**ЛЕКЦИЯ №18. ЭЛЕМЕНТЫ ВОЛНОВОДНОГО ТРАКТА. НАПРАВЛЕННЫЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ.**

**План:**

18.1. Типы, назначение и параметры волноводных устройств.

18.2. Направленный ответвитель.

18.3. Волноводная поглощающая нагрузка.

18.4. Волноводная детекторная секция.

18.5. Волноводные аттенюаторы

**18.1. Типы, назначение и параметры волноводных устройств**

Волноводные устройства (узлы) представляют собой отдельный конструктивный блок с одним, двумя или более плечами (входами). Они предназначены для возбуждения, передачи, разделения, преобразования структуры электромагнитных волн, модуляции, детектирования, фильтрации электромагнитного сигнала и пр.

Волноводные устройства, соединяющие, например, антенну с генератором или приёмником, образуют *волноводный тракт*.

В технике СВЧ используется большое количество волноводных устройств. Ниже приведены названия и назначение некоторых из них.

*Контактные и дроссельные фланцы*, используемые для соединения волноводных секций друг с другом.

*Волноводные изгибы*, используемые для поворота волноводной линии.

*Гибкие волноводы*, используемые в тех волноводных трактах, которые в процессе работы подвержены вибрации.

*Адаптерные переходы*, используемые для соединения прямоугольного и коаксиального волноводов.

*Волноводные скрутки*, используемые для поворота в пространстве плоскости поляризации волны  прямоугольного волновода.

*Трансформаторы типов волн*, предназначенные для преобразования одного типа волны в другой (например, трансформатор волны  прямоугольного волновода в волну  круглого волновода).

*Реактивные элементы (диафрагмы, штыри, стержни),* используемые для создания отражённой волны в волноводе, для построения волноводных фильтров.

*Короткозамкнутые поршни*, предназначенные для регулирования длины короткозамкнутого отрезка волновода.

*Фазовращатели*, используемые для изменения электрической длины отрезка линии передачи.

*Поглощающие оконечные нагрузки*, предназначенные для полного поглощения мощности волны, распространяющейся по волноводу.

*Аттенюаторы* реактивного, поглощающего и поляризационного типов, предназначенные для ослабления мощности электромагнитных волн, распространяющихся по линиям передачи.

*Преобразователи поляризации*, предназначенные для изменения поляризации волны, распространяющейся в линиях передачи.

*Волноводные разветвления*, используемые для разветвления волновода на два или большее число каналов.

*Направленные ответвители*, предназначенные для ответвления части падающей (или отражённой) волны в волноводе в вспомогательный волновод.

Устройства СВЧ с применением *pin*-диодов, применяемые в регулирующих устройствах (например, *переключатели, фазовращатели*).

Устройства СВЧ с намагниченным ферритом (*невзаимные фазовращатели, вентили, циркуляторы* и др.).

*Объемные резонаторы,* которые играют роль резонансных контуров в СВЧ диапазоне. Объемные резонаторы используются, например, при создании частотомеров ифильтров в диапазоне высоких частот.

Свойства любого волноводного узла полностью характеризуются *волновой матрицей рассеяния* порядка 

.

Порядок матрицы  равен числу плеч волноводного узла. Элементы матрицы ,  в общем случае являются комплексными и имеют следующий смысл. Элементы главной диагонали  представляют собой комплексные коэффициенты отражения от *i*-го плеча, когда все остальные плечи нагружены на согласованные нагрузки остальные элементы  – это коэффициенты передачи по мощности из *i*-го плеча в *k*-е плечо.

Рассмотрим подробнее устройство, принцип действия и параметры некоторых, названных выше, волноводных узлов.

**18.2. Направленный ответвитель**

Направленный ответвитель (НО) – представляет собой два связанных прямоугольных волновода с общей стенкой (основной и вспомогательный), в которой имеются отверстия связи. НО предназначены для ответвления во вспомогательный волновод части падающей (или отражённой) волны, распространяющейся в основном волноводе.

Принцип действия НО легко понять из рассмотрения ри18. 18.1. На этом рисунке изображено продольное сечение НО, состоящего из двух одинаковых прямоугольных волновода с общей стенкой. В общей стенке имеются два одинаковых отверстия связи, расположенных на расстоянии  друг от друга. Назовем верхний волновод основным, а нижний волновод – вспомогательным. Если по основному волноводу слева направо распространяется волна, то она возбуждает во вспомогательном волноводе (через отверстия связи) волны , ,  и . Рассмотрим волны  и , бегущие в вспомогательном волноводе слева направо, т.е. в плечо 4. Эти волны имеют одинаковые амплитуды и фазы, так как проходят одинаковые пути, и, следовательно, складываются. Обозначим мощность в согласованной нагрузке плеча 4 через *Р*4.



