

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий государственный университет»

Факультет физико-технический
Кафедра радиофизики и инфокоммуникационных технологий



УТВЕРЖДАЮ
проректор

Машаров

П.А. Машаров

«29» марта 2024 г.

МП

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ»

Укрупненная группа направлений
подготовки

03.00.00 Физика и астрономия

Программа высшего образования

Программа бакалавриат

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

Профиль подготовки

Радиофизика

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

очная

Рабочая программа адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2024

Рабочая программа дисциплины «**Электронные приборы СВЧ**» для обучающихся по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика (Профиль: Радиофизика), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 7 августа 2020 г. № 912 (с изм. и доп.). Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. № 245 (с изм. и доп.), в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «ДонГУ» для набора 2024 года.

Разработчик:

Ст. преподаватель
кафедры радиофизики
и инфокоммуникационных технологий

 В. В. Долбещенков

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры радиофизики и
инфокоммуникационных технологий
Протокол от 26.03.2024 г. № 16

Заведующий кафедрой

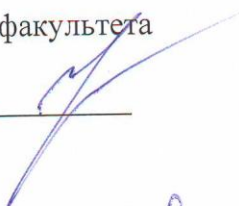
 В.В. Данилов

СОГЛАСОВАНО:

И.о. декана физико-технического факультета
28.03.2024 г.

 С.А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-технического факультета
Протокол от 27.03.2024 г. № 2
Председатель

 В. Н. Котенко

Руководитель основной профессиональной
образовательной программы
д-р тех. наук, проф.
26.03.2024 г.

 В.В. Данилов

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Требования к предварительной подготовке обучающихся, предшествующие и сопутствующие дисциплины, на которых основывается изучение данной:

дисциплины: «Математический анализ», «Электричество и магнетизм», «Радиотехнические цепи и сигналы», «Радиоэлектроника», «Полупроводниковая и физическая электроника», «Линии передачи и техника СВЧ», «Электродинамика СВЧ».

1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Дисциплины магистратуры, а также может использоваться при подготовке выпускной квалификационной работы (в зависимости от выбранной темы работы).

2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы	03.03.03. Радиофизика (Профиль: Радиофизика)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ДВ.5.2 Электронные приборы СВЧ
Часть образовательной программы	Вариативная часть: выбор обучающегося
Количество зачетных единиц / всего часов	2,5 / 90

2.2. Распределение часов по периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контроль	всего	
Очная	4	8	20	20	-	50	90	экзамен

3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Приобретение студентами знаний в области СВЧ электроники, ознакомление с физическими основами работы и принципами устройства различных электронных и полупроводниковых приборов СВЧ, а также изучение основных характеристик, параметров и важнейших свойств, определяющих их применение.

4. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ, ИХ ИНДИКАТОРЫ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ПК-2. Обладает достаточными знаниями в области электроники, электронной аппаратуры, в том числе СВЧ и оптического	ПК-2.2. Обладает достаточными знаниями в области электроники и техники СВЧ, необходимые при проведении научно-	ПК-2.2.1. Знает теоретические основы движения носителей зарядов в электрическом и магнитном полях. ПК-2.2.2. Умеет анализировать физические процессы, происходящие в электровакуумных и полупроводниковых приборах. ПК-2.2.3. Понимает принципы работы, особенности конструкции, знаком с основными характеристиками

диапазона, антенно-фидерных систем, необходимыми при проведении научно-исследовательских работ и экспериментов по профилю подготовки.	исследовательских работ и экспериментов по профилю подготовки.	электровакуумных и полупроводниковых приборов СВЧ.
---	--	--

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Электронные приборы СВЧ	
1. Введение	1.1. Цель и задачи курса. СВЧ диапазон и его особенности. Классификация приборов СВЧ. Применение приборов СВЧ в различных областях науки и техники. Проблемы развития электроники СВЧ.
2. Электровакуумные приборы СВЧ	2.1. Электронно-вакуумные приборы СВЧ, их особенности, классификация, параметры. Общие вопросы взаимодействия электронов с электромагнитным полем в электронно-вакуумных приборах СВЧ. 2.2. Принципы отбора энергии от электронного потока, понятие конвекционного и наведённого тока. Управление электронными потоками при помощи скоростной модуляции. Методы преобразования модуляции по скорости в модуляцию по плотности.
3. Приборы с кратковременным взаимодействием типа О	3.1. Устройство, схема включения, принцип действия двухрезонаторного пролетного клистрона. Устройство, включение, принцип действия, особенности отражательного клистрона. Пространственно-временные диаграммы движения электронов, зоны генерации. Взаимодействие электронов с электрическим полем. Электронная перестройка частоты в отражательном клистроне
4. Приборы с длительным взаимодействием типа О	4.1. Лампы бегущей волны типа О (ЛБВО); их устройство, схема включения, принцип действия. Пространственно-временные диаграммы движения электронов в поле бегущей волны. Условие фазового синхронизма. Конвекционный ток при взаимодействии электронного потока с полем бегущей волны. Характеристики ЛБВО. 4.2. Лампы обратной волны типа О (ЛОВО): их устройство, схема включения, принцип действия, условия самовозбуждения, положительная обратная связь, электронная перестройка частоты.
5. Приборы М - типа (ЛБВМ, ЛОВМ)	5.1. Движение электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях. Траектории движения, условия передачи энергии электромагнитному полю. 5.2. Лампы бегущей волны типа М (ЛБВМ); их устройство, схема включения, принцип действия. Пространственно-временные

