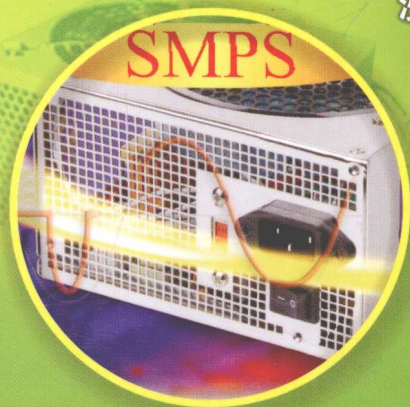


开关电源设计与应用系列书

开关电源

优化设计

沙占友 王彦朋 马洪涛 李玮 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

开关电源设计与应用系列书

开关电源

优化设计

沙占友 王彦朋 马洪涛 李玮 著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 简 介

本书全面、深入、系统地阐述了开关电源的优化设计。全书共十章。第一章为开关电源综述，第二章专门阐述开关电源的新技术及其应用。第三~五章分别介绍 DC/DC 变换器拓扑结构的选择、单片开关电源的特点及选择和开关电源关键外围元器件的选择。第六~八章重点阐述开关电源的优化设计实例、设计要点及利用软件实现开关电源的优化设计。第九、十章介绍开关电源的测试技术和保护电路的设计。本书对广大读者自行研发新型开关电源具有重要参考价值。本书为“开关电源设计与应用系列书”分册，该丛书还包括《开关电源外围元器件选择与检测》、《开关电源制作与调试》和《开关电源设计入门与实例解析》。

本书内容丰富，深入浅出，图文并茂，具有很高的实用价值，可供各类电子技术人员、高校师生和电子爱好者阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

开关电源优化设计/沙占友等著. —北京: 中国电力出版社, 2009

(开关电源设计与应用系列书)

ISBN 978-7-5083-9285-1

I. 开… II. 沙… III. 开关电源—设计 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 140478 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 10 月第一版 2009 年 10 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 14.125 印张 406 千字
印数 0001—3000 册 定价 29.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

开关电源被誉为高效节能电源。它具有效率高（可达70%~90%）、体积小（单位体积下的输出功率仅为线性稳压电源的1/4）、重量轻（单位质量下的输出功率约为线性稳压电源的4倍）、应用广泛等显著优点，现已成为稳压电源的主流产品。

近年来，随着现代电源技术的迅速发展和国内外市场的大量需求，对开关电源的优化设计也提出了更高要求。所谓优化设计，是指从多种设计方案中选择最佳设计方案的方法。实现开关电源优化设计的途径很多，大致可归纳为以下几个方面：①采用新器件（如新型单片开关电源集成电路）；②采用新技术（如磁放大器、同步整流、有源钳位、无源及有源功率因数校正等）；③采用新软件（最新版本的计算机辅助设计软件）。

鉴于目前国内已出版专门介绍开关电源优化设计的书籍还很少，而且主要为翻译国外的专著，内容侧重于开关电源的基本原理和入门知识，难以满足实用设计的需要。广大读者迫切需要能更全面、系统地掌握开关电源的新技术、开关电源的优化设计方法、设计实例及注意事项。为此，我们在系统总结从事开关电源研究工作所积累的经验及部分科研成果的基础上，参考国外厂家提供的最新资料后撰成此书，以飨广大读者。书中内容参考了作者应中国电子企业协会邀请，近期在开关电源优化设计高级研修班的授课讲稿。本书为“开关电源设计与应用系列书”分册，该丛书还包括《开关电源外围元器件选择与检测》、《开关电源制作与调试》和《开关电源设计入门与实例解析》。

本书融科学性、先进性、系统性、实用性于一体，主要有以下特点：

第一，全面、深入、系统地阐述了开关电源的优化设计，内容包括开关电源的新技术及其应用、DC/DC变换器拓扑结构的选择、

单片开关电源的特点及选择、开关电源外围元器件选择、开关电源的优化设计实例、利用软件实现开关电源的优化设计、开关电源的设计要点、测试技术及保护电路的设计。

第二，鉴于目前开关电源正朝着单片集成化、智能化、模块化、短小轻薄的方向发展，本书选择国际上最具代表性的单片开关电源集成电路，重点阐述单片开关电源的优化设计。

第三，内容新颖。介绍了半桥 LLC 谐振变换器、同步整流、磁放大器稳压、StackFET™（叠加场效应管）、悬浮式高压恒流源、填谷电路、有源功率因数校正、开关电源的电磁兼容性设计等多项新技术及应用实例。

