

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

# **ОБЩАЯ ТЕОРИЯ РАДИОЛОКАЦИИ И РАДИОНАВИГАЦИИ. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН**

Под общей редакцией А.Н. Фомина

Рекомендовано ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж) в качестве учебника для курсантов (студентов) учебных военных центров (военных кафедр, факультетов военного обучения) при высших учебных заведениях Министерства образования и науки Российской Федерации, обучающихся по специальностям: 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»; 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы»; 11.05.03 «Применение и эксплуатация средств и систем специального мониторинга», рег. № 31 от 28 июня 2017 г.

Красноярск  
СФУ  
2017

УДК 621.396.96(073)  
ББК 32.95я73  
О-280

**Авторы:**

А.Н. Фомин, В.А. Копылов, А.А. Филонов, А.В. Андронов

О-280      **Общая теория радиолокации и радионавигации. Распространение радиоволн** : учебник / А.Н. Фомин, В.А. Копылов, А.А. Филонов, А.В. Андронов ; под общ. ред. А.Н. Фомина. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 318 с.  
ISBN 978-5-7638-3738-4

В данном учебнике рассмотрены физические процессы, происходящие при распространении радиоволн вблизи поверхности и в атмосфере Земли.

Особое внимание уделено описанию физических процессов, происходящих в линиях передачи энергии СВЧ-диапазона.

Подробно изложены в теоретическом и практическом плане конкретные типы согласующих устройств, которые применяются в прямоугольных волноводах, коаксиальных линиях для обеспечения передачи максимальной мощности в нагрузку.

Предназначен для курсантов учебных военных центров (факультетов военного обучения, военных кафедр) при вузах Министерства образования и науки, обучающихся по специальностям: 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»; 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы»; 11.05.03 «Применение и эксплуатация средств и систем специального мониторинга».

Электронный вариант издания см.:  
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 621.396.96(073)  
ББК 32.95я73

ISBN 978-5-7638-3738-4

© Сибирский федеральный  
университет, 2017

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Список сокращений .....</b>	<b>7</b>
<b>Принятые обозначения .....</b>	<b>8</b>
<b>Предисловие .....</b>	<b>10</b>
<b>ЧАСТЬ I. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН .....</b>	<b>13</b>
<b>Глава 1. Область, существенная для распространения радиоволн .....</b>	<b>14</b>
1.1. Модели и методы расчета радиотрасс .....	14
1.2. Принцип Гюйгенса – Френеля.....	15
1.3. Зоны френеля. Область, существенная для распространения радиоволн.....	18
1.4. Амплитуда поля за препятствием (дифракционным экраном) .....	24
<b>Глава 2. Распространение электромагнитных волн вблизи поверхности земли .....</b>	<b>26</b>
2.1. Влияние сферичности земли на тактико-технические характеристики радиолокационных станций. Дальность прямой видимости.....	26
2.2. Отражение радиоволн от плоской земной поверхности.....	29
2.2.1. Участок, существенный для отражения радиоволн .....	29
2.2.2. Анализ коэффициентов Френеля.....	31
2.3. Поле излучателя, поднятого над плоской земной поверхностью.....	34
<b>Глава 3. Отражение радиоволн от земной поверхности .....</b>	<b>38</b>
3.1. Интерференционный множитель .....	38
3.2. Поле излучателя при малых углах возвышения .....	42
3.3. Учет сферической земной поверхности в интерференционных формулах.....	43
3.4. Распространение радиоволн в условиях пересеченной местности и при наличии препятствий .....	44
3.4.1. Критерий Рэлея.....	44
3.4.2. Уклон или подъем местности в сторону излучения.....	46
3.4.3. Склон, обращенный в сторону излучения.....	47
3.4.4. Обрыв, обращенный в сторону излучения .....	48
3.4.5. Высокий холм или горный кряж .....	48
<b>Глава 4. Рефракция радиоволн в тропосфере.....</b>	<b>50</b>
4.1. Состав, состояние и электрические параметры тропосферы .....	50
4.2. Рефракция радиоволн в тропосфере. Уравнение траектории и радиус кривизны луча электромагнитных волн .....	53
4.3. Учет тропосферной рефракции при распространении радиоволн над земной поверхностью .....	57
4.4. Виды тропосферной рефракции .....	59

<b>Глава 5. Тропосферное распространение радиоволн .....</b>	<b>63</b>
5.1. Учет тропосферной рефракции при определении угловых координат объектов радиоэлектронными средствами .....	63
5.2. Рассеяние радиоволн неоднородностями тропосферы. Дальнее тропосферное распространение .....	65
5.3. Ослабление (затухание) радиоволн в тропосфере. Влияние атмосферы на тактико-технические характеристики РЛС ....	68
<b>Глава 6. Зоны обнаружения радиоэлектронных средств .....</b>	<b>71</b>
6.1. Максимальная дальность радиолокационного обнаружения. Максимальная дальность радиосвязи .....	71
6.2. Понятие о зоне радиолокационного обнаружения .....	75
6.3. Учет отражения радиоволн от гладкой земной поверхности при определении зоны радиолокационного обнаружения .....	76
6.3.1. Учет интерференционного множителя земли при определении зоны радиолокационного обнаружения .....	76
6.3.2. Влияние неровностей земной поверхности на дальность и зону обнаружения .....	79
6.3.3. Влияние тропосферы на дальность и зону обнаружения .....	80
<b>ЧАСТЬ II. ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДИАПАЗОНА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ.....</b>	<b>85</b>
<b>Глава 7. Общая теория регулярных линий передачи .....</b>	<b>86</b>
7.1. Электромагнитные волны в направляющих системах .....	86
7.2. Решение уравнений максвелла для однородных направляющих систем без потерь .....	88
7.2.1. Волновые уравнения .....	88
7.2.2. Выражение поперечных составляющих поля через продольные составляющие .....	93
7.2.3. Алгоритм расчета электромагнитного поля в направляющих системах .....	95
<b>Глава 8. Параметры электромагнитных волн в регулярном однородном волноводе без потерь .....</b>	<b>98</b>
8.1. Анализ условий распространения волн в волноводах. Критическая длина волны. Постоянная распространения .....	98
8.2. Длина волны в волноводе. Фазовая и групповая скорости. Волновое сопротивление .....	102
8.3. Мощность, переносимая волной по волноводу .....	105
<b>Глава 9. Прямоугольные волноводы .....</b>	<b>107</b>
9.1. Прямоугольный волновод. Общие сведения о полых волноводах .....	107
9.2. Волны типа «E» и «H» в прямоугольном волноводе .....	108
9.2.1. Определение продольных составляющих поля электрических («E») и магнитных («H») волн .....	108

9.2.2. Определение поперечных составляющих поля электрических (« $E$ ») и магнитных (« $H$ ») волн .....	113
9.2.3. Анализ компонент поля в волноводе .....	115
9.3. Диаграмма типов волн в прямоугольном волноводе .....	116
9.3.1. Методика построения структуры поля в волноводе .....	118
9.3.2. Структура поля основной волны прямоугольного волновода.....	121
9.4. Структуры полей высших типов волн прямоугольного волновода....	127
<b>Глава 10.</b> Энергетические соотношения в прямоугольном волноводе ....	131
10.1. Способы возбуждения волноводов и отбора энергии из них .....	131
10.2. Предельная и допустимая мощности, передаваемые по волноводу .....	133
10.3. Учёт потерь в стенках волновода .....	136
10.4. Конструкции прямоугольных волноводов .....	141
10.5. Выбор размеров прямоугольного волновода .....	142
10.6. Волноводы П- и Н-образных сечений.....	143
<b>Глава 11.</b> Круглые волноводы .....	147
11.1. Расчет электромагнитного поля в круглом волноводе.....	147
11.1.1. Определение продольных составляющих поля электрических и магнитных волн .....	148
11.1.2. Определение поперечных составляющих поля электрических и магнитных волн .....	152
11.2. Диаграмма типов волн в круглом волноводе. Выбор размеров волновода .....	155
11.3. Структура полей волн в круглом волноводе .....	157
11.4. Конструкция круглых волноводов .....	166
11.5. Диэлектрический волновод .....	167
11.6. Сравнение прямоугольных и круглых волноводов .....	169
<b>Глава 12.</b> Коаксиальные и полосковые волноводы .....	170
12.1. Коаксиальные волноводы.....	170
12.1.1. Основная волна в коаксиальном волноводе.....	170
12.1.2. Волна типа « $m$ » в коаксиальном волноводе.....	171
12.1.3. Электрические характеристики коаксиального волновода с волной типа « $m$ ».....	174
12.2. Конструкции коаксиальных волноводов и выбор поперечных размеров .....	177
12.3. Полосковые линии передачи.....	179
<b>Глава 13.</b> Режимы работы линий передачи .....	185
13.1. Представление регулярного волновода эквивалентной двухпроводной линией передачи.....	185
13.2. Дифференциальные уравнения длинной линии (телеграфные уравнения).....	190

13.2. Суперпозиция прямых и обратных волн в линии передачи .....	192
13.3. Линия без потерь (идеальная) .....	195
13.4. Коэффициент отражения и коэффициент отраженной волны. Входное сопротивление линии .....	197
13.5. Режим бегущей волны .....	202
13.6. Режим стоячей волны .....	205
13.6.1. Линия, разомкнутая на конце .....	206
13.6.2. Линия, короткозамкнутая на конце .....	210
13.6.3. Линия, нагруженная на реактивное сопротивление .....	212
13.7. Режим смешанных волн. Основные радиотехнические параметры волноводного тракта .....	215
13.7.1. Распределение электрических величин в режиме смешанных волн .....	215
13.7.2. Нагрузка чисто активная: $r_k > \rho$ .....	217
13.7.3. Нагрузка чисто активная: $r_k < \rho$ .....	221
13.7.4. Нагрузка комплексная: $z_k = r_k \pm j \cdot x_k$ .....	222
13.8. Круговая диаграмма длинной линии, ее применение .....	223
<b>Глава 14. Согласование линий передачи .....</b>	<b>231</b>
14.1. Общий принцип согласования. Методы устранения отраженной волны .....	231
14.2. Узкополосные согласующие устройства, их конструкции, основные характеристики, методика расчета .....	233
14.2.1. Четвертьволновый трансформатор .....	233
14.2.2. Шлейф Татаринова .....	236
14.3. Согласующие устройства в волноводах .....	239
14.4. Согласование при помощи реактивных диафрагм и штырей .....	240
14.4.1. Согласование при помощи волноводных шлейфов .....	246
14.4.2. Согласование с помощью четвертьволновых трансформаторов .....	248
<b>Глава 15. Электромагнитные колебания в объемных резонаторах .....</b>	<b>251</b>
15.1. Общие сведения о резонаторах .....	251
15.2. Свободные колебания в объемных резонаторах волноводной формы .....	253
15.3. Собственные длины волн резонаторов. Методы расчета основных параметров .....	256
15.4. Способы настройки и подстройки резонаторов .....	259
15.5. Добротность резонатора. Применение резонаторов .....	260
<b>Заключение .....</b>	<b>263</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>265</b>
<b>Приложения .....</b>	<b>266</b>