

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная электроника»

Н. И. Вяхирев, О. А. Елисеева

АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника»**

**специализации 1-36 04 02 02 «Техника
и средства электронной связи»**

дневной формы обучения

В двух частях

Часть 2

Гомель 2013

УДК 621.396.679.4(075.8)
ББК 32.845я73
В99

*Рекомендовано научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 4 от 26.11.2012 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *В. С. Захаренко*

Вяхирев, Н. И.

В99 Антенно-фидерные устройства : лаборатор. практикум по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» специализации 1-36 04 02 02 «Техника и средства электронной связи» днев. формы обучения : в 2 ч. Ч. 2 / Н. И. Вяхирев, О. А. Елисеева. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – 33 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://library.gstu.by/StartEK/>. – Загл. с титул. экрана.

Даны необходимые сведения для освоения теоретического материала и практического закрепления знаний по курсу «Антенно-фидерные устройства».

Для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» дневной формы обучения.

УДК 621.396.679.4(075.8)
ББК 32.845я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2013

Лабораторная работа № 5 ДИРЕКТОРНЫЕ АНТЕННЫ

Цель работы: ознакомиться с конструкцией директорных антенн, расчетом и экспериментальным определением их электродинамических характеристик.

1. Краткие теоретические сведения

Директорные антенны (антенны типа «волновой канал») представляют собой систему вибраторов, имеющих длину, близкую к половине длины волны, и расположенных перпендикулярно прямой линии, вдоль которой происходит излучение (рис. 5.1). Активным в антенне является только один вибратор, в качестве которого часто используется петлевой вибратор Пистолькорса, а остальные вибраторы – пассивные. Один вибратор имеет длину несколько большую половины длины волны, он называется рефлектором, другие – несколько меньшую половины длины волны, это директоры.

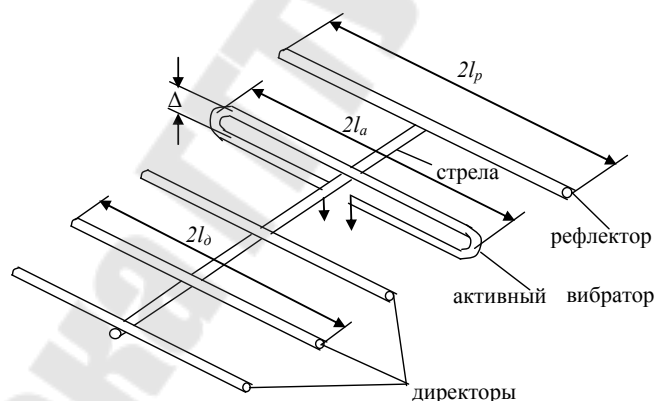


Рис.5. 1. Директорная антенна

Вибраторы делаются жесткими и крепятся своими средними точками к стреле без изоляторов, даже если стрела металлическая. Стрела симметрична относительно плеч вибраторов, силовые линии вектора E пересекают ее под прямым углом, и поэтому она не возбуждается и не влияет на процесс излучения и приема электромагнитных волн.

Расстояние между активным вибратором и рефлектором берется в пределах $(0,15 - 0,25)\lambda$, а между активным вибратором и первым директором, а также между соседними директорами – в пределах $(0,10$

– $0,35\lambda$. Для получения максимального коэффициента усиления в главном направлении расстояния между директорами и их длина специально подбираются на заданной частоте возбуждения. Следует стремиться к тому, чтобы величины токов в вибраторах были примерно равны между собой и близки к величине тока в активном вибраторе, а фазы токов отставали на определенную величину от вибратора к вибратору по мере продвижения к переднему краю антенны.

Антенна излучает в направлении директоров, имеет главный лепесток диаграммы направленности (ДН) более узкий, чем у одиночного вибратора. Ширина главного лепестка определяется количеством директоров – чем больше директоров, тем уже главный лепесток, тем больше коэффициент усиления антенны. В направлении рефлектора излучение антенны мало.

Возбуждается директорная антенна аналогично петлевому вибратору – через симметрирующе-трансформирующее устройство.

2. Описание установки

Методика измерений характеристик антенны и структурная схема измерительного стенда приведены в п.2 методических указаний к лаб. раб. №4.

В состав установки входят (рис. 5.2):

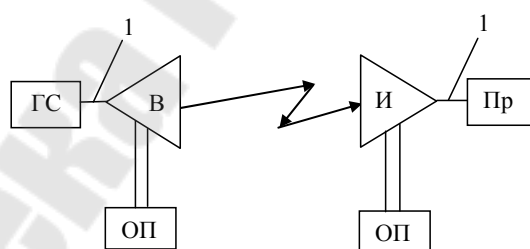


Рис.5. 2. Блок-схема измерения ДН директорной антенны

- 1.генератор СВЧ колебаний дециметрового диапазона волн;
- 2.исследуемая антенна – директорная антенна, устанавливаемая на поворотном устройстве;
- 3.вспомогательная директорная антенна или антенна другого типа, работающая в этом же диапазоне частот, также устанавливается на поворотном устройстве;
- 4.измерительный приемник;

5. измерительная линия дециметрового диапазона волн;

6. индикатор тока детектора измерительной линии.

Кроме того, в установке используются высокочастотные коаксиальные кабели с разъемами.

Макеты исследуемой и вспомогательной антенн совмещены с симметрирующими устройствами.

Поворотные устройства позволяют измерять ДН антенны в горизонтальной плоскости. При этом имеется возможность поворота приемной и передающей антенн вокруг горизонтальной оси на 90° и тем самым снимать диаграммы направленности как в плоскости электрического вектора (плоскости, проходящей через оси вибраторов), так и в плоскости магнитного вектора (плоскости, перпендикулярной оси вибраторов).

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со структурной схемой, аппаратурой и элементами измерительной установки, описанием приборов.

2. Изучить методику измерения диаграммы направленности директорной антенны и уровня согласования входа антенны с питающим кабелем.

3. С помощью программы *ММАНА* рассчитать и построить нормированную диаграмму направленности, коэффициент усиления, коэффициент защитного действия и коэффициент стоячей волны на входе директорной антенны. Волновое сопротивление питающего кабеля 50 Ом. Антенна выполнена из медных трубок диаметром 6мм и имеет размеры: длина активного вибратора (по центру трубок) $2l_a = 246$ мм; расстояние между половинками вибратора $\Delta = 23$ мм; рефлектор длиной $2l_p = 308$ мм располагается на расстоянии 77мм от активного вибратора; первый директор длиной $2l_{d1} = 211$ мм располагается на расстоянии 49мм от активного вибратора; второй директор имеет длину $2l_{d2} = 181$ мм; расстояние между директорами 165мм. На выходе директорной антенны включен симметричный трансформатор на ферритовых кольцах, изменяющий сопротивление с входа на выход в 4 раза. Расчетная частота указывается преподавателем. ДН строить в *E*- и *H*- плоскостях в прямоугольной и полярной системах координат.

4. Собрать установку согласно рис.5.2. Включить измерительные приборы и дать им прогреться.

5. Установить на генераторе заданную частоту.

6. Измерить диаграмму направленности директорной антенны в *E*-плоскости. Измерения выполнить в диапазоне углов $0-180^\circ$ относительно направления максимального излучения, шаг изменения угла не более 5° .

7. Измерить диаграмму направленности директорной антенны в *H*-плоскости.

8. По измеренной ДН рассчитать коэффициент защитного действия антенны. Сравнить его с результатом, полученным с помощью программы *MMANA*.

9. Пронормировать полученные результаты на максимальное значение диаграммы направленности. Сравнить их с расчетными результатами, построив их на одном графике.

