

**Министерство образования и науки 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  
« 24 » 06 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И АНТЕНН

Направление подготовки 11.03.01 Радиотехника

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля, экз./зачет(час.)
6	6/216	18	36	36	90	экзамен(36)
Итого	6/216	18	36	36	90	экзамен(36)

## **1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями освоения дисциплины «Проектирование микроволновых устройств и антенн» (ПМЭУ и А) является:

1. изучение принципов работы пассивных и активных МЭУ СВЧ, микрополосковых антенн и освоение методов их расчета, в том числе, с помощью современных вычислительных средств вычислительной техники;
2. приобретение практических навыков автоматизированного проектирования и экспериментального проектирования МЭУ СВЧ и антенн с использованием современных измерительных средств, ознакомление с основами их конструирования и технологической реализации.
3. получение углубленных знаний в области проектирования МЭУ СВЧ и антенн, связанных с разными сферами деятельности специалиста:
  - проектно-конструкторской;
  - производственно-технологической;
  - научно-исследовательской;
  - сервисно-эксплуатационной.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО**

Дисциплина Проектирование микроволновых устройств и антенн (ПМЭУ и А);

- индекс: Б1.В.ДВ.6;
- вариативная часть, дисциплины по выбору.

При освоении дисциплины ПМЭУ и А используются основные положения и знание полученные студентами при изучении предыдущих курсов: «Физика радиоволн», «Электродинамика и РРВ», «Устройства СВЧ и антенны», «Основы конструирования и проектирования РЭС». Дисциплина ПМЭУ и А дает необходимую подготовку в области конструирования интегральных схем СВЧ и антенн современных радиотехнических средств.

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ПМЭУ и А**

В результате освоения дисциплины, обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования.

1) Знать:

- принципы работы и типовые схемотехнические и конструкторские решения основных МЭУ СВЧ и антенн современных радиотехнических средств;
- методы проектирования, в том числе с помощью САПР, планарных МЭУ и антенн;
- основы технологической реализации интегральных схем СВЧ и печатных антенн;
- методы экспериментального исследования МЭУ СВЧ и антенн с помощью современной измерительной аппаратуры (ОК-7).

2) Уметь:

- технически обосновывать выбор схемотехнического и конструктивного решения при разработке МЭУ СВЧ и антенн;
- применять существующие методы расчета МЭУ СВЧ и антенн, проводить компьютерное моделирование с использованием современных специализированных программных средств;
- выполнять экспериментальные исследования МЭУ СВЧ и антенн на современной измерительной базе (ОК-7, ОПК-5).

3) Владеть:

- существующей методологией проектирования МЭУ СВЧ и антенн, в том числе с помощью современных САПР.
- типовые методиками исследования МЭУ СВЧ с помощью современной автоматизированной измерительной аппаратуры и их адаптацией для исследования направленных свойств антенн;
- типовыми приемами калибровки и настройки современной измерительной аппаратуры СВЧ (ОК-7, ОПК-5, ПК-1).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПМЭУ и А

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Раздел 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	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Линии передачи СВЧ	6	1	1	2			5		2/67	
2	Элементы и узлы интегральных схем СВЧ	6	2	1	2			5		2/67	
3	Устройства СВЧ	6	3	1	2	12		5		12/80	
4	Автоматизация проектирования устройств СВЧ	6	4	1	2			5		2/67	
5	Проектирование транзисторных усилителей СВЧ	6	5	1	2	4		5		4/57	
		6	6	1	2	4		5		4/57	Рейтинг-контроль № 1
6	Проектирование диодных преобразователей частоты	6	7	1	2			5		2/67	
		6	8	1	2			5		2/67	
		6	9	1	2			5		2/67	
7	Проектирование диодных генераторов СВЧ	6	10	1	2			5		2/67	
		6	11	1	2			5		2/67	
8	Методы расчеты микрополосковых антенн	6	12	1	2	4		5		4/57	Рейтинг-контроль № 2
9	Микрополосковые антенны с увеличенной полосой рабочих частот	6	13	1	2	4		5		4/57	
10	Микрополосковые антенны миллиметрового диапазона. Диэлектрические резонаторные антенны.	6	14	1	2			5		2/67	
		6	15	1	2			5		2/67	

11	Микрополосковые антенны с пластинами и подложками из нетрадиционных материалов.	6	16	1	2			5		2/67	
	Активные микрополосковые антенны	6	17	1	2			5		2/67	
12	Антенны с электрически управляемыми направленными свойствами	6	18	1	2	8		5		8/73	Рейтинг-контроль № 3
Всего				18	36	36		90		60/65,8	экзамен

66,7

Матрица соотношения разделов дисциплины и формируемых компетенций					
Раздел дисциплин	Трудоемкость (в часах)	Компетенции			Количество компетенций
		ОК-7	ОПК-5	ПК-1	
1	3	+			1
2	3	+			1
3	15	+	+		2
4	3	+		+	2
5	14	+	+	+	3
6	9	+	+	+	3
7	6	+		+	2
8	7	+		+	2
9	7	+		+	2
10	6	+		+	2
11	6	+	+	+	3
12	11	+	+	+	3
Вес компетенций		0,46	0,19	0,35	

