

Приложение 1 к рабочей программе

по дисциплине «Оптические цифровые телекоммуникационные системы»

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)  
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)



Утверждаю  
Директор УрТИСИ СибГУТИ  
Б.А. Минина  
2021 г.

## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

по дисциплине «Оптические цифровые телекоммуникационные системы»  
для основной профессиональной образовательной программы по направлению  
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
направленность (профиль) – Технологии и системы оптической связи  
квалификация – бакалавр  
форма обучения – очная  
год начала подготовки (по учебному плану) – 2021

Екатеринбург 2021

**Приложение 1 к рабочей программе**  
**по дисциплине «Оптические цифровые телекоммуникационные системы»**  
Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)  
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)

Утверждаю  
Директор УрТИСИ СибГУТИ  
\_\_\_\_\_ Е.А. Минина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

по дисциплине **«Оптические цифровые телекоммуникационные системы»**  
для основной профессиональной образовательной программы по направлению  
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
направленность (профиль) – Технологии и системы оптической связи  
квалификация – бакалавр  
форма обучения – очная  
год начала подготовки (по учебному плану) – 2021

Екатеринбург 2021

# 1. Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Этап	Предшествующие этапы (с указанием дисциплин)
ПК-12 Способен разрабатывать варианты концепций оптических систем связи и осуществлять авторский надзор за соблюдением проектных решений	<p><b>ПК-12.1 Знает:</b> основные технологии оптических сетей, принципы модуляции и линейного кодирования в оптических системах, параметры технологий оптических сетей, принцип управления оптическими системами, организацию оптических цифровых сетей.</p> <p><b>ПК-12.2 Умеет:</b> характеризовать физические процессы, происходящие при формировании, обработке, передаче, приеме сигналов в различных оптических системах, анализировать способы и системы передачи информации по оптическим сетям, эксплуатировать оборудования оптических цифровых систем, конфигурировать оптические цифровые сети в зависимости от вида используемого оборудования.</p> <p><b>ПК-12.3 Владеет:</b> навыками расчета основных параметров оптической цифровой сети, навыками применения теоретических знаний на практике при проектировании оптических цифровых систем и эксплуатации оборудования оптических сетей, навыками настройки параметров оптических цифровых сетей и систем.</p>	2	Этап 3 Нормативно-правовая база профессиональной деятельности. Сети и системы оптического доступа

Форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине: зачет, экзамен.

## 2. Показатели, критерии и шкалы оценивания компетенций

2.1 Показателем оценивания компетенций на этапе их формирования при изучении дисциплины является уровень их освоения.

Шкала оценивания	Результаты обучения	Дескрипторы уровней освоения компетенций
ПК-12 Способен разрабатывать варианты концепций оптических систем связи и осуществлять авторский надзор за соблюдением проектных решений		
Низкий (пороговый) уровень	<b>ПК-12.1 Знает:</b> основные технологии оптических сетей, принципы модуляции и линейного кодирования в оптических системах, параметры технологий оптических сетей, принцип управления оптическими системами, организацию оптических цифровых сетей.	<b>Слабо знает:</b> - основные технологии оптических сетей; - принципы модуляции и линейного кодирования в оптических системах; - параметры технологий

	<p><b>ПК-12.2 Умеет:</b> характеризовать физические процессы, происходящие при формировании, обработке, передаче, приеме сигналов в различных оптических системах, анализировать способы и системы передачи информации по оптическим сетям, эксплуатировать оборудования оптических цифровых систем, конфигурировать оптические цифровые сети в зависимости от вида используемого оборудования.</p> <p><b>ПК-12.3 Владеет:</b> навыками расчета основных параметров оптической цифровой сети, навыками применения теоретических знаний на практике при проектировании оптических цифровых систем и эксплуатации оборудования оптических сетей, навыками настройки параметров оптических цифровых сетей и систем.</p>	<p>оптических сетей;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- принцип управления оптическими системами;</li> <li>- организацию оптических цифровых сетей.</li> </ul> <p><b>Слабо умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- характеризовать физические процессы, происходящие при формировании, обработке, передаче, приеме сигналов в различных оптических системах;</li> <li>- анализировать способы и системы передачи информации по оптическим сетям;</li> <li>- эксплуатировать оборудования оптических цифровых систем;</li> <li>- конфигурировать оптические цифровые сети в зависимости от вида используемого оборудования.</li> </ul> <p><b>Слабо владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками расчета основных параметров оптической цифровой сети;</li> <li>- навыками применения теоретических знаний на практике при проектировании оптических цифровых систем и эксплуатации оборудования оптических сетей.</li> <li>- навыками настройки параметров оптических цифровых сетей и систем.</li> </ul>
Средний уровень	<p><b>ПК-12.1 Знает:</b> основные технологии оптических сетей, принципы модуляции и линейного кодирования в оптических системах, параметры технологий оптических сетей, принцип управления оптическими системами, организацию оптических цифровых сетей.</p> <p><b>ПК-12.2 Умеет:</b> характеризовать физические процессы, происходящие при формировании, обработке, передаче, приеме сигналов в различных оптических системах, анализировать способы и системы передачи информации по оптическим сетям, эксплуатировать оборудования оптических цифровых систем, конфигурировать оптические цифровые сети в зависимости от вида используемого оборудования.</p> <p><b>ПК-12.3 Владеет:</b> навыками расчета основных параметров оптической цифровой сети, навыками применения теоретических</p>	<p><b>Средне знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-основные технологии оптических сетей;</li> <li>- принципы модуляции и линейного кодирования в оптических системах;</li> <li>- параметры технологий оптических сетей;</li> <li>- принцип управления оптическими системами;</li> <li>- организацию оптических цифровых сетей.</li> </ul> <p><b>Средне умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- характеризовать физические процессы, происходящие при формировании, обработке, передаче, приеме сигналов в различных оптических системах;</li> <li>- анализировать способы и</li> </ul>

