

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 24.10.2023 13:59:21
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

Приложение к ОПОП
«Микроволновая электроника»

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»

для подготовки бакалавров

по направлению

11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

по профилю

«Микроволновая электроника»

Санкт-Петербург

2022

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.ф.-м.н., доцент Зубко С.П.

доцент, к.т.н., доцент Янкевич В.Б.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры МВЭ

10.03.2022, протокол № 2

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией

ФЭЛ, 24.03.2022, протокол № 01/22

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра	МВЭ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	3
Семестр	5
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	51
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	34
Иная контактная работа (академ. часов)	3
Все контактные часы (академ. часов)	105
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	75
Всего (академ. часов)	180
Вид промежуточной аттестации	
Экзамен (курс)	3
Курсовой проект (курс)	3

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»

Основной целью изучения дисциплины «Электродинамика» является изучение фундаментальных законов теории поля, свойств различных сред, закономерностей распространения электромагнитных волн в различных средах, волновых процессов на границах раздела сред с различными свойствами, излучения и дифракции электромагнитных волн, методов расчета полей электромагнитных волн и колебаний в микроволновых направляющих и колебательных системах. Данная дисциплина закладывает основы для последующего изучения механизмов преобразования энергии источников постоянного тока в энергию электромагнитных волн, а следовательно и принципа действия всей современной элементной базы микроволновой и оптической электроники.

SUBJECT SUMMARY

«ELECTRODYNAMICS»

The target of the discipline "Electrodynamics" is the knowledge of the fundamental laws of field theory, the properties of various media, the propagation laws of electromagnetic waves in various media, wave processes at interfaces with different properties, radiation and diffraction of electromagnetic waves, methods of calculating the fields of electromagnetic waves and oscillations in microwave guides and oscillating systems. This discipline creates bases for future study of the mechanisms of energy conversion dc sources in the energy of electromagnetic waves and, consequently, the operating principle of all modern element base of microwave and optical electronics.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цели дисциплины: формирование у обучающихся знаний, умений и навыков для решения задач, связанных с процессами распространения свободных и направляемых электромагнитных волн.

2. Задачи дисциплины:

-изучение теоретических основ описания и расчета электромагнитного поля в различных средах;

-формирование представлений о характерных особенностях распространения электромагнитной волны в разных материалах, используемых при конструировании элементов и устройств электроники и наноэлектроники;

-выработка навыков моделирования процессов распространения электромагнитных волн в направляющих системах и резонаторах;

-формирование умений применять теоретические знания к расчету параметров направляющих систем и резонаторов с целью их использования при конструировании элементов и устройств высокочастотной электроники и оптики.

3. Знания об основных уравнениях электродинамики, законах распространения электромагнитных волн в различных средах, законах излучения электромагнитных волн, законах распространения направленных электромагнитных волн, основных типов направляющих систем и резонаторов, методов анализа электромагнитного поля.

4. Формирование умений применять полученные знания для расчета электромагнитных полей, расчета и экспериментального исследования параметров и характеристик направляющих и колебательных систем.

5. Освоение навыков владения методами математического и компьютерного моделирования электромагнитных полей в различных средах и в направляющих

системах; приемами экспериментального исследования процесса распространения электромагнитных волн в направляющих и колебательных системах.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Информационные технологии»
2. «Математический анализ»
3. «Физика»
4. «Материалы электронной техники»
5. «Теоретические основы электротехники»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Микроволновая электроника»
2. «Твердотельная электроника»
3. «Основы проектирования электронной компонентной базы»
4. «Программные средства моделирования электронной компонентной базы»
5. «Производственная практика (преддипломная практика)»