	<p>диаграммы движения электронов в поле бегущей волны. Условие фазового синхронизма. Характеристики ЛБВМ.</p> <p>5.3. Лампы обратной волны типа М (ЛОВМ): их устройство, схема включения, принцип действия, условия самовозбуждения, положительная обратная связь, электронная перестройка частоты.</p>
6. Приборы М - типа (Магнетрон)	<p>6.1. Основные типы колебаний в магнетроне. Статический режим работы цилиндрического магнетрона со сплошным анодом. Парабола критического режима. Многорезонаторный магнетрон. Свойства резонансной системы магнетронных генераторов. Динамический режим работы многорезонаторного магнетрона. КПД магнетрона.</p>
7. Полупроводниковые приборы СВЧ	<p>7.1. Классификация, особенности, области использования. Туннельный диод. Качественная картина работы. Особенности ВАХ. Лавинно-пролетные и р-і-п диоды. Принцип действия. Эквивалентные схемы области умножения и области дрейфа. Характеристики и области использования ЛПД. Диоды Ганна. Качественная картина работы. Параметры. Режимы работы (доменный, с гашением домена, ОНОЗ).</p> <p>7.2. Особенности биполярных транзисторов диапазона СВЧ. Частотные ограничения. Методы улучшения частотных свойств.</p> <p>7.3. Особенности полевых транзисторов диапазона СВЧ. Пути и методы улучшения частотных свойств ПТ.</p>

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Форма обучения – очная, курс – 4, семестр – 8

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
Раздел 1. Электронные приборы СВЧ					
1. Введение	2	4		4	10
2. Электровакуумные приборы СВЧ	2			4	6
3. Приборы с кратковременным взаимодействием типа О	4	4		10	18
4. Приборы с длительным взаимодействием типа О	2	4		8	14
5. Приборы М - типа (ЛБВМ, ЛОВМ)	4			5	9
6. Приборы М - типа (Магнетрон)	2			4	6
7. Полупроводниковые приборы СВЧ	4	8		15	27
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	20	20	0	50	90

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СРЕДСТВА) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Контрольные вопросы

Раздел 1

- Особенности приборов СВЧ и их место в современных технологиях и научных исследованиях.
- Какие частоты относятся к СВЧ диапазону.
- Характеристика приборов О и М типа.
- Чем отличаются приборы с кратковременным взаимодействием от приборов с длительным взаимодействием.

5. Основной математический аппарат электроники СВЧ.
6. Наведенный ток и особенности его использования в теории электронных приборов. Учет пролетного эффекта.
7. Использование резонаторов и их эквивалентное представление в электронике СВЧ.
8. Модуляции электронного потока по скорости (линейная теория). Группировка электронного потока в свободном пространстве.
9. Влияние объемного заряда на процесс группировки.
10. Двухрезонаторный усилительный пролетный клистрон.
11. Основные параметры пролетного клистрона: коэффициент усиления и способы его увеличения, КПД, нагрузочная характеристика.
12. Особенности работы клистрона в режиме генерации.
13. Климатрон – умножитель частоты, его особенности и эффективность.
14. Многорезонаторные клистроны и клистроны с распределенным взаимодействием.
15. Группировка электронов в отражательном клистроне. Электронный КПД и зоны генерации.
16. Группировка электронов немодулированного потока в переменном поле стоячей волны.
17. Группировка электронов в бегущей волне.
18. Усилитель обратной волны – ЛОВО. Генераторы прямой и обратной волны типа О.
19. Статический режим работы цилиндрического магнетрона. Парабола критического режима.
20. Многорезонаторный магнетрон.
21. Динамический режим работы многорезонаторного магнетрона. Коаксиальный и обращенный магнетроны, особенности использования релятивистских электронов в магнетронах.
22. Принцип действия и характеристики ЛОВМ
23. Принцип действия и характеристики ЛБВМ.
24. Классификация и области использования диодов СВЧ.
25. Туннельный диод. Особенности ВАХ.
26. Лавинно-пролетные диоды. Принцип действия. Характеристики и области использования ЛПД.
27. Диоды Ганна. Параметры. Режимы работы (доменный, с гашением домена, ОНОЗ).
28. Особенности биполярных транзисторов диапазона СВЧ.
29. Особенности полевых транзисторов диапазона СВЧ. Пути и методы улучшения частотных свойств ПТ.

