

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор  
по образовательной деятельности

\_\_\_\_\_ А.А.Панфилов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И АНТЕНН

Направление подготовки 11.03.01 Радиотехника

Профиль/программа подготовки Электронные цифровые устройства и системы

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
6	6/216	18	18	36	108	экзамен (36)
Итого	6/216	18	18	36	108	экзамен (36)

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение принципов работы пассивных и активных МЭУ СВЧ, микрополосковых антенн, освоение методов их расчета, в том числе, с помощью современных средств вычислительной техники, приобретение практических навыков экспериментального исследования МЭУ СВЧ и антенн с использованием современной измерительной аппаратуры.

Задачи: подготовка в области проектирования МЭУ СВЧ и антенн для профессиональной деятельности специалиста: научно-исследовательской, проектной.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина Проектирование микроэлектронных устройств и антенн относится к вариативной части.

Пререквизиты дисциплины: физика радиоволн, электродинамика и распространение радиоволн, устройства СВЧ и антенны, основы компьютерного проектирования и моделирования электронных средств, основы конструирования и технологии производства электронных средств.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП.

Код формируемых компетенций.	Уровень освоения компетенций.	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач в инженерной деятельности.	Частичное освоение.	Знать: математические методы, лежащие в основе проектирования, в том числе с использованием средств вычислительной техники, МЭУ и антенн современных радиотехнических средств.
	Неполное освоение.	Знать: математические методы, лежащие в основе проектирования, в том числе с использованием средств вычислительной техники, МЭУ и антенн современных радиотехнических средств. Уметь: применять математические методы и средства вычислительной техники при проектировании МЭУ и антенн современных радиотехнических средств.

	Полное освоение.	Знать: математические методы, лежащие в основе проектирования, в том числе с использованием средств вычислительной техники, МЭУ и антенн современных радиотехнических средств. Уметь: применять математические методы и средства вычислительной техники при проектировании МЭУ и антенн современных радиотехнических средств. Владеть: математическими методами проектирования, в том числе с использованием современных средств вычислительной техники, при разработке радиотехнических средств.
ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных.	Частичное освоение.	Знать: методы экспериментального исследования МЭУ и антенн с помощью современной измерительной аппаратуры, приемы обработки и представления полученных данных.
	Неполное освоение.	Знать: методы экспериментального исследования МЭУ и антенн с помощью современной измерительной аппаратуры, приемы обработки и представления полученных данных. Уметь: выполнять экспериментальные исследования МЭУ и антенн с помощью современной измерительной аппаратуры, проводить обработку и представлять полученные результаты.
	Полное освоение.	Знать: методы экспериментального исследования МЭУ и антенн с помощью современной измерительной аппаратуры, приемы обработки и представления полученных данных. Уметь: выполнять экспериментальные исследования МЭУ и антенн с помощью современной измерительной аппаратуры, проводить обработку и представлять полученные результаты. Владеть: методами экспериментального исследования МЭУ и антенн с помощью современной измерительной аппаратуры, приемами обработки и представления полученных данных.
ОПК-3 Способен применять методы	Частичное освоение.	Знать: методы поиска, обработки и анализа информации об элементной базе, схемотехнических решениях, конструкции МЭУ и антенн из различных источников и

поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемой форме информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности.	Неполное освоение.	баз данных, в том числе, используя интернет-ресурс.. Знать: методы поиска, обработки и анализа информации об элементной базе, схемотехнических решениях, конструкции МЭУ и антенн из различных источников и баз данных, в том числе, используя интернет-ресурс. Уметь: применять методы поиска, обработки и анализа информации для получения данных об элементной базе, схемотехнических решениях и конструкции МЭУ и антенн из различных источников и баз данных, в том числе, используя интернет-ресурс..
	Полное освоение.	Знать: методы поиска, обработки и анализа информации об элементной базе, схемотехнических решениях, конструкции МЭУ и антенн из различных источников и баз данных, в том числе, используя интернет-ресурс. Уметь: применять методы поиска, обработки и анализа информации для получения данных об элементной базе, схемотехнических решениях и конструкции МЭУ и антенн из различных источников и баз данных, в том числе, используя интернет-ресурс. Владеть: методами поиска, обработки и анализа информации об элементной базе, схемотехнических решениях, конструкции МЭУ и антенн из различных источников и баз данных, в том числе, используя интернет-ресурс.
ПК-2 Способен реализовать программы экспериментальных исследований, включая технические средства и средства обработки результатов.	Частичное освоение.	Знать: способы реализации программ экспериментальных исследований МЭУ и антенн, технические средства и средства обработки результатов.
	Неполное освоение.	Знать: способы реализации программ экспериментальных исследований МЭУ и антенн, технические средства и средства обработки результатов. Уметь: реализовывать программы экспериментальных исследований МЭУ и антенн с использованием современных технических средства и средства обработки результатов.
	Полное освоение.	Знать: способы реализации программ экспериментальных исследований МЭУ и антенн, технические средства и средства обработки результатов. Уметь: реализо-

