

ВВОДНЫЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При подготовке к лабораторной работе изучается теоретический материал по рекомендованной литературе и настоящему пособию. Достаточность знаний следует проверить по контрольным вопросам, которые приводятся в конце каждой работы.

Общие указания к выполнению лабораторной работы:

1. Перед началом работы преподаватель опрашивает студентов по теоретической части и методике эксперимента.

2. За время, отведенное на выполнение одной лабораторной работы (4 часа), студенты должны успеть ответить на вопросы теории, выполнить экспериментальную часть и оформить отчет.

Если к концу занятия бригада не успела оформить и сдать отчет, то экспериментальный материал с фамилиями студентов должен быть показан преподавателю и подписан им. К следующему занятию отчет необходимо оформить полностью.

3. До окончания занятий выходить из лаборатории можно только с разрешения преподавателя.

4. Студенты должны ознакомиться с правилами работы с приборами лабораторных установок. Пояснения даются преподавателем и лаборантом, а также изложены в соответствующих инструкциях. Первое включение приборов лабораторной установки производится только с разрешения преподавателя или лаборанта.

Постоянных напряжений на приборах нет и прикосновение к ним безопасно. Уровень высокочастотной мощности соответствует нормам. *Вскрывать и ремонтировать приборы студентам запрещается.*

5. После окончания эксперимента необходимо выключить приборы, а перед уходом из лаборатории привести в порядок свое рабочее место.

6. Защита лабораторной работы заключается в объяснении полученных результатов с точки зрения физических процессов, происходящих в исследуемых устройствах и анализе соответствия полученных результатов теоретическим положениям, известным из рекомендуемой литературы.

Студенты, не защитившие предыдущую лабораторную работу, к выполнению следующей не допускаются.

7. В журнале студенты должны расписаться об ознакомлении с инструкцией по охране труда.

Отчеты могут оформляться как в отдельном экземпляре, так и в общей тетради.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист (см. приложение);
- цель работы;
- схему лабораторной установки;

- экспериментальные данные в виде таблиц, графиков, диаграмм;
- выводы по работе.

При снятии диаграммы направленности (ДН) антенны рекомендуется сначала произвести опыт без записей результатов измерений, оценить ожидаемую форму диаграммы направленности. Наличие большого числа рассеивателей электромагнитного поля в лаборатории может приводить к сильным искажениям диаграмм направленности исследуемых антенн. В этом случае, можно рекомендовать подбор места положения антенны в лаборатории с целью минимизации искажений формы диаграммы направленности. Затем следует снять экспериментальную зависимость, занеся получаемые результаты в заготовленные таблицы. Как правило, по всем табличным данным строятся графики или диаграммы. По полученным результатам делаются выводы. При отличии экспериментальных данных от теоретических необходимо дать объяснение этому отличию.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИЧНОГО ВИБРАТОРА

1.1. Цель работы

1.1.1. Исследование влияния относительных размеров симметричного вибратора на его диаграмму направленности (ДН).

1.1.2. Исследование влияния на ДН симметризирующего устройства.

1.1.3. Изучение поляризационной характеристики (ПХ) симметричного вибратора.

1.2. Теоретическая часть

Схема установки показана на рис. 1.1. Она включает в себя поворотное устройство 1, на нем закреплен макет исследуемой антенны 2, приемник 3 с индикаторным устройством 4. Передающая часть установки состоит из передающей антенны 5 и генератора стандартных сигналов 6. В качестве приемника используется анализатор спектра. Индикаторным устройством в этом случае является встроенный индикатор анализатора спектра.

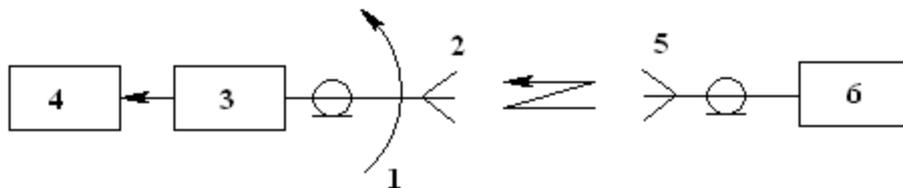


Рис. 1.1. Схема лабораторной установки

Антенна служит не только для излучения (или приема) электромагнитной энергии, но и для распределения ее соответствующим образом в пространстве. Это распределение характеризуется диаграммой направленности антенны по напряженности поля $F = E(\theta, \varphi)$ и по мощности $\Pi = \Pi(\theta, \varphi)$. В общем случае диаграмма направленности является комплексной величиной. Поэтому различают амплитудную диаграмму направленности и фазовую ДН антенны. На практике, в основном, пользуются понятием амплитудной ДН.

Амплитудной ДН антенны по полю называется зависимость напряженности поля, создаваемого антенной в точке наблюдения, от направления на эту точку при неизменном (фиксированном) расстоянии от антенны. Так как $E/H = 120\pi$ и $\Pi = E^2 / 120\pi$, то диаграмма направленности антенны по мощности пропорциональна квадрату ДН по напряженности поля

$$\Pi(\theta, \varphi) = \frac{E^2(\theta, \varphi)}{120\pi}. \quad (1.1)$$

Обычно пользуются понятием нормированной диаграммы направленности антенны, под которой понимают отношение напряженности поля, создаваемого антенной в произвольном направлении, к напряженности поля в направлении максимального излучения

$$F(\theta, \varphi) = \frac{E(\theta, \varphi)}{E_{\max}(\theta, \varphi)}. \quad (1.2)$$

На практике ограничиваются диаграммами направленности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях: диаграммой направленности в плоскости электрического вектора $F(\theta)$ (в плоскости E) и диаграммой направленности в плоскости магнитного вектора $F(\varphi)$ (в плоскости H).

Нормированная диаграмма направленности симметричного вибратора в плоскости E

$$F(\theta) = \left| \frac{\cos(kl \sin \theta) - \cos kl}{(1 - \cos kl) \cos \theta} \right|. \quad (1.3)$$

Здесь угол θ отсчитывается в плоскости вибратора от нормали к его оси, а $k = 2\pi/\lambda$.

В плоскости H симметричный вибратор не проявляет направленных свойств, т.е. $F(\varphi) = 1$.

Направленные свойства антенны характеризуются также ее коэффициентом направленного действия (КНД), под которым понимается отношение мощностей излучения ненаправленной и направленной антенн,

создающих в точке приема (расположенной на одинаковом расстоянии от обеих антенн) одинаковую напряженность поля.

Поляризация антенны определяется положением в пространстве плоскости поляризации излучаемой волны, проходящей через вектор напряженности электрического поля (E) и вектор Пойнтинга.