第四，内容深入浅出，实用性强，具有很高的实用价值。在给出各种开关电源设计实例的同时，还详细介绍了电路设计要点、测试方法、关键外围元器件选择及保护电路的设计。此外还介绍了利用最新版本的 PI Expert 7.1 设计软件实现开关电源优化设计的实例。本书对广大读者自行研发开关电源具有重要的参考价值。

第五，信息量大，知识面宽，便于读者触类旁通，举一反三，灵活运用。

沙占友教授撰写了第一、二章、第六~八章，并完成了全书的审阅和统稿工作。王彦朋教授撰写了第三章和第五章。马洪涛副教授撰写了第四章和第九章。李玮副教授撰写了第十章。

李学芝、沙江、韩振廷、张文清、宋怀文、陈庆华、王志刚、刘立新、张启明、刘东明、赵伟刚、宋廉波、刘建民、李志清、郑国辉、王金和、赵仁明、李新华同志也参加了本书的撰写工作。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，欢迎广大读者指正。

作者

前 言

■ 第一章 开关电源综述	1
第一节 集成稳压电源的分类	1
第二节 开关电源的主要特点	5
一、开关电源的主要特点	5
二、开关电源与线性稳压电源的性能比较	6
第三节 开关电源的基本原理	6
一、开关电源的工作方式	6
二、脉宽调制器的基本原理	7
三、脉宽调制器的产品分类	9
第四节 开关电源的控制类型	10
一、电压控制型开关电源	10
二、电流控制型开关电源	12
第五节 开关电源的工作模式	13
一、连续模式与不连续模式的设定	14
二、两种工作模式的功耗比较	15
第六节 开关电源的反馈类型	16
一、开关电源反馈电路的基本类型	16
二、单片开关电源的反馈原理	18
第七节 开关电源的负载特性	22
第八节 开关电源发展的新趋势	25
一、开关电源发展的新趋势	25
二、开关电源领域的新技术	28
■ 第二章 开关电源的新技术及其应用	32
第一节 开关电源的单片集成化	32

第二节	利用计算机设计开关电源	34
一、	开关电源设计软件的主要特点	34
二、	开关电源设计与仿真软件分类	35
三、	开关电源软件的设计流程	37
第三节	开关电源的内部保护电路	41
第四节	同步整流技术	43
一、	同步整流技术简介	43
二、	同步整流的基本原理	45
第五节	有源钳位技术	46
第六节	磁放大器稳压技术	48
第七节	可编程稳压技术	51
一、	数字电位器的基本工作原理	52
二、	可编程开关稳压器的电路设计	56
第八节	数字电源系统	59
一、	数字电源的主要特点	59
二、	数字电源的基本构成	62
三、	数字电源的电路设计	65
第九节	基于填谷电路的无源功率因数校正技术	67
一、	功率因数与总谐波失真的关系	67
二、	基于无源填谷电路的无源功率因数校正器	69
第十节	有源功率因数校正技术	72
第十一节	开关电源的节能环保技术	75
■ 第三章	DC/DC 变换器的拓扑结构	78
第一节	DC/DC 变换器的拓扑结构	78
一、	DC/DC 变换器的拓扑结构	78
二、	DC/DC 变换器典型产品的主要技术指标	79
第二节	降压式变换器的基本原理	79
一、	降压式变换器的基本原理	79
二、	降压式变换器的简化电路	89
第三节	升压式变换器的基本原理	91

