

Федеральное агентство связи

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

**ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА**

ЭБС ПУ

Самара

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

Кафедра МСИБ

**СБОРНИК
МЕТОДИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК
к лабораторным работам по курсу**

**«ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»**

Составили:
д.т.н., проф. Маслов О.Н.,
к.т.н. Раков А.С.,
асп. Силкин А.А.

Рецензент:
д.т.н., проф. Кубанов В.П.

Самара, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| Использование принципа взаимности при экспериментальном исследовании антенн..... | 5 |
| Использование принципа моделирования при экспериментальном исследовании антенн..... | 5 |
| Выписка из инструкции по технике безопасности в лаборатории электромагнитной совместимости и безопасности радиоэлектронных средств..... | 6 |
| Правила внутреннего распорядка в лаборатории электромагнитной совместимости и безопасности радиоэлектронных средств..... | 6 |
| Параметры антенн, определяющие их свойства..... | 7 |
| Описание измерительного стенда для лабораторных работ..... | 8 |
| Подготовка к выполнению лабораторных работ | 9 |
| 2. Лабораторная №1 – «Исследование характеристик направленности антенн» | 10 |
| 3. Лабораторная №2 – «Методы измерения коэффициента усиления антенны»..... | 24 |
| 4. Лабораторная №3 – «Исследование линейных дискретных решеток» | 36 |
| 5. Лабораторная №4 – «Исследование излучающих поверхностей» | 44 |

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум рассчитан на выполнение четырех работ:

Лабораторная работа №1 "Исследование характеристик направленности антенн";

Лабораторная работа №2 "Методы измерения коэффициента усиления антенны";

Лабораторная работа №3 "Исследование линейных дискретных решеток";

Лабораторная работа №4 "Исследование излучающих поверхностей".

В первых двух лабораторных работах основное внимание уделено методике измерений, в двух последующих - экспериментальному подтверждению основных положений теории линейных дискретных решеток и теории излучающих поверхностей.

Лабораторные работы 1-4 были впервые поставлены в 1985 году доц. Кубановым В.П. и доц. Масловым О.Н. под руководством проф. Шеретько Е.Ю.

ЭБС ИШУТ

Использование принципа взаимности при экспериментальном исследовании антенн

Передающая антенна является излучателем электромагнитных волн. Приемная антенна поглощает энергию проходящей волны, рассеивая ее в нагрузку. Параметры антенны, работающей в режиме передачи и в режиме приема, непосредственным образом связаны между собой.

Для нагрузки приемная антенна выступает как эквивалентный источник ЭДС, который обладает внутренним сопротивлением Z_{ex} и свойства которого определяются параметрами антенны и напряженностью поля радиоволны. Это сопротивление приемной антенны равно входному сопротивлению во время ее работы в режиме передачи. Аналогичным образом диаграмма направленности (ДН – графическое изображение ХН в заданной плоскости) передающей антенны точно соответствует ДН этой антенны при работе ее на прием. Принцип обратимости свойств приемных и передающих антенн носит наименование принципа взаимности и широко используются на практике.

Использование принципа взаимности позволяет определить параметры антенн при их испытаниях либо в режиме передачи, либо в режиме приема – в зависимости от того, что более удобно в конкретных условиях.

Использование принципа моделирования при экспериментальном исследовании антенн

Антенны с одинаковыми геометрическими пропорциями, отличающиеся только абсолютными размерами, имеют одинаковые ДН, КНД и входные сопротивления при условии, что изменение длины волны точно пропорционально изменению размеров (исключение составляет сопротивление потерь, которое может быть различным, несмотря на то, что реактивная составляющая Z_{ex} и сопротивление излучения не изменяются).

Это положение позволяет производить экспериментальное исследование антенн на моделях, имеющих значительно меньшие размеры, по сравнению с реальными образцами. Моделирование антенн применяется для экспериментального исследования как низкочастотных, так и высокочастотных антенн.

Выписка из инструкции по технике безопасности в лаборатории электромагнитной совместимости и безопасности радиоэлектронных средств

1. К самостоятельной работе с аппаратурой студенты допускаются после проведения с ними инструктажа по технике безопасности руководителем занятий и записи в журнале.

2. При работе с генераторами СВЧ категорически запрещается заглядывать в открытые концы волноводов и излучающие отверстия передающих антенн.

3. До проведения измерений и после них следует полностью ввести все аттенюаторы СВЧ измерительного стенда (аппаратура включается на прогрев дежурным лаборантом, к началу занятий аттенюаторы должны быть введены на максимальное затухание).

4. Запрещается работа с неисправными приборами! О неисправностях приборов следует сообщать руководителю занятий и дежурному лаборанту.

5. В случае перерыва в подаче электроэнергии необходимо немедленно выключить все приборы.

6. После окончания работ приборы следует выключить в присутствии дежурного лаборанта.

Правила внутреннего распорядка в лаборатории электромагнитной совместимости и безопасности радиоэлектронных средств

1. Выполнение лабораторных работ проводится в установленное расписание время.

2. Подготовка к лабораторной работе производится за счет времени, отведенного на самостоятельную работу студентов.

3. Каждый студент в порядке подготовки к работе обязан ознакомиться с описанием работы и приборов, используемых в ней, с методикой проведения исследований и рекомендованной литературой, выполнить предварительные расчеты и подготовить бланк отчета по лабораторной работе.

4. К очередной работе студент допускается после опроса, который проводится перед выполнением работы в лаборатории. При этом проверяется:

- знание теоретического материала по теме работы;
- знание методики проведения измерений;
- знание правил эксплуатации измерительной аппаратуры, применяемой при исследованиях;
- наличие бланка отчета с результатами предварительных расчетов.

5. Отчет по проделанной работе студент обязан представить и защитить не позднее, чем к началу следующей работы. Отчет представляется по указанной форме в установленное преподавателем время.

6. Находясь в лаборатории, студент обязан бережно относиться к оборудованию. Включение приборов следует производить только с разрешения преподавателя, после проверки их работоспособности лаборантом.

7. Находясь в лаборатории, студент обязан строго соблюдать правила техники безопасности и внутреннего распорядка, с которым его знакомят под роспись при первом посещении лаборатории.

8. При невыполнении требований, указанных в п.п. 4-7, студент к работе не допускается.

Параметры антенн, определяющие их свойства

Основными параметрами, определяющими свойства антенно-фидерного устройства, являются:

G - коэффициент усиления антенны;

D - коэффициент направленного действия (везде далее КНД) антенны;

$f(\theta, \varphi)$ - характеристика направленности (ХН) антенны;

$Z_{вх}$ - входное сопротивление антенны;

η_a - коэффициент полезного действия антенны;

КБВ - коэффициент бегущей волны в фидерном тракте;

$2\Delta f$ - полоса рабочих частот;

P_{max} - электрическая прочность элементов антенно-фидерного тракта и др.

Методика измерения параметров антенны во многом определяется диапазоном частот, в котором используется антенна.

Для исследуемых антенн СВЧ, например, сопротивлением потерь, по сравнению с сопротивлением излучения, можно пренебречь, влияние земли не учитывается и т.д.

Описание измерительного стенда для лабораторных работ

Лабораторные работы выполняются на одном, общем для всех работ, универсальном стенде. Стенд рассчитан на проведение исследований в диапазоне длин волн 2,8 ... 3,4 см.

На рис. В1 приведена структурная схема стенда с использованием условных обозначений, утвержденных государственным стандартом.

Примечание. Для некоторых стендов возможны отклонения в составе комплектующих элементов.

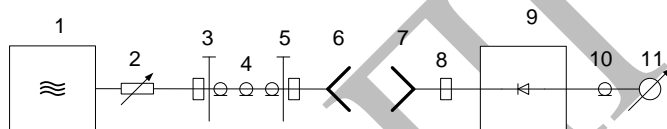


Рис. В1. – Схема лабораторного стенда

В состав измерительного стенда входит набор антенн, подлежащих исследованию:

- рупорные пирамидальные,
- рупорные секториальные в плоскости E,
- рупорные секториальные в плоскости H,
- волноводно - щелевые, диэлектрические стержневые.

На рис.1 и 2 одинаковые элементы обозначены одинаково:

1. Генератор Г4 – 83.
2. Атенюатор Д5 - 10, градуированный в децибелах.
3. Волноводно - коаксиальный переход.
4. Коаксиальный кабель.
5. Коаксиально - волноводный переход.
6. Передающая антенна.
7. Приемная антенна.
8. Волноводная вставка.
9. Детекторная секция.
10. Коаксиальный кабель.

11. Измерительный усилитель УЗ-29.
12. Измерительная линия (на структурной схеме не указана).

Подготовка к выполнению лабораторных работы

Выполнение каждой из работ предполагает подготовительный этап. Эта часть работы подразумевает ознакомление студента с рекомендуемой литературой и инструкциями к приборам лабораторного стенда. Кроме того, при подготовке к измерениям необходимо оформить бланк отчета и провести предварительный расчет. Последнее студент, на свое усмотрение, может выполнить в любом из средств автоматизации расчетов на ЭВМ (общие языки программирования, специализированные математические пакеты и программы моделирования антенно-фидерных устройств) с последующим включением листинга программы в отчет по лабораторной работе.

ЭБС ПШУТМ

Лабораторная работа №1

«ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН»

1. Цель работы

1. Овладение методом экспериментального определения ХН передающих и приемных антенн.
2. Получение практических навыков расчета ХН и построения ДН антенн в различных системах координат.

2. Литература

Основная:

1. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие для вузов/ В. А. Неганов и др.; под ред. В. А. Неганова, С. Б. Раевского.- М.: Радио и связь, 2005.- 648 с.
2. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов/ Г.А.Ерохин и др. ; под ред. Г.А.Ерохина.- 2-е изд., испр.- М.: Горячая линия-Телеком, 2004.- 491 с.