10. Собрать стенд для измерения коэффициента стоячей волны в питающем кабеле вибраторной антенны. Включить на выход измерительной линии согласованную нагрузку. Включить измерительные приборы и дать им прогреться. Установить на выходе генератора сигнала ту же частоту, что и в предыдущих пунктах. Далее выполнить:

- установить исследуемую антенну на подставку рядом с генератором и подключить ее к выходу измерительной линии;

- откалибровать измерительную линию, настроив ее резонатор по максимуму сигнала на индикаторе;

- установить мощность сигнала на выходе генератора такой, чтобы напряжение на вольтметре не превышало 10 мВ. При этом измерительная линия имеет квадратичную детекторную характеристику;

- перемещая каретку вдоль линии, определить минимальное и максимальное значения сигнала;

- рассчитать коэффициент стоячей волны в питающем кабеле вибраторной антенны.

11. Оформить отчет о проделанной работе.

4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- структурную схему измерительного стенда, назначение его элементов;

- протокол экспериментальных данных, подписанный преподавателем;

- результаты расчета и измерения диаграмм направленности директорной антенны;
- результаты расчета и измерения коэффициента защитного действия и уровня согласования входа директорной антенны с питающим кабелем;
- выводы по работе. В выводах необходимо указать причины расхождения результатов эксперимента с теорией.

5. Контрольные вопросы

1. Какими электрическими параметрами характеризуется директорная антенна?
2. Что такое диаграмма направленности антенны?
3. Как измеряется амплитудная ДН директорной антенны?
4. Что такое коэффициент стоячей волны?
5. Как измеряется КСВ на входе директорной антенны?
6. Какой из пассивных вибраторов является директором и почему?
7. Какой из пассивных вибраторов является рефлектором и почему?
8. Нарисовать диаграмму направленности директорной антенны.
9. Какими примерно выбираются длины рефлектора, активного вибратора, директора?
10. Какими примерно выбираются расстояния между активным вибратором и директором; между активным вибратором и рефлектором?
11. От чего зависит ширина ДН директорной антенны?
12. Назначение и основные технические данные приборов, входящих в измерительную установку.
13. Как согласовать входное сопротивление директорной антенны с питающим кабелем?
14. Зачем на выходе исследуемой директорной антенны включен трансформатор?

6. Литература

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высш. школа, 1988. – с.191-201, 239-246, 308-310.

2.Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. – М.: Энергия, 1975. – с.406-415.

3. Ерохин Г. А. И др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.

4.Конспект лекций по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».

Лабораторная работа № 6 **ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГОПЕРИОДИЧЕСКОЙ** **ВИБРАТОРНОЙ АНТЕННЫ**

Цель работы: ознакомиться с конструкцией логопериодических вибраторных антенн, расчетом и экспериментальным определением их характеристик.

1. Краткие теоретические сведения

Логопериодические антенны (ЛПА) относятся к классу сверхширокополосных антенн, сохраняющих при изменении частоты как форму диаграммы направленности (ДН), так и входное сопротивление ([1] – [3]). Существует большое число различных модификаций ЛПА. Весьма широко применяются вибраторные ЛПА (рис.6.1). Антенна состоит из линейных вибраторов, присоединенных к двухпроводной линии, и возбуждаемых с помощью коаксиальной линии без применения симметрирующего устройства. Коаксиальная линия проложена внутри одного из проводов двухпроводной линии, выполненного из трубки. Длины вибраторов удовлетворяют соотношению $l_n/l_{n+1} = \tau$, где τ – период структуры ($n = 1, 2, \dots, N$). Линии, соединяющие концы вибраторов, образуют угол α .

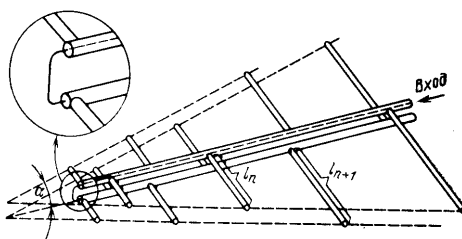


Рис.6. 1 . Логопериодическая вибраторная антенна

По принципу действия вибраторная ЛПА напоминает директорную антенну. На частоте f_0 резонирует, то есть возбуждается наиболее интенсивно, вибратор, длина плеча которого близка к $\lambda_0/4$ (λ_0 – длина волны на частоте f_0), поскольку на этой частоте входное сопротивление этого вибратора минимально. Другие вибраторы возбуждаются значительно слабее, поскольку входное сопротивление их велико из-за большой реактивной составляющей. Активная область антенны, формирующая излученное поле, включает обычно 3 – 5 вибраторов, в том числе резонансный и прилегающие к нему с двух сторон. Фазовые соотношения токов в вибраторах активной области определяются длиной вибраторов, взаимным влиянием и поочередным подключением их к разным проводникам питающей линии. При этом оказывается, что токи в более коротких вибраторах отстают, а в более длинных – опережают по фазе ток в резонансном вибраторе. Соответственно более короткие вибраторы работают в режиме директоров, а более длинные выполняют функцию рефлектора. Совместное излучение нескольких вибраторов активной области усиливается в направлении вершины антенны (то есть точки питания) и компенсируется в обратном направлении, то есть в сторону расположения более длинных вибраторов.

Если частота генератора уменьшится и станет равной τf_0 , то начнет резонировать следующий, более длинный вибратор, активная область переместится в сторону более длинных вибраторов. Напротив, при увеличении частоты активная область сместится к вершине антенны. На всех частотах

$$f_n = \tau^{n-1} f_1, \quad (6.1)$$

где n – номер вибратора; f_n – резонансная частота n -го вибратора, характеристики антенны остаются неизменными. В интервалах между резонансными частотами характеристики антенны незначительно меняются.

Прологарифмировав (6.1), получим $\ln f_n = (n - 1) \ln \tau + \ln f_1$. В логарифмическом масштабе резонансные частоты повторяются через интервалы, равные $\ln \tau$, что и определило название таких антенн.

Примерный вид диаграммы направленности логопериодической ЛПА приведен на рис.6.2. В плоскости E ДН уже из-за направленных свойств одного вибратора в этой плоскости. Уравнивание ширины лепестков в плоскостях E и H возможно путем перехода к

пространственной конструкции антенны, когда провода питающей линии вместе с подсоединенными к ним вибраторами размещаются под углом друг к другу. Для такой антенны ДН в плоскости H получается значительно уже, чем у плоской ЛПА, за счет влияния множителя системы, образованной разнесением в плоскости H активных областей каждого из полотен. В плоскости E вид ДН остается практически прежним. Используются также ЛПА, в которых вибраторы выполнены трапецевидными или треугольными.

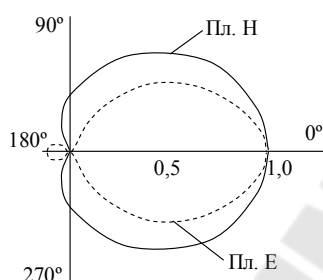


Рис.6. 2. Диаграмма направленности вибраторной ЛПА

Рабочая полоса частот вибраторной ЛПА с нижней стороны ограничивается габаритами самых длинных вибраторов $l_{\text{макс}} \approx \lambda_{\text{макс}}/4$ и с верхней стороны – размерами самого малого вибратора $l_{\text{мин}} \approx \lambda_{\text{мин}}/4$. Поскольку в активную область входит 3 – 5 вибраторов, для сохранения свойств антенны на крайних частотах диапазона следует позаботиться, чтобы вибратор, резонирующий на самой длинной волне, имел после себя еще один-два более длинных вибратора–рефлектора, а вибратор, резонирующий на самой короткой волне, имел впереди себя, то есть ближе к точкам возбуждения, два-три более коротких вибратора–директора. Практически можно получить в десятикратном диапазоне частот почти неизменные характеристики направленности при коэффициенте отражения на входе $|\Gamma_{\text{вх}}| < (0,2 - 0,25)$. Разумеется, что такой результат достигается при правильном выборе характеристического сопротивления распределительной линии. Участок этой линии между точкой возбуждения и началом активной области действует как линия передачи. Короткие вибраторы, расположенные на этом участке, обладают большим реактивным сопротивлением и почти не нагружают линию, лишь несколько уменьшая ее эквивалентное характеристическое

сопротивление. Мощность, проходящая по распределительной линии, интенсивно излучается активной областью, и поэтому участок распределительной линии от вершины антенны до начала активной области работает в режиме бегущей волны.