		<p>вывать программы экспериментальных исследований МЭУ и антенн с использованием современных технические средства и средства обработки результатов. Владеть: способами реализации программ экспериментальных исследований МЭУ и антенн, включая технические средства и средства обработки результатов.</p>
<p>ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и устройств радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизированного проектирования.</p>	<p>Частичное освоение.</p> <p>Неполное освоение.</p> <p>Полное освоение.</p>	<p>Знать: методы расчета и проектирования МЭУ и антенн радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием, в том числе, с использованием средств автоматизированного проектирования.</p> <p>Знать: методы расчета и проектирования МЭУ и антенн радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием, в том числе, с использованием средств автоматизированного проектирования. Уметь: применять методы расчета и проектирования МЭУ и антенн радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием, в том числе, с использованием средств автоматизированного проектирования.</p> <p>Знать: методы расчета и проектирования МЭУ и антенн радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием, в том числе, с использованием средств автоматизированного проектирования. Уметь: применять методы расчета и проектирования МЭУ и антенн радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием, в том числе, с использованием средств автоматизированного проектирования. Владеть: методами расчета и проектирования МЭУ и антенн радиотехнических систем в соответствии с техническим заданием, в том числе, с использованием средств автоматизированного проектирования.</p>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Наименование разделов дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Планарные линии передачи СВЧ	6	1	1	1		6	1/50	
2	Элементы и узлы интегральных схем СВЧ	6	2	1	1		6	1/50	
3	Интегральный устройства СВЧ	6	3	1	1	4	6	3/50	
		6	4	1	1	4	6	3/50	
		6	5	1	1	4	6	3/50	
4	Автоматизация проектирования линейных устройств СВЧ	6	6	1	1		6	1/50	Рейтинг-контроль 1
5	Проектирование транзисторных усилителей СВЧ	6	7	1	1		6	1/50	
		6	8	1	1	4	6	3/50	
		6	9	1	1	4	6	3/50	
6	Проектирование диодных преобразователей частоты	6	10	1	1		6	1/50	
		6	11	1	1	4	6	3/50	
		6	12	1	1	4	6	3/50	Рейтинг-контроль 2
7	Проектирование диодных генераторов СВЧ	6	13	1	1		6	1/50	
		6	14	1	1		6	1/50	
		6	15	1	1		6	1/50	
8	Микрополосковые антенные устройства	6	16	1	1		6	1/50	
		6	17	1	1	4	6	3/50	
		6	18	1	1	4	6	3/50	Рейтинг-контроль 3
Всего за 6 семестр				18	18	36	108	36/50	Экзамен
Наличие в дисциплине КР/КП					+				
Итого по дисциплине				18	18	36	108	36/50	Экзамен

## Содержание лекционных занятий по дисциплине

### Раздел 1. Планарные линии передачи СВЧ.

Тема 1. Диэлектрические и металлические материалы для планарных линий передачи.

Подложки планарных линий передачи. Металлы, используемые в планарных линиях передачи. Поглощающие материалы.

Тема 2. Полосковая линия.

Конфигурация полосковой линии. Структура поля. Волновое сопротивление. Ширина полоскового проводника для заданного волнового сопротивления. Суммарные потери полосковой линии. Максимальная рабочая частота.

Тема 3. Микрополосковая линия.

Конфигурация микрополосковой линии. Квази-Т-волна. Эффективная диэлектрическая проницаемость. Потери в микрополосковой линии. Зависимость параметров микрополосковой линии от частоты. Собственная добротность микрополосковой линии. Максимальная мощность.

Тема 4. Копланарная линия.

Конфигурация копланарной линии. Особенность применения. Основной тип волны. Волновое сопротивление. Эффективная диэлектрическая проницаемость. Потери в копланарной линии.

Тема 5. Щелевая линия.

Конфигурация щелевой линии. Особенность применения. Основной тип волны. Волновое сопротивление. Эффективная диэлектрическая проницаемость. Потери в щелевой линии.

Тема 6. Связанные полосковые линии.

Конфигурация связанных полосковых линий. Четные и нечетные виды возбуждения. Волновое сопротивление для четной и нечетной мод. Волновое сопротивление связанных полосковых линий. Суммарные потери в симметричной полосковой линии.

Тема 7. Связанные микрополосковые линии.

Конфигурация связанных микрополосковых линий. Особенности применения. Эффективная диэлектрическая проницаемость для четного и нечетного видов возбуждения. Волновое сопротивление для четной и нечетной мод. Волновое сопротивление связанных микрополосковых линий. Дисперсионные свойства. Суммарные потери в симметричной микрополосковой линии.

### Раздел 2. Элементы и узлы интегральных схем СВЧ.

Тема 1. Индуктивности, емкости, резисторы, согласованные нагрузки.

Последовательная и параллельные индуктивности. Спиральная индуктивность. Последовательная и параллельная емкости. Конденсаторы на основе пленочных структур. МОП-кон-

денсаторы. Керамические конденсаторы. Распределенные и сосредоточенные резисторы. Навесные резисторы. Таблеточные резисторы.

Тема 2. Устройства возбуждения, переходы, короткозамыкатели.

Коаксиально-полосковый переход. Прямой кабельный ввод. Волноводно-полосковый переход. Короткозамыкатели микроэлектронных устройств.

Раздел 3. Интегральные устройства СВЧ.

Тема 1. Направленные ответвители и мосты.

Основные параметры направленных ответвителей. Кольцевой направленный ответвитель.

Шлейфный направленный ответвитель. Ответвители на связанных линиях.

Тема 2. Делители и сумматоры мощности.

Делители мощности последовательного и параллельного типов. Кольцевой делитель мощности. Схемы сложения на направленных ответвителях.

Тема 3. Устройства управления фазой и амплитудой.

Управление фазой сигнала в тракте СВЧ. Управление амплитудой сигнала в тракте СВЧ.

Тема 4. Фильтры СВЧ.

Типы фильтров и их характеристики. Фильтр нижних частот. Фильтр верхних частот. Полосно-пропускающий фильтр. Полосно-заграждающий фильтр.

Тема 5. Устройства СВЧ на ферритах.

Y-циркуляторы классического типа. Циркуляторы с реактивными элементами.

Раздел 4. Автоматизация проектирования устройств СВЧ.

Тема 1. Формализация расчета характеристик линейных радиоэлектронных устройств.

Декомпозиция устройства. Формализация описания библиотечных элементов. Формализация описания соединения элементов. Алгоритм объединения элементов устройства.

Тема 2. Входной язык программы МАКЕТ.

Формат исходных данных. Подготовка исходных данных.

Тема 3. Описание программы МАКЕТ.

Структурная схема программы МАКЕТ. Библиотека элементов. Библиотечные элементы.

Раздел 5. Проектирование транзисторных усилителей СВЧ.

Тема 1. Бесструктурная модель транзистора СВЧ.

Модель транзистора СВЧ. S-параметры транзистора. Реализуемый номинальный коэффициент усиления.

Тема 2. Устойчивость транзисторных усилителей СВЧ.

Структурная схема усилителя СВЧ. Устойчивость усилителя. Безусловная и условная устойчивость усилителя. Коэффициент устойчивости. Область допустимых сопротивлений входной и выходной нагрузок. Окружность устойчивости.

Тема 3. Расчет узкополосных усилителей графоаналитическим методом.



Режим двустороннего согласования. Режим фиксированного усиления в безусловно устойчивом усилителе. Режим фиксированного усиления в потенциально неустойчивом усилителе. Коэффициент шума усилителя.

Тема 4. Особенности построения транзисторных усилителей СВЧ.

Схемы включения транзисторов. Узкополосные усилители. Широкополосные усилители.

