МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

# СВЧ цепи, элементы и модели

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки (специальность): **09.04.01 Информатика и вычислительная техника**
Направленность (профиль): **Автоматизация проектирования микро- и наноэлектронных устройств для радиотехнических систем**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФВС, Факультет вычислительных систем**
Кафедра: **КСУП, Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании**
Курс: **1**
Семестр: **1**
Учебный план набора 2015 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 1 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 10 | 10 | часов |
| 2 | Практические занятия | 32 | 32 | часов |
| 3 | Лабораторные работы | 32 | 32 | часов |
| 4 | Всего аудиторных занятий | 74 | 74 | часов |
| | из них в интерактивной форме | 20 | 20 | часов |
| 5 | Самостоятельная работа | 70 | 70 | часов |
| 6 | Всего (без экзамена) | 144 | 144 | часов |
| 7 | Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| **Общая трудоемкость** | | **180** | **180** | **часов** |
| | | **5** | **5** | **З.Е** |

Экзамен: 1 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 21197

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 11 от «16» 1 2017 г.



# ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 09.04.01 Информатика и вычислительная техника, утвержденного 2014-10-30 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «_16__» __января__ 2017 года, протокол №_11_.

---

Разработчики:

| | | |
|---|---|---|
| Профессор каф. КСУП | _____ | Бабак Л. И. |
| Доцент каф. КСУП | _____ | Черкашин М.В.. |
| Заведующий обеспечивающей каф. КСУП | _____ | Шурыгин Ю. А. |

---

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки (специальности).

| | | |
|---|---|---|
| Декан ФВС | _____ | Козлова Л. А. |
| Заведующий выпускающей каф. КСУП | _____ | Шурыгин Ю. А. |

---

Эксперты:

| | | |
|---|---|---|
| Доцент каф. КСУП | _____ | Хабибулина Н. Ю. |

Согласована на портале № 21197

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цель изучения дисциплины

Целью настоящего курса является приобретение студентами базовых и специальных знаний по методам описания, моделирования и расчета СВЧ цепей и устройств, а также их элементов, в том числе в интегральном исполнении.

### 1.2. Задачи дисциплины

Задачами курса являются:

– изучение теории, способов описания и методов анализа СВЧ цепей и устройств, а также их элементов;

– изучение основных типов и характеристик СВЧ пассивных устройств, пассивных и активных элементов, используемых в гибридных (ГИС) и монолитных (МИС) интегральных схемах;

– изучение способов расчета и моделирования основных типов СВЧ пассивных устройств, построения моделей пассивных и активных элементов ГИС и МИС.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина СВЧ ЦЭМ (Б1.В.ОД.2) входит в вариативную часть обязательных дисциплин базового блока (Б1) основной образовательной программы по направлению 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника с профилем подготовки «Автоматизация проектирования микро- и наноэлектронных устройств для радиотехнических систем».

Изучение дисциплины базируется на знании следующих курсов:

– Б1.В.ОД.1 – Физические и технологические основы микро- и наноэлектроники.

– Б1.Б.2 – Методы оптимизации.

Студенты должны знать основы аналоговой электроники, цепи и сигналы, физические и технологические основы микро- и наноэлектроники, основы моделирования и оптимизации радиоэлектронных устройств.

Дисциплина является предшествующей для следующих курсов:

– Б1.В.ОД.3 – Полупроводниковые устройства СВЧ диапазона;

– Б1.В.ОД.4 – Автоматизация проектирования СВЧ интегральных схем и систем на кристалле;

– Б1.В.ОД.5 – Схемотехника СВЧ интегральных схем и систем на кристалле;

– Б1.В.ДВ.2 – Основы проектирования полупроводниковых СВЧ устройств / Анализ и синтез СВЧ полупроводниковых устройств.

– Б1.В.ДВ.3 – Измерение СВЧ устройств и интегральных схем / Зондовые методы измерения СВЧ интегральных схем;

– Б12.В.ДВ.4 – Построение приемо-передающих модулей на основе СВЧ интегральных схем и систем на кристалле\Радиотехнические системы на основе СВЧ интегральных схем, а также последующего выполнения НИРС, преддипломной практики и подготовки выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации).

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ОК-7 способностью самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности

– ПК-7 применением перспективных методов исследования и решения профессиональных задач на основе знания мировых тенденций развития вычислительной техники и информационных технологий;

– ПСК-2 умением разрабатывать структурные и принципиальные схемы СВЧ МИС, выполнять оптимизацию их параметров с учетом существующих технологических маршрутов

Согласована на портале № 21197

производства и технологических ограничений;

– ПСК-3 умением разрабатывать модели элементов СВЧ МИС и выполнять моделирование характеристик СВЧ МИС на основе применения современных САПР.

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:** способы описания и методы анализа СВЧ цепей и их элементов;

**Уметь:** использовать типовые методики расчета пассивных СВЧ устройств и элементов, построения моделей СВЧ элементов;

**Владеть:** современными методами и программными средствами для моделирования и проектирования СВЧ цепей и устройств.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| **Виды учебной деятельности** | **Всего часов** | **Семестры** |
|---|---|---|
| | | **1 семестр** |
| Аудиторные занятия (всего) | 74 | 74 |
| Лекции | 10 | 10 |
| Практические занятия | 32 | 32 |
| Лабораторные работы | 32 | 32 |
| Из них в интерактивной форме | 20 | 20 |
| Самостоятельная работа (всего) | 70 | 70 |
| Всего (без экзамена) | 144 | 144 |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 |
| **Общая трудоемкость (часов)** | **180** | **180** |
| **(З.Е,)** | **5** | **5** |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| **№ п/п** | **Наименование раздела дисциплины** | **Лекции** | **Лабораторные занятия** | **Практические занятия** | **Самост. работа (СРС)** | **Всего часов (без экзам.)** | **Формируемые компетенции** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | СВЧ линии передачи | 2 | 6 | 4 | 8 | 20 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 2. | СВЧ многополюсники и их параметры | 2 | 4 | 12 | 16 | 34 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 3. | Согласующие цепи | 2 | 4 | 12 | 16 | 34 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |

Согласована на портале № 21197

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4. | Пассивные СВЧ устройства, элементы и их модели | 2 | 12 | 4 | 20 | 38 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 5. | Активные СВЧ элементы и их модели | 2 | 6 | | 10 | 18 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| **Всего:** | | **10** | **32** | **32** | **70** | **144** | |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| № п/п | Наименование разделов | Содержание разделов | Трудо-емкость (час.) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|
| 1. | СВЧ линии передачи | СВЧ линии передачи (ЛП), применения. Представление в виде длинной линии (ДЛ.) Волновые процессы в ДЛ. Постоянная распространения. Волновое сопротивление. Коэффициенты затухания и фазы. Фазовая скорость и длина волны в ЛП. Электрическая длина отрезка ДЛ.<br>Коэффициент отражения. Круговая диаграмма Вольперта-Смита, Z-сетка. Связь импеданса и коэффициента отражения. Режимы работы ДЛ. Передача мощности в ЛП.<br>Входное сопротивление ДЛ. Применение КЗ и ХХ отрезков ЛП. Реализация реактивных и резонансных элементов на ЛП. Примеры.<br>Микрополосковые (МПЛ) и копланарные (КПЛ) линии. Выполнение МПЛ и КПЛ в гибридных (ГИС) и монолитных (МИС) интегральных схемах. | **2** | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 2. | СВЧ многополюсники и их параметры | СВЧ многополюсники. Представление СВЧ устройства в виде соединения многополюсных компонентов. Классические параметры многополюсников и четырехполюсников. Ограничения использования классических матриц многополюсников на СВЧ.<br>Волны мощности, матрица рассеяния, физический смысл элементов. Достоинства применения параметров рассеяния на СВЧ. Анализ СВЧ цепей с помощью S-параметров.<br>Свойства матрицы рассеяния для различных классов СВЧ цепей. Взаимные и невзаимные цепи. Симметричные цепи. Активные, пассивные и реактивные цепи. Условия пассивности и реактивности многополюсников и четырехполюсников. | **2** | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 3. | Согласующие цепи | Формулировка задачи узкополосного согласования. Автоматизированная круговая диаграмма Вольперта-Смита, совмещенная ZY-сетка. Трансформация импедансов с помощью сосредоточенных элементов и ЛП. Расчет узкополосных СЦ с помощью круговой диаграммы. | **2** | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |

Согласована на портале № 21197

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Общая формулировка задачи широкополосного согласования. Классификация задач согласования. Применение широкополосных СЦ. Фундаментальные ограничения на допуск согласования. Задача предельного согласования. Предельные соотношения Фано для простых типов нагрузок. Задача оптимального согласования. Построение эквивалентов нагрузок. Методика расчета широкополосных СЦ на основе теории фильтров. | | |
| 4. | Пассивные СВЧ устройства, элементы и их модели | Пассивные элементы СВЧ тракта (согласованные нагрузки, резонаторы, переходы между ЛП - коаксиально-полосковые, волноводно-полосковые и др.). Пассивные СВЧ устройства (вентили, циркуляторы, направленные ответвители, делители и сумматоры мощности). СВЧ фильтры.<br>Общая классификация моделей элементов радиоэлектронных устройств. Физические, компактные и поведенческие модели. Характеристики моделей.<br>Основные этапы построения моделей пассивных элементов СВЧ ГИС и МИС. Измерения и электромагнитное моделирование элементов, тестовые структуры. Модели ЛП, анализ и синтез ЛП. Основные типы неоднородностей в ЛП и их модели. Индуктивные элементы, конденсаторы, полупроводниковые и пленочные резисторы: конструкции и топологии, характеристики, эквивалентные схемы. Пассивные компоненты для поверхностного монтажа ГИС (SMD-компоненты). | **2** | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 5. | Активные СВЧ элементы и их модели | Полевые транзисторы (ПТ) на базе GaAs и GaN: ПТШ (MESFET), HEMT, p-HEMT и m-HEMT. Принципы работы и особенности технологии. Примерные топологии и конструкции СВЧ ПТ.<br>Приборно-физическое моделирование СВЧ полупроводниковых приборов. Линейные модели (малосигнальные эквивалентные схемы - ЭС) СВЧ ПТ. Подходы к построению (экстракции) моделей ПТ. Поведенческие модели СВЧ транзисторов, примеры.<br>Основные характеристики СВЧ транзисторов – вольт-амперные характеристики (ВАХ), параметры рассеяния, коэффициент устойчивости, коэффициенты усиления по мощности и по току, граничные частоты, коэффициент шума, выходная мощность. Частотные, режимные зависимости и физические ограничения характеристик СВЧ транзисторов. Схемы питания ПТ по постоянному току.<br>Создание и использование библиотек моделей элементов СВЧ МИС. Примеры. | **2** | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| **Итого:** | | | **10** | |

**5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими)**

Согласована на портале № 21197

**и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами**

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| № п/п | Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | Номера разделов данной дисциплины из табл. 5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **Предшествующие дисциплины** | | | | | | |
| 1. | Физические и технологические основы микро- и наноэлектроники | + | | | + | + |
| 2. | Методы оптимизации | + | | + | + | + |
| **Последующие дисциплины** | | | | | | |
| 1. | Полупроводниковые устройства СВЧ диапазона | + | + | + | + | + |
| 2. | Автоматизация проектирования СВЧ интегральных схем и систем на кристалле | + | + | + | + | + |
| 3. | Схемотехника СВЧ интегральных схем и систем на кристалле | + | + | + | + | + |
| 4. | Основы проектирования полупроводниковых СВЧ устройств / Анализ и синтез СВЧ полупроводниковых устройств | + | + | + | + | + |
| 5. | Измерение СВЧ устройств и интегральных схем / Зондовые методы измерения СВЧ интегральных схем | + | + | | + | + |
| 6. | Построение приемо-передающих модулей на основе СВЧ интегральных схем и систем на кристалле \ Радиотехнические системы на основе СВЧ интегральных схем | + | + | + | + | + |

