

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра интеллектуальных информационных радиофизических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

(подпись) И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
«Устройства сверхвысокой частоты (СВЧ)»**

Направление подготовки
«11.03.01 Радиотехника»

Направленность (профиль)
«00 Радиотехника»

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «25» апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью преподавания дисциплины является подготовка специалистов в области создания и обеспечения функционирования устройств СВЧ и антенн, основанных на использовании электромагнитных колебаний и волн, и предназначенных для передачи, приема и обработки информации.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- – получение необходимых знаний по физическим и теоретическим основам построения и функционирования устройств СВЧ;
- – получение необходимых знаний по методам расчета основных параметров и характеристик устройств СВЧ, по основам их проектирования.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Устройства сверхвысокой частоты (СВЧ)» относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Дисциплина основывается на общих разделах высшей математики и на соответствующих разделах физики, электродинамики и распространения радиоволн.

Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины «Устройства сверхвысокой частоты (СВЧ)», используются обучаемыми при изучении дисциплин цикла «Антенны», «Практикум по устройствам СВЧ и антеннам», а также в научно-исследовательской работе.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
ПК-1 Способен осуществлять сбор и обработку исходных данных для решения поставленных профессиональных задач в области радиофизики, осуществлять поиск, анализ и выбор методов их решения	ИД_ПК-1.1 Осуществляет сбор и обработку исходных данных для решения поставленных профессиональных задач	1. Перечислить основные параметры линий передач СВЧ диапазона. 2. Дать определение многополюсника СВЧ. 3. Перечислить матрицы преобразования, имеющие наибольшее распространение. 4. Перечислить основные радиотехнические характеристики и параметры антенн. Дать определения этих параметров. 5. Знать области применения различных типов антенн.
	ИД_ПК-1.2 Проводит анализ и обоснованный выбор методов решения профессиональных задач в области радиотехники	1. Знать физический смысл элементов наиболее распространенных матриц преобразования 2. Знать области применения различных типов антенн. 3. Назвать частотные диапазоны для работы антенн различных типов. 4. Назвать частотные диапазоны для работы антенн различных типов.

4. Объём, структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачёт. ед., **72** акад. час.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоёмкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение	6	1			1		3,7	
2	Линии передачи и элементы СВЧ-тракта	6	4	4	5	1		15	Устный опрос по теме, защита лабораторных работ.
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>							2	
3	Матричное описание многополюсников СВЧ	6	4	5	4	1		10	Устный опрос по теме, защита лабораторных работ.
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>							2	
4	Методы анализа и синтеза устройств СВЧ	6	4	4	4	1		10	Устный опрос по теме, защита лабораторных работ.
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>							2	
5	Управляющие устройства СВЧ	6	4	4	4	1		10	Устный опрос по теме, защита лабораторных работ.
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>							2	
	Промежуточная аттестация	6					0,3		Зачёт
	ИТОГО	6	17	17	17	5	0,3	15,7	72
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>							8	

Примечание: объём (в часах) самостоятельной работы в рамках установленного данной РПД количества часов, выполняемой студентом с применением ЭО и ДОТ (в ЭУК «Антенны и устройства СВЧ» в LMS Moodle, определяется каждым студентом в зависимости от уровня его подготовки и способов выполнения данного вида работ.

Содержание разделов дисциплины

1. Введение

Классификация устройств СВЧ и антенн. История развития.

2. Линии передачи и элементы СВЧ-тракта

- Основные параметры линии передачи (дисперсионная характеристика, затухание, электропрочность и др.). Классификация линий и краткий обзор по диапазонам волн. Единая математическая модель для отрезка линии передачи.

Трансформация сопротивлений. Круговая номограмма. Расчет согласующих цепей. Типовые элементы трактов различных диапазонов волн (переходы, повороты, стыковочные узлы, нерегулярности, отражающие препятствия и др.). Отрезок направляющей структуры как резонатор. Полые резонаторы: прямоугольный и круглый, коаксиальный и квазистационарный (укороченный). Потери в резонаторах. Собственная, внешняя и нагруженная добротности резонатора. Способы возбуждения и выполнения элементов связи. Представление о методах измерений параметров резонаторов. Применения резонаторов. Фильтры СВЧ.

3. Матричное описание многополюсников СВЧ

- Виды матриц - рассеяния, сопротивлений, проводимостей, передачи. Соотношения между матрицами. Способы измерений элементов матриц (включая автоматизированные). Ограничения на элементы матриц, налагаемые условиями взаимности, симметрии и отсутствия потерь. Составление матриц на примерах тройников, балансных устройств (двойной Т-мост, шелевой мост) и циркуляторов.