Практические схемы транзисторных усилителей.

Раздел 6. Проектирование диодных преобразователей частоты.

Тема 1. Преобразователи частоты и смесительные диоды.

Назначение и принцип работы преобразователей частоты. Эквивалентная схема смесительного диода и его свойства. конструкции смесительных диодов.

Тема 2. Электрические характеристики смесителей.

Эффект прямого и обратного преобразования частоты в диодных смесителях. Эффект вторичного обратного преобразования частоты. Зеркальная частота. Спектральный состав колебаний в преобразователях частоты. Анализ одноконтурного смесителя. Узкополосный смеситель при короткозамкнутой цепи по зеркальной частоте. Топологические схемы одноконтурных смесителей. Шумовые свойства диодных преобразователей.

Тема 3. Балансные и двойные балансные смесители.

Принципиальные схемы балансных смесителей. Анализ работы балансного смесителя.

Топологическая схема балансного смесителя. Двойные балансные смесители.

Преобразователи частоты с подавлением зеркального канала.

Раздел 7. Проектирование диодных генераторов СВЧ.

Тема 1. Диод Ганна.

Параметры диода Ганна. Принцип работы диода Ганна.

Тема 2. Генераторы на диоде Ганна.

Эквивалентная схема генератора на диоде Ганна. Модель внешней цепи генератора. Режимы работы генераторов на диоде Ганна. Оптимальные параметры диода Ганна.

Тема 3. Проектирование диодных генераторов.

Стационарный режим автоколебаний. Стабильность частоты и минимальный уровень шумов. Низкочастотные колебания в цепи питания диода и способы их устранения.

Проектирование цепи СВЧ генераторов на диоде Ганна.

Тема 4. Конструирование диодных генераторов.

Крепление генераторных диодов. Цепи питания. Топология колебательной системы СВЧ.

Раздел 8. Микрополосковые антенные устройства.

Тема 1. Методы расчета микрополосковых антенн.

Модель прямоугольной микрополосковой антенны. Микрополосковая антенна, возбуждаемая микрополосковой линией. Микрополосковая антенна, возбуждаемая коаксиальной ли-

нией. Апертурно-связанная микрополосковая антенна. Электромагнитно-связанная микрополосковая антенна. Модель дисковой микрополосковой антенны.

Тема 2. Микрополосковые антенны с увеличенной полосой рабочих частот.

Микрополосковая антенна с пассивными излучателями. Частотно-независимые и логопериодические антенны. Микрополосковые антенны с пластинами сложной формы. Антенны с согласующими цепями. Вибраторные и щелевые микрополосковые антенны. Антенны с круговой поляризацией.

Тема 3. Диэлектрические резонаторные антенны.

Диэлектрические резонаторные антенны. Цилиндрические диэлектрические резонаторные антенны. Широкополосные диэлектрические резонаторные антенны.

Тема 4. Микрополосковые антенны с элементами из нетрадиционных материалов.

Антенны из высокотемпературных сверхпроводящих материалов. Микрополосковые антенны на подложках из ферритовых и киральных материалов. Антенны на подложках из электромагнитных полосно-запирающих материалов.

Тема 5. Печатные антенные решетки.

Плоские фазированные антенные решетки. Многолучевые антенные решетки. Антенные решетки с частотным сканированием.

### **Содержание практических занятий по дисциплине**

Раздел 3. Интегральные устройства СВЧ.

Тема 1. Направленные ответвители и мосты.

Основные параметры направленных ответвителей. Кольцевой направленный ответвитель. Шлейфный направленный ответвитель. Ответвители на связанных линиях.

Тема 2. Делители и сумматоры мощности.

Делители мощности последовательного и параллельного типов. Кольцевой делитель мощности. Схемы сложения на направленных ответвителях.

Тема 3. Устройства управления фазой и амплитудой.

Управление фазой сигнала в тракте СВЧ. Управление амплитудой сигнала в тракте СВЧ.

Тема 4. Фильтры СВЧ.

Типы фильтров и их характеристики. Фильтр нижних частот. Фильтр верхних частот. Полосно-пропускающий фильтр. Полосно-заграждающий фильтр.

Раздел 5. Проектирование транзисторных усилителей СВЧ.

Тема 3. Расчет узкополосных усилителей графоаналитическим методом.

Режим двустороннего согласования. Режим фиксированного усиления в безусловно устойчивом усилителе. Режим фиксированного усиления в потенциально неустойчивом усилителе. Коэффициент шума усилителя.

Тема 4. Особенности построения транзисторных усилителей СВЧ.

Схемы включения транзисторов. Узкополосные усилители. Широкополосные усилители. Практические схемы транзисторных усилителей.

Раздел 6. Проектирование диодных преобразователей частоты.

Тема 2. Электрические характеристики смесителей.

Эффект прямого и обратного преобразования частоты в диодных смесителях. Эффект вторичного обратного преобразования частоты. Зеркальная частота. Спектральный состав колебаний в преобразователях частоты. Анализ одноконтурного смесителя. Узкополосный смеситель при короткозамкнутой цепи по зеркальной частоте. Топологические схемы одноконтурных смесителей. Шумовые свойства диодных преобразователей.

Тема 3. Балансные и двойные балансные смесители.

Принципиальные схемы балансных смесителей. Анализ работы балансного смесителя.

Топологическая схема балансного смесителя. Двойные балансные смесители.

Преобразователи частоты с подавлением зеркального канала.

Раздел 7. Проектирование диодных генераторов СВЧ.

Тема 2. Генераторы на диоде Ганна.

Эквивалентная схема генератора на диоде Ганна. Модель внешней цепи генератора. Режимы работы генераторов на диоде Ганна. Оптимальные параметры диода Ганна.

Тема 3. Проектирование диодных генераторов.

Стационарный режим автоколебаний. Стабильность частоты и минимальный уровень шумов. Низкочастотные колебания в цепи питания диода и способы их устранения.

Проектирование цепи СВЧ генераторов на диоде Ганна.

Тема 4. Конструирование диодных генераторов.

Крепление генераторных диодов. Цепи питания. Топология колебательной системы СВЧ.

Раздел 8. Микрополосковые антенные устройства.

Тема 1. Методы расчета микрополосковых антенн.

