

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Методы численного моделирования полей в теории электронных
приборов СВЧ

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы
Физическая электроника

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.05 Методы численного моделирования полей в теории электронных приборов СВЧ относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области радиофизики, микро- и наноэлектроники, мощной электроники при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий	ПК-1.1: Знать современное состояние электроники в области радиофизики, в частности для СВЧ приборов. ПК-1.2: Уметь определять оптимальные параметры для работы усилителей и генераторов СВЧ диапазона длин волн. Владеть навыками использования математического аппарата, применяемого в теоретической физике, электродинамике, электронике.	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области радиофизики, микро-	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные,	ПК-2.1: Знать устройство и принцип действия мощных приборов СВЧ диапазона, причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ПК-2.2: Уметь применять метод полного тока, рассчитывать мощность и КПД приборов СВЧ диапазона.	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи

и наноэлектроники, мощной электроники и оформлять их результаты	экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники	ПК-2.3: Владеть навыками построения дисперсионных характеристик мощных приборов СВЧ диапазона. ПК-2.4: Владеть навыками самостоятельного анализа полученных результатов численного моделирования полей в теории электронных приборов СВЧ		
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика	ПК-3.1: Знать современное состояние исследований в выбранной области Радиофизики ПК-3.2: Уметь кратко и доходчиво излагать и обосновывать необходимость проведения исследований по выбранной теме ПК-3.3: Владеть навыками составления и оформления презентации, описывающих основные, наиболее важные, результаты выполненной работы	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
самостоятельная работа	29

Промежуточная аттестация	45 Экзамен
--------------------------	---------------

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф
1. Основные понятия электроники СВЧ.	10	6		6	4
2. Клитроны.	11	6		6	5
3. Лампы бегущей и обратной волны типа О (ЛБВ-О, ЛОВ-О).	10	5		5	5
4. ЛБВ М-типа. Магнетрон.	10	5		5	5
5. Релятивистская высокочастотная электроника. Лазеры и мазеры на свободных электронах.	10	5		5	5
6. Вакуумная микроэлектроника СВЧ.	10	5		5	5
Аттестация	45				
КСР	2				2
Итого	108	32	0	34	29

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Основные понятия электроники СВЧ.
2. Клитроны.
3. Лампы бегущей и обратной волны типа О (ЛБВ-О, ЛОВ-О).
4. ЛБВ М-типа. Магнетрон.
5. Релятивистская высокочастотная электроника. Лазеры и мазеры на свободных электронах.
6. Вакуумная микроэлектроника СВЧ.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Понятие о наведенном токе в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо. Метод полного тока. Проводимость диода на СВЧ.
2. Статическое и динамическое управление электронным потоком. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.
3. Устройство и принцип действия двухрезонаторного пролетного клистрона. Пространственно-временная диаграмма. Принцип работы многорезонаторного клистрона.
4. Отражательный клистрон. Устройство, пространственно-временная диаграмма.
5. Зоны генерации, стартовый ток и перестройка частоты отражательного клистрона.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Принцип действия ЛБВ-О. Свойства периодических замедляющих систем ЛБВ-О. Пространственные гармоники. Устройство ЛБВ.
2. Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения. Коэффициент усиления ЛБВ.
3. Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Способы увеличения КПД.
4. Принцип действия лампы обратной волны. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.
5. Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М.

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов, ρ -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.
2. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров.
3. Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ЭОС релятивистских приборов. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон.
4. Конструкция и параметры решетки автоэмиссионных катодов на основе катодов Спиндта. Диод и триод с катодом Спиндта. Особенности устройства и работы ЛБВ О и М типов с катодами Спиндта.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков.	При решении стандартных задач не	Имеется минимальный набор	Продемонстрированы базовые	Продемонстрированы базовые	Продемонстрированы навыки	Продемонстрирован творческий

	Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	подход к решению нестандартных задач
--	--------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------	--------------------------------------

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Понятие о наведенном токе в цепях электродов.
2. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо. Метод полного тока.
3. Проводимость диода на СВЧ.
4. Статическое и динамическое управление электронным потоком.
5. Скоростная модуляция электронного потока.
6. Уравнение скоростной модуляции.
7. Устройство и принцип действия двухрезонаторного пролетного клистрона.
8. Пространственно-временная диаграмма двухрезонаторного пролетного клистрона.
9. Принцип работы многорезонаторного клистрона.
10. Отражательный клистрон. Устройство, пространственно-временная диаграмма.
11. Зоны генерации, стартовый ток и перестройка частоты отражательного клистрона.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Принцип действия ЛБВ-О.
2. Свойства периодических замедляющих систем ЛБВ-О. Пространственные гармоники.
3. Устройство ЛБВ.
4. Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения.
5. Коэффициент усиления ЛБВ.
6. Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ.
7. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения.
8. Способы увеличения КПД
9. Принцип действия лампы обратной волны.
10. Дисперсионная характеристика замедляющей системы лампы обратной волны.
11. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты в лампе обратной волны.
12. Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М.

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Статический режим работы магнетрона.
2. Электронное облако в негенерирующем магнетроне.
3. Колебательные системы магнетронов, ρ -вид колебаний.
4. Группировка электронов и КПД магнетрона.
5. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров.
6. Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ.
7. ЭОС релятивистских приборов.
8. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон.
9. Конструкция и параметры решетки автоэмиссионных катодов на основе катодов Спиндта.
10. Диод и триод с катодом Спиндта.
11. Особенности устройства и работы ЛБВ **О** и **М** типов с катодами Спиндта.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы

Оценка	Критерии оценивания
	одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задание 1.

