

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 12.12.2023 10:14:01  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП  
«Системы компьютерного зрения»



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

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

**«ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»**

для подготовки бакалавров

по направлению

11.03.01 «Радиотехника»

по профилю

**«Системы компьютерного зрения»**

Санкт-Петербург

2023

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.т.н. Костиков Г.А.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТОР  
03.03.2022, протокол № 2

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией  
ФРТ, 20.04.2022, протокол № 1

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФРТ
Обеспечивающая кафедра	ТОР
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	5
Курс	3
Семестр	5
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	34
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	17
Иная контактная работа (академ. часов)	3
Все контактные часы (академ. часов)	71
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	109
Всего (академ. часов)	180
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Экзамен (курс)	3
Курсовая работа (курс)	3

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»**

В дисциплине «Техническая электродинамика» рассматриваются следующие основные вопросы: электромагнитные волны в направляющих структурах при произвольной нагрузке, проблема согласования линии с нагрузкой, матричные методы анализа СВЧ цепей, линии с квази-Т волной, волны в периодических структурах, диэлектрические волноводы, световоды, резонанс в распределенных системах, объемные резонаторы, излучение электромагнитных волн, теорема Пойнтинга и лемма Лоренца, возбуждение волноводов и резонаторов, неоднородности в линиях передачи, пассивные и активные устройства СВЧ.

## **SUBJECT SUMMARY**

### **«TECHNICAL ELECTRODYNAMICS»**

In discipline «Technical electrodynamics» following basic questions are considered: electromagnetic waves in directing structures at any loading, a problem of the coordination of a line with loading, matrix methods of the analysis of the microwave oven of chains, lines with a quasi wave, waves in periodic structures, dielectric wave guides, optical paths, a resonance in the distributed systems, volume resonators, radiation of electromagnetic waves, the theorem of Pointing and Lorenz's lemma, excitation of wave guides and resonators, heterogeneity in transfer lines, passive and active devices of the microwave oven.

## **3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **3.1 Цели и задачи дисциплины**

1. Целями изучения дисциплины является приобретение теоретических знаний в области физических и теоретических основ технической электродинамики, формирование практических умений и навыков анализа, расчета и проектирования пассивных и активных устройств СВЧ и субТГц диапазонов.

2. Задачи изучения дисциплины:

-формирование знаний фундаментальных законов технической электродинамики и математического аппарата, позволяющего оперировать с фундаментальными законами;

-формирование знаний о структуре, типах и конструкциях современных СВЧ устройств и их свойствах;

-формирования навыков составления приближенных математических моделей, расчета и анализа электродинамических систем;

-сформировать у обучающихся умение решать основные электродинамические проблемы и проводить анализ, математическое моделирование устройств СВЧ различного класса.

3. Изучение основ технической электродинамики. Приобретение знаний о принципах функционирования пассивных и активных устройств СВЧ.

4. Формирование умений математического моделирования и анализа электромагнитных явлений в типовых устройствах СВЧ.

5. Освоение навыков расчета и измерения характеристик узлов и устройств СВЧ.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Алгебра и геометрия»
2. «Математический анализ»
3. «Физика»
4. «Электромагнитные поля и волны»
5. «Теоретические основы электротехники»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Антенны и распространение радиоволн»
2. «Генерирование колебаний и формирование радиосигналов»
3. «Прием и обработка радиосигналов»

