

Техническая эксплуатация ВОЛС.

Цель работы: знакомство с параметрами передачи волоконно-оптических устройств линейного тракта, а также приобретение навыков работы с измерительными приборами оптического диапазона.

Подготовка к работе:

1. Знакомство с техникой безопасности при работе с источниками оптического излучения и оптическим волокном;
2. Изучение состава линейного тракта;
3. Изучение порядка работы с измерительными приборами и вспомогательными устройствами;
4. Подготовка бланков протоколов измерений.

Контрольные вопросы для оценки знаний:

1. Области применения оптических устройств, входящих в состав линейного тракта ВОЛС;
2. Технические характеристики оптических волокон;
3. Виды оптических разветвительных устройств;
4. Методы измерения параметров оптических устройств;
5. Применение оптических устройств в сетях связи

Материалы, приборы и инструменты, необходимые для проведения лабораторной работы:

1. Жидкость для очистки торцов коннекторов (**ЯД! ОПАСНО!**)
2. Оптические шнуры;
3. Источник оптического излучения 1310 нм;
4. Источник оптического излучения 1550 нм;
5. Измеритель оптической мощности;
6. Сплавной оптический разветвитель;
7. Оптическая розетка FC/APC;
8. Разветвитель WDM;
9. Оптический циркулятор.

Теоретические сведения.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛКС ВОЛС

Организация технической эксплуатации

Техническую эксплуатацию ЛКС ВОЛС организуют эксплуатационные службы предприятий связи.

Основным производственным подразделением, осуществляющим техническую эксплуатацию ЛКС ВОЛС, является цех линейно-кабельных сооружений (линейно-технический цех) узлов (станций).

Подразделения по технической эксплуатации ЛКС ВОЛС:

- выполняют техническое обслуживание и обеспечивают содержание ЛКС в соответствии с техническими нормативами и требованиями;
- проводят работы по ремонту ЛКС ВОЛС и повышению надежности линейных сооружений;
- выполняют аварийно-восстановительные работы;
- проводят охранно-предупредительную работу;
- обеспечивают выполнение действующих Правил, Положений, Приказов и других НТД по вопросам эксплуатации ЛКС ВОЛС;
- ведут производственную документацию и статистическую отчетность в соответствии с действующими НТД;
- ежегодно проводят анализ всех отказов: по характеру и причинам; по структуре времени простоя и времени восстановительных работ.

Рассчитывают основные показатели надежности ВОЛС.

Все работы по эксплуатации ЛКС ВОЛС выполняют в соответствии с годовым производственным планом и квартальными планами-графиками, утвержденными главным инженером предприятия.

Планово-профилактическое обслуживание и ремонтные работы выполняет производственный штат эксплуатационных подразделений.

Работники технического надзора, проводящие работу по обеспечению сохранности ЛКС ВОЛС, несут ответственность за:

- соблюдение "Правил охраны линий и сооружений связи Российской Федерации";
- своевременное вручение уведомлений сторонним организациям о наличии сооружений связи и условиях производства работ, а также за правильность сообщенных сведений;
- повреждения ЛКС ВОЛС, возникшие в результате неправильных и несвоевременных согласований и отсутствия надзора за их сохранностью.

На всех участках ЛКС ВОЛС должна быть обеспечена возможность проезда к любой точке ВОЛС для выполнения профилактических и аварийно-восстановительных работ.

Технический учет и паспортизацию ВОЛС ведут в соответствии с требованиями "Форм первичного эксплуатационно-технического учета и технической паспортизации линий связи".

При наличии в службах связи автоматизированных рабочих мест (АРМ) технический учет и паспортизацию ведут в электронной форме.

В состав оперативно-технической документации входят:

- протоколы измерений оптических и электрических параметров ВОК связи;
- протоколы и журналы по измерениям параметров защиты ВОК связи от коррозии и внешних электромагнитных влияний (при наличии в ВОК металлических элементов);

- паспорта и протоколы измерений заземляющих устройств;
- паспорт (планшет) трассы ВОЛС;
- документация по охранно-предупредительной работе;
- документация по учету повреждений и аварий на ЛКС ВОЛС;
- статистическая документация по эксплуатации ЛКС ВОЛС.

В состав технической документации входят: паспорта, формуляры, технические описания на оборудование, контейнеры, приборы, а также паспорта и сертификаты на кабельные изделия.

К организационной документации относят: Положения о службах (отделах) и других структурных подразделениях; должностные инструкции работников; приказы и распоряжения по предприятию; планы работ и отчеты об их выполнении; журналы учета и планы проведения технической учебы; документацию по охране труда и технике безопасности; другую организационную документацию.

Работников служб по технической эксплуатации ЛКС ВОЛС обеспечивают материалами, инструментом, приборами, спецодеждой и средствами технической безопасности в соответствии с утвержденными нормами.

Для выполнения работ службы связи оснащают машинами, механизмами, комплектами приборов, инструментов, приспособлений, материалами.

На каждом предприятии, эксплуатирующем ЛКС ВОЛС, должен быть создан аварийный запас ВОК связи, материалов и оборудования. Аварийный запас должен храниться в специальном помещении. Барабаны с кабелем должны храниться в крытом складе или под навесом на ровной, защищенной от скапливания осадков и грунтовых

вод площадке и размещаться таким образом, чтобы имелась возможность производить необходимые измерения и испытания без их перекатки.

Хранение барабанов с кабелем в горизонтальном положении не допускается. Под щеки барабанов подкладывают упоры.

Техническое обслуживание ЛКС ВОЛС. Общие положения

Техническое обслуживание ЛКС ВОЛС включает в себя:

- оперативный контроль технического состояния сооружений;
- текущее и планово-профилактическое обслуживание;
- охранно-предупредительную работу;
- технический надзор за строительством, реконструкцией и капитальным ремонтом ВОЛС.

Оперативный контроль технического состояния ЛКС ВОЛС включает:

- оперативный автоматизированный контроль оптических и электрических параметров ВОК связи;
- контроль состояния НРП по сигналам системы телемеханики и, при необходимости, немедленный выезд на трассу ВОЛС для принятия соответствующих мер;
- контрольные осмотры трасс и проверку состояния ЛКС;

- надзор за производством работ в полосе отвода газопровода (в т.ч. при ремонте газопровода) и в охранных зонах кабельных линий связи.

При текущем обслуживании ЛКС ВОЛС проводят:

- текущий осмотр трасс ВОЛС и устранение выявленных дефектов Осмотр трасс должен, как правило, максимально совмещаться с планово-профилактическими работами;

- разъяснительную работу по обеспечению сохранности линейно-кабельных сооружений на предприятиях, в организациях и учреждениях, проводящих земляные работы в охранной зоне газопровода и ВОЛС, а также среди землепользователей и населения;

- выправку и замену неисправных, а также установку новых знаков обозначения трассы,

- установку предупредительных знаков на трассе ЛКС ВОЛС в местах производства работ;

- устройство защиты ЛКС ВОЛС от механических повреждений в местах раскопок;

- обслуживание кабельной канализации;

- обслуживание кабельных переходов через автомобильные дороги, железные дороги,

подводных кабельных переходов;

- расчистку от снега подходов и подъездов к НРП, отвод талых вод;

- устранение повреждений и аварий на ЛКС;

- содержание в исправном состоянии инвентаря, аварийного запаса ВОК связи кабеля и кабельных вставок, инструментов, приборов;

- внесение (при необходимости) изменений в паспорт трассы после окончания земляных работ и устранения повреждений ЛКС.

Планово-профилактические работы на ЛКС ВОЛС предусматривают:

- плановые и контрольные измерения оптических и электрических параметров ЛКС ВОЛС;

- работы по защите кабелей от механических повреждений;

- изготовление и установку на трассе ВОЛС предупредительных знаков, дополнительных замерных столбиков, шлагбаумов и т. д.;

- контроль глубины залегания ВОК связи и уточнение картограмм.

Периодичность контроля глубины залегания кабеля и выбор обследуемых участков трассы определяется каждым производственным подразделением (УМГ, УПХГ и др.),

- подготовку ЛКС к работе в осенне-зимний, грозовой период и период паводка;

- проведение мероприятий по обеспечению сохранности ЛКС ВОЛС;

- проверку новых кабелей, оборудования, оконечных кабельных устройств, вводимых в эксплуатацию.

Работы по профилактическому обслуживанию ЛКС ВОЛС и их элементов выполняют в соответствии с годовым планом и планами-графиками (квартальными, месячными) технического обслуживания ЛКС,

утверждаемыми главным инженером предприятия. Выявленные при осмотре недостатки, подлежащие устранению при ремонте ЛКС, фиксируют в журнале технического осмотра линейных сооружений.

