

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»
(НГТУ)**

Институт ядерной энергетики и технической физики (ИЯЭ и ТФ)

полное и сокращенное название института

Физика и техника оптической связи (ФТОС)

полное и сокращенное название кафедры

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ
И ПЛАНИРОВАНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

наименование дисциплины

11.03.01 Радиотехника

код и наименование направления подготовки

бакалавриат

уровень высшего образования

заочная

форма обучения

Нижний Новгород
2015

Разработчик(и)/составитель(и) методических рекомендаций по организации и планированию самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн»:

доцент, к.т.н. Раевская Ю.В.

ученое звание, степень, фамилия, инициалы

Кафедра «Физика и техника оптической связи»

Дата, подпись _____

Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн» рассмотрены на заседании кафедры

Физика и техника оптической связи

наименование кафедры

Протокол № 11 от « 23 » 03 20 16 г.

Заведующий кафедрой

профессор, д.ф.-м.н. Раевский А.С.

ученое звание, степень фамилия, имя, отчество

Дата, подпись _____

Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн» утверждены Учебно-методическим советом Института радиоэлектроники и информационных технологий

Протокол № 3 от «28» 03 20 16 г.

Методические рекомендации зарегистрированы в методическом отделе под учетным номером 4858

Ведущий инженер Чуева Н.А.

Дата, подпись _____

Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы по дисциплине «*Электродинамика и распространение радиоволн*» предназначены для бакалавров третьего курса заочной формы обучения, обучающихся по направлению подготовки 11.03.01 «Радиотехника».

Цель методических рекомендаций: помочь студентам при самостоятельном изучении учебной программы с использованием лекционных материалов и рекомендуемой учебно-методической литературы.

Самостоятельная работа направлена на развитие общепрофессиональных компетенций дисциплины: *ОПК-1, ОПК-2*.

Содержание разделов дисциплины «*Электродинамика и распространение радиоволн*» представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание разделов дисциплины

| № раздела | Наименование разделов дисциплины | Количество часов внеаудит. самостоят. работы (ВСП) |
|-----------|--|--|
| 1. | Введение. Уравнения электродинамики и граничные условия. | 13 |
| 2. | Основные законы и теоремы электродинамики. | 15 |
| 3. | Быстропеременные процессы. | 13 |
| 4. | Плоские электромагнитные волны. | 13 |
| 5. | Направляемые электромагнитные волны. | 13 |
| 6. | Волны типа Т в направляющих системах. | 13 |
| 7. | Быстрые волны в направляющих системах. | 15 |
| 8. | Объемные резонаторы. | 15 |
| Итого | | 110 |

1. Виды и формы самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн»:

1.1. Систематическая проработка лекций, учебной и специальной технической литературы;

1.2. Подготовка к практическим занятиям;

1.3. Выполнение контрольной работы;

1.4. Подготовка к экзамену.

2. Методические рекомендации для студентов по конкретным видам самостоятельной работы

2.1. Систематическая проработка лекций, учебной и специальной технической литературы.

Методические рекомендации:

Рекомендуется проработать конспект лекций, затем повторить теоретический материал, пользуясь рекомендованной учебной и специальной технической литературой. Если после этого остаются вопросы,

рекомендуется выписать их и обратиться к преподавателю на консультациях или специальных лекциях-консультациях.

2.3. Подготовка к практическим занятиям.

Методические рекомендации:

Обратитесь к методическим указаниям по проведению практических занятий, а так же к материалам лекций и рекомендованной литературе. Изучите материал по теме практического занятия, ответьте на контрольные вопросы.

Показатели оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы:

- активное участие в обсуждении способов решения задач;
- умение обоснованно и четко изложить решение задачи у доски.

2.3. Выполнение контрольной работы.

Методические рекомендации:

2.3.1. Изучите теоретический материал, пользуясь рекомендованной учебной и справочной литературой;

2.3.2. Выберите и обоснуйте метод решения, выпишите формулы, необходимые для расчета. Буквенные обозначения, входящие в формулы, должны сопровождаться письменными разъяснениями;

2.3.3. Подставьте в полученные формулы численные значения заданных величин, приведите результаты промежуточных вычислений и конечный результат. Численный результат должен иметь размерность, соответствующую Международной системе единиц Си;

2.3.4. Решение каждой задачи должно сопровождаться рисунками, поясняющими условие задачи и форму силовых линий электромагнитного поля, а если по условию задачи требуется – то и графиками;

2.3.5. При оформлении контрольной работы укажите шифр, приведите текст условия задачи, числовые данные соответствующего варианта и список используемой литературы.

2.3.6. Выполненную и надлежащим образом оформленную контрольную работу необходимо сдать на кафедру ФТОС лично или выслать почтой. Срок проверки контрольной работы преподавателем – не более 1 недели.

Показатели оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы:

- в течение семестра выполняется одна контрольная работа; выполненная в полном объеме и без ошибок контрольная работа является условием допуска студента к промежуточной аттестации.

2.4. Подготовка к экзамену.

