить величину входной мощности $P_2(\lambda_2)$.

1.6. Рассчитать вносимые потери и перекрестные помехи на ближнем конце, используя формулы:

Вносимые потери:

$$A_1(\lambda_1) = -10\lg(P_0^*(\lambda_1)/P_1(\lambda_1)) \quad [\text{дБ}], \quad (1)$$

$$A_2(\lambda_2) = -10\lg(P_0^*(\lambda_2)/P_2(\lambda_2)) \quad [\text{дБ}]. \quad (2)$$

Перекрестная помеха на ближнем конце:

$$A_{21}(\lambda_1) = -10\lg(P_{21}(\lambda_1)/P_1(\lambda_1)) \quad [\text{дБ}], \quad (3)$$

$$A_{12}(\lambda_2) = -10\lg(P_{12}(\lambda_2)/P_2(\lambda_2)) \quad [\text{дБ}]. \quad (4)$$

II. Работа в режиме демультиплексора

2.1. Собрать схему установки в соответствии с рис.2. На входной порт О подается оптическое излучение с длиной волны $\lambda_1=1,3$ мкм от источника излучения через катушку ВОК1 и соединительную втулку. К выходному порту 1 присоединяется измеритель оптической мощности.

2.2. Включить источник излучения с длиной волны λ_2 и измерить выходную мощность $P_1(\lambda_1)$ на выходе порта 1 и и мощность $P_{20}(\lambda_1)$ на выходе порта 2. Затем присоединить измеритель мощности к выходу катушки ВОК1 и измерить входную мощность $P_0(\lambda_2)$.

2.3. Присоединить ко входному порту 0 источник излучения с длиной волны $\lambda_2=1,55$ мкм, а к выходному порту 2 измеритель оптической мощности. Измерить мощность $P_2(\lambda_2)$ на выходе порта 2, а затем мощность $P_{10}(\lambda_2)$ на выходе порта 1. Отсоединить демультиплексор от источника и измерить мощность на выходе катушки ВОК2.

2.4. Рассчитать вносимые потери и перекрестные помехи на дальнем конце, используя формулы:

Вносимые потери:

$$A_1(\lambda_1) = -10\lg(P_1(\lambda_1)/P_0(\lambda_1)) \quad [\text{дБ}], \quad (5)$$

$$A_2(\lambda_2) = -10\lg(P_2(\lambda_2)/P_0(\lambda_2)) \quad [\text{дБ}]. \quad (6)$$

Перекрестная помеха на дальнем конце:

$$A_{20}(\lambda_1) = -10\lg(P_{20}(\lambda_1)/P_0(\lambda_1)) \quad [\text{дБ}], \quad (7)$$

$$A_{10}(\lambda_2) = -10\lg(P_{10}(\lambda_2)/P_0(\lambda_2)) \quad [\text{дБ}]. \quad (8)$$

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте структурную схему ВОСП со спектральным уплотнением каналов.
2. Какой физический смысл имеет перекрестная помеха в режиме мультиплексирования (демультиплексирования)?
3. Перечислите достоинства метода спектрального уплотнения каналов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9. Измерение характеристик оптического изолятора

Цель работы: изучение принципа действия и основных характеристик оптического изолятора (оптического вентиля).

Оптический изолятор (ОИ) – невзаимное оптическое устройство, которое используется в аппаратуре ВОСП для защиты лазерных источников излучения от воздействия обратно отраженных сигналов, вызывающих флуктуации интенсивности, перестройку спектра и возрастание шумов. ОИ обеспечивает однонаправленную передачу излучения, повышает стабильность работы лазера и используется в передающей аппаратуре высокоскоростных ВОСП и оптических усилителях.

Принцип действия оптического изолятора основан на невзаимном повороте плоскости поляризации света в результате эффекта Фарадея в магнитооптической среде (магнитные кристаллы, стекла или пленки). Поворот поляризации света, распространяющегося по направлению приложенного поля, будет правовинтовым, а при распространении света против магнитного поля – левовинтовым, т.е. вращение плоскости поляризации света имеет невзаимный характер. Эта невзаимность вращения преобразуется в изоляторе в невзаимность пропускания, когда ОИ имеет малые оптические потери при прохождении излучения в прямом направлении и большие потери – в обратном направлении («вентильный эффект»).

Основными характеристиками ОИ являются:

- вносимые потери (потери в прямом направлении);
- изоляция (потери в обратном направлении);
- обратные отражения;
- поляризационная чувствительность потерь.

Схемы установок для измерения вносимых потерь и изоляции приведены на рис. 1 а, б, соответственно.

