

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кафедра «Радиоэлектроника и телекоммуникации»

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторного практикума
по дисциплине
для обучающихся очной и заочной форм обучения
направлений
11.04.01 - Радиотехника
и 11.04.02 - Инфокоммуникационные технологии
и системы связи

Часть 2

Севастополь
СевГУ
2021

УДК 621.396.44 (076.5)
ББК 32.886.3
В720

Р е ц е н з е н т:

И.Л. Афонин – д-р техн. наук, профессор

Ответственный за выпуск:

И. Л. Афонин – д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации»

Составитель: В. В. Головин

В720 Волоконно-оптические системы связи : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторного практикума по дисциплине для обучающихся очной и заочной форм обучения направлений: 11.04.01 - Радиотехника, 11.04.02 - Информационные технологии и системы связи [в 2-х ч.]. Часть 2 / Севастопольский государственный университет ; сост. В. В. Головин. – Севастополь : Изд-во СевГУ, 2021. – 60 с. – Текст : электронный.

Цель учебно-методического пособия – оказание помощи обучающимся очной, заочной форм обучения в подготовке и выполнении лабораторного практикума по дисциплине «Волоконно-оптические системы связи», а также в получении ими теоретических знаний и приобретении практических навыков исследования устройств волоконной оптики и построения систем на их основе.

УДК 621.396.44 (076.5)
ББК 32.886.3

Учебно-методическое пособие утверждено на заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации», протокол № 10 от 08 июня 2021 г.

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании Учёного совета Института радиоэлектроники и информационной безопасности, протокол № 12 от 17 июня 2021 г.

В авторской редакции

Изд. № 147/2021. Объем 3,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Общие сведения о лабораторном стенде	5
1.1. Правила работы на лабораторном оборудовании.....	5
1.2. Источники излучения и меры предосторожности.....	5
1.3. Общая характеристика лабораторного комплекса	9
1.4. Модули <i>SFP</i>	11
2. Лабораторная работа № 1. Исследование структуры различных схем уплотнения оптических сигналов и режимов работы сетей на их основе	14
3. Лабораторная работа № 2. Исследование структуры различных волоконно-оптических сетей с многоволновым и временным уплотнением	35
Библиографический список.....	59
Приложение А. Образец оформления титульного листа отчёта по лабораторной работе.....	60

ВВЕДЕНИЕ

В данную методическую разработку включены две лабораторные работы, которые выполняются на специализированном стенде «Эрбиевый волоконно-оптический усилитель».

Методические рекомендации содержат следующие разделы: цель работы; теоретическая часть; порядок выполнения работы; контрольные вопросы для допуска к выполнению и подготовки к защите работы.

Лабораторные работы выполняются студентами по подгруппам в составе 2 — 3 человек.

Подготовка к выполнению каждой лабораторной работы предполагает изучение теоретического материала, как приведённого в методическом пособии, так и сведений из лекционного курса по дисциплине «Устройства радиофотоники» и «Оптические системы связи», а также из рекомендованной учебной литературы по дисциплине.

Допуск к работе со стендами предполагает опрос каждого из студентов:

- по технике безопасности;
- по правилам работы с волоконно-оптическими кабелями.

Измерения проводятся в соответствии с программой исследований и на основании индивидуальных исходных данных, выбираемых студентами из соответствующих таблиц — один вариант на подгруппу.

Результаты измерения оформляются студентами подгруппы в виде единого отчёта согласно утверждённым требованиям [1]. Отчёт должен иметь титульный лист и содержать следующие разделы:

- цель работы;
- описание модели исследуемого устройства или системы;
- результаты измерений;
- анализ полученных результатов измерений;
- выводы по лабораторной работе.

Образец оформления титульного листа отчёта по лабораторной работе показан в Приложении А.

1. ОБЩЕЕ СВЕДЕНИЯ О ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

1.1. Правила работы на лабораторном оборудовании

а) При работе с подключенным к оборудованию волокном **запрещается смотреть непосредственно в торец волоконного световода**. Передаваемое по световоду излучение находится вне видимого диапазона длин волн, однако может привести к необратимым **повреждениям сетчатки глаза**.

б) Наличие в зоне монтажа мелких (менее 1 мкм) пылевых частиц, которые неразличимы глазом, может привести к их оседанию на торце оптоволокну, что в свою очередь может повлиять на увеличение рассеяния оптической энергии на его поверхности. Поэтому неиспользуемые коннекторы и адаптеры всегда должны быть закрыты колпачками.

Перед каждым использованием в измерениях оптических патч-кордов необходимо снять защитные колпачки с их торцов. После окончания работы обязательно установить на торцы оптических патч-кордов снятые защитные колпачки. Перед каждым использованием в измерениях источника оптического излучения и измерителя оптической мощности необходимо отвернуть защитный колпачок с торца его коннектора и немедленно соединить его с коннектором оптического патч-корда. После окончания измерения обязательно установить защитный колпачок на прежнее место.

в) Оптический кабель по сравнению с медным кабелем существенно более хрупок и требует внимательного и бережного отношения. **Кабель запрещено перегибать**, потому что в месте перегиба происходит выход излучения наружу и, как следствие, ослабление сигнала. Также в оптоволокне могут появиться микротрещины, что ухудшает передачу данных. В сильном перегибе могут появиться разрывы.

г) Коммутацию патч-кордов осуществлять до характерного щелчка. Отсоединение патч-кордов производить, держась пальцами за разъем, запрещается тянуть за оптоволокну.

1.2. Источники излучения и меры предосторожности

В оптоволоконных системах используются три типа источников излучения различной мощности, работающих на вполне определённых длинах волн (табл. 1.1): светодиоды, обычные лазеры и лазеры поверхностного излучения с вертикальным резонатором (*Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser* — *VCSEL*). Имеются и несколько вариантов этих трех видов устройств: лазеры с резонатором Фабри-Перо и распределённой обратной связью, а также светодиоды поверхностного и торцевого излучения. Кроме того, для усиления оптических сигналов широко используются усилители, в том числе полупроводниковые (*Semiconductor Optical Amplifier* – *SOA*) и более распространённые усилители на основе обогащенных эрбием волокон (*Erbium-Doped Fiber Amplifier* – *EDFA*).

Табл. 1.1 — Источники излучения, используемые в телекоммуникациях

Длина волны (спектр), нм	Применение	Класс безопасности (типовой случай)
От 632 до 670 (видимый красный)	С полимерными волокнами и в оптоволоконных трассировщиках	<i>II</i> и <i>IIIA</i>
850 (инфракрасный)	В многомодовых приложениях, светодиоды	<i>I</i>
	В многомодовых приложениях, лазеры	<i>I</i>
	В многомодовых приложениях, лазеры <i>VCSEL</i>	<i>I</i> и <i>IIIB</i>
980 (инфракрасный)	В лазерах накачки для <i>EDFA</i>	<i>I</i> и <i>IIIB</i>
1300 (инфракрасный)	В многомодовых приложениях	<i>I</i>
1310 (инфракрасный)	В одномодовых приложениях	<i>I</i>
	В <i>SOA</i>	<i>I</i> и <i>IIIB</i>
1480 (инфракрасный)	В лазерах накачки для волоконных усилителей, обогащенных эрбием	<i>I</i> и <i>IIIB</i>
1550 (инфракрасный)	В одномодовых приложениях	<i>I</i>
	В <i>EDFA</i>	<i>IIIB</i>
	В системах кабельного телевидения	<i>IIIB</i>
1625 (инфракрасный)	В одномодовых приложениях	<i>I</i>

Класс безопасности *I* (лазеры сверхмалой мощности). Лазеры этого класса считаются полностью безопасными для человека. К этому классу относятся лазеры и лазерные системы, которые ни при каких условиях облучения, присущих данному лазерному прибору, не могут излучать световой поток с уровнем, превышающим предельные величины облучения для глаз, т.е. лазерные системы класса *I* не могут причинить вреда человеку. К этому классу относятся лазеры мощностью менее 0.39 мВт. Но стоит обратить внимание на то, что приборам класса безопасности *I* могут соответствовать изделия, в которых используются лазеры с большей мощностью. В этом случае более опасный лазер размещают в защитном

корпусе, который проектируется таким образом, что опасное излучение ни при каких условиях не должно выйти за пределы этого корпуса. Так, например, если просмотреть руководство пользователя или технические характеристики лазерных принтеров, можно найти ссылку, что данное изделие (лазерный принтер) относится к устройствам класса *I*. В то же самое время при описании характеристик блока лазера указывается, что данное изделие соответствует классу *IIIB* (подробнее далее). Сам лазер относится в группе *IIIB*, а весь блок лазера к группе *I*. Это возможно, так как лазер находится внутри модуля и закрыт различными блокировочными крышками. Однако во время проведения ремонтных работ крышки блока лазера могут быть удалены, что приводит к возможности облучения сервисного инженера лазером класса *IIIB*, что может привести к определённым травмам. Подавляющее большинство разработчиков устройств на основе лазеров проектируют свои изделия таким образом, чтобы они относились к классу *I*. Но при ремонте, когда специалисты, производящие работы получают доступ непосредственно к лазеру, вся безопасность системы нарушается, и устройство смело можно относить уже к другой, более опасной, группе.

Класс безопасности II (лазеры малой мощности). Лазеры и лазерные системы этого класса должны генерировать видимый лазерный луч, слишком яркий для того, чтобы можно было смотреть на него (пусть даже короткий период времени). Не считается опасным мгновенный взгляд на луч. Если луч лазера этого класса попадает в глаз, то, быстро закрыв глаз, можно избежать любого, даже малейшего повреждения зрения. Мощность лазеров этого класса составляет менее 1 мВт. Как правило, при попадании лазерного луча в глаз человек инстинктивно стремится закрыть глаза, что в случае лазеров класса *II* защитит от травм. Однако если намеренно продолжать смотреть на лазер, то луч класса безопасности *II* может вызвать повреждение зрения (обычно временное). Большинство лазерных указок, свободно продаваемых на прилавках детских игрушек относится именно к лазерам этого класса.

Класс безопасности III (лазеры средней мощности). Лазеры и лазерные системы этого класса могут излучать любые длины волн, но не могут создавать опасное рассеянное отражение (отражение во многих направлениях), если только они не сфокусированы или их действие не наблюдается в течение продолжительного времени в ограниченной области. Эти лазеры и лазерные системы не считаются пожароопасными и не опасны для кожного покрова человека. Мощность лазеров класса *III* составляет менее 0.5 Вт. Смотреть прямо на луч опасно. Класс безопасности *III* разделяется на два подкласса: *IIIA* *IIIB*. К подклассу *IIIA* относятся лазеры и лазерные системы, которые при обычных условиях не представляют опасности, если смотреть на них без защиты только мгновенно. Они могут представлять опасность, если смотреть на них через оптические фокусирующие системы. К подклассу *IIIB* относятся лазеры и лазерные системы, которые могут вызвать травму зрения при прямом взгляде на луч. Травму может вызвать и направленное отражение луча, например, от зеркала.

Класс безопасности IV (лазеры большой мощности). Лазеры этого класса создают прямую опасность здоровью человека как при направленном, так и при рассеянном отражении луча. Кроме того, лазеры этого класса могут быть пожароопасными и могут вызывать ожоги кожного покрова человека.

1.2.1. Примечания. Обязательно к ознакомлению

1.2.1.1. Информация по безопасной работе с лазером:

- не подключайте и не отключайте волокно при излучающем источнике; никогда не смотрите прямо в излучающее волокно и защищайте глаза во время работы;

- использование прибора не по назначению, а также выполнения действий, отличных от описанных в руководстве пользователя, могут привести к опасному излучению.

1.2.1.2. Для того, чтобы избежать ошибок во время измерения:

- убедитесь, что выбранный патч-корд имеет соответствующий тип коннектора; попытка соединения несовпадающих типов коннекторов может их повредить.

- неправильное подключение волоконно-оптического кабеля к прибору, а также наличие сильных изгибов кабеля вблизи места подключения, приведёт к ошибочным результатам измерения.

1.2.1.3. Наличие в зоне монтажа мелких (менее 1 мкм) пылевых частиц, которые неразличимы глазом, может привести к их оседанию на торце оптоволокну, что в свою очередь может повлиять на увеличение рассеяния оптической энергии на его поверхности. Поэтому неиспользуемые коннекторы и адаптеры всегда должны быть **закрыты** колпачками.

1.2.1.4. Оптический кабель по сравнению с медным кабелем существенно хрупче и просит внимательного и бережного отношения. **Кабель запрещено перегибать**, потому что в месте перегиба происходит выход излучения наружу и, как следствие, ослабление сигнала. Также в оптоволокну могут появиться микротрещины, что делает хуже передачу данных. В сильном перегибе могут появиться даже разрывы.

1.2.1.5. **Запрещается** соединять напрямую **SFP-модули** между собой с помощью оптического патч-корда, т.к. это может привести к выходу из строя приемной части модуля. Реализацию любой схемы обязательно производить с использованием линии связи.

1.2.1.6. Коммутацию патч-кордов осуществлять до характерного щелчка. Отсоединение патч-кордов производить держась пальцами за разъем, запрещается тянуть оптоволокну.

1.2.1.7. При коммутации линий связи **использовать** оптические кабели с полировкой волокна **UPC** (разъёмы **синего цвета**).

1.2.1.8. **Запрещается** подключать разъёмы **зелёного цвета** с полировкой оптоволокну **APC**.

1.3. Общая характеристика лабораторного комплекса

В состав лабораторного комплекса (рис. 1.1) входят следующие модули, устройства и элементы:

- медиаконвертеры оптические (6 шт.);
- модули уплотнения *TDM* (2 шт.);
- мультиплексоры оптические *CWDM* (2 шт.);
- модули *OADM-CWDM* (3 шт.);
- делители оптической мощности (2 шт.);
- *WDM* сплиттеры (2 шт.);
- модули оптического уплотнения (2 шт.);
- соединительная панель со встроенными коннекторами модулей и искусственных волоконно-оптических линий связи;
- двойные розетки *UPT RJ-45* (2 шт.).

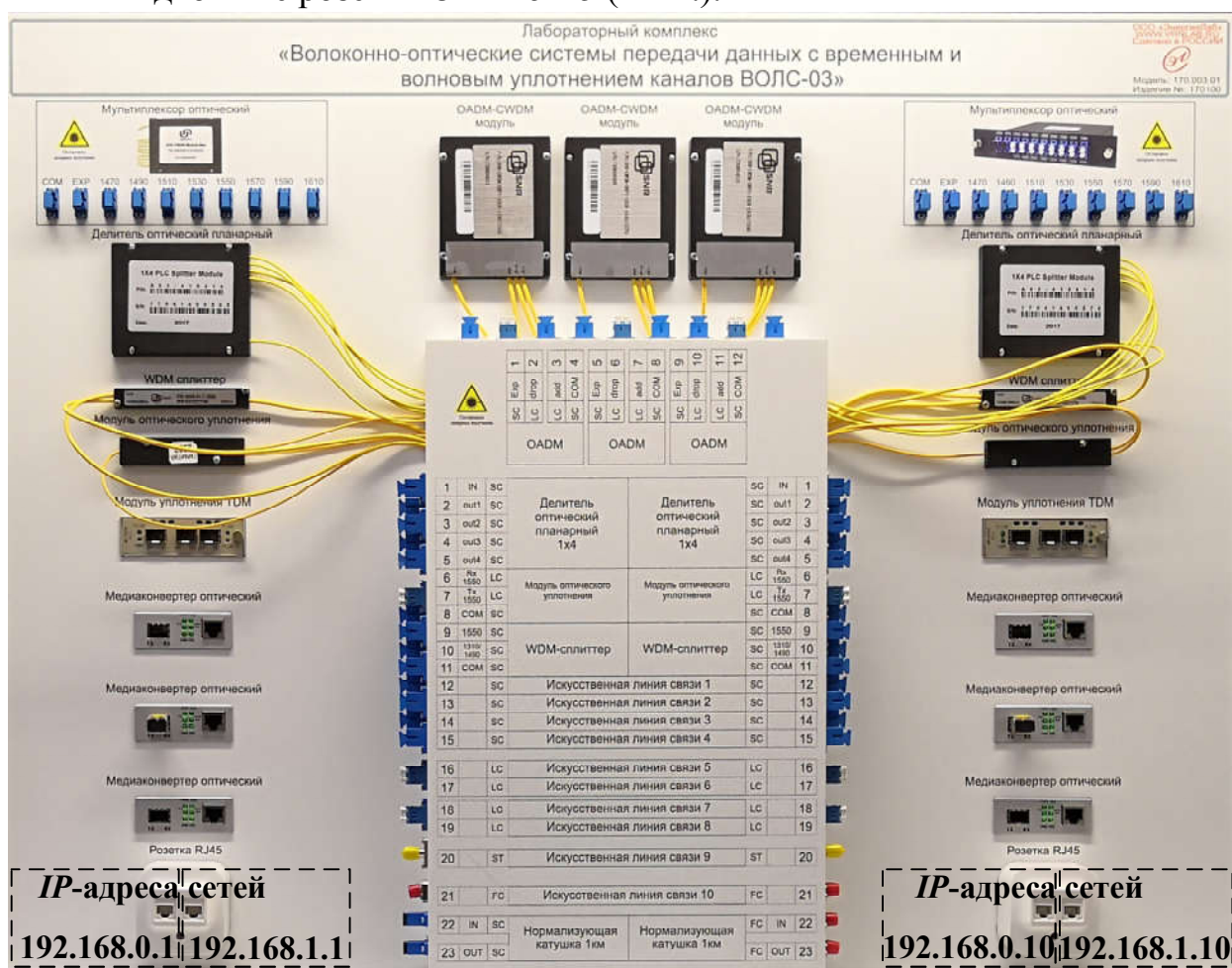


Рис. 1.1 — Внешний вид лабораторного комплекса

На персональных компьютерах установлена операционная система семейства *Linux*. **Логин / пароль** по умолчанию — *stend*.

Сетевые карты, встроенные в материнские платы, имеют адреса 192.168.0.1 и 192.168.0.10. Дополнительные сетевые карты, имеют адреса 192.168.1.1 и 192.168.1.10. Таким образом организуются две сети.

В состав стенда входят 10 искусственных линий связи:

- линии связи 1, 2, 5, 6, 9 дают затухание сигнала – 5 дБ;

- линии связи 3, 4, 7, 8, 10 дают затухание сигнала 10 дБ;
- линии 1 — 4 имеют разъём *SC*, линии 5 — 8 — с разъёмом *LC*, линия 9 — с разъёмом *ST*, линия 10 — с разъёмом *FC*.

Для долговременной и надёжной работы оборудования следует стараться использовать линии связи с возможно большим затуханием.

При реализации топологии, содержащей несколько последовательно включенных линий связи (между источником и приёмником оптического излучения), например при реализации топологии *CWDM-OADM-OADM-CWDM*, возможна ситуация, когда мощности источника может быть недостаточно для образования оптического канала связи. В этом случае сначала попытаться задействовать искусственные линии связи, имеющие меньшее затухание (5 дБ).

В состав стенда входят 2 нормализующих (компенсационных) катушки, которые применяются при исследовании качества волокон и соединений с помощью рефлектометра.

Наличие каналов связи между сетевыми интерфейсами возможно проверять при помощи команды *ping*.

Скорость передачи данных можно проверить при помощи программы *iperf*. Для этого на одном из компьютеров эта программа запускается в режиме сервера:

sudo iperf -s,

на другом компьютере эта программа запускается в режиме клиента с указанием интерфейса сервера, к которому происходит обращение, например:

sudo iperf -c 192.168.0.1

Включение / выключение лабораторного комплекса осуществляется на панели блока питания, размещённом на его левом торце (рис. 1.2).



Рис. 1.2 — Панель блока питания лабораторного комплекса

1.4. Модули *SFP*

Модули *SFP* (рис. 1.3) используются для присоединения платы сетевого устройства (коммутатора, маршрутизатора или подобного устройства) к оптическому волокну или неэкранированной витой паре, выступающих в роли сетевого кабеля.

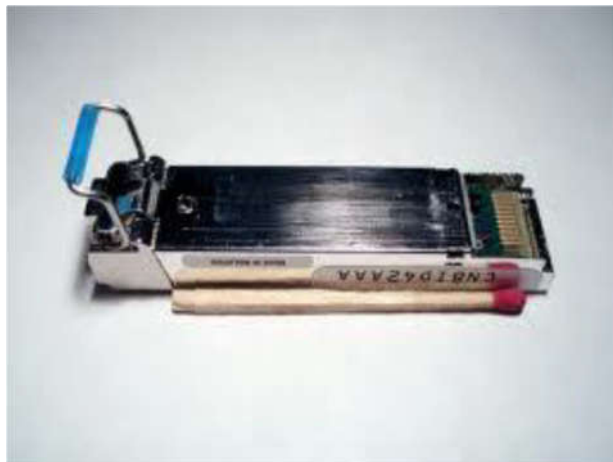


Рис. 1.3 — *SFP*-модуль

Модуль *SFP* пришёл на смену более громоздкому модулю *GBIC*. Модуль имеет разъём, сопоставимый по размеру с разъёмом *8P8C*, то есть позволяет на 1 юните (1U) 19-дюймового телекоммуникационного оборудования разместить до 48 оптических портов.

Наиболее распространённые области применения *SFP*-модулей — передача данных в телекоммуникационных сетях на скоростях выше 100 Мбит/с с использованием технологий:

- *Ethernet*: 100 Мбит/с, 1 Гбит/с, 1,25 Гбит/с, 10 Гбит/с, 20 Гбит/с;
- *SDH*: *STM-1* (155 Мбит/с), *STM-4* (622 Мбит/с), *STM-16* (2,488 Гбит/с);
- *Fibre Channel*: 1, 2, 4, 8, 16 Гбит/с.

Также встречаются универсальные *SFP*-модули, которые способны транспортировать как 100 Мбит *Ethernet*, 1 Гбит *Ethernet*, так и *STM-4* и *STM-16*-потoki.

В основном, для подключения к модулю, используется оптический кабель, оконцованный разъёмом типа *LC*. Хотя, встречаются исключения — например, оптические модули для *GEAPON*-сети имеют один разъём *SC* и для дуплексной передачи использует всего одну жилу. Также существуют модули с электрическим интерфейсом и разъёмом *RJ45*.

Для использования в 10 Гбит сетях появились новые форм-факторы модулей *XFP*, *X2*, *XENPAK*, *SFP+* — они отличаются большими габаритами, стандартно используются разъёмы типа *LC* или *SC*.

