



国际电气工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

集成电力电子 变换器及数字控制

**Integrated Power Electronic
Converters and Digital
Control**

Ali Emadi

Alireza Khaligh

(美)

Zhong Nie


著

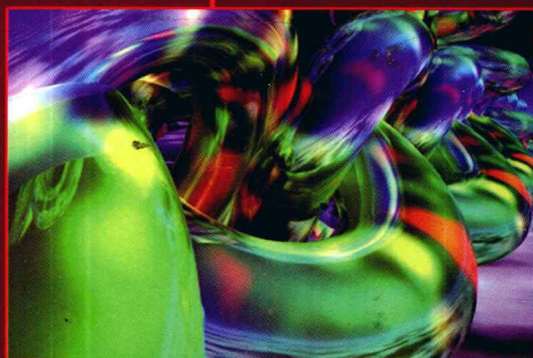
Young Joo Lee

连晓峰

等译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



集成电力电子变换器 及数字控制

Ali Emadi
(美) Alireza Khaligh 著
Zhong Nie
Young Joo Lee
连晓峰 等译

机械工业出版社

本书系统地介绍了各种类型的集成电力电子变换器拓扑、功率因数校正和同步整流的基本概念及其在电力电子变换器中的应用,并对常用集成变换器进行了稳态和动态分析,介绍了集成开关电源变换器在不间断电源(UPS)和开关磁阻电动机驱动中的应用,最后阐述了电力电子变换器数字控制技术的不同应用,并详细介绍了基于数字信号处理器(DSP)的数字控制实现。

本书可作为高等院校电力电子、电气工程、自动控制和电子等相关专业的教材或参考书,也可供从事电力电子和电动机驱动等工作的相关技术人员参考。

Authorized translation from the English language edition, entitled **Integrated Power Electronic Converters and Digital Control**, ISBN: 978-1-4398-0069-0, edited by Ali Emadi, Alireza Khaligh, Zhong Nie, Young Joo Lee, published by Taylor&Francis Group, LCC.

Copyright©2009 by Taylor&Francis Group, LCC. All Rights Reserved (including those of translation into other language). No part of this book may be reproduced in any form-by photoprint, microfilm, or any other means-nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publisher.

This translation published under license.

Simplified Chinese Translation Copyright©2010 by China Machine Press.

本书中文简体字版由机械工业出版社出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有,翻印必究。

本书版权登记号:图字01-2009-6546号

图书在版编目(CIP)数据

集成电力电子变换器及数字控制/(美)埃玛迪
(Emadi, A.)等著;连晓峰等译.—北京:机械工业出版社,2010.11

(国际电气工程先进技术译丛)

Integrated Power Electronic Converters and Digital Control

ISBN 978-7-111-32195-8

I. ①集… II. ①埃…②连… III. ①集成电路—电能—变换器
②集成电路—数字控制 IV. ①IN4②TM712

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第197306号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:顾谦 责任编辑:顾谦

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:马精明 责任印制:杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2011年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·17.25印张·833千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-32195-8

定价:68.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

译者序

电力电子技术的诞生和发展对人类利用电能产生了巨大影响，随着技术的不断进步，对现代电力电子系统有着越来越高的要求，传统的开关电源将被集成电力电子变换器所替代。集成电力电子变换器可有效减少元器件个数，使得尺寸更小、成本更低、效率和可靠性更高。它具有功率因数校正和输出调节功能，从而性能更好。

本书是美国伊利诺伊理工大学的 Ali Emadi 教授及其同事在电力电子与电动机驱动等领域多年的教学和研究工作的积累。本书系统地介绍了不同集成电力电子变换器，如升压型、降压型和降压升压型拓扑以及其他类型的集成结构，功率因数校正的基本概念及其在降压、升压、降压升压、Ćuk、单端初级电感 (SEPIC)、Zeta、反激和正激变换器中的应用，集成电力电子变换器的概念和集成开关电源的定义，以及常用集成电力电子变换器的稳态和动态分析，介绍了同步整流及其在非隔离式/隔离式 DC-DC 变换器中的应用，另外还介绍了集成开关电源变换器在不间断电源 (UPS) 和开关磁阻电动机驱动中的应用。本书阐述了集成电力电子变换器数字控制技术的不同应用，并详细介绍了基于 DSP (数字信号控制器) 的数字控制实现。全书语言精炼，内容深入浅出，阐述严谨，是集成电力电子变换器及数字控制方面的一本精品著作。

本书第 1~10 章由连晓峰翻译，第 11 章由唐亚男翻译，第 12 章由黄仕安翻译，第 13 章由王小艺翻译，第 14、16 章由张晓伟翻译，第 15 章由闫峰翻译。全书由连晓峰审校整理，并对原书中的错误进行了注释。

本书可作为电气工程专业、自动控制专业和电子专业高年级本科生、硕士生或博士生的教学参考书，也可供从事电力电子和电动机驱动等应用开发工作的技术人员参考。

限于译者的经验和水平，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

译者

前 言

随着现代电力电子系统要求效率更高、输出纹波更小、变换器尺寸更小等需求，传统开关电源将被集成电力电子变换器所替代。集成电力电子变换器是基于整体系统集成，即系统目标简化，并能实现与独立变换器相似的系统功能的综合装置。根据设计要求，集成电力电子变换器应减少元器件数目、尺寸更小、重量更小、成本更低、效率更高、可靠性更高、开关压力更小、变换范围更宽、具有功率因数校正和输出调节功能性能更好。

本书的前 14 章介绍了不同的集成电力电子变换器，如升压型、降压型和降压升压型拓扑以及其他类型的集成结构。随后介绍了升压集成反激整流器/储能 DC-DC (BIFRED) 变换器和降压集成正激变换器的稳态和动态分析。第 1 章介绍了非隔离式 DC-DC 变换器，如降压变换器、升压变换器和降压升压变换器。第 2 章介绍了隔离式 DC-DC 变换器，如反激、正激、推挽、全桥和半桥变换器。在第 3 章中，针对功率因数校正的基本概念及其在降压、升压、降压升压、Ćuk、单端初级电感 (SEPIC)、Zeta、反激和正激变换器中的应用进行了阐述。第 4 章重点介绍了集成变换器的概念和集成开关电源的定义。第 5~7 章分别介绍了升压型、降压型和降压升压型的集成拓扑。其他类型的集成拓扑则在第 8 章中进行了介绍。

第 9 章中对升压集成反激整流器/储能变换器进行了稳态分析，第 10 章则对降压集成正激变换器进行了动态分析。第 11 章简述了同步整流及其在非隔离式 DC-DC 降压、升压和降压升压变换器中的应用。同步整流在隔离式 DC-DC 变换器（如反激和正激变换器）中的应用则在第 12 章中进行了介绍。第 13 章主要介绍了同步整流在集成高品质整流稳压器中的应用。另外，第 14 章介绍了集成开关电源变换器在不间断电源 (UPS) 和开关磁阻电动机驱动中的应用。

本书最后两章介绍了基于 DSP (数字信号处理器) 的数字控制。在过去的几十年中，基于通用微处理器、特殊应用集成电路、DSP 或可编程逻辑装置等在电力电子应用中得到了广泛应用，特别是体现了在数字电源管理和控制方面的显著商业价值。大多数电力电子器件公司已逐步开始引入集成数字电源管理和控制集成电路 [混合型 (模拟和数字) 或纯数字型]。同时，系统制造商也意识到数字控制的巨大优势，并逐步引入到自己的产品中。这些优势都体现在系统数字电源管理的不同实现层次，如电源变换、变换器管理、板级管理和封装管理等。在数字电源管理和实现中，成本、空间大小、柔性、能源效率和电压调节都是关

键因素。

本书阐述了电力电子变换器数字控制技术的不同应用，并详细介绍了基于 DSP 的数字控制实现。第 15 章给出了全面的电力电子数字控制技术的理论分析。最后，在第 16 章中，介绍了基于 DSP 的数字控制实现技术，其中详细介绍了反相降压升压变换器的软、硬件实现。

在此，非常感谢 Ritesh Oza 先生对本书的贡献，第 3、11、12 和 13 章中的内容大多来自他在伊利诺伊理工大学的毕业研究成果。同时，也非常感谢 CRC 出版社 Taylor&Francis 组工作人员的支持和帮助。

Ali Emadi
Alireza Khaligh
Zhong Nie
Young Joo Lee

作者简介

Ali Emadi (IEEE 初级会员, 1998 年; IEEE 会员, 2000 年; IEEE 高级会员, 2003 年) 分别于 1995 年和 1997 年在伊朗德黑兰谢里夫理工大学 (Sharif University of Technology) 获得电气工程学士学位和硕士学位, 并于 2000 年在美国德克萨斯农工大学 (Texas A&M University) 获得电气工程博士学位。目前任伊利诺伊理工大学 (Illinois Institute of Technology, IIT) 电气工程教授, 电力电子中心和格兰杰 (Grainger) 实验室导师。在此他创立了电力电子、电动机驱动和车辆动力系统等课程的科研和教学团队。Emadi 博士是混合动力电动汽车科技公司 (HEVT) 的创始人和首席技术执行官。同时, 他也是先进汽车系统行业/大学联盟 (IMCAAS) 的创始人和董事会主席。

Emadi 博士曾获得无数奖项和荣誉。由于其在混合动力电动汽车方面的突出贡献, 被电气工程荣誉学会授予 2003 年度 Eta Kappa Nu 杰出青年电子工程师, 还被 IEEE 电力电子学会授予 2005 年度 Richard M. Bass 杰出青年电力电子工程师。2005 年, 被伊利诺伊理工大学学生评为年度最佳教授。此外, Emadi 博士还于 2002 年获得伊利诺伊理工大学优秀教学奖, 2004 年伊利诺伊理工大学优秀科研奖 Sigma Xi。他所指导的学生团队设计的新型电动机驱动器于 2003 年在 IEEE/DOE/DOD 未来能源挑战国际会议上获得电动机竞赛组第一名。

Emadi 博士作为第一作者和合作者发表了 200 多篇期刊和会议论文以及多本专著, 其中专著包括《车辆电力系统: 陆地、海上、空中和空间车辆》(Vehicular Electric Power Systems: Land, Sea, Air, and Space Vehicles) (Marcel Dekker 出版社, 2003), 《高效节能电动机》(Energy Efficient Electric Motors) (Marcel Dekker 出版社, 2004), 《不间断电源和有源滤波器》(Uninterruptible Power Supplies and Active Filters) (CRC 出版社, 2004), 《现代电动汽车, 混合动力电动汽车和燃料电池车——基本原理、理论及设计》(Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design) (CRC 出版社, 2004)[⊖]。同时, Emadi 博士还担任了汽车电力电子技术和电动机驱动器手册 (Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives) 的

⊖ 该书已出版第 2 版, 现已被机械工业出版社引进并出版为中文翻译版本, 中文翻译版本书号为 ISBN978-7-111-31134-8。——编辑注

编委 (CRC 出版社, 2005)。

Emadi 博士曾担任 2005 年第一届 IEEE 车辆动力与推进会议的成立大会主席和 SAE 未来交通技术国际会议主席, 目前为 IEEE 车辆动力与推进转向委员会主席, IEEE 电力电子学会交通电力电子技术委员会主席, IEEE 工业电子学会电力电子技术委员会主席。此外, 他还曾担任 2007 年 IEEE 未来能源挑战国际会议的主席。

Emadi 博士是电动和混合动力汽车国际期刊 (International Journal of Electric and Hybrid Vehicles) 的编委 (北美区), 同时也是 IEEE transactions on power electronics 期刊汽车电力电子和电动机驱动专辑的客座主编, IEEE transactions on vehicular technology 期刊混合动力电动汽车和燃料电池车专辑的特邀编委, IEEE transactions on industrial electronics 期刊汽车电子和电力驱动专辑的特邀编委, 此外还是 IEEE transactions on vehicular technology、IEEE transactions on power electronics、IEEE transactions on industrial electronics 的副主编。

Alireza Khaligh (IEEE 初级会员, 2004 年; IEEE 会员, 2006 年) 分别于 1999 年和 2001 年在伊朗德黑兰谢里夫理工大学获得电气工程学士和硕士学位, 并于 2006 年在美国伊利诺伊理工大学获得电气工程博士学位, 同时是伊利诺伊大学尚佩恩 (Champaign) 分校电气与计算机工程系的博士后研究助理。

Khaligh 博士现任伊利诺伊理工大学电气与计算机工程系电力电子中心 (EPPEC) 能源采集与可再生能源实验室 (EHREL) 的助理教授和导师, 是谢里夫理工大学优秀人才奖学金获得者, 也是由伊朗科学研究与技术部和校长联合颁发的优秀本科毕业生获奖者, 同时也是能源挑战和纳米技术的美国国家科学基金会 (NSF) 奖学金获得者。

Khaligh 博士是 IEEE 车辆技术学会 (VTS)、IEEE 电力电子学会 (PELS)、IEEE 工业电子学会 (IES) 和汽车工程师学会 (SAE) 的车辆动力与推进委员会委员, 目前以第一作者和合作者发表出版论文、专著和发明专利共 50 余篇, 主要研究领域为电力电子变换器的建模、分析、设计和控制, 环境能源的清除与采集, 电动汽车和混合动力电动汽车, 电池供电便携式应用的高效电源设计等。Khaligh 博士还担任 IEEE transactions on vehicular technology 副主编和 IEEE transactions on vehicular technology 车辆储能系统专辑的特邀编委。

Young Joo Lee (IEEE 初级会员, 2007 年) 于 1996 年在韩国技术教育大学 (Korea University of Technology and Education) 获得电气工程学士学位, 1995 年进入主要生产高度专业化的工业缝纫机、控制器和电动机的韩国仁川 SunStar R&C 公司, 2003 年获得韩国光宇大学 (Gwang-Woon University) 硕士学位, 毕业后进入主要生产医疗手术中 X 光透视设备的韩国 Genoray 公司。他拥有 10

VIII 集成电力电子变换器及数字控制

多年的工业现场经验，开发了许多缝纫机的控制器和医疗 X 光透视设备，其中包括 BLDC（无刷直流）电动机、PMSM（永磁同步电动机）、异步电动机、步进电动机、高频全桥变换器、X 射线电子管和其他电动/气动执行器。2006 年至今，他在伊利诺伊理工大学攻读博士学位，博士研究领域为充电式混合动力电动汽车的集成双向变换器。

Zhong Nie（IEEE 初级会员，2001 年；IEEE 会员，2005 年）于 1998 年在中国华中科技大学获得学士学位，2001 年在中国华北电力大学获得硕士学位，在伊利诺伊理工大学获得电气工程电力电子和电动机驱动方向的博士学位。

2001~2004 年，Zhong Nie 任伊利诺伊理工大学格兰杰电力电子中心和实验室研究助理，目前为美国 Inductoheat 公司的产品研发工程师，主要研究感应加热应用中的大功率变频器设计。他的研究领域包括大功率变频器、不间断电源系统、功率因数校正和开关磁阻无刷直流电动机驱动。

目 录

译者序

前言

作者简介

第 1 章 非隔离式 DC-DC 变换器	1
1.1 降压变换器	1
1.1.1 CCM 下的降压变换器	2
1.1.2 DCM 下的降压变换器	2
1.1.3 降压变换器的设计	3
1.2 升压变换器	6
1.2.1 CCM 下的升压变换器	6
1.2.2 DCM 下的升压变换器	8
1.2.3 升压变换器的设计	8
1.3 降压升压变换器	9
1.3.1 CCM 下的降压升压变换器	9
1.3.2 DCM 下的降压升压变换器	10
1.3.3 降压升压变换器的设计	11
参考文献	12
第 2 章 隔离式 DC-DC 变换器	13
2.1 反激变换器	14
2.2 正激变换器	15
2.3 推挽式变换器	17
2.4 全桥变换器	19
2.5 半桥变换器	20
参考文献	22
第 3 章 功率因数校正	23
3.1 功率因数校正概念	23
3.2 功率因数校正电路的一般分类	26
3.3 高开关频率拓扑的功率因数校正	27

3.3.1	降压变换器作为功率因数校正电路	27
3.3.2	升压变换器作为功率因数校正电路	28
3.3.3	降压升压变换器作为功率因数校正电路	29
3.3.4	Ćuk变换器作为功率因数校正电路	30
3.3.5	SEPIC变换器作为功率因数校正电路	31
3.3.6	Zeta变换器作为功率因数校正电路	32
3.3.7	反激变换器作为功率因数校正电路	34
3.3.8	正激变换器作为功率因数校正电路	35
3.4	先进电动机驱动中功率因数校正的应用	36
	参考文献	39
第4章	集成开关电源变换器	40
4.1	开关电源	40
4.2	集成变换器的概念	43
4.2.1	集成变换器的配置	43
4.3	集成开关电源的定义	44
	参考文献	45
第5章	升压型集成拓扑	47
5.1	升压型集成拓扑的一般结构	47
5.2	升压反激变换器	47
5.3	升压双端反激变换器	47
5.4	升压串/并联反激变换器	48
5.5	升压并联反激变换器	49
5.6	升压正激变换器	49
5.7	升压双端正激变换器	50
5.8	升压串/并联正激变换器	51
5.9	升压并联正激变换器	51
5.10	升压全桥变换器	52
5.11	升压半桥变换器	53
5.12	升压推挽式变换器	53
5.13	升压降压升压变换器	54
5.14	升压集成反激整流器/储能变换器	55
5.15	降压升压变换器(Ćuk变换器)	55
5.16	升压集成降压整流器/储能变换器	56
	参考文献	57

第 6 章 降压型集成拓扑	58
6.1 降压集成变换器的概念	58
6.2 降压反激变换器	58
6.3 降压双端反激变换器	58
6.4 降压串/并联反激变换器	59
6.5 降压并联反激变换器	60
6.6 降压正激变换器	60
6.7 降压双端正激变换器	61
6.8 降压串/并联正激变换器	62
6.9 降压并联正激变换器	62
6.10 降压全桥变换器	63
6.11 降压半桥变换器	64
6.12 降压推挽式变换器	64
参考文献	65
第 7 章 降压升压型集成拓扑	66
7.1 降压升压型集成拓扑的结构	66
7.2 降压升压反激变换器	66
7.3 降压升压双端反激变换器	67
7.4 降压升压串/并联反激变换器	67
7.5 降压升压并联反激变换器	68
7.6 降压升压正激变换器	69
7.7 降压升压双端正激变换器	69
7.8 降压升压串/并联正激变换器	70
7.9 降压升压并联正激变换器	71
7.10 降压升压全桥变换器	71
7.11 降压升压半桥变换器	72
7.12 降压升压推挽式变换器	73
7.13 反激正激变换器	73
7.14 反激全桥变换器	74
7.15 反激半桥变换器	74
7.16 反激推挽式变换器	75
参考文献	76

第 8 章 其他类型的集成拓扑	77
8.1 其他类型的集成拓扑概述	77
8.2 降压-降压变换器	77
8.3 降压-降压升压变换器	78
8.4 降压-Zeta 变换器	78
8.5 降压升压-降压升压变换器	79
8.6 Zeta-降压升压变换器	79
8.7 Zeta-Zeta 变换器	80
8.8 升压-升压变换器	80
8.9 升压-Ćuk变换器	81
8.10 升压-SEPIC 变换器	81
8.11 Ćuk-Ćuk变换器	82
8.12 SEPIC-Ćuk变换器	82
8.13 SEPIC-SEPIC 变换器	83
8.14 反激-正激变换器	83
8.15 升压-正激变换器	84
参考文献	84
第 9 章 稳态分析	86
9.1 小纹波近似、电感伏-秒平衡及电容充放电平衡	86
9.1.1 小纹波近似	86
9.1.2 电感伏-秒平衡原理	86
9.1.3 电容充放电平衡原理	86
9.2 BIFRED 变换器示例	87
参考文献	93
第 10 章 动态分析	94
10.1 方法学	94
10.2 降压集成正激变换器示例	94
参考文献	115
第 11 章 同步整流	116
11.1 肖特基二极管与 MOSFET 的选择标准	116
11.2 基本开关电源拓扑的同步整流	117

11.2.1 同步整流降压变换器	117
11.2.2 同步整流升压变换器	121
11.2.3 同步整流降压升压变换器	121
11.3 同步整流器的控制	122
11.4 电流模式控制方法	123
11.5 同步整流的独立和集成方法	124
11.6 二极管与同步整流器的比较	124
11.7 仿真结果	125
参考文献	128
第 12 章 反激和正激变换器的同步整流	129
12.1 反激变换器的同步整流	129
12.1.1 CF CCM	130
12.1.2 CF DCM 反激变换器	133
12.1.3 VF DCM 反激变换器	136
12.1.4 VF DCM 零电压开关的反激变换器	137
12.2 正激变换器的同步整流	138
12.2.1 具有 RCD 钳位和自驱动 SR 的正激变换器	138
12.2.2 有源钳位自驱动 SR 正激变换器	140
12.2.3 控制驱动 SR 正激变换器	141
12.3 仿真结果	143
12.4 小结	147
参考文献	148
第 13 章 集成高品质整流稳压器的同步整流	150
13.1 IHQRR 的同步整流	150
13.1.1 同步整流的 BIFRED	150
13.1.2 同步 BIFRED 的工作原理	151
13.1.3 同步整流的 BIBRED	154
13.2 同步 IHQRR 的控制	155
13.3 IHQRR 的一般效率考虑	156
13.4 肖特基 IHQRR 和同步 IHQRR 中的功率损耗比较	156
13.5 仿真结果和观察	159
13.6 小结	165
参考文献	165
第 14 章 集成开关电源的应用	168
14.1 集成开关电源变换器在 UPS 中的应用	168

14.1.1	正常工作模式	169
14.1.2	电池充电稳压模式	172
14.1.3	备份模式	173
14.1.4	控制策略	173
14.2	集成开关电源变换器在开关磁阻电动机驱动中的应用	174
	参考文献	178
第 15 章	电力电子中的数字控制技术	180
15.1	数字控制的优点	180
15.1.1	集成	180
15.1.2	性能	180
15.2	数字控制的缺点及发展趋势	181
15.2.1	模/数转换的分辨率与范围	181
15.2.2	数字 PWM 的分辨率	181
15.2.3	稳态振荡(极限环)	183
15.2.4	固有的延迟时间	183
15.3	数字控制器的结构	183
15.4	数字设计	184
15.4.1	通过仿真的数字法	184
15.4.2	直接数字法	185
15.4.3	根轨迹法	185
15.4.4	伯德图或频率响应法	185
15.4.5	最少拍控制	185
15.4.6	Raggazini 控制器设计方法	187
15.4.7	状态空间设计	187
15.5	数字控制技术	189
15.5.1	数字电流控制模式	189
15.5.2	预测控制	190
15.5.3	滑模控制	193
15.5.4	状态向量控制	194
15.5.5	模糊控制	198
15.5.6	脉冲序列控制方法	199
15.6	数字控制的应用	199
15.6.1	PWM	199
15.6.2	电动机驱动	201
15.6.3	功率因数校正	202
15.6.4	有源功率滤波的备用电源	203
15.6.5	分布式电源系统	204

15.6.6 DC-DC 变换器	205
15.6.7 电子镇流器	206
15.7 数字控制器的实现	207
15.8 小结	208
参考文献	208
第 16 章 基于 DSP 的数字控制实现	214
16.1 基于 DSP 的数字控制实现概述	214
16.1.1 DSP 的基本概念 (从软件和硬件角度看)	214
16.1.2 期望系统描述	217
16.1.3 基于状态框图的控制流程	220
16.1.4 DSP 及微控制器的选择	221
16.1.5 参数表及使用说明	223
16.2 同相降压升压变换器和 DSP 控制板的硬件设计简图	226
16.2.1 同相降压升压变换器简图	226
16.2.2 所选 DSP 芯片的连接	228
16.2.3 模拟和数字信号接口	229
16.2.4 低压电源和 DSP 芯片复位电路	230
16.2.5 降压模式选择电路	230
16.2.6 RS232 串口通信电路	230
16.2.7 数/模转换器、EEPROM 和 JTAG 端口的串口	230
16.3 控制系统的软件实现	236
16.3.1 根据功能 (任务) 定义程序模块图	236
16.3.2 连接命令文件	237
16.3.3 启动代码	238
16.3.4 定义特殊功能寄存器的头文件和模块	239
16.3.5 控制器控制流程图的构建	240
16.3.6 同相降压升压变换器的编译源代码	240
16.3.7 可执行代码文件的注释和执行	249
16.3.8 同相降压升压变换器的测试操作	254
16.4 小结	256
参考文献	257

第 1 章 非隔离式 DC-DC 变换器

DC-DC 变换器广泛应用于稳压开关模式的直流电源以及直流电动机驱动。变换器的输入通常是线电压整流后的非稳压直流电压，因此线电压幅值的变化会引起输入电压波动。通过开关模式，DC-DC 变换器可将输入的非稳压直流电压变换为期望输出的可控直流电压^[1]。

在开关模式直流电源中，DC-DC 变换器通常与电气隔离变压器一起使用，而在直流电动机驱动中，通常并不需要隔离变压器^[2]。

降压变换器、升压变换器和降压升压变换器都是基本的变换器拓扑。变换器的拓扑选择范围很广，每一种变换器都有各自的优、缺点，使之可适用于特定的电源应用场合^[1-6]。接下来将介绍常用变换器的基本工作原理，优、缺点以及应用领域。

1.1 降压变换器

降压变换器是最基本的非隔离式开关电源拓扑之一^[3,4]，其输出电压总是低于输入电压，因此称为降压变换器，其功率级电路如图 1-1 所示。

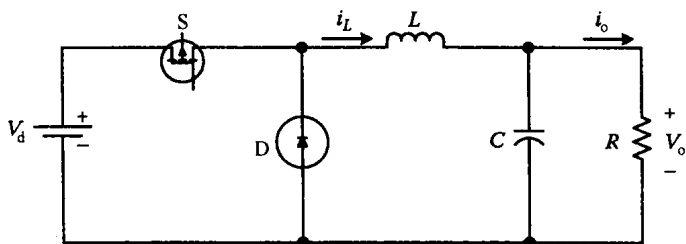


图 1-1 降压变换器

根据通过电感 L 的电流，变换器可以有两种基本的工作模式：连续导通模式（CCM）和断续导通模式（DCM）。如果通过电感的电流不为零（如 i_L 总为正），则称为连续导通模式；相反，如果电感电流为零并保持一定时间，则称为断续导通模式。两者之间的交界称为临界连续导通模式（CCCM）或临界断续导通模式（CDCM）。

开关 S 闭合时，输入电压作用于电感 L ，电压输出到负载。根据法拉第定律产生电感电流。开关 S 断开时，电感 L 两端电压反向，续流二极管 D 正向偏置，