

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

Методические указания
по проведению лабораторных работ
по дисциплине

ВОСП С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЛНОВОГО УПЛОТНЕНИЯ

Направление подготовки 11.03.02
Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль Мобильная связь и интернет вещей

Ростов-на-Дону
2022

Методические указания
по проведению лабораторных работ
по дисциплине

ВОСП С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЛНОВОГО УПЛОТНЕНИЯ

Составитель И.А. Енгибарян доцент кафедры ИТСС

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры «ИТСС»
Протокол от «19» декабря 2022 г., №5

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 Изучение основных принципов работы оптических рефлектометров. Режимы работы.

Лабораторная работа № 2 Определение оптических интерфейсов на основе рекомендаций МСЭ-Т G.957 и G.961. Выбор аппаратуры ВОСП СЦИ и типа оптического кабеля.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ОПТИЧЕСКИХ РЕФЛЕКТОМЕТРОВ. РЕЖИМЫ РАБОТЫ.

1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1.1. СОСТАВ УСТАНОВКИ

Моделируемая лабораторная установка (рис.1.1) состоит из универсального оптического рефлектометра (ОР), сварочного аппарата (СА) и двух однородных отрезков волоконных световодов (ВС1 и ВС2). Предусмотрены возможности подключения ОР к волоконному тракту (ВТ) с любой стороны (ВС1+ВС2) или (ВС2+ВС1) и отключения ОР от ВТ.

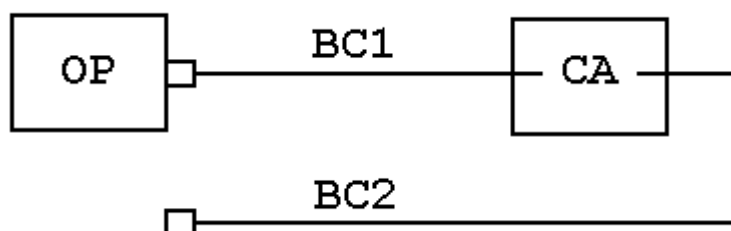


Рис.1.1. Структурная схема лабораторной установки

1.2. ОПТИЧЕСКИЙ РЕФЛЕКТОМЕТР

Оптический рефлектометр (ОР) состоит из четырех сменных оптоэлектронных блоков и электронного блока обработки сигналов обратного рассеяния. В комплект ОР входят следующие оптоэлектронные блоки:

- для многомодовых ВС (МВС) с длиной волны $\lambda=0.85$ мкм;
- для МВС с $\lambda=1.3$ мкм;
- для одномодовых ВС (ОВС) с $\lambda=1.3$ мкм;
- для ОВС с $\lambda=1.55$ мкм.

Структурная схема (рис.1.2) оптоэлектронного блока, подключенного к ВТ с помощью направленного ответвителя (НО), содержит:

- стабилизированный по мощности источник коротких оптических импульсов (ИИ);
- фотоприемное устройство (ФПУ).

Источник излучения (ИИ) включает: лазерный диод (ЛД) с встроенным фотодиодом (ФД) и систему стабилизации выходной оптической мощности, состоящую из усилителя тока накачки (УТН), источника опорного тока (ИОТ) и усилителя тока ошибки (УТО).

ФПУ включает: лавинный фотодиод (ЛФД) со стабилизированным источником питания (ИП), усилитель фототока (УФТ) и усилитель напряжения (УН).

Периодическая последовательность коротких импульсов напряжения поступает из блока обработки на один вход УТН, который преобразует входное напряжение в ток накачки ЛД. Для стабилизации выходной оптической мощности используется датчик - встроенный ФД, фототок которого поступает на один вход УТО, который преобразует разность фототока

и опорного тока от ИОТ в напряжение стабилизирующей отрицательной обратной связи, поступающее на второй вход УТН.

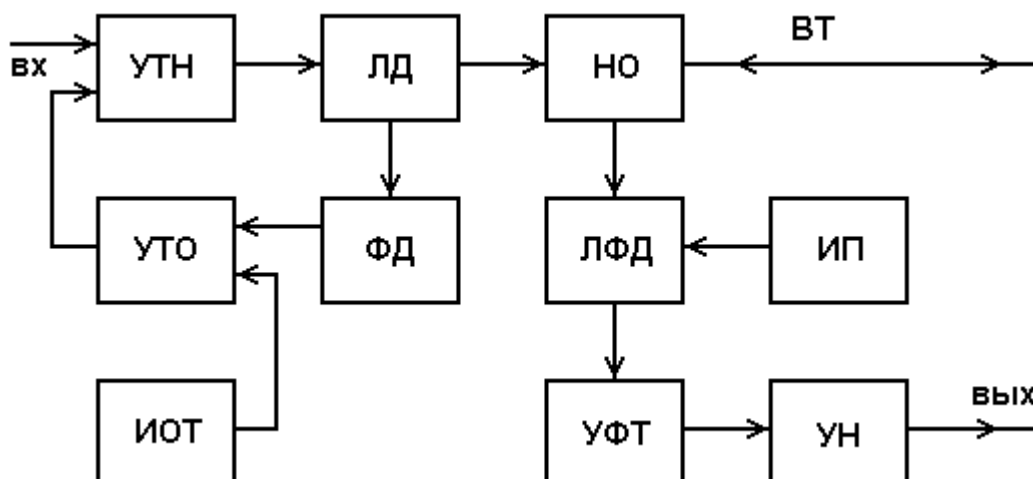


Рис.1.2. Структурная схема оптоэлектронного блока

Оптические импульсы через НО поступают в исследуемый ВТ. Обратно рассеянное излучение и отраженные от неоднородностей ВТ оптические импульсы через НО поступают на вход ЛФД, где преобразуются в фототок. Последний в УФТ преобразуется в напряжение и усиливается в УН. Коэффициент УН можно изменять при настройке ОР.

Структурная схема электронного блока ОР (рис.1.3) включает генератор импульсов (ГИ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микропроцессорное устройство управления (МПУУ) и устройство отображения (УО).

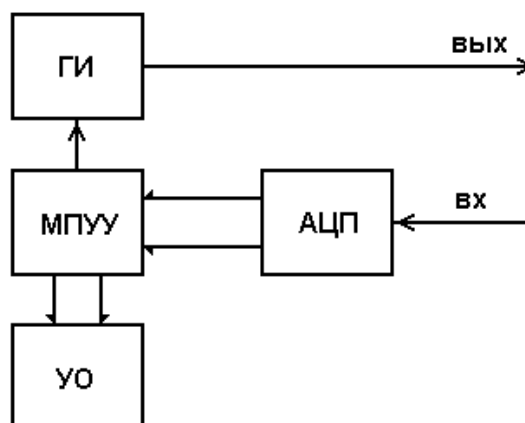


Рис.1.3. Структурная схема электронного блока обработки ОР

УО выполняется на основе электронно-лучевой трубки или жидко-кристаллической панели. МПУУ управляет работой АЦП и позволяет осуществлять накопление и запоминание сигналов обратного рассеяния от различных точек ВТ.

1.3. ПРИНЦИП НАКОПЛЕНИЯ СИГНАЛА ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Для накопленного сигнала $U_N(l)$, обусловленного участком ВТ, расположенном на расстоянии l от начала ВТ, можно записать

$$U_N(l) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U_s(l) + U_{ni}), \quad (1.1)$$

где N - число накоплений сигнала в данной точке;

$U_s(l)$ - полезный сигнал в данной точке рефлектограммы;
 U_{ni} - отсчет шума при i накоплении.

Т.к. шум на выходе ФПУ является случайной величиной со среднеквадратическим отклонением (СКО) σ , то отношение сигнала к шуму на выходе ФПУ составляет

$$S/N_f = \frac{U_s(l)}{\sigma}. \quad (1.2)$$

После N накоплений отношение сигнала к шуму возрастает пропорционально \sqrt{N}

$$S/N_N = \frac{U_N(l)}{\sigma_N} = [S/N_f] \sqrt{N}. \quad (1.3)$$

Числом накоплений в ОР можно управлять.

Динамический диапазон ОР, который представляет собой выраженное в логарифмических единицах отношение сигнала обратного рэлеевского рассеяния при $l=0$ к шуму

$$D_N = 5 \cdot \lg \frac{U_N(0)}{\sigma_N} = 5 \cdot \lg \frac{U_s(0)}{\sigma_n} + 2.5 \cdot \lg(N) \quad (1.4)$$

за счет накопления возрастает на $2.5 \lg(N)$ дБ.

Динамический диапазон ОР зависит также от длительности зондирующего импульса t_i . Если известен динамический диапазон D_0 при длительности импульса t_{i0} , оценить в первом приближении динамический диапазон D при другой длительности импульса t_i можно по выражению

$$D = D_0 + 5 \cdot \lg \frac{t_i}{t_{i0}}. \quad (1.5)$$

Типичная рефлектограмма сигнала обратного рассеяния для ВТ приведена на рис. 1.4.

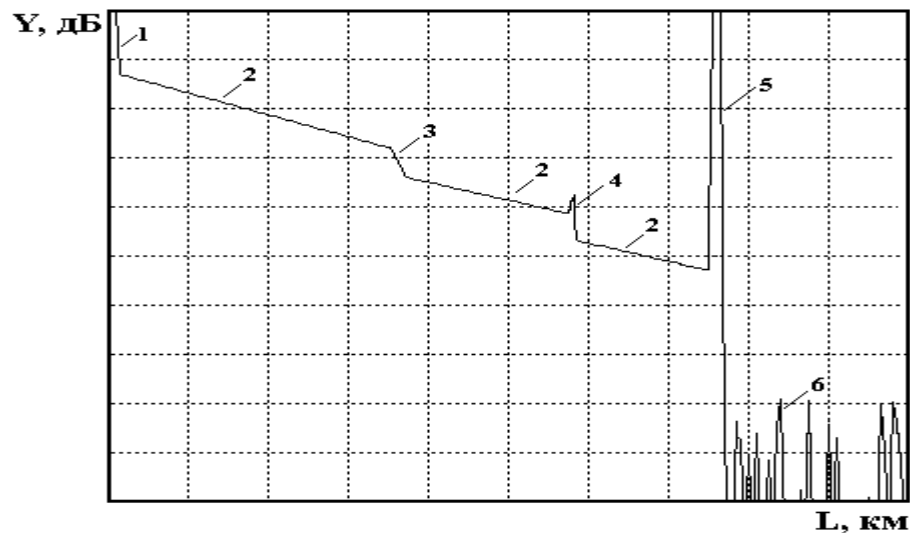


Рис.1.4. Сигнал обратного рассеяния

На ней можно выделить однородные участки (2) ВТ (без неоднородностей) с постоянным коэффициентом затухания α , на которых СОР после логарифмирования выглядит, как прямая линия, наклон которой определяет коэффициент затухания.

Наряду с линейным изменением уровня СОР на рефлектограмме имеются особенности, обусловленные различными неоднородностями. Начальный выброс сигнала (1) вызван френелевским отражением от входного торца исследуемого ВС. Как правило, он вводит ФПУ в насыщение, а время выхода из него определяет важный параметр ОР - мертвую зону, т.е. расстояние Δl_m , на котором невозможно обнаружить неоднородности и измерить коэффициент затухания.

Выброс сигнала с перепадом затухания (4) возникает при наличии в тракте разъемного соединителя, а также при наличии в волокне маленьких включений инородных примесей или пузырьков воздуха. Такие отражения характеризуются возвратными потерями, которые могут быть рассчитаны по выражению:

$$a_B = -10 \cdot \lg R, \quad (1.6)$$

где R - коэффициент отражения.

Коэффициент отражения для границы раздела кварц/воздух достигает значительной величины 4% при угле падения 0° . Однако, если поверхность скошенная, неровная или загрязненная, коэффициент отражения может иметь значительно меньшую величину, и отражение от обрыва или заднего торца ВТ не всегда можно обнаружить.