Технические характеристики *Ethernet SFP*-модулей:

- спецификации: *SFF-8074i*;
- скорость работы: 1250 Мбит/с;
- стандарт: *IEEE802.3z*;

- допускается «горячая» замена модуля, без выключения электропитания оборудования (*hot-swap*);
- тип оптического волокна: многомодовое (*MM*) или одномодовое (*SM*);
- напряжение питания: 3,3 В;
- характеристики лазера: класс 1, удовлетворяет требованиям *EN 60825-1*, 21 *CFR 1040.10* и *1040.11*; излучение лазера безопасно для глаз;
- габаритные размеры: 14,60×56,60×13,35 мм.

Существует деление *SFP*-модулей по дальности передачи данных:

- 550 м — для многомодовых модулей;
- 20, 40, 80, 120, 150 км — для одномодовых модулей.

Многомодовые *SFP*-модули имеют отдельные приёмник и передатчик фиксированной длины волны **850 нм** и, в силу несовершенства многомодового волокна, имеют малую дальность передачи. Такие модули, как уже писалось выше, работают с двумя многомодовыми волокнами, одно из которых используется в качестве канала для передачи данных от одного модуля к другому, другое — в качестве канала для приёма данных обратно. Для приёма-передачи данных такие модули соединяются крест-накрест (*TX1-RX2*, *RX1-TX2*), как показано на рис. 1.4.



Рис. 1.4 — Принцип действия многомодового *SFP*-модуля

Одномодовые *SFP*-модули также имеют отдельные приёмник и передатчик фиксированной длины волны либо 1310 нм, либо 1550 нм. Принцип обмена данными и соединения аналогичен многомодовым (рис. 1.5), однако, за счёт существенного отличия в технологии работы и качестве оптического волокна, данные модули позволяют передавать данные на расстояния до 120 км.



Рис. 1.5 — Принцип действия одномодового *SFP* модуля

В лабораторном комплексе применяются следующие одномодовые *SFP*-модули:

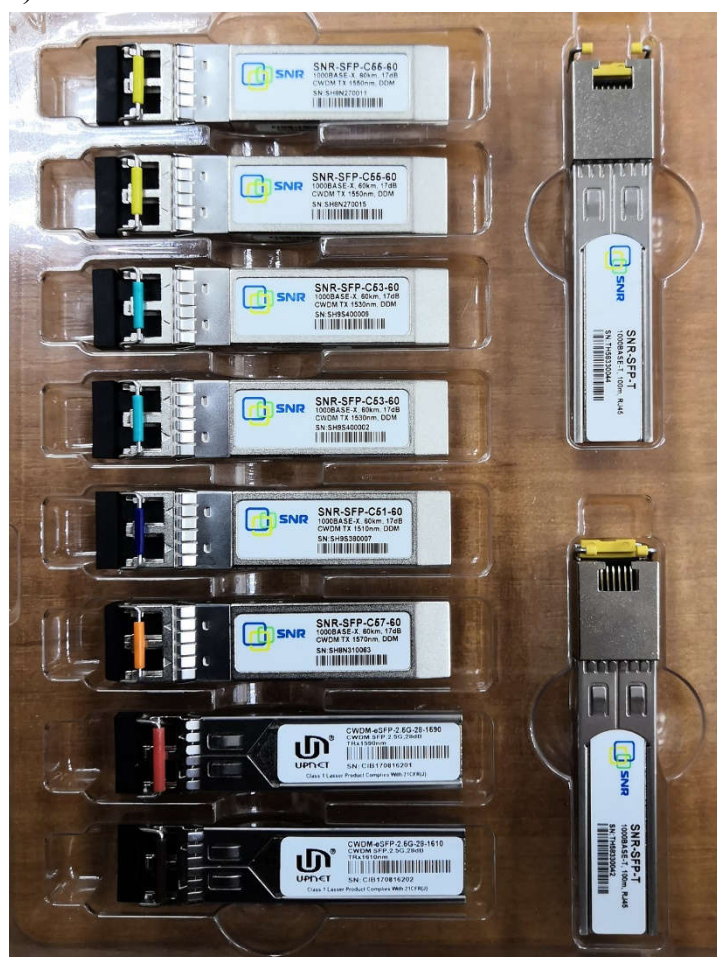
— двухволоконные (рис. 1.6, а):

- а) *SNR-SFP-C55-60* (1000Base-X, 60 км, 17 дБ, CWDM Tx 1550 нм, DDM);
- б) *SNR-SFP-C53-60* (1000Base-X, 60 км, 17 дБ, CWDM Tx 1530 нм, DDM);
- в) *SNR-SFP-C51-60* (1000Base-X, 60 км, 17 дБ, CWDM Tx 1510 нм, DDM);
- г) *SNR-SFP-C57-60* (1000Base-X, 60 км, 17 дБ, CWDM Tx 1570 нм, DDM);
- д) *CWDM-eSFP-2.5G-28-1590* (2,5 Гбит/с, 28 дБ, CWDM Tx/Rx 1590 нм);
- е) *CWDM-eSFP-2.5G-28-1610* (2,5 Гбит/с, 28 дБ, CWDM Tx/Rx 1610 нм).

— одноволоконные (рис. 1.6, б):

- а) *TBSF13-3-12gSC-3c* (1250 Мбит/с, 3 км, Tx/Rx 1310/1550 нм);
- б) *TBSF15-3-12gSC-3c* (1250 Мбит/с, 3 км, Tx/Rx 1550/1310 нм);
- в) *SNR-SFP-W53-3* (1000Base-X, 3 км, 6 дБ, Tx/Rx 1550/1310 нм);
- г) *SNR-SFP-W35-3* (1000Base-X, 3 км, 6 дБ, Tx/Rx 1310/1550 нм);
- д) *SNR-SFP-W34-20* (1000Base-X, 20 км, 16 дБ, Tx/Rx 1310/1490 нм);
- е) *SNR-SFP-W43-20* (1000Base-X, 20 км, 16 дБ, Tx/Rx 1490/1310 нм).

а)



б)



Рис. 1.6 — *SFP*-модули двухволоконные (а) и одноволоконные (б)

2. Лабораторная работа № 1. Исследование структуры различных схем уплотнения оптических сигналов и режимов работы сетей на их основе

2.1. Цель работы

Целью работы является: исследовать различные схемы уплотнения оптических сигналов и режимы работы сетей на их основе.

2.2. Общая характеристика лабораторного комплекса

Описания состава лабораторного комплекса приведено в пп. 1.3 — 1.4.

Соблюдайте правила безопасности при работе с оптическим излучением!

2.3. Исследование сети с *WDM* на основе оптических сплиттеров

2.3.1. Задачи исследования:

— Изучить структуру сети с *WDM* на основе оптических сплиттеров и провести её тестирование.

2.3.2. Теоретические сведения

2.3.2.1. Уплотнение по длинам волн

При создании магистральных линий связи на большое число каналов используются возможности, открываемые спектральным уплотнением или мультиплексированием по длинам волн (*WDM*). Сущность последнего состоит в том, что в волоконный световод вводится одновременно излучение от нескольких источников, работающих на разных длинах волн, а на приёмном конце с помощью оптических фильтров происходит разделение сигналов (рис. 2.1).

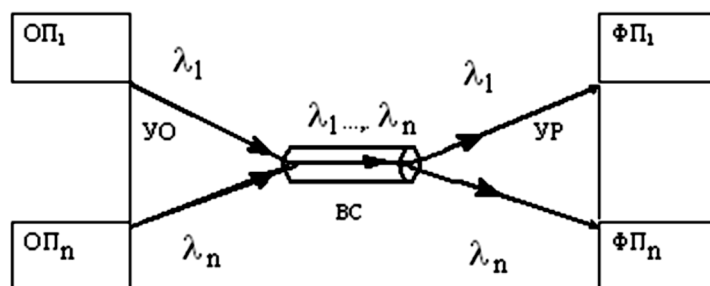


Рис. 2.1 — Принципиальная схема волнового (спектрального) уплотнения)

Таким образом, по одному световоду организуется n спектрально разделённых оптических каналов. Спектральное уплотнение позволяет существенно увеличить информационную ёмкость оптических кабелей и организовать двустороннюю многоканальную связь по одному волокну. Возможность построения таких систем основывается на использовании оптических усилителей на волокне, легированном эрбием и на сравнительно слабой зависимости коэффициента затухания волоконно-оптического кабеля от частоты (или длины волны) в пределах используемого спектрального диапазона 1550 — 1560 нм. Поэтому по одному волоконному световоду,

подобно многоканальным радиорелейным системам передачи, можно организовать несколько широкополосных оптических каналов в пределах полосы, где малые потери.

Одним из устройств волнового (спектрального) уплотнения является *WDM*-фильтр. Он выполняет функции мультиплексирования (объединения) или демультиплексирования (выделения или фильтрации) оптических сигналов разных длин волн (каналов) из нескольких волоконных каналов в один волоконный канал или из одного волоконного канала в несколько. На передающей и приёмной сторонах могут устанавливаться однотипные устройства, но работающие в режимах объединения и выделения соответственно (рис. 2.2).



Рис. 2.2 — Схема оптического сегмента, использующего передачу мультиплексного сигнала по волоконному световоду

Сам факт существования устройств *WDM* основан на свойстве ВС пропускать множество сигналов, которые распространяются по оптоволокну, не взаимодействуя между собой.

Для построения многоканальных *WDM*-систем наряду с пассивными *WDM*-фильтрами также требуются узкополосные лазеры, стабильно выдерживающие нужную длину волны. Пока именно лазеры остаются наиболее дорогим элементом в таких системах.

2.3.2.2. Принцип действия устройств спектрального уплотнения

Для объединения и разделения оптических несущих могут использоваться различные мультиплексоры, работа которых основана на известных явлениях физической оптики: дисперсии, дифракции, интерференции.

Призменное устройство. В качестве примера на рис. 2.3 показана схема призменного устройства, с помощью которого можно как объединить, так и разделить оптические несущие.



Рис. 2.3 — Схема разделения оптических несущих с помощью призмы

Основным элементом такого устройства является оптическая призма, в которой за счёт дисперсии, то есть зависимости показателя преломления от длины волны оптического излучения, происходит пространственное разделение (или объединение для обратного направления) оптических несущих. Для примера здесь показаны два оптических канала с длинами волн λ_1 и λ_2 . Торцевой волоконный световод (ВС), по которому передаётся оптическое излучение двух каналов, располагается в фокальной плоскости линзы L_1 . Поэтому расходящийся пучок излучения с торца ВС преобразуется линзой в параллельный пучок и падает на призму. Так как излучение разной длины волны отклоняется призмой на разные углы, то из призмы выходят параллельные пучки разного направления (штриховые линии). С помощью второй фокусирующей линзы L_2 эти пучки собираются в различных точках её фокальной плоскости и далее поступают в волоконные световоды ВС1 и ВС2.

Призменные устройства объединения и разделения оптических несущих обладают рядом недостатков, из которых следует выделить большие габариты, значительные вносимые потери и высокую стоимость. Для создания систем передачи со спектральным разделением оптических каналов более подходят устройства, работающие на дифракционных и интерференционных явлениях. Сюда относятся дифракционные решётки, светофильтры и др.

Дифракционное устройство. В дифракционных решётках различные оптические волны отклоняются на различные углы и таким образом осуществляется разделение или объединение несущих (рис. 2.4).

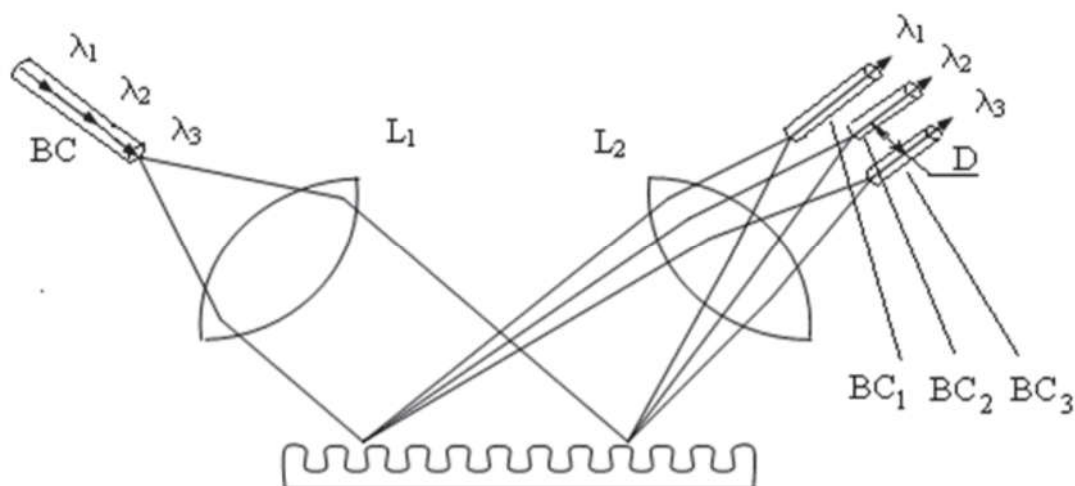


Рис. 2.4 — Схема разделения оптических несущих с помощью дифракционной решётки

Оптические фильтры. Широкое применение получили оптические фильтры. Действие их основано на дифракционных свойствах кварцевого стекла, т.е. зависимости показателя преломления от длины волны $n = n(\lambda)$. Соответственно при прохождении различных волн через световод с

меняющимся значением n одни волны испытывают отражение, а другие проходят.

Известно несколько модификаций оптических фильтров. Волоконный фильтр — это отрезок световода, параметры сердцевинки или оболочки которого (диаметр, показатель преломления) периодически модулированы вдоль оси световода. Такие световоды обладают резко выраженными селективными свойствами: одни волны испытывают отражение, а для других волн фильтр прозрачен (рис. 2.5).

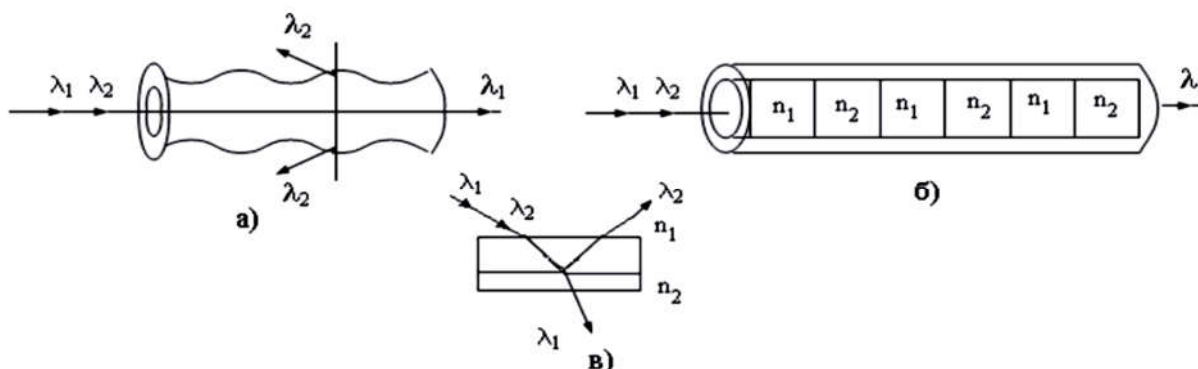


Рис. 2.5 — Оптические фильтры с модуляцией диаметра волокна (а), с модуляцией показателя преломления (б) и плоская конструкция фильтра (в)

Плоская конструкция фильтра — это комбинация стёкол с различными показателями преломления $n_1 > n_2$. При прохождении через такой фильтр излучение с длиной волны λ_2 испытывает полное внутреннее отражение, а излучение с длиной волны λ_1 проходит, так как критические углы отражения у них разные (рис. 2.5, в). Оптические фильтры обеспечивают коэффициент отражения по интенсивности примерно 0,9.

2.3.2.3. Вариант практического использования

На рис. 2.6 представлена схема передачи кабельного *TV*-сигнала (КТВ) по оптическому волокну на длине волны 1550 нм.

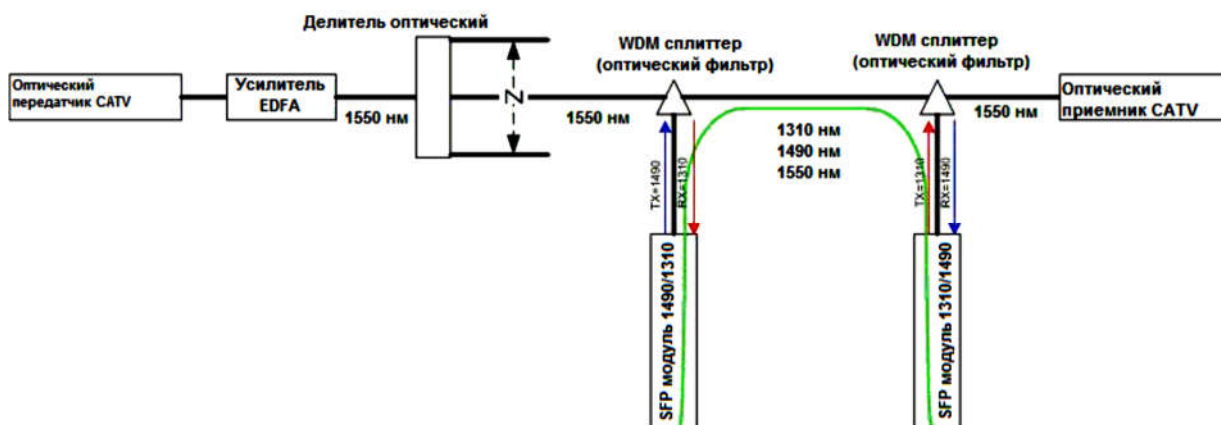


Рис. 2.6 — Схема применения *WDM*-сплиттеров

В этом же волокне организован канал передачи данных (ПД) на длинах волн 1310/1490 нм с использованием *WDM*-сплиттеров (оптических фильтров). Т. о. пассивное оптическое устройство, позволяет создать одноволоконный канал на длинах волн 1310/1490/1550нм (КТВ + ПД по одному волокну).

2.3.3. Порядок выполнения работы

- а) **Стенд выключен.**
- б) Подготовьте необходимое оборудование для выполнения задания:
 - одноволоконный *SPF*-модуль 1310/1490 нм – 1 шт.,
 - одноволоконный *SPF*-модуль 1490/1310 нм – 1 шт.,
 - двухволоконный *SPF*- модуль 1550 нм – 2 шт.;
 - оптические патч-корды;
 - патч-корды *RJ-45* – 4 шт.
- в) Изучите пример сети с *WDM*-уплотнением на базе сплиттеров, представленный на рис. 2.7.

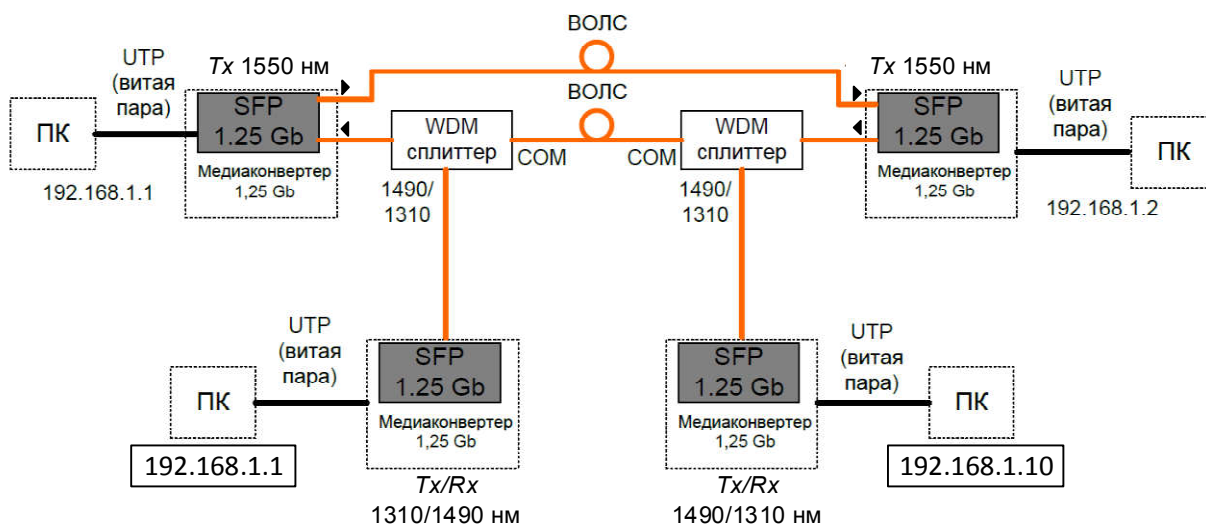


Рис. 2.7 — Схема сети с *WDM*-уплотнением на базе оптических *WDM*-сплиттеров

г) Соберите схему согласно рис. 2.8. Оптические патч-корды аккуратно и без сильного нажима вставляйте в гнёзда до характерного щелчка.

д) Предъявите собранную схему сети преподавателю. Получите разрешение преподавателя на включение лабораторного комплекса. Включите лабораторный комплекс.

е) По загоранию соответствующих светодиодов медиаконвертеров проконтролируйте правильность и надёжность соединения медных и оптических патч-кордов.

ж) На ПЭВМ запустите терминал *Linux*.

з) При помощи команды *ping* проверьте со стороны сетей ПЭВМ 1 доступность сетей ПЭВМ 2. Результаты проверки занесите в табл. 2.1.

