Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн

Основы теории антенн.

ЛЕКЦИЯ № 2

Параметры антенн

Параметры антенн принято делить на первичные и вторичные.

Первичные:

1) векторную комплексную диаграмму направленности (ДН);

2) входное сопротивление;

3) КПД.

Вторичными называют такие параметры, которые можно найти через первичные:

1) коэффициент направленного действия, КНД;
2) коэффициент усиления;
3) ширина луча амплитудной ДН;
4) уровень боковых лепестков;
5) поляризационные параметры антенны.

Диаграмма направленности - характеризует направленные свойства антенны т.е. её способность концентрировать электромагнитную энергию в заранее выбранном секторе пространства.

Комплексную ДН можно записать:

$$\mathbf{E(\Theta,\varphi)=E(\Theta,\varphi)exp[i\psi(\Theta,\varphi)]} \quad \textbf{(2.1)}$$

где $E(\Theta,\varphi)$- амплитудная ДН по полю

$\psi(\Theta,\varphi)$- фазовая ДН по полю

Удобнее пользоваться нормированной диаграммой направленности, т.е. отношением напряженности поля, излучаемого антенной в данном направлении к максимальному значению напряженности поля. Максимальная величина ДН всегда
равна единице.

$$F(\Theta,\phi)=\frac{|E(\Theta,\phi)|}{|E_{\max}(\Theta 1,\phi 1)|} \qquad \text{(2.2)}$$

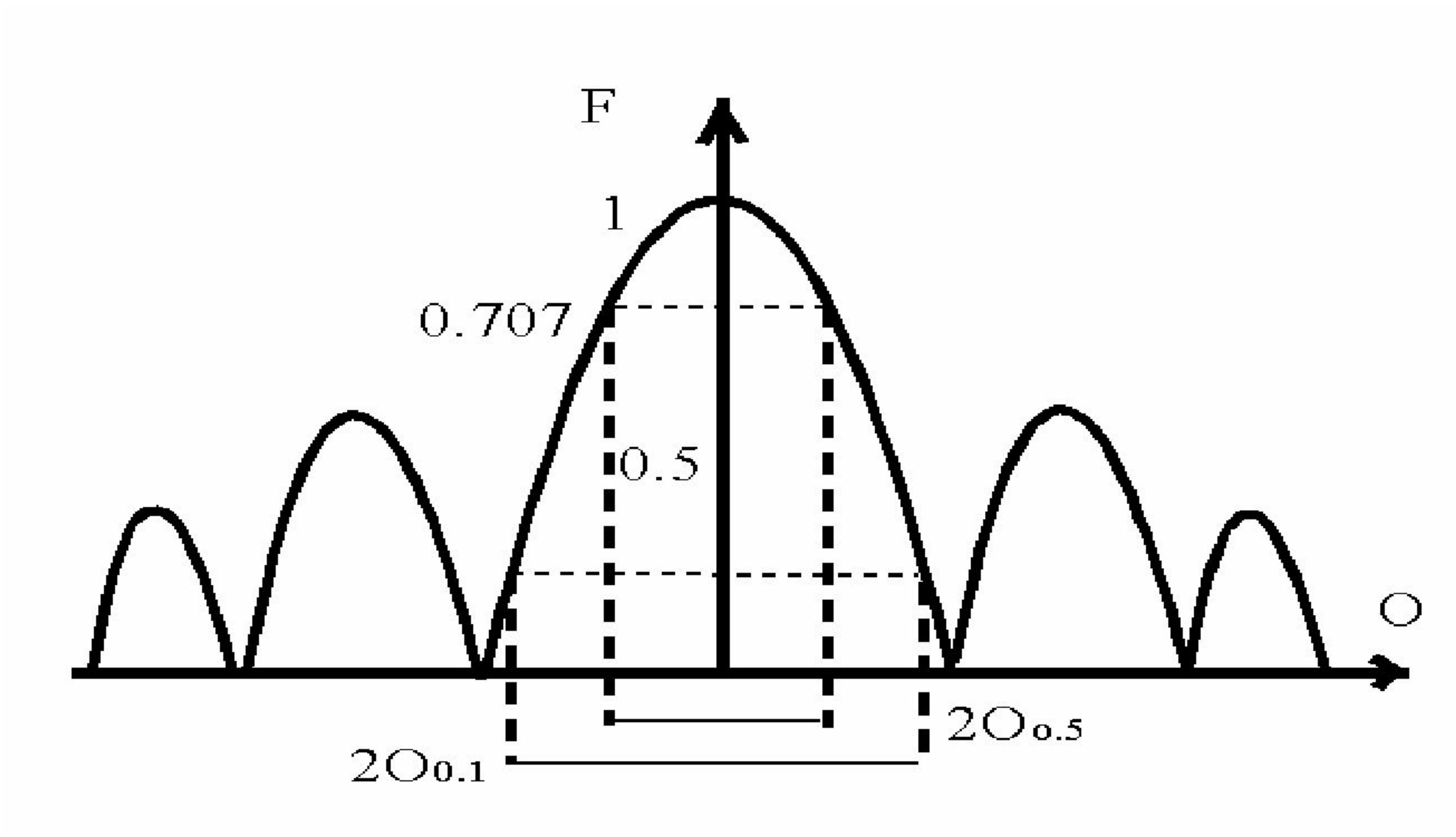
При изображении ДН часто используется логарифмический масштаб.

