Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского Радиофизический факультет

Отчет по лабораторной работе на кафедре электродинамики

**Измерение импедансов и коэффициентов отражения**

Выполнили студенты 431 группы

Чиндарев Даниил, Смирнов Дмитрий,

Яшина Кристина

***Введение***

Цель: определение импедансов и коэффициентов отражений заданных нагрузок с помощью волноводной измерительной линии.

Используемое оборудование: Генератор СВЧ диапазона (2-4 ГГц), измерительный зонд, измерительная линия Р1-22 с волновым сопротивлением , набор нагрузок (резистор, конденсатор, короткое замыкание, коаксиальная линия с диэлектриком)

***Теоретическая часть***

Поле в регулярной линии передач может быть представлено в виде суперпозиции собственных волн вида , или, в комплексном виде: . Важной характеристикой собственной волны (моды) является характеристический импеданс определяющийся как отношение:

где n - единичный вектор в направлении распространения волны. В случае бегущей волны без потерь, . Для нераспространяющихся волн величина ⇒ (в частности, 𝑍′ > 0 для волн 𝑇𝐸 типа, и 𝑍′ < 0 для волн 𝑇𝑀 типа). В ЛП с произвольной нагрузкой на конце поле волны представляет собой суперпозицию прямой и обратной волн:

, - распространяющиеся в положительном направлении, , - распространяющиеся в отрицательном направлении. В волноводах, для каждого типа волны можно разделить зависимость полей от поперечных () и продольной (𝑧) координат и представить поле каждой из волн в виде:

где ℰ и ℋ соответствующим образом нормированные векторные функции, описывающие распределение полей в поперечном сечении волновода. Для скалярных функций имеем:

Эти функции в общем случае называют условными напряжением и током. В данной работе будет использоваться коаксиальная линия передач, поэтому можно вкратце описать получение таких токов и напряжений для коаксиальной линии. В цилиндрической системе координат будем иметь компоненты полей:

где - волновой импеданс среды, - скорость света в среде. Напряжение между проводниками, и ток центрального проводника:

При подстановке в (3) можем получить вид функций ℰ и ℋ:

а при подстановке соотношений (7) в уравнения Максвелла, можно получить телеграфные уравнения:

𝐶 и 𝐿 -погонная емкость и индуктивность:

При описании мод в токах и напряжениях, удобно ввести волновое сопротивление , в частности для коаксиальной линии:

Важная информация о структуре поля содержится в отношениях комплексных амплитуд: импеданс 𝑍 и коэффициент отражения Г в сечении 𝑧:

В каждом сечении величины Г и 𝑍 связаны соотношениями:

Для Г(𝑧) вдоль однородного участка имеем:

Тогда для импеданса 𝑍 имеем:

Амплитуды напряжения и тока на однородном участке меняются периодически (с периодом :

Из (15) видно, что амплитуды тока и напряжения осциллируют в противофазе. Расстояние между ближайшими узлами равно . Т.е. измеряя положение ближних пучностей, можно определить длину волны в волноводе. Коэффициент стоячести волны **КСВ** вводится как отношение:

Обратная КСВ величина коэффициент бегучести волны **КБВ** = . Выражая из (16) Г через 𝐾, получаем:

Вычисляя входной импеданс отрезка ЛП с длиной 𝑙 и волновым импедансом по заданному импедансу нагрузки на конце получаем:

***Практическая часть***

В работе для измерения импеданса и коэффициентов отражения будет использоваться измерительная линия (коаксиальная линия), к которой, с одной стороны, будет подключен генератор СВЧ диапазона, а к другому нагрузка с импедансом . Измерительная линия снабжена зондом, позволяющим измерять значение напряжения на оси ИЛ. Т.к. детектор нелинейным, то сначала будет составлен градировочный график для дальнейшего использования показаний детектора.

