

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_ Страхов С.Ю.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЧ УСТРОЙСТВ

Направление/специальность подготовки	11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы
Специализация/профиль/программа подготовки	Радиолокационные системы и комплексы
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	И Информационные и управляющие системы
Выпускающая кафедра	И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
Кафедра-разработчик рабочей программы	И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	7	5	180	51	34	0	17	129	0	0	129	экз.
4	8	4	144	51	34	0	17	93	0	0	93	диф. зач.
ВСЕГО		9	324	102	68	0	34	222	0	0	222	

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы**

год набора группы: 2026

Программу составил:

Кафедра И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ \_\_\_\_\_  
Чебачев Вадим Олегович, к.т.н., доцент

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Заведующий кафедрой Сотникова Н.В., к.т.н., доц. \_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Заведующий кафедрой Сотникова Н.В., к.т.н., доц. \_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЧ УСТРОЙСТВ**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 — Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов

ПК-3 — Способен использовать современные пакеты прикладных программ для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых устройств, устройств сверхвысоких частот (СВЧ) и антенн

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПК-1**

*знания:*

Знает типовые схемы построения радиоэлектронных систем и комплексов СВЧ-диапазона, современную компонентную базу, конструктивные и технологические особенности устройств СВЧ-диапазона;

*умения:*

Умеет разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов СВЧ-диапазона, технические задания и протоколы сопряжения с устройствами, входящими в состав радиоэлектронных систем и комплексов;

*навыки:*

Имеет навык разработки радиоэлектронных систем и комплексов и их составных частей по выданному техническому заданию.

### **ПК-3**

*знания:*

Знает особенности моделирования основных СВЧ-узлов в современных пакетах САПР;

*умения:*

Умеет использовать современные пакеты САПР для схемотехнического и электродинамического моделирования планарных СВЧ-устройств;

*навыки:*

Имеет навык схемотехнического и электродинамического моделирования планарных СВЧ-устройств.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЧ УСТРОЙСТВ** является дисциплиной **части**, формируемой участниками образовательных отношений блока 1, программы подготовки по направлению 11.05.01 *Радиоэлектронные системы и комплексы*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ, СХЕМОТЕХНИКА АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ, РАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ, ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ВЫПОЛНЕНИЕ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
- ОПК-2 — Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения
- ОПК-3 — Способен к логическому мышлению, обобщению, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения, освоению работы на современном измерительном, диагностическом и технологическом оборудовании, используемом для решения различных научно-технических задач в области радиоэлектронной техники и информационно-коммуникационных технологий
- ОПК-4 — Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных
- ОПК-6 — Способен учитывать существующие и перспективные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторских работ
- ПК-1 — Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов
- ПК-3 — Способен использовать современные пакеты прикладных программ для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых устройств, устройств сверхвысоких частот (СВЧ) и антенн
- ПК-4 — Способен разрабатывать аналоговые и цифровые радиотехнические устройства, в том числе на базе микропроцессоров и микропроцессорных систем, с использованием современных пакетов прикладных программ

