

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова»
(КБГУ)

Институт электроники, робототехники и искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП
Давид Р.Ш. Тешев

«12» февраля 2026 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)
Б1.В.ДВ.03.01 «ОСНОВЫ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ
ИНФОРМАЦИИ»

Специальность

11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Специализация:

Радиоэлектронные системы передачи информации

Квалификация выпускника

Инженер

Форма обучения

Очная

Нальчик 2025

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Таблица 1

Код и формулировка компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУН)
<p>ПК-4 Способен к проведению диагностики, оценки качества и надежности в процессе эксплуатации радиоэлектронных систем и комплексов</p>	<p>ПК-4.1. Способен учитывать специфику и особенности различного назначения радиоэлектронных систем и комплексов при оценке эффективности работы функциональных узлов и частей радиоэлектронной аппаратуры</p>	<p>Знать специфику и особенности различного назначения радиоэлектронных систем и комплексов при оценке эффективности работы функциональных узлов и частей радиоэлектронной аппаратуры.</p>
	<p>ПК-4.2. Способен контролировать проведение диагностики и определять категории оценки качества на надежность, долговечность и безотказность работы</p>	<p>Уметь контролировать проведение диагностики радиоэлектронных систем и их составных частей.</p>
	<p>ПК-4.2. Способен контролировать проведение диагностики и определять категории оценки качества на надежность, долговечность и безотказность работы</p>	<p>Владеть методами оценки качества на надежность, долговечность и безотказность работы радиоэлектронных систем и их составных частей.</p>

	радиоэлектронных систем и их составных частей	
--	---	--

2 Шкала оценивания планируемых результатов обучения

2.1 Текущий контроль

Оценка результатов текущей успеваемости в рамках контрольных точек осуществляется посредством 70-балльной системы, при этом за добросовестное посещение занятий обучающийся может набрать до 10 баллов, за качественное прохождение оценочных мероприятий - до 60 баллов.

Карта распределения рейтинговых баллов в рамках текущего контроля

Таблица 2

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Лабораторная работа №1 «Компьютерное исследование многоволновых эрбиевых волоконно-оптических усилителей».	письменная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.	6	6- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 4 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 2 – задания выполнены частично или одно из заданий

					выполнено неверно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
2	Лабораторная работа №2 «Компьютерное исследование оптических демультимплексоров на основе интерференционных фильтров и фильтров Фабри-Перо».	письменная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.	6	6- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 4 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 2 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
3	Лабораторная работа №3	письменная	Работа включает в	6	6- все задания выполнены

<p>«Компьютерное исследование оптических демультимплексоров на основе наложенных голограмм в фотополимерном материале».</p>		<p>себя два задания, выполняется студентами попарно.</p>		<p>верно, выводы по работе обоснованы; 4 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 2 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно</p>
<p>4 Лабораторная работа №4 «Компьютерное исследование оптического мультимплексора на основе массива планарных волноводов».</p>	<p>письменная</p>	<p>Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.</p>	<p>6</p>	<p>6- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 4 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 2 – задания выполнены частично или</p>

					одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
5	Практическая работа «Параметры лазеров и лазерного излучения»	письменная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.	4	4- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 3 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно

6	Практическая работа «Лазерные оптические системы».	письменная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.	4	4- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 3 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
7	Практическая работа «Интегральные преобразования оптических сигналов».	письменная	Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.	4	4- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 3 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания

					<p>выполнены частично или одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки.</p> <p>0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно</p>
8	<p>Практическая работа «Моделирование акустооптического устройства ввода информации в оптическую систему».</p>	письменная	<p>Работа включает в себя два задания, выполняется студентами попарно.</p>	4	<p>4- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы;</p> <p>3 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны;</p> <p>1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки.</p> <p>0 – задания не выполнены или все задания выполнены</p>

					неверно
9	Тесты по 1 контрольной точке	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	5	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
10	Тесты по 2 контрольной точке	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	5	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
11	Коллоквиум по 1 контрольной точке	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	5	5– ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 4 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки; 3- ответы недостаточно полные; 2 – ответы частичные,

					<p>содержат ошибки</p> <p>или требуют наводящих вопросов;</p> <p>1-ответы не на все вопросы, частичные.</p> <p>0 – ответы отсутствуют или полностью неверные.</p>
1 2	Коллоквиум по 2 контрольной точке	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	5	<p>5– ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична;</p> <p>4 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки;</p> <p>3- ответы недостаточно полные;</p> <p>2 – ответы частичные,</p>

				содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 1-ответы не на все вопросы, частичные. 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные.
	Итого:		60	

Карта распределения баллов в рамках промежуточной аттестации

Таблица 3.

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Экзаменационный билет	Устный опрос	Билет содержит теоретических вопросов. На теоретические вопросы студент должен ответить	2 Теоретически вопросы – 30 баллов.	<u>Критерии оценивания теоретических вопросов:</u> 25 до 30 баллов: Глубокий уровень владения материалом, точное знание ключевых

		устно.		<p>концепций, способность анализировать и интерпретировать факты, грамотно строить высказывания, привести примеры, свободно оперировать терминологией.</p> <p>От 19 до 24 баллов: Базовое владение предметом, умение последовательно раскрыть основную мысль вопроса, грамотное применение терминов, наличие существенных элементов анализа и обобщений, но недостаточное развертывание или отдельные неточности.</p> <p>От 13 до 18 баллов: Частичное освоение</p>
--	--	--------	--	---

