

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
радиотехники и компьютерных
технологий**

А.В. Дворкович

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	СВЧ устройства и основы их компьютерного моделирования
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра радиофизики и технической кибернетики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 45 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Ю.Б. Корчемкин, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры радиофизики и технической кибернетики 09.04.2020

Аннотация

В курсе изучаются СВЧ устройства и их элементы, входящие в состав современных систем радиолокации и связи, в том числе в их приемо-передающие и антенно-фидерные устройства. Рассматриваются характеристики волноводных, коаксиальных и полосковых линий передачи и элементов на их основе. Для описания характеристик СВЧ многополюсников излагаются теория и свойства волновых матриц.

В лекциях большое внимание уделяется компьютерному моделированию устройств. Студенты знакомятся с математическими основами алгоритмов и интерфейсами современных компьютерных комплексов расчетов устройств: «CST MICROVAVE STUDIO» и «HFSS». Используя компьютерные 3D модели и проекты «CST MICROVAVE STUDIO» изучаются функционирование, характеристики и конструкции большого числа СВЧ устройств. Для углубленного изучения возможностей компьютерных программ предлагаются индивидуальные задания для компьютерного моделирования устройств или совместная с преподавателем разработка электродинамической модели по тематике НИР студента.

В заключительной части лекций студенты знакомятся с конструкциями и характеристиками ферритовых и коммутационных полупроводниковых СВЧ устройств, основываясь на физическом и электродинамическом описаниях их функционирования.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

изучение основ теории и техники СВЧ устройств и современных методов их компьютерного проектирования.

Задачи дисциплины

- приобретение теоретических знаний о назначении, схемах построения, конструкции, основных характеристиках СВЧ устройств, применительно к системам радиолокации и радиосвязи;
- освоение базовых знаний о физических процессах обеспечивающих функционирование СВЧ устройств;
- освоение и приобретение навыков современных методов компьютерного моделирования устройств, оптимизации их конструкций и характеристик.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или)	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности

обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ типы линий передачи и их характеристики,
- ☐ структуру и типы волн в линиях передачи,
- ☐ основы матричной теории СВЧ цепей, определение и свойства матрицы рассеяния,
- ☐ трансформирующие свойства отрезка линии передачи,
- ☐ теоретические основы и структуру программных комплексов компьютерного моделирования СВЧ устройств,
- ☐ основные типы, характеристики и область применения волноводных, полосковых, ком-мутационных полупроводниковых, ферритовых пассивных СВЧ устройств.

уметь:

- ☐ пользоваться своими знаниями об устройствах СВЧ для разработки радиолокационных и комплексов и устройств радиосвязи;
- ☐ производить численные оценки характеристик устройств по порядку величины;
- ☐ применять для анализа характеристик СВЧ устройств матричную теорию;
- ☐ выбирать метод компьютерного моделирования характеристик СВЧ устройств,
- ☐ строить компьютерные модели простых (1-4-х портовых) СВЧ устройств, проводить численный анализ и оптимизацию их характеристик.

владеть:

- ☐ определением типов и основных характеристик СВЧ устройств,
- ☐ аппаратом и теорией матричного описания характеристик СВЧ устройств;
- ☐ методами построения компьютерных моделей устройств СВЧ,
- ☐ навыками численного анализа и оптимизации характеристик устройств.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Коммутационные полупроводниковые СВЧ устройства	7			7
2	Линии передачи и их характеристики	8			8
3	Основы теории СВЧ - цепей	8			8
4	Программные комплексы моделирования СВЧ устройств	8			8
5	Ферритовые устройства СВЧ	6			7
6	Элементы СВЧ-трактов	8			7
Итого часов		45			45
Подготовка к экзамену		0 час.			

Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.
--------------------	--------------------

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 8 (Весенний)

1. Коммутационные полупроводниковые СВЧ устройства

5.1. Общая характеристика полупроводниковых устройств и элементов.

5.2. Схемы построения и характеристики устройств

2. Линии передачи и их характеристики

1.1. Регулярные линии и нормальн

1.2 Прямоугольные волноводные волны

1.3. Затухание в линиях передачи

1.4 Круглые волноводы

1.5. Коаксиальный волновод

1.7. Полосковые линии

3. Основы теории СВЧ - цепей

2.1. Описание процессов в линиях передачи

2.2. Трансформирующие свойства отрезка линии передачи.

