

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций
Кафедра «Радиофизика»

Работа допущена к защите
Зав. кафедрой

_____ Л.Б. Лиокумович
" __ " _____ 2016г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Разработка лабораторной работы «Рамочные антенны»

Направление: 210300.65

Специальность: Бытовая радиоэлектронная аппаратура

Выполнил студент гр. в63421/1

О.А. Бакунов

Руководитель, к.ф.-м.н., доц.

Б.Б. Лебедев

Консультант по БЖД, к.т.н., доц.

В. П. Малышев

Санкт - Петербург

2016

РЕФЕРАТ

Работа содержит 48 с., 24 рис., 10 табл., 9 источников.

РАМОЧНАЯ АНТЕННА, ДИРЕКТОРНАЯ АНТЕННА,
РЕФЛЕКТОРНАЯ АНТЕННА, ТРЁХЭЛЕМЕНТНАЯ РАМОЧНАЯ
АНТЕННА, ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ.

Данная работа посвящена изучению конструкции рамочных антенн, исследованию основной характеристики антенн – диаграммы направленности. В процессе выполнения работы создан учебный макет по выполнению лабораторной работы на тему «Исследование диаграмм направленности рамочных антенн» и составлены методические указания по её выполнению.

Работа состоит из введения, основной части, раздела по безопасности труда и заключения.

Во введении рассматриваются различные типы рамочных антенн.

В основной части рассматривается схема измерительной установки, описание программного пакета, в котором проводилось моделирование антенн и результаты измерений и расчётов диаграмм направленности антенн. Приведён предлагаемый порядок выполнения лабораторной работы.

Последняя часть посвящена безопасности труда.

В заключении перечислены основные полученные результаты.

DESIGN OF LABORATORY WORK «LOOP ANTENNAS»

LOOP ANTENNA, DIRECTOR ANTENNA, REFLECTOR ANTENNA,
RADIATION PATTERN.

In this work is considered loop antennas and creation of laboratory work equipment for radiation patterns measurement. Antennas characteristics are calculated and compared with each other. According to comparison of radiation patterns of antennas with different geometric structure most optimal antenna is identified.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Установка для измерения диаграмм направленности антенн	12
2. Описание набора элементов для конструирования рамочных антенн	14
3. Расчет параметров рамочных антенн в программе MMANA-GAL	18
4. Программа обработки и визуализации экспериментальных и расчетных данных	21
5. Порядок выполнения лабораторной работы	22
6. Результаты контрольного выполнения разработанной лабораторной работы	27
7. Дополнительная настройка трёхэлементной рамочной антенны	34
8. Мероприятия по охране труда и технике безопасности	40
Заключение	47
Список литературы	48

ВВЕДЕНИЕ

История антенн насчитывает не многим более ста лет. В 1877 году немецкий физик Г. Герц в Карлсруэ поставил классические опыты для проверки теории распространения радиоволн, предложенной английским физиком Дж. Максвеллом. Передающей антенной в его опытах служил прямой провод с емкостной нагрузкой на конце (кондуктор), а приемной - квадратная проволочная петля.

Предшественниками этих антенн были проволочная антенна Б.Франклина, использованная им в 1752 г. для доказательства электрической природы происхождения молний, и спроектированная Т.Эдисоном заземленная вертикальная антенна, запатентованная в 1885 году для системы передачи сообщений.

Первым, кто создал в мире аппарат для практического излучения в эфир сообщений, стал русский ученый А. С. Попов в 1895 г. Он впервые в мире сделал доклад для научно-технической общественности об изобретенном им методе излученных электромагнитных волн для беспроводной передачи электрических сигналов, содержащих полезную информацию для получателя, и продемонстрировал такую передачу в действии, получая в приемнике эту информацию.

Весной следующего года он продемонстрировал уже прибор для передачи сигналов, передав на расстояние 250 метров радиограмму из двух слов «Генрих Герц». Летом 1897 г. он установил дальность передачи радиосигнала на расстоянии в 5 км, в 1901 году – уже около 150 км.

Термин «антенна» заимствован из зоологии, где латинским словом «antennae» называют многочленистые подвижные головные придатки (органы чувств) у насекомых.

Сначала у антенны были другие названия: линейный осциллятор, воздушный проводник, проволочный датчик или возбудитель.

При помощи антенн посредством радиоволн передается на расстояние полезная информация (в том числе передача радио и телепрограмм).

Итак, антенна, это устройство в сочетании с радиоприемником или передатчиком, предназначенное для излучения в эфир и приема из эфира радиоволн той или иной частоты. Таким образом, антенна является преобразователем электрического тока радиочастотного диапазона в электромагнитное излучение. Из электротехники известно, что, если по проводу протекает переменный электрический ток, то возникает электромагнитное поле, образующее электромагнитную волну, излучающуюся в окружающее свободное пространство. В свободном пространстве радиоволны распространяются со скоростью света, равной $c=3 \cdot 10^8$ м/сек.

В соответствии с особенностями распространения, а также с учетом применяемых методов генерирования, излучения и приема, спектр радиоволн делят на отдельные участки - диапазоны. Диапазоны утверждены Международным консультативным комитетом радиосвязи (МККР) [1].

Таблица 1

Виды радиоволн		Длина волны, м	Частота
Сверхдлинные волны (СДВ)		$10^5 - 10^4$	3 КГц-30 КГц
Длинные волны (ДВ)		$10^4 - 10^3$	30 КГц-300 КГц
Средние волны (СВ)		$10^3 - 10^2$	300 КГц-3 МГц
Короткие волны (КВ)		100 - 10	3 МГц-30 МГц
Ультракороткие волны (УКВ)	Метровые (МВ)	10 - 1	30 МГц-300 МГц
	Дециметровые (ДМВ)	1 - 0,1	300 МГц - 3 ГГц
	Сантиметровые (СМВ)	0,1 - 0,01	3 ГГц - 30 ГГц
	Миллиметровые (ММВ)	0,01 - 0,001	30 ГГц - 300 ГГц

Ультракороткие волны (УКВ) отличаются от более длинных волн многими признаками и свойствами. Так, например, они распространяются преимущественно прямолинейно и почти не огибают природных и искусственных преград (гор, высоких строений), встречающихся на их пути. На

распространение ультракоротких волн, в особенности дециметровых, сантиметровых и миллиметровых, существенное влияние оказывают рельеф местности, различные препятствия, а также метеорологические условия. Сантиметровые и миллиметровые волны сильно поглощаются атмосферными осадками (дождем, снегом) и газами атмосферы (кислородом, водяным паром), что приводит к быстрому ослаблению напряженности поля.

В настоящее время в диапазоне УКВ организованы как телевизионное вещание, так и высококачественное радиовещание, а также системы радиосвязи.

Первая рамочная антенна с периметром, равным длине волны, сооружена в 1942 г. для мексиканской миссионерской радиостанции. Радиостанция до сих пор ведет в эфире свою деятельность. Благодаря любительскому радио, эта антенна широко распространена по всему миру. Радиолюбители строят её и получают при этом превосходные результаты [2].

По геометрической форме антенны могут быть типа квадрат, круг, ромб, или греческая буквы дельта (рис.1)

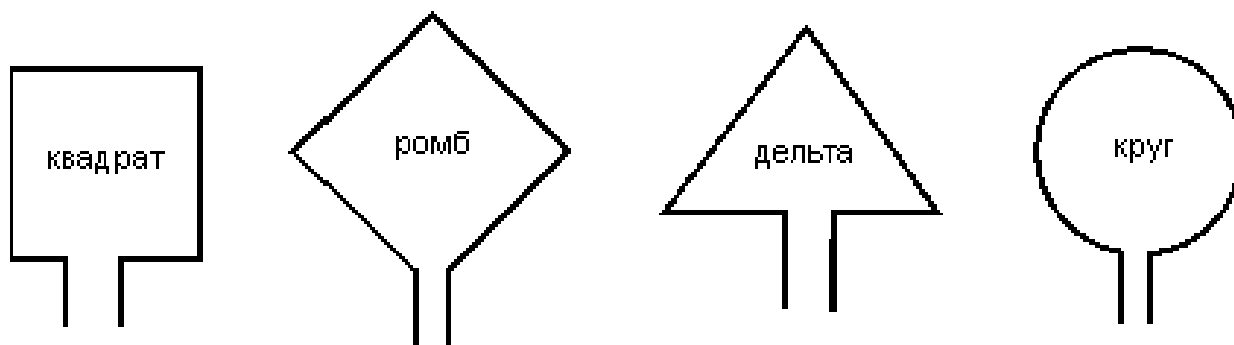


Рис.1. Геометрические формы рамочных антенн

По существу рамочная антенна представляет собой дальнейшее развитие петлевого диполя.

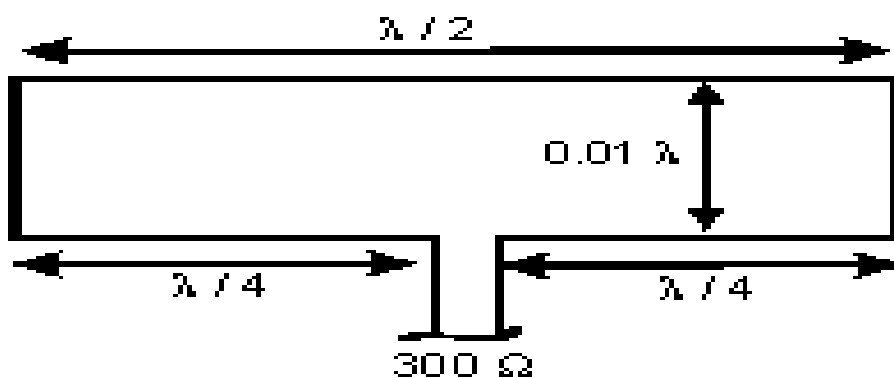


Рис.2. Петлевой диполь

Недостаток: большое входное сопротивление

Достоинство: полоса пропускания в несколько раз больше чем у обычного диполя (симметричного вибратора).

Если петлевой диполь «растянуть», то получится классическая рамочная антенна-квадрат. (рис.3)

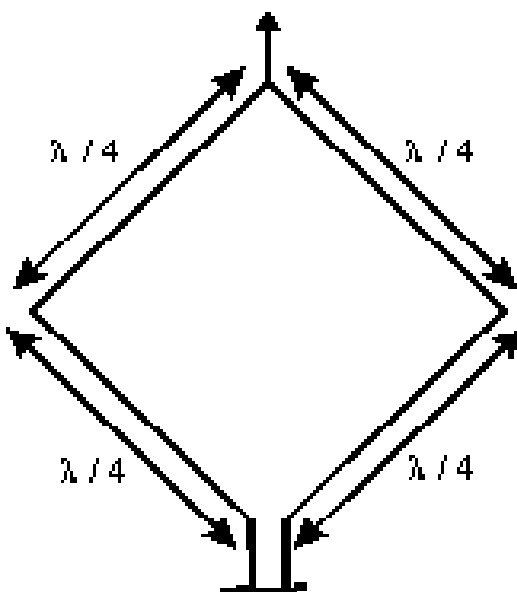


Рис.3. Классическая рамочная антенна

Рамочная антенна охватывает большее пространство, чем петлевой диполь. Поэтому она имеет более высокий коэффициент усиления. Также рамки обладают более низким входным сопротивлением (около 110-120 Ом),

чем петлевой диполь. В работе Григорова И. Н. «Практические конструкции антенн» приведены данные расчетов входного сопротивления рамок различной формы и их коэффициенты усиления (таблица 2). Они получены на основе теоретического исследования, то есть могут отличаться от практических измерений [2].