Дополнительная:

1. Антенны: В 2-х т.: пер. с нем./ Карл Ротхаммель/ Изд. 11-е, полностью перераб.и доп. А. Кришке.- М.: ДАНВЕЛ Т.1,2.- 2005.- 416 с.

3. Подготовка к работе

- 3.1. Для подготовки к лабораторной работе необходимо изучить соответствующие разделы основной литературы [1,2], описание данной лабораторной работы, а также конспект лекций.
- 3.2. Для углубленного понимания материала целесообразно обратиться к дополнительной литературе.
- 3.3. Заготовить бланк отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями раздела б.
- 3.4. Выполнить расчет ХН антенны в соответствии с номером варианта. Расчетные формулы приведены в Приложении 1.1.
- 3.5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

4. Содержание контрольных вопросов

- 4.1. Какие действия надо выполнять для подготовки к работе генератора, и измерительного усилителя?
- 4.2. В чем сущность изучаемого метода измерения ХН антенны?
- 4.3. Определение и запись в аналитическом виде ХН передающей антенны.

- 4.4. Определение и запись в аналитическом виде ХН приемной антенны.
- 4.5. Каким образом определяется положение плоскостей Е и Н при исследовании антенн (на примере рупорной антенны)?
- 4.6. Что означает требование согласовать передающую и приемную антенны по поляризации?
- 4.7. Понятие о ненормированной и нормированной ХН антенны. Как можно отнормировать ХН по результатам измерений:
- а) методом непосредственного отсчета;
 - б) методом калиброванного аттенюатора?
- 4.8. Определение ДН антенны. Способы построения ДН в заданной плоскости:
- а) в полярной системе координат (линейный и логарифмический масштабы);
 - б) в прямоугольной системе координат (линейный и логарифмический масштабы).
- 4.9. Какими преимуществами и недостатками обладают различные способы представления ДН антенны:
- а) в полярной системе координат (линейный и логарифмический масштабы);
 - б) в прямоугольной системе координат (линейный масштаб);
 - в) в прямоугольной системе координат (логарифмический масштаб)?
- 4.10. В каком масштабе целесообразно изобразить ДН для определения параметров антенны:
- а) ширины главного лепестка ХН по заданному уровню;
 - б) уровня боковых лепестков ХН;
 - в) КНД и коэффициента защитного действия?
- 4.11. Каковы источники погрешностей измерений ХН антенны?
- 4.12. Каким образом можно расширить динамический диапазон проводимых измерений?

5. Содержание работы

Настройка стендов

5.1. Собрать измерительный стенд с передающей и приемной антеннами, указанными преподавателем. Настроить генератор на частоту, заданную преподавателем, и проверить работоспособность всех элементов стенда.

Структурная схема установки приведена на рис. В1.

Проверка работоспособности измерительной установки производится по наличию показаний прибора измерительного усилителя 11 и возможности их изменения с помощью аттенюатора 2. Ручка "Род работы" должна стоять в положении "Внутренняя манипуляция", т.к. на приемной стороне используется усилитель низких частот 11.

Вращая поворотное устройство, добиться максимальных показаний прибора измерительного усилителя 11. При этом передающая и приемная антенны должны быть ориентированы строго по одной оси и согласованы по поляризации.

В случае зашкаливания прибора усилителя 11, следует ввести в тракт затухание аттенюатором 2, так, чтобы стрелка измерительного прибора усилителя 11 установилась в середине шкалы, и продолжить настройку всей системы (подстройка генератора 1, детекторной секции 9, измерительного усилителя 11).

Установку можно считать подготовленной к снятию ХН методом замещения, если затухание аттенюатора 2 не менее 15...20 дБ, а стрелка прибора усилителя 11 находится в начале шкалы (в пределах 5...10 делений).

В случае отсутствия показаний измерительного прибора усилителя 11 следует обратить внимание на согласование антенн по поляризации, а также на правильное соединение волноводных элементов установки.

Измерения

5.2. Снять ХН исследуемой антенны в плоскости вектора напряженности электрического поля (плоскость Е). Исследуемая антенна находится на передающей стороне.

Угол на отсчетной шкале поворотного устройства, при котором показания усилителя 11 максимальны, принимается за "нулевой" φ_0 . Он должен совпадать с нулевой отметкой на шкале поворотного устройства на передающей стороне. При их несовпадении исследуемую антенну следует повернуть в верхнем патроне-замке поворотной стойки и регулировкой добиться требуемого совпадения.

При снятии ХН антенны применяется метод замещения (метод калиброванного аттенюатора), который состоит в том, что при вращении исследуемой антенны показания прибора на измерительном усилителе 11, характеризующие уровень принимаемого сигнала, поддерживаются постоянными с помощью регулировки калиброванного аттенюатора 2. О величине изменения уровня сигнала для различных углов поворота антенны φ судят по изменению затухания аттенюатора 2 в децибелах.

При снятии ХН антенны нельзя задаваться произвольным шагом изменения угла. Значения углов, при которых необходимо определить ХН $F(\varphi)$, устанавливаются заранее: либо по расчетным данным, либо по следующей методике.

Сначала выясняется характер ДН антенны в данной плоскости: оценивается ширина основного лепестка, устанавливаются наличие и число боковых лепестков. Исходя из этого, следует определить интервал между отсчетными точками в градусах по шкале поворотного устройства ($\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \dots$).

В ХН должны быть отмечены характерные точки (максимумы и минимумы), а для основного лепестка необходимо снять показания в 4...6 промежуточных точках. Для боковых лепестков количество точек можно ограничить одной или двумя.

Для определения характера ХН и положения экстремальных точек следует плавно вращать поворотное устройство от "нулевого" направления в левую и правую стороны и по показаниям индикаторного прибора на усилителе 11 зафиксировать те значения углов φ , при которых наблюдаются экстремальные

значения в ХН. При определении минимумов в ХН можно увеличить мощность, подаваемую в фидерный тракт передающей антенны аттенуатором 2. В случае зашкаливания индикаторного прибора усилителя 11 следует, напротив, уменьшить мощность на входе передающей антенны аттенуатором 2.

Сектор углов, в пределах которого снимается ХН, определяется энергетическими возможностями приемопередающей аппаратуры. Динамический диапазон уровней ХН должен быть не менее 15... 20 дБ.

Определенные таким образом углы φ необходимо занести в соответствующие графы Таблицы 1.1 и приступить к снятию ХН для этих углов.

Расчетные формулы:

$$F(\varphi)\text{дБ} = N \text{ дБ} - N_{\text{макс.дБ}}; F(\varphi) = 10^{F(\varphi)\text{дБ}/20}.$$

Следует установить угол φ_0 на поворотном устройстве и путем регулировки аттенуатора 2 выставить стрелку прибора усилителя 13 на уровень в пределах 5...10 делений шкалы.

При этом показание аттенуатора 2 будет соответствовать максимальному значению ненормированной ХН антенны в децибелах $f(\varphi_0)$ дБ

Установить исследуемую антенну в положение, соответствующее первому выбранному значению угла φ_1 . Показания индикаторного прибора 11 уменьшатся: увеличивая аттенуатором 2 уровень мощности, подаваемый в фидерный тракт, следует установить стрелку индикаторного прибора 11 на прежний уровень. Определить новое затухание аттенуатора $N(\varphi_1)$ в дБ, т.е. новое значение $f(\varphi_1)$ дБ.

Указанные операции повторить для всех ранее выбранных значений угла φ при вращении антенны сначала в левую, а затем в правую сторону. Результаты измерений заносятся в Таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерений ХН антенны в Е – плоскости

| В л е в о | | | | В п р а в о | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Угол φ , град | N, дБ $f(\varphi)$ дБ | F(φ), дБ | F(φ), отн.е д | Угол φ , град | N, дБ $f(\varphi)$ дБ | F(φ), дБ | F(φ), отн.ед |
| φ_0 | | | | φ_0 | | | |
| φ_1 | | | | φ_1 | | | |
| φ_2 | | | | φ_2 | | | |
| | | | | | | | |
| φ_i | | | | φ_i | | | |
| | | | | | | | |

Связь между нормированной ХН по напряженности поля в логарифмическом

масштабе (децибелах) и ХН в относительных единицах определяется формулой:

$$F(\varphi)_{\text{дБ}}=20\lg F(\varphi).$$

5.3. Снять ХН исследуемой антенны в плоскости вектора напряженности магнитного поля (плоскость Н). Исследуемая антенна находится на передающей стороне.

Повторить измерения в соответствии с п.5.2 для плоскости Н, предварительно повернув антенны на передающей и приемной стороне таким образом, чтобы их плоскости Н стали горизонтальными.

5.4. Снять ХН исследуемой антенны в плоскости Е. Исследуемая антенна используется на приемной стороне.

Повторяются все действия п.5.2 при вращении стойки приемной антенны.

5.5. Снять ХН исследуемой антенны в плоскости Н. Исследуемая антенна используется на приемной стороне.

Повторяются все действия п.5.3 при вращении стойки приемной антенны.

Примечание. Результаты измерений ХН антенн по пл. 5.3, 5.4 и 5.5 заносятся в таблицы, аналогичные Таблице 1.1.

Обработка результатов измерений

5.6. Построить нормированные ДН антенн (отдельно в плоскостях Е и Н) в логарифмическом масштабе, в прямоугольной системе координат по результатам выполнения пп.5.2 - 5.5.

На этих же графиках построить расчетные диаграммы. Пример ДН в масштабной сетке приведен на рис. 1.1.

5.7. По ДН антенн определить ширину основных лепестков по уровню половинной мощности, а также положение и максимальные уровни боковых лепестков (при их наличии).

При определении ширины ДН антенны, следует помнить, что уровню половинной мощности соответствует значение $F(\varphi)_{\text{дБ}} = -3 \text{ дБ}$.

5.8 Построить нормированные ДН антенны, исследованной в п.п.5.2 и 5.3, в прямоугольной системе координат в линейном масштабе, в плоскостях Е и Н. Пример ДН приведен на рис. 1.2.

Построить ДН антенны, исследованной в п.5.2, в полярной системе координат в линейном масштабе. Пример ДН приведен на рис. 1.3. Аналогичная ДН в логарифмическом масштабе показана на рис. 1.4.

5.9. Составить письменный отчет по проделанной работе.

Примечание. Результаты построения ДН антенны в плоскостях Е и Н по п. 5.8 следует сохранить для выполнения второй работы.

6. Содержание отчета

6.1. Титульный лист с указанием номера и наименования работы, ф.и.о. студента, номера учебной группы, номера рабочего стенда.

- 6.2. Формулировка цели работы.
- 6.3. Структурная схема стенда с перечислением всех элементов, видов исследуемых антенн и указанием рабочей частоты.
- 6.4. Таблицы с результатами расчета ХН антенн.
- 6.5. Таблицы с результатами измерения ХН антенн.
- 6.6. Расчетные и экспериментальные ДН в Е-плоскости в прямоугольной системе координат в линейном и логарифмическом масштабе.
- 6.7. Расчетные и экспериментальные ДН в Н-плоскости в прямоугольной системе координат, в линейном и логарифмическом масштабе.
- 6.8. Экспериментальные ДН в Е-плоскости передающей и приемной антенн (на одном рисунке) в логарифмическом масштабе в полярной системе координат.
- 6.9. Экспериментальные ДН в Н-плоскости передающей и приемной антенн (на одном рисунке) в логарифмическом масштабе в полярной системе координат.
- 6.10. Выводы по проделанной работе.

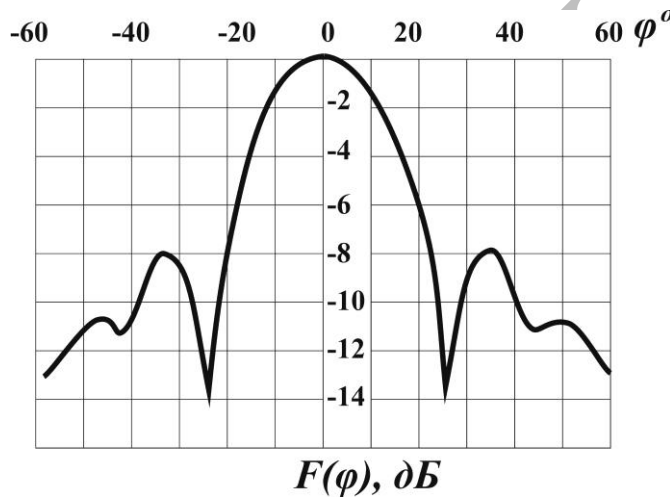


Рис. 1.1. ДН в прямоугольных координатах (логарифмический масштаб)

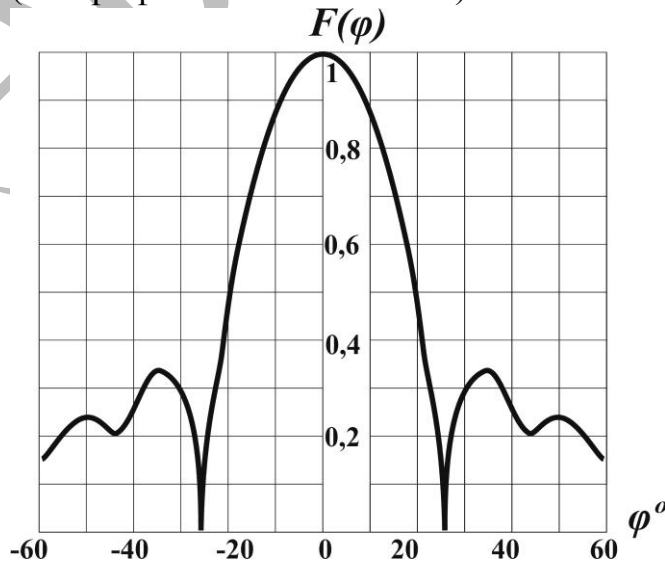


Рис. 1.2. ДН в прямоугольных координатах
(линейный масштаб)

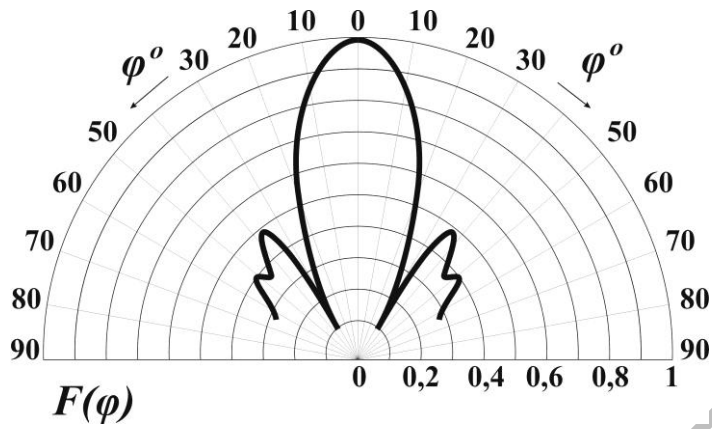


Рис. 1.3. ДН в полярных координатах
(линейный масштаб)

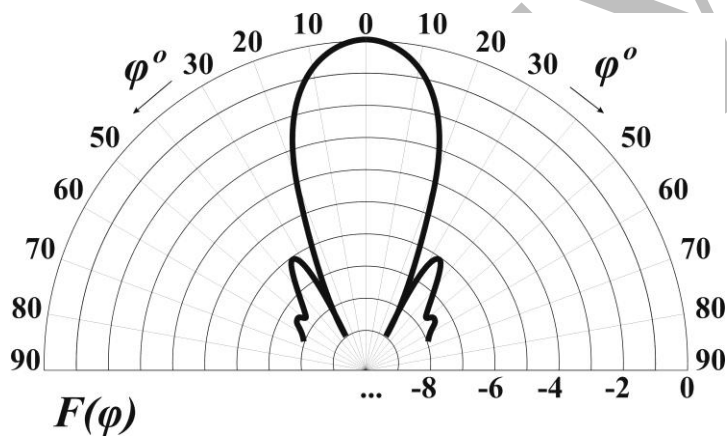


Рис. 1.4. ДН в полярных координатах
(логарифмический масштаб)

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.1

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ РУПОРНЫХ АНТЕНН

1. ХН рупорных антенн в Е-плоскости рассчитывается по формуле:

$$F(\varphi) = 201g \left| \frac{\sin u}{u} \right|,$$

где $u = \frac{kb_p}{2} \sin \varphi$ - обобщенная угловая координата точки наблюдения;

$k = 2\pi/\lambda$ - волновое число;

λ - рабочая длина волны;

b_p - размер излучающего отверстия рупора в Е-плоскости

φ - азимутальный угол, отсчитываемый от нормали к плоскости излучающего отверстия рупора.

Функция $\left| \frac{\sin u}{u} \right|$ имеет вид, приведенный на рис. П1.1. При расчетах угол φ изменяется от 0 до 90°, причем его числовые значения берутся не произвольно, а предварительно вычисляются таким образом, чтобы они соответствовали всем минимумам и максимумам функции $\left| \frac{\sin u}{u} \right|$.

В точках минимумов $u = n\pi$, т.е. $\frac{\pi b_p}{\lambda} \sin \varphi_{n \min} \approx n\pi \quad n=1,2,3\dots$

В точках максимумов т.е. $\frac{\pi b_p}{\lambda} \sin \varphi_{n \max} \approx (n-1)\frac{\pi}{2} \quad n=1,2,3\dots$

Кроме того производится расчет углов φ при u , равном $\frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{2}; \frac{7\pi}{4}; \frac{9\pi}{4}; \frac{11\pi}{4}; \frac{13\pi}{4}$.

Примечание. Если при расчетах окажется, что $\sin \varphi > 1$, это означает, что решение не имеет физического смысла и расчет следует прекратить.

2. ХН рупорных антенн в Н-плоскости рассчитывается по формуле:

$$F(\varphi) = 201g \left| \pi \cos \nu / \sqrt{1 - (\epsilon/2)^2} \right|,$$

где $\nu = \frac{ka_p}{2} \sin \varphi$ - обобщенная угловая координата точки наблюдения;

a_p - размер излучающего отверстия рупора Н-плоскости.

Функция $\left| \pi \cos \nu / \sqrt{1 - (\epsilon/2)^2} \right|$ имеет вид, приведенный на рис. П1.2. При расчетах угол φ изменяется от 0 до 90°, причем его числовые значения предварительно вычисляются таким образом, чтобы они соответствовали всем минимумам и максимумам функции $\left| \pi \cos \nu / \sqrt{1 - (\epsilon/2)^2} \right|$.

В точках минимумов $\frac{\pi a_p}{\lambda} \sin \varphi_{n \min} \approx (n+1)\frac{\pi}{2}$ при $n=1,2,3\dots$

В точках максимумов $\frac{\pi a_p}{\lambda} \sin \varphi_{n \max} \approx n\pi$ при $n=2,3,4\dots$

Кроме того производится расчет углов φ при ν , равном $\frac{\pi}{2}; \pi; \frac{7\pi}{4}; \frac{9\pi}{4}; \frac{11\pi}{4}; \frac{13\pi}{4}$.

Примечание. Если при расчетах окажется, что $\sin\varphi > 1$, то решение не имеет физического смысла и расчет следует прекратить.

