

**МИНИСТЕРСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И
РАЗВИТИЯ КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Кафедра ТИ

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Телекоммуникационные си-
стемы передачи»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Выполнил: студент гр. 421-12. Тр.
Калбаев Т

Проверил (а): Миразимова Г. Х.

Ташкент-2015г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	
Глава 1. Задание и исходные данные к проектированию	
Глава 2. Принципы построения ВОСП	
Глава 3. Краткие технические характеристики аппаратуры ВОСП	
Глава 4. Оптические волокна и кабели, применяемые в ВОСП	
Глава 5. Краткие сведения о пассивных и активных оптических устройствах ВОСП	
Глава 6. Краткие сведения о линейных цифровых кодах восп	
Глава 7. Топология линейных трактов в ВОСП	
Глава 8. Расчетная часть	
8.1. Определение чувствительности лавинного фотодиода для разных скоростей передачи.....	11
8.2. Определение зависимости длины пролёта от скорости передачи, с учётом затухания линейного тракта.....	13
8.3. Определение зависимости длины секции от скорости передачи, с учётом дисперсии линейного тракта.....	16
8.4. Построение топологии линейного тракта для системы SDH – 64.....	18
8.5. Расчет помехозащищенности и построение диаграммы уровней для секции системы передачи SDH-64.....	20
Заключение	
ЛИТЕРАТУРА	

ВВЕДЕНИЕ

Волоконно-оптические линии связи прочно вошли в мировую практику строительства линий связи, подтверждая тем самым ряд преимуществ перед электрическими кабелями – широкополосность, экономичность и хорошую помехозащищенность. В связи с этим кабельное производство стран мира, в основном, реконструируется на изготовление оптических кабелей, оставляя небольшой процент выпуска многопарных кабелей с медными жилами для городских абонентских сетей.

Мировой кабельный рынок на сегодняшний день насыщен множеством фирм-производителей волоконно-оптической кабельной продукции, находящихся в острой конкурентной борьбе. Приоритет в волоконной оптике, как по количеству кабельной продукции, так и по ее качеству, принадлежит государствам Северной Америки, и в особенности Соединенным Штатам Америки.

Волоконно-оптические кабели впервые были пущены в эксплуатацию в 1973 году на кораблях военно-морского флота США для телефонной связи. В 1976 году американская фирма «Western Electric» провела первые испытания своей системы с волоконно-оптическими кабелями в городе Атланта. В следующем году фирма «Bell Systems» провела в г. Чикаго первые полевые испытания оптического кабеля длиной более 2,5 км, а фирма «General Telephone» – оптического кабеля длиной более 9 км в г. Лонг-Бич. Первым поставщиком одномодовых волоконно-оптических кабелей для телефонной компании в Нью-Йорке в сентябре 1983 года была фирма «Siecor Corporation» (совместное предприятие акционерного общества «Siemens AG» и фирмы «Corning Incorporation»).

90-е годы XX века ознаменовались бурным внедрением волоконно-оптических кабелей на мировых телекоммуникационных сетях, что коснулось и телекоммуникационных сетей Узбекистана. В настоящее время большинство кабельных линий связи в Республике смонтировано на основе волоконно-оптического кабеля. Сюда относятся и международные ВОЛС (ТАЕ-ВОЛС), и крупные национальные ВОЛС, и множество волоконно-оптических линий связи региональных и местных сетей.

Для строительства ВОЛС использовались и используются кабели различных иностранных фирм-производителей – «Siemens», «Fujikura», «Daewoo», «Corning Cable Systems», «Alcatel», «Москабель», «Ericsson», «Оптика-кабель» и др.

В настоящее время цифровая оптическая связь является одной из наиболее бурно развивающихся областей техники связи. Учитывая быстрое внедрение волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) в Республике Узбекистан на всех участках связи (магистральной, зонной и местной), исключительно большое значение приобретает углубленное изучение вопросов, связанное с проектированием и эксплуатацией ВОСП.

Данный курсовой проект посвящён расчёту линейного тракта ВОСП.

1. ЗАДАНИЕ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Исходные данные

$$\alpha = 0,24 \left(\frac{\text{дБ}}{\text{км}} \right)$$

$$D = 5 \left(\frac{\text{нс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} \right)$$

$$\lambda = 1,53 \text{ (мкм)}$$

$$L_{\text{стр}} = 1 \text{ (км)}$$

—
 $N_0 = 1000$ число фотонов

$$B_0 \left(\frac{\text{ГБит}}{\text{с}} \right)$$

$$E1 = 0,002 \left(\frac{\text{ГБит}}{\text{с}} \right)$$

$$E2 = 0,008 \left(\frac{\text{ГБит}}{\text{с}} \right)$$

$$E3 = 0,034 \left(\frac{\text{ГБит}}{\text{с}} \right)$$

$$\text{STM-1} = 0,155 \left(\frac{\text{ГБит}}{\text{с}} \right)$$

$$\text{STM-4} = 0,622 \left(\frac{\text{ГБит}}{\text{с}} \right)$$

$$\text{STM-16} = 2,5 \left(\frac{\text{ГБит}}{\text{с}} \right)$$

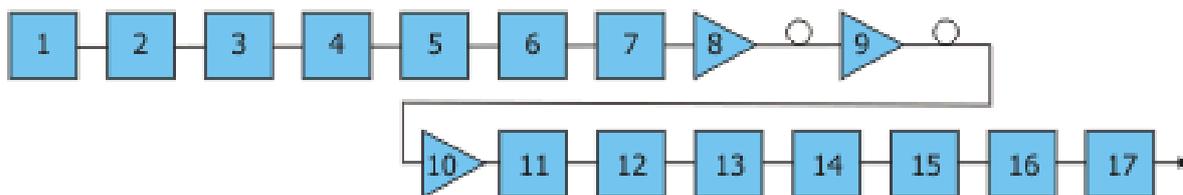
$$\text{STM-64} = 10 \left(\frac{\text{ГБит}}{\text{с}} \right)$$

$$\text{STB-256} = 40 \left(\frac{\text{ГБит}}{\text{с}} \right)$$

Курсовая работа выполняется по исходным данным и выполняет следующее:

1. Определить чувствительность фотодиода для разных скоростей передачи и по ним энергетический потенциал системы.
2. Определить зависимость длины усилительного участка с учетом затухания линейного тракта.
3. Определить длину секции от скорости передачи с учетом дисперсии линейного тракта.
4. По итогам расчетов построить результирующую графики в зависимости от расстояния между усилителями (УС) от скорости передачи передающей для затухания и дисперсии.
5. Используя квантово-оптические УС произвести расчет помехозащищенности и построить диаграмму уравнения для секции.
6. Необходимо произвести топологию линейного тракта выбранной системы передачи (СП).
7. Краткие технические характеристики аппаратуры ВОСП.
8. Должны описать технические характеристики СП SDH и WDM. Выбирается СП в зависимости от числа $УС < 20$

2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ВОСП



Структурная схема ВОСП

Схема состоит из следующих блоков:

1 — блок преобразования входного сигнала в ИКМ-последовательность (каналообразующий блок), выполняющий все необходимые преобразования: дискретизацию, квантование, линейную (или нелинейную, если нужно) кодификацию и помехоустойчивое кодирование;

2 — блок временного группообразования компонентных сигналов (фреймов/трибов) PDH требуемого уровня иерархии;

3 — интерфейсный блок компонентных (трибных) сигналов, поступающих на временное мультиплексирование SDH, осуществляющий все необходимые функции, в том числе ввода/вывода, локальной кросс-коммутации и т.д.;

4 — блок мультиплексирования SDH, осуществляющий логическое формирование модуля STM-N требуемого уровня в данной иерархии;

5 — оптический интерфейсный блок, преобразующий логическую импульсную последовательность в физическую последовательность STM-N (выполняет все необходимые преобразования по формированию заголовков: секционного, мультиплексного и путевого (трактового), а также интерфейсное кодирование);

6 — передающий блок, осуществляющий все необходимые преобразования, в том числе модуляцию источника несущего излучения (лазера) и линейное кодирование;

7 — блок волнового мультиплексирования WDM, необязательный блок, формирующий многоканальную волновую последовательность, если в этом есть необходимость;

- 8 — мощный оптический усилитель (бустер) МУ, необязательный блок, осуществляющий усиление оптической цифровой последовательности до уровня, требуемого для создания необходимого общего бюджета мощности;
- 9 — оптический линейный усилитель ЛУ, необязательный блок (один или несколько), осуществляющий оптическое усиление сигнала на участке (одном или нескольких) перекрытия (пролета или регенерации);
- 10 — оптический предусилитель, необязательный блок, осуществляющий усиление входного сигнала на приемном конце и используемый при необходимости дополнительного усиления;
- 11 — демультиплексор WDM, если в схеме ВОСП используется волновое мультиплексирование;
- 12 — оптический приемник, блок осуществляющий прием сигнала, т.е. реализующий функции, обратные передатчику, плюс дополнительные функции, например фильтрацию оптических несущих, если используется технология WDM;
- 13 — оптический интерфейсный блок, преобразующий физическую последовательность, эквивалентную модулю STM-N в логическую импульсную последовательность (выполняет все необходимые обратные по отношению к блоку 5 преобразования по декодированию интерфейсного кода и интерпретации заголовков: секционного, мультиплексного и путевого (трактового));
- 14 — блок демультиплексирования SDH, осуществляющий логическую декомпозицию импульсной последовательности модуля STM-N и выделение компонентных сигналов (трибов) требуемого уровня иерархии PDH (т.е. преобразования, обратные осуществляемым в блоке 4);
- 15 — интерфейсный блок компонентных (трибных) сигналов, осуществляющий все необходимые функции и преобразования, обратные осуществляемым в блоке 3;
- 16 — блок разборки группового сигнала (фрейма/триба) PDH принятого уровня иерархии до требуемого, например E1, и выделение нужного тайм-слота (т.е. преобразования, обратные осуществляемым в блоке 2);

17 — блок преобразования ИКМ-последовательности в выходной сигнал, выполняющий все необходимые обратные преобразования: помехоустойчивое декодирование и восстановление дискретизированного, квантованного и кодифицированного сигнала (т.е. преобразования, обратные осуществляемым в блоке 1).

