

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 3

от 30.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**УСКОРЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ И СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА: МОЩНЫЕ
ГЕНЕРАТОРЫ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ**

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
2	2	72	15	15	0	18	24	
3	3	108	16	32	0	24	0	Э
Итого	5	180	31	47	0	42	24	

АННОТАЦИЯ

Задачи дисциплины: подготовка к решению типовых задач, связанных с проектной, научно-исследовательской и производственно-технологической деятельностью в области создания и эксплуатации СВЧ-устройств различного назначения на основе изучения принципов их функционирования, изучения аналитических и численных методов их расчета (включая сочетание методов электродинамики и теории цепей СВЧ);

- овладение основами теории передающих и приемных антенн, а также трактов их питания, изучение конструкций типовых элементов ; получение и закрепление навыков экспериментального исследования трактов СВЧ с упором на автоматизацию измерений;

- подготовка к научно-исследовательской деятельности в области теории устройств СВЧ (формулирование задачи и плана научного исследования на основе анализа научно-технической информации с применением современных информационных технологий, построение математических моделей объектов исследования, выбор оптимального метода и разработка программ математического (компьютерного) моделирования.

- подготовка к проектно-конструкторской деятельности в области устройств СВЧ (анализ состояния научно-технического направления, постановка цели и задач проектирования на основе подбора и изучения литературных и патентных источников).

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются формирование у будущих выпускников теоретических и практических знаний и закрепление профессиональных навыков в области распространения электромагнитных волн СВЧ диапазона в линиях передач, методов расчета и конструирования элементов и узлов передающих линий, замедляющих (ускоряющих) структур, объемных резонаторов, генераторов и усилителей СВЧ колебаний. В процессе изучения курса студенты получают навыки расчета электромагнитных полей в различных линиях и устройствах СВЧ с использованием аналитических и численных методов, опыт конструирования и согласования сложных устройств диапазона СВЧ.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс входит в число базовых при подготовке студентов. Содержание курса представляет собой развитие полученных ранее знаний в области физики и электротехники. В нем используются основные понятия, концепции, представляющие собой теоретическую базу, ранее освоенную студентами при изучении указанных дисциплин.

Для освоения данной дисциплины необходимы общие сведения из высшей математики: математический анализ, векторная алгебра, интегральное и дифференциальное исчисление, общей физики (колебания и волны, электричество и магнетизм).

Изучение дисциплины позволит студентам ознакомиться со спецификой сверхвысокочастотной аппаратуры и лежащих в основе ее функционирования физических принципов, получить и развивать навыки разработки высокочастотных устройств различного назначения (ускорители заряженных частиц, СВЧ энергетика, приборы для физических исследований и др.), освоить методы и принципы работы с современным измерительным оборудованием.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-4 [1] – Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	3-УК-4 [1] – Знать: правила и закономерности личной и деловой устной и письменной коммуникации; современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках; существующие профессиональные сообщества для профессионального взаимодействия У-УК-4 [1] – Уметь: применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия В-УК-4 [1] – Владеть: методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/8/0		50	КИ-8	3-УК-4, У-УК-4, В-УК-4
2	Второй раздел	9-15	7/7/0		50	КИ-15	3-УК-4, У-УК-4, В-УК-4
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/15/0		100		

	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				0	АттР	З-УК-4, У-УК-4, В-УК-4
	<i>3 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/16/0		25	КИ-8	З-УК-4, У-УК-4, В-УК-4
2	Второй раздел	9-16	8/16/0		25	КИ-16	З-УК-4, У-УК-4, В-УК-4
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		16/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	Э	З-УК-4, У-УК-4, В-УК-4

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
АттР	Аттестация разделов
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	15	15	0
1-8	Первый раздел	8	8	0
1	Тема 1 Введение. Принципы, лежащие в основе устройства приборов СВЧ. Электростатическое и электродинамическое управление электронным потоком. Энергообмен. Классификация приборов СВЧ.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Тема 2	Всего аудиторных часов		

	Триоды и тетроды СВЧ. Особенности колебательных систем на СВЧ. Движение электронов в междуэлектродных зазорах ламп. Пространственно-временная диаграмма. КПД анодной цепи. Ток сетки. Конструкции и параметры ламп СВЧ диапазона.	1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Тема 3 Клистроны. Принцип действия двухконтурного клистрона. Элементы теории. Основные характеристики. Многорезонаторные клистроны. Каскадная группировка. Основные характеристики.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Тема 4 Отражательные клистроны. Принцип действия. Элементарная теория. Основные характеристики. Конструкции и параметры клистронов.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Тема 5 Многорезонаторный магнетрон. Принцип действия. Элементы теории. Резонансная система и ее анализ.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Тема 6 Условия синхронизма. Диаграмма видов колебаний. КПД. Рабочие и нагрузочные характеристики магнетрона. Конструкция, параметры, области применения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Тема 7 Волновые лампы. Лампа бегущей волны (ЛБВ-О). Принцип действия. Элементарная теория малого сигнала. Коэффициент усиления и КПД.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Тема 8 Лампа обратной волны (ЛОВ-О). Принцип действия. Широкополосность работы. Конструкция, параметры, область применения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Второй раздел	7	7	0
9	Тема 9 Волновые лампы М-типа. Принцип работы ЛБВ-М и ЛОВ-М. КПД. Основные особенности работы. Конструкция, параметры, область применения.	Всего аудиторных часов		
		0	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Тема 10 Гибридные приборы СВЧ. Платинотроны, митроны. Каскадные лампы М-типа. Основные характеристики, параметры, области применения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Тема 11 Гироприборы СВЧ. Гиротрон и гирокон. Принцип действия. Элементы теории. Основные характеристики, параметры, область применения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Тема 12 Квантовые приборы СВЧ. Принцип работы квантовых приборов. Атомикрон. Квантовый генератор на водороде. Цезиевый стандарт частоты. Парамагнитный усилитель (КПУ). Лазер на свободных электронах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	Тема 13 Полупроводниковые приборы СВЧ. Параметрические усилители. Усилители на туннельных диодах. Лампа	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		

	Адлера. Принцип действия. Основные характеристики, область применения.	0	0	0
14	Тема 14 Применение диодов Ганна и лавино-пролетных диодов ЛПД) в усилителях и генераторах СВЧ диапазона. Управляющие устройства на p-i-n диодах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
15	Тема 15 Плазменные приборы СВЧ. Плазменные ЛБВ и ЛОВ. Антенные переключатели.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
16	Тема 16 Обзор генераторов и усилителей СВЧ. Перспективы развития.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
	<i>3 Семестр</i>	16	32	0
1-8	Первый раздел	8	16	0
1	Тема 1 Тема 1 Виды колебаний в призматических и цилиндрических резонаторах, собственная частота, токи в стенках, способы возбуждения.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
2	Тема 2 Тема 2 Резонаторы на основе отрезков коаксиальных линий. Открытые резонаторы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
3	Тема 3 Тема 3 Резонаторы сложной формы и численные методы их расчета.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
4	Тема 4 Тема 4 Сверхпроводящие резонаторы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
5	Тема 5 Тема 5 Эквивалентная схема резонатора и ее параметры. Расчет собственной добротности резонаторов.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
6	Тема 6 Тема 6 Выражение входного сопротивления резонатора. Связь резонатора с передающими линиями. Теорема малых возмущений.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
7	Тема 7 Тема 7 Методы замедления электромагнитных волн. Основные электродинамические характеристики замедляющих структур: дисперсионная характеристика, фазовая и групповая скорости, шунтовое сопротивление и сапротивление связи, добротность	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
8	Тема 8 Тема 8 Виды замедляющих структур: гребенчатая, штыревая, спиральная и резонаторная. Методы расчета замедляющих структур.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
9-16	Второй раздел	8	16	0

9	Тема 1 Тема 9 Особенности работы вакуумных приборов в диапазоне СВЧ. Тема 10 Принцип работы, характеристики и конструкция: триодов СВЧ; двухконтурных, отражательных и многорезонаторных клистронов	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
10	Тема 2 Тема 11 Принцип работы, характеристики и конструкция: магнетронов; волновых ламп. Тема 12 Полупроводниковые приборы.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
11	Тема 3 Тема 13 Измерение полного сопротивления, частоты, мощности СВЧ волн. Тема 14 Измерение коэффициента отражения, коэффициента стоячей волны и элементов матрицы рассеяния многополюсных устройств.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
12	Тема 4 Тема 15 Измерение коэффициента отражения, коэффициента стоячей волны и элементов матрицы рассеяния многополюсных устройств.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
	1 Триоды и тетроды СВЧ. Особенности колебательных систем на СВЧ. Движение электронов в междуэлектродных зазорах ламп. Пространственно-временная диаграмма. КПД анодной цепи. Ток сетки. Конструкции и параметры ламп СВЧ диапазона.
	2 Многорезонаторный магнетрон. Принцип действия. Элементы теории. Резонансная система и ее анализ.
	3 Волновые лампы М-типа. Принцип работы ЛБВ-М и ЛОВ-М. КПД. Основные особенности работы. Конструкция,

	параметры, область применения.
4	Применение диодов Ганна и лавино-пролетных диодов (ЛПД) в усилителях и генераторах СВЧ диапазона. Управляющие устройства на p-i-n диодах.
	<i>3 Семестр</i>
1	Виды колебаний в призматических и цилиндрических резонаторах, собственная частота, токи в стенках, способы возбуждения.
2	Эквивалентная схема резонатора и ее параметры. Расчет собственной добротности резонаторов.
3	Принцип работы, характеристики и конструкция: магнетронов; волновых ламп. Полупроводниковые приборы.
4	Измерение полного сопротивления, частоты, мощности СВЧ волн. Измерение коэффициента отражения, коэффициента стоячей волны и элементов матрицы рассеяния многополюсных устройств.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

По направлению подготовки (специальности) предусматривается широкое использование в учебном процессе лекционных, семинарских и лабораторных работ. Лабораторные работы выполняются в специализированной лаборатории, оснащенной приборами и принадлежностями для проведения экспериментов.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
УК-4	З-УК-4	АтТР, КИ-8, КИ-15	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УК-4	АтТР, КИ-8, КИ-15	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УК-4	АтТР, КИ-8, КИ-15	Э, КИ-8, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-

балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.38 С54 Методическое пособие по практическим занятиям курса "Техника сверхвысоких частот" : , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
2. ЭИ А 92 Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2020
3. ЭИ К 88 Электрофизические измерения. : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2010

4. 621.38 С54 Техника сверхвысоких частот : , Н. П. Собенин, О. С. Милованов, Москва: Энергоатомиздат, 2007

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Рекомендации по работе с лекционной частью дисциплины.

Перед началом занятий необходимо внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы.

Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю. Не смущайтесь, если вопросы вам кажутся простыми.

На лекции основное внимание следует уделять не формулам и математическим выкладкам, а содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач.

В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности чаще возвращаться к основным понятиям и методам решения задач (здесь со стороны преподавателя возможен выборочный контроль ваших знаний).

Желательно использовать в конспектах лекций систему обозначений, к которой прибегает преподаватель.

Для более подробного изучения курса следует работать с рекомендованными и вновь появляющимися литературными источниками.

2. Рекомендации для проведения практических занятий.

Перед посещением практического занятия уясните его тему и самостоятельно изучите связанные с ней понятия и методы решения задач.

Перед решением задач активно участвуйте в обсуждении с преподавателем основных понятий, связанных с темой практического занятия.

В процессе решения задач ведите дискуссию с преподавателем о правильности применения методов их решения.

При проведении вычислений придерживайтесь следующего формата:

(Обозначение искомой величины) = (буквенная формула расчёта) = (подстановка численных значений величин, входящих в формулу, с указанием их размерностей) = (результат вычислений с указанием его размерности).

Это поможет вам избежать некоторых ошибок, либо выявить их и исправить.

По возможности самостоятельно доводите решение предлагаемых задач до окончательного итога.

В конце практического занятия при необходимости выясните у преподавателя неясные вопросы (если вы не прояснили их ранее).

3. екомендации по выполнению самостоятельной работы

Получите у преподавателя задание и список рекомендованной литературы в самом начале семестра.

Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю.

Подготовьте письменный отчет о проделанной работе.

При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

1. Чтение лекций.

Первая лекция должна быть введением к дисциплине (разделу дисциплины, читаемому в начинающемся семестре). Она должна содержать общий обзор содержания дисциплины. В ней следует отметить методические инновации в решении задач, рассматриваемых в дисциплине, дать перечень рекомендованной литературы и вновь появившихся литературных источников, обратив внимание студентов на обязательную и дополнительную литературу.

Изложению текущего лекционного материала должна предшествовать вводная часть, содержащая краткий перечень вопросов, рассмотренных на предыдущих лекциях. На этом этапе полезно задать несколько вопросов аудитории, осуществить выборочный контроль знания студентов.

При изложении лекционного материала следует поощрять вопросы непосредственно в процессе изложения, внимательно относясь к вопросам студентов и при необходимости давая дополнительные, более подробные пояснения.

При чтении лекций преимущественное внимания следует уделять качественным вопросам, опуская простые математические выкладки, либо рекомендуя выполнить их самим студентам, либо отсылая студентов к литературным источникам и методическим пособиям.

В процессе лекционного курса необходимо возможно чаще возвращаться к основным вопросам дисциплины, проводя выборочный экспресс-контроль знаний студентов.

Принятая преподавателем система обозначений должна чётко разъясняться в процессе её введения и использоваться в конспектах лекций

В лекциях, предшествующих практическим занятиям, следует кратко излагать содержание и основные задачи практического занятия, дать рекомендации студентам для подготовки к нему.

На последней лекции важно найти время для обзора основных положений, рассмотренных в дисциплине, перечню и формулировке вопросов, выносимых на экзамен или зачёт.

2. Указания для проведения практических занятий.

Тема практического занятия и его цели должны быть чётко обозначены.

В начале практического занятия полезно обсудить основные понятия, связанные с его темой.

В ходе решения задач следует вести дискуссию со студентами о правильности применения теоретических знаний на отдельных этапах решения.

Рекомендуется отмечать студентов, наиболее активно участвующих в решении задач и дискуссиях, как вслух, так и в книжке преподавателя. Передавать эту информацию ответственному по текущей успеваемости.

В конце практического занятия предложить аудитории несколько контрольных вопросов.

3. Указания по контролю самостоятельной работы студентов.

По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть индивидуальным или фронтальным.

При использовании индивидуальных заданий требовать от студента письменный отчет о проделанной работе, проводить его обсуждение.

При применении фронтальных заданий вести коллективные обсуждения со студентами основных теоретических положений.

С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы требовать индивидуальные отчеты (допустимо вместо письменного отчета применять индивидуальные контрольные вопросы).

Автор(ы):

Лалаян Михаил Владимирович, к.т.н., доцент

