

УЧЕБНИК

Бараночников М. Л.

МИКРО- МАГНИТОЭЛЕКТРОНИКА

1

Впервые в России вниманию читателей предлагается издание, посвященное новому направлению техники – микромагнитоэлектронике.

В книге описываются многочисленные приборы и устройства, управляемые магнитным полем. Полученные сведения можно использовать при разработке и эксплуатации промышленного оборудования, а также в области бытовой, вычислительной и медицинской техники, автомобильной электроники, при создании различных самоделок, игрушек и т.п.

Настоящее издание будет полезно инженерно-техническим работникам, занятым разработкой и обслуживанием устройств автоматики и сложной бытовой техники, студентам вузов и техникумов соответствующих специальностей, радиолюбителям и старшеклассникам, проявляющим интерес к современной технике.

Internet-магазин:
www.aliants-kniga.ru
Книга – почтой:
Россия, 123242,
Москва, а/я 20
Тел.: (495) 258-9194
books@aliants-kniga.ru
Оптовая продажа:
«Альянс-книга»
Факс: (495) 258-9195
books@aliants-kniga.ru

ISBN 5-94074-078-2



9 785940 740780

Бараночников М. Л.

УЧЕБНИК

МИКРОМАГНИТОЭЛЕКТРОНИКА

УЧЕБНИК

Бараночников М. Л.

МИКРО- МАГНИТОЭЛЕКТРОНИКА

**ДАТЧИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ,
ПРИБЛИЖЕНИЯ, УГЛА ПОВОРОТА
И НАКЛОНА...**

**ЭЛЕМЕНТЫ ХОЛЛА,
МАГНИТОРЕЗИСТОРЫ...**

**МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ
И МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ ИС**

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ**



www.dmk-press.ru



УЧЕБНИК

Серия «Учебник»

Бараночников М. Л.

МИКРОМАГНИТОЭЛЕКТРОНИКА

ТОМ 1

под общей редакцией
доктора физико-математических наук,
профессора Мордковича В.Н.



Москва

ББК 32.844я73
Б24

Бараночников М. Л.

Б24 Микромагнитоэлектроника. Т. 1. – М.: ДМК Пресс. – 544 с.: ил. (Серия «Учебник»).

ISBN 5-94074-078-2

В настоящем издании систематизированы и в доступной форме изложены необходимые сведения о принципах действия и параметрах наиболее распространенных изделий микромагнитоэлектроники: элементов Холла, магниторезисторов и магнитодиодов, магнитных датчиков и магнитоэлектронных устройств, широко используемых в промышленном оборудовании, бытовых приборах, вычислительной, медицинской и военной технике, дефектоскопии, автомобильной электронике и др.

Издание будет полезно инженерно-техническим работникам, которые занимаются созданием и обслуживанием устройств автоматики и сложной бытовой техники, а также студентам вузов и техникумов соответствующих специальностей, радиолюбителям и старшеклассникам, проявляющим интерес к современной технике.