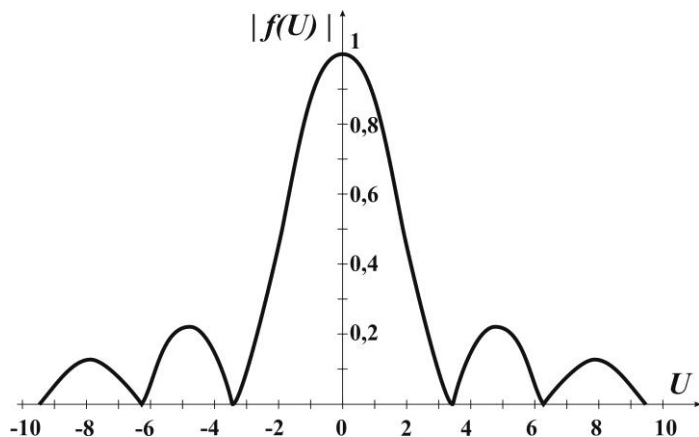


Рис П1.1. График функции $|f(U)|$ (см. п.1).

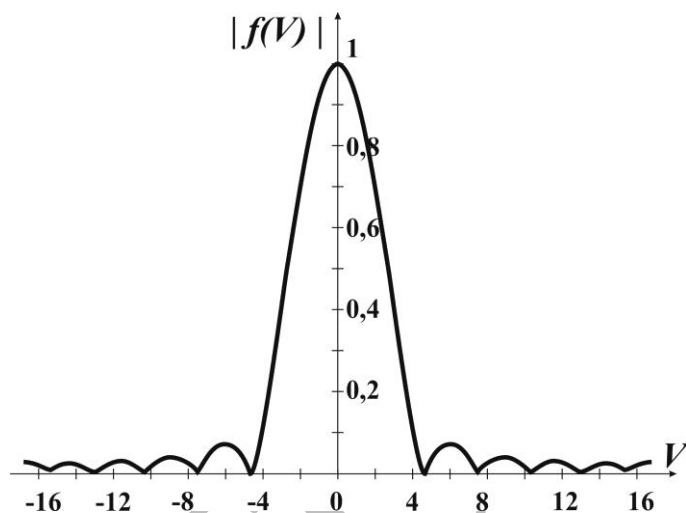


Рис П1.2. График функции $|f(V)|$ (см. п.2).

Результаты расчетов сводятся в таблицы (образец - Таблицы П 1.1).

Таблица П 1.1

Результаты расчета ХН антенны

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------|--|
| Плоскость E | | | | | | | | | | | | $b_p/\lambda =$ | |
| φ_E° | | | | | | | | | | | | | |
| $F_E(\varphi)$, дБ | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------|--|
| Плоскость H | | | | | | | | | | | | $a_p/\lambda =$ | |
| φ_H° | | | | | | | | | | | | | |
| $F_H(\varphi)$, дБ | | | | | | | | | | | | | |

Лабораторная работа №2

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ АНТЕНН

1. Цель работы

Изучение методов экспериментального определения коэффициента усиления антенн:

- а) абсолютный метод;
- б) относительный метод.

2. Литература

Основная:

1. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие для вузов/ В. А. Неганов и др.; под ред. В. А. Неганова, С. Б. Раевского.- М.: Радио и связь, 2005.- 648 с.

2. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов/ Г.А.Ерохин и др. ; под ред. Г.А.Ерохина.- 2-е изд., испр.- М.: Горячая линия-Телеком, 2004.- 491 с.

Дополнительная:

1. Антенны: В 2-х т.: пер. с нем./ Карл Ротхаммель/ Изд. 11-е, полностью перераб.и доп. А. Кришке.- М.: ДАНВЕЛ Т.1,2.- 2005.- 416 с.

5. Подготовка к работе

3.1.Повторить определения КНД, коэффициента усиления и эффективной поверхности для передающей и приемной антенн [1;2].

3.2.Рассчитать КНД антенны в главных плоскостях см. Приложение 2.3.

3.3.Уяснить цель работы, ее содержание. Изучить описание работы, обратив особое внимание на разд.5, а также на материалы Приложений 2.1-2.4.

3.4.Следует четко представлять схему экспериментальной установки и порядок выполнения всех операций, а также их конечную цель. Заготовить бланк отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями раздела 6.

3.5.Подготовить ответы на контрольные вопросы.

4. Содержание контрольных вопросов

4.1. Сформулируйте цель работы.

4.2. Определение КНД антенны. Какие факторы определяют значение КНД?

4.3. Определение коэффициента усиления антенны. Каким образом коэффициент усиления связан с КНД?

4.4. Определение эффективной поверхности апертурной антенны. Каким образом эффективная поверхность связана с ее КНД и коэффициентом усиления?

4.5. От каких факторов зависит коэффициент использования поверхности апертурной антенны? Каким образом учитывается влияние этих факторов на его величину?

4.6. В чем состоит абсолютный метод измерения коэффициента усиления антенны?

4.7. Как учитывается влияние расстояния между антеннами на величину коэффициента усиления?

4.8. В чем состоит относительный метод измерения коэффициента усиления антенны?

4.9. Каким способом учитывается разная степень согласования антенн с волноводным трактом при использовании относительного метода измерения коэффициента усиления?

4.10. Каковы источники погрешностей измерения коэффициента усиления различными методами?

4.11. Какова методика оценки погрешности измерения коэффициента усиления антенны?

5. Содержание работы

В данной работе измерения и обработка их результатов по каждому пункту задания производятся одновременно.

Методические указания и необходимые пояснения по выполнению каждого пункта приведены ниже.

5.1. Собрать измерительный стенд с одинаковыми передающей и приемной антеннами. Настроить генератор на частоту f , указанную преподавателем, проверить работоспособность всех элементов схемы, подготовить аппаратуру к измерениям.

Структурная схема измерительной установки приведена на рис. В1.

Вращая поворотное устройство, добиться максимальных показаний измерительного усилителя 11. При этом передающая 6 и приемная 7 антенны должны быть ориентированы строго по одной оси и согласованы по поляризации. При малых отклонениях стрелки прибора усилителя 11 или ее зашкаливании, следует регулировать уровень излученной мощности аттенуатором 2, а также настраивать детекторную секцию 9.

Измерения

5.2. Измерить коэффициент усиления рупорной антенны абсолютным методом. Уточнить значение коэффициента с учетом расстояния между антеннами (поправка на влияние фазовых ошибок).

Сущность абсолютного метода измерения коэффициента усиления изложена в Приложении 2.1.

Для определения коэффициента усиления необходимо произвести следующие операции:

1. установить при помощи аттенуатора 2 минимальный уровень показаний прибора усилителя 11, отличный от нуля (10...20 делений шкалы).
2. Записать значение затухания аттенуатора N_n в таблицу 2.1.
3. Детекторную секцию 9 отключить от выхода приемной антенны 7 и подключить к выходу передающего кабеля (вместо передающей антенны).
4. Регулировкой аттенуатора 2 добиться прежних показаний прибора усили-

теля 11.

5. Записать значение затухания аттенюатора N_a в Таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Результаты определения коэффициента усиления эталонной антенны

| N_n , дБ | N_a , дБ | $\frac{4\pi r}{\lambda}$ | $\frac{4\pi r}{\lambda}$, дБ | G , дБ | γ | γ дБ | G_0 , дБ |
|---------------|---------------|--------------------------|----------------------------------|-------------|----------|----------------|---------------|
| | | | | | | | |

Обработка результатов измерений

Значение коэффициента усиления испытуемой антенны определяется по формуле

$$G_{\text{дБ}} = 10 \lg \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) + \frac{1}{2} (N_n - N_a).$$

Следует учесть, что $N_a \gg N_n$, и второе слагаемое в формуле отрицательно.

Расстояние между антеннами $r = 1,5$ м. Значение длины волны λ определяется по заданной рабочей частоте f .

При экспериментальном определении коэффициента усиления расстояние r значительно меньше, чем в условиях нормальной эксплуатации антенн. В результате измеренное значение G может заметно отличаться от действительного. Это объясняется тем, что структура поля на малых расстояниях от передающей антенны, по сравнению с дальней зоной, искажена. Вместо фронта волны в данном случае на приемную антенну воздействует поле с фазовыми искажениями: поверхность приемной антенны возбуждается не синфазно, а с запаздыванием по фазе от центра раскрыва антенны к ее краям. Фазовые ошибки такого рода ведут к уменьшению измеренного значения коэффициента усиления G по сравнению с его истинным значением G_0 . Связь G и G_0 определяется формулой:

$$G_{0 \text{ дБ}} = G_{\text{дБ}} - 10 \lg \gamma.$$

Поправочный коэффициент γ определяется по графику на рис. П2.1 в зависимости от величины параметра

$$\xi = \frac{a_p^2}{\lambda r},$$

где a_p - размер апертуры рупора в плоскости Н.

При определении ξ значения λ , r и a_p следует брать в одной и той же размерности. Из рис. П2.1. видно, что параметр γ близок к единице, но всегда меньше ее, поэтому $\lg \gamma < 0$ и $G_{0 \text{ дБ}} > G_{\text{дБ}}$.

Измерения

5.3. Измерить коэффициент усиления испытываемой антенны №1 относительным методом. Уточнить значения коэффициента усиления с учетом рассогласования антенн.

Сущность относительного метода измерения коэффициента усиления изложена в Приложении 2.2.

Для определения коэффициента усиления необходимо произвести следующие операции.

1. Восстановить схему измерительной установки с двумя одинаковыми рупорами (эталонные антенны).

2. Установить при помощи аттенюатора 2 уровень показаний прибора 11, равный 10...20 делениям шкалы.

3. Записать в Таблицу 2.2. затухание аттенюатора $N_{эт}$, дБ.

4. Заменить на приемной стороне эталонную рупорную антенну испытываемой антенной №1, сориентировать ее ось излучения строго на передающую антенну. Точность установки следует проверить по максимуму показаний прибора усилителя 11 при повороте приемной антенны в небольших пределах относительно нормали к ее апертуре.

5. Установить при помощи аттенюатора 2 первоначальный уровень показаний прибора усилителя 11.

6. Записать в Таблицу 2.2 затухание аттенюатора $N_{исп1}$.