					<p>материала, попытка объяснить основной смысл вопроса, использование некоторых базовых терминов, но отсутствие глубокого понимания сложных моментов, логические недостатки изложения, отсутствие выводов.</p> <p>От 7 до 12 баллов: Ошибочн ые представления, слабо выраженное владение основными понятиями, значительные затруднения в интерпретации вопросов, существенные фактологические ошибки, отсутствие обоснованных</p>
--	--	--	--	--	---

					<p>ВЫВОДОВ и примеров. От 0 до 6 баллов: Полное непонимание темы, неспособность сформулировать адекватный ответ, грубые ошибки, несоответствие требованиям задания.</p>
--	--	--	--	--	---

3. Оценочные материалы для текущего и промежуточного контроля успеваемости

3.1. Оценочные материалы для текущего контроля

Лабораторная работа 1

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОВОЛНОВЫХ ЭРБИЕВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ

1. Исследовать зависимость оптимальной длины L_{opt} и максимального коэффициента усиления K_{max} от мощности сигнала P_s в диапазоне от 0.001мВт до 0,5мВт для $L_p=1480$ нм и $L_p=980$ нм. (P_p и L_s задаются вариантом задания)
2. Исследовать зависимость максимального коэффициента усиления K_{max} от мощности накачки P_p в диапазоне от 100 до 300мВт, для $L_p=1480$ нм и $L_p=980$ нм. (P_s и L_s задаются вариантом задания)
3. Исследовать зависимость максимального коэффициента усиления K_{max} от длины волны сигнала L_s в диапазоне 1530 нм – 1560 нм для $L_p=1480$ нм и $L_p=980$ нм. (P_s и P_p задаются вариантом задания)

4. Исследовать зависимость максимального коэффициента усиления K_{\max} от температуры в диапазоне от -20 до $+400$ С, для $L_p=1480$ нм и $L_p=980$ нм. (L_s , P_s и P_p задаются вариантом задания)
5. Исследовать зависимость максимального коэффициента усиления K_{\max} первого канала от количества каналов при равных входных мощностях каждого канала для $L_p=1480$ нм и $L_p=980$ нм. (P_s , L_s , dL , и P_p задаются вариантом задания)
6. Для многоканального усилителя исследовать зависимость максимального коэффициента усиления K_{\max} первого канала от межканального интервала по длине волны dL от 0.4 нм до 1.6 нм (L_s , P_s и P_p , количество каналов задаются вариантом задания).
7. Для многоканального усилителя при равных мощностях входных сигналов определить оптимальную длину усилителя (все параметры задаются вариантом задания). Установить фильтр для выравнивания АЧХ. Использовать фильтр на входе и на выходе усилителя. Для обоих фильтров сохранить следующие графики: график с АЧХ усилителя без фильтра, АЧХ фильтра и АЧХ усилителя с фильтром; график с зависимостями входной мощности, выходной мощности и выходной мощности после фильтра от номера канала; график с зависимостью мощности сигнала в каждом канале от длины волокна при оптимальной длине волокна. Определить неравномерность АЧХ усилителя и АЧХ усилителя с фильтром.
8. Для многоканального усилителя при неравных мощностях входных сигналов определить оптимальную длину усилителя (все параметры задаются вариантом задания). Установить фильтр для выравнивания выходной мощности. Использовать фильтр на входе и на выходе усилителя. Для обоих фильтров сохранить следующие графики: график с АЧХ усилителя без фильтра, АЧХ фильтра и АЧХ усилителя с фильтром; график с зависимостями входной мощности, выходной мощности и выходной мощности после фильтра от номера канала; график с зависимостью мощности сигнала в каждом канале от длины волокна при оптимальной длине волокна. Определить неравномерность выходной характеристики усилителя без фильтра и с фильтрами.

Лабораторная работа 2

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОРОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ И ФИЛЬТРОВ ФАБРИ-ПЕРО

1. Согласно своему варианту задания, получить исходные данные для расчёта демультиплексора.

2. По таблице ITU-T найти число каналов n и центральные частоты λ_i .

*Исследование оптического демультиплексора, на основе
интерференционного фильтра.*

1. Определить угол падения светового пучка на фильтр, исходя из данной в задании схемы построения демультиплексора.

2. Рассчитать период структуры для всех тонкоплёночных фильтров, входящих в демультиплексор и толщину фильтров для $\Delta n = 10^{-4}$, $3 \cdot 10^{-4}$, $7 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-3} . Толщину всех фильтров считать постоянной, равной толщине центрального фильтра. Результаты расчёта для всех Δn занести в таблицу.

*Исследование оптического демультиплексора, на основе фильтров
Фабри-Перро.*

1. Найти показатели преломления среды резонатора для каждого фильтра.

2. Оценить значение коэффициента отражения зеркал.

3. Оценить значение длины резонатора для центрального фильтра демультиплексора настроенного на отражение спектра с максимальной центральной длиной волны. Это значение будем считать постоянным для всех фильтров демультиплексора. Оно равно длине последнего фильтра. Все результаты расчёта занести в таблицу.

*Исследование оптического демультиплексора, на основе
интерференционного фильтра.*

1. Исследовать зависимость максимальных переходных помех (P_{\max}) от Δn . Для этого необходимо определить переходные помехи демультиплексора, при различных значениях Δn , вычисленных в расчётном задании (перед расчётом P , необходимо определить $\Delta \lambda$). Результаты занести в таблицу. По таблице постройте зависимость $P_{\max}(\Delta n)$. В отчёте, так же отобразите полученные графики аппаратных функции демультиплексоров и рассчитанные графики переходных помех, при различных значениях Δn . Объясните, чем вызвано различие в переходных помехах.