Методические рекомендации:

2.4.1. Внимательно прочитайте материал лекций;

2.4.2. Постарайтесь разобраться с непонятными, в частности, новыми терминами, используя рекомендованную литературу;

2.4.3. Ответьте на контрольные вопросы для самопроверки, имеющиеся в данных методических указаниях;

2.4.4. Освоив теоретический материал, приступайте к выполнению заданий.

Показатели оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы:

-качество уровня освоения учебного материала;

-умение использовать теоретические знания при решении задач или ответе на вопросы;

-обоснованность и четкость изложения ответа.

3. Перечень рекомендуемой литературы

3.1. Учебная литература

| № | Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц) | Количество экземпляров в библиотеке |
|-------------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 Основная литература | | |
| 1 | Электродинамика и распространение радиоволн: учебник / В. А. Неганов [и др.] ; Под ред. В. А. Неганова, С. Б. Раевского. - 4-е изд., стер. - М.: Радиотехника, 2009. - 743 с. | 16 |
| 2 | Электродинамика и распространение радиоволн: учебник / В. А. Неганов [и др.] ; Под ред. В. А. Неганова, С. Б. Раевского. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Радиотехника, 2007. - 743 с. | 5 |
| 3 | Устройства СВЧ- и КВЧ-диапазонов. Методы расчета. Алгоритмы. Технологии изготовления / Ю. А. Иларионов [и др.]. - М.: Радиотехника, 2013. - 752 с. | 2 |
| 4 | Сборник задач по электродинамике: учеб. пособие / Ю. Г. Белов [и др.]; Нижегород. Гос. Техн. Ун-т им. Р. Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2015. – 101 с. | 20 |
| 5 | Иванов, А. Е. Электродинамика: Учебник / А. Е. Иванов, С. А. Иванов. - М.: КНОРУС, 2012. - 565 с. | 3 |
| 2 Дополнительная литература | | |
| 2.1 Учебные и научные издания | | |
| 1 | Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие / В. А. Неганов [и др.] ; Под ред. В. А. Неганова, С. Б. Раевского. - М.: Радио и связь, 2005. – 648 с. | 22 |
| 2 | Григорьев, А. Д. Электродинамика и микроволновая техника: учебник / А. Д. Григорьев. - 2-е изд., доп. - СПб.: Лань, 2007. - 704 с. | 3 |
| 3 | Петров, Б. М. Электродинамика и распространение радиоволн: учебник для вузов / Б. М. Петров. - 2-е изд., испр. - М.: Горячая линия-Телеком, 2003. - 559 с. | 182 |

3.2. Учебно-методические пособия

1. Раевская, Ю.В. Методические указания по организации и планированию практических занятий, Н.Новгород, 2015 г. (Электронная версия).

3.3. Периодические издания

1. Журнал «Радиотехника»
2. Журнал «Вопросы радиоэлектроники». Серия общетехническая (ОТ)
3. Журнал «Известия высших учебных заведений России». Радиоэлектроника
4. Журнал «Известия высших учебных заведений». Радиоэлектроника
5. Журнал «Радиотехника и электроника»

3.4. Интернет ресурсы

Федеральный портал. Российское образование. <http://www.edu.ru/>

Акимов В.П. Электродинамика и распространение радиоволн (конспект лекций).

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.

[Электронный ресурс]. –

[URL:http://vzf.mstu.edu.ru/materials/spec/210302/other/03.pdf](http://vzf.mstu.edu.ru/materials/spec/210302/other/03.pdf)

Никольский В.В., Никольская Т.В. Электродинамика и распространение радиоволн. –М.: Наука, 1989.

4. Задания для самостоятельного выполнения по дисциплине

4.1. Контрольная работа

Задача 1

1.1. Вычислить скалярное произведение двух векторов \vec{A} и \vec{B} , угол между которыми равен α (см. табл. 2)

Таблица 2

| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $ \vec{A} $ | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| $ \vec{B} $ | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| α° | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 |

1.2. Найти векторное произведение двух векторов \vec{A} и \vec{B} , угол между которыми равен α . Вектор $\vec{A} = \vec{e}_i |\vec{A}|$ направлен по одной из осей прямоугольной системы координат, а вектор \vec{B} лежит в одной из координатных поверхностей этой системы (xoz , yoz , uox). Варианты заданий приведены в таблице 3.

Таблица 3

| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| $ \vec{A} $ | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |

| | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| $ \vec{B} $ | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| α° | 0 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 |
| \vec{e}_i | \vec{x}_0 | \vec{y}_0 | \vec{z}_0 | $-\vec{x}_0$ | $-\vec{y}_0$ | $-\vec{z}_0$ | \vec{x}_0 | \vec{y}_0 | \vec{z}_0 | $-\vec{x}_0$ |
| Координатная поверхность | xoz | yox | yox | yoZ | xoz | yoZ | yox | xoz | yox | yoZ |

Задача 2

2.1. Вдоль бесконечного прямого цилиндра радиуса a протекает ток проводимости. Напряженность магнитного поля, создаваемая этим током внутри цилиндра: $\vec{H} = \vec{\alpha}_0 H_0 f(r)$, где $\vec{\alpha}_0$ – единичный вектор в цилиндрической системе координат, а r – переменная в этой системе. H_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения поля вдоль радиальной оси координат.