### 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:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
ПК-2	Способен реализовывать программы экспериментальных исследований, включая выбор технических средств и обработку результатов
<i>ПК-2.1</i>	<i>Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов и блоков радиотехнических устройств и систем</i>
<i>ПК-2.2</i>	<i>Умеет проводить исследования характеристик радиотехнических устройств и систем</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				
2	Тема 1. Электромагнитные волны в направляющих структурах	4	2			11
3	Тема 2. Т-волны в многосвязных направляющих системах	4	2	4		11
4	Тема 3. Волны в металлических волноводах	3	2	4		11
5	Тема 4. Направляющие системы с медленными волноводными волнами	3	1			11
6	Тема 5. Электромагнитные поля в колебательных системах	3	2	2		11
7	Тема 6. Элементы теории возбуждения волноводов и резонаторов	3	2	2		11
8	Тема 7. Волновые матрицы. Матрица рассеяния	3	1			11
9	Тема 8. Многополосники СВЧ	3	2	5		11
10	Тема 9. Невзаимные устройства СВЧ	3	1			11
11	Тема 10. Численное решение задач электродинамики	3	2			10
12	Заключение	1			3	
	Итого, ач	34	17	17	3	109
	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 и задачи дисциплины. Структура и содержание дисциплины, её связь с другими дисциплинами учебного процесса и место в подготовке радиоинженера.



№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
2	Тема 1. Электромагнитные волны в направляющих структурах	Понятие направляющей системы, регулярные направляющие системы. Типы направляющих систем: односвязные НС (полые металлические волноводы), многосвязные НС (линии Т-волн), диэлектрические и металлодиэлектрические волноводы, световоды, искусственные замедляющие системы. Физическая и математическая модели граничных задач для направляющих систем. Мембранные уравнения, их решение методом разделения переменных. Собственные функции, собственные волны НС. Классы и моды собственных волн.
3	Тема 2. Т-волны в многосвязных направляющих системах	Системы с распределенными параметрами. Квазистационарность поля в поперечном сечении; волны тока и напряжения длинной линии; волновое сопротивление длинной линии. Т-волны коаксиальной линии, поля, напряжения, ток, волновое сопротивление коаксиальной линии; перенос мощности волной линии. Режим в линии, нагруженной на сосредоточенное сопротивление; КБВ, КСВ, коэффициент отражения; линия как трансформатор напряжения, тока, сопротивления; свойства отрезков линии разной длины; четвертьволновой трансформатор, изолятор. Построение круговой диаграммы сопротивлений (проводимостей) длинной линии; связь круговой диаграммы сопротивлений и векторной диаграммы напряжений и токов в линии. Узкополосное согласования линии с нагрузкой. Затухание Т-волн в длинных линиях. Коэффициент затухания волны коаксиальной линии за счет конечной проводимости стенок; условие минимальных потерь в линии.
4	Тема 3. Волны в металлических волноводах	Особенности волн в волноводах, «Н» и «Е» – волны. Мембранные уравнения для волновода, прямоугольный волновод; решение мембранного уравнения; собственные функции волновода; критические частоты. Явление волноводной дисперсии; фазовая скорость и длина волны в волноводе. Картины полей и поверхностных токов в волноводе. Перенос мощности по волноводу; нормировка собственной функции основного типа. Распространение радиоимпульса по волноводу; групповая скорость. Учет потерь в стенках волновода.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
5	Тема 4. Направляющие системы с медленными волноводными волнами	Разновидности конструкций волноводов медленных волн. Особенности граничных задач для открытых направляющих систем. Анализ однородной граничной задачи для плоского диэлектрического волновода (ПДВ). Классы и моды поверхностных волн ПДВ. Решение дисперсионных уравнений. Основные и высшие моды. Картины полей некоторых мод. Особенности поведения полей вблизи критической частоты. Коэффициент замедления, эффективное сечение волновода. Особенности расчета переносимой мощности и затухания поверхностных волн. Сведения о диэлектрических волноводах других форм поперечного сечения. Области практического применения волноводов медленных волн. Световоды.
6	Тема 5. Электромагнитные поля в колебательных системах	Принципы построения СВЧ колебательных систем, типы и разновидности конструкций резонаторов, применение резонаторов в устройствах СВЧ. Свойства шлейфов – отрезков линии, оканчивающихся коротким замыканием или холостым ходом. Распределение тока и напряжения, частотная зависимость входного импеданса. Частотные и временные характеристики резонаторов на отрезках линий. Примеры анализа однородных граничных задач для объемных резонаторов. Собственные функции объемного резонатора, их ортогональность, нормировка и полнота. Классы и моды собственных колебаний. Резонаторы бегущей волны. Прходные резонаторы. Учет реальных потерь в резонаторах, собственная добротность резонатора, комплексная частота свободных колебаний. Нагруженная добротность резонатора.
7	Тема 6. Элементы теории возбуждения волноводов и резонаторов	Способы представления сторонних источников. Теоремы разложения вынужденных полей в направляющих системах. Метод собственных функций и его применение к расчету возбуждения волн в направляющих системах и колебаний в резонаторах. Конструкции возбуждающих устройств.
8	Тема 7. Волновые матрицы. Матрица рассеяния	Волновые многополюсники. Волновые матрицы. Нормировка амплитуд волн. Определение матрицы рассеяния, особенности ее нормировки, физический смысл, основные свойства. Матрица рассеяния в цепях с сосредоточенными и распределенными параметрами. Понятие эквивалентных схем.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
9	Тема 8. Многополюсники СВЧ	Неоднородности в линиях передачи. Стыки линий передачи. Разветвления. Эквивалентные схемы и матричные модели неоднородностей. Фильтры СВЧ. Реализация фильтров в виде волноводных, коаксиальных, полосковых и микрополосковых конструкций. Перестраиваемые фильтры. Направленные ответвители, мосты. Идеальный направленный ответвитель. Виды и реализация направленных ответвителей в виде волноводных, коаксиальных, полосковых и микрополосковых конструкций. Характеристики направленных ответвителей.
10	Тема 9. Невзаимные устройства СВЧ	Ферритовые устройства СВЧ: волноводные, коаксиальные, полосковые и микрополосковые фазовращатели, вентили, циркуляторы, ограничители и др.
11	Тема 10. Численное решение задач электродинамики	Методы конечных элементов и конечных разностей. Метод конечных разностей во временной области. Принцип декомпозиции. Модели базовых элементов разных уровней. Составление модели сложного объекта.
12	Заключение	Основные направления, тенденции и перспективы развития электродинамики и техники СВЧ.

