

4634

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ЛАЗЕРНЫЕ И ВОЛОКОННО-
ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
УСТРОЙСТВА**

Методические указания к лабораторным работам

Рязань 2012

УДК 621.396.22.029.7

Лазерные и волоконно-оптические информационные устройства: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Д.А. Морозов, М.В. Чиркин. Рязань, 2012. 72с.

Содержат материал для выполнения лабораторных работ по курсу " Лазерные и волоконно-оптические информационные устройства".

Предназначены студентам дневного отделения специальностей 21105 "Электронные приборы и устройства" и направления подготовки бакалавров 210100 "Электроника и нанoeлектроника".

Табл. 12. Ил. 33. Библиогр.: 2 назв.

Волоконный световод, световодная мода, числовая апертура, модуляция, пороговый ток, фотоприемник, коннектор

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра ЛТ РГРТУ (зав. кафедрой доцент А.Б. Ястребков)

Лазерные и волоконно-оптические информационные устройства

Составители: М о р о з о в Дмитрий Александрович

Ч и р к и н Михаил Викторович

Редактор Р.К. Мангутова

Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 27.06.11. Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага газетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 6.

Тираж 30 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул.Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

РАБОТА № 1

АНАЛИЗ МОДОВОЙ СТРУКТУРЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЕ ЧИСЛОВОЙ АПЕРТУРЫ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Цели работы:

§ исследовать связь между поперечным распределением интенсивности волны, выходящей из многомодового световода, и когерентностью излучения, распространяющегося в оптическом волокне;

§ выявить причину появления модовых шумов в волоконно-оптической линии связи;

§ экспериментально измерить числовую апертуру световода.

В основе волоконно-оптической связи лежит явление полного внутреннего отражения электромагнитных волн на границе раздела диэлектриков с разными показателями преломления. Оптическое волокно состоит из сердцевины и оболочки (рис. 1). Показатель преломления сердцевины n_1 несколько больше показателя преломления оболочки n_2 , благодаря чему луч света, испытывая многократные переотражения на границе сердцевина - оболочка, распространяется в сердцевине, не покидая её. Кварцевое стекло (SiO_2) является основным материалом как для сердцевины, так и для оболочки. Для подбора требуемых показателей преломления используют легирующие примеси, например GeO_2 .

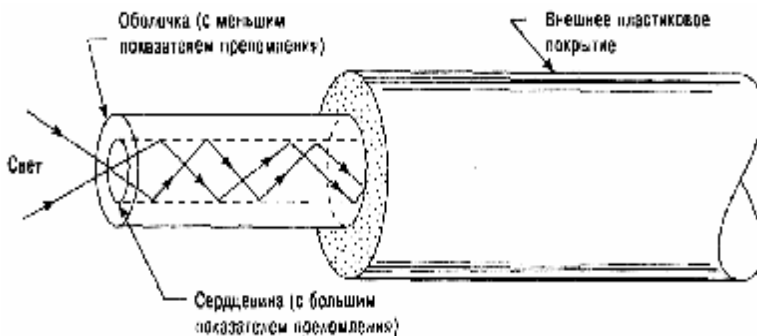


Рис. 1. Конструкция световода

Мода оптического волокна – распределение поля поперек волокна, которое воспроизводится по форме в каждом поперечном сечении. Если в световоде может распространяться только одна мода, то его называют одномодовым, в противном случае – многомодовым. Одномо-

довые и многомодовые волокна различаются, в первую очередь, диаметром сердцевины (см. рис. 2).

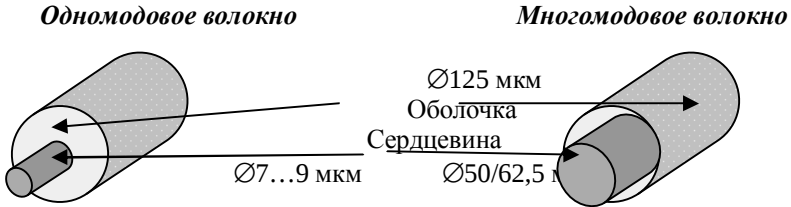


Рис. 2. Одномодовое и многомодовое оптические волокна

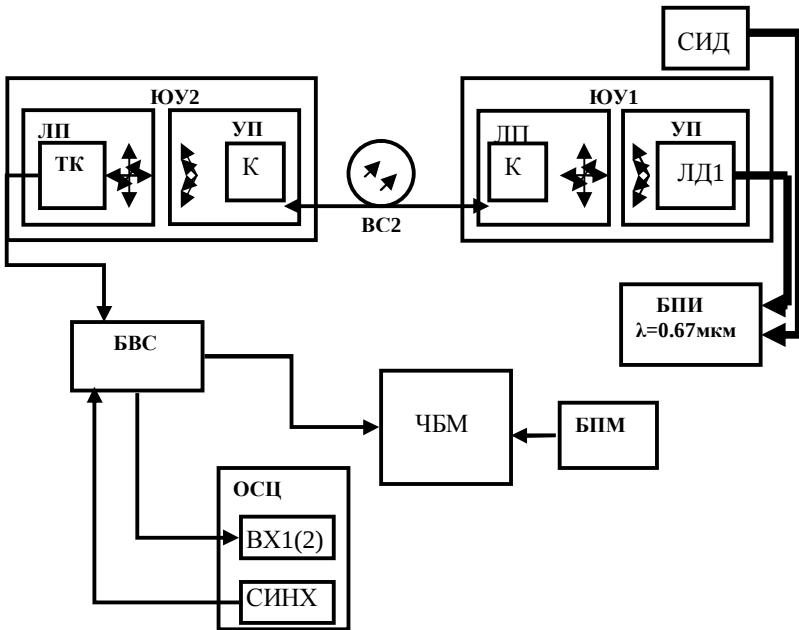


Рис. 3. Схема лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 3) позволяет выполнять измерения в условиях распространения внутри оптического волокна видимого излучения. Источником когерентного излучения является инжекционный полупроводниковый лазер на гетеропереходе (далее - лазерный

диод), а некогерентного - светодиод. Длина волны излучения $\lambda = 0,67$ мкм в обоих случаях одинакова. В состав установки входят:

1. **Источник когерентного оптического излучения – лазерный диод ЛД.** Мощность излучения нелинейно зависит от тока накачки I_n . На корпусе ЛД имеется микрообъектив, позволяющий сфокусировать его излучение на торце волоконного световода.

2. **Источник некогерентного оптического излучения – светодиод СИД.**

ЛД и СИД размещены в капролоновых корпусах одинакового диаметра и снабжены электрическими шнурами с разъемами для подключения к блоку питания. В установке они располагаются в специальной оправке, позволяющей производить их оперативную замену в процессе измерений.

3. **Блок питания источника оптического излучения БПИ.** На рис. 4 показана лицевая панель блока. ЛД и СИД подключаются к нему с помощью шнура питания с разъемом. Блочная часть разъема находится на лицевой панели и снабжена надписью «ОПТИЧЕСКИЙ ВЫХОД».

Блок позволяет:

- плавно изменять ток с помощью потенциометра, ручка регулировки которого выведена на лицевую панель;
- выбирать пределы изменения тока (5, 50 мА) с помощью кнопочного переключателя;
- регистрировать выходной ток с помощью цифрового индикатора «ТОК ИЗЛУЧАТЕЛЯ».

4. **Отрезок многомодового волоконного световода с коннекторами.** С элементами лабораторной установки коннекторы соединяются с помощью специальных оправок, которые крепятся в узлах юстировочных устройств (их описание приводится ниже).

5. **Телекамера ТК** для анализа излучения, выходящего из исследуемого световода. Оптический пучок падает на ПЗС-матрицу, которая регистрирует поперечное распределение интенсивности излучения.

6. **Черно-белый монитор ЧБМ**, на экран которого выведено изображение пятна оптического излучения на ПЗС-матрице.

7. **Блок выделения строки БВС** выделяет одну строку из изображения, наблюдаемого на мониторе телекамеры. На рис. 5 показана лицевая панель блока. На ней имеются три кнопки, обозначенные символами «↑», «↓», «+». С помощью кнопок «↑», «↓» осуществляется передвижение выделяемой строки вверх или вниз по изображению пятна излучения на экране монитора. Кнопка «+» устанавливает выделяемую строку в середину изображения. Положение выделенной строки отмечено на экране более яркой линией. На лицевой панели БВС располо-

жены два светодиода (синий и красный), индицирующие включение питания и наличие на входе блока видеосигнала. На задней панели блока расположены разъемы, к которым подключаются электрические кабели, соединяющие БВС с видеовыходом монитора и входом осциллографа.



Рис. 4. Внешний вид блока управления излучателем

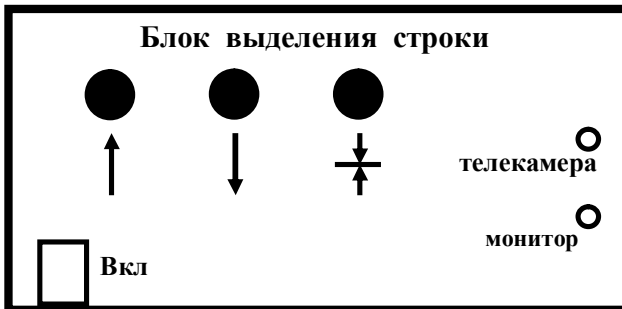


Рис. 5. Передняя панель блока выделения строки

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

9. **Осциллограф ОСЦ.** На его вход поступает сигнал с БВС, который соответствует выделенной строке. В режиме выделения строки осциллограмма представляет собой распределение интенсивности

вдоль одного направления в поперечном сечении пятна излучения на ПЗС-матрице телекамеры.

10. *Два юстировочных устройства ЮУ1, ЮУ2.* Они обеспечивают:

- взаимную юстировку оправки для коннектора К торца исследуемого световода и источника излучения, что позволяет изменять оптическую мощность, вводимую в исследуемый световод;
- взаимную юстировку торца исследуемого световода и телекамеры.

Упрощенный эскиз ЮУ1 и ЮУ2 (вид сверху) приведен на рис. 6. Эти устройства отличаются только видом оправок, в которых закреплены необходимые элементы. Основой юстировочных устройств являются основания 1, на каждом из которых расположены по два узла. Один из узлов осуществляет линейное перемещение оправки с закрепленным элементом по трем взаимно перпендикулярным направлениям: линейное поперечное (ЛПП), линейное продольное (ЛПР), линейное вертикальное (ЛВ).

Второй узел осуществляет угловое перемещение (поворот) оправки с закрепленным элементом в двух взаимно перпендикулярных плоскостях: вертикальной УВ, и горизонтальной 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 взаимно перпендикулярных направлениях соответственно микрометрическими винтами ЛПР (линейное продольное направление), ЛПП (линейное поперечное направление), ЛВ (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, осуществляющего угловое перемещение в юстировочном устройстве ЮУ1, закреплена оправка 8 с оптическим источником (ЛД или СИД). Предусмотрена возможность замены одного источника другим. На эскизе показан соединительный кабель, с помощью которого оптический источник соединяется с блоком питания **БП «Источник оптического излучения»**. К оправке 8 крепится поляризатор 17, который вворачивается в оправку по резьбе

на ее внутренней поверхности. Поворот поляризатора приводит к изменению уровня оптической мощности.

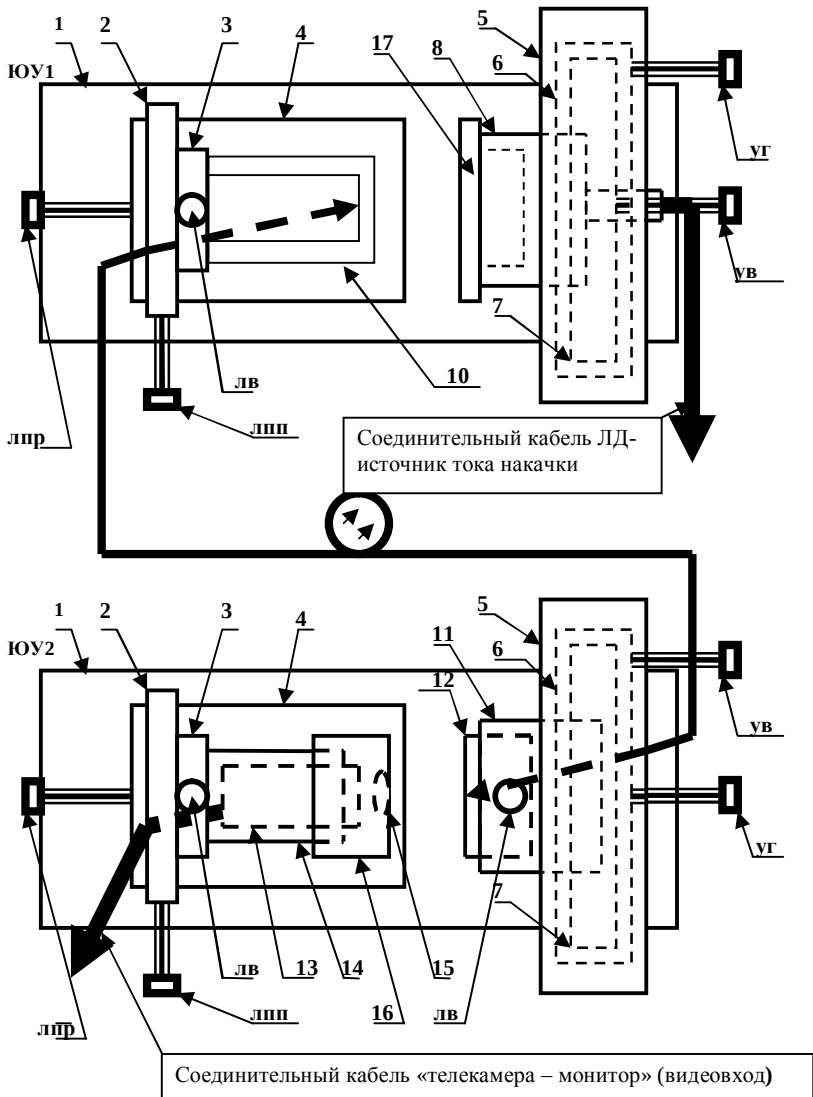


Рис. 6. Изображение юстировочных узлов - ЮУ (вид сверху)

На плате 3 узла, осуществляющего линейное перемещение в юстировочном узле ЮУ1, укреплен оправка 10, в которой фиксируется коннектор FC исследуемого волоконного световода.

Юстировочное устройство ЮУ2 служит для коррекции положения торца исследуемого световода относительно микрообъектива телекамеры. Во внутреннем кольце 7 узла, осуществляющем угловое перемещение в юстировочном устройстве ЮУ2 (рис. 4), закреплен цилиндр 11 с центральным отверстием. В нем с помощью фиксирующего винта ФВ2 крепится съемная оправка 12, в которой фиксируется коннектор FC исследуемого волоконного световода. Исследуемый световод проходит через отверстия в крышке узла, осуществляющего угловое перемещение (на эскизе не показан), и цилиндре 11.

На плате 3 узла, осуществляющего линейное перемещение в ЮУ2, укреплен цилиндр 14 с внутренним отверстием, в котором находится телекамера 13. На внешней поверхности цилиндра 14 имеется резьба (М40х0,5). 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. На рис. 6 показан кабель, соединяющий телекамеру с монитором.

Числовой апертурой NA волоконного световода называется синус предельного угла φ , под которым луч света, падающий на входной торец световода, еще испытывает полное внутреннее отражение на границе раздела «сердцевина – оболочка». Для экспериментального определения числовой апертуры исследуется расходимость излучения из выходного торца световода. На рис. 7 показан ход крайних лучей, выходящих из торца световода. Угол φ , который они составляют с осью световода, и определяет значение числовой апертуры.

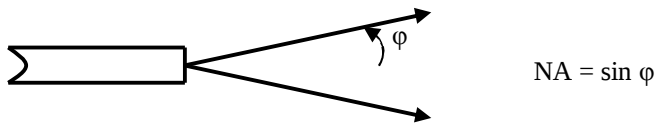


Рис. 7. Крайние лучи пучка излучения, выходящего из волокна, определяют числовую апертуру световода – NA

Выходной торец световода находится в поле зрения телекамеры, и на экране монитора возникает его изображение. Выделение строки изображения с помощью осциллографа позволяет анализировать распределение интенсивности в поперечном сечении.

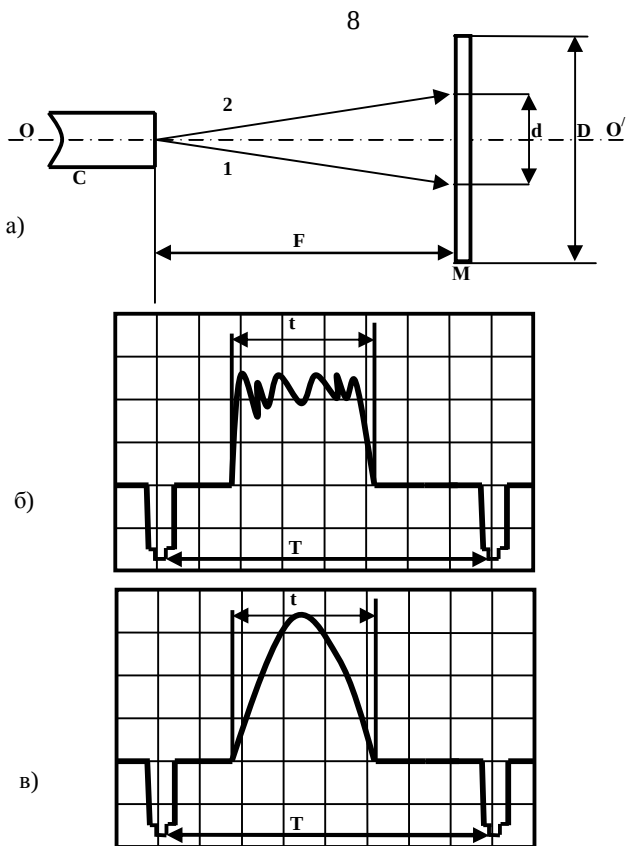


Рис. 8. Ход лучей, вышедших из световода и попадающих на ПЗС-матрицу (а), и изображения сигналов на выходе блока выделения строки, наблюдаемые на экране осциллографа. Источники излучения, введенного в световод: полупроводниковый лазер (б) и светодиод (в)

На рис. 8,а показан торец световода С и лучи 1, 2, ограничивающие световой конус, в котором концентрируется излучение, выходящее из световода. Лучи попадают на ПЗС-матрицу телекамеры М, с помощью которой формируется телевизионный сигнал. На рисунке отмечены диаметр d пятна излучения на расстоянии F от его торца и горизонтальный размер матрицы D . Результат засветки ПЗС-матрицы М оптическим пучком представляет собой светлое пятно на экране монитора. С помощью блока выделения строки на экран осциллографа может быть выведено распределение интенсивности излучения поперек пятна вдоль одной из строк его изображения на мониторе. Два

возможных варианта осциллограмм, соответствующие строке, выбранной в середине пятна, показаны на рис. 8.