## 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций и видов занятий, формируемых при изучении дисциплины

| Перечень компетенций | Формы контроля по всем видам занятий | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Л | ЛР | ПР | СРС | |
| ОК-7 | + | + | + | + | конспект лекций; отчет по лабораторной работе; расчетное задание по практике; реферат; экзамен; |
| ПК-7 | + | + | + | + | конспект лекций; отчет по лабораторной работе; расчетное задание по практике; реферат; экзамен; |
| ПСК-2 | + | + | + | + | конспект лекций; отчет по лабораторной работе; расчетное задание по практике; реферат; экзамен; |
| ПСК-3 | + | + | + | + | конспект лекций; отчет по лабораторной работе; расчетное задание по практике; реферат; экзамен; |

Сокращения: Л – лекция, ПР – практические занятия, ЛР – лабораторные работы, СРС – самостоятельная работа студента

Согласована на портале № 21197

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах приведены в таблице 6.1

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

| Формы и методы организации обучения | Лекции | ЛР | ПР | СРС | Всего |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Лекция с выступлением студентов в роли обучающего | 4 | | | 6 | 10 |
| 2.Поисковые методы | | | | 10 | 10 |
| **Всего интерактивных занятий** | **4** | | | **16** | **20** |

Для формирования компетенций (ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3) используются следующие формы и методы обучения:

– лекционные занятия проводятся с использованием мультимедийной презентации и, по возможности, интерактивной доски;

– заключительная лекция проводится в форме лекции с выступлением студентов в роли обучающего, на которой отдельные группы студентов выступают с небольшими докладами-рефератами (с презентацией) по заранее подготовленным темам (перечень тем для самостоятельного изучения предоставляется студентам на первой лекции - см. п. 10 настоящей рабочей программы). По окончании выступления проводится обсуждение представленного материала (методические рекомендации по проведению данной лекции представлены в п.14 настоящей рабочей программы);

– в течение семестра студенты самостоятельно изучают отдельные темы, полученный материал оформляется в виде реферата. Наиболее интересные рефераты представляются в виде докладов (с презентацией) на заключительной лекции.

## 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7. 1 – Наименование лабораторных работ

| № п/п | № раздела дисциплины из табл. 5.1 | Наименование лабораторных работ | Трудо-емкость (час.) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|
| 1. | **1, 2, 4** | Знакомство с системой проектирования СВЧ устройств Microwave Office, моделирование и оптимизация схем. | 8 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 2. | **1** | Моделирование элементов линий передачи**.** | 4 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 3. | **3** | Автоматизированный графический расчет и моделирование узкополосных согласующих цепей**.** | 4 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 4. | **4** | Моделирование и построение топологии пассивных СВЧ устройств. | 10 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |

Согласована на портале № 21197

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5. | **5** | Моделирование основных характеристик СВЧ полевых транзисторов. | 6 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| **Всего часов** | | | **32** | |

Лабораторные работы выполняются согласно учебно-методическому пособию [8], стр. 17-26.

## 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8. 1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| № п/п | № раздела дисциплины из табл. 5.1 | Наименование темы практических занятий | Трудо-емкость (час.) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|
| 1. | **1** | Расчет параметров СВЧ линий передачи**.** | 4 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 2. | **2** | Расчет и моделирование параметров СВЧ четырехполюсников | 6 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 3. | **2** | Расчет и моделирование СВЧ фильтров | 6 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 4. | **3** | Аналитический расчет и моделирование узкополосных согласующих цепей | 6 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 5. | **3** | Аналитический расчет и моделирование широкополосных согласующих цепей | 6 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| 6. | **4** | Расчет и моделирование СВЧ согласующих цепей и фильтров на распределенных элементах | 4 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 |
| **Всего часов** | | | **32** | |

Практические работы выполняются согласно учебно-методическому пособию [8], стр. 2-16.

## 9. Самостоятельная работа

Целью самостоятельной работы является углубленное изучение теоретического материала, самоподготовка к выполнению лабораторных работ и практических занятий, выполнение реферата по выбранной теме. Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 - Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| № п/п | № раздела дисциплины из табл. 5.1 | Виды самостоятельной работы | Трудо-емкость (час.) | Формируемые компетенции | Форма контроля выполнения работы |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | **1,2,3,4,5** | Проработка лекционного материала, подготовка конспектов | 10 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 | Конспект самоподготовки, опрос на лекциях |
| 2. | **4,5** | Подготовка реферата по заданной теме, оформление презентации | 6 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 | Реферат, презентация, защита реферата, доклад на лекции |
| 3. | **1,2,3** | Подготовка к лабораторным работам | 24 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 | Отчет и защита лабораторных работ |

Согласована на портале № 21197

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4. | **1,2,3** | Подготовка к практическим работам | 30 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 | Расчетное задание |
| 5. | **1,2,3,4,5** | Подготовка к экзамену | 36 | ОК-7, ПК-7, ПСК-2, ПСК-3 | Экзамен |
| **Итого (без экзамена)** | | | **106 (70)** | | |

**Темы дисциплины, выносимые на самостоятельное изучение.**

На самостоятельную проработку теоретического материала выносятся следующие темы:

1. Свойства матрицы рассеяния для различных классов СВЧ цепей. Взаимные и невзаимные цепи. Симметричные цепи.
2. Фундаментальные ограничения на допуск согласования. Задача предельного согласования. Предельные соотношения Фано для простых типов нагрузок.
3. Построение эквивалентов нагрузок. Методика расчета широкополосных СЦ на основе теории фильтров.
4. Пассивные элементы СВЧ тракта - согласованные нагрузки, резонаторы, переходы между ЛП (коаксиально-полосковые, волноводно-полосковые и др.), вентили, циркуляторы, делители и сумматоры мощности.
5. Принципы работы, топологии и конструкции СВЧ полевых транзисторов на базе GaAs: ПТШ (MESFET), HEMT, p-HEMT и m-HEMT.
6. Линейные модели (малосигнальные эквивалентные схемы) СВЧ полевых транзисторов.

**Темы дисциплины, выносимые для подготовки к лекции, на которой студенты выступают в роли обучающего:**

1. Построение эквивалентов нагрузок. Методика расчета широкополосных СЦ на основе теории фильтров.
2. Пассивные элементы СВЧ тракта - согласованные нагрузки, резонаторы, переходы между ЛП (коаксиально-полосковые, волноводно-полосковые и др.), вентили, циркуляторы, делители и сумматоры мощности.
3. Принципы работы, топологии и конструкции СВЧ полевых транзисторов на базе GaAs: ПТШ (MESFET), HEMT, p-HEMT и m-HEMT.

