

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физико-технический факультет

“УТВЕРЖДАЮ”

Декан ФТФ

профессор, д.ф.м.н. Дмитриев  
Александр Капитонович

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория электромагнитного поля

ООП: направление 010700.62 Физика

Шифр по учебному плану: ЕН.Р.1

Факультет: физико-технический очная форма обучения

Курс: 3, семестр: 5

Лекции: 36

Практические работы: 54 Лабораторные работы: -

Курсовой проект: - Курсовая работа: - РГЗ: -

Самостоятельная работа: 75

Экзамен: 5 Зачет: 5

Всего: 165

Новосибирск

2011

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению (специальности): 510400 Физика.(№ 176 еп/бак от 17.03.2000)

ЕН.Р.1, дисциплины национально- регионального (вузовского) компонента

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Электрофизические установки и ускорители протокол № 7 от 30.08.2011

Программу разработал

ассистент,

Трибендис Алексей Георгиевич

Заведующий кафедрой

с.н.с., д.ф.м.н.

Бурдаков Александр Владимирович

Ответственный за основную образовательную программу

с.н.с., д.ф.м.н.

Бурдаков Александр Владимирович

## 1. Внешние требования

Таблица 1.1

Шифр дисциплины	Содержание учебной дисциплины	Часы
ЕН.Р.1	<p>Концептуальная записка по направлению подготовки 010700 физика</p> <p>Теория электромагнитного поля</p> <p>Электродинамика</p>	165

## 2. Особенности (принципы) построения дисциплины

Таблица 2.1

Особенности (принципы) построения дисциплины

Особенность (принцип)	Содержание
Основания для введения дисциплины в учебный план по направлению или специальности	<p>Курс "Теория электромагнитного поля" читается как естественно-научная дисциплина национально-регионального компонента. (Решение Ученого совета ФТФ от 10.06.2008г., протокол №6). Большинство элементов курса включает в себя вопросы и разделы курсов общей и теоретической физики. Однако курс имеет направленность на применение теории электромагнитного поля в практике научных и инженерных расчетов. Кроме того, в рамках курса излагается целый ряд вопросов, необходимых для понимания принципов работы приборов и устройств СВЧ, широко используемых в современной науке и технике.</p> <p>Актуальность курса обусловлена исключительно важной ролью теории электромагнетизма в самых разнообразных областях науки и техники, в частности, - в области разработки и эксплуатации электрофизических установок.</p>
Адресат курса	Курс предназначен для студентов 3-го курса ФТФ НГТУ, обучающихся по направлению "Физика"
Основная цель (цели) дисциплины	Целью курса "Теория электромагнитного поля" является обучение студентов основам теории и методам расчета электрических и магнитных полей.
Ядро дисциплины	<p>Основу курса составляют пять разделов:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Общая теория электромагнитного поля.</li> <li>2. Электростатика.</li> <li>3. Электрические и магнитные поля постоянных токов.</li> <li>4. Теория длинных линий передачи.</li> <li>5. Теория полых волноводов и объемных резонаторов.</li> </ol>
Связи с другими учебными дисциплинами основной образовательной программы	Курс предполагает, что студенты параллельно усваивают теорию колебательных контуров (курс "Основы радиоэлектроники"), теорию специальных функций Бесселя (курс "Методы математической физики").
Требования к	Для успешного изучения курса студенту необходимо знать:

<p>первоначальному уровню подготовки обучающихся</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- из высшей математики: дифференциальное и интегральное исчисление, дифференциальные уравнения, ряды Тейлора и Фурье, векторную алгебру, теорию функций комплексной переменной, теорию специальных функций Бесселя.</li> <li>- из физики: электрические и магнитные поля, электрические и магнитные свойства материальных сред, иметь представление об уравнениях Максвелла.</li> <li>- из теоретических основ электротехники: основы теории цепей, спектральный анализ сигналов.</li> </ul>
<p>Особенности организации учебного процесса по дисциплине</p>	<p>Параллельно с усвоением основ теории на лекциях студенты получат навыки решения задач на практических занятиях и в ходе самостоятельной работы.</p> <p>Оценка знаний и умений студента проводится с помощью зачета и итогового экзамена.</p>