При профилактическом обслуживании ЛКС ВОЛС выполняют следующие основные работы:

В колодцах кабельной канализации, коллекторах и помещениях ввода кабелей:

- очистку колодца, внутренних крышек люков;
- очистку замков, их смазку и защиту от загрязнения;
- установку недостающих консолей, подкладок под кабели;
- крепление нумерационных колец, бирок, выправку их положения;
- протирку кабелей и муфт;
- ремонт дефектных швов муфт или трещин в оболочках (шлангах кабелей);
- выправку положения кабелей и муфт на консолях;
- проверку проходимости каналов;
- переделку или заделку открытых каналов.

На подземных ВОЛС осуществляют:

- проверку глубины заложения кабеля и маркерной сигнальной ленты на подверженных размыву участках трассы и подсыпку при необходимости грунта;
- проверку состояния совместных с газопроводом переходов ВОЛС через железные и автомобильные дороги;
- отвод поверхностных вод;
- укрепление размываемых участков трассы, засыпку промоин;
- укрепление грунта на склонах (при прохождении по ним трассы ВОЛС);
- замену, укрепление, вынос и установку недостающих замерных столбиков и предупредительных знаков;
- очистку площадок у замерных столбиков от растительности (в летний период).

На подвесных ВОК связи:

- выправку положения кабелей и каната;
- крепление каната в консолях;
- регулировку стрелы провеса каната и кабеля;
- очистку от коррозии и гидроизоляцию сростков канатов;
- удаление от ВОК связи посторонних предметов, ветвей деревьев и др., которые могут вызвать его повреждение;
- дополнительное крепление или установку недостающих металлических желобов, угольников и других металлоконструкций (при необходимости).

На участках подводных переходов ЛКС ВОЛС:

- укрепление размываемых берегов, подсыпку грунта, щебня, песка;
- заглубление кабеля, маркерной сигнальной ленты на размывтых береговых участках трассы;
- замену, вынос и установку недостающих замерных столбиков;
- укрепление створных знаков.

При профилактическом обслуживании контейнеров НРП выполняют:

- проверку герметичности контейнеров;
- выправку кабелей на вводах в контейнеры;
- выправку проводов заземления;
- отвод воды с площадок НРП.

Работы, выполняемые при профилактическом обслуживании ЛКС ВОЛС и их элементов, должны фиксироваться в "Журнале технического осмотра линейно-кабельных сооружений". ЛКС ВОЛС должны быть подготовлены к работе в осенне-зимний период и период паводка. Весной после паводка и осенью перед началом заморозков проводят откачку воды из колодцев кабельной канализации. На болотистых участках, где канализация постоянно затоплена водой, работы по откачке воды из колодцев не проводят.

На трассах ВОЛС, проложенных в кабельной канализации и непосредственно в грунт, перед паводком должна быть проведена засыпка промоин щебнем и грунтом.

Ежегодно до наступления грозового периода элементы защиты ЛКС ВОЛС (разрядники, заземлители, провода заземлений, молниеотводы и др.) должны быть подготовлены к работе в грозовой период.

Охранно-предупредительная работа направлена на недопущение повреждений ЛКС ВОЛС при производстве работ в полосе отвода газопровода (в т.ч. при ремонте газопровода) и в охранных зонах кабелей технологической связи.

Графики обходов и объездов при надзоре за ЛКС ВОЛС утверждаются главным инженером производственного подразделения.

Как правило, должен быть организован ежедневный надзор за трассами ЛКС ВОЛС, проходящими в населенных пунктах в весенне-летне-осенний период, включая выходные и праздничные дни.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ВОЛС

Организация и состав эксплуатационных измерений

В процессе технической эксплуатации на ЛКС ВОЛС проводят профилактические, аварийные, контрольные и специальные измерения.

Профилактические измерения проводят с целью своевременного выявления и устранения возникающих отклонений параметров ЛКС от установленных норм:

- оптических параметров: затухания и неоднородности оптических волокон кабеля;
- электрических параметров характеризующих коррозионное состояние подземных металлических сооружений, а также устройств их защиты от коррозии;
- электрических параметров устройств защиты обслуживающего персонала и ЛКС от внешних электромагнитных влияний;
- определение целостности грозозащитных тросов (при их наличии).

Аварийные измерения проводят с целью определения характера и места повреждения ВОК связи.

При проведении аварийных измерений:

- определяют оптические и электрические (при наличии в ВОК связи металлической брони) параметры кабеля для установления характера повреждения;
- определяют район и конкретное местоположение повреждения;
- определяют оптические и электрические параметры ВОК связи в обе стороны от места повреждения.

Контрольные измерения проводят после устранения повреждений с целью определения качества выполнения ремонтно-восстановительных работ.

Измерения при техническом обслуживании выполняют с использованием системы технического обслуживания без закрытия связи (в т.ч. измерение показателей ошибок).

Контрольные измерения при ремонтно-восстановительных работах выполняют после устранения повреждений.

Специальные измерения проводят в период опытной эксплуатации ВОЛС и ее элементов.

Лабораторная работа №1

Изучение метода вносимых потерь при исследовании потерь мощности сигнала в оптическом волокне.

Цель работы: знакомство с методом вносимых потерь, исследование потерь в оптическом волокне на разных длинах волн, определение коэффициента затухания оптического волокна.

Подготовка к работе:

1. Знакомство с техникой безопасности при работе с источниками оптического излучения и оптическим волокном;
2. Изучение состава комплектующих и расходных материалов, а также последовательности выполнения операций при проведении измерений;
3. Изучение порядка работы с измерительными приборами и вспомогательными устройствами;
4. Подготовка бланков протоколов измерений;
5. Проведение измерений;
6. Формирование отчёта по результатам выполнения работы.

Контрольные вопросы для оценки знаний:

1. Из чего складывается бюджет оптических потерь ВОЛС?
2. Технические характеристики оптических волокон;
3. Нормы и допуски на применение оптических волокон в составе линейного тракта;
4. Методы измерения технических характеристик оптических волокон;

5. Зависимость потерь в оптических волокнах от длины волны проходящего излучения;
6. Зависимость потерь в оптических волокнах от механических нагрузок.

Материалы, приборы и инструменты, необходимые для проведения лабораторной работы:

1. Жидкость для очистки торцов коннекторов (**ЯД! ОПАСНО!**)
2. Соединительные оптические шнуры;
3. Источник оптического излучения 1310 нм;
4. Источник оптического излучения 1550 нм;
5. Измеритель оптической мощности;
6. Соединительная оптическая розетка FC/APC;
7. Одномодовое оптическое волокно типа G.652 длиной не менее 1 км;
8. Многомодовое оптическое волокно типа G.651 длиной не менее 1 км;
9. Одномодовое и многомодовое нормализующие волокна длиной не менее 1 км.

Теоретические сведения.

Для измерения потерь в оптических волокнах при технической эксплуатации ВОЛС в 90% случаев применяется метод вносимых потерь. Это неразрушающий метод контроля состояния оптической среды передачи, который позволяет с минимальными затратами времени оценить текущее затухание линии и сделать выводы о перспективах её дальнейшей эксплуатации. Технические характеристики оптических волокон приведены в Приложении 1.

Метод вносимых потерь включает в себя два технических действия и простой расчёт затухания по полученным результатам.

1. Проведение калибровки.

Калибровка проводится с целью компенсации влияния шумов фотодиода и входных усилителей измерительного прибора на результаты измерений. Для калибровки измерительных приборов необходимо к выходу источника оптического излучения подключить соответствующее нормализующее волокно, к другому концу которого подключается измеритель оптической мощности. После выполненных подключений, включается источник оптического излучения и измеритель. Приборы должны прогреться в течение 5 минут, после чего их технические характеристики придут в норму. По истечении 5 минут работы показания

измерителя заносятся в 3 столбец таблицы 1.1. Измерения проводятся на длинах волн 1310 нм и 1550 нм.

№п/п	Длина волны излучения, нм	$P_{\text{калибровки, дБ}} (P_0)$	$P_{\text{изм.}}, \text{ дБ} (P_1)$	$A_{\text{изм, дБ}}$	$\alpha_{\text{изм, дБ/км}}$
1	2	3	4	5	6
1	1310				
2	1550				

2. Измерение потерь мощности при прохождении света по оптическому волокну.

