

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники (ТУСУР)

Кафедра радиоэлектроники и систем связи (РСС)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой РСС  
\_\_\_\_\_ А.В. Фатеев  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**Методы и устройства радиофотоники в системах радиосвязи**

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления 11.03.02  
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Разработчики  
Профессор кафедры РСС, д.ф.-м.н..  
\_\_\_\_\_ А. С. Задорин;

**Задорин А. С.** Методы и устройства радиопотоники в системах радиосвязи. Методические указания по самостоятельной работе: учебно-методическое пособие – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2019. – 19 с.

Приводятся методические указания по самостоятельной работе по дисциплине «Методы и устройства радиопотоники в системах радиосвязи» для студентов-магистрантов направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» профиля «Защищенные системы связи»

© Задорин А. С. 2019.

© Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2019.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	3
1. Цель и задачи преподавания дисциплины .....	4
2. Организация самостоятельной работы .....	5
Тестовые задания:.....	5
Темы лекционных занятий: .....	8
Темы практических работ:.....	10
Темы лабораторных работ .....	12
Примерная тематика экзаменационных заданий.....	13
Литература .....	15
3. Рейтинговая система оценки успеваемости студентов.....	15
3.1. Методика текущего контроля освоения дисциплины.....	15
3.2. Балльные оценки для элементов контроля .....	16
3.3. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки .....	17
3.4. Пересчет итоговой суммы баллов в традиционную международную оценку .....	17
4. Список рекомендуемой литературы .....	17
4.1. Основная литература.....	17
4.2. Дополнительная литература .....	18
4.3. Литература для практических занятий.....	18
4.4. Методические указания для лабораторных работ.....	18
4.6. Программное обеспечение.....	19
4.7. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	19

## 1. Цель и задачи преподавания дисциплины

Целью дисциплины «Методы и устройства радиофотоники в системах радиосвязи.» является формирование у студентов-магистрантов направления 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», профиля «Защищенные системы связи», знаний об основных положениях радиофотоники, приобретение навыков применения этих положений для решения задач синтеза и анализа алгоритмов и устройств генерации, приема и обработки широкополосных радиосигналов с помощью радиофотонных устройств, знакомство с тенденциями развития радиофотонных сетей и систем связи.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

–ОПК-3 способностью осваивать современные и перспективные направления развития ИКТ и СС;

– ОПК-4 способностью реализовывать новые принципы построения инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации;

– ПК-11 готовностью к проведению групповых (семинарских и лабораторных) занятий в организации по специальным дисциплинам на основе современных педагогических методов и методик, способностью участвовать в разработке учебных программ и соответствующего методического обеспечения для отдельных дисциплин основной профессиональной образовательной программы высшего образования образовательной организации, готовностью осуществлять кураторство научной работы обучающихся;

В результате изучения дисциплины студент должен:

– **знать** тенденции и перспективы развития радиофотоники; тенденции и перспективы ее развития, а также смежных областей науки и техники; основные теоретические положения радиофотоники, особенности конструирования устройств радиофотоники; принципы работы и характеристики устройств радиофотоники, выполняемых на основе оптических и СВЧ элементов;

– **уметь** применять знания и методики в области техники и технологий электросвязи, основанных на обработке радиосигналов в оптическом диапазоне; рассчитывать их характеристики; производить обоснованный выбор элементной базы.

– **владеть** методами проектирования элементов и устройств радиофотоники; принципами управления и измерения их режимов работы; методами проведения исследований в области радиофотоники.

## 2. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов предполагает углубленное изучение разделов дисциплины, которые связаны с проработкой лекционного материала, подготовкой к контрольным работам, выполнением лабораторных работ и самостоятельное освоение ряда теоретических вопросов при подготовке к сдаче экзамена и отчетов по лабораторным работам.

### Тестовые задания:

Каковы размеры открытого оптического резонатора в сравнении с длиной волны света?

