

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 13.08.2024 14:49:25

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eab0f754943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

*О.Г. Локтионова*  
« 9 » *авг*



## РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА

Методические указания  
по выполнению лабораторных работ  
для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
по дисциплине «Распространение радиоволн  
и антенно-фидерные устройства»

Курск 2024

УДК 654:004.7

Составители: И.Е. Мухин, Д.С. Коптев

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
заведующий кафедрой космического приборостроения и систем  
связи *В.Г. Андронов*

**Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства:** методические указания по выполнению лабораторной работы / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: И.Е Мухин, Д.С. Коптев. – Курск, 2024. – 48 с.

Методические указания по выполнению лабораторной работы содержат краткие теоретические сведения о характеристиках антенно-фидерных устройств, способах их измерения, задания на выполнение лабораторной работы, а также перечень вопросов для самопроверки изучаемого материала.

Методические указания соответствуют учебному плану по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также рабочей программе дисциплины «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства», заочной формы обучения, а также для студентов других направлений подготовки в области инфокоммуникационных технологий в системе высшего образования.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 09.07.2024. Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 2,79. Уч. изд. л. 2,53. Тираж 100 экз. Заказ. 641. Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Лабораторная работа №1 «Измерение диаграммы направленности симметричного вибратора»

### 1 Цель работы

– изучение устройства симметричного вибратора и измерение диаграммы направленности симметричного вибратора.

### 2 Краткие теоретические сведения

#### 2.1 Функциональная схема установки

В ходе выполнения лабораторных работ исследуется поляризация электромагнитного поля, излучаемого спиральной и турникетной антенной. Для этого собирается схема, в которой одна из указанных антенн является передающей. В качестве приемной антенны в обоих случаях используется симметричный вибратор.

Функциональная схема макета с турникетной антенной приведена на рисунке 1.

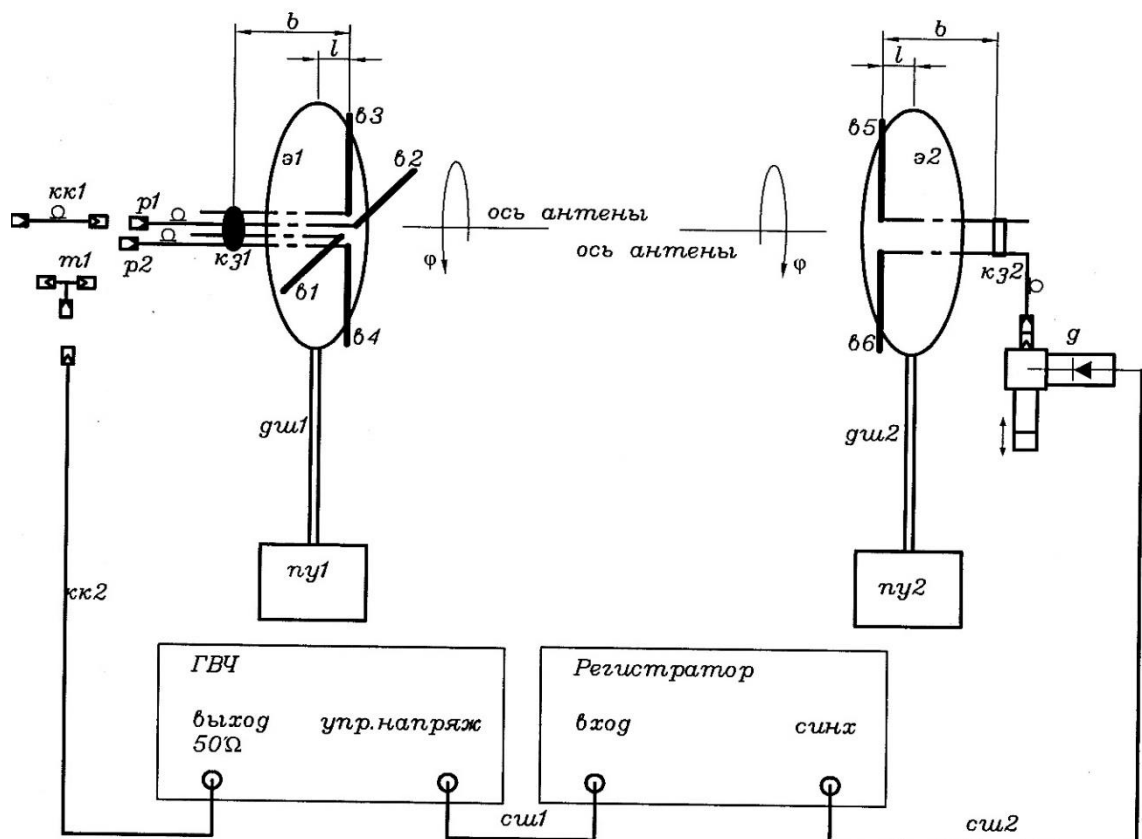


Рисунок 1 – Функциональная схема лабораторной установки

В ее состав входят следующие элементы.

1) Передающая турникетная антенна, представляющая собой комбинацию двух симметричных вибраторов ( $v1, v2$  и  $v3, v4$ ), ориентированных перпендикулярно друг к другу. Для создания однонаправленного излучения в антенне используется плоский экран  $э1$  в виде круглого диска. Конструктивно антенна связана с симметрирующим и согласующим устройством с короткозамыкателем  $кз1$ . Каждый симметричный вибратор подключается к внешним устройствам с помощью отрезка коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом, заканчивающегося разъемами  $p1, p2$  типа СР50-164ФВ. Настройка антенны осуществляется путем изменения размеров  $b$  и  $l$  (рисунок 1). Конструкция антенны допускает ее вращение вокруг оси симметрии (угол  $\varphi$ ).

2) Приемная антенна - симметричный вибратор  $v5, v6$  с плоским экраном  $э2$  в виде круглого диска для создания однонаправленного излучения. Как и передающая эта антенна конструктивно связана с симметрирующим и согласующим устройством с короткозамыкателем  $кз2$ , настраивается путем изменения размеров  $b$  и  $l$  и допускает вращение вокруг оси симметрии (угол  $\varphi$  на рисунке 1).

3) Два диэлектрические штанги  $дш1$  и  $дш2$ , на которых крепятся приемная и передающая антенны.

4) Два поворотных устройства  $пу1$  и  $пу2$  для регулировки углового положения антенн в горизонтальной плоскости.

5) Отрезок коаксиального кабеля  $кк1$  с волновым сопротивлением 50 Ом, заканчивающегося разъемами типа СР50-164ФВ и СР50-163ФВ.

6) Волноводный тройник  $т1$ .

7) Генератор высокой частоты ГВЧ типа Г4-144 на диапазон (500-1000)МГц, который служит для питания передающей антенны. Подключение его к антенне осуществляется с помощью коаксиального кабеля  $кк2$  с волновым сопротивлением 50 Ом.

8) Детекторная секция  $д$  для измерения уровня принимаемой мощности.

9) Регистратор для измерения и индикации тока детекторной секции.

10) Соединительный шнур  $сш1$  соединяющий детекторную секцию и регистратор.

11) Соединительный шнур *сш2*, по которому синхронизирующий сигнал от регистратора поступает на вход ГВЧ. Все кабели снабжены соответствующими разъемами СР50.

## 2.2 Назначение и органы управления регистратора

Для измерения уровня мощности электромагнитной волны, поступающей на приемную антенну, служит регистратор. Входным сигналом для него является ток детекторного диода, который расположен в детекторной секции. Значение этого тока пропорционально мощности электромагнитной волны, поступающей на приемную антенну.

На рисунке 2 изображена лицевая панель регистратора.



Рисунок 2 – Лицевая панель регистратора

Индикация принимаемого уровня мощности производится цифровым четырехразрядным индикатором. Его показания соответствуют напряжению на выходе усилителя тока детекторного диода. Поскольку детекторный диод работает без смещения, его вольт-амперная характеристика квадратична. Как следствие, показания индикатора пропорциональны уровню принимаемой мощности.

На лицевой панели расположен кнопочный переключатель переключения пределов измерения. Включение соответствующего предела производится простым нажатием соответствующей кнопки.

Ток детекторного диода поступает на регистратор по соединительному кабелю, который подключается к блочному разъему СР-50 с надписью «вход». Второй блочный разъем СР-50 с надписью «синхр» служит для подключения модулирующего сигнала к генератору ВЧ. В качестве такого сигнала используется прямоугольный меандр с частотой 7 кГц.

Включение регистратора производится тумблером «сеть» на лицевой панели. При включении загорается подсветка тумблера.

### 2.3 Назначение и органы управления генератора ВЧ

Генератор ВЧ служит для питания передающих антенн. На рисунке 3 изображена его лицевая панель.

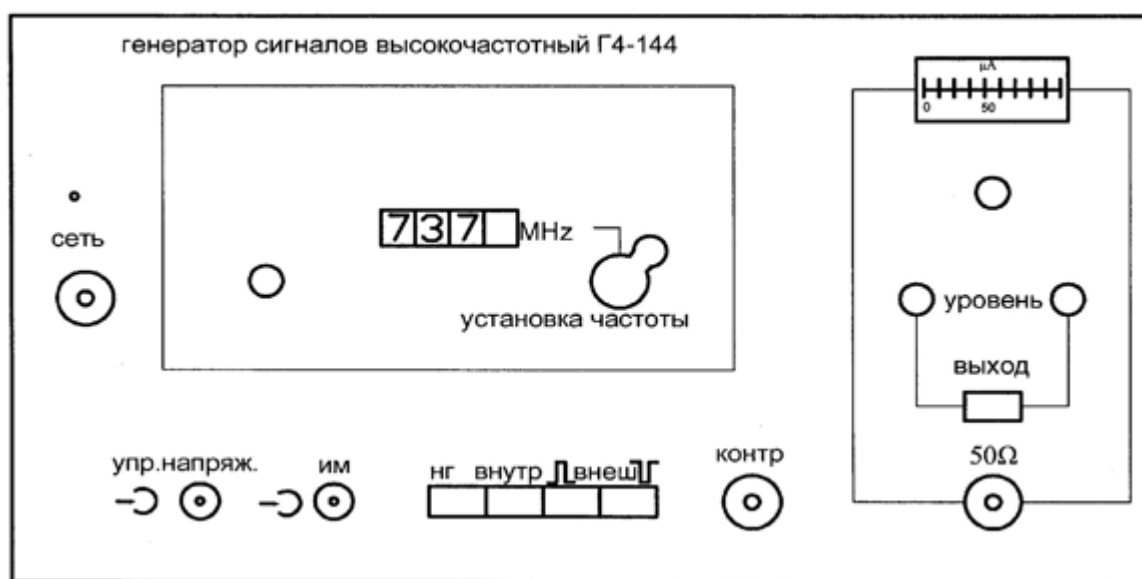


Рисунок 3 – Лицевая панель высокочастотного генератора сигналов

Включение генератора осуществляется тумблером «СЕТЬ». При включении загорается контрольный светодиод, расположенный над этим тумблером.

**Внимание.** Включение генератора без подключенной к выходному разъему 50 Ω нагрузки может привести к его поломке.

В макете генератор используется в режиме внешней модуляции. Для обеспечения этого режима модулирующий сигнал

от регистратора (гнездо «синхр») с помощью соединительного шнура (*сш1*) подключается к гнезду «упр. напряж.» на лицевой панели генератора. При этом должна быть нажата одна из двух кнопок «внеш.» четырехпозиционного переключателя режима работы.

Коаксиальный кабель *кк2*, по которому электромагнитная волна поступает к антенне, подключается к разъему  $50 \Omega$ . Над этим разъемом находится кнопочный переключатель «выход», который служит для временного отключения мощности СВЧ сигнала от выходного разъема. СВЧ сигнал поступает на разъем  $50 \Omega$  только при нажатой кнопке. Выше кнопочного переключателя расположены два потенциометра «уровень», служащие для регулировки плавно и грубо уровня мощности СВЧ. Над ними расположен стрелочный индикатор уровня СВЧ мощности с потенциометром регулировки его чувствительности.

В окне «установка частоты» расположена ручка механического регулятора и окно, в котором отображается текущее значение частоты. В правой части окна расположен потенциометр, с помощью которого можно осуществить плавную подстройку частоты в небольших пределах.

**Внимание.** При наличии мощности на передающей антенне, о чем свидетельствует нажатая кнопка «ВЫХОД» на лицевой панели генератора, запрещается находиться перед передающей антенной. Все действия по изменению геометрии антенн и их настройке проводить только при отсутствии мощности на передающей антенне. Для выключения мощности следует отжать кнопку «ВЫХОД». Строго соблюдать правила электробезопасности. Все работы проводить только под руководством лаборанта или преподавателя!!!

### **3 Перечень ресурсов, необходимых для выполнения работы**

- генератор высокочастотных сигналов (ГВЧ);
- регистратор;
- 2 типа антенно-фидерных устройств.

## 4 Задание на лабораторную работу

### 4.1 Измерение диаграммы направленности симметричного вибратора

Симметричный вибратор используется в качестве приемной антенны. Необходимо измерить характеристики его направленности в двух взаимно ортогональных плоскостях Е и Н.

Выполнить пункты 4.2.1. и 4.2.2.

### 4.2 Проведение измерений при использовании в качестве передающей антенны турникетного излучателя

#### 4.2.1 Проверка необходимых соединений

Проверить наличие следующих соединений:

- коаксиальный разъем «упр. напряж.» на лицевой панели генератора должен быть соединен соединительным шнуром *см1* с гнездом «синх» на лицевой панели регистратора;
- кабель приемного симметричного вибратора должен быть подключен ко входу детекторной секции *д*;
- разъем детекторного диода на детекторной секции *д* должен быть соединен соединительным шнуром *см2* с гнездом «вход» на лицевой панели регистратора;
- выходной разъем генератора  $50 \Omega$  соединен с коаксиальным кабелем *кк2*;
- противоположный разъем кабеля *кк2* должен быть подключен:
  - либо к одному из разъемов симметричных вибраторов, образующих турникетную антенну. В этом случае выбранный симметричный вибратор исследуется как самостоятельная антенна;
  - либо к коаксиальному тройнику *т2*. В этом случае к этому же тройнику должны быть подключены и кабели обоих симметричных вибраторов, образующих турникетную антенну. По указанию преподавателя в разрыв между одним из антенных кабелей и тройником может быть вставлена коаксиальная вставка *кк1*. В этом случае исследуется турникетная антенна.

