

В.Г. Фокин. Волоконно-оптические системы передачи. Практикум. – Новосибирск: ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2011 – 54с.

Практикум предназначен для самостоятельной работы студентов заочной и заочной ускоренной форм обучения по специальности: 210404 – «Многоканальные телекоммуникационные системы».

В практикуме представлены: программа дисциплины, контрольные задания, методические указания к решению задач, справочные приложения и список учебной литературы.

Кафедра МЭС и ОС

Табл. –25 , список лит. – 19 наименов.

Рецензент: Н.В. Носкова

Утверждено редакционно-издательским советом СибГУТИ в качестве практикума для студентов заочного обучения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Программа дисциплины.....	5
1 Основы построения оптических систем передачи.....	8
2 Мультиплексирование в оптических системах передачи.....	11
3 Источники оптического излучения для систем передачи.....	12
4 Модуляция излучения источников электромагнитных волн оптического диапазона	15
5 Фотоприемники для оптических систем передачи	17
6 Фотоприёмные устройства оптических систем передачи.....	19
7 Оптические усилители для оптических систем передачи	21
8 Линейные тракты оптических систем передачи.....	23
9 Оптические компоненты для систем передачи и оптических сетей.....	28
10 Волоконно-оптические системы с солитонной передачей и нанофотонные технологии.....	29
Заключение.....	30
Приложение 1.....	31
Приложение 2.....	40
Приложение 3.....	48
Приложение 4.....	52
Список учебной литературы, рекомендуемой для выполнения контрольного задания и решения задач.....	53

ВВЕДЕНИЕ

Практикум предназначен для студентов, изучающих дисциплину «Волоконно-оптические системы передачи» по заочной форме обучения. В практикум включены: программа дисциплины; контрольные задания и методические указания к задачам по всем разделам дисциплины, справочные приложения и список учебной литературы.

Студентам рекомендуется внимательно ознакомиться с программой, ответить письменно на контрольные вопросы, используя указанную литературу и конспект лекций, решить задачи по индивидуальным вариантам и обязательно сделать выводы.

На вопросы, приведенные в отдельных разделах, *следует отвечать кратко, по существу*. При решении контрольных задач следует сопровождать расчеты краткими *пояснениями, выводами и оценками*. Кроме того, все решения должны четко обозначаться соответствующими единицами измерений. Например, частота – Гц, расстояние – м или км, потери мощности – дБ, уровень мощности – дБм, дисперсия одномодового волокна – пс/(нм·км), дисперсия поляризованной моды пс/√км, полоса пропускания оптического волокна, нормированная по длине линии – МГц·км, длина волны излучения – мкм или нм и т.д.

При ответе на вопросы и решении контрольных задач рекомендуется использовать графические пояснения. Рисунки следует оформлять согласно существующим стандартам. Для ответа на вопросы и решения конкретных задач можно использовать конспект лекций и рекомендованные учебные издания. Также рекомендуется использовать периодические научно-технические издания (журналы «Электросвязь», «Вестник связи», «Технологии и средства связи», «Фотон-Экспресс», «Lightwave Russian Edition» и другие, в том числе издания Интернет) и издания, которые могут выйти в печати после опубликования этих учебных материалов.

Обратите внимание! При решении задач с №1 по №8 необходимо учитывать временные коэффициенты, которые соответствуют году выполнения задания (табл. В1).

Таблица В1. Поправочные коэффициенты к задачам

Год выполнения	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Временной коэффициент, ψ	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Введение. Основные определения систем передачи.

1 Основы построения оптических систем передачи

- 1.1 Характеристики диапазонов электромагнитных волн для оптической связи.
- 1.2 Характеристики физических сред для передачи оптических сигналов.
- 1.3 Характеристики материалов для изготовления источников, приемников оптического излучения и волноводов.
- 1.4 Структурная схема оптической системы передачи.

2 Мультиплексирование в оптических системах передачи

- 2.1 Мультиплексирование PDH.
- 2.2 Мультиплексирование SDH.
- 2.3 Мультиплексирование ATM.
- 2.4 Мультиплексирование OTH.
- 2.5 Мультиплексирование Ethernet.

3 Источники оптического излучения для систем передачи

- 3.1 Требования к излучателям.
- 3.2 Светоизлучающие диоды. Конструкции, принцип действия, основные электрические и оптические характеристики.
- 3.3 Лазеры. Конструкции, принцип действия, основные электрические и оптические характеристики.
- 3.4 Согласование источников излучения с физическими средами.

4 Модуляция излучения источников электромагнитных волн оптического диапазона

- 4.1 Определение модуляции и классификация видов.
- 4.2 Прямая модуляция источников излучения.
- 4.3 Внешняя модуляция оптического излучения.
- 4.4 Сравнительные характеристики видов модуляции.

5 Фотоприемники для оптических систем передачи

- 5.1 Определение фотодетектора. Виды фотодетекторов. Требования к фотодетекторам.
- 5.2 Фотодиоды конструкции p-i-n. Принцип действия, основные характеристики.
- 5.3 Лавинные фотодиоды. Конструкции, принцип действия, основные характеристики. Преимущества ЛФД.

5.4 Фотодиоды конструкции TWP.

5.5 Шумы фотодиодов. Эквивалентная шумовая схема фотодиода.

6 Фотоприемные устройства оптических систем передачи

6.1 Методы фотодетектирования (прямое детектирование и детектирование с преобразованием). Требования к ФПУ.

6.2 Фотоприемное устройство с прямым детектированием.

6.3 Фотоприемные устройства детектирования с преобразованием.

6.4 Усилители фотоприемных устройств. Электрическая и оптическая полоса пропускания.

6.5 Оценка соотношения сигнал/шум на выходе фотоприемного устройства.

6.6 Особенности построения ФПУ при использовании фазовой модуляции.

7 Оптические усилители для оптических систем передачи

7.1 Принципы оптического усиления. Классификация и назначение усилителей.

7.2 Полупроводниковые оптические усилители. Конструкции, принцип действия, основные характеристики.

7.3 Волоконно-оптические усилители на основе редкоземельных элементов. Конструкции, принцип действия, основные характеристики.

7.4 Оптические усилители на основе эффекта рассеяния.