Таблица 2. Параметры рамок различной формы

Вид рамки	Квадрат	Круг	Ромб	Дельта
Усиление, дБ	3,14	3,49	3,14	2,82
Вх. сопротивление, Ом	117	133	117	106

Из таблицы видно, что коэффициент усиления рамочной антенны любой формы больше, чем у диполя [2].

Среди рамок различной формы, но с одинаковым периметром, наибольшим усилением обладает круглая рамка, охватывающая наибольшую площадь.

Входное сопротивление рамки прямо пропорционально коэффициенту усиления. Коэффициент полезного действия у рамочной антенны в реальности достигает 90%.

Выше упоминался термин «коэффициент усиления» - одна из важнейших характеристик антенны. Необходимо уточнить, что антенны являются пассивными устройствами и брать энергию для усиления передаваемого сигнала им неоткуда. Поэтому необходимо для ясности привести здесь определение таких понятий как коэффициент направленного действия (КНД) и коэффициента усиления (КУ) антенны.

Коэффициент направленного действия – это отношение мощности на входе эталонной антенны (изотропного излучателя) к мощности, подводимой ко входу рассматриваемой антенны, при условии, что обе антенны создают в данном направлении на одинаковом расстоянии равные значения напряженности поля. [1]

КНД антенны показывает во сколько раз необходимо увеличить мощность на входе антенны (выходную мощность передатчика) при замене данной антенны на идеальную ненаправленную антенну (изотропный излучатель), чтобы значение плотности потока мощности излучаемого антенной электромагнитного поля в точке наблюдения не изменилось.

$$КУ = КНД * КПД,$$

где КПД - коэффициент полезного действия антенны (обычно он весьма близок к единице).

Далее в работе мы будем исследовать одну из важнейших характеристик рамочной антенны - диаграмму направленности антенны.

Диаграмма направленности приемной антенны - это угловая зависимость ЭДС, наведенной в антенне электромагнитным полем.

Строится диаграмма направленности в полярной, сферической или прямоугольной системе координат.

При исследовании диаграммы направленности антенну направляют в ту или другую сторону от нулевого направления (направления нормали к рабочей поверхности антенны), а на диаграмме откладываются величины, соответствующие отношению E/E_{max} , то есть диаграмма направленности всегда строится в нормированном виде.

Диаграмму направленности, например, приемной антенны можно снимать, поворачивая антенну и измеряя ЭДС в фиксированной точке наблюдения на постоянной частоте приема сигнала. Эти измерения дают диаграмму направленности в полярных координатах.

Лепесток, соответствующий максимальному сигналу или нулевому направлению, называют *основным* или *главным*, остальные - *боковыми* или *задними* в зависимости от расположения по отношению к главному лепестку.

Одним из основных параметров диаграммы направленности является ширина главного лепестка, в пределах которого ЭДС, наведенная в антенне электромагнитным полем спадает до уровня 0.707, или мощность, спадающая до уровня 0.5 от максимальной.

По ширине главного лепестка судят о направленных свойствах антенны. Чем эта ширина меньше, тем больше направленность антенны.

Форма диаграммы направленности антенны зависит от типа и конструкции антенны. Диаграмма направленности рамочной антенны в горизонтальной плоскости имеет вид восьмерки. А с добавлением дополнительных элементов - рефлектора и директора - задний лепесток уменьшается, главный лепесток сужается. То есть при этом улучшаются направленные свойства антенны.

Наличие задних и боковых лепестков свидетельствует о том, что антенна излучает (принимает) не только в области главного лепестка, но и в других направлениях. Это может создавать помехи другим радиотехническим системам и снижает помехоустойчивость, если антенна работает на прием. Поэтому при проектировании антенн стремятся к уменьшению уровней бокового и заднего излучения [3].

Распределение тока по рамочной антенне, периметр которой равен длине волны, представлено на рис.4. При этом токи, протекающие по нижней и верхней сторонам находятся в фазе, а токи на боковых сторонах – в противофазе.

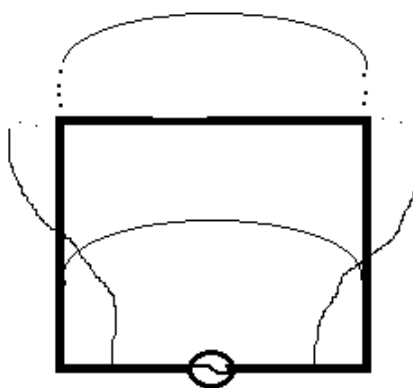


Рис.4. Распределение токов в рамочной антенне.

1. УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН

В лабораторном практикуме «Антенны» в лаборатории СВЧ - устройств и антенн кафедры радиофизики существует лабораторная работа «Измерение диаграмм направленности вибраторных антенн». Используемая в ней экспериментальная установка представлена на рис.5 [4].

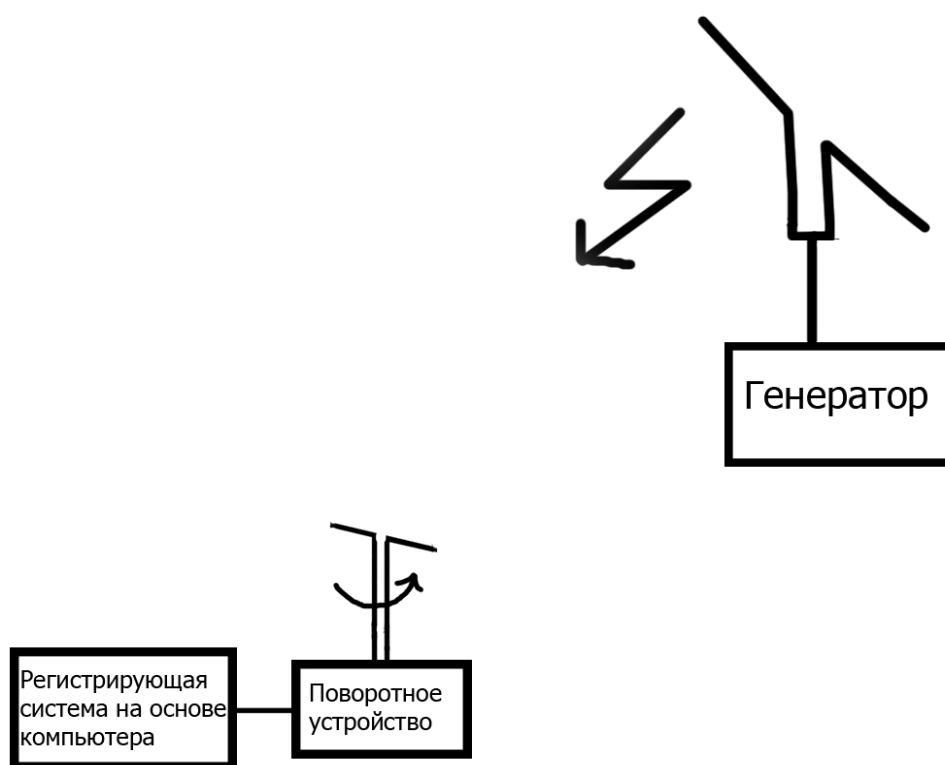


Рис.5. Блок-схема измерительной установки для снятия диаграмм направленности вибраторных антенн.

Целью данной дипломной работы является создание на основе имеющейся установки для измерения диаграмм направленности вибраторных антенн лабораторной работы по исследованию диаграмм направленности рамочных антенн – их измерению, расчету и графическому представлению полученных результатов.

Имеющаяся измерительная установка может быть использована для снятия диаграмм направленности рамочных антенн, как показано на рис.6.

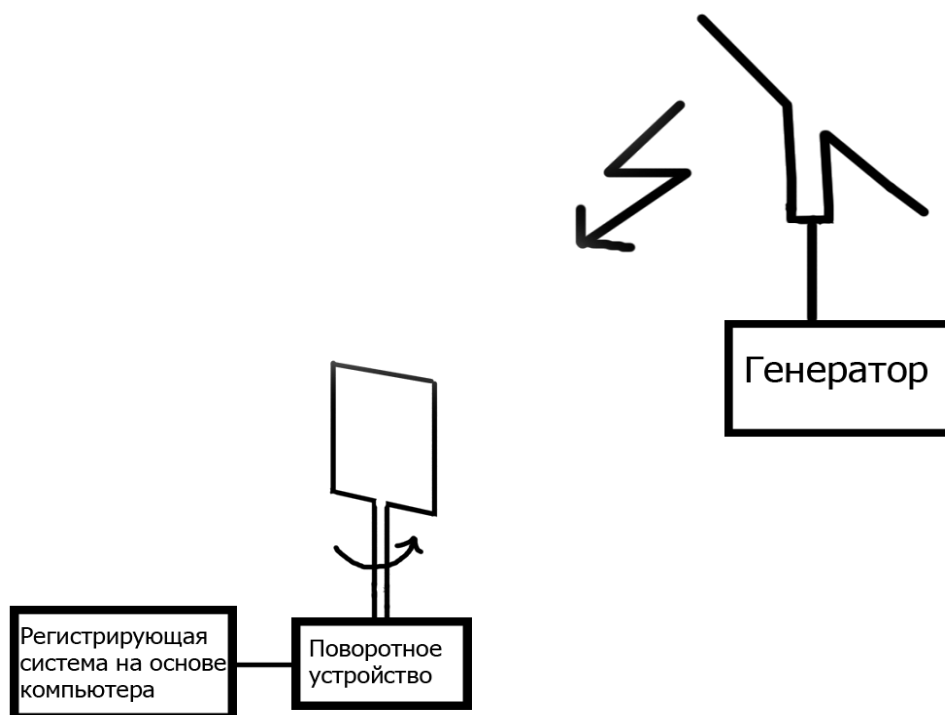


Рис.6. Блок-схема установки для измерения диаграмм направленности рамочных антенн.

Исследуемая антенна (ее тип изменяется за счет сменных элементов) установлена на поворотном стенде (рис.6). Сигнал поступает в регистрирующую систему на основе компьютера через стандартную звуковую плату.

Передающая часть установки состоит из генератора типа Г4-37А и вспомогательной облучающей антенны. Измерения проводятся в дециметровом диапазоне волн (диапазон рабочих частот 500МГц - 1ГГц). Рабочая длина волны генератора подбирается равной периметру активной рамки.

