

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛЬ-ХОРАЗМИЙ**

Кафедра
«Телекоммуникационный инжиниринг»

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
для проведения практических занятий
по дисциплине

«ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ»
часть 2

для студентов, обучающихся по направлению образования
5350100 - “Телекоммуникационные технологии”
 (“Телекоммуникации, Мобильные системы”)

Ташкент 2023

Авторы: Г.Х. Миразимова, Давлетова Х.Р.
Главный редактор т.ф.н., профессор Р.И. Исаев
Методическое пособие для практических занятий по дисциплине
«Оптические системы связи». Часть 2 / ТУИТ. Ташкент, 2023 год.

Пособие описывает построение двусторонних линий оптических систем связи, методы уплотнения оптических каналов, расчет и анализ основных элементов систем оптической связи - оптического волокна, оптических соединителей, оптических аттенюаторов, источников света, фотоприемников, оптических кабелей, усилителей. Описаны интеграция токов в цифровых оптических системах связи, проектирование сети с использованием топологий, расчет длины участка регенерации и организация связи на основе технологий SDH и WDM, рабочие параметры параметров ошибок в участках мультиплексирования ВОСС.

Данное пособия предназначено для студентов и инженеров по направлению 5350100 - «Телекоммуникационные технологии» («Телекоммуникации, Мобильные системы»).

Рецензенты:

к.т.н., доцент кафедры «ТИ»

А.А.Мурадова

Начальник отдела ГУП «UNICON. UZ»

И.Р.Берганов

Практическая работа №8

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДА И ЛАЗЕРНОГО ДИОДА

8.1. Цель работы

Сформировать навыки экспериментального измерения и сравнительного анализа ватт-амперной характеристики СД и ЛД.

8.2. Задание к работе

8.2.1. При подготовке к обучению необходимо изучить следующие учебные материалы и подготовить ответы на контрольные вопросы (КВ), перечисленные в пункте 8.3 (ответы на 4 из них должны быть даны в письменной форме);

Страницы 82-89, 113-114 литературы [8.1], страницы 57-74 литературы [8.2], страницы 92-115 литературы [8.3], страницы 143-176 литературы [8.4], страницы 122 литературы [8.5] – Используйте страницы 123.

8.2.2. Изучить типы источников оптического излучения, применяемых в волоконно-оптических системах связи, и их принцип работы.

Подготовка бланк отчёта с таблицей для записи страницы для записи теоретической части, структуры устройства и полученные результаты. Характеристики результатов измерений и выводы.

8.3. Контрольные вопросы:

8.3.1. Какие требования предъявляются к источникам оптического излучения, применяемым в волоконно-оптических системах связи?

8.3.2. Какие типы источников излучения используются в оптических системах связи? Из каких материалов они изготавливаются?

8.3.3. Какие типы СД вы знаете и в чём состоит их отличия? Поясните принцип работы СД.

8.3.4. Поясните особенности ватт - амперной, вольт - амперной и спектральной характеристик СД.

MUHAMMAD AL-KHORAZMIY NOMIDA
TOSHKENT AXBOROT
TEKNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

- 8.3.5. В каких целях используются гетероструктуры? Какие особенности имеют гетероструктуры с двухсторонним ограничением?
- 8.3.6. Как отличаются полупроводниковый светодиод и лазерный диод по принципу работы и по характеристикам?
- 8.3.7. Какие типы ЛД имеются, какими свойствами они обладают?
- 8.3.8. Поясните особенности ватт – амперной характеристики ЛД.
- 8.3.9. Почему в высокоскоростных системах ОС используются ЛД?
- 8.3.10. Поясните назначение блоков и устройств передающего оптического модуля (ПОМ).

8.4. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен включать следующие пункты:

1. Краткое изложение теоретической части.
2. Принципиальную схему лабораторной установки.
3. Результаты измерения и графики.
4. Анализ расчетов и выводы.

8.5. Список использованной литературы

- 8.1. Фриман Р. Волоконно–оптические системы связи: Перевод с английского под ред. Н.Н. Слепова.–М.: Техносфера, 2003.
- 8.2. Дмитриев С.А., Слепов Н.Н. Волоконно – оптическая техника: Современное состояние и перспективы. - 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей. - М.: ООО "Волоконно – оптическая техника", 2005.
- 8.3. Игнатов А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства: Учебное пособие. – М: Эко-Трендз. 2006.

8.5. Указания по выполнению пункта 2 задания

В данной практической работе используются следующие элементы (рис.8.6.):

- электронный блок «Блок питания излучателя»;
- электронный блок «Фотоприемник»;
- лазерный диод ЛД1;
- светоизлучающий диод СД;
- поляризаторы П.

Под ватт-амперной характеристикой понимается зависимость мощности, излучаемой оптическим источником от тока, протекающего через его р - п переход (ток накачки I_n).

Зависимость мощности, излучаемой оптическим источником, от тока, протекающего через р-п-переход источника (ток утечки I_d), называется ватт-амперной характеристикой.

8.1. Подключить полупроводниковый лазерный диод ЛД1 к БПИ.

Установить:

-ручку потенциометра регулировки тока накачки на лицевой панели БПИ (рис.6) в крайнее положение против часовой стрелки;

-кнопочный переключатель пределов изменения тока накачки – в положение 50 мА.

-с помощью соединительного кабеля подключить ЛД1 (рис.8.6) к БПИ. Соединение осуществляется с помощью разъема РС 4ТВ, блочная часть которого расположена на лицевой панели.

8.2. Включить тумблер “СЕТЬ” на лицевой панели блока БПИ. При этом загорается его подсветка.

8.3. Нажать кнопку ЛД1 переключателя «Выбор излучателя».

8.4. Нажать кнопку ФД1 переключателя «Выбор фотодиода».

8.5. С помощью потенциометров «Регулировка тока накачки грубо, точно» по стрелочному прибору «Ток накачки» установить его значение, равное 25 мА.

8.6. Вращением поляризатора, расположенного между ЛД1 и ФД1 установить стрелку измерительного прибора «Оптическая мощность» на отметку 1.

8.7. Произвести измерение ватт-амперной характеристики оптического источника. Процесс измерения аналогичен для ЛД1 и СД. Поэтому ниже тип источника не указывается. Выполнить следующие операции:

8.7.1. Повернуть ручки потенциометров «Регулировка тока накачки грубо, точно» в крайнее положение против часовой стрелки. При этом устанавливается нулевое его значение. После этого переключить предел изменения тока накачки с помощью кнопочного переключателя «Пределы изменения I_n », установив его равным (0 –3) мА.

8.7.2. Установить кнопочный переключатель выбора пределов измерения оптической мощности в положение 1 (максимальная чувствительность).

8.7.3. Изменяя ток накачки от 0 до 3 мА, снять зависимость оптической мощности P в относительных единицах от I_n . Отметить значение I_n , соответствующее началу генерации. Ток накачки изменять с шагом, указанным преподавателем. Измерение указанных величин производится с помощью стрелочных приборов, расположенных на лицевых панелях соответствующих электронных блоков. Данные измерений занести в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

Ватт-амперная характеристика оптического источника излучения

I_n (мА)										
P (отн. ед.)										
U_d (В)										

8.7.4. Повернуть ручки потенциометров «грубо», «точно» регулировки I_n на лицевой панели электронного блока «Источник оптического излучения» в крайнее положение против часовой стрелки. После этого переключить предел изменения тока накачки с помощью кнопочного переключателя «Пределы изменения I_n », установив его равным (0–15) мА.

8.7.5. Продолжить измерения ватт-амперной характеристики. Данные измерений занести в таблицу 8.1. Закончить измерения следует при достижении стрелки измерительного прибора «оптическая мощность отн.ед.» отметки 1 при минимальной чувствительности–кнопочный переключатель пределы – в положении 100.

8.8. Произвести измерение ватт-амперной характеристики светоизлучающего диода. Для этого выполнить следующие операции:

8.1. Установить ручку потенциометров «Регулировка тока накачки грубо, точно» в крайнее положение против часовой стрелки.

8.2. Нажать кнопку СИД переключателя «Выбор излучателя».

8.3. Нажать кнопку ФД2 переключателя «Выбор фотодиода».

8.4. Произвести измерения ватт-амперной характеристики СИД в соответствии с пунктом 2 данного описания.

8.9. Произвести обработку результатов измерений.

8.9.1. По измеренным значениям построить зависимость оптической мощности P в относительных единицах от тока накачки I_n для ЛД1 и СИД.

8.9.2. По измеренным значениям построить зависимость напряжения на излучателях от тока накачки I_n для ЛД1 и СИД.

8.9.3. По построенным зависимостям определить:

-значения токов накачки ЛД1 и СД, соответствующие началу генерации;

-значение порогового тока I_{n1} соответствующего излому ватт-амперной характеристики лазерного диода.

-качественные отличия ватт-амперных характеристик ЛД1 и СД.

8.6. Теоретическая часть

8.6.1. Требования к источникам оптического излучения, применяемым в волоконно-оптических системах связи

Перечислим основные требования, которым должен удовлетворять источник излучения, применяемый в ВОСС:

- излучение должно вестись на длине волны одного из окон прозрачности волокна. Существует три окна, в которых достигается меньшие потери света при распространении: $\lambda=850$, $\lambda=1300$, $\lambda=1500$ нм,

- источник излучения должен выдерживать необходимую частоту модуляции для обеспечения передачи информации на требуемой скорости;

- источник излучения должен быть эффективным, в том смысле, что большая часть излучения источника попадала в волокно с минимальными потерями;

-источник излучения должен иметь достаточно большую мощность, чтобы сигнал можно было передавать на большие расстояния, но и не на столько, чтобы излучение приводило к нелинейным эффектам или могло повредить волокно или оптический приемник;

-температурные вариации не должны сказываться на функционировании источника излучения;

- стоимость производства источника излучения должна быть относительно невысокой.

В настоящее время используются два основных типа источников излучения, удовлетворяющих перечисленным выше требованиям - светодиоды (СД) и полупроводниковые лазерные диоды (ЛД).

Главная отличительная черта между светодиодами и лазерными диодами - это *ширина спектра излучения*. Светоизлучающие диоды имеют широкий спектр излучения, в то время лазерные диоды имеют значительно более узкий спектр. Оба типа устройств весьма компактны и хорошо сопрягаются со стандартными электронными цепями.

8.6.2. Принцип работы когерентных и некогерентных источников оптического излучения

Как известно из квантовой механики, значения приобретаемой электронами энергии не являются непрерывными, а носят дискретный характер. Дискретность энергетических состояний даёт основание говорить, что электрон находится на том или ином энергетическом уровне (рис.8.1). Совокупность близлежащих таких уровней, соответствующих различным электронам в твердом теле образуют энергетические зоны.

Имеется два таких зон: верхняя - зона проводимости с энергией E_c , нижняя - зона валентных электронов с энергией E_v . Между этими зонами находится запрещенная зона с энергией E_q .

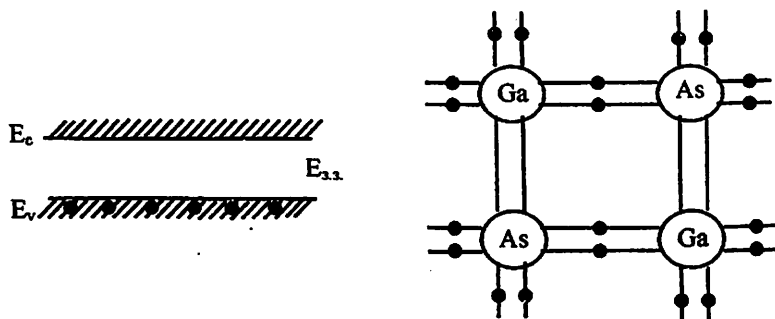


Рис. 8.1. Энергетические уровни полупроводника

Если количество добавляемой энергии значительно, то некоторые электроны, находящиеся на низком энергетическом уровне, приобретая дополнительную энергию, переходят на более высокий.

уровень, т.е. часть электронов сконцентрированных в валентной зоне, переходит в зону проводимости. Это приводит к появлению свободных электронов, которые могут перемещаться внутри полупроводника. При этом в зоне валентных электронов на освободившихся местах возникают положительно заряженные дырки. Дырки и свободные электроны являются носителями тока в полупроводнике. Свободные электроны в полупроводнике, сталкиваясь с узлами кристаллической решетки или с другими электронами «падают» в валентную зону и пара «электрон-дырка» исчезает.

Если «падение» происходит без соударения, то энергия теряемая электронами выделяется в виде фотона. Подобный процесс излучения называется спонтанным.

Частота ν определяется разностью энергетических уровней E (равна $E_c - E_v$), т.е. шириной запрещенной энергетической зоны:

$$\nu = c/\lambda = E_q/h, \quad (8.6.1)$$

Здесь, C -скорость света, $c=3 \times 10^8$ м/сек;

λ -длина волны, мкм; E_q -ширина запрещенной зоны;

h - постоянная Планка,

$h=6,626 \times 10^{-34}$ Дж.сек.

Эта формула является частотным условием Бора. Интенсивность света зависит от числа пар «электрон-дырка».

Спонтанное оптическое излучение возникает при переходе любого электрона с одного энергетического уровня на другой. Но так как время перехода всех электронов не совпадает, то происходит наложение излучения, и возникают оптические волны с неодинаковой амплитудой и фазой, а вследствие этого наблюдается неоднородность и по частоте.

Ширина спектра характеризует монохроматичность источника излучения. Спонтанное излучение обладает низкой монохроматичностью, поэтому называют некогерентным светом. Некогерентным спонтанным источником излучения является светодиод (СД).

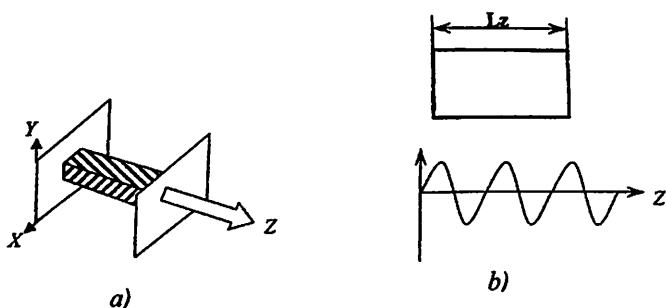


Рис.8.2. Общая структура резонатора Фабри-Перо (а) и распределение электрического поля в нем по оси Z (б)

В отличие от выше описанных, источники излучения излучающие синфазные оптические волны называются когерентными источниками света. В основе их работы лежит спонтанное излучение полупроводника, охваченное объемным резонатором. Широкое распространение получил резонатор Фабри-Перо, который представляет собой два зеркала, установленные перпендикулярно оси Z (рис.8.2, а). Зеркала выполняют роль положительной обратной связи. Данная конструкция препятствует распространению лучей вдоль оси Z, а следовательно уменьшается число поперечных мод. На рис.3.2, б представлено распределение электрического поля вдоль оси Z. Наличие резонатора создаёт условия существования синфазных оптических волн и спектр излучения становится дискретным или когерентным.

В соответствии квантовой механики в таких структурах с положительной обратной связью происходит не только спонтанное излучение, но и ещё процесс называемый – индуцированное (вынужденное) излучение. Суть вынужденного излучения состоит в том, что если на электрон, находящийся в зоне проводимости, падает свет с частотой ν_0 , примерно равной частоте ν , определяемой с (8.1), то возникает излучение с частотой ν_0 и направлением падающего света. Таким образом, к спонтанному добавляется вынужденное излучение. Если общие потери в такой структуре меньше, чем усиление, то возникает лазерный эффект, характеризующийся появлением генерации вынужденного излучения. К источникам вынужденного или индуцированного излучения относятся лазерные диоды.

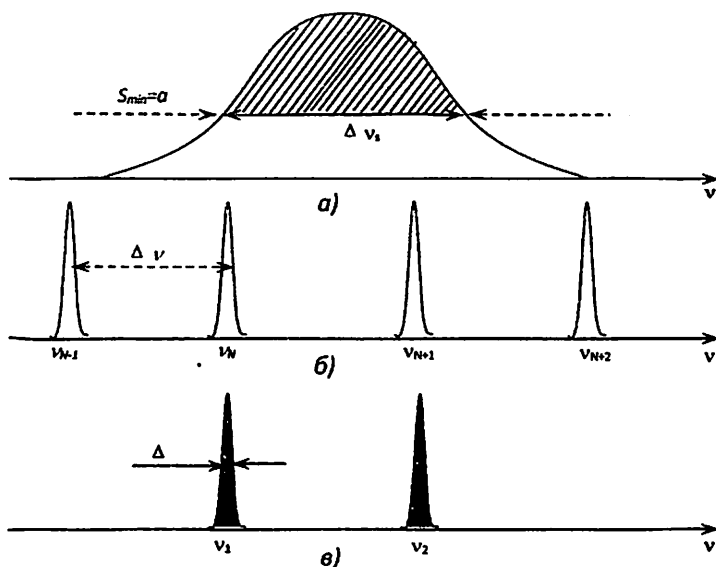


Рис.8.3. Спектр колебаний лазера: а) – спектр спонтанного излучения; б) – спектр когерентного излучения; в) – спектр генерации лазера

Вынужденное или индуцированное излучение снижает числа продольных мод. Мощность лазерного излучения и его частота зависят от формы спектра спонтанного излучения. На рис.8.3 показаны спектры спонтанного (а), когерентного (б) излучений продольной моды и спектр генерации лазера.

8.6.3. Светодиоды и их типы

Как сказано выше, СД является источником некогерентного излучения. Основой такого источника служит полупроводник с прямым переходом (GaAs и др.). В нем электрон не сталкиваясь с узлами кристаллической решетки, т.е. с сохранением энергии переходит в валентную зону и воссоединяется с дыркой. При таком переходе возникает спонтанное излучение.

Полупроводники на основе GaAs и других, состоящие из двух или более элементов являются полупроводниками с прямым переходом и легко излучают свет. Если использовать 3 или 4

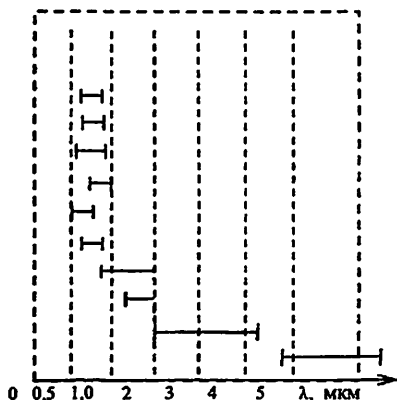
элемента (примесные полупроводники), то с соотношением компонентов изменяется ширина запрещенной зоны, что позволяет создавать СД излучающие различные длины волн.

В таблице 8.1 представлено типы полупроводников на основе химических соединений и диапазон их излучения.

Таблица 8.1

Области излучений полупроводниковых лазеров на основе химических соединений

Активный слой	Слой оболочки	Подложка
Al Ga As	Al Ga As	Ga As
Ga In AsP	Ga InP	Ga As
Ga In AsP	Ga InP	Ga As
Ga In AsP	Al Ga InP	Ga As
Al Ga InP	Al-Ga Inp	Ga As
Ga In AsP	Al Ga As	Ga As
Ga In AsP	InP	InP
Al Ga As Ab	Al Ga As Sb	Ga Sb
In As Sb P	Ln As Sb P	InAs
Pb Sn Se Te	Pb Sn Se Te	PbTe



При использовании СД в системах связи применяется только прямая модуляция интенсивности излучения с помощью изменения тока инжекции.

Важными параметрами СД являются срок службы и надёжность. При длительной эксплуатации СД постепенно уменьшается мощность излучения. При возрастании температуры на 10-20° С срок службы снижается вдвое. Для использования в системах связи срок службы СД должен составлять 10⁵ часов для наземных и 10⁶ часов для подводных линий связи.

СД производятся для использования в трёх окнах прозрачности 850, 1310 и 1550 нм. Однако они обычно используются в окнах 850 и 1310 нм. Производства СД дешевле, чем ЛД.

Из-за сравнительно простой конструкции, высокой надёжности и достаточно слабой зависимости характеристик излучения от температуры, широкого спектра излучения (до 60 нм), узкости диапазона излучаемой частоты (100-200 МГц) и невысокого быстродействия СД в основном используются в низкоскоростных системах для передачи информации на короткие расстояния.

Лазерный диод (ЛД) обычно используется в высокоскоростных оптических системах (более 155 Мбит/с) для дальних расстояний.

8.6.4. Характеристики лазерного диода

Лазерный диод характеризуется сроком службы, мощностью излучения и зависимостью мощности излучения от внешнего тока инжекции, диаграммой направленности излучения Θ и спектром излучения. ЛД по сравнению с СД работает на больших значениях тока инжекции. Когда внешний ток инжекции I_u возрастает, достигая порогового значения I_n , возникает генерация, то есть, когда усиление становится равным потерям возникает лазерный эффект или индуцированное (вынужденное) излучение. Из-за высокой когерентности этого излучения, ширина спектра излучения ЛД узкая, чем у СД.

Спектр излучения ЛД составляет 1-2 нм, а спектр СД 30-50 нм. Зависимость мощности излучения от внешнего тока инжекции, ватт-амперная характеристика ЛД показана на (рис.8.4).

При малых значениях тока происходит спонтанное излучение, и он работает как неэффективный СД.

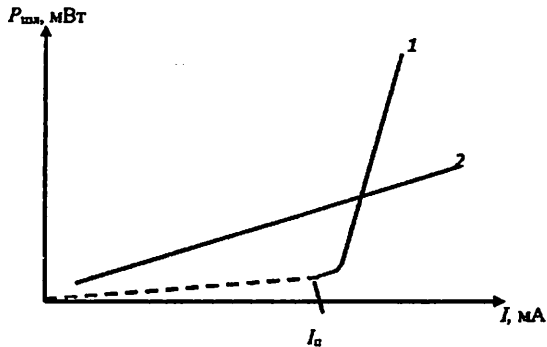


Рис.8.4. Ватт-амперные характеристики: 1 – для лазерного диода; 2 – для светодиода

Когда значение тока превышает порогового I_n значения тока инжекции, мощность излучения $P_{изл}$ резко возрастает и возникает когерентное излучение. Мощность излучения ЛД составляет 1-100 мВт.

Как видно из рисунка, ватт-амперная характеристика ЛД нелинейна. По этой причине модуляция выходного излучения путем изменения аналоговым сигналом тока инжекции лазера без применения специальных мер линейаризации ватт-амперной характеристики практически не используется.

Обычно применяют импульсные методы модуляции тока инжекции и соответственно выходной оптической мощности лазера.

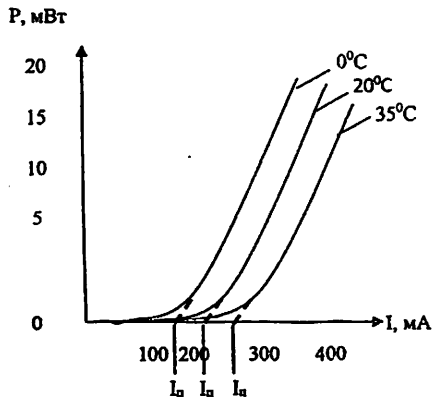


Рис.8.5. Изменение ватт-амперной характеристики ЛД от температуры

Следует особо подчеркнуть, что лазер является источником света с ограниченной пиковой мощностью. Это связано с тенденцией уменьшения мощности при больших токах накачки и с оптическим саморазрушением. Отметим ещё одну существенную особенность, присущую ЛД: при изменении температуры окружающей среды происходит сдвиг ватт-амперных характеристик в сторону возрастания тока инжекции (рис.8.5).

Это приводит к изменению величин порогового тока и выходной мощности. Для устранения этого недостатка используются электрические схемы компенсации, а также схемы термокомпенсации, управляющие работой микрохолодильника.

Магистральные кабельные линии связи состоят из ОМ ОВ, поэтому использование в таких сетях ЛД даёт более высокий эффект.

Учебная измерительная установка «Исследование характеристик оптических источников и фотодиодов»

1. Общая характеристика установки

На базе данной установки выполняется лабораторная работа.

“Исследование ватт-амперных характеристик лазерного диода (ЛД) и светоизлучающего диода (СИД)”.

Выполнение лабораторной работы позволяет:

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

-сравнить особенности ватт-амперных характеристик ЛД и СИД.

2. Описание функциональной схемы лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят следующие элементы (рис.8.6).

2.1. Три полупроводниковых источника света: два лазерных диода ЛД1, ЛД2 и светоизлучающий диод СД. Все источники обеспечивают излучение в диапазоне длин волн $\lambda = 0,67$ мкм.

Два фотодиода ФД1 и ФД2 для регистрации оптического излучения в диапазоне длин волн $\lambda = 0,67$ мкм.

Источники и фотодиоды размещены в специальных оправках, которые крепятся к элементам оптической схемы установки.

Излучение ЛД1 и СД фиксируются, соответственно, ФД1 и ФД2. Между оптическим источником и соответствующим ему фотодиодом располагаются поляризаторы П, которые могут вращаться вокруг своей оси.

2.2. Блок питания источника оптического излучения (БПИ) используется для возбуждения источников ЛД1, ЛД2, СД. На рис.8.7 показана лицевая панель блока. ЛД подключается к нему с помощью шнура питания с разъемом РС4-ТВ. Блочная часть разъема находится на лицевой панели и снабжена надписью «ОПТИЧЕСКИЙ ВЫХОД».

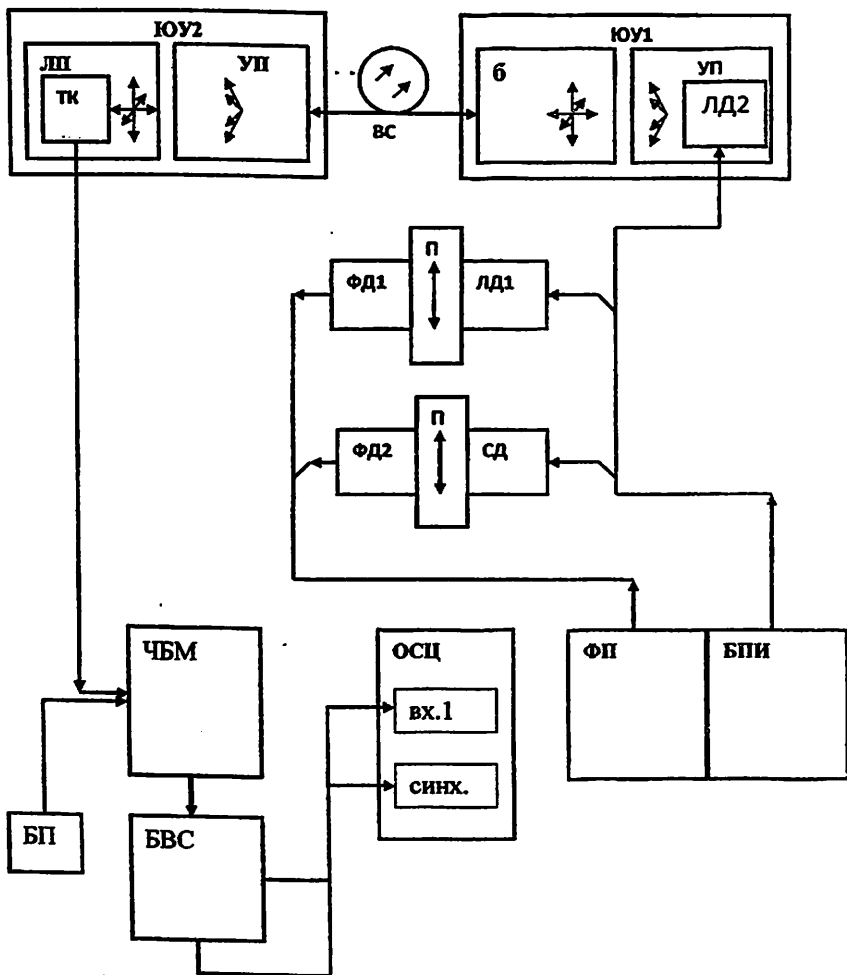


Рис. 8.6. Состав измерительной установки



Рис. 8.7. Лицевая панель блока питания

Блок предусматривает возможность:

- регулировки тока накачки с помощью потенциометра, ручка которого выведена на лицевую панель. Изменение тока накачки позволяет изменять мощность излучения лазерного диода;
- переключение пределов изменения тока накачки (5, 50 мА) с помощью кнопочного переключателя;
- регистрации тока накачки с помощью цифрового индикатора «ТОК ИЗЛУЧАТЕЛЯ».

Питание БПИ осуществляется от сети 220v / 50Hz. Включение блока осуществляется тумблером с подсветкой «СЕТЬ» на лицевой панели.

2.3. Фотоприемник ФП для регистрации излучения на длине волны $\lambda = 0,67$ мкм. На рис.8.8 показана лицевая панель блока ФП. Фотодиод подключается к нему с помощью шнура питания с разъемом РС4-ТВ. Блочная часть разъема находится на лицевой панели и снабжена надписью «ОПТИЧЕСКИЙ ВХОД».

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



Рис. 8.8. Лицевая панель блока фотоприемника

Для контроля оптической мощности на лицевой панели ФП имеется цифровой индикатор «ОПТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, ОТН. ЕД.». Оптическое излучение, попадающее на чувствительную площадку фотодиода, вызывает изменение тока (фототока), протекающего через его *p-n* переход. Фототок прямо пропорционален значению оптической мощности на чувствительной площадке фотодиода. Поэтому показания цифрового индикатора пропорциональны этой мощности, но не равны ей. Измерение с помощью фотоприемника осуществляется в относительных единицах.

В состав установки входят два отрезка волоконных световодов (ВС). Их роль выполняют соединительные волоконные шнуры — одномодовый (желтый цвет защитной оболочки) и многомодовый (оранжевый цвет защитной оболочки). Оба шнура снабжены коннекторами типа FC (многомодовый) и SFC (одномодовый).

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

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

Телекамера имеет следующие характеристики:

- максимальное разрешение – 700 лин/мм;
- фокусное расстояние объектива $F=4,2$ мм.

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

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

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

На рис. 8.9. показана лицевая панель блока выделения строки. На ней имеются три кнопки, обозначенные символами «↑», «↓», «+». С помощью кнопок «↑», «↓» осуществляется передвижение выделяемой строки вверх или вниз по изображению на экране монитора. Кнопка «+» устанавливает выделяемую строку в середину изображения. Положение выделяемой строки контролируется по экрану монитора – на изображении она отмечена светлой линией.



Рис.8.9. Блок выделения строки

На лицевой панели расположены два светодиода (синий и красный), контролирующие включение питания блока и наличие на его входе видеосигнала. Включение питания осуществляется тумблером «Вкл» на лицевой панели.

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

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

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

2.9. Два юстировочных устройства (ЮУ1, ЮУ2). В состав установки входят также два юстировочных устройства (ЮУ1, ЮУ2). Они обеспечивают:

-взаимную юстировку торца исследуемого световода и источника ЛД2 (ЮУ1). Данная регулировка позволяет изменять уровень оптической мощности, вводимой в исследуемый световод, для обеспечения удобства проведения измерений;

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

Упрощенный эскиз (соответствующий виду сверху) ЮУ1 и ЮУ2 приведен на рис.8.10. Эти устройства отличаются только видом оправок, в которых закреплены необходимые элементы. Органы их управления одинаковы.

Основой юстировочных устройств служат основания 1 (рис.8.10) На них расположены два узла. Один из них осуществляет линейное перемещение оправки с закрепленным элементом по трем взаимно перпендикулярным направлениям: линейное поперечное (ЛПП), линейное продольное (ЛПР), линейное вертикальное (ЛВ).

