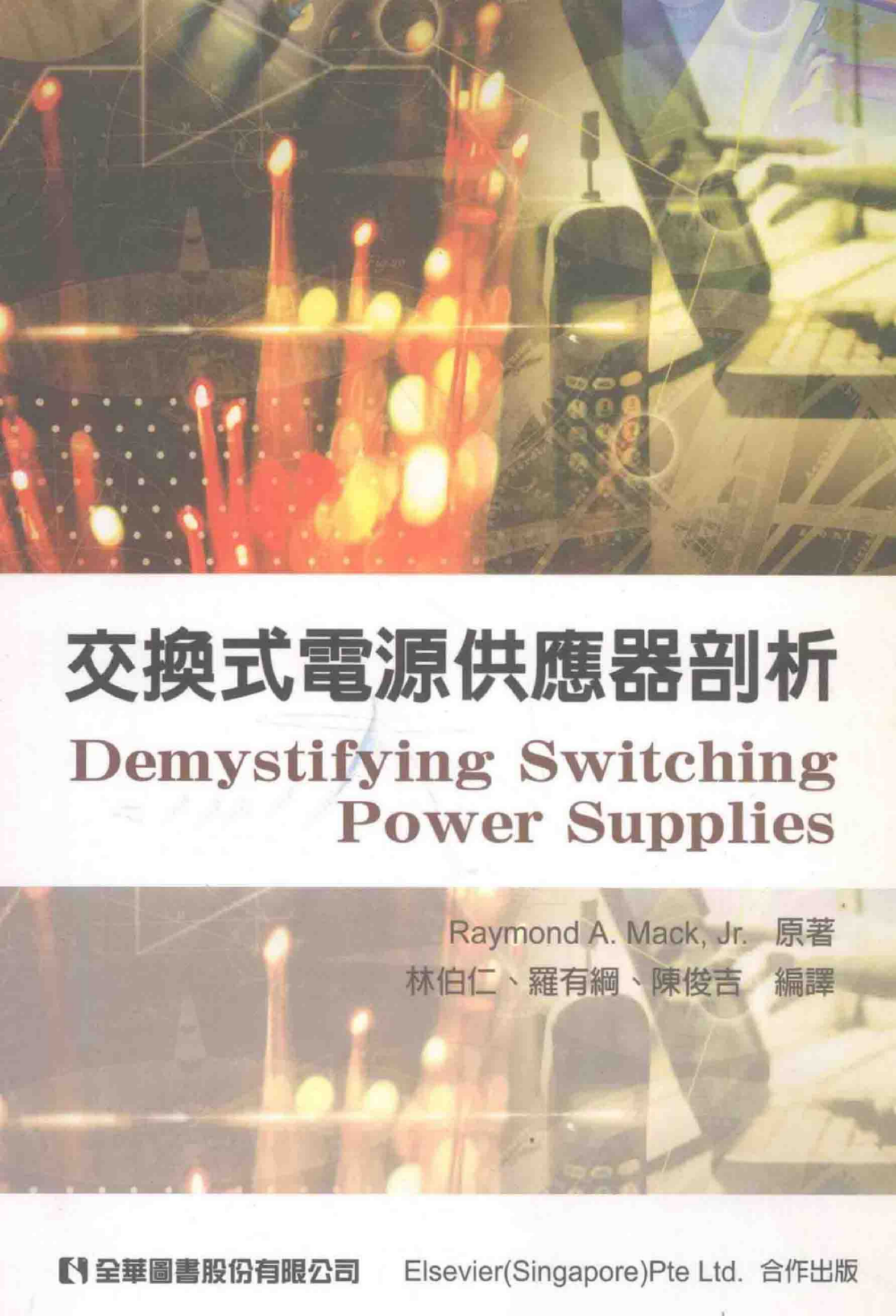
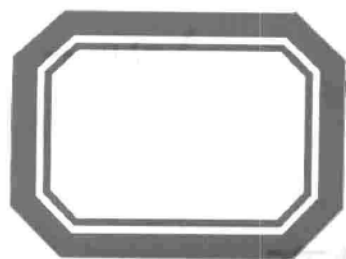




交換式電源供應器剖析

Demystifying Switching Power Supplies

Raymond A. Mack, Jr. 原著
林伯仁、羅有綱、陳俊吉 編譯



變換式電源供應器剖析

Demystifying Switching Power Supplies

Raymond A. Mack, Jr.

