

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра радиофизики**



Рабочая программа дисциплины

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА СВЧ

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	72	16	16		38				2	
Всего 72 часа / 2 зачетные единицы из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

Аннотация.....	Ошибка! Закладка не определена.
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Цель учебного курса «Электродинамика СВЧ» – дать студентам базовые знания по основам работы и принципам устройств различных СВЧ линий передач и узлов, в том числе изучение теории СВЧ цепей.

В современной радиотехнике широкое применение находят электромагнитные волновые процессы и разнообразные устройства, в которых эти процессы играют существенную роль: передающие линии и волноводы, объемные резонаторы, невзаимные устройства с ферритами. Дисциплина «Электродинамика СВЧ» предназначена для обучения студентов-физиков основам теории электромагнитных процессов и техники электродинамических устройств СВЧ диапазона. Эти знания необходимы студентам для успешного освоения материалов курсов, реализуемых кафедрой радиофизики физического факультета Новосибирского государственного университета.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3. Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать основные способы решения системы уравнений Максвелла для различных граничных задач, соответствующих простейшим геометриям разнообразных СВЧ устройств, таких как длинные линии, волноводы и резонаторы, полученные из отрезков волноводов и линий передачи.</p> <p>Уметь решать задачи на нахождение собственных функций и собственных значений (моды в резонаторе), а также иметь навыки применения основ вариационного исчисления для нахождения приближенных решений некоторых электродинамических задач (теорию возмущений) и использование этих знаний для практической деятельности; использовать математический аппарат дифференциальных уравнений в частных производных и матричного исчисления для решения основных задач электродинамики СВЧ, оценить возможность применения аппарата теории линейных цепей переменного тока, электро- и магнитостатики для решения</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		задач электродинамики СВЧ. Владеть знаниями для решения задач электродинамики СВЧ, в частности, электростатики для решения электродинамической задачи для линий передач мощности, а также теории линейных цепей переменного тока для описания линий передач и волноводов.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

В результате изучения курса студенты кафедры радиофизики физического факультета НГУ должны усвоить основные методы электродинамики СВЧ, изучить теорию длинных линий, волноводов, резонаторов вентилей и циркуляторов. Кроме того, у студентов должно сформироваться умение делать простейшие точные и приближенные (оценочные) расчеты различных СВЧ устройств, для чего необходимо освоение некоторых математических методов для решения физических задач; умение использовать в профессиональной деятельности базовые знания в области математики; умение приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии.

Для успешного освоения курса «Электродинамика СВЧ» студенты должны обладать предварительными знаниями основ математического анализа, линейной алгебры, дифференциальных уравнений и электродинамики. В свою очередь, учебный курс «Электродинамика СВЧ» предоставляет студентам теоретические знания и практические навыки, необходимые для изучения курсов «Излучение и распространение радиоволн», «Вычислительные методы в электродинамике», «Электронные приборы СВЧ», реализуемых кафедрой радиофизики, а также прохождения практикума по электродинамике СВЧ.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	72	16	16		38				2	
Всего 72 часа / 2 зачетные единицы из них: - контактная работа 34 часа Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции,

практические занятия, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий для самостоятельного решения, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: выборочные опросы, задания для самостоятельного решения и проверка их выполнения.
- промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы:

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 38 часов;
- промежуточная аттестация (дифференцированный зачет) – 2 часа;

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, дифференцированный зачет) составляет 34 часа.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Электродинамика СВЧ» представляет собой полугодовой курс, реализуемый в шестом семестре кафедрой радиоп физики в качестве дисциплины по выбору для студентов 3го курса физического факультета НГУ. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (диф. зачет)
				Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Практические занятия (кол-во часов)		
1	Общие сведения из теории электромагнитного поля	1,2	8	2	2	4	
2	Теория длинных линий	3–5	12	2	4	6	
3	Волноводы	6–10	20	6	4	10	
4	Резонаторы	11–15	20	4	6	10	
5	Волны в гиротропных средах	16	8	2		6	
6	Самостоятельная работа в период промежуточной аттестации	17	2				2
7	Дифференцированный зачет	17	2				2
	Итого:		72	16	16	36	4

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

Раздел 1. Общие сведения из теории электромагнитного поля (2 часа)

Уравнения Максвелла. Граничные условия. Электромагнитная энергия. Единственность решения электродинамических задач.