Расчет ДН и входного сопротивления ЛПА довольно сложен, поскольку токи в вибраторах зависят не только от напряжения в питающей линии, но и от степени взаимного влияния между вибраторами. В результате для определения токов получается система интегральных уравнений, решаемых на ЭВМ. Очень удобно для этих целей использование вычислительной программы *MMANA* (см. лаб. раб. № 3).

2. Описание лабораторной установки

В работе исследуется диаграмма направленности и входные характеристики логопериодической вибраторной антенны. Антенна работает в дециметровом диапазоне волн, входное сопротивление антенны близко к 75 Ом. Измерения диаграммы направленности выполняются с помощью схемы, приведенной на рис.6.3.

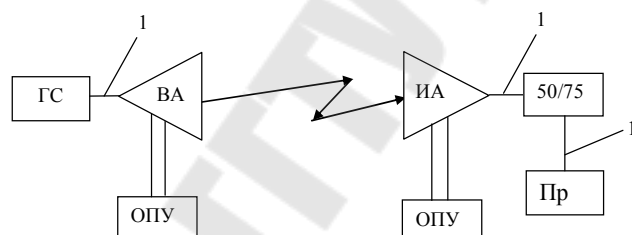


Рис.6. 3. Блок-схема стенда для измерения ДН

Здесь обозначено: ГС – генератор сигналов, ВА – вспомогательная антенна, ИА – исследуемая антенна, 50/75 – переход с 75 Ом на 50 Ом, Пр – измерительный приемник, 1 – высокочастотная коаксиальная линия передачи, ОПУ – опорно-поворотное устройство.

Источником высокочастотного сигнала является генератор Г4-144, работающий в диапазоне частот 400 – 800 МГц. Режим работы генератора - внутренняя модуляция. Генератор имеет плавные регулировки частоты и амплитуды сигнала. Индикатором является измерительный приемник дециметрового диапазона *SMV-8,5*. В стенде возможно использование других приборов с аналогичными выходными характеристиками.

Вспомогательная антенна – четырехэлементная директорная антенна, работающая в диапазоне частот генератора. Антенна устанавливается на ОПУ, позволяющим ориентировать ее для приема электромагнитного поля с вертикальным или горизонтальным направлением вектора напряженности электрического поля. Имеется также возможность поворачивать антенну для достижения максимального приема сигнала.

Исследуемая логопериодическая вибраторная антенна устанавливается на поворотном устройстве, с помощью которого антенну можно вращать в горизонтальной плоскости на 360° и измерять тем самым диаграмму направленности антенны. Конструкция крепления антенны также позволяет ориентировать ее для излучения поля с вертикальной или горизонтальной поляризацией.

В работе исследуется также уровень согласования входа вибраторной ЛПА с питающим кабелем. Это выполняется с помощью измерительной линии P1-5. Сигнал с выхода генератора подается на вход линии, к ее выходу подключается исследуемая антенна. Сигнал на выходе детекторной секции измерительной линии измеряется вольтметром В7-40. Коэффициент стоячей (или бегущей) волны на входе антенны определяется по максимальному и минимальному значению напряжения. Градуировочная характеристика детектора измерительной линии считается квадратичной. Для этого мощность сигнала на выходе генератора устанавливается такой, чтобы напряжение на вольтметре не превышало 10 мВ.

3. Задание к расчетной части

1. Ознакомиться со структурной схемой, аппаратурой и элементами измерительной установки, описанием приборов.

2. Изучить методику измерения диаграммы направленности логопериодической вибраторной антенны и уровня согласования входа антенны с питающим кабелем.

3. С помощью программы *ММАНА* рассчитать нормированные диаграммы направленности логопериодической вибраторной антенны в ***E*** и ***H*** плоскостях. Расчетная частота задается преподавателем. Геометрические размеры антенны определяются параметрами: $\tau = 0,87$; $\alpha = 58^\circ$; длина первого (самого короткого) вибратора $2l_1 = 136\text{мм}$; число вибраторов в антенне $N = 6$; диаметр вибраторов 4мм;

диаметр трубок распределительной линии 12мм; расстояние между осями трубок 17мм; длина отрезка распределительной линии от первого вибратора до точки возбуждения 25мм.

4. Построить полученные диаграммы направленности (по одной на каждом рисунке) при изменении угла от 0 до 360°.

5. На той же частоте рассчитать коэффициент усиления и коэффициент стоячей волны в 75-Омном тракте.

4. Задание к экспериментальной части

1. Собрать стенд для измерения диаграммы направленности логопериодической вибраторной антенны (рис.6.3). Включить измерительные приборы и дать им прогреться. Установить частоту сигнала на выходе генератора, заданную преподавателем.

2. Измерить амплитудную ДН вибраторной ЛПА в плоскости ***H***. Для этого:

- установить передающую и приемную антенны так, чтобы их центры были на одинаковой высоте и вибраторы были ориентированы вертикально;

- поворачивая антенны в горизонтальной плоскости, добиться максимального сигнала на индикаторе приемной антенны; установить указатель шкалы ОПУ в передающей позиции на нулевое деление;

- из рассмотрения рассчитанных результатов выбрать шаг по углу, с которым необходимо измерять диаграмму направленности ЛПА;

- подобрать чувствительность приемника так, чтобы показания индикатора были удобны для считывания;

- поворачивая ЛПА в горизонтальной плоскости от 0 до 360° с выбранным шагом, снять ее диаграмму направленности; пронормировать полученную диаграмму на максимальное значение; перевести полученные результаты в линейный масштаб;

- сравнить измеренные результаты с расчетными, построив их на одном рисунке.

3. Провести аналогичные измерения ДН вибраторной ЛПА в плоскости ***E***. При этом вибраторы передающей и приемной антенн должны быть направлены горизонтально.

4. Сравнить полученные результаты с расчетными, построив их на одном рисунке.

5. Собрать стенд для измерения коэффициента стоячей волны в питающем кабеле вибраторной ЛПА. Включить на выход измерительной линии согласованную нагрузку. Включить измерительные приборы и дать им прогреться. Установить на выходе генератора сигнала ту же частоту, что и в предыдущих пунктах. Далее выполнить:

- установить исследуемую антенну на подставку рядом с генератором и подключить ее к выходу измерительной линии;
- откалибровать измерительную линию, настроив ее резонатор по максимуму сигнала на индикаторе;
- установить мощность сигнала на выходе генератора такой, чтобы напряжение на вольтметре не превышало 10 мВ. При этом измерительная линия имеет квадратичную детекторную характеристику;
- перемещая каретку вдоль линии, определить минимальное и максимальное значения сигнала;
- рассчитать коэффициент стоячей волны в питающем кабеле логопериодической вибраторной антенны.

