

开关电源实用技术 设计与应用

周志敏 周纪海 编著

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

开关电源实用技术——设计与应用

周志敏 周纪海 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

开关电源实用技术——设计与应用/周志敏,周纪海编著. —北京:人民邮电出版社,2003.8

ISBN 7-115-10867-6

I. 开... II. ①周... ②周... III. 开关电源 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 026537 号

内 容 提 要

本书以开关电源高新实用技术为主线,结合国外开关电源技术动向和国内开关电源技术的应用和发展,介绍了开关电源的功率器件和基础电路及相关技术,系统地讲述了国外开关电源模块的结构及其外围电路的设计,重点是开关电源设计与应用。此外,本书还列举了开关电源在电信、信息、航天、军事及家电等领域的工程设计实例,其内容通俗易懂,具体实用。

本书可供电信、信息、航天、军事及家电等领域内从事电源开发、设计和应用的工程技术人员和高等院校师生阅读参考。

开关电源实用技术——设计与应用

-
- ◆ 编 著 周志敏 周纪海
责任编辑 刘 朋

 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67129264
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京朝阳展望印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 29.5
字数: 722 千字 2003 年 8 月第 1 版
印数: 1-5 000 册 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-10867-6/TN · 2000

定价: 37.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010) 67129223

前 言

随着电子技术的高速发展,电子系统的应用领域越来越广泛,电子设备的种类也越来越多,电子设备与人们的工作、生活的关系日益密切。任何电子设备都离不开可靠的电源,它们对电源的要求也越来越高。电子设备的小型化和低成本化使电源以轻、薄、小和高效率为发展方向。目前,我国通信、信息、家电、国防等领域的电源普遍采用高频开关电源。为此,本书结合国内外开关电源技术的发展动向,系统地介绍了开关电源的功率器件、基础电路、变压器、软开关技术、功率因数校正技术、开关电源电磁兼容技术和可靠性设计,讲述了近百种国外开关电源典型模块的结构和特性及外围电路设计,力求做到通俗易懂和结合实际,使得从事开关电源开发、设计、应用和维护的人员能从中获益。除此之外,本书对开关电源在通信、信息、家电、国防等领域应用的设计实例作了较为详细的介绍,并且着重介绍了系统电源的应用技术和开关电源的典型应用电路。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中谬误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 开关电源的发展	1
1.1.1 高频开关电源的发展	2
1.1.2 开关电源技术指标的探讨	4
1.2 开关电源的基本构成及分类	5
1.2.1 开关电源的基本构成	5
1.2.2 开关电源的分类	5
1.2.3 开关电源常用拓扑结构	7
1.3 国外开关电源的技术动态.....	10
1.3.1 开关电源电路器件.....	11
1.3.2 电路集成和系统集成及封装工艺.....	12
1.3.3 功率因数校正技术发展动态.....	13
1.3.4 低压大电流 DC/DC 变换技术的发展动态	16
第 2 章 开关电源功率器件和基础电路	19
2.1 功率半导体技术的发展.....	19
2.1.1 功率二极管.....	19
2.1.2 半导体功率开关器件.....	20
2.1.3 功率集成电路.....	22
2.2 功率场效应晶体管 MOSFET	23
2.3 绝缘栅双极晶体管 IGBT	26
2.3.1 IGBT 的结构与工作原理	26
2.3.2 IGBT 的基本特性	27
2.3.3 IGBT 的技术发展趋势	29
2.4 开关电源感性、容性和阻性器件的技术动向	31
2.4.1 变压器及扼流圈.....	31
2.4.2 电容.....	32
2.4.3 热敏电阻.....	32
2.5 开关电源基础电路.....	34
2.5.1 电流检测电路.....	34
2.5.2 PWM 反馈控制模式	37
2.5.3 开关电源并联均流技术.....	42
2.5.4 无损吸收网络技术.....	46
2.5.5 线性光电耦合器.....	53

2.6	开关电源整流技术	55
2.6.1	开关整流器技术	55
2.6.2	同步整流技术	56
2.6.3	同步整流器数字控制与驱动技术	58
2.6.4	同步整流技术的正激变换器	62
2.7	电压基准的特性及选用	66
2.7.1	电压基准的主要参数	67
2.7.2	电压基准的类型	68
2.8	开关电源保护电路	70
2.8.1	软启动电路	70
2.8.2	高性能电源保护电路	73
2.9	分布电源	75
2.9.1	电压调整模块	75
2.9.2	DC/DC 变换器成品组件在分布式电源中的应用	79
第 3 章	开关电源变压器	83
3.1	开关电源变压器的现状与发展	83
3.1.1	开关电源对电子变压器的要求	83
3.1.2	电子变压器的最新发展	85
3.2	新型扁平式变压器的设计原理及其应用	89
3.2.1	新型扁平式变压器的设计原理	89
3.2.2	扁平式变压器内部结构及其电感的测量和计算方法	90
3.2.3	扁平式变压器的应用	94
3.3	超微晶开关电源变压器的设计	95
3.3.1	变压器的性能指标及电路形式	95
3.3.2	主要参数的确定	99
3.4	电力电子高频磁技术及其发展趋势	100
3.4.1	研究电力电子高频磁技术的意义	100
3.4.2	电力电子高频磁技术的发展趋势	101
3.4.3	软磁铁氧体产品	104
第 4 章	软开关变换器	105
4.1	软开关技术	105
4.1.1	PFM 软开关变换器	106
4.1.2	PWM 软开关变换器	107
4.1.3	PS(Phase Shifted)软开关变换器	108
4.1.4	新型半桥不对称 PWM 控制变换器	111
4.1.5	零电压零电流逆变器	114