

Штерн М. И.

СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

РАСЧЕТЫ И СХЕМОТЕХНИКА

2-е издание,
переработанное и дополненное



Наука и Техника, Санкт-Петербург
2019

УДК 621.3

ББК 31.2

Штерн М. И.

СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА. Расчеты и схемотехника. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Наука и Техника, 2019. — 400 с.: ил.

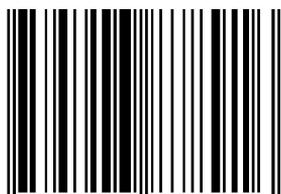
ISBN 978-5-94387-891-6

Силовая электроника прочно вошла в нашу повседневную жизнь. Эта книга позволит детально с этим разделом электроники познакомиться. Начинается знакомство с расчетов, основы любого конструирования. А далее рассматривается практическая схемотехника устройств силовой электроники (источников питания, стабилизаторов, преобразователей напряжения, регуляторов напряжения).

Каждой группе устройств посвящены отдельные главы. Представленные схемные решения не повторяют друг друга, интересны, содержат определенные элементы оригинальности. Рассмотренные в книге схемы устройств силовой электроники построены на недорогих компонентах, ко многим из них указаны доступные аналоги. Для удобства восприятия информации описание устройств силовой электроники идет по единой схеме. Будут полезны ссылки на первоисточники лучших конструкций.

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей, позволяет освоить основы силовой электроники, выбрать для самостоятельного изготовления и рассчитать подходящую схему источника питания, стабилизатора, преобразователя напряжения практически для любых устройств.

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



9 785943 878916

ISBN 978-5-94387-891-6

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+

© Штерн М. И.

© 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 25 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

Глава 1. Силовая электроника: расчеты от А до Я	9
1.1. Расчет простых элементов электрической защиты	9
Расчет необходимого предела срабатывания защиты цепи	9
Условия выбора предохранителя в трехфазных цепях (нагрузки)	10
Табличный способ определения необходимого диаметра проволоки для защиты цепи	10
Расчет диаметра медной проволоки для защиты цепи	11
Определение диаметра проволоки без использования микрометра	12
1.2. Определение емкости гасящих конденсаторов и расчеты стабилизирующих транзисторных каскадов источников питания	13
Расчет емкости конденсатора при последовательном включении с нагрузкой	13
Расчет емкости балансного конденсатора в бестрансформаторном источнике питания	15
Расчет гасящего конденсатора, применяемого вместо резистора	17
Расчет стабилизирующего транзисторного каскада	21
1.3. Расчеты катушек индуктивности	23
Магнитные материалы и их свойства	23
Типоразмеры сердечников и их характеристики	26
Расчет индуктивности с использованием табличных данных	28
Расчет индуктивности без использования табличных данных	29
1.4. Расчеты трансформаторов	32
Габаритная мощность магнитопровода	32
Принудительное перемагничивание магнитопровода	33
Увеличение индуктивности рассеяния	35
1.5. Расчеты дросселей	35
1.6. Расчеты силовых трансформаторов	37
Принцип действия трансформатора	37
Конструкция силового трансформатора	39
Расчет силового трансформатора	40
1.7. Расчет понижающего сетевого трансформатора источника питания	42
Этапы расчета трансформатора	42
Выбор магнитопровода	43
Размеры магнитопроводов	44
Варианты размещения катушек на магнитопроводе	46
Материалы магнитопроводов	49
Исходные данные для расчета трансформатора	51
Расчет магнитопровода трансформатора	52
Расчет обмоток трансформатора	53
Расчет мощности потерь	57
Изготовление трансформатора	58
Проверка трансформатора	59
1.8. Расчет автотрансформатора	59
1.9. Расчет силовых трансформаторов и автотрансформаторов	61
1.10. Расчет трансформаторов импульсных источников питания	66
Принцип действия импульсных источников питания	66
Исходные данными для расчета	74
Порядок расчета	75
1.11. Компьютерный расчет трансформатора	80
Факторы, влияющие на расчет трансформатора	80
Бесплатная программа расчета трансформатора Transformer 2.0.0.0	80

