

Саратовский ордена Трудового Красного Знамени
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

А.В. ВАШКОВСКИЙ
В.С. СТАЛЬМАХОВ
Ю.П. ШАРАЕВСКИЙ

МАГНИТОСТАТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В ЭЛЕКТРОНИКЕ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

*Рекомендовано Государственным комитетом
Российской Федерации по высшему образованию
в качестве учебного пособия
для студентов физических специальностей университетов*

Книга написана на основе курса лекций, читаемых студентам физического факультета Саратовского университета. Учебное пособие состоит из 15 лекций, в которых рассматриваются линейные волновые явления на магнитостатических волнах, нелинейные процессы, оптика магнитостатических волн, прикладные вопросы использования магнитостатических волн в электронике СВЧ, а также приводятся данные экспериментальных исследований.

Для студентов радиофизических специальностей, а также для аспирантов и инженеров, работающих в области магнитоэлектроники СВЧ.

Под общей редакцией доктора физико-математических наук, профессора
А. В. Вашковского

Рекомендуют к печати:

кафедра квантовой радиофизики Киевского университета;
Ю. М. Яковлев, доктор физико-математических наук, профессор (Санкт-Петербург)

Федеральная целевая программа книгоиздания России

В $\frac{2302020100-705}{176(02)-93}$ 60—93

ISBN 5-292-00650-5

© А. В. Вашковский,
В. С. Стальмахов,
Ю. П. Шараевский, 1993

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
ЛЕКЦИЯ 1. Колебательные явления в магнитоупорядоченных средах на сверхвысоких частотах	10
§ 1.1. Магнитоупорядоченные вещества и их свойства	10
§ 1.2. Квантовая и классическая модели магнитного диэлектрика. Уравнение движения намагниченности. Учет потерь	14
§ 1.3. Колебательные явления в ферромагнитных средах. Собственные колебания намагниченности	21
§ 1.4. Вынужденные колебания намагниченности. Высокочастотная магнитная восприимчивость. Ферромагнитный резонанс	24
§ 1.5. Вынужденные колебания намагниченности с учетом потерь	28
§ 1.6. Ферромагнитный резонанс в образцах конечных размеров. Размагничивающие поля	30
Контрольные вопросы и задания	37
ЛЕКЦИЯ 2. Волновые явления в магнитоупорядоченных средах на сверхвысоких частотах	37
§ 2.1. Физическая картина распространения волн в магнитных диэлектриках	37
§ 2.2. Основные уравнения и граничные условия	40
§ 2.3. Спектр электромагнитных волн в нормально намагниченном металлизированном ферромагнитном слое	44
§ 2.4. Магнитостатическое приближение. Магнитостатические волны	48
Контрольные вопросы и задания	51
ЛЕКЦИЯ 3. Электродинамика многослойных ферритовых структур	52
§ 3.1. Поверхностная магнитная проницаемость	52
§ 3.2. Основные соотношения для расчета поверхностной проницаемости в многослойных структурах. Общий метод получения дисперсионного уравнения для МСВ	56
§ 3.3. Примеры получения дисперсионных соотношений методом «сшивания» магнитных проницаемостей	59
§ 3.4. Сводка основных дисперсионных соотношений для МСВ в многослойных ферритовых структурах	63
§ 3.5. Свойства и характеристики МСВ в многослойных ферритовых структурах	67
Контрольные вопросы и задания	71

