

5186 (51E6) Устройства сверхвысоких частот и антенны

Лекция №1 Назначение и задачи, решаемые с помощью СВЧ устройств и антенн в современной радиотехнике

- 1. Назначение и задачи СВЧ устройств.*
- 2. Назначение и задачи антенн.*

Задачами учебной дисциплины являются:

- знакомство с физическими явлениями в устройствах СВЧ и антеннах, их использование при создании СВЧ устройств и антенн;
- знакомство с основными видами антенн и устройств СВЧ, обеспечивающих функционирование сложных радиотехнических систем, комплексов;
- выработка практических навыков экспериментального исследования антенных устройств и трактов СВЧ, расчета и проектирования.

В результате изучения учебной дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- принципы функционирования устройств сверхвысоких частот и антенн, аналитические и численные методы их расчета;

Уметь:

- оценивать параметры антенно-волноводных трактов радиотехнических систем;

Владеть:

- методами исследования и проектирования радиотехнических устройств.

1. Назначение и задачи СВЧ устройств

К устройствам СВЧ относятся линии передачи и преобразователи энергии СВЧ, ответвители, фильтры, вентили и т.д. Совокупность устройств СВЧ, сочлененных определенным образом, образует тракт СВЧ.

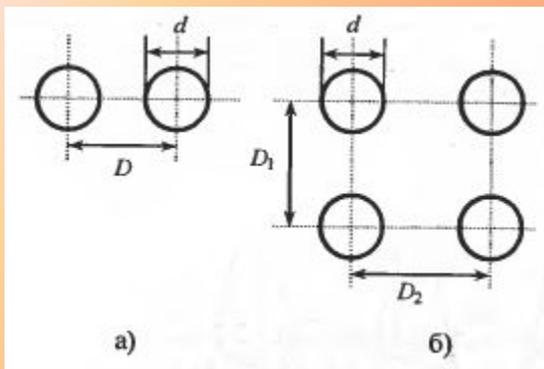
В соответствии с ГОСТ трактом передачи СВЧ называется устройство, ограничивающее область распространения электромагнитных колебаний и направляющее поток электромагнитной энергии в заданном направлении. Направление распространения определяется взаимным расположением источника электромагнитных колебаний и нагрузки в линии передачи. Источником электромагнитных колебаний может служить, например, генератор, подключенный к линии передачи, приемная антенна или устройство возбуждения линии передачи, отбирающее часть электромагнитной энергии от другой линии передачи или какого-либо устройства СВЧ. Нагрузкой линии передачи может служить устройство, преобразующее электромагнитную энергию (например, в тепло), излучающая (передающая) антенна, входные цепи приемника и т.п.

Линии передачи классифицируются по диапазонам частот. Принята и закреплена ГОСТами терминология, определяющая длины волн и частоты электромагнитных колебаний.

Диапазон СВЧ соответствует сантиметровым волнам. Однако на практике этим термином определяют диапазон с более широкими границами, который включает в себя волны от метровых до миллиметровых.

Линии передачи по типам используемых волн классифицируются на линии передачи с поперечной электромагнитной волной (Т-волной), с магнитной волной (Н-волной), с электрической волной (Е-волной) и с гибридной волной.

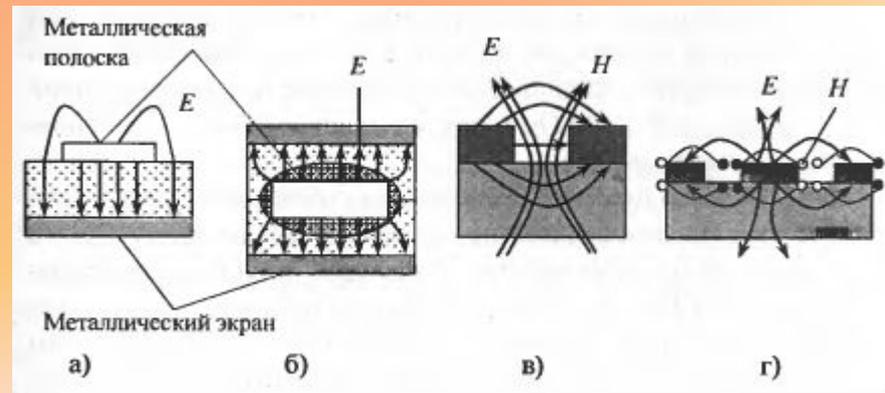
Классификация линий передачи по видам весьма разнообразна. Линия передачи, конструкция которой не допускает упругого или пластичного изгиба, называется жесткой; в противном случае — гибкой. Волноводом называется линия передачи, имеющая одну или несколько проводящих поверхностей, с поперечным сечением в виде замкнутого проводящего контура, охватывающего область распространения электромагнитной энергии. Если такой проводящий контур отсутствует, то линия передачи называется открытой.



