

Кафедра 406 МАИ
Радиофизика, антенны и микроволновая техника
Учебная лаборатория «Антенны и микроволновая техника»

Лабораторная работа № 11.

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
СТЕРЖНЕВОЙ АНТЕННЫ**

Работа № 11. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТЕРЖНЕВОЙ АНТЕННЫ

Цель работы

1. Теоретическое и экспериментальное изучение ДН одностержневой диэлектрической антенны.
2. Теоретическое и экспериментальное изучение ДН и поляризационной характеристики двухстержневой антенны.
3. Определение коэффициента направленного действия одностержневой и двухстержневой диэлектрических антенн.

Теоретическая подготовка к работе

Для выполнения работы необходимо изучить лекционный материал по теории диэлектрического волновода, физическим принципам работы диэлектрической антенны, а также необходимые теоретические соотношения для расчета ДН такой антенны, ее ширины и коэффициента направленного действия. Этот материал можно изучить также по [1,2]. Кроме того, необходимо изучить определение характеристик направленности антенн (Приложение А).

При подготовке к работе каждому студенту необходимо рассчитать ДН, коэффициенты направленного действия одностержневой и двухстержневой антенны, а также ширину ДН одностержневой антенны.

Нормированная ДН «по мощности» одиночной стержневой антенны в E -плоскости определяется выражением [1]

$$F_E^2(\theta) = F_1^2(\theta) F_2^2(\theta) F_3^2(\theta), \quad (11.1)$$

где $F_1^2(\theta)$ – ДН элемента «по мощности» в E -плоскости:

$$F_1^2(\theta) = \cos^2 \theta; \quad (11.2)$$

$F_2^2(\theta)$ – ДН круглого диэлектрического диска:

$$F_2^2(\theta) = \Lambda_1 \left(\frac{kd}{2} \sin \theta \right); \quad (11.3)$$

$F_3^2(\theta)$ – ДН стержня с бегущей электромагнитной волной вдоль него при условии изотропности излучения каждого его элемента; при отсутствии потерь в стержне (что можно допустить для коротких стержней) этот множитель запишется в виде

$$F_3^2(\theta) = \frac{\sin\left[\frac{\pi L}{\lambda}(\gamma - \cos\theta)\right]}{\frac{\pi L}{\lambda}(\gamma - \cos\theta)}. \quad (11.4)$$

В формулах (11.1)–(11.4) используются следующие обозначения: θ – угловая координата точки наблюдения, отсчитываемая от оси стержня; Λ_1 – лямбда-функция, графически изображенная на рис. 11.1; $d = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}$ – средний диаметр конического стержня, d_{\max} и d_{\min} – соответственно максимальный и минимальный диаметры; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число в свободном пространстве; L – длина стержня; γ – коэффициент замедления волны в диэлектрическом стержне.

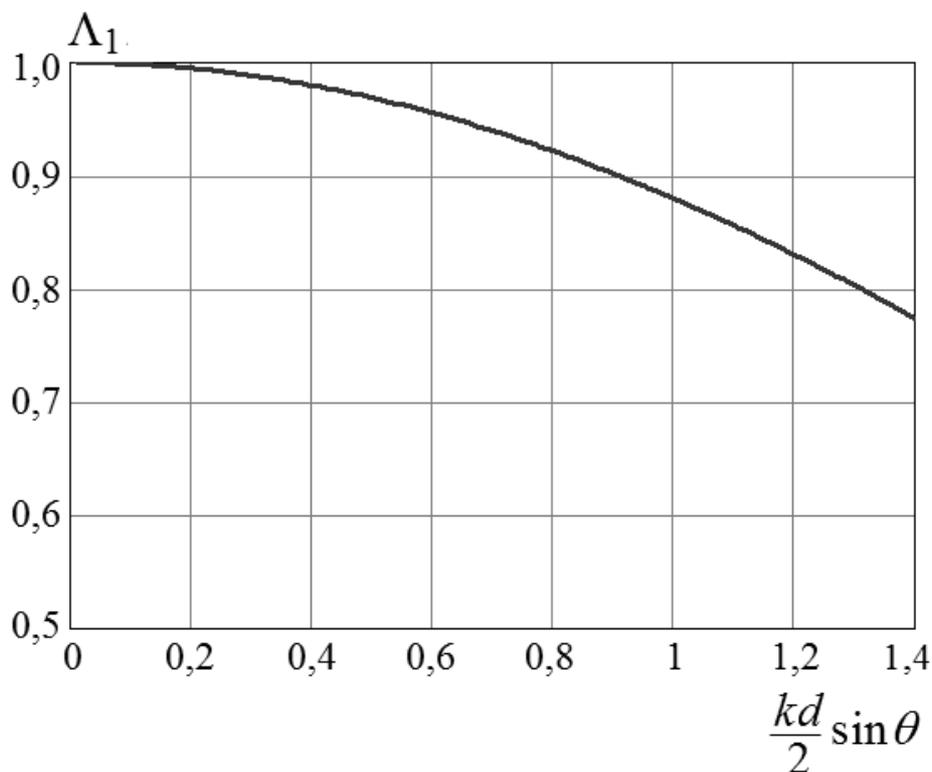


Рис. 11.1. График лямбда-функция 1-го порядка

Нормированная ДН «по мощности» одиночной стержневой антенны в H -плоскости определяется формулой

$$F_H^2(\theta) = F_2^2(\theta) F_3^2(\theta). \quad (11.5)$$

где угол θ отсчитывается от оси стержня в H -плоскости.