$$\mathbf{F(\Theta,\varphi)=20\log F(\Theta,\varphi)} \quad \mathbf{(2.3)}$$

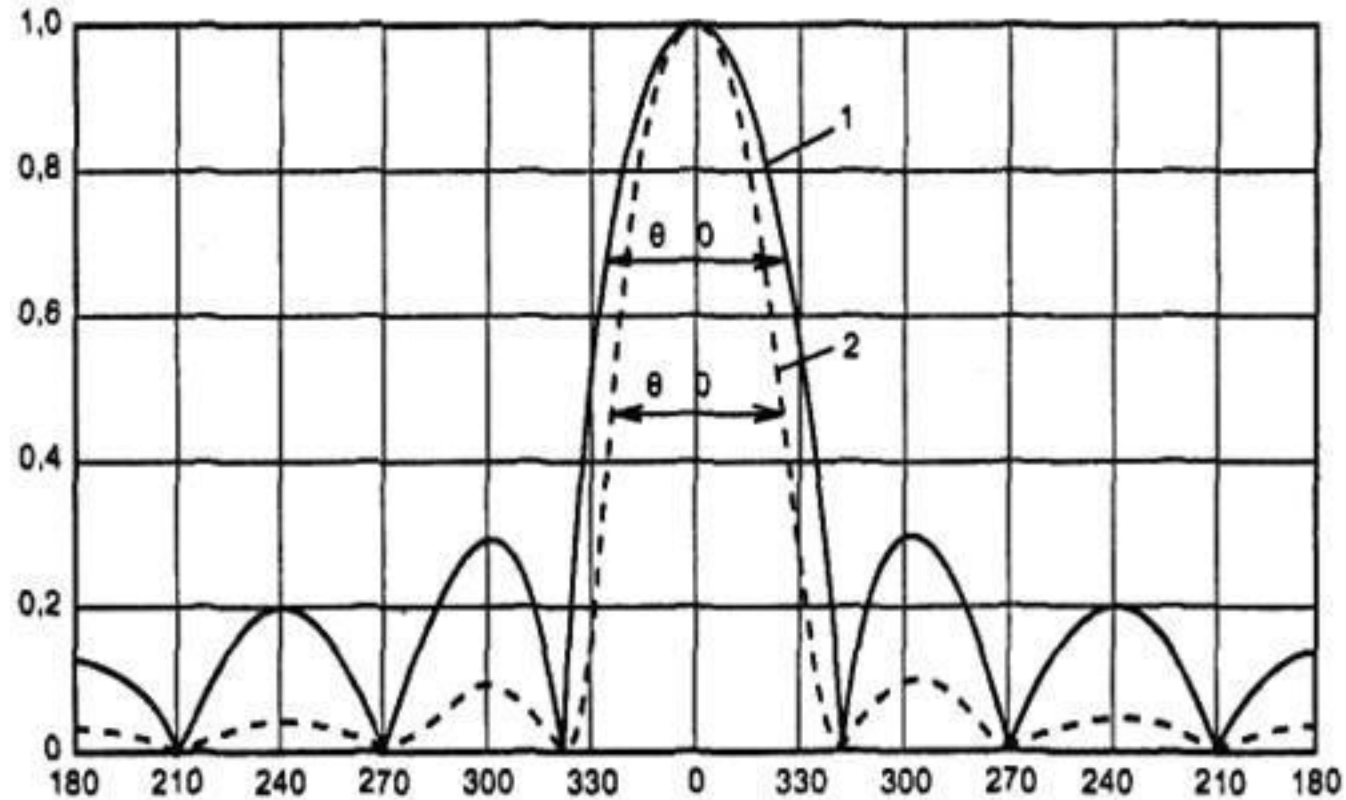
Зависимость плотности потока энергии электромагнитного поля излучаемого антенной, в дальней зоне от угловых координат называют ДН по мощности.

$$F_M(\Theta,\varphi)=\Pi(\Theta,\varphi)/\Pi_{MAX}(\Theta,\varphi) \quad (2.4)$$

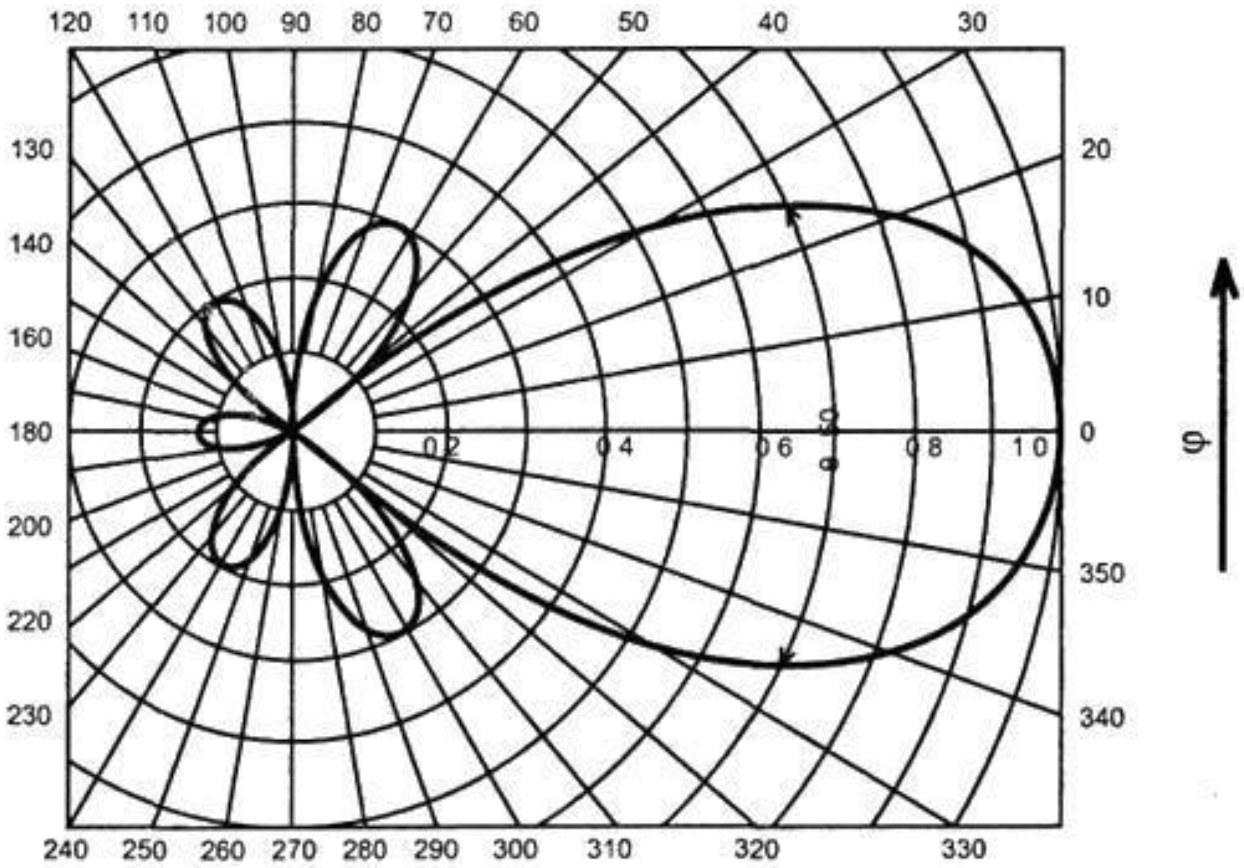
ДН обычно изображают либо в прямоугольной системе координат.



ДН в прямоугольной системе координат.



ДН в полярной системе координат



Наиболее часто употребляемые уровни ДН : 0,5; 0,1; 0.

$\mathbf{2\Theta_{0.5}}$- ширина ДН по половинной мощности.

$\mathbf{2\Theta_{0.1}}$- ширина ДН на уровне 0,1 или 10 дБ.

$\mathbf{2\Theta_{0}}$ - ширина ДН на уровне нулевого излучения.

Относительный уровень боковых лепестков определяют отношением величины в направлении мах. данного лепестка к величине в направлении главного максимума.

$$\xi_N = \frac{E_{NMAX}}{E_{MAX}} = F_N(\Theta, \phi) \qquad \textbf{(2.5)}$$

КНД (D) называют отношение плотности потока мощности излучаемого антенной в данном направлении к усредненному по всем направлениям плотности потока мощности (Пн=Пср).

$$\mathbf{D=П(\Theta,\varphi)/П_{ср}} \quad \mathbf{(2.6)}$$

КНД антенны называется число, показывающее во сколько раз можно увеличить мощность излучения эталонной антенны по сравнению с мощностью излучения данной антенны для того, чтобы в заданном направлении при одинаковых расстояниях получить одинаковые напряжённости поля.

$$\mathbf{D(\Theta,\varphi)=P_{\Sigma Э}/P_{\Sigma}} \quad \mathbf{(2.7)}$$

Расчет КНД по известному полю антенны в дальней зоне.

$$\Pi_H = \frac{P_\Sigma}{4\pi r^2} \qquad \textbf{(2.8)}$$

$$P_\Sigma = \int_S \Pi(\Theta,\phi)dS =$$

$$= \frac{E_M^2}{2W_C}\int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi} F^2(\Theta,\phi)Sin\Theta d\Theta$$

(2.9)

$$\Pi_H = \frac{E_M^2}{2W_C\,4\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} F^2(\Theta,\phi)\,Sin\Theta\, d\Theta\, d\phi$$

(2.10)

$$\Pi(\Theta,\phi) = \frac{E_M^2 F^2(\Theta,\phi)}{2W_C}$$

(2.11)

$$D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi} F^2(\Theta, \phi) Sin\Theta d\Theta} \qquad \textbf{(2.12)}$$

Сопротивление излучения антенны R_Σ - это есть активное сопротивление, на котором при токе равным току на входе антенны выделяется мощность, равная мощности излучения антенны.

$$R_\Sigma=2P_\Sigma/I^2$$

$$R_{пот}=2P_{пот}/I^2$$

Сопротивление потерь в антенне обусловлено конечной проводимостью проводников в Антенне, и несовершенством диэлектрических материалов

$$\eta=P_\Sigma/ P_{вх} \qquad \eta = P_\Sigma/(P_\Sigma + P_{пот})$$

Коэффициент усиления антенны определяется так же как КНД только сравнивается не мощности излучения, а подводимые к антеннам мощности.

$$\mathbf{G=\eta D}$$

$$\mathbf{\eta=P_{\Sigma}/P_{O}}$$

$$\mathbf{P_{O}=P_{\Sigma}+P_{пот}}$$

(2.13)

Входным сопротивлением антенны называется отношение напряжения на точках питания антенны (зажимы антенны) и току в этих точках. Входное сопротивление антенны характеризует ее как нагрузку для генератора или фидера. В общем случае входное сопротивление величина комплексная:

$$Z_{вх}=R_{вх}+X_{вх}$$

Предельная мощность - это мощность которую можно подвести к антенне без опасности ее разрушения и не вызывая пробоя окружающей среды.

Рабочая полоса частот - это диапазон частот, в пределах которого другие параметры антенны не выходят за пределы допустимых значений

$$\Delta f = f_{\max} - f_{\min} \qquad\qquad f_{cp} = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2}$$

если $\Delta f/f_{cp} \leq 0{,}1$ - узкополосные антенны

если $\Delta f/f_{cp} = 10\% \div 50\%$ - широкополосные антенны

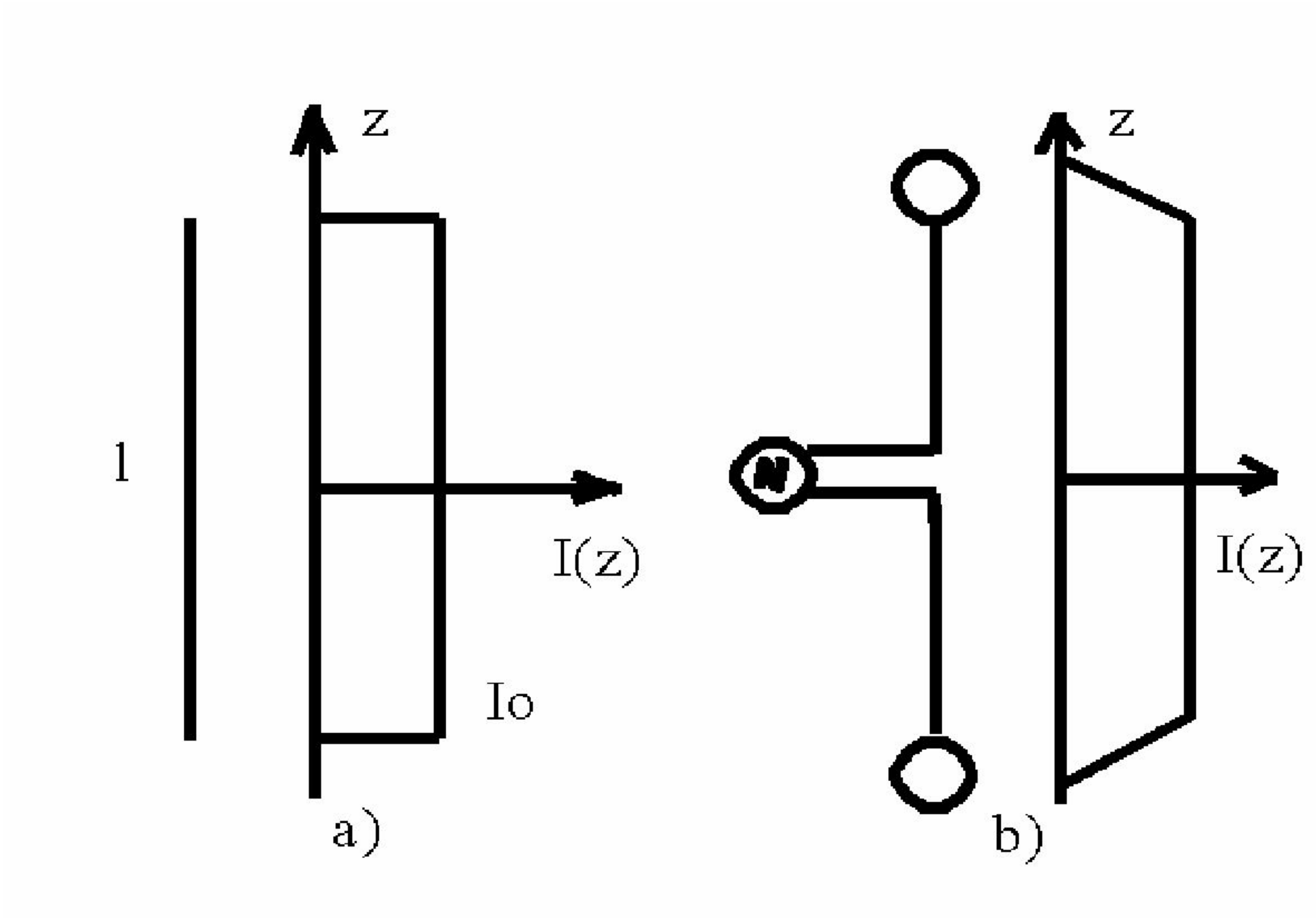
если $\Delta f/f_{cp} \approx 1 \div 5$ - диапазонные антенны

если $\Delta f/f_{cp} > 5$ - частотно-независимые антенны

Элементарные излучатели электромагнитных волн.

Основные типы элементарных излучателей:

- элементарный электрический диполь (д. Герца);
- элементарная электрическая рамка (магнитный диполь);
- элементарная щель;
- излучатель Гюйгенса.


z
l
I(z)
Io
a)
z
I(z)
b)

- Реализовать диполь в чистом виде практически невозможно, так как невозможно получить равномерного распределения амплитуда токов, ток на конце проводников должен равняется нулю.
- Распределение близкое к равномерному можно реализовать на системе, в которой металлические шары (диски) на концах провода создают емкость, помогающую выровнять распределение токов вдоль э/м поля диполя Герца, возбужденной током с частотой ω, определяется в сферической системе координат, все компоненты поля не зависят от координаты φ, в виду симметрии относительно оси OZ.

Излучаемое диполем Герца поле имеет две составляющие E_Θ, E_r, H_φ. В дальней зоне $r>>\lambda$, радиальная составляющая поля пренебрежительно мало.

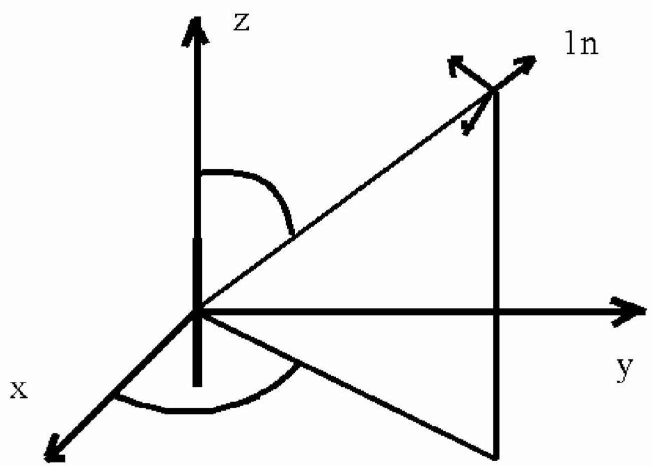
$$E = E_\Theta = i\frac{k^2 I_o l_1}{4\pi\omega\varepsilon}\frac{\exp(-ikr)}{r}Sin\Theta \qquad 1.2$$

$$H = H_\varphi = i\frac{k\ \ I_o l_1}{4\pi}\frac{\exp(-ikr)}{r}Sin\Theta \qquad 1.3$$

где I_o- амплитуда возбуждающего тока, фаза которого равна нулю;

$k=2\pi/\lambda$- волновое число;

ε- диэлектрическая проницаемость.



Диполь Герца излучает сферическую волну амплитуда которой убывает обратно пропорционально расстоянию. E_Θ и H_φ взаимно перпендикулярны , эти векторы синфазны и связаны соотношением

Рис.1.2

$$E_\Theta / H\varphi = \frac{k}{\omega\varepsilon} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = W_c \qquad \textbf{(1.3)}$$

W_{IC}- волновое сопротивление среды, отношение модулей электрического и магнитных векторов в свободном пространстве.

$$E_\Theta = \frac{30kI_o l_1}{r} Sin\Theta \qquad \textbf{(1.4)}$$

$$H_\varphi = \frac{kI_o l_1}{4\pi r} Sin\Theta \qquad \textbf{(1.5)}$$

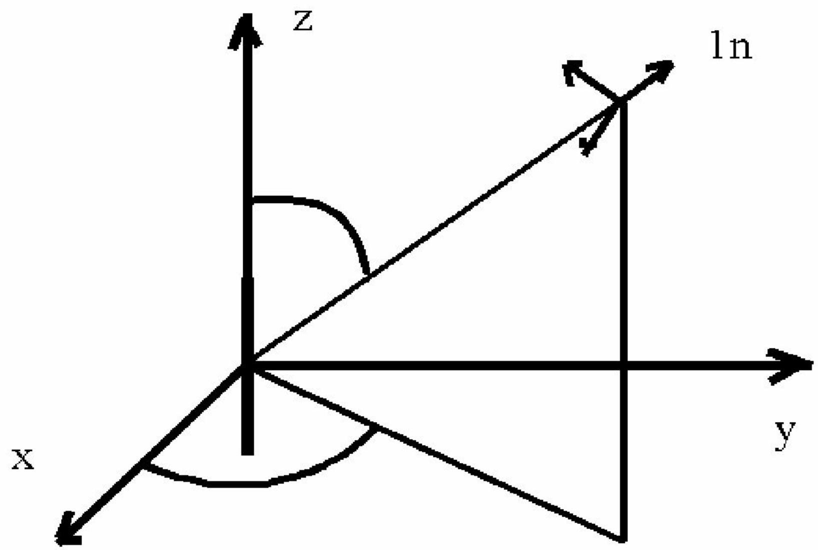


Рис.1.2

Диполь Герца излучает сферическую волну амплитуда которой убывает обратно пропорционально расстоянию. E_{Θ} и H_{φ} взаимно перпендикулярны , эти векторы синфазны и связаны соотношением

$$E_{\Theta}/H\varphi = \frac{k}{\omega\varepsilon} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = W_c \qquad \textbf{(1.3)}$$

ДН по модулю электрического вектора в общем виде представляет собой тороид. Xoy-экваториальная плоскость, zoy-меридиональная плоскости в полярной системе координат.

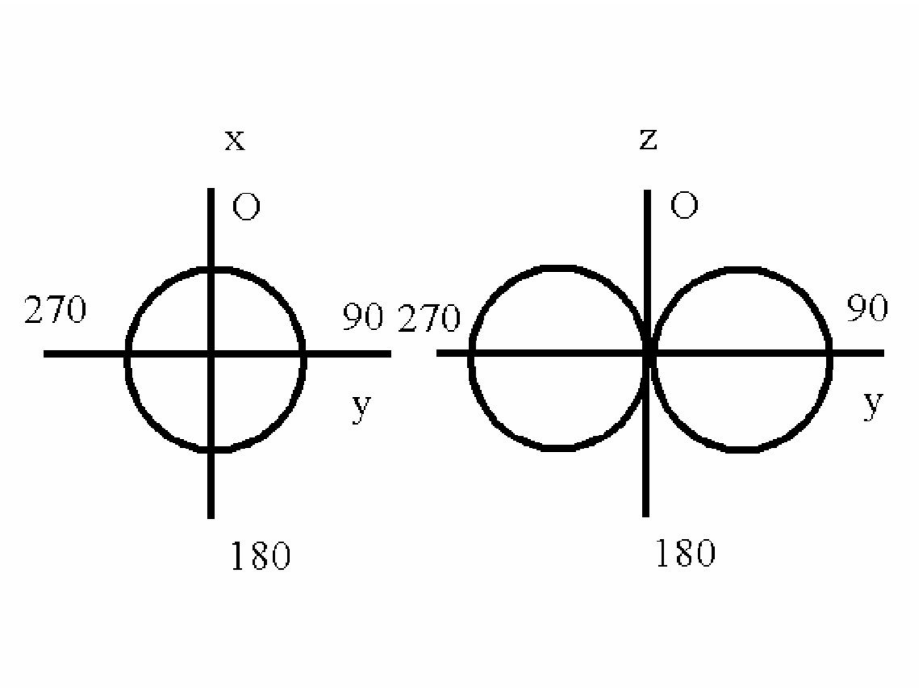


Рис.1.3

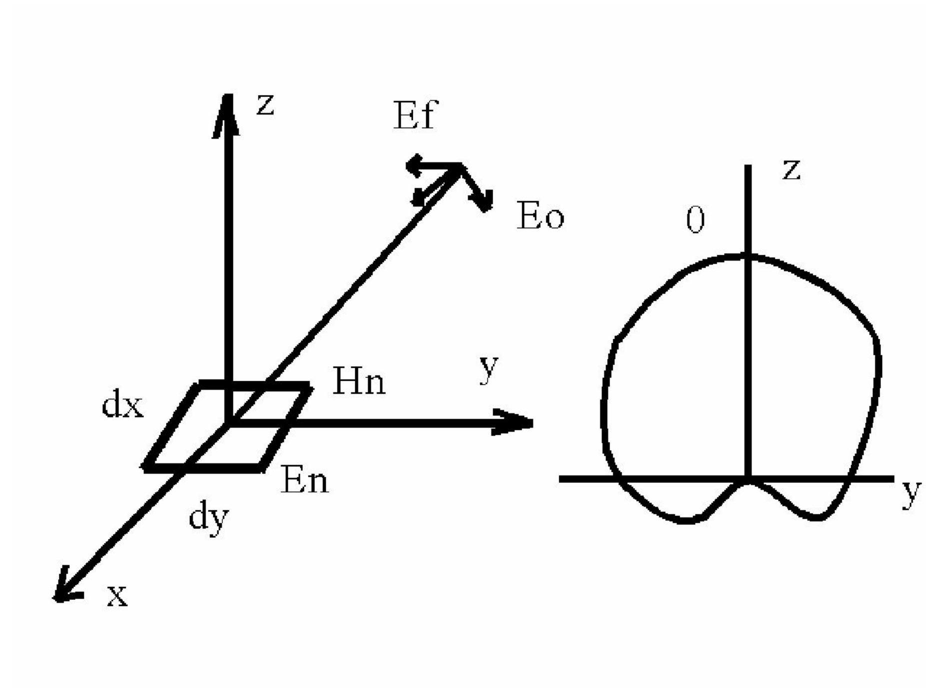
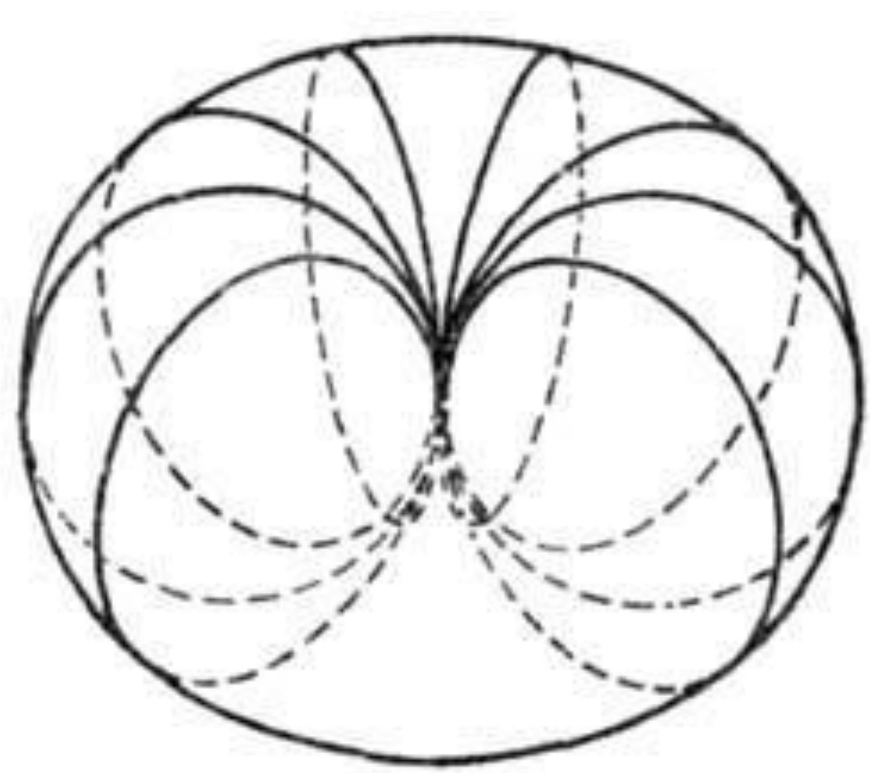


Рис.1.4

Рис. 1.5. Диаграммы направленности электрического и магнитного диполей.



Элементарный излучатель Гюйгенса может быть представлен плоской площадкой в диэлектрической среде без потерь, ее размеры много меньше длины волны. Площадка - прямоугольник с размерами dx, dy.На этой площадке действуют равномерно распределенные электрическое и магнитное поля, взаимно перпендикулярные. Т.о. излучатель Гюйгенса является небольшим участком фронта плоской волны. Если плоская волна однородна, то $\mathbf{E_n/H_\varphi=W}$.