Неразъемные соединения (сварные, клеевые и механические сростки волокон), в которых обычно отсутствуют отражения, отображаются на рефлектограмме ступенькой (3). Конец ВТ или его обрыв определяется по отраженному от заднего торца импульсу (5) и следующему за ним участку (6) с резкими случайными перепадами уровня регистрируемого сигнала, обусловленных шумами ФПУ.

2. УПРАВЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ

2.1. ОСНОВНОЕ МЕНЮ

Основное меню содержит следующие пункты (режимы работы): «Помощь», «Вариант», «Параметры», «Рефлектограмма», «Сварка», «Подключение», «Настройка» и «Выход». После запуска программы, выбрав пункт горизонтального меню «Вариант» курсорными клавишами устанавливается указанный преподавателем вариант задания. На экран выведены параметры ОР, заданные по умолчанию. Изменение пунктов основного меню осуществляется горизонтальными курсорными клавишами. Обращение к выбранному пункту осуществляется клавишей «Enter».

2.2. ЗАПУСК ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Режим «Рефлектограмма» позволяет запустить ОР на регистрацию рефлектограммы. Основной целью выбора и задания параметров ОР является получение наглядной рефлектограммы, по возможности свободной от шумов, и по которой можно определять параметры исследуемого волоконного тракта и самого ОР.

2.3. ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОР

Режим **"ПАРАМЕТРЫ"** позволяет выйти в подменю, каждый пункт которого предназначен для установки определенного параметра ОР. Для перемещения по подменю используются вертикальные курсорные клавиши. Выбор устанавливаемого параметра подтверждается клавишей «Enter». Для установки конкретного значения выбранного параметра также используется подменю, управляемое курсорами. Выбранное значение параметра подтверждается клавишей «Enter». После установки значений всех параметров для выхода в главное меню нажмите клавишу «Enter» при выборе пункта подменю **"Выход"**.

При установке **"Коэффициента усиления"** изменяется коэффициент передачи УН в ФПУ в пределах от 0.3 до 10000. При этом изменяется расположение рефлектограммы на экране в логарифмическом масштабе, но не меняется отношение сигнала к шуму.

При установке **"Длительности импульса"** вместе с изменением длительности импульса в пределах от 20 до 5000 нс изменяется также уровень сигнала обратного рассеяния. Причем с увеличением длительности уровень сигнала обратного рассеяния растет, а уровень френелевских сигналов и уровень шума практически не изменяются. При изменении длительности изменяется расположение рефлектограммы на экране в логарифмическом масштабе и отношение сигнала к шуму.

При установке **"Длины участка"** горизонтальная шкала ОР имеет протяженность 1, 5, 25 и 125 км.

При установке **"Длины волны"** изменяется тип оптико-электронного блока. При этом для длины волны $\lambda=1.3$ мкм необходимо выбрать также и тип оптического разъема 50/125 мкм или 9/125 мкм в пункте меню **"Оптический разъем"**. Для других длин волн оптический разъем и длина волны связаны однозначно. Поэтому достаточно задать только длину волны.

При установке **"Режима работы"** можно выбирать между линейным масштабом по оси Y и логарифмическим. Второй режим работы удобнее при измерениях затухания и потерь. Шкала градуируется непосредственно в дБ. В линейном режиме по вертикальной оси откладывается величина напряжения сигнала в Вольтах на выходе ФПУ. После выбора режима работы в этом же пункте выбирается цена деления вертикальной шкалы дБ/дел в логарифмическом масштабе (в пределах от 0.25 до 2.5 дБ/дел) и в В/дел в линейном масштабе (в пределах от 1 мВ/дел до 1.0 В/дел).

При установке **"РЕЖИМА НАКОПЛЕНИЙ"** можно выбирать между **последовательным** и **параллельным** накоплением сигнала обратного рассеяния.

- В первом случае в каждом измерительном периоде измеряется сигнал только в одной точке рефлектограммы. В каждой точке проводится N измерений (N может изменяться от 10 до 1000). После чего начинается регистрация другой точки.

Общее время регистрации T_r прямо пропорционально числу регистрируемых точек M и числу накоплений в каждой точке N

$$T_r = N \cdot M \cdot T_0 = \frac{N \cdot M}{F_0}, \quad (2.1)$$

где $T_0 = 1/F_0$ - период следования зондирующих импульсов.

- Во втором случае в каждом измерительном периоде измеряется сигнал ото всех точек рефлектограммы. Число накоплений N может изменяться от 2000 до 2000000. Общее время регистрации не зависит от числа регистрируемых точек M и составляет

$$T_r = N \cdot T_0 = \frac{N}{F_0}. \quad (2.2)$$

Отметим, что параллельное накопление организовать технически сложнее чем последовательное. Кроме того, его реализация требует применения большего количества быстродействующих микросхем, что приводит также к увеличению энергопотребления. При работе на установке помните, что с увеличением числа накоплений N резко возрастает время измерения, особенно при последовательном накоплении.

2.4. УПРАВЛЕНИЕ СВАРОЧНЫМ АППАРАТОМ

Режим **"СВАРКА"** позволяет войти в подменю, состоящее из двух пунктов: **"Сварка"** и **"Скол"**. При выборе пункта **"Сварка"** происходит сварка двух ВС, в последовательности указанной в режиме основного меню **"ПОДКЛЮЧЕНИЕ"**. При выборе пункта **"Скол"** сварка, если она была перед этим сделана, разрушается и на рефлектограмме можно видеть только один ВС.

2.5. УПРАВЛЕНИЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕМ

Режим **"ПОДКЛЮЧЕНИЕ"** позволяет выйти в подменю, состоящее из трех пунктов: **"ВС1+ВС2"**, **"ВС2+ВС1"** и **"Нет подключения"**. Выбирая первый или второй, можно подключить ОР с любой стороны ВТ. При установке третьего пункта можно наблюдать отражение от границы раздела ВС/воздух.

Режим **«НАСТРОЙКА»** предназначен для выбора вывода на экран монохромного или цветного изображения, для включения и выключения звуковых эффектов, для подстройки программы под быстродействие компьютера. Для подстройки с помощью курсорных клавиш изменяется задержка.

2.7. ПОЛЬЗОВАНИЕ КУРСОРАМИ

Для измерения уровней сигналов обратного рассеяния и расстояний до соответствующих точек используются два вертикальных курсора, которые перемещаются с помощью курсорных клавиш клавиатуры: левый курсор – клавишами → и ←, правый – клавишами ↑ и ↓.

Отсчеты расстояний в км и сигналов обратного рассеяния в дБ находятся под экраном с рефлектограммой. Там же приводится расстояние между курсорами и разность сигналов обратного рассеяния.

Предусмотрена возможность подробного изучения фрагмента рефлектограммы, находящегося между курсорами, с помощью нажатия большой клавиши пробела. Этот режим работы называют «электронной лупой» или «окном». Режим используется для повышения точности измерения расстояний и вносимого неоднородностями затухания.

Операция выделения фрагмента может выполняться и для уже выбранного фрагмента. Возврат к исходной рефлектограмме «обзор» осуществляется через пункт меню «Параметры».

2.8. ПОМОЩЬ

В режиме «ПОМОЩЬ» содержатся некоторые сведения по управлению лабораторной установкой.

3. ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ВС И ПОТЕРЬ НА ВВОДЕ

В настоящее время в оптических кабелях дальней связи используют волоконные световоды (ВС) с кварцевыми сердцевинами и оболочкой двух основных типов: одномодовые ВС (ОВС) и многомодовые ВС (МВС) с градиентным профилем показателя преломления. Они имеют одинаковый диаметр оболочки $2b = 125 \text{ мкм}$, но разный диаметр сердцевины $2a = 50 \text{ мкм}$ для МВС и $2a = 8-10 \text{ мкм}$ для ОМВ. Конструкции оптических разъемов для различных ВС практически одинаковы, что приводит к возможности неправильного подключения ВС к оптическому рефлектометру (ОР). Например, подключение ОВС к многомодовому выходу ОР или подключение МВС к одномодовому выходу ОР приводит к большим потерям на вводе или выводе излучения, уменьшению полезного сигнала и ухудшению отношения сигнала к шуму. Причем большие потери возникают только при переходе излучения из МВС в ОВС. Потери в первом приближении определяются отношением площадей сердцевины соединяемых ВС (или квадратов радиусов) и отношением числовых апертур. Дополнительные потери на вводе/выводе излучения при неправильном соединении ВС можно оценить по выражению

$$a_d = 10 \cdot \lg \left[\frac{r_m \cdot NA_m}{r_o \cdot NA_o} \right], \text{ дБ} \quad (3.1)$$

где r_m, r_o – радиусы МВС и ОВС, соответственно;

NA_m, NA_o – числовые апертуры МВС и ОВС, соответственно.

Для экспериментального определения типа ВС и величины дополнительных потерь за счет неправильного выбора оптического блока необходимо провести измерения уровней сигнала Y_s на определенном расстоянии и шума Y_n за пределами ВС на длине волны $\lambda = 1.3 \text{ мкм}$ при двух типах оптических разъемов ОР (многомодовом 50/125 мкм и одномодовом 9/125 мкм).

Предварительно установите следующие режимы работы лабораторной установки:

- подключение - (BC1+BC2);
- сварка - (скол)

и следующие параметры ОР:

- коэффициент усиления - (100);
- длительность импульса - (500 нс);
- длину волны - (1.3 мкм);
- режим просмотра - (обзор);
- максимальное расстояние - (25 км);
- режим работы - (логарифмический);
- цена деления по вертикали - (2.5 дБ/дел);
- оптический разъем - (многомодовый 50/125 мкм);
- режим накопления - (параллельный);
- число накоплений - (2000).

Тип подключенного к ОР световода соответствует тому оптическому разъему, при котором уровень сигнала при одном и том же расстоянии больше. **Измерения должны проводиться с помощью курсора в таких точках, в которых насыщение ФПУ отсутствует.**

Для измерения уровня шума курсором выбирается максимальный шумовой всплеск на рефлектограмме за пределами ВС. Тогда потери на вводе/выводе при несоответствии ВС и оптического блока ОР составят

$$a_d = |Y_{sm} - Y_{so} + Y_{nm} - Y_{no}|, \quad (3.2)$$

где индексы "m" и "o" означают МВС и ОВС, соответственно,
индексы "s" и "n" означают сигнал и шум, соответственно.

Зарисуйте рефлектограммы ВС конечной длины в логарифмическом и линейном масштабах. Обратите внимание на различие их форм, а также на различный характер шума. Укажите в отчете тип используемого ВС и рассчитанное по экспериментальным данным значение потерь на вводе.

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВС1 И ВС2

После определения типа ВС установите в режиме «**Параметры**» длину волны $\lambda = 1.3$ мкм и соответствующий световоду тип оптического разъема.

Подключите выбранный ВС и проверьте, что в режиме «Сварка» включен "скол".

Изменяя длительность импульса, длину участка, добейтесь получения рефлектограммы, на которой видны: импульс отраженный от переднего торца ВС, участок однородного ВС, импульс отраженный от заднего торца ВС и шумы за пределами ВС.

При изменении параметров ОР учитывайте следующее:

- при изменении коэффициента усиления ФПУ отношение сигнала к шуму не изменяется;
- при увеличении длительности импульса возрастает сигнал обратного рассеяния, отношение сигнала к шуму, а отраженный импульс и шумовое напряжение практически не изменяется;
- при увеличении числа накоплений уменьшается шумовое напряжение, возрастает отношение сигнала к шуму, а сигнал обратного рассеяния не изменяется.

3.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВС

Для определения длины ВС используйте любой из двух курсоров. Длина ВС соответствует началу импульса, отраженного от заднего торца ВС.

