

Шустов М. А.

ОСНОВЫ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

2-е издание,
переработанное и дополненное



Наука и Техника, Санкт-Петербург
2019

УДК 621.3
ББК 31.2

Шустов М. А.

Основы силовой электроники. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Наука и Техника, 2019. – 336 с., илл.

ISBN 978-5-94387-890-9

Книга позволит начинающему радиолюбителю поэтапно с паяльником в руках пройти сквозь тернии к звездам – от постижения азов силовой электроники к горным вершинам профессионального мастерства.

Изложенные в книге сведения разделены на три категории уровней подготовки специалиста в области силовой электроники. После овладения очередным этапом подготовки и ответа на своеобразные экзаменационные вопросы учащийся «переводится» на следующий уровень знаний.

В книге приводятся практические, теоретические и справочные сведения, достаточные для того, чтобы читатель по мере продвижения по страницам книги смог самостоятельно рассчитать, собрать и настроить понравившуюся ему электронную конструкцию. Для повышения профессионального мастерства читателя в книге приведены многочисленные проверенные практикой полезные советы, а также реальные схемы электронных устройств.

Издание может быть полезно читателям разного возраста и уровня подготовки, интересующихся вопросами создания, проектирования, совершенствования и ремонта элементов и узлов силовой электроники.

К книге прилагается виртуальный обновляемый диск, размещенный на сайте издательства. На диске размещена обширная информация по радиоэлектронным компонентам, используемым в силовой электронике (диодах, транзисторах, микросхемах, пассивных компонентах и др.). Приведены каталоги зарубежных производителей элементов РЭА, программы по электротехнике и электронике для Android, другая полезная справочная информация.



ISBN 978-5-94387-890-9

Автор и издательство не несут ответственности за возможный ущерб, причиненный в ходе использования материалов данной книги.

Контактный телефон издательства
(812) 412-70-26

Официальный сайт: www.nit.com.ru

12+

© Шустов М. А.

© Наука и Техника (оригинал-макет), 2019

ООО «Наука и Техника».

Лицензия № 000350 от 23 декабря 1999 года.
198097, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 29.

Подписано в печать Формат 70×100 1/16.

Бумага газетная. Печать офсетная. Объем 21 п. л.

Тираж 1000 экз. Заказ №

Отпечатано с готовых файлов заказчика
в АО «Первая Образцовая типография»
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ»
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
Глава I. Осваиваем основы силовой электроники	8
1.1. Определения и законы электротехники	8
1.2. Основные элементы силовой электроники	12
1.3. Последовательно-параллельное и иное включение элементов радиоэлектроники	14
Последовательно-параллельное включение резисторов	14
Последовательно-параллельное включение конденсаторов	15
Последовательно-параллельное включение катушек индуктивности	15
Последовательно-параллельное включение полупроводниковых диодов ..	16
Составные транзисторы	17
Схемы Дарлингтона и Шиклаи-Нортонa	18
Параллельное включение транзисторов	19
Последовательное включение транзисторов	20
1.4. Переходные процессы в RLC-цепях	20
Переходные процессы в CR- и RC-цепях	20
Переходные процессы в LR- и RL-цепях	25
Переходные процессы в CL- и LC-цепях	27
1.5. Линейные трансформаторные источники питания	28
Типовая блок-схема классического вторичного источника питания	28
Трансформатор	29
1.6. Выпрямители	33
1.7. Сглаживающие фильтры питания	37
Одноэлементный однозвенный C-фильтр	46
Одноэлементный однозвенный L-фильтр	47
Двухэлементный однозвенный Г-образный LC-фильтр	49
Двухэлементный однозвенный Г-образный RC-фильтр	49
Трехэлементный однозвенный П-образный диодный сглаживающий фильтр ..	51
Компенсационный фильтр	52
Многозвенные сглаживающие фильтры	52
Активные фильтры	53
Транзисторный сглаживающий фильтр	53
Фильтр с последовательным транзистором	53
Фильтр с параллельным включением транзистора	55
Сравнительные характеристики фильтров источников питания	56
1.8. Стабилизаторы напряжения	62
Параллельный стабилизатор напряжения на повышенную мощность нагрузки	67
Последовательный стабилизатор напряжения	68
Последовательный компенсационный стабилизатор с применением операционного усилителя	75
Стабилизаторы напряжения на интегральных микросхемах	78
1.9. Преобразователи напряжения	84
Конденсаторные преобразователи напряжения	84
Преобразователи напряжения с самовозбуждением	87
Преобразователи напряжения с внешним возбуждением	89
Импульсные преобразователи напряжения	90
1.10. Вопросы и задачи для самопроверки знаний для перехода на следующую ступень	98