Ниже описаны операции, выполняемые при исследовании турникетной антенны. Исследование одиночного симметричного вибратора выполняется аналогично.



#### 4.2.2 Предварительная юстировка установки

1. По заданному значению частоты  $F_1=670$  МГц рассчитать длины плеч  $L$  вибраторов приемной и передающей антенны и установить расчетное значение их длины. По заданному значению частоты  $F$  рассчитать длины плеч вибраторов  $L$  по формуле:

$$L = c / (4F) \quad (1)$$

Длину плеча вибратора отсчитывать от основания (рисунок 4). К измеренному значению  $L_1$  следует прибавить длину скрытого в основании участка и вычесть толщину декоративного колпачка.

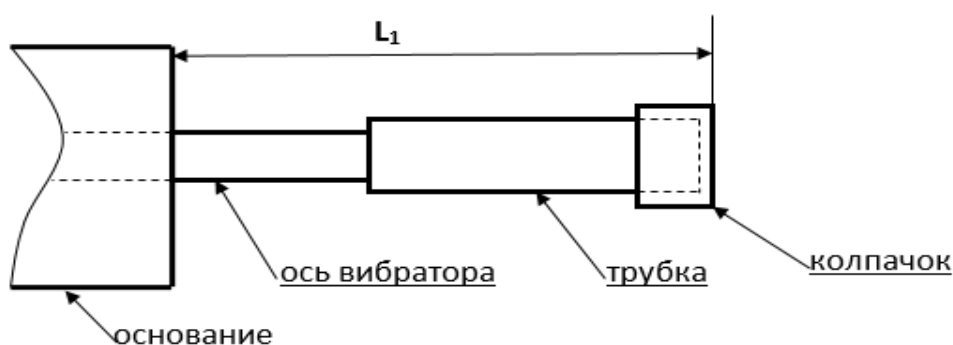


Рисунок 4 – Схема плеча симметричного вибратора

Полная длина плеча вибратора определяется соотношением  $L=L_1+22$  (mm).

Перемещая по резьбе на оси вибраторов их плечи (рисунок 4), установить необходимое значение длины  $L$ .

2. Вращая турникетный излучатель вокруг горизонтальной оси  $\varphi$  установить угол его поворота равным  $0^0$ . Отсчет угла производится по шкале на обойме 1 (рисунок 5).

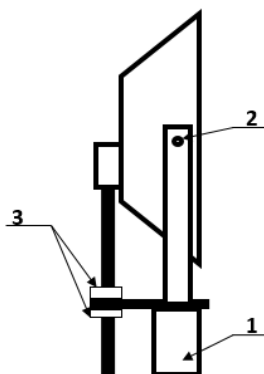


Рисунок 5 – Турникетный излучатель

Установить приемную и передающую антенны, приблизительно ориентируя их направлениями главного максимума диаграммы направленности друг на друга.

3. Включить питание регистратора и генератора тумблерами «сеть» на их лицевых панелях. При включении загорается подсветка тумблера регистратора и загорается контрольный светодиод генератора.

4. Установить с помощью органов управления генератора «установка частоты» заданную преподавателем частоту. Проверить нажатие кнопки синхронизация «внеш» отрицательным импульсом. Установить выходное напряжение генератора 0,25 максимальной мощности.

5. С помощью кнопочного переключателя пределов измерения на лицевой панели регистратора добиться заметных показаний на его цифровом табло. Включение предела производится простым нажатием соответствующей кнопки.

7. Поляризация электромагнитной волны, излучаемой турникетной антенной зависит от:

- угла поворота вокруг горизонтальной оси  $\varphi$ ;
- наличия вставки ОК1,2;
- частоты генератора ВЧ.

Поэтому необходимо произвести подстройку ориентации приемного симметричного вибратора. Для этого его необходимо вращать вокруг оси, добиваясь максимальных показаний на цифровом табло регистратора.

8. Произвести подстройку детектора, расположенного на экране приемной антенны с противоположной стороны. Для этого необходимо придерживая поршень 12 вращать регулировочную гайку 14 (рисунок б).

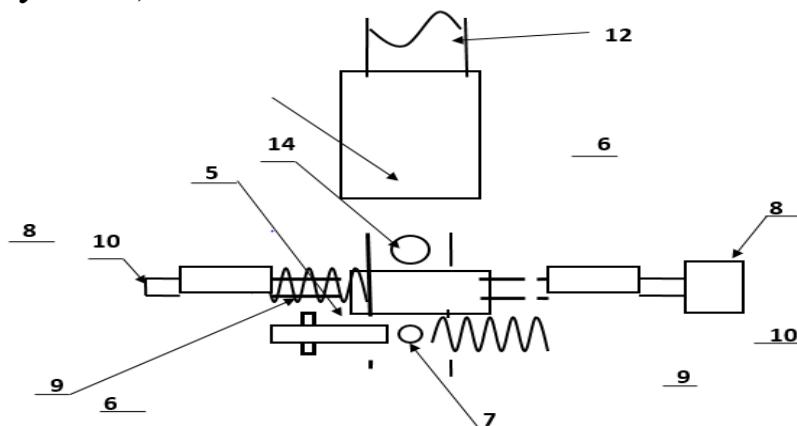


Рисунок б – Схема подстройки детектора

Добиться максимальных показаний на цифровом табло регистратора.

9. Осторожно перемещая симметричный вибратор в продольном направлении и меняя расстояние между ним и экраном добиться максимальных показаний на цифровом табло регистратора.

10. После этого ослабить крепление короткозамыкателя 12 на приемной антенне (рисунок 7) и перемещая его вдоль двухпроводной линии узла симметрирования и согласования вновь добиться максимальных показаний на цифровом табло регистратора.

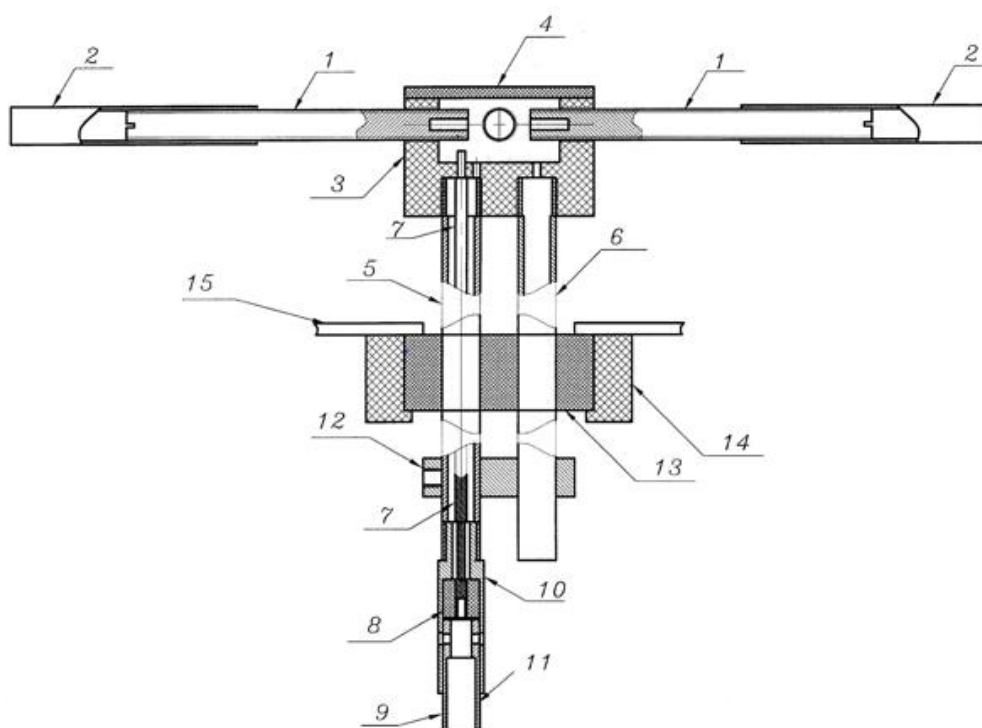


Рисунок 7 – Крепление короткозамыкателя

11. Повторить действия, описанные выше, для передающей турникетной антенны.

12. Вращая попеременно приемную и передающую антенны с помощью поворотного устройства добиваться максимальных показаний на цифровом табло регистратора.

13. Изменяя в небольших пределах частоту генератора с помощью ручки «точно» на его лицевой панели добиться максимальных показаний на цифровом табло регистратора.

14. Добиться максимально возможных показаний на цифровом табло регистратора.

15. При необходимости по указанию преподавателя изменить угол наклона приемной и передающей антенны в вертикальной

плоскости. Для этого необходимо ослабить винты 5 (рис.5) и повернуть антенну в вертикальной плоскости на нужный угол. Настройка ведется по максимальным показаниям на шкале регистратора.

16. Установить отсчет  $0,0^0$  на шкалах поворотных устройств (рисунок 7). Для этого:

- ослабить фиксирующие винты (14) крепления узла опоры (13) со штангой (12) и антенной;
- ослабить фиксирующие винты (6) колец (5);
- удерживая узел опоры, повернуть основание с угловой шкалой (3) в положение, соответствующее отсчету угла  $0^0$ ;
- установить один из микрометрических винтов (8) в положение, соответствующее  $0,0^0$  (см. пункт описание поворотного устройства) и затянуть соответствующий фиксирующий винт(6). Второй винт не затягивать.
- повернуть антенну с диэлектрической штангой (12) и опорой (11) относительно неподвижного основания с угловой шкалой (3), добившись максимальных показаний на шкале регистратора;
- зафиксировать винты (14) крепления узла опоры (13) со штангой (12) и антенной.

17. При необходимости произвести коррекцию положения антенн, повторяя описанные выше операции.

***После этого снять диаграмму направленности симметричного вибратора в плоскости E. Для этого:***

1. Установить приемный симметричный вибратор в положение, при котором его плечи горизонтальны. При этом отсчет угла  $\varphi$  на его обойме 1 (рисунок 6) соответствует  $0^0$ .

2. Вращая турникетную антенну вокруг своей оси, добиться максимальных показаний на цифровом табло регистратора.

3. Установить нулевой отсчет по угловой шкале поворотного устройства.

4. Отметить отсчет на цифровом табло регистратора  $\varphi_{\max}$ , соответствующий нулевому значению угла поворота антенны. В результате проведенной предварительной юстировки он соответствует главному максимуму диаграммы направленности исследуемой антенны и прямо пропорционален мощности, которая поступает от приемной антенны.

5. Ослабить фиксирующие винты (6) колец (5) исследуемой антенны. Поворачивать ручную антенну с помощью поворотного устройства по часовой стрелке до тех пор, пока отсчет на цифровом табло регистратора не уменьшится в два раза.

6. Отметить значение угла поворота антенны. Этот угол определяет ширину диаграммы направленности исследуемой антенны  $\theta_{0.5}$ .

7. Повернуть антенну в положение, соответствующее нулевому отсчету угла (максимальные показания регистратора).

8. Измерить ненормированную диаграмму направленности исследуемой антенны. Для этого снять зависимость отсчета на цифровом табло регистратора  $q$  от угла поворота антенны  $\theta$ . Угол изменять с постоянным шагом, выбрав его так, чтобы в пределах ширины диаграммы направленности уложилось не менее 5 отсчетных точек. Измерения проводить меняя угол от 0 до 90 градусов и вращая антенну по часовой стрелке. Отметить значения частоты генератора  $F$  и длины плеча вибратора  $L$ . Результаты измерений занести в таблицу 1.

9. Повторить измерения ненормированной диаграммы направленности антенны в соответствии с пунктом 5, вращая ее против часовой стрелки. Такому повороту соответствует отрицательное значение угла поворота.

Таблица 1 – Диаграмма направленности симметричного четвертьволнового вибратора в плоскости E.  $F=$  \_\_\_\_,  $L=$  \_\_\_\_.

$\alpha$ (град.)	0	$\alpha_1$		0	$-\alpha_1$	
$q$ (от. ед.)						
$q_n$ (от.ед.)						

10. После проведения всех измерений произвести нормировку диаграммы направленности. Для этого определить нормированное значение мощности на выходе исследуемой антенны  $q_n$  по формуле 2.

$$q_n = q / q_{\max} \quad (2)$$

11. Построить нормированную диаграмму направленности.

***Для измерения диаграммы направленности в плоскости Н при необходимости повторить пункты 4.2.1 и 4.2.2 и выполнить следующие операции.***

1. Установить приемный симметричный вибратор в положение, при котором его плечи вертикальны. При этом отсчет угла  $\varphi$  на его обойме 1 (рисунок 6) соответствует  $90^0$ .

2. Вращая турникетную антенну вокруг своей оси, добиться максимальных показаний на цифровом табло регистратора.

3. Установить нулевой отсчет по угловой шкале поворотного устройства. Для этого выполнить подпункт 17 пункта 4.2.2.

4. Отметить отсчет на цифровом табло регистратора  $q_{\max}$ , соответствующий нулевому значению угла поворота антенны. В результате проведенной предварительной юстировки он соответствует главному максимуму диаграммы направленности исследуемой антенны и прямо пропорционален мощности, которая поступает от приемной антенны.

5. Ослабить фиксирующие винты (6) колец (5) исследуемой антенны. Поворачивать вручную антенну с помощью поворотного устройства по часовой стрелке до тех пор, пока отсчет на цифровом табло регистратора не уменьшится в два раза.

6. Отметить значение угла поворота антенны. Этот угол определяет ширину диаграммы направленности исследуемой антенны  $\theta_{0.5}$ .

7. Повернуть антенну в положение, соответствующее нулевому отсчету угла (максимальные показания регистратора).

8. Измерить ненормированную диаграмму направленности исследуемой антенны. Для этого снять зависимость отсчета на цифровом табло регистратора  $q$  от угла поворота антенны  $\theta$ . Угол изменять с постоянным шагом, выбрав его так, чтобы в пределах ширины диаграммы направленности уложилось не менее 5 отсчетных точек. Измерения проводить, меняя угол от 0 до 90 градусов и вращая антенну по часовой стрелке. Результаты измерений занести в таблицу 2.