2.3. Матричное описание многополюсников СВЧ

2.4. Матрицы простейших многополюсников

4. Программные комплексы моделирования СВЧ устройств

3.1. Алгоритмы электродинамического 3D моделирования на основе сеточных методов.

3.2. Среда моделирования CST STUDIO SUITE.

3.3. Программный комплекс HFSS фирмы Ansoft

5. Ферритовые устройства СВЧ

6.1. Свойства намагниченного феррита на СВЧ

6.2. Распространение волн в средах с намагниченным ферритом

6.3. Типы и конструкции ферритовых устройств

6. Элементы СВЧ-трактов

4.1. Соединительные элементы

4.2. Волноводные элементы и устройства

4.3. Полосковые устройства

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

компьютер с программным обеспечением и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Устройства СВЧ и антенны . Д.И. Воскресенский, В.А.Гостюхин, В.М. Максимов. Учебник для ВУЗОВ, под ред. Д.И. Воскресенского, изд. «Радиотехника», 2016 г., 560 с.
2. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. Григорьев А.Д., Банков С.Е., Курушев А.А.. М. Солон-Пресс, 2009 г., 736 с.
3. Д.М.Сазонов и др. Устройства СВЧ, М., "Высшая школа", 1981, 296 с.

Дополнительная литература

1. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microvave Studio. КурушинА.А., Пластиков А.Н., изд. МЭИ, Москва 2010 г., 160 с.
2. Волноводные устройства сантиметровых и миллиметровых волн, Шаров Г.А. Москва, Горячая линия –Телеком, 2016г. :39с.
3. Пассивные ферритовые и полупроводниковые устройства СВЧ. Ю.Б. Корчемкин (Учебное пособие). МФТИ, 1984 г, 136 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. www.simulia.com (CST Studio Suite)
2. www.eurointech.ru .

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Программный комплекс CST MICROWAVE STUDIO .

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Успешное освоение курса «СВЧ устройства и основы их компьютерного моделирования» требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, пособиям, учебной и научной литературе),
- компьютерное моделирование СВЧ устройств с помощью программного комплекса CST MICROWAVE STUDIO, включающее расчет характеристик устройства с использованием одной из моделей (по согласованию с преподавателем), представленных в качестве примера в программном комплексе CST STUDIO SUITE.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра радиофизики и технической кибернетики
курс:	4
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	Ю.Б. Корчемкин, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «СВЧ устройства и основы их компьютерного моделирования» обучающийся должен:

знать:

- ☐ типы линий передачи и их характеристики,
- ☐ структуру и типы волн в линиях передачи,
- ☐ основы матричной теории СВЧ цепей, определение и свойства матрицы рассеяния,
- ☐ трансформирующие свойства отрезка линии передачи,
- ☐ теоретические основы и структуру программных комплексов компьютерного моделирования СВЧ устройств,
- ☐ основные типы, характеристики и область применения волноводных, полосковых, ком-мутационных полупроводниковых, ферритовых пассивных СВЧ устройств.

уметь:

- ☐ пользоваться своими знаниями об устройствах СВЧ для разработки радиолокационных и комплексов и устройств радиосвязи;
- ☐ производить численные оценки характеристик устройств по порядку величины;
- ☐ применять для анализа характеристик СВЧ устройств матричную теорию;
- ☐ выбирать метод компьютерного моделирования характеристик СВЧ устройств,
- ☐ строить компьютерные модели простых (1-4-х портовых и двухпортовых) СВЧ устройств, проводить численный анализ и оптимизацию их характеристик.

владеть:

- ☐ определением типов и основных характеристик СВЧ устройств,
- ☐ аппаратом и теорией матричного описания характеристик СВЧ устройств;
- ☐ методами построения компьютерных моделей устройств СВЧ,
- ☐ навыками численного анализа и оптимизации характеристик устройств.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Домашние задания по анализу конструкций и характеристик СВЧ устройств с использованием заданных преподавателем следующих индивидуальных CST MICROVAVE STUDIO проектов:

- волноводные изгибы и уголки,
- диэлектрические поляризаторы,
- волноводный 3dB мост,
- волноводный согласованный переход,
- волноводный направленный ответвитель,
- волноводный Е-Н тройник,
- волноводный фильтр,
- фильтр на диэлектрических резонаторах,
- коаксиально- волноводный переход,
- полосковый квадратный 3дБ мост,
- переход от компланарной к микрополосковой линии,
- полосковый делитель 1:2,
- направленный ответвитель на полосковых линиях.

За каждое задание студент получает оценку в соответствии с таблицей критерия оценивания.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в 8-ом семестре:

1. Прямоугольные волноводы. Затухание в линиях передачи.
 2. Круглые волноводы. Структура и характеристики нормальных волн. Вращающееся поле основной волны. Затухание волн H₁₁ и H₀₁.
 3. Коаксиальный волновод. Волна ТЕМ и ее структура поля. Потенциальность поля, волны напряжения и тока, телеграфные уравнения, волновое сопротивление.
 4. Конструкции и типы полосковых линий. Волновое сопротивление несимметричной полосковой линии.
 5. Описание процессов в линиях передачи в матричной теории СВЧ-цепей. Нормированные напряжения падающей и отраженной волн. Коэффициент отражения, коэффициент стоячей волны. Нормированный ток. Связь между нормированными напряжениями, током и переносимой волной мощностью.
 6. Трансформирующие свойства отрезка линии передачи. Реактивные шлейфы. Четверть волновой трансформатор. Согласование линий с разным волновым сопротивлением.
 7. Матрицы рассеяния, сопротивлений и проводимостей многополюсников СВЧ. Связь между различными типами матриц.
 8. Свойства волновых матриц. Матрицы многополюсников без потерь и взаимных многополюсников. Матрица рассеяния соединения двух многополюсников.
 9. Матрицы простейших многополюсников. Параллельное и последовательное включение сопротивлений в линию передачи, скачек волнового сопротивления. Матрица передачи четырехполюсника.
 10. Алгоритмы электродинамического моделирования СВЧ устройств на основе сеточных методов.
 11. Состав и общая характеристика среды моделирования CST STUDIO SUITE. Характеристика объектов и задач моделирования решаемых программными комплексами CST MICROWAVE STUDIO и CST DESIGN STUDIO.
 12. Состав и общая характеристика программного комплекса HFSS фирмы Ansoft.
- Особенности пользовательского интерфейса

13. Соединительные элементы волноводов и коаксиальных кабелей. Компьютерная модель и характеристики дроссельного фланца.
14. Конструкции и характеристики волноводных изгибов, скруток и нагрузок. Особенности их компьютерных моделей.
15. Конструкции и характеристики волноводных согласующих и коаксиально-волноводных переходов. Особенности их компьютерных моделей.
16. Конструкции и характеристики волноводных поляризаторов и поляризационных разделителей. Особенности их компьютерных моделей.
17. Конструкции и характеристики волноводного тройника и направленного ответвителя. Особенности их компьютерных моделей.
18. Конструкции и характеристики волноводного фильтра на диэлектрических резонаторах и полоскового фильтра нижних частот. Особенности их компьютерных моделей.
19. Конструкции и характеристики полоскового широкополосного делителя 1:2 и полоскового направленного ответвителя на связанных линиях. Особенности их компьютерных моделей.
20. Конструкции и характеристики полоскового перехода от компланарной к несимметричной линии и кольцевого резонатора. Особенности их компьютерных моделей.
21. Общая характеристика коммутационных полупроводниковых устройств и элементов. Конструкция и эквивалентные параметры pin-диодов. Качество коммутационных диодов.
22. Схемы построения и характеристики полупроводниковых переключателей и фазовращателей
23. Свойства намагниченного поликристаллического феррита на СВЧ. Тензор магнитной проницаемости.
24. Распространение волн в средах с намагниченным ферритом. Явление невзаимного фазового сдвига и невзаимного поглощения в прямоугольном волноводе.
25. Конструкции и характеристики ферритовых вентилях и циркуляторов.
26. Конструкции и характеристики фазовращателей с продольно и поперечно-намагниченным ферритом.

Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку ответов по билету. Опрос обучающегося по результатам компьютерного моделирования и по вопросам билета не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также персональным компьютером с установленным программным комплексом CST MICROWAVE STUDIO.