	<p>знаний на практике при проектировании оптических цифровых систем и эксплуатации оборудования оптических сетей, навыками настройки параметров оптических цифровых сетей и систем. сетей и систем.</p>	<p>системы передачи информации по оптическим сетям;  - эксплуатировать оборудования оптических цифровых систем;  - конфигурировать оптические цифровые сети в зависимости от вида используемого оборудования.  <b>Средне владеет:</b>  - навыками расчета основных параметров оптической цифровой сети;  - навыками применения теоретических знаний на практике при проектировании оптических цифровых систем и эксплуатации оборудования оптических сетей.  - навыками настройки параметров оптических цифровых сетей и систем.</p>
<p>Высокий уровень</p>	<p><b>ПК-12.1 Знает:</b> основные технологии оптических сетей, принципы модуляции и линейного кодирования в оптических системах, параметры технологий оптических сетей, принцип управления оптическими системами, организацию оптических цифровых сетей.  <b>ПК-12.2 Умеет:</b> характеризовать физические процессы, происходящие при формировании, обработке, передаче, приеме сигналов в различных оптических системах, анализировать способы и системы передачи информации по оптическим сетям, эксплуатировать оборудования оптических цифровых систем, конфигурировать оптические цифровые сети в зависимости от вида используемого оборудования.  <b>ПК-12.3 Владеет:</b> навыками расчета основных параметров оптической цифровой сети, навыками применения теоретических знаний на практике при проектировании оптических цифровых систем и эксплуатации оборудования оптических сетей, навыками настройки параметров оптических цифровых сетей и систем.</p>	<p><b>Знает:</b>  -основные технологии оптических сетей;  - принципы модуляции и линейного кодирования в оптических системах;  - параметры технологий оптических сетей;  - принцип управления оптическими системами;  - организацию оптических цифровых сетей.  <b>Без помощи преподавателя умеет:</b>  - характеризовать физические процессы, происходящие при формировании, обработке, передаче, приеме сигналов в различных оптических системах;  - анализировать способы и системы передачи информации по оптическим сетям;  - эксплуатировать оборудования оптических цифровых систем;  - конфигурировать оптические цифровые сети в зависимости от вида используемого оборудования.  <b>Хорошо владеет:</b>  - навыками расчета основных параметров оптической</p>

		цифровой сети; - навыками применения теоретических знаний на практике при проектировании оптических цифровых систем и эксплуатации оборудования оптических сетей. - навыками настройки параметров оптических цифровых сетей и систем.
--	--	---

2.2 Таблица соответствия результатов промежуточной аттестации по дисциплине уровню этапа формирования компетенций

Форма контроля	Шкала оценивания	Код индикатора достижения компетенций	Уровень освоения компетенции
Зачёт	Зачёт	ПК-12.1	низкий
		ПК-12.2	низкий
		ПК-12.3	низкий
Экзамен	удовлетворительно	ПК-12.1	низкий
		ПК-12.2	средний
		ПК-12.3	низкий
	хорошо	ПК-12.1	низкий
		ПК-12.2	средний
		ПК-12.3	средний
	отлично	ПК-12.1	средний
		ПК-12.2	высокий
		ПК-12.3	высокий
Курсовое проектирование	удовлетворительно	ПК-12.1	низкий
		ПК-12.2	средний
		ПК-12.3	низкий
	хорошо	ПК-12.1	средний
		ПК-12.2	средний
		ПК-12.3	высокий
	отлично	ПК-12.1	высокий
		ПК-12.2	высокий
		ПК-12.3	высокий

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Процесс оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, представлен в таблицах по формам обучения:

Тип занятия	Тема (раздел)	Оценочные средства
<b>ПК-12.1 Знает:</b> основные технологии оптических сетей, принципы модуляции и линейного кодирования в оптических системах, параметры технологий оптических сетей, принцип управления оптическими системами, организацию оптических цифровых сетей.		
Лекция	Все разделы дисциплины	Дискуссия Экзамен