Для проведения измерений необходимо отсоединить измеритель и к выходу нормализующего волокна подключить измеряемое волокно. Другой конец измеряемого волокна подключается к измерителю оптической мощности (приборы при этом не выключаются!). После этого оценивается уровень оптической мощности на выходе измеряемого волокна. Данные измерений заносятся в 4 столбец таблицы 1.1.

3. Расчёт затухания и коэффициента затухания по результатам измерений.

После проведения измерений необходимо сделать расчёт потерь мощности и действующего в данном волокне коэффициента затухания. Для этого из показаний столбца 4 надо вычесть показания столбца 3 таблицы 1.1. Результат заносится в столбец 5 этой же таблицы.

Для расчёта коэффициента затухания надо поделить результат расчёта на длину оптического волокна, для которого проводилось измерение потерь мощности. Результат заносится в столбец 6 таблицы 1.1.

Содержание отчёта:

1. Теоретические сведения;
2. Схема измерения величины затухания;
3. Расчётная таблица;
4. Выводы по работе.

Лабораторная работа №2

Изучение рефлектометрического метода оценки текущего состояния ВОЛС.

Цель работы: знакомство с рефлектометрическим методом тестирования ВОЛС, исследование распределения потерь по длине оптического волокна на разных длинах волн, нахождение неисправностей в оптическом волокне, определение коэффициента затухания оптического волокна.

Подготовка к работе:

1. Знакомство с техникой безопасности при работе с оптическим рефлектометром и оптическим волокном;
2. Изучение принципа работы оптического рефлектометра, а также последовательности выполнения операций при проведении измерений;
3. Изучение порядка работы с измерительными приборами и вспомогательными устройствами;
4. Подготовка бланков протоколов измерений;
5. Проведение измерений;
6. Формирование отчёта по результатам выполнения работы.

Контрольные вопросы для оценки знаний:

1. Виды неоднородностей оптического волокна;
2. Технические характеристики оптических волокон;
3. Нормы и допуски на применение оптических волокон в составе линейного тракта;
4. Рефлектометрический метод измерения технических характеристик оптических волокон;
5. Зависимость потерь в оптических волокнах от длины волны проходящего излучения;
6. Зависимость потерь в оптических волокнах от механических нагрузок.
7. Принцип действия оптического рефлектометра;
8. Определение расстояний до мест неоднородностей;
9. Определение длины мёртвых зон и их компенсация при проведении измерений;

Материалы, приборы и инструменты, необходимые для проведения лабораторной работы:

1. Жидкость для очистки торцов коннекторов (**ЯД! ОПАСНО!**)

2. Салфетки для протирки торцов оптических волокон;
3. Соединительные оптические шнуры;
4. Оптический рефлектометр;
5. Соединительная оптическая розетка FC/APC;
6. Одномодовое оптическое волокно типа G.652 длиной не менее 1 км;
7. Многомодовое оптическое волокно типа G.651 длиной не менее 1 км;
8. Одномодовая и многомодовая рефлектометрические катушки длиной не менее 1 км.

Теоретические сведения.

Работа оптического рефлектометра основана на анализе отражённого в обратном направлении рассеянного света с длиной волны, соответствующей рабочей длине волны системы передачи. Для получения обратно рассеянного и отражённого от неоднородностей света применяется оптический рефлектометр – прибор с помощью которого в оптическое волокно вводятся световые импульсы прямоугольной формы. При распространении этого импульса вдоль волокна происходит частичное поглощение его мощности и рассеяние его во все стороны из-за эффекта рассеяния Рэлея. Часть рассеянной мощности передаётся в обратном направлении к рефлектометру и называется обратным рассеянием Рэлея. По изменению величины интенсивности этого потока во времени производят оценку распределения потерь по длине оптического волокна. Каждое волокно обладает своим коэффициентом рассеяния Рэлея, связанным с химическим составом оптического волокна и величиной флуктуации его показателя преломления. Величина рассеяния Рэлея определяется по формуле

$$P_{Pэл} = \frac{C}{\lambda}$$

Где C

Лабораторная работа №3

Изучение работы пассивных оптических компонентов, применяемых в сетях связи.

Цель работы: знакомство с параметрами передачи волоконно-оптических устройств линейного тракта, а также приобретение навыков работы с измерительными приборами оптического диапазона.

Подготовка к работе:

5. Знакомство с техникой безопасности при работе с источниками оптического излучения и оптическим волокном;
6. Изучение состава линейного тракта;
7. Изучение порядка работы с измерительными приборами и вспомогательными устройствами;
8. Подготовка бланков протоколов измерений.

Контрольные вопросы для оценки знаний:

6. Области применения оптических устройств, входящих в состав линейного тракта ВОЛС;
7. Технические характеристики оптических волокон;
8. Виды оптических разветвительных устройств;
9. Методы измерения параметров оптических устройств;
10. Применение оптических устройств в сетях связи

Материалы, приборы и инструменты, необходимые для проведения лабораторной работы:

10. Жидкость для очистки торцов коннекторов (**ЯД! ОПАСНО!**)
11. Оптические шнуры;
12. Источник оптического излучения 1310 нм;
13. Источник оптического излучения 1550 нм;
14. Измеритель оптической мощности;
15. Сплавной оптический разветвитель;
16. Оптическая розетка FC/APC;
17. Разветвитель WDM;
18. Оптический циркулятор.

Теоретические сведения.

Оптические устройства давно используются в технике измерений. Но наибольшее применение они нашли в области связи при построении сетей абонентского доступа. Их назначение при этом – подключение большого количества абонентов к удалённой станции с помощью одного оптического волокна. Пример такого подключения приведён на Рис.1

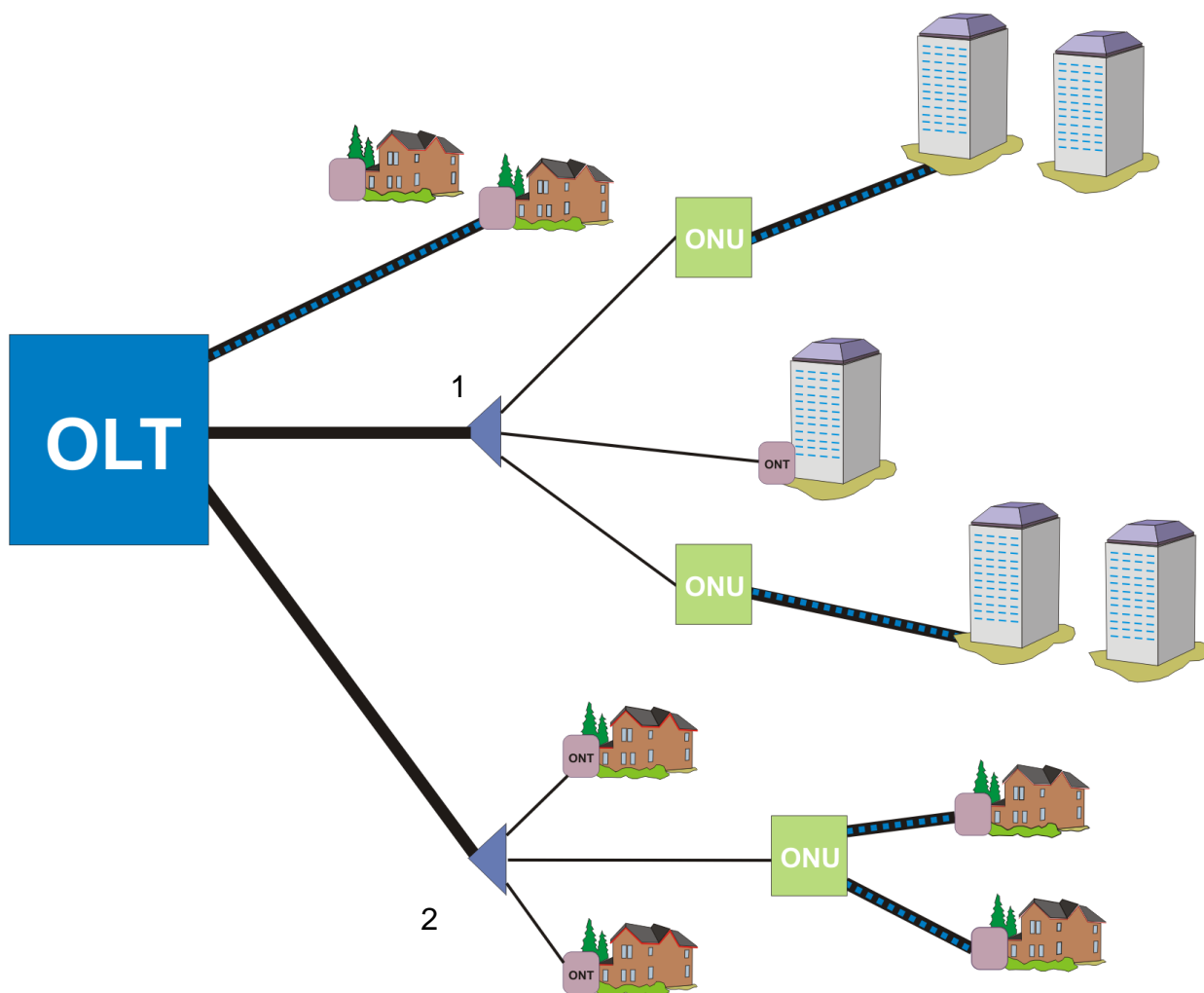


Рис.1 Применение сплиттеров в пассивной оптической сети.
(OLT – Optical Line Terminal – оптическое линейное окончание; 1, 2 – волоконно-оптические разветвители; ONU – Optical Network Unit – оптическая сетевая ячейка; ONT – Optical Network Terminal – оптическое сетевое окончание)