Поляризационной характеристикой (ПХ) антенны называется зависимость ЭДС на зажимах приемной антенны $u(\alpha)$ от угла ее поворота в плоскости, перпендикулярной направлению приема (рис. 1.2.).

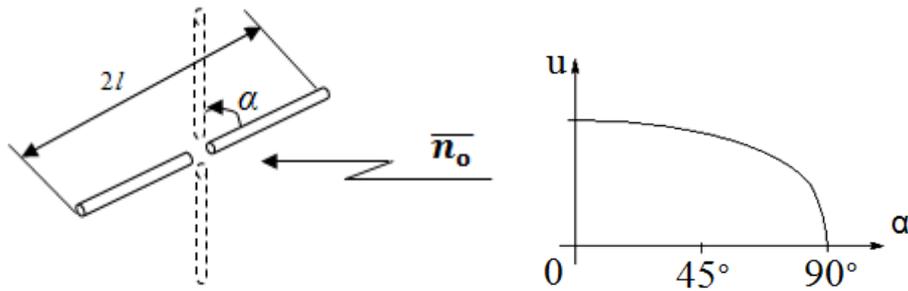


Рис. 1.2. Определение ПХ

Диаграмма направленности антенны, закрепленной на металлическом основании, может быть определена методом зеркального изображения. Так, диаграмма направленности симметричного вибратора в плоскости H рассчитывается по формуле

$$F(\varphi) = \sin(kh \cos \varphi), \quad (1.4)$$

а в плоскости E

$$F(\theta) = \left[\frac{\cos(kl \sin \theta) - \cos(kl)}{(1 - \cos kl) \cos \theta} \right] \sin(kh \cos \theta), \quad (1.5)$$

где первый множитель представляет собой диаграмму направленности симметричного вибратора, а второй множитель – множитель решетки, состоящей из двух вибраторов: одного реального, а второго фиктивного, зеркально отраженного, имеющего противоположную фазу питающего тока; h – высота вибратора над металлическим основанием.

Антенны в виде симметричного вибратора находят очень широкое применение.

1.3. Задание для расчета

1.3.1. Рассчитайте ДН симметричного вибратора в плоскости E для трех

значений его относительной длины: $2l/\lambda = 0,5; 0,25$ и $1,25$.

1.3.2. Рассчитайте ДН симметричного полуволнового вибратора в плоскости E для трех значений его относительной высоты подвеса над металлическим основанием $h/\lambda = 0,25; 0,5$ и $1,0$. Постройте все ДН в полярной системе координат.

1.4. Порядок выполнения работы

1.4.1. Снять ДН симметричного вибратора в плоскости E для нескольких значений его относительной длины (по указанию преподавателя, например, для $2l/\lambda = 0,5; 0,25$ и $1,25$).

Для этого измерьте длину плеч вибратора (рис. 1.2.) и в соответствии с заданием определите необходимую частоту: $f = c/\lambda$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Включите генератор и установите требуемую частоту. Закрепите вибратор 5 и исследуемую антенну 2 горизонтально (в E – плоскости) и с помощью поворотного устройства сориентируйте друг на друга.

Включите анализатор спектра и настройте его преобразователь частоты на частоту генератора, при этом на индикаторе появится сигнал.

Поворачивая с помощью поворотного устройства стенда исследуемую антенну в пределах $\pm 90^\circ$, оцениваем ДН в единицах шкалы индикаторного устройства.

Данные измерения повторяются на остальных частотах. Результаты измерений сведите в таблицу, нормируя данные, и постройте ДН в полярной системе координат. Сравните экспериментальные диаграммы направленности с расчетными.

1.4.2. Оценить влияние симметрирующего устройства на диаграмму направленности симметричного вибратора.

Для этого установите частоту генератора равной $f_0 = 0,25c/l$. Закрепите на поворотном устройстве антенну без симметрирующего устройства.

Следуя методике, изложенной ранее, снимите ДН антенны. Результаты сведите в таблицу и постройте ДН.

Сравните ее с ДН антенны с симметрирующим устройством.

1.4.3. Снять поляризационную характеристику антенн с симметрирующим и без симметрирующего устройства.

Для этого настройте генератор на частоту $f_0 = 0,25c/l$. Сориентируйте антенны 2 и 5 (рис. 1.1.) друг на друга и зафиксируйте поворотное устройство. Поляризационная характеристика снимается поворотом одной из антенн в плоскости, перпендикулярной направлению максимума приема (рис. 1.2.) [3].

1.5. Контрольные вопросы

1. Дайте определение ДН антенны [1, стр. 7-8].

2. Дайте определение КНД антенны. Расскажите о зависимости КНД симметричного вибратора от его длины [1, стр. 12-13; 47].

3. Каков характер распределения тока и заряда по симметричному вибратору [1, стр. 43-44]?

4. Поясните принцип действия симметрирующего устройства в виде U-колена и симметрирующей приставки [1, стр. 57-60].

5. Объясните характер зависимости входного сопротивления симметричного вибратора от его длины [1, стр. 47-49].

6. Какова зависимость сопротивления излучения симметричного вибратора от его длины [1, стр. 46-47]?

7. Объясните влияние металлического экрана на ДН вибратора [1, стр. 80-84].

8. Расскажите о методике измерения ПХ антенн [1, стр. 10-12].

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИРЕКТОРНОЙ АНТЕННЫ

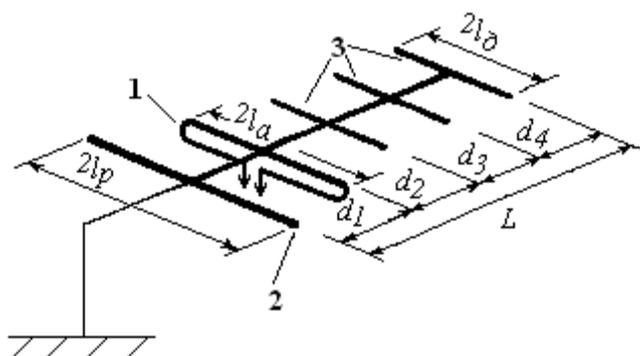
2.1. Цель работы

2.1.1. Исследование влияния рефлектора и директоров на диаграмму направленности директорной антенны.

2.1.2. Приобретение навыков настройки директорной антенны.