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

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

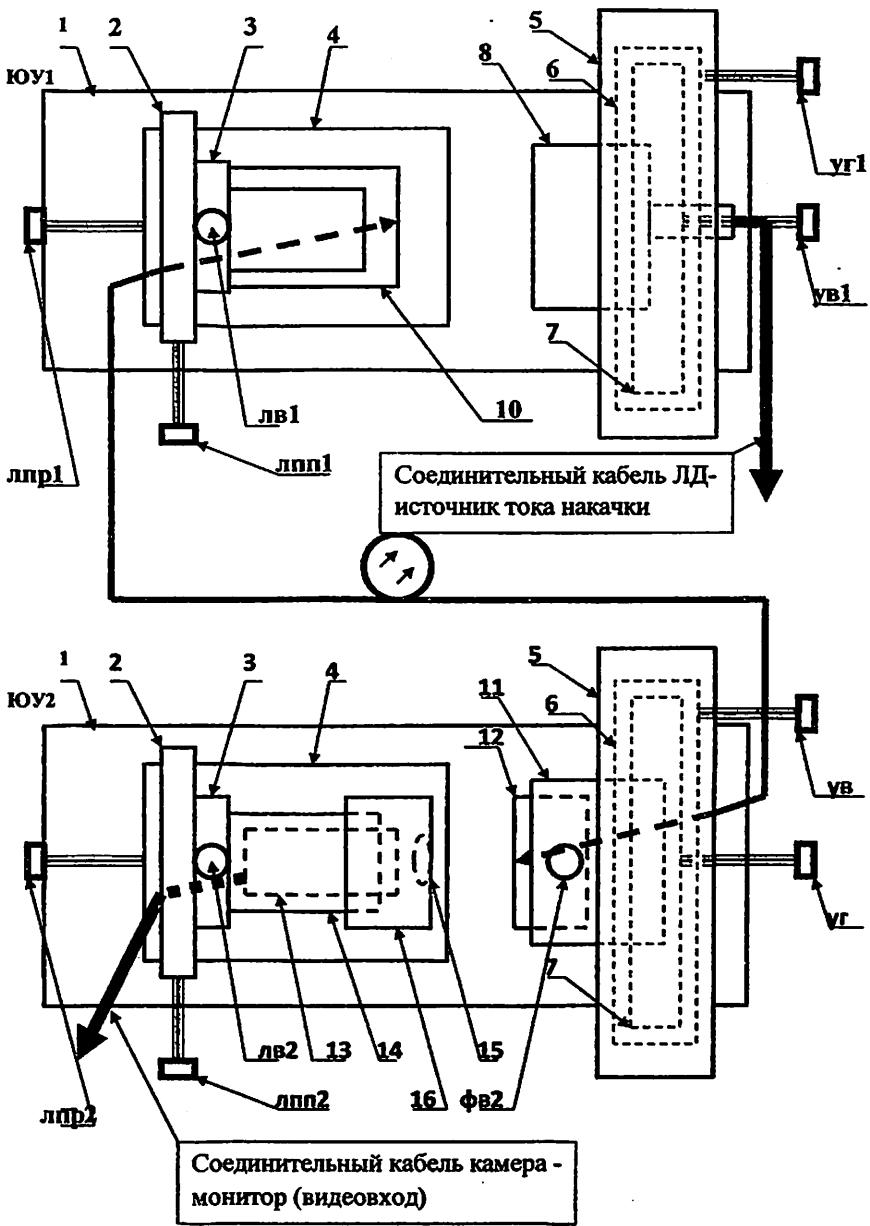


Рис.8.10. Юстировочные устройства

В состав узла, осуществляющего линейное перемещение, входят три подвижных платы (2, 3, 4), которые перемещаются в трех взаимно перпендикулярных направлениях, соответственно, микрометрическими винтами ЛПР1,2 (линейное продольное направление), ЛПП1,2 (линейное поперечное направление), ЛВ1,2 (линейное вертикальное направление).

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

Вращение осуществляется с помощью микрометрических винтов УГ (угловое горизонтальное перемещение) и УВ (угловое вертикальное перемещение).

Во внутреннем кольце 7 узла, осуществляющему угловое перемещение в юстировочном устройстве ЮУ1 (рис 3.6, 3.10), закреплена оправка 8 с лазерным диодом ЛД2. На эскизе показан соединительный кабель, с помощью которого ЛД2 соединяется с блоком «Блок питания излучателя».

На плате 3 узла, осуществляющего линейное перемещение в юстировочном узле ЮУ1 (рис 8.6, 8.10), укреплена съемная оправка 10, в которой фиксируется коннектор FC исследуемого волоконного световода. В платах 3, 4 имеются отверстия, через которые проходит исследуемый световод (рис.8.10).

Юстировочное устройство ЮУ1 служит для регулировки уровня оптической мощности, вводимой из лазерного диода ЛД2 в исследуемый световод.

Во внутреннем кольце 7 узла, осуществляющему угловое перемещение в юстировочном устройстве ЮУ2, закреплён цилиндр 11 с центральным отверстием. В нем с помощью фиксирующего винта ФВ2 крепится съемная оправка 12, в которой фиксируется коннектор FC исследуемого волоконного световода.

Исследуемый световод проходит через отверстия в крышке узла, осуществляющему угловое перемещение (на эскизе не показана) и цилиндре 11.

На плате 3 узла, осуществляющего линейное перемещение в юстировочном узле ЮУ2, укреплен цилиндр 14 с внутренним отверстием. В нем крепится телекамера 13. На внешней поверхности цилиндра 14 имеется резьба (М.40 х 0,75). По ней наворачивается

оправка 16 с объективом 15. Перемещение оправки 16 по резьбе вдоль цилиндра 14 позволяет производить настройку изображения, формируемого телекамерой на экране монитора М (рис. 8.6).

На эскизе (рис. 8.10) показан кабель, соединяющий телекамеру с монитором.

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

Практическая работа №9

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОТОПРИЕМНИКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

9.1. Цель работы

Изучение устройств, принципов работы, характеристик и параметров фотоприемников, усвоение методов их расчёта.

9.2. Задание к работе

9.2.1. При подготовке к занятию необходимо изучить следующие учебные материалы и подготовить ответы на контрольные вопросы (КВ), приведенные в параграфе 9.3 (ответы на 4 вопросов из них должны быть изложены письменно):

К пунктам КВ:9.3.1-9.3.4 КВ: Учебный материал изложен на страницах 82-83 и 75 в [9.2].

К пунктам КВ: 9.3.6-9.3.8: Учебный материал изложен на страницах 339-340 [3.3] и в конспекте лекций.

К пункту КВ: 9.3.9 -9.3.10: Учебный материал изложен на страницах 128-135 в [9.1] и на страницах 77-79 в [9.2].

По пунктам 9.3.11–9.3.15: описано на страницах 136–149 учебного материала [9.1] и в конспект лекций.

По пунктам 9.3.16-9.3.20: описано на страницах 339-340 учебного материала [9.3] и в конспект лекций.

9.2.2. По заданным параметрам фотоприемников, указанным в 2-9 столбцах таблицы 9.1, необходимо определить значения их параметров, приведенных в последнем (10) её столбце согласно номеру своего варианта n.

Таблица 9.1. Задания вариантов

n	$P_{\text{излуч}}$ мВт	$\Delta W_{3,3}^{\text{н.л}}$ эВ	$N_{\phi} \cdot \frac{1}{c}$	ε	η	α	M	I_{ϕ} мкА	Параметры, значения которых определяются
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	1,46	$1,4 \cdot 10^{15}$	0,2	0,8	0,7	-	-	$\nu, \lambda, P_{\text{излуч}}, I_{\phi}, S_{\lambda}, \Delta W_{3,3}^{\text{н.л}}$

2	0,42	-	$2,8 \cdot 10^{15}$	0,3	0,7	0,8	-	-	$\Delta W_{3,3}^{ни}, \nu, \lambda, P_{излуч}, I_{\phi}, S_{\lambda}, \Delta W_{3,3}^{фн}$
3	0,54	0,8	-	0,2	0,8	0,7	-	-	$\nu, \lambda, N_{\phi}, I_{\phi}, S_{\lambda}, \Delta W_{3,3}$
4	1,3	1,46	-	-	0,8	0,7	-	894	$\nu, \lambda, N_{\phi}, \alpha, S_{\lambda}, \Delta W_{3,3}^{фн}$
5	0,46	1,46	-	0,3	-	0,7	-	224	$\nu, \lambda, \eta, S_{\lambda}, \Delta W_{3,3}^{фн}$
6	0,54	-	$4,2 \cdot 10^{15}$	0,2	-	α	-	672	$\Delta W_{3,3}^{ни}, \nu, \lambda, S_{\lambda}, \Delta W_{3,3}^{фн}$
7	1,49	0,93	-	0,2	0,7	0,8	-	717	$\nu, \lambda, N_{\phi}, S_{\lambda}, M, \Delta W_{3,3}^{фн}$
8	6,4	-	$5 \cdot 10^{16}$	0,2	0,7	0,8	1000	3,14	$\Delta W_{3,3}, \nu, \lambda, I_{\phi}, S_{\lambda}, \Delta W_{3,3}^{фн}$
9	-	1,46	10^{14}	0,2	0,7	0,8	10^4	-	$\nu, \lambda, P_{излуч}, I_{\phi}, S_{\lambda}, M, \Delta W_{3,3}^{фн}$
10	0,117	1,46	-	0,2	0,7	0,8	$5 \cdot 10^4$	-	$\nu, \lambda, N_{\phi}, I_{\phi}, S_{\lambda}, \Delta W_{3,3}^{фн}$

При составлении таблицы 9.1 использованы следующие обозначения: α – коэффициент отражения светового луча фоточувствительной поверхности фотодиода; η – величина, описывающая эффективность фотоэлектрических преобразований, происходящих в фотодиоде (квантовая эффективность фотодиода); α – безразмерная величина, численное значение которой меньше 1 и показывающая поглощенную долю оптического излучения, падающего на поверхность фотодиода; M – коэффициент, описывающий лавинное размножение неосновных носителей заряда в электрическом поле обратно смещенного p - n перехода; I_{ϕ} – фототок, протекающий через фотодиод; S_{λ} – спектральная чувствительность фотодиода; $\Delta W_{3,3}^{ни}$ и $\Delta W_{3,3}^{фн}$ – ширина запрещенной зоны полупроводниковых материалов, из которых изготовлены источник излучения и фотодиод соответственно.

9.3. Контрольные вопросы:

9.3.1. Поясните устройство и назначение приемного модуля оптических сигналов.

9.3.2. Какие требования предъявляются к фотоприемникам, применяемым в приемном модуле оптических сигналов?

9.3.3. Из каких материалов изготавливаются фотоприемники?

9.3.4. Какие типы фотоприемников используются в оптических системах связи?

9.3.5. Поясните особенности семейства вольт-амперных характеристик фотодиода. Каким количественным соотношением она определяется?

9.3.6. Поясните энергетическую характеристику фотодиода.

9.3.7. Поясните спектральную характеристику фотодиода.

9.3.8. Какими факторами определяется быстродействие фотодиода. Дайте определение граничной частоте фотодиода и поясните способ ее определения.

9.3.9. Дайте определение коэффициенту квантовой эффективности фотоэлектрического преобразования в фотодиоде.

9.3.10. Дайте определение параметрам чувствительности фотодиода. Какими факторами определяются их значения?

9.3.11. Какие типы фотодиодов существуют? Дайте им краткую характеристику.

9.3.12. Поясните устройство и принцип работы р-і-п фотодиода. В чем заключается достоинство этого типа фотодиода?

9.3.13. Поясните устройство и принцип работы лавинного фотодиода. В чем заключаются достоинства и недостатки фотодиодов этого типа?

9.3.14. Поясните особенности семейства вольт-амперных характеристик лавинных фотодиодов. Каким количественным соотношением она описывается?

9.3.15. Каким соотношением определяется чувствительность лавинного фотодиода?

9.3.16. Поясните устройство и принцип работы фототранзистора.

9.3.17. Поясните особенности семейства вольт-амперных характеристик фототранзистора.

9.3.18. Каким соотношением определяется чувствительность фототранзистора?

9.3.19. В чем заключаются достоинства и недостатки фототранзистора?

9.3.20. Дайте сравнительную характеристику р-і-п фотодиода, лавинного фотодиода и фототранзистора с точки зрения их применения в оптических системах связи.

9.4. Подведение итогов к практическому занятию

Изучены учебные материалы, относящиеся к устройствам, принципам работы, характеристикам и параметрам фоторецепторов, применяемых в волоконно-оптических системах связи. Приобретены практические навыки по расчету параметров фотоприемников – р – i – n фотодиодов и лавинных фотодиодов.

9.5. Список использованной литературы

9.1. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно – оптические сети. - М.: Экотрендз, 2000 – 267 с.

9.2. Игнатов А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства. – М.: Эко-Трендз, 2006 – 270 с.

9.3. Миразимова Г.Х., Давлетова Х.Р. «Оптические системы связи» методические указания. Ташкент 2017.

9.6. Теоретическая часть

9.6.1. Фототок, образованный через фотодиод под действием оптического излучения определяется следующим количественным соотношением:

$$I_{\phi} = q(1 - \alpha) \alpha \eta N_{\phi} = q(1 - \alpha) \alpha \eta P_{\text{изл}} / h\nu, \quad (9.6.1)$$

где q – заряд электрона, $q = 1,6 \cdot 10^{-6}$ Кл;

α – коэффициент отражения фоточувствительной поверхности фотодиода;

α – безразмерная величина, показывающая поглощенную долю оптического излучения, падающего на поверхность фотодиода, численное значение которой меньше единицы;

η – величина, характеризующая эффективность фотоэлектрического преобразования в фотодиоде. Эта величина, называемая квантовой эффективностью, показывает среднее число электронно-дырочных пар, которые образуются за счёт одного фотона, падающего на поверхность фотодиода:

$$\eta = N_{e-h} / N_{\phi}. \quad (9.6.2)$$

С учётом того, что не все электронно-дырочные пары могут достичь область объёмного заряда р-п перехода и участвовать в образовании фототока, численное значение этой величины будет меньше единицы (у высококачественного кремниевого фотодиода значение квантовой эффективности может достичь значения 0,8).

$N_{\phi} = \frac{P_{\text{ин}}}{h\nu}$ - число фотонов, падающих на поверхность фотодиода за единицу времени - за секунду.

$P_{\text{ин}}$ - мощность оптического излучения, падающего на поверхность фотодиода;

$h\nu$ - энергия фотонов;

9.6.2. Токовая чувствительность фотоприемников, в частности, фотодиода определяется следующим соотношением:

$$S = \frac{I_{\phi}}{P_{\text{ин}}} \quad (9.6.3)$$

Эта величина показывает отношение тока, протекающего через фотодиод (основную часть этого тока составляет фототок) на мощность оптического излучения, падающего на поверхность фотодиода.

Различают интегральную чувствительность

$$S_{\text{инт}} = \frac{I_{\phi}}{P_{\text{ин}}}, \quad (9.6.3')$$

и спектральную чувствительность

$$S_{\lambda} = \frac{I_{\phi}}{P_{\text{ин},\lambda}}, \quad (9.6.3'')$$

фотоприемника (фотодиода).

С учетом выражения (9.6.1) приходим к следующему соотношению для спектральной чувствительности фотодиода:

$$S_{\lambda} = q(1 - \alpha)\alpha\eta \frac{1}{h\nu} \quad (9.6.4)$$

Если учесть, что $\nu = \frac{c_0}{\lambda}$ и измерить длину волны излучения λ в мкм, выражение (3.6.4) примет следующий вид:

$$S_\lambda = q(1-\varepsilon)\alpha\eta \frac{1}{h\nu} = 0.81q(1-\varepsilon)\alpha\eta\lambda \quad (9.6.4')$$

Из этого выражения видно, что спектральная чувствительность фотодиода зависит от значений величин $\varepsilon, \alpha, \eta$. Чем меньше значение величины ε и чем больше значения величин α и η , тем больше чувствительность фотодиода.

Из выражения (9.6.4) на первый взгляд кажется, что путём увеличения длины волны излучения возможно сколь-угодно увеличить значение чувствительности прибора.

Однако, если учесть, что энергия фотонов, падающих на поверхность фотодиода должна удовлетворять условию

$$h\nu \geq \Delta W_{3.3}^{\text{эд}}, \quad (9.6.5)$$

где $\Delta W_{3.3}^{\text{эд}}$ — ширина запрещенной зоны полупроводника, из которого изготовлен фотодиод.

В таком случае становится очевидным, что длина волны излучения определяется соотношением

$$\lambda < \frac{hc}{\Delta W_{3.3}^{\text{эд}}} = \frac{1.24}{\Delta W_{3.3}^{\text{эд}}} \cdot \frac{[\text{мкм}]}{[\text{эВ}]} \quad (9.6.5')$$

и в условиях комнатной температуры ограничено для кремниевого фотодиода ($\Delta W_{3.3}^{\text{эд}}=1,12$ эВ) значением $\sim 1,1$ мкм, для германиевого фотодиода ($\Delta W_{3.3}^{\text{эд}}=0,72$ эВ) значением 1,72 мкм, для фотодиода из InGaAsP ($\Delta W_{3.3}^{\text{эд}}=0,8$ эВ) значением 1,55 мкм.

9.6.3. Среднее значение мощности оптического излучения, испускаемой источником излучения и падающей на поверхность фотодиода через оптическое волокно определяется следующим соотношением

$$P_{\text{ввл}} = N_\Phi \cdot h\nu. \quad (9.6.6)$$

3.6.4. Энергия фотонов в составе оптического излучения, падающих на поверхность фотоприемника – фотодиода для генерации электронно-дырочных пар и образования фототока должна удовлетворять следующее соотношение:

$$h\nu > \Delta W_{3,3}^{\phi\phi} \quad (9.6.7)$$

Если учесть, что для источника излучения справедливо соотношение

$$h\nu > \Delta W_{3,3}^{III} \quad (9.6.8)$$

приходим к следующему соотношению, выражающему спектральное согласование фотоприёмника с источником излучения

$$\Delta W_{3,3}^{\phi\phi} < \Delta W_{3,3}^{III} \quad (9.6.9)$$

Приведем пример по решению задания 3:

Пусть заданы следующие параметры, характеризующие источники излучения – светоизлучающий диод или лазерный диод, а так же фотодиод:

$$P_{изл} = 0,54 \text{ мВт} ; N\phi = 4,2 \cdot 10^{15} \frac{1}{c} ; \kappa = 0,2 ; \alpha = 0,8 ; \eta = 0,7$$

Определите следующие параметры оптического излучения падающего на поверхность фотодиода и этого прибора

$$\Delta W_{3,3}^{III} = ? \quad \nu = ? \quad \lambda = ? ; I_{\phi} = ? ; S_{\lambda} = ? \quad \Delta W_{3,3}^{\phi\phi} = ?$$

Решение задачи:

Используя количественное соотношение справедливое для мощности излучения источника излучения (3.6) находим энергию фотонов в составе излучения:

$$h\nu = \frac{P_{изл}}{N_{\phi}} = \frac{0,54 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}}{4,2 \cdot 10^{15}} = 1,28 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 0,8 \text{ эВ}$$

Используя количественное соотношение $h\nu = \Delta W_{z,z}^{III}$ определяем ширину запрещенной зоны полупроводника из которого изготовлен источник излучения, частоту и длину волны излучения:

$$\Delta W_{z,z}^{III} = 1,28 \cdot 10^{-19} \text{ эВ} = 0,8 \text{ эВ},$$

$$\nu = \frac{1,28 \cdot 10^{-19} \text{ эВ}}{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ эВ} \cdot \text{с}} = \frac{1,28}{6,62} \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{с}} = 1,93 \cdot 10^{14} \text{ Гц},$$

$$\lambda = \frac{c_0}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,93 \cdot 10^{14} \frac{1}{\text{с}}} = 1,554 \text{ мкм} = 1554 \text{ нм}.$$

Используя количественное соотношение (9.6.1) определяем значение фототока текущего через фотодиод:

$$I_\phi = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 4,2 \cdot 10^{15} \frac{\text{Кл}}{\text{с}} = 300 \cdot 10^{-6} \text{ А} = 300 \text{ мкА}.$$

Используя количественное соотношение (9.6.3) определяем спектральную чувствительность фотодиода:

$$S_\lambda = \frac{I_\phi}{P_{\text{вх}}} = \frac{300 \cdot 10^{-6} \text{ А}}{0,54 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}} = 0,55 \frac{\text{А}}{\text{Вт}}.$$

Используя количественное соотношение (9.6.8) определяем ширину запрещенной зоны из которого должен быть изготовлен фотодиод:

$$\Delta W_{z,z}^{\text{фд}} < \Delta W_{z,z}^{\text{ИИ}}, \text{ т.е. } \Delta W_{z,z}^{\text{фд}} < 0,8 \text{ эВ}.$$

Практическая работа №10

ИЗУЧЕНИЕ ТИПОВ ОПТИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ, СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИНЦИПА ИХ РАБОТЫ, ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ

10.1. Цель занятия

Определение характеристик и параметров оптического усилителя EDFA через виртуальную программу.

10.2. Задание к виртуальной практической работе

10.2.1. При подготовке к занятию необходимо изучить следующие учебные материалы и подготовить ответы на контрольные вопросы (КВ), приведенные в параграфе 10.3 (ответы на 4 вопросов из них должны быть изложены письменно):

К пунктам КВ: 10.3.1-10.3.4: Учебный материал изложен на страницах 86-93 [10.1] и на страницах 250-252 [10.2].

К пунктам КВ: 10.3.5-10.3.8: Учебный материал изложен на страницах 252-255 [10.2] и на страницах 191-200 [10.3].

К пунктам КВ: 10.3.9-10.3.11. Учебный материал изложен на страницах 250-255 [10.4], 185-214 [10.5] и 181-202 [10.6].

10.2.2. В виртуальной работе необходимо научиться следующему:

- изучить структуру оптического усилителя, его характеристики и параметры;

- подготовка страницы с кратким изложением теоретической части для доклада, информация о программе и таблица для записи полученных результатов.

10.3. Контрольные вопросы:

10.3.1. Что за устройство – оптический усилитель? В каких целях он используется?

10.3.2. На каких фундаментальных физических процессах основаны принципы работы оптических усилителей?

10.3.3. Какие типы оптических усилителей Вы знаете?

- 10.3.4. Поясните устройство и принцип работы примесных волоконных оптических усилителей.
- 10.3.5. Поясните характеристики и параметры примесных волоконных оптических усилителей.
- 10.3.6. Какие разновидности примесных волоконных оптических усилителей Вы знаете? Дайте им сравнительную характеристику.
- 10.3.7. Поясните устройство и принцип работы оптических усилителей, основанных на Рамановском рассеянии света. В чем заключаются достоинства и недостатки оптических усилителей этого типа?
- 10.3.8. Поясните устройство и принцип работы полупроводниковых усилителей. В чем заключаются достоинства и недостатки оптических усилителей этого типа?
- 10.3.9. В каких целях применяются полупроводниковые оптические усилители в волоконно-оптических системах связи?
- 10.3.10. Дайте сравнительную характеристику характеристикам и параметрам примесных волоконных, Рамановских и полупроводниковых оптических усилителей.
- 10.3.11. Напишите выражения для коэффициента усиления, мощности спонтанного излучения, шум фактору оптического усилителя и поясните их.
- 10.3.12. На какие типы подразделяются оптические усилители в соответствии выполняемой функцией ими в оптическом линейном тракте.

10.4. Итог по практической работе

Изучение учебных материалов по устройству, принципу работы, характеристикам и параметрам оптических усилителей. Приобретение практических навыков по применению различных типов оптических усилителей в линейном тракте волоконно-оптических систем связи, составление отчета о результатах измерений и чертежей и заключение по полученным результатам.

10.5. Список использованной литературы

- 10.1. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. -М.: Эко-Трендз, 2000 – 267 с.

10.2. Игнатов А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства: Учебное пособие. – М: Эко-Трендз. 2006.

10.3. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи: Перевод с английского под ред. Н.Н. Слепова.–М.: Техносфера, 2003.

10.4. Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н., Исаев Р.И. и др. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов/ Под ред. Иванова В.И.- 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.

10.5. Скляр О. К. Волоконно - оптические сети и системы связи: Учебное пособие. 2е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 272 с.

10.6. Дмитриев С.А. и Слепов Н.Н. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. - 2-е изд., перераб. и доп./Сб. статей под ред. - М.: ООО "Волоконно-оптическая техника", 2005.

10.6. Указания по выполнению 2-пункта задания.

Порядок выполнения виртуальной работы

Программная часть виртуальной лабораторной работы состоит из трех частей, первая часть имеет название “*запуск*”.

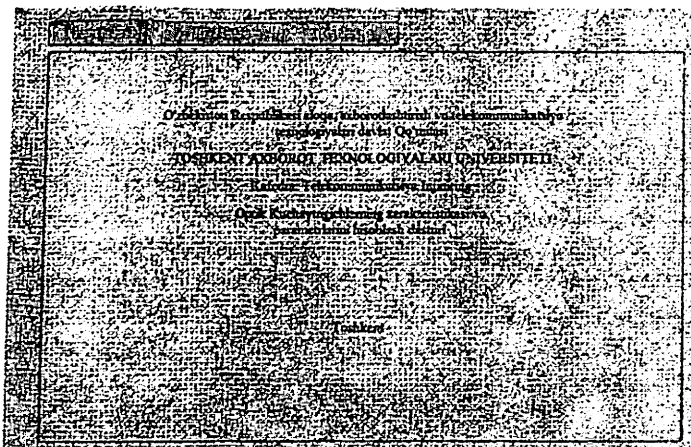


Рис.10.1. Общий вид виртуальной практической работы

Вторая часть виртуальной лабораторной работы имеет название «счетчики» (*Hisoblashlar*), где на правой стороне находятся кнопки

выбора и вывода параметров. Здесь находится окно для рисования наружного графика, то есть окно для вывода характеристик:



Рис. 10.2. Раздел «счетчики» виртуальной практической работы

В части, где находятся параметры, существуют «входное напряжение», «коэффициент усиления» и «спектр частоты», при расчете, для начало, способом выбора длины волны, изменяя входное напряжение, можно вычислить ниже указанные два параметра коэффициента усиления и спектр частоты. Здесь входное напряжения меняется от -30 дБм на +10 дБм, длина волны выбирается в промежутке 1530-1560 нм. Часть, где расположены параметры, имеет следующий вид:

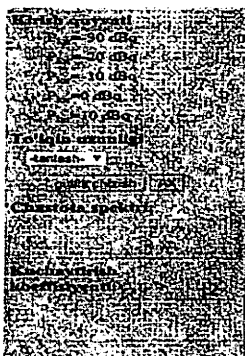


Рис.10.3. Часть, где расположены параметры в виртуальной практической работе.

В части, где расположены параметры, кроме вышеуказанных, находятся кнопки «нарисовать график» и «ХА» (характеристика амплитуды), с помощью которых строится график.

Третья часть виртуальной лабораторной работы носит название «задания», где находятся пять таблиц порядка выполнения виртуальной лабораторной работы, для заполнения результатов расчета в программе:

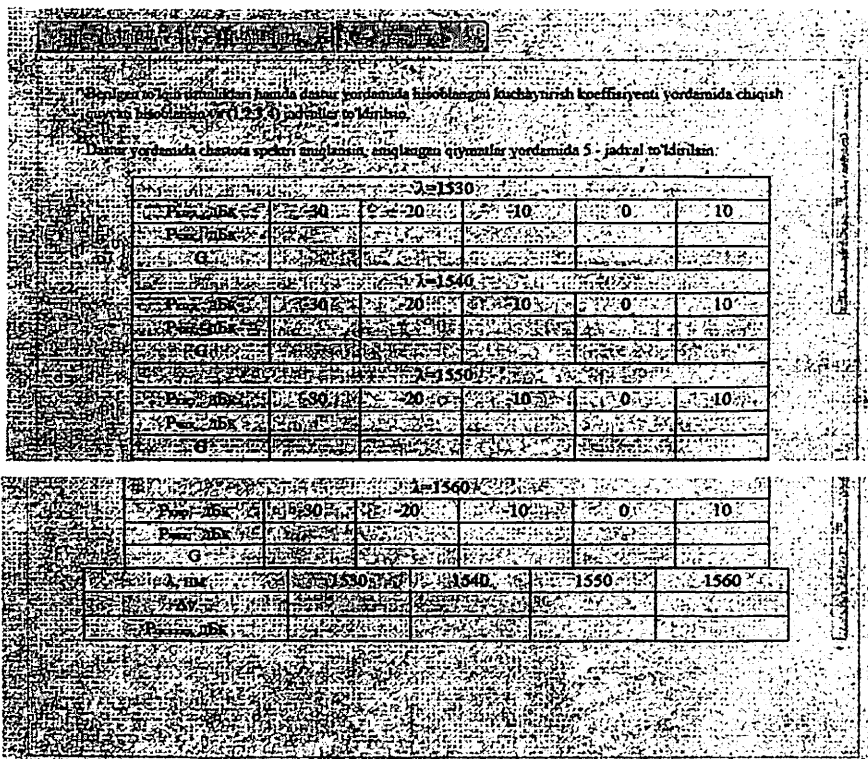


Рис.10.4. Раздел «Задания»(*Topshiriqlar*) виртуальной практической работы.

В данной виртуальной практической работе рассмотрим несколько характеристик и параметров оптического усилителя:

1. Определение коэффициента усилителя:

$$g=10\lg(P_{с. вых}/P_{с. вход}) \text{ или } G=P_{с. вых} - P_{с. вход}, \text{ дБ}, \quad (10.1)$$

здесь: $P_{с. вых}$ — сила выходного сигнала; $P_{с. вх}$ - сила входного сигнала.

Для определения коэффициента усилителя используется формула (10.1). Сила выхода $P_{с. вых}$ - определяется с вводом в программу значений длины волны λ и силы входа $P_{с. вх}$ (-35 - +5дБм).

Полученные значения записываются в таблицы 10.1–10.4. Здесь длина волны может иметь значение в промежутке 1530-1560 нм.

Таблица 10.1

$\lambda=1530$					
$P_{вх}, \text{ дБм}$	-30	-20	-10	0	10
$P_{вых}, \text{ дБм}$					
G					

Таблица 10.2

$\lambda=1540$					
$P_{вх}, \text{ дБм}$	-30	-20	-10	0	10
$P_{вых}, \text{ дБм}$					
G					

Таблица 10.3

$\lambda=1550$					
$P_{вх}, \text{ дБм}$	-30	-20	-10	0	10
$P_{вых}, \text{ дБм}$					
G					

Таблица 10.4

$\lambda=1560$					
$P_{вх}, \text{ дБм}$	-30	-20	-10	0	10
$P_{вых}, \text{ дБм}$					
G					

В результате заполнения вышеуказанных таблиц появляется возможность вывода амплитудной характеристики (взаимосвязь входного сигнала к выходному)оптического усилителя.

Способ определения шумовой силы при входе:

Для определения шумовой силы при входе используем следующую формулу:

$$P_{\text{шв}} = h\nu \cdot \Delta\nu, \text{ дБм}, \quad (10.2)$$

здесь: h – постоянная Планка, $h=3,34 \cdot 10^{-34}$

ν – частота передаваемой волны;

$\Delta\nu$ – спектр частоты,

$$\Delta\nu = (c/\lambda^2) \cdot \Delta\lambda \quad (10.3)$$

С помощью программы виртуальной лаборатории определяется спектр частоты $\Delta\nu$, заполняется таблица – 10.5. Сила шума при входе определяется по формуле 10.2.

Таблица 10.5.

λ , нм	1530	1540	1550	1560
$\Delta\nu$				
$P_{\text{шум вход}}$, дБм				

На основании таблицы 10.5 нарисовать график взаимосвязи между входящей силой шума и длины волны.

Образец для выполнения виртуальной практической работы. Результаты, полученные в результате выполнения виртуальной практической работы.

Полученные результаты из раздела «расчеты» («Hisoblashlar») состоят из следующих:

Значения коэффициента усиления, полученные с помощью изменений входящих сил при длине волны 1540 нм:



Рис.10.5. Результаты для -30 дБм, в местоположении параметров.

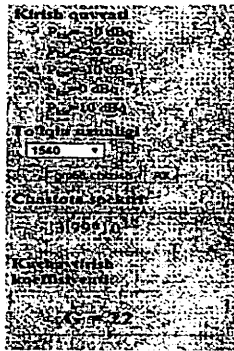


Рис.10.6. Результаты для -10 дБм, в местоположении параметров.

На таблице 10.6 приведены результаты, полученные при длине волны 1540 нм.

Таблица 10.6.

$\lambda=1540 \text{ nm}$					
$P_{\text{вх}}$, дБм	-30	-20	-10	0	10
$P_{\text{вых}}$, дБм	-3.2	3.5	12	14	15.3
G	26.8	23.5	22	14	5.3

Значения коэффициента усиления, полученные с помощью изменений входящих сил при длине волны 1550 нм:

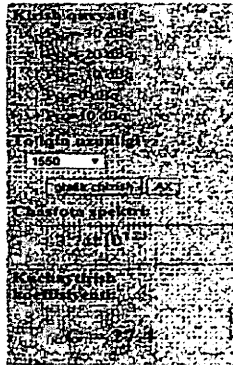


Рис.10.7. Результаты для -20 дБм, в местоположении параметров.

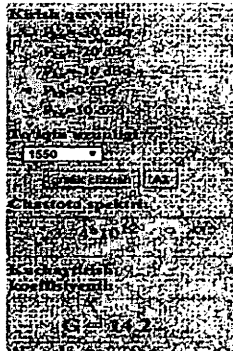


Рис.10.8. Результаты для -0 дБм, в местоположении параметров.