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. цель и задачу работы;
2. краткое описание установки и блок-схемы измерений;
3. результаты расчета;
3. протокол экспериментальных данных, подписанный преподавателем;
4. результаты измерений, оформленные в виде таблиц и графиков;
5. обсуждение полученных результатов и выводы.

6. Контрольные вопросы

1. Состав измерительной установки.
2. Назначение отдельных приборов установки.
3. Основные технические характеристики установки.
4. Что такое амплитудная ДН?
5. Как измеряется амплитудная ДН вибраторной ЛПА?
6. Что такое коэффициент стоячей волны?

7. Как измеряется КСВ на входе вибраторной ЛПА?
8. Принципы построения широкополосных антенн.
9. Типы логопериодических антенн.
10. Конструкция логопериодической вибраторной антенны.
11. Где применяются логопериодической вибраторной антенны?
12. Чем определяется ДН вибраторной ЛПА?
13. Какова диаграмма направленности вибраторной ЛПА?
14. Чем определяется полоса рабочих частот вибраторной ЛПА?
15. Чем определяется коэффициент усиления вибраторной ЛПА?

7. Литература

1. Марков Г.Т., Сазонов Д.Н. Антенны. – М., 1975. – С. 125-131, 140-149.
2. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. - М.: Высшая школа, 1988.
3. Ерохин Г. А. И др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
4. Конспект лекций по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».

Лабораторная работа № 7 ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РУПОРНЫХ АНТЕНН

Цель работы: ознакомиться с конструкцией рупорных антенн, расчетом их характеристик, приобрести практические навыки по проведению измерений диаграммы направленности (ДН) и коэффициента усиления (КУ) рупорных антенн.

1. Краткие теоретические сведения

Рупорные антенны относятся к классу антенн с плоской излучающей поверхностью. Диаграмма направленности и коэффициент направленного действия (КНД) таких антенн определяются следующими факторами:

- размером излучающей поверхности по отношению к длине волны;

- законом распределения амплитуды поля по излучающей поверхности;

- законом распределения фазы поля излучающей поверхности.

Рупорная антенна чаще всего представляет собой отрезок прямоугольного волновода с основным типом волны H_{10} , расширяющийся на конце (рис.7.1). По конструкции различают секториальные (расширяющиеся только в плоскости вектора \vec{E} или только в плоскости вектора \vec{H}) и пирамидальные (расширяющиеся в обеих плоскостях) рупоры.

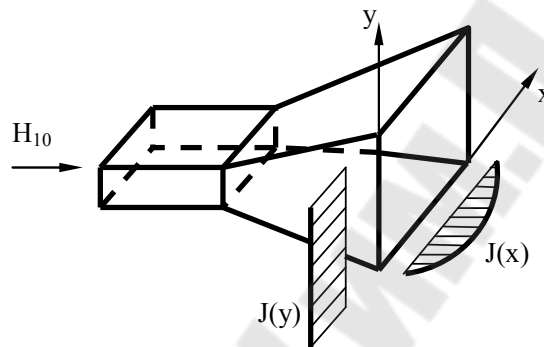


Рис.7. 1. Пирамидальный рупор

Фаза поля в раскрытии рупорных антенн меняется по квадратичному закону (квадратичные фазовые искажения).

Закон распределения амплитуды поля по раскрытию для рупорных антенн можно приближенно считать совпадающим с законом распределения поля в поперечном сечении питающего волновода (равномерно в плоскости вектора \vec{E} и косинусоидальное в плоскости вектора \vec{H}).

Как известно, для плоской синфазной излучающей поверхности с размером b и равномерным амплитудным распределением ДН в плоскости \vec{E} (YOZ) рассчитывается по формуле:

$$F_E(\theta) = \frac{1 + \frac{W_0}{W_\phi} \cdot \cos \theta \cdot \sin\left(\frac{kb}{2} \cdot \sin \theta\right)}{1 + \frac{W_0}{W_\phi}} \cdot \frac{kb}{2} \cdot \sin \theta. \quad (7.1)$$

Для плоскости \vec{H} (XOZ) амплитуда распределена по закону косинуса и формула для ДН имеет вид (размер раскрытия обозначен a):

$$F_H(\varphi) = \frac{\frac{W_0}{W_\phi} + \cos \varphi}{\frac{W_0}{W_\phi} + 1} \cdot \frac{\cos\left(\frac{ka}{2} \cdot \sin \varphi\right)}{1 - \left(\frac{ka}{\pi} \cdot \sin \varphi\right)^2}. \quad (7.2)$$

Здесь a и b – размеры раскрыва рупора соответственно вдоль оси y и x ; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; λ – длина волны; $W_0 = 120\pi$ Ом – волновое сопротивление свободного пространства; W_ϕ – волновое сопротивление в раскрыве рупора; θ и φ – углы сферической системы координат.

Волновое сопротивление в раскрыве рупора, как и в прямоугольном волноводе определяется по формуле

$$W_\phi = \frac{W_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}},$$

где a – размер раскрыва в плоскости вектора \vec{H} .

В формулах (7.1) и (7.2) первый множитель учитывает направленные свойства элемента Гюйгенса, а второй – множитель направленности плоского раскрыва (ДН без учета направленных свойств элемента Гюйгенса). Формулы применимы для рупоров с малым углом раствора, когда фронт волны в выходном отверстии близок к плоскому.

Если угол раствора рупора не мал, то фронт волны в раскрыве заметно отличается от плоского. Фаза поля на краю раскрыва по отношению к ее значению в середине раскрыва (максимальная фазовая ошибка Φ_2) определяется из геометрических соотношений:

$$\Phi_2 = \frac{\pi l^2}{4\lambda L}, \quad (7.3)$$

где l – наибольший размер рупора (a или b), L – длина рупора. То есть распределение фазы поля в выходном отверстии рупора подчиняется квадратичному закону. Множитель направленности рупора в плоскости \mathbf{E} или \mathbf{H} может быть вычислен по формуле

$$f_\Sigma(\theta) = \int_0^l |I(x')| \exp i \left[kx' \sin \theta + \Phi_2 \left(\frac{2(x' - l/2)}{l} \right)^2 \right] dx'. \quad (7.4)$$

Результаты вычисления по этой формуле для равномерного и косинусоидального распределений амплитуды поля в раскрыве рупора приведены на рис.7.2 [1]. Параметром кривых является максимальное значение фазовой ошибки Φ_2 .

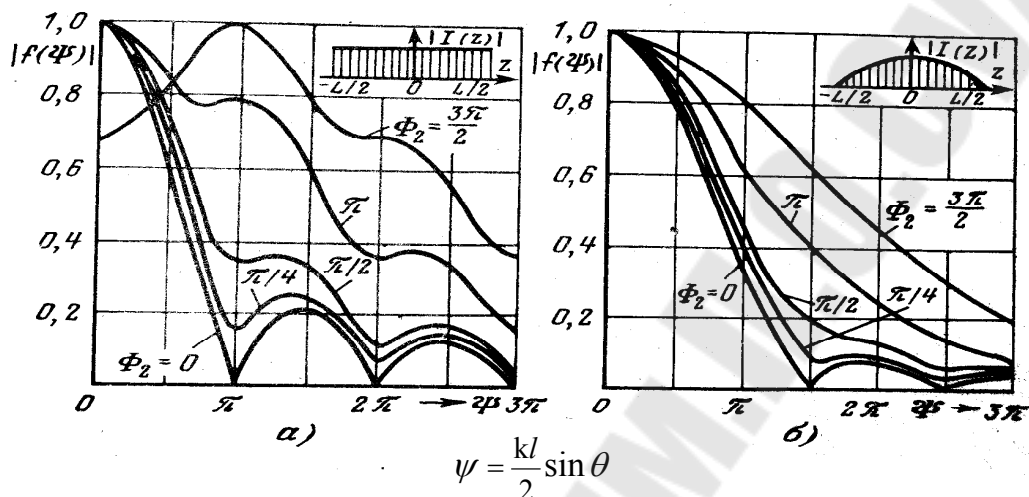


Рис.7. 2. Множитель направленности несинфазного рупора
а) – равномерное амплитудное распределение, б) – спадающее амплитудное распределение

Как видно из этого рисунка, увеличение фазовой ошибки в раскрыве рупора, вызванной уменьшением длины рупора или увеличением размеров его раскрыва, приводит к расширению основного лепестка и «заплыванию» нулей ДН. Наиболее сильно фазовые искажения сказываются при равномерном амплитудном распределении. Здесь для случая $\Phi_2 > \pi$ наблюдается даже раздвоение основного лепестка ДН. При спадающем амплитудном распределении наиболее сильно расфазированные края раскрыва рупора дают меньший вклад в общее излучаемое поле и искажение ДН получается меньше.