<b>№ п/п</b>	<b>Темы практических занятий</b>	<b>Трудоемкость (в часах)</b>
1	Восьмиполосные устройства СВЧ	4
2	Фильтры СВЧ	4
3	Управляющие устройства СВЧ на коммутационных диодах	4
4	Транзисторные усилители СВЧ	6
5	Диодные преобразователи частоты	6
6	Генераторы на полупроводниковых диодах	6
7	Микрополосковые антенны устройства	6

<b>№ п/п</b>	<b>Темы лабораторных работ</b>	<b>Трудоемкость (в часах)</b>
1	Восьмиполосные устройства СВЧ	4
2	Фильтры СВЧ	4
3	Управляющие устройства СВЧ на коммутационных диодах	4
4	Транзисторные усилители СВЧ	8
5	Микрополосковые антенные устройства	8
6	Многолучевая антенная решетка	8

<b>№ п/п</b>	<b>Содержание РГР (номера разделов дисциплины)</b>	<b>Трудоемкость (в часах)</b>
1	№ 1, 2, 4 (5 вариантов)	10 (СРС)
2	№ 3, 4, 5 (5 вариантов)	10 (СРС)
3	№ 6, 7, 8, 9, 10, 11 (5 вариантов)	10 (СРС)

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 5.1. Активные и интерактивные формы обучения

С целью формирования и развития профессиональных навыков студентов в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения аудиторных занятий и внеаудиторной работы. Объем аудиторных занятий, проводимых с использованием интерактивных форм, составляет 36 часов лабораторного практикума, 36 часов практических занятий, 30 внеаудиторных часов для выполнения РГР.

### 5.2. Самостоятельная работа студентов

Насыщенность курса новыми для студентов материалами предполагает интенсивную самостоятельную работу, эффективному характеру которой способствуют еженедельные консультации. Самостоятельная работа включает домашнюю работу с лекционными материалами с целью расширения и углубления теоретических знаний, подготовку к практическим занятиям, подготовку к выполнению и защите лабораторных работ, выполнение заданий, предусмотренных РГР. В основе самостоятельной работы лежит изучение рекомендованной основной и дополнительной литературы. Базовые источники и пакеты прикладных программ в электронном виде включены в учебно-методический комплекс, сопровождающий дисциплину

### 5.3. Компьютерные технологии обучения

Для более эффективного освоения дисциплины студентам предоставляется электронная версия учебно-методического комплекса (УМК), включающего: конспект лекций и методические указания к ним; методические указания к практическим занятиям, лабораторному практикуму, самостоятельной работе. В УМК включены и сопровождающий дисциплину пакет прикладных программ, рабочая программа, список вопросов к экзамену. Компьютерные технологии используются на практических занятиях при подготовке к лабораторным работам, обработке экспериментальных результатов и оформлении отчётов, при выполнении заданий, предусмотренных РГР.

### 5.4. Лекции приглашённых специалистов

В рамках курса ПМЭУ и А предусмотрены встречи со специалистами и потенциальными работодателями. В частности:

- запланирована лекция доктора технических наук, профессора Московского Государственного Технического Университета (МЭИ) Сазонова Д.М.
- предполагается встреча с начальником лаборатории «ГНПП «Крона»», г. Владимир Н.Г. Соколовым и генеральным директором ОКБ «Радиосвязь» г. Владимир, А.Е. Богданов.

### 5.5. Рейтинговая система обучения

Рейтинг-контроль проводится 3 раза за семестр и предполагает суммарную оценку баллов по следующим составляющим: планомерность выполнения лабораторных работ, активность и степень освоения материала на практических занятиях, планомерность и качество выполнения РГР.

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

### 6.1. Вопросы к экзамену.

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



18. Режим фиксированного усиления в потенциально неустойчивом транзисторном усилителе СВЧ .
19. Согласующие цепи в микрополосковом транзисторном усилителе СВЧ .
20. Развязывающие и блокировочные элементы в широкополосном транзисторном усилителе СВЧ .
21. Общие положения расчета СВЧ диодных преобразователей частоты .
22. Свойства одноканальных СВЧ смесителей .
23. Сложные схемы СВЧ смесителей .
24. Преобразование частоты с подавлением зеркального канала .
25. Гетеродины СВЧ преобразователей частоты .
26. Генераторные диоды с межзащитным переносом элементов (МПД): эквивалентная схема и инженерный метод определения параметров .
27. Расчет электронного режима и полного сопротивления генераторного диода .
28. Расчет цепей подавления паразитных НЧ колебаний в диодных генераторах СВЧ .
29. Конструирование микрополосковых диодных генераторов СВЧ .
30. Перестройка частоты в диодных генераторах СВЧ .
31. Модель длинной линии для прямоугольной микрополосковой антенны .
32. Микрополосковые антенны, возбуждаемые микрополосковой линией .
33. Резонаторная модель микрополосковой линии .
34. САПР-модель прямоугольной микрополосковой антенны, возбуждаемой коаксиальной линией .
35. САПР-модель связанной микрополосковой антенны .
36. САПР-модель электромагнитно-связанной микрополосковой антенны .
37. Электродинамическая модель, учитывающая основные процессы в структуре антенны .
38. Электродинамическая модель дисковой микрополосковой антенны .
39. Порядок разработки электромагнитно-связанной микрополосковой антенны на двухслойных подложках .
40. Влияние конечных размеров экранной плоскости и подложки.
41. Увеличение полосы широкополосных антенн добавлением пассивных излучателей .

