**ЛЕКЦИЯ №20. ОБЪЕМНЫЕ РЕЗОНАТОРЫ.**

**План:**

20.1. Общие сведения о резонаторах. Классификация.

20.2. Объемные резонаторы волноводного типа.

20.3. Добротность объемного резонатора.

20.4. Структура полей в резонаторах волноводного типа.

**20.1. Общие сведения о резонаторах. Классификация.**

Мы изучали в теории цепей колебательные контура, которые в общем-то предназначены для накопления энергии. Причем последовательный контур – последовательное соединение емкости и индуктивности, которые обмениваются энергией и накопляют электрическую и магнитную энергию.

А как нам эту энергию подкопить?

На наших диапазонах частот (СВЧ) конденсатор и катушка должны быть огромных размеров. То есть физически реализовать колебательный контур невозможно.

Поэтому в технике СВЧ используют резонаторы.

Мы обратим внимание на резонаторы в основном волноводного типа, потому что не волноводного типа используются в качестве магнитных систем накопления энергии в радиопередающих устройствах, а нас с точки зрения полей больше интересуют резонаторы волноводного типа.



**20.2. Объемные резонаторы волноводного типа.**

Существуют объемные резонаторы волноводного типа реализованные на основании бегущей и стоячей волны.

Объемные резонаторы волноводного типа представляют собой волновод, свернутый в кольцо. (Рис. 20.2)

**20.2.1. Объемные резонаторы волноводного типа с бегущей волной.**

Если мы будем подпитывать волну в резонаторе в определенном сечение в фазе, то у нас будут незатухающие колебания.

Значит можно запаять стеночки, подключить передатчик в нужном месте: волна доходит до этого места с фазой 0 и в этом месте с нулевой фазой подпитывается. Вот и накопление энергии.



Резонаторы будут характеризоваться теми же параметрами, что и колебательными контуры: добротность, собственная частота.

Однако есть отличия: в резонаторе с сосредоточенными параметрами необходимо знать структуру поля, чтобы подпитывать там, где нам это требуется.

Таким образом нужно решить 3 задачи:

- Определить собственные частоты объемного резонатора

- Определить добротность резонатора

- Рассмотреть структуру поля резонатора на этих частотах.

**Рассмотрим простенький пример.** Резонатор волноводного типа представлен на Рис. 20.2. Мы свернули волновод в кольцо, запитали его бегущей волной => поле будет усиливаться только в том случае, если фаза возбуждаемого поля в конкретном сечении кольца совпадает (отличается на целое число 2pi) с фазой поля, достигшего этого сечения (то есть с пришедшим полем к этому сечению). В этом случае энергия накапливается.

Определим собственную частоту.

Для того, чтобы поле усиливалось, должно выполняться условие:



У p пропущен квадрат!!!



 - это собственная длинна волны резонатора(резонансная).

Собственных частот в резонаторе множество, потому что  зависит от и от p.

**20.2.2. Объемные резонаторы волноводного типа со стоячей волной.**

Режим стоячих волн образуется при закороченности линии (режиме короткого замыкания), режиме холостого хода либо когда волновое сопротивление чисто реактивное.

Нас устроит вариант, если мы возьмем волновод и стенку запаяем.



В результате падающая волна отражается полностью с разницей фазы 180 градусов. В результате мы получаем узлы и пучности – минимальные значения амплитуды поля чередующиеся с максимальной.

Продольная вектора Ez показана более темной, а продольная составляющая вектора Hz сдвинута на 90 градусов.

То есть здесь нужно рассмотреть граничные условия.

Поперечная составляющая Es в точке Z=0 (у нас же короткое замыкание и Z=0). Это и есть тангенциальная составляющая и она должна согласно граничным условия быть равной нулю.



А раз так, то поперечная составляющая Es исходя из графика пропорциональна sinBZ.



А продольная составляющая в этот момент пропорциональна изменению по косинусу



И аналогично для магнитного поля.



Далее возьмем на каком-то расстоянии точка А. И скажем, что граничные условия Es при z равном нулю, то есть отодвинем на граничную частоту. И скажем Es на контуре «z-lрезонансная» и приравняем к нулю:



И получим:



Добиться резонанса можно изменяя резонансную длину резонатора или изменяя длину волны (рабочую частоту) генератора ().

Удобно записать в виде:





Um,n – корень функции Бесселя.

Для прямоугольного резонатора(резонатора прямоугольной волноводной формы) – выражение 20.5.

Для круглых резонаторов волн типа Е и Н – выражения 20.6 и 20.7 соответственно.

