

посл 537,8 (07)
H58

Е. И. НЕФЁДОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

52284

БЕН РАН
отдел во Фрязинском филиале
Учреждения РАН Института
радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН



Москва
Издательский центр «Академия»
2008

Библ. ЦРЭФ
у.

УДК 621.37(075.8)

ББК 22.313я73

H58

Рецензенты:

зав. кафедрой радиоэлектронных и телекоммуникационных устройств
и систем МГИЭМ, д-р техн. наук, проф. *Л. Н. Кечиев*;
д-р техн. наук, проф. МГИЭМ *А. С. Петров*;
заслуженный деятель науки, д-р техн. наук, проф. кафедры радиопередающих
устройств МИРЭА (технического университета) *В. И. Каганов*

Нефёдов Е. И.

H58 Техническая электродинамика : учеб. пособие для студ.
высш. учеб. заведений / Е. И. Нефёдов. — М. : Издательский
центр «Академия», 2008. — 416 с.

ISBN 978-5-7695-4079-0

Рассмотрены общие законы электродинамики, исследованы их частные случаи. Приведено большое число примеров физического анализа и алгоритмов проектирования линий передачи, а также базовых элементов для плоскостных и объемных интегральных схем сверхвысоких и крайне высоких частот.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 621.37(075.8)

ББК 22.313я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Нефёдов Е. И., 2008

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2008

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2008

ISBN 978-5-7695-4079-0

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
Глава 1. Основные составляющие элементной базы современной техники СВЧ и КВЧ	14
1.1. Общие сведения	14
1.2. Классификация линий передачи и краткая характеристика распространяющихся в них электромагнитных волн	14
Глава 2. Основные понятия и соотношения классической макроскопической электродинамики	28
2.1. Основные определения	28
2.2. Законы электродинамики. Источники электромагнитного поля	29
2.3. Энергия электромагнитного поля. Вектор Умова. Уравнение баланса энергии	31
2.4. Уравнения Максвелла в интегральной форме	33
2.5. Классификация сред	34
2.6. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Принцип перестановочной двойственности	39
2.7. Граничные условия	40
2.8. Эквивалентные граничные условия	41
2.9. Двухсторонние граничные условия	44
2.10. Эквивалентные импедансные граничные условия резонансного типа	47
2.11. Теорема единственности решения задач электродинамики	48
2.12. Классификация электромагнитных явлений. Области геометрической оптики. Зоны Френеля и Фраунгофера	50
2.13. Лемма Лоренца. Теорема взаимности	54
Глава 3. Волновое уравнение. Электродинамические потенциалы. Функция Грина	56
3.1. Волновое уравнение	56
3.2. Электродинамические потенциалы	57
3.3. Понятие о функции Грина	58
3.4. Функция Грина и модельные задачи электродинамики	60
3.5. Принцип Гюйгенса — Френеля — Кирхгофа в теории дифракции электромагнитных волн	61

Глава 4. Плоские волны	63
4.1. Плоские волны в однородной безграничной среде	63
4.2. Поляризация в плоских электромагнитных волнах	66
4.3. Падение плоской волны на плоскую границу раздела двух полубесконечных сред. Формулы Френеля	69
4.4. Потери энергии в среде. Обобщенные плоские волны	72
4.5. Отражение плоской электромагнитной волны от плоскости с анизотропным импедансом. Обобщенные формулы Френеля	75
Глава 5. Цилиндрические и сферические волны	78
5.1. Цилиндрические волны	78
5.2. Сферические волны	80
Глава 6. Волны в гиротропной среде	82
6.1. Общие сведения	82
6.2. Поперечное распространение волн в намагниченном феррите	83
6.3. Продольное распространение волн в намагниченном феррите. Эффект Фарадея	86
Глава 7. Полые волноводы	89
7.1. Вводные замечания	89
7.2. Основные свойства электромагнитных волн в волноводах	89
7.3. Собственные волны волновода. Метод разделения переменных	91
7.4. Электрические волны прямоугольного волновода	95
7.5. Магнитные волны прямоугольного волновода	98
7.6. Плоский волновод. Модель прямоугольного волновода с электрическими и магнитными стенками	100
7.7. Разложение волноводных волн на плоские волны	102
7.8. Коаксиальный цилиндрический волновод. Его основная волна и волны высших типов	103
7.9. Круглый волновод	117
7.10. Эллиптические волноводы	122
7.11. Регулярно-неоднородные волноводы	125
7.12. Понятие о волновом сопротивлении линии передачи, его определение и вычисление	129
Глава 8. Полосковые линии передачи	133
8.1. Вводные замечания	133
8.2. Симметричная полосковая линия	134
8.3. Несимметричная полосковая линия	137
Глава 9. Щелевые линии передачи	155
9.1. Вводные замечания	155
9.2. Симметричная щелевая линия	156

9.3. Несимметричная щелевая линия	164
9.4. Копланарные линии передачи	171
9.5. Реберно-диэлектрические линии передачи	176
Глава 10. Периодические структуры	189
10.1. Общие сведения. Теорема Флоке	189
10.2. Эквивалентная схема бесконечной периодической системы	192
10.3. Периодические системы конечной длины	194
10.4. Периодические волноведущие структуры на щелевых линиях в E -плоскости	196
10.5. Гофрированно-щелевые линии передачи	201
10.6. Проволочные решетки	206
Глава 11. Диэлектрические волноводы и световоды	210
11.1. Плоский диэлектрический волновод	210
11.2. Оптические волноводы. Диэлектрические интегральные структуры	219
11.3. Квазиоптические волноводы	224
11.4. Схемы возбуждения диэлектрических волноводов	229
11.5. Базовые элементы устройств интегральной оптики и световодной техники	232
Глава 12. Объемные закрытые резонаторы	240
12.1. Общие свойства объемных резонаторов	240
12.2. Общая теория электромагнитных резонаторов	246
12.3. Прямоугольный, цилиндрический и сферический резонаторы с металлическими стенками	249
12.4. Расчет резонатора методом частичных областей	256
12.5. Расчет резонатора методом возмущений	259
Глава 13. Открытые резонаторы	263
13.1. Принцип действия и свойства открытых объемных резонаторов	263
13.2. Открытые резонаторы с плоскими зеркалами	267
13.3. Открытые резонаторы с неплоскими зеркалами	272
Глава 14. Возбуждение волноводов и резонаторов. Вынужденные волны и колебания	277
14.1. Общие сведения	277
14.2. Некоторые устройства возбуждения	279
Глава 15. Элементная база техники СВЧ и КВЧ	283
15.1. Основы теории линейных устройств СВЧ	283
15.2. Переходы между различными типами направляющих структур	293
15.3. Базовые элементы согласования	309
15.4. Делители (сумматоры) мощности и радиосигнала	313
15.5. Кольцевые мостовые устройства	322
15.6. Шлейфные направленные ответвители	337

15.7. Квадратурные направленные ответвители	343
15.8. Фильтры СВЧ и КВЧ	348
15.9. Фазовращатели	365
15.10. Ослабители и оконечные поглощающие нагрузки	377
15.11. Двухканальные переключатели	381
Заключение	394
Список литературы	396
Предметный указатель	402