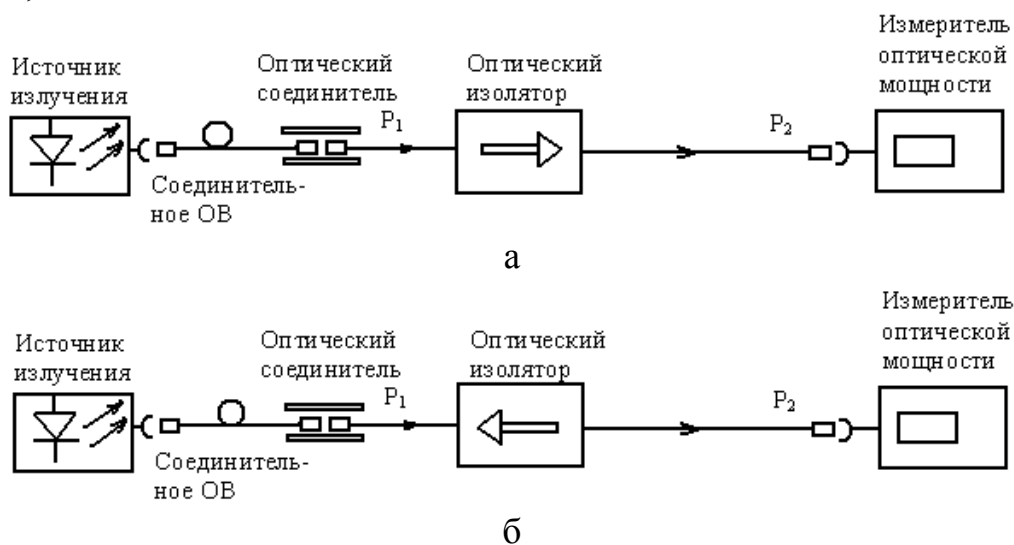


Рис. 1. Схема установки для измерения вносимых потерь (а) и изоляции (б) ОИ.

Схема установки для измерения обратных отражений приведена на рис. 2

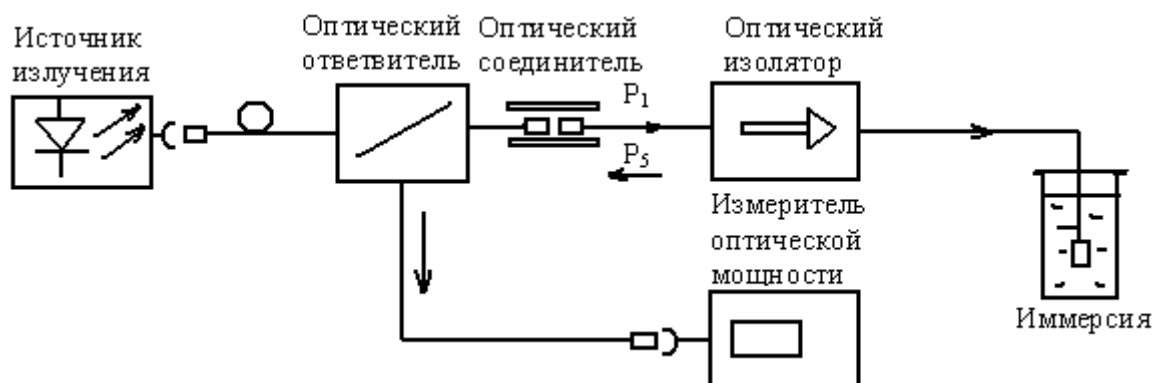


Рис. 2. Схема установки для измерения обратных отражений ОИ

Поляризационная чувствительность представляет собой зависимость потерь устройства от состояния поляризации входного излучения. Как правило, точное состояние поляризации на входе волоконно-оптического изолятора всегда неопределенно из-за воздействия окружающей среды на оптическое волокно. Поляризация излучения может изменяться во времени из-за изменений температуры, давления, изгибов волокна и других факторов.

Поляризационная чувствительность вносимых потерь ОИ измеряется по стандартной методике измерения потерь (см. рис. 1), но с использованием контроллера поляризации – прибора, который может изменять состояние поляризации входного излучения. При этом измеряются соответствующие уровни мощности P_i ($i = 1, 2$) в зависимости от угла поляризации θ входного излучения. Обычно измерения проводятся для двух значений угла, соответствующих двум ортогональным поляризациям.

Схема установки для измерения поляризационной чувствительности вносимых потерь приведена на рис. 3.

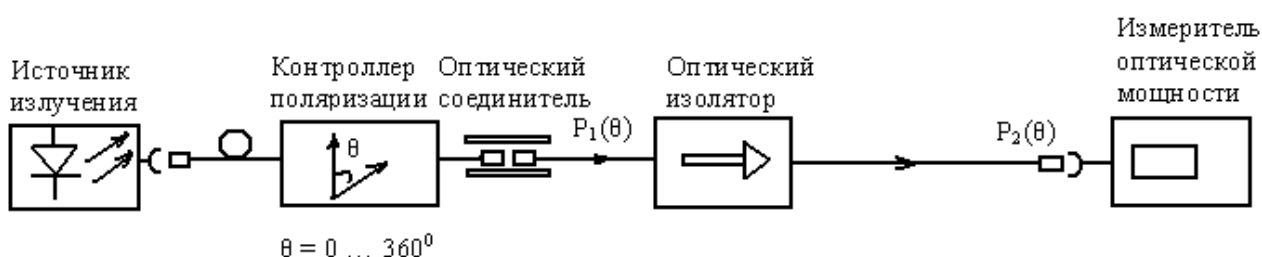


Рис. 3. Схема установки для измерения поляризационной чувствительности потерь ОИ

Порядок выполнения работы

I. Измерение вносимых потерь

1.1. Собрать установку в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1 а. ОИ включен в прямом направлении, источник излучения посредством соединительного оптического волокна и оптического соединителя подключен к входному порту ОИ, а измеритель оптической мощности – к выходному порту.

1.2. Измерить оптическую мощность P_2 (дБм) на выходном порте ОИ. Отсоединить входной порт ОИ из розетки оптического соединителя и присоединить измеритель оптической мощности к соединительному оптическому волокну.

1.3. Измерить величину оптической мощности P_1 (дБм), поступающей на входной порт ОИ.

1.4. Определить вносимые потери ОИ по формуле

$$A = P_2 - P_1 \quad (\text{дБ}). \quad (1)$$

II. Измерение изоляции

2.1. Собрать установку в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1 б. ОИ включен в обратном направлении, источник излучения посредством соединительного оптического волокна и оптического соединителя подключен к выходному порту ОИ, а измеритель оптической мощности – к входному порт ОИ.