Определить распределение плотности тока проводимости вдоль радиуса этого цилиндра. Варианты заданий приведены в таблице 4.

Таблица 4

| | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|-------|-------|-------|-------|
| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $f(r)$ | r^{-5} | r^{-4} | r^{-3} | r^{-2} | r^{-2} | r | r^2 | r^3 | r^4 | r^5 |

2.2. В бесконечно длинном прямом цилиндре протекает ток проводимости, создающий поле вектора магнитной индукции: $\vec{B} = \vec{\alpha}_0 B_0 f(r)$, где $\vec{\alpha}_0$ – единичный вектор в цилиндрической системе координат, B_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения поля вдоль радиальной оси координат, r – расстояние от оси цилиндра до точки наблюдения.

Определить $\text{div } \vec{B}$ внутри цилиндра. Варианты заданий приведены в таблице 5.

Таблица 5

| | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|-------|-------|-------|-------|
| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $f(r)$ | r^{-5} | r^{-4} | r^{-3} | r^{-2} | r^{-2} | r | r^2 | r^3 | r^4 | r^5 |

2.3. В шарике радиуса a вектор электрической индукции: $\vec{D} = \vec{r}_0 D_0 f(r)$, где \vec{r}_0 – единичный вектор в сферической системе координат, D_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения поля вдоль радиуса шарика, r – расстояние от центра шарика до точки наблюдения.

Определить функцию распределения плотности объемного заряда шарика. Варианты заданий приведены в таблице 6.

Таблица 6

| | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|-------|-------|-------|-------|
| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $f(r)$ | r^{-5} | r^{-4} | r^{-3} | r^{-2} | r^{-2} | r | r^2 | r^3 | r^4 | r^5 |

Задача 3

3.1. В бесконечно длинном прямом цилиндре радиуса a протекает ток проводимости, создающий напряженность магнитного поля: $\vec{H} = \vec{\alpha}_0 H_0 f(r)$, где $\vec{\alpha}_0$ – единичный вектор в цилиндрической системе координат, H_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения поля вдоль радиальной оси координат, r – расстояние от оси цилиндра до точки наблюдения.

Определить ток проводимости, протекающий через поперечное сечение цилиндра. Варианты заданий приведены в таблице 7.

Таблица 7

| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|-------|-------|-------|-------|
| $f(r)$ | r^{-5} | r^{-4} | r^{-3} | r^{-2} | r^{-2} | r | r^2 | r^3 | r^4 | r^5 |

3.2. В шарике радиуса a создано электрическое поле, вектор электрической индукции которого: $\vec{D} = \vec{r}_0 D_0 f(r)$, где \vec{r}_0 – единичный вектор в сферической системе координат, D_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения поля вдоль радиуса шарика, r – расстояние от центра шарика до его произвольной точки.

Определить полный заряд, находящийся внутри шарика. Варианты заданий приведены в таблице 8.

Таблица 8

| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|
| $f(r)$ | r^5 | r^4 | r^3 | r^2 | r | r^{-1} | r^{-2} | r^{-3} | r^{-4} | r^{-5} |

Задача 4

В сфере с радиусом a электрический потенциал: $\varphi = \varphi_0 f(r)$, где φ_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения потенциала вдоль радиальной оси координат, r – расстояние от центра сферы до произвольной точки наблюдения внутри нее.

Определить напряженность электрического поля плотность объемного заряда в любой точке сферы (за исключением точки $r = 0$). Варианты заданий приведены в таблице 9.

Таблица 9

| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------|--------------------|----------------------|----------------------|----------|-----------|---------|-----------|-------------|-------------------|---------------------|
| $f(r)$ | $\frac{e^{br}}{r}$ | $\frac{e^{br}}{r^2}$ | $\frac{e^{br}}{r^3}$ | e^{br} | re^{br} | $\ln r$ | $r \ln r$ | $r^2 \ln r$ | $\frac{\ln r}{r}$ | $\frac{\ln r}{r^2}$ |

В таблице b – постоянная величина, r – расстояние от центра сферы до произвольной точки внутри нее.

Задача 5

В бесконечном прямом цилиндре, радиусом $a = 0,25$ м размещен объемный заряд плотностью $\rho = \rho_0 f(r)$, где ρ_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения заряда вдоль радиальной оси координат. На оси цилиндра имеется линейный заряд $\rho_{\text{лин}}$, а на его поверхности –

поверхностный заряд $\rho_{\text{пов}}$. Внутри цилиндра диэлектрик с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_1 , а снаружи ϵ_2 .

Определить разность потенциалов между точками M и N . Точка M находится на расстоянии c , а точка N – на расстоянии b от его оси.

Варианты заданий приведены в таблице 10.