42. Частотно-независимые и логопериодические антенны .
43. Широкополосные микрополосковые антенны с пластинами сложной формы .
44. Широкополосные микрополосковые антенны с согласующими цепями .
45. Микрополосковые антенны с пространственными переходами .
46. Вибраторные и щелевые микрополосковые антенны .
47. Микрополосковые антенны с круговой поляризацией .
48. Щелевые микрополосковые антенны КВЧ диапазона .
49. Логопериодические микрополосковые антенны КВЧ диапазона .
50. Антенны КВЧ диапазона на основе Френелевских зонных пластин .
51. Диэлектрические резонаторные антенны .
52. Широкополосные диэлектрические резонаторные антенны .
53. Микрополосковые антенны с пластинами из высокотемпературных сверхпроводящих материалов .
54. Микрополосковые антенны на ферритовых подложках .
55. Микрополосковые антенны на подложках из киральных материалов .
56. Микрополосковые антенны на подложках из полосно-замирающих материалов.
57. Активные микрополосковые антенны .
58. Способы сканирования и задачи, решаемые с помощью антенных решеток .
59. Фазированные антенные решетки .
60. Управление фазированием сканирующих антенных решеток .
61. Многолучевые антенные решетки.
62. Антенные решетки с частотным сканированием .

6.2. Текущий контроль. Вопросы к рейтинг-контролю .

#### Рейтинг-контроль №1

1. Микрополосковая линии для (п.7а,[1] с. 6-24).
2. Щелевая и копланарная линии (п.7а, [1] с. 24-28).
3. Связанные линии передачи (п.7а, [1] с. 28-31).
4. Индуктивности, ёмкости, резисторы, согласованные нагрузки для интегральных схем СВЧ (п.7а, [1] с. 40-46).

5. Резонаторы на микрополосковых, щелевых и диэлектрических структурах (п.7а, [1] с. 47-53).
6. Устройства возбуждения линий передачи, переходы, короткозамыкатели (п.7а, [1] с. 53-56).
7. Направленные ответвители и мосты (п.7а, [1] с. 57-67).
8. Делители и сумматоры мощности (п.7а, [1] с. 68-75).
9. Устройства управления фазой и амплитудой сигнала (п.7а, [1] с. 76-86).
10. Фильтры СВЧ (п.7а, [1] с. 87-100).
11. Общая характеристика CST Microwave Studio(п.7а, [2] с. 57-67).
12. Численные методы расчета в среде CST Studio Suite(п.7а, [2] с. 68-75).
13. Моделирование СВЧ устройств и антенн в среде CST Suite(п.7а, [1] с. 76-86).
14. Бесструктурная модель транзистора СВЧ (конспект лекций (КЛ) с. 1-3).
15. Устойчивость транзисторных усилителей СВЧ (КЛ с. 1-3).
16. Режим двухстороннего согласования в транзисторных усилителях СВЧ (КЛ с. 3-9).
17. Режим фиксированного усиления в безусловно устойчивом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 11-13).
18. Режим фиксированного усиления в потенциально неустойчивом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 13-15).
19. Согласующие цепи в микрополосковом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 15-20).
20. Развязывающие и блокировочные элементы в широкополосном транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 15-20).

#### Рейтинг-контроль №2

1. Общие положения расчета СВЧ диодных преобразователей частоты (КЛ с. 22-25).
2. Свойства одноканальных СВЧ смесителей (КЛ с. 25-31).
3. Сложные схемы СВЧ смесителей (КЛ с. 31-33).
4. Преобразование частоты с подавлением зеркального канала (КЛ с. 34-38).
5. Гетеродины СВЧ преобразователей частоты (КЛ с. 39-40).
6. Генераторные диоды с межзащитным переносом элементов (МПД): эквивалентная схема и инженерный метод определения параметров (КЛ с. 57-56).
7. Расчет электронного режима и полного сопротивления генераторного диода (КЛ с. 58-59).
8. Расчет цепей подавления паразитных НЧ колебаний в диодных генераторах СВЧ (КЛ с. 59-60).
9. Конструирование микрополосковых диодных генераторов СВЧ (КЛ с. 60-62).