- 1) Они одинаковы;
- 2) Длина волны света много больше размеров резонатора;
- 3) Размеры резонатора много больше длины волны света;
- 4) Расстояние между отражающими поверхностями равно половине длины волны света.

Как связаны длина открытого оптического резонатора и резонансная длина волны для продольных мод?

- 1) Они пропорциональны друг другу;
- 2) Они обратно пропорциональны друг другу;
- 3) Они являются независимыми;
- 4) Они равны друг другу.

Может ли оптический резонатор состоять из двух полностью отражающих зеркал?

- 1) Нет;
- 2) Да, но тогда он не будет оптическим;
- 3) Да;
- 4) Правильного ответа не приведено.

Что понимается под поперечными модами открытого оптического резонатора?

- 1) Поле, образующееся в резонаторе при распространении плоских световых волн в направлениях, ортогональных его оптической оси;
- 2) Поле, образующееся при распространении в резонаторе плоских световых волн в направлениях, параллельных его оптической оси;
- 3) Поле, образующееся в резонаторе при распространении и интерференции плоских световых волн в направлениях, составляющих с оптической осью резонатора некоторый угол, меньший чем  $90^\circ$ ;
- 4) Таких мод не бывает.

Что определяется условием баланса фаз при рассмотрении явлений лазерной генерации?

- 1) Минимальная величина оптических потерь, обеспечивающая генерацию лазерного излучения;
- 2) Возможность одномодового режима генерации;
- 3) Ширина спектральной линии генерируемого излучения;
- 4) Наличие положительной обратной связи в оптическом резонаторе.

Условие баланса амплитуд при рассмотрении явлений лазерной генерации определяет:

- 1) Длину волны излучения лазера;
- 2) Ширину спектральной линии генерируемого излучения;
- 3) Пороговое условие для возникновения лазерной генерации;
- 4) Состояние поляризации лазерного излучения.

Какое из утверждений является наиболее правильным?

- 1) Длина волны лазерного излучения определяется условием баланса амплитуд;
- 2) Ширина спектральной линии излучения лазера определяется добротностью оптического резонатора;
- 3) Поляризация лазерного излучения зависит от типа активной среды;
- 4) Поляризация лазерного излучения зависит от добротности оптического резонатора.

Во многих газовых лазерах выходные окна газоразрядной трубки наклонены относительно ее оси под углом Брюстера. Приводит ли это к изменению числа генерируемых мод в сравнении с их расположением под другим углом?

- 1) Да, число генерируемых мод уменьшается.
- 2) Да, число генерируемых мод возрастает.
- 3) Нет, это приводит лишь к изменению состояния поляризации излучения.
- 4) Нет, это приводит лишь к увеличению мощности излучения.

Зеркала газовых лазеров, работающих в видимом диапазоне, как правило, представляют собой многослойные диэлектрические структуры на прозрачной диэлектрической подложке. Почему для этого не используются металлические пленки на той же подложке?

- 1) Металлические пленки имеют слишком низкий коэффициент отражения для света видимого диапазона
- 2) Технология нанесения металлических пленок на подложку значительно сложнее, чем процесс получения многослойных диэлектрических зеркал.
- 3) Металлические пленки обладают более высоким поглощением света в видимом диапазоне, чем диэлектрические.
- 4) Металлические пленки не позволяют получить лазерное излучение с линейной поляризацией

Какова максимальная величина коэффициента отражения многослойных диэлектрических зеркал?

- 1) Практически единица
- 2) 0,5
- 3) От 0,7 до 0,9
- 4) Менее 0,5

Зависит ли от длины волны света величина коэффициента отражения зеркал с многослойным диэлектрическим покрытием?

- 1) Нет, не зависит
- 2) Да, зависит
- 3) В видимом диапазоне эта зависимость очень слаба
- 4) Зависит, но только в инфракрасном диапазоне

Каково основное отличие конструкции лазерного диода и светодиода?