$$Z_{\text{в}} = 276 \lg \left[D/d + \sqrt{1 + (D/d)^2} \right]$$

$$Z_{\text{в1}} = 138 \lg \left[(2D_2/d) + \sqrt{1 + (D_1/D_2)^2} \right]$$

Поперечные сечения
проволочных линий

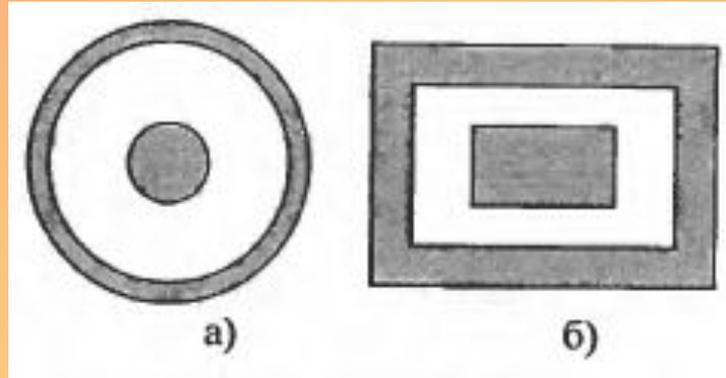


Поперечные сечения полосковых линий передач:
а - несимметричной; б - симметричной;
в - щелевой; г- копланарной

Полосковые линии применяются в диапазонах дециметровых, сантиметровых и длинноволновой части миллиметровых волн. Основной волной несимметричной и симметричной полосковых линий является Т-волна. В щелевой и копланарной линиях основной является Н-волна.

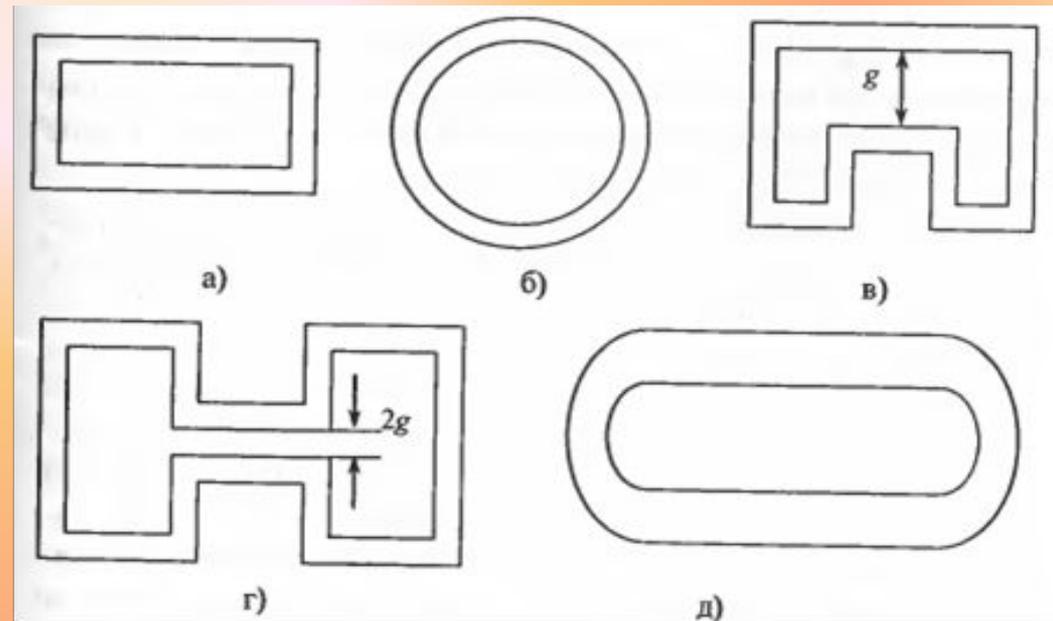
Различают три разновидности полосковых линий: жесткие воздушные, линии на основе фольгированных диэлектрических пластин, линии на основе диэлектрических пластин из керамики

Коаксиальные волноводы представляют собой жесткие или гибкие коаксиальные кабели, основной волной в которых является Т-волна. Область применения таких линий охватывает волны длиной от 3...5 см до 10 м.

