

2 РАСЧЕТ АНТЕННЫ

2.1 Исходные данные

Для удобства, представим исходные данные в виде удобном для применения к формулам для расчета рупорной антенны. На рисунке 2.1 представлен общий вид рупорной антенны.

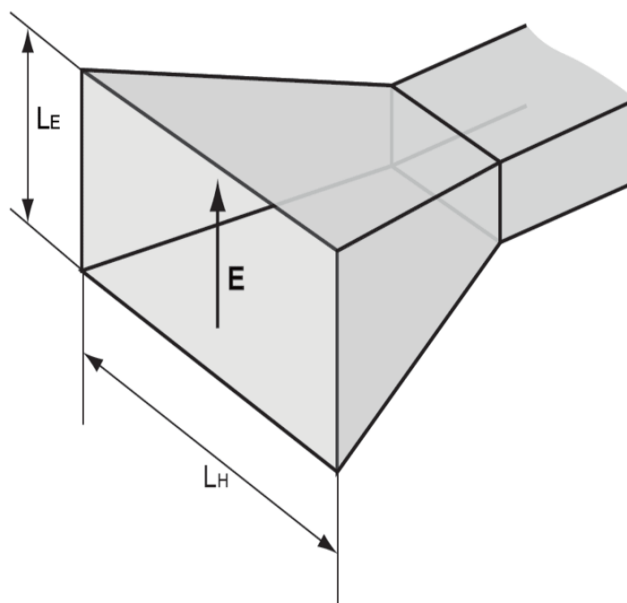


Рисунок 2.1 — Рупорная антенна

$f_0 = 9,4 \cdot 10^9$, Гц - центральная частота рабочей полосы частот антенны.

Определим ширину рабочей полосы частот антенны, исходя из того, что в условии сказано, что она составляет 11% от центральной рабочей полосы.

$$2 \Delta f = \frac{f_0}{100} \cdot 11 = \frac{9,4 \cdot 10^9}{100} \cdot 11 = 1,034 \cdot 10^9, \text{ Гц}$$

Определим крайние точки частотной характеристики рабочей частоты антенны (f_n и f_v):

$$f_n = f_0 - \frac{2 \Delta f_n}{2} = 9,4 \cdot 10^9 - \frac{1,034 \cdot 10^9}{2} = 8,883 \cdot 10^9, \text{ Гц}$$

$$f_v = f_0 + \frac{2 \Delta f_n}{2} = 9,4 \cdot 10^9 + \frac{1,034 \cdot 10^9}{2} = 9,917 \cdot 10^9, \text{ Гц}$$

Длина волны основного излучателя определяется из соотношения:

$$\lambda = \frac{c}{f_0}, \text{ где} \quad (2.1)$$

c — скорость света, равная $3 \cdot 10^8 \frac{м}{сек}$;

f_0 – центральная частота рабочей полосы частот антенны.

Подставив значения в формулу (2.1), определим длину волны в генераторе.

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{f_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{9.4 \cdot 10^9} = 0.032, м$$

2.2 Расчет рупора с оптимальными размерами

По заданному коэффициенту направленного действия легко найти площадь раскрыва рупора:

$$\left\{ S = \frac{D \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi \cdot \nu} \right\}, \text{ где} \quad (2.2)$$

D – к.н.д. излучателя;

ν - коэффициент использования поверхности рупора;

λ - длина волны основного излучателя.

Подставив известные значения в формулу (2.2), найдем площадь раскрыва рупора с оптимальными размерами:

$$S = \frac{D \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi \cdot \nu} = \frac{36 \cdot 0.032^2}{4 \cdot \pi \cdot 0.64} = 4.559 \cdot 10^{-3}, м^2$$

Поскольку нет специальных условий, определяющих соотношение между сторонами раскрыва L_H и L_E , можно выбрать его таким, чтобы главные лепестки в обеих плоскостях имели одинаковую ширину. Как следует из формул (14.5) и (15.5) из [4, с.161], это имеет место при:

$$k = \frac{L_H}{L_E} \approx 1.5$$

Из соотношения $S = L_H \cdot L_E$, вычислим размеры раскрыва рупора.

$$\begin{cases} L_E = \sqrt{\frac{S}{k}} \\ L_H = k \cdot L_E \end{cases} \quad (2.3)$$

Подставив значения в формулы (2.3), определим размеры раскрыва рупора:

$$L_E = \sqrt{\frac{S}{k}} = \sqrt{\frac{4.559 \cdot 10^{-3}}{1.5}} = 0.055, \text{ м}$$

$$L_H = k \cdot L_E = 1.5 \cdot 0.055 = 0.083, \text{ м}$$

Сечение плоскостью, проходящей через ось симметрии и перпендикулярной стенкам рупора называется продольным. На рисунке 2.2 плоскость продольного сечения заштрихована.

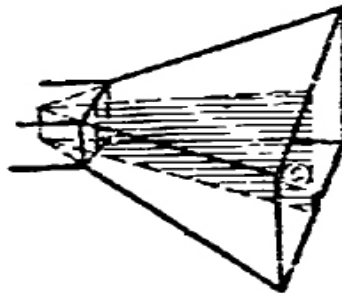


Рисунок 2.2 — Плоскость продольного сечения рупорной антенны

Длина продольного сечения рупора в каждой из плоскостей определяется по формуле:

$$r_0 = \frac{L^2}{8 \cdot \Delta r} - \frac{\Delta r}{2}, \text{ где} \quad (2.4)$$

$$\Delta r = \frac{3 \cdot \lambda}{8} \text{ - для плоскости Н;}$$

$$\Delta r = \frac{\lambda}{4} \text{ - для плоскости Е.}$$

Подставив значения в формулу (2.4), рассчитаем длину продольного сечения рупора в каждой из плоскостей.

В плоскости Н:

$$r_{0H} = \frac{L_H^2}{8 \cdot \frac{3 \cdot \lambda}{8}} - \frac{\frac{3 \cdot \lambda}{8}}{2} = \frac{0.083^2}{8 \cdot \frac{3 \cdot 0.032}{8}} - \frac{\frac{3 \cdot 0.032}{8}}{2} = 0.065, \text{ м}$$

В плоскости Е:

$$r_{0E} = \frac{L_E^2}{8 \cdot \frac{\lambda}{4}} - \frac{\frac{\lambda}{4}}{2} = \frac{0.055^2}{8 \cdot \frac{0.032}{4}} - \frac{\frac{0.032}{4}}{2} = 0.044, \text{ м}$$

Вычислим угол раскрыва рупора, исходя из формулы:

$$\cos \frac{\Phi_0}{2} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta r}{r_0}} \quad (2.5)$$

Подставив рассчитанную ранее длину сечения для каждой из плоскостей в (2.5), рассчитаем угол раскрыва рупора.

Для плоскости Н:

$$\cos \frac{\Phi_0}{2} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta r}{r_{0H}}} = \frac{1}{1 + \frac{3 \cdot 0.032}{8}} = 0.845$$

$$\Phi_{0H} = \arccos(0.845) \cdot 2 = 65.65^\circ \quad (2.6)$$

Для плоскости Е:

$$\cos \frac{\Phi_0}{2} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta r}{r_{0E}}} = \frac{1}{1 + \frac{0.032}{4}} = 0.845$$

$$\Phi_{0E} = \arccos(0.845) \cdot 2 = 65.65^\circ \quad (2.7)$$

Как видно из выражений (2.6) и (2.7) угол раскрыва рупора одинаковый как и для плоскости Е, так и для плоскости Н.

2.3 Расчет диаграммы направленности рупора

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

Вычислим ширину ДН между нулевыми направлениями главного лепестка. Соответственно для плоскостей Е и Н они рассчитываются исходя из формул:

$$\sin \Theta_0 \approx \frac{\lambda}{L_E} \quad (2.8)$$

$$\sin \varphi_0 \approx 1.5 \cdot \frac{\lambda}{L_H} \quad (2.9)$$

Подставив значения в (2.8) и (2.9), рассчитаем ширину ДН между нулевыми направлениями главного лепестка.

Для плоскости Е:

$$\sin \Theta_0 \approx \frac{\lambda}{L_E} = \frac{0.032}{0.055} = 0.579$$

$$\Theta_0 = \arcsin(0.579) = 35.38^\circ \quad (2.10)$$

Для плоскости Н:

$$\sin \varphi_0 \approx 1.5 \cdot \frac{\lambda}{L_H} = 1.5 \cdot \frac{0.032}{0.083} = 0.579$$

$$\varphi_0 = \arcsin(0.579) = 35.38^\circ \quad (2.11)$$

Как видно из выражений (2.10) и (2.11) ширина ДН между нулевыми направлениями главного лепестка одинакова для обеих плоскостей.

ДН рупорной антенны при возбуждении ее волной типа H_{10} приближенно может быть рассчитана по формулам (6.5) и (7.5) из [4, с.158].

В плоскости Н:

$$F(\varphi) = \left[\cos \varphi + \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot L_H} \right)^2} \right] \cdot \frac{\cos \left(\frac{m \cdot L_H}{2} \sin \varphi \right)}{1 - \left(\frac{2}{\pi} \cdot \frac{m \cdot L_H}{2} \cdot \sin \varphi \right)^2} \quad (2.12)$$

В плоскости Е:

$$F(\Theta) = \left[1 + \cos \Theta \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot L_E} \right)^2} \right] \cdot \frac{\sin \left(\frac{m \cdot L_E}{2} \cdot \sin \Theta \right)}{\frac{m \cdot L_E}{2} \cdot \sin \Theta} \quad (2.13)$$

Здесь $m = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$ - волновой коэффициент.