2. Найти оптимальную разницу показателей преломления, при которой максимальный уровень переходных помех будет равен P_0 . Для этого, необходимо, на основе аппроксимации зависимости $P_{\max}(\Delta n)$ найдите такой Δn , который удовлетворял бы уравнению $P_{\max}(\Delta n) = P_0$. Обозначим его как Δn_{opt} .
 3. Рассчитать конструкционные параметры фильтров, при Δn_{opt} . На основе полученных параметров смоделировать аппаратную функцию демультиплексора и рассчитать переходные помехи. Результаты занести в таблицу.
- В отчёте отобразите смоделированный график аппаратной функции демультиплексора и рассчитанный график переходных помех. Объясните, чем вызван полученный вид зависимости переходных помех от номера канала.
4. Для демультиплексора с оптимальными параметрами, пронаблюдать влияние всех соседних каналов на каждый канал в отдельности. Объясните, чем вызван полученный вид зависимости переходных помех от номера канала.

Лабораторная работа 3

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОРОВ НА ОСНОВЕ НАЛОЖЕННЫХ ГОЛОГРАММ В ФОТОПОЛИМЕРНОМ МАТЕРИАЛЕ

Расчетное задание.

1. Согласно своему варианту задания, по таблице ИТУ-Т найти число каналов (решёток) n и центральные частоты λ_i .
2. Оценить изменение угла наклона ФПМ ($\Delta\psi$) исходя из отношения $\Delta\psi = (160^\circ - 2\theta)/n$.
3. Оценить толщину ФПМ (d), необходимую для достижения заданной селективности.
4. Найти углы θ_i под которым будут дифрагировать лучи с длинами волн λ_i .
5. Оценить теоретически максимальную достижимую дифракционную эффективность голограмм.

Экспериментальное задание.

1. Занести в программу параметры демультиплексора исходя из таблицы исходных данных и материальные параметры ФПМ: $\delta m = 10^{-3}$, $\delta m = 10^{-}$

- 2), $s=1$, $D=10^{-15}$, $n=1.45$. Шаг углов наклона и толщина ФПМ находится из расчётного задания. Длину волны и угол записи взять из таблицы
2. Определить максимально достижимую дифракционную эффективность η_{\max} для наложенных голограмм при отсутствии оптического затухания. Для этого необходимо определить такую дифракционную эффективность, при которой максимум кривой динамики записи последней голограммы проходил бы через η_{\max} . Занести в таблицу получившиеся времена записи для каждой голограммы и максимумы относительной брэгговской расстройки Δi ;
 3. Исследовать зависимость дифракционной эффективности от относительной брэгговской расстройки $Kd(d)$. Пронаблюдать изменения суммарных переходных помех на каждый канал и соответствие их требуемым нормам (P_0). Для этого, переходные помехи перевести в децибелы и отразить в отчёте в виде таблиц и графиков. Если переходная помеха слишком большая, необходимо увеличить толщину ФПМ и повторить пункт 2 заново.
 4. Повторить пункты 2-3, для оптического затухания в 3 Нэп. Сделать выводы о влиянии оптического затухания в ФПМ на динамику записи голограмм и дифракционные характеристики.
 5. Сделать выводы по использованию оптического демультиплексора на основе наложенных дифракционных решёток записанных в ФПМ, как устройства селекции каналов в ВОСП. Выявить достоинства, недостатки и провести сравнительный анализ исследуемого демультиплексора, по сравнению с исследуемыми ранее демультиплексорами.

Лабораторная работа 4

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО МУЛЬТИПЛЕКСОРА НА ОСНОВЕ МАССИВА ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ

Для выполнения лабораторных работ необходимо рассчитать основные конструктивные параметры демультиплексора AWG (λ_0 , d_w ; K , L_f ; α ; m , Δl). Данные параметры могут быть рассчитаны по соответствующим формулам. Исходные данные для выполнения работы берутся из таблицы согласно определённому преподавателем варианту.

Экспериментальное задание

- 1 Исследовать одиночный канал
 - 1.1 Выбрать произвольный канал (например центральный канал 0), в соответствии с описанием ПО.
 - 1.2 Определить неоднородность вносимых потерь одного канала.
 - 1.3 Найти полосу пропускания одного канала на уровне -3 и -20дБ.
 - 1.4 Исследовать зависимость вносимых потерь от длины волны канала.
2. На одной из частот оптического диапазона исследовать влияние конструктивных параметров (K , d_w , L_f , m) на:
 - коэффициент передачи;
 - положение выходного порта d_0 ;
 - полосу пропускания на уровне -20 дБ.
 - 2.1 Исследовать влияние K на вышеизложенные параметры.
 - 2.2 Исследовать влияние d_w на вышеизложенные параметры.
 - 2.3 Исследовать влияние L_f на вышеизложенные параметры.
 - 2.4 Исследовать влияние m на вышеизложенные параметры.
3. Исследовать совокупность каналов
 - 3.1 Привести суммарное поле на выходе, определить положение выходных портов.
 - 3.2 Исследовать зависимость переходных помех от номера каналов.

Практическая работа 1

ПАРАМЕТРЫ ЛАЗЕРОВ И ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1. Привести соотношения между импульсной и средней мощностью излучения, плотностью энергии и плотностью мощности. Привести характерную зависимость порогов разрушения (плотности мощности) от длительности импульса.
2. Определить полную мощность гауссова пучка, поперечное распределение интенсивности в котором определяется зависимостью от радиуса w :
4. Вывести формулу для определения разности частот между ближайшими продольными модами резонатора.
5. Определить плотность мощности лазерного излучения на обрабатываемой поверхности в центре облученной области, если известна мощность излучения P и распределение плотности мощности излучения а) гауссово б) постоянное в пределах облученной области.

