

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗЕМЛИ
НА ИЗЛУЧЕНИЕ АНТЕНН**

Руководство к лабораторной работе по дисциплинам «Электродинамика и распространение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны»
для студентов специальностей 210302, 210303, 210304,
210312, 210313, 210302, 210401, 210403, 210405

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. каф. СВЧиКР

_____ С.Н.Шарангович
“ ____ ” _____ 2011 г

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗЕМЛИ НА ИЗЛУЧЕНИЕ АНТЕНН

Руководство к лабораторной работе по дисциплинам «Электродинамика и распространение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны»
для студентов специальностей 210302, 210303, 210304,
210312, 210313, 210302, 210401, 210403, 210405

Разработчики
доц. каф. СВЧ и КР
_____ Замотринский В.А.

Содержание

1. Введение.....	4
2. Теоретические сведения.....	4
3. Описание экспериментальной установки.....	10
4. Порядок выполнения работы.....	11
5. Содержание отчета.....	12
6. Контрольные вопросы.....	12
7. Домашнее задание.....	12
8. Список литературы.....	13
Приложение Генератор Г4-8.....	13

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель работы : исследование влияния проводящей земли на диаграммы направленности антенн , расположенных вблизи её поверхности, экспериментальное подтверждение принципа интерференции электромагнитных волн.

Антенна, расположенная вблизи земли или какого-либо объекта – самолета, ракеты, корабля и т.п. , является неотъемлемой частью любой линии радиосвязи. В этом случае характеристики антенн, как правило, существенно отличаются от характеристик тех же антенн, расположенных в свободном пространстве. Происходит это в основном из-за интерференции прямых волн и волн, отраженных от поверхности земли или объекта. Явления интерференции и дифракции электромагнитных волн являются основополагающими в теории электромагнитных волн, они лежат в основе теории антенн, распространения радиоволн, устройство СВЧ и других смежных дисциплин. Поэтому прочное закрепление этих понятий на лабораторном практикуме является очень важным.

В данной лабораторной работе в качестве антенны используется симметричный полуволновой вибратор, а в качестве земли - плоский металлический лист, который с достаточной точностью можно считать идеально проводящей землей. Хотя антенны такого типа не являются элементарными излучателями (диполями Герца), которые изучаются в курсе электродинамики, однако, их диаграммы направленности близки к диаграмме диполя Герца. В то же время, входное сопротивление их составляет десятки Ом (у диполя Герца гораздо меньше), что облегчает их согласование с питающим коаксиальным кабелем.

Модель идеально проводящей земли хорошо соответствует действительности в случае расположения антенн над проводящими поверхностями: телевизионные антенны над металлическими крышами, антенны над палубами кораблей, корпусами самолетов и т.п. Отличие реальных земных поверхностей от идеальных проводников изучается во второй части дисциплины "Электродинамика и распространение радиоволн" , однако основной физический принцип – интерференция прямой и отраженной волн, остается тем же, что и в случае идеально проводящей земли.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Характеристики антенн в свободном пространстве

Основными характеристиками любой антенны являются: ее диаграмма направленности, вид поляризации поля антенны и ее входное сопротивление. Другие характеристики: коэффициенты направленного действия, коэффициент усиления и к.п.д., являются следствием этих основных.

Диаграмма направленности (ДН) антенны – это зависимость величины напряженности электрического или магнитного поля (E или H) в точке наблюдения M от углов θ и φ при постоянном расстоянии r

(рис. 2.1). Антенна предполагается передающей и расположенной в начале координат.