Коэффициент направленного действия плоского синфазного раскрыва определяется по формулам:

$$D = \frac{4\pi S}{\lambda^2}, \quad (7.5)$$

$$D = 0,81 \frac{4\pi S}{\lambda^2}, \quad (7.6)$$

где S – площадь поверхности раскрыва. Формула (7.5) применима, когда в обеих плоскостях распределение амплитуды равномерное, формула (7.6) – когда в одной из плоскостей распределение равномерное, а в другой – косинусоидальное.

2. Лабораторная установка и методика измерений ДН и КУ рупорной антенны

Лабораторная установка позволяет измерять ДН рупорной антенны путем непосредственного отсчета по измерительному прибору (рис.7.3).

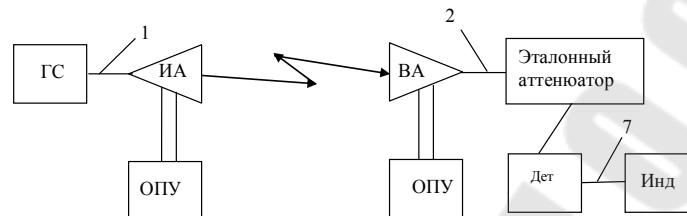


Рис.7. 3. Блок-схема измерительной установки

Сигнал с выхода генератора СВЧ (ГС), модулированный по амплитуде меандром частотой 1кГц, с помощью высокочастотного кабеля 1 подается на вход исследуемого несинфазного рупора (ИА). Рупор размещается на опорно-поворотном устройстве (ОПУ), которое позволяет вращать его по углу места и по азимуту.

СВЧ сигнал принимается вспомогательной антенной – синфазным рупором (ВА) и с помощью отрезка высокочастотной линии передачи 2 подается на вход эталонного аттенюатора. Эталонный аттенюатор имеет плавную регулировку вносимого ослабления и калиброван с высокой точностью. Он позволяет измерять амплитудную ДН антенны методом замещения. На выход эталонного аттенюатора включается детекторная секция, выходной сигнал которой измеряется с помощью индикатора – селективного вольтметра.

Измерения ДН антенны выполняются следующим образом:

1. Собрать измерительный стенд, антенны разместить на ОПУ. Включить измерительные приборы, дать им прогреться.

2. Совместить плоскость, в которой необходимо измерить ДН, с плоскостью вращения поворотного устройства. Совместить плоскости поляризации исследуемой и вспомогательной антенн с направлением измеряемой компоненты поля.

3. Настроить генератор и приемное устройство на необходимую частоту. По максимуму показаний индикатора направить друг на друга главные максимумы излучения исследуемой и вспомогательной антенн. Удобно для сокращения вычислений при нормировании

диаграмм с помощью переменного аттенюатора установить показания индикатора на цифру 100. Установить шкалу поворотного устройства на нуль.

4. Поворачивая исследуемую антенну на необходимый угол, измерить принимаемый сигнал. В пределах ширины главного лепестка ДН по нулям обычно достаточно измерить 10-20 точек, в боковых лепестках – по 7-8 точек.

В этом методе измерений ДН желательно иметь детектор с квадратичной характеристикой. Тогда показания измерительного прибора будут пропорциональны мощности сигнала на входе детектора. Для большей точности измерений необходимо использовать градуировочную кривую детектора, представляющую собой зависимость показаний измерительного прибора от сигнала на входе детектора.

Лабораторная установка позволяет измерять коэффициент усиления рупорной антенны. КУ исследуемой антенны измеряется методом сравнения с эталонной антенной с известным КУ.

Предположим, что исследуемая и эталонная антенны согласованы с линией передачи. В измерительный стенд устанавливаются вспомогательная и исследуемая антенны. По максимуму показаний индикатора главные максимумы излучения обеих антенн направляются друг на друга. Замеряется показание измерительного прибора P_1 . Очевидно, оно будет пропорционально (при квадратичной детекторной характеристике) коэффициенту усиления исследуемой антенны. Затем исследуемая антенна заменяется на эталонную с известным КУ и опять замеряется показание измерительного прибора P_2 . Отношение коэффициентов усиления двух антенн будет равно отношению показаний двух замеров. Тогда получаем:

$$КУ_{\text{иссл}} = КУ_{\text{эт}} P_1/P_2. \quad (7.7)$$

3. Домашнее задание

1. Ознакомиться со структурной схемой, аппаратурой и элементами измерительной установки, описанием приборов.

2. Используя формулы п.1 рассчитать диаграмму направленности пирамидального рупора в плоскостях E и H . Раскрыв рупора имеет размеры: $a_p = b_p = 109$ мм, длина рупора 138 мм. Частота колебаний задается преподавателем.

3. Пронормировать и построить полученные результаты в прямоугольной системе координат. По графикам оценить ширину ДН в E и H плоскостях.

4. Рассчитать коэффициент усиления пирамидального рупора. Размеры и частота колебаний те же, что в п.3.2.

4. Экспериментальное задание

1. По материалам данного пособия изучить методику измерения диаграммы направленности и коэффициента усиления рупорной антенны.

2. Собрать установку согласно рис.7.3. Включить измерительные приборы и дать им прогреться в течение 15 мин.

3. Установить на генераторе частоту, на которой производился расчет.

4. Измерить диаграмму направленности пирамидального рупора в E и H плоскостях. Характеристику детектора считать квадратичной. Диаграмму измерить в пределах $0 - 90^\circ$ через 5° .

5. Пронормировать и построить полученные результаты. Сравнить их с расчетными результатами.

6. Измерить коэффициент усиления пирамидального рупора. Для этого:

- установить на опорно-поворотное устройство вместе с исследуемым эталонный рупор, имеющий коэффициент усиления;

- поочередно подключая к генератору исследуемый и эталонный рупора и поворачивая их по углу места и по азимуту настроить их так, чтобы сигналы на нагрузке приемного рупора (индикатора) были максимальны; аналогично настроить приемный рупор;

- измерить сигналы на нагрузке приемного рупора при подключении к генератору исследуемого и эталонного рупоров;

- с помощью формулы (7.7) рассчитать коэффициент усиления исследуемого рупора.

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- блок-схемы установки для измерения диаграммы направленности и коэффициента усиления;

- результаты расчета (таблицы и графики);
- протокол экспериментальных данных, подписанный преподавателем;
- результаты измерений (таблицы и графики);
- обсуждение полученных результатов и выводы. В выводах необходимо проанализировать влияние на ДН закона амплитудного распределения и фазовых искажений.