### 3. Цели учебной дисциплины

Таблица 3.1

После изучения дисциплины студент будет

иметь представление	
1	Иметь представление о различных методах расчета электрических и магнитных полей
знать	
2	уравнения Максвелла в интегральной, дифференциальной и комплексной формах
3	телеграфные уравнения для токов и напряжений в длинной линии, выражения для определения параметров длинной линии
4	формулы для расчета распространения электромагнитных волн в прямоугольном и круглом волноводе
уметь	
5	Рассчитывать электростатические поля и потенциалы для простых распределений зарядов.
6	Рассчитывать магнитные поля постоянных токов для простых распределений токов
7	Рассчитывать параметры длинных линий передачи
8	Рассчитывать параметры прямоугольных и круглых волноводов и резонаторов
иметь опыт (владеть)	
9	Расчета электростатических полей и потенциалов для некоторых сложных распределений зарядов
10	Расчета электрических и магнитных полей постоянных токов для некоторых сложных распределений токов
11	Расчета и построения картины электромагнитного поля в прямоугольных и круглых волноводов и резонаторов

### 4. Содержание и структура учебной дисциплины

Лекционные занятия

Таблица 4.1

(Модуль), дидактическая единица, тема	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 5		
Дидактическая единица: Электродинамика		
Вектора электромагнитного поля. Материальные уравнения. Система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для неподвижных сред. Физический смысл уравнений: обобщенный закон полного тока, закон электромагнитной индукции, отсутствие в природе магнитных зарядов, теорема Гаусса.	2	1, 2
Граничные условия для векторов электромагнитного поля. Баланс энергии электромагнитного поля.	2	1, 2

Вектор Пойнтинга. Теорема Умова-Пойнтинга. Теорема единственности решения уравнений Максвелла. Принцип суперпозиции.		
Уравнения электростатического поля. Электростатический потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа для потенциала. Граничные условия для векторов поля и потенциала в электростатике. Уравнения силовых линий и эквипотенциалей. Энергия и ponderomotorные силы, действующие на проводники, в электростатическом поле.	2	1, 2, 5
Уравнения электрического поля постоянных токов в проводящей среде. Граничные условия. Законы Кирхгофа как следствие из уравнений Максвелла.	2	1, 2, 9
Магнитное поле постоянных токов. Векторный потенциал магнитного поля. Граничные условия для векторов поля и потенциала. Уравнения Пуассона и Лапласа для потенциала. Аналогия с электростатикой. Общее решение уравнения Пуассона в случае линейных токов. Энергия и ponderomotorные силы, действующие на проводники, в магнитном поле постоянных токов.	2	1, 10, 2, 6
Переменное электромагнитное поле. Электродинамические потенциалы. Волновые уравнения Даламбера для потенциалов. Калибровка Лоренца. Граничные условия для векторов поля и потенциалов.	2	1, 2, 5, 9
Гармоническое переменное электромагнитное поле. Система уравнений Максвелла в комплексной форме. Комплексные электродинамические потенциалы. Волновые уравнения Даламбера для потенциалов в комплексной форме. Уравнения Гельмгольца для векторов поля. Баланс энергии гармонического электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме.	4	1, 2, 5, 9
Дидактическая единица: Распространение волн в длинных линиях		
Продольно-однородные длинные линии передачи - эквивалентное представление сосредоточенными элементами. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в виде суперпозиции бегущих волн. Постоянная распространения и характеристическое сопротивление.	4	1, 2, 3, 7
Входное сопротивление нагруженного отрезка длинной линии без потерь. Коэффициент отражения. Коэффициент стоячей волны. Векторная диаграмма токов и напряжений в различных сечениях линии. Круговая диаграмма полных сопротивлений - диаграмма Смита. Расчет погонных параметров продольно-однородных длинных линий передачи. Линии передачи с малыми потерями.	2	1, 2, 3, 7, 9
Дидактическая единица: Распространение волн в		

