

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

О.Ю.Пелевин

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Антенно-фидерные устройства»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

Ростов-на-Дону

2006

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

Цель работы

1. Изучение физических принципов работы антенны с рефлектором в виде параболоида вращения.
2. Исследование диаграммы направленности антенны
3. Исследование влияния смещения облучателя из фокуса на форму диаграммы направленности антенны.

Краткая теория

Параболические рефлекторные антенны относятся к антеннам поверхностного типа (апертурным антеннам) и характеризуются очень высокими значениями коэффициента усиления и малой шириной главного лепестка диаграммы направленности. Они широко используются в системах космической связи и радиолокации.

Такие антенны состоят из источника первичной волны – облучателя (на СВЧ это обычно пирамидальные или конические рупоры, на более низких частотах в качестве облучателя используются дипольные антенны с экраном) и одного или нескольких рефлекторов (зеркальных отражателей), обеспечивающих фокусировку излучения облучателя и преобразующих фронт его волны в плоский. Для этих целей применяется отрагательная поверхность в форме параболоида вращения или параболического цилиндра (аналогично оптическим рефлекторам или прожекторам). Плоская поверхность, ограниченная кромками рефлектора, называется раскрывом или апертурой.



Рис.1 Ход лучей в параболической антенне

На рис.1 показано плоское сечение параболического рефлектора, в фокусе которого расположен точечный облучатель. Убедимся в том, что благодаря свойствам параболы такой рефлектор создает плоскую волну, распространяющуюся вдоль его оси. Напомним, что парабола, по определению, есть геометрическое место точек $P(\rho, z)$, равноудаленных от данной точки O (фокуса) и данной прямой (директрисы).

В цилиндрических координатах уравнение параболы имеет вид:

$$\rho^2 = 4Fz, \quad (1)$$

где z отсчитывается от вершины V , а F – фокусное расстояние (кратчайшее расстояние от P до O).

Рассмотрим произвольный луч, выходящий из фокуса под углом Ψ . Очевидно, что

$$\operatorname{tg} \Psi = \rho / (F - z) \quad (2)$$

и с учетом (1)

$$\operatorname{tg} \Psi = 4F\rho / (4F^2 - \rho^2). \quad (3)$$

В силу кривизны параболы нормаль в точке P направлена к оси z под углом, тангенс которого равен $\rho / 2F$ (это следует из дифференцирования (1): $\rho d\rho = 2F dz$). Таким образом, этот угол составляет половину угла Ψ (здесь следует вспомнить известное тригонометрическое тождество о тангенсе половинного угла). Далее, полагая угол отражения в точке P равным углу падения, получаем, что отраженный луч составляет угол $\Psi/2 + \Psi/2 = \Psi$ к вектору своего вылета R и таким образом направлен точно вдоль оси параболы.

Теперь, когда определено точное направление отраженного луча, можно найти его оптическую длину пути $R+h$ от фокуса F до апертуры. Из равенства

$$R^2 = (F - z)^2 + \rho^2 \quad (4)$$

с учетом (1) получим

$$R = F + z \quad (5)$$

И, таким образом, оптическая длина пути луча равна

$$R + h = F + z + h \quad (6)$$

Поскольку величина $z+h$ есть постоянная величина, равная глубине зеркала H , то оптическая длина пути произвольного луча не зависит от R (положения точки отражения P). Поэтому фазовый набег в плоскости апертуры будет одинаков для всех лучей, что обеспечит равномерное распределение фазы по фронту волны, преобразованной параболическим рефлектором.

По известным величинам радиуса раскрыва R и глубины зеркала H его фокусное расстояние находится из (1) :

$$F = R^2/(4H). \quad (7)$$

Для приближенного расчета диаграммы направленности используется апертурный метод, согласно которому реальная отражающая поверхность параболоида с протекающими по ней электрическими токами заменяется его раскрывом, на котором имеется некоторое распределение вторичных источников. Далее предполагается, что поле в раскрыве совпадает с полем плоской волны (а вторичные источники являются элементами Гюйгенса). Тогда круглая апертура, возбужденная синфазно и равномерно, имеет диаграмму направленности вида

$$f(\theta) = 2 \frac{J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta}, \quad (8)$$

где $J_1(x)$ - функция Бесселя 1-порядка, k -волновое число, a – радиус апертуры.