6. Определить, какая доля лазерного излучения находится внутри круговой области r , где r – характерный размер гауссова распределения плотности мощности излучения в пучке.
7. Определить радиус области, в которой сосредоточено 50%, 90% всей энергии гауссова пучка, если задан характерный размер гауссова распределения.
8. Рассчитать параметры механического прерывателя, представляющего собой вращающийся диск с прорезью (размеры прорези и угловую скорость вращения диска), если из импульсов длительностью 100 мкс необходимо получить импульсы излучения длительностью 40 мкс при частоте следования импульсов 250 Гц.
9. Определить распределение интенсивностей в многолучевой лазерной системе для случайного и постоянного сдвига фаз излучения отдельных лазеров, если излучение каждого из них поляризовано в одной и той же плоскости и колебания их электрического поля описываются простейшей гармонической зависимостью.
10. Определить теоретическую дифракционную расходимость излучения различных лазеров, считая распределение интенсивности равномерным в пределах заданного диаметра пучка для Cu, Nd:YAG, N₂ и CO₂-лазеров и гауссовым для He-Ne лазера, по следующим данным:
 - а) Nd:YAG $L=1,06$ мкм $D=5$ мм;
 - б) He-Ne $L= 0,63$ мкм $D = 0,3$ мм;
 - в) Cu $L= 0,5$ мкм $D = 3$ мм;
 - г) N₂ $L = 0,34$ мкм $D = 0,3$ мм;
 - д) CO₂ $L= 10,6$ мкм $D = 5$ мм,где L – длина волны излучения, D – диаметр лазерного пучка на выходе лазера. Решение оформить в виде таблицы.
11. Определить расходимость излучения многомодового лазера в зависимости от числа генерируемых поперечных мод.
12. Доказать, что при угле падения, равном углу Брюстера, угол между отраженным и преломленным лучами равен 90 градусов.
13. Показать, какой режим, импульсный или непрерывный, более эффективен для лазерной обработки.
14. Рассмотреть различные методы обеспечения импульсного режима воздействия (режимы свободной генерации, модуляции добротности и

синхронизации мод) и сравнить их по следующим параметрам: КПД, энергия импульса, длительность импульса, средняя и импульсная мощность, частота следования импульсов.

Практическая работа 2

ЛАЗЕРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

1. Показать графически, зависит ли размер фокального пятна от расстояния между лазером и фокусирующей оптической системой и от угла расходимости лазерного излучения.
2. Определить расходимость пучка рубинового лазера, необходимую для получения на поверхности Луны пятна диаметром 3 км, и предложить оптическую схему системы.
3. Определить расходимость излучения лазера, обеспечивающую пятно диаметром 0,5 мм на поверхности Фобоса, если лазер удален от его поверхности на расстояние 100 м. Предложить оптическую схему.
4. Пояснить на примере противоречие между разрешающей способностью и полем изображения.
5. Рассчитать оптическую схему контактного способа обработки и сравнить с проекционным способом при увеличении $\times 10$. Образец – пленка хрома на стеклянной подложке.
6. Рассчитать длину l_0 и диаметр d_0 световой трубки, образующейся при фокусировке пучка лазерного излучения диаметром D_0 и расходимостью θ линзой с фокусным расстоянием f .
7. Вывести формулу для геометрической глубины резкости при фокусировке лазерного излучения.
8. Рассчитать пространственно-геометрические характеристики лазерных пучков (одномодового, многомодового, дифракционно-ограниченного и теоретические): угол расходимости, размер фокального пятна и глубину резкости.
9. Рассчитать оптическую систему энергетического фокусирующего канала для лазера на аргоне: 514 нм, диаметр пучка на выходе лазера 1,5 мм на

уровне $1/e$, расходимость пучка 0,5 мрад, если излучение должно быть сфокусировано в вакуумированной кювете длиной 30 мм в пятно диаметром 1,2 мкм.

10. Изобразить принципиальные схемы лазерных установок с плоттером и координатным столом. Указать условия постоянства плотности мощности излучения в системе с плоттером.
11. Определить размеры рабочего поля в сканирующей системе по значениям допустимых отклонений $dd=200\text{мкм}$ размера фокального пятна $d=50\text{мкм}$ в плоскости обработки для Nd:YAG-лазера. Фокусное расстояние оптической системы 60 см, расстояние от центра зеркала до обрабатываемой поверхности – 50 см.
12. Привести габаритный и энергетический расчет проекционной схемы с осветительной телескопической системой.
13. Определить теоретический предел максимального и минимального масштаба проекции при телецентрическом освещении маски.
14. Дать размерные и энергетические характеристики микропроекционной оптической схемы. Сравнить с условиями обработки в схеме без осветительной системы, без проекционной системы.
15. Проанализировать возможность минимизации размеров контурнопроекционной схемы (за счет передвижения лазера), для чего построить ход лучей в оптической системе с лазером, расположенным в передней фокальной плоскости осветительной системы, до и после нее.
16. Провести сравнительный анализ достоинств и недостатков сканирующих и проекционных методов лазерной обработки. Результаты анализа свести в таблицу:
17. Провести габаритный расчет оптической системы для фокусировки излучения от оптического многомодового волокна с внутренним диаметром 400 мкм в пятно диаметром 200 мкм. Угол расходимости излучения 0,1 рад, расстояние от торца волокна до плоскости обработки 10 см.
18. Провести габаритный расчет оптической системы для фокусировки излучения (с длиной волны 1,06 мкм) от оптического волокна с внутренним диаметром 500 мкм со значением инварианта Лагранжа-Гельмгольца $0,21 \cdot 10^{-6}$ м·рад в пятно размером $d=100$ мкм.