1.12. Расчет схем выпрямителей	81
1.13. Упрощенный расчет выпрямителя	85
1.14. Расчет фильтров высоких и низких частот	89
Назначение фильтров	89
Характеристики частотных фильтров	89
Расчет фильтров в Microsoft Excel	90
Разновидности фильтров	90
Расчет RC Г-образных фильтров	90
Расчет RL Г-образных фильтров	92
Расчет LC Г-образных фильтров	94
Расчет Т-образных фильтров	95
Расчет П-образных фильтров	96
Расчет полосовых резонансных фильтров	98
1.15. Расчет стабилизаторов напряжения	99
Схема стабилизатора напряжения: принцип действия	99
Порядок расчета стабилизатора напряжения	102
Подбор транзистора для стабилизатора	105
Пример расчета стабилизатора напряжения	105
1.16. Компенсационный стабилизатор напряжения и его расчет	107
Причины нестабильности питания и меры борьбы с ними	107
Расчет компенсационного стабилизатора последовательного типа	107
1.17. Расчет стабилизированного источника питания	111
Принципиальная схема и ее работа	111
Расчет стабилизатора напряжения	113
Полезные дополнения к разделу	116
1.18. Расчет радиатора для стабилизаторов напряжения	117
Методика выбора радиатора	117
Пример расчета радиатора для ИМС LM7805 (KP142EH5B)	118
Определение площади ребристого радиатора	119
1.19. Характеристики электродвигателей и простейшие расчеты	120
Постоянная момента электродвигателя	120
Вращающий момент электродвигателя	120
Начальный пусковой момент – момент электродвигателя при пуске	120
Постоянная ЭДС	121
Постоянная электродвигателя	121
Жесткость механической характеристики двигателя	122
Частота вращения	122
Механическая характеристика	122
Момент инерции ротора	122
Механическая постоянная времени	123
Электрическая постоянная времени	123
Напряжение электродвигателя	123
Мощность электродвигателя постоянного тока	124
Баланс мощностей для электродвигателей постоянного тока	124
Потери в электродвигателе	125
Коэффициент полезного действия электродвигателя	125
1.20. Указатель журнальных статей по расчетам элементов силовой электроники	126
Глава 2. Схемотехника стабилизированных трансформаторных источников питания	131
2.1. Принцип действия трансформаторных источников питания	131
2.2. Лучшие конструкции трансформаторных источников питания	136
Стабилизированный источник питания +3,4...6 В /3...5 В 100 мА (DC-DC Step-Down +3,4...6 /3...5 V)	136
Стабилизированный источник питания с регулирующим транзистором в минусовом проводнике +3,4...6 В /3...5 В 100 мА (DC-DC Step-Down+3,4...6 /3...5 V)	138