Из полученных соотношений видно, что условие резонанса определяется индексами m,n и p.

Для прямоугольного резонатора:

m – число полуволн, укладывающихся вдоль широкой стенки волновода

n – вдоль узкой стенки волновода

p – целое число стоячих полуволн вдоль оси резонатора.

Для круглого резонатора:

m – порядок функции Бесселя первого рода+указывает количество полных вариаций поля по угловой координате

n – порядковый номер функции Бесселя

p – целое число стоячих полуволн вдоль оси резонатора.

**20.2.3. Добротность объемного резонатора**

Все реальные резонаторы обладают потерями Э.М. энергии. А это приводит к изменению структуры поля. Изменение добротности, т.е. потери Э.М. энергии приводит к изменению резонансных частот и к затуханию колебаний.

Как правило, в резонаторах, изготовленных из высококачественных материалов, изменением структуры поля и собственных частот пренебрегают, но затухание свободных колебаний учитывают, введя понятие добротности резонатора.

Добротностью любой изолированной колебательной системы называют отношение запасенной в этой системе энергия к убыли энергии за один период колебания.



Различают собственную добротность, т.е. добротность резонатора, которая обусловлена потерями в металлических стенках и диэлектрике.

V-объем резонатора, S-поверхность стенок резонатора, d – толщина скин-слоя(слой, на который проникает ЭП в металл).

- тангенс угла потерь.

Внешняя добротность – это добротность за счет связи с полезной нагрузкой.

Как определить добротность практически?

Есть генератор. На выходе к нему – резонатор. И смотрим при помощи индикаторной аппаратуры мощность на выходе.



**Рис. 20.4**

Изменяя частоту генератора на выходе резонатора на индикаторе видим увеличение выходной мощности. Она доходит до максимального значения, фиксируем частоту f0. Далее идет спад.

Если взять по уровню 0,5 – слева минимальная частота, справа максимальная частота. Средняя (резонансная) частота соответствует максимальному значению энергии на уровне f0.





**Рис. 20.5**



**20.2.4. Структура полей в резонаторах волноводного типа.**

Резонатор – это отрезок волновода, который закорочен с двух сторон. Используется, как правило, один тип волны.

Если мы рассматриваем основной тип волны, то в резонаторе этот тип волны уже определяется и фиксируется с помощью коэффициентов m,n и p. Например, H101.

Выясним, какова же структура этого поля.

Представим напряженность, как:



В резонаторе тока проводимости нет. Обратим внимание на ток смещения, который равен:



Анализируя эти выражения можно увидеть, что напряженность ЭП и ток смещения имеют одинаковые картины силовых линий, сдвинутые на 90 градусов. (По времени – это T/4)

И это подтверждается рисунком 20.5.



**Рис. 20.6**

В нулевой момент времени наблюдаем, что ток смещения есть. Он порождает вихревое магнитное поле.

Через четверть периода тока смещения нет, а есть электрические силовые линии есть. Вихревого магнитного поля нет.

Через еще четверть периода ток смещения направлены вниз, вихревое магнитное есть. Электрического поля нет.

И т.д.

А из этого мы можем сказать, что направление электрических силовых линий токов смещения и напряженность ЭП через четверть периода совпадают, затем четверть периода они противоположны и т.д.

Таким образом, чтобы построить структуру поля колебаний в резонаторе, достаточно взять структуру поля соответствующей волны в волноводе и совместить в объеме электрические силовые линии с токами смещения.

Например, для прямоугольного волновода основная волна Н10. Структура в объеме на Рис. 20.7(а). Силовые линии в центре, вокруг которых магнитные силовые линии, а на стеночках силовые линии электрического поля.

Чтобы построить волну в резонаторе Н101 достаточно взять исходную структуру поля основной волны и совместить силовые линии электрического поля и токов смещения. Рис. 20.7(б).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **а)** |  | **б)** |

**Рис. 20.7**

Н102 – берем основную волну. Будет две стоячих волны. Совмещаем токи смещения с электрическими силовыми линиями и наблюдаем Рис.20.8(а)

|  |
| --- |
| **а)** |

|  |
| --- |
| **б)** |

**Рис. 20.8**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **а)** |  | **б)** |

**Рис. 20.9**

Структура типов волн в резонаторах круглого типа.

Совмещаем силовые линии ЭП с токами смещения и получаем картину, используя соответствующую волну.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **а)** |  | **б)** |

**Рис. 20.10**

***Резонатор*** – это колебательная система, способная накапливать энергию колебаний или волн при воздействии внешней силы определенной частоты.