На таблице 10.7 приведены результаты, полученные при длине волны 1550 нм.

Таблица 10.7

$\lambda=1550$					
$P_{вх}$, дБм	-30	-20	-10	0	10
$P_{вых}$, дБм	-1	7.4	13.6	14.2	16
G	29	27.4	23.6	14.2	6

Ниже для каждой длины волны (1530 –1560 нм) для усиления потенциала коэффициента корреляции графов.

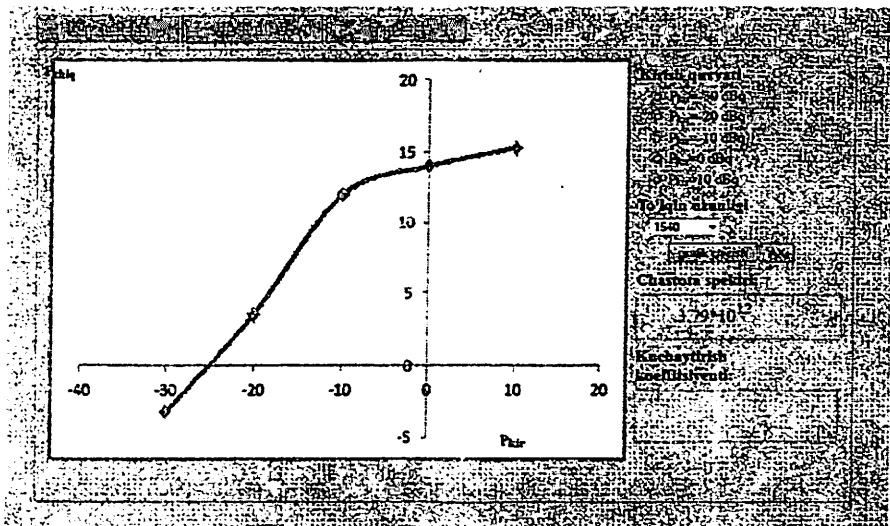


Рис.10.9. Взаимосвязь между входящей и выходящей силами для 1540 НМ.

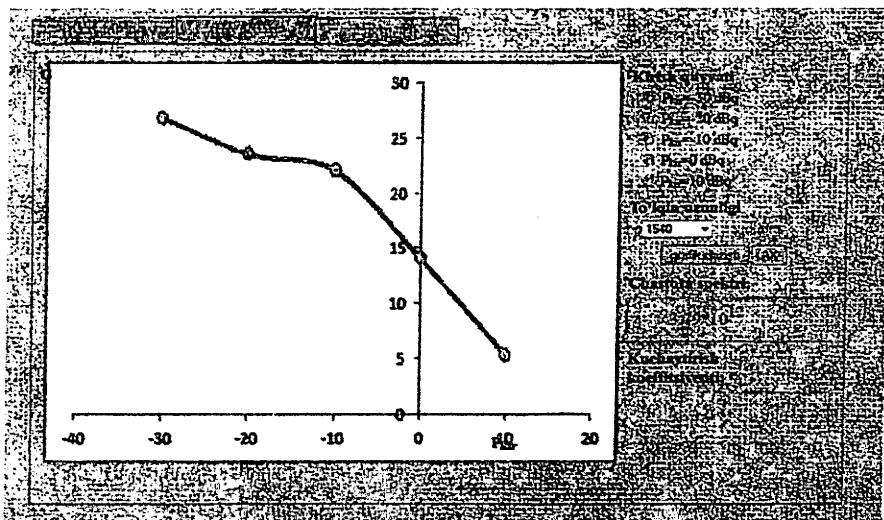


Рис.10.10. Взаимосвязь между коэффициентом усиления и входящей силой для 1540.

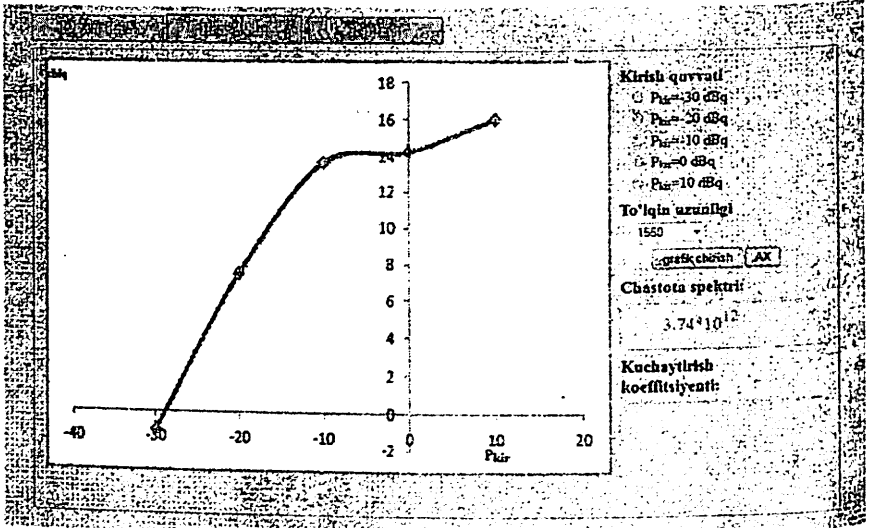


Рис.10.11. Взаимосвязь между входящей и выходящей силами для 1540 нм.

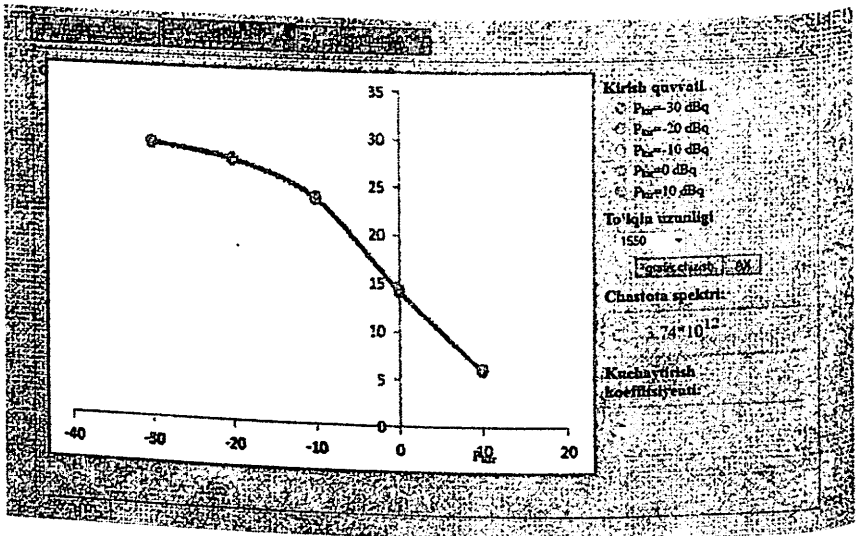


Рис.10.12. Взаимосвязь между коэффициентом усиления и входящей силой для 1550.

Вывод

Во время расчета полученных результатов, используя начальные статистические информации, определяются коэффициент усилителя и выходной силы. Для этого берутся значения $P_{вх}$ – входной силы -30, -20, -10, 0 и 10 и значения дБм для каждой длины волны (1530-1560 нм) и рассматриваются в пяти вариантах.

На основании выше приведенных таблиц и этих результатов построен график взаимосвязи между входной силой и выходящей силы, и входной силы к коэффициенту усиления.

Теоретическая часть Оптические усилители и их типы

Создание многоканальных оптических систем, а также стремление увеличить расстояние между регенераторами привело к развитию оптических усилителей. Оптические усилители благодаря преимуществам ОМ ОВ с ненулевой смещенной дисперсией позволили отказаться от дорогостоящих систем регенерации и резко расширить объем передаваемой информации.

В отличие от регенератора, оптический усилитель не осуществляет преобразование оптического сигнала в электрический, а сразу усиливает. Усилитель не восстанавливает форму сигнала и к тому же вносит дополнительные шумы. Если для многоканальной оптической системы требуются регенераторы на каждом пункте для каждого оптического канала отдельно, то один оптический усилитель усиливает сигналы нескольких оптических каналов одновременно. Простота и повышенная надёжность – это преимущество оптических усилителей. К тому же работа усилителя не зависит от скорости передачи, а в регенераторах наоборот.

Реализация оптических усилителей возможна на следующих основах:

- на основе примесных оптических волокон,
- на основе Романовского рассеяния излучения в оптическом волокне.
- на основе полупроводниковых p-n переходов.

Оптические усилители на примесном волокне

Основу этих усилителей составляет легированный редкоземельным элементом OM OB. Для легирования используются неодим (Nd) и празеодим (Pr) для усиления сигналов в окне 1300 нм, туллий (Tl) для 1470-1650 нм, и в основном эрбий (Er) для 1550 нм.

Наиболее широко распространены усилители, в которых OB изготавливается из кремниевое волокна, а сердцевина OB легируется примесями эрбия. Такие усилители получили название EDFA (*Erbium Doped-Fiber Amplifier*). В EDFA наиболее широкая зона усиления от 1530 до 1560 нм, соответствующей переходу достигается при оптимальной длине волны лазера накачки 980 нм.

Конструкция усилителя на примесном волокне приведена на рис. 10.1.

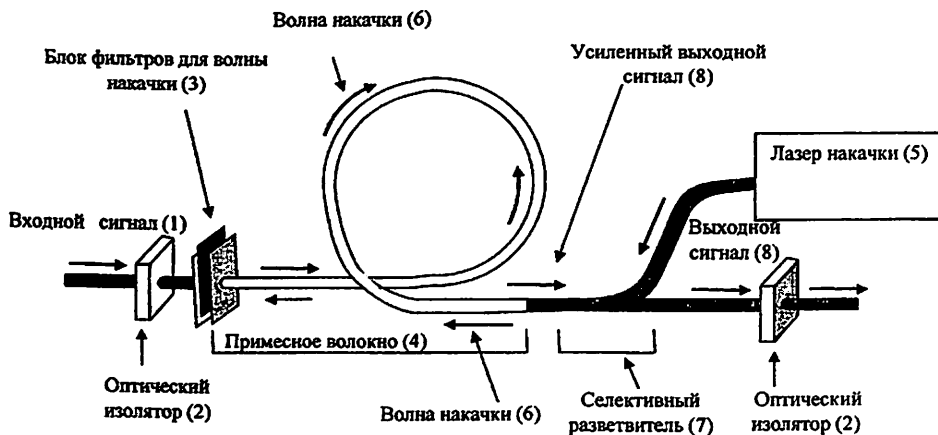


Рис. 10.1. Оптический усилитель на примесном волокне.

Принцип работы оптического усилителя на примесном волокне: слабый входной оптический сигнал (1) проходит через оптический изолятор (2), который пропускает свет в прямом направлении — слева направо, но не пропускает рассеянный свет в обратном направлении. Далее сигнал проходит через блок фильтров (3), которые блокируют световой поток на длине волны накачки, но прозрачны к длине волны сигнала. Затем сигнал попадает в катушку с волокном, легированным примесью из редкоземельных элементов (4). Длина такого участка волокна составляет несколько 25-100 метров.

Этот участок волокна подвергается сильному непрерывному излучению полупроводникового лазера (5), установленного с противоположной стороны, с более короткой длиной волны накачки. Свет от лазера накачки — волна накачки (6) — возбуждает атомы примесей. Возбужденные состояния имеют большое время релаксации, чтобы спонтанно перейти в основное состояние. Однако при наличии слабого сигнала происходит индуцированный переход атомов примесей из возбужденного состояния в основное с излучением света на той же длине волны и с той же самой фазой, что и повлекший это сигнал. Селективный разветвитель (7) перенаправляет усиленный полезный сигнал (8) в выходное волокно (9). Дополнительный оптический изолятор на выходе (10) предотвращает попадание обратного рассеянного сигнала из выходного сегмента в активную область оптического усилителя.

Активной средой усилителя является одномодовое волокно, сердцевина которого легируется примесями редкоземельных элементов. Когда с внешнего лазера в активную среду подаётся волна накачки, возникает трехуровневая атомная система примеси эрбия (рис. 10.2).

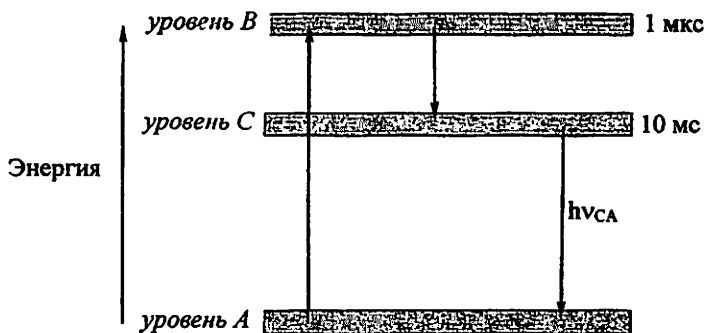


Рис.10.14. Энергетическая диаграмма трех уровневой атомной системы усилителя на примесном волокне.

Лазер накачки возбуждает электронную подсистему примесных атомов. В результате чего электроны с основного состояния (уровень А) переходят в возбужденное состояние (уровень В). Энергия оптической накачки

$$\Delta W = hf(A \cdot B), \quad (10.6.1)$$

соответствует длине волны $\lambda=980$ нм внешнего лазера. Далее происходит переход электронов с уровня В на промежуточный уровень С. Когда заселенность уровня С становится достаточно высокой, так что образуется инверсная заселенность уровней А и С, то такая система способна индуцировано усиливать входной оптический сигнал в определенном диапазоне длин волн. Если же входной сигнал не нулевой, то происходит спонтанное излучение возбужденных атомов примесей, приводящее к шуму.

Если $\lambda=980$, полученный капельным путем на длине волны 1530 Нм, в среду с таким обратным захватом. Когда когерентный сигнал с длиной волны 1560 Нм подвергается воздействию излучения, возникает вынужденный переход электрона с уровня В на уровень а, при этом каждый фотон этого излучения теряет свою энергию. В результате такого перехода фотон, имеющий точно такую же частоту, поляриность и направление распространения, встречается с возбужденными атомами, образуя по одному новому фотону, каждый из которых теряет свою энергию. Таким образом, образуются новые фотоны с одинаковой частотой, фазой и поляризацией. Таким образом, происходит индуцированное принудительное усиление сигнального излучения. Характеристики работы усилителя больше зависят от типа смеси и диапазона длин волн, которые должны усиливать сигналы.

Характеристики и параметры волоконно оптического усилителя

Коэффициент усиления сигнала зависит от его входной амплитуды и длины волны. При малых входных сигналах амплитуда выходного сигнала линейно растет с ростом входного сигнала, коэффициент усиления достигает при этом своего максимального значения. Например, если входной сигнал 1 мкВт (-30 дБм), то выходной сигнал может быть на уровне 1 мВт (0 дБм), что соответствует усилению в 30 дБ. Но при большом входном сигнале, сигнал на выходе достигает своего насыщения, что приводит к падению коэффициента усиления (рис.10.15).

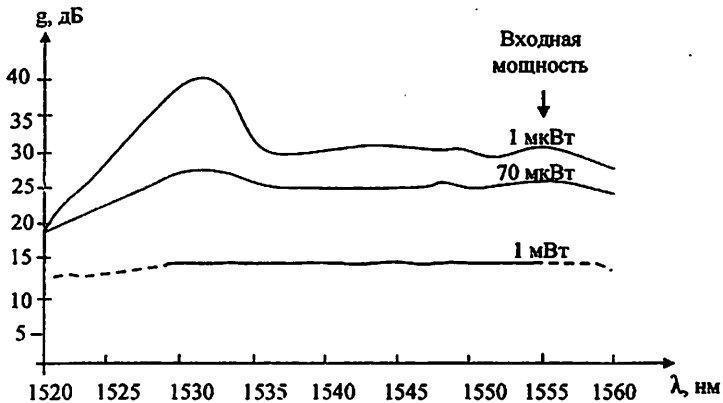


Рис. 10.15. Коэффициент усиления усилителя EDFA на основе кремния при различных значениях мощности входного оптического сигнала.

На кривой зависимости от длины волны при малых значениях мощности входного сигнала заметны минимумы и максимумы. Отсутствие плато в широком диапазоне длин волн (от 1530 до 1560 нм) заставляет дополнительно на линии из каскада оптических усилителей устанавливать эквалайзеры для выравнивания амплитуды сигналов различных длин волн. В то же время ведутся интенсивные исследования по выравниванию кривой усиления. Следует подчеркнуть, что построение усилителей с такими характеристиками не является непреодолимой задачей, но скорее требует тщательно отработанной технологии производства всех элементов усилителя.

Оптические усилители вносят дополнительный шум в усиливаемые сигналы. В результате снижается соотношение сигнал/шум, ограничивается количество промежуточных точек с оптическим усилителем. Поэтому в сочетании с усилителями необходимо применять и регенераторы. В настоящее время существуют усилители EDFA на основе кремния и фторида Циркон. Коэффициент усиления усилителей на основе кремния неодинаков на разных длинах волн. Некорректность усиления приводит к ухудшению соотношения сигнал/шум одного оптического канала по сравнению с другим (рис. 10.16).

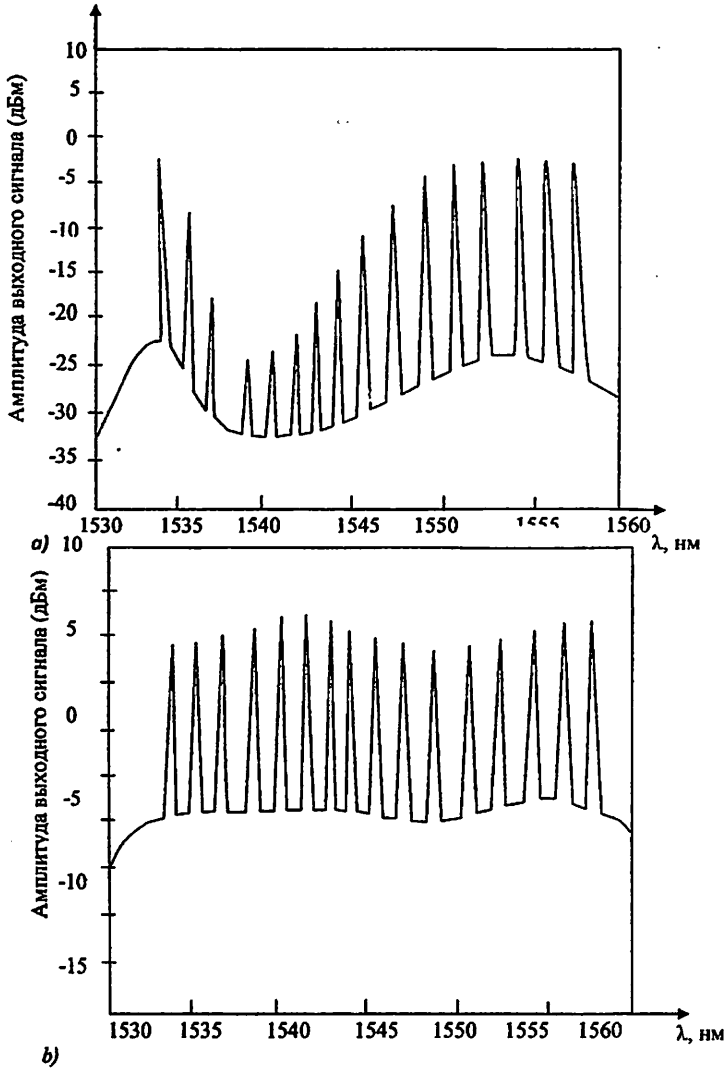


Рис.10.16. Кривизна выходной мощности (сигнал и шум) при подаче сигналов DWDM для усиления на вход усилителя: а) усилителя на основе кремния (в диапазоне 1540 Нм наблюдается снижение отношения сигнал / шум; б) усилители на основе фтора-Циркон.

Усилители на основе кремния имеют высокое отношение сигнал/шум в некоторых каналах (рис.10.16, А), но особенно в каналах с длиной волны 1540 Нм отношение сигнал/шум невелико. Шумозащита каналов систем передачи, уплотняемых по спектру выше 1545 НМ, будет высокой, тогда как шумозащита других каналов при 1540 НМ будет небольшой. Чтобы обеспечить защиту от шума, соотношение сигнал/шум изменяется в пределах нормы, необходимо использовать усилители на основе фторида Циркон. Характеристика зависимости усиления оптических усилителей на основе фторида Циркон от длины волны изменяется плавно. В настоящее время производители.

Оптические усилители, основанные на Рамановском рассеянии излучения

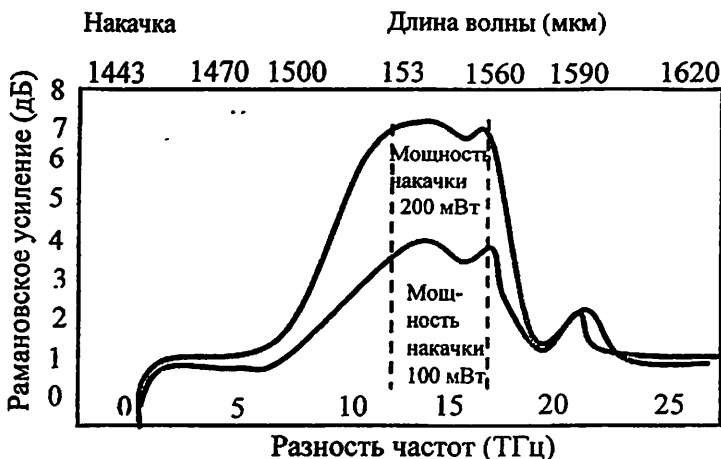
Принцип работы Рамановского усилителя основан на взаимодействии оптической световой волны лазера накачки, имеющей большую мощность при рассеянии его в неоднородностях ОВ со слабым входным сигналом, который распространяется сонаправленно или противонаправленно с излучением лазера накачки. При таком взаимодействии центр определённого спектрального диапазона сигнала сдвинут относительно частоты волны накачки $\omega_{\text{нак}}$ на величину до частоты сигнала ω_c :

$$\omega_p = \omega_{\text{нак}} - \omega_c. \quad (10.6.5)$$

Этот частотный сдвиг называется Рамановским сдвигом.

Амплитудно-частотная/волновая характеристика малосигнального рамановского усиления в диапазоне 1470-1620 нм показана на рис.10.17, для случая использования длины волны накачки 1440 нм мощностью 100 и 200 мВт в кварцевом ОВ.

Из рисунка видно, что ширина полосы примерно соответствует 30 нм и соответствует диапазону С, однако характеристика достаточно неравномерна и требует выравнивания для систем DWDM.



10.17. Спектральные характеристики Рамановского усилителя
 Для случая, когда интенсивность сигнала I_c меньше интенсивности накачки $I_{нак}$, усиление рамановского ОУ определяется следующим выражением:

$$G_0 = \exp(g_s \cdot P_{нак} \cdot \alpha_{эфф} / A_{эфф}), \quad (10.6.6)$$

здесь $P_{нак} = I_{нак} A_{эфф}$ - мощность накачки; $\alpha_{эфф}$ и $A_{эфф}$ - эффективные длина и площадь поперечного сечения ОВ, а g_s - эффективность АЧХ оптического усилителя (обычно порядка 10-14 м/Вт).

Усиление G_0 растет почти линейно с ростом мощности накачки вплоть до $P_{нак} = 1$ Вт, затем зависимость становится характерно экспоненциальной за счет насыщения, которое происходит при очень большой мощности накачки (несколько Вт). Типичными параметрами для усилителей Рамана являются, мощность накачки порядка 1 Вт, коэффициент усиления порядка 17-30 дБ. Причем коэффициент усиления уменьшается с ростом длины волны накачки. На практике, однако, используются более низкие уровни накачки, порядка 100-200 мВт, позволяющие реализовать, как видно из рис. 10.1, рамановское усиление порядка 4-8 дБ. Мощность насыщения P_n у рамановских усилителей может быть значительно больше, чем у ППОУ (2-3 Вт против 1 мВт при больших мощностях накачки), причем накачка может быть как сонаправленная, так и противонаправленная, хотя в

большинстве случаев используется последняя. В качестве накачки обычно используются лазеры с длиной волны 1060 нм (для усиления сигналов 1300 нм) и 1320 или 1443 нм (для усиления сигналов с длиной волны 1550 нм).

Этот тип усилителя достаточно широкополосный (5-10 ТГц), однако крайне неравномерен и пригоден для усиления коротких импульсов (пикосекундного диапазона). При усилении сигналов в системах WDM требуется выравнивание АЧХ.

Для усилителей Рамана свет накачки вводится в ОВ усилителя противонаправленно. Использование противонаправленной накачки уменьшает общий уровень шума. Усиление зависит от мощности накачки. На практике используемые уровни накачки позволяют реализовать усиление на уровне 3,75-7,78 дБ, при котором неравномерность усиления может быть снижена до приемлемой для систем WDM/DWDM величины. Но для достижения усиления порядка 30 дБ требуется непрерывный большой мощностью накачки равный 1 мВт, при этом различные сигналы получают различное усиление. Это является недостатком Рамановских усилителей. Для устранения этого в последнее время используются рамановские усилители, в которые добавляются примеси германия, или комбинация рамановского усилителя и усилителя EDFA (так называемая гибридная схема), что дает хорошие результаты и позволяет уменьшить шумы.

Полупроводниковые оптические усилители

Полупроводниковые лазерные усилители не получили широкого распространения из-за двух недостатков. Их светоизлучающий активный слой имеет толщину 1 мкм, что ограничивает возможность ввода большей части светового потока с входного волокна на активный слой (диаметр сердцевины ОМ ОВ 9 мкм). В итоге, потоки теряются, и уменьшается коэффициент полезного усиления. Установив между входным волокном и активным слоем линзы, можно увеличивать коэффициент полезного усиления, но это усложняет конструкцию усилителя.

Усиление полупроводникового усилителя также зависит от направления поляризации излучения. Невозможность контроля поляризации в световоде приводит к потерям в таком усилителе на 4-8 дБ. Поэтому полупроводниковые усилители надо применять только

тогда, когда они реализуются с источниками излучения. Это делается для увеличения дальности связи.

Сравнительные характеристики оптических усилителей и методы их использования

Сравнительные характеристики оптических усилителей

Название параметра	Тип оптических усилителей		
	Оптические усилители на примесном волокне	Рамановский усилитель	Полупроводниковый усилитель
Оптический параметр			
Зона усиления, нм	1530-1570	1300-1330, 530-1570	940-960, 1300-1330, 1530-1570
Коэффициент усиления, дБ	30-45	4-8 ($P_{\text{вход}}=100-200$ мВтда) 17-30 ($P_{\text{вир}}=1$ мВт)	25
Неточность коэффициента усиления, дБ	$\pm 0,3$	$\pm 0,8$	$\pm 0,5$
Мощность насыщения $P_{\text{вых.насыщ}}$, Вт	0,8-0,9	Несколько Вт	8 мВт
Коэффициент шума n_f , дБ	3÷5	2÷3	5,8÷6
Параметры лазер накачки			
Накачки длины волны	965	1060 (сигнал 1300 нм)	
Интервал накачки (полосы), мкм	1×100	усиления за) 1320 или 1443 (сигнал	

		1550 нм для усиления)	
Электрические параметры			
Рабочее усиление, В	5÷7	~10	1,5 (2,25÷5)
Ток накачки, мА			150-300
Потребляемая мощность Вт (в 20° S)	12		2,25÷5
Общие описания			
Размер, мм	115×12×165		37×18×15
Масса, кг	0,3		0,05

Параметры оптических усилителей

Оптические усилители обозначаются следующим образом:

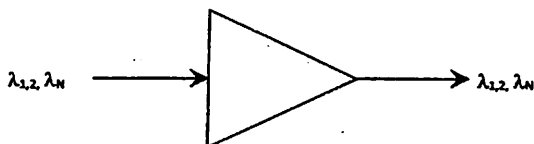


Рис.10.18. Обозначение оптических усилителей

Оптические усилители, применяемые в системах ВОС, характеризуются следующими параметрами:

1. Мощность насыщения $P_{\text{вых.нас}}$ – определяет максимальную выходную мощность. Максимальная мощность может превышать 36дБм (4 Вт).
2. Коэффициент усиления:

$$G = P_{\text{с. вых.}} / P_{\text{с. вх.}}$$

$$g = 10 \lg P_{\text{с. вых.}} / P_{\text{с. вх.}}, \quad (10.6.7)$$

где, $P_{\text{с. вых.}}$ – мощность выходного сигнала;

$P_{\text{с. вх.}}$ – мощность входного сигнала.

Предельное усиление может достигать ≈ 40 дБ.

3. Шум-фактор NF определяется отношением сигнал/шум на входе усилителя к отношению сигнал/шум на выходе усилителя:

$$NF = (P_{с.вх} / P_{шум. вх}) / (P_{с.вых} / P_{шум.вых}). \quad (10.6.8)$$

$$NF = 5-6 \text{ дБ.}$$

Методы применения оптических усилителей в линейном тракте волоконно-оптических систем связи

Оптические усилители по назначению делятся на предварительные, линейные и на усилители мощности рис.10.5.

Предварительные усилители устанавливаются на входе регенератора фотоприёмника и способствуют увеличению отношения сигнал/шум на выходе электрических схем усиления в приёмнике. Их особенность в том, что они работают с сигналами очень низкого уровня (-45...-30 дБм)

Линейные усилители могут заменять регенераторы, если нет необходимости в устранении искажений сигнала.

Усилители мощности устанавливаются на выходе лазерных передатчиков, и они способствуют увеличению расстояния между промежуточными усилительными пунктами. Их особенность в том, что они обеспечивают максимально допустимое усиление и высокий уровень сигнала на выходе (до +3 дБм в системах SDH и +30 дБм в системах WDM).

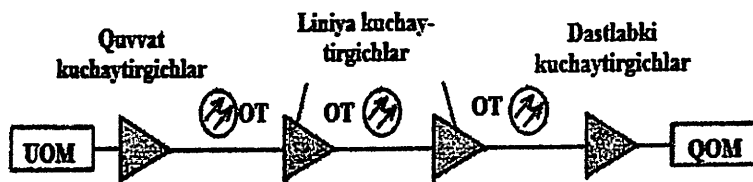


Рис.10.19. Методы использования оптических усилителей

Практическая работа №11

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ. ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МЕЖДУНАРОДНЫХ, МЕЖДУГОРОДНЫХ И ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЯХ

11.1. Цель работы

Сформировать навыки усвоения принципы построения стандартных цифровых потоков системы передачи, объединения цифровых потоков в цифровых системах передачи, используемых в международных, междугородных и местных сетях.

11.2. Задание к работе

11.2.1. При подготовке к занятию изучите следующие учебные материалы и подготовьте ответы на контрольные вопросы раздела 11.3 (на 6 из них ответьте письменно):

По пунктам 11.3.1-11.3.3: учебный материал описан на страницах 11-14 [11.2] и на страницах 85-89 [11.3].

По пунктам 11.3.4-11.3.8: Учебный материал описан на страницах 151-163 [11.1] и на страницах 29-38 [11.2].

По пунктам 11.3.9-11.3.14: учебный материал описан на страницах 11-14 [11.2] и на страницах 85-89 [11.3].

11.3. Контрольный вопрос:

11.3.1. Что вы имеете в виду под иерархией?

11.3.2. Каковы требования предъявляются к иерархии систем цифровых передачи?

11.3.3. Почему ЦСП должны иметь иерархическую структуру?

11.3.4. Какие цифровые системы передачи используются в международных сетях?

11.3.5. Какие цифровые системы цифровой передачи используются в сетях дальней связи?

11.3.6. Какие цифровые системы передачи используются в местных сетях?

11.3.7. Опишите иерархию ЦСП с ИКМ.

11.3.8. Каковы требования к иерархии цифровых систем передачи с ИКМ?

11.3.9. Как объединяются цифровые потоки в цифровых системах передачи с ИКМ?

11.3.10. В чем особенности объединения цифровых потоков по символам?

11.3.11. В чем особенности объединения цифровых потоков по каналам?

11.3.12. Какая цифровая система передачи является в сети и почему?

11.3.13. Каковы особенности плезиохронной цифровой иерархии?

11.3.14. Опишите структуру цикла цифровой системы передачи ИКМ-30.

11.4. Итог по практической работе

Получить практические навыки по изучению принципов построения стандартных цифровых потоков систем передачи, методов объединения цифровых потоков в цифровых системах передачи, используемых в международных, междугородных и локальных сетях.