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

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ОПК-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности
<i>ОПК-1.1</i>	<i>Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	1				1
2	Тема 1. Основные уравнения классической электродинамики	4				2
3	Тема 2. Граничные условия для векторов электромагнитного поля на поверхности раздела сред	2				2
4	Тема 3. Потенциалы электромагнитного поля	2				2
5	Тема 4. Волновые уравнения для векторов электромагнитного поля	4				4
6	Тема 5. Перенос энергии электромагнитным полем	4				4
7	Тема 6. Распространение электромагнитной волны в диспергирующей среде	4	0	2		6
8	Тема 7. Электромагнитные волны в анизотропных средах	2	0	2		4
9	Тема 8. Плоские электромагнитные волны на границе раздела сред	2	2		1	2
10	Тема 9. Электромагнитные волны в направляющих системах	2	0			4
11	Тема 10. Распространение электромагнитной волны в закрытом прямоугольном волноводе	4	6	2		4
12	Тема 11. Распространение электромагнитной волны в закрытом круглом волноводе	2	0	2		4
13	Тема 12. Распространение электромагнитной волны в диэлектрических волноводах	4				4
14	Тема 13. Продольно-периодические направляющие системы	2		4		6
15	Тема 14. Электромагнитные волны в волноводящих структурах с поперечными и квазипоперечными типами поля	4	4	1		6
16	Тема 15. Объемные и планарные резонаторы	2		4		4
17	Тема 16. Излучение и дифракция электромагнитных волн	4	10			6
18	Тема 17. Математическое и компьютерное моделирование электромагнитных полей	2	12		2	10
	Итого, ач	51	34	17	3	75