волноводах и резонаторах		
Волны в продольно-однородных направляющих структурах. Типы волн (ТЕ, ТМ, ТЕМ). Критические частота, длина волны, волновое число. ТЕ и ТМ волны в прямоугольном волноводе. Главный тип волны. Высшие типы волн.	4	1, 11, 2, 4, 5, 8, 9
Скин-эффект. Граничное условие Леонтовича. Потери мощности в стенках прямоугольного волновода для главного типа волны.	2	1, 11, 2, 5, 8, 9
Резонатор как отрезок длинной линии. Параметры резонатора. Соотношение между собственной и нагруженной добротностями. Четвертьволновой и полуволновой резонаторы. Резонатор, укороченный емкостью.	4	1, 11, 2, 5, 8, 9
Волноводные резонаторы. Параметры резонатора. Резонатор, образованный закороченным отрезком прямоугольного волновода. Резонатор, образованный закороченным отрезком круглого волновода.	4	1, 11, 2, 4, 5, 8, 9

Практические занятия

Таблица 4.2

<b>(Модуль), дидактическая единица, тема</b>	<b>Учебная деятельность</b>	<b>Часы</b>	<b>Ссылки на цели</b>
Семестр: 5			
Распространение узкополосного сигнала по линии передачи со слабой дисперсией. Фазовая и групповая скорости.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	4	2, 3, 7
Дидактическая единица: Электродинамика			
Электростатические поля точечного заряда, электрического диполя. Поле системы произвольного числа точечных зарядов - разложение поля по мультиполям.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	4	1, 2, 5
Электростатические поля заряженной оси, коаксиальной и двухпроводной линий. Электрическая емкость системы заряженных тел.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	6	1, 2, 5
Решение электростатической задачи методом изображений. Точечный заряд вблизи плоской границы раздела диэлектриков. Точечный заряд вблизи проводящей сферы. Заряженная ось вблизи диэлектрического цилиндра.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	4	1, 2, 5
Решение плоской электростатической задачи	Выполнения работ в соответствии с метод.	4	1, 2, 5, 9

методом конформных отображений. Комплексный потенциал. Интеграл Кристоффеля-Шварца. Расчет поля вблизи края плоского конденсатора.	указаниями		
Решение электростатической задачи методом разделения переменных. Диэлектрический шар в однородном поле.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	4	1, 2, 5, 9
Магнитные поля постоянного тока для оси, круглого проводника конечного диаметра, двухпроводной линии. Граница применения электростатических аналогов. Индуктивность контура с током. Индуктивность двухпроводной линии. Магнитное поле и индуктивность коаксиальной линии. Взаимная индуктивность.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	4	1, 10, 2, 6
Магнитное поле постоянного тока для замкнутого витка - магнитного диполя.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	2	1, 10, 2
Излучение электромагнитного поля вибратором Герца. Запаздывающие потенциалы. Ближняя и дальняя зоны излучения. Сопротивление излучателя. Диаграмма направленности излучателя.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	4	1, 2, 3
Дидактическая единица: Распространение волн в длинных линиях			
Трансформация входного сопротивления вдоль длинной линии. Согласование нагрузки длинной линии при помощи последовательного и параллельного шлейфов.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	4	1, 2, 3, 7
Передача мощности от генератора к нагрузке по длинной линии. Режим передачи максимальной мощности.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	4	1, 2, 3, 7
Волновые сопротивления прямоугольного волновода для главного типа волны. Параметры эквивалентной длинной линии.	Выполнения работ в соответствии с метод. указаниями	4	1, 11, 2, 4, 8
Дидактическая единица: Распространение волн в волноводах и резонаторах			
ТЕ и ТМ волны в круглом	Выполнения работ в	6	1, 11, 2, 4,