С появлением оптического волокна разветвители (сплиттеры) стали делать путём склейки или сплавления оптических волокон друг с другом. Такие сплиттеры называются сплавными или FBT (Fusion Biconic Tube) разветвителями. Наряду с FBT разветвителями в период массового построения пассивных оптических сетей абонентского доступа изготовители стали выпускать и так называемые планарные или PLC сплиттеры, выполненные по планарной технологии. Этот вид разветвителей особенно хорош при подключении большого количества абонентов к одному оптическому волокну и имеет при этом более ровные характеристики, нежели FBT-сплиттер.

Технические параметры PLC сплиттеров

Параметры	Тип сплиттера					
	1×2	1×4	1×8	1×16	1×32	1×64
Длина волны (nm)	1310~1550					
Вносимые потери (Insertion Loss), дБ	4.0	7.3	10.5	13.7	16.9	21.0
Однородность (Uniformity), дБ	0.4	0.6	0.8	1.2	1.5	2.5
Возвратные потери (Return Loss), дБ	50/55	50/55	50/55	50/55	50/55	50/55
Поляризационно-зависимые потери (Polarization Dependent Loss PDL), дБ	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
Направленность (Directivity), дБ	55	55	55	55	55	55
Зависимость потерь от температуры (дБ/°C)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Рабочая температура (°C)	-40 ~ +85					
Температура хранения (°C)	-40 ~ +85					
Относительная влажность	20% ~ 90%					

Кроме этих двух основных типов оптических разветвителей ранее применялись и устройства, выполненные по другим технологиям, например:

1. с расщеплением пучка частично отражающими металлическими или диэлектрическими зеркалами;
2. изготовленные путём склеивания выходных оптических волокон вдоль сошлифованных под малым углом сердцевин и соединения входного торца с торцом оптического волокна;
3. с цилиндрическими линзами;
4. со сферическим зеркалом.

Такие разветвители не нашли широкого применения из-за сложности изготовления и нестабильности параметров при эксплуатации.

Технические характеристики волоконно-оптического разветвителя зависят от длины волны проходящего через него оптического излучения. В соответствии с ГОСТ 26599 — 85 «Компоненты волоконно-оптических систем передачи. Термины и определения» все разветвители делятся на нейтральные (ныне известные как «широкополосные», «широкооконовые» или «многооконовые», например «двухоконовые», «трёхоконовые» и т.д.) и спектрально-селективные (узкооконовые)). В отличие от узкополосных, широкополосные сохраняют свои параметры в широком (± 40 нм), а не в узком (± 10 нм) рабочем диапазоне изменения передаваемой длины волны. Иногда также можно встретить термины «стандартный однооконовый разветвитель» (± 10 нм) и широкополосный однооконовый (± 40 нм).

Разветвитель изготавливается для работы на заранее определённой длине волны, называемой в этом случае «центральной». Существуют разветвители с одной, двумя и тремя центральными длинами волн (две и три центральные длины используются в телекоммуникациях, в частности, при создании пассивных оптических сетей абонентского доступа). Допустимые отклонения ± 40 нм или ± 10 нм формируют рабочую полосу пропускания (operating wavelength range), в пределах которой технические характеристики устройства постоянны или изменяются, не выходя за обозначенные допуски.

Для симметричных разветвителей очень важен параметр, имеющий название «коэффициент деления» (K_r). Дело в том, что такие разветвители очень часто применяются в сетях ПОС (или PON — пассивных оптических сетях), а в условиях города абоненты размещаются очень плотно на небольшой территории и для них очень важно установить одинаковый уровень принимаемого оптического сигнала на входе каждого из абонентских устройств. Наибольшие потери оптической мощности в таких сетях приходятся именно на оптические разветвители, поэтому требования к их техническим характеристикам очень высоки. Коэффициент деления показывает отношение оптической мощности в отдельном выходном порту к суммарной мощности на всех выходных портах (параметр имеет смысл только для симметричных разветвителей). Ввиду сильной зависимости характеристик от длины волны, коэффициент деления оценивается только на центральной длине волны.

Итак, на вход разветвителя подается оптическое излучение определённой мощности. Логично предположить, что сумма оптических мощностей на выходных портах разветвителя будет равна входной мощности. Но на практике такого не происходит. Часть мощности теряется в разветвителе,

бесполезно растрачивая свою энергию на нагрев стекла и частично рассеиваясь за пределы световода. Такие потери называются «избыточными потерями» и всегда присутствуют в оптических системах. Их максимальная величина (в соответствии с действующими нормами) может достигать 0,9 дБ. Это означает, что мощность входного излучения, выраженная в Ваттах больше суммарной выходной мощности (тоже в Ваттах) в 1,23 раз или то, что если мощность входного излучения принять за единицу, то суммарная выходная мощность будет равна 0,87. Избыточные потери носят аббревиатуру EL, что означает “excess loss”, то есть дополнительные потери, происходящие внутри разветвителя.

Разветвитель делит входную мощность на несколько выходных портов. Это означает, что световая мощность в каждом отдельном порту как минимум в два раза меньше входной мощности (для симметричного разветвителя 1:2 без учёта избыточных потерь). А что произойдёт в случае не двух, а трёх выходных портов? Правильно, входная мощность поделится на три направления и её уровень в каждом выходном порту станет в три раза меньше исходной. Это значит, что чем больше число выходных портов, тем меньше мощность в каждом из них. Для оценки затухания в каждом направлении разветвителя вводится понятие вносимых потерь (IL – insert loss – вносимые потери или вносимое затухание). Они представляют собой отношение входной оптической мощности (в Ваттах) к мощности, приходящей в отдельный выходной порт. Их можно также представить как сумму избыточных потерь и потерь, вызванных делением мощности. Вносимые потери это важнейший параметр качества разветвителя и их величина в большинстве случаев должна быть минимальна.

Когда свет вводится в разветвитель через входной порт, её часть вследствие рассеяния на участке сплавления световодов возвращается назад, образуя так называемые возвратные потери. По сути, возвратные потери это отношение входной мощности к мощности, возвращающейся в тот же входной порт из разветвителя, выраженное в децибелах. При оценке возвратных потерь необходимо исключить отражения света от торцов световодов выходных портов, иначе измерение возвратных потерь приведёт к неправильным и плохим результатам. Кроме возвратных потерь, в литературе иногда можно встретить термин «затухание отражения». Для оптического разветвителя затухание отражения это отношение мощности, возвращающейся во входной порт к входящей в него мощности. Это величина нормируется значением 50 дБ.

Для симметричных разветвителей очень важен ещё один технический параметр — неравномерность разветвителя (uniformity). Дело в том, что свет из входного порта передается на выходы разветвителя неодинаково и имеется различие мощностей в выходных портах. В хорошем симметричном разветвителе разность уровней мощности на выходах должна быть минимальной и близкой к нулю. На практике нулевой величины при изготовлении добиться очень трудно, тем более, что неравномерность зависит от температуры окружающей среды (а, следовательно, и разветвителя) и длины волны проходящего оптического излучения. Неравномерность разветвителя легко рассчитать, зная вносимые потери в отдельных портах. Если взять максимальные вносимые потери и вычесть из этого значения минимальные вносимые потери, то их разность и даст значение неравномерности.

В таблице 1. Приведены типичные характеристики многомодового оптического разветвителя.