Для расчета нормированной ДН двухстержневой антенны с плоскостью размещения стержней в E - или H -плоскостях необходимо соответствующую формулу (11.1) или (11.5) домножить на множитель решетки, который для двух стержней равен

$$F_p^2(\theta) = \cos^2\left(\frac{\pi D}{\lambda} \sin\theta\right), \quad (11.6)$$

где D – расстояние между осями стержней; θ – угол, отсчитываемый от осевого направления в плоскости расположения стержней.

Ширину ДН «по мощности» одностержневой антенны можно оценить по формуле

$$2\theta_{0,5} \approx 60^\circ \sqrt{\frac{L}{\lambda}}, \text{ град.} \quad (11.7)$$

Коэффициент направленного действия одностержневой антенны рассчитывается по формуле

$$D_1 \approx 4A \frac{L}{\lambda}, \quad (11.8)$$

где коэффициент A определяется по графику на рис. 11.2.

Коэффициент направленного действия двухстержневой антенны можно приближенно оценить как

$$D_2 \approx 2D_1. \quad (11.9)$$

Расчеты ДН, ширины ДН и коэффициента направленного действия антенны по вышеприведенным формулам следует произвести для параметров, заданных в табл. 11.1. Величина замедления γ определяется по среднему диаметру стержня из графика на рис. 11.3 для диэлектрической проницаемости $\varepsilon = 2,5$.

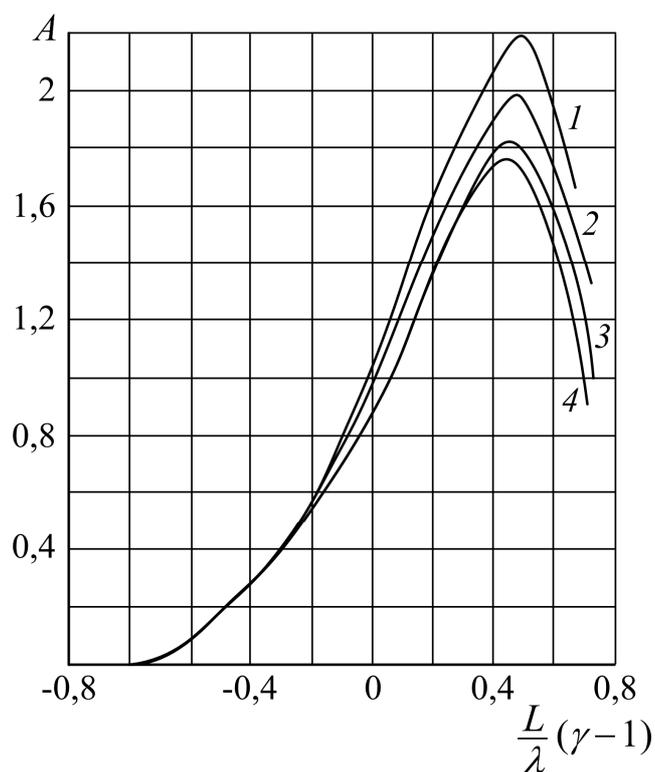


Рис. 11.2. Зависимость параметра A от параметра $\frac{L}{\lambda}(\gamma-1)$:

$$1 - \frac{L}{\lambda}=1; 2 - \frac{L}{\lambda}=2; 3 - \frac{L}{\lambda}=10; 4 - \frac{L}{\lambda}=\infty$$

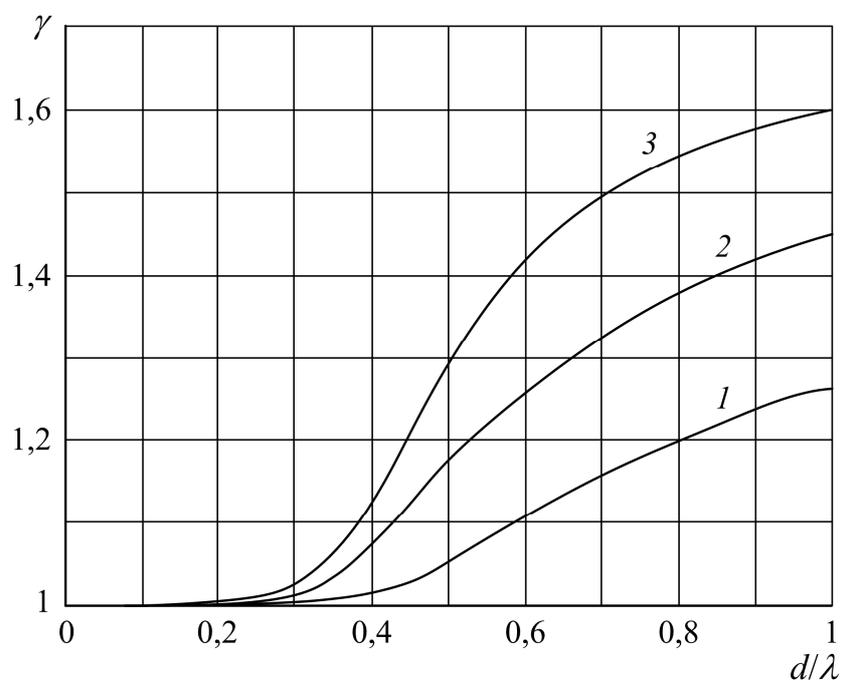


Рис. 11.3. Коэффициент замедления волны в диэлектрическом стержне (ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала стержня):

$$1 - \varepsilon=2; 2 - \varepsilon=2,5; 3 - \varepsilon=3$$

Таблица 11.1. Исходные данные для теоретического расчета

№ варианта	λ , см	L , см	d_{\max} , см	d_{\min} , см
1	100	150	48	38
2	100	145	50	40

Расчетное задание и расчетные формулы

1. Рассчитать ДН одностержневой антенны в двух плоскостях с шагом 5° в пределах изменения угла θ от 0° до 90° . По расчетным данным построить ДН в прямоугольной системе координат в пределах $\pm 90^\circ$.