Подводите курсор слева к импульсу отраженному от заднего торца ВС. За начало импульса принимается последняя точка, после которой начинается увеличение сигнала.

Для увеличения точности необходимо перейти в режим (окно). Выделите с помощью первого и второго курсоров участок ВС, который содержит отраженный от конца ВС импульс. Точность определения расстояний возрастает с уменьшением длительности импульса.

3.2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ

Для определения коэффициента затухания на однородном участке ВС необходимо с помощью курсоров выбрать две точки, отстоящие друг от друга на известное расстояние $\Delta L = L_2 - L_1$, например 1 км и определить в них уровни сигналов Y_{s1} и Y_{s2} . Тогда коэффициент затухания

$$\alpha = \frac{Y_{s1} - Y_{s2}}{\Delta L}, \text{ дБ/км} \quad (3.3)$$

Общее затухание на однородном участке можно определить по выражению

$$a = \alpha \cdot L, \text{ дБ}, \quad (3.4)$$

а также как разность уровней сигнала между двумя курсорами, совмещенными с интересующими нас точками. Для повышения точности измерений Y_s необходимо уменьшить цену деления по оси Y .

3.2.3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Проведите измерения длины ВС1 и ВС2 (при одной длине волны $\lambda = 1.3 \text{ мкм}$). Измерения коэффициента затухания проводятся на двух длинах волн, которые используются с данным типом ВС, например для МВС на $\lambda = 0.85$ и 1.3 мкм , а для ОВС на $\lambda = 1.3$ и 1.55 мкм . Результаты измерений и расчетов внесите в таблицу 3.1.

ТАБЛИЦА 3.1

$\lambda, \text{мкм}$	ВС	$L, \text{км}$	$Y_{s1}, \text{дБ}$	$Y_{s2}, \text{дБ}$	$\Delta L, \text{км}$	$\alpha, \text{дБ/км}$	$a, \text{дБ}$
1.3	ВС1						
	ВС2						
	ВС1	-					
	ВС2	-					

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ МЕРТВОЙ ЗОНЫ

"Мертвая зона" образуется из-за насыщения ФПУ. В этой зоне невозможно проведение измерений, в частности невозможно обнаружить даже отражение от обрыва ВС.

Для измерения ширины "мертвой зоны" L_{mz} необходимо выбрать начальный участок рефлектограммы с первым курсором, установленным на расстояние $L_0 = 0$.

Ширину "мертвой зоны" определяют с помощью второго курсора, наблюдая за уровнем сигнала. Конец зоны соответствует началу рассеянного сигнала. Измерения можно провести для одного ВС, который надо указать в отчете. Результаты измерений ширины "мертвой зоны" в зависимости от длительности импульса и длины волны поместите в таблицу 3.2.

ТАБЛИЦА 3.2

$\lambda, \text{мкм}$	$L_{mz}, \text{км при } T_{i,nc}$				
1.3	20	50	100	500	2000

(!) При измерениях необходимо следить за тем, чтобы ФПУ не входило в насыщение от рассеянного сигнала. При этом должно быть четко видно отражение от переднего торца.

3.4. ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

Динамический диапазон определяет максимальное затухание волоконного тракта (ВТ), при котором отношение сигнала рассеянного от конца ВТ к шуму равно 1.

Для экспериментального определения динамического диапазона ОР необходимо измерить уровень сигнала обратного рассеяния от начала ВТ Y_s (сразу после импульса, отраженного от переднего торца ВТ) и уровень шума Y_n , определяемый по уровню максимального пика.

Динамический диапазон определяется по выражению

$$D = Y_s - Y_n, \text{ дБ} \quad (3.5)$$

Динамический диапазон определяется на длинах волн 0.85 и 1.3 мкм для многомодовых ВС и 1.3 и 1.55 для одномодовых ВС.

Результаты измерений динамического диапазона от длины волны λ , длительности импульса T_i и числа накоплений N внесите в таблицу 3.3.

ТАБЛИЦА 3.3

$\lambda, \text{мкм}$	N	2000			20000		
	$T_i, \text{нс}$	20	200	2000	20	200	2000
1.3	$D, \text{дБ}$						

3.5. ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ В СВАРКЕ

Измерения проводятся на длине волны $\lambda = 1.3 \text{ мкм}$. Установите последовательность подключения ВС (BC1 + BC2). Сварите волокна, включив режим "сварка". Убедитесь по рефлектограмме, что BC1 и BC2 сварены.

Для повышения точности измерений используйте режим электронной лупы (окно) и уменьшите цену деления по оси Y .

Для расположения участка рефлектограммы со сваркой посередине экрана ОР нужно изменять коэффициент усиления ФПУ и длительность зондирующего импульса.

Вносимые сваркой потери можно определить методом трех курсоров. В современных ОР для этих измерений все курсоры устанавливаются на рефлектограмме одновременно и расчет потерь проводится по заложенной в программное обеспечение ОР формуле. На рис.3.1 показана типичная рефлектограмма отражающей неоднородности, например разъёмного соединения.

Первый курсор устанавливают в точке, соответствующей концу BC1. Ему соответствуют расстояние l_1 и сигнал обратного рассеяния Y_1 . Курсоры 2 и 3 устанавливаются на однородном участке BC2. При этом фиксируют соответствующие уровни сигналов Y_2, Y_3 и расстояния l_2, l_3 .

За потери в соединении принимается разность уровней $Y_A = Y_1$ и Y_B . Точка А находится в точке начала стыка на расстоянии l_1 , а точка В находится на пересечении курсора 1 с прямой, аппроксимирующей сигнал обратного рассеяния на участке ВТ после соединения.

Аппроксимация производится по двум точкам, определяемым курсорами 2 и 3. Курсор 2 следует располагать непосредственно после стыка, в точке, которая лежит на линейном участке сигнала обратного рассеяния. Курсор 3 должен лежать, как можно дальше от стыка, но на линейном участке сигнала обратного рассеяния. Тогда для вносимых потерь в разъёмных и неразъёмных соединениях будет справедливо:

$$a_c = Y_1 - Y_2 \cdot \frac{l_3 - l_1}{l_3 - l_2} + Y_3 \cdot \frac{l_2 - l_1}{l_3 - l_2}. \quad (3.6)$$

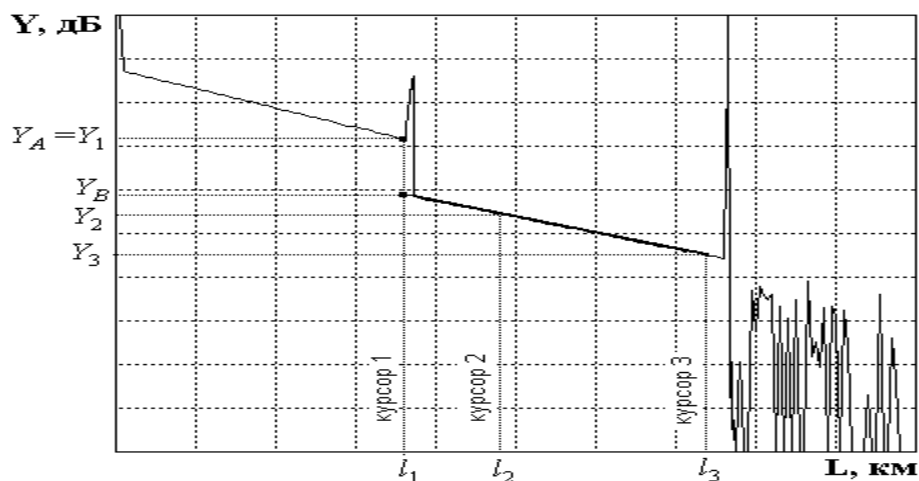
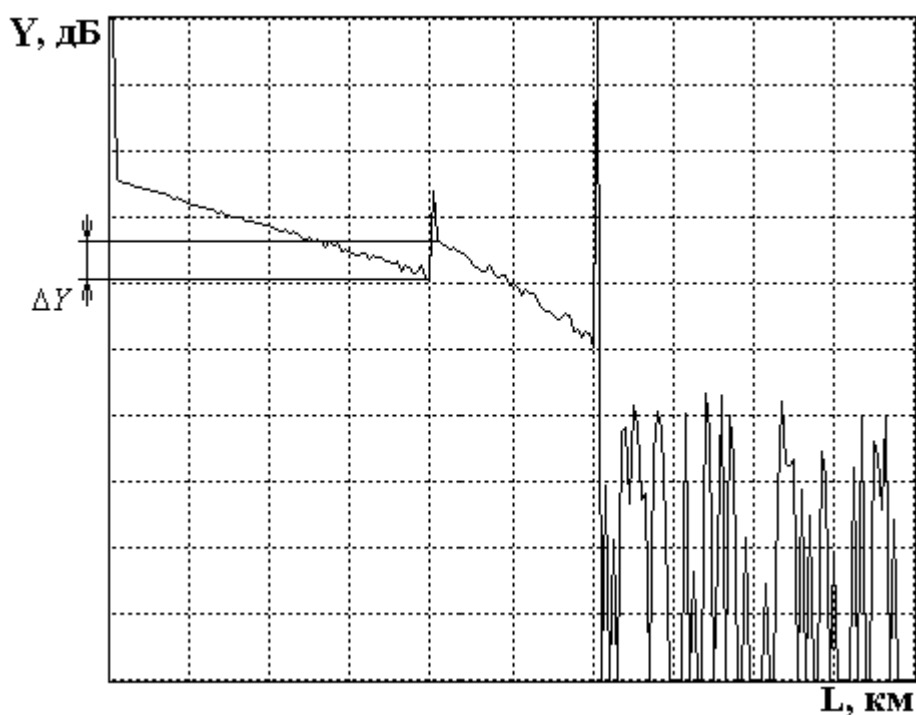


Рис. 3.1. Измерение вносимых потерь в соединении методом трех курсоров

Результат расчета потерь может в некоторых случаях иметь отрицательный знак. Отрицательные потери в сварке физически не возможны. Такой результат свидетельствует о том, что свариваемые ВС имеют разные значения коэффициентов рассеяния и (или) разные числовые апертуры. Причем уровень обратного рассеяния во втором ВС в этом случае, как правило, превышает соответствующий уровень в первом. Обычно при этом наблюдаются и значительные расхождения в коэффициентах затухания этих ВС. В связи с этим при измерении потерь в соединениях ВС с различными параметрами методом обратного рассеяния возникает методическая погрешность.

Для исключения этой погрешности необходимо проводить измерения с двух концов ВТ, т.е. провести два измерения потерь в стыке при подключениях (BC1+BC2) и (BC2+BC1).