Лабораторная работа	<p>Исследование принципов построения МТС с ВРК</p> <p>Исследование кодеков с нелинейной шкалой квантования</p> <p>Исследование основных характеристик источников излучения</p> <p>Исследование основных характеристик ЛФД и PIN фотодиода</p> <p>Исследование оптических модуляторов</p> <p>Линейные коды ЦСП</p> <p>Алгоритмы формирования многопозиционных видов модуляции оптической несущей</p> <p>Исследование работы регенератора ЦСП</p> <p>Исследование приемников цикловой синхронизации</p>	Лабораторная работа Защита
Практическое занятие	<p>Цифровые методы модуляции сигналов</p> <p>Расчет параметров лазерного источника излучения</p> <p>Расчет параметров фотоприемника</p> <p>Расчет параметров приемного оптического модуля</p> <p>Линейные коды ВОСП</p> <p>Расчет линейного тракта ВОСП</p> <p>Разработка сети тактовой синхронизации</p>	Практическая работа. Индивидуальное задание
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Курсовое проектирование. Отчеты по практическим и лабораторным работам
<p><b>ПК-12.2 Умеет:</b> характеризовать физические процессы, происходящие при формировании, обработке, передаче, приеме сигналов в различных оптических системах, анализировать способы и системы передачи информации по оптическим сетям, эксплуатировать оборудования оптических цифровых систем, конфигурировать оптические цифровые сети в зависимости от вида используемого оборудования.</p>		
Лекция	Все разделы дисциплины	Дискуссия Экзамен
Лабораторная работа	<p>Исследование принципов построения МТС с ВРК</p> <p>Исследование кодеков с нелинейной шкалой квантования</p> <p>Исследование основных характеристик источников излучения</p> <p>Исследование основных характеристик ЛФД и PIN фотодиода</p> <p>Исследование оптических модуляторов</p> <p>Линейные коды ЦСП</p> <p>Алгоритмы формирования многопозиционных видов модуляции оптической несущей</p> <p>Исследование работы регенератора ЦСП</p> <p>Исследование приемников цикловой синхронизации</p>	Лабораторная работа Защита
Практическое занятие	<p>Цифровые методы модуляции сигналов</p> <p>Расчет параметров лазерного источника излучения</p> <p>Расчет параметров фотоприемника</p> <p>Расчет параметров приемного оптического модуля</p> <p>Линейные коды ВОСП</p> <p>Расчет линейного тракта ВОСП</p> <p>Разработка сети тактовой синхронизации</p>	Практическая работа. Индивидуальное задание

Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Курсовое проектирование. Отчеты по практическим и лабораторным работам
<b>ПК-12.3 Владеет:</b> навыками расчета основных параметров оптической цифровой сети, навыками применения теоретических знаний на практике при проектировании оптических цифровых систем и эксплуатации оборудования оптических сетей, навыками настройки параметров оптических цифровых сетей и систем.		
Лекция	Все разделы дисциплины	Дискуссия Экзамен
Лабораторная работа	Исследование принципов построения МТС с ВРК Исследование кодеков с нелинейной шкалой квантования Исследование основных характеристик источников излучения Исследование основных характеристик ЛФД и PIN фотодиода Исследование оптических модуляторов Линейные коды ЦСП Алгоритмы формирования многопозиционных видов модуляции оптической несущей Исследование работы регенератора ЦСП Исследование приемников цикловой синхронизации	Лабораторная работа Защита
Практическое занятие	Цифровые методы модуляции сигналов Расчет параметров лазерного источника излучения Расчет параметров фотоприемника Расчет параметров приемного оптического модуля Линейные коды ВОСП Расчет линейного тракта ВОСП Разработка сети тактовой синхронизации	Практическая работа. Индивидуальное задание
Самостоятельная работа	Все разделы дисциплины	Курсовое проектирование. Отчеты по практическим и лабораторным работам

#### 4. Типовые контрольные задания

Представить один пример задания по каждому типу оценочных средств для каждой компетенции, формируемой данной дисциплиной.

**ПК-12** Способен разрабатывать варианты концепций оптических систем связи и осуществлять авторский надзор за соблюдением проектных решений

**ПК-12.1 Знает:** основные технологии оптических сетей, принципы модуляции и линейного кодирования в оптических системах, параметры технологий оптических сетей, принцип управления оптическими системами, организацию оптических цифровых сетей.

#### Конспект лекции на тему «Лазерные диоды»

Лазер – прибор, генерирующий оптическое когерентное излучение на основе эффекта вынужденного или стимулированного излучения. (LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – аббревиатура выражение усиление света вынужденным излучением).



Свойство когерентности излучения лазера предполагает согласованное протекание во времени и пространстве колебательных или волновых процессов. Излучаемая лазером электромагнитная волна называется когерентной, если ее амплитуда, частота, фаза, направление распространения и поляризация постоянны или изменяются упорядоченно.

Процессы переходов между электронными состояниями: поглощение фотонов, спонтанное излучение фотонов и стимулированное излучение фотонов можно связать между собой уравнением Эйнштейна:

$$B_{12} * N_1 * E(f) = B_{21} * N_2 * E(f) + A_{21} * N_2$$

где  $E(f)$  – полная энергия фотонов на единицу объема материала;

$A_{21}$  – коэффициент, определяемый вероятностью спонтанного перехода в единицу времени с уровня  $E_C$  на уровень  $E_V$ ;

$B_{21}$  и  $B_{12}$  – коэффициенты, определяемые вероятностью вынужденного перехода электронов с энергетического уровня  $E_C$  на  $E_V$  и наоборот; таким образом, произведение  $B_{12}E(f)$  характеризует вероятность поглощения, а произведение  $B_{21}E(f)$  – вероятность вынужденного излучения;

$N_1$  и  $N_2$  – число возбужденных электронов на уровнях  $E_V$  и  $E_C$ .

Физический смысл уравнения Эйнштейна можно представить так: левая часть определяет поглощение энергии внешнего фотонного поля в единицу времени, а правая – полную энергию, выделяемую в веществе в виде стимулированного и спонтанного излучения.

