

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебно-методической  
работе, д-р филол. наук, профессор

Е.Г. Елина

« 18 » июня 2016 г.



**Рабочая программа дисциплины**  
**«Электродинамика СВЧ»**

Направление подготовки бакалавриата  
03.03.03 «Радиофизика»

Профиль подготовки бакалавриата  
Физика и техника электронных средств  
Информационные технологии и компьютерное моделирование в  
радиофизике

Квалификация выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

Саратов,  
2016

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Электродинамика СВЧ» являются:

- формирование у студентов представлений о физических процессах, происходящих в системах с распределенными параметрами: резонаторах, волноводах, замедляющих системах;
- ознакомление студентов с методами и особенностями решения краевых задач электродинамики СВЧ, колебательными и волноведущими структурами различных типов.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Электродинамика СВЧ» является обязательной дисциплиной и относится к базовой части Блока 1 «Дисциплины (модули)» ООП профиля «Физика и техника электронных средств» направления подготовки бакалавров 03.03.03. «Радиофизика». Преподавание дисциплины осуществляется в 7 семестре. Для освоения дисциплины необходимы знания и навыки, полученные студентами ранее в ходе изучения дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Методы математической физики». В результате освоения данной дисциплины студенты приобретают знания и навыки, которые помогут студентам освоить дисциплину «Практикум по электродинамике СВЧ», а также подготовить выпускную квалификационную работу. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины «Электродинамика СВЧ» происходит формирование у обучающегося следующих *компетенций*:

- способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности (ОПК-1);
- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (ОПК-2).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

### Знать:

- основы теории электромагнетизма применительно к полям и волнам СВЧ диапазона;
- основные устройства антенно-фидерных трактов;
- основные теоремы и принципы электродинамики;

### Уметь:

- решать задачи прикладной электродинамики СВЧ;

- рассчитывать собственные частоты резонатора для колебаний различных типов;

**Владеть:**

- методами расчета замедляющих систем;
- построения распределения электромагнитного поля в волноводах и резонаторах.

**4. Структура и содержание дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	лабораторные	практические	КСР	
1	<b>Раздел 1.</b> Основные понятия и уравнения электродинамики.	7	1-3	6	0	4	6	фронтальный опрос
2	<b>Раздел 2.</b> Основные теоремы и принципы электродинамики.	7	4-6	6	0	4	12	фронтальный опрос
3	<b>Раздел 3.</b> Объемные резонаторы СВЧ.	7	7-10	8	0	4	12	фронтальный опрос
4	<b>Раздел 4.</b> Регулярные волноведущие системы.	7	11-14	8	0	4	12	фронтальный опрос, написание реферата
5	<b>Раздел 5.</b> Замедляющие системы.	7	15-18	8	0	2	12	фронтальный опрос
<b>Итого</b>		7	18	36	0	18	54	Экзамен (36 часов)

## Содержание учебной дисциплины

### 7 семестр

**Раздел 1. Основные понятия** Электродинамические потенциалы. Векторы Герца. Фундаментальное решение волнового уравнения в однородной изотропной среде. Плоские электромагнитные волны. Поляризация плоских волн. Внутренние и внешние краевые задачи. Единственность их решения. (Случай монохроматических полей). Уравнения Максвелла в комплексной форме. Теорема единственности для внутренних краевых задач. Теорема единственности для внешних краевых задач. Электромагнитное поле на плоской границе раздела двух сред. Классификация сред. Точные граничные условия. Поверхностный эффект. Приближенные граничные условия Леонтовича.

### **Раздел 2. Основные теоремы и принципы электродинамики**

Теорема Умова-Пойнтинга о сохранении энергии электромагнитного поля. Уравнение баланса энергии в вещественной форме. Баланс энергии при гармонических колебаниях. Лемма Лоренца. Принцип эквивалентных (вторичных) токов. Теорема взаимности.