11.5.Использованная литература

11.1. Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н., Исаев Р.И. и др. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов/ Под ред. Иванова В.И.- 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.

11.2. Складов О. К. Волоконно - оптические сети и системы связи: Учебное пособие. 2е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 272 с.

11.3. Дмитриев С.А., Слепов Н.Н. Волоконно – оптическая техника: Современное состояние и перспективы. - 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей. - М.: ООО "Волоконно – оптическая техника", 2005.

11.6. Инструкция по выполнению задания. Теоретическая часть

Иерархия цифровой системы передачи на основе ИКМ. Цифровые системы передачи, используемые в международных, междугородных и местных сетях

Системы цифровой передачи, используемые в телекоммуникационных сетях, организованы по определенной иерархии.

Иерархическая структура ЦСП позволяет совершенствовать каналообразующие устройства, упростить процесс подготовки, создавать устройства с использованием методики. В настоящее время распространены три иерархических типа ЦСП: европейский, североамериканский и японский. Европейская иерархия основана на первичных цифровых системах передачи типа ИКМ-30. При этом аналого-цифровое устройство формирует 30 каналов, каждый с пропускной способностью 64 кбит/с. Скорость передачи группового сигнала составляет 2048 кбит/с. Метод временной агрегации цифровых потоков используется для формирования групповых сигналов РУТ на значительно более высоком уровне.

Такие потоки формируются в устройствах низкоуровневых ЦСП. Как видно из рисунка 11.1, коэффициент агрегации равен 4 для всех уровней иерархии. Аналогично формируются североамериканская и японская иерархии, за исключением того, что в качестве основного ЦСП используется ИКМ-24, а коэффициенты консолидации разные для разных уровней иерархии. Вышеупомянутые три иерархии называются плезиохронными цифровыми иерархиями. В такой иерархии объединение цифровых потоков осуществляется асинхронно, то есть скорости цифровых потоков отличаются друг от друга, хотя и незначительно.

В этом случае скорости регулируются для объединения потоков. В последние годы все большее распространение получили высокопроизводительные системы, относящиеся к синхронной цифровой иерархии. Это связано с недостатками плезиохронной цифровой иерархии. По мере роста сети рос контроль и управление сетью, и возникла необходимость в улучшении этих цифровых систем передачи.

Плезиохронная цифровая иерархия включает в себя три стандарта скорости, разработанные в начале 1980-х годов. В первом стандарте, названном North American Standard (принят в США и Канаде), первичный цифровой поток ПЦП (или DS1-Digital Signal of Level 1) был выбран на скорости 1544 кбит/с, что соответствует скорости 24 DS0. (ОЦК).

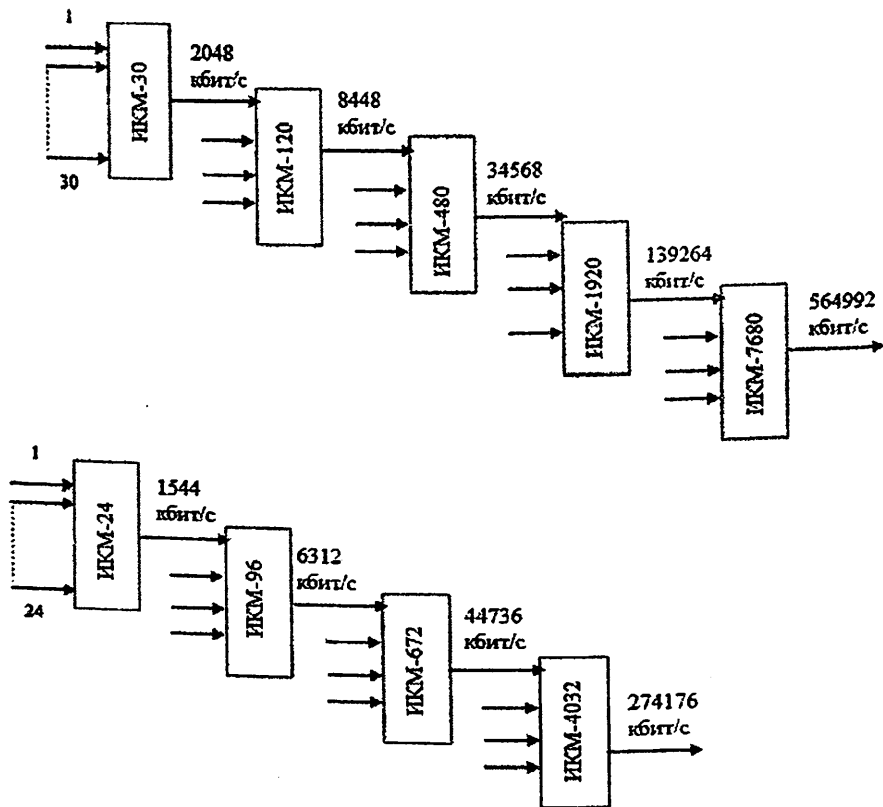


Рисунок 11.1. Типы иерархии ЦСП

Цифровые системы передачи, используемые на сетях связи, соответствуют определенной иерархической структуре, которая учитывает следующие основные требования:

Возможность передачи всех видов аналоговых и дискретных сигналов; выбор параметров системы передачи с учетом характеристик существующих и перспективных линий связи;

возможность достаточно простого объединения, разделения и транзита передаваемых сигналов; выбор стандартизированных скоростей передачи с учетом использования оборудования как АЦП, так и временного группообразования сигналов; возможность взаимодействия ЦСП с АСП и различными системами коммутации.

Иерархический принцип ЦСП позволяет унифицировать оборудование, упростить процессы изготовления, внедрение технической эксплуатации соответствующего оборудования, т.е. в целом повысить технико-экономические показатели этих систем.

Отечественные системы «строятся» согласно Европейской иерархии рис.11.1.

Данная иерархия основывается на первичной ЦСП типа ИКМ-30, в которой с помощью аналого-цифрового оборудования образуется 30 каналов с пропускной способностью 64 кБит/с. Скорость передачи группового сигнала составляет 2048 кБит/с.

Первичный цифровой поток (ЦПП), формируемый в аппаратуре первичной цифровой системы передачи (ЦСП), с принципом работы, которых вы ознакомились вышесказанным, является основой для построения цифровых систем высшего порядка, имеющих большую скорость передачи и большее число каналов. Последние объединяют несколько цифровых потоков систем низшего порядка, и в зависимости от количества объединяемых, или другими словами, мультиплексированных потоков, подразделяются на вторичные, третичные, четвертичные и пятеричные ЦСП. Главной задачей при разработке таких систем являлось соблюдение иерархии правила формирования цифровых потоков высшего порядка из цифровых потоков низшего порядка.

Плезихронная цифровая иерархия (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy) – цифровой метод передачи данных и голоса, основанный на временном разделении канала и технологии представления сигнала с помощью импульсно-кодовой модуляции (ИКМ).

Первой созданной в 1962 году системой с ИКМ была внедренная на сети США 24-канальная система T1 с семиразрядным кодированием и с групповой скоростью передачи 1,544 Мбит/с. Она означала существенный сдвиг в современной ей технике связи, так как обеспечивала условия массового внедрения (простота производства, минимальное число фильтров, малые эксплуатационные затраты, применение одинаковых с ЭВМ комплектующих элементов). Так как эта система нашла широкое

применение, ее параметры стали служить основой для всех систем с ИКМ и оказали значительное влияние на развитие технологии ЦСП плезизохронной цифровой иерархии.

В настоящее время цифровой поток T1 или в другом обозначении DS1 со скоростью передачи 1,544 Мбит/с и организацией 24-х каналов с 8-ми разрядным логарифмическим кодированием по закону $m = 255$ является первичным для ЦСП высших порядков североамериканской (ANSI) и японской плезизохронных цифровых иерархий.

Первичный цифровой поток E1 со скоростью передачи 2048 кбит/с и с 8-разрядным логарифмическим кодированием по закону $A = 87,6$ положен в основу европейской цифровой иерархии, разработанной во Франции и утвержденной в 1968 г. европейской организацией связи СЕРТ.

При выборе параметров первичной системы типа ИКМ-30 ориентировались на создание в будущем полностью цифровых сетей и поэтому рабочие скорости блоков системы целые степени числа 2.

Принципы построения цифровых систем передачи PDH различных иерархий определены сектором телекоммуникаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) в рекомендациях G.702, G.703 приведены на рис. 3.

Структура мультиплексирования для европейских потоков E1, E2, E3, E4, E5 приведена на рис. 11.2. При этом мультиплексирование при получении потока E5 осуществляется только в оптическом диапазоне.

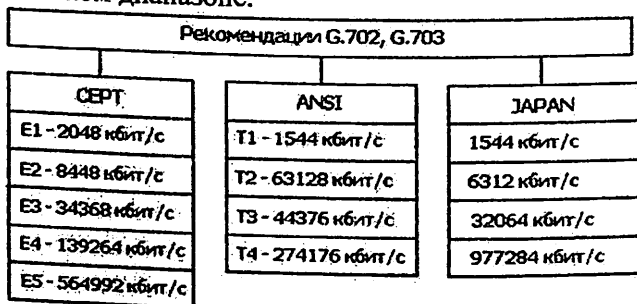


Рис. 11.2. Типы плезизохронных цифровых иерархии.

При формировании групповых сигналов ЦСП более высокого уровня используется принцип временного объединения цифровых

потоков, сформированных в оборудовании ЦСП более низкого уровня. Коэффициент объединения для всех ступеней иерархии принят равным четырем. Исходя из выше рассмотренного, в состав оборудования оконечных станций ЦСП входят каналообразующая аппаратура (КОА), оборудование временного группообразования, которым и наращивается мощность систем (ОВВГ; ОТВГ; ОЧВГ – оборудование вторичного, третичного, четверичного группообразования) и оборудование линейного тракта (ОЛТ).

КОА предназначено для преобразования спектра тридцати исходных сигналов 0,3-3,4 кГц в первичный цифровой поток со скоростью 2048 кБит/с на передаче и обратного преобразования на приеме.

ОВВГ предназначено для синхронного (асинхронного) объединения четырех первичных цифровых потоков во вторичный групповой цифровой поток со скоростью 8448 кБит/с.

ОТВГ (ОЧВГ; ОПВГ) аналогично, с учетом скоростей низовых и формируемого группового потоков.

ОЛТ обеспечивает: согласование аппаратуры с линией; защиту оборудования СП от опасных напряжений, возникающих в линии; регенерацию линейного ИКМ сигнала; организует цепи дистанционного питания, линейной служебной связи, телемеханики.

Состав оборудования ОП систем передачи металлических и оптических кабелей отличается только оборудованием линейного тракта, одной из основных функций которого является осуществление электроннооптического и оптоэлектронного преобразований сигнала.

Синхронная цифровая иерархия (СЦИ, SDH — Synchronous Digital Hierarchy) – это система передачи данных, основанная на синхронизации по времени передающего и принимающего устройства.

Рассмотрим структуру сигналов SDH. Это синхронный транспортный модуль STM-N, где N определяется уровнем SDH. В настоящее время широко используются системы STM-1, STM-4, STM-16 и STM-64. Нетрудно заметить, что системы построены с кратностью 4. Таким образом, сформировалась следующая иерархия скоростей.

Синхронная цифровая иерархия
Уровень модуля Скорость (кбит/с)

STM-1	155 520
STM-4	622 080
STM-16	2 488 320
STM-64	9 953 280

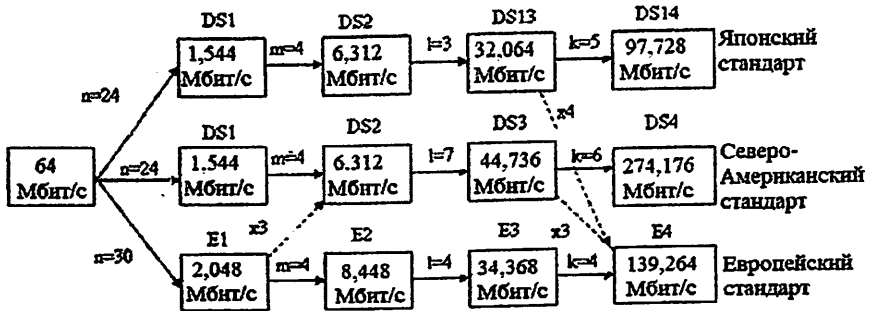


Рис.11.3. Схема мультиплексирования (-) и кросс-мультиплексирования (- - -) ПЦИ в североамериканском (САС), японском (ЯС) и европейском (ЕС) стандартах

В результате был разработан такой стандарт, согласно которому: -во-первых, в качестве основного стандарта при организации цифровых систем передачи на основе ИКМ и распределения каналов по времени ПЦИ использует три первых уровня первого стандарта (DS1-DS2-DS3), четыре уровня второго стандарта (DS1-DS2-DSJ3-DSJ4) и три уровня третьего стандарта (E1-E2-E3-E4). кросс-мультиплексирование стандартов, например, схема кросс-мультиплексирования от третьего стандарта к первому стандарту (от первого к второму уровню) и наоборот (от третьего к четвертому уровню) показана на рисунке 16.1 (коэффициенты мультиплексирования показаны на линиях связи блоков, обеспечивающих скорости передачи);

- во-вторых, во втором стандарте 32 064...97 728 Кбит/с (округлено до 32...98 Мбит/с), То есть уровни DSJ3 и DSJ4, параллельные уровням DS3 в первом стандарте и E4 в третьем

стандарте. Уровень DSJ3 совместим с уровнем E3, что упрощает перекрестное мультиплексирование со второго уровня на третий.

Система цифровой передачи ИКМ-30

В общегосударственных первичных сетях используется первичная колея на 30 каналов для систем первичной колей европейской иерархии, отвечающая предложению МСЭ (Международного союза электросвязи). К ним относятся системы передачи ИКМ-30, образующие линии, соединяющие АТС и АМТС LAN, междугородние и загородные АТС LAN, и системы ИКМ-30 S, используемые в сельских сетях связи. Принцип строения этой колей тот же.

Система цифровой передачи ИКМ-30. Такая система передачи служит для получения между городскими, пригородными АТС, АМТС и АТС комплекса соединительных линий, образующих 30 каналов звуковой частоты, через полиэтиленовые изолированные (типа ТПП) или бумажные низкочастотные пары (типа Т) с проводом диаметром 0,5; 0,6; 0,7 мм. ИКМ-30 также используется в качестве каналобразующего оборудования для систем цифровой передачи гораздо более высокого порядка. Система может быть сконфигурирована как с одним, так и с двумя кабелями. При использовании одного кабеля регенераторы противоположного направления передачи подключаются к разным парам одного кабеля, а при использовании двух кабелей к разным парам кабелей. Стоит сказать, что в первом случае происходит отбор пар по величине взаимного переходного затухания. В двухкабельной системе цифровой линейный тракт может быть организован практически по всем парам кабелей. Это приводит к увеличению размера кабеля в 13-14 раз.

Основные параметры системы передачи ИКМ-30

Количество каналов	30
Запрещенная цикл частоты	8 кГц
Скорость передачи выходных токов	2048 ($1 \pm 3 \cdot 10^{-5}$) кбит/с
Тип кода линейного сигнала	ЧПИ
Среднее время восстановления цикловой синхронизации	2 мс
Типы кабелей	ТПП (КСПП)

Длина участка регенерации	2.7 (3.8) км
Максимальная длина секции мультимплексирования	43 (110) км
Максимальная длина соединения	85 (440) км
Количество НРП между ОРП	20 (28) шт

Временной спектр линейного сигнала или цикла передачи ИКМ-30 показан на рисунке 11.3.

Сверхцикл передачи (СС) - это временной интервал, в котором передается информация и аварийная сигнализация всех сигнальных каналов (СК). В ИКМ-30 длина сверхцикла равна $T_c=2,0$ МС. Сверхцикл состоит из 16 циклов передачи. В течение цикла его длина равна интервалу дискретизации, то есть $S=тц=125$ МКС, передается восьмиразрядная 30-канальная кодовая комбинация ТЧ, а также кодовая комбинация двух сигнальных каналов или сигнал сверхциклового синхронизации СЦС, цикла синхронизация ЦС, передается дискретный информационный сигнал

Цикл передачи состоял из 32 — канального интервала KI_0 — KI_{31} с длиной $T_{ки}=3,91$ МКС на основе рекомендации ITU-T 6,732.

Диапазоны каналов от KI_1 до KI_{15} и от KI_{17} до KI_{31} используются при передаче информации канала ТЧ. Интервал каждого канала равен $P_1... P_8$ состоящий из восьми разрядов, $T_p = 488$ нс. Частота возврата циклов передачи равна $f_c=f_d=8$ кГц, то есть частоте дискретизации, частота возврата промежуточных каналов равна $f_{к1}=8 \times 32=256$ кГц, а частота возврата или тактовая частота цикла равна $f_T = 8 \times 32 \times 8=2048$ кГц.

Поскольку на каждый разряд передается 1 бит информации, скорость передачи информации в цифровом потоке линейного сигнала составляет 2048 Кбит/с. Частота возврата верхних циклов $f_{SS} = f_s/16=8/16=0,5$ кГц.

Синхросигнал цикла передается в четных циклах КИ₀ на позиции R₂...R₈ и имеет вид 0011011. При нулевом КИ положения R₁ передается дискретный информационный сигнал. В позиции R₃ нечетного цикла передается сигналы аварийной цикловой синхронизации, в позиции R₆-сигнал проверки остаточного затухания канала (OЗ), и R₂ = 8/16 = 0,5 кГц. Синхросигнал цикла КИО к R₂ в четных циклах. Передается на позиции R₈ и появляется 0011011. При нулевом ки положения R₁ передается дискретный информационный сигнал. В положении R₃ нечетного цикла передается сигнал аварийной синхронизации цикла, в положении R₆-сигнал проверки остаточного затухания канала (QС), а в положении R₂-разряд 1.

Способы объединения цифровых потоков в плезихронную цифровую иерархию

Цифровой сигнал групповой-при формировании потока возможны следующие способы объединения цифровых потоков: по символу (рис.11.4,а) и по каналу (рис. 11.4,б).

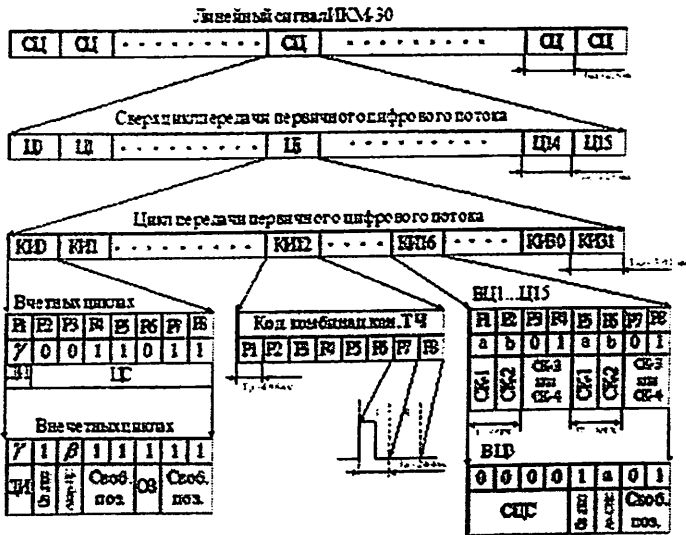


Рис.11.4. Временной спектр системы цифровой передачи ИКМ-30-4

Временное объединение цифровых потоков

Объединение цифровых потоков происходит при формировании группового цифрового сигнала из цифровых потоков систем более низкого порядка, а также при объединении различных сигналов, передаваемых в цифровом виде, в единый цифровой поток.

При формировании группового цифрового сигнала возможны следующие способы объединения цифровых потоков: по символный (поразрядный); по каналный (по кодовым группам каналов) и по системный (по циклам потоков объединяемых систем). На рисунке 1.54 показан принцип по символного, а на рисунке 1.55 по каналного объединения цифровых потоков. В обоих случаях объединяются четыре потока. При посимвольном объединении импульсы цифровых сигналов объединяемых систем укорачиваются и распределяются во времени так, чтобы в освободившихся интервалах могли разместиться вводимые импульсы других систем. При по каналном объединении цифровых потоков сужаются и распределяются во времени интервалы, отводимые для кодовых групп. Сигналы цикловой синхронизации необходимы для правильного распределения цифровых потоков на приемном конце. Объединение цифровых потоков по циклам аналогично по каналному объединению, только обрабатывается (сжимается) во времени и передается целиком цикл одного цифрового потока, а потом следующих. Наиболее простым и широко применяемым способом является способ посимвольного объединения.

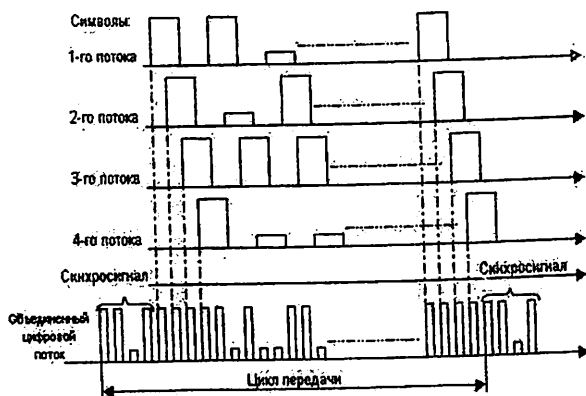


Рис.11.5. Формирование группового цифрового сигнала по символным способом объединения цифровых потоков.

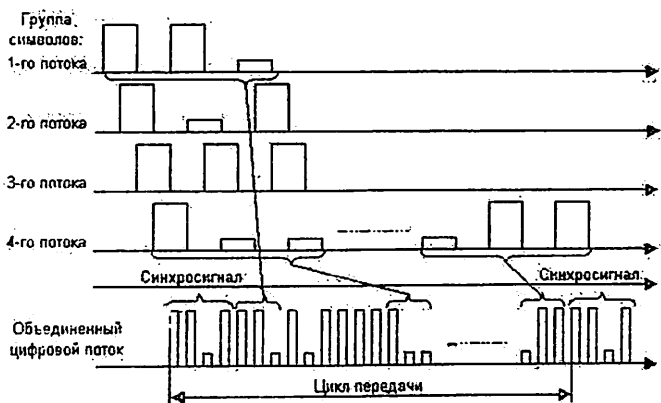


Рис.11.6. Формирование группового цифрового сигнала по каналным способом объединения цифровых потоков.

Объединение цифровых потоков осуществляется в оборудовании временного группообразования, принцип построения которого показан на рисунке 11.6. В состав оборудования входят: блоки цифрового сопряжения тракта передачи и приема (БЦС_{пер}), (БЦС_{пр}); устройства объединения (УО) в тракте передачи и разделения (УР) в тракте приема потоков; передатчик и приемник синхросигнала (Пер. СС), (Пр. СС); выделитель тактовой частоты (ВТЧ) линейного цифрового сигнала; генераторное оборудование (ГО) передающей и приемной станции.

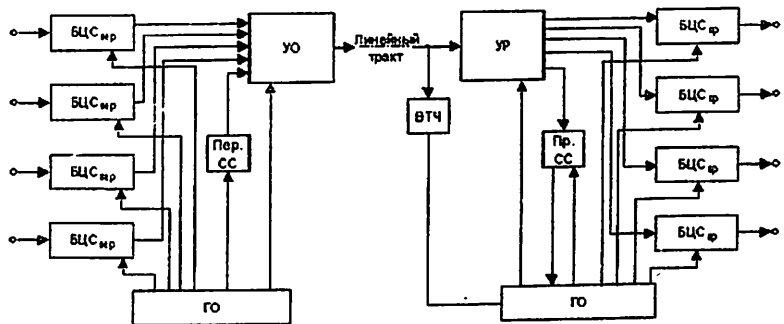


Рис.11.7. Принцип построения оборудования группообразования.

Сигналы с выходов БЦС_{пер} совместно с сигналами цикловой синхронизации поступают на вход схемы объединения. Временной сдвиг между импульсными последовательностями на выходах БЦС_{пер} обеспечивается управляющими импульсами с ГО. На приеме УР распределяет импульсы группового сигнала по своим БЦС_{пр}, а также сигналы Пр. СС.

Генераторное оборудование систем передачи более низкого порядка может работать либо независимо от оборудования объединения и разделения цифровых потоков, либо должна обеспечиваться синхронизация общим задающим генератором. В зависимости от этого объединение цифровых потоков будет асинхронным или синхронным.

При синхронном объединении цифровых потоков скорость записи в БЦС и скорость считывания этой информации из БЦС будут постоянными и кратными, так как вырабатываются одним и тем же ГО. В данном случае между командами записи и считывания должен быть установлен требуемый временной сдвиг, чтобы считывание информации происходило после ее поступления в БЦС_{пер}.

При асинхронном объединении цифровых потоков, когда ГО устройств объединения цифровых потоков и ГО устройств формирования цифровых потоков низшего порядка работают независимо, возможно некоторое расхождение между скоростями записи и считывания. Для согласования этих скоростей необходимо принимать соответствующие меры.

При объединении цифровых потоков производится запись информационных символов в запоминающее устройство ЗУ с частотой f_3 и последующее их считывание с частотой $f_{сч.н}$. При синхронном объединении цифровых потоков $f_3 = f_{сч.н}$. При асинхронном объединении цифровых потоков частоты записи и считывания могут изменяться в некоторых пределах и иметь значения

$$f_{3,н} - \Delta f_{3\max} \leq f_3 \leq f_{3,н} + \Delta f_{3\max}, \quad (1.25)$$

$$f_{сч.н,н} - \Delta f_{сч.н, \max} \leq f_{сч.н} \leq f_{сч.н,н} + \Delta f_{сч.н, \max}, \quad (1.26)$$

где $f_{3,н}$, $f_{сч.н,н}$ — номинальные значения частоты записи и считывания информационных символов; Δf_3 , $\Delta f_{сч.н, \max}$ — максимальное отклонение частот записи и считывания от номинального значения, вызванное нестабильностью работы ГО.

При таких ситуациях могут возникнуть моменты, когда $f_3 > f_{сч.н}$ и память ЗУ будет заполнена или когда $f_3 < f_{сч.н}$ и память ЗУ будет пуста и в очередной момент считывать будет нечего. В обеих ситуациях передача цифрового потока будет происходить с искажениями, так как в первом случае часть информационных символов пропадает, а во втором - появляются дополнительные временные позиции, которые в исходном цифровом потоке отсутствуют. Чтобы избежать этих нарушений, требуется обеспечить согласование скоростей.

При $f_3 < f_{сч.н}$ производится положительное выравнивание скоростей: в считанную последовательность вводится дополнительный балластный тактовый интервал, который на приеме должен быть изъят из передаваемой последовательности информационных символов. Если $f_3 > f_{сч.н}$ производится отрицательное согласование скоростей; из считываемой последовательности изымается один тактовый интервал, информация которого передается по специальному временному каналу и на приеме вводится в передаваемый поток на свое место.

При асинхронном объединении цифровых потоков находят применение системы как с односторонним, так и двусторонним согласованием скоростей.

В системах с односторонним согласованием скоростей частота $f_{сч.н}$ выбирается заведомо большей или меньшей, чем f_3 (в зависимости от положительного или отрицательного согласования скоростей). При этом в системах с положительным согласованием скоростей должно выполняться условие

$$f_{сч.н} - \Delta f_{сч.н. \max} > f_{3,н} + \Delta f_{3 \max} \quad (1.27)$$

Тогда при согласовании скоростей в считанную последовательность вводится дополнительный неинформационный (балластный) тактовый интервал (запретом одного импульса считывания), который на приеме исключается из нее по соответствующей команде согласования скоростей.

В системах с отрицательным согласованием скоростей должно выполняться условие

$$f_{сч.н} + \Delta f_{сч.н. \max} < f_{3,н} - \Delta f_{3 \max} \quad (1.28)$$

Тогда при согласовании скоростей в этих системах на передаче из информационной последовательности изымается один тактовый интервал (дополнительное считывание), который передается по дополнительному каналу и на приеме по команде согласования скоростей снова вводится в информационную последовательность.

В системах с двусторонним согласованием скоростей частота $f_{сч.н}$ выбирается равной $f_{з.н}$. При этом должно выполняться условие

$$f_{сч.н} \pm \Delta f_{сч.н. \max} = f_{з.н} \pm \Delta f_{з. \max}. \quad (1.29)$$

В зависимости от знака разности частот f_z и $f_{сч.н}$ при возникновении неоднородности необходимо либо вводить в считанную последовательность дополнительный тактовый интервал, либо изымать его и передавать по дополнительному каналу.

В реальной аппаратуре объединения потоков необходимо передавать еще служебные сигналы (цикловую синхрокомбинацию, команды согласования скоростей, импульсы служебной связи, аварийные сигналы и др.), поэтому частота считывания выбирается больше частоты записи:

$$f_{с.ч} = f_{сч.н} + f_{сл}, \quad (1.30)$$

где $f_{сл}$ — частота следования служебных импульсов. Таким образом, из-за расхождения частот записи и считывания цифровых потоков периоды между моментами записи и считывания будут отличаться на величину $\Delta t = T_z - T_{сч}$, где $T_z = 1/f_z$ — период записи информационных символов; $T_{сч} = 1/f_{сч}$ — период их считывания.

На рисунке 1.57, а показан пример записи импульсной последовательности. Для упрощения реальный сигнал от источника информации, состоящий из 1 и 0, заменен сигналом, состоящим только из 1. При $\Delta t = 0$, когда $f_z = f_{сч}$ или $T_z - T_{сч} = 0$, считанная из ЗУ последовательность будет такой же. На рисунке 1.57, б показана последовательность считываемых импульсов, для которых $f_{сч} > f_z$ ($\Delta t > 0$), с конкретным значением отношения $T_{сч}/T_z = 13/16$. Как видно из рисунка, импульсы считывания опережают записанные импульсы и через некоторое время наступит момент, когда ячейки памяти будут свободны от информационных импульсов и появятся нулевые символы, которые называются временными сдвигами (рисунок 1.57, в). Интервалы времени между такими символами в

последовательности считанных импульсов определяют период временных сдвигов.

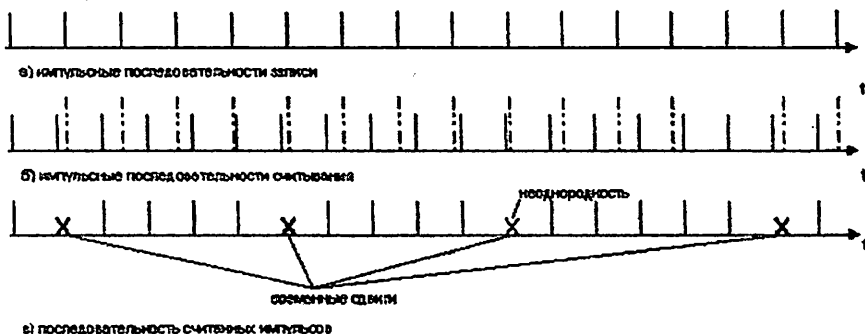


Рис.11.8. Временные диаграммы поясняющие принцип возникновения временных сдвигов и неоднородностей.

Число информационных импульсов между соседними временными сдвигами будет $R = \Pi [T_{сч} / (T_3 - T_{сч})]$, где символ Π означает округление до ближайшего целого. При синхронном объединении потоков отношение $T_{сч} / (T_3 - T_{сч})$ есть целое число. Например, при $T_{сч} / T_3 = 12/16$ символ $\Pi = 3$, т. е. временной сдвиг будет после каждых трех позиций передачи информации. Тогда в считанной последовательности импульсов интервалы между временными сдвигами будут постоянными. Такую последовательность импульсов называют однородной, так как временные сдвиги формируются на строго определенных позициях в цикле передачи и могут использоваться для передачи служебных сигналов. Частота следования последних постоянна, что позволяет выделить их на приеме. При асинхронном объединении цифровых потоков из-за нестабильности задающих генераторов, вырабатывающих тактовые частоты, отношение $T_{сч} / (T_3 - T_{сч})$ - дробное число и его величина будет меняться во времени. В этом случае (рисунок 1.57, в) через определенное число временных сдвигов число импульсов между соседними временными сдвигами изменяется и появляется неоднородность. Период возникновения подобных неоднородностей определяется разностью

$$[T_{сч} / (T_3 - T_{сч})] - \Pi [T_{сч} / (T_3 - T_{сч})] = \pm 1 \quad (1.31)$$

Для приведенного выше примера $T_{сч}/T_3=13/16$. При этом $[T_{сч}/(T_3-T_{сч}) - \Pi [T_{сч}/(T_3-T_{сч})]=13/3 - 4=1/3$, следовательно, в данном случае неоднородности возникают в каждом третьем временном сдвиге и в интервале между временным сдвигом будет не четыре, а пять считанных импульсов. В дальнейшем цикл временных сдвигов повторится. При появлении неоднородностей требуется обеспечить согласование скоростей передачи символов путем коррекции соответствующих моментов временных сдвигов. В рассмотренном случае можно уменьшить соотношение между частотами записи и считывания до $12/15$. При этом временные сдвиги будут появляться после четырех считанных импульсов, но каждый 13-й импульс последовательности записи должен изыматься и передаваться по отдельному каналу (производится отрицательное согласование скоростей). Если, наоборот, соотношение между частотами записи и считывания увеличить до $15/18$, то интервалы между временными сдвигами, содержащие четыре считанных импульса, надо увеличивать до пяти, вводя дополнительные тактовые интервалы (производится положительное согласование скоростей).