2. Рассчитать ДН двухстержневой антенны в H -плоскости. Для этого расчетные значения формулы (11.5), имеющиеся в результатах предыдущего расчета, необходимо домножить на множитель F_p^2 , рассчитанный для тех же самих значений углов θ (т.е. через каждые 5°). Расчет произвести для расстояния между стержнями $D = 200$ мм. Рассчитанную ДН построить в прямоугольной системе координат.

3. Рассчитать по формуле (11.7) ширину ДН одностержневой антенны и сравнить ее с шириной ДН, полученной по данным формулы (11.1).

4. По формулам (11.8) и (11.9) рассчитать коэффициенты направленного действия одностержневой и двухстержневой антенн.

Экспериментальная часть

Описание лабораторной установки

Электрическая схема лабораторной установки по исследованию диэлектрической стержневой антенны изображена на рис. 11.4. Высокочастотная энергия от генератора 1 через коаксиальный кабель 3 подается к излучающей антенне 6, выполненной в виде симметричного вибратора с контррефлектором и симметрирующим устройством 5.

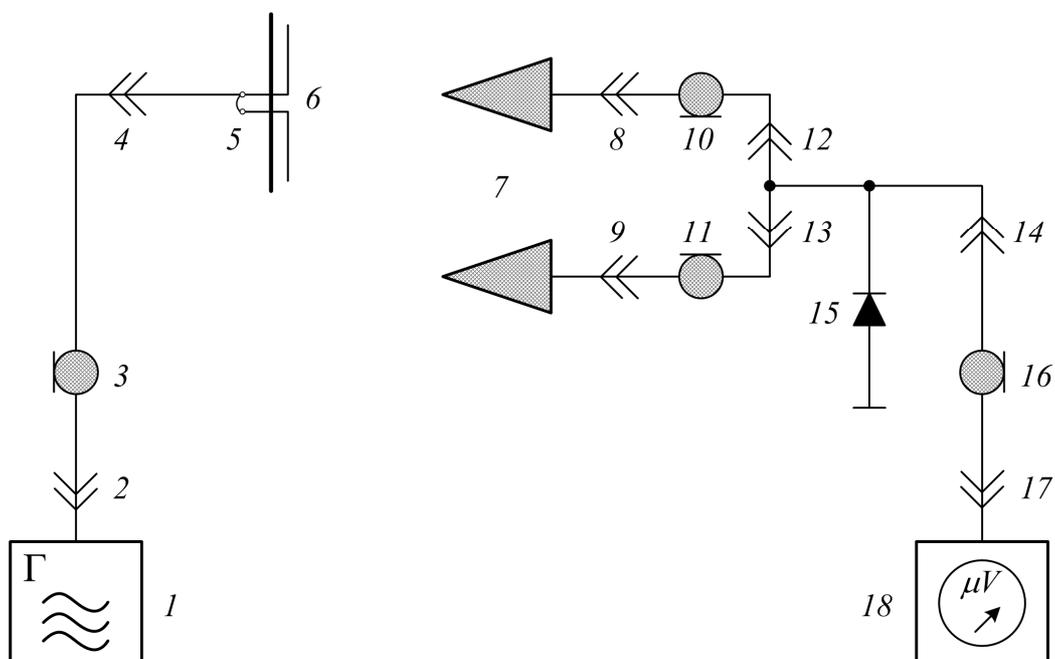


Рис. 11.4. Электрическая схема лабораторной установки для исследования диэлектрической стержневой антенны: 1 – генератор; 2,4,8,9,12,13,14,17 – высокочастотные разъемы; 3,10,11,16 – коаксиальные кабели; 5 – симметрирующее устройство; 6 – излучающая антенна; 7 – исследуемая антенна; 15 – диод; 18 – милливольтметр ВЗ-38

Исследуемая диэлектрическая стержневая антенна 7 работает в режиме приема электромагнитной энергии. Принимаемый высокочастотный сигнал детектируется диодом 15 и по экранированному кабелю 16 поступает к индикаторному прибору 18 (милливольтметр ВЗ-38).

Исследуемая антенна 1 (рис. 11.5) устанавливается на поворотном устройстве 2, укрепленном на стойке 3. Уголок 4 поворотного устройства позволяет установить один или два стержня, а устройство крепления допускает возможность ступенчатого поворота каждого из них вокруг их продольной оси на 90° . Такая конструкция крепления стержня позволяет снимать ДН антенны как в E -плоскости, так и в H -плоскости. Величина поворота исследуемой антенны в горизонтальной плоскости определяется по лимбу 5. Принимаемая антенной электромагнитная энергия через коаксиальный тройник 6 с вмонтированным в него детектором поступает по кабелю 7 к измерительному прибору 8.