При прохождении волны через среду, в единице объема которой  $N_1$  электронов находятся в энергетическом состоянии  $E_V$  и  $N_2$  электронов в состоянии  $E_C$  она может поглощаться или усиливаться. В условиях термодинамического равновесия населенность нижнего уровня  $N_1$  всегда больше населенности верхнего  $N_2$ . Поэтому волна теряет больше энергии, чем приобретает, то есть имеет место поглощение света.

Для того чтобы процессы СТИ преобладали над поглощением необходимо выполнить условие:

$$\frac{СТИ}{ПОГЛ} = \frac{B_{21}N_2E(f)}{B_{12}N_1E(f)} = \frac{B_{21}N_2}{B_{12}N_1} > 1$$

При одинаковых  $B_{21}$  и  $B_{12}$  должны быть созданы условия инверсной населенности энергетических уровней  $N_2 > N_1$ , что трактуется как необходимость возбуждения электронов. При  $N_2 > N_1$  вынужденные переходы  $E_C \rightarrow E_V$  преобладают и поставляют в световую волну больше энергии, чем теряется в результате переходов  $E_V \rightarrow E_C$ . Излучаемые в результате вынужденных переходов волны по частоте, направлению распространения, поляризации и фазе тождественны первичной волне и, следовательно, когерентны друг другу. Именно когерентность вынужденного излучения приводит к усилению световой волны в среде с инверсией населенностей, а не просто к дополнительному излучению новых волн.

Среду с инверсией населенностей какой-либо пары уровней, способную усиливать излучение, обычно называют активной или лазерной. Процесс возбуждения среды с целью выполнения условия  $N_2 > N_1$  – называется накачкой, а внешний источник возбуждения – источником накачки.

В полупроводниках активную среду возможно создавать:

- 1) инжекцией носителей тока через электронно-дырочный переход;
- 2) оптическим возбуждением

В технике оптических систем связи источником накачки полупроводниковых материалов является источник электрического тока.

Из соотношения

$$\frac{СТИ}{СПИ} = \frac{B_{21}N_2E(f)}{A_{21}N_2} = \frac{B_{21}E(f)}{A_{21}} > 1$$

Видно, что для преобладания СТИ над СПИ необходимо получить высокую концентрацию фотонов в веществе.

В лазерах в качестве области пространства, в которой происходит увеличение энергии фотона в единице объема за счет стимулированного излучения ( $E(f) > 1$ ) используется оптический резонатор (рисунок 1).

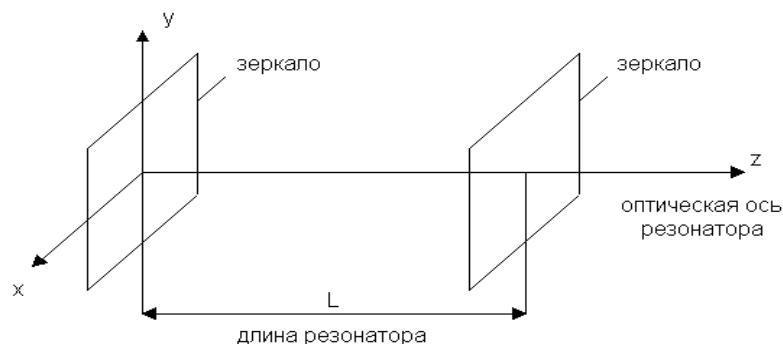


Рисунок 1 - Резонатор Фабри-Перо

Простейшим оптическим резонатором является резонатор Фабри – Перо. Его конструкция представляет два расположенных параллельно друг другу зеркала, выполненных на основе отполированных граней полупроводникового кристалла.

Исходя из вышеотмеченного, можно сделать вывод о структуре лазера (рисунок 2). При малых токах накачки в активной области, подобно СИД, возникает спонтанное излучение. При этом активная область излучает спонтанные фотоны (СПФ) во все стороны и большая часть эту область покидает. Часть фотонов спонтанного излучения отразится от зеркала РФП и пройдут строго в плоскости активной области к противоположному зеркалу.

Спонтанное излучение одного из возбуждённых атомов активной среды (т. е. атома, находящегося на уровне  $E_c$ ), прежде чем оно выйдет из объёма  $V$ , может вызвать вынужденные переходы других возбуждённых атомов и вследствие этого усилится.

Усиление зависит от пути, проходимого волной в среде, то есть от направления. Если поместить активную среду в простейший оптический резонатор, то в наиболее благоприятные условия попадает волна, распространяющаяся вдоль его оси. Фотоны, сталкиваясь с электронами, отдают им кванты энергии. Получив дополнительную энергию, некоторые электроны, находящиеся на энергетических уровнях в зоне проводимости, рекомбинируют с дырками валентной зоны. Вновь возникают фотоны, но в отличие от спонтанных, они являются стимулированными (СТФ). Когерентные волны, распространяясь вдоль оси резонатора, будут отражаться от зеркал перпендикулярно их поверхности, и интерферировать между собой.

*Интерференцией волн* называется явление наложения волн, при котором происходит устойчивое во времени их взаимное усиление в одних точках пространства и ослабление в других в зависимости от отношения между фазами этих волн. Интерферировать могут только когерентные волны, которым соответствуют колебания, совершающиеся вдоль одного и того же или близких направлений.