8 Линейные тракты оптических систем передачи

8.1 Способы построения линейных трактов оптических систем передачи.

8.2 Требования к линейным сигналам одноволновых оптических систем передачи.

8.3 Линейные коды оптических систем передачи. Классификация кодов и их характеристики.

8.4 Алгоритмы формирования сигналов в линейных кодах ВОСП.

8.5 Проектирование линейных одноволновых трактов ВОСП. Ограничения длины регенерационного участка.

8.6 Требования к линейным трактам систем с многоволновой передачей.

8.7 Проектирование линейных трактов многоволновой передачи. Ограничение длины участка регенерации и ретрансляции.

8.8 Q-фактор для оценки качества передачи.

8.9 Упреждающая коррекция ошибок в оптических системах передачи.

8.10 Оптические интерфейсы.

9 Оптические компоненты для систем передачи и оптических сетей

9.1 Оптические разъёмные соединители.

9.2 Соединительные розетки и адаптеры.

9.3 Оптические аттенюаторы.

9.4 Оптические кроссы.

9.5 Оптические разветвители

9.6 Оптические изоляторы.

9.7 Оптические фильтры, мультиплексоры и демультиплексоры.

9.8 Оптические циркуляторы.

9.9 Компенсаторы дисперсии.

9.10 Преобразователи длин волн и транспондеры.

9.11 Оптические коммутаторы и маршрутизаторы.

9.12 Оптические мультиплексоры/демультиплексоры OADM и ROADM.

10 Волоконно-оптические системы с солитонной передачей и нано-фотонные технологии

10.1 Определение оптического солитона.

10.2 Нелинейные оптические эффекты в стекловолкне и существование солитонов.

10.3 Принципы построения солитонных волоконно-оптических систем передачи.

10.4 Фотонные кристаллы

10.5 Нанофотонные технологии

Список учебной литературы приведён в конце практикума.

1 ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Изучите конспект, учебную литературу [1,2,3,4,7,8,16, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:

1. Что принято понимать под волоконно-оптической системой передачи?
2. Какой диапазон электромагнитных волн (частот) получил наибольшее применение в оптических системах передачи?
3. Какой физический смысл у показателя преломления?
4. Какие характеристики имеют стекловолокна?
5. Какие оптические диапазоны определены для улучшенных волокон стандарта G.652?
6. Чем принципиально отличаются волокна SMF и NZDSF?
7. В чем физический смысл «запрещённой зоны» полупроводниковых материалов?
8. Почему соединение GaAs может использоваться для изготовления источников и приёмников оптического излучения ВОСП?
9. Чем отличаются прямозонные и непрямозонные материалы?
10. Какие функции может выполнять р-п переход в оптических приборах при прямом и обратном смещении?
11. Какие устройства могут входить в состав ВОСП?
12. Какие функции выполняет оптический конвертор ВОСП?

Задача 1

Определить затухание, дисперсию, полосу пропускания и максимальную скорость передачи двоичных импульсов в волоконно-оптической системе с длиной секции L (км), с километрическим затуханием α (дБ/км) на длине волны излучения передатчика λ_0 (мкм), ширине спектра излучения $\Delta\lambda_{0,5}$ на уровне половины максимальной мощности излучения. Определить расстояние, на котором хроматическая дисперсия сравняется с поляризационной модовой дисперсией (ПМД) в указанном по варианту типе волокна. Данные для задачи приведены в табл.1.1 и 1.2. Определить мощность оптического излучения в волокне на выходе секции, если на входе подключен оптический генератор с уровнем мощности 0дБм на заданной длине волны λ_0 .

Таблица 1.1

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина оптической секции, км	42	96	104	127	67	85	74	133	119	135

Таблица 1.2

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип волокна	SF	DSF	SMF-LS	SF	DSF	True Wave	LEAF	SMF-LS	True Wave	LEAF
Кэфф. затухания α , дБ/км	0,35	0,28	0,26	0,25	0,3	0,27	0,24	0,21	0,22	0,23
Длина волны λ_0 , мкм	1,31	1,52	1,53	1,55	1,31	1,54	1,56	1,55	1,55	1,56
Спектральная линия $\Delta\lambda_{0,5}$, нм	0,05	0,02	0,2	0,1	0,15	0,4	0,3	0,18	0,8	1
Кэфф. хроматической дисперсии $\sigma_{хр}$, пс/(нм·км)	3,5	-2,2	14,2	17,5	-6,2	3,7	4,5	14,5	13,2	14

SF, Standard Fiber – стандартное одномодовое ступенчатое волокно, коэффициент ПМД $\sigma_{пмд}=0,5$ пс/√км;

DSF, Dispersion-Shifted (single mode) Fiber – волокно одномодовое со смещенной дисперсией, коэффициент ПМД $\sigma_{пмд}=0,1$ пс/√км;

SMF-LS, Single Mode Fiber-LS – одномодовое оптическое волокно со смещенной ненулевой дисперсией (Corning) [8], коэффициент ПМД $\sigma_{пмд}=0,05$ пс/√км;

True Wave, «Истинная волна» – одномодовое оптическое волокно со смещенной ненулевой дисперсией (Lucent Technologies) [8], коэффициент ПМД $\sigma_{пмд}=0,1$ пс/√км;

LEAF – одномодовое оптическое волокно со смещенной ненулевой дисперсией (Corning) [8], коэффициент ПМД $\sigma_{пмд}=0,01$ пс/√км.

Методические указания к задаче 1

1) Для решения задачи 1 необходимо внимательно изучить по [7] (стр. 11 – 35) характеристики кварцевых оптических волокон.

2) Рекомендуется следующий порядок выполнения задания 1:

- определить максимальное затухание секции длиной L ;

- определить совокупную дисперсию секции с учетом ширины спектра излучения;
- определить полосу пропускания оптической линии;
- определить максимальную скорость передачи двоичных импульсов через оптическую линию.

3) Результирующее максимальное затухание секции находится из соотношения:

$$A_M = \alpha \times L \times \Psi + I_s \times N_s, \text{ [дБ]}, \quad (1.1)$$

где I_s – потери мощности оптического сигнала на стыке волокон строительных длин кабеля ($I_s = 0,05$ дБ); N_s – число стыков, определяемое: $N_s = E [(L/L_s) - 1]$ (целое число), $L_s = 6$ км (для всех вариантов).