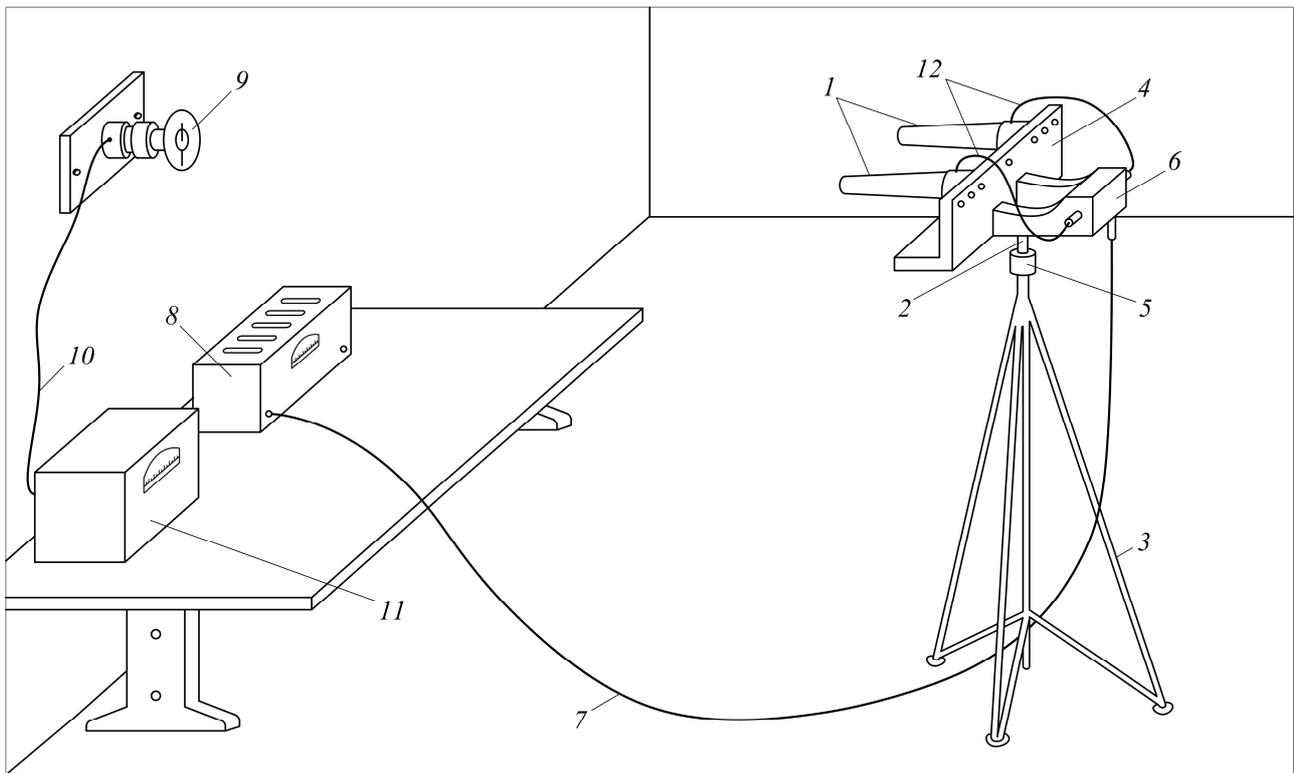


Рис. 11.5. Лабораторная установка для исследования диэлектрической стержневой антенны:

1 – исследуемая антенна; 2 – поворотное устройство; 3 – стойка; 4 – уголок; 5 – лимб; 6 – трюник; 7, 10, 12 – коаксиальные кабели; 8 – измерительный прибор (милливольтметр ВЗ-38); 9 – излучающая антенна; 11 – СВЧ-генератор

Излучающей антенной 9, укрепленной на стене и питаемой с помощью коаксиального фидера 10 от генератора 11, является полуволновый вибратор с дисковым контррефлектором. В антенне имеется симметрирующий четвертьволновый стакан и предусмотрена возможность ее вращения вокруг оси, перпендикулярной плоскости контррефлектора, что требуется для изменения поляризации излученного поля.

Порядок выполнения эксперимента

Перед началом эксперимента необходимо с разрешения преподавателя или лаборанта включить приборы лабораторной установки для их предварительного прогрева.

1. Исследование ДН одностержневой антенны в E -плоскости.

В центральное отверстие в уголке поворотного устройства устанавливают одну стержневую антенну таким образом, чтобы возбуждающий штырь у основания стержня (приемной антенны) был горизонтальным (кабель при этом подходит к стержню сбоку); вибратор излучающей антенны устанавливается также горизонтально.

Подключив кабель ко входу милливольтметра ВЗ-38 и поворачивая приемную антенну в горизонтальной плоскости на $\pm 90^\circ$ от положения максимального приема, снимают ДН в E -плоскости, занося данные в табл. 11.2 через каждые 5° угла поворота антенны. В области боковых лепестков от указанного интервала можно отклониться, зафиксировав и записав лишь положения нулей и максимумов. По полученным данным после их нормировки строят нормированную экспериментальную ДН одностержневой антенны на том же рисунке, где строилась теоретически рассчитанная ДН. Следует иметь в виду, что вследствие квадратичной характеристики детектора (вмонтированного в тройник) показания милливольтметра ВЗ-38 пропорциональны принимаемой мощности.

Таблица 11.2. Экспериментальные данные измерения ДН одностержневой антенны в E -плоскости

θ , град	-90	-85	...	-5	0	5	...	85	90
$f_E^2(\theta)$									
$F_{E \text{ норм}}^2(\theta)$									

2. Исследование ДН одностержневой антенны в H -плоскости.

Исследуемую антенну устанавливают таким образом, чтобы возбуждающий штырь у основания стержня (приемной антенны) оказался вертикальным, а кабель подходил сверху. Вибратор излучающей антенны также поворачивают и устанавливают в вертикальное положение.

Поворачивая диэлектрическую антенну в горизонтальной плоскости на $\pm 90^\circ$ от направления максимального приема, снимают ДН в H -плоскости таким

же образом, как в п. 1, а данные заносят в табл. 11.3. По полученным данным строят нормированную ДН в H -плоскости на одном рисунке вместе с ДН одностержневой антенны в E -плоскости.