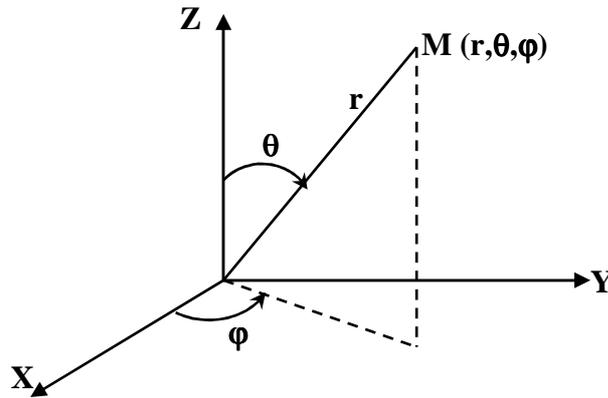


Рис.2.1 Сферическая система координат

По теореме взаимности ДН антенны, работающей на передачу и на прием, совпадают [1]. Когда говорят о ДН, то предполагают, что точка наблюдения находится на бесконечном удалении от антенны ($r \rightarrow \infty$), так что лучи, идущие в точку М от разных точек антенны, можно считать параллельными. Эту область пространства вокруг антенны называют дальней зоной или областью Фраунгофера. В реальных условиях граница дальней зоны определяется выражением [1,2]

$$r \geq \frac{2L^2}{\lambda}, \quad (2.1)$$

где L – максимальный размер антенны, λ – длина волны.

Как известно из курса электродинамики [3], поляризация монохроматической волны определяет закон изменения направления и величины вектора E (и H) этой волны в данной точке пространства за период колебания. Существует три вида поляризации монохроматических волн: линейная, круговая и эллиптическая. Линейная поляризация, у которой направление колебаний векторов E и H остается неизменным, в свою очередь, может быть вертикальной или горизонтальной, в зависимости от ориентации вектора E относительно поверхности земли. В данной работе антенны имеют линейную поляризацию, которая при повороте антенн может становиться горизонтальной или вертикальной.

В общем случае величину напряженности электрического поля от любой передающей антенны в дальней зоне можно представить в виде

$$E(r, \theta, \varphi) = \frac{A}{r} F(\theta, \varphi) \cdot e^{-jkr}, \quad (2.2)$$

где r, θ, φ – сферические координаты точки наблюдения,

$F(\theta, \varphi)$ – нормированная ДН антенны,

A – константа, зависящая от типа антенны и подводимой мощности,

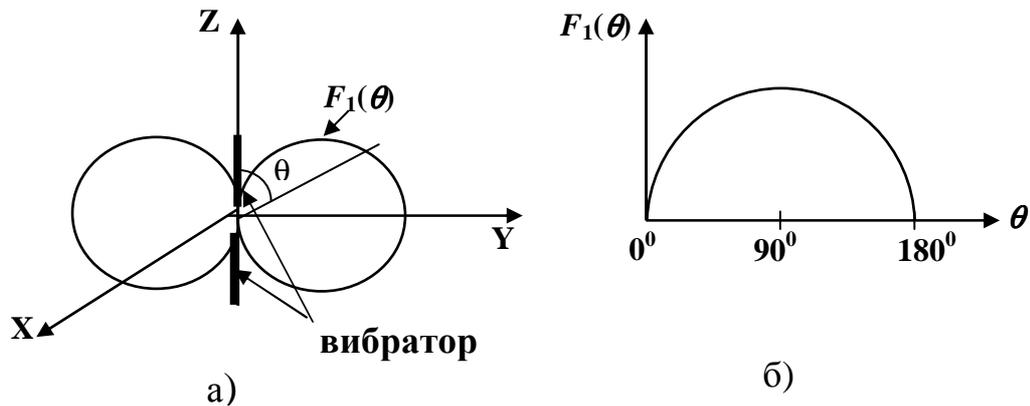
$k = 2\pi / \lambda$ – волновое число.

Нормировка ДН означает, что максимальное значение функции $F(\theta, \varphi)$ равно единице. Из (2.2) видно, что в дальней зоне ДН не зависит от расстояния.

Для симметричного полуволнового вибратора ДН в свободном пространстве описывается выражением [1]

$$F_1(\theta, \varphi) = \frac{\cos(90^\circ \cos \theta)}{\sin \theta} \approx \sin \theta \quad (2.3)$$

и имеет вид, показанный на рисунке 2.2 в полярных и прямоугольных координатах.