原著

林伯仁、羅有綱、陳俊吉

編譯

交換式電源供應器剖析 / Raymond A. Mack, Jr. 原著
；林伯仁，羅有綱，陳俊吉編譯. -- 初版. -- 臺北縣土城市：全華圖書，2008.04

面：公分

譯自：Demystifying switching power
supplies

ISBN 978-957-21-6312-2(平裝)

1. 電路 2. 設計 3. 電源穩定器

448.3

97005866

交換式電源供應器剖析

Demystifying Switching Power Supplies

原出版社 Elsevier Inc.

原 著 Raymond A. Mack, Jr.

編 譯 林伯仁、羅有綱、陳俊吉

執行編輯 林玟妤

發行人 陳本源

出版者 全華圖書股份有限公司

地 址 236 台北縣土城市忠義路 21 號

電 話 (02) 2262-5666 (總機)

傳 真 (02) 2262-8333

郵政帳號 0100836-1 號

圖書編號 06036

初版一刷 2008 年 6 月

定 價 新台幣 400 元

I S B N 978-957-21-6312-2

有著作權 · 侵害必究

版權聲明

本書繁體中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 與全華圖書股份有限公司共同合作出版。本書任何部份之文字與圖片，未獲得以上公司之書面同意，不得用任何方式抄襲、節錄或翻印。

Demystifying Switching Power Supplies

Raymond A. Mack

ISBN: 978-0-7506-7445-4 (0-7506-7445-8)

Copyright ©2005 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized translation from English language edition published by the Proprietor.

ISBN: 978-981-259-613-0

Copyright © 2008 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

3 Killiney Road

#08-01 Winsland House I

Singapore 239519

Tel: (65) 6349-0200

Fax: (65) 6733-1817

First Published 2008

2008 年初版

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

本書任何部份之文字及圖片，如未獲得本公司之書面同意，不得用任何方式抄襲、節錄或翻印。

序 言

交換式電源供應器剖析

本書意欲讓需要了解交換式電源供應如何工作的人明白其原理，亦欲提供足夠的資訊使您能明確地了解電源供應器廠商制訂的離線式交換式電源供應器規格。而您亦可透過本書來獲得足夠的知識以設計直流對直流轉換器。另針對先前非類比電路專長的人，於本書加入基本的類比電路設計資料，以說明如何設計及分析實際的交換式電源供應器。而對於已有深厚類比電路設計的人，則可選擇性的瀏覽過此些章節。

於本書有許多來歷的敘述及方程式的變換，我們將予以省略，而詳細的方程式推演部份就留給讀者自行練習。

電源供應器主要分為線性式及交換式兩大類。線性式電源供應器其輸出使用時間以連續控制的方式來實現，而交換式電源供應器則採用時間取樣的概點來達到控制輸出的目的。本書中，將各別探討各種交換式電源供應器架構。

致 謝

諸如大部份的工作一般，本書匯集了多方著作而得以建構完成，在此感謝著作“Linear/Switch mode Voltage Regulator Handbook” (Motorola 應用書籍)、“HDB-3 Power MOSFET HEXFET Databook” (International Rectifier 公司)及“Switch Mode Power Supply” (Phillips 半導體應用書籍，僅於該公司網頁可獲得。)的作者們，使我們獲得交換式電源供應器方面的知識有相當深厚的貢獻。

在此亦感謝 Linear Technology Corporation 贈送其開發軟體 Switcher CAD I，此軟體亦可免費提供給所有想使用的大眾。本書中大部份的電路圖即使用此軟體取得。

前言

交換式電源供應器剖析

交換式電源供應器的原理已發展超過一百餘年。最早期的返馳式電源轉換器被採用於汽油引擎的點火系統，再者，另一個返馳式電源轉換器早期的運用範例就是使用於傳統 CRT(陰極射線管)電視機裡的高壓結構部份。傳統 CRT 電視機的光點需於很短的時間週期內，由螢幕的最右邊拉回螢幕的最左邊(此為返馳式轉換器“fly back”的由來)。此動作會在線圈繞組上產生劇變的電流，導致巨大的電壓產生。這就是返馳式轉換器會被應用於製造 CRT 電視機產生所需的巨大電壓變化的主要優勢。