2.2. Теоретическая часть

Схема лабораторной установки показана на рис. 1.1. Она включает в себя поворотное устройство 1, на котором закреплен макет директорной антенны 2, приемник 3 с индикаторным устройством 4. Передающая часть установки состоит из передающей (логопериодической) антенны 5 и генератора стандартных сигналов 6.



$$2l_a \approx 0,5\lambda$$

$$2l_p \approx 0,525\lambda$$

$$2l_d \approx 0,48\lambda$$

$$d_1 = 0,15\lambda$$

$$d_2 = d_3 = d_4 = 0,1\lambda$$

Рис. 2.1. Конструкция директорной антенны

Система «активный вибратор – пассивный рефлектор» обладает односторонней направленностью. Более узкую ДН имеет директорная антенна (антенна типа «волновой канал»), состоящая из одного активного вибратора, пассивного рефлектора и нескольких пассивных директоров. Конструкция антенны была получена экспериментально. Директорная антенна образуется из ряда вибраторов, располагаемых параллельно в общей плоскости и образующих «волновой канал» (рис. 2.1.). Один из вибраторов является активным 1, остальные – пассивными 2, 3.

В качестве активного вибратора чаще всего используется шлейф-вибратор, обладающий большим входным сопротивлением (~ 300 Ом), что с учетом вносимых пассивными вибраторами сопротивлений обеспечивает согласование антенны с фидером (коаксиальный кабель), волновое сопротивление которого 75 Ом. Один из пассивных вибраторов, расположенный сзади активного, играет роль рефлектора 2, а другие, располагаемые впереди активного вибратора, играют роль директоров 3.

Рефлектор компенсирует излучение активного вибратора в обратном направлении. Для этого необходимо, чтобы наведенный ток в рефлекторе опережал по фазе ток в активном вибраторе, что достигается индуктивной настройкой рефлектора путем увеличения его длины по сравнению с длиной активного вибратора.

Для синфазного сложения полей активного вибратора и директора ток директора должен отставать по фазе от тока активного вибратора, что достигается емкостной настройкой директора путем уменьшения его длины по сравнению с длиной активного вибратора.

Вибраторы директорной антенны можно крепить средними точками к продольному металлическому стержню (рис. 2.1.). Этот стержень не возбуждается, поскольку силовые линии вектора E пересекают его под прямым углом, что позволяет монтировать антенну без изоляторов.

Для оценки ДН ее можно рассчитать по приближенной формуле для антенной решетки с осевым излучением.

В плоскости E ДН будет описываться формулой

$$F(\theta) = F_1(\theta) \cdot F_n(\theta), \quad (2.1)$$

где: $F_1(\theta)$ нормированная ДН активного вибратора (1.3); $F_n(\theta)$ – множитель решетки, равный

$$F_n(\theta) = \frac{\sin[0,5nkd(\cos\theta - \xi)]}{\sin[0,5kd(\cos\theta - \xi)]}/n, \quad (2.2)$$

где: n – число излучателей решетки; d – шаг решетки; $k = 2\pi/\lambda$; $\xi = c/v_\phi = 1$ – коэффициент замедления.

В плоскости H ДН директорной антенны определяется множителем решетки $F(\varphi) = F_n(\varphi)$ вследствие того, что $F_1(\varphi) = 1$.

Так как активный вибратор является слабонаправленной антенной, то понятно, почему диаграммы направленности антенны типа «волновой канал» в обеих плоскостях примерно одинаковы.

Ширина диаграммы направленности антенны типа «волновой канал» и КНД могут быть оценены выражениями:

$$2\theta_{0,5} \approx 108\sqrt{\lambda/L}; \quad D \approx 7 \cdot (L/\lambda), \quad (2.3)$$

здесь L – длина антенны (длина решетки).

Директорные антенны находят достаточно широкое применение, например, в качестве приемных телевизионных антенн в метровом и дециметровом диапазонах длин волн, в качестве излучателей в антенных решетках и т.п.

2.3. Задание для расчета

Рассчитайте диаграмму направленности пятиэлементной директорной антенны (рис. 2.1.) в плоскостях E и H , считая, что $\xi = c/v_\phi = 1$.

Постройте эти диаграммы направленности в полярной системе координат.

2.4. Порядок выполнения работы

2.4.1. Снять ДН системы «активный вибратор – пассивный рефлектор» в плоскости E .

Для этого установите на поворотном устройстве 1 (рис. 1.1.) в качестве активного вибратора шлейф-вибратор с траверсой для крепления пассивных вибраторов. Измерьте длину $2l_a$.

Включите генератор и установите его частоту $f \approx 0,24c / l_a$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в свободном пространстве.

Установите шлейф-вибратор и передающую антенну 5 горизонтально. Сориентируйте их друг на друга. Настройте анализатор спектра на частоту принимаемого сигнала. Зафиксируйте стопором угловое положение поворотного устройства. Установите на траверсе рефлектор. Передвигая рефлектор вдоль траверсы и изменяя длину его плеч, добейтесь минимального сигнала на индикаторном устройстве 4 в направлении рефлектора.

Снимите ДН системы «активный вибратор – пассивный рефлектор» в плоскости E по методике, описанной в лабораторной работе №1 (п. 1.4.1.).

Постройте диаграмму направленности системы в полярной системе координат.

2.4.2. Оценить влияние числа директоров на диаграмму направленности

антенны типа «волновой канал».

Для этого ориентируйте приемную антенну в направлении максимума принимаемого сигнала. Установите на траверсу первый директор. Передвигая директор вдоль траверсы и изменяя его длину, добейтесь максимальных показаний на индикаторе анализатора спектра.

Снимите ДН антенны по методике, изложенной в лабораторной работе №1 (п. 1.4.1.).

Установите на траверсе второй директор, настройте его по методике, изложенной выше, для случая одного директора. Снимите диаграмму направленности антенны.

Повторите те же операции при трех директорах. При установке последующих директоров может потребоваться незначительная подстройка предыдущих директоров.

Результаты измерений сведите в таблицу, пронормируйте и постройте диаграммы направленности антенн в полярной системе координат. На отдельном графике постройте рассчитанную и экспериментальную нормированные ДН пятиэлементной антенны.

Измерьте длины пассивных вибраторов $2l_p$, $2l_d$ расстояния между ними d и сравните их с рекомендуемыми размерами антенны.

2.4.3. Снять ДН директорной антенны в плоскости H .

Для этого директорную (с тремя директорами) и передающую логопериодическую антенны поверните в плоскость H .

Снимите ДН антенны по методике, изложенной в п. 1.4.1.

Результаты измерений сведите в таблицу, пронормируйте и постройте диаграмму направленности антенны в полярной системе координат. На этом же графике постройте рассчитанную в п. 2.3 ДН антенны в плоскости H .

2.4.4. Определить ширину ДН и КНД настроенной директорной антенны.

Для этого по графику ДН настроенной директорной антенны с тремя директорами определите ее ширину. Измерьте общую длину L антенны (рис. 2.1.) и по формулам (2.3) определите расчетные значения $2\theta_{0,5}$ и D .

Сравните экспериментальное значение $2\theta_{0,5}$ с расчетным [3].