Из них ач на контроль	0	0	0	0	35
Общая трудоемкость освоения, ач/зе	180/5				

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Предмет классической электродинамики. Место и роль электродинамики в общей теории электромагнетизма. Электромагнитная волна. Электромагнитное поле. Электромагнитное излучение. Частотные диапазоны электромагнитного излучения. Области применения электромагнитных волн.
2	Тема 1. Основные уравнения классической электродинамики	Элементы векторного анализа. Векторы электромагнитного поля. Материальные уравнения. Классификация сред по значениям их электрофизических параметров. Исходные положения к получению уравнений Максвелла. Уравнения Максвелла в интегральной форме. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме. Уравнения Максвелла для полей, изменяющихся во времени по гармоническому закону.
3	Тема. 2. Граничные условия для векторов электромагнитного поля на поверхности раздела сред	Граничные условия для нормальных составляющих векторов электромагнитного поля. Граничные условия для касательных составляющих векторов. Граничные условия для векторов электромагнитного поля на поверхности идеального проводника.
4	Тема 3. Потенциалы электромагнитного поля	Векторный потенциал магнитного поля. Скалярный потенциал электрического поля. Калибровка Лоренца. Калибровка Кулона. Неоднородное уравнение Даламбера для векторного потенциала. Неоднородное уравнение Даламбера для скалярного потенциала.
5	Тема 4. Волновые уравнения для векторов электромагнитного поля	Однородные волновые уравнения для мгновенных значений амплитуды монохроматического поля. Скорость света. Однородные волновые уравнения Гельмгольца. Дисперсионное уравнение для плоской волны. Уравнение плоской однородной бегущей волны. Волновой фронт. Характеристическое сопротивление среды. Фазовая скорость электромагнитной волны в неограниченной среде.
6	Тема 5. Перенос энергии электромагнитным полем	Уравнение баланса для мгновенных значений мощностей в электромагнитном поле. Уравнение баланса энергии гармонических колебаний. Вектор Умова-Пойнтинга. Лемма Лоренца и теорема взаимности в электродинамике.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
7	Тема 6. Распространение электромагнитной волны в диспергирующей среде	Временная дисперсия среды. Модели диспергирующей среды: модель Дебая, модель Друде-Лоренца. Дисперсия в среде, содержащей подвижные носители заряда. Комплексная диэлектрическая проницаемость диспергирующей среды. Тангенс угла электрических потерь. Волновое число, характеристическое сопротивление, длина волны, вектор Умова-Пойнтинга в диспергирующей среде. Декремент затухания волны. Групповая скорость. Скорость распространения энергии электромагнитного поля. Поверхностное сопротивление металла по отношению к электромагнитному полю.
8	Тема 7. Электромагнитные волны в анизотропных средах	Свойства и электрофизические параметры феррита в постоянном магнитном поле. Распространение электромагнитных волн в неограниченной ферритовой среде. Магнитная проницаемость насыщенного феррита. Оптический эффект Фарадея. Продольный и поперечный ферромагнитный резонансы.
9	Тема 8. Плоские электромагнитные волны на границе раздела сред	Поляризация электромагнитных волн. Плоскость поляризации поперечной электромагнитной волны. Волны с линейной поляризацией. Волны с эллиптической поляризацией. Волны с круговой поляризацией. Падение нормально поляризованной волны на границу раздела сред. Законы Снеллиуса и коэффициенты Френеля. Падение параллельно поляризованной плоской волны на границу раздела сред. Полное прохождение волны во вторую среду. Полное отражение волны от границы сред. Нормальное падение плоской волны на границу раздела сред. Режимы распространения волны в первой среде при нормальном падении: режим с частичным отражением, режим бегущих волн, режим стоячих волн. Граничные условия Леонтовича.
10	Тема 9. Электромагнитные волны в направляющих системах	Классификация направляющих систем. Распространение волны в закрытом регулярном волноводе с однородной изотропной средой. Продольное и поперечное волновые числа в волноводе. Волна электрического типа. Волна магнитного типа. Закон дисперсии волны в волноводе. Частота отсечки и критическая длина волны. Продольное распределение полей в регулярном волноводе. Различные типы дисперсионных характеристик направляющих систем. Дисперсия волны в волноводе. Волновое сопротивление направляющей системы. Мощность и затухание направленной электромагнитной волны в направляющей системе. Общая математическая формулировка задач на собственные значения. Свойства решений. Спектр собственных типов волн и их ортогональность. Основной тип волны. Одномодовый режим работы волновода.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
11	Тема 10. Распространение электромагнитной волны в закрытом прямоугольном волноводе	Уравнения связи для волн электрического типа и волн магнитного типа. Структуры полей в прямоугольном волноводе. Волновое сопротивление. Критическая длина волны. Основной тип поля в прямоугольном волноводе. Поток мощности через поперечное сечение волновода. Распределение токов проводимости и токов смещения. Устройства возбуждения прямоугольного волновода.
12	Тема 11. Распространение электромагнитной волны в закрытом круглом волноводе	Уравнения связи для волн электрического типа и волн магнитного типа в круглом металлическом волноводе. Волновое сопротивление, критическая длина волны в круглом металлическом волноводе. Основной тип поля в круглом металлическом волноводе. Структуры полей в круглом металлическом волноводе. Симметричные поля в круглом волноводе.
13	Тема 12. Распространение электромагнитной волны в диэлектрических волноводах	Основные типы диэлектрических волноводов. Тонкопленочный диэлектрический волновод. Волны электрического типа и волны магнитного типа в диэлектрическом волноводе. Критическая частота в диэлектрическом волноводе. Закон дисперсии. Спектры волн СВЧ и оптического диапазонов частот. Волоконно-оптический волновод. Одномодовые и многомодовые оптические волноводы.
14	Тема 13. Продольно-периодические направляющие системы	Замедляющие системы. Условия существования и свойства медленных волн. Распространение волн в периодических замедляющих системах. Пространственные гармоники. Дисперсионные характеристики и сопротивление связи. Основные типы замедляющих систем. Области применения.
15	Тема 14. Электромагнитные волны в волноведущих структурах с поперечными и квазипоперечными типами поля	Типы линий передачи с ТЕМ и квази-ТЕМ волнами. Основные признаки волны поперечного и квази-поперечного типов. Телеграфные и волновые уравнения. Волновое сопротивление линии передачи. Коэффициент отражения. Коэффициент стоячей волны. Режимы распространения волны в линии передачи. Трансформация импеданса отрезком линии передачи. Эффективная диэлектрическая проницаемость линии передачи с квази-ТЕМ волной. Типы волн, распространяющихся в коаксиальной линии передачи. Закон дисперсии для волн, распространяющихся в коаксиальной линии передачи.
16	Тема 15. Объемные и планарные резонаторы	Собственные колебания в прямоугольном объемном резонаторе. Основные типы поля в прямоугольном резонаторе. Собственная добротность прямоугольного резонатора. Микрополосковый резонатор. Условие резонанса. Собственная частота и собственная добротность микрополоскового резонатора.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
17	Тема 16. Излучение и дифракция электромагнитных волн	Постановка задачи излучения. Классификация антенн. Электрический диполь Герца. Ближняя и дальняя зоны антенны. Сопротивление излучения. Диаграмма направленности антенны. Коэффициент направленности действия антенны. Постановка задачи дифракции. Дифракция плоской электромагнитной волны на отверстии в плоском проводящем экране.
18	Тема 17. Математическое и компьютерное моделирование электромагнитных полей	Прикладные задачи электродинамики и современные численные методы их решения. Примеры алгоритмов и программ компьютерного моделирования электромагнитных полей.