2.2. Измерить оптическую мощность P_4 (дБм) на входном порте ОИ.

2.3. Отсоединить выходной порт ОИ из розетки оптического соединителя и присоединить измеритель оптической мощности к соединительному оптическому волокну.

2.4. Измерить величину оптической мощности P_3 (дБм), поступающей на входной порт ОИ.

2.5. Определить вносимые потери ОИ по формуле

$$I = P_4 - P_3 \quad (\text{дБ}). \quad (2)$$

III. Измерение обратных отражений

3.1. Собрать установку в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2. ОИ включен в прямом направлении. Источник излучения через оптический ответвитель, оптический соединитель подключен к входному порту ОИ. Выходной порт ОИ погружен в иммерсионную жидкость с показателем преломления $n \approx 1,5$ (например, глицерин) для предотвращения отражений от выходного порта. Измеритель оптической мощности присоединен в одному из выходных портов оптического ответвителя, работающего в режиме объединения.

3.2. Измерить величину оптической мощности P_5 (дБм), отраженную от входа ОИ и поступающую на выходной порт ответвителя.

3.3. Отсоединить входной порт ОИ из розетки оптического соединителя и присоединить измеритель оптической мощности к вилке оптического соединителя.

3.4. Измерить величину оптической мощности P_1 (дБм), поступающей на входной порт ОИ. Определить величину обратных отражений по формуле

$$A^{OP} = P_5 - P_1. \quad (\text{дБ}) \quad (3)$$

IV. Измерение поляризационной чувствительности потерь

4.1. Собрать установку в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3. Оптический изолятор включен в прямом направлении, источник излучения через контроллер поляризации и оптический соединитель присоединен к входному порту ОИ, измеритель оптической мощности присоединен к выходному порту ОИ.

4.2. Установить при помощи контроллера поляризации значение азимутального угла линейно поляризованного излучения Θ_{\max} на входе ОИ, соответствующего максимальной мощности на выходе ОИ.

4.3. Измерить величины оптической мощности $P_2(\Theta_{\max})$ на выходе ОИ и $P_1(\Theta_{\max})$ на входе ОИ для установленного на входе угла поляризации Θ_{\max} .

4.4. При помощи контроллера поляризации изменить величину азимутального угла Θ входного излучения до получения на выходе минимальной выходной оптической мощности $P_2(\Theta_{\min})$.

4.5. Измерить значение выходной оптической мощности $P_2(\Theta_{\min})$ для угла поляризации Θ_{\min} .

4.6. Определить поляризационную чувствительность потерь ОИ по формуле

$$\Delta A^{pol}(\Theta) = A_2 - A_1 \quad [\text{дБ}], \quad (4)$$

где

$$A_1 = P_2(\Theta_{\max}) - P_1(\Theta_{\max}) \quad [\text{дБ}], \quad (5)$$

$$A_2 = P_2(\Theta_{\min}) - P_1(\Theta_{\min}) \quad [\text{дБ}]. \quad (6)$$

Контрольные вопросы

1. Что вызывает необходимость использования ОИ в аппаратуре ВОЛС?
2. Какой эффект положен в основу функционирования ОИ?
3. Назовите основные функциональные элементы ОИ.
4. Какие основные характеристики определяют возможность применения ОИ в конкретном типе ВОЛС?
5. Что определяет поляризационную чувствительность потерь ОИ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10. Исследование распространения света в пленочных интегрально-оптических волноводах

Цель работы: расширение знаний о процессах распространения оптических мод в тонкопленочных оптических волноводах; приобретение навыков экспериментального определения постоянных распространения мод.

Экспериментальное исследование спектров постоянных распространения волноводных мод (волноводного показателя преломления) проводится на лабораторной установке, использующей метод призмного ввода света в

волновод. Схема установки приведена на рис.1.

Источником света является гелий-неоновый лазер ($\lambda=0,63$ мкм). Луч лазера проходит через оптическую систему, состоящую из поляризатора (3), щели (4), линзы (5) и попадает на входную призму (7), установленную на исследуемом волноводе (9). Если угол падения луча на призму такой, что выполняется условие синхронизма с какой-либо модой в волноводе, тогда именно эта мода и возбуждается. После распространения по волноводу (9) оптическое излучение возбужденной моды выходит из него через выходную призму (10) и попадает на фотодетектор (11) или на экран (13), где можно наблюдать яркую «*m*-линию», соответствующую тому углу, под которым свет вводился в волновод для возбуждения этой *m*-моды.

Измерительная ячейка с волноводом (9) и призмами (7, 10) помещается на столике гониометра (6) таким образом, чтобы ее можно было поворачивать в горизонтальной плоскости *XZ* (см. рис.1) и изменять этим угол падения луча лазера на входную призму. Такое вращение дает возможность возбуждать все моды волновода последовательно одну за другой. Для равномерного возбуждения всех мод призма (7) должна располагаться так, чтобы при повороте столика (5) точка падения светового луча не перемещалась по основанию призмы. С помощью отсчетного устройства гониометра измеряется угол α падения света на входную призму, при котором на выходе появляется яркая *m*-линия. За начало отсчета принимается нормаль к входной грани призмы.