Для выполнения самостоятельной работы необходимо использовать литературу [2-6], а также материал из компьютерной сети INTERNET (см. раздел 12.4). Общие рекомендации по выполнению самостоятельной работы находятся в учебно-методическом пособии [8], стр.27.

## 10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

Оценка объема и качества знаний студентов при внутрисеместровой и промежуточной аттестации определяется в соответствии с «Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов (приказ ректора от 25.02.2010 № 1902).

В течение семестра студенты должны выполнить практические и лабораторные работы, подготовить выступление (реферат) по одной из тем (см.п. 10 настоящей рабочей программы). Лабораторные работы выполняются согласно расписанию учебных занятий. Текущий контроль теоретических знаний осуществляется в виде опроса по лекционному материалу. Для проверки самостоятельной работы предусмотрена защита лабораторных работ, подготовка реферата и выступление на лекции.

Максимальный рейтинг дисциплины в семестре – 100 баллов. Рейтинг по дисциплине определяется согласно табл. 11.1.

Согласована на портале № 21197

### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

| Элементы учебной деятельности | Максимальный балл за 1КТ с начала семестра | | | | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | | | | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | | | | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Выполнение лабораторных работ | ЛР1 | 5 | | | ЛР2 | 5 | ЛР4 | 5 | ЛР4 | 5 | ЛР5 | 5 | **25** |
| 2. Выполнение практических работ | ПР1 | 5 | ПР2 | 5 | ПР3 | 5 | ПР4 | 5 | ПР5 | 5 | ПР6 | 5 | **30** |
| 3. Выполнение индивидуальных заданий | 5 | | | | 5 | | | | 5 | | | | **15** |
| 4. Выступление на лекции (доклад) | | | | | | | | | 5 | | | | **5** |
| 5. Элемент своевременности (посещение лекций и ЛР) | 2 | | | | 2 | | | | 1 | | | | **5** |
| **Итого максимум за период** | **22** | | | | **27** | | | | **31** | | | | **80** |
| **Сдача экзамена** | | | | | | | | | | | | | **20** |
| **Нарастающим итогом** | **22** | | | | **49** | | | | **80** | | | | **100** |

Замечания:

1) задание на каждую следующую лабораторную работу выдаются после защиты текущей лабораторной работы;

2) при выполнении лабораторный работы в неустановленный срок за каждую неделю просрочки максимальный балл уменьшается на единицу;

Проведение экзамена является обязательным. Независимо от набранной в семестре текущей суммы баллов, обязательным условием для допуска к экзамену является выполнение студентом всех необходимых по рабочей программе видов занятий: сдача индивидуальных расчетных (практических) заданий, защиты всех лабораторных работ и реферата.

Экзаменационная составляющая балльной оценки входит в итоговую сумму баллов. В экзаменационном билете 3 вопроса: два теоретических и один практический. За каждый теоретический вопрос можно получить до 5 баллов, за практический – до 10 (5) баллов.

Неудовлетворительной сдачей экзамена считается экзаменационная составляющая менее 5 баллов. При неудовлетворительной сдаче экзамена (<5 баллов) или неявке по неуважительной причине на экзамен экзаменационная составляющая рейтинга приравнивается к нулю. В этом случае студент обязан согласно порядку, установленному в университете, пересдать экзамен.

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

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11. 2 – 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 |

Согласована на портале № 21197

### 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11. 3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература


1. **Черкашин М.В., Бабак Л.И.** СВЧ линии передачи. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР. 2015. - 54 с. [электронный ресурс]. – режим доступа: URL: http://new.kcup.tusur.ru/library/svch-linii-peredachi
2. **Черкашин М.В., Бабак Л.И.** СВЧ многополюсники. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР. 2015. - 54 с. [электронный ресурс]. – режим доступа: URL: http://new.kcup.tusur.ru/library/svch-mnogopoljusniki
3. **Бабак Л.И., Черкашин М.В.** Широкополосные согласующие цепи. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР. 2015. - 28с. [электронный ресурс]. – режим доступа: URL: http://new.kcup.tusur.ru/library/shirokopolosnye-soglasujushie-cepi
4. **Шостак, А. С.** Антенны и устройства СВЧ. Часть 1. Устройства СВЧ: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Шостак А. С. — Томск: ТУСУР, 2012. — 124 с. — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/1219.
5. **Петров М.Н., Гудков Г.В.** Моделирование компонентов и элементов интегральных схем: Учебное пособие. –СПб.: Лань. 2011. -464 с. [электронный ресурс]. –режим доступа: URL: https://e.lanbook.com/reader/book/661/#3


### 12.2. Дополнительная литература


6. **Воскресенский Д. И**. и др. Устройства СВЧ и антенны: Учебник для вузов / под ред. Д. И. Воскресенского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радиотехника. 2006. – 375 с. – **ISBN** 5-88070-086-0 (**20 экз.**)
7. **Сальников А.С.** Интегральные схемы СВЧ диапазона: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР. 2013. - 66 с. [электронный ресурс]. – режим доступа: URL: http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=237


### 12.3 Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия


8. **Бабак Л.И., Сальников А.С., Черкашин М.В.** СВЧ цепи, элементы и модели / учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных, практических и самостоятельной работ. – Томск: ТУСУР. 2015. – 10 с. [электронный ресурс]. – режим доступа:


Согласована на портале № 21197

URL: http://new.kcup.tusur.ru/library/svch-cepi-jelementy-i-modeli **(описание:** лабораторных работ, стр. 17-26; практических работ, стр. 2-16; самостоятельная работа студентов, стр. 27)

### 12.3.2 Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

## 12.4. Базы данных, информационно-справочные, поисковые системы и требуемое программное обеспечение

1. Поисковые системы: http://www.google.com, http://www.yandex.ru, http://rambler.ru
2. Электронная база данных учебно-методических разработок каф. КСУП: http://new.kcup.tusur.ru/library
3. Доступ к электронным ресурсам на научно-образовательном портале университета: http://edu.tusur.ru/training/publications
4. Доступ к электронному каталогу библиотеки университета: http://lib.tusur.ru
5. Электронная библиотечная система «Лань» https://e.lanbook.com

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

### 13.1. Общие требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

#### 13.1.1. Материально-техническое обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория, с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются наглядные пособия в виде презентаций по лекционным разделам дисциплины.
Компьютеры, 10 шт. Duron800 MHz, 128 Mb RAM и 9 шт. Athlon 3500 MHz, 512Mb RAM, HDD 40 Gb. (ауд. 323, 321 ФЭТ) с выходом в глобальную сеть INTERNET и корпоративную сеть университета (лицензия Academic Alliance).