4) Результирующая хроматическая дисперсия секции находится из соотношения:

$$D_{xp} = \frac{\Delta \lambda_{0,5} \sigma_{xp} L \Psi}{2}, \text{ [с]} \quad (1.2)$$

5) Полоса пропускания оптической линии определяется из соотношения:

$$\Delta F_{ov} = \frac{0,187}{D_{xp}}, \text{ [Гц]} \quad (1.3)$$

6) Максимальная скорость передачи двоичных оптических импульсов зависит от ΔF_{ov} и их формы, которую принято считать прямоугольной или гауссовской:

$$V_{\Pi} = 1,01 \Delta F_{ov}, \text{ [бит/с]}, \quad (1.4)$$

$$V_{\Gamma} = 1,34 \Delta F_{ov}, \text{ [бит/с]}. \quad (1.5)$$

Для всех вариантов считать форму импульса гауссовской.

7) Для нахождения расстояния, при котором хроматическая дисперсия становится равной дисперсии ПМД необходимо приравнять математические выражения этих видов дисперсии и вычислить длину линии (в [4], стр.27 или раздел 1.2 в [17]).

8) Для вычисления мощности на выходе волокна секции необходимо из уровня мощности на входе волокна секции вычесть затухание всей секции A_M и полученное значение перевести в мощность, используя понятие «абсолютный уровень по мощности».

При обозначении коэффициентов дисперсии (хроматической и ПМД) в различной литературе могут использоваться различные значки, например: σ_{xp} , $\sigma_{пмд}$ и τ_{xp} , $\tau_{пмд}$, но при этом сохраняется одинаковый смысл.

Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.

2 МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

Изучите конспект, учебную литературу [2,4,13,17] и ответьте письменно на следующие вопросы.

1. Какие виды мультиплексирования используются в оптических системах передачи?
2. Какие циклы передачи (по длительности и ёмкости) создаются при мультиплексировании PDH?
3. В чем сущность мультиплексирования PDH?
4. Какой цикл PDH создаётся синхронно, а какие плезиохронно?
5. Какие цифровые блоки создаются при мультиплексировании SDH?
6. Что представляет собой цикл STM-N в SDH (по структуре и скорости передачи)?
7. Какие цифровые блоки SDH создаются синхронным мультиплексированием?
8. В чем сущность мультиплексирования ATM?
9. Какие виды цифрового и оптического мультиплексирования применяются в ОTH?
10. Какие скоростные режимы передачи цифровых данных могут поддерживаться в оптических каналах ОTH?
11. Чем принципиально отличаются скорости и циклы передачи ОTH и SDH?
12. В чем сущность мультиплексирования Ethernet?
13. Чем отличаются кадры Ethernet от ячеек ATM?
14. Сколько ступеней мультиплексирования предусмотрено в Ethernet?
15. Чем отличаются кадры разных ступеней мультиплексирования Ethernet?

Задача 2

Определить число подряд следующих циклических транспортных структур технологии SDH или ОTH (по варианту табл.2.1 и 2.2), которые необходимы для переноса заданного числа кадров Ethernet PBT. Определить общее время передачи этих кадров. Изобразить цепочку преобразования этих кадров в соответствующие структуры оптической передачи.

Таблица 2.1

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Общее число кадров Ethernet PBT, умножить на Ψ	4	16	64	92	124	200	310	412	802	914

Таблица 2.2

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Транспортные структуры	VC4	OPU1	VC3	OPU2	VC12	OPU3	VC12-3v	OPU1	VC3-2v	OPU2

Методические указания к задаче 2

- 1) Изучить внимательно разделы 2.2 и 2.4 в [17]
- 2) Обратить внимание на структуры цифровой ёмкости, предоставляемые под загрузку: VC4 260×9 байт каждые 125мкс, VC3 85×9 байт каждые 125мкс, VC12 136байт каждые 500мкс, OPU_k 3810×4 байт независимо от $k=1,2,3$.
- 3) Учесть, что при сцепке виртуальных контейнеров предусмотрено соответствующее увеличение емкости под загрузку в том же интервале времени, например, VC12-2v удваивается за время 500мкс.
- 4) Учесть цикличность передачи в ОН составляет: 48,971мкс для OTU1; 12,191мкс для OTU2; 3,035мкс для OTU3.
- 5) Для представления преобразования кадров Ethernet в оптическую транспортную структуру необходимо внимательно ознакомиться в [17] с рис.2.7, 2.17 и 2.20. Считать ёмкости кадров Ethernet полными.

Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.

3 ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы.

1. Какие требования предъявляются к источнику оптического излучения?

2. Чем отличаются конструкции и характеристики торцевого (суперлюминесцентного) и поверхностного светодиодов для оптической связи?
3. Какие конструкции лазеров применяются в технике оптической связи?
4. Что представляет собой резонатор Фабри – Перо и какие он имеет характеристики?
5. Как устроен полупроводниковый гетеролазер с резонатором Фабри – Перо и как формирует когерентное излучение?
6. Каким образом в лазерах достигается одномодовый режим генерации?
7. Почему и какими средствами стабилизируют температурный режим работы лазера?
8. Как можно перестроить длину волны излучения одномодового лазера?
9. Что показывает диаграмма направленности излучения светодиода и лазера?
10. Чем согласуют источники излучения с волоконными световодами и атмосферой?

Задача 3

Определить характеристики многомодового лазера с резонатором Фабри – Перо (FP) и одномодового лазера с распределенной обратной связью (DFB).

Определить число мод в лазере FP, для которых выполняется условие возбуждения в полосе длин волн $\Delta\lambda$ при длине резонатора L и показателе преломления активного слоя n .

Определить частотный интервал между модами и добротность резонатора на центральной моде λ_0 при коэффициенте отражения R .

Изобразить конструкцию полоскового лазера FP: Изобразить модовый спектр.

Определить частоту и длину волны генерируемой моды в одномодовом лазере DFB для известных значений дифракционной решетки m и длины лазера L . Изобразить конструкцию лазера DFB. Исходные данные приведены в табл. 3.1-3.4.