2.5. Контрольные вопросы

1. Расскажите об особенностях построения антенны типа «волновой канал» [1, стр. 98-100].

2. Почему в качестве активного вибратора в директорной антенне используется шлейф-вибратор [1, стр. 99]?

3. Какова ДН шлейф-вибратора в E и H плоскостях [1, стр. 53]?

4. Какова ДН системы «активный вибратор – пассивный рефлектор» в плоскостях E и H [1, стр. 78-80]?

5. Почему вибраторы можно крепить на траверсе без изоляторов [1, стр.

99]?

6. Зачем необходима индуктивная расстройка рефлектора и емкостная расстройка директора [1, стр. 79]?

7. Какова зависимость КНД директорной антенны от числа директоров, почему их число ограничено [1, стр. 100]?

8. Почему ДН директорной антенны в плоскостях E и H примерно одинаковые [1, стр.99]?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ РУПОРНЫХ АНТЕНН

3.1. Цель работы

3.1.1. Исследование диаграмм направленности (ДН) и поляризационной характеристики (ПХ) рупорной антенны с линейной поляризацией.

3.1.2. Исследование корректирующего действия металлопластинчатой линзы.

3.2. Теоретическая часть

Схема установки показана на рис. 1.1. Она включает в себя рупорную антенну 2 с линейной поляризацией, антенну 5, поворотное устройство 1, приемник 3 с индикаторным устройством 4 и генератор 6. В качестве приемника используется анализатор спектра.

В работе исследуется пирамидальная рупорная антенна, образованная расширением поперечного сечения прямоугольного волновода, рассчитанного на распространение волн H_{10} . При этом излучаемое поле имеет линейную поляризацию.

Без учета фазовых ошибок в раскрыве рупора, обусловленных отличием фронта волны от плоского, ДН антенны в E и H плоскостях определяются выражениями:

$$F(\theta) = \left| \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \sin \left(\frac{\pi L_E}{\lambda} \sin \theta \right) / \left(\frac{\pi L_E}{\lambda} \sin \theta \right) \right|; \quad (3.1)$$

$$F(\varphi) = \left| \frac{(1 + \cos \varphi)}{2} \cos \left(\frac{\pi L_H}{\lambda} \sin \varphi \right) / \left(1 - \left(\frac{\pi L_H}{\lambda} \sin \varphi \right)^2 \right) \right|, \quad (3.2)$$

где L_E и L_H – размеры раскрыва рупора в E и H плоскостях.

Ширина ДН по уровню половинной мощности при этом равна:

$$2\varphi_{0,5} \approx 68\lambda/L_H; \quad 2\theta_{0,5} \approx 51\lambda/L_E. \quad (3.3)$$

КНД антенны при плоском и неплюском (близком к сферическому) фронтах волны, соответственно, определяют по следующим формулам:

$$D \approx 0,81 \cdot \frac{4\pi L_H L_E}{\lambda^2}; \quad (3.4)$$

$$D \approx 0,64 \cdot \frac{4\pi L_H L_E}{\lambda^2}. \quad (3.5)$$

Коррекция фазовых ошибок в раскрыве рупора осуществляется с помощью металлопластинчатой линзы. Она профилирована так, что близкий к сферическому фронт волны, проходя с повышенной фазовой скоростью участки пути вблизи краев линзы, превращается в плоский.

Помимо коррекции фазы колебаний металлопластинчатая линза выравнивает амплитудное распределение в плоскости H рупора.

Рупорные антенны используются в радиорелейных линиях, в радиоизмерительной аппаратуре и как облучатели зеркальных антенн.

3.3. Задание для расчета

3.3.1. Рассчитать по формулам (3.1) и (3.2) ДН рупорной антенны в E и H плоскостях при плоском фронте волны. Результаты свести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

θ (град)										
$F(\theta)$										
φ (град)										
$F(\varphi)$										

Построить ДН в декартовой системе координат.

3.3.2. Рассчитать по формулам (3.3)...(3.5) ширину ДН в E и H плоскостях и КНД рупорной антенны. Результаты свести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

$2\theta_{0,5}$	$2\varphi_{0,5}$	D	
		фронт плоский	фронт неплюский

Исходные данные для расчета: $f = 8980$ МГц ($\lambda \approx 3,34$ см); $L_E = 9$ см; $L_H =$

=13,5 см.

3.4. Порядок выполнения работы

1. Снять ДН в E и H плоскостях рупорной антенны с линейной поляризацией поля без корректирующей линзы и с линзой.

Для этого включить генератор 6 (рис. 1.1.) и установить его частоту f согласно расчетным данным.

Настроить приемник 3 на прием сигнала от генератора 6, предварительно сориентировав антенны 2 и 5 одну напротив другой и развернув их так, чтобы плоскость поляризации была ориентирована горизонтально.

По индикатору настройки приемника 3 (анализатора спектра) определить частоту f принятого сигнала и сравнить ее с заданной. При необходимости подстроить генератор.

С помощью поворотного устройства стенда 1 установить антенну 2 в направлении максимума приема.

На экране приемника 3 выставить удобный для наблюдения уровень сигнала и, поворачивая с помощью поворотного устройства стенда 1 антенну 2 в горизонтальной плоскости (плоскости E) в пределах $\pm 30^\circ$, снять ДН $F(\theta)$.

Повторить измерения и снять ДН $F(\varphi)$ в плоскости H , для чего антенны 2 и 5 развернуть так, чтобы плоскость поляризации (плоскость E) была ориентирована вертикально.

Повторить измерения и снять ДН $F(\theta)$ и $F(\varphi)$, установив на антенне корректирующую (профилированную в двух плоскостях) металлопластинчатую линзу (профилированной стороной внутрь рупора).

Результаты свести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

1 – без линзы	θ (град)								
	$F(\theta)$	1							
		2							
2 – с линзой	φ (град)								
	$F(\varphi)$	1							
		2							

Построить ДН в декартовой системе координат. Сравнить экспериментальные и расчетные ДН.

3.4.2. Определить ширину ДН в E и H плоскостях рупорной антенны без линзы и с линзой.

Для этого определить по экспериментальным кривым $F(\theta)$ и $F(\varphi)$ их ширину $2\theta_{0,5}$ и $2\varphi_{0,5}$. Результаты свести в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Без линзы		С линзой	
$2\theta_{0,5}^{\circ}$	$2\varphi_{0,5}^{\circ}$	$2\theta_{0,5}^{\circ}$	$2\varphi_{0,5}^{\circ}$

Сравнить результаты с расчетными данными, сведенными в табл. 3.2.

3.4.3. Снять ПХ рупорной антенны с линейной поляризацией поля без линзы.