Для передачи команд согласования скоростей и информационного символа при отрицательном согласовании скоростей организуются дополнительные временные каналы на определенных позициях цикла передачи. Следовательно, согласование скоростей может производиться в строго определенный момент, обусловленный структурой цикла передачи объединенного цифрового потока. Передача КСС приводит к снижению эффективности работы системы передачи, так как необходимо повышать тактовую частоту передачи или уменьшать объем передачи полезной информации. Число КСС, а следовательно и объем дополнительной информации будут зависеть от частоты возникновения неоднородности, которая в основном зависит от стабильности работы генераторного оборудования. Учитывая достаточно высокую стабильность ГО, передаваемые команды согласования скоростей занимают 1...2% объема передаваемой информации.

Использование синхронной иерархии ни в коей мере не предполагает исчезновение иерархических плезиохронных уровней, напротив, аппаратура SDH должна обеспечивать объединение и передачу сигналов PDH. По этой причине была разработана и рекомендована комитетом CCITT достаточно сложная структура

мультиплексирования SDH, которая позволяет преобразовать любой поток любой PDH в поток STM. Кроме того, структура мультиплексирования SDH позволяет выделять потоки PDH в любом промежуточном пункте без процедур пошагового мультиплексирования/ демультимплексирования.

Элементы структуры мультиплексирования

Информация, поступающая в сеть, согласовывается со структурами, с помощью которых поддерживаются соединения. В SDH эти структуры образуются в сетевых слоях секций и трактов и транспортируют различные цифровые потоки. В функции этих структур входит также компенсация возможных изменений скорости и фаз транспортируемых по сети SDH цифровых потоков

Рекомендации G.708 и G.709 предусматривают использование следующих элементов:

1. C-n – Контейнер (Container)
2. VC-n – Виртуальный контейнер
3. TU-n – Транспортный блок (Tributary Unit)
4. TUG-n – Группа транспортных блоков (Tributary Unit Group)
5. AU-n – Административный блок (Administrative Unit)
6. AUG – Группа административных блоков (Administrative Unit Group)
7. STM-N – Синхронный транспортный модуль

Рассмотрим структуру и назначение данных элементов.

1. C-n – информационная структура, являющаяся базовым элементом сигнала STM, представляет собой группу байтов, выделенных для переноса сигналов со скоростями по рекомендации G.702. Другими словами, это то, что мы имеем на входе в SDH-мультиплексор. Контейнер представляет собой информационную структуру, которая стандартизирует емкости каналов передачи для существующих PDH сигналов, ячеек ATM и других возможных сигналов и кадров. Данная информационная структура, формирует синхронную с сетью информационную нагрузку для виртуального контейнера. Кроме информационных битов, контейнер содержит биты выравнивания (justification bits) для синхронизации сигнала PDH по частоте тактового сигнала SDH (согласование скоростей), а также другие стаффинг-биты.

В таблице 11.1 приведено соответствие между скоростями потока PDH и аббревиатурой соответствующего контейнера.

..Контейнеры, используемые для передачи сигналов PDH

Таблица 11.1.

Уровень иерархии	Контейнер	Сигнал PDH	Мбит/с
1	C-11	C-12	1,544 и 2,048
2	C-2	C-3	6,312
3	C-3	C-4	34,368 и 44,736
4	C-4	C-5	139,264

Контейнеры обозначают буквой С, за которой следует одна или две цифры. Первая цифра идентифицирует иерархический уровень плезиохронного потока, вторая указывает на иерархичность плезиохронного уровня, который среди двух стандартов (американского и европейского) обладает более высокой скоростью цифрового потока.

В частности, при обозначении контейнеров для передачи сигналов PDH первого уровня иерархии, контейнер, предназначенный для передачи сигналов более низкой скорости (1,544 Мбит/с) обозначают С-11, а более высокой скорости (2,048 Мбит/с) – С-12.

В таблице 2.1 не приведен сигнал европейской PDH со скоростью 8,448 Мбит/с. Так как в настоящее время контейнер С-2 предназначен для транспортировки не сигналов PDH, а сигналов с неиерархическими скоростями (например, ячеек АТМ). Поэтому прямой ввод в аппаратуру SDH сигнала PDH 8,448 Мбит/с не применяется.

2. VC-n – информационная структура, состоящая из информационной посылки – полезной информации (payload) и дополнительных байтов маршрута – трактового заголовка (Path Overhead, POH). POH вводится для управления маршрутом VC и выполнения функций OAM. С помощью POH компенсируют колебания фазы и отклонения тактовой частоты вводимых VC-n, относительно STM-N или VC-n высшего порядка и указывают начало их циклов. Позиции указателей в VC-n являются строго фиксированы. Таким образом, всегда известно начало цикла информационной нагрузки, что обеспечивает ввод/вывод VC-n без переформирования многоканального сигнала, то есть обеспечивается прямое мультиплексирование сигналов в линейный тракт.

При помощи VC-п стандартные потоки PDH и другие сигналы транспортируются по сети SDH. Данная информационная структура используется для организаций соединений на уровне трактов сетевой модели SDH. VC-п является маршрутизируемым блоком данных транспортной сети.

Контейнеры обозначают - VC, за которой следует одна или две цифры, соответствующие контейнеру C-п, который может быть введен в данный VC-п. При этом номер отображает скоростной режим компонентных данных.

VC-п служат в качестве сетевых трактов SDH. В зависимости от вида тракта VC имеет период повторения 125 мкс или 500 мкс. Именно VC-п передаются по линейным трактам и переключаются в сетевых узлах. Сетевая обработка (ввод/вывод, оперативные переключения) VC-п выполняется независимо от вида их нагрузки. В пункте назначения сигналы нагрузки "выгружаются" из контейнеров в исходном виде.

В зависимости от объема цифровой информации в потоках PDH разработаны соответствующие типы VC, которые разделяют LOVC и HOVC.

При этом VC-11, VC-12 и VC-2 являются виртуальными контейнерами низкого порядка, VC-4 – высокого порядка, а VC-3 является виртуальным контейнером низкого порядка, если формируется из C-3 и высокого порядка, если формируется из виртуальных контейнеров низкого порядка (например, из VC-12).

Виртуальные контейнеры низкого порядка формируются из контейнеров C-п и POH. В виртуальные контейнеры высокого порядка вместо C-п может входить TUG-п.

В таблице 11.2 приведены предельные скорости сигналов V_m , которые можно передавать по VC. Величину V_m также называют емкостью VC.

Таблица 11.2. Предельные скорости сигналов, передаваемых по VC-п

VC-п	VC-11	VC-12	VC-2	VC-3	VC-4
V_m - Мбит/с	1600	2176	6784	4352	149760

3. TU-п – информационная структура, обеспечивающая согласование между уровнем трактов нижнего порядка и уровнем трактов высшего порядка. В разных изданиях транспортный блок также называют субблоком, трибутарным или компонентным блоком.

TU-n, где n варьируется от 1 до 3, состоит из информационной нагрузки – VC низшего порядка и указателя TU (Pointer, TU PTR).

Процедура формирования TU предусмотрена для дальнейшего объединения (мультиплексирования) одинаковых и различных VC, в которые данные помещаются, начиная с некоторой адресуемой позицией (номера байта), записываемый в PTR, который показывает смещение между началом цикла LOVC и началом цикла HOVC. Это обусловлено необходимостью последующего побайтного мультиплексирования. Таким образом, разнородная нагрузка, помещаемая в VC-n, которые между собой не обязательно согласованы во времени (по фазе), преобразуется в стандартные мультиплексируемые блоки данных. Функцией транспортного блока является подготовка к объединению однородных VC-n в группы.

4. TUG-n – информационная структура, состоящая из одного или нескольких TU-n, занимающих фиксированные позиции в нагрузке VC-n высокого порядка. TUG-n, где n=2 или n=3, является группой идентичных TU-n или TUG-n, позволяющая осуществлять смещение полезной нагрузки для увеличения гибкости транспортной сети. TUG-2 состоит из однородной совокупности TU-11, TU-12 или TU-2, TUG-3 состоит из однородной совокупности TUG-2 или TU-3. При помощи TUG объединяются однородные потоки, находящиеся в TU низкого иерархического уровня в одну группу. Мультиплексирование цифровых потоков осуществляется побайтно.

5. AU-n – информационная структура, состоящая из виртуального контейнера высокого порядка и указателя AU (AU PTR), который занимает фиксированное место в цикле STM-N и показывает смещение кадра VC относительно начала кадра STM-N. AU-n обеспечивает адаптацию между информационной посылкой (VC высокого порядка) и STM-N. Используется для дальнейшего укрупнения блоков данных и передачи (транспортировки) их по физической среде. AU обеспечивает сопряжение уровня трактов высшего порядка и уровня секции мультиплексирования на сетевой модели SDH.

Определены два вида административных блоков: AU-4, состоящий из VC-4 и AU PTR, и AU-3, состоящий из VC-3 и AU PTR.

6. AUG – информационная структура, состоящая из однородной совокупности AU-4 или трех AU-3, занимающая фиксированное положение в нагрузке STM. Три AU-3 объединяются в AUG мультиплексированием с чередованием байтов (byte interleaved

multiplexing), а AU-4 "преобразуется" в AUG без изменений. В результате формируется единый стандартный блок для дальнейшего преобразования в STM-N.

7. STM-N – информационная структура, состоящая из информационной нагрузки и секционного заголовка, объединенных в блочную цикловую структуру с периодом повторения 125 мкс. Данная информация соответственно подготовлена для последовательной передачи со скоростью, синхронизированной с сетью.

STM-N содержит n групп AUG и секционный заголовок (Section Overhead, SOH), с информацией касающейся кадрирования, обслуживания и работы (цифровой синхросигнал, байты оценки вероятности ошибки, каналы для передачи сигналов управления, идентификатор STM, служебные каналы со скоростью передачи 64 кбит/с). SOH состоит из RSOH (Regenerator SOH), формирующегося в регенерационной секции и MSOH (Multiplexer SOH) формирующегося в мультиплексорной секции.

На таблице 11.1 показано размещение вышерассмотренных элементов структуры мультиплексирования на сетевой модели SDH.

Место элементов структуры мультиплексирования на сетевой модели SDH

Таблица.11.1.

	Уровень каналов	E1, E3, E4, DS1, DS2, DS3
	Отображение данных в контейнеры	C11, C12, C2, C3, C4
	Нижшего порядка	VC-11, VC-12, VC-2, VC-3
Уровень трактов	Формирование	TU-N, TUG-N
	Высшего порядка	VC-3, VC-4
	Формирование	AU-3, AU-4, AUG
Уровень среды передачи	Мультиплексорная	Формирование и анализ заголовка MSOH
	Регенерационная	Формирование и анализ заголовка RSOH
	Физическая среда	Передача STM-N

Согласование информации, поступающей в сеть SDH, производится с помощью информационных структур (C-n, VC-n, TU-n, TUG-n, AU-n, AUG, STM-N), также называемыми элементами структуры мультиплексирования. Каждый элемент имеет свою структуру образования, выполняет свои функции и занимает свое место на сетевой модели SDH. При этом процедуры мультиплексирования элементов в технологии SDH являются синхронными и побайтовыми.

2.2. Алгоритм мультиплексирования

Алгоритм объединения информационных элементов или структура мультиплексирования, согласно рекомендации G.907, приведена на рисунке 11.2. Данная схема является обобщенной, с ее помощью можно объединять сигналы всех существующих иерархий PDH, ячейки ATM и другие сигналы, помещая их в VC, имеющих скорости передачи, приведенные в таблице 11.2.

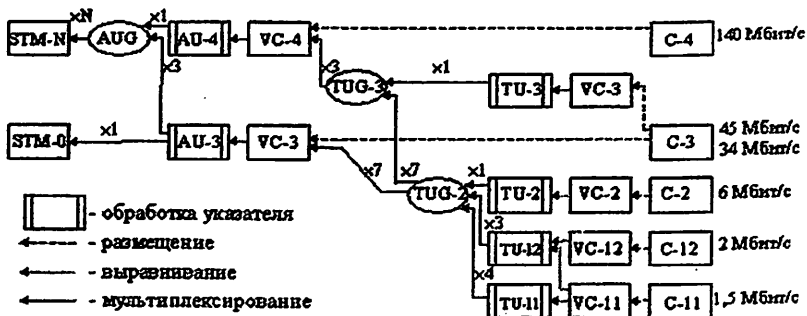


Рис.11.9. Обобщенный алгоритм мультиплексирования SDH

На данном алгоритме в структурах AU и TU производится обработка указателей (pointer processing). Кроме того, выполняются следующие процессы:

SDH - размещение (SDH Mapping). Процедура согласования сигналов нагрузки к виртуальным контейнерам в границах сети SDH. С помощью этой процедуры цифровые потоки согласуются с VC. В SDH используют синхронное и асинхронное размещение.

SDH - мультиплексирование (SDH Multiplexing). Процедура согласования нескольких сигналов уровня трактов низкого порядка к тракту высокого порядка или нескольких сигналов уровня трактов высокого порядка к мультиплексорной секции. Цифры над стрелкой обозначают число объединяемых потоков.

SDH - выравнивание (SDH Aligning). Процедура, посредством которой в транспортный или административный блок вводится информация о величине отступе начала цикла нагрузки от начала цикла обслуживающего сетевого уровня. Процедура позволяет динамично компенсировать изменения скорости и фазы нагрузки TU или AU.

Данный алгоритм позволяет формировать поток STM любого уровня без промежуточного мультиплексирования в потоки STM-1. Так, например, можно получить STM-4 и STM-16 непосредственно из компонентных потоков E1, E3, E4 в любых комбинациях.

Также в структуре алгоритма присутствует STM-0, который содержит 21 поток E1, что значительно расширяет возможности использования технологии SDH в сетях доступа, так как возможно создание дешёвых одноплатных мультиплексоров.

Рассматриваемый алгоритм допускает неоднозначность формирования STM-N из различных компонентных сигналов, поэтому рекомендация G.708 устанавливает следующие правила сетевых соединений:

- при объединениях AUG, одна из которых составлена на основе AU-4, а другая – на основе AU-3, предпочтение отдается первой группе. AUG основанная на AU-3, должна демультиплексироваться до уровня VC-3 или TUG-2 (в зависимости от вида нагрузки) и вновь собираться в AUG по пути TUG-3→VC-4→AU-4;

- при объединениях VC-11, для транспортирования которых можно использовать как TU-11, так и TU-12, предпочтение отдается TU-11. При этом VC-11 может транспортироваться в TU-12 с преобразованием VC-11→VC-12.

Выводы по подразделу

В SDH объединение потоков происходит согласно, утвержденной ITU-T, структуре мультиплексирования, приведенной на рисунке 3.2. Компонентный сигнал, поступающий на данную структуру, вводится в контейнер и далее при помощи операций размещения, мультиплексирования и выравнивания преобразуется в агрегатный модуль STM.

Рассмотренная структура мультиплексирования SDH позволяет:

- объединять сигналы всех существующих иерархий PDH, ячейки ATM, а также другие сигналы и кадры;

- осуществлять ввод/вывод компонентных потоков на уровне трактов без процедуры пошагового мультиплексирования на любой промежуточной станции
- формировать STM-N без промежуточного мультиплексирования в STM-1;
- формировать STM-0, содержащий 21 · E1.

Применение сцепок

Кроме сигналов PDH существует необходимость передавать другие сигналы, скорость которых плохо согласуется со скоростями VC, приведенными в таблице 2.2. Такие сигналы передают в специальных структурах, называемыми сцепками (concatenation).

Под сцепкой понимают процедуру объединения нескольких VC, в результате которой их совокупная емкость может быть использована как один контейнер, в котором обеспечивается целостность последовательности бит. Имеется два вида сцепок – смежные (contiguous) и виртуальные (virtual). Сцепки обоих видов образуют тракт с пропускной способностью, в X раз большей, чем скорость у одиночного контейнера C, но различаются процессами передачи между точками окончания тракта. Сцепки имеют следующее обозначение: VC-n-Xs, где

VC-n – объединяемый VC уровня n;

X – коэффициент сцепки (число объединяемых VC);

s – вид сцепки (с – смежная, v – виртуальная).

Емкость сцепки (скорость передачи информационной нагрузки) определяется по формуле 2.1

$$V_s = V_m \cdot X, \quad (2.1)$$

где V_m – емкость объединяемых VC

При смежной сцепке тракт с требуемой пропускной способностью создается по всей трассе, в каждом сетевом элементе. Смежные сцепки определены для виртуальных контейнеров VC-4 и VC-2. Нагрузка размещается в X соседних блоках AU-4 (для VC-4) или TU-2 (для VC-2). Указатель PTR первого из объединенных блоков обозначает начало сцепки, а указатели остальных блоков сообщают о принадлежности данных блоков к сцепке. Трактовый заголовок POH первого блока обслуживает всю сцепку.

В сцепках VC-4-Xs значение $X=N$, где $N=4,16,64,256$, что соответствует уровням иерархии STM. Емкость смежных сцепок

исходя из формулы 2.1 может быть от $V_S=149760 \cdot 4=599040$ кбит/с при $X=4$ до $V_S=149760 \cdot 64=438338560$ кбит/с при $X=256$.

В сцепках VC-2-Xс значение $X=2 \div 7$, а емкость, соответственно, изменяется от $V_S=6784 \cdot 2=13568$ кбит/с при $X=2$ до $V_S=6784 \cdot 7=47448$ кбит/с при $X=7$. Функцией таких сцепок является заполнение "бреши" между VC-2 и VC-3 ступенями по 6784 кбит/с.

При виртуальной сцепке нагрузка разделяется и передается по отдельным VC. Затем она вновь объединяется в конечном пункте. Таким образом, функции сцепки нужны только в окончаниях тракта. Виртуальные сцепки определены для всех VC-п. Каждый из X виртуальных контейнеров, в которых размещается нагрузка сцепки, имеет стандартный РОН. Поскольку время передачи по сети отдельных VC-п может различаться, при восстановлении сигнала на конце тракта необходимо компенсировать разности задержек контейнеров и расставить их по местам в сцепке.

Емкость виртуальных сцепок VC-4-Xv и VC-3-Xv равна $149760 \cdot X$ кбит/с и $48384 \cdot X$ кбит/с соответственно, где $X=2 \div 256$.

Емкость виртуальных сцепок VC-2-Xv, VC-12-Xv и VC-11-Xv равна $6784 \cdot X$; $2176 \cdot X$; $1600 \cdot X$ кбит/с соответственно, где $X=2 \div 64$.

Сигналы, скорость которых плохо согласуется со скоростями VC, можно передавать при помощи сцепок. Под сцепкой понимают процедуру объединения нескольких VC, в результате которой их совокупная емкость может быть использована как один контейнер, в котором обеспечивается целостность последовательности бит. Сцепки образуют тракт с пропускной способностью, в X раз большей, чем скорость у одиночного контейнера С.

Существует два вида сцепок – смежные и виртуальные. При смежной сцепке тракт с требуемой пропускной способностью создается по всей трассе, в каждом сетевом элементе. При виртуальной сцепке нагрузка разделяется и передается по отдельным VC и затем объединяется в конечном пункте.

Основные принципы мультиплексирования потоков PDH Основные принципы преобразования потоков E1 в STM-1

На рисунке 11.10 приведена цепочка преобразований потока E1 в STM-1

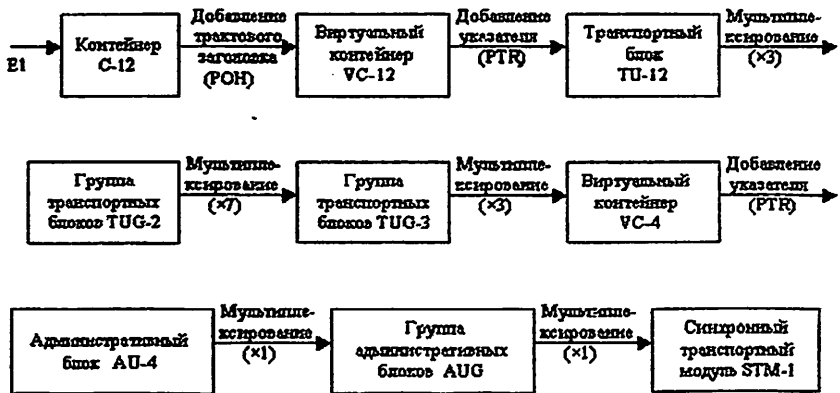


Рис.11.10. Цепочка преобразований потока E1 в STM-1

Поток E1 имеет скорость передачи 2048 кбит/с и состоит из 32 байт, из которых 30 байт несут информационную нагрузку. Контейнер С-12 получается путем добавления к потоку E1 - 2 байт, 1 байт в начало и 1 байт в конец цикла, которые выполняют функции согласования скоростей. При этом период следования импульсов не изменяется: $T=125$ мкс. Скорость передачи любого цифрового можно определить по формуле 2.2.

$$V = \frac{m \cdot N}{T}, \quad (2.2)$$

где $m=8$ – число бит в 1 байте;

N – число байт передаваемого цифрового сигнала;

T – период следования цифрового сигнала.

Для сигналов, имеющих $T=125$ мкс формула 3.2 примет вид:

$$V = 64 \cdot N, \text{ кбит/с} \quad (2.3)$$

Отсюда скорость передачи цикла С-12 будет равна:

$$V = 64 \cdot 34 = 2176 \text{ кбит/с}$$

На рисунке 11.11 рассмотрено получение контейнера С-12 из потока E1

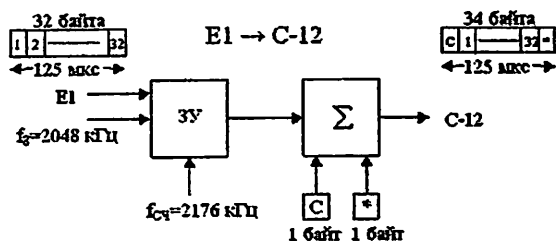


Рис.11.11. Упрощенная структурная схема образования C-12 из E1

3У – запоминающее устройство, представляет собой буферную память, в которой производится изменение частоты передаваемого сигнала с частоты записи ($f_з$) на частоту считывания $f_{сч}$.

Σ – устройство объединения, в котором происходит ввод в сигнал дополнительных байтов;

C – байт, состоящих из битов выполняющих цифровое выравнивание (согласования скоростей);

* – байт, состоящий из балластных битов.

В SDH изображение циклов принято в виде таблиц (матриц), состоящих из n строк и m столбцов, передаваемых за период цикла T . Большинство таких таблиц содержит по 9 строк. Каждый элемент таблицы представляет собой 1 байт (8 бит). Порядок передачи байтов слева направо, а затем сверху вниз, как при чтении страницы. Первый байт цикла расположен в левом верхнем углу таблицы, последний в правом нижнем. Наиболее значащий бит байта передается первым. Контейнер C-12 представленной в виде такой матрицы, показан на рисунке 11.12. В дальнейшем все рассмотренные структуры также будем представлять в виде таких матриц.

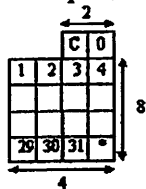


Рис.11.12. Контейнер C-12 в матричной форме

Структура VC-12 формируется путем добавления к C-12 байта трактового заголовка ---FOH. При этом период VC-12: $T=125 \mu\text{с}$, а

скорость передачи: $V = 64 \cdot 35 = 2240$ кбит/с. Формирование VC-12 из C-12 показано на рисунке 11.13.

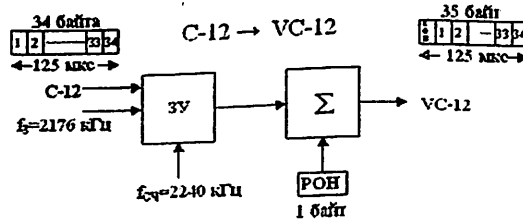


Рис.11.13. Упрощенная структурная схема образования VC-12 из C-12

Рекомендации ITU-T предполагают два варианта размещения потока E1 в контейнере VC-12: асинхронное и синхронное размещение. Асинхронное размещение используется при работе синхронных участков в плезиохронном окружении. Синхронное размещение целесообразно при создании полностью синхронных зон. При синхронном размещении потока E1 используют – байт-синхронное вложение (в ранних рекомендациях ITU-T также было стандартизировано бит-синхронное вложение, однако позже оно было исключено).

При асинхронном режиме размещения потока E1 в VC-12 используется сверхцикл (мультикадр), состоящий из четырех физических циклов, приведенный в виде матрицы на рисунке 11.14, Период сверхцикла: $T = 4 \cdot 125 = 500$ мкс. Сверхцикл содержит 140 байт, скорость передачи сверхцикла

$$V = \frac{8 \cdot 140}{500 \cdot 10^{-6}} = 2240 \text{ кбит/с.}$$

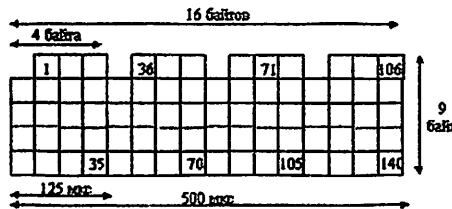


Рис.11.14. Сверхцикл VC-12

При образовании сверхцикла при асинхронном размещении используется двухстороннее (положительное и отрицательное) цифровое выравнивание, которое предназначено для синхронизации сигнала PDH в соответствии с тактовой частотой сигналов SDH. Целью выравнивания заключается в компенсации разности частот в пределах сети SDH. При организации TU-12 в сверхцикл вводятся еще 4 байта, принадлежащие TU PTR. В результате матрица, приведенная на рисунок 11.14 является "заполненной" и представляет структуру 16·9 байт, период следования, которых $T=500$ мкс, а кбит/с.

$$B = \frac{8 \cdot 144}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 2304$$

При байт-синхронном размещении цифровое выравнивание не требуется и понятие сверхцикла не применяется; при формировании TU-12 вместо PTR, добавляется балластный байт.

На рисунке 11.15 приведено формирование цикла TU-12 из VC-12, состоящего из 36 байт, имеющего $T=125$ мкс и $B=2304$ кбит/с.

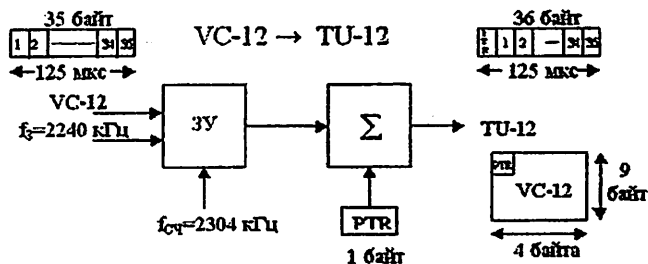


Рис.11.15. Упрощенная структурная схема образования TU-12 из VC-12

Три TU-12 побайтно мультиплексируются в TUG-2, данный процесс приведен на рис. 11.16, занимая фиксированные места во всех 12 (4·3) колонках цикла последнего

TUG-2 состоит из $36 \cdot 3 = 108$ (12·9) байт, имеет $T=125$ мкс и $B = 64 \cdot 108 = 6912$ кбит/с. Образованный TUG-2 содержит 3 потока E1.

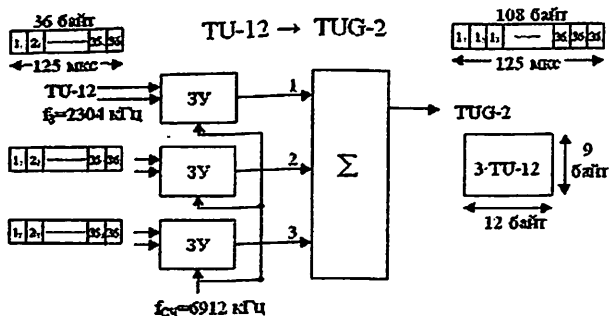


Рис.11.16. Упрощенная структурная схема образования TUG-2 из TU-12

Семь TUG-2 побайтно мультиплексируются в TUG-3, данный процесс приведен на рисунке 2.10, занимая фиксированные места в 84 (12·7) из 86 колонок цикла TUG-3.

Поскольку расположение нагрузки TUG-3 известно, то TU PTR в блоке TUG-3 заменяется на нуль-указатель (Null Pointer Indication, NPI), который указывает, что данный TUG содержит не VC-3, а группы TUG-2. Остальные байты первого столбца и весь второй столбец цикла TUG-3 заполняются фиксированным балластом. Блок TUG-3 содержит $108 \cdot 7 + 2 \cdot 9 = 774$ (86·9) байта, имеет $T=125$ мкс и $B = 64 \cdot 774 = 49536$ кбит/с. Образованный TUG-3 содержит 21 потока E1.

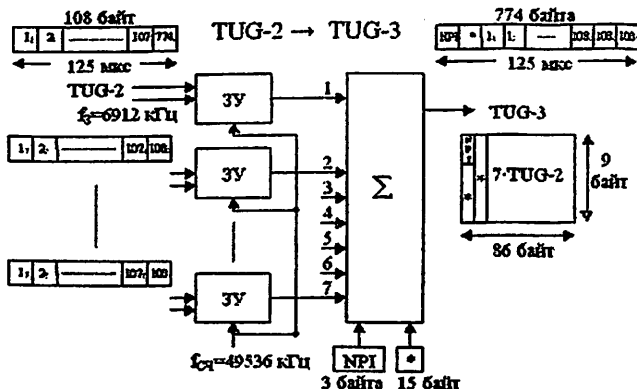


Рис.11.17. Упрощенная структурная схема образования TUG-3 из TUG-2

Три TUG-3 побайтно мультиплексируются в VC-4, данный процесс приведен на рисунке 2.11, занимая фиксированные места в 258 (86·3) из 261 столбцах цикла VC-4. Два предыдущих столбца VC-4 занимает фиксированный балласт, а самый первый – байты трактового заголовка POH. Блок VC-4 содержит $774 \cdot 3 + 3 \cdot 9 = 2349$ (261·9) байт, имеет $T=125$ мкс и $B = 64 \cdot 2349 = 150336$ кбит/с. Образованный VC-4 содержит 63 потока E1.

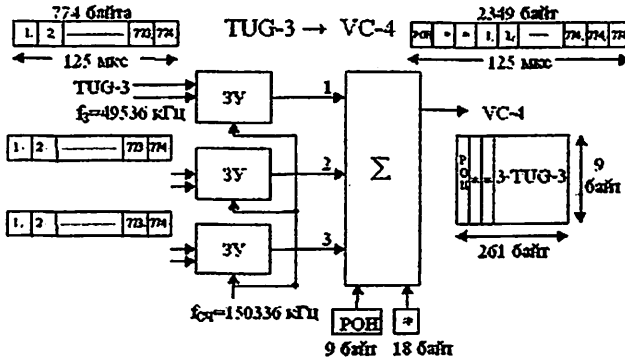


Рис.11.18. Упрощенная структурная схема образования VC-4 из TUG-3

VC-4 преобразуется в AU-4, данный процесс приведен на рисунке 2.12, путем добавления 9 байтов четвертой строки – AU PTR. Блок AU-4 содержит $2349 + 9 = 2358$ байт, имеет $T=125$ мкс и $B = 64 \cdot 2358 = 150912$ кбит/с.

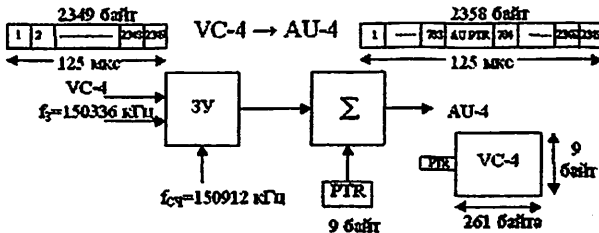


Рис.11.19. Упрощенная структурная схема образования AU-4 из VC-4

В данном примере AU-4 совпадает с AUG.