6. Контрольные вопросы

1. Состав измерительной установки.
2. Назначение отдельных приборов установки, ее выносных элементов и установки в целом.
3. Основные технические характеристики установки.
4. Нарисовать распределение амплитуды поля по раскрытию рупора.
5. Какие факторы влияют на распределение амплитуды и фазы поля по раскрытию секториальных и пирамидальных рупоров?
6. Где применяются рупорные антенны?
7. Как влияют размеры рупорной антенны на ее ДН и КУ?
8. Что такое оптимальный рупор?
9. Какой характер носят фазовые искажения в раскрытии рупора?
10. Какое влияние фазовые искажения в раскрытии оказывают на ДН рупорной антенны?
11. Какое влияние фазовые искажения в раскрытии оказывают на коэффициент усиления рупорной антенны?
12. Какой рупор (E или H - секториальный) при одинаковых размерах будет лучше согласован с питающим волноводом?

7. Литература

1. Марков Г.Т., Сазонов Д.Н. Антенны. – М., 1975. – С. 417-429.
2. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование антенно-фидерных устройств. – М. 1966. – с. 509-521.
3. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. - М.: Высшая школа, 1988.
4. Конспект лекций по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».

Лабораторная работа № 8 ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН

Цель работы – ознакомиться с конструкцией, принципом работы, методами расчета характеристик зеркальных антенн, измерение диаграммы направленности (ДН) и коэффициента усиления (КУ) несимметричной зеркальной антенны.

1. Краткие теоретические сведения

Зеркальными называются антенны, у которых поле в раскрыве (апертуре) формируется в результате отражения электромагнитных волн от металлического зеркала. Зеркало преобразует сферическую (или цилиндрическую) волну, излучаемую облучателем, в плоскую волну (рис.8.1, 8.2). Чаще всего применяются зеркальные антенны в виде параболоида вращения и параболического цилиндра. Параболоид вращения представляет собой поверхность, получающуюся при вращении параболы вокруг фокальной оси, а параболический цилиндр – при перемещении параболы вдоль образующей, параллельной фокальной линии.

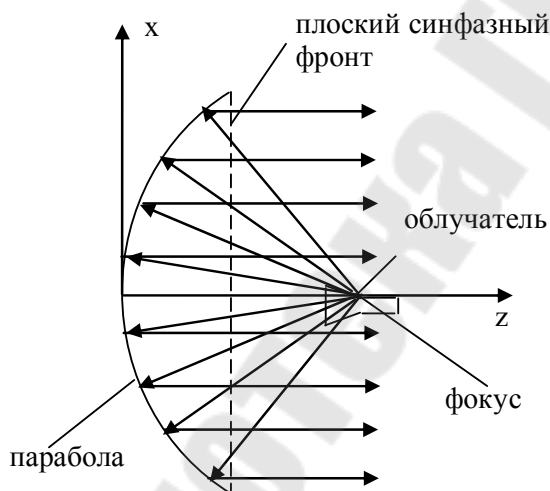


Рис.8. 1. Параболическая антенна

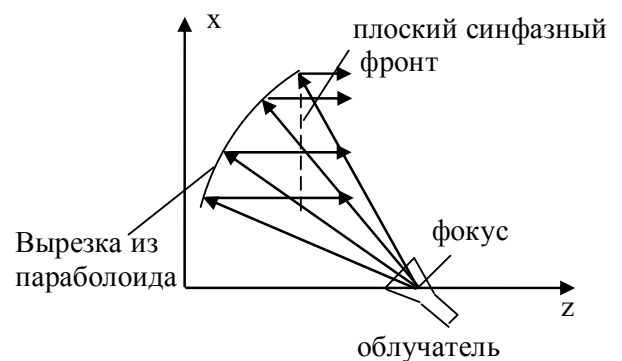


Рис.8. 2. Несимметричная
зеркальная антенна

В качестве облучателя для параболоида вращения используется точечный источник, создающий сферическую волну. Его фазовый центр располагается в фокусе параболоида.

В случае параболического цилиндра применяется линейный облучатель, свойства которого не меняются вдоль фокальной линии.

В настоящее время широко применяются несимметричные зеркальные антенны, зеркало которых представляет такую вырезку из параболоида вращения, отраженное от которой электромагнитное поле проходит мимо облучателя (рис.8.2).

Излучение зеркальной антенны можно рассматривать как излучение плоского синфазного раскрыва с некоторым известным законом распределения амплитуды, определяемым диаграммой направленности облучателя. Проекция зеркала на плоскость XOY в большинстве случаев представляет собой круг.

Предположим, что нормированное распределение поля в круглом раскрыве радиуса a зависит только от радиального направления R'

$$f(R') = (1 - \Delta) + \Delta \left[1 - \left(\frac{R'}{a} \right)^2 \right]^n, \quad (8.1)$$

где $(1 - \Delta)$ – уровень поля на краю раскрыва. Тогда множитель направленности раскрыва может быть рассчитан по формуле

$$F(\theta) = 2\pi a^2 \left[(1 - \Delta)\Lambda_1(\psi) + \frac{\Delta}{n+1}\Lambda_{n+1}(\psi) \right], \quad (8.2)$$

где $\psi = k a \sin \theta$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ – длина волны, угол θ отсчитывается от фокальной оси. Лямбда-функции связаны с функциями Бесселя

$$\Lambda_n(\psi) = \frac{n!}{\left(\frac{\psi}{2}\right)^n} J_n(\psi).$$

Функции $|\Lambda_1(\psi)|$ и $|\Lambda_2(\psi)|$, являются множителями направленности круглого раскрыва при амплитудных распределениях $I(R') = const$ и $I(R') = 1 - (R'/a)^2$ (рис. 8.3).

При равномерном амплитудном распределении ширина луча по уровню половинной мощности вычисляется по формуле [1]

$$\Delta\theta = 59^\circ \frac{\lambda}{2a}. \quad (8.3)$$

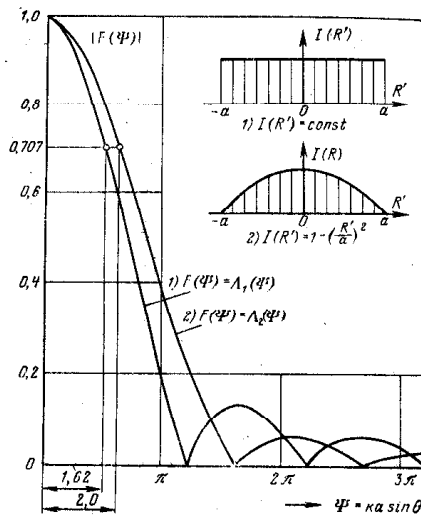


Рис. 8.3. Множитель направленности круглого раскрыва при различных амплитудных

Уровень первого бокового лепестка при равноамплитудном возбуждении составляет 0,132 (по полю), или $-17,6$ дБ. Для спадающих к краю раскрыва амплитудных распределений типа (8.1) происходит расширение главного луча по сравнению с оценкой (8.3) и снижение уровня бокового излучения. Коэффициенты расширения луча (КРЛ) и уровни бокового излучения при различных параметрах закона амплитудного распределения (8.1) сведены в таблицу 8.1. Там же приведены значения коэффициента использования поверхности, характеризующий снижение коэффициента направленного действия антенны по сравнению с максимально возможным значением

$$КИП = \frac{D}{D_0}, \quad D_0 = \frac{4\pi s}{\lambda^2}, \quad s = \pi a^2. \quad (8.4)$$