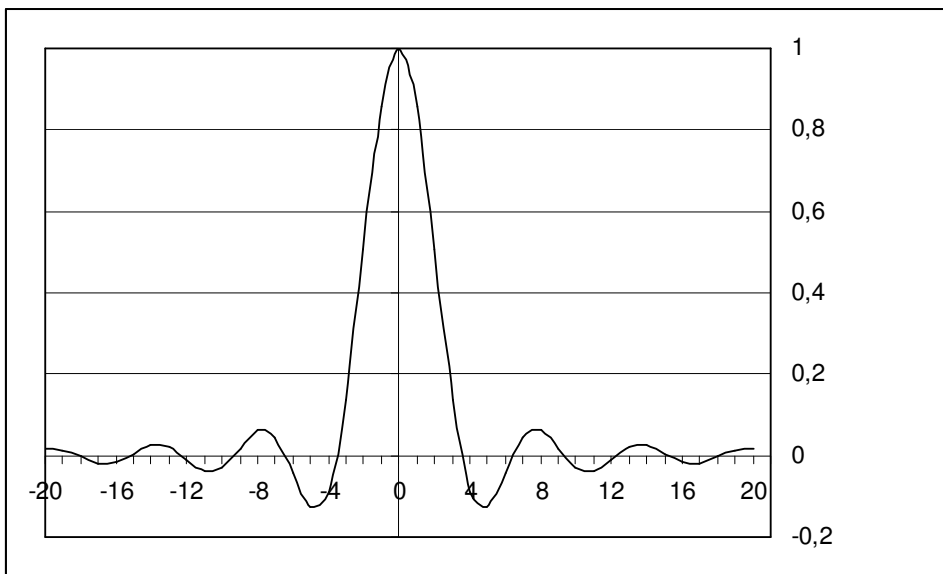


Рис. 2 Диаграмма направленности параболической антенны с $a=10\lambda$

Ширина главного лепестка такой ДН по уровню 0,7 (половинной мощности) равна

$$2\theta_{0,7} = 59^\circ \frac{\lambda}{D}. \quad (9)$$

Апертурный метод не позволяет находить поляризационные характеристики поля параболической антенны.

Коэффициент направленного действия синфазно и равномерно возбужденной апертуры определяется по формуле, где S – площадь апертуры.

$$D = 4\pi \frac{S}{\lambda^2} \quad (10)$$

Влияние неравномерного амплитудного распределения поля по раскрыву антенны на ее КНД учитывается коэффициентом использования поверхности ν (КИП):

$$D = 4\pi \frac{S_{\text{эфф}}}{\lambda^2}, \quad (11)$$

где $S_{\text{эфф}} = \nu \cdot S$ – эффективная плоскость раскрыва. Фактическое амплитудное распределение поля по раскрыву можно найти, приравняв поток мощности, исходящий от облучателя, потоку мощности, проходящему через апертуру антенны. В результате получается, что интенсивность поля уменьшается к краям раскрыва, что соответственно уменьшает КИП.

Коэффициент полезного действия параболической антенны определяется следующими видами потерь: (1) неполный перехват энергии облучателя (часть его энергии, не попадающая на рефлектор, расходуется бесполезно); (2) утечка энергии облучателя за края рефлектора; (3) затенение рефлектора облучателем; (4) кросс-поляризационные потери.

В результате коэффициент усиления параболической антенны находится в интервале

$$G = 0,55 \dots 0,65 \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2, \quad (12)$$

где D – диаметр раскрыва.

Описание лабораторной установки и методики измерения

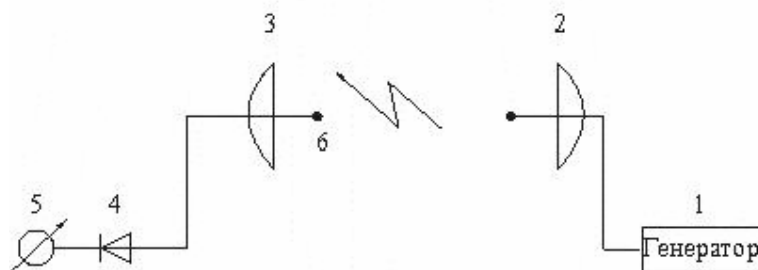


Рис. 3 Лабораторная установка

Сигнал генератора **1** поступает на передающую параболическую антенну **2**. Исследуемая параболическая антенна **3** работает в режиме приема. Она смонтирована на вращающейся подставке с лимбом, по которому отсчитывается угол поворота θ . Система крепления конического рупорного облучателя **6** исследуемой антенны предусматривает возможность его перемещения, как вдоль оси антенны, так и в фокальной плоскости. Уровень сигнала, принимаемого исследуемой антенной, измеряется цифровым регистратором **5**, соединенным с облучателем антенны через детекторную головку **4**.

Методика измерения ДН антенны сводится к измерению показаний прибора **5** в зависимости от угла поворота антенны. Для исследуемой антенны $2R \gg \lambda$, следовательно, она является остронаправленной, и поэтому угол поворота при измерениях не должен превышать $\pm 15^\circ$.

Порядок выполнения работы

I. Расчетная часть

1. Измерить геометрические параметры зеркала - диаметр раскрыва D и расстояние от вершины зеркала до плоскости раскрыва (глубину зеркала) H . Определить фокусное расстояние F исследуемой антенны по формуле (7).
2. По формуле (8) рассчитать и построить нормированную ДН исследуемой антенны на частоте, указанной преподавателем и определить ширину главного лепестка ДН по уровню половинной мощности. По формуле (12) оценить коэффициент усиления.

II. Экспериментальная часть

1. Ознакомиться с элементами установки, убедиться в ее соответствии структурной схеме рис.3. Проверить работу поворотного устройства и механических элементов, обеспечивающих перемещение облучателя исследуемой антенны. Убедиться в изменении уровня сигнала, принимаемого исследуемой антенной, при регулировке уровня выходной мощности генератора с помощью ручки «выход».
2. Снять ДН исследуемой антенны при помещении облучателя в фокус, записывая в рабочую таблицу значения угла поворота θ в градусах и соответствующие им показания прибора $q(\theta)$. Шаг угла поворота рекомендуется преподавателем и составляет обычно несколько десятых градуса. С учетом квадратичности характеристики детектора 4 нормированная ДН антенны рассчитывается по формуле

$$F(\theta) = \sqrt{\frac{q(\theta)}{q_{\max}}}$$

Измеренную ДН построить на одном графике с расчетной.

3. Снять серию нормированных ДН при смещении облучателя вдоль оси зеркала (2–3 диаграммы по указанию преподавателя) и построить на одном отдельном графике.

4. Снять серию нормированных ДН при смещении облучателя из фокуса перпендикулярно оси антенны (2–3 диаграммы по указанию преподавателя) и построить на одном графике с расчетной ДН.

5. Сопоставить результаты теоретических расчетов и экспериментальные данные.

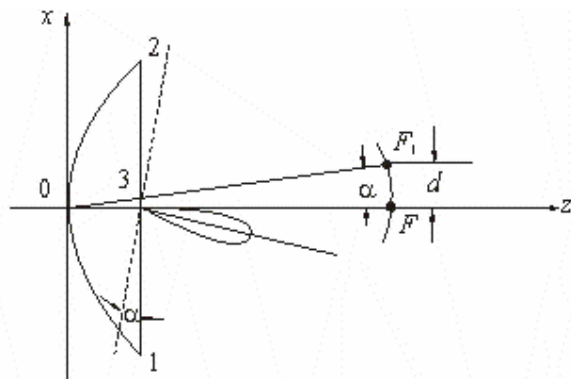
Содержание отчета

В отчете должны быть представлены:

1. Краткая теория.
2. Структурная схема лабораторной установки.
3. Графики расчетной и измеренных ДН в прямоугольной системе координат.
4. Значения характеристик направленности.

Контрольные вопросы

1. Дать определения понятий: диаграмма направленности антенны; нормированная диаграмма направленности; фокусное расстояние; коэффициент направленного действия и коэффициент усиления антенны.
2. Принцип действия параболической антенны (ПА).
3. Как определяется ширина ДН антенны?
4. Как влияет на диаграмму направленности ПА смещение облучателя вдоль оси зеркала и перпендикулярно к ней?



5. Какие облучатели используются в ПА?

6. Где применяются параболические антенны?

ЛИТЕРАТУРА

Г.З.Айзенберг, В.Г.Ямпольский, О.Н.Терешин. Антенны УКВ, часть 1.

Издательство «Связь», Москва, 1977.