AUG преобразуется в STM-1, данный процесс приведен на рисунке 2.13, путем добавлением байт SOH (RSOH → 27 байт и MSOH → 45 байт). Блок STM-1 содержит $2358 + 27 + 45 = 2430$ (270·9)

байт, имеет $T=125$ мкс и $B = 64 \cdot 2430 = 155520$ кбит/с. Образованный STM-1 содержит 63 потока E1.

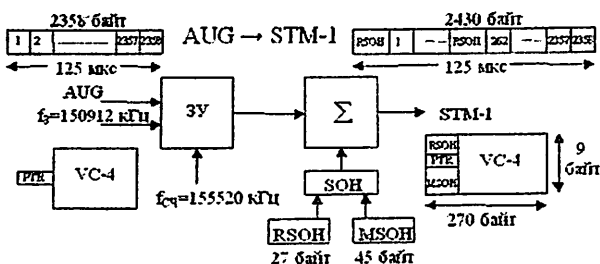


Рис.11.20. Упрощенная структурная схема образования STM-1 из AUG

Основные принципы преобразования потоков E3 в STM-1

Поток E3 состоит из 16 потоков E1, имеет скорость передачи 34368 кбит/с и состоит из 537 байт. Контейнер C-3 содержит 756 (матрица $84 \cdot 9$) байт. В C-3 к введенному потоку E3 добавляется 219 байт, состоящих из битов согласования скоростей и большей частью из балластных битов, данный процесс приведен на рисунке 2.14. При этом обеспечивается как асинхронное, так и синхронное размещение. При синхронном размещении сохраняется целостность байт, и все они занимают фиксированные места в цикле C-3. Контейнер C-3 имеет $T=125$ мкс и $B = 64 \cdot 756 = 48384$ кбит/с.

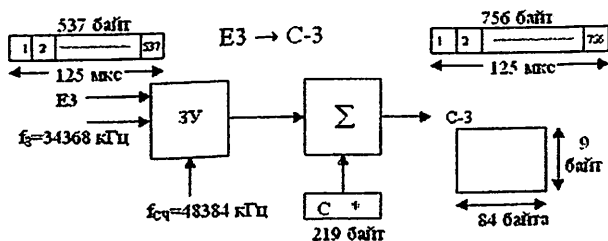


Рис.11.21. Упрощенная структурная схема образования C-3 из E3

Структура VC-3 формируется путем добавления к C-3 9 байтов трактового заголовка POH. VC-3 содержит $756+9=765$ ($85 \cdot 9$) байт, имеет $T=125$ мкс и $B = 64 \cdot 765 = 48960$ кбит/с. Формирование VC-3 из C-3 показано на рисунке 11.22.

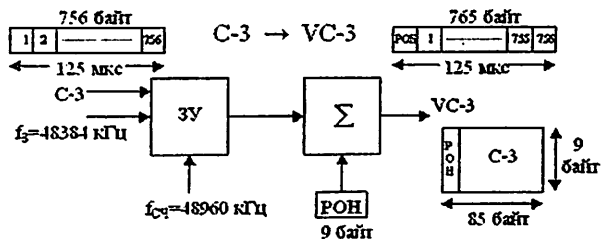


Рис.11.22. Упрощенная структурная схема образования VC-3 из C-3

Далее возможно два варианта формирования STM-1 из VC-3: через AU-4 или через AU-3. На рисунке 11.22 приведена цепочка преобразований потока E3 в STM-1 через AU-4.

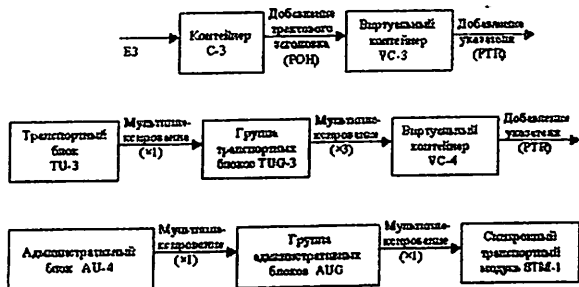


Рис.11.23. Цепочка преобразований потока E3 в STM-1 через AU-4

В данном варианте, VC-3 преобразуется в TU-3 путем добавления 9 байт в первый столбец, 3 верхних из которых принадлежат TU PTR, а 6 нижних являются фиксированным балластом, данный процесс приведен на рисунке 2.17. TU-3 содержит $765+9=774$ ($86 \cdot 9$) байт, имеет $T=125$ мкс и $V=64 \cdot 774=49536$ кбит/с.

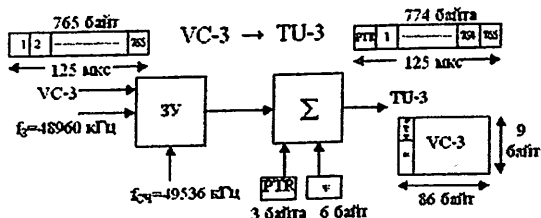


Рис.11.24. Упрощенная структурная схема образования TU-3 из VC-3

TUG-3 содержит один TU-3 и имеет структуру аналогичную структуре TU-3. Далее три TUG-3 побайтно мультиплексируются в VC-4, и следует процедура аналогичная рассмотренной, при формировании STM-1 из потока E1. Образованный, таким образом, STM-1 содержит 48 потока E1.

Рассмотрим вариант преобразования потока E3 в STM-1 через AU-3, цепочка преобразований при котором приведена на рисунке 11.18. Данный вариант преобразования более характерен для размещения потока DS-3 американской плеззиохронной иерархии, но может использоваться и для размещения потока E3, например, на сетях, где существует необходимость применять как поток STM-0, так и поток STM-1

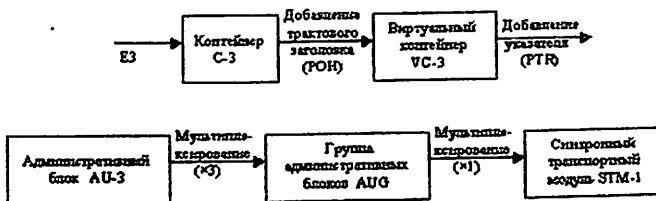


Рис.11.25. Цепочка преобразований потока E3 в STM-1 через AU-3

В данном варианте каждый VC-3 сразу преобразуется в AU-3 путем добавления 3 байт AU PTR, расположенных в начале четвертой строки и 18 балластных байт, вставленных между 29 и 30, а также между 57 и 58 столбцами VC-3, данный процесс приведен на рисунке 11.19. AU-3 содержит $765+3+18=786$ байт, имеет $T=125$ мкс и $B=64*786=50304$ кбит/с.

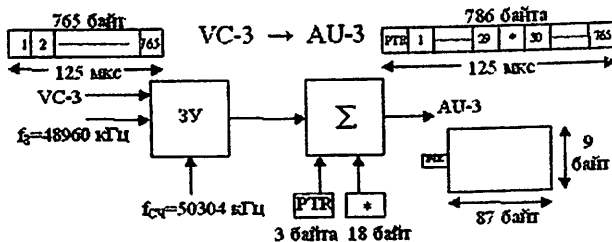


Рис.11.26. Упрощенная структурная схема образования AU-3 из VC-3

AUG получается путем мультиплексирования трех AU-3, данный процесс приведен на рисунке 2.20. При мультиплексировании байты AU-3 чередуются, то есть за байтом первого AU-3 следует байт второго AU-3, а затем третьего. Чередование байтов используется для минимизации задержек при буферизации. AUG содержит $786 \cdot 3 = 2358$ байт, имеет $T = 125$ мкс и $B = 64 \cdot 2358 = 150912$ кбит/с.

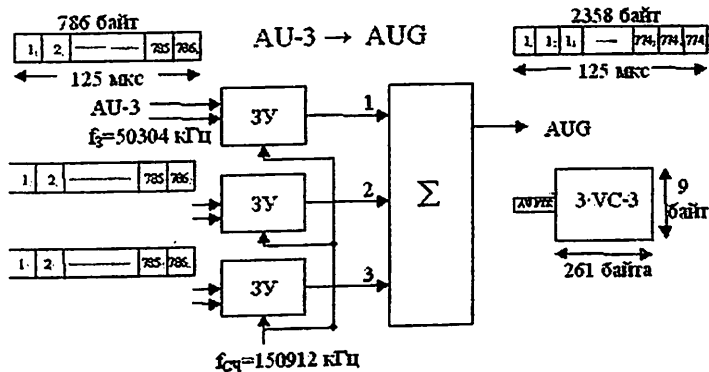


Рис.11.27. Упрощенная структурная схема образования AUG из AU-3

AUG преобразуется в STM-1, аналогично рассмотренному при формировании STM-1 из потока E1

Основные принципы преобразования потока E4 в STM-1

Поток E4 состоит из 64 потоков E1, имеет скорость передачи 139264 кбит/с и состоит из 2176 байт. Цепочка преобразований потока E1 в STM-1 приведена на рисунке 11.21.

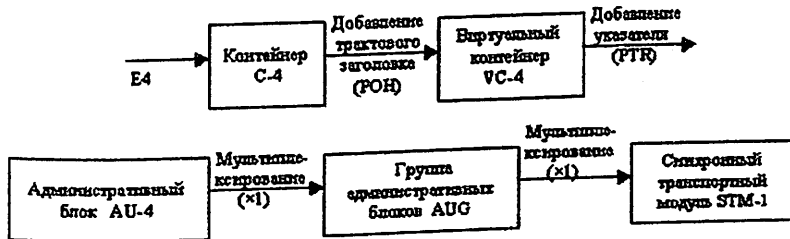


Рис.11.28. Цепочка преобразований потока E4 в STM-1

Контейнер С-4 содержит 2340 (матрица 260·9) байт. В С-4 к введенному потоку Е4 добавляется 164 байта, состоящих из битов согласования скоростей и балластных битов, данный процесс приведен на рисунке 11.29. При размещении Е4 в С-4 используется только отрицательное выравнивание. Контейнер С-4 имеет $T=125$ мкс и $B = 64 \cdot 2340 = 149760$ кбит/с.

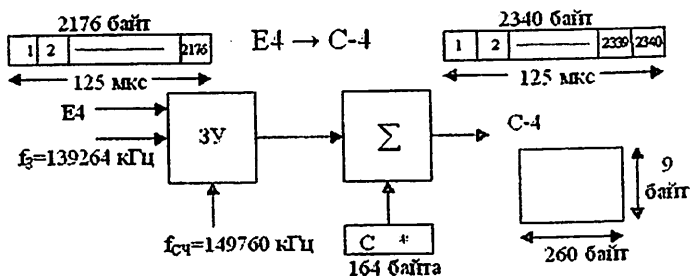


Рис.11.29. Упрощенная структурная схема образования С-4 из Е4

Структура VC-4 формируется путем добавления к С-4 9 байтов трактового заголовка РОН. VC-4 содержит $2340+9=2349$ (261·9) байт, имеет $T=125$ мкс и $B = 64 \cdot 2349 = 150336$ кбит/с. Формирование VC-4 из С-4 показано на рисунке 11.30.

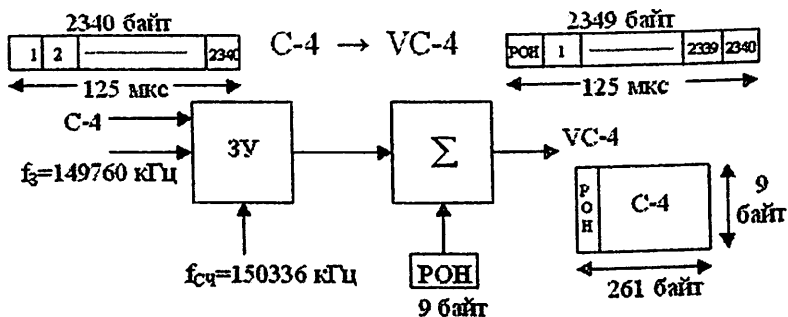


Рис.11.30. Упрощенная структурная схема образования VC-4 из С-4

Далее VC-4 преобразуется в AU-4 и следует процедура аналогичная рассмотренной при формировании STM-1 из потока Е1. Образованный, таким образом, STM-1 содержит 64 потока Е1.

Структура мультиплексирования SDH позволяет преобразовывать потоки E1, E3, E4 европейской PDH в поток STM-1.

При формировании потока STM используются следующие пути:

E1: C12→VC-12→TU-12→TUG-2→TUG-3→VC-4→AU-4→AUG→STM-1;

E3: C3→VC-3→TU-3→TUG-3→VC-4→AU-4→AUG→STM-1
или

C3→VC-3→AU-3→AUG→STM-1;

E4: C4→VC-4→AU-4→AUG→STM-1.

Возможно асинхронное и синхронное размещение потоков PDH в структуре мультиплексирования SDH. Все элементы структуры мультиплексирования (контейнеры, блоки, модули) имеют фиксированное количество байт, "пустое место" заполняется балластными байтами. Элементы структуры мультиплексирования часто представляют в виде матрицы состоящих из n строк и m столбцов, передаваемых за период цикла $T=125$ мкс. При асинхронном размещении потока E1 применяется сверхцикл с периодом следования 500 мкс. Все операции мультиплексирования являются побайтовыми. Скорость передачи цикла определяется как:

$$V=64*N, \text{ кбит/с.}$$

Поток STM-1 может максимально содержать 63 потока E1, 3 потока E3 или поток E4.

Структура цикла STM. Структура цикла STM-1

Цикл или кадр (frame) STM-1, обычно представляют в виде матрицы, (270·9 байт), приведенной на рисунке 11.31, имеющей длительность $T=125$ мкс и скорость передачи $V=155520$ кбит/с.

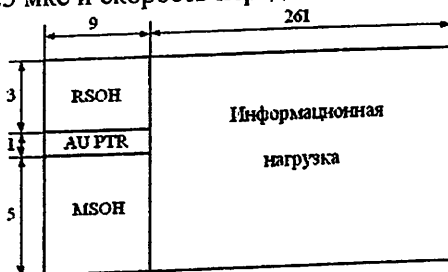


Рис.11.31. Структура цикла STM-1

Первые 9 столбцов цикла STM-1 ($9 \cdot 9=81$ байт) несут служебные сигналы. Строки 1-3 занимает заголовок RSOH ($9 \cdot 3=27$ байт), а строки 5-9 заголовок – MSOH ($9 \cdot 5=45$ байт). Четвертая строка

отведена для AU PTR (9·1=9 байт). Остальные 261 столбцов цикла (261·9=2349 байт) предназначены для информационной нагрузки.

Данную структуру можно развернуть в виде одномерной выборки с периодом следования $T=125$ мкс, состоящей из 2430 байт. Такая развертка, представленная на рисунке 11.32, осуществляется построчно с 1 строки по 9.

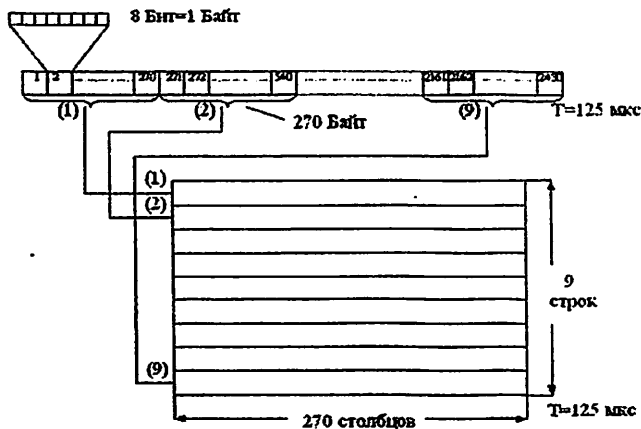


Рис.11.32. Соответствие между одномерной и матричной структурами цикла STM-1

Структура цикла STM-N

Структура цикла STM-N, представленная в виде матрицы, приведена на рисунке 11.33. Данная матрица имеет формат 9 строк на $270 \cdot N$ столбцов (2430·N байт), имеет длительность $T=125$ мкс и скорость передачи $B=155520 \cdot N$ кбит/с.

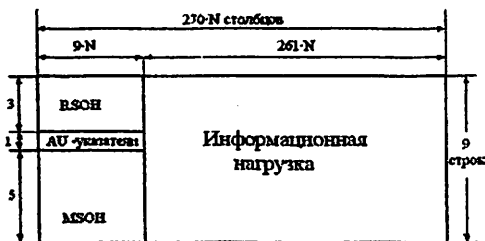


Рис.11.33. Структура цикла STM-N

STM-N всех уровней иерархий построены аналогично. 1/30 часть цикла STM-N занимают служебные сигналы (RSOH – $9 \cdot 3 \cdot N = 27 \cdot N$ байт, MSOH – $9 \cdot 5 \cdot N = 45 \cdot N$ байт, AU PTR – $9 \cdot 1 \cdot N = 9 \cdot N$ байт), остальные байты предназначены для информационной нагрузки.

STM-N образуется путем мультиплексирования STM-1, которое может осуществляться двумя способами: покаскадно и непосредственно. При покаскадном мультиплексировании поток STM более высокого уровня иерархии получается путем объединения 4 STM предыдущего уровня иерархии, то есть, возможны следующие преобразования – $4 \cdot \text{STM-1} \rightarrow \text{STM-4}$; $4 \cdot \text{STM-4} \rightarrow \text{STM-16}$; $4 \cdot \text{STM-16} \rightarrow \text{STM-64}$; $4 \cdot \text{STM-64} \rightarrow \text{STM-256}$.

При непосредственном мультиплексировании поток STM-N можно получить путем объединения N потоков STM-1, то есть преобразованием $N \cdot \text{STM-1} \rightarrow \text{STM-N}$, где $N=16, 64, 256$.

При непосредственном мультиплексировании используется чередование байтов, а при каскадном чередование групп байтов, при чем число байт в группе равно кратности мультиплексирования предыдущего каскада. Сравнение покаскадного и непосредственного мультиплексирования приведено на рисунке 11.34.

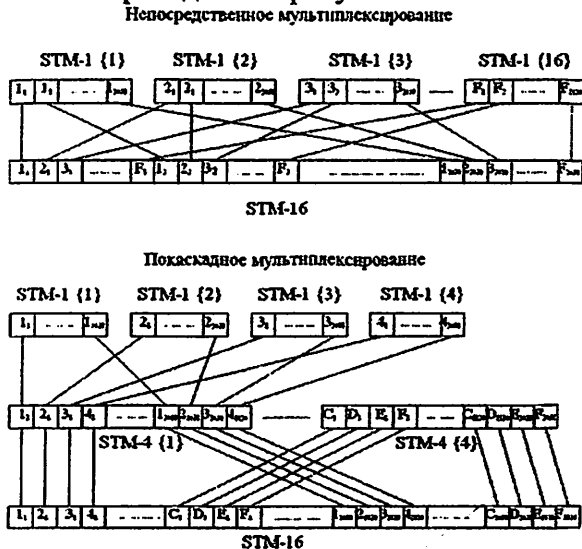


Рис.11.34. Сравнение непосредственного и покаскадного мультиплексирования на примере формирования STM-16

Цикл STM-1, который можно представить в одномерной или матричной форме имеет период следования $T=125$ мкс, скорость передачи $V=155520$ кбит/с и состоит из 2430 байт. Из 2430 байт – 2349 предназначены для информационной нагрузки, а 81 несут служебные сигналы.

Цикл STM-N состоит из $2430 \cdot N$ байт, имеет длительность $T=125$ мкс и скорость передачи $V=155520 \cdot N$ кбит/с. При этом STM-N всех уровней иерархий строятся аналогично. STM-N можно образовать из STM-1 путем каскадного или непосредственного мультиплексирования.

Практическая работа №12

БАЗОВЫЕ ТОПОЛОГИИ СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ (SDH): ТОЧКА-ТОЧКА, КОЛЬЦО, ЯЧЕЙКА

12.1. Цель занятия

Сформировать навыки организации сети с синхронной цифровой иерархией (SDH) на основе базовых топологий - точка-точка, кольцо, ячеистая топология.

12.2. Задание

12.2.1. При подготовке к обучению необходимо изучить следующие учебные материалы и подготовить ответы на контрольные вопросы раздела 11.3 (ответить письменно на 4 из них):

Для параграфов 12.3.1-12.3.7: учебный материал описан на страницах 95-97 в [12.1], на страницах 242-246 в [12.2] и на страницах 60-78 в [12.3].

12.2.2. Начертите топологию вашего района на основе расположения телекоммуникационных станций и автомагистралей и подготовьте отчет с описанием характеристик этой топологии.

12.3. Контрольные вопросы:

12.3.1. Какие основные топологии синхронной цифровой иерархии вы знаете?

12.3.2. Как организована топология «точка-точка»?

12.3.3. Как устроена топология последовательной линии?

12.3.4. Когда я могу использовать топологию «звезда», которая использует функцию концентратора?

12.3.5. Как организована кольцевая топология?

12.3.6. Когда я могу использовать топологию ячеек?

12.3.7. Какую топологию следует использовать в синхронных цифровых сетях?

12.4. Выводы по занятию

Приобретение навыков построения оптических сетей на основе топологий.

12.5. Используемая литература

12.1. Дмитриев С.А., Слепов Н.Н. Волоконно – оптическая техника: Современное-состояние и перспективы. - 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей. - М.: ООО "Волоконно – оптическая техника", 2005.

12.2. Фриман Р. Волоконно–оптические системы связи: Перевод с английского под ред. Н.Н. Слепова.–М.: Техносфера, 2003.

12.3. Е. Б. Алексеев, В. Н. Гордиенко, В. В. Крухмалев и др. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов / Под редакцией В. Н. Гордиенко и М. С. Тверецкого. - М.: Горячая линия - Телеком, 2008.

12.6. Инструкция по выполнению пункта 2 задания.

Теоретическая часть.

Базовые топологии синхронной цифровой иерархии (SDH)

Построение сетей SDH состоит из нескольких этапов, каждый этап процесса проектирования решает различные функциональные вопросы, вытекающие из технических требований. Эти вопросы включают выбор сетевой структуры, идентификацию устройств в сетевых узлах в зависимости от структуры выбранной сети, управление сетью и синхронизацию. Эти проблемы могут быть легко решены, если известны основные стандартные топологии. Итак, давайте посмотрим на основные топологии, используемые в сетях SDH, и их особенности.

Топология точка-точка

Сегмент сети или топология «точка-точка», которая соединяет два узла, А и В, является простейшей из основных топологий SDH. Эта топология позволяет создавать выходные и входные линии и каналы оптических агрегатов с использованием оконечных мультиплексоров (ТМ) без резервирования и резервирования. Если выходные или входные каналы электрических или оптических блоков выходят из строя, они могут быть автоматически подключены к резервному каналу за несколько миллисекунд, используя 100% резервный тип 1 + 1.

Несмотря на свою простоту, эта топология широко используется на высокоскоростных магистральных линиях (например, на

межокеанских магистральных линиях, обслуживающих цифровой телефонный трафик). Эта топология также используется для тестирования при переключении на новые скорости SDH в более высокой иерархии (например, для переключения с 622 Мбит / с (STM-4) на 2,5 Гбит / с (STM-16) или 2,5 Гбит / с (STM-16) до 10 Гбит / с (STM-64)).

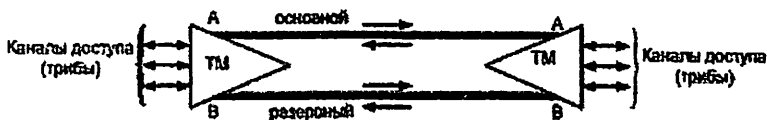


Рис.12.1. Топология точка-точка на основе терминального мультиплексор

Та же самая топология используется как часть топологии радиального цикла и формирует основу топологии «последовательной линии», в то время как резервную топологию «точка-точка» можно рассматривать как распределенную топологию «петля».

Топология последовательной линии

Эта топология может использоваться при использовании мультиплексоров, например, при использовании мультиплексоров, когда мультиплексоры ввода / вывода необходимы в точке разделения / подключения, когда сетевой трафик не очень активен и необходимо организовать входные и выходные каналы в нескольких частях сети. Эту топологию можно рассматривать как цепочку последовательных линий без резерва или как сложную цепочку последовательных линий с резервом типа 1 + 1. (Рисунок 12.2).



Рис.12.2. Топология последовательной цепи

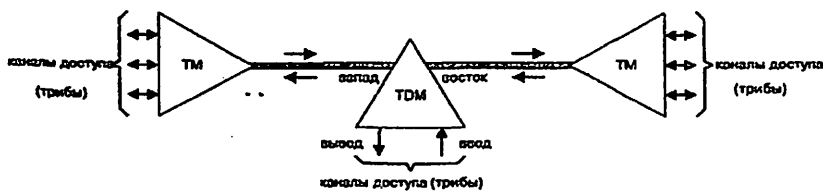


Рис.12.3. Топология «последовательная линия» с защитой типа 1 + 1

Топология “звезда”, использующая функцию концентратора

В такой топологии центр коммутации (например, цифровая AS) или удаленный сетевой узел, подключенный к узлу SDH в центральном кольце, действует как концентратор. В таком узле часть трафика распределяется между пользователями, а остальная часть - другим узлам в сети. Концентраторы должны быть активными и интеллектуальными для выполнения такой задачи, то есть они должны иметь мультиплексор ввода / вывода, который выполняет перекрестную коммутацию. В некоторых случаях такие схемы называют оптическими концентраторами, если на вход таких схем подается неполный ток STM-N (или на одну ступень ниже токов), а на выходе - полный поток STM-N. Фактически, такая топология напоминает топологию «звездочка», в которой мультиплексор SDH используется в центральном узле (рисунок 12.4).

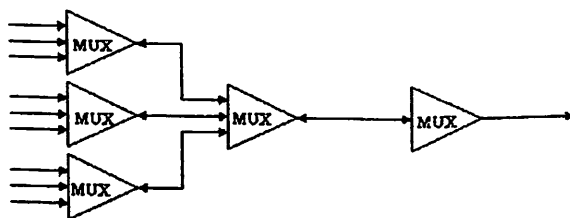


Рис.12.4. Топология звезды, которая действует как концентратор.

Кольцевая топология

Одной из замечательных особенностей кольцевой топологии является ее способность к самовосстановлению в случае сбоя сети.

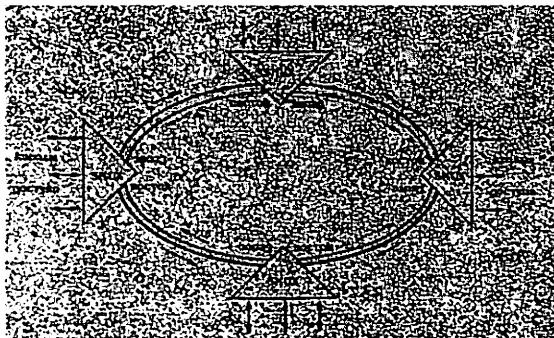


Рис.12.5. Кольцевая топология

Основное преимущество этой топологии состоит в том, что она легко выполняет защиту типа 1 + 1. Причиной такой защиты является наличие двух пар выходных (основной и резервной) оптических блоков в синхронных мультиплексорах (SMUX), называемых «восток-запад» и образующих два контура потоков в противоположных направлениях (рисунок 12.5).

Поэтому при проектировании сетей SDH структура транспортных сетей организована как отдельный элемент топологических сетей, описанных выше. Обычно петлевые топологии используются в сочетании с дугowymi топологиями «точка-точка» или «последовательная линия». В качестве примера на рисунке 12.6 показана архитектура «точка-точка» и «кольцо».

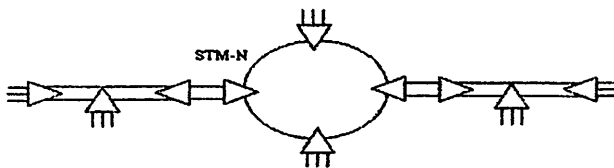


Рис.12.6. Точечная и кольцевая сеть SDH

Как видите, для построения этой сети использовались две топологии «петля» и «последовательная линия».

Наиболее часто используемые топологии «кольцо-петля» в сетевой архитектуре SDH. В таких соединениях кольца могут быть одинаковыми или находиться на разных уровнях иерархии SDH. На

рисунке 12.7 показано соединение двух колец на уровне STM-4 с использованием интерфейсных карт STM-1.

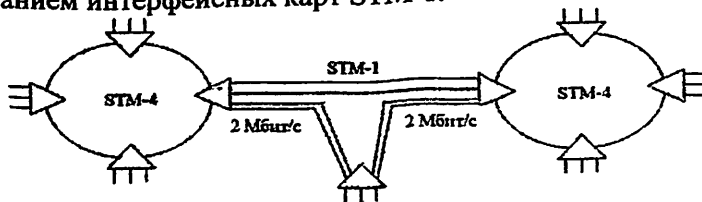


Рис.12.7. Схема соединения двух колец, расположенных на одном уровне (STM-4), с помощью интерфейсных портов

Топология ячейки

Кольцевая топология состоит из мультиплексоров ввода / вывода, а центр топологии соты и ее элементы - это оперативное соединительное оборудование (OCA) (рисунок 12.8).

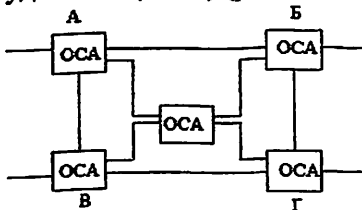


Рис.12.8. Ячейстой топологии

Оперативная соединяющие аппаратура (OCA) распределяет полученные информационные записи, заголовки маршрутов виртуальных контейнеров VC-3, VC-4 в соответствующем направлении. Преимущество топологии с этой опцией заключается в том, что каждое направление имеет свою собственную нагрузку и скорость передачи. Кроме того, в случае прерывания в одном или нескольких направлениях связь между соответствующими точками не будет прервана. В топологии "ячейка" чем больше соединение, тем выше надежность сотового оборудования.

Практическая работа №13

РАСЧЕТ ДЛИНЫ УЧАСТКА РЕГЕНЕРАЦИИ ВОСП НА ОСНОВЕ SDN И ОРГАНИЗАЦИЯ СВЯЗИ

13.1. Цель работы

Изучить линейный тракт цифровых волоконно-оптических систем связи, принцип построения оптического регенератора, рассчитать длину участка регенерации и сформировать навыки организации связи.

13.2. Задание к работе

13.2.1. При подготовке к занятию необходимо изучить следующие учебные материалы и подготовить ответы на контрольные вопросы (КВ), приведенные в параграфе 13.3 (ответы на 6 вопросов из них должны быть изложены письменно):

К пунктам КВ: 13.3.1.-13.3.7. Учебный материал изложен на страницах 275-281 [13.1], на страницах 95-100 [13.2], на стр. 186-190 [13.3], [13.4] Описаны на страницах 140-143.

К пунктам КВ: 13.3.8-13.3.13. Учебный материал изложен на страницах 158-180 [13.1], на страницах 100-106 [13.2], на страницах 191-200 в [13.3].

К пунктам КВ: 13.3.13.19. Учебный материал изложен на страницах 136-149 [13.4] и 108-124 [13.5].

К пункту КВ: 13.3.17. Учебный материал изложен на страницах 133-144, [13.1].

13.2.2. Определить значения параметров, показанных в последнем столбце таблицы 2-12 для вашего варианта (п), в соответствии с параметрами, указанными в столбцах таблицы 13.1.