Таблица 3.1

Параметр лазера FP	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L , мкм	190	240	260	290	310	320	330	340	350	400

Таблица 3.2

Параметр лазера FP	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Delta\lambda$, нм	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
n	3,3	3,4	3,5	3,55	3,6	3,65	3,7	3,75	3,8	3,84
λ_0 , мкм	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,5	0,51
R	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,31	0,32	0,33	0,35

Таблица 3.3

Параметр лазера DFB	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L, мкм	140	190	220	240	290	320	350	400	450	490

Таблица 3.4

Параметр лазера DFB	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Порядок решетки m	1	2	3	4	5	6	7	8	6	7
Шаг решетки, d, мкм	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Показатель преломления, n_s	3,4	3,45	3,64	3,7	3,78	3,9	3,49	3,38	3,53	3,68

Методические указания к задаче 3

Для решения задачи 3 рекомендуется внимательно изучить материалы 3 раздела конспекта лекций.

Частота моды определяется из соотношения:

$$f_m = \frac{Cm}{2Ln} \quad (3.1)$$

где m – номер моды, L – длина резонатора (обратите внимание! $L=L \times \Psi$), n – показатель преломления; C – скорость света в свободном пространстве.

Расстояние между модами определяется из соотношения:

$$\Delta\lambda_m = \frac{\lambda_0^2}{2Ln} \quad (3.2)$$

Добротность резонатора на центральной моде λ_0 определяется из соотношения:

$$Q = - \frac{\pi Ln}{\lambda_0 \ln R} \quad (3.3)$$

Число мод в интервале $\Delta\lambda$ определяется:

$$M = \Delta\lambda / \Delta\lambda_m \quad (3.4)$$

Для определения длины волны и частоты генерации одномодового лазера DFB необходимо воспользоваться соотношениями:

$$\lambda_0 m = 2dn_s \quad (3.5)$$

$$f_0 = C/\lambda_0 \quad (3.6)$$

$$f = f_0 - (m + 1/2) \frac{C}{nL} \quad (3.7)$$

Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.

4 МОДУЛЯЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 4, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы.

1. Что такое модуляция?
2. В чем состоит принципиальное отличие прямой и внешней модуляций оптического излучения?
3. В чем заключается сущность прямой модуляции в схемах с полупроводниковыми источниками оптического излучения?
4. Почему полоса частот при прямой модуляции ограничена?
5. Почему происходит искажение сигналов при прямой модуляции?
6. Чем отличаются модуляционные характеристики схем с лазером и светодиодом?
7. Какие виды внешней модуляции оптического излучения применяются в системах передачи?
8. Чем отличается электрооптический внешний модулятор от электроабсорбционного?
9. Какие виды внешней модуляции оптического излучения обеспечиваются модулятором Маха-Зендера?
10. Какие шумы образуются при модуляции?
11. Как уменьшить нелинейные искажения при модуляции?

12. Как устроен передающий оптический модуль?
13. С какой целью в состав передающего оптического модуля вводятся термодатчик и терморегулятор?
14. Какие электрические и оптические характеристики имеет передающий оптический модуль?

Задача 4

По данным табл. 4.1 построить зависимость выходной мощности источника оптического излучения от величины электрического тока, протекающего через него. Для заданных (по варианту) тока смещения и амплитуды модулирующих однополярных импульсов (табл. 4.2 и 4.3 с учётом Ψ) определить графически изменение выходной модуляционной мощности $P_{\text{макс}}$ и $P_{\text{мин}}$ и определить глубину модуляции η . По построенной характеристике указать вид источника (светодиод или лазер?).

Таблица 4.1

I, мА	0	5	10	15	18	20	22	24	26	28
P, мкВт	0	15	30	45	60	90	160	230	310	370

Таблица 4.2

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ток смещения, мА	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Таблица 4.3

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Амплитуда тока модуляции умножить на Ψ , мА	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6

Методические указания к задаче 4.

Для решения задачи необходимо внимательно изучить раздел 4 в [17].

Для определения глубины модуляции использовать соотношение (4.1):

$$\eta = \frac{I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}}}{I_{\text{мин}}} \quad (4.1)$$

Рекомендуется при построении графика ватт-амперной характеристики чертёж выполнить на миллиметровой бумаге в масштабе 1 мм : 0,2 мА и 1 мм : 1,5 мкВт.

Привести рисунок модуляции, выводы и оценки по результатам расчетов и построений.

5 ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 4, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы.

1. Какие требования предъявляются к фотоприемникам оптических систем передачи?
2. Какие виды фотодетекторов используются в оптических системах передачи?
3. Почему в основном применяются полупроводниковые фотодиоды в оптических системах передачи?
4. Какие основные оптические и электрические характеристики имеет фотодиод конструкции p-i-n?
5. Чем ограничен диапазон оптических частот для фотодетектирования?
6. Почему у фотодетекторов есть длинноволновая граница чувствительности?
7. Чем отличается конструкция лавинного фотодиода (ЛФД) от конструкции фотодиода p-i-n?
8. Чем отличается принцип действия ЛФД от фотодиода p-i-n?
9. Какими средствами сокращается время включения фотодиода?
10. Чем определяется коэффициент усиления ЛФД?
11. Почему фотодиоды шумят?
12. Какие шумы фотодиодов принципиально неустранимы?
13. Почему фотодиоды типа TAP и TWPD относят к перспективным приборам?

Задача 5

Построить график зависимости чувствительности фотодетектора от длины волны оптического излучения по данным табл. 5.1. Используя график и данные табл. 5.2 (с учетом Ψ) и 5.3 определить величину фототока на выходе p-i-n фотодиода. По графику определить длинноволновую границу чувствительности фотодетектора. Определить материал для изготовления прибора.

Таблица 5.1

Чувствительность, А/Вт	0,28	0,32	0,43	0,53	0,58	0,65	0,73	0,64	0,1
Длина волны, мкм	0,85	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,78

Таблица 5.2

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мощность излучения $P_{\text{и}}$ умножить на Ψ , мкВт	0,2	0,8	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5

Таблица 5.3

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина волны, λ , мкм	1,75	1,65	1,55	1,43	1,31	1,29	1,15	0,98	0,91	0,86

Методические указания к задаче 5

Для решения задачи необходимо изучить 5 раздел в [17].