Таблица1. Технические характеристики многомодового разветвителя 1x2

Тип	Многомодовый стандартный волоконно-оптический разветвитель	
Коэффициент деления(%)	50/50	
Класс	1	2
Избыточные потери(Тип.)	0.8	1,0
Макс. вносимые потери(дБ)	3.9	4.1
Неоднородность(Макс)(дБ)	0.6	0.8
Направленность(дБ)	≥40	
Диапазон (нм)	600~1600	
Центральная длина волны(нм)	1300 или 850	
Рабочая температура(°C)	-40~+85	
Тип волокна	Corning Multimode 50/125,62.5/125	

Кроме разветвителей, разделяющих передаваемую оптическую мощность на все выходные порты поровну, существуют разветвители, делящие её не поровну, а в соответствии с заранее установленными правилами. Такие разветвители называются асимметричными разветвителями или согласующими ответвителями и выполняются на основе FBT-сплиттеров. Большая часть энергии в таких устройствах передаётся на главный порт, а небольшая её часть (от 1% и более) – на порт ответвления.

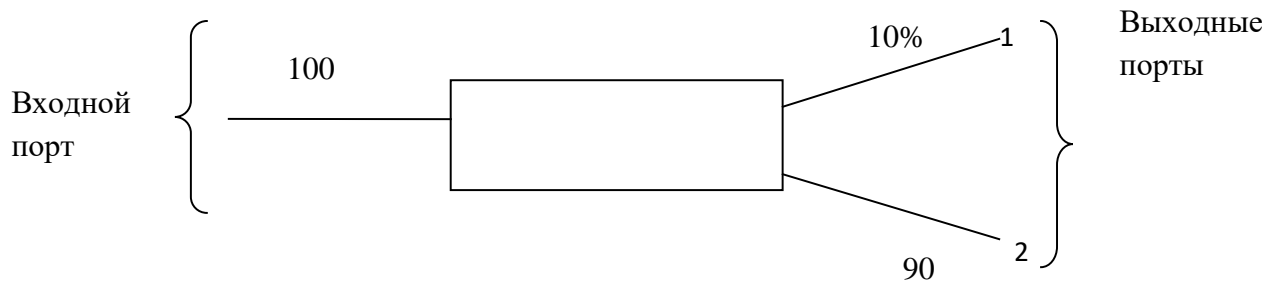


Рис.2 Работа асимметричного разветвителя.

Третьей разновидностью волоконно-оптических разветвителей являются разветвители WDM, изготавливаемые по технологии FBT. Это избирательные по длине волны разветвители, у которых в зависимости от проходящей длины волны, сигналы могут передаваться на разные выходные порты.

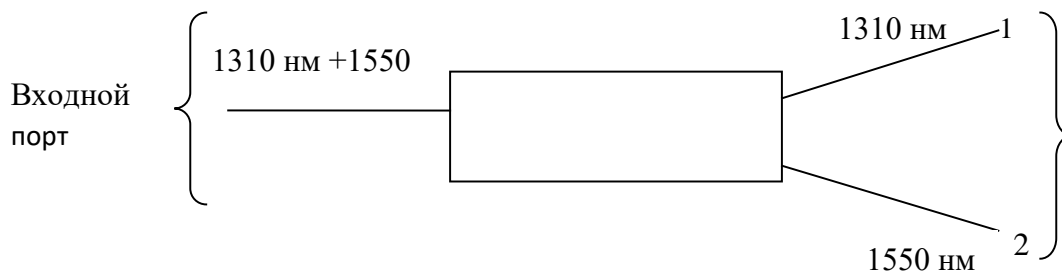


Рис.3. Работа разветвителя WDM.

Такие устройства могут применяться в случае необходимости увеличения пропускной способности волоконно-оптической линии связи. Для этого между оптическим передатчиком и кабельным волокном вставляют разветвитель WDM, который одним из входных портов подключается к передатчику на рабочей длине волны, а в другой входной порт вводится изучение с другой длиной волны. Таким образом, в кабельном волокне распространяются одновременно два сигнала на разных длинах волн. При достижении противоположного конца линии эти сиг λ_1 и при помощи того же устройства – разветвителя WDM - передаются в разные выходные порты, как это показано на Рис.4.

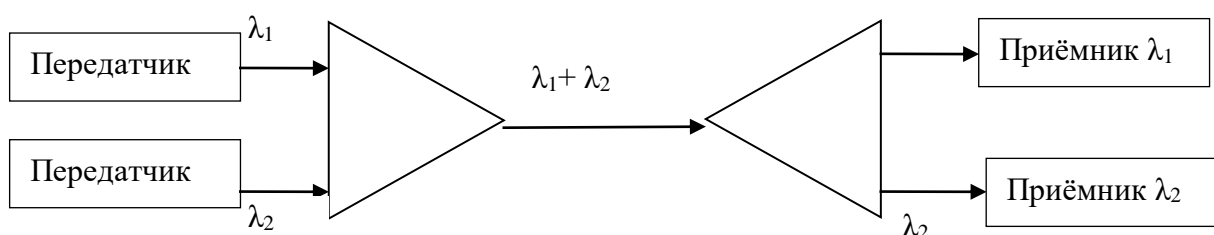


Рис.4 Работа WDM-разветвителя при уплотнении линии дополнительным каналом, работающим на другой длине волны.

Ещё одной разновидностью разветвительных устройств представляют циркуляторы – устройства последовательно передающие сигнал из одного порта в другой и выполненные по технологии FBT. Существуют трёхпортовые и многопортовые циркуляторы. Работа 3-портового циркулятора изображена на Рис.5.

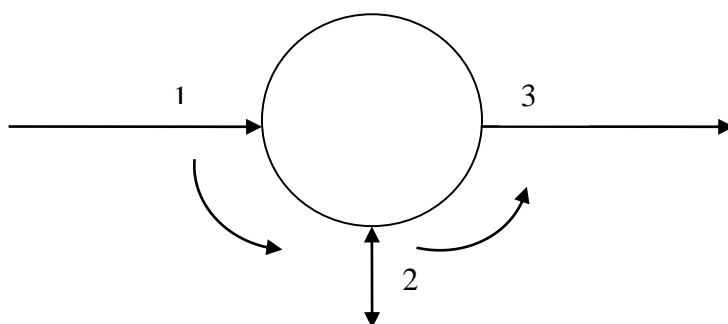


Рис.5. Работа 3-портового волоконно-оптического циркулятора. Сигнал из порта 1 проходит только в порт 2 и не проходит в порт 3. Сигнал, поданный в порт 2, проходит только в порт 3.

В данной лабораторной работе будут исследоваться параметры симметричных FBT разветвителей, волоконно-оптических циркуляторов и WDM-сплиттеров.

Схемы проведения измерений.

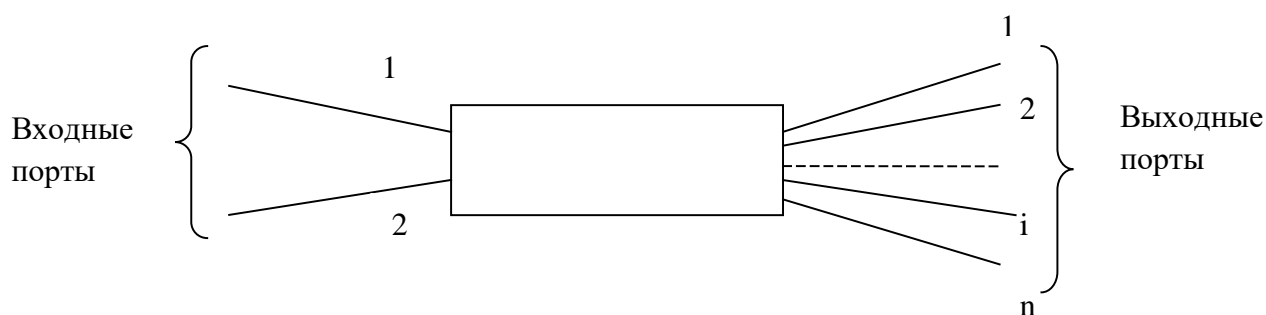


Рис.6. Волоконно-оптический разветвитель 2:N.