2. ОПИСАНИЕ НАБОРА ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ РАМОЧНЫХ АНТЕНН

Антенна состоит из активного элемента (рамки), к которому могут добавляться один или два пассивных элемента.

Пассивный элемент, находящийся перед активным по направлению прихода волны, называют директором, а пассивный элемент, расположенный позади активного – рефлектором.

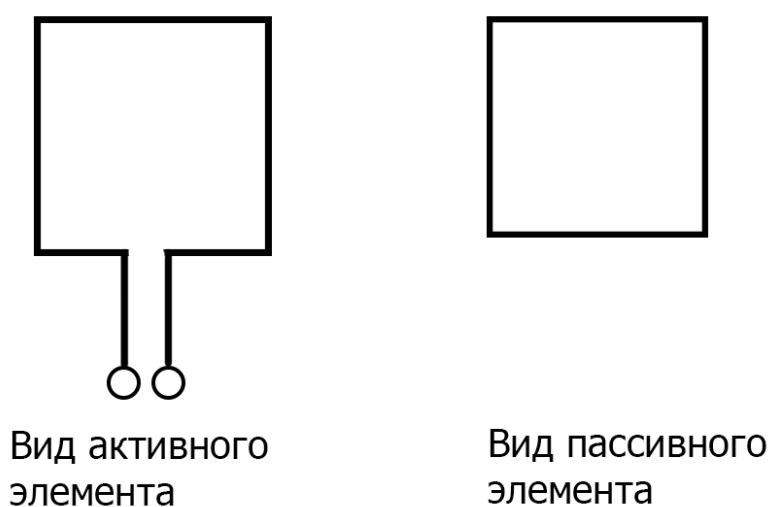


Рис.7. Элементы конструкции рамочной антенны.

Антенна состоит из рамок квадратной формы, из которых директорная и рефлекторная являются замкнутыми контурами, активный в точке подключения разомкнут. Количество рамок для выполнения лабораторных работ: активных – 6, размер стороны квадрата от 85 до 155 мм; пассивных – 9, размер от 70 до 190 мм. Такое большое число элементов позволяет менять условия проведения лабораторной работы и подбирать оптимальные размеры директоров и рефлекторов для многоэлементных антенн. Меняя элементы конструкции можно собрать одноэлементную, двухэлементные директорную и рефлекторные антенны, а также трехэлементную антенну (рис.8 и 9).

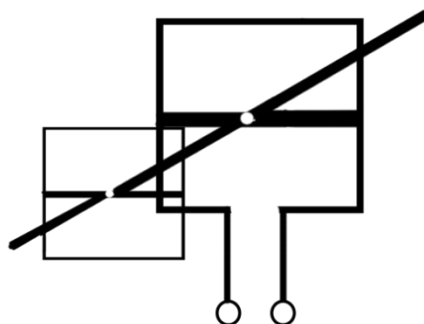


Рис.8. Двухэлементная директорная рамочная антенна с элементами крепежа.

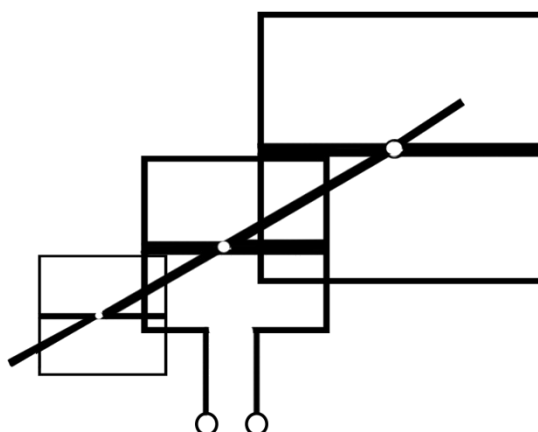


Рис.9. Трехэлементная рамочная антенна с элементами крепежа.

В качестве материала, из которого выполнена сама рамка, выбран медный пруток с круглым сечением 3,5 мм. Выбор определен тем, что медь характеризуется:

- 1) малым удельным сопротивлением (уступает в этом только серебру);
- 2) достаточно высокой механической прочностью;
- 3) удовлетворительной стойкостью по отношению к коррозии;
- 4) относительной легкостью пайки.

По сравнению с алюминием медь обладает повышенными свойствами - как механическими, так и электрическими. При одинаковых сечении и длине электрическое сопротивление алюминиевого провода больше, чем медного, в 1,63 раза.

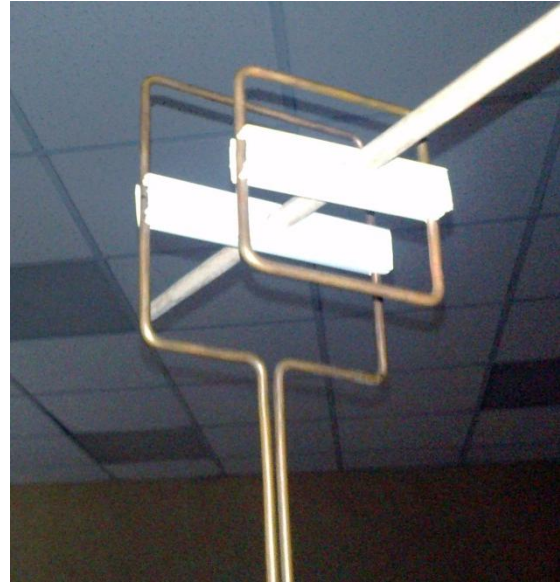
Антенна рассчитывается на применение в лаборатории, т.е. в недоступной для атмосферного влияния среде, поэтому дополнительной обработки поверхности рамок защитным покрытием типа лака не требуется (при повышенной влажности и перепаде температур на медной поверхности образуется слой окислов, снижающий электропроводность элемента).

Пайка пассивных вибраторов выполнена припоем марки ПОС-40 с использованием только бескислотного флюса-канифоли при соблюдении требований техники безопасности. Продольная несущая антенны сделана из диэлектрического материала. Рамочные элементы крепятся на ней с помощью пластиковых планок.

Далее на рисунке 10 приведены фотографии всех четырёх подлежащих исследованию типов рамочных антенн.



а) одноэлементная антенна



б) директорная антенна



в) рефлекторная антенна



г) трёхэлементная антенна

Рис. 10. Фотографии рамочных антенн.

3. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ РАМОЧНЫХ АНТЕНН В ПРОГРАММЕ MMANA-GAL

Исследование компьютерной модели позволяет рассчитать характеристики изучаемой антенны.

MMANA-GAL - это программа моделирования антенн, работающая в среде Windows. Вычислительной основой является программа MININEC Ver 3. В подобных программах применен метод многомерных матриц (моментов), суть которого сводится к разбиению каждого проводника антенны на точки (сегменты) и вычислению в каждой точке тока – как собственного, так и наведенного от всех остальных точек (в отличие от первых появившихся программ расчета антенн, которые вычисляли по конкретным формулам определенные типы антенн). Метод моментов не использует никакие узкоспециальные формулы для расчета конкретного типа антенн. Все считается по одной и той же методике, что и обеспечивает его универсальность и объективность.

Для анализа большинства известных антенн программе достаточно обчислить 100...500 точек, что занимает совсем небольшой промежуток времени, даже на простом компьютере. И главное достоинство программы - достигнутое хорошее совпадение результатов MMANA-GAL с реальными практическими результатами уже работающих антенн.

Важная задача - изучить программу, для того чтобы правильно пользоваться ее возможностями, грамотно применять при расчете параметров антенны. Несмотря на то, что в программе приняты серьезные меры, позволяющие свести до минимума некорректные действия человека, главное - сделать компьютерную модель без ошибок. Для задания рамочной антенны в программе необходимо выбрать из диапазона рабочих частот 500 МГц - 1 ГГц резонансную частоту. По формуле $\lambda = c/f$ рассчитать длину волны, периметр рамки антенны, чтобы потом на основании представления о конструкции

антенны сделать правильное описание проводов. В методе моментов любая антенна представлена как набор проводников. Необходимо составить таблицу, каждая строка в этой таблице – описание одного провода путем задания координат в трехмерном пространстве его начала и конца. Ограничений по взаимному расположению проводов нет. Это значит, что любая конфигурация проводников будет рассчитана (максимальное число проводников 512). Вводятся также и другие составляющие конструкции антенны (радиус сечения, материал) для создания в программе расчета характеристик одноэлементной, двухэлементной и трехэлементной рамочной антенны. В результате создаются шаблоны (таблицы с координатами начал и концов проводов), на основании которых программа показывает внешний вид антенн (см.рис. 11-14).

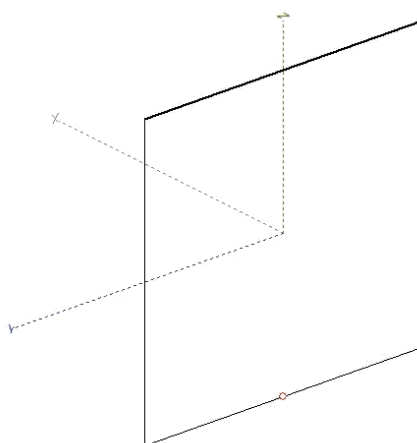


Рис.11. Вид одноэлементной рамочной антенны в программе MMANA-GAL.

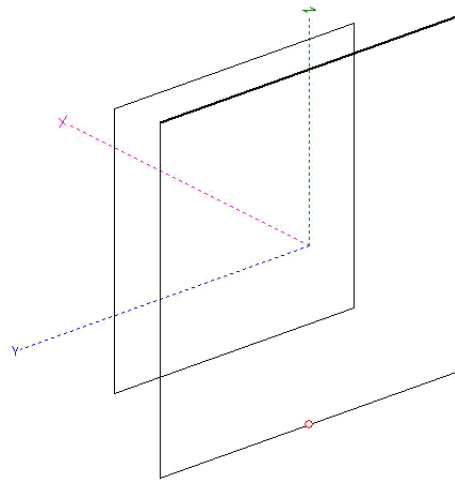


Рис.12. Вид директорной рамочной антенны в программе MMANA-GAL.

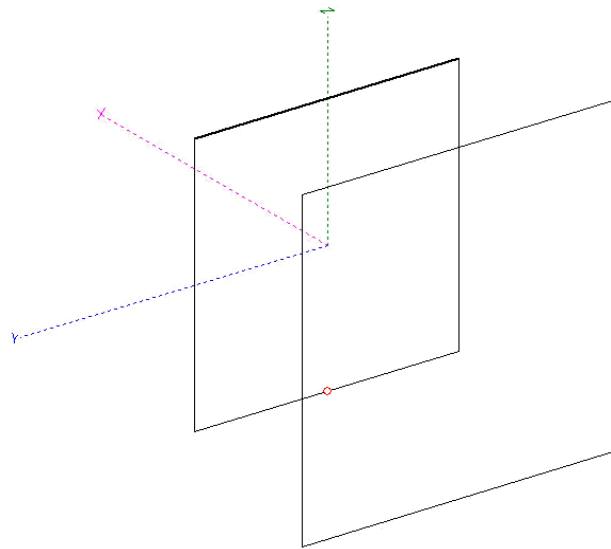


Рис.13. Вид рефлекторной рамочной антенны в программе MMANA-GAL.