Для этого антенны 2 и 5 развернуть так, чтобы их плоскость поляризации была направлена горизонтально.

Установить антенну 2 с помощью поворотного устройства стенда 1 в положение максимума приема, поворачивая антенну 2 в плоскости, перпендикулярной к направлению максимума приема, снять $u(\alpha)$. Результаты свести в табл. 3.5.

Таблица 3.5

α (град)							
$u(\alpha)$							

Построить ПХ в декартовой системе координат (см. рис. 1.2.) [3].

3.5. Контрольные вопросы

1. Как возникает фазовая ошибка в рупорной антенне и как она влияет на её ДН [2, стр. 32-33]?

2. Из каких соображений выбирается длина рупора [2, стр. 33-34]?

3. Каково амплитудное распределение поля в раскрыве рупорной антенны, возбуждаемой волной H_{10} [2, стр. 24]?

4. Как влияет амплитудное распределение поля в раскрыве рупорной антенны на её ДН [2, стр. 7-10]?

5. Каков принцип действия металлопластинчатой линзы? Какие линзы Вы знаете еще? Какие их достоинства и недостатки [2, стр. 39-42]?

6. Каким образом выбирают профили металлопластинчатой линзы и расстояние между пластинами [2, стр. 41]?

7. Как металлопластинчатая линза влияет на амплитудное распределение поля в раскрыве рупорной антенны [2, стр. 44-45]?

8. Как обеспечивается эллиптическая поляризация поля в рупорных антеннах? Каково отличие ПХ антенны с эллиптической поляризацией от ПХ антенны с линейной поляризацией [2, стр. 35-37]?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН

4.1. Цель работы

4.1.1. Исследование диаграмм направленности (ДН) и поляризационных характеристик (ПХ) зеркальных антенн с различной формой зеркала.

4.1.2. Исследование влияния на ДН и ПХ антенны смещения облучателя из фокуса антенны.

4.2. Теоретическая часть

Схема установки показана на рис. 1.1. Она включает в себя: поворотное устройство 1, на котором закреплен один из макетов исследуемых антенн 2; приемник 3 с индикаторным устройством 4. Передающая часть установки состоит из передающей (рупорной) антенны 5 и генератора стандартных сигналов 6. В качестве приемника 3 используется анализатор спектра.

Исследуемыми антеннами являются: антенна с зеркалом в виде части параболоида вращения с эллипсоидальным раскрывом; антенна с зеркалом в виде параболоида вращения с «козырьком».

Наиболее узкую осесимметричную ДН обеспечивает зеркало в виде параболоида вращения. При этом ДН антенны определяется выражением

$$F(\theta) = \Lambda_{n+1} \left(\frac{2\pi}{\lambda} R \sin \theta \right), \quad (4.1)$$

где $\Lambda_{n+1}(\cdot)$ - лямбда-функция (n+1)-го порядка; $n = 0, 1, 2, \dots$ - показатель степени полинома

$$\frac{E_s}{E_0} = \left[1 - \left(\frac{x}{R} \right)^2 \right]^n, \quad (4.2)$$

аппроксимирующего амплитудное распределение поля в раскрыве антенны; R - радиус раскрыва антенны; λ - рабочая длина волны; x - текущее расстояние от центра раскрыва.

Ширина ДН, КНД и КУ определяются из выражений

$$2\theta_{0,5} = \frac{A\lambda}{2R}; \quad D = \frac{4\pi SB}{\lambda^2}; \quad G = \eta D, \quad (4.3)$$

где $S = \pi R^2$ - площадь раскрыва зеркала; λ – рабочая длина волны; $\eta \approx 0,95$ – КПД антенны; А и В - коэффициенты, зависящие от n (приведены в табл. 4.1).

Таблица 4.1

n	0	1	2
A	59	73	84
B	1	0,75	0,55

Смещение облучателя из фокуса приводит к расширению ДН и повышению уровня боковых лепестков из-за нарушения синфазности поля в раскрыве антенны, смещение облучателя приводит также к отклонению максимума ДН и появлению паразитной поляризации поля вследствие асимметрии распределения токов на поверхности зеркала.

Получение ДН специальной формы в одной плоскости, в частности, косекансной

$$F(\theta) = \frac{1}{\sin \theta} = \operatorname{cosec} \theta, \quad (4.4)$$

обеспечивающей в вертикальной плоскости постоянство уровня сигнала от ближних и дальних целей, достигается приданием зеркалу формы, отличной от параболоида вследствие применения "козырька".

Для создания осесимметричной ДН при одном виде поляризации поля и близкой к косекансной ДН для другого вида поляризации используется зеркало в виде параболоида вращения, часть которого снабжена "козырьком", представляющим собой систему проводников, вплетенных в радиопрозрачный материал и ориентированных параллельно вектору Е в случае, когда ДН должна иметь форму, близкую к косекансной.

Изменение поляризации поля излучения осуществляется путем изменения поляризации поля облучателя с помощью ферритового поляризатора, работающего на основе использования эффекта Фарадея.

Для исключения методической погрешности при снятии ДН, связанной с фазовыми ошибками, необходимо, чтобы расстояние между передающей и приемной антеннами удовлетворяло условию

$$r \geq \frac{(l_{\max} + L_{\max})^2}{\lambda}, \quad (4.5)$$

где l_{\max} и L_{\max} наибольшие размеры раскрыва передающей и приемной антенн.

КНД антенны может быть определен графически по ее ДН. Известна связь КНД с ДН, которая имеет вид

$$D = 4\pi \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} F^2(\theta, \varphi) \sin \theta \, d\theta d\varphi. \quad (4.6)$$

Для осесимметричных ДН формула (4.6) преобразуется к следующему виду

$$D = 2\pi \int_0^{\pi} F^2(\theta, \varphi) \sin \theta \, d\theta, \quad (4.7)$$

где $F(\theta)$ - нормированная ДН.

Таким образом, при графическом определении КНД необходимо построить график функции $v(\theta) = F^2(\theta, \varphi) \sin \theta$ в декартовой системе координат и определить площадь S , ограниченную графиком этой функции и осью абсцисс в области $0 \leq \theta \leq \pi$. Кроме этого необходимо построить в этой же системе координат прямоугольник, площадь которого S_1 принимается за единичную. При этом угол θ отсчитывается от оси симметрии ДН и измеряется в радианах, а КНД вычисляется по формуле

$$D = \frac{2S_1}{S}. \quad (4.8)$$

Зеркальные антенны используются в качестве радиолокационных, например, в самолетных метеонавигационных РЛС "Гроза", радиотелеметрических антенн, антенн радиорелейных линий связи, а также в качестве радиотелескопов и антенн космической радиосвязи.