Таблица 10

| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------------|------|--------|--------|--------|---------------|---------------|--------|--------|--------|------|
| $\rho_0 f(r)$, Кл/м | $6r$ | $5r^2$ | $4r^3$ | $3r^4$ | $\frac{2}{r}$ | $\frac{6}{r}$ | $5r^4$ | $4r^3$ | $3r^2$ | $2r$ |
| $\rho_{\text{пов}}$, Кл/м | 0,1 | 0 | 0,2 | 0 | 0,3 | 0 | 0,4 | 0 | 0,5 | 0 |
| $\rho_{\text{лин}}$, Кл/м | 0 | 0,5 | 0 | 0,4 | 0 | 0,3 | 0 | 0,2 | 0 | 0,1 |
| b , м | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,55 | 0,6 | 0,65 | 0,7 | 0,75 |
| c , м | 0,24 | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,2 | 0,19 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,15 |
| ϵ_1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| ϵ_2 | 10 | 9 | 8 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

Задача 6

Из этой задачи в контрольную работу выходит только один пункт из десяти, имеющих здесь. Номер этого пункта совпадает с последней цифрой номера зачетной книжки студента.

0. Металлический шарик радиуса $a = 0,05$ м, окруженный слоем диэлектрика радиуса $b = 0,1$ м, находится в ограниченном пространстве с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_1 = 1$. Относительная диэлектрическая проницаемость окружающего слоя диэлектрика $\epsilon_2 = 2,2$.

Определить напряженность электрического поля на поверхности металлического шарика, если он имеет потенциал $U = 50$ В.

1. Сферический конденсатор, заполненный диэлектриком с относительной проницаемостью $\epsilon = 2,2$, имеет радиус внутренней обкладки $a = 0,05$ м, внешней обкладки - $b = 0,2$ м.

Определить напряженность электрического поля на поверхности внутренней и внешней обкладок, если разность потенциалов между ними $U = 100$ В.

2. Коаксиальный кабель заполнен двухслойным диэлектриком. Радиус центральной жилы кабеля $a = 0,01$ м, а внутренней поверхности экрана - $b = 0,03$ м. Граница раздела двух диэлектриков $c = 0,02$ м. Диэлектрик, прилегающий к центральной жиле, имеет относительную проницаемость $\epsilon_1 = 1,1$, а диэлектрик, прилегающий к экрану - $\epsilon_2 = 2,2$.

Определить напряженность электрического поля на поверхности центральной жилы и экрана, если разность потенциалов между ними $U = 50$ В.

3. Сферический конденсатор заполнен двухслойным диэлектриком. Радиус внутренней обкладки $a = 0,005$ м, внутренней поверхности наружной обкладки $b = 0,2$ м, радиус границы раздела двух диэлектриков $c = 0,015$ м. Относительная проницаемость диэлектрика, прилегающего к внутренней обкладке $\epsilon_1 = 1,5$, а к внешней - $\epsilon_2 = 3$.

Определить напряженность электрического поля на внутренней поверхности обкладок, если разность потенциалов между ними $U = 100$ В.

4. Определить емкость сферического конденсатора, данные которого приведены в п.3, и проводимость его изоляции, если удельная проводимость первого слоя $\sigma_1 = 3,5 \cdot 10^{-3}$ См/м, а второго - $\sigma_2 = 5 \cdot 10^{-2}$ См/м.

5. Определить емкость металлического шарика, окруженного слоем диэлектрика, данные которого приведены в п.0.

6. Определить погонную емкость коаксиального кабеля (емкость отрезка кабеля длиной 1 м) с двухслойным диэлектриком, данные которого приведены в п.2, и погонную проводимость (проводимость между экраном и центральной жилой отрезка кабеля длиной 1 м) его изоляции, если удельная проводимость первого слоя $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ См/м, а второго - $\sigma_2 = 4 \cdot 10^{-4}$ См/м.

7. Два металлических шарика находятся в неограниченном диэлектрике с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,5$ и удельной проводимостью $\sigma = 5 \cdot 10^{-3}$ См/м. Расстояние между центрами шариков $d = 0,2$ м, радиус одного шарика $a = 0,01$ м, радиус второго - $b = 0,02$ м.

Рассчитать емкость и проводимость изоляции между этими шариками.

8. Определить емкость и проводимость изоляции между металлическим шариком радиусом $a = 0,02$ м и неограниченной металлической плоскостью, если центр шарика находится на высоте $h = 0,3$ м над этой плоскостью. Среда, в которой находится шарик, имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 2,2$ и удельную проводимость $\sigma = 4 \cdot 10^{-3}$ См/м.

9. Определить погонную емкость и проводимость изоляции линии передачи, образованной проводом радиуса $a = 0,01$ м, находящимся над неограниченной металлической плоскостью, если расстояние между осью провода и плоскостью $h = 0,15$ м, среда, окружающая провод имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 2$ и удельную проводимость $\sigma = 2 \cdot 10^{-3}$ См/м.