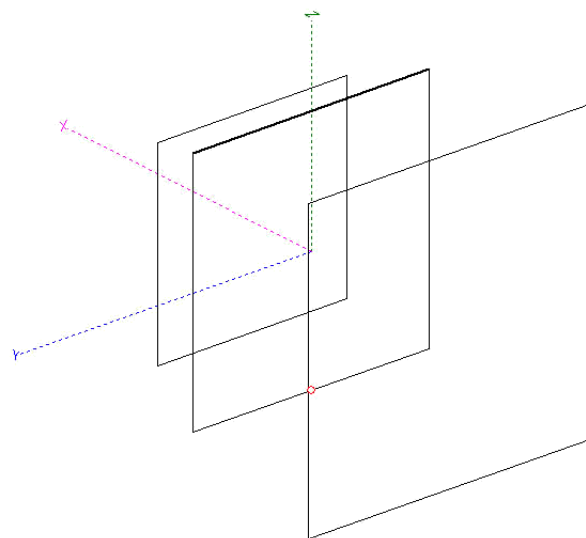


Рис.14. Вид трехэлементной рамочной антенны в программе MMANA-GAL.

4. ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ

Для сравнения и анализа получившихся результатов расчета и эксперимента была модернизирована программа визуализации в среде MathCad таким образом, чтобы она производила обработку файлов с данными, получаемыми в программе MMANA-GAL, и затем отображала экспериментальную и расчетную диаграммы направленности на едином графике.

Пример такого отображения представлен на рисунке 15.

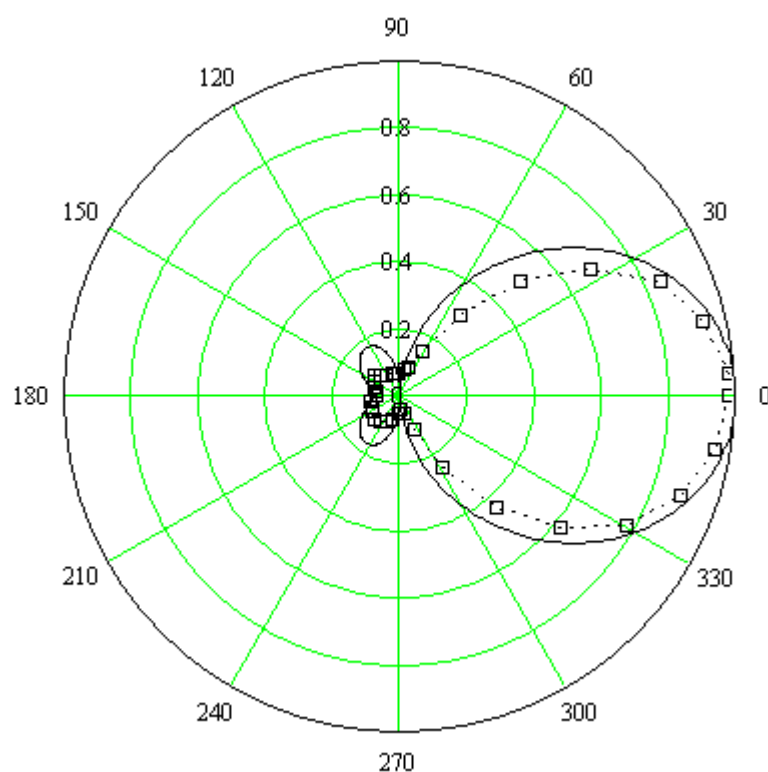


Рис.15. Сравнительный график экспериментальной и расчётной диаграмм направленности.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Выбрать (в соответствии с указанием преподавателя) и установить исследуемую одноэлементную рамочную антенну на лабораторном стенде.

2. Включить компьютер, генератор сигналов Г4-37А. На генераторе установить рабочую частоту, равную резонансной частоте исследуемой антенны. (Полная длина рамки равна резонансной длине волны.)

Расчетная часть лабораторной работы.

3. Открыть на рабочем столе компьютера программу MMANA-GAL.

4. Открыть файл с шаблоном параметров для антенны соответствующего типа: Файл -> Открыть ->

C:\LABW#2\ramka1.maa - для одноэлементной рамочной антенны

ramka2dir.maa - для директорной рамочной антенны

ramka2ref.maa - для рефлекторной рамочной антенны

ramka3.maa - для трёхэлементной рамочной антенны

5. В открывшемся окне «Геометрия» задать рабочую частоту антенны, исходя из того, что полная длина рамки равна рабочей длине волны.

6. Изменить значения в таблице проводов, в соответствии с размерами выбранной антенны. (Антенна представлена в виде набора проводников, а каждая строка таблицы - это описание одного провода в трехмерном пространстве X_1, Y_1, Z_1 - начало проводника, X_2, Y_2, Z_2 -конец. Рамка лежит в плоскости YOZ. Ноль системы координат – в центре рамки, поэтому при длине провода (стороны рамки) L задаётся, например, $Y_1 = -L/2$; $Y_2 = +L/2$. Координата X – это расстояние между рамками в двух- и трёхэлементной антеннах; для директора берётся с плюсом, для рефлектора – с минусом. *Важно:* после каждого ввода числового значения на клавиатуре нажать «Enter».)

7. Нажать кнопку «Вычисление», чтобы перейти в соответствующую вкладку.

8. Указать в графе «Частота» значение рабочей частоты антенны.
9. Ниже в окошке «Земля» выбрать пункт «Свободное пространство».
10. Слева, внизу таблицы нажать кнопку «Пуск» для выполнения расчета.
11. Нажать кнопку «Вид», чтобы увидеть внешний вид антенны в трехмерном пространстве и распределение токов в ней.
12. Нажать кнопку «Диаграмма направленности». При этом на экране отображается ДН антенны. Выбрать латинскую букву Н (Horizontal) для отображения графика диаграммы в горизонтальной плоскости.
13. Нажать «Файл», выбрать «Создать таблицу углы/усиления».

Параметры таблицы "Углы/Усиление"

	Старт (градусы)	Шаг (градусы)	Шагов
Азимут	0	1	361
Зенит	90	1	1

Записать в папку под именем:

- C:\LABW#2\ramka1.csv - для одноэлементной рамочной антенны
 ramka2dir.csv - для директорной рамочной антенны
 ramka2ref.csv - для рефлекторной рамочной антенны
 ramka3.csv - для трёхэлементной рамочной антенны

Экспериментальная часть лабораторной работы.

14. Открыть программу COOL (выбрав соответствующий значок на рабочем столе компьютера)
15. В открывшемся окне последовательно нажать кнопки File->New->SampleRate=1600;Channels=Mono; Resolution=16-bit->Ok.
16. Записать сигнал, принимаемый исследуемой антенной при трёх полных оборотах антенны вокруг своей оси (скорость вращения платформы равна 30 град/сек.) Для этого включить на платформе тумблер автоматического вращения антенны и одновременно в окне программы COOL нажать кнопку Record (левый нижний угол COOL).

17. Дождаться выполнения трех полных оборотов платформы с установленной антенной, в окне программы COOL нажать кнопку Stop и выключить тумблер вращения.

18. Сохранить полученные результаты. Для этого выделить мышкой область на экране: три лепестка, начиная с нуля перед более высоким лепестком (если лепестки разной высоты), и заканчивая нулем. В программе выбрать File->Save Selection->Directories: C:\LabW#2\ rp.txt.

19. Закрывать программу COOL.

20. На рабочем столе открыть программу «gr.exe», производящую обработку полученных данных, дождаться завершения обработки (должна появиться надпись «Выполнение завершено»), закрыть программу.

Просмотр и сохранение результатов.

21. На рабочем столе открыть программу MahtCAD.

22. В программе выбрать File->Open->C:\LabW#2\рамка.mcd .

23. В файле после расчётных формул будет построена диаграмма направленности в полярных координатах (самый нижний график), которую нужно скопировать в Microsoft Word и сохранить файл (в этот файл далее будут добавляться диаграммы направленности других рамочных антенн).

24. Закрывать файл в MahtCAD.

25. Для последующего измерения диаграмм направленности двухэлементных директорной и рефлекторной антенн определить наилучшие геометрические параметры конструкции антенны: размеры рамки пассивного элемента (директора или рефлектора) и расстояние от активного элемента до пассивного. Для этого заполнить таблицу размеров элементов конструкции антенны (таблица 3). В строке указаны размеры стороны рамки (L, см); в столбце указано расстояние от активного элемента до пассивного (d, см).

26. Выбрать из набора элементов к работе три директора – три замкнутые рамки с длиной стороны *меньше*, чем у активного элемента. Поочерёдно

устанавливая их на диэлектрический держатель, поперечный к плоскости активного элемента, проделать следующие действия.

27. При помощи встроенного в лабораторный стенд вольтметра, в ручном режиме (Переключатель вращения на поворотной платформе в положении «ВЫКЛ») вращая платформу с установленной антенной зафиксировать на вольтметре максимальное значение принимаемого сигнала от излучающей антенны генератора. Максимальное значение достигается при направлении исследуемой антенны рамкой директора на излучающую антенну (фиксируется уровень сигнала, соответствующий переднему основному лепестку на диаграмме направленности). Повернуть антенну на 180 градусов и найти локальный максимум (задний лепесток на диаграмме направленности). Полученные два значения записать в виде дроби $U_{\text{ВПЕРЕД}} / U_{\text{НАЗАД}}$ в ячейку таблицы и, поделив числитель на знаменатель, получить результат. Из всех полученных значений выбрать наибольшее – ему и будут соответствовать оптимальные размеры антенны $L_{\text{дир.}}$ и $d_{\text{дир.}}$.

Таблица 3. Размеры элементов конструкции антенны.

L, cm \ d, cm	L1 дир.	L2 дир.	L3 дир.	L4 реф.	L5 реф.	L6 реф.
2.0						
3.0						
4.0						
5.0						
6.0						

28. Выбрать из набора элементов к работе три рефлектора – три замкнутые рамки с длиной стороны *больше*, чем у активного элемента. Поочерёдно устанавливая их на диэлектрический держатель, поперечный к плоскости активного элемента, заполнить вторую половину таблицы. При этом максимальное значение (основной лепесток) достигается, когда рефлектор находится позади от активного элемента по отношению к направлению на излучающую антенну, а локальный максимум заднего лепестка достигается, когда рефлектор расположен впереди активного элемента. (То есть и здесь числитель должен быть больше знаменателя.) Из всех полученных значений выбрать наибольшее – ему и будут соответствовать оптимальные размеры антенны $L_{\text{РЕФ}}$ и $d_{\text{РЕФ}}$.

29. Рассчитать и измерить диаграмму направленности двухэлементной директорной рамочной антенны с определёнными по таблице размерами $L_{\text{ДИР}}$ и $d_{\text{ДИР}}$, для чего повторить пункты с 3 по 24. *Указание:* в пункте 6 при заполнении таблицы проводов к значениям размеров активной рамки добавляются еще значения размеров рамок пассивных элементов по осям Y и Z и расстояние между элементами антенны по оси X.

30. Рассчитать и измерить диаграмму направленности двухэлементной рефлекторной рамочной антенны с определёнными по таблице размерами $L_{\text{РЕФ}}$ и $d_{\text{РЕФ}}$, для чего повторить пункты с 3 по 24.

31. Рассчитать и измерить диаграмму направленности трёхэлементной рамочной антенны, для чего повторить пункты с 3 по 24. При этом использовать в качестве геометрических параметров трёхэлементной антенны $L_{\text{ДИР}}$, $d_{\text{ДИР}}$, $L_{\text{РЕФ}}$, $d_{\text{РЕФ}}$, определённые по таблице 3 для двухэлементных антенн.

32. Распечатать на принтере Word'овский файл с диаграммами направленности всех четырёх исследованных антенн.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

В лаборатории СВЧ - устройств и антенн кафедры радиофизики в соответствии с разработанной инструкцией, представленной в предыдущем разделе, было проведено контрольное выполнение лабораторной работы по изучению конструкции и измерению диаграмм направленности рамочных антенн. Были проделаны расчеты и экспериментальные измерения на лабораторном оборудовании.

В качестве активной была выбрана рамка с длиной стороны 10 см. Полная длина рамки $10 \times 4 = 40$ см, что соответствует рабочей (резонансной) длине волны $\lambda = 40$ см. Тогда резонансная частота $F = c/\lambda = 750$ МГц.

Оптимальные размеры рамки-директора, рамки-рефлектора и расстояния активная рамка - директор и активная рамка - рефлектор были определены в процессе заполнения таблицы 4. В качестве директора исследовались три рамки с длиной стороны меньше, чем у активного элемента, а в качестве рефлектора - три рамки с длиной стороны больше, чем у активного элемента.

Таблица 4. Определение оптимальных размеров рамочных антенн.

L cm \ d cm	директоры			рефлекторы		
	7	8	9	11	12,5	15,5
2,0	$\frac{3,0}{2,9} = 1,03$	$\frac{2,8}{2,2} = 1,27$	$\frac{2,6}{1,8} = 1,44$			
3,0	$\frac{3,0}{2,8} = 1,07$	$\frac{3,0}{2,4} = 1,25$	$\frac{3,0}{2,2} = 1,36$			
4,0	$\frac{3,4}{2,8} = 1,21$	$\frac{3,4}{2,4} = 1,41$	$\frac{3,2}{2,4} = 1,33$	$\frac{2,2}{1,6} = 1,37$	$\frac{5,0}{2,4} = 2,08$	$\frac{4,4}{3,1} = 1,41$
5,0				$\frac{2,8}{2,2} = 1,27$	$\frac{5,1}{1,7} = 3,0$	$\frac{4,4}{2,8} = 1,57$
6,0				$\frac{3,4}{2,6} = 1,30$	$\frac{5,2}{1,2} = 4,33$	$\frac{4,4}{2,6} = 1,69$

По максимуму отношения сигналов вперед/назад оптимальные размеры для директорной антенны: длина стороны директра $L=9$ см и расстояние до активного элемента $d=2$ см. Для рефлекторной антенны длина стороны рефлектора $L=12,5$ см и расстояние до активного элемента $d=6$ см.

Для расчёта диаграмм направленности исследуемых антенн в программе MMANA-GAL были внесены изменения в созданные ранее шаблоны с покоординатным заданием всех прямолинейных отрезков антенн. Таблицы с заданными значениями приведены ниже.

Таблица 5. Задание одноэлементной рамочной антенны
в программе MMANA-GAL

Активная рамка	$X_{нач.}$	$Y_{нач.}$	$Z_{нач.}$	$X_{кон.}$	$Y_{кон.}$	$Z_{кон.}$
	0.0	-0.05	0.05	0.0	0.05	0.05
	0.0	0.05	0.05	0.0	0.05	-0.05
	0.0	0.05	-0.05	0.0	-0.05	-0.05
	0.0	-0.05	-0.05	0.0	-0.05	0.05

Таблица 6. Задание директорной рамочной антенны
в программе MMANA-GAL

	$X_{нач.}$	$Y_{нач.}$	$Z_{нач.}$	$X_{кон.}$	$Y_{кон.}$	$Z_{кон.}$
Активная рамка	0.0	-0.05	0.05	0.0	0.05	0.05
	0.0	0.05	0.05	0.0	0.05	-0.05
	0.0	0.05	-0.05	0.0	-0.05	-0.05
	0.0	-0.05	-0.05	0.0	-0.05	0.05
Директор	0.02	-0.045	0.045	0.02	0.045	0.045
	0.02	0.045	0.045	0.02	0.045	-0.045
	0.02	0.045	-0.045	0.02	-0.045	-0.045
	0.02	-0.045	-0.045	0.02	-0.045	0.045

Таблица 7. Задание рефлекторной рамочной антенны
в программе MMANA-GAL

	$X_{нач.}$	$Y_{нач.}$	$Z_{нач.}$	$X_{кон.}$	$Y_{кон.}$	$Z_{кон.}$
Активная рамка	0.0	-0.05	0.05	0.0	0.05	0.05
	0.0	0.05	0.05	0.0	0.05	-0.05
	0.0	0.05	-0.05	0.0	-0.05	-0.05
	0.0	-0.05	-0.05	0.0	-0.05	0.05

Рефлектор	-0.06	-0.0625	0.0625	-0.06	0.0625	0.0625
	-0.06	0.0625	0.0625	-0.06	0.0625	-0.0625
	-0.06	0.0625	-0.0625	-0.06	-0.0625	-0.0625
	-0.06	-0.0625	-0.0625	-0.06	-0.0625	0.0625

Таблица 8. Задание трёхэлементной рамочной антенны
в программе MMANA-GAL

	$X_{нач.}$	$Y_{нач.}$	$Z_{нач.}$	$X_{кон.}$	$Y_{кон.}$	$Z_{кон.}$
Активная рамка	0.0	-0.05	0.05	0.0	0.05	0.05
	0.0	0.05	0.05	0.0	0.05	-0.05
	0.0	0.05	-0.05	0.0	-0.05	-0.05
	0.0	-0.05	-0.05	0.0	-0.05	0.05
Директор	0.02	-0.045	0.045	0.02	0.045	0.045
	0.02	0.045	0.045	0.02	0.045	-0.045
	0.02	0.045	-0.045	0.02	-0.045	-0.045
	0.02	-0.045	-0.045	0.02	-0.045	0.045
Рефлектор	-0.06	-0.0625	0.0625	-0.06	0.0625	0.0625
	-0.06	0.0625	0.0625	-0.06	0.0625	-0.0625
	-0.06	0.0625	-0.0625	-0.06	-0.0625	-0.0625
	-0.06	-0.0625	-0.0625	-0.06	-0.0625	0.0625

На рисунках 16,17,18,19 представлены на одном графике диаграммы направленности рамочной антенны: рассчитанные в программе MMANA-GAL (сплошная линия) и экспериментально измеренные (пунктирная линия). Наблюдается весьма удовлетворительное совпадение полученных зависимостей.

Видно, что форма диаграммы направленности зависит от типа и конструкции антенны. Диаграмма направленности одноэлементной рамочной антенны (рис.16) в горизонтальной плоскости представляет собой восьмерку, т.е. передний (главный) лепесток равен заднему. Такая антенна принимает (излучает) радиоволны не только в области главного лепестка, но и столь же интенсивно - в области заднего. Это снижает помехоустойчивость антенны, создает помехи другим радиосистемам, поэтому стремятся к уменьшению уровня заднего излучения, стремятся сделать антенну направленной. Это достигается установкой дополнительных элементов (директора и рефлектора) в конструкцию антенны. Как видно на диаграммах направленности двух- и трёхэлементной антенн (рис. 17,18,19), задний лепесток становится меньше.

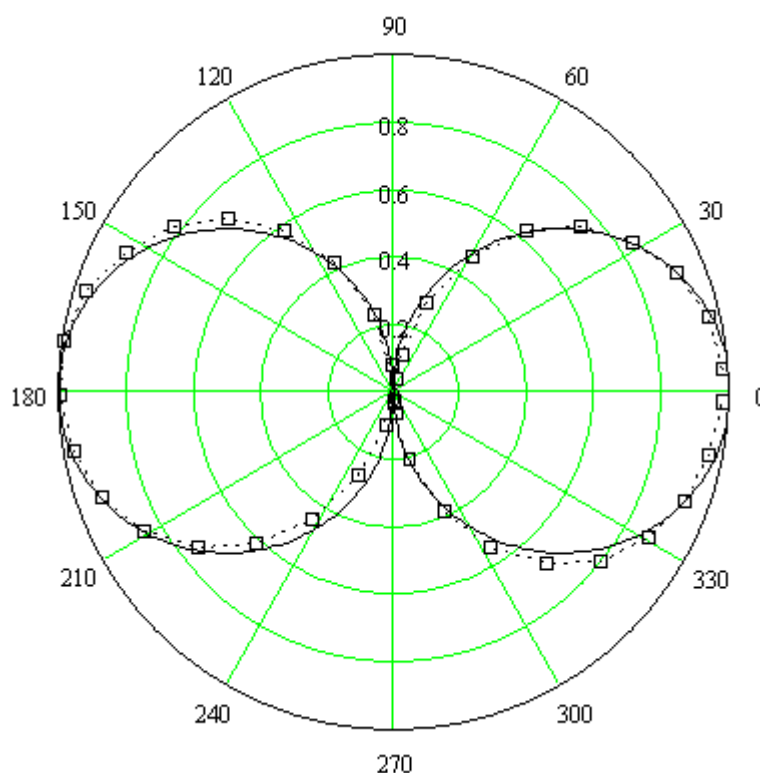


Рис. 16. ДН одноэлементной рамочной антенны.