4.3. Задание для расчета

4.3.1. По формулам (4.3) с учетом табл.4.1 рассчитать ширину ДН, КНД и КУ параболической антенны с козырьком в режиме осесимметричной ДН для различных значений параметра n . Результаты расчета свести в табл.4.2.

Таблица 4.2

n	$2\theta_{0,5}^\circ$	D	G
0			
1			
2			

4.3.2. По формуле (4.4) рассчитать косекансную ДН антенны. Результаты свести в табл. 4.3, построить ДН в декартовой системе координат.

Таблица 4.3

θ (град)										
$F(\theta)$										

Исходные данные для расчета: $f = 9370$ МГц ($\lambda \approx 3,2$ см); $R = 38$ см; $\eta = 0,95$.

4.4. Порядок выполнения работы

4.4.1. Снять ДН в горизонтальной плоскости антенны с зеркалом в виде части параболоида вращения с эллипсоидальным раскрывом при различных положениях облучателя.

Для этого включить генератор 6 (см. рис. 1.1.) и установить его частоту f в соответствии с расчетными данными.

Настроить прибор 3 на прием сигнала генератора 6, предварительно сориентировав антенны 2 и 5 одну напротив другой.

По индикатору настройки прибора 3 определить частоту f принятого сигнала, сравнить ее с расчетной и при необходимости подстроить генератор 6. Проверить выполнение условия (4.5).

Установить облучатель антенны 2 в фокусе антенны и на экране прибора 3 ручками регулирования и установки мощности выставить удобный для отсчета уровень сигнала.

Поворачивая антенну 2 с помощью поворотного устройства 1 в горизонтальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$ снять ДН $F(\theta)$.

Повторить измерения, сместив облучатель из фокуса в сторону на 30° . Результаты свести в табл. 4.4.

Таблица 4.4

	θ (град)						
1. Облучатель в фокусе	$F(\theta)_1$						
2. Облучатель не в фокусе	$F(\theta)_2$						

Построить ДН в декартовой системе координат. Оценить влияние смещения облучателя из фокуса на ДН.

4.4.2. Снять ПХ антенн с зеркалом в виде части параболоида вращения с эллипсоидальным раскрывом при различных положениях облучателя.

Для этого сориентировать антенны 2 и 5 одну напротив другой и добиться уровня сигнала, удобного для наблюдения на индикаторе прибора 3.

Поворачивая антенну 5 в пределах $\pm 90^\circ$ в плоскости, перпендикулярной к

направлению максимума излучения, снять зависимость $u(\alpha)$. Повторить измерения, сместив облучатель из фокуса на 30° в сторону. Результаты свести в табл. 4.5.

Таблица 4.5

	α (град)						
1. Облучатель в фокусе	$u(\alpha)_1$						
2. Облучатель не в фокусе	$u(\alpha)_2$						

Построить ПХ в декартовой системе координат. Оценить влияние на ПХ смещения облучателя из фокуса.

4.4.3. Снять ДН параболической антенны с "козырьком" при различных поляризациях поля.

Для этого установить антенну с "козырьком" 2 (см. рис. 1.1.) на поворотном устройстве 1 так, чтобы "козырек" находился в боковой части зеркала, т.е. развернуть антенну на $\pm 90^\circ$ по сравнению с положением, имеющим место в реальных условиях эксплуатации. Следуя методике, изложенной в п. 4.4.1 и поворачивая антенну 2 в горизонтальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$, снять ДН $F(\theta)$ сначала при ориентации антенны 5, обеспечивающей горизонтальную поляризацию поля излучения, для которой "козырек" антенны 2 радиопрозрачен (осесимметричная ДН), а затем при ориентации антенны 5, обеспечивающей вертикальную поляризацию поля, для которой "козырек" нерадиопрозрачен (косекансная ДН). При этом антенна 5 должна быть расположена так, чтобы в первом случае узкая сторона раскрыва рупора была ориентирована горизонтально, а во втором случае - вертикально. Результаты свести в табл. 4.6.

Таблица 4.6

	θ (град)						
1. Осесимметричная ДН	$F(\theta)_1$						
2. Косекансная ДН	$F(\theta)_2$						

Построить ДН в декартовой системе координат и сравнить их. Сравнить ДН, снятую при нерадиопрозрачном "козырьке" с расчетной косекансной ДН, полученной в п. 4.3.2.

4.4.4. Определить ширину ДН и амплитудное распределение параболической антенны с "козырьком" в режиме осесимметричной ДН.

Для этого по осесимметричной экспериментальной ДН, полученной в

п.4.4.3, определить её ширину $\theta^{\circ}_{0,5}$.

Сравнить полученный результат с данными табл.4.2.

По табл. 4.2 определить параметр n , соответствующий наибольшей близости расчетного и экспериментального значения $\theta^{\circ}_{0,5}$.

По формуле (4.2) для $R = 38$ см рассчитать амплитудное распределение поля в раскрыве антенны. Результаты свести в табл. 4.7.

Таблица 4.7

x/R							
E_s/E_0							

Построить амплитудное распределение в декартовой системе координат.

4.4.5. Определить КНД параболической антенны с "козырьком" в режиме осесимметричной ДН.

Для этого с использованием экспериментальной ДН, полученной в п.4.4.3, вычислить функцию $v(\theta) = F^2(\theta, \varphi) \sin \theta$. Результаты свести в табл.4.8.

Таблица 4.8

θ (град)							
$F(\theta)$							
$F^2(\theta)$							
$\sin \theta$							
$v(\theta)$							

Построить функцию $v(\theta)$ в декартовой системе координат.

Определить площадь S под кривой и единичную площадь S_1 (в см^2 или количестве клеток).

По формуле (4.8) определить D .

Сравнить полученное значение D с данными табл. 4.2 для выбранного значения параметра n [3,4].

4.5. Контрольные вопросы

1. Как амплитудное распределение поля в раскрыве зеркальной антенны влияет на ее ДН [2, стр.10-13]?

2. Зачем в короткофокусной зеркальной антенне "вырезают" зоны на зеркале вблизи полюсов тока [2, стр.52]?

3. Как влияет смещение облучателя в зеркальной антенне на ее ДН и ПХ [2, стр.54]?

4. Каково назначение зеркальной антенны с косекансной формой ДН и как

реализуется такая ДН [2, стр.66-67]?

5. Каким образом в зеркальных антеннах осуществляется электрическая коммутация ДН (осесимметричная - косекансная) [2, стр. 67]?

6. Как влияет угол раскрыва зеркальной антенны на коэффициент использования площади раскрыва [2, стр.53]?