- 1) Светодиод не имеет теплоотвода.
- 2) Светодиод имеет меньшую угловую расходимость излучения.
- 3) Светодиод не имеет оптического резонатора.
- 4) Светодиод требует обратного смещения р-п перехода.

Что из себя представляет электромагнитное поле волноводной моды планарного оптического волновода?

1. Оно имеет характер стоячей волны в направлении распространения и в перпендикулярном к плоскости волновода направлении.
- 2) Оно имеет характер бегущей волны в направлении распространения и стоячей волны в перпендикулярном к плоскости волновода направлении.
- 3) Оно имеет характер бегущей волны в направлении распространения и в перпендикулярном к плоскости волновода направлении.
- 4) Оно имеет характер стоячей волны в направлении распространения и бегущей волны в перпендикулярном к плоскости волновода направлении.

Число волноводных мод, существующих в планарном оптическом волноводе, возрастает при:

- 1) Возрастании длины волны света.
- 2) Уменьшении разницы показателей преломления волноводного слоя и подложки.
- 3) Уменьшении длины волны света и увеличении толщины волноводного слоя.
- 4) Возрастании длины волны света и снижении толщины волноводного слоя.

В каких средах проявляется квадратичный электрооптический эффект?

- 1) Во всех материальных средах.
- 2) В оптически изотропных материалах.
- 3) Во всех кристаллических средах.
- 4) В кристаллических средах без центра симметрии.

Назовите причины потерь в открытых оптических системах передачи.

- 1) Дифракция и поглощение света в материальных средах.
- 2) Интерференция света.
- 3) Нелинейные эффекты.
- 4) нет верного ответа.

Добротность оптических микрорезонаторов, возбуждаемых фундаментальными модами шепчущей галереи может достигать:

- 1) ~100;
- 2) ~10000.
- 3) ~100000000.
- 4) ~1000000000000.

Что такое декогеренция кубита?.

- 1) Дифракция в материальной среде.
- 2) Интерференция фотона в материальной среде.
- 3) Нарушение когерентности, вызываемый взаимодействием фотона с окружающей средой.
- 4) Нет верного ответа.

Какие преимущества перед генераторами СВЧ обеспечивает использование оптоэлектронной конверсии?

- 1) Снижение фазовых шумов и массогабаритных параметров.
- 2) Снижение стоимости устройства.
- 3) Повышение долговременной стабильности.
- 4) Нет верного ответа

#### **Темы лекционных занятий:**

- **Введение**

Понятия, Понятие радиофотоники. Особенности методов радиофотоники при обработке сигналов.

- **Математические основы радиофотоники.**



Описание сигналов. Двумерное преобразование Фурье и его свойства. Понятия, воздействия и реакции системы, системного оператора.

- **Физические основы радиофотоники**

Спонтанное и стимулированное излучение. Спектры излучения, ширина линии. Особенности распространения световых волн. Понятие волнового поля. Плоские монохроматические волны. Модель дифракции волн Френеля-Кирхгофа.

- **Фильтрация оптических сигналов в свободном пространстве.**

Свободное пространство как фильтр пространственных частот. Волновое поле при аксиально-симметричном распределении комплексной амплитуды во входной плоскости. Частотная и импульсная характеристики свободного пространства

- **Источники излучения и оптические усилители радиопотонных систем.**

Общая характеристика источников света. Естественная ширина спектральной линии. Принцип оптического усиления. Полупроводниковые и волоконно-оптические усилители на основе редкоземельных элементов. Конструкции, принцип действия, основные характеристики. Условие самовозбуждения для лазеров. Спектр генерации. Пороговая плотность тока. Ватт-амперная характеристика. Лазеры с распределенной обратной связью. Лазеры с вертикальным резонатором. Светодиоды, их достоинства и недостатки.

- **Фотоприемники.**

Типы фотоприемников. Основные характеристики:

чувствительность, быстродействие, обнаружительная способность, спектральный диапазон.