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 з.е., 324 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПК-1	ПК-3
4	7	Раздел 1. Назначение импульсно-доплеровской РЛС с АФАР. Структурная схема импульсно-доплеровской РЛС с АФАР. Классификация радиолокационных систем Назначение импульсно-доплеровской РЛС с АФАР Структурная схема импульсно-доплеровской РЛС с АФАР Формирование сигнала в импульсно-доплеровской РЛС Аналоговый и цифровой перенос частоты Синтезатор сетки частот Передающий тракт РЛС Блок коммутаторов АФАР Приемный тракт РЛС АЦП Цифровая обработка сигнала с помощью ПЛИС.	27	10	8	2	17	8	0
4	7	Раздел 2. Распространение сигналов в импульсно-доплеровской РЛС. Формирование сигнала промежуточной частоты Формирование сигнала гетеродина и тактовых сигналов Распространение сигнала в передающем тракте РЛС Преобразования сигнала в АФАР Распространение сигнала в приемном тракте РЛС Преобразование сигналов в АЦП Заметки о фильтрах Цифровая фильтрация сигнала Согласованная фильтрация Построение РЛИ дальность-доплер Свойства РЛИ дальность-доплер Определение углов.	27	10	8	2	17	8	0
4	7	Раздел 3. Построение приемо-передающего тракта. Математическое моделирование приемо-передающего тракта. Режимы работы транзисторов Компрессия коэффициента передачи усилителей мощности Основные параметры СВЧ-устройств Сопряжение СВЧ-устройств Подбор компонентов СВЧ-тракта Математическое моделирование элементов СВЧ-тракта.	76	16	8	8	60	23	23
4	7	Раздел 4. Сигналы РЛС. Генераторы сигналов РЛС. Модуляция сигналов в РЛС Расширяющие последовательности БФМ-сигналов Частотный план Опорные генераторы Фазовый шум Прямой цифровой синтез Синтезатор с ФАПЧ ЦАП.	42	12	8	4	30	13	23
4	7	Раздел 5. Линии передачи СВЧ. Волноводы, коаксиальные и микрополосковые линии, переходы между ними Устройства радиофотоники.	8	3	2	1	5	2	1
Всего за 7 семестр			180	51	34	17	129	54	47
4	8	Раздел 6. Технологии планарных устройств СВЧ. Технология PCB Гибридная интегральная технология Монолитная интегральная технология LTCC.	15	8	6	2	7	5	2
4	8	Раздел 7. Пассивные элементы СВЧ-тракта. R, L, C-компоненты в микрополосковых устройствах Неоднородности в СВЧ-тракте и согласование волновых сопротивлений Фильтры СВЧ Делители и сумматоры мощности.	44	14	8	6	30	14	34
4	8	Раздел 8. Активные элементы СВЧ-тракта. Технологии изготовления активных полупроводниковых СВЧ-устройств Цепи питания и управления СВЧ-устройств Полупроводниковые усилители мощности СВЧ-диапазона Смесители и умножители частоты Амплитудные детекторы Переключатели Атенноаторы и фазовращатели Ферритовые устройства Влияние внешних воздействующих факторов на параметры СВЧ-устройств.	30	12	10	2	18	10	0
4	8	Раздел 9. Антенны. Параметры антенн Виды антенн для радаров Разновидности антенных решеток Синтез апертуры.	11	6	4	2	5	4	0
4	8	Раздел 10. Измерительная аппаратура СВЧ-диапазона. Анализаторы цепей Измерительная аппаратура СВЧ Имитаторы.	19	6	4	2	13	6	17
4	8	Раздел 11. Разработка электрических схем и топологий СВЧ-устройств. Разработка схем Разработка топологий.	25	5	2	3	20	7	0
Всего за 8 семестр			144	51	34	17	93	46	53
Всего по дисциплине			324	102	68	34	222	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Назначение импульсно-доплеровской РЛС с АФАР. Структурная схема импульсно-доплеровской РЛС с АФАР.	Структура РЛС с АФАР	2
2	Раздел 2. Распространение сигналов в импульсно-доплеровской РЛС.	Выбор АЦП и ЦАП	2
3	Раздел 3. Построение приемо-передающего тракта. Математическое моделирование приемо-передающего тракта.	Составление технического задания на проектирование	2
4		Подбор компонентов СВЧ-тракта	2
5		Математическое моделирование компонентов СВЧ-тракта	2
6		Разработка эскиза топологии СВЧ-тракта	2

7	Раздел 4. Сигналы РЛС. Генераторы сигналов РЛС.	Расчет частотного плана	2
8		Математическое моделирование частотного плана	2
9	Раздел 5. Линии передачи СВЧ.	Математическое моделирование микрополосковой линии	1
<b>Всего за 7 семестр</b>			17
10	Раздел 6. Технологии планарных устройств СВЧ.	Решение кейса Разработка делителя мощности Уилкинсона	2
11	Раздел 7. Пассивные элементы СВЧ-тракта.	Разработка LC-фильтров	2
12		Разработка микрополосковых фильтров	4
13	Раздел 8. Активные элементы СВЧ-тракта.	Разработка модулей СВЧ	2
14	Раздел 9. Антенны.	Разработка модуля ППМ АФАР	2
15	Раздел 10. Измерительная аппаратура СВЧ-диапазона.	Согласование полевого транзистора на гетероструктурах по S-параметрам	2
16	Раздел 11. Разработка электрических схем и топологий СВЧ-устройств.	Разработка схем и топологий	3
<b>Всего за 8 семестр</b>			17