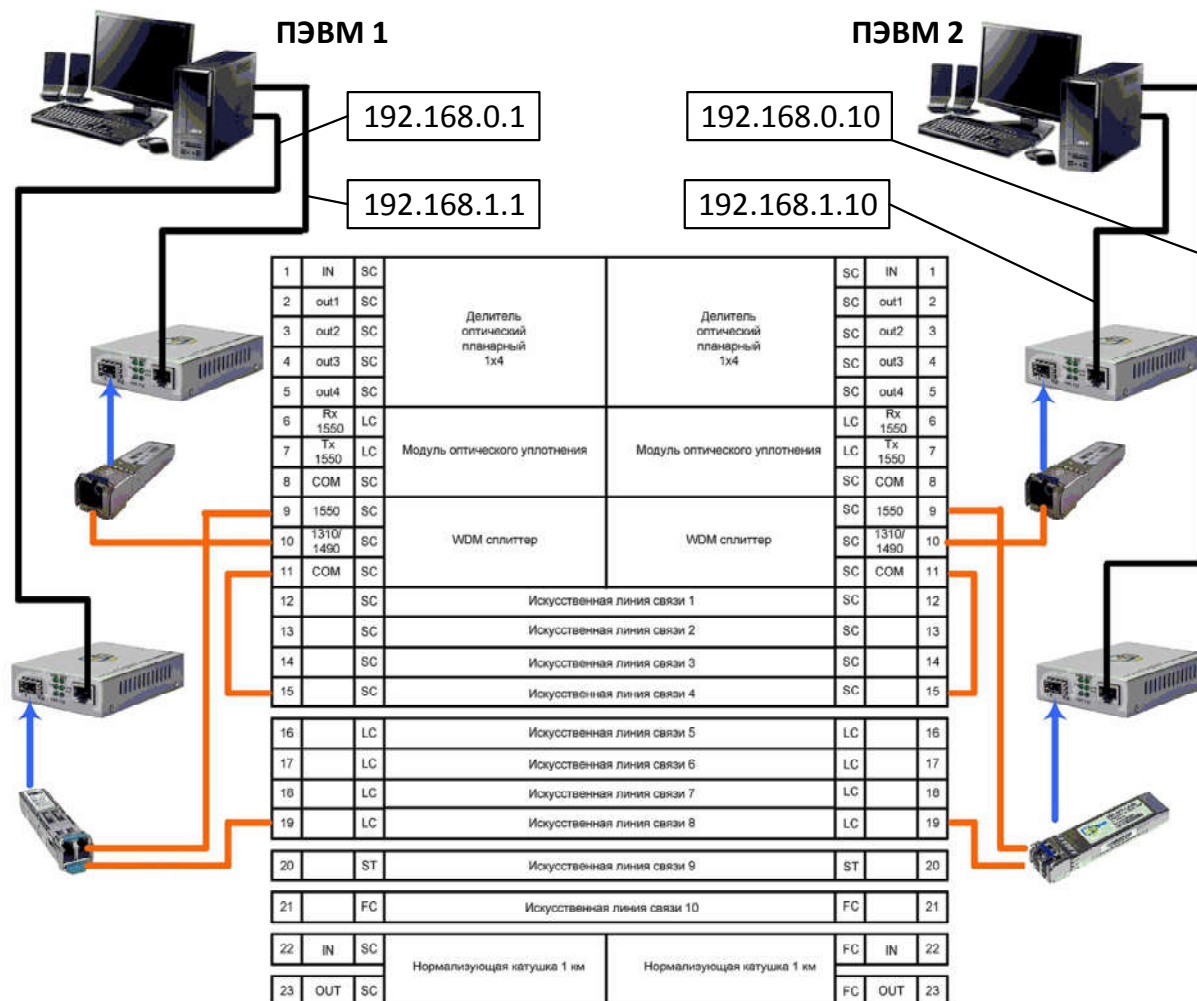


Рис. 2.8 — Схема организации сети на лабораторном комплексе

Табл. 2.1 — Результаты тестирования каналов сети с *WDM*-уплотнением на базе оптических сплиттеров

Адрес клиента	Адрес сервера			
	192.168.0.10		192.168.1.10	
	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с
192.168.0.1				
192.168.1.1				

и) ПЭВМ1 с адресом 192.168.0.10 запустите **в режиме сервера** (см. пп. 1.3).

к) По результатам измерений в пп. 3) выберите сеть ПЭВМ1, для которой получены положительные результаты проверки наличия сети (*ping*). Сеть ПЭВМ1 с этим (или с одним, затем — с другим) адресом запустите **в режиме клиента** (см. пп. 1.3). Дождитесь результатов тестирования канала связи. Результаты занесите в табл. 2.1.

л) ПЭВМ1 с адресом 192.168.1.10 запустите **в режиме сервера**.

м) Повторите измерения по пп. к).

н) **По окончании измерений** выключите Лабораторный комплекс, аккуратно отключите патч-корды, извлеките *SFP*-модули, наденьте заглушки, приведите Лабораторный комплекс в первоначальное состояние.

2.4. Исследование сети с *WDM* уплотнением на базе оптического делителя мощности

2.4.1. Задача исследования:

— исследовать структуру сети с *WDM* уплотнением на базе оптического делителя мощности и провести её тестирование.

2.4.2. Теоретические сведения

Существенно снизить стоимость кабельной инфраструктуры сети доступа позволяет использование архитектуры **пассивных оптических сетей (*PON*)**. Оптические разветвители являются важным компонентом *PON* и выполняют пространственное разделение оптического сигнала по нескольким каналам или объединяют сигналы из различных каналов в один. Поэтому снижение стоимости и улучшение технических характеристик оптических разветвителей становится все более актуальной задачей.

Оптический разветвитель представляет собой в общем случае многополюсное устройство, в котором излучение, подаваемое на часть входных оптических полюсов, распределяется между его остальными оптическими полюсами.

Классификация по технологии изготовления. Существует две технологии изготовления оптических разветвителей (рис. 2.9):

- сварные — *Fused*;
- планарные — *PLC (Planar Lightwave Circuit)*.

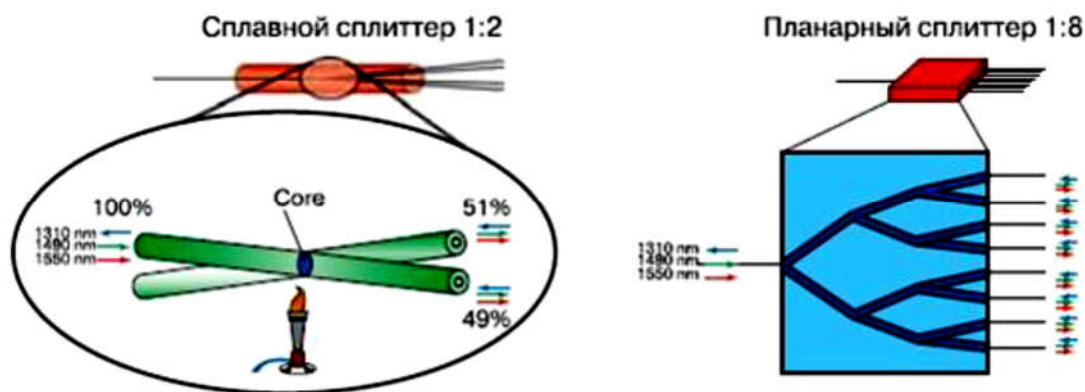


Рис. 2.9 — Основные технологии изготовления оптических сплиттеров

Сварные разветвители выполнены по технологии *FBT (Fused Biconical Taper)*: два волокна с удалёнными внешними оболочками сплавляют в элемент с двумя входами и двумя выходами (2:2), после чего один вход закрывают безотражательным методом, формируя разветвители 1:2. Можно обеспечить разделение мощности и в других пропорциях, например 20:80

(20% мощности сигнала идёт в одно плечо, 80% — в другое). Сварные разветвители обычно имеют от одного до трёх окон прозрачности (1310 нм, 1490 нм или 1550 нм). Окно прозрачности — это диапазон длин волн оптического излучения, в котором имеет место меньшее, по сравнению с другими диапазонами, затухание излучения в волокне. Такие разветвители чаще всего используются для построения сетей кабельного телевидения.

Планарные разветвители (*PLC, Planar Lightwave Circuit*) изготавливаются в несколько этапов. Первый из них заключается в нанесении на подложку отражающего слоя-оболочки. На данный слой наносится материал волновода, на котором в последствии формируется маска для травления. Результатом процесса травления является система волноводов, являющаяся, по сути, оптическим делителем. Система планарных волноводов покрывается вторым отражающим слоем-оболочкой. Необходимое количество разветвлений *PLC*-сплиттера достигается сочетанием делителей 1×2 . Планарная технология позволяет изготавливать компактные и надёжные разветвители с числом выходных волокон до 64. Планарные разветвители обладают более стабильными и точными характеристиками на выходах, работают в широкополосном диапазоне волн 1260 — 1650 нм, имеют меньшее затухание на порт, меньше подвержены механическим воздействиям и способны работать в более широком диапазоне температур (-45 — 85 , °C), чем сплавные (-40 — 75 , °C).

Планарные разветвители используют для спектрального уплотнения каналов. Также их использование предпочтительно при построении пассивных оптических сетей, так как кроме выше перечисленных преимуществ, они позволяют заложить на будущее возможность использовать дополнительные сервисы либо увеличить пропускную способность каналов путём уплотнения.

Классификация оптических разветвителей по количеству каналов. Оптические сплиттеры по количеству входов и выходов разделяются на *X*-образные (несколько входов и несколько выходов) и *Y*-образные (один вход и несколько выходов). Самый простейший *X*-образный оптический делитель имеет два входа и два выхода (так называемый оптический разветвитель 2×2). Самый простейший среди *Y*-образных оптических делителей — это оптический сплиттер, который имеет один вход и два выхода (так называемый оптический разветвитель 1×2).

Y-образные сплиттеры называют делителями мощности. *Y*-образные делятся на два типа: симметричные и несимметричные. Симметричные *Y*-образные оптические делители, разделяют оптическую мощность между выходами равномерно. Несимметричные оптические делители позволяют разделить оптическую мощность в определённой пропорции.

Классификация оптических разветвителей по длине волны. Оптические сплиттеры по своим спектральным характеристикам делятся на однооконные и двухоконные. В сетях кабельного телевидения применяются однооконные оптические сплиттеры на стандартной для оптических

передатчиков (лазеров) длине волны: 1310 нм или 1550 нм. В сетях *PON* используются в основном двухоконные оптические разветвители, позволяющие одновременно передавать и принимать оптический сигнал по одному волокну. На одной длине волны, например, 1550 нм осуществляется передача информации от провайдера связи до абонента, а на длине волны 1310 нм осуществляется передача запроса от абонента к провайдеру.

Оптические разветвители и технология *FTTx*. В оптической части *FTTx* в основном применяются технологии *Ethernet* и пассивных оптических сетей (*PON*). Поскольку в сетях *PON* (рис. 2.10) на участке между оптическим линейным терминалом (*OLT*), расположенным в центральном узле связи (*CO*), и абонентским оптическим сетевым терминалом (*ONT*) активное оборудование не используется, эти сети значительно проще и дешевле смонтировать и обслуживать. Посредством одного или нескольких пассивных оптических разветвителей множество *ONT* подключают к одному линейному волокну, идущему от *OLT*. Трафик Интернета и телефонии *OLT* передаёт и принимает (от *ONT*) на длинах волн 1490 и 1310 нм, соответственно, а видеоданные вводятся в «дерево» *PON* посредством устройства спектрального уплотнения *WDM* и транслируются абонентам на длине волны 1550 нм.

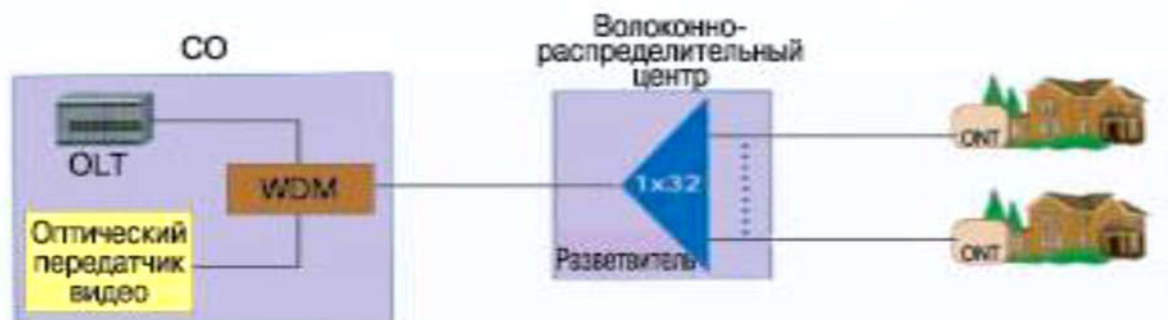


Рис. 2.10 — Упрощённая структурная схема сети *PON* с планарным Y-образным оптическим разветвителем

2.4.3. Порядок выполнения работы

- а) **Стенд выключен.**
- б) Подготовьте необходимое оборудование для выполнения задания:
 - двухволоконный *SPF*-модуль Tx 1510 нм — 1 шт.;
 - двухволоконный *SPF*-модуль Tx 1570 нм — 1 шт.;
 - оптические патч-корды;
 - патч-корды *RJ-45* — 2 шт.

ВАЖНО !!!

Установление канала связи чувствительно к соотношению мощности излучателя и чувствительности фотоприёмника трансивера. Поэтому необходимо подбирать *SFP*-модули с близким оптическим бюджетом — параметром, измеряемым в децибелах и указанным на корпусе *SFP*-модуля.

в) Изучите пример сети с *WDM*-уплотнением на базе широкополосных сплиттеров, представленный на рис. 2.11.

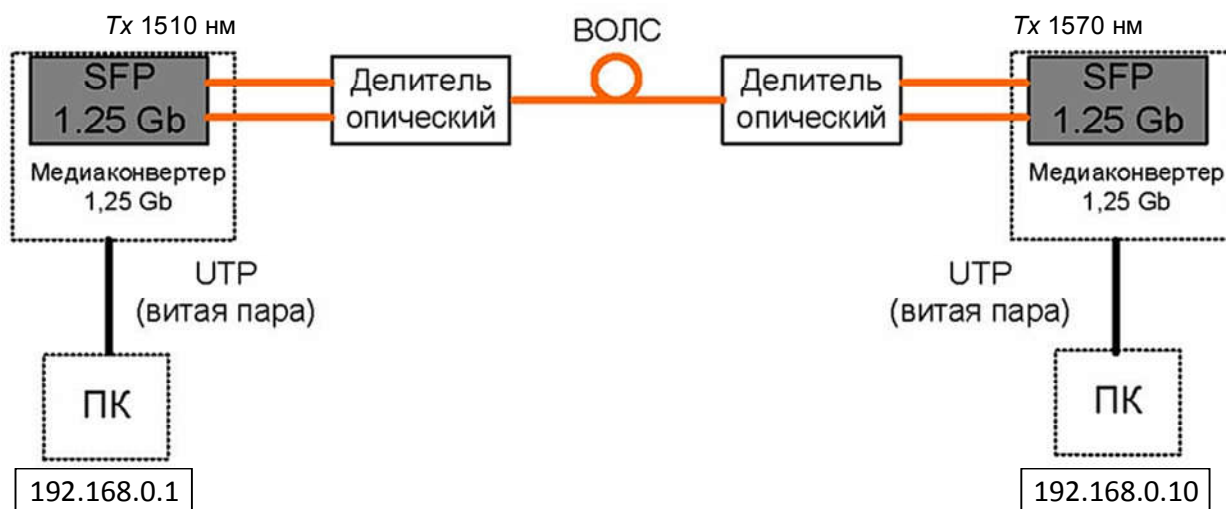


Рис. 2.11 — Структурная схема сети с *WDM*-уплотнением на базе широкополосных сплиттеров

г) Соберите согласно рис. 2.12 схему сети с *WDM*-уплотнением на базе диапазонных сплиттеров.

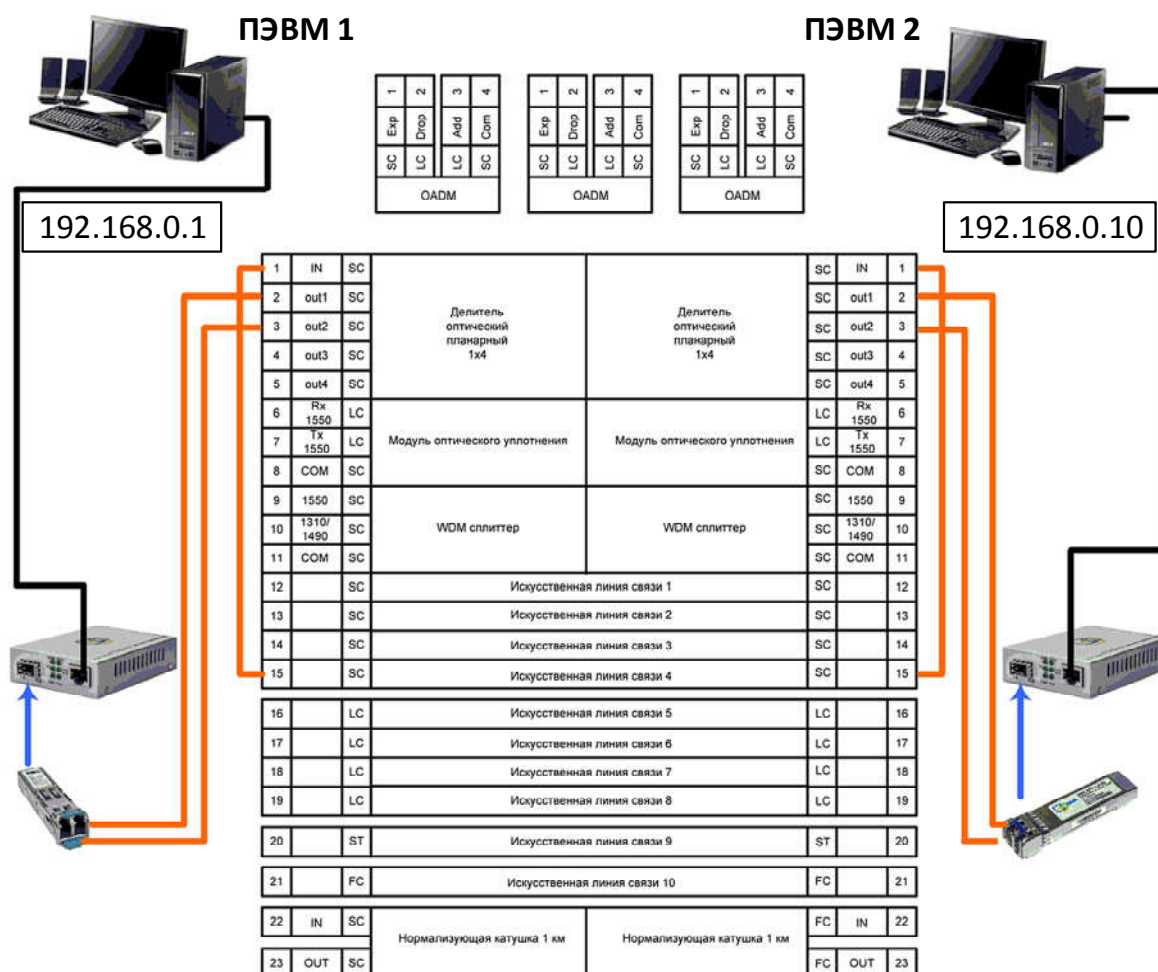


Рис. 2.12 — Сеть с *WDM*-уплотнением на базе широкополосных сплиттеров

д) Предъявите собранную схему сети преподавателю. Получите разрешение преподавателя на включение лабораторного комплекса. Включите лабораторный комплекс.

е) По загоранию соответствующих светодиодов медиаконвертеров проконтролируйте правильность и надёжность соединения медных и оптических патч-кордов.

ж) На ПЭВМ запустите терминал *Linux*.

з) При помощи команды *ping* проверьте со стороны сети ПЭВМ 1 доступность сети ПЭВМ2. Результаты проверки занесите в табл. 2.2.

Табл. 2.2 — Результаты тестирования каналов сети с *WDM*-уплотнением на базе диапазонных оптических сплиттеров

Адрес клиента	Адрес сервера	
	192.168.0.10	
	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с
192.168.0.1		

и) Сеть ПЭВМ2 запустите **в режиме сервера**. Сеть ПЭВМ1 запустите **в режиме клиента**. Дождитесь результатов тестирования канала связи. Результаты занесите в табл. 2.2.

к) По окончании измерений выключите Лабораторный комплекс, аккуратно отключите патч-корды, извлеките *SFP*-модули, наденьте заглушки, приведите Лабораторный комплекс в первоначальное состояние.

2.5. Исследование сети с *Rx/Tx* уплотнением

2.5.1. Задача исследования:

— исследовать структуру сети с *Rx/Tx* уплотнением и провести её тестирование.

2.5.2. Теоретические сведения

Одним из вариантов решения задачи уплотнения оптических линий связи является оптические пассивные модули, основанные на оптических циркуляторах (ОЦ) (модули оптического уплотнения). Наиболее эффективно использование ОЦ в сетях с пропускной способностью 10 Гбит/с.

Принцип работы ОЦ базируется на эффекте невзаимного поворота плоскости поляризации (Эффект Фарадея) в фарадеевских вращателях. В ОЦ реализована возможность использования двух перпендикулярных или ортогонально расположенных поляризованных плоскостей для передачи оптического сигнала. По одной из плоскостей оптический сигнал поступает в одну сторону, а по другой в обратную (рис. 2.13).

Оптический циркулятор представляет собой 3-х портовое устройство с изолированными однонаправленными портами, обладающее возможностью разделения встречных лучей света и распределения их по соответствующим

портам: сигнал с порта 1 циркулятора передаётся на порт 2, а с порта 2 — на порт 3.

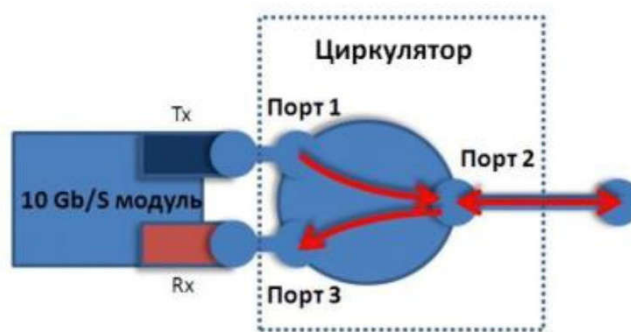
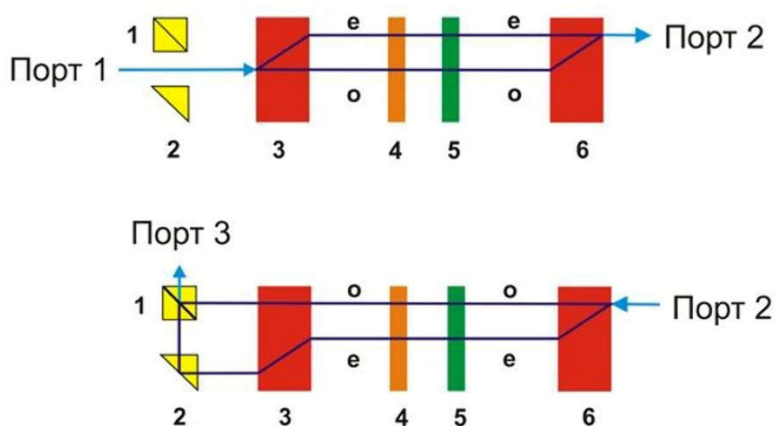


Рис. 2.13 — Функциональная схема модуля спектрального уплотнения на основе оптического циркулятора

Происходящее за счёт эффекта поляризации разделение встречных лучей обеспечивает высокий уровень изоляции порта 1 от порта 3, а так же низкий уровень вносимых в оптическую линию потерь (менее 0,7 дБ на один оптический циркулятор).