а)-полярные координаты, б)-прямоугольные координаты
Рис 2.2 Диаграмма направленности симметричного вибратора
в свободном пространстве

Симметричный вибратор изображен в виде двух одинаковых проводников, называемых плечами вибратора. В полярных координатах угол θ отсчитывается от оси Z , величина $F_1(\theta)$ откладывается вдоль радиуса в направлении угла θ . В прямоугольных координатах θ и $F_1(\theta)$ откладываются вдоль осей абсцисс и ординат. Полярная форма изображения ДН более наглядна, так рисунок 2.2а позволяет представить и сам вибратор, и распределение амплитуды поля в пространстве, как тела вращения "восьмерки" вокруг оси Z . Прямоугольная форма представления ДН более проста, т.к. не требует транспортира при построении, более удобна при измерении ширины главного лепестка, уровня боковых лепестков и др. параметров ДН. Прямоугольная форма обычно применяется в случае узких ДН.

2.2 Влияние земли на ДН вибраторов

Поскольку земля предполагается идеально проводящей, то её влияние на параметры излучателей можно оценить по методу зеркальных отображений [4]. Известно, что если заряд расположен над проводником, то на поверхности проводника индуцируются распределенные заряды противоположного знака. В случае точечного заряда и идеально проводящей плоской земли действие индуцированных зарядов можно учесть введением фиктивного (воображаемого) заряда противоположного знака, расположенного симметрично реальному заряду относительно плоскости земли. Если на горизонтальном и вертикальном

вибраторах произвольно задаться направлением тока и соответствующим распределением зарядов, то после введения фиктивных зарядов получается следующая картина зеркальных отображений (Рис.2.3).

Из рисунка следует важный вывод : для вертикального вибратора направленит тока в вибраторе и его зеркальном изображении совпадают, а для горизонтального –противоположны.

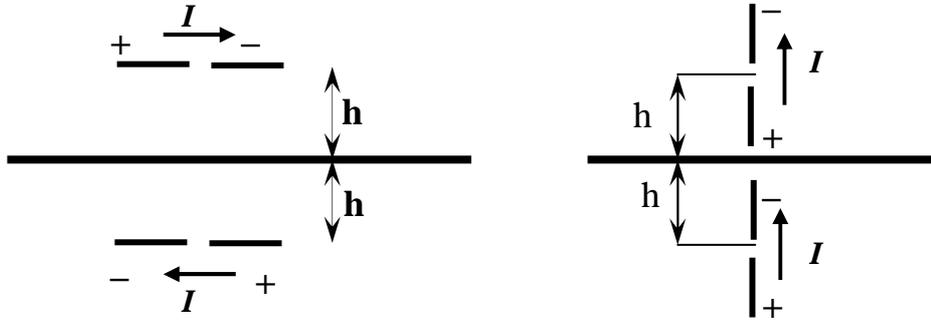


Рис. 2.3 Токи в вибраторах и их зеркальных отображениях

Рассмотрим далее образование ДН вибратора, расположенного над идеально проводящей землей (рис. 2.4).

