

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОНИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 4

от 23.07.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СВЧ-СИСТЕМЫ

Направление подготовки [1] 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(специальность)

Семестр	Трудоемкость, кредит.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практических подготовки/ В	СРС, час.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
8	3	108	12	24	0	36	0	0	Э
Итого	3	108	12	24	0	0	36	0	

АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины являются обучение теоретическим основам построения современных радиотехнических устройств и практическим навыкам анализа и проектирования элементов СВЧ электроники.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются обучение теоретическим основам построения современных радиотехнических устройств и практическим навыкам анализа и проектирования элементов СВЧ электроники.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная дисциплина является профессиональной. Освоение данной дисциплины базируется на знаниях и навыках студентов по курсам «Информатика», «Дискретная математика», «Аналоговые и цифровые интегральные схемы», «Импульсная техника», ФПП.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
			проектно-конструкторский
Расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и	ПК-5 [1] - Способен выполнять расчет и проектирование отдельных узлов или элементов электронных приборов, схем и устройств определенного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием	3-ПК-5[1] - Знание теоретических основ конструирования приборов электроники и наноэлектроники; У-ПК-5[1] - Умение применять средства автоматизации проектирования отдельных узлов и элементов ; В-ПК-5[1] - Владение методами

проектирования	технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.	средств автоматизации проектирования <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	конструирования и проектирования узлов и элементов схем аналоговой и цифровой электроники
----------------	--	--	---

производственно-технологический			
Проведение технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное	ПК-8 [1] - Способен выполнять постановку и эксплуатацию определенного технологического процесса или блока технологических операций по производству материалов и изделий электронной техники <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-8[1] - Знание технологий сверхбольших интегральных схем, планарных и иных технологий электроники и наноэлектроники; У-ПК-8[1] - Умение выполнять постановку и эксплуатацию определенного технологического процесса или блока технологических операций по производству СБИС, интегральных СВЧ-систем и других изделий электронной техники.; В-ПК-8[1] - Владение

	<p>программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектронники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>		<p>технологическими операциями по производству материалов и изделий электронной техники</p>
Организация метрологического обеспечения производства материалов и изделий электронной техники	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектронники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектронники. Инновационные</p>	<p>ПК-9 [1] - Способен выполнять определенный тип измерительных или контрольных операций при исследовании параметров полупроводниковых приборов и устройств или в технологическом процессе по производству материалов и изделий электронной техники</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.003</p>	<p>З-ПК-9[1] - Знание параметров полупроводниковых приборов аналоговой, цифровой, радиочастотной и СВЧ-электроники.; У-ПК-9[1] - Умение выполнять исследования параметров полупроводниковых приборов и устройств в микро- и наноэлектронике; В-ПК-9[1] - Владение методами измерений в технологическом процессе по производству материалов и изделий электронной техники</p>

	технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.		
--	---	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры информационной безопасности (В23)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирование базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователем.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование коммуникативных навыков в области разработки и производства полупроводниковых изделий (В36)	1.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин «Введение в специальность», «Введение в технику физического эксперимента», «Измерения в микро- и наноэлектронике», «Информационные технологии в физических исследованиях», «Экспериментальная учебно-исследовательская работа» для: - формирования навыков безусловного выполнения всех норм безопасности на рабочем месте, соблюдении мер предосторожности при выполнении исследовательских и производственных задач с опасными веществами и на оборудовании полупроводниковой промышленности, а также в помещениях с высоким классом чистоты посредством привлечения действующих специалистов полупроводниковой промышленности к реализации учебных дисциплин и сопровождению проводимых у

	<p>студентов практических работ в этих организациях, через выполнение студентами практических и лабораторных работ, в том числе с использованием современных САПРов для моделирования компонентной базы электроники, измерительного и технологического оборудования на кафедрах, лабораториях и центрах ИНТЭЛ;</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин «Спецпрактикум по физике наносистем», «Спецпрактикум по нанотехнологиям», «Специальный практикум по физике наносистем», «Современные проблемы физики конденсированных сред (спецсеминар)», «Экспериментальные методы исследованияnanoструктур (спецсеминар)», для: - формирования профессиональной коммуникации в научной среде; - формирования разностороннего мышления и тренировки готовности к работе в профессиональной и социальной средах полупроводниковой промышленности - формирования умений осуществлять самоанализ, осмысливать собственные профессиональные и личностные возможности для саморазвития и самообразования, в целях постоянного соответствия требованиям к эффективным и прогрессивным специалистам для разработок новых материалов и устройств по направлениям, связанным с СВЧ электроникой, микро- и нанопроцессорами, оптическими модуляторами и применением новых материалов в наноэлектронных компонентах через организацию практикумов в организациях по разработке и производству полупроводниковых изделий, использование методов коллективных форм познавательной деятельности, ролевых заданий, командного выполнения учебных заданий и защиту их результатов.</p>
--	--

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/16/0		25	КИ-8	З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
2	Второй раздел	9-15	4/8/0		25	КИ-15	З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		12/24/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8

* – 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
КИ	Контроль по итогам

Э	Экзамен
---	---------

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	8 Семестр	12	24	0
1-8	Первый раздел	8	16	0
1 - 8	Предмет СВЧ Предмет радиоэлектроники и СВЧ электронники. Цель, задачи, основные разделы и литература по курсу. Основные понятия радиотехники, понятие радиоканала. Диапазоны радиоволн. Классификация радиотехнических систем и устройств. Понятие радиотехнических цепей, сигналов и преобразований. Шестиуровневая модель радиотехники. Роль и место радиоэлектронники. Классификация радиотехнических устройств. Радиоприемные и радиопередающие устройства. Классификация, структурные схемы и основные характеристики передатчиков и приемников. Приемники прямого усиления. Супергетеродинные приемники. Современные монолитные приемопередатчики для радиотехнических систем. Электромагнитные волны в волноводных структурах. Уравнения Максвелла для гармонических процессов. Метод комплексных амплитуд. Комплексная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь. Плоские однородные электромагнитные волны (ПЭМВ), коэффициент распространения. Уравнение Гельмгольца. Закон сохранения энергии. Плотность потока мощности ЭМ поля. ПЭМВ в направляющих структурах и их классификация. Идеальный плоский волновод. Критическая частота. Типы волн: Е-, Н-, Т- и гибридные волны.	Всего аудиторных часов 8 Онлайн 0	0	0
9-15	Второй раздел	4	8	0
9 - 15	СВЧ преобразования Радиотехнические сигналы и преобразования. Классификация радиотехнических сигналов. Формы представления радиотехнических сигналов. Представление с помощью ряда Фурье. Преобразование Фурье и понятие спектральной плотности. Классификация радиотехнических преобразований. Основные виды аналоговой и цифровой модуляции. Энергетическая эффективность амплитудной и угловой видов модуляции. Применение теории линейных цепей для анализа линий передачи. Основные параметры линии передачи (ЛП). Волновое сопротивление, коэффициент распространения, фазовая скорость. Представление ЛП в виде четырехполюсника. Волны тока и напряжения, отраженные волны, КСВН, коэффициент отражения. Матричные методы анализа цепей. Матрица рассеяния и преобразованная матрица рассеяния. Направленные	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	0	0

	графы. Пассивные элементы и устройства СВЧ электроники. Линии передачи СВЧ. Коаксиальная и двухпроводная ЛП. Прямоугольный волновод. Микрополосковая линия (МПЛ). Связанные МПЛ. Пассивные элементы СВЧ. Индуктивности, емкости, резисторы. Резонаторы. Устройства возбуждения ЛП, переходы. Пассивные устройства СВЧ. Направленные ответвители и мосты, делители и сумматоры мощности, устройства управления фазой и амплитудой сигнала, вентили, аттенюаторы, фильтры.		
--	--	--	--

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

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Обучение проводится в традиционной форме, предусматривающей чтение лекций и проведение практических занятий по курсу с использованием компьютерных технологий и мультимедийного оборудования.

7. 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)
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-8	З-ПК-8	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-8	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-8	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-9	З-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15

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 иочно 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 твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69		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	3 – «удовлетворительно»		
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.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.3 В58 Влияние радиации на полупроводниковые приборы на широкозонных полупроводниках : учебное пособие, Барбашов В.М. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2016

2. 621.3 Р15 Радиационные эффекты в СВЧ-элементах сложно-функциональных блоков на основе полупроводникового соединения "кремний-германий" : учебное пособие, Уланова А.В. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2016

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.3 Б 23 Интегральная СВЧ-оптика : , Банков С.Е., Москва: Физматлит, 2018

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Для успешного освоения дисциплины необходимо обратить особое внимание на основные разделы по курсу:

1.Основные понятия радиотехники, понятие радиоканала. Диапазоны радиоволн. Классификация радиотехнических систем и устройств. Понятие радиотехнических цепей, сигналов и преобразований. Шестиуровневая модель радиотехники. Роль и место радиоэлектроники.

Радиоприемные и радиопередающие устройства. Классификация, структурные схемы и основные характеристики передатчиков и приемников. Приемники прямого усиления. Супергетеродинные приемники. Современные монолитные приемопередатчики для радиотехнических систем.

2.Уравнения Максвелла для гармонических процессов. Метод комплексных амплитуд. Комплексная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь. Плоские однородные электромагнитные волны (ПЭМВ), коэффициент распространения. Уравнение Гельмгольца. Закон сохранения энергии. Плотность потока мощности ЭМ поля. ПЭМВ в направляющих структурах и их классификация. Идеальный плоский волновод. Критическая частота. Типы волн: Е-, Н-, Т- и гибридные волны.

3.Классификация радиотехнических сигналов. Формы представления радиотехнических сигналов. Представление с помощью ряда Фурье. Преобразование Фурье и понятие спектральной плотности. Классификация радиотехнических преобразований. Основные виды аналоговой и цифровой модуляции. Энергетическая эффективность амплитудной и угловой видов модуляции.

4.Основные параметры линии передачи (ЛП). Волновое сопротивление, коэффициент распространения, фазовая скорость. Представление ЛП в виде четырехполюсника. Волны тока и напряжения, отраженные волны, КСВН, коэффициент отражения. Матричные методы анализа цепей. Матрица рассеяния и преобразованная матрица рассеяния. Направленные графы.

5.Линии передачи СВЧ. Коаксиальная и двухпроводная ЛП. Прямоугольный волновод. Микрополосковая линия (МПЛ). Связанные МПЛ. Пассивные элементы СВЧ. Индуктивности, емкости, резисторы. Резонаторы. Устройства возбуждения ЛП, переходы. Пассивные устройства СВЧ. Направленные ответвители и мосты, делители и сумматоры мощности, устройства управления фазой и амплитудой сигнала, вентили, аттенюаторы, фильтры.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Особое внимание при чтении курса обратить на такие разделы, как

1.Основные разделы по курсу. Основные понятия радиотехники, понятие радиоканала. Диапазоны радиоволн. Классификация радиотехнических систем и устройств. Понятие радиотехнических цепей, сигналов и преобразований. Шестиуровневая модель радиотехники. Роль и место радиоэлектроники.

Радиоприемные и радиопередающие устройства. Классификация, структурные схемы и основные характеристики передатчиков и приемников. Приемники прямого усиления. Супергетеродинные приемники. Современные монолитные приемопередатчики для радиотехнических систем.

2.Уравнения Максвелла для гармонических процессов. Метод комплексных амплитуд. Комплексная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь. Плоские однородные электромагнитные волны (ПЭМВ), коэффициент распространения. Уравнение Гельмгольца. Закон сохранения энергии. Плотность потока мощности ЭМ поля. ПЭМВ в направляющих структурах и их классификация. Идеальный плоский волновод. Критическая частота. Типы волн: Е-, Н-, Т- и гибридные волны.

3.Классификация радиотехнических сигналов. Формы представления радиотехнических сигналов. Представление с помощью ряда Фурье. Преобразование Фурье и понятие спектральной плотности. Классификация радиотехнических преобразований. Основные виды аналоговой и цифровой модуляции. Энергетическая эффективность амплитудной и угловой видов модуляции.

4.Основные параметры линии передачи (ЛП). Волновое сопротивление, коэффициент распространения, фазовая скорость. Представление ЛП в виде четырехполюсника. Волны тока и напряжения, отраженные волны, КСВН, коэффициент отражения. Матричные методы анализа цепей. Матрица рассеяния и преобразованная матрица рассеяния. Направленные графы.

5.Линии передачи СВЧ. Коаксиальная и двухпроводная ЛП. Прямоугольный волновод. Микрополосковая линия (МПЛ). Связанные МПЛ. Пассивные элементы СВЧ. Индуктивности, емкости, резисторы. Резонаторы. Устройства возбуждения ЛП, переходы. Пассивные устройства СВЧ. Направленные ответвители и мосты, делители и сумматоры мощности, устройства управления фазой и амплитудой сигнала, вентили, аттенюаторы, фильтры.

Автор(ы):

Чуков Георгий Викторович

Елесин Вадим Владимирович, к.т.н., с.н.с.