Первый вариант (рис. 8,б) соответствует случаю введения в многомодовый световод излучения, испускаемого лазерным диодом ЛД. Оптическая волна, распространяющаяся внутри волокна, представляет собой суперпозицию большого количества мод, распространяющихся с разными скоростями. Поскольку излучение лазерного диода когерентно, в каждом поперечном сечении световода разности фаз колебаний у разных мод с течением времени не изменяются. В результате на торце световода наблюдается сложная интерференционная картина, которая образуется всеми возбужденными модами (спекл-картина). В результате осциллограмма, соответствующая светящемуся пятну, сильно изрезана.

Во втором случае в световод вводится некогерентное излучение светодиода СИД. Поле внутри волокна также состоит из большого количества мод. Однако разности фаз колебаний у разных мод с течением времени изменяются хаотически. Поэтому волны, соответствующие модам оптического волокна, не интерferируют и наблюдаемая картина представляет собой простую сумму интенсивностей полей отдельных мод.

Диаметру пятна соответствует размер t , отмеченный на осциллограммах. Горизонтальному размеру матрицы D соответствует на осциллограмме расстояние между соседними строчными гасящими импульсами T . Размер D для используемой в макете телекамеры известен и составляет $D = 8,37$ мм. Поэтому реальный размер пятна d путем измерений по осциллограмме величин t и T определяется соотношением:

$$d = t \cdot D / T. \quad (1)$$

Значение числовой апертуры вычисляется по измеренным расстоянию F и размеру пятна d :

$$NA = \sin(\varphi) = d / (\sqrt{d^2 + 4F^2}). \quad (2)$$

Порядок выполнения работы

1. Включить блок питания излучателя БПИ, монитора M и телекамеры ТК (рис. 1). После прогрева монитора его экран начнет слабо светиться. Лазерный диод ЛД расположить в юстировочном устройстве ЮУ1 (рис. 6). С помощью потенциометра на лицевой панели БПИ установить значение выходного тока $I_n = 15$ мА, являющегося в данном случае током накачки лазерного диода. Отсчет тока накачки осуществляется по цифровому индикатору на лицевой панели.

2. Выходной торец световода расположен напротив телекамеры. Оба элемента закреплены во втором юстировочном устройстве ЮУ2

(рис. 6). 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 ЛПП2 и ЛВ2, добиться появления изображения торца световода на экране монитора.

3. Добиться, чтобы излучение лазерного диода 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 ЛПП2 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.

4. В юстировочном устройстве ЮУ2 предусмотрена возможность продольного перемещения телекамеры относительно торца световода с помощью микрометрического винта ЛПП2. При этом изменяется размер пятна на экране монитора. Перемещая телекамеру в продольном направлении с помощью микрометрического винта ЛПП2, 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 телекамеры и перемещая телекамеру по двум поперечным направлениям с помощью микрометрических винтов, необходимо добиться, чтобы изображение светящегося пятна находилось в центре экрана монитора и имело форму круга.

5. При правильном выполнении всех юстировочных операций на экране монитора наблюдается распределение интенсивности излучения, падающего на поверхность ПЗС-матрицы телекамеры. Если яркость изображения чрезмерно высока, что затрудняет наблюдение деталей изображения, следует уменьшить долю мощности источника излучения, которая вводится в световод. Этого можно добиться двумя способами:

- 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 ЛПП1, ЛВ1 (линейное смещение торца световода относительно источника);

- повернуть поляризатор вокруг оси так, чтобы оптическая мощность, вводимая в световод, была приемлема для проведения измерений.

Используя эти возможности, добиться появления на экране монитора спекловой структуры - в пределах засвеченной световодом области должны наблюдаться отдельные мелкие светлые пятна, ограниченные темными областями. Убедиться, что положение их нестабильно.

6. После выполнения всех юстировочных операций, не меняя пределов изменения тока накачки, уменьшить ток до нуля, установив ручку потенциометра на лицевой панели БПИ в крайнее положение против часовой стрелки. При этом светящееся пятно на экране монитора исчезнет.

7. Плавно увеличивать ток накачки с помощью потенциометра и следить за возникающим светящимся пятном на экране монитора. При токе накачки I_n меньше порога лазерной генерации на экране монитора должно наблюдаться светящееся пятно с равномерной засветкой. Картина стабильна, что свидетельствует об отсутствии интерференции между различными модами световода.

8. Дальнейшее увеличение тока накачки должно привести к появлению на экране монитора спекловой структуры - в пределах засвеченной световодом области должны наблюдаться отдельные мелкие светлые пятна, ограниченные темными областями.

9. Зафиксировать значение тока накачки I_0 , которое соответствует появлению спекловой структуры излучения из торца световода.

10. Установить значение тока накачки лазерного диода $I_n = 15$ мА. С помощью микрометрического винта ЛПР2 переместить телекамеру в положение, при котором светящееся пятно, наблюдаемое на мониторе, займет примерно половину его экрана.

11. Используя органы управления режимом развертки осциллографа, добиться появления на его экране осциллограммы, соответствующей рис. 8,б. Зарисовать осциллограмму, соответствующую поперечному распределению интенсивности излучения. Зафиксировать положение переключателя, ступенчато регулирующего длительность развертки (дел/мкс) – R и расстояние между строчными импульсами T. Данные измерений занести в таблицу 1.

12. С помощью кнопок «↑», «↓» перемещать выделяемую строку вверх или вниз по изображению на экране монитора и добиться максимальной ширины импульса.

13. Попытаться уменьшить размер пятна на экране монитора и 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 12.

14. Попытаться уменьшить размер пятна, перемещая в поперечных направлениях телекамеру относительно торца световода с помощью микрометрических винтов ЛПП2 и ЛВ2. Этим обеспечивается коррекция положения торца световода относительно оптической оси OO' (см. рис. 8). После этого скорректировать положение выделяемой строки, повторив действия, описанные в пункте 12. Отметить окончательное положение переключателя ступенчато регулирующего длительность развертки (дел/мксек) – R_0 и соответствующую ширину наблюдаемого на осциллограмме импульса – t_0 . Данные измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

Измерение числовой апертуры волоконного световода

t_i , дел	t_0	t_1		t_n
R_i , дел/мкс	R_0	R_1		R_n
F_i , мм	F_0	F_1		F_n
d_i , мм	d_0	d_1		d_n
NA		NA_1		NA_n

15. По шкале на микрометрическом винте ЛПП2 отметить значение расстояния $F=F_0$ (в дальнейшем используется для расчетов только величины изменения этого расстояния относительно исходного F_0 , поэтому его истинное значение может не совпадать с измеренным). Данные измерений занести в табл.1.

16. Повторить измерения, предусмотренные пунктами 12-15, для расстояний $F = F_{1,2,...,n}$. При этом все отсчеты $F_{1,2,...,n} < F_0$. Число измерений n указывается преподавателем. Данные измерений занести в табл.1.

17. По данным таблицы определить размеры светящегося пятна по формуле (1) и построить график зависимости $d(F)$. Используя построенную зависимость и соотношение (2), вычислить значение числовой апертуры NA.

18. Плавное уменьшить ток накачки до нуля. Выключить БПИ, после чего заменить в узле юстировочного устройства ЮУ1 лазерный диод ЛД на светодиод, подключив последний к БПИ.

19. Установить выходной ток БПИ, равный 15 мА, и повторить пп. 2 – 6. Затем, плавно увеличивая ток накачки до 25 мА, убедиться, что спекловая структура на экране монитора в данном случае не появ-

ляется. Зарисовать осциллограмму для поперечного распределения интенсивности излучения.

20. Установить значение выходного тока БПИ, равное 15 мА. С помощью микрометрического винта ЛПР2 переместить телекамеру в положение, при котором святящееся пятно, наблюдаемое на мониторе, займет примерно половину экрана.

21. Используя органы управления режимом развертки осциллографа, добиться появления на его экране осциллограммы, соответствующей рис. 8,в. Отметить положение переключателя, ступенчато регулирующего длительность развертки (дел/мкс) – R и расстояние между строчными импульсами T. Данные измерений занести в заголовок табл.2, аналогичной табл.1.

22. Повторить измерения и расчеты, предусмотренные в пп. 15 – 17, в случае использования в качестве источника излучения СИД и занести результаты в табл.2.

23. Сравнить найденные значения числовой апертуры световода и поперечные распределения интенсивности оптического излучения на выходе из световода в случаях использования в качестве источников излучения лазера и светодиода.

Контрольные вопросы

1. Что такое мода волоконного световода?
2. Почему в случае использования в качестве источника лазера излучение на выходе из многомодового световода имеет спекловую структуру, а в случае светодиода – нет?
3. Будет ли на выходе из световода наблюдаться спекловая структура в случае одномодового волокна?
4. Используя результаты выполненных измерений, оцените разность показателей преломлений сердцевины и оболочки оптического волокна.
5. Что будет происходить со спекловой структурой в случае механических движений отдельных участков многомодового волокна?
6. Определите понятие «длина волны отсечки» применительно к волоконному световоду.

Библиографический список

1. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. М., 2003, с. 9 – 25, 144 – 153.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2007. С. 30 – 45, 54 – 55, 92 – 95.

РАБОТА № 2

ФОРМИРОВАНИЕ, РЕГИСТРАЦИЯ И ЗАТУХАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Цели работы:

§ приобретение навыков практического использования индикатора средней мощности оптического излучения;

§ измерение ватт-амперной характеристики лазерного диода;

§ исследование зависимости тока фотодиода от уровня оптической мощности на его чувствительной площадке;

§ исследование зависимости тока и спектральной чувствительности фотодиода от напряжения смещения;

§ измерение коэффициента затухания волоконного световода на длинах волн 1,31 и 1,55 мкм.

Теоретические сведения

В современных оптических системах связи для передачи информации используются в основном когерентные источники – полупроводниковые лазеры, генерирующие излучение с длинами волн $\lambda = 1,31$ мкм и $\lambda = 1,55$ мкм. Обычно мощность их излучения в непрерывном режиме работы не превышает 1 мВт. К ее стабильности предъявляются жесткие требования для обеспечения высокой помехоустойчивости систем связи. В случаях передачи как цифрового, так и аналогового сигнала нестабильность мощности оптической несущей приводит к появлению в линии дополнительных шумов, что ухудшает ее помехозащищенность. Параметром, позволяющим количественно оценить помехоустойчивость при передаче цифрового сигнала, является вероятность ошибки p . Ее значение при длине линии 10 км составляет величину $p = 10^{-9}$. В аналоговых линиях, которые используются в основном для передачи телевизионных сигналов и телеметрической информации, параметром помехоустойчивости является отношение сигнал/шум, типичное значение которого при длине линии 10 км составляет 55 дБ.

Режим работы лазерного диода в линиях связи задается двумя токами: постоянным током I_0 и током I_1 , изменяющимся в соответствии с передаваемой информацией. Их сумма определяет ток накачки I_n лазерного диода и обеспечивает генерацию оптической мощности P :

$$I_n = I_0 + I_1. \quad (1)$$

На рис. 1 приведена ватт-амперная характеристика ЛД – зависимость излучаемой оптической мощности от тока накачки.

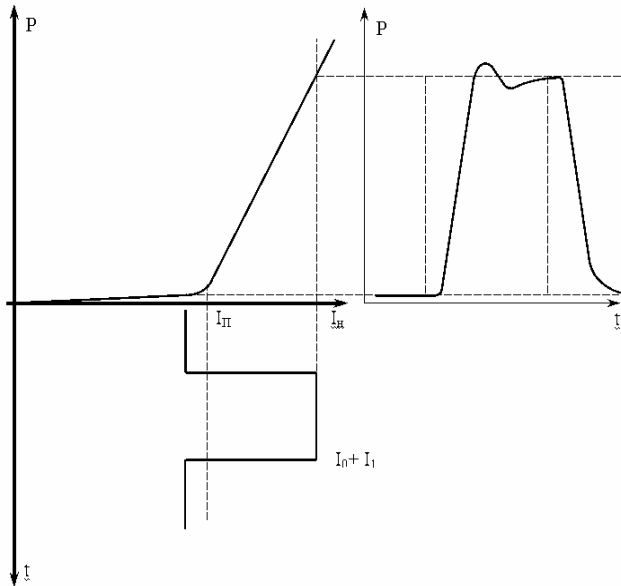


Рис. 1. Ватт-амперная характеристика ЛД

Здесь $I_{\text{П}}$ - значение тока, соответствующее порогу генерации когерентного излучения. Если выбрать $I_0 > I_{\text{П}}$, то это приведет к существенному возрастанию оптической мощности P_0 , соответствующей уровню нуля при передаче цифрового сигнала по линии связи. Значительное уменьшение тока I_0 по сравнению с пороговым значением приводит к снижению быстродействия за счет инерционности процесса создания инверсной населенности в активной области лазера, то есть ведет к снижению скорости передачи. Поэтому значение I_0 выбирается близким к пороговому.

На рис. 2 приведена блок-схема драйвера лазерного диода. Токи I_0 и I_1 задаются токовыми ключами ТК1 и ТК2 соответственно. При осуществлении импульсной модуляции ток I_0 , определяемый ключом ТК1, задает значение излучаемой оптической мощности, соответствующее передаче нуля по линии связи. Стабилизация характеристик излучения осуществляется петлей оптической обратной связи, для чего малая часть излучения лазера подается на вход встроенного фотодиода ФД. Фототок сигнала обратной связи усиливается операционным усилителем ОУ, выход которого соединен с фильтром нижних частот ФНЧ1 и пиковым детектором ПД. Эти элементы необходимы для раз-

деления «быстрых» (собственно модуляция) и «медленных» (дрейф параметров излучения ЛД) изменений в оптическом сигнале.

Медленные изменения компенсируются соответствующим изменением величины тока I_0 . Оно осуществляется за счет подачи на управляющий вход токового ключа ТК1 напряжения с выхода ФНЧ1.

Быстрые изменения в основном обусловлены изменением формы модулирующего сигнала и отслеживаются пиковым детектором. Напряжение на его выходе сглаживается фильтром нижних частот ФНЧ2 и поступает на управляющий вход токового ключа ТК2.

Модулирующий сигнал подается на управляющий вход токового ключа ТК2. При цифровой модуляции положительные импульсы, соответствующие передаче единицы по линии связи, открывают токовый ключ, а нулевой уровень оставляет его закрытым. Регулировка значений токов I_0 и I_1 осуществляется с помощью потенциометров, выведенных на лицевую панель блока излучателя.

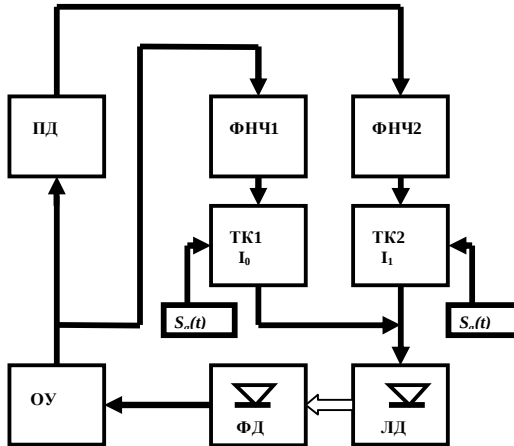


Рис. 2. Блок-схема модулятора для лазерного диода

В современных устройствах, осуществляющих управление режимом работы ЛД и его модуляцию, динамика медленных изменений порогового значения тока используется в качестве телеметрической информации, которая передается по служебному каналу связи и используется для оценки процессов старения (деградации) ЛД. Анализ динамики изменения порогового тока позволяет проводить оценку срока службы данного источника.

Излучающая площадка лазерного диода состыкована с торцом световода. Потери на ввод излучения в световод обычно составляют величину порядка 0,1 дБ. Противоположный торец световода снабжен одним из стандартных оптических разъемов (коннекторов), с помощью которого излучатель подключается к внешним элементам оптической схемы. Соединение между отдельными элементами схемы осуществляется с помощью розеток, адаптеров и оптических шнуров. Каждый шнур оканчивается с обоих концов оптическим коннектором, который подключается либо к розетке, либо к адаптеру аппаратуры.

Волоконный световод является основным элементом оптической системы связи. Именно он обеспечивает передачу оптической волны, промодулированной информационным сигналом от передатчика к приемнику. Одним из основных эксплуатационных параметров световода является коэффициент затухания α , определяющий величину потерь оптической мощности при распространении волны по световоду.

В настоящей работе для регистрации оптического излучения используется *pin* фотодиод (ФД). Фотодиодная схема включения ФД обеспечивает линейную зависимость фототока I_{ϕ} от оптической мощности излучения P . Коэффициент пропорциональности S между P и I_{ϕ} называется токовой чувствительностью ФД. Его численное значение определяется следующим образом:

$$S = P / I_{\phi} \quad (\text{А} / \text{Вт}). \quad (2)$$

Лабораторная установка

В состав лабораторной установки (рис. 3) входят:

- § блок «Источник оптического сигнала», вид передней панели которого приведен на рис. 4,
- § блок фотоприемника, органы управления которого показаны на рис. 5,
- § индикатор средней мощности оптического излучения «Топаз-3000» (описание находится в чехле прибора),
- § двухканальный осциллограф,
- § световоды с оптическими разъемами.

Электронный блок «Источник оптического сигнала» (ИОС) обеспечивает генерацию оптического излучения на длинах волн $\lambda=1,31$ мкм и 1,55 мкм с помощью двух лазерных диодов LFO-14-ir и LFO-17-ir с выходной мощностью 1 мВт. Диоды состыкованы с отрезками одномодового волокна, которое оконцовано коннекторами типа FC/SPC. Подключение их к внешним оптическим цепям осуществляется с помощью оптических розеток типа FC/UPC «ОПТИЧЕСКИЙ ВЫХОД», выведенных на лицевую панель.

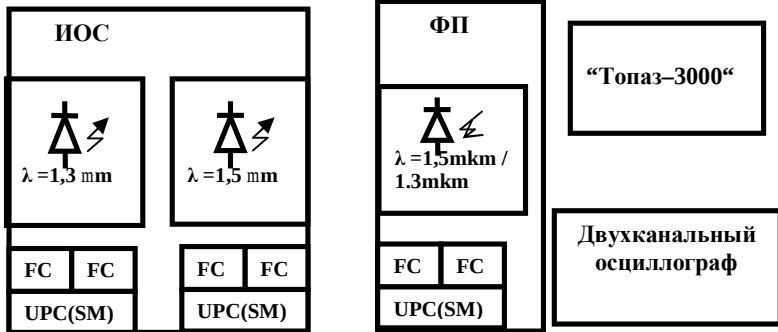


Рис.3. Функциональная схема лабораторной установки

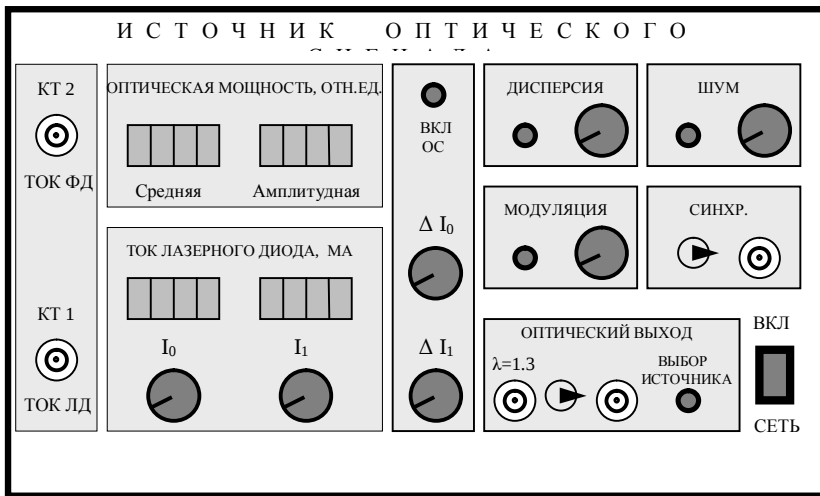


Рис.4. Расположение органов управления на передней панели источника оптического сигнала

Включение одного из двух источников « $\lambda=1,3$ мкм» или « $\lambda=1,5$ мкм» осуществляется с помощью кнопочного переключателя «**ВЫБОР ИСТОЧНИКА**». Для контроля над оптическими розетками встроены светодиоды, которые светятся при включении соответствующего источника. Регулировка режима работы включенного источника осуществляется с помощью двух ключей, задающих токи I_0 , I_1 , протекающие через *p-n* переход лазерного диода.

На лицевую панель выведены ручки потенциометров « I_0 », « I_1 », с помощью которых изменяется соответствующее значение тока.

Для контроля токов I_0 , I_1 на лицевой панели БПИ имеются два цифровых индикатора «**ТОК НАКАЧКИ, мА**». Рядом расположено гнездо «**КТ2**» для подключения кабеля с разъемами СР-50 к осциллографу и контроля тока, протекающего через *p-n* переход лазерного диода.

Контроль работоспособности включенного лазерного диода производится по наличию мощности на его выходе. Измерение мощности производится с помощью встроенных в корпус лазеров фотодиодов, ток которых отображается двумя цифровыми индикаторами «**ОПТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, ОТН.ЕД.**». Поскольку предусмотрена возможность модуляции оптического излучения, для контроля мощности используются два индикатора. Первый - «**СРЕДНЕЕ**» - отображает средний уровень оптической мощности, излучаемой включенным лазерным диодом. Второй – «**АМПЛИТУДА**» - амплитудные значения. Его показания отличны от нуля только при включенной модуляции оптического излучения.

Контроль тока встроенного в корпус лазера фотодиода может осуществляться с помощью осциллографа. Для этого рядом с индикаторами расположено гнездо «**КТ1**» для подключения кабеля с разъемами СР-50. На лицевой панели предусмотрено гнездо «**СИНХРОНИЗАЦИЯ ОСЦИЛЛОГРАФА**» для подключения кабеля с разъемами СР-50 ко входу синхронизации используемого осциллографа.

Блок фотоприемника ФП обеспечивает измерение мощности оптического излучения в диапазоне длин волн $\lambda = 1,3 \div 1,5$ мкм с помощью фотодиода типа PD-1375-ir. Диод состыкован с отрезком одномодового волокна, которое оконцовано коннектором типа FC/SPC. Подключение его к внешним оптическим цепям осуществляется с помощью оптической розетки типа FC «**ОПТИЧЕСКИЙ ВХОД**», выведенной на лицевую панель (рис. 5).

Для контроля принимаемого оптического сигнала на лицевой панели ФП имеется два цифровых индикатора «**ОПТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, ОТН. ЕД.**». Первый - «**СРЕДНЕЕ**» - отображает средний уровень принимаемой оптической мощности, а второй – «**АМПЛИТУДА**» - амплитудные значения. Его показания отличны от нуля только при включенной модуляции оптического излучения.

Переключение пределов измерения производится кнопчным переключателем «**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ**». Нажатие кнопок «**0,001; 0,01; 0,1; 1**» на лицевой панели приводит к изменению коэффициента усиления фототока.

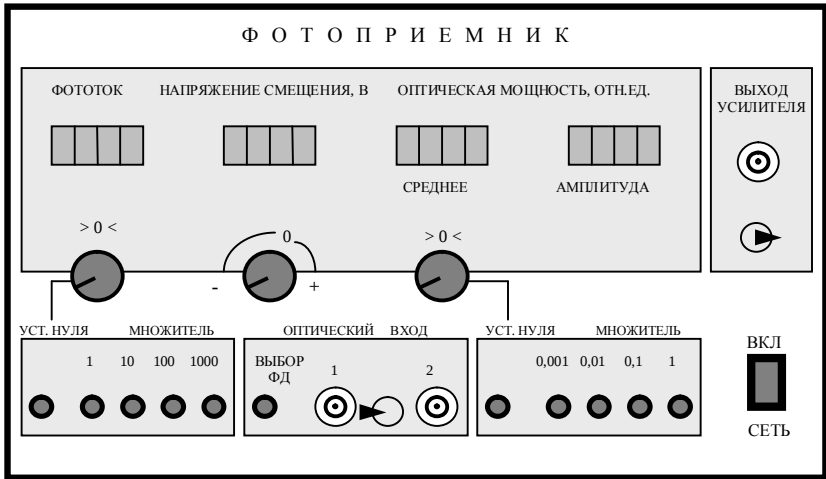


Рис.5. Расположение органов управления на передней панели приемника оптического сигнала

Фототок прямо пропорционален значению оптической мощности на чувствительной площадке фотодиода. Поэтому показания цифрового индикатора пропорциональны этой мощности, но не равны ей - измерение с помощью фотоприемника осуществляется в относительных единицах.

На лицевую панель фотоприемника выведены кнопочный переключатель и ручка потенциометра **«УСТАНОВКА НУЛЯ»**. При переключении пределов необходимо нажать эту кнопку и с помощью потенциометра установить нулевые показания индикатора **«СРЕДНЕЕ»**.

На лицевую панель выведена ручка потенциометра **«РЕГУЛИРОВКА СМЕЩЕНИЯ, В»**. С ее помощью изменяется напряжение смещения, подаваемое на фотодиод. Контроль этого напряжения осуществляется по цифровому индикатору **«НАПРЯЖЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ, В»**. Включение блока осуществляется тумблером с подсветкой **«СЕТЬ»** на лицевой панели.

Измеритель средней мощности оптического излучения «Топаз-3000» используется в качестве эталонного измерителя. Оптическая мощность подается на его вход с помощью волоконного шнура. Прибор имеет автономный источник питания и сетевой адаптер.

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. Перед каждым использованием в измерениях оптического тестера «Топаз-3000» необходимо отвернуть защитный колпачок с торца его коннектора и немедленно соединить его с коннектором волоконного шнура. После окончания измерения обязательно установить защитный колпачок на прежнее место.

1. Измерение ватт-амперной характеристики лазерного диода с помощью измерителя средней мощности оптического излучения

1.1. Установите органы управления электронного блока «Источник оптического сигнала» в исходное положение:

- ручки потенциометров « I_0 », « I_1 » регулировки токов – в крайнее положение против часовой стрелки;
- кнопочные переключатели «модуляция», «дисперсия», «шум» – отжаты;
- включите тумблер «сеть». При этом загорается его подсветка;
- кнопочный переключатель «выбор источника» - в положение, соответствующее включению лазера, излучающего на выбранной длине волны 1,3 или 1,5 мкм. При этом над соответствующей оптической розеткой загорается контрольный светодиод.

При данном положении органов управления электронный блок обеспечивает непрерывное немодулированное оптическое излучение на выбранном оптическом выходе. Его мощность регулируется потенциометром « I_0 ».

1.2. С помощью одномодового (желтый цвет защитной оболочки) оптического шнура с коннекторами типа FC соедините оптический выход электронного блока «Источник оптического излучения» со входом оптического тестера «Топаз-3000».

1.3. Используя описание прибора «Топаз-3000», включите его в режим измерения абсолютного значения оптической мощности (в мВт) на выбранной длине волны.

1.4. Изменяя величину тока I_0 с помощью потенциометра на лицевой панели блока «Источник оптического излучения», произведите измерение ватт-амперной характеристики лазерного диода. Значение мощности $P_{аб}$ определяйте с помощью прибора «Топаз-3000» в абсолютных единицах. Величина тока I_0 фиксируйте с помощью цифрового индикатора на лицевой панели электронного блока «Источник оптического излучения». Измерения проводите, изменяя I_0 в диапазоне зна-

чений $0 < I_0 < 25$ мА с шагом изменения, который определяется преподавателем. Данные измерений занесите в строки 1 и 2 таблицы 1. После окончания измерений выключить «Топаз-3000». 1.5. По экспериментальным данным постройте ватт-амперную характеристику лазерного диода – зависимость $P_{аб}$ (мВт) от I_0 (мА). На характеристике отметьте величину порогового тока I_p (мА), значение которого необходимо для выполнения последующих исследований.

Таблица 1.

Результаты исследования ватт-амперной характеристики лазерного диода

I_0 , мА	0			
$P_{аб}$, мВт				

2. Исследование зависимости тока фотодиода от уровня оптической мощности на его чувствительной площадке

2.1. Установите органы управления электронного блока «Фотоприемник» в исходное положение:

- ручку потенциометра «Регулировка смещения» регулировки напряжения смещения – в крайнее положение против часовой стрелки;
- кнопочный переключатель «Уст. нуля» - отжать;
- кнопочный переключатель «Чувствительность» – в положение 1;
- включите тумблер «сеть». При этом загорается его подсветка.

2.2. Установите ручку потенциометра регулировки тока « I_0 » на лицевой панели электронного блока «Источник оптического излучения» в крайнее положение против часовой стрелки. При этом излучение лазерного диода отсутствует.

2.3. Отсоедините коннектор оптического шнура от входа прибора «Топаз-3000» и соедините его с оптическим входом электронного блока «Фотоприемник».

2.4. Ручками потенциометров «грубо», «точно» регулировки напряжения смещения на лицевой панели электронного блока «Фотоприемник» установите по указанию преподавателя требуемую величину $U_{см}$.

2.5. Произведите калибровку фотоприемника. Для этого выполните следующие операции:

- нажмите кнопочный переключатель «Уст. нуля» включения калибровки на лицевой панели фотоприемника;
- ручкой потенциометра «Уст. нуля» установите нулевые показания прибора, измеряющего оптическую мощность в относительных единицах;

- отожмите кнопочный переключатель калибровки на лицевой панели фотоприемника.

2.6. Произведите измерение ватт-амперной характеристики лазерного диода, используя в качестве регистрирующего устройства прибор на лицевой панели фотоприемника, фиксирующий оптическую мощность в относительных единицах. Она соответствует зависимости показаний стрелочного прибора P (относительные единицы) на лицевой панели электронного блока «Фотоприемник» от величины тока накачки I_0 . Значения тока I_0 следует выбирать по с табл. 1 так, чтобы была возможность установить соответствие между абсолютным значением оптической мощности, измеренным в пункте 1, и относительным, измеряемым в данном пункте. Данные измерений занесите в стоки 1 и 2 табл. 2. Для удобства обработки полученных результатов занесите в строку 3 табл. 2 величину оптической мощности в абсолютных единицах $P_{аб}$ (мВт) из табл. 1.

2.7. Повторите измерения ватт-амперной характеристики лазерного диода, используя в качестве регистрирующего устройства прибор на лицевой панели фотоприемника, фиксирующий оптическую мощность в относительных единицах, изменяя величину напряжения смещения $U_{см}$. Значения $U_{см}$ выбирать в соответствии с указаниями преподавателя.

Таблица 2.

Результаты измерения ватт-амперной характеристики лазерного диода с помощью электронного блока «Фотоприемник» при заданном напряжении смещения $U_{см}$

I_0 , мА	0			
P , отн. ед.				
$P_{аб}$, мВт				

2.8. По результатам измерений, отраженным в табл. 2, постройте зависимости измеренного значения оптической мощности в относительных единицах от ее абсолютного значения – P ($P_{аб}$) для выбранных величин $U_{см}$. Эти зависимости представляют собой градуировочные кривые измерительного прибора фотоприемника для соответствующего напряжения смещения $U_{см}$. Проанализируйте график зависимости оптической мощности, фиксируемой фотодиодом, от его фототока. В идеальном случае должна наблюдаться прямая пропорциональность между этими величинами.

2.9. Показания измерительного прибора электронного блока «Фотоприемник», фиксирующего P (отн.ед.), пропорциональны сумме фо-

тока I_{ϕ} , обусловленного оптической мощностью на его чувствительной площадке ($P_{аб}$), и темнового тока I_T :

$$(I_{\phi} + I_T) (A) = K (A) P \text{ (отн.ед.)}. \quad (3)$$

Коэффициент пропорциональности $K (A)$ следует определить по значению P (отн.ед.) $|_{I_0 = 0 \text{ (мА)}}$, соответствующему $I_0 = 0 \text{ (мА)}$. При этом лазерный диод не излучает и $I_{\phi} = 0$. Величина темнового тока, соответствующая используемому в макете диоду, составляет $I_T = 10^{-9} \text{ А}$. Значение коэффициента $K (A)$ определите из соотношения:

$$K (A) = I_T(A) / P \text{ (отн.ед.)} |_{I_0 = 0 \text{ (мА)}}. \quad (4)$$

2.10. Вычислите значение спектральной чувствительности фотодиода для каждого значения напряжения смещения $U_{см}$. Для этого выполните следующие действия:

- для каждой зависимости измеренного значения оптической мощности в относительных единицах от ее абсолютного значения – $P (P_{аб})$, соответствующей выбранному значению $U_{см}$, определите линейный участок;

- отметьте границы линейного участка и соответствующие им значения $[P \text{ (от.ед.)}_{\max} ; (P_{аб})_{\max}(\text{Вт})]$ и $[P \text{ (отн.ед.)}_{\min} ; (P_{аб})_{\min}(\text{Вт})]$. Абсолютные величины мощности выражены в ваттах;

- вычислите значение спектральной чувствительности фотодиода по формуле:

$$S(A/\text{Вт}) = K(A) (P \text{ (отн.ед.)}_{\max} - P \text{ (отн.ед.)}_{\min}) / ((P_{аб})_{\max}(\text{Вт}) - (P_{аб})_{\min}(\text{Вт})); \quad (5)$$

- вычисленное значение S и соответствующее ему значение напряжения смещения $U_{см}$ занесите в табл. 3.

Таблица 3.

Зависимость спектральной чувствительности фотодиода от напряжения смещения

$U_{см}, \text{ В}$				
$S, \text{ А/Вт}$				

2.11. По данным табл. 3 постройте зависимость спектральной чувствительности фотодиода для каждого напряжения смещения $U_{см}$.

3. Измерение коэффициентов затухания волоконных

световодов

3.1. Установите органы управления электронного блока «Источник оптического сигнала» в исходное положение:

- ручки потенциометров « I_0 », « I_1 » регулировки токов – в крайнее положение против часовой стрелки;

- кнопочные переключатели «модуляция», «дисперсия», «шум» – отжаты;

- включите тумблер «сеть». При этом загорается его подсветка;

- кнопочный переключатель «выбор источника» - в положение, соответствующее включению лазера, излучающего на выбранной длине волны 1,3 или 1,5 мкм. При этом над соответствующей оптической розеткой загорается контрольный световод.

При данном положении органов управления электронный блок обеспечивает непрерывное немодулированное оптическое излучение на выбранном оптическом выходе. Его мощность регулируется потенциометром «I₀».

3.2. С помощью одномодового шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) соедините «оптический выход» электронного блока «Источник оптического сигнала» с входом оптического тестера «Топаз-3000».

3.3. Включите оптический тестер «Топаз 3000» и переведите его в режим измерения абсолютных значений мощности, нажимая кнопку «mW, dbm, db» на его лицевой панели. Установите тестер в режим измерений на выбранной длине волны, нажимая кнопку «λ» на его лицевой панели. При необходимости используйте описание прибора «Топаз-3000».

3.4. Установите режим работы оптического тестера, соответствующий измерению мощности в относительных единицах (измерение затухания), нажав необходимое количество раз кнопку «mW, dbm, db». После этого нажмите кнопку «установка нуля» на пульте тестера. При этом уровень оптической мощности, поступающий на вход прибора, принимается за нулевой. На его дисплее появляется значение 0 дБ.

3.5. Установите с помощью потенциометра «регулировка» электронного блока «Блок питания излучателя» величину оптической мощности в районе 0,5 мВт по прибору «Топаз-3000». Зафиксируйте это значение в соответствующей графе табл. 1. При дальнейших измерениях это значение не должно изменяться.

3.6. Откройте крышку, закрывающую световод одномодовой катушки. Извлеките коннекторы световода катушки и соедините их с оптическими розетками, расположенными на той же плате.

3.7. Отсоедините одномодовый шнур FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) от входа оптического тестера и с его помощью соедините «оптический выход» электронного блока «Источник оптического сигнала» с одной из розеток на плате соединителей (присоедините коннектор шнура с противоположной стороны относительно коннектора катушки).

3.8. С помощью одномодового шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) соедините оптический тестер «Топаз-3000» со второй розеткой на плате соединителей. На его дисплее появится

значение q затухания в линии, образованной участком одномодового световода длиной $L = 1000$ метров. Значение q занесите в табл. 4.

3.9. Повторите измерения на второй длине волны. Данные измерений занесите в табл. 4.

Таблица 4.

Результаты измерения коэффициента затухания

λ , мкм	q	α
1,3		
1.5		

3.10. По описанной выше методике проведите измерение коэффициента затухания многомодового световода. Для этого используйте катушку многомодового волокна. Соединения в этом случае следует выполнять с помощью многомодовых волоконных шнуров (оранжевый цвет защитной оболочки).

Контрольные вопросы

1. Почему излучение ЛД носит пороговый характер?
2. Чем обусловлена инерционность фотоприемника?
3. Назовите отличительные особенности фотодиодного включения фотоприемника.
4. Что такое «мода оптического волокна»? Чем отличается одномодовое волокно от многомодового?
5. Какие причины приводят к потерям при распространении света в оптическом волокне?
6. Каким образом и почему потери зависят от длины волны излучения?

Библиографический список

1. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. М., 2003. С. 9 – 25, 144 – 153.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2007. С. 93 – 100, 105 – 108, 121 – 143.

РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЕДИНИТЕЛЕЙ И АТТЕНУАТОРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Цели работы:

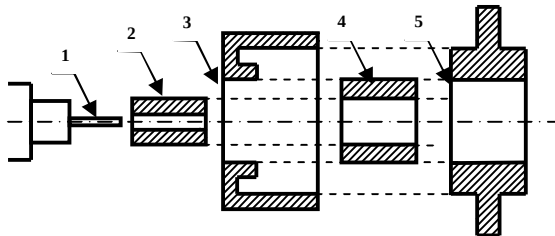
§ определение затухания, вносимого соединением торцов двух световодов в оптической розетке;

§ измерение затухания, вносимого постоянным и переменным аттенуаторами на основе оптической розетки.