Модель прямоугольной микрополосковой антенны. Микрополосковая антенна, возбуждаемая микрополосковой линией. Микрополосковая антенна, возбуждаемая коаксиальной линией. Апертурно-связанная микрополосковая антенна. Электромагнитно-связанная микрополосковая антенна. Модель дисковой микрополосковой антенны.

Тема 2. Микрополосковые антенны с увеличенной полосой рабочих частот.

Микрополосковая антенна с пассивными излучателями. Частотно-независимые и логопериодические антенны. Микрополосковые антенны с пластинами сложной формы. Антенны с согласующими цепями. Вибраторные и щелевые микрополосковые антенны. Антенны с круговой поляризацией.

Тема 3. Диэлектрические резонаторные антенны.

Диэлектрические резонаторные антенны. Цилиндрические диэлектрические резонаторные антенны. Широкополосные диэлектрические резонаторные антенны.

Тема 5. Печатные антенные решетки.

Плоские фазированные антенные решетки. Многолучевые антенные решетки. Антенные решетки с частотным сканированием.

### **Содержание лабораторных занятий по дисциплине**

Раздел 3. Интегральные устройства СВЧ.

Тема 1. Направленные ответвители и мосты.

Основные параметры направленных ответвителей. Кольцевой направленный ответвитель.

Шлейфный направленный ответвитель. Ответвители на связанных линиях.

Тема 2. Делители и сумматоры мощности.

Делители мощности последовательного и параллельного типов. Кольцевой делитель мощности. Схемы сложения на направленных ответвителях.

Тема 3. Устройства управления фазой и амплитудой.

Управление фазой сигнала в тракте СВЧ. Управление амплитудой сигнала в тракте СВЧ.

Тема 4. Фильтры СВЧ.

Типы фильтров и их характеристики. Фильтр нижних частот. Фильтр верхних частот. Полосно-пропускающий фильтр. Полосно-заграждающий фильтр.

Раздел 5. Проектирование транзисторных усилителей СВЧ.

Тема 3. Расчет узкополосных усилителей графоаналитическим методом.

Режим двустороннего согласования. Режим фиксированного усиления в безусловно устойчивом усилителе. Режим фиксированного усиления в потенциально неустойчивом усилителе.

Коэффициент шума усилителя.

Тема 4. Особенности построения транзисторных усилителей СВЧ.

Схемы включения транзисторов. Узкополосные усилители. Широкополосные усилители.

Практические схемы транзисторных усилителей.

Раздел 6. Проектирование диодных преобразователей частоты.

Тема 2. Электрические характеристики смесителей.

Эффект прямого и обратного преобразования частоты в диодных смесителях. Эффект вторичного обратного преобразования частоты. Зеркальная частота. Спектральный состав колебаний в преобразователях частоты. Анализ однотактного смесителя. Узкополосный смеситель при короткозамкнутой цепи по зеркальной частоте. Топологические схемы однотактных смесителей. Шумовые свойства диодных преобразователей.

Тема 3. Балансные и двойные балансные смесители.

Принципиальные схемы балансных смесителей. Анализ работы балансного смесителя. Топологическая схема балансного смесителя. Преобразователи частоты с подавлением зеркального канала.

Раздел 8. Микрополосковые антенные устройства.

Тема 1. Методы расчета микрополосковых антенн.

Модель прямоугольной микрополосковой антенны. Микрополосковая антенна, возбуждаемая микрополосковой линией. Микрополосковая антенна, возбуждаемая коаксиальной линией. Модель дисковой микрополосковой антенны.

Тема 5. Печатные антенные решетки.

Многолучевые антенные решетки.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Проектирование микроэлектронных устройств и антенн» используются разнообразные образовательные технологии, как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивных методы обучения:

- Интерактивные лекции (раздел № 1, темы № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; раздел № 2, темы № 1, 2; раздел № 3, темы № 1, 2, 3, 4, 5; раздел № 4, темы № 1, 2, 3; раздел № 5, темы № 1, 2, 3, 4,; раздел № 6, темы № 1, 2, 3; раздел № 7, темы № 2, 3, 4; раздел № 8, темы № 1, 2, 3, 4, 5);
- Интерактивные лабораторные работы (раздел №3, темы № 1, 2, 3, 4; раздел № 5, темы № 3, 4; раздел №5; раздел №6, тема № 2, 3; раздел №8 , темы № 1, 5);
- Интерактивные практические занятия (раздел № 3, темы № 1, 2, 3, 4; раздел № 5, темы № 3, 4; раздел № 6, темы № 2, 3; раздел № 7, темы № 2, 3, 4; раздел № 8, темы № 1, 2, 3, 5);
- Интерактивная СРС (раздел № 1, темы № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; раздел № 2, темы № 1, 2; раздел № 3, темы № 1, 2, 3, 4, 5; раздел № 4, темы № 1, 2, 3; раздел № 5, темы № 1, 2, 3, 4,; раздел № 6, темы № 1, 2, 3; раздел № 7, темы № 2, 3, 4; раздел № 8, темы № 1, 2, 3, 4, 5).

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Текущий контроль успеваемости.

Рейтинг-контроль №1

1. Полосковая линия (п.7а,[1] с. 6-24).

2. Микрополосковая линия (п.7а, [1] с. 24-28).
3. Копланарная линии (п.7а, [1] с. 28-31).
4. Щелевая линии (п.7а, [1] с. 30-31).
5. Связанные полосковые линии (п.7а,[1] с. 32-34).
6. Связанные микрополосковые линии (п.7а, [1] с. 34-35).
7. Индуктивности, ёмкости, резисторы, согласованные нагрузки для интегральных схем СВЧ (п.7а, [1] с. 40-46).
8. Резонаторы на микрополосковых, щелевых и диэлектрических структурах (п.7а, [1] с. 47-53).
9. Устройства возбуждения линий передачи, переходы, короткозамыкатели (п.7а, [1] с. 53-56).
10. Направленные ответвители и мосты (п.7а, [1] с. 57-67).
11. Делители и сумматоры мощности (п.7а, [1] с. 68-75).
12. Устройства управления фазой и амплитудой сигнала (п.7а, [1] с. 76-86).
13. Фильтры СВЧ (п.7а, [1] с. 87-100).
14. Общая характеристика Microwave Office (п.7а, [3] с. 57-67).
15. Численные методы расчета в среде Microwave Office (п.7а, [3] с. 68-75).
16. Моделирование СВЧ устройств в среде Microwave Office (п.7а, [3] с. 76-86).

