Кафедра «Конструирование и технология электрической изоляции»

Лабораторная работа

по курсу «Оптические и электрические кабели связи»

## "Исследование элементов световодного тракта"

2008

**Общая характеристика установки**

На базе данной установки могут быть выполнены следующие лабораторные работы.

1. Качественное исследование модового состава волоконных световодов.

2. Экспериментальное измерение числовой апертуры волоконных световодов.

3. Экспериментальное измерение потерь, вносимых изогнутым участком волоконного световода.

4. Качественное исследование эффекта скремблирования мод, распространяющихся в волоконных световодах.

5. Исследование зависимости степени когерентности лазерного диода от тока накачки.

Кроме того, данная установка позволяет не в полном объеме провести следующие измерения:

– исследование ватт-амперных характеристик лазерного диода.

– исследование поляризационных свойств лазерного диода.

Детальное исследование этих характеристик производится с помощью специально разработанной установки.

Выполнение перечисленных выше лабораторных работ позволяет:

– изучить зависимость степени когерентности излучения ЛД от тока накачки по анализу распределения интенсивности в поперечном сечении волоконных световодов, возбуждаемых ЛД;

– определить причину появления модовых шумов в волоконно-оптической линии связи;

– исследовать модовый состав волоконных световодов по распределению интенсивности в их поперечном сечении;

– экспериментально определить числовую апертуру волоконных световодов;

– оценить допустимые радиусы изгиба световодов и определить вносимый изгибом коэффициент затухания;

– изучить зависимость излученной полупроводниковым оптическим источником мощности от тока накачки (тока, протекающего через *pn* переход). Ниже эта зависимость называется ватт-амперной характеристикой;

– изучить зависимость коэффициента поляризации излучения ЛД от тока накачки.

**Состав лабораторного макета и его функциональная схема**

Функциональная схема лабораторного макета приведена на рис. 1. В его состав входят следующие элементы.

1. ***Источник оптического излучения – лазерный диод ЛД***, обеспечивающий излучение на длине волны λ = 0,67 мкм. Мощность излучения зависит от тока накачки Iн и достигает величины 5мВт при Iн=50мА. ЛД размещается в специальной оправке, позволяющей крепить его к элементам юстировочного устройства.

2. ***Блок питания источника оптического излучения (БПЛ)***. ЛД подключается к нему с помощью шнура питания с разъемом РС4‑ТВ. Сам БПЛ питается от сети 220v/50Hz.

На рис. 2 показана лицевая панель блока. Блок предусматривает возможность:

– регулировки тока накачки с помощью потенциометров «грубо», «точно», ручки которых выведены на лицевую панель. Изменение тока накачки позволяет изменять мощность излучения лазерного диода;

– переключение пределов изменения тока накачки (3, 15, 60 мА);

– регистрация тока накачки с помощью стрелочного прибора, выведенного на лицевую панель.

ЛП

**ЮУ1**

**УП**

**ЛП**

**ЮУ2**

**УП**

**ТК**

**БПЛ**

**ФП**

Опт. вход

**БВС**

**ОСЦ**

ВХ1(2)

СИНХ

**ВС**

ЛД

К

К

**ВС3**

К

**ВС2**

**ВС1**

ФД

ЧБМ

**БПМ**

УИП



Рис. 1. Функциональная схема лабораторного макета



Рис. 2. Лицевая панель блока питания источника оптического излучения

3. ***Фотодиод ФД*** для регистрации излучения на длине волны λ = 0,67 мкм размещенный в цилиндрическом корпусе на штативе и снабженный шнуром питания с разъемом РС4‑ТВ для подключения к блоку фотоприемника. В корпус фотодиода вставляется оправка, к которой крепится коннектор К исследуемого световода.

4. ***Фотоприемник ФП*** для регистрации излучения на длине волны λ = 0,67 мкм. На рис. 3 показана лицевая панель блока. Блок предусматривает возможность:

– тумблер «СЕТЬ» для включения питания блока;

– блочный разъем РС4ТВ «Оптический вход» для подключения одного из фотодиодов ко входу усилителя фототока фотоприемника;

– кнопочный переключатель «Вкл» в окне «Напряжение смещения». С его помощью производится подключение и отключение (перевод его в гальванический режим) напряжения смещения Uсм к фотодиоду. Напряжение смещения подается на фотодиод в нажатом состоянии переключателя;

– ручка потенциометра в окне «Напряжение смещения». С её помощью осуществляется регулировка напряжения смещения на фотодиоде;

– стрелочный прибор для измерения напряжения смещения на фотодиоде;

– кнопочный переключатель «Калибровка» в окне «Оптическая мощность». С его помощью производится перевод фотоприемника в режим калибровки (нажатое состояние). При этом вход усилителя фотоприемника соединяется с землей, что соответствует нулевому току через его входную нагрузку;

– ручка потенциометра «Установка нуля» в окне «Оптическая мощность». С его помощью осуществляется калибровка фотоприемника – установка на нулевую отметку стрелки измерительного прибора расположенного в окне «Оптическая мощность»;

– стрелочный прибор, измеряющий уровень оптической мощности в относительных единицах;

– кнопочный трехпозиционный переключатель «пределы» – х1, х10, х100 служащий для изменения пределов измерения оптической мощности в относительных единицах;

– блочный разъем СР 50 «выход усилителя» для подключения выхода усилителя фотоприемника ко входу осциллографа при исследовании модулированного оптического сигнала. В данной работе этого не требуется и к разъему ничего не подключается.