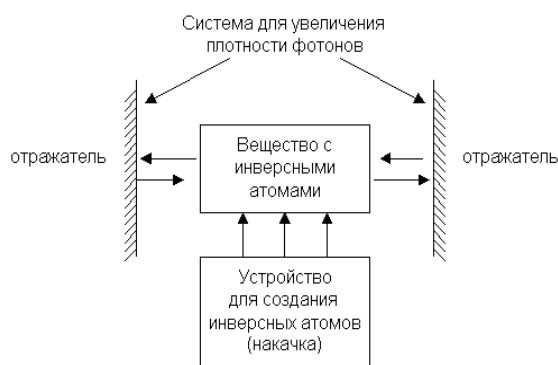


Рисунок 2 - Общая структура лазера

Длина резонатора выбирается такой, чтобы на ней укладывалось целое число полуволн:

$$L = \frac{\lambda}{2} * q, \text{ где } q=1,2,\dots - \text{число полуволн}$$

В результате каждого «прохода» интенсивность волны увеличивается, так как число СТФ растет лавинообразно, а поскольку число электронно-дырочных пар в единице объема, не меняется, стимулированное излучение начинает преобладать над спонтанным. При некотором пороговом токе накачки спонтанное излучение окончательно подавляется, в резонаторе устанавливается стоячая волна, а сквозь полупрозрачные зеркала выходит поток когерентного излучения. Этот режим называют режимом генерации лазера.

В резонаторах могут возбуждаться колебания только определенных длин волн и определенной структуры, образующие стоячую волну. Частоты этих колебаний называются резонансными или собственными частотами резонатора, а колебания модами резонатора. Резонатор лазера для системы оптической связи должен быть сконструирован таким образом, чтобы в нем сохранялось небольшое число мод, а остальные должны гаситься. Для этого резонаторы делаются открытыми.

Конструкция ЛД Фабри-Перо (FP) с двойной гетероструктурой приведена на рисунке 3.

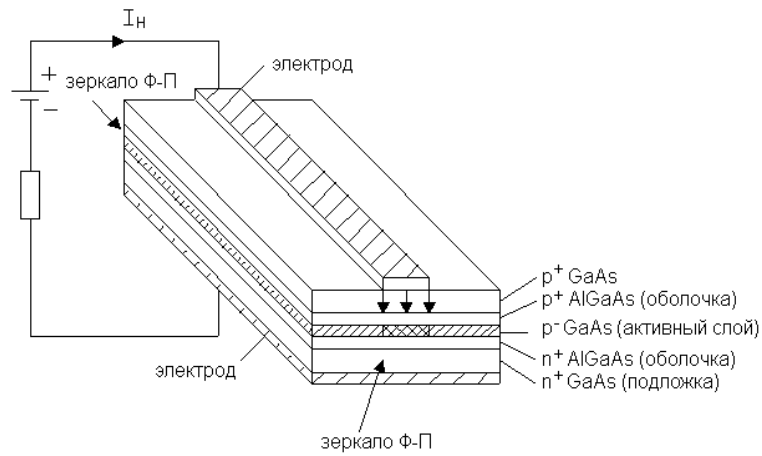


Рисунок 3 - Конструкция лазера с резонатором Фабри-Перо

При изменении величины тока накачки в лазере происходит изменение спектрального состава, что при модуляции тока накачки информационным сигналом приводит к динамическому уширению спектра и перескоку максимальной мощности излучения с одних мод на другие.

Широкий спектр лазерных мод затрудняет процесс передачи информационных сигналов по волоконно-оптическим линиям связи из-за дисперсии импульсов оптической мощности. Для преодоления этой проблемы разработаны различные конструкции одномодовых лазеров. Чаще других применяют лазеры типа РОС (DFB).

В отличие от лазеров Фабри-Перо в лазерах РОС положительная обратная связь, необходимая для генерации лазерного излучения, создается не за счет зеркал, локально расположенных на торцах резонатора, а образуется внутри самого лазера. В лазерах РОС такая связь возникает благодаря распределенной структуре под названием "гофр". Это граница между резонатором и другим диэлектрическим слоем (рисунок 4). Резонатор образован между подложкой  $n^+$  InP  $p^+$  InGaAsP. Гофр представляет собой фазовую решетку (оптический фильтр) с очень высокой разрешающей способностью.

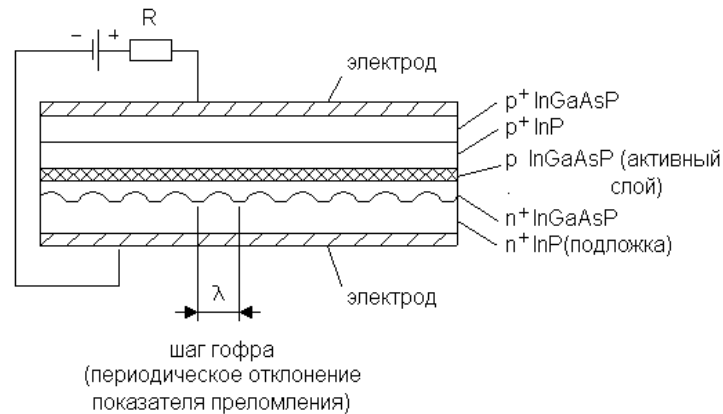


Рисунок 4 - Структура лазера РОС

Для повышения мощности излучения в одномодовый лазер РОС может быть встроено с одного из торцов зеркало.