Принцип действия ОЦ показан на рис. 2.14.



- 1 — Светоделительный поляризатор; 2 — Отражающая призма;
3, 6 — Двулучепреломляющие кристаллы; 4 — Фарадеевский вращатель;
5 — Полуволновый фильтр

Рис. 2.14 — Функциональная схема оптического циркулятора

Применение оптических циркуляторов для построения систем с WDM. При использовании ОЦ в целях уплотнения используются два оптических циркулятора, по одному на каждую сторону оптической линии. Данные оптические циркуляторы должны осуществлять уплотнение оптического сигнала по длине волны, совпадающей с длиной волны, на которой работают трансиверы (осуществляется приём и передача) (рис. 2.15).

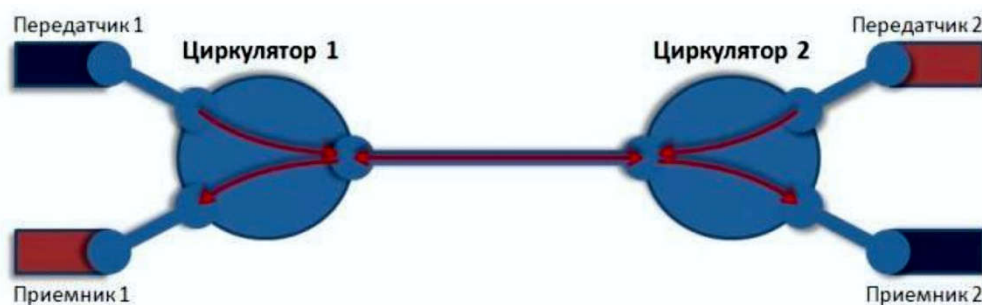


Рис. 2.15 — Схема включения ОЦ для организации *WDM* сети

При уплотнении сигнала используемый циркулятор даёт следующие возможности:

- эффективное уплотнение оптических линии передачи данных (использование одного волокна вместо двух);
- организация обратного канала по одному волокну в случаях, когда использование *CWDM* или *WDM* систем нецелесообразно или невозможно; это может быть актуально для телевизионных провайдеров, компаний занимающихся телеметрией и безопасностью.

2.5.3. Порядок выполнения работы

- а) **Стенд выключен.**
- б) Подготовьте необходимое оборудование для выполнения задания:
 - двухволоконный *SPF*-модуль *Tx* 1550 нм — 2 шт.;
 - оптические патч-корды;
 - патч-корды *RJ-45* – 2 шт.
- в) Изучите пример сети с *WDM*-уплотнением на базе модуля оптического уплотнения, представленный на рис. 2.16.

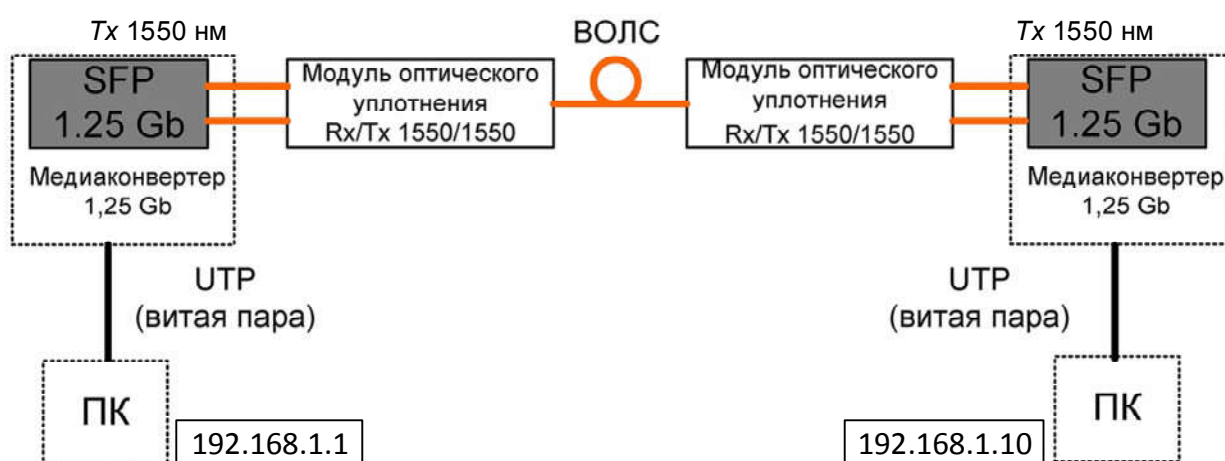


Рис. 2.16 — Структурная схема сети с *WDM*-уплотнением на базе модуля оптического уплотнения

- г) Соберите согласно рис. 2.17 схему сети с *WDM*-уплотнением на базе модуля оптического уплотнения.

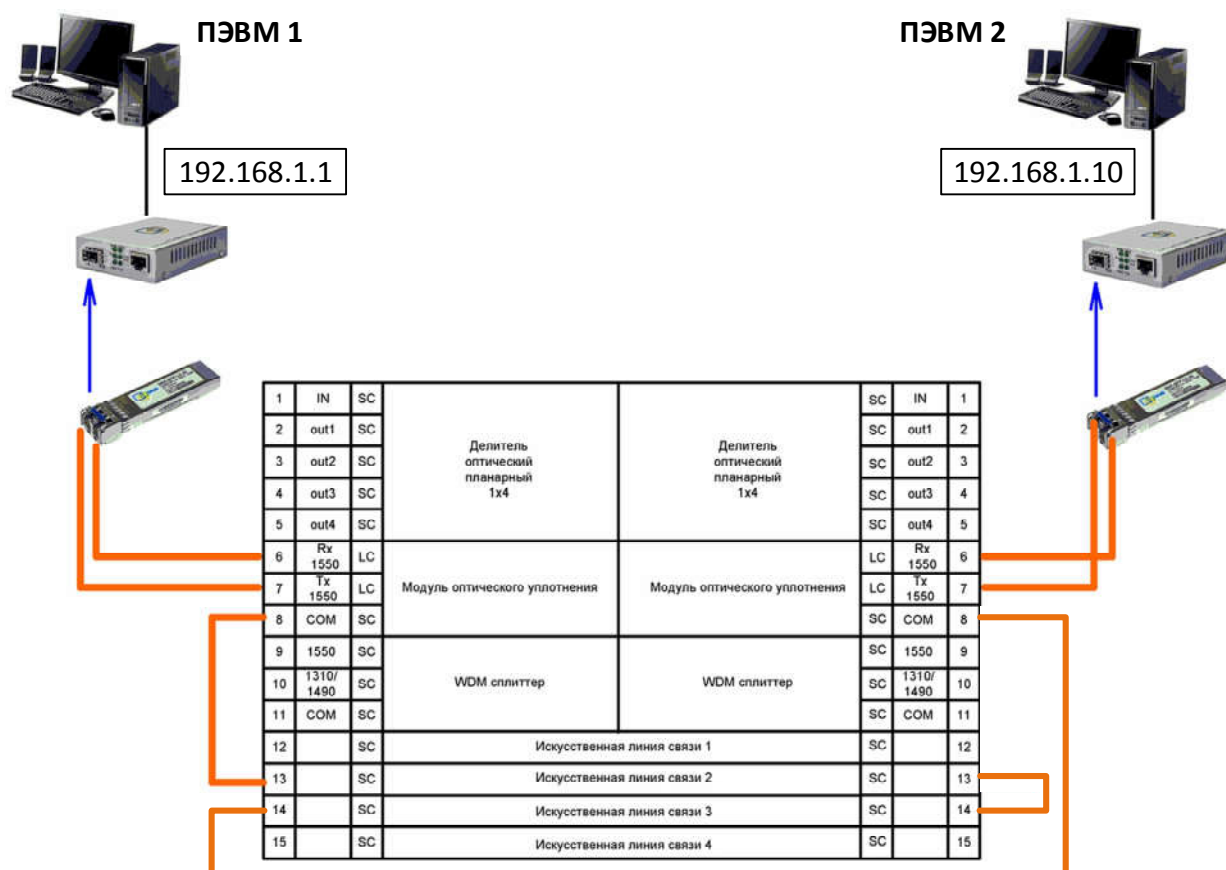


Рис. 2.17 — Схема сети с *WDM*-уплотнением на базе модуля оптического уплотнения

д) Предъявите собранную схему сети преподавателю. Получите разрешение преподавателя на включение лабораторного комплекса. Включите лабораторный комплекс.

е) По загоранию соответствующих светодиодов медиаконвертеров проконтролируйте правильность и надёжность соединения медных и оптических патч-кордов.

ж) При помощи команды *ping* проверьте со стороны сети ПЭВМ 1 доступность сети ПЭВМ 2. Результаты проверки занесите в табл. 2.3.

Табл. 2.3 — Результаты тестирования каналов сети с *WDM*-уплотнением на базе модуля оптического уплотнения

Адрес клиента	Адрес сервера	
	192.168.1.10	
	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с
192.168.1.1		

з) Сеть ПЭВМ2 запустите **в режиме сервера**. Сеть ПЭВМ1 запустите **в режиме клиента**. Дождитесь результатов тестирования канала связи. Результаты занесите в табл. 2.3.

и) По окончании измерений выключите Лабораторный комплекс, аккуратно отключите патч-корды, извлеките *SFP*-модули, наденьте заглушки, приведите Лабораторный комплекс в первоначальное состояние.

2.6. Исследование сети с *CWDM* уплотнением в топологии *CWDM-CWDM*

2.6.1. Задача исследования:

— исследовать структуру сети *CWDM* уплотнением в топологии *CWDM-CWDM* и провести её тестирование.

2.6.2. Теоретические сведения

CWDM (*DWDM*) технология — это «волокно в волокне». В оптическом волокне свет «разделяется» на разные спектры и по каждому из них передаётся независимый оптический сигнал с определённой длиной волны. На выходе из волокна сигнал разделяется на оптическом фильтре (пассивном *CWDM* (*DWDM*) мультиплексоре) на составляющие, с разными длинами волн и подаётся на соответствующий оптический транспондер (*CWDM* (*DWDM*) лазерный модуль), воспринимающий именно эту длину волны (рис. 2.18).

Международный комитет по стандартизации регламентирует два варианта уплотнения.

CWDM (*Coarse WDM*) — спектральное уплотнение с крупным межканальным интервалом. В этом случае межканальный интервал составляет 20 нм и максимальное количество каналов, которые можно передать по паре оптических волокон типа *G.652* равно 16.

К недостаткам технологии *CWDM* уплотнения можно отнести относительно малое количество мультиплексируемых каналов (максимум 16) и невозможность использования оптических усилителей.

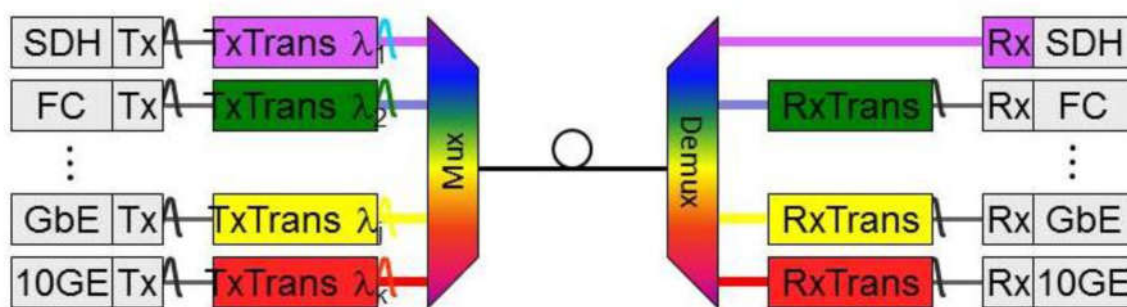


Рис. 2.18 — Упрощённая схема реализации *CWDM* уплотнения

Таким образом *CWDM* технология, уже не может удовлетворить текущие требования заказчиков, как с точки зрения максимального уплотнения оптических линий связи, так и перекрываемых расстояний.

DWDM (*Dense WDM*) — спектральное уплотнение с плотным расположением оптических каналов. В этом случае межканальный интервал может составлять порядка 0,8 нм — 0,4 нм.

Преимущества *DWDM* технологии по сравнению с *CWDM*:

- более современная технология спектрального уплотнения, позволяющая передавать через оптическое волокно большее количество длин волн (более 120);

- *DWDM* технология позволяет использовать оптические усилители, благодаря чему увеличиваются максимальное перекрываемое расстояния между двумя соседними *DWDM* узлами, а также повышает масштабируемость *DWDM* системы, делая её более гибкой (например, если при переносе *DWDM* системы на другие объекты и при переключении на более длинные оптические волокна, увеличиться вносимое оптическое затухание, его можно компенсировать посредством применения оптических усилителей).

Технологии оптического мультиплексирования связи постоянно развиваются, оптимизируются технические и технологические составляющие, что приводит к удешевлению стоимости производства оборудования спектрального уплотнения. На сегодняшний день стоимость оборудования *DWDM* сопоставимо по стоимости с оборудованием *CWDM*, при том, что *DWDM* технологии являются гораздо более совершенной.

И всё же, когда имеет смысл применять технологию спектрального уплотнения (*CWDM* \ *DWDM*).

Самое дорогое в сетях связи — это линейные сооружения. Волокна в оптическом кабеле, в случае передачи по 1 паре волокон (одному волокну) одной услуги, имеют свойство быстро заканчиваться. Прокладывать новый оптический кабель — дорого и сопряжено рядом сложностей, а аренда большого количества оптических волокон приводит к значительным оперативным расходам. Наиболее оптимальным путём увеличения пропускной способности существующей оптической инфраструктуры является применение *CDWD* \ *DWDM* систем, использование которых позволяет ступенчато и практически не ограниченно наращивать пропускную способность существующей волоконно-оптической сети без увеличения числа оптических волокон в ней.

Пример схемы практического применения *CWDM*-уплотнения приведён на рис. 2.19.

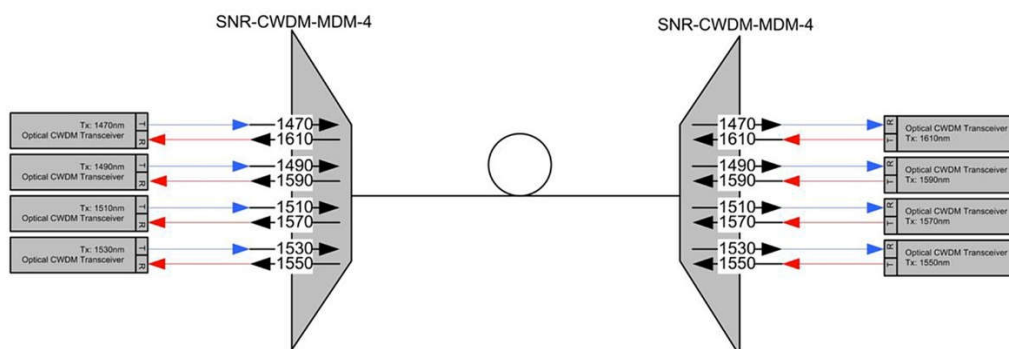


Рис. 2.19 — Схема применения оптических мультиплексоров для *CWDM*-уплотнения

В некоторых оптических мультиплексорах специально выделены несущие 1550 / 1530 нм для использования *C*-диапазона *DWDM*. В *CWDM* окно 1550 / 1530 попадает 16 несущих *DWDM* (рис. 2.20).

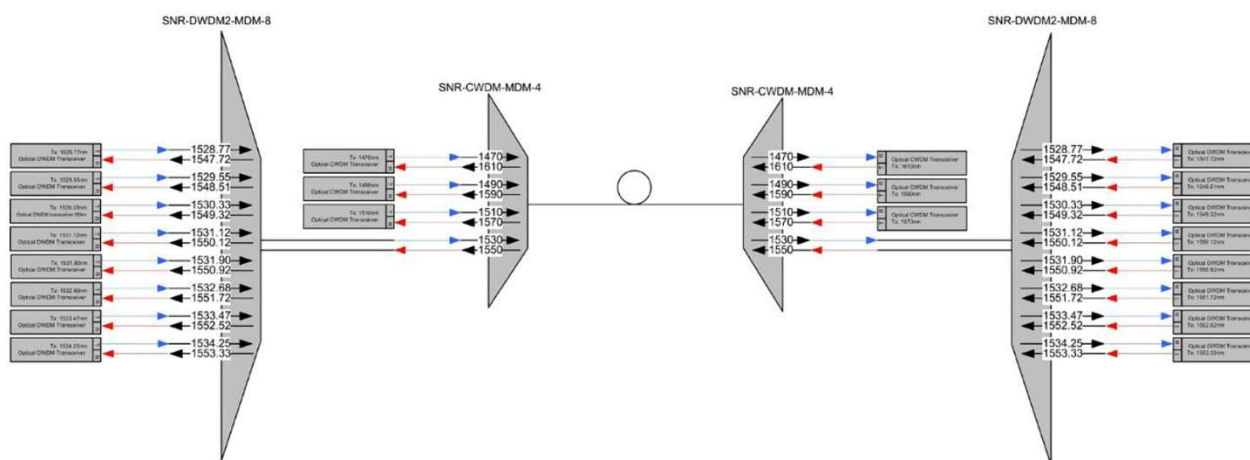


Рис. 2.20 — Схема применения оптических мультиплексоров для *DWDM*-уплотнения внутри *CWDM*

Одно из возможных применений *CWDM* технологии — это объединение каналов передачи данных и ТВ канала (рис. 2.21).

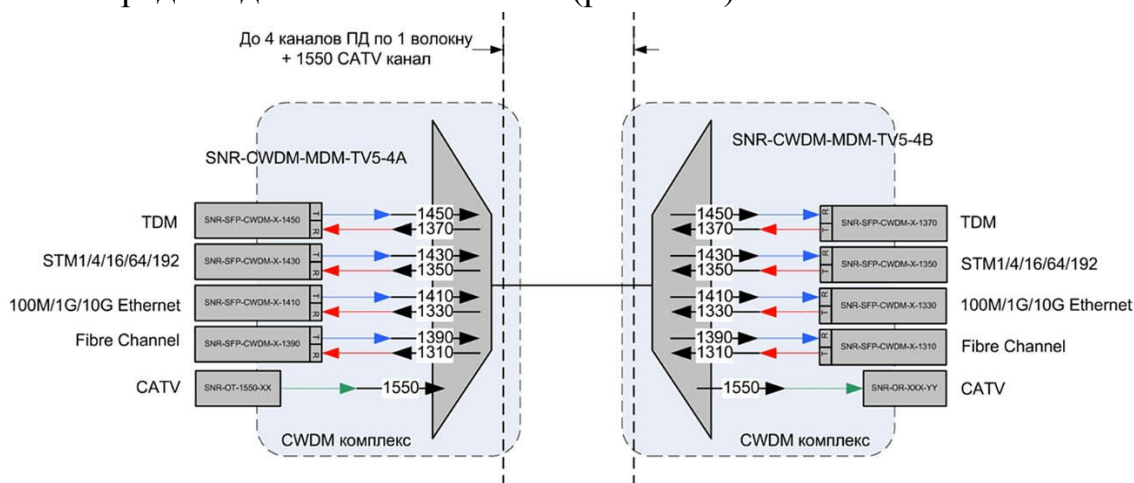


Рис. 2.21 — Топология сети «точка-точка» + канал передачи ТВ сигнала

2.6.3. Порядок выполнения работы

- а) **Стенд выключен.**
- б) Подготовьте необходимое оборудование для выполнения задания:
 - двухволоконный *SPF*-модуль *Tx* 1510 нм — 1 шт.;
 - двухволоконный *SPF*-модуль *Tx* 1530 нм — 1 шт.;
 - двухволоконный *SPF*-модуль *Tx* 1550 нм — 1 шт.;
 - двухволоконный *SPF*-модуль *Tx* 1570 нм — 1 шт.;
 - оптические патч-корды;
 - патч-корды *RJ-45* – 4 шт.
- в) Изучите пример сети с *CWDM*-уплотнением, представленный на рис. 2.22.

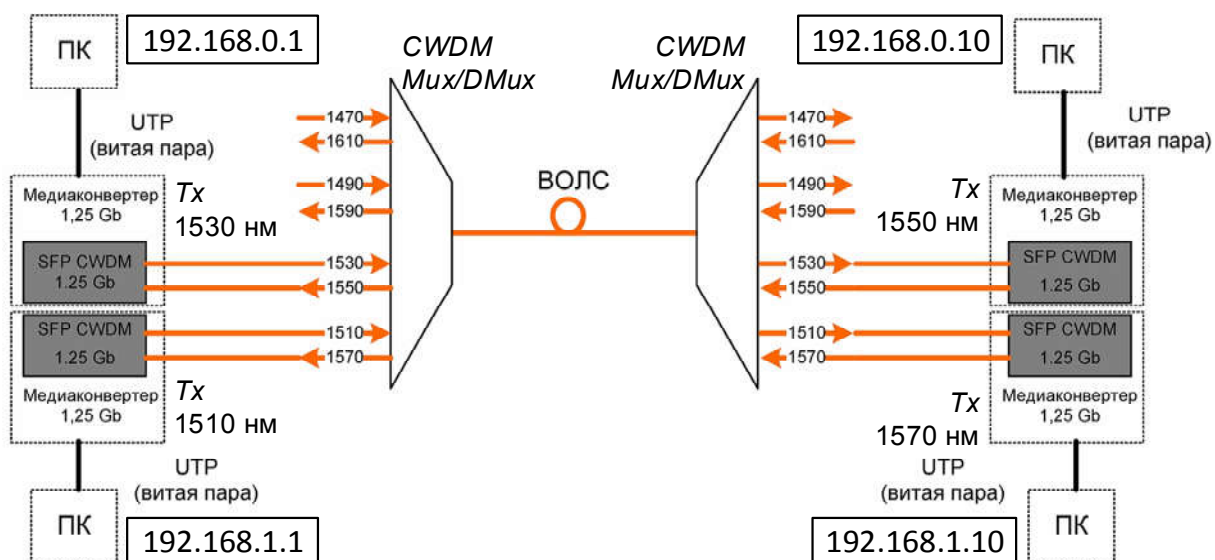


Рис. 2.22 — Структурная схема сети с *CWDM*-уплотнением

г) Соберите согласно рис. 2.23 схему сети с *CWDM*-уплотнением.