При дуплексной передаче необходимо иметь двойной комплект оборудования для осуществления операций приема-передачи на обоих концах.

3. КРАТКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТУРЫ ВОСП

Передача цифровой информации в таких ЦСП производится блочными циклическими структурами, следующими с периодом повторения 125 мкс и называемыми транспортными модулями STM. Транспортные модули подразделяются по уровням, т.е. по скорости передачи цифровой информации и, соответственно, по количеству передаваемых каналов. Различают пять уровней транспортных модулей SDH (табл.3.1).

Стандартизация интерфейсов определяет возможность соединения различного оборудования от разных производителей. Система SDH обеспечивает универсальные стандарты для сетевых узловых интерфейсов, включая стандарты на уровне цифровых скоростей, структуру фрейма, метод мультиплексирования, линейные интерфейсы, мониторинг и управление. Поэтому SDH оборудование от разных производителей может легко соединяться и устанавливаться в одной линии, что наилучшим образом демонстрирует системную совместимость.

Система SDH обеспечивает стандартные уровни информационных структур, то есть набор стандартных скоростей. Базовый уровень скорости — STM-1 155,52 Мбит/с. Цифровые скорости более высоких уровней определяются умножением скорости потока STM-1, соответственно, на 4, 16, 64 и т. д.: 622 Мбит/с (STM-4), 2,5 Гбит/с (STM-16), 10 Гбит/с (STM-64) и 40 Гбит/с (STM-256).

Таблица 3.1

Уровни транспортных модулей SDH

Уровень транспортного модуля SDH	Транспортный модуль	Скорость передачи, Мбит/с	Количество телефонных каналов
Первый уровень SDH	STM-1	155,52	1890
Второй уровень SDH	STM-4	622,08	7560
Третий уровень SDH	STM-16	2488,32	30240
Четвертый уровень SDH	STM-64	9953,28	120960
Пятый уровень SDH	STM-256	39813,12	483840

Мультисервисная транспортная платформа (MSTP)

FlexGain FOM10GL2

Особенности

Линейная скорость до 10 Гбит/с

Поддержка STM-1/4/16/64

Возможность работы в линейных и кольцевых топологиях

Полнодоступная матрица кросс-коммутации STM-64

Возможности кросс-коммутации: 4STM-64*4STM-16; 8STM-16; 4STM-16+16STM-1/4

Широкий набор SFP оптических интерфейсов

MSP, SNCP, MS-SPRING - схемы резервирования трафика

1+1 аппаратное резервирование блоков питания, модулей кросс-коммутации и синхронизации, оптических и энергетических интерфейсов

Поддержка механизмов GFP, LCAS, RSTP

Поддержка функций Layer 2 switch

SNMP-управление

Мультиплексор FlexGain FOM10GL2 является мультисервисной транспортной платформой и предназначен для построения мультисервисных ("голос+данные") оптических сетей уровня STM-1/4/16/64 SDH-иерархии любой сложности.

Благодаря поддержке механизма GFP FlexGain FOM10L2 легко интегрируется в SDH-сети и мультисервисные транспортные платформы, построенные на оборудовании НТЦ НАТЕКС и других производителей, а механизм LCAS позволяет оптимизировать пропускную способность мультиплексора.

Для централизованного управления сетью мультиплексоров серии FlexGain и другого оборудования производства НТЦ НАТЕКС используется система централизованного управления FlexGain View.

4. ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА И КАБЕЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ВОСП

Параметры оптических волокон

Геометрические параметры

Среди геометрических параметров ОВ выделяют параметры кварцевого световода и параметры покрытия. Первые являются наиболее существенными и определяют тип световода. Наиболее важный параметр ОВ - диаметр сердцевины, поскольку геометрические размеры и профиль показателя преломления сердцевины определяют модовый состав ОВ. Под диаметром сердцевины понимают диаметр центральной области ОВ с высоким значением показателя преломления. Под диаметром сердцевины понимают диаметр по уровню 0.1 от максимального значения коэффициента преломления (на оси ОВ). Структура ОВ с указанием типичных параметров показана на рис.4.1

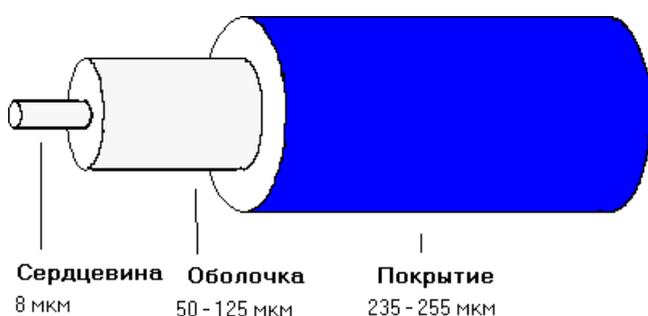


Рис.4.1 Структура оптического волокна

Кроме вышеперечисленных, к геометрическим параметрам относятся: длина волоконного световода, некруглость (овальность) сердцевины (для МОВ), некруглость (овальность) оболочки, неконцентричность (некоаксиальность, концентричность, коаксиальность) сердцевины и оболочки, концентричность (коаксиальность, неконцентричность, некоаксиальность) покрытия.

Оптические волокна. Определяющими в технике ВОЛС являются кварцевые двухслойные волокна трех основных разновидностей: многомодовые ступенчатые и градиентные, а также одномодовые (рис. 1). В одномодовых

волокнах закон изменения показателя преломления внутри сердцевины неважен, поэтому эти волокна, как правило, близки к ступенчатым. Показанный на

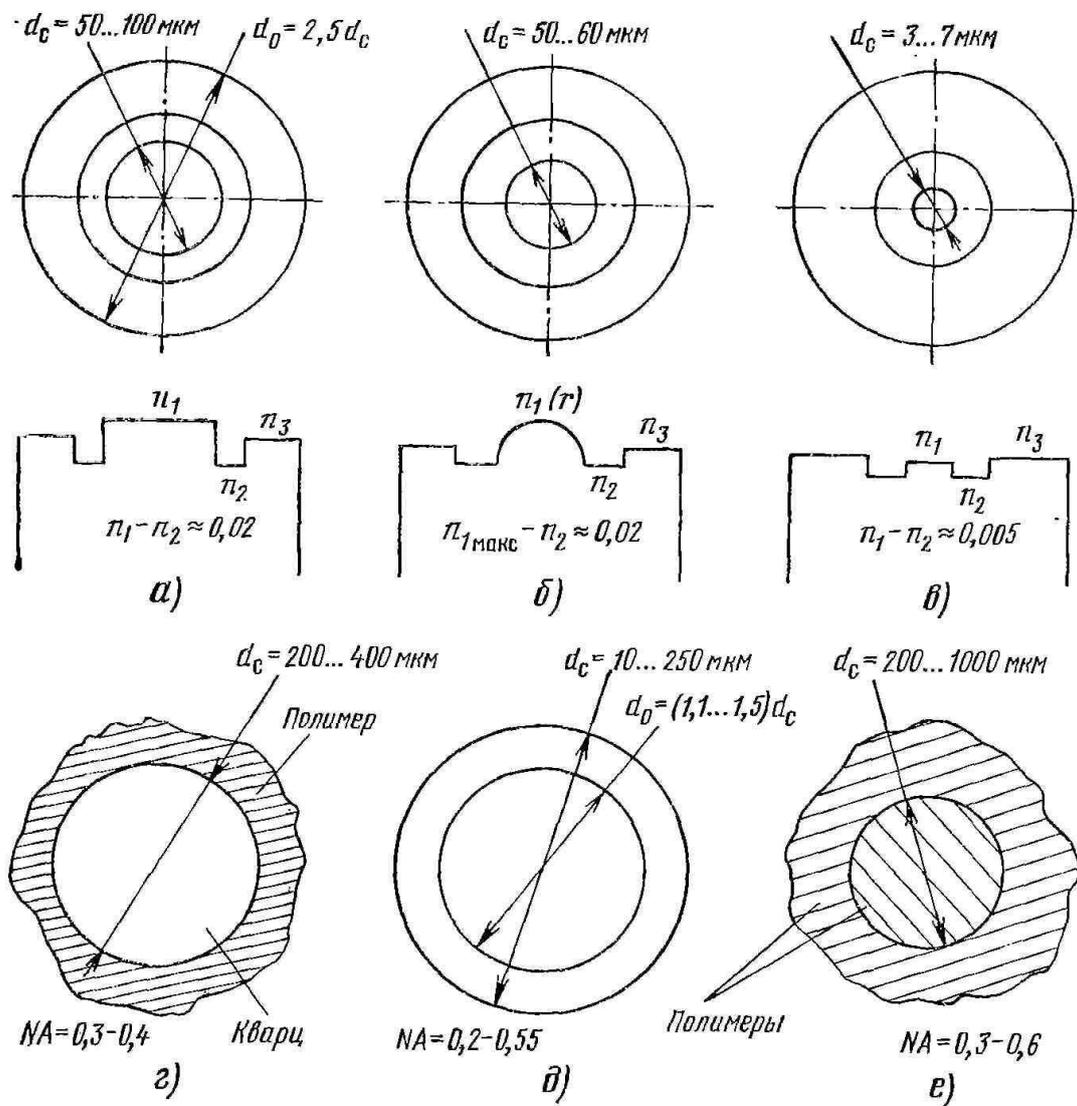


Рис.4.2 Геометрия и профиль изменения показателя преломления кварцевых двухслойных многомодовых ступенчатых (а), градиентных (б), одномодовых (в) волокон.

Геометрия сердцевины и числовые апертуры кварц-полимерных (г), из многокомпонентных стекол (д) и полимерных (е) световодов рисунке третий наружный слой в механизме светопередачи участия не принимает.