Стабилизированный источник питания ~220 В /3; 4; 5; 6; 7,5; 9; 12 В 250 мА (AC-DC Step-Down ~220/3; 4; 5; 6; 7,5; 9; 12 V)	139
Стабилизированный источник питания на ИМС 142ЕН1Г +9 В /5 В 500 мА (DC-DC Step-Down +9/5 V)	141
Стабилизированный источник питания 14...20 В /12 В 500 мА (DC-DC Step-Down ~220/12 V)	142
Стабилизированный источник питания ~220 В /0...12 В 500 мА (AC-DC Step-Down ~220/0...12 V)	144
Стабилизированный источник питания +7...30 В /5 В 500 мА (DC-DC Step-Down +7...30/5 V)	148
Стабилизированный источник питания с плавной инверсией выходного напряжения +12...15 В /±5 В 500 мА (DC-DC Step-Down +12...15/±5 V)	148
Стабилизированный источник питания +9...25 В /5 В 700 мА (DC-DC Step-Down +9...25/5 V)	150
Стабилизированный источник питания +6...8 В /5 В 1000 мА (DC-DC Step-Down +6...8/5 V)	151
Стабилизированный источник питания +16...20 В /12 В 1000 мА (DC-DC Step-Down +16...20/12 V)	152
Стабилизированный источник питания ~220 В /+9...25 В 1000 мА (AC-DC Step-Down ~220/+9...25 V)	154
Стабилизированный источник питания ~220 В /+ 5; 9; 12 В 1000 мА (AC-DC Step-Down ~220/+ 5; 9; 12 V)	157
Стабилизированный источник питания с плавной регуляцией ~220 В /±12 В 1000 мА (AC-DC Step-Down ~220/±12 V)	158
Стабилизированный источник питания ~220 В /4...12 В 1500 мА (AC-DC Step-Down ~220/4...12 V)	160
Стабилизированный источник питания ~220 В /11,5...14 В 4000 мА (AC-DC Step-Down ~220/11,5...14 V)	163
Стабилизированный источник питания +60 В /5...30 В 5000 мА (DC-DC Step-Down +60/5...30 V)	164
Стабилизированный источник питания +60 В /3...50 В 5000 мА (AC-DC Step-Down +60/3...50 V)	165
Мощный источник питания 12 В и током нагрузки до 6000 мА	168
Стабилизатор напряжения 20 В и током нагрузки до 7000 мА	169
Стабилизированный источник питания +24 В /14 В 10 000 мА (DC-DC Step-Down +24/14 V)	170
Стабилизированный источник питания ~220 В /14 В 20 000 мА (AC-DC Step-Down ~220/14 V)	171
Стабилизированный источник питания ~220 В /12 В 20 000 мА (AC-DC Step-Down ~220/12 V)	173
Стабилизированный источник питания ~220 В /0...15 В 20 000 мА (AC-DC Step-Down ~220/0...15 V)	174
Стабилизированный источник питания на ИМС КР142ЕН19 ~220 В /13 В 20 000 мА (AC-DC Step-Down ~220/13 V)	175
Стабилизированный источник питания на дискретных элементах ~220 В /13,5 В 20 000 мА (AC-DC Step-Down ~220/13,5 V)	177
Стабилизированный источник питания ~220 В /14 В 200 000 мА (AC-DC Step-Down ~220/14 V)	178
Глава 3. Схемотехника бестрансформаторных источников питания и преобразователей напряжения	184
3.1. Принцип действия бестрансформаторных источников питания	184
3.2. Лучшие конструкции бестрансформаторных источников питания	184
Стабилизированный источник питания ~220 В /3 В 500 мА (AC-DC Step-Down ~220/3 V)	184
Конденсаторно-стабилитронный выпрямитель ~220 В /3...5 В (AC-DC Step-Down ~220/3...5 V)	186