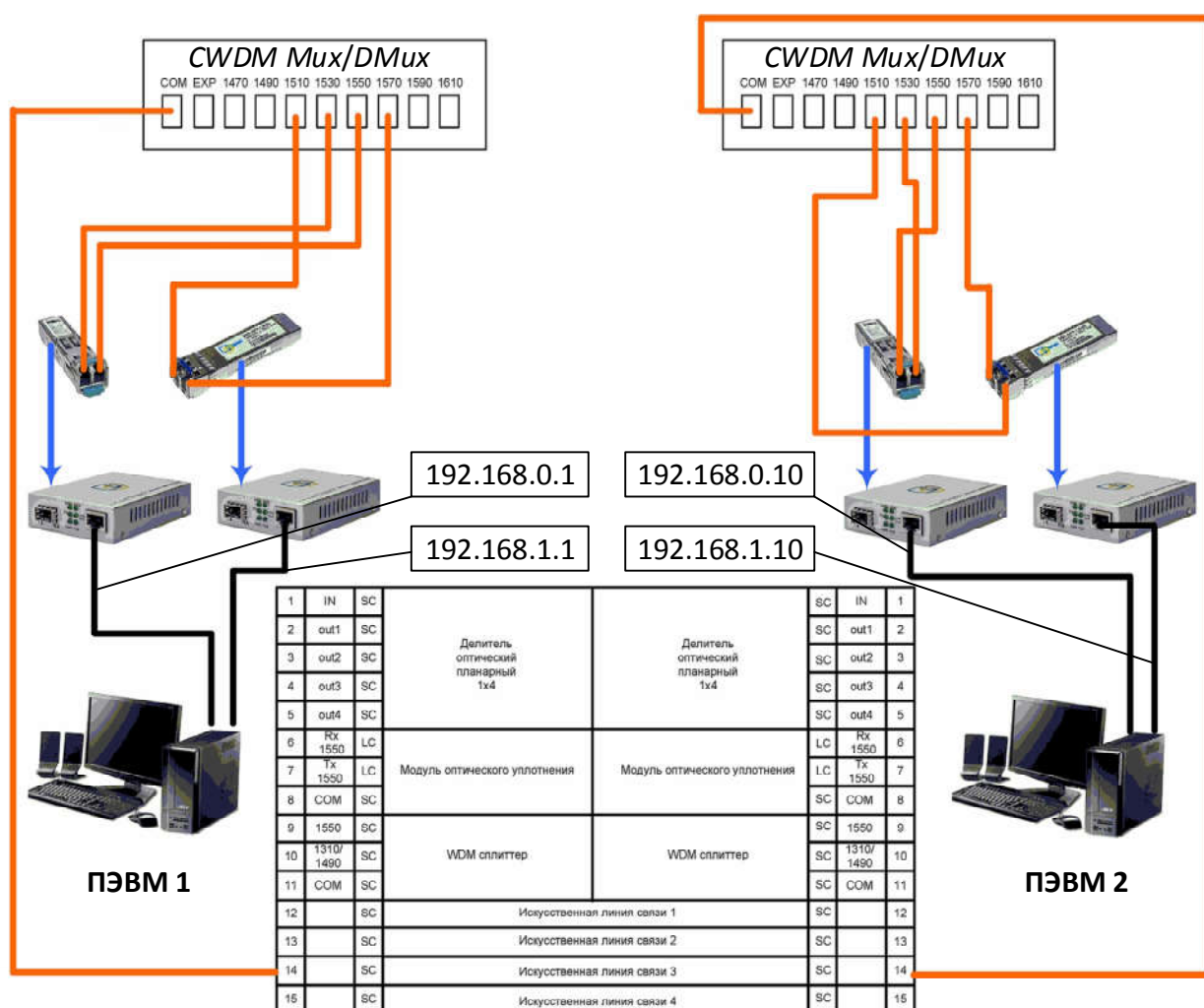


Рис. 2.23 — Схема сети с *CWDM*-уплотнением

д) Предъявите собранную схему сети преподавателю. Получите разрешение преподавателя на включение лабораторного комплекса. Включите лабораторный комплекс.

е) По загоранию соответствующих светодиодов медиаконвертеров проконтролируйте правильность и надёжность соединения медных и оптических патч-кордов.

ж) На ПЭВМ запустите терминал *Linux*.

з) При помощи команды *ping* проверьте со стороны сетей ПЭВМ 1 доступность сетей ПЭВМ 2. Результаты проверки занесите в табл. 2.4.

Табл. 2.4 — Результаты тестирования каналов сети с *CWDM*-уплотнением

Адрес клиента	Адрес сервера			
	192.168.0.10		192.168.1.10	
	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с
192.168.0.1				
192.168.1.1				

и) ПЭВМ2 с адресом 192.168.0.10 запустите **в режиме сервера**.

к) По результатам измерений в пп. з) выберите сеть ПЭВМ1, для которой получен положительный результат проверки наличия сети (*ping*). Сеть ПЭВМ1 с этим адресом запустите **в режиме клиента**. Дождитесь результатов тестирования канала связи. Результаты занесите в табл. 2.4.

л) ПЭВМ2 с адресом 192.168.1.10 запустите **в режиме сервера**.

м) Повторите измерения по пп. к).

н) **По окончании измерений** выключите Лабораторный комплекс, аккуратно отключите патч-корды, извлеките *SFP*-модули, наденьте заглушки, приведите Лабораторный комплекс в первоначальное состояние.

2.7. Вопросы для допуска к лабораторной работе

2.7.1. Правила работы на лабораторном оборудовании.

2.7.2. Классификация источников излучения и меры предосторожности.

2.7.3. Определение терминов «патч-корд», «пигтейл».

2.7.4. Опишите *SC*-коннектор.

2.7.5. Опишите *LC*-коннектор.

2.7.6. Опишите состав лабораторного комплекса.

2.7.7. Чем отличаются линии связи, размещённые в лабораторном комплексе?

2.7.8. Перечислите рабочие адреса сетей лабораторного комплекса и на каких выходах комплекса они выведены.

2.7.9. Поясните, как включить сеть в режиме сервера или клиента.

2.7.10. Поясните назначение *SFP*-модулей.

2.7.11. Перечислите типовые характеристики *Ethernet SFP*-модулей.

- 2.7.12. Опишите характерные особенности многомодовых *SFP*-модулей.
- 2.7.13. Опишите характерные особенности одномодовых *SFP*-модулей.
- 2.7.14. Опишите отличие дальности связи многомодовых и одномодовых *SFP*-модулей.
- 2.7.15. Чем отличаются характеристики используемых в лабораторном комплексе двухволоконных *SFP*-модулей?
- 2.7.16. Чем отличаются характеристики используемых в лабораторном комплексе одноволоконных *SFP*-модулей?

2.8. Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

- 2.8.1. Поясните, в чём состоит физический смысл многоволнового уплотнения.
- 2.8.2. Поясните, как осуществляется многоволновое уплотнение с применением мультиплексоров/демультиплексоров.
- 2.8.3. Поясните принцип действия мультиплексора/демультиплексора, выполненного на основе призмы.
- 2.8.4. Поясните принцип действия мультиплексора/демультиплексора, выполненного на основе дифракционной решетки.
- 2.8.5. Поясните принцип действия мультиплексора/демультиплексора, выполненного на основе оптических фильтров.
- 2.8.6. Представьте вариант структурной схемы сети с *WDM* уплотнением, реализованной с применением *WDM*-сплиттеров.
- 2.8.7. Проанализируйте результаты исследований сети с *WDM*-уплотнением на базе оптических *WDM*-сплиттеров.
- 2.8.8. Поясните, что собой представляют сети *PON*.
- 2.8.9. Поясните, на какие группы можно разделить оптические сплиттеры по технологии изготовления.
- 2.8.10. Поясните, на какие группы можно разделить оптические сплиттеры по количеству каналов.
- 2.8.11. Приведите вариант структурной схемы сети с *WDM* уплотнением, реализованной с применением широкополосных сплиттеров.
- 2.8.12. Проанализируйте результаты исследований сети с *WDM*-уплотнением на базе оптических широкополосных сплиттеров.
- 2.8.13. Опишите принцип действия оптического циркулятора.
- 2.8.14. Опишите особенности применения оптических циркуляторов для построения систем с *WDM*.
- 2.8.15. Приведите пример и проанализируйте особенности структурной схемы сети с *WDM*-уплотнением на базе модуля оптического уплотнения.
- 2.8.16. Проанализируйте результаты исследований сети с *WDM*-уплотнением на базе модуля оптического уплотнения.
- 2.8.17. Опишите особенности технологии *CWDM*.
- 2.8.18. Приведите пример структурной схемы сети с *CWDM*-уплотнением и опишите её особенности.
- 2.8.19. Опишите особенности технологии *DWDM*.
- 2.8.20. Сравните технологии *CWDM* и *DWDM*.

2.8.21. Приведите пример структурной схемы сети с *CWDM*-уплотнением, в которой также реализовано *DWDM* и опишите её особенности.

2.8.22. Опишите структурную схему сети с *CWDM*-уплотнением, реализованную в лабораторной работе.

2.8.23. Проанализируйте результаты исследований сети с *CWDM*-уплотнением.

3. Лабораторная работа № 2. Исследование структуры различных волоконно-оптических сетей с многоволновым и временным уплотнением

3.1. Цель работы

Целью работы является: исследовать структуры различных волоконно-оптических сетей с многоволновым и временным уплотнением.

3.2. Общая характеристика лабораторного комплекса

Описания состава лабораторного комплекса приведено в пп. 1.3 — 1.4.

Соблюдайте правила безопасности при работе с оптическим излучением!

3.3. Исследование сети с *CWDM* уплотнением в топологии *CWDM-OADM-OADM*

3.3.1. Задачи исследования:

— Изучить структуру сети с *CWDM* уплотнением в топологии *CWDM-OADM-OADM* и провести её тестирование.

3.3.2. Теоретические сведения

3.3.2.1. Технология *CWDM*

Грубое спектральное мультиплексирование — *CWDM* (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*) — технология, позволяющая одновременно передавать несколько информационных каналов по одному оптическому волокну на разных несущих частотах (рис. 3.1). Согласно рекомендации *ITU-T G.694.2* в системах *CWDM* кроме широко известных диапазонов *C*, *S*, *L* используются еще два диапазона *O* (*original*, основной) 1260 — 1360 нм и *E* (*extensive*, расширенный) 1360 — 1460 нм. В совокупности все диапазоны охватывают область 1260 — 1625 нм, в которой располагается 18 каналов с шагом 20 нм.

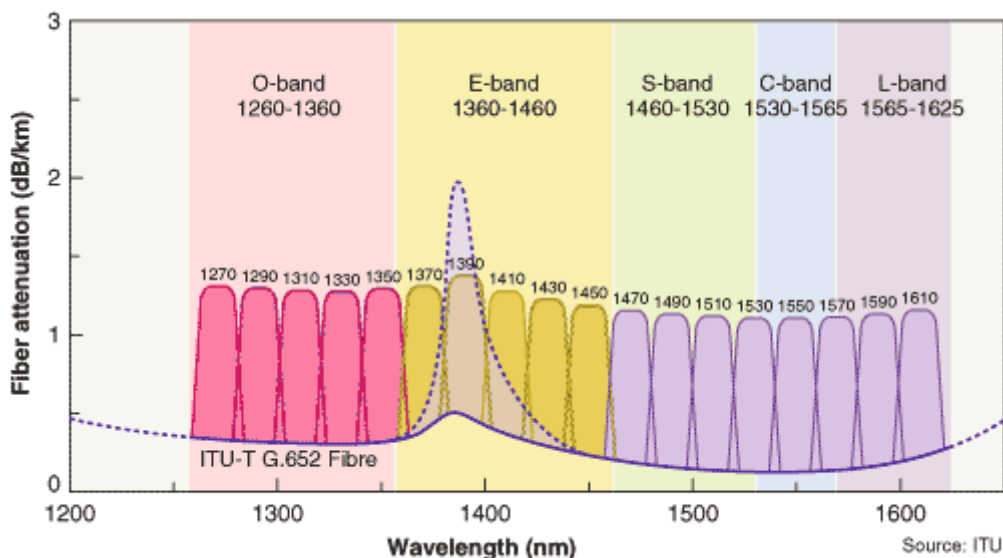


Рис. 3.1 — Распределение каналов *CWDM* в соответствии с рекомендацией *G.694.2*

Затухание на длинах волн 1270 нм и 1290 нм довольно велико, поэтому данный диапазон используют редко в *CWDM* системах.

Технология грубого спектрального уплотнения *CWDM* получает все большее распространение, особенно в сетях городского и регионального масштаба. Наиболее крупные провайдеры телекоммуникационных услуг в городах осуществляют модернизацию сети и в дополнение к давно используемым системам *Ethernet/IP* начинают использовать системы *CWDM*.

Именно системы *CWDM* могут решить проблемы нехватки пропускной способности при увеличении экономической эффективности использования сети и минимизации капитальных затрат на ее построение.

Городские и региональные сети представляют собой наиболее динамично развивающиеся сегменты телекоммуникационного рынка и подразумевают широкое использование для передачи данных большого спектра различных протоколов, скоростей и сетевых топологий. Являясь прозрачными для любого типа и скорости передаваемого трафика, устройства *CWDM* могут стать связующим звеном между магистралью и сетью доступа.

Системы спектрального уплотнения являются частью сети оператора связи и устанавливаются между двумя или более узлами связи. Для того, чтобы обеспечить работу системы на узле связи необходимо наличие активных сетевых устройств с достаточным суммарным количеством портов для установки *SFP*-трансиверов (*SFP*-модулей). Такими сетевыми устройствами обычно являются коммутаторы и маршрутизаторы. В случае недостаточного количества активных сетевых устройств с необходимым суммарным количеством *SFP*-портов возможно использование медиаконверторов со слотами под *SFP*-трансиверы. Такое решение в ряде случаев тоже является более экономически выгодным.

Основными элементами систем спектрального уплотнения являются (рис. 3.2):

- мультиплексоры/демультиплексоры (*MUX/DEMUX*) — позволяют суммировать и разделять оптические сигналы по длинам волн;
- *OADM*-модули — мультиплексоры ввода/вывода — позволяют выделить и добавить в волокно сигнал по определенным длинам волн;
- *SFP* трансиверы (*SFP*-модули) — формируют и принимают оптические сигналы (длины волн) в системе; переводят сигнал из электрического (активное оборудование) в оптический и обратно.

Стоит обратить внимание на то, что мультиплексоры/демультиплексоры и *SFP*-трансиверы работают в парах. Соответственно, это оборудование *Type I* и *Type II*. Такая необходимость обусловлена тем, что каждый канал на разных концах имеет зеркальные значения по приему (*Rx*) и передаче (*Tx*), т.к. сформирован из двух несущих (длин волн).

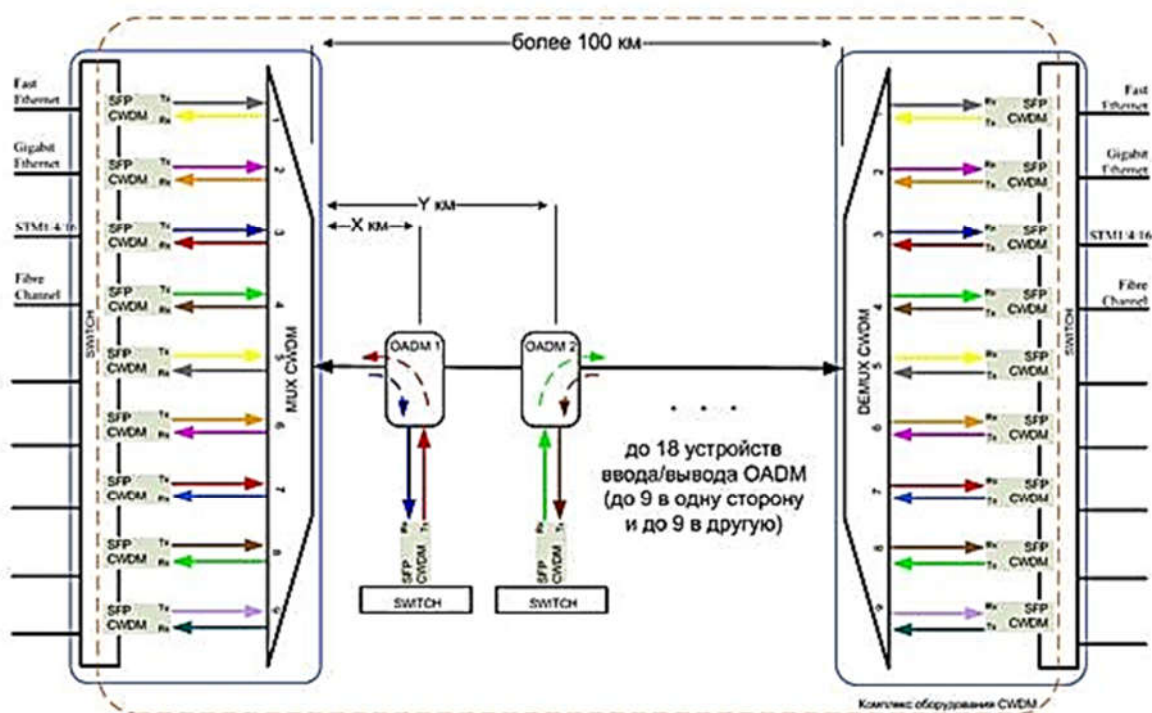


Рис. 3.2 — Технология CWDM

3.3.2.2. SFP-трансиверы

SFP-трансиверы предназначены для формирования оптических сигналов «основной несущей» с 1270 по 1610 нм (шаг 20 нм), представлены на рис. 3.3.



Рис. 3.3 — SFP-трансиверы (SFP-модули)

Каждый SFP-трансивер работает по двум волокнам и, в отличие от стандартных двухволоконных трансиверов 1000Base LX, оперирует двумя разными длинами волн — широкополосный приёмник работает с одной длиной волны и передатчик — с другой.

Для образования канала данных в системе SFP-трансиверы комплектуются «попарно» (рис. 3.4).

Для мониторинга в режиме реального времени (*on-line* мониторинга) используются трансиверы с функцией DDM (*Digital Diagnostic Monitoring*). Функция DDM позволяет в режиме реального времени контролировать параметры, которые имеет SFP-трансивер: мощность входящего сигнала (*Rx*),

мощность исходящего сигнала (T_x), температурные параметры работы трансивера. Изменения данных параметров позволяют судить об износе системы и состоянии трассы в целом.

Цвет	Type I	Type II
Серый	$T_x1470/R_x1310\text{ nm}$	$T_x1310/R_x1470\text{ nm}$
Розовый	$T_x1490/R_x1330\text{ nm}$	$T_x1330/R_x1490\text{ nm}$
Синий	$T_x1510/R_x1350\text{ nm}$	$T_x1350/R_x1510\text{ nm}$
Зеленый	$T_x1530/R_x1370\text{ nm}$	$T_x1370/R_x1530\text{ nm}$
Желтый	$T_x1550/R_x1390\text{ nm}$	$T_x1390/R_x1550\text{ nm}$
Оранжевый	$T_x1570/R_x1410\text{ nm}$	$T_x1410/R_x1570\text{ nm}$
Красный	$T_x1590/R_x1430\text{ nm}$	$T_x1430/R_x1590\text{ nm}$
Коричневый	$T_x1610/R_x1450\text{ nm}$	$T_x1450/R_x1610\text{ nm}$

Рис. 3.4 — Цветовая маркировка *SFP*-трансиверов

Функция *DDM* также используется при оценке оптического бюджета линии. Сравнение данных *SFP*-трансиверов позволяет определить реальные потери по несущим в волокне.

SFP-трансивер так же отличается по дальности своей работы (мощности сигнала). *SFP*-трансивер имеет стандартный километраж. Причем разные фирмы производители имеют свои стандарты, например, 60 км, 80 км, 120 км или 160 км.

Стандартный тип разъёма для коннектора на *SFP*-трансивере — *LC*.

3.3.2.3. Оптические мультиплексоры *MUX CWDM small*

Оптический мультиплексор/демультиплексор предназначен для суммирования и разделения оптических сигналов, передаваемых на длинах волн 1270 — 1610 нм по одномодовому (*Single Mode*) оптическому кабелю. Прибор предназначен для совместной работы с трансиверами *SFP* сигналов, образуя 4 или 8 каналов на 8-и или 16-ти длинах волн в одном волокне или до 32 каналов на двух волокнах.

Устройства отличаются низким отражением сигнала, высокой изоляцией каналов и малыми потерями. *CWDM* мультиплексоры являются устройствами двунаправленного действия, т.е. могут, как разделять, так и смешивать оптические сигналы. Устройства доступны в различных исполнениях, что позволяет использовать их в различных системах передачи.

В зависимости от поставленной задачи конфигурация мультиплексора/демультиплексора (*Mux/Demux*) определяется по следующим характеристикам:

— двухволоконный мультиплексор (2 *fiber*);

- одноволоконный мультиплексор (1 *fiber* (*single fiber*) или *bidirectional*);
- 4-х или 8-ми канальный мультиплексор (8 или 16 длин волн), работающий на одном волокне;
- 8-ми или 16-ти канальный, работающий на двух волокнах;
- мультиплексор с двумя «общими» (*Common*) выводами для реализации «кольцевой» топологии;
- для топологий «Точка-Точка» или «Кольцо» необходима «попарная» (порты *Tx–Rx*) комплектация мультиплексоров — *Mux/Demux Type I*, *Mux/Demux Type II*;
- коннекторы — *FC, SC, LC, ST, FA, SA*.

3.3.2.4. OADM модули

Модули Ввода/Вывода (*Add/Drop*) (*OADM*) выделяют определенные длины волн из потока (оптической линии).

Основные свойства:

- пассивная оптика;
- низкие вносимые потери для транзитных каналов;
- выделенная длина волны конечному пользователю.

Принципиально выделяются *OADM* модули одноканальные и двухканальные (рис. 3.5). Их отличие заключается в способности принимать и получать оптический сигнал от одного или двух мультиплексоров и физически обусловлено наличием одного или двух приёмо-передающих блоков. Соответственно, одноканальный *OADM* модуль имеет один приёмо-передающий блок и способен работать только с одним мультиплексором (см. далее топология «Точка с ответвлениями») в «одну сторону». Двухканальный *OADM* модуль имеет два приёмо-передающих блока и способен работать «в две стороны» с двумя мультиплексорами/демультиплексорами.

