

Кит Сукер



СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

РУКОВОДСТВО
РАЗРАБОТЧИКА

Кит Сукер

Силовая электроника Руководство разработчика

*Перевод с английского
Рабодзея А. Н.*



МОСКВА
Издательский дом «Додэка-XXI»
2007

УДК 621.31
ББК 31.29-5

С89 **Сукер К.** Силовая электроника. Руководство разработчика. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. — 252 с.: ил. (Серия «Силовая электроника»).

ISBN 978-5-94120-173-0

Для специалиста в области электронной техники термин «силовая электроника» ассоциируется в первую очередь с источниками питания, схемами управления различными исполнительными механизмами с мощностью, не превышающей нескольких киловатт. В этой книге рассмотрены особенности оборудования с мощностями, измеряемыми в **МЕГАВАТТАХ!** Эта книга по сути краткая энциклопедия современной силовой электроники.

В первых главах книги приведен интереснейший исторический обзор развития электротехники, описаны основные компоненты электрических систем. Далее рассмотрены некоторые методы расчетов, основы теории управления системами с обратной связью, переходные процессы в электрических цепях. Большое внимание уделено трансформаторам и электрическим машинам — от принципов работы до особенностей конструкций и систем охлаждения. Весьма подробно описаны выпрямители (в том числе многофазные), IGBT, тиристоры и схемы их применения, рассмотрены вопросы параллельного и последовательного включения тиристоров. В отдельных главах рассмотрены особенности импульсных режимов работы трансформаторов и тиристоров, вопросы, связанные с возбуждением гармоник в сетях электропитания и коэффициентом мощности, а также с процессами передачи тепла и охлаждения полупроводниковых приборов. Последняя глава касается применения силовой электроники. В ней описано множество уникальных устройств — от передатчика системы связи с подводными лодками и операционного усилителя с мощностью 600 кВт до разнообразных источников питания электродуговых печей, индукционных нагревателей и генераторов озона. В приложениях представлена разнообразная полезная информация — от нормирования параметров конденсаторов, применяемых для коррекции коэффициента мощности, до свойств водных растворов гликоля.

Эта книга будет полезна инженерам и техникам, разработчикам и конструкторам, работающим в сфере силовой электроники, а также студентам, изучающим различные аспекты силовой электроники.

УДК 621.31
ББК 31.29-5

523.553

Книга «Силовая электроника. Руководство разработчика» Кита Сукера подготовлена и издана по договору с Elsevier Ltd, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, OX5 1GB, England.

© IDC Technologies, 2005
© Издательский дом «Додэка-XXI», 2008
® Серия «Силовая электроника»

ISBN 978-5-94120-173-0
ISBN 0-7506-7927-1

Оглавление

Оглавление	5
Об авторе	9
Благодарности	10
Предисловие	11
Глава 1. Электрическая энергия	13
1.1. Переменный ток «против» постоянного	13
1.2. Главные изобретения	15
1.3. Генерация электроэнергии	16
1.4. Электричество на транспорте	17
1.5. Энергосистемы общего пользования	18
1.6. Распределительные цепи на заводах и фабриках	23
1.7. Аварийное электропитание	24
Глава 2. Компоненты силовых цепей	26
2.1. Коммутационная аппаратура	26
2.2. Ограничители перенапряжения	30
2.3. Провода	32
2.4. Конденсаторы	36
2.5. Резисторы	39
2.6. Предохранители	42
2.7. Напряжения питания	43
2.8. Корпуса	43
2.9. Испытание высоким напряжением и импульсная прочность изоляции	44
2.10. Расстояния между проводами	45
2.11. Металлооксидные варисторы	46
2.12. Защитные реле	47
Глава 3. Методы расчетов в электротехнике	49
3.1. Симметричные компоненты	49
3.2. Приведенные к единице постоянные	51
3.3. Моделирование цепей	52