Рис. 3. Лицевая панель фотоприемника

5. ***Три отрезка волоконных световодов ВС1, 2, 3***:

– одномодовый световод без защитной оболочки (желтый цвет буферного покрытия) с коннекторами типа FC – UPS;

– многомодовый световод (оранжевый цвет защитной оболочки) с коннекторами типа FC – РС;

– многомодовый световод без защитной оболочки (прозрачное буферное покрытие). Для данного световода в качестве коннекторов использованы адаптеры для обнаженного волокна. Торцы световода зачищены до оболочки (диаметр 125 мкм) и сколоты с помощью стандартного скалывателя. Зачищенная до оболочки часть световода помещена в капилляр, образующий центральную часть оптического коннектора (адаптера). Волокно крепится в адаптере с помощью кнопочного пружинного фиксатора.

***Внимание. Волокно с адаптером требует бережного обращения. Запрещается поднимать адаптер за волокно.***

С элементами оптической схемы лабораторной установки коннекторы ВС соединяются с помощью специальных оправок (К), которые крепятся в узлах юстировочных устройств (их описание приводится ниже).

6. ***Телекамера с микрообъективом (ТК),*** которая служит для анализа излучения из торца исследуемого световода. В поле зрения телекамеры находится один из торцов исследуемого световода.

Телекамера имеет следующие характеристики:

– максимальное разрешение – 700 лин/мм;

– фокусное расстояние объектива F=4,2 мм.

При проведении измерений (измерение числовой апертуры, исследование модового состава, измерение степени когерентности источника) объектив телекамеры не используется.

7. ***Черно-белый монитор*** ***(ЧБМ)***, на экране которого наблюдается изображение формируемое телекамерой. В данной установке – это изображение светящегося торца исследуемого световода.

8. ***Блок выбора строки (БВС)***, с помощью которого производится выделение строки изображения формируемого телекамерой. Этот сигнал соответствует распределению интенсивности в поперечном сечении исследуемого световода.

На рис. 4. показана лицевая панель блока выделения строки. На ней имеются три кнопки, обозначенные символами **«↑», «↓», «»**. С помощью кнопок **«↑», «↓»** осуществляется передвижение выделяемой строки вверх или вниз по изображению на экране монитора. Кнопка **«»** устанавливает выделяемую строку в середину изображения. Положение выделяемой строки контролируется по экрану монитора – на изображении она отмечена светлой линией.



На лицевой панели расположены два светодиода, контролирующих включение питания блока и наличие на его входе видеосигнала.



Рис. 4. Лицевая панель блока выбора строки

С видеовыходом монитора и входом осциллографа БВС соединяется с помощью кабелей с соответствующими разъемами. Блочные части разъемов расположены на задней панели блока.

9. ***Блок питания монитора (БПМ)***, который обеспечивает питание монитора от сети переменного тока 220v/50Hz. Питание телекамеры и БВС обеспечивается напряжениями, вырабатываемыми в мониторе.

10. ***Осциллограф (ОСЦ)***. На его вход поступает сигнал с БВС, который соответствует выделенной строке. Поскольку в поле зрения телекамеры находится торец исследуемого световода, в режиме выделения строки осциллограмма представляет собой распределение интенсивности в его поперечном сечении.

11. ***Два юстировочных устройства (ЮУ1, ЮУ2).*** Они обеспечивают:

– взаимную юстировку оправки для коннектора (К) торца исследуемого световода и источника ЛД (ЮУ1). Данная регулировка позволяет изменять уровень оптической мощности, вводимой в исследуемый световод, для обеспечения удобства проведения измерений;

– взаимную юстировку торца исследуемого световода и телекамеры (ЮУ2).

Упрощенный эскиз (соответствующий виду сверху) ЮУ1 и ЮУ2 приведен на рис. 5. Эти устройства отличаются только видом оправок, в которых закреплены необходимые элементы. Органы их управления одинаковы.

Основой юстировочных устройств служат основания 1 (рис. 5) На них расположены два узла. Один из них осуществляет линейное перемещение оправки с закрепленным элементом по трем взаимноперпендикулярным направлениям: линейное поперечное (ЛП), линейное продольное (ЛПР), линейное вертикальное (ЛВ).

Второй узел осуществляет угловое перемещение (поворот) оправки с закрепленным элементом в двух взаимноперпендикулярных плоскостях: вертикальной (УВ), и гоизонтальной (УГ).

Шаг резьбы микрометрических винтов, с помощью которых осуществляется перемещение в одном из 5 указанных выше направлений, одинаков и составляет 0,5 мм.

В состав узла, осуществляющего линейное перемещение, входят три подвижных платы (2, 3, 4), которые перемещаются в трех взаимноперпендикулярных направлениях, соответственно, микрометрическими винтами ЛПР1,2 (линейное продольное направление), ЛП1,2 (линейное поперечное направление), ЛВ1,2 (линейное вертикальное направление).

В состав узла, осуществляющего угловое перемещение, входят три вложенных друг в друга кольца 5, 6, 7. Внешнее кольцо 5 жестко связано с основанием 1. Кольца 6 и 7 закреплены так, что обеспечивается их вращение вокруг горизонтальной (6) или вертикальной (7) оси. Вращение осуществляется с помощью микрометрических винтов УГ (угловое горизонтальное перемещение) и УВ (угловое вертикальное перемещение).