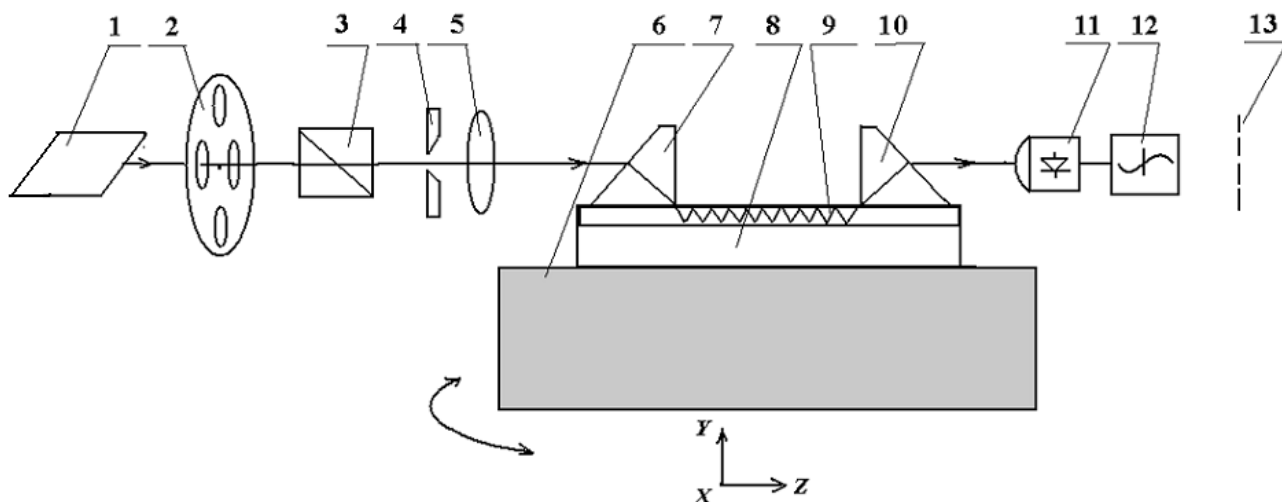


Рис. 1. Схема установки для исследования распространения света в пленочных интегрально-оптических волноводах: 1 – гелий-неоновый лазер ($\lambda=0,63$ мкм); 2– механический модулятор; 3 – поляризатор; 4 – щель; 5 – линза; 6 – столик гониометра; 7, 10 – призмы для ввода и вывода света; 8 – подставка для крепления измерительной ячейки; 9 – волновод; 11 – фотодетектор; 12 – усилитель; 13 – экран.

Измерение спектра оптических мод

Составляющая постоянной распространения, параллельная основанию призмы

\tilde{N} связана с углом падения света на призму следующим соотношением

$$\tilde{N} = \left(\frac{\beta}{k_0}\right) = \sin \alpha \cos \alpha + (n_p^2 - \sin^2 \alpha)^{1/2} \sin \varepsilon, \quad (1)$$

где α - угол падения света на призму; ε - угол призмы; n_p - показатель преломления призмы; $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ - волновое число; λ_0 - длина волны света.

Когда эта составляющая совпадает с постоянной распространения какой-либо моды в волноводе $N = \frac{\beta_m}{k_0}$, то именно эта мода и возбуждается, а на экране наблюдается m -линия этой моды.

Измерение параметров призмы (угла ε и показателя преломления n_p) проводится по стандартной методике с помощью гониометра – угол призмы ε измеряется автоколлимационным методом; показатель преломления n_p - методом угла наименьшего отклонения.

Определение толщины и показателя преломления однородного пленочного волновода

Как известно, связь между параметрами пленочного волновода (n_1, n_2, n_3, ω) и постоянными распространения оптических мод $\frac{\beta}{k_0}$ определяется дисперсионными соотношениями, которые являются трансцендентными уравнениями. Если известны показатели преломления подложки, пленки и покрытия (n_1, n_2, n_3), то, решая эти уравнения с помощью специального программного обеспечения, можно рассчитать спектры TE и TM мод в зависимости от толщины волновода ω и длины волны света λ_0 . На практике часто возникает необходимость решения обратной задачи, т.е. определения n_2 и ω , исходя из экспериментально полученных значений $\frac{\beta}{k_0}$ для различных мод.

Для расчета n_2 и ω достаточно знать постоянные распространения только двух мод, а остальные использовать для контроля и корректировки по методу наименьших квадратов величин n_2 и ω . Если из эксперимента известны значения постоянных распространения двух мод одной поляризации $\tilde{n}_\mu = \frac{\beta_\mu}{k_0}$ и

$\tilde{n}_\nu = \frac{\beta_\nu}{k_0}$ и их номера μ и ν . Константы \tilde{n}_μ и \tilde{n}_ν связаны с неизвестными

величинами n_2 и ω посредством дисперсионных уравнений вида

$$k_0 \omega (n_2^2 - n_m^2)^{1/2} = \Psi_m(n_2, n_m), \quad (2)$$

где $\Psi_m(n_2, n_m) = m\pi + \Phi_0(n_2, n_m) + \Phi_2(n_2, n_m)$ и фазовый сдвиг

$$\Phi_j(n_2, n_m) = \arctg\left[\left(\frac{n_2}{n_j}\right)^{2\rho} \left(\frac{n_m^2 - n_{j+1}^2}{n_2^2 - n_m^2}\right)^{1/2}\right],$$

$j=0, 2$ ($j=0$ - граница подложка-пленка; $j=2$ - граница покрытие-пленка),
 $\rho=0, 2$ ($\rho=0$ - TE мода, $\rho=2$ - TM мода).

Подставляя экспериментальные значения \tilde{n}_μ и \tilde{n}_ν в (2), получают два уравнения, из которых можно исключать $k_0\omega$. При этом результирующее уравнение для n_2 имеет вид

$$n_2^2 = F(n_2^2), \quad (3)$$

где $F(n_2^2) = (\tilde{n}_\mu^2 \Psi_\nu^2 - \tilde{n}_\nu^2 \Psi_\mu^2) / (\Psi_\nu^2 - \Psi_\mu^2)$.