Теоретические сведения

Для обеспечения соединений между отдельными пассивными элементами оптической линии связи также используют разъемные соединения. Осуществляются они, как правило, с помощью волоконных шнуров – пигтейлов – (pigtail). С обоих концов каждый шнур снабжен оптическим коннектором (разъемом), который обеспечивает качественное соединение.

Принцип организации разъемных соединений двух различных



световодов между собой иллюстрирует рис. 1.

Рис. 1. Устройство разъемного соединения для световода

Сначала торцы стыкуемых световодов оголяются до защитной оболочки 1. Затем этот отрезок волокна помещается в наконечник волокна 2, диаметр которого для всех типов волокон также одинаков и составляет 2,5 мм. Фиксируется волокно в наконечнике либо с помощью эпоксидного наполнителя, либо путем обжима. Для одномодовых световодов наконечники изготавливают из специальных керамических материалов, достоинством которых является высокая температурная стабильность. Изменение температуры окружающей среды в этом случае вызывает минимальные деформации геометрии стыкуемых световодов. Их недостатком является хрупкость и сложность механической обработки. Для многомодовых световодов используются, пластиковые

и металлические наконечники, обеспечивающие меньшую температурную стабильность, но более прочные и простые в изготовлении.

Поверхность наконечника с закрепленным в нем волокном полируется. После этого он закрепляется в корпусе 3. Эти элементы составляют основу оптического коннектора. Конструкция корпуса предусматривает возможность крепления коннектора в узле, обеспечивающем стыковку световодов. Разъемное соединение образуется путем помещения наконечников двух стыкуемых световодов в центрующий элемент 4 (второй коннектор световода на рисунке не показан). Сам центрующий элемент составляет основу оптической розетки или адаптера и размещается в корпусе 5. В конструкции корпуса предусмотрено возможность крепления коннекторов стыкуемых световодов.

Качество соединения определяется тщательностью обработки торцов световодов, точностью изготовления наконечников и направляющих элементов. Соединители оптических разъемов, расположенные на торцах стыкуемых волокон, фиксируются на поверхности розетки и обеспечивают герметичность и механическую прочность образованного стыка оптических волокон.

Наиболее распространенными являются коннекторы следующих типов (рис. 2,а):

- FC, имеющий цилиндрическую форму и резьбовое крепление;
- SC, имеющий прямоугольную форму и крепление в виде защелки с фиксатором типа push – pull.

Волоконные шнуры, используемые для соединения элементов оптической схемы между собой, снабжаются коннекторами и имеют длину 1-3 метра. На концах соединительного шнура размещены однотипные коннекторы (FC-FC, SC-SC). Если требуется соединить между собой элементы с различными типами корпусов, используются переходные волоконные шнуры. На их концах устанавливаются коннекторы различных типов (FC-SC).

Для обеспечения соединений оконцованных волоконных шнуров с различными типами коннекторов разработаны соответствующие розетки. Их корпуса рассчитаны на крепление двух стыкуемых волоконных шнуров с определенным типом коннекторов. На рис. 2,б показан внешний вид розеток типа FC-FC, SC-SC. Для соединения волоконных шнуров, снабженных коннекторами различных типов, используются переходные розетки типа SC.

Все оптические разъемные соединения характеризуются двумя параметрами – вносимыми потерями α и коэффициентом отражения γ . Эти параметры представляют собой отношения к падающей мощности $P_{\text{пад}}$ мощностей, прошедшей разъемное соединение $P_{\text{пр}}$ и отраженной от него $P_{\text{от}}$ (рис. 3):

$$\alpha = P_{\text{пр}} / P_{\text{пад}}, \quad (1)$$

$$\gamma = P_{\text{от}} / P_{\text{пад}}. \quad (2)$$

Основной характеристикой соединения является величина α , значение которой в современных типах разъемов не превышает 0,999. Минимизация коэффициента отражения γ важна в системах связи с большими скоростями передачи, которые используют в качестве источников оптического излучения лазеры с распределенной обратной связью. Особенно жесткие требования к величине коэффициента отражения задаются в системах связи, использующих уплотнение по длине волны.

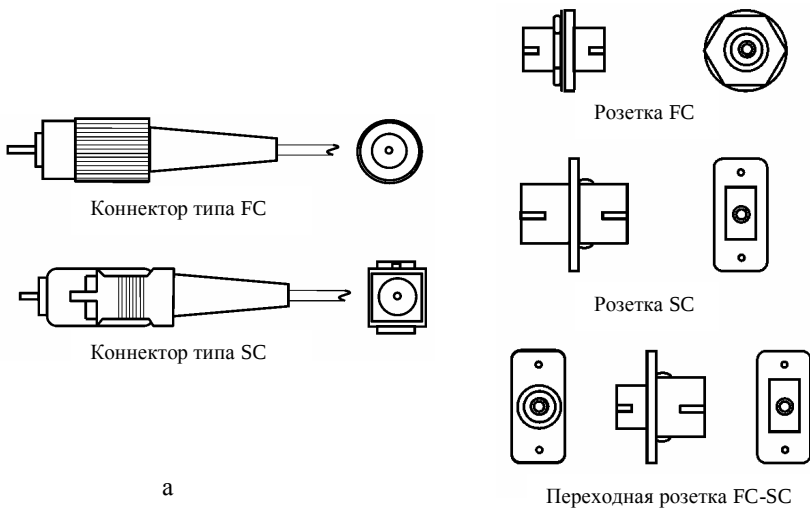


Рис. 2. Коннекторы (а) и розетки (б) для оптических линий связи

Значения параметров α и γ определяются в первую очередь величиной зазора между стыкуемыми торцами световодов S (рис. 3,а). При плоской поверхности стыкуемых торцов не удастся обеспечить приемлемые значения параметров, поэтому в настоящее время они при полировке делаются сферическими (рис. 3,б). Считается, что при этом обеспечивается их физический контакт (PC – physical contact) в непосредственной близости от световедущего слоя. Чем меньше радиус сферы, тем меньшее значение имеют вносимые потери и коэффициент отражения. Различают три градации физического контакта со следующими значениями параметров:

PC	-	$\alpha_{\text{дБ}} \leq -0,03 \text{ дБ} ;$	$r_{\text{дБ}} \leq -30 \text{ дБ} ;$
SuperPC	-	$\alpha_{\text{дБ}} \leq -0,001 \text{ дБ} ;$	$r_{\text{дБ}} \leq -40 \text{ дБ} ;$
UltraPC	-	$\alpha_{\text{дБ}} \leq -0,00003 \text{ дБ} ;$	$r_{\text{дБ}} \leq -50 \text{ дБ} .$

Специально для использования в системах оптической связи с уплотнением по длине волны разработан оптический разъем, в котором типичные значения коэффициента отражения составляют величину порядка -75 дБ. В них сферические торцы стыкуемых световодов наклонены по отношению к сердечнику. Типичное значение угла между нормалью к области на сферическом торце, соответствующей торцу сердцевины волокна, и его осью (рис. 3,в) составляет 8 - 12 градусов.

Большое влияние на величину затухания, вносимого соединением световодов, оказывают их числовые апертуры. Обозначим через NA_1 , NA_2 величины числовых апертур стыкуемых световодов, причем индекс 1 соответствует световоду, из которого свет выводится, индекс 2 – световоду, в который он вводится. На рис. 4 показаны траектории лучей, соответствующие предельным значениям углов $\Theta_{1,2}$, под которыми они падают на границу раздела сердцевина световода – оболочка и испытывают полное внутреннее отражение. Уменьшение этого угла приводит к тому, что на границе раздела не выполняется условие полного внутреннего отражения и часть энергии моды, соответствующей этому лучу, уходит в оболочку. Значение углов $\Theta_{1,2}$ определено величинами $NA_{1,2}$, причем большему значению NA соответствует меньшее значение Θ . Если $NA_1 \leq NA_2$, все лучи, для которых выполнено условие полного внутреннего отражения в первом световоде, перехватываются вторым и также полностью отражаются от границы раздела сердцевина – оболочка (рис. 4,а).

При $NA_1 > NA_2$ только для части лучей первого световода, падающих на границу раздела под углами $\Theta < \Theta_2$, выполняются условия полного внутреннего отражения во втором световоде. Лучи, соответствующие углам из промежутка $\Theta_1 < \Theta < \Theta_2$, во втором световоде проходят через границу раздела (рис. 4,б).

Кроме разъемных соединений, используются фиксированные и перестраиваемые аттенуаторы для согласования уровней сигналов от различных оптических источников перед объединением их в одном световоде. Эти элементы могут изготавливаться на основе оптической розетки или оптического коннектора. Конструкция центрующего элемента розетки обеспечивает наличие фиксированного или регулируемого воздушного зазора S между наконечниками стыкуемых световодов. Величина зазора определяет вносимое аттенуатором затухание.

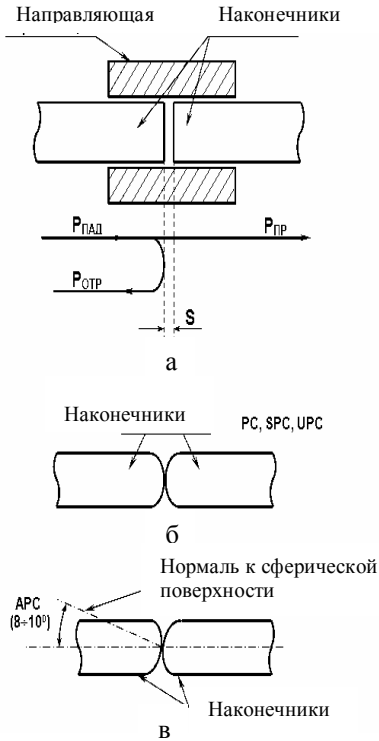


Рис. 3. Варианты обработки торцов стыкуемых волокон

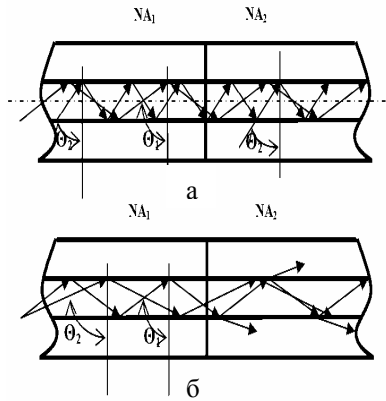


Рис. 4. Влияние числовой апертуры стыкуемых волокон на потери в области соединения

Описание лабораторной установки

Блок-схема лабораторной установки изображена на рис. 5. В ее состав входят следующие элементы.

1. Универсальная кассета (сплайс-пластина), которая служит для фиксации мест термического соединения (сварки) волоконных световодов.

2. Два отрезка четырехволоконного одномодового кабеля (желтый цвет защитной оболочки), оконцованные с одной стороны коннекторами типа SC/SPC (четыреволоконная полувилка SC/SPC-4, SC/SPC-4, DST/4/SM 9/125). Неоконцованные стороны трех (из четырех) световодов этих отрезков попарно соединены между собой с помощью сварки.

3. Два отрезка четырехволоконного многомодового кабеля (оранжевый цвет защитной оболочки), оконцованные с одной стороны коннекторами типа SC/PC (четыrehволоконная полувилка SC/PC-4, SC/PC-4, DST/4/MM 50/125). Неоконцованные стороны трех (из четырех) световодов этих отрезков попарно соединены между собой с помощью сварки.

4. Две коммутационные коробки серии W902 (настенный кросс), рассчитанные на 8 розеточных портов. В коробках установлены:

- четыре соединительных розетки типа SC-SC/UPC в верхнем ряду (для соединения одномодовых световодов, оконцованных коннекторами типа FC) ;

- четыре соединительных розетки типа SC-SC/PC в нижнем ряду (для соединения многомодовых световодов, оконцованных коннекторами типа FC).

Оконцованные стороны четырехволоконных кабелей закреплены в коробках, и коннекторы их световодов соединены с соответствующими розетками с внутренней стороны коробок.

5. Плата с оптическими пассивными элементами, на которой установлены:

- переходная одномодовая розетка FC-SC/UPC с керамическим центратором;

- переходная многомодовая розетка FC-SC/PC с бронзовым центратором;

- соединительные одномодовая и многомодовая розетки FC-D/UPC, FC-D/PC с керамическим центратором.

6. Плата с оптическими пассивными элементами, на которой установлены аттенюаторы-розетки для одномодового и многомодового волокон FC/SM, FC/MM. Вносимое затухание – 20 дБ.

7. Плата с оптическими пассивными элементами, на которой установлены:

- фиксированные аттенюаторы-розетки для одномодового и многомодового волокон FC/SM, FC/MM, вносимое затухание – 20 дБ;

- переменные аттенюаторы-розетки для одномодового и многомодового волокон FC/SM, вносимое затухание 0 – 20 дБ.

8. Плата с оптическими пассивными элементами, на которой установлены:

- одномодовый (SM) делитель 50/50, 1x2, световоды делителя оконцованы коннекторами FC/SPC;

- три соединительных розетки FC-D/UPC с керамическим центратором.

Все розетки и аттенюаторы закреплены в стойках, которые крепятся к соответствующим платам. Сами платы установлены на две

общие П-образные направляющие. На центральной части экрана укреплены кассета (1) и четыре отрезка кабеля (2,3).

10. Блок питания излучателя (БПИ) – рис. 6. Излучателем является лазерный диод, обеспечивающий генерацию оптического излучения на длине волны $\lambda=1,3$ мкм с выходной мощностью 1 мВт. Подключение его к внешним оптическим цепям осуществляется с помощью оптической розетки типа FC **«ОПТИЧЕСКИЙ ВЫХОД»**, выведенной на лицевую панель. Ручкой потенциометра **«РЕГУЛИРОВКА»** изменяют ток, протекающий через лазерный диод (ток накачки), и его мощность. Для контроля тока накачки и мощности излучения на лицевой панели БПИ имеется цифровой индикатор **«ТОК ИЗЛУЧАТЕЛЯ, ОПТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ»**. Переключение режимов измерения производится кнопочным переключателем **«РЕЖИМ»**. Нажатие кнопок **«ТОК»** или **«МОЩНОСТЬ»** на лицевой панели приводит к тому, что значение соответствующего параметра отображается на цифровом индикаторе.

Измерение мощности производится с помощью встроенного в корпус лазера фотодиода, ток которого и отображается на цифровом табло в режиме **«МОЩНОСТЬ»**. Следует помнить, что показания индикатора в этом режиме имеют относительный характер. Данный режим используется для контроля работоспособности лазерного диода.

11. Измеритель оптической мощности «Топаз-3000», который используется в качестве эталонного измерителя оптической мощности. Оптическая мощность подается на его вход с помощью волоконного шнура. Прибор имеет автономный источник питания и сетевой адаптер. Работа с прибором производится на основании технического описания, входящего в комплектацию лабораторной установки.

В состав лабораторной установки входят волоконные соединительные и переходные шнуры (BC), служащие для соединения элементов установки между собой. Их комплект включает:

- 3 соединительных многомодовых шнура (оранжевый цвет защитной оболочки) с коннекторами FC/PC;
- 3 соединительных одномодовых (желтый цвет защитной оболочки) шнура с коннекторами FC/SPC;
- 2 соединительных многомодовых шнура (оранжевый цвет защитной оболочки) с коннекторами SC/PC;
- 2 соединительных одномодовых шнура (желтый цвет защитной оболочки) с коннекторами SC/SPC;
- 2 переходных многомодовых шнура (оранжевый цвет защитной оболочки) с коннекторами FC/ PC-SC/PC;
- 2 переходных одномодовых шнура (желтый цвет защитной оболочки) с коннекторами FC/ SPC-SC/SPC.

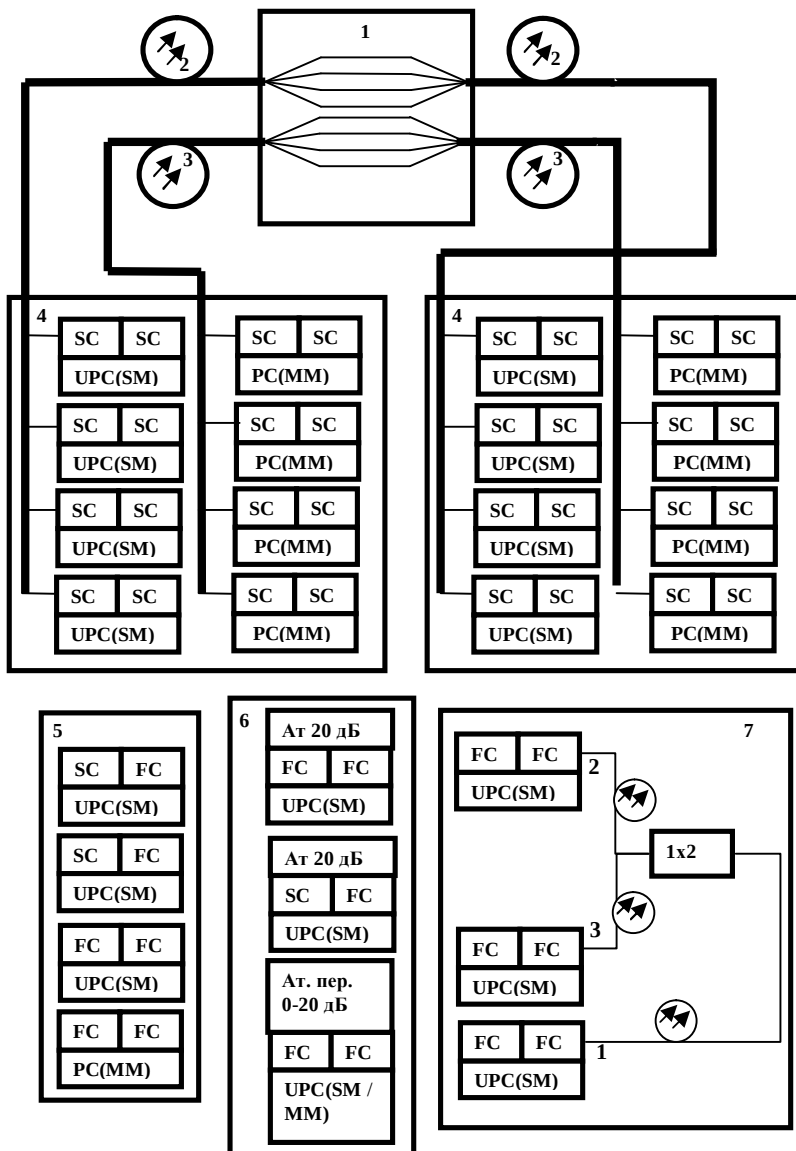


Рис. 5. Состав экспериментальной установки

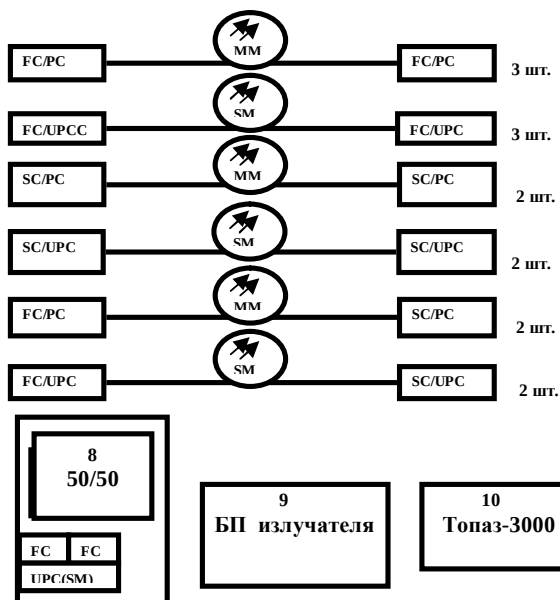


Рис. 5. Состав экспериментальной установки (окончание)



Рис. 6. Лицевая панель блока питания излучателя

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. Перед каждым использованием в измерениях оптического тестера «Топаз-3000» необходимо отвернуть защитный колпачок с торца его коннектора и немедленно соединить его с коннектором волоконного шнура. После окончания измерения обязательно установить защитный колпачок на прежнее место.