#### Рейтинг-контроль №2

17. Бесструктурная модель транзистора СВЧ (конспект лекций (КЛ) с. 1-3).
18. Устойчивость транзисторных усилителей СВЧ (КЛ с. 1-3).
19. Режим двухстороннего согласования в транзисторных усилителях СВЧ (КЛ с. 3-9).
20. Режим фиксированного усиления в безусловно устойчивом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 11-13).
21. Режим фиксированного усиления в потенциально неустойчивом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 13-15).
22. Согласующие цепи в микрополосковом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 15-20).
- 23.** Развязывающие и блокировочные элементы в широкополосном транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 15-20).
24. Общие положения расчета СВЧ диодных преобразователей частоты (КЛ с. 22-25).
25. Свойства одноктактных СВЧ смесителей (КЛ с. 25-31).
26. Сложные схемы СВЧ смесителей (КЛ с. 31-33).
27. Преобразование частоты с подавлением зеркального канала (КЛ с. 34-38).
28. Гетеродины СВЧ преобразователей частоты (КЛ с. 39-40).

#### Рейтинг-контроль №3

29. Генераторные диоды с междолинным электронным переходом: эквивалентная схема и

- расчет электронного режима и полного сопротивления генераторного диода (КЛ с. 58-59).
30. Расчет цепей подавления паразитных НЧ колебаний в диодных генераторах СВЧ (КЛ с. 59-60).
  31. Конструирование микрополосковых диодных генераторов СВЧ (КЛ с. 60-62).
  32. Перестройка частоты в диодных генераторах СВЧ (КЛ с. 63-64).
  33. Методы расчета микрополосковых антенн (КЛ с. 65-71).
  34. Микрополосковые антенны с увеличенной полосой рабочих частот (КЛ с. 72-79).
  35. Диэлектрические резонаторные антенны (КЛ с. 80-91).
  36. Микрополосковые антенны с элементами из нетрадиционных материалов (КЛ с. 80-86).
  37. Печатные антенные решетки (КЛ с. 86-98).

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.

Вопросы к экзамену.

1. Полосковая линия.
2. Микрополосковая линия.
3. Копланарная линии.
4. Щелевая линии.
5. Связанные полосковые линии.
6. Связанные микрополосковые линии.
7. Индуктивности, ёмкости, резисторы, согласованные нагрузки для интегральных схем СВЧ.
8. Резонаторы на микрополосковых, щелевых и диэлектрических структурах.
9. Устройства возбуждения линий передачи, переходы, короткозамыкатели.
10. Направленные ответвители и мосты.
11. Делители и сумматоры мощности.
12. Устройства управления фазой и амплитудой сигнала.
13. Фильтры СВЧ.
14. Общая характеристика Microwave Office.
15. Численные методы расчета в среде Microwave Office.
16. Моделирование СВЧ устройств в среде Microwave Office.
17. Бесструктурная модель транзистора СВЧ (конспект лекций).
18. Устойчивость транзисторных усилителей СВЧ.
19. Режим двухстороннего согласования в транзисторных усилителях СВЧ.
20. Режим фиксированного усиления в безусловно устойчивом транзисторном усилителе СВЧ.

21. Режим фиксированного усиления в потенциально неустойчивом транзисторном усилителе СВЧ.
22. Согласующие цепи в микрополосковом транзисторном усилителе СВЧ.
23. Развязывающие и блокировочные элементы в широкополосном транзисторном усилителе СВЧ.
24. Общие положения расчета СВЧ диодных преобразователей частоты.
25. Свойства одноктактных СВЧ смесителей.
26. Сложные схемы СВЧ смесителей.
27. Преобразование частоты с подавлением зеркального канала.
28. Гетеродины СВЧ преобразователей частоты.
29. Генераторные диоды с междолинным электронным переходом: эквивалентная схема и расчет электронного режима и полного сопротивления генераторного диода.
30. Расчет цепей подавления паразитных НЧ колебаний в диодных генераторах СВЧ.
31. Конструирование микрополосковых диодных генераторов СВЧ (КЛ с. 60-62).
32. Перестройка частоты в диодных генераторах СВЧ.
33. Методы расчета микрополосковых антенн.
34. Микрополосковые антенны с увеличенной полосой рабочих частот.
35. Диэлектрические резонаторные антенны.
36. Микрополосковые антенны с элементами из нетрадиционных материалов.
37. Печатные антенные решетки.

Самостоятельная работа студентов (СРС).

СРС с лекционными материалами.

1. Полосковая линия (п.7а,[1] с. 6-24).
2. Микрополосковая линия (п.7а, [1] с. 24-28).
3. Копланарная линии (п.7а, [1] с. 28-31).
4. Щелевая линии (п.7а, [1] с. 30-31).
5. Связанные полосковые линии (п.7а,[1] с. 32-34).
6. Связанные микрополосковые линии (п.7а, [1] с. 34-35).
7. Индуктивности, ёмкости, резисторы, согласованные нагрузки для интегральных схем СВЧ (п.7а, [1] с. 40-46).
8. Резонаторы на микрополосковых, щелевых и диэлектрических структурах (п.7а, [1] с. 47-53).
9. Устройства возбуждения линий передачи, переходы, короткозамыкатели (п.7а, [1] с. 53-56).
10. Направленные ответвители и мосты (п.7а, [1] с. 57-67).