Глава II. Практические конструкции силовой электроники	99
2.1. Выпрямители	99
Однофазные двухканальные и ступенчато-регулируемые выпрямители	99
Схемы трехфазных (многофазных) выпрямителей	101
Однополупериодный многофазный выпрямитель	101
2.2. Умножители напряжения	103
2.3. Сглаживающие фильтры питания	106
2.4. Стабилизаторы постоянного тока	110
Генераторы стабильного тока	110
Токовое зеркало	110
Генераторы стабильного тока на полевых транзисторах	112
Генераторы стабильного тока на полевых и биполярных транзисторах	112
Генераторы стабильного тока с применением операционных усилителей ..	113
ГСТ с использованием специализированных микросхем	113
2.5. Стабилизаторы напряжения	114
Источники опорного напряжения	114
Стабилизаторы напряжения параллельного типа на специализированных микросхемах	115
Импульсный стабилизированный регулятор напряжения	116
Понижающий импульсный регулятор напряжения	117
Лабораторный стабилизированный блок питания	118
Импульсные стабилизаторы напряжения	120
2.6. Преобразователи напряжения	122
Повышающий DC/DC-преобразователь	122
Стабилизированный преобразователь напряжения	124
Преобразователь напряжения 1,5/9 В для питания мультиметра	125
Простой преобразователь напряжения 12/220 В 50 Гц	126
Преобразователь напряжения 12В/230В 50 Гц	127
Типовая схема DC/DC конвертора с гальванической развязкой на TOPSwitch	129
Преобразователь напряжения 5/5 В с гальванической развязкой	130
2.7. Преобразователи напряжения для питания газоразрядных и светодиодных источников света	131
Низковольтное питание ЛДС с регулировкой их яркости	131
Преобразователь напряжения для питания лампы дневного света	132
Преобразователь для питания ЛДС на ТВС-110ЛА	132
Преобразователь питания энергосберегающей лампы	133
Драйверы для питания светодиодных источников света	134
Преобразователи напряжения на микросхемах для питания светодиодных источников света от гальванических пальчиковых или аккумуляторных батарей	136
Преобразователи напряжения на микросхемах для питания светодиодных источников света от сети переменного тока	140
2.8. Диммеры	143
Диммеры для управления интенсивностью свечения ламп накаливания ...	143
Диммеры для управления интенсивностью излучения светодиодных источников света	147
2.9. Аккумуляторы и зарядные устройства	148
Сравнительные характеристики аккумуляторов	148
Универсальные зарядные устройства для заряда NiCd/NiMH-аккумуляторов	151
Контроллер заряда Li-Pol аккумуляторной батареи на микросхеме	152
Зарядное устройство для Li-Pol аккумуляторной батареи	152
Устройство для заряда LiFePO ₄ и Li-Ion аккумуляторов	153