Графики ДН рупорной антенны по (2.12) и (2.13) были рассчитаны и построены в математическом пакете MathCAD 14. На рисунке 2.3 представлено нормированную ДН по полю, красной линией обозначена плоскость Е, а синим пунктиром, соответственно, плоскость Н.

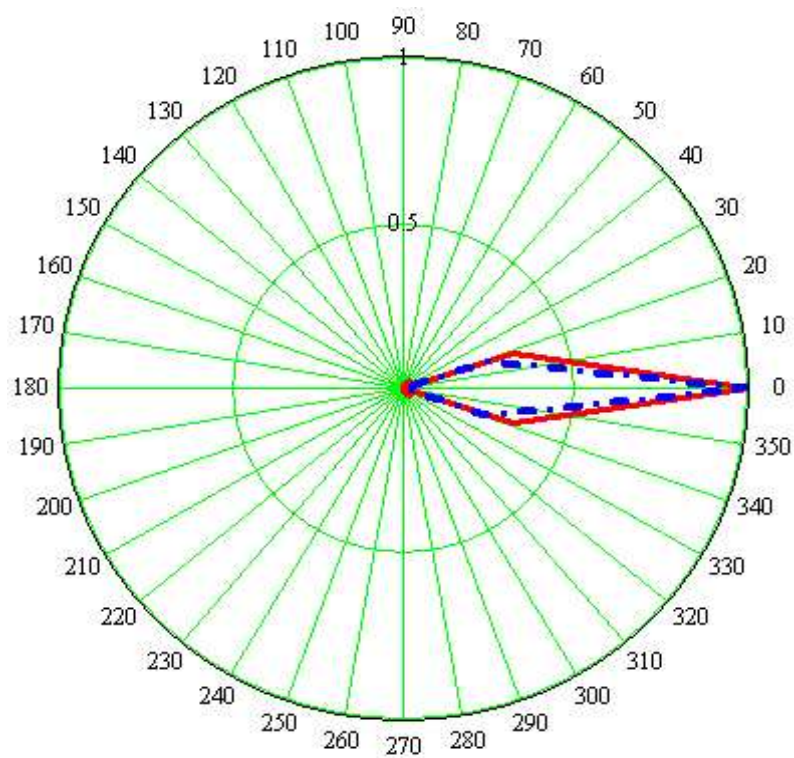


Рисунок 2.3 — Нормированная ДН рупорной антенны по полю

На рисунке 2.4 представлено нормированную ДН по мощности, красной линией обозначена плоскость Е, а синим пунктиром, соответственно, плоскость Н.

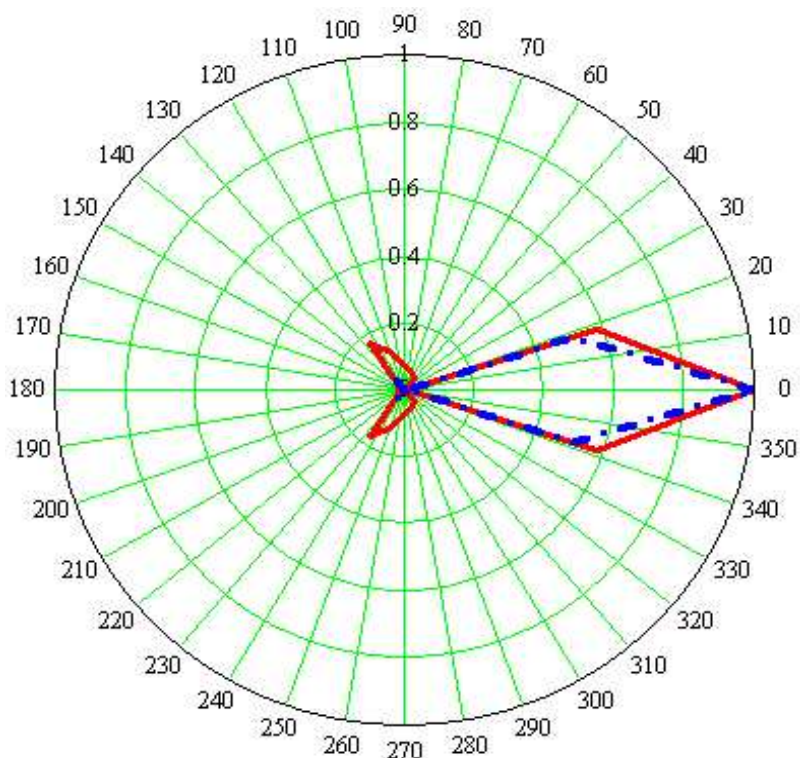


Рисунок 2.4 — Нормированная ДН рупорной антенны по мощности