1. Исследование характеристик разъемных соединителей

1.1. Установите органы управления электронного блока «Блок питания излучателя» в исходные положения:

- ручку потенциометра «регулировка» – в крайнее положение против часовой стрелки;

- кнопочный переключатель «режим» - в положение «мощность».

При данном положении органов управления электронный блок обеспечивает непрерывное немодулированное оптическое излучение. На цифровом табло отображаются показания, пропорциональные фототоку встроенного в лазерный модуль фотодиода.

1.2. Проверьте работоспособность лазера. Для этого поверните по часовой стрелке ручку потенциометра «регулировка». Показания на цифровом табло должны увеличиваться.

1.3. Установите кнопочный переключатель «режим» в положение «ток». На цифровом табло отобразится значение тока накачки.

1.4. С помощью одномодового шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) соедините «оптический выход» электронного блока «Блок питания излучателя» с входом оптического тестера «Топаз-3000». Включите оптический тестер «Топаз-3000» и переведите его в режим измерения абсолютных значений мощности; установите режим измерений на длине волны 1,3 мкм.

1.5. Установите с помощью потенциометра «регулировка» блока питания излучателя величину оптической мощности 0,5 мВт по прибору «Топаз 3000». Зафиксируйте это значение в соответствующей графе табл. 1. При дальнейших измерениях это значение не должно изменяться.

Таблица 1.

Затухания в линии, вызванные стыковкой световодов

$P_{аб}$, мВт	SM- SM, дБ	SM- MM, дБ	MM- MM, дБ	MM- SM, дБ

1.6. Установите режим работы оптического тестера, соответствующий измерению мощности в относительных единицах (измерение затухания). После этого нажмите кнопку «установка нуля» на пульте тестера. При этом уровень оптической мощности, поступающий на вход прибора, принимается за нулевой.

1.7. С помощью одномодового шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) соедините «оптический выход» электронного блока «Блок питания излучателя» с соединительной оптической розеткой FC-FC/UPC, расположенной на штативе на плате 5 (рис. 5). Противоположную часть оптической розетки с помощью одномодового шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) соедините с входом оптического тестера «Топаз-3000».

Занесите значение затухания в линии, соответствующее соединению двух одномодовых световодов, в табл. 2 в графу SM-SM.

1.8. Замените оптический шнур FC/UPC-FC/UPC, соединяющий вход прибора «Топаз-3000» и оптическую розетку на многомодовый (FC/PC-FC/PC, оранжевый цвет защитной оболочки). Занесите измеренное значение в графу SM-MM табл. 1.

1.9. С помощью многомодового шнура FC/PC-FC/PC (оранжевый цвет защитной оболочки) соедините «оптический выход» электронного блока «Блок питания излучателя» с входом оптического тестера «Топаз-3000». При этом уровень оптической мощности, поступающий по волоконному шнуру на его выходной коннектор, изменится из-за изменения условий соединения между одномодовым световодом лазерного диода (он находится внутри электронного блока) и многомодовым световодом.

1.10. С помощью многомодового шнура FC/PC-FC/PC (оранжевый цвет защитной оболочки) соедините «оптический выход» электронного блока «Блок питания излучателя» с соединительной оптической розеткой FC-FC/UPC, расположенной на штативе платы 5 (рис. 5). Противоположную часть оптической розетки с помощью многомодового шнура (оранжевый цвет защитной оболочки) соедините с входом оптического тестера «Топаз-3000». Занесите значение затухания в линии, соответствующее соединению двух многомодовых световодов, в табл. 2 в графу MM-MM.

1.11. Замените оптический шнур, соединяющий вход прибора «Топаз-3000» и оптическую розетку, на одномодовый (FC/UPC-FC/UPC, желтый цвет защитной оболочки). Отметьте по дисплею оптического тестера затухание, соответствующее соединению одномодового и многомодового световода. Потери в соединении обусловлены различием в величинах их числовых апертур. Занесите измеренное значение в графу MM - SM табл. 1.

2. Исследование характеристик аттенюатора

2.1. Установите органы управления электронного блока «Блок питания излучателя» в исходные положения:

- ручку потенциометра «регулировка» – в крайнее положение против часовой стрелки;
- кнопочный переключатель «режим» - в положение «мощность».

2.2. Проверьте работоспособность лазера. Для этого поверните по часовой стрелке ручку потенциометра «регулировка». Показания на цифровом табло должны увеличиваться.

2.3. Установите кнопочный переключатель «режим» в положение «ток». При этом на цифровом табло отображается значение тока через лазерный диод .

2.4. С помощью одномодового шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) соедините «оптический выход» электронного блока «Блок питания излучателя» с входом оптического тестера «Топаз-3000».

2.5. Включите оптический тестер «Топаз-3000» и переведите его в режим измерения абсолютных значений мощности, нажимая кнопку «mW, dbm, db» на лицевой панели. Установите тестер в режим измерений на длине волны 1,3 мкм, нажимая кнопку «λ» на его лицевой панели. При необходимости используйте описание прибора «Топаз-3000».

2.6. Установите с помощью потенциометра «регулировка» электронного блока «Блок питания излучателя» величину оптической мощности в районе 0,5 мВт по прибору «Топаз-3000». Зафиксируйте это значение в соответствующей графе табл. 2; при дальнейших измерениях оно не должно изменяться.

2.7. Установите режим работы оптического тестера, соответствующий измерению мощности в относительных единицах (измерение затухания), нажав необходимое количество раз кнопку «mW, dbm, db». После этого нажмите кнопку «установка нуля» на пульте тестера. При этом уровень оптической мощности, поступающий на вход прибора, принимается за нулевой. На его дисплее появляется значение 0 дБ.

Таблица 2.

Ослабление ступенчатого аттенюатора

$P_{аб}$, мВт	SM-SM, дБ	MM-MM, дБ

2.8. Произведите измерение ослабления, вносимого в линию фиксированным аттенюатором - розеткой для одномодового волокна FC/SM. Аттенюатор расположен на плате 6 (рис. 5). Для этого выполните следующие действия.

1. Отсоедините оптический разъем волоконного шнура FC/UPC-FC/UPC от входа оптического тестера «Топаз-3000» и соедините с аттенуатором-розеткой.

2. Второй выход аттенуатора - розетки соедините с помощью одномодового волоконного шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) со входом оптического тестера.

3. Занесите в графу SM-SM табл. 2 значение ослабления, которое вносит аттенуатор в одномодовую линию. Величина этого ослабления считывается с дисплея оптического тестера.

4. Отсоедините оптические одномодовые шнуры от всех элементов.

5. Соедините «оптический выход» электронного блока и вход оптического тестера с помощью многомодового шнура FC/PC-FC/PC. При этом уровень оптической мощности, поступающий по волоконному шнуру на его выходной коннектор, изменится. Переключив режим измерений оптического тестера в положение мВт (измерение мощности в абсолютных единицах), с помощью потенциометра «регулировка» на лицевой панели «блока питания излучателя» установите величину оптической мощности в районе 0,5 мВт по прибору «Топаз-3000». При дальнейших измерениях она не должна изменяться.

6. Установите режим работы оптического тестера, соответствующий измерению затухания, нажав необходимое количество раз кнопку «mW, dbm, db». После этого нажмите кнопку «установка нуля» на пульте тестера. При этом уровень оптической мощности, поступающей на вход прибора, принимается за нулевой. На его дисплее появится значение 0 дБ.

7. Отсоедините оптический разъем волоконного шнура FC/PC-FC/PC от входа оптического тестера «Топаз-3000» и соедините его с аттенуатором - розеткой.

8. Второй выход аттенуатора - розетки соедините с помощью многомодового волоконного шнура FC/PC-FC/PC (оранжевый цвет защитной оболочки) со входом оптического тестера.

9. Занесите в графу MM-MM табл. 2 значение ослабления, которое вносит аттенуатор в многомодовую линию. Величина этого ослабления считывается с дисплея оптического тестера.

2.9. Произведите измерение ослабления, вносимого в линию фиксированным аттенуатором – розеткой, для многомодового волокна FC/MM. Аттенуатор расположен на плате 6 (рис. 5). Для этого выполните следующие действия:

1. Переведите оптический тестер «Топаз-3000» в режим измерения абсолютных значений мощности, нажимая кнопку «mW, dbm, db» на лицевой панели.

2. С помощью одномодового шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) соедините «оптический выход» электронного блока «Блок питания излучателя» с входом оптического тестера «Топаз-3000».

3. С помощью потенциометра «регулировка» на лицевой панели блока питания излучателя установите величину оптической мощности около 0,5 мВт по прибору «Топаз-3000». При дальнейших измерениях она не должна изменяться.

4. Установите режим работы оптического тестера, соответствующий измерению мощности в относительных единицах (измерение затухания), нажав необходимое количество раз кнопку «mW, dbm, db». После этого нажмите кнопку «установка нуля» на пульте тестера. При этом уровень оптической мощности, поступающий на вход прибора, принимается за нулевой. На его дисплее появляется значение 0 дБ.

5. Повторите измерения, предусмотренные в п. 8, для фиксированного аттенуатора - розетки для многомодового волокна FC/MM.

Контрольные вопросы

1. Как устроены разъемы оптических волокон?
2. Каким требованиям должны удовлетворять торцы стыкуемых волокон?
3. Какие способы внесения калиброванного затухания в оптический тракт Вы знаете?
4. Как устроены аттенуаторы с постоянным и регулируемым коэффициентом затухания?

Библиографический список

1. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. М., 2003. С. 25 – 39.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2007. С. 68 – 78, стр. 87 – 88.

РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ ПРИ ИЗГИБАХ СВЕТОВОДА

Цель работы: экспериментальное исследование зависимости удельного коэффициента затухания от радиуса изгиба одномодового световода 9/125 мкм.

Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят:

1. **Источник когерентного оптического излучения – лазерный диод – ЛД** ($\lambda = 0,67$ мкм). Мощность излучения нелинейно зависит от тока накачки I_n и достигает величины 5 мВт при токе накачке $I_n = 40$ мА. На корпусе ЛД имеется микрообъектив, позволяющий сфокусировать его излучение на торце волоконного световода. ЛД размещен в капролоновом корпусе и снабжен электрическим шнуром с разъемами для подключения к блоку питания.

2. **Блок питания источника оптического излучения.** На рис. 1 показана лицевая панель блока. ЛД подключается к нему с помощью шнура питания с разъемом. Блочная часть разъема находится на лицевой панели и снабжена надписью «ОПТИЧЕСКИЙ ВЫХОД». Включение блока осуществляется тумблером с подсветкой «СЕТЬ» на лицевой панели. Блок позволяет:

- плавно изменять ток с помощью потенциометра, ручка регулировки которого выведена на лицевую панель;
- выбирать пределы изменения тока (5, 50 мА) с помощью кнопочного переключателя;
- регистрировать выходной ток с помощью цифрового индикатора «ТОК ИЗЛУЧАТЕЛЯ».

3. **Отрезок одномодового волоконного световода (желтый цвет защитного покрытия) с коннекторами.** С элементами лабораторной установки коннекторы соединяются с помощью специальной оправки, которая крепится в узле юстировочного устройства.

4. **Юстировочное устройство** обеспечивает взаимную юстировку оправки для коннектора (К) торца исследуемого световода и источника ЛД. Данная регулировка позволяет изменять уровень оптической мощности, вводимой в исследуемый световод, для удобства проведения измерений.

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



Рис. 1. Передняя панель блока питания излучателя

6. Блок «Фотоприемник» ФП для регистрации тока фотодиода. На рис. 2 показана лицевая панель блока ФП. Фотодиод подключается к нему с помощью шнура питания с разъемом РС4-ТВ. Блочная часть разъема находится на лицевой панели и снабжена надписью «ОПТИЧЕСКИЙ ВХОД».



Рис. 2. Передняя панель блока фотоприемника

Предусмотрена возможность переключения пределов измерения оптической мощности. Для этого на лицевой панели имеется кнопочный переключатель «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ». Нажатие кнопок «0,001; 0,01; 0,1; 1» на лицевой панели приводит к изменению коэффициента усиления фототока. Для контроля оптической мощности на

лицевой панели ФП имеется цифровой индикатор «**ОПТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, ОТН. ЕД.**».

Оптическое излучение, попадающее на чувствительную площадку фотодиода, вызывает изменение тока (фототока), протекающего через его *p-n* переход. Фототок прямо пропорционален значению оптической мощности на чувствительной площадке фотодиода. Поэтому показания цифрового индикатора пропорциональны этой мощности, но не равны ей. Измерение с помощью фотоприемника осуществляется в относительных единицах.

7. Узел измерения потерь на изгибе световода (УИП). Эскиз узла приведен на рис. 3. Световод 1 закрепляется в двух фиксаторах 2 с помощью винтов 3. Отрезок световода между фиксаторами пропускается между подвижными 4 и неподвижными 5 стойками. Фиксаторы 2 перемещаются вдоль направляющих 6 при изменении положения подвижных стоек 5. Возвратное движение фиксаторов осуществляется за счет пружин. Фиксаторы, направляющие и пружины закреплены на подвижных основаниях 7. Шесть неподвижных стоек 4 закреплены на неподвижном основании 8. В нем выполнены продольные пазы, в которых перемещаются пять подвижных стоек 5. Перемещение подвижных стоек осуществляется с помощью микрометрического винта 9. В исходном состоянии подвижные стойки находятся в положении, при котором участок световода не деформирован. При этом должно быть обеспечено незначительное натяжение световода за счет пружин, связанных с фиксаторами 2.

Перемещение подвижных стоек изгибает световод. Радиус изгиба совпадает с радиусом стойки, а длина изогнутого участка изменяется при движении стоек. Перемещение подвижной стойки L отмечается по шкале микрометрического винта 9. Для известного диаметра стойки D и расстояния между стойками $d = 20$ мм длина изогнутого участка определяется выражением:

$$l = D \cdot (\arcsin((D/(L^2 + d^2)^{1/2}) + \arctg(L/d)). \quad (1)$$

Вся конструкция крепится к плате 11. На ней также располагается оправка 12 с фотодиодом. Ее внутренний диаметр выбран таким образом, чтобы оправка коннектора световода 1 стыковалась с ней. При этом световой поток из выходного торца световода полностью попадает на чувствительную площадку фотодиода.

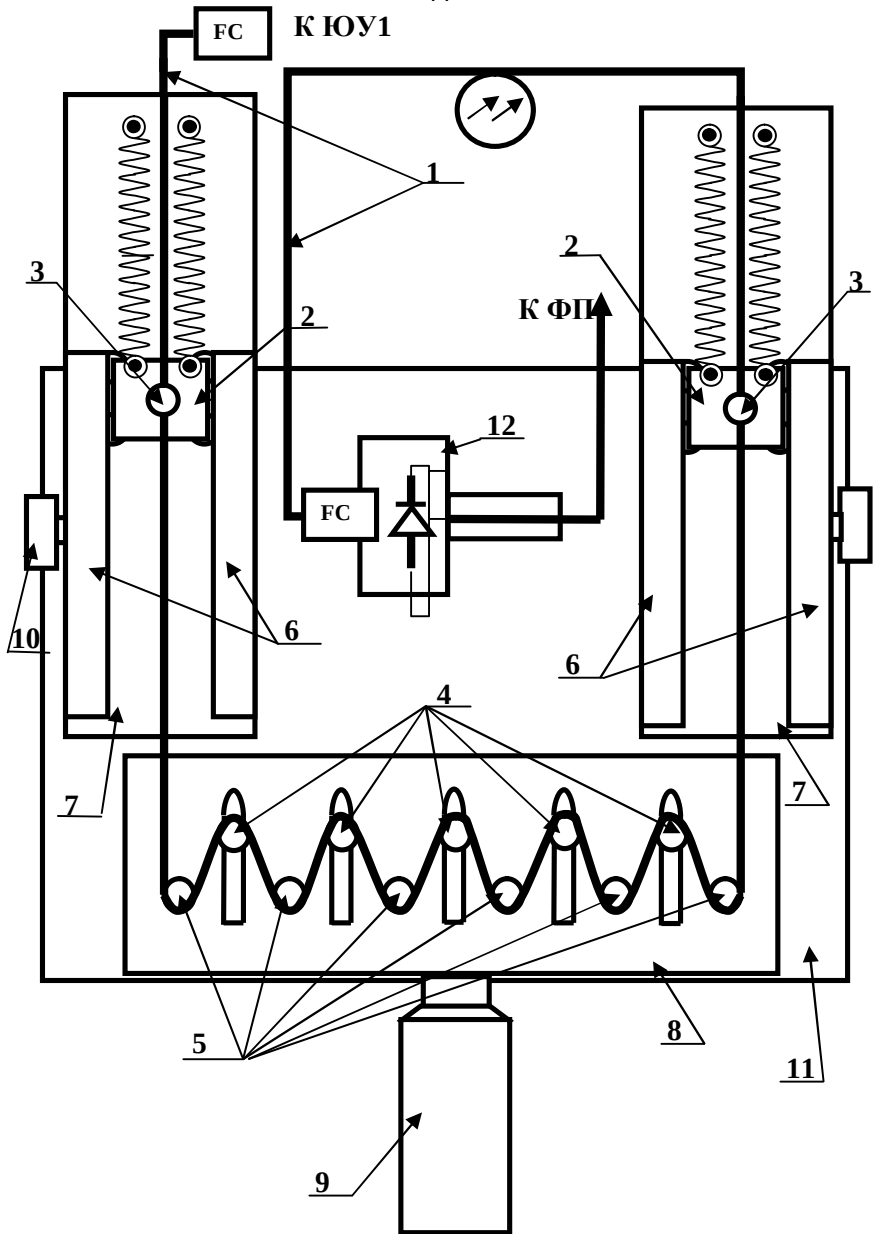


Рис. 3. Внешний вид узла для измерения потерь

Порядок выполнения работы

Измерение затухания на длине волны $\lambda = 0,67$ мкм.