При решении задачи необходимо учесть соотношения (5.1), (5.2), (5.3):

$$I_{\phi} = \frac{P_{\text{и}} \eta_{\text{вн}} e}{E_{\phi}}, \quad (5.1)$$

$$E_{\phi} = hC/\lambda, \quad (5.2)$$

$$S = \frac{I_{\phi}}{P_{\text{и}}}, \quad (5.3)$$

где, E_{ϕ} – энергия фотона в эВ, e – заряд электрона; $\eta_{\text{вн}}$ – внутренняя квантовая эффективность фотодиода; h – постоянная Планка ($4,1 \times 10^{-15}$ эВ), C – скорость света (3×10^8 м/с). Произведение $h \times C = 1,24$ эВ \times мкм. В расчёте можно использовать $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Дж \times с, но при этом учесть заряд электрона $1,6 \times 10^{-19}$ Кл.

Длинноволновая граница чувствительности фотодетектора определяется соотношением (5.4):

$$\lambda_{\text{дл}} \leq 1,24 \text{ (эВ} \cdot \text{мкм)} / E_{\text{г}}, \quad (5.4)$$

где $E_{\text{г}}$ – ширина запрещенной зоны полупроводникового материала, из которого сделан фотодиод.

Рекомендуется при построении графика зависимости чувствительности фотодетектора от длины волны выполнить чертеж на миллиметровой бумаге в масштабе 1мм : 0,01мкм и 1мм : 0,01 А/Вт.

Привести рисунок, выводы и оценки по результатам расчетов.

6 ФОТОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 4, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы.

1. Чем отличается прямое фотодетектирование от фотодетектирования с преобразованием?
2. Какие функциональные блоки входят в схему фотоприемного устройства (ФПУ) с прямым детектированием?
3. Какие виды предварительных усилителей применяются в фотоприемных устройствах?
4. Из каких элементов состоит входная цепь фотоприемного устройства с прямым детектированием?
5. Как устроена входная цепь фотоприемного устройства детектирования с преобразованием?
6. Как соотносятся между собой электрическая и оптическая полосы частот пропускания ФПУ?
7. Чем определяется величина соотношения сигнал/шум на выходе ФПУ?
8. Чем выполняется противозумовая коррекция в ФПУ?
9. Чем отличается гомодинный приемник сигнала от гетеродинного в ФПУ с преобразованием?
10. Что используется для детектирования оптического сигнала с фазовой модуляцией?

Задача 6

Определить полосу пропускания и отношение сигнал/шум для фотоприемного устройства, содержащего интегрирующий (ИУ) или транsimpенансный (ТИУ) усилитель и фотодетектор (ЛФД или p-i-n).

Исходные данные по вариантам приведены в табл. 6.1 и 6.2 (с учётом Ψ).

Таблица 6.1

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип ФД	p-i-n	ЛФД	p-i-n	ЛФД	p-i-n	ЛФД	p-i-n	ЛФД	p-i-n	ЛФД
Тип усилителя	ИУ	ТИУ	ИУ	ТИУ	ИУ	ТИУ	ИУ	ТИУ	ИУ	ТИУ
R _з , кОм	1000	100	1100	110	1200	90	1300	80	1400	70
C _з , пФ	1	2	2,5	1,5	3	3,5	0,5	2,3	1,7	0,8
η _{вн}	0,4	0,8	0,45	0,85	0,5	0,9	0,55	0,93	0,6	0,96
M	1	10	1	20	1	30	1	40	1	50
F _ш (М)	1	5	1	6	1	7	1	8	1	9
T	280	290	295	300	310	315	320	330	335	340
D _ш	2	3	2,5	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
K _{ус}	1000	100	1100	120	1200	130	1300	150	2000	90

Таблица 6.2

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P _{пер} , дБм	-3	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+8	+10
L	30	35	40	50	55	60	65	70	75	80
а, дБ/км	0,3	0,33	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,2	0,19

Методические указания к задаче 6

Для решения задачи 6 необходимо изучить раздел 6 в [17].

Полоса частот усиления ФПУ с ИУ ограничена полосой пропускания входной цепи ФПУ и находится из соотношения (6.1):

$$\Delta F_{\text{иу}} = \frac{1}{2\pi R_z C_z} \quad (6.1)$$

Полоса частот усиления ФПУ с ТИУ ограничена полосой пропускания усилителя и находится из соотношения (6.2):

$$\Delta F_{\text{тиу}} \leq \frac{K_{\text{ус}}}{2\pi R_z C_z} \quad (6.2)$$

Фототок детектора создается падающей оптической мощностью и зависит от типа фотодетектора. Величина фототока вычисляется из соотношений (6.3) и (6.4), куда необходимо подставить значение мощности P_{пер} и P_{пр}. Для этого уровень мощности нужно перевести в мощность пользуясь понятием «абсолютного уровня по мощности».

$$\text{Фототок } I_{\phi} = P_{\text{пр}} \frac{e \eta_{\text{вн}} M}{hf} \quad (6.3)$$

$$\text{Мощность } P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} 10^{-0,1\alpha L} \quad (6.4)$$

где h – постоянная Планка, f – линейная частота оптического сигнала для длины волны из задачи №5, e – заряд электрона, $\eta_{\text{вн}}$ – внутренняя квантовая эффективность, M – коэффициент умножения ЛФД, $P_{\text{пр}}$ – мощность сигнала на приеме, $P_{\text{пер}}$ – мощность сигнала на передаче, α – километрическое затухание кабеля, L – длина кабельной линии с учётом Ψ . Для вычисления основных шумов ФПУ, а это квантовый и тепловой шумы, необходимо воспользоваться соотношениями (6.5) и (6.6):

$$P_{\text{ш.кв.}} = 2eM^2 I_{\phi} \Delta F F_{\text{ш}}(M), \quad (6.5)$$

$$P_{\text{ш.т.}} = \frac{4KT \Delta F D_{\text{ш}}}{R_z} \quad (6.6)$$

где $K = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/к – постоянная Больцмана, ΔF – полоса частот ИУ или ТИУ (по варианту из соотношений 6.1 или 6.2).