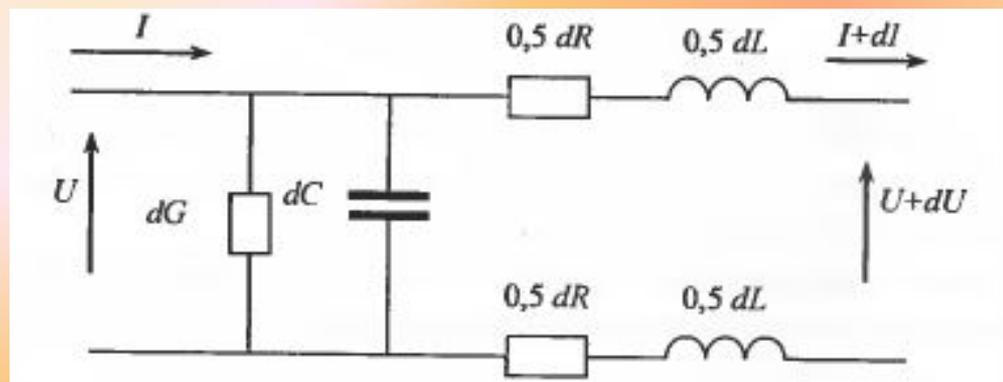
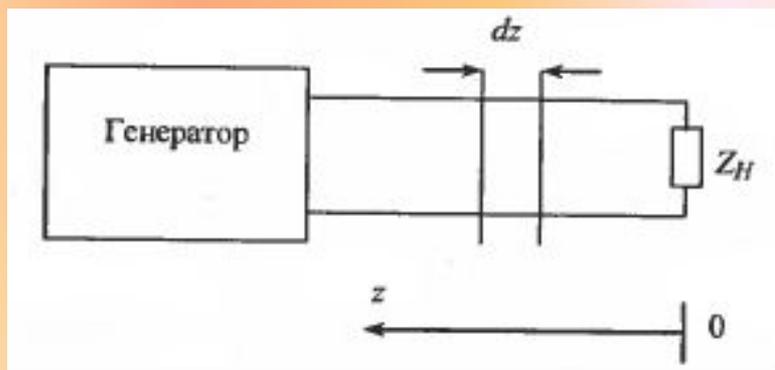


Коаксиальные волноводы: а - круглого сечения; б - прямоугольного сечения

Волноводы прямоугольного, круглого и более сложного поперечных сечений представляют собой металлические трубы соответствующих поперечных сечений. Основной волной в таких линиях передачи является низшая Н-волна.



На практике наибольшее распространение получили отрезки регулярных линий передачи той или иной длины. Если длина регулярной линии передачи существенно превышает длину волны в линии λ_l , то такая линия называется длинной. Характерной особенностью длинных линий является возможность существования в них двух волн, распространяющихся навстречу друг другу. Одна из этих волн образуется подключенным к линии генератором электромагнитных колебаний и называется падающей. Другая волна образуется из-за отражения падающей волны от нагрузки, подключенной к противоположному концу линии, и называется отраженной.



На практике чаще всего длинные линии используются для передачи мощности от генератора к нагрузке. Для этого предпочтительным является режим бегущей волны.

С целью обеспечения указанного режима необходимо, чтобы сопротивление нагрузки $Z_n = R_n + iX_n$ удовлетворяло двум условиям: активная часть нагрузки R_n должна равняться волновому сопротивлению линии ($R_n = W$), а реактивная часть нагрузки X_n должна равняться нулю ($X_n = 0$). Если сопротивление нагрузки удовлетворяет вышеназванным условиям, то говорят, что линия согласована с нагрузкой.

Общий принцип согласования комплексных сопротивлений состоит в том, что в линию дополнительно включается согласующий элемент, отражение от которого компенсирует отражение от нагрузки. При этом стремятся, чтобы согласующий элемент был расположен как можно ближе к нагрузке. Это делается для уменьшения длины несогласованного участка линии от нагрузки до согласующего элемента. Включение в линию согласующего элемента преследует следующие цели:

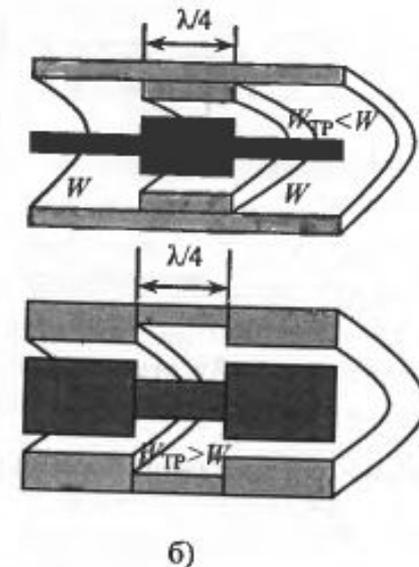
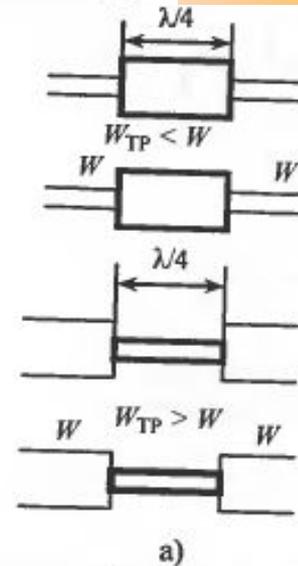
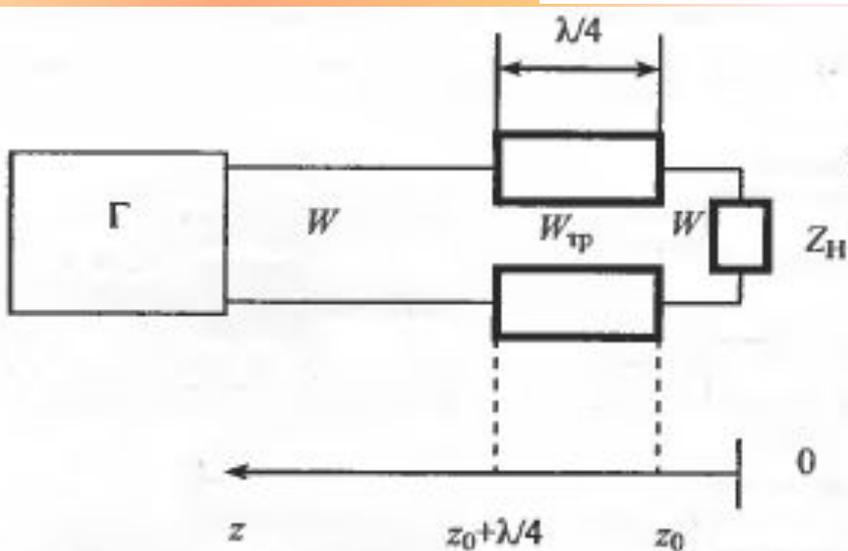
- увеличение мощности, передаваемой в нагрузку;
- увеличение электрической прочности линии;
- увеличение КПД линии;
- устранение вредного влияния отраженной волны на генератор.

В узкой полосе частот в качестве согласующих элементов используются следующие устройства: четвертьволновый трансформатор, последовательный шлейф, параллельный шлейф, два и три последовательных или параллельных шлейфа.

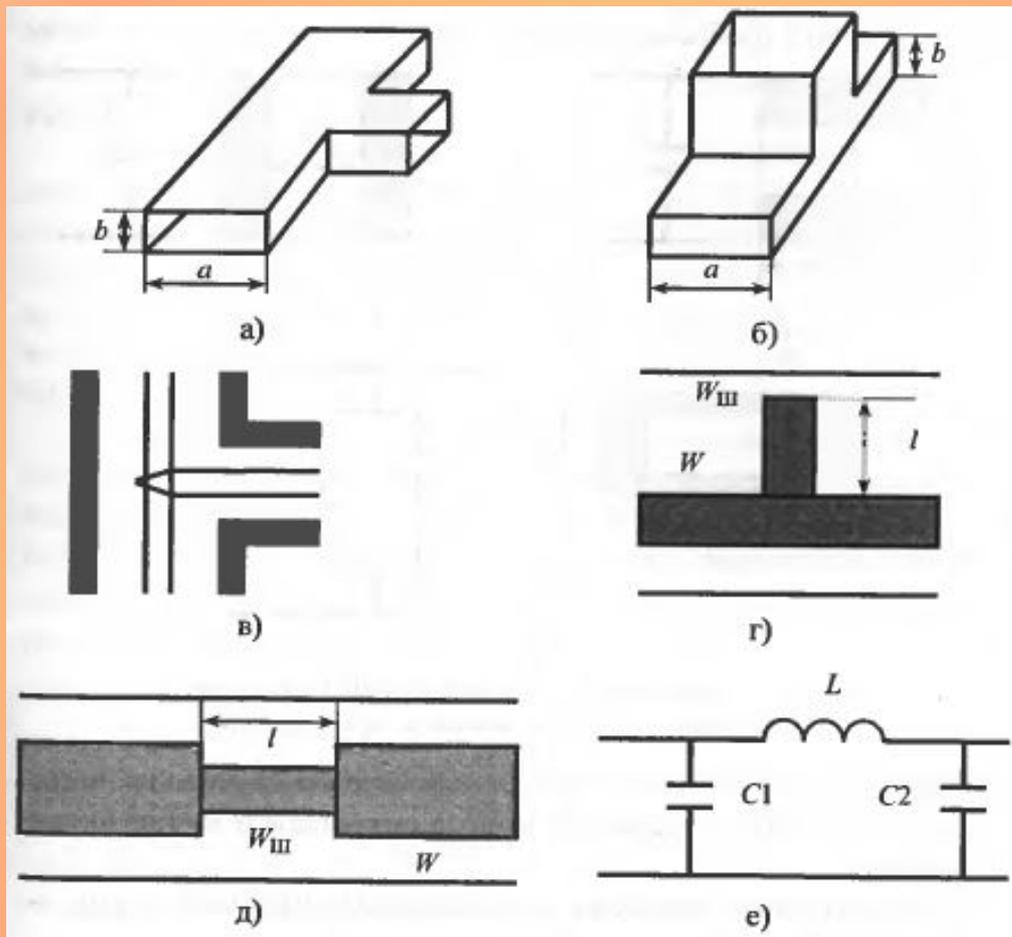
Четвертьволновой трансформатор. Это устройство представляет собой четвертьволновый отрезок линии с волновым сопротивлением $W_{тр} = W$, включенным в разрыв основной линии передачи.