Перед проведением измерений необходимо:

- установить ЛД в оправку на юстировочном устройстве;
- подключить его шнур питания к блоку питания излучателя

БПИ;

- перемещая ЛД в оправке в продольном направлении, добиться, чтобы его излучение фокусировалось в месте расположения торца исследуемого световода.

1. Закрепить входной торец световода в узел юстировочного устройства, осуществляющий линейное перемещение. Для этого выполнить следующие операции:

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

1.2. Пропустить световод через отверстия в платах 2.

1.3. Закрепить коннектор FC световода в оправке 10, накрутив фиксирующий винт коннектора.

2. Закрепить выходной торец световода в оправку фотодиода 12 (рис. 3).

3. Расположить исследуемый световод в УИП. Для этого выполнить следующие операции:

3.1. Надеть стойки выбранного диаметра на штыри, находящиеся на плате 6 (рис.3) .

3.2. Вывернуть микрометрический винт 9, перемещающий подвижные стойки 5 так, чтобы они заняли положение за крайними (рис. 3).

3.3. Отвернуть винты 3 фиксаторов 2 (рис. 3).

3.4. Поместить световод между неподвижными и подвижными стойками. Он должен располагаться так, чтобы подвижные стойки находились над световодом, а подвижные под ним. Сам световод при этом не должен быть деформирован.

3.5. Поместить исследуемый световод в паз левого фиксатора (рис. 3) и закрепить его винтом 3. Винт 3 следует заворачивать с минимальным усилием, обеспечивающим фиксацию световода.

3.6. Поместить исследуемый световод в паз правого фиксатора (рис. 3). Слегка натянуть световод так, чтобы пружины фиксаторов 2 незначительно растянулись. Закрепить световод винтом 3. Винт 3 следует заворачивать с минимальным усилием, обеспечивающим фиксацию световода.

3.7. Вворачивая микрометрический винт 9 (рис. 3), перемещающий подвижные стойки 5, переместить их вверх так, чтобы они касались исследуемого световода, но не деформировали бы его.

3.8. Отметить начальный отсчет L_0 по шкалам микрометрического винта, соответствующий этому положению средней стойки, и занести его в табл.

4. Установить органы управления электронного блока БПИ в исходное состояние:

- ручку потенциометра регулировки тока накачки на лицевой панели БПИ (рис. 1) в крайнее положение против часовой стрелки;
- кнопочный переключатель пределов изменения тока накачки – в положение 50 мА;
- с помощью соединительного кабеля подключить ЛД к блоку БПИ;

- включить тумблер «Сеть» на лицевой панели блока БПИ. При этом загорается его подсветка. С помощью потенциометра регулировка тока накачки установить его значение $I_n = 20$ мА. Контроль тока накачки осуществляется по цифровому индикатору на лицевой панели.

5. Установить органы управления электронного блока «Фотоприемник» в исходное положение:

- кнопочный переключатель «чувствительность» выбора пределов измерения оптической мощности в относительных единицах – в положение 0,01;
- с помощью соединительного кабеля подключить ФД к блоку «Фотоприемник» (рис. 2);
- включить тумблер «сеть» на лицевой панели блока «Фотоприемник», при этом загорается его подсветка.

6. Используя микрометрические винты юстировочного устройства, установить лазерный диод ЛД и входной торец световода в положение, обеспечивающее ввод оптического излучения в световод. При этом наблюдается рост показаний индикатора «Оптическая мощность» блока «Фотоприемник». При увеличении регистрируемой мощности необходимо переключать фотоприемник на более грубые пределы измерения с помощью кнопочного переключателя «Чувствительность» на его лицевой панели.

7. Произвести тщательную юстировку относительного положения ЛД и входного торца световода, обеспечив максимальные показания измерительного прибора. Настройка осуществляется с использованием всех пяти органов управления положением элементов. Установка считается настроенной, если на пределе измерений «1» показания измерительного прибора «Оптическая мощность» электронного блока «Фотоприемник» $q_0 > 1$. Отметить показания измерительного прибора q_0 ,

соответствующие максимальной мощности на выходном торце световода, и занести в таблицу.

8. Изменяя положение подвижных стоек, отмечать отсчеты L_i по шкалам микрометрического винта и соответствующие им отсчеты q_i по прибору «Оптическая мощность» электронного блока «Фотоприемник». Данные измерений занести в табл. 1.

Таблица 1.

Измерение удельного коэффициента затухания на изогнутом

участке световода. $D =$ (мм), $L_0 =$ (мм), $q_0 =$ (отн. ед.)

L_i , мм				
q_i , отн.ед.				
$L = L_i - L_0$, мм				
l_i , мм				
γ_i , дБ/мм				

9. После окончания измерений вернуть подвижные стойки в исходное положение, отвернуть винты 3 фиксаторов 2 (рис. 4) и извлечь световод из УИП. Отвернуть коннекторы световода от оправок юстировочного устройства и фотодиода.

10. Повторить измерения потерь для других диаметров изгиба. Для этого на стойки надеть втулки соответствующего диаметра и повторить пп. 8, 9.

11. После окончания измерений провести расчет удельного коэффициента затухания на изгибах разных диаметров. Для этого необходимо определить длину изогнутого участка l в соответствии с выражением (1).

Рис. 4 поясняет выражение, используемое для определения длины изогнутого участка световода.

Две окружности представляют собой вид сверху на правую неподвижную и центральную передвигаемую стойки. Линия BAV^1 соответствует неизогнутому отрезку световода, заключенному между ними, и является касательной к окружностям в точках В и B^1 . Расстояние между центрами стоек по горизонтали $OS = d = 10$ мм, расстояние между центрами стоек по вертикали $O^1S = L$ определяется в процессе измерений. $BO = B^1O^1 = D/2$ – радиус стойки. Длина изогнутого участка световода определяется длинами дуг окружностей BC и B^1C^1 . Легко понять, что они одинаковы, поэтому полная длина изгиба, определяемая всеми тремя стойками, равна $4 \cdot BC$.

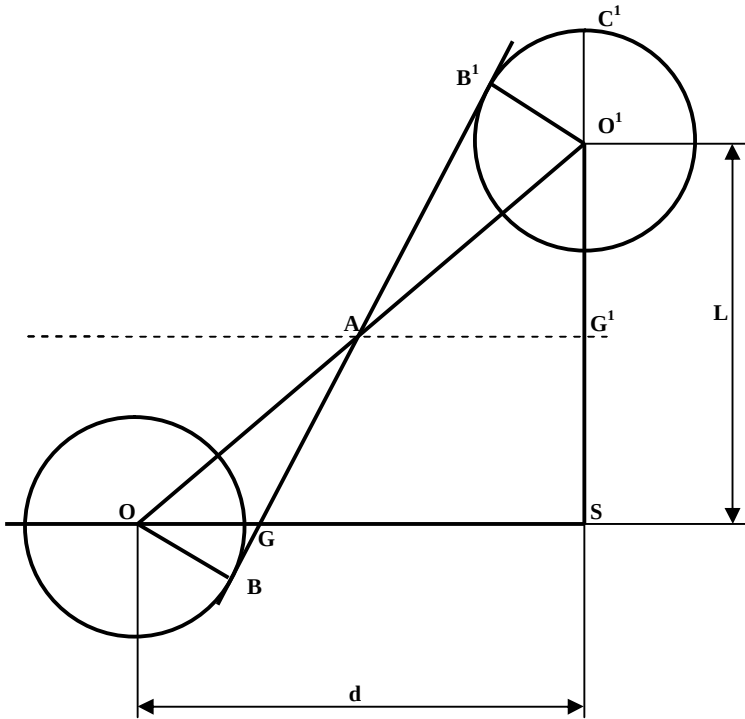


Рис.4. Определение длины изогнутого участка световода

Для расчетов следует определить угол BOC . Из элементарных тригонометрических соотношений следует: $\text{BOC} = \text{OGB} = \text{B}^1\text{AO}^1 + \text{O}^1\text{AG}^1$; $\text{B}^1\text{AO}^1 = \arcsin((D/(L^2 + d^2)^{1/2}))$; $\text{O}^1\text{AG}^1 = \arctg(L/d)$. Полная длина изогнутого участка l определяется выражением (1).

Величина удельного коэффициента затухания γ , соответствующая участку длины l , определяется соотношением:

$$\gamma_i = 10 \cdot \lg(q_0 / q_i) / l. \quad (2)$$

Значение удельного коэффициента затухания определяется путем усреднения значения γ_i по всем результатам измерений.

Контрольные вопросы

1. Какие физические механизмы приводят к появлению дополнительных потерь при изгибе световода?
2. Что такое «эффективная длина волны отсечки» и как на нее влияет радиус изгиба световода?
3. Почему потери в прямолинейном световоде зависят от длины волны излучения?
4. Объясните зависимость дополнительных потерь вследствие изгиба световода от длины волны излучения.
5. Какие количественные ограничения приходится вводить на радиус изгиба световодов в волоконно-оптических устройствах?

Библиографический список

1. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. М., 2003. С. 14 – 40.
- 2./ Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2007. С. 41 – 49, 54 – 58.

РАБОТА № 5

ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ СИГНАЛА В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Цели работы:

§ исследование процесса модуляции интенсивности излучения и влияния на форму оптического сигнала положения рабочей точки на ватт-амперной характеристике лазерного диода;

§ моделирование искажений сигнала из-за дисперсии оптического волокна.

Теоретические сведения

Сигналы, передаваемые по волоконно-оптическому каналу связи, не являются строго монохроматическими. Полоса частот $\Delta\nu$, которую занимает спектр сигнала, определяется двумя причинами:

1. Лазерный диод ЛД генерирует оптическое излучение, которое занимает в спектре около рабочей длины волны λ полосу длин волн шириной $\Delta\lambda_{\text{ЛД}}$ от 0,1 до 1,0 нм, которой соответствует полоса частот $\Delta\nu_{\text{ЛД}} = c\Delta\lambda_{\text{ЛД}}/\lambda^2$, где c – скорость света.

2. В оптических линиях связи используются цифровые способы передачи информации на основе импульсной модуляции излучения. «Переносчиком» информации в таких системах является оптический импульс длительностью Δt . Конечной длительности импульсов излучения, распространяющихся в волокне, соответствует полоса частот $\Delta\nu_{\text{имп}} = 1/\Delta t$.

Конечность ширины спектра передаваемого сигнала и зависимость скорости распространения волн от их частоты (дисперсия) приводят к уширению импульса оптического излучения, передаваемого по волокну. Длительности оптических импульсов на входе Δt_{in} и на выходе Δt_{out} отрезка волокна длиной L связаны соотношением:

$$\Delta t_{\text{out}} = \sqrt{(\Delta t_{\text{in}})^2 + D^2 L^2 \frac{l^4}{c^2 (\Delta t_{\text{in}})^2}}, \quad (1)$$

в котором D – коэффициент дисперсии волокна:

$$D(l) = \frac{1}{L} \frac{\Delta t}{\Delta l}, \quad \text{пс}/(\text{нм} \cdot \text{км}), \quad (2)$$

здесь t – время распространения сигнала в волокне (зависит от длины волны излучения).

В соответствии с (1) существует оптимальная длительность импульса на входе волокна:

$$\Delta t_{in,opt} = l \sqrt{\frac{DL}{c}}, \quad (3)$$

которой соответствует скорость передачи данных $B = 0,25/\Delta t_{in,opt}$.

Дисперсия волокна ограничивает максимальное расстояние L , на которое можно передать оптический сигнал в световоде без использования ретранслятора при заданной скорости передачи данных B :

$$L \leq \frac{c}{16l^2 DB^2}. \quad (4)$$

Стекло, из которого изготовлено оптическое волокно, обладает *материальной дисперсией*, потому что его коэффициент преломления n зависит от длины волны l . Кроме того, само различие коэффициентов преломления сердцевины и оболочки волокна также приводит к зависимости скорости импульса, распространяющегося по волокну, от длины волны, что является причиной *волноводной дисперсии*. Таким образом, коэффициент D *хроматической дисперсии* одномодового волокна, определяемый выражением (2), содержит две составляющие: материальную и волноводную дисперсии.

В оптической линии, использующей многомодовые световоды, появляется еще одна причина возникновения искажений информации – *межмодовая дисперсия*. Она связана с тем, что каждой моде будет соответствовать своя траектория лучей в сердцевине волокна (рис. 1). Поэтому каждой моде соответствует своя скорость переноса энергии. В результате, если излучение в волокне представляет собой суперпозицию нескольких мод, оптический импульс дополнительно уширяется при распространении по линии передачи.

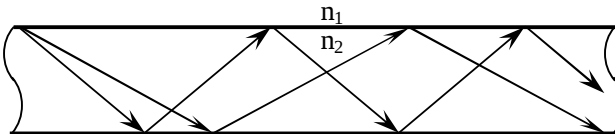


Рис.1. Различие траекторий лучей, соответствующих разным модам, в сердцевине оптического волокна со ступенчатым поперечным распределением показателя преломления

В многомодовом волокне влияние хроматической дисперсии на уширение передаваемого импульса мало по сравнению с межмодовой дисперсией. Однако эти искажения можно уменьшить, выбрав форму распределения коэффициента преломления в поперечном сечении сердцевины. На рис. 2 изображены оптические лучи, соответствующие двум различным модам световода с плавным уменьшением коэффициента преломления в радиальном направлении от центра к границе оболочки (градиентное волокно). Траектория 1 соответствует моде, порядок которой ниже, чем у моды с траекторией 2. С увеличением номера моды кривизна траектории увеличивается и все более отклоняется от оси. В случае световода со ступенчатым профилем все моды распространяются внутри сердцевины и значения коэффициента преломления среды для них одинаковы. В градиентном световоде моды более высокого порядка за счет большего отклонения от оси световода проходят в области с меньшим коэффициентом преломления. Модам более высокого порядка соответствует больший геометрический путь, но проходит он в среде с меньшим коэффициентом преломления. В результате фазовый сдвиг между различными модами меняется существенно меньше, чем в световоде со ступенчатым профилем коэффициента преломления. Подбирая вид зависимости показателя преломления от расстояния до центра волокна, можно уменьшить межмодовую дисперсию. Именно эта цель и ставится при изготовлении градиентных световодов. Уширение импульса в них на несколько порядков меньше, чем в световоде со ступенчатым распределением показателя прелом-

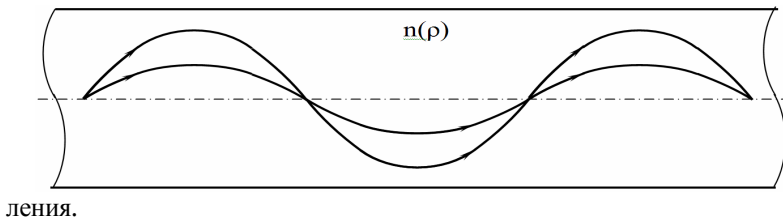


Рис.2. Траектории световых лучей в волокне с градиентным профилем показателя преломления

Лабораторная установка

В состав лабораторной установки (рис. 3) входят:

§ блок «Источник оптического сигнала», эскиз передней панели которого приведен на рис. 3,

§ блок фотоприемника, передняя панель которого показана на рис. 8,

§ индикатор средней мощности оптического излучения «Топаз-3000»,

§ двухканальный осциллограф,

§ световоды с оптическими разъемами.

Электронный блок «Источник оптического сигнала» (ИОС) обеспечивает генерацию оптического излучения на длинах волн $\lambda=1,31$ мкм и 1,55 мкм с помощью двух лазерных диодов (полупроводниковых лазеров) с выходной мощностью 1 мВт. Диоды состыкованы с отрезками одномодового волокна, которое оконцовано коннекторами типа FC/SPC. Подключение их к внешним оптическим цепям осуществляется с помощью оптических розеток типа FC/UPC **«ОПТИЧЕСКИЙ ВЫХОД»**, выведенных на лицевую панель.

Включение одного из двух источников « $\lambda=1,3$ мкм» или « $\lambda=1,5$ мкм» осуществляется с помощью кнопочного переключателя **«ВЫБОР ИСТОЧНИКА»**. Над оптическими розетками встроены светодиоды, которые светятся при включении соответствующего источника. Регулировка режима работы включенного источника осуществляется с помощью двух ключей, задающих токи I_0 , I_1 , протекающие через *p-n* переход лазерного диода. На лицевую панель выведены ручки потенциометров « I_0 », « I_1 », с помощью которых изменяется соответствующее значение тока. Для контроля токов I_0 , I_1 на лицевой панели БПИ имеются два цифровых индикатора **«ТОК НАКАЧКИ, мА»**. Рядом расположено гнездо **«КТ2»** для подключения кабеля с разъемами СР-50 к осциллографу.

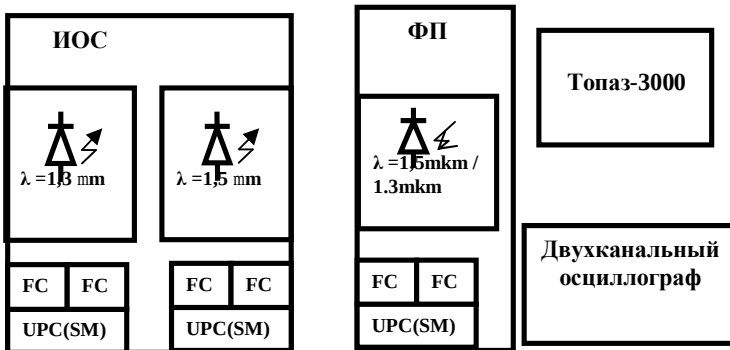


Рис. 3. Функциональная схема лабораторной установки

Измерение мощности излучения лазерных диодов производится с помощью встроенных в их корпуса фотодиодов, ток которых отображается двумя цифровыми индикаторами **«ОПТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, ОТН. ЕД.»**. Поскольку предусмотрена возможность модуляции оптического излучения, используются два индикатора. Первый - **«СРЕДНЕЕ»** - отображает средний уровень оптической мощности, излучаемой включенным лазерным диодом. Второй – **«АМПЛИТУДА»** - амплитудные значения. Его показания отличны от нуля только при включенной модуляции оптического излучения.

Контроль тока встроенного в корпус лазера фотодиода может осуществляться с помощью осциллографа. Для этого рядом с индикаторами расположено гнездо **«КТ1»** для подключения кабеля с разъемами СР-50. На лицевой панели предусмотрено гнездо **«СИНХРОНИЗАЦИЯ ОСЦИЛЛОГРАФА»** для подключения кабеля с разъемами СР-50 ко входу синхронизации используемого осциллографа.