Уравнение (3) не может быть решено точно относительно n_2^2 , его решения получают итеративными методами.

На практике параметры однородного волновода определяют приближенными методами. Показатель преломления волновода n_2 приближенно рассчитывают по формуле

$$n_2 \approx \frac{\beta_{TE_0}}{k_0} + \frac{\beta_{TE_0} - \beta_{TE_1}}{2k_0} \quad (4)$$

с погрешностью $\Delta n_2 < \frac{\beta_{TE_0} - \beta_{TE_1}}{2k_0}$, которая уменьшается с ростом числа мод, т.е. с увеличением толщины волновода.

Толщина волновода ω рассчитывается по формуле

$$\omega \approx \omega(TE_m) + \frac{\omega(TE_{m+1}) - \omega(TE_m)}{2} \quad (5)$$

с погрешностью $\Delta\omega < \frac{\omega(TE_{m+1}) - \omega(TE_m)}{2}$, $\omega(TE_m) = \frac{m\pi + \arctg\left(\frac{n_1^2 - n_3^2}{n_2^2 - n_1^2}\right)^{1/2}}{k_0(n_2^2 - n_1^2)^{1/2}}$,

$$\omega(TM_m) = \frac{m\pi + \arctg\left[\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \left(\frac{n_1^2 - n_3^2}{n_2^2 - n_1^2}\right)^{1/2}\right]}{k_0(n_2^2 - n_1^2)^{1/2}}.$$

Здесь $\omega(TE_m)$, $\omega(TM_m)$ - минимальная толщина для распространения TE_m и TM_m мод, соответственно. Для рассмотренного метода величина погрешностей Δn_2 и $\Delta\omega$ в случае достаточно большого числа мод ($m > 5$) составляет $\sim 10^{-2}$.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Включить лазер.
3. Меняя светофильтр, подобрать необходимую интенсивность излучения.
4. При помощи пластинки $\lambda/2$ и поляризатора выбрать требуемую поляризацию излучения.

5. Установить исследуемый пленочный волновод в измерительную ячейку и закрепить при помощи прижимной рамки входную и выходную призмы на поверхности волновода.
6. Визуально контролируя прохождение света и соблюдая осторожность, добиться получения оптического контакта между соприкасающимися поверхностями призмы и волновода при помощи дополнительного прижима вблизи прямого угла призмы.
7. Поместить собранную ячейку с волноводами и призмами на столик гониометра.
8. Ввести излучение в волновод через входную призму.
9. Визуально контролируя излучение из выходной призмы по m -линиям, последовательно настроиться на различные моды TE и TM поляризации и определить количество мод, распространяющихся в волноводе.
10. При помощи гониометра измерить углы падения излучения на входную призму, при которых происходит возбуждение соответствующих мод волновода.
11. Учитывая экспериментально полученные углы возбуждения и параметры призмы и пользуясь формулой (1), рассчитать постоянные распространения оптических мод волновода.
12. Используя полученные данные для модового состава волновода и пользуясь формулами (4), (5), рассчитать показатель преломления и толщину волноводного слоя.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под «модами волновода», «эффективным показателем преломления моды волновода» и «эффективной толщиной» для данной моды?
2. Каким образом происходит возбуждение волноводных оптических мод при призмном методе ввода излучения?
3. Какие параметры волновода связывает дисперсионное соотношение?
4. Как экспериментально определить значения постоянных распространения оптических мод в волноводе?
5. Поясните, как определить показатель преломления и толщину волноводного слоя, исходя из его модового состава?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11. Измерение профиля показателя преломления градиентной линзы методом фокусировки

Цель работы: измерение распределения показателя преломления градиентной линзы

Интерес к градиентным оптическим линзам был стимулирован развитием волоконной оптики. Основными преимуществами градиентных линз перед однородными являются: плоскостность, возможность снижения сферических aberrаций, высокое светопропускание. Среди большого разнообразия градиентных линз наиболее распространенными являются цилиндрические с плоскими торцами и радиальным распределением показателя преломления. В таких линзах траектория хода луча в меридиональной плоскости может быть описана плавной периодической функцией, например синусоидой (см. рис. 1)

$$y = y_0 \sin 2\pi z / P,$$

где y и z - координаты произвольной точки траектории; y_0 - амплитуда; P - длина одного периода траектории хода луча.

В узлах сопряжения оптических волокон используют градиентные линзы «в четверть периода», называемые также селфоками (от английского self focusing).

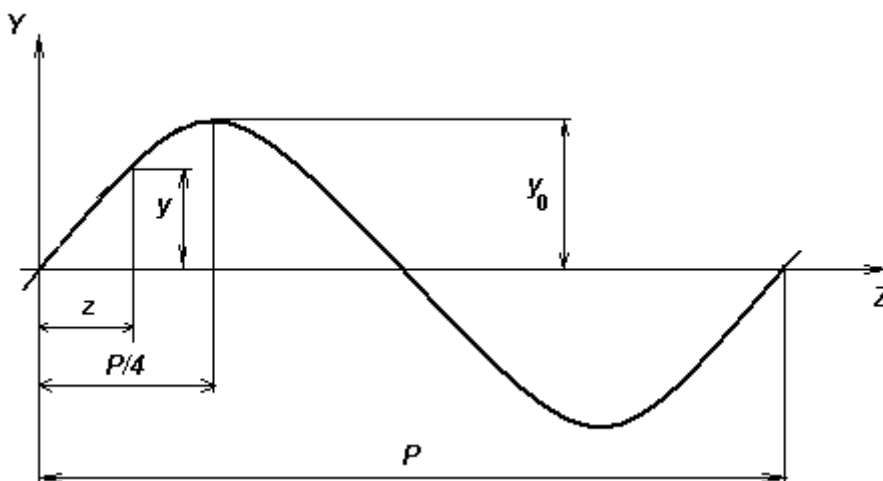


Рис. 1. Ход луча в градиентной линзе

Метод фокусировки основан на фокусирующих свойствах градиентной линзы при поперечном ее освещении.