Во внутреннем кольце 7 узла, осуществляющему угловое перемещение в юстировочном устройстве ЮУ1 (рис. 5), закреплена оправка 8 с лазерным диодом. На эскизе показан соединительный кабель, с помощью которого ЛД соединяется с блока питания **БП** ***«Источник оптического излучения».***

К оправке 8 крепится поляризатор 17. Он вворачивается в оправку по резьбе на ее внутренней поверхности. Поворот поляризатора приводит к изменению уровня оптической мощности.

На плате 3 узла, осуществляющего линейное перемещение в юстировочном узле ЮУ1 (рис. 5), укреплен цилиндр 9 с внутренним отверстием. К нему крепится съемная оправка 10, в которой фиксируется коннектор FC исследуемого волоконного световода. Крепление оправки осуществляется с помощью фиксирующего винта ФВ1 (рис4).

В платах 3, 4 и цилиндре 9 имеются отверстия, через которые проходит исследуемый световод (рис. 5).

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**лп2**

**лв2**

**Ув2**

**Уг2**

Соединительный кабель камера -

монитор (видеовход**)**

**11**

**12**

**13**

**14**

**15**

**16**

**фв2**

O

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**лп1**

**лв1**

**ув1**

**8**

**лпр2**

**уг1**

**лпр1**

**фв1**

**9**

**10**

Соединительный кабель ЛД- источник тока накачки

**ЮУ1**

**ЮУ2**

**17**



Рис. 5. Схема юстировочных устройств (ЮУ1 и ЮУ2)

Во внутреннем кольце 7 узла, осуществляющем угловое перемещение в юстировочном устройстве ЮУ2 (рис. 5), закреплен цилиндр 11 с центральным отверстием. В нем с помощью фиксирующего винта ФВ2 (рис. 2.3) крепится съемная оправка 12, в которой фиксируется коннектор FC исследуемого волоконного световода.

Исследуемый световод проходит через отверстия в крышке узла, осуществляющему угловое перемещение и цилиндре 11.

На плате 3 узла, осуществляющего линейное перемещение в юстировочном узле ЮУ2 (рис2.1, 2.3), укреплен цилиндр 14 с внутренним отверстием. В нем крепится телекамера 13. На внешней поверхности цилиндра 14 имеется резьба (М 40×0,5). По ней наворачивается оправка 16 с объективом 15. Перемещение оправки 16 по резьбе вдоль цилиндра 14 позволяет производить настройку изображения, формируемого телекамерой на экране монитора М (рис. 2.1) в том случае, если используется объектив телекамеры. На эскизе (рис. 5) показан кабель, соединяющий телекамеру с монитором.

Юстировочное устройство ЮУ2 служит для коррекции положения торца исследуемого световода относительно микрообъектива телекамеры.

12. ***Узел измерения потерь на изгибе световода (УИП)***. Узел состоит из двух оснований – верхнего 1 и нижнего 12 (рис. 6).

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**9**

**11**

**10**

**10**

**11**

**к ЮУ1**

**9**

**12**

**13**

**14**

**15**

**7**

**15**

**16**



Рис. 6. Узел измерения потерь на изгибе световода

На верхнем основании крепятся:

– оправка фотодиода 2 с фотодиодом и кабелем для подключения его к фотоприемнику;

– оправка коннектора исследуемого световода 3, которая вставляется в оправку 2. При этом световой поток из выходного торца исследуемого световода полностью попадает на чувствительную площадку фотодиода. Оправка 3 – съемная. Она используется для стыковки выходного торца световода как с фотодиодом, так и с телекамерой. В последнем случае она вставляется в юстировочное устройство ЮУ2;

– исследуемый световод 4, в качестве которого используется либо одномодовый световода без защитной оболочки (желтый цвет буферного покрытия) с коннекторами типа FC – UPS, либо многомодовый световод без защитной оболочки (прозрачное буферное покрытие);

– неподвижные стойки 6;

– зажимы 10, в которых крепится исследуемый световод. Он вставляется в прорезь зажима и фиксируется стяжным винтом;

– пружины 11, которые служат для натяжения исследуемого световода.

В верхнем основании прорезана щель, в которой перемещается подвижная стойка 7.

На верхнем основании размещены также скобы для крепления коннекторов световодов и самих световодов. На рис. 6 они не показаны.

На нижнем основании 14 крепятся следующие элементы:

– микрометрический винт 9 с узлом крепления его к нижнему основанию 15;

– направляющие 13, в которых перемещается основание 14 подвижной стойки 7;

– пружины 15 с упором 16 для обеспечения обратного перемещения основания 14.

В состав узла измерения потерь входят также сменные втулки с внешними диаметрами 7 и 9 мм (по три втулки соответствующего размера). Их внутренний диаметр – 5 мм. Они одеваются на три стойки (две неподвижных и одну подвижную) для изменения радиуса изгиба исследуемого световода.

Исследуемый световод помещается между неподвижными и подвижной стойками (рис. 6). Перемещение подвижной стойки с помощью микрометрического винта изменяет длину изогнутого участка исследуемого световода. Перемещение подвижной стойки L отмечается по шкале микрометрического винта 9. Диаметр стойки D соответствует значению 5,7,9 мм (в зависимости от установленных втулок). Расстояние между втулками d=15 мм.

Длина изогнутого участка определяется выражением:

***l*** = D\*(arcsin((D/(L2 +d2)1/2) + arctg (L/d)).

**1. Качественный анализ модовой структуры волоконных световодов**

***Цель работы:***

– исследовать модовый состав волоконных световодов по распределению интенсивности в их поперечном сечении.