Принцип работы такого согласующего устройства основан на трансформирующем свойстве четвертьволнового отрезка линии, которое в рассматриваемом случае примет вид

$$Z_{вх}(z_0) Z_{вх}(z_0 + \lambda/4) = W_{тр}^2,$$



Для целей согласования в трактах СВЧ используются короткозамкнутые реактивные шлейфы.

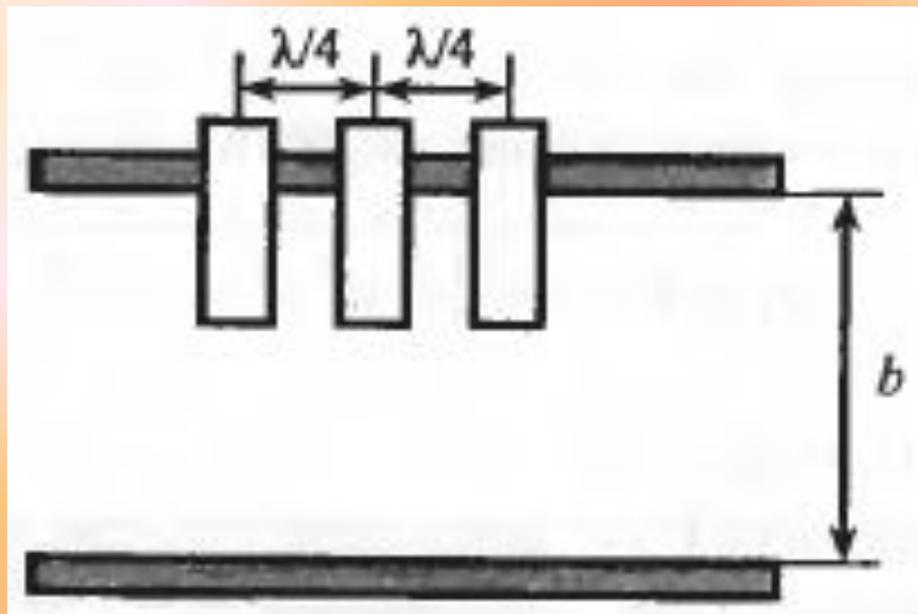
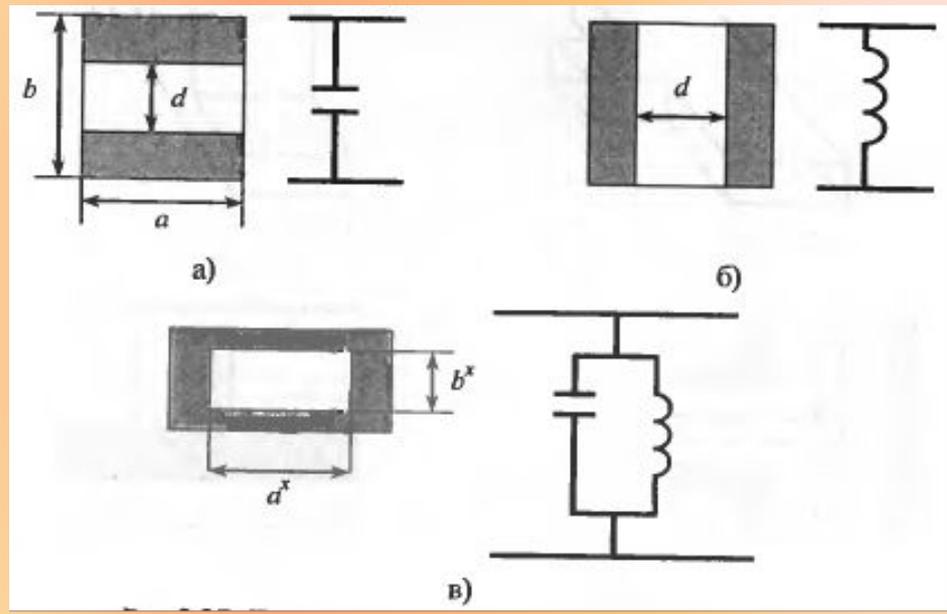