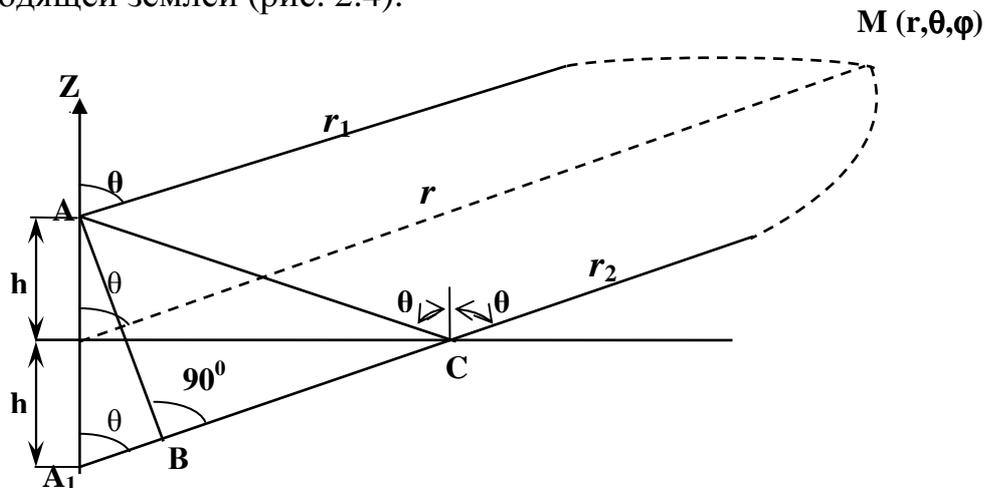


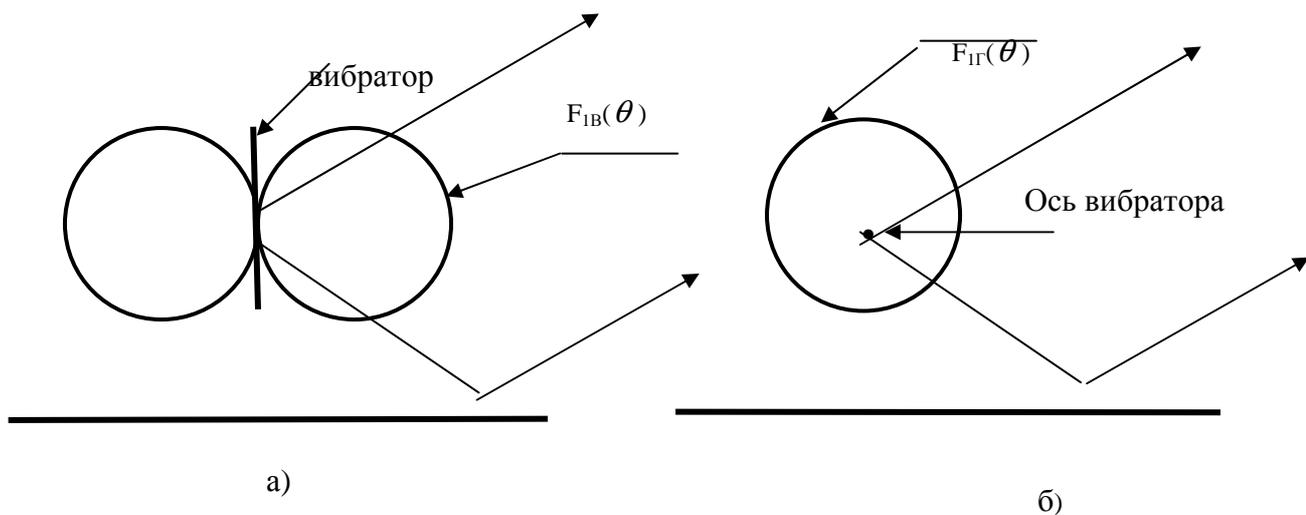
Рис.2.4 Ход лучей от вибратора и его зеркального изображения

В точке А расположен вибратор, в точке A_1 – его зеркальное изображение. Точка наблюдения М находится в дальней зоне по отношению к антенне и её зеркальному изображению, так что отрезки АМ и A_1M можно считать параллельными. (на рис. 2.4 части этих отрезков большей длины условно показаны пунктиром). В точку наблюдения приходят две волны: прямая по пути АМ и отраженная от земли по пути АСМ. Положение точки отражения С определяется из условия равенства углов падения и отражения. Поскольку отрезки АС и A_1C равны, то можно считать, что отраженная волна исходит из зеркального изображения вибратора в точке A_1 .

Таким образом, поле в точке М является результатом сложения (интерференции) двух волн – прямой и отраженной от земли. Амплитуда отраженной волны в точке М ($\frac{A}{r_2} F(\theta, \varphi)$), будет всегда несколько меньше амплитуды падающей ($\frac{A}{r_1} F(\theta, \varphi)$), поскольку $r_2 > r_1$, однако при больших r это отличие можно считать несущественным. Как известно, результат интерференции двух волн с примерно одинаковыми амплитудами в основном определяется соотношением фаз этих волн. Если фазы совпадают (или отличаются на целое число 2π), то амплитуда в точке М будет равна сумме амплитуд падающей и отраженной волн и максимальна; если же разность фаз составит π , 3π и т.п., то поле в точке М будет близко к нулю. Как видно из рисунка 2.4, разность фаз прямой и отраженной волн возникает за счет прохождения отраженной волной большого расстояния ($r_2 > r_1$), причем эта разность хода равна отрезку $A_1B = 2h \cos \theta$, который зависит от угла θ . Таким образом, при изменении угла θ будет меняться разность фаз прямой и отраженной волн в точке наблюдения, а следовательно, будет наблюдаться чередование максимумов и минимумов поля, т.е. ДН в вертикальной плоскости приобретает лепестковый характер.