11. Делители и сумматоры мощности (п.7а, [1] с. 68-75).
12. Устройства управления фазой и амплитудой сигнала (п.7а, [1] с. 76-86).
13. Фильтры СВЧ (п.7а, [1] с. 87-100).
14. Общая характеристика Microwave Office (п.7а, [3] с. 57-67).
15. Численные методы расчета в среде Microwave Office (п.7а, [3] с. 68-75).
16. Моделирование СВЧ устройств в среде Microwave Office (п.7а, [3] с. 76-86).
17. Бесструктурная модель транзистора СВЧ (конспект лекций (КЛ) с. 1-3).
18. Устойчивость транзисторных усилителей СВЧ (КЛ с. 1-3).
19. Режим двухстороннего согласования в транзисторных усилителях СВЧ (КЛ с. 3-9).
20. Режим фиксированного усиления в безусловно устойчивом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 11-13).
21. Режим фиксированного усиления в потенциально неустойчивом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 13-15).
22. Согласующие цепи в микрополосковом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 15-20).
23. Развязывающие и блокировочные элементы в широкополосном транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 15-20).
24. Общие положения расчета СВЧ диодных преобразователей частоты (КЛ с. 22-25).
25. Свойства одноктактных СВЧ смесителей (КЛ с. 25-31).
26. Сложные схемы СВЧ смесителей (КЛ с. 31-33).
27. Преобразование частоты с подавлением зеркального канала (КЛ с. 34-38).
28. Гетеродины СВЧ преобразователей частоты (КЛ с. 39-40).
29. Генераторные диоды с междолинным электронным переходом: эквивалентная схема и расчет электронного режима и полного сопротивления генераторного диода (КЛ с. 58-59).
30. Расчет цепей подавления паразитных НЧ колебаний в диодных генераторах СВЧ (КЛ с. 59-60).
31. Конструирование микрополосковых диодных генераторов СВЧ (КЛ с. 60-62).
32. Перестройка частоты в диодных генераторах СВЧ (КЛ с. 63-64).
33. Методы расчета микрополосковых антенн (КЛ с. 65-71).
34. Микрополосковые антенны с увеличенной полосой рабочих частот (КЛ с. 72-79).
35. Диэлектрические резонаторные антенны (КЛ с. 80-91).
36. Микрополосковые антенны с элементами из нетрадиционных материалов (КЛ с. 80-86).
37. Печатные антенные решетки (КЛ с. 86-98).

Контрольные работы для СРС.

## Контрольная работа № 1

### Вариант 1

1. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 7\%$ , КСВ в полосе пропускания  $< 1.4$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (вторая, третья, четвертая, т.е.  $\nu = 4$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 30$  дБ; центральная длина волны полосы пропускания  $\lambda_0 = 42.86$  см ( $f_0 = 0.7$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho} = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 97-104).
2. Рассчитать чебышевский ступенчатый переход, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 12$  см,  $\lambda_n = 9$  см – рассогласование  $|G| \leq 0.02$ . Согласуемые сопротивления:  $r=75$  Ом,  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [1] с.39-51).
3. Рассчитать трехдецибелный двухшлейфный ответвитель для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Ответвитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 75-91).

### Вариант 2

1. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 10\%$ , КСВ в полосе пропускания  $< 1.2$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (вторая, третья, четвертая, т.е.  $\nu = 4$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 20$  дБ; центральная длина волны в полосе пропускания  $\lambda_0 = 30$  см ( $f_0 = 1$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 97-134).
2. Рассчитать ступенчатый переход с максимально плоской частотной характеристикой, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 12$  см,  $\lambda_n = 9$  см – рассогласование  $|G| \leq 0.05$ . Согласуемые сопротивления:  $r=75$  Ом,  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [1] с. 70-98).
3. Рассчитать трехдецибелный трехшлейфный ответвитель для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Ответвитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 75-91).

### Вариант 3

1. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 15\%$ , КСВ в полосе пропускания  $< 1.35$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (вторая, третья, четвертая, т.е.  $\nu = 4$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 40$  дБ; центральная длина волны в полосе пропускания  $\lambda_0 = 30$  см ( $f_0 = 1$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 97-134).
2. Рассчитать чебышевский ступенчатый переход, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 10$  см,  $\lambda_n = 5$  см – рассогласование  $|\Gamma| \leq 0.05$ . Согласуемые сопротивления:  $r=100$  Ом,  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [1] с. 70-98).
3. Рассчитать гибридное кольцо с равным делением мощности для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Ответвитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 75-91).

### Вариант 4

1. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 15\%$ , КСВ в полосе пропускания  $< 1.4$ ; число заграждаемых гармоник  $P=5$  (вторая, третья, четвертая, пятая, шестая т.е.  $\nu = 6$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 40$  дБ; центральная длина волны в полосе пропускания  $\lambda_0 = 42.86$  см ( $f_0 = 0.7$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 97-134).
2. Рассчитать ступенчатый переход с максимально плоской частотной характеристикой, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 10$  см,  $\lambda_n = 5$  см – рассогласование  $|\Gamma| \leq 0.05$ . Согласуемые сопротивления:  $r=100$  Ом,  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на СПЛ ( $\varepsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [1] с. 70-98).
3. Рассчитать направленный ответвитель на связанных МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм) для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Номинальное значение переходного ослабления  $S_0 = -15$  дБ. Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 71-94).

## Вариант 5

1. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_n \geq 10\%$ , КСВ в полосе пропускания  $< 1.35$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (вторая, третья, четвертая т.е.  $\nu = 4$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 60$  дБ. Минимальная ширина полоскового проводника в звене  $W \geq 0.1$  мм. Центральная длина волны полосы пропускания  $\lambda_0 = 30$  см ( $f_0 = 1$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на МПЛ ( $\epsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление входов  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 97-134).
2. Рассчитать чебышевский ступенчатый переход, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 15$  см,  $\lambda_n = 7.5$  см – рассогласование  $|G| \leq 0.02$ . Согласуемые сопротивления:  $r=80$  Ом,  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на МПЛ ( $\epsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [1] с. 70-98).
3. Рассчитать одноступенчатый трехдецибелльный кольцевой делитель мощности для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Делитель должен быть реализован на МПЛ ( $\epsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 68-76).

## Контрольная работа № 2

### Вариант 1

1. Рассчитать проходной фазовращатель на двухшлейном трёхдецибелльной мосте, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=45^\circ$ , КСВ в диапазоне частот  $< 1.5$ ; тип диода 2A503A, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Фазовращатель должен быть реализован на МПЛ ( $\epsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).
2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 1500$  МГц, коммутируемая импульсная мощность 80 Вт; длительность импульса  $\tau_n = 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_n = 10^{-3}$  с., потери заграждения  $L_3 > 30$  дБ, потери пропускания  $L_n < 0.5$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{пор.} > 10$  мВт. Тип используемого диода 2A517A. Ограничитель должен быть реализован на МПЛ ( $\epsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. (п.7а, [4]).
3. Рассчитать двухканальный переключатель последовательного типа, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, КСВ в диапазоне частот

$<1.5$ , вносимое ослабление открытого канала  $L_{ок} < 1$ дБ, вносимое ослабление закрытого канала  $L_{зк} > 20$ дБ, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Тип используемого диода 2А503А. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).