9. Повторить измерения ненормированной диаграммы направленности антенны в соответствии с пунктом 5, вращая ее против часовой стрелки. Такому повороту соответствует отрицательное значение угла поворота.

Таблица 2 – Диаграмма направленности симметричного четвертьволнового вибратора в плоскости Н

$\alpha$ (град.)	0	$\alpha_1$		0	$-\alpha_1$	
q (от. ед.)						
$q_n$ (от.ед.)						

10. После проведения всех измерений произвести нормировку диаграммы направленности. Для этого определить нормированное значение мощности на выходе исследуемой антенны  $q_n$  по формуле 2

11. Построить нормированную диаграмму направленности.

## 5 Требования к оформлению отчёта по выполнению лабораторной работы

Отчёт набирается компьютере в формате .doc или .rtf и печатается на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297).

Размеры полей:

- верхнее поле – 2 см;
- нижнее поле – 2 см;
- левое поле – 3 см;
- правое поле – 1,5 см;
- переплет – 0 см.

Выравнивание текста – по ширине. Шрифт – Times New Roman. Цвет шрифта – чёрный, размер шрифта – 14. Текст работы печатается с абзацного отступа 1,25 см. Междустрочный интервал – 1,5. Дополнительные отступы до и после абзацев не применяются.

Несложные формулы должны быть набраны с использованием команды «Вставка→Символ». Сложные формулы должны быть набраны в редакторе MathType 6.0 Equation.

Отчёт по выполнению лабораторной работы должен содержать:

- название предмета, номер и название лабораторной работы;
- фамилию и инициалы автора, номер группы;
- фамилию и инициалы преподавателя;
- цель работы;
- перечень используемого оборудования;

- последовательность действий при проведении исследований;
- вывод о проделанной работе;
- ответы на контрольные вопросы;
- дату выполнения и личную подпись.

Результаты различных измерений необходимо представить в виде нескольких самостоятельных таблиц и графиков. Каждая таблица и каждый график должны иметь свой заголовок и исходные данные эксперимента.

При выполнении численных расчетов надо записать формулу определяемой величины, сделать соответствующую численную подстановку и произвести вычисления.

Пример оформления отчёта представлен в приложении А.

## **6 Контрольные вопросы**

- 1) Что называется антенной?
- 2) В чем заключается принцип дуальности антенны?
- 3) Основные параметры антенны.
- 4) Дайте определение диаграммы направленности.
- 5) Как производится измерение диаграммы направленности.
- 6) В чем заключается физический смысл диаграммы направленности?
- 7) Что такое поляризация электромагнитной волны.
- 8) Назовите виды поляризации.



**Приложение А****Пример оформления отчёта по выполнению лабораторной работы  
МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

Отчёт по выполнению лабораторной работы №1

по дисциплине «Распространение радиоволн и антенно-фидерные  
устройства»

на тему «Измерение диаграммы направленности симметричного вибратора»

Выполнил:

студент группы ИТ-21з

Иванов И.И.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Проверил:

д.т.н., профессор каф. КПиСС

Мухин И.Е.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024

\_\_\_\_\_  
(подпись)

## **1 Цель работы**

Изучить ...

## **2 Структурная схема макета и перечень используемого оборудования**

Структурная схема лабораторного макета для проведения исследований ..... представлена на рисунке 2.1.

Рисунок 2.1 – Структурная схема лабораторного макета

Перечень используемого оборудования:

– лабораторный стенд .....;

## **3 Последовательность проведения и результаты лабораторных исследований**

3.1 ....

## **4 Ответы на контрольные вопросы**

Вопрос №1. Что называется антенной?

Ответ:

Вопрос №2. В чем заключается принцип дуальности антенны?

Ответ:

## **5 Вывод о проделанной работе**

В ходе выполнения лабораторной работы изучил ...

## Лабораторная работа №2 «Исследование фазированных антенных решеток»

### 1 Цель работы

– при помощи программы MMANA исследовать принципы создания синфазных и фазированных антенных решеток на базе симметричного электрического излучателя;

– исследовать влияние геометрических параметров антенной решетки и фазирования питания элементов антенной решетки на диаграмму направленности.

### 2 Задание на лабораторную работу

2.1 Построить симметричный вибратор на высоте  $h=10\lambda$  с длиной плеча  $l=0,25\lambda$ , а также рабочей частотой и параметрами подстилающей поверхности в соответствии с данными таблицы 1.

Таблица 1 – Варианты заданий для выполнения лабораторной работы

№ вар	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
$\lambda$ , м	100	200	50	10	150	250	1000	70	20	80
$\varepsilon$	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
$\sigma$ , См/м	230	225	220	210	205	200	195	190	185	180
№ вар	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
$\lambda$ , м	120	300	350	1100	450	550	1400	170	220	380
$\varepsilon$	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
$\sigma$ , См/м	230	225	220	210	205	200	195	190	185	180
№ вар	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.
$\lambda$ , м	190	330	1350	1300	420	520	1200	1700	280	580
$\varepsilon$	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
$\sigma$ , См/м	230	225	220	210	205	200	195	190	185	180

2.2 Расположить вибратор вдоль оси  $oz$ , зарисовать диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

2.3 Построить вертикальную антенную решетку, состоящую из двух симметричных вибраторов с длиной плеча  $l=0,25\lambda$  и рабочей частотой 100 МГц, ориентированный вдоль оси  $oz$  и сдвинутых друг относительно друга на величину  $a$  вдоль оси  $oz$  (рис. 1).

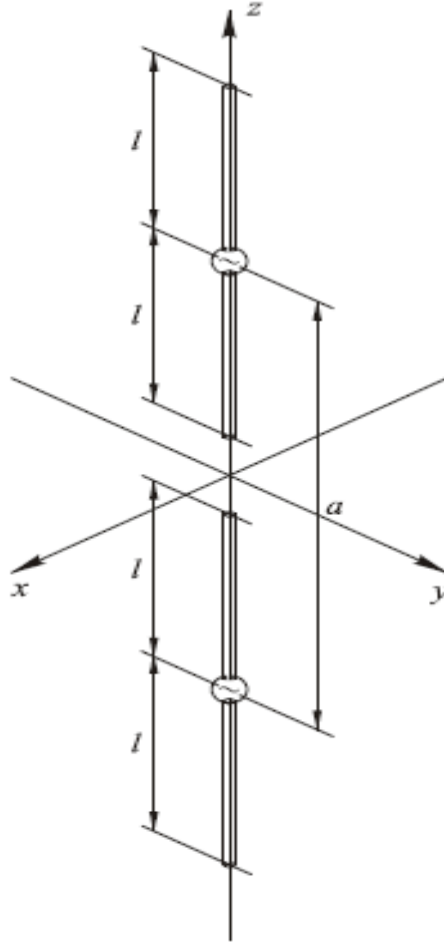


Рисунок 1 – Вертикальная антенная решетка

2.4 Поместить в отчет диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

2.5 Изменяя величину  $a$  в соответствии с таблицей 2 измерить и записать в таблицу значения активной части входного сопротивления ( $R_{ВХ}$ ), реактивной части ( $X_{ВХ}$ ), коэффициента стоячих волн (КСВ) при резонансе. Проследить изменение диаграммы направленности.

Таблица 2 – Результаты измерения параметров вертикальной антенной решетки

$a$	$0,55l$	$0,65l$	$0,75l$	$0,85l$	$0,95l$
$R_{ВХ}$					
$X_{ВХ}$					

КСВ					
-----	--	--	--	--	--

2.6 При  $a = 0,75l$ , изменяя набег фазы в одном из вибраторов от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  с шагом  $20^\circ$  проследить изменение диаграммы направленности.

2.7 Построить горизонтальную антенную решетку, состоящую из двух симметричных вибраторов с длиной плеча  $l=0,25\lambda$  и рабочей частотой 100 МГц, ориентированный вдоль оси  $oz$  и сдвинутых друг относительно друга на величину  $b$  вдоль оси  $oy$  (рис. 2).

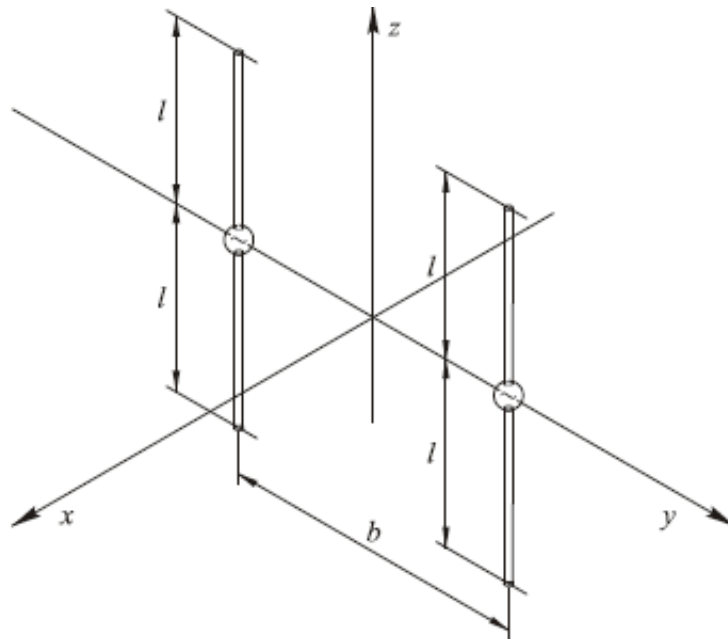


Рисунок 2 – Горизонтальная антенная решетка

2.8 Поместить в отчет диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

2.9 Изменяя величину  $b$  в соответствии с таблицей 3 измерить и записать в таблицу значения активной части входного сопротивления ( $R_{ВХ}$ ), реактивной части ( $X_{ВХ}$ ), коэффициента стоячих волн (КСВ) при резонансе. Проследить изменение диаграммы направленности.

Таблица 3 – Результаты измерения параметров горизонтальной антенной решетки

$b$	$0,1l$	$0,2l$	$0,3l$	$0,4l$	$0,5l$
$R_{ВХ}$					
$X_{ВХ}$					

КСВ					
-----	--	--	--	--	--

2.10 При  $b = 0,3l$ , Изменяя набег фазы в одном из вибраторов от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  с шагом  $20^\circ$  проследить изменение диаграммы направленности.

2.11 Построить графики зависимости  $R_{ВХ}$ ,  $X_{ВХ}$ , КСВ от  $a$  и  $b$  для вертикальной и горизонтальной антенной решетки.

2.12 Сделать выводы по результатам проделанной работы.

### 3. Методические указания по выполнению лабораторной работы

#### 3.1 Программный комплекс MMANA-GAL

MMANA – это программа моделирования антенн, работающая в среде Windows. Вычислительной основой MMANA (так же как и многих коммерческих программ моделирования) является программа MININEC Ver.3

Программа позволяет:

- создавать и редактировать описания антенны;
- рассматривать множество разных видов антенн;
- рассчитывать диаграммы направленности (ДН) антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях (под любыми вертикальными углами).

- одновременно сравнивать результаты моделирования нескольких разных антенн (ДН и все основные характеристики).

- редактировать описание каждого элемента антенны, включая возможность менять форму элемента без сдвига его резонансной частоты. Проще говоря, вы можете за пару секунд трансформировать «волновой канал» в «квадраты» или «дельты».

- редактировать описание каждого провода антенны. Имеется возможность перекомпоновки антенны без утомительного перебора цифр координат, простым перетаскиванием мышкой (практически всю антенну можно нарисовать и редактировать одной мышкой);

- просчитывать комбинированные провода, состоящие из нескольких, разных диаметров. Это полезно при расчете элементов, составленных из труб разного диаметра, например, «волновых каналов» или вертикалов.

- использовать удобное меню создания многоэтажных антенн – стеков, причем в качестве элемента стека можно использовать любую существующую или созданную вами антенну.

- оптимизировать антенну, гибко настраивая цели оптимизации: Zвх, KCB, усиление, F/B, минимум вертикального угла излучения, причем предельно наглядно – движками указывается важность для вас того или иного параметра.

- задавать изменение при оптимизации более 90 параметров антенны. Возможно описание совместного (зависимого) изменения нескольких параметров.

- сохранять все шаги оптимизации в виде отдельной таблицы. Это полезно для последующего неспешного просмотра и анализа – не мелькнет ли там чего любопытного, что вы исходно и в виду-то не имели.

- строить множество разнообразных графиков: Zвх, KCB, усиления, отношения излучений вперед/назад (F/B), включая показ зависимости ДН от частоты.

- автоматически рассчитывать несколько типов согласующих устройств (СУ), причем возможно включать и выключать их при построении графиков.

- создавать файлы-таблицы (формата \*.csv, просматриваемого в Excel) для всех переменных расчетных данных: таблицы токов в каждой точке антенны, зависимости усиления от вертикальных и горизонтальных углов, таблицы основных параметров антенны как функций частоты, и наконец весьма полезную таблицу напряженности электрического и магнитного полей антенны в заданном пространстве. Она необходима для определения соответствия антенны на требования электромагнитной совместимости.

### **Рассмотрим интерфейс программы.**

Закладка **Геометрия** (рисунок 3) содержит три таблицы, служащие для ввода и редактирования проводов, источников и нагрузок. Кроме того, на ней расположены элементы, позволяющие настроить параметры сегментации и установить основную частоту.