3.4. Программы для моделирования	54
Глава 4. Схемы управления с обратной связью	56
4.1. Основы	56
4.2. Амплитудно-частотные характеристики	57
4.3. Фазо-частотные характеристики	60
4.4. Пропорциональные, интегрирующие и дифференцирующие звенья регулирования	62
4.5. Вложенные петли управления	63
Глава 5. Переходные процессы	65
5.1. Помехи в линиях электропередачи	65
5.2. Помехи, возникающие внутри оборудования	66
5.3. Электромагнитные помехи	69
Глава 6. Бегущие и стоячие волны	72
6.1. Основы	72
6.2. Явления, связанные с переходными процессами	74
6.3. Способы уменьшения перенапряжения	76
Глава 7. Трансформаторы и реакторы	79
7.1. Основы трансформаторов	80
7.2. Конструкции трансформаторов	84
7.3. Системы изоляции	87
7.4. Основной уровень импульсной прочности изоляции	89
7.5. Вихревые токи	90
7.6. Межфазные трансформаторы	94
7.7. Соединения трансформаторов	95
7.8. Реакторы	98
7.9. Единицы измерений	102
7.10. Охлаждение	102
7.11. Измерительные трансформаторы	103
Глава 8. Электрические машины	106
8.1. Машины постоянного тока	106
8.2. Синхронные машины	108
8.3. Асинхронные двигатели	112
8.4. Классификация асинхронных двигателей	115
8.5. Конструкции корпусов	116
8.6. Линейные двигатели	117
Глава 9. Выпрямители и преобразователи	119
9.1. Выпрямители в «древности»	119
9.2. Ртутные выпрямители	120
9.3. Кремниевые диоды — век полупроводников	121

9.4. Однофазные выпрямительные схемы	122
9.5. Многофазные выпрямительные схемы	124
9.6. Коммутация	126
Глава 10. Фазовое управление	129
10.1. Тиристоры	129
10.2. Прямое падение напряжения	134
10.3. Применение тиристоров в качестве ключей на переменном токе	135
10.4. Тиристорные пускатели электродвигателей	138
10.5. Тиристорные преобразователи	141
10.6. Получение отрицательного выходного напряжения	144
10.7. Схемы управления	146
10.8. Сигналы управления	149
10.9. Автотрансформатор с тиристорным переключателем отводов	149
10.10. Тиристорные схемы управления двигателями постоянного тока	151
10.11. Тиристорные схемы управления двигателями переменного тока	152
10.12. Циклоконвертеры	154
Глава 11. Последовательное и параллельное соединение	157
11.1. Последовательное включение тиристоров	157
11.2. Параллельное включение тиристоров	162
11.3. Форсированная балансировка	164
Глава 12. Импульсные режимы	166
12.1. Защитные приборы	166
12.2. Трансформаторы	167
12.3. Тиристоры	169
Глава 13. Импульсные преобразователи	171
13.1. Широтно-импульсная модуляция	171
13.2. Преобразователи напряжения понижающего типа	175
13.3. Преобразователи напряжения повышающего типа	176
13.4. Преобразователи мостового типа	178
13.5. Работа на высоких частотах	180
13.6. Введение гармоник	181
13.7. Последовательные мосты	182
Глава 14. Коэффициент мощности и гармоники	183
14.1. Коэффициент мощности	183
14.2. Гармоники	186
14.3. Преобразование Фурье	190
14.4. Взаимодействие гармоник с сетями электроснабжения	195
14.5. Коэффициент телефонных помех	200
14.6. Ограничения на гармоники потребляемого тока	201
14.7. Переключение при нулевом напряжении	202

Глава 15. Тепловые процессы	203
15.1. Тепло и теплопередача	203
15.2. Воздушное охлаждение	205
15.3. Водяное охлаждение	206
15.4. Охлаждение полупроводниковых приборов	208
15.5. Монтаж полупроводниковых приборов	213
Глава 16. Применение силовой электроники	215
16.1. Схемы управления электродвигателями	216
16.2. Стекольная промышленность	218
16.3. Литейные заводы	218
16.4. Электрическая дуга и электродуговые печи	219
16.5. Источники питания для электрохимической промышленности	220
16.6. Циклоконвертеры	221
16.7. Связь на сверхнизких частотах	222
16.8. Аккумуляторы энергии на сверхпроводящих магнитах	222
16.9. Операционный усилитель на 600 кВт	223
16.10. Генераторы озона	224
16.11. Полупроводниковая промышленность	224
16.12. Компенсаторы реактивной мощности	225
16.13. Управление индукционным нагревом	226
16.14. Токамаки	227
16.15. Переключатель большого числа отводов автотрансформатора	228
Приложение А. Уравнение для преобразователей	229
Приложение Б. Моменты сил	231
Приложение В. Коммутационные провалы напряжения и коэффициент нелинейных искажений	233
Приложение Г. Нормирование параметров конденсаторов для коррекции коэффициента мощности	235
Приложение Д. Катюшка Роговского	237
Приложение Е. Словарь иностранных слов	239
Приложение Ж. Водные растворы гликоля	240
Приложение З. Подавление гармоник методом сдвига фаз	242
Приложение И. Токи в нулевом проводе при несинусоидальных нагрузках ...	245
Предметный указатель	247