

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»



В. Ф. Янушкевич  
Н. А. Кузнечик

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕНН В ПРОГРАММЕ MMANA

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 1-39 01 01

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2019

УДК 621.396.67(075.8)

ББК 32.845я73

Одобрено и рекомендовано к изданию  
методической комиссией радиотехнического факультета  
в качестве методических указаний  
(выписка из протокола № 1 от 18.09.2018 г.)

Кафедра энергетики и электроники

Рецензенты:

канд. техн. наук, доц. каф. энергетики и электроники

Полоцкого государственного университета *Т. В. Молодечкина*;

ведущий инженер РУП «Витебскэнерго»

филиала «Полоцкие электросети» *П. Н. Ровбо*

© Янушкевич В. Ф., Кузнечик Н. А., 2019

© Полоцкий государственный университет, 2019

## Лабораторная работа № 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ РОМБИЧЕСКИХ АНТЕНН

**Цель работы** – исследование параметров ромбических антенн в программе Mmana.

#### Теоретические сведения

Ромбические антенны и антенны бегущей волны являются диапазонными антеннами или антеннами на фиксированные волны.

Ромбические антенны подключены к источнику питания с помощью фидера с одного конца, другой конец, направленный на корреспондента, замыкается сопротивлением, равным волновому (рис. 1.1). Это сопротивление изготовляют из нихромового или подобного ему провода.

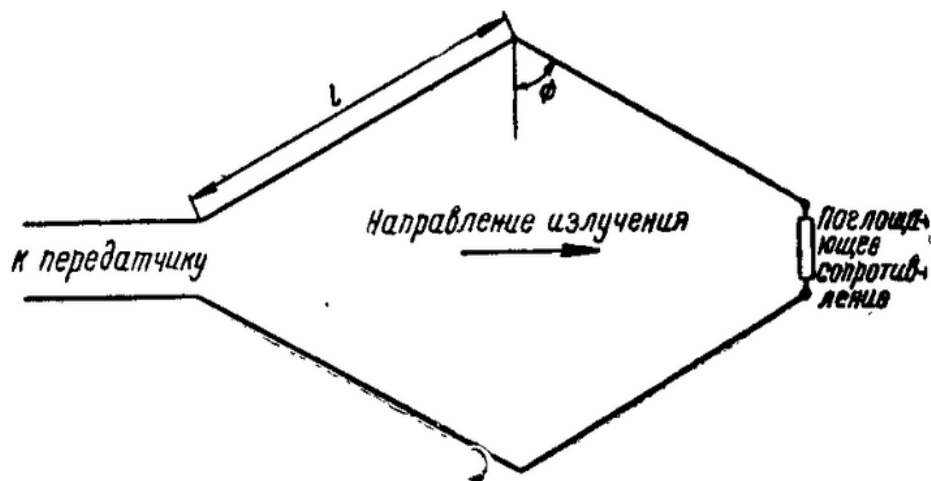


Рисунок 1.1. – Электрическая схема ромбической антенны

Ромбические антенны позволяют получить высокие коэффициенты усиления и направленного действия. Они отличаются пониженной восприимчивостью к внешним помехам по сравнению с другими типами однопроводных антенн. Недостатком ромбических антенн являются большие геометрические размеры и необходимость иметь четыре опоры.

Ромбические антенны являются однонаправленными и имеют сравнительно узкую диаграмму направленности (ДН) в горизонтальной плоскости. Определение направления на телевизионный центр лучше всего производить геодезическими методами, так как с помощью карты и компаса результат получается менее точный. Ромбические антенны могут обес-

печить удовлетворительный прием на расстоянии 250–300 км от телевизионного центра. Ромбические антенны относятся к группе широкодиапазонных остронаправленных антенн.

Ромбические антенны, проектируемые с целью достижения максимального коэффициента усиления (рис. 1.2), имеют большие геометрические размеры (табл. 1.1).

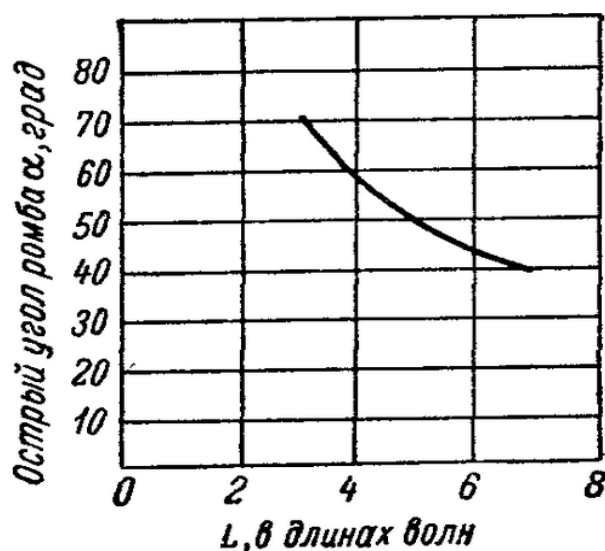


Рисунок 1.2. – График зависимости  $Z$  и  $\alpha$  от коэффициента усиления антенны

Таблица 1.1. – Длина стороны ромба, м

Телевизионный канал	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 70^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 40^\circ$
	$\epsilon_{\text{напр}} = 2$	$\epsilon_{\text{напр}} = 2,6$	$\epsilon_{\text{напр}} = 3$	$\epsilon_{\text{напр}} = 3,6$	$\epsilon_{\text{напр}} = 4,5$
1-й	11,36	17,04	22,72	28,40	39,76
2-й	9,64	14,16	19,28	24,10	33,74
3-й	7,46	11,19	14,22	18,65	26,11
4-й	6,78	10,20	13,57	16,95	23,70
5-й	6,22	9,34	12,43	15,54	21,80

Наряду с этими преимуществами ромбические антенны обладают все же и существенными недостатками. Площадь, занимаемая антенной, достаточно велика (рис. 1.3). Размещение на антенном поле значительного числа ромбических антенн приводит к расширению территории поля, повышению капитальных затрат на сооружение центров и увеличению экс-

платационных расходов на охрану, освещение территории. Кроме того, удлиняются фидерные линии и увеличиваются потери энергии в них.

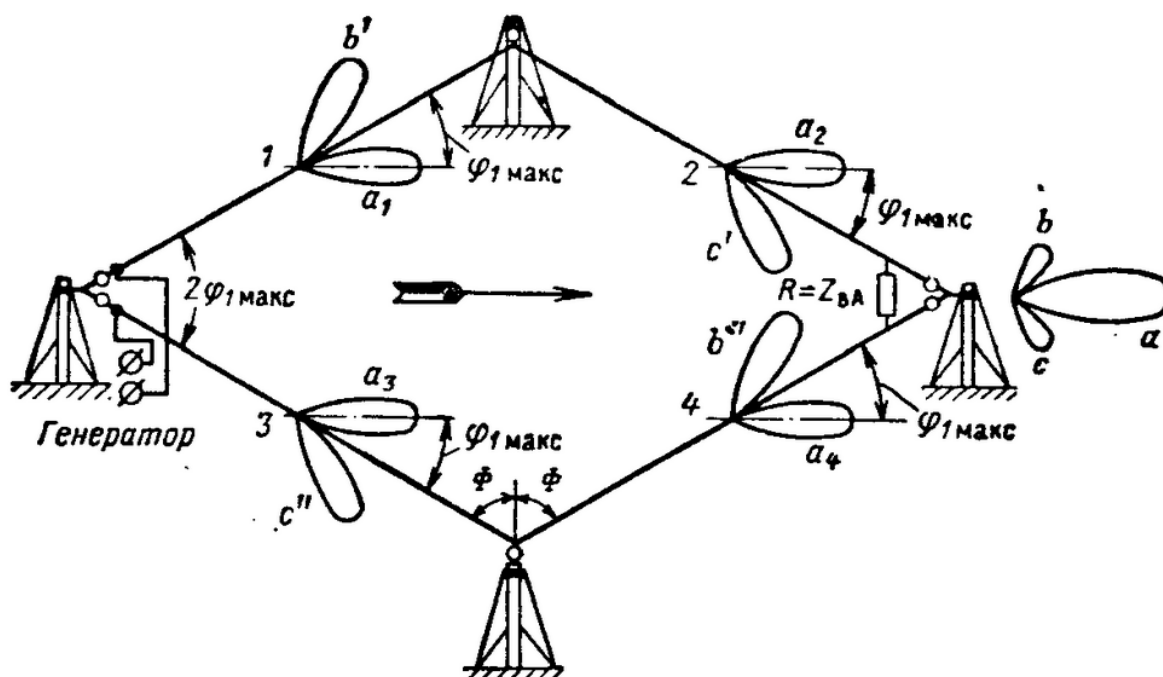


Рисунок 1.3. – Принципиальная схема ромбической антенны

В силу ряда эксплуатационных удобств ромбические антенны находят широкое применение на приемных и передающих коротковолновых радиостанциях. Они просты по конструкции, недороги, работают в весьма широком диапазоне волн, имеют удовлетворительные коэффициенты усиления, не требуют никаких настроек и регулировок. Для согласования ромбических антенн с питающей линией нужно обеспечить значение коэффициента бегущей волны (КБВ) в пределах 0,8...1,0. Для диапазонных антенн КБВ понижается иногда до 0,5 и даже ниже.

Для приема коротких волн, как правило, используются диапазонные антенны, в том числе горизонтальный симметричный вибратор, относящийся к слабонаправленным антеннам, антенны ромбические горизонтальные (РГ), антенны ромбические горизонтальные двойные (РГД) и антенны бегущей волны, обладающие значительной направленностью.

Для этого наиболее подходящим режимом антенной системы является режим бегущих волн. Согласованный режим передачи энергии обладает рядом преимуществ: коэффициент полезного действия линии имеет максимальное значение; отсутствие рассогласования в диапазоне частот обеспечивает постоянство входного сопротивления линии в этом диапазоне.

Ромбические антенны работают с бегущей волной тока, благодаря чему их входное сопротивление остается постоянным и активным во всем рабочем диапазоне волн (рис. 1.4).

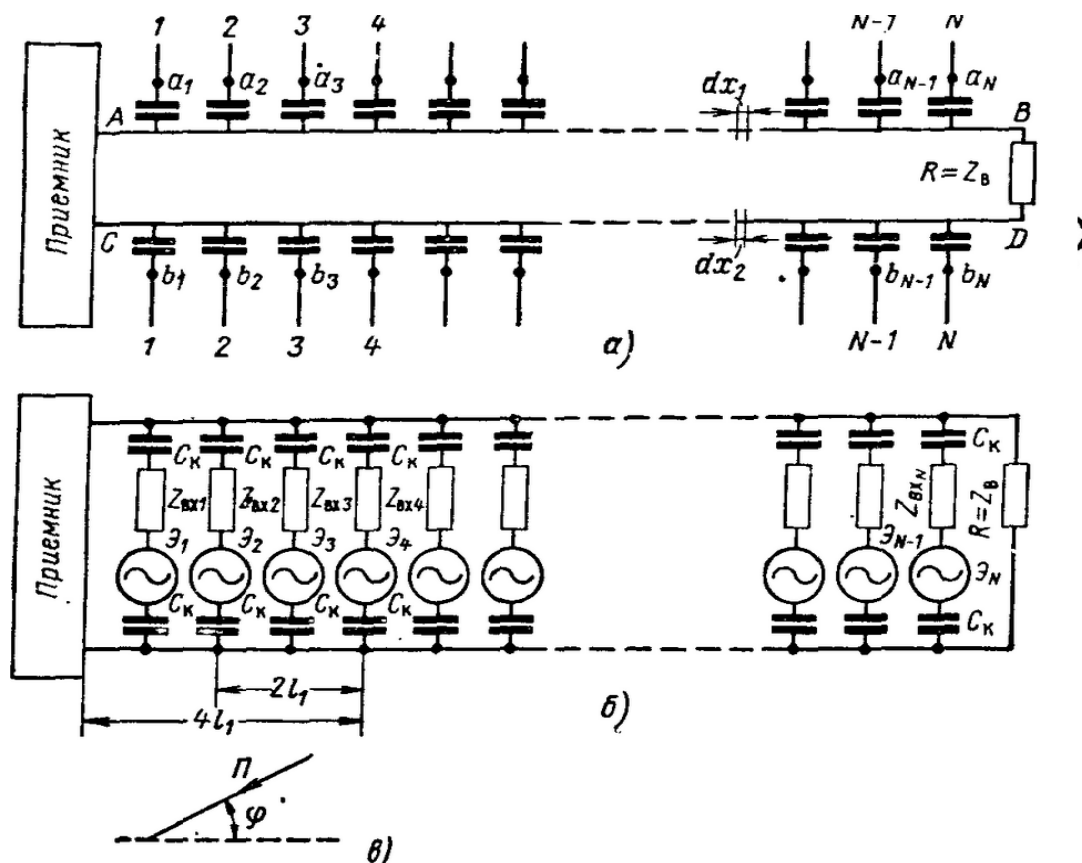


Рисунок 1.4. – Принципиальная (а) и эквивалентная (б) схемы антенны бегущей волны и ориентация волны относительно антенны (в)

В случае передающей ромбической антенны следует прежде всего постараться обеспечить постоянство входного сопротивления в диапазоне частот, так как это даст возможность сохранять согласование антенны с фидером питания. Для этого необходимо, чтобы отклонения локального волнового сопротивления ромбической антенны от расчетного значения не превышали определенной величины. Практически невозможно обеспечить постоянство волнового сопротивления вдоль ромбической антенны; но это и не является необходимым. Чтобы возрастание волнового сопротивления, связанное с увеличением расстояния между проводами, не выходило за границы допустимого, ромбические антенны выполняются, как правило, многопроводными. Вертикальный разнос  $s$  проводов линейно возрастает вдоль стороны ромба и достигает своего максимального значения у тупого угла ромба.

## Моделирование антенны в программе Mmana

### 1. Исследования ромбических антенн в среде Mmana.

Виды ромбической и полуромбической антенн показаны на рисунке 1.5.

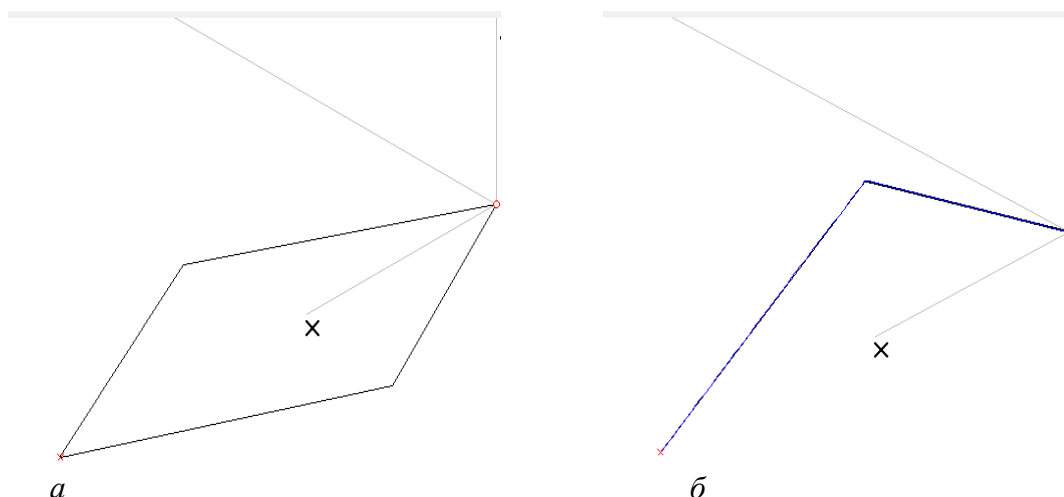


Рисунок 1.5. – Ромбическая (а) и полуромбическая (б) антенна

Произвести вычисления характеристик антенн на частотах, заданных преподавателем, в программе Mmana согласно рисунку 1.6.

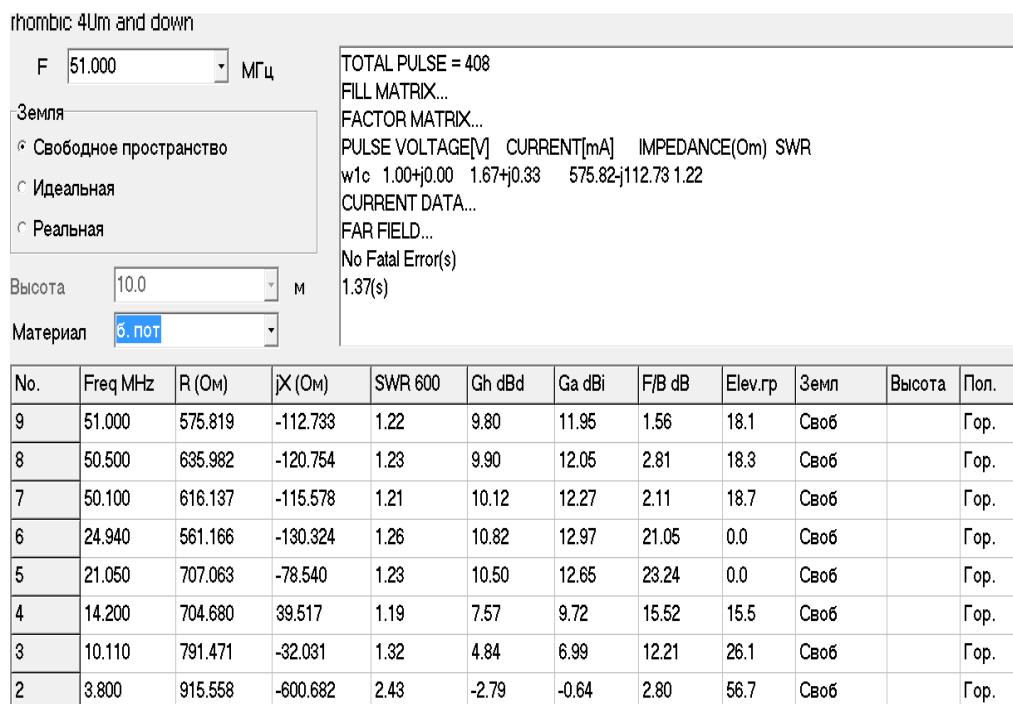


Рисунок 1.6. – Вычисления для ромбической антенны

2. Построить ДН ромбических антенн (по примеру рис. 1.7.) и графики (по примеру рис. 1.8.).