***Порядок выполнения работы.***

**ВНИМАНИЕ! Перед каждым использованием в измерениях волоконных шнуров необходимо снять защитные колпачки с их торцов. После окончания работы с волоконным шнуром обязательно установить на его торцы снятые защитные колпачки.**

**ВСЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ СВЕТОВОДОВ ПРОИЗВОДЯТСЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ.**

В данной лабораторной работе используются следующие элементы (рис. 1 [Общая характеристика установки]):

– электронный блок питания БП «Источник оптического излучения»;

– лазерный диод ЛД;

– юстировочные устройства ЮУ1 и ЮУ2;

– многомодовый и одномодовый волоконный световод ВС;

– телекамера с микрообъективом;

– черно-белый монитор.

1. Закрепить входной торец многомодового (оранжевый цвет защитной оболочки) световода в узел юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющий линейное перемещение (рис. 5). Для этого выполнить следующие операции. (**Пункты 1 и 2 выполняются преподавателем**).

1.1. С помощью микрометрического винта ЛПР1 переместить узел, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее правое положение.

1.2. Отвернуть фиксирующий винт ФВ1 (рис. 5) и отсоединить съемную оправку 10.

1.3. Пропустить световод через отверстия в платах 2, 3 и цилиндре 9.

1.4. Закрепить коннектор FC световода в оправке 10, навернув фиксирующий винт коннектора.

1.5. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 10 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ1.

2. Закрепить выходной торец световода в узел юстировочного устройства ЮУ2, осуществляющий угловое перемещение (рис. 5 [Общая характеристика установки]). Для этого выполнить следующие операции.

2.1. С помощью микрометрического винта ЛПР2 переместить узел, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее правое положение.

2.2. Отвернуть фиксирующий винт ФВ2 (рис. 5) и отсоединить съемную оправку 12.

2.3. Пропустить световод через отверстия в кольцах 5,6,7 и цилиндре 11.

2.4. Закрепить коннектор FC световода в оправке 12, навернув фиксирующий винт коннектора.

2.5. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 12 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ2.

3. Установить:

– ручки потенциометров регулировки тока накачки «грубо», «точно» на лицевой панели БПЛ (рис. 2) «Источник оптического излучения» в крайнее положение против часовой стрелки;

– кнопочный переключатель пределов изменения тока накачки – в положение 60 мА.

– с помощью соединительного кабеля подключить ЛД (рис. 1) к блоку «Источник оптического излучения». Соединение осуществляется с помощью разъема РС 4 ТВ, блочная часть которого расположена на лицевой панели.

4. Включить тумблер «сеть» на лицевой панели блока «Источник оптического излучения». При этом загорается его подсветка.

5. Включить питание монитора М и телекамеры ТК (рис. 1), нажав кнопочный переключатель на лицевой панели монитора. При этом после его прогрева наблюдается слабое свечение экрана монитора.

6. С помощью потенциометров «грубо», «точно», расположенных на лицевой панели блока «Источник оптического излучения» установить значение тока накачки лазерного диода Iн= 15мА. Контроль тока накачки осуществляется по стрелочному прибору на лицевой панели.

7. Выходной торец световода расположен напротив телекамеры. Оба элемента закреплены во втором юстировочном устройстве ЮУ2 (рис. 5). Изменяя угловое положение торца световода относительно телекамеры с помощью микрометрических винтов УВ2 и УГ2 и перемещая телекамеру в двух поперечных направлениях с помощью микрометрических винтов ЛП2 и ЛВ2, добиться появления изображения торца световода на экране монитора.

8. Используемый в данном эксперименте лазерный диод расположен в узле юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющем угловое перемещение (рис. 5). Необходимо добиться, чтобы его излучение попадало на входной торец волоконного световода, который расположен в этом же юстировочном устройстве (в узле, осуществляющем линейное перемещение). Изменяя угловое положение ЛД относительно торца световода с помощью микрометрических винтов УВ1 и УГ1 и перемещая оправку со входным торцом световода в двух поперечных направлениях относительно ЛД с помощью микрометрических винтов ЛП2 и ЛВ2, добиться появления на выходном торце световода светового пятна, которое наблюдается на экране монитора. Регулировку положения источника и входного торца световода производить методом последовательных приближений, добиваясь максимальной яркости наблюдаемого пятна.

9. В юстировочном устройстве ЮУ2 предусмотрена возможность продольного перемещения телекамеры относительно торца световода с помощью микрометрического винта ЛПР2. При этом изменяется линейный масштаб изображения, наблюдаемого на экране монитора. Перемещая телекамеру в продольном направлении с помощью микрометрического винта ЛПР2, приближая ее к выходному торцу световода, следует добиться четкого изображения светящегося торца световода на экране монитора. Изображение должно занимать приблизительно половину экрана монитора. Изменяя угловое положение торца световода относительно микрообъектива телекамеры и перемещая телекамеру по двум поперечным направлениям с помощью соответствующих микрометрических винтов, необходимо добиться того, чтобы изображение светящегося пятна находилось в центре экрана монитора и при этом имело бы форму окружности.

