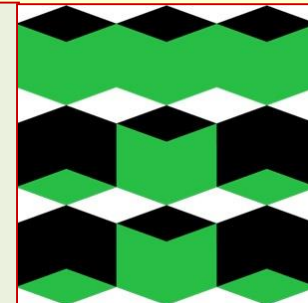




Военный учебный центр при Томском политехническом университете



**Цикл
№2**

**«Боевое применение подразделений,
вооружённых зенитными артиллерийскими
самоходными установками с радиоприборными
комплексами»**

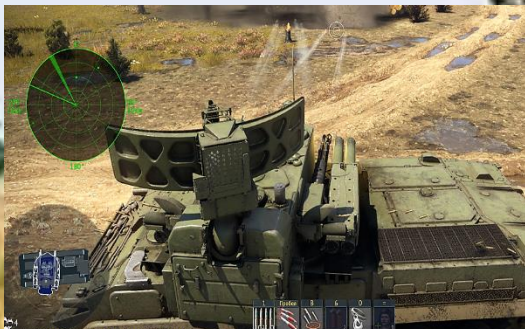


КУРС ЛЕКЦИЙ

**Автор: преподаватель 2 цикла
*подполковник запаса Гаврилов А. А.***



Дисциплина:
«Устройство и эксплуатация ЗСУ»
Раздел 1:
«Основы построения ЗАК»



Тема №2
Основы радиолокации

Контрольные вопросы



Занятие №6
Линии передачи ЭМЭ
и антенны РЛС

Цели занятия:

Изучить:

- устройство линий передачи электромагнитной энергии, антенные устройства.

Актуальность занятия:

Обусловлено:

- необходимостью иметь глубокие и твердые знания по устройству линий передачи электромагнитной энергии, антенных устройств.

ВИД ЗАНЯТИЯ: – ГРУППОВОЕ.

Вопросы занятия:

1. Назначение и типы линий передачи электромагнитной энергии.
2. Антенные устройства.

В.А. Подгорный



ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ
ЗЕНИТНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ
КОМПЛЕКСОВ

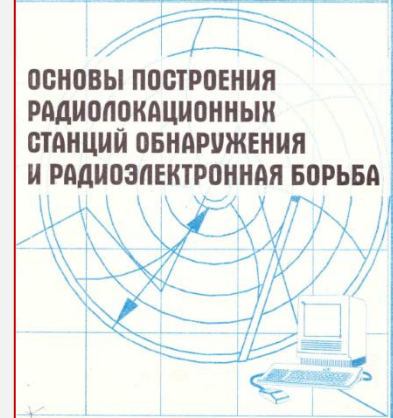


Литература:

1. Учебное пособие
«Основы построения ЗАК»-2013 г.,
стр. 66-77
2. Учебное пособие
«Основы построения РЛС
обнаружения и РЭБ» ТУСУР - 2003
г., стр. 32-44.

И.Л. Богатырёв, В.В. Туханен, А.Н. Покладов

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ
СТАНЦИЙ ОБНАРУЖЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ БОРЬБА



Вопрос 1

Назначение и типы линий передачи электромагнитной энергии (ЭМЭ)

Линии передачи

Линия передачи – это электрическая цепь с помощью которой подводятся антенны к источнику энергии, то есть

Линии передачи

Линии передачи - для передачи электромагнитной энергии от источника к нагрузке. Энергия, то есть

- однопроводные
- двухпроводные
- многопроводные

1. Первичные параметры

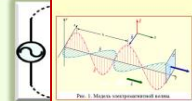
- индуктивность,
 - активное сопротивление
- #### 2. Вторичные параметры
- волновое сопротивление
 - скорость распространения волны
 - коэффициент затухания

Наряду с этими параметрами используется понятие «фидера» проволочной антенны

Длинная линия

1. Основы теории длинных линий

Типы Линий передачи



Длина волны превышает длину элемента цепи. Пример: длина волны в свободном пространстве (λ = 6 см).

Длинная линия передается, например, в приемнике, в

Типы линий (по конструкции).

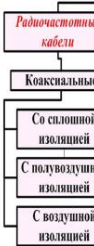
1. Воздушная (открытая) линия

2. Изолированная линия

3. Экранированная линия (двухпроводной кабель)

4. Коаксиальная линия

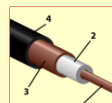
5. Волноводы



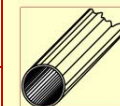
Состоит из 2-х проводов. Расстояние между ними составляет 5-30 см.

Отличие от изолированной - провода окружены механическими повреждениями. Так как провод находится в воздухе, то по мощности, чем при изолированной.

Отличие от экранированной - наличие экрана. Экран полностью экранирует электромагнитные поля. Для прокладки экранированной ЭЛ можно прокладывать свинцовую оболочку.

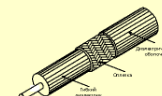
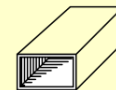


Состоит из: внешнего и внутреннего проводов, расположенных концентрично. Провода изолированы высококачественным диэлектриком (фторопластик).



Преимущества волноводов:

- отсутствие внутреннего провода и поддерживающих его изоляторов, поэтому меньшие диэлектрические и активные потери энергии;
- при одинаковых геометрических размерах с коаксиальным фидером волновод позволяет передавать энергию большей мощности без опасности пробоя, так как у него линия пробоя длиннее, чем у фидера;
- полная экранировка передаваемой по нему электромагнитной энергии, что исключает потери ее на излучение и воздействие на нее внешних полей.



Недостатки волноводов:

- невозможность передачи энергии волн любой длины.
- внутри волновода могут распространяться волны короче некоторой предельной (критической) волны.
- длина предельной волны связана с размерами поперечного сечения волновода и типом волны; для простейших типов волн тем больше должно быть поперечное сечение волновода для ее передачи.

Линии передачи

Линия передачи – это электрическая цепь с помощью которой энергия радиочастотного сигнала подводится от радиопередатчика к антенне или от антенны к радиоприемнику



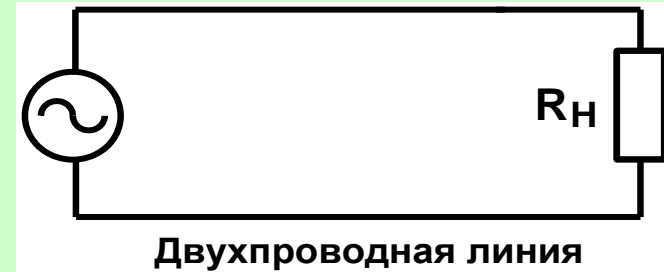
Наряду с понятием «линия передачи» в радиотехнике широко используется слово английского происхождения – «фидер». Слово «фидер» происходит от английского глагола «to feed» (питать).

Линии передачи

Линии передачи - для передачи электромагнитной энергии от источника к нагрузке с минимумом потерь и отсутствием излучения энергии, то есть отсутствием антенного эффекта.

Типы линий:

- однопроводные;
- двухпроводные (наиболее применяемые);
- многопроводные.



Параметры линий

1. Первичные параметры:

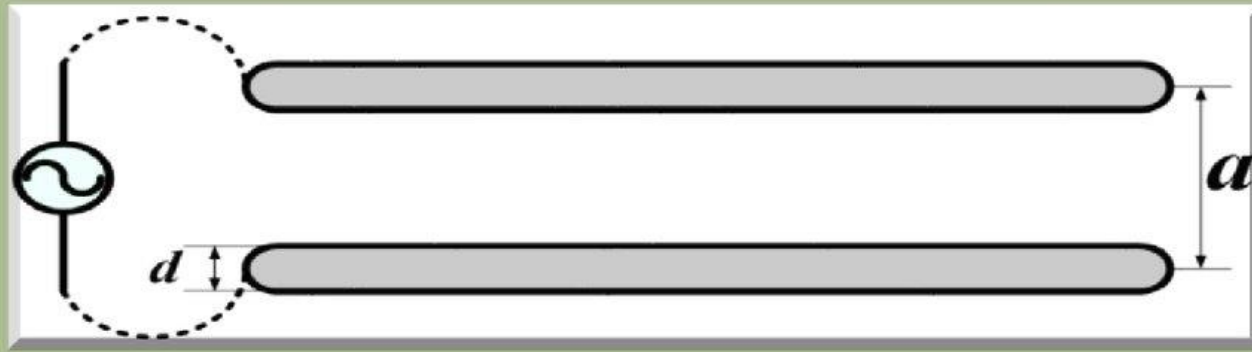
- индуктивность, **L**; ёмкость, **C**;
- активное сопротивление, **R**;
- активная проводимость (утечка), **G**.

2. Вторичные параметры:

- волновое сопротивление, **ρ** ;
- скорость распространения электромагнитной энергии, **C**;
- коэффициент затухания.

Длинная линия

1. Основы теории длинных линий.



Длинными линиями называют такие линии передач у которых длина соизмерима с длиной волны колебаний, передаваемых по ней или превышает эту длину. $l/\lambda > 0,05$

Пример 1. Линия протяженностью $l=1$ км не может быть названа длинной, если частота $f=50$ Гц ($\lambda=cT=6000$ км).

Пример 2. Отрезок протяженностью $l = 1$ см при $f = 5 \cdot 10^9$ Гц ($\lambda = 6$ см), является длинной линией.

Длинная линия, соединяющая антенну с передатчиком или приемником, называется *фидер*.

Типы Линий передачи

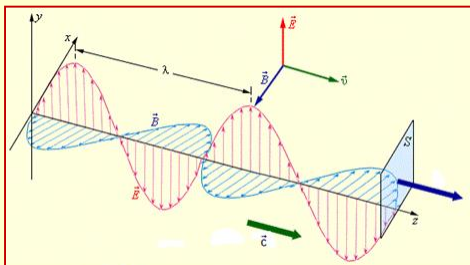
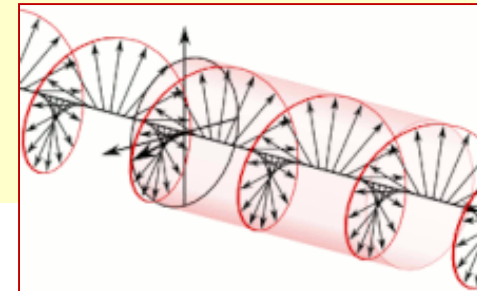
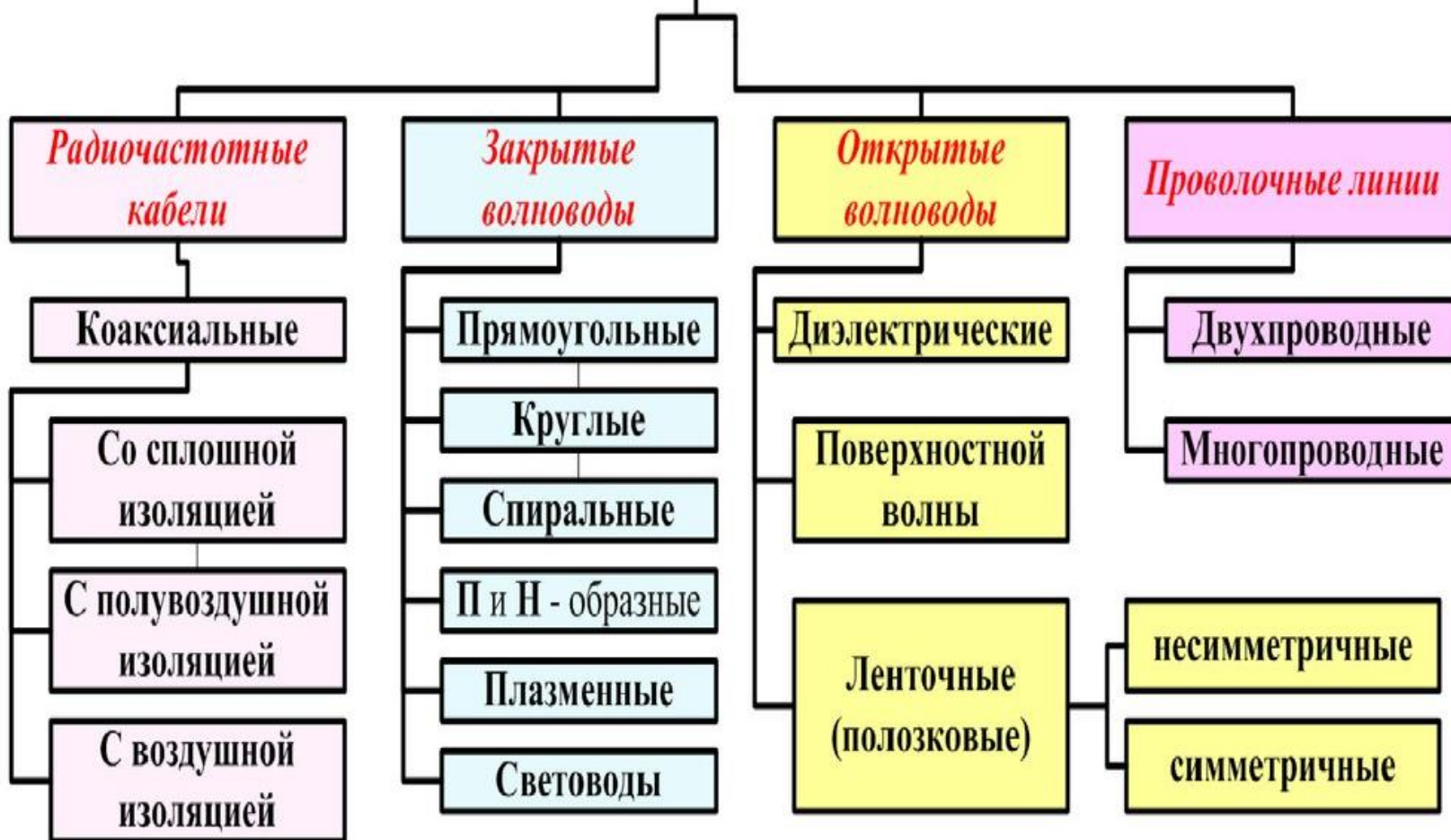


Рис. 1. Модель электромагнитной волны.

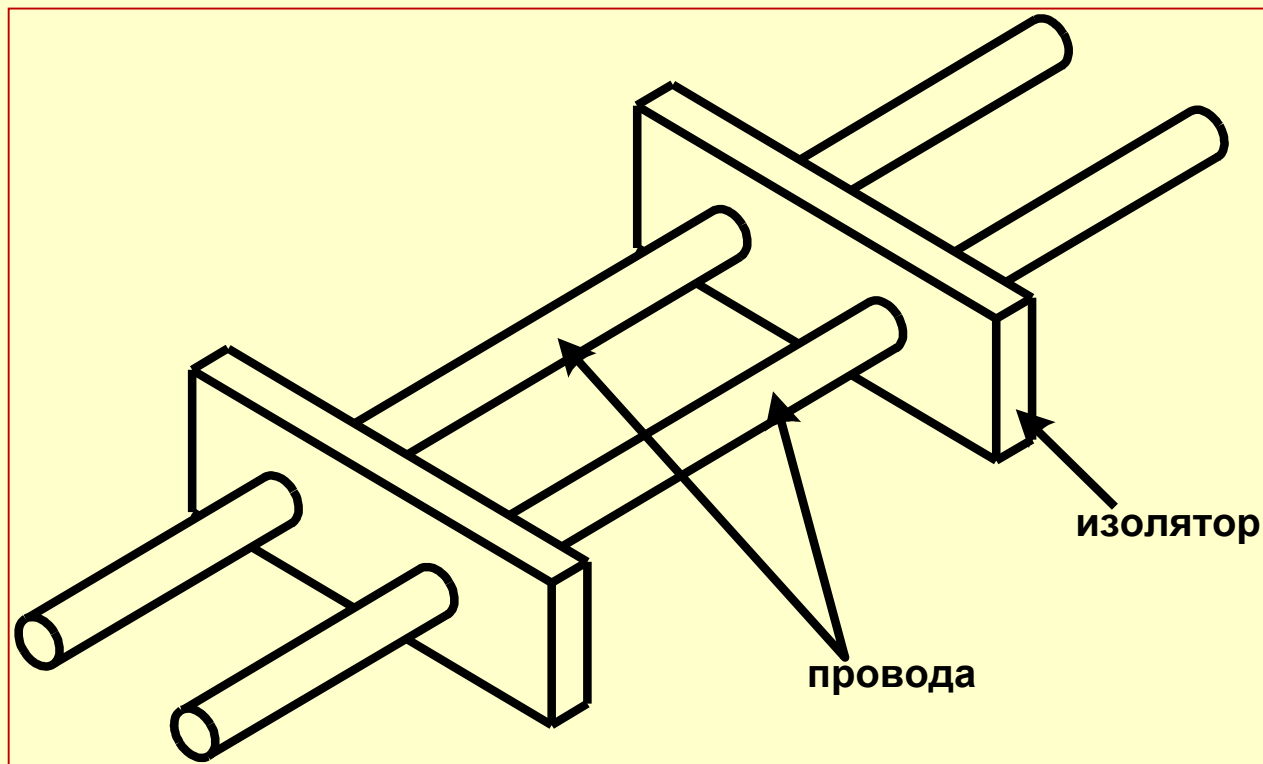


Радиочастотные линии передач



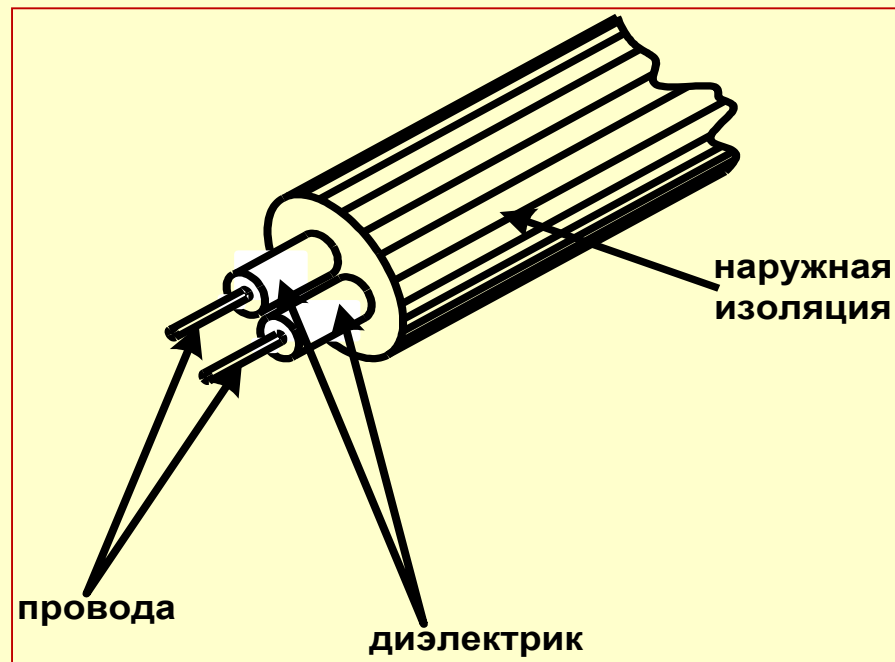
Типы линий (по конструкции).

1. Воздушная (открытая) линия



Состоит из 2-х параллельных прямых проводов диаметров 1-6 мм. Расстояние между проводами менее четверти волны, обычно оно составляет 5-30 см и поддерживается с помощью изоляторов.

2. Изолированная линия



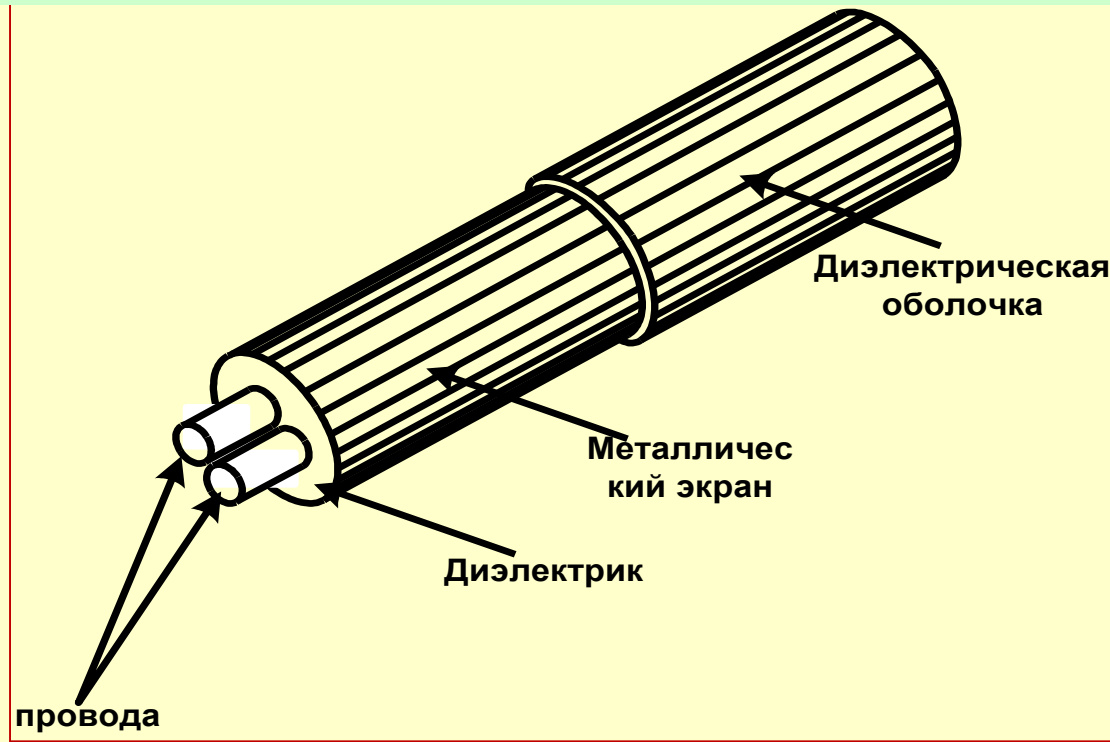
Отличие от воздушной:

- провода окружены ВЧ диэлектриком, защищенным от механических повреждений наружной изоляцией (резиной).

Так как пробивное напряжение диэлектрика больше чем воздуха, то по ***изолированной линии*** можно подать большую мощность, чем по воздушной линии тех же размеров.

Изолированная линия более удобна при монтаже.

3. Экранированная линия (двухпроводной кабель)



Отличие от изолированной:

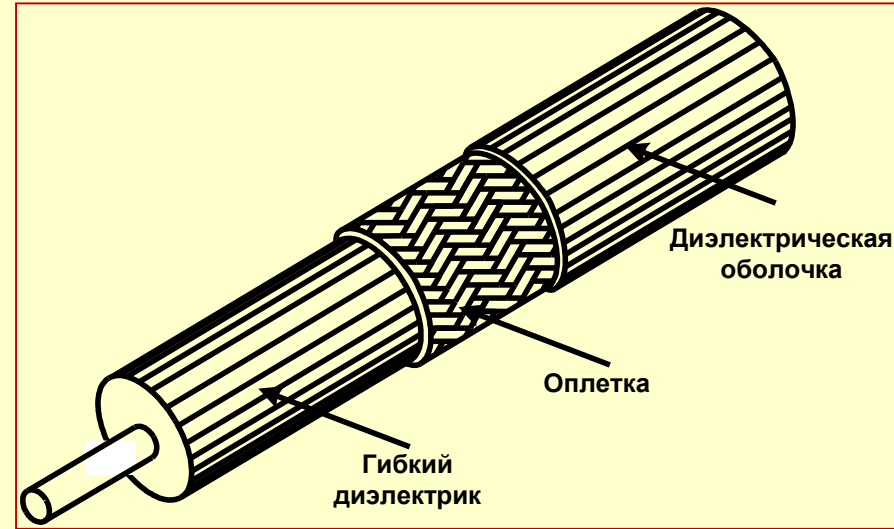
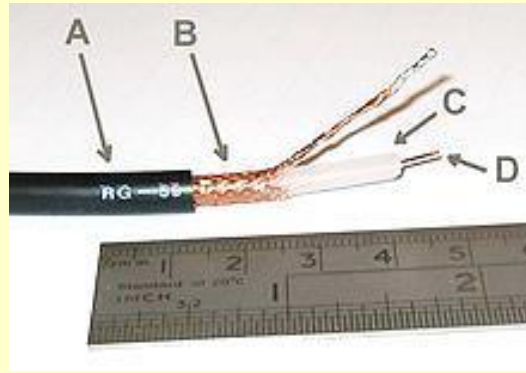
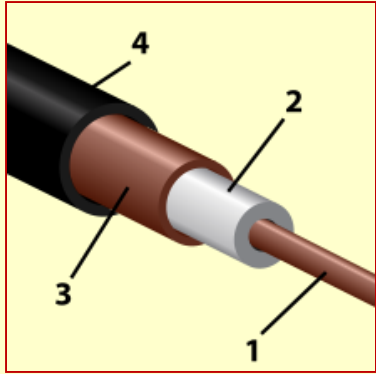
- наличие экрана - медной гибкой оплетки (свинцовой оболочки).

Экран полностью устраняет антенный эффект и влияние внешних электромагнитных полей.

Для прокладки **экранированной линии** не требуется изолятора.

ЭЛ можно прокладывать в земле, в воде (если экраном служит свинцовая оболочка).

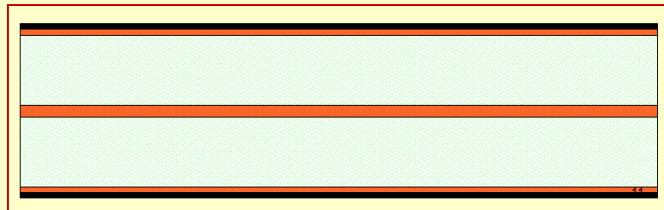
4. Коаксиальная линия



Состоит из: внешнего и внутреннего проводов (*медный одножильный*), расположенных **коаксиально** (*концентрически, соосно*).

Внешний провод - представляет медную оплетку, защищенную от механических повреждений наружной виниловой оболочкой.

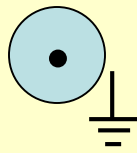
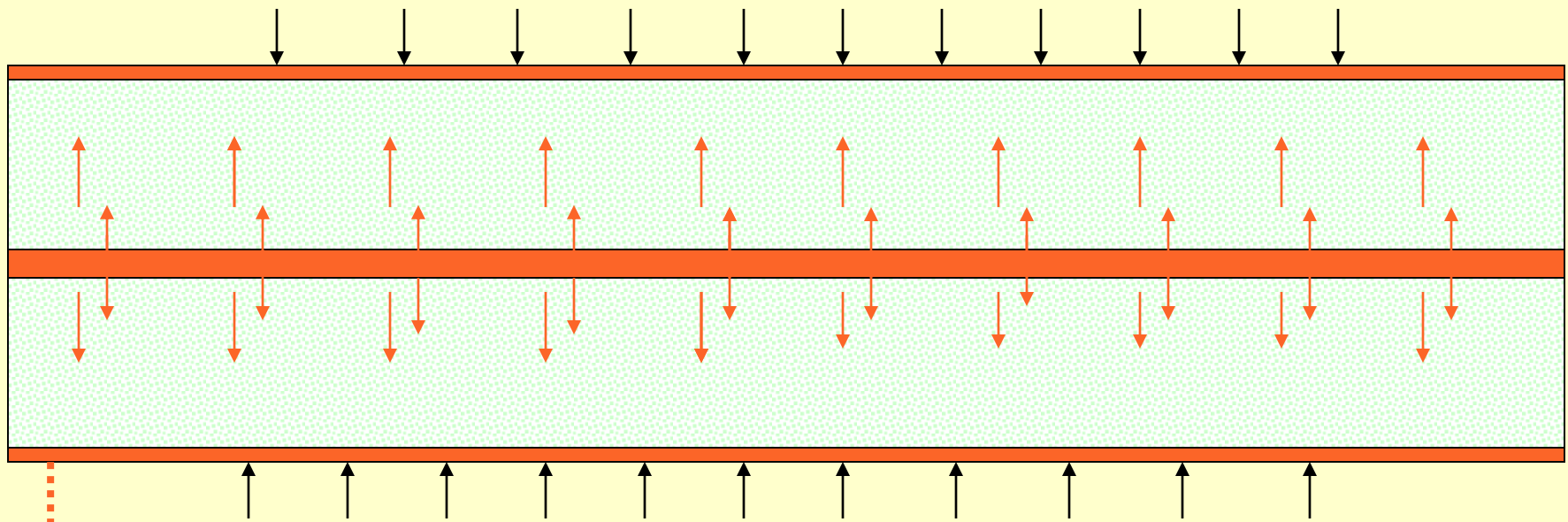
Провода изолированы один от другого колпачками из высококачественного диэлектрика или сплошным эластичным диэлектриком (*фторопластом или полиэтиленом*).



Гибкие коаксиальные фидеры

Электромагнитное поле **КФ** заключено между наружной поверхностью внутреннего провода и внутренней поверхностью внешнего провода. Так как внешний провод **КФ**, обычно, заземлен, то электромагнитное поле создается только токами и зарядами внутреннего провода, а внешний провод выполняет роль экрана.

Следовательно, потери энергии на излучение отсутствуют, а само поле внутри фидера защищено от влияния внешних полей.



применяются в радиотехнической аппаратуре, работающей на волнах участка метрового диапазона ($l = 1 - 3$ м).

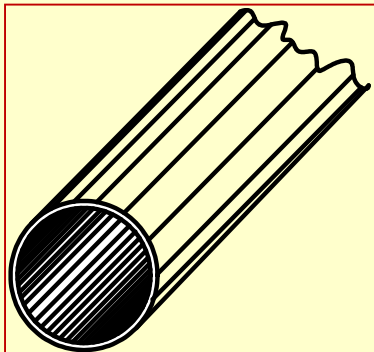
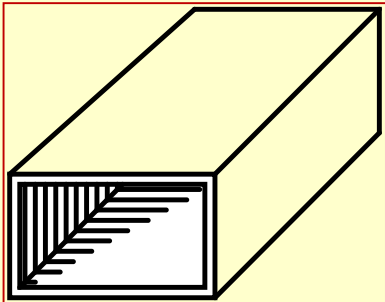
5. Волноводы

Волноводы - полые металлические трубки, способные передавать СВЧ электромагнитную энергию.

Волноводы применяются в качестве *линий передач* радиотехнической аппаратуры, работающей в сантиметровом диапазоне волн ($f \approx 3000$ МГц).

По своей конструкции волноводы бывают двух типов:

- прямоугольные и круглые.



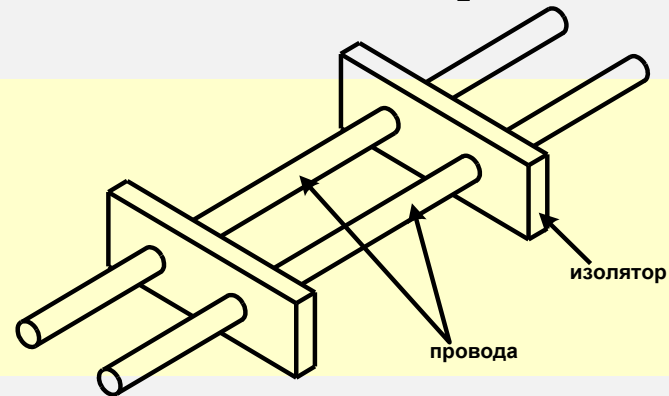
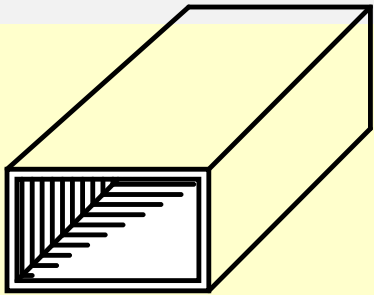
5. Волноводы

Переход от *двухпроводной открытой линии* к *прямоугольному волноводу* и возможность передачи по нему электромагнитной энергии объясняется следующим образом.

В *двухпроводной открытой линии*, нагруженной на сопротивление $R_H = r$ и питаемой генератором ВЧ тока, существует **режим бегущих волн**.

Энергия передается вдоль линии от генератора к нагрузке и полностью поглощается последней.

Если в этой линии с двух сторон подключить короткозамкнутые металлические отрезки, длина которых составляет $\lambda/4$, то свойства линии от этого не изменятся, так как входное сопротивление этих отрезков бесконечно большое.

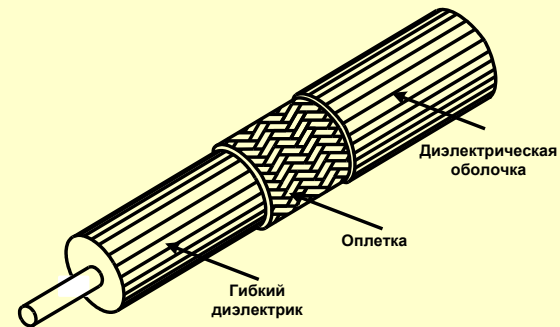
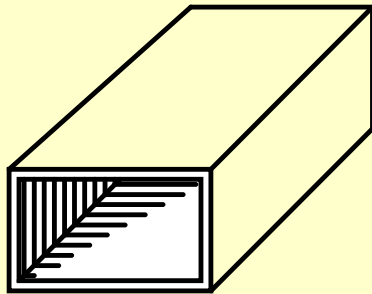


В линии по-прежнему будет существовать режим бегущих волн.

Если к линии подключить бесконечно большое число таких отрезков, плотно прилегающих друг к другу, то образуется прямоугольный волновод, по которому энергия по-прежнему будет передаваться от генератора к нагрузке.

Преимущества волноводов:

- отсутствие внутреннего провода и поддерживающих его изоляторов, поэтому *меньшие диэлектрические и активные потери энергии*;
- при одинаковых геометрических размерах с коаксиальным фидером волновод позволяет передавать энергию большей мощности без опасности пробоя, так как у него *линия пробоя длиннее, чем у фидера*;
- полная экранировка передаваемой по нему электромагнитной энергии, что *исключает потери ее на излучение и воздействие на нее внешних полей*.



Недостатки волноводов:

- **невозможность передачи энергии волн любой длины.**
- *внутри волновода могут распространяться волны короче некоторой предельной (критической) волны.*
- *длина предельной волны связана с размерами поперечного сечения волновода и типом волны; для простейших типов волн тем больше должно быть поперечное сечение волновода для ее передачи.*



Вопрос 2

Антенные устройства

Антенное устройство

Антенное устройство - система проводников, служащих для ориентированной передачи и приема электромагнитных волн.

Антенна - элемент непосредственно взаимодействующий с электромагнитными волнами.

Классификация антенн

По назначению

- передающие
- приемные
- приемно-передающие

Типы антенн (по конструкции)

Геометрические формы антенны весьма разнообразны, но наиболее часто встречаются следующие типы антенн:



полуволновые вибраторы



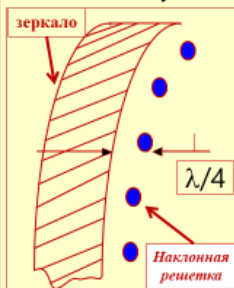
Параболические антенны

Параболическая антенна

Устройство

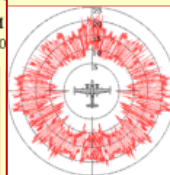
двухзеркальной поляризованной антенны

1. Рефлектор . Наклонная проволока. Она расположена на расстоянии $\lambda/4$ от зеркала.



2. Контррефлектор из параллельных металлических...

Основные характеристики антенн



Пример диаграммы моноэлектронной ЭПР (А-26 Инвэйлдер)

Эффективная площадь рассеяния (ЭПР, англ. *radar cross-section, RCS*; в некоторых источниках — эффективная поверхность рассеяния, эффективный поперечник рассеяния, эффективная отражающая площадь, ЭОП) в радиолокации — площадь некоторой фиктивной плоской поверхности, расположенной нормально к направлению падающей плоской волны и являющейся идеальным и изотропным переизлучателем, которая, будучи помещена в точку расположения цели, создаёт в месте расположения антенны радиолокационной станции ту же плотность потока мощности, что и реальная цель.

Эффективная площадь рассеяния (для гармонического зондирующего радиосигнала) — отношение мощности радионизлучения эквивалентного изотропного источника (создающего в точке наблюдения такую же плотность потока мощности радионизлучения, что и облучаемый рассеиватель) к плотности потока мощности (Вт/м²) зондирующего радионизлучения в точке расположения рассеивателя.

ЭПР имеет размерность площади и обычно указывается в м² или дБ/кв.м. ЭПР имеет размерность площади [м²], но не является геометрической площадью(!), а является энергетической характеристикой, то есть определяет величину мощности принимаемого сигнала.