#### 13.1.2. Материально-техническое обеспечение для практических занятий

Для проведения практических (семинарских) занятий используется учебная аудитория, расположенная по адресу 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 3 этаж, ауд. 326, 321 ФЭТ.

Состав оборудования: учебная мебель; доска магнитно-маркерная 1 шт.; интерактивная доска; проектор; компьютеры класса не ниже Intel Pentium G3220 (3.0GHz/4Mb)/4GB RAM/ 500GB с широкополосным доступом в Internet, с мониторами с диагональю не менее 18’’ – 10 шт.; Используется лицензионное программное обеспечение, пакеты версией не ниже: Microsoft Windows XP Professional with SP3; Visual Studio 2008 EE with SP1; Microsoft Office Visio 2010; Microsoft SQL-Server 2005; Matlab v6.5

#### 13.1.3. Материально-техническое обеспечение для лабораторных работ

Для проведения лабораторных занятий используется учебно-исследовательская

Согласована на портале № 21197

вычислительная лаборатория, расположенная по адресу 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 3 этаж, ауд. 321 ФЭТ.

Состав оборудования: учебная мебель; интерактивная доска; проектор; компьютеры класса не ниже Intel Pentium G3220 (3.0GHz/4Mb)/4GB RAM/ 500GB с широкополосным доступом в Internet, с мониторами с диагональю не менее 18” – 10 шт.; Используется лицензионное программное обеспечение, пакеты версией не ниже: Microsoft Windows XP Professional with SP3; Visual Studio 2008 EE with SP1; Microsoft Office Visio 2010; Microsoft SQL-Server 2005; Matlab v6.5

### 13.1.4. Материально-техническое обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используется учебная аудитория (компьютерный класс), расположенная по адресу 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 74, 3 этаж, ауд. 326 ФЭТ.

Состав оборудования: учебная мебель; компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 4 шт.; компьютеры подключены к сети ИНТЕРНЕТ и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

## 13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для удаленного просмотра.

При обучении студентов **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 14. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Методические рекомендации по организации изучения дисциплины базируются на методиках, представленных в Положении о методах интерактивного обучения студентов по ФГОС ВО в техническом университете: для преподавателей ТУСУР: (http://old.tusur.ru/export/sites/ru.tusur.new/ru/education/documents/inside/12.8.doc)

### 14.1 Методические рекомендации по организации лекционного занятия с выступлением студентов в роли обучающего

**Организационный этап.**

На первой лекции студентам выдается перечень тем для заключительной лекции. В течение семестра студенты производят поиск и анализ информации по выбранной теме. Результаты изучения оформляются в виде доклада и презентации, которые за месяц до окончания семестра сдаются преподавателю. Проводится проверка представленного материала и необходимая корректировка. По одной теме могут выступать 2-3 человека. Заранее преподаватель и студенты оговаривают, кто и в какой последовательности будут излагать свой материал.

**Основной этап.**

В начале лекции преподаватель озвучивает вопросы, которые будут рассмотрены на данной лекции. Представляет выступающих студентов и оглашает правила результирующей оценки,

Согласована на портале № 21197

получаемой на данной лекции: за выступление и ответы на вопросы докладчик может получить максимально 5 баллов, за активное участие в обсуждении (за «вдумчивые» вопросы) студент может получить также максимально 5 баллов.

«Студенты-лекторы» в определенном порядке выступают со своими докладами (продолжительность доклада – 7-10 минут). Остальные студенты составляют конспект, а после доклада задают вопросы выступающему и принимают участие в обсуждении представленного материала (5 минут на обсуждение каждого доклада). Преподаватель ведет учет и контроль заданных вопросов.

**Этап рефлексии.**

Преподаватель дает оценочное суждение выступлению и полученным ответам на предложенные вопросы.

## 15. Фонд оценочных средств

### 15.1. Основные требования к фонду оценочных средств и методические рекомендации

Фонд оценочных средств и типовые контрольные задания, используемые для оценки сформированности и освоения закрепленных за дисциплиной компетенций при проведении текущей, промежуточной аттестации по дисциплине приведен в приложении 1 к рабочей программе.

### 15.2 Требования к фонду оценочных средств для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с инвалидностью предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице 15.

Таблица 15 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью

| Категории студентов | Виды дополнительных оценочных средств | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами, исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 15.3 Методические рекомендации по оценочным средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;

Согласована на портале № 21197

- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 21197

**Приложение 1**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

# СВЧ цепи, элементы и модели

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки (специальность): **09.04.01 Информатика и вычислительная техника**
Направленность (профиль): **Автоматизация проектирования микро- и наноэлектронных устройств для радиотехнических систем**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФВС, Факультет вычислительных систем**
Кафедра: **КСУП, Кафедра компьютерных систем в управлении и проектировании**
Курс: **1**
Семестр: **1**

Учебный план набора 2015 года

Разработчики:

- профессор каф. КСУП Бабак Л. И.
- доцент каф. КСУП Черкашин М.В.