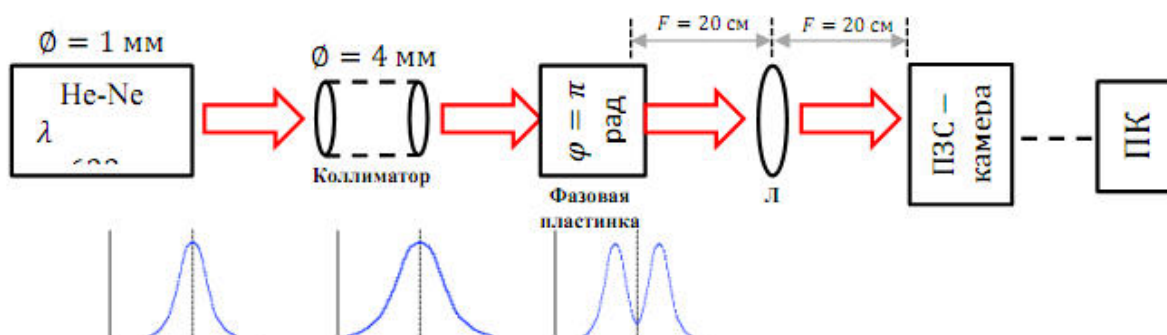
19. Определить, какое смещение маски вдоль оптической оси необходимо обеспечить в проекционной схеме с «дрожащей» маской для получения на образце рельефа высотой $h=1$ мкм.
20. В проекционной схеме с использованием полутонной маски (с переменным пропусканием) определить зависимость профиля обрабатываемой поверхности от пропускания маски, приняв скорость испарения равной $v=q/L$ (q – плотность мощности излучения, L – удельная теплота испарения материала, Дж/см. куб.). Рассчитать маску для заданной точности формирования профиля поверхности $d=0,1$ мкм при длительности импульса излучения $t=10^{-9}$ с, максимальном значении плотности мощности излучения на поверхности образца 10^{10} Вт/см.кв. Определить количество импульсов, необходимое для получения профиля высотой 10 мкм.
21. Рассчитать оптическую систему для ввода излучения Nd:YAG-лазера с расходимостью $10'$ и диаметром пучка 5 мм в одномодовое оптическое волокно с числовой апертурой 0,22.
22. Предложить схему, осуществляющую проекционный метод лазерной обработки со сканированием пучка по маске, разрешающий противоречие между разрешающей способностью и полем изображения. Сравнить с базовым проекционным методом (одновременная засветка всей поверхности маски). Провести габаритный и энергетический расчет при соотношении диаметра пучка на поверхности маски и размера максимальной прорези маски 1:20.

Практическая работа 3

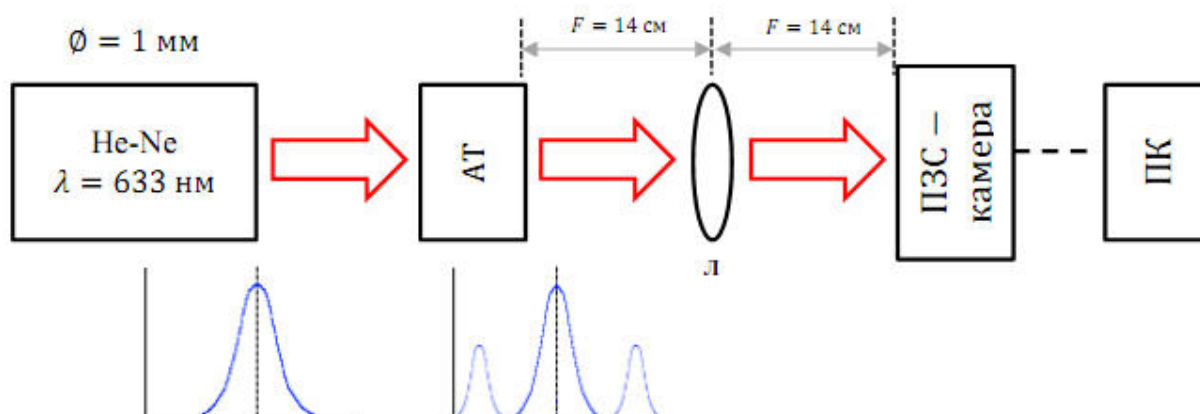
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

1. Смоделировать преобразование оптического сигнала согласно следующей оптической цепочке, соответствующей экспериментальной установке. Принципиальная оптическая схема установки, преобразующей оптический сигнал в сдвинутый по фазе на π рад, изображена на рисунке. Источником излучения послужил He-Ne лазер с длиной волны $\lambda = 633$ нм. Диаметр выходного пучка $\Phi = 1$ мм. Далее излучение проходит через коллиматор, увеличивающий диаметр пучка до $\Phi = 4$ мм. После коллиматора пучок падает на пластинку, после которой происходит сдвиг по фазе π рад. Линза

с фокусным расстоянием $f=200$ мм фокусирует изображение на выходе пластинки, которое фиксируется анализатором лазерных пучков (АЛП). Окончательная информация регистрируется при помощи ПК в программе BeamStar.



