

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)**

**АРХАНГЕЛЬСКИЙ КОЛЛЕДЖ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
ИМ. Б.Л. РОЗИНГА (ФИЛИАЛ) СПбГУТ  
(АКТ (Ф) СПбГУТ)**

**Составил  
В.В. Пономарёв**

**МДК.01.01. Технология монтажа и обслуживания  
средств систем радиосвязи**

**Тема 1.1 Антенно-фидерные устройства**

**Сборник описаний лабораторных работ**

Архангельск 2021

МДК.01.01. Технология монтажа и обслуживания средств систем радиосвязи Тема 1.1 Антенно-фидерные устройства. Сборник описаний лабораторных работ. Составил В.В. Пономарев. - Архангельск, 2021.

Сборник описаний лабораторных работ по теме 1.1 Антенно-фидерные устройства. Каждая работа рассчитана на 2 часа. Общий объем лабораторных работ составляет 16 часов. Нумерация рисунков, таблиц и формул производится в пределах описания каждой лабораторной работы. Сборник предназначен для студентов очной и заочной форм обучения по специальности 11.02.10 Радиосвязь, радиовещание и телевидение

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой комиссии РС, РВ и ТВ, ЭСС Архангельского колледжа телекоммуникаций им. Б.Л. Розинга (филиал) СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича.

© Архангельский колледж телекоммуникаций им. Б.Л. Розинга (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

Усл. печ.л. 2,42

## Содержание

Лабораторная работа № 1 Исследование симметричного вибратора	4
Лабораторная работа № 2 Исследование логопериодической антенны и антенны типа «Волновой канал»	10
Лабораторная работа № 3 Исследование рупорной антенны	19
Лабораторная работа № 4 Исследование параболической антенны	25
Лабораторная работа № 5 Исследование спиральной антенны и спиральной решетки	33
Лабораторная работа № 6 Исследование синфазной многовибраторной антенны	39
Лабораторная работа №7 Исследование рамочной антенны и рамочной антенны со штыревым несимметричным вибратором	44
Лабораторная работа №8 Исследование панельной антенны сотовой связи	48

# Лабораторная работа № 1

## Исследование симметричного вибратора

### 1 Цель работы

1.1 Выяснить зависимость формы диаграммы направленности (ДН) от соотношения между геометрической длиной вибратора  $\ell$  и длиной волны  $\lambda$ .

### 2 Литература

2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Антенны: учебное пособие для СПО / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 412 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148036/#2>

### 3 Подготовка к работе

3.1 Повторить пройденный материал по теме «Симметричный и несимметричный вибраторы».

3.2 Подготовить бланк отчёта.

3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:

3.3.1 Как распределяется ток в симметричном вибраторе?

3.3.2 Почему симметричный горизонтальный вибратор не дает излучения вдоль земли?

3.3.3 Для каких целей используют симметричный вибратор?

3.3.4 Чем определяется полоса пропускания симметричного вибратора?

3.3.5 В каких случаях ДН имеет боковые лепестки?

### 4 Основное оборудование

4.1 Генератор сигналов Г4-144.

4.2 Макет симметричного вибратора.

4.3 Регистратор.

### 5 Задание

5.1 Снять диаграммы направленности симметричного вибратора при разных соотношениях  $\ell/\lambda$ .

### 6 Порядок выполнения работы

6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.

6.2 Установить на блоке «Регистратор» переключатель пределов чувствительности в положение 200 мВ, включить тумблер «Сеть».

6.3 Включить используемый в работе генератор и дать прогреться в течение 10 минут. Настроить генератор на рабочую частоту.

6.4 Подготовить и настроить антенны для проведения измерения диаграммы направленности (ДН), для этого:

– выбрать такое положение приемной и передающей антенны в пространстве, при котором блок «Регистратор» показывает максимальное значение напряженности;

– увеличивая выходную мощность генератора и при необходимости изменяя чувствительность усилителя, добиться появления заметных показаний на

блоке «Регистратор». Для увеличения показаний на блоке «Регистратор» перемещаем фиксирующий винт короткозамыкателя детекторной секции, которая подает сигнал от приемной антенны на цифровое регистрирующее устройство.

6.5 Установить на генераторе частоту 800 МГц, на приемной антенне установить короткие плечи вибратора, что будет соответствовать отношению  $\ell = \lambda/2$ .

6.5.1 С помощью поворотного устройства изменять направление приемной антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания «Регистратора» занести в таблицу 1.

6.6 Установить на генераторе частоту 500 МГц, на приемной антенне установить длинные плечи вибратора, что будет соответствовать отношению  $\ell = 1,5\lambda$ .

6.6.1 С помощью поворотного устройства изменять направление приемной антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания «Регистратора» занести в таблицу 1.

6.7 По данным таблицы 1 построить характеристики направленности для разных соотношений в полярных координатах:  $\varphi(\theta) = E/E_{max}$ .

6.8 Измерить длину симметричных вибраторов и вычислить длину волны и частоту генератора.

Таблица 1

	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
$\ell = \lambda/2$ $f = 800$ МГц	$E$							
	$E/E_{max}$							
$\ell = 1,5\lambda$ $f = 500$ МГц	$E$							
	$E/E_{max}$							

## 7 Содержание отчета

- 7.1 Наименование работы.
- 7.2 Цель работы.
- 7.3 Основное оборудование.
- 7.4 Основные схемы.
- 7.5 Формулы для расчета.
- 7.6 Таблица измерений.
- 7.7 Диаграммы направленности.
- 7.8 Выводы по работе.
- 7.9 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

- 8.1 Что такое симметричный вибратор?
- 8.2 Дайте определение характеристике направленности.

8.3 Нарисуйте вид характеристики симметричного вибратора в свободном пространстве.

8.4 Какие плоскости поляризации различают у симметричного вибратора?

8.5 Назовите основные параметры антенны.

## 9 Приложение

### 9.1 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя две антенны, которые образуют радиолинию. Антенны обеспечивают работу в диапазоне 500 -1000 МГц.

Передающая антенна представляет собой симметричный четвертьволновый вибратор с плоским контррефлектором и устройством симметрирования и согласования.

Приемная антенна отличается от передающей отсутствием контррефлектора.

Обе антенны крепятся к диэлектрическим штангам. Передающая антенна закреплена на штанге с помощью устройства, позволяющего менять ее наклон в вертикальной плоскости.

Питание передающей антенны осуществляется от генератора высокой частоты Г4-144, Г4-76. Антенна соединяется с выходом генератора ВЧ кабелем.

Приемная антенна с помощью ВЧ кабеля соединяется с детекторной секцией.

Продетектированный сигнал поступает на вход регистратора. Выход синхронизирующего сигнала регистратора соединяется с входом синхронизации генератора.

Последние два соединения выполняются с помощью соединительных шнуров с разъемами СР-50.

Плечи вибраторов наворачиваются по резьбе на оси. У приемной антенны предусмотрена возможность изменения длины плеч вибраторов, что позволяет менять их резонансные частоты.

Использование контррефлектора у передающей антенны позволяет существенно снизить уровень излучения антенны в направлении, противоположном приемной антенне. В данном лабораторном макете контррефлектор выполнен в виде плоского металлического экрана.

Вибратор располагается перед экраном на расстоянии  $h$ . Влияние экрана на диаграмму направленности такой антенны учитывается с помощью метода зеркального изображения. Экран заменяется фиктивным эквивалентным вибратором, который возбужден в противофазе по отношению к основному. Располагается он на расстоянии  $h$  за экраном.

Расстояние  $h$  должно быть выбрано так, чтобы волны, распространяющиеся в прямом направлении, складывались в фазе, а в противоположном – в противофазе. При этом диаграмма направленности антенны становится однонаправленной – направление главного максимума нормально к контррефлектору.

В лабораторном макете предусмотрено симметрирование питания вибратора, исключаящее неравномерность распределения тока в плечах вибратора за счет его затекания на внешнюю оболочку питающего коаксиального кабеля.

В коаксиале, при распространении электромагнитной волны, по центральному проводнику и внутренней поверхности оплетки протекают токи, одинаковые по величине. Но при соединении центрального проводника и оплетки непосредственно с плечами симметричного вибратора, из-за различий в геометрии проводников коаксиала возникает ток не только в плечах вибраторов, но и на внешней оболочке оплетки. Это приводит к тому, что токи  $I_1$ ,  $I_2$  в плечах вибратора оказываются неодинаковыми. В результате диаграмма направленности антенны искажается.

Для устранения этого эффекта необходимо симметризовать питание плеч вибраторов.

Наружная оболочка коаксиальной линии имеет контакт с одним стержнем, а центральная - с другим. Плечи вибратора подключены к стержням.

За счет того, что ток, текущий по стержню, к которому присоединена центральная жила кабеля, противоположен по фазе току, текущему по наружной оболочке кабеля, излучение стержней симметрирующего устройства имеет пренебрежимо малую интенсивность, если расстояние между ними меньше по сравнению с длиной волны.

Симметрирование питания осуществляется за счет трансформации короткого замыкания, образуемого кабелем в бесконечно большое сопротивление в точках подключения плеч вибратора, чем исключается затекание тока на наружную оболочку.

## 9.2 Симметричный вибратор

Симметричный вибратор – это простейший вид излучателя электромагнитных волн, представляющий собой, развернутый отрезок длинной симметричной линии разомкнутой на конце.

Если провода линии параллельны, то токи в них находятся в противофазе и излучения нет, так как поля  $E$  и  $H$  за пределами этой линии взаимно компенсируются, рисунок 1а. Если провода развернуты, то токи в проводах текут в одинаковых направлениях и отрезок излучает радиоволны, рисунок 1б.

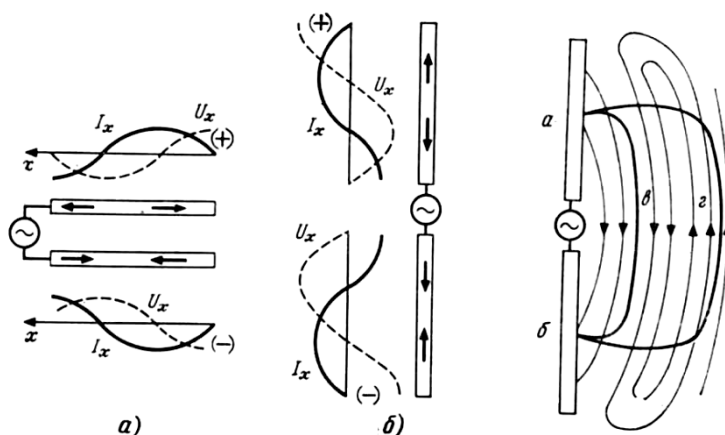


Рисунок 1 - Распределение тока и напряжения:  
а – в двухпроводной линии, б – симметричном вибраторе

Если вдоль вибратора откладывается половина волны тока, такой вибратор называется полуволновым.

Симметричный вибратор по принципу действия аналогичен колебательному контуру и в зависимости от соотношения  $\ell/\lambda$  он имеет соответствующий характер сопротивления. Если вибратора полуволновый, его сопротивление активное и малой величины, так как он аналогичен последовательному контуру, настроенному в резонанс. Резонансную его волну можно определить, измерив его длину и умножив на 2. Определив длину волны, легко находится его резонансная частота.

Если вибратор расположен над землей вертикально, то максимальная напряженность получается у поверхности земли и такие вибраторы применяют для получения поверхностных волн.

Для исследования радиоволн физик Герц использовал короткий вибратор  $\ell = \lambda/4$  с шарами на концах, которые создают емкость на концах и ток вдоль вибратора распределяется равномерно.

О направленных свойствах вибраторов судят по характеристикам направленности, которые определяются зависимостью напряженности  $E$  от угла. В плоскости  $H$  вибраторы не имеют направленных свойств. В плоскости  $E$  вид характеристики зависит от соотношения  $\ell/\lambda$ . При  $0 < \ell < \lambda$  характеристика имеет два лепестка, при  $\ell > \lambda$  характеристика становится многолепестковой.

Характеристики направленности строят чаще в полярных системах координат и реже в прямоугольных системах координат, рисунок 2. В полярных координатах они более наглядны. Направленные свойства конкретно определяют величиной КНД. У полуволнового вибратора КНД равен  $D = 1,65$ . Коэффициент направленного действия возрастает по мере приближения длины вибратора к длине волны.

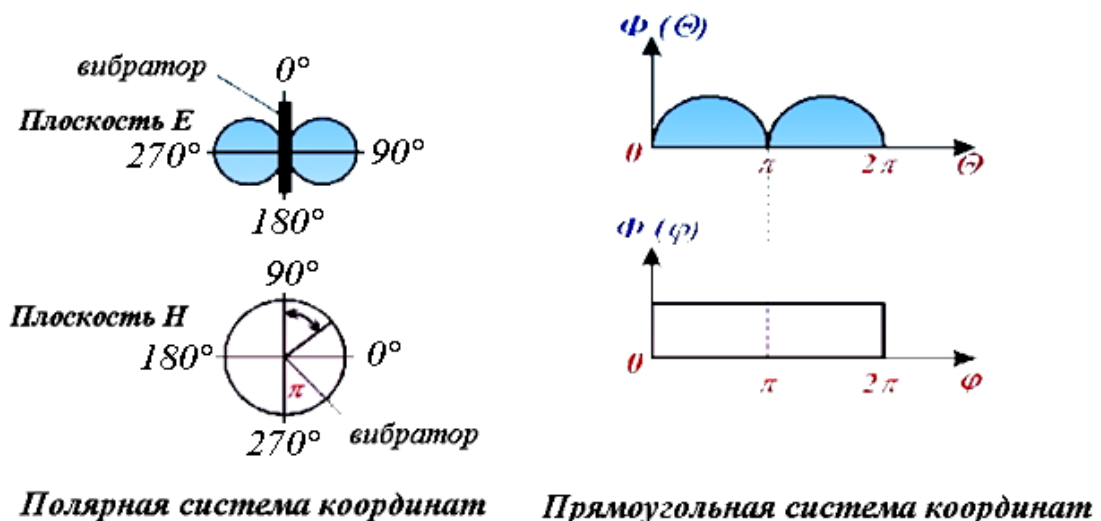


Рисунок 2 – ДН в полярной и прямоугольной системах координат

Простейший симметричный вибратор, рисунок 3, состоит из двух одинаковых цилиндрических проводников 1, между которыми включается линия 2, соединяющая вибратор с генератором (передатчиком) или приемником. На ри-



сунке так же показано распределение тока вдоль симметричного полуволнового вибратора.

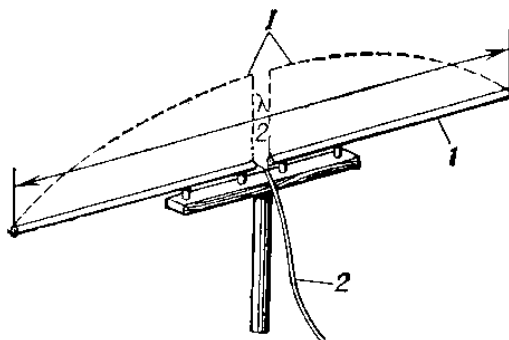


Рисунок 3 – Симметричный вибратор

Симметричные вибраторы относятся к простейшим антеннам. Они широко используются не только самостоятельно в составе различных линий связи, но и как элементы более сложных антенных систем.

Симметричный вибратор обладает слабыми направленными свойствами. Улучшение направленности свойств можно получить применением антенн, состоящих из нескольких вибраторов.

Симметричный вибратор как самостоятельную антенну используют на коротких (декаметровых), метровых и дециметровых волнах, а также в сантиметровом диапазоне волн в качестве элементов сложных систем (например, облучатели зеркальных антенн).

На рисунке 4, показано распределение тока с разным соотношением  $l/\lambda$  по отношению ко всей длине симметричного вибратора.

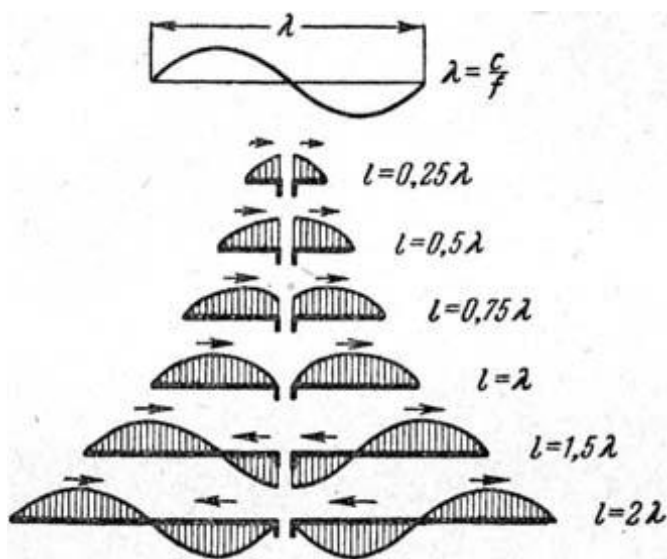


Рисунок 4 – Распределение тока вдоль симметричного вибратора

## Лабораторная работа №2

### Исследование логопериодической антенны и антенны типа «Волновой канал»

#### 1 Цель работы

- 1.1 Исследовать диаграмму направленности приемной антенны типа «Волновой канал».
- 1.2 Исследовать диаграмму направленности передающей логопериодической антенны.

#### 2 Литература

- 2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Антенны: учебное пособие для СПО / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 412 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148036/#2>

#### 3. Подготовка к работе

- 3.1 Повторить пройденный материал по теме «Вибраторные антенны дециметровых и метровых радиоволн».
- 3.2 Подготовить бланк отчёта.
- 3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:
  - 3.3.1 Из каких соображений подбирают расстояние между активным вибратором и директором?
  - 3.3.2 Какова длина директора по отношению к полуволновому вибратору?
  - 3.3.3 Какова длина рефлектора по отношению к вибратору  $\lambda/2$ ?
  - 3.3.4 По какой формуле определяется КНД?
  - 3.3.5 Как определить на какую частоту настроена антенна?

#### 4 Основное оборудование

- 4.1 Генератор сигналов Г4-144.
- 4.2 Передающая логопериодическая антенна.
- 4.3 Приемная антенн типа «Волновой канал».
- 4.4 Регистратор.

#### 5 Задание

- 5.1 Изучить конструкцию антенны типа «Волновой канал»
- 5.2 Изучить конструкцию логопериодической антенны.
- 5.3 Снять диаграммы направленности антенн.
- 5.4 Исследовать диапазонные свойства антенн.

#### 6 Порядок выполнения работы

- 6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.
- 6.2 Установить на блоке «Регистратор» переключатель пределов чувствительности в положение 200 мВ, включить тумблер «Сеть».

6.3 Включить используемый в работе генератор и дать прогреться в течение 10 минут. Настроить генератор на рабочую частоту.

6.4 Подготовить и настроить антенны для проведения измерения диаграммы направленности (ДН), для этого:

– выбрать такое положение приемной антенны типа «Волновой канал» и передающей логопериодической антенны в пространстве, при котором блок «Регистратор» показывает максимальное значение напряженности;

– увеличивая выходную мощность генератора и при необходимости изменяя чувствительность усилителя, добиться появления заметных показаний на блоке «Регистратор». Для увеличения показаний на блоке «Регистратор» перемещаем фиксирующий винт короткозамыкателя детекторной секции, которая подает сигнал от приемной антенны на цифровое регистрирующее устройство.

6.5 Исследовать влияние рефлектора и директоров на диаграмму направленности.

6.5.1 Установить на генераторе частоту 600 МГц, на приемной антенне типа «Волновой канал» установить 5 директоров.

6.5.2 С помощью поворотного устройства изменять направление приемной антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания «Регистратора» занести в таблицу 1.

6.5.3 Выкрутить два передних директора и повторить п.6.5.2.

6.5.4 Открутить еще два директора (на антенне остается один директор) и повторить п.6.5.2.

6.6 По данным таблицы 1 построить характеристики направленности в полярных координатах для всех случаев:  $\varphi(\theta) = E/E_{max}$ .

Таблица 1

	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
5 директоров	$E$							
	$E/E_{max}$							
3 директора	$E$							
	$E/E_{max}$							
1 директор	$E$							
	$E/E_{max}$							

6.7 Провести измерения диаграммы направленности логопериодической антенны на разных частотах.

6.7.1 Произвести поиск резонансной частоты изменением частоты генератора и наблюдением за показаниями «Регистратора». При резонансной частоте показания будут максимальны.

6.7.2 Поворачивая передающую антенну с помощью поворотного устройства по часовой и против часовой стрелки до тех пор, пока показания изме-

рительного прибора не уменьшатся в два раза. Отметить значения угла поворота антенны, эти углы определяют ширину диаграммы направленности исследуемой антенны.

6.7.3 Повернуть антенну в положение, соответствующее нулевому отсчету угла (максимальные показания измерительного прибора «Регистратора»).

6.7.4 С помощью поворотного устройства изменять направление приемной антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания «Регистратора» занести в таблицу 2.

6.7.5 Произвести поиск второй резонансной частоты изменением частоты генератора и наблюдением за показаниями «Регистратора». При резонансной частоте показания будут максимальны.

6.7.6 С помощью поворотного устройства изменять направление приемной антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания «Регистратора» занести в таблицу 2.

6.8 По данным таблицы 2 построить характеристики направленности в полярных координатах для всех случаев:  $\varphi(\theta) = E/E_{max}$ .

Таблица 2

	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
$f =$	$E$							
	$E/E_{max}$							
$f =$	$E$							
	$E/E_{max}$							

6.9 Сравнить диаграммы направленности логопериодической антенны на разных частотах и сделать выводы о её диапазонных свойствах.

6.10 Сравнить диаграммы направленности семиэлементных логопериодической и антенны типа «Волновой канал», сделать выводы об их диапазонных свойствах.

## 7 Содержание отчета

7.1 Наименование работы.

7.2 Цель работы.

7.3 Основное оборудование.

7.4 Основные схемы.

7.5 Формулы для расчета.

7.6 Таблицы измерений.

7.7 Диаграммы направленности.

7.8 Выводы по работе.

7.9 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## **8 Контрольные вопросы**

8.1 Объясните устройство логопериодической антенны.

8.2 Объясните устройство антенны типа «Волновой канал».

8.3 Какое достоинство имеет логопериодическая антенна перед антенной типа «Волновой канал»?

8.4 Чем объясняется широкая полоса рабочих частот у логопериодической антенны?

## **9 Приложение**

### **9.1 Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка включает в себя два макета антенн, которые образуют радиолинию. Антенны обеспечивают работу в диапазоне 500 -1000 МГц.

В качестве передающей используется макет логопериодической антенны, а в качестве приемной – макет антенны «Волновой канал» с устройством симметрирования и согласования. Обе антенны крепятся с помощью соединителей к диэлектрическим штангам. Нижний конец штанг фиксируется в поворотных устройствах.

Питание передающей антенны осуществляется от генератора высокой частоты типа Г4-144, Г4-76. Антенна соединяется с выходом генератора ВЧ кабелем. Приемная антенна с помощью ВЧ кабеля соединяется с детекторной секцией.

Продетектированный секцией сигнал поступает на вход регистратора. Выход синхронизирующего сигнала регистратора соединяется с входом синхронизации генератора. Последние два соединения выполняются с помощью соединительных шнуров с разъемами СР-50.

#### **9.1.1 Макет логопериодической антенны**

Логопериодическая антенна, включает в себя один симметричный вибратор из семи, короткозамыкатель и узел крепления к диэлектрической штанге.

Основой является двухпроводная соединительная линия, образованная полыми алюминиевыми трубками. В одной из этих трубок проложен кабель питания.

Соединитель изготовлен из диэлектрического материала. В нем выполнены отверстия, через которые проходят трубки двухпроводной линии. В боковых стенках соединителя также имеются два отверстия, в которые по резьбе ввернуты оси плеч вибраторов.

Отверстия выполнены таким образом, что при вворачивании осей в соединитель правая имеет омический контакт с верхней трубкой двухпроводной линии, а левая – с нижней. В соседних вибраторах положение осей изменено на противоположное (правая с нижней трубкой, левая – верхней). Этим обеспечивается питание вибраторов с дополнительным сдвигом фаз равным 180 градусам.

Оси на конце, обращенном к соединителю, снабжены утолщением, которое позволяет ослабить крепление соединителя на трубках двухпроводной линии. Этим обеспечивается возможность передвижения соединителей вдоль линии и изменения геометрии антенны.

Плечи вибраторов наворачиваются по резьбе на оси. Предусмотрена возможность изменения общей с осью длин плеч вибраторов, что позволяет менять их резонансные частоты.

Положение короткозамыкателя на трубках фиксируется двумя винтами.

Крепление логопериодической антенны к диэлектрической штанге осуществляется с помощью узла. В его боковой поверхности имеются отверстия, через которые проходят трубки соединительной линии. В нижнем основании имеется отверстие, в которое вставлена диэлектрическая штанга.

В данной лабораторной работе исследуется семиэлементная логопериодическая антенна. Ее конструкция позволяет менять расстояние между вибраторами и их длину. Это позволяет изменять частотный диапазон, в котором работает антенна и ее основные характеристики.

### **9.1.2 Макет антенны типа «Волновой канал»**

Антенна типа «Волновой канал» включает в себя пять директоров и активный петлевой вибратор.

Основой является алюминиевая траверса квадратного сечения. На ней фиксируются скобы. Со скобами соединяются оси вибраторов, на которые по резьбе наворачиваются плечи. У всех пяти директоров и рефлектора антенны оси фиксируются на скобах гайками, а сами скобы на траверсе – винтами.

Имеется возможность перемещения скоб с соответствующими элементами вдоль траверсы и изменения длин плеч вибраторов.

Активный петлевой вибратор дополнительно включает две оси, которые вместе с основной крепятся к плате. На ней жестко закреплена скоба, связывающая его с траверсой. Верхняя и нижняя оси активного вибратора соединяются планкой.

Длина петли активного вибратора может изменяться за счет перемещения вдоль осей плеч, соединенных планкой. Положение осей фиксируется на осях гайкой.

В плату по резьбе ввернуты две полых алюминиевых трубки, которые образуют двухпроводную линию устройства симметрирования и согласования. Между этими трубками и осями имеется омический контакт.

Через одну из трубок проложен кабель питания. С ней соединяется его оплетка. Центральный проводник кабеля соединен со второй трубкой.

Для настройки устройства симметрирования и согласования используется короткозамыкатель. Он может перемещаться вдоль линии. Положение его фиксируется винтами.

### 9.3 Директорная антенна

Директорная антенна (антенна типа «Волновой канал») применяется в бытовой технике для приема телевизионных сигналов как в метровом, так и в дециметровом диапазоне, для организации сотовой связи, для организации вещания в КВ диапазоне и для многих других целей.

Интерес к таким антеннам объясняется простотой изготовления, которая сочетается с хорошими эксплуатационными характеристиками. Их диаграмма направленности имеет один выраженный максимум, направление которого совпадает с осью антенны и несколько менее выраженных боковых. Первый носит название главного максимума (главного лепестка) диаграммы направленности и по нему оценивается её ширина, которая в плоскостях Е и Н составляет 40 – 60 градусов. Боковые максимумы (боковые лепестки) являются нежелательными и служат источниками помех в радиолинии. При разработке конструкции антенны стремятся, если это возможно, их минимизировать.

Качество диаграммы направленности принято оценивать соотношением уровней главного и боковых лепестков. Для его определения необходимо сориентировать приемную и передающую антенну направлениями главного максимума друг на друга и измерить уровень принимаемой мощности  $P_0$ .

Часто для практического использования требуются антенны, обеспечивающие минимальный уровень излучения в направлении противоположном главному максимуму. Реально излучение в этом направлении устранить полностью не удастся. Принято оценивать его уровень коэффициентом защитного действия (КЗД).

Еще один важный численный параметр, характеризующий направленные свойства антенны – коэффициент направленного действия (КНД)  $D$ . Он показывает, во сколько раз возрастает мощность в точке приема за счет использования данной антенны по сравнению с «изотропным излучателем», у которого отсутствует направленность. Уровень излученной им мощности не зависит от его ориентации.

Диапазонные свойства антенн определяются зависимостью их входного сопротивления от частоты. Как правило, расчет параметров ведется в предположении, что антенна настроена в резонанс, чему соответствует отсутствие реактивной составляющей входного сопротивления. Величина активной составляющей обычно колеблется в пределах (30 – 100) Ом. Для питания антенн наиболее часто используется коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом или 75 Ом. Непосредственное подключение кабеля к симметричному вибратору невозможно из-за нарушения симметрии его питания. Но кроме симметрирования питания следует учитывать и степень согласования антенны с входным сопротивлением  $R_{вх}$  с питающей линией (фидером), которая характеризуется волновым сопротивлением  $W$ . Для того, чтобы вся энергия электромагнитной волны, подводимая по линии поступала в антенну, необходимо обеспечить равенство двух этих величин.

Если такое равенство отсутствует, то возникает отражение от входных зажимов антенны части подводимой к ней волны. Коэффициент отражения  $\Gamma$ , определяемый отношением амплитуд падающей и отраженной волн, является

численной характеристикой степени согласования антенны и фидера. На практике для оценок используется другая величина – коэффициент стоячей волны (КСВ). Это объясняется тем, что величина КСВ может быть измерена более простыми способами. Она связана с коэффициентом отражения.

Рассмотренные выше характеристики являются общими и могут быть использованы при анализе любой другой антенны.

Директорные антенны (антенны типа «Волновой канал»), рисунок 1, широко используются на метровых и дециметровых волнах в качестве направленных антенн осевого излучения.



Рисунок 1 – Директорная антенна (антенна типа «Волновой канал»)

Антенна состоит из одного активного и нескольких пассивных вибраторов, выполняющих функции рефлектора и директоров. Настройка пассивного вибратора в режим рефлектора достигается его удлинением по сравнению с резонансной длиной активного вибратора (близкой  $\lambda/2$ ). Для работы в режиме директора пассивный вибратор должен быть короче резонансной длины (длины активного вибратора). В лабораторной конструкции, функции рефлектора выполняет только один пассивный вибратор, так как при установке дополнительных вибраторов позади основного рефлектора они будут очень слабо возбуждаться. Иногда для уменьшения уровня излучения в заднем полупространстве используются дополнительные рефлекторы, расположенные над основным рефлектором и под ним. Число директоров может быть достаточно большим, поскольку каждый предыдущий директор направляет энергию в сторону последующего (отсюда название «Волновой канал»), тем самым создавая благоприятные условия для возбуждения директоров.

При надлежащей настройке антенны ток, наведенный в рефлекторе, должен опережать по фазе ток в активном вибраторе (индуктивный характер сопротивления). Токи в директорах должны отставать по фазе (емкостной характер сопротивления), причем тем сильнее, чем дальше отстоит директор от активного элемента. При этом максимум излучения направлен вдоль оси антенны (в сторону директоров). Фазовая скорость волны, распространяющейся в ан-



тенне, меньше скорости света, поэтому директорную антенну можно рассматривать как антенну бегущей волны с замедленной фазовой скоростью.

Для повышения направленности антенны необходимо увеличивать её общую длину. При этом оптимальная фазовая скорость должна увеличиваться, что достигается за счет уменьшения длины директоров и увеличения расстояния между ними.

Расстояние между активным вибратором и рефлектором обычно берется равным  $(0,15 \dots 0,25)\lambda$ . Первый директор отстоит от активного вибратора на  $(0,1 \dots 0,35)\lambda$ . Такое же расстояние выбирается между директорами. Иногда для расширения диапазонов рабочих частот первый директор устанавливают на малом расстоянии  $(0,05\lambda)$  от активного вибратора. Длина активного вибратора выбирается из условия компенсации реактивной составляющей входного сопротивления (с учетом наведенных сопротивлений). Длина рефлектора и директора отличается от длины активного вибратора примерно на 5...10% в сторону удлинения и укорочения соответственно. Для уменьшения боковых лепестков длины директоров уменьшают по мере их удаления от активного вибратора.

В качестве активного вибратора обычно используется петлевой вибратор Пистолькорса. С точки зрения теории цепей каждое плечо такого вибратора представляет собой отрезок короткозамкнутой линии. Длина этого отрезка  $L$  выбирается близкой к  $\lambda/4$ . Входное сопротивление петлевого вибратора в этом случае в 4 раза выше, чем у симметричного, и составляет величину:  $R_{вх} = 292$  Ом. Директоры, активный вибратор и рефлектор крепятся к траверсе своей центральной частью. Его центральная часть находится под нулевым потенциалом, поэтому крепить элементы антенны можно непосредственно к металлическому основанию, не изолируя их от него. Это делает конструкцию рассматриваемой антенны жесткой, что создает дополнительные удобства при ее эксплуатации.

#### 9.4 Логопериодическая антенна

Логопериодическая антенна, рисунок 2, позволяет обеспечить приемлемое по величине значение КНД в значительно более широком диапазоне частот, чем рассмотренная выше антенна «Волновой канал».

Логопериодические антенны (ЛПА) относятся к классу сверхширокополосных антенн, сохраняющих при изменении частоты, как форму диаграммы направленности, так и входное сопротивление. Антенна состоит из линейных вибраторов (все вибраторы активные), присоединенных к двухпроводной линии, и возбуждается с помощью коаксиальной линии без применения симметрирующего устройства.

На частоте  $f_0$  резонирует, то есть возбуждается наиболее интенсивно, вибратор, длина плеча которого близка к  $\lambda_0/4$ , поскольку входное сопротивление этого вибратора минимально. Другие вибраторы возбуждаются значительно слабее, поскольку входное сопротивление их велико из-за большой реактивной составляющей. Активная область антенны, формирующая излученное поле, включает обычно 3-5 вибраторов, в том числе, резонансный и прилегающие к нему с двух сторон вибраторы. Фазовые соотношения токов в вибраторах ак-

тивной области определяются длиной вибраторов, взаимным влиянием и очередным подключением их к разным проводникам питающей линии. При этом оказывается, что токи в более коротких вибраторах отстают, а в более длинных – опережают по фазе ток в резонансном вибраторе. Более короткие вибраторы работают в режиме директоров, а более длинные выполняют функцию рефлектора. Максимум излучения направлен в сторону вершины антенны.



Рисунок 2 – Логопериодическая антенна

Если частота генератора уменьшится, то начинает резонировать следующий, более длинный вибратор, соответственно активная область переместится в сторону более длинных вибраторов. При увеличении частоты активная область сместится к вершине антенны.

Ширина рабочей полосы частот ЛПА с нижней стороны ограничивается допустимыми размерами самых длинных вибраторов. Чем больше вибраторов имеет логопериодическая антенна, тем шире диапазон рабочих частот антенны и это является основным преимуществом ЛПА перед директорной антенной. В диапазоне УКВ логопериодические антенны применяются в качестве широкополосных облучателей параболических и линзовых антенн, приемных телевизионных антенн.

# **Лабораторная работа №3**

## **Исследование рупорной антенны**

### **1 Цель работы**

- 1.1 Изучить конструкцию рупорной антенны.
- 1.2 Исследовать диаграмму направленности рупорной антенны в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (Е и Н).

### **2 Литература**

- 2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Антенны: учебное пособие для СПО / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 412 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148036/#2>

### **3.Подготовка к работе**

- 3.1 Повторить пройденный материал по теме «Антенны сантиметровых и дециметровых радиоволн».
- 3.2 Подготовить бланк отчёта.
- 3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:
  - 3.3.1 Как зависит коэффициент направленного действия от увеличения рупора?
  - 3.3.2 Чем обусловлено высокое защитное действие рупора?
  - 3.3.3 Для чего в раскрыве рупора устанавливают линзу?

### **4 Основное оборудование**

- 4.1 Генератор сигналов высокочастотный Г4-83.
- 4.2 Приемная параболическая антенна.
- 4.3 Передающая рупорная антенна.
- 4.4 Регистратор.

### **5 Задание**

- 5.1 Ознакомиться с конструкцией рупорной антенны.
- 5.2 Снять диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

### **6 Порядок выполнения работы**

- 6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.
- 6.2 Подключить с помощью кабеля рупорную антенну к генератору Г4-83 в гнездо «Некалиброванный выход».
- 6.3 На генераторе установить частоту 9 ГГц, ручку регулировки выходной мощности генератора в крайнее левое положение. Все кнопки переключателя режима работы должны быть отжаты. При этом мощность СВЧ сигнала на его выход не поступает. Включить генератор и дать прогреться в течение 10 минут.

**Внимание! Все действия, связанные с изменением положения передающей рупорной антенны на штативе, производить только при отключенной мощности СВЧ на выходе генератора. Для отключения мощности от выхода генератора следует отжать все кнопки кнопочного переключателя «Режим работы» на его лицевой панели. Тумблер «Сеть» при этом выключать не требуется.**

6.4 Подготовить и настроить антенны для проведения измерения диаграммы направленности (ДН), для этого:

- нажать кнопку «П внешняя модуляция» на лицевой панели генератора, увеличивая выходную мощность генератора и при необходимости изменяя чувствительность усилителя, добиться появления заметных показаний на блоке «Регистратор». С помощью кнопочного переключателя на лицевой панели измерителя выбрать удобный для измерения предел;

- выбрать такое положение передающей рупорной антенны и приемной зеркально-параболической антенны в пространстве, при котором блок «Регистратор» показывает максимальное значение напряженности.

6.5 Механизмом ориентации установить рупор в положение, при котором узкая сторона поверхности раскрыва займет горизонтальное положение, что соответствует горизонтальной поляризации волны (характеристика в плоскости E).

6.5.1 С помощью поворотного устройства изменять направление передающей антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания «Регистратора» занести в таблицу 1.

6.5.2 Изменить положение рупора, узкая сторона раскрыва займет вертикальное положение, что соответствует вертикальной поляризации волны (характеристика в плоскости H), повторить п.6.5.1.

Таблица 1

	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
E пл. $f = 9$ ГГц	$E$							
	$E/E_{max}$							
H пл. $f = 9$ ГГц	$E$							
	$E/E_{max}$							

6.6 Установить на генераторе частоту 10 ГГц и повторить п.6.5. показания занести в таблицу 2

6.7 По данным таблицы 1 и 2 построить характеристики направленности в полярных координатах для всех случаев:  $\varphi(\theta) = E/E_{max}$ .

Таблица 2

	Угол	0°	10°	20°	...	340°	350°	360°
Е пл. $f = 10$ ГГц	$E$							
	$E/E_{max}$							
Н пл. $f = 10$ ГГц	$E$							
	$E/E_{max}$							

## 7 Содержание отчета

- 7.1 Наименование работы.
- 7.2 Цель работы.
- 7.3 Основное оборудование.
- 7.4 Основные схемы.
- 7.5 Формулы для расчета.
- 7.6 Таблица измерений.
- 7.7 Диаграммы направленности.
- 7.8 Выводы по работе.
- 7.9 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

- 8.1 Как определяется КНД рупорной антенны?
- 8.2 В каком диапазоне волн применяются рупорные антенны?
- 8.3 Перечислите виды рупорных антенн?

## 9 Приложение

### 9.1 Описание лабораторной установки

Установка включает в себя два макета антенн, которые образуют радиолинию.

В качестве передающей антенны в лабораторной установке используется одна из четырех рупорных антенн. Одна из антенн представляет собой пирамидальный рупор, а три остальные – Е-секториальные рупоры с различными углами раскрытия и шириной в плоскости Е. Длины секториальных рупоров одинаковы.

Рупорные антенны крепятся в специальном штативе, который позволяет вращать рупор вокруг продольной оси и изменять угол наклона рупора в вертикальной плоскости в пределах  $\pm 10^\circ$ . Этим обеспечивается настройка радиолинии по максимуму принимаемого сигнала в процессе проведения измерений.

В качестве приемной антенны в лабораторной установке используется зеркально-параболическая антенна. В конструкции крепления зеркально-параболической антенны также предусмотрен штатив, который позволяет менять положение и угол поворота облучателя, угол наклона антенны.

Рупорная и зеркально-параболическая антенны размещаются на вертикальных диэлектрических штангах. Штанги установлены на однотипные поворотные устройства. С их помощью обеспечивается вращение антенн вокруг вертикальной оси, проходящей через их фазовый центр.

Поворотные устройства снабжены шкалами, по которым производится отсчет угла поворота антенны.

Питание передающего рупора осуществляется от генератора Г4-83, обеспечивающего перестройку частоты в диапазоне (8-10) ГГц. Сигнал к передающей антенне поступает по коаксиальному кабелю, который соединяет выход генератора с коаксиально-волноводным переходом.

Излученная рупором электромагнитная волна попадает на параболическое зеркало приемной антенны. Зеркало фокусирует принимаемое излучение на вход конического рупора. Этот рупор соединен с детекторной секцией, с помощью которой принятое излучение детектируется. Ток, величина которого пропорциональна уровню принятой мощности, измеряется электронным блоком «Регистратор» и индексируется на его цифровом табло. Детекторная секция соединяется с регистратором с помощью кабеля.

Для удобства проведения измерений и защиты радиoliniи от наводок и помех передаваемый рупором сигнал модулируется прямоугольным меандром с частотой следования импульсов 7 кГц. Для этого генератор Г4-83 работает в режиме «Внешняя модуляция». Сигнал внешней модуляции формируется в блоке «Регистратор» и по кабелю поступает на гнездо «Внешняя синхронизация» генератора.

## 9.2 Рупорная антенна

Одной из простейших антенн является открытый конец волновода. Малые (относительно длины волны) размеры сечения открытого конца волновода формируют широкую ДН, применяют в сантиметровом диапазоне волн.

Рупорная антенна представляет собой волновод с плавно меняющимся сечением. При расширении широкой стенки волновода – Н-секториальным, рисунок 1а, при расширении узкой – Е-секториальным, рисунок 1б. Если у волновода плавно изменяются оба размера, рупор называют пирамидальным, рисунок 1в. Круглый волновод при плавном увеличении сечения образует конический рупор, рисунок 1г.

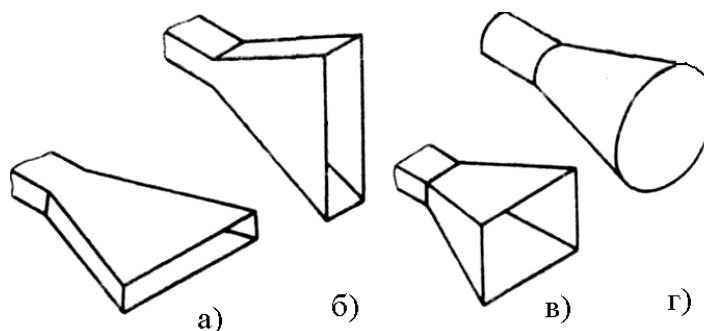
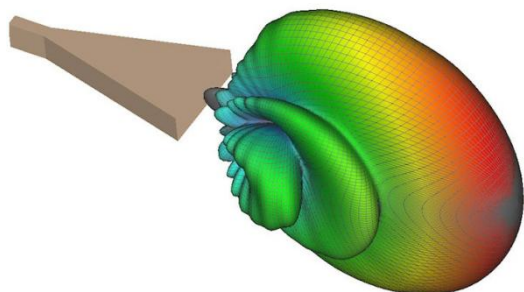
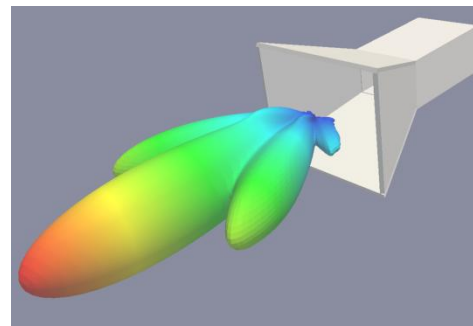


Рисунок 1 – Типы рупоров

Вид пространственной диаграммы направленности зависит от вида рупора. Секториальные антенны имеют широкую диаграмму направленности в одной плоскости и узкую – в другой плоскости, рисунок 2а. Конический и пирамидальный рупор создают симметричные пространственные диаграммы направленности относительно оси рупора, рисунок 2б.



а)



б)

Рисунок 2 – Вид диаграммы направленности рупора

В рупоре возбуждаются волны того же типа, что и в волноводе. Однако плоский фронт волны в волноводе при переходе в рупор превращается в сферический (в пирамидальных и конических) или цилиндрический (в секториальных).

Если у рупора, оставив его длину неизменной, увеличить размеры раскрыва, то КНД антенны за счет больших фазовых искажений в раскрыве уменьшится.

Для получения больших значений КНД необходимо увеличивать размеры раскрыва, при этом длина рупора должна увеличиваться пропорционально квадрату увеличения линейных размеров раскрыва, а длина рупора оказывается чрезмерно большой. Рупорные антенны с КНД более 25...30 дБ не применяют. При малых КНД рупор конструктивно прост и часто используется в качестве облучателя зеркальных антенн. Получить большой КНД при небольшой длине рупора можно, установив в раскрыве антенну-линзу, трансформирующую сферическую или цилиндрическую волну в плоскую. Так как скорость распространения электромагнитной волны в разных средах отлично от скорости ее распространения в воздухе, в связи с этим различают ускоряющие и замедляющие линзы. Если среда линзы ускоряет распространение волн, то она выполняется с вогнутым профилем, а если замедляет – то с выпуклым. В любом случае профиль линзы рассчитывается так, чтобы оптическая длина пути от облучателя до поверхности раскрыва была одинакова. Ускоряющие линзы набираются из металлических пластин. Принцип их действия аналогичен работе волновода, в котором электромагнитные волны распространяются быстрее, чем в воздухе. Коэффициент преломления таких линз сильно зависит от длины волны – то есть они принципиально узкополосны. Замедляющие линзы выполняются из искусственного диэлектрика. За счет применения линзы можно получить очень ост-

рую диаграмму направленности в сочетании с малым уровнем боковых лепестков.

Рупор обладает высоким защитным действием благодаря малым затеканиям токов на его теневые (внешние) поверхности и хорошо согласован с волноводом в широком диапазоне частот. Диапазонные свойства рупора по согласованию ограничиваются в основном волноводом.

Поляризацию волны в раскрыве антенны можно определить по положению узкой стенки рупора (относительно земной поверхности), вдоль которой располагается вектор  $E$ .

Коэффициент направленного действия (КНД  $D$ ) зависит от величины поверхности раскрыва рупора, от коэффициента использования поверхности (КИП) и от длины волны. Чем больше поверхность и КИП, тем больше КНД на данной длине волны. Чем короче волна, тем больше КНД. Рупорные антенны применяют в диапазоне ДМВ и СМВ, поэтому в качестве фидера на ДМВ используют коаксиальный кабель (до 2000 МГц), на более высоких частотах используют волноводы. Для получения максимального КПД в фидере необходимо иметь согласование с входным сопротивлением антенны, что бы получить режим бегущих волн.



# **Лабораторная работа № 4**

## **Исследование параболической антенны**

### **1 Цель работы**

- 1.1 Изучить конструкцию параболической антенны.
- 1.2 Исследовать диаграмму направленности параболической антенны от её конструктивных параметров.

### **2 Литература**

2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Антенны: учебное пособие для СПО / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 412 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148036/#2>

### **3. Подготовка к работе**

- 3.1 Повторить пройденный материал по теме «Антенны сантиметровых и миллиметровых радиоволн».
- 3.2 Подготовить бланк отчёта.
- 3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:
  - 3.3.1 Как зависит коэффициент направленного действия от параметров отражателей?
  - 3.3.2 Какие виды отражателей применяют в параболических антеннах?
  - 3.3.3 Для чего применяют усеченные параболические отражатели?
  - 3.3.4 Где применяют параболические антенны?
  - 3.3.5 К чему приведет смещение облучателя в вертикальной плоскости?

### **4 Основное оборудование:**

- 4.1 Генератор сигналов Г4-83.
- 4.2 Приемная параболическая антенна.
- 4.3 Передающая рупорная антенна.
- 4.4 Регистратор.

### **5 Задание**

- 5.1 Ознакомиться с конструкцией параболической антенны.
- 5.2 Снять диаграммы направленности на двух частотах с облучателем в фокальной и внефокальной плоскости.

### **6 Порядок выполнения работы**

- 6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.
- 6.2 Подключить с помощью кабеля рупорную (передающую) антенну к генератору Г4-83 в гнездо «Некалиброванный выход». Механизмом ориентации установить рупор в положение, при котором узкая сторона поверхности раскрыва займет горизонтальное положение.
- 6.3 На приемной параболической антенне облучатель установить в фокальной плоскости.
- 6.4 На генераторе установить частоту 9 ГГц, ручку регулировки выходной мощности генератора повернуть в крайнее левое положение. Все кнопки

переключателя режима работы должны быть отжаты. При этом мощность СВЧ сигнала на его выход не поступает. Включить генератор и дать прогреться в течение 10 минут.

**Внимание! Все действия, связанные с изменением положения передающей рупорной антенны на штативе производить только при отключенной мощности СВЧ на выходе генератора. Для отключения мощности на выходе генератора следует отжать все кнопки кнопочного переключателя «Режим работы» на его лицевой панели. Тумблер «Сеть» при этом выключать не требуется.**

6.5 Подготовить и настроить антенны для проведения измерения диаграммы направленности (ДН), для этого:

- нажать кнопку «П внешняя модуляция» на лицевой панели генератора, увеличивая выходную мощность генератора и при необходимости изменяя чувствительность усилителя, добиться появления заметных показаний на блоке «Регистратор». С помощью кнопочного переключателя на лицевой панели измерителя выбрать удобный для измерения предел;

- выбрать такое положение передающей рупорной антенны и приемной зеркально-параболической антенны в пространстве, при котором блок «Регистратор» показывает максимальное значение напряженности.

6.6 Снять диаграмму направленности параболической антенны на частоте 9 ГГц:

- при расположении облучателя в центре фокуса;
- при смещении облучателя в поперечном направлении от центра фокуса;
- при смещении облучателя в продольном направлении от центра фокуса.

6.6.1 С помощью поворотного устройства изменять направление приемной антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания «Регистратора» занести в таблицу 1.

Таблица 1

$f = 9 \text{ ГГц}$	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
		Облучатель в фокусе	$E$					
$E/E_{max}$								
Облучатель смещен в поперечном направлении	$E$							
	$E/E_{max}$							
Облучатель смещен в продольном направлении	$E$							
	$E/E_{max}$							

6.7 Снять диаграмму направленности параболической антенны на частоте 10 ГГц:

- при расположении облучателя в центре фокуса;
- при смещении облучателя в поперечном направлении от центра фокуса;

– при смещении облучателя в продольном направлении от центра фокуса.

6.7.1 С помощью поворотного устройства изменять направление приемной антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания «Регистратора» занести в таблицу 2.

6.8 По данным таблицы 1 и 2 построить характеристики направленности в полярных координатах для всех случаев:  $\varphi(\theta) = E/E_{\max}$ .

Таблица 2

		Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
$f = 10 \text{ ГГц}$	Облучатель в фокусе	E							
		$E/E_{\max}$							
	Облучатель смещен в поперечном направлении	E							
		$E/E_{\max}$							
	Облучатель смещен в продольном направлении	E							
		$E/E_{\max}$							

## 7 Содержание отчета

- 7.1 Наименование работы.
- 7.2 Цель работы.
- 7.3 Основное оборудование.
- 7.4 Основные схемы.
- 7.5 Формулы для расчета.
- 7.6 Таблица измерений.
- 7.7 Диаграммы направленности.
- 7.8 Выводы по работе.
- 7.9 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

- 8.1 Объясните принцип действия зеркальной параболической антенны?
- 8.2 Для чего применяют сетчатые параболические отражатели?
- 8.3 От чего зависит коэффициент усиления параболических антенн?

## 9 Приложение

### 9.1 Описание лабораторной установки

Установка включает в себя два макета антенн, которые образуют радиолинию. В качестве передающей антенны в лабораторной установке используется одна из четырех рупорных антенн.

Рупорная антенна крепится в специальном штативе, который позволяет вращать рупор вокруг продольной оси и изменять угол наклона рупора в верти-

кальной плоскости в пределах  $\pm 10^\circ$ . Этим обеспечивается настройка радиолинии по максимуму принимаемого сигнала в процессе проведения измерений.

В качестве приемной используется зеркально-параболическая антенна, которая состоит из параболического зеркала и облучателя, помещенного в фокус параболоида. В качестве облучателя используется слабонаправленные антенны, а в качестве зеркала - поверхность, образованная вращением параболы вокруг своей оси Z (параболоид вращения).

В конструкции крепления зеркально-параболической антенны также предусмотрен штатив, который позволяет менять:

- положение облучателя относительно параболического зеркала в продольном и поперечном направлении, чем обеспечивается возможность проведения исследований влияния его положения относительно зеркала на диаграмму направленности в целом;

- угол наклона антенны в вертикальной плоскости;

- вертикальное положение облучателя относительно зеркала;

- угол поворота облучателя относительно зеркала.

Последние три функции штатива используются при настройке макета.

Рупорная и зеркально-параболическая антенны размещаются на вертикальных диэлектрических штангах. Штанги установлены на однотипные поворотные устройства. С их помощью обеспечивается вращение антенн вокруг вертикальной оси, проходящей через их фазовый центр.

Поворотные устройства снабжены шкалами, по которым производится отсчет угла поворота антенны.

Питание передающего рупора осуществляется от генератора Г4-83, обеспечивающего перестройку частоты в диапазоне 8-10 ГГц. Сигнал к передающей антенне поступает по коаксиальному кабелю, который соединяет выход генератора с коаксиально-волноводным переходом.

Излученная рупором электромагнитная волна попадает на параболическое зеркало приемной антенны. Зеркало фокусирует принимаемое излучение на вход конического рупора. Этот рупор соединен с детекторной секцией, с помощью которой принятое излучение детектируется. Ток, величина которого пропорциональна уровню принятой мощности, измеряется электронным блоком «Регистратор» и индексируется на его цифровом табло. Детекторная секция соединяется с регистратором с помощью кабеля.

Для удобства проведения измерений и защиты радиолинии от наводок и помех передаваемый рупором сигнал модулируется прямоугольным меандром с частотой следования импульсов 7 кГц. Для этого генератор Г4-83 работает в режиме «Внешняя модуляция». Сигнал внешней модуляции формируется в блоке «Регистратор» и по кабелю поступает на гнездо «Внешняя синхронизация» генератора.

## **9.2 Зеркальная параболическая антенна**

Антенны являются обязательным элементом любой системы радиосвязи, радиовещания и телевидения, а также других радиотехнических систем, использующих для передачи информации свободное распространение электро-

магнитных волн. Существенное влияние на работу этих систем оказывает также среда, в которой происходит распространение волн: атмосфера, Земля, космическое пространство и т.п.

Функции антенн в указанных системах сводятся к излучению или приему электромагнитных волн. Различают передающие и приемные антенны, подключаемые либо к передатчику, либо к приемнику. Подключение осуществляется обычно с помощью линий передачи энергии (фидеров).

Передающая антенна преобразует энергию волн, поступающих по фидеру от передатчика к антенне, в энергию свободных колебаний, распространяющихся в окружающем пространстве. Приемная антенна, напротив, улавливает энергию свободных колебаний и преобразует ее в энергию волн, которая поступает по фидеру на вход приемника.

Зеркальные антенны применяют в различных диапазонах волн: от оптического до коротковолнового, особенно широко в сантиметровом и дециметровом диапазонах. Эти антенны отличаются конструктивной простотой, возможностью получения различных ДН, хорошими диапазонными свойствами.

Существуют различные типы зеркальных антенн: двухзеркальные антенны (АДЭ или АДГ), рупорно-параболическая антенна (РПА), перископическая антенная система (ПАС), параболические зеркальные антенны, антенны с зеркалом специальной формы.

КНД параболической антенны зависит от поверхности раскрыва, от коэффициента использования поверхности (КИП) и длины волны.  $D = 4\pi \frac{Sv}{\lambda^2}$

В космических СП и в РРСП применяют 2-х зеркальные антенны типа АДГ. Антенна двухзеркальная имеет второе зеркало в виде гиперboloида вращения и помещают его в фокусе большого параболического зеркала. При этом облучатель помещают перед малым зеркалом. Эту антенну еще называют антенной Кассегрена.

Зеркальная параболическая антенна состоит из металлической поверхности, выполненной в виде параболоида вращения и небольшой слабонаправленной антенны – облучателя, установленной в фокусе параболоида и облучающей внутреннюю поверхность последнего.

Зеркала или рефлекторы выполняются из материала с хорошей проводимостью: алюминия и его сплавов или пластмассы с металлизированной отражающей поверхностью. Для предотвращения коррозии поверхности рефлекторов окрашивают.

При попадании электромагнитной волны, излучаемой облучателем на металлическое зеркало, на последнем возникают электрические поверхностные токи (вторичные токи). Эти токи существуют не только на внутренней, обращенной к облучателю поверхности зеркала, но также благодаря явлению дифракции электромагнитных волн и на его внешней поверхности. Электромагнитное поле, создаваемое зеркальной антенной в любой точке окружающего пространства, есть результат сложения (интерференции) вторичного поля, создаваемого поверхностными токами, и первичного, создаваемого облучателем.

В качестве облучателей используются слабонаправленные антенны в виде вибраторов с линейным и плоским рефлекторами, открытый конец волно-

вода, пирамидальные и конические рупоры, а также спиральные и логопериодические антенны. К облучателям параболических антенн предъявляется ряд специфических требований. Основными из них являются: излучение поля определенной поляризации – линейной или круговой; уровень бокового излучения и излучения в направлении, противоположном главному, должен быть низким; незначительное затенение поля, отраженного параболическим зеркалом; хорошее согласование в широкой полосе частот с питающим фидером; обеспечение минимальной величины поля паразитной поляризации; высокая электрическая прочность и форма характеристики направленности должна быть такой, чтобы в условиях оптимального возбуждения параболическое зеркало имело возможно более высокое значение коэффициента использования поверхности (КИП).

Большое влияние на характеристики зеркальной параболической антенны оказывает точность, с которой фазовый центр используемого облучателя совмещен с точкой фокуса.

Если фазовый центр облучателя сместить из фокуса в направлении, перпендикулярном оси зеркала, то лучи, отраженные в соответствующих точках верхней и нижней половине зеркала, достигают поверхности раскрытия неодновременно, то есть поверхность раскрытия зеркала перестает быть синфазной. Поэтому вынос облучателя из фокуса в направлении, перпендикулярном оси зеркала, приводит к повороту ДН в сторону, противоположную смещению облучателя.

Смещение облучателя из фокуса вдоль фокальной оси к рефлектору или от него приводит к симметричным фазовым искажениям в раскрытии антенны. Это ухудшает ДН: направление главного излучения (приема) сохраняется, но расширяется основной лепесток, увеличиваются уровни боковых, уменьшаются КИП и КНД антенны. При больших смещениях излучение в главном направлении уменьшается и появляются два боковых максимума. Обычно место установки облучателя подбирается экспериментально. Используя два смещенных в разные стороны относительно фокуса неподвижных облучателей, можно получить две независимые ДН для связи с корреспондентами, имеющими разные азимуты.

Смещение облучателя в фокальной плоскости широко используется в радиолокации для управления ДН параболического зеркала. Фокальная плоскость – это плоскость, в которой лежит точка фокуса и которая перпендикулярна к оси зеркала.

Так же зеркальная антенна – спутниковая антенна используются для приёма и передачи программ спутникового телевидения и радио, а также соединения с Интернет. Спутниковые антенны делятся на несколько типов: прямофокусные (осесимметричные), офсетные (осенесимметричные) и сетчатые.

Сетчатые спутниковые антенны, рисунок 1, могут быть как прямофокусными, так и офсетными. Плюсы использования сетчатого зеркала – это уменьшение массы спутниковой антенны, на сетке не скапливаются грязь и осадки, с уменьшением площади значительно уменьшается парусность (сопротивление ветру). Однако сетчатая спутниковая антенна имеет больше недостат-

ков, нежели достоинств. Из-за слишком большого размера ячейки значительно ухудшается качество приема сигнала со спутника. Сетчатая спутниковая антенна сборная – она собирается из плоских сегментов, которые при установке должны быть изогнуты по двум осям. Согнуть сегменты идеально при сборке не получается, следовательно, антенна не имеет идеальной формы. Кроме того, сегменты крепятся к каркасу проволочными скобами, которые не могут обеспечить необходимой прочности при достаточно сильном ветре, и отдельные сегменты могут попросту отвалиться от антенны. Параболические сетчатые антенны с усеченным параболическим зеркалом применяют в радиолокационных станциях. Усечением параболического зеркала изменяют диаграмму направленности (веерная ДН), если зеркало усечено по горизонтали ДН расширяется в вертикальной плоскости.



Рисунок 1 – Сетчатая усеченная параболическая спутниковая антенна

Прямофокусная спутниковая антенна, рисунок 2, имеет идеально круглую форму, сигнал со спутника отраженный зеркалом фокусируется в ее геометрическом центре, следовательно, антенну необходимо направить прямо на спутник. В этом и состоит, пожалуй, единственный минус данного типа спутниковых антенн. Так, как угол подъема спутников относительно горизонта составляет примерно от 25 до 50 градусов, приходится поднимать антенну на соответствующий уровень – а это влечет за собой трудности в установке. Если на крышу здания или землю такую антенну еще можно установить, то на стену установка прямофокусной спутниковой антенны очень затруднительна. Верхний край антенны упирается в стену и чтобы этого избежать приходится применять специальные крепления с большим выносом антенны от стены. Чем больше вынос антенны от стены, тем меньше надежность крепления, да и эстетическая сторона вопроса подчас играет не последнюю роль. К тому же из-за большого угла поднятия антенны увеличивается вероятность повреждения зеркала падающими предметами.

Офсетная (осенесимметричная) спутниковая антенна имеет эллипсовидную форму, рисунок 3. Сигнал, отраженный зеркалом фокусируется ниже геометрического центра антенны, что позволяет значительно уменьшить угол подъема антенны к спутнику.



Рисунок 2 – Прямофокусная параболическая спутниковая антенна

Устойчивостью приема сигнала офсетная антенна несколько превышает прямофокусную, это происходит потому, что закрепленный, чуть ниже центра конвертор не закрывает часть зеркала антенны своей тенью. Установить офсетную спутниковую антенну значительно проще – ведь она стоит почти вертикально, что к тому же снижает вероятность повреждения отражающего зеркала падающими сверху предметами (теми же сосульками). Достоинством офсетных антенн является отсутствие обратной реакции зеркала на волновод, которая есть у осесимметричных антенн. При обратной реакции отраженные лучи попадают в волновод и увеличивают уровень отраженных волн и снижают КБВ в фидере.



Рисунок 3 – Офсетная параболическая спутниковая антенна



## Лабораторная работа № 5

### Исследование спиральной антенны и спиральной решетки

#### 1 Цель работы

- 1.1 Изучить конструкцию спиральной антенны и спиральной решетки.
- 1.2 Исследовать диаграмму направленности спиральной антенны и спиральной решетки.

#### 2 Литература

- 2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Антенны: учебное пособие для СПО / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 412 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148036/#2>

#### 3. Подготовка к работе

- 3.1 Повторить пройденный материал по теме «Антенны дециметровых и метровых радиоволн».
- 3.2 Подготовить бланк отчёта.
- 3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:
  - 3.3.1 Как изменится диаграмма направленности при увеличении числа витков спирали?
  - 3.3.2 Как определяется длина витка спирали?
  - 3.3.3 По какой формуле определяется коэффициент направленного действия антенны?

#### 4 Основное оборудование

- 4.1 Генератор сигналов Г4-80.
- 4.2 Передающая спиральная антенна.
- 4.3 Приемная линейка спиральных антенн.
- 4.4 Регистратор.

#### 5 Задание

- 5.1 Ознакомиться с конструкцией спиральных антенн.
- 5.2 Снять диаграммы направленности спиральной антенны и спиральной решетки.

#### 6 Порядок выполнения работы

- 6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.
- 6.2 Подключить с помощью кабеля спиральную (передающую) антенну к генератору Г4-80 в гнездо «Некалиброванный выход».
- 6.3 На генераторе установить частоту 2,500 ГГц, ручку регулировки выходной мощности генератора повернуть в крайнее левое положение. Все кнопки переключателя режима работы должны быть отжаты. При этом мощность СВЧ сигнала на его выход не поступает. Включить генератор и дать прогреться в течение 10 минут.
- 6.4 Подготовить и настроить антенны для проведения измерения диаграммы направленности (ДН), для этого:

– нажать кнопку «П внешняя модуляция» на лицевой панели генератора, увеличивая выходную мощность генератора и при необходимости изменяя чувствительность усилителя, добиться появления заметных показаний на блоке «Регистратор». С помощью кнопочного переключателя на лицевой панели измерителя выбрать удобный для измерения предел;

– выбрать такое положение передающей спиральной антенны и приемной спиральной решетки в пространстве, при котором блок «Регистратор» показывает максимальное значение напряженности.

6.5 Снять диаграмму направленности спиральной антенны на частоте 2,500 ГГц и 3,000 ГГц:

6.5.1 С помощью поворотного устройства изменять направление передающей антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания «Регистратора» занести в таблицу 1.

Таблица 1

	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
$f = 2,500$ ГГц	$E$							
	$E/E_{max}$							
$f = 3,000$ ГГц	$E$							
	$E/E_{max}$							

6.6 Снять диаграмму направленности спиральной решетки на частоте 2,500 ГГц и 3,000 ГГц:

6.6.1 С помощью поворотного устройства изменять направление приемной антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания «Регистратора» занести в таблицу 2.

Таблица 2

	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
$f = 2,500$ ГГц	$E$							
	$E/E_{max}$							
$f = 3,000$ ГГц	$E$							
	$E/E_{max}$							

6.7 По данным таблицы 1 и 2 построить характеристики направленности в полярных координатах для всех случаев:  $\varphi(\theta) = E/E_{max}$ .

6.8 Сравнить диаграммы направленности спиральной антенны и спиральной решетки, сделать выводы об их диапазонных свойствах.

## **7 Содержание отчета**

- 7.1 Наименование работы.
- 7.2 Цель работы.
- 7.3 Основное оборудование.
- 7.4 Основные схемы.
- 7.5 Формулы для расчета.
- 7.6 Таблицы измерений.
- 7.7 Диаграммы направленности.
- 7.8 Выводы по работе.
- 7.9 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## **8 Контрольные вопросы**

- 8.1 Опишите принцип действия спиральной антенны.
- 8.2 От чего зависит коэффициент усиления спиральной антенны?
- 8.3 Какой вид поляризации у спиральной антенны?
- 8.4 Что дает увеличение спиральных излучателей в конструкции антенны?
- 8.5 Какое оптимальное соотношение диаметра спирали и рабочей частоты?

## **9 Приложение**

### **9.1 Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка включает в себя два макета антенн, которые образуют радиолинию. Антенны обеспечивают работу в диапазоне 2,5 – 4 ГГц.

Обе антенны крепятся к диэлектрическим штангам. Узел крепления приемной антенны, позволяющий менять ее наклон в вертикальной плоскости. Нижний конец штанг фиксируется в поворотных устройствах.

Питание передающей спиральной антенны осуществляется от генератора типа Г4-80. Антенна соединяется с выходом генератора ВЧ кабелем.

Приемная, спиральная решетка, с помощью ВЧ кабеля соединяется с детекторной секцией.

Продетектированный секцией сигнал поступает на вход регистратора. Выход синхронизирующего сигнала регистратора соединяется со входом синхронизации генератора. Последние два соединения выполняются с помощью соединительных шнуров с разъемами СР-50.

Спираль антенн выполнена из медного проводника круглого сечения (диаметр 4 мм), навитого на полый диэлектрический опорный цилиндр. В него вставлена диэлектрическая фторопластовая втулка. Через отверстие в боковой поверхности этой втулки проходит металлический цилиндр, верхнее основание которого имеет омический контакт со спиралью.

В основании втулки имеется отверстие с резьбой, по которой в нее ввернуто заполнение коаксиальной линии. Вдоль оси заполнения проходит центральный проводник коаксиальной линии. Он ввернут по резьбе в металлический цилиндр.

Заполнение помещено в основание, внутренняя поверхность которого образует оболочку коаксиальной линии. На основание по резьбе ввернут пере-

ходник, с помощью которого осуществляется соединение с разъемом ВЧ кабеля.

На противоположном конце основания закреплена фигурная шайба, которая фиксирует положение заполнения в основании.

Внутренние диаметры основания и внешние – заполнения подобраны таким образом, чтобы соответствующие им отрезки коаксиальной линии имели волновые сопротивления 50 Ом и 82 Ом. Отрезок коаксиала с большим диаметром и, соответственно, с большим значением волнового сопротивления, выполняет роль четвертьволнового трансформатора сопротивлений. Он служит для согласования входного сопротивления спиральной антенны с волновым сопротивлением кабеля питания.

На внешней поверхности основания имеется резьба, по которой на него наворачивается гайка. С ее помощью спиральная антенна крепится к экрану, который располагается между гайкой и шайбой.

## 9.2 Спиральная антенна

Спутниковые системы связи используют волны эллиптической, близкой к круговой поляризации. Волны такой поляризации позволяют получить спиральные антенны, рисунок 1.



Рисунок 1 – Спиральная антенна

Спиральная антенна относится к классу широкодиапазонных. С ее помощью может быть обеспечено более чем двукратное перекрытие частотного диапазона.

Спиральная антенна обеспечивает ширину диаграммы направленности порядка  $(40 - 70)^\circ$ . При этом ее входное сопротивление в широком диапазоне частот остается практически неизменным и обладающим малой реактивной составляющей (порядка 10 Ом).

Спиральная антенна состоит из металлической спирали, навитой на опорный цилиндр и металлического экрана. Для питания спиральных антенн применяют коаксиальные кабели. Экран (оплетка) кабеля соединяется с экраном антенны, а центральный провод соединяется со спиралью. Односторонняя ДН получается благодаря экрану антенны.

Опорный цилиндр не является обязательным элементом антенны. При достаточной механической жесткости спирали он не используется. Для его изготовления применяются диэлектрические материалы, которые обладают малыми потерями в частотном диапазоне антенны.

С электродинамической точки зрения диэлектрический цилиндр может приводить к заметному изменению параметров антенны, потому что наличие диэлектрика меняет структуру электромагнитного поля в окрестности спирали.

Спиральная антенна характеризуется следующими геометрическими параметрами:

- диаметр спирали  $2R$ ;
- шаг спирали  $d$ ;
- число витков спирали  $n$ ;
- диаметр экрана  $D_{\text{Э}}$ .

Число витков спирали влияет на ширину диаграммы направленности. С увеличением  $N$  диаграмма направленности становится более узкой. Следует отметить, что число витков  $N$  обычно не выбирается менее 4, так как в противном случае не вся энергия излучается и от конца спирали отражается волна тока, что и нарушает режим бегущей волны. Как следствие нарушается симметрия диаграммы направленности.

Симметрия диаграммы направленности обеспечивается также экраном, диаметр которого выбирается порядка  $D_{\text{Э}} = \lambda_0$ .

На характеристики спиральной антенны оказывает заметное влияние и материал, из которого выполнена сама спираль. Для нее обычно выбирается материал с высокой проводимостью, поперечное сечение которого представляет собой окружность или прямоугольник. Характерный размер поперечного сечения проводника спирали составляет  $0,1 \cdot 2R$ . Коэффициент направленного действия спиральной антенны определяется  $D = 7,5 nd/\lambda$ . Геометрические параметры спиральной антенны зависят от длины волны.

Спиральная антенна с большим КНД может оказаться достаточно длинной. В этом случае антенну выполняют из нескольких спиралей соответственно меньшей длины. Спирали в пространстве необходимо разместить так, чтобы их эффективные площади не перекрывались

Спиральные антенны применяются в дециметровом и метровом диапазонах. Для малогабаритных переносных УКВ радиостанций применение коротких спиральных антенн вполне оправдано в связи с их прочностью и удобством использования. Круговая поляризация обеспечивает наилучшее прохождение в условиях городской застройки. Эти антенны отличаются конструктивной простотой, возможностью получения различных диаграмм направленности, хорошими диапазонными свойствами.

Существуют различные типы спиральных антенн: цилиндрические, конические, плоские. В первом случае спираль намотана на цилиндрическую поверхность, во втором – на коническую поверхность, в третьем спираль лежит на плоскости.

Конические спиральные антенны обладают лучшими диапазонными свойствами, чем цилиндрические спиральные антенны. Осевое излучение таких

антенн формируется не всей антенной, а лишь активной областью, то есть витками, длина которых близка к длине волны. С изменением частоты активная область перемещается вдоль оси антенны. При питании с вершины конуса достигается большая широкополосность, чем при питании антенн с основания.

Широкое применение находят плоские спиральные антенны, в том числе антенны в виде архимедовой спирали. Антенну можно рассматривать как свернутую в спираль двухпроводную линию, причем в начальной части антенны токи в соседних витках находятся в противофазе и соответственно не излучают. С удалением от точек питания фазовый сдвиг между токами в соседних витках уменьшается за счет разности хода. Диаграмма направленности состоит из двух широких лепестков, ориентированных нормально плоскости спирали. Можно также получить одностороннее излучение спирали, если позади нее поместить экран, однако наличие экрана сужает рабочую полосу частот.

Применяются и многозаходные спиральные антенны, состоящие из нескольких спиралей, вложенных друг в друга. Это дает возможность увеличения коэффициента направленного действия антенны и позволяет управлять поляризацией излученной волны.

Спиральные антенны кроме самостоятельного применения используют как облучатели зеркальных или линзовых антенн и как элементы фазированных антенных решеток, рисунок 2.



Рисунок 2 – Спиральная решетка

## Лабораторная работа № 6

### Исследование синфазной многовибраторной антенны

#### 1 Цель работы

- 1.1 Изучить конструкцию синфазной многовибраторной антенны.
- 1.2 Исследовать диаграмму направленности синфазной многовибраторной антенны в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (Е и Н).

#### 2 Литература

2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Антенны: учебное пособие для СПО / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 412 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148036/#2>

#### 3. Подготовка к работе

- 3.1 Повторить пройденный материал по теме «Антенны гектометровых, километровых и метрических радиоволн».
- 3.2 Подготовить бланк отчёта.
- 3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:
  - 3.3.1 В каких диапазонах радиоволн применяются синфазные антенны?
  - 3.3.2 От каких факторов зависят направленные свойства синфазных антенн?
  - 3.3.3 Перечислите схемы питания синфазных антенн.

#### 4 Основное оборудование

- 4.1 Генератор сигналов высокочастотный Г4-76А.
- 4.2 Приемная синфазная многовибраторная антенна.
- 4.3 Передающая синфазная многовибраторная антенна.
- 4.4 Приемный детекторный индикатор.

#### 5 Задание

- 5.1 Ознакомиться с конструкцией синфазной многовибраторной антенны.
- 5.2 Снять диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

#### 6 Порядок выполнения работы

- 6.1 При выполнении работы соблюдать правила ТБ.
- 6.2 Установить синфазную многовибраторную антенну на треногу с горизонтальным расположением вибраторов. Подключить с помощью кабеля синфазную многовибраторную антенну к генератору Г4-76А в гнездо «Некалиброванный выход».
- 6.3 На генераторе установить частоту 400 МГц. Ручку регулировки выходной мощности генератора повернуть в крайнее левое положение. Тумблер «ГВЧ» в выключенном положении. Включить тумблер «Сеть» и дать прогреться генератору в течение 10 минут.
- 6.4 Подготовить и настроить антенны для проведения измерения диаграммы направленности (ДН), для этого:

– включить тумблер «ГВЧ», увеличивая выходную мощность генератора и при необходимости изменяя чувствительность усилителя, добиться появления заметных показаний на приемном детекторном индикаторе;

– выбрать такое положение передающей синфазной антенны и приемной синфазной антенны в пространстве, при котором детекторный индикатор показывает максимальное значение напряженности.

6.5 Снять диаграмму направленности синфазной многовибраторной антенны на частоте 400 МГц и 750 МГц. Установить синфазную многовибраторную антенну на треногу с горизонтальным расположением вибраторов, что соответствует пл.Е.

6.5.1 С помощью поворотного устройства изменять направление передающей антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания детекторного индикатора занести в таблицу 1.

Таблица 1

	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
Е пл. $f = 400$ МГц	$E$							
	$E/E_{max}$							
Е пл. $f = 750$ МГц	$E$							
	$E/E_{max}$							

6.6 Снять диаграмму направленности в пл.Н на частотах 400 МГц и 750 МГц, для этого повернуть панель на  $90^\circ$  градусов, вибраторы примут вертикальное положение и будут излучать волны с вертикальной поляризацией.

6.6.1 С помощью поворотного устройства изменять направление передающей антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания детекторного индикатора занести в таблицу 2.

Таблица 2

	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
Н пл. $f = 400$ МГц	$E$							
	$E/E_{max}$							
Н пл. $f = 750$ МГц	$E$							
	$E/E_{max}$							

6.7 По данным таблицы 1 и 2 построить характеристики направленности в полярных координатах для всех случаев:  $\varphi(\theta) = E/E_{max}$ .



## **7 Содержание отчета**

- 7.1 Наименование работы.
- 7.2 Цель работы.
- 7.3 Основное оборудование.
- 7.4 Основные схемы.
- 7.5 Формулы для расчета.
- 7.6 Таблица измерений.
- 7.7 Диаграммы направленности.
- 7.8 Выводы по работе.
- 7.9 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## **8 Контрольные вопросы**

- 8.1 Сколько симметричных вибраторов содержится в каждом этаже антенны СГД 2/4-РА?
- 8.2 Что произойдет с главным лепестком диаграммы направленности синфазной антенны при увеличении числа этажей?
- 8.3 Объясните устройство антенны СГД 4/4-РН и СГД 4/4-РА.

## **9 Приложение**

### **9.1 Описание лабораторной установки**

Установка включает в себя два макета антенн, которые образуют радиолинию. Передающая и приемная антенны идентичны по конструкции.

Синфазная многовibratorная антенна представляет собой панель (полотно), на которой установлены симметричные вибраторы один над другим (4 этажа по 2 вибратора в этаже). На панели установлено симметрирующее и согласующее устройство, обеспечивающее соединение несимметричного фидера с симметричными вибраторами, а также согласование фидера с входным сопротивлением антенны для получения симметричных напряжений, питающих вибраторы.

Металлическая панель, на которой установлены вибраторы, служит рефлектором антенны, устраняя обратное излучение.

Питание передающей антенны осуществляется генератором типа Г4-76А. Антенна соединяется с выходом генератора ВЧ кабелем.

Приемная антенна с помощью ВЧ кабеля соединяется с детекторным индикатором.

Поляризация волн определяется положением вектора  $E$ , который располагается вдоль вибратора. Для изменения поляризации необходимо повернуть панель на  $90^\circ$  градусов, соблюдая осторожность, за вибраторы при этом браться, не разрешается.

### **9.2 Синфазная многовibratorная антенна**

Антенны СГД 4/8 РА (синфазная горизонтальная диапазонная), рисунок 1, являются основным типом передающих антенн, применяемых в КВ диапазоне для радиовещания на трассах большой протяженности. Они могут применяться также для радиосвязи. Основными преимуществами антенн СГД перед

другими типами КВ антенн являются возможность получения высокого КНД и КУ (антенны имеют высокий КПД), а также возможность управления ДН в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Антенна СГД выполняется из вибраторов с пониженным волновым сопротивлением, состоит из полотен собственно антенны и рефлектора, распределительных и главного фидеров.

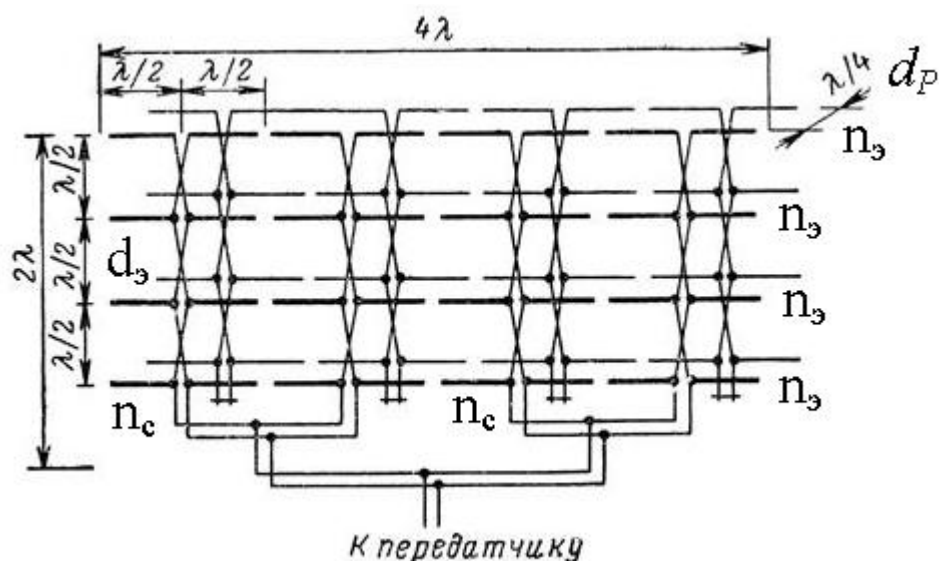


Рисунок 1 – Синфазная горизонтальная диапазонная антенна

Полотно антенны состоит из  $n_3$  рядов (этажей) горизонтальных вибраторов с расстоянием между этажами  $d_3 \approx 0,5\lambda$ . Каждый этаж состоит из  $n_c$  симметричных вибраторов. Один вертикальный распределительный фидер с питаемыми им вибраторами образуют секцию. Возможны различные схемы питания вибраторов. Наибольшее распространение получила схема, предложенная И.И. Найденко, в которой длины распределительных фидеров от главного фидера, идущего от передатчика, до каждого вибратора одинаковы. В этом случае изменение частоты не нарушает синфазного питания вибраторов. Одностороннее излучение достигается применением рефлектора, располагаемого сзади полотна антенны на расстоянии  $d_p$ . Применяются рефлекторы трех типов: пассивные (настраиваемые), аперидические и активные (питаемые).

Настраиваемый рефлектор выполняется в виде полотна из вибраторов аналогично полотну антенны и возбуждается благодаря пространственной электромагнитной связи между полотнами. В отличие от антенны к рефлектору присоединяется не генератор, а отрезок длинной линии (настроечное сопротивление), длина которого регулируется короткозамыкателем. Рефлектор устанавливается на расстоянии  $d_p \approx (0,25 \dots 0,27)\lambda$  от антенны.

Аперидический рефлектор представляет собой плоский экран, выполненный из горизонтальных проводов, параллельных осям вибраторов, устанавливается сзади антенны на расстоянии  $d_p \approx (0,27 \dots 0,3)\lambda_0$ . Размеры экрана несколько превосходят размеры полотна антенны. Аперидический рефлектор позволяет по сравнению с настроенным рефлектором значительно уменьшить уровень излучения в обратном направлении, что весьма важно для уменьшения

взаимных помех радиостанций. Важнейшим достоинством антенны с апериодическим рефлектором является отсутствие элементов настройки последнего и возможность одновременной работы на одной антенне в двух противоположных направлениях, для чего по обеим сторонам рефлектора подвешивают два идентичных полотна антенны. Недостатком антенны СГД с апериодическим рефлектором является сложное конструктивное выполнение и почти полное отсутствие «электрической прозрачности» (возможность прохождения электромагнитных волн, излучаемых другими антеннами), что может вызывать трудности при размещении нескольких антенн на ограниченной площади.

Антенна с настроенным рефлектором имеет более легкое конструктивное выполнение и большую «электрическую прозрачность». Однако такая антенна требует перестройки рефлектора при смене рабочей волны, что крайне усложняет эксплуатацию антенны и значительно обесценивает возможности ее использования в широком диапазоне волн.

Антенна СГД с активным диапазонным рефлектором не требует перестройки при смене рабочих волн. Такой рефлектор целесообразно применять в тех случаях, когда антенна с вибраторным рефлектором используется при частой смене рабочих волн. Активно питаемый рефлектор так же, как и настроенный, представляет собой полотно, идентичное полотну антенны, возбуждаемое как за счет электромагнитной связи между антенной и рефлектором, так и за счет части мощности, подведенной к рефлектору от генератора

Направленные свойства антенны СГД определяются геометрическими размерами полотна антенны, его расстоянием от рефлектора и высотой подвеса антенны над землей. Высота подвеса антенны над землей определяет угол между направлением максимального излучения и горизонтальной плоскостью ( $\Delta_{max}$  – максимальный угол наклона). Чем больше средняя высота подвеса антенны  $H_{cp}$ , тем сильнее главный лепесток ДН прижат к земле.

В антеннах СГД-РА и СГДП-РА с увеличением числа вибраторов в этаже ДН в горизонтальной плоскости сужается. С увеличением числа этажей сужается ДН в вертикальной плоскости, а за счет увеличения средней высоты подвеса антенны уменьшается угол максимального излучения  $\Delta_{max}$ . Увеличение расстояния между вибраторами и рефлектором приводит к увеличению уровня боковых лепестков. Уменьшение  $d_p$  сопровождается уменьшением активной и ростом реактивной составляющих сопротивления вибраторов. Это ухудшает согласование антенны с фидером. Для улучшения диапазонных свойств у антенны типа СГД применяют вибраторы с пониженным волновым сопротивлением. Для этого вибраторы изготавливают из нескольких биметаллических проводов, скрепленных кольцами, и каждый вибратора имеет вид проволочного цилиндра, чем больше диаметр кольца, тем меньше волновое сопротивление и лучше диапазонные свойства.

# **Лабораторная работа № 7**

## **Исследование рамочной антенны и рамочной антенны со штыревым несимметричным вибратором**

### **1 Цель работы**

- 1.1 Исследовать диаграмму направленности рамочной антенны.
- 1.2 Исследовать диаграмму направленности рамочной антенны со штыревым несимметричным вибратором.

### **2 Литература**

- 2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Антенны: учебное пособие для СПО / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 412 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148036/#2>

### **3 Подготовка к работе**

- 3.1 Повторить пройденный материал по теме «Рамочные антенны».
- 3.2 Подготовить бланк отчёта.
- 3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:
  - 3.3.1 Какой формулой выражается действующая высота рамочной антенны?
  - 3.3.2 Почему рамочная антенна не используется в качестве передающей антенны?
  - 3.3.3 Почему в направлении перпендикулярном плоскости рамки прием отсутствует?
  - 3.3.4 Что такое кардиоидный прием?
  - 3.3.5 Чему равен коэффициент направленного действия (КНД) рамочной антенны?

### **4 Основное оборудование**

- 4.1 Макет рамочной антенны.
- 4.2 Радиопередающее устройство «Волхов».

### **5 Задание**

- 5.1 Снять диаграммы направленности рамочной антенны.
- 5.2 Снять диаграмму направленности рамочной антенны со штыревым несимметричным вибратором.

### **6 Порядок выполнения работы**

- 6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.
- 6.2 Включить макет рамочной антенны при этом тумблер на макете в положении «В». Настроить его на радиостанцию, обеспечивающую уверенный прием.
- 6.3 Настроить рамочную антенну на максимальный прием по индикатору прибора расположенному на макета.

6.3.1 С помощью поворотного устройства изменять направление приемной антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания индикатора занести в таблицу 1.

6.4 Включить макет рамочной антенны со штыревым несимметричным вибратором при этом тумблер на макете в положении «К».

6.4.1 С помощью поворотного устройства изменять направление приемной антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания индикатора занести в таблицу 1.

Таблица 1

	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
Рамочная антенна	E							
	$E/E_{max}$							
Рамочная антенна со штыревым несимметричным вибратором	E							
	$E/E_{max}$							

6.4 По данным таблицы 1 построить характеристики направленности в полярных координатах для всех случаев:  $\varphi(\theta) = E/E_{max}$ .

## 7 Содержание отчета

- 7.1 Наименование работы.
- 7.2 Цель работы.
- 7.3 Основное оборудование.
- 7.4 Основные схемы.
- 7.5 Формулы для расчета.
- 7.6 Таблица измерений.
- 7.7 Диаграммы направленности.
- 7.8 Выводы по работе.
- 7.9 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

- 8.1 Пояснить принцип действия рамочной антенны.
- 8.2 Как определяется действующая высота рамочной антенны?
- 8.3 Как определяется ЭДС в рамочной антенне?
- 8.4 Где применяется рамочная антенна?

## 9 Приложение

### 9.1 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой макет, имеющий радиоприемное устройство СВ диапазона, ко входу которого подключаются рамочная антенна и вертикальный несимметричный вибратор в виде штыря, если необхо-

можно снять характеристику направленности, имеющую вид кардиоиды. При отключении штыревой антенны снимается диаграмма направленности рамочной антенны. Конструктивно рамочная антенна представляет собой круглой формы плоскую катушку из нескольких витков медного провода помещенной в экран.

В качестве источника радиосигнала при снятии характеристики направленности служит учебный радиопередатчик «Волхов», работающий в режиме А2А и настроенный на частоту 465 кГц. Питание макета рамочной антенны осуществляется от сети ~ 220 В. Перед включением макета его необходимо закрепить, соединив с корпусом радиопередатчика. Макет имеет стрелочный индикатор позволяющий измерить уровень демодулированных сигналов при снятии диаграммы направленности. Наличие звуковых сигналов на выходе приемника можно проверить с помощью головных телефонов, которые подключаются в гнездо на лицевой стороне макета.

## 9.2 Рамочная антенна

Рамочные антенны применяют только в качестве приемных антенн из-за низкого КПД. Они относятся к слабонаправленным антеннам.

На рисунке 1 показаны виды рамочных антенн.

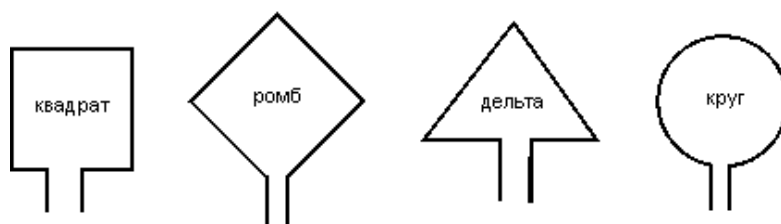


Рисунок 1 - Виды рамочных антенн

ЭДС наводимая в рамке, зависит от ее положения по отношению к вектору Умова-Пойтинга. Максимальная ЭДС наводится в витках рамки при совпадении плоскости рамки с вектором Умова-Пойтинга, при этом вектор  $H$  должен быть перпендикулярен к плоскости рамки. Диаграмма направленности в полярных координатах имеет вид восьмерки из 2-х окружностей, рисунок 2. КНД рамочной антенны равен 1,5.



Рисунок 2 – Вид диаграммы направленности рамочной антенны

Наведенная ЭДС в рамочной антенне определяется по формуле

$$\mathcal{E} = E \cdot h_q, \quad (1)$$

где  $E$  – напряженность электрического поля в точке приема;

$h_q$  – действующая высота рамочной антенны.

Действующая высота рамочной антенны определяется по формуле

$$h_q = 2\pi \frac{NS}{\lambda}, \quad (2)$$

где  $N$  – число витков;

$S$  – площадь рамки,  $m^2$ .

Разновидностью рамочной антенны является магнитная антенна, в которой для увеличения действующей высоты внутри катушки устанавливается ферритовый стержень, рисунок 3а, который усиливает магнитное поле внутри катушки. Диаграмма направленности в полярных координатах имеет вид кардиоиды, рисунок 3б. Действующая высота возрастает в  $\mu$  раз, тогда действующая высота антенны будет определяться по формуле

$$h_q = 2\pi \frac{NS}{\lambda} \mu, \quad (3)$$

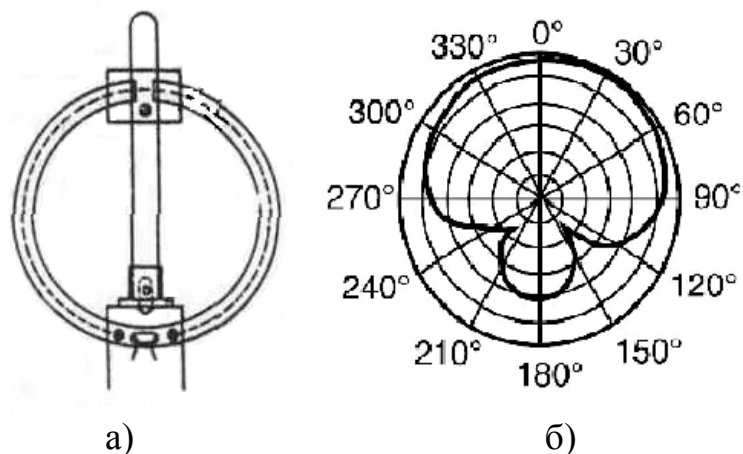


Рисунок 3 - Рамочной антенны со штыревым несимметричным вибратором и ее диаграмма направленности

# **Лабораторная работа № 8**

## **Исследование панельной антенны сотовой связи**

### **1 Цель работы**

- 1.1 Изучить конструкцию панельной антенны.
- 1.2 Исследовать диаграмму направленности при вертикальном и горизонтальном положении панельной антенны.

### **2 Литература**

- 2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Антенны: учебное пособие для СПО / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 412 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148036/#2>

### **3.Подготовка к работе**

- 3.1 Повторить пройденный материал по теме «Антенны дециметрового диапазона».
- 3.2 Подготовить бланк отчёта.
- 3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:
  - 3.3.1 Как зависит коэффициент направленного действия (КНД) от количества вибраторов панельной антенны?
  - 3.3.2 За счет какого элемента конструкции панельная антенна приобретает направленное свойство?
  - 3.3.3 Почему в вертикальной плоскости характеристика направленности острее чем в горизонтальной, и зачем это сделано?
  - 3.3.5 Почему именно панельные антенны пользуются большой популярностью в системах сотовой связи?
  - 3.3.5 Почему для организации сотовой связи вдоль дорог используют логопериодические антенны, а не панельные?

### **4 Основное оборудование**

- 4.1 Генератор сигналов высокочастотный Г4-83.
- 4.2 Передающая панельная антенна фирмы «Kathrein».
- 4.3 Приемный детекторный индикатор.

### **5 Задание**

- 5.1 Ознакомиться с конструкцией панельной антенны.
- 5.2 Снять диаграммы направленности антенны расположенной в вертикальном и горизонтальном положении.

### **6 Порядок выполнения работы**

- 6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.
- 6.2 Установить панельную антенну на треногу в вертикальном положении. Подключить с помощью кабеля панельную антенну к генератору Г4-83 в гнездо «Некалиброванный выход».
- 6.3 На генераторе установить частоту 1800 МГц. Ручку регулировки выходной мощности генератора повернуть в крайнее левое положение. Тумблер



«ГВЧ» в выключенном положении. Включить тумблер «Сеть» и дать прогреться генератору в течение 10 минут.

6.4 Подготовить и настроить антенну для проведения измерения диаграммы направленности (ДН), для этого:

– включить тумблер «ГВЧ», увеличивая выходную мощность генератора и при необходимости изменяя чувствительность усилителя, добиться появления заметных показаний на приемном детекторном индикаторе;

– выбрать такое положение передающей панельной антенны, при котором детекторный индикатор показывает максимальное значение напряженности.

6.5 Снять диаграмму направленности панельной антенны на частоте 1800 МГц в горизонтальной плоскости Н.

6.5.1 С помощью поворотного устройства изменять направление передающей антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания детекторного индикатора занести в таблицу 1.

6.6 Снять диаграмму направленности в горизонтальном положении на частоте 1800 МГц, для этого повернуть антенну на  $90^\circ$  градусов.

6.6.1 С помощью поворотного устройства изменять направление передающей антенны от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  градусов, через  $10^\circ$  градусов. Показания детекторного индикатора занести в таблицу 1.

Таблица 1

	Угол	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	...	$340^\circ$	$350^\circ$	$360^\circ$
Вертикальное положение $f = 1800$ МГц	$E$							
	$E/E_{max}$							
Горизонтальное положение $f = 1800$ МГц	$E$							
	$E/E_{max}$							

6.7 По данным таблицы 1 построить характеристики направленности в полярных координатах для всех случаев:  $\varphi(\theta) = E/E_{max}$ .

## 7 Содержание отчета

7.1 Наименование работы.

7.2 Цель работы.

7.3 Основное оборудование.

7.4 Основные схемы.

7.5 Формулы для расчета.

7.6 Таблица измерений.

7.7 Диаграммы направленности.

7.8 Выводы по работе.

7.9 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

8.1 Как влияет расстояние между вибраторами и рефлектором на диаграмму направленности в вертикальной плоскости?

8.2 Какой тип фидера используется в антенно-фидерном устройстве систем сотовой связи?

8.3 На каких волнах и в каком диапазоне частот работают антенны сотовой связи первого и второго поколения?

8.4 Почему со временем в системах сотовой связи становятся популярнее секторные антенны чем всенаправленные?

## 9 Приложение

### 9.1 Описание лабораторной установки

Установка включает в себя передающую антенну и приемный детекторный индикатор, которые образуют радиолинию.

Панельная антенна является многовibratorной антенной с наклонной поляризацией, что позволяет получить устойчивый прием при любом положении приемных антенн абонентов. Многоэтажное расположение вибраторов увеличивает направленные свойства в вертикальной плоскости и коэффициент направленного действия антенны. Все вибраторы полуволновые стержневого типа и имеют синфазное питание. Питание вибраторов подводится по несимметричному фидеру с волновым сопротивлением 75 Ом. Для формирования односторонней характеристики антенна имеет рефлектор, в качестве которого служит металлический корпус, к которому крепятся вибраторы.

Поляризация волн определяется положением антенны. Для изменения поляризации необходимо повернуть панель на 90° градусов.

### 9.2 Панельная антенна сотовой связи

Антенны базовых станций (БС), рисунок 1, при внешней простоте конструкции, представляют собой достаточно сложные СВЧ-устройства, работающие на открытом воздухе в условиях повышенной влажности и существенных перепадов температур, подверженные обледенению, повышенным ветровым нагрузкам, агрессивному воздействию городского смога. В этих условиях, обеспечение стабильности основных электрических параметров и механических свойств антенн в течение всего срока их службы представляет собой достаточно сложную инженерную задачу.

Эти антенны работают в диапазонах 900 МГц, 1800 МГц, 1710-2170 МГц как на открытом воздухе (*outdoor*), так и в закрытых помещениях (*indoor*). В зависимости от решаемой задачи по организации покрытия проектировщики сетей используют всенаправленные (*omni*) и секторные антенны с вертикальной поляризацией (*Vpol*) или с наклонной кросс-поляризацией (*Xpol*), рисунок 2. Они могут быть однодиапазонные и двухдиапазонные, трехдиапазонные и широкополосные.



Рисунок 1 – Панельная секторная антенна базовой станции

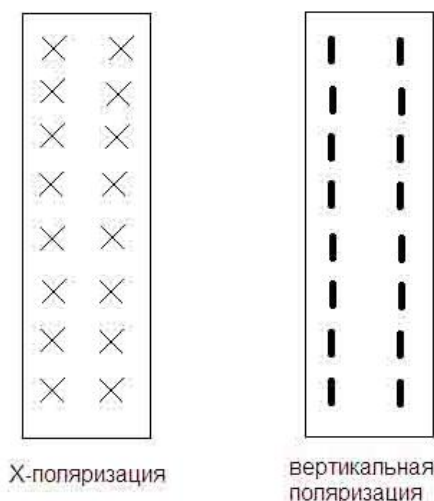


Рисунок 2 - Секторные антенны с наклонной кросс-поляризацией и вертикальной поляризацией

Секторные антенны *Vpol* представляют собой совокупность излучателей, расположенных в прочном радиопрозрачном герметичном корпусе, защищающем их от внешней среды и механических воздействий. Все излучатели объединены общей системой подвода к ним излучаемой мощности. Для ограничения уровня мощности, излучаемого антеннами в направлении горизонта, и обеспечения более равномерного покрытия антенны выпускают с некоторым электрическим наклоном диаграммы направленности (ДН), обеспечиваемым с помощью специального фазирования вибратор. В секторных антеннах этот наклон может обеспечиваться также механически, с помощью поставляемого дополнительно специального узла наклона. Электрический наклон ДН может быть фиксированным (устанавливаемым в заводских условиях) и регулируемым. В последнем случае настройка наклона ДН производится пользователем с помощью специального устройства, управляющего фазированием излучателей.

Преимуществом электрического наклона перед механическим является отсутствие искажения формы ДН в горизонтальной плоскости и азимутальной зависимости угла наклона и коэффициента усиления антенны.

Секторные антенны выпускаются компаниями в широком ассортименте коэффициентов усиления от 6,5 до 22 дБ и значений ширины ДН в горизонтальной плоскости  $65^\circ - 160^\circ$ , для диапазонов частот от 800 до 2170 МГц, что позволяет проектировщикам формировать сети любой нужной конфигурации. Габаритные размеры антенн варьируются в пределах от 10 см до 2,5-3 метров, вес антенн может составлять от 300 грамм до 20 кг. Большим спросом пользуются легкие плоские панельные антенны, которые можно монтировать даже на стенах зданий. Максимальная подводимая мощность составляет от 350 до 1000 Вт, однако в большинстве случаев при проектировании сетей такая мощность не требуется. Обычно, подводимая к антеннам мощность составляет не более 100-150 Вт, а для антенн *indoor* не более 10 Вт.

Логопериодические антенны *Vpol* характеризуются относительно малой шириной ДН в горизонтальной плоскости  $22^\circ - 65^\circ$ , имеют коэффициент усиления от 11– 18 дБ и используются, в основном, для организации связи вдоль дорог.

Всенаправленные антенны с вертикальной поляризацией (*Vpol omni*) представляют собой цепочку запитываемых синфазно полуволновых вибраторов внутри корпуса, имеющего вид трубки. Некоторые модели предлагаются с углами электрического наклона в диапазоне от  $0^\circ$  до  $6^\circ$  градусов. Антенны *omni (outdoor)* выпускаются как однодиапазонные для диапазонов частот 900 МГц, 1800 МГц, 1710-2170 МГц, так и двухдиапазонные для диапазонов частот 900/1800 МГц, 900/1920-2170 МГц. Длина всенаправленных антенн определяет их ширину ДН в вертикальной плоскости и коэффициент усиления, который составляет от 2 до 11 дБ для однодиапазонных антенн и 2 дБ для двухдиапазонных антенн. Уровень допустимой подводимой мощности всенаправленных антенн варьируется от 60 до 500 Вт.

Такие антенны используются операторами при необходимости организации покрытия в компактных зонах обслуживания с трафиком, локализованным вокруг БС, например, в коттеджных поселках, где установка секторных БС экономически нецелесообразна в условиях небольшого трафика. Другим примером использования антенн *omni* может быть их установка в городских условиях при организации микросот.

Антенны с вертикальной поляризацией для использования внутри зданий (*Vpol indoor*) выпускаются как однодиапазонные для диапазонов частот 900 МГц, 1800 МГц, 1710-2170 МГц, так и двухдиапазонные антенны для диапазонов 900/1800 МГц, 900/1710-2170 МГц, а также широкополосные, перекрывающие диапазон от 800 МГц до 2500 МГц. Они могут быть как секторные, так и всенаправленные, имеют небольшие размеры и эстетичный внешний вид (форму «шляпы») и выпускаются, как правило, в потолочном исполнении для организации покрытия внутри помещений. Небольшие размеры антенн *indoor* определяют ширину ДН, которая может достигать  $70^\circ - 80^\circ$  градусов в обеих плоскостях и коэффициент усиления в 5-7 дБ. Всенаправленные антенны *indoor*

имеют коэффициент усиления 2 дБ. Предлагаются также двунаправленные антенны *indoor-outdoor* с шириной ДН 65° градусов и формой ДН, имеющей вид «восьмерки».

Антенны с наклонной кросс-поляризацией представляют собой, в отличие от антенн с вертикальной поляризацией со строго вертикальным расположением излучателей, совокупность излучателей, симметрично расположенных вдоль вертикальной оси антенны и наклоненных к ней под углом +/- 45 градусов. В одном корпусе такой антенны могут располагаться две (*Xpol*), четыре (*XXPol*), и даже шесть (*XXXPol*) независимых антенн. Каждая пара антенн с кросс-поляризацией обслуживает один из рабочих диапазонов - 900 МГц, 1800 МГц, или 1710-2170 МГц. Такая конструкция антенн упрощает их размещение (на крышах домов, башнях, стенах зданий), что особенно важно в условиях дефицита места, а также позволяет снизить затраты на аренду площади. Некоторые такие многодиапазонные антенны имеют встроенные фильтры, позволяющие обеспечить их работу всего через 2 разъема.

Симметричное расположение систем излучателей относительно оси антенны гарантирует симметричность и идентичность ДН в горизонтальной плоскости. Очень важно, что ДН полностью ортогональны друг другу, а требуемая поляризационная развязка между двумя антеннами и коэффициент кросс-поляризации сохраняются в заданном секторе азимутальных углов и обеспечивают условия для эффективного разнесенного приема. Однодиапазонные антенны с кросс-поляризацией выпускаются для диапазонов частот 900 МГц, 1800 МГц, 1710-2170 МГц, Ширина ДН в горизонтальной плоскости составляет у них 65° и 90° градусов, коэффициент усиления колеблется от 5 до 22 дБ. Двухдиапазонные антенны *XXPol* выпускаются для диапазонов частот 900/1800 МГц, 900/1710-2170 МГц, 1710-2170/1710-2170, их коэффициент усиления составляет от 12 до 19 дБ. Строенные антенны *XXXPol* (900/1710-2170/1710-2170 МГц) предполагают их совместное использование в сетях GSM900/1800 и UMTS. Группа излучателей, обеспечивающая работу антенны в сетях UMTS, имеет, как правило, более высокий, по сравнению с антеннами GSM, коэффициент усиления (18-22 дБ) и более узкую ДН в вертикальной плоскости для компенсации высоких потерь при распространении сигналов UMTS. Трехдиапазонные антенны, работающие сразу в нескольких диапазонах, имеют независимые системы электрической регулировки угла наклона ДН для каждого из диапазонов, что обеспечивает необходимую гибкость при оптимизации сетей.

Основные электрические параметры антенн - это частотный диапазон, ширина диаграмм направленности (ДН) в горизонтальной и вертикальной плоскостях, коэффициент усиления (КУ) антенны, угол электрического наклона главного лепестка ДН, максимально допустимая входная мощность, коэффициент стоячей волны (КСВ), коэффициент развязки по поляризации, коэффициент подавления 1-го верхнего бокового лепестка, отношение значений ДН в направлениях «вперед-назад», коэффициент заполнения провала между основным лепестком и 1-м нижним боковым лепестком, коэффициент развязки между входами, коэффициент кросс-поляризации.