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Назначение импульсно- доплеровской РЛС с АФАР. Структурная схема импульсно- доплеровской РЛС с АФАР.	Подготовка к экзамену	8
2		Решение кейса №1 по подбору АЦП и ЦАП	3
3		Подготовка к тесту	6
4	Раздел 2. Распространение сигналов в импульсно-доплеровской РЛС.	Подготовка к экзамену	8
5		Решение кейса №2	3
6		Подготовка к тесту	6
7	Раздел 3. Построение приемо- передающего тракта. Математическое моделирование приемо-передающего тракта.	Решение кейса №3	3
8		Подготовка к экзамену	8
9		Подготовка к тесту	6
10		Написание реферата	43
11	Раздел 4. Сигналы РЛС. Генераторы сигналов РЛС.	Решение кейса №1 по подбору опорного генератора	1
12		Подготовка к экзамену	8
13		Подготовка к тесту	6
14		Написание реферата	7
15		Выполнение расчетно-графической работы	8
16	Раздел 5. Линии передачи СВЧ.	Подготовка к экзамену	2
17		Написание реферата	3
Всего за 7 семестр			129
18	Раздел 6. Технологии планарных устройств СВЧ.	Подготовка к тесту	5
19		Выполнение расчетно-графических работ №2 и №3 по разработке СВЧ-модулей в части делителей мощности	2
20	Раздел 7. Пассивные элементы СВЧ- тракта.	Выполнение расчетно-графической работы №3 в части реализации топологических устройств СВЧ-модулей	4
21		Подготовка к тесту	6
22		Выполнение расчетно-графической работы №1 по расчету СВЧ-фильтров	20
23	Раздел 8. Активные элементы СВЧ- тракта.	Подготовка к тесту	8
24		Выполнение расчетно-графической работы №2 в части подключения активных устройств СВЧ-	10

		модулей	
25		Подготовка к тесту	3
26	Раздел 9. Антенны.	Выполнение расчетно-графических работ №2 и №3 по разработке приемо-передающих модулей для активных фазированных антенных решеток	2
27		Подготовка к тесту	3
28	Раздел 10. Измерительная аппаратура СВЧ-диапазона.	Выполнение расчетно-графической работы №4 по согласованию полевого транзистора на гетероструктурах по S-параметрам	10
29	Раздел 11. Разработка электрических схем и топологий СВЧ-устройств.	Выполнение расчетно-графической работы №2 по разработке электрической схемы СВЧ-модуля	11
30		Выполнение расчетно-графической работы №3 по разработке топологии СВЧ-модуля	9
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>93</b>

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7			Кейс		РГР	ДР	Кейс			ДР		Кейс			Реф	ДР	Вопр. Экз
8		Кейс				ДР			РГР	ДР		РГР			РГР	ДР	РГР, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Кейс – кейс-задача;
- РГР – расчетно-графическая работа;
- Реф – реферат;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- кейс-задача;
- расчетно-графическая работа;
- реферат;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен;
- дифференцированный зачет.



## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Выполнение чертежей радиотехнических схем в пакете "Компас". СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003, эл. рес.
2. . Радиотехнические цепи и сигналы. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2002, эл. рес.
3. . Справочник по радиолокации. М.: Техносфера, 2015, 5 экз.
4. А. И. Белоус, М. К. Мерданов, С. В. Шведов. . СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Москва: Техносфера, 2018, эл. рес.
5. А. Ю. Виноградов, Р. В. Кабетов, А. М. Сомов. . Устройства СВЧ и малогабаритные антенны. Москва: Горячая линия-Телеком, 2012, эл. рес.
6. И. В. Лютиков, А. Н. Фомин, В. А. Леусенко. . Метрология и радиоизмерения. Красноярск: СФУ, 2016, эл. рес.
7. О. В. Головин. . Устройства генерирования, формирования, приема и обработки сигналов. Москва: Горячая линия-Телеком, 2017, эл. рес.
8. П. Хоровиц, У. Хилл. . Искусство схемотехники. М.: Мир, 1998, эл. рес.
9. С.Г. Филатова. . Радиотехнические системы. Новосибирск: НГТУ, 2018, эл. рес.
10. Ф. Сечи, М. Буджатти. . Мощные твердотельные СВЧ-усилители. Москва: Техносфера, 2015, эл. рес.
11. Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. . Антенны. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов. М.: Питер, 2006, 3 экз.
2. А. И. Братчиков, В. И. Васин, О. О. Василенко. . Активные фазированные антенные решётки. М.: Радиотехника, 2004, 3 экз.