10. При правильном выполнении всех юстировочных операций на экране монитора наблюдается распределение интенсивности в поперечном сечении исследуемого световода. Может оказаться, что яркость изображения черезмерно высока, что затрудняет наблюдение деталей изображения. В этом случае следует уменьшить долю оптической мощности источника излучения, которая вводится в исследуемый световод. Этого можно добиться двумя способами,

Первый. Сместить входной торец световода относительно ЛД. Смещение может производиться как с помощью микрометрических винтов УВ1, УГ1 (по углу ввода излучения в световод), так и с помощью микрометрических винтов ЛП1, ЛВ1 (линейное смещение торца световода относительно источника). Используя эти возможности добиться появления на экране монитора спекловой структуры – в пределах засвеченной световодом области должны наблюдатся отдельные мелкие светлые пятна, ограниченные темными областями. Положение их нестабильно и подвержено случайным флуктуациям. Это обусловлено когерентностью излучения ЛД.

Второй. Повернуть поляризатор вокруг оси так, чтобы оптическая мощность, вводимая в световод, была бы оптимальна для проведения измерений.

11. После выполнения всех юстиовочных операций, не меняя пределов изменения тока накачки, уменьшить его до нуля установив ручки потенциометров регулировки тока накачки «грубо», «точно» на лицевой панели электронного блока «Источник оптического излучения» в крайнее положение против часовой стрелки. При этом светящееся пятно на экране монитора исчезнет, так как генерация излучения отсутствует.

12. Плавно увеличивать величину тока накачки с помощью потенциометров «грубо», «точно» и следить за возникновением светящегося пятна на экране монитора. При токе накачки Iн меньшим порогового значения на экране монитора должно наблюдаться светящееся пятно с равномерной засветкой. Картина стабильна, что свидетельствует об отсутствии интерференции между различными модами световода.

13. Дальнейшее увеличение тока накачки должно привести к появлению на экране монитора спекловой структуры – в пределах засвеченной световодом области должны наблюдатся отдельные мелкие светлые пятна, ограниченные темными областями. Положение их нестабильно и подвержено случайным флуктуациям. Это обусловлено когерентностью излучения ЛД.

14. Зафиксировать значение тока накачки I0, которое соответствует появлению спекловой структуры излучения из торца световода.

15. Уменьшить до нуля значение тока накачки Iн установив ручки потенциометров регулировки тока накачки «грубо», «точно» на лицевой панели электронного блока «Источник оптического излучения» в крайнее положение против часовой стрелки. При этом светящееся пятно на экране монитора исчезнет, так как генерация излучения отсутствует.

16. Заменить многомодовый световод на одномодовый. Для этого выполнить следующие операции (**Пункты 16 выполняются преподавателем**).

16.1. С помощью микрометрического винта ЛПР1 (рис. 5) переместить узел юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее правое положение.

16.2. Отвернуть фиксирующий винт ФВ1 (рис. 5) и отсоединить съемную оправку 10 с многомодовым световодом. Извлекать оправку со световодом из юстировочного устройства следует с осторожностью не допуская его резких изгибов.

16.3. Отвернуть коннектор FC входного торца многомодового световода от оправки 10, открутив фиксирующий винт коннектора. После этого извлечь его из узла юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющего линейное перемещение.

16.4. Пропустить одномодовый световод через отверстия в платах 2, 3 и цилиндре 9.

16.5. Закрепить коннектор FC световода в оправке 10, навернув фиксирующий винт коннектора.

16.6. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 10 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ1.

16.7.С помощью микрометрического винта ЛПР2 переместить узел юстировочного устройства ЮУ2, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее правое положение.

16.8. Отвернуть фиксирующий винт ФВ2 (рис. 5) и отсоединить съемную оправку 12 с многомодовым световодом. Извлекать оправку со световодом из юстировочного устройства следует с осторожностью не допуская его резких изгибов.

16.9. Отвернуть коннектор FC входного торца многомодового световода от оправки 12, открутив фиксирующий винт коннектора. После этого извлечь его из узла юстировочного устройства ЮУ2, осуществляющего угловое перемещение.

16.10. Пропустить световод через отверстия в 5, 6, 7 и цилиндре 11

16.11. Закрепить коннектор FC световода в оправке 12, навернув фиксирующий винт коннектора.

16.12. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 12 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ2.

17. Повторить операции, предусмотренные пунктами 2–11 данного описания.

18. Плавно увеличивать величину тока накачки с помощью потенциометров «грубо», «точно» на лицевой панели электронного блока «Источник оптического излучения» и следить за возникающим светящимся пятном на экране монитора. При токе накачки Iн меньшим порогового значения, определенного ранее при выполнении предыдущих лабораторных работ, на экране монитора должно наблюдаться светящееся пятно с равномерной засветкой. Дальнейшее увеличение тока накачки приводит к тому, что проявляется модовая структура исследуемого световода. Размеры поперечного сечения и значения коэффициентов преломления анализируемого световода обеспечивают одномодовый режим на длине волны λ=1,3 мкм. В данном эксперименте используется источник с λ=0,67 мкм. Поэтому световод уже не является одномодовым. По картине распределения интенсивности свечения на экране монитора определить количество мод, распространяющихся по данном световоду.

19. Проанализировать распределение интенсивности в поперечном сечении одномодового световода по картине, наблюдаемой на экране монитора. Изменяя угловое положение источника оптического излучения относительно торца входного световода с помощью микрометрических винтов УВ1 и УГ1 юстировочного устройства ЮУ1 проследить за изменением распределения интенсивности в поперечном сечении, наблюдаемом на экране монитора. Зарисовать качественно все возможные картины распределения, которые могут быть получены при изменении положения входного торца световода относительно источника излучения.

**2. Исследование зависимость степени когерентности излучения ЛД от тока накачки по анализу распределения интенсивности в поперечном сечении волоконного световода**

***Цель работы:***

– изучить зависимость степени когерентности излучения ЛД от тока накачки по анализу распределения интенсивности в поперечном сечении волоконных световодов, возбуждаемых ЛД;

– определить причину появления модовых шумов в волоконно-оптической линии связи.