### Вариант 2

1. Рассчитать проходной шлейфный фазовращатель, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=22,5^\circ$ , КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ ; тип диода 2А503А, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Фазовращатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).
2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 2$  ГГц, коммутируемая импульсная мощность  $80$  Вт; длительность импульса  $\tau_{и} = 1,5 \cdot 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{п} = 10^{-3}$  с., потери заграждения  $L_3 > 40$ дБ, потери пропускания  $L_{п} < 1$ дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{пор.} > 15$  Вт.. Тип используемого диода 2А517А. Ограничитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. (п.7а, [4]).
3. Рассчитать двухканальный переключатель параллельного типа, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ , вносимое ослабление открытого канала  $L_{ок} < 1$ дБ, вносимое ослабление закрытого канала  $L_{зк} > 20$ дБ, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Тип используемого диода 2А503А. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).

### Вариант 3

1. Рассчитать проходной шлейфный фазовращатель, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=22,5^\circ$ , КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ ; тип диода 2А503А, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Фазовращатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).
2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 2$  ГГц, коммутируемая импульсная мощность  $80$  Вт; длительность импульса  $\tau_{и} = 1,5 \cdot 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{п} = 10^{-3}$  с., потери заграждения  $L_3 > 40$ дБ, потери

пропускания  $L_n < 1\text{дБ}$ , порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{\text{пор.}} > 15\text{Вт.}$ , Тип используемого диода 2A517A. Ограничитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1\text{ мм}; t = 0.05\text{ мм}$ ). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50\text{ Ом}$ . (п.7а, [4]).

3. Рассчитать двухканальный переключатель параллельного типа, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, КСВ в диапазоне частот  $< 1.5$ , вносимое ослабление открытого канала  $L_{\text{ок}} < 1\text{дБ}$ , вносимое ослабление закрытого канала  $L_{\text{зк}} > 20\text{дБ}$ , волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50\text{ Ом}$ . Тип используемого диода 2A503A. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1\text{ мм}; t = 0.05\text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).

#### Вариант 4

1. Рассчитать петлевой фазовращатель, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=180^\circ$ , КСВ в диапазоне частот  $< 1.5$ ; тип диода 2A503A, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50\text{ Ом}$ . Фазовращатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1\text{ мм}; t = 0.05\text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).
2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 3\text{ ГГц}$ , коммутируемая импульсная мощность  $80\text{ Вт}$ ; длительность импульса  $\tau_{\text{и}} = 2,5 \cdot 10^{-5}\text{ с}$ , период повторения импульсов  $\tau_{\text{п}} = 10^{-3}\text{ с}$ , потери загораживания  $L_3 > 60\text{дБ}$ , потери пропускания  $L_n < 1,5\text{дБ}$ , порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{\text{пор.}} > 25\text{Вт.}$ , Тип используемого диода 2A517A. Ограничитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1\text{ мм}; t = 0.05\text{ мм}$ ). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50\text{ Ом}$ . (п.7а, [4]).
3. Рассчитать двухканальный переключатель с четвертьволновыми коммутируемыми шлейфами, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, КСВ в диапазоне частот  $< 1.5$ , вносимое ослабление открытого канала  $L_{\text{ок}} < 1\text{дБ}$ , вносимое ослабление закрытого канала  $L_{\text{зк}} > 20\text{дБ}$ , волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50\text{ Ом}$ . Тип используемого диода 2A503A. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1\text{ мм}; t = 0.05\text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).

#### Вариант 5

1. Рассчитать проходной фазовращатель, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=45^\circ$ , КСВ в

диапазоне частот  $<1.5$ ; тип диода 2A503A, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Фазовращатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).

2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 3.5$  ГГц, коммутируемая импульсная мощность  $80$  Вт; длительность импульса  $\tau_{и} = 3 \cdot 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{п} = 10^{-3}$  с., потери загораживания  $L_3 > 65$  дБ, потери пропускания  $L_{п} < 2$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{пор.} > 25$  мВт.. Тип используемого диода 2A517A. Ограничитель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. (п.7а, [4]).
3. Рассчитать двухканальный переключатель параллельного типа с четвертьволновыми коммутируемыми шлейфами, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ , вносимое ослабление открытого канала  $L_{ок} < 1$  дБ, вносимое ослабление закрытого канала  $L_{зк} > 20$  дБ, волновое сопротивление подводящих линий  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Тип используемого диода 2A503A. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а,[4]).

### Контрольная работа № 3

#### Вариант 1

1. Привести варианты и описать свойства планарных антенн с круговой поляризацией, (п.7а, [3]).
2. Описать свойства и привести пример конструкции планарных антенн с подвешенными пластинами и пространственными переходами, (п.7а, [3]).
3. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн с пластинами из высокотемпературных сверхпроводящих материалов, (п.7а, [3]).

#### Вариант 2

1. Рассмотреть вопрос увеличения полосы планарных антенн добавлением пассивных излучателей, (п.7а, [3]).
2. Рассмотреть общие принципы конструирования диэлектрических резонаторных антенн, (п.7а, [3]).

3. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн на ферритовых подложках, (п.7а, [3]).

#### Вариант 3

1. Привести варианты и описать свойства частотно-независимых и логопериодических планарных антенн, (п.7а, [3]).
2. Рассмотреть особенности конструирования цилиндрических и прямоугольных резонаторных антенн, (п.7а, [3]).
3. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн на подложках из киральных материалов, (п.7а, [3]).

#### Вариант 4

1. Привести варианты и описать свойства широкополосных планарных антенн с пластинами сложной формы, (п.7а, [3]).
2. Рассмотреть общие принципы и особенности конструирования диэлектрических резонаторных антенн с круговой поляризацией, (п.7а, [3]).
3. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн на подложках из электромагнитных полоснозагораживающих материалов, (п.7а, [3]).

#### Вариант 5

1. Описать методику и привести пример расширения полосы планарных излучателей с помощью согласующих цепей, (п.7б, [5]).
2. Рассмотреть общие принципы и особенности конструирования диэлектрических антенн с увеличенной полосой частот, (п.7б, [5]).
3. Привести варианты и пояснить принципы действия SMART-антенны с азимутальным сканированием, (п.7б, [5]).

#### Темы курсовой работы

##### Вариант 1

Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 1-3 ГГц. Интегральная схема должна быть реализована на основе МПЛ ( $\epsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).