В СВЧ технике используют объемные резонаторы двух видов: полый металлический и диэлектрический. Резонаторы используют в фильтрах различного назначения, измерительных приборах, в качестве колебательных систем электронных приборов. Если внутри резонатора возникло электромагнитное поле, то происходит непрерывный обмен энергией между электрическим и магнитным полем. Для каждой частоты в резонаторе возникает определенная структура поля. Таким образом, в резонаторе можно возбудить по отдельности спектр частот, каждому из которых соответствует своя структура поля.

Структура поля, соответствующая минимальной частоте, называется ***низшим типом колебаний***. Возможны случаи, когда резонансные частоты двух или более видов колебаний с различными структурами совпадают, то такие колебания называются ***вырожденными***.

***Основные параметры резонаторов***.

Свойства резонатора описываются следующими основными параметрами:

1) ***резонансная частота*** ***fр*** - это частота, на которой амплитуда колебаний достигает наибольшего значения при прочих равных условиях;

2) ***добротность******Q*** *–* это отношение резонансной частоты к ширине полосы частот

 (20.48)

где *2∆f* - ширина полосы пропускания резонатора;

3) ***коэффициент связи*** ***Ксв*** - это отношение мощности, передаваемой резонатором во внешнюю цепь  к мощности потерь на резонансной частоте 

 (20.49)

***Нахождение резонансных частот в объемном резонаторе.***

Явление резонанса в объемном резонаторе наступает в случае, когда на данной частоте энергия электрического поля равна энергии магнитного поля. Математически равенство энергии полей записывается в виде:

** (20.50)

где  - амплитудные значения, соответственно, электрического и магнитного полей, V – объем, занимаемый полем в резонаторе,  - абсолютная диэлектрическая и магнитная проницаемость среды, заполняющей резонатор.

Первое уравнение Максвелла, как известно, имеет вид:



где  - амплитуда напряженности электрического и магнитного полей, *ω* – циклическая частота,  - абсолютная диэлектрическая проницаемость,  - комплексная абсолютная диэлектрическая проницаемость, *σ* – удельная проводимость вещества.

Учитывая условие появления резонанса (4.50) и первое уравнение Максвелла, определим собственную частоту колебаний резонатора.

Из первого уравнения Максвелла выразим напряженность электрического поля:

. (20.51)

Далее подставим уравнение (4.51) в формулу (4.50) и получим:



или запишем уравнение в следующем виде:





Если среда, заполняющая резонатор, не обладает проводящими свойствами, то . Кроме того, физически циклическая частота может принимать положительные значения, поэтому необходимо взять модуль полученного отношения. Учитывая сказанное выше, получим:

. (20.52)

Формула (4.52) позволяет определить собственную резонансную частоту электромагнитных колебаний в объемном резонаторе. Из формулы (4.52) видно, что ***собственная резонансная частота зависит от размеров резонатора, свойств заполняющей резонатор среды и от структуры электромагнитного поля***. Отсюда следует, что перестройку резонансной частоты можно выполнить с помощью изменения объема резонатора или заполняющей его среды. Изменить объем можно с помощью его укорочения или удлинения резонатора, т.е. за счет изменения длины. Также объем резонатора уменьшится, если внутри полости поместить металлическое тело. Итак, изменить объем резонатора можно двумя способами: изменением объема и заполняющей средой. Это приводит к изменению резонансной частоты объемного резонатора. Если в полость резонатора поместить какой-либо диэлектрик, имеющий определенное значение , то резонансная частота также изменится.

Собственную добротность резонатора определяють, исходя из энергетического соотношения:

 (20.53)

где  - энергия, запасенная в резонаторе,  - энергия, теряемая в резонаторе за один период колебаний,  - собственная резонансная круговая частота резонатора,  - мощность потерь в резонаторе.

Получение высокой добротности (т.е. большого значения) является важным достоинством объемных резонаторов. Так, резонаторы, изготовленные из хорошо проводящего материала, имеют добротность .

**Контрольные вопросы и задания**

1. Дайте определение объемному резонатору.
2. Перечислите основные типы объемных резонаторов.
3. Сравните объемный резонатор с LC-контуром.
4. Как определяется добротность объемного резонатора?
5. Назовите основные параметры объемных резонаторов.
6. Чем нагруженная добротность отличается от собственной?
7. Какие способы возбуждения объемных резонаторов вам известны?
8. Назовите основные типы открытых резонаторов.
9. Как накапливается энергия в открытых резонаторах?
10. Как определяются резонансные частоты объемных резонаторов?
11. Какие особенности имеют ферритовые резонаторы?
12. Как из регулярной линии можно сделать объемный резонатор?