**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВОЛН КЛАССА Т В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ.**

Цель работы:

1. Ознакомление с методом моделирования поля Т – волны в плоскости поперечного сечения линии;
2. Построение распределения поля Т – волны в плоскости поперечного сечения линии;
3. Определение погонной ёмкости линии;
4. Исследование зависимости волнового сопротивления линии от геометрических параметров.

Описание лабораторной установки и методика измерений

В работе моделируются линии передач, представляющие регулярные направляющие структуры из двух металлических проводников различной конфигурации, расположенных в однородном диэлектрике.

Построение модели электростатического поля в рассматриваемых структурах основано на подобии этого поля и электрического поля постоянного тока в слабопроводящей среде, удельная проводимость которой  значительно меньше удельной проводимости металлических проводников  ().

Электростатическое поле в диэлектрике описывается следующей системой уравнений:

|  |  |
| --- | --- |
| 1) , 2) , 3) , | (1.1) |

где  - абсолютная диэлектрическая проницаемость диэлектрика;  - электрическая постоянная;   
 - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика;

а электрическое поле постоянного тока – системой:

|  |  |
| --- | --- |
| 1) , 2) , 3) , | (1.2) |

где  - объёмная плотность тока. Из сопоставления систем (1.1) и (1.2) видно, что, если граничные условия для вектора  будут такими же, как и граничные условия для вектора , то решение системы (1.1) может быть представлено в виде:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (1.3) |

Так как силовые линии вектора  нормальны к поверхности проводника, то силовые линии вектора  также должны быть нормальны к поверхности проводника. Используя условие непрерывности тангенциальной составляющей напряжённости электрического поля на границе раздела сред и связь , можно показать, что при  силовые линии вектора  практически нормальны к поверхности металлического проводника, причём это условие выполняется тем лучше, чем меньше отношение .

Таким образом, задача о распределении электрического поля Т – волны в плоскости поперечного сечения рассматриваемой структуры сводится к построению линий тока в слабопроводящей среде при заданном напряжении между металлическими проводниками. В качестве слабопроводящей среды в данной работе используется специальная бумага, электропроводность которой обусловлена наличием в ней частиц газовой сажи или графита.

Модель электростатического поля строится путём установки на лист слабопроводящей бумаги металлических проводников, к которым подводится напряжение , где  - потенциалы проводников.

Используя соотношение (1.3), можно определить погонную ёмкость линии. С этой целью вычислим поток векторов  и  через поверхность , охватывающую один из проводников на длине , где  - толщина бумаги.

Учитывая, что  – току, текущему между проводниками,  – заряду на длине  проводника, получаем:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (1.4) |

Разделив обе части соотношения (1.4) на , запишем следующее выражение для погонной ёмкости  линии:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1.5) |

где  - поверхностная проводимость бумаги.

Для нахождения погонной ёмкости по формуле (1.5) необходимо предварительно измерить поверхностную проводимость бумаги . С этой целью собирают эталонную схему (рис.1.1), замеряют ток  и напряжение . При  можно считать напряжённость поля между электродами постоянной, и сопротивление бумаги определяется из закона Ома:

|  |  |
| --- | --- |
| , |  |

откуда

|  |  |
| --- | --- |
| . | (1.6) |



Рис.1.1. Схема измерений

После измерения  на листе бумаги располагаются два заданных электрода, к ним подводится напряжение , измеряется ток  и по формуле (1.5) вычисляется погонная ёмкость линии.

Для построения картины поля на бумаге, как и в предыдущем случае, располагаются два заданных электрода, и к ним подводится от источника напряжение , при этом потенциал одного из электродов принимается равным нулю. На зонд подаётся от делителя потенциал , и с его помощью на бумаге находится необходимое для построения кривой число точек с таким же потенциалом. Через найденные точки проводится эквипотенциальная линия, у которой проставляется соответствующее значение потенциала . Предварительно контуры электродов надо обвести мягким карандашом.

После построения эквипотенциальных линий, отстоящих друг от друга на расстояниях, соответствующих , нормально к ним проводятся силовые линии поля, причём густота их должна быть такой, чтобы отношение сторон криволинейных прямоугольников сохранялось постоянным. При выполнении указанного условия густота силовых линий даёт приближённое количественное представление о моделируемом поле.

Лицевая панель лабораторного стенда представлена на рис.1.2.



Рис.1.2. Лицевая панель лабораторного стенда

## Порядок выполнения работы

1. **Определение поверхностной проводимости бумаги**

1.1. Выключатель напряжения лабораторного стенда перевести в положение «Выкл.». Собрать схему измерений согласно рис.1.3 ().

1.2. Измерить размеры  и  (если электроды полностью помещаются на бумаге, то  - длина электродов).

1.3. Выключатель напряжения лабораторного стенда перевести в положение «50В».

1.4. Зафиксировать показания вольтметра в вольтах, и, нажав на кнопку включения амперметра лабораторного стенда, зафиксировать показания амперметра  в миллиамперах, используя шкалу 0-25 мА или 0-50 мА.

1.5. Выключатель напряжения лабораторного стенда перевести в положение «Выкл.».



Рис.1.3. Схема измерения поверхностной проводимости бумаги

1.6. Определить поверхностную проводимость бумаги, используя формулу (1.6), полагая в ней , и обозначая её .

1.7. Не изменяя ориентации листа слабопроводящей бумаги, развернуть электроды на  и повторить измерение поверхностной проводимости бумаги, обозначив её через .

**2. Измерение погонной ёмкости коаксиальной линии**

2.1. Собрать схему согласно рис.1.4, предварительно измерив диаметры проводников  и .

2.2. Выключатель напряжения лабораторного стенда перевести в положение «50В». Измерить напряжение  и ток .



Рис.1.4. Конфигурация электродов для исследования

коаксиальной линии

2.3. Выключатель напряжения лабораторного стенда перевести в положение «Выкл.».

2.4. Определить экспериментальное значение погонной ёмкости коаксиальной линии, используя формулу (1.5), в которой . Полученные результаты сравнить с расчетом по формуле .

**3. Исследование зависимости волнового сопротивления   
полосковой линии от геометрических параметров**

3.1. Собрать схему согласно рис.1.5, взяв из лабораторного набора электрод «полосок» шириной  и толщиной .

3.2. Установить полосок на расстоянии  от экрана так, чтобы конфигурация электродов обладала симметрией относительно вертикальной плоскости, след которой показан на рис.1.5.

3.3. Выключатель напряжения лабораторного стенда перевести в положение «50В». Измерить напряжение  и ток .

3.4. Выключить напряжение на лабораторном стенде.

3.5. Повторить п.п.3.3 – 3.4, изменяя  с шагом . Результаты оформить в виде таблицы.

3.6. Получить экспериментальные значения волнового сопротивления полосковой линии, используя выражение ,

где  - скорость света в вакууме;  - экспериментальное значение погонной ёмкости полосковой линии.

3.7. Рассчитать волновое сопротивление полосковой линии по формуле , полученной на основе решения граничной задачи при , , ; 

3.8. Построить графики зависимостей  и  от отношения .

3.9. Повторить п.п. 3.1. – 3.8. для других электродов толщиной  и .



Рис.1.5. Конфигурация электродов для исследования

полосковой линии

**4. Построение модели электрического поля Т-волны   
в плоскости поперечного сечения линии**

4.1. Собрать схему измерений для заданной преподавателем системы электродов, аналогичную приведённой на рис.1.6.

4.2. Выключатель напряжения лабораторного стенда перевести в положение «50В». Установить переключатель делителя напряжения в положение 100%. При такой установке сектор светового индикатора лабораторного стенда имеет минимальную яркость, когда потенциал зонда равен потенциалу электрода, к которому подключен красный провод. Несколько раз, касаясь металлическим выводом зонда этого электрода, наблюдать за показаниями индикатора лабораторного стенда в момент касания.

4.3. Установить переключатель делителя напряжения в положение 90%. При такой установке сектор светового индикатора лабораторного стенда имеет минимальную яркость, когда потенциал зонда равен , где  - напряжение на клеммах лабораторного стенда. Касаясь металлическим выводом зонда слабопроводящей бумаги (см. рис.1.6), плавно перемещать его вдоль измерительной линии в направлениях от электрода, к которому подключен красный провод, к другому электроду и найти такое его положение, при котором сектор светового индикатора на лицевой панели стенда является наиболее тёмным. Не изменяя положение зонда проколоть бумагу. Повторить описанную процедуру, перемещая зонд вдоль остальных измерительных линий.



Рис.1.6. Схема лабораторной установки для исследования модели электрического поля Т-волны в поперечном сечении

коаксиальной линии

4.4. Повторить п.4.3, последовательно устанавливая переключатель делителя напряжения в положения  (при этом ).

4.5. Выключатель напряжения лабораторного стенда перевести в положение «Выкл.»

4.6. Для получения эквипотенциальных линий, колотые отметки, соответствующие одному и тому же положению переключателя делителя напряжения соединить сплошной плавной линией. Около этой линии поставить значение соответствующего потенциала , где  - значение, соответствующее отметке на шкале переключателя делителя напряжения.

4.7. Произвольным образом выбрать и отметить на листе слабопроводящей бумаге точку М. Определить в ней напряженность электрического поля. Для этого измерить кратчайшие расстояния и  между заданной точкой и двумя ближайшими эквипотенциальными линиями, а также кратчайшие расстояния ,, между самими эквипотенциальными линиями в соответствии с рис.1.7. Определить напряжённость электрического поля  и  в точках  и , используя выражения

; ;

где  - разность потенциалов между двумя соседними эквипотенциальными линиями.

Определить напряженность электрического поля в точке М:

.



Рис.1.7. Фрагмент модели электрического поля

## Оформление отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цели лабораторной работы, а также теоретическое обоснование методики исследований;

2. Схемы и результаты измерений, выполненных в каждом пункте лабораторной работы, графики исследуемых зависимостей.

3. Модель электрического поля Т-волны для выбранной конфигурации электродов, расчет напряженности электрического поля в выбранной точке.

4. Выводы по работе.

**Контрольные вопросы**

1. Аналогия каких полей положена в основу данной работы?

2. Почему имеет место идентичность граничных условий для электрической индукции и плотности тока на поверхности металлических проводников, расположенных на бумаге, используемой в данной работе?

3. Как определить напряжённость поля в конкретной точке между электродами?

4. Как изменяется величина нормальной составляющей напряжённости электрического поля вблизи полоскового проводника?

5. Как изменится напряжённость электрического поля вблизи края полоскового проводника при уменьшении толщины проводника?

6. Как в данной работе измеряется погонная ёмкость коаксиальной линии?

7. Как определяется волновое сопротивление линии? Как оно связано с погонной ёмкостью линии?

8. Как выводится формула для погонной ёмкости коаксиальной линии?