10. Перестройка частоты в диодных генераторах СВЧ (КЛ с. 63-64).
11. Модель длинной линии для прямоугольной микрополосковой антенны (п. 7а, [3] с. 5-7).
12. Микрополосковые антенны, возбуждаемые микрополосковой линией (п. 7а, [3] с. 7-8).
13. Резонаторная модель микрополосковой линии (п. 7а, [3] с. 8-11).
14. САПР-модель прямоугольной микрополосковой антенны, возбуждаемой коаксиальной линией (п. 7а, [3] с. 11-14).
15. САПР-модель связанной микрополосковой антенны (п. 7а, [3] с. 14-16).
16. САПР-модель электромагнитно-связанной микрополосковой антенны (п. 7а, [3] с. 16-19).
17. Электродинамическая модель, учитывающая основные процессы в структуре антенны (п. 7а, [3] с. 19-20).
18. Электродинамическая модель дисковой микрополосковой антенны (п. 7а, [3] с. 23-26).
19. Порядок разработки электромагнитно-связанной микрополосковой антенны на двухслойных подложках (п. 7а, [3] с. 26-27).
20. Влияние конечных размеров экранной плоскости и подложки (п. 7а, [3] с. 31-34).

### Рейтинг-контроль № 3

1. Увеличение полосы широкополосных антенн добавлением пассивных излучателей (п.7а, [3] с. 35-40).
2. Частотно-независимые и логопериодические антенны (п.7а, [3] с. 40-42).
3. Широкополосные микрополосковые антенны с пластинами сложной формы (п.7а, [3] с. 42-45).
4. Широкополосные микрополосковые антенны с согласующими цепями (п.7а, [3] с. 45-49).
5. Микрополосковые антенны с пространственными переходами (п.7а, [3] с. 49-51).
6. Вибраторные и щелевые микрополосковые антенны (п.7а, [3] с. 51-54).
7. Микрополосковые антенны с круговой поляризацией (п.7а, [3] с. 54-58).
8. Щелевые микрополосковые антенны КВЧ диапазона (п.7а, [3] с. 59-61).
9. Логопериодические микрополосковые антенны КВЧ диапазона (п.7а, [3] с. 61-61).
10. Антенны КВЧ диапазона на основе Френелевских зонных пластин (п.7а, [3] с. 61-62).
11. Диэлектрические резонаторные антенны (п.7а, [2] с. 61-67).
12. Широкополосные диэлектрические резонаторные антенны (п.7а, [2] с. 69-71).

13. Микрополосковые антенны с пластинами из высокотемпературных сверхпроводящих материалов (п.7а, [2] с. 71-74).
14. Микрополосковые антенны на ферритовых подложках (п.7а, [2] с. 74-76).
15. Микрополосковые антенны на подложках из киральных материалов (п.7а, [2] с. 76-76).
16. Микрополосковые антенны на подложках из полосно-замирающих материалов (п.7а, [2] с. 76-77).
17. Активные микрополосковые антенны (п.7а, [2] с. 77-81).
18. Способы сканирования и задачи, решаемые с помощью антенных решеток (п.7б, [5] с. 94-96).
19. Фазированные антенные решетки (п.7б, [5] с. 96-102).
20. Управление фазированием сканирующих антенных решеток (п.7б, [5] с. 102-105).
21. Многолучевые антенные решетки (п.7б, [5] с. 105-111).
22. Антенные решетки с частотным сканированием (п.7б, [5] с. 111-115).

### 6.3. Самостоятельная работа студентов (СРС).

#### 6.3.1. СРС с лекционными материалами.

Самостоятельная работа включает домашнюю работу с лекционными материалами, которые входят в состав учебно-методического комплекса, сопровождающего дисциплину. Эффективному характеру самостоятельной работы способствуют еженедельные консультации. Основное внимание в курсе лекций уделено усвоению теоретических понятий, расчетных методов и принципов конструирования современных пассивных и активных микроэлектронных устройств СВЧ на основе планарных линий передачи, включая подготовку к пользованию существующими и разрабатываемыми системами автоматизированного проектирования. Необходимые дополнительные пояснения имеют индивидуальный характер и вносятся в конспект непосредственно при СРС с лекционными материалами.

Оценка эффективности СРС по материалам курса проводится три раза за семестр в процессе рейтинг-контроля по прилагаемым структурированным вопросам .

#### Вопросы для СРС.

1. Микрополосковая линии для (п.7а,[1] с. 6-24).
2. Щелевая и копланарная линии (п.7а, [1] с. 24-28).
3. Связанные линии передачи (п.7а, [1] с. 28-31).