Таблица 11.3. Экспериментальные данные измерения ДН одностержневой антенны в H -плоскости

θ , град	-90	-85	...	-5	0	5	...	85	90
$f_H^2(\theta)$									
$F_H^2_{\text{норм}}(\theta)$									

3. Исследование ДН двухстержневой антенны.

Диаграмму направленности двухстержневой антенны снимают только в H -плоскости. Для этого на уголке устанавливают два стержня, закрепив их симметрично относительно центрального отверстия на самом малом расстоянии, равном 100 мм. Поворачивая антенну на $\pm 90^\circ$ относительно направления максимального приема (нулевого деления лимба), снимают ДН. Затем повторяют такие же измерения для расстояния между стержнями 150 и 200 мм. Экспериментальные данные заносят в табл. 11.4, и по ним строят ДН в H -плоскости для отмеченных трех расстояний на рисунке, где построена теоретически рассчитанная ДН при расстоянии между стержнями 200 мм. На основе построенных графиков делается вывод о характере влияния расстояния между стержнями на ДН антенны и о степени соответствия теории с экспериментом.

4. Определение плоскости поляризации двухстержневой антенны.

Двухстержневую антенну устанавливают в направлении максимального излучения по показаниям милливольтметра ВЗ-38, после чего закрепляют поворотное устройство в этом положении (расстояние между стержнями можно взять любое). Излучающий вибратор с контррефлектором поворачивают вокруг горизонтальной оси на $\pm 90^\circ$ с шагом 10° , записывая показания с

милливольтметра ВЗ-38 в табл. 11.5. На основе проведенных измерений делают вывод об ориентации плоскости поляризации диэлектрической двухстержневой антенны.

Таблица 11.4. Экспериментальные данные измерения ДН двухстержневой антенны в H -плоскости

θ , град	-90	-85	...	-5	0	5	...	85	90
$D = 100$ мм									
$f_H^2(\theta)$									
$F_{H^2 \text{ норм}}(\theta)$									
$D = 150$ мм									
$f_H^2(\theta)$									
$F_{H^2 \text{ норм}}(\theta)$									
$D = 200$ мм									
$f_H^2(\theta)$									
$F_{H^2 \text{ норм}}(\theta)$									

Таблица 11.5. К определению плоскости поляризации двухстержневой антенны

θ , град	-90	-80	...	-10	0	10	...	80	90
U^2 , мВ ²									

Требования к отчету

Оформление отчета должно отвечать требованиям, изложенным в разделе «Правила оформления отчета». В отчете должны быть представлены:

- 1) цель работы и электрическая схема установки;
- 2) расчетные формулы и результаты расчета;
- 3) теоретические и экспериментальные ДН, а также необходимые для их построения таблицы с теоретическими и экспериментальными данными;
- 4) выводы по каждому пункту работы и по всей работе в целом.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип действия диэлектрической стержневой антенны.
2. Нарисуйте структуру поля в поперечном сечении диэлектрической стержневой антенны.
3. Из каких соображений выбираются диаметры конического стержня – максимальный и минимальный?
4. Как влияет длина стержня на ДН; во сколько раз изменится ширина ДН при увеличении длины стержня в два раза?
5. Что понимается под оптимальной длиной стержня?
6. Из каких сомножителей состоит характеристика направленности двухстержневой антенны?
7. Как влияет на ДН двухстержневой антенны расстояние между стержнями?
8. Расскажите о способах возбуждения диэлектрической стержневой антенны.
9. Из каких соображений в диэлектрической стержневой антенне выбираются размеры металлического стакана и возбуждающего штыря, помещенного в него?
10. Каким элементом определяется поляризация принимаемого антенной поля?
11. Какими элементами определяются диапазонные свойства диэлектрической стержневой антенны?
12. На каком расстоянии располагаются излучатели с широкой ДН в антенной решетке? То же самое для излучателей с узкой ДН.

Приложение А. Определение характеристик направленности антенны

Снятие диаграммы направленности

Величина напряженности поля, излучаемого антенной, зависит от положения точки наблюдения. Функциональное описание этой зависимости производят в сферической системе координат (R, θ, φ) , центр которой находится в электрическом центре антенны. Для дальней зоны, т.е. на расстояниях R , во много раз больших рабочей длины волны λ и наибольшего излучающего размера антенны D , величину напряженности поля можно описать формулой

$$E = \frac{E_{\max}}{R} F(\theta, \varphi). \quad (\text{A.1})$$

Функцию $F(\theta, \varphi)$, описывающую зависимость амплитуды поля от угловых координат, называют амплитудной характеристикой направленности антенны, или сокращенно – характеристикой направленности антенны. Графическое изображение характеристики направленности называют ДН.

Амплитудные ДН (например, в плоскости угла θ) строят как в полярной, так и в прямоугольной системе координат (рис. А.1), по модулю. Вопрос о том, в какой системе координат строить ДН, определяет ее ширина. Для широких ДН (примерно 30° и более) наглядней изображение получается в полярной системе координат, а для узких ДН – в прямоугольной.

Довольно часто при построении ДН в любой системе координат возникает задача точного изображения относительно малого уровня боковых лепестков. В этом случае для отсчета величины $F(\theta, \varphi)$ применяют логарифмический масштаб.

При работе антенны в режиме приема характеристика направленности описывает изменение напряжения (или тока) на входе антенны в зависимости от направления прихода электромагнитной волны. В соответствии с принципом взаимности характеристика направленности антенны при работе на передачу и прием одна и та же. Это обстоятельство позволяет снимать ДН антенны в режиме передачи или приема в зависимости от того, что более удобно.

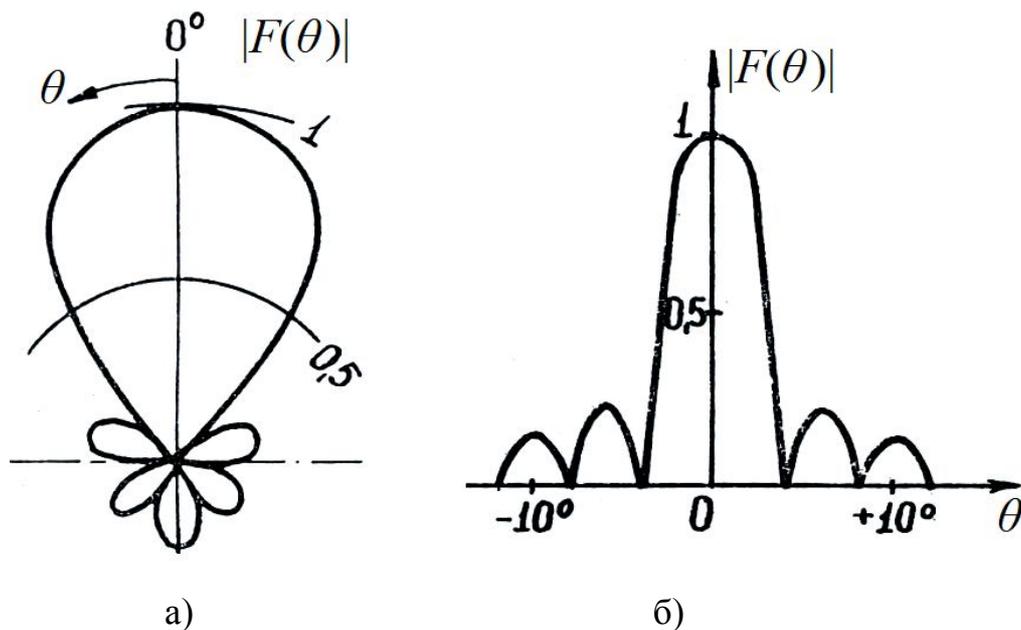


Рис. А.1. Амплитудные ДН:

а – в полярной системе координат; б – в прямоугольной системе координат

Для снятия ДН антенны в любом режиме необходима вторая (вспомогательная) антенна (рис. А.2). Для исследуемой антенны направление на вторую антенну меняется, а для вспомогательной антенны оно постоянно; при этом расстояние между двумя антеннами остается неизменным.

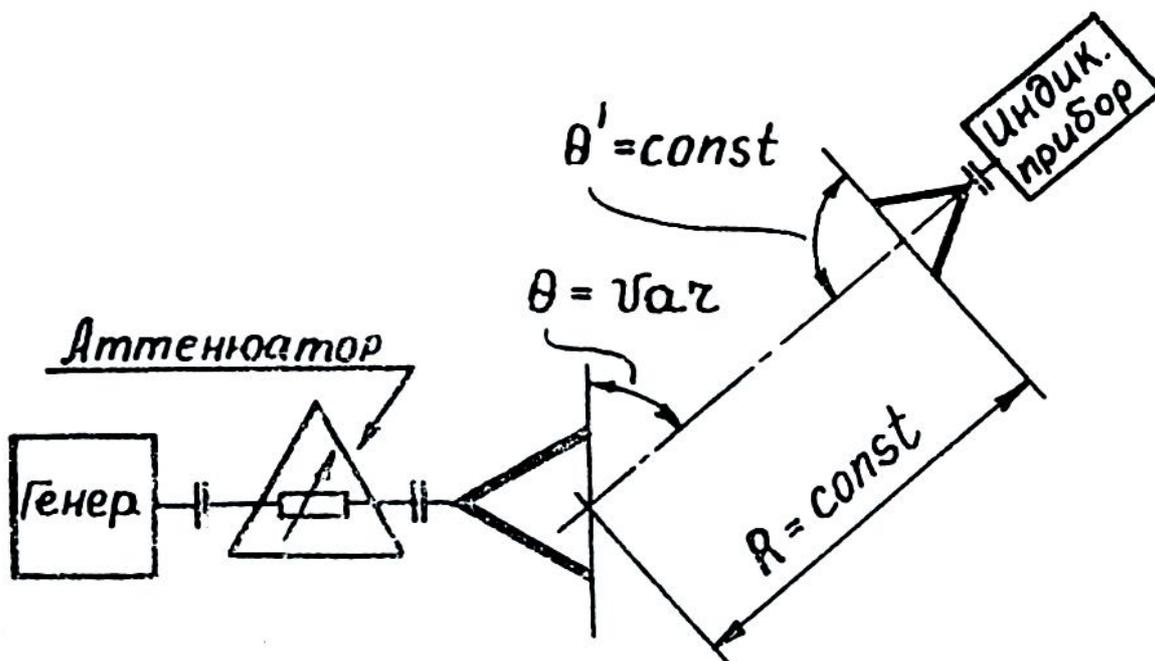


Рис. А.2. Схема установки для снятия ДН

При снятии ДН необходимо определить, с каким интервалом изменять координатный угол и на каком расстоянии располагать антенны.

Первый вопрос связан с шириной главного лепестка ДН антенны. Построение главного лепестка, а также боковых лепестков ДН следует производить по достаточному числу экспериментальных точек.

