**ТЕХНИЧЕСКАЯ**

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**

**Методические указания**

**и контрольные задания**

ВАРИАНТЫ 14 и 24

## УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

Контрольная работа состоит из двух задач. Задание к контрольной работе составлено в 100 вариантах. Вариант задания определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки: т **–** предпоследняя, п – последняя цифры; поэтому на обложке контрольной работы следует указать номера своих зачетной книжки и варианта задания.

При оформлении контрольной работы студенту необходимо выполнить следующие требования.

1. Задание к каждой задаче состоит из нескольких пронумерованных пунктов. Студенту при оформлении решения задачи следует повторить ту же нумерацию пунктов задания.

2. Указать наименования всех используемых величин.

3. Буквенные обозначения всех величин должны соответствовать стандарту.

4. Единицы измерения всех величин должны соответствовать Международной системе единиц (СИ). При этом для удобства выражения различных количеств какой-либо величины, во много раз больших или меньших установленной единицы величины (например, 1 См/м), следует соответственно использовать кратные единицы (например, 1 МСм/м) или дольные единицы (например, 1 мСм/м).

5. В конце работы представить список использованных литературных источников, поставить подпись и дату.

6. Все формулы вначале записываются с использованием буквенных обозначений величин. При этом каждый раз необходимо делать ссылку на номер литературного источника из представленного в работе списка с указанием номера соответствующей формулы в этом источнике.

7. После этого пишется расчетное выражение с заменой буквенных обозначений известными числовыми значениями величин, приводится окончательный результат (с точностью до 3–4-й значащей цифры) с обязательным указанием его единицы измерения.

8. При построении графиков на каждой оси координат обязательно должны быть указаны единицы измерения величин и нанесены деления их числовых значений, а на кривых указаны рассчитанные точки.

## ВАРИАНТЫ 14 и 24

## Контрольные задания

#### Задача 1

Варианты заданий представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

Варианты задания

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| т | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|  | 6,0 | 2,3 | 3,0 | 5,0 | 2,8 | 3,2 | 4,0 | 2,6 | 3,4 | 2,0 |
| мВ/м | 10 | 7 | 3 | 9 | 6 | 2 | 8 | 5 | 1 | 4 |
| ,рад |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| п | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ,cм/м | 2∙10–1 | 9∙10–5 | 6∙10–4 | 3∙10–2 | 8∙10–1 | 3∙10–5 | 5 | 4∙10–4 | 2∙10–6 | 7∙10–3 |
| Гц | 3∙106 | 8∙104 | 7∙107 | 9∙105 | 9∙108 | 2∙108 | 4∙108 | 5∙106 | 3∙109 | 6∙107 |
| L, дБ | 30 | 21 | 9 | 27 | 18 | 6 | 24 | 15 | 3 | 12 |

В безграничной однородной среде с параметрами   распространяется в направлении орта однородная плоская линейно поляризованная электромагнитная волна частоты *f*, имеющая при z = 0 (т. е. на плоскости *х*0*у*) комплексную амплитуду 

Требуется

1. Вычислить тангенс угла диэлектрических потерь  и определить характер среды (диэлектрическая, проводящая, полупроводящая).

2. Рассчитать параметры волны (коэффициент ослабления , коэффициент фазы , коэффициент распространения , характеристическое сопротивление  фазовую скорость  длину волны ).

3. Написать формулы комплексных амплитуд полей  мгновенных значений  среднего за период значения вектора Пойнтинга  подставить в них численные значения и рассчитать.

4. Написать выражения напряженностей для фиксированного момента времени , определяемого условием , и построить для этого момента зависимость структуры полей *Е* и *Н* волн от координаты *z*. Результаты расчетов представить в виде таблицы.

5. Определить расстояние  при прохождении волной которого амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей убывают на *L*, дБ.

Рекомендуемые литературные источники: [1, пп. 11.2, 11.3], [2, пп. 6.1.2–6.1.4], [3, пп. 3.5–3.7], [4 или 5, упр. 8].

#### Задача 2

Варианты заданий представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

Варианты задания

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| т | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Материал  стенок | Се­ребро | Медь | Алю­ми­ний | Ла­тунь | Се­ребро | Медь | Алю­ми­  ний | Ла­  тунь | Се­  ребро | Медь |
| ГГц | 12,00 | 10,00 | 7,50 | 2,50 | 8,00 | 3,00 | 4,00 | 6,00 | 5,00 | 3,75 |
| кВ/м | 3,0 | 0,5 | 20,0 | 10,0 | 0,9 | 15,0 | 1,5 | 1,0 | 12,0 | 17,0 |
|  | | | | | | | | | | |
| *n* | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|  | 0,194 | 0,214 | 0,206 | 0,230 | 0,226 | 0,202 | 0,210 | 0,218 | 0,198 | 0,222 |
| м | 9 | 15 | 19 | 14 | 21 | 10 | 18 | 12 | 17 | 11 |
| рад |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

По прямоугольному волноводу, который заполнен воздухом   
( ), изготовлен из материала, указанного в табл. 2, и имеет длину *L* распространяется в одноволновом режиме сигнал, полностью поглощаемый нагрузкой и занимающий полосу частот от  до  (где – центральная частота полосы). Для бегущей волны основного типа *Н*10 и частоты *f*0 в начале волновода (*z* = 0) на его оси (х = *а*/2, у = b/2) комплексная амплитуда электрического поля имеет вид 

Требуется

1. Определить стандартные поперечные размеры волновода (см. [4 или 5, задача 11.6], а также табл. 3).

*Таблица 3*

Размеры сечений прямоугольного волновода, а × b, мм

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 165 × 82,5 | 86 × 43 | 47,5 × 22 | 28,5 × 12,6 | 16 × 8 |
| 130 × 65 | 72 × 34 | 40 × 20 | 23 × 10 | 13 × 6,5 |
| 109 × 54,5 | 58 × 29 | 35 × 16 | 19 × 9,5 | 11 × 4,3 |

2. Для этого волновода рассчитать на краях полосы частот сигнала (которой соответствует интервал длин волн от  до  где ) коэффициент ослабления  обусловленный потерей мощности в материале стенок (табл. 4), и коэффициент полезного действия 

*Таблица 4*

Значения удельной электропроводности материала стенок волновода

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Серебро | Медь | Алюминий | Латунь |
| cм/м | 5,30∙107 | 5,25∙107 | 2,94∙107 | 1,56∙107 |

Примечание. Для всех материалов 

3. Рассчитать параметры бегущей по волноводу волны *Н*10 частоты  (коэффициент фазы , фазовую скорость *v*ф, скорость переноса энергии *v*э, длину волны в волноводе  характеристическое сопротивление 

4. Написать формулы мгновенных значений всех компонент поля бегущей по волноводу волны *Н*10 частоты *f*0

5. Получить выражения всех компонент поля волны *Н*10 для фиксированного момента времени *t* = *t*1, определяемого условиемЗаменить буквенные обозначения известными числовыми значениями величин и построить для этого момента картины векторных линий поля в характерных поперечных (*z* = 0, *z* = ±/4) и продольных (*х* = а/2, у = const) сечениях волновода.

Заменив металлические стенки волновода идеальным проводником, построить на их внутренней поверхности картины векторных линий плотности поверхностного электрического тока , которые соответствуют картинам поля *Н*10.

6. С учетом полученных в п. 5 картин векторных линий определить расположение элементов связи (зонд, петля, узкая щель, прорезанная в стенке) с волной рабочего типа *Н*10 волновода. Указать их на рисунках п. 5.

Рекомендуемые литературные источники: [1, пп. 17.1–17.3, 18.1, 18.2, 18.5–18.9, 19.1–19.8, 19.23], [2, пп. 9.1–9.3, 9.6, 9.8, 10.1, 13.2], [3, пп. 8.1, 8.2, 8.4, 8.6, 8.8, 9.1–9.3, 9.8], [4 или 5, упр. 11].

**Указания к выполнению задач**

#### Задача 1

1. Тангенс угла диэлектрических потерь:



где  – удельная электрическая проводимость,  – угловая частота,  – абсолютная диэлектрическая проницаемость.

Если в среде  то ее называют диэлектриком, если  то среду называют проводником.

При значениях  среда является полупроводящей.

2. Выбор формул для расчета параметров волны определяется значением 

при 

** **

****

где ****

При значениях  или  следует использовать упрощенные формулы:

при 

**** 

****

при 

 ****

Для всех сред коэффициент распространения и длина волны определяются выражениями:



3. При построении зависимости структуры поля волны от координаты *z* необходимо учесть, что в среде без потерь колебания векторов  и  происходят в одной фазе (рис. 1), в среде с потерями между векторами  и  имеется фазовый сдвиг (рис. 2).

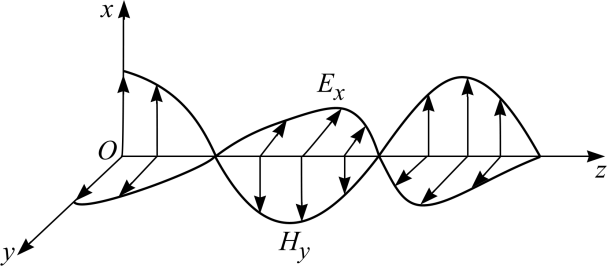


Рис. 1

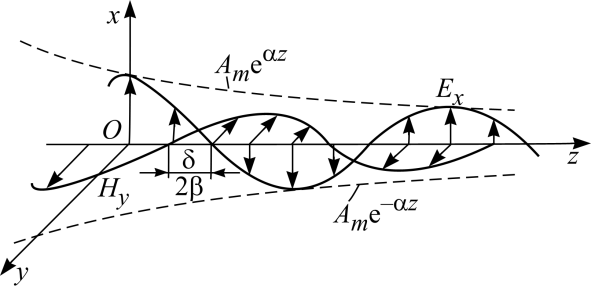


Рис. 2

#### Задача 2

1. У стандартного прямоугольного волновода с поперечными размерами  условия одноволнового режима на практике определяются следующими неравенствами



где *а* – размер широкой стенки поперечного сечения.

Определить стандартные поперечные размеры волновода можно из соотношений



где  – скорость электромагнитных волн в воздухе.

2. Коэффициент ослабления  основной волны определяется выражением



где  – активное поверхностное сопротивление проводника стенок,  – характеристическое сопротивление воздуха, заполняющего волновод, 

3. При сигнале, полностью поглощаемом нагрузкой, коэффициент полезного действия волновода .

4. При построении структуры поля волны *H*10 в характерных сечениях волновода необходимо помнить, что вектор напряженности электрического поля  всегда перпендикулярен металлическим стенкам, вектор напряженности магнитного поля  вблизи стенок ориентирован только по касательной к металлическим стенкам (не может замыкаться на стенки волновода)