4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Исследование электрофизических свойств материалов в микроволновом диапазоне	4
2. Исследование электромагнитных волн в волноводах	5
3. Исследование замедляющих систем	4
4. Исследование объемных резонаторов	4
Итого	17

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Исследование преломления электромагнитной волны на границе раздела двух сред	2
2. Исследование характеристик прямоугольного металлического волновода	2
3. Моделирование распространения электромагнитной волны в прямоугольных волноводах	4
4. Численное моделирование параметров рупорной антенны	5
5. Численное моделирование параметров дипольной антенны	5
6. Основные параметры и характеристики микрополосковых линий	2
7. Расчет потерь в микрополосковой линии	2
8. Расчет параметров фильтра нижних частот на основе микрополосковой линии	6
9. Оптимизация структуры фильтра нижних частот на основе микрополосковой линии	6
Итого	34

4.4 Курсовое проектирование

Цель работы (проекта): -изучение основных параметров и характеристик микрополосковой линии, широко применяемой на практике для изготовления гибридных и монолитных интегральных схем микроволнового диапазона; -изучение принципов и приобретение навыков оптимального компьютерного проектирования на примере широко используемого в микроволновых системах телекоммуникаций фильтра нижних частот на основе одиночной микрополосковой линии.

Содержание работы (проекта): Оптимизация варьируемых параметров структуры фильтра по его заданной амплитудно-частотной характеристике осуществляется с помощью оригинального программного средства, реализующего современный инженерный алгоритм проектирования и содержащего элементы обучающей системы. В соответствии с требованиями к последней студент получает возможность перейти к следующему этапу проектирования только, если результаты предыдущих этапов последовательно удовлетворяют ряду заданных требований, а именно: к структуре фильтра, к режиму работы микрополосковой линии на основном типе волны (структура поля, одноволновый режим работы, дисперсия) к допустимому уровню потерь в различных средах, к условиям физической реализуемости и пр.

Возможность оптимизации достигается тем, что в основу организации программы положено так называемое «дерево взаимодействия», позволяющее студенту, находясь на любом этапе проектирования, произвольно менять любые параметры устройства и оперативно оценивать их влияние на конечный результат - в соответствии с предложенными критериями оптимальности и критерием качества заданной амплитудно-частотной характеристики. В свою очередь, это дает студенту возможность самостоятельно «прощупать» особенности использованной физической и математической моделей устройства, алгоритма его расчета и проектирования и при этом, не навязывая студенту жесткую схему мысли-

тельного процесса (она у каждого своя), направлять его мысль в нужном направлении. На заключительном этапе -этапе конструирования, т.е. подготовки конструкторско-технологической документации на изготовление микросборки -законченного микроволнового узла, содержащего спроектированный фильтр и коаксиально-полосковый переход, обеспечивающий возможность включения микросборки в микроволновый тракт, могут быть использованы такие универсальные программы, как КОМПАС, AutoCAD, PCAD и др., изучаемые студентами в рамках дисциплины «Информатика».