Таблица 13.1. Варианты домашних заданий

№	ν_0 , бит/с	Δn , дБ	Тип источник излуче- ния	$\Delta \lambda$, нм	Тип фото- прие- мника	$L_{тр}$, км	α , дБ/км	τ_n , пс/нм· км	$L_{св}$, км	СТК	ΔT , град	Параметры, оптического линейного тракта, значения которых следует Определить
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	$8,5 \cdot 10^6$	42	СД	30	ФАПЧ	200	0,35	6	2	да	10	$I_{ру}$, $\nu_{ш.с}$, $\nu_{ру}$, τ_s

					ФД							$I_{ру. макс}, N_{лр}$
2	$34 \cdot 10^6$	40	ЛД	0,5	p-i-n ФД	225	0,28	7	4	нет	15	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
3	$140 \cdot 10^6$	34	ЛД	1	КФД	250	0,21	4	6	да	20	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
4	$8,5 \cdot 10^6$	43	ЛД	0,4	p-i-n ФД	275	0,3	2,5	2	нет	25	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
5	$155 \cdot 10^6$	34	ЛД	1	p-i-n ФД	300	0,19	5	4	да	30	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
6	$622 \cdot 10^6$	39	ЛД	0,5	КФД	325	0,25	8	6	нет	10	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
7	$2,5 \cdot 10^9$	28	ЛД	0,6	КФД	350	0,2	3	2	да	15	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
8	$8,5 \cdot 10^6$	43	СД	40	p-i-n ФД	150	0,29	4,5	4	нет	20	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
9	$34 \cdot 10^6$	40	ЛД	0,45	p-i-n ФД	400	0,27	2	6	да	25	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
10	$140 \cdot 10^6$	34	ЛД	0,3	КФД	175	0,22	5,5	2	нет	30	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
11	$155 \cdot 10^6$	34	ЛД	0,5	p-i-n ФД	450	0,21	3,5	4	да	10	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
12	$622 \cdot 10^6$	45	ЛД	0,25	КФД	425	0,23	8,5	6	нет	15	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
13	$2,5 \cdot 10^9$	29	ЛД	0,2	КФД	375	0,24	6,5	2	да	20	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
14	$8,5 \cdot 10^6$	43	СД	25	p-i-n ФД	125	0,26	8	4	нет	25	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
15	$34 \cdot 10^6$	40	ЛД	0,35	p-i-n ФД	500	0,31	7,5	6	да	30	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
16	$140 \cdot 10^6$	34	ЛД	0,5	p-i-n ФД	475	0,32	9	2	нет	10	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$
17	$155 \cdot 10^6$	34	ЛД	0,4	p-i-n ФД	550	0,33	10	4	да	15	$I_{ру}, P_{пр.с}, \lambda_{ру}, \tau,$ $I_{ру. макс}, N_{лр}$

При составлении таблицы 13.1 использованы следующие обозначения: V_0 – скорость передачи оптического сигнала по линии; \mathcal{E}_n – энергетический потенциал; СД – светоизлучающий диод; ЛД – лазерный диод; $\Delta\lambda$ – ширина спектра излучения; ФД – фотодиод; ЛФД – лавинный фотодиод; $L_{оп}$ – длина волоконно-оптического

линейного тракта связи; τ_n – нормализованная дисперсия; $L_{сд}$ – строительная длина оптического кабеля; СКТ – схема компенсации температуры; $n_{вр.с}$ – число неразъёмных соединителей; α_{py} – затухание в регенерационном участке; l_{py} – длина регенерационного участка; $l_{py,max}$ – максимальная длина регенерационного участка, $N_{лр}$ – количество линейных регенераторов.

13.3. Контрольные вопросы:

- 13.3.1. Дайте определение линейному тракту цифровых волоконно-оптических систем связи.
- 13.3.2. В чём заключается разница в использовании регенераторов и оптических усилителей в оптическом линейном тракте связи?
- 13.3.3. В каких целях используется регенераторы в оптических линейных трактах?
- 13.3.4. Какими специфическими свойствами обладают оптические регенераторы?
- 13.3.5. Поясните процессы регенерации оптических сигналов.
- 13.3.6. Поясните обобщенную структурную схему цифровых оптических регенераторов.
- 13.3.7. Поясните устройство и принцип работы оптических регенераторов на основе временных диаграмм.
- 13.3.8. Какими свойствами обладают оптические усилители?
- 13.3.9. Какие типы оптических усилителей Вы знаете?
- 13.3.10. Приведите количественное соотношение, выражающее длину регенерационного участка волоконно-оптического тракта и поясните его сущность.
- 13.3.11. Через какие параметры оптического волокна проверяется правильность выбора длины регенерационного участка?
- 13.3.12. Каким количественным соотношением определяется число неразъёмных оптических соединителей?
- 13.3.13. Дайте определение понятию энергетического потенциала.
- 13.3.14. Какие факторы влияют на качество передачи сигналов в волоконно-оптическом линейном тракте?
- 13.3.15. Каким количественным соотношением определяются суммарные потери в регенерационном участке?

13.4. Подведение итогов к практическому занятию

Изучены учебные материалы, относящиеся к линейному тракту волоконно-оптических систем связи (ВОСС). Приобретены практические навыки по расчету длины регенерационного участка и по построению линейного тракта ВОСС.

13.5. Используемая литература

13.1. Фриман Р. Волоконно–оптические системы связи: Перевод с английского под ред. Н.Н. Слепова–М.: Техносфера, 2003. -380 с.

13.4. Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н., Исаев Р.И. и др. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов/ Под ред. Иванова В.И.- 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.

13.5. Е. Б. Алексеев, В. Н. Гордиенко, В. В. Крухмалев и др. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов / Под редакцией В. Н. Гордиенко и М. С. Тверецкого. - М.: Горячая линия - Телеком, 2008.

13.6. Инструкция по выполнению пункта 2 задания

Если учесть потери в линейном тракте за счет затухания оптического излучения в процессе распространения по оптическому волокну расчет длины регенерационного участка определяется следующим количественным соотношением:

$$l_{py} \leq (\mathcal{E}_п - a_{p.c.} \cdot n_{p.c.} - a_{н.с.} \cdot n_{н.с.} - a_l - a_o) / \alpha, \quad (13.6.1)$$

где $\mathcal{E}_п = P_{пер} - P_{пр}$ – разность между уровнями передаваемого и принимаемого оптического сигнала, она выражает энергетический потенциал оптической системы передачи и измеряется в дБ (значение $\mathcal{E}_п$ задается соответствующим вариантом);

α - коэффициент затухания оптического волокна, дБ/км (его значение задается соответствующим вариантом);

$n_{p.c.}$ – число разъемных соединителей (оно равно 2 и устанавливаются на входе и выходе оптического волокна);

$a_{p.c.}$ – потери на разъемных соединителях, $a_{p.c.} = 0,25$ дБ;

$n_{н.с.}$ – число неразъемных соединителей (оно равно 2 и устанавливаются на входе и выходе оптического волокна);

$a_{н.с.}$ – потери на неразъемных соединителях, $a_{н.с.} = 0,25$ дБ;

a_t – значение потерь в оптическом волокне, связанных с изменением температуры окружающей среды;

a_b – значение потерь, связанных с ухудшением характеристик компонентов (источника излучения, кабеля, фотоприемника) регенерационного участка со временем, дБ;

Значения a_t и a_b определяются из таблиц 13.1. и 13.2. соответственно.

Заметим, что в количественном соотношении (13.6.1) число неразъемных соединителей определяется следующим образом:

$$n_{н.с.} = l_{py} / l_{cd} - 1, \quad (13.6.2)$$

где l_{cd} – строительная длина кабеля, км (её значения задаётся соответствующим вариантом);

Подставляя (13.6.2) в (13.6.1) приходим к следующему соотношению:

$$l_{py} \leq [\alpha_{п} - a_{p.c.} \cdot n_{p.c.} - a_{н.с.} (l_{py} / l_{cd} - 1) - a_t - a_b] / \alpha$$

или

$$l_{py} \leq (\alpha_{п} - a_{p.c.} \cdot n_{p.c.} + a_{н.с.} - a_t - a_b) / (\alpha + a_{н.с.} / l_{cd}) \quad (13.6.3)$$

Значения потерь, возникающих в результате изменения параметров волоконно-оптических систем передачи в зависимости от температуры окружающей среды приведены в таблице 13.1:

Таблица 13.1

Значения потерь, возникающих в результате изменения параметров волоконно-оптических систем передачи в зависимости от температуры

Применение схемы компенсирующей изменения температуры	Изменение температуры, ΔT°	Значения потерь a_t , дБ
Нет	10.....30	4
Нет	10	2
Да	10.....30	1
Да	10	0

Из начальных сведений исходя из типов источника излучения и фотоприемника (согласно своему варианту) из таблицы 13.2 определяется значения a_p .

Таблица 13.2.

Значения потерь, возникающих в результате деградации со временем и в зависимости от комбинации источника излучения и фотоприемника.

Комбинация источника излучения и фотоприёмника	СД+ р-і-п ФД	СД+ЛФД	ЛД+ р-і-п ФД	ЛД+ЛФД
$a_p, дБ$	2.....3	3....4	4....5	4.....6

Используя полученные значения из (13.6.3) определяется длина регенерационного участка, а затем исходя из (13.6.2), число неразъёмных соединителей $n_{н.с.}$.

Правильность выбора длины регенерационного участка проверяется по сумме потерь и дисперсии. Суммарная потеря на регенерационном участке λ_{py} определяется по формуле:

$$\lambda_{py} = \alpha l_{py} + n_{pc} \cdot a_{pc} + n_{н.с.} \cdot a_{н.с.} + a_{\theta} + a_l, \quad (13.6.4)$$

при этом должно выполняться условие

$$\lambda_{py} \leq \Delta_n, \quad (13.6.5)$$

в обратном случае приходим к неверному результату.

Правильность длины регенерационного участка проверяется также по дисперсионным свойствам оптического волокна. Зная дисперсию оптического волокна определим максимальную длину регенерационного участка из следующей формулы:

$$l_{py, max} = 0,25 / \tau \cdot B, \quad (13.6.6)$$

где B – скорость передачи в линии тракта, бит/с; линейные коды типа mVnV приводят к увеличению тактовой частоты в n/m раз, например, при применении кодов 1В2В, 2В4В тактовая частота, соответственно и скорость передачи сигналов увеличивается в 2 раза:

$$2B = 2B_0, \text{ бит/с,}$$

где τ - среднее квадратичное значение дисперсии оптического волокна, с/км.

Нормированное среднее квадратичное значение дисперсии τ_n , одномодового оптического волокна измеряется в нс/(нм*км) или пс/(нм*км).

В таком случае значение τ определяется следующим образом:

$$\tau = K * \Delta\lambda * \tau_n, \quad (13.6.7)$$

здесь, если единицы измерения τ_n заданы в нс/(нм*км), то $K=10^{-12}$, если единицы измерения τ_n заданы в пс/(нм*км), то $K=10^{-9}$.

$\Delta\lambda$ - ширина полосы оптического излучения, нм (её значение задается в соответствующем варианте).

Полученные на основе расчета длина регенерационного участка должна удовлетворить условие

$$l_{\text{румакс}} \geq l_{\text{ру}} \quad (13.6.8)$$

Если рассчитанная длина регенерационного участка $l_{\text{ру}}$, не соответствует условиям (13.6.5) и (13.6.8), то её следует рассчитать повторно.

По итогам проведенного расчета следует разместить оптические соединители (рис.13.1) в регенерационном участке и построить схему трассы (рис.13.2). Для этого необходимо определить количество линейных регенераторов, которые необходимо установить на линии:

$$N_{\text{лр}} = (L_{\text{лр}} / l_{\text{ру}}) - 1, \quad (13.6.9)$$

где $L_{\text{лр}}$ - длина линейного тракта, км (её значение задается в соответствующем варианте);

$l_{\text{ру}}$ - рассчитанная длина регенерационного участка, км.

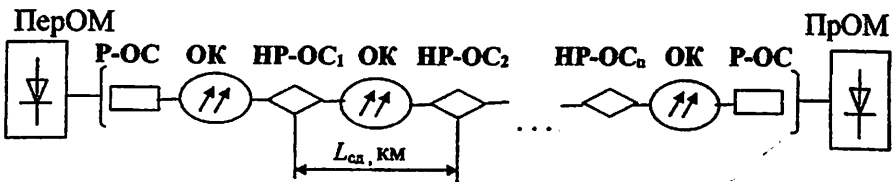


Рис.13.1.Схема построения рассчитанного регенерационного участка.

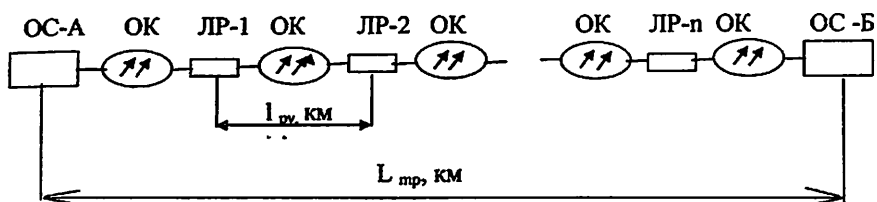


Рис.13.2. Схема размещения регенераторов в волоконно – оптическом линейном тракте.

Приведем пример по решению задания 13:

Пусть заданы следующие исходные параметры цифровой волоконно-оптической системы связи:

1.	Скорость передачи	V_0 , бит/с	$155 \cdot 10^6$
2.	Энергетический потенциал	\mathcal{E}_n , дБ	34
3.	Тип источника излучателя		ЛД
4.	Ширина спектра излучения	$\Delta\lambda$, нм	3
5.	Тип фотоприемника		p-i-n ФД
6.	Длина линейного тракта волоконно-оптической связи	$L_{тр}$, км	614
7.	Коэффициент затухания	α , дБ/км	0.22
8.	Нормированная дисперсия	T_n , с/нм*км	5
9.	Строительная длина кабеля	$L_{кв}$, км	4
10.	Применение СКТ		Да
11.	Изменение температуры	ΔT^0	20

Следует определить числовые значения следующих параметров, характеризующих линейный тракт цифровой волоконно-оптической системы связи:

$$l_{ру}, n_{н.р.с}, a_{ру}, \tau, l_{ру.макс}, N_{лр}$$

Решение задачи:

Как даны в указаниях по выполнению заданий $a_{р.с} = 0,25$ дБ;
 $a_{н.р.с} = 0,05$ дБ; $n_{р.с} = 2$.

Из таблицы 13.1 и 13.2 : $a_t = 1$ дБ; $a_b = 4$ дБ.

Из соотношения (13.6.3) определяем длину регенерационного участка:

$$l_{py} \leq (34 - 0,25 * 2 + 0,05 - 1 - 4) / (0,22 + 0,05/4); \text{ км.}$$

$$l_{py} \leq 122,8 \text{ км.}$$

Из соотношения (13.6.2) рассчитаем количество неразъемных соединителей:

$$N_{н.р.с} = 122,8/4 - 1 = 29,7 \approx 30$$

Из соотношения (13.6.4) определяем суммарную потерю в рассчитанном регенерационном участке:

$$a_{py} = 0,22 * 122,8 + 2 * 0,25 + 30 * 0,05 + 1 + 4 \approx 34 \text{ дБ.}$$

$$a_{py} \leq \Delta_n \text{ условие выполнено, то есть } a_{py} = \Delta_n$$

Значит, значение l_{py} выбрано правильно.

Проверим значение l_{py} через дисперсионные свойства оптического волокна.

Из соотношения (13.6.7) определяем среднее квадратичное значение дисперсии (по варианту $\Delta\lambda=0,3 \text{ нм}$): $V=2*V_0=2*155 \text{ Мбит/с}=310 \text{ Мбит/с}$

$$\tau = 10^{-9} * 0,3 * 10^{-6} \text{ км} * 5 \text{ пс/нм} * \text{ км} = 1,5 * 10^{-15} \text{ пс/нм} = 1,5 * 10^{-27} \text{ с/нм}$$

Из соотношения (13.6.6) определяем максимальную длину регенерационного участка:

$$l_{py.макс} = \frac{0,25}{1,5 * 10^{-27} \frac{\text{с}}{\text{нм}} * 310 * 10^6 \frac{\text{бит}}{\text{с}}} = \frac{0,25}{4,65 * 10^{-19} \frac{\text{бит}}{\text{нм}}} = 5,38 * 10^{17} \text{ нм} =$$

$$= 5,38 * 10^8 \text{ м} = 5,38 * 10^5 \text{ км}$$

Как видно из результатов расчета, условие $l_{py.макс} \geq l_{py}$ выполняется.

Рассчитанное значение l_{py} по затуханию будем считать оптимальным.

Из соотношения (13.6.9) определяем количество линейных регенераторов размещенных в линейном тракте:

$$N_{\text{rp}} = L_{\text{mp}} / l_{\text{py}} - 1 = 614 / 122,8 - 1 = 4$$

Построим схему линейного тракта и регенерационного участка согласно итогам расчетов:

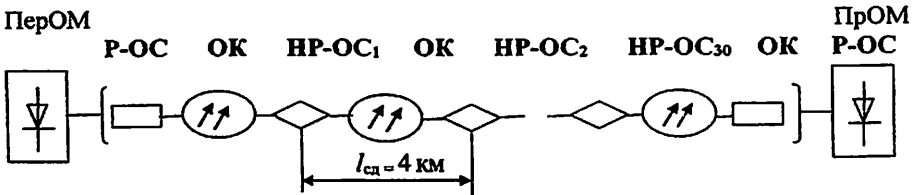


Рис.13.3. Схема построения рассчитанного регенерационного участка.

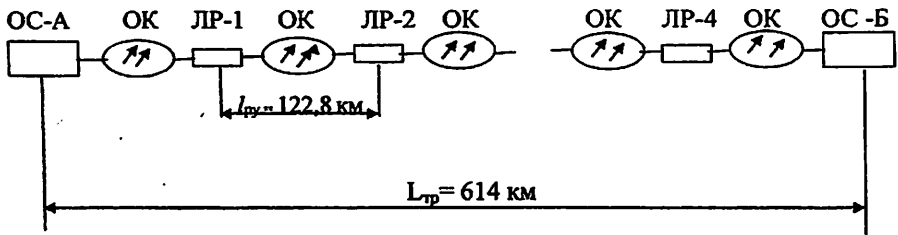


Рис.13.4. Схема размещения регенераторов в волоконно-оптическом линейном тракте

Практическая работа №14

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ТЕХНОЛОГИИ УПЛОТНЕНИЯ ПО ДЛИНЕ ВОЛНЫ. РАСЧЕТ ДЛИНЫ СЕКЦИИ РЕГЕНЕРАЦИИ И УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗИ ВОСП С АППАРАТУРОЙ WDM

14.1. Цель работы

Изучить устройство, принцип действия, характеристики и параметры систем оптической связи уплотненных по длине волны, рассчитать длину участка регенерации и развить коммуникативные навыки.

14.2. Задание

14.2.1. При подготовке к обучению необходимо изучать следующие учебные материалы и подготовить ответы на контрольные вопросы (КВ) раздела 14.3 (ответы на 4 из них должны быть изложены письменно);

14.2.2. Определите значения параметров, показанные в последнем столбце следующей таблицы в столбцах 2-6 для вашего варианта (n).

14.3.1-14.3.10 по пунктам: учебные материалы, [14.1] на страницах 223-248, 255-262, [14.2] на страницах 53-69, [14.3] на страницах 205-207, [14.4] на 118-120, 123-140 страницах.

14.3.11-14.3.17 по параграфам: учебный материал описан на страницах 148-320 в [14.1] и на страницах 148-158 в [14.5].

14.3.18-14.3.19 по пунктам: учебный материал описан на страницах 53-69 [14.2] и 148-158 [14.5].

Таблица 14.1. Задание вариантов

№	Nок	$L_{тр},$ км	$L_{ос-апвв},$ км	$\alpha,$ дБ/км	$l_{qu},$ км	Параметры, значения которых определены
1	2	3	4	5	6	7
1	64	470	200	0,19	4	$P_{вык}, P_{пр}, \alpha_{с}, \alpha_{эк.к}, L_{ус.макс}, P_{ш}$ $P_{ш}, P_{ш.с}, P_{ш.с.макс}$
2	18	390	220	0,2	2	$P_{вык}, P_{пр}, \alpha_{с}, \alpha_{эк.к}, L_{ус.макс}, P_{ш}$ $P_{ш}, P_{ш.с}, P_{ш.с.макс}$

3	12	450	200	0,21	2	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
4	8	440	260	0,2	2	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
5	32	400	280	0,19	2	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
6	32	380	250	0,25	2	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
7	30	350	180	0,2	2	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
8	18	150	100	0,29	4	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
9	40	400	230	0,27	6	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
10	30	275	150	0,22	2	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
11	40	450	240	0,21	4	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
12	30	425	200	0,23	6	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
13	28	375	150	0,24	2	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
14	20	125	50	0,26	4	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
15	32	500	250	0,31	6	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
16	50	475	175	0,32	2	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$
17	64	550	250	0,33	4	$P_{\text{вых}}, P_{\text{пр}}, \alpha_k, \alpha_{\text{экв.к}}, L_{\text{ус.макс}}, P_{\text{ш}}$ $P_{\text{ш}}, P_{\text{ш}\Sigma}, P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$

14.1 - При составлении таблицы использовались следующие определения: $P_{\text{вых}}$ – уровень сигнала на выходе передающей точки; $P_{\text{пр}}$ – уровень приема; α_k коэффициент затухания оптического волокна; $l_{\text{уст}}$ – строительная длина оптоволоконного кабеля; $\alpha_{\text{экв.к}}$ – эквивалентное значение коэффициента затухания; $L_{\text{ус.макс}}$ – максимальная длина расстояния между усилителями; $p_{\text{ш}}$ и $P_{\text{ш}}$ – уровень шума и мощности секции усиления соответственно; $P_{\text{ш}\Sigma}$ – общая мощность шума, создаваемого точками усиления; $P_{\text{ш}\Sigma\text{макс}}$ – допустимая мощность шума, $L_{\text{ос А-ПВВ}}$ – расстояние между оконечным станцией А и промежуточным пунктом ввода/вывода.

14.3. Контрольные вопросы:

- 14.3.1. Какова цель использования технологии WDM?
- 14.3.2. Опишите волоконно-оптические системы передачи, разделенные по длинам волн.
- 14.3.3. Как построена система WDM?
- 14.3.4. В чем преимущества и недостатки WDM?
- 14.3.5. Как системы WDM связаны с транспортными технологиями?
- 14.3.6. Как работает мультиплексирование в WDM?
- 14.3.7. В каких окнах прозрачности предназначены для работы технологии волнового уплотнения?
- 14.3.8. Какие классы WDM вы знаете?
- 14.3.9. Как проходит передача сигнала в DWDM?
- 14.3.10. Какие проблемы с использованием технологии WDM?
- 14.3.11. Какие критерии качества вы знаете для передачи цифрового сигнала?
- 14.3.12. Что нужно учитывать при расчете участка оптоволоконной линии передачи?
- 14.3.13. Как оцениваются параметры тракта линии цифровой волоконно-оптической системы передачи?
- 14.3.14. Как сигнал защищен от помех в точке принятия решения регенератора оптического тракта?
- 14.3.15. Каковы особенности конструкции волоконно-оптических линий передачи, разделенных по длине волны?
- 14.3.16. Какие требования к качеству передачи цифрового оптического сигнала?
- 14.3.17. Как рассчитываются параметры отношения оптический сигнал/шум?
- 14.3.18. Объясните расчет длины участков армирования.
- 14.3.19. Объясните, как разработать схему организации коммуникации и создать диаграмму уровней.

14.4. Итог по практической работе

Изучены устройство, принцип действия, характеристики и параметры систем оптической связи по длине волны, приобретены навыки расчета длины участка регенерации и организации связи.

14.5. Список использованной литературы

- 14.1. Govind P.Agrawal. Fiber-optic communication systems. Third edition. A. John Willey & Sons, Inc., Publication. 2005. – 563 p.
- 14.2. Скляр О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи. Аппаратура и элементы. –М.: Солон Р, 2001. – 280 с.
- 14.3. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи: Перевод с английского под ред. Н.Н. Слепова –М.: Техносфера, 2003.
- 14.4. Дмитриев С.А., Слепов Н.Н. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. - 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей. - М.: ООО "Волоконно-оптическая техника", 2005. — 576 с.
- 14.5. Е. Б. Алексеев, В. Н. Гордиенко, В. В. Крухмалев и др. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов / Под редакцией В. Н. Гордиенко и М. С. Тверецкого. - М.: Горячая линия - Телеком, 2008.

14.6. Инструкция по выполнению пункта 2 задания. Основы расчетов

Для увеличения пропускной способности и обеспечения передачи сигналов разного трафика рассмотрим проект регенерационной секции транспортной сети, оснащенной оборудованием волоконно-оптической системы передачи, разделенной по длинам волн. На первом этапе пропускная способность волокна составит 10 Гбит / с, на следующих этапах она может быть увеличена до 40 Гбит / с и 80 Гбит / с.

В качестве среды передачи рекомендуется использовать свободную пару проложенных одномодовых оптических кабелей в соответствии с ITU G.652.

Структура линии передачи связана, общая длина линии между ОС-А и ОС-Б $L_{\text{тр}}=390$ км, для подключения к синхронной цифровой иерархии на расстоянии 190 км от ОС-А необходимо обеспечить ввод/вывод двух потоков STM-16 в промежуточной точке ввода/вывода (МВВ). ($L_{\text{ОС-А-МВВ}}=190$ км).

На первом этапе разработки будет использоваться следующая последовательность технологий передачи: STM-WDM, ATM-STM-WDM, IP-ATM-STM-WDM и IP-STM-WDM. При использовании

технологии WDM синхронизация треков не требуется. Линия передачи поддерживается сетевыми ресурсами SDH.

Выбор количества оптических каналов и скорости передачи

На основе динамики увеличения пропускной способности расчетной секции регенерации (10-40-80 Гбит / с), каждая из которых имеет скорость передачи 10 Гбит/с (соответствует STM-64) с 8 длинами волн оптического канала Вы можете выбрать оборудование оптоволоконной системы передачи. Это решение требует использования мультиплексоров уровня STM-64 в ППВВ и $4 \cdot 2,5 = 10$ Гбит/с оптических мультиплексоров в оборудовании оптоволоконной системы передачи. Кроме того, высокоскоростные оптические каналы предъявляют высокие требования к параметрам системы передачи, включая общую дисперсию.

Поэтому рекомендуется использовать оборудование, рассчитанное на $N_{ок} = 32$ оптических канала. Шаг по частоте между каналами $\Delta = 100$ ГГц, каналы со скоростью 2,5 Гбит / с каждый вводятся последовательно 4 + 12 + 16. ППВВ должен быть оборудован оптическим мультиплексором ввода / вывода на 2 канала, который будет передавать оставшиеся каналы.

Требования к показателям качества передачи

Учитывая, что в будущем для передачи цифровых сигналов по мультисервисным сетям будут использоваться оптические каналы, а также оборудование приемника

$$K_{ош} = (BER) = 10^{-12}$$

уровень чувствительности по коэффициенту ошибки не должен превышать $R_{чувст} = -12$ дБм.

Коэффициент ошибки, необходимый для участка регенерации, где должны выполняться вычисления, называется $K_{ош} = 10^{-12}$.

Инструкция по выполнению пункта 2 задания

Вычислить характерные точки диаграммы уровней и минимально допустимое значение OSSh в точке Ri.

Длина секции регенерации волоконно-оптической системы передачи, разделенная длиной волны, может быть ограничена параметрами... энергии... или... дисперсии. Учитывая относительно

небольшую протяженность участка (390 км) и использование низкоскоростной передачи (2,5 Гбит/с), мы полагаем, что нормализация параметра дисперсии достигается добавлением компенсаторов дисперсии в некоторые точки усиления. Выполняем расчеты по энергетическим параметрам.

Типичное значение максимального выходного уровня группового сигнала на выходе усилителя мощности (МУ) оборудования определяется из таблицы 14.2. $P_{\text{вых.гр}} = +20 \text{ дБм} < +27 \text{ дБм}$

Количество оптических каналов при $N_{\text{ок}}=32$ должно быть на $10 \lg 32 = 15 \text{ дБ}$ меньше, чем уровень группового сигнала каждого канала. Таким образом формируется уровень канала.

$$P_{\text{вых}} = 20 - 15 = +5 \text{ дБм}$$

Допустимое значение входного уровня оптического канала в секции усиления определяется вкладом i -й секции в общий шум, собранный со всех секций в точке приема R_i . Распределение вносов на объект осуществляется путем выбора расположения оптических усилителей в процессе проектирования.

Нормализованные уровни мощности в тракте ВОСС, разделенные на длину волны

Таблица.14.2.

Уровень мощности, дБм	Точки нормирования тракта				Оптические усилители					
	Пер _i	Г _{пр} , Пер'	Г _ш	Пп'	При передаче		Промежудочный		При приеме	
					вх.	вых.	вх.	вых.	вх.	вых.
Минимальный	-5	≤+27,0	≤+1,0	≤+10	-17,5	+3,5	-36,0	+3,5	-36,0	-10,0
Максимум	+3				+16,6	+27	+10,0	+27,0	+1,0	+17,0

В точке R_i получают допустимые значения уровня оптического сигнала $p_{\text{пр}}$ и ОСШ_{дБ} (или защиты от шума $A_{\text{заш}}$) на основе заданной или измеренной чувствительности приемной части оборудования.

Чувствительность приемника - это минимальный абсолютный средний уровень мощности оптического сигнала с заданным коэффициентом ошибки.

Значения уровня чувствительности и уровня нагрузки в точке При оптического канала не должны быть меньше значений, приведенных в таблице 14.3.

Уровни чувствительности и нагрузки при коэффициенте погрешности 10^{-12}

Таблица.14.3

Название характеристики	Скорость передачи цифрового сигнала		
	≤0,622 Мбит/с	2,5 Гбит/с	10,0 Гбит/с
Уровень чувствительности, с коэффициентом погрешности 10^{-12} , не должен превышать, дБм.	-23	-15	-12
Уровень нагрузки с коэффициентом погрешности 10^{-12} не должен быть менее, дБм.	-8	0	

Уровень чувствительности $K_{\text{ош}} = 10^{-12}$ $p_{\text{чувс}}$ 14.3-по данной таблице, для скорости потоковой передачи 2,5 Гбит / с она не должна превышать минус 15 дБм.

$$\lambda = 1550 \text{ нм}, \Delta\lambda = 0,1 \text{ нм} = 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ м для}$$

$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{1,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 193,4 \cdot 10^{12} \text{ Гц;}$$

$$\Delta\nu_K = c \cdot \Delta\lambda / \lambda^2 = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ м} / (1,55 \cdot 10^{-6} \text{ м})^2 = 12,5 \cdot 10^9 \text{ Гц.}$$

Чем меньше уровень приема в точке R_i , тем больше влияние удельного шума фотоприемника на защиту от общего шума. Для $-3 < p_{q,q} < -8$ дБм минимально допустимое значение ОСЩдБ можно принять равным 20 дБ. Если уровень оптического сигнала в точке R_i установлен ниже -8 дБм, то минимально допустимый ОСЩ должен быть значительно увеличен.

Расчёт длины усилительного участка

Оценим максимальную длину входа усилителя затухания в оптический канал. Предположим, что в секции усиления есть 2 съёмных разъёма, каждый с ослаблением $\alpha_{\text{раз}}=0,5$ дБ $n_{\text{раз}}=2$. Средний коэффициент затухания стандартного одномодового оптоволоконного кабеля $\alpha_k=0,22$ дБ/км. Предположим, что строительная длина оптоволоконного кабеля $l_{\text{уст}}=2$ км, а среднее затухание на интегральных разъёмах $\alpha_{\text{н.раз}}=0,03$ дБ. Эквивалентное значение коэффициента экстинкции

$$\alpha_{\text{экв.к}} = \alpha_k + \alpha_{\text{н.раз}}/l_{\text{уст}} = 0,22 + 0,03/2 = 0,235 \text{ дБ/км}$$

С точки зрения компенсации затухания в оптоволоконном кабеле, мы оцениваем максимальную длину расстояния между усилителями при коэффициенте усиления усилителя $g=(25... 30)$ дБ по формуле:

$$L_{\text{ус.макс}} = \frac{(25...30) - 2 \cdot 0,5}{0,22 + \frac{0,03}{2}} = 102...123 \text{ км.}$$

Общая протяженность линии передачи составляет 390 км, поэтому количество участков армирования должно быть $N_{\text{ус}} = 4$. Протяженность последнего участка между ППВВ и ОС-Б составляет $390-190=200$ км по заданию (номинальная длина между усилителями оптоволоконного типа 80, 120 и 160 км, а общая протяженность без регенераторов - 360 км. и 640 км). Поэтому разделим длину последнего участка на два участка по 100 км и установим оптический усилитель.

Рассчитаем мощность шума участка 4 в точке R_i .

Уровень шума следующий:

$$P_{\text{ш.4}} = p_{\text{пр}} - p_{\text{вык}} + a_4 + p_{\text{ш.вх}} = -7 - (+5) + (100 \cdot 0,235 + 1) + (-52) = -39,5 \text{ дБм,}$$

Здесь $p_{\text{ш.вх}} = -58 + nf = -58 + 6 = -52$ дБм - тип значение коэффициента $nf \leq 6$ дБ уровень шума оптического усилителя на входе.

В точке R_i 4 - мощность шума графика усиления.

Рассчитаем мощность шума секции 3 в точке R_i .