2. Осуществить то же самое для схемы преобразующей сигнал в дифрагированный пучок. Соответствующая схема приведена ниже.



Практическая работа 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТООПТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ВВОДА ИНФОРМАЦИИ В ОПТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ.

1. Собрать схему оптического устройства для измерения параметров АОАС. Источником излучения послужил He-Ne лазер с длиной волны $\lambda = 633$ нм. Диаметр выходного пучка $\phi = 1$ мм. Далее излучение подается на акустооптический модулятор (АОМ), на выходе которого наблюдается дифракция Брэгга. После АОМ излучение поступает на фотоприемник (ФП), с помощью которого измеряются фототоки основного и бокового дифракционного максимумов. С помощью ПК в ПО для АОАС

- «Анализатор цепей скалярный Р2М» регистрируются спектральные характеристики излучения.
2. Провести измерение и анализ частотной зависимости дифракционной эффективности АОАС в узкополосном режиме.
 3. Результаты измерений для данного режима занести в таблицу.
 4. Провести измерение и анализ частотной зависимости дифракционной эффективности АОАС в широкополосном режиме.
 5. Результаты измерений для данного режима занести в таблицу.
 6. Провести измерение и анализ частотной зависимости дифракционной эффективности АОАС в режиме слияния дифракционных максимумов, типовая характеристика которой представлена на рисунке.
 7. Провести измерение дифракционной эффективности АОАС. Результаты измерения мультиметром занести в таблицу.
 8. Провести оценку длины взаимодействия светозвукопровода АОАС для узкополосного и широкополосного режимов.

Контрольная работа (коллоквиум) № 1

1. Физические процессы взаимодействия излучения с веществом.
2. Спонтанное и вынужденное излучение, вероятности переходов;
3. Усиление электромагнитных колебаний в среде с инверсной населенностью;
4. Оптические резонаторы;
5. Моды генерации лазеров;
6. Оптические квантовые усилители;
7. Шумы усилителей и лазеров;
8. Ширина спектральной линии;
9. Нелинейные оптические явления;
10. Детектирование световых сигналов;
11. Шумы приемников излучения;
12. Квантовый предел чувствительности;
13. Модуляция световых сигналов.
14. Оптоэлектронные процессоры

15. Структурное построение ВОЛС: назначение оптических передатчиков, приемников, ретрансляторов.
16. Источники оптического излучения для ВОЛС. Зонная структура полупроводниковых лазерных материалов. Полупроводниковые лазеры и полупроводниковые светодиоды.
17. Основные параметры и принцип действия светоизлучающих диодов и полупроводниковых лазеров.
18. Полупроводниковые лазеры: гомо-лазеры и лазеры с двойным гетеропереходом.
19. Многомодовые и одномодовые гетеролазеры. РБО и РСО- лазеры.
20. Принцип действия лазеров с распределенной обратной связью и с вертикальным оптическим резонатором.
21. Внутренняя и внешняя модуляция полупроводниковых источников оптического излучения.
22. Методы управления излучением лазера.
23. Внутррезонаторное управление излучением.

Контрольная работа (коллоквиум) № 2

1. Методы модуляции добротности
2. Методы перестройки длины волны излучения.
3. Импульсный и непрерывный режимы работы лазера.
4. Особенности передачи цифровых сигналов по оптическим линиям связи: модулированные импульсные последовательности
5. Принцип действия оптического диэлектрического волновода.
6. Важнейшие параметры световода: Числовая апертура, профиль показателя преломления
7. Одномодовые и многомодовые световоды: межмодовая, материальная, поляризационная и волноводная дисперсия.
8. Одномодовые и многомодовые световоды: Ширина полосы пропускания и скорость передачи информации, ослабление оптического излучения
9. Оптимальная длина волны для ВОЛС: энергетические соотношения.
10. Волновая теория световода: Типы направляемых волн. Вытекающие волны.

11. Оптические приемники ВОЛС: Принцип детектирования оптических сигналов
12. Оптические приемники ВОЛС: Фотодиодные детекторы; p-i-n фотодиод; Лавинный фотодиод
13. Оптические приемники ВОЛС: Шумы фотоэлектронного преобразования
Фоновая засветка; Дробовой шум; Тепловой шум. Шум лавинного размножения.
14. Оптические приемники ВОЛС: важнейшие характеристики фотодетекторов. Электрические усилители фототока.
15. Регенераторы и усилители оптических сигналов: принцип действия оптических усилителей и оптических регенераторов.
16. Оптические приемники ВОЛС: Квантовый предел фотодетектирования: балансные соотношения для ВОЛС .
17. Топология ВОЛС. Аналоговые и цифровые ВОЛС. Пути совершенствования ВОЛС
18. Алгоритмы взаимного наведения: случайный поиск.
19. Алгоритмы взаимного наведения: регулярный поиск.
20. Устройство передающего лазерного модуля.
21. Лазеры с распределенной обратной связью.
22. Лазерные усилители сигнала.

Вопросы для тестирования

- Q. Каким соотношением определяется спектр собственных частот оптического резонатора?
- а) линейным
 - б) нелинейным
 - в) с квадратичной зависимостью
 - г) с кубической зависимостью
- Q. Лазер служит для формирования ... потока излучения:
- а) когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного
 - б) когерентного, поляризованного и узконаправленного

в) некогерентного, монохроматического, неполяризованного и узконаправленного

г) когерентного, монохроматического и поляризованного

Q. Какой тип двухзеркального резонатора имеет радиусы кривизны зеркал $R_1 = R_2 = \infty$?

а) полуконфокальный

б) конфокальный

в) концентрический

г) плоскопараллельный.