ЛЕКЦИЯ 4. Распространение МСВ под произвольным углом к магнитному полю	72
§ 4.1. МСВ в нормально намагниченной пластине феррита	72
§ 4.2. МСВ в касательно намагниченной пластине феррита [1,19]	75
§ 4.3. Анизотропия групповых скоростей МСВ в касательно намагниченной пластине феррита	83
Контрольные вопросы и задания	89
ЛЕКЦИЯ 5. Энергия, поток энергии и скорость распространения энергии МСВ	89
§ 5.1. Запасаемая энергия и поток энергии МСВ	89
§ 5.2. Анизотропия потока энергии поверхностных МСВ [21, 22]	96
§ 5.3. Анизотропия потока энергии объемных МСВ [23]	100
§ 5.4. Экспериментальное исследование потока энергии (групповой скорости) поверхностных МСВ [21, 26—28]	103
Контрольные вопросы и задания	106
ЛЕКЦИЯ 6. МСВ в связанных ферромагнитных пластинах (пленках)	107
§ 6.1. Связанные волны в технике СВЧ. Общие свойства	107
§ 6.2. Анализ корней дисперсионного уравнения (6.1) в различных частных случаях [1, 33]	110
§ 6.3. Структура высокочастотных полей и особенности влияния металлических экранов на связанные МСВ	117
§ 6.4. Энергетическое рассмотрение связанных МСВ	119
Контрольные вопросы и задания	124
ЛЕКЦИЯ 7. МСВ в структурах, граничащих с импедансными поверхностями	125
§ 7.1. Объемные и поверхностные МСВ в структурах с комплексной проводимостью на границах [15—17]	125
§ 7.2. Металлические экраны с конечной проводимостью [1, 43]	130
§ 7.3. МСВ в структурах с периодическими границами	135
Контрольные вопросы и задания	143
ЛЕКЦИЯ 8. Возбуждение МСВ	144
§ 8.1. Общая постановка задачи о возбуждении микрополосковой линией слоистых ферритовых структур. Исходная модель	144
§ 8.2. Мощность магнитостатической волны в ферритовой структуре	149
§ 8.3. Расчет сопротивления излучения в линии передачи	153
§ 8.4. Расчет сопротивления излучения в линии передачи с потерями	159
Контрольные вопросы и задания	163
ЛЕКЦИЯ 9. Нелинейные явления в ферромагнетиках	164
§ 9.1. Поведение ферромагнетика в сильном высокочастотном магнитном поле	164
§ 9.2. Нелинейные движения вектора намагниченности в поперечных высокочастотных магнитных полях различной поляризации. Детектирование, удвоение и преобразование частоты	169
§ 9.3. Нелинейный ферромагнитный резонанс. Качественная картина явления	174
Контрольные вопросы и задания	177
ЛЕКЦИЯ 10. Параметрическое возбуждение волн в ферромагнетике	178
§ 10.1. Механизм параметрической связи в колебательных системах	178
§ 10.2. Нестабильность спиновых волн в ферромагнетике	184

§ 10.3. Нелинейные параметрические потери МСВ. Частотные границы	190
§ 10.4. Параметрическое усиление МСВ бегущей волной накачки	195
Приложение 1	200
Приложение 2	201
Контрольные вопросы и задания	202
ЛЕКЦИЯ 11. МСВ в нелинейной ферромагнитной среде	202
§ 11.1. Качественная картина распространения волн в нелинейных средах	202
§ 11.2. Волновое уравнение для объемных МСВ	206
§ 11.3. Волновое уравнение для поверхностных МСВ (метод «огibaющих» в нелинейной геометрической оптике)	210
§ 11.4. Стационарные решения уравнения огibaющей	213
§ 11.5. Прохождение импульса через нелинейную ферромагнитную среду	216
Контрольные вопросы и задания	219
ЛЕКЦИЯ 12. Прохождение сигналов через линию передачи, нагруженную на феррит	220
§ 12.1. Особенности прохождения сигнала через микрополосковую линию с ферритом при различных уровнях мощности	220
§ 12.2. Модель возбуждения МСВ в линии передачи с нелинейными потерями	223
§ 12.3. Динамическая характеристика линии передачи с обратной нелинейностью	227
Контрольные вопросы и задания	232
ЛЕКЦИЯ 13. МСВ в представлении геометрической оптики	232
§ 13.1. Анизотропия волновых свойств МСВ	232
§ 13.2. Отражение и преломление МСВ [145—147]	236
§ 13.3. Квазиоптические аналоги СВЧ элементов на МСВ [148—151]	245
§ 13.4. Формирование пучка МСВ излучателем конечной длины [152, 153]	254
Контрольные вопросы и задания	260
ЛЕКЦИЯ 14. Линии передачи на МСВ с линейными характеристиками	260
§ 14.1. Дисперсионные, полосовые и диапазонные свойства линий передач на МСВ	261
§ 14.2. Линии задержки на МСВ	275
§ 14.3. СВЧ фильтры на МСВ	281
Контрольные вопросы и задания	285
ЛЕКЦИЯ 15. Линии передачи на МСВ с нелинейными характеристиками	285
§ 15.1. Линии передачи с обратной динамической нелинейной характеристикой	286
§ 15.2. Шумоподавители на МСВ	292
§ 15.3. Ограничители мощности на МСВ	297
Контрольные вопросы и задания	300
<i>Библиографический список</i>	<i>301</i>