

УДК 621.316.54:621.314.632

ББК 31.264

В75

А

Воронин, Павел Анатольевич.

В75 Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. — 3-е изд., эл. — 1 файл pdf : 382 с. — Москва : ДМК Пресс, Додэка-XXI, 2023. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-433-9

Представлена эволюция развития семейств мощных ключевых приборов. Приведены базовые структуры полупроводниковых ключей, их характеристики, методы управления и защиты. Рассмотрены особенности их применения в устройствах энергетической электроники. Исправлены опечатки и неточности, обнаруженные в первом издании книги. Существенно переработан раздел 7.1, представляющий самые современные достижения в области разработок силовых ключей. В книгу включен также материал по созданию перспективных ключевых приборов на основе карбида кремния. Внесены соответствующие изменения и в приложения к книге, представляющие справочные данные по силовым ключам.

Для специалистов, занимающихся разработкой силовых схем и применением мощных ключевых приборов.

УДК 621.316.54:621.314.632

ББК 31.264

Электронное издание на основе печатного издания: Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ДМК Пресс, Додэка-XXI, 2015. — 383 с. — ISBN 978-5-97060-266-9. — Текст : непосредственный.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-433-9

© Издательский дом «Додэка-XXI»

© Издание, ДМК Пресс, 2015

А

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ГЛАВА 1	
Эволюция развития силовых полупроводниковых ключей	9
1.1. В круге первом	10
1.2. Воплощение идей в жизнь	13
1.3. Первое «обустройство» транзистора	15
1.4. В единстве всегда сила	18
1.5. Соты нужны не только пчелам	21
1.6. У каждой потайной двери есть свой ключ	28
1.7. Кто на новенького?	40
ГЛАВА 2	
Базовые структуры силовых полупроводниковых ключей	51
2.1. Введение	52
2.2. Транзисторы	54
2.2.1. Силовые биполярные транзисторы	54

СОДЕРЖАНИЕ

2.2.2. Мощные МДП-транзисторы	62
2.2.3. Биполярные транзисторы с изолированным затвором	71
2.2.4. Статические индукционные транзисторы.....	78
2.3. Тиристоры	83
2.3.1. Однооперационные тиристоры.....	84
2.3.2. Запираемые тиристоры	92
2.3.3. Индукционные тиристоры	99
2.3.4. Полевые тиристоры	102

ГЛАВА 3

Характеристики и параметры силовых ключей	111
3.1. Выбор ключевого элемента схемы.....	112
3.2. Основные группы справочных данных по силовым ключам	113
3.2.1. Характеристики ключей и режим работы схемы.....	123
3.2.2. Влияние температуры на параметры силовых ключей	143
3.3. Предельные характеристики полупроводниковых ключей.....	148
3.3.1. Области безопасных режимов	149
3.4. Тепловые характеристики полупроводниковых ключей	158
3.4.1. Потери в силовых ключах	160
3.4.2. Тепловые сопротивления	164
3.4.3. Допустимые режимы работы ключей	175

ГЛАВА 4

Управление полупроводниковыми ключами	179
4.1. Формирователи управляющих импульсов в структуре систем управления преобразователями	180
4.2. Основные типы формирователей импульсов управления	185
4.3. Формирователи импульсов управления с совместной передачей энергии и формы управляющего сигнала	188
4.3.1. Трансформаторные ФИУ биполярных транзисторов.....	188
4.3.2. Трансформаторные ФИУ для ключей с изолированным затвором	191
4.3.3. Трансформаторные ФИУ тиристоров.....	195
4.4. Формирователи импульсов управления с отдельной передачей энергии и информационного сигнала.....	199
4.4.1. Потенциальная развязка информационного сигнала	199
4.4.2. Драйверы силовых транзисторов.....	201
4.4.3. Подключение драйверов к входным цепям силовых транзисторов	208
4.4.4. Драйверы тиристоров.....	216
4.5. Источники питания драйверов	219

ГЛАВА 5

Методы и схемы защиты полупроводниковых ключей	223
5.1. Основные виды перегрузок по напряжению и току	224
5.2. Методы защиты от помех	227
5.3. Защитные цепи силовых ключей	233
5.3.1. Цепи формирования траектории рабочей точки транзисторов	233
5.3.2. Защитные цепи тиристорных ключей	238
5.3.3. Защитные цепи силовых модулей	241
5.4. Защита силовых ключей от режимов короткого замыкания	244
5.5. Силовые ключи с интегрированной системой защиты	251

ГЛАВА 6

Применение мощных полупроводниковых ключей в силовых схемах	259
6.1. Основные области применения ключевых приборов	260
6.2. Типовые схемы транзисторных ключей	265
6.2.1. Ключ на биполярном транзисторе	265
6.2.2. Ключ на мощном МДП-транзисторе	271
6.2.3. Ключ на биполярном транзисторе с изолированным затвором	274
6.2.4. Ключ на статическом индукционном транзисторе	276
6.3. Тиристорные ключи	282
6.3.1. Ключ на тиристоре с электростатическим управлением	282
6.3.2. Ключ на тиристорах с регенеративным включением	284
6.3.3. Особенности запираания тиристорных ключей	289
6.4. Применение ключевых транзисторов в схемах электронных балластов	299
6.5. Применение мощных МДП-транзисторов в импульсных источниках питания	304
6.5.1. МДП-транзисторы в отнотактных схемах импульсных преобразователей	305
6.5.2. МДП-транзисторы в двухтактных схемах импульсных преобразователей	309
6.5.3. МДП-транзисторы в схемах синхронных выпрямителей	313
6.6. Применение мощных ключей в схемах управления электродвигателями переменного тока	316
6.6.1. Основные режимы работы силовых ключей в ШИМ-инверторах для асинхронных электродвигателей	316
6.6.2. Особенности применения IGBT в схемах с индуктивной нагрузкой	322
6.6.3. Переключение полевых тиристоров МСТ в мостовых схемах	326
6.6.4. GTO- и GCT-ключи в силовых инверторах с двигательной нагрузкой	329

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЯ	333
1. Биполярные транзисторы с интегрированной схемой ограничения насыщения	335
2. Мощные низковольтные МДП-транзисторы	336
3. Мощные высоковольтные МДП-транзисторы	338
4. Высокочастотные биполярные транзисторы с изолированным затвором	342
5. Мощные полупроводниковые ключи технологии Trench Gate	355
6. IGBT-модули с улучшенной конструкцией корпуса	357
7. Сверхмощные полупроводниковые ключи новых технологий	359
8. Интегральные оптроны для драйверов дискретных ключей	362
9. Интегральные драйверы транзисторов	365
10. Интегральные драйверы силовых модулей	367
Словарь терминов	370
Список литературы	374
Список фирм—изготовителей полупроводниковых приборов	380