### 5.3. Периодические издания:

1. Радиотехника – XXI век.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. [https://www.bsuir.by/m/12\\_100229\\_1\\_85526.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_85526.pdf).

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Microsoft Windows.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Интерактивная доска;
2. Microsoft Windows.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЧ УСТРОЙСТВ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы*. Дисциплина реализуется на факультете ИИ Информационные и управляющие системы БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПК-1 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов;

ПК-3 Способен использовать современные пакеты прикладных программ для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых устройств, устройств сверхвысоких частот (СВЧ) и антенн.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с проектированием аналогового тракта радиопередающей и радиоприемной аппаратуры и ее сопряжения с устройствами цифровой обработки сигналов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- кейс-задача;
- расчетно-графическая работа;
- реферат;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен;
- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **9 з.е., 324 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**68 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**222 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 324 ч., из них 102 ч. аудиторных занятий, и 222 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Назначение импульсно-доплеровской РЛС с АФАР. Структурная схема импульсно-доплеровской РЛС с АФАР.</b>		
Подготовка к экзамену	. Справочник по радиолокации: М.: Техносфера, 2015 (*)	8
Решение кейса №1 по подбору АЦП и ЦАП	С.Г. Филатова. . Радиотехнические системы: Новосибирск: НГТУ, 2018 (*) А. И. Белоус, М. К. Мерданов, С. В. Шведов. . СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи: Москва: Техносфера, 2018 (*)	3
Подготовка к тесту	А. И. Братчиков, В. И. Васин, О. О. Василенко. . Активные фазированные антенные решётки: М.: Радиотехника, 2004 (*)	6
Итого по разделу 1		17
<b>Раздел 2. Распространение сигналов в импульсно-доплеровской РЛС.</b>		
Подготовка к экзамену	А. Б. Сергиенко. . Цифровая обработка сигналов: М.: Питер, 2006 (*)	8
Решение кейса №2	. Радиотехнические цепи и сигналы: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2002 (*)	3
Подготовка к тесту	. Справочник по радиолокации: М.: Техносфера, 2015 (*)	6
Итого по разделу 2		17
<b>Раздел 3. Построение приемо-передающего тракта. Математическое моделирование приемо-передающего тракта.</b>		
Решение кейса №3	П. Хоровиц, У. Хилл. . Искусство схемотехники: М.: Мир, 1998 (*)	3
Подготовка к экзамену	Ф. Сечи, М. Буджатти. . Мощные твердотельные СВЧ-усилители: Москва: Техносфера, 2015 (*)	8
Подготовка к тесту	А. И. Белоус, М. К. Мерданов, С. В. Шведов. . СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи: Москва: Техносфера, 2018 (*)	6
Написание реферата		43
Итого по разделу 3		60
<b>Раздел 4. Сигналы РЛС. Генераторы сигналов РЛС.</b>		
Решение кейса №1 по подбору опорного генератора	. Справочник по радиолокации: М.: Техносфера, 2015 (*)	1
Подготовка к экзамену	О. В. Головин. . Устройства генерирования, формирования, приема и	8