- Если ось z сферической системы координат совместить с нормалью к площадке, и выбрать направление **En||ox, Hφ||oy**
- ДН представляет собой кардиоиду.

Т.к. источник Гюйгенса обладает однонаправленными свойствами: поток излучения перпендикулярен поверхностити элемента и направлен в сторону движения волны, в обратном направлении излучение отсутствует.

Весьма малый по сравнению с длиной волны элемент линейного магнитного тока называется элементарным магнитным вибратором, если ток в любой точке элемента одинаков по амплитуде и фазе. На основе перестановочной инвариантности уравнений Максвелла выражение для составляющих поле элементарного магнитного вибратора в дальней зоне имеют вид:

$$H_{\Theta} = i\frac{I^{m}l}{2W_{c}r\lambda}Sin\Theta e^{-ikr} \quad (1.4)$$

$$E_{\varphi} = -i\frac{I^{m}l}{2r\lambda}Sin\Theta e^{-ikr} \quad (1.5)$$

I^m- амплитуда магнитного поля.

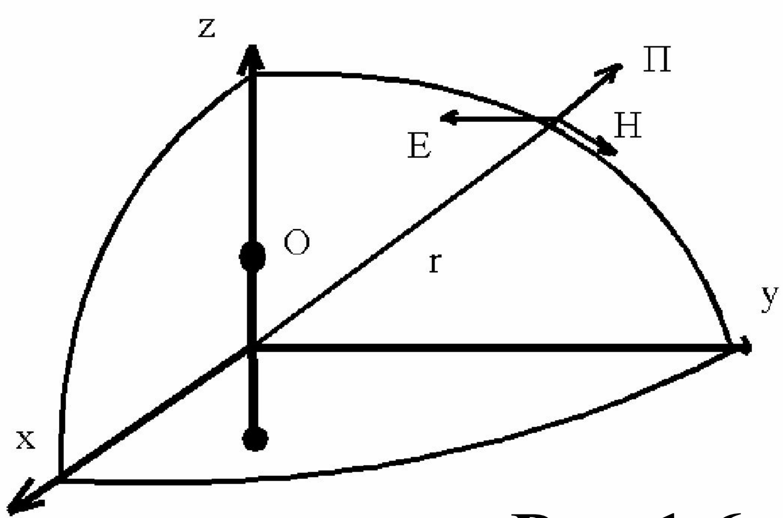


Рис.1.6

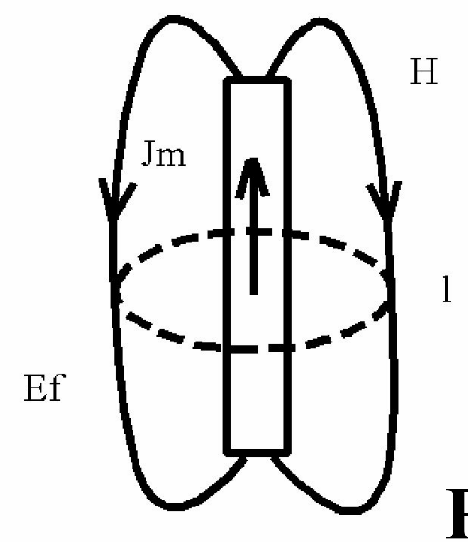


Рис.1.7

- Диаграмма направленности магнитного вибратора в плоскости Н соответствуют ДН элементарного электрического вибратора в плоскости Е.
- ДН магнитного вибратора в плоскости Е соответствует ДН элементарного электрического вибратора в плоскости Н.
- Элементарный магнитный вибратор как элемент магнитного тока не может быть осуществлен , поскольку в природе нет такого тока.
- Введение этого необходимо, так как ряд реальных излучателей создают поля, аналогичные по структуре полю магнитного вибратора.
- Примерами излучателей, реализующих свойства магнитного вибратора, являются элементарная электрическая рамка и элементарная излучающая щель.

Пусть элементарный магнитный вибратор представляет собой тонкую прямоугольную пластину длиной , выполненную из идеального магнитного проводника, на поверхности которого выполняются граничные условия

$$\mathbf{E_n=0,\ H_t=0,\ J^m=-[n,E].}$$

E_n- нормальная к поверхности вибратора составляющая поля; H_t-тангенциальная составляющая напряженности магнитного полю;

J^m- вектор плотности поверхностного магнитного тока;

n- единичная нормаль к поверхности вибратора.

$$I_m = 2bJ^m = -2dE_t$$

Совместим плоскость вибратора с идеально проводящей бесконечно тонкой поверхностью S. Структура поля в вибраторе не изменяется, т.к. на металлической поверхности автоматически выполняются граничные условия .