Автоматические зарядные устройства с питанием от солнечной батареи . . .	155
Беспроводные зарядные устройства	157
2.10. Регуляторы и стабилизаторы частоты вращения вала электродвигателей	159
Характеристики электродвигателей	159
Электродвигатели постоянного тока	160
Регуляторы частоты вращения электродвигателей постоянного тока на интегральных микросхемах	160
Авторегулятор оборотов кулера для компьютера	161
Температурозависимый коммутатор вентилятора	162
Стабилизатор частоты вращения вала электродвигателя	163
Регулировка и стабилизация частоты вращения двигателя постоянного тока . . .	163
Регулятор скорости для электродвигателя постоянного тока	164
ШИМ-регуляторы оборотов двигателей постоянного тока	165
Регулятор числа оборотов электродвигателя с реверсированием	167
Электродвигатели переменного тока	168
Подключение трехфазного асинхронного электродвигателя к однофазной сети	169
Трехфазное напряжение из электродвигателя	171
Преобразователь однофазного напряжения в трехфазное	172
Формирователи трехфазного напряжения на основе электронного аналога трансформатора Скотта	175
Широкодиапазонный генератор трехфазного напряжения	178
Частотные преобразователи для питания трехфазных асинхронных электродвигателей	179
Использование широтно-импульсной модуляции для регулирования оборотов электродвигателя	185
Регулятор числа оборотов шагового электродвигателя	186
Устройство защиты электродвигателя от перегрузки	186
2.11. Корректоры коэффициента мощности	186
Треугольник мощностей	186
Методы коррекции коэффициента мощности	192
Пассивная коррекция коэффициента мощности	192
Активная коррекция коэффициента мощности	193
2.12. Стабилизаторы сетевого напряжения	197
Основные характеристики стабилизаторов	197
Феррорезонансные стабилизаторы	198
Электромеханические стабилизаторы	198
Электронные стабилизаторы	199
Инверторные стабилизаторы	199
Источники бесперебойного или резервного питания	200
2.13. Ремонт и налаживание узлов силовой электроники	200
2.14. Вопросы и задачи для самопроверки знаний для перехода на следующую ступень	204
Глава III. Профессиональные технические решения вопросов силовой электроники . .	205
3.1. Методологические основы инженерно-технического творчества в решении практических задач радиоэлектроники	205
3.2. Методы решения творческих задач	207
Решение творческих задач первого уровня сложности. Метод временной или масштабной лупы	207
Решение творческих задач второго уровня сложности. Мозговой штурм (мозговая атака, брейнсторминг)	208
Решение творческих задач третьего уровня сложности. Функционально-стоимостный анализ	210

Задачи по силовой электронике для развития творческого воображения	211
3.3. Патенты и новые идеи в области силовой электроники	212
Новые патенты в области силовой электроники	212
Компенсационный стабилизатор постоянного напряжения	212
Стабилизатор постоянного напряжения	214
Понижающий преобразователь переменного напряжения в постоянное	215
Преобразователь однополярного напряжения в двухполярное	223
Микромощный преобразователь однополярного напряжения в двухполярное	224
Барьерно-резистивные элементы – баристоры и их применение	224
Индукционный нагрев	229
Трансформатор тока для нагрева теплоносителя	231
3.4. Силовая электроника необычных явлений	232
Парадоксальные эксперименты и их интерпретация	232
Техника кирлиановской фотографии	240
Установка для исследования газоразрядных процессов	241
Схемотехника аппаратов для «кирлиановской» фотографии	243
Генератор для получения «кирлиановских» фотографий	251
Аппараты для ультратоновой терапии	253
Электронные ловители радиоактивной пыли – электронный пылесос	258
Ионный двигатель	261
Ионолет	262
Ионофон или поющая дуга	263
Плазменный шар	266
Простой линейный ускоритель – Гаусс-пушка	267
Рельсотрон (railgun)	270
3.5. Особенности использования пассивных элементов в силовой электронике	273
Ряды номиналов резисторов и конденсаторов	273
Резисторы для силовой электроники	273
Конденсаторы для силовой электроники	276
Частотные характеристики конденсаторов различных типов	282
Алюминиевые электролитические конденсаторы	283
Танталовые электролитические конденсаторы	285
Индуктивности для силовой электроники	286
Основные параметры катушек индуктивности	286
Частотные свойства катушек индуктивности	289
3.6. Особенности использования полупроводниковых приборов в силовой электронике	291
Свойства p-р-перехода	291
Биполярные транзисторы	298
MOSFET- и IGBT-транзисторы	299
3.7. Снабберы	300
3.8. Охлаждение элементов силовой электроники	304
Сравнительные характеристики систем охлаждения	304
Воздушное охлаждение	305
Жидкостное охлаждение	312
Термоохладители с использованием эффекта Пельтье	312
Пьезоэлектрические модули активного охлаждения	314
3.9. Вопросы и задачи для самопроверки знаний	317
Приложение 1. Способы намотки тороидальных трансформаторов	318
Приложение 2. Техника безопасности при изготовлении, наладке и эксплуатации устройств силовой электроники	323
Список литературы и Интернет-ресурсов	327