На ДН в горизонтальной плоскости земля влияния не оказывает, поскольку разность хода A_1B зависит лишь от угла θ и не зависит от φ . Поэтому в горизонтальной плоскости разность фаз прямой и отраженной волн остается постоянной, не зависящей от угла φ .

Получим формулы для ДН в вертикальной плоскости для случая вертикального и горизонтального вибраторов. Чем будут отличаться эти случаи? Во-первых, разным направлениям токов в зеркальных изображениях вибраторов и, во-вторых, диаграммой направленности самого вибратора в вертикальной плоскости $F_1(\theta)$ (рис.2.5).



а) – вертикальный вибратор, б) – горизонтальный вибратор

Рис. 2.5 ДН вибраторов без учета влияния земли

В случае вертикального вибратора ДН имеет вид восьмёрки и описывается соотношением (2.3), в случае горизонтального – является окружностью с радиусом равным единице.

$$F_{1B}(\theta) \approx \sin \theta, \quad F_{1\Gamma}(\theta) = 1 \quad (2.5)$$

Представим поля прямой и отраженной волн в виде (2.2) и сложим их в точке М с учетом сделанных выше замечаний о примерном равенстве амплитуд. В результате получим

$$E(M) = \frac{AF_{1B,\Gamma}(\theta)}{r} \left[e^{-jkr_1} \pm e^{jkr_2} \right], \quad (2.6)$$

где знак “ плюс ” соответствует вертикальному вибратору, а знак “ минус ” – горизонтальному, согласно направлению токов в зеркальных изображениях. Из рис. 2.4 легко получить, что

$$r_1 = r - h \cos \theta, \quad r_2 = r + h \cos \theta.$$

Подставляя эти значения в (2.6), вынося e^{-jkr} за скобку и учитывая, что согласно формулам Эйлера

$$e^{jkh \cos \theta} + e^{-jkh \cos \theta} = 2 \cos(kh \cos \theta), \quad e^{jkh \cos \theta} - e^{-jkh \cos \theta} = 2j \sin(kh \cos \theta)$$

получим

$$E(M) = 2A \cdot F_{1B,\Gamma}(\theta) \frac{e^{-jkr}}{r} \cdot \begin{bmatrix} \cos(kh \cos \theta) \\ j \sin(kh \cos \theta) \end{bmatrix}. \quad (2.7)$$

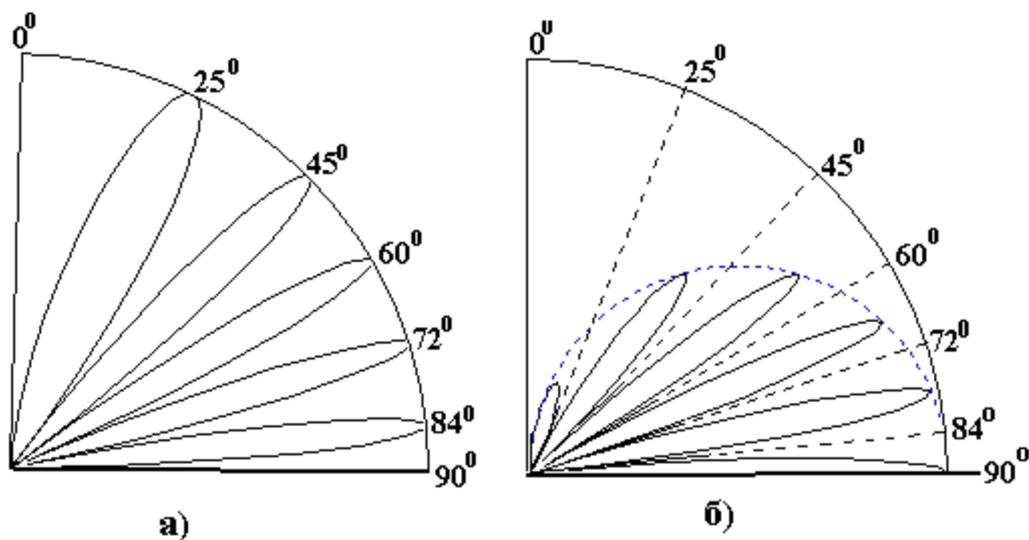
Выделим в этом выражении зависимость величины $|E(M)|$ лишь от угла θ и, учитывая (2.5), запишем выражение для ДН в вертикальной плоскости с учетом действия земли для вертикального вибратора