Задача 7

7.1 В прямом бесконечном цилиндре радиуса a векторный потенциал стационарного магнитного поля: $\vec{A} = \vec{z}_0 A_0 f(r)$, где \vec{z}_0 – единичный вектор в цилиндрической системе координат, A_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения потенциала вдоль радиальной оси координат.

Найти распределение напряженности магнитного поля внутри и снаружи цилиндра. Варианты заданий приведены в таблице 11.

Таблица 11

| | | | | | | | | | | |
|--------|-----|-------|-------|-------|-----------|-----|-------|-------|-------|-----------|
| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $f(r)$ | r | r^2 | r^3 | r^4 | $e^{r/a}$ | r | r^2 | r^3 | r^4 | $e^{r/a}$ |

7.2. В бесконечном прямом цилиндре радиуса $a = 0,1$ м течет ток проводимости: по оси цилиндра – линейный ток J , по поверхности – поверхностный ток плотностью $j_{\text{пов}}$, и по всему поверхностному сечению – объемный ток плотностью $\vec{j} = \vec{z}_0 j_0 f(r)$, где \vec{z}_0 – единичный вектор в цилиндрической системе координат, j_0 – постоянная величина, $f(r)$ – функция распределения плотности тока вдоль радиальной оси координат.

Определить напряженность магнитного поля внутри и снаружи цилиндра. При решении задачи током смещения пренебречь. Варианты заданий приведены в таблице 12.

Таблица 12

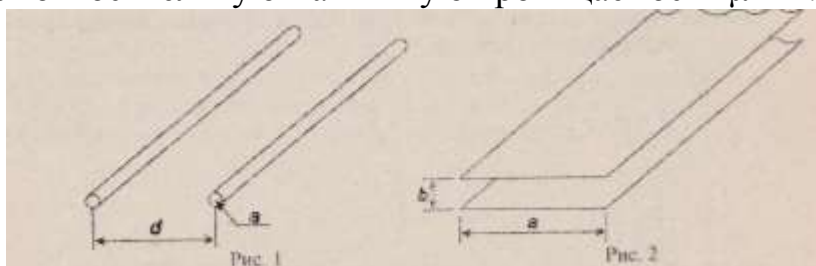
| | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------|-----|-----|-------|-----------|-------|-----|-----|-------|-----------|
| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $f(r)$ | $1/r$ | 1 | r | r^2 | $r^{r/a}$ | $1/r$ | 1 | r | r^2 | $r^{r/a}$ |
| $J, \text{А}$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| $j_{\text{пов}}, \text{А/м}$ | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| $j_0, \text{А/м}^2$ | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 |

Задача 8

Из этой задачи в контрольную работу входит только один пункт из десяти, имеющих в ней. Номер этого пункта совпадает с последней цифрой номера зачетной книжки.

0. Два параллельных цилиндрических проводника радиуса $a = 0,01$ м находятся в неограниченной среде с относительной магнитной проницаемостью $\mu = 1$. Расстояние между осями проводников $d = 0,05$ м. Определить погонную индуктивность этой двухпроводной линии.

1. Две параллельные металлические ленты шириной $a = 0,1$ м находятся на расстоянии $b = 0,01$ м друг от друга (рис.2). Определить погонную индуктивность этой ленточной линии, если среда, в которой они находятся, имеет относительную магнитную проницаемость $\mu = 2$.



2. Коаксиальный кабель с радиусом центрального проводника $a = 0,003$ м и радиусом экрана $b = 0,02$ м имеет двухслойное наполнение. Слой, прилегающий к центральному проводнику, имеет радиус $c = 0,01$ м и относительную магнитную проницаемость $\mu = 2$. Второй слой, прилегающий

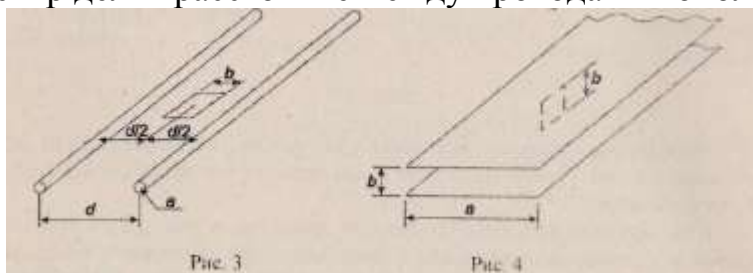
к экрану, имеет $\mu = 1$. Рассчитать погонную индуктивность кабеля.

3. Провод радиуса $a = 0,005$ м расположен параллельно металлической неограниченной плоскости. Расстояние между осью провода и плоскостью $h = 0,1$ м. Рассчитать погонную индуктивность этой линии, если среда, в которой она находится, имеет относительную магнитную проницаемость $\mu = 1$.

4. Квадратная рамка из тонкого проводника лежит в одной плоскости с прямым бесконечно тонким проводником. Сторона рамки, с размером $a = 0,1$ м параллельная проводнику, находится на расстоянии $d = 0,2$ м от его оси. Определить взаимную индуктивность системы, если окружающая среда имеет относительную магнитную проницаемость $\mu = 2$.

