

УДК 537.8(075.8)+621.372.8(075.8)

ББК 22.336я73

М207

*Печатается по решению кафедры радиотехнической электроники
и нанoeлектроники Института нанотехнологий, электроники
и приборостроения Южного федерального университета
(протокол № 7 от 27 апреля 2023 г.)*

Рецензенты:

кандидат технических наук, ведущий специалист

ТЦАО «КАЛУГАПРИБОР» *И. М. Пономарёв*

кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ
радиотехники Института радиотехнических систем и управления

А. В. Лабынцев

Малышев, И. В.

М207 Прикладная электродинамика пассивных микроволновых линий
передач : учебное пособие / И. В. Малышев, Н. В. Паршина ; Южный
федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство
Южного федерального университета, 2023. – 222 с.

ISBN 978-5-9275-4548-3

В учебном пособии изложена теория распространения ЭМВ в различных линиях передач. Подробно исследованы различные граничные условия в волноведущих структурах и основные соотношения описывающие процессы переноса микроволновой мощности в некоторых наиболее известных волноводных структурах различных типов, а также линиях передачи полоскового типа.

В учебном пособии также имеются контрольные вопросы для проверки уровня освоения материала.

Пособие предназначено для курсов, изучаемых в бакалаврских направлениях подготовки 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи», но может быть использовано и для обучающихся на других направлениях.

УДК 537.8(075.8)+621.372.8(075.8)

ББК 22.336я73

ISBN 978-5-9275-4548-3

© Южный федеральный университет, 2023

© Малышев И. В., Паршина Н. В., 2023

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОСНОВНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТОВ ЭМП И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧ В РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТНЫХ ДИАПАЗОНАХ	7
1.1. Основные соотношения для описания векторного и скалярно- го полей	7
1.2. Примеры решения задач с применением векторного анализа	11
1.3. Классификационные шкалы микроволнового диапазона и ос- новная элементная база, используемая в нём	12
1.4. Виды линий передачи и их свойства	15
1.5. Линии передач квазиоптических трактов	21
1.6. Базовые характеристики ЛП	23
1.7. Характеристики и параметры волн в ЛП	24
1.8. Характеристики и классификации электродинамических структур	26
Контрольные вопросы	29
2. ОСНОВЫ КЛАССИЧЕСКОЙ МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ	30
2.1. Основные понятия и законы электродинамики	30
2.2. Основные теоретические соотношения для электромагнитных полей	33
2.3. Интегральная форма записи уравнений Максвелла	36
2.4. Классификация естественных и искусственных сред	37
2.5. Комплексная форма записи уравнений Максвелла	42
2.6. Виды граничных условий	43
2.6.1. Основные непрерывные граничные условия	43
2.6.2. Эквивалентное граничное условие	45
2.6.3. Двухстороннее граничное условие	48
2.6.4. Эквивалентные импедансные граничные условия резонанс- ного типа	51
2.7. Дифференциальная и интегральная формы леммы Лоренца. Теорема взаимности	58
2.8. Практическое применение коэффициента киральности и ме- тоды его нахождения	60

Контрольные вопросы	67
3. ВОЛНОВЫЕ УРАВНЕНИЯ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ В СРЕДАХ. ПОНЯТИЕ О ФУНКЦИИ ГРИНА	68
3.1. Электродинамические виды записи волновых уравнений. Понятия о волновых уравнениях и их представление для случая акустических колебаний	68
3.2. Понятие об электродинамическом потенциале	70
3.3. Функция Грина	71
3.4. Применение функций Грина в решении электродинамических задач	73
3.5. Дифракция ЭМВ. Вторичные источники по принципу Гюйгенса – Френеля – Кирхгофа	75
Контрольные вопросы	76
4. ПЛОСКИЕ ВОЛНЫ В ОДНОРОДНОЙ БЕЗГРАНИЧНОЙ СРЕДЕ	77
4.1. Разновидности плоских волн	77
4.2. Эффект поляризации плоских ЭМВ в различных средах	81
4.3. Взаимодействие плоской ЭМВ с плоскостью границы двух полубесконечных сред. Формулы Френеля и угол Брюстера	84
4.4. Плоскости с анизотропным импедансом и отражение от них плоских ЭМВ. Обобщённый вид формул Френеля	92
Контрольные вопросы	94
5. ВОЛНЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО И СФЕРИЧЕСКОГО ТИПОВ	96
5.1. Цилиндрические волны	96
5.2. Сферические волны	99
Контрольные вопросы	100
6. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭМВ В ГИРОТРОПНЫХ СРЕДАХ	101
6.1. Основные соотношения гиротропной среды	101
6.2. Поперечное распространение ЭМВ в среде намагниченного феррита	102
6.3. Продольное распространение ЭМВ в гиротропной среде намагниченного феррита	106
Контрольные вопросы	109
7. ПОЛЫЕ ВОЛНОВЕДУЩИЕ СТРУКТУРЫ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧ (ВСЛП)	111

Оглавление

7.1. Особенности распространения ЭМВ в волноводных ЛП	111
7.2. Собственные волны волноводов и метод разделения переменных	114
7.3. Электрические волны в прямоугольных волноводах	117
7.4. Магнитные волны в прямоугольных волноводах	120
7.5. Плоский прямоугольный волновод с электрическими и магнитными стенками	123
7.6. Разложение волноводных волн на плоские волны	125
7.7. Коаксиальный цилиндрический волновод	127
7.8. Круглый волновод	141
7.9. Эллиптические волноводы	146
7.10. Регулярно-неоднородные волноводы	150
7.11. Понятие о волновом сопротивлении линии передачи, его определение и вычисление	154
Контрольные вопросы	157
8. ПОЛОСКОВЫЕ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ	159
8.1. Симметричная полосковая линия	160
8.2. Несимметричная полосковая линия	163
Контрольные вопросы	179
9. ЩЕЛЕВЫЕ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ	181
9.1. Симметричная щелевая линия	182
9.2. Несимметричная щелевая линия	190
9.3. Копланарные линии передачи	197
9.4. Реберно-диэлектрические линии передачи	203
Контрольные вопросы	217
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	219
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	220