

Федеральное агентство связи

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования**

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА

Самара

Федеральное агентство связи
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Кафедра электродинамики и антенн

Печатается по решению методического
совета ПГУТИ от

Электромагнитные поля и волны
Методические указания и задания к курсовой работе для студентов
дневной формы обучения по специальности 200600
«Фотоника и оптоинформатика»

Авторы-составители:
к.т.н., доцент Маслов М.Ю.
доцент, к.т.н. Ружников В.А.
доцент, к.т.н. Сивков В.С.
ассистент Скачков Д.В.

Рецензент:
к.т.н. Сподобаев М.Ю.

Самара, 2011

УДК 537.87

**Маслов Михаил Юрьевич, Ружников Вадим Александрович,
Сивков Вадим Сергеевич, Скачков Дмитрий Владимирович**

Методические указания и задания к курсовой работе по дисциплине
«Электромагнитные поля и волны».

ЭБС ИШУТМ

Содержание

Введение.....	4
Список литературы	4
Задания к курсовой работе	5
Задание 1	5
Задание 2	5
Задание 3	6
Задание 4	7
Методические указания к выполнению курсовой работы.....	9
Требования по оформлению пояснительной записки	17
Список вопросов к защите	19
Приложение 1	21
Приложение 2	22
Приложение 3	24

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания и задания на курсовую работу предназначены для студентов дневной формы обучения, обучающихся по программе подготовки бакалавров по направлению 200600 «Фотоника и оптоинформатика».

Целью выполнения курсовой работы является:

- систематизация, закрепление и расширение теоретических знаний по дисциплине;
- развитие навыков самостоятельной работы с научно-технической и справочной литературой по теории электромагнитного поля и технике СВЧ устройств.

Курсовая работа выполняется в соответствии с индивидуальным для каждого студента вариантом.

Перед выполнением курсовой работы студенту рекомендуется ознакомиться с требованиями данных методических указаний. В процессе выполнения может пользоваться не только рекомендованной, но и любой другой доступной ему учебной и технической литературой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

1. Пименов, Ю.В. Техническая электродинамика / Ю.В. Пименов, В.И. Вольман, А.Д. Муравцов - М.: Радио и связь, 2002. – 536 с.
2. Петров, Б. М. Электродинамика и распространение радиоволн: учебник для вузов / Б. М. Петров.- 2-е изд., испр.- М.: Горячая линия -Телеком, 2007.- 558 с.

Дополнительная:

3. Семенов, Н.А. Техническая электродинамика: учеб. пособие для вузов / Н.А. Семенов - М.: Связь, 1973. – 480 с.
4. Никольский, В.В. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие для вузов / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – 3-е изд., перераб. и доп.. – М.: Наука, 1989. – 544 с.
5. Лебедев, И.В. Техника и приборы на СВЧ / И.В. Лебедев - Т.1. М.,: Мир, 1977. – 440 с.

ЗАДАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Задания к курсовой работе составлены для 100 вариантов. Вариант задания определяется двумя последними цифрами номера студенческого билета:

m - предпоследняя, n - последняя.

Работа состоит из 4 заданий.

Задание 1

Известен закон изменения одного из векторов электромагнитного поля в воздухе: $\vec{E} = \vec{\zeta}_0 E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z)$ – для чётных номеров m , $\vec{H} = \vec{\zeta}_0 H_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z)$ – для нечётных номеров m . Требуется определить второй вектор электромагнитного поля (\vec{H} - для чётных номеров m и \vec{E} для нечётных номеров m), мгновенное и среднее значения вектора Пойнтинга.

Исходные данные для расчёта приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_0 , мВ/м	5		15		8		10		3	
H_0 , мкА/м		1,5		3		1		2,5		5
$\vec{\zeta}_0$	\vec{x}_0	\vec{y}_0	$\vec{\theta}_0$	$\vec{\varphi}_0$	\vec{x}_0	\vec{y}_0	$\vec{\theta}_0$	$\vec{\varphi}_0$	\vec{x}_0	\vec{y}_0

Примечание: если согласно выбранному варианту, орт-вектор $\vec{\zeta}_0$ равен $\vec{\theta}_0$, то при решении задачи считать, что задана сферическая, для $\vec{\varphi}_0$ – цилиндрическая системы координат.

Таблица 2

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
α , м ⁻¹	2	5	15	10	3	1,2	3,2	8	5	1,3
β , м ⁻¹	30	10	25	40	80	25	75	50	90	45
F , МГц	1	10	5	3	20	7	9	5	30	15

Задание 2

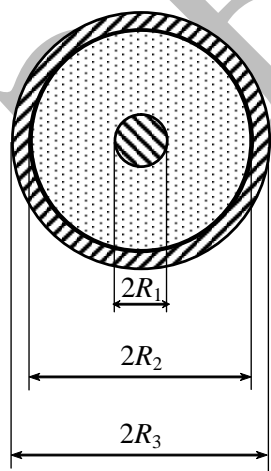


Рис. 1

По проводникам коаксиального волновода (рис.1) протекает постоянный ток I (табл.3). Размеры коаксиального волновода R_1 , R_2 и R_3 для различных вариантов задания приведены в табл. 4. Проводники коаксиального волновода выполнены из меди. Пространство между внутренним и внешним проводниками заполнено полиэтиленом.