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Т-волны в длинных линиях	2
2. Волны в волноводах	2
3. Согласование линии передачи с нагрузкой в пакете программ Microwave Office	2
4. Одношлейфное согласование волновода с нагрузкой	2
5. Исследование полоскового СВЧ-резонатора	2
6. Исследование щелевого излучателя в проводящей плоскости	2
7. Исследование волноводных четырехполюсников с поперечными неоднородностями	2
8. Волноводные направленные ответвители и мосты	3
Итого	17

## 4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Погонные параметры линий передачи. Круговая диаграмма	2
2. Одношлейфное согласование линии с нагрузкой	2
3. Затухание волн в линиях передачи	1

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
4. Резонансы в отрезках линий передач. Прямоугольный и цилиндрический резонаторы	2
5. Возбуждение волноводов штырем и щелью	2
6. Многополюсники СВЧ. Волновые матрицы	2
7. Неоднородности в линиях передачи	2
8. Направленные ответвители	2
9. Ферритовые устройства СВЧ	2
Итого	17

#### 4.4 Курсовое проектирование

Цель работы (проекта): Курсовая работа предназначена для развития навыков анализа и проектирования пассивных устройств СВЧ и грамотного использования программ автоматизированного проектирования устройств СВЧ.

Содержание работы (проекта): В процессе выполнения работы студенты проводят электрический и конструктивный расчет одного из предложенных устройств в пакете программ «Microwave Office», а также выполняют моделирование его работы.

Оформление курсовой работы -согласно ГОСТ 7.32-2017 Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. Рекомендуемый объем пояснительной записки -20-25 страниц, рекомендуемое количество использованных источников -5-10.