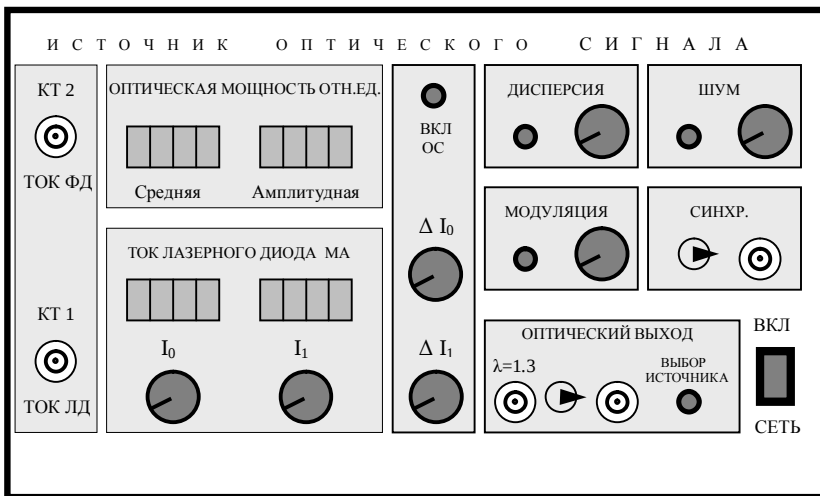


Рис. 4. Расположение органов управления на передней панели источника оптического сигнала

Блок фотоприемника ФП (рис. 5) обеспечивает измерение мощности оптического излучения в диапазоне длин волн $\lambda = 1,3 \div 1,5$ мкм с помощью фотодиода, который состыкован с отрезком одномодового волокна, которое оконцовано коннектором типа FC/SPC. Подключение его к внешним оптическим цепям осуществляется с помощью оптиче-

ской розетки типа FC «**ОПТИЧЕСКИЙ ВХОД**», выведенной на лицевую панель (рис. 5).

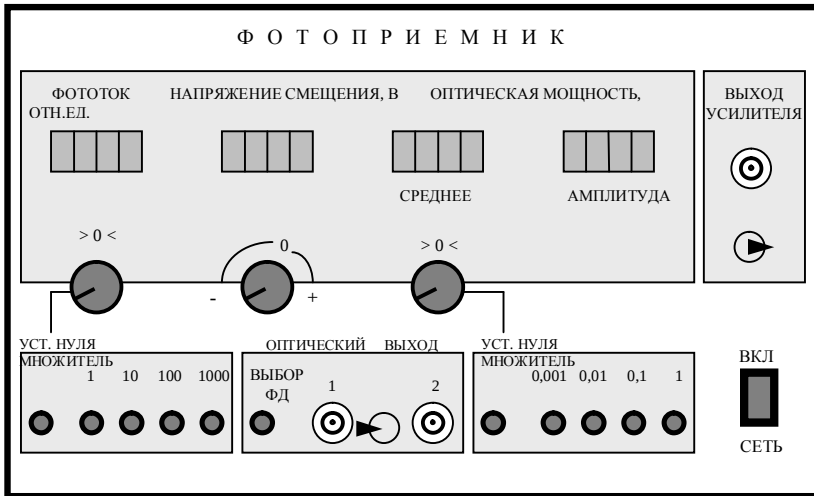


Рис.5. Расположение органов управления на передней панели приемника оптического сигнала

Для регистрации оптического сигнала на лицевой панели ФП имеется два цифровых индикатора «**ОПТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, ОТН. ЕД.**». Первый - «**СРЕДНЕЕ**» - отображает средний уровень принимаемой оптической мощности, а второй – «**АМПЛИТУДА**» - амплитудные значения. Его показания отличны от нуля только при включенной модуляции оптического излучения.

Оптическое излучение, попадающее на чувствительную площадку фотодиода, вызывает изменение тока (фототока), протекающего через его *p-n* переход. Переключение пределов измерения производится кнопочным переключателем «**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ**». Нажатие кнопок «**0,001; 0,01; 0,1; 1**» на лицевой панели приводит к изменению коэффициента усиления фототока. Фототок прямо пропорционален значению оптической мощности на чувствительной площадке фотодиода. Поэтому показания цифрового индикатора пропорциональны этой мощности, но не равны ей - измерение с помощью фотоприемника осуществляется в относительных единицах.

На лицевую панель фотоприемника выведены кнопочный переключатель и ручка потенциометра **«УСТАНОВКА НУЛЯ»**. При переключении пределов необходимо нажать эту кнопку и с помощью потенциометра установить нулевые показания индикатора **«СРЕДНЕЕ»**.

На лицевую панель выведена ручка потенциометра **«РЕГУЛИРОВКА СМЕЩЕНИЯ, В»**. С ее помощью изменяется напряжение смещения, подаваемое на фотодиод. Контроль этого напряжения осуществляется по цифровому индикатору **«НАПРЯЖЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ, В»**. Включение блока осуществляется тумблером с подсветкой **«СЕТЬ»** на лицевой панели.

Измеритель средней мощности оптического излучения «Топаз-3000» используется в качестве эталонного измерителя. Оптическая мощность подается на его вход с помощью волоконного шнура. Прибор имеет автономный источник питания и сетевой адаптер.

Порядок выполнения работы

1. Подготовка лабораторной установки к измерениям

1.1. Установите в исходное положение органы управления электронного блока «Источник оптического сигнала»:

- ручки потенциометров « I_0 », « I_1 » регулировки токов – в крайнее положение против часовой стрелки;
- переключатели «Дисперсия», «Шум» – отжаты;
- переключатель включения импульсной модуляции «Модуляция» - нажат;
- переключатель включения аналоговой модуляции «Модуляция» - отжат;
- ручки потенциометров «Модуляция», «Дисперсия», «Шум» - в крайнее положение против часовой стрелки;
- включить тумблер «Сеть». При этом загорается его подсветка;
- переключатель «Выбор источника» - в положение, соответствующее включению лазера, излучающего на выбранной длине волны. При этом над соответствующей оптической розеткой загорается контрольный светодиод.

1.2. Установите органы управления электронного блока «Фотоприемник» в исходное положение:

- ручку потенциометра «Регулировка смещения» регулировки напряжения смещения – в крайнее положение против часовой стрелки;
- кнопочный переключатель «Уст. нуля» - отжать;
- кнопочный переключатель «Чувствительность» – в положение

1;

- включить тумблер «Сеть»;

- ручкой потенциометра «Регулировка смещения» установить заданное преподавателем значение по прибору на лицевой панели.

1.3. Соедините оптический выход электронного блока «Источник оптического сигнала» с оптическим входом электронного блока «Фотоприемник» с помощью одномодового волоконного шнура (желтый цвет оболочки).

1.4. С помощью коаксиальных кабелей, входящих в состав лабораторного макета, выполните следующие соединения:

- гнездо «Синхронизация осциллографа» блока «Источник оптического сигнала» соедините со входом канала синхронизации осциллографа;

- гнездо «КТ 3» на лицевой панели электронного блока «Источник оптического сигнала» соедините со входом первого канала осциллографа;

- гнездо «Вых» на лицевой панели электронного блока «Фотоприемник» соедините со входом второго канала осциллографа.

1.5. Включите питание осциллографа. Установите переключатели входов обоих каналов в положение «=» - открытый вход.

1.6. Используя результаты исследования ватт-амперной характеристики, полученные в лабораторной работе № 2, установите с помощью потенциометра « I_0 » на лицевой панели блока «Источник оптического сигнала» значение тока I_0 , равное пороговому значению ($I_0 = I_n$).

1.7. Установите верхнюю ручку потенциометра «Модуляция» (с индексом импульсная модуляция) в среднее положение. Плавно увеличивайте значение I_1 путем вращения по часовой стрелке потенциометра « I_1 ». При этом ток накачки лазерного диода и излучаемая им оптическая мощность модулированы импульсным сигналом. Величина I_1 определяет амплитуду сигнала. Получите устойчивое изображение сигнала модуляции на первом канале осциллографа.

1.8. Установите переключатель «В/дел» второго канала в положение 0,5. С помощью потенциометра « I_1 » установите значение тока I_1 , обеспечивающее появление сигнала на выходе фотоприемника. Затем, увеличивая I_1 и амплитуду модулирующего сигнала, доведите значение амплитуды принимаемого оптического сигнала до максимально возможного значения. При необходимости измените положение переключателя «В/дел» второго канала. Примерный вид осциллограмм приведен на рис. 6.

1.9. С помощью регулировки вертикального положения сигнала (↑) канала 1 осциллографа переместите его за пределы экрана. На экране наблюдается сигнал канала 2, поступающий с выхода блока «Фотоприемник».

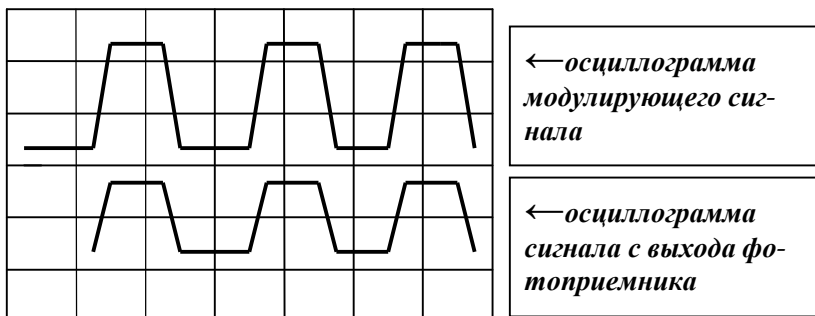


Рис. 6. Примерный вид осциллограмм

1.10. Установите на экране осциллографа отсчетную линию, соответствующую нулевому току фотодиода. Для этого выполните следующие операции:

- установите ручку потенциометра « I_1 » регулировки тока блока «Источник оптического сигнала» в крайнее положение против часовой стрелки;
- нажать на лицевой панели «Фотоприемник» кнопочный переключатель «Установка нуля»;
- с помощью ручки регулировки вертикального положения сигнала ($\updownarrow$) канала 2 переместите линию развертки в положение, совпадающее с нижней линией шкалы осциллографа;
- отожмите кнопочный переключатель «Установка нуля». Положение отсчетной линии определяется темновым током фотодиода I_T (сигнал модуляции отсутствует, и значение тока I_0 выбрано равным пороговому значению).

1.11. Плавно увеличьте значение I_1 , вращая по часовой стрелке ручку потенциометра « I_1 » блока «Источник оптического сигнала», до получения максимальной амплитуды сигнала. Контроль производится с помощью осциллографа.

2. Измерение зависимости глубины модуляции лазерного излучения импульсным сигналом от величины тока I_0 .

2.1. Выполните следующие регулировки:

- с помощью потенциометра « I_1 » регулировки амплитуды модулирующего тока блока «Источник оптического сигнала» установите ее значение $I_1 = 20 \text{ мА}$;

- с помощью потенциометра « I_0 » регулировки тока на лицевой панели электронного блока «Источник оптического сигнала» установите его текущее значение;
- по наблюдаемой на экране осциллограмме произведите отсчет величин $P_{\min}$ и $P_{\max}$ (рис. 7), которые соответствуют минимальному и максимальному уровням фиксируемого фотодиодом сигнала;
- данные измерений занесите в табл. 1;
- повторите измерения для всех значений I_0 , указанных преподавателем.

Таблица 1.

Зависимость коэффициента модуляции от тока I_0

I_0 , мА				
$P_{\min}$, мм				
$P_{\max}$, мм				
M				

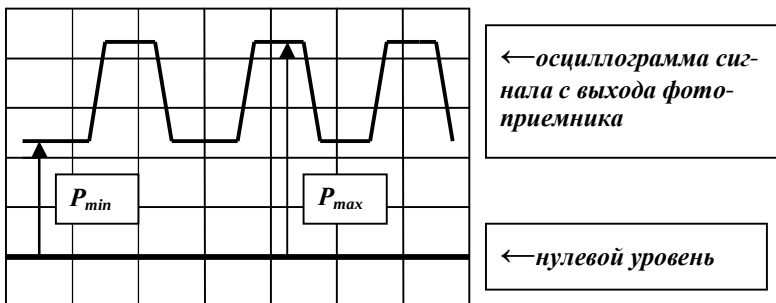


Рис. 7. Измерение коэффициента модуляции по осциллограмме

2.2. По экспериментальным данным табл. 1 вычислите значение коэффициента модуляции по формуле:

$$m = (P_{\max} - P_{\min}) / (P_{\max} + P_{\min}). \quad (5)$$

2.3. По данным табл. 1 постройте зависимость коэффициента модуляции m от тока I_0 .

3. Измерение зависимости глубины модуляции лазерного излучения импульсным сигналом от напряжения смещения на фотодиоде $U_{см}$.

3.1. Выполните следующие операции:

- установите значение тока I_0 , равное пороговому, с помощью потенциометра « I_0 » на лицевой панели электронного блока «Источник оптического сигнала»;
- установите значение амплитуды модулирующего тока $I_1 = 20$ мА с помощью потенциометра « I_1 »;
- установите ручку потенциометра «Регулировка смещения» на лицевой панели блока «Фотоприемник» в крайнее положение против часовой стрелки;
- по наблюдаемой на экране осциллограмме произведите отсчет величин $P_{\min}$ и $P_{\max}$, которые соответствуют минимальному и максимальному уровням фиксируемого фотодиодом сигнала;
- данные измерений занесите в табл. 2;
- изменяя $U_{\text{см}}$ от минимально возможного до 5 В с шагом, указанным преподавателем, производить измерение величин $P_{\min}$ и $P_{\max}$ для всех значений $U_{\text{см}}$. Данные измерений занесите в табл. 2.

Таблица 2.

Зависимость коэффициента модуляции от напряжения смещения $U_{\text{см}}$

$U_{\text{см}}, \text{ В}$				
$P_{\min}, \text{ мм}$				
$P_{\max}, \text{ мм}$				
M				

3.2. По экспериментальным данным табл. 2 вычислите значение коэффициента модуляции по формуле (5).

3.3. По данным табл. 2 постройте зависимость коэффициента модуляции m от напряжения смещения на фотодиоде $U_{\text{см}}$.

3.4. Установите значение величин I_0 и I_1 заданных преподавателем. С помощью регулировки вертикального положения сигнала ($\updownarrow$) канала 1 осциллографа выведите сигнал модуляции на экран. Органы регулировки положения сигнала на втором канале должны при этом оставаться в исходном положении, чтобы не изменилось положение нулевого отсчетного уровня. Зарисуйте осциллограммы модулирующего сигнала, наблюдаемого по первому каналу, и принимаемого фотоприемником сигнала наблюдаемого по второму каналу. На осциллограмме отметьте положение нулевого уровня.

3.5. Переключите коаксиальный кабель от гнезда «КТЗ» к гнезду «КТ2». При этом на экране наблюдается осциллограмма тока накачки, протекающего через лазерный диод. Зарисуйте осциллограмму тока накачки, наблюдаемую по первому каналу.

4. Измерение затухания оптического сигнала при распространении

в оптоволокне

4.1. Установите в исходное положение органы управления электронного блока «Источник оптического сигнала» в положение:

- ручки потенциометров « I_0 », « I_1 » регулировки токов - в крайнее положение против часовой стрелки;
- кнопочные переключатели «Дисперсия», «Шум» – отжаты;
- кнопочный переключатель включения импульсной модуляции «Модуляция» - отжат;
- кнопочный переключатель включения аналоговой модуляции «Модуляция» - отжат;
- ручки потенциометров «Модуляция», «Дисперсия», «Шум» - в крайнее положение против часовой стрелки.

4.2. Соедините с помощью волоконного шнура (одномодового или многомодового в зависимости от типа линии) оптический выход электронного блока «Источник оптического сигнала» со входом измерителя оптической мощности «Топаз-3000». Включите его в режим измерения абсолютного значения мощности (W).

4.3. Установите значение тока I_0 , равное пороговому с помощью потенциометра « I_0 » на лицевой панели электронного блока «Источник оптического сигнала». Плавно увеличивая значение амплитуды модулирующего тока I_1 с помощью потенциометров « I_1 » на лицевой панели электронного блока «Источник оптического сигнала», добиться максимально возможного значения средней мощности излучаемого лазерным диодом сигнала. Контроль среднего значения мощности осуществляется с помощью измерителя оптической мощности «Топаз-3000». Зафиксируйте полученное значение мощности.

4.4. Переключить измеритель в режим измерения затухания (дБ). Установите нулевой отсчет на экране его дисплея, нажав кнопку ($\rightarrow 0 \leftarrow$) на лицевой панели.

4.5. Соедините оптический выход электронного блока «Источник оптического сигнала» со входом нормализующей линии (одномодовой, либо многомодовой). Выход линии соедините со входом измерителя оптической мощности «Топаз-3000».

4.6. Зафиксируйте величину затухания в децибелах. Рассчитайте удельное затухание в волокне (дБ/м) с учетом длины волокна в нормализующих катушках (1000 м). Занесите рассчитанное затухание для одномодового и многомодового волокна в отчет.

Контрольные вопросы

1. Какими причинами обусловлена хроматическая дисперсия в одномодовом волокне?
2. Что такое «коэффициент дисперсии» и «длина волны нулевой дисперсии»?
3. Как влияет дисперсия на характеристики импульса излучения, распространяющегося в волокне?
4. Каким образом осуществляется компенсация дисперсии в волоконно-оптических линиях связи?
5. Что такое «межмодовая дисперсия» и как на нее влияет поперечное распределение показателя преломления в сердцевине волокна?
6. Для достижения какой цели используются волокна с ненулевой смещенной дисперсией (NZDS волокна)?
7. Как следует осуществлять импульсную модуляцию излучения лазерного диода?

Библиографический список

1. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. М., 2003. С. 40 – 44, 52 – 94, 108 – 112, 144 - 153.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2007. С. 44, 93 – 99, 149 - 155.

РАБОТА № 6**ПОИСК НЕИСПРАВНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО ТЕСТЕРА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКОГО РАЗВЕТВИТЕЛЯ*****Цели работы:***

§ приобретение навыков работы с измерителем оптической мощности «Топаз-3000» при обнаружении обрыва в волоконно-оптической линии связи;

§ измерение переходных ослаблений между световодами оптического разветвителя.

Описание лабораторной установки

Блок-схема лабораторной установки изображена на рис. 1. В ее состав входят следующие элементы.

1. Универсальная кассета (сплайс-пластина), которая служит для фиксации мест термического соединения (сварки) волоконных световодов.

2. Два отрезка четырехволоконного одномодового кабеля (желтый цвет защитной оболочки), оконцованные с одной стороны коннекторами типа SC/SPC (четыrehволоконная полувилка SC/SPC-4, SC/SPC-4, DST/4/SM 9/125). Неоконцованные стороны трех (из четырех) световодов этих отрезков попарно соединены между собой с помощью сварки.