Экзамен: 1 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 21197

## 1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины (практики) и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине (практике) используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной (практикой) компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

| Код | Формулировка компетенции | Этапы формирования компетенций |
|---|---|---|
| ПК-7 | применение перспективных методов исследования и решения профессиональных задач на основе знания мировых тенденций развития вычислительной техники и информационных технологий | **Знать:** способы описания и методы анализа СВЧ цепей и их элементов;<br>**Уметь:** использовать типовые методики расчета пассивных СВЧ устройств и элементов, построения моделей СВЧ элементов;<br>**Владеть:** современными методами и программными средствами для моделирования и проектирования СВЧ цепей и устройств. |
| ОК-7 | способностью самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности | |
| ПСК-2 | умением разрабатывать структурные и принципиальные схемы СВЧ МИС, выполнять оптимизацию их параметров с учетом существующих технологических маршрутов производства и технологических ограничений | |
| ПСК-3 | умением разрабатывать модели элементов СВЧ МИС и выполнять моделирование характеристик СВЧ МИС на основе применения современных САПР | |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций на всех этапах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций по этапам

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы |
| Хорошо (базовый уровень) | Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования | Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем |

Согласована на портале № 21197

| | | | |
|---|---|---|---|
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Обладает базовыми общими знаниями | Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач | Работает при прямом наблюдении |

## 2 Реализация компетенций

### 2.1 Компетенция ПК-7

ПК-7: применение перспективных методов исследования и решения профессиональных задач на основе знания мировых тенденций развития вычислительной техники и информационных технологий.

Для формирования компетенции ПК-7 необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Содержание этапов | • Основные понятия, характеристики и способы описания СВЧ цепей и их элементов<br>• Перспективные методы исследования профессиональных задач<br>• Мировые тенденции развития вычислительной техники и информационных технологий | • Составлять математические модели и проводить анализ СВЧ цепей и их элементов<br>• Применять новые перспективные методы для решения профессиональных задач | • Математическими методами и приемами исследования математических моделей СВЧ цепей и их элементов, анализа и расчета СВЧ устройств |
| Виды занятий | • Лекция<br>• Практика<br>• Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента | • Практика<br>• Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента | • Практика<br>• Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента |
| Используемые средства оценивания | • Конспект лекций<br>• Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен | • Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен | • Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | • Основные понятия, характеристики и способы описания СВЧ цепей и их элементов<br>• Перспективные | • Самостоятельно составлять математические модели и проводить анализ СВЧ цепей и их элементов | • Математическими методами и приемами исследования математических моделей СВЧ цепей и их |

Согласована на портале № 21197

| | | | |
|---|---|---|---|
| | методы исследования профессиональных задач<br>• Мировые тенденции развития вычислительной техники и информационных технологий | • Самостоятельно применять новые перспективные методы для решения профессиональных задач | элементов, анализа и расчета СВЧ устройств на высоком уровне |
| Хорошо (базовый уровень) | • Основные понятия, характеристики и способы описания СВЧ цепей и их элементов<br>• Перспективные методы исследования профессиональных задач<br>• Мировые тенденции развития вычислительной техники и информационных технологий | • Составлять математические модели и проводить анализ СВЧ цепей и их элементов при незначительном участии преподавателя<br>• Применять новые методы для решения профессиональных задач при незначительном участии преподавателя | • Математическими методами и приемами исследования математических моделей СВЧ цепей и их элементов, анализа и расчета СВЧ устройств на хорошем уровне |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | • Основные понятия, характеристики и способы описания СВЧ цепей и их элементов<br>• Перспективные методы исследования профессиональных задач<br>• Мировые тенденции развития вычислительной техники и информационных технологий | • Составлять математические модели и проводить анализ СВЧ цепей и их элементов при непосредственном участии преподавателя<br>• Применять новые методы для решения профессиональных задач при непосредственном участии преподавателя | • Математическими методами и приемами исследования математических моделей СВЧ цепей и их элементов, анализа и расчета СВЧ устройств на базовом уровне |

## 2.2 Компетенция ОК-7

ОК-7: способностью самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности

Для формирования компетенции ОК-7 необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Содержание этапов | • Методы работы с информационными системами и глобальными поисковыми системами | • Применять на практике информационные системы для поиска и обработки научно-технической информации | • Программными средствами для поиска , обработки и оформления научно-технической информации |
| Виды занятий | • Лекция<br>• Практика<br>• Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента | • Практика<br>• Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента | • Практика<br>• Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента |

Согласована на портале № 21197

| | | | |
|---|---|---|---|
| Используемые средства оценивания | • Конспект лекций<br>• Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен | • Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен | • Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | • Методы работы с информационными и глобальными поисковыми системами | • Самостоятельно применять на практике информационные системы для поиска и обработки научно-технической информации | • Программными средствами для поиска , обработки и оформления научно-технической информации на высоком уровне |
| Хорошо (базовый уровень) | • Методы работы с информационными и глобальными поисковыми системами | • Применять на практике информационные системы для поиска и обработки научно-технической информации при участии руководителя | • Программными средствами для поиска , обработки и оформления научно-технической информации на хорошем уровне |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | • Базовые принципы работы с информационными и глобальными поисковыми системами | • Применять на практике информационные системы для поиска и обработки научно-технической информации при непосредственном участии руководителя | • Программными средствами для поиска , обработки и оформления научно-технической информации на базовом уровне |

## 2.3 Компетенция ПСК-2

ПСК-2: умение разрабатывать структурные и принципиальные схемы СВЧ МИС, выполнять оптимизацию их параметров с учетом существующих технологических маршрутов производства и технологических ограничений

Для формирования компетенции ПСК-2 необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Содержание этапов | • Структурные и принципиальные схемы СВЧ МИС, модели их компонентов<br>• Методы параметрической оптимизации СВЧ МИС | • Применять на практике методы параметрической оптимизации схем СВЧ МИС<br>• Разрабатывать модели элементов СВЧ МИС | • Современными САПР СВЧ устройств для проектирования и оптимизации характеристик СВЧ МИС |
| Виды занятий | • Лекция | • Практика | • Практика |

Согласована на портале № 21197

| | | | |
|---|---|---|---|
| | • Практика<br>• Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента | • Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента | • Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента |
| Используемые средства оценивания | • Конспект лекций<br>• Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен | • Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен | • Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | • Теорию СВЧ цепей<br>• Принципы получения моделей элементов СВЧ МИС<br>• Схемотехнику основных узлов СВЧ МИС | • Самостоятельно решать задачи по построению моделей СВЧ цепей, компонентов СВЧ МИС<br>• Самостоятельно применять САПР СВЧ устройств для моделирования СВЧ МИС | • Современными САПР СВЧ устройств для проектирования и оптимизации характеристик СВЧ МИС на высоком уровне |
| Хорошо (базовый уровень) | • Теорию СВЧ цепей<br>• Принципы получения моделей элементов СВЧ МИС | • Решать задачи по построению моделей СВЧ цепей, компонентов СВЧ МИС при участии руководителя<br>• Применять САПР СВЧ устройств для моделирования СВЧ МИС | • Современными САПР СВЧ устройств для проектирования и оптимизации характеристик СВЧ МИС |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | • Базовые понятия схемотехники узлов СВЧ МИС<br>• Модели типовых элементов СВЧ МИС | • Решать задачи по построению моделей СВЧ цепей, компонентов СВЧ МИС при непосредственном участии руководителя | • Современными САПР СВЧ устройств для проектирования и оптимизации характеристик СВЧ МИС на базовом уровне |