Q. Когда резонатор является устойчивым?

а) когда произвольный луч остается в пределах ограниченной области около оси резонатора

б) когда произвольный луч может удаляться на неограниченное расстояние относительно оси резонатора

в) когда лучи распространяются строго вдоль оси резонатора

г) когда резонатор в режиме одной поперечной моды позволяет почти большой модовый объем

Q. Какими свойствами должен обладать материал, чтобы его можно было использовать для генерации и управления излучением лазера?

а) набор энергетических уровней, позволяющих воспринимать подводимую извне энергию для переброса электронов и с максимальным выходом преобразовывать её в электромагнитное излучение;

б) высокая оптическая однородность;

в) высокий коэффициент термического расширения;

г) высокая теплопроводность;

д) низкий коэффициент термического расширения;

е) оптическая неоднородность;

ж) низкая теплопроводность;

з) постоянство состава и свойств в условиях работы.

Q. Чем обусловлена невозможность работы твердотельных лазеров непрерывном режиме?

- а) из-за невозможности обеспечить поступление больших плотностей энергии накачки
- б) из-за отсутствия устойчивости излучения при использовании непрерывного режима
- в) из-за сильного нагрева и разрушения стержня рабочего вещества при длительном воздействии энергии накачки

Q. В связи с чем необходимо применять собирающие линзы в полупроводниковых лазерах?

- а) так как луч на выходе диода, вследствие дифракции, практически сразу расходится
- б) так как луч обладает низкой мощностью излучения
- в) для фильтрации ненужных мод

Q. Какой тип полупроводниковых лазеров используется в оптоволоконных системах связи?

- а) лазеры на двойной гетероструктуре
- б) диод с квантовыми ямами
- в) гетероструктурные лазеры с отдельным удержанием
- г) лазеры с распределённой обратной связью

Q. Любые подключения к оптическому волокну приводят к:

- а) Уменьшению материальной дисперсии
- б) Уменьшению уровня сигнала
- в) Увеличению количества ошибок
- г) Увеличению импульсных помех в соседних волокнах

Q. Если рабочая длина волны меньше длины волны отсечки, оптическое волокно становится:

- а) Многомодовым
- б) Цветным
- в) Укороченным
- г) Одномодовым

Q. Излучение местного гетеродина, как и лазера передатчика, должно быть:

- а) Широкополосным

- б) Узкополосным
- в) Векторно направленным
- г) Нет правильного ответа

Q. Чувствительность отклика является отношение среднеквадратического значения выходного тока или напряжения фотодетектора к ____ значению электрической мощности

- а) Пиковому
- б) Среднеквадратическому
- в) Медианному
- г) Среднему

Q. Если рабочая длина волны меньше длины волны отсечки, оптическое волокно становится:

- а) Многомодовым
- б) Цветным
- в) Укороченным
- г) Одномодовым

Q. По принципу действия фотоприемники бывают:

- а) Емкостные
- б) Фотонные
- в) Диапазонные
- г) Полупроводниковые

Q. В зависимости от цифровых линейных трактов сравнение цифровых сигналов удобно производить по:

- а) Потенциальной помехоустойчивости при идеальных условиях
- б) Форме импульсов на входе регенератора
- в) По максимальной амплитуде на выходе регенератора
- г) Ширине энергетического спектра

Q. В __ конструкции ОВ в первичных и вторичных защитных покрытиях скручены концентрически вокруг центрального силового элемента

- а) Повивной

- б) Ленточной
- в) Свободной
- г) Уникальной

Q. Оптические волокна не подвержены проблемам ___ влияния

- а) Разнесенного
- б) Параллельного
- в) Взаимного
- г) Отрицательного

Q. Ошибка, возникающая в процессе квантования сигнала в ЦСП

- а) Устраняется в процессе кодирования
- б) Могут быть устранены путем фильтрации на приеме
- в) Принципиально неустранимы
- г) Устраняются в процессе декодирования

Q. Повышенным механическим воздействиям природного происхождения подвергаются оптические кабели:

- а) На подвесных линиях
- б) На барабанах при перевозке
- в) При хранении под открытым небом
- г) При транспортировке по железной дороге

Q. Оптическая транспортная сеть – это:

- а) Сеть, в которой могут передаваться различные виды информации управления сетью
- б) Набор оптических сетевых элементов, соединенных оптоволоконными линиями
- в) Сеть непрерывных оптических сигналов

Q. Какой из процессов приводит к формированию лазерного излучения?

- а) спонтанное излучение,
- б) спонтанное поглощение,
- в) вынужденное излучение.

Q. Какие системы используют при построении лазерной техники

- а) одноуровневые,
- б) двухуровневые,
- в) трехуровневые,
- г) четырехуровневые

Q. Основными признаками лазерного излучения являются когерентность и _____ .

Q. В трехуровневой лазерной системе:

- а) накачка переводит активные центры на уровень возбуждения,
- б) Происходит накопление центров, образуя инверсию населенностей,
- в) Активные центры переходят на верхний рабочий уровень.

Дополнительные вопросы к тестированию

1. Что такое активная среда?
2. Что такое временная когерентность?
3. Что такое вынужденное (индуцированное) излучение?
4. Что такое газодинамические лазеры?
5. Что такое гетероструктурные лазеры?
6. Что такое дисперсия среды?
7. Чем определяется добротность оптического резонатора?
8. Что такое инверсия населенности?
9. Что такое когерентность?
10. Как работают квантовые оптические усилители?
11. Что такое квантовый выход ?
12. Как определяется чувствительность фотоприемника?
13. Числовая апертура световода это - ...?