На рис.3.2 показаны рефлектограммы, иллюстрирующие такую измерительную ситуацию.



a

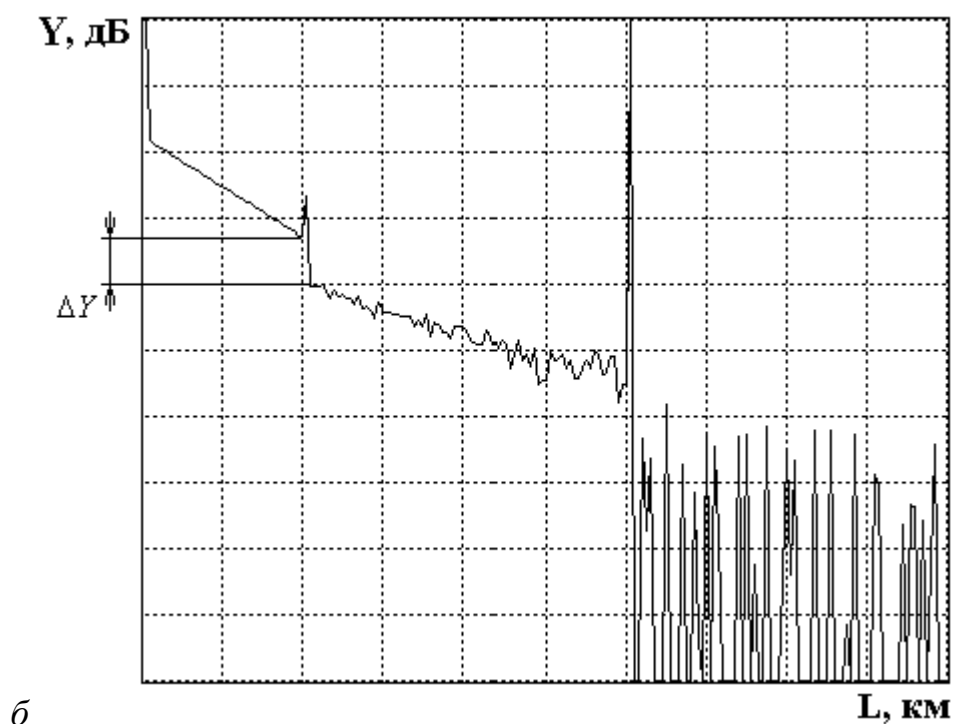


Рис.3.2. Рефлектограммы, зарегистрированные с обоих концов ВТ

Потери в стыке определяются по выражению

$$a_s = \frac{a_{s1} + a_{s2}}{2}, \quad (3.7)$$

где a_{s1} , a_{s2} - потери в стыке, измеренные с разных концов ВТ.

Для определения средних потерь \bar{a}_s при сварке ВС и их среднеквадратического отклонения (СКО) проведите многократные измерения (не менее 5) потерь в сварке. Для этого после измерения потерь в очередной сварке произведите скол ВС и повторную сварку. При возникновении аномальной сварки с большим френелевским отражением проводится повторная сварка, а аномальная сварка игнорируется. Средние потери \bar{a}_s и СКО $s(a_s)$ определяем по следующим выражениям:

$$\bar{a}_s = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{sj}, \quad s(a_s) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (a_{sj} - \bar{a}_s)^2}, \quad (3.8)$$

где j - номер сварки.

Результаты измерений и расчетов поместите в таблицу 3.4.

ТАБЛИЦА 3.4

№	Подк л	Экспериментальные данные						Рассчитан. величины			
		$L1$	$L2$	$L3$	Y_{s1}	Y_{s2}	Y_{s3}	a_{s1}	a_{s2}	a_s	$s(a_s)$
1	BC1										
	BC2										

2	BC1										
	BC2										
5	BC1										
	BC2										

3.6. ИЗМЕРЕНИЕ ВОЗВРАТНЫХ ПОТЕРЬ В НЕОДНОРОДНОСТИ

При сварке ВС существует некоторая вероятность возникновения дефектных сварок, которые представляют собой отражающие неоднородности, которые характеризуются возвратными потерями (1.6). В данной лабораторной установке примерно через пять успешных сварок появляется одна дефектная с отражением от места стыка ВС. Ее необходимо найти, несколько раз повторив процедуры сварки и скола ВС.

Для определения возвратных потерь с помощью ОР необходимо получить рефлектограмму (рис. 3.3), на которой виден выброс сигнала, обусловленный френелевским отражением Y_F в разъемном соединении. Этот выброс не должен вызывать перегрузку ФПУ, т.е. уровень Y_F должен лежать в пределах экрана ОР. Если этот уровень выходит за пределы экрана необходимо уменьшить коэффициент усиления ФПУ. Затем по рефлектограмме измеряют уровни сигнала обратного рассеяния Y_S и Y_F .

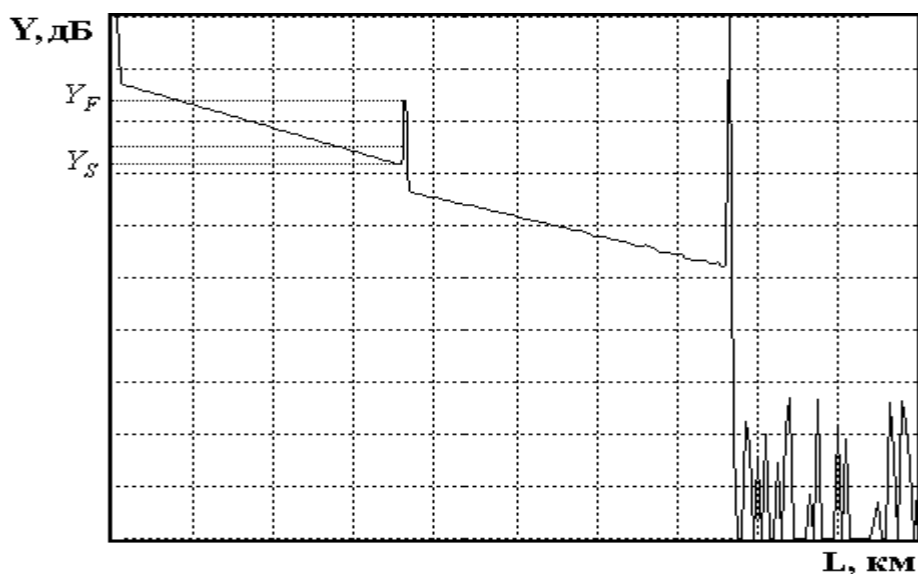


Рис. 3.3. Методика измерения возвратных потерь

Для расчета возвратных потерь по рефлектограмме используют выражение:

$$a_B = -2 \cdot Y_{s0} - 10 \cdot \lg \frac{t_i}{t_{i0}} - 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{Y_F - Y_S}{5}} - 1 \right), \quad (3.9)$$

где Y_{s0} - относительный уровень СОР при длительности зондирующего импульса t_{i0} ;

t_i - длительность зондирующего импульса, при которой была зарегистрирована рефлектограмма.

Для $t_{i0}=1$ нс типичные значения затухания обратного рассеяния Y_{s0} для стандартных ВС приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Тип ВС	Длина волны, мкм	Y_{s0} , дБ
МВС	0.85	-35
	1.3	-37.5
ОВС	1.31	-39.5
	1.55	-40.5

4.СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Упрощенную структурную схему оптического рефлектометра.
2. Результаты наблюдений и измерений по пунктам:
 - 2.1. Результаты измерений, расчета, **вывод о типе ВС и 2 рефлектограммы**;
 - 2.2. Результаты измерений и расчетов длины, коэффициента затухания и общего затухания двух ВС на двух длинах волн (**таблица 3.1**) ;
 - 2.3. Результаты измерений ширины мертвой зоны (**таблица 3.2**) ;
 - 2.4. Результаты измерения динамического диапазона ОР (**таблица 3.3**) ;
 - 2.5. Результаты многократных измерений потерь в сварке и результаты статистической обработки результатов наблюдений (**таблица 3.4**) .
 - 2.6. Результат измерения возвратных потерь.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ НА ОСНОВЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т G.957 И G.961. ВЫБОР АППАРАТУРЫ ВОСП СЦИ И ТИПА ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Цель работы:

1. Овладение навыками работы с оптическими измерительными приборами.
2. Овладение методикой измерения параметров оптических пассивных компонентов.
3. Измерение параметров оптических пассивных элементов.

Лабораторное оборудование.

1. Лабораторный стенд с оптическими пассивными компонентами.
2. Оптические измерительные приборы.

Лабораторное оборудование позволяет выполнить следующие работы:

1. Градуировка электронного блока «Источник оптического сигнала»
2. Измерение параметров разъёмных соединений оптических волокон.
3. Измерение параметров неразъёмных соединений оптических волокон.
4. Измерение параметров оптических аттенюаторов.
5. Измерение параметров оптического разветвителя.

Содержание отчётов по работам.

1. Название лабораторной работы
2. Цель работы
3. Состав оборудования
4. Схемы измерений
5. Таблицы с измеренными и рассчитанными величинами
6. Анализ результатов измерений

Оглавление.

1. Краткие теоретические положения	стр.4
2. Состав установки	стр.14
3. Измерительные приборы	стр.15
4. Порядок работы	стр.20
5. Список использованной литературы	стр.27

1.Краткие теоретические положения

В процессе строительства и эксплуатации волоконно-оптических сетей связи используется широкий спектр оптических пассивных компонентов (различные типы оптических соединителей, разветвителей, аттенюаторов и др.). По мере роста сложности и увеличения протяженности сетей роль оптических пассивных компонентов возрастает. В связи с этим возрастают требования к квалификации специалистов в области телекоммуникаций при решении задач проектирования и эксплуатации оптических сетей. В результате выполнения настоящей лабораторной работы студенты ознакомятся с конструкцией некоторых типов оптических пассивных компонентов, методикой измерения их основных параметров.

1.1 Разъемные соединители оптических волокон.

Оптические разъемные соединители (коннекторы) предназначены для многократного соединения/рассоединения концов двух оптических волокон (ОВ). Обычно они имеют конфигурации «вилка-розетка». Принцип организации такого соединения заключается в следующем (рис. 1.1):

- торцы стыкуемых ОВ очищаются до оболочки (диаметр 125 мкм для всех ОВ);
- очищенная часть 1 волокна помещается в наконечник 2 (диаметр 2,5 мм), фиксируясь с помощью эпоксидного компаунда. Наконечник может выполняться из металла или керамики;
- поверхность наконечника специальным образом обрабатывается и полируется;
- соединение торцов волокон осуществляется путём размещения наконечников двух стыкуемых волокон в центрирующей втулке 3 розетки;
- в соединённом состоянии торцы стыкуемых наконечников прижимаются друг к другу с определенным усилием с помощью соединительного механизма 4. Возникающая эластичная деформация обеспечивает физический контакт волокон.

Качество разъемного соединения характеризуется вносимыми и возвратными потерями.

Причинами вносимых потерь являются погрешности в геометрии ОВ (неконцентричность, эллиптичность, различие диаметров сердцевин) и в юстировке, воздушный зазор между торцами, загрязнение торцевых поверхностей и др.

Величина вносимых потерь равна:

$$A = -10 \lg P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}, \text{ дБ} \quad (1.1)$$

где $P_{\text{вых}}$ и $P_{\text{вх}}$ — мощность оптического излучения на выходе и входе оптического соединителя.

Основной причиной возвратных потерь является френелевское отражение излучения на границах диэлектрик-воздух и воздух-диэлектрик. Величина возвратных потерь равно:

$$R_{\text{в}} = -10 \lg P_{\text{от}}/P_{\text{вх}}, \text{ дБ} \quad (1.2)$$

где $P_{\text{от}}$ — мощность отраженного излучения.

Плоские торцы соединяемых наконечников не обеспечивают требуемых показателей качества соединения. Поэтому на практике применяется сферическое закругление торцов, обозначаемое PC (physical contact). Различают два типа закругления.

У первого типа сферическое закругление радиусом (0...25мм перпендикулярно оси волокна (рис.1.2.а)). В зависимости от вида полировки, каждому из которых соответствует определенный уровень обратного отражения, применяются обозначения:

- PC- нормальная полировка(коэффициент обратного отражения до -30дБ);
- SPC-суперполировка (до -40дБ);
- UPC-ультрополировка (до -50дБ).