1. Вывести закон, выражающий зависимость напряжённости магнитного поля от расстояния от центра волновода.

2. Найти векторы напряжённости магнитного поля и магнитной индукции на расстояниях r_1 , r_2 , r_3 , r_4 от центра волновода ($r_1 = 0,5 R_1$, $r_2 = (R_1+R_2)/2$, $r_3 = (R_2+ R_3)/2$, $r_4 =$

$2 R_3$).

3. Построить график зависимости напряженности магнитного поля от расстояния.

Таблица 3

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I , мА	8	5	6	5	9	15	7	8	3	5

Таблица 4

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_1 , мм	2	1	3	4	6	9	2	4	1	2
R_2 , мм	7	5	8	9	18	25	5	10	4	6
R_3 , мм	8	6	9	10	19	26	6	11	5	7

При решении задачи считать, что в каждый момент времени токи во внутреннем и внешнем проводниках волновода в одном поперечном сечении противоположны, и равномерно распределены по поперечным сечениям проводников.

Задание 3

В волноводе прямоугольного сечения (табл. 5) распространяется волна основного типа. Стенки волновода выполнены из материала, указанного в таблице 6.

Таблица 5

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ширина волновода, a , мм	72,14	58,17	74,55	49,39	34,85	28,5	22,86	19	15,8	12,9
Высота волновода, b , мм	34,04	29,08	22,15	20,2	15,8	12,6	10,16	9,5	7,9	6,5

Таблица 6

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Материал стенок	медь	латунь	серебро	алюминий	латунь	серебро	медь	алюминий	латунь	медь
t	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7

Требуется:

- 1) определить частотные границы одноволнового режима;
- 2) определить частоту f_{\min} , соответствующую минимальному коэффициенту ослабления α_{\min} в заданном волноводе;
- 3) для частоты, соответствующей $f = t \cdot f_{\hat{e}\delta}^I \cdot 10$, определить основные параметры: $\tilde{\gamma} = \alpha + i\beta$, λ , Λ , v_{δ} , $v_{\tilde{a}\delta}$, $Z_{\tilde{n}}^I \cdot 10$;
- 4) изобразить структуру поля в поперечном и продольном сечениях волновода;
- 5) какие типы волн могут распространяться в прямоугольном волноводе, с размерами, приведёнными в табл. 5, на частоте $f = 1,5 \cdot t \cdot f_{\hat{e}\delta}^I \cdot 10$?

Задание 4

Таблица 7

<i>n</i>	Условие задачи
0	<p>Найти распределение амплитуд и мощностей волн по плечам волноводного <i>E</i>-тройника при подаче в одно из боковых плеч (2 или 3) 100 Вт, если в плоскости отсчёта <i>E</i>-плеча имеет место режим:</p> <p><u>четные <i>m</i></u> - короткозамкнутый поршень находится в плоскости отсчёта $l = 0$. Свободное плечо нагружено на согласованную нагрузку.</p> <p><u>нечетные <i>m</i></u> - короткозамкнутый поршень смещён на произвольное расстояние l относительно плоскости отсчёта <i>E</i>-плеча. Свободное плечо нагружено на согласованную нагрузку.</p>
1	<p>Используя матрицу рассеяния, показать, в какие плечи волноводного кольцевого моста следует включать выходы передатчиков, для работы на общую антенну, в случае:</p> <p><u>четные <i>m</i></u> - синфазного возбуждения волн в плоскости отсчёта плеч.</p> <p><u>нечетные <i>m</i></u> - противофазного возбуждения волн в плоскости отсчёта плеч.</p> <p>Мощности обоих передатчиков равны 50 Вт.</p>
2	<p>Найти распределение амплитуд и мощностей волн по плечам волноводного <i>H</i>-тройника при подаче в одно из боковых плеч (1 или 2) 10 Вт, если в плоскости отсчёта <i>H</i>-плеча имеет место режим:</p> <p><u>четные <i>m</i></u> - эквивалентного холостого хода.</p> <p><u>нечетные <i>m</i></u> - короткозамкнутый поршень смещён на произвольное расстояние l от плоскости отсчёта.</p> <p>Свободное плечо нагружено на согласованную нагрузку.</p>

Таблица 7 (продолжение)

