

Министерство образования и науки РФ

Федеральное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Южный федеральный университет

Физический факультет

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА

по курсу «Антенные системы»

**Определение параметров излучения
рупорных антенн круговой поляризации**

г. Ростов-на-Дону

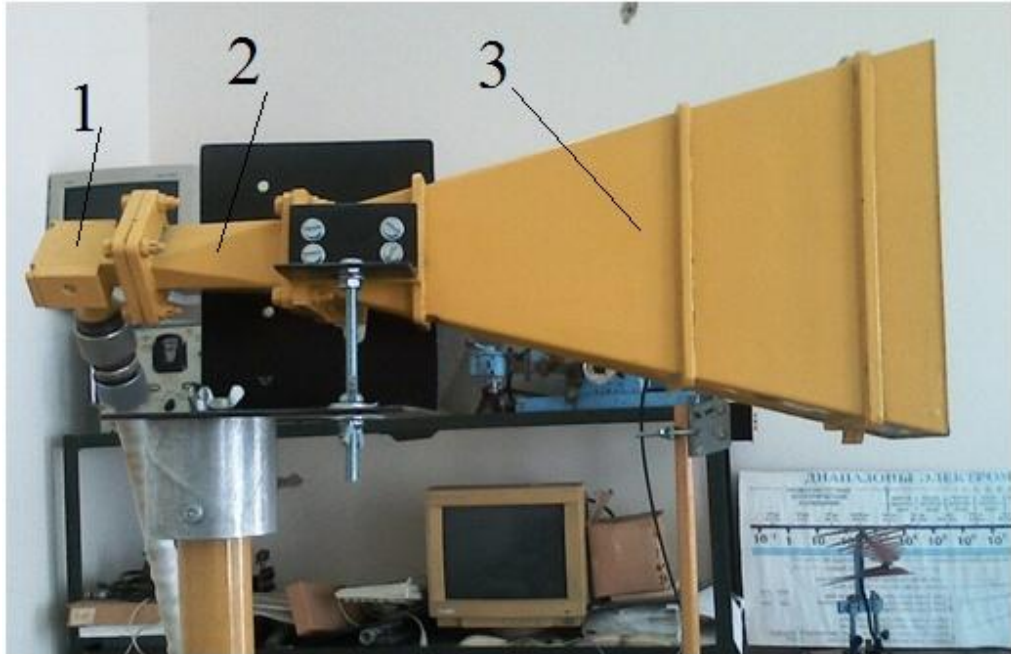
2017 г

Учебно-методические указания разработаны доцентом кафедры радиофизики ЮФУ Федоровым С.А. Ответственный редактор проф. Заргано Г.Ф.

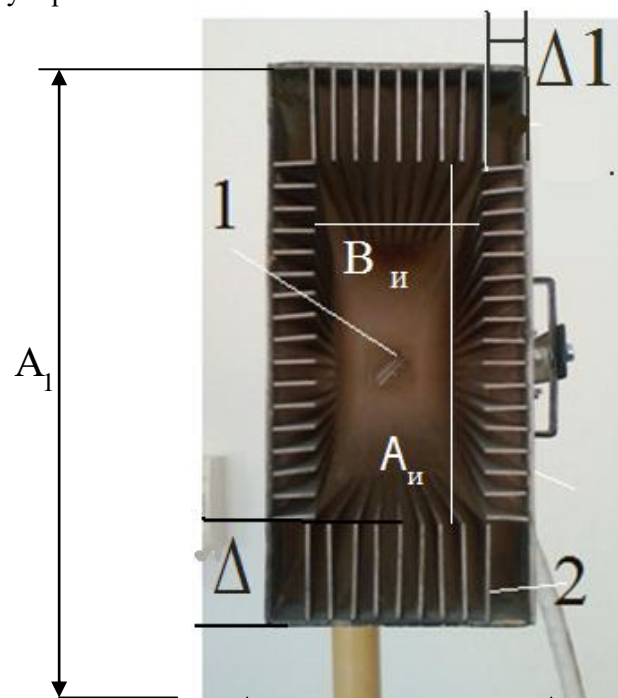
Печатается в соответствии с решением кафедры радиофизики физического факультета ЮФУ, протокол № 12 от 17 января 2017 г.

1. ПАРАМЕТРЫ РУПОРНЫХ АНТЕНН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ.

В эксперименте рупорные антенны отличаются от рассмотренных выше классических рупоров с гладкими стенками (рис. 8, 9).

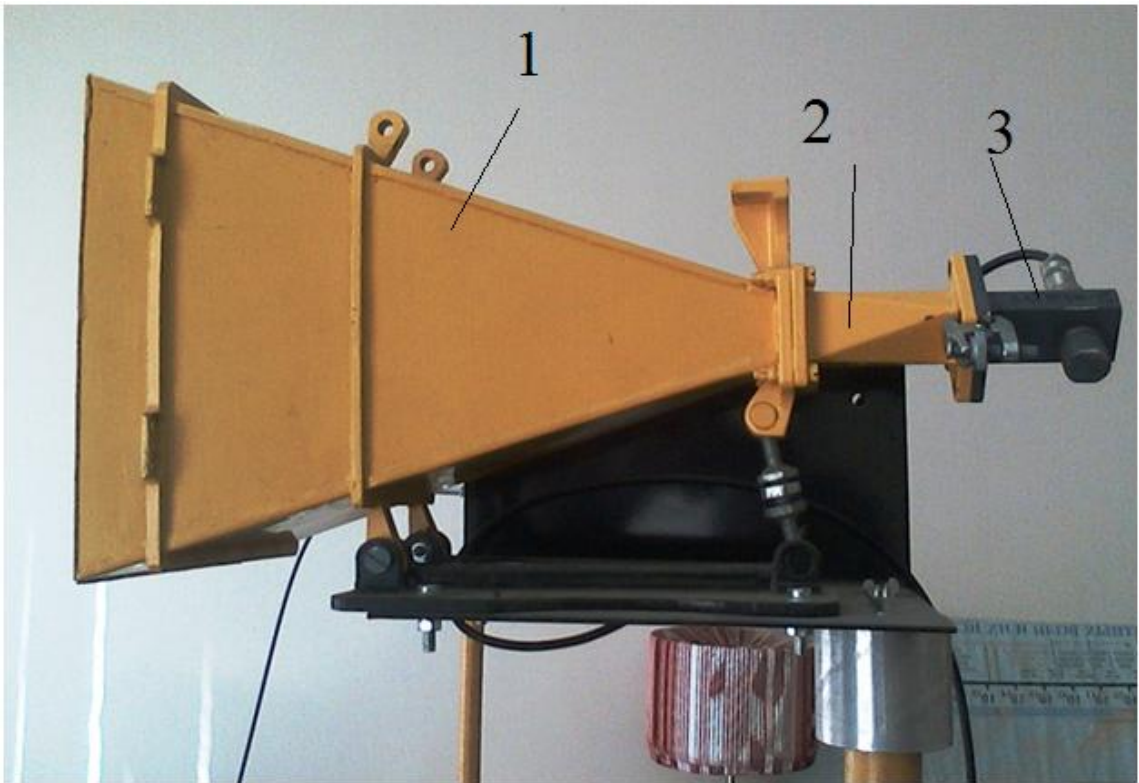


Вид сбоку. 1-коаксиально-волноводный переход, 2-фазирующая секция, 3-клиновидный пирамидальный рупор.

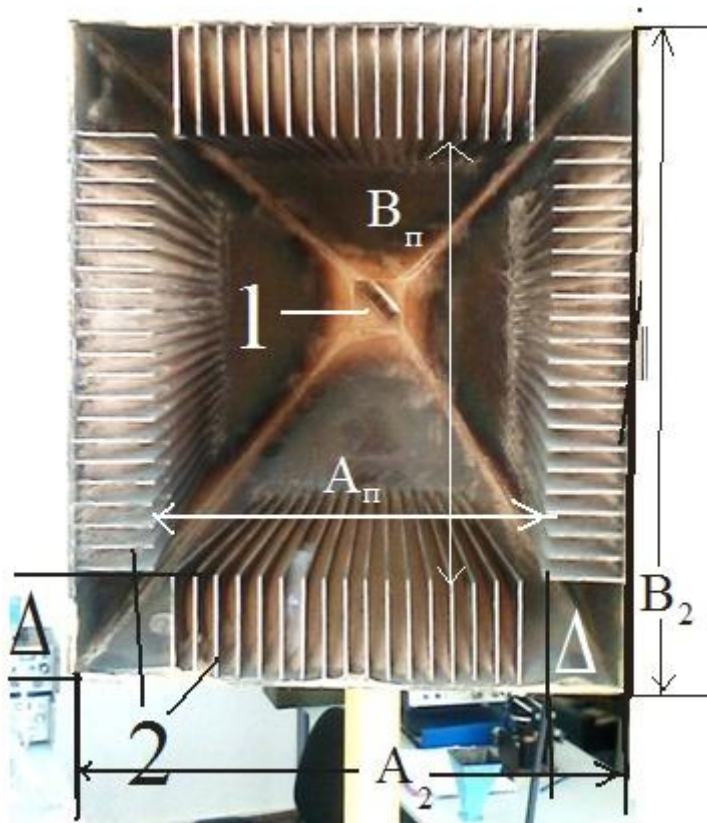


Излучающий раскрыв передающего рупора. 1- прямоугольный волновод и фазирующая секция, 2- ребра металлических пластин, установленных в рупоре.

Рис. 8. Передающая рупорная антенна.



Вид сбоку. 1-коаксиально-волноводный переход, 2-фазирующая секция, 3-клиновидный пирамидальный рупор.



Излучающий раскрыв приемного рупора. Видны прямоугольный волновод и фазирующая секция - 1, ребра металлических пластин 2, установленных в рупоре.

Рис. 9. Приемная рупорная антенна.

Имеется два основных отличия рупоров, показанных на рис. 8, от классических рупоров с гладкими стенками:

1. Антенны имеют фазирующую секцию (см. 2 на рис. 8, 9), обеспечивающую переход от линейной поляризации поля в волноводе к вращающейся на излучающем раскрыве рупора.
2. Клиновидные пирамидальные рупоры имеют продольные металлические ребра переменной высоты. Высота ребер максимальна на излучающем раскрыве антенн. Она уменьшается до нуля на расстоянии, примерно равном длине волны в свободном пространстве.

Рассмотрим влияние конструктивных особенностей рупорных антенн на определение их параметров.

1.1 Влияние фазирующей секции на амплитудное распределение и поляризацию электромагнитных волн

Геометрия фазирующей секции показана на рис. 10. Размеры этой секции, одинаковые для приемной и передающей антенн, приведены на этом рисунке.

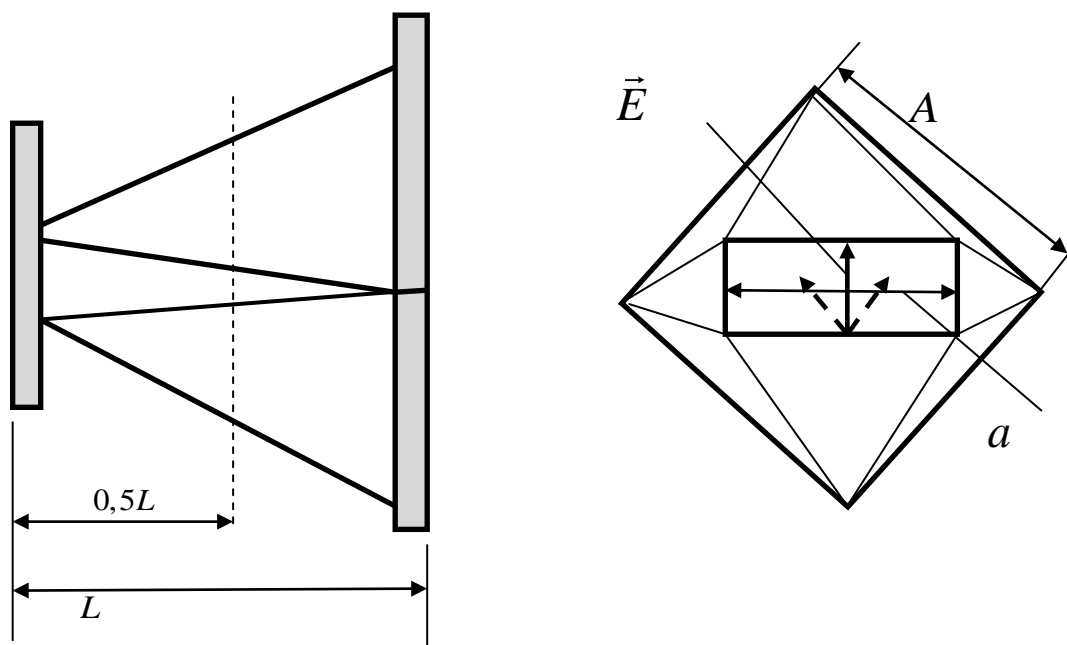


Рис. 10. Геометрия фазирующей секции.