ББК 32.844я73

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 5-94074-078-2

© Бараночников М. Л.
© ДМК Пресс

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	7
1. Микромагнитоэлектроника – новое направление техники	11
1.1. Производство изделий микромагнитоэлектроники	17
1.2. Функциональные магнитоэлектронные устройства	21
Список литературы к главе 1	22
2. Преобразователи магнитного поля	24
2.1. Элементы Холла	29
2.1.1. Элементы Холла по технологии биполярных ИС	35
2.1.2. Элементы Холла по МОП технологии	38
2.1.3. Элементы Холла по технологии молекулярной эпитаксии	40
2.1.4. Полевые элементы Холла	40
2.1.5. Производство и образцы элементов Холла	44
2.1.6. Частотные характеристики элементов Холла	49
2.1.7. Ориентационная характеристика элемента Холла	49
2.1.8. Применение элементов Холла	51
2.2. Магниторезисторы	61
2.2.1. «Монолитные» магниторезисторы	61
2.2.2. «Пленочные» магниторезисторы	67
2.2.3. Частотные характеристики магниторезисторов	73
2.2.4. Ориентационная характеристика магниторезистора	74
2.2.5. Применение магниторезисторов	76
2.3. Магнитодиоды	86
2.3.1. Кремниевые магнитодиоды	89
2.3.2. Полярные магнитодиоды	94
2.3.3. Магнитодиоды с эффектами переключения и «памяти»	96
2.3.4. Германиевые магнитодиоды	98
2.3.5. Применение магнитодиодов	99
2.4. Магнитотранзисторы	100
2.4.1. Биполярные магнитотранзисторы	101
2.4.2. Германиевые двухколлекторные магнитотранзисторы	103
2.4.3. Кремниевые двухколлекторные магнитотранзисторы	104
2.4.4. Кремниевые двухстоковые магнитотранзисторы	107
2.4.5. Биполярный горизонтальный МОП р–n–р транзистор	107
2.4.6. Полярный магнитотранзистор	108
2.4.7. Однопереходные магнитотранзисторы	109
2.4.8. Многоколлекторные и многостоковые магнитотранзисторы	110
2.4.9. Комбинированный преобразователь магнитного поля	113
2.4.10. Применение магнитотранзисторов	116
2.5. Магнитотиристоры	117
2.6. GMR преобразователи	118

2.7. Полевые ГМР магнитотранзисторы	122
2.8. Преобразователь магнитного поля на доменоносителях	124
2.9. Магниточувствительные Z-элементы	127
2.10. Датчики Виганда	128
2.11. Феррозондовые датчики	132
2.11.1. Магнитоиндуктивные датчики	135
2.12. Сравнительные характеристики и сферы применения ПМП	136
Список литературы к главе 2	146

3. Магниточувствительные и магнитоуправляемые интегральные схемы

152

3.1. Магниточувствительные интегральные схемы	152
3.1.1. Промышленные образцы магниточувствительных микросхем	159
3.1.2. Применение магниточувствительных ИС	167
3.2. Магнитоуправляемые интегральные схемы	172
3.2.1. Электрические схемы магнитоуправляемых ИС	179
3.2.2. Промышленные образцы отечественных МУМ	179
3.2.3. Промышленные образцы зарубежных МУМ	190
3.2.4. Применение магнитоуправляемых ИС	202
3.3. Совмещенные (магнитооптические) интегральные микросхемы	210
3.4. Перспективы и тенденции развития МЧМС и МУМ	216
Список литературы к главе 3	216

4. Многоэлементные и многоканальные преобразователи магнитного поля

220

4.1. Многоэлементные магнитоэлектронные устройства мгновенного действия	221
4.2. Многоэлементные магнитоприемные устройства с накоплением сигнала	225
Список литературы к главе 4	229

5. Микроэлектронные магнитные датчики

230

5.1. Магнитные датчики для регистрации перемещений	235
5.1.1. Магнитные датчики линейного перемещения	244
5.1.2. Магнитные датчики приближения	247
5.1.3. Координаточувствительные магнитные датчики	251
5.1.4. Промышленные образцы датчиков перемещения	252
5.2. Щелевые магнитные датчики	258
5.2.1. Примеры технической реализации щелевых магнитных датчиков	260
5.2.2. Промышленные образцы щелевых магнитных датчиков	265
5.2.3. Применение щелевых магнитных датчиков в системах электронного зажигания	268