### **Раздел 3. Объемные резонаторы СВЧ**

Общие свойства объемных резонаторов. Постановка задачи. Основные соотношения. Свойства идеального резонатора. Колебания в резонаторе при наличии потерь в среде. Колебания в резонаторе при наличии потерь в его оболочке. Цилиндрические резонаторы прямоугольного сечения. Классификация типов колебаний. Колебания Е-типа. Колебания Н-типа. Цилиндрические резонаторы круглого сечения. Соотношения связи между компонентами электромагнитного поля; формулировка краевых задач. Колебания Е-типа. Колебания Н-типа. Элементы теории возмущений. Малое возмущение оболочки резонатора. Малое возмущение среды, заполняющей резонатор. Возбуждение резонаторов (вынужденные колебания). Условия оптимального возбуждения.

### **Раздел 4. Регулярные волноведущие системы**

Простейшие волноведущие системы. Волноводы прямоугольного сечения (прямоугольные волноводы): электромагнитное поле Е-типа; электромагнитное поле Н-типа; зависимости коэффициентов затухания от частоты. Волноводы круглого сечения (круглые волноводы): электромагнитное поле Е-типа; электромагнитное поле Н-типа; зависимости коэффициентов затухания от частоты, в том числе и для волн Н-типа. Коаксиальный волновод (коаксиальная линия): поля высших типов (высокочастотная асимптотика; низкочастотная асимптотика); электромагнитное поле Т-типа. Диапазонные особенности применения

волноводов. Возбуждение волноводов. Открытые передающие линии. Двухпроводная линия. Полосковые, микрополосковые, щелевые линии передачи. Диэлектрические волноводы: плоский диэлектрический волновод (физические основы распространения электромагнитных волн); круглый диэлектрический волновод.

### **Раздел 5. Замедляющие системы**

Общие сведения о замедляющих системах. Основные характеристики замедляющих систем. Пространственные гармоники. Дисперсия волн. Сопротивление связи. Методы расчета замедляющих систем. Метод частичных областей. Метод эквивалентных схем. Метод многопроводных линий.

## **5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины**

При реализации различных видов учебной работы используются следующие современные образовательные технологии:

- Информационно-коммуникационные технологии;
- Проектные методы обучения;
- Исследовательские методы в обучении;
- Разноуровневое обучение.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерные симуляции, разбор конкретных ситуаций, работа над проектами) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Эффективность применения интерактивных форм обучения обеспечивается реализацией следующих условий:

- нахождение проблемной формулировки темы занятий, заданий, вопросов;
- мониторинг личностных особенностей и профессиональной направленности студентов;
- оценка результата совместной деятельности.

Использование интерактивных форм и методов обучения направлено на достижение ряда важнейших образовательных целей:

- стимулирование мотивации и интереса к конкретной дисциплине в общеобразовательном, общекультурном и профессиональном плане;
- повышение уровня активности и самостоятельности обучающихся;

- развитие навыков анализа, критичности мышления, взаимодействия, коммуникации.

В случае наличия среди обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья применяются следующие адаптивные образовательные технологии:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать пособия, выполненные шрифтом Брайля, крупноформатные наглядные материалы и аудиофайлы;
- обязательное звуковое сопровождение демонстрационного или иллюстративного материала для лиц с ограниченными возможностями по слуху;
- создание условий для организации коллективных занятий в студенческих группах, где инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью оказывалась бы помощь для получения информации;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

#### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Важную роль при освоении данной дисциплины играет самостоятельная работа студентов. Самостоятельная работа призвана способствовать:

- углублению и расширению знаний в области электродинамики СВЧ;
- овладению приёмами процесса познания;
- формированию интереса к познавательной деятельности;
- развитию познавательных способностей.

Самостоятельная работа студентов имеет основную цель – обеспечить качество подготовки выпускников в соответствии с требованиями основной образовательной программы по направлению подготовки бакалавров 03.03.03 «Радиофизика».

К самостоятельной работе относятся:

- самостоятельная работа на аудиторных занятиях;
- внеаудиторная самостоятельная работа.

