Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского Радиофизический факультет

Отчет по лабораторной работе на кафедре электродинамики

**Исследование матриц рассеяния волноводных узлов**

Выполнили студенты 431 группы

Чиндарев Даниил, Смирнов Дмитрий,

Яшина Кристина

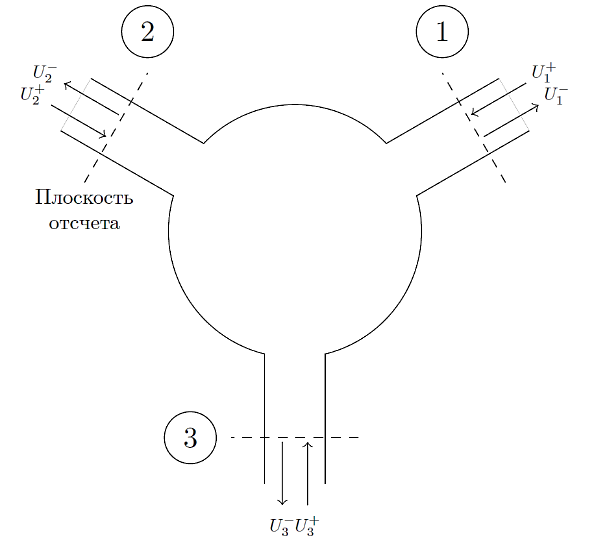
***Введение***

В данной работе изучаются с помощью матричного анализа волноводные узлы – шестиполюсники. У них с помощью измерительной линии измеряются величины, позволяющие рассчитать коэффициенты матрицы рассеяния шестиполюсников .На основе рассчитанной матрицы рассеяния конкретного шестиполюсников можно попытаться решить обратную задачу: сделать на основе полученных данных предположение о возможных конструктивных вариантах волноводных узлов, находящихся внутри шестиполюсников.

Цель: измерение коэффициентов матрицы рассеяния шестиполюсников и установления на основе полученных данных возможных конструктивных вариантов волноводных узлов, находящихся внутри шестиполюсников

Используемое оборудование: СВЧ-генератор Г4-225, в режиме работы на частоте 8.5 ГГц, три шестиполюсника, пластина для закорачивания волновода и две согласованные нагрузки, измерительная волноводная линия 33-И с кристаллическим детектором, в цепи которого включен амперметр

***Теоретическая часть***

 ***Матрица рассеяния шестиполюсника***

Рассмотрим трехплечий волноводный узел (шестиполюсник), изображенный на рисунке. В каждом плече выберем плоскость отсчета (сечение), в котором будем находить отношения амплитуд полей отраженной и падающей волн. Обозначим комплексные амплитуды полей входящих (падающих) в узел волн через , а амплитуды выходящих (отраженных) волн через . Величины зависят от амплитуд и фаз полей волн, входящих во все плечи узла, причем эти зависимости являются линейными в силу линейности уравнений Максвелла (предполагается, что нелинейных элементов в узле нет). Связь между амплитудами полей в плечах узла записывается в виде:

где — комплексные коэффициенты, характеризующие волноводный узел. Систему уравнений (1) удобно записать в матричной форме:

Матрица называется матрицей рассеяния, или 𝑆-матрицей (от англ. scattering – рассеяние). Из определения элементов матрицы рассеяния следует, что для пассивных узлов, не обладающих свойством усиления мощности, модули коэффициентов передачи и отражения не могут превышать единицы.

***Свойства матрицы рассеяния***

*Взаимный узел.* Волноводные узлы, в которых отсутствуют элементы с гиротропными свойствами (например, намагниченный феррит), являются взаимными устройствами. Их матрицы рассеяния симметричны относительно главной диагонали . Верно и обратное утверждение: если волноводное устройство описывается симметричной матрицей рассеяния, то оно является взаимным. Отметим, что для взаимных узлов свойства матриц, доказанные для строк, выполняются и для столбцов, и наоборот.

*Волноводное устройство без потерь*. Матрица рассеяния волноводного устройства без потерь является унитарной, т.е. . Можно показать, что для унитарной матрицы выполняются следующие свойства: т.е. сумма квадратов модулей всех матричных элементов любого столбца матрицы рассеяния узла без потерь равна единице. Второе свойство — для любой пары столбцов сумма (по строкам) произведений каждого матричного элемента из одного столбца на комплексно-сопряженный элемент из той же строки другого столбца равна нулю:

Смещение плоскости отсчета. Предположим, что известна матрица рассеяния при

некотором положении плоскости отсчета 𝑧 = 0 в 𝑚-ом плече узла. При смещении этого сечения на расстояние 𝑙𝑚 в направлении распространения падающей волны (по направлению к узлу) новая матрица рассеяния может быть построена по следующим формулам: , где ℎ𝑚 – постоянная распространения волны в 𝑚-ом плече.

Таким образом, изменение плоскости отсчета приводит лишь к изменению фазы коэффициентов матрицы рассеяния, не меняя их абсолютного значения.