Для наиболее точного построения ДН в пределах главного лепестка необходимо иметь 12...16 экспериментально полученных точек. Для этого в начале эксперимента производят предварительное определение ширины главного лепестка «по нулям», и $\frac{1}{12} \dots \frac{1}{16}$ этой величины укажет на максимальный интервал изменения угла θ . Положение нулей ДН при эксперименте фиксируют по возможности точнее.

Интервал изменения угла $\Delta\theta$ до эксперимента приближенно можно оценить по формулам, поскольку обычно размер излучающего раскрыва D антенны и рабочая длина волны λ известны. Ширину луча большинства антенн по нулевому уровню определяют по формуле

$$2\theta_0 \approx 120 \frac{\lambda}{D}, \text{ град.} \quad (\text{A.2})$$

Следовательно, интервал изменения угла $\Delta\theta_0 \leq 10 \frac{\lambda}{D}$.

Выбор необходимого расстояния между антеннами связан с фазовой и амплитудной ошибками в их раскрывах. Вследствие сферичности фронта волны, излученной антенной с размером раскрыва d (рис. А.3,а), раскрыв D приемной антенны будет возбуждаться несинфазно. В случае, когда размер раскрыва одной антенны намного больше размера раскрыва другой антенны ($D \gg d$), амплитудную ошибку можно не учитывать. Фазовая ошибка будет допустимой (меньше $\pi/8$), если расстояние между антеннами выбрать из соотношения

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}. \quad (\text{A.3})$$

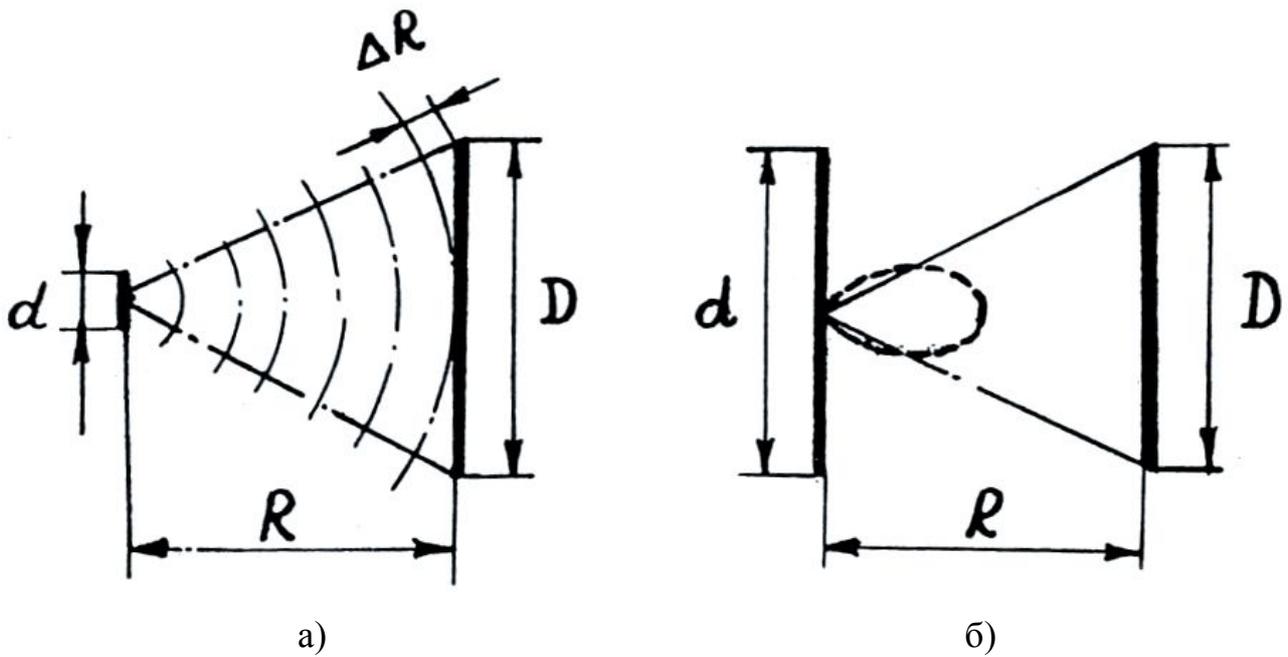


Рис. А.3. Схема для определения расстояния между антеннами при измерении ДН: *a* – с учетом только фазовой ошибки; *б* – с учетом только амплитудной ошибки

В случае антенн с соизмеримыми размерами раскрывов к фазовой ошибке добавляется еще амплитудная ошибка. Последняя возникает вследствие того, что равномерность возбуждения раскрыва приемной антенны зависит от ширины ДН передающей антенны (рис. А.3,б). Влияние указанных ошибок становится незначительным, если ДН снимать на расстоянии

$$R \geq \frac{2(D+d)^2}{\lambda}. \quad (\text{А.4})$$

При измерениях ДН антенн надо иметь в виду, что характеристики детекторов, применяемых в индикаторных приборах, нелинейны. В первом приближении характеристики кристаллических детекторов можно считать квадратичными, и тогда данные индикаторных приборов будут соответствовать ДН «по мощности», т.е. $F^2(\theta, \varphi)$.

