**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ.**

**Цель работы**

1. Изучение конструкций и принципов действия типовых соединительных элементов волноводного тракта.
2. Исследование характеристик соединительных волноводных элементов.

#### Домашнее задание: изучить теоретический раздел работы

**1. Пассивные взаимные элементы волноводных трактов СВЧ. Соединения линий передачи СВЧ**

Для сборки и разборки элементов тракта СВЧ они оснащаются специальными разъемами или соединительными устройствами. Такие разъемы должны обеспечивать надежный электрический контакт между соединяемыми устройствами. Они не должны снижать электрическую прочность тракта и вносить значительные отражения в тракт. Кроме того, разъемы должны обеспечивать необходимый уровень электрогерметичности тракта, т.е. минимальный уровень излучения электромагнитных волн из места соединения линий передачи.

В волноводных трактах применяют два типа соединений: контактное и дроссельно-фланцевое.

***Контактное соединение***может быть неразборным и разборным. Неразборное соединение волноводов осуществляется с помощью внешних муфт, надеваемых на место соединения с последующей сваркой или пайкой (рис. 1, *а*). Разборное соединение выполняется в виде гладких фланцев, припаиваемых к концам волновода (рис. 1, *б*). Направляющие штифты обеспечивают необходимую точность установки волноводов. Фланцы имеют отверстия, через которые с помощью болтов осуществляется стягивание соединения. Для улучшения контакта и обеспечения электрогерметичности между соединяемыми волноводами помещают тонкую контактную прокладку, выполняемую из бериллиевой бронзы. Края этой прокладки, примыкающие к стенкам волновода, рассечены и отогнуты в разные стороны. При необходимости герметизации тракта используют также резиновые прокладки. Контактное разъемное фланцевое соединение – |Г| < 0.1в полосе работы волновода.

***Дросселъно-фланцевое соединение*** обеспечивает надежный контакт между соединяемыми волноводами электрическим путем. Такое соеди­нение показано на рис. 2, *а* и отличается от контактного наличием кольцевой канавки во фланце глубиной *а* и шириной *d* и радиальной выемки с размером *l* и глубиной *z.* Канавка является элементом короткозамкнутого коаксиального волновода, в котором возбуждается волна *Н*11, а радиальная выемка – элементом так называемого радиального волновода. Структура силовых линий электрического поля в волноводе и канавке с волной *Н*11 показана на рис. 2, *б.* На рис. 2, *в* представлена эквива­лентная схема дроссельно-фланцевого соединения.



Рис. 1. Соединение волноводов: *а* – неразъемное контактное;

*б* – разъемное контактное; *в* – контактное с пружинящей прокладкой; 1 – припой; 2 – гладкий фланец; 3 – направляющий штифт; 4 – болт,

5 – контактная прокладка; 6– резиновая прокладка

Место механического контакта на этой схеме отмечено стрелкой. Дроссельная канавка вместе с радиальной выемкой представлены на эквивалентной схеме как два последовательно включенных короткозамкнутых шлейфа. Для того чтобы входное сопротивление этих шлейфов на рабочей частоте равнялось бы нулю, необходимо взять их общую длину λл/2, а механический контакт расположить в узле тока, т.е. на расстоянии λл/4 от короткозамыкающей перемычки. Таким образом, глубину канавки *а* следует взять равной λ*H*11/4, а размер проточки *l* = λ/4. Диапазонность дроссельного соединения увеличивается, если *d* > *z*. Обычно *d* = (2-5)*z*. Дроссельно-фланцевые соединения обеспечивают *|Γ|<0,01* в полосе частот ~ 20 %.



Рис. 2. Дроссельно-фланцевое соединение волноводов: *а* – конструкция

соединения; *б* – структура электрического поля в соединении;

*в* – эквивалентная схема соединения

В коаксиальных трактах в качестве соединений используют высокочастотные разъемы штепсельного типа. При этом с одной стороны соединяемых коаксиальных линий размещается штыревой контакт, а с другой стороны – гнездовой. На практике находят применение различные типы коаксиальных высокочастотных разъемов.

***Повороты и скрутки линий передачи СВЧ.*** При компоновке тракта СВЧ любой радиотехнической системы возникает необходимость применения поворотов и скруток. Эти элементы нарушают регулярность тракта и могут быть источником недопустимых отражений. В волноводных трактах используют *повороты (изгибы)* (рис. 3). Размеры отражателей *ХЕ* и *ХH* в поворотах, показанных на рис. 3, *a*, *б*, выбираются из условия обеспечения минимального значения коэффициента отражения *ХH =* (0,6-0,7)*a*, *ХЕ* = 0,4*b.* В повороте с двойным изломом (рис. 3, *в*) улучшение согласования достигается за счет уменьшения отражений от каждого из изломов и взаимной компенсации отраженных волн от каждого из них. Для этого расстояние между изломами *l* выбирается примерно равным λв/4. Плавный поворот (рис. 3, *г*) характеризуется своим радиусом *r* и углом поворота ϕ.Чем больше радиус и меньше угол поворота, тем меньше отражения. Для улучшения согласования длину поворота следует выбирать кратной λв/2.



Рис. 3. Волноводные повороты: *a* – в плоскости *Е; б –* в плоскости *H*;

*в* – в плоскости *Е* с двойным изломом; *г* –плавный

В жестких коаксиальных трактах используются уголковые и плавные повороты (рис. 4). Для улучшения согласования простого уголкового поворота уменьшают диаметр центрального проводника δ =0,52*r*1 (рис. 5, *а*) или делают срез центрального проводника на величину δ =0,28*r*1. Для улучшения согласования длина плавных поворотов должна быть кратной λл/2.



Рис. 4. Коаксиальные повороты: *а* – простой, с согласующей проточкой;

*б* – с согласующим срезом; *в* – плавный



Рис. 5. Полосковые повороты: *а*, *б* – простой уголковый, *в*– скругленный,

*г* –с согласующим срезом, *д* –плавный

На рис. 5 показаны варианты выполнения поворотов полосковых линий. Простой уголковый поворот 5, *а*) не обеспечивает хорошего согласования. поворот полосковой линии на небольшой угол (α≤30°) не вызывает заметных отражений (рис. 5, *б*). На практике чаще всего используют скругленный (рис. 5, *в*) или подрезанный (рис. 5, *г*) повороты; для них *K*св= 1,08 и *K*св = 1,04 соответственно. Лучшие результаты по согласованию дает плавный поворот (рис. 5, *д*); для него *K*св = 1,02. Однако он имеет большие размеры по сравнению с подрезанным уголковым поворотом.

***Переходы между линиями передачи СВЧ.*** В трактах СВЧ часто возникает необходимость перехода от одного типа линии передачи к другому, например от коаксиального к прямоугольному или круглому волноводу, от коаксиального волновода к полосковой линии, от прямо­угольного волновода к круглому и т.п. Для этих целей предназначены специальные устройства, называемые *переходами.* Переходы нарушают регулярность тракта и поэтому должны быть хорошо согласованы по каждому из входов и не снижать электрическую прочность тракта. Наиболее важным в переходе является элемент связи, предназначенный для извлечения энергии из одной линии передачи и возбуждения электромагнитных колебаний в другой. В зависимости от типа соединяемых линий элемент связи может иметь различные конструкторские реализации. В электродинамическом смысле он представляет собой эквивалентную систему векторов электрических и магнитных сторонних токов, создаваемых так, чтобы в линии передачи с максимальной интенсивностью возбуждался требуемый тип волны и не возбуждались волны нежелательных типов. Амплитуда возбуждаемого типа волны будет максимальна, если при расположении элемента связи в линии передачи выполняются следующие условия:

* сторонний электрический ток на элементе связи протекает параллельно силовым линиям электрического поля возбуждаемой волны;
* эквивалентный сторонний магнитный ток на элементе связи протекает параллельно силовым линиям магнитного поля;
* элемент связи располагается в максимуме соответствующей компоненты поля.

Различают элементы связи электрического и магнитного типов. Например, штырь является электрическим элементом связи, а петля – магнитным. Для возбуждения линий передачи СВЧ могут быть использованы элементы связи в виде отверстий определенной формы или узких щелей.

На рис. 6 представлен *коаксиально-волноводный переход.* Он предназначен для перехода от коаксиального волновода с волной типа *Т* к прямоугольному волноводу с волной *H*10*.* Штырь (зонд), являющийся продолжением внутреннего провода коаксиального волновода, располагают посредине широкой стенки волновода, а расстояние до короткозамыкающей стенки *z*1, берут равным четверти длины волны в волноводе. При этом штырь будет эффективно возбуждать колебания в волноводе. Для обеспечения хорошего согласования необходимо также правильно выбрать высоту штыря *l* и его диаметр. Обычно берут *l* = λ/4. Форма штыря и его диаметр существенно сказываются на частотных свойствах перехода: чем толще штырь, тем шире полоса рабочих частот. При работе перехода вблизи штыря образуются высшие типы волн прямоугольного волновода. Кроме основной волны *Н*10, они находятся в закритическом режиме, и их амплитуды экспоненциально убывают при удалении от штыря. Скорость убывания определяется индексами *т* и *п*, характеризующими каждый тип волны в волноводе. Расстояние *z*2 от штыря до контактного фланца выбирается из условия уменьшения амплитуды высшей волны, ближайшей к основной волне *Н*10, до требуемой величины. Ближайшей к основной высшей волной в таком переходе является волна *H*30. Для уменьшения ее амплитуды в ***N*** раз величину *z*2 следует выбрать из соотношения . Расстояние Δ может быть равным a/2.

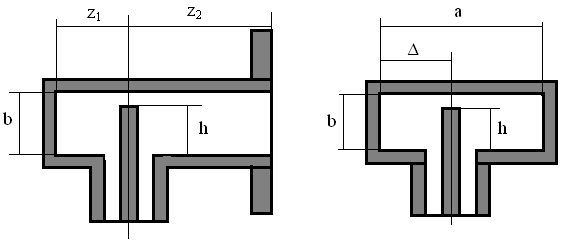


Рис. 6. Коаксиально-волноводный переход

Для возбуждения основной волны в прямоугольном волноводе с помощью полосковой линии используется *волноводно-полосковый переход.* Широкополосный переход между полосковой линией и прямоугольным волноводом может бытьреализован применением П-образного волновода. При этом П-образный волновод получается из обычного прямоугольного волновода путем установки продольного металлического клина длиной (2-3)λв (рис. 7). Варианты коаксиально-полосковых переходов показаны на рис. 7.



Рис. 7. Волноводно-полосковые переходы: *а* – зондовый на симметричную полосковую линию; *б* – П-образный на несимметричную полосковую

линию; 1 – центральный проводник; 2 – металлическая пластина;

3 – диэлектрическая подложка; 4 – прямоугольный волновод; 5 – поршень;

6 –металлический клин; 7 – гребень П-образного волновода

**2. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению**

1. Проверить калибровку прибора Р2-61 в режиме измерения коэффициента ослабления.

2. Измерить частотную характеристику КСВ коаксиально-волноводного перехода в режиме короткого замыкания, холостого хода и согласованной нагрузки в полосе частот 8,5-12,0 ГГц. Сравнить результаты с полученными при выполнении лабораторной работы 1.

3. Измерить частотную характеристику коэффициента ослабления отрезка прямоугольного металлического волновода с простыми плоскими фланцами и с дроссельным фланцем в полосе частот 8,5-12,5 ГГц в трех вариантах соединения: 1) когда плоский и дроссельный фланцы полностью прижаты к фланцу волновода направленного детектора падающей волны; 2) когда между фланцами установлена изолирующая диэлектрическая прокладка в виде пластины из полиэтилена или фторопласта-4 толщиной 0,5-1,0 мм; 3) когда между фланцами имеется воздушный зазор толщиной до 0,5 мм. Результаты измерений записать в таблицу, сравнить полученные данные и сделать выводы.

**3. Содержание отчета**

Структурные схемы измерений, эскизы исследуемых элементов, таблицы измеренных значений, графики зависимости КСВН от частоты для всех измерений, выводы.

**4. Контрольные вопросы**

1. Требования, предъявляемые к волноводным соединениям.
2. Преимущества и недостатки контактных фланцев.
3. Преимущества и недостатки дроссельных фланцев.
4. Назначение и конструкция волноводных и коаксиальных поворотов.
5. Назначение и конструкция полосковых поворотов.
6. Конструкция и принцип действия волноводно-коаксиального перехода.
7. Конструкция и принцип действия соосного волноводно-полоскового перехода.
8. Как влияет нарушение согласования на работу СВЧ тракта?