**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА.**

**Цель работы.** 1. Исследование дисперсионной характеристики прямоугольного волновода.

2. Исследование распределения электромагнитного поля в поперечном сечении прямоугольного волновода.

**1. Основные теоретические сведения**

Устройства, ограничивающие область, в которой распространяются электромагнитные волны, и направляющие поток электромагнитной энергии в заданном направлении ( например, от передатчика к антенне), называются направляющими системами. Основными типами направляющих систем являются проводные линии, коаксиальные линии, металлические и оптические волноводы, полосковые линии.

Двухпроводная линия Прямоугольный волновод

 

Коаксиальная линия



Рис. 2. Основные типы линий передачи

***Прямоугольный волновод***

Прямоугольный волновод представляет собой полую металлическую трубу прямоугольного сечения (рис.2).



Рис.3. Прямоугольный волновод

Как будет показано ниже, в *металлическом волноводе не могут существовать поперечные волны,* у которых отсутствуют продольные составляющие электрического и магнитного полей (EZ  и HZ). Это связано с тем, что траектории волн в металлическом волноводе ориентированы не вдоль осевой линии (ось Z), как в проводных линиях, а под определенным углом к стенкам волновода. В результате этого волна в волноводе распространяется путем многократного отражения от его стенок (рис.4) .



Рис.4 Траектория волн в волноводе.

Рассмотрим это более подробно. В коаксиальной линии силовые линии напряженности электрического поля начинаются и заканчиваются на поверхностях центрального и внешнего проводников. Если удалить центральный проводник, то силовые линии напряженности электрического поля будут иметь начало и конец на стенках волновода (рис.5).



Рис.5 Картина поля в волноводе.

В результате их неизбежного искривления вектор Е имеет наклон относительно стенок волновода. Вектор Пойнтинга (вектор П), являясь ортогональным вектору Е, также приобретает наклон по отношению к стенкам волновода. При этом вектор Н ориентирован в плоскости нормальной продольной оси волновода (Hz=0). Напомним, что вектор Пойнтинга характеризует не только плотность потока мощности, переносимой волной, но и *направление* ее распространения. ***Таким образом, перенос энергии волны вдоль волновода осуществляется за счет наклонных траекторий путем многократного отражения от стенок.***

Наклонное расположение вектора Е сопровождается появлением поперечной и продольной составляющих Ех и Еz. Аналогично можно рассмотреть случай, когда имеются составляющие магнитного поля Hx и Hz , а Ez=0.

На этом основании различают два типа волн в волноводе:

**Е – волны в прямоугольном волноводе ( Еz ≠ 0, Нz = 0),**

**Н – волны в прямоугольном волноводе ( Hz ≠ 0, Ez = 0),**

Наличие поперечной составляющей поля Ex (или Hx) приводит к тому. что в поперечной плоскости волновода ( вдоль оси Х и оси Y) образуется стоячая волна, количество целых полуволн которой зависит от длины волны и размеров поперечного сечения волновода. Следует отметить, что***целое*** количество полуволн определяется граничными условиями для составляющих поля на проводящей поверхности.

В качестве различительных признаков типов волн вводят соответствующие обозначения: тип Еmn и Hmn, где **m- количество целых полуволн стоячей волны вдоль оси Х, а n- количество целых полуволн стоячей волны вдоль оси Y.**

В предлагаемой лабораторной работе исследуются свойства волны низшего типа H10. В этом случае вдоль оси Х укладывается **одна целая полуволна напряженности поля**, а ноль означает, что **вдоль оси Y амплитуда поля постоянна** (рис.6).

 поперечное сечение

.

Вид сверху

Рис.6. Структура поля волны Н10

Образование наклонных траекторий приводит к тому, что фазовая скорость волны в волноводе не равна скорости света. Обратимся к рисунку 7. За период высокой частоты Т вдоль наклонной траектории АВ точка С фронта плоской волны проходит путь CD со скоростью света. По определению расстояние, на которое продвинулся фронт волны за период колебания высокой частоты, называется длиной волны . За это же время точка фронта C вдоль волновода (вдоль оси Z) переместилась на расстояние CE. Это расстояние называется длиной волны в волноводе.