Пояснительная записка к курсовой работе (проекту) должна быть выполнена в соответствии с требованиями к студенческим работам, принятым в СПбГЭТУ. Записка должна включать в себя титульный лист, задание, основные теоретические сведения по поставленной задаче, основную часть, включающую конструкторско-технологическую документацию на изготовление микросборки - законченного микроволнового узла, содержащего спроектированный фильтр и коаксиально-полосковый переход, с комментариями, список литературы и заключение. Список литературы должен содержать не менее 3 и не более 15 источников. Объем пояснительной записки не менее 10 и не более 20 страниц. Работа сдается преподавателю в электронном и печатном виде.

Темы:

№ п/п	Название темы	Перевод темы
1	Компьютерное проектирование микроволнового фильтра нижних частот на основе микрополосковой линии передачи	Computer-aided design of a microwave low-pass filter based on a microstrip transmission line

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	16

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	7
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	3
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	7
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	7
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
ИТОГО СРС	75

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Вендик, Орест Генрихович. Электродинамика [Текст] : учеб. пособие / О.Г. Вендик, Т.Б. Самойлова, 2006. -144 с.	101
2	Григорьев, Андрей Дмитриевич. Электродинамика и микроволновая техника [Текст] : учеб. для вузов по специальности "Электронные приборы и устройства" направления подгот. "Электроника и микроэлектроника" / А.Д. Григорьев, 2007. -703, [4] с.	110
3	Григорьев, Андрей Дмитриевич. Электродинамика [Текст] : лаб. практикум / А.Д. Григорьев, В.Б. Янкевич, 2007. -79 с.	101
4	Компьютерное проектирование микроволнового фильтра нижних частот на одиночной микрополосковой линии [Текст] : метод. указания к курсовому проекту по дисциплине "Электродинамика" / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2013. -25, [3] с.	50
5	Компьютерное моделирование волновых процессов на границах раздела сред с различными свойствами [Текст] : метод. указания к практ. занятиям по дисциплине "Электродинамика" / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2015. -33, [1] с.	20
6	Техника СВЧ [Текст] : метод. указания к лаб. работам по дисциплине "Электродинамика" / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2006. -28 с.	92
7	Физические основы техники СВЧ [Текст] : метод. указания к практ. занятиям по дисциплине "Электродинамика" / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2006. -20 с.	66
Дополнительная литература		
1	Никольский, Вячеслав Владимирович. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] : учеб.пособие для студентов радиотехнических специальностей ВУЗОВ / В. В. Никольский, 1973. -607 с.	22
2	Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике [Текст] : [в 9 т.]. Т. 6 : Электродинамика / [пер. с англ. А.В. Ефремова [и др.]], 1977. -347 с.	12

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библи.
3	Пименов, Юрий Вадимович. Техническая электродинамика [Текст] : Учеб. пособие для вузов по специальностям "Сети связи и системы коммутации", "Многоканал. телекоммуникац. системы", "Радиосвязь, радиовещание и телевидение", "Средства связи с подвижными объектами", "Аудиовизуал. техника", "Физика и техника оптической связи и направлению", "Телекоммуникации" / Ю.В.Пименов, В.И.Вольман, А.Д.Муравцов, 2000. -536 с.	152
4	Альтман, Джером Л. Устройства сверхвысоких частот [Текст] : учеб. пособие ; пер. с англ. / Дж. Л. Альтман ; под ред. И.В. Лебедева, 1968. -487 с.	23
5	Гупта К. Машинное проектирование СВЧ устройств [Текст] : монография / К.Гупта, Р.Гардж, Р.Чадха; Пер. с англ. С.Д.Бродецкий; Под ред. В.Г.Шейнкмана, 1987. -429 с.	13
6	Григорьев, Андрей Дмитриевич. Излучение и дифракция электромагнитных волн [Текст] : Текст лекций / А.Д. Григорьев, 1996. -64 с.	60
7	Григорьев, Андрей Дмитриевич. Резонаторы и резонаторные замедляющие системы СВЧ : численные методы расчета и проектирования [Текст] : монография / А.Д. Григорьев, В.Б. Янкевич, 1984. -247 с.	87
8	Сборник задач по курсу "Электродинамика и распространение радиоволн" [Текст] : учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов / под ред. С.И. Баскакова, 1981. -206, [2] с.	6