$$F_B(\theta) = \sin \theta \cdot |\cos(kh \cos \theta)|, \quad (2.8)$$

и для горизонтального вибратора

$$F_\Gamma(\theta) = |\sin(kh \cos \theta)|. \quad (2.9)$$

Анализ формул (2.8) и (2.9) показывает, что если $kh = \frac{2\pi}{\lambda} h \gg 1$, то при изменении θ от 0° до 90° функции $|\cos(kh \cos \theta)|$ и $|\sin(kh \cos \theta)|$ будут иметь несколько максимумов, равных 1 и минимумов, равных нулю. Таким образом, ДН в вертикальной плоскости в результате интерференции прямой и отраженной от земли волн приобретает лепестковый характер. Примеры ДН, рассчитанных по формулам (2.8) и (2.9), приведены на рисунке 2.6.



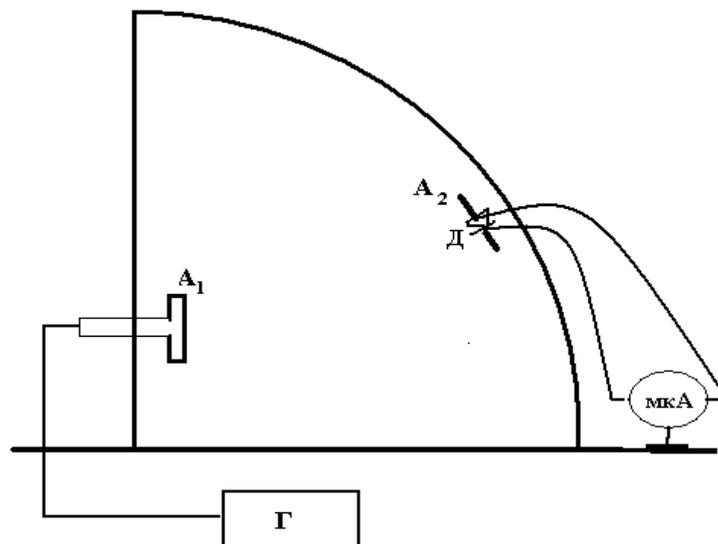
а) – горизонтальный вибратор, б) – вертикальный вибратор

Рис. 2.6 ДН горизонтального и вертикального вибраторов для $h = 2.5 \lambda$

На рисунке показаны углы максимумов и минимумов диаграмм направленности. Видно, что максимумам ДН горизонтального вибратора соответствуют минимумы ДН вертикального и наоборот.

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Функциональная схема экспериментальной установки приведена на рис.3.1



A_1 – исследуемый вибратор,

A_2 – приемная антенна с детектором Д,

Г – генератор Г4-8.

мкА – индикаторный прибор (микроамперметр)

Рис. 3.1 Функциональная схема установки

Антенна A_1 представляет собой петлевой вибратор, являющийся разновидностью симметричного полуволнового вибратора. Диаграмма направленности петлевого вибратора такая же, как у разрезного, но петлевой вибратор имеет более удобную схему питания коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 75 Ом. Антенну A_1 можно поворачиваться вокруг горизонтальной оси, задавая вертикальное или горизонтальное положение.