ПЗ должна включать в себя следующие структурные элементы: титульный лист; задание на КР; аннотацию на русском и английском языках; содержание; определения, обозначения и сокращения (при необходимости); введение; основную часть; заключение; список использованных источников; приложения (при необходимости). Пояснительная записка должна быть отпечатана в черном цвете на принтере через 1,5 интервала на одной стороне белой бумаги формата А4. Активную площадь листа Пояснительной записки ограничивают поля: слева 30 мм, справа 10 мм, сверху и снизу соответственно 20 и 25 мм. Высота букв ос-

нового текста должна быть не менее 2,5 мм (размер шрифта 14). Абзацный отступ – 1.25 см, шрифт – Times New Roman. Все иллюстрации (чертежи, схемы, графики, диаграммы) именуется рисунками. Каждый рисунок сопровождается подрисуночной надписью, которая состоит из номера рисунка и его названия. Рисунки нумеруются арабскими цифрами и в тексте работы на них обязательно должны быть даны ссылки. Нумерация рисунков в пределах всей КР сквозная. Схемы должны соответствовать требованиям государственных стандартов ЕСКД. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире, размер шрифта 14. Таблицы нумеруются арабскими цифрами последовательно в пределах всей КР. На все таблицы в тексте должны быть ссылки. Формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Формулы, при необходимости, нумеруются в пределах всей работы арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении на строке.

Темы:

№ п/п	Название темы	Перевод темы
1	Проектирование СВЧ устройств	Design of Microwave devices

#### **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	3
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	20
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	15
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	36
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
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>109</b>

## 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	Максимов В.М. Линии передачи СВЧ-диапазона [Текст] : Учеб. пособие для вузов в обл. радиотехники, электроники, биомед. техники и автоматизации по направлению подгот. дипломир. специалистов 654200 "Радиотехника" / В.М.Максимов, 2002. -80 с.	146
2	Петров, Борис Михайлович. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] : учеб. для вузов по направлению "Радиотехника" и специальностям "Радиотехника", "Радиофизика и электроника", "Бытовая радиоэлектронная радиоаппаратура" / Б.М. Петров, 2003. -558 с.	96
3	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
4	Лавренко, Борис Евгеньевич. Компьютерное проектирование устройств СВЧ [Текст] : учеб. пособие / Б.Е. Лавренко, Ю.Е. Лавренко, В.Н. Малышев, 2010. -118, [1] с.	205
5	Никольский, Вячеслав Владимирович. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Никольский, Т. И. Никольская, 2014. -542 с.	60
6	Техническая электродинамика [Текст] : лаб. практикум / [В. С. Алексеев [и др.], 2014. -90 с.	32
7	Техническая электродинамика [Текст] : лаб. практикум / [С. В. Грачев, Ю. Е. Лавренко, В. Н. Малышев, В. А. Степанов], 2011. -111 с.	79
Дополнительная литература		
1	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 оптич. связи и направлению", "Телекоммуникации" / Ю.В.Пименов, В.И.Вольман, А.Д.Муравцов, 2000. -536 с.	152
2	Сазонов, Дмитрий Михайлович. Устройства СВЧ [Текст] : [учеб. пособие для вузов по специальности "Радиотехника"] / Д. М. Сазонов, А. Н. Гридин, Б. А. Мишустин, 1981. -295 с.	78



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

№ п/п	Электронный адрес
1	Страница дисциплины на сайте кафедры ТОР <a href="http://www.tor.eltech.ru:8000/edu/bachelor/ted">http://www.tor.eltech.ru:8000/edu/bachelor/ted</a>

## 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=10386>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

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

#### Экзамен

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
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 теорем
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

Для допуска к экзамену необходимо:

- выполнить все лабораторные работы, представить отчеты по ним и защитить их;
- выполнение контрольной работы;
- подготовить и защитить на положительную оценку курсовую работу.