В РОС-лазерах положительная обратная связь по фотонам обеспечивается рассеянием на неоднородностях образующих дифракционную решетку. Дифракция – совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в среде с резкими неоднородностями и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики. Перераспределение интенсивности, возникающее вследствие суперпозиции волн, возбуждаемых когерентными источниками, расположенными непрерывно – дифракция волн (конечным числом дискретных когерентных источников - интерференция).

В результате дифракции на решетке останутся только моды, длина волны которых кратна периоду решетки, так как для этих типов волн наблюдается синфазное сложение волн дифракции. То есть периодическая структура способна обеспечить селекцию мод и одномодовый режим генерации.

Частота генерации соответствующая длине волны Брэгга:

$$f = f_0 \pm \left(1 + \frac{1}{2}\right) \frac{c}{n_3 L},$$

где  $L$  – длина активного слоя с гофром,  $c$  – скорость света в свободном пространстве.

Отличительной особенностью РБО-лазеров (DBR) является то, что в них периодическая структура вынесена за пределы активной области.

В последние годы повышенный интерес разработчиков ВОСП вызывают «викселы» - полупроводниковые лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL – vertical-cavity surface-emitting lasers). В таких лазерах (рисунок 5) резонатор образован двумя объемными дифракционными решетками Брэгга и излучение генерируется в направлении, перпендикулярном плоскости подложки, являющейся основанием гетеро- и квантоворазмерных слоев полупроводников.

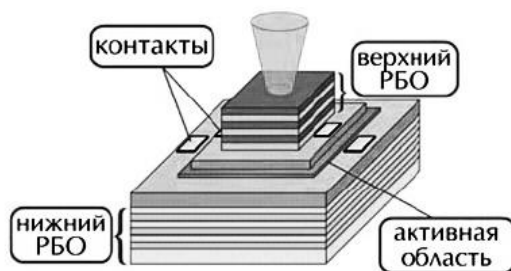


Рисунок 5 – Лазер с вертикальными резонаторами (VCSEL)

Благодаря сверхкороткой длине резонатора, викселы генерируют на одной продольной моде, при этом диаметр выходного пучка лазера достигает 20-30 мкм, что позволяет осуществлять его эффективную фокусировку в одномодовое волокно. Пороговый ток викселов крайне мал – до 2-5 мА, мощность излучения около 1 мВт. Приложением электрического поля в направлении оси резонатора в некоторых (консольных) вариантах VCSEL удастся осуществлять плавную перестройку длины волны генерации в полосе длин волн 1530 – 1560 нм. Это создает возможность эффективного применения викселов в перспективных ВОСП со спектральным уплотнением (WDM и DWDM). Однако, технология изготовления таких лазеров для длин волн 1500–1610 нм (Long Wave-VCSEL, LW-VCSEL) еще недостаточно отработана из-за сложности изготовления зеркал лазера, поэтому они пока менее распространены.

**ПК-12.2 Умеет:** характеризовать физические процессы, происходящие при формировании, обработке, передаче, приеме сигналов в различных оптических системах, анализировать способы и системы передачи информации по оптическим сетям, эксплуатировать оборудования оптических цифровых систем, конфигурировать оптические цифровые сети в зависимости от вида используемого оборудования.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

### Цифровые методы модуляции сигналов

#### 1 Цель работы:

1.1 Освоение методики расчета параметров модулируемых источников оптического излучения.

#### 2 Подготовка к работе:

2.1 Изучить конструкцию и основные параметры модуляторов источников излучения по литературе.

2.2 Изучить методику расчета параметров модулируемых источников излучения по литературе.

#### 3 Задание:

По данным таблицы 1 построить зависимость выходной мощности источника оптического излучения от величины электрического тока, протекающего через него. Рекомендуется при построении графика  $P(I)$  чертеж выполнить в масштабе 1 мм : 0,2 мА и 1 мм : 1,5 мкВт.

Для заданных (по варианту) тока смещения и амплитуды модулирующих однополярных импульсов (таблицы 2 и 3) определить графически изменение выходной модуляционной мощности  $P_{\text{макс}}$  и  $P_{\text{мин}}$  и определить глубину модуляции по току

$$\eta = \frac{I_{\text{МАКС}} - I_{\text{МИН}}}{I_{\text{МАКС}}}$$

По построенной характеристике указать вид источника.

Пользуясь построенной ватт-амперной характеристикой выбрать ток смещения так, чтобы сигнал с  $I_m$  преобразовывался в мощность излучения без искажений. Определить глубину модуляции и максимальную мощность излучения в этом случае.