***Определение коэффициента отражения от нагрузки c помощью измерительной линии***

Измерение элементов матрицы производится с помощью измерительной линии передачи. Линия передачи позволяет измерить фазу и модуль коэффициента отражения:  
Модуль коэффициента отражения определялся через коэффициент стоячей волны 𝐾:  
Измерение 𝐾 производилось путем перемещения вдоль измерительной линии (ИЛ) зонда, показания которого связаны с высокочастотным напряжением в данном сечении линии. Для детектирования СВЧ сигнала зонда в ИЛ стоит кристаллический детектор. При этом зависимость между током детектора 𝐼 и приложенным высокочастотным напряжением |𝑈| является нелинейной, и при малых значениях переменного напряжения детектор имеет характеристику 𝐼 = 𝑓(|𝑈|), близкую к квадратичной. В этом случае ток детектора , где 𝛼 — параметр, зависящий от свойств детектора. В максимуме и в минимуме распределения поля в линии имеем

Величина фазы коэффициента отражения в сечении определяется с помощью положение минимума напряжения в ИЛ относительно плоскости присоединения нагрузки. Для этого сначала определяется т.н. условный конец линии – сечение волновода, соответствующее минимуму напряжения при коротком замыкании линии , обозначив расстояние от условного конца линии 𝑧 0 𝑚𝑖𝑛 до ближайшего минимума напряжения со стороны генератора при включенной нагрузке через . И тогда фаза коэффициента отражения определяется формулой

***Измерение диагональных элементов матрицы***

Пронумеровав условно плечи шестиполюсника как 1,2,3 и зафиксировав их расположение, к плечу 1 подключили генератор (Г), а плечи 2 и 3 нагрузили согласованными нагрузками (Н). При этом матричное уравнение упрощается, и можно показать, что . Присоединяя генератор поочередно к плечам 2 и 3, определили элементы и .

***Измерение недиагональных элементов матрицы***

Если считать диагональные элементы известными, а шестиполюсник – не содержащим невзаимных элементов, то недиагональные элементы матрицы можно найти по формулам:

***Практическая часть***

**1. Измерение длины волны в волноводе**

Подсоединили закорачивающий элемент к концу волноводной скрутки. Резонатор измерительной линии настроили на максимум показаний индикатора. Зонд измерительной линии установили в ближайший к концу линии узел стоячей волны. Координата узла приняли за условный конец линии.

Определили длину волны в волноводе

**2. Определение коэффициентов отражения**

Присоединили к скрутке волновода на конце измерительной линии каждую из двух используемых при выполнении работы согласованных нагрузок. Определили коэффициенты стоячей волны .

Определили соответствующие коэффициенты отражения по формуле . Для точного расчета по приведенным в теории формулам нужно, чтобы они были равны нулю, соответственно для приближенного расчета достаточно близости к нулю, что и наблюдается на практике:

**3. Измерение параметров шестиполюсников**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Таблица 1. Измерения характеристик шестиполюсника №1** | | | | | | | | | | |
| **№** |  | **1** | **2** | **3** |  |  |  |  |  |  |
| *1* |  | Г | Н | Н | 55 | 13 | 4,3 | 0,62 | -2,24 |  |
| *2* |  | Г | КЗ | Н | 85 | 0 | 4,4 | 1 | -2,47 |  |
| *3* |  | Г | Н | КЗ | 84 | 0 | 4,4 | 1 | -2,47 |  |
| *4* |  | Н | Г | Н | 52 | 10 | 4,4 | 0,68 | -2,47 |  |
| *5* |  | Н | Г | КЗ | 72 | 2 | 4,4 | 0,95 | -2,47 |  |
| *6* |  | Н | Н | Г | 50 | 10 | 4,4 | 0,67 | -2,47 |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Таблица 2. Измерения характеристик шестиполюсника №2** | | | | | | | | | | |
| **№** |  | **1** | **2** | **3** |  |  |  |  |  |  |
| *1* |  | Г | Н | Н | 86 | 0 | 4 | 1 | -1,57 |  |
| *2* |  | Г | КЗ | Н | 86 | 0 | 4 | 1 | -1,57 |  |
| *3* |  | Г | Н | КЗ | 86 | 0 | 3,9 | 1 | -1,34 |  |
| *4* |  | Н | Г | Н | 34 | 24 | 4,4 | 0,17 | -2,47 |  |
| *5* |  | Н | Г | КЗ | 32 | 24 | 4,4 | 0,14 | -2,47 |  |
| *6* |  | Н | Н | Г | 34 | 24 | 5,2 | 0,17 | -4,26 |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Таблица 3. Измерения характеристик шестиполюсника №3** | | | | | | | | | | |
| **№** |  | **1** | **2** | **3** |  |  |  |  |  |  |
| *1* |  | Г | Н | Н | 30 | 22 | 5,3 | 0,15 | -4,49 |  |
| *2* |  | Г | КЗ | Н | 30 | 22 | 5,4 | 0,15 | -4,71 |  |
| *3* |  | Г | Н | КЗ | 62 | 2 | 4 | 0,94 | -1,57 |  |
| *4* |  | Н | Г | Н | 80 | 0 | 4,1 | 1 | -1,8 |  |
| *5* |  | Н | Г | КЗ | 80 | 0 | 4,1 | 1 | -1,8 |  |
| *6* |  | Н | Н | Г | 34 | 20 | 4,8 | 0,26 | -3,37 |  |

**Полученные матрицы рассеяния**

1. **Предположения о внутреннем устройстве шестиполюсников**

Исходя и результатов эксперимента и визуального осмотра шестиполюсников было выдвинуто предположение о их внутреннем устройстве: шестиполюсник №1 имеет три связанных между собой входа, шестиполюсник №2 имеет два связанных между собой входа и один несвязанный вход, шестиполюсник №3 – три несвязанных между собой входа.

1. **Вывод**

Проведя ряд экспериментов, мы определили длину волны в волноводе , при теоретической длине волны 5.49 см. Для всех шестиполюсников провели по шесть экспериментов, определяя коэффициент отражения в измерительной линии, затем на основании полученных данных рассчитали матрицы рассеяния шестиполюсников.