волноводе. Главный тип волны. Высшие типы волн.	соответствии с метод. указаниями		8
--	-------------------------------------	--	---

## 5. Самостоятельная работа студентов

### Семестр- 5, Подготовка к зачету

Подготовка к зачету: 15 часов

Примеры зачетных задач:

1. Сквозь плоский конденсатор (расстояние между пластинами  $d = 0.5$  м, напряжение  $U = 250$  кВ) продувается воздух, содержащий металлические пылинки сферической формы диаметром  $2a = 0.05$  мм и  $2a = 0.01$  мм. На поверхности каких пылинок напряженность поля выше? Превысит ли она электрическую прочность воздуха  $E_{проб.возд.} = 30$  кВ / см?
2. Вычислить волновые сопротивления  $Z_0$  воздушной коаксиальной линии, а) обладающей наибольшей электрической прочностью (способной выдержать наибольшее напряжение  $U$  между проводниками), б) имеющей наименьшее затухание (считать, что потери имеют место только из-за конечной проводимости материала проводников), в) способной передать наибольшую мощность  $P_z$  (ограничение по электрической прочности  $E_{max} < E_{проб.}$ ). Во всех случаях считать, что диаметр наружного проводника  $D$  задан.
3. Дан цилиндрический резонатор. В резонаторе возбуждена основная мода  $E_{010}$ . Резонатор используется для ускорения релятивистских электронов ( $v = c$ ), летящих вдоль оси резонатора. Радиус резонатора задан (он определяется выбранной для работы частотой) и равен  $a$ . Какой следует выбрать длину резонатора ( $L / a = ?$ ), чтобы ускорять релятивистские частицы а) при минимальной рассеиваемой в резонаторе мощности  $P$ ? б) при минимальной запасенной в резонаторе энергии  $W$ ? Энергия, которую должна набрать частица при пролете через резонатор, задана. Пренебречь искажением поля на оси из-за наличия отверстий для пучка и считать, что распределение полей соответствует идеальному цилиндрическому резонатору без отверстий.

### Семестр- 5, Контрольные работы

Контрольные работы: 4 часа

Примеры задач контрольной работы:

1. На расстоянии  $a$  над проводящей плоскостью расположен точечный заряд  $q$ . Найти распределение плотности поверхностного заряда, наведенного на плоскости, в зависимости от расстояния до проекции заряда на плоскость.
2. Дан диэлектрический шар радиуса  $a$ , имеющий относительную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_{rs}$ . Шар заряжен. Полный заряд шара  $Q$  равномерно распределен по объему шара. Относительная диэлектрическая проницаемость окружающего пространства равна 1. Найти зависимость напряженности электрического поля шара от расстояния до центра шара. Отдельно рассмотреть поля внутри и снаружи шара. Вычислить энергию, запасенную в электрическом поле внутри и снаружи шара. Сравнить полученные величины.
3. Дан бесконечный прямолинейный цилиндрический провод радиуса  $b$ . В проводе имеется бесконечное прямолинейное цилиндрическое отверстие радиуса  $a$ . Ось отверстия

смещена относительно оси провода на расстояние  $d$ ,  $a < d < b - a$ . По проводу течет постоянный ток  $I$ , равномерно распределенный по сечению провода. Найти магнитное поле  $H$  в отверстии. Ответ записать в Декартовой системе координат, начало которой совпадает с центром провода, а ось  $x$  направлена вдоль линии, соединяющей центры провода и отверстия.

4. Дана бесконечная прямолинейная коаксиальная линия. В линии имеется диэлектрическая шайба. Длина шайбы  $d = 1$  см, относительная диэлектрическая проницаемость материала шайбы  $\epsilon_{ps} = 2,5$ . айти коэффициент стоячей волны напряжения (КСВН) на входе такой линии.