7.2. Образец содержания экзаменационного билета (при наличии экзамена по дисциплине)

Донецкий государственный университет
Физико-технического факультета
Кафедра радиофизики и инфокоммуникационных технологий

Программа высшего образования	Программа бакалавриата
Направление подготовки	03.03.03 Радиофизика
Профиль подготовки	Радиофизика
Форма обучения	Очная
Семестр	Восьмой
Дисциплина	Электронные приборы СВЧ

Экзаменационный билет № 1

1. Характеристика приборов О и М типа.
2. Группировка электронов в отражательном клистроне. Электронный КПД и зоны генерации.

3. Туннельный диод. Особенности ВАХ.

Утверждено на заседании кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий, протокол № 14 от 21.02.2024 г.

Заведующий кафедрой

В.В. Данилов

Экзаменатор

В.В. Долбещенков

В случае ведения учебного процесса с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, содержание билета может отличаться от приведенного.

8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ

Общая оценка знаний обучающихся по дисциплине проводится по 100-балльной шкале исходя из максимума, приведенного в таблице ниже. Организационно-учебная работа в аудитории оценивается на основе таких критериев как посещаемость занятий, активность во время проведения лекционных и лабораторных занятий (участие в обсуждении текущего и пройденного материала, решение задач и т.п.).

8.1. Семестр 8

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1	Организационно-учебная работа в аудитории	5
	Самостоятельная работа	10
	Лабораторные работы	35
ИТОГО		50
Экзамен		50
Общий итог за семестр		100

Соответствие баллов оценке

Количество баллов из 100	ECTS	Оценка по пятибалльной шкале	
		Экзамен, дифференцированный зачет	Зачет
90-100	A	отлично	зачтено
80-89	B	хорошо	зачтено
75-79	C		зачтено
70-74	D	удовлетворительно	зачтено
60-69	E		зачтено
35-59	FX	неудовлетворительно	не зачтено
0-34	F		не зачтено

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в 4-м корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Театральный, 13). Для проведения лекционных и практических занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской, мультимедийный проектор и экран, ноутбук, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя, выход в Интернет – проводной или с использованием Wi-Fi. Для проведения лабораторных занятий требуется учебная лаборатория, оборудованная необходимым лабораторным оборудованием.

Для самостоятельной работы используются текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета и других электронных библиотечных баз данных.

При изучении дисциплины могут применяться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

При использовании дистанционного образования осуществляется текущий контроль знаний обучающихся на основе тестирования и проверки результатов самостоятельной работы.

10. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

10.1. Основная литература

1. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающ. по специальности "Радио, радиовещание и телевидение" и др. / Ю. Л. Бобровский, С. А. Корнилов, И. А. Кратиллов и др.; Под ред. Н. Д. Федорова. - М.: Радио и связь, 2002. - 560 с.
2. Шматько, А. А. Электроника сверхвысоких частот: Основы теории и лаб. практикум / А. А. Шматько, Е. Н. Одаренко ; Под ред. А. А. Шматько ; Харьк. нац. ун-т им. В. Н. Каразина. - Харьков: Факт, 2003. - 248 с.

10.2. Дополнительная литература

1. Трубецков, Д. И. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков: [в 2 т.]. Т. 1 / Д. И. Трубецков, А. Е. Храмов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 496 с.
2. Электронные приборы сверхвысоких частот: [Учеб. пособие для вузов по специальности "Радиофизика и электроника"] / В. С. Андрушкевич, Н. П. Будникова, Е. П. Бочаров и др.; Под ред. В. Н. Шевчика, М. А. Григорьева. - 2-е изд. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1980. - 416 с.
3. Левитский, С. М. Вакуумная и твердотельная электроника СВЧ : [Учеб. пособие по специальности "Радиофизика и электроника"] / С. М. Левитский, С. В. Кошечкина. - К.: Вища шк., 1986. - 271,[1] с

11. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. **Электронно-библиотечная система ДонГУ**: сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
2. **Электронный каталог** Научной библиотеки ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://library.donnu.ru/catalog/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: поиск свободный, электронные документы – для пользователей ДонГУ.
3. **Электронный архив ДонГУ**: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://repo.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный.

12. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДонГУ № 46484614)
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДонГУ № 46472919)
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы Dream Spark для высших учебных заведений)
4. Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF (лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения).