

УДК 621.396.67

О-753

Рецензент: лауреат Государственной премии РФ им. Г.К. Жукова, доктор технических наук, профессор Юдин В.В.

Кубанов В.П., Ружников В.А., Сподобаев М.Ю., Сподобаев Ю.М.

К61 Основы теории антенн и распространения радиоволн: Учебное пособие / Под ред. В.П. Кубанова. – С.: ИНУЛ-ПГУТИ, 2016. – 258 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0152-0.

Излагаются основы теории антенн и распространения радиоволн. Формулируются вопросы для самопроверки и задачи (с ответами) для самостоятельного решения. Приводятся примеры решения задач.

Для студентов вузов, имеющих направления подготовки по инфокоммуникационным технологиям и радиотехнике.

Учебное издание

**Кубанов Виктор Павлович
Ружников Вадим Александрович
Сподобаев Михаил Юрьевич
Сподобаев Юрий Михайлович**

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ АНТЕНН
И РАСПРОСТРАНЕНИЯ
РАДИОВОЛН**

Учебное пособие

Редактор В.А. Иванов
Компьютерная верстка В.А. Ружников
Обложка художника **В.А. Ружников**

Подписано в печать 20.11.2015. Печать офсетная.

ISBN 978-8-9912-0125-0

© В.П. Кубанов, В.А. Ружников, М.Ю.
Сподобаев, Ю.М. Сподобаев, 2016

© ОФОРТ, Самара, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ГЛАВА 1 АНТЕННЫ И ФИДЕРЫ – НАЗНАЧЕНИЕ И ПАРАМЕТРЫ.....	5
1.1. Обобщенная структурная схема линии радиосвязи	5
1.2. Общие требования, предъявляемые к антеннам и фидерам	6
1.3. Параметры передающих антенн	8
1.3.1. Коэффициент полезного действия	8
1.3.2. Амплитудные характеристики и диаграммы направленности.....	9
1.3.3. Коэффициент направленного действия	15
1.3.4. Коэффициент усиления	17
1.3.5. Входное сопротивление	18
1.3.6. Коэффициент отражения и волновые режимы работы фидера.....	19
1.3.7. Коэффициенты бегущей и стоячей волны.....	22
1.3.8. Согласование фидера с передающей антенной	24
1.3.9. Поляризационные свойства	24
1.3.10. Эффективная площадь	27
1.3.11. Действующая длина.....	27
1.3.12. Максимальная мощность, подводимая к передающей антенне.....	28
1.3.13. Параметры электромагнитной безопасности	29
1.3.14. Рабочая полоса частот	29
1.4. Параметры приемных антенн.....	31
1.4.1. Процесс приема радиоволн	31
1.4.2. Эквивалентная схема приемной антенны.....	32
1.4.3. Амплитудные характеристики и диаграммы направленности.....	33
1.4.4. Обратимость процессов приема и излучения радиоволн.....	34
1.4.5. Коэффициент направленного действия	34
1.4.6. Коэффициент полезного действия.....	35
1.4.7. Коэффициент усиления	35
1.4.8. Эффективная площадь	36
1.4.9. Действующая длина.....	36
1.4.10. Шумовая температура.....	37
1.5. Фидеры передающих и приемных антенн	38
1.5.1. Условная классификация конструкций фидеров.....	38
1.5.2. Требования, предъявляемые к фидерам, и некоторые их параметры.....	38
1.6. Вопросы и задания для самопроверки	40
1.7. Задачи.....	41
1.7.1. О размерностях некоторых физических величин электромагнитного поля	41
1.7.2. Задачи для самостоятельного решения	43
1.7.3. Примеры решения задач	46
ГЛАВА 2 ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН	51
2.1. Элементарный электрический излучатель.....	51
2.1.1. Определение	51
2.1.2. Структура поля в дальней зоне элементарного электрического излучателя	52

2.1.3. Средняя плотность потока энергии, мощность и сопротивление излучения элементарного электрического излучателя.....	53
2.1.4. Направленные свойства элементарного электрического излучателя	53
2.1.5. Коэффициент направленного действия элементарного электрического излучателя.....	56
2.1.6. Обобщение определения элементарного электрического излучателя.....	56
2.2. Элементарные магнитные излучатели.....	57
2.2.1. Определение.....	57
2.2.2. Элементарный щелевой излучатель	58
2.2.3. Элементарная электрическая рамка	61
2.3. Элемент Гюйгенса	64
2.3.1. Определение.....	64
2.3.2. Структура поля и направленные свойства элемента Гюйгенса	65
2.3.3. Коэффициент направленного действия элемента Гюйгенса	66
2.4. Вопросы и задания для самопроверки.....	67
2.5. Задачи.....	68
2.5.1. Задачи для самостоятельного решения.....	68
2.5.3. Примеры решения задач.....	74
ГЛАВА 3 ЛИНЕЙНЫЕ СИММЕТРИЧНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВИБРАТОРЫ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ	77
3.1. Одиночный линейный симметричный электрический вибратор в свободном пространстве.....	77
3.1.1. Определение.....	77
3.1.2. Распределение тока по длине вибратора.....	78
3.1.3. Амплитудные характеристика и диаграмма направленности линейного симметричного электрического вибратора.....	81
3.1.4. Нормированная амплитудная характеристика направленности в случае произвольной ориентации линейного симметричного электрического вибратора.....	85
3.1.5. Коэффициент направленного действия линейного симметричного электрического вибратора	85
3.1.6. Мощность излучения и сопротивление излучения линейного симметричного электрического вибратора	86
3.1.7. Входное сопротивление линейного симметричного электрического вибратора.....	87
3.2. Излучение двух линейных симметричных электрических вибраторов	90
3.2.1. Направленные свойства системы из двух связанных вибраторов в E – плоскости....	90
3.2.2. Направленные свойства системы из двух связанных вибраторов в H – плоскости..	93
3.2.3. Входное сопротивление связанных вибраторов.....	95
3.2.4. Система из первичного и вторичного излучателей	98
3.3. Вопросы и задания для самопроверки.....	101
3.4. Задачи.....	102
3.4.1. Задачи для самостоятельного решения.....	102
3.4.2. Примеры решения задач.....	109
Глава 4 НАПРАВЛЕННЫЕ СВОЙСТВА АНТЕННЫХ РЕШЕТОК	115
4.1. Линейные антенные решетки.....	115
4.1.1. Направленные свойства в H – плоскости при линейном изменении фазы	115
4.1.2. Направленные свойства в E – плоскости при линейном изменении фазы.....	117
4.1.3. Режим нормального излучения.....	118

4.1.4. Режим наклонного излучения.....	120
4.1.5. Режим осевого излучения.....	121
4.1.6. Общие сведения об антеннах бегущей волны	122
4.1.7. Понятие о непрерывном линейном излучателе	124
4.1.8. Влияние неравномерности амплитудного распределения	125
4.2. Плоские антенные решетки.....	127
4.2.1. Направленные свойства при равноамплитудном и синфазном возбуждении элементов решетки	127
4.2.2. Направленные свойства при равноамплитудном и несинфазном возбуждении элементов решетки	129
4.2.3. Понятие о кольцевых антенных решетках.....	129
4.3. Расчет коэффициента направленного действия антенных решеток.....	132
4.3.1. Коэффициент направленного действия линейных эквидистантных антенных решеток	132
4.3.2. Коэффициент направленного действия плоских антенных решеток.....	134
4.4. Вопросы и задания для самопроверки	136
4.5. Задачи.....	137
4.5.1. Задачи для самостоятельного решения	137
4.5.2. Примеры решения задач	146
ГЛАВА 5 ИЗЛУЧЕНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	152
5.1. Направленные свойства возбужденных поверхностей	152
5.1.1. Общие сведения об апертурных антеннах и особенностях методов их анализа ...	152
5.1.2. Излучение возбужденной плоской прямоугольной поверхности	154
5.1.3. Направленные свойства идеальной плоской прямоугольной поверхности	156
5.1.4. Направленные свойства плоской прямоугольной синфазно возбужденной поверхности при изменении амплитуды возбуждения	159
5.1.5. Излучение возбужденной плоской круглой поверхности	161
5.1.6. Направленные свойства идеальной плоской круглой поверхности	162
5.1.7. Направленные свойства плоской круглой синфазно возбужденной поверхности при неравномерном возбуждения вдоль радиуса.....	163
5.1.8. Влияние фазовых искажений на направленные свойства возбужденной поверхности	165
5.1.9. Коэффициент направленного действия возбужденной поверхности.....	168
5.2. Вопросы для самопроверки.....	170
5.3. Задачи.....	171
5.3.1. Задачи для самостоятельного решения	171
5.3.2. Примеры решения задач	180
ГЛАВА 6 ВЛИЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН.	189
6.1. Общие сведения о радиоволнах, областях их применения и реальных средах распространения	189
6.1.1. Диапазоны радиоволн — классификация, области применения	189
6.1.2. Естественные среды распространения радиоволн.....	190
6.1.3. Основные типы радиоволн	192
6.2. Распространение радиоволн в свободном пространстве	193
6.2.1. Энергетические соотношения при распространении радиоволн в свободном пространстве	193
6.2.2. Потери при передаче в условиях свободного пространства	195

6.2.3. Дополнительные потери при передаче и множитель ослабления в условиях реальной среды.....	196
6.2.4. Область пространства, существенная для распространения радиоволн.....	197
6.3. Влияние земли на распространение радиоволн.....	201
6.3.1. Особенности процесса распространения радиоволн над Землей	201
6.3.2. Влияние Земли при высоко поднятых антеннах	204
6.3.3. Влияние Земли при низко расположенных антеннах.....	209
6.4. Влияние тропосферы на распространение радиоволн	212
6.4.1. Рефракция радиоволн.....	212
6.4.2. Ослабление радиоволн в осадках	215
6.4.3. Ослабление в газах	219
6.4.4. Рассеяние радиоволн	221
6.5. Влияние ионосферы на распространение радиоволн	223
6.5.1. Строение ионосферы	223
6.5.2. Диэлектрическая проницаемость и удельная проводимость ионосферы.....	225
6.5.3. Основные свойства ионосферы.....	226
6.5.4. Формирование траектории радиоволн в ионосфере	228
6.6. Влияние городской застройки на распространение радиоволн	232
6.6.1. Город – специфическая среда распространения радиоволн.....	232
6.6.2. Общие сведения о моделях распространения радиоволн в городе.....	233
6.6.3. Модель Окамура-Хата	234
6.7. Замирания сигналов при распространении радиоволн.....	235
6.7.1. Общие сведения о причинах замираний	235
6.7.2. Характеристики замираний.....	237
6.8. Вопросы для самопроверки.....	241
6.9. Задачи.....	242
6.9.1. Задачи для самостоятельного решения	242
6.9.2. Примеры решения задач	247
Литература.....	252