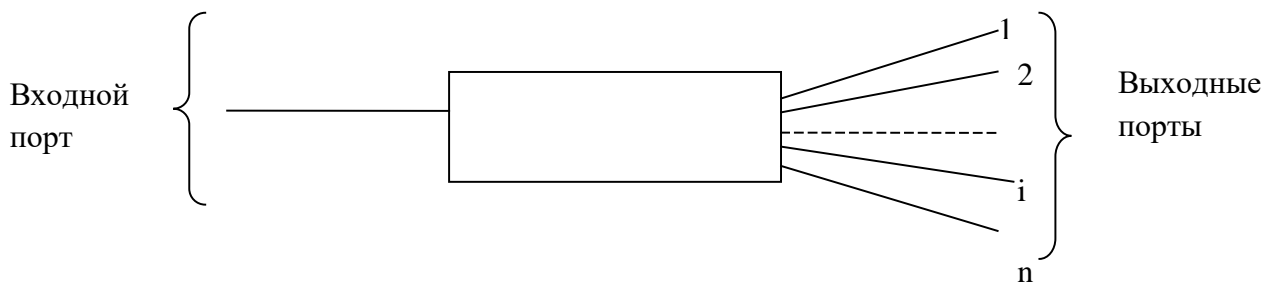


Рис.7. Волоконно-оптический разветвитель 1:N.

Основные характеристики волоконно-оптических разветвителей.

Коэффициент деления разветвителя:
$$K_r = \frac{P_k}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ВЫХ } i}} \quad (1)$$

Где
$$\sum_{i=1}^n P_{\text{ВЫХ } i} = P_{\text{out}} \quad (2)$$

Вносимые потери:

$$IL = P_{\text{ВХ}} - P_{\text{ВЫХ } i} \text{ , дБ} \quad (3)$$

Дополнительные (избыточные) потери:

$$EL = P_{\text{вх}} - \sum_{i=1}^n P_{\text{вых } i} \text{ дБ} \quad (4)$$

Оптические возвратные потери:

$$ORL = P_{\text{ВХ}} - P_{\text{ВХ обр}} \text{ дБ} \quad (5)$$

Неравномерность:

$$U = IL_{\text{max}} - IL_{\text{min}} \text{ , дБ} \quad (6)$$

Подготовка к проведению измерений

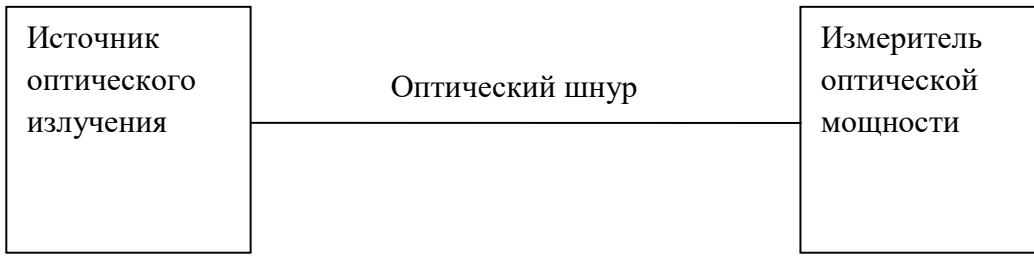


Рис.8. Подготовка измерительных приборов к проведению измерений. Измерение уровня мощности, вводимой во входной порт оптического разветвителя.

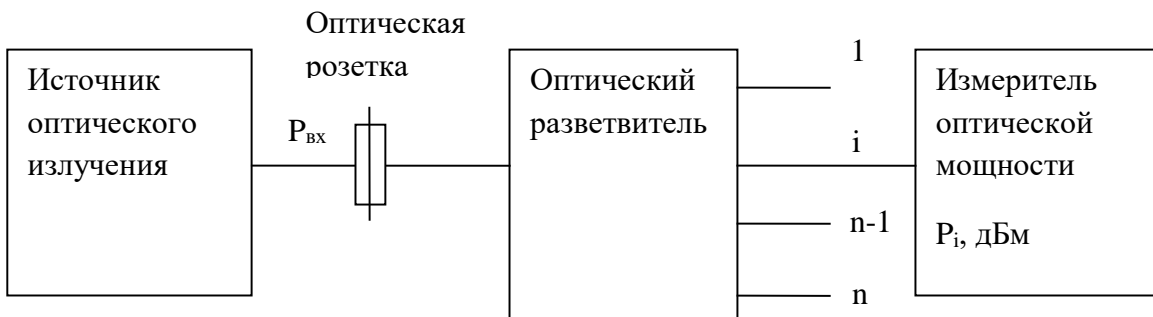
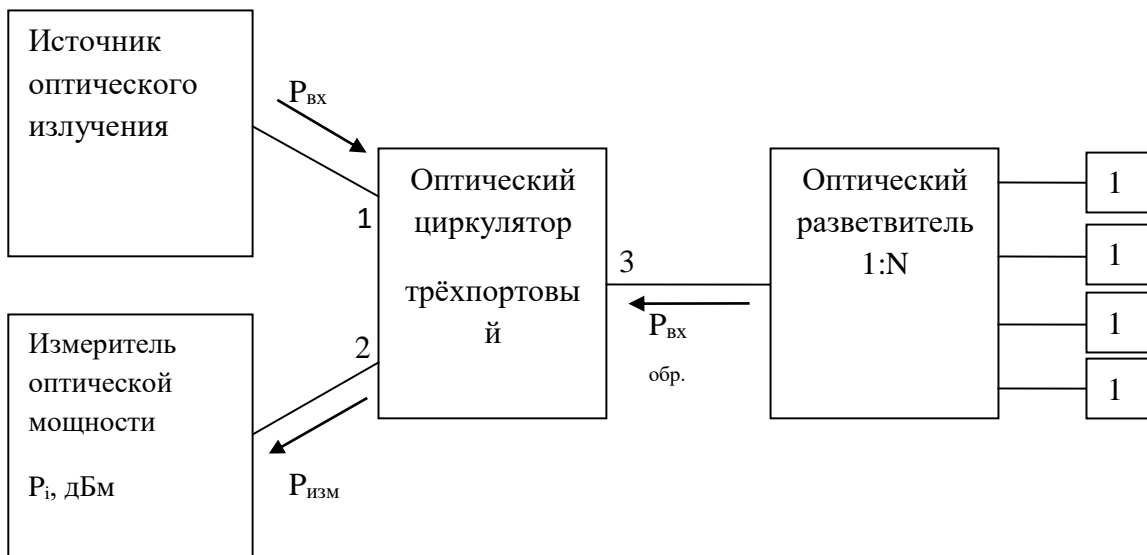


Рис.9. Схема для измерения вносимых потерь в выходных портах разветвителя.



1 – устройство для подавления отражений от торца волокна.

Рис.10. Схема для измерения возвратных потерь.

Порядок выполнения работы.

А. Подготовительный этап.

1. Включите измерительные приборы и источники оптического излучения. **ВНИМАНИЕ!!!** При включенных источниках оптического излучения направлять излучение в сторону глаз **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ!!!** Время прогрева измерительных приборов должно быть не менее минут.
2. Подготовьте оптический шнур для проведения тестирования источника оптического излучения:
 - 2.1. Снимите с коннекторов защитные колпачки;
 - 2.2. Протрите торцы оптических волокон безворсовой салфеткой, смоченной пропанолом (**Осторожно, Яд!**);
 - 2.3. Подключите оптический шнур к источнику излучения и к измерителю оптической мощности.
3. Снимите показания измерителя оптической мощности в дБ на двух длинах волн – 1310 нм и 1550 нм.
4. Запишите полученные данные в таблицу 1.
5. Отключите шнур от измерителя оптической мощности.

Проведение измерения вносимых потерь в оптическом разветвителе.

1. Отключите оптический шнур от измерителя и подключите его к входу разветвителя.
2. Подключите шнуром первый выходной порт разветвителя к измерителю оптической мощности.
3. Снимите показания измерителя и запишите их в таблицу 1.
4. Проведите измерение уровня оптической мощности на других выходных портах оптического разветвителя.
5. Запишите полученные данные в таблицу 1.
6. Проведите такие же измерения на длине волны 1310 нм и 1550 нм.
7. Рассчитайте вносимые потери, избыточные потери, неравномерность и коэффициент деления оптического разветвителя по формулам (1) ÷ (6)
8. Занесите данные в таблицу 2.

Таблица 2. Исследование основных технических характеристик оптического разветвителя.

№п/п	$R_{вх}$, дБм	$R_{вых}$ дБм	i , %	$K_{дел}$, %	Π , дБ	E_L , дБ	U , дБ
$\Lambda = 1310$ нм							
1							
2							
3							
4							

№п/п	$R_{вх}$, дБм	$R_{вых}$ дБм	i , %	$K_{дел}$, %	Π , дБ	E_L , дБ	U , дБ
$\Lambda = 1550$ нм							
1							
2							
3							
4							

Измерение технических характеристик циркулятора.