Таблица 1-Исходные данные

Варианты 1, 4, 7, 10, 13,16, 19										
I, мА	0	5	10	15	18	20	22	24	26	28
P, мкВт	0	18	35	50	65	90	180	230	310	360
Варианты 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20										
I, мА	1	5,5	10,5	15,2	17,5	21	22	25,5	26,8	29,9
P, мкВт	0	12	31	52	60	95	170	235	320	370
Варианты 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21										
I, мА	0,5	4,5	11	17	19	23,5	25	28	29	32,2
P, мкВт	0	19	36	58	69	98	192	248	360	390

Таблица 2 - Исходные данные

Ток смещения	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мА	10,5	15	12	23	14	15	16	17,5	18	24
Ток смещения	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мА	11,5	14	14,5	20,5	15,5	18,5	19	21	20,0	22

Таблица 3-Исходные данные

Амплитуда тока модуляции	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мА	20	9	18	7	6	15	4	13	2	1
Амплитуда тока модуляции	Вариант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I, мА	19	16,5	20	6,5	4,5	11,5	10,5	5,5	5	3

#### 4 Контрольные вопросы:

- 4.1 Что такое модуляция?
- 4.2 В чем состоит принципиальное отличие прямой и внешней модуляций оптического излучения?
- 4.3 В чем заключается сущность прямой модуляции в схемах с полупроводниковыми источниками оптического излучения?
- 4.4 Почему полоса частот при прямой модуляции ограничена?
- 4.5 Почему происходит искажение сигналов при прямой модуляции?
- 4.6 Чем отличаются модуляционные характеристики схем с лазером и световодом?
- 4.7 Какие виды внешней модуляции оптического излучения применяются в системах передачи?
- 4.8 Чем отличается электрооптический внешний модулятор от электроабсорбционного?
- 4.9 Какие шумы возникают при модуляции?
- 4.10 Как уменьшить нелинейные искажения при модуляции?
- 4.11 Как устроен передающий оптический модуль?
- 4.12 С какой целью в состав передающего оптического модуля вводятся термодатчик и терморегулятор?
- 4.13 Какие электрические и оптические характеристики имеет передающий оптический модуль?

## **5 Содержание отчета:**

### **5.1 Цель работы.**

### **5.2 Задание и исходные данные.**

### **5.3 Графики, полученные в индивидуальных заданиях.**

### **5.4 Выводы по работе.**

### **5.5 Ответы на контрольные вопросы.**

**ПК-12.3 Владеет:** навыками расчета основных параметров оптической цифровой сети, навыками применения теоретических знаний на практике при проектировании оптических цифровых систем и эксплуатации оборудования оптических сетей, навыками настройки параметров оптических цифровых сетей и систем.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА**

### **Исследование принципов построения МТС с ВРК**

#### **1 Цель работы:**

- 1.1 Изучить принципы построения систем передачи с временным разделением каналов (ВРК).
- 1.2 Исследовать работу МТС с ВРК путем наблюдения в разных режимах работы схемы.

#### **2 Подготовка к работе:**

- 2.1 Изучить теоретический материал, относящийся к данной работе по литературе, конспекту лекций, приложения к лабораторной работе.
- 2.2 Подготовить бланк отчета с ответами на контрольные вопросы. При необходимости, в отчете отразить заготовки таблиц, шаблоны для построения графиков зависимости.

#### **3 Основное оборудование:**

- 3.1 Презентационная программа «Временное разделение каналов».
- 3.2 Персональный компьютер.

#### **4 Порядок выполнения работы:**

- 4.1 Изучить приложение к методическим указаниям данной лабораторной работы.
- 4.2 Пользуясь имитационной моделью МТС с ВРК изучите принцип временного разделения каналов. Для этого в меню необходимо выбрать пункт «Описание схемы». В данном пункте приводится описание двухканальной схемы МТС с ВРК.
- 4.3 В пошаговом режиме исследовать работу схемы.
- 4.4 Зарисовать в отчете временные диаграммы работы схемы для случая, когда на приеме есть искажения сигнала.
- 4.5 Ответить на предлагаемые в программе тестовые контрольные вопросы. Результаты показать преподавателю.
- 4.6 Оформить отчет.

#### **5 Контрольные вопросы:**

- 5.1 Определите частоту дискретизации, если  $F_{\max 1}=20$  кГц,  $F_{\max 2}=30$  кГц?
- 5.2 Какой из двух сигналов будет передаваться качественнее сигнал А с  $F_{\max}=1$ кГц или сигнал В с  $F_{\max}=2$  кГц, если  $F_d=3$  кГц?
- 5.3 Перечислите основные достоинства МТС с ВРК.

#### **6 Содержание отчета:**

- 6.1 Цель работы.
- 6.2 Ответы на вопросы допуска.
- 6.3 Структурная схема двухканальной МТС с ВРК, назначение узлов.
- 6.4 Временные диаграммы работы схемы в режиме искажений сигналов.
- 6.5 Причина искажений сигналов при ВРК.
- 6.6 Ответы на контрольные вопросы.
- 6.7 Выводы по работе.

## Типовое задание на курсовое проектирование на тему: «Оптическая цифровая линия передачи технологии PDH»

- 1) Выбрать трассу прокладки кабеля связи.
- 2) Произвести выбор гибкого мультиплексора в зависимости от рассчитанной пропускной способности сети.
- 3) Произвести выбор оптического кабеля связи в зависимости от способа прокладки.
- 4) Произвести расчет длины регенерационного участка и количество регенераторов.
- 5) Построить диаграмму уровней сигнала.
- 6) Разработать схему организации связи.
- 7) Произвести расчет надежности цифровой линии передачи.