Отношение сигнал/шум вычисляется из соотношения (6.7):

$$C/\text{ш} = \frac{I_{\phi}}{\sqrt{P_{\text{ш.кв.}} + P_{\text{ш.т.}}}} \quad (6.7)$$

Для представления соотношения $C/\text{ш}$ в логарифмическом масштабе необходимо определить $20\lg(C/\text{ш})$ и представить результат в [дБ].

Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.

7 ОПТИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Изучите конспект, учебную литературу [4, 6, 7, 15, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:

1. На каких физических явлениях основаны оптические усилители?
2. Какие типы усилителей могут применяться в оптических системах передачи?
3. Как устроены и действуют полупроводниковые оптические усилители?
4. Из каких устройств состоят и как действуют волоконные усилители на основе рассеяния Рамана?

5. Как устроены и действуют усилители на примесном волокне (на примере Er^{3+})?
6. Какими характеристиками описывают оптические усилители?
7. В каких частях оптических систем передачи могут использоваться усилители?
8. Какие шумы и искажения имеют место в оптических усилителях?
9. Какие реальные коэффициенты усиления обеспечивают полупроводниковые и волоконные оптические усилители?
10. В чем преимущество рамановских оптических усилителей?

Задача 7

Определить длину взаимодействия L излучения накачки в рамановском усилителе, при которой коэффициент распределенного усиления G (по варианту табл.7.1), при соответствующей мощности накачки P_n (с учётом Ψ), площади модового пятна A и рамановском коэффициенте усиления материала g (табл.7.2).

Таблица 7.1

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_n умножить на Ψ , Вт	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
A , мкм^2	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80
G , дБ	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблица 7.2

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
g , $\times 10^{-14}$ м/Вт	7,5	7	6,4	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3

Методические указания к задаче 7

- 1) Расчёт произвести, используя соотношение (7.1).

Усиление вследствие ВКР зависит от интенсивности (равной мощности накачки P_n , деленной на площадь модового пятна A), длины взаимодействия L волны накачки и сигнальной волны и коэффициента усиления g :

$$G_R \approx \exp\left(\frac{g P_n L}{A}\right). \quad (7.1)$$

- 2) Значение G (в дБ) преобразовать в значение в раз

$$G_R = 10^{0,1 G} \quad (7.2)$$

- 3) Значение A представить в размерности км^2 , например, $A=50 \text{ мкм}^2$ или $50 \times 10^{-17} \text{ км}^2$.
- 4) Значение g представить в размерности км/Вт , например, $g=7 \times 10^{-17} \text{ км/Вт}$.
- 5) Равенства (7.1) добиться через ряд итераций.

8 ЛИНЕЙНЫЕ ТРАКТЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Изучите конспект, учебную литературу [2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 14, 17, 19] и ответьте письменно на следующие вопросы:

1. Какие разновидности линейных трактов существуют в оптических системах передачи?
2. Чем ограничены возможности использования атмосферных оптических линейных трактов?
3. Какие различия имеют одноволновые оптические линейные тракты ВОСП?
4. Какие различия имеют многоволновые (многоканальные) оптические линейные тракты ВОСП-WDM?
5. Какие функции выполняет транспондер?
6. Чем отличаются сетки частот и волн DWDM и CWDM?
7. Какие требования предъявляются к линейным кодам ВОСП?
8. Чем отличаются форматы RZ и NRZ в линейных кодах ВОСП?
9. Чем отличаются коды 1B2B от кодов mBnB?
10. В чем сущность скремблированных линейных кодов?
11. В чем сущность коэффициента битовых ошибок BER или $K_{\text{ош}}$?
12. С какой целью нормируют BER?
13. Какие устройства линейного тракта ВОСП способствуют увеличению BER?
14. Чем определяется длина регенерационного участка ВОСП?
15. Какие устройства могут входить в состав линейного тракта многоволновой ВОСП?

16. От каких факторов зависит величина OSNR в оптическом канале ВОСП-WDM?
17. Что подлежит расчёту или оценке при проектировании сложных линейных трактов ВОСП-WDM?
18. С какой целью в ВОСП используется оценка Q-фактора?
19. С какой целью в ВОСП используется FEC?
20. Какие разновидности оптических интерфейсов относят к стандартным?
21. Что нормируется в одноволновых и многоволновых оптических интерфейсах?

Задача 8.1

Используя приложения 1 для оптических интерфейсов аппаратуры SDH, определенных рекомендациями МСЭ-Т G.957 и G.691, определить по варианту (табл. 8.1 и 8.2 с учетом Ψ) предельную дальность передачи по двум типам волокон без промежуточных регенераторов, но с возможным использованием оптических усилителей. Также определить минимальное расстояние между оптическим передатчиком и оптическим приёмником заданного интерфейса для исключения перегрузки приёмника.

Таблица 8.1

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Интерфейс	L4.2	V4.2	L16.2	U16.2	L64.2a	L64.2c	L64.3	V64.2a	V64.3	L1.3FP
Строительная длина кабеля, умножить на Ψ , км	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
Затухание на стыке длин, l_s , дБ	0,05	0,04	0,03	0,06	0,07	0,08	0,02	0,04	0,05	0,1
Затухание на разъёмном стыке, l_c , дБ	0,65	0,6	0,1	0,3	0,25	0,2	0,15	0,4	0,5	0,35

Таблица 8.2

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип волокна 1	G.652	G.652	G.652	G.652	G.652	G.652	G.652	G.652	G.652	G.652
α_c , дБ/км	0,19	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28
σ_{xp} , пс/нм \times км	15,5	15,6	15,7	15,8	15,9	16,0	16,1	16,2	16,3	16,4
Тип волокна 2	G.655	G.655	G.655	G.655	G.655	G.655	G.655	G.655	G.655	G.655
α_c , дБ/км	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,2	0,21	0,22	0,23
σ_{xp} , пс/нм \times км	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5

Тип волокна 1 имеет коэффициент $\sigma_{пмд}=0,02$ пс/ $\sqrt{\text{км}}$.

Тип волокна 2 имеет коэффициент $\sigma_{пмд}=0,04$ пс/ $\sqrt{\text{км}}$.

Методические указания к задаче 8.1

1) Для решения задачи необходимо внимательно изучить раздел 8.5 в [17].