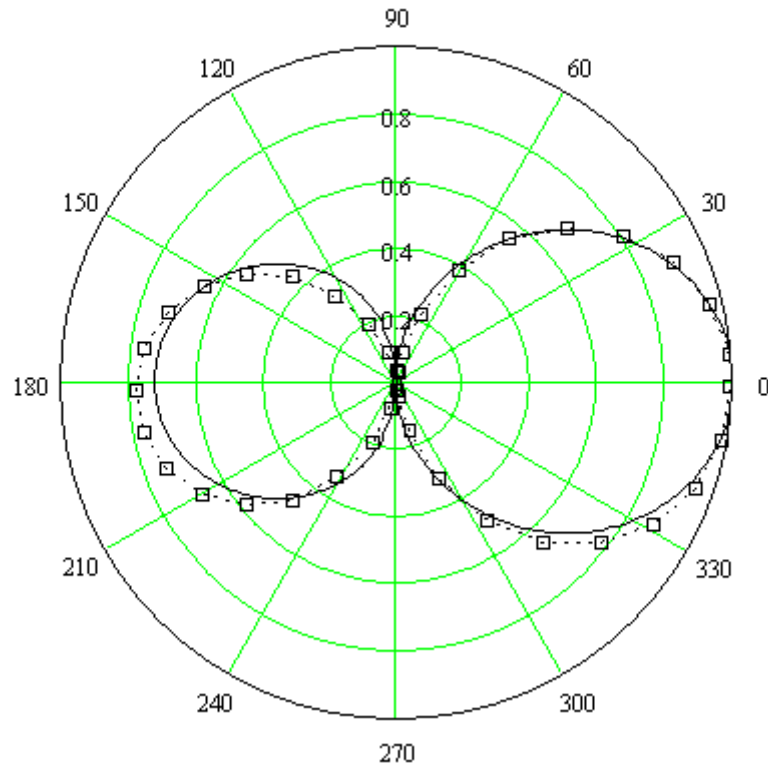


Рис.17. ДН двухэлементной директорной антенны.

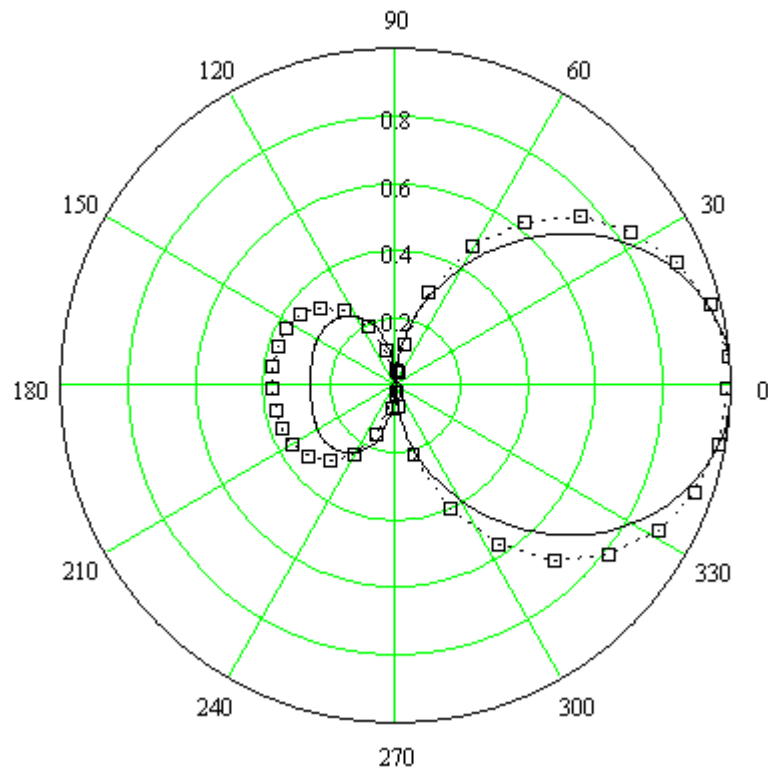


Рис.18. ДН двухэлементной рефлекторной антенны.

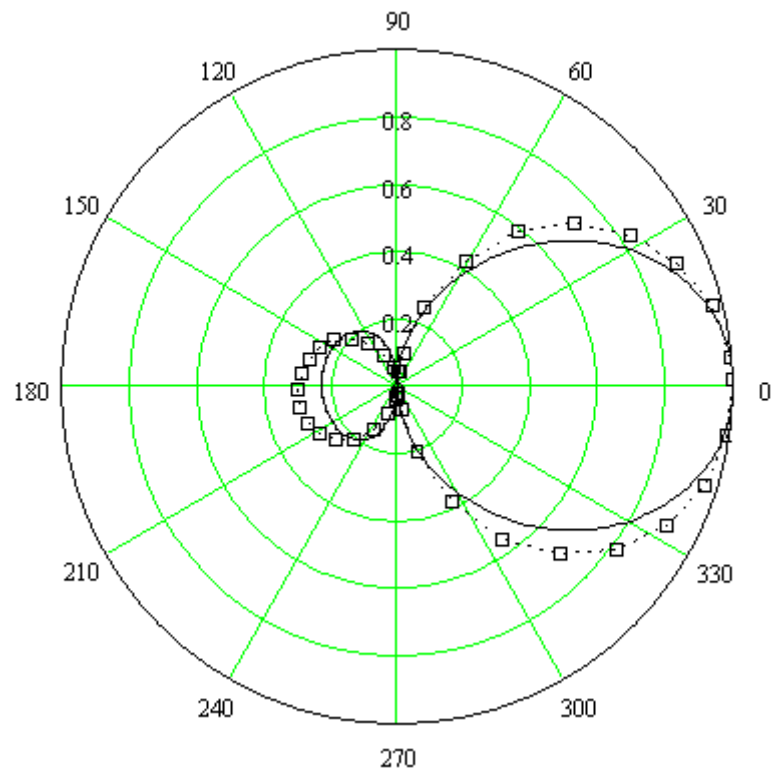


Рис. 19. ДН трёхэлементной рамочной антенны.

7. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ НАСТРОЙКА ТРЁХЭЛЕМЕНТНОЙ РАМОЧНОЙ АНТЕННЫ

В ряде случаев при выборе геометрических размеров трёхэлементных антенн – как рамочной, так и вибраторной – берутся размеры пассивных элементов и расстояния от них до активного элемента как для соответствующих двухэлементных директорной и рефлекторной антенн. А оптимальные параметры двухэлементных антенн могут быть достаточно легко определены в процессе их экспериментальной настройки. Такой подход используется в лабораторной работе «Исследование диаграмм направленности вибраторных антенн» [4], и так же предлагается поступать в описываемой здесь лабораторной работе.

Рассмотрим теперь, можно ли дополнительной настройкой трёхэлементной антенны хоть сколько-нибудь заметно улучшить её параметры. Отметим, что под такой настройкой разумно понимать только изменение расстояний между элементами. Размеры рамок мы уже менять не будем.

Итак, в трёхэлементной антенне, размеры которой были определены в разделе 6, будем сначала менять расстояние между директором и активным элементом, по-прежнему измеряя при этом отношение уровней сигналов, принимаемых передним (главным) и задним лепестками диаграммы направленности антенны $U_{\text{ВПЕРЕД}}/U_{\text{НАЗАД}}$. Результаты таких измерений приведены в таблице 9.

Таблица 9. Настройка трёхэлементной антенны путём изменения расстояния активный элемент - директор.

$d_{\text{акт-дир}}$	1 см	1,5 см	2 см	2,5 см	3 см
$\frac{U_{\text{вперед}}}{U_{\text{назад}}}$	$\frac{3,8}{0,5} = 7,6$	$\frac{4,2}{0,5} = 8,4$	$\frac{4,5}{0,5} = 9,0$	$\frac{4,5}{0,5} = 9,0$	$\frac{4,8}{0,6} = 8,0$

По полученным данным построим график (см. рис.20).

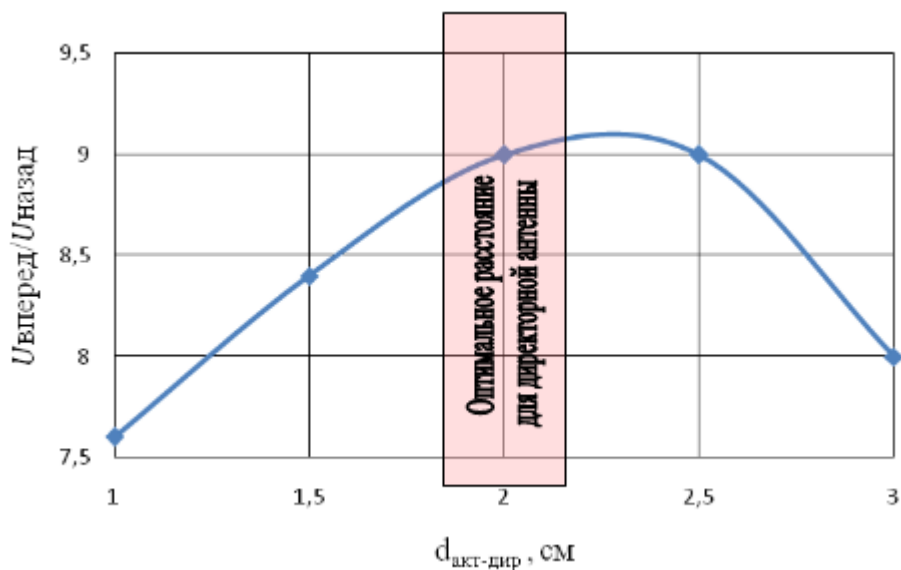


Рис.20. График зависимости отношения уровня прямого приема к обратному от изменения расстояния активный элемент - директор в трёхэлементной антенне.

Как видно из полученной зависимости, оптимум, полученный для двухэлементной антенны, соответствует оптимуму для трёхэлементной (при точности шага изменения расстояния 0,5 см). Таким образом, улучшения направленности антенны не произошло, и дополнительная настройка не является целесообразной.

Теперь произведём аналогичную подстройку в трёхэлементной антенне, меняя расстояние между рефлектором и активным элементом и измеряя отношение уровней сигналов, принимаемых передним и задним лепестками диаграммы направленности антенны $U_{\text{ВПЕРЕД}}/U_{\text{НАЗАД}}$. Результаты этих измерений приведены в таблице 10.

Таблица 10. Настройка трёхэлементной антенны путём изменения расстояния активный элемент - рефлектор.

$d_{\text{акт-реф}}$	5 см	5,5 см	6 см	6,5 см	7 см	7,5 см	8 см
$\frac{U_{\text{вперед}}}{U_{\text{назад}}}$	$\frac{4}{1,2} = 3,3$	$\frac{4,4}{1} = 4,4$	$\frac{4,5}{0,8} = 5,63$	$\frac{4,4}{0,6} = 7,33$	$\frac{4,5}{0,5} = 9,0$	$\frac{4,6}{0,5} = 9,2$	$\frac{4,4}{0,4} = 11,0$

По полученным данным построим график (см. рис.21).

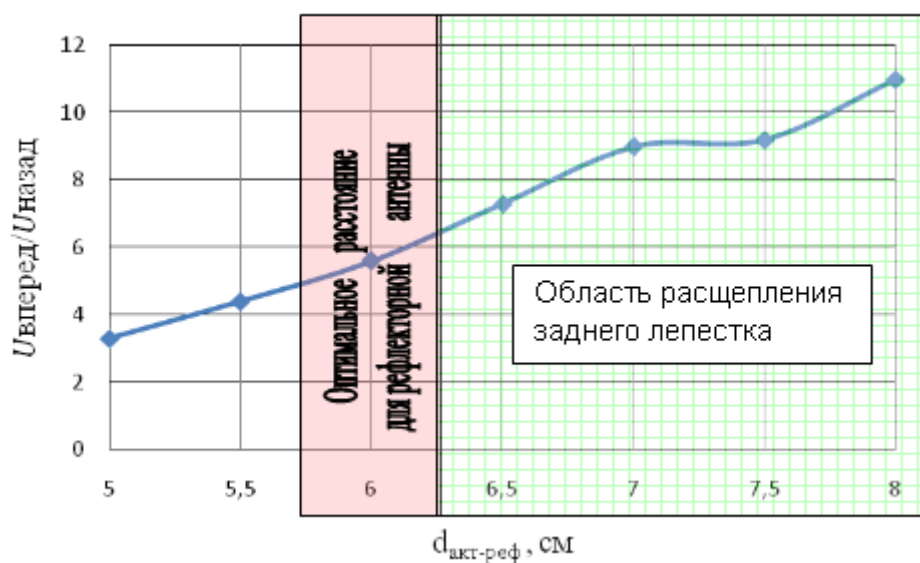


Рис.21. График зависимости отношения уровня прямого приема к обратному от изменения расстояния активный элемент-рефлектор в трёхэлементной антенне.

Здесь мы видим более интересную ситуацию – рост рассматриваемого отношения (а значит уменьшение заднего лепестка) в пределах исследованного диапазона изменения расстояния между активным элементом и рефлектором. Однако полученный результат далеко не так однозначен, как может показаться на первый взгляд.

Дело в том, что при увеличении расстояния между активной рамкой и рефлектором с какого-то момента задний лепесток диаграммы направленности начинает расщепляться на два симметричных лепестка, имеющие максимумы под некоторым углом к оси антенны (направлению вперёд-назад). Самое начало такого расщепления можно заметить уже на рис. 18 ($d_{\text{акт-реф}} = 6 \text{ см}$), а более явно представлено на рис. 22 ($d_{\text{акт-реф}} = 7 \text{ см}$).

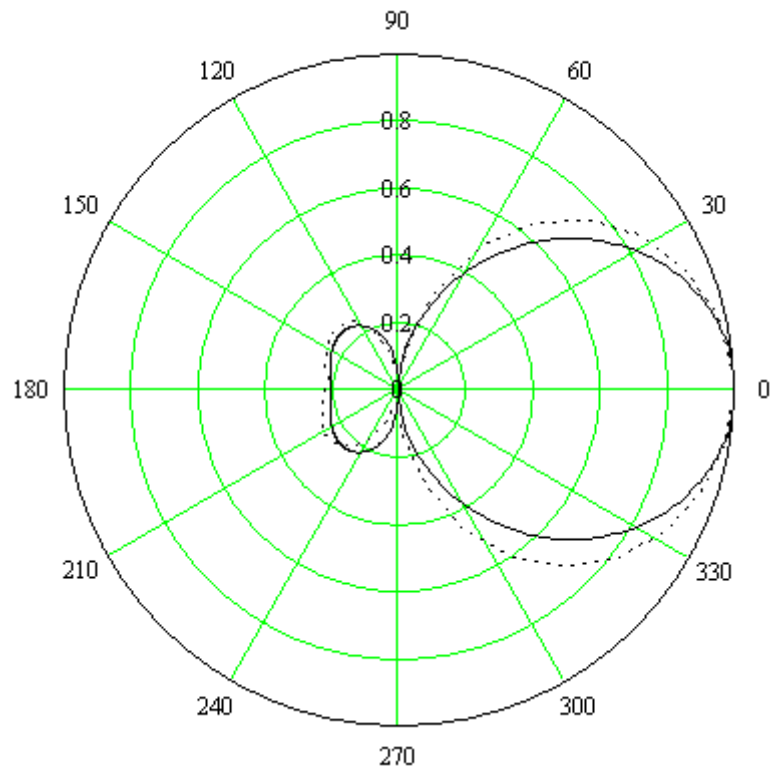


Рис.22. Задний лепесток явно разбивается на два, начиная с расстояния до рефлектора 7 см для двухэлементной антенны.

При этом увеличение отношения уровней излучения вперёд-назад происходит за счёт образования провала посередине между двумя задними лепестками. То есть форма диаграммы направленности усложняется, и к ней уже нельзя применять предложенную ранее методику оптимизации.

Рисунки 18 и 22, соответствующие началу расщепления и появлению заметного минимума между лепестками, приведены для двухэлементной рефлекторной антенны. Добавление третьего элемента (директора) приводит к дополнительному уменьшению заднего лепестка при сохранении его расщеплённой формы (см. рис.23).

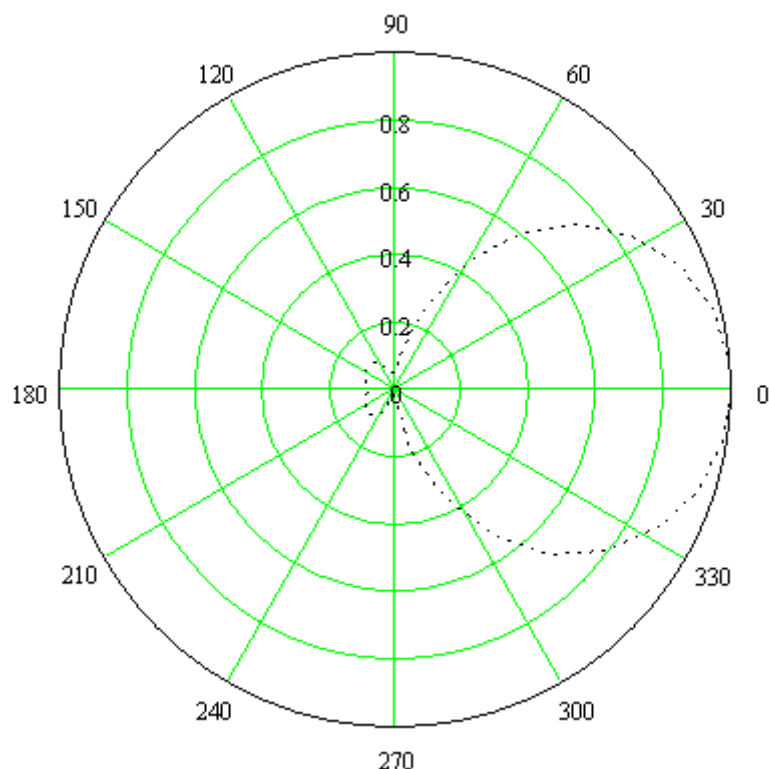


Рис.23. Задний лепесток разбивается на два: расстояние до рефлектора 8 см для трёхэлементной антенны

Однако такое уменьшение неоднозначно для разных конкретных реализаций трёхэлементных антенн. При значительном уменьшении может произойти рост КНД, а при незначительном – уменьшение КНД, поскольку побочное излучение уходит уже по двум лепесткам вместо одного. Однако в любом случае оказывается некорректной описанная ранее методика оптимизации антенн по максимуму отношения уровня прямого сигнала к обратному.

Исследование изменения формы заднего лепестка и его расщепления само по себе представляет определённый интерес. Но поскольку предложенная лабораторная работа является достаточно объёмной, добавление к ней такой части не является целесообразным. Поэтому интервал выбора расстояний между активным элементом и рефлектором ограничиваются таким образом (таблица 3), чтобы не попадать в область расщепления заднего лепестка. А вне этой области дополнительная настройка параметров трёхэлементной антенны

не даёт дополнительного улучшения по сравнению с параметрами, оптимальными для двухэлементной рефлекторной антенны.

Таким образом, на основе исследований по дополнительной настройке трёхэлементной рамочной антенны можно сделать вывод, что улучшения формы диаграммы направленности не происходит. Следовательно, при сборке трёхэлементной рамочной антенны нужно брать размеры элементов и расстояния между ними, полученные при оптимизации директорной и рефлекторной двухэлементных рамочных антенн, что и предлагается в порядке выполнения лабораторной работы (раздел 5).

8. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторных работ по исследованию характеристик рамочных антенн применяется лабораторное оборудование состоящее из антенн, генераторов ВЧ сигналов, усилителей, измерительных приборов, работающих от напряжения 220В с частотой 50 Гц. В данной работе антенны исследуются в диапазоне частот от 500 МГц до 1 ГГц, т.е. есть возможность влияния опасных, вредных для здоровья человека факторов, как то: влияние на организм человека электромагнитного излучения сверхвысокой частоты, поражение электрическим током.

Длительное систематическое воздействие на организм человека электромагнитного поля, особенно СВЧ диапазона, при интенсивности, выше допустимой, может привести к функциональным изменениям в нем. Воздействие может проявляться в различной форме - от незначительных изменений в некоторых системах организма до серьезных нарушений. Поглощение организмом человека энергии ЭМИ (электромагнитного излучения) вызывает тепловой эффект. Начиная с определенного предела организм человека не справляется с отводом тепла от отдельных органов и их температура повышается. В связи с этим воздействие ЭМИ особенно опасно для тканей и органов с недостаточно интенсивным кровообращением. Такое воздействие вызывает обратимые, а также необратимые изменения в организме: торможение рефлексов, понижение кровяного давления (гипотония), замедление сокращений сердца (брадикардия), изменение состава крови [8]. Субъективные ощущения выражаются в жалобах на частую головную боль, сонливость или бессонницу, повышенную утомляемость, ухудшение зрения. Облучение глаз ЭМИ СВЧ диапазона ведет к помутнению хрусталика - катаракте [7].

Функциональные нарушения, вызванные действием ЭМИ, способны в организме накапливаться, но нарушения являются обратимыми, если принять соответствующие меры, улучшить условия труда.

Воздействие ЭМИ радиочастотного диапазона определяется продолжительностью воздействия, частотой излучения, размером облучаемой поверхности тела, индивидуальными особенностями человека, плотностью потока энергии [7].

Энергию электромагнитной волны принято характеризовать плотностью потока энергии (ППЭ) – энергией, переносимой электромагнитной волной в единицу времени через единичную площадь. Единицей измерения ППЭ является Вт/м². В санитарно-эпидемиологических правилах и нормативах СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» установлена величина предельно допустимой плотности потока. Ее установили исходя из допустимого значения энергетической нагрузки W на организм человека и времени пребывания в зоне облучения. Во всех случаях она не должна превышать 0,1 Вт/ м². Расчет величины ППЭ производится по формуле:

$$\text{ППЭ}=(P_{\text{изл.}}*G)/(4\pi*R^2),$$

где: P_{изл.} - мощность излучения

G - коэффициент усиления антенны

R - расстояние до рабочего места

В этой работе коэффициент усиления антенны G=2

Мощность генератора Г4-37 P_{изл.}=0,1Вт.

Расстояние до рабочего места R=1м.

$$\text{ППЭ}=(0,1*2)/(4*3,14*(1)^2)=0,016 \text{ Вт/ м}^2$$

0,016 Вт/м² - это величина плотности потока энергии от лабораторной установки, которая используется при выполнении данного исследования.