4. Индуктивности, ёмкости, резисторы, согласованные нагрузки для интегральных схем СВЧ (п.7а, [1] с. 40-46).
5. Резонаторы на микрополосковых, щелевых и диэлектрических структурах (п.7а, [1] с. 47-53).
6. Устройства возбуждения линий передачи, переходы, короткозамыкатели (п.7а, [1] с. 53-56).
7. Направленные ответвители и мосты (п.7а, [1] с. 57-67).
8. Делители и сумматоры мощности (п.7а, [1] с. 68-75).
9. Устройства управления фазой и амплитудой сигнала (п.7а, [1] с. 76-86).
10. Фильтры СВЧ (п.7а, [1] с. 87-100).
11. Общая характеристика CST Microwave Studio(п.7а, [2] с. 57-67).
12. Численные методы расчета в среде CST Studio Suite(п.7а, [2] с. 68-75).
13. Моделирование СВЧ устройств и антенн в среде CST Suite(п.7а, [1] с. 76-86).
14. Бесструктурная модель транзистора СВЧ (конспект лекций (КЛ) с. 1-3).
15. Устойчивость транзисторных усилителей СВЧ (КЛ с. 1-3).
16. Режим двухстороннего согласования в транзисторных усилителях СВЧ (КЛ с. 3-9).
17. Режим фиксированного усиления в безусловно устойчивом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 11-13).
18. Режим фиксированного усиления в потенциально неустойчивом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 13-15).
19. Согласующие цепи в микрополосковом транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 15-20).
20. Развязывающие и блокировочные элементы в широкополосном транзисторном усилителе СВЧ (КЛ с. 15-20).
21. Общие положения расчета СВЧ диодных преобразователей частоты (КЛ с. 22-25).
22. Свойства одноктактных СВЧ смесителей (КЛ с. 25-31).
23. Сложные схемы СВЧ смесителей (КЛ с. 31-33).
24. Преобразование частоты с подавлением зеркального канала (КЛ с. 34-38).
25. Гетеродины СВЧ преобразователей частоты (КЛ с. 39-40).
26. Генераторные диоды с межзащитным переносом элементов (МПД): эквивалентная схема и инженерный метод определения параметров (КЛ с. 57-56).
27. Расчет электронного режима и полного сопротивления генераторного диода (КЛ с. 58-59).
28. Расчет цепей подавления паразитных НЧ колебаний в диодных генераторах СВЧ (КЛ с. 59-60).
29. Конструирование микрополосковых диодных генераторов СВЧ (КЛ с. 60-62).
30. Перестройка частоты в диодных генераторах СВЧ (КЛ с. 63-64).

31. Модель длинной линии для прямоугольной микрополосковой антенны (п. 7а, [3] с. 5-7).
32. Микрополосковые антенны, возбуждаемые микрополосковой линией (п. 7а, [3] с. 7-8).
33. Резонаторная модель микрополосковой линии (п. 7а, [3] с. 8-11).
34. САПР-модель прямоугольной микрополосковой антенны, возбуждаемой коаксиальной линией (п. 7а, [3] с. 11-14).
35. САПР-модель связанной микрополосковой антенны (п. 7а, [3] с. 14-16).
36. САПР-модель электромагнитно-связанной микрополосковой антенны (п. 7а, [3] с. 16-19).
37. Электродинамическая модель, учитывающая основные процессы в структуре антенны (п. 7а, [3] с. 19-20).
38. Электродинамическая модель дисковой микрополосковой антенны (п. 7а, [3] с. 23-26).
39. Порядок разработки электромагнитно-связанной микрополосковой антенны на двухслойных подложках (п. 7а, [3] с. 26-27).
40. Влияние конечных размеров экранной плоскости и подложки (п. 7а, [3] с. 31-34).
41. Увеличение полосы широкополосных антенн добавлением пассивных излучателей (п.7а, [3] с. 35-40).
42. Частотно-независимые и логопериодические антенны (п.7а, [3] с. 40-42).
43. Широкополосные микрополосковые антенны с пластинами сложной формы (п.7а, [3] с. 42-45).
44. Широкополосные микрополосковые антенны с согласующими цепями (п.7а, [3] с. 45-49).
45. Микрополосковые антенны с пространственными переходами (п.7а, [3] с. 49-51).
46. Вибраторные и щелевые микрополосковые антенны (п.7а, [3] с. 51-54).
47. Микрополосковые антенны с круговой поляризацией (п.7а, [3] с. 54-58).
48. Щелевые микрополосковые антенны КВЧ диапазона (п.7а, [3] с. 59-61).
49. Логопериодические микрополосковые антенны КВЧ диапазона (п.7а, [3] с. 61-61).
50. Антенны КВЧ диапазона на основе Френелевских зонных пластин (п.7а, [3] с. 61-62).
51. Диэлектрические резонаторные антенны (п.7а, [2] с. 61-67).
52. Широкополосные диэлектрические резонаторные антенны (п.7а, [2] с. 69-71).
53. Микрополосковые антенны с пластинами из высокотемпературных сверхпроводящих материалов (п.7а, [2] с. 71-74).
54. Микрополосковые антенны на ферритовых подложках (п.7а, [2] с. 74-76).

55. Микрополосковые антенны на подложках из киральных материалов (п.7а, [2] с. 76-76).
56. Микрополосковые антенны на подложках из полосно-замирающих материалов (п.7а, [2] с. 76-77).
57. Активные микрополосковые антенны (п.7а, [2] с. 77-81).
58. Способы сканирования и задачи, решаемые с помощью антенных решеток (п.7б, [5] с. 94-96).
59. Фазированные антенные решетки (п.7б, [5] с. 96-102).
60. Управление фазированием сканирующих антенных решеток (п.7б, [5] с. 102-105).
61. Многолучевые антенные решетки (п.7б, [5] с. 105-111).
62. Антенные решетки с частотным сканированием (п.7б, [5] с. 111-115).