### Типовые вопросы к экзамену

1. Принцип построения аппаратуры с ИКМ. Иерархии ЦСП. Стандарты плеззиохронной иерархии.
2. Амплитудно-импульсная модуляция сигнала. Частота дискретизации.
3. Шкала квантования. Ошибка квантования.
4. Теорема Котельникова. Этапы преобразования аналогового сигнала в ИКМ.
5. Устройства тактовой синхронизации.
6. Устройства цикловой синхронизации.
7. Декодер с нелинейной шкалой квантования.
8. Приемники цикловой синхронизации. Классификация. Основные элементы ПЦС.
9. Цифровой поток Еп. Скорость передачи данных.
10. Цифровой поток Е1. Формат кадра. Скорость передачи данных
11. Обобщенная структурная схема ВОСП. Классификация ВОСП. Основные характеристики ВОСП.
12. Классификация оптических волокон. Затухание ОВ. Дисперсия ОВ.
13. Светоизлучающие диоды. Структура СИД, конструкции СИД. Характеристики СИД.
14. Лазерные диоды. Конструкции ЛД. Принцип действия лазерного диода с резонатором Фабри-Перо. Характеристики ЛД (ватт-амперная, диаграмма направленности, спектр излучения, срок службы). Расчет параметров многомодового лазера.
15. Лазерные диоды. Классификация ЛД. Принцип действия лазерного диода с распределенной обратной связью.
16. Структурная схема ПОМ. Характеристики.
17. Структура ЛФД. Принцип действия лавинного фотодиода. Распределение электрического поля. Коэффициент лавинного умножения. Шумы фотодиодов.

### Типовые задачи:

1. Обосновать структуру цикла передачи ИКМ-30 и произвести расчет  $f_T$ .
  2. Рассчитать интервал времени, в течении которого в тракте ИКМ-120 произойдет  $n_{\text{ош}}=20$ , если вероятность ошибки  $P_{\text{ош}}=10^{-7}$ , ошибки распределены равномерно и имеют одиночных характер.
  3. Показать временную диаграмму линейных кодов ЧПИ, КВП-3 и ВН для кодовой последовательности 0111011010100000000011011000001000000100001
  4. Декодировать ИКМ комбинацию 01100010 нелинейным методом. Изобразить структурную схему нелинейного декодера для данной кодовой комбинации.
  5. Рассчитать ширину полосы частот  $\Delta F$  одномодового волокна длиной  $L=50$  км, если удельная дисперсия ОВ  $D=3$  пс/(нм\*км), ширина спектра источника  $\Delta\lambda=1$  нм.
  6. Определить характеристики многомодового лазера с резонатором Фабри-Перо, если скорость света  $c=3*10^8$  м/с, длина резонатора  $L=150$  мкм, показатель преломления  $n=3,9$ , длина волны центральной моды  $\lambda_0=0,42$  мкм, полоса длин волн  $\Delta\lambda=60$  нм.
  7. Определить величину фототока на выходе фотодиода, если мощность излучения  $P_{\text{и}}=8$  мкВт, длина волны  $\lambda=1310$  нм, внутренняя квантовая эффективность  $\eta=0,7$ .
- Рассчитать совокупную дисперсию регенерационного участка, если ширина спектра источника  $\Delta\lambda=0,1$  нм, хроматическая дисперсия ОВ  $D=6$  пс/(нм\*км), длина участка  $L_{\text{рв}}=100$  км.

8. Определить длину участка ВОСП регенерации ограниченную затуханием, если мощность передатчика +3дБм, чувствительность приемника – 30 дБм, поглощение в волокне 0,22 дБ/км.

### Пример экзаменационного билета

Федеральное агентство связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГБОУ ВО "Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики" в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)	<b>Экзаменационный билет</b> № <u>15</u> по дисциплине <u>Оптические цифровые телекоммуникационные системы</u>	УТВЕРЖДАЮ: Зав. кафедрой МЭС <hr/> « <u>25</u> » декабря 2019 г.
---	--	--

Направление 11.03.02 Профиль Технологии и системы оптической связи  
Факультет ИИиУ курс 3 семестр 6

- 1) Декодер с нелинейной шкалой квантования.
- 2) Лазерные диоды. Конструкции ЛД. Принцип действия лазерного диода с резонатором Фабри-Перо. Характеристики ЛД (ватт-амперная, диаграмма направленности, спектр излучения, срок службы). Расчет параметров многомодового лазера.
- 3) Показать временную диаграмму линейных котов ЧПИ, КВП-3 и ВН для кодовой последовательности 011101101010000000001101100000100000100001

#### **5. Банк контрольных заданий и иных материалов, используемых в процессе процедур текущего контроля и промежуточной аттестации**

Представлен в электронной информационно-образовательной среде по URI:

<http://www.aup.uisi.ru>.



Оценочные средства рассмотрены и утверждены на заседании кафедры МЭС

31.05.2021

г

Протокол № 13

Заведующий кафедрой (разработчика)

  
подпись

Е.И. Гниломёдов  
инициалы, фамилия

31.05.2021

г.

Оценочные средства рассмотрены и утверждены на заседании кафедры [МЭС]

31.05.2021 г.      Протокол № 13

Заведующий кафедрой (разработчика)

\_\_\_\_\_

подпись

Е.И. Гниломёдов  
инициалы, фамилия

31.05.2021 г.