2) Максимальное и минимальное расстояние передачи с точки зрения энергетического потенциала определить из соотношения (8.1) (рекомендуется предварительно рассмотреть пример расчета в разделе 8.5 [17]).

$$L_{py} \leq \frac{P_s - P_R - P_D - M_e - (N-1) \times l_s - N_c \times l_c}{\alpha_c + \alpha_m}, \quad (8.1)$$

где P_s – уровень мощности сигнала передатчика в точке стыка S (дБм), P_R – уровень мощности сигнала на входе приёмника в точке стыка R (дБм), определенный для заданного $K_{ош}$; P_D – мощность дисперсионных потерь или максимальный штраф за дисперсионные потери (дБ); M_e – энергетический запас на старение оборудования (дБ); N – число строительных длин кабеля; l_s – потери энергии на стыках строительных длин (дБ); N_c – число разъёмных соединений между точками S и R; l_c – потери энергии на разъёмном соединении (дБ); α_c –

коэффициент затухания кабеля (дБ/км); α_m – запас на повреждения кабеля (дБ/км).

Необходимо рассчитать расстояние для двух типов волокон. Учесть, что число разъёмных соединений составляет $N_c = 4$, а число сварных стыков N зависит от строительных длин.

3) Значение запаса на старение оборудования M_e определяется из данных передатчика интерфейса как разность между максимальным и минимальным уровнем мощности передачи. Потери на повреждение кабеля α_m считать 0,05дБ/км

4) Для оценки минимальной длины участка регенерации необходимо вычесть из максимального уровня мощности передачи максимальный уровень мощности, допустимый на входе приёмника (минимальный уровень перегрузки). Полученную разность поделить на километрическое затухание кабеля.

5) Для оценки максимальной дальности передачи с точки зрения дисперсионных искажений за счет хроматической дисперсии необходимо разделить допустимое значение дисперсии для заданного интерфейса на значение σ_{xp} . Полученные результаты для двух типов волокон сравнить. Рассчитать на полученном расстоянии значение ПМД. Определить в процентном соотношении вклад ПМД в совокупную дисперсию (рекомендуется использовать соотношения 8.14, 8.15 в [17]) при ширине спектральной линии передатчика 1нм.

Задача 8.2

Для заданного количества оптических каналов в ВОСП-WDM и OSNR (табл.8.3) каждого канала определить минимальный допустимый уровень передачи одного канала и максимальный допустимый уровень всех каналов в стекловолокне при использовании на промежуточных станциях M_{yc} – эрбиевых усилителей с усилением A и с коэффициентом шума NF (табл.8.4). Для скоростей передачи цифровых данных в формате NRZ 2,5Гбит/с и 10Гбит/с считать шум спонтанной эмиссии -58дБ и -56дБ соответственно.

Таблица 8.3

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число оптических каналов и скорость передачи в каждом, Гбит/с	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
OSNR, дБ	20	21	22	23	24	25	26	24,5	23,5	21,5

Таблица 8.4

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число оптических усилителей M_{yc}	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3
Коэффициент усиления A плюс $10\lg\psi$, дБ	33	28	27	26	25	24	23	22	21	36
Коэффициент шума NF , дБ	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	5	5	8,3

Методические указания к задаче 8.2

Для решения задачи необходимо изучить раздел 8.7 в [17].

Для определения уровня мощности в оптическом канале использовать соотношение (8.2)

$$OSNR = P_{ch} - a_s - NF - 10\lg M_{yc} + 58\text{дБ}, \quad (8.2)$$

где P_{ch} – минимальный допустимый уровень мощности сигнала в одном канале, a_s – усиление оптического усилителя с учётом ψ , NF – коэффициент шума усилителя (для EDFA 5-6дБ), значение 58дБ представляет собой оптический квантовый шум в полосе канала на входе усилителя для скорости передачи до 2,5Гбит/с ($\Delta f = 2,5\text{ГГц}$), т.е.

$$-58\text{дБ} = 10\lg(h \times f \times \Delta f). \quad (8.3)$$

Минимальный уровень мощности на входе усилителя для одного канала определяется соотношением (8.4).

$$P_{ch \min} = OSNR + a_s + NF + 10\lg M_{yc} - 58\text{дБ}. \quad (8.4)$$

Для определения максимального уровня мощности всех оптических каналов использовать соотношение (8.5).

$$P_{ch \max} = P_{\max} - 10\lg N, \text{ дБ}, \quad (8.5)$$

где P_{\max} – максимальный допустимый уровень передачи в стекловолокне, ограниченный нелинейными эффектами, N – число оптических каналов. Во всех вариантах считать, что используется стекловолокно стандарта G.652, в котором допустимый уровень мощности не должен превышать +17дБм. Сравнить это значение с максимальным уровнем мощности, получаемым в расчете. Считать равными минимальный и максимальный уровни мощности в канале.

Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.

9 ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Изучите конспект, учебную литературу [1, 2, 3, 4, 7, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы:

1. Какие разновидности пассивных компонентов применяются в составе оптических систем передачи?
2. Какие виды оптических волновых мультиплексоров обеспечивают максимальное число объединяемых волн?
3. Каким образом может осуществляться волновое демультиплексирование (разделение оптических волн)?
4. Какие виды оптических коммутационных устройств могут использоваться в составе оптических систем передачи, кроссовых коммутаторов и маршрутизаторов?
5. Какие из оптических коммутаторов характеризуются наивысшим быстродействием?
6. Как устроен и действует оптический вентиль?
7. Где применяются оптические вентили в составе систем передачи?
8. Какие функции выполняют оптические фильтры и конверторы волн?
9. Какое назначение имеют оптические разветвители и аттенюаторы?
10. Что представляют собой оптические мультиплексоры OADM и ROADM?

Задача 9

Определить число оптических каналов на каждой из оптических секций мультиплексирования в цепочке, состоящей из 2-х терминальных WDM мультиплексоров и X (число по варианту табл.9.1) промежуточных оптических мультиплексоров типа ROADM. Внутри каждой пары оптических мультиплексоров организовано Y (число по варианту табл.9.2) оптических каналов. Определить по данным приложения и привести характеристики интерфейса одного оптического канала (по варианту табл.9.1).