Четвертьволновые трансформаторы и шлейфы являются узкополосными согласующими устройствами. К широкополосным согласующим устройствам относятся ступенчатые и плавные переходы, выполненные на основе волноводов, коаксиальных и полосковых линий.

Нередко на практике для согласования в узкой полосе частот используются диафрагмы и реактивные штыри

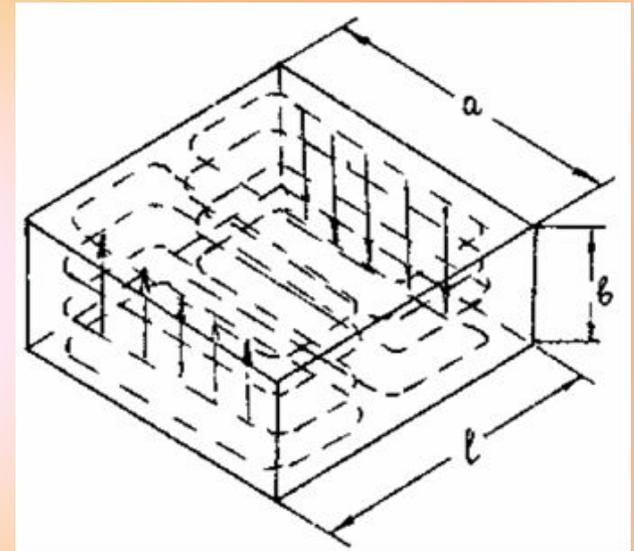
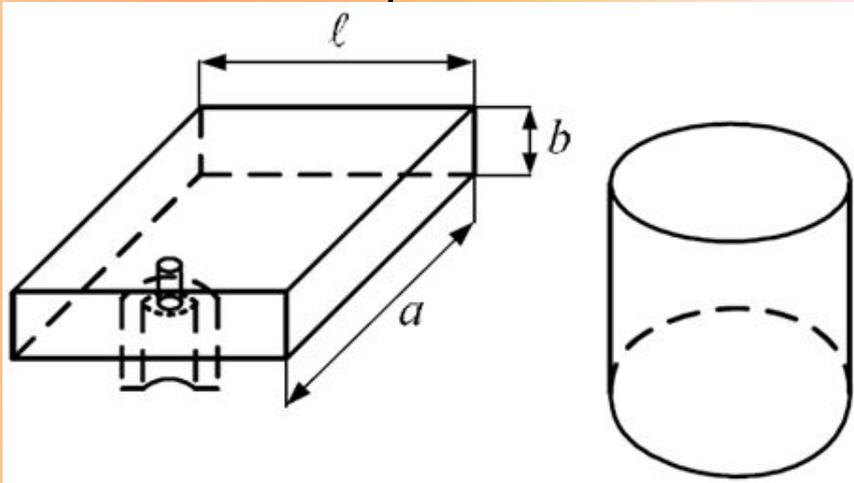
Диафрагмой называется тонкая металлическая перегородка, частично перекрывающая поперечное сечение волновода

Реактивный штырь представляет собой металлический цилиндр небольшого диаметра, который размещен в поперечном сечении волновода параллельно или перпендикулярно силовым линиям электрического поля.