– импеданс нагрузки, подключенный к концу ИЛ

– входной импеданс закороченного эталона

– входной импеданс открытого на конце эталона

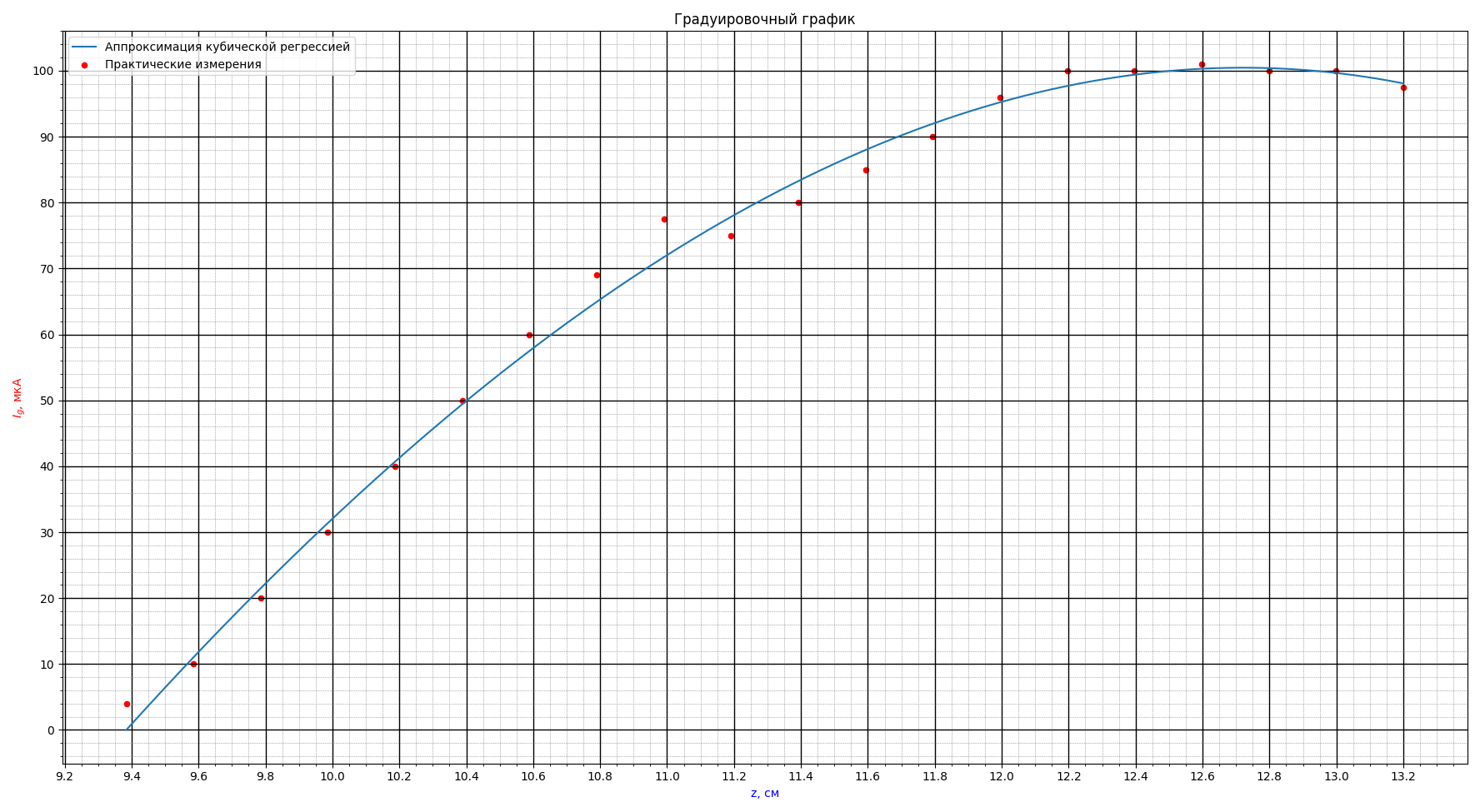
– постоянная распространения в эталоне с диэлектрическим заполнение, а – длина эталона.

1. ***Определение координаты условного конца***

f = 2 ГГц – рабочая частота. Определили – условный конец

1. ***Определение длины волны в волноводе***

- определили длину волны в ЛП.

Сняли градировочную кривую:

1. ***Измерение импеданса эталона (коаксиальной линии с внутренним радиусом a = 4 мм, и внешним b = 17 мм).***

50 Ом – волновой импеданс коаксиальной линии,  *=* 5 см

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тип** |  |  |  | **К** |  |  | **Г** |
| *Замкнутый* | 2,8 см | 2 мкА | 100 мкА | 50 | (6,65 – 118,63*i*) Ом | -86,6*i* Ом | 0,67-0,69*i* |
| *Свободный* | 1,2 см | 0 мкА | 110 мкА | ∞ | -27,49*i* Ом | -28,9*i* Ом | 1-0,015*i* |

1. ***Измерение импеданса эталона (коаксиальной линии), заполненного диэлектриком***

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тип** |  |  |  | **К** |  |  |
| *Замкнутый* | 0 см | 0 мкА | 100 мкА | ∞ | 0 Ом | -1 |
| *Свободный* | 3,5 см | 0 мкА | 120 мкА | ∞ | -475,5*i* Ом | 0,98-0,23 *i* |

1. ***Измерение импеданса активного сопротивления (R = 47 Ом).***

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***R*** |  |  |  | **К** |  | **Г** |
| 47 Ом | 2,5 см | 15 мкА | 70 мкА | 4,67 | (37,6 – 72,6*i*) Ом | 0,32-0,81*i* |

Можно оценить индуктивность как  *=* (-5.78 + 0.75*i*) нГн

1. ***Измерение импеданса конденсатора, нахождение собственной частоты колебательного контура.***

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | **К** |  | **Г** |
| *2 ГГц* | 1,2 см | 0 мкА | 123 мкА | ∞ | -27,49*i* Ом | -0,54-0,84*i* |
| *4 ГГц* | 0,8 см | 0 мкА | 110 мкА | ∞ | -17,5*i* Ом | -0,78-0,62*i* |

= 2,9 пФ, а = 2,3 пФ

1. ***Вывод***

В ходе лабораторной работы с помощью волноводной измерительной линии были найдены импедансы и коэффициенты отражений различных заданных нагрузок: эталона (коаксиальной линии с внутренним радиусом a = 4 мм, и внешним b = 17 мм), эталона (коаксиальной линии), заполненного диэлектриком, активного сопротивления (R = 47 Ом), конденсатора (на двух частотах), была найдена частота колебательного контура на двух частотах.