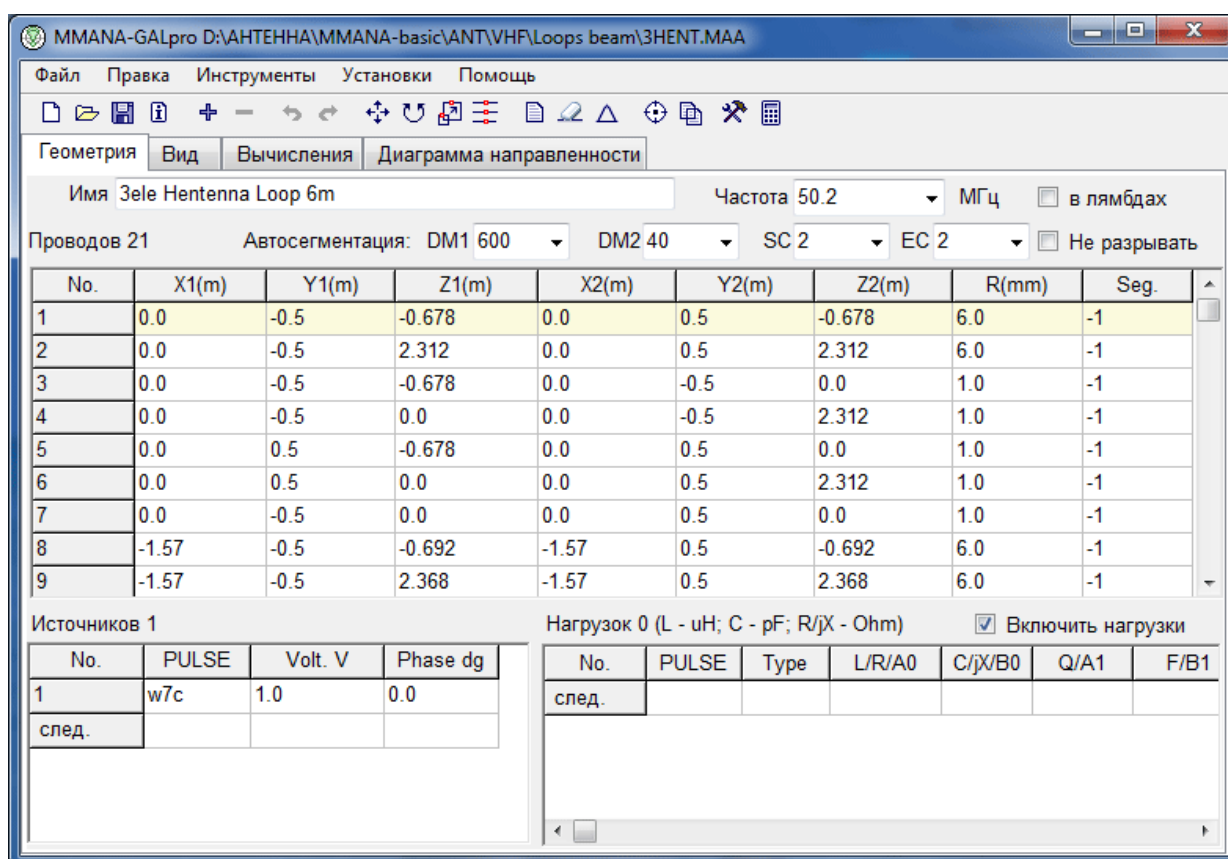


Рисунок 3 – Закладка «Геометрия»

Таблица расположена в верхней части окна и имеет 8 колонок. Первые шесть (X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2) описывают координаты (декартовы) начала и конца провода. Седьмая колонка R описывает радиус провода, в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 – Описание колонки R

Число в колонке R	Что значит
Положительное число	Радиус провода в миллиметрах
0	Изолятор. Провод не учитывается в расчетах.
Отрицательное число	Комбинированный (т.е. состоящий из нескольких, разного физического радиуса) провод, описание которого можно найти в окне для установок комбинированного провода или из окна с таблицей размеров комбинированного провода. Оба окна можно вызвать из всплывающего меню, а окно Установки комбинированного провода и из главного меню Правка.



Колонка **Seg** описывает способ сегментации (деления данного провода на сегменты для метода моментов) в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5 – Описание колонки Seg

Число в колонке Seg	Что значит
Положительное	Желаемое число сегментов. Это режим ручного разбиения. Не рекомендуется к использованию.
0	Автоматическое разбиение провода на сегменты одинаковой длины, равной $\lambda/DM2$ . Рекомендуется к использованию только тогда, когда нежелательно использовать отрицательные значения Seg из-за малой длины сегмента на краях.
-1	Автоматическая сегментация с переменной длиной сегмента. Установлена по умолчанию. Рекомендуется к использованию в большинстве случаев. В центре провода длина сегмента максимальна и составляет $\lambda/(DM2 \cdot EC)$ . К обоим краям провода длина сегмента убывает до $\lambda/(DM1 \cdot EC)$ . Множитель SC ( $1 < SC < 3$ ) показывает откуда начинается уплотнение сегментов от середины к краям.
-2	Почти то же самое, что и Seg = -1, но длина сегментов уменьшается от начала к концу провода.
-3	То же самое, что и Seg = -2, но длина сегментов уменьшается от конца к началу провода.
Два любых положительных числа через запятую	То же самое, что и Seg = -1, но в качестве DM1 и DM2 используются два введенных числа

Общие ограничения метода моментов по сегментации и расположению проводов:

**1. Провод.**

Минимальная длина сегмента должна быть меньше чем:

- $0,1\lambda$ ;
- минимальное расстояния между соседними проводами;
- минимальная высоты провода над землёй;
- длина самого короткого провода.

Длина сегмента должна быть больше, чем диаметр провода. Максимальный радиус не должен превышать 1% от  $\lambda$  для высокой точности расчета. Разумные результаты могут быть получены до радиуса в 3% от  $\lambda$ .

## 2. Точка соединения разных проводов

Отношение длины сегментов в соединяемых проводах должно быть менее 2. Практически всегда наилучшим выходом является одинаковый способ сегментации для всех проводов антенны.

Отношение радиусов проводов, образующих переход должно быть менее 10.

## 3. Близко расположенные провода

Невозможно рассчитывать структуры, в которых один провод частично находится внутри другого (коаксиальные, экранированные).

Отношение радиусов проводов, образующих переход должно быть менее 10.

Некоторые из приведенных выше ошибок MMANA-GAL может либо скорректировать автоматически, либо вывести предупреждающее пользователя сообщение.

Таблица 6 – Таблица источников напряжения

Puls	<p>Место положения источника. Описывается следующим образом:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– первая буква должна быть w (ire).</li> <li>– следующая за ней цифра означает номер провода, в который включен источник.</li> <li>– буква после номера провода обозначает место включения источника в провод: <ul style="list-style-type: none"> <li>b(ottom) – начало провода;</li> <li>s(enter) – середина провода;</li> <li>e(nd) – конец провода.</li> </ul> </li> <li>– следующая цифра (не обязательный элемент) показывает количество сегментов, на которое смещена точка включения источника</li> </ul>
------	--

Phase deg.	Фаза напряжения источника в градусах. Необходимость в сдвиге фазы питающего напряжения возникает при проектировании антенн с активным питанием.
Volt. V	Напряжение источника питания в вольтах.

Таблица нагрузок служит для задания **RLC** элементов, включенных в провода антенны. Количество используемых колонок зависит от способа описания нагрузки. Колонка **Pulse** служит для описания места включения нагрузки, которое описывается так же, как для источников.

В колонке **Type** описывается тип нагрузки: **LC**, **R+jX**, **S**.

Таблица 7 – Таблицы нагрузок

LC	В таблицу заносится значение индуктивности или емкости и добротность (0 – означает бесконечную добротность).
R+jX	Комплексное сопротивление нагрузки. Последовательный эквивалент.
S	Нагрузка задается при помощи коэффициентов полинома Лапласа (A – числитель, B – знаменатель).

Для выбора типа нагрузки следует ввести в первый столбец **Pulse** место расположения нагрузки, нажать Enter, а затем щелкнуть левой кнопкой мыши в колонке **Type** и выбрать желаемый тип из всплывающего меню. Нагрузки можно включать отключать отмечая окно **Включить нагрузки**.

**Внимание!** Для включения источников и нагрузок лучше всего создавать отдельный короткий провод. В таком случае не возникают проблемы со сдвигом положения при изменении плотности сегментации и при переводе модели из \*.maa в \*.nes.

Закладка **Вид** служит для вывода изображения антенны и токов. Последние выводятся только в том случае, если антенна была просчитана (рисунок 4).

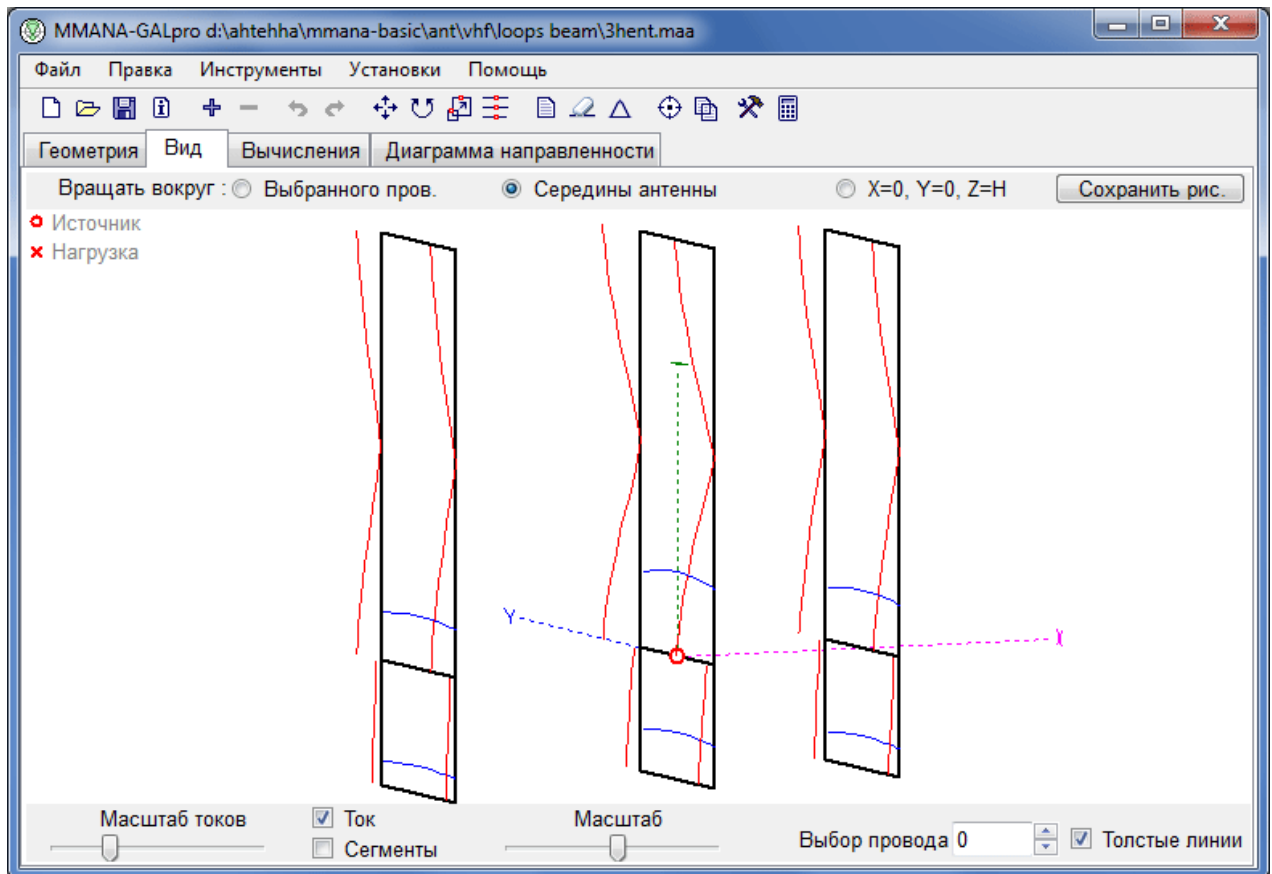


Рисунок 4 – Закладка «Вид»

Изображение антенны можно вращать двигая мышью с нажатой левой кнопкой по полю с изображением. Для перемещения антенны следует дополнительно нажать клавишу Shift (или Ctrl) клавиатуры.

Выделить один из проводов антенны можно при помощи щелчка мышью или при помощи кнопок вверх/вниз в меню **Выбор провода**. Выбранный провод изображается утолщенной линией, а в правом нижнем углу появляется полупрозрачная таблица с описанием координат провода в декартовых и полярных координатах.

Ползунок **Масштаб** служит для изменения размера изображения модели антенны и токов, а ползунок **Масштаб токов** для изменения масштаба изображения токов.

Активные окна:

**Ток** – включает-выключает изображения токов.

**Сегменты** – включает-выключает показ разбивки проводов на сегменты.

**Толстые линии** – удваивает толщину линий антенны.

Элементы **Вращать**:

– **середины антенны** масштабирует антенну под размер экрана и помещает среднюю точку антенны в середину изображения. Центром вращения становится середина антенны.

–  **$X=0$ ,  $Y=0$ ,  $Z=H$**  перемещает центр изображения в начало координат, который становится и центром вращения антенны.

– **выбранного провода** перемещает центр изображения в середину предварительно выбранного левым кликом провода, которая становится и центром вращения антенны.

При помощи кнопки **Сохранить рис.** вызывается диалог сохранения изображения (форматы \*.jpg или \*.bmp).

При помощи двойного щелчка на поле изображения можно вызвать окно с описанием провода. При помощи правой кнопки мыши вызывается всплывающее меню с дополнительными функциями

**Внимание!** Для включения источников и нагрузок лучше всего создавать отдельный короткий провод. В таком случае не возникают проблемы со сдвигом положения при изменении плотности сегментации и при переводе модели из \*.mao в \*.nes.

Закладка **Вычисления** (рисунок 5) служит для запуска расчетов и вызова окон оптимизации, графиков и редакторов провода и элементов.