Приемники с внешним и внутренним фотоэффектом:

фотоэлементы, ФЭУ, фоторезисторы, фотодиоды, МОП-структуры и фотоматрицы.

Шумы фотоприемников. Методы приема модулированного оптического излучения: прямое фотодетектирование и оптическое гетеродинирование.

- **Устройства управления оптическим излучением.**

Физические эффекты, используемые для управления параметрами оптического излучения: эффект Поккельса, фотоупругий эффект, эффект Фарадея.

Характеристики электрооптических модуляторов:

полоса частот модуляции, потребляемая мощность, динамический диапазон.

Модулятор Маха –Зендера. Прямая модуляция светодиодов и инжекционных лазеров. Акустооптический эффект. Модуляторы света с бегущей и стоячей акустической волной. Акустооптические дефлекторы и фильтры. Особенности модуляции на СВЧ.

- **Интегрально оптические компоненты радиوفотонных схем.**

Распространение света в планарных и канальных диэлектрических волноводах и волокнах. Моды оптических волноводов и волокон. Условие существования волноводных мод. Структура поля волноводных мод. Зависимость постоянной распространения от толщины оптического волновода и волокна. Обмен энергией между волноводными модами. Методы ввода и вывода излучения. Пассивные и активные устройства интегральной оптики: направленные ответвители, модуляторы, дефлекторы, коммутаторы. Оптические микрорезонаторы.

- **Методы радиофотоники при построении генераторов радиосигналов СВЧ-диапазона.**

Структурная схема оптоэлектронного генератора с высокой спектральной чистотой. Основные характеристики и пути их совершенствования. Двухконтурная схема ОЭГ с одним и двумя управляемыми плечами

- **Использование оптических микрорезонаторов для обработки радиосигналов СВЧ-диапазона**

Добротность оптических микрорезонаторов (ОМР), возбуждаемых фундаментальными модами шепчущей галереи (МШГ). Элементы связи для таких резонаторов, построенные на основе планарных оптических волноводов, расположенных в области ограниченной внешней и внутренней каустиками МШГ. Модели фильтрующих устройств на основе ОМР.

- **Линейные радиооптические антенные решетки с многоканальными модуляторами света.**

Структурная схема радиооптической антенной решетки. Радиооптическая антенная решетка с функциями пеленгатора-частотомера.

- **Защищенные системы квантовой оптической связи.**

Аксиомы квантовой механики. Наблюдаемые и операторы. Унитарные преобразования. Векторное пространство квантовых состояний Чистые и смешанные квантовые состояния. Квантовые измерения. Кубит. Неклонируемость кубита. Общие принципы квантовых вычислений. Однокубитовые квантовые вентили. Квантовая передача ключа одиночными фотонами. Алгоритмы BB84, B92. Проблема декогеренции кубитов.

**Темы практических работ:**

- **Математические основы радиофотоники.**

Описание сигналов. Двумерное преобразование Фурье и его свойства. Понятия, воздействия и реакции системы, системного оператора. Свойство линейности. Свойство изопланарности. Общая схема решения задач на нахождение отклика линейных систем. Описание линейной инвариантной системы в частотной и пространственной областях.

- **Физические основы радиофотоники**

Особенности распространения световых волн. Модель дифракции волн Френеля-Кирхгофа. Приближения Френеля и Фраунгофера. Угловой спектр плоских волн и его физический смысл. Распространение углового спектра. Линейный пространственный фильтр. Функция рассеяния оптической системы.

- **Источники излучения и оптические усилители радиофотонных систем**

Общая характеристика источников света. Естественная ширина спектральной линии. Спонтанное и стимулированное излучение. Условие самовозбуждения для лазеров. Спектр генерации. Методы накачки. Пороговая плотность тока. Ватт - амперная характеристика. Светодиоды, их достоинства и недостатки.