Таблица 9.1

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число мультиплексоров ROADM, X	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Условный номер	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Каждому условному номеру соответствует интерфейс (приложение 3):

0 – DN100S-1D2(c); 1 – DN100S-1D3(L); 2 – DN100S-1D5(c); 3 – DN100S-1D2(c)F; 4 – DN100S-1D3(L)F; 5 – DN100S-1D5(c)F; 6 – DW100S-1D2(c)F; 7 – DW100S-1D3(c)F; 8 – DW100S-1D5(c)F; 9 – DW100L-1D5(c)F.

Таблица 9.2

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число каналов внутри каждой пары мультиплексоров Y	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Методические указания к задаче 9

- 1) Графически изобразить заданное число мультиплексоров, т.е. 2 терминальных и X типа ROADM, включенных в цепочку. Пары мультиплексоров определяются по принципу «каждый с каждым» связаны Y каналами. Например, в цепочке из 2-х терминальных и 2-х промежуточных мультиплексоров будет 6 пар.
- 2) Графически отобразить в каждой паре мультиплексоров (в том числе и терминальных) требуемое по варианту число оптических каналов.
- 3) Определить на каждой секции мультиплексирования, т.е. между соседними мультиплексорами общую ёмкость оптических каналов.
- 4) Пользуясь данными приложения 3 объяснить смысл обозначений интерфейсов по варианту. При этом в выводах нужно ответить на вопрос – чем отличаются интерфейсы?

Привести письменно выводы и оценки по результатам вычерчивания схемы и расчетов.

10 ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С СОЛИТОННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ И НАНОФОТОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Изучите конспект, учебную литературу [10, 11, 17] и ответьте письменно на следующие вопросы.

1. Что представляет собой оптический солитон?
2. Почему в стекловолкне может образоваться оптический солитон?
3. Почему солитон сохраняет свою форму при распространении по оптической линии на большие расстояния?
4. Какую длительность имеет оптический солитон в стекловолкне?
5. Как должны соотноситься длительность солитона и период следования солитонов?

6. Какие устройства должны входить в состав солитонной системы передачи?
7. Каким образом импульсы информационного сигнала преобразуются в солитоны?
8. Каким образом солитоны преобразуются в импульсы информационного сигнала?
9. Почему солитоны при распространении по стекловолокну могут оказаться неустойчивыми и "рассыпаться"?
10. Какие скорости передачи могут быть реализованы с помощью солитонов?
11. Что представляют собой фотонные кристаллы?
12. Где можно использовать фотонные кристаллы в составе ВОСП?
13. Какие технологии называют нанофотонными?
14. Какие нанофотонные компоненты можно применить в ВОСП?

Заключение

Оптические системы передачи (ОСП), появившиеся в начале 60-х годов 20 века, прошли несколько принципиальных этапов развития и сегодня представляют собой основную базу развития всех проводных телекоммуникаций. ОСП применяются на всех участках сетей связи: магистральные и внутризоновые транспортные сети, местные транспортные сети и сети доступа вплоть до терминалов пользователей – всюду заняли они свои позиции благодаря широкополосности и помехоустойчивости. Техник связи 21 века считают полностью оптические сети, в которых процессы преобразования, передачи и коммутации сигналов будут происходить исключительно в оптическом диапазоне частот.

В рамках небольшого учебного курса нет возможности раскрыть все стороны оптической связи, в том числе, вопросы строительства и технической эксплуатации различных ОСП (наземных, подводных, с подвесными кабелями и многоволновой передачи и т.д.). Тому, кто будет интересоваться проблемами оптической связи в атмосфере и по оптическим волоконным линиям рекомендуется достаточно обширный, хотя и далеко не исчерпывающий список литературы разных лет издания. Можно не сомневаться, что будущее широкополосных сетей за оптической связью с существующими и перспективными решениями, которые уже обсуждаются в научных изданиях.

Приложение 1. Характеристики оптических интерфейсов SDH

Таблица П1.1. Характеристики STM-1

Характеристики	Единица	Значение			
Цифровой сигнал, скорость передачи, линейное кодирование	кбит/с	STM-1, 155 520, скремблированный NRZ			
Прикладной код		I-1	S-1.1	S-1.2	
Рабочий диапазон волн	нм	1260-1360	1261-1360	1430-1576	1430-1580
Передатчик в опорной точке S					
Тип источника		FP	LED	FP	DFB
Спектральные характеристики:					
– максимальное СКЗ ширины ($\Delta\lambda$)	нм	40	7,7	2,5	-
– максимальная ширина на уровне -20 дБ	нм	80	-	-	1
– минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	-	-	-	30
Средняя вводимая мощность:					
– максимальная	дБм	-8	-8	-8	
– минимальная	дБм	-15	-15	-15	
Мин. коэффициент гашения (EX)	дБ	8,2	8,2	8,2	
Оптический тракт между S и R					
Диапазон ослабления	дБ	0-7	0-12	0-12	
Макс. дисперсия	пс/нм	18	25	96	296
Минимальные оптические возвратные потери на кабельном участке в S, включая любые соединители	дБ	N/O	N/O	N/O	N/O
Макс. дискретная отражательная способность между S и R	дБ	N/O	N/O	N/O	N/O
Приемник в опорной точке R					
Минимальная чувствительность	дБм	-23	-28	-28	
Минимальная перегрузка	дБм	-8	-8	-8	
Максимальный штраф оптического тракта	дБ	1	1	1	
Максимальная отражательная способность, измеренная в R	дБ	N/O	N/O	N/O	N/O

Сокращения: СКЗ, средняя квадратическая зависимость; N/O, не определено; NRZ, non return to zero – без возвращения к нулю; FP, Fabry-Perot – Фабри-Перо (конструкция полупроводникового лазера); LED, light-emitting diode – светодиод; DFB, distributed feedback – распределенная обратная связь. Коэффициент гашения (EX) определяют как: $EX = 10 \log (A/B)$, где A – средний уровень оптической мощности в центре логической «1», а B – средний уровень оптической мощности в центре логического «0». Общеприняты следующие условия для уровней оптической логики: – излучение света – логическая единица «1»; – отсутствие излучения – логический ноль «0». Макс. – максимальное. Мин. – минимальное.