3. Два отрезка четырехволоконного многомодового кабеля (оранжевый цвет защитной оболочки), оконцованные с одной стороны коннекторами типа SC/PC (четыrehволоконная полувилка SC/PC-4, SC/PC-4, DST/4/MM 50/125). Неоконцованные стороны трех (из четырех) световодов этих отрезков попарно соединены между собой с помощью сварки.

4. Две коммутационные коробки серии W902 (настенный кросс), рассчитанные на 8 розеточных портов. В коробках установлены:

- четыре соединительных розетки типа SC-SC/UPC в верхнем ряду (для соединения одномодовых световодов, оконцованных коннекторами типа FC) ;

- четыре соединительных розетки типа SC-SC/PC в нижнем ряду (для соединения многомодовых световодов, оконцованных коннекторами типа FC).

Оконцованные стороны четырехволоконных кабелей закреплены в коробках и коннекторы их световодов соединены с соответствующими розетками с внутренней стороны коробок.

5. Плата с оптическими пассивными элементами, на которой установлены:

- переходная одномодовая розетка FC-SC/UPC с керамическим центратором;
- переходная многомодовая розетка FC-SC/PC с бронзовым центратором;
- соединительные одномодовая и многомодовая розетки FC-D/UPC, FC-D/PC с керамическим центратором.

6. Плата с оптическими пассивными элементами, на которой установлены аттенюаторы-розетки для одномодового и многомодового волокон FC/SM, FC/MM. Вносимое затухание – 20 дБ.

7. Плата с оптическими пассивными элементами, на которой установлены:

- фиксированные аттенюаторы-розетки для одномодового и многомодового волокон FC/SM, FC/MM, вносимое затухание – 20 дБ;
- переменные аттенюаторы-розетки для одномодового и многомодового волокон FC/SM, вносимое затухание 0 – 20 дБ.

8. Плата с оптическими пассивными элементами, на которой установлены:

- одномодовый (SM) делитель 50/50, 1x2, световоды делителя оконцованы коннекторами FC/SPC;
- три соединительных розетки FC-D/UPC с керамическим центратором.

Все розетки и аттенюаторы закреплены в стойках, которые крепятся к соответствующим платам. Сами платы установлены на две общие П-образные направляющие. На центральной части экрана укреплены кассета (1) и четыре отрезка кабеля (2,3).

9. Блок питания излучателя (БПИ) – рис. 2. Излучателем является лазерный диод, обеспечивающий генерацию оптического излучения на длине волны $\lambda=1,3$ мкм с выходной мощностью 1 мВт. Подключение его к внешним оптическим цепям осуществляется с помощью оптической розетки типа FC **«ОПТИЧЕСКИЙ ВЫХОД»**, выведенной на лицевую панель. Ручкой потенциометра **«РЕГУЛИРОВКА»** изменяют ток, протекающий через лазерный диод (ток накачки), и его мощность. Для контроля тока накачки и мощности излучения на лицевой панели БПИ имеется цифровой индикатор **«ТОК ИЗЛУЧАТЕЛЯ, ОПТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ»**. Переключение режимов измерения производится кнопочным переключателем **«РЕЖИМ»**. Нажатие кнопок **«ТОК»** или **«МОЩНОСТЬ»** на лицевой панели приводит к тому, что значение соответствующего параметра отображается на цифровом индикаторе.

Измерение мощности производится с помощью встроенного в корпус лазера фотодиода, ток которого и отображается на цифровом табло в режиме **«МОЩНОСТЬ»**. Следует помнить, что показания индикатора в этом режиме имеют относительный характер. Данный режим используется для контроля работоспособности лазерного диода.

10. Измеритель оптической мощности «Топаз-3000», который используется в качестве эталонного измерителя оптической мощности. Оптическая мощность подается на его вход с помощью волоконного шнура. Прибор имеет автономный источник питания и сетевой адаптер. Работа с прибором производится на основании технического описания, входящего в комплектацию лабораторной установки.

В состав лабораторной установки входят волоконные соединительные и переходные шнуры (BC), служащие для соединения элементов установки между собой. Их комплект включает:

- 3 соединительных многомодовых шнура (оранжевый цвет защитной оболочки) с коннекторами FC/PC;
- 3 соединительных одномодовых (желтый цвет защитной оболочки) шнура с коннекторами FC/SPC;
- 2 соединительных многомодовых шнура (оранжевый цвет защитной оболочки) с коннекторами SC/PC;
- 2 соединительных одномодовых шнура (желтый цвет защитной оболочки) с коннекторами SC/SPC;
- 2 переходных многомодовых шнура (оранжевый цвет защитной оболочки) с коннекторами FC/ PC-SC/PC;
- 2 переходных одномодовых шнура (желтый цвет защитной оболочки) с коннекторами FC/ SPC-SC/SPC.

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. Перед каждым использованием в измерениях оптического тестера «Топаз-3000» необходимо отвернуть защитный колпачок с торца его коннектора и немедленно произвести соединение с коннектором волоконного шнура. После окончания измерения обязательно установить защитный колпачок на прежнее место.

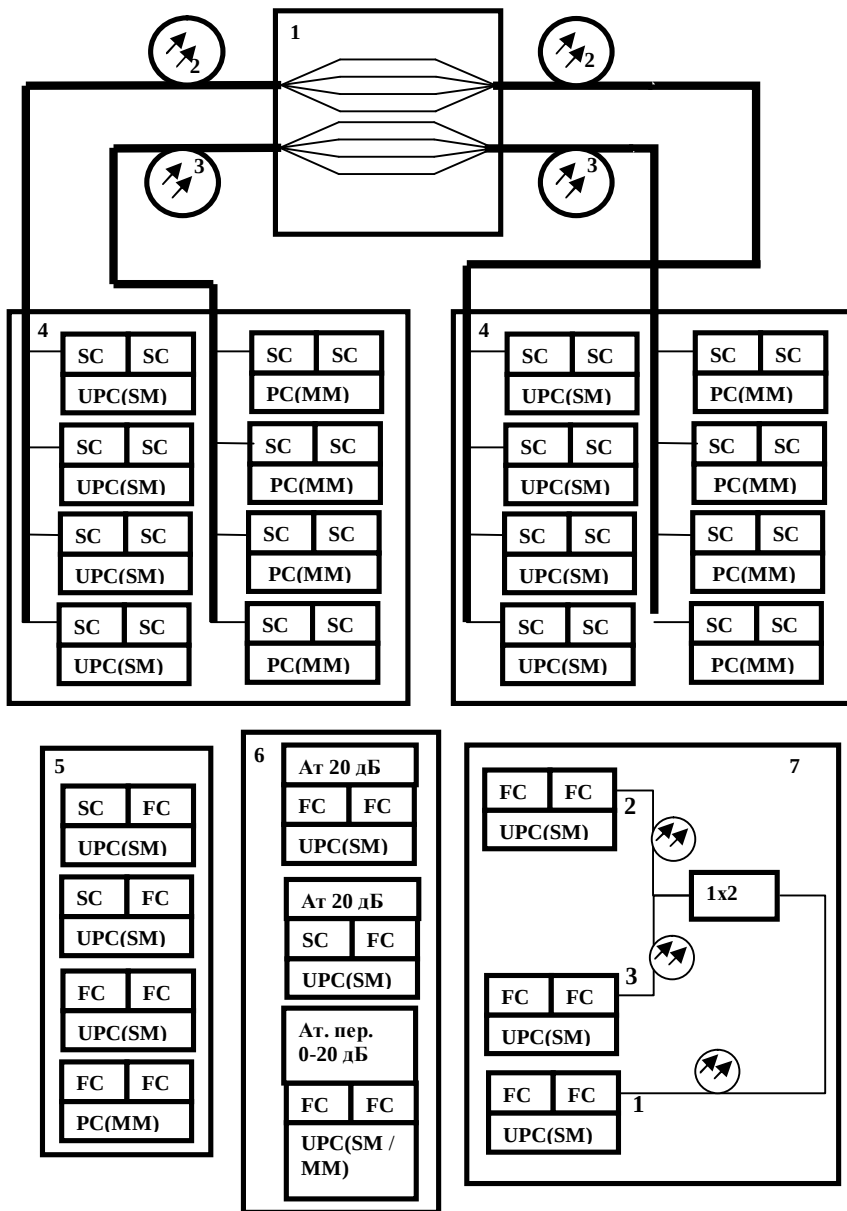


Рис. 1. Состав экспериментальной установки

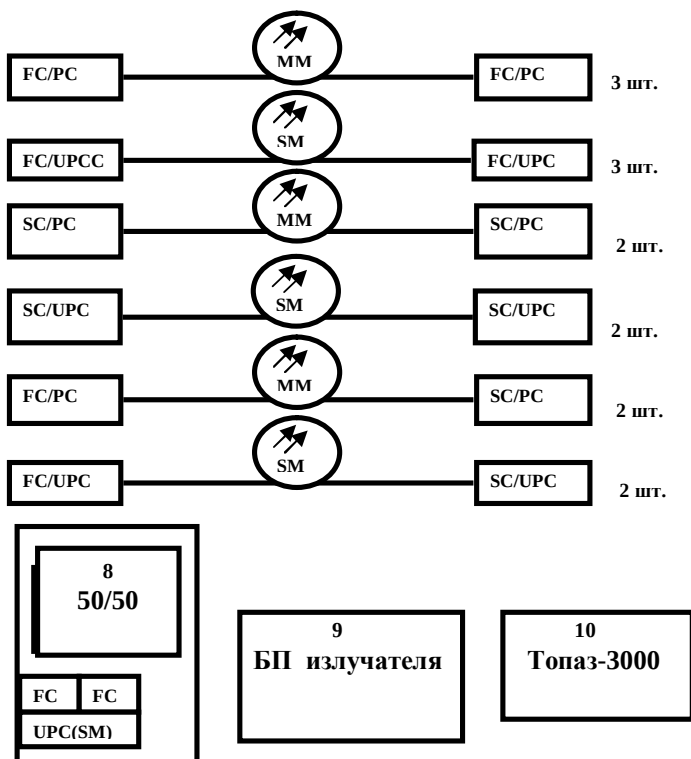


Рис. 1. Состав экспериментальной установки (окончание)

1. Поиск неисправности в линии связи

1. Установите органы управления электронного блока «Блок питания излучателя» в исходное положение:

- ручку потенциометра «Регулировка» – в крайнее положение против часовой стрелки;
- кнопочный переключатель «Режим» - в положение «мощность», для чего нажмите кнопку с соответствующей подписью;
- включите тумблер «Сеть».

- При данном положении органов управления электронный блок обеспечивает непрерывное немодулированное оптическое излучение на оптическом выходе. Его мощность регулируется потенциометром «Регулировка». На цифровом табло отображаются показания, пропорциональные фототоку встроенного в лазерный модуль контрольного фотодиода.



Рис. 2. Лицевая панель блока питания излучателя

2. Проверьте работоспособность лазера. Для этого поверните по часовой стрелке ручку потенциометра «Регулировка». Показания на цифровом табло должны увеличиваться, что свидетельствует об исправности лазера.

3. Установите кнопочный переключатель «Режим» в положение «Ток», для чего нажмите кнопку с соответствующей подписью. При этом на цифровом табло отображается значение тока, протекающего через лазерный диод.

4. С помощью одномодового шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) соедините «Оптический выход» электронного блока «Блок питания излучателя» с входом оптического тестера «Топаз-3000».

5. Включите оптический тестер «Топаз-3000» и переведите его в режим измерения абсолютных значений мощности, нажимая кнопку «mW, dbm, db» на его лицевой панели. Установите тестер в режим измерений на длине волны 1,3 мкм, нажимая кнопку «λ» на его лицевой панели. При необходимости используйте описание прибора «Топаз-3000».

6. Установите с помощью потенциометра «Регулировка» электронного блока «Блок питания излучателя» величину оптической мощности примерно 0,5 мВт по прибору «Топаз-3000». Значение оптической мощности в абсолютных единицах занесите в таблицу 1. При дальнейших измерениях это значение не должно изменяться.

7. Установите режим работы оптического тестера, соответствующий измерению мощности в относительных единицах (измерение

затухания), нажав необходимое количество раз кнопку «mW, dbm, db». После этого нажмите кнопку «Установка нуля» на пульте тестера. Данный уровень оптической мощности, поступающий на вход прибора, принимается за нулевой. На дисплее тестера появляется значение 0 дБ.

8. Отсоедините волоконный шнур, соединяющий электронный блок «Блок питания излучателя» и «Топаз-3000».

9. Для определенности в дальнейшем будем считать, что оптические входы расположены в левой коммутационной коробке, а выходы – в правой. Верхний ряд оптических розеток коммутационной коробки соответствует одномодовым входам/выходам, нижний – многомодовым. Нумерация розеток производится слева направо. Соедините с помощью переходного волоконного шнура FC/UPC-SC/UPC «Оптический выход» электронного блока «Блок питания излучателя» и оптический вход № 1 коммутационной коробки (оптическая розетка SC/UPC).

10. С помощью второго переходного одномодового шнура FC/UPC-SC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) попеременно соединяйте верхний ряд розеток SC/UPC второй коммутационной коробки (оптические выходы) со входом оптического тестера «Топаз-3000». Результаты измерений занесите в табл. 1.

Следует учесть, что из четырех световодов оптического кабеля с помощью сварки соединены только три. Поэтому в одном случае из четырех ни на одной из выходных розеток оптическая мощность не фиксируется.

Таблица 1.

Переходные ослабления между входами и выходами оптической линии. Величина оптической мощности на входе $P_{аб} =$ мВт

Вход	Выход 1	Выход 2	Выход 3	В ыход 4
1				
2				
3				
4				

11. Повторите действия, предусмотренные пп. 4-10, для нижнего ряда оптических розеток коммутационных коробок. В этом случае тестируется многомодовый кабель и для соединений, предусмотренных пп. 4-10, следует использовать многомодовые волоконные шнуры (оранжевый цвет оболочки).

2. Исследование характеристик разветвителя 1x2

Широко распространенным элементом волоконно-оптических линий является разветвитель – устройство на основе волоконных световодов, осуществляющее распределение оптической мощности от одного источника на два или более направлений (сплиттер - splitter). Обычно такое устройство имеет один вход и два выхода (рис. 3). Применяется также устройство, имеющее два входа и один выход, на котором суммируется оптическая мощность, поступающая по двум световодам.

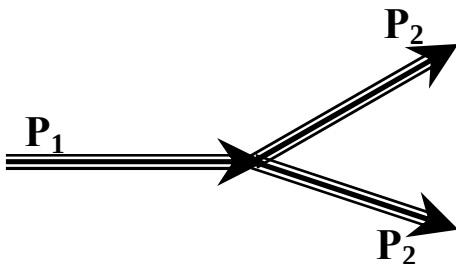


Рис. 3. Деление мощности оптического излучения в сплиттере

Основной характеристикой разветвителя являются коэффициенты разветвления, определяемые отношением мощности в одном из выходных световодов к мощности во входном:

$$a_{12} = P_2 / P_1, \quad (1)$$

$$a_{13} = P_3 / P_1. \quad (2)$$

Количественно оценивается также однородность разветвителя, показывающая, в каком отношении мощность, поступившая на его вход, делится между выходными световодами:

$$a_{23} = P_3 / P_2 \quad (3)$$

1. Установите органы управления электронного блока «Блок питания излучателя» в исходное положение:

- ручку потенциометра «Регулировка» – в крайнее положение против часовой стрелки;
- кнопочный переключатель «Режим» - в положение «мощность», для чего нажмите кнопку с соответствующей подписью.

При данном положении органов управления электронный блок обеспечивает непрерывное немодулированное оптическое излучение на оптическом выходе. Его мощность регулируется потенциометром

«Регулировка». На цифровом табло отображаются показания, пропорциональные фототоку встроенного в лазерный модуль контрольного фотодиода.

2. Проверьте работоспособность лазера. Для этого поверните по часовой стрелке ручку потенциометра «Регулировка». Показания на цифровом табло должны увеличиваться, что свидетельствует об исправности лазера.

3. Установите кнопочный переключатель «Режим» в положение «Ток», для чего нажмите кнопку с соответствующей подписью. При этом на цифровом табло отображается значение тока, протекающего через лазерный диод.

4. С помощью одномодового шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) соедините «оптический выход» электронного блока «Блок питания излучателя» с входом оптического тестера «Топаз-3000».

5. Включите оптический тестер «Топаз-3000» и переведите его в режим измерения абсолютных значений мощности, нажимая кнопку «mW, dbm, db» на его лицевой панели. Установите тестер в режим измерений на длине волны 1,3 мкм, нажимая кнопку «λ» на его лицевой панели. При необходимости используйте описание прибора «Топаз-3000».

6. Установите с помощью потенциометра «Регулировка» электронного блока «Блок питания излучателя» величину оптической мощности примерно 0,5 мВт по прибору «Топаз-3000». Зафиксируйте это значение в соответствующей графе таблицы 2. При дальнейших измерениях это значение не должно изменяться.

7. Установите режим работы оптического тестера, соответствующий измерению мощности в относительных единицах (измерение затухания), нажав необходимое количество раз кнопку «mW, dbm, db». После этого нажмите кнопку «Установка нуля» на пульте тестера. При этом уровень оптической мощности, поступающий на вход прибора, принимается за нулевой. На его дисплее появляется значение 0дБ.

8. Отсоедините оптический разъем волоконного шнура FC/UPC-FC/UPC от входа оптического тестера «Топаз-3000» и соедините его с соединительной розеткой 1 FC/SPC – FC/SPC на плате 7 (рис. 1), к которой присоединен коннектор входного световода оптического делителя. Относительный уровень мощности, поступающей в первый световод, в этом случае $P_1 = 0$ дБ.

9. Соединяя попеременно розетки 2 и 3 на плате 7 с помощью одномодового волоконного шнура FC/UPC-FC/UPC (желтый цвет защитной оболочки) с входом оптического тестера, проведите измерение

относительного уровня мощности во втором и третьем световоде (P_2 и P_3 соответственно). Измеренные значения занесите в табл. 2.

Таблица 2.

**Результаты измерения относительных уровней мощности
в выходных световодах разветвителя**

$P_1 = 0$ дБ	$P_2 =$	$P_3 =$
$P_1 =$	$P_2 = 0$ дБ	$P_3 =$
$P_1 =$	$P_2 =$	$P_3 = 0$ дБ

10. Подавая мощность во второй ($P_2 = 0$ дБ) и третий ($P_3 = 0$ дБ) световоды разветвителя, проведите измерение относительного уровня мощности в остальных двух световодах разветвителя. Данные измерений занесите в табл. 2.

Контрольные вопросы

1. Как устроен сплавной биконический разветвитель? Что такое коэффициент разветвления и почему он зависит от длины волны излучения?
2. Какими параметрами характеризуется оптический разветвитель?
3. Что такое «звездообразные разветвители» и в каких ситуациях они применяются?
4. Какие разветвители называются комбайнерами, а какие – сплиттерами?

Библиографический список

1. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. М., 2003. С. 25 – 39.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2007. С. 79 – 87.