- **Фотоприемники**

Типы фотоприемников. Основные характеристики: чувствительность, быстродействие, обнаружительная способность, спектральный диапазон. Шумы фотоприемников. Методы приема модулированного оптического излучения

- **Устройства управления оптическим излучением**

Характеристики электрооптических модуляторов:

полоса частот модуляции, потребляемая мощность, динамический диапазон. Модулятор Маха-Зендера. Прямая модуляция светодиодов и инжекционных лазеров. Модуляционные характеристики полупроводникового лазера. Светодиодные, лазерные и интегральные передающие оптические модули. Особенности модуляции на СВЧ. Акустооптические дефлекторы и фильтры.

- **Интегрально-оптические компоненты радиофотонных схем**

Распространение света в планарных и канальных диэлектрических волноводах. Моды оптических волноводов. Условие существования волноводных мод. Структура поля волноводных мод. Зависимость постоянной распространения от толщины оптического волновода. Методы ввода и вывода излучения. Пассивные и активные устройства интегральной оптики: направленные ответвители, модуляторы, дефлекторы, коммутаторы.

- **Методы радиофотоники при построении генераторов радиосигналов СВЧ-диапазона**

Структурная схема оптоэлектронного генератора с высокой спектральной чистотой. Основные характеристики и пути их совершенствования. Двухконтурная схема ОЭГ с одним и двумя управляемыми плечами.

- **Использование оптических микрорезонаторов для обработки радиосигналов СВЧ-диапазона**

Добротность оптических микрорезонаторов (ОМР), возбуждаемых фундаментальными модами шепчущей галереи (МШГ). Элементы связи для таких резонаторов, построенные на основе планарных оптических волноводов, расположенных в области ограниченной внешней и внутренней каустиками МШГ. Модели фильтрующих устройств на основе ОМР.

- **Линейные радиооптические антенные решетки с многоканальными модуляторами света**

Структурная схема радиооптической антенной решетки. Радиооптическая антенная решетка с функциями пеленгатора-частотомера.

- **Защищенные системы квантовой оптической связи**

Аксиомы квантовой механики. Векторное пространство квантовых состояний. Чистые и смешанные квантовые состояния. Квантовые измерения. Кубит. Неклонированность кубита. Общие принципы квантовых вычислений. Однокубитовые квантовые вентили. Квантовая передача ключа одиночными фотонами. Алгоритмы BB84, B92. Проблема декогеренции кубитов.

### **Темы лабораторных работ**

- **Исследование системы квантового распределения ключей на основе протокола BB84**

#### **Цель работы:**

- ✓ Изучить принципы поляризационного кодирования кубитов в СКРК на основе протокола BB84 (СКРК-BB84).
- ✓ Ознакомиться с методами контроля защищенности СКРК-BB84 от внешних атак.
- ✓ Исследовать зависимость вероятности ошибок в каналах СКРК от уровня шумов приемника и длины квантового канала.

- **Исследование системы квантового распределения ключей на основе протокола B92**

#### **Цель работы:**

- ✓ Изучить принципы поляризационного кодирования кубитов в СКРК на основе протокола B92 (СКРК-B92).



Оптоэлектронный автогенератор (ОЭАГ) СВЧ диапазона должен обеспечивать следующие характеристики:

- тип резонансной системы ОЭАГ                      волоконно-оптическая линия задержки (ВОЛС);
- уровень спектральной плотности мощности ФШ  $\mathcal{L}(f)$  излучения ОЭАГ в одной боковой полосе при заданной отстройке  $f$  от несущей частоты в частотном интервале 1 Гц. 140 дБс;
- рабочая радиочастота                                      10 ГГц;
- длина волны лазерного излучения, нм.      1550 нм.;

**Задание:**

- Рассчитать необходимую длину ВОЛС;
- Определить требование к полосе пропускания фильтра;
- Определить требование к ширине линии излучения лазера;
- Объяснить принципы функционирования устройств в составе ОЭАГ.