На помещенную в иммерсионную жидкость градиентную линзу под прямым углом к оси линзы направляется параллельный некогерентный световой пучок постоянной интенсивности. Луч, входящий в линзу на расстоянии l от оптической оси (рис. 2), преломляется и выходит из линзы под углом, отличающимся от угла входа. В плоскости изображения линзы зондирующий луч попадает в точку на расстоянии $y = y(l)$ от оптической оси. Количественная связь показателя преломления Δn и координаты $y(l)$ описывается для параксиальных лучей уравнением $d^2 y / dx^2 = (1/n_1) \partial n / \partial y$, откуда наклон луча dy / dx на выходе из линзы определяется интегрированием:

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=\infty} = \frac{1}{n_1} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial n}{\partial y} dx. \quad (1)$$

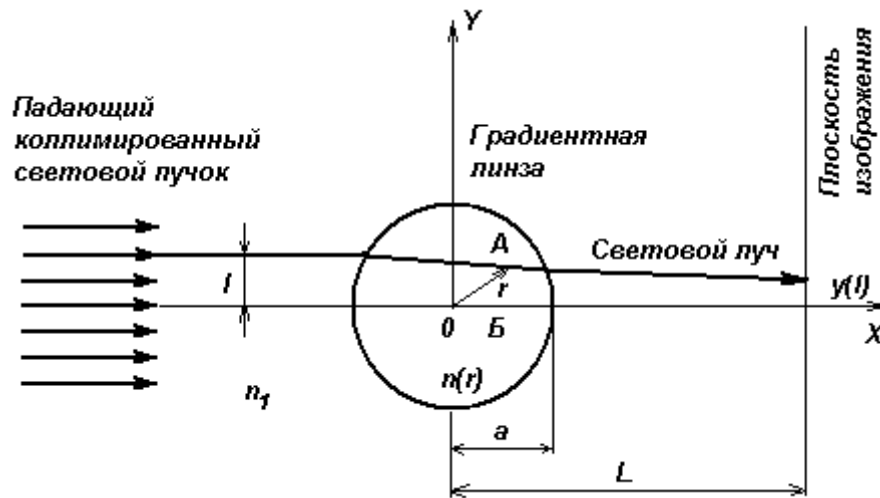


Рис. 2. Схема измерения распределения профиля показателя преломления в градиентной линзе методом фокусировки

Для рассматриваемого осесимметричного объекта распределение показателя преломления является функцией радиальной координаты r , связанной с переменной интегрирования x соотношением $x = \sqrt{r^2 - l^2}$, т.е. $dx = r dr / \sqrt{r^2 - l^2}$, а следовательно $(dn/dy) = (\partial n / \partial r)(\partial r / \partial y) = (\partial n / \partial y)(y/r) \approx (\partial n / \partial y)(l/r)$. Угол наклона луча с учетом (1) выражается интегральным соотношением

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=\infty} = \frac{2l}{n_1} \int_l^{\infty} \frac{\partial n}{\partial r} \frac{\partial r}{\sqrt{r^2 - l^2}}. \quad (2)$$

Вертикальная координата y луча в плоскости изображения, показанной на рис.2.

$$y(l) = l + L(dy/dx)_{x=\infty}. \quad (3)$$

Из (2) и (3) интегральное уравнение для искомой функции $n(r)$, т.е. радиального распределения показателя преломления, имеет вид:

$$\int_l^{\infty} \frac{\partial n}{\partial r} \frac{dr}{\sqrt{r^2 - l^2}} = \frac{n_1}{2lL} [y(l) - l]. \quad (4)$$

Если функция $[y(l) - l]$ известна, то распределение показателя преломления является решением интегрального уравнения (4).

Обозначим

$$G(r) = n(r) - n_1, \quad F(l) = \frac{n_1}{rL} \frac{[y(l) - l]}{l}, \quad (5)$$

тогда уравнение (4) принимает вид:

$$F(l) = \int_l^{\infty} \frac{\partial G}{\partial r} \frac{dr}{\sqrt{r^2 - l^2}}. \quad (6)$$

Здесь верхний предел интеграла ∞ , поскольку $G(r) = 0$ для $r > a$.

Функция $G(r)$ имеет вид:

$$G(r) = \int_0^{\infty} g(u) \cos(ur) du, \quad (7)$$

тогда

$$F(l) = -\frac{\pi}{2} \int_0^{\infty} u g(u) J_0(ul) du, \quad (8)$$

где J_0 - функция Бесселя нулевого порядка.