7. Объяснить методику экспериментального определения КНД зеркальной антенны с осесимметричной ДН.[2]

8. Чем обусловлена необходимость наложения ограничения на расстояние между передающей и приемной антеннами при снятии ДН?[2]

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНФАЗНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

5.1. Цель работы

Изучение принципа действия и исследование направленных свойств синфазной фазированной антенной решетки (ФАР).

5.2. Теоретическая часть

Антенной решеткой называется антенная система, состоящая из более чем одного антенного элемента с когерентным излучением. Излучающими элементами могут быть вибраторы, щелевые излучатели, рупоры, спиральные, диэлектрические антенны и т.д.

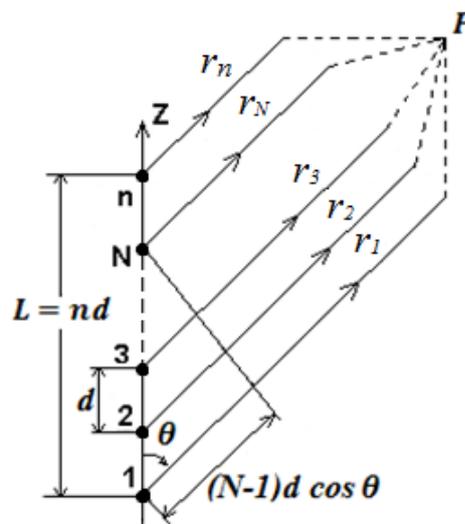


Рис. 5.1. Линейная решетка

Антенная система, в которой излучатели расположены вдоль прямой на

одинаковом расстоянии друг от друга, получила название линейной решетки (рис. 5.1.). Здесь d - это расстояние между излучателями (шаг решетки); $L = nd$ - длина решетки, где n - число ненаправленных излучателей. Из рис. 5.1. видно, что: $r_2 = r_1 - d \cos \theta$; $r_N = r_1 - (N - 1)d \cos \theta$; $r_n = r_1 - (n - 1)d \cos \theta$.

Комплексная амплитуда возбуждения N -го излучателя решетки определяется так

$$I_N = I_0 \exp(-j(N - 1)\psi), \quad (5.1)$$

где $I_0=1$ для ненаправленных излучателей, ψ - угол сдвига фаз между токами соседних излучателей. Из (5.1) следует, что изменение фазы вдоль излучателей происходит по линейному закону.

В общем виде амплитудная ДН для решетки из ненаправленных излучателей имеет вид

$$f_n(\theta) = \frac{\sin(0,5n(kd \cos \theta - \psi))}{\sin(0,5(kd \cos \theta - \psi))}. \quad (5.2)$$

Угловое положение главного максимума ДН определяется из соотношения

$$\cos \theta_{\text{гл}} = \psi/kd, \quad (5.3)$$

где $k = 2\pi/\lambda$.

Нормированное значение ДН (5.2) можно записать в виде

$$F_n(\theta) = \frac{\sin(\Phi)}{n \cdot \sin(\Phi/n)}, \quad (5.4)$$

где $\Phi = 0,5nkd(\cos \theta - \xi)$ - обобщенная угловая координата, а $\xi = \psi/kd$.

Анализ выражения (5.4) показывает, что помимо основного главного максимума ДН имеет еще побочные главные максимумы в угловых направлениях $\Phi = m\pi$, где $m = \pm 1, \pm 2$ и т.д.

На рис. 5.2 проиллюстрирован процесс формирования этих максимумов при $m = \pm 1$ и главного лепестка ДН при $m=0$.

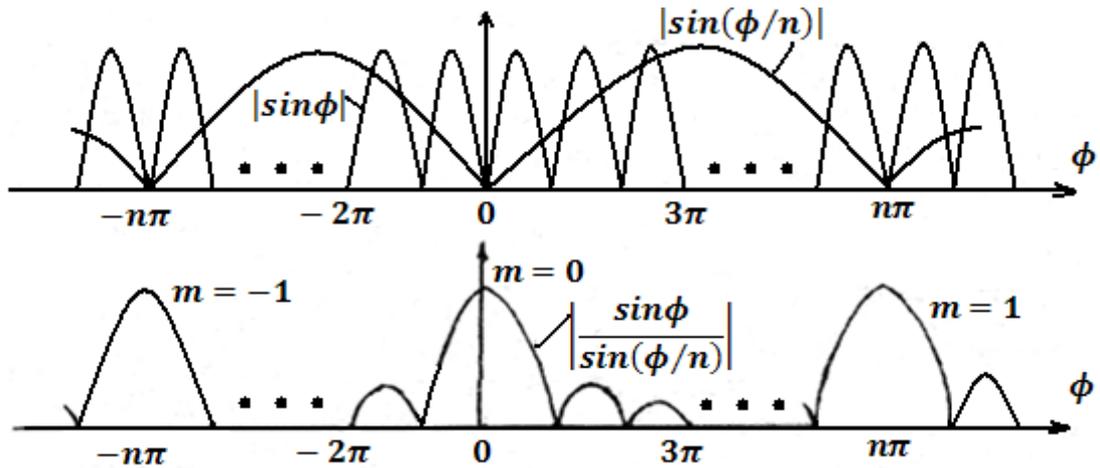


Рис. 5.2. К анализу множителя решетки

В инженерной практике нежелательно, чтобы в области видимости помимо главного лепестка ДН были еще и побочные главные максимумы, поскольку это может привести к неопределенности в определении, например, угловых координат цели. Кроме того, вследствие распределения излучаемой мощности по нескольким главным лепесткам ухудшается КНД антенны. На практике стремятся при проектировании антенной решетки избежать появления побочных главных максимумов.

Основные способы подавления побочных главных максимумов следующие:

- а) ограничение шага решетки;
- б) применение направленных излучателей;
- в) неэквидистантное расположение излучателей.

Если шаг решетки ограничить так

$$d \leq \frac{\lambda}{1 + |\cos \theta_{г\lambda}|} \quad (5.5)$$

то можно избежать появления побочных главных максимумов в области видимости. Как видно из выражения (5.5), при сканировании в секторе углов $\pm 90^\circ$ шаг решетки должен быть меньше $\lambda/2$. Для синфазно возбужденной антенной решетки ($\cos \theta_{г\lambda} = 0$) допустимое расстояние между излучателями должно быть меньше длины волны, т.е. $d \leq \lambda$ (см. неравенство (5.5)).

Побочные главные максимумы можно подавить, если в их направлении создать незначительное излучение собственно элемента решетки. Так как результирующая ДН определяется произведением ДН элемента решетки и множителя решетки, то в результирующей ДН побочные главные максимумы будут отсутствовать или иметь малую величину.