Бестрансформаторный источник питания ~220 В /5 В 300 мА (AC-DC Step-Down ~220/5 V)	187
Бестрансформаторный источник бесперебойного питания ~220 В /1,4 В 1 мА (AC-DC Step-Down ~220/1,4 V)	188
Бестрансформаторный стабилизированный источник питания ~220 В /7...8,5 В (AC-DC Step-Down ~220/7...8,5 V)	189
Бестрансформаторное зарядное устройство ~220 В /14 В 7 000 мА (AC-DC Step-Down ~220/14 V)	190
Бестрансформаторный регулируемый стабилизированный источник питания ~220 В /16...26 В 100 мА (AC-DC Step-Down ~220/16...26 V)	195
Бестрансформаторные мощные источники питания с ШИМ стабилизатором ~220 В /11,6 В (AC-DC Step-Down ~220/11,6 V)	197
Бестрансформаторные источники питания с симметричным диностором ~220 В /9 В 60 мА (AC-DC Step-Down ~220/9 V)	199
Бестрансформаторный высоковольтный преобразователь ~220 В /1500 В 60 мА (AC-DC Step-Up ~220/1500 V)	201
Глава 4. Схемотехника импульсных источников питания	202
4.1. Принцип действия импульсных источников питания	202
Достоинства и недостатки	202
Структурные схемы импульсных источников питания	204
4.2. Лучшие конструкции импульсных источников питания	207
Импульсный источник питания ~220 В /5 В 6 000 мА (AC-DC Step-Down ~220/5 V) ...	207
Импульсный источник питания ~220 В /5 В 100 мА (AC-DC Step-Down ~220/5 V) ...	213
Импульсный источник питания ~220 В /9 В 3 000 мА (AC-DC Step-Down ~220/9 V) ...	216
Импульсный источник питания ~220 В /5 В 4 000 мА (AC-DC Step-Down ~220/5 V) ...	218
Импульсный источник питания ~220 В /12, ±50 В 800 Вт (AC-DC Step-Down ~220/12, ±50 V)	221
Импульсный источник питания ~220 В /15 В регулируемое (AC-DC Step-Down ~220/15 V var)	226
Импульсный источник питания ~220 В /±25, =20, =10 В (AC-DC Step-Down ~220/±25, =20, =10 V)	230
Импульсный источник питания ~220 В /±25 В 280 Вт (AC-DC Step-Down ~220/±25 V) ...	232
Импульсный источник питания ~220 В /±30 В 200 Вт (AC-DC Step-Down ~220/±30 V) ...	234
Импульсный источник питания ~220 В /±60 В (AC-DC Step-Down ~220/±60 V) ...	236
Импульсные источник и питания ~220 В /18 В (=5 В) (AC-DC Step-Down ~220/18 V (=5 V))	239
Глава 5. Схемотехника преобразователей постоянного напряжения в постоянное	245
5.1. Принцип действия преобразователей постоянного напряжения в постоянное	245
5.2. Лучшие конструкции преобразователей постоянного напряжения в постоянное	248
Преобразователь напряжения 2 В в 5 В (DC-DC Step-Up 2/5 V)	248
Преобразователь напряжения 9 В в 400 В (DC-DC Step-Up 9/400 V)	249
Преобразователь напряжения 3–12 В в 9 В (DC-DC Step-Up/Down 3–12/9 V) ...	249
Преобразователь напряжения 5–15 В в 10–30 В (DC-DC Step-Up 5–15 /10–30 V)	251
Преобразователь напряжения 6–9 В в 20 В (DC-DC Step-Up 6–9/20 V)	252
Преобразователь напряжения с 9 В до 16 В (DC-DC Step-Up 9/16 V)	253
Преобразователь напряжения с 12 В до 30 В (DC-DC Step-Up 12/30 V)	254
Преобразователь напряжения 4,5–9 В в 18–27 В (DC-DC Step-Up 4,5–9 /18–27 V) ..	255
Преобразователь напряжения 12 В в ±12 В (DC-DC Step-Inverter 12 В /±12 V) ...	260
Преобразователь напряжения 1,5 В в 9 В (DC-DC Step-Up 1,5/9 V)	261
Преобразователь напряжения 5 В в ±8,5 В (DC-DC Step-Up/Inverter 5/±8,5 V) ...	263
Преобразователь напряжения 3,6 В в 10,8 В (DC-DC Step-Up 3,6/10,8 V)	264
Преобразователь напряжения 12 В в 15–50 В (DC-DC Step-Up 12/15–50 V)	266