При точных измерениях ДН влияние нелинейности характеристики детектора можно избежать за счет применения градуированного аттенюатора (рис. А.2), включенного в любое место высокочастотного тракта установки. В

этом случае измерения уровня сигнала ведутся путем изменения затухания, вносимого аттенюатором. Перед измерениями вспомогательную антенну устанавливают в направлении главного максимума ДН исследуемой антенны. Регулировка аттенюатора состоит в установке его в положение максимального затухания, величина которого определяется чувствительностью принимаемой аппаратуры и удобным положением стрелки индикаторного прибора. При снятии ДН за счет уменьшения затухания аттенюатора стрелка индикаторного прибора возвращается к первоначальному положению. Данные об измерении уровня сигнала считываются со шкалы градуированного аттенюатора (с учетом градуировочного графика) в децибелах, которые затем можно пересчитать в относительные величины. При таком способе измерения ДН рабочий режим детектора неизменен и вид его характеристики не имеет значения.

Измерение коэффициента усиления антенн

Для измерения коэффициента усиления (КУ) антенн с применением эталонной антенны используют ту же схему установки, что и для снятия ДН. Минимально допустимое расстояние между антеннами также определяется по формуле (А.4). Поскольку на КУ антенн сказываются фазовые и амплитудные ошибки в обеих плоскостях, то в формулу (А.4) необходимо подставить наибольшие размеры раскрывов антенн.

При измерении КУ вспомогательную антенну устанавливают в направлении главного максимума исследуемой антенны с неизвестным коэффициентом усиления G_x . После записи показаний индикаторного прибора α_x исследуемую антенну заменяют на эталонную с известным коэффициентом усиления $G_{эт}$. При квадратичной характеристике детектора изменения в показаниях индикаторного прибора будут прямо пропорциональны изменению КУ при перемене антенн:

$$G_x = G_{эт} \frac{\alpha_x}{\alpha_{эт}}, \quad (A.5)$$

где $\alpha_{эт}$ – показания индикаторного прибора при использовании эталонной антенны.

При применении градуированного аттенюатора измерение отношения $\frac{\alpha_x}{\alpha_{эт}}$ производится точнее. Поэтому при точных измерениях КУ предпочтительнее пользоваться аттенюатором. Если КУ необходимо измерить очень точно, то учитывают величины отраженных мощностей от входов исследуемой и эталонной антенн. Обычно эти отражения малы и при измерениях их не учитывают.

В качестве индикаторного прибора в лаборатории используется милливольтметр ВЗ-38.

Измерение при помощи милливольтметра ВЗ-38

Аналоговый милливольтметр переменного тока ВЗ-38 (рис. А.4) предназначен для измерения величины напряжения переменного тока в диапазоне 100 мкВ...300 В частотой 20 Гц...5 МГц.



Рис. А.4. Милливольтметр ВЗ-38 (передняя панель)

В милливольтметре ВЗ-38 имеется детектор среднего значения. Шкала прибора проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения. Прибор ВЗ-38 удобен для измерения затуханий и частотных характеристик по шкале, проградуированной в децибелах (0 дБ – 0,775 В).

Предел допускаемой основной погрешности прибора, выраженный в процентах от верхнего предела установленного поддиапазона измерения, равен $\pm 2,5\%$. Входная емкость: 30 пФ (1...300 мВ) и 15 пФ (1...300 В). Входное сопротивление: 5 МОм (1...300 мВ) и 4 МОм (1...300 В).

На его передней панели имеются:

- стрелочный прибор, по положению стрелки которого отсчитывается входное напряжение;
- входной разъём для подачи измеряемого напряжения;
- переключатель пределов измерения напряжения;
- выключатель сети и индикатор включения.

Для начала работы необходимо включить прибор в сеть, щёлкнуть вверх сетевым выключателем и дать прибору прогреться 5 минут.

Устанавливаем переключатель пределов на значение, немного превышающее предполагаемую величину измеряемого напряжения. Например, если планируется измерять напряжение примерно 1...2 В, ставим переключатель на «3 В» (как на рис. А.4).

Важно! Предел измерения прибора обозначает величину напряжения, подаваемого на вход, при котором стрелка прибора отклонится до максимального (крайнего правого) положения.

Подаём на вход прибора измеряемое напряжение. Стрелка его отклонится и покажет величину поданного напряжения. Если стрелка ушла вправо за границу шкалы (зашкалила), то входное напряжение больше установленного предела, нужно переключатель пределов переключить на больший предел; если стрелка отклонилась меньше, чем четверть шкалы, то нужно переключиться на меньший предел, иначе будет велика погрешность измерения.

По какой шкале производить отсчёт? Верхняя шкала имеет деления до 10, по ней удобно измерять на пределах, кратных 10; средняя шкала имеет деления до 30, по ней удобно измерять на пределах, кратных 3. На нижнюю шкалу для ясности не будем обращать внимания – для лабораторных работ она не требуется.

На рис. А.4 переключатель пределов стоит в положении «3 V», значит, считывать показания будем по средней шкале. По ней стрелка максимально может отклониться до числа 30 при входном напряжении 3 В, т.е. значение, которое стрелка показывает на средней шкале (рис. А.4), нужно разделить на 10. Тогда получим величину измеряемого напряжения. В нашем случае стрелка показывает «21», считаем: $21/10 = 2,1$ В.

Содержание

Цель работы	2
Теоретическая подготовка к работе	2
Расчетное задание и расчетные формулы	6
Экспериментальная часть	6
Описание лабораторной установки	6
Порядок выполнения эксперимента	8
Требования к отчету	11
Контрольные вопросы	12
Приложение А. Определение характеристик направленности антенны 13	
Снятие диаграммы направленности	13
Измерение коэффициента усиления антенн.....	17
Измерение при помощи милливольтметра В3-38	18

Литература

- 1 Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И. и др. Устройства СВЧ и антенны / Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Радиотехника. 2016.
- 2 Марков Г.Т., Сазонов Д.М., Антенны. М.: Энергия. 1975.