### 6.3.2. Расчетно-графические работы для СРС.

Расчетно-графические работы являются базой для оценки степени усвоения теоретического материала и совместно с другими формами учебного процесса, учитывается в рейтинг-контроле. Для каждой из 3 РГР подготовлено 5 вариантов. Каждый вариант включает требования для разработки пассивного или активного устройства СВЧ и ссылки на основную или дополнительную литературу с изложенной методикой проектирования.

### Расчетно-графическая работа № 1.

#### Вариант 1

1. Рассчитать ступенчатый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 40\%$ ; 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  $\lambda_0 = 30$  см ( $f_0 = 1$  ГГц). Фильтр должен быть реализован на СПЛ ( $\epsilon = 2.6$ ;  $tg\delta = 0.001$ ;  $b = 4$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho} = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 71-97).
2. 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).

3. Рассчитать чебышевский ступенчатый переход, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 12$  см,  $\lambda_n = 9$  см – рассогласование  $|\Gamma| \leq 0.02$ . 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).
4. 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 ступенчатый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 20\%$ ; КСВ в полосе пропускания  $< 1.3$ ; число заграждаемых гармоник  $P=5$  (вторая-шестая, т.е.  $\nu = 6$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 40$  дБ; центральная длина волны полосы пропускания  $\lambda_0 = 10$  см ( $f_0 = 3$  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. 71-97).
2. 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).
3. Рассчитать ступенчатый переход с максимально плоской частотной характеристикой, обеспечивающий в полосе пропускания:  $\lambda_{-n} = 12$  см,  $\lambda_n = 9$  см – рассогласование  $|\Gamma| \leq 0.05$ . 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).
4. 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 ступенчатый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 30\%$ ; КСВ в полосе пропускания  $< 1.5$ ; число заграждаемых гармоник  $P=3$  (четвертая, пятая, шестая, т.е.  $\nu = 6$ ); уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 60$  дБ; центральная частота полосы пропускания  $f_0 = 0.7$  ГГц ( $\lambda_0 = 42.86$  см). 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. 71-97).
2. 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  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 97-134).
3. 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,  $\tilde{\rho}_0 = 50$  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).
4. 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  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 75-91).

#### Вариант 4

1. Рассчитать ступенчатый фильтр гармоник для подавления побочных излучений, удовлетворяющий следующим техническим условиям : полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 20\%$  ;КСВ в полосе пропускания  $<1.3$ ;полоса подавления побочных излучений  $f_{31} - f_{32} = 1.3f_2 - 4.5f_2$ , где  $f_{31}, f_{32}$  –соответственно граничные частоты полосы заграждения,  $f_2$ -наивысшая частота полосы пропускания; уровень заграждения гармоник  $a_3 \geq 40$  дБ ; центральная частота полосы пропускания  $f_0 = 0.7$  ГГц ( $\lambda_0 = 42.86$ см). 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. 71-97).
2. 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  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 97-134).
3. 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,  $\tilde{\rho}_0 = 50$  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).
4. 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  $C_0 = -15$ дБ. Волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 71-94).

## Вариант 5

1. Рассчитать ступенчатый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 40\%$ ; 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  $\lambda_0 = 30$  см ( $f_0 = 1$  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. 71-97).
2. Рассчитать шлейфовый фильтр гармоник, имеющий следующие параметры: полоса пропускания  $V_{\text{п}} \geq 10\%$ , 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 ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм). Волновое сопротивление входов  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом, (п.7а, [1] с. 97-134).
3. 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,  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом. Переход должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [1] с. 70-98).
4. Рассчитать одноступенчатый трехдецибельный кольцевой делитель мощности для работы в диапазоне:  $f_{-n} = 3$  ГГц,  $f_n = 4$  ГГц. Делитель 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. 68-76).

## Расчетно-графическая работа № 2

### Вариант 1

1. Рассчитать проходной фазовращатель на двухшлейном трёхдецибельной 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 ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).
2. Рассчитать ограничитель мощности с параметрами: рабочая частота  $f_0 = 1500$  МГц, коммутируемая импульсная мощность 80 Вт; длительность импульса  $\tau_{и} = 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{п} = 10^{-3}$  с., потери загораживания  $L_3 > 30$  дБ, потери пропускания  $L_{п} < 0.5$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{пор.} > 10$  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 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 2A503A. Переключатель должен быть реализован на МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).
4. Рассчитать транзисторный усилитель СВЧ в интегральном исполнении. Тип используемого транзистора 3П326-А. Рабочий диапазон частот 1-3 ГГц. Интегральная схема должна быть реализован на основе 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 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  $f_0 = 2$  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 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, 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]).
4. 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 ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [1],[4]).