У второго типа (рис.1.2.б) сферическое закругление радиусом 5...12мм расположено под углом 8...9 к оси волокна. Обозначение:

- APC- угловое (коэффициент обратного отражения до -70дБ);

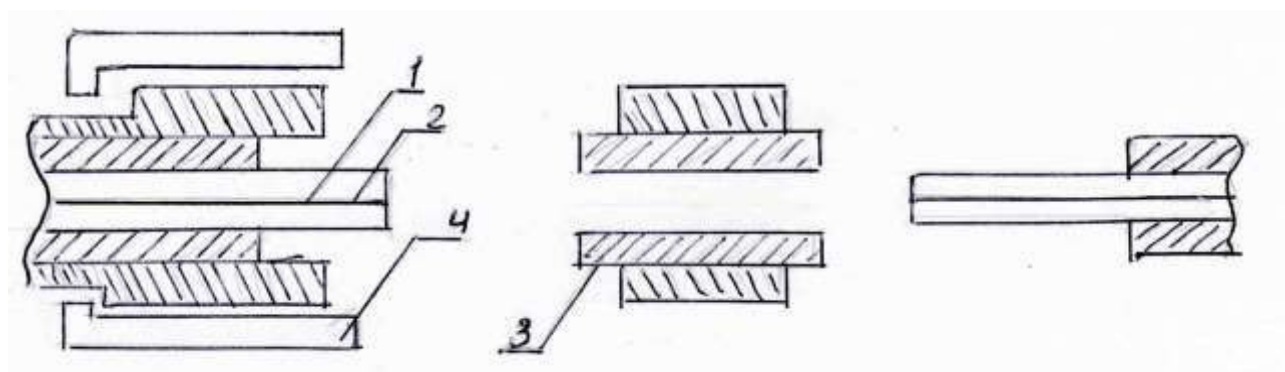


Рис 1.1

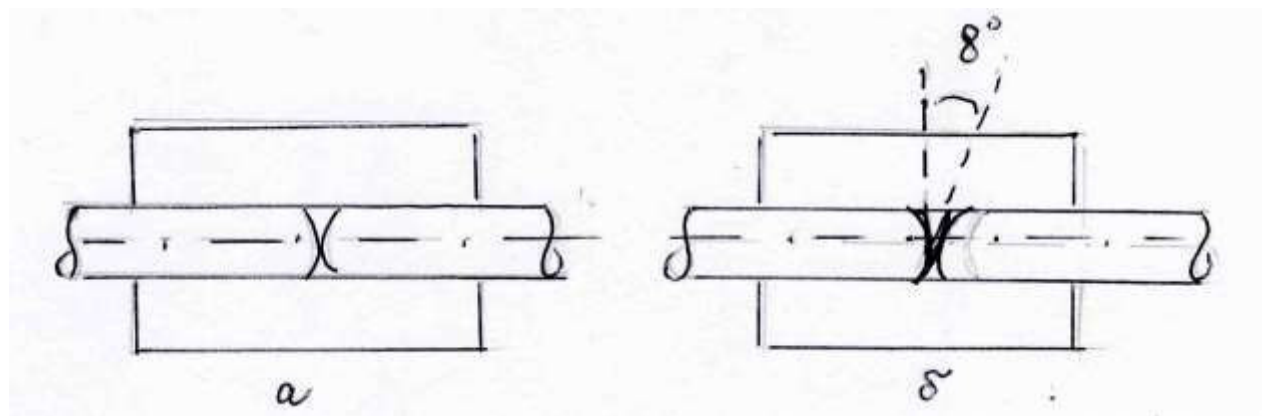


Рис 1.2

Для обеспечения физического контакта торцов применяются различные типы соединительных механизмов (соединителей). В настоящее время на сетях связи общего пользования используются в основном соединители типов:

-FC(Fiber connector)- закрепление вилки в розетке осуществляется с помощью накидной гайки с резьбой.

-SC(subscriber connector) - закрепление осуществляется с помощью защелкивающего механизма с фиксатором при линейном движении.

-ST- закрепление осуществляется с помощью гайки с байонетным креплением. Для стыковки гайка линейно продвигается вперед, затем проворачивается на 90.

Кроме указанных выпускаются многоконтактные соединители, которые могут быть выполнены с помощью скрепления однополосных соединителей (например, дуплекс-SC) или в виде самостоятельной конструкции.

Оптические розетки могут быть:

-соединительными(проходными)-для стыковки коннекторов одного типа (например, розетка FC/APC SM).

-переходными-для стыковки коннекторов разных типов (например, FC-ST/PC SM).

1.2 Неразъемные соединения.

Неразъемные соединения (сплайсы, сrostки) предназначены для постоянного соединения двух ОВ. Основной метод соединения-сварка. При этом выполняются следующие операции:

-снятие первичного защитного покрытия с использованием механического или химического способа;

-скалывание торцов ОВ. Основное требование-обеспечение перпендикулярности поверхности скола к оси ОВ;

-юстировка-сведение сердцевин ОВ по максимуму проходящего через стык сигнала или по профилю показателя преломления;

-сварка-обычно с помощью электрической дуги;

В современных сварочных аппаратах все основные операции выполняются автоматически.

Места соединений ОВ защищают одним из следующих способов:

- восстановление первичного защитного покрытия и заливка места стыка эпокидным компаундом;
- с помощью специальных гильз для защиты сростков (ГЗС).

ГЗС содержит (рис.1.3) трубку 1 из материала высокой текучести, металлический стержень 2 и термоусаживаемую трубку 3. Перед сваркой ГЗС одевается трубкой 1 на один из концов свариваемого ОВ. После сварки ее надвигают на место сварки и нагревают. При этом материал высокой текучести расплавляется и уплотняется вокруг ОВ. Термоусаживаемая трубка усаживается, скрепляя всю конструкцию. Затем ГЗС размещаются на кассетах в оптических муфтах или кроссовых шкафах.

Качество сварных соединений оценивается вносимым затуханием.

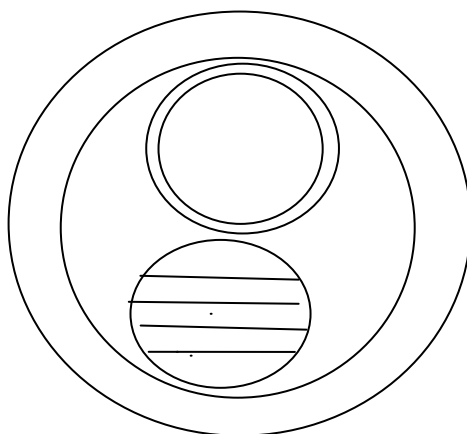


Рис 1.3 Гильза для защиты сростков.

1.3 Механические соединения.

Механическое соединение используется обычно для временного однократного соединения ОВ. Основными элементами механического соединителя являются:

- элемент для юстировки торцов соединяемых волокон;
- элемент, фиксирующий отъюстированные волокна;
- материал (гель, смазка, жидкость и т.д.) с согласующим показателем преломления.

Для юстировки могут использоваться элементы с V-образными пазами для размещения волокон и трубки с прецизионными отверстиями.

1.4 Оптические разветвители.

Оптический разветвитель предназначен для разделения оптического излучения из одного ОВ на несколько или объединения оптических излучений из нескольких ОВ в одно волокно. В общем случае оптический разветвитель представляет собой многопортовое устройство, которое может быть представлено в виде матрицы передачи разветвителя. Матрица передачи-матрица, номера строк которой соответствуют номерам входных портов, номера столбцов-номерам выходных портов, а элементы матрицы представляют собой коэффициенты передачи между соответствующими входными и выходными портами при заданном подключении.

Различают следующие виды разветвителей:

- направленные, в которых коэффициент передачи между оптическими портами зависит от направления излучения;
- ненаправленные, в которых коэффициент передачи между оптическими портами не зависит от направления излучения;
- спектрально-селективные, в которых коэффициент передачи между оптическими портами зависит от длины волны оптического излучения.

По технологии изготовления разветвители подразделяются на 2 типа:

- сплавные, образованные путём сплавления двух или более ОВ;
- планарные, изготовленные по тонкоплёночной технологии на кристалле кремния, к торцам которого пристыковываются ленточные ОВ.

Разветвители могут оконцовываться разъемами различных типов.

На практике широкое применение находят разветвители X-типа $2 \times N$ (два входных и N выходных портов) и Y-типа $1 \times N$ (один входной порт и N выходных). В состав лабораторной установки входит разветвитель Y-типа 1×2 (рис.1.4), матрица передачи которого представлена таблицей 1, где P_i – мощности излучения, поступающих на i -й входной или выходной порт, K_{ij} – коэффициенты передачи с порта i на порт j .

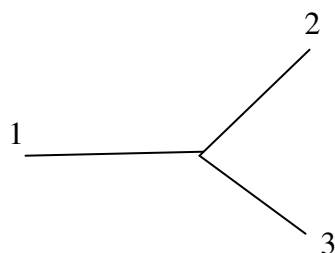


Рис 1.4 Оптический разветвитель Y-типа 1×2 .

Таблица 1. Матрица передачи оптического разветвителя 1×2 .

Входной порт	Выходные порты		
	1	2	3
1	-	$K_{12}=10 \lg(P_2/P_1)$	$K_{13}=10 \lg(P_3/P_1)$
2	$K_{21}=10 \lg(P_1/P_2)$	-	$K_{23}=10 \lg(P_3/P_2)$
3	$K_{31}=10 \lg(P_1/P_3)$	$K_{32}=10 \lg(P_2/P_3)$	-

К основным параметрам оптического разветвителя также относятся:

- коэффициент разветвления, характеризующий распределение мощности излучения между выходными портами. Так если входным является порт 1, то коэффициенты разветвления определяются по формулам:

$$K_{p23} = P_2/(P_2 + P_3) ; K_{p32} = P_3/(P_2 + P_3) \quad (1.3)$$

В документации на разветвители коэффициенты разветвления могут указываться в процентах;

- коэффициент вносимых потерь

$$K_{п1} = (P_2 + P_3)/P_1 \quad (1.4)$$

Аналогично эти параметры определяются в случаях, когда входными являются порты 2 или 3;

- диапазон рабочих длин волн. Выпускаются разветвители сплавные однооконные (1310 ± 10 или 1550 ± 10 нм), двухоконные (1310 ± 40 и 1550 ± 40 нм), планарные (1260...1650 нм)

1.5 Оптические аттенюаторы

Оптический аттенюатор- пассивный элемент, позволяющий осуществлять управляемое ослабление мощности оптического сигнала. Основным его параметром являются вносимые потери

$$A = -10 \lg(P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}),$$

где $P_{\text{вх}}$ и $P_{\text{вых}}$ — мощности оптического излучения на входе и выходе аттенюатора соответственно.

Существует два типа оптических аттенюаторов: фиксированные (постоянные) и переменные.

В фиксированных оптических аттенюаторах требуемые вносимые потери обеспечиваются воздушным зазором или поглощающим оптическим фильтром между торцами соединяемых ОВ. В переменных оптических аттенюаторах плавная регулировка вносимых потерь осуществляется за счёт измерения

величины воздушного зазора между торцами. Подобные аттенюаторы обычно встраиваются в корпус розетки. Для регулировки величины воздушного зазора на корпусе розетки размещена регулировочная гайка.

В качестве фиксированных аттенюаторов могут быть использованы оптические разветвители с заданным коэффициентом разветвления.

Применение планарных технологий позволило интегрировать несколько оптических регулируемых аттенюаторов на одном кристалле.

1.6 Оптические шнуры.

Используются два основных типа оптических шнуров:

- армированные оптическими соединителями на обоих концах (patchcord), применяются для стыка оптического оконечного оборудования с аппаратурой оптических систем передачи, коммутации ОВ, измерительных цепей;
- армированные оптическим соединителем на одном конце (pigtail), применяется в основном для концевой заделки ОВ линейных кабелей.

Оптические шнуры различаются типом и количеством используемых в них ОВ, типами соединителей и видом их полировки, диаметром и длиной кабеля. Цветовая маркировка шнуров: желтый цвет для одномодовых шнуров, оранжевый или серый для многомодовых.

Для армирования оптических шнуров могут использоваться оптические соединители различных типов.

Примеры маркировки оптических шнуров:

ШОС-SM/2,4мм-FC/APC-FC/APC-2,0 м — шнур оптический соединительный, патчкорд, одномодовый, наружный диаметр 2.4 мм, оптические соединители типа FC/APC, длина шнура 2м.