Диафрагмы:
а - симметричная емкостная;
б - симметричная индуктивная;
в - резонансная

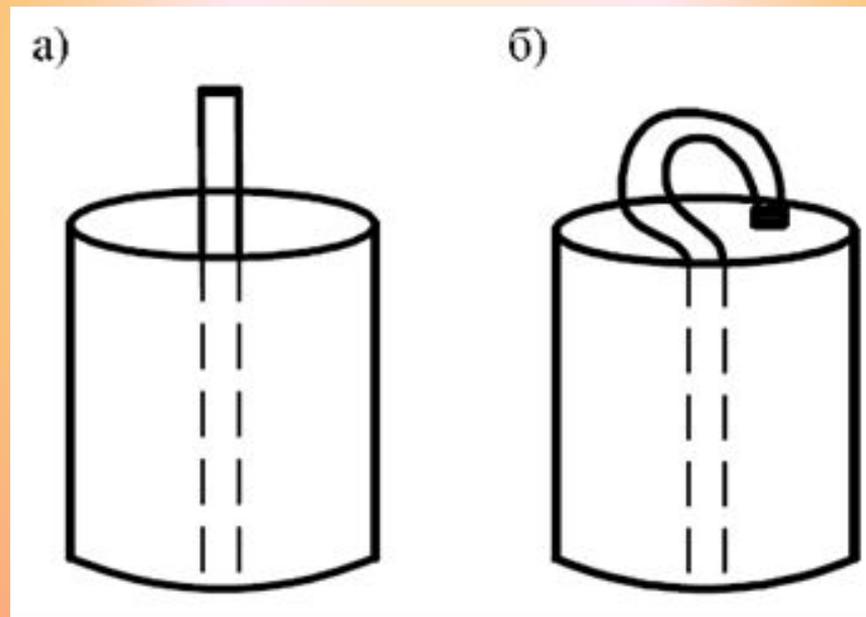
В качестве колебательных систем СВЧ-диапазона используются объемные резонаторы, которые представляют собой диэлектрические объемы, окруженные почти полностью замкнутыми металлическими оболочками. На миллиметровых волнах и в оптическом диапазоне применяются также открытые резонаторы, состоящие из двух отражающих зеркал, между которыми происходит электромагнитный колебательный процесс.



В резонаторе, как и в колебательном контуре, возбуждается ЭМП, которое существенно возрастает при определенных соотношениях его размеров и длины волны.

Как и в идеальном LC-контуре, в резонаторе без потерь возрастание амплитуды колебаний было бы безграничным. В реальном же резонаторе амплитуда установившихся колебаний определяется условиями возбуждения поля и добротностью резонатора.

Для возбуждения волн в линиях передачи применяют специальные элементы, называемые возбуждающими устройствами, а для вывода энергии из линий – устройства связи с внешними нагрузками. Отметим, что в качестве и тех, и других устройств используют одни и те же элементы. Это достаточно малые элементы, содержащие или электрический или магнитный в виде малой рамки вибратор. Обычно такие вибраторы конструктивно объединяются с коаксиальной линией, применяемой или для подвода энергии к вибратору, или для отвода от него. Иногда в стенках волноводов прорезают отверстия.



Вибраторы: а – электрический; б – магнитный

Направленный ответвитель — устройство для ответвления части электромагнитной энергии из основного канала передачи во вспомогательный. Направленный ответвитель представляет собой два (иногда более) отрезка линий передачи, связанных между собой определённым образом, основная линия называется первичной, вспомогательная — вторичной. Для нормальной работы один из концов вторичной линии (нерабочее плечо) должен быть заглушён согласованной нагрузкой, со второго (рабочего плеча) снимается ответвлённый сигнал, в зависимости от того, какую волну в первичной линии надо ответить — падающую или отражённую, выбирается, какое плечо вторичной линии будет рабочим. Математические свойства направленных ответвителей описываются с помощью S-матриц (матриц рассеяния).

Различают:

- Волноводные НО
- Волноводно-коаксиальные НО
- Волноводно-полосковые НО
- Коаксиальные НО
- Полосковые НО
- Шлейфные НО
- НО на сосредоточенных элементах
- Оптические (волоконно-оптические) направленные ответвители



2. Назначение и задачи антенн.

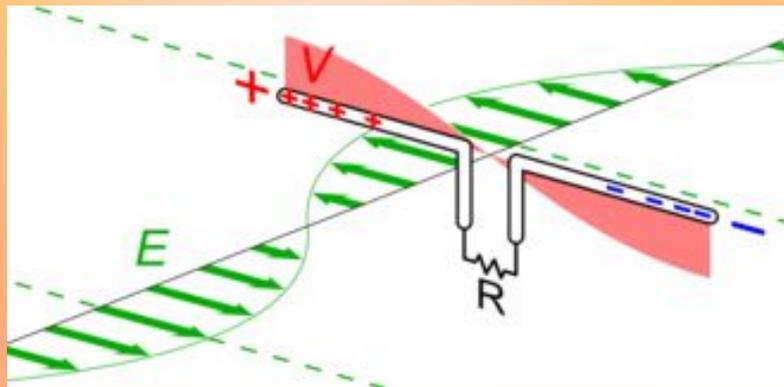
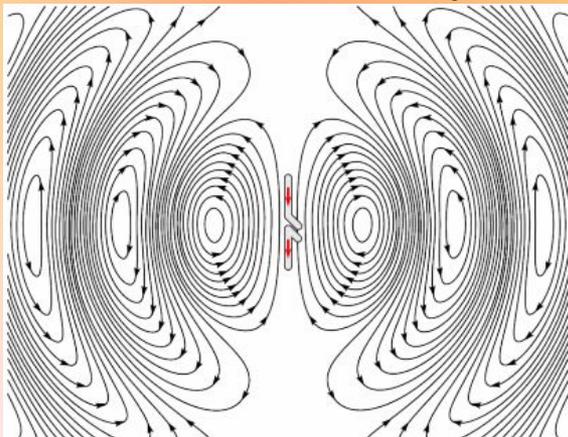
Антенна — устройство, предназначенное для излучения или приёма радиоволн (для формирования и приема электромагнитных сигналов).