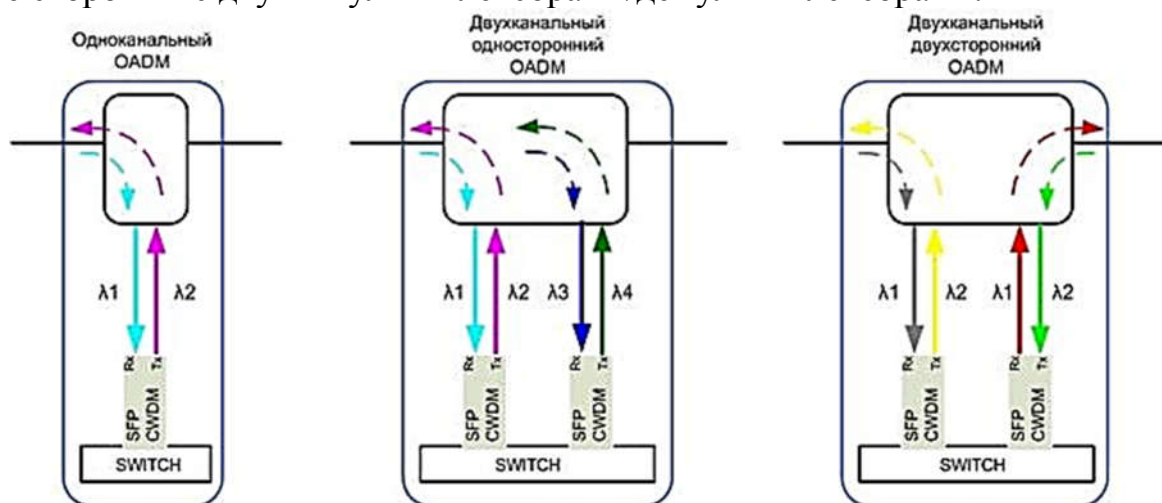


Рис. 3.5 — Варианты *OADM* модулей

Приёмо-передающий блок одноканального *OADM* модуля имеет четыре интерфейса:

- *Com* порт — получает сигнал со стороны мультиплексора;

- *Express* порт — пропускает сигнал на другие элементы системы;
- *Add* порт — добавляет в линию канал на определенной длине волны;
- *Drop* порт — извлекает из линии канал на определенной длине волны.

Ограничений по протоколам или ширине полосы такие устройства не имеют.

Соответственно, двухканальный *OADM* модуль обладает двумя дополнительными портами *Add* и *Drop*.

В случае использования двухволоконной системы так же добавляются порты *Com2* и *Express2*.

Одноканальный *OADM* модуль работает в паре с одним *SFP*-трансивером, двухканальный *OADM* — с двумя *SFP*-трансиверами (*Type I* и *Type II*)

Достоинства:

- экономия оптического волокна — система спектрального уплотнения позволяет передавать по одному волокну до 8 каналов с пропускной способностью до 2,5 Гбит/с на канал;

- независимость от электропитания — питание необходимо только для активного оборудования;

- отсутствие проблем «падения», перезагрузок и пр.;

- отсутствие необходимости организации постоянного доступа к местам размещения элементов системы — существуют *OADM* модули в исполнении для размещения в оптических муфтах;

- снижение уровня влияния «человеческого фактора» — отсутствие активных компонентов, требующих настройки, управления и пр.;

- значительное снижение стоимости владения — снижение уровня эксплуатационных расходов;

- относительно невысокая стоимость, возможность отказа от оборудования уровня агрегации;

- максимальная дальность работы составляет 80 и более километров;

- независимость от клиентских протоколов — передача до 18-ти независимых сервисов по двум парам оптических волокон; прозрачность для всех протоколов передачи данных;

- наличие различных видов оборудования для монтажа в различных условиях: в стойку, в муфту, на стену.

Технология *CWDM* продлевает время «жизни» существующих волоконно-оптических сетей путем использования сетки частот, не используемых традиционными приемопередатчиками. Технология инвариантна к протоколам передачи информации, что позволяет организовать различные телекоммуникационные услуги в одной транспортной среде.

Увеличение частотного расстояния между каналами приводит к заметному снижению стоимости активных и пассивных компонентов по сравнению с технологией *DWDM* — *Dense Wavelength Division Multiplexing*

(плотное спектральное мультиплексирование с расстоянием между каналами 0,8 нм). Кроме того, грубое спектральное мультиплексирование обеспечивает гибкость системы передачи информации и возможность реализации различных топологий:

- «Точка-точка» (рис. 3.6);
- «Точка-многоточие» (рис. 3.7);
- «Кольцо» (рис. 3.8).

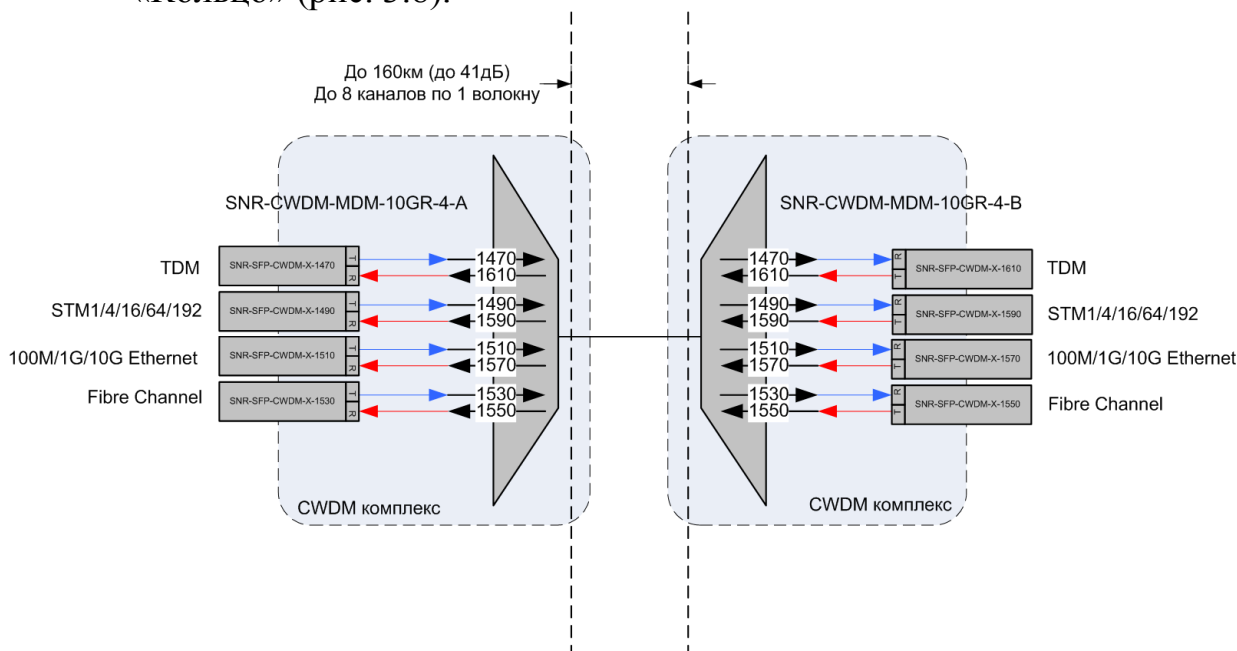


Рис. 3.6 — Топология «точка-точка»

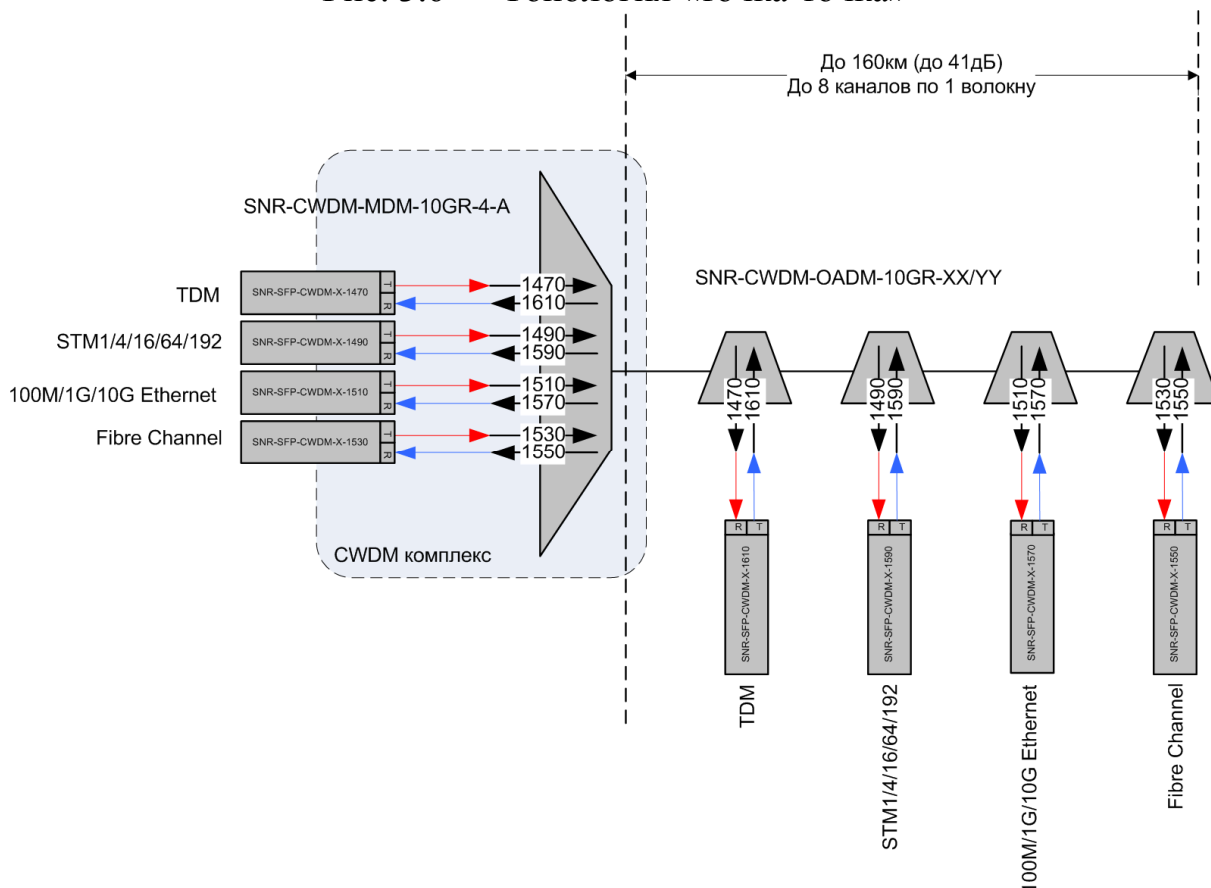


Рис. 3.7 — Топология «точка-многоточка» (логическая звезда)

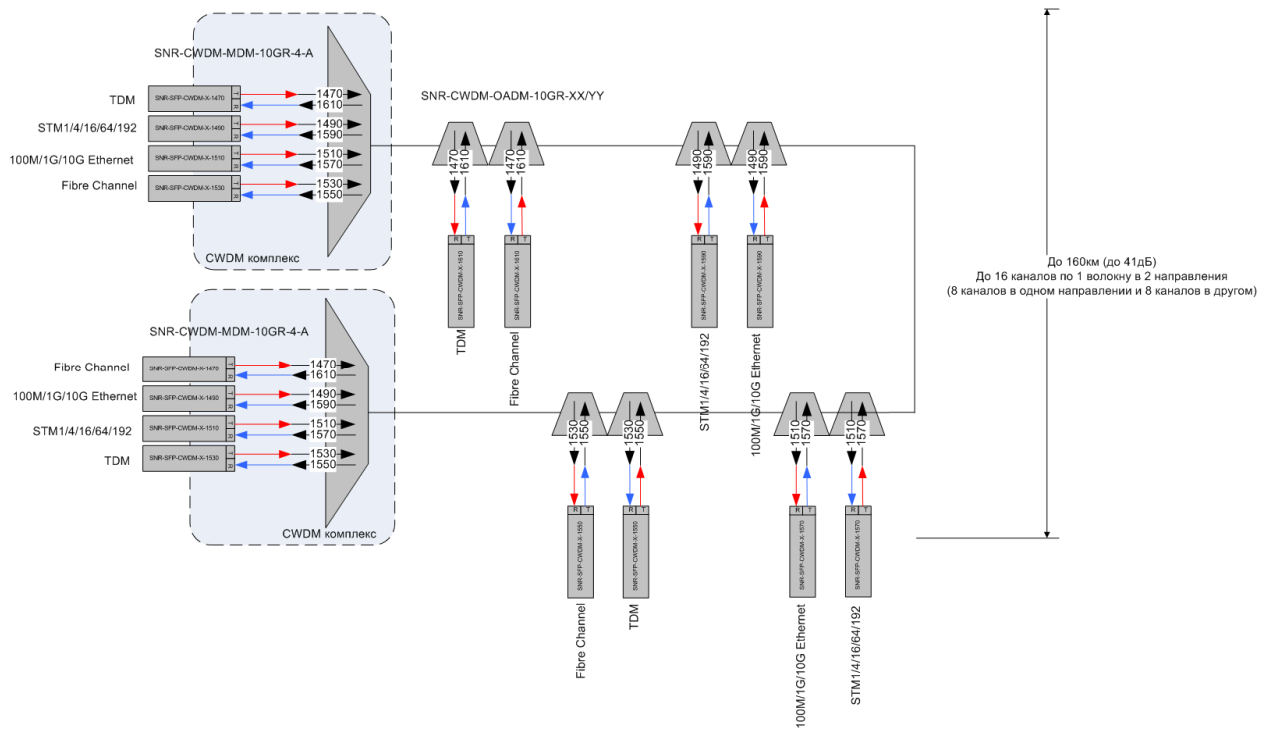


Рис. 3.8 — Топология «кольцо»/«точка-многоточка» в 2-х направлениях

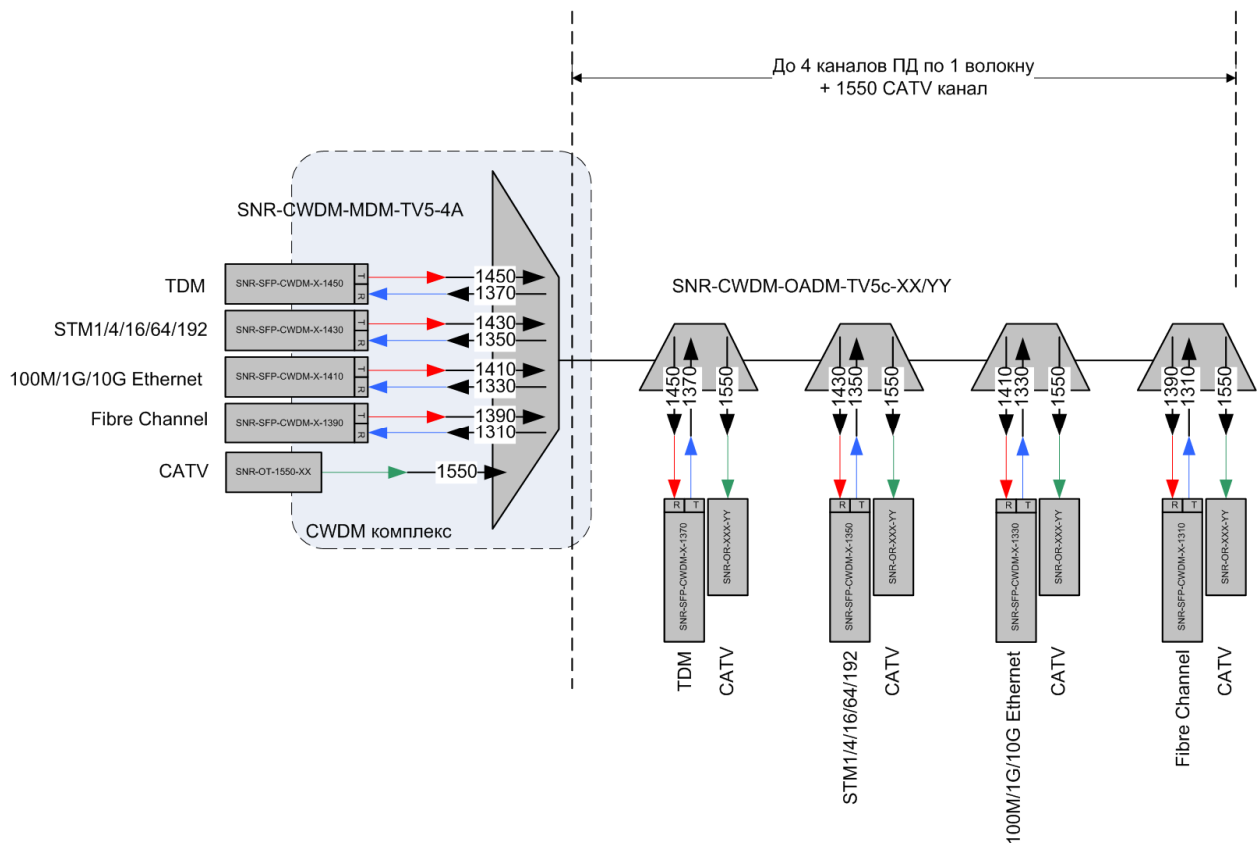


Рис. 3.9 — Топология «точка-многоточка» (логическая звезда) + канал передачи ТВ сигнала (ответвление на каждом *OADM*)

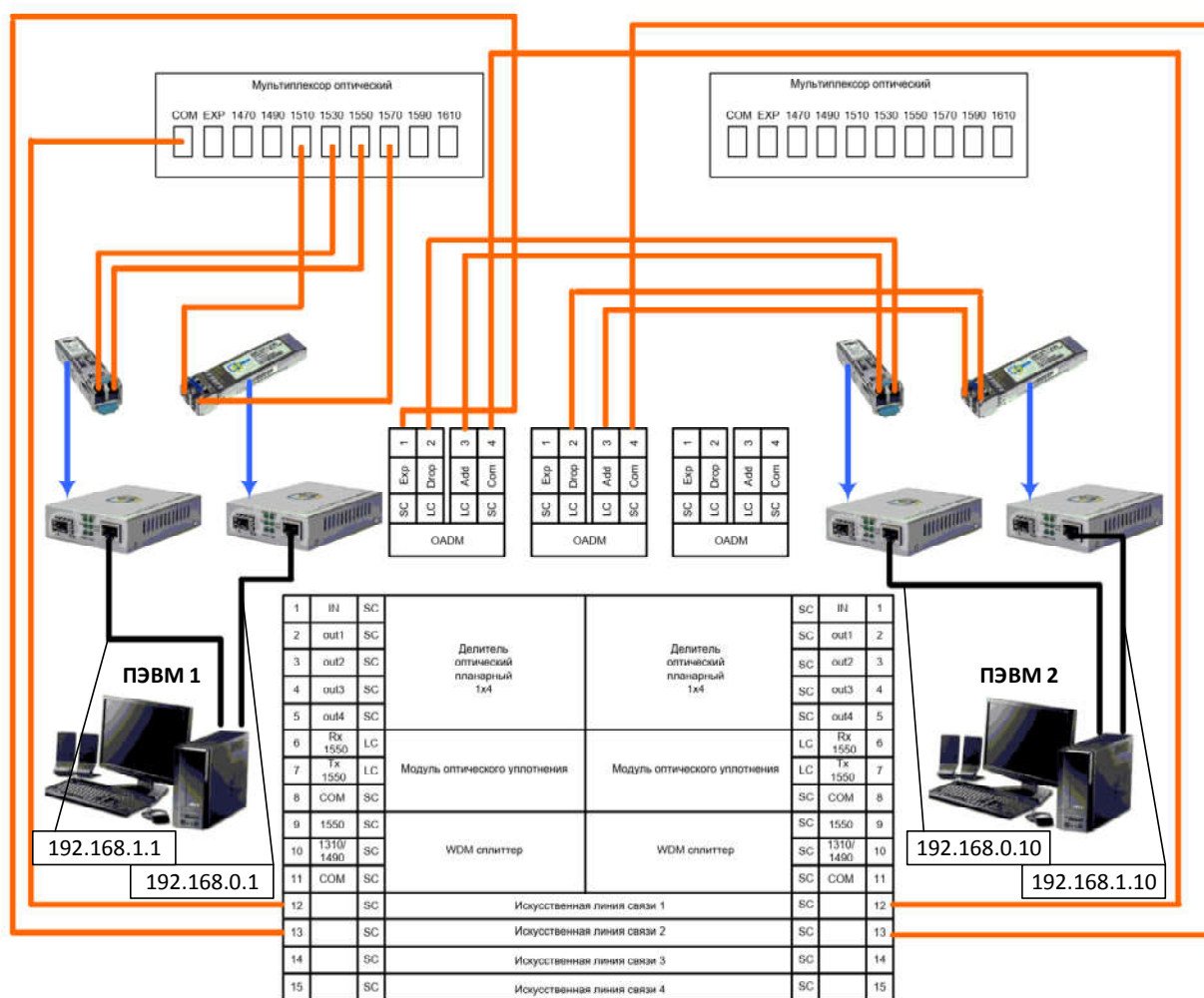


Рис. 3.11 — Схема сети CWDM-OADM-OADM

Табл. 3.1 — Результаты тестирования каналов сети CWDM-OADM-OADM

Адрес клиента	Адрес сервера			
	192.168.0.10		192.168.1.10	
	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с
192.168.0.1				
192.168.1.1				

и) ПЭВМ2 с адресом 192.168.0.10 запустите **в режиме сервера**.

к) По результатам измерений в пп. з) выберите сеть ПЭВМ1, для которой получен положительный результат проверки наличия сети (*ping*). Сеть ПЭВМ1 с этим адресом запустите **в режиме клиента**. Дождитесь результатов тестирования канала связи. Результаты занесите в табл. 3.1.

л) ПЭВМ2 с адресом 192.168.1.10 запустите **в режиме сервера**.

м) Повторите измерения по пп. к).

н) По окончании измерений выключите Лабораторный комплекс, аккуратно отключите патч-корды, извлеките SFP-модули, наденьте заглушки, приведите Лабораторный комплекс в первоначальное состояние.