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Вспомогательные материалы для подготовки к коллоквиуму: Компьютерное моделирование волновых процессов на границах раздела сред с различными свойствами. Метод. указания к практическим занятиям по дисциплине "Электродинамика". -СПб "ЛЭТИ", 2015 https://vk.cc/ciBbwi

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=12382>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Электродинамика» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

Экзамен

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

Особенности допуска

Обучающийся допускается к экзамену в случае достаточного количества посещенных занятий (не менее 80% лекционных и практических занятий) и успешного выполнения выполнения и защиты лабораторных работ и курсового проекта. Экзамен проводится по билетам.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Исходные положения к получению уравнений Максвелла. Ток смещения. Уравнения Максвелла в интегральной и в дифференциальной формах. Уравнения Максвелла для полей при гармонической зависимости от времени. Физический смысл составных частей уравнений.
2	Граничные условия для нормальных составляющих векторов электромагнитного поля. Граничные условия для касательных составляющих векторов электромагнитного поля. Граничные условия для векторов напряженности электрического и магнитного полей на поверхности идеального проводника. Поверхностное сопротивление металла.
3	Векторный и скалярный потенциалы электромагнитного поля. Их связь с векторами напряженности электрического и магнитного полей. Уравнения Даламбера для скалярного и векторного потенциалов электромагнитного поля. Условия калибровки (калибровка Лоренца, калибровка Кулона) для потенциалов.
4	Волновые уравнения. Скорость света. Уравнения Гельмгольца. Уравнение плоской однородной монохроматической бегущей волны. Характеристическое сопротивление среды.
5	Фазовая скорость плоской электромагнитной волны в неограниченной среде без потерь. Зависимость фазовой скорости электромагнитной волны от параметров среды, в которой она распространяется.
6	Пространственная дисперсия и временная дисперсия среды. Модели процесса поляризации среды (модель Дебая, модель Друде-Лоренца). Комплексная диэлектрическая проницаемость диспергирующей среды.
7	Волновое число, характеристическое сопротивление, длина волны, вектор Пойнтинга в диспергирующей среде. Тангенс угла электрических потерь, как критерий классификации сред. Фазовая и групповая скорость волны в диспергирующей среде.
8	Уравнение баланса мощности в дифференциальной и в интегральной формах для мгновенных значений мощностей в электромагнитном поле. Вектор Умова-Пойнтинга.
9	Уравнение баланса энергии гармонических колебаний. Комплексный вектор Умова-Пойнтинга.