一、	升压式变换器的基本原理	91
二、	升压式变换器的简化电路	92
第四节	降压/升压式变换器的基本原理	92
第五节	电荷泵式变换器的基本原理	94
第六节	单端一次侧电感式变换器的基本原理	95
第七节	反激式变换器的基本原理	96
一、	反激式变换器的基本原理	96
二、	多路输出反激式变换器的基本电路	99
第八节	正激式变换器的基本原理	100
第九节	推挽式变换器的基本原理	101
一、	推挽式变换器的基本原理	101
二、	推挽式变换器的两种类型	103
第十节	半桥/全桥式变换器的基本原理	104
一、	半桥式变换器的基本原理	104
二、	全桥式变换器的基本原理	104
第十一节	软开关变换器的基本原理	105
一、	谐振式变换器的基本原理	105
二、	准谐振式变换器的基本原理	106
三、	全桥零电压变换器的基本原理	107
第十二节	半桥 LLC 谐振变换器的基本原理	107
一、	半桥 LLC 谐振变换器的基本原理	108
二、	半桥 LLC 谐振变换器的等效电路及电压 增益特性曲线	110
■ 第四章	单片开关电源的特点及选择	112
第一节	单片开关电源集成电路的主要特点	112
第二节	通用单片开关电源集成电路的产品分类	118
一、	第二代至第四代单片开关电源集成电路的 产品分类	118
二、	第五代单片开关电源集成电路的产品分类及 性能比较	120

第三节	微型单片开关电源集成电路的产品分类	123
一、	第二代、第三代微型单片开关电源集成电路的产品分类	123
二、	高效节能微型单片开关电源集成电路的产品分类	124
第四节	峰值功率输出式单片开关电源集成电路的产品分类	127
一、	PeakSwitch 系列单片开关电源集成电路的产品分类	127
二、	TinySwitch-PK 系列微型单片开关电源集成电路的产品分类	128
第五节	半桥式 PFC 及 LLC 控制器集成电路	129
一、	PLC810PG 性能特点及引脚功能	129
二、	PLC810PG 工作原理	130
第六节	单片开关电源的选择方法	133
第七节	单片开关电源的典型应用及印制电路设计	137
一、	TOPSwitch-HX 系列单片开关电源的典型应用及印制电路设计	137
二、	MC33370 系列单片开关电源的典型应用及印制电路设计	140
■ 第五章	开关电源关键外围元器件的选择	144
第一节	固定电阻器的选择	144
一、	固定电阻器的选择	144
二、	电流检测电阻的选择	148
第二节	电容器的选择	152
一、	理想电容器与实际电容器的比较	152
二、	开关电源常用电容器的分类	153
三、	输入、输出滤波电容器的选择	154
四、	EMI 滤波电容器的选择	157

第三节	电感器及磁珠的选择	159
一、	理想电感器与实际电感器的比较	159
二、	EMI 滤波电感器的选择	160
三、	磁珠的选择	162
第四节	输入整流桥的选择	167
一、	整流桥的选择	167
二、	整流桥的导通时间与选通特性	169
第五节	高频变压器磁心的选择	170
第六节	漆包线的选择	174
一、	漆包线的选择	174
二、	集肤效应和临近效应	175
第七节	输出整流管的选择	176
一、	快恢复及超快恢复二极管的选择	177
二、	肖特基二极管的选择	180
第八节	功率开关管的选择	183
一、	BJT 功率开关管	184
二、	MOSFET 功率开关管	185
三、	IGBT 功率开关管	187
第九节	光耦合器的选择	191
一、	光耦合器的基本原理	191
二、	线性光耦合器的选择	193
第十节	可调式精密并联稳压器的选择	194
一、	可调式精密并联稳压器	194
二、	低压输出可调式精密并联稳压器	197
第十一节	开关电源保护元件的选择	199
一、	熔丝管的选择	199
二、	熔断电阻器的选择	202
三、	压敏电阻器的选择	204
第六章	开关电源优化设计实例	208
第一节	多路输出式开关电源的设计	208


一、多路输出式单片开关电源的电路设计方案	208
二、多路输出式高频变压器的设计	211
第二节 改善多路输出式开关电源交叉调整率的方法	214
第三节 带磁放大器的 PC 开关电源的设计	215
一、145W 多路输出式 PC 开关电源的主电路设计	216
二、3.3V 磁放大器的电路设计	218
第四节 同步整流式 DC/DC 变换器的设计	220
第五节 峰值功率输出式音频功率放大器开关电源的设计	222
第六节 基于倍压整流的工业控制电源的设计	226
第七节 基于悬浮式高压恒流源的工业控制电源的设计	228
第八节 基于 StackFET™ 技术的微型开关电源的设计	232
第九节 恒流式 LED 驱动电源的设计	235
一、大功率白光 LED 的性能特点	235
二、由 LNK306 构成的 3W 恒流式 LED 驱动电源	235
第十节 数字电视机顶盒电源的设计	239
第十一节 能防止磁饱和的智能电能表开关电源的设计	242
第十二节 以太网电源的设计	243
第十三节 USB 接口手机充电器的设计	248
第十四节 基于填谷电路的恒流式 LED 高压驱动电源的设计	250
第十五节 带功率因数校正器的半桥 LLC 控制器	253
■ 第七章 开关电源设计要点	258
第一节 开关电源的设计要点	258

一、开关电源的设计要求	258
二、设计开关电源的注意事项	259
第二节 高效率开关电源的设计	262
一、开关电源的功率损耗	262
二、设计高效率单片开关电源的原则	263
三、提高开关电源效率的方法	264
第三节 恒压/恒流式开关电源的设计	268
一、恒压/恒流输出型开关电源的工作原理	268
二、恒压/恒流输出型开关电源的电路设计	270
第四节 精密恒压/恒流式开关电源的设计	272
一、精密恒压/恒流输出型开关电源的 工作原理	273
二、精密恒压/恒流输出型开关电源的 电路设计	275
第五节 截流式开关电源的设计	277
一、截流输出型开关电源的电路设计	277
二、恒流/截流输出型开关电源的电路设计	280
第六节 恒功率式开关电源的设计	280
一、恒功率输出型开关电源的工作原理	281
二、恒功率输出型开关电源的设计要点	282
第七节 复合型开关电源的设计	283
一、复合型开关电源的电路设计	283
二、多路输出复合型开关稳压器的电路设计	286
第八节 开关电源远程关断电路的设计	290
一、TOPSwitch-GX 的远程关断电路	290
二、PC 开关电源的远程关断电路	292
第九节 通用开关电源的高频变压器设计	293
一、无工频变压器式开关电源的典型电路	293
二、高频变压器的设计实例	295
第十节 成品散热器的热参数	299

第十一节	平板式散热器的设计方法	302
第十二节	开关电源常见故障检修方法	308
■ 第八章	利用软件实现开关电源的优化设计	313
第一节	PI Expert 7.1 设计软件简介	313
一、	PI Expert 7.1 的主要特点	313
二、	PI Expert 7.1 的主菜单和工具栏	316
第二节	利用 PI Expert 7.1 设计向导设计	
	开关电源的实例	317
一、	PI Expert 7.1 设计向导的设计步骤	317
二、	35W LCD 显示器电源的电路设计	322
第三节	PI Expert 7.1 产品选择指南的使用	
	方法及设计实例	325
一、	PI Expert 7.1 产品选择指南的使用	
	方法及设计步骤	325
二、	7.5W (峰值功 13W) DVD 电源的	
	电路设计	331
第四节	利用导航树检查并修改设计的方法	334
一、	导航树的结构	334
二、	利用导航树检查并修改设计的实例	334
第五节	单片开关电源的优化设计	342
一、	优化类型及优化结果提示	342
二、	自动及手动优化设计方法	345
■ 第九章	开关电源测试技术	348
第一节	开关电源的参数测试	348
一、	开关电源主要参数的测试方法	348
二、	功率测量技术	350
第二节	开关电源的性能测试	352
一、	开关电源主要参数的测试方法	352
二、	高频变压器的电气性能测试方法	355
第三节	开关电源的测量技巧	356