Раздел 2. Теория длинных линий (2 часа)

Классификация линий передачи. ТЕМ волны в линиях передачи. Поле в поперечном сечении. Коаксиальная, двухпластинчатая, двухпроводная линии. Телеграфное уравнение. Эквивалентная схема. Диаграмма Смита.

Раздел 3. Волноводы (6 часа)

Распространение волн в волноводах. Уравнения для потенциальных функций. Волны Е и Н типов. Соотношения ортогональности. Волны в прямоугольных и круглых волноводах. Картины силовых линий и токов в стенках для Е и Н волн. Энергетические соотношения. Мощность и плотность энергии в волноводе. Волноводная линия передачи. Напряжение и ток в волноводе. Телеграфное уравнение для волноводов. Волновое сопротивление волноводов. Матрица рассеяния и ее свойства. Частотные характеристики сочленений без потерь. Неоднородности в волноводах. Возбуждение волноводов.

Раздел 4. Резонаторы (4 часа)

Свободные колебания резонаторов. Собственные значения и собственные функции. Ортогональность собственных функций. Различные типы полых резонаторов. Приближенные методы расчета. Потери в резонаторах. Добротность. Вынужденные колебания резонаторов. Возбуждение резонатора. Резонатор как элемент линии передачи. Эквивалентная схема резонатора, связанного с линией. Коэффициент связи. Полное сопротивление и коэффициент отражения.

Раздел 5. Волны в гиротропных средах (2 часа)

Феррит как гиротропная среда. Распространение плоских волн в гиротропной среде. Явление невзаимности. Вентиль. Циркулятор.

Программа и основное содержание практических занятий (16 часов)

Общие сведения из теории электромагнитного поля (2 часа)

Решение уравнений Максвелла. Закон сохранения энергии. Единственность решения внешней и внутренней электродинамических задач.

Теория длинных линий (4 часа)

Решение электродинамической задачи для длинной линии. Напряжение, ток, волновое сопротивление. Отражение от нагрузки, трансформация сопротивлений.

Волноводы (4 часа)

Решение электродинамической задачи для волновода. Лемма Лоренца. Возбуждение волноводов на заданной моде.

Резонаторы (6 часов)

Решение электродинамической задачи для резонатора. Взаимодействие пучка и вакуумной камеры резонатора. Продольные и поперечные импедансы.

Самостоятельная работа студентов (38 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение, повторение теоретического материала лекций в течении семестра	24
Задания для самостоятельного решения	8

Пример задания для самостоятельного решения

Задание 1: Согласовать активную нагрузку сопротивление 75 Ом (например, бытовой телевизор) с коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом с помощью короткозамкнутого шлейфа (на частоте одной из передающих станций).

5. Перечень учебной литературы.

1. *Карлинер М.М.* Электродинамика СВЧ. Курс лекций. Новосибирск. Изд. НГУ, 2006. (18 экз.)
2. *Пименов Ю.В.* Линейная макроскопическая электродинамика. Вводный курс для радиофизиков и инженеров. Долгопрудный. Изд. ИНТЕЛЛЕКТ, 2008. (4 экз.)
3. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика : Учеб. пособие: В 10 т. Т.8. Электродинамика сплошных сред. 3-е изд., испр. М.: Наука, 1992. (69 экз.)

Интернет ресурсы:

4. Lectures at the JOINT US-CERN-Japan Accelerator School, Japan, 1996. (Интернет-ресурс: <http://wwwold.inp.nsk.su/students/radio/lectures/CAS/CAS.shtml>)

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями, написанными преподавателями кафедры радиофизики:

5. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ. М.: Высшая школа, 1990. (1 экз.)
6. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Т.1. Техника сверхвысоких частот. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1970. (1 экз.)

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

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

Для реализации дисциплины «Электродинамика СВЧ» используются учебные аудитории для проведения лекций, практических занятий, текущего контроля, промежуточной аттестации.