Для исследования оптических возвратных потерь волоконно-оптического разветвителя необходимо измерить параметры циркулятора. Эти устройства применяются

- a) в оптических усилителях;
- b) в мультиплексорах/демультиплексорах совместно с решётками Брэгга;
- c) в компенсаторах дисперсии;
- d) в измерительных приборах и устройствах;
- e) в мультиплексорах ввода-вывода;
- f) в двунаправленных системах, работающих по одному волокну на одной длине волны;
- g) волоконно-оптические датчики.

Циркуляторы (далее Ц) бывают трёхпортовые и многопортовые. Наиболее часто применяется 3-портовый Ц. Трёхпортовый Ц – это устройство, предающее световой поток из порта 1 в порт 2, а из порта 2 в порт 3. Порт 3 обычно оптически изолирован от порта 2, но в некоторых случаях может быть связан с ним. Эти устройства работают на одной длине волны, которая задаётся при изготовлении.

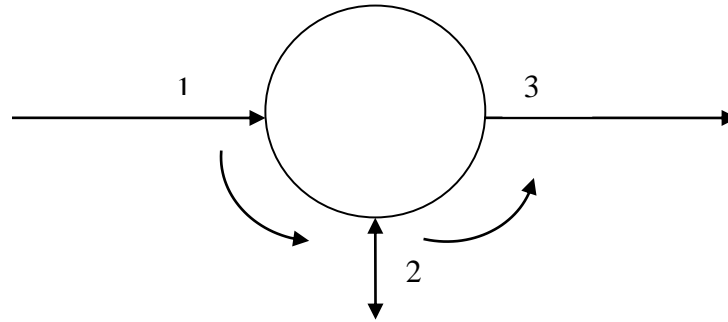


Рис.11. Схематическое обозначение трёхпортового оптического циркулятора.

Основными характеристиками оптического циркулятора являются:

1. Вносимые потери между портами 1 и 2 на центральной длине волны;
2. Вносимые потери между портами 2 и 3 на центральной длине волны;
3. Изоляция между каналами (рабочими длинами волн) в портах Ц;

Проведение измерений.

1. Проведите измерение входной мощности в соответствии с Рис.3
2. Соедините оптическим шнуром выход источника оптического излучения со входным портом (портом 1) циркулятора. Входной коннектор шнура отключать от источника недопустимо(!).
3. Соедините выходной порт 2 с измерителем оптической мощности.
4. Произведите снятие показаний измерительного прибора. Результаты измерения занесите в Таблицу 2.
5. Соедините оптическим шнуром выход источника оптического излучения со портом 2 циркулятора.
6. Соедините выходной порт 2 с измерителем оптической мощности.
7. Произведите снятие показаний измерительного прибора. Результаты измерения занесите в Таблицу 3.
8. Полученные данные будут необходимы при проведении измерений оптических возвратных потерь.

Измерение оптических возвратных потерь.

5. Перед измерением оптических возвратных потерь подготовьте к работе оптический циркулятор. Для этого проведите измерение вносимых потерь между портами 1 и 3, а также между портами 3 и 2.
6. Данные измерений запишите в таблицу 2.
7. Подключите порт 1 к выходу источника оптического излучения, а порт 2 к измерителю оптической мощности.
8. Подключите к порту 3 вход тестируемого разветвителя.

9. С помощью коннекторов APC подавите отражения от границы «стекло-воздух» в выходных портах тестируемого разветвителя.
10. Проведите измерение оптической мощности на выходе 2 порта калибровочного разветвителя (на входе измерителя оптической мощности).
11. Запишите показания измерительного прибора в таблицу 4.
12. Проведите измерения на другой длине волны.
13. Рассчитайте оптические возвратные потери по формуле (5). При расчёте ORL учитывайте потери, добавленные вспомогательным разветвителем.

Таблица 3. Результаты исследования циркулятора.

№п/ п	$P_{\text{вх.}}$	$P_{\text{вых3}}$	$P_{\text{вых2}}$	Π_{1-3}	Π_{3-2}
$\Lambda = 1310 \text{ нм}$					
1					
$\Lambda = 1550 \text{ нм}$					
2					

Таблица 4. Результаты измерения оптических возвратных потерь (ORL).

№п/ п	$P_{\text{вх.}}, \text{ дБм}$	$P_{\text{изм.}}, \text{ дБм}$	$\Delta P = P_{\text{вх}} - \Pi_{1-3} - \Pi_{3-2}$	ORL, дБ
$\Lambda = 1310 \text{ нм}$				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
$\Lambda = 1550 \text{ нм}$				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Измерение технических характеристик разветвителя WDM (WDM-сплиттера).

Разветвителем WDM (часто называемым WDM-сплиттером или мультиплексором WDM, WDM расшифровывается как Wavelength-division multiplexing – спектральное разделение каналов) называется устройство, разделяющее групповой поток, состоящий из двух длин волн (двух каналов) на два одноволновых (одноканальных) направления и выполняющее функцию объединения длин волн (каналов) в обратном направлении. То есть использование данной технологии позволяет объединять два сигнала с различными длинами волны для отправки по одному передающему волокну, объединение выполняется оптическим разветвителем WDM (в этом случае он иногда называется комбайнером). По прохождении сигналы вновь разделяются WDM-сплиттером на исходные, для разделения используется фильтрация по длине волны.



Рис.12. Схема WDM-сплиттера. Работа при разделении каналов.



Рис.13. Схема WDM-сплиттера. Работа при объединении каналов.

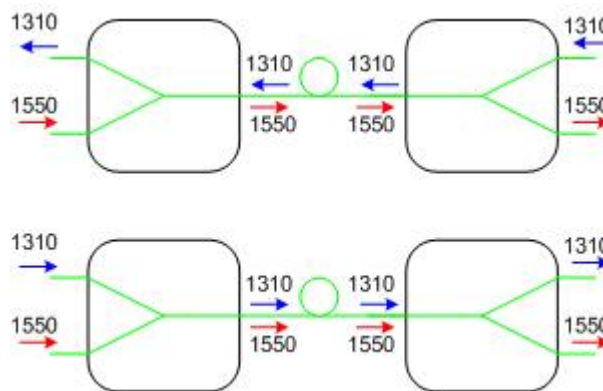


Рис.14. Работа WDM-сплиттеров при спектральном уплотнении каналов в одном направлении и во встречных направлениях.

Особенностью такого устройства при разделении каналов является то, что часть мощности из одного канала на выходе попадает в другой канал. Если провести измерения в любом выходном порте WDM-сплиттера, то окажется, что в порт 1310 нм попадает часть излучения с длиной волны 1550 нм, и наоборот – в выходном порту 1550 нм присутствует часть мощности 1310 нм. Логарифмическое отношение мощностей каналов в выходном порту называется изоляцией каналов. Изоляция рассчитывается по следующей формуле:

$$a_{из} = 10 \lg \frac{P_{1550, \text{МВт}}}{P_{1310, \text{МВт}}}, \text{ дБ}$$

Кроме изоляции каналов к техническим характеристикам относятся:

1. рабочие длины волн;
2. ширина канала (обычно ± 10 нм);
3. коэффициент деления оптического сигнала (от 50/50 до 1/99);
4. вносимые потери ($\leq 1,2$ дБ);
5. направленность (≥ 50 дБ);
6. поляризационно-зависимые потери (обычно $\leq 0,1$ дБ);
7. рабочая температура ($-40^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$)

Проведение измерений.

1. Соедините источник оптического излучения с измерителем оптической мощности.
2. Включите источник и измеритель на одной длине волны.
3. Запишите показания измерителя в таблицу 4.
4. Переключите измерительные приборы для работы на другой длине волны и проведите измерения в соответствии с п.п. 1-3
5. Подключите источник оптического излучения к входному порту WDM-сплиттера.
6. К одному из выходных портов подключите измеритель уровня оптической мощности.

7. Включите источник оптического излучения и измеритель для работы на одинаковой длине волны (1310 или 1550 нм) и даёте им прогреться в течение 1 минуты.
8. Снимите показания с табло измерителя оптической мощности и запишите их в таблицу 4.
9. Переключите измерительные приборы для работы на другой длине волны.
10. Снимите показания с табло измерителя и занесите их в таблицу 4.
11. Отключите измеритель от проверенного выходного порта и подключите его к другому выходному порту.
12. Проведите измерения в соответствии с п.п. 4-8.
13. Данные измерений занесите в таблицу 5.
14. Подключите источник к порту 2 и проведите измерения в соответствии с п.п. 4-13.