Значение коэффициента усиления испытываемой антенны определяется по формуле

$$G_{дБ} = G_{0дБ} + N_{исп} - N_{эт}.$$

Таблица 2.2.

Результаты определения коэффициента усиления испытываемой антенны относительным методом

| $N_{эт}$, дБ | $N_{исп}$, дБ | $K_{эт}$ | $K_{исп}$ | G | G , дБ | G_0 | G_0 , дБ |
|---------------|----------------|----------|-----------|-----|----------|-------|------------|
| | | | | | | | |

Эталонная и испытываемая антенны могут быть неодинаково согласованы с волноводом. В результате этого от них в нагрузку будут поступать разные мощности, что существенно влияет на результаты измерений. Для уточнения значения G необходимо дополнительно измерить значения КБВ в волноводе при очередном подключении эталонной и испытываемой антенн к выходу передающего волноводного тракта. Определение КБВ производится при помощи измерительной линии 12 при подключении к ней измерительного усилителя 11. Результаты измерений КБВ заносятся в таблицу 2.2.

Значения КБВ для рупорной эталонной антенны $K_{эТ}$ и для испытываемой антенны $K_{исп}$ учитываются при определении коэффициента усиления следующим образом:

$$G_{0дБ} = G_{дБ} + 10 \lg \frac{K_{эТ}^2 + K_{исп}^2}{K_{исп}^2 + K_{эТ}^2}.$$

5.4. Измерить коэффициент усиления испытываемой антенны №2 относительным методом. Уточнить значения коэффициента усиления при учете рассогласования антенн.

Измерение коэффициента усиления испытываемой антенны №2 производится аналогично п.5.3. С целью экономии времени значения $N_{эТ}$, G_0 , $G_{0дБ}$ и $K_{эТ}$ следует из результатов выполнения п.5.3.

Результаты измерений и расчетов заносятся в Таблицу 2.3, аналогичную Таблице 2.2.

5.5. Определить КНД эталонной рупорной антенны аналитическим методом (см. приложение 2.3) и полученный результат сравнить с измеренным значением коэффициента усиления G_0 (п.5.2.).

5.6. Вычислить предельную погрешность измерения коэффициента усиления рупорной антенны абсолютным методом.

Методика оценки погрешности измерений коэффициента усиления абсолютным методом изложена в Приложении 2.4.

5.7. Составить письменный отчет по проделанной работе.

6. Содержание отчета

1. Титульный лист с указанием номера и наименования работы, ф.и.о. студента, номера учебной группы, номера рабочего стенда.

2. Формулировка цели работы.

3. Структурная схема стенда с перечислением всех элементов, видов исследуемых антенн и указаний рабочей частоты.

4. Таблицы 2.1- 2.3 с результатами измерений по п.п.5.2 - 5.4.

5. Результаты выполнения задания по п. 5.5 и 5.6.

6. Выводы о проделанной работе, которые должны содержать сравнительную оценку точности изученных методов определения коэффициента усиления с указанием причин несовпадения результатов. При этом следует оценить как влияние несинфазности возбуждения антенн ввиду эффекта их близости, так и влияние рассогласования. При сопоставлении результатов за эталонное значение следует брать коэффициент усиления рупорной антенны, исследованной в п.5.2. Предельная погрешность для этого случая найдена в п.5.6.

В конце отчета необходимо поставить подпись и дату.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.1

АБСОЛЮТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ: СЛУЧАЙ ДВУХ ОДНОТИПНЫХ АНТЕНН

Из определения коэффициента усиления передающей антенны следует, что если к направленной антенне с коэффициентом усиления G_{a1} подводится мощность P_a , то к ненаправленной (изотропной) антенне нужно подвести мощность $P_0 = P_a G_{a1}$, чтобы создать в точке приема тот же уровень напряженности поля.

Из определения эффективной поверхности приемной антенны следует, что мощность, поступающая в приемную антенну, будет равна

$$P_{np} = P_0 S_{эф} = P_a G_{a1} S_{эф} / 4\pi r^2,$$

где $P_0 = P_a G_{a1} / 4\pi r^2$ плотность потока мощности (модуль вектора Пойнтинга) для ненаправленной передающей антенны на расстоянии r от нее.

Мощность, поступающая в нагрузку приемной антенны, равна

$$P_H = P_{np} \eta_{np} = P_a G_{a1} S_{эф} \eta_{np} / 4\pi r^2,$$

где η_{np} - КПД приемной антенны.

Эффективная поверхность связана с КНД приемной антенны соотношением

$$D_{a2} = 4\pi S_{эф} / \lambda^2,$$

откуда $S_{эф} = \lambda^2 D_{a2} / 4\pi$.

Так как $D_{a2} \eta_{a2} = G_{a2}$ по определению, в итоге имеем для P_H выражение вида:

$$P_H = P_a G_{a1} G_{a2} \lambda^2 / 4\pi r^2.$$

Отсюда при $G_{a1} = G_{a2} = G$ получаем:

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \sqrt{\frac{P_H}{P_a}}.$$

Отношение мощностей P_H/P_a определяется методом калиброванного аттенуатора через разность затуханий $N_H - N_a$ при поочередном размещении детекторной секции на выходе приемной антенны и передающего тракта (см. п. 5.2).

Переход от P_H и P_a к N_H и N_a осуществляется на основании соотношений:

$$\sqrt{\frac{P_H}{P_a}} = 10^{\frac{N_H - N_a}{20}}, \quad 101g \sqrt{\frac{P_H}{P_a}} = \frac{N_H - N_a}{2}.$$

В итоге получаем для G в относительных единицах формулу вида:

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} 10^{\frac{N_H - N_a}{20}}.$$

Для G в децибелах при этом имеем:

$$G_{дБ} = 101g \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) + \frac{1}{2} (N_H - N_a).$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.2

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ АНТЕННЫ

Относительный метод измерения коэффициента усиления требует наличия у экспериментатора эталонной антенны, для которой известен коэффициент усиления.

Эталонная антенна с коэффициентом усиления $G_{эГ}$ включается в измерительную установку (в данной работе - на приемной стороне), после чего фиксируется затухание аттенюатора $N_{эГ}$ (в децибелах), соответствующее определенным значениям мощности сигнала на выходе передающей антенны $P_{а эГ}$ и на выходе эталонной антенны $P_{н эГ}$ (в децибелах). Затем эталонная антенна в схеме заменяется на испытуемую с коэффициентом усиления $G_{исп}$, после чего фиксируется затухание аттенюатора $N_{исп}$ (в децибелах), соответствующее прежнему значению мощности сигнала на выходе приемной антенны: $P_{н эГ} = P_{н исп}$ (см. п.5.3). Мощность на выходе передающей антенны при этом, естественно, изменяется: $P_{а эГ} \neq P_{а исп}$.

Разность показаний N (значение P_a дБ) равна разности коэффициентов усиления сравниваемых антенн:

$$N_{эГ} - N_{исп} = P_{а исп} - P_{а эГ} = G_{эГ \text{ дБ}} - G_{исп \text{ дБ}}.$$

Таким образом, очевидно

$$G_{исп \text{ дБ}} = G_{эГ \text{ дБ}} - N_{эГ} + N_{исп}.$$

Значение $G_{исп}$ в относительных единицах нетрудно получить на основании соотношений, аналогичных приведенным в Приложении 2.1:

$$G_{исп} = G_{эГ} 10^{(N_{исп} - N_{эГ})/10}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.3

РАСЧЕТ КНД

Метод предназначен для определения КНД антенн с осесимметричными ХН (у которых ХН представляет собой тело вращения вокруг направления максимального излучения или приема). Вид и параметры ХН используемой антенны $F(\varphi)$, для Е и Н-плоскостей даны в первой лабораторной (приложение 1.1). Поскольку КНД в данном случае определяется по формуле

$$D = 2 / \int_0^\pi F^2(\varphi) \sin \varphi d\varphi,$$

то расчет его сводится к вычислению интеграла в знаменателе.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.4

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ АБСОЛЮТНЫМ МЕТОДОМ

Расчетная формула для G , в децибелах, согласно данным Приложения 2.1, может быть представлена в виде:

$$G_{\text{дб}} = 10 \lg \left(\frac{4\pi r f}{V_0} \right) + \frac{1}{2} (N_{\text{н}} - N_{\text{а}}),$$

где V_0 - скорость света в окружающей среде.

Абсолютная погрешность измерения $G_{\text{дб}}$ может быть найдена через погрешности измерения $r, f, N_{\text{н}}$ и $N_{\text{а}}$ с помощью аппарата дифференциального исчисления. Если абсолютные погрешности измеренных величин равны соответственно $\Delta r, \Delta f, \Delta N_{\text{н}}, \Delta N_{\text{а}}$ то максимально возможное значение коэффициента усиления будет равно:

$$G_{\text{дб}} = 10 \lg \left(\frac{4\pi (r + \Delta r) (f + \Delta f)}{V_0} \right) + \frac{1}{2} (N_{\text{н}} + \Delta N_{\text{н}} - N_{\text{а}} - \Delta N_{\text{а}}).$$

Преобразуем данное выражение с учетом паспортных значений относительной погрешности элементов схемы и учтем, что $\frac{\Delta f}{f}, \frac{\Delta r}{r} \ll 1$. В итоге получим

формулу

$$\Delta G_{\text{дб}} = G_{\text{дб}} - G_{\text{дб}} \approx 10 \lg \left(\frac{rf + \Delta rf + \Delta fr}{rf} \right) + \frac{1}{2} (N_{\text{н}} - N_{\text{а}}).$$

Погрешности $\Delta N_{\text{н}}, \Delta N_{\text{а}}$ равны погрешности градуировки аттенюатора ΔN погрешности $\Delta r, \Delta f$ выразим через паспортные значения относительных погрешностей измерения и установки частоты f . С учетом этого выражения для предельной погрешности $\Delta G_{\text{дб}}$ будет иметь окончательный вид

$$\Delta G_{\text{дб}} = 10 \lg \left(1 + \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta f}{f} \right) + \Delta N,$$

где $\frac{\Delta r}{r} = 2 \cdot 10^{-2}$; $\frac{\Delta f}{f} = 2 \cdot 10^{-3}$; $\Delta N = 1$ дБ.

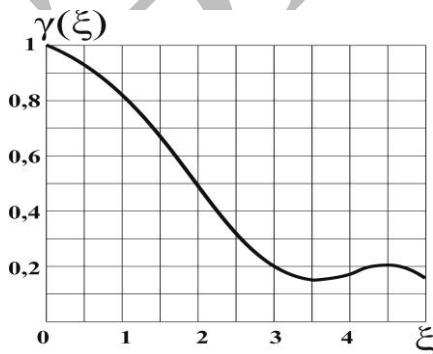


Рис. П2.1. График функции $\gamma(\xi)$ (см. п.5.2).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ РЕШЕТОК

1. Цель работы

1. Изучение методов формирования направленного излучения с помощью многоэлементной антенной решетки.
2. Экспериментальное исследование факторов, влияющих на направленные свойства линейных дискретных решеток излучателей.

2. Литература

Основная

1. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов/ Г.А.Ерохин и др. ; под ред. Г.А.Ерохина.- 2-е изд., испр.- М.: Горячая линия-Телеком, 2004.- 491 с.
2. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: учеб. пособие для вузов/ под ред. Д. И. Воскресенского.- 3-е изд., доп. и перераб.- М.: Радиотехника, 2003.- 632 с.

Дополнительная

3. Антенно-фидерные устройства: учебник для вузов/ Г.Н. Кочержевский, Г.А. Ерохин, Н.Д. Козырев.- М.: Радио и связь, 1989.- 352 с.

3. Подготовка к работе

3.1. Уяснить цель работы, ее содержание. Изучить методику выполнения работы.

3.2. По данным [1] и Приложения 3.1 установить, от каких параметров линейной равномерной антенной решетки зависят ее направленные свойства, какова структура формулы для расчета ХН такой антенны, как определяются направления главного максимума ХН и нулевого излучения, угловые координаты и уровни боковых лепестков при синфазном и несинфазном возбуждении.

3.3. Выполнить предварительные расчеты для последующего сравнения экспериментальных и теоретических данных:

- рассчитать и построить в логарифмическом масштабе нормированную ХН синфазной n - элементной антенной решетки ($n=6$ для четных номеров стендов, $n = 10$ для нечетных), при следующих исходных данных:

$$d = \Lambda_0/2, \Lambda_0 = \lambda_0 / \sqrt{1 - (\epsilon_0/2a)^2}, \lambda_0 = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ м},$$

$$a = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ размер широкой стенки волновода};$$

- рассчитать направления и уровни боковых лепестков для двухэлементной антенны ($n = 2$, $d = 2\Lambda$ - для четных номеров стендов и $d = 4\Lambda$ - для нечетных);

- рассчитать угол отклонения направления максимального излучения при несинфазно возбужденной n - элементной антенной решетке ($\lambda = m\lambda_0$, где $m = 1,1$

- для четных номеров стенов, $m = 0,9$ - для нечетных). Расчетные формулы приведены в Приложении 3.1 - 3.2.

3.4. Заготовить бланк отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями раздела 6.

3.5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

4. Содержание контрольных вопросов

4.1. Каким способом определяется ХН линейной решетки одностипных излучателей?

4.2. Поясните смысл терминов «линейная», «эквилистантная» и «синфазная» применительно к исследуемой антенной решетке.

4.3. Как определить положение плоскостей Е и Н для исследуемой волноводно-щелевой антенны?

4.4. Почему излучающие щели исследуемой решетки расположены «в шахматном порядке»? Чему равно расстояние между соседними щелями?

4.5. Как влияет число излучателей n на направленные свойства линейной, равномерной и синфазной решетки?

4.6. Сравните между собой ДН исследуемой многощелевой решетки в плоскостях Е и Н и объясните причины их различия.

4.7. Как зависит положение первого «нуля» ДН двухщелевой антенны от расстояния d между щелями? Как изменяется направление «нулевого» излучения при изменении d от $\lambda_0/2$ до $2\lambda_0$?

4.8. Как влияет расстояние между соседними излучателями на форму ДН антенной решетки?

4.9. Как влияет нарушение синфазности возбуждения элементов линейной антенной решетки на ее направленные свойства?

4.10. Каким образом обеспечивается несинфазность возбуждения элементов исследуемой волноводно-щелевой антенны? Какой закон изменения фазы вдоль решетки при этом имеет место?

4.11. Каким способом определяется ХН двумерной равномерной решетки излучателей?

4.12. Каковы источники погрешностей измерения ХН антенной решетки?

5. Содержание работы

Выполнение работы осуществляется в два этапа: непосредственные измерения и обработка результатов измерений.

Измерения

5.1. Собрать измерительную установку с передающей рупорной антенной и приемной волноводно-щелевой антенной. Настроить генератор на частоту $f_0 = 9375$ МГц ($\lambda_0 = 3,2$ см). Подготовить аппаратуру к измерениям.

Рекомендации по проверке работоспособности установки и подготовке к измерению ХН не отличаются от изложенных в первой работе. Структурная схема измерительной установки полностью соответствует схеме, показанной на рис. В.1.

Исследуемая решетка используется в качестве приемной антенны и крепится в поворотном устройстве на приемной стороне. Антенная решетка реализуется на базе волноводно-щелевой антенны (рис. 3.1). Расстояние между ближайшими щелями $d = \lambda_0/2$. Длина волны в волноводе может быть либо измерена с помощью измерительной линии, либо рассчитана.

В силу особенностей конструкции антенны, ее щелевые излучатели оказываются возбужденными синфазно, если $\lambda_0 = 3,2$ см. На данной волне волноводно-щелевая антенна эквивалентна линейной равномерной решетке синфазных излучателей (рис.3.2). Несовпадением осей щелей с серединой широкой стенки волновода (ось x на рис.3.1) можно пренебречь.

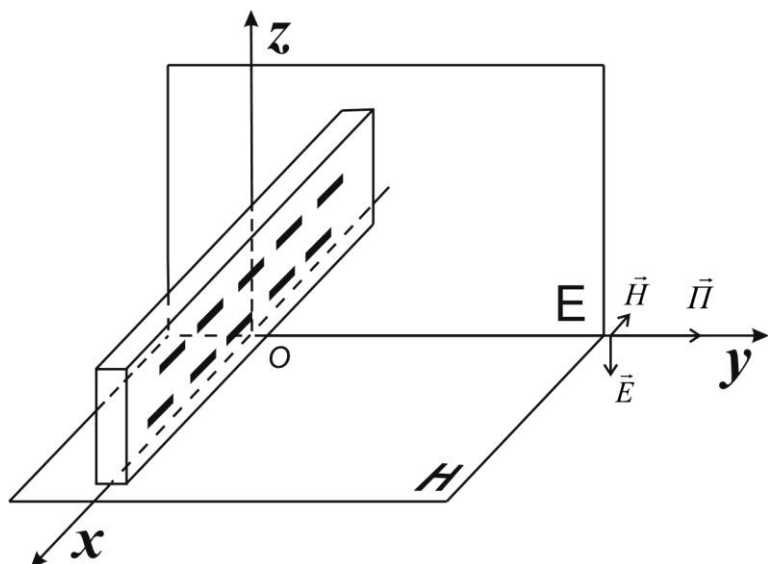


Рис. 3.1. Волноводно-щелевая антенна

При определении положения плоскостей E и H для исследуемой антенны следует учесть, что каждый излучатель (щель) является магнитным вибратором.

5.2. Исследовать влияние числа элементов n синфазно возбужденной линейной решетки на ее направленные свойства в плоскости H. Антенную решетку расположить таким образом, чтобы плоскость H совпадала с горизонтальной плоскостью. При этом необходимо проверить совпадение плоскостей поляризации передающей и приемной антенн.

Оставить незакрытыми в составе решетки только две центральные щели. Снять ХН решетки в плоскости H при $n = 2$ методом замещения согласно рекомендациям, изложенным в работе 1.

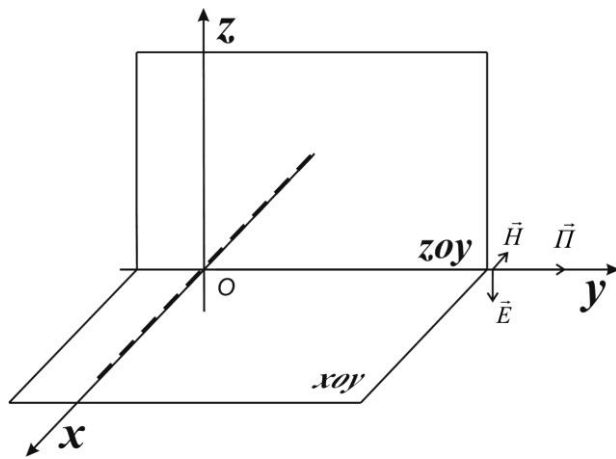


Рис. 3.2. Эквивалентная схема волноводно-щелевой антенны

Оставить незакрытыми в составе решетки $n = 6$ (для стендов с четными номерами) или $n = 10$ (для стендов с нечетными номерами) синфазных щелевых излучателей. Снять ХН решетки методом замещения с учетом рекомендаций, изложенных в работе 1. Результаты измерений занести в Таблицы 3.1 - 3.2, аналогичные Таблице 1.1.

5.3. Исследовать влияние расстояния между элементами синфазно возбужденной решетки на ее направленные свойства в плоскости Н.