**Семестр- 5, Подготовка к экзамену**

Подготовка к экзамену: 23 часа

**Семестр- 5, Подготовка к занятиям**

Подготовка к занятиям: 33 часа

## 6. Правила аттестации студентов по учебной дисциплине

### ПАСПОРТ

Комплекта контролирующих материалов (КМ)  
(спецификация теста)

по дисциплине Теория электромагнитного поля  
направление (специальность), для которого разработан комплект КМ  
010700 "Физика"

1. Работа выполнена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 010700 - Физика. Регистрационный № 177/ен/маг, 17 марта 2000 г.

2. Вид контроля: проверка остаточных знаний

3. Содержание контроля - билет включает в себя 3 задачи из следующих разделов курса "Теория электромагнитного поля":

3.1. Электростатика

3.2. Теория длинных линий передачи

3.3. Теория полых волноводов и объемных резонаторов

4. Шкала измерений:

"неудовлетворительно" - не решена ни одна задача

"удовлетворительно" - решена одна из 3-х задач

"хорошо" - решены две из 3-х задач

"отлично" - решены все три задачи

5. Время, отводимое на подготовку, 1 час.

## 7. Список литературы

### 7.1 Основная литература

#### В печатном виде

1. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн : [учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов] / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. - М., 2011. - 542 с. : ил., табл.
2. Кузовкин В. А. Теоретическая электротехника : учебник для вузов по направлениям "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств", "Автоматизация и управление" и специальностям "Технология машиностроения", "Металлорежущие станки и инструменты", "Автоматизация технологических процессов и производств" / В. А. Кузовкин. - М., 2006. - 479 с. : ил.. - Библиогр.: с. 478-479. - Рекомендовано МО.

### 7.2 Дополнительная литература

#### В печатном виде

1. Говорков В. А. Электрические и магнитные поля : [учебное пособие] / В. А. Говорков. - М., 1960. - 460 с. : ил.
2. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / В. В. Никольский. - М., 1989. - 543 с. : ил.
3. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. Т. II. Электровакуумные приборы СВЧ : Учебник по спец. "Электрон. приборы" / И. В. Лебедев; Под ред. Н. Д. Девяткова. - М., 1972. - 375 с.

## 8. Методическое и программное обеспечение

### 8.1 Методическое обеспечение

#### В печатном виде

1. Шехтман И. А. Задачи по теории электромагнитного поля : учебное пособие для физико-технического факультета / Шехтман И. А., Шемелин В. Д. ; Новосиб. гос. техн ун-т. - Новосибирск, 1999. - 17 с. : ил.
2. Батыгин В. В. Сборник задач по электродинамике : Учебное пособие для вузов / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин; Под ред. М. М. Бредова. - М., 1970. - 503 с.

#### В электронном виде

1. Шехтман И. А. Задачи по теории электромагнитного поля : учебное пособие для физико-технического факультета / Шехтман И. А., Шемелин В. Д. ; Новосиб. гос. техн ун-т. - Новосибирск, 1999. - 17 с. : ил.. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/1999/1152/1.doc>

### 8.2 Программное обеспечение

3. MathWorks, MATLAB, Базовый пакет автоматизации научно-технических вычислений
1. Microsoft, Office XP, Офисный пакет приложений
2. OriginLab Corporation, Origin, пакет программ для численного анализа данных и научной графики