## 2.4 Компетенция ПСК-3

ПСК-3: умение разрабатывать модели элементов СВЧ МИС и выполнять моделирование характеристик СВЧ МИС на основе применения современных САПР

Для формирования компетенции ПСК-3 необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Содержание этапов | • Структурные и принципиальные схемы СВЧ МИС, модели их | • Разрабатывать модели элементов СВЧ МИС | • Современными САПР СВЧ устройств для моделирования СВЧ |

Согласована на портале № 21197

| | | | |
|---|---|---|---|
| | компонентов | | МИС |
| Виды занятий | • Лекция<br>• Практика<br>• Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента | • Практика<br>• Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента | • Практика<br>• Лабораторная работа<br>• Самостоятельная работа студента |
| Используемые средства оценивания | • Конспект лекций<br>• Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен | • Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен | • Домашняя работа<br>• Отчет по практике<br>• Отчет по лабораторной работе<br>• Экзамен |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | • Принципы получения моделей элементов СВЧ МИС<br>• Схемотехнику основных узлов СВЧ МИС | • Самостоятельно решать задачи по построению моделей СВЧ цепей, компонентов СВЧ МИС<br>• Самостоятельно применять САПР СВЧ устройств для моделирования СВЧ МИС | • Современными САПР СВЧ устройств для проектирования и оптимизации характеристик СВЧ МИС на высоком уровне |
| Хорошо (базовый уровень) | • Принципы получения моделей элементов СВЧ МИС | • Решать задачи по построению моделей СВЧ цепей, компонентов СВЧ МИС при участии руководителя<br>• Применять САПР СВЧ устройств для моделирования СВЧ МИС | • Современными САПР СВЧ устройств для проектирования и оптимизации характеристик СВЧ МИС |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | • Базовые понятия схемотехники узлов СВЧ МИС<br>• Модели типовых элементов СВЧ МИС | • Решать задачи по построению моделей СВЧ цепей, компонентов СВЧ МИС при непосредственном участии руководителя | • Современными САПР СВЧ устройств для проектирования и оптимизации характеристик СВЧ МИС на базовом уровне |

## 3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в следующем составе.

### 3.1 Экзаменационные вопросы

1. СВЧ линии передачи (ЛП), применения. Представление в виде длинной линии (ДЛ).
2. Телеграфные уравнения в первой (исходной) форме. Физический смысл решения уравнений. Волновые процессы в ДЛ.
3. Постоянная распространения. Волновое сопротивление. Коэффициенты затухания и

Согласована на портале № 21197

фазы. Фазовая скорость и длина волны в ЛП. Электрическая длина отрезка ДЛ.

4. Коэффициент отражения. Круговая диаграмма Вольперта-Смита, Z-сетка. Связь импеданса и коэффициента отражения.

5. Режимы бегущих, стоячих и смешанных волн в ДЛ.

6. Передача мощности в ЛП.

7. Телеграфные уравнения во второй форме. Уравнение передачи. Входное сопротивление ДЛ.

8. Частотные зависимости входного импеданса и применение КЗ и ХХ отрезков ЛП. Реализация реактивных и резонансных элементов на ЛП. Примеры.

9. Микрополосковые (МПЛ) и копланарные (КПЛ) линии. Выполнение МПЛ и КПЛ в монолитных интегральных схемах (МИС).

10. СВЧ многополюсники. 2п- и (н+1)-полюсники, четырехполюсники, шестиполюсники. Представление СВЧ устройства в виде соединения многополюсных компонентов.

11. Классические параметры многополюсников и четырехполюсников Классические параметры многополюсников и четырехполюсников - Z-, Y-, H- и A-параметры. Определение, физический смысл.

12. Матрицы классических параметров простейших четырехполюсников (типовых звеньев). Связь между разными системами классических параметров. Применение матриц классических параметров для анализа соединений четырехполюсников.

13. Ограничения использования классических матриц многополюсников на СВЧ.

14. Волны мощности, матрица рассеяния, физический смысл элементов. Достоинства применения параметров рассеяния на СВЧ.

15. Матрица рассеяния каскадного соединения четырехполюсников. Матрицы рассеяния простейших четырехполюсников.

16. Анализ СВЧ цепей с помощью S-параметров.

17. Свойства матрицы рассеяния для различных классов СВЧ цепей. Взаимные и невзаимные цепи. Симметричные цепи. Примеры.

18.Активные, пассивные и реактивные цепи. Условия пассивности и реактивности многополюсников и четырехполюсников. Примеры.

19. U-функция четырехполюсника (транзистора), частотная граница активности усилительного элемента.

20. Пассивные элементы СВЧ тракта - согласованные нагрузки, резонаторы, переходы между ЛП (коаксиально-полосковые, волноводно-полосковые и др.).

21. Пассивные СВЧ устройства (вентили, циркуляторы, направленные ответвители, делители и сумматоры мощности).

22. СВЧ фильтры на сосредоточенных элементах. Основные типы характеристик СВЧ фильтров.

23. Методика расчета ФНЧ-прототипов и СВЧ фильтров нижних частот на сосредоточенных элементах.

24. Методика расчета СВЧ полосно-пропускающих фильтров нижних частот на сосредоточенных элементах.

25. Методика расчета СВЧ фильтров, совместно использующих сосредоточенные элементы и отрезки ЛП.

26. Классификация задач согласования. Общая формулировка задачи широкополосного согласования.

27. Задача узкополосного согласования. Условие наилучшей передачи мощности от генератора в нагрузку.

28. Расчет узкополосных согласующих цепей (СЦ) на основе последовательно-параллельного преобразования цепочек.