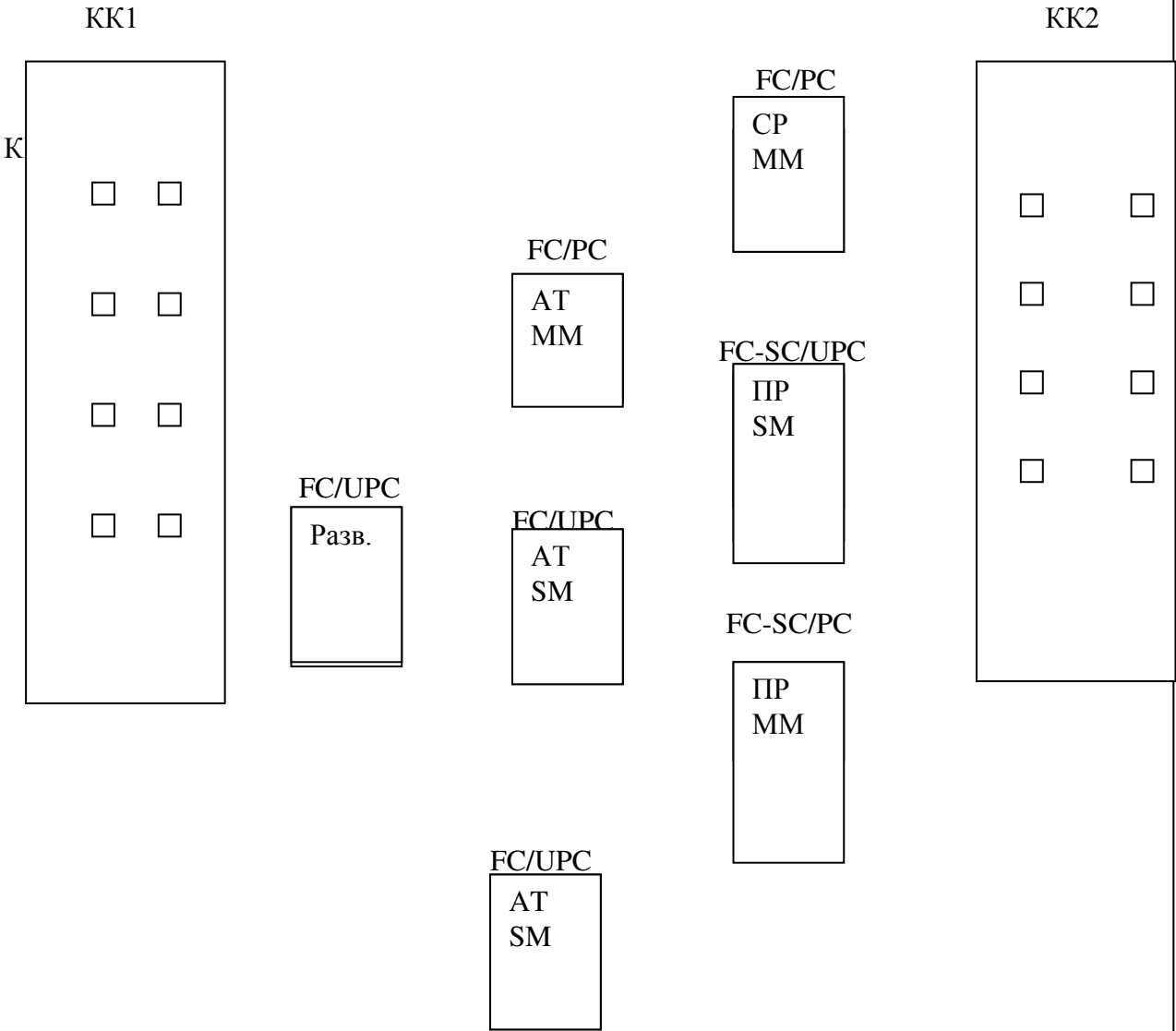
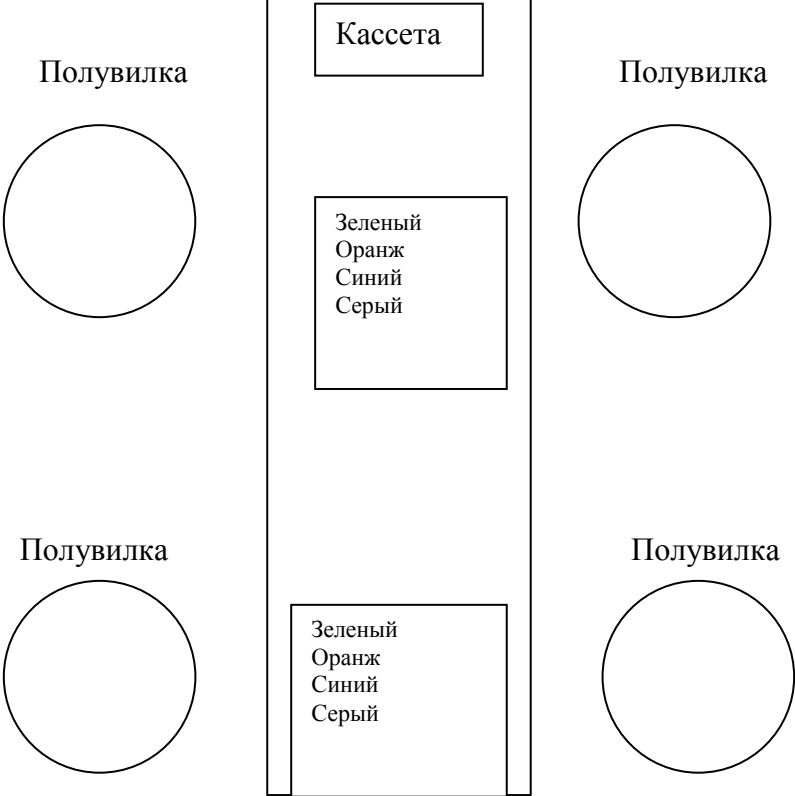
ШОС-SM/0,9мм-FC/UPC-p/t-1,5м- шнур оптический соединительный, одномодовый, наружный диаметр 0,9мм, оптический соединитель типа FC/UPC, пигтейл, длина шнура 1,5м.

Контрольные вопросы.

1. Назначение оптического разъёмного соединителя.
2. Из каких элементов состоит оптический разъёмный соединитель?
3. Как классифицируются вилки оптических соединителей по типу обработки торцов волокон?
4. В чём различие между соединительной и переходной розеткой?
5. Основные типы соединительных механизмов и их маркировка.
6. В чём различие соединительных механизмов типов FC и ST?
7. Как определяются вносимые потери в разъёмном соединении ОВ?

8. Основные причины вносимых потерь в разъёмном соединении ОВ?
9. Как выполняются сварны соединения ОВ?
10. Как осуществляется защита сварных соединений ОВ от внешних воздействий?
11. Из каких элементов состоит гильза защиты сростков?
12. Назначение оптических разветвителей.
13. В чём различие разветвителей Х-типа и Y-типа?
14. Как определяется коэффициент передачи разветвителя?
15. Как определяется коэффициент вносимых потерь разветвителя?
16. Чем различаются одномодовый и многомодовые оптические шнуры?
17. В чём различие оптических шнуров типов patchcord и pigtail?
18. За счёт чего осуществляется ослабление излучения в оптических аттенюаторах?

Рис.2
Состав
установки.



2. Состав лабораторной установки.

В состав лабораторной установки (рис.2) входят следующие элементы:

- 2.1 Два отрезка четырехволоконного многомодового кабеля - четырехволоконные полувилки (наружная оболочка оранжевого цвета). Оптические волокна кабелей с одной стороны оконцованы коннекторами SC/PC, неоконцованные стороны трех волокон попарно соединены между собой с помощью сварки.
- 2.2 Два отрезка четырехволоконного одномодового кабеля - четырехволоконные полувилки (наружная оболочка желтого цвета). Оптические волокна с одной стороны оконцованы коннекторами типа SC/PC, неоконцованные стороны трех волокон попарно соединены между собой с помощью сварки.
- 2.3 Универсальная кассета (сплайс- пластина), на которой зафиксированы в защитных гильзах
 - три сварных соединения многомодовых волокон (MM)
 - три сварных соединения одномодовых волокон (SM)
- 2.4 Две коммутационные коробки КК, рассчитанные на 8 розеточных портов.

В каждой коробке установлены:

- четыре соединительные розетки типа SC/PC (черного цвета), соединенные с одной стороны с ОВ четырехволоконного многомодового кабеля (полувилка).
 - четыре соединительные розетки типа SC/UPC (синего цвета), соединенные с одной стороны с ОВ четырехволоконного одномодового кабеля (полувилки).
- 2.5 Платы, на которых установлены:
 - переходная многомодовая розетка (ПР) FC-SC/PC MM с бронзовым центрирующим элементом;
 - переходная одномодовая розетка (ПР) FC-SC/UPC SM с керамическим центрирующим элементом;
 - соединительная многомодовая розетка (СР) FC/PC MM с бронзовым центрирующим элементом;
 - соединительная одномодовая розетка (СР) FC/PC SM с керамическим центрирующим элементом;
 - фиксированный аттенюатор – розетка (АТ) FC/UPC SM для одномодового волокна;
 - фиксированный аттенюатор-розетка (АТ) FC/PC MM для многомодового волокна;
 - переменный аттенюатор – розетка (АТ) FC для одномодового и многомодового волокон;
 - одномодовый разветвитель (Разв.) 1x2 с коннекторами типа FC/SPC.

- 2.6 Волоконные соединительные и переходные шнуры FC MM , FC SM, SC MM, SC SM, SC-FC MM, SC- FC SM.
- 2.7 Оптические измерительные приборы - источники оптического излучения и измерители мощности оптического излучения (типы используемых в работе приборов - по указанию преподавателя)

3. Оптические измерительные приборы

3.1 Малогабаритный источник оптического излучения Photom 362

ВНИМАНИЕ: испускаемое прибором инфракрасное излучение невидимо, попадание его в глаз может принести ущерб зрению!

Прибор состоит из основного блока и сменного адаптера выходного разъема, тип которого выбирается в соответствии с типом подключаемого коннектора.

Основные параметры прибора:

Тип источника.....	лазерный
Длина волны.....	1310±30нм
Применяемое волокно.....	SM
Уровень выходного сигнала(непрерывное излучение).....	-5дБм
Полуширина спектра.....	≤10нм
Внутренняя модуляция.....	2;1;0,27кГц
	CW-
немодулированное	
Оптический коннектор.....	FC

Прибор автоматически выключается через 10 минут с момента последнего нажатия на любую из кнопок управления прибором.

Органы управления:

- Кнопка ON/OFF — включение/выключение (загорается или гаснет соответствующий светодиодный индикатор). Для отмены функции автоматического отключения прибора при включении прибора удерживать кнопку в течении приблизительно 3сек. (начнет мерцать излучения с частотой 2 Гц).
- Кнопка MOD — выбор частоты модуляции (загорается соответствующий индикатор).

Порядок работы:

- снять защитную крышку и вставить в нее прибор другой стороной.
- Присоединить коннектор измеряемой оптической линии к адаптеру выходного оптического разъема.
- Включить излучатель, нажав кнопку ON/OFF. Источник при этом работает в режиме непрерывного излучения (загорается индикатор CW)

Выбор частоты модуляции осуществляется кнопкой MOD

- При разряде батареи индикатор включения мигает с частотой 1 Гц.

3.2 Малогабаритный измеритель оптической мощности Photom 211A основные параметры прибора:

Рабочие длины волн.....850;1310;1550 нм
Диапазон измерений.....-70.....+5 дБм
Максимальный уровень входного сигнала.....+10 дБм

Если мощность сигнала выходит за пределы диапазона измерений, то на дисплее появится сообщение

- Hi dBm - мощность сигнала превышает максимально допустимое значение;
- Lo dBm — мощность сигнала меньше минимально допустимого значения;

Прибор автоматически отключается через 10 мин с момента нажатия на любую кнопку управления прибором (индикация AUTO-OFF).