**ВНИМАНИЕ! ВСЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ СВЕТОВОДОВ ПРОИЗВОДЯТСЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ.**

В данной лабораторной работе используются следующие элементы (рис. 1 [Общая характеристика установки]):

– электронный блок питания БП «Источник оптического излучения»;

– лазерный диод ЛД;

– юстировочные устройства ЮУ1 и ЮУ2;

– телекамера с микрообъективом;

– черно-белый монитор.

– блок выделения строки;

– многомодовый световод (оранжевый цвет защитной оболочки) с коннекторами типа FC – РС;

***Внимание. Волокно с адаптером требует бережного обращения. Запрещается поднимать адаптер за волокно.***

– осциллограф.

Оценка степени когерентности излучения оптического источника производится по контрасту спекловой структуры, наблюдаемой на торце световода, возбужденного исследуемым источником. Оценка может производиться по анализу картины излучения как из торца одномодового, так и многомодового световодов. Для анализа картины излучения используется осциллограф и блок выделения строки. В этом случае осциллограмма, наблюдаемая на его экране, повторяет закон распределения интенсивности в поперечном сечении.

На рис. 7 показано качественно изображение светящегося торца световода, наблюдаемого на экране монитора и отмечены выделяемые строки изображения. Здесь же приведены соответствующие выделяемым строкам осциллограммы, наблюдаемые на экране осциллографа. Положение выделяемой строки отображается на мониторе светлой горизонтальной линией. С помощью кнопок **«↑», «↓»** осуществляется передвижение выделяемой строки вверх или вниз по изображению на экране монитора. Кнопка **«+»** устанавливает выделяемую строку в середину изображения. Изменяя положение выделяемой строки, можно просканировать изображение, наблюдаемое на экране монитора, по вертикали (рис. 6). Качественная оценка степени когерентности излучения лазерного диода ЛД может производится как с помощью одномодового, так и с помощью многомодового световода.

**Изображение на мониторе**

**Выделяемые строки Осциллограммы**



Рис. 7. Качественное изображение светящегося торца световода

Тип световода, используемый для измерений, указывается преподавателем (многомодовый в оранжевой оболочке).

1. После выполнения замены или установки световода необходимо провести юстировочные операции, описанные в пунктах 3–11 данного раздела.

2. Включить питание осциллографа. Его органы управления установлены в положение, при котором осциллограмма на его экране соответствует одной из строк видеосигнала, наблюдаемого на экране монитора.

3. Измерить степень когерентности следует по контрасту интерференционной картины, наблюдаемой на экране монитора. Она является результатом интерференции отдельных мод световода, каждая из которых попадает на торец, пройдя отличный от других путь. Следует помнить, что любая, даже самая незначительная деформация световода, приводит к изменению этого пути, что приводит к изменению результата интерференции. В результате интерференционная картина не остается стабильной. Поэтому при проведении измерений следует стремиться к исключению воздействий на исследуемый световод. Выполнить следующие операции.

3.1. Установить значение тока накачки лазерного диода равным 30 мА с помощью потенциометров регулировки тока накачки «грубо», «точно» на лицевой панели электронного блока «Источник оптического излучения». Контроль тока накачки осуществляется по стрелочному прибору на лицевой панели. При этом его излучение становится заведомо когерентным и на экране монитора должна наблюдаться спекл-картина.

3.2. На экране осциллографа при этом должна наблюдаться осциллограмма, примерный вид которой показан на рис. 7, *а*. Если наблюдается чрезмерный контраст изображения вид осциллограммы будет соответствовать рис. 7, *б*. В этом случае следует уменьшить долю оптической мощности источника излучения, которая вводится в исследуемый световод. Для этого необходимо сместить входной торец световода относительно ЛД2 (рис. 5). Смещение может производиться как с помощью микрометрических винтов УВ1, УГ1 (по углу ввода излучения в световод), так и с помощью микрометрических винтов ЛП1, ЛВ1 (линейное смещение торца световода относительно источника). Используя эти возможности добиться появления осциллограммы, соответствующей рис. 7, *а*.

**Рmin**

**Рmax**

**Уровень черного**

**а**

**б**



Рис. 8. Осциллограммы

Аналогичного результата можно добиться уменьшая уровень оптической мощности с помощью вращения поляризатора на оправке ЛД (рис. 4).

3.3. Ручкой «VOLTS/DIV», находящейся на лицевой панели осциллографа, установить удобный для измерения вертикальный масштаб изображения. В дальнейших измерениях положение ручки не менять.

3.4. Ручкой «TIME/DIV», находящейся на лицевой панели осциллографа, установить удобный для измерения горизонтальный масштаб изображения.

3.5. Отметить на осциллограмме положение уровня «черного» (рис. 8, *а*) и отсчитать от него уровень, соответствующий минимальной Рmin и максимальной Рmax яркости изображения в пределах светящегося пятна на торце световода. Отсчет проводить в делениях, нанесенных на экран осциллографа. Данные измерений занести в таблицу 1.

Занести значение Iн в первую графу таблицы 1.