***Р*1** Основной волновод

***Р*2**

***Р*3 *с* *а* *P*4**

***d* *b***

Рисунок 18.1 – К принципу действия направленного ответвителя

Рассмотрим теперь волны, бегущие во вспомогательном волноводе справа налево, т.е. в плечо 3 (волна  от левого отверстия, волна  – от правого). В любом сечении эти волны имеют сдвиг фаз, равный 180, так как их пути отличаются на , поэтому напряжённости полей этих волн вычитаются. Обозначим мощность на выходе плеча 3 через *Р*3.

Если расстояние между отверстиями в точности равно  и амплитуды волн в точности равны между собой (идеальный случай), то волны будут компенсировать друг друга и мощность *Р*3 в нагрузке плеча 3 будет равна нулю.

Пусть теперь в основном волноводе волна распространяется справа налево, тогда во вспомогательном волноводе существует волна только на выходе плеча 3. Таким образом, рассмотренное устройство позволяет выделить из двух волн, бегущих в основном волноводе навстречу друг другу, отдельно волну прямого и обратного направления.

Основными характеристиками направленного ответвителя являются.

*1. Переходное ослабление*, определяемое как

 [дБ],

где  – мощность волны, распространяющейся по основному волноводу слева направо  – мощность волны, распространяющейся по вспомогательному волноводу слева направо;

*2. Направленность*, которая характеризует отношение мощности  к мощности  в том случае, когда в основном волноводе имеется только волна, распространяющаяся слева направо

 [дБ].

3. *Коэффициент стоячей волны* (КСВ) (см. приложение D) или коэффициент бегущей волны (КБВ) со стороны каждого плеча.

*4. Полоса рабочих частот,* которая определяется как полоса частот, в пределах которой характеристики направленного ответвителя удовлетворяют наперед заданным условиям.

**18.3. Волноводная поглощающая нагрузка**

Волноводная поглощающая нагрузка представляет собой короткозамкнутый отрезок прямоугольного волновода с плоским соединительным фланцем (ри18. 18.2). Внутри волновода расположен специальный материал 1, который поглощает энергию электромагнитной волны. В качестве поглощающего материала используют графит, феррит и др. Заполнение волновода поглоти­телем производится таким образом, чтобы обеспечить плавный переход от незаполненного к заполненному волноводу, что обеспечивает хорошее согла­сование поглощающей нагрузки с волновым сопротивлением волновода.

1

1

1

Рисунок 18.2 – Поглощающие нагрузки

Основными параметрами волноводной поглощающей нагрузки являются: КСВ (КБВ) и полоса рабочих частот.

**18.4. Волноводная детекторная секция**

Волноводная детекторная секция представляет собой короткозамкну­тый отрезок прямоугольного волновода с плоским соединительным фланцем   
(ри18. 18.3). На ри18. 18.3 показано продольное и поперечное сечение секции.

Рисунок 18.3 – Детекторная секция

Д

Д

Внутри волновода на расстоянии  от его закороченного конца расположен кристаллический высокочастотный детектор Д, который выпрямляет ток, наведенный волной, бегущей по волноводу. Обычно величина выпрямленного тока пропорциональна квадрату напряжённости электрического поля в месте расположения диода. Подключив детектор (с помощью соединительного кабеля) к измерительному усилителю, можно измерить величину, пропорциональную мощности волны в волноводе. Кристаллический детектор крепится внутри волновода с помощью специального гнезда. Для настройки детекторной секции на максимум *К*БВ при изменении частоты генератора или типа диода используется подвижная стенка, закорачивающая волновод. Основными параметрами детекторной секции являются: КБВ и полоса рабочих частот.

**18.5. Волноводные аттенюаторы**

Волноводные аттенюаторы – это устройства, предназначенные для ослабления мощности сигналов, передаваемых по линии передачи.

Возможны *два способа ослабления* проходящей мощности: *путём* *отражения* части волны обратно к генератору или *за счёт поглощения* части мощности в поглощающем элементе. Для отражения той или иной доли падающей мощности применяются реактивные элементы без потерь, включаемые в линию, согласованную по входу. Второй способ ослабления осуществляется в проходных элементах с большими активными или диэлектрическими потерями.

Основными параметрами аттенюаторов являются:

1. З*атухание (ослабление),* вносимое аттенюатором, которое определяется

 [дБ],

где ,  – мощность на входе и соответственно на выходе аттенюатора.

2. Зависимость затухания от частоты.

3. Начальное затухание  (для переменных аттенюаторов).

4. Коэффициент бегущей волны в рабочей полосе частот.

В диапазоне СВЧ, при необходимости получения большого ослабления, часто используют *реактивный* аттенюатор, получивший название *запредельный* (или *предельный),* представляющий собой отрезок волновода длиной , который работает в области частот, лежащих ниже критической частоты.

Из теории волноводов известно, что на частотах ниже критической, векторы поля имеют постоянную фазу, а их амплитуды убывают вдоль волновода по экспоненциальному закону. Затухание, вносимое запредельным аттенюатором пропорционально длине  и практически не зависит от частоты.

Достаточно широкое распространение получили на практике аттенюаторы поглощающего и поляризационного типов.

*Поглощающие* аттенюаторы представляют собой нагрузки в виде диэлектрических пластин (стекло, фарфор и др.) с нанесённым на их поверхность поглощающим материалом (графит, нихром, платина и др.).

На ри18. 18.4 показано поперечное сечение двух типов конструкций поглощающих аттенюаторов. На этих рисунках приведено распределение амплитуды вектора  волны *Н*10 в поперечном сечении волновода, а через 1 и 2 обозначены поглощающие пластины.

В одной конструкции поглощающие пластины 1 и 2 расположены па­раллельно узкой стенке прямоугольного волновода. Если по волноводу рас­пространяется волна Н10, то на пластинках наводится ток (пластины парал­лельны вектору напряженности поля волны *Н*10). Это приводит к поглоще­нию части мощности волны, распространяющейся по волноводу. Меняя расстояние между пластинами и узкой стенкой волновода можно в значи­тельных пределах изменять величину затухания, вносимого аттенюатором. Затухание меняется потому, что изменяется величина плотности тока, наведенного на пластинах ().

1

2

1

Рисунок С.4 – Аттенюаторы поглощающего типа

на прямоугольном волноводе

В другой конструкции, приведен­ной на ри18. 18.4, поглощающая пластина 1 вводится в волновод через узкую щель, прорезанную посреди широкой стенки волновода. При этом меняется величина затухания, вносимого аттенюатором, так как изменяется площадь пластины, на которой наводится ток.

Аттенюаторы поглощающего типа могут быть как с переменным ослаблением, так и с фиксированным. Преимущества поглощающих аттенюаторов – относительная простота конструкции. Недостаток – наличие зависимости затухания от частоты.

*Поляризационный аттенюатор* (ри18. 18.5) состоит из отрезка цилиндрического волновода круглого сечения 1 и двух переходов 2 с круглого сечения волновода на прямоугольное (на входе и выходе).

Рисунок 18.5 – Поляризационный аттенюатор

1

3

2

3

2

3

Внутри волновода 1 и в каждом переходе 2 расположены поглощающие пластины 3. Центральная часть – круглый волновод вместе с пластиной – могут поворачиваться вокруг продольной оси волновода.

На входе аттенюатора волна  прямоугольного волновода преобра­зуется с помощью перехода 2 в волну  круглого волновода. На выходе производится обратное преобразование.

Когда плоскости всех трёх пластин совпадают, то вектор  падающей волны перпендикулярен к поверхности поглощающих пластин, ток в пластинах не наводится и поглощения нет.

Пусть средняя пластина повёрнута на угол  относительно крайних пластин. В этом случае имеется проекция вектора  на пластину в круглом волноводе, следовательно в пластине возникает ток и часть энергии проходя­щей волны будет преобразовываться в тепловую энергию, рассеиваемую в пластине. Изменяя угол наклона пластины  в круглом волноводе, можно изменять величину ослабления проходящей волны.

Максимальное ослабление имеет место при .

**Контрольные вопросы:**

1. Опишите конструкции основных линий передачи Т-волны.
2. Запишите формулы для вычисления волнового сопротивления линий передачи Т-волны основных типов.
3. Опишите распределение ЭМП в пространстве линий передачи Т-волны.
4. Поясните физический смысл понятий тока и напряжения в линиях передачи Т-волны.
5. Дайте сравнительную характеристику параметров коаксиальной и двухпроводной линий.
6. Какие достоинства имеет двухпроводная линия в виде «витой пары»?
7. Назовите основные разновидности полосковых линий.
8. Дайте сравнительную характеристику СПЛ и МПЛ.
9. Какие особенности имеют многосвязные линии?
10. Какое влияние оказывает синфазность или противофазность возбуждения проводников связанных линий?
11. Укажите основные разновидности и область применения многосвязных ЛП.
12. Чем отличается Т-волна от квази-Т-волны?
13. По каким критериям выбирают *Z*c коаксиальных линий?
14. Для каких радиотехнических целей используются коаксиальные кабели с характеристическим сопротивлением 50 и 75 Ом?