### Экзаменационный билет по курсу УПО-ДАС № 3

Оптоэлектронный автогенератор (ОЭАГ) СВЧ диапазона должен обеспечивать следующие характеристики:

- тип резонансной системы ОЭАГ                      оптический дисковый микрорезонатор (ОДМР);
- материал ОДМР                                              плавленый кварц;
- толщина рассеивающего слоя резонатора, м.  $2 \cdot 10^{-6}$ ;
- средний размер неоднородности рассеивающего слоя резонатора, м  $0,5 \cdot 10^{-6}$ ;
- длина волны лазерного излучения, нм.      1550 нм.;
- уровень спектральной плотности мощности ФШ  $\mathcal{L}(f)$  излучения ОЭАГ в одной боковой полосе при заданной отстройке  $f$  от несущей частоты на 10 кГц. в частотном интервале 1 Гц. 140 дБс;
- рабочая радиочастота                                      1 ГГц;
- длина волны лазерного излучения, нм.      1550 нм.;

**Задание:**

- Рассчитать требуемые габариты ОДМР;
- Определить требование к полосе пропускания фильтра;
- Определить требование к ширине линии излучения лазера;
- Объяснить принципы функционирования устройств в составе ОЭАГ.

### Экзаменационный билет по курсу УПО-ДАС № 4

Оптоэлектронный автогенератор (ОЭАГ) СВЧ диапазона должен обеспечивать следующие характеристики:

- тип резонансной системы ОЭАГ                      оптический дисковый микрорезонатор (ОДМР);
- длина волны лазерного излучения, нм.      1550 нм.;
- материал ОДМР                                               $MgF_2$ ; (см. [1])
- радиус ОДМР                                                      5 мм.
- толщина рассеивающего слоя резонатора, м.  $1 \cdot 10^{-6}$ ;
- средний размер неоднородности рассеивающего слоя резонатора, м  $0,25 \cdot 10^{-6}$ ;

**Задание:**

- Рассчитать рабочую радиочастоту ОЭАГ;

- Рассчитать спектральную чистоту радиоизлучения ОЭАГ;
- Рассчитать требуемые габариты ОДМР;
- Определить требование к полосе пропускания фильтра;
- Определить требование к ширине линии излучения лазера;
- Объяснить принципы функционирования устройств в составе ОЭАГ.

#### Литература

[1] G. Liu, V.S. Ilchenko, T. Su, Y.-C. Ling, S. Feng, K. Shang, *et al.* **Low-loss prism-waveguide optical coupling for ultrahigh-Q low-index monolithic resonators** Optica, 5 (2018), pp. 219-226

#### Экзаменационный билет по курсу УПО-ДАС №5

Система квантового распределения ключей (СКРК) с поляризационным кодированием одиночных фотонов должен обеспечивать следующие характеристики:

- |                                                       |                                 |                      |         |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------|
| • используемый протокол СКРК                          | ВВ-84;                          |                      |         |
| • способ приготовления кубитов                        | ослабление лазерного излучения; |                      |         |
| • $q$ -битрейт на передающей стороне, $c^{-1}$        | $1 \cdot 10^8$ ;                |                      |         |
| • тип квантового канала СКРК (ВОЛС);                  | одномодовое                     | оптическое           | волокно |
| • длина квантового канала, км.                        | 70;                             |                      |         |
| • коэффициент затухания сигнала в тракте ВОЛС, дБ/км  |                                 | 0,25                 |         |
| • длина волны лазерного излучения, нм.                | 1550 нм.;                       |                      |         |
| • допустимый уровень ошибок в квантовом канале, проц. |                                 | 5;                   |         |
| • длительность сигнального импульса, $c$              | $1 \cdot 10^{-9}$ ;             |                      |         |
| • Параметры ЛФД ФПУ:                                  |                                 |                      |         |
| ✓ темновой ток, А                                     |                                 | $1 \cdot 10^{-9}$ ;  |         |
| ✓ квантовая эффективность                             |                                 | 0.8                  |         |
| ✓ коэффициент лавинного размножения                   |                                 | 50;                  |         |
| ✓ емкость фотодиода, Ф                                |                                 | $1 \cdot 10^{-14}$ ; |         |

#### Задание:

- Выбрать предварительный усилитель ФПУ;
- Рассчитать скорость формирования «сырого» ключа в СКРК,  $c^{-1}$ ;
- Объяснить принципы функционирования устройств в составе ОЭАГ.