Фазирующая секция – отрезок прямоугольного волновода, нерегулярный в продольном направлении. Сечение прямоугольного волновода поворачивается на 45 градусов (см. рис. 8 – 10), расширяясь по линейному закону в зависимости от продольной координаты секции z . Если бы не было расширения прямоугольного волновода, с основной волной H_{10} , то поляризация поля в излучающем раскрыве секции просто повернулась бы на 45 градусов. В свою очередь, если бы происходило только расширение размеров сечения секции в продольном направлении, но не было бы поворота сечения на 45 градусов, а направление поляризации на излучающем раскрыве совпадало бы направлением поляризации в прямоугольном волноводе. При наличии одновременно и расширения сечения и поворота излучающего раскрыва секции наряду с составляющей напряженности электрического поля, перпендикулярной широкой стенке, в фазирующей секции появляется перпендикулярная составляющая, соответствующая волне H_{01} . Поскольку волны H_{10} и H_{01} распространяются в фазирующей секции с различными

$$\text{фазовыми скоростями} \quad v_{10} = c / \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a(z)}\right)^2} \quad \text{и} \quad v_{01} = c / \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2b(z)}\right)^2}$$

соответственно (здесь c , λ - скорость света и длина волны в свободном пространстве, $a(z)$, $b(z)$ - размеры повернутого сечения прямоугольного волновода для текущего значения продольной координаты z), компоненты векторов напряженности электрического поля, перпендикулярные сторонам излучающего раскрыва фазирующей секции (см. рис. 10) имеют фазовый сдвиг, величина которого зависит от геометрических параметров секции: длины L , размеров излучающего раскрыва A , угла поворота излучающего раскрыва относительно питающего волновода. Геометрические параметры секции подбираются таким образом, чтобы на рабочей частоте величина разности фаз составила 90 градусов, а величины составляющих были одинаковы. Таким образом, в центре излучающего раскрыва секции

создается круговая поляризация вектора напряженности электрического поля \vec{E} .

8.2 Влияние ребер рупора на амплитудно-фазовое распределение поля на излучающем раскрыве.

При квадратном раскрыве пирамидального рупора ширина главного лепестка ДН в двух взаимно перпендикулярных плоскостях получается неодинаковой из-за различных амплитудных распределений возбуждающего поля в Е- и Н-плоскостях. В горизонтальной Н-плоскости ширина главного лепестка ДН (по нулям) примерно в 1,5 раза больше, чем в вертикальной Е-плоскости [1]. Между тем, при создании круговой поляризации излучаемого поля необходимо иметь одинаковые значения ширины главного лепестка ДН в обеих плоскостях Е и Н. Один из способов получения одинаковых значений ширины главного лепестка ДН состоит в том, что в квадратном раскрыве устанавливаются металлические ребра высотой Δ на расстоянии $s < \lambda/2$ друг от друга (рис. 8, 9). Если вектор E поляризован вдоль вертикальной оси Ox , то такая волна не может распространяться в запердельных волноводах между пластинами, параллельными оси Ox , поскольку расстояние между пластинами $s < \lambda/2$. При этом размер излучающего раскрыва в вертикальном направлении A_1 как бы уменьшается и становится равным $A_{и} = A_1 - 2\Delta$ (Δ - высота ребер на излучающем раскрыве (см. рис. 8, 9)). Если $\Delta = 0,17A_1$, то размер апертуры $A_{и}$ в вертикальном направлении оказывается в 1,5 раза меньше размера излучающего раскрыва в горизонтальном направлении B_1 (рис. 8). Так как на составляющую E_y данные ребра не воздействуют, ширина главного лепестка ДН в главных плоскостях xOz и yOz будут примерно одинаковы. Аналогичным образом (с помощью ребер, прикрепленных к вертикальным стенкам рупора) выравнивается ширина главного лепестка ДН для для горизонтальной поляризации вдоль оси Oy в плоскостях yOz , xOz (рис. 8).