Подготовка к тесту	обработки сигналов: Москва: Горячая линия-Телеком, 2017 (*)	6
Написание реферата		7
Выполнение расчетно-графической работы		8
Итого по разделу 4		30
Раздел 5. Линии передачи СВЧ.		
Подготовка к экзамену	Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. . Антенны: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (*)	2
Написание реферата	А. Ю. Виноградов, Р. В. Кабетов, А. М. Сомов. . Устройства СВЧ и малогабаритные антенны: Москва: Горячая линия-Телеком, 2012 (*)	3
Итого по разделу 5		5
Раздел 6. Технологии планарных устройств СВЧ.		
Подготовка к тесту	Ф. Сечи, М. Буджатти. . Мощные твердотельные СВЧ-усилители: Москва: Техносфера, 2015 (*)	5
Выполнение расчетно-графических работ №2 и №3 по разработке СВЧ-модулей в части делителей мощности		2
Итого по разделу 6		7
Раздел 7. Пассивные элементы СВЧ-тракта.		
Выполнение расчетно-графической работы №3 в части реализации топологических устройств СВЧ-модулей	Ф. Сечи, М. Буджатти. . Мощные твердотельные СВЧ-усилители: Москва: Техносфера, 2015 (*) А. Ю. Виноградов, Р. В. Кабетов, А. М. Сомов. . Устройства СВЧ и малогабаритные антенны: Москва: Горячая линия-Телеком, 2012 (*)	4
Подготовка к тесту		6
Выполнение расчетно-графической работы №1 по расчету СВЧ-фильтров		20
Итого по разделу 7		30
Раздел 8. Активные элементы СВЧ-тракта.		
Подготовка к тесту	Ф. Сечи, М. Буджатти. . Мощные твердотельные СВЧ-усилители: Москва: Техносфера, 2015 (*)	8
Выполнение расчетно-графической работы №2 в части подключения активных устройств СВЧ-модулей		10
Итого по разделу 8		18
Раздел 9. Антенны.		
Подготовка к тесту	А. И. Братчиков, В. И. Васин, О. О. Василенко. . Активные фазированные антенные решётки: М.: Радиотехника, 2004 (*) Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. . Антенны: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (*) А. Ю. Виноградов, Р. В. Кабетов, А. М. Сомов. . Устройства СВЧ и малогабаритные антенны: Москва: Горячая линия-Телеком, 2012 (*)	3
Выполнение расчетно-графических работ №2 и №3 по разработке приемо-передающих модулей для активных фазированных антенных решеток		2
Итого по разделу 9		5
Раздел 10. Измерительная аппаратура СВЧ-диапазона.		
Подготовка к тесту	И. В. Лютиков, А. Н. Фомин, В. А. Леусенко. . Метрология и радиоизмерения: Красноярск: СФУ, 2016 (*)	3
Выполнение расчетной-графической работы №4 по согласованию полевого транзистора на гетероструктурах по S-параметрам		10
Итого по разделу 10		13
Раздел 11. Разработка электрических схем и топологий СВЧ-устройств.		
Выполнение расчетно-графической работы №2 по разработке электрической схемы СВЧ-модуля	. Выполнение чертежей радиотехнических схем в пакете "Компас": СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003 (*)	11
Выполнение расчетно-графической работы №3 по разработке топологии СВЧ-модуля		9

Итого по разделу 11	20
---------------------	----

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- кейс-задача;
- вопросы к экзамену;
- реферат;
- расчетно-графическая работа;
- дифференцированный зачет;
- экзамен.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Кейс-задача

Семестр 7

Задача №1 Выбор АЦП, ЦАП и кварцевого генератора

- Найдено техническое описание на АЦП/ЦАП/кварцевый генератор (каждому студенту выдается одно из трех устройств) – 1 балл.
- В техническом описании найдены ключевые параметры устройства – 2 балла.
- Параметры приведены к единым единицам измерения со стыкуемым СВЧ-трактом – 2 балла.

Задача №2 Расчет приемного тракта

- Правильно нарисована схема и обозначена маркировка – 2 балла.
- Правильно оценены частоты и мощности – 3 балла.

Задача №3 Разработка протокола сопряжения

- Протокол составлен правильно – 5 баллов.

Семестр 8

Задача №1 Расчет моста Уилкинсона

Мост рассчитан правильно — 5 баллов.

### Вопросы к экзамену

1. Классификация радиолокационных систем.
2. Назначение импульсно-доплеровской РЛС с АФАР.
3. Формирование сигнала в импульсно-доплеровской РЛС. Образ. Модулятор. ЦАП.
4. Аналоговый и цифровой перенос частоты.
5. Синтезатор сетки частот РЛС.
6. Передающий тракт РЛС от ЦАП до блока коммутаторов.
7. Блок коммутаторов приемного, передающего и приемо-передающего каналов РЛС.
8. Принцип работы АФАР.
9. Приемо-передающий модуль АФАР с Core Chip.
10. Приемный тракт РЛС от блока коммутаторов до АЦП.
11. Высокоскоростные АЦП.
12. Фильтрация сигнала. Аналоговые фильтры на LC-элементах. Аналоговые фильтры с распределенными параметрами. Цифровые фильтры.
13. Согласованная фильтрация сигнала.
14. Радиолокационное изображение в координатах дальность-доплер.
15. Пеленгация цели.
16. Зондирующие сигналы, используемые в РЛС.
17. М-последовательность. Генератор М-последовательности.
18. Модульный принцип построения РЛС.
19. Настройка режима работы полевого транзистора в схеме с общим истоком управляющими напряжениями.

20. Компрессия коэффициента передачи усилителей мощности.
21. Важнейшие параметры СВЧ-устройств.
22. Электрические параметры передающих модулей СВЧ.
23. Электрические параметры приемных модулей СВЧ.
24. Электрические параметры модулей ППМ.
25. Электрические параметры генераторов и синтезаторов частот.
26. Частотный план РЛС.
27. Опорные кварцевые генераторы.
28. Фазовый шум.
29. Прямой цифровой синтез частоты.
30. Фазовая автоподстройка частоты.
31. Синтезаторы частот с фазовой автоподстройкой частоты.
32. Линии передачи СВЧ-мощности.
33. Микрострипковые линии передачи СВЧ-мощности.

### **Реферат**

Реферат в виде научно-технического отчета по аванпроекту о проектировании радиоэлектронного модуля в соответствии с техническим заданием

- Приведены исходные данные и описан принцип работы устройства – 5 баллов.
- Подобраны основные электронные компоненты – 15 баллов.
- Приведена математическая модель устройства и результаты моделирования – 10 баллов.
- Оценены габаритные размеры, в которые поместится устройство, и оценена топология плат на предмет возможных пересечений – 10 баллов.

Реферат выполняется по образцу, приведенному в техническом задании.

Реферат нужно обязательно прислать преподавателю на почту.

### **Расчетно-графическая работа**

#### **Семестр 7**

Расчетно-графическая работа №1 Расчет промежуточной частоты

- Правильно оценены все факторы, влияющие на выбор промежуточной частоты – 3 балла.
- Показана чистота спектра входного и выходного сигнала в заданной полосе частот расчетным путем и/или в пакете для математического моделирования – 7 баллов.

#### **Семестр 8**

Расчетно-графическая работа №1 Расчет аналогового фильтра

- Расчет фильтра на LC-элементах – 3 балла;
- Оценка разброса параметров фильтра на LC-элементах — 2 балла;
- Схемотехнический расчет фильтра с распределенными параметрами – 5 баллов;
- Электромагнитный расчет фильтра с распределенными параметрами – 5 баллов.

Расчетно-графическая работа №2 Разработка принципиальной электрической схемы составной части СВЧ-моноблока

- Схема и перечень элементов выполнены, на них есть все компоненты – 5 баллов;
- Схема и перечень элементов выполнены без ошибок – 15 баллов;
- Проект защищен – 5 баллов.

Форма отчета - схема электрическая принципиальная в соответствии с ЕСКД.

Расчетно-графическая работа №3 Разработка топологии и элементов конструкции составной части СВЧ-моноблока

Эскиз чертежа выполнен без ошибок – 10 баллов.

Расчетно-графическая работа №4 Согласование полевого транзистора на гетероструктурах по S-параметрам

- Согласование одиночного транзистора - 5 баллов
- Согласование балансного усилителя на мостах Ланге - 5 баллов

РГР нужно показать преподавателю лично или прислать на почту. Форма оформления отчета по РГР произвольная если не указано иное

### **Дифференцированный зачет (семестр 8)**

0-59 баллов - неудовлетворительно

60-74 балла - удовлетворительно

75-84 балла - хорошо

85-100 баллов - отлично

### **Экзамен (семестр 7)**

В экзамене три вопроса: два из списка, один по разрабатываемому в семестре СВЧ-модулю  
Студент прекрасно разбирается в материале - оценка отлично



Студент разбирается в материале - оценка хорошо

Студент может ответить на несложные вопросы - оценка удовлетворительно

Студент не разбирается в материале - оценка неудовлетворительно

Студенту гарантирована оценка, которые он получит за баллы в течение семестра по шкале:

60-74 балла - удовлетворительно

75-84 балла - хорошо

85-100 баллов - отлично

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПК-1	ПК-3	
4	7	Раздел 1. Назначение импульсно-доплеровской РЛС с АФАР. Структурная схема импульсно-доплеровской РЛС с АФАР.	27	10	8	2	17	8	0	Вопросы к экзамену, Кейс-задача
4	7	Раздел 2. Распространение сигналов в импульсно-доплеровской РЛС.	27	10	8	2	17	8	0	Вопросы к экзамену, Кейс-задача
4	7	Раздел 3. Построение приемо-передающего тракта. Математическое моделирование приемо-передающего тракта.	76	16	8	8	60	23	23	Вопросы к экзамену, Реферат, Кейс-задача
4	7	Раздел 4. Сигналы РЛС. Генераторы сигналов РЛС.	42	12	8	4	30	13	23	Вопросы к экзамену, Расчетно-графическая работа, Реферат, Кейс-задача
4	7	Раздел 5. Линии передачи СВЧ.	8	3	2	1	5	2	1	Вопросы к экзамену, Реферат
Всего за 7 семестр			180	51	34	17	129	54	47	
4	8	Раздел 6. Технологии планарных устройств СВЧ.	15	8	6	2	7	5	2	Расчетно-графическая работа, Кейс-задача
4	8	Раздел 7. Пассивные элементы СВЧ-тракта.	44	14	8	6	30	14	34	Расчетно-графическая работа
4	8	Раздел 8. Активные элементы СВЧ-тракта.	30	12	10	2	18	10	0	Расчетно-графическая работа
4	8	Раздел 9. Антенны.	11	6	4	2	5	4	0	Расчетно-графическая работа
4	8	Раздел 10. Измерительная аппаратура СВЧ-диапазона.	19	6	4	2	13	6	17	Расчетно-графическая работа
4	8	Раздел 11. Разработка электрических схем и топологий СВЧ-устройств.	25	5	2	3	20	7	0	Расчетно-графическая работа
Всего за 8 семестр			144	51	34	17	93	46	53	
Всего по дисциплине			324	102	68	34	222	100	100	

**ПК-1 - Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов**

- № 1 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Каким образом фильтруется заградительная помеха по зеркальному каналу?
1. С помощью аналогового фильтра перед переносом частоты с высокой на промежуточную
  2. С помощью аналогового фильтра после переноса частоты с высокой на промежуточную
  3. С помощью цифрового фильтра после оцифровки сигнала
  4. С помощью согласованного фильтра после оцифровки сигнала
- № 2 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
В каких технологиях микрополосковых устройств пересечение СВЧ-трактов устраняется с помощью золотых перемычек?
1. РСВ
  2. ГИС
  3. МИС
  4. LTCC
- № 3 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Как уменьшить величину мертвой зоны радара?
1. Уменьшить длительность импульса
  2. Использовать сложные сигналы
  3. Уменьшить период следования импульсов
  4. Использовать вторую антенну
- № 4 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Для чего в АЦП нужно разделение принятого сигнала на две квадратурные составляющие I и Q?
- № 5 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Вам известен планарный микрополосковый фильтр на связанных линиях, используемый для полосовой фильтрации в СВЧ-диапазоне. Методика расчета фильтра основана на допущении, что длины резонаторов существенно превышают их ширину. При повышении частоты фильтра длины резонаторов уменьшаются. Следовательно, существует предельная частота, при которой длины и ширины резонаторов станут сопоставимыми, и методика расчета перестанет работать. Какие меры Вы считаете возможным принять, если при расчете фильтра Вы уперлись в частоту 12 ГГц, а Вам нужен фильтр на частоту 28 ГГц?
- № 6 Прочитайте текст и установите соответствие  
Импульсно-доплеровская РЛС использует для зондирования простой радиоимпульс. Что произойдет с характеристиками импульсно-доплеровской РЛС, если при сохранении остальных параметров пачки импульсов неизменными
1. уменьшить длительность импульса?
  2. увеличить количество импульсов в пачке?
  3. увеличить период следования импульсов?
  4. уменьшить период следования импульсов?

А-Увеличится максимальная однозначно определяемая дальность

Б-Увеличится максимальная однозначно определяемая скорость

В-Улучшится разрешение по дальности

Г-Улучшится разрешение по скорости

№ 7 Прочитайте текст и установите соответствие

Какой из приведенных делителей/сумматоров мощности является

1. синфазным?

2. синфазным или противофазным?

3. квадратурным?

А-Гибридное кольцо

Б-Мост Уилкинсона

В-Мост Ланге

№ 8 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите последовательность операций технологии LTCC в хронологическом порядке

1) Обжиг многослойной керамической платы

2) Трафаретная печать проводников

3) Изготовление пасты из драгоценных металлов

4) Удаление майларового носителя

5) Ламинирование пакета

6) Контроль электрических параметров многослойной керамической платы

№ 9 Прочитайте текст и установите последовательность

Перед Вами микросхема пятиразрядного цифрового аттенюатора, разряды которой вносят ослабление 1 дБ, 2 дБ, 4 дБ, 8 дБ и 16 дБ. Потери в аттенюаторе составляют 2 дБ. Расположите в порядке возрастания вносимой погрешности уровни ослабления.

1. 2 дБ

2. 17 дБ

3. 18 дБ

4. 19 дБ

5. 31 дБ

6. 32 дБ

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какой из усилителей будет оказывать наибольшее влияние на коэффициент шума РЛС?

1. Первый усилитель в передающем тракте

2. Последний усилитель в передающем тракте

3. Первый усилитель в приемном тракте

4. Последний усилитель в приемном тракте

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какой элемент ППМ АФАР обычно не входит в состав монолитной интегральной схемы Core Chip?

1. Фазовращатель
2. Переключатель
3. Аттенюатор
4. Оконечный каскад усиления

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

По сравнению с термокомпенсированным кварцевым генератором термостатированный кварцевый генератор

1. имеет меньшие размеры
2. обладает худшей стабильностью частоты
3. потребляет меньшую мощность
4. имеет существенное время выхода на рабочий режим

**ПК-3 - Способен использовать современные пакеты прикладных программ для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых устройств, устройств сверхвысоких частот (СВЧ) и антенн**

№ 1 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Принятый радиосигнал РЛС записывается в кадр, где каждый столбец соответствует одному периоду сигнала. Что нужно сделать с кадром, чтобы получить РЛИ дальность-доплер?

1. Произвести согласованную фильтрацию по столбцам и преобразование Фурье по столбцам
2. Произвести преобразование Фурье по строкам и согласованную фильтрацию по строкам
3. Произвести согласованную фильтрацию по строкам и преобразование Фурье по столбцам
4. Произвести согласованную фильтрацию по столбцам и преобразование Фурье по строкам

№ 2 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

При сканировании каких целей собственный шум радара будет определять предельную дальность обнаружения цели?

1. Воздушных
2. Морских надводных
3. Морских подводных
4. Наземных

№ 3 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Прохождение сигнала через какие устройства некорректно описывать с помощью импульсной характеристики?

1. Цифровой фильтр
2. Аналоговый фильтр
3. Смеситель

4. Умножитель частоты
- № 4 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Наличие каких гармоник в спектре выходного сигнала усилителя говорит о том, что усилитель находится в компрессии при подаче на вход синусоидального сигнала?
1. Второй
  2. Третьей
  3. Четвертой
  4. Пятой
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Производители монолитных интегральных схем нередко размещают на своих сайтах Touchstone-модели своих устройств, описываемые через S-параметры. Для описания каких СВЧ-устройств таких моделей будет достаточно для большинства практических применений?
1. Смесителей
  2. Мощных усилителей
  3. Фильтров
  4. Делителей/сумматоров мощности
- № 6 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
- Как по S-параметрам устройства в децибелах определить, что KСВ входа 1 меньше 1,1?
- № 7 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
- Почему в векторный генератор сигналов нужно загружать образ сигнала произвольной формы в комплексном виде с I и Q составляющей?
- № 8 Прочитайте текст и установите соответствие
- Что обозначают следующие англоязычные аббревиатуры?
1. HEMT
  2. HBT
  3. MOSFET
  4. MESFET
- А-Гетеробиполярный транзистор
- Б-Полевой транзистор с емкостью металл-оксид-полупроводник
- В-Полевой транзистор с затвором Шоттки
- Г-Полевой транзистор на гетероструктурах
- № 9 Прочитайте текст и установите соответствие
- Какие средства измерений имитируют следующие режимы моделирования?
1. S-parameters
  2. Harmonic Balance
  3. Transient
- А-Векторный анализатор цепей
- Б-Анализатор спектра
- В-Осциллограф

№ 10 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите эти материалы, из которых изготавливаются транзисторы, по максимальной частоте от меньшей к большей?

1. Si
2. Ge
3. SiGe
4. InP
5. GaAs
6. GaN

№ 11 Прочитайте текст и установите последовательность

Укажите последовательность разработки микрополоскового фильтра

1. Генерация топологии
2. Электродинамический расчет топологии
3. Оптимизация схемы градиентным методом
4. Коррекция топологии под требуемые S-параметры
5. Оптимизация схемы случайным методом
6. Разработка конструкторской документации на плату фильтра
7. Выбор подложки

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какое из этих устройств не описывается с помощью S-параметров?

1. Фильтр
2. Усилитель мощности
3. Смеситель
4. Направленный ответвитель