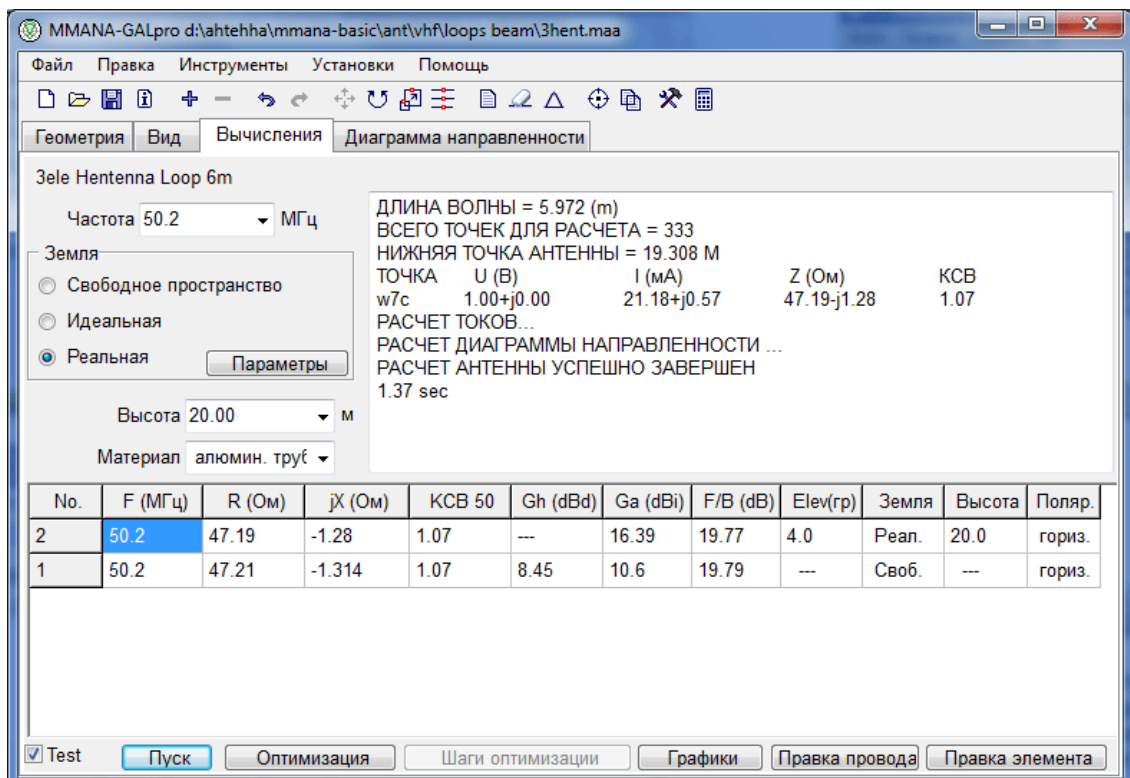


Рисунок 5 – Закладка «Вычисления»

На этой странице можно устанавливать частоту для текущего расчета, параметры земли и материал проводов (материал можно выбирать из нескольких предустановленных или выбрав тип пользователя описать параметры своего материала).

Результат последнего вычисления выводится в верхней строке таблицы и дублируется в поле правого верхнего угла окна. В случае модели с несколькими источниками в таблице выводится  $Z_a$  только для первого источника.  $Z_a$  для остальных источников – в поле правого верхнего угла.

Поле **Высота** показывает цифру, которая будет автоматически добавлена ко всем координатам  $Z$  антенны. Изменением этой цифры удобно оперативно двигать антенну по высоте. Однако, если Вы проектируете антенну, касающуюся земли, то сумма координаты  $Z$  конца провода, касающегося земли и цифры в поле **Высота** должны быть равны 0.

Окно **Земля** позволяет выбрать тип земли, а также при выборе реальной земли задать и посмотреть её профиль, как набор из нескольких участков с разными характеристиками-высотами. Для первичного изучения антенны рекомендуется выбирать либо **Свободное пространство** либо **Идеальную** землю. И только разобравшись с работой самой антенны переходить к **Реальной** земле и изучать влияние земли на антенну.

Следует учитывать, что используемый в MMANA-GAL модифицированный MININEC-3 рассчитывает входное сопротивление и ближнее (реактивное) поле без учета потерь в реальной земле (т.е. полагая землю идеально проводящей). Потери в земле учитываются только при расчете диаграммы направленности модели.

Радиус ближней зоны составляет около  $\lambda/2\pi = 0,16\lambda$ . Поэтому, если над реальной землёй рассчитываются: или горизонтальная антенна содержащая хотя бы один провод ниже  $0,16\lambda$ , или вертикал с противовесами, приподнятыми на высотах от  $0,005\lambda$  до  $0,05\lambda$ , то более точные результаты по  $Z_a$  и  $G_a$  дают вычисления на ядре NEC2. MININEC3 в этих случаях даёт погрешность тем большую, чем сильнее отличаются параметры земли от идеальных.

Закладка «Графики» (рисунок 6).

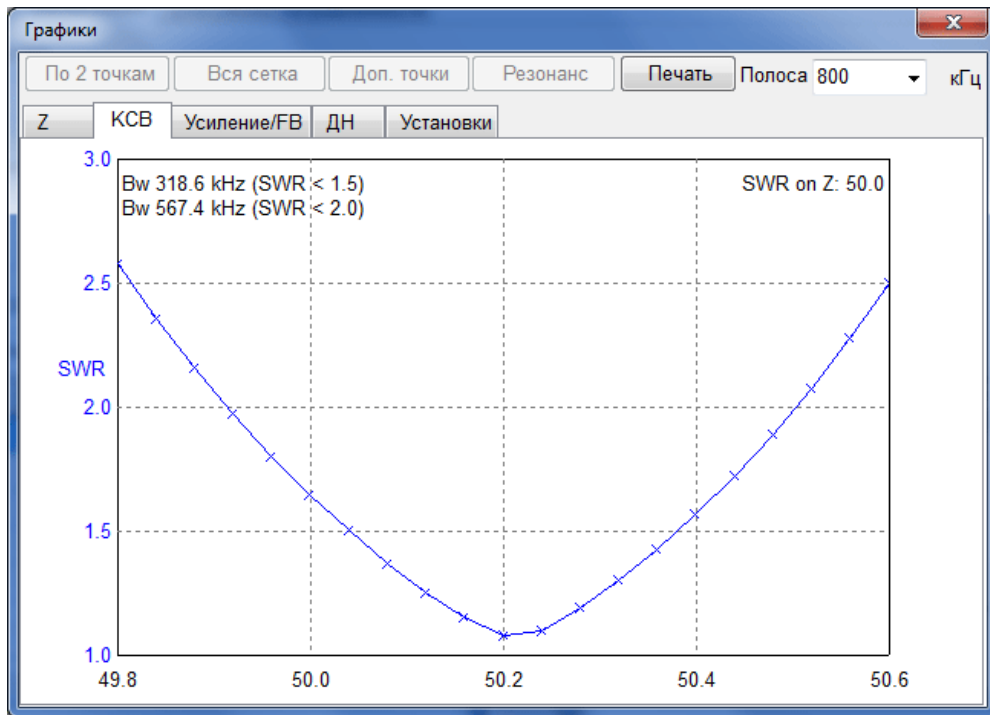


Рисунок 6 – Закладка «Графики»

Для первого анализа достаточно нажать кнопку **По 2 точкам** – график будет построен грубо, только по двум точкам. Остальная часть его будет построена экстраполяцией - предположениями как же этот график должен по её мнению идти дальше (точность таких предположений довольно высока, но конечно не абсолютна). При нажатии кнопки **Вся сетка** – просчитывается каждый шаг сетки, а при нажатии **Доп. точки**, просчитываются несколько дополнительных точек между шагами сетки.

Кнопка **Поиск резонанса** предназначена для автоматического поиска резонансной частоты антенны.

В закладке **Z** показаны графики  $R(f)$  и  $jX(f)$ . Можно включить (во всплывающем под меню) на этом графике согласующее устройство и посмотреть, как измениться график.

Закладка **КСВ** выводит график КСВ. Закладка **ДН** выводит разными цветами диаграммы направленности антенны для шагов сетки, а также табличку изменения основных параметров. Если ДН на каких-то частотах вам не нужны, их можно выключить, щелкнув в строке соответствующей частоты, в столбце **Он**.

Закладка **Установки** задает центральную частоту графиков (по умолчанию равна указанной в закладке **Вычисления**), полосу графиков, а также включает\выключает СУ на графиках. Кроме того, тут задается число дополнительных точек расчета графиков.

Окно правки проводов служит для редактирования проводов антенны в графическом режиме (рисунок 7).

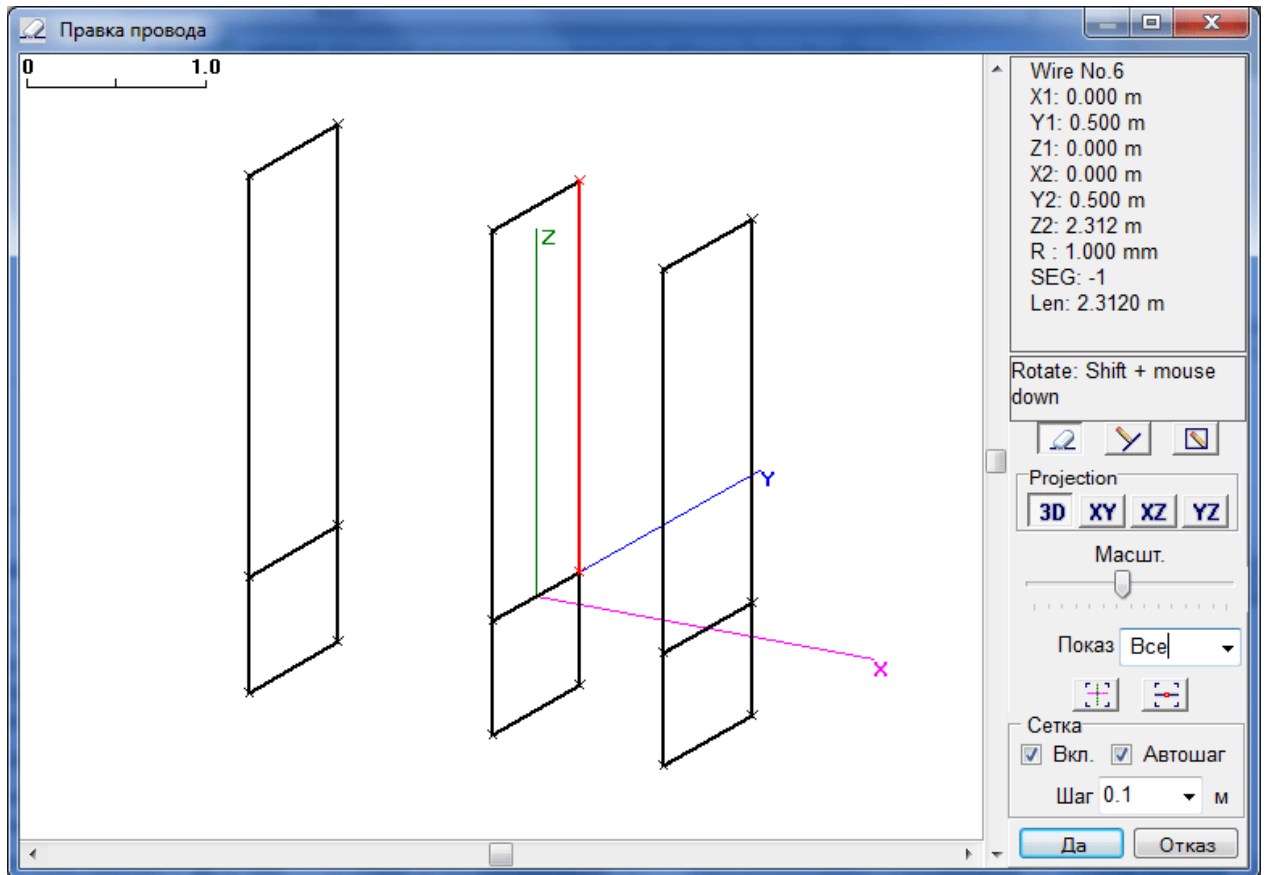


Рисунок 7 – Окно «Правка провода»

Модель антенны можно просматривать и изменять объемном виде или в одной из 3 плоскостей. В верхней правой части выводится информация о выбранном проводе.

Для удобства на двумерных плоскостях выводится сетка, шаг которой может определяться автоматически или устанавливаться вручную. Следует обратить внимание на то, что длина редактируемых или вновь созданных проводов кратна шагу сетки.

Меню **Показ** устанавливает, что именно следует показать: всю антенну, элемент, провод которого выделен или же все провода, лежащие в одной плоскости с выделенным проводом.

На трехмерном изображении возможно только соединение выделенного провода с концами других проводов. На двумерных графиках возможно вводить новые провода и рамки. Из всплывающего меню можно вызвать дополнительные функции редактирования проводов.



В окне «Правка элементов» (рисунок 8) объектом правки служит не отдельный провод, а элемент – несколько соединенных между собой электрически проводов.

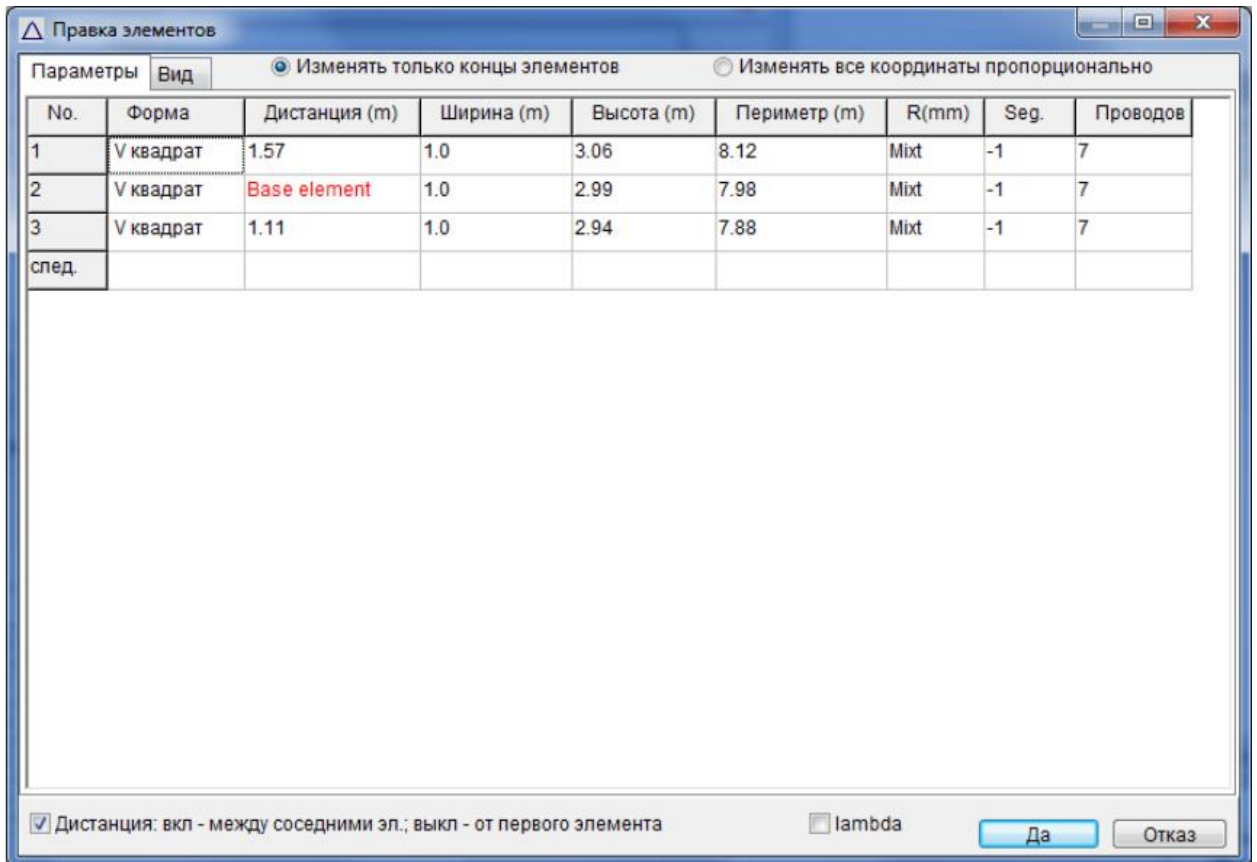


Рисунок 8 – Окно «Правка элементов»

Например, одна рамка или один из диполей многоэлементной антенны. Очень удобно для ввода и редактирования параметров многоэлементных антенн в интуитивно ясной форме. Просто указываются размеры каждого элемента и расстояния между ними.