9. Определение ДН рупорных антенн в горизонтальной плоскости.

ДН в горизонтальной плоскости yOz создается вертикальной и горизонтальной компонентами напряженности электрического поля E_x , E_y на излучающем раскрыве рупора. В направлении вертикальной оси Ox E_y изменяется по синусоидальному закону:

$$E_y = E_0 \sin\left(\frac{\pi}{A_1}(x + 0,5A_1)\right), \quad (24)$$

а вдоль горизонтальной оси Oy примерно постоянно $E_y = E_0$. В направлении

горизонтальной оси Ox E_x $F_a(\varphi) = \frac{2}{\pi} A_e B_1 \frac{\cos\left(\pi \frac{B_e}{\lambda} \sin \varphi\right)}{1 - \left(2 \frac{B_e}{\lambda} \sin \varphi\right)^2}$ изменяется по

синусоидальному закону:

$$E_x = E_0 \sin\left(\frac{\pi}{B_e}(y + 0,5B_e)\right), \quad (25)$$

а вдоль вертикальной оси Ox примерно постоянно $E_x = E_0$.

Поэтому, в соответствие с (8), функция диаграммы направленности для распределения напряженности электрического поля на излучающем раскрыве (24), (25) для излучающей антенны имеет следующий вид:

для горизонтальной поляризации:

$$F_a(\varphi) = \left(\frac{2}{\pi}\right)^2 A_1 B_e A_1 B_2 f_1\left(\pi \frac{B_e}{\lambda} \sin \varphi\right), f_1(x) = \frac{\sin(x)}{x}; \quad (26)$$

для вертикальной поляризации:

$$F_a(\varphi) = \left(\frac{2}{\pi}\right)^2 A_e B_1 A_2 B_1 f_2\left(\pi \frac{B_1}{\lambda} \sin \varphi\right), f_2(x) = \frac{\cos(x)}{1 - \left(\frac{2}{\pi}x\right)^2}. \quad (27)$$

В (26), (27) угол φ отсчитывается в горизонтальной плоскости yOz от перпендикуляра к плоскости раскрыва S_0 , λ - длина волны в свободном пространстве. В (26), (27) не учитывается запаздывание фазы компонент

напряженности электрического поля E_x , E_y на краю раскрыва относительно поля в центре раскрыва.

Из (26), (27) нормированная энергетическая ДН для модуля напряженности электрического поля определяется так:

$$|F_0(\varphi)|^2 = \frac{(A_u B_1 A_2 B_i)^2 f_2^2 \left(\pi \frac{B_1}{\lambda} \sin \varphi \right) + (A_1 B_e A_i B_2)^2 f_1^2 \left(\pi \frac{B_e}{\lambda} \sin \varphi \right)}{(A_e B_1 A_2 B_i)^2 + (A_1 B_e A_i B_2)^2}. \quad (28)$$

Поскольку высота ребер на излучающем раскрыве рупора выбирается из условия примерной одинаковости ДН векторных составляющих f_1 и f_2 , приближенное выражение для ДН:

$$|F_0(\varphi)|^2 \approx f_1^2 \left(\pi \frac{B_e}{\lambda} \sin \varphi \right). \quad (29)$$

Аналогично для приемной антенны:

$$|F_0(\varphi)|^2 \approx f_1^2 \left(\pi \frac{A_i}{\lambda} \sin \varphi \right). \quad (30)$$

ДН (29), (30) сопоставляются с измеренными ДН. Измеренная ДН приемной антенны имеет уровень боковых лепестков существенно выше, чем следует из формулы (30). Причина такого увеличения уровня боковых лепестков состоит в появлении в приемном рупоре, размеры излучающего раскрыва которого составляют 4-5 длин волн, волны типа H_{30} .

Литература.

1. Нефедов Е.И. Устройства СВЧ и антенны. М., Изд. Центр «Академия», 384 с., 2009 г.
2. Ерохин Г.А., Чернышев О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн под ред. Ерохина Г.А. М.: Радио и связь, 2003. – 352 с.
3. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток/Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Радиотехника, 2003г - 632с.