### 3. Рейтинговая система оценки успеваемости студентов

#### 3.1. Методика текущего контроля освоения дисциплины

Оценка успеваемости студентов осуществляется в соответствии с **Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов** (приказ ректора 25.02.2010 № 1902) и основана на балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости, действующей с 2009 г., которая включает текущий контроль выполнения элементов объема дисциплины по элементам контроля с подведением текущего рейтинга и итоговый контроль.

Правила формирования пятибалльных оценок за каждую контрольную точку (КТ1, КТ2) осуществляется путем округления величины, рассчитанной по формуле:

$$КТх|_{x=1,2} = \frac{(Сумма\_баллов,\_набранная\_к\_КТх)*5}{Требуемая\_сумма\_баллов\_по\_балльной\_раскладке}$$

Итоговый контроль изучения дисциплины осуществляется на экзамене, в соответствии с учебным планом и проводится по традиционной пятибалльной шкале.

Обязательным условием перед сдачей экзамена является выполнение студентом необходимых по рабочей программе для дисциплины видов занятий: выполнение и защита результатов лабораторных работ, сдача контрольных работ.

Экзаменационный билет содержит три вопроса. Максимальная оценка за каждый вопрос составляет 10 баллов. Максимальная экзаменационная оценка составляет 30 баллов. Экзаменационная составляющая менее 10 баллов – несдача экзамена, требует повторной пересдачи в установленном порядке.

Формирование итоговой суммы баллов осуществляется путем суммирования семестровой (до 70 баллов) и экзаменационной составляющих (до 30 баллов).

Студенту, имеющему текущий рейтинг менее 60 баллов, может быть выдано одно или несколько дополнительных заданий.

Оценка дифференцированного зачета выставляется студенту, набравшему не менее 60 рейтинговых баллов во втором семестре, после защиты курсовой работы.

### 3.2. Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую контрольную точку с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Посещение занятий	4	3	3	<b>10</b>
Выполнение тестовых работ	6	8	6	<b>20</b>
Индивидуальные расчетные задания	5	5	4	<b>14</b>
Выполнение и защита лабораторных работ	0	10	10	<b>20</b>
Компонент своевременности	2	2	2	<b>6</b>
Сдача экзамена (максимум)				<b>30</b>
<b>Итого максимум за период:</b>	<b>17</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>100</b>
<b>Нарастающим итогом</b>	<b>17</b>	<b>45</b>	<b>70</b>	<b>100</b>



### 3.3. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

### 3.4. Пересчет итоговой суммы баллов в традиционную международную оценку

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов (учитывает успешно сданный экзамен)	Оценка (ECTS)
5 (отлично)	<b>90-100</b>	A (отлично)
4 (хорошо)	<b>85-89</b>	B (очень хорошо)
	<b>75-84</b>	C (хорошо)
	<b>70-74</b>	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно)	<b>65-69</b>	E(посредственно)
	<b>60-64</b>	
2(неудовлетворительно)	<b>Ниже 60 баллов</b>	F (неудовлетворительно)

Преобразование суммы баллов в традиционную оценку и в международную буквенную оценку происходит один раз в конце семестра после подведения итогов изучения дисциплины.