В процессе обучения предусмотрены следующие виды самостоятельной работы обучающегося:

- работа с конспектами лекций;
- проработка пройденных лекционных материалов по учебникам и пособиям на основании вопросов, подготовленных преподавателем;

- проработка дополнительных тем, не вошедших в лекционный материал, но обязательных согласно учебной программе дисциплины;
- самостоятельно решение сформулированных задач по основным разделам курса;
- изучение обязательной и дополнительной литературы;
- написание рефератов по отдельным разделам дисциплины;
- подготовка к экзамену.

### **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

- рабочая программа дисциплины;
- учебники (приведены в списке основной и дополнительной литературы);
- контрольные вопросы;
- темы рефератов.

### **Методические указания к практическим занятиям**

Приведены в ФОС для данной дисциплины.

### **Методические указания по выполнению заданий самостоятельной работы**

Приведены в ФОС для данной дисциплины.

### **Контрольные вопросы**

1. С какой целью в уравнения Максвелла вводят объемные плотности магнитных зарядов и токов; приведите пример технической реализации магнитного тока.
2. Дайте определения плоской, цилиндрической и сферической волн.
3. Поясните, почему одна и та же среда (материал) на различных частотах проявляет различные электрофизические свойства; приведите примеры.
4. В чем заключается физическое содержание условий излучения.
5. При решении каких задач целесообразно применять приближенные граничные условия Леонтовича.
6. Приведите примеры, иллюстрирующие эффективность применения принципа эквивалентных (вторичных) токов.
7. Физическое содержание вещественности собственных значений и ортогональности собственных функций краевой задачи для идеального резонатора.
8. Что означает нарушение свойства ортогональности собственных мод резонатора при наличии потерь в его стенках.

9. Численные значения каких величин необходимо знать, чтобы рассчитать собственные частоты резонатора круглого сечения для колебаний E- и H-типов.
10. Назовите способы возбуждения резонаторов; приведите примеры.
11. По вашим чертежам изготовлен резонатор, но частота его не совпадает с расчетной. Как подстроить резонатор на заданную частоту?
12. Физическое содержание частотного и пространственного резонансов, наблюдаемых при возбуждении резонатора.
13. Физические основы распространения электромагнитных волн в диэлектрических волноводах.
14. Определите понятие поверхностной волны.
15. Перечислите условия распространения T-волн в волноводах и дайте им физическую трактовку.
16. Что такое запертый режим работы волновода?
17. Какие типы волн в круглом волноводе обладают аномальной зависимостью коэффициента затухания от частоты; дайте физическое объяснение этому эффекту.
18. Приведите обобщенную эквивалентную схему локальной нерегулярности в волноводе и поясните физическое содержание ее элементов.
19. Многомодовая матрица рассеяния и физическое содержание ее элементов.
20. В чем заключается отличие волнопроводов от периодических замедляющих систем.

### **Темы рефератов**

1. Интерференция и дифракция электромагнитных волн.
2. Неоднородности в волноводах.
3. Диафрагмы в прямоугольном волноводе.
4. Распространение плоских волн в намагниченном феррите.
5. Вентили и циркуляторы.
6. Согласование волнопроводов многоступенчатыми
7. переходами.

### **7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС**

Баллы по соответствующим видам учебной деятельности заносятся в столбцы 2–7, для результатов промежуточной аттестации предусмотрен столбец 8.

Таблица 1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
7	10	0	30	20	0	0	40	100

## **Программа оценивания учебной деятельности студента**

### **Лекции**

Посещаемость, активность; количество баллов за семестр – от 0 до 10.

Критерии оценки:

- не более 50% от числа занятий в семестре – 0 баллов,
- от 51% до 70 % – 3 балла;
- от 71% до 90% – 6 баллов;
- от 91 до 100% занятий – 10 баллов.

### **Лабораторные занятия**

Не предусмотрены.

### **Практические занятия**

Выполнение практических заданий; количество баллов (за один семестр) – от 0 до 30.

Критерий оценки:

- при полностью правильном и своевременном выполнении студентом всех практических заданий – 30 баллов;
- при частичном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 90%) – 25 баллов;
- при частичном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 80%) – 20 баллов;
- при частичном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 70%) – 15 баллов
- при частичном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 60%) – 10 баллов
- при частичном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 51%) – 5 баллов
- в остальных случаях – 0 баллов.