Оставить незакрытыми в составе решетки две щели, удаленные друг от друга на расстояние $d = 2\Lambda_0$ для стендов с четными номерами и $d = 4\Lambda_0$ для стендов с нечетными номерами (незакрытые щели должны располагаться симметрично относительно оси вращения антенны). Снять ХН решетки в плоскости Н методом замещения. Результаты измерений занести в Таблицы 3.3 - 3.4, аналогичные Таблице 1.1.

5.4. Исследовать влияние нарушения синфазности возбуждения элементов линейной решетки на ее направленные свойства в плоскости Н.

Подготовить стенд к измерению ХН в плоскости Н для n -элементной решетки при $n = 6$ или $n = 10$ в соответствии с п.5.2. Перестроить генератор на длину волны $\lambda = m\lambda_0$.

Снять ХН антенны в плоскости Н, обратив особое внимание на то, что в данном случае главный максимум ХН не совпадает с нормалью к оси решетки. Результаты измерений свести в Таблицу 3.5, аналогичную Таблице 1.1 и Таблицам 3.1 - 3.4. Определить направление и величину угла поворота главного максимума ХН в плоскости Н.

Обработка результатов измерений

5.5. Построить нормированные ДН в прямоугольной системе координат и логарифмическом масштабе по результатам выполнения п.п.5.2 - 5.4. ДН антенны в плоскостях Е и Н для $n = 2$ и $n = 10$ (или $n = 6$), соответствующие измерениям в п.5.2, строятся на том же графике, где и расчетная ДН для синфазной n -элементной решетки (образец ДН см. в описании работы 1). Обработка результатов выполнения п.п.5.3 - 5.4 сводится к построению ДН в плоскости Н на

двух рисунках. Система координат - прямоугольная, масштаб - логарифмический.

5.6. Составить письменный отчет по проделанной работе.

6. Содержание отчета

6.1. Титульный лист с указанием номера и наименования работы, ф.и.о. студента, номера группы, номера измерительного стенда.

6.2. Формулировка цели работы.

6.3. Структурная схема стенда с перечислением всех элементов, параметров исследуемых антенн и указанием рабочей частоты.

6.4. Таблица с результатами расчета ХН для n -элементной антенны в плоскости Н.

6.5. Таблица с результатами расчета положения и уровней максимумов ХН для двухэлементной антенны.

6.6. Результаты расчета угла отклонения направления максимума излучения n -элементной антенны при несифазном возбуждения ее элементов.

6.7. Таблицы 3.1 - 3.4 с результатами экспериментальной проверки ХН исследуемых антенных решеток.

6.8. Расчетная и экспериментальная ДН антенны п.5.5.

6.9. Выводы по проделанной работе.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.1

АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРАВЛЕННОСТИ ЛИНЕЙНОЙ РАВНОМЕРНОЙ СИНФАЗНОЙ РЕШЕТКИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Расчетная формула ХН решетки в плоскости Н имеет вид:

$$F(\varphi) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \varphi\right) \cdot \sin\left(\frac{nk d}{2} \sin \varphi\right)}{\cos \varphi \cdot n \sin\left(\frac{k d}{2} \sin \varphi\right)},$$

где $k = 2\pi/\lambda_0$; φ - угол, отсчитываемый от нормали к оси решетки, значения d и n определяются заданной конфигурацией антенны.

В приведенной формуле первый множитель есть собственная ХН уединенного элемента (щели) в плоскости Н. Второй множитель является интерференционным множителем излучающей системы (он именуется также множителем комбинирования и множителем решетки). Первый множитель является сравнительно медленно меняющейся функцией угла φ . Поэтому направленные свойства антенны в основном определяются множителем решетки. Прежде чем приступить к расчету ХН, следует определить координаты экстремальных точек, то есть найти те значения угла φ , при которых функция $F(\varphi)$ принимает максимальные или равные нулю значения.

Направления в которых отсутствует излучение, определяются из условия равенства нулю числителя множителя решетки:

$$\sin \varphi_{0N} = N \lambda_0 / nd,$$

где $N = 1, 2, 3, \dots$ - номер соответствующего направления нулевого излучения.

Для расчета $F(\varphi)$ в области главного лепестка сектор углов от $\varphi = 0$ до $\varphi = \varphi_{01}$ следует разбить на три части и вычислить $F(\varphi)$ для углов $\varphi_{01}/3$ и $2\varphi_{01}/3$.

Направление максимумов боковых лепестков определяются из условия:

$$\sin \varphi_{\max N} = (N+1) \lambda_0 / nd;$$

где $N = 1, 2, 3, \dots$ - номер соответствующего максимума.

Уровень боковых лепестков следует вычислить по формуле:

$$\xi_N = \frac{1}{n \sin \left(\frac{(N+1) \pi}{2n} \right)}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.2

РАСЧЕТ УГЛА ОТКЛОНЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ НЕСИФАЗНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Угол отклонения φ_{\max} определяется по формуле:

$$\sin \varphi_{\max} = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a} \right)^2 - \lambda_0 / 2d},$$

где $d_0 = \Lambda_0 / 2$. Согласно исходным данным п.3.3, угол $\varphi_{\max} \leq 9^\circ$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

1. Цель работы

1. Изучение методов формирования направленного излучения плоской излучающей поверхностью на примере рупорной антенны.
2. Экспериментальное установление факторов, влияющих на направленные свойства излучающих поверхностей.

2. Литература

Основная:

1. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие для вузов/ В. А. Неганов и др.; под ред. В. А. Неганова, С. Б. Раевского.- М.: Радио и связь, 2005.- 648 с.
2. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов/ Г.А.Ерохин и др. ; под ред. Г.А.Ерохина.- 2-е изд., испр.- М.: Горячая линия-Телеком, 2004.- 491 с.

Дополнительная:

1. Антенны: В 2-х т.: пер. с нем./ Карл Ротхаммель/ Изд. 11-е, полностью перераб. и доп. А. Кришке.- М.: ДАНВЕЛ Т.1,2.- 2005.- 416 с.

3. Подготовка к работе

3.1. Уяснить цель работы, ее содержание. Изучить методику выполнения работы, обратив особое внимание на раздел 5, а также Приложение 4.1.

3.2. Изучить разделы [1,2], посвященные анализу особенностей излучения возбужденных поверхностей. Уяснить, как влияют на ХН излучающей поверхности ее форма, геометрические размеры, законы распределения амплитуды и фазы возбуждающего поля. Обратить внимание на методику определения экстремумов ХН: соответствующих направлениям нулевого излучения и максимумам боковых лепестков, а также на расчет ширины ХН по заданному уровню мощности.

3.3. Изучить разделы [1, 2], посвященные анализу направленных свойств рупорных антенн: пирамидальных и секториальных. Рассмотреть рупорную антенну как вариант реализации прямоугольной излучающей поверхности. Обратить внимание на особенности методов расчета параметров рупорных антенн разной конфигурации.

3.4. Выполнить предварительные расчеты для сравнения экспериментальных и теоретических данных:

- рассчитать и построить в логарифмическом масштабе нормированные ДН пирамидального рупора №1 с размерами апертуры $a_p = b_p = 10$ см в плоскостях Е и Н на волне $\lambda = 3,0$ см (для стендов с четными номерами) и $\lambda = 3,2$ см (для

стендов с нечетными номерами), определить ширину ДН рупора в плоскостях Е и Н по уровню половинной мощности (-3 дБ);

- рассчитать ширину ХН по уровню половинной мощности в плоскостях Е и Н для Е-секториального рупора с размерами $a_p = 2,3$ см; $b_p = 10$ см на волне $\lambda = 3,0$ см (стенды с четными номерами) и для Н-секториального рупора с размерами $a_p = 10$ см; $b_p = 1$ см. на волне $\lambda = 3,2$ см (нечетные номера стендов);

- рассчитать коэффициент усиления Е-секториального рупора с размерами: $a_p = 2,3$ см; $b_p = 13$ см на волне $\lambda = 3,0$ см (четные номера стендов) и $\lambda = 3,2$ см (нечетные номера стендов).

Расчетные формулы приведены в Приложении 4.1. Результаты следует отразить в таблицах и рисунках, приведенных в разделах 5 и 6.

3.5. Заготовить бланк отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями раздела 6.

3.6. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

4. Контрольные вопросы

4.1. Какие факторы влияют на направленные свойства апертурной рупорной антенны?

4.2. Как определяются положения плоскостей Е и Н, а также законы возбуждения апертурной рупорной антенны по амплитуде и фазе в данных плоскостях?

4.4. Чем объясняются различия ДН Е-секториального и Н-секториального рупоров в плоскостях Е и Н?

4.4. Чем объясняются различия ДН квадратного пирамидального рупора в плоскостях Е и Н?

4.5. Как влияет несинфазность возбуждения апертуры рупорной антенны на ее направленные свойства?

4.6. Как зависит КНД рупорной антенны от геометрических размеров ее апертуры?

4.7. Что такое коэффициент использования поверхности апертурной антенны?

4.8. Изобразите график зависимости коэффициента усиления G от размера b_p для Е-секториального рупора заданной длины, поясните его ход.

4.9. Как можно увеличить КНД рупорной антенны по сравнению с его оптимальным значением?

4.10. Как при помощи корректирующих линз устраняются фазовые искажения поля в апертуре рупорной антенны?

4.11. Как рассчитать ДН рупорной антенны в плоскостях Е и Н, как снять их экспериментально?

4.12. Как измерить коэффициент усиления рупорной антенны абсолютным и относительным методом?

5. Содержание работы

Измерения

5.1. Собрать измерительную установку - пирамидальный рупор с прямоугольным раскрытием на передающей стороне и пирамидальный рупор с квадратным раскрытием на приемной стороне. Подготовить аппаратуру к измерениям.

Генератор настраивается на частоту, которая определяется по длине волны λ , используемой в расчетах.

Рекомендации по проверке работоспособности установки и подготовке ее к измерениям ХН изложены в описании работы 1.