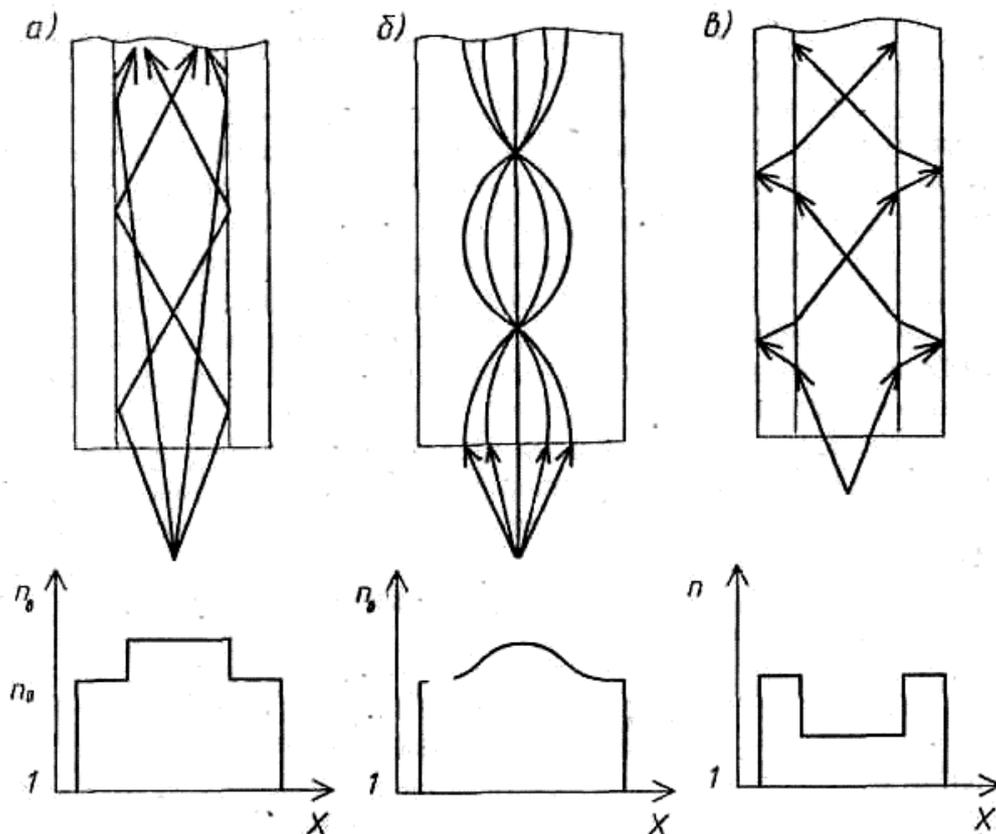


Рис.4.3 Ход световых лучей в оптических волокнах с разными коэффициентами преломления

Волоконно-оптический кабель (ВОК). Наиболее широкое распространение получили четыре основные конструкции ВОК: повивная, в которой волоконные модули обвиваются вокруг центрального упрочняющего элемента; кабели пучковой скрутки, в которых навивке подвергаются группы (пучки) модулей, предварительно уложенные в трубки; кабели с профильным упрочняющим элементом, в которых волоконные модули свободно укладываются в винтообразные пазы упрочняющего элемента; ленточные кабели, в которых скручиванию подвергаются ленты, содержащие несколько волокон и набранные стопой. Первые две конструкции являются классическими, заимствованными из электротехнической практики.

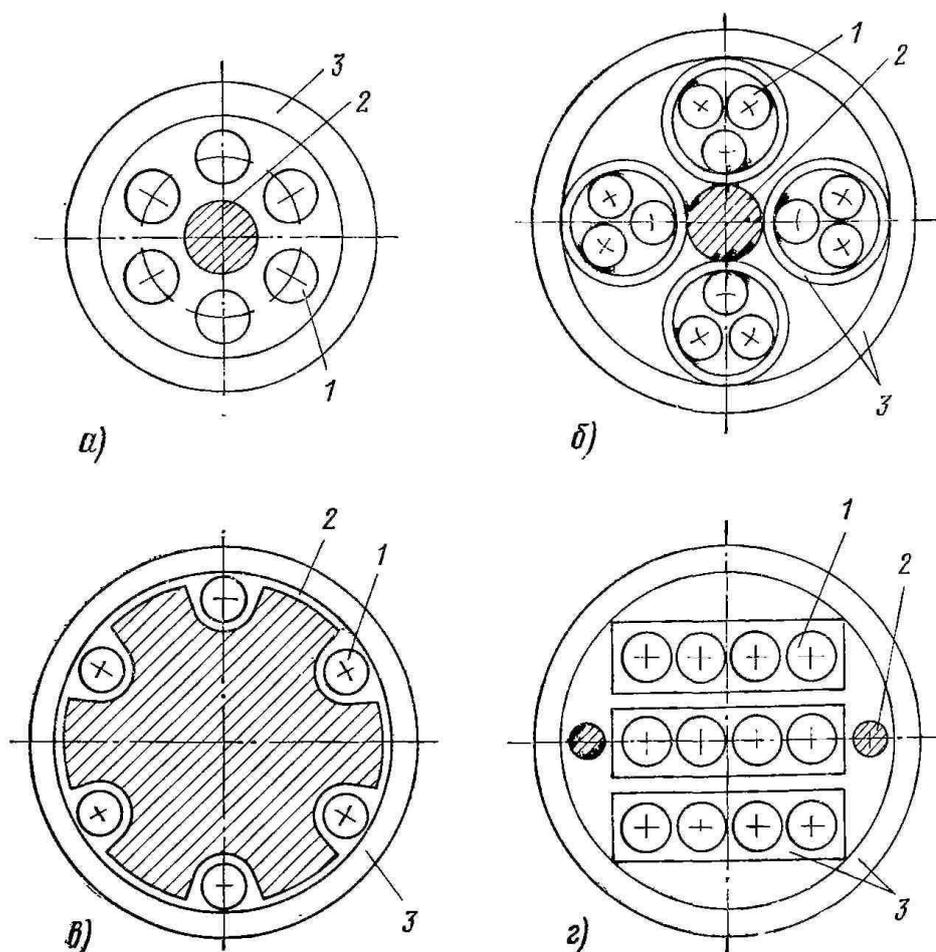


Рис.4.4 Основные разновидности волоконно-оптических кабелей: по-
 вивная конструкция (а), кабели пучковой скрутки (б), с профильным упроч-
 няющим элементом (в), ленточный (г): 1 — волоконно-оптический модуль; 2
 — упрочняющий элемент; 3 — защитная оболочка

Независимо от конкретной конструкции основными элементами кабеля (кроме волоконных модулей) являются (на рис.4.4 показаны упрощенные варианты): упрочняющие элементы, обычно полимерные, иногда металлические, служащие для придания кабелю необходимой разрывной прочности и разгрузки волокон от растяжения; наружные защитные покрытия, нередко многооболочечные, предохраняющие от проникновения влаги, паров вредных веществ и от внешних механических воздействий; армирующие элементы, повышающие сопротивляемость кабеля радиальным механическим воздействиям; изолированные металлические провода, монтируемые в кабеле наряду с оптическими волокнами и обеспечивающие электропитание ре-

трансляторов на линии связи; внутренние разделительные слои и ленты, скрепляющие отдельные группы элементов и уменьшающие давление различных элементов конструкции друг на друга; гидрофобный наполнитель, ослабляющий вредное воздействие влаги на оптические волокна.

Обширные исследования световодных кабелей, создание огромного числа разнообразных конструкций, более чем 15-летний опыт производства и применения этих изделий — все это не привело, однако, к выработке окончательных оптимизированных решений. Появление микроизгибов волокна в составе кабеля, терморассогласование волокна и кабельных материалов, гарантированная защита от воздействия влаги на волокно — эти проблемы по-прежнему далеки от полного разрешения.

5. Краткие сведения о пассивных и активных оптических устройствах ВОСП

Оптический передатчик

В системах оптической связи происходит передача и обработка оптических сигналов. В состав ВОСП входят: оборудование сопряжения, оптический передатчик, оптическое волокно, оптический ретранслятор, оптический приемник.



Рис. 5.1 Передача сигнала в ВОСП

Передающие оптоэлектронные модули (ПОМ), применяемые в волоконно-оптических системах, предназначены для преобразования электрических сигналов в оптические. Последние должны быть введены в волокно с минимальными потерями. Производятся весьма разнообразные ПОМ, отличающиеся по конструкции, а также по типу источника излучения. Одни работают на невысоких скоростях на линиях с максимальной длиной до нескольких метров, другие передают сотни и даже тысячи мегабит в секунду на расстояния в несколько десятков километров.

В состав оптического передатчика обычно входят источник оптического излучения, согласующее оптическое устройство, электронные схемы модуляции и стабилизации режимов работы источника излучения.

Главным элементом ПОМ является источник излучения. Он должен излучать на длине волны, соответствующей одному из окон прозрачности ОВ; обеспечивать достаточно высокую мощность излучения и эффективный ввод

его в ОВ; иметь высокое быстродействие, позволяющее осуществлять высокоскоростную модуляцию; отличаться простотой, надежностью и малыми габаритами.

Этим требованиям наиболее полно удовлетворяют полупроводниковые источники излучения: светодиоды (СИД) и лазеры (ЛД).

Светоизлучающие диоды. Благодаря своей простоте и низкой стоимости, светодиоды распространены значительно шире, чем лазерные диоды.

Оптический приемник

Приёмные оптические модули (ПРОМ) являются важными элементами волоконно-оптических систем. Их функция преобразование оптического сигнала, принятого из волокна, в электрический, который обрабатывается далее электронными устройствами.

Основными элементами ПРОМ являются фотоприёмник, преобразующий полученный оптический сигнал в электрический, и каскад электрических усилителей, усиливающих сигнал и преобразующих его в форму, пригодную для обработки.

Фотодетектор, как и источник оптического излучения, должен отвечать определенным требованиям, а именно: обладать высокой чувствительностью и быстродействием, вносить минимальные шумы в приемную систему, отличаться стабильностью рабочих характеристик, иметь небольшие размеры, быть высоконадежным и недорогим.

p-i-n-фотодиод. Отличительной особенностью p-i-n - фотодиода является наличие i-слоя (слаболегированного полупроводника n-типа) между слоями p⁺- и n⁺-типа (+ означает сильное легирование) (рис. 5.2).