Таблица 8.1

n	УБЛ, дБ			КРЛ; $\Delta\theta = \frac{59^\circ\lambda}{2a}$ КРЛ			КИП = D/D ₀		
	1 - Δ			1 - Δ			1 - Δ		
	0	0,2	0,33	0	0,2	0,33	0	0,2	0,33
0	17,6	-	-	1	-	-	1	-	-
1	24,7	23,7	22,0	1,23	1,13	1,1	0,75	0,87	0,92
2	30,7	32,3	26,5	1,43	1,19	1,12	0,55	0,81	0,88
3	36,1	32,3	30,8	1,6	1,21	1,12	0,45	0,79	0,87

Распределение амплитуды поля по раскрытию может быть приближенно определено методом геометрической оптики, для чего необходимо знать ДН облучателя и геометрию зеркала. Методика такого расчета для зеркала в виде параболоида вращения (или вырезки из него) сводится к следующему (рис.8.4):

- по известным фокусному расстоянию f и диаметру раскрытия $2a$ строится профиль зеркала с использованием функции $(R')^2 = 4fz$;
- строится ДН облучателя $\frac{F(\varphi)}{F_{\max}(\varphi)}$ в полярных координатах, начало отсчета углов совпадает с фокальной линией;

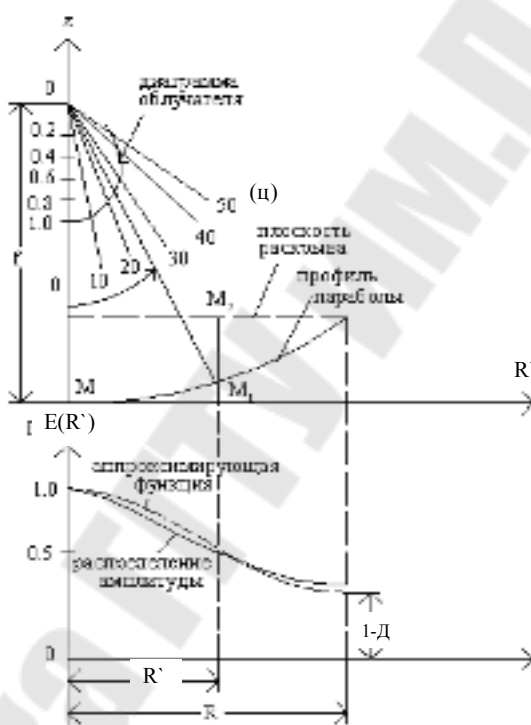


Рис.8.4. К расчету диаграммы направленности

- строится ход лучей и определяется амплитуда поля $E(R')$ в данной точке раскрытия. При этом нужно учесть, что поле в точке M_2 равно значению ДН $F(\varphi)$ в данном направлении, умноженному на отношение расстояний $\frac{OM}{OM_1}$ ($OM=f$), при $R'=0 E(R')=1$;
- полученное распределение поля $E(R')$ аппроксимируется функцией (8.1) путем подбора таких значений Δ и n , при которых обе функции совпадают наилучшим образом;

- выбранные значения Δ и n подставляют в формулу (8.2) и рассчитывают ДН.

На ДН антенны влияют следующие факторы

- отношение размера раскрыва к длине волны;
- закон амплитудного распределения по раскрыву, который в свою очередь зависит от диаграммы направленности облучателя и геометрии зеркала;

- краевые эффекты (дифракция электромагнитных волн на кромках рефлектора). Этот фактор влияет значительно слабее первых двух и в данном приближенном методе расчета не учитывается;

- затенение части раскрыва облучателем (в данном приближенном методе расчета этот фактор также не учитывается).

На величину КНД зеркальной антенны влияет кроме закона амплитудного распределения по раскрыву и уровень поля облучателя «не перехватываемого» рефлектором. Для получения максимального КНД уровень облучения кромки должен быть [1] примерно на 10 дБ ниже уровня облучения центра рефлектора.

Дефокусировка облучателя вызывает искажения ДН зеркальной антенны. Если облучатель смещен из фокуса параллельно плоскости раскрыва на небольшое расстояние d , то изменяется только направление максимального излучения на некоторый угол ψ , определяемый отношением смещения облучателя к фокусному расстоянию $tg\psi = d / f$. Вынос облучателя из фокуса вдоль фокальной оси приводит к возникновению квадратичных фазовых искажений в раскрыве, что приводит [1] к расширению основного лепестка, увеличению уровня бокового излучения и «заплыванию» нулей ДН.

КНД зеркальной антенны уменьшается также из-за затенения части раскрыва облучателем, ответвления электрических токов на теневую поверхность зеркала, омических потерь из-за конечной проводимости отражающей поверхности, наличия неидеальных диэлектриков в облучателе и некоторых других факторов [1]. Как правило, результирующий к.п.д. зеркальной антенны составляет (0,5 – 0,65). Коэффициент усиления зеркальной антенны при этом можно оценить по формуле

$$КУ = \frac{4\pi s}{\lambda^2} (0,5 - 0,65), \quad (8.5)$$

где s – площадь раскрыва антенна, λ – длина волны.

2. Лабораторная установка и методика измерений ДН и КУ зеркальной антенны

Лабораторная установка позволяет измерять ДН зеркальной антенны путем непосредственного отсчета по измерительному прибору (рис.8.5).

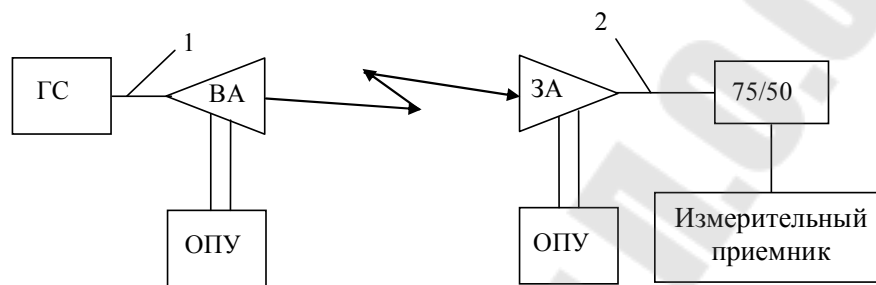


Рис.8.5. Блок-схема измерительной установки

Источником СВЧ сигнала (ГС) является генераторный блок от прибора Р2-54 с рабочим диапазоном частот 1,07 – 2,14 ГГц. Генератор работает в режиме внутренней модуляции. Сигнал с выхода генератора, модулированный по амплитуде меандром частотой 100кГц, с помощью высокочастотного кабеля 1 подается на вход вспомогательной рупорной антенны (ВА). Вспомогательная антенна излучает электромагнитное поле с горизонтальной поляризацией вектора E и ее излучение направлено на исследуемую антенну.

Исследуемая зеркальная антенна (ЗА) размещается на опорно-поворотном устройстве (ОПУ), позволяющим вращать антенну в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Сигнал с выхода ЗА подается на измерительный высокочастотный приемник ПК7-9 с соответствующим СВЧ генератору рабочим диапазоном частот. Приемник является селективным по частоте, измеряет мощность принимаемого сигнала. В приемнике имеются грубая и точная настройки на частоту принимаемого сигнала, ступенчатая и плавная регулировки чувствительности. Входное сопротивление приемника 50 Ом. Для его согласования с выходным сопротивлением ЗА (примерно 75 Ом) в стенде используется коаксиальный переход с 75 к 50 Омам.

Измерения ДН антенны выполняются следующим образом:

1. Собрать измерительный стенд. Включить измерительные приборы, дать им прогреться.

2. Совместить плоскости поляризации исследуемой и вспомогательной антенн с направлением измеряемой компоненты поля.