Сменить форму элемента, можно командой **Изменить форму элемента** всплывающего меню, в дополнительном меню которой имеется набор наиболее часто встречающихся в радиолюбительской практике форм элементов.

Выбрав закладку **Вид**, можно оперативно посмотреть на антенну после преобразования формы элемента, или правок в таблице закладки **Параметры**. Интерфейс и команды этого окна практически совпадают с главной закладкой **Вид**.

MMANA-GAL позволяет оптимизировать антенну по различным критериям и параметрам (рисунок 9).

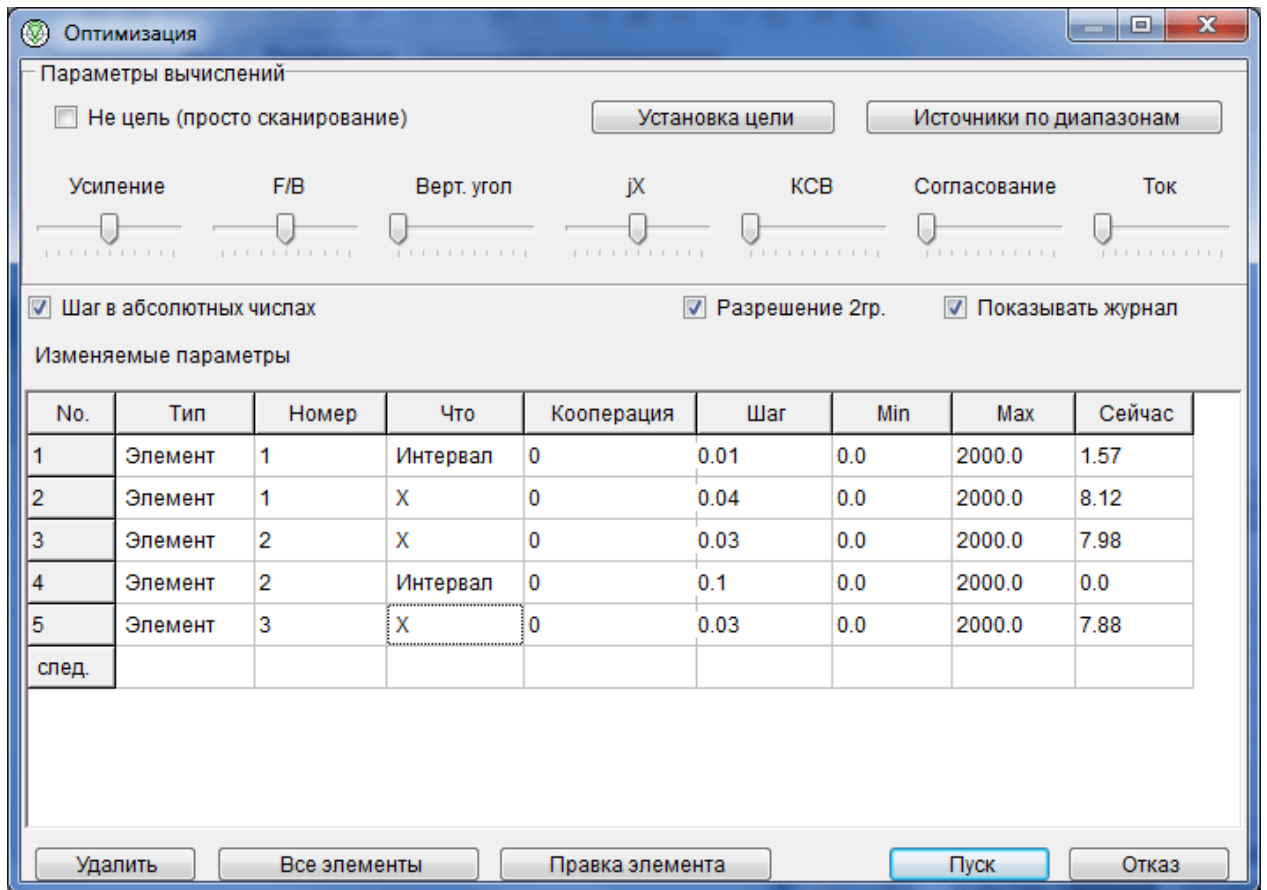


Рисунок 9 – Окно «Оптимизация»

Критерии задаются семью движками. Положение движка определяет важность (удельный вес) данного параметра для вас. Крайнее левое положение движка - параметр для Вас совсем не важен, крайнее правое - максимально важен.

**Верт. угол** – максимально низкий вертикальный угол излучения.

**jX** – минимальная реактивная часть входного сопротивления антенны.

**Согласование** – оптимальное согласование под специально заданный импеданс.

**Ток** – минимум или максимум тока в заданной точке.

Что именно менять в антенне, для получения заданных выше критериев, описывается в таблице **Изменяемые параметры**. Двойным кликом в столбце **Тип** вызывается меню, из которого выбирается тип параметра оптимизации. А двойной клик в столбце **Что** вызывает меню установки что именно в данном параметре Вы хотите позволить менять.

Строк в таблице может быть столько, сколько параметров Вы намереваетесь менять. Например, можно вписать несколько строк «Элемент», в каждой из них установив свои параметры (Интервал, Позиция, Ширина, и т.д.). И/или вписать несколько строк «Провод», в каждой из них установив изменение одного параметра (например, в первой – X2, во второй – Y2, в третьей – R, и т. д.). Здесь следует быть внимательным, чтобы ошибочно не задать изменение несуществующих или взаимоисключающих параметров, иначе процесс оптимизации не начнется.

Порядок строк в таблице имеет значение: сначала идет оптимизация по параметру, описанному в первой строке, потом во второй, и т.д. – потом процесс циклически и повторяется. Если оптимум единственный (что бывает редко), то при любом порядке строк получится одно и то же. А если же нет (как правило), в зависимости от порядка строк результаты оптимизации будут разными.

Окно «Сравнить» (рисунок 10) позволяет объективно сравнивать разные антенны.

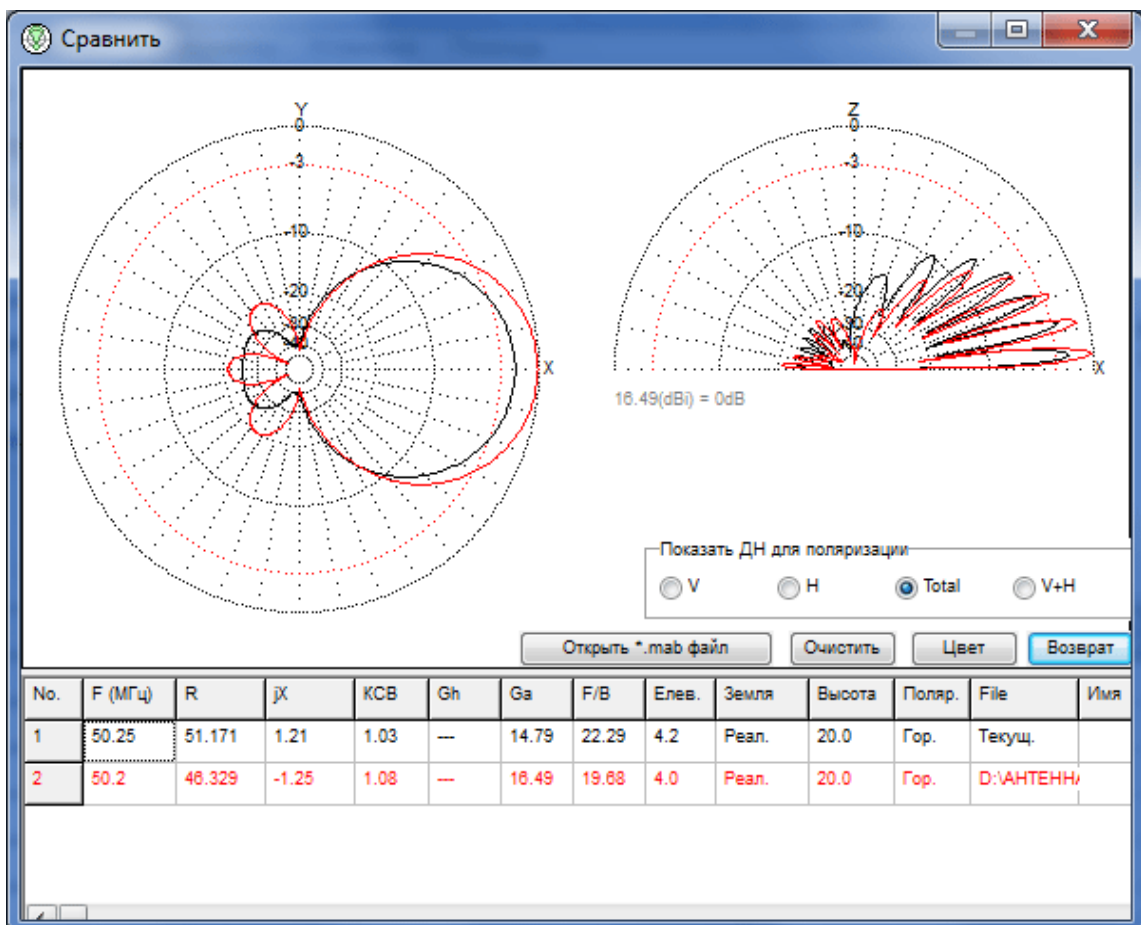


Рисунок 10 – Окно «Сравнить»

Если Вы попадаете в него после расчета своей антенны (закладка **Вычисления** – кнопка **Пуск**), то увидите ДН и характеристики своей антенны. Кнопкой **Открыть \*.mab файл** можно вызвать ДН и характеристики другой антенны (заранее сохраненные в \*.mab файле и увидеть их наложенными друг на друга).

На этой закладке выводятся диаграммы направленности. По умолчанию горизонтальная диаграмма выводится для зенитного угла, соответствующего максимальному усилению. Изменить зенитный угол построения горизонтальной ДН можно нажав кнопку **Зенитный угол**.

ДН в вертикальной плоскости строится для азимутального угла  $0^0$  (т.е. вдоль оси X). Изменить этот угол можно вращением антенны вокруг оси Z, вызвав окно для вращения из меню **Правка – Вращение**.

На обеих ДН можно вызвать (левым кликом) измерительный вектор, перемещаемый по ДН. Данные по усилению для текущего угла выводятся в середине вверху. Отключается вектор правым кликом. Вектор не выводится в режиме **V+N** и после оптимизации.

По двумерной диаграмме бывает очень трудно определить направленность антенны и это может привести к неверному представлению о характеристиках антенны. Поэтому введена возможность просмотра **3Д** (трехмерного изображения) диаграммы направленности), для вызова окна с трехмерным изображением диаграммы направленности следует нажать кнопку **3Д ДН**.

#### **Типы файлов:**

**\*.maa** – файл описания антенны (текстовый файл, содержащий информацию о проводе, источниках, нагрузках и т.д. Этот файл может быть открыт и отредактирован внешним редактором текста).

**\*.mab** – файл результата вычислений (бинарный файл содержит полное описание антенны и результаты последних расчетов. Такие файлы необходимы для сравнения результатов расчетов).

**\*.mao** – файл шагов оптимизации (бинарный файл, в котором записаны последние 256 шагов оптимизации и параметры антенны на них. Полезен для неторопливого анализа в окне **Шаги оптимизации**).

**\*.csv** – таблица токов (в файле записана таблица токов. Открывается в Excel) (таблица 8).

Таблица 8 – Параметры анализа антенн

<b>X, Y, Z</b> (координаты)	<b>метр</b>
<b>Current</b> (ток, реальная и мнимая части, модуль)	<b>ампер</b>
<b>Phase</b> (фаза)	<b>градус</b>
<b>Electric</b> (напряженность эл. Поля, реальная и мнимая части, модуль)	<b>V/m</b>
<b>Magnetic</b> (напряженность магн. Поля, реальная и мнимая части, модуль)	<b>АТ/м</b>
<b>Azimuth, Zenith</b> (углы)	<b>градус</b>
<b>Gain</b> (усиление)	<b>dBi</b>

### 3.2 Исследование вертикальной антенной решетки

#### 1. Во вкладке «Геометрия»:

- задать рабочую частоту 100 МГц;
- рассчитать координаты начала и конца первого вибратора. Из рисунка 1 видно, что координата начала вибратора лежит на оси  $oz$  (т.е.  $x=0, y=0$ ) и сдвинута по ней на величину  $(a/2-l)$ , а координата конца вибратора также лежит на оси  $oz$  и сдвинута по ней на величину  $(a/2+l)$ ;
- аналогичным образом рассчитать координаты начала и конца второго вибратора;
- записать координаты в соответствующие ячейки таблицы;
- установить источники в центре каждого провода (в таблице описания источников под словом «Pulse» необходимо задать  $w1c$  и  $w2c$ );
- в соответствии с пунктом 2.6 изменять значение ячейки «Phase» одного из вибраторов.