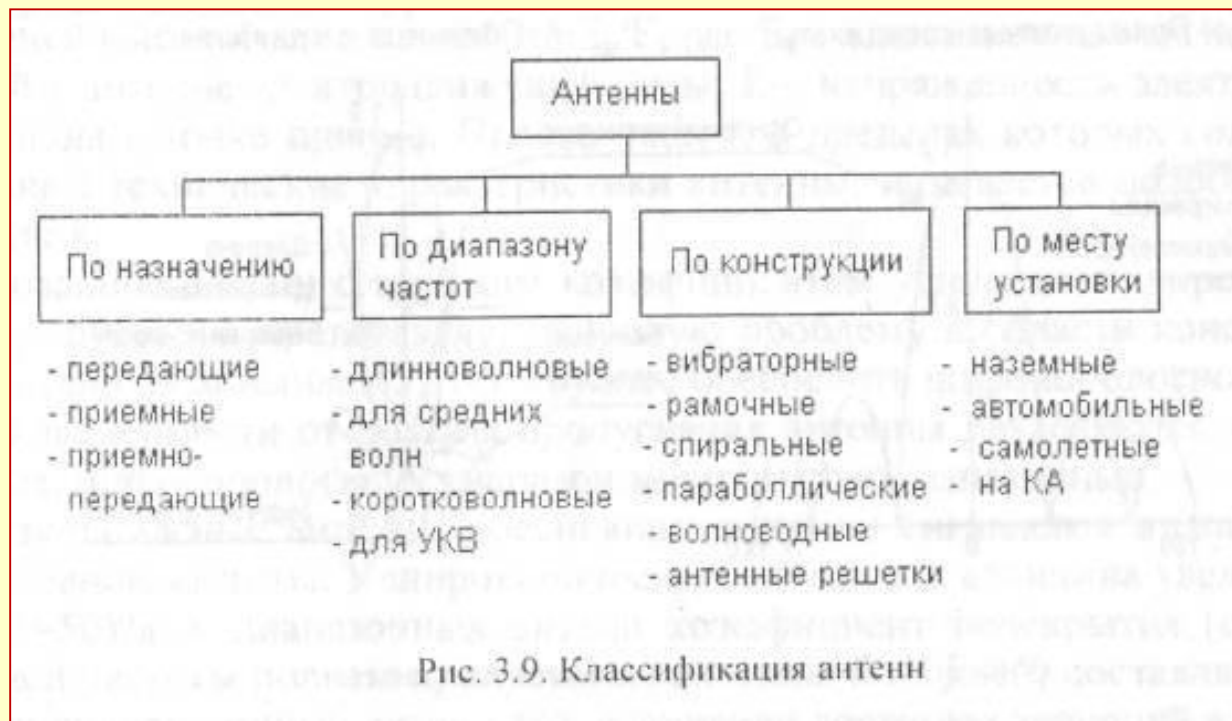


Антенное устройство

Антенное устройство - система проводников, служащих для получения ЭМЭ и ориентированных в пространстве.

Антенна - электрическая часть антенного устройства, непосредственно излучающая ЭМЭ.

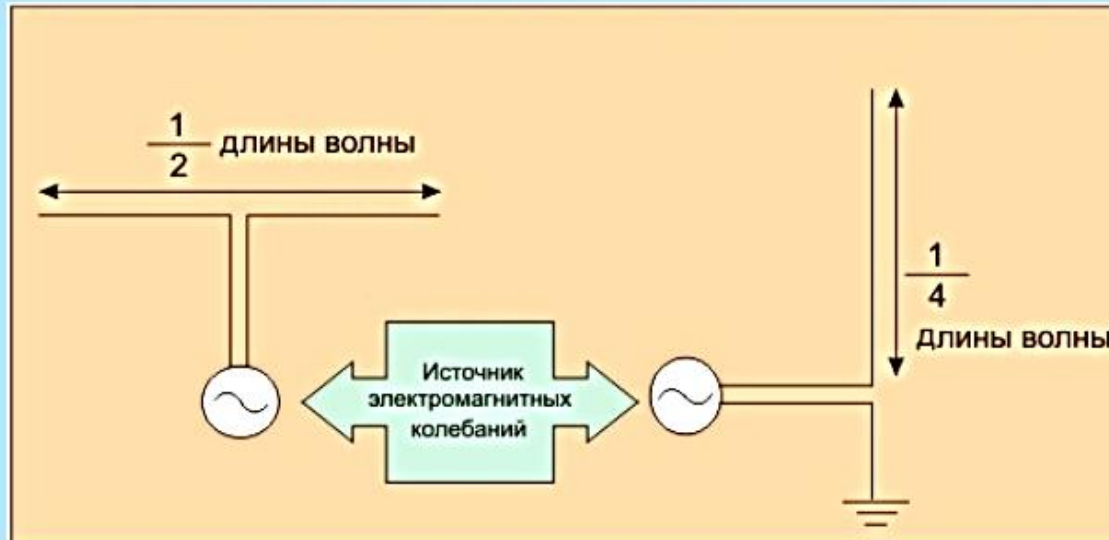
Классификация антенн



Антенное устройство

Полуволновой вибратор.

Простейшая антенна - полуволновой вибратор, состоит из двух отрезков провода, направленных в противоположные стороны, в одной плоскости.



Общая длина их составляет половину длины волны, а длина отдельного отрезка - четверть. Если один из концов вибратора направлен вертикально, вместо второго может использоваться земля, или даже - общий проводник схемы передатчика.

Например, если длина вертикальной антенны составляет - 1 метр, то для радиоволны длиной 4 метра (диапазон УКВ) она будет представлять наибольшее сопротивление. Соответственно, эффективность такой антенны будет максимальной - именно для радиоволн этой длины, как при приеме, так и при передаче.

Говоря по правде, в диапазоне УКВ, наиболее уверенный прием должен наблюдаться, при горизонтальном расположении антенны. Это связано с тем, что передача в этом диапазоне с частотной модуляцией на самом деле, выполняется чаще всего, с помощью горизонтально расположенных полуволновых вибраторов. Поэтому, именно - полуволновой вибратор(а не четвертьволновой) будет являться более эффективной приемной антенной.

Виды антенн

направленного действия ↔ ненаправленного действия

Антеннами направленного действия называются такие антенны, которые излучают электромагнитную энергию преимущественно в одном направлении.

Направленные антенны - применяются при магистральных связях, для связи между двумя корреспондентами и во всех РЛС.

Достоинством НА являются:

- рациональное использование излучаемой энергии,
- в целях облучения заданного пространства;
- уменьшения действия помех;
- отсутствие побочного бесполезного облучения;
- возможность определения угловых координат цели.

Недостатком таких антенн является малый угол зрения.

Антенна ненаправленного действия

Антеннами ненаправленного действия называются такие антенны, которые излучают электромагнитную энергию во всех направлениях.

НА применяются только при коротких, и ультракоротких волнах. Антенны ненаправленного действия применяются для волн всех диапазонов.

В зависимости от полосы частот излучаемой энергии различают:

- антенны настроенные;
- антенны диапазонные.

***Настроенные антенны** пропускают только строго определенную частоту колебаний излучаемой энергии, т.е. могут работать на определенной длине волны. В процессе работ переход с одной волны на другую невозможен.*

К настроенным антеннам принадлежат все антенны РЛС.

***Диапазонные антенны** позволяют изменить пропускаемую частоту в некоторых пределах при сохранении излучающих свойств и направленности.*

Типы антенн (по конструкции)

Геометрические формы антенны весьма разнообразны, но наиболее часто встречаются следующие типы антенн:



полуволновые
вибраторы



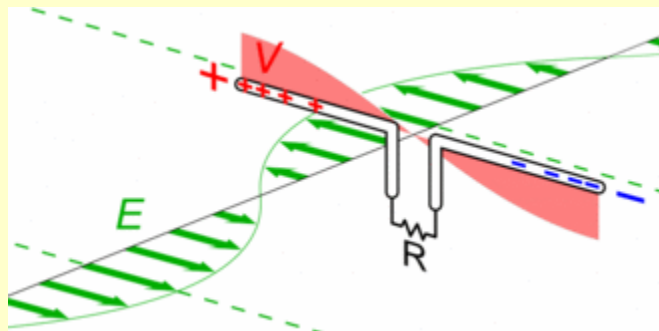
директорные антенны



щелевые антенны



Параболические
антенны

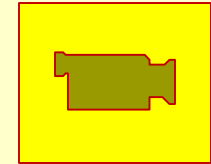
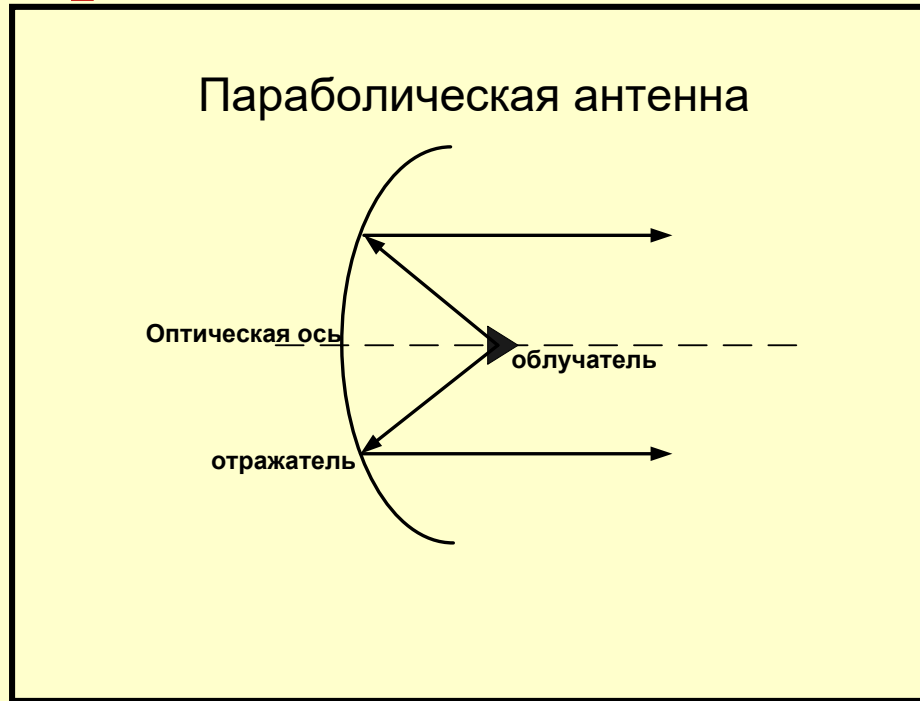