10	Лемма Лоренца и основное соотношение теоремы взаимности в электродинамике.
11	Поляризация электромагнитных волн. Плоскость поляризации электромагнитной волны. Волны с линейной поляризацией. Волны с эллиптической поляризацией. Волны с круговой поляризацией.
12	Падение нормально поляризованной волны на границу раздела двух сред под произвольным углом. Законы Снеллиуса. Коэффициенты Френеля.
13	Падение параллельно поляризованной волны на границу раздела двух сред под произвольным углом. Законы Снеллиуса. Коэффициенты Френеля. Приближенные граничные условия Леонтовича.
14	Нормальное падение плоской волны на границу раздела двух сред. Режимы распространения волны в среде при нормальном падении: режим с частичным отражением, режим бегущих волн, режим стоячих волн.
15	Падение электромагнитной волны на границу раздела двух сред. Условие полного прохождения волны во вторую среду. Условие полного отражения волны от границы раздела двух сред.
16	Классификация направляющих систем. Распространение волны в закрытом регулярном волноводе с однородной изотропной средой. Волновые числа в закрытом регулярном волноводе. Типы волн, распространяющихся в закрытом волноводе.
17	Распространение электромагнитных волн в прямоугольном волноводе. Структуры полей в прямоугольном волноводе. Поперечное волновое число, длина волны, фазовая и групповая скорости волны в прямоугольном волноводе. Закон дисперсии волны в волноводе. Режимы работы прямоугольного волновода. Волновое сопротивление волновода. Продольное распределение полей в регулярном волноводе.
18	Основной тип поля в прямоугольном волноводе. Распределение токов проводимости по стенкам волновода, возбуждаемых полем основного типа. Поток мощности через поперечное сечение прямоугольного волновода для основного типа поля.
19	Структура полей в круглом волноводе. Поперечное волновое число. Частота отсечки. Волновое сопротивление. Основной тип поля в круглом волноводе. Симметричные поля в круглом волноводе.
20	Основные типы диэлектрических волноводов. Волоконно-оптический волновод. Одномодовые и многомодовые оптические волноводы.
21	Тонкопленочный диэлектрический волновод. Типы волн, распространяющихся в тонкопленочном волноводе.
22	Типы волн в коаксиальной линии передачи.
23	Прямоугольный объемный резонатор. Собственные колебания в прямоугольном объемном резонаторе. Распределение электромагнитного поля в резонаторе.
24	Собственная частота прямоугольного объемного резонатора. Добротность объемного резонатора.
25	Микрополосковый резонатор. Собственная частота микрополоскового резонатора. Добротность резонатора.
26	Типы линий передачи с ТЕМ-волнами и квази-ТЕМ волнами. Примеры распределения полей в линиях передачи с ТЕМ-волнами. Телеграфные уравнения. Волновые уравнения.
27	Волновые параметры линии передачи с ТЕМ волнами и их связь с параметрами линии: волновое число, волновое сопротивление. Трансформация сопротивления отрезком линии передачи.
28	Режимы распространения волн в линии передачи. Коэффициент отражения, КСВ.

29	Квази-ТЕМ волна в линии передачи. Способы описания и количественного определения характеристик на примере микрополосковой линии передачи.
----	---

Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина **Электродинамика ФЭЛ**

1. Исходные положения к получению уравнений Максвелла. Ток смещения. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме. Физический смысл составных частей уравнений.

2. Типы волн, распространяющихся в закрытом прямоугольном волноводе. Закон дисперсии волны в прямоугольном волноводе.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Д.В. Холодняк

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Тема 1. Основные уравнения классической электродинамики Тема 2. Граничные условия для векторов электромагнитного поля на поверхности раздела сред Тема 8. Плоские электромагнитные волны на границе раздела сред Тема 6. Распространение электромагнитной волны в диспергирующей среде	
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		Практическая работа
9	Тема 6. Распространение электромагнитной волны в диспергирующей среде Тема 7. Электромагнитные волны в анизотропных средах Тема 9. Электромагнитные волны в направляющих системах Тема 10. Распространение электромагнитной волны в закрытом прямоугольном волноводе Тема 11. Распространение электромагнитной волны в закрытом круглом волноводе Тема 13. Продольно-периодические направляющие системы Тема 15. Объемные и планарные резонаторы	
10		
11		
12		
13		Отчет по лаб. работе
14	Тема 14. Электромагнитные волны в волноведущих структурах с поперечными и квазипоперечными типами поля Тема 15. Объемные и планарные резонаторы Тема 17. Математическое и компьютерное моделирование электромагнитных полей Тема 16. Излучение и дифракция электромагнитных волн	
15		Коллоквиум
16		
17	Тема 5. Перенос энергии электромагнитным полем Тема 9. Электромагнитные волны в направляющих системах Тема 14. Электромагнитные волны в волноведущих структурах с поперечными и квазипоперечными типами поля Тема 17. Математическое и компьютерное моделирование электромагнитных полей	Защита КР / КП