5. Рассчитать взаимную индуктивность системы, состоящей из двухпроводной линии (см. п. 0 данной задачи) и квадратной рамки со стороной

$b = 0,01$ м, лежащей в плоскости, в которой расположена двухпроводная линия; две противоположные стороны рамки параллельны проводам линии, а ее центр делит расстояние между проводами пополам (рис.3).

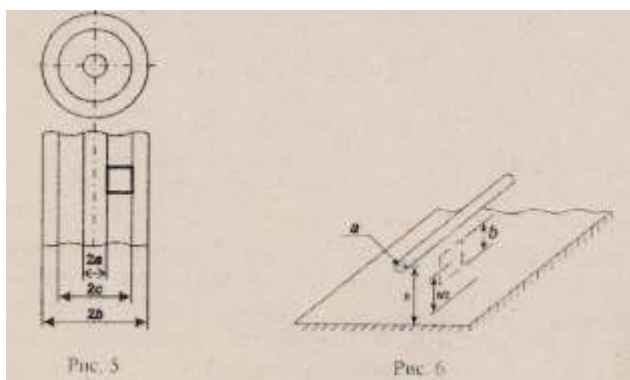


6. Рассчитать взаимную индуктивность системы (см. п. 5 данной задачи) при условии, что центр рамки находится на расстоянии d от середины отрезка между проводами.

7. В ленточной линии (см. п. 1) расположена квадратная рамка со стороной $b = 0,01$ м. Плоскость рамки перпендикулярна плоскости поперечного сечения линии и плоскости лент, образующих линию (см. рис.4). Найти взаимную индуктивность системы.

8. В слое, прилегающем к центральному проводнику коаксиального кабеля (см. п. 2), располагается квадратная рамка со стороной, имеющей размер $c-a$. Плоскость рамки находится в диаметральной плоскости кабеля (рис.5). Определить взаимную индуктивность системы.

9. В однородной линии передачи (см. п. 3) имеется квадратная рамка со стороной $b = 0,05$ м. Плоскость рамки находится в плоскости, проходящей через ось провода, перпендикулярно металлической поверхности, входящей в состав этой линии. Две противоположные стороны рамки параллельны оси провода, а ее центр делит расстояние h пополам (рис.6). Найти взаимную индуктивность системы.



Задача 9

Из этой задачи в контрольную работу входят два пункта из десяти, имеющих в ней. Номера этих пунктов определяются по таблице вариантов 13.

Плоская однородная волна распространяется в неограниченной однородной среде с относительной магнитной проницаемостью $\mu = 1$. Направление распространения совпадает с положительным направлением оси z декартовой системы координат. Амплитудное значение напряженности электрического поля в начале координат равно E_0 , частота колебаний f .

Требуется определить:

1. Сдвиг по фазе между векторами электрического и магнитного полей.
2. Модуль и фазу волнового сопротивления среды.
3. Среднее значение плотности потока мощности в точке с координатой z .
4. Координату, которой соответствует среднее за период значение плотности потока мощности, в p раз меньше, чем в начале координат.
5. Фазовый коэффициент.
6. Фазовую скорость.
7. Длину волны.
8. Затухание волны в точке с координатой z , выраженное в децибелах.
9. Напряженность магнитного поля в точке с координатой z .
10. Затухание волны в точке с координатой z , выраженное в неперах.

Таблица 13

| № вар | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------|---------|------------|----------|------------|--------|--------------|--------------|-----------------|------------|------------------|
| № пункт а задачи | 1,3 | 2,4 | 3,6 | 7,9 | 6,8 | 1,8 | 6,9 | 2,3 | 4,5 | 7,10 |
| z , м | 0,0001 | 0,000 2 | 0,0003 | 0,000 4 | 0,0005 | 0,1 | 10 | 100 | 1000 | 10000 |
| E_0 , В/м | 1000 | 100 | 10 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| f , МГц | 100 | 300 | 500 | 700 | 1000 | 300 | 300 | 100 | 100 | 10 |
| Среда | Серебро | Медь | Алюминий | Олово | Свинец | Вода морская | Вода пресная | Стекло натриево | Полистирол | Кварц плавленный |
| p | 10^6 | 10^5 | 10^4 | 10^3 | 100 | 10 | 5 | 4 | 3 | 2 |

3.2. Вопросы и задания

Вопросы и задания составлены в соответствии с разделами и темами рабочей программы учебной дисциплины для удобства при выполнении самостоятельной работы студентов к учебным занятиям.

Раздел 1 Введение. Уравнения электродинамики и граничные условия. (13 часов ВСР)

Тема 1.1. Векторные и скалярные поля. Электромагнитное поле.

Контрольные вопросы:

1. Понятие термина «поле».
2. Скалярные поля. Векторные поля.
3. Электромагнитное поле. Условие неприменимости теории электрических цепей для расчета колебательных систем.
4. Характеристики электромагнитного поля.