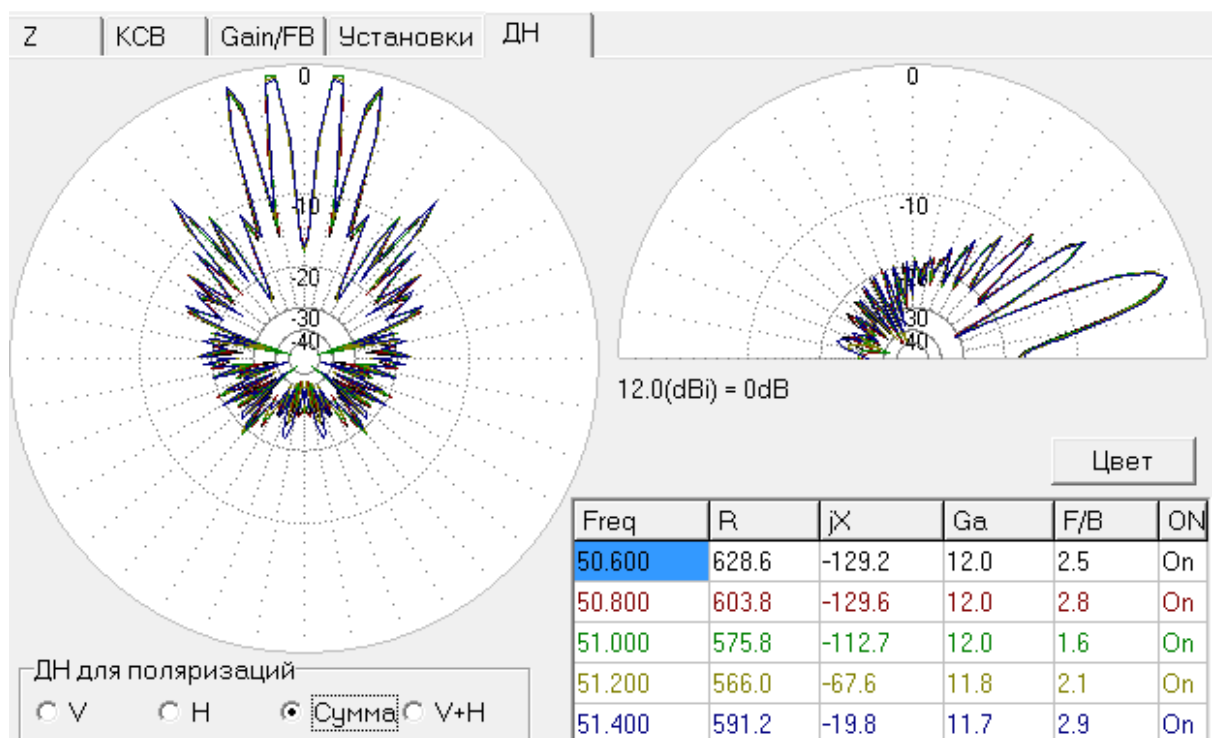


Рисунок 1.7. – Диаграммы направленности для ромбической антенны

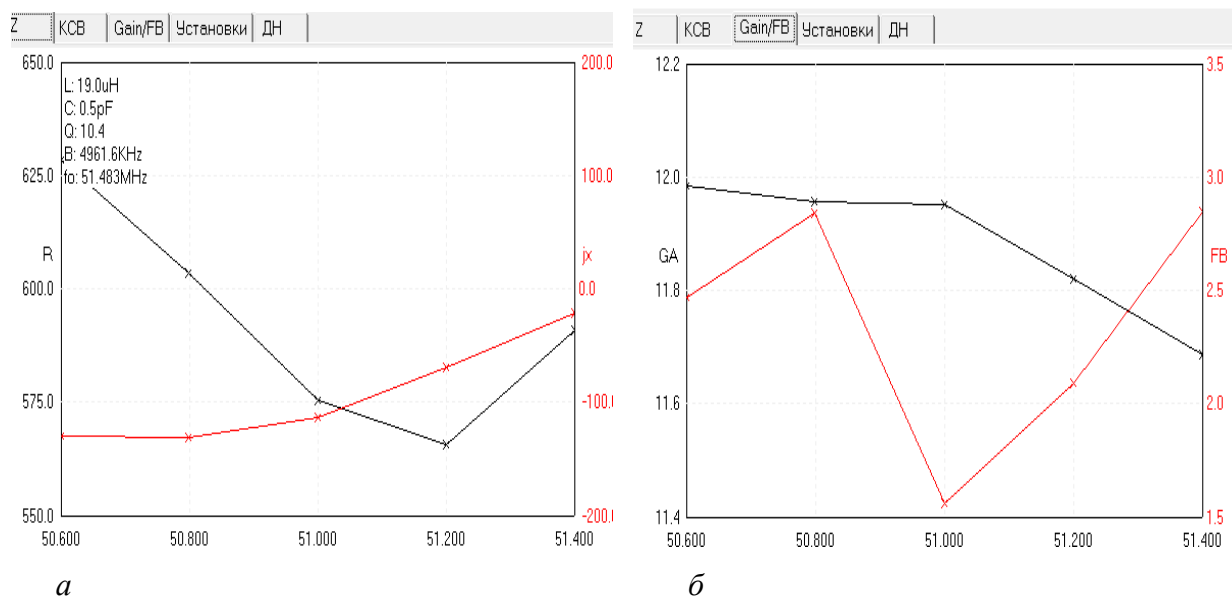


Рисунок 1.8. – Характеристики ромбической антенны:  
**а** – активное и реактивное входные сопротивления;  
**б** – коэффициент усиления и уровень боковых лепестков



3. Произвести аналогичное моделирование для полуромбической антенны (рис. 1.9 – 1.11) в программе Mmana.

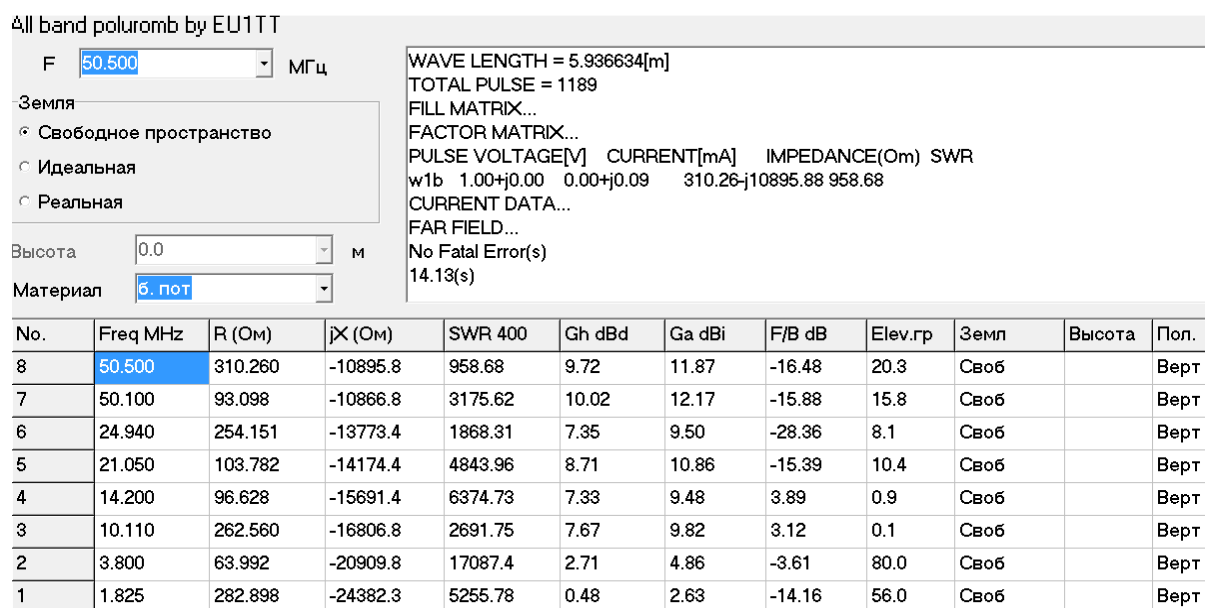


Рисунок 1.9. – Вычисления для полуромбической антенны

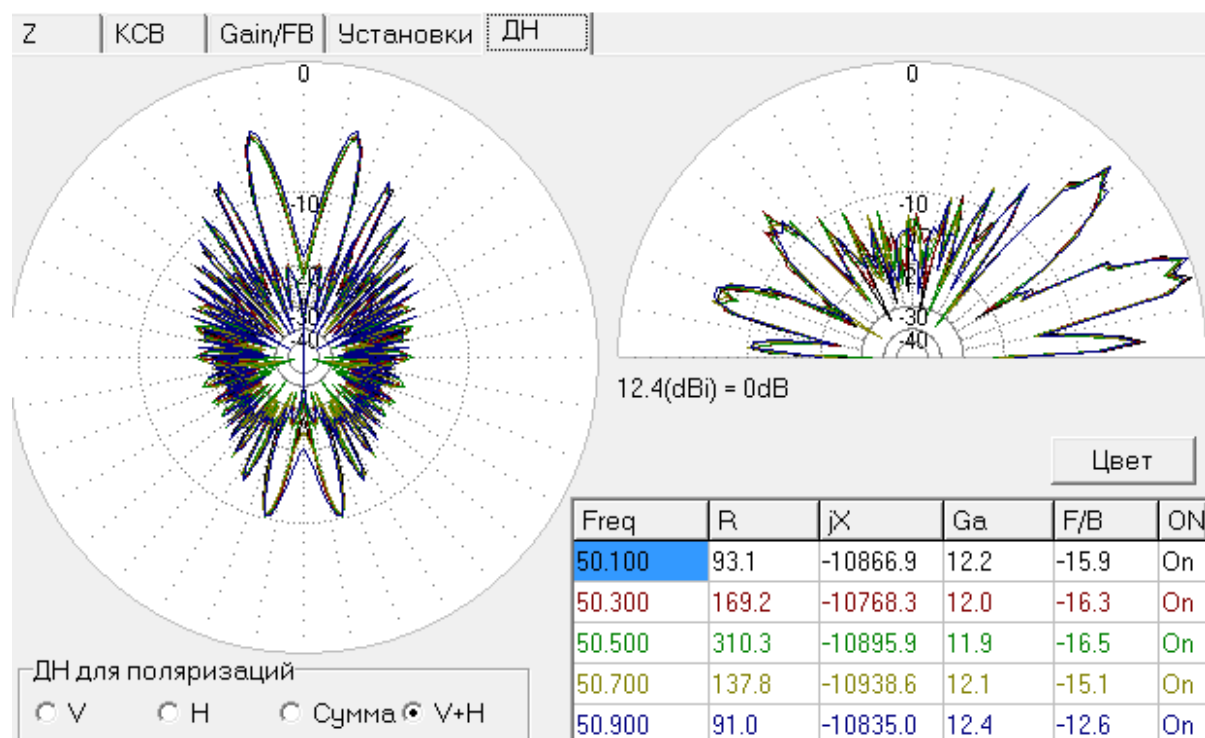
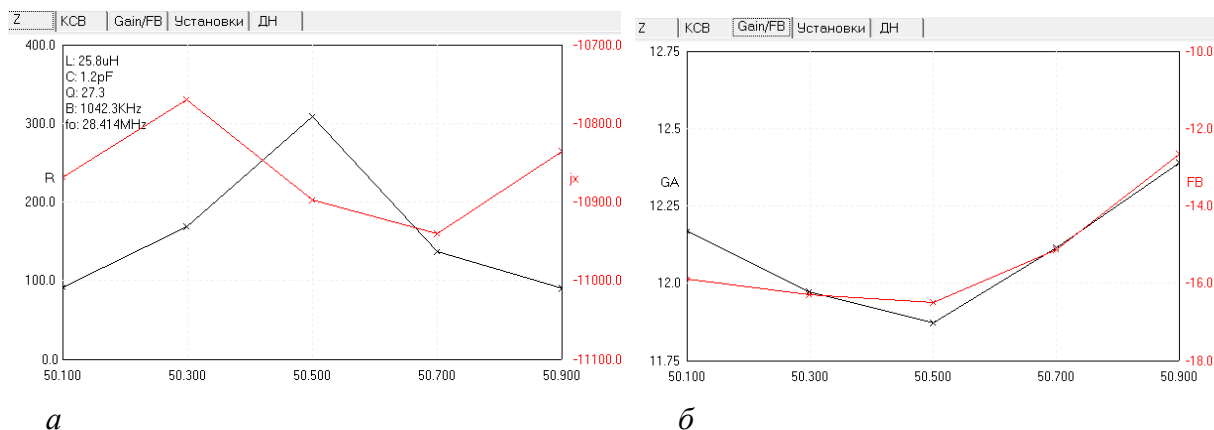


Рисунок 1.10. – Диаграммы направленности и графики полуромбической антенны



**Рисунок 1.11. – Характеристики полуромбической антенны:**  
***a*** – активное и реактивное входные сопротивления;  
***б*** – коэффициент усиления и уровень боковых лепестков

### Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Чертеж ромбической и полуромбической антенн.
3. Таблицы результатов.
4. Графики зависимостей.
5. Сделать выводы о проделанной работе.

### Контрольные вопросы:

1. Для чего предназначены ромбические антенны?
2. Дальность приема ромбических антенн.
3. Недостатки ромбических антенн.
4. Принцип работы ромбической антенны.
5. Где чаще всего применяются ромбические антенны?

## Лабораторная работа № 2

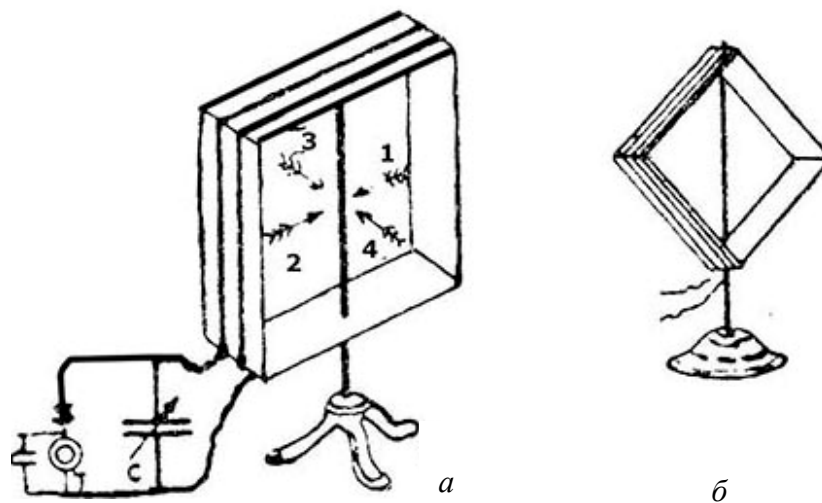
### ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ АНТЕНН

**Цель работы** – измерение параметров магнитных антенн в программе Mmana.

#### Теоретические сведения

Магнитная рамка – это один из типов малогабаритных рамочных антенн. Первое упоминание о приемных рамочных антеннах в СССР относится к 1924 году.

В книге «Радиоприем и радиоприемники», издание Нижегородской радиолaborатории, инженер С.И. Шапошников пишет: «Если на деревянную рамку, изображенную на рисунке 2.1, намотать некоторое количество витков изолированной проволоки, к концам которой присоединить переменный конденсатор  $C$ , то получается замкнутый колебательный контур, могущий колебаться волной, длина которой зависит от емкости  $C$  и самоиндукции  $L$  рамки».



**Рисунок 2.1.** – Принципиальная схема магнитной антенны:  
*a* – подключение антенны; *б* – пример антенны (ромбическая)

Такой контур, располагаемый в вертикальной плоскости, называется приемной рамкой и обладает следующими свойствами:

1. Магнитные линии сил электромагнитной волны, пересекая вертикальные части витков, индуктируют в рамке вынужденные колебания, на которые можно настроить собственную волну рамки конденсатором  $C$ . Если к конденсатору  $C$ , присоединить детекторную цепь, то на такую рамку можно принимать работу передатчиков.

2. Рамка обладает направляющим действием: установленная, как показано на рисунке 2.1, и настроенная на проходящую волну, она лучше всего принимает сигналы в направлениях, указанных стрелками 1 и 2, т.е. волну, проходящую в плоскости рамки, и совсем не принимает волн, проходящих в направлениях 3 и 4, т.е. волн, проходящих перпендикулярно плоскости рамки. Таким образом, установив рамку в некотором направлении, при котором получается наиболее громкий звук, можно определить, в каком направлении от нее находится передающая станция.

Рамки обладают своими достоинствами и недостатками. К первым относятся простота конструкции, малый размер, позволяющий устанавливать их дома, направляющее действие. Главный недостаток заключается в том, что они относятся к антеннам с низким КПД, поэтому сигнал с их помощью можно принимать лишь на небольшие расстояния. Однако при работе с хорошим усилителем мощные передатчики могут излучать сигнал посредством рамок на тысячи километров.

Рамки могут быть самой разнообразной величины и формы. Наиболее практичной считается рамка в виде ромба, поставленного на угол (рис. 2.1, б).

Магнитные рамочные антенны часто являются единственным типом передающих антенн, которые могут быть применены в ограниченном пространстве города, на вагончиках нефтяников, на судах речного и морского флота. Во многих случаях магнитные рамки обеспечивают более эффективную работу в эфире по сравнению с другими типами укороченных и малогабаритных антенн.

Магнитная рамочная антенна имеет вид петли, которая подключена к конденсатору переменной емкости. В качестве петли (излучателя) используется труба, толщиной от 10 до 30 мм, выполненная из меди или из сплавов алюминия. Периметр излучателя обычно находится в пределах от  $0,03\lambda$  до  $0,25\lambda$ . Излучатель может иметь любую форму (квадрат, треугольник, круг). Наибольшее распространение получил излучатель, выполненный в форме круга, как это и показано на рисунке 2.2.

Магнитная рамка в сравнении с полноразмерными антеннами (например, антенной треугольник – «Дельта», замкнутая антенная система) не так сильно подвержена восприятию промышленных помех.

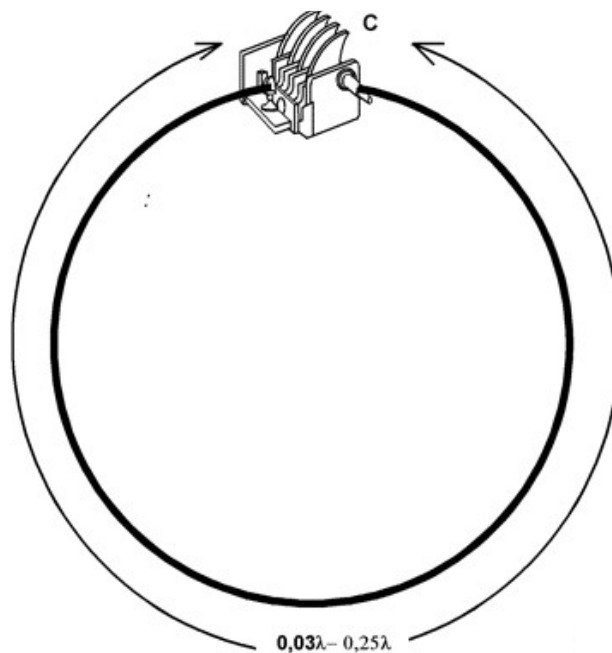
Приведем примеры задаваемых параметров магнитной рамки в виде следующей строки: Диапазон / Периметр «Дельты» / высота подвеса / Периметр «МЛ МЛ» (диаметр излучателя). Например:

150 м (2,0 МГц) / 150 м / ~40 м / 12,56 м (4 м)

75 м (4,0 МГц) / 75 м / ~20 м / 12,56 м (4 м) или 5,4 м (1,7 м)

50 м (6,0 МГц) / 50 м / ~13 м / 12,56 м (4 м) или 5,4 м (1,7 м)

37,5 м (8,0 МГц) / 37,5 м / ~10 м / 12,56 м (4 м) или 5,4 м (1,7 м)



**Рисунок 2.2. – Излучатель, выполненный в форме круга**

Антенна, имеющая форму круга, считается классической магнитной рамочной антенной. Именно магнитные антенны, имеющие круглую форму излучателя, производят большинство фирм.