Рассчитаем суммарную величину ППЭ от находящихся в одном помещении источников электромагнитного излучения. Ближайшая к рабочему месту у исследовательской установки антенна (параболическая антенна) расположена на расстоянии трех метров. Коэффициент усиления 100. Мощность подключённого к ней генератора равна 0.01 Вт.

$$\text{ППЭ}=(0.01*100)/(4*3.14*(3)^2)=0.01 \text{ В/ м}^2$$

Итого суммарная величина ППЭ: $0,016 + 0,01 = 0,026 < 0,1$

ППЭ < ППЭ предельно допустимого

Из проведенных расчетов видно, что уровень электромагнитного излучения на рабочем месте соответствует правилам и нормативам техники безопасности и охраны труда.

Соблюдение правил по электробезопасности.

Помещение лаборатории по правилам охраны труда и техники безопасности относится к категории помещений без повышенной опасности. (Это сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха и с изолирующими (например, деревянными) полами, т.е. в которых отсутствуют условия, свойственные помещениям с повышенной опасностью и особо опасным [7]). Батареи отопления закрыты деревянными экранами. Энергообеспечивающая сеть лабораторного оборудования является стандартной 3-х фазной сетью с глухозаземленной нейтралью, напряжением 220В.

Поражение электрическим током человека возможно в случае присоединения корпуса прибора к токоведущим частям при пробое изоляции.

Действие электрического тока на человека носит разносторонний характер. Проходя через организм человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое и биологическое действие. Ток, проходящий через организм, зависит от напряжения прикосновения, под которым оказался пострадавший, и суммарного электрического сопротивления, в которое входит и сопротивление тела человека. Допустимым считается ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от токоведущих частей. При длительности более 10с - 2мА, менее 10с - 6мА. Переменный ток опаснее постоянного. Из возможных путей протекания тока через тело человека (голова-рука, голова-ноги, рука-рука, нога-рука, нога-нога) наиболее опасен тот, при котором поражается головной мозг [8].

Так как используются электрические сети с глухозаземленной нейтралью, то для обеспечения электробезопасности применено защитное зануление.

Зануление - это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановок с глухозаземленной нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности [8].

При замыкании фазного провода на зануленный корпус электропотребителя (рис.24) в цепи тока образуется короткое замыкание (то есть замыкание между фазным и нулевым защитным проводниками). Ток однофазного короткого замыкания вызывает срабатывание максимальной токовой защиты, в результате чего происходит отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. Кроме того, до срабатывания максимальной токовой защиты происходит снижение напряжения поврежденного корпуса относительно земли, что связано с защитным действием повторного заземления нулевого защитного проводника и перераспределением напряжений в сети при протекании тока короткого замыкания.

Зануление обеспечивает защиту от поражения электрическим током при замыкании на корпус за счет ограничения времени прохождения тока через тело человека и за счет снижения напряжения прикосновения. Время срабатывания автоматического защитного отключения не должно превышать 0,4 секунды [8].

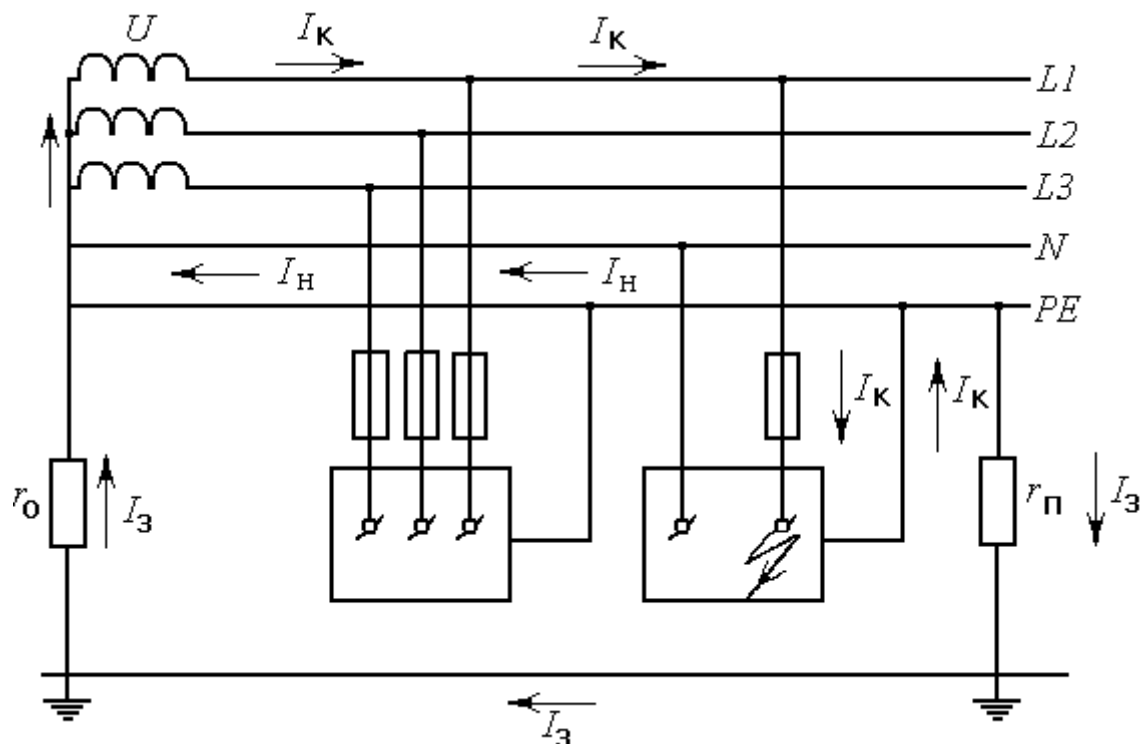


Рис.24. Схема защитного зануления.

r_0 – сопротивление заземления нейтрали обмотки источника тока;

$r_{п}$ – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника;

I_k – ток КЗ;

I_n – часть тока КЗ, протекающего через нулевой защитный проводник;

I_3 – часть тока КЗ, протекающего через землю – корпус электроустановки (электродвигатель, трансформатор и т. п.) [8].

Расчет освещения.

Рациональное освещение в помещении складывается при наличии естественного и искусственного освещения.

Площадь учебной лаборатории составляет 50 м^2 . Применим искусственное освещение. Для данного вида работ нормируемая освещенность составляет 400 Лк , согласно нормам освещенности по СанПиН 2.2.1/1278-03.

Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока, учитывающий световой поток, отраженный от потолка, стен и рабочей поверхности [7].

По методу светового потока определяют световой поток лампы $\Phi_{л}$ (лм) для ламп освещения:

$$\Phi_{л} = \frac{E_{н} S z k}{N_{\eta}} = \frac{400 * 50 * 1.1 * 1.8}{1.1 * 0.4} = 90000 \text{ Лк}$$

где $E_{н}$ - нормированная минимальная освещенность, лм;

S - площадь освещаемого помещения, м²;

z - коэффициент минимальной освещенности, равный отношению $E_{ср}/E_{мин}$, значения которого для ламп накаливания - 1,15; для люминесцентных - 1,1;

K - коэффициент запаса для ламп накаливания - 1,3-1,6; для газоразрядных - 1,4-1,8;

η - коэффициент использования светового потока ламп, зависящий от КПД и кривой распределения силы света светильника, коэффициента отражения потолка ρ_0 и стен ρ_c , высоты подвеса светильников и показателя помещения $i = AB/H_p(A+B)$, где A и B - длина и ширина помещения, а H_p - высота светильников над рабочей поверхностью.

$$i = AB/H_p(A+B) = (5*10)/(3*(5+10)) = 1,1$$

По данному индексу коэффициент отражения ρ составляет 0,4.

Определим требуемое количество светильников по формуле:

$$N = \Phi_{тp} / \Phi_{л} = \frac{90000}{4550} = 19,7$$

В качестве источника искусственного освещения применим светильник типа ЛВО с люминесцентными лампами ЛБ со световым потоком $\Phi_{л}=4550$ Лм, мощностью $P=65$ Вт, напряжением $U=220$ В.

Поскольку у нас получилось не целое число светильников, то округлим их до большего целого числа $N=20$. Рассчитаем полученную освещенность по формуле:

$$E_n = \frac{\Phi_l * N \eta}{S * Z * K} = \frac{4550 * 20 * 0.44}{50 * 1.1 * 1.8} = 404 \text{ Лк}$$

Допускаемое отклонение освещенности от нормированного составляет 10-20% и соответственно для 400Лм будет лежать в пределах 360-480Лм. Как видно из расчетов, мы уложились в этот предел.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предпосылками к выполнению представленной работы являлись имевшаяся в лаборатории СВЧ-устройств и антенн экспериментальная установка для измерения диаграмм направленности и набор элементов для конструирования рамочных антенн различных типов и размеров.

В результате выполнения данной работы были решены следующие задачи.

Создана расчётная часть для выполнения лабораторной работы по измерению диаграмм направленности рамочных антенн. Для этого в программе MMANA-GAL были составлены шаблоны с геометрическими размерами элементов антенн и между отдельными элементами. Данные шаблоны позволяют легко изменять внесённые в них цифры под конкретные размеры исследуемой антенны, собранной из имеющихся элементов и рассчитывать диаграммы этих антенн.

Реализован вывод результатов в форме, удобной для сравнительного анализа экспериментальных и расчётных зависимостей. Для этого были внесены изменения в программу визуализации в среде MathCad таким образом, чтобы она производила обработку файлов с данными, получаемыми в программе MMANA-GAL, и затем отображала экспериментальную и расчётную диаграммы направленности на едином графике.

Составлены методические указания по выполнению данной лабораторной работы.

Проведено контрольное выполнение всех пунктов разработанной лабораторной работы по составленным методическим указаниям.

Таким образом, благодаря добавлению расчётной части к части экспериментальной была создана полноценная лабораторная работа, включающая в себя эксперимент, расчёт, сравнение и анализ результатов.

Разработанная лабораторная работа «Рамочные антенны» со следующего семестра будет включена в лабораторный практикум «Устройства СВЧ и антенны».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Все об антеннах: Справочник / Сост. Назаров В.И. Рыженко В.И. –М.: Оникс, 2006.
- 2) Григоров И.Н. Практические конструкции антенн./ М. Лайт Лтд, 2007.
- 3) Радиоэлектроника: Справочник / Под ред. Куликовского А.А. –М.: Энергия, 1967.
- 4) Акимов В.Г. Утробин О.Б. Шанников Д.В. Излучение и распространение электромагнитных волн: Лабораторный практикум /Л.: Изд-во Гос. техн. ун-т., 1991.
- 5) Никитин В.А. Как добиться хорошей работы телевизора./ М. Изд-во ДОСААФ, 1988.
- 6) Миллер Г. Антенны / Практическое руководство.-СПб.: Наука и Техника, 2012.
- 7) Девисилов В.А. Охрана труда./М.: Изд-во ФОРУМ-ИНФРА-М, 2007.
- 8) Графкина М.В. Охрана труда и производственная безопасность: Учебник – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008.
- 9) К.Р.Малаян, В.В.Монашков. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность и охрана труда. Методические указания для выполнения выпускной квалификационной работы. СПб. Изд-во СПбГПУ, 2005.