Антенна A_2 – приемная, представляет собой симметричный полуволновой вибратор, нагруженный на детектор и индикатор – микроамперметр. По пластмассовому транспортеру антенну A_2 можно передвигать с помощью шнура и задавать положения приемной антенны, соответствующее различным значениям угла θ . Шкала транспортера проградуирована в углах θ . Показания индикатора, включенного в цепь антенны A_2 пропорциональны $|F(\theta)|^2$, поскольку приближенно можно считать, что характеристика детектора квадратична. Антенну A_2 можно также поворачивать на 360° для исследования полей с вертикальной или горизонтальной поляризацией.

Для уменьшения отражения радиоволн от стен и окружающих предметов в установке используются поглотители радиоволн, выполненные в виде коробок из пенопласта, внутри которых находятся нити из поглощающего материала. Несмотря на это, избежать полностью влияния местных предметов не удастся. Поэтому, при проведении эксперимента следует избегать перемещений вблизи антенн.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 4.1 Изучить описание работы и генератора (Приложение 1), выполнить домашнее задание, ответить на контрольные вопросы и получить от преподавателя допуск на выполнение работы.
- 4.2 Установить на генераторе частоту, близкую к 1600 МГц, на которую настроены антенны в данной работе.
- 4.3 Измерить ДН для вертикального и горизонтального вибраторов для двух значений высот передающей антенны - h . (Итого четыре диаграммы). Одну высоту взять из расчетного домашнего задания, другую – по указанию преподавателя. Измерения ДН производить через 5° .
- 4.4 Отнормировать и построить экспериментальные ДН. При этом следует учитывать квадратичность вольтамперной характеристики детектора приемной антенны. Для этого все показания измерительного прибора, относящиеся к каждому значению высоты антенны и поляризации, следует разделить на максимальное значение и извлечь квадратный корень. Для построения ДН можно использовать прямоугольную систему координат, т.к. это облегчает их построение. Сравнить экспериментальные и рассчитанные ДН. Для экспериментальных ДН, которым нет соответствующих теоретических, рассчитать направления максимумов и минимумов по формулам (2.8) и (2.9) и нанести их на экспериментальные ДН, (как на рис. 2.6)

- 4.5 Сделать выводы о соответствии теории и эксперимента, о влиянии высоты антенны на число лепестков ДН и на форму первого к земле лепестка ДН в зависимости от поляризации поля излучения.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 5.1 Цель работы, схема установки, суть явления интерференции волн.
 5.2 Измеренные и рассчитанные ДН, их сравнение. Анализ возможных причин погрешностей эксперимента. Выводы о влиянии земли на количество лепестков и на форму первого к земле лепестка ДН в зависимости от высоты подвеса и ориентации вибратора. Объяснение этих закономерностей, как результата интерференции волн.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. В чем заключается явление интерференции электромагнитных волн?
 6.2. Что такое ДН антенны и как она измеряется в данной работе?
 6.3. В чем суть метода зеркальных изображений? Постройте зеркальное изображение для вибратора наклоненного к поверхности земли.
 6.4. Почему ДН вибраторов в присутствии земли приобретают лепестковый характер?
 6.5. Почему и как отличаются ДН вертикального и горизонтального вибраторов, поднятых над землей на одну и ту же высоту?
 6.6. Как зависит число лепестков в ДН вибратора над землей от высоты h и длины волны λ ?
 6.7. Как по виду ДН антенны над идеально проводящей землей определить поляризацию антенны?
 6.8. Укажите возможные источники погрешностей при измерении ДН на данной установке.
 6.9. Какая ДН называется нормированной? Как учитывается квадратичность характеристики детектора?
 6.10. Как строятся ДН в полярной и прямоугольной системах координат? В каких случаях следует использовать ту или другую формы изображения ДН?
 6.11. Из (2.8), (2.9) получите формулы для определения направлений максимумов и минимумов ДН.

7. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

- 7.1. Рассчитайте и постройте ДН для вертикального и горизонтального вибраторов для высот антенн, указанных в таблице согласно номеру подгруппы. ДН постройте в декартовой и полярной системах координат, шаг по углу 5° . Для более точного отображения ДН, определите направления максимумов и минимумов из формул (2.8) и (2.9) и нанесите их на графики ДН.