Такой *i*-слой называется обеднённым слоем, поскольку в нём нет свободных носителей. Сильное легирование крайних слоев делает их проводящими, поэтому всё напряжение падает на *i*-слой и в нём создаётся максимальное значение электрического поля. Но поскольку в *i*-слое нет свободных носителей, то в нём нет и электрического тока.



Рис. 5.2 Схема структуры *p-i-n* - фотодиода

Лавинные фотодиоды. Главное отличие ЛФД от обычного фотодиода наличие внутреннего усиления сигнала. Если структура слоев у обычного фотодиода имеет вид p^+-i-n^+ , то в ЛФД добавляют *p*-слой ($p^+-i-p-n^+$). Причём профиль распределения легирующих примесей выбирается так, чтобы наибольшее сопротивление, а следовательно, и наибольшую напряжённость электрического поля имел *p*-слой.

При воздействии света на *i*-слой образуются электронно-дырочные пары и благодаря небольшому полю происходит направленное движение носителей к соответствующим полюсам (рис. 5.3).

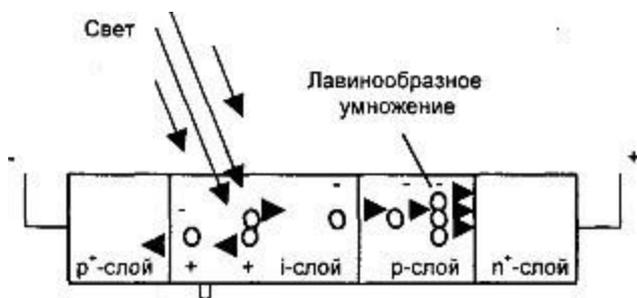


Рис. 5.3 Схема структуры лавинного фотодиода

Оптические соединители

Одной из самых важных задач, которую необходимо решить при построении любой оптической системы связи, является задача обеспечения надёжного соединения оптических волокон. Оптический соединитель это устройство, предназначенное для соединения различных компонентов волоконно-оптического линейного тракта в местах ввода и вывода излучения. Такими местами являются: оптические соединения оптоэлектронных модулей (приёмников и передатчиков) с волокном кабеля, соединения отрезков оптических кабелей между собой, а также с другими компонентами.

Различают неразъёмные и разъёмные соединители. Неразъёмные соединители используются в местах постоянного монтажа кабельных систем. Разъёмные соединители (широко употребляется термин коннекторы (connectors)) допускают многократные соединения/разъединения.

Основными требованиями к оптическим соединителям являются:

- малые вносимые потери;
- устойчивость к внешним механическим, климатическим и другим воздействиям;
- высокая надёжность;
- простота конструкции.

Оптический усилитель и оптический повторитель

По мере распространения оптического сигнала по оптическому волокну происходит его ослабление, а также уширение импульсов из-за дисперсии. Любой из этих факторов может оказаться причиной ограничения максимальной длины волоконно-оптической линии связи. Если же максимально допустимая длина между приёмником и передатчиком превышена, то необходимо в промежуточных точках линии связи добавлять один или несколько повторителей и оптических усилителей.

Типы повторителей. По методу усиления оптического сигнала повторители подразделяются на две категории: регенераторы и оптические усилители.

В волоконно-оптических линиях связи регенераторы значительно больше распространены, чем оптические усилители. При построении оптических магистралей оптические усилители в последнее время играют незаменимую роль.

Регенератор (электронно-оптический повторитель) сначала преобразует оптический сигнал в электрическую форму, усиливает, корректирует, а затем преобразовывает обратно в оптический сигнал (рис. 5.4).

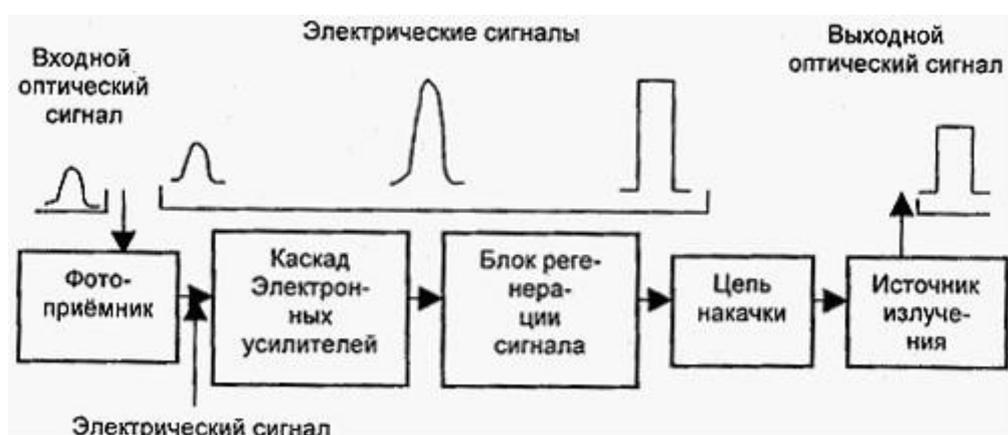


Рис. 5.4 Электронно-оптический повторитель

Повторитель можно представить как последовательно соединённые приёмный и передающий оптические модули. Блок регенерации восстанавливает прямоугольную форму импульсов, устраняет шум.

Оптический усилитель (ОУ), в отличие от повторителя, не осуществляет оптоэлектронного преобразования, а сразу производит усиление оптического сигнала (рис. 5.5).



Рис. 5.5 Оптический усилитель

6. Краткие сведения о линейных цифровых кодах ВОСП

Специфичность оптического сигнала, импульсы которого могут быть только однополярными после преобразования в электрический сигнал приводит к необходимости использования кодов, специально предназначенных для ВОСП. К этим кодам предъявляется ряд требований: ограниченность энергетического спектра сигнала как в области низких, так и высоких частот с целью уменьшения дисперсионных искажений световодов, шумов, межсимвольных помех; упрощения аппаратуры линейного тракта; структура линейного кода должна обеспечить простоту выделения тактовой частоты из цифрового сигнала для формирования импульсов тактовой синхронизации в регенераторах; структура линейного кода должна обеспечить контроль качества передачи и исправности оборудования линейного тракта без перерыва связи, простоту реализации кодеров и декодеров, максимальную помехоустойчивость.

Совокупности указанных требований в полном объеме не удовлетворяет ни один код. Поэтому для разных ВОСП применяются различные коды. Во всех оптических кодах исходная электрическая комбинация в виде простейшего кода NRZ (no return to zero – без возврата к нулю) перекодируется, причём каждым m импульсам исходного кода сопоставляются n импульсов линейного оптического кода, где $n > m$. Отсюда формула кода $mBnB$. При этом тактовая частота линейного оптического сигнала

$$f_l = \frac{n}{m} f_T$$

где f_T - тактовая частота исходной цифровой последовательности.

Наиболее простыми кодами, сравнительно легко реализуемыми, являются коды класса 1B2B, для которых согласно $f_l = 2f_T$. Однако, в условиях ограничения полосы частот применение кодов класса 1B2B нецелесообразно и обычно они используются в системах, где скорость передачи не превышает нескольких десятков мегабит в секунду.

Из кодов 1В2В получил широкое применение код СМ1. Код СМ1 сочетает простоту кодирования с возможностью выделения тактовой частоты с помощью фильтра. Такая возможность обусловлена наличием максимума на частоте $1,5f_{т}$. В этом коде блоки 11 и 00 кодируют поочередно исходную «1», а «0» исходной последовательности неизменно кодируется блоком 01. Наличие чередований 11 и 00, а также отсутствие сочетаний 10 позволяет обнаруживать ошибки, а также даёт возможность использовать эти особенности на время служебной связи, заблокировав при этом систему контроля ошибок.

В некоторых системах применяется код класса 2В4В, получивший название кода с позиционно-импульсной модуляцией (ПИМ). В этом коде используются разрешённые комбинации с единственным импульсом, временное положение которого зависит от блочной комбинации двух исходных импульсов. Четырём таким возможным комбинациям 00,01,10,11 соответствуют в коде с ПИМ 1000, 0100, 0010, 0001.

Достоинством ПИМ-комбинаций является выигрыш по мощности передаваемых сигналов. В то же время этому коду присущ ряд недостатков: удвоение передаваемой полосы, сложность кодопреобразователей, проблемы контроля ошибок. Возрастание трудности синхронизации.

В высокоскоростных системах используют блочные коды, для которых $m > 2$, $n > m$, причём чем выше скорость передачи, тем ближе n к m , с целью сокращения передаваемой полосы.

Одним из решений, применяемым в этих кодах, является проверка на чётность с целью обнаружения ошибок. К блоку из m символов исходной двоичной последовательности добавляется ещё один контрольный символ «1» или «0» для того, чтобы сумма по модулю 2 новой комбинации из $m+1$ символов равнялась нулю. Появление в сумме по модулю 2 из $m+1$ символов «1» означает наличие ошибки. Введённый дополнительный символ обозначают буквой Р.

Также в этих кодах вводят ещё один дополнительный символ для определения границы кодовой комбинации. Чаще всего по отношению к последнему символу данной комбинации вводится инверсный символ. Этот символ обычно обозначают буквой С. Возможно также использование символа С для сигналов служебной связи и синхронизации. Тогда этот символ обозначают буквой R.

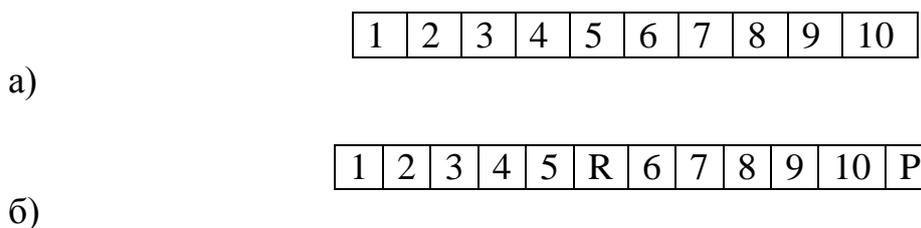


Рис.1. Схема формирования линейного кода 10В1Р1R:

- а) исходный код NRZ;*
- б) линейный код 10D1P1R*

В этом случае код обозначают $mB1P1R$. К таким кодам относится $10B1P1R$ (рис.1). Наличие двух, дополнительных символов приводит к частоте передачи $f_l = 1,2 f_T$.