Уравнение (8) является преобразованием Ханкеля обратного интегрального преобразования:

$$g(u) = -\frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} l F(l) J_0(ul) dl. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (7), можно получить развернутое интегральное представление $G(r)$ от $F(l)$:

$$G(r) = -\frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} l F(l) \left\{ \int_0^{\infty} \cos(ur) J_0(ul) du \right\} dl.$$

При интегрировании по u окончательно получается

$$G(r) = -\frac{2}{\pi} \int_r^{\infty} \frac{l}{\sqrt{r^2 - l^2}} F(l) dl; \quad (10)$$

$$n(r) - n_1 = \frac{n_1}{\pi L} \int_r^{\infty} \frac{[l - y(l)]}{\sqrt{l^2 - r^2}} dl. \quad (11)$$

Входящая в уравнение (11) функция $y(l)$ определяется путем прямого интегрирования плотности потока излучения на входе в линзу $P(l)$. Поскольку из закона сохранения энергии в потоке излучения мощность $P(y)dy$, переносимая через элемент длины dy не зависит от координаты x , то $P(l)dl = P(y)dy$, где $P(y)$ - плотность потока в плоскости изображения. При нормировании плотности потока излучения таким образом, чтобы $P(l) = 1$, получается дифференциальное выражение $dl = P(y)dy$, после интегрирования которого

$$l(y) = \int_0^y P(y') dy' \quad (12)$$

определяется обратная функция. Из нее находится требуемая прямая функция $y(l)$, входящая в уравнение (11). При измерениях плоскость изображения определяется предметной плоскостью, на которую сфокусирован объектив видеокамеры.

Уравнение (11) справедливо, если объектив видеокамеры, наведенный на плоскость изображения, согласован с показателем преломления путем погружения в иммерсионную жидкость. При отсутствии иммерсионной жидкости, необходимо учесть отражение и преломление света на границе жидкость – воздух. При этом (11) преобразовывается к виду

$$n(r) - n_1 = \frac{1}{\pi L} \int_r^{\infty} \frac{[l - y(l)]}{\sqrt{l^2 - r^2}} dl. \quad (13)$$

Схема измерительной установки представлена на рис. 3.

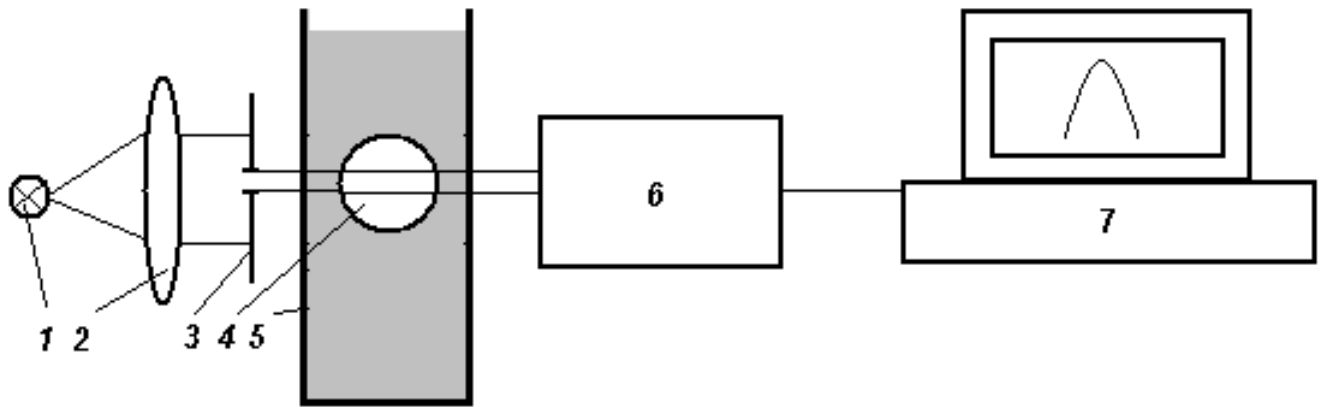


Рис. 3. Схема установки для измерения распределения профиля показателя преломления в градиентной линзе методом фокусировки:

1 – источник оптического излучения, 2 – коллиматор, 3 щель, 4 – кювета с иммерсионной жидкостью, 5 – градиентная линза, 6 – видеокамера, 7 – персональный компьютер

Порядок выполнения работы

1. Поместить исследуемую градиентную линзу в кювету с иммерсионной жидкостью. При этом желательно иммерсию подобрать таким образом, чтобы края линзы были незаметны при нахождении линзы в иммерсии, т.е. $n_1 = n(a)$.
2. Разместить видеокамеру таким образом, чтобы ее предметная плоскость (плоскость изображения линзы) находилась на расстоянии L , меньшем расстояния до точки пересечения рефрагировавших лучей (в противном случае при пересечении рефрагировавших лучей нарушается однозначное соответствие между y и l).
3. Вывести изображение, полученное видеокамерой на монитор персонального компьютера. При помощи перемещения щели в направлении OY установить соответствие координат луча на входе l и на выходе из линзы в плоскости изображения $y(l)$.
4. Пользуясь формулой (13), определить распределение профиля показателя преломления градиентной линзы и построить графическую зависимость $n(r)$.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются преимущества градиентных линз перед однородными?
2. Каким образом происходит компенсация сферических aberrаций градиентными линзами?
3. Почему траектория хода лучей в градиентной линзе имеет вид непрерывной периодической функции?
4. Приведите примеры устройств, в которых используются градиентные линзы.

5. Объясните метод фокусировки для измерения профиля показателя преломления градиентных линз.
6. С какой целью используется иммерсионная жидкость при измерении профиля показателя преломления градиентных линз методом фокусировки?