## 9. Контролирующие материалы для аттестации студентов по дисциплине

### Примеры экзаменационных вопросов

1. Вектора электромагнитного поля. Материальные уравнения. Система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для неподвижных сред. Физический смысл уравнений: обобщенный закон полного тока, закон электромагнитной индукции, отсутствие в природе магнитных зарядов, теорема Гаусса.
2. Граничные условия для векторов электромагнитного поля.
3. Баланс энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Теорема Умова-Пойнтинга.
4. Теорема единственности решения уравнений Максвелла.
5. Уравнения электростатического поля. Электростатический потенциал. Уравнения Пуассона и Лапласа для потенциала. Граничные условия для векторов поля и потенциала в электростатике. Уравнения силовых линий и эквипотенциалей.
6. Электростатические поля точечного заряда, электрического диполя. Поле системы произвольного числа точечных зарядов - разложение поля по мультиполям.
7. Электростатические поля заряженной оси, коаксиальной и двухпроводной линий. Электрическая емкость системы заряженных тел.
8. Решение электростатической задачи методом изображений. Точечный заряд вблизи плоской границы раздела диэлектриков. Точечный заряд вблизи проводящей сферы. Заряженная ось вблизи диэлектрического цилиндра.
9. Решение плоской электростатической задачи методом конформных отображений. Комплексный потенциал. Расчет поля вблизи края плоского конденсатора.
10. Решение электростатической задачи методом разделения переменных. Диэлектрический шар в однородном поле.
11. Уравнения электрического поля постоянных токов в проводящей среде. Граничные условия. Законы Кирхгофа как следствие из уравнений Максвелла.
12. Магнитное поле постоянных токов. Векторный потенциал магнитного поля. Граничные условия для векторов поля и потенциала. Уравнения Пуассона и Лапласа для потенциала. Аналогия с электростатикой. Общее решение уравнения Пуассона в случае линейных токов.
13. Магнитные поля постоянного тока для оси, круглого проводника конечного диаметра, двухпроводной линии. Индуктивность контура с током. Индуктивность двухпроводной линии. Магнитное поле и индуктивность коаксиальной линии. Взаимная индуктивность.
14. Магнитное поле постоянного тока для замкнутого витка - магнитного диполя.
15. Переменное электромагнитное поле. Электродинамические потенциалы. Волновые уравнения Даламбера для потенциалов. Калибровка Лоренца. Граничные условия для векторов поля и потенциалов.
16. Гармоническое переменное электромагнитное поле. Система уравнений Максвелла в комплексной форме. Комплексные электродинамические потенциалы. Волновые уравнения Даламбера для потенциалов в комплексной форме. Уравнения Гельмгольца для векторов поля.
17. Баланс энергии гармонического электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме.
18. Излучение электромагнитного поля вибратором Герца. Запаздывающие потенциалы. Ближняя и дальняя зоны излучения. Сопротивление излучателя. Диаграмма направленности излучателя.
19. Продольно-однородные длинные линии передачи - эквивалентное представление сосредоточенными элементами. Телеграфные уравнения. Решение

- телеграфных уравнений в виде суперпозиции бегущих волн. Постоянная распространения и характеристическое сопротивление.
20. Входное сопротивление нагруженного отрезка длинной линии без потерь. Коэффициент отражения. Коэффициент стоячей волны. Векторная диаграмма токов и напряжений в различных сечениях линии.
  21. Круговая диаграмма полных сопротивлений - диаграмма Смита. Согласование нагрузки с линией при помощи последовательного и параллельного шлейфов.
  22. Передача мощности от генератора к нагрузке по длинной линии. Режим передачи максимальной мощности.
  23. Расчет погонных параметров продольно-однородных длинных линий передачи. Линии передачи с малыми потерями.
  24. Волны в продольно-однородных направляющих структурах. Типы волн (TE, TM, TEM). Критическая частота, длина волны, волновое число.
  25. Распространение узкополосного сигнала по линии передачи со слабой дисперсией. Фазовая и групповая.
  26. TE и TM волны в прямоугольном волноводе. Главный тип волны. Высшие типы волн.
  27. Волновые сопротивления прямоугольного волновода для главного типа волны. Параметры эквивалентной длинной линии.
  28. TE и TM волны в круглом волноводе. Главный тип волны. Высшие типы волн.
  29. Скин-эффект. Граничное условие Леонтовича. Потери мощности в стенках прямоугольного волновода для главного типа волны.
  30. Резонатор как отрезок длинной линии. Параметры резонатора. Соотношение между собственной и нагруженной добротностями. Четвертьволновой и полуволновой резонаторы. Резонатор, укороченный емкостью.
  31. Волноводные резонаторы. Параметры резонатора. Резонатор, образованный закороченным отрезком прямоугольного волновода. Резонатор, образованный закороченным отрезком круглого волновода.