При сохранении такого же соотношения скоростей передачи в линии и исходного кода можно за счёт увеличения ёмкости блока символов расширить возможности наборов R и P . Примером такого кода является $40B4P4R$.

Реализация таких простейших кодов, обладающих малой избыточностью не даёт подавления низкочастотных составляющих в спектре сигнала. Поэтому в ряде случаев используются более сложные способы кодирования, основанные на принципе взвешенного кодирования ($3B4B$, $5B6B$ и др.). В этих кодах исходное число комбинаций из m символов составляет 2^m , а число комбинаций которые можно передать в линию 2^{m+1} , хотя требуется только 2^m комбинаций на передачу. Поэтому с целью обеспечения устойчивой синхронизации и снижения спектральной плотности сигнала в области нижних частот, возможности контроля ошибок отбираются только те последовательности импульсов, где исключается максимальное число последовательных одинаковых символов. В коде $5B6B$ используются два вида комбинаций: один – с равным числом 1 или 0 (таких комбинаций в этом коде всего 20), второй – где кодирование осуществляется поочередно блоками с четырьмя единицами и двумя единицами. Благодаря этому плотность единиц в передаваемом коде остаётся постоянной. В таблице 1 даны символьные комбинации кода $5B6B$.

На рис.2. приведены энергетические спектры некоторых линейных оптических кодов.

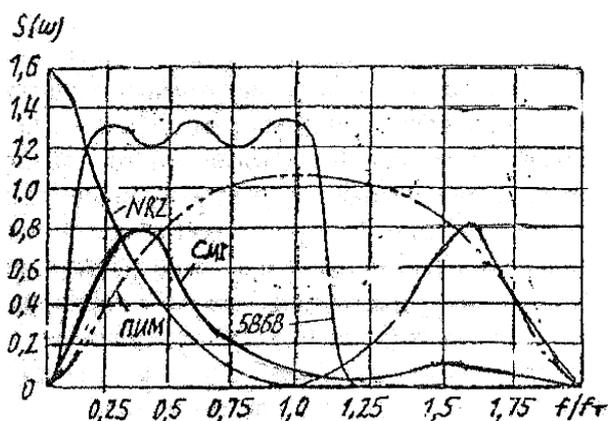


Рис.2. Энергетический спектр линейных кодов ВОСП.

Достоинства кодов ПИМ и $5B6B$ – отсутствие низкочастотной составляющей по сравнению с кодом NRZ. К тому же у кода $5B6B$ ограничена полоса сверху по сравнению с другими кодами. Но это достигается значительным усложнением кодера и декодера. Коды $10B12B$, $40B44B$ имеют спектр, близкий к спектру кода NRZ.

Скремблирование – это ещё одна возможность создания нового кода. Естественно, такое кодирование в силу своей экономичности используется в наиболее высокоскоростных системах, в частности в системах STM-N. При скремблировании исходный код заменяется кодом, где плотность передачи нулей и единиц примерно равны, что позволяет обеспечить устойчивую синхронизацию на приёме. Что касается обнаружения ошибок при передаче, то для этих целей используются заголовки циклов (фреймов). При этом вся информация в цикле подвергается скремблированию.

Таблица 1
Код класса 5B6B

Исходные блоки	Код 5B6B	Исходные блоки	Код 5B6B
0 0000	101011 100010	0 1000	100011
1 0000	101010	1 1000	110101 000101
0 0001	101001	0 1001	111001 001001
1 0001	111000 101000	1 1001	001101
0 0010	110010	0 1010	110011 010001
1 0010	111010 001010	1 1010	010101
0 0011	001011	0 1011	110001
1 0011	011010	1 1011	011101 011000
0 0100	100110	0 1100	100111 100001
1 0100	101110 100100	1 1100	100101
0 0101	101100	0 1101	011001
1 0101	110100	1 1101	101101 001100
0 0110	110110 000110	0 1110	010011
1 0110	001110	1 1110	010111 000111
0 0111	010110	0 1111	011011 010010
1 0111	011110 010100	1 1111	011100

В основе работы устройства скремблирования лежит использование сдвигового регистра, как генератора квазислучайной последовательности единиц и нулей (рис.3).

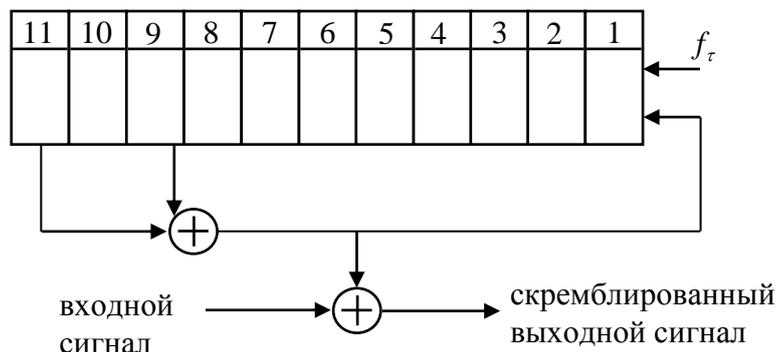


Рис.3. Работа скремблера с функцией

Для получения квазислучайной последовательности используется суммирование отдельных ячеек в сдвиговом регистре по модулю 2. При этом из любой последовательности (кроме нулевой), внесённой первоначально в каждом цикле в сдвиговый регистр, будет сформирована последовательность из нулей и единиц, меняющаяся от такта к такту. Сложение этой последовательности с исходным сигналом даёт возможность передать в линию скремблированный сигнал и восстановить на приёме исходный сигнал, используя такое же устройство скремблирования с такой же первоначально внесённой последовательностью в сдвиговый регистр в один и тот же момент времени (с учётом времени задержки на передачу сигнала в линейном тракте).

К дополнительным достоинствам скремблирования можно отнести возможность обеспечения секретности передаваемой информации.

7. ТОПОЛОГИЯ ЛИНЕЙНЫХ ТРАКТОВ ВОСП

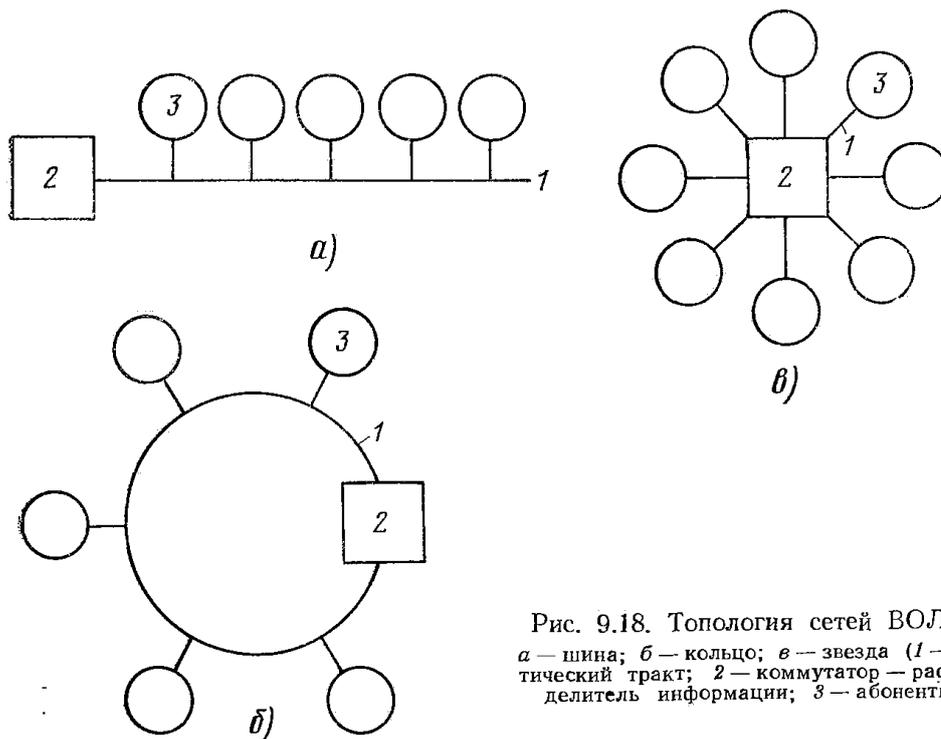


Рис. 9.18. Топология сетей ВОЛС:
 а — шина; б — кольцо; в — звезда (1 — оптический тракт; 2 — коммутатор — распределитель информации; 3 — абоненты)

306

Точка-точка - это соединение двух узлов с помощью терминальных мультиплексоров. "Точка-точка" пример наиболее простой организации сети, однако он может быть предложен для участков магистральной сети с большой протяженностью и напряженной нагрузкой (уровни STM-16, STM-64) при 100% резервировании линии и группового оборудования аппаратуры (мультиплексоров и регенераторов).

Линейная цепь - эта конфигурация применяется, если интенсивность нагрузки в сети невелика, и в ряде точек линии необходимо сделать ответвления для ввода и вывода каналов доступа. Она реализуется использованием как терминальных (ТМ), так и мультиплексоров ввода-вывода (ADM). Эта топология напоминает линейную цепь, состоящую из отдельных звеньев мультиплексоров ввода/вывода. Для нее возможно соединение без резервирования и с резервированием типа 1 + 1.

Звезда - это архитектурное решение применяется для подключения удаленных узлов сети к главной транспортной магистрали. При этом один из мультиплексоров выполняет функции концентратора, у которого часть трафика выведена, например, к терминалам пользователей, а оставшиеся каналы

доступа распределены по другим удаленным узлам. В этом случае мультиплексор должен обладать свойствами мультиплексора ввода-вывода с развитыми возможностями кроссового коммутатора. Пример топологии "звезда" изображен на рисунке.

Кольцо - эта топология широко используется для построения транспортных сетей местного и регионального масштаба. В синхронной цифровой иерархии это распространенный вид сети для уровней STM-1, STM-4, STM-16 и при построении фотонных сетей с оптическими каналами вывода/ввода (доступа). Главное преимущество кольцевой архитектуры - простота организации защиты типа 1 + 1 благодаря наличию в мультиплексоре двух отдельных (запад и восток) оптических агрегатных входов/выходов. При этом может быть организована защита трафика путем дублирования передачи информационных потоков по встречным направлениям в разных кольцах или организована защита отдельных секций передачи путем переключения всего трафика на резервное кольцо.

8. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

8.1. Определение чувствительности лавинного фотодиода для разных скоростей передачи

Чувствительность фотодиода позволяет определить энерго-потенциал (необходимый перепад между уровнем передачи и приёма).

$$\mathcal{E}_n = p_s - p_r, \text{ дБм} \quad (1)$$

где

\mathcal{E}_n – энергетический потенциал,

p_s – уровень передачи,

p_r – чувствительность лавинного фотодиода.

Использование лавинных фотодиодов вместо р-і-п фотодиодов обусловлено их более высокой чувствительностью. Уровень чувствительности определяется выражением:

$$p_r = 10 \lg \frac{h\nu \bar{n}_0 B_0}{10^{-3}}, \text{ дБм} \quad (2)$$

где

\bar{n}_0 – необходимое число фотонов на бит информации при коэффициенте ошибок $K_{ош} \leq 10^9$,

$h = 6,6252 \cdot 10^{-34} \text{ Вт} \cdot \text{с}^2$ – постоянная Планка,

ν – частота излучения лазера,

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \text{ с}^{-1} \quad (3)$$

$$\nu = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{1,53 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 1,96 \cdot 10^{14}, \text{ с}^{-1}$$

где

$c = 3 \cdot 10^8, \frac{\text{м}}{\text{с}}$ – скорость света,

λ – длина волны излучения,

$p_0 = 1, \text{ мВт} \rightarrow p_s = 0, \text{ дБм}$ – мощность излучения лазера.

Т.к. необходимо найти зависимость чувствительности от скорости передачи, то расчёт уровней удобней вести в виде:

$$p_r = 30 + 10 \lg(\bar{n}_0 h \nu) + 10 \lg B_0, \text{ дБм} \quad (4)$$

Произведём расчёт чувствительности фотодиода по формуле (4) для различных скоростей передачи:

$$p_r = 30 + 10 \lg(1000 \cdot 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,96 \cdot 10^{14}) + 10 \lg(0,002 \cdot 10^9) = -65,8, \text{ дБм}$$

$$p_r = 30 + 10 \lg(1000 \cdot 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,96 \cdot 10^{14}) + 10 \lg(0,008 \cdot 10^9) = -59,86, \text{ дБм}$$

$$p_r = 30 + 10 \lg(1000 \cdot 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,96 \cdot 10^{14}) + 10 \lg(0,034 \cdot 10^9) = -53,56, \text{ дБм}$$

$$p_r = 30 + 10 \lg(1000 \cdot 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,96 \cdot 10^{14}) + 10 \lg(0,155 \cdot 10^9) = -46,96, \text{ дБм}$$

$$p_r = 30 + 10 \lg(1000 \cdot 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,96 \cdot 10^{14}) + 10 \lg(0,622 \cdot 10^9) = -40,96, \text{ дБм}$$

$$p_r = 30 + 10 \lg(1000 \cdot 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,96 \cdot 10^{14}) + 10 \lg(2,5 \cdot 10^9) = -34,89, \text{ дБм}$$

$$p_r = 30 + 10 \lg(1000 \cdot 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,96 \cdot 10^{14}) + 10 \lg(10 \cdot 10^9) = -28,86, \text{ дБм}$$

$$p_r = 30 + 10 \lg(1000 \cdot 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,96 \cdot 10^{14}) + 10 \lg(40 \cdot 10^9) = -22,86, \text{ дБм}$$

$$\mathcal{E}_n = 0 - (-65,8) = 65,8, \text{ дБм}$$

$$\mathcal{E}_n = 0 - (-59,86) = 59,86, \text{ дБм}$$

$$\mathcal{E}_n = 0 - (-53,86) = 53,86, \text{ дБм}$$

$$\mathcal{E}_n = 0 - (-46,86) = 46,86, \text{ дБм}$$

$$\mathcal{E}_n = 0 - (-40,96) = 40,96, \text{ дБм}$$

$$\mathcal{E}_n = 0 - (-34,89) = 34,89, \text{ дБм}$$

$$\mathcal{E}_n = 0 - (-28,86) = 28,86, \text{ дБм}$$

$$\mathcal{E}_n = 0 - (-22,86) = 22,86, \text{ дБм}$$

Таблица 2
Зависимость энерго-потенциала от скорости

$V_0, \left(\frac{\Gamma_{\text{Бит}}}{c}\right)$	0,002	0,008	0,034	0,155	0,622	2,5	10	40
$p_r, \text{ дБм}$	- 65,8	- 59,86	- 53,86	- 46,86	- 40,96	- 34,89	- 28,86	- 22,86
$\mathcal{E}_n, \text{ дБм}$	65,8	59,86	53,86	46,86	40,96	34,89	28,86	22,86

8.2. Определение зависимости длины пролёта от скорости передачи с учётом затухания линейного тракта.

Пролет – это участок пути, перекрываемый в результате компенсации потерь от затухания сигнала за счет запаса по усилению (энергетический потенциал) или за счет усиления оптического усилителя.

Исходным выражением для расчёта является баланс мощностей на участке линейного тракта (пролёта):

$$P_s - P_c - P_m - \alpha L = p_r, \text{ дБм} \quad (5)$$

где

P_s – уровень передачи (мощность излучения, вводимого лазером в волокно),

P_c – потери на соединениях (сварочных и разъёмных), дБм

p_m – необходимый запас по мощности (учитывает разброс параметров элементов, температурные изменения), обычно принимается равным $p_m = 6, \text{ дБм}$,

α – коэффициент затухания линейного кабеля,
 L – длина пролёта.

Потери на стыках составляют:

$$p_c = a_{pc}n_{pc} + a_{nc}n_{nc}, \text{ дБм} \quad (6)$$

где

a_{pc} – затухание разъёмных соединителей ($a_{pc} = 0,25, \text{ дБ}$),

n_{pc} – число разъёмных соединителей ($n_{pc} = 2$),

a_{nc} – затухание неразъёмных соединителей (сварка стыков на концах строительных длин) ($a_{nc} = 0,05, \text{ дБ}$),

n_{nc} – число неразъёмных соединителей.

Число неразъёмных соединителей определяется по формуле:

$$n_{nc} = \frac{L}{L_{cmp}} - 1, \text{ шт} \quad (7)$$

где

L_{cmp} – строительная длина волоконно-оптического кабеля, км.

L – длина пролета.

Из формул (4), (5), (6) можно определить расстояние между усилительными пунктами:

$$L = L_0 - \frac{10}{\alpha + \frac{a_{nc}}{L_{cmp}}} \lg B_0, \text{ км} \quad (8)$$

где

$$L_0 = \frac{1}{\alpha + \frac{a_{nc}}{L_{cmp}}} \left[p_s - p_m - a_{pc}n_{pc} - 30 - 10 \lg(\bar{n}_0 h \nu) \right], \text{ км} \quad (9)$$

При использовании в линейном тракте оптических коммутаторов и оптических устройств ввода-вывода в формуле (8) учитывается затухание этих элементов.

$$L_0 = \frac{1}{0,24 + \frac{0,05}{1}} \left[0 - 6 - 0,25 \cdot 2 - 30 - 10 \lg(1000 \cdot 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,96 \cdot 10^{14}) \right] = 442, \text{ км}$$

Произведём расчёт длины пролета:

$$L = 422 - \frac{10}{0,24 + \frac{0,05}{1}} \lg (0,002 \cdot 10^9) = 204,75 \text{ км}$$

$$L = 422 - \frac{10}{0,24 + \frac{0,05}{1}} \lg (0,008 \cdot 10^9) = 184 \text{ км}$$

$$L = 422 - \frac{10}{0,24 + \frac{0,05}{1}} \lg (0,034 \cdot 10^9) = 162,32 \text{ км}$$

$$L = 422 - \frac{10}{0,24 + \frac{0,05}{1}} \lg (0,155 \cdot 10^9) = 139,6 \text{ км}$$

$$L = 422 - \frac{10}{0,24 + \frac{0,05}{1}} \lg (0,622 \cdot 10^9) = 118,8 \text{ км}$$

$$L = 422 - \frac{10}{0,24 + \frac{0,05}{1}} \lg (2,5 \cdot 10^9) = 98 \text{ км}$$

$$L = 422 - \frac{10}{0,24 + \frac{0,05}{1}} \lg (10 \cdot 10^9) = 77 \text{ км}$$

$$L = 422 - \frac{10}{0,24 + \frac{0,05}{1}} \lg (40 \cdot 10^9) = 56,45 \text{ км}$$

Таблица 3

Зависимость длины пролета от скорости передачи, с учетом затухания тракта

$V_0, (\frac{\Gamma \text{Бит}}{с})$	0,002	0,008	0,034	0,155	0,622	2,5	10	40
$L, \text{ км}$	204,7 5	184	162,3 2	139,6	118,8	98	77	56,45

Зная длину пролета определим число $n_{нс}$ по формуле (7)

$$n_{нс} = \frac{L}{L_{стр}} - 1, \text{ шт}$$

$$n_{нс} = \frac{204,75}{1} - 1 = 204, \text{ шт}$$

$$n_{нс} = \frac{184}{1} - 1 = 183, \text{ шт}$$

$$n_{nc} = \frac{162,32}{1} - 1 = 162, \text{ шт}$$

$$n_{nc} = \frac{139,6}{1} - 1 = 139, \text{ шт}$$

$$n_{nc} = \frac{118,8}{1} - 1 = 118, \text{ шт}$$

$$n_{nc} = \frac{98}{1} - 1 = 97, \text{ шт}$$

$$n_{nc} = \frac{77}{1} - 1 = 76, \text{ шт}$$

$$n_{nc} = \frac{56,45}{1} - 1 = 56, \text{ шт}$$

Потери на стыках определяются по формуле (6)

$$P_c = a_{pc}n_{pc} + a_{nc}n_{nc}, \text{ дБм}$$

где a_{pc} – затухание разъёмных соединителей ($a_{pc} = 0,25$, дБ),

n_{pc} – число разъёмных соединителей ($n_{pc} = 2$),

$$P_c = 0,25 \cdot 2 + 0,05 \cdot 204 = 10,7 \text{ дБм}$$

$$P_c = 0,25 \cdot 2 + 0,05 \cdot 183 = 9,65 \text{ дБм}$$

$$P_c = 0,25 \cdot 2 + 0,05 \cdot 162 = 8,6 \text{ дБм}$$

$$P_c = 0,25 \cdot 2 + 0,05 \cdot 139 = 7,45 \text{ дБм}$$

$$P_c = 0,25 \cdot 2 + 0,05 \cdot 118 = 6,4 \text{ дБм}$$

$$P_c = 0,25 \cdot 2 + 0,05 \cdot 97 = 5,35 \text{ дБм}$$

$$P_c = 0,25 \cdot 2 + 0,05 \cdot 76 = 4,35 \text{ дБм}$$

$$P_c = 0,25 \cdot 2 + 0,05 \cdot 56 = 3,3 \text{ дБм}$$

8.3. Определение длины секции в зависимости от скорости передачи, с учётом дисперсии линейного тракта.