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

### Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Общая характеристика направляющих систем СВЧ (НС), разновидности конструкций, классы электромагнитных волн в НС.
2	Постановка граничных задач для НС. Метод разделения переменных, мембранные уравнения, мембранные функции.
3	Анализ граничных задач для прямоугольного металлического волновода, Н-волны и Е-волны, дисперсионные уравнения.
4	Собственные значения и собственные функции прямоугольного волновода, критические частоты, основная и высшие моды, вырожденные моды. Одномодовый режим работы волновода.
5	Анализ граничных задач для цилиндрического металлического волновода, Е-волны и Н-волны, дисперсионные уравнения.
6	Собственные значения и собственные функции цилиндрического волновода, критические частоты, основная и высшие моды.
7	Дисперсионные свойства быстрых волноводных волн. Фазовая и групповая скорости, распространяющиеся и реактивно затухающие волны, характеристическое сопротивление Е-и Н-волн в волноводе.
8	Граничная задача для коаксиального волновода (КВ). Основная и высшие моды в КВ. Дисперсионные свойства Т-волн.
9	ЭМВ в волноводах сложной формы сечения.
10	Волны напряжения и тока в длинной линии. Математическая модель волнового процесса в терминах напряжений и токов. Волновое сопротивление линии передачи (ЛП), коэффициент отражения в ЛП, сопротивление (проводимость) ЛП в произвольном сечении.
11	Распределение модулей напряжения и тока, режимы волн в ЛП при различных нагрузках.
12	Входное сопротивление (проводимость) ЛП, трансформирующее свойство ЛП. Круговая диаграмма полных сопротивлений (проводимостей).
13	Определение величины входного сопротивления (проводимости) нагрузки на основе экспериментальных данных с помощью круговой диаграммы.

14	Задача искусственного согласования линии передачи, простейшие способы узкополосного согласования.
15	Расчет согласования ЛП с помощью четвертьволновых трансформаторов с использованием круговых диаграмм.
16	Расчет согласования ЛП с помощью сосредоточенных реактивных элементов с использованием круговых диаграмм.
17	Открытые направляющие системы – общая характеристика, разновидности конструкций, классы направляемых волн.
18	Анализ граничной задачи для плоского диэлектрического волновода (ПДВ), метод частичных областей, Е-волны и Н-волны, мембранные функции, четные и нечетные моды.
19	Дисперсионные уравнения для ПДВ и их решение. Критические частоты, основные и высшие моды, особенности дисперсионных свойств медленных волноводных (поверхностных) волн.
20	Коэффициент замедления поверхностных волн, оптический (эффективный) размер поперечного сечения волновода, значение этих параметров для практики.
21	Металлодиэлектрические волноводы, замедляющие структуры, их использование в практике.
22	Канализация электромагнитных волн оптического диапазона по волоконным световодам, разновидности конструкций световодов.
23	Анализ ЭМВ в градиентном световоде.
24	Колебательные системы СВЧ. Классы и моды колебаний в объемных резонаторах. Примеры конструктивной реализации резонаторов.
25	Собственные функции прямоугольного резонатора, спектр частот собственных колебаний, вырождение мод. Максимальная энергия, запасенная полем резонатора.
26	Добротность объемных резонаторов. Собственная добротность закрытых резонаторов.
27	Физические факторы, вызывающие затухание ЭМВ в НС и колебаний в резонаторах. Коэффициент ослабления (затухания) направляемых волн в линиях передачи. Расчет затухания, вызванного потерями в металлических элементах линии передачи и в диэлектрике.
28	Лемма Лоренца. Свойство ортогональности собственных векторных функций волновода.
29	Принципы конструирования возбуждающих устройств (элементов связи). Примеры конструкций.
30	Волновые (волноводные) многополюсники (ВМП). Физические основы матричного описания ВМП. Пересчет элементов S-матриц при переносе отсчетных плоскостей.
31	Учет особых свойств ВМП при матричном описании.
32	Канонические эквивалентные схемы (ЭС) волновых четырехполюсников (ВЧП). Параметры эквивалентных схем.
33	S-матрица и ЭС симметричного волнового четырехполюсника.
34	S-матрицы и ЭС ВЧП с симметрично-и антисимметрично-рассеивающими неоднородностями.
35	Реактивные ВЧП. S-матрицы и ЭС реактивных симметрично-и антисимметрично-рассеивающих ВЧП.