Таблица 1*.* Измерение степени когерентности лазерного диода

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Iн (мА) | 30 мА |  |  |  |
| Рmin (дел) |  |  |  |  |
| Рmах (дел) |  |  |  |  |
| γ |  |  |  |  |

3.6. Изменять величину тока накачки в сторону уменьшения с шагом, указанным преподавателем. При каждом фиксированном значении Iн определять Рmin и Рmax. Отсчет проводить в делениях, нанесенных на экран осциллографа. Данные измерений занести в таблицу 1. При уменьшении тока накачки яркость изображения также уменьшается. При необходимости увеличить яркость изображения за счет увеличения мощности, вводимой в световод. Для этого следует выполнить операции по юстировке, описанные в пункте 14.4.

3.7. По данным измерений вычислить величину степени когерентности по формуле:

γ = (Рmax – Рmin)/ (Рmax + Рmin)

и построить зависимость γ(Iн).

**3. Экспериментальное определение числовой апертуры волоконных световодов**

***Цель работы:***

– произвести экспериментальное определение числовой апертуры одномодового и многомодового световода.

***Предварительные замечания.***

***При измерении числовой апертуры световодов микрообъектив телекамеры должен быть обязательно снят.***

Под числовой апертурой NA волоконного световода понимается синус угла φ, под которым луч света, падающий на его торец, испытывает полное внутреннее отражение на границе раздела сердечник – оболочка. Для ее экспериментального определения исследуется расходимость излучения из торца световода. На рис. 8 показан ход крайних лучей, выходящих из торца возбужденного световода. Угол φ, который они составляют с осью световода и определяет значение числовой апертуры NA.



Рис. 9. Схема светового конуса на выходе из световода (*а*) и осциллограмма (*б*)

Для измерения числовой апертуры анализируется излучение из торца возбужденного источником ЛД (рис. 1) световода. Выходной торец находится в поле зрения телекамеры и на экране монитора возникает его изображение. Выделение строки изображения с помощью телевизионного осциллографа (смотри описание к предыдущей лабораторной работе) позволяет анализировать распределение интенсивности в его поперечном сечении.

На рис. 9 показан торец световода *С* и образующие, ограничивающие световой конус, в котором концентрируется излучение, выходящее из него.

Лучи попадают на матрицу (*М* на рис. 9) телекамеры, с помощью которой формируется телевизионный сигнал. На рис. 9 отмечен диаметр светового пятна *t*, соответствующий излучению из торца световода на расстоянии *F* от его торца и горизонтальный размер матрицы *T*.

Изображение проекции светового конуса на матрицу *М* наблюдается на экране монитора в виде светлого пятна. С помощью осциллографа и блока выделения строки может быть выделена одна из строк телевизионного сигнала. Примерный вид осциллограммы, соответствующей строке, которая приходится на середину пятна, показан на рис. 9. Диаметру пятна на мониторе соответствует размер *t*, отмеченный на осциллограмме. Длительность *t* на осциллограмме производится на половине амплитуды импульса. Горизонтальному размеру матрицы *D* соответствует на осциллограмме расстояние между соседними строчными гасящими импульсами *T*. Размер *D* для используемой в макете телекамеры известен и составляет   
*D* = 6,35 мм. Поэтому может быть определен реальный размер пятна *D* путем измерений по осциллограмме величин *t* и *T*:



Значение числовой апертуры вычисляется из элементарных тригонометрических соображений по измеренному значению расстояния:



***Порядок выполнения работы***

**Внимание! Перед каждым использованием в измерениях волоконных шнуров необходимо снять защитные колпачки с их торцов. После окончания работы с волоконным шнуром обязательно установить на его торцы снятые защитные колпачки.**

В данной лабораторной работе используются следующие элементы (рис. 1 [Общая характеристика установки]):

– электронный блок «***Источник оптического излучения»***;

– лазерный диод ЛД;

– юстировочные устройства ЮУ1 и ЮУ2;

– одномодовый световод (9/125 мкм) без защитной оболочки (желтый цвет буферного покрытия) с коннекторами типа FC – UPS;

– многомодовый световод (50/125 мкм) (оранжевый цвет защитной оболочки) с коннекторами типа FC – РС;

***Внимание. Волокно с адаптером требует бережного обращения. Запрещается поднимать адаптер за волокно.***

– телекамера без микрообъектива;

– черно-белый монитор;

– блок выделения строки;

– осциллограф.

**Пункты 1 и 2 выполняются преподавателем**

1. Закрепить входной торец многомодового (оранжевый цвет защитной оболочки) световода в узел юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющий линейное перемещение (рис. 5). Для этого выполнить следующие операции.

1.1. С помощью микрометрического винта ЛПР1 переместить узел, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее правое положение.

1.2. Отвернуть фиксирующий винт ФВ1 (рис. 5) и отсоединить съемную оправку 10.

1.3. Пропустить световод через отверстия в платах 2, 3 и цилиндре 9.

1.4. Закрепить коннектор FC световода в оправке 10, навернув фиксирующий винт коннектора.

1.5. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 10 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ1.

2. Закрепить выходной торец световода в узел юстировочного устройства ЮУ2, осуществляющий угловое перемещение (рис. 5). Для этого выполнить следующие операции.

2.1. С помощью микрометрического винта ЛПР2 переместить узел, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее правое положение.

2.2. Отвернуть фиксирующий винт ФВ2 (рис. 5) и отсоединить съемную оправку 12.

2.3. Пропустить световод через отверстия в кольцах 5,6,7 и цилиндре 11.

2.3. Закрепить коннектор FC световода в оправке 12, навернув фиксирующий винт коннектора.

2.5. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 12 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ2.

3. Установить органы управления электронного блока «Источник оптического излучения***»*** в исходное состояние.