#### 2. Во вкладке «Вычисления»:

- установить тип подстилающей поверхности;
- задать высоту расположения вибратора;
- произвести расчеты нажатием кнопки «Пуск».

### 3.3 Исследование горизонтальной антенной решетки

#### 1. Во вкладке «Геометрия»:

- задать рабочую частоту 100 МГц;

– рассчитать координаты начала и конца первого вибратора. Из рисунка 2 видно, что координаты вибратора лежат в плоскости  $yoz$  (т.е.  $x=0$ ) и сдвинуты по оси  $ou$  на величину  $b/2$ , в отрицательную сторону. При этом координаты начала и конца вибратора сдвинута на  $l$  вдоль оси  $oz$  в положительную и отрицательную стороны;

– аналогичным образом рассчитать координаты начала и конца второго вибратора;

– записать координаты в соответствующие ячейки таблицы;

– установить источники в центре каждого провода;

– в соответствии с пунктом 2.10 изменять значение ячейки «Phase» одного из вибраторов.

2. Во вкладке «**Вычисления**»:

– установить тип подстилающей поверхности;

– задать высоту расположения вибратора;

– произвести расчеты нажатием кнопки «Пуск»

***В отчете в обязательном порядке должны быть приведены:***

– рисунки горизонтальной и вертикальной антенной решетки в декартовой системе координат.

– таблица со значениями  $R_{ВХ}$ ,  $X_{ВХ}$ ,  $KCB$ .

– диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

– график зависимости  $R_{ВХ}$ ,  $X_{ВХ}$ ,  $KCB$  от  $a$  и  $b$ .

#### **4 Требования к оформлению отчёта по выполнению лабораторной работы**

Отчёт набирается компьютере в формате .doc или .rtf и печатается на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297).

Размеры полей:

– верхнее поле – 2 см;

– нижнее поле – 2 см;

– левое поле – 3 см;

– правое поле – 1,5 см;

– переплет – 0 см.

Выравнивание текста – по ширине. Шрифт – Times New Roman. Цвет шрифта – чёрный, размер шрифта – 14. Текст работы печатается с абзацного отступа 1,25 см. Междустрочный интервал – 1,5. Дополнительные отступы до и после абзацев не применяются.

Несложные формулы должны быть набраны с использованием команды «Вставка→Символ». Сложные формулы должны быть набраны в редакторе MathType 6.0 Equation.

Отчёт по выполнению лабораторной работы должен содержать:

- название предмета, номер и название лабораторной работы;
- фамилию и инициалы автора, номер группы;
- фамилию и инициалы преподавателя;
- цель работы;
- перечень используемого оборудования;
- последовательность действий при проведении исследований;
- вывод о проделанной работе;
- ответы на контрольные вопросы;
- дату выполнения и личную подпись.

Результаты различных измерений необходимо представить в виде нескольких самостоятельных таблиц и графиков. Каждая таблица и каждый график должны иметь свой заголовок и исходные данные эксперимента.

При выполнении численных расчетов надо записать формулу определяемой величины, сделать соответствующую численную подстановку и произвести вычисления.

## **5. Контрольные вопросы**

1. Дайте понятие двумерной эквидистантой синфазной антенной решетки.
2. Опишите влияние горизонтального и вертикального развития (количество элементов) двумерной эквидистантой синфазной антенной решетки на направленные свойства.
3. Опишите влияние горизонтального и вертикального межэлементного расстояния на направленные свойства двумерной эквидистантой синфазной антенной решетки.
4. Опишите влияние фазового распределения питания элементов решетки на направленные свойства двумерной эквидистантой антенной решетки.
5. Опишите принципы использования рефлектора для получения односторонней диаграммы направленности двумерной эквидистантой антенной решетки.

6. Опишите влияние расстояния до рефлектора на направленные свойства двумерной эквидистантой антенной решетки.

7. Охарактеризуйте принцип выбора оптимального размера рефлектора и влияние его размеров на направленные свойства и входные характеристики двумерной эквидистантой антенной решетки.



## Лабораторная работа №3

### «Расчет поля элементарного электрического вибратора, поднятого над идеальной проводящей поверхностью»

#### 1 Цель работы

– освоить методику расчет поля элементарного электрического вибратора, поднятого над идеальной проводящей поверхностью.

#### 2 Краткие теоретические сведения

В свободном пространстве напряженность поля от элементарного вибратора определяется выражением:

$$E_{\text{и}} = \frac{60\pi I_m l}{\lambda r} \cdot \sin \theta, \quad (1)$$

где  $I_m$  – амплитуда тока в антенне;

$l$  – длина вибратора;

$\theta$  – угол направления приема.

При расположении вертикального вибратора над поверхностью Земли возникает его зеркальное отражение, формирующее также свою диаграмму направленности (рисунок 1).

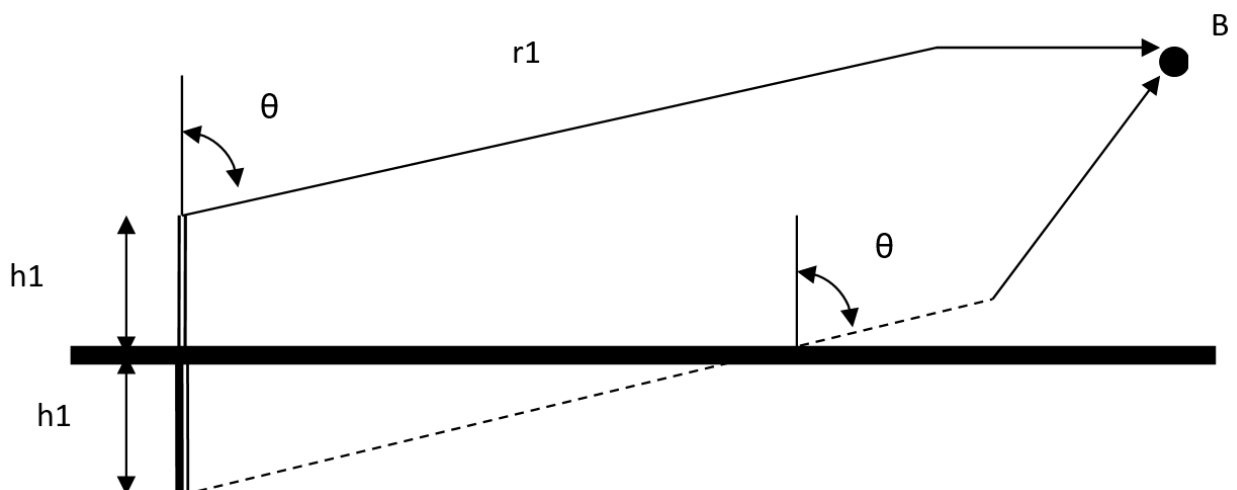


Рисунок 1 – Схема формирования двух лучей в точке приема: первый луч прямой, второй луч отраженный от Земли.

Результирующая диаграмма направленности в точке приема В будет определяться выражением:

$$E_m = \frac{60\pi I_m l}{\lambda r} \cdot \sin \theta \cdot \sqrt{1 + |R_g|^2 + 2|R_g| \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} 2h_1 \cos \theta + \Phi_g\right)}, \quad (2)$$

где  $\Phi_g$  – сдвиг фазы второго луча при отражении от земли;  $R_g$  – коэффициент отражения луча от земли.

Вертикальный вибратор создает главным образом вертикально поляризованную волну.

Рассмотрим случай идеально проводящей поверхности  $\gamma = \infty$ . Для всех углов падения волны на поверхность  $|R_g|=1$ ,  $\Phi_g=0$ .

При этих условиях:

$$E_m = \frac{60\pi I_m l}{\lambda r} \cdot \sin \theta \cdot \sqrt{2 \left[ 1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} 2h_1 \cos \theta\right) \right]} = \frac{120\pi I_m l}{\lambda r} \sin \theta \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} 2h_1 \cos \theta\right). \quad (3)$$

Входящий в эту формулу интерференционный множитель  $\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} 2h_1 \cos \theta\right)$  показывает на существование интерференционных максимумов и минимумов при достаточно большом отношении  $\frac{h_1}{\lambda}$ .

Действительно при  $\frac{2\pi}{\lambda} h_1 \cos \theta_{\max} = 0, \pi, 2\pi, \dots$ ,  $E_m = E_{\max} = \frac{120\pi I_m l}{\lambda r} \sin \theta$ , а при  $\frac{2\pi}{\lambda} h_1 \cos \theta_{\max} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \dots$ ,  $E_m = E_{\min} = 0$ .

Первый минимум излучения (нуль) имеет место при  $\cos \theta = \frac{\lambda}{4h_1}$ .

Следовательно, чем выше расположен вибратор над поверхностью, тем уже оказывается его первый лепесток диаграммы направленности.

Вдоль поверхности в горизонтальном направлении имеется максимум излучения, так как при  $\theta = 90^\circ$   $\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} h_1 \cos \theta\right) = 1$ .

В вертикальном направлении вертикальный вибратор не излучает. С уменьшением угла  $\theta$  амплитуды лепестков уменьшаются за счет влияния диаграммы направленности самого вибратора.

На рисунке 2 представлена диаграмма направленности вертикального вибратора, находящегося над идеальной проводящей поверхностью.

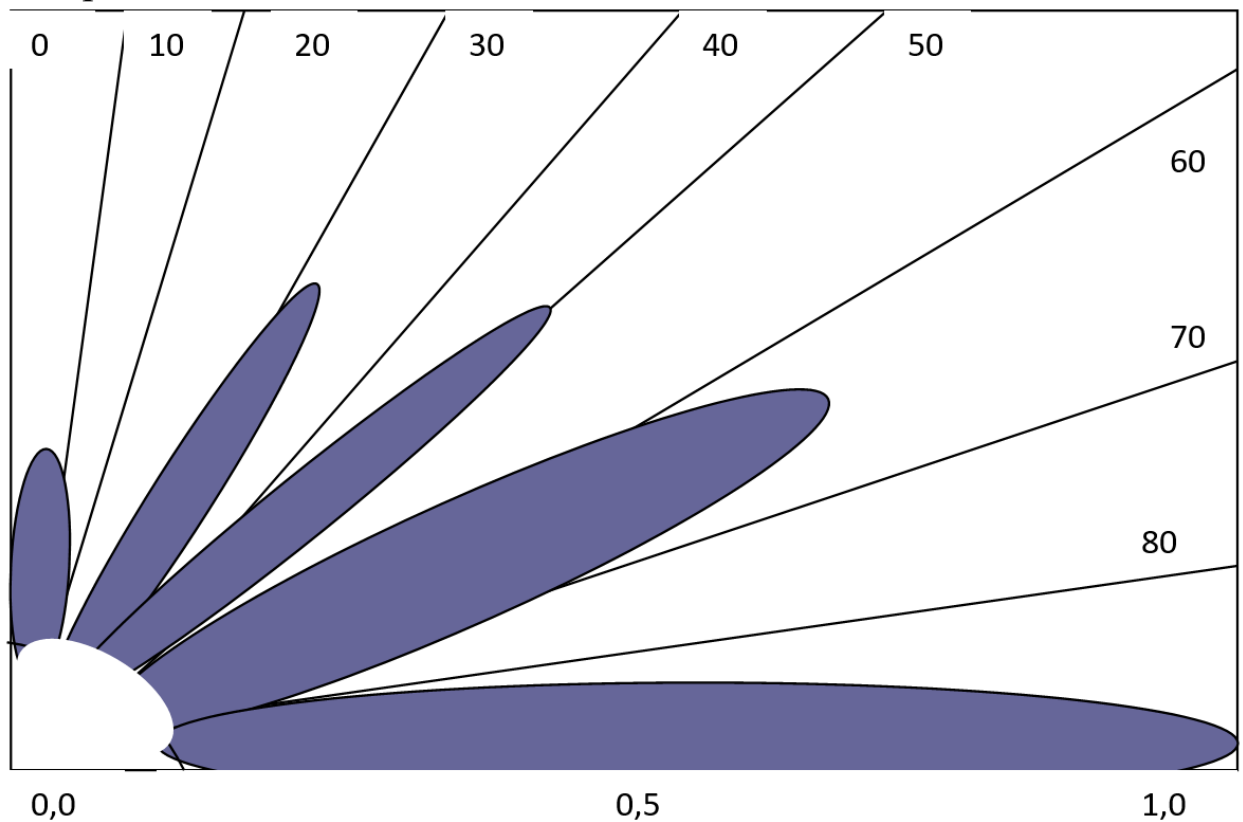


Рисунок 2 – Диаграмма направленности вертикального вибратора, расположенного на высоте  $h_1 = 2,5\lambda$  над идеально проводящей поверхностью

### 3 Задание на лабораторную работу

Вертикальный вибратор расположен на высоте  $h_1 = 10\lambda$  над идеальной проводящей поверхностью. Построить диаграмму направленности для этого случая в полярной системе координат. Построить диаграмму направленности для этого вибратора с помощью программного обеспечения MANNA. Сравнить вид расчетной диаграммы направленности и диаграммы направленности, полученной с помощью программы MANNA. Объяснить различие и наличие большого количества боковых лепестков.

Варианты выполнения лабораторной работы выбираются по порядковому номеру студента в списке группы из таблицы 1.

Таблица 1 – Варианты заданий на лабораторную работу

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
$\lambda=10\text{м}$	$\lambda=20\text{м}$	$\lambda=5\text{м}$	$\lambda=1\text{м}$	$\lambda=15\text{м}$	$\lambda=25\text{м}$	$\lambda=100\text{м}$	$\lambda=7\text{м}$	$\lambda=2\text{м}$	$\lambda=8\text{м}$
11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
$\lambda=9\text{м}$	$\lambda=12\text{м}$	$\lambda=50\text{м}$	$\lambda=17\text{м}$	$\lambda=4\text{м}$	$\lambda=150\text{м}$	$\lambda=120\text{м}$	$\lambda=110\text{м}$	$\lambda=32\text{м}$	$\lambda=11\text{м}$
21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.
$\lambda=31\text{м}$	$\lambda=35\text{м}$	$\lambda=14\text{м}$	$\lambda=45\text{м}$	$\lambda=10\text{м}$	$\lambda=28\text{м}$	$\lambda=3\text{м}$	$\lambda=0,1\text{м}$	$\lambda=19\text{м}$	$\lambda=250\text{м}$
31.	32.	33.	34.	35.	36.	37.	38.	39.	40.
$\lambda=10\text{м}$	$\lambda=15\text{м}$	$\lambda=20\text{м}$	$\lambda=25\text{м}$	$\lambda=30\text{м}$	$\lambda=40\text{м}$	$\lambda=45\text{м}$	$\lambda=50\text{м}$	$\lambda=55\text{м}$	$\lambda=60\text{м}$

## 4 Методические указания по выполнению лабораторной работы

4.1 Необходимо построить полярную систему координат.

4.2 Произвести расчеты по формуле (3), определив минимумы и максимумы диаграммы направленности.

4.3 Построить в полярной системе координат минимумы и максимумы диаграммы направленности.

4.4 Задать параметры вертикального вибратора: пространственные координаты, высоту поднятия над Землей, вид проводящей поверхности и построить с помощью программного обеспечения MMANA-GAL диаграмму направленности вертикального вибратора, поднятого над Землей (рисунок 3-б).

Геометрия | Вид | Вычисления | Диаграмма направленности

Имя: \_\_\_\_\_ Частота: 14.150 МГц  в лямбдах

Проводов 1 Автоsegmentация: DM1 800 DM2 80 SC 2.0 EC 1  Не разрывать

No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)	Seg.
1	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.8	-1
след.								

Источников 1  Одинаковые источники Нагрузок 0  Включить нагрузки

No.	PULSE	Phase dg	Volt. V	No.	PULSE	Type	L(uH)	C(pF)	Q	F(MHz)
1	w1e	0.0	1.0	след.						
след.										

Рисунок 3 – Задание параметров на вкладке «Геометрия»

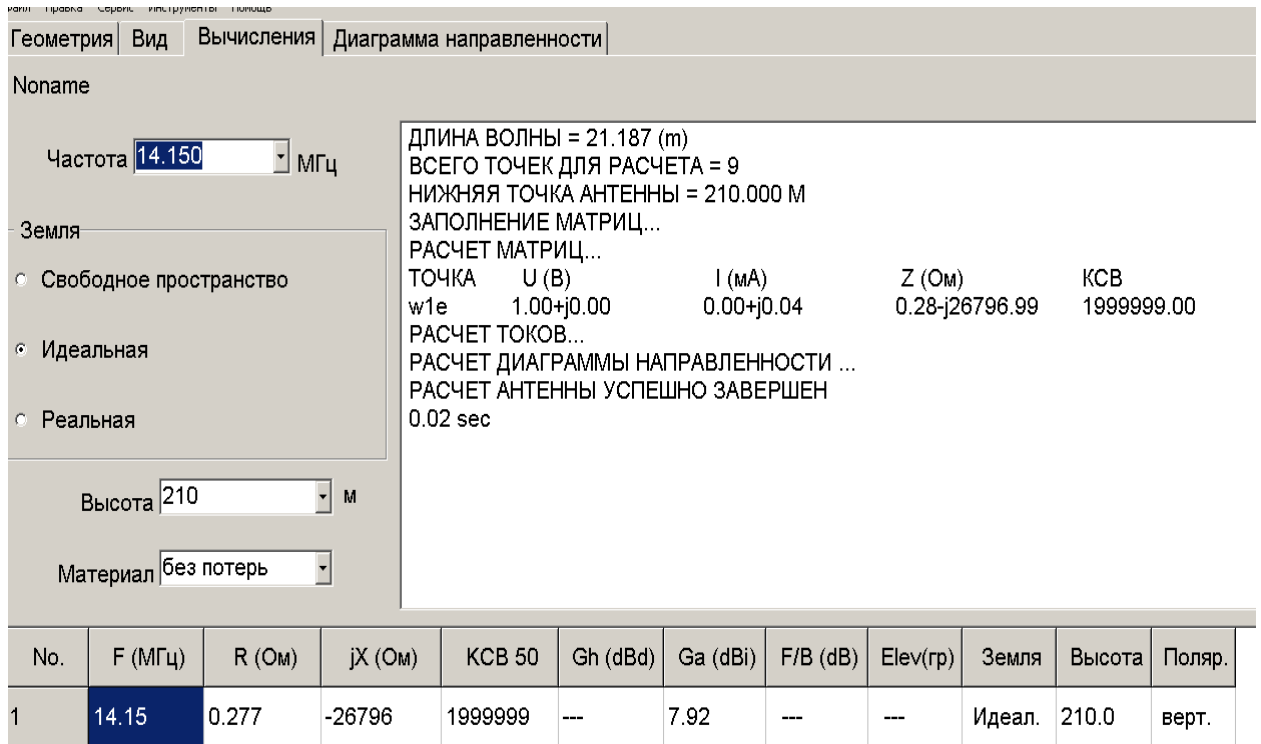


Рисунок 4 – Результаты выполнения вычислений в программе ММНА-GAL

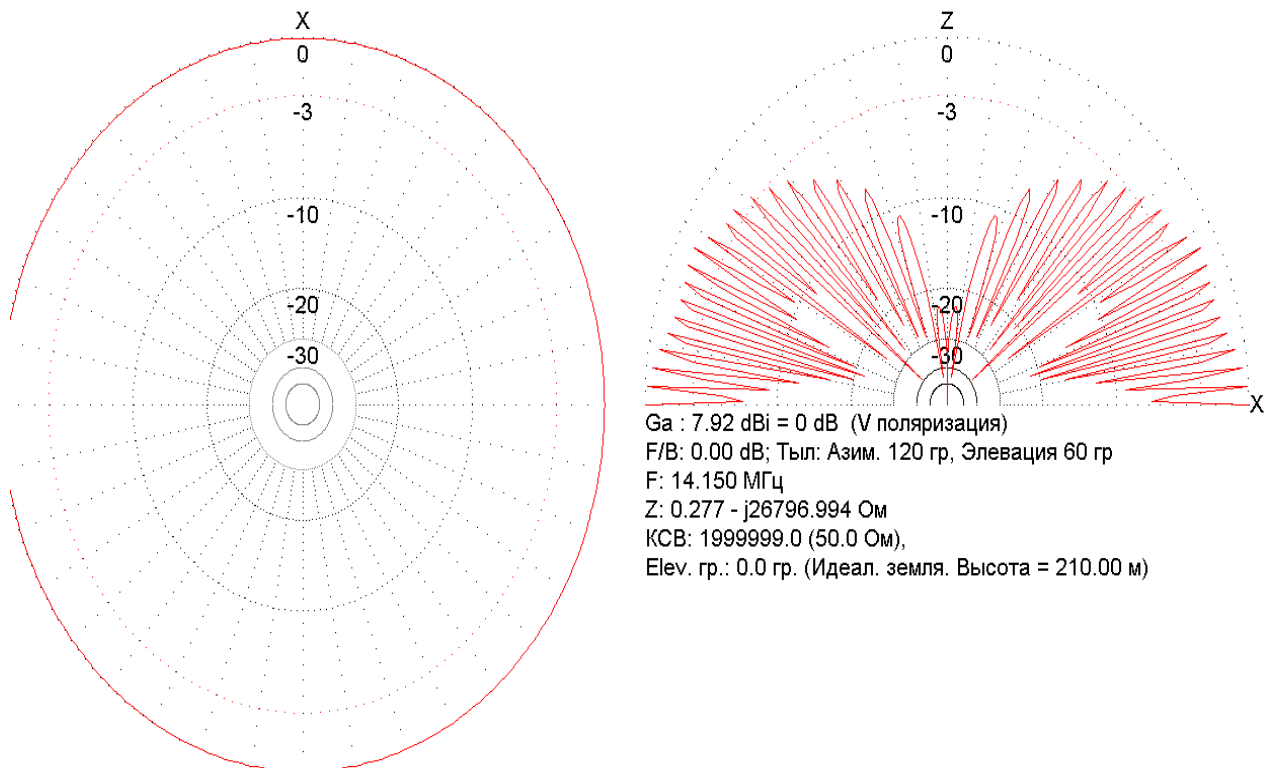


Рисунок 5 – Результат построения полярной ДН в программе ММНА-GAL

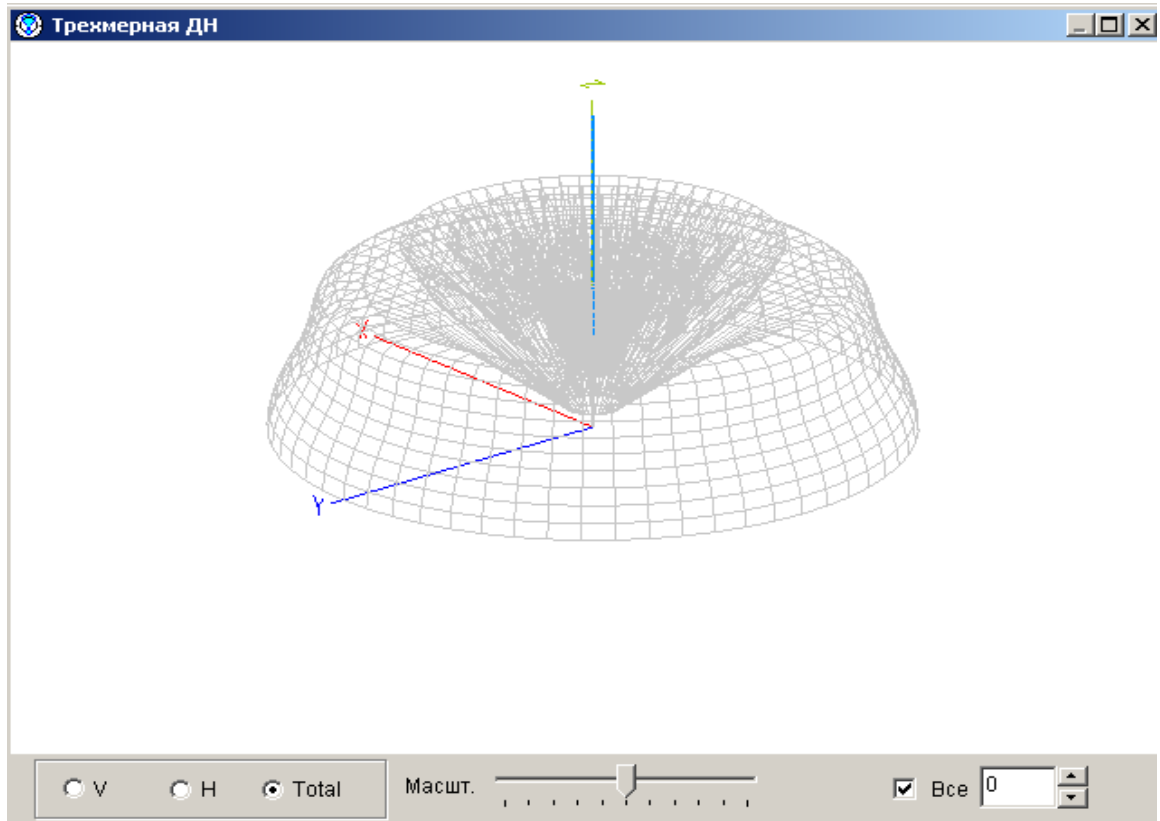


Рисунок 6 – Результат построения трехмерной ДН в программе MMANA-GAL

4.5 Сравните диаграммы направленности, полученные расчетным и программным методами.

4.6 Объясните наличие боковых лепестков.

## 5 Требования к оформлению отчёта по выполнению лабораторной работы

Отчёт набирается компьютере в формате .doc или .rtf и печатается на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297).

Размеры полей:

- верхнее поле – 2 см;
- нижнее поле – 2 см;
- левое поле – 3 см;
- правое поле – 1,5 см;
- переплет – 0 см.

Выравнивание текста – по ширине. Шрифт – Times New Roman. Цвет шрифта – чёрный, размер шрифта – 14. Текст работы

печатается с абзацного отступа 1,25 см. Междустрочный интервал – 1,5. Дополнительные отступы до и после абзацев не применяются.

Несложные формулы должны быть набраны с использованием команды «Вставка→Символ». Сложные формулы должны быть набраны в редакторе MathType 6.0 Equation.

Отчёт по выполнению лабораторной работы должен содержать:

- название предмета, номер и название лабораторной работы;
- фамилию и инициалы автора, номер группы;
- фамилию и инициалы преподавателя;
- цель работы;
- перечень используемого оборудования;
- последовательность действий при проведении исследований;
- вывод о проделанной работе;
- ответы на контрольные вопросы;
- дату выполнения и личную подпись.

Результаты различных измерений необходимо представить в виде нескольких самостоятельных таблиц и графиков. Каждая таблица и каждый график должны иметь свой заголовок и исходные данные эксперимента.

При выполнении численных расчетов надо записать формулу определяемой величины, сделать соответствующую численную подстановку и произвести вычисления.

## **6 Контрольные вопросы**

1. Линейные симметричные электрические вибраторы какой длиной обычно применяются на практике?
2. Какова причина образования боковых лепестков амплитудной диаграммы направленности линейного симметричного электрического вибратора?
3. Почему входное сопротивление линейного симметричного электрического вибратора является исключительно важным его параметром?
4. В чем состоит принципиальная особенность изменения входного сопротивления линейного симметричного электрического вибратора в зависимости от радиуса провода его плеча?
5. Какие линейные симметричные электрические вибраторы называются связанными?

6. Чем определяется значение множителя системы связанных вибраторов?

7. При каких условиях в системе двух связанных линейных симметричных электрических вибраторов взаимные сопротивления равны наведенным?

8. В чем принципиальная разница между первичным и вторичным линейным симметричным электрическим вибратором в системе двух связанных вибраторов?

9. Чем отличаются направленные свойства системы двух связанных линейных симметричных электрических вибраторов, когда вторичный излучатель работает в режиме рефлектора или директора?