### Вариант 3

1. Рассчитать проходной фазовращатель на переключаемых линиях, имеющий следующие параметры: рабочий диапазон частот 3.4-3.55 ГГц, фазовый сдвиг на средней частоте  $\Delta\varphi=90^\circ$ , КСВ в диапазоне частот  $<1.5$ ; тип диода 2A503A, волновое сопротивление подводящих линий  $\tilde{\rho}_0 = 50$  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 загораживания  $L_3 > 40$  дБ, потери пропускания  $L_{п} < 1$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{пор.} > 15$  Вт., 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  $\tilde{\rho}_0 = 50$  Ом. (п.7а, [4]).
3. Рассчитать двухканальный переключатель параллельно-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  $\tilde{\rho}_0 = 50$  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]).
4. 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 ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [1],[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  $\widetilde{\rho}_0 = 50$  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  $f_0 = 3$  ГГц, коммутируемая импульсная мощность  $80$  Вт; длительность импульса  $\tau_{и} = 2,5 \cdot 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{п} = 10^{-3}$  с., потери загораживания  $L_3 > 60$  дБ, потери пропускания  $L_{п} < 1,5$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{пор.} > 25$  Вт., 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 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]).
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 ( $\varepsilon = 9.6; tg\delta = 0.0001; h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [1],[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  $\tau_{\text{и}} = 3 \cdot 10^{-5}$  с, период повторения импульсов  $\tau_{\text{п}} = 10^{-3}$  с., потери загараждения  $L_3 > 65$  дБ, потери пропускания  $L_{\text{п}} < 2$  дБ, порог ограничения по непрерывной мощности  $P_{\text{пор.}} > 25$  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  $L_{\text{ок}} < 1$  дБ, вносимое ослабление закрытого канала  $L_{\text{зк}} > 20$  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]).
4. 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 ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [1],[4]).

### Расчетно-графическая работа № 3

#### Вариант 1

1. Рассчитать балансный диодный смеситель частоты в интегральном исполнении. Используемый режим – широкополосный. Частота сигнала  $f_c = 12$  ГГц; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 1.5$  ГГц; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 20\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50 \text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 6$  дБ. Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_r < 10 \text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализована на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1 \text{ мм}$ ;  $t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).
2. Привести варианты и описать свойства планарных антенн с круговой поляризацией, (п.7а, [3]).
3. Описать свойства и привести пример конструкции планарных антенн с подвешенными пластинами и пространственными переходами, (п.7а, [3]).
4. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн с пластинами из высокотемпературных сверхпроводящих материалов, (п.7а, [3]).

## Вариант 2

1. Рассчитать балансный диодный смеситель частоты в интегральном исполнении. Используемый режим – узкополосный. Частота сигнала  $f_c = 12$  ГГц; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 1.5$  ГГц; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 10\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50 \text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 6$  дБ. Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_{\text{г}} < 1 \text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализована на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $\text{tg} \delta = 0.0001$ ;  $h = 1 \text{ мм}$ ;  $t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).
2. Рассмотреть вопрос увеличения полосы планарных антенн добавлением пассивных излучателей, (п.7а, [3]).
3. Рассмотреть общие принципы конструирования диэлектрических резонаторных антенн, (п.7а, [3]).
4. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн на ферритовых подложках, (п.7а, [3]).

### Вариант 3

1. Рассчитать балансный диодный смеситель частоты в интегральном исполнении. Используемый режим – широкополосный. Частота сигнала  $f_c = 5$  ГГц; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 100$  МГц; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 20\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50 \text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 6$  дБ. Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_{\text{г}} < 3 \text{ мВт}$ . Интегральная схема должна быть реализована на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $\text{tg} \delta = 0.0001$ ;  $h = 1 \text{ мм}$ ;  $t = 0.05 \text{ мм}$ ), (п.7а, [4]).
2. Привести варианты и описать свойства частотно-независимых и логопериодических планарных антенн, (п.7а, [3]).
3. Рассмотреть особенности конструирования цилиндрических и прямоугольных резонаторных антенн, (п.7а, [3]).
4. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн на подложках из киральных материалов, (п.7а, [3]).

## Вариант 4

1. Рассчитать балансный диодный смеситель в интегральном исполнении. Используемый режим – узкополосный. Частота сигнала  $f_c = 5$  ГГц; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 100$  МГц; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 10\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50$  Ом; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 3$  дБ. Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_{\text{г}} < 1$  мВт. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\varepsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).
2. Привести варианты и описать свойства широкополосных планарных антенн с пластинами сложной формы, (п.7а, [3]).
3. Рассмотреть общие принципы и особенности конструирования диэлектрических резонаторных антенн с круговой поляризацией, (п.7а, [3]).
4. Рассмотреть свойства и особенности конструирования планарных антенн на подложках из электромагнитных полосообразующих материалов, (п.7а, [3]).

## Вариант 5

1. Рассчитать балансный диодный смеситель в интегральном исполнении. Используемый режим – широкополосный. Частота сигнала  $f_c = 7.5$  ГГц; промежуточная частота  $f_{\text{ПР}} = 100$  МГц; КСВ по входу и выходу  $< 1.5$ ; полоса пропускания  $> 20\%$ ; сопротивление источника сигнала и нагрузки  $50 \text{ Ом}$ ; потери преобразования  $L_{\text{п}} < 6$  дБ. Смеситель должен обеспечивать максимальное подавление комбинационных составляющих при мощности гетеродина  $P_r < 5$  мВт. Интегральная схема должна быть реализован на основе МПЛ ( $\epsilon = 9.6$ ;  $tg\delta = 0.0001$ ;  $h = 1$  мм;  $t = 0.05$  мм), (п.7а, [4]).
2. Описать методику и привести пример расширения полосы планарных излучателей с помощью согласующих цепей, (п.7б, [5]).
3. Рассмотреть общие принципы и особенности конструирования диэлектрических антенн с увеличенной полосой частот, (п.7б, [5]).
4. Привести варианты и пояснить принципы действия SMART-антенны с азимутальным сканированием, (п.7б, [5]).