Преобразователь напряжения 12 В в ± 30 В (DC-DC Step-Up/Inverter 12/ $\pm(25-30)$ V)...	269
Преобразователь напряжения 12 В в 350 В (DC-DC Step-Up 12/350 V)	269
Преобразователь напряжения 12 В в 15–27 В (DC-DC Step-Up 12/15–27 V)	271
Глава 6. Схемотехника преобразователей постоянного напряжения в переменное	273
6.1. Принцип действия преобразователей постоянного напряжения в переменное (DC-AC конвертеров)	273
6.2. Лучшие конструкции преобразователей постоянного напряжения в переменное	274
Преобразователь напряжения =12 В в ~ 220 В 50 Гц (DC-AC Step-Up =12/ ~ 220 V 50 Hz) ...	274
Преобразователь напряжения =12 В в ~ 220 В 50 Гц (DC-AC Step-Up =12/ ~ 220 V 50 Hz) ...	276
Преобразователь напряжения =12 В в ~ 220 В 50 Гц (DC-AC Step-Up =12/ ~ 220 V 50 Hz) ...	278
Преобразователь напряжения =12 В в ~ 220 В 50 Гц (DC-AC Step-Up =12/ ~ 220 V 50 Hz) ...	279
Преобразователь напряжения =12 В в ~ 220 В 50 Гц (DC-AC Step-Up =12/ ~ 220 V 50 Hz) ...	280
Преобразователь напряжения =12 В в $\sim 220-500$ В 50–400 Гц (DC-AC Step-Up =12/ $\sim 220-500$ V 50–400 Hz)	281
Преобразователь напряжения =12 В в ~ 220 В 50 Гц (DC-AC Step-Up =12/ ~ 220 V 50 Hz) ...	282
Преобразователь напряжения =12 В в ~ 220 В 80 Гц (DC-AC Step-Up =12/ ~ 220 V 80 Hz) ...	285
Преобразователь напряжения =12 В в ~ 220 В 50 Гц (DC-AC Step-Up =12/ ~ 220 V 50 Hz) ...	288
Преобразователь напряжения =12 В в ~ 220 В 50 Гц (DC-AC Step-Up =12/ ~ 220 V 50 Hz) ...	289
Преобразователь напряжения =13,6 В в $\sim 36, \sim 127, \sim 220$ В (DC-AC Step-Up =12/ $\sim 36, \sim 127, \sim 220$ V)	290
Глава 7. Схемотехника преобразователей переменного напряжения в импульсное	293
7.1. Принцип действия преобразователей переменного напряжения в импульсное	293
7.2. Лучшие схемы преобразователей переменного напряжения в импульсное	297
Источник питания для ионизатора	297
Мощный преобразователь напряжения 12 В – 350 В с генератором импульсов ..	298
Глава 8. Схемотехника стабилизаторов напряжения	301
8.1. Особенности схем, построенных на интегральных стабилизаторах напряжения	301
8.2. Лучшие конструкции на интегральных стабилизаторах напряжения	302
Стабилизатор напряжения на ИМС КР142, защищенный от повреждения разрядным током конденсаторов	302
Стабилизатор напряжения на ИМС КР142 со ступенчатым включением	303
Стабилизатор напряжения на ИМС КР142 с выходным напряжением повышенной стабильности	304
Стабилизатор напряжения на ИМС КР142 с регулируемым выходным напряжением от 0 до 10 В	304
Стабилизаторы напряжения на ИМС КР142 с внешними регулирующими транзисторами	305
Стабилизатор напряжения на ИМС КР142 с высоким коэффициентом стабилизации ..	308
Двуполярный стабилизатор напряжения на основе однополярной микросхемы ..	308
Стабилизатор напряжения на ИМС КР142 с регулируемым выходным напряжением ..	309
Импульсный стабилизатор напряжения на ИМС КР142	310
Стабилизатор тока на ИМС КР142 для зарядки аккумуляторной батареи напряжением 12 В	311
Стабилизатор тока на ИМС КР142 для зарядки аккумуляторной батареи напряжением 6 В	311
8.3. Принцип действия импульсных стабилизаторов напряжения	312
8.4. Лучшие конструкции стабилизаторов напряжения на различной элементной базе ...	312
Релейный стабилизатор напряжения	312
Ключевой стабилизатор напряжения 5 В 2 А	316
Широтно-импульсный стабилизатор 5 В 3 А	316
Импульсный понижающий стабилизатор 5 В 5 А, 10 В 2 А	321
Импульсный стабилизатор 12 В 4,5 А	321

Глава 9. Схемотехника трансформаторных источников сварочного тока	327
9.1. Принцип действия трансформаторных источников сварочного тока	327
9.2. Лучшие конструкции трансформаторных источников сварочного тока	331
Сварочный трансформатор со ступенчатой регулировкой тока	331
Сварочный источник с резонансным конденсатором	336
Сварочный источник переменного тока с плавной регулировкой	338
Сварочный источник постоянного тока с электронной регулировкой	342
Глава 10. Схемотехника инверторных источников сварочного тока	348
10.1. Принцип действия инверторных сварочных источников	348
10.2. Лучшие конструкции инверторных источников сварочного тока	349
Однотактный прямоходовый преобразователь	349
Двухтактный мостовой преобразователь	353
Простой самодельный инверторный сварочный источник	355
Сварочный инвертор на одном транзисторе	371
Сварочный источник Большакова	383
Список литературы и Интернет-ресурсов	394
Описание виртуального диска «Силовая электроника»	399