Секция – это участок пути, перекрываемый одним или несколькими пролетами, в соответствии с конфигурацией, на границе которого расположены регенераторы, применяемые для восстановления формы сигнала после его прохождения через несколько пролетов или избавления от шумов, превышающих допустимые.

Связь между длиной секции и скоростью передачи B_0 выражается следующей зависимостью (для кода NRZ):

$$L = \frac{2c}{|D_\lambda| \lambda_0^2 B_0^2}, \text{ км} \quad (10)$$

где

c – скорость света ($c = 3 \cdot 10^8, \frac{м}{с}$),

D_λ – коэффициент дисперсии материала волокна, $\frac{пс}{нм \cdot км}$

Произведём расчёт длины пролёта с учётом дисперсии линейного тракта при различных скоростях передачи:

$$L_{сек1} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{5 \cdot 10^{-12}}{10^{-9} \cdot 10^3} \cdot (1,53 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (0,002 \cdot 10^9)^2} \cdot 10^{-3} = 1,28 \cdot 10^{10}, км$$

$$L_{сек2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{5 \cdot 10^{-12}}{10^{-9} \cdot 10^3} \cdot (1,53 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (0,008 \cdot 10^9)^2} \cdot 10^{-3} = 8,01 \cdot 10^8, км$$

$$L_{сек3} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{5 \cdot 10^{-12}}{10^{-9} \cdot 10^3} \cdot (1,53 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (0,034 \cdot 10^9)^2} \cdot 10^{-3} = 4,43 \cdot 10^7, км$$

$$L_{сек4} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{5 \cdot 10^{-12}}{10^{-9} \cdot 10^3} \cdot (1,53 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (0,155 \cdot 10^9)^2} \cdot 10^{-3} = 2,13 \cdot 10^6, км$$

$$L_{сек5} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{5 \cdot 10^{-12}}{10^{-9} \cdot 10^3} \cdot (1,53 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (0,622 \cdot 10^9)^2} \cdot 10^{-3} = 1,32 \cdot 10^5, км$$

$$L_{сек6} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{5 \cdot 10^{-12}}{10^{-9} \cdot 10^3} \cdot (1,53 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (2,5 \cdot 10^9)^2} \cdot 10^{-3} = 8205, км$$

$$L_{сек7} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{5 \cdot 10^{-12}}{10^{-9} \cdot 10^3} \cdot (1,53 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (10 \cdot 10^9)^2} \cdot 10^{-3} = 513, км$$

$$L_{сек8} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{5 \cdot 10^{-12}}{10^{-9} \cdot 10^3} \cdot (1,53 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (40 \cdot 10^9)^2} \cdot 10^{-3} = 32,05, км$$

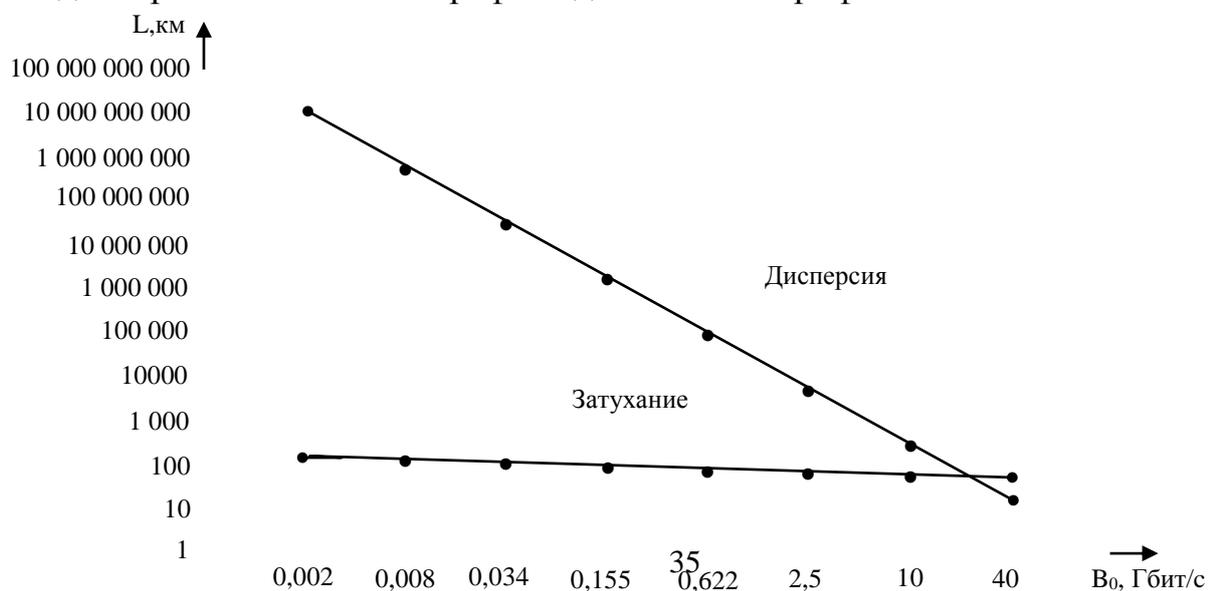
Таблица 4

Зависимость длины секции от скорости передачи, с учётом дисперсии линейного тракта

$V_0, (\frac{ГБит}{с})$	0,002	0,008	0,034	0,155	0,622	2,5	10	40
$L_{сек}, км$	$1,28 \cdot 10^{10}$	$8,01 \cdot 10^8$	$4,43 \cdot 10^7$	$2,13 \cdot 10^6$	$1,32 \cdot 10^5$	8205	513	32,05

8.4. Результирующие графики зависимости расстояния между повторителями от скорости передачи V_0

По итогам таблиц 3 и 4 строятся результирующие графики зависимостей расстояния между повторителями от скорости передачи V_0 для затухания и дисперсии. Обе шкалы графика даются в логарифмическом масштабе.



--	--	--	--	--	--	--	--	--

Рис.4. График зависимостей расстояния между повторителями от скорости передачи B_0 для затухания и дисперсии.

Количество усилителей для данной секции определяется следующим образом:

$$N = \frac{L_{сек}}{L_{пр}} - 1, \text{ шт.} \quad (11)$$

$$N = \frac{1,28 \cdot 10^{10}}{204,75} - 1 = 62515262 \text{ шт.}$$

$$N = \frac{8,01 \cdot 10^8}{184} - 1 = 4353260 \text{ шт.}$$

$$N = \frac{4,43 \cdot 10^7}{162,32} - 1 = 272917 \text{ шт.}$$

$$N = \frac{2,13 \cdot 10^6}{139,6} - 1 = 15257 \text{ шт.}$$

$$N = \frac{1,32 \cdot 10^5}{118,8} - 1 = 1111 \text{ шт.}$$

$$N = \frac{8205}{98} - 1 = 83 \text{ шт.}$$

$$N = \frac{513}{77} - 1 = 6 \text{ шт.}$$

$$N = \frac{32,05}{56,45} - 1 = 0 \text{ шт.}$$

Результаты расчёта представим в виде таблицы:

Таблица 5

Данные по длине пролета и секции для скорости передачи PDH и SDH

$V_0, (\frac{ГБит}{с})$	0,002	0,008	0,034	0,155	0,622	2,5	10	40
Тип системы	E1	E2	E3	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64	STM-256
$L_{np}, км$	204,75	184	162,32	139,6	118,8	98	77	56,45
$L_{сек}, км$	$1,28 \cdot 10^{10}$	$8,01 \cdot 10^8$	$4,43 \cdot 10^7$	$2,13 \cdot 10^6$	$1,32 \cdot 10^5$	8205	513	32,05
N	62515262	4353260	272917	15257	1111	83	6	0

На основании данных, полученных для 10 Гбит/с необходимо построить топологию линейного тракта для системы STM-64.

Так как по заданию $L_{стр} = 1 км$, то чтобы в секции укладывалось целое число строительных длин кабеля целесообразно округлить L_{np} до такого числа, которое без остатка делилось бы на 6. Следовательно $L_{np} = 77 км$, а число квантовых усилителей составит:

$$N = \frac{513}{77} - 1 = 6 шт.$$

Структурная схема топологии линейного тракта для системы передачи STM-64 представлена на Рис.5.