3.4. Исследование сети с *CWDM* уплотнением в топологии *CWDM-OADM-OADM-CWDM*

3.4.1. Задачи исследования:

— Изучить структуру сети с *CWDM* уплотнением в топологии *CWDM-OADM-OADM-CWDM* и провести её тестирование.

3.4.2. Порядок выполнения работы

а) Стенд выключен.

б) Подготовьте необходимое оборудование для выполнения задания:

— двухволоконный *SPF*-модуль Tx 1510 нм — 1 шт.;

— двухволоконный *SPF*-модуль Tx 1530 нм — 1 шт.;

— двухволоконный *SPF*-модуль Tx 1550 нм — 1 шт.;

— двухволоконный *SPF*-модуль Tx 1570 нм — 1 шт.;

— оптические патч-корды;

— патч-корды *RJ-45* – 4 шт.

в) Изучите пример топологии сети, представленный на рис. 3.12.

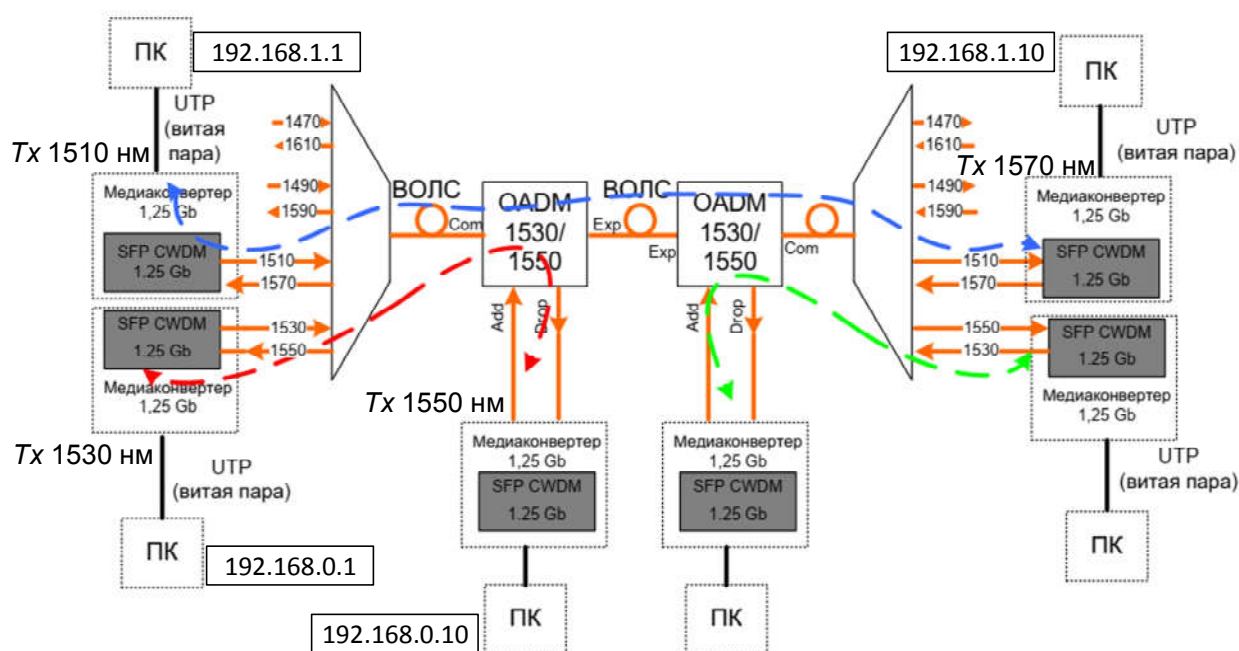


Рис. 3.12 — Топология сети *CWDM-OADM-OADM-CWDM*

г) Соберите согласно рис. 3.13 схему сети *CWDM-OADM-OADM-CWDM*.

д) Предъявите собранную схему сети преподавателю. Получите разрешение преподавателя на включение лабораторного комплекса. Включите лабораторный комплекс.

е) По загоранию соответствующих светодиодов медиаконвертеров проконтролируйте правильность и надёжность соединения медных и оптических патч-кордов.

ж) На ПЭВМ запустите терминал *Linux*.

з) При помощи команды *ping* проверьте со стороны сетей ПЭВМ 1 доступность сетей ПЭВМ 2. Результаты проверки занесите в табл. 3.2.

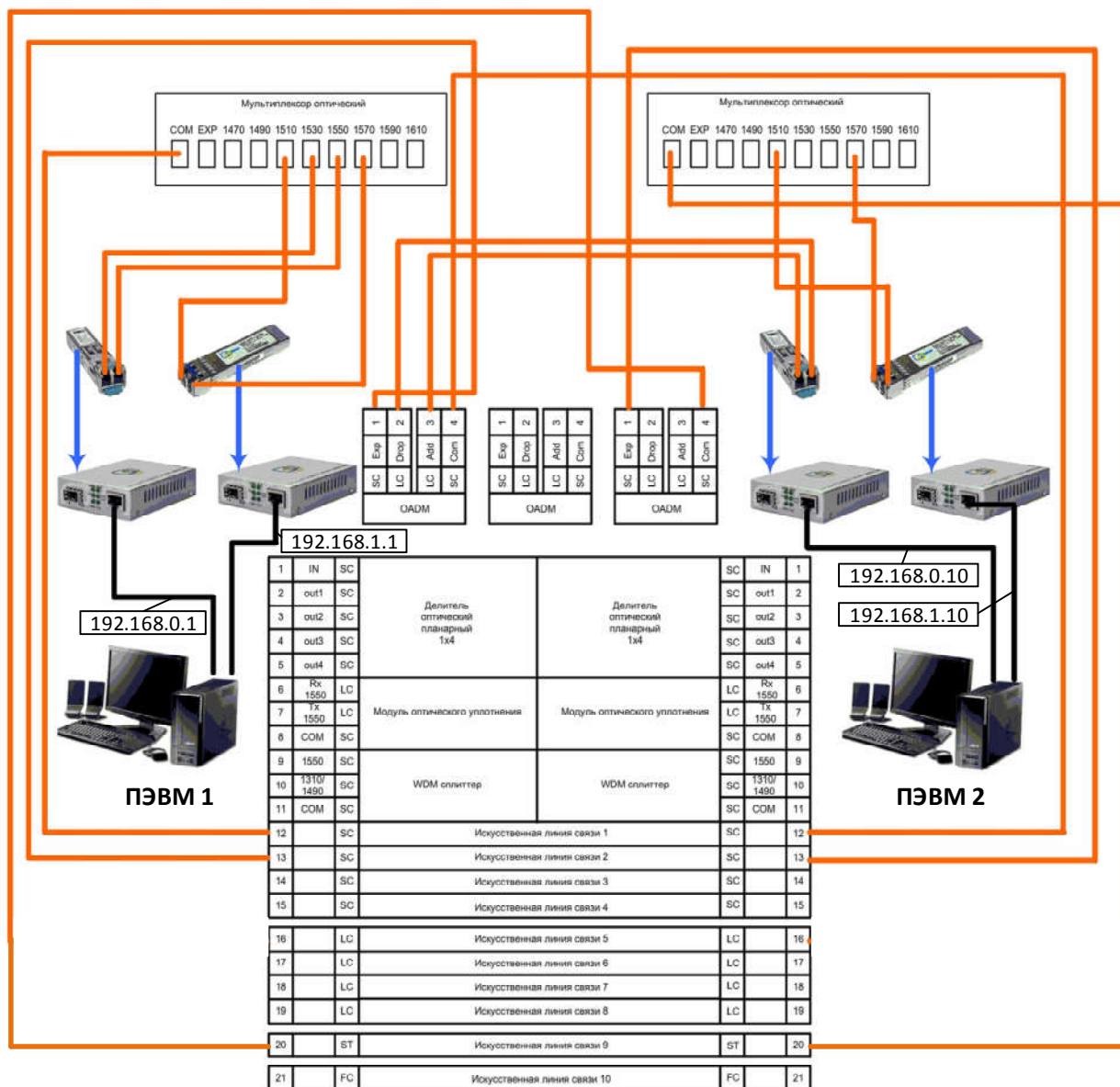


Рис. 3.13 — Схема сети *CWDM-OADM-OADM-CWDM*

Табл. 3.2 — Результаты тестирования каналов сети *CWDM-OADM-OADM-CWDM*

Адрес клиента	Адрес сервера			
	192.168.0.10		192.168.1.10	
	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с
192.168.0.1				
192.168.1.1				

и) ПЭВМ2 с адресом 192.168.0.10 запустите **в режиме сервера**.

к) По результатам измерений в пп. з) выберите сеть ПЭВМ1, для которой получен положительный результат проверки наличия сети (*ping*).

Сеть ПЭВМ1 с этим адресом запустите **в режиме клиента**. Дождитесь результатов тестирования канала связи. Результаты занесите в табл. 3.2.

л) ПЭВМ2 с адресом 192.168.1.10 запустите **в режиме сервера**.

м) Повторите измерения по пп. к).

н) **По окончании измерений** выключите Лабораторный комплекс, аккуратно отключите патч-корды, извлеките *SFP*-модули, наденьте заглушки, приведите Лабораторный комплекс в первоначальное состояние.

3.5. Исследование сети с *TDM* уплотнением

3.5.1. Задачи исследования:

— Изучить структуру сети с *TDM* уплотнением и провести её тестирование.

3.5.2. Теоретические сведения

3.5.2.1. Методы мультиплексирования в многоканальных системах

Мультиплексирование — процесс уплотнения и передачи двух или более сигналов (каналов) через один и тот же тракт (физическую линию) без взаимного влияния. Это достигается разделением сигналов во времени или по частоте, или с помощью кодирования сигнала таким образом, чтобы его мог принимать только назначенный получатель.

В настоящее время для мультиплексирования абонентских каналов используются две техники:

— техника частотного мультиплексирования (*Frequency Division Multiplexing, FDM*);

— техника мультиплексирования с разделением времени (*Time Division Multiplexing, TDM*).

3.5.2.1.1. Коммутация каналов на основе частотного мультиплексирования

Техника частотного мультиплексирования каналов (*FDM*) была разработана для телефонных сетей, но применяется она и для других видов сетей, например сетей кабельного телевидения.

Для разделения абонентских каналов характерна техника модуляции высокочастотного несущего синусоидального сигнала низкочастотным речевым сигналом (рис. 3.14).

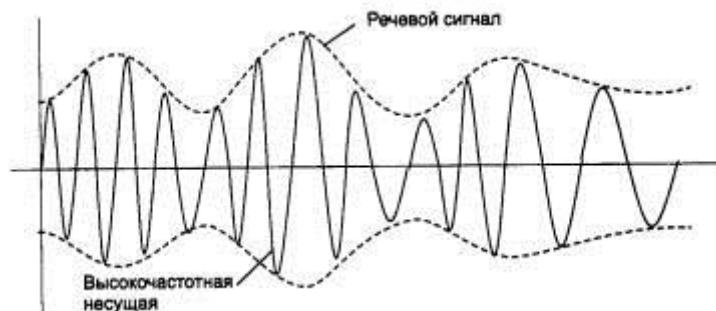


Рис. 3.14 — Модуляция высокочастотной несущей речевым сигналом

В результате спектр модулированного сигнала переносится в другой диапазон, который симметрично располагается относительно несущей частоты и имеет ширину, приблизительно совпадающую с шириной модулирующего сигнала.

Если сигналы каждого абонентского канала перенести в свой собственный диапазон частот, то в одном широкополосном канале можно одновременно передавать сигналы нескольких абонентских каналов.

На входы *FDM*-коммутатора поступают исходные сигналы от абонентов телефонной сети. Коммутатор выполняет перенос частоты каждого канала в свой диапазон частот. Обычно высокочастотный диапазон делится на полосы, которые отводятся для передачи данных абонентских каналов (рис. 3.15).

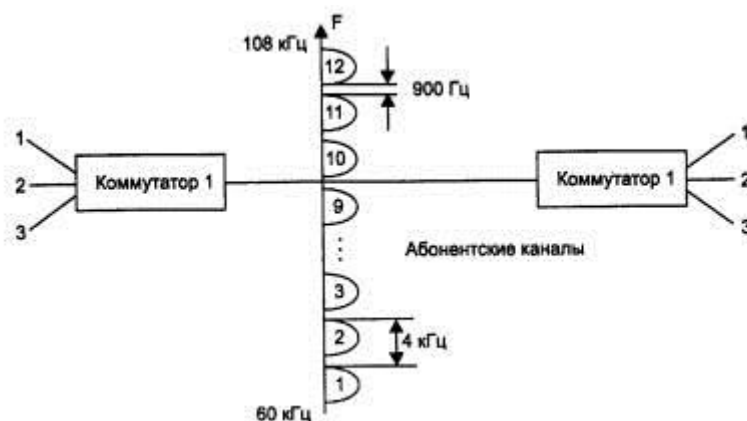


Рис. 3.15 — Коммутация на основе частотного уплотнения

Чтобы низкочастотные составляющие сигналов разных каналов не смешивались между собой, полосы делают шириной в 4 кГц, а не в 3,1 кГц, оставляя между ними страховой промежуток в 900 Гц. В канале между двумя *FDM*-коммутаторами одновременно передаются сигналы всех абонентских каналов, но каждый из них занимает свою полосу частот. Такой канал называют уплотненным.

Выходной *FDM*-коммутатор выделяет модулированные сигналы каждой несущей частоты и передает их на соответствующий выходной канал, к которому непосредственно подключен абонентский телефон.

В сетях на основе *FDM*-коммутации принято несколько уровней иерархии уплотненных каналов. Первый уровень уплотнения образуют 12 абонентских каналов, которые составляют базовую группу каналов, занимающую полосу частот шириной в 48 кГц с границами от 60 до 108 кГц. Второй уровень уплотнения образуют 5 базовых групп, которые составляют супергруппу, с полосой частот шириной в 240 кГц и границами от 312 до 552 кГц. Супергруппа передает данные 60 абонентских каналов тональной частоты. Десять супергрупп образуют главную группу, которая используется для связи между коммутаторами на больших расстояниях. Главная группа передаёт данные 600 абонентов одновременно и требует от канала связи полосу пропускания шириной не менее 2520 кГц с границами от 564 до 3084 кГц.

Коммутаторы *FDM* могут выполнять как динамическую, так и постоянную коммутацию. При динамической коммутации один абонент инициирует соединение с другим абонентом, посылая в сеть номер вызываемого абонента. Коммутатор динамически выделяет данному абоненту одну из свободных полос своего уплотнённого канала. При постоянной коммутации за абонентом полоса в 4 кГц закрепляется на длительный срок путём настройки коммутатора по отдельному входу, недоступному пользователям.

Принцип коммутации на основе разделения частот остаётся неизменным и в сетях другого вида, меняются только границы полос, выделяемых отдельному абонентскому каналу, а также количество низкоскоростных каналов в уплотнённом высокоскоростном.

3.5.2.1.2. Коммутация каналов на основе разделения времени

Коммутация на основе техники разделения частот разрабатывалась в расчёте на передачу непрерывных сигналов, представляющих голос. При переходе к цифровой форме представления голоса была разработана новая техника мультиплексирования, ориентирующаяся на дискретный характер передаваемых данных.

Эта техника носит название мультиплексирования с разделением времени (*Time Division Multiplexing, TDM*). Реже используется и другое её название — техника синхронного режима передачи (*Synchronous Transfer Mode, STM*). Рис. 3.16 поясняет принцип коммутации каналов на основе техники *TDM*.



Рис. 3.16 — Коммутация на основе разделения канала во времени

Аппаратура *TDM*-сетей — мультиплексоры, коммутаторы, демultipлексоры — работает в режиме разделения времени, поочерёдно обслуживая в течение цикла своей работы все абонентские каналы. Цикл работы оборудования *TDM* равен 125 мкс, что соответствует периоду следования замеров голоса в цифровом абонентском канале. Это значит, что

мультиплексор или коммутатор успевает вовремя обслужить любой абонентский канал и передать его очередной замер далее по сети. Каждому соединению выделяется один квант времени цикла работы аппаратуры, называемый также тайм-слотом. Длительность тайм-слота зависит от числа абонентских каналов, обслуживаемых мультиплексором *TDM* или коммутатором.

Мультиплексор принимает информацию по N входным каналам от конечных абонентов, каждый из которых передаёт данные по абонентскому каналу со скоростью 64 Кбит/с — 1 байт каждые 125 мкс. В каждом цикле мультиплексор выполняет следующие действия:

- приём от каждого канала очередного байта данных;
- составление из принятых байтов уплотнённого кадра, называемого также обоймой;
- - передачу уплотнённого кадра на выходной канал с битовой скоростью, равной $N \cdot 64$ Кбит/с.

Порядок байт в обойме соответствует номеру входного канала, от которого этот байт получен. Количество обслуживаемых мультиплексором абонентских каналов зависит от его быстродействия. Например, мультиплексор *T1*, представляющий собой первый промышленный мультиплексор, работавший по технологии *TDM*, поддерживает 24 входных абонентских канала, создавая на выходе обоймы стандарта *T1*, передаваемые с битовой скоростью 1,544 Мбит/с.

Демультимплексор выполняет обратную задачу — он разбирает байты уплотнённого кадра и распределяет их по своим нескольким выходным каналам, при этом он считает, что порядковый номер байта в обойме соответствует номеру выходного канала.

Коммутатор принимает уплотнённый кадр по скоростному каналу от мультиплексора и записывает каждый байт из него в отдельную ячейку своей буферной памяти, причём в том порядке, в котором эти байты были упакованы в уплотнённый кадр. Для выполнения операции коммутации байты извлекаются из буферной памяти не в порядке поступления, а в таком порядке, который соответствует поддерживаемым в сети соединениям абонентов. Так, например, если первый абонент левой части сети должен соединиться со вторым абонентом в правой части сети, то байт, записанный в первую ячейку буферной памяти, будет извлекаться из неё вторым. «Перемешивая» нужным образом байты в обойме, коммутатор обеспечивает соединение конечных абонентов в сети.

Однажды выделенный номер тайм-слота остаётся в распоряжении соединения «входной канал-выходной слот» в течение всего времени существования этого соединения, даже если передаваемый трафик является пульсирующим и не всегда требует захваченного количества тайм-слотов. Это означает, что соединение в сети *TDM* всегда обладает известной и фиксированной пропускной способностью, кратной 64 Кбит/с.

Работа оборудования *TDM* напоминает работу сетей с коммутацией пакетов, так как каждый байт данных можно считать некоторым

элементарным пакетом. Однако, в отличие от пакета компьютерной сети, «пакет» сети *TDM* не имеет индивидуального адреса. Его адресом является порядковый номер в обойме или номер выделенного тайм-слота в мультиплексоре или коммутаторе. Сети, использующие технику *TDM*, требуют синхронной работы всего оборудования, что и определило второе название этой техники — синхронный режим передач (*STM*). Нарушение синхронности разрушает требуемую коммутацию абонентов, так как при этом теряется адресная информация. Поэтому перераспределение тайм-слотов между различными каналами в оборудовании *TDM* невозможно, даже если в каком-то цикле работы мультиплексора тайм-слот одного из каналов оказывается избыточным, так как на входе этого канала в этот момент нет данных для передачи (например, абонент телефонной сети молчит).

Существует модификация техники *TDM*, называемая статистическим разделением канала во времени (*Statistical TDM, STDM*). Эта техника разработана специально для того, чтобы с помощью временно свободных тайм-слотов одного канала можно было увеличить пропускную способность остальных. Для решения этой задачи каждый байт данных дополняется полем адреса небольшой длины, например в 4 или 5 бит, что позволяет мультиплексировать 16 или 32 канала. Однако техника *STDM* не нашла широкого применения и используется в основном в нестандартном оборудовании подключения терминалов к мейнфреймам. Развитием идей статистического мультиплексирования стала технология асинхронного режима передачи — *ATM*, которая вобрала в себя лучшие черты техники коммутации каналов и пакетов.

Сети *TDM* могут поддерживать либо режим динамической коммутации, либо режим постоянной коммутации, а иногда и оба эти режима. Так, например, основным режимом цифровых телефонных сетей, работающих на основе технологии *TDM*, является динамическая коммутация, но они поддерживают также и постоянную коммутацию, предоставляя своим абонентам службу выделенных каналов.

Существует аппаратура, которая поддерживает только режим постоянной коммутации. К ней относится оборудование типа *T1/E1*, а также высокоскоростное оборудование *SDH*. Такое оборудование используется для построения первичных сетей, основной функцией которых является создание выделенных каналов между коммутаторами, поддерживающими динамическую коммутацию.

Сегодня практически все данные — голос, изображение, компьютерные данные — передаются в цифровой форме. Поэтому выделенные каналы *TDM*-технологии, которые обеспечивают нижний уровень для передачи цифровых данных, являются универсальными каналами для построения сетей любого типа: телефонных, телевизионных и компьютерных.

3.5.2.1.3. Общие свойства сетей с коммутацией каналов

Сети с коммутацией каналов обладают несколькими важными общими свойствами независимо от того, какой тип мультиплексирования в них используется.

Сети с динамической коммутацией требуют предварительной процедуры установления соединения между абонентами. Для этого в сеть передаётся адрес вызываемого абонента, который проходит через коммутаторы и настраивает их на последующую передачу данных. Запрос на установление соединения маршрутизируется от одного коммутатора к другому и в конце концов достигает вызываемого абонента. Сеть может отказать в установлении соединения, если ёмкость требуемого выходного канала уже исчерпана. Для *FDM*-коммутатора ёмкость выходного канала равна количеству частотных полос этого канала, а для *TDM*-коммутатора — количеству тайм-слотов, на которые делится цикл работы канала. Сеть отказывает в соединении также в том случае, если запрашиваемый абонент уже установил соединение с кем-нибудь другим. В первом случае говорят, что занят коммутатор, а во втором — абонент. Возможность отказа в соединении является недостатком метода коммутации каналов.

Если соединение может быть установлено, то ему выделяется фиксированная полоса частот в *FDM*-сетях или же фиксированная пропускная способность в *TDM*-сетях. Эти величины остаются неизменными в течение всего периода соединения. Гарантированная пропускная способность сети после установления соединения является важным свойством, необходимым для таких приложений, как передача голоса, изображения или управления объектами в реальном масштабе времени. Однако динамически изменять пропускную способность канала по требованию абонента сети с коммутацией каналов не могут, что делает их неэффективными в условиях пульсирующего трафика.

Недостатком сетей с коммутацией каналов является невозможность применения пользовательской аппаратуры, работающей с разной скоростью. Отдельные части составного канала работают с одинаковой скоростью, так как сети с коммутацией каналов не буферизуют данные пользователей.