Симметричный
вибратор



рупорные антенны

Параболическая антенна



см. Спутниковая антенна

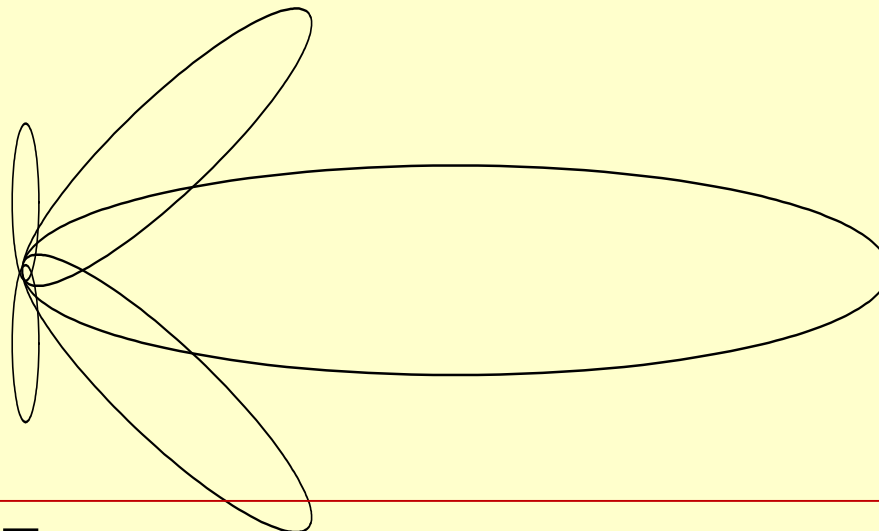


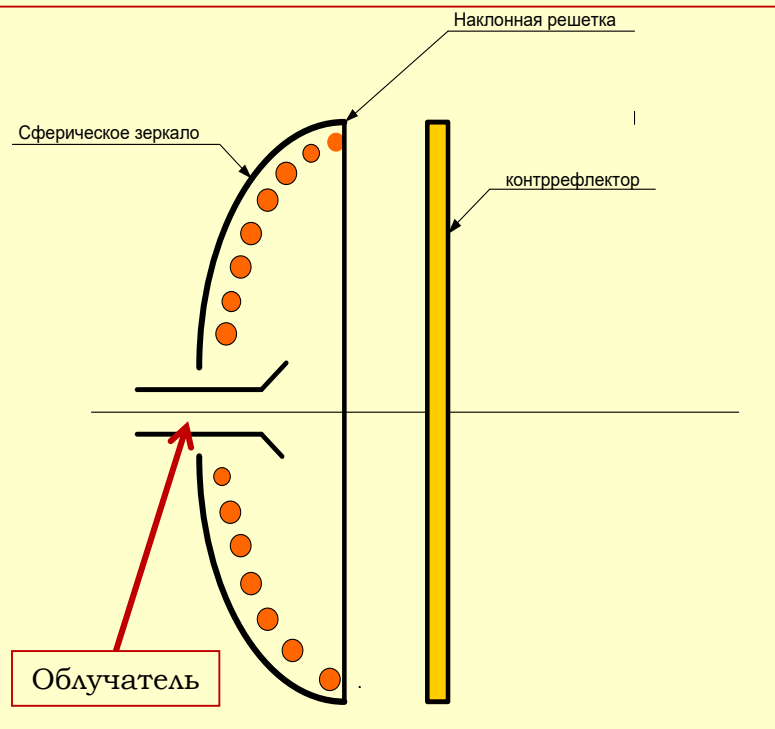
Диаграмма направленности

Двухзеркальная поляризованная антенна

Двухзеркальная поляризованная антенна предназначена:

- для излучения ЭМЭ в пространство узким лучом;
- для приема ЭМЭ, отраженной от цели, находящейся в пределах этого луча.

Антенна представляет собой двухзеркальную решетчатую систему с поворотом плоскости поляризации.



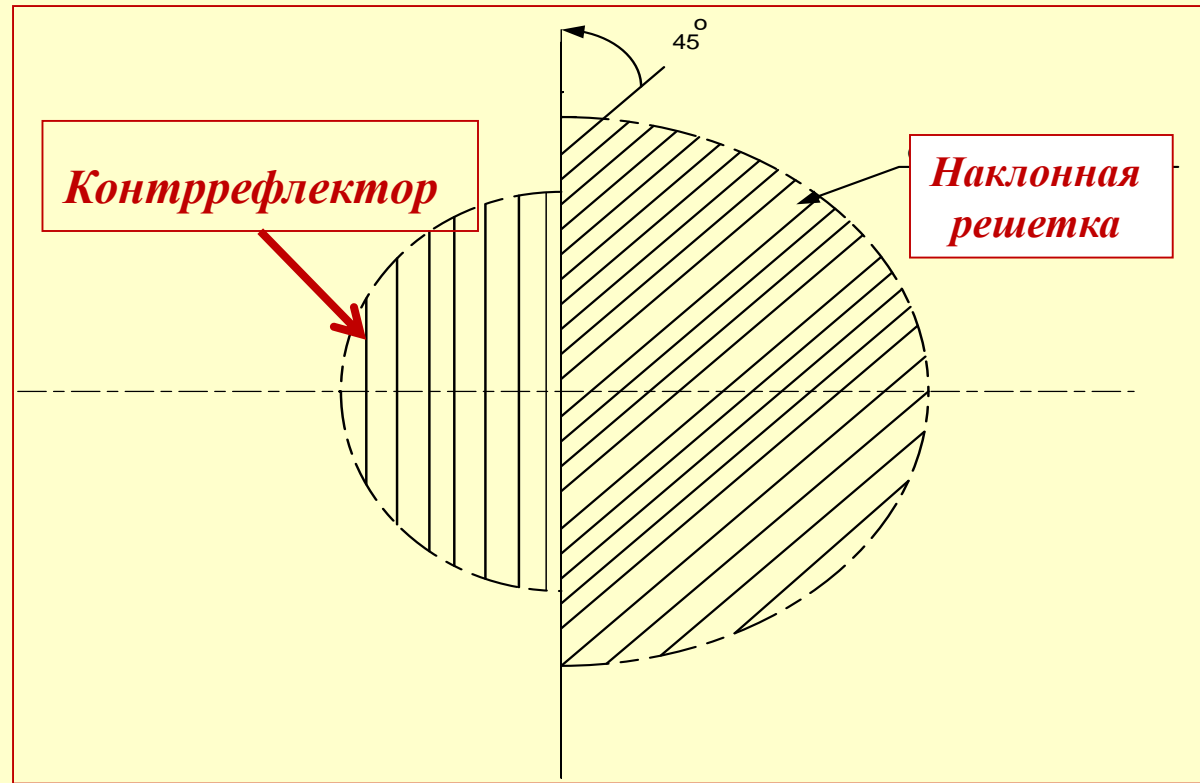
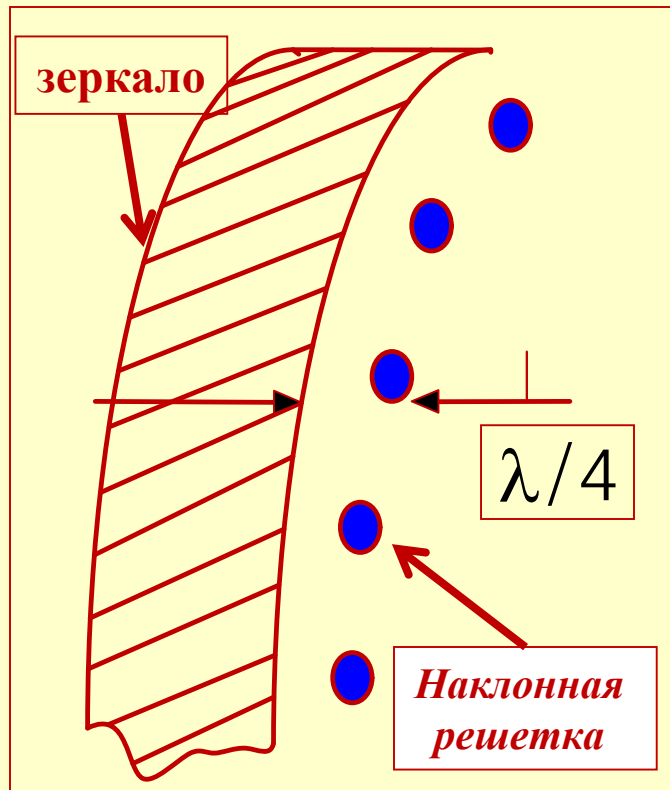
Состав:

1. **Рефлектор** (*сферическое зеркало и наклонная решетка*).
2. **Контррефлектор** (*поляризационный фильтр*).
3. **Облучатель**.

Двухзеркальная поляризованная антенна

1. Рефлектор.

- *наклонная решетка* составлена из параллельных проволок,
- расположена над поверхностью *сферического зеркала* на расстоянии $\lambda/4$,
- проволока решетки расположена под углом 45° к вертикальной оси зеркала.



2. Контррефлектор.

- плоская решетка из параллельных металлических проволок.

Принцип работы ДП антенны

1. **Излученные** облучателем линейно-поляризованные электромагнитные волны отражаются от поляризационного фильтра и попадают на рефлектор.

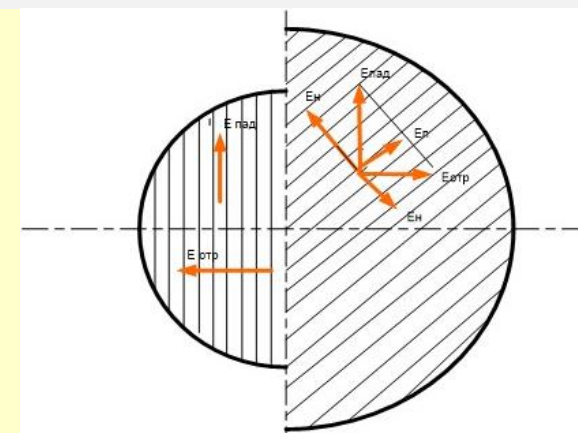
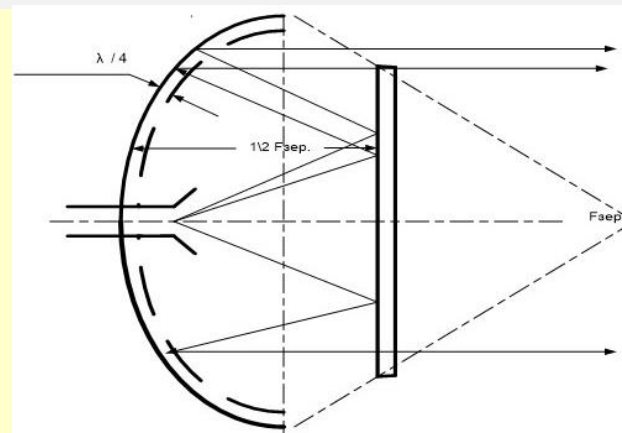
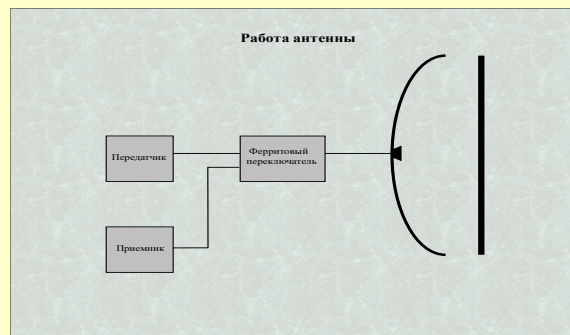
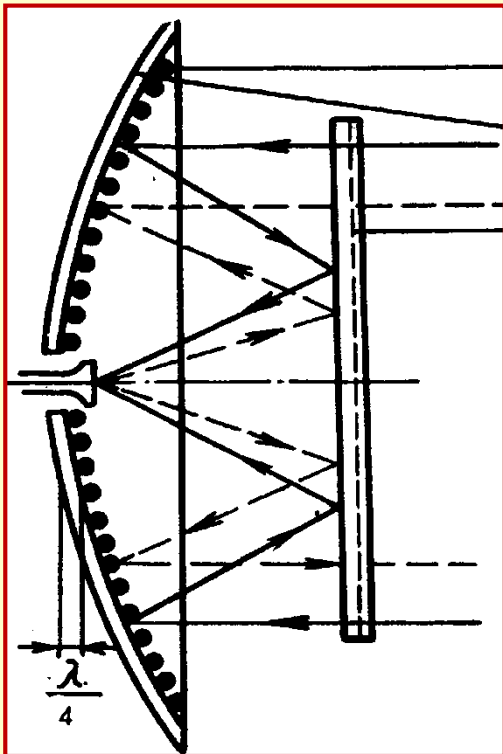
При отражении от рефлектора, за счет действия наклонной решетки, плоскость поляризации поворачивается на 90° относительно поляризации облучателя и отраженные волны беспрепятственно проходят сквозь поляризационный фильтр

2. **Отраженные** от цели ЭМВ принимаются антенной.

ЭМВ проходят через контррефлектор, отражаются от рефлектора, за счет действия наклонной решетки, плоскость их поляризации поворачивается на 90° .

Затем отражаются от контррефлектора и поступают в облучатель.

По волноводному тракту передаются в ПРМС.



Основные характеристики антенн.

Характеристики антенн [править | править вики-текст]

Электромагнитное излучение, создаваемое антенной, обладает свойствами направленности и поляризации. Антенна как двухполюсник обладает входным сопротивлением (импедансом). Лишь часть энергии источника антенна преобразует в электромагнитную волну, остальная расходуется в виде тепловых потерь. Для количественной оценки перечисленных и ряда других свойств антенна описывается набором радиотехнических и конструктивных характеристик и параметров, в частности:

- Полевые характеристики
 - характеристика направленности^[5]
 - диаграмма направленности (ДН), её тип^[6] и возможность управления^[7]
 - ширина ДН по заданному уровню
 - уровень боковых лепестков (УБЛ), коэффициент рассеяния
 - фазовая диаграмма, местоположение фазового центра и частотная стабильность его координат
 - тип поляризации, поляризационная диаграмма, максимальное значение уровня излучения на кроссполяризации в заданном направлении, число поляризационных каналов и межполяризационная развязка (переходное затухание)
 - коэффициент направленного действия (КНД)
 - коэффициент усиления (КУ)
 - коэффициент использования поверхности (КИП) апертуры антенны
 - эффективная площадь рассеяния (ЭПР) антенны^[8]
- Характеристики со стороны линии питания
 - тип линии передачи, номинальное входное сопротивление антенны
 - резонансная частота, рабочая полоса частот (по качеству согласования)
 - входной импеданс антенны и коэффициент стоячей волны (КСВ) в линии передачи
 - максимальная допустимая мощность на входе антенны (средняя, импульсная)
- Передаточные характеристики
 - коэффициент полезного действия (КПД)
 - действующая высота^[9]
 - векторная импульсная характеристика^[10], векторная передаточная характеристика^[11]
- шумовая температура антенны
- эффективная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ)^[12] (характеристика системы антенна + радиопередатчик)
- Конструктивные характеристики
 - масса, координаты центра масс, момент инерции
 - габаритные размеры, максимальный радиус разворота
 - тип радиочастотного соединителя или присоединительные размеры
 - парусность (ветровая нагрузка)
 - объект установки, способ крепления
 - применённые материалы
 - устойчивость к внешним воздействиям (климатическим, механическим и др.)

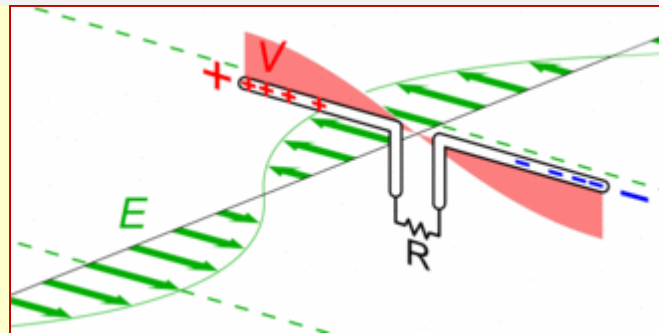
Основные характеристики антенн

Диаграмма направленности (антенны) — графическое представление зависимости коэффициента усиления антенны или коэффициента направленного действия антенны от направления антенны в заданной плоскости.

Коэффициент направленного действия (КНД) антенны — отношение квадрата напряженности поля, создаваемого антенной в данном направлении, к среднему значению квадрата напряженности поля по всем направлениям^[1].

КНД является безразмерной величиной, может выражаться в децибелах (дБ).

Обозначение: D (от англ. *Directivity*).