直到 1960 年代後期，由於受限於磁性元件、切換開關及整流器這三個交換式電源供應器最主要組成元件的容量限制，故其普遍被限定運用於電視機的高壓結構部份。雖然在 1960 年代早期已有高壓的電晶體出現，可將交換式電源供應器應用於一般使用的場合，但在半導體價格合理化之前，其在低瓦數的應用上還是相當不具經濟效應。自 1970 年之後，所有半導體元件種類的發展，將整個電源轉換器市場重新定位到之前三端線性穩壓調整器幾乎不存在的功率層級之上。這些轉換器的設計使用 IC、電感及一些電容去產生一完整的電壓調整器，其體積還小於一個 1960 年代 TO-3 封裝的切換晶體。

由於設計費用已非主要成本考量，故電源供應器每瓦所需成本已下降，且除非有極大量的市場要求，否則其建構成本均已固定。許多廠商均生產一系列標準輸出電壓規格的轉換器，但其大部份提供非標準輸出電壓規格的轉換器，其設計費用則比照一般標準電壓規格的設計標準。

大部份的線性 IC 製造商，如：Linear Technology、Maxim、TI、National Semiconductor 及 Analog Devices 等，皆提供一系列適合當地做電壓調整或電壓轉換的交換式調整電路。而由這些製造商所生產的現今設備亦具有高效率

及體積小的特點。而現今設備往往將控制電路、切換開關及所需的整流二極體封裝在同一包裝內。

而被動元件的製造商亦同樣地積極提升元件的性能。磁性材料廠商，如：Ferroxcube，Siemens，Micrometals 及 Magnetics division of Spang & Co. 等，已將變壓器鐵芯及扼流圈的操作頻率範圍，由 60 年代的 10~15kHz 提升至現今的 1MHz 以上，這些技術的提升使得濾波電容器及磁性鐵芯的體積可大大的縮小。電容器製造商亦已改良適用於交換式電源轉換器的濾波電容器，一般的電解電容器擁有較大的等效串聯電阻，當其跨壓為劇變的直流電壓時，將造成嚴重的功率消耗。而如果流經電容器的等效交流電流過大，也會造成電容器過熱而燒毀，故所有的電解電容器製造商現皆製造一系列低等效串聯電阻之電解電容器。

線性式與切換式電源供應器之比較

經由線性式與切換式電源供應器的比較，我們可知道為何在大部份的應用場合中會採用切換式電源供應器。

線性電源供應器僅能產生較輸入電壓低的電壓值，因此所有線性電壓調整器的輸入電壓至少需設置在最小的輸出電壓值之上，此輸入輸出電壓差稱之為消散電壓。而此電壓值為計算電路轉換效率及最大功率消耗的主要參數。

接下來以一個操作在 6 伏特、最大電流 2 安培為例。採用典型的線性電壓調整器，其消耗電壓為 2 伏特。假設我們選擇鉛酸電池為其電源，每個電池最多將會放電至 1.9 伏特，則電源端所需最低電壓為 8 伏特(負載為 6 伏特加上消散電壓 2 伏特)，因此為提供所需電壓至少需要 5 個電池。所以在電池放電時，其最低輸入電壓為 9.9 伏特，此時調整器消耗 7.8 瓦特，轉換效率為 60%。而當電池為充飽電的狀態時，每個壓降為 2.26 伏特，整個電池組為 11.3 伏特，此時調整器將消耗 10.6 瓦特，整個轉換效率將下降至 53%。

若我們將電池數量減少，且提高電池最低的工作電壓至 2 伏特，那麼僅須 4 顆電池即可滿足負載所需，此時電壓調整器的損耗為 4 瓦特，轉換效率為 75%，而電池在充飽電的狀態時，效率也會提升至 67%。因此，減少電池數量，將可有效提升效率和降低電池成本(但需要更多電池的回充成本)。

在上述第一個例子中，5 顆電池中有 2 顆的所有能量將以熱的形式消散掉，而第二個例子中，也有 1 顆電池的能量被消耗掉。因此，在電池應用場合中採用線性電壓調整器來產生定電壓是很不具經濟效益的方式。

交換式電源供應器中開關元件採用場效電晶體，其導通電阻在 0.008 歐姆左右，且整流二極體係採用蕭特基二極體，其順向偏壓僅為 0.5 伏特。因此，若應用於上述第一個範例時，切換開關的功率損耗為 0.032 瓦特且二極體部份的損耗也僅為 1 瓦特。故電池在高電位時，其效率約為 92%，在放電時，其效率更高達 99% 左右。

在上述範例中，線性電源供應器至少需要 4 顆以上的電池才可滿足負載需求，但若採用交換式電源供應器僅須 1 至 3 顆電池即可提供負載所需，且具有較佳的轉換效率，這就是另一個交換式電源供應器優於線性式電源供應器的特點。

應用於市電上的電源供應器亦有相同的情況，線性式電源供應器需要一變壓器，若須傳遞 1000 瓦特的能量，則其變壓器重量將近達 100 磅(若須操作於 50Hz 及 60Hz，則重量將更重)，且半導體元件上需要巨大的散熱片及風扇，此佔據了相當大的空間。而若須能操作於 110 伏特或 220 伏特時，線性式供應器還需要手動開關或複雜的切換電路，以使電路能操作於兩種不同市電電壓上。相較之下，交換式電源供應器無須選擇電路即可操作於 110 伏特或 220 伏特和 50Hz 或 60Hz，且重量少於 50 磅，體積也僅為線性式供應器的四分之一，成本更遠低於線性式電源供應器。

但交換式供應器也並非總是最好的選擇，其輸出包含了高頻雜訊，且線性式較交換式供應器安靜了 100 至 1000 倍之多，故線性式供應器通常被應用於對雜訊較為敏感的類比電路中。若須達到最大的效率，在現今的系統

中，會先採用交換式電源供應器預先將調節至消散電壓之上一點，再經由線性式供應器產生低雜訊電源給予類比電路。而交換式供應器的另一個缺點就是當負載電流或輸入電壓瞬間變動時，需要較長的恢復時間。

在低功率的應用場合中，線性式電源供應器通常為最佳的選擇。上述的範例中得知。交換式供應器的開關導通損耗為 I^2R ，而再進一步分析，還須加入開關在導通及截止時的切換損失，此外，目前有許多針對低功率應用場合，具低消散電壓的特殊用途線性電壓調整器被開發出來。所以，綜合上列因素，可在某些低功率的應用場合採用線性電壓調整器。

譯者序

交換式電源供應器剖析

交換式電源供應器已被應用於市場上數十年餘，早期因受限於磁性元件、功率半導體開關、整流器及電容等主要元件的容量和價格上的限制，故無法被廣泛地運用於各式的場合中，而於 70 年代之後，各類半導體元件發展快速，不僅僅是元件性能大大的提升外，價格亦合理化，使得交換式電源供應器迅速成為電源市場上的主流。

因應此潮流，吸引了越來越多的人力投入此領域中，而本書的主旨在於使讀者皆能了解交換式電源供應器之操作原理，並另針對非類比電路專長之讀者，於書中加入基本類比電路設計資料做淺顯的說明，同時以現今市上的 IC 進行實例設計說明並加以分析，目的就是希望透過本書能使所有讀者更明白實際電路的分析及設計，故此書相當適用於大專電機、電子科系學生的輔修教材或從事於交換式電源供應器設計之工程師的參考書籍。

譯者於編譯過程中，深刻的感受到原著作者的用心，同時深覺獲益匪淺，不過由於譯者才疏學淺，疏誤之處在所難免，祈願先進不吝指正。

譯者 林伯仁

編輯部序

交換式電源供應器剖析

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

交換式電源供應器設計已成為電子領域中最重要的部份之一，本書提供足夠的資訊，使您能明確地了解電源供應器之規格。亦針對非類比電路專長的人，加入基本類比電路設計資料，以說明如何設計及分析實際的交換式電源供應器。本書內容詳盡，非常適合私立大學、科大電機系「交換式電源供應器」課程使用及業界工程人員使用。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

相關叢書介紹

書號：03297
書名：最新交換式電源技術
編譯：溫坤禮、陳德超
20K/248 頁/240 元

書號：05046
書名：交換式穩壓電源的高諧波
干擾對策
編譯：鄭振東
20K/312 頁/320 元

書號：05704
書名：On-board 電源設計活用手冊
編譯：何中庸
18K/368 頁/450 元

書號：02637
書名：高頻交換式電源供應器原理
與設計
編譯：梁適安
20K/384 頁/360 元

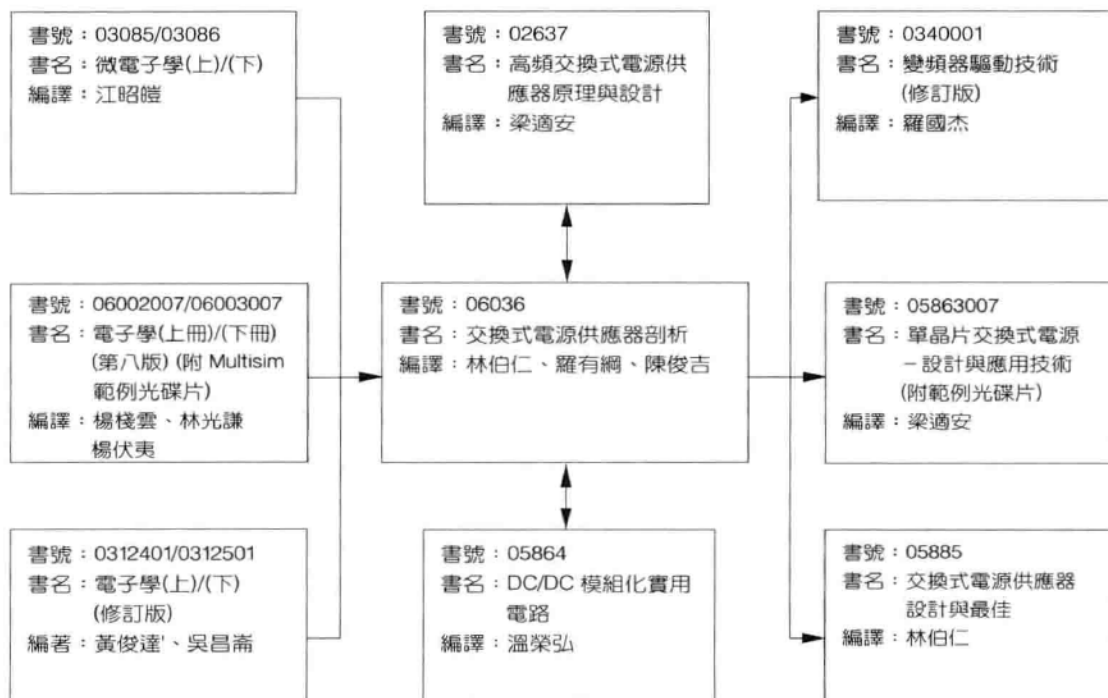
書號：02466
書名：交換式電源供給器之理論
與實務設計
編著：梁適安
20K/408 頁/340 元

書號：02416
書名：變頻器技術應用手冊
編譯：陳信堂
20K/328 頁/260 元

書號：05782
書名：電磁相容原理與設計技術
編譯：陳一鋒
16K/504 頁/550 元

◎上列書價若有變動，請
以最新定價為準。

流程圖



目錄

交換式電源供應器剖析

序言	iii
前言	iv

1 章 基本切換電路

■ 儲存元件的基本概念(Energy Storage Basics)	1-2
■ 降壓型轉換器(Buck Converter).....	1-3
■ 昇壓型轉換器(Boost Converter)	1-5
■ 反相昇壓轉換器(Inverting Boost Converter)	1-7
■ 昇降壓型轉換器(Buck-Boost Converter)	1-8
■ 變壓器隔離轉換器(Transformer Isolated Converters)	1-9
■ 同步整流技術(Synchronous Rectification)	1-14
■ 電荷幫浦(Charge Pumps).....	1-15

2 章 控制電路

■ 基本控制電路(Basic Control Circuits)	2-2
■ 誤差放大器(The Error Amplifier).....	2-5
■ 誤差放大器補償方式(Error Amplifier Compensation).....	2-7
■ 測試程序(Test Sequence)	2-10
■ 電壓模式 PWM 控制器實例(A Representative Voltage Mode RWM Controller)	2-11

- 電流模式控制(Current Mode Control)..... 2-18
- 電流模式 PWM 控制器實例(A Representative Current Mode PWM Controller)..... 2-20
- 充電泵電路(Charge Pump Circuits)..... 2-24
- 多相式 PWM 控制器(Multiple Phase PWM Controllers) 2-28
- 諧振式控制器(Resonant Mode Controllers)..... 2-29

3 章 電源供應器輸入端

- 離線式操作系統(Off-Line Operation) 3-2
- 射頻干擾抑制(Radio Interference Suppression) 3-4
- 安全性問題(Safety Agency Issues) 3-7
- 功率因數修正(Power Factor Correction)..... 3-9
- 湧浪電流(In-Rush Current) 3-14
- 保持時間(Hold-Up Time) 3-15
- 輸入整流器考量(Input Rectifier Considerations) 3-17
- 輸入儲能電容特性(Input Reservoir Capacitor Characteristics) 3-18

4 章 非隔離型電路

- 通用設計法則(General Design Method)..... 4-2
- 降壓型轉換器設計(Buck Converter Designs)..... 4-3
- 昇壓型轉換器設計(Boost Converter Designs)..... 4-13
- 反相轉換器設計(Inverting Designs) 4-20
- 昇降壓型式轉換器設計(Step Up/Step Down(Buck/Boost)

Designs).....	4-24
■ 電荷幫浦設計(Charge Pump Designs)	4-28
■ 佈線考量(Layout Considerations).....	4-33

5 章 變壓器隔離型轉換器

■ 回授機制(Feedback Mechanisms).....	5-2
■ 返馳式轉換器(Flyback Circuits).....	5-10
■ 返馳式轉換器實用設計 Practical Flyback Circuit Design)....	5-17
■ 離線型返馳式轉換器實例(Off-Line Flyback Example)	5-17
■ 非隔離型返馳式轉換器實例(Non-Isolated Flyback Example)	5-25
■ 順向式轉換器(Forward Converter Circuits)	5-30
■ 順向式轉換器實用設計(Practical Forward Converter Design).....	5-31
■ 離線型順向式轉換器實例(Off-Line Forward Converter Example).....	5-32
■ 非隔離型順向式轉換器實例(Non-Isolated Forward Converter Example)	5-36
■ 推挽式轉換器(Push-Pull Circuits).....	5-41
■ 推挽式轉換器實用設計(Practical Push-pull Circuit Design) .	5-42
■ 半橋式轉換器(Half Bridge Circuits)	5-47
■ 半橋式轉換器實用設計(Practical Half Bridge Circuit Design)	5-49
■ 全橋式轉換器(Full Bridge Circuits)	5-53

6 章 被動元件的選擇

- 電容器特性(Capacitor Characteristics)..... 6-2
- 鋁質電解電容器(Aluminum Electrolytic Capacitors)..... 6-4
- 固態鉭質和鈮質電容器(Solid Tantalum and Niobium Capacitors)..... 6-6
- 固態聚合化電解電容器(Solid Polymer Electrolytic Capacitors)..... 6-7
- 積層陶瓷電容(Multilayer Ceramic Capacitors) 6-8
- 薄膜電容器(Film capacitors)..... 6-12
- 電阻器特性(Resistor Characteristics) 6-13
- 碳素混合體電阻(Carbon Composition Resistors)..... 6-14
- 薄膜電阻器(Film Resistors) 6-14
- 繞線式電阻器(Wire Resistors) 6-15

7 章 半導體元件的選擇

- 二極體特性(Diode Characteristics)..... 7-2
- 接面二極體(Junction Diodes) 7-2
- 蕭特基二極體(Schottky Diodes) 7-6
- 鈍化(Passivation) 7-9
- 雙極性電晶體(Bipolar Transistor) 7-10
- 功率金氧半電晶體(Power MOSFETs) 7-15
- 閘極驅動電路(Gate Drive) 7-19
- 安全操作區域及崩潰額定(Safe Operating Area and Avalanche Rating)..... 7-29

■ 同步整流技術(Synchronous Rectification)	7-32
■ 敏感場效電晶體(Sense FETs)	7-38
■ 封裝方式的選擇(Package Options)	7-38
■ 絕緣閘極雙極性電晶體元件(IGBT Devices).....	7-39

8 章 電感器選擇

■ 實際電感器特性(Properties of Real Inductors).....	8-2
■ 鐵芯特性(Core Properties)	8-5
■ 鐵粉芯環型扼流圈設計(Designing a Powder Toroid Choke Core).....	8-16
■ 昇壓型轉換器鐵芯選擇(Choosing a Boost Converter Core).....	8-20

9 章 變壓器的選擇

■ 變壓器特性(Transformer Properties)	9-2
■ 安全考量(Safety Concerns).....	9-5
■ 變壓器實際構造考量(Practical Construction Considerations)	9-6
■ 順向式轉換器的變壓器鐵芯選擇(Choosing a Forward Converter Transformer Core).....	9-9
■ 實際返馳式轉換器鐵芯的考量(Practical Flyback Core Considerations).....	9-10
■ 返馳式轉換器的“變壓器”鐵芯選擇(Choosing a Flyback Converter “Transformer” Core)	9-11