36	Идеальный циркулятор как согласованный по всем входам недиссипативный шестиполюсник, его S-матрица.
37	Идеальный направленный ответвитель как согласованный по всем входам реактивный восьмиполюсник, его S-матрица.
38	Двойной волноводный Т-мост, его свойства и S-матрица.
39	Волновая матрица передачи каскадного соединения ВЧП.
40	S-матрица каскадного соединения двух многополюсников.
41	Устройства соединения линий передачи различных типов.
42	Сосредоточенные неоднородности в трактах СВЧ.
43	Широкополосное согласование в трактах СВЧ.
44	Управляющие устройства СВЧ. Общая характеристика и типы устройств.
45	Переменные аттенюаторы, их типы и конструкции.
46	Поляризационные устройства СВЧ, конструкции и применение.
47	Фазовращатели СВЧ, их назначение, типы и применение. Фазовращатели на коммутационных диодах.
48	Ферритовые устройства СВЧ, классификация и область применения.
49	Свойства намагниченных ферритов. Основные эффекты, используемые для создания СВЧ-устройств.
50	Ферритовые устройства на основе эффекта Фарадея.
51	Резонансные вентили с поперечно-намагниченными ферритами.
52	Нерезонансные вентили на эффекте «смещения поля».
53	Фазовые циркуляторы с поперечно-намагниченными ферритами.
54	Шестиполюсные ферритовые циркуляторы.
55	Взаимные и невзаимные фазовращатели с продольно-намагниченными ферритами.
56	Невзаимные аналоговые и дискретные фазовращатели с поперечно-намагниченными ферритами.
57	Перестраиваемые фильтры с намагниченными ферритовыми резонаторами.

## 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 **Техническая электродинамика ФРТ**

1. Общая характеристика направляющих систем СВЧ (НС), разновидности конструкций, классы электромагнитных волн в НС.

2. Принципы конструирования возбуждающих устройств (элементов связи). Примеры конструкций.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. Н. Ушаков

**Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ**

## ЗАДАЧИ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Микрополосковая линия с волновым сопротивлением  $Z_l$ , Ом подключается к нагрузке с сопротивлением  $Z_n$ , Ом. Мощность падающей на нагрузку волны составляет  $P_{пад}$ , мВт.

**Определить:**

- 1.1. Модуль коэффициента отражения от нагрузки ( $|\rho|$ )
  - 1.2. Фазу коэффициента отражения ( $\varphi$ , град)
  - 1.3. КСВ в линии
  - 1.4. Коэффициент отражения по мощности ( $\rho_p$ )
  - 1.5. Модуль коэффициента отражения от нагрузки, выраженный в дБ ( $\rho_{дБ}$ )
  - 1.6. Мощность волны, отраженной от нагрузки ( $P_{отр}$ , мВт)
  - 1.7. Мощность электромагнитной волны, поглощенную в нагрузке ( $P_{погл}$ , мВт).
2. Коаксиальный кабель с волновым сопротивлением  $Z_l$ , Ом и длиной  $L$ , см подключается к нагрузке с сопротивлением  $Z_n$ , Ом. Относительная диэлектрическая проницаемость заполнения кабеля равняется  $\epsilon_{отн}$  ед. Частота сигнала питающего генератора равняется  $f_0$ , ГГц.

**Определить:**

- 2.1. Электрическую длину кабеля в ( $\varphi$ , град.)
  - 2.2. Длину кабеля в долях длины волны ( $L$ )
  - 2.3. Комплексное сопротивление на входе кабеля ( $Z_{вх}$ , Ом в алг. форме компл. числа  $R+jX$ )
3. Длинная линия с волновым сопротивлением  $Z_l$ , Ом и воздушным заполнением необходимо согласовать с резистивной нагрузкой  $R$ , Ом. Частота сигнала питающего генератора составляет  $f_0$ , ГГц.

**Определить:**

- 3.1. Волновое сопротивление четвертьволнового трансформатора, позволяющего согласовать линию с нагрузкой ( $Z_{тр}$ , Ом)
- 3.2. Длину трансформатора ( $L$ , см).