4. Методы анализа и синтеза устройств СВЧ

- Принцип декомпозиции. Метод синфазного и противофазного возбуждения для симметричных восьмиполюсников. Анализ и синтез направленных ответвителей (связанные линии, гибридное кольцо, квадратный мост). Алгоритмизация проблемы анализа и синтеза многополюсников СВЧ и принципы построения соответствующих САПР для отдельных составных узлов СВЧ и для сложных интегрированных трактов. Интегральные схемы СВЧ.

5. Управляющие устройства СВЧ

- Классификация управляющих устройств. Фазовращатели и коммутаторы на управляемых PIN-диодах. Теоретические ограничения на достижимые параметры коммутирующих устройств. Ферритовые приборы - вентили, циркуляторы, фазовращатели. Коммутирующие устройства, использующие новые физические принципы (сегнетоэлектрики, стрикционные материалы, приборы на основе высокотемпературной сверхпроводимости и т.д.).

Лабораторный практикум

1. Лабораторная работа №1. Измерение параметров диэлектриков на СВЧ волноводными методами.
2. Лабораторная работа №2. Определение полных сопротивлений и измерение длины волны в волноводе.
3. Лабораторная работа №3. Многополюсники СВЧ
4. Лабораторная работа №4. Исследование структуры электромагнитного поля в волноводе

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения проводятся практические и лабораторные занятия, в ходе которых используются следующие типы занятий и образовательные технологии.

Вводная лекция – даёт первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных учёных, излагаются перспективные

направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также даётся анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция с элементами лекции-беседы – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Задействованы:

- интерактивная лекция.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению знаний, полученных на лекциях.

Задействованы:

- решение задач;
- коллективная мыслительная деятельность, в т.ч. мозговой штурм;
- анализ конкретных ситуаций.

Лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов.

Задействованы:

- допуск к выполнению экспериментальных исследований,
- коллективная работа в ходе выполнения лабораторной работы,
- командная защита отчёта.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

Асинхронная консультация (в рамках онлайн курса) – занятие по окончании модуля, на котором проводится консультация по изученному материалу, формам заданий текущего контроля, ответы на вопросы студентов по дисциплине.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Антенны и устройства СВЧ» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

- для формирования текстов материалов для промежуточной и текущей аттестации программы Microsoft Office,
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader.
- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ– Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Шостак, А. С. Антенны и устройства СВЧ : учебное пособие / А. С. Шостак. — Москва : ТУСУР, [б. г.]. — Часть 1 : Устройства СВЧ — 2012. — 124 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/5439>.
2. Устройства СВЧ и антенны: метод. Указания по выполнению лабораторных работ, Ярославль, ЯрГУ, 2008. 48 с.

б) дополнительная литература:

- Фомичев Н.И. Техника СВЧ: метод указания по выполнению лабораторных работ. Ярославль, ЯрГУ, 2006. - 60 с.

в) программное обеспечение и ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ, а также материалам онлайн курса «Линейные электрические цепи (часть 1)», размещённого на образовательной онлайн площадке ЯрГУ им. П.Г. Демидова (DemidOnline).

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся. (Для проведения лабораторных работ группа обучающихся делится на две подгруппы).

Автор(ы):

Старший преподаватель кафедры
интеллектуальных информационных
радиофизических систем

Н.И. Фомичев

**Приложение № 1 к рабочей программе дисциплины
«Устройства сверхвысокой частоты (СВЧ)»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

Контрольные вопросы для практических занятий по теме №2

1. Перечислить основные параметры линии передачи.
2. Краткий обзор типов линий передачи по диапазонам волн.
3. Круговая номограмма.
4. Типовые элементы трактов различных диапазонов волн.
5. Отрезок направляющей структуры как резонатор. Способы возбуждения и выполнения элементов связи.
6. Применения резонаторов.
7. Фильтры СВЧ.

Контрольные вопросы для практических занятий по теме №3

1. Виды матриц преобразования - рассеяния, сопротивлений, проводимостей, передачи.
2. Соотношения между матрицами.
3. Способы измерений элементов матриц преобразования.
4. Ограничения на элементы матриц, налагаемые условиями взаимности, симметрии и отсутствия потерь.
5. Составление матриц на примерах тройников, балансных устройств (двойной Т-мост, щелевой мост) и циркуляторов

Контрольные вопросы для практических занятий по теме №4

1. Суть принципа декомпозиции.
2. Метод синфазного и противофазного возбуждения для симметричных восьмиполюсников.
3. Анализ и синтез направленных ответвителей (связанные линии, гибридное кольцо, квадратный мост).
4. Алгоритмизация проблемы анализа и синтеза многополюсников СВЧ
5. Интегральные схемы СВЧ

Контрольные вопросы для практических занятий по теме №5

1. Классификация управляющих устройств.
2. Фазовращатели и коммутаторы на управляемых PIN-диодах.
3. Ферритовые приборы - вентили, циркуляторы, фазовращатели.