5.3. Магнитные датчики угла поворота	270
5.3.1. Аналоговые датчики угла поворота	270
5.3.2. Магнитодиодный преобразователь типа «угол–код»	277
5.4. Магнитные датчики скорости вращения	279
5.4.1. Датчики скорости вращения, основанные на счете зубьев ферромагнитных шестерен	280
5.4.2. Датчики скорости вращения, основанные на считывании магнитного поля полюсов многополюсных магнитов	292
5.4.3. Датчики скорости вращения, использующие вихревые токи	298
5.5. Магнитные датчики угла наклона	300
5.6. Магнитные датчики для считывания информации с магнитных носителей	304
5.7. Датчики измерения тока и напряжения	316
5.7.1. Общие принципы бесконтактного измерения тока	316
5.7.2. Схемотехника магнитных датчиков тока и напряжения	320
5.7.3. Примеры технической реализации датчиков тока	323
5.7.4. Промышленные образцы магнитных датчиков тока	332
5.8. Магнитные датчики в современных электродвигателях	340
5.8.1. Принцип работы бесколлекторного электродвигателя постоянного тока	341
5.8.2. Конструкции бесколлекторных электродвигателей постоянного тока	345
5.8.3. Интегральные датчики положения ротора	350
5.9. Схемы сопряжения магнитных датчиков с внешними цепями	358
5.10. Использование преобразователей магнитного поля и датчиков	358
5.10.1. Использование ПМП в составе функционально-ориентированных магнитных датчиков	358
5.10.2. Применение МД в автомобильной технике и промышленном оборудовании ...	382
5.10.3. Примерный перечень датчиков, применяемых в автомобильной технике	388
Список литературы к главе 5	390

6. Магнитоэлектронные устройства

6.1. Бесконтактные переключатели	393
6.2. Бесконтактные клавишные модули	397
6.3. Бесконтактные переменные резисторы	407
6.4. МЭУ для определения направления вектора магнитного поля	412
6.4.1. Принципы определения направления вектора магнитного поля Земли	415
6.4.2. Выбор преобразователя магнитного поля	416
6.4.3. Магнитные датчики на основе тонкопленочных магниторезисторов	418
6.4.4. Ориентационные датчики с применением магниторезисторов	421
6.4.5. Варианты устройств для определения вектора МП, реализованных с использованием принципа квазимодуляции	427
6.4.6. Промышленные образцы ориентационных МД, реализованных с использованием ИС серии НМС	436
6.4.7. Устройство для определения вектора МП с применением ЭХ	438

6.4.8. Устройства для определения вектора МП с использованием магнитоиндуктивных и феррозондовых датчиков	442
6.5. МЭУ в аппаратуре исследования и визуализации магнитного поля	450
6.5.1. Измерение параметров неоднородного магнитного поля	450
6.5.2. Получение топографии магнитного поля	452
6.6. МЭУ в аппаратуре для неразрушающего контроля изделий	460
6.6.1. МЭУ для неразрушающего контроля труб и канатов	461
6.6.2. Промышленные образцы МЭУ для неразрушающего контроля	473
6.7. МЭУ в экологии и медицине	476
6.7.1. Влияние геомагнитных полей на окружающую среду	481
6.7.2. МЭУ для диагностики магнитных бурь	484
6.7.3. Полупромышленные образцы магнитометров, реализованные с использованием феррозондов	488
6.7.4. МЭУ в магнитотерапии	491
6.7.5. Портативные приборы для контроля индукции магнитного поля	495
Список литературы к главе 6	498

7. Основные элементы конструкции изделий микромагнитоэлектроники

7.1. Постоянные магниты	503
7.2. Концентраторы магнитного поля	511
7.3. Катушки смещения	514
7.4. Магнитопроводы	517
7.5. Магнитные и термомагнитные шунты	517
7.6. Магнитные экраны	518
7.7. Корпусы изделий микромагнитоэлектроники	519
7.8. Элементы связи	519
Список литературы к главе 7	519

8. Изменение основных параметров преобразователей магнитного поля

8.1. Измерение основных параметров элементов Холла	522
8.2. Измерение основных параметров магниторезисторов	525
8.2.1. Измерение параметров магниторезисторного моста	525
8.2.2. Измерение параметров единичного магниторезистора	527
8.3. Измерение параметров магнитодиодов	528
8.4. Измерение параметров магниточувствительных ИС	529
8.5. Измерение параметров магнитоуправляемых ИС	531
Список литературы к главе 8	534

Заключение

Предметный указатель

ПРЕДИСЛОВИЕ

Среди современных технических средств немало устройств и объектов, работа которых основана на взаимодействии с магнитным полем или же таковое используется в качестве управляющей среды.

За минувшие двадцать лет опубликовано множество статей, патентов и авторских свидетельств на изобретения, а также монографий, посвященных теории преобразователей магнитного поля и принципам работы приборов, созданных на их основе.

Большой вклад в разработку этой темы внесли отечественные авторы книг и статей: О. К. Хомерики [16], В. И. Стафеев [4, 10, 15], А. Н. Марченко [9, 11], Г. А. Егиазарян [5, 6, 7, 8], М. М. Мирзабаев [12], Ю. В. Афанасьев [3] и многие другие.

Одной из самых удачных признана монография коллектива авторов во главе с Д. И. Агейкиным, посвященная датчикам различного назначения [1].

Некоторую информацию общего характера о преобразователях магнитного поля можно найти в справочнике под редакцией А. В. Нефедова [13].

За последнее десятилетие оттачивались отдельные вопросы теории преобразователей магнитного поля, разрабатывались и внедрялись новые принципы их конструирования и технология производства. На мировом рынке появились принципиально новые приборы.

В результате синтеза микроэлектроники и интегральных магниточувствительных элементов (преобразователей магнитного поля) возникло новое научно-техническое направление – микромагнитоэлектроника. Развитие микромагнитоэлектроники позволяет разрабатывать и производить современные магнитоэлектронные устройства и приборы.

Изделия микромагнитоэлектроники используются в системах управления производственными процессами, в автомобильной электронике, измерительной и вычислительной технике, в дефектоскопии, медицинских, бытовых приборах и т.д. Зарубежные фирмы производят в год несколько миллиардов изделий микромагнитоэлектроники.

Оценка возможностей и перспектив применения устройств и приборов микромагнитоэлектроники и их очевидных преимуществ перед другими группами изделий электронной техники, выполняющих сходные функции, показывает, что в России это научно-техническое направление практически не освоено.

Несмотря на быстрое развитие микромагнитоэлектроники и ее широкое внедрение в различные отрасли науки и техники, отечественная специальная литература эти вопросы освещает слабо.

Такое положение объясняется как экономическими трудностями и стагнацией производства изделий микроэлектроники, так и распадом творческих коллективов научных и инженерно-технических работников, что начиная с 1991–92 годов привело к резкому снижению количества научно-технических публикаций.

Одновременно с этим в России значительно возрос интерес молодежи к учебе в средних специальных и высших образовательных заведениях и приобретению профессиональных навыков. Количество студентов технических вузов уже в 1997–98 годах превысило уровень 1991–92 годов.

В сложившейся ситуации возникла необходимость некоторого критического осмысления и обобщения теоретических и практических результатов разработки и применения изделий микромагнитоэлектроники.

Одновременно с попыткой решить указанную задачу автор счел целесообразным в настоящей работе познакомить читателей с новыми перспективными приборами, о которых еще нет сведений в специальной литературе.

Материалы для книги взяты из отечественных и зарубежных печатных изданий, а также использованы работы и опыт самого автора. Систематизированы и в доступной форме изложены основные сведения о различных типах современных преобразователей магнитного поля и о приборах, созданных на их основе.

Предлагаемое издание состоит из двух томов.

Первый том содержит восемь глав, в которых рассматриваются принципы функционирования основных изделий микромагнитоэлектроники.

Глава 1 знакомит читателя с основными понятиями, направлениями и тенденциями развития микромагнитоэлектроники.

В главе 2 описаны физические основы функционирования наиболее известных типов преобразователей магнитного поля (ПМП). Рассматриваются особенности применения различных ПМП (элементов Холла, магниторезисторов, магнитодиодов, магнитотранзисторов и др.), приводятся схемы сопряжения приборов с внешними цепями и устройствами.

Глава 3 включает информацию о принципах работы магниточувствительных (МЧМС) и магнитоуправляемых (МУМ) интегральных схем, а также об особенностях их применения. Приводятся функциональные схемы, параметры и характеристики МЧМС и МУМ.

В главе 4 изложены общие сведения о многоэлементных и многоканальных преобразователях магнитного поля.

В главе 5 описываются принципы работы микроэлектронных магнитных датчиков различного назначения, в том числе датчиков перемещения, приближения, угла поворота и угла наклона, датчиков положения ротора вентильных электродвигателей и датчиков скорости вращения. Даны характеристики датчиков тока