Ключ

1. Среда, в которой осуществлена инверсия населенности.
2. Корреляция между фазами электромагнитного поля в заданной точке пространства в различные моменты времени.

3. Разновидность квантовых переходов, происходящих под воздействием внешнего электромагнитного поля. исходный и порожденный квант излучения являются точными копиями и имеют одинаковую длину волны, фазу, поляризацию, направление распространения и др.
4. Лазеры, у которых источниками энергии являются колебательно-возбужденные молекулы, а инверсия населенности создается путем быстрого расширения предварительно нагретой усиливающей газовой смеси, движущейся со сверхзвуковой скоростью через оптический резонатор.
5. Полупроводниковые лазеры, в которых используются оптические переходы с участием свободных носителей в многослойных сложных кристаллических структурах с оптическим ограничением света и электронным ограничением диффузного растекания инжектируемых носителей тока.
6. Зависимость параметров распространения электромагнитной волны в среде от параметров волны (частота, поляризация и др.).
7. Отношение запасенной энергии электромагнитного поля к средней энергии, теряемой колебательной системой за один период колебаний.
8. Нахождение большого количества элементов активной среды в верхнем энергетическом состоянии, по сравнению с низшим состоянием.
9. Свойство электромагнитных полей, когда происходит согласование во времени и пространстве нескольких волновых процессов.
10. Приборы, способные за счет внутренней энергии электронов, связанных с атомами и молекулами активной среды, усиливать оптические колебания без искажения формы электромагнитного поля.
11. Отношение числа фотоэлектронов, проделавших работу выхода и вышедших из фотокатода в вакуум, к числу фотонов, падающих на фотокатод.
12. Отношение изменения электрической величины на выходе приемника излучения, вызванная падающим на него излучением, к количественной характеристике этого излучения в заданных эксплуатационных условиях.
13. Показатель световода определяющий тот конус света, который захватывается сердцевиной световода, если все лучи конуса располагаются в осевой плоскости и, падая на торцевую поверхность световода, попадают в осевую точку.

3.2. Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Зачет и экзамен проводятся по билетам. В каждом билете 2 теоретических вопроса.

Экзаменационные вопросы

1. Физические процессы взаимодействия излучения с веществом.
2. Спонтанное и вынужденное излучение, вероятности переходов;
3. Усиление электромагнитных колебаний в среде с инверсной населенностью;
4. Оптические резонаторы;
5. Моды генерации лазеров;
6. Оптические квантовые усилители;
7. Шумы усилителей и лазеров;
8. Ширина спектральной линии;
9. Нелинейные оптические явления;
10. Детектирование световых сигналов;
11. Шумы приемников излучения;
12. Квантовый предел чувствительности;
13. Модуляция световых сигналов.
14. Оптоэлектронные процессоры
15. Структурное построение ВОЛС: назначение оптических передатчиков, приемников, ретрансляторов.
16. Источники оптического излучения для ВОЛС. Зонная структура полупроводниковых лазерных материалов. Полупроводниковые лазеры и полупроводниковые светодиоды.
17. Основные параметры и принцип действия светоизлучающих диодов и полупроводниковых лазеров.
18. Полупроводниковые лазеры: гомо-лазеры и лазеры с двойным гетеропереходом.
19. Многомодовые и одномодовые гетеролазеры. РБО и РСО- лазеры.

20. Принцип действия лазеров с распределенной обратной связью и с вертикальным оптическим резонатором.
21. Внутренняя и внешняя модуляция полупроводниковых источников оптического излучения.
22. Методы управления излучением лазера.
23. Внутррезонаторное управление излучением.
24. Методы модуляции добротности
25. Методы перестройки длины волны излучения.
26. Импульсный и непрерывный режимы работы лазера.
27. Особенности передачи цифровых сигналов по оптическим линиям связи: модулированные импульсные последовательности
28. Принцип действия оптического диэлектрического волновода.
29. Важнейшие параметры световода: Числовая апертура, профиль показателя преломления
30. Одномодовые и многомодовые световоды: межмодовая, материальная, поляризационная и волноводная дисперсия.
31. Одномодовые и многомодовые световоды: Ширина полосы пропускания и скорость передачи информации, ослабление оптического излучения
32. Оптимальная длина волны для ВОЛС: энергетические соотношения.
33. Волновая теория световода: Типы направляемых волн. Вытекающие волны.
34. Оптические приемники ВОЛС: Принцип детектирования оптических сигналов
35. Оптические приемники ВОЛС: Фотодиодные детекторы; p-i-n фотодиод; Лавинный фотодиод
36. Оптические приемники ВОЛС: Шумы фотоэлектронного преобразования
Фоновая засветка; Дробовой шум; Тепловой шум. Шум лавинного размножения.
37. Оптические приемники ВОЛС: важнейшие характеристики фотодетекторов. Электрические усилители фототока.
38. Регенераторы и усилители оптических сигналов: принцип действия оптических усилителей и оптических регенераторов.

39. Оптические приемники ВОЛС: Квантовый предел фотодетектирования: балансные соотношения для ВОЛС .
40. Топология ВОЛС. Аналоговые и цифровые ВОЛС. Пути совершенствования ВОЛС
41. Алгоритмы взаимного наведения: случайный поиск.
42. Алгоритмы взаимного наведения: регулярный поиск.
43. Устройство передающего лазерного модуля.
44. Лазеры с распределенной обратной связью.
45. Лазерные усилители сигнала.