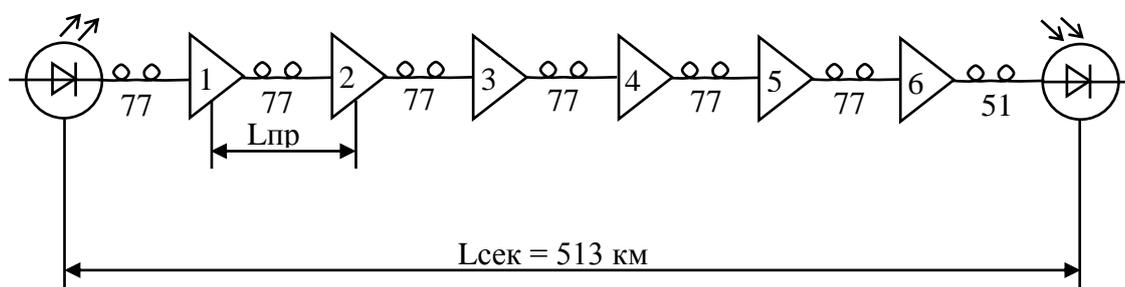


Рис. 5. Схема топологии линейного тракта для системы передачи STM-64

8.5. Расчёт помехозащищённости и постройка диаграммы уровней для секции

Помехозащищённость квантовых усилителей в Bm определяется по формуле:

$$N_{out} = hv \cdot \Delta\nu \cdot G \cdot NF, Bm \quad (12)$$

где

$h\nu$ – мощность шумов, вносимых спонтанным переходом одного фотона на 1 Гц полосы,

$\Delta\nu$ – ширина спектра излучения лазера, равная модулирующему спектру, Гц

G – коэффициент усиления квантового усилителя,

NF – фактор шума квантового усилителя ($NF = 3,55$ дБ).

Для расчёта помехозащищённости необходимо знать усиление квантового усилителя G , которое определяется по формуле:

$$G = p_c + p_m + \alpha L_{np}, \text{ Дб} \quad (13)$$

где

p_c – потери на стыках $p_c = 0,5$ дБ,

p_m – необходимый запас по мощности, обычно задаётся равным 6 дБ,

α – коэффициент затухания линейного кабеля,

L – длина пролёта на 10 ГГц.

Рассчитаем усиление для длины пролёта 1 для системы передачи

STM-16 по формуле

$$G = 0,5 + 6 + 0,24 \cdot 98 = 30,02, \text{ дБ}$$

Далее необходимо произвести расчёт уровня шумов для данной системы передачи:

$$\begin{aligned} n_{out} &= 10 \lg \frac{6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,92 \cdot 10^{14}}{10^{-3}} + 10 \lg \cdot 10^{10} + 10 \lg 30,02 + 10 \lg 3,55 = \\ &= -38,59 \text{ дБм} \end{aligned}$$

Рассчитаем усиление для длины пролёта 1 для системы передачи STM-64 по формуле

$$G = 0,5 + 6 + 0,24 \cdot 77 = 24,98, \text{ дБ}$$

Далее необходимо произвести расчёт уровня шумов для данной системы передачи:

$$\begin{aligned} n_{out} &= 10 \lg \frac{6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 1,92 \cdot 10^{14}}{10^{-3}} + 10 \lg \cdot 10^{10} + 10 \lg 30,02 + 10 \lg 3,55 = \\ &= -39,32 \text{ дБм} \end{aligned}$$

С учётом накопления шумов на квантовых усилителях помехозащищённость будет определяться по формуле:

$$A_z = p_s - n_{out} - 10 \lg k, \text{ дБм} \quad (15)$$

где k – порядковый номер квантового оптического усилителя.

$$A_z = 0 - 38,6 - 10 \lg 1 = 38,6 \text{ дБм}$$

$$A_z = 0 - 38,6 - 10 \lg 2 = 35,59 \text{ дБм}$$

$$A_z = 0 - 38,6 - 10 \lg 3 = 33,83 \text{ дБм}$$

$$A_z = 0 - 38,6 - 10 \lg 4 = 32,58 \text{ дБм}$$

$$A_z = 0 - 38,6 - 10 \lg 5 = 31,6 \text{ дБм}$$

$$A_z = 0 - 38,6 - 10 \lg 6 = 30,82 \text{ дБм}$$

Помехозащищённость позволяет определить возможное число усилителей на длине секции. Если помехозащищённость падает до величины ≈ 22 дБм, что соответствует коэффициенту ошибок $k_{ош} = 10^{-9} - 10^{-11}$, то дальнейшее увеличение длины секции недопустимо. Результаты расчёта помехозащищённости при скорости передачи 2,5 Гбит/с приведены в Таблице 6.

Для системы STM-16 2,5 Гбит/с определим какое количество усилителей снизит помехозащищённость до величины 22 дБм, т.е. найдем k при $A_3 = 22$ дБм.

$$k = 10 \left(\frac{0 + 38,59 - 22}{10} \right) \approx 45$$

Таблица 6

Расчет помехозащищенности для системы передачи STM-16

k	1	2	3	4	5	6
$10 \lg k$	0	3,01	4,77	6,02	7	7,78
$A_3, \text{дБм}$	38,6	35,59	33,83	32,58	31,6	30,82

Для системы передачи STM-64

$$A_3 = 0 - 39,32 - 10 \lg 1 = 39,32 \text{ дБм}$$

$$A_3 = 0 - 39,32 - 10 \lg 2 = 36,31 \text{ дБм}$$

$$A_3 = 0 - 39,32 - 10 \lg 3 = 34,55 \text{ дБм}$$

$$A_3 = 0 - 39,32 - 10 \lg 4 = 33,3 \text{ дБм}$$

$$A_3 = 0 - 39,32 - 10 \lg 5 = 32,32 \text{ дБм}$$

$$A_3 = 0 - 39,32 - 10 \lg 6 = 31,54 \text{ дБм}$$

Для системы STM-64 10 Гбит/с определим какое количество усилителей снизит помехозащищённость до величины 22 дБм, т.е. найдем k при $A_3 = 22$ дБм.

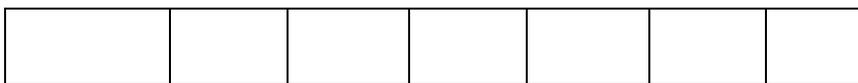
$$k = 10 \left(\frac{0 + 39,32 - 22}{10} \right) \approx 53$$

Результаты сводим в Таблицу 7.

Таблица 7

Расчет помехозащищенности для системы передачи STM-64

k	1	2	3	4	5	6
$10 \lg k$	0	3,01	4,77	6,02	7	7,78
$A_3, \text{дБм}$	39,32	36,31	34,55	33,3	32,32	31,54



Из формулы (11) было определено число квантовых усилителей $N=6$ на длине секции 513 км, при скорости передачи 10 Гбит/с. Из Таблицы 6 видно, что предельно допустимое число квантовых усилителей на секции равно 53, следовательно рассчитанное количество усилителей $N=6$ является допустимым.

По полученным результатам строятся диаграммы уровня оптической мощности, уровня шумов в линейном тракте и помехозащищённости.

Диаграммы строятся на миллиметровке. Смотреть рис. 6 ниже

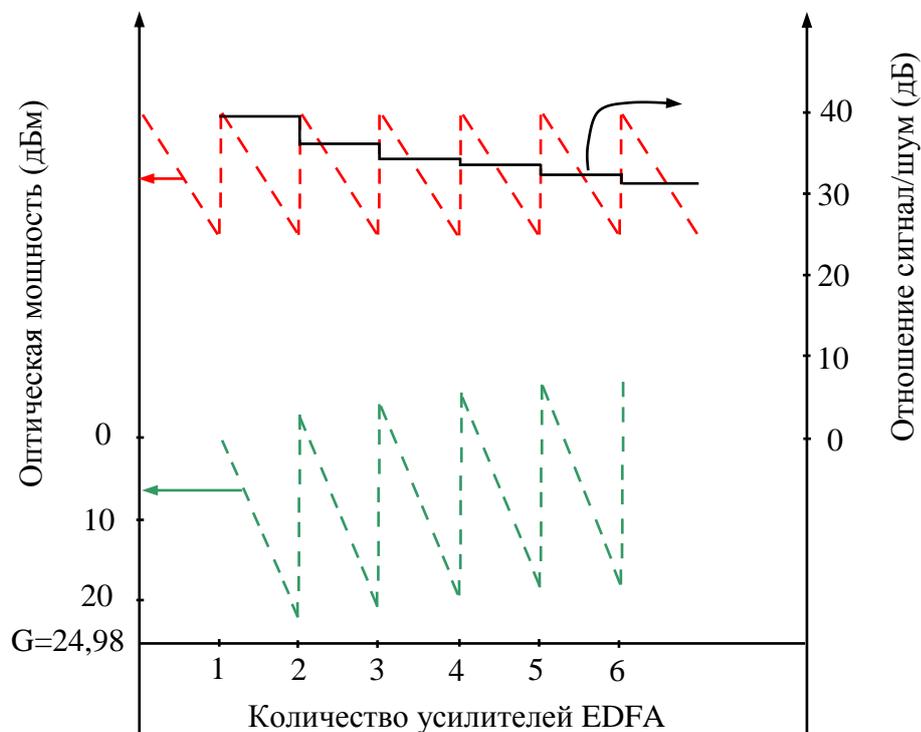


Рис. 6. Диаграмма уровней мощности и шума на канал

- Мощность сигнала на канал
- Мощность спонтанного излучения(шума) на канал
- Отношение сигнал/шум

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения курсового проекта был спроектирован линейный тракт волоконно-оптической системы передачи для уровня STM-64.

Была определена максимальная длина секции равная 513 км, длина усиленного участка составила 77 км, в соответствии с этим было вычислено необходимое количество оптических усилителей, около 3-х на протяжении всей длины секции и дана краткая техническая характеристика соответствующей нашим расчетам аппаратура ВОСП Flex Gain FOM10GL2 .

В ходе проведения расчетов была определена помехозащищенность секции для уровня передачи STM-64, которая составила 39,32 дБм. Которая удовлетворила требованию по количеству усилителей на длине секции и помехозащищенность при этом не падает до величины ≈ 22 дБм, что соответствует коэффициенту ошибок $k_{ош} = 10^{-9} - 10^{-11}$, и построены диаграммы уровней передачи для секции а также сконструирован линейный тракт передачи для уровня STM-64 в соответствии с исходными данными варианта и полученными результатами расчетов.

Был построен график зависимости дисперсии и затухания от скорости передачи В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берганов И.Р., Вишневецкий А.Г. Проектирование линейного тракта волоконно-оптических систем передачи. Учебное пособие/ ТУИТ. Ташкент, 2002, 29с.
2. Р.Р.Убайдуллаев. Волоконно-оптические сети. ЭКО-ТРЕНДЗ, Москва 1998,267с.
3. Н.Н.Слепов. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. Радио и связь, Москва 2000,486 с.