Направления побочных главных максимумов зависят от шага решетки и

определяются из выражения

$$\cos \theta_{\text{пм}} = \frac{m\lambda}{d} + \xi, \quad (5.6)$$

где $m = \pm 1, \pm 2$ и т.д.

Направление же главного максимума ($m = 0$) не зависит от шага решетки. Если нарушить постоянство шага решетки, но сохранить значение фазовой скорости возбуждения элементов решетки, т.е. $\xi = \text{const}$, то направление главного максимума сохранится неизменным, а побочные главные максимумы "размажутся" по широкой зоне углов.

Целью лабораторной работы является исследование линейной синфазной антенной решетки с полуволновыми вибраторными излучателями, установленными на металлическом экране.

ДН такой антенны в плоскости E определяется следующим выражением

$$F_n(\theta) = \frac{\cos(\pi/2 \cdot \sin \theta)}{n \cdot \cos \theta} \cdot \frac{\sin(0,5nkd \sin \theta)}{\sin(0,5kd \sin \theta)} \cdot \sin(kh \cos \theta), \quad (5.7)$$

где $k = 2\pi/\lambda$; h - высота вибратора над экраном, а угол θ отсчитывается от нормали к оси антенной решетки.

В плоскости H диаграмма направленности линейной антенной решетки может быть рассчитана по формуле

$$F_n(\varphi) = \sin(kh \cos \varphi), \quad (5.8)$$

где угол φ отсчитывается от нормали к оси решетки.

Можно отметить, что в настоящее время антенные решетки находят широкое применение. Они используются в бортовых навигационных РЛС, доплеровских измерителях скорости и других устройствах.

5.3. Задание для расчета

5.3.1. По формулам (5.7) и (5.8) рассчитайте ДН в плоскостях E и H симметричного полуволнового вибратора над металлическим экраном при $h = 0,25\lambda$.

5.3.2. По формуле (5.7) рассчитайте ДН в плоскости E синфазной 2-х элементной вибраторной антенной решетки при $d = 0,5\lambda$ и $d = 1,0\lambda$ ($h = 0,25\lambda$).

5.3.3. По формуле (5.7) рассчитайте ДН в плоскости E синфазной 3-х элементной вибраторной антенной решетки при $d = 0,5\lambda$ и $h = 0,25\lambda$.

5.4. Порядок выполнения работы

5.4.1. Измерить ДН в плоскости E следующих антенн:

- полуволнового симметричного вибратора;
- двухэлементной синфазной антенной решетки при $d = 0,5\lambda$;
- двухэлементной синфазной антенной решетки при $d = 1,0\lambda$;
- трехэлементной синфазной антенной решетки при $d = 0,5\lambda$.

При измерении ДН воспользоваться методикой, изложенной в п. 1.4.1 (см. описание лабораторной работы № I).

Для проведения измерений установите на поворотном устройстве макет исследуемой антенны. Измерьте длину плеч ($2l$) симметричного вибратора и определите рабочую частоту антенны $f = 0,24c/\lambda$. Установите рабочую частоту на генераторе. Сориентируйте передающую антенну и приемную вибраторную решетку друг на друга. Настройте анализатор спектра на рабочую частоту. Отрегулируйте чувствительность анализатора спектра и мощность генератора таким образом, чтобы уровень сигнала на индикаторе был удобен для отсчета.

Подключая один, два и три вибратора, снимите ДН антенной решетки.

Результаты измерений сведите в табл. 5.1, пронормируйте ДН и постройте их в полярной системе координат.

5.4.2. Измерить ДН в плоскости H трехэлементной линейной решетки при $d = 0,5\lambda$.

Для этого поверните передающую антенну и приемную антенную решетку в плоскость H . Снимите ДН антенной решетки по методике, изложенной в п. 5.4.1.

Результаты измерений сведите в табл. 5.1, пронормируйте ДН и постройте ее в полярной системе координат.

Таблица 5.1

	θ, φ (град)				
Симметричный вибратор	$F(\theta)$				
2-х элементная антенная решетка ($d = 0,5\lambda$)	$F(\theta)$				
2-х элементная антенная решетка ($d = 1,0\lambda$)	$F(\theta)$				
3-х элементная антенная решетка ($d = 0,5\lambda$)	плоскость E $F(\theta)$				
3-х элементная антенная решетка ($d = 0,5\lambda$)	плоскость H $F(\theta)$				

5.4.3. Сравните экспериментальные ДН с расчетными. По графикам определите ширину ДН и уровень боковых лепестков.

Сделайте выводы по работе.

5.5. Контрольные вопросы

1. Запишите выражение для множителя синфазной решетки из идентичных изотропных излучателей [1, стр.68].

2. Сформулируйте теорему перемножения диаграмм направленности [1, стр.66].

3. С чем связано появление побочных главных максимумов в ДН антенной решетки [1, стр.71-72]?

4. Расскажите о способах подавления побочных главных максимумов антенной решетки [1, стр.72-73].

5. Запишите формулу для расчета углового положения главного максимума ДН антенной решетки [1, стр.69].

6. Запишите формулу для расчета углового положения побочных главных максимумов ДН антенной решетки [1, стр.74].

7. Как влияет на ДН антенной решетки амплитудное и фазовое распределение токов возбуждения её элементов [1, стр.76-78]?

8. Поясните влияние ДН элемента решетки на ДН антенны в целом [1, стр.73].

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (МГТУ ГА)

Кафедра радиотехнических устройств

Отчет защищен
Преподаватель

(степень, звание, Ф.И.О.)

(подпись, дата)

НАЗВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Отчет по лабораторной работе по дисциплине:

- «Антенны и устройства СВЧ» (специальность 162107, 25.05.03);
- «Антенны и РРВ» (специальность 090302, 10.05.02).

Работу выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

(подпись, дата)

Москва-20__

ЛИТЕРАТУРА

1. Нечаев Е.Е. Слабонаправленные антенны и линейные антенны бегущей волны. Часть 1.: учеб. пособие. – М., МГТУГА, 1997. – 120с.
2. Нечаев Е.Е. Излучающие раскрывы и решетки. Часть 2.: учеб. пособие. – М., МГТУГА, 1998. – 80с.
3. Нечаев Е.Е. Антенны и устройства СВЧ: Пособие по выполнению лабораторных работ. – М., МГТУГА, 2004. – 36с.
4. Нечаев Е.Е., Будыкин Ю.А. Антенные устройства в гражданской авиации. – Курск: Пресс – Факт, 2005.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВОДНЫЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	3
1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 Исследование симметричного вибратора.....	4
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Исследование директорной антенны.....	8
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Исследование рупорных антенн.....	12
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 Исследование зеркальных антенн.....	16
5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 Исследование синфазной антенной решетки.....	22
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	28
ЛИТЕРАТУРА.....	29