Органы управления:

- Кнопка ON/OFF — включение/выключение. Для отмены функции автоматического отключения прибора при включении прибора удерживать кнопку в течение приблизительно 3сек. (исчезнет сообщение AUTO-OFF).
- Кнопка λ — выбор длины волны.

Порядок работы:

- Присоединить оптический шнур к источнику сигнала (выход источника излучения или пассивного элемента), используя при необходимости сменные адаптеры.
- Включить источник излучения.
- Включить измеритель мощности.
- Установить требуемую длину волны.
- Снять отсчёт.

Буква "В" на дисплее указывает на необходимость замены источника питания (батареи).

При внешних электромагнитных помехах необходимо:

- выключить и снова включить прибор, если это не помогло, то
- вынуть и заново вставить батарею, одновременно нажать и удерживать в течение нескольких секунд две кнопки ON/OFF и λ , если не помогло, то
- устранить источник помех.

3.3 Индикатор средней мощности оптического излучения «Алмаз-33»

Прибор предназначен для измерения средней мощности непрерывного и импульсно-модулированного оптического излучения, а так же относительных уровней мощности при измерении затухания в оптических волокнах.

Основные параметры:

Рабочие спектральные диапазоны.....	800...900 и 1200...1700 нм
Значения длин волн калибровки.....	850±5; 1310±10; 1550±10 нм
Диапазон измерения мощности.....	-75,0...+6,0 дБм ($3 \cdot 10^{-11}$... $4 \cdot 10^{-3}$ Вт)
Число ячеек энергозависимой памяти.....	50
Тип оптического соединителя.....	FC

Органы управления:

- ☐ «вкл/выкл»-включение/выключение питания прибора
- ☐ «W/dBm/dB»- переключение шкалы, представление результата измерения; переключение в режим измерения из режимов просмотра памяти и записи в память.
- ☐ « λ »-переключение длины волны калибровки.
- ☐ «Установка уровня отсчета»- запись текущего показания в качестве уровня отсчета для относительной логарифмической шкалы.
- ☐ «Запись»- запись текущего показания в память.
- ☐ «Просмотр»- чтение из памяти
- ☐ «Лево-право»-клавиши выбора длин волн калибровки и номеров ячеек памяти.

Порядок работы:

- Измерение средней мощности излучения.
Оптический сигнал подать на вход прибора. Результат измерения выводится в верхней строке дисплея. Показания прибора обновляются примерно два раза в секунду. Время установления показаний после значительного изменения входного уровня мощности — до 10 сек.
- Измерение затухания оптического тракта:

- * измерить среднюю мощность сигнала на выходе источника сигнала;
- * не отключая источника сигнала, нажать кнопку «Установка уровня отсчета» и дождаться появления показания «00,00 dB»;
- * подключить источник сигнала к входу исследуемого тракта, а сигнал с выхода тракта подать на вход прибора;
- * на дисплее отобразится значение затухания тракта.
 - Установка уровня отсчёта:
- * подключить прибор к источнику оптического сигнала, уровень которого должен служить точкой отсчета;
- * получив устойчивый результат измерений на дисплее, нажать кнопку «Установка уровня отсчета». При этом результат автоматически запомнится в ячейке с номером «0»;
- * затем прибор перейдёт в режим вывода значения в единицах относительной логарифмической шкалы (dB), используя новое значение уровня отсчета для преобразования результата измерения.

Работа с памятью:

- Запись показания в ячейку памяти: находясь в режиме измерений, нажать кнопку «Запись», на дисплее появится сообщение «Запись» и номер ячейки, в которую будет произведена запись. С помощью клавиш «Лево-право» можно изменить номер ячейки. Для подтверждения записи нажать на клавишу «Запись», для отказа от записи – на клавишу «W/dBm/dB»
- Просмотр содержимого ячеек памяти: нажать на клавишу «Просмотр», в нижней строке дисплея появится сообщение «Чтение №0». Переход к необходимой ячейке осуществляется с помощью клавиш «Лево-право». Выход из режима просмотра памяти в режим измерений нажатием на клавишу «W/dBm/dB».

3.4 Электронный блок «Источник оптического сигнала»

Блок обеспечивает:

- генерацию оптического сигнала на длинах волн 1,33 мкм или 1,55 мкм (переключение с помощью кнопки «Выбор источника», вывод сигналов через розетки типа FC);
- управление режимом работы лазерного диода и схемы стабилизации оптической мощности за счёт изменения токов I_0 , I_1 ;
- индикацию токов I_0 , I_1 с помощью приборов на лицевой панели
- модуляцию оптического излучения импульсами или синусоидальным сигналом, при этом величина I_0 определяет минимальный уровень оптического сигнала, I_1 — его амплитудное значение;
- введение предискажений оптического сигнала (включение кнопкой «Дисперсия», регулировка с помощью потенциометра) для моделирования процесса распространения по реальной оптической

- линии;
- введение шума в оптический сигнал (включение кнопкой «Шум», регулировка уровня с помощью потенциометра);
- контроль работы блока с помощью осциллографа путём подключения его к контрольным точкам КТ1,...,КТ6 (разъёмы СР50);
- получение сигнала синхронизации для осциллографа (разъем «Синхр.Осц.»).

На рис.3 показана зависимость излучаемой оптической мощности P от тока накачки I_n . Значение порогового тока I_n соответствует началу генерации когерентного излучения лазерным диодом. При $I_0 > I_n$ возрастает уровень мощности сигнала, соответствующий нулю при передаче цифрового сигнала. При $I_0 < I_n$ снижается быстродействие, что ведёт к снижению скорости передачи. Поэтому значение I_0 выбирается близким к I_n .

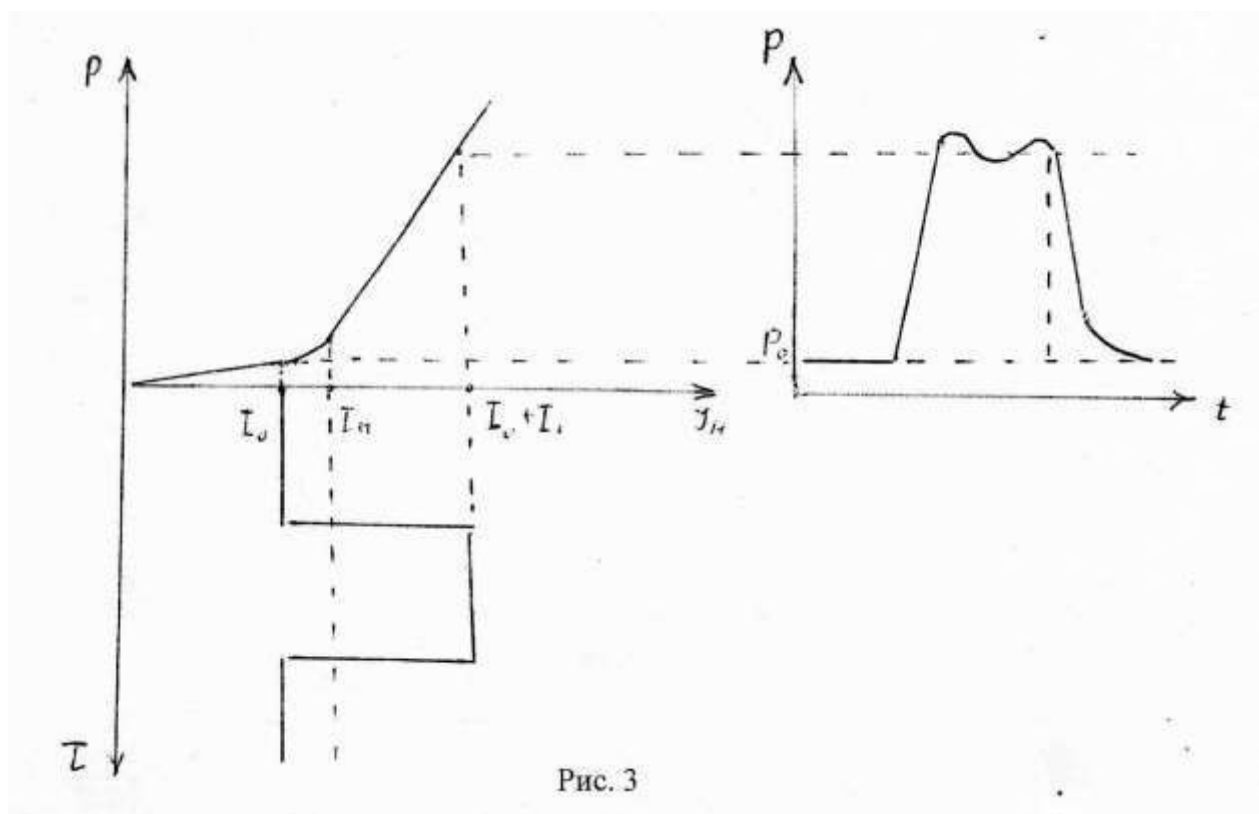


Рис. 3

3.5 Электронный блок «Фотоприёмник»

Блок обеспечивает:

- Преобразование оптического сигнала в электрический с помощью фотодиода.

- Подключение оптического сигнала осуществляется через розетку типа FC “оптический вход.
- Регулировку напряжения смещения на фотодиоде (потенциометр «рег.смещения») и его индикацию с помощью прибора на лицевой панели.
- Регулируемое усиление электрического сигнала (регулировка с помощью кнопок «чувствительность»)-0,001;0,01;0,1;1,0).
- Индикацию мощности оптического излучения в относительных единицах с помощью приборов на лицевой панели.
- Контроль сигнала на выходе усилителя (разъем «выход усилителя») с помощью осциллографа.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

Внимание:

1. Лазерное излучение может представлять опасность для органов зрения.
Поэтому включать источники оптического излучения следует только при полностью собранной лабораторной работе (оптическими шнурами соединены все элементы установки).
2. Перед каждой сборкой схемы снять с торцов оптических волокон, розеток, разветвителя и оптических шнуров защитные колпачки.
После окончания работы установить колпачки на место.
3. Не прикасаться руками к торцам оптических волокон.
4. Не изгибать оптические шнуры, так как это может привести к повреждению оптического волокна и выводу его из строя.

На лабораторной установки выполняются следующие работы:

- 4.1 Градуировка электронного блока “Источник оптического сигнала”.
- 4.2 Измерение параметров разъемных соединений оптических приборов.
- 4.3 Измерение параметров неразъемных соединений оптических волокон.
- 4.4 Измерение параметров оптических аттенуаторов.
- 4.5 Измерение параметров оптического разветвителя.

Типы используемых в работе измерительных приборов - по указанию преподавателя.

4. 1 Градуировка электронного блока “Источник оптического сигнала“

4.1.1 Градуировка электронного блока с помощью прибора “Алмаз-33“

- На электронном блоке ручки регуляторов “ I_0 ” и “ I_1 ” установить в крайнее левое положение. Обе кнопки “Модуляция” отжаты.
- С помощью одномодового оптического шнура FC-FC/PC соеди-

нить выходной разъем “ 1,3 мм” электронного блока с входным разъемом прибора “ Алмаз- 33 “

- Включить электронный блок.
- С помощью кнопки ” Выбор источника “ установить длину волны излучения 1,3мкм
- Включить прибор “ Алмаз - 33 “
- Изменяя величину тока I_1 от минимального до максимального значения через , зафиксировать и занести в таблицу 4.1 значения I_1 , средней оптической мощности $P_{ср}$ в относительных единицах на электронном блоке и соответствующие значения мощности P и уровня мощности P_a на приборе “ Алмаз-33 “.