Таблица 5. Результаты измерений.

№ входного/выходного порта	$P_{вх1310}$, дБм	$P_{вх1550}$, дБм	$P_{вых1310}$, дБм	$P_{вых1550}$, дБм	$a_{из.}$, дБ	Вносимые потери П, дБ
Измерения по схеме на рис.6 (источник подключен к порту 1)						
1/2						
1/3						
Измерения по схеме на рис.7 (источник подключается последовательно к портам 2 и 3)						
2/1						
3/1						

Содержание отчёта:

1. Исходное задание, соответствующее номеру Вашего варианта
2. Теоретический расчет с указанием всех использованных формул и комментариями
3. Таблицу 1 с результатами предварительных измерений
4. Таблицу 2 с результатами измерений и расчетов
5. Таблицу 3 с результатами измерений и расчетов
6. Таблицу 4 с результатами измерений и расчетов
7. Формулы и комментарии, относящиеся к обработке результатов измерений
8. Гистограммы исследований на двух длинах волн.

Литература:

1. Убайдуллаев Р.Р., Петренко И.И. «Пассивные оптические сети PON» Часть 3 «Проектирование оптимальных сетей». Журнал «LIGHTWAVE russian edition» №3 2004.
2. Г. Агравал «Применение нелинейной волоконной оптики» Глава 2 «Волоконные разветвители» СПб, изд. «Лань» 2011 г.
3. С.А. Дмитриев, Н.Н. Слепов «Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы» М. изд. Техносфера, 2010г.

Приложения.

Приложение 1.

Характеристики оптических волокон

Одномодовые оптические волокна:

- одномодовое оптическое волокно, с расширенным диапазоном рабочих длин волн и с повышенным порогом стимулирования бриллюэновского рассеяния рекомендация МСЭ-Т G.652 D;
- одномодовое оптическое волокно с положительной ненулевой смещенной дисперсией, по рекомендации МСЭ-Т G.655 C;
- одномодовое оптическое волокно с отрицательной ненулевой смещенной дисперсией, по рекомендации МСЭ-Т G.655;
- одномодовое оптическое волокно с минимизированным затуханием, по рекомендации МСЭ-Т G.652 B

Многомодовые оптические волокна:

- многомодовое оптическое волокно, с соотношением диаметров сердцевины и оболочки -50/125 мкм, по рекомендации МСЭ-Т G.651;
- многомодовое оптическое волокно, с соотношением диаметров сердцевины и оболочки -62,5/125 мкм, в соответствии с требованиями МЭК 60793-2-10.

**Основные характеристики одномодового оптического волокна
с расширенным диапазоном рабочих длин волн
и с повышенным порогом стимулирования бриллюэновского рассеяния
(рекомендация МСЭ-Т G.652D)**

Рабочие длины волн, нм	1310÷1625
Диаметр оболочки, мкм	125±1
Некруглость оболочки, %, не более	1
Диаметр защитного покрытия, мкм	250±15
Коэффициент затухания дБ/км: на длине волны 1310 нм, не более на длине волны 1383 нм, не более на длине волны 1550 нм, не более на длине волны 1625 нм, не более	0,36 0,35 0,22 0,23
Коэффициент хроматической дисперсии, пс/(нм·км) в интервале длин волн: (1285÷1330) нм, не более (1525÷1575) нм, не более (1565÷1625) нм, не более	3,5 18 22
Поляризационная модовая дисперсия (ПМД), пс/√км, не более	0,2
Наклон дисперсионной характеристики в области длины волны нулевой дисперсии, пс/(нм ² ·км) в интервале длин волн 1285 нм÷1330 нм, не более	0,092
Длина волны нулевой дисперсии, нм	1310±10
Длина волны отсечки, нм, не более	1260
Диаметр модового поля, мкм на длине волны 1310 нм на длине волны 1550 нм	9,2±0,4 10,4±0,5
Неконцентричность модового поля, мкм, не более	0,5

**Основные характеристики одномодового оптического волокна
с положительной ненулевой смещенной дисперсией
(рекомендация МСЭ-Т G.655 C)**

Рабочие длины волн, нм	1530÷1565
Диаметр оболочки, мкм	125±1

Некруглость обложки, %, не более	1
Диаметр защитного покрытия, мкм	250±15
Коэффициент затухания дБ/км: в интервале длин волн 1530 нм ÷ 1565 нм	0,22
в интервале длин волн 1565 нм ÷ 1625 нм	0,24
Коэффициент хроматической дисперсии, пс/(нм·км) в интервале длин волн 1530 нм ÷ 1565 нм	2,0÷6,0
в интервале длин волн 1565 нм ÷ 1625 нм	4,5÷11,5
Поляризационная модовая дисперсия (ПМД), пс/√км, не более	0,2
Длина волны отсечки, нм, не более	1470
Диаметр модового поля, мкм на длине волны 1550 нм	(8,0÷10,0)±0,7
Неконцентричность модового поля, мкм, не более	0,5

**Основные характеристики одномодового оптического волокна
с отрицательной ненулевой смещенной дисперсией
(рекомендация МСЭ-Т G.655)**

Рабочие длины волн, нм	1530÷1605
Диаметр оболочки, мкм	125±1
Некруглость обложки, %, не более	1,0
Диаметр защитного покрытия, мкм	250±15
Коэффициент затухания дБ/км: в интервале длин волн 1530 нм ÷ 1565 нм	0,22
в интервале длин волн 1565 нм ÷ 1605 нм	0,24
Коэффициент хроматической дисперсии, пс/(нм·км) в интервале длин волн от 1530 нм до 1605 нм	от минус 10,0 до минус 1,0
Поляризационная модовая дисперсия (ПМД), пс/√км, не более	0,2

Длина волны отсечки, нм, не более	1470
Диаметр модового поля, мкм на длине волны 1550 нм	$(8,0 \div 10,0) \pm 0,7$
Неконцентричность модового поля, мкм, не более	0,5

Основные характеристики одномодового оптического волокна минимизированного по затуханию (рекомендация МСЭ-Т G.652В)

Рабочие длины волн, нм	1310; 1550; 1625
Диаметр оболочки, мкм	125±1
Некруглость оболочки, %, не более	1
Диаметр защитного покрытия, мкм	250±15
Коэффициент затухания дБ/км: на длине волны 1310 нм, не более на длине волны 1550 нм, не более на длине волны 1625 нм, не более	0,35 0,19 0,20
Коэффициент хроматической дисперсии, пс/(нм·км) на длинах волн: (1285÷1330) нм, не более (1525÷1575) нм, не более (1565÷1625) нм, не более	3,5 18 22
Поляризационная модовая дисперсия (ПМД), пс/√км, не более	0,2
Наклон дисперсионной характеристики в области длины волны нулевой дисперсии, пс/(нм ² ·км) в интервале длин волн 1285 нм ÷ 1330 нм, не более	0,092
Длина волны нулевой дисперсии, нм	1310±10
Длина волны отсечки, нм, не более	1260
Диаметр модового поля, мкм на длине волны 1310 нм на длине волны 1550 нм	9,2±0,5 10,7±0,5
Неконцентричность модового поля, мкм, не более	0,5

**Основные характеристики многомодового оптического волокна
с соотношением диаметров сердцевины и оболочки - 50/125 мкм
(рекомендация МСЭ-T G.651)**

Рабочие длины волн, нм	1300
Диаметр сердцевины, мкм	50±3,0
Неконцентричность сердцевины относительно оболочки, мкм, не более	3
Диаметр оболочки, мкм	125±1
Некруглость оболочки, %, не более	2
Диаметр защитного покрытия, мкм	250±15
Коэффициент затухания дБ/км, не более:	0,7
Числовая апертура	0,185÷0,215
Коэффициент широкополостности, МГц·км, не менее	600

**Основные характеристики многомодового оптического волокна
с соотношением диаметров сердцевины и оболочки – 62,5/125 мкм
(требования МЭК 60793-2-10)**

Рабочие длины волн, нм	1300
Диаметр сердцевины, мкм	62,5±3,0
Неконцентричность сердцевины относительно оболочки, мкм, не более	3
Диаметр оболочки, мкм	125±1
Некруглость оболочки, %, не более	2
Диаметр защитного покрытия, мкм	250±15
Коэффициент затухания дБ/км, не более:	0,7
Числовая апертура	0,26÷0,29
Коэффициент широкополостности, МГц·км, не менее	500