Учебные аудитории укомплектованы техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по

образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Текущий контроль успеваемости студента осуществляется путем проведения выборочных опросов в начале каждого занятия, а также проверки заданий для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области электродинамики СВЧ в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на зачете с оценкой. Дифференцированный зачет проводится в конце семестра по билетам (примеры билетов приведены ниже) и по задачам/примерам (в качестве дополнительных вопросов), задачи разбираются на занятиях и позволяют лучше понять предмет электродинамики СВЧ. Вопросы подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Обучающийся, имеющий неудовлетворительные результаты при прохождении промежуточной аттестации, обязан ликвидировать академическую задолженность по дисциплине, согласно установленным факультетом срокам прохождения повторной промежуточной аттестации. Сроки проведения повторной промежуточной аттестации согласовываются с преподавателем и утверждаются распоряжением декана.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать основные способы решения системы уравнений Максвелла для различных граничных задач, соответствующих простейшим геометриям разнообразных СВЧ устройств, таких как длинные линии, волноводы и резонаторы, полученные из отрезков волноводов и линий передачи.	Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.

<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь решать задачи на нахождение собственных функций и собственных значений (моды в резонаторе), а также иметь навыки применения основ вариационного исчисления для нахождения приближенных решений некоторых электродинамических задач (теорию возмущений) и использование этих знаний для практической деятельности; использовать математический аппарат дифференциальных уравнений в частных производных и матричного исчисления для решения основных задач электродинамики СВЧ, оценить возможность применения аппарата теории линейных цепей переменного тока, электро- и магнитостатики для решения задач электродинамики СВЧ.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>
<p>ПК 1.3. Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Владеть знаниями для решения задач электродинамики СВЧ, в частности, электростатики для решения электродинамической задачи для линий передач мощности, а также теории линейных цепей переменного тока для описания линий передач и волноводов.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Электродинамика СВЧ».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно

			количество негрубых ошибок.	несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продemonстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продemonстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Вопросы к дифференцированному зачету

1. Возбуждение волноводов заданными токами. Возбуждение электрическими и магнитными токами. Возбуждение волновода щелью, петлей и штырем.

7. Волновод как линия передачи. Коэффициент отражения и КСВН. «Напряжение» и «ток» в прямоугольном волноводе. Телеграфные уравнения. Волновое сопротивление.

8. Волноводы. Выражение компонент поля через потенциальные функции. Собственные значения и собственные функции. Свойства ортогональности.

9. Единственность решения внутренней и внешней электродинамической задачи.

10. Комплексная теорема Умова-Пойнтинга. Уравнения Максвелла и закон сохранения энергии.

11. Матрица рассеяния многополюсного сочленения волноводов. Связь с полным сопротивлением и проводимостью. Симметрия.

12. Потери в резонаторе. Собственные значения с учетом потерь в стенках. Добротность, ее вычисление. Собственная и нагруженная добротность.

13. Резонаторы, образованные из линий передачи. Общие свойства.

14. Решение электродинамической задачи для волноводов круглого сечения.

15. Решение электродинамической задачи для волноводов прямоугольного сечения.

16. Свободные колебания резонаторов. Соотношения ортогональности. Свойства полей в резонаторе.

17. Свойства феррита. Уравнение изменения намагниченности. Тензор магнитной проницаемости, частотная зависимость его компонент.

18. Сочленение нескольких волноводов (многополюсник). Матрицы полного сопротивления и проводимости, их симметрия.

19. Телеграфное уравнение для длинной линии.

20. ТЕМ волны в линиях передачи.

21. Трансформация сопротивления и проводимости в длинной линии. Диаграмма Смита.

Примеры билетов к дифференцированному зачету:

БИЛЕТ № 1

1. Комплексная теорема Умова-Пойнтинга. Уравнения Максвелла и закон сохранения энергии.
2. Решение электродинамической задачи для волноводов прямоугольного сечения.

БИЛЕТ № 2

1. Телеграфное уравнение для длинной линии.
2. Единственность решения внутренней и внешней электродинамической задачи.

Форма билета к зачету представлена на рисунке

МИНОБРНАУКИ РОССИИ <i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ) Физический факультет</i>	
БИЛЕТ № _____	
1.	
2.	
Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ <small>(подпись)</small>	
« »	20 г.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Электродинамика СВЧ»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного