

Санджай
Маниктала

ИМПУЛЬСНЫЕ

ИСТОЧНИКИ
ПИТАНИЯ

ОТ **A** ДО **Z**



WWW.MK-PRESS.COM

Санджай Маниктала

**Импульсные источники
питания
от А до Z**

Перевод с английского: Ю. Ф. Авраменко

Киев «МК-Пресс»
СПб «КОРОНА-ВЕК»
2008

ББК 31.264–5
М 98
УДК 621.314

Маниктала С.

М 98 Импульсные источники питания от А до Z: Пер. с англ. — К.: «МК-Пресс»,
СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2008. — 256с., ил.

ISBN 978-5-9033-8359-7 («КОРОНА-ВЕК»)

ISBN 978-966-8806-47-6 («МК-Пресс»)

ISBN 978-0-7506-7970-1 (англ.)

Сегодня проектирование импульсных источников питания является ключевым направлением силовой электроники. Автор книги, имеет многолетний опыт проектирования подобных устройств, в таких известных компаниях как Siemens, National Semiconductor, Freescale Semiconductor. На страницах книги, наглядно, в доступной для новичка форме им рассмотрены все вопросы, связанные с разработкой современных импульсных источников питания.

ББК 31.264–5

Главный редактор: Ю. А. Шпак

Компьютерная верстка: И. В. Авраменко

Подписано в печать 20.08.2008. Формат 70 × 100 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,8. Уч.-изд. л. 17,6.
Тираж 2000 экз. Заказ № 928

СПД Савченко Л.А., Украина, г.Киев, тел./ф.: (044) 517-73-77; e-mail: info@mk-press.com.
Свидетельство о внесении субъекта издательского дела в Государственный реестр издателей,
производителей и распространителей издательской продукции: серия ДК №51582 от 28.11.2003г.

**Отпечатано с готовых диапозитивов в типографии ЧП Мошака В.Я.
(свидетельство ДК № 867 от 22.03.2002 г.).**

**32300, Хмельницкая обл., г. Каменец-Подольский,
ул. П'ятницкая, 9а,
Тел. (03849) 2-72-01, 2-20-79**

Авторизованный перевод с английского книги Elsevier Inc., изданной под торговой маркой Newnes, Copyright © 2006. Все права защищены. Никакая часть настоящего издания ни в каких целях не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотоконирование и запись на любой носитель данных, если на это нет письменного разрешения издательства Elsevier Inc. Издано на русском языке издательством «МК-Пресс», Copyright © 2008

Authorized translation from the English language edition published by Elsevier Inc., publishing as Newnes, Copyright © 2006. All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Elsevier Inc. Russian language edition published by publishing imprint MK-Press, Copyright © 2008

ISBN 978-5-9033-8359-7 («КОРОНА-ВЕК»)
ISBN 978-966-8806-47-6 («МК-Пресс»)
ISBN 978-0-7506-7970-1 (англ.)

© «МК-Пресс», 2008
© Elsevier Inc., 2006

Содержание

1. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	10
Введение	10
Краткий обзор и основная терминология	13
Линейные стабилизаторы напряжения	13
Достижение высокого КПД в импульсных источниках	15
Основные типы полупроводниковых ключей	16
Полупроводниковые силовые ключи далеки от идеала	17
Реактивные компоненты помогают достичь высокой эффективности импульсных источников питания	18
Первые импульсные источники с использованием выходной RC-цепи	19
Импульсные источники с выходной LC-цепью	19
Влияние паразитных элементов	20
Выбор частоты переключения	21
Тепловой режим, надежность и долговечность	23
Ограничение максимально допустимых значений параметров	24
Передовые технологии	25
Понятие индуктивности. Конденсатор/катушка индуктивности и напряжение/ток	25
Катушка индуктивности и конденсатор. Цепь заряда	26
Закон сохранения энергии	27
Фаза заряда. Возникновение ЭДС индукции	28
Постоянная времени	29
Цепь с катушкой без последовательного резистора	30
Принцип дуальности	31
«Уравнение конденсатора»	32
Фаза размыкания ключа в цепи с катушкой индуктивности	33
Энергия обратного хода и свободный ток	34
Кривая, описывающая ток всегда монотонна	35
Феномен смены полярности	36
Выход импульсного источника на установившийся режим.	
Режимы импульсного источника питания	37
Вольт-секунда. Коэффициент заполнения	41
Применение полупроводникового ключа и его защита	42
Развитие топологии импульсных источников питания.	
Подавление выброса напряжения с помощью шунтирующего диода	44
Достижение установившегося режима.	
Получение полезной энергии	46
Понижающе-повышающие импульсные преобразователи	47
Общий провод или понятие «земли»	49
Возможные конфигурации преобразователей топологии buck-boost	49
Коммутационный узел	50
Анализ работы преобразователей Buck-boost	51
Характерные особенности топологии Buck-boost	52
Три базовые топологии импульсных преобразователей	53
Повышающие импульсные преобразователи. Топология Boost	54
Понижающие импульсные преобразователи. Топология Buck	57
Проектирование современных преобразователей	59

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ПОСТОЯННОЕ (ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ DC-DC) И МАГНЕТИЗМ	60
Уровень постоянной составляющей и изменяющаяся форма тока через катушку	62
Определяем составляющие тока через катушку индуктивности	65
Переменная, постоянная составляющие и пиковый ток.....	67
Определим «худший случай» входного напряжения.....	68
Коэффициент пульсаций	71
Связь между коэффициентом пульсаций и индуктивностью	72
Оптимальная величина коэффициента пульсаций	73
Что мы подразумеваем под словом индуктивность?.....	75
Как величина индуктивности и размер катушки зависят от частоты.....	76
Как индуктивность и размер катушки зависят от тока нагрузки	77
Как производитель устанавливает токовые параметры стандартных катушек?	77
Как выбрать катушку?	77
Согласование значения тока через катушку с конкретным применением	78
Ограничение тока. Разброс и допуски	81
Пример разработки (1)	84
Оценка порога ограничение тока, с точки зрения, установки значения коэффициента пульсаций	85
Непрерывный режим работы и коэффициент пульсаций	87
Значение коэффициента пульсаций при использовании конденсаторов с низким значением ESR	89
Задавая коэффициент пульсаций, избегайте «странностей» в поведении схемы.....	90
Задавая значением коэффициента пульсаций, избегайте субгармонических автоколебаний	91
Быстрый способ выбора катушки индуктивности.....	95
Примеры разработки (2...4)	96
Значение коэффициента пульсаций в форсированном непрерывном режиме FCCM.....	97
Магнетизм. Основные определения	98
Пример разработки 5. Стоит ли увеличивать количество витков?	101
Пульсации электрического поля	101
Зависимое уравнение для напряжения применительно к «вольт-секунде» (в единицах измерения MKC).....	102
Система единиц СГС	102
Зависимое уравнение для напряжения применительно к «вольт-секунде» (в единицах измерения СГС).....	103
Потери в сердечнике	103
Пример разработки 6. Характеристики стандартных катушек индуктивности.....	104
Предварительная оценка требований.....	105
Коэффициент пульсаций	107
Величина пикового тока.....	107
Магнитная индукция или плотность магнитного потока	108
Потери в меди.....	109
Потери в сердечнике	110
Рост температуры.....	111
Расчет нескольких новых вариантов «худшего случая»	111
Потери в сердечнике. Худший случай	111
Мощность, рассеиваемая на диоде. Худший случай.....	113
Методика выбора диода	113
Мощность, рассеиваемая на силовом ключе. Худший случай.....	114
Выбор силового ключа. Общие положения	116

Содержание

Мощность, рассеиваемая на выходном конденсаторе. Худший случай	116
Выбор выходного конденсатора . Общие положения	117
Мощность, рассеиваемая на входном конденсаторе. Худший случай	117
Выбор выходного конденсатора. Общие положения	118
3. ТОПОЛОГИЯ OFF-LINE И МАГНЕТИЗМ	120
Обратноходовой преобразователь с точки зрения магнетизма	121
Трансформатор в обратноходовых преобразователях и коэффициент заполнения	123
Эквивалентная модель в виде понижающе-повышающего преобразователя	125
Коэффициент пульсаций в обратноходовых схемах	127
Индуктивностью рассеяния	128
Мощность, рассеиваемая стабилитроном демпфирующей цепочки	128
Индуктивностью рассеяния вторичной обмотки	129
Измерение величины индуктивности рассеяния первичной обмотки	129
Примеры разработки 7. Расчет трансформатора	130
Максимальная величина коэффициента заполнения (теоретическая)	131
Токи первичной и вторичной цепей	132
Коэффициент заполнения	132
Средняя точка для первичной и вторичной цепей	133
Пиковый ток через силовой ключ	133
«Вольтсекунда»	133
Индуктивность первичной цепи	133
Выбор сердечника	133
Количество витков	134
Плотность потока или магнитная индукция	135
Воздушный зазор	135
Выбор сечения провода	136
Прямоходовой преобразователь и магнетизм	140
Коэффициент заполнения	140
4. ТОПОЛОГИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.	
ОТВЕТЫ НА ЧАСТО ЗАДАВАЕМЫЕ ВОПРОСЫ	142
Вопросы и ответы	142
5. ПРОВОДИМОСТЬ И ПОТЕРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ	155
Режим переключения и резистивная нагрузка	155
Режим переключения и индуктивная нагрузка	159
Потери переключения и потери проводимости	162
Упрощенная модель полевого транзистора с изолированным затвором.	
Потери в индуктивности при переключении	163
Влияние паразитных емкостей	165
Пороговое напряжение	166
Процесс включения	166
Процесс выключения	170
Заряд затвора	173
Рабочий пример	175
Процесс включения	176
Процесс выключения	176
Величина потерь переключения, для различных топологий импульсных источников питания	177

Худший случай входного напряжения с точки зрения максимальных потерь переключения	178
Зависимость потерь переключения от величин паразитных емкостей	179
6. ТОПОЛОГИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	181
Вступление	181
Печатные проводники	181
Несколько важных моментов для проектировщика печатных плат	181
7. АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЕТЛИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ И УСТОЙЧИВОСТЬ	187
Передаточная функция. Постоянная времени	187
Основание натурального логарифма и логарифмическая шкала	188
Временная область и частотная область	190
Комплексное представление	191
Непериодические сигналы	193
S-плоскость	193
Преобразование Лапласа	194
Нарушение режима работы. Правила для петли обратной связи	196
Передаточная функция RC фильтра	198
Интегратор	200
Математика в логарифмической плоскости	202
Передаточная функция LC-фильтра	203
Передаточная функция пассивных фильтров. Обобщение	205
Полюса и нули	206
Взаимовлияние полюсов и нулей	207
Замкнутая и разомкнутая петли обратной связи	208
Делитель напряжения	211
Широтно-импульсный модулятор. Передаточная функция (усиление)	211
Непосредственная связь	213
Передаточная функция силового каскада	214
Передаточная функция модулятора для любой топологии преобразователей	214
Топология Buck	214
Передаточная функция цепи линия-выход	215
Топология Boost	216
Передаточная функция цепи линия-выход	217
Топология Buck-Boost	217
Передаточная функция цепи линия-выход	218
Передаточная функция петли обратной связи	218
Замкнутая петля обратной связи	220
8. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ	221
Требования	221
Максвелл и электромагнитное излучение	223
Чувствительность к воздействию. Помехоустойчивость	227
EMI и отдельные подсистемы	228
9. ИЗМЕРЕНИЕ И ОГРАНИЧЕНИЕ КОНДУКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	229
Дифференциальный шум и синфазный шум	229
Измерение кондуктивного излучения	231

Содержание

10. ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИХ ФИЛЬТРОВ.....	223
Проблемы безопасности фильтров подавления паразитного электромагнитного излучения.....	233
Практические схемы линейных фильтров	234
11. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ И СИНФАЗНЫЙ ШУМЫ В ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ.....	238
Основной источник дифференциального шума	238
Основной источник синфазного шума	239
12. ФИКСАЦИЯ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ	243
EMI и правило для трансформаторов.....	243
Электромагнитное излучение диодов.....	246
13. ВХОДНОЙ КОНДЕНСАТОР И КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ.....	248
Может ли насыщаться DM-дрессель?.....	248
Типовые помехоподавляющие фильтры для модульных источников питания.....	251

Содержание компакт-диска

- Топология понижающих преобразователей
- Топология обратноходовых преобразователей. Оценка эффективности
- Расчет потерь при переключении
- Интегральные схемы TopSwitch производства Power Integration
- Математическая часть
- Эквивалентные схемы для расчетов
- Набор идей для проектирования
- Топология Виск. Математические выражения и графический расчет
- Топологии импульсных преобразователей
- Основные принципы построения импульсных источников
- Примеры возможных замен электронных компонентов