Основные характеристики антенн

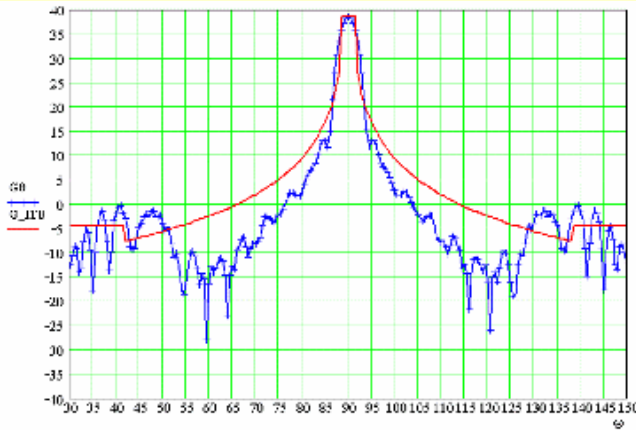


Рис. 1 — Коэффициент усиления сферической зеркальной антенны с одним спиральным облучателем

Коэффициент усиления (КУ) антенны (обозн. лат. **G** от англ. *Gain*). — отношение мощности на входе эталонной антенны к мощности, подводимой ко входу рассматриваемой антенны, при условии, что обе антенны создают в данном направлении на одинаковом расстоянии равные значения напряженности поля или такой же плотности потока мощности.

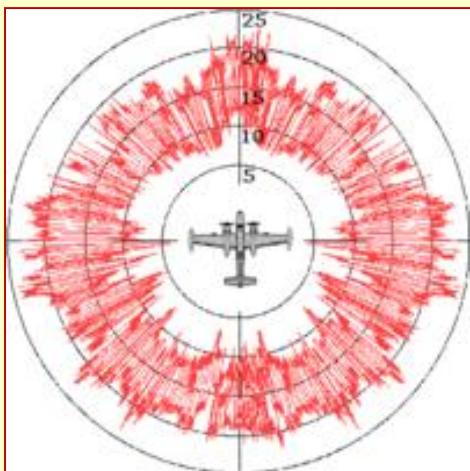
КУ является безразмерной величиной, может выражаться в децибелах (дБ).

Коэффициент усиления антенны представляет собой отношение мощности, подводимой к идеальной ненаправленной антенне, к мощности, подводимой к направленной антенне, при условии равенства полей в точке наблюдения в дальней зоне в данном направлении. Сравнивая это определение со вторым определением КНД, можно заметить, что отличие заключается лишь в используемых мощностях. Так как подводимая к антенне мощность $P_{вх}$ и мощность излучения P_{Σ} связаны через КПД согласно (9.20), то коэффициент усиления (K_y) в направлении главного максимума определяется выражением

$$\blacksquare \quad G = \eta D. \quad (9.21)$$

Параметры G, η, D обычно называют основными параметрами антенны. Для антенн СВЧ благодаря высокому КПД КУ и КНД отличаются незначительно и иногда эти понятия не различаются.

Основные характеристики антенн



Пример диаграммы
моностатической ЭПР
(A-26 Инвэйдер)

Эффективная площадь рассеяния (ЭПР; [англ. radar cross-section, RCS](#); в некоторых источниках — эффективная поверхность рассеяния, эффективный поперечник рассеяния, эффективная отражающая площадь, ЭОП) в [радиолокации](#) — площадь некоторой фиктивной плоской поверхности, расположенной нормально к направлению падающей [плоской волны](#) и являющейся идеальным и изотропным переизлучателем, которая, будучи помещена в точку расположения цели, создаёт в месте расположения [антенны радиолокационной станции](#) ту же [плотность потока мощности](#), что и реальная цель.

Эффективная площадь рассеяния (для гармонического зондирующего радиосигнала) — отношение мощности радиоизлучения эквивалентного изотропного источника (создающего в точке наблюдения такую же плотность потока мощности радиоизлучения, что и облучаемый рассеиватель) к плотности потока мощности (Вт/м²) зондирующего радиоизлучения в точке расположения рассеивателя.

ЭПР имеет размерность площади и обычно указывается в м² или дБ/кв.м. ЭПР имеет размерность площади [м²], но не является геометрической площадью(!), а является энергетической характеристикой, то есть определяет величину мощности принимаемого сигнала.



Задание на самоподготовку:

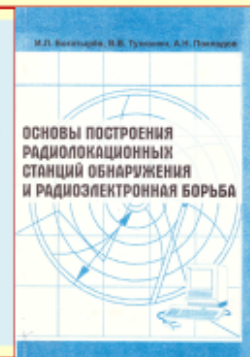
Изучить материал занятия
по конспекту и учебному пособию.

Вопросы занятия:

1. Назначение и типы линий передачи электромагнитной энергии.
2. Антенные устройства.



- Литература:**
1. Учебное пособие
«Основы построения ЗАК»-2013 г.,
стр. 66-77
 2. Учебное пособие
«Основы построения РАС
обнаружения и РЭБ» ТУСУР - 2003
г., стр. 32-44.



Конец занятия

Контрольные вопросы

1. Сущность и виды радиолокации.
2. Радиоволны и их основные свойства, применяемые в РЛ.
3. Импульсная РЛС.
4. Основные технические характеристики импульсного радиолокатора.
5. Эффективная отражающая поверхность (ЭОП) цели.
6. Виды электрических импульсов и их параметры.
7. Дифференцирующие цепи.
8. Интегрирующие цепи.
9. Импульсный метод определения дальности.
10. Методы определения угловых координат. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства).

1. Двухэлектродная лампа.
2. Трехэлектродная лампа, многоэлектродные лампы.
3. Усилитель низкой (звуковой) частоты.
4. Усилители высокой частоты и промежуточной частоты.
5. Назначение, состав и работа мультивибратора.
6. Назначение, состав и работа блокинг-генератора.
7. Ограничители импульсов.
8. Тиратрон.

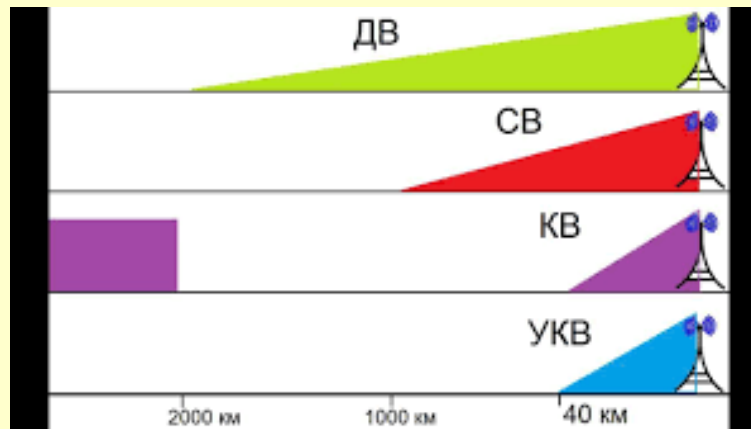
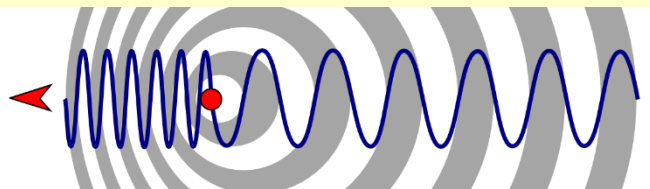
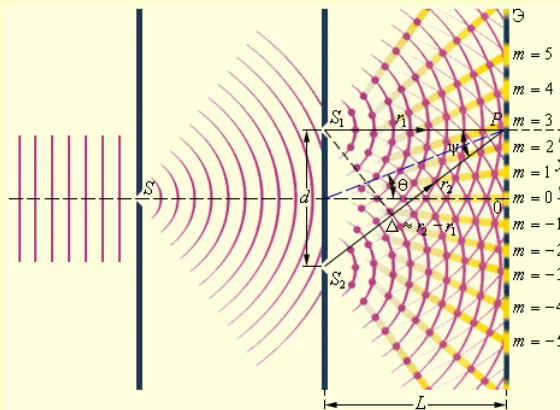


Дополнительные материалы

Волновод



<https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Waveguide-flange-with-threaded-collar.jpg>



Дополнительные материалы

■ **Коэффициент усиления антенны** представляет собой отношение мощности, подводимой к идеальной ненаправленной антенне, к мощности, подводимой к направленной антенне, при условии равенства полей в точке наблюдения в дальней зоне в данном направлении. Сравнивая это определение со вторым определением КНД, можно заметить, что отличие заключается лишь в используемых мощностях. Так как подводимая к антенне мощность $P_{вх}$ и мощность излучения P_{Σ} связаны через КПД согласно (9.20), то коэффициент усиления (G_y) в направлении главного максимума определяется выражением

$$■ \quad G = \eta D \quad (9.21)$$

- Параметры G, η, D обычно называют основными параметрами антенны. Для антенн СВЧ благодаря высокому КПД КУ и КНД отличаются незначительно и иногда эти понятия не различаются.

■ 9.6. Действующая длина и эффективная поверхность антенны

- Определив поле излучения элементарного электрического вибратора (с равномерным распределением тока)

$$\dot{\vec{E}} = \frac{Z_0 \dot{I}^{\circ} \ell}{2\lambda} \dot{\vec{F}}(\theta, \varphi) \frac{e^{-j\beta R}}{R}$$

- можно по аналогии записать выражение поля излучения любой антенны с произвольным распределением тока, но вместо реальной длины подставить значение **действующей длины**

$$■ \quad \dot{\vec{E}} = \frac{Z_0 \dot{I}^{\circ} h_a}{2\lambda} \dot{\vec{F}}(\theta, \varphi) \frac{e^{-j\beta R}}{R} \quad (9.22)$$