<i>n</i>	Условие задачи
3	Найти распределение мощностей по плечам щелевого волноводного моста при подаче 1 Вт: <u>четные m</u> – в плечо 1, <u>нечетные m</u> – в плечо 3.
4	Используя матрицу рассеяния, показать, при каком соотношении нагрузок боковых плеч двойного волноводного тройника (приведённых к плоскости отсчёта) энергия электромагнитной волны, подводимой к: <u>четные m</u> - H -плечу не проходит в E -плечо. К H -плечу подводится мощность 1 Вт. <u>нечетные m</u> - E -плечу максимально проходит в H -плечо. К E - плечу подводится мощность 1 Вт.
5	Используя матрицу рассеяния, показать, при каком соотношении нагрузок боковых плеч двойного волноводного тройника (приведённых к плоскости отсчёта) энергия электромагнитной волны, подводимой к: <u>четные m</u> - H -плечу не проходит в E -плечо. К H -плечу подводится мощность 100 Вт. <u>нечетные m</u> - E -плечу максимально проходит в H -плечо. К E -плечу подводится мощность 100 Вт.
6	Найти распределение мощностей по плечам щелевого волноводного моста при подаче 50 Вт: <u>четные m</u> – в плечо 1; <u>нечетные m</u> – в плечо 3.
7	Используя матрицу рассеяния, показать, в какие плечи волноводного кольцевого моста следует включать выходы передатчиков, для работы на общую антенну, в случае: <u>четные m</u> - синфазного возбуждения волн в плоскости отсчёта плеч. <u>нечетные m</u> - противофазного возбуждения волн в плоскости отсчёта плеч. Мощности обоих передатчиков равны 20 Вт.
8	Найти распределение амплитуд и мощностей волн по плечам волноводного H -тройника при подаче в одно из боковых плеч (1 или 2) 100 Вт, если в плоскости отсчёта H -плеча имеет место режим: <u>четные m</u> - эквивалентного холостого хода. <u>нечетные m</u> - короткозамкнутый поршень смещён на произвольное расстояние l от плоскости отсчёта. Свободное плечо нагружено на согласованную нагрузку.

Таблица 7 (продолжение)

<i>n</i>	Условие задачи
9	<p>Найти распределение амплитуд и мощностей волн по плечам волноводного E-тройника при подаче в одно из боковых плеч (2 или 3) 10 Вт, если в плоскости отсчёта E-плеча имеет место режим:</p> <p><u>четные m</u> - короткозамкнутый поршень находится в плоскости отсчёта $l = 0$.</p> <p><u>нечетные m</u> - короткозамкнутый поршень смещён на произвольное расстояние l относительно плоскости отсчёта E-плеча.</p> <p>Свободное плечо нагружено на согласованную нагрузку.</p>

Примечание: матрицы рассеяния для СВЧ-устройств приведены в Приложении 2.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

При выполнении курсовой работы студент должен придерживаться следующих правил:

1. Решение любой задачи начинается с поясняющего чертежа.
2. Прежде чем выполнять какой-либо расчет, указывается его цель, ссылка на источник, откуда берутся расчетные соотношения (номер литературы по списку), и номер формулы.
3. Все вновь вводимые значения должны поясняться.
4. При расчетах сначала выводится общая формула, затем подставляются числовые значения известных величин, приводятся результаты промежуточных вычислений и конечный результат, в промежуточных вычислениях размерности величин не указываются, а в конечном результате приведение размерности обязательно.
5. Все величины должны выражаться в стандартных единицах международной системы единиц СИ.
6. Все расчеты должны выполняться с точностью до четвертой значащей цифры после запятой.
7. Определение векторных величин следует сопровождать рисунками с указанием направления векторов.
8. Все графики должны содержать стандартный масштаб, размерности величин и расчетные точки.
9. При выполнении курсовой работы необходимо указывать номер студенческого билета и номер варианта.
10. В конце работы следует привести список использованной литературы и расписаться.

Методические указания к заданию №1

Пусть по условию задачи требуется определить вектор напряженности магнитного поля в воздухе, а также мгновенные и средние значения вектора Пойнтинга, если вектор напряженности электрического поля изменяется по закону:

$$\vec{E} = \vec{x}_0 E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z). \quad (1)$$

1. Для нахождения вектора напряженности магнитного поля воспользуемся вторым уравнением Максвелла в дифференциальной форме:

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (2)$$

2. Учитывая, что в воздухе векторы напряженности магнитного поля и магнитной индукции связаны соотношением $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$, перепишем (2) в виде:

$$\text{rot} \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (3)$$

3. Вектор напряженности электрического поля представляет собой гармоническую функцию времени, поэтому в уравнении (3) целесообразно перейти к комплексным амплитудам:

$$\text{rot} \dot{\vec{E}}_m = -i\omega\mu_0 \dot{\vec{H}}_m \quad (4)$$

Запишем комплексную амплитуду вектора напряженности электрического поля:

$$\dot{\vec{E}}_m = \vec{x}_0 E_{m0} e^{-i\beta z} \quad (5)$$

4. Ротор комплексного вектора (5), в декартовых координатах может быть выражен через символический определитель [Приложение 1]:

$$\text{rot} \dot{\vec{E}}_m = \begin{vmatrix} \vec{x}_0 & \vec{y}_0 & \vec{z}_0 \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ \dot{E}_{mx} & \dot{E}_{my} & \dot{E}_{mz} \end{vmatrix} \quad (6)$$

5. Выразим из (4) комплексную амплитуду вектора напряженности магнитного поля, подставив (6):

$$\dot{\vec{H}}_m = \frac{i}{\omega\mu_0} \text{rot} \dot{\vec{E}}_m \quad (7)$$

Перепишем (7) в показательной форме:

$$\dot{\vec{H}}_m = \vec{y}_0 H_{m0} e^{i\varphi} \quad (9)$$

Найдём мгновенное значение вектора напряженности магнитного поля:

$$\vec{H} = \vec{y}_0 H_{m0} \cos(\omega t - \varphi) \quad (10)$$

Найдем и подставим в (10) числовые значения амплитуды напряженности

магнитного поля в начале координат, и начальную фазу.