Контрольные вопросы по результатам выполнения лабораторной работы №1

1. Запишите уравнения Максвелла для диэлектрика.
2. Что такое комплексная диэлектрическая проницаемость? Каков ее физический смысл.
3. Каков критерий разделения сред на проводники и диэлектрики?
4. Охарактеризуйте методы измерения диэлектрической проницаемости?
5. В чем отличие метода полного заполнения сечения волновода от методов короткого замыкания и холостого хода?
6. Охарактеризуйте достоинства метода волноводных мостов.
7. Опишите установку и используемую методику определения диэлектрической проницаемости.

Контрольные вопросы по результатам выполнения лабораторной работы №2

1. Как определяется полное сопротивление на сверхвысоких частотах? Какие существуют методы измерения сопротивлений?
2. Как определяется полное сопротивление методом измерительной линии?
3. Что называется коэффициентом отражения, КСВ (КБВ)? связь между ними. Как определяется модель и фаза коэффициента отражения?
4. Выражение для полного сопротивления нагрузки.
5. Устройство и принцип действия измерительной линии?
6. Как осуществляется градуировка детектора измерительной линии?
7. Как измерить длину волны, КСВ и входное сопротивление с помощью измерительной линии?
8. Источники ошибок при работе с измерительной линией.

Контрольные вопросы по результатам выполнения лабораторной работы №3

1. Дать определение многополюсника СВЧ.
2. Каковы особенности матричного метода описания многополюсников?
3. Что такое матрица рассеяния многополюсника? Каков физический смысл входящих в нее элементов?
4. В каких случаях для описания многополюсников используется матрица передачи?
5. Каким образом связаны элементы волновых матриц рассеяния и передачи?
6. Объяснить физический смысл элементов матриц проводимостей и сопротивлений.
7. Какие многополюсники называются симметричными?
8. Назвать основные свойства взаимных многополюсников.
9. В чем заключается принцип декомпозиции в анализе многополюсников СВЧ? Назвать два уровня декомпозиции.
10. Каково основное свойство матрицы передачи при каскадном включении многополюсников?
11. В чем заключается метод синфазного и противофазного возбуждения? Как применить его к расчету волнового щелевого моста?
12. Дать характеристику идеального вентилля. Записать его матрицу рассеяния.
13. Привести примеры фазовращателей. Каковы преимущества электрических фазовращателей?
14. Назвать характеристики направленного ответвителя.
15. Объяснить принцип действия двойного волноводного Т-моста.
16. Почему для правильной работы двойного тройника необходимо иметь согласованные нагрузки во всех плечах?
17. В чем основное отличие щелевого моста от других четырехплечных волноводных соединений?

Контрольные вопросы по результатам выполнения лабораторной работы №4

1. Нарисовать картину силовых линий для волны H_{10} в прямоугольном волноводе

2. Нарисовать графики, показывающие изменение амплитуд составляющих волны H_{10} в зависимости от поперечных координат
3. Дать понятия критической длины волны основного типа.
4. Нарисовать и объяснить дисперсионную характеристику для волны основного типа.
5. Как можно измерить дисперсионную характеристику волновода?
6. Объяснить причины затухания электромагнитных волн в волноводе.
7. Как можно измерить постоянную затухания волновода?

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачёту

(зачёт выставляется по результатам собеседования со студентом после выполнения и защиты всех лабораторных работ):

1. Классификация линий передачи. Основные параметры ЛП.
2. Математическая модель ЛП.
3. Многополюсники СВЧ
4. Матричный подход к описанию многополюсников
5. Матрица рассеяния
6. Матрица передачи
7. Матрица сопротивлений
8. Соотношения между матрицами.
9. Условия взаимности, симметрии и отсутствия потерь в матрицах преобразования
10. Связь элементов волновых матриц рассеяния и передачи
11. Круговая номограмма. Назначение, возможности
12. Фильтры СВЧ. Назначение, классификация
13. Направленные ответвители: классификация, принцип действия, конструкции
14. Классификация управляющих устройств.
15. Ферритовые приборы - вентили, циркуляторы, фазовращатели

Приложение № 2 к рабочей программе дисциплины «Устройства сверхвысокой частоты (СВЧ)»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине **«Устройства сверхвысокой частоты (СВЧ)»** являются лекции, причём в достаточно большом объёме. По большинству тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путём применения его к конкретным физическим задачам и отработка навыков работы с математическим аппаратом.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома ещё раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях, при выполнении лабораторных работ или из учебной литературы.

Большое внимание должно быть уделено выполнению домашней работы. В качестве заданий для самостоятельной работы дома студентам предлагаются контрольные вопросы, которые необходимо проработать до выполнения соответствующей лабораторной работы.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных навыков в конце семестра изучения дисциплины студенты сдают зачёт. Зачёт по итогам первого семестра выставляется по итогам выполнения лабораторных работ и краткого собеседования по их результатам.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины **«Устройства сверхвысокой частоты (СВЧ)»** самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объёмом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать зачёт по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.