4.1.2 Градуировка электронного блока с помощью прибора “ Photom 211 A “

- На электронном блоке ручки регуляторов “ I_0 “ и “ I_1 “ установить в крайнее левое положение . Обе кнопки “ Модуляция “ отжать.
- С помощью одномодового оптического шнура FC-FC/PC соединить выходной разъем “ 1,3 мкм “ электронного блока с входным разъемом прибора “ Photom 211A”
- Включить электронный блок . С помощью кнопки “ Выбор источника “ установить длину волны 1,3 мкм.
- Включить прибор “ Photom 211A “.
- Изменяя величину тока I_1 от минимального до максимального значения через на электронном блоке, зафиксировать и занести в таблицу 4.1 соответствующие значения уровня мощности P_h на приборе “Photom 211A”

Таблица 4.1

Параметры	Электронный блок							
I_1 отн.ед								
$P_{ср}$ отн.ед								
	Прибор “Алмаз - 33 “							
$P_{АмВТ}$								
$P_A, дБм$								
	Прибор “ Photom 211A “							
$P_{Ph}, дБм$								

4.2 Измерение параметров разъемных соединений оптических волокон.

4.2.1 Измерение параметров соединительной розетки FC/PC ММ.

- С помощью многомодового оптического шнура FC-FC/PC ММ соединить вилку источника излучения с входом измерителя мощности.
- Включить источник измерения и измеритель мощности.
- Измерить мощность излучения $P_{вх}$, результат занести в таблицу 4.2

- С помощью многомодовых оптических шнуров соединить одну сторону розетки с выходом источника излучения, а другую с входом измерителя мощности.
- Измерить мощность излучения $P_{\text{вых}}$ на выходе розетки, результат занести в таблицу.
- Определить величину вносимых потерь по формуле (1.1), результат занести в таблицу 4.2

Таблица 4.2

Параметр	Тип розетки			
	FC/PC MM	FC/UPC SM	FC-SC/PC MM	FC-SC/UPC SM
$P_{\text{вых}}$, мВт				
A , дБ				

4.2.2. Измерение параметров соединительной розетки FC/UPC SM.

По аналогии с предыдущим пунктом определить величину вносимых потерь розеткой FC/UPC SM, заменив оптические шнуры на одномодовые FC-FC/UPC SM.

Результаты занести в таблицу.

4.2.3. Измерение параметров переходной розетки FC-SC/PC

По аналогии с предыдущим пунктом определить величину внешних потерь переходной розеткой FC-SC/PC MM, используя многомодовые оптические шнуры FC- SP/ PC MM.

Результаты занести в таблицу.

4.2.4. Измерение параметров переходной розетки FC-SC/ UPC.

По аналогии с предыдущим пунктом определить величину потерь переходной розетки FC-SC/UPC, используя одномодовые оптические шнуры FC-SC/PC SM.

4.3 Измерение параметров неразъемных (сварных) соединений оптических волокон.

4.3.1 Измерение потерь в неразъемных соединениях одномодовых оптических волокнах.

С помощью сварки соединены одномодовые волокна двух полувилок (оболочка желтого цвета). Сварные соединения в гильзах размещены в кассете (рис 2.)

С другой стороны волокна оконцованы соединителями типа SC, расположенными на коммутационных коробках (синего цвета). Сварные соединения выполнены некачественно (потери выше допустимых), чтобы облегчить измерения.

При измерениях использовать шнуры оптические соединительные типа ШОС- SM- FC/UPC – SC/UPC. В случае их отсутствия можно вос-

пользоваться шнурами типа ШОС- SC-SC/UPC с переходными розетками FC-SC.

- С помощью оптического шнура ШОС-SM-FC/UPC соединить выход источника излучения с входом измерителя мощности.
- Включить источник излучения и измерителя мощности. Измерить мощность излучения РИИ на выходе источника излучения. Результат занести в таблицу 4.3.1.
- Заменить шнур на источнике излучения на шнур ШОС-SM- FC/UPC-SC/UPC. Присоединить источник излучения к розетке 1 (SC/UPC) на коммутационной коробке КК1.
- С помощью шнура ШОС- SM- FC/UPC –SC/UPC присоединить измеритель мощности к розетке 1 на КК2. Измерить мощность излучения РИм, результаты занести в таблицу 4.3.1.
- Повторить измерения, последовательно подключая источник излучения и измеритель мощности к розеткам 2 ,3 и 4 .
Результаты измерений занести в таблицу 4. 3. 1.
- Рассчитать величину потерь А в сварных соединениях. Результаты занести в таблицу 4.3.1.

Таблица 4.3.1.

Параметр	Номер розетки			
	1	2	3	4
Р Им ,мВт				
А ,дБ				

4.3.2. Измерение потерь в неразъемных соединениях многомодовых оптических волокон.

С помощью сварки соединены многомодовые волокна двух полувилок(оболочка оранжевого цвета). Сварные соединения в гильзах размещены в кассете.

С другой стороны волокна оконцованы соединителями типа SC (черного цвета), расположенными на коммутационных коробках. Сварные соединения выполнены некачественно (потери в них выше допустимых).

При измерениях использовать оптические шнуры типа ШОС- ММ-FC/PC-SC/PC.

В случае их отсутствия можно воспользоваться шнурами ШОС-ММ- FC/PC, ШОС- ММ- SC/PC и переходными розетками FC-SC.

- С помощью оптического шнура ШОС- ММ- FC/PC соединить выход источника излучения с входом измерителя мощности.

- Включить источник излучения и измеритель мощности . Измерить мощность излучения $P_{нн}$ на выходе источника излучения . Результат записать в таблицу.
- Заменить шнур на источнике излучения на ШОС- ММ- FC/PC- SC/PC/ . Присоединить источник излучения к розетке 1' на коммутационной коробке КК1 .
- С помощью шнура ШОС- ММ -FC/ PC – SC/PC присоединить измеритель мощности к розетке 1' на КК2. Измерить мощность $P_{нм}$, результат занести в таблицу 4.3.2.
- Повторить измерения, последовательно подключая источник излучения и измеритель мощности к розеткам 2' , 3' и 4' . Результаты измерений занести в таблицу 4.3.2.
- Рассчитать величины потерь A в сварных соединениях многомодовых волокон. Результаты занести в таблицу.

Таблица 4.3.2.

$P_{ии} =$

Параметр	Номер розетки			
	1'	2'	3'	4'
$P_{Им}$, мВт				
A , дБ				

4.4 Измерение параметров оптических аттенюаторов.

4.4.1.Измерение вносимого затухания многомодового фиксированного аттенюатора.

- С помощью многомодового оптического шнура FC-FC/PC ММ соединить выход источника излучения с входом измерителя мощности.
- Включить источник излучения и измеритель мощности.
- Измерить мощность излучения $P_{вх}$, результат занести в таблицу.
- С помощью двух многомодовых оптических шнуров соединить одну сторону аттенюатора с выходом источника излучения, другую – с входом измерителя мощности.
- Измерить мощность излучения $P_{вых}$ на выходе аттенюатора ,результат занести в таблицу.
- Определить величину вносимого затухания по формуле (1.5), результаты занести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4

Параметры	Тип аттенюатора									
	ММ фикс	SM фикс	SM регулируемый (обороты гайки)							
			0	1	2	3	4	5	6	7
Р _{вх} , мВт										
А, дБ										

4.4.2. Измерение вносимого затухания одномодового фиксированного аттенюатора.

По аналогии с предыдущим пунктом определить величину вносимого затухания одномодового фиксированного аттенюатора, заменив оптические шнуры на одномодовые FC-FC/UPC SM. Результаты занести в таблицу.

4.4.3 Градуировка переменного одномодового оптического аттенюатора.

- По аналогии с предыдущим пунктом собрать схему для измерения вносимого затухания регулируемым аттенюатором.
- Осторожно, не прилагая усилий, повернуть регулировочную гайку аттенюатора против часовой стрелки до упора.
- Измерить мощность излучения Р_{вых} на выходе аттенюатора, результат занести в столбец “ 0 “ таблицы.
- Повернуть регулировочную гайку аттенюатора по часовой стрелке на один оборот. Замерить мощность излучения на выходе аттенюатора, результат занести в столбец “ 1 “ таблицы.
- Повторять предыдущий пункт, поворачивая регулировочную гайку. Каждый раз на оборот до упора. Результаты измерений заносить в столбцы таблицы, соответствующие числу оборотов.
- Рассчитать значения вносимого затухания А по формуле (1.5). Результат занести в таблицу.

4.5 Измерение параметров оптического разветвителя (тип 1х2).

Состав используемого оборудования показан на рис.4

Где ИИ - источник излучения, ИМ – измеритель мощности, ОШ - оптические шнуры.



4.5.1. Определение коэффициентов передачи.

Измерить мощность излучения $P_{вх}$ на выходе ИИ, соединив оптическим шнуром выход ИИ с входом ИМ. Полученные результаты занести в таблицу 4.5 .

Таблица 4.5

$P_{вх} =$

Номер входного порта	Мощность излучения на выходных портах, мВт		
	1	2	3
1			
2			
3			

- Соединить выход ИИ с портом 1 и измерить мощности P_2 и P_3 , на портах 2 и 3. Результаты занести в таблицу.
 - Соединить выход ИИ с портом 2 и измерить мощности излучения P_1 и P_3 на портах 1 и 3 . Результаты занести в таблицу.
 - Соединить выход ИИ с портом 3 и измерить мощность излучения P_1 и P_2 , на портах 1 и 2. Результаты занести в таблицу.
- Используя формулы, приведенные в таблице 1 , рассчитать значения коэффициентов передачи . Результаты занести в таблицу.

Таблица 4.6

Номер входного порта	Коэффициенты передачи через входные порты, дБ		
	1	2	3
1			
2			
3			

4.5.2. Определение коэффициента разветвления.

Используя полученные результаты и формулы 1.3 , рассчитать значения коэффициентов разветвления . Результаты занести в таблицу.

Таблица 4.7

Номер входного порта	Коэффициенты разветвления на выходных портах					
	KP23	KP32	KP13	KP31	KP12	KP21
1						
2						
3						

4.5.3. Определение вносимых потерь.

Используя полученные результаты и формулу 1.4 рассчитать величину вносимых потерь $K_{п1}$, $K_{п2}$, $K_{п3}$.

Список использованной литературы

1. Жуковский А.Г., Манин А.А. Руководство по подготовке курсовых работ (проектов) и выпускных квалификационных работ. Учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ, 2017. – 69 с.
2. Енгибарян И.А., Зуев В.В. Волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ, 2012 – 152с.
3. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи. В 2 т. Том 1. Теория передачи и влияния: Учебник для вузов / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов и др. - 7-е изд., перераб. и доп. - Москва : Гор. линия-Телеком, 2011. - 424 с.; . ISBN 978-5-9912-0092-9, 1000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/256974>
4. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи. В 2 т. Т. 2. Проект., строит. и тех. экспл.: Учеб. /В.А.Андреев и др.; Под ред. В.А. Андреева - 7 изд. - Москва : Гор.линия-Телеком,2010-424 с.; - (Уч. пос. для вузов) ISBN 978-5-9912-0141-4, 2000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/245482>
5. Портнов, Э. Л. Оптические кабели связи, их монтаж и измерение: Учебное пособие для вузов / Э.Л. Портнов. - Москва : Гор. линия-Телеком, 2012. - 448 с.: ил.; . - (Специальность). ISBN 978-5-9912-0219-0, 1000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/333230>
6. Оптические телекоммуникационные системы: Учебник для вузов / В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев, А.Д. Моченов, Р.М. Шарафутдинов; Под ред. В.Н. Гордиенко - Москва : Гор. линия-Телеком, 2011. - 368 с.: ил.; . ISBN 978-5-9912-0146-9, 1000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/318817>
7. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы 3-е изд., перераб. и доп.\Сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. М.: Техносфера, 2010. - 608с. ISBN 978-5-94836-245-8
8. В.Г. Фокин Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 288с.: ил.