Для нахождения мгновенного значения вектора Пойнтинга необходимо воспользоваться определением [1] $\vec{\Pi} = \vec{E} \times \vec{H}$, подставив (10) и (1).

Запишем выражение для мгновенного значения вектора Пойнтинга с учётом амплитуды и начальных фаз:

Найдём среднее за период значение вектора Пойнтинга:

$$\vec{\Pi}_{\text{cp}} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left[\dot{\vec{E}}_m \times \vec{H}_m^* \right]. \quad (11)$$

Методические указания к заданию №2

Для нахождения вектора напряжённости магнитного поля необходимо ввести цилиндрическую систему координат, с осью аппликат направленной вдоль продольной оси волновода.

Из соображений симметрии, очевидно, что напряжённость магнитного поля имеет отличную от нуля азимутальную компоненту, которая модуль которой зависит лишь от расстояния от оси волновода, т.е.:

$$\vec{H} = \vec{\varphi}_0 H(r) \quad (12)$$

Воспользуемся первым уравнением Максвелла в интегральной форме, которое в стационарном случае имеет вид [2]:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I \quad (13)$$

Векторный элемент дуги в подынтегральном выражении в левой части (13) совпадает по направлению с азимутальным ортом:

$$d\vec{l} = \vec{\varphi}_0 dl \quad (14)$$

Ввиду того, что скалярное произведение $\vec{\varphi}_0 \cdot \vec{\varphi}_0 = 1$, интеграл в левой части (13) может быть найден для произвольного кругового контура, концентричного с волноводом:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = H \int_0^{2\pi} r d\varphi = 2\pi r H \quad (15)$$

Левая часть (13) для различных круговых контуров L (рис. 2), центр которых лежит на оси волновода, неизменно имеет вид (13), в правую же часть необходимо подставлять ток проводимости, охваченный соответствующим контуром. При составлении уравнений следует учесть, что контур $L3$ обхватывает полностью ток I , текущий на нас и часть тока текущего от нас.

Результатом будут законы изменения $H(r)$ для четырех областей коаксиального волновода, по которым требуется построить график (рис. 2).

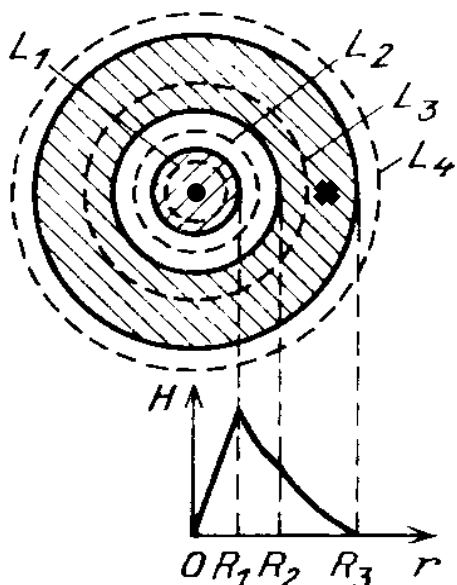


Рис.2

Критические длины волн и критические частоты для различных мод:

$$\lambda_{кр}^{H_{10}} = 2a, \quad f_{кр}^{H_{10}} = \frac{c}{2a}; \quad (18)$$

$$\lambda_{кр}^{H_{20}} = a, \quad f_{кр}^{H_{20}} = \frac{c}{a}, \quad (19)$$

$$\lambda_{кр}^{H_{01}} = 2b, \quad f_{кр}^{H_{01}} = \frac{c}{2b} \quad (20)$$

$$\lambda_{кр}^{E_{11}, H_{11}} = \frac{2}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}}, \quad f_{кр}^{E_{11}, H_{11}} = \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}} \quad (21)$$

Волной первого высшего типа в прямоугольном волноводе является волна H_{20} , поэтому условия одноволнового режима имеют вид:

$$\lambda_{кр}^{H_{20}} < \lambda < \lambda_{кр}^{H_{10}}; \quad (22)$$

$$f_{кр}^{H_{10}} < f < f_{кр}^{H_{20}} \quad (23)$$

2. Коэффициент ослабления в трубчатых волноводах складывается из коэффициента ослабления в металлических стенках и коэффициента ослабления в диэлектрике:

$$\alpha = \alpha_m + \alpha_d \quad (24)$$

Ослаблением в диэлектрике можно пренебречь.

Коэффициент ослабления в металле, для волны основного типа может быть вычислен по формуле [1]:

Методические указания к заданию №3

1. Волной основного типа прямоугольного волновода является волна H_{10} . Критическая длина волны для волны типа mn может быть найдена:

$$\lambda_{кр}^{mn} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}} \quad (16)$$

Критическая частота в случае воздушного заполнения волновода:

$$f_{кр}^{mn} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad (17)$$

$$\alpha_m^{H_{10}} = \frac{R_S}{bZ_c} \cdot \frac{1 + \frac{2b}{a} \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2}} \quad (25)$$

где $R_S = \sqrt{\frac{\pi f \mu_0 \mu}{\sigma}}$ - поверхностное сопротивление, $Z_c = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120 \pi$ Ом.

Пример графика зависимости $\alpha_i^{H_{10}}$ от частоты приведён на рис. 2.

