

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени В. Н. КАРАЗИНА

**ТЕОРИЯ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВЫХ
ИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР**

Монография

Харьков – 2014

УДК 537.87+621.396.677

ББК 22.336

Т 33

Научный редактор:

доктор физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом физических основ диагностики материалов Физико-механического института им. Г. В. Карпенко НАН Украины **Д. Б. Куриляк.**

Рецензенты:

доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий отделом радиофизической интроскопии Института радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины **С. А. Масалов;**
доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной и компьютерной радиофизики Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара **О. О. Дробахин.**

*Утверждено к печати решением Ученого совета
Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина
(протокол № 9 от 23 сентября 2011 г.)*

Т 33 **Теорія** хвилевідно-щілинних випромінюючих структур : монографія / [В. О. Катрич, В. О. Лященко, М. В. Нестеренко та ін.] – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 400 с.
ISBN 978-966-285-029-1

У монографії наведено розв'язання комплексу внутрішніх і зовнішніх задач електродинаміки, пов'язаних із розвитком теорії, побудовою математичних моделей і розробкою строгих методів розрахунків основних характеристик щілинних випромінювачів і багатоелементних систем, а також із з'ясуванням фізичних закономірностей та особливостей формування електромагнітних полів структурами зі щілинними елементами довільної довжини, конфігурації та орієнтації щодо границь електродинамічних об'ємів.

Книга призначена для наукових співробітників та інженерів радіофізичних і радіотех.-нічних спеціальностей, а також для викладачів, аспірантів і студентів старших курсів вищих навчальних закладів.

Іл. 247, бібл. 337.

Т 33 **Теория** волноводно-щелевых излучающих структур : монография / [В. А. Катрич, В. А. Лященко, М. В. Нестеренко и др.] – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2014. – 400 с.
ISBN 978-966-285-029-1

В монографии представлено решение комплекса внутренних и внешних задач электродинамики, связанных с развитием теории, построением математических моделей и разработкой строгих методов расчета основных характеристик щелевых излучателей и многоэлементных систем, а также с выяснением физических закономерностей и особенностей формирования электромагнитных полей структурами со щелевыми элементами произвольной длины, конфигурации и ориентации относительно границ электродинамических объемов.

Книга предназначена для научных сотрудников и инженеров радиофизических и радиотехнических специальностей, а также для преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов высших учебных заведений.

Ил. 247, библи. 337.

УДК 537.87+621.396.677

ББК 22.336

ISBN 978-966-285-029-1

© Харьковский национальный университет
имени В.Н. Каразина, 2014

© Катрич В. А., Лященко В. А., Нестеренко М. В.,
Яцук Л. П., Бердник С. Л., 2014

© Дахов В. М., Будник О. В., макет обкладинки, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
PREFACE	8
ВВЕДЕНИЕ	9
1. ТЕОРИЯ ЩЕЛЕВЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	14
1.1. Основные направления развития теории и техники одноэлементных и многоэлементных щелевых структур.....	14
1.2. Методы решения задач о щелевой связи электродинамических объемов.....	32
1.2.1. Волноводно-щелевые излучатели.....	32
1.2.2. Методы расчета многоэлементных волноводно-щелевых структур	43
2. ПРИБЛИЖЕННЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ МАГНИТНОГО ТОКА В ЩЕЛЕВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ И ОТВЕРСТИЯХ СВЯЗИ	56
2.1. Постановка задачи и исходные интегральные уравнения	57
2.2. Приближенные методы решения интегральных уравнений для тока	61
2.2.1. Метод разложения искомой функции в ряд по малому параметру.....	61
2.2.2. Метод последовательных итераций.....	65
2.3. Асимптотическое решение интегрального уравнения для тока в щелевых излучателях и отверстиях связи	68
2.3.1. Метод усреднения	68
2.3.2. Щели в стенках прямоугольного волновода.....	71
2.3.3. Численные результаты.....	76
2.4. Метод усреднения для электрически длинных продольных щелей в прямоугольном волноводе	79
2.4.1. Решение интегрального уравнения для тока во «втором» приближении	79
2.4.2. Численные результаты.....	80
2.4.3. Ближнее поле и резонансные частоты продольных щелей в широкой стенке прямоугольного волновода	83
2.5. Метод наведенных магнитодвижущих сил для одиночных щелей в прямоугольном волноводе	88
2.5.1. Метод наведенных МДС.....	88

2.5.2. Метод наведенных МДС с аппроксимирующими функциями метода усреднения для одиночных продольных щелей в широкой стенке прямоугольного волновода	89
3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ДЛИННЫЕ ЩЕЛЕВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ	96
3.1. Общая постановка задачи	97
3.2. Амплитудное и фазовое распределения электрического поля в щели	106
3.3. Щели в широкой стенке прямоугольного волновода	111
3.3.1. Энергетические характеристики	112
3.3.2. Направленные свойства	113
3.4. Щели в узкой стенке прямоугольного волновода	131
3.5. Многомодовое возбуждение волновода со щелью	144
3.6. Решение задачи о возбуждении щели в волноводе с диэлектрической вставкой конечной длины	146
3.6.1. Определение внутренних проводимостей щели	148
3.6.2. Частотно-энергетические характеристики щели	152
3.7. Экспериментальные исследования характеристик щелевых излучателей	157
4. ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ	165
4.1. Криволинейная щель в прямоугольном волноводе	166
4.1.1. Обобщенная формулировка задачи	166
4.1.2. Узкая криволинейная щель в прямоугольном волноводе	171
4.1.3. Приближение тонкой стенки волновода	174
4.1.4. Учет конечной толщины стенки волновода	175
4.2. Электрически длинная криволинейная щель в прямоугольном волноводе	177
4.2.1. Приближение малой кривизны щели	177
4.2.2. Заполнение волновода и полости щели диэлектриком	184
4.3. Энергетические характеристики и диаграмма направленности криволинейного щелевого излучателя в прямоугольном волноводе	186
4.4. Наклонная щель в узкой стенке прямоугольного волновода	196
4.4.1. Внутренняя проводимость щели	199
4.4.2. Внешняя проводимость щели	206
4.4.3. Энергетические характеристики щели	208
4.5. Волноводно-щелевые излучатели с изменяющейся шириной щели	216
5. МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ИЗЛУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ	229
5.1. Система двух щелей и «групповые» излучатели	231

5.1.1. Система продольных щелей в широкой стенке прямоугольного волновода	232
5.1.2. Система поперечных щелей в широкой стенке прямоугольного волновода	242
5.1.3. Система наклонных щелей в узкой стенке прямоугольного волновода.....	250
5.1.4. «Групповые» излучатели.....	256
5.2. Многоэлементные волноводно-щелевые решетки вытекающей волны	268
5.2.1. Постановка и решение задачи.....	268
5.2.2. Электродинамические характеристики антенн вытекающей волны на основе волновода с системой поперечных щелей	272
5.2.3. Ближние электромагнитные поля многощелевых систем вытекающей волны	281
5.3. Мультичастотные щелевые решетки на многомодовых волноводах	286
5.3.1. Двухчастотная щелевая решетка на основе продольных щелей.....	286
5.3.2. Излучение электромагнитных волн системой поперечных и продольных щелей в широкой стенке прямоугольного волновода.....	294
5.4. Амплитудное и фазовое распределения поля в волноводно- резонаторно-щелевых излучающих структурах	304
5.5. Многоэлементная система наклонных щелей в узкой стенке прямоугольного волновода.....	317
5.6. Двумерные волноводно-щелевые антенные решетки.....	325
5.7. Возбуждение открытой щелевой структуры магнитным диполем.	331
6. СИММЕТРИЧНЫЕ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ КРЕСТООБРАЗНЫЕ ЩЕЛИ В ШИРОКОЙ СТЕНКЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА	346
6.1. Условие излучения поля с круговой поляризацией	346
6.2. Крестообразная щель в волноводе с отражающей нагрузкой	351
6.3. Энергетические параметры крестообразной щели в волноводе с нагрузкой.....	355
6.4. Многощелевая система крестообразных щелей в волноводе с отражающей нагрузкой.....	357
6.5. Взаимная проводимость произвольно ориентированных узких щелей в бесконечном плоском идеально проводящем экране	358
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	365
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	371