3. Настроить генератор и приемное устройство на необходимую частоту. Поворачивая исследуемую антенну в горизонтальной и вертикальной плоскостях, направить друг на друга максимумы излучения исследуемой и вспомогательной антенн. Зафиксировать положения на шкалах ОПУ, при которых излучение ЗА максимально. Эти положения далее принять за нулевые, относительно которых необходимо отсчитывать углы поворота антенны. Удобно для сокращения вычислений при нормировании диаграмм с помощью регулятора чувствительности приемника установить показания индикатора на цифру 1.

4. Поворачивая исследуемую антенну на необходимый угол, измерить принимаемый сигнал. В пределах ширины главного лепестка ДН по нулям обычно достаточно измерить 10-20 точек, в боковых лепестках – по 7-8 точек.

Лабораторная установка позволяет измерять коэффициент усиления рупорной антенны. КУ исследуемой антенны измеряется методом сравнения с эталонной антенной с известным КУ. В качестве эталонной используется директорная антенна, устанавливаемая на поворотное устройство перед зеркалом исследуемой ЗА.

Предположим, что исследуемая и эталонная антенны согласованы с линией передачи. В измерительный стенд устанавливаются вспомогательная и исследуемая антенны. По максимуму показаний индикатора главные максимумы излучения обеих антенн направляются друг на друга. Замеряется показание измерительного приемника P_1 . Очевидно, оно будет пропорционально коэффициенту усиления исследуемой антенны. Затем исследуемая антенна заменяется на эталонную с известным КУ и опять замеряется показание измерительного приемника P_2 . Отношение коэффициентов усиления двух антенн будет равно отношению показаний двух замеров. Тогда получаем:

$$КУ_{иссл} = КУ_{эт} P_1/P_2$$

В данной работе исследуется несимметричная зеркальная антенна в виде вырезки из параболоида вращения. Зеркало облучается близким к полуволновому симметричным вибратором с

контррефлектором. Диаграммы направленности облучателя приведены на рис.8.6. Отсчет угла ведется от нормали к контррефлектору. Проекция зеркала на плоскость XOY (см. рис.8.2) представляет собой круг диаметром 55 см, фокусное расстояние равно 40 см, угол между фокальной осью и направлением из фокуса к ближнему краю зеркала 15° . Максимум ДН облучателя направлен в центр зеркала.

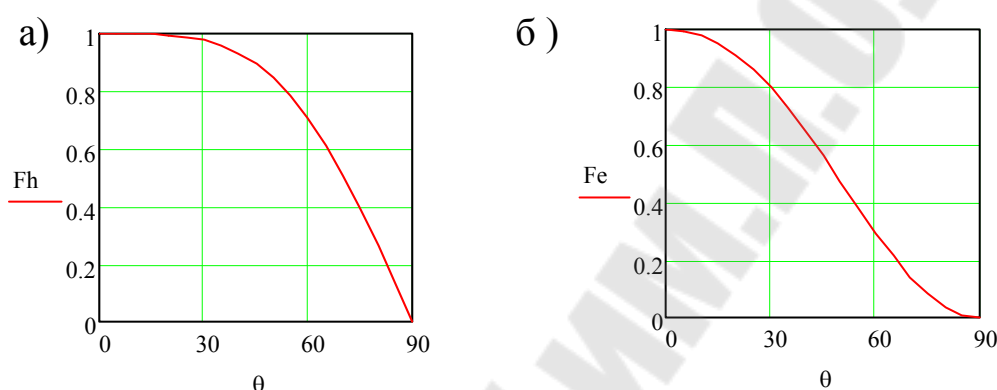


Рис 8.6. Диаграммы направленности облучателя (отсчет ведется от нормали к контррефлектору): а - плоскость H , б - плоскость E

3. Домашнее задание

1. Ознакомиться со структурной схемой, аппаратурой и элементами измерительной установки, описанием приборов.

2. Ответить на контрольные вопросы.

3. Используя изложенную в п.1 методику рассчитать и построить диаграмму направленности зеркальной антенны с приведенными выше параметрами. Частота колебаний задается преподавателем.

Указание: при расчете поля излучения ЗА в плоскости H диаграмму направленности облучателя принять осесимметричной и такой как на рис.8.6 а, а в плоскости E – на рис.8.6 б.

4. Пронормировать рассчитанные ДН зеркальной антенны на максимальное значение. Построить полученные результаты в прямоугольной системе координат (по одной кривой на каждом графике). По кривым определить ширину ДН антенны в каждой плоскости.

5. Рассчитать коэффициент усиления зеркальной антенны, приняв ее к.п.д. равным 0,6.

4. Задание к экспериментальной части

1. Подготовить приборы к работе согласно инструкциям по эксплуатации.

2. Измерить амплитудную ДН исследуемой зеркальной антенны в плоскостях векторов E и H . Методика и блок-схема измерений приведены в п.2. Несущая частота задается преподавателем.

3. Нормировать и построить в прямоугольной системе координат измеренные ДН зеркальной антенны. Экспериментальные диаграммы строить попарно с расчетными для аналогичных условий. Нормировку проводить по величине максимума ДН.

4. Измерить коэффициент усиления зеркальной антенны. Несущая частота та же, что в предыдущем пункте.

5. Сравнить экспериментальные результаты с расчетными.

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- блок-схемы установки для измерения диаграммы направленности и коэффициента усиления зеркальной антенны;
- результаты расчета (таблицы и графики);
- протокол экспериментальных данных, подписанный преподавателем;
- результаты измерений (таблицы и графики);
- обсуждение полученных результатов и выводы. В выводах необходимо дать анализ полученных результатов с указанием причин расхождения результатов эксперимента с расчетом.

6. Контрольные вопросы

1. Состав измерительной установки.
2. Назначение отдельных приборов установки, ее элементов и установки в целом.
3. Основные технические характеристики установки.

4. Нарисовать примерное распределение амплитуды поля по раскрытию зеркала.
5. Какие факторы влияют на распределение амплитуды и фазы поля в раскрытии зеркальной антенны?
6. Как влияет распределение амплитуды поля в раскрытии зеркальной антенны на ее ДН и КУ?
7. Где применяются зеркальные антенны?
8. Как влияют размеры зеркальной антенны на ее ДН и КУ?
9. Каким образом рассчитывается КНД зеркальной антенны?
10. Какой характер носят фазовые искажения в раскрытии ЗА?
11. Какое влияние фазовые искажения в раскрытии оказывают на ДН и КНД зеркальной антенны?
12. Каковы преимущества и недостатки несимметричной зеркальной антенны по сравнению с симметричной?
13. Как изменится ДН антенны в виде параболоида вращения, если облучатель сместить из фокуса: вдоль фокальной оси; в направлении, перпендикулярном фокальной оси.
14. Что такое фазовая ДН и фазовый центр облучателя? В какой точке должен располагаться фазовый центр?
15. Перечислите требования, которым должен удовлетворять облучатель зеркальной антенны.

7. Литература

1. Марков Г.Т., Сазонов Д.Н. Антенны. – М., 1975.
2. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. - М.: Высшая школа, 1988.
3. Ерохин Г. А. И др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
4. Конспект лекций по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».

Содержание

Лабораторная работа № 5 Директорные антенны.....	3
Лабораторная работа № 6 Исследование логопериодической антенны.....	8
Лабораторная работа № 7 Изучение характеристик рупорных антенн.....	15
Лабораторная работа № 8 Изучение характеристик зеркальных антенн.....	23

**Вяхирев Николай Иванович
Елисеева Ольга Александровна**

АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА

**Лабораторный практикум
по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника»
специализации 1-36 04 02 02 «Техника
и средства электронной связи»
дневной формы обучения
В двух частях
Часть 2**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 10.04.13.

Рег. № 63Е.
<http://www.gstu.by>