Видно, что минимальный коэффициент ослабления на графике имеет место на частоте $f_{\min} = 15,3$ ГГц.

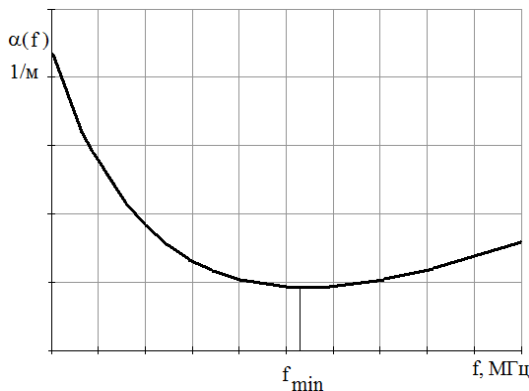


Рис. 2

3. Для частоты $f = t \cdot f_{\text{ед}}^{H_{10}}$, определим параметры основной волны:

Коэффициент ослабления:

$$\alpha_m^{H_{10}} = \frac{R_S}{bZ_c} \cdot \frac{1 + \frac{2b}{a} \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2}} \quad (26)$$

Коэффициент фазы:

$$\beta^{H_{10}} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2} \quad (27)$$

Длина волны:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (28)$$

Длина волны в волноводе:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2}} \quad (29)$$

Фазовая скорость:

$$v = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}. \quad (30)$$

Скорость переноса энергии:

$$v_e = c \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}. \quad (31)$$

Характеристическое сопротивление:

$$Z_c^{H_{10}} = \frac{Z_c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}. \quad (32)$$

4. Для определения типов волн, которые могут распространяться в волноводе на частоте $f = 1,5 \cdot t \cdot f_{\text{сд}}^{i_{10}}$. Требуется проверить, выполняется ли условие распространения $\lambda < \lambda_{\text{сд}}$ для волн $H_{10}, H_{20}, H_{01}, H_{02}, H_{11}$ и т.д.

Методические указания к заданию №4

1. Для решения задачи необходимо изучить разделы в рекомендованной литературе, посвященные матричному описанию СВЧ устройств. К примеру, 12.3 в [1] и 7.8 в [5].

2. Далее требуется привести описание СВЧ устройства. К примеру, внешний вид волноводного кольцевого моста приведён на рис. 3. Данный мост представляет собой свёрнутый в кольцо прямоугольный волновод, к которому, либо в плоскости Е, либо в плоскости Н подключены четыре ответвления.

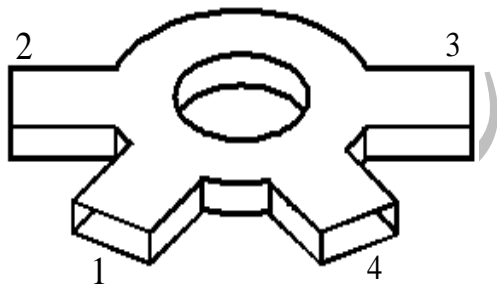


Рис. 3.

3. Распределение мощностей по плечам моста проводится при помощи матричного метода. Этот метод применяется для анализа и расчёта сложных волноводных узлов, схемой замещения которых может являться эквивалентный линейный многополюсник.

Режим работы эквивалентного многополюсника описывается набором параметров, объединённых в матрицу. В теории многополюсников СВЧ в основном используют волновые матрицы рассеяния $[S]$ и передачи $[\hat{O}]$. Математический аппарат матриц позволяет описывать рабочие режимы многополюсника при помощи систем алгебраических уравнений.

Многополюсник, эквивалентный кольцевому мосту изображён на рис. 4.

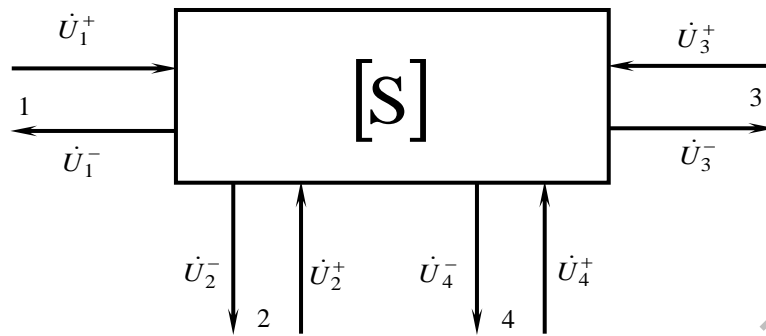


Рис. 4

На рис. 4 показаны направления падающих \dot{U}^+ и рассеянных \dot{U}^- многополюсником нормированных волн в каждом его плече.

4. Записывается матрица рассеяния СВЧ устройства (матрицы рассеяния различных СВЧ-устройств приведены в Приложении 2 настоящего пособия). К примеру, для волноводного кольцевого моста, изображенного на рис. 4.

$$[S] = -\frac{i}{\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Компоненты матрицы (40): S_{ii} – коэффициент отражения от i -го входа при согласованных выходах, S_{ki} – коэффициент отражения от i -го плеча в k -е.