3.1. Ручки потенциометров «Регулировка тока накачки грубо, точно» установить в крайнее положение против часовой стрелки;

3.2. Кнопочный переключатель «Пределы изменения Iн» установить в положение 60мА.

3.7. Включить тумблер «сеть» на лицевой панели блока «Источник оптического излучения». При этом загорается его подсветка.

4. Включить питание монитора М и телекамеры ТК (рис. 1), нажав кнопочный переключатель на лицевой панели монитора. При этом после его прогрева наблюдается слабое свечение экрана монитора.

5. С помощью потенциометров «Регулировка тока накачки грубо, точно» установить заданное значение тока накачки лазерного диода (для одномодового световода Iн= 30мА, для многомодового световода Iн= 40мА). Контроль тока накачки осуществляется по стрелочному прибору на лицевой панели.

6. Выходной торец световода расположен напротив телекамеры. Оба элемента закреплены во втором юстировочном устройстве ЮУ2 (рис. 5). Изменяя угловое положение торца световода относительно телекамеры с помощью микрометрических винтов УВ2 и УГ2 и перемещая телекамеру в двух поперечных направлениях с помощью микрометрических винтов ЛП2 и ЛВ2, добиться появления изображения торца световода на экране монитора.

7. Исследуемый в данном эксперименте лазерный диод расположен в узле юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющем угловое перемещение (рис. 5). Необходимо добиться, чтобы его излучение попадало на входной торец волоконного световода, который расположен в этом же юстировочном устройстве (в узле, осуществляющем линейное перемещение). Изменяя угловое положение ЛД относительно торца световода с помощью микрометрических винтов УВ1 и УГ1 и перемещая оправку со входным торцом световода в двух поперечных направлениях относительно ЛД с помощью микрометрических винтов ЛП1 и ЛВ1, добиться появления на выходном торце световода светового пятна, которое наблюдается на экране монитора. Регулировку положения источника и входного торца световода производить методом последовательных приближений, добиваясь максимальной яркости наблюдаемого пятна.

При необходимости, если наблюдается чрезмерный контраст изображения на экране монитора, уменьшить уровень мощности, повернув поляризатор на ЛД.

8. Попытаться уменьшить размер пятна на экране монитора и соответствующего ему импульса на осциллограмме, изменяя угловое положение торца световода относительно телекамеры с помощью микрометрических винтов УВ2 и УГ2. Этим обеспечивается коррекция параллельности фокальной плоскости объектива и плоскости, в которой расположен торец световода. После этого скорректировать положение выделяемой строки, повторив действия, описанные в пункте 11.

9. Перемещая в поперечных направлениях телекамеру относительно торца световода с помощью микрометрических винтов ЛП2 и ЛВ2, обеспечить коррекцию положения торца световода относительно оптической оси ОО/ (рис. 9).

10. Включить питание осциллографа. Его органы управления установлены в положение, при котором осциллограмма на его экране соответствует одной из строк видеосигнала, наблюдаемого на экране монитора.

9. Установить значение F0 на микрометрическом винте ЛПР2 (рекомендуемое значение F0=0 мм).

10. Используя органы управления режимом развертки осциллографа добиться появления на его экране осциллограммы, соответствующей рис. 9. Отметить положение переключателя ступенчато регулирующего длительность развертки (TIME/DIV) – R (рекомендуемое значение R=10 дел/мкс) и расстояние между строчными импульсами T (рис. 9). Данные измерений занести в заголовок табл. 2.

11. С помощью кнопок «↑», «↓» осуществляется передвижение выделяемой строки вверх или вниз по изображению на экране монитора добиться максимальной ширины импульса, соответствующего светящемуся пятну. Этим обеспечивается выделение строки, приходящейся на центр светового пятна.

12. Отметить ширину наблюдаемого на осциллограмме импульса t0. Данные измерений занести табл. 2.

Таблица 2. Измерение числовой апертуры волоконного световода.

*D* = 6,35 мм; *T* =; *R* =.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *ti*(дел) | *t*0= | *t*1= |  | *tn*= |
| *Fi*(мм) | *F*0= | *F*1= |  | *Fn*= |
| *di*(мм) | *d*0= | *d*1= |  | *dn*= |
| NA | – | NA1= |  | NA*n*= |
| V |  |  |  |  |

12. Повторить измерения, предусмотренные пунктами 11 – 12 для расстояний   
F = F1,2…n. Число измерений n и расстояния F1,2…n указывается преподавателем (рекомендуемые значения: n = 3; F1=1 мм, F2=2 мм, F3=3 мм). Данные измерений занести в табл. 2.

16. По данным табл. 2 определить размер светящегося пятна по формуле:



Вычисленные значения занести в табл. 2.

15. Вычислить значение числовой апертуры NA, считая отсчет расстояния F0 исходным:



Измеренное значение числовой апертуры соответствует среднему значению:

.



16. Рассчитать нормированную частоту



и определить ориентировочное количество мод распространяющихся по световоду по формуле



Таблица 3. Значения корней *pnm*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *m* | *N* | | | Тип  Волны |
| 1 | 2 | 3 |
| 0  1  1  2  2 | 2,405  0,000  3,832  2,445  5,136 | 5,520  3,832  7,016  5,538  8,417 | 8,654  7,016  10,173  8,665  11,620 | *E0n, H0n*  *HE1n*  *EH1n*  *HE2n*  *EH2n* |

По табл. 3 определить типы волн, распространяющихся по одномодовому световоду.

16. Заменить световод и повторить измерения апературы.