Таблица для выдачи домашних заданий

Номер подгруппы	1	2	3	4
Вертикальный вибратор h/λ	0.5	1	1,5	2
Горизонтальный вибратор h/λ	2	1,5	0,5	1

8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.М. Петров Электродинамика и распространение радиоволн: Учебник для вузов. - М.: Горячая линия- Телеком, 2007.-558 с. **(100)**
2. Л.А.Боков Электромагнитные поля и волны: Уч.пособие. –Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2003-214 с. **(50)**
3. Замотринский В.А., Падусова Е.В., Соколова Ж.М., Шангина Л.И. Электромагнитные поля и волны: Уч.пособие. –Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2006.-175с. **(40)**

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОПИСАНИЕ ГЕНЕРАТОРА Г 4-8

1. Назначение прибора

Генератор стандартных сигналов Г4-8 предназначен для питания высокочастотной энергией измерительных линий, антенн и других радиотехнических схем и приборов, а также регулировки приемников.

2. Технические характеристики

2.1. Диапазон частот от 1000 до 2000 МГц.

2.2. В приборе имеется внутренний волномер на диапазон от 1000 до 2000 МГц с погрешностью определения частоты не более $\pm 0,25\%$.

2.3. Прибор имеет два высокочастотных выхода : один –с с калиброванной мощностью до 100 мкВт, другой – с увеличенной некалиброванной. Волновые сопротивления обоих выходов - 75 Ом. Калиброванный выход служит для измерения чувствительности приемников, некалиброванный – для проведения измерений, не требующих точного знания выходной мощности

2.4. Генератор имеет следующие виды работ: непрерывная генерация, непрерывная и импульсная генерация при внутренней и внешней модуляции.

3. Принцип действия прибора и назначение органов управления

Генератор высокой частоты работает на металлокерамическом триоде ГИ-12Б по схеме двухконтурного автогенератора. В качестве колебательной системы применены две коаксиальные короткозамкнутые линии длиной в три четверти длины волны. Одна линия включена между анодом и сеткой, другая – между сеткой и катодом генераторной лампы.

На переднюю панель генератора выведены следующие приборы и ручки управления:

- а) «выход ватты» и «установка уровня в.ч.» - некалиброванный выход мощности и ручка ее регулировки,
- б) тумблер «ВКЛ» - включение сети,
- в) стрелочный индикаторный прибор с переключателем : «выкл», «вкл. ген.», « вкл. волн», контр. тока»,
- г) «установка нуля» - установка нуля индикатора после прогрева,
- д) «настройка генератора» - ручка установки частоты генератора и лимб для ее отсчета,
- д) «волномер», «связь с волномером» - ручка и лимб для измерения частоты генератора внутренним волномером,
- е) «н.г.» и др. положения переключателя режимов работы генератора.
- ж) « подстройка» - ручка настройки генератора на максимальную выходную мощность,
- з) « расстройка»-ручка изменяет связь контуров генератора, служит для подстройки часты в небольших пределах;

Остальные органы управления относятся к работе прибора в импульсном режиме и в данной лабораторной работе не используются.

4. Порядок работы с прибором

4.1 Установить ручки в исходное положение:

- а) «сеть» - в положение «выкл»,
- б) Переключатель у стрелочного индикатора в положение «выкл» - отключено анодное напряжение на генераторной лампе,
- в) ручка «установка уровня в.ч.» - в крайнее левое положение,
- г) ручкой « настройка генератора» установить требуемую частоту по лимбу ,
- д) остальные ручки в произвольном положении.

4.2. Включить «сеть», дать прибору прогреться в течение 10 минут, ручкой «установкой нуля» установить стрелку прибора на нуль.

4.3. Поставить переключатель в положение «вкл. ген.», дать прибору прогреться в течение 5 минут, плавно вращая ручку «установка уровня в.ч.» убедиться по показаниям стрелочного прибора в наличии высокочастотной мощности на выходе генератора.

4.4. Установить такую выходную мощность, при которой микроамперметр приемной антенны не зашкаливает при любом положении приемной антенны.

4.5. Выключение генератора производить в обратном порядке.