5.2. Исследовать зависимость направленных свойств излучающей поверхности от закона распределения амплитуды возбуждающего поля на примере пирамидального рупора с квадратной апертурой путем сравнительного анализа ДН в плоскостях Е и Н.

Геометрические размеры приемного пирамидального рупора таковы, что фазовые искажения в нем несущественны. Размеры апертуры в плоскостях Е и Н одинаковы: $a_p = b_p$. Поэтому отличие друг от друга ДН в плоскостях Е и Н вызвано различными законами распределения амплитуды вдоль апертуры рупора в этих плоскостях.

Методика снятия ХН аналогична изложенной в описании работы 1. Необходимо следить за соответствием плоскостей поляризации передающей и приемной антенн друг другу. При определении шага по угловым координатам в процессе снятия ХН в плоскостях Е и Н рекомендуется ориентироваться на форму расчетных кривых, не пропуская расчетные точки (как промежуточные, так и экстремальные) с тем, чтобы впоследствии оценить степень соответствия расчетных и экспериментальных данных. Результаты измерений сводятся в Таблицы 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1(4.2)

Результаты измерений и расчетов ХН рупорной антенны в Е - плоскости (Н - плоскости).

| Влево | | | | Вправо | | | |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Угол φ , град. | $F(\varphi)$, дБ расчет | N , дБ $f(\varphi)$, дБ | $F(\varphi)$, дБ | Угол φ , град. | $F(\varphi)$, дБ расчет | N , дБ $f(\varphi)$, дБ | $F(\varphi)$, дБ |
| φ_0 | | | | φ_0 | | | |
| φ_1 | | | | φ_1 | | | |
| φ_2 | | | | φ_2 | | | |
| ... | | | | ... | | | |
| φ_i | | | | φ_i | | | |
| ... | | | | ... | | | |

5.3. Исследовать влияние геометрических размеров излучающей поверхности на ее направленные свойства путем сравнительного анализа ДН для Е-секториального (Н-секториального) рупора в плоскостях Е и Н.

Тип рупора и размеры его апертуры указаны в п.3.5.

Пирамидальный рупор на приемной стороне следует заменить Е-секториальным (Н-секториальным). Методика определения ХН секториальных рупоров аналогична п.5.2. Результаты измерений следует заносить в Таблицы 4.3 и 4.4, аналогичные Таблицам 4.1 и 4.2, но без столбца с расчетными данными.

Необходимо иметь ввиду, что у секториальных рупоров в одной из плоскостей ДН имеет значительную ширину, поэтому снимать эти ДН следует с увеличенным шагом по угловой координате - порядка 10° .

5.4. Исследовать влияние фазовых искажений на направленные свойства излучающей поверхности при равномерном распределении амплитуды возбуждения на примере Е-секториального рупора путем сравнительного анализа значений коэффициента усиления трех рупоров: с малыми, оптимальными и увеличенными размерами апертуры в плоскости Е.

Коэффициенты усиления рупоров с малыми №7 и увеличенными №5 размерами определяются относительным методом (см. описание работы 2). Оптимальный рупор №6 принимается за эталонный, его коэффициент усиления G_0 дБ берется из расчета в п.3.5.

Результаты измерений следует занести в Таблицу 4.5.

Таблица 4.5

Результаты определения коэффициентов усиления Е - секториальных рупоров относительным методом.

| Антенна | N , дБ | G , дБ |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Оптимальный рупор №6, $b_p = 13$ см | | |
| Рупор № 5 = ... | b_p | |
| Рупор № 7 = ... | b_p | |

Обработка результатов измерений

5.5. Построить нормированные ДН в логарифмическом масштабе и прямоугольной системе координат по результатам выполнения пп.5.2-5.3.

Теоретическую и экспериментальную ДН для плоскости Е построить на общем рисунке, обозначенном в п.7 разд. 6 как рис. 1, для плоскости Н - на аналогичном рисунке, обозначенном как рис. 2.

По данным Таблицы 4.3 и 4.4 построить экспериментальные ДН для Е-секториального (Н-секториального) рупора в плоскостях Е и Н с указанием теоретических и экспериментальных значений ширины ДН по уровню половинной мощности (-3 дБ). Образец масштабной сетки приведен в описании работы 1. Система координат - прямоугольная, масштаб - логарифмический. ДН следует построить на общем рисунке, обозначенном в п.6.8 как рис.3.

5.6. Определить значения коэффициентов усиления антенн, исследованных в п.5.4,

Расчет коэффициентов усиления производится по формуле:

$$G_{дБ} = G_{0дБ} + N_{дБ},$$

где $G_{0дБ}$ - расчетный коэффициент усиления рупора №6;

$N_{дБ}$ - затухание аттенюатора 3 в децибелах для исследуемых антенн;

$N_{0дБ}$ - значения $N_{дБ}$ для рупора №6.

5.7. Составить письменный отчет по проделанной работе.

6. Содержание отчета

6.1. Титульный лист с указанием номера и наименования работы, ф.и.о. студента, номера учебной группы, номера рабочего стенда.

6.2. Формулировка цели работы,

6.3. Структурная схема стенда с перечислением всех элементов, видов исследуемых антенн и указанием рабочей частоты.

6.4. Таблицы 4.1 и 4.2 с данными теоретического расчета по п.3.4 и экспериментальными результатами по п.5.2.

6.5. Таблицы 4.3. и 4.4 с результатами измерений по п.5.3.

6.6. Таблицу 4.5 с результатами измерений по п.5.4.

6.7. Рис. 1 и 2 с совмещенными нормированными расчетными и экспериментальными ДН пирамидального рупора (п.3.4 и 5.2). Рис. 1 - для плоскости Е, рис. 2 - для плоскости Н.

6.8. Рис. 3 с совмещенными нормированными ДН в плоскостях Е и Н для Е-секториального (Н-секториального) рупора (п.5.3).

6.9. Выводы по проделанной работе.

Необходимо сформулировать и четко изложить выводы о влиянии геометрических размеров, неравномерности по амплитуде и по фазе закона возбуждения излучающей поверхности на ее направленные свойства, обращаясь к конкретным полученным результатам.

Нужно указать на степень соответствия расчетных и экспериментальных данных, при их значительном несовпадении указать возможные причины этого несовпадения. В процессе анализа ДН следует использовать понятия о ширине ДН по уровню половинной мощности и по уровню нулевого излучения, об уровне боковых лепестков и т.п.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.1

МЕТОДИКА АНАЛИЗА НАПРАВЛЕННЫХ СВОЙСТВ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ

Расчет нормированной ХН рупорной антенны в плоскости Е производится по формуле:

$$F(\varphi_E) = \frac{(\cos \varphi_E) \sin\left(\frac{kb_p}{2} \cdot \sin \varphi_E\right)}{kb_p \sin \varphi_E},$$

$$F(\varphi_{E \text{ дБ}}) = 20 \lg F(\varphi_E),$$

где b_p - размер апертуры рупора в плоскости Е,
 $k = 2\pi/\lambda, \lambda = c/f$.

Расчет нормированной ХН рупорной антенны в плоскости Н производится по формуле:

$$F(\varphi_H) = \frac{(\cos \varphi_H) \cos\left(\frac{ka_p}{2} \sin \varphi_H\right)}{8 \left[\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \left(\frac{ka_p}{2} \sin \varphi_H\right)^2 \right]},$$

$$F(\varphi_{H \text{ дБ}}) = 20 \lg F(\varphi_H),$$

где a_p - размер апертуры рупорной антенны в плоскости Н.

При $\varphi_E = \varphi_H = 0$ уровень нормированной ХН максимален и равен единице (или 0 дБ).

Расчету подлежат точки экстремумов (максимумов и минимумов) ХН, а также 2...3 промежуточные точки в пределах основного лепестка. Достаточно рассчитать основной лепесток и 2-3 боковых лепестка.

Угловые координаты минимумов поля, когда $F(\varphi) = 0$ и соответственно $F(\varphi_{\text{дБ}}) = -\infty$, определяются из условий

$$\sin\left(\frac{kb_p}{2} \cdot \sin \varphi_E\right) = 0,$$

$$\cos\left(\frac{ka_p}{2} \cdot \sin \varphi_H\right) = 0.$$

Отсюда следуют выражения для координат минимумов поля в плоскостях Е и Н:

$$\varphi_{E \text{ min}} = \arcsin \frac{N\lambda}{b_p},$$

$$\varphi_{H \text{ min}} = \arcsin \frac{\lambda(N+1)}{2a_p},$$

где $N = 1, 2, 3 \dots$ - номер минимума.

Угловые координаты максимумов поля (за исключением главного максимума при $\varphi_E = \varphi_H = 0$) ориентировочно можно брать посередине между соседними минимумами. Уровни поля в этих точках (уровни боковых лепестков) определяются с учетом того, что в них: $\varphi_{E_{\max}}$ и $\varphi_{H_{\max}}$ определяются так же, как в ПРИЛОЖЕНИИ 1.1 работы 1.

Ширина ДН рупора в плоскостях Е и Н по нулевому уровню равна:

$$2\theta_0^E = 115^\circ \lambda / b_p, \quad 2\theta_0^E = 172^\circ \lambda / a_p.$$

Ширина ДН рупора в плоскостях и по уровню половинной мощности (-3 дБ) определяется по формулам:

$$2\theta_0^E = 51^\circ \lambda / b_p, \quad 2\theta_0^E = 67^\circ \lambda / a_p.$$

Коэффициент усиления эталонной рупорной антенны (Е-секториальный рупор с оптимальными размерами: $b_p = 13$ см; $a_p = 2,3$ см) определяются как:

$$G_0 = 4\pi \frac{a_p b_p}{\lambda} \nu \eta_A$$

где ν - коэффициент использования поверхности Е - секториального рупора с оптимальными геометрическими размерами;

η_A - КПД рупорной антенны.

Значение коэффициента усиления $G_{0дБ}$ определяется по формуле:

$$G_{0дБ} = 10 \lg G_0.$$