Задания:

1. Векторные и скалярные поля. Электромагнитное поле.

Тема 1.2. Токи и заряды в электродинамике. Векторы напряженности электрического и магнитного полей. Диэлектрическая и магнитная проницаемости. Элементы векторного анализа.

Контрольные вопросы:

1. Величины, описывающие различное распределение зарядов.
2. Величины, описывающие различное распределение токов.
3. Диэлектрическая проницаемость вещества.
4. Магнитная проницаемость вещества.

Тема 1.3. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Граничные условия.

Контрольные вопросы:

1. Уравнения Максвелла в интегральной форме.
2. Физический смысл уравнений Максвелла.
3. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме.
4. Уравнение непрерывности (закон сохранения заряда).

Тема 1.4. Виды сред. Материальные уравнения для различных сред.

Контрольные вопросы:

1. Уравнения состояния сред (материальные уравнения).
2. Виды сред.
3. Граничные условия на границе раздела сред.
4. Методы графического изображения электромагнитных полей. Понятие о силовой линии (линии поля).

Раздел 2 Основные законы и теоремы электродинамики. (15 часов ВСР)

Тема 2.1. Закон сохранения энергии. Теорема Умова-Пойнтинга.

Контрольные вопросы:

1. Связь электромагнитной энергии с другими видами энергии.
2. Закон сохранения энергии в интегральной форме.
3. Закон сохранения энергии в дифференциальной форме.

Тема 2.2. Скалярный и векторный потенциалы.

Контрольные вопросы:

1. Электростатическое поле. Уравнение Пуассона для электростатического потенциала.
2. Магнитостатическое поле. Уравнение Пуассона для векторного потенциала.

Раздел 3 Быстропеременные процессы. (13 часов ВСР)

Тема 3.1. Комплексные амплитуды. Система уравнений Максвелла для комплексных амплитуд.

Контрольные вопросы:

1. Комплексные амплитуды.
2. Уравнения Максвелла для комплексных амплитуд.

Тема 3.2. Потери электромагнитного поля в средах. Векторы Герца.

Контрольные вопросы:

1. Понятие о комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостях.
2. Теорема Умова-Пойнтинга для комплексных амплитуд.
3. Комплексный вектор Умова-Пойнтинга, его физический смысл.
4. Потенциалы в электродинамике.
5. Волновые уравнения для потенциалов.
6. Электрический и магнитный векторы Герца.
7. Условие калибровки.

Раздел 4 Плоские электромагнитные волны. (13 часов ВСР)

Тема 4.1. Плоские электромагнитные волны в однородной среде. Общие свойства плоских волн.

Контрольные вопросы:

1. Решение волнового уравнения для точечного источника.
2. Запаздывающий и опережающий потенциалы.
3. Волновые уравнения для векторов Герца.

Задания:

1. Плоская волна падает нормально на границу раздела двух сред с параметрами ϵ_1 , ϵ_2 . Поле \vec{E} поляризовано вдоль оси x . Определить амплитуду отраженной волны и ее поляризацию, если $\epsilon_2 > \epsilon_1$.

Тема 4.2. Плоская волна в идеальном диэлектрике и среде с потерями.

Контрольные вопросы:

1. Плоская волна в идеальном диэлектрике.
2. Плоская волна в среде с потерями.

Тема 4.3. Фазовая и групповая скорости.

Контрольные вопросы:

1. Фазовая скорость.
2. Групповая скорость.

Раздел 5 Направляемые электромагнитные волны. (13 часов ВСР)

Тема 5.1. Направляющие системы, их виды.

Контрольные вопросы:

1. Постановка задачи о расчете электромагнитного поля в волноводах.
2. Собственные волны.
3. Основные характеристики волн в линиях передачи.

Тема 5.2. Общие свойства направляемых волн. Классификация направляемых волн.

Контрольные вопросы:

1. Классификация типов волн в направляющих системах.
2. Быстрые волны в волноводах. Дисперсия быстрых волн.
3. Виды дисперсии.

Раздел 6 Волны типа Т в направляющих системах. (13 часов ВСР)

Тема 6.1. Т-волны в произвольной двусвязной системе. Свойства Т-волн.

Контрольные вопросы:

1. Т-волны в направляющих структурах.
2. Свойства Т-волн.

Тема 6.2. Дисперсионные свойства и погонные параметры различных линий передачи для волн типа Т.

Контрольные вопросы:

1. Т-волна в коаксиальной линии.
2. Высшие типы волн в коаксиальной линии.

Задания:

1. Определить погонные параметры двухпроводной линии, если известно, что ее волновое сопротивление равно 100 Ом, диэлектрик – воздух.
2. Определить диаметр внутреннего проводника коаксиальной линии с волновым сопротивлением 50 Ом, если диаметр внешнего проводника 7 мм, а $\epsilon_r = 1$.
3. Волновое сопротивление коаксиальной линии на волне Т равно 60 Ом. Диэлектрик – воздух. Определить погонные индуктивность и емкость, а так же скорость распространения волны в линии.
4. Определить погонные параметры ленточной линии передачи, если известно, что волновое сопротивление линии равно 50 Ом, диэлектрик – фторопласт ($\epsilon_r = 2,08$; $\mu_r = 1$).

Раздел 7 Быстрые волны в направляющих системах. (15 часов ВСР)

Тема 7.1. Основные характеристики быстрых волн. Дисперсионное уравнение.

Контрольные вопросы:

1. Дисперсионное уравнение.
2. Продольное и поперечное волновые числа.
3. Критическая частота волны.

Тема 7.2. Быстрые волны в прямоугольном волноводе.

Контрольные вопросы:

1. Волны типа Н в прямоугольном волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
2. Волны типа Е в прямоугольном волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
3. Основная волна прямоугольного волновода.
4. Вырожденные типы волн.
5. Структуры полей некоторых типов волн прямоугольного волновода.

Задания:

1. Изобразить структуру волны типа E_{11} прямоугольного волновода.
2. Изобразить структуру волны типа H_{11} прямоугольного волновода.
3. Изобразить структуру волны типа H_{10} прямоугольного волновода.
4. Прямоугольный волновод сечением 23×10 мм заполнен диэлектриком с относительной проницаемостью $\epsilon_r = 2,25$. Частота колебаний $8,4$ ГГц. Определить величины фазовой скорости и длины волны в волноводе.
5. Определить размеры поперечного сечения прямоугольного волновода с воздушным заполнением, при которых может распространяться только основная волна H_{10} , если длина волны генератора 10 см.
6. Прямоугольный волновод работает на волне H_{10} . Размеры волновода: $a = 2,6$ см; $b = 1,3$ см. Длина волны в волноводе $4,5$ см. Определить частоту, на которой распространяется основная волна волновода.

Тема 7.3. Быстрые волны в круглом волноводе.

Контрольные вопросы:

1. Волны типа Н в круглом волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
2. Волны типа Е в круглом волноводе, дисперсионное уравнение, критические частоты.
3. Основная волна круглого волновода.
4. Вырожденные типы волн.
5. Симметричные волны.
6. Структуры полей некоторых типов волн круглого волновода.

Задания:

1. Изобразить структуру поля волны E_{01} круглого волновода.
2. Изобразить структуру поля волны H_{01} круглого волновода.
3. Изобразить структуру поля волны E_{11} круглого волновода.
4. Изобразить структуру поля волны H_{11} круглого волновода.
5. Изобразить структуру поля волны E_{21} круглого волновода.
6. Изобразить структуру поля волны H_{21} круглого волновода.
7. Вычислить групповую скорость волны E_{01} в круглом волноводе, если частота генератора $f = 10$ ГГц, длина волны в волноводе 4 см, заполнение воздушное.
8. Определить диапазон частот, в пределах которого в круглом волноводе диаметром 4 см может распространяться только основной тип волны.

9. Определить критическую частоту и фазовую скорость волны в круглом волноводе диаметром 5 см при частоте 5 ГГц.

Тема 7.4. Токи в стенках волновода. Возбуждение волн в волноводах.

Контрольные вопросы:

1. Токи в стенках волновода.
2. Общие принципы возбуждения волн заданного типа.
3. Возбуждающие устройства.

Раздел 8 Объемные резонаторы. (15 часов ВСР)

Тема 8.1. Элементы общей теории резонаторов. Объемные резонаторы на базе прямоугольного и круглого волновода.

Контрольные вопросы:

1. Объемные резонаторы на базе отрезков линий передачи.
2. Условия резонанса.
3. Характеристическое уравнение для определения резонансных частот.
4. Объемный резонатор на базе отрезка прямоугольного волновода.
5. Объемный резонатор на базе отрезка круглого волновода.
6. Добротность резонатора. Виды добротностей.

Задания:

1. Изобразить структуру колебания типа H_{101} прямоугольного объемного резонатора.
2. Изобразить структуру колебания типа E_{111} прямоугольного объемного резонатора.
3. Изобразить структуру колебания типа H_{111} прямоугольного объемного резонатора.
4. Какой тип колебания является основным в прямоугольном объемном резонаторе с размерами $a=2$ см, $b=4$ см, $L=3$ см? Определить его резонансную частоту. Какой тип колебания является ближайшим высшим? Найти его резонансную частоту.
5. Прямоугольный объемный резонатор с резонансной длиной волны 3 см на колебании типа H_{102} образован отрезком стандартного прямоугольного волновода сечением 23×10 мм. Определить длину резонатора.
6. Определить резонансные частоты колебаний типов E_{010} и H_{111} в цилиндрическом резонаторе, диаметр и длина которого одинаковы и равны 6 см.
7. При каком соотношении длины объемного цилиндрического резонатора к его радиусу резонансные частоты колебаний E_{010} и H_{111} будут одинаковы?

Тема 8.2. Коаксиальные резонаторы.

Контрольные вопросы:

1. Коаксиальный резонатор.
2. Коаксиальный резонатор с торцевой емкостью.