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Маркузе. Оптические волноводы. – М.: Мир, 1974.
2. Введение в интегральную оптику. / под ред. М. Барноски. – М.: Мир, 1977.
3. Интегральная оптика. / под ред. Т. Тамира.- М.: Мир, 1978.
4. Маркузе Д., Пресби Х.М. Измерение профиля показателя преломления и оценка характеристик волоконных световодов// ТИИЭР. – 1980. – т.68, №6, - с. 32 – 65.
5. Вычислительная оптика: Справочник/ М.М. Русинов, А.П. Грамматин, П.Д. Иванов и др. под общ. ред. М.М. Русинова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1984.
6. Р. Ханспеджер. Интегральная оптика. Теория и технология. – М.: Мир, 1985.
7. Л.М. Андрушко, И.И. Гроднев, И.П. Панфилов. Волоконно-оптические линии связи. – М.: Радио и связь, 1984.
8. М.М. Бутусов, С.Л. Галкин, С.П. Оробинский, Б.П. Пал. Волоконная оптика и приборостроение. – Л.: Машиностроение, 1987.
9. А.Ф. Котюк, Ю.А. Курчатов, Ю.П. Майборода и др. Введение в технику измерений оптико-физических параметров световодных систем. – М.: Радио и связь, 1987.
10. Лазарев Л.П., Мировицкая С.Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон. – М.: Радио и связь, 1988.
11. Грейсх Г.И., Ефименко И.М., Степанов С.А. Оптика градиентных и дифракционных элементов. – М.: Радио и связь, 1990.
12. Волноводная оптоэлектроника. / под ред. Т. Тамира. – М.: Мир, 1991.
13. Б.П. Хромой, В.Л. Серебрин, А.Л. Сенявский и др. Метрологическое обеспечение систем передачи: учебное пособие для Вузов. – М.: Радио и связь, 1991.
14. М.М. Бутусов, С.М. Верник, С.Л. Галкин и др. Волоконно-оптические системы передачи: Учебник для Вузов. – М.: Радио и связь, 1992.
15. И.Г. Бакланов. Технология измерений в современных телекоммуникациях. – М.: Эко-Трендз, 1998.
16. Р.Р. Убайдуллаев. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 1998.

17. В.А. Бурдин. Измерения на ВОЛС методом обратного рассеяния. – Самара, 1997.
18. В.А. Бурдин. Основы измерений оптическим рефлектометром. – Самара, 1997.
19. И.Г. Бакланов. Методы измерений в системах связи. – М.: Эко-Трендз, 1999.
20. А.Б. Иванов. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Syrus Systems, 1999.
21. Волоконно-оптическая техника. / под ред. Дмитриева С.А., Слепова Н.Н. – М.: Connect, 2000.
22. И.Г. Бакланов. Тестирование и диагностика систем связи. – М.: Эко-Трендз, 2001.
23. Р. Фриман. Волоконно-оптические системы связи. – М.: Техносфера, 2003.
24. О.К. Скляр. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М.: Солон-Пресс, 2004.

История кафедры Физики и техники оптической связи

Кафедра химии входила в состав первых 14 кафедр ЛИТМО, сформированных в 1930 году. В 30-60 годах кафедра работала в рамках факультета точной механики, возглавлял кафедру профессор С.А. Щукарев.

С момента второго рождения Инженерно-физического факультета в 1976 г. кафедра вошла в его состав. В 1974-76 годы на кафедру были приглашены И.К. Мешковский, В.И. Земский и позднее В.Ф. Пашин из ФТИ им. Иоффе, а затем О.С. Попков, Ю.П. Тарлаков из ЛТИ им. Ленсовета и А.Ф. Новиков из ГОИ им. С.И. Вавилова. Заведующим кафедрой был избран И.К. Мешковский. В эти годы на кафедре была предложена и реализована новая учебная программа по курсу "Общая и физическая химия", которая базировалась на новейших достижениях науки и методики преподавания.

На кафедре развивались два научно-технических направления:

- технология оптического волокна;
- создание новых композиционных оптических материалов.

В 1982 г. кафедра первой в стране стала осуществлять подготовку инженеров по специальности "Волоконная и интегральная оптика" и была переименована в кафедру Физической химии, волоконной и интегральной оптики. На кафедру были приглашены С.А. Миронов из ГП "Дальняя связь" и С.В. Данилов из ГОИ им. С.И. Вавилова. На базе кафедры были проведены первые в России разработки по технологии производства оптического волокна, оптических жгутов, различных волоконно-оптических приборов и систем. Благодаря работам заведующего кафедрой, д.т.н., профессора И.К. Мешковского, д.т.н., профессоров В.И. Земского и А.Ф. Новикова возникла научная школа в области фотоники дисперсных и нелинейных сред. Созданы новые композиционные оптические материалы на основе пористого силикатного стекла с внедренными в поры молекулами органических и неорганических веществ, на основе которых впервые были созданы активные элементы твердотельных перестраиваемых лазеров на красителях, а также разработано множество волоконно-оптических и фотонных сенсоров и микрооптических элементов. Доцентом Г.Б. Дейнекой развиты работы по компьютерному моделированию физических и химических процессов.

В 1998 г. в связи с развитием систем телекоммуникации и высокими потребностями в специалистах в области волоконно-оптической связи кафедра первой в Санкт-Петербурге стала осуществлять подготовку инженеров по специальности "Физика и техника оптической связи". На кафедру были приглашены И.А. Соколов из ООО "Оптен", Ю.А. Зингеренко из ЗАО "Новел Ил", А.В. Борисенко из ГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, М.А. Плоткин из ГП «Дальняя связь».

Кафедра обладает уникальной лабораторной базой по системам оптической связи. На кафедре проводятся студенческие научные семинары по телекоммуникации.

Кафедра осуществляет научные разработки совместно с российскими и зарубежными компаниями и университетами.

На кафедре защищено 5 докторских и более 20 кандидатских диссертаций.

Миронов С.А., Вознесенская А.О.

Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи

Методические указания к лабораторным работам. Часть 1.

В авторской редакции

Компьютерный набор, верстка, дизайн

А.О. Вознесенская, И.А. Шарков

Редакционно-издательский отдел Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики

Зав. редакционно-издательским отделом

Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати 15.09.05

Отпечатано на ризографе

Заказ № 814

Тираж 100 экз.