



**А. О. Касьянов
А. Н. Касьянова**

Устройства и методы функциональной магнитоэлектроники

учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-технологическая академия

А. О. КАСЬЯНОВ
А. Н. КАСЬЯНОВА

**УСТРОЙСТВА И МЕТОДЫ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ
МАГНИТОЭЛЕКТРОНИКИ**

Учебное пособие

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2021

УДК 621.38 (075.8)

ББК 32. 845я73

К289

*Печатается по решению кафедры радиотехнических и телекоммуникационных систем
Института радиотехнических систем и управления Южного федерального
университета (протокол № 6 от 12 февраля 2020 г.)*

Рецензенты:

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры радиоэлектроники
Донского государственного технического университета *А. В. Елисеев*

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информатики и
информационных таможенных технологий Ростовского филиала
Российской таможенной академии *П. Н. Баилы*

Касьянов, А. О.

К289 Устройства и методы функциональной магнитоэлектроники : учебное
пособие / А. О. Касьянов, А. Н. Касьянова ; Южный федеральный универ-
ситет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального
университета, 2021. – 125 с.

ISBN 978-5-9275-3793-8

Излагаются физические основы такого современного бурно развивающегося направления науки и техники, как функциональная микроэлектроника в части магнитоэлектроники и обработка сигналов с помощью спиновых волн, распространяющихся в магнетодиэлектрических кристаллах. Показано, что развитие магнито-электроники связано с разработкой сверхминиатюрных устройств, предназначенных для формирования, фильтрации и аналоговой математической обработки сигналов. Несмотря на то, что возможность и целесообразность использования спиновых волн для обработки сигналов обусловлено их низкой скоростью по сравнению со скоростью света, большинство вопросов, подробно рассмотренных в данном пособии, ранее в учебной литературе не рассматривались и освещались лишь в периодических изданиях и трудах научных конференций, которые были практически недоступны студентам.

Целесообразность издания настоящего пособия, имеющего междисциплинарный характер, обусловлена необходимостью обеспечения учебного процесса по образовательным программам бакалавриата и специалитета по дисциплинам: «Электроника» и «Специальные радиоэлектронные устройства».

Пособие предназначено для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» и студентов направления подготовки 11.05.02 «Инфокоммуникационные технологии».

УДК 621.38 (075.8)

ББК 32. 845я73

ISBN 978-5-9275-3793-8

© Южный федеральный университет, 2021

© Касьянов А. О., Касьянова А. Н., 2021

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ СВЧ НА ОБЪЁМНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ (ОМСВ)	8
1.1. Свойства магнитостатических волн в СВЧ-диапазоне	8
1.2. Основы электродинамики ферромагнитных диэлектриков	8
1.2.1. Основные понятия и уравнения	8
1.2.2. Электромагнитные волны в безграничной магнитогиротропной среде	12
1.2.3. Безобменное магнитостатическое приближение и пределы его применимости	18
1.3. Магнитостатические волны в изолированном ферритовом слое	20
1.3.1. Магнитостатические волны в касательно намагниченном слое	20
1.3.2. Магнитостатические волны в нормально намагниченном слое	32
1.3.3. МСВ в наклонно намагниченном слое	37
1.4. Волны и колебания в ферромагнитных пластинах и пленках конечных размеров	41
1.5. Учет влияния магнитной кристаллографической анизотропии	47
1.5.1. МСВ в касательно намагниченном анизотропном слое	52
1.5.2. МСВ в касательно намагниченном анизотропном слое	57
1.5.3. Основные результаты	59
1.6. Магнитостатические волны в многослойных структурах	60
1.6.1. Дисперсионное соотношение для МСВ в структуре металл- диэлектрик-феррит-диэлектрик-феррит-диэлектрик-металл	60
1.6.2. МСВ в структуре металл-диэлектрик-феррит-диэлектрик- металл	67
1.7. Затухание магнитостатических волн	68
1.7.1. Феноменологическая теория затухания магнитостатических возбуждений	68
1.7.2. Элементарные процессы, приводящие к релаксации спиновых волн	70
1.7.3. Описание процесса затухания МСВ	74
1.8. Возбуждение магнитостатических волн	76
1.8.1. Возбуждение МСВ-током	76

1.8.2. Соотношение ортогональности для магнитостатических мод ...	77
1.8.3. Возбуждение магнитостатических колебаний заданным СВЧ-полем	80
2. УСТРОЙСТВА СВЧ НА МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ	82
2.1. Ферритовый вентиль на магнитостатической волне.....	82
2.1.1. Модель феррита в приближении слабого сигнала	82
2.1.2. Магнитостатические волны	85
2.1.3. Возбуждение магнитостатических волн	87
2.1.4. Расчет характеристик вентиля.....	88
2.1.5. Конструкция вентиля.....	90
2.1.6. Измерение характеристик вентиля.....	92
2.2. Ферритовый резонатор	95
2.2.1. Принцип работы ферритового резонатора	95
2.2.2. Принципы построения ферритовых фильтров	97
2.2.3. Элементы связи с ферритовым резонатором.....	102
2.2.4. Конструкции ферритовых фильтров.....	106
2.2.5. Параметры фильтров.....	112
2.2.6. Области технического применения фильтров на ферритовых резонаторах.....	116
2.2.7. Описание конструкции фильтра.....	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	120
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	122