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
6	Тема 1. Электромагнитные волны в направляющих структурах Тема 2. Т-волны в многосвязных направляющих системах	Коллоквиум
10	Тема 3. Волны в металлических волноводах Тема 4. Направляющие системы с медленными волноводными волнами	Контрольная работа
12	Тема 5. Электромагнитные поля в колебательных системах Тема 6. Элементы теории возбуждения волноводов и резонаторов	Коллоквиум
16	Тема 10. Численное решение задач электродинамики	
17		Защита КР / КП

### 6.4 Методика текущего контроля

#### 1. Методика текущего контроля на лекционных занятиях.

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

#### 2. Методика текущего контроля на лабораторных занятиях.

2.1. Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты.

В процессе обучения по дисциплине «Техническая электродинамика» студент обязан выполнить 5 лабораторных работ. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После каждых 2 лабораторных работ предусматривается проведение коллоквиумов, 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 выполнении лабораторной работы.

Примеры контрольных вопросов приведены в методических указаниях по выполнению лабораторных работ.

2.2. 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.

### **3. Методика текущего контроля на практических занятиях**

3.1. Текущий контроль включает в себя:

- контроль посещаемости (не менее 80% занятий)
- выполнение 1 контрольной работы, оценка за которую по четырехбалльной шкале выставляется по следующим критериям:

«отлично» - задачи решены правильно;

«хорошо» - задачи решены с некоторыми ошибками, которые не являются принципиальными;

«удовлетворительно» - задачи не решены или решена неправильно, ход решения правильный;

«неудовлетворительно» - задача не решена, ход решения неправильный.

3.2. 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.

#### **4. Методика текущего контроля самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лабораторных и лекционных занятиях студентов. На лабораторных занятиях текущий контроль осуществляется в форме коллоквиума, а на лекционных посредством постановки проблемных вопросов в ходе взаимодействия лектора с аудиторией.

Основными формами самостоятельной работы студентов являются:

- повторение сведений по дисциплине, получаемых во время лекционных занятий (работа с конспектом);
- самостоятельное изучение рекомендованной преподавателем литературы;
- подготовка к выполнению лабораторных работ и защите отчётов по ним.

#### **5. При выполнении курсового проекта (работы)**

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

Оформление пояснительной записки на курсовой проект (работу) выпол-

няется в соответствии с требованиями к студенческим работам принятым в СПбГЭТУ.

Защита курсового проекта (работы) осуществляется в соответствии с требованиями «Положения о промежуточной аттестации».

### **Критерии оценки курсовой работы:**

отлично - работа выполнена полностью правильно в соответствии с заданием и установленными требованиями;

хорошо - работа выполнена, имеются несущественные ошибки при выполнении задания и установленных требований;

удовлетворительно - работа выполнена, имеются существенные ошибки при выполнении задания и установленных требований;

неудовлетворительно - работа выполнена, не соответствует заданию и установленным требованиям.

## **6. Экзамен**

### **6.1. Устная беседа по экзаменационному билету.**

К этой части экзамена допускаются студенты, продемонстрировавшие хорошее понимание сути контрольных вопросов и имеющие, с точки зрения экзаменатора, шансы получить оценку «отлично». Студенту предлагается выбрать экзаменационный билет, в котором содержится два вопроса из списка «Экзаменационные вопросы». Ответ на вопросы производится по конспекту, без подготовки. Оценка «хорошо» на данном этапе гарантирована.

### **Критерии оценки на экзамене:**

отлично - вопросы раскрыты полностью, студент продемонстрировал высокий уровень владения лекционным материалом;

хорошо - вопросы раскрыты не полностью, студент продемонстрировал хороший уровень владения лекционным материалом;

удовлетворительно - студент не достаточно полно ответил на вопросы и продемонстрировал не высокий уровень осведомленности в теоретических вопросах;

неудовлетворительно - студент не владеет теоретическим материалом курса.

## 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	
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест — в соответствии с контингентом, лабораторные стенды — в соответствии с набором лабораторных работ, ПК в составе лабораторных стендов	Microwave Office версии не ниже 8.0
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, меловая или маркерная доска	
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

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