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

на лабораторных занятиях

- Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты

В процессе обучения по дисциплине «Электродинамика» студент обязан выполнить 4 лабораторные работы. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После выполнения 4 лабораторных работ предусматривается проведение коллоквиума на последних 2 неделях семестра, на которых осуществляется защита лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется в бригадах до 3 человек. Оформление отчета студентами осуществляется в количестве одного отчета на бригаду в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения экспериментальных исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения экспериментальных исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при вы-

полнении лабораторной работы.

Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам, по результатам которой студент получает допуск на экзамен.

При оценке качества выполнения отчета и защиты лабораторной работы используются те же критерии, что и при оценке курсового проекта.

на практических (семинарских) занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80% занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных, лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

при выполнении курсового проекта (работы)

Текущий контроль при выполнении курсового проекта (работы) осуществляется в соответствии с методическими указаниями по курсовому проектированию и заданием на курсовой проект (работу).

Оформление пояснительной записки на курсовой проект (работу) выполняется в соответствии с требованиями к студенческим работам принятым в СПбГЭТУ.

Защита курсового проекта (работы) осуществляется в соответствии с тре-

бованиями «Положения о промежуточной аттестации».

Критерии оценки:

”отлично” – оцениваются курсовые работы, содержание которых основано на глубоком понимании поставленной задачи и современной литературы по теме работы. Основные понятия, выводы и обобщения сформулированы убедительно и доказательно. Теоретические выкладки не противоречат возможности их применения на практике. В отчете и на защите продемонстрировано владение методологией и методиками исследований, методами моделирования микроволновых устройств. Поставленная задача решена в полном объеме, отсутствуют неточности в расчетах. Пояснительная записка удовлетворяет всем требованиям по оформлению и объему, присутствуют ссылки на используемую литературу.

”хорошо” - оцениваются курсовые работы, основанные на твердом знании методов решения задачи. Возможны недостатки в систематизации или в обобщении материала, неточности в выводах. Корректно применены теоретические положения при решении поставленной задачи, выбраны конкретные методы ее решения, используя методы сбора, расчета, анализа, классификации, интерпретации данных. Поставленная задача решена, однако в разработанной математической модели присутствуют незначительные неточности, итоговые результаты отклоняются от требуемых, но не более чем на 10%. Пояснительная записка удовлетворяет всем требованиям по оформлению и объему, присутствуют ссылки на используемую литературу.

”удовлетворительно” - оцениваются курсовые работы, которые базируются на знании основ предмета, но имеются значительные пробелы в изложении материала, затруднения в его изложении и систематизации, выводы слабо аргументированы, в модели использованы грубые приближения. Продемонстрировано общее понимание принципов разработки и построения электронных устройств. Поставленная задача решена с применением приближений и упро-

щений не позволяющих на практике реализовать разрабатываемое устройство. Пояснительная записка частично удовлетворяет требованиям по оформлению и объему, в тексте отсутствуют ссылки на используемую литературу.

”неудовлетворительно” - оцениваются курсовые работы, в которых обнаружено неверное изложение основ задания, обобщений и выводов нет. Задача решена не верно, либо результат не получен. Пояснительная записка не удовлетворяет требованиям по оформлению и объему.

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, меловая или маркерная доска, экран, проектор, ПК, ноутбук	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, лабораторные стенды для проведения соответствующих лабораторных работ	
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, меловая или маркерная доска, ПК	1) Программный пакет моделирования сложных микроволновых радиоэлектронных устройств. 2) Программные пакеты MatLab, КОМПАС, AutoCAD, PCAD. 3) Оригинальный авторский программный пакет «SILFIL проектирования фильтра нижних частот на одиночной микроразделительной линии».

Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
------------------------	--------------------------------------	--	--

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА