МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

РЕФЕРАТ

По дисциплине: "Средства ТЗИ микроволнового и оптического диапазонов"

По теме: "Ферритовые микроволновые устройства для систем с высоким уровнем мощности"

Проверил: Щербина А.А.

Выполнил: Ст.гр. СТЗИ-07-1

Харьков 2010

На сегодняшний день разработано и выпускается широкая гамма ферритовых приборов микроволнового диапазона, которые позволяют создавать современные системы, удовлетворяющих нынешним и перспективным требованиям микроволновой электроники, программ космических исследований, работ по физике высоких энергий, систем беспроводной связи и других различных систем микроволнового диапазона. Среди всего многообразия можно выделить наиболее важные и часто применяемые. Именно они и будут рассмотрены ниже.

**Циркулятор** - многоплечее (многополюсное) устройство для направленной передачи энергии электромагнитных колебаний: энергия, подведённая к одному из плеч, передаётся в другое (строго определённое) плечо в соответствии с порядком их чередования.

Различают электронные и ферритовые циркуляторы. Электронные циркуляторы выполняют на основе дискретных элементов - транзисторов, диодов, резисторов. Действие ферритовых циркуляторов основано на способности ферритов, намагниченных во внешнем постоянном магнитном поле, создавать при взаимодействии с электромагнитным полем (волной) невзаимный фазовый сдвиг, невзаимный поворот плоскости поляризации [1, c.645-646] либо такую комбинацию волн, которая обеспечивает их распространение только в одном из плеч.

Различают следующие ферритовые циркуляторы: фазовый У-циркулятор с сосредоточенными параметрами, применяемый в диапазоне частот от сотен до тысяч Мгц, невзаимный фазовый сдвиг в котором осуществляется при помощи намагниченного ферритового образца и системы индуктивно связанных витков; циркулятор на основе разветвленных прямоугольных или круглых волноводов либо полосковых линий (в т. ч. микрополосковых линий) - У-, Т- и Х-циркулятор с распределёнными параметрами, используемые в диапазоне частот от тысяч до десятков тысяч Мгц, например поляризационный Х-циркулятор (рис.1).

Ферритовые циркуляторы не требуют источника питания, и работают на значительно более высоких мощностях, чем активные. Также выше их рабочий частотный диапазон. При этом на низких частотах, их габариты могут оказаться неприемлемо большими.

Ферритовые Х - и У-циркуляторы используют в антенно-фидерных трактах для переключения антенны или модуля сложной фазированной антенной решётки из режима передачи в режим приёма. Ферритовый У-циркулятор, в котором одно из плеч содержит поглощающую нагрузку, представляет собой разновидность вентиля. Образуя из нескольких У-циркуляторов последовательные (каскадные) соединения, можно получать циркулятор с любым заданным числом плеч; такие системы в сочетании с полосно-пропускающими фильтрами позволяют реализовать устройства для сложения или разделения сигналов с различными несущими частотами с использованием при этом минимального числа фильтров.

Рис.1 Поляризационный циркулятор на основе отрезка волновода с круглым сечением

На рисунке 1, 2, 3, 4 - плечи циркулятора в виде отрезков стандартных волноводов с прямоугольным сечением, расположенных под углом 45° последовательно по отношению друг к другу; пунктиром изображён ферритовый образец, обеспечивающий поворот плоскости поляризации волны на 45° в направлении, указанном стрелкой, в результате энергия, если её подвести к плечу 4, поступает только в плечо 1, к плечу 3 - только в плечо 4 т.д.

Главными характеристиками циркулятора являются его вносимые прямые потери Aпр = P1+ / P2 - = P2+ / P3 - = P3+ / P1 - и обратные потери (развязка) Aобр = P1+ / P3 - = P2+ / P1 - = P3+ / P2-. Пример приведён для трёхплечевого циркулятора (Y-циркулятора), знак плюс относится к мощностям, вводимым в циркулятор, а знак минус - к выводимым. В рабочем диапазоне частот хороший циркулятор обладает обычно следующими параметрами: Aпр ≤ 0,5 дБ; Aобр ≥ 30 дБ.

Также выделяют такие характеристики, как рабочая частота (длина волны), полоса пропускания, предельная рабочая мощность, диапазон рабочих температур, способ включения в тракт (вид разъёмов), массогабаритные показатели, устойчивость к внешнему постоянному магнитному полю, срок службы (обусловлен старением постоянного магнита).

**Ферритовый вентиль** - устройство с односторонним прохождением электромагнитной волны, то есть с очень малым затуханием волны, проходящей в одном направлении и очень большим - для волны обратного направления.

Вентили применяют для поглощения отраженных волн в линии передачи, улучшая тем самым согласование различных элементов цепи. Их эффективность определяется вентильным отношением В, то есть отношением ослаблений обратной и прямой волн, выраженным в децибелах:

|  |  |
| --- | --- |
| B = αобр / αпр |  (1.1)  |

где α - коэффициенты затухания обратной и прямой волны.

Принцип действия вентилей основан на том, что намагниченная ферритовая пластина является невзаимной средой. То есть при прямом прохождении волны вектор ее поляризации поворачивается из положения А в положение А΄, а при обратном прохождении, он не возвращается в исходное положение А

Наиболее широко применяются вентили трех типов: резонансные, со смещением поля и фарадеевские.

**Вентиль с резонансным поглощением на прямоугольном волноводе (**рис.2) с волной типа H10 основан на использовании поперечно намагниченной ферритовой вставки 1, расположенной в области волновода с вращающимся полем .

Рис.2 Волноводный резонансный вентиль

1 - ферритовая вставка; 2 - постоянный магнит; 3 - диэлектрическая пластина

Поперечное поле подмагничивания создают постоянным магнитом 2, причём величину поля подбирают равной полю гиромагнитного резонанса для право поляризованной волны. Падающая волна, при прохождении которой на феррит действует вектор H с левым вращением относительно поля подмагничивания, распространяется через вентиль с небольшим затуханием. Отражённая волна, при прохождении которой на феррит действует правовращающийся вектор , интенсивно затухает из-за больших потерь в феррите при гиромагнитном резонансе.

Поле подмагничивания необходимое для существования гиромагнитного резонанса, и требуемое положение ферритовой пластины в волноводе зависят от частоты, что ограничивает диапазонные свойства резонансного вентиля. Расширить рабочую полосу частот резонансного вентиля удаётся с помощью диэлектрической пластины 3, скрепленной с ферритовой пластиной. Диэлектрическая пластина способствует сохранению в полосе частот условий вращения вектора в зоне расположения феррита.

Основную долю прямых потерь составляют магнитные потери в феррите, появляющиеся вследствие ферромагнитного резонансного поглощения (рис.3).

Рис.3 Зависимость потерь в феррите от магнитного поля

При конструировании резонансных вентилей выбирается область работы вблизи резонанса. Потери на "хвосте" резонансной кривой составляют заметную величину и в основном определяют потери в ферритовом устройстве.

**Вентили со смещением поля** используют то, что распределения переменного электрического поля в волноводе с намагниченной ферритовой пластиной различаются для разных направлений распространения. И может быть найдено положение пластины, для которого электрическое поле на ее поверхности равно нулю для одного из направлений распространения. На эту поверхность помещается поглотитель, например тонкая пленка металла.

**Фарадеевский вентиль** состоит из отрезка круглого волновода с ферритовым стержнем, расположенным по оси, и внешнего соленоида, создающего продольное поле подмагничиваиия. С обеих сторон круглый волновод оканчивается плавными переходами к прямоугольным волноводам. Внутри переходов параллельно широким стенкам входного и выходного прямоугольных волноводов установлены поглощающие пластины. Выходной прямоугольный волновод повернут по отношению к входному на угол 45°. Волна, поданная на вход 1, не испытывая ослабления в поглощающей пластине, преобразуется в волну H11 круглого волновода с вертикальной поляризацией. Диаметр и длина ферритового стержня и напряженность подмагничивающего поля выбраны так, что плоскость поляризации волны при распространении по отрезку круглого волновода с ферритом поворачивается по часовой стрелке на угол 45°, и волна без потерь проходит через переход с поглощающей пластиной в выходной прямоугольный волновод, узкие стенки которого оказываются параллельными вектору E. Для уменьшения отражений концы ферритового стержня и поглощающих пластин имеют скосы. Волна, поступающая на вход 2, без ослабления преобразуется в волну H11 круглого волновода. При распространении на участке с ферритовым стержнем плоскость поляризации волны поворачивается по часовой стрелке на 45° (направление поворота плоскости поляризации при эффекте Фарадея не зависит от направления распространения волны и определяется только направлением поля подмагничиваиия). На выходе участка с ферритом вектор E оказывается параллельным широким стенкам прямоугольного волновода входа 1 и поглощающей пластине. На вход 1 волна не проходит, и вся переносимая ею мощность рассеивается в поглощающей пластине. Такой вентиль может рассматриваться как частный случай фарадеевского циркулятора. [2, с 65-67]

**Фазовращатель** это устройство, предназначенное для изменения фазы электромагнитных колебаний на выходе относительно фазы колебаний на его входе. Фазовращатели подразделяются на регулируемые и нерегулируемые.

**Фазосдвигатель на основе вращающегося магнитного поля**, содержащий кольцеобразный феррит в цилиндрическом волноводе, согласователи, а также расположенную на внешней поверхности волновода катушку возбуждения, причем кольцеообразный феррит рассечен по длине на участки определенных размеров и между секциями оставлены либо воздушные прослойки, либо установлены металлические или диэлектрические пластинки определенной формы.

Недостатком такого технического решения является то, что, решая определенные задачи распространения волн микроволнового диапазона в волноводе, в частности подавления высших типов волн, а также согласование ферритовой секции, оно никак не касается улучшения технологичности изготовления фазовращателя, при котором возникают значительные трудности.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является ферритовый фазовращатель с поперечным магнитным полем, содержащий ферритовый вкладыш, установленный в полости металлического волновода, толщина стенки которого много меньше его радиуса, и магнитную систему, аналогичную статору асинхронного двигателя.

В этом техническом решении изготовление статора производят отдельно из набора пластин, вырубаемых из листа электротехнического железа или пермаллоя, и обмоток, вкладываемых в этот набор, причем при сборке фазовращателя он должен устанавливаться на волновод с ферритом.

Для включения в тракт фазовращатель на обоих концах должен иметь фланцы, а также, как правило, и увеличение диаметра волновода для расположения, например, согласователей, что требует использования в волноводе съемного фланца (хотя бы одного) или использование ступеньки, которые припаиваются к волноводу после сборки статора с волноводом. Посредством пайки фланца к волноводу добиться необходимого качества шва невозможно без значительного увеличения длины волновода и толщины его стенки, а это резко ухудшает параметры ферритового фазовращателя и, кроме того, при сильном разогреве невозможно сохранить диаметр канала волновода с требуемой точностью. Эту проблему решают изготавливая волновод с двумя фланцами и ступеньками на концах целиком из одной заготовки, в результате чего на нем отсутствуют швы и соединения и можно достаточно точно выдержать все размеры. Таким образом, при низких затратах удается обеспечить минимальную длину волновода и минимальную толщину его стенки, высокую точность выполнения внутреннего и внешнего диаметров, что гарантирует получение наилучших электрических параметров.

При подаче тока в обмотку магнитной системы в волноводе с ферритом образуется поперечное магнитное поле и при определенной его ориентации относительно вектора электромагнитной волны происходит изменение ее фазы, которое увеличивается при увеличении индукции управляющего поля. Наиболее эффективное изменение фазы происходит при создании четырехполюсного магнитного поля [3, с.76-81], причем центральные линии этого поля и линии (или хотя бы их концы), на которых располагаются точки вращения вектора магнитного поля волны, должны совпадать. Для уменьшения потребления энергии управления элементы магнитопровода должны выполняться из материалов с наибольшей магнитной проницаемостью. Кроме того магнитопровод статора изготавливается из простых деталей без применения сложных и дорогих вырубных штампов. В таком статоре резко упрощается укладка катушек, так как это делается снаружи в открытые пазы.

Фазовращатели используют в различных устройствах сверхвысоких частот техники, например в системах с большим числом потребителей - для обеспечения требуемого распределения начальных фаз поступающих к ним сигналов, в фидерах радиосистем - для выравнивания электрических длин фидеров, в фазированных антенных решётках и др. когерентных радиосистемах.

Чаще применяется фазовращатель на основе линии волновода. **Ферритовый фазовращатель в прямоугольном волноводе с продольным намагничиванием.** По оси волновода расположен ферритовый стержень, круглого или прямоугольного сечения. Управляющее магнитное поле направлено продольно и создается соленоидом, намотанным снаружи непосредственно на волноводе. Изменением управляющего магнитного поля можно менять магнитную проницаемость феррита и соответственно скорость распространения и длину волны высокочастотных колебаний внутри волновода, а следовательно, и фазу поля за ферритовым стержнем. Достоинством такого фазовращателя является его простота и возможность регулировки фазы в широких пределах (0.3600) при небольшом ослаблении мощности колебаний (0,5.1,0 дБ).

**Ферритовый фазовращатель в прямоугольном волноводе с поперечным полем подмагничивания.** Ферритовая пластина прямоугольного поперечного сечения размещается параллельно узкой стенке между ней и серединой волновода (приблизительно на расстоянии *а*/4 от узкой стенки, где *а* - размер широкой стороны волновода). Полюса магнита *N* и *S* устанавливаются по обе стороны пластины. В таком фазовращателе для увеличения фазового сдвига и уменьшения общей длины обычно используются две ферритовые пластины, располагаемые по обе стороны от средней плоскости волновода и соответственно намагничиваемые.

Возможен коаксиальный вариант фазовращателя, в котором феррит заполняет часть пространства между центральным проводом и экранирующим цилиндром, а поперечное магнитное поле создается магнитом, устанавливаемым снаружи отрезка коаксиальной линии.

Частным случаем фазовращателя является гиратор.

**Гиратор** - направленный фазовращатель, в котором изменения фаз электромагнитных волн, распространяющихся в противоположных направлениях, отличаются на 180°. Принцип действия гиратора основан на необратимых свойствах намагниченного феррита, вызывающих поворот плоскости поляризации, фазовый сдвиг и т.д.

Простейший гиратор представляет собой отрезок круглого волновода, в который помещён намагниченный ферритовый стержень определённых размеров.

# Выводы

Создание микроволновых устройств с быстроуправляемыми параметрами и систем с характеристиками, которые отличаются в различных направлениях распространения микроволнового электромагнитного поля (невзаимных систем), невозможно без ферримагнитных диэлектриков - ферритов. С момента появления ферритов в конце 40-х годов не прекращается совершенствование их параметров и синтез новых материалов, отвечающих требованиям микроволновых систем, в которых они используются. Одним из важнейших преимуществ фертов является возможность построения с их помощью микроволновых устройств рассчитанных на высокие уровни мощности.

При создании и расчете мощных микроволновых устройств необходимо учитывать связанные с процессами возбуждения волн магнитные потери энергии в феррите на высоких уровнях мощностей. Для определения этих потерь используют важный параметр величину ширины спиновых волн в феррите. Чем эта величина больше, тем феррит устойчивее к воздействию высоких мощностей.

# Список использованной литературы

1. А.Д. Григорьев Электродинамика и микроволновая техника, 2-е издание. - СПб.: Лань, 2007.708 стр.

2. Сазонов Д.М., Гридин А.М., Мишустин Б.А. Устройства СВЧ - М: Высш. школа, 1981 298 стр.

3. А. Фокс, С. Миллер, М. Вейчс. Свойства ферритов и их применение в диапазоне СВЧ. Москва, 1956