## 7.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПМЭУ и А

### а) 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. (Библиотека ВлГУ)
2. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio.-М. Издательство МЭИ, 2012, -155с.
3. Моделирование антенн в режиме излучения и рассеяния в пакетах CST STUDIO, HFSS, FEKO и узкоспециализированных программах. Метод. Пособие./Юриев О.А. и др./-Минск. БГУИР. 2012.-62с.
4. Федоренко И.А.Применение пакета программ Microwave Office 2009 AWR для проектирования микрополосковых устройств СВЧ [Электронный ресурс ]: учебное пособие/Федоренко И.А.,Федоркова Н.В.-Электрон.текстовые данные.-М.:Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана,2012.-60 с.

### б) Дополнительная литература:

1. 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.
2. Романовский М.Н. Интегральные устройства радиоэлектроники: учебное пособие / М.Н. Романовский. – Изд. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012,-288с.
3. Плавский Л.Г. Интегральные устройства электроники: учебно-методическое пособие / Л.Г. Плавский. Новосибирск: Изд. Новосибирского Государственного технического университета, 2013. – 31 с.
4. Соколова Ж.М. Приборы и устройства СВЧ, КВЧ и ГВЧ диапазонов: учебное пособие. – Томск: Томский гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. – 283 с.
5. Анализ и оптимизации СВЧ-структур с помощью HFSS [электронный ресурс] /Банков С.Е., Курушин А.А., Разевиг В.Д.-М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2012.-216 с.

в) Методическая литература

1. Гаврилов В.М., Садовский Н.В., Ситнянский Б.Д. Расчёт на ЭВМ параметров полосовых линий и фазированных антенных решёток. Метод. указания по применению прикладных программ. Владимир, 2012,- 33 с.
2. Гаврилов В.М. Лабораторные работы по курсу «Проектирование МЭУ и антенн». Владимир, 2014.-100 с.
3. Гаврилов В.М. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Проектирование МЭУ и антенн». Владимир, 2014. -15 с.
4. Гаврилов В.М. Методические указания к СРС по курсу «Проектирование МЭУ и антенн». Владимир, 2014. -16 с.
5. Гаврилов В.М. Методические указания к лекциям по курсу «Проектирование МЭУ и антенн». Владимир, 2014. -5 с.

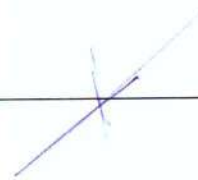


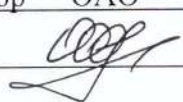
## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПМЭУ и А

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

- лабораторные макеты и измерительное оборудование специализированной лаборатории (510-3) по дисциплине ПМЭУ и А: Р2-53 – 5 шт., Р4-11 – 2 шт., Г4-111Б, Г4-83, С4-27, ФК2-33;
- компьютеры со специализированным программным обеспечением (2 шт.);
- кафедральные мультимедийные средства (ауд. 301-3, 335-3);
- набор слайдов, сопровождающих лекционный материал (188 шт.).

Программа составлена в соответствии с требованием ФГОС ВО по направлению 11.03.01 Радиотехника.

Рабочую программу составил профессор кафедры РТ и РС  В.М. Гаврилов

Рецензент(ы) Генеральный директор ОАО “Владимирское КБ Радиосвязи”  
 А.Е. Богданов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТ и РС

Протокол № 23 от 26.06.18 года.

Заведующий кафедрой РТ и РС  О.Р. Никитин

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления \_\_\_\_\_

Протокол № 10 от 29.06.18 года.

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

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

Рабочая программа одобрена на 19/20 учебный год

Протокол заседания кафедры № 13 от 26.06.19 года

Заведующий кафедрой  *В.В. Жукович*

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 \_\_\_\_\_

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

Институт информационных технологий и радиоэлектроники

Кафедра радиотехники и радиосистем

Актуализированная  
рабочая программа  
рассмотрена и одобрена  
на заседании кафедры  
протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ 2019 г.

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(подпись, ФИО)

**Актуализация рабочей программы дисциплины**

---

(наименование дисциплины)

Направление подготовки

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования

Форма обучения

Рабочая программа учебной дисциплины актуализирована в части рекомендуемой литературы.

Актуализация выполнена: \_\_\_\_\_  
(подпись, должность, ФИО)

а) основная литература: \_\_\_\_\_ (не более 5 книг)

б) дополнительная литература: \_\_\_\_\_

в) периодические издания: \_\_\_\_\_

г) интернет-ресурсы: \_\_\_\_\_