

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

**Т.К. Артёмова, Н.И. Фомичёв**

# **Антенны**

*Учебное пособие*

*Рекомендовано  
Научно-методическим советом университета  
для студентов, обучающихся по специальности  
Радиофизика и электроника*

Ярославль 2007

УДК 621.396.67

ББК 3 845я73

А 86

*Рекомендовано  
Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного издания. План 2007 года*

**Рецензенты:**

начальник отдела ОАО "Кари", канд. физ.-мат. наук, доц. А.С. Захаров;  
кафедра физики Ярославского государственного технического университета

А 86

**Артёмова, Т.К.** Антенны: Учеб. пособие / Т.К. Артёмова, Н.И. Фоми-  
чёв. – Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: ЯрГУ, 2007. – 128 с.  
ISBN 978-5-8397-0588-3

В пособии обобщен материал публикаций многих авторов по вопро-  
сам конструкций, функционирования, характеристик, анализа и измере-  
ния параметров антенн различных классов.

Представлены основные понятия теории антенн, их радиотехнические  
характеристики и параметры (первая глава); классификация антенн, па-  
раметры и принципы функционирования антенн различных классов  
(вибраторные, рупорные, линзовые, спиральные, диэлектрические  
стержневые, антенны поверхностных волн). Большое внимание уделено  
теории анализа и синтеза антенных решёток. Рассмотрены вопросы из-  
мерения характеристик и параметров антенн. Пособие содержит как  
фундаментальный, необходимый для понимания работы антенных уст-  
ройств материал, так и практически важные формулы и числовые реко-  
мендации, позволяющие читателю самостоятельно овладеть методами  
анализа различных антенн, синтеза антенн с заданными параметрами.  
Материал также будет полезным при выполнении курсовых и диплом-  
ных проектов, связанных с расчетами антенно-фидерных устройств.

Данное пособие предназначено для студентов, обучающихся по спе-  
циальности 010801 Радиофизика и электроника (дисциплина "Антенны",  
блок ДС), очной и заочной форм обучения.

Ил.: 39. Библиогр.: 13 назв.

УДК 621.396.67

ББК 3 845я73

ISBN 978-5-8397-0588-3

© Ярославский государственный  
университет, 2007

© Артёмова Т.К., Фомичёв Н.И., 2007

## Содержание

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1. Радиотехнические характеристики и параметры передающих и приемных антенн .....</b>	<b>7</b>
1.1. Структурная схема антенны .....	7
1.2. Векторная комплексная диаграмма направленности антенны .....	9
1.3. Коэффициент направленного действия и коэффициент усиления .....	17
1.4. Сопротивление антенны .....	18
1.5. Действующая длина и эффективная площадь .....	20
Вопросы для самоконтроля .....	21
<b>Глава 2. Вибраторные антенны .....</b>	<b>23</b>
2.1. Симметричные вибраторы .....	23
Вопросы для самоконтроля .....	30
<b>Глава 3. Спиральные антенны .....</b>	<b>32</b>
3.1. Характеристики однозаходной цилиндрической спирали .....	35
3.2. Конические спиральные антенны .....	40
3.3. Плоские спиральные антенны .....	42
Вопросы для самоконтроля .....	43
<b>Глава 4. Рупорные антенны .....</b>	<b>45</b>
Вопросы для самоконтроля .....	50
<b>Глава 5. Линзовые антенны .....</b>	<b>52</b>
5.1. Диэлектрические линзы .....	57
5.2. Металлические линзы .....	58
Вопросы для самоконтроля .....	61
<b>Глава 6. Щелевые антенны .....</b>	<b>62</b>
Вопросы для самоконтроля .....	64

<b>Глава 7. Антенны поверхностных волн .....</b>	<b>65</b>
<i>Вопросы для самоконтроля .....</i>	<i>67</i>
<b>Глава 8. Диэлектрические антенны .....</b>	<b>68</b>
<i>Вопросы для самоконтроля .....</i>	<i>72</i>
<b>Глава 9. Принципы формирования направленных характеристик излучения.....</b>	<b>73</b>
9.1. Поле системы излучателей, одинаково ориентированных в пространстве.....	73
9.2. Равномерная линейная решетка излучателей.....	76
9.3. Анализ множителя комбинирования.....	79
9.4. Различные режимы излучения линейной решетки.....	89
<i>Вопросы для самоконтроля .....</i>	<i>93</i>
<b>Глава 10. Антенные решетки.....</b>	<b>96</b>
10.1. Способы сканирования и задачи, решаемые с помощью антенных решеток .....	96
10.2. Фазированные антенные решетки.....	98
10.3. Многолучевые антенные решетки .....	104
<i>Вопросы для самоконтроля .....</i>	<i>112</i>
<b>Глава 11. Измерение параметров антенн .....</b>	<b>114</b>
11.1. Измерение диаграмм направленности антенн.....	114
11.2. Фазовые характеристики .....	119
11.3. Поляризационные характеристики.....	121
11.4. Коэффициент усиления.....	123
<i>Вопросы для самоконтроля .....</i>	<i>124</i>
<b>Литература.....</b>	<b>126</b>

## Введение

Основное назначение антенн – излучение или прием электромагнитных волн.

*Антенной* называется устройство, осуществляющее преобразование направляемых электромагнитных волн в радиоволны, и наоборот, радиоволн в направляемые электромагнитные волны.

Антенны относятся к пассивным компонентам радиосистем, и в конструктивном отношении они представляют собой сочетание проводников и магнитодиэлектриков. Наряду с излучением и приемом радиоволн антенны выполняют функции пространственной фильтрации радиосигналов, обеспечивая направленность действия радиосистем и осуществляя пеленгацию источников радиоизлучения.

Качество функционирования антенн оценивается рядом радиотехнических, конструктивных и других характеристик и параметров. Конструктивное выполнение антенн и достижимые значения параметров существенно зависят от диапазона применяемых радиоволн. Различают *антенны длинных волн* (10 000 – 1 000 м), *средних волн* (1 000 – 100 м), *коротковолновые антенны* (100 – 10 м), *антенны УКВ*, *СВЧ-антенны* (300 МГц – 300 ГГц), *антенны оптических волн*.

Классификацию антенн можно производить по различным признакам.

Во-первых, антенны можно разделить на *передающие* и *приемные*, однако, согласно теореме взаимности, свойства антенны на передачу и на прием не отличаются.

Во-вторых, это деление по используемому диапазону частот на *широкополосные* и *узкополосные*.

В-третьих, среди антенн по их направленным свойствам можно выделить *остронаправленные*, *слабонаправленные* и *ненаправленные*.

Самое крупное деление по устройству антенн представляет собой разделение на три группы: антенны с линейными токами – *линейные антенны*, *апертурные антенны*, *антенны поверхностных волн*.

**Линейные антенны** – это антенны, у которых токи протекают по каналам, узким по сравнению с продольными размерами и длиной волны. Они делятся на *проволочные* и *щелевые*. Проволочные антенны бывают как *открытые* (система проводов, изолированных на конце, например вибраторные антенны), так и *закрытые* (замкнутые контуры, например петлевые антенны). Открытые антенны широко применяются в радиосвязи, в радиовещании, закрытые – главным образом в радионавигации. Антенны можно также подразделить на *симметричные* (потенциалы зажимов антенны одинаковы по величине и противоположны по знаку; такая антенна состоит из двух одинаковых половин) и *несимметричные* (один из зажимов антенны соединяется с заземлением или противовесом и имеет нулевой потенциал).

**Апертурные антенны** – антенны, излучение которых происходит через раскрыв, называемый *апертурой* (например, рупорные, линзовые, зеркальные). В раскрывах таких антенн обычно создается поле, близкое к синфазному, поэтому максимальное излучение происходит в направлении, перпендикулярном плоскости раскрыва, то есть апертурные антенны – высоконаправленные. Они являются основным типом радиолокационных антенн, используются в радионавигации, радиоастрономии, радиосвязи.

**Антенны поверхностных волн** возбуждаются бегущими электромагнитными волнами, распространяющимися вдоль антенны, и излучают в направлении распространения (например, стержневая диэлектрическая антенна, являющаяся продолжением открытого на конце круглого волновода). Это относительно компактные антенны, поэтому применяются в радиооборудовании летательных аппаратов.

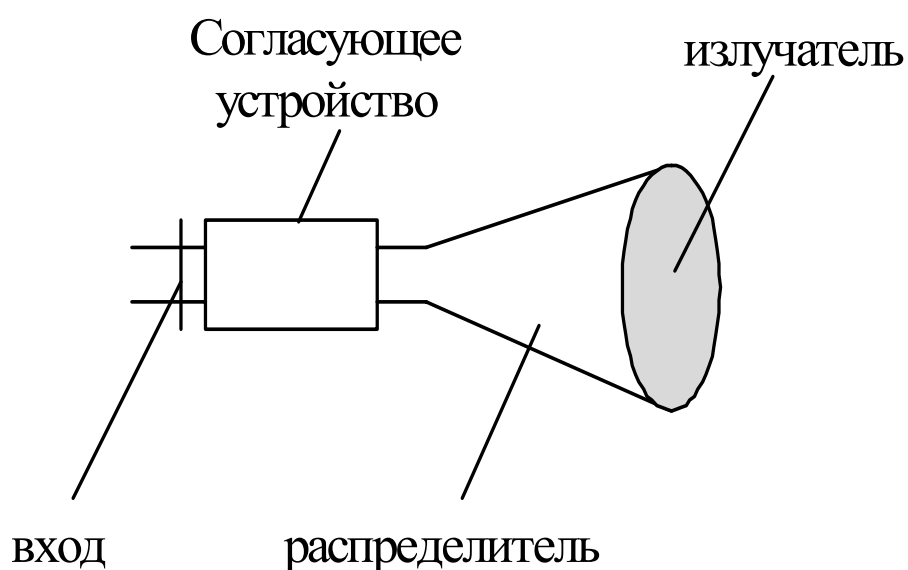
Антенны всех типов могут группироваться в многоэлементные *антенные решетки*, что позволяет получать управляемые характеристики.

# Глава 1

## Радиотехнические характеристики и параметры передающих и приемных антенн

### 1.1. Структурная схема антенны

В схеме конкретной антенны можно выделить следующие элементы: *вход*, *согласующее устройство*, *распределитель* и *излучающую систему* (см. рис. 1.1).



**Рис. 1.1. Структурная схема антенны**

Под **входом** антенны обычно понимают сечение линии передачи с волной заданного типа. Положение этого сечения должно быть точно указано, что необходимо для однозначного электрического расчета тракта. Современные антенны могут иметь сотни, а иногда тысячи входов. Эти входы используются для одновременной работы антенны на различных частотах, или незави-