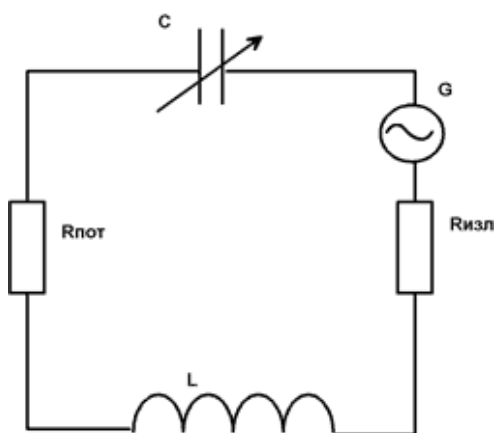
Следует отметить, что для полноразмерных антенн требуется минимальная высота от земли  $\frac{1}{4}$  длины волны в метрах. А для магнитной антенны таких высот и площадей не требуется.

Для более высокочастотных диапазонов рекомендуется использовать магнитные антенны с меньшим диаметром излучателя.

Магнитная рамка состоит из следующих элементов:

- *излучатель* – выполнен в виде круга из сегментов алюминиевой трубы. Диаметр круга зависит от диапазона частот, на котором планируется использовать антенну;
- *петля возбуждения*, выполненная из коаксиального кабеля, который подключается к приемо-передатчику (обычно используется 50 Омный кабель).
- *устройство перестройки по диапазонам*, состоящее из переменного конденсатора (размещается на самой антенне) и прибора с органами управления (находится рядом с оператором);
- *устройство визуального контроля настройки антенны в резонанс*;
- *кабель управления настройкой*;
- *мачта* (около 2 м).

Эквивалентная схема магнитной рамочной антенны показана на рисунке 2.3.



**Рисунок 2.3. – Эквивалентная схема магнитной рамочной антенны**

Как видно из этой схемы, магнитную рамочную антенну можно представить в виде параллельно включенных конденсатора и катушки, последовательно с которыми включены два сопротивления, одно из них, сопротивление потерь  $R_{\text{пот}}$ , а второе, сопротивление излучения  $R_{\text{изл}}$  и генератор  $G$ , который возбуждает эту антенну. Рассмотрим более подробно физическую эквивалентность и значения этих компонентов в работе магнитной антенны.

### **Моделирование магнитной антенны в программе *Mmana***

#### **1. Исследования магнитных антенн в среде *Mmana***

Большое внимание в учебном пособии уделено моделированию антенн различных диапазонов. В результате моделирования студенты получают навыки в создании конструкций антенн различных диапазонов волн, включая вертикальные и горизонтальные рамки (рис. 2.4, 2.5). В учебном пособии рассмотрены вопросы графического построения диаграмм направленности антенн различных диапазонов волн в программном пакете *Mmana* для различных видов поляризации и при широком изменении параметров антенн. Наглядное представление и сравнительно быстрое построение ДН дают студентам возможность прогнозирования характеристик проектируемых антенн (рис. 2.6 – 2.9). При этом в таблице выводятся значения коэффициентов усиления и величина боковых лепестков.

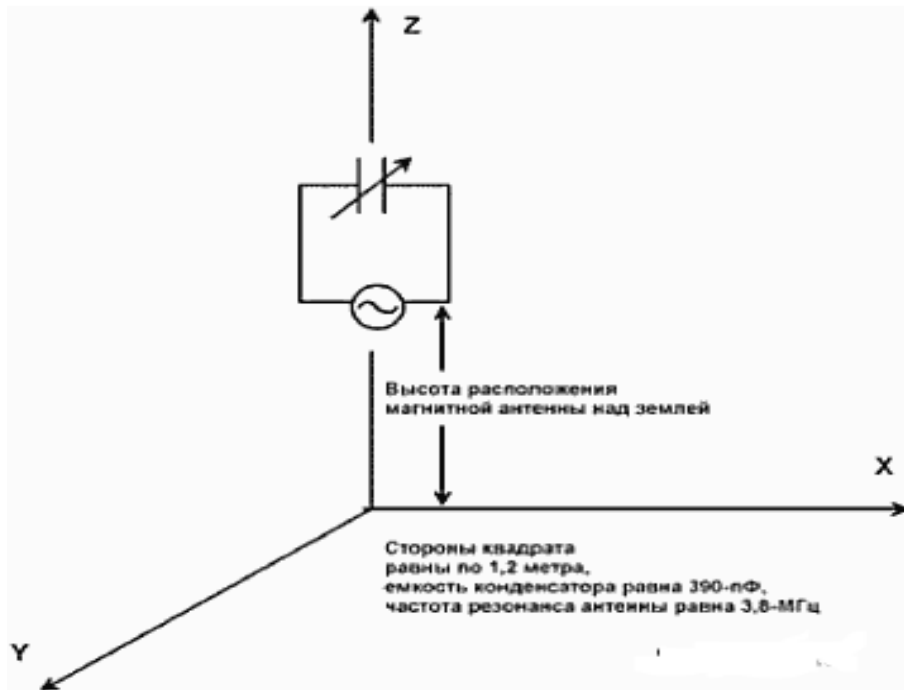


Рисунок 2.4. – Вертикальная магнитная антенна

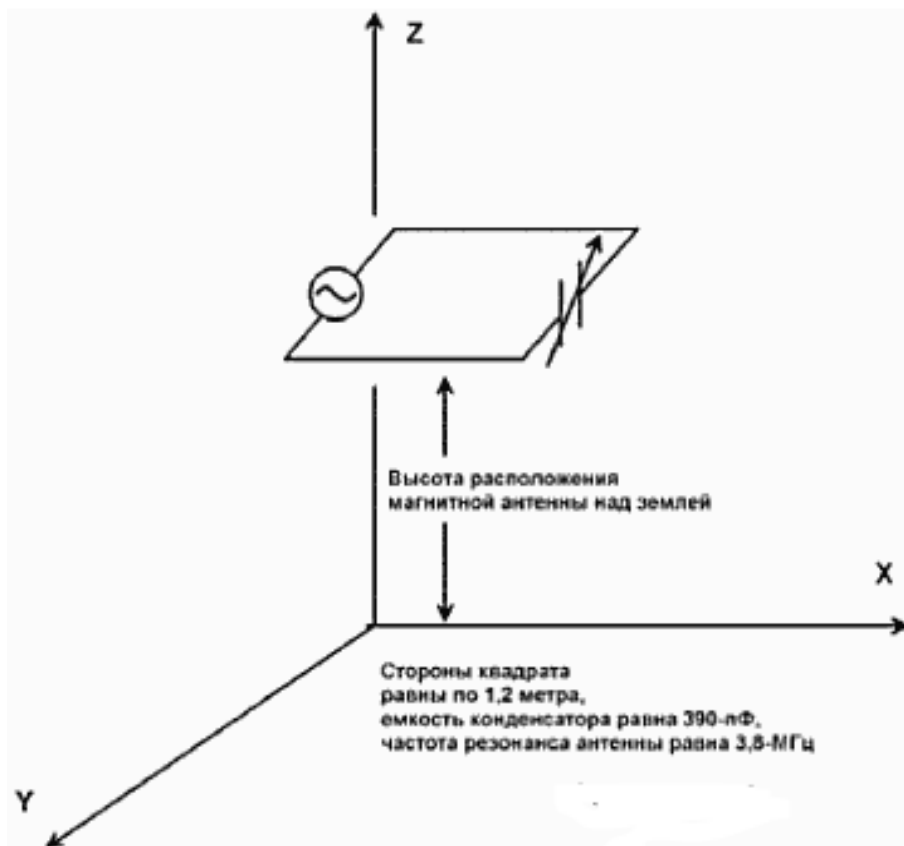


Рисунок 2.5. – Горизонтальная магнитная антенна

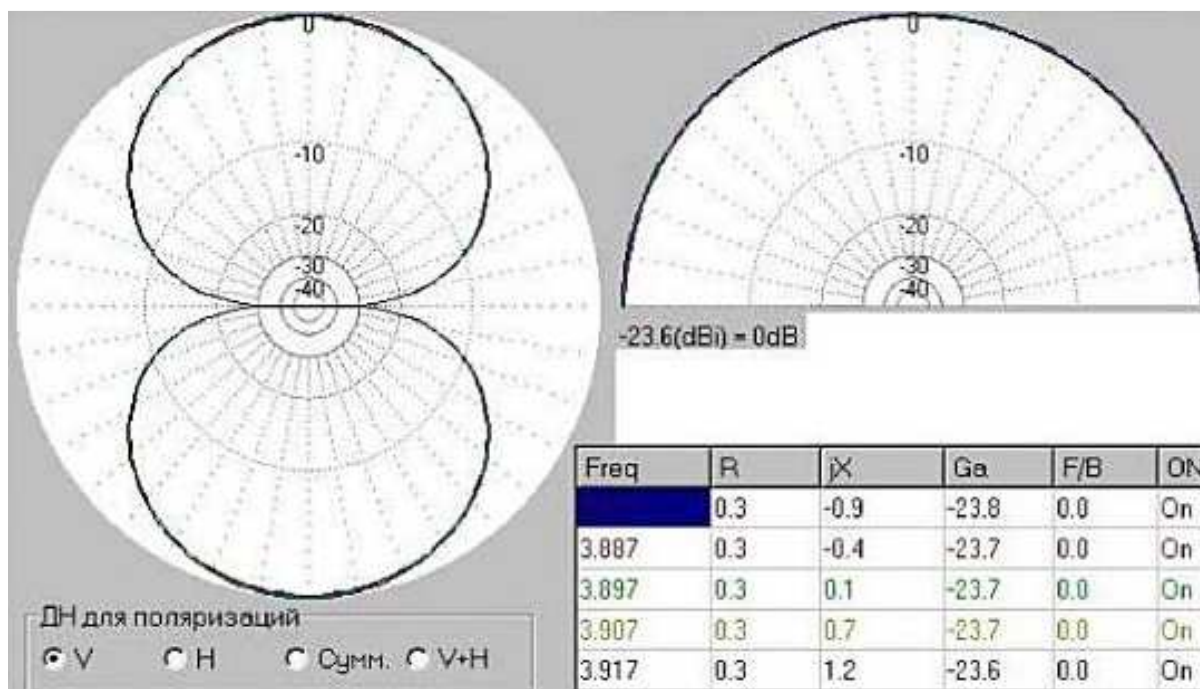


Рисунок 2.6. – Диаграмма направленности вертикальной магнитной антенны вертикальной поляризации

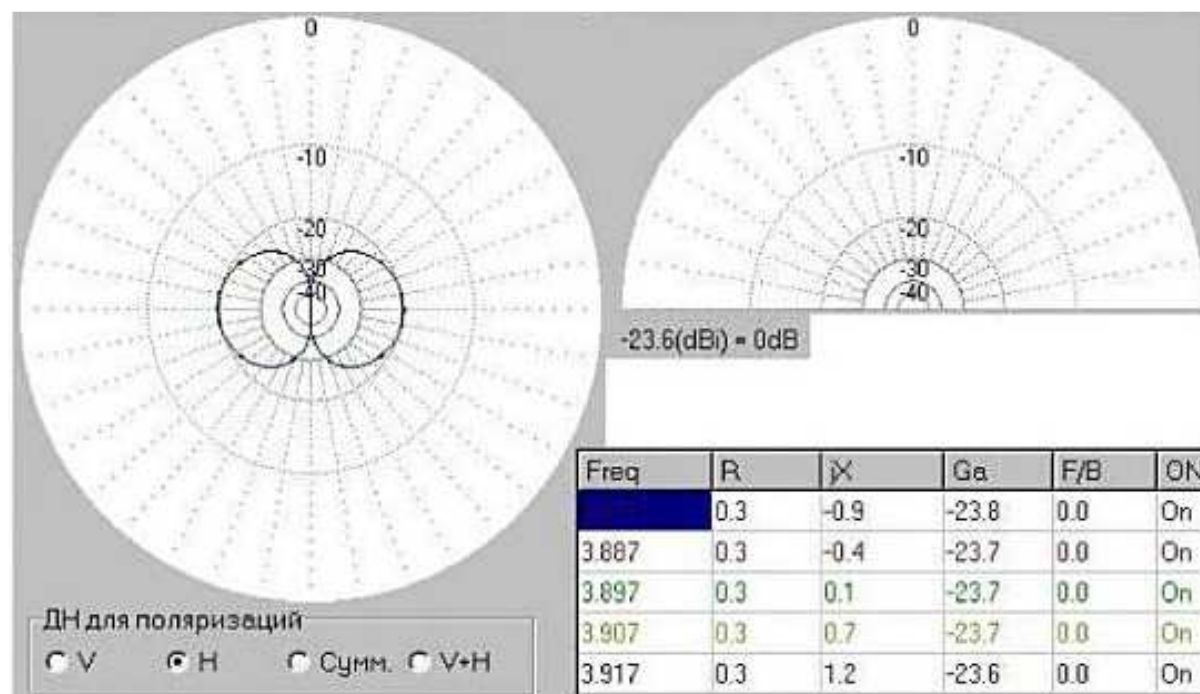


Рисунок 2.7. – Диаграмма направленности вертикальной магнитной антенны горизонтальной поляризации



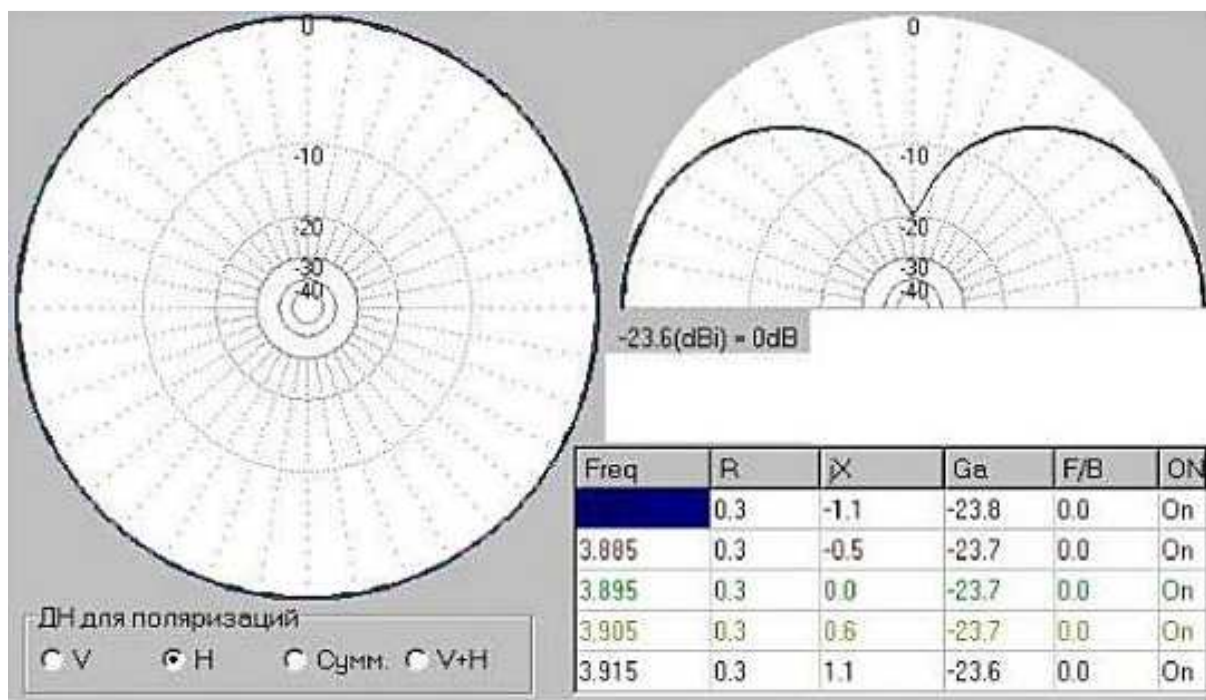


Рисунок 2.8. – Диаграмма направленности горизонтальной магнитной антенны горизонтальной поляризации

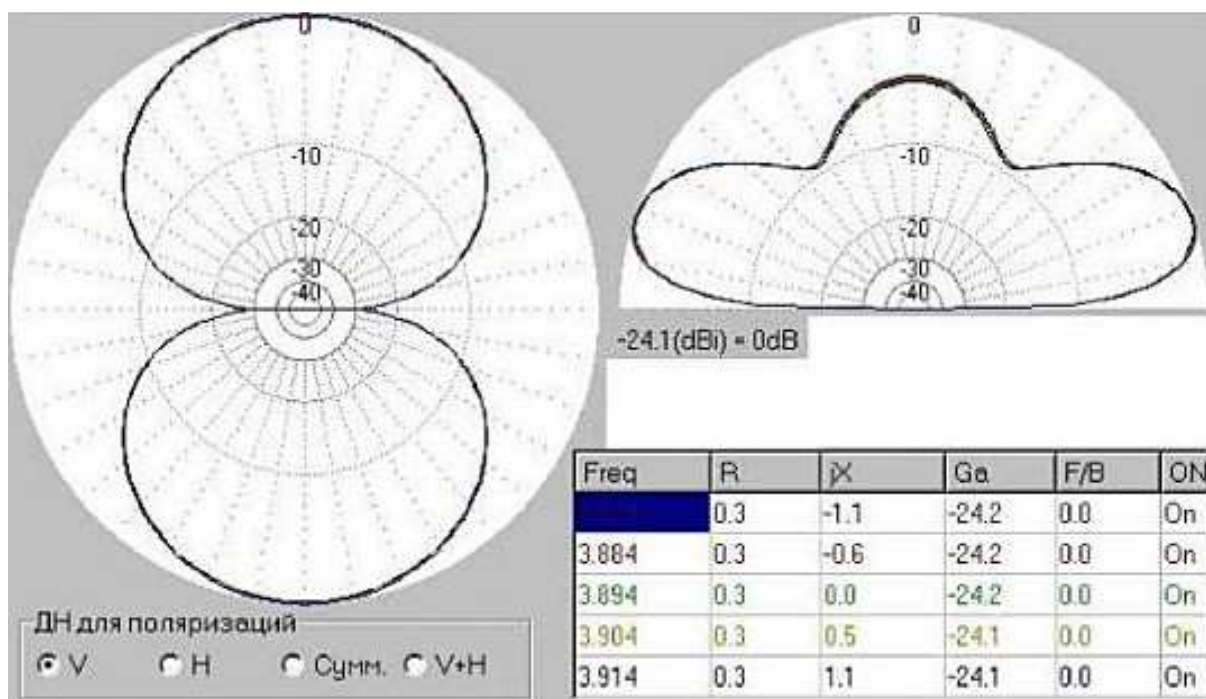


Рисунок 2.9. – Диаграмма направленности вертикальной магнитной антенны на высоте 20 м над реальной землей

**Содержание отчета:**

1. Цель работы.
2. Чертеж магнитной антенны.
3. Таблицы результатов.
4. Графики зависимостей.
5. Сделать выводы о проделанной работе.

**Контрольные вопросы:**

1. Что называют магнитной рамкой?
2. Где чаще всего применяются магнитные антенны?
3. Преимущества магнитных антенн.
4. Из каких элементов состоит магнитная рамка?
5. Какую форму может иметь излучатель?

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИЧНОГО ВИБРАТОРА

**Цель работы** – исследование влияния относительных размеров симметричного вибратора на его диаграмму направленности, влияния на ДН симметризирующего устройства, изучение поляризационной характеристики (ПХ) симметричного вибратора.

### Теоретические сведения

Симметричные вибраторы относятся к числу наиболее простых типов антенн. В СВЧ-диапазоне они используются как возбуждители антенных устройств или как элементы сложных устройств с дискретными излучателями (антенных решеток). Схема симметричного вибратора показана на рисунке 3.1. Она включает в себя поворотное устройство 1, на нем закреплен макет исследуемой антенны 2, измерительный приемник 3 с индикаторным устройством 4. Передающая часть установки состоит из передающей антенны 5 и генератора стандартных сигналов 6.

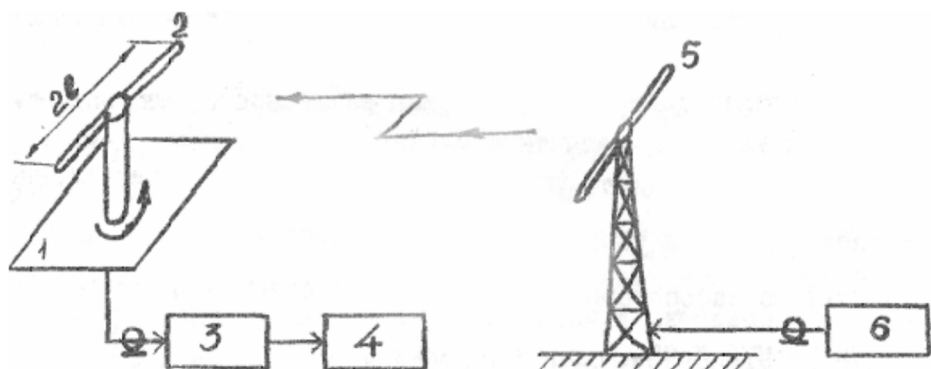


Рисунок 3.1. – Схема симметричного вибратора

Антенна служит не только для излучения (или приема) электромагнитной энергии, но и для распределения ее соответствующим образом в пространстве. Это распределение характеризуется диаграммой направленности антенны:

- по напряженности поля  $F = E(\theta, \varphi)$ ;
- по мощности  $P = P(\theta, \varphi)$ .

В общем случае ДН является комплексной величиной, поэтому различают амплитудную и фазовую диаграммы направленности антенны. На практике в основном пользуются понятием амплитудной ДН.

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

$$P(\theta, \varphi) = E^2(\theta, \varphi) / 120 \pi. \quad (3.1)$$

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

$$F(\theta, \varphi) = \frac{E(\theta, \varphi)}{E_{\max}(\theta, \varphi)}. \quad (3.2)$$

На практике ограничиваются ДН в двух взаимно перпендикулярных плоскостях:

– диаграммой направленности в плоскости электрического вектора  $F(\theta)$  (в плоскости  $E$ );

– диаграммой направленности в плоскости магнитного вектора  $F(\varphi)$  (в плоскости  $H$ ).

Нормированная диаграмма направленности симметричного вибратора в плоскости  $E$  хорошо аппроксимирует выражение

$$F(\theta) = \left| \frac{\cos(kl \sin \theta) - \cos kl}{(1 - \cos kl) \cos \theta} \right|, \quad (3.3)$$

где  $\theta$  – угол, отсчитываемый в плоскости вибратора от нормали к его оси;  $k = 2\pi / \lambda$ .

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

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

здающих в точке приема (расположенной на одинаковом расстоянии от обеих антенн) одинаковую напряженность поля. Поляризация антенны определяется положением в пространстве плоскости поляризации излучаемой волны, проходящей через вектор напряженности электрического поля ( $E$ ) и вектор Пойтинга. Диаграмма направленности антенны, закрепленной на металлическом основании, может быть определена методом зеркального изображения. Так, диаграмма направленности симметричного вибратора рассчитывается:

– в плоскости Н

$$F(\varphi) = \sin(kh \cos\varphi); \quad (3.4)$$

– в плоскости Е

$$F(\theta) = \left| \frac{\cos(kl \sin\theta) - \cos kl}{(1 - \cos kl) \cos\theta} \right| \sin(kh \cos\theta). \quad (3.5)$$

### Расчет симметричного вибратора в программе Mmana

1. На частоте  $F = 145$  МГц провести расчеты антенны на разных высотах:  $h_1 = 15$ ,  $h_2 = 20$ ,  $h_3 = 25$  (рис. 3.2).
2. Для каждой высоты построить диаграмму направленности (рис. 3.3).

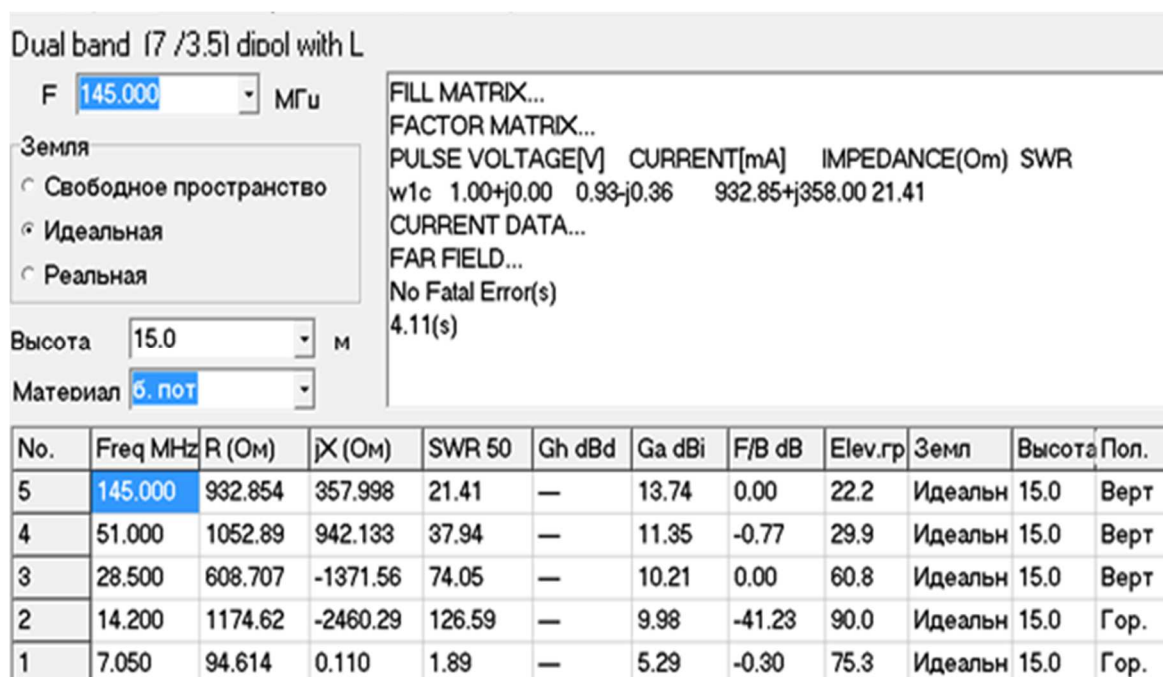
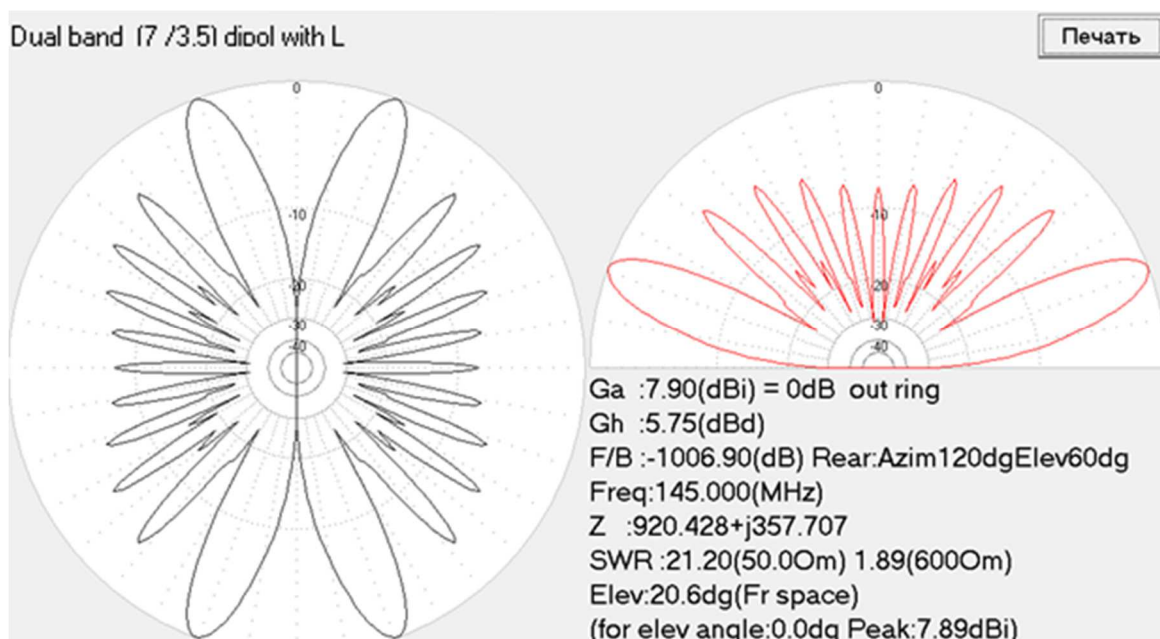


Рисунок 3.2. – Частотный диапазон симметричного вибратора



**Рисунок 3.3. – Диаграмма направленности симметричного вибратора**

#### **Содержание отчета:**

1. Цель работы.
2. Чертеж симметричного вибратора.
3. Таблицы результатов.
4. Графики зависимостей.
5. Сделать выводы о проделанной работе.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение ДН антенны.
2. Дайте определение КНД антенны. Расскажите о зависимости КНД симметричного вибратора от его длины.
3. Каков характер распределения тока и заряда по симметричному вибратору?
4. Поясните принцип действия симметрирующего устройства в виде U-колена и симметрирующей приставки.
5. Объясните характер зависимости входного сопротивления симметричного вибратора от его длины.
6. Как зависит сопротивление излучения симметричного вибратора от его длины?

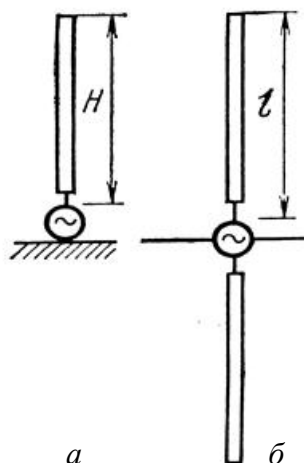
Лабораторная работа № 4  
**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ВИБРАТОРА**

**Цель работы** – исследование влияния относительных размеров несимметричного вибратора на его диаграмму направленности (ДН), изучение поляризационной характеристики (ПХ) несимметричного вибратора.

**Теоретические сведения**

Несимметричный вибратор – вибратор, у которого одно плечо по размерам или форме отличается от другого. Несимметричным вертикальным заземленным вибратором называется вертикальный по отношению к земле проводник, к нижнему концу которого присоединен один из зажимов генератора, а другой зажим генератора – к земле.

Роль второго плеча вибратора в данном случае играет земля. Такие вибраторы применяются в качестве антенн длинных, средних и коротких волн, а также волн метрового диапазона. Несимметричные вибраторы часто устанавливают на движущихся объектах (автомобилях, самолетах, кораблях). Роль «земли» в этом случае выполняет металлический корпус объекта, к которому подключается один из зажимов генератора. Несимметричный вибратор, расположенный непосредственно над поверхностью идеально проводящей земли (рис. 4.1, *а*), аналогичен симметричному вибратору в свободном пространстве (рис. 4.1, *б*), так как функции второго плеча у несимметричного вибратора выполняет зеркальное изображение.



**Рисунок 4.1. – Несимметричный (а) и симметричный (б) вибраторы**

Такое представление позволяет значительную часть решений и выводов, выполненных для симметричных вибраторов, распространить на

симметричные антенны. Диаграмма направленности вертикального вибратора в вертикальной плоскости  $F(\Delta)$  (плоскости  $E$ ) с учетом влияния зеркального изображения определяется так же, как для симметричного вибратора, в которой угол  $\theta$  заменяется углом  $\Delta$ .

$$F(\Delta) = \frac{\cos(kl \sin \Delta) - \cos kl}{\cos \Delta},$$

где  $\Delta$  – угол между поверхностью земли и направлением на точку наблюдения.

Диаграммы направленности вертикального несимметричного вибратора, расположенного над землей, и распределение тока по вибратору, в зависимости от относительной длины, приведены на рисунке 4.2. Из приведенных ДН видно, что несимметричный вибратор имеет максимальное излучение вдоль поверхности земли.

Для короткого вибратора диаграмма направленности в верхнем полупространстве над поверхностью земли совпадает с диаграммой направленности диполя Герца и может быть рассчитана по формуле

$$F(\Delta) = \cos \Delta.$$

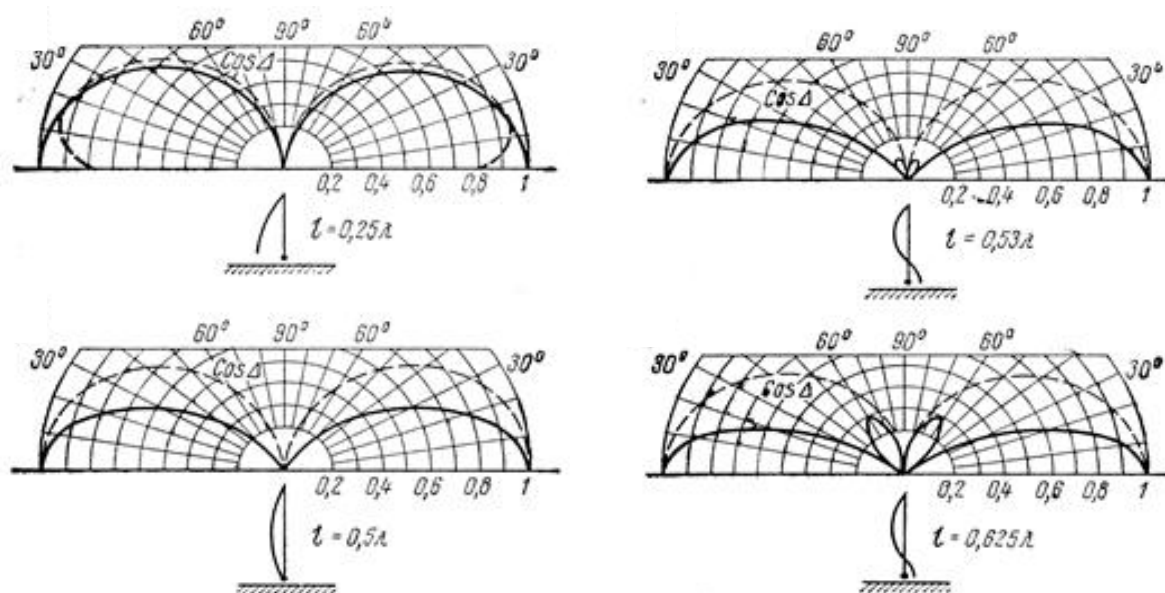


Рисунок 4.2. – Диаграммы направленности несимметричного вибратора в волновом диапазоне от  $0,25$  до  $0,625 \lambda$

Кривая  $\cos \Delta$  на рисунке 4.2 показана тонкой пунктирной линией. Такой вибратор имеет значительное излучение под большими углами  $\Delta$  к горизонту.



## Расчет в программе Mmana

1. Построить диаграммы направленности и графики (рис. 4.3 – 4.6) для несимметричного вибратора на частотах:  $F_1 = 14,2$  МГц;  $F_2 = 21,2$  МГц;  $F_3 = 28,5$  МГц;  $F_4 = 50,1$  МГц.

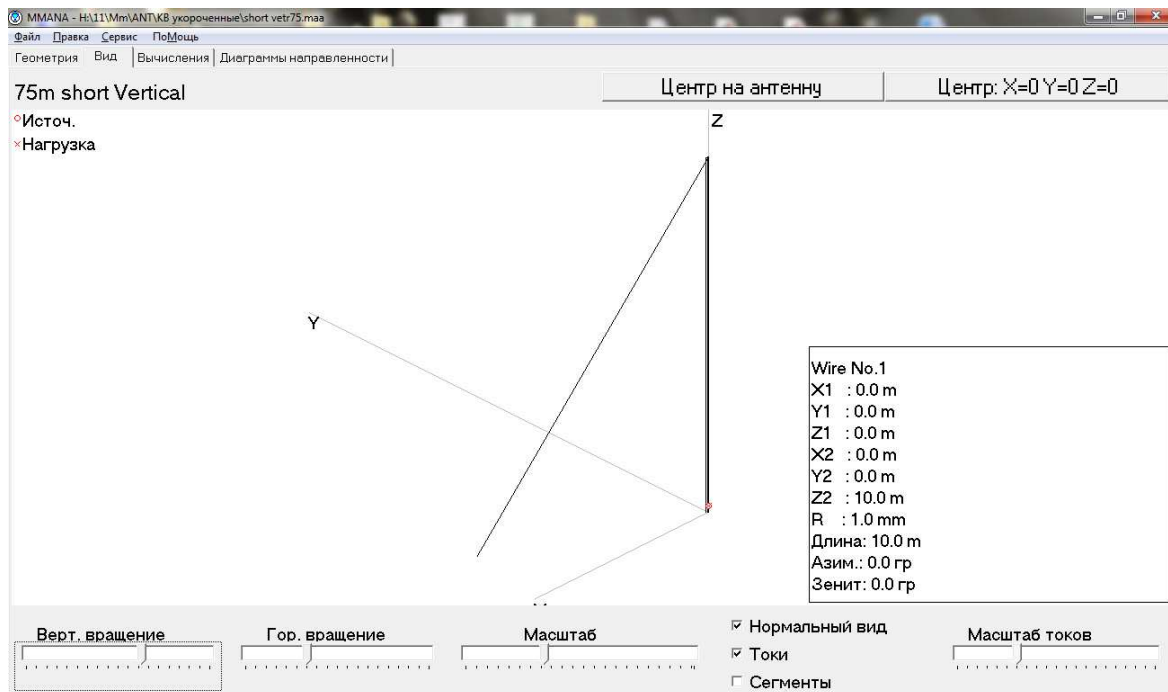


Рисунок 4.3. – Вид несимметричного вибратора

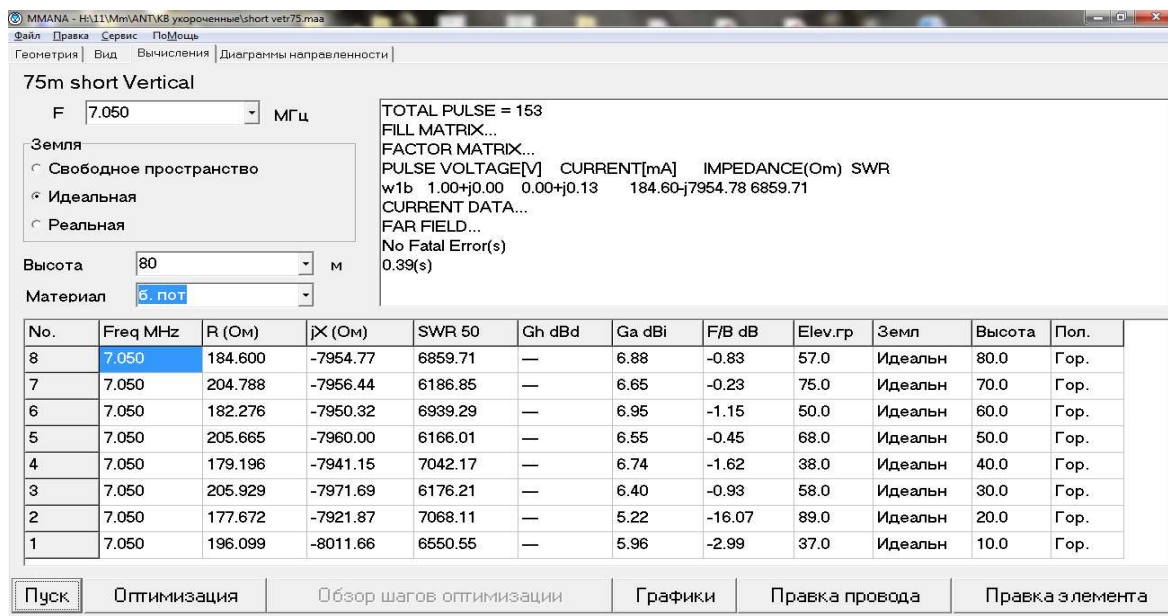


Рисунок 4.4. – Вычисления параметров несимметричного вибратора

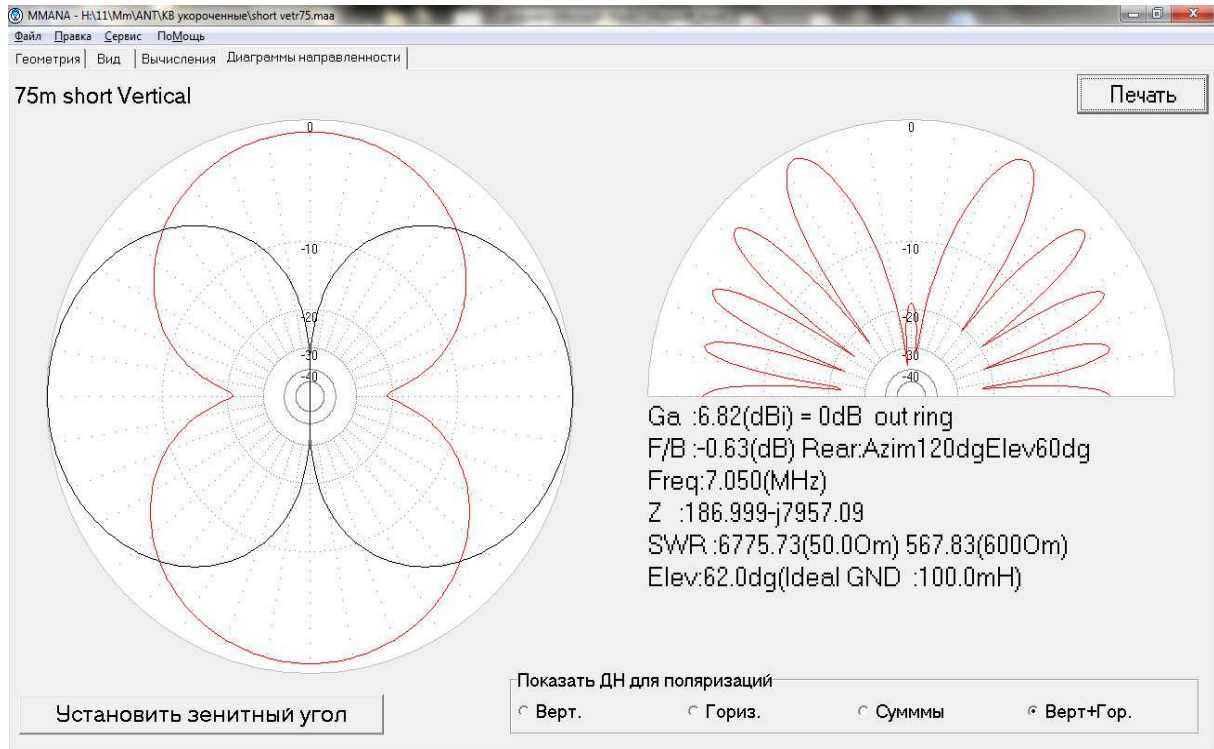


Рисунок 4.5. – Диаграмма направленности несимметричного вибратора

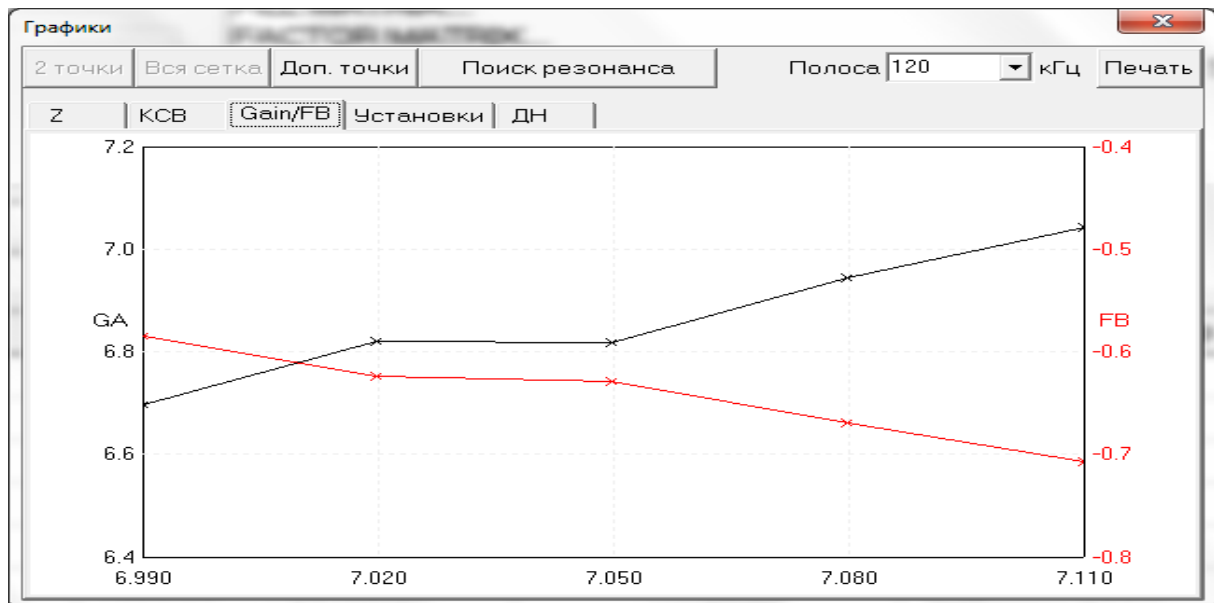


Рисунок 4.6. – График коэффициента усиления несимметричного вибратора

**Содержание отчета:**

1. Цель работы.
2. Чертеж несимметричного вибратора.
3. Таблицы результатов.
4. Графики зависимостей.
5. Сделать выводы о проделанной работе.

**Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение ДН антенны.
2. Что такое несимметричный вибратор?
3. Чем несимметричный вибратор отличается от симметричного?
4. Где используются несимметричные вибраторы?
5. Объясните характер зависимости входного сопротивления симметричного вибратора от его длины.

## Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ АНТЕННЫ БЕВЕРЕДЖА

Цель работы – расчет параметров антенны Бевереджа в программе *Mtana*.

### Теоретические сведения

Антенна Бевереджа или, как ее еще называют, антенна бегущей волны (АБВ), широко используется в профессиональной радиосвязи. Антенна Бевереджа может работать без перестройки во всех любительских диапазонах при минимальных затратах на ее изготовление и не нуждается в настройке при смене диапазонов работы. Эта ее особенность привлекает не только радиолюбителей, но и любителей дальнего приема вещательных станций.

Антенна Бевереджа – это антенное полотно достаточной длины (больше  $1\lambda$ ) с низкой высотой подвеса (0,5 – 5 м), к которому с одной стороны подключена нагрузка (резистор 330 – 560 Ом) а с другой стороны – трансформатор импеданса, фидер, приемник (рис. 5.1.).

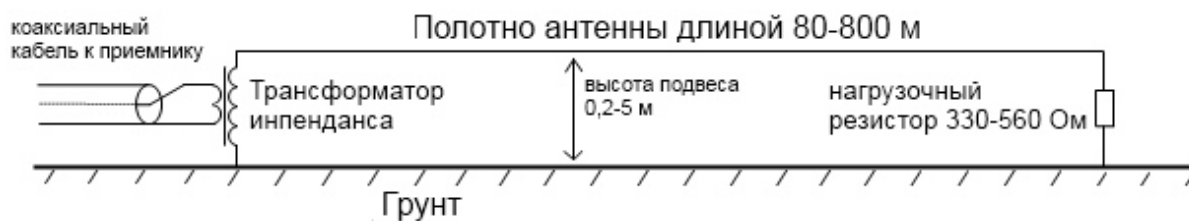


Рисунок 5.1. – Антенна Бевереджа

Оба конца антенны Бевереджа подключены к земле напрямую либо через емкостную связь противовесов, ток в этой антенне распространяется в антенном полотне и в земле. Скорость (фазовая скорость) распространения электромагнитной волны в земле существенно ниже, чем в полотне антенны. Распространение тока в земле происходит медленнее, чем в антенном полотне (т.к. земля – диэлектрик), поэтому формируется ДН в сторону нагрузочного резистора  $R$ . По этой же причине работа антенны Бевереджа существенно зависит от свойств земли в месте установки.

Антенны Бевереджа должны быть расположены как можно дальше от передающих антенн. Если не получается их разнести на достаточное расстояние, передающую антенну необходимо рассогласовать, когда стан-

ция находится в режиме приема. Чаще всего передающая антенна является автоматически ненастроенной, если она в режиме приема подключена к П-контур усилителя с закрытой электронной лампой, либо центральная жила кабеля оторвана или закорочена.

Для антенны Бевереджа лучше всего подходит «плохая» (имеющая низкую проводимость) земля – песчаная, каменистая почва. При такой почве хорошо работает антенна любой длины, большей  $1\lambda$ .

Длина полотна антенны Бевереджа выбирается, исходя из желаемого направления приема и ширины диаграммы направленности. Для диапазонов 160,80, 40 м оптимальной будет длина полотна 300 – 400 м. При длине антенны Бевереджа 350 м ширина основного лепестка будет  $60^\circ$  для диапазона 160 м,  $40^\circ$  – для диапазона 80 м,  $25^\circ$  – для диапазона 40 м.

Если имеется достаточно места, можно установить несколько таких антенн в желаемых направлениях приема.

Антенна Бевереджа может быть изготовлена из любого подходящего провода – медного, алюминиевого, биметалла.

Заземляющее устройство. В антенне Бевереджа применяется два заземляющих устройства – одно возле трансформатора импеданса, второе – возле нагрузочного резистора. Заземляющее устройство выполняется в виде одиночного заземлителя длиной 1– 1,5 м. Заземлитель используется либо промышленный, либо самодельный. В качестве самодельного заземлителя используется оцинкованная стальная труба или уголок. Длина трубы или уголка выбирается исходя из твердости и вязкости грунта.

Для успешной работы АБВ должна быть правильно установлена относительно посторонних предметов, влияющих на характеристики антенны. Конечно, идеальная установка антенны – это когда рядом нет никаких проводящих предметов. Однако на практике такое встречается редко. Следует стремиться к тому, чтобы не было проводящих предметов в главном лепестке и, если возможно, в заднем. Так как АБВ излучает вертикально поляризованную волну, следует обратить внимание на вертикальные проводящие предметы. Очень хороший вариант расположения антенны – установка на край крыши дома, когда главный лепесток ДН находится в свободном пространстве. Например, именно такая АБВ используется с 1989 г. на станции UZ3ZK.

### **Моделирование антенны Бевереджа в программе *Mtana***

Произвести расчет характеристик антенны Бевереджа на частотах, указанных преподавателем, согласно рисункам 5.2 – 5.4.

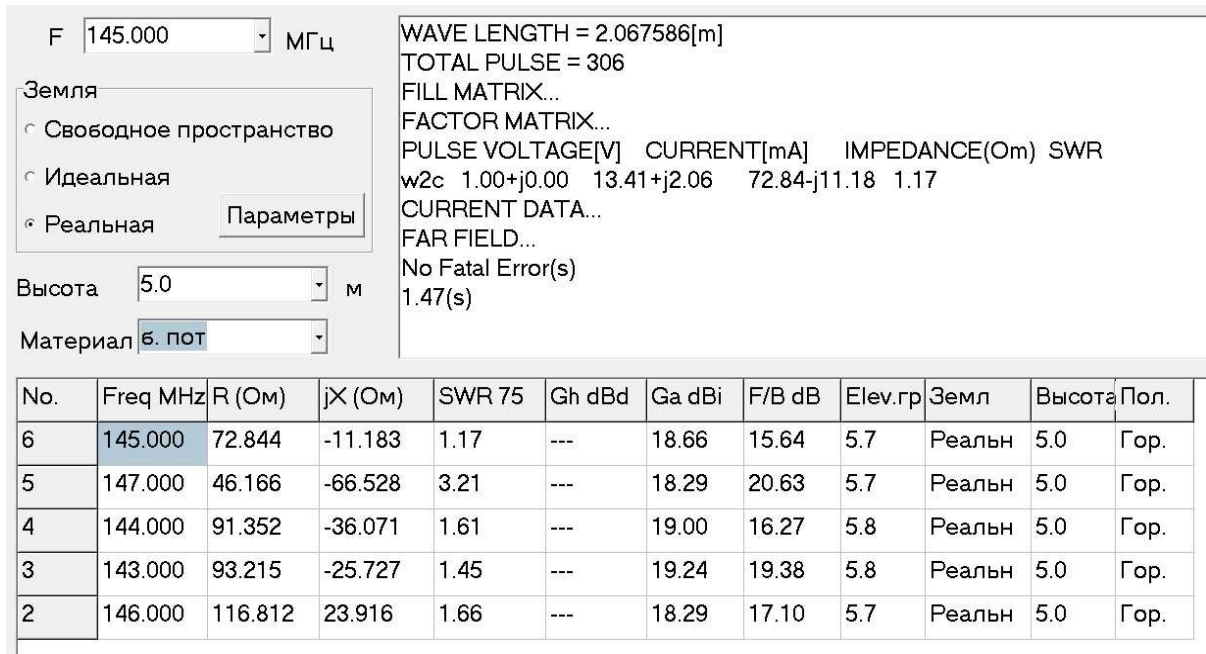


Рисунок 5.2. – Таблица вычислений параметров антенны

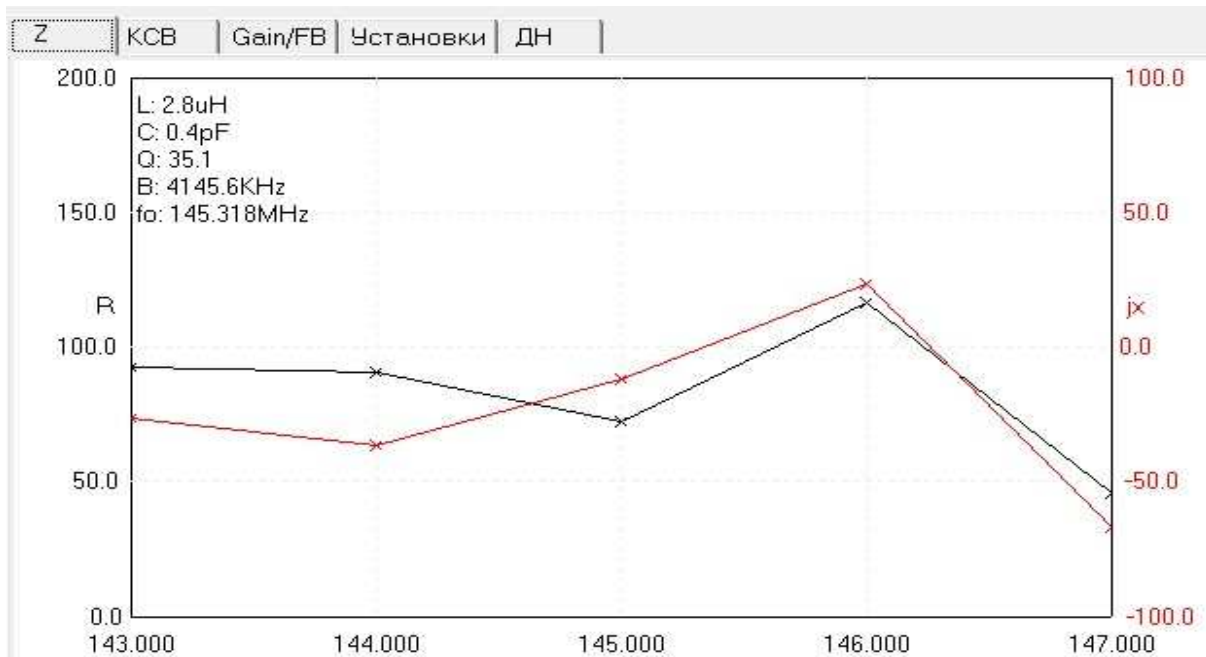
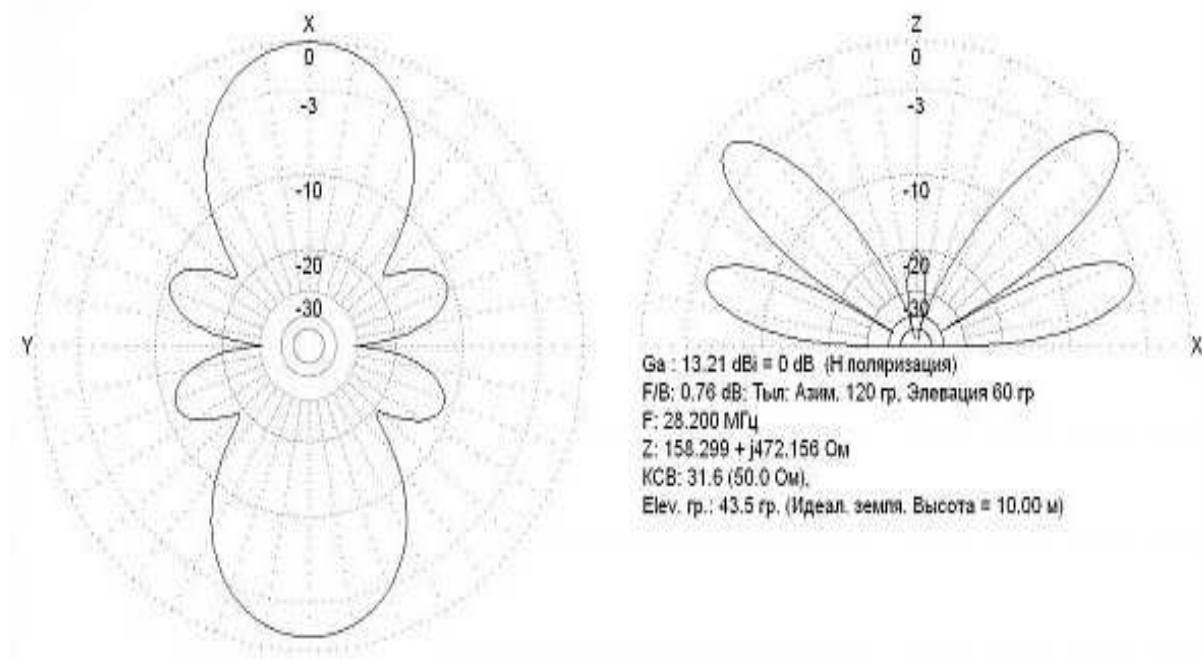


Рисунок 5.3. Графики (Z, KCB, Gain)

0 +90 da



**Рисунок 5.4. – Диаграммы направленности для вертикальной и горизонтальной поляризаций**

#### **Содержание отчета:**

1. Цель работы.
2. Чертеж антенны Бевереджа.
3. Таблицы результатов.
4. Графики зависимостей.
5. Сделать выводы о проделанной работе.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Как выбирается длина полотна антенны Бевереджа?
2. От чего зависит работа антенны Бевереджа?
3. Как должна быть расположена антенна Бевереджа?
4. Из каких материалов может быть изготовлена антенна Бевереджа?
5. Рассказать о заземляющем устройстве антенны Бевереджа.

## Лабораторная работа № 6 АНТЕННА ВОЛНОВОЙ КАНАЛ

Цель работы – измерение параметров антенны волновой канал в программе *Mtana*.

### Теоретические сведения

Антенна «волновой канал», известная как антенна Яги – Уда, или антенна Яги, состоит из расположенных вдоль линии излучения параллельно друг другу активного и нескольких пассивных вибраторов. Волновой канал относится к классу АБВ (рис. 6.1).

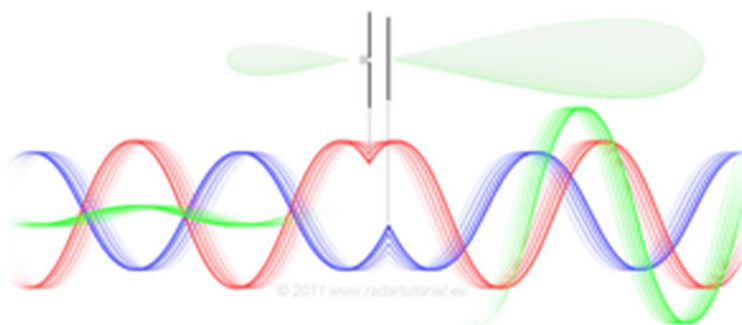
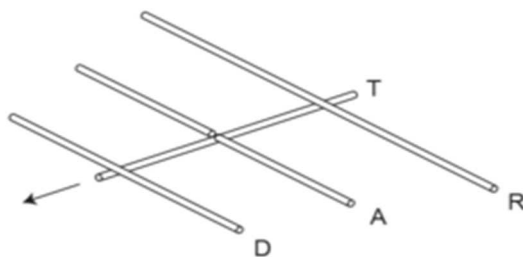


Рисунок 6.1. – Антенна «волновой канал»

Излучение активного диполя (красного цвета) возбуждает ток в пассивном директоре, который переизлучает волну (синего цвета), имеющую конкретный сдвиг фазы. В результате излучение активного вибратора и директора (зеленого цвета) в направлении рефлектора складывается в противофазе, а в направлении директора – в фазе, что приводит к усилению излучения в направлении директоров.

Антенна (рис. 6.2) состоит из расположенных на траверсе (Т) активного (А) и ряда пассивных вибраторов – рефлекторов (R), расположенных относительно направления излучения за активным вибратором, а также директоров (D), расположенных перед активным вибратором. Чаще всего применяется один рефлектор, число директоров меняется от нуля до десятков. Активный вибратор имеет длину около полуволны ( $0,5 \lambda$ ), рефлектор – длину, немного большую  $0,5 \lambda$ , директоры – длину, меньшую  $0,5 \lambda$ . Расстояния от активного вибратора до рефлектора и до первого директора составляют около  $0,25 \lambda$ .





**Рисунок 6.2. – Схема антенны «волновой канал»:**  
R – рефлектор; A – активный вибратор; D – директор

Излучение антенны можно рассматривать как сумму излучений всех составляющих ее вибраторов. Ток, наведенный излучением активного вибратора в рефлекторе, создает в нем напряжение. Для рефлектора, сопротивление которого носит индуктивный характер за счет длины, большей  $0,5 \lambda$ , напряжение отстает по фазе от напряжения в активном вибраторе на  $270^\circ$ . В результате суммарное излучение в направлении рефлектора складывается в противофазе, а в направлении активного вибратора – в фазе, что приводит к усилению излучения в направлении активного вибратора приблизительно вдвое. Аналогично рефлектору работают директора, однако из-за емкостного характера их сопротивления (что определяется их меньшей длиной) излучение усиливается в направлении директоров. Каждый дополнительный рефлектор или директор дают прибавку усиления, но меньшую, чем предыдущий рефлектор и директор, причем для рефлектора эффект ослабления действия дополнительных элементов намного более выражен, поэтому более одного рефлектора используют достаточно редко.

Антенны «волновой канал» широко применяются в качестве приемных телевизионных, приемных и передающих в системах беспроводной передачи данных, радиолобительской связи, прочих системах связи, радиолокации. Широкому их распространению способствуют высокое усиление, хорошая направленность, компактность, простота, небольшая масса. Антенны применяют в диапазонах, начиная с коротких волн, в диапазонах метровых и дециметровых волн и на более высоких частотах, в СВЧ-диапазонах. Размеры определяются параметрами антенны, которые, в свою очередь, зависят от изменения количества вибраторов. Увеличение количества вибраторов приводит к повышению коэффициента усиления и к снижению входного сопротивления антенны.

Антенна типа «волновой канал» работает одинаково как на прием, так и на передачу. Питание антенны в любом случае прикладывается к входным контактам платы питания, как это было показано ранее, например к шлейф-вибратору Пистолькорса, в зоне, где существует определен-

ная напряженность электромагнитного поля высокой частоты. Активный и пассивные вибраторы работают в этом поле, которое наводит ЭДС. Под действием ЭДС в вибраторах текут токи, амплитуда и фаза которых зависят от их длины и расстояний до активного вибратора. Длина рефлектора и его расстояние до активного вибратора подбираются такими, чтобы поля, созданные рефлектором и активным вибратором в одном направлении, компенсировались.

## Моделирование антенны в программе *Mtana*

1. Провести исследования в среде *Mtana* (рис. 6.3):

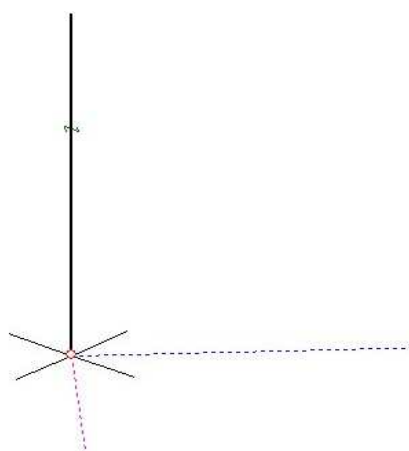


Рисунок 6.3. – Антенна волновой канал

2. Произвести вычисления характеристик антенн, на частотах заданных преподавателем согласно рисунка 6.4.

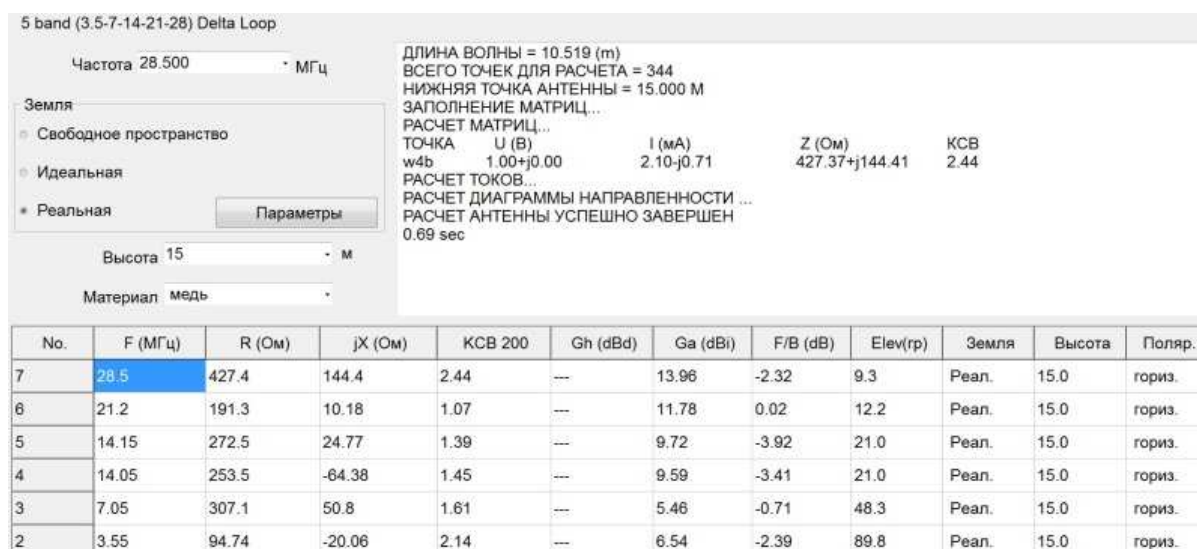


Рисунок 6.4. – Вычисления для антенны

3. Построить ДН антенн (по примеру рисунка 6.5.) и графики (по примеру рисунка 6.6.)

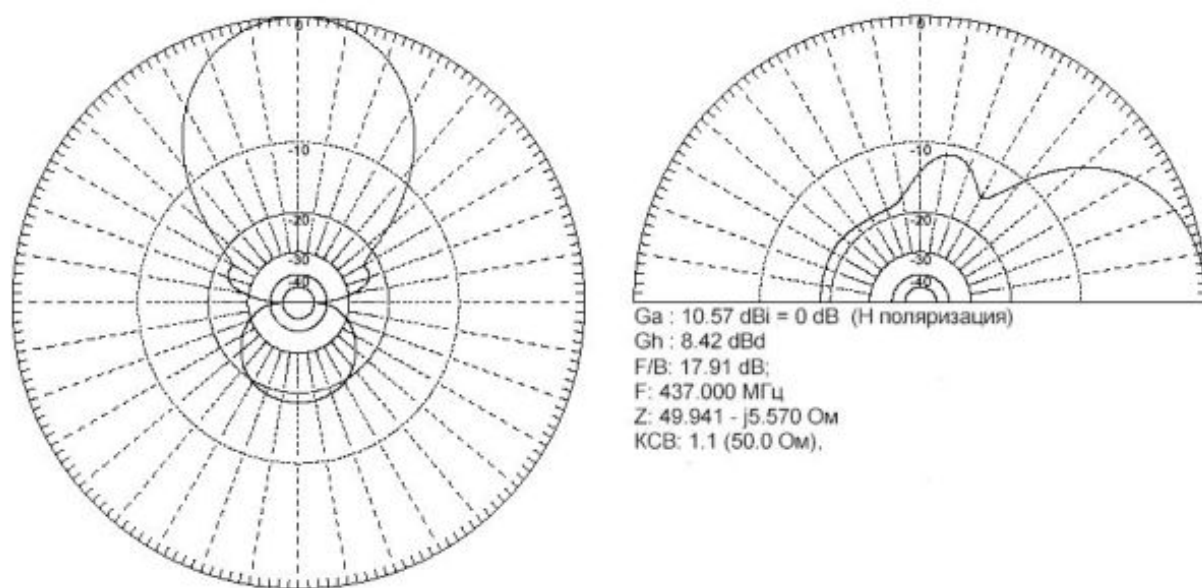


Рисунок 6.5. – Диаграммы направленности антенны

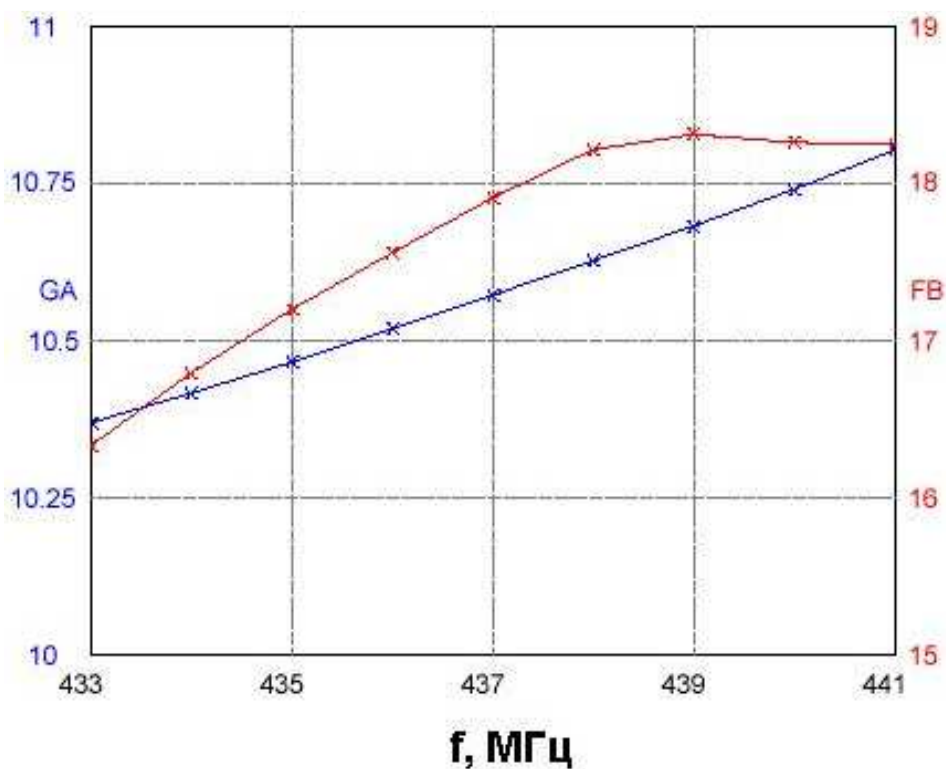


Рисунок 6.6. – Характеристики антенны

**Содержание отчета:**

1. Цель работы.
2. Чертеж антенны волновой канал.
3. Таблицы результатов.
4. Графики зависимостей.
5. Сделать выводы о проделанной работе.

**Контрольные вопросы:**

1. Из чего состоит антенна волнового канала?
2. Где применяются антенны волнового канала?
3. Как происходит излучение активного диполя?
4. Что дает дополнительный рефлектор в антенне?

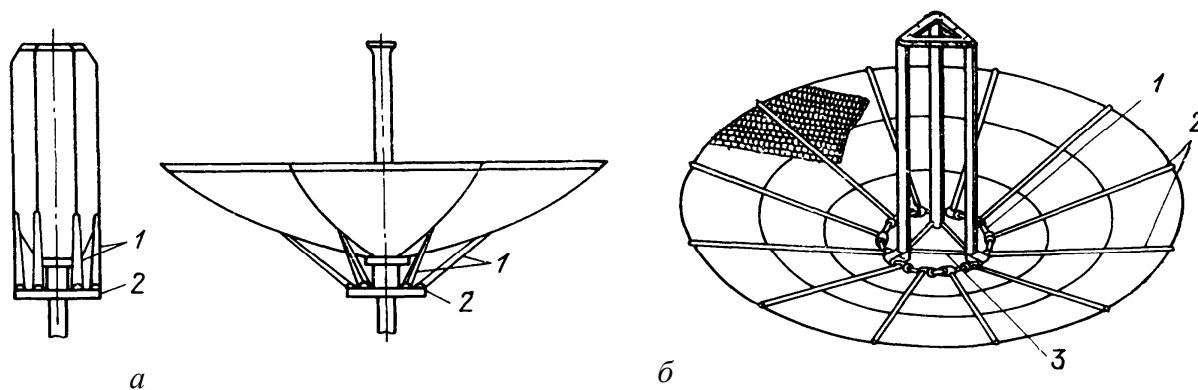
Лабораторная работа № 7  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНТИЧНОЙ АНТЕННЫ**

Цель работы – исследование зонтичной антенны в программе *Mtana*.

**Теоретические сведения**

Зонтичные антенны с жесткими ребрами. Эти антенны из-за сравнительно большой жесткости каркаса зеркала наиболее устойчивы к ветровым нагрузкам, поэтому наряду с использованием в космосе применяются и в качестве складных антенн подвижных и переносных радиотехнических станций. В классической осесимметричной зонтичной антенне складное зеркало содержит жесткие ребра с заданным (обычно параболическим) профилем, расположенные радиально относительно центральной ступицы и шарнирно соединенные с ней. Эти ребра образуют каркас, поддерживающий поверхность главного зеркала, выполненную из металлической сетки или металлизированной ткани. При свертывании ребра складываются к оси симметрии зеркала. Механизм развертывания – пружинный. Такую конструкцию имеет, например, зеркало антенны бортового ретранслятора «Молния-1» диаметром 1,2 м.

Иначе устроен механизм развертывания у однозеркальной антенны, изображенной на рисунке 7.1 (в сложенном положении – *а*, развернутом – *б*). Антенна принимает рабочее положение при откидывании поддерживающих тяг 1, закрепленных шарнирно на ступице 2. Антенна может быть выполнена и в двухзеркальном варианте. Контррефлектор (вспомогательное зеркало) в этом случае крепится к зеркалу телескопическими кронштейнами, растяжками из стекловолокна или с помощью надувной опоры.



**Рисунок 7.1. – Механизм развертывания однозеркальной антенны:**  
*а* – сложенное, *б* – развернутое положение (вид сбоку и сверху)

В двух других конструктивных складных антеннах отсутствует самостоятельный механизм развертывания. Его функции выполняют элементы каркаса зеркала. Механизмом раскрытия одной из антенн являются сами ребра коробчатого в поперечнике сечения. При развертывании антенны эти ребра благодаря упругости диэлектрического материала, из которого они выполнены, откидываются. Металлизированная ткань натягивается и образует поверхность зеркала. Для повышения точности профиля отражающей поверхности ребра изготавливают расширяющимися к краям зеркала.

Устройство для развертывания другой конструкции зонтичной антенны состоит из кольцевого элемента 1, собранного из нескольких слоев упругого материала, склеенных эпоксидной смолой. К кольцевому элементу одним концом жестко прикреплена решетка равноотстоящих ребер 2. При складывании антенны в кольцо возникает упругий момент. Кольцевой элемент крепят к несущей ферме 3, которая служит для установки облучающей системы.

Применяются зонтичные антенны с использованием прямолинейных ребер, закрепленных на кольцевом шарнире в вершине зеркала. На концах ребер установлены перекладины, придающие ребрам Г-образную форму в плоскости, проходящей через ребро и фокальную ось зеркала. Параболический профиль поверхности зеркала создают дополнительные гибкие растяжки, соединяющие металлизированную отражающую ткань из стекловолокна с прямолинейными ребрами. Рефлектор с прямолинейными ребрами может производить эквивалентное параболоиду преобразование сферической электромагнитной волны, создаваемой облучателем, в плоскую на раскрытие с применением отражающей поверхности, состоящей из ячеек типа сот. Каждая ячейка используется как короткозамкнутый волновод с регулируемой глубиной. Очевидна сложность изготовления и настройки такого рефлектора. Более жесткую, приспособленную к применению на земле конструкцию имеет складное зеркало зонтичного типа, показанное в свернутом виде. Его диаметр в развернутом положении может превышать 4,5 м.

Благодаря внедрению в технику связи многолучевых космических антенных систем в последнее десятилетие начали широко использоваться осесимметричные зеркальные антенны, в том числе и складные антенны зонтичного типа с диаметром от 4 до 12 м.

## Моделирование зонтичной антенны в программе *Mtana*

Построение геометрической модели зонтичной антенны (рис. 7.2).

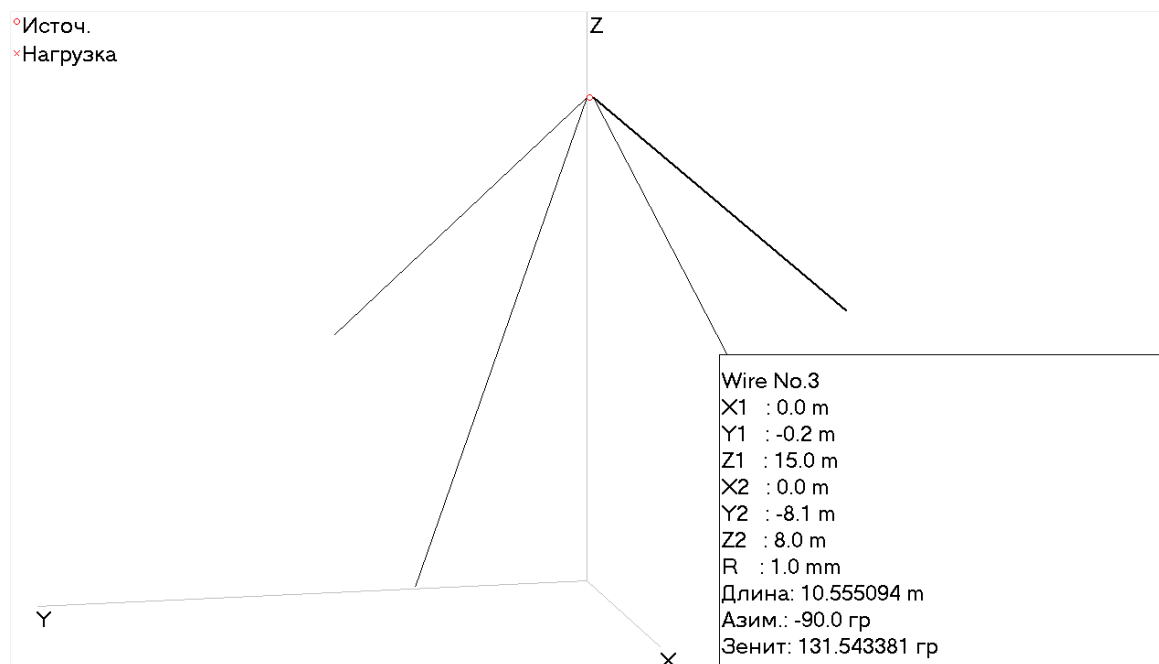


Рисунок 7.2. – Геометрическая модель антенны

Выбор зонтичной антенны (InvV80-40) согласно параметрам на рисунке 7.3:

1. Выбрать рабочую частоту антенны.
2. Исследовать области пространства (свободное пространство, идеальная, реальная земля).
3. Исследовать материал изготовления антенны (медь, алюминий).

F 3.650 МГц  
 WAVE LENGTH = 0.074950[m]  
 PULSE NUMBER EXCEEDS DIMENSION (MAX=4096)

Земля  
 Свободное пространство  
 Идеальная  
 Реальная

Высота 5.0 м  
 Материал б. пот

No.	Freq MHz	R (Ом)	jX (Ом)	SWR 50	Gh dBd	Ga dBi	F/B dB	Elev.gr	Земл	Высота	Пол.
2	3.650	47.923	16.857	1.41	---	6.13	-0.01	90.0	Реальн	5.0	Гор.
1	3.650	47.923	16.857	1.41	---	6.13	-0.01	90.0	Реальн	5.0	Гор.

Рисунок 7.3. – Таблица вычислений параметров антенны

4. Для найденных значений построить графики (Z, KCB, Gain), как показано на рисунке 7.4.

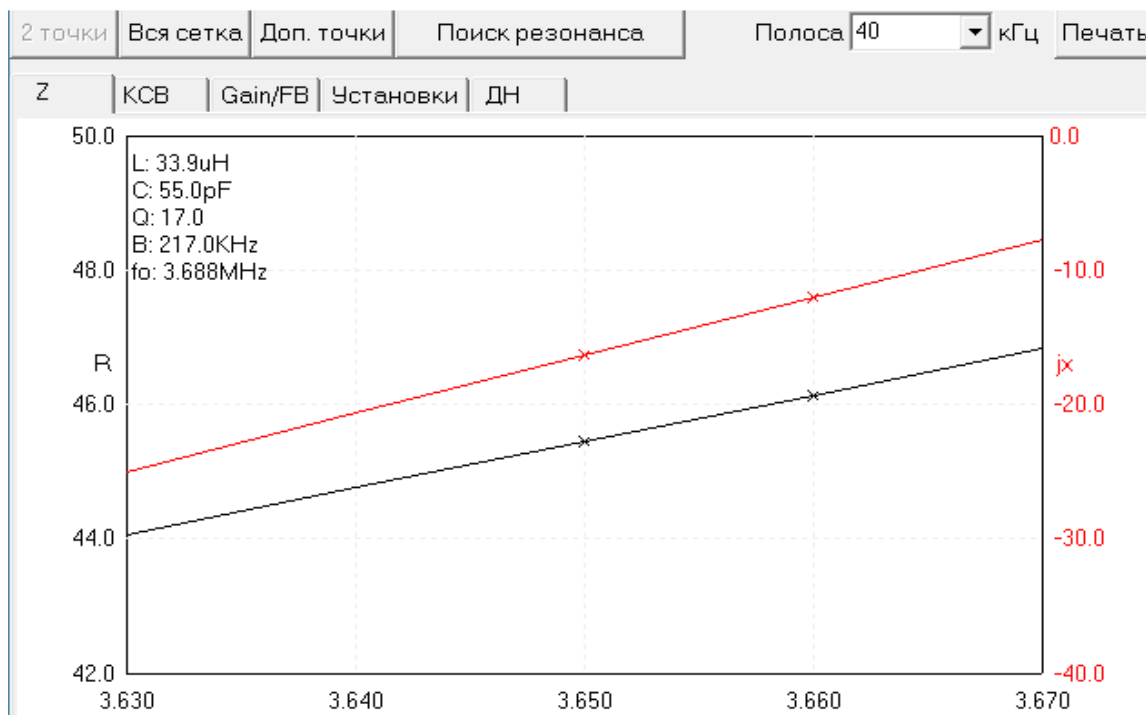


Рисунок 7.4. – Графики параметров зонтичной антенны

5. Построить диаграммы направленности (вертикальную, горизонтальную, суммы, комбинированную (вертикальную и горизонтальную)), как показано на рисунке 7.5.

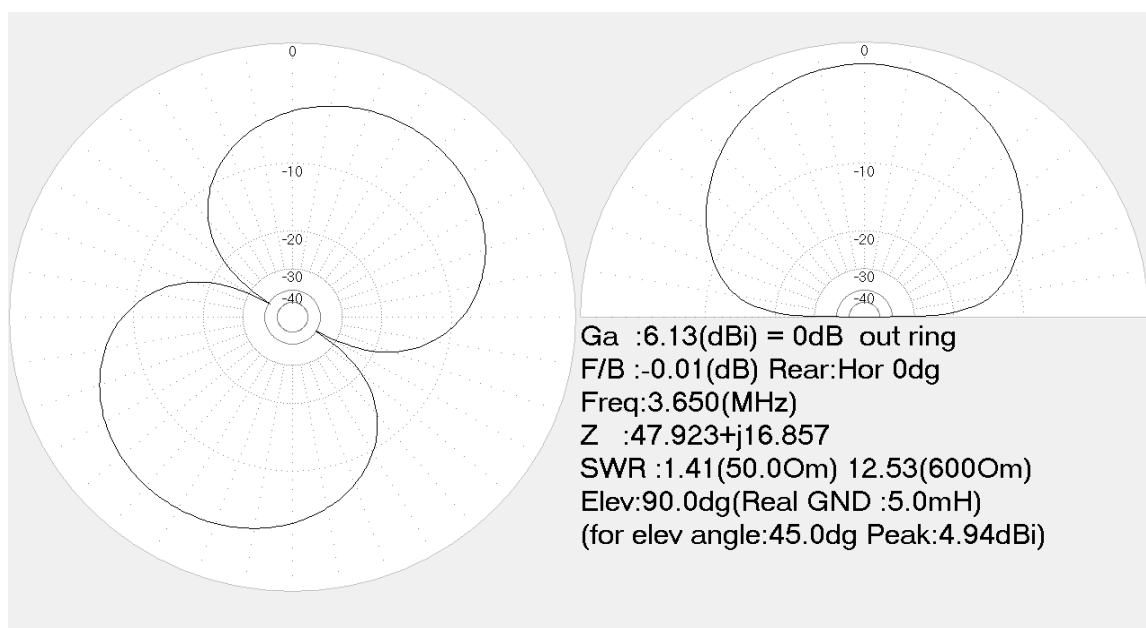


Рисунок 7.5. – Графики диаграммы направленности для вертикальной поляризации



**Содержание отчета:**

1. Цель работы.
2. Чертеж зонтичной антенны .
3. Таблицы результатов.
4. Графики зависимостей.
5. Сделать выводы о проделанной работе.

**Контрольные вопросы:**

1. Что называют подушечным эффектом?
2. Особенности зонтичных антенн?
3. Характеристики зонтичных антенн.
4. Как устроен механизм развертывания зонтичной антенны?
5. Что такое зонтичная антенна?
6. Где используется зонтичная антенна?
7. Чему равен радиус вспомогательного зеркала в антенне типа

АДЭ?

Лабораторная работа №8  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГОПЕРИОДИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ**

Цель работы – рассчитать параметры логопериодической антенны в программе *Manna*.

**Теоретические сведения**

Логопериодическая антенна (ЛПА) – один из типов антенн, форма диаграммы направленности которых почти неизменна, а характеристики постоянны в широком частотном диапазоне.

У большинства антенн при изменении частоты принимаемого сигнала и длины его волны изменяются направленные свойства, а также основные характеристики. В случае приема антенной сигнала не такого канала, на который рассчитаны размеры этой антенны, у узкополосных антенн отмечается падение коэффициента усиления и ухудшение КБВ, искажение формы диаграммы направленности, а порой и отклонение направления главного лепестка антенны от ее геометрической оси. У широкополосных антенн, в отличие от узкополосных, значительно меньшее изменение характеристик, которое носит монотонный характер в широком частотном диапазоне.

Логопериодические антенны имеют широкий рабочий частотный диапазон: отношение максимальной длины волны сигнала приема к минимальной может быть больше 10. На всем диапазоне частот отмечается хорошее согласование ЛПА с фидером, при этом коэффициент усиления остается практически неизменным.

Логопериодические антенны предназначены для приёма в диапазоне метровых волн сигналов нескольких телевизионных каналов, значительно отличающихся по частоте. В случае если телевизионный центр ведет передачи одновременно на низкочастотных (НЧ) и высокочастотных (ВЧ) каналах, приёмная антенна должна удовлетворительно работать в широком интервале частот. Для приёма значительно отличающихся по частоте каналов применяют сложные антенны с совмещенными структурами, одна из которых рассчитана для приёма НЧ, а другая – ВЧ-каналов (рис. 8.1),

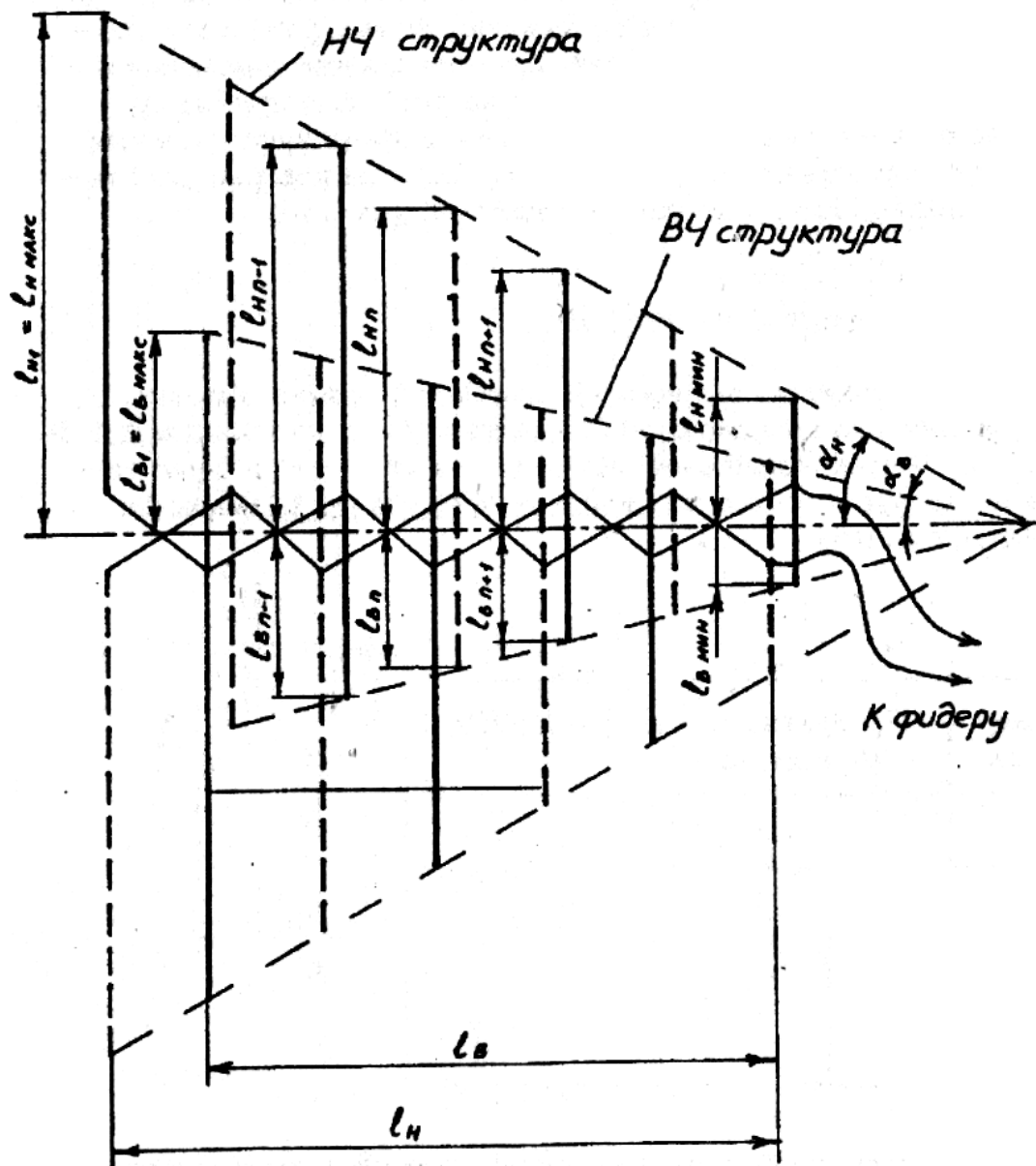


Рисунок 8.1. – Структура логопериодической антенны

Для логарифмической структуры полотна ЛПА требуется соблюдение одинакового соотношения между длинами соседних вибраторов  $l_n$  и  $l_{n-1}$ . Методика расчёта ЛПА заключается в определении допустимого размера антенны  $L$ , который определяется длиной НЧ-структуры. В случае если прием наиболее низкочастотных 1-го и 2-го каналов не предусматривается, то уменьшают допустимый размер антенны на 0,5 м.

Фидер подключается к ЛПА следующим образом (рис. 8.2): внутрь нижней трубы со стороны заднего конца А вводится кабель, имеющий волновое сопротивление 75 Ом, который выходит у переднего конца Б.

К концу нижней трубы припаивается оплетка кабеля, к концу верхней – центральная жила кабеля. В зависимости от того, какова длина принимаемого сигнала, в структуре антенны возбуждается несколько вибраторов, которые по размерам наиболее близки к  $\frac{1}{2}$  длины волны сигнала.

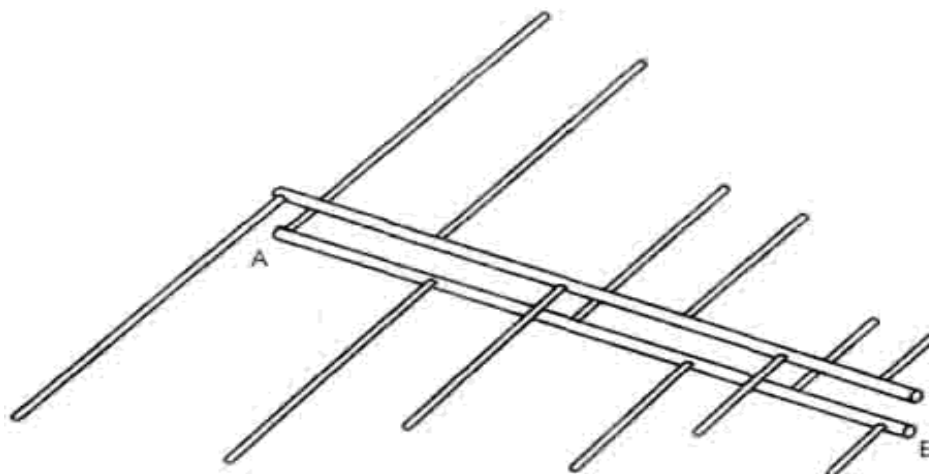


Рисунок 8.2. – Вид логопериодической антенны

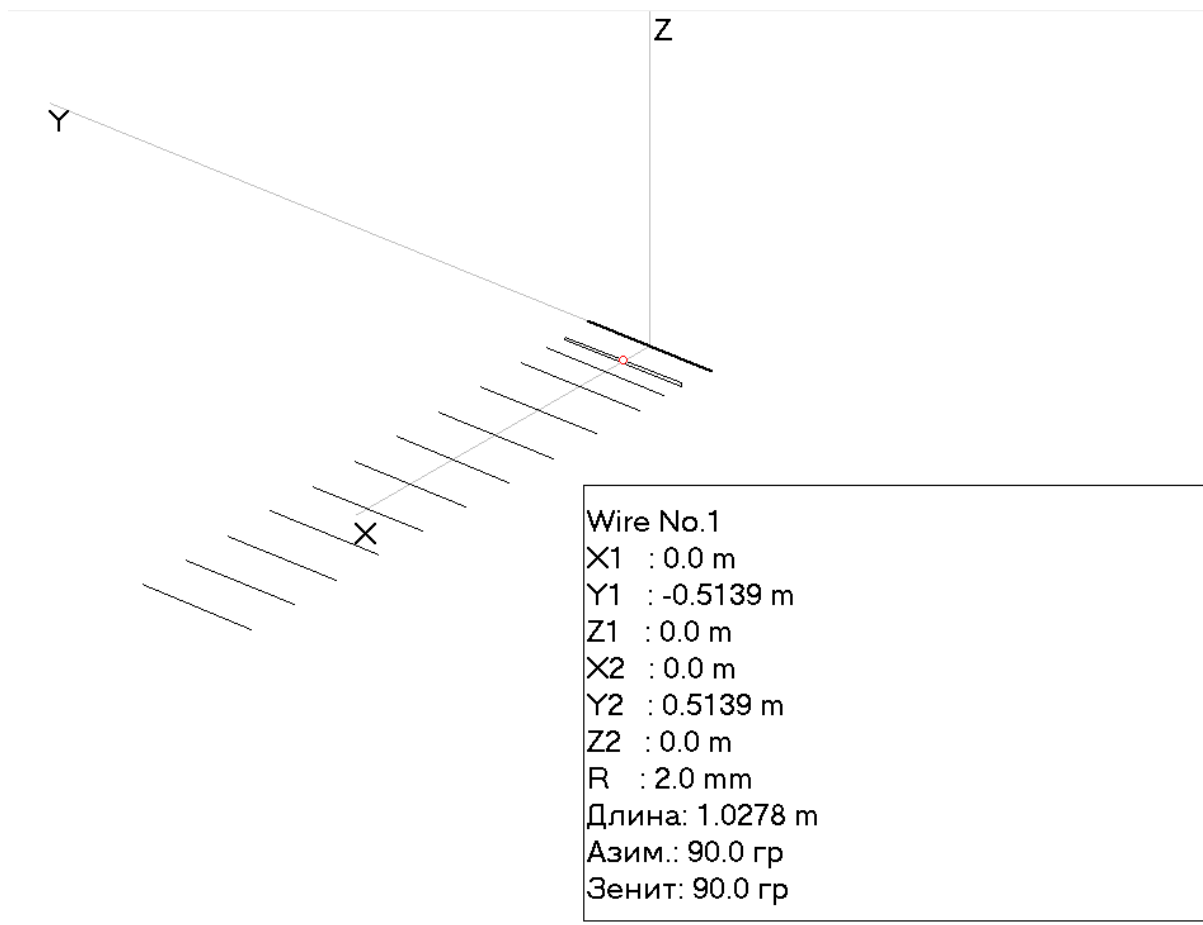
### Моделирование логопериодической антенны в программе *Mtana* (F9FT-13 for 144 MC by uu4jcr)

1. Построить геометрическую модель антенны (рис. 8.3).

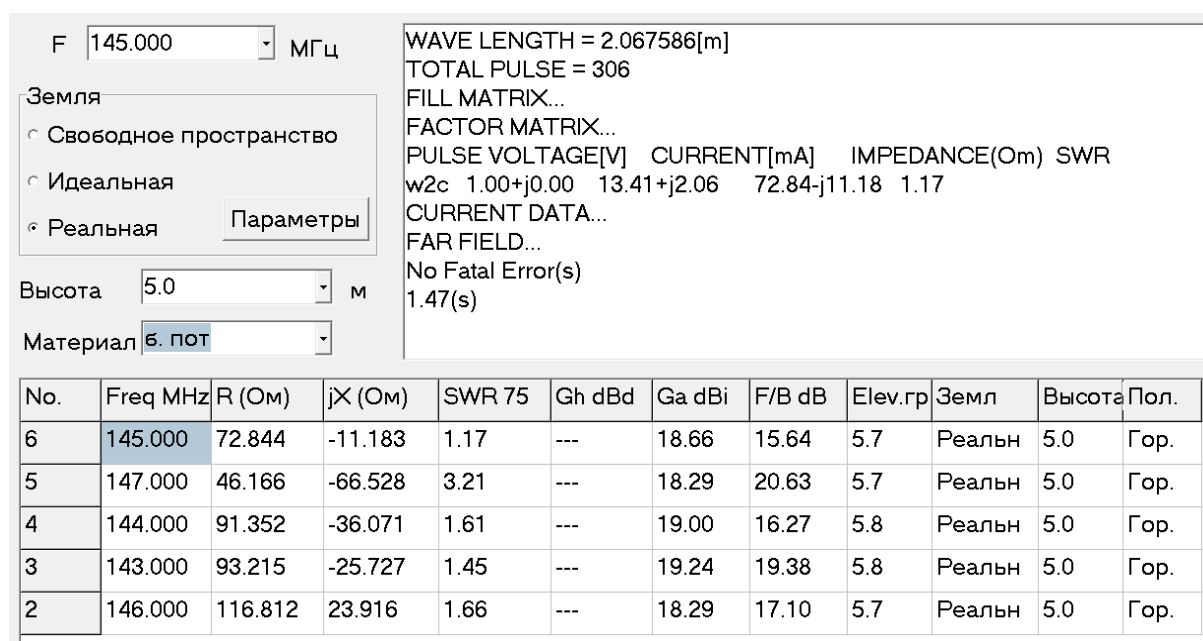
Провести моделирование антенн различных диапазонов на частотах, указанных преподавателем. В результате моделирования (изменяя количество и длину простейших излучателей) студенты получают навыки в создании конструкций антенн различных диапазонов волн.

2. Провести графическое построение диаграмм направленности антенн различных диапазонов волн в программном пакете *Mtana* для различных видов поляризации и при широком изменении параметров антенн. Добиться требуемых по заданию ДН антенн, выявить закономерности построения характеристик проектируемых антенн.

3. Провести расчет характеристик логопериодической антенны на частотах, указанных преподавателем, согласно рисункам 8.4 – 8.6. Определить коэффициент усиления, коэффициент стоячей волны, величину боковых лепестков, активное и реактивное входное сопротивление, построить графики коэффициента стоячей волны, активного и реактивного входного сопротивления в заданном диапазоне частот.



**Рисунок 8.3. – Геометрическая модель логопериодической антенны**



**Рисунок 8.4. – Таблица вычислений параметров антенны**

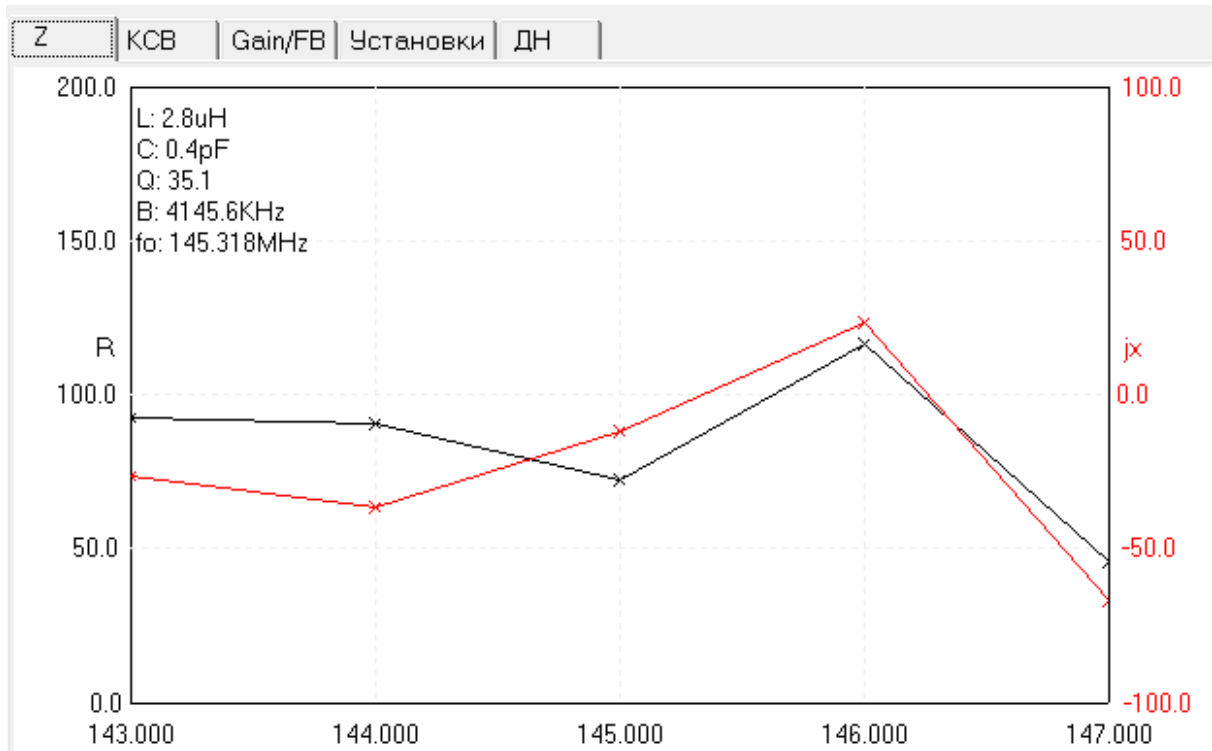


Рисунок 8.5. – Графики параметров логопериодической антенны

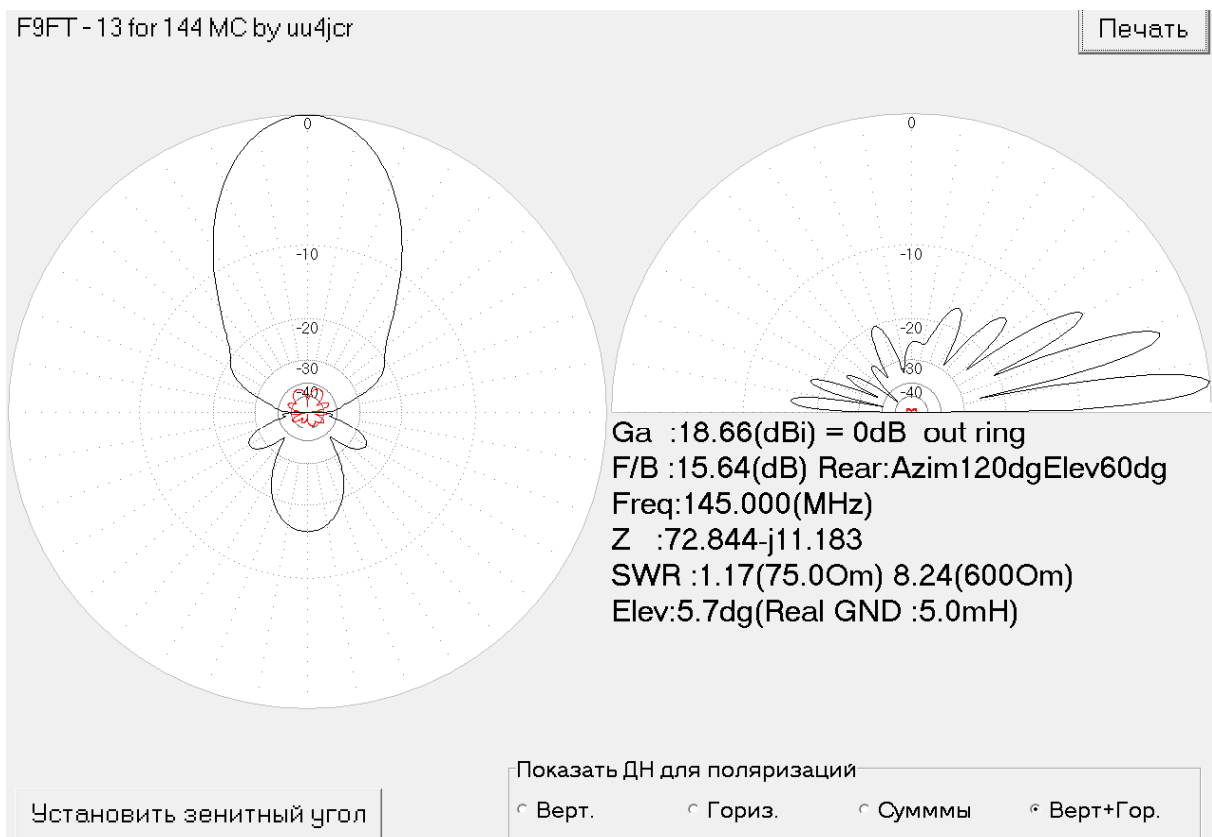


Рисунок 8.6. – Графики ДН для вертикальной и горизонтальной поляризации

### **Содержание отчета:**

1. Цель работы.
2. Чертеж логопериодической антенны.
3. Таблицы результатов.
4. Графики зависимостей.
5. Сделать выводы о проделанной работе.

### **Контрольные вопросы:**

1. Изменяется ли форма диаграммы направленности логопериодической антенны?
2. Чем характеризуется период структуры?
3. Из чего состоит полотно логопериодической антенны?
4. Как ориентируется ЛПА в пространстве?
5. Что будет при уменьшении размеров вибраторов и их расстояний от вершины?
6. Как увеличить коэффициент усиления антенны?
7. Объяснить работу логопериодической антенны?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кочержевский, Г.М. Антенно-фидерные устройства / Г.М. Кочержевский, Г.А. Ерохин, Н.Д. Козырев. – М. : Радио и связь, 1989.
2. Хмель, В.Ф. Антенны и устройства СВЧ / В.Ф. Хмель, А.Ф. Чаплин, И.И. Шумлянский. – Киев : Высш. шк., 1990.
3. Патлах, А.Л. Антенны и устройства СВЧ / А.Л. Патлах, В.Л. Гончаров. – Алма-Ата : АЭИ, 1987.
4. Гряник, М.В. Развертываемые зеркальные антенны зонтичного типа / М.В. Гряник, В.И. Ломан. – М. : Радио и связь, 1987.
5. Айзенберг, Г.З. Коротковолновые антенны / Г.З. Айзенберг. – М. : Радио и связь, 1985.
6. Бова, Н.Т. Антенны и устройства СВЧ / Н.Т. Бова, Г.Б. Резников. – Киев : Вищ. шк., 1982.



## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1	
ИССЛЕДОВАНИЕ РОМБИЧЕСКИХ АНТЕНН .....	1
Лабораторная работа № 2	
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ АНТЕНН .....	9
Лабораторная работа № 3	
ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИЧНОГО ВИБРАТОРА .....	17
Лабораторная работа № 4	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ВИБРАТОРА .....	21
Лабораторная работа № 5	
ИССЛЕДОВАНИЕ АНТЕННЫ БЕВЕРЕДЖА .....	26
Лабораторная работа № 6	
АНТЕННА ВОЛНОВОЙ КАНАЛ .....	30
Лабораторная работа № 7	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНТИЧНОЙ АНТЕННЫ .....	35
Лабораторная работа №8	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГОПЕРИОДИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ .....	40
Литература .....	46

*Учебное издание*

Янушкевич Виктор Францевич  
Кузнечик Наталья Алексеевна

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕНН  
В ПРОГРАММЕ MMANA**

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 1-39 01 01

Редактор О. П. Михайлова

---

Подписано в печать 06.03.2019. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,18. Тираж 30 экз. Заказ

---

Издатель и полиграфическое исполнение –  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.14.

Ул. Блохина, , 211440, г. Новополоцк.