Антенны в зависимости от назначения подразделяются на приёмные, передающие и приёмопередающие. Антенна в режиме передачи преобразует энергию поступающего от радиопередатчика электромагнитного колебания в распространяющуюся в пространстве электромагнитную волну. Антенна в режиме приёма преобразует энергию падающей на антенну электромагнитной волны в электромагнитное колебание, поступающее в радиоприёмник.

Таким образом, антенна является преобразователем подводимого к ней по фидеру электромагнитного колебания (переменного электрического тока, канализированной в волноводе электромагнитной волны) в электромагнитное излучение и наоборот.

Любая антенна является обратимой и может быть использована как для передачи, так и для приема (свойство дуальности), при этом электрические характеристики антенны остаются неизменными.

Первые антенны были созданы в 1888 году Генрихом Герцем в ходе его экспериментов по доказательству существования электромагнитной волны (Вибратор Герца). Форма, размеры и конструкция созданных впоследствии антенн чрезвычайно разнообразны и зависят от рабочей длины волны и назначения антенны. Нашли широкое применение антенны, выполненные в виде отрезка провода, системы проводников, металлического рупора, металлических и диэлектрических волноводов, волноводов с металлическими стенками с системой прорезанных щелей, а также многие другие типы. Для улучшения направленных свойств первичный излучатель может снабжаться рефлекторами — отражающими зеркалами различной конфигурации и системами зеркал, а также линзами. Излучающая часть антенн, как правило, изготавливается с применением проводящих электрический ток материалов, но может изготавливаться из изоляционных (диэлектрик) материалов, могут применяться полупроводники и метаматериалы.



С точки зрения теории электрических цепей антенна представляет собой двухполюсник (или многополюсник), и мощность источника, выделяемая на активной составляющей полного входного сопротивления антенны, расходуется на создание электромагнитного излучения. В системах автоматического регулирования антенна рассматривается как дискриминатор — датчик угла рассогласования между направлением на источник сигнала или отражатель и ориентацией носителя.

В системах пространственно-временной обработки сигнала антенна (антенная решётка) рассматривается как средство дискретизации электромагнитного поля по пространству. В особый класс принято выделить антенны с обработкой сигнала. В частности, одним из таких устройств являются антенны с виртуальной (синтезированной) апертурой, применяемые в авиационной и космической технике для задач картографирования и увеличения разрешающей способности за счёт использования когерентного накопления и обработки сигнала.

Упрощённо принцип действия антенны состоит в следующем. Как правило, конструкция антенны содержит металлические (токопроводящие) элементы, соединённые электрически (непосредственно или через фидер) с радиопередатчиком или с радиоприёмником. В режиме передачи переменный электрический ток, создаваемый источником, протекающий по токопроводящим элементам такой антенны, в соответствии с законом Ампера порождает в пространстве вокруг себя переменное магнитное поле. Это меняющееся во времени магнитное поле, в свою очередь, не только воздействует на породивший его электрический ток в соответствии с законом Фарадея, но и создаёт вокруг себя меняющееся во времени вихревое электрическое поле. Это переменное электрическое поле создаёт вокруг себя переменное магнитное поле и так далее — возникает взаимосвязанное переменное электромагнитное поле, образующее электромагнитную волну, распространяющуюся от антенны в пространство. Энергия источника электрического тока преобразуется антенной в энергию электромагнитной волны и переносится электромагнитной волной в пространстве. В режиме приёма переменное электромагнитное поле падающей на антенну волны наводит токи на токопроводящих элементах конструкции антенны, которые поступают в нагрузку (фидер, радиоприёмник). Наведённые токи порождают напряжения на входном импедансе приёмника.