Сети с коммутацией каналов хорошо приспособлены для коммутации потоков данных постоянной скорости, когда единицей коммутации является не отдельный байт или пакет данных, а долговременный синхронный поток данных между двумя абонентами. Для таких потоков сети с коммутацией каналов добавляют минимум служебной информации для маршрутизации данных через сеть, используя временную позицию каждого бита потока в качестве его адреса назначения в коммутаторах сети

3.5.3. Порядок выполнения работы

а) **Стенд выключен.**

б) Подготовьте необходимое оборудование для выполнения задания:

- *SPF*-модуль 2,5 Гбит/с — 2 шт.;
- двухволоконный *SPF*-модуль 1,25 Гбит/с, T_x 1570 нм — 1 шт.;
- двухволоконный *SPF*-модуль 1,25 Гбит/с, T_x 1510 нм — 1 шт.;
- одноволоконный *SPF*-модуль 1,25 Гбит/с — 2 шт.;
- *SPF*-модуль с интерфейсом *RJ-45* — 2 шт.;
- оптические патч-корды;
- патч-корды *RJ-45* – 4 шт.

в) Изучите пример топологии сети, представленный на рис. 3.17.

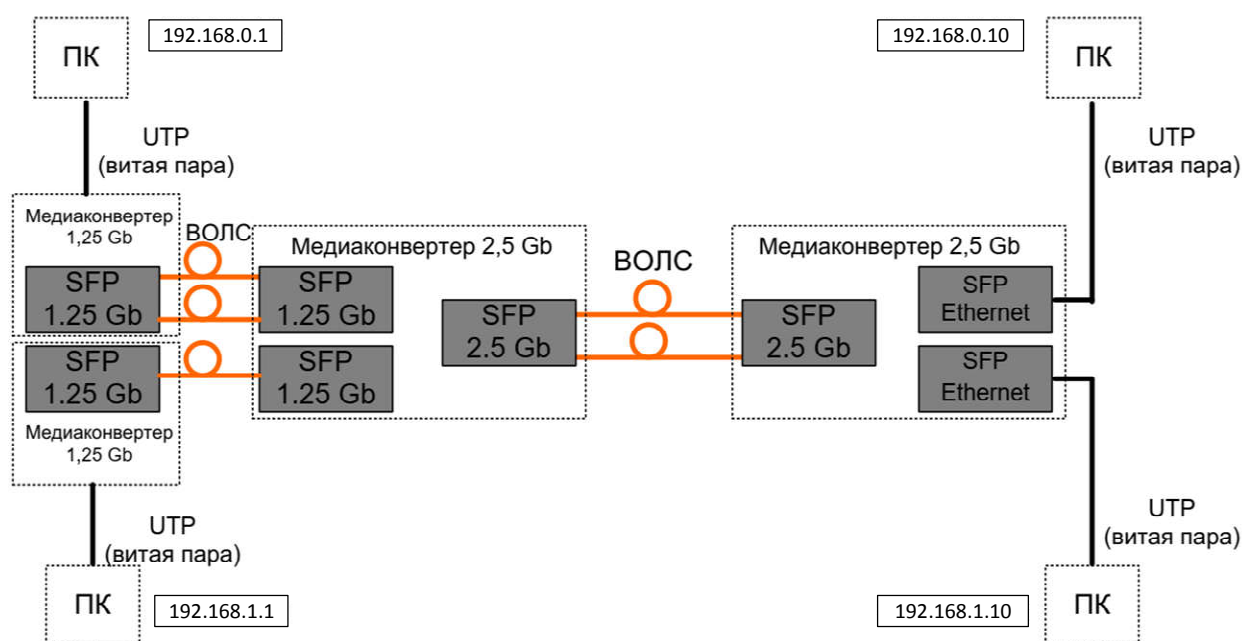


Рис. 3.17 — Топология сети с *TDM* уплотнением

г) Соберите согласно рис. 3.18 схему сети с *TDM* уплотнением.

д) Предъявите собранную схему сети преподавателю. Получите разрешение преподавателя на включение лабораторного комплекса. Включите лабораторный комплекс.

е) По загоранию соответствующих светодиодов медиаконвертеров проконтролируйте правильность и надёжность соединения медных и оптических патч-кордов.

ж) На ПЭВМ запустите терминал *Linux*.

з) При помощи команды *ping* проверьте со стороны сетей ПЭВМ 1 доступность сетей ПЭВМ 2. Результаты проверки занесите в табл. 3.3.

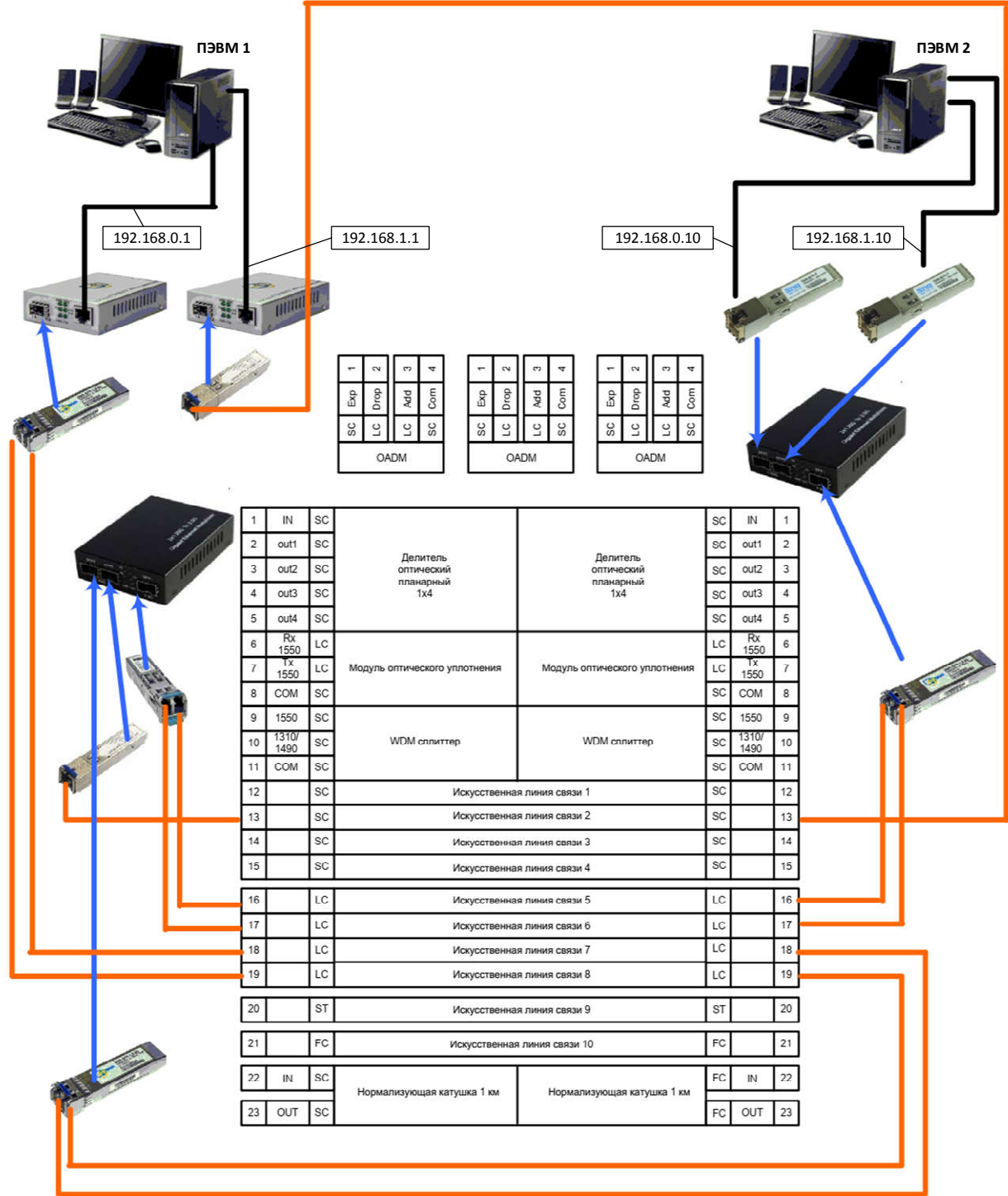


Рис. 3.18 — Схема сети с *TDM* уплотнением

Табл. 3.3 — Результаты тестирования каналов сети с *TDM* уплотнением

Адрес клиента	Адрес сервера			
	192.168.0.10		192.168.1.10	
	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с	<i>Ping</i> , да/нет	<i>Bitrate</i> , Гбит/с
192.168.0.1				
192.168.1.1				

- и) ПЭВМ2 с адресом 192.168.0.10 запустите **в режиме сервера**.
- к) По результатам измерений в пп. з) выберите сеть ПЭВМ1, для которой получен положительный результат проверки наличия сети (*ping*). Сеть ПЭВМ1 с этим адресом запустите **в режиме клиента**. Дождитесь результатов тестирования канала связи. Результаты занесите в табл. 3.3.
- л) ПЭВМ2 с адресом 192.168.1.10 запустите **в режиме сервера**.
- м) Повторите измерения по пп. к).
- н) **По окончании измерений** выключите Лабораторный комплекс, аккуратно отключите патч-корды, извлеките *SFP*-модули, наденьте заглушки, приведите Лабораторный комплекс в первоначальное состояние.

3.6. Исследование сети с *TDM-CWDM* уплотнением

3.6.1. Задачи исследования:

— Изучить структуру сети с *TDM-CWDM* уплотнением и провести её тестирование.

3.6.2. Порядок выполнения работы

- а) **Стенд выключен.**
- б) Подготовьте необходимое оборудование для выполнения задания:
- *SPF*-модуль 2,5 Гбит/с — 2 шт.;
 - двухволоконный *SPF*-модуль 1,25 Гбит/с, T_x 1570 нм — 1 шт.;
 - двухволоконный *SPF*-модуль 1,25 Гбит/с, T_x 1510 нм — 1 шт.;
 - одноволоконный *SPF*-модуль 1,25 Гбит/с — 2 шт.;
 - *SPF*-модуль с интерфейсом *RJ-45* — 2 шт.;
 - оптические патч-корды;
 - патч-корды *RJ-45* — 4 шт.
- в) Изучите пример топологии сети, представленный на рис. 3.19.

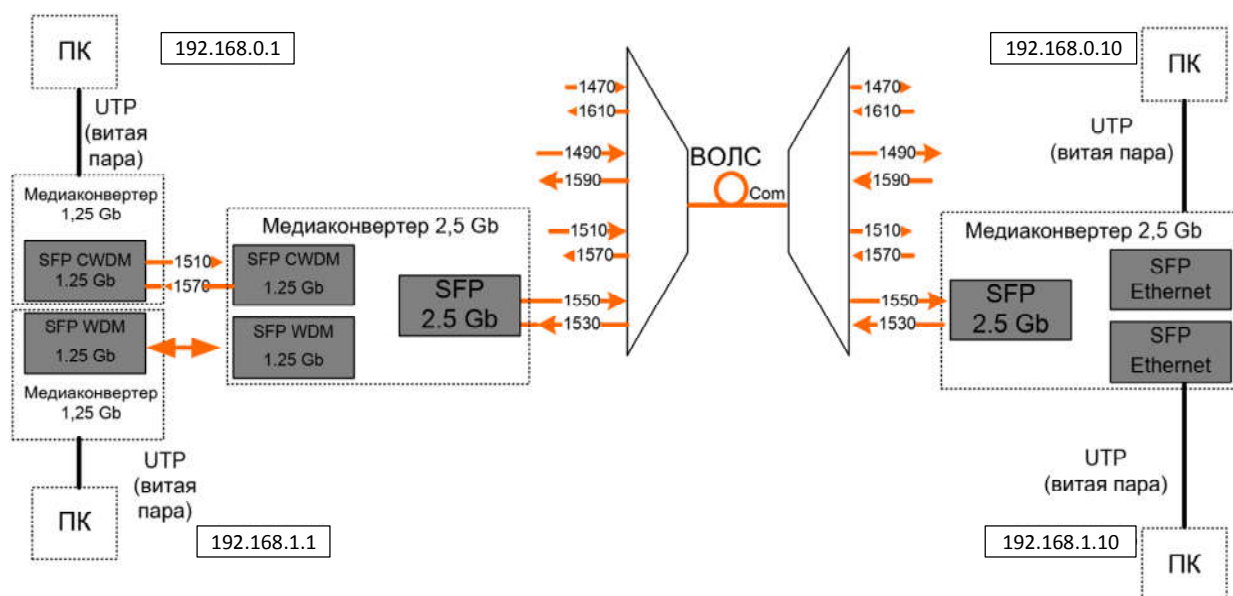


Рис. 3.19 — Топология сети с *TDM-CWDM* уплотнением

г) Соберите согласно рис. 3.20 схему сети с *TDM-CWDM* уплотнением.

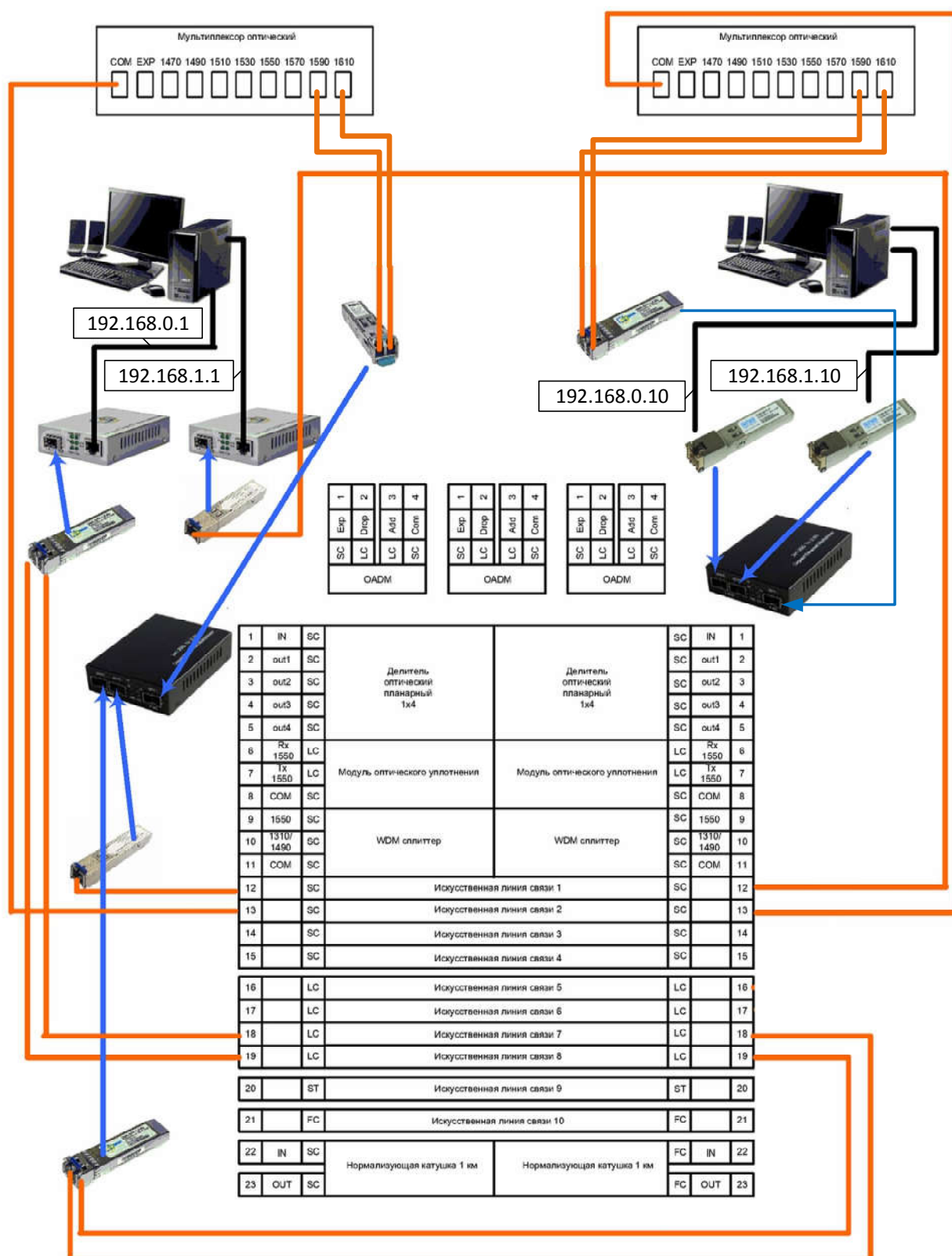


Рис. 3.20 — Схема сети с *TDM-CWDM* уплотнением

д) Предъявите собранную схему сети преподавателю. Получите разрешение преподавателя на включение лабораторного комплекса. Включите лабораторный комплекс.

е) По загоранию соответствующих светодиодов медиаконвертеров проконтролируйте правильность и надёжность соединения медных и оптических патч-кордов.

ж) На ПЭВМ запустите терминал *Linux*.

з) При помощи команды *ping* проверьте со стороны сетей ПЭВМ 1 доступность сетей ПЭВМ 2. Результаты проверки занесите в табл. 3.4.

и) ПЭВМ2 с адресом 192.168.0.10 запустите **в режиме сервера**.

к) По результатам измерений в пп. з) выберите сеть ПЭВМ1, для которой получен положительный результат проверки наличия сети (*ping*). Сеть ПЭВМ1 с этим адресом запустите **в режиме клиента**. Дождитесь результатов тестирования канала связи. Результаты занесите в табл. 3.4.

л) ПЭВМ2 с адресом 192.168.1.10 запустите **в режиме сервера**.

м) Повторите измерения по пп. к).

н) **По окончании измерений** выключите Лабораторный комплекс, аккуратно отключите патч-корды, извлеките *SFP*-модули, наденьте заглушки, приведите Лабораторный комплекс в первоначальное состояние.

3.7. Вопросы для допуска к лабораторной работе

3.7.1. На какие классы делятся лазерные излучатели?

3.7.2. Какие меры предосторожности нужно соблюдать при работе с оптоволоконной техникой?

3.7.3. Какими правилами нужно руководствоваться при работе с волоконно-оптическими патч-кордами?

3.7.4. Какие устройства расположены на лицевой панели лабораторного комплекса?

3.7.5. Предъявите преподавателю патч-корд «*LC-SC*».

3.7.6. Предъявите преподавателю патч-корд «*LC-ST*».

3.7.7. Какие сетевые адреса используются для сетей на ПЭВМ1 и ПЭВМ2?

3.7.8. С помощью какой команды проверить доступность сетей с адресами ПЭВМ2?

3.7.9. Какая команда используется для включения терминала в режиме сервера?

3.7.10. Какая команда используется для включения терминала в режиме клиента?

3.7.11. Как выбираются пары двухволоконных *SFP*-модулей для организации канала передачи данных?

3.8. Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы

3.8.1. Какие методы мультиплексирования применяются в многоканальных системах?

3.8.2. Опишите основные особенности технологии *CWDM*.

3.8.3. Перечислите основные элементы *CWDM*-систем.

3.8.4. Опишите основные особенности двухволоконных *SFP*-модулей.

3.8.5. Опишите основные особенности одноволоконных *SFP*-модулей.

- 3.8.6. Опишите основные особенности *CWDM* мультиплексоров.
- 3.8.7. Опишите основные особенности исполнения одноканальных *OADM* модулей.
- 3.8.8. Опишите основные особенности исполнения двухканальных *OADM* модулей.
- 3.8.9. Перечислите основные достоинства применения *OADM* модулей в сетях с многоволновым уплотнением.
- 3.8.10. Приведите пример топологии «точка-точка» для сети с *CWDM*.
- 3.8.11. Приведите пример топологии «точка-многоточка» для сети с *CWDM*.
- 3.8.12. Приведите пример топологии «кольцо»/«точка-многоточка» в 2-х направлениях для сети с *CWDM*.
- 3.8.13. Приведите пример топологии «точка-многоточка» (логическая звезда) + канал передачи ТВ сигнала (ответвление на каждом *OADM*) для сети с *CWDM*.
- 3.8.14. Проанализируйте топологию сети *CWDM-OADM-OADM*, исследованной в лабораторной работе.
- 3.8.15. Проанализируйте топологию сети *CWDM-OADM-OADM-CWDM*, исследованной в лабораторной работе.
- 3.8.16. Опишите технологию мультиплексирования каналов с разделением во времени.
- 3.8.17. Опишите особенности работы мультиплексора в сетях с временным разделением каналов.
- 3.8.18. Опишите особенности работы демультиплексора в сетях с временным разделением каналов.
- 3.8.19. Проанализируйте топологию сети с *TDM* уплотнением, исследованной в лабораторной работе.
- 3.8.20. Проанализируйте топологию сети с *TDM-CWDM* уплотнением, исследованной в лабораторной работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оформление текстовых работ: методические указания / СевГУ; сост. В. Г. Слёзкин, П. П. Ермолов. — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2016. — 19 с.
2. Складов, О.В. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы / О.В. Складов. — СОЛОН-Р, 2001. — 237 с.
3. Цуканов, В. Н. Волоконно-оптическая техника. Практическое руководство / В. Н. Цуканов, М. Я. Яковлев. — М.: Инфра-Инженерия, 2014. — 304 с.
4. Белкин, М. Е. Компоненты волоконно-оптических систем: Учебное пособие / Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)». — М., 2010. — 112 с.
5. Бейли, Д. Волоконная оптика. Теория и практика / Д. Бейли, Э. Райт. / Пер. с англ. — М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2006. — 320 с.
6. Дмитриев, А. Л. Оптические системы передачи информации / А. Л. Дмитриев. — СПб: СПбГУИТМО, 2007. — 96 с.
7. Шарварко, В. Г. Волоконно-оптические линии связи: учебное пособие / В. Г. Шарварко. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. — 170 с.
8. ОСТ 46.190-2001 Системы передачи волоконно-оптические. Стыки оптические. Термины и определения. — М.: Издание официальное, ЦНТИ «ИНФОРМСВЯЗЬ», 2002. — 14с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А**ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ОТЧЁТА
ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Институт радиоэлектроники и информационной безопасности
Кафедра «Радиоэлектроника и телекоммуникации»

ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

«Исследование структуры различных схем уплотнения оптических сигналов
и режимов работы сетей на их основе»
по дисциплине «Волоконно-оптические системы связи»

Выполнил студент _____
фамилия и инициалы

Группа _____

Отчёт защищён с оценкой _____

Преподаватель _____

Севастополь
2021