Уровень шума следующий:

$$P_{\text{ш.3}} = p_{\text{пр}} - p_{\text{вык}} + a_3 + p_{\text{ш.вх}} = -7 - (+5) + (100 \cdot 0,235 + 1) + (-52) = -39,5 \text{ дБм.}$$

В точке R_i 3 - мощность шума графика усиления.

$$P_{\text{ш.3}} = \text{dec}(0,1 \cdot p_{\text{ш.3}}) = 10^{0,1 \cdot (-39,5)} = 1,12 \cdot 10^{-4} \text{ мВт} = 112 \text{ нВт.}$$

Подберем подходящие населенные пункты для размещения оптических усилителей на трассе протяженностью 190 км между ОС-А и ППВВ. Длина 1-го и 2-го участков усиления составляет 130 и 60 км соответственно.

При расчете уровня шума и мощности в точке R_i секции усилителя 2 необходимо учитывать затухание входного/выходного фильтра мультиплексора до 16 дБ:

$$P_{ш.2} = P_{пр} - P_{вых} + a_2 + P_{ш.вх} = -7 - (+5) + (60 \cdot 0,235 + 1 + 16) + (-52) = -30,9 \text{ дБм},$$

$$P_{ш.2} = 10^{0,1 \cdot (-30,9)} = 813 \text{ нВт}.$$

Длина 1-го участка усиления 130 км, что больше предельно допустимого $L_{ус.макс} = 123$ км. Следовательно, необходимо разместить линейный усилитель в качестве первичного усилителя на входе промежуточного усилителя EDFA второй секции, который имеет свойство повышать уровень входных сигналов без практического снижения защиты от шума. Затухание усилителя 1 составляет $130 \cdot 0,235 + 1 = 31,55$ дБ. Определяется усиление рамановского усилителя как 5,9 дБ, в этом случае

$$g_1 = 31,55 - 5,9 = 25,65 \text{ дБ} < 30 \text{ дБ}.$$

$$P_{ш.1} = P_{q,q} - P_{ш.и} + a_1 + P_{ш.кв} = -7 - (+5) + (130 \cdot 0,235 + 1 - 5,9) + (-52) = -38,35 \text{ дБм},$$

$$P_{ш.1} = 10^{0,1 \cdot (-38,35)} = 0,146 \cdot 10^{-5} \text{ мВт} = 146 \text{ нВт}.$$

Таким образом, R_i - это полная шумовая сила, создаваемая всеми точками усиления в точке:

$$P_{ш.Σ} = P_{ш.1} + P_{ш.2} + P_{ш.3} + P_{ш.4} = 146 + 813 + 112 + 112 = 1183 \text{ нВт}.$$

Допустимая мощность шума в этой точке определяется следующим образом:

$$P_{ш.Σ,макс} = \text{dec} [0,1 \cdot (P_{пр} - A_{зам})] = 10^{0,1 \cdot (-7-20)} = 1,995 \cdot 10^{-3} \text{ мВт} = 1995 \text{ нВт}.$$

Таким образом, данный ОСШ выполняется с запасом $10 \lg(1995/1183) = 2,27$ дБм.

Когда код NRZ используется на линии, $\Delta T_{макс}$ общей дисперсии в секции регенерации определяется отношением $\Delta T_{макс} \leq 0,7/B$.

$$B = 2,5 \text{ Гбит/с для}$$

$$\Delta T_{макс} \leq 0,7/2,5 \cdot 10^9 = 0,28 \text{ нс}.$$

Параметр дисперсии в диапазоне 1550 нм стандартного волокна составляет 18 пс/нм·км.

Ширина спектра излучения на уровне -20 дБ Δ -20 лазерных диодов, используемых в оборудовании волоконно-оптических систем передачи, разделенных по длинам волн, не должна превышать 20 ГГц (Δ -20 = 20/125=0,16 нм).

Определите ширину L -спектра на уровне L_3 =-3 дБ. В литературе принята форма аппроксимации спектра излучения лазерного диода с гауссовой кривой $y(x) = \exp[-x^2 / (2 \sigma^2)]$. Вы можете указать:

$$\frac{\Delta\lambda_{L_1}}{\Delta\lambda_{L_2}} = \sqrt{\frac{\ln(M \cdot |L_1|)}{\ln(M \cdot |L_2|)}}$$

здесь $M = 0,1 \cdot \ln 10 \approx 0,23$.

L_1 = -3 дБ, L_2 = -20 дБ, $\Delta\lambda_{L_1} = \Delta\lambda_{-20}$, $\Delta\lambda_{L_2} = \Delta\lambda_{-3}$ при условии, что:

$$\Delta\lambda_{-3} = \Delta\lambda_{-20} / 2,58 = 0,16 / 2,58 = 0,062 \text{ нм};$$

$$\Delta\nu_{-3} = 125 \cdot 0,062 = 7,75 \text{ ГГц.}$$

Выдано $L_{\text{рег. участ}} = 390$ км общая разница в длине

$\Delta T = D_{\text{волокно}} \cdot L_{\text{рег. участ}} = 18 \cdot 390 \cdot 0,062 = 435 \text{ пс} = 0,435 \text{ нс} > \Delta T_{\text{макс}} = 0,28 \text{ нс}$ сформирован.

Типичное значение параметра дисперсии DCF-волокна, которое компенсирует дисперсию, составляет DDCF=-340 пс/нм·км, а коэффициент ослабления составляет DCF = 1,56 дБ/км.

Общая длина DCF-волокна в модулях компенсации дисперсии, расположенных между каскадами EDFA

$$L_2 = \frac{\Delta T}{D_2 \cdot \Delta\lambda_{-3}} = \frac{435}{340 \cdot 0,062} = 20,63 \text{ км}$$

должно быть равно

DCF отказ волокна $20,63 \cdot 1,56 = 32,18$ дБм сформирован.

Поскольку значение такого затухания сравнимо с затуханием всего графика усиления, затухание должно быть распределено между несколькими графиками усиления. На предлагаемой секции регенерации рекомендуется установить два модуля компенсации дисперсии (например, в секциях усиления 2 и 4 дюйма).

Разработка схемы организации связи

На рисунке 14.1 показана схема связи линии передачи в направлении А-Б, сформированная путем расчета длины регенерационного участка.

Линия передачи состоит из оконечных устройств ОС-А и ОС-Б, промежуточной точки ввода / вывода ППВВ и двух точек усиления УП-1 и УП-2. Во время ввода в эксплуатацию будут обеспечены два потока STM-16 между ОС-А и ОС-Б, а также ОС-А-ППВВ и ППВВ-ОС-Б. Последние имеют оптические мультиплексоры/демультиплексоры. Они рассчитаны на 32 оптических канала шириной 0,1 нм (12,5 ГГц). Транспондеры 2,5 Гбит/с используются для адаптации к существующему оборудованию SDH в сети.

Выход последнего устройства ОС-А оснащен усилителем мощности, остальные точки - EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier). Модуль компенсации DCM-дисперсии входит в состав ППВВ и ОК-Б. Мультиплексор ввода / вывода МВВ расположен в промежуточной точке ввода / вывода ППВВ.

По результатам проектирования с запасом 2,27 соблюдено качество передачи цифрового сигнала-коэффициент ошибки $k_{\text{зам}}=10^{-12}$ ($\text{ОСШ}_{\text{дБ}} = 20$ дБм). Эта резервная копия может быть использована для резервирования оптических каналов в будущем.

При реализации технологии разделения длин волн на практике следует обращать внимание на обеспечение качества передачи, требуемого при проектировании связи на основе этой технологии. Этот вопрос актуален при решении задач проектирования волоконно-оптических систем передачи, разделенных по длинам волн, расчетов при организации связи по критериям качества. Потому что качественные показатели определяют качество связи.

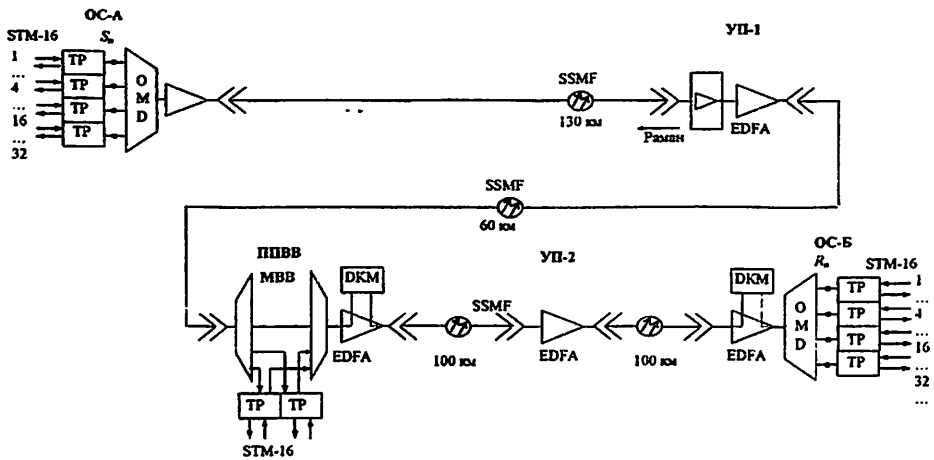


Рис. 14.1. Принципиальная схема связи с использованием волоконно-оптического передающего оборудования, разделенная по длине волны

Практическая работа №15

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ НОРМЫ НА ПАРАМЕТРЫ ОШИБОК В СЕКЦИЯХ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ. ПОРЯДОК ИСПЫТАНИЙ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ВВОДЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЦИФРОВЫХ ТРАКТОВ И СЕКЦИЙ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ

15.1. Цель работы

Развивать знания и навыки по рабочим параметрам, трактам ошибок, цифровым трактам и секциям мультиплексоров в секциях синхронного цифрового мультиплексирования ВОСС и принятию решений по испытаниям и вводу в эксплуатацию.

15.2. Задание к работе

При подготовке к обучению необходимо изучить следующие учебные материалы и подготовить ответы на контрольные вопросы раздела 15.3 (из них 6 письменно):

По пунктам 15.3.1-15.3.18: изучите материалы на страницах 326-335 из [15.1], на страницах 486-489 из [15.3], на страницах 159-239 из [15.4], на страницах 261-288 из [15.4]] описано.

По пунктам 15.3.19-5.3.21: учебный материал описан на страницах 335-346 из [15.1], на страницах 308-314 из [15.2], на страницах 288-313 из [15.4].

15.3. Контрольные вопросы:

- 15.3.1. Объясните значение слова «эксплуатация».
- 15.3.2. Опишите систему обслуживания (ТЭ).
- 15.3.3. Чему учит «теория эксплуатации»?
- 15.3.4. Что представляет собой ТЭ и какова цель ТЭ?
- 15.3.5. Что вы имеете в виду под техническим обслуживанием?
- 15.3.6. Как организован процесс ТЭ?
- 15.3.7. Какие действия включает в себя процесс ТЭ?
- 15.3.8. Что вы имеете в виду под объектом технической эксплуатации (ОТЭ)?
- 15.3.9. Что вы имеете в виду под техническим обслуживанием?

- 15.3.10. Какие действия включает техническое обслуживание?
- 15.3.11. Какие методы обслуживания вы знаете?
- 15.3.12. Как оптимизировать обслуживание?
- 15.3.13. Что вы имеете в виду под отказом от системы или элемента?
- 15.3.14. Что вы имеете в виду под контролем?
- 15.3.15. Опишите понятие оперативного управления.
- 15.3.16. Какие виды контроля вы знаете?
- 15.3.17. По каким обстоятельствам оцениваются контролируемые объекты?
- 15.3.18. Опишите понятия норма, беспорядок, случайность.
- 15.3.19. Как организована система ТЭ?
- 15.3.20. Какие показатели надежности ОТЭ вам известны?
- 15.3.21. Из какого количественного соотношения определяется вероятность работы ОТЭ без брака?

15.4. Итог по практической работе

В секциях синхронного цифрового мультиплексирования ВОСС были приобретены навыки изучения рабочих параметров для параметров ошибок, цифровых трактов и процедуры принятия решений для тестирования и ввода в эксплуатацию секций мультиплексирования.

15.5. Используемая литература

- 15.1. Фриман Р. Волоконно–оптические системы связи: Перевод с английского под ред. Н.Н. Слепова –М.: Техносфера, 2003.
- 15.3. Дмитриев С.А., Слепов Н.Н. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. - 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей. - М.: ООО "Волоконно-оптическая техника", 2005. — 576 с.
- 15.4. Е. Б. Алексеев, В. Н. Гордиенко, В. В. Крухмалев и др. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов / Под редакцией В. Н. Гордиенко и М. С. Тверецкого. - М.: Горячая линия - Телеком, 2008.

15.6. Инструкция по выполнению задания. Теоретическая часть. Нормы работы по параметрам погрешности в секциях синхронного цифрового ВОСС-мультиплексирования

Начальные рабочие нормы (МРО) для секции мультиплексирования синхронного цифрового ВОСС STM-N (уровень N синхронного транспортного модуля) соответствуют начальным рабочим нормам для некоторых высокоскоростных синхронных цифровых трактов ВОСС, установленных на этих участках. В таблице 15.1 показана совместимость высокоскоростных трактов и участков мультиплексирования.

Таблица 15.1.

Тип секции	Высокоскоростные тракты
STM-0	VK-3
STM -1	VK-4
STM -4	VK-4-4s
STM -16	VK-4-16s
STM -64	VK-4-64s

Соотношение исходных норм эксплуатации на участок заданной длины можно определить из таблицы 15.1. Следует отметить, что длина участка мультиплексирования может быть в том же порядке, что и соответствующая длина пути при использовании волоконно-оптической волоконно-оптической системы передачи.

Выделенная доля эксплуатационных норм для реального участка определяется следующим выражением:

$$SPO = \frac{\alpha \cdot F \cdot MPO}{100} \quad (15.6.1)$$

здесь МРО - начальная норма, зависящая от типа секции и срока изготовления оборудования; α - процент от начальной нормы для данного участка в зависимости от длины (%); F - оперативный резерв участка РРЛ из-за неблагоприятных условий распределения.

F = 1 для синхронной цифровой секции ВОСС, организованной в кабеле; Для синхронной цифровой секции ВОСС, организованной в РРЛ, F изменяется от 1 до 4.

Последовательность определения пороговых значений при вводе в эксплуатацию секции синхронного цифрового мультиплексора ВОСС

Определение выделенной доли эксплуатационных норм (ES, SES и BBE) SPO для реального участка по формуле (15.6.1).

Определите распределенную APO долю данных ошибок ES, SES и BBE для реального участка в соответствии с приведенной выше формулой.

$$APO_{ES} = SPO_{ES} \cdot T,$$

$$APO_{SES} = SPO_{SES} \cdot T,$$

$$APO_{BBE} = SPO_{BBE} \cdot T \cdot BS.$$

BISPO - Определите количество сообщений об ошибках для данной комиссии во время работы в соответствии с приведенной выше формулой.

Определяя пороговое значение S по приведенной выше формуле, решено ввести в действие синхронный цифровой тракт ВОСС.

Пример определения норм при работе секции синхронного цифрового мультиплексора ВОСС

Пример обнаружения границы (24-часовое измерение) в работе магистрального участка кабеля STM-4, синхронной цифровой системы длиной $L = 700$ км, организованной в ВОСС, разделенных по длинам волн.

$$MPO_{SESr} = 0,001; \alpha^r = 3,$$

$$SPO_{SES} = 2,59,$$

$$S_{SES} = -0,98 \approx 0.$$

Порядок проведения испытаний и ввода в эксплуатацию цифровых трактов и участков мультиплексирования

Тестирование цифровых трактов и секций мультиплексирования во время ввода в эксплуатацию состоит из измерения параметров в течение точного времени, указанного ниже, и сравнения результатов этих измерений с предельными значениями, определенными в предыдущих разделах.

Измерения производятся для каждого направления передачи, для всех ошибок, которые возникают на испытательном тракте и участках.

Пусконаладочные испытания проводятся с использованием измерительного оборудования, которое формирует псевдослучайные последовательности в соответствии с рекомендациями ITU O.150, O.151, O.181.

Двухстороннее испытание тракта выполняется путем одновременного измерения двух направлений с использованием двух измерительных приборов или одного измерительного прибора на контуре.

Результат измерения на петле сравнивается с пределом длины участка с односторонним движением.

Будет принято в эксплуатацию только в том случае, если обе линии электропередачи будут соответствовать действующим стандартам эксплуатации.

При вводе в эксплуатацию участков используются следующие виды измерений:

Тест перехода сигнала (продолжительность менее 15 минут).

При измерении двумя измерительными приборами испытание состоит в отправке битовых ошибок в последовательности измерений и записи этих ошибок при приеме каждого направления. При измерении на шлейфе тест состоит из последовательности отключения и подключения кольца и регистрации сигналов аварийной индикации (AHIS) во время отключения.

15-минутный тест. Тест состоит из записи событий ошибок в течение 15 минут и сравнения их с пределом S15. Если количество ошибок (ES, SES и BBE) меньше или равно S15, результат считается положительным. Если их количество больше S15, результат отрицательный.

2-х часовой тест. Тест состоит из записи событий ошибок в течение 2 часов и сравнения их с пределом S2. Если количество ошибок (ES, SES и BBE) меньше или равно S2, результат положительный, а если больше S2, результат отрицательный.

24-часовой тест. Тест состоит из записи событий ошибок в течение 24 часов и сравнения их с пределом S24. Если количество ошибок (ES, SES и BBE) меньше или равно S24, результат будет положительным, а если он больше S24, результат будет отрицательным.

Для всех типов тестов с отрицательным результатом (если тест не пройден) следует выполнить процесс устранения неполадок.

Процессы тестирования при вводе в эксплуатацию - разные периоды времени.

Это сумма измерений во времени. Эти процессы различны для цифровых трактов и участков мультиплексирования.

Измерения секции выполняются в течение 24 часов для каждого события ошибки. При положительном результате объявляется статус RFS (тракт готов к эксплуатации). Процесс тестирования участков мультиплексирования показан на рисунке 15.1.

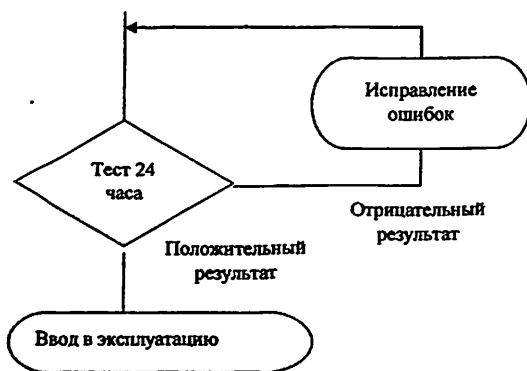


Рис.15.1. Процесс тестирования секций мультиплексирования

Процесс тестирования цифровых трактов состоит из двух этапов (рисунок 15.2).

Фаза 1. Тест перехода сигнала выполняется:

- с положительным результатом переходит на 2 этап;
- отрицательные результаты исправляются, и измерение повторяется до получения положительного результата.

Фаза 2. Ежедневный тест:

- по каждому событию ошибки объявляется положительный результат RFS (готов к вводу в эксплуатацию);
- в результате любые ошибки будут исправлены и будет проведен новый ежедневный тест.

Если сообщение о неподготовленности появляется в течение желаемого периода измерения, новое испытание будет выполнено после того, как будут исследованы причины неподготовленности.

Если в новых тестах появляются неподготовленные сообщения, тест прекращается.

Все результаты тестов будут записаны для использования в будущем.

На рисунке 15.3 показан процесс тестирования многокомпонентных трактов на одном и том же тракте, когда тракт высокого уровня находится в рабочем состоянии.

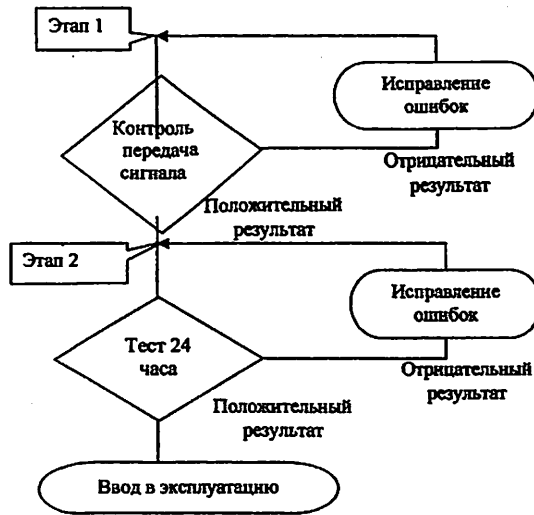


Рис.15.2. Процесс тестирования цифровых трактов

Если у вас есть неотключенное устройство мониторинга (код поиска ошибок НТС, цифровой ВОСС), 15-минутный тест будет выполнен для всех компонентных дорожек.

Эти пути могут быть соединены последовательно и измерены одновременно, при этом граница S15 рассчитывается на основе длины путей с односторонним движением.

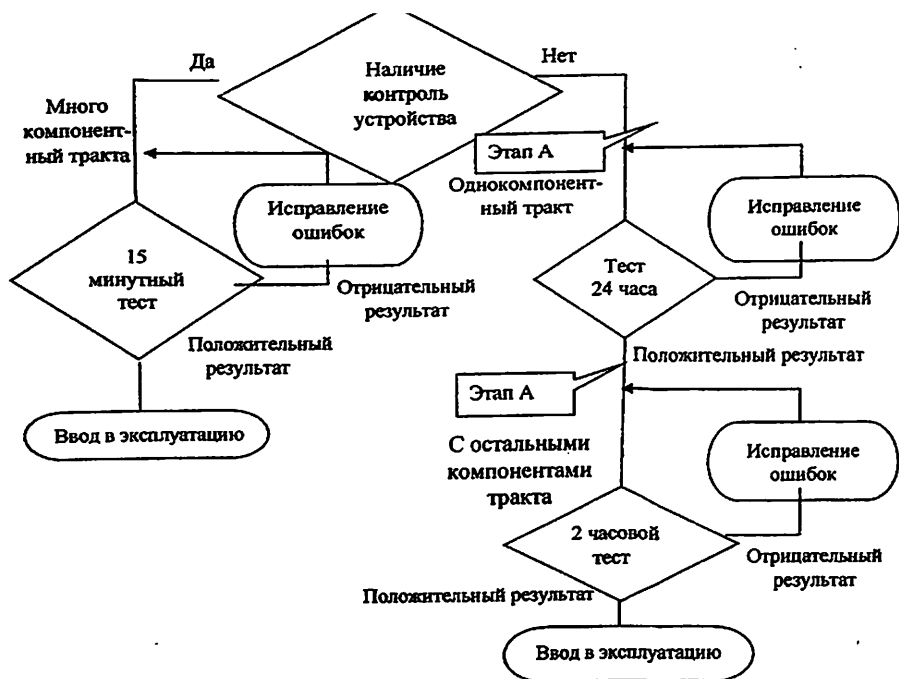


Рис.15.3. Процесс тестирования многокомпонентных трактов

Возможны следующие ситуации:

- при положительном результате объявляется статус RFS (готов к работе) для всех ошибок;

- В результате любые ошибки будут исправлены, и будет проведен новый тест для пути, который дал отрицательный результат.

Если нет устройства периодического мониторинга (код обнаружения ошибок НТС, цифровой ВОСС), то измерение выполняется с использованием разъединения и псевдослучайного цифрового упорядочивания (PTRC). Измерение займет один день. В таблице 15.2 показаны параметры этих последовательностей.

Процесс тестирования цифровых трактов состоит из двух этапов.

Этап А. Ежедневно проводится проверка одного из компонентов тракта:

- Положительный результат приводит к стадии Б;

- В результате будет проведена диагностика неисправностей и будет проводиться новая ежедневная проверка.

Таблица 15.2.

Длина последовательностей, бит	Максимальная последовательность нулей	Рекомендации МСЭ (ITU-T)	Использование последовательностей
211 – 1 (2047)	10	O.150 O.152	Измерение фазовой вибрации и погрешности на скоростях передачи 64 и 64xN кбит/с
215 - 1 (32767)	15	O.150 O.151	Измерение фазовой вибрации и погрешности при скоростях передачи 2048 и 8448 кбит/с
223 - 1 (8388607)	23	O. 150 O. 151	Фазовая вибрация и измерение ошибок при 34,368 и 109264 Мбит/с

Этап Б. Для остальных составляющих трактов проводится двухчасовая проверка:

- заявлен положительный результат RFS (готов к вводу в эксплуатацию) по всем ошибкам;

- Устранение неисправностей выполняется для любого события с отрицательным результатом, и новый тест выполняется для пути с отрицательным результатом.

Эти пути могут быть соединены последовательно и измерены одновременно, при этом граница S2 рассчитывается на основе длины одного пути.

В новом тракте высокого уровня процесс тестирования нескольких составных треков на одном и том же маршруте показан на рисунке 15.4.

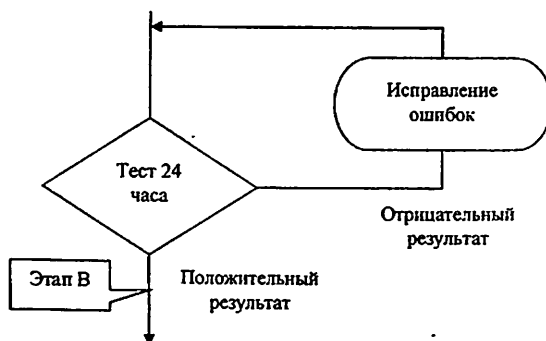


Рис.15.4. Процесс тестирования нескольких компонентных трактов на одном и том же треке.

Процесс тестирования состоит из двух этапов.

Этап А. Для тракта высшего порядка:

- выполняется проверка прохождения сигнала;
- ежедневный тест;
- Положительный результат приводит к стадии Б;
- В случае отрицательного результата неисправность будет устранена и будет проведена новая ежедневная проверка.

Этап Б. Для составных участков:

Тест выполняется в соответствии с процессом тестирования многокомпонентного тракта, в зависимости от наличия устройства бесконтактного мониторинга.

При тестировании нескольких трактов с разными треками каждый трек тестируется отдельно в соответствии с процессом тестирования цифрового тракта (рисунок 15.2).

В соответствии с Рекомендациями МСЭ М. 2100 и М. 2101 для определения коэффициента ошибок использовались следующие типы операционных стандартов: долгосрочные и рабочие типы.

Долгосрочные стандарты требуют длительных измерений не менее 1 месяца в рабочих условиях. Эти стандарты ранее не использовались в УФ (сетях общего пользования), но используются для проверки качества цифровых каналов и трек новых систем передачи.

Рабочие нормы были выражены нормами и требовали относительно краткосрочных измерений $T = 15$ минут, 1 час, 1 день и 7 дней для самооценки...

Среди них выделяют следующие нормы:

- ввод участков (1);
- техническое обслуживание в процессе эксплуатации (2);
- восстановление системы (3).

(1) - эти нормы реализуются, когда каналы и тракты, установленные в устройстве цифровой системы ВОС, уже доступны в сети и протестированы в соответствии с долгосрочными нормами;

(2) - измеряется в органах управления работой каналов и дорожек и при определении необходимости их вывода из эксплуатации, когда контролируемые параметры превышают предельные значения;

(3) - Измерено при вводе тракта в эксплуатацию после ремонта устройства.

Для анализа результатов контроля были определены пороговые значения $S1$ и $S2$ чисел ES и SES за период при $T < 1$ и одно пороговое значение $BISO$ в сутки $T=7$. Расчет пороговых значений производился следующим образом:

а) RPO (эталонная цель производительности):

$$RPO = D \cdot T \cdot B,$$

Здесь, длина B составляет 27 500 км, что является общей нормой этого коэффициента ошибок для международных соединений;

T - период наблюдения (измерения), секунды; D - суммарное значение доли общей нормы B ($L < 27\ 500$ км);

а) Пороговое значение $BISO$ (цель ввода в эксплуатацию) определяется в течение периода наблюдения T :

$$BISO = k \cdot RPO,$$

где k - коэффициент, определяемый определением оперативного управления для (1), (2), (3) по таблице.

в) Граничные значения $S1$ и $S2$ определены:

$$S1 = BISO - 2 \sqrt{BISO}, \quad S2 = BISO + \sqrt{BISO}.$$

Если в течение периода наблюдения Т значения ES и SES, равные S, получены по результатам оперативного контроля во время ТЕ (ТКК), то это означает:

$S \geq S2$ - качество, превышающее норму (АВАРИЯ);

$S1 < S < S2$ - ухудшение качества (НАРУШЕНИЕ);

$S \leq S1$ - приемлемое качество (НОРМА).

Таблица 15.3.

Система передачи		Сетевые тракты, участки, основной цифровой канал (ARK)	
Тип теста	К	Тип теста	k
Ввод в эксплуатацию	0,1	Ввод в эксплуатацию	0,5
Ввод в эксплуатацию после ремонта	0,125	Ввод в эксплуатацию после ремонта	0,5
Ввод в эксплуатацию с низким качеством	0,5	Ввод в эксплуатацию с низким качеством	0,75
Эталон Норма	1,0	Эталон Норма	1,0
Вывод из эксплуатации	>10	Вывод из эксплуатации	>10

Если значение ES и SES, равное S, получено по результатам оперативного контроля при вводе в эксплуатацию (в том числе после восстановления) в течение периода наблюдения Т, то это означает:

$S \geq S2$ - в эксплуатацию не принят;

$S1 < S < S2$ - тракт принят при условии проведения следующих тестов в очень короткие сроки;

$S \leq S1$ - тракт введен в эксплуатацию.

Этот подход был удобен, потому что границы S1 и S2 определяли производство совместимых аварийных сигналов.

В основе современного подхода к организации цифровых систем ТОА лежит то, что на практике в работу берется только нижний предел S1.

После определения норм ввода тракта и участка в эксплуатацию можно определить частоту ошибок для пределов снижения качества (DPL) и неприемлемого качества (UPL). Время обнаружения - 24 часа.

$DPL = 0,75 * АПО$ (тракт ВК-н и системы передачи синхронного цифрового ТОА для компонентного тракта STM-N);

$DPL = 0.50 * АРО$ (для участков STM-N систем синхронной цифровой передачи ВОС).

UPL определяется по таблице 15.4 (время измерения - 15 минут).

Таблица 15.4.

VC тракты	VC-12	VC-2	VC-3	VC-4
ES	120	120	150	180
SES	15	15	15	15
STM-N тракты	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
ES	50	50	65	80
SES	10	10	10	10

После ремонта определяются стандарты качества (АРПЛ):

$ARPL = 0,500 * APO$ (для тракта БК-н и синхронного цифрового тракта TOAT STM-N);

$ARPL = 0,125 * APO$ (для синхронных цифровых участков ВОСС STM-N).

В расчетах все значения округляются до ближайшего целого числа.

СОДЕРЖАНИЕ

Практическая работа №8. Сравнительное изучение характеристик светодиода и лазерного диода.....	3
Практическая работа №9. Расчет основных параметров фотоприемников, используемых в волоконно-оптических системах связи.....	24
Практическая работа №10. Изучение типов оптических усилителей, сравнительный анализ принципа их работы, характеристик и параметров.....	32
Практическая работа №11. Изучение принципов построения стандартных цифровых потоков системы передачи. Изучение методов объединения цифровых потоков в цифровых системах передачи, используемых в международных, междугородных и локальных сетях.....	55
Практическая работа №12. Базовые топологии синхронной цифровой иерархии (SDH): точка-точка, кольцо, ячейка.....	67
Практическая работа №13. Расчет длины участка регенерации ВОСП на основе SDH и организация связи.....	74
Практическая работа №14. Изучение основных принципов технологии уплотнения по длине волны излучения. Расчет длины секции регенерации и организация связи ВОСП с аппаратурой WDM.....	85
Практическая работа №15. Эксплуатационные нормы на параметры ошибок в секциях мультиплексирования синхронной цифровой иерархии. Порядок испытаний и принятия решения о вводе в эксплуатацию цифровых трактов и секций мультиплексирования.....	98
СОДЕРЖАНИЕ	111

Методическое пособие по дисциплине "Оптические системы связи" для проведения практических занятий. Для студентов, обучающихся по направлению образования 5350100-"Телекоммуникационные технологии"

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Телекоммуникационный инжиниринг»
Протокол заседания кафедры ТИ № 26 от 11.02.2023

Рассмотрено и одобрено на заседании НМС факультета «Телекоммуникационные технологии».
Протокол заседания НМС ф-та ТТ № 06 от 28.03.2023

Рассмотрено и рекомендовано к изданию НМС ТУИТ.
Протокол заседания НМС № () от . . 2023.

Автор издания:

Г.Х.Миразимова
Х.Р.Давлетова

Ответственный редактор: проф.

Р.И.Исаев

Формат 60x84 1/16. Печ. лист 17,5.
Заказ № 4. Тираж 20.
Отпечатано в «Редакционно издательском»
отделе при ТУИТ.
Ташкент ул. Амир Темур, 108.