一、	采用非接触法测量开关电源的输入电流	356
二、	准确测量输出纹波电压的方法	357
三、	测量开关稳压器效率的方法	358
四、	测量隔离式交流开关电源输入功率的 简便方法	360
五、	测量开关电源负载功率的方法	361
第四节	准确测量占空比的方法	363
一、	准确测量占空比的简便方法	363
二、	数字式占空比测量仪	365
第五节	利用示波器检测高频变压器磁饱和的 方法	371
一、	高频变压器磁饱和特性及其对开关电源的 危害	371
二、	利用示波器检测高频变压器磁饱和的方法	372
第六节	数字式在线电流/电阻测量仪	375
一、	在线测量直流电流的原理与应用	375
二、	在线测量电阻的原理与应用	378
第七节	开关电源的电磁兼容性测量	381
一、	电磁兼容性的研究领域	381
二、	电磁兼容性的测量	383
■ 第十章	开关电源保护及监控电路的设计	387
第一节	漏极钳位保护电路的设计	387
一、	漏极上各电压参数的电位分布	387
二、	漏极钳位保护电路的设计	388
第二节	由分立元件构成的过电压保护电路	390
一、	由晶闸管构成的输入/输出过电压 保护电路	390
二、	由双向触发二极管构成的输出过电压 保护电路	393
三、	由稳压管构成的输出过电压保护电路	394

四、由压敏电阻器构成的过电压保护电路	395
五、具有过电压保护功能的开关稳压器	396
第三节 集成过电压保护器的应用	397
一、由 NCP345 构成的过电压保护电路	397
二、由 MAX4843 构成的过电压保护电路	398
三、由 MC3423 构成的过电压保护电路	400
第四节 欠电压保护电路的设计	400
一、由光耦合器构成的输入欠电压保护电路	400
二、由偏置绕组构成的输入欠电压保护电路	401
三、具有欠电压锁定功能的开关稳压器	402
四、实现过电压、欠电压控制的外部驱动电路	402
第五节 过电流及过功率保护电路的设计	404
一、由功率热敏电阻构成的限流保护电路	404
二、由晶体管构成的过电流保护电路	405
三、由自恢复熔丝管构成的过电流保护电路	406
四、集成过电流保护器的应用	407
五、集成过功率保护器的应用	408
第六节 软启动电路的设计	409
一、软启动电路	409
二、具有软启动功能的+5V/-5V 电源 变换器	410
三、具有延时启动功能的开关稳压器	411
第七节 电源电压监视器	412
一、由 TL431 构成的电压监视器	412
二、由 LM3914 构成的欠电压和过电压监视器	412
三、由 HYM705/706 构成的电源电压监视器	413
四、由 MCP1316 系列产品构成的电源电压 监视器	415
第八节 EMI 滤波器的原理与应用	417
一、EMI 滤波器的构造原理	417

二、EMI 滤波器的技术参数	419
三、EMI 滤波器在开关电源中的典型应用	421
第九节 开关电源电磁干扰的波形分析及	
电路模型	422
一、单片开关电源电磁干扰的波形分析	422
二、造成电磁干扰的电路模型	424
第十节 开关电源的瞬态干扰及音频噪声	
抑制技术	425
一、抑制瞬态干扰的方法	425
二、抑制音频噪声的方法	427
三、抑制其他干扰的方法	428
第十一节 过热保护元器件及散热控制系统的设计	429
一、开关电源过热保护电路的基本原理	429
二、两种过热保护元器件的原理与应用	430
三、具有多重保护功能的散热控制系统的设计	432
 参考文献	435

开关电源综述

开关电源 (Switching Mode Power Supply, 英文缩写为 SMPS) 被誉为高效节能电源, 具有效率高、体积小、重量轻、应用广泛等优点, 现已成为稳压电源的主流产品。本章重点阐述开关电源的基本原理、控制类型、工作模式、反馈类型及负载特性, 最后介绍开关电源发展的新趋势。

第一节 集成稳压电源的分类

目前国内外生产的集成稳压器多达上万种, 大致可分成线性集成稳压器和开关式集成稳压器两大类。集成稳压电源的分类及特点见表 1-1-1。

表 1-1-1 集成稳压电源的分类及特点

集成 稳压 电源	线性 电源 (Linear Power Supply)	标准线性 稳压器 (Standard Linear Regulator)	固定式	三端固定式	正压输出, 负压输出	
				多端固定式	正压输出, 负压输出	
			可调式	三端可调式	正压输出, 负压输出, 跟踪式	
				多端可调式	正压输出, 负压输出, 跟踪式	
		低压差 线性稳 压器 (Low Dropout Linear Regulator)	PNP 型 低压差线 性稳压器 (LDO)	三端或 多端固定 式/可调式	正压输出, 负压输出, 跟踪式	
超低压 差线性稳 压器(简 称 VLDO)						