##### Вариант 2



Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 2-4 ГГц. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1 \text{ мм}; t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.7а, [1],[4]).

#### Вариант 3

Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 3-5 ГГц. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1 \text{ мм}; t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.7а, [1],[4]).

#### Вариант 4

Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 4-6 ГГц. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1 \text{ мм}; t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.7а, [1],[4]).

#### Вариант 5

Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 5-7 ГГц. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1 \text{ мм}; t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.7а, [1],[4]).

#### Вариант 6

Рассчитать балансный диодный смеситель частоты в интегральном исполнении. Используемый режим – широкополосный. Частота сигнала  $f_c = 12 \text{ ГГц}$ ; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 1.5 \text{ ГГц}$ ; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 20\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50 \text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 6 \text{ дБ}$ . Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_r < 10 \text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1 \text{ мм}; t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).

#### Вариант 7

Рассчитать балансный диодный смеситель частоты в интегральном исполнении. Используемый режим – узкополосный. Частота сигнала  $f_c = 12 \text{ ГГц}$ ; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 1.5 \text{ ГГц}$ ; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 10\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50 \text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 6 \text{ дБ}$ .

Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_r < 1\text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1\text{ мм}; t = 0.05\text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).

#### Вариант 8

Рассчитать балансный диодный смеситель частоты в интегральном исполнении. Используемый режим – широкополосный. Частота сигнала  $f_c = 5\text{ ГГц}$ ; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 100\text{ МГц}$ ; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 20\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50\text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_n < 6\text{ дБ}$ . Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_r < 3\text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1\text{ мм}; t = 0.05\text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).

#### Вариант 9

Рассчитать балансный диодный смеситель в интегральном исполнении. Используемый режим – узкополосный. Частота сигнала  $f_c = 5\text{ ГГц}$ ; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 100\text{ МГц}$ ; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 10\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50\text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_n < 3\text{ дБ}$ . Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_r < 1\text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1\text{ мм}; t = 0.05\text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).

#### Вариант 10

Рассчитать балансный диодный смеситель в интегральном исполнении. Используемый режим – широкополосный. Частота сигнала  $f_c = 7.5\text{ ГГц}$ ; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 100\text{ МГц}$ ; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 20\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50\text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_n < 6\text{ дБ}$ . Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_r < 5\text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1\text{ мм}; t = 0.05\text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 Книгообеспеченность.

№ п/п	Название и выходные данные (автор, вид издания, издательство, издания, количество страниц)	Год издания	Количество экземпляров в библиотеке университета	Наличие в электронной библиотеки ВлГУ
1	2	3	4	5
7а	Основная литература			
1	Веселов Г.И. и др. Микроэлектронные устройства СВЧ: Уч. пособие для радиотехнических специальностей вузов \ Под ред. Г.И. Веселова. – М.: Высшая школа, 2015, -280 с.- ISBN 5-06-001170-4.	2015		<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=367972">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=367972</a>
2	Романовский М.Н. Интегральные устройства радиоэлектроники: учебное пособие / М.Н. Романовский. – Изд. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2012. – 127 с. ISBN 2227-8397.	2012		<a href="http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1_cid/68&amp;p/1_id=1107">http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1_cid/68&amp;p/1_id=1107</a>
3	Федоренко И.А. Применение пакета программ Microwave Office 2009 AWR для проектирования микрополосковых устройств СВЧ [Электронный ресурс]: учебное пособие/Федоренко И.А., Федорова Н.В.-Электрон.текстовые данные.-М.:Изд.МГТУ им.Н.Э.Баумана,2012.-60 с.- ISBN 978-5-98281-329-9.	2012		<a href="http://l.lanbook.com/books/element.php?p/1_id=58398">http://l.lanbook.com/books/element.php?p/1_id=58398</a>
7б	Дополнительная литература			
1	Плавский Л.Г. Интегральные устройства электроники: учебно-методическое пособие / Л.Г. Плавский. Новосибирск: Изд. Новосибирского Государственного технического университета, 2013. – 31 с.- ISBN 978-5-98281-329-9	2013		<a href="http://www.iprbooksshop.ru/13874.html">http://www.iprbooksshop.ru/13874.html</a>
2	Технологическая оптимизация микроэлектронных устройств СВЧ: учебное пособие / А.Г. Гудков, С.А. Мешков, М.А. Синельщикова, Е.А. Скороходов. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 44 с. ISBN 978-5-7038-3928	2014		<a href="http://iprbooksshop.ru/13969">http://iprbooksshop.ru/13969</a>

### 7.2. Периодические издания .

### 7.3. Интернет-ресурсы:

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=367972;>

[http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1\\_cid/68&p/1\\_id=1107;](http://www.lanbook.com/books/element.php?p/1_cid/68&p/1_id=1107;)

[http://l.lanbook.com/books/element.php?p/1\\_id=58398](http://l.lanbook.com/books/element.php?p/1_id=58398)

<http://www.iprbooksshop.ru/13874.html>;

<http://iprbooksshop.ru/13969>;

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеется специальное помещение для проведения занятий лекционного, практического и лабораторного типов, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, для самостоятельной работы. Лекционные и практические занятия, лабораторные работы проводятся в лаборатории Антенн и устройств СВЧ (510-3). Материально-техническое обеспечение дисциплины включает: лабораторные макеты и измерительное оборудование специализированной лаборатории (3 физических лабораторных работ): Р2-53 – 5 шт., Р4-11 – 2 шт., Г4-111Б, Г4-83, С4-27, ФК2-33; компьютеры со специализированным программным обеспечением МАКЕТ для выполнения виртуальных лабораторных работ (6 виртуальные работы).

Рабочую программу составил профессор кафедры РТ и РС \_\_\_\_\_ В.М. Гаврилов  
Рецензент Генеральный директор ОАО

“Владимирское КБ Радиосвязи” \_\_\_\_\_ А.Е.Богданов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТ и РС

Протокол № 1 от 31.08.20 года.

Заведующий кафедрой РТ и РС \_\_\_\_\_ О.Р. Никитин

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 11.03.01 Радиотехника

Протокол № 1 от 1.09.20 года.

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ О.Р.Никитин

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины Проектирование микроэлектронных устройств и антенн образовательной программы направления подготовки 11.03.01 Радиотехника,  
направленность: бакалавриат.

Номер изменения	Внесены изменения в части/ разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1	2	3	4

Зав. кафедрой