### **Самостоятельная работа**

Написание реферата по одному из разделов дисциплины; количество баллов – от 0 до 20.

Критерий оценки:

- при полностью правильном оформлении и сдаче в срок реферата – 20 баллов;
- при допущении незначительных недочетов в оформлении и сдаче в срок реферата – 14-15 баллов;
- при допущении существенных недочетов в оформлении и сдаче в срок реферата – 9-10 баллов;
- при допущении существенных недочетов в оформлении и несвоевременной сдаче реферата – 5 баллов;

- в остальных случаях – 0 баллов.

### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрены.

### **Другие виды учебной деятельности**

Не предусмотрены.

### **Промежуточная аттестация**

Форма промежуточной аттестации – экзамен; количество баллов – от 0 до 40. Экзамен проводится в устной форме в виде ответов на вопросы билета и два дополнительных вопроса из перечня вопросов к промежуточной аттестации. Билет содержит два вопроса из перечня вопросов к промежуточной аттестации.

Критерий оценки ответа на каждый вопрос при проведении промежуточной аттестации:

- на вопрос дан правильный, полный, развернутый ответ (допускаются незначительные погрешности) – 9-10 баллов;
- на вопрос дан правильный, но неполный ответ (например, при доказательстве теоремы, изложении метода отсутствуют отдельные логические шаги; допущена ошибка при вычислении; имеются другие неточности) – 6-8 баллов;
- на вопрос дан краткий ответ, содержащий только верно сформулированные факты (допускаются незначительные погрешности) – 5 баллов;
- в остальных случаях – 0 баллов.

Максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за один семестр по дисциплине «Электродинамика СВЧ» составляет 100 баллов.

Таблица 2. Пересчет полученной студентом итоговой суммы баллов за семестр по дисциплине «Электродинамика СВЧ» в оценку (экзамен):

Итоговая сумма баллов	Оценка по дисциплине
0 – 50	неудовлетворительно
51-70	удовлетворительно
71-90	хорошо
91 – 100	отлично

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст]: учебное пособие / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. - 5-е изд. - Москва: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2011. - 542, [2] с. (В НБ СГУ 114 экз.)

2. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. - Москва: Лань, 2010. - 480 с. - Библиогр.:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=544](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=544)

б) дополнительная литература:

1. Электродинамика и микроволновая техника [Текст]: учебник / А.Д. Григорьев. - 2-е изд., доп. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2007. - 703, [1] с. : (В НБ СГУ 113 экз.)
2. Техническая электродинамика [Текст]: учебник / О.И. Фальковский. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2009. - 429, [3] с. (В НБ СГУ 12 экз.)
3. Электродинамические методы проектирования устройств СВЧ и антенн [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.А. Неганов, Е.И. Нефедов, Г.П. Яровой. - Москва: Радио и связь, 2002. - 415, [1] с. : ил. - Библиогр. (В НБ СГУ 5 экз.)
4. Антенны и устройства СВЧ. Часть 2. Антенны [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012 - .Антенны и устройства СВЧ. Часть 2. Антенны / Шостак А.С. - 2012. - 168 с. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
5. Устройства СВЧ и антенны. Часть 2. Антенны [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012 - .Устройства СВЧ и антенны. Часть 2. Антенны / Гошин Г.Г. - 2012. - 159 с. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com>
2. База данных Scopus <https://www.scopus.com/>
3. Электронная библиотека СГУ <http://library.sgu.ru/>
4. Электронная полнотекстовая библиотека Ихтика <http://ihtik.lib.ru/>
5. Учебная физико-математическая библиотека – EqWorld <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>
6. Библиотека Естественных Наук РАН <http://www.benran.ru/>
7. Электронная библиотека «Наука и техника» <http://n-t.ru/>
8. Электронная библиотека Российской государственной библиотеки <http://elibrary.rsl.ru/>
9. Электронная библиотека TWIPX <http://www.twirpx.com/>
10. Публичная Электронная Библиотека "ПРОМЕТЕЙ" [http://lib.prometey.org/?cat\\_id=8](http://lib.prometey.org/?cat_id=8)

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- мультимедийный проектор,
- персональный компьютер.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» и профилю подготовки «Физика и техника электронных средств».