5. Составляется система уравнений эквивалентного многополюсника с учётом матрицы, записанной на предыдущем шаге. Рекомендуется воспользоваться общими выражениями, приведенными в [2]. Пример системы для волноводного кольцевого моста, изображенного на рис. 4:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1^- &= 0 \cdot \dot{U}_1^+ - \frac{i}{\sqrt{2}} \cdot \dot{U}_2^+ + 0 \cdot \dot{U}_3^+ - \frac{i}{\sqrt{2}} \dot{U}_4^+, \\ \dot{U}_2^- &= -\frac{i}{\sqrt{2}} \cdot \dot{U}_1^+ + 0 \cdot \dot{U}_2^+ + \frac{i}{\sqrt{2}} \cdot \dot{U}_3^+ + 0 \cdot \dot{U}_4^+, \\ \dot{U}_3^- &= 0 \cdot \dot{U}_1^+ + \frac{i}{\sqrt{2}} \cdot \dot{U}_2^+ + 0 \cdot \dot{U}_3^+ - \frac{i}{\sqrt{2}} \dot{U}_4^+, \\ \dot{U}_4^- &= -\frac{i}{\sqrt{2}} \cdot \dot{U}_1^+ + 0 \cdot \dot{U}_2^+ - \frac{i}{\sqrt{2}} \cdot \dot{U}_3^+ + 0 \cdot \dot{U}_4^+. \end{aligned} \tag{33}$$

6. Для решения системы уравнений, составленной в п.5 необходимо определить начальные условия.

Рассмотрим пример для волноводного кольцевого моста, изображенного на рис. 3. Пусть по условию задачи необходимо показать, в какие плечи волновод-

ного кольцевого моста следует включать выходы передатчиков, для работы на общую антенну, в случае противофазного возбуждения волн в плоскости отсчёта плеч.

Пусть мощности подаются в плечи 1 и 3 со сдвигом по фазе на 180^0 , плечи 2 и 4 согласованы и одному из них подключена антенна, тогда:

$$\dot{U}_1^+ = -\dot{U}_3^+ = \sqrt{P}, \quad \dot{U}_2^+ = 0, \quad \dot{U}_4^+ = 0.$$

Полученные начальные условия подставляются в систему уравнений, записанные в п.5. Для волноводного кольцевого моста подставим $\dot{U}_1^+, \dot{U}_2^+, \dot{U}_3^+ \text{ и } \dot{U}_4^+$ в систему (40) и решим её относительно неизвестных $\dot{U}_1^-, \dot{U}_2^-, \dot{U}_3^- \text{ и } \dot{U}_4^-$:

$$\dot{U}_1^- = -\frac{i}{\sqrt{2}}\dot{U}_4^+ = 0,$$

$$\dot{U}_2^- = -\frac{i\sqrt{P}}{\sqrt{2}} - \frac{i\sqrt{P}}{\sqrt{2}} = \frac{2i\sqrt{P}}{\sqrt{2}},$$

$$\dot{U}_3^- = -\frac{i}{\sqrt{2}}\dot{U}_4^+ = 0,$$

$$\dot{U}_4^- = -\frac{i\sqrt{P}}{\sqrt{2}} + \frac{i\sqrt{P}}{\sqrt{2}} = 0.$$

Найдём мощности на выходе всех плеч кольцевого моста:

$$P_1^- = |\dot{U}_1^-|^2 = 0 \text{ Вт},$$

$$P_2^- = |\dot{U}_2^-|^2 = 2P \text{ Вт},$$

$$P_3^- = |\dot{U}_3^-|^2 = 0 \text{ Вт},$$

$$P_4^- = |\dot{U}_4^-|^2 = 0 \text{ Вт}.$$

Для проверки правильности расчёта составим и вычислим баланс мощностей:

$$P_2^- = P_1^+ + P_3^+ = P + P = 2P \text{ Вт}.$$

Баланс мощностей выполняется.

7. Необходимо сделать вывод о работе СВЧ устройства в соответствии с заданием.

Пример для волноводного кольцевого моста, который используется для подключения выходов передатчиков для работы на общую антенну: при равноамплитудном и противофазном возбуждении плеч 1 и 3, при условии согласования остальных плеч волноводного кольцевого моста, вся мощность проходит в плечо 2. Таким образом, при работе двух передатчиков на одну антенну, выходы передатчиков целесообразно подключать к плечам 1 и 3 моста, а антенну

к плечу 2, или, учитывая симметрию моста, передатчики подключать к плечам 2 и 4, а антенну – к плечу 3.

ТРЕБОВАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

1. Титульный лист является первым листом пояснительной записки (ПЗ). Он выполняется на листе формата А4 (210×297 мм). Пример заполнения титульных листов дан в Приложении 3.

2. Второй лист необходимо оставить для рецензии преподавателю. Лист должен содержать заголовок РЕЦЕНЗИЯ.

3. Текстовая часть ПЗ выполняется на листах формата А4 (210×297 мм) в одностороннем исполнении без рамки и основной надписи с простановкой порядковых номеров листов ПЗ в правом нижнем углу.

4. Выполнение ПЗ рекомендуется производить в текстовом редакторе 14 шрифтом Times New Roman через 1,5 интервала. Для абзацев использовать отступ 1,25. Параметры страницы: сверху – 2,0 см; снизу – 2,0 см; слева – 3,0 см; справа – 1,5 см.

5. Использованные источники (учебники, справочники, статьи, стандарты и др.) отмечаются в тексте в порядке их использования номерами в квадратных скобках, например: [6], а при уточнении страницы источника [6, с. 15]. Библиографические сведения указывают в перечне в том виде, в котором они даны в источнике информации.

6. Формулы рекомендуется набирать в редакторе формул по центру строки 14 шрифтом Times New Roman. В качестве символов применяются стандартные обозначения. В формулах четко обозначать буквы, цифры, надстрочные и подстрочные символы и индексы.

7. Рекомендуется нумеровать только те формулы, на которые необходимы ссылки при дальнейшем изложении текста ПЗ. Формулы, как правило, нумеруются в пределах разделов. Допускается сквозная нумерация. Номера формул ставятся с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

8. Расшифровка формулы, при необходимости, приводится непосредственно под формулой. В конце формулы ставится запятая, а при необходимости и размерность. Значение каждого символа даются с новой строки в той последовательности, в какой они приведены в формуле.

Первая строка расшифровки начинается со слова «где» (без двоеточия после него). Например: «Определяем величину напряжения источника питания каскада по формуле:

$$E = 2\sqrt{2P_{\text{нагр}} \cdot R_{\text{нагр}}} + U_{\text{ост}}, \quad (7.1)$$

где $P_{\text{нагр}}$ – мощность нагрузки, Вт;

$R_{\text{нагр}}$ – сопротивление катушки громкоговорителя, Ом;

$U_{\text{ост}}$ – остаточное напряжение, В».

9. Расчеты по формулам располагать по левому краю с абзацного отступа. В формулах точка как знак умножения между скобками не ставится. Знак ум-

ножения (точка) ставится перед цифрами и дробями. Перенос формулы на следующую строку допускается после знаков: «=» (равняется), «+» (плюс), «·» (умножение) с повторением этих знаков на новой строке.

10. Рисунки, графики – далее иллюстрации, нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого раздела ПЗ или сквозной нумерацией по всей ПЗ без учета разделов (рис. 1.1 или рис. 1). Ссылки даются в виде: (рис. 3.2) или (см. рис. 3.2) и, по возможности, сразу после ссылки размещают иллюстрации так, чтобы их можно было рассматривать без поворота листа. Иллюстрации допускается располагать на отдельном листе с поворотом листа на 90° по часовой стрелке.

Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и его наименование помещают после поясняющих данных с выравниванием по центру 14 шрифтом.

Сетка графика определяется масштабом шкал (равномерных или логарифмических) осей координат. На осях графиков указывают наименования и единицы измерения величин, числовые значения которых помещены у делений шкалы.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЗАЩИТЕ

1. Определения векторов поля $\vec{E}, \vec{D}, \vec{H}, \vec{B}$.
2. Классификация сред по макроскопическим параметрам.
3. Первое и второе уравнения Максвелла и их физический смысл.
4. Ток проводимости и ток смещения.
5. Третье и четвертое уравнения Максвелла и их физический смысл.
6. Различия в уравнениях Максвелла в дифференциальной и интегральной формах.
7. Уравнения непрерывности и закон сохранения заряда.
8. Сторонние источники. Запись уравнений Максвелла с учетом сторонних токов и зарядов.
9. Классификация электромагнитных явлений по характеру их изменения во времени.
10. Система уравнений Максвелла для монохроматического поля в комплексной форме.
11. Комплексные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.
12. Тангенс угла диэлектрических потерь, критерий деления сред на проводники и диэлектрики.
13. Граничные условия для нормальных и касательных составляющих векторов \vec{E}, \vec{D} .
14. Граничные условия для нормальных и касательных составляющих для векторов \vec{H}, \vec{B} .
15. Граничные условия на поверхности раздела «диэлектрик – идеальный проводник».
16. Типы направляющих систем, требования, предъявляемые к направляющим системам.
17. Классификация направляемых волн.
18. Волновые уравнения для направляемых волн. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в направляющей системе.
19. Основные соотношения и структура поля для волны класса T в направляющей системе.
20. Основные соотношения и структура полей для волн классов E и H в направляющих системах.
21. Концепция парциальных волн в волноводах. Явление дисперсии.
22. Фазовая, групповая скорости и скорость распространения энергии.
23. Решение волнового уравнения для продольной составляющей в прямоугольном волноводе. Особенности решения в случае E - и H - волн.
24. Структура поля и параметры волн типа E и H в прямоугольном волноводе.
25. Выражения для составляющих поля основной волны в прямоугольном волноводе.
26. Нарисуйте эпюры распределения поверхностных токов на стенках прямоугольного волновода.
27. Поверхностные токи на стенках волноводов при распространении различ-

ных типов волн.

28. Затухание волн в волноводах прямоугольного сечения.

29. Коаксиальная линия передачи; типы волн, структура их полей и условия существования; условие одноволновой передачи, фазовая скорость и характеристическое сопротивление.

30. Основные конструктивные элементы коаксиального волновода. Предельная номинальная и допустимая мощности коаксиального волновода. Выбор оптимального значения волнового сопротивления. Применение коаксиальных волноводов.

31. Классификация управляющих элементов по воздействию на соответствующие параметры распространяющейся электромагнитной волны.

32. Конструкции делителей мощности.

33. Свойства E- и H-тройников с согласованными плечами. Распределение мощности между плечами во всех вариантах включения генератора.

34. Направленные ответвители: основные свойства, параметры и области применения.

35. Основные свойства двойного T-образного моста, способы согласования плеч, применение.

36. Квадратный и кольцевой мосты: основные свойства, распределение мощности между плечами во всех вариантах включения генератора.

37. Щелевой волновой мост: основные свойства, способы согласования, применение.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Некоторые операции векторного анализа

1. Операции в прямоугольной системе координат:

$$\operatorname{rot} \vec{A} = \begin{vmatrix} \vec{x}_0 & \vec{y}_0 & \vec{z}_0 \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix}, \quad \operatorname{div} \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}.$$

2. Операции в цилиндрической системе координат:

$$\operatorname{rot} \vec{A} = \begin{vmatrix} \vec{r}_0 & \vec{\varphi}_0 & \vec{z}_0 \\ \frac{r}{\partial} & \frac{\partial}{\partial \varphi} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_r & rA_\varphi & A_z \end{vmatrix}, \quad \operatorname{div} \vec{A} = \frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial(rA_r)}{\partial r} + \frac{\partial A_\varphi}{\partial \varphi} \right\} + \frac{\partial A_z}{\partial z}.$$

3. Операции в сферической системе координат:

$$\operatorname{rot} \vec{A} = \begin{vmatrix} \vec{r}_0 & \vec{\theta}_0 & \vec{\varphi}_0 \\ \frac{r^2 \sin \theta}{\partial} & \frac{r \sin \theta}{\partial} & \frac{r}{\partial} \\ A_r & rA_\theta & rA_\varphi \sin \theta \end{vmatrix},$$

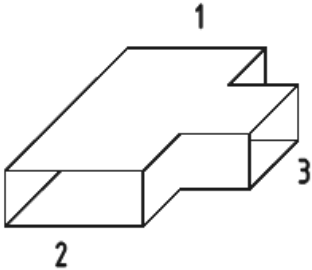
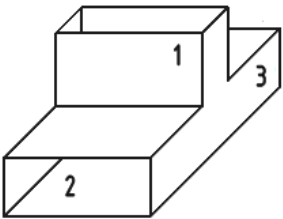
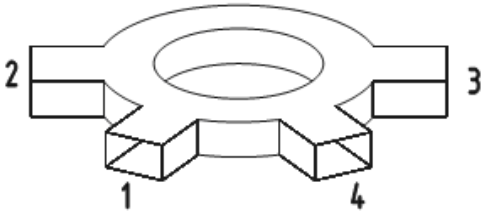
$$\operatorname{div} \vec{A} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial(r^2 A_r)}{\partial r} + \frac{1}{r \sin \theta} \left(\frac{\partial(A_\theta \sin \theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial A_\varphi}{\partial \varphi} \right).$$

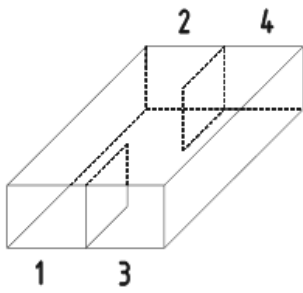
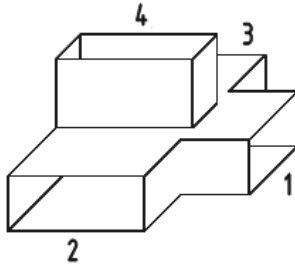
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Матрицы рассеяния некоторых СВЧ-устройств

В таблице П.1 приведены матрицы рассеяния некоторых СВЧ-устройств, которые необходимо использовать при выполнении задания 4 настоящего методического пособия.

Таблица П.1

СВЧ устройство	Матрица рассеяния
<p><i>H</i>-тройник с согласованным плечом 3</p> 	$[S] = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} -1 & 1 & \sqrt{2} \\ 1 & -1 & \sqrt{2} \\ \sqrt{2} & \sqrt{2} & 0 \end{vmatrix}$
<p><i>E</i>-тройник с согласованным плечом 1</p> 	$[S] = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 0 & -\sqrt{2} & \sqrt{2} \\ -\sqrt{2} & 1 & 1 \\ \sqrt{2} & 1 & 1 \end{vmatrix}$
<p>Волноводный кольцевой мост</p> 	$[S] = -\frac{i}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$
<p>Волноводный щелевой мост</p>	

	$[S] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 0 & i & 0 & 1 \\ i & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & i \\ 1 & 0 & i & 0 \end{vmatrix}$
<p>Двойной волноводный Т-образный мост</p> 	$[S] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \end{vmatrix}$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Пример оформления титульного листа к пояснительной записке

Федеральное агентство связи

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Факультет Базового телекоммуникационного образования

Кафедра электродинамики и антенн

КУРСОВАЯ РАБОТА
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ВОЛНЫ»

Пояснительная записка

Вариант № 01

Руководитель доцент, к.т.н. И.В.
Грозный

Выполнил ФО-81 О.Е.
Разгильдяев

Группа Подпись Дата Инициалы
Фамилия

Сдана на проверку _____

Допущена до защиты _____

Защищена с оценкой _____

Самара 2011

ЭБС ШУТИИ