29. Автоматизированная круговая диаграмма Вольперта-Смита с совмещенной ZY- сеткой. Трансформация импедансов с помощью сосредоточенных элементов и ЛП.

30. Расчет узкополосных СЦ с помощью круговой диаграммы.

Согласована на портале № 21197

31. Применение широкополосных СЦ. Фундаментальные ограничения на допуск согласования. Физический смысл. Задача предельного согласования. Предельные соотношения Фано для простых типов нагрузок.

32. Задача оптимального согласования. Отличия задач расчета СВЧ фильтров и СЦ.

33. Основные типы и способы расчета эквивалентов нагрузок.

34. Методика расчета широкополосных СЦ на основе теории фильтров и таблиц.

35. Автоматический синтез СЦ на основе генетических алгоритмов.

36. Общая классификация моделей элементов радиоэлектронных устройств. Физические, компактные и поведенческие модели. Параметрические модели. Характеристики моделей.

37. Основные этапы построения моделей пассивных элементов СВЧ ГИС и МИС. Измерения и электромагнитное моделирование элементов, тестовые структуры.

38. Модели ЛП, анализ и синтез ЛП.

39. Основные типы неоднородностей в ЛП и их модели.

40. Основные технологические принципы изготовления СВЧ гибридных интегральных схем (ГИС) и элементов.

41. Основные технологические принципы изготовления СВЧ МИС и элементов.

42. Реализация пассивных элементов в СВЧ ГИС и МИС. Индуктивные элементы, конденсаторы, полупроводниковые и пленочные резисторы, заземляющие элементы, контактные площадки: конструкции, топологии, характеристики.

43. Компоненты для поверхностного монтажа ГИС (SMD-компоненты).

44.Эквивалентные схемы основных типов пассивных компонентов ГИС и МИС.

45. Основные подходы к построению эквивалентных схем пассивных СВЧ компонентов.

46. Сравнение использования сосредоточенных и распределенных пассивных элементов в ГИС и МИС.

47. Принципы работы, особенности технологии, примерные топологии и конструкции СВЧ полевых транзисторов (ПТ) на базе материалов GaAs и GaN: ПТШ (MESFET) и HEMT, p-HEMT и ш-HEMT.

48. Принципы работы, особенности технологии, примерные топологии и конструкции СВЧ полевых транзисторов (ПТ) на базе материала GaAs: p-HEMT и ш-HEMT.

49. Малосигнальные эквивалентные схемы (ЭС) СВЧ ПТ. Физический смысл элементов ЭС. Отражение конструкции и основных технологических параметров транзистора в ЭС.

50. Основные характеристики СВЧ транзисторов - вольт-амперные характеристики (ВАХ), коэффициент устойчивости, коэффициенты усиления по мощности и по току, граничные частоты, коэффициент шума, выходная мощность.

51. Частотные, режимные зависимости и физические ограничения характеристик СВЧ транзисторов.

52. Основные схемы питания ПТ по постоянному току.

53. Реализация подачи питания на ПТ через СЦ при использовании сосредоточенных элементов и отрезков ЛП.

54. Структура, состав и порядок применения стандартных моделей пассивных и активных СВЧ элементов, встроенных в САПР.

55. Структура, состав и порядок применения моделей пассивных и активных элементов из специализированных библиотек компонентов СВЧ ГИС и МИС.

56. Составление в САПР на схемотехническом уровне моделей пассивных СВЧ устройств на сосредоточенных элементах и отрезках ЛП (СВЧ фильтры, делители и сумматоры мощности). Примеры.

Согласована на портале № 21197

## 4 Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы: методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, согласно п.12 рабочей программы.

### 4.1. Основная литература


1. **Черкашин М.В., Бабак Л.И.** СВЧ линии передачи. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР. 2015. - 54 с. [электронный ресурс]. – режим доступа: URL: http://new.kcup.tusur.ru/library/svch-linii-peredachi
2. **Черкашин М.В., Бабак Л.И.** СВЧ многополюсники. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР. 2015. - 54 с. [электронный ресурс]. – режим доступа: URL: http://new.kcup.tusur.ru/library/svch-mnogopoljusniki
3. **Бабак Л.И., Черкашин М.В.** Широкополосные согласующие цепи. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР. 2015. - 28с. [электронный ресурс]. – режим доступа: URL: http://new.kcup.tusur.ru/library/shirokopolosnye-soglasujushie-cepi
4. **Шостак, А. С.** Антенны и устройства СВЧ. Часть 1. Устройства СВЧ: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Шостак А. С. — Томск: ТУСУР, 2012. — 124 с. — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/1219.
5. **Петров М.Н., Гудков Г.В.** Моделирование компонентов и элементов интегральных схем: Учебное пособие. –СПб.: Лань. 2011. -464 с. [электронный ресурс]. –режим доступа: URL: https://e.lanbook.com/reader/book/661/#3


### 4.2. Дополнительная литература


6. **Воскресенский Д. И**. и др. Устройства СВЧ и антенны: Учебник для вузов / под ред. Д. И. Воскресенского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радиотехника. 2006. – 375 с. – **ISBN** 5-88070-086-0 (**20 экз.**)
7. **Сальников А.С.** Интегральные схемы СВЧ диапазона: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР. 2013. - 66 с. [электронный ресурс]. – режим доступа: URL: http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=237


### 4.3 Учебно-методические пособия


8. **Бабак Л.И., Сальников А.С., Черкашин М.В.** СВЧ цепи, элементы и модели / учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных, практических и самостоятельной работ. – Томск: ТУСУР. 2015. – 10 с. [электронный ресурс]. – режим доступа: URL: http://new.kcup.tusur.ru/library/svch-cepi-jelementy-i-modeli


### 4.4 Базы данных, информационно-справочные, поисковые системы

1. Поисковые системы: http://www.google.com, http://www.yandex.ru, http://rambler.ru
2. Электронная база данных учебно-методических разработок каф. КСУП: http://new.kcup.tusur.ru/library
3. Доступ к электронным ресурсам на научно-образовательном портале университета: http://edu.tusur.ru/training/publications
4. Доступ к электронному каталогу библиотеки университета: http://lib.tusur.ru
5. Электронная библиотечная система «Лань» https://e.lanbook.com

Согласована на портале № 21197