Авторы: доцент кафедры радиотехники и электродинамики, к.ф.-м.н.

 М.М. Слепченков

Программа одобрена на заседании кафедры радиотехники и электродинамики от 13 июня 2016 года, протокол № 10.

Зав. кафедрой радиотехники и электродинамики, д.ф.-м.н., профессор

  


О.Е. Глухова

Декан физического факультета  
д.ф.-м.н., профессор

В.М. Аникин

*Приложение к рабочей программе*

Перечень программного обеспечения, используемого при обучении  
студентов  
физического факультета по направлению  
03.03.03 «Радиофизика»  
профиль «Физика и техника электронных средств»

Кроме программных пакетов и утилит, входящий в стандартную поставку ОС Debian 8 (список используемых лицензий: <https://www.debian.org/legal/licenses/>), 9 и Ubuntu 16.04 xenial

<b>Название программного обеспечения</b>	<b>Версия</b>	<b>Лицензия</b>
ОС Debian	8	<a href="https://www.debian.org/legal/licenses/">https://www.debian.org/legal/licenses/</a>
ОС Debian	9	<a href="https://www.debian.org/legal/licenses/">https://www.debian.org/legal/licenses/</a>
Ubuntu	16.04 Xenial	<a href="http://releases.ubuntu.com/16.04/">http://releases.ubuntu.com/16.04/</a>
Brasero	3.11.4	GNU GPL
GROMACS	4.6.3	GNU LGPL
GNU Image Manipulation Program (GIMP)	2.8.14	GNU GPL
GParted	0.19.0	GNU FDL
Google Chrome	53.0.2785.116	Условия предоставления услуг Google Chrome ( <a href="https://www.google.com/chrome/browser/privacy/eula_text.html">https://www.google.com/chrome/browser/privacy/eula_text.html</a> )
HandBrake	0.10.1	GNU GPL
Inkscape	0.48.5	GNU GPL
LibreOffice	5.2.1.2	Mozilla Public License
Transmission	2.92	GNU GPL
Sublime Text 3	Build 3126	Пользовательское соглашение ( <a href="https://www.sublimetext.com/eula">https://www.sublimetext.com/eula</a> )

Vim	7.4.1829	GNU GPL-совместимая
Xarchiver	0.5.4	GNU
Qt Creator	4.1.0	GNU LGPL
Visual Molecular Dynamics	1.9.2	Пользовательское соглашение <a href="http://www.ks.uiuc.edu/Research/vmd/current/LICENSE.html">http://www.ks.uiuc.edu/Research/vmd/current/LICENSE.html</a>
LAMMPS		GPL
Salome_Meca	2015.2	LGPL
CalculiX	0.2	GNU GPL
Htop	2.0.2	GNU GPL
GParted	3.2	GNU GPL2
PsychoPY	1.83.04	GNU GPL
FreeCAD	0.15	LGPL2+, GNU GPL2+
LibreCAD	1.0.0	GNU GPL2
InkScape	0.91	GNU GPL2
Texmaker	4.4.1	GNU GPL2
DFTB+	1.2	Пользовательское соглашение ( <a href="http://www.dftb-plus.info/download/registration/">http://www.dftb-plus.info/download/registration/</a> )
SMPlayer	16.4.0	GNU GPL2
Midnight Commander	4.8.17	GNU GPL3
CUPS	2.1.0	GNU GPL, GNU LGPL
Meep	1.3	GNU GPL 2+
Cisco Packet Tracer	7.0	Proprietary (бесплатная регистрация)
PartSim		<a href="http://www.partsim.com/">http://www.partsim.com/</a>
Circuit Simulator	version 2.1.4js (pfalstad)	<a href="http://www.falstad.com/">http://www.falstad.com/</a>
Gaussian	G09	Proprietary (лицензия СГУ)