Пользуясь методом полного тока найти время пролета электрона в диоде в режиме ограничения тока пространственным зарядом.

Задание 2.

Доказать, что в монотроне активная и реактивная проводимости электронного пучка $Y_a(0)=Y_r(0)=0$.

Задание 3.

При какой частоте f в клистроне после прохождения первого резонатора отсутствует модуляция электронного пучка по скорости? Ускоряющее напряжение $U_0=300$ В, зазор между сетками модулятора $d=5$ мм.

Задание 4.

Найти частоту f , при которой коэффициент взаимодействия электронов с полем резонатора в клистроне $M=0.9$, если $d=5$ мм, $U_0=400$ В.

Задание 5.

На каком расстоянии x от 1-го резонатора в 2-резонаторном клистроне образуется наиболее плотный электронный сгусток, если $l=4$ см, $U_0=4$ кВ, $d=2$ мм, $U_{1M}=150$ В.

5.3.5 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

Задание 1.

На каком расстоянии x от 1-го резонатора в 2-резонаторном клистроне надо поставить второй резонатор, чтобы получить максимальный КПД на второй гармонике рабочей частоты, если $l=8$ см, $U_0=4$ кВ, $d=6$ мм, $U_{1M}=100$ В.

Задание 2.

Найти связь между номером зоны генерации n и потенциалом $U_{отр}$ отражателя в отражательном клистроне.

Задание 3.

Найти величину параметра группировки и номер зоны генерации для отражательного клистрона при следующих параметрах: $U_0=300$ В, $U_{отр}=50$ В, $f=500$ МГц, $D=5$ мм, $U_{1M}=40$ В, $d=2$ мм.

Задание 4.

Оценить, на каком расстоянии x от замедляющей системы надо пропускать электронный пучок, если $l=3$ см, $U_0=1$ кВ.

Задание 5.

Найти коэффициент усиления G в ЛБВ-О, если длина лампы $L=10$ см, $l=3$ см, $U_0=4$ кВ, $R_c=10$ Ом, $I_0=10$ мА, считая, что влиянием поля пространственного заряда можно пренебречь, а скорость электронного пучка равна холодной фазовой скорости волны.

5.3.6 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Задание 1.

На сколько скорость электронного пучка должна превышать холодную фазовую скорость волны, чтобы в ЛБВ-О отсутствовала экспоненциально нарастающая волна? $U_0=1$ кВ, $R_c=40$ Ом, $I_0=100$ мА. Полем пространственного заряда пренебречь.

Задание 2.

В ЛБВ-О отношение ускоряющих напряжений при работе на 1-ой и 3-ей пространственных гармониках $U_{01}/U_{03}=1.4$. Определить постоянную распространения нулевой гармоники β_0 , если период системы $D=4$ мм.

Задание 3.

Найти величину фазовой скорости в ЛБВ-М на границах полосы усиления, если $l=3$ см, $I_0=3$ мА, $R_c=50$ Ом, магнитное поле $B=100$ Гс, потенциалы отрицательного электрода и замедляющей системы относительно катода соответственно $U_1=-100$ В, $U_2=900$ В, а расстояние между ними $d=1$ см.

Задание 4.

Найти фазовую скорость для р-вида колебаний в 24-резонаторном магнетроне, если $l=10$ см, $R_a=5$ см. Чему примерно равно замедление и анодное напряжение?

Задание 5.

Оценить оптимальные параметры гиротрона, если $U_0=70$ кВ, $l=2.14$ мм, $g=1$.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Вайнштейн Лев Альбертович. Электромагнитные волны. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1988. - 440 с. : ил. - ISBN 5-256-00064-0 (в пер.) : 2.90., 225 экз.
2. Гапонов Виктор Иванович. Электроника : учеб. пособие для вузов. Ч. 1. Физические основы / [ред. В. Б. Брагинский]. - М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960. - 516 с. - 1.06., 24 экз.
3. Жеребцов Иван Петрович. Основы электроники. - 5-е изд., перераб. и доп. - Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1989. - 352 с. : ил. - ISBN 5-283-04448-3 (в пер.) : 3.00., 2 экз.
4. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов] : в 10 т. Т. 8. Электродинамика сплошных сред / [отв. ред. Л. П. Питаевский]. - 3-е изд., испр. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. - 664 с. : ил. - 1400.00., 9 экз.

5. Трубецков Дмитрий Иванович. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков : в 2 т. Т. 1. - М. : Физматлит, 2003. - 496 с. - ISBN 5-9221-0372-5. - ISBN 5-9221-0371-7 : 55.00., 2 экз.
6. Трубецков Дмитрий Иванович. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков : в 2 т. - М. : Физматлит, 2003-. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Т. 2. - М., 2004. - 648 с. - ISBN 5-9221-0200-1 (Т. 2) : 75.00., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Шевчик Владимир Николаевич. Аналитические методы расчета в электронике СВЧ. - М. : Советское радио, 1970. - 584 с. : черт. - 2.10., 1 экз.
2. Электронные приборы СВЧ : [учеб. пособие для вузов по специальности "Электрон. приборы"]. - М. : Высшая школа, 1985. - 296 с. : ил. - 1.10., 42 экз.
3. Электронные приборы сверхвысоких частот : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Радиофизика и электроника" / под ред. В. Н. Шевчика, М. А. Григорьева. - 2-е изд., перераб. и доп. - Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1980. - 416 с. - 1.10., 41 экз.
4. Гайдук Владимир Илларионович. Физические основы электроники сверхвысоких частот. - М. : Советское радио, 1971. - 600 с. : ил. - 1.82., 4 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Мануилов Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.