## 4. Список рекомендуемой литературы

### 4.1. Основная литература

1. Урик В.Д., МакКинни Д.Д., Вильямс К.Д. Основы микроволновой фотоники. – Пер. с англ. под ред. С.Ф. Боева, А.С. Сигова. - М.: Техносфера, 2016, 376 с.
2. Оптоэлектроника : Пер. с фр. / Э. Розеншер, Б. Винтер ; ред. пер. О. Н. Ермаков. - М. : Техносфера, 2006. - 588 с.
3. Кулик С.Д., Берков А.В., Яковлев В.П. Введение в теорию квантовых вычислений (методы квантовой механики в кибернетике): учебное пособие. Т. 2. М.: МИФИ, 2008. – 532 с.
4. Никоноров Н.В., Шандаров С.М. Волноводная фотоника: Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. - 142 с.
5. Имре Ш., Балаж Ф. Квантовые вычисления и связь. Инженерный подход. Пер. с англ. М.: Физматлит, 2008. – 320 с.
6. Емельянов В.И., Владимирова Ю.В. Квантовая физика: биты и кубиты: учеб. пособие. М.: Физический факультет МГУ, 2012. – 176 с.

#### **4.2. Дополнительная литература**

1. Ларкин А.И., Юу Ф.Т.С. Когерентная фотоника. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 319 с.
2. А. Н. Игнатов Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс] : учебное пособие /- 2-е изд.,перераб. и доп. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Лань, 2017 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/95150/#3> (дата обращения: 06.07.2018).
3. Румянцев К.Е., Голубчиков Д.М. Квантовая связь и криптография: Учебное пособие. Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. – 122 с.
4. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика Квантовой Информации. Пер. с англ. М.: Постмаркет, 2002. – 376 с.
5. Килин С.Я., Хорошко Д.Б., Низовцев А.П. Квантовая криптография: идеи и практика. Минск: Белорусская наука, 2008. – 392 с.
6. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. Пер. с англ. М.: Мир, 2006. – 824 с.
7. Балакший В. И., Парыгин В. Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985,- 280 с.
8. Андросик А.Б., Воробьев С.А., Мировицкая С.Д. Волноводная и интегральная фотоника.- М.: МГОУ, 2011, 370 стр.
9. ОС ТУСУР 01-2013 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля». Томск, 2013.
10. ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
11. ГОСТ 2.702-2011 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
12. ГОСТ 2.710-81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
13. ГОСТ 24375-80 Радиосвязь. Термины и определения

#### **4.3. Литература для практических занятий**

7. Задорин А. С. Методы и устройства радиофотоники в системах радиосвязи. Методические указания по выполнению практических работ: учебное пособие – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2019. – 109 с.

#### **4.4. Методические указания для лабораторных работ**

1. ОС ТУСУР 01-2013 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля». Томск, 2013.

2. ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
3. ГОСТ 2.702-2011 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
4. ГОСТ 2.710-81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
5. ГОСТ 24375-80 Радиосвязь. Термины и определения
6. Задорин А. С. Методы и устройства радиофотоники в системах радиосвязи. Методические указания по лабораторным работам: учебное пособие – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2019. – 68 с.

#### **4.6. Программное обеспечение**

1. Руководство по Visual System Simulator NI AWR Design Environment v14 Edition ([https://awrcorp.com/download/kb.aspx?file=docs/VSS\\_Getting\\_Started\\_ru.pdf](https://awrcorp.com/download/kb.aspx?file=docs/VSS_Getting_Started_ru.pdf)).
2. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ-устройств с помощью Microwave Office. Под ред. В.Д. Разевига. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 496 с.
3. Выбор оптимального метода модуляции сигнала в современных цифровых системах радиосвязи. Моделирование в среде AWR Design Environment. Московский государственный университет. М. 2008.
4. Шестеркин, А.Н. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10 [Электронный ресурс] /– М.: ДМК Пресс, 2012. - 360 с.

#### **4.7. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Сайт кафедры РЗИ на образовательном портале ТУСУРа.
2. Локальная сеть кафедры РЗИ: Students\Фамилия преподавателя\ Название файла