Рис.7 Определение длинны волны в волноводе.

На рис.7 видно, что

 (1)

Таким образом, длина волны в волноводе больше длины волна в свободном пространстве. Соответственно, скорость перемещения фронта волны вдоль волновода (фазовая скорость волны в волноводе), определяемая как

 (2)

больше скорости света. Фазовая скорость волны в волноводе зависит от частоты f (длины волны ) и размеров поперечного сечения волновода. В случае волны типа Н10 фазовая скорость определяется по формуле

 (3)

Подробное рассмотрение показывает, что угол наклона (рис.6) траекторий относительно стенок волновода определяется как

 (4)

Из (4) следует, что с уменьшением частоты волны (увеличением длины волны) угол  уменьшается, и при некотором значении частоты отражение от стенок происходит под прямым углом. При этом продольное распространение волны прекращается, а соответствующая частота называется *критической.* Таким образом, *распространение волны в волноводе возможно только на частотах, превышающих* ***критическую*** *частоту, или на длинах волн меньше* ***критической***. Критическая длина волны Н10 определяется из формулы

 (5)

Тогда формула (3) принимает вид

 (6)

Фазовая скорость волны в волноводе зависит от частоты. Это явление называется частотной дисперсией. Нетрудно убедиться, что фазовая скорость волны равна бесконечности, когда частота равна критической. С ростом частоты фазовая скорость уменьшается, монотонно стремясь к скорости света (рис.8).



Рис.8 Зависимость фазовой скорости волны в волноводе от частоты.

2 ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКа

Лабораторная установка (рис. 1) состоит из генератора СВЧ сигналов, волноводной измерительной линии 2, устройства для измерения поля в поперечном сечении 3, короткозамкнутой нагрузки 4, индикаторного прибора 5.



Рис.1. Структурная схема лабораторной установки

Индикаторный прибор с зондом, расположенным в продольной прорези волновода, перемещается вдоль измерительной линии, что позволяет фиксировать напряженность поля в любой точке волновода. Для измерения напряженности поля в поперечном сечении волновода используется измерительная линия 3.

3 Экспериментальная часть

1. Измерить зависимость длины волны в волноводе от частоты.
2. На основании полученных данных рассчитать дисперсионную характеристику Vф =(f)
3. На частоте, заданной преподавателем, измерить зависимость напряженности поля от координаты х в поперечном сечении волновода 
4. Экспериментальные данные внести в таблицы 1 и 2.

**Порядок выполнения работы**

1.Для измерения дисперсионной характеристики установить в конце измерительной линии короткозамкнутую нагрузку. Включить генератор СВЧ и настроить индикаторную головку измерительной линии на начальную частоту. Подобрать необходимый для измерений уровень сигнала с помощью регулировок индикаторного устройства.

2. Перемещая индикаторную головку вдоль измерительной линии, определить положение двух соседних узлов стоячей волны с помощью линейки на измерительной линии.

3. Определить длину волны в волноводе как показано на рис.8.

4. Для измерения распределения амплитуды электрического поля в поперечном сечении волновода открыть конец измерительной линии и установить в непосредственной близости от открытого конца линии устройство для измерения в виде второй измерительной линии. Перемещая зонд линии в поперечном сечении открытого конца линии произвести измерения амплитуды поля.

Так как в исследуемой цепи включены детекторы, вольтамперную характеристику которых при небольших уровнях сигнала можно считать квадратичной, то индикаторы фиксируют показания пропорциональные мощности сигнала. Для того, чтобы выразить показания индикаторного прибора в единицах, пропорциональных напряженности поля, необходимо из измеренных величин извлечь квадратный корень.



Рис.9.Определение длины волны в волноводе

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Экспериментальные данные | | | | | Теоретический расчет | |
| f | 1 min | 2 min | λв (f) | Vф (f) | λв (f) | Vф (f) |
|  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Экспериментальные данные | | Теоретический расчет | |
| Х, мм |  | Х, мм |  |
|  |  |  |  |

##### 

Примечание:

Размер сечения волноводов 23х10 мм

**4 Содержание отчета**

1. Структурная схема установки с указанием наименований приборов.
2. Расчетные формулы.
3. Графики зависимости длины волны в волноводе и фазовой скорости

от частоты, полученные в результате предварительного расчета и экспериментально.

1. Графики амплитуды напряженности электрического поля в поперечном сечении волновода, полученные в результате предварительного расчета и экспериментально.
2. Выводы по работе.

**5 Контрольные вопросы**

1. Какие волны в волноводе называются электрическими и какие магнитными?
2. Какой смысл имеют индексы m и n в обозначениях типов волн Еmn и Нmn .
3. Почему фазовая скорость в волноводе больше скорости света?
4. Изобразите структуру поля волны Н10.
5. Что называется критической частотой?

**6 Задание для предварительного (домашнего) расчета**

* 1. Рассчитать длину волны в волноводе λв в заданном диапазоне частот и построить график зависимости λв как функцию частоты. Результаты расчетов внести в таблицу 1.
  2. Рассчитать фазовую скорость волны Vф в заданном диапазоне и построить график зависимости Vф от частоты. Результаты расчетов внести в таблицу 3.
  3. Рассчитать и построить график зависимости  от координаты *х*. Результаты расчетов внести в таблицу 2.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36 | 28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  28.5  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0  23.0 | 5.60  5.65  5.75  5.70  5.85  5.87  5.80  5.95  5.97  5.90  6.05  6.09  6.00  6.15  6.19  6.10  6.20  6.25  8.00  8.15  8.25  8.10  8.29  8.35  8.20  8.37  8.45  8.30  8.47  8.55  8.40  8.57  8.65  8.50  8.67  8.75 | 5.90  5.95  6.05  6.00  6.15  6.17  6.10  6.25  6.27  6.20  6.35  6.39  6.30  6.45  6.49  6.40  6.50  6.55  8.40  8.55  8.05  8.50  8.69  8.75  8.60  8.77  8.85  8.70  8.87  8.95  8.80  8.97  9.05  8.90  9.07  9.15 | 6.20  6.25  6.35  6.30  6.45  6.47  6.40  6.55  6.57  6.50  6.65  6.69  6.60  6.75  6.79  6.70  6.80  6.85  8.80  8.95  9.05  8.90  9.09  9.15  9.00  9.17  9.25  9.10  9.27  9.35  9.20  9.37  9.45  9.30  9.47  9.55 | 6.50  6.55  6.65  6.60  6.75  6.77  6.70  6.85  6.87  6.80  6.95  6.99  6.90  7.05  7.09  7.00  7.10  7.15  9.20  9.35  9.45  9.30  9.49  9.55  9.40  9.57  9.65  9.50  9.67  9.75  9.60  9.77  9.85  9.70  9.87  9.95 | 6.80  6.85  6.95  6.90  7.05  7.07  7.00  7.15  7.17  7.10  7.25  7.29  7.20  7.35  7.39  7.30  7.40  7.45  9.60  9.75  9.85  9.70  9.89  9.95  9.80  9.97  10.05  9.90  10.07  10.15  10.00  10.17  10.25  10.10  10.27  10.35 |

**7 Литература**

1. Вольман В.И., Пименов Ю.В. Техническая электродинамика. Учебник. – М.: Связь, 1971.
2. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. – М.: Высшая школа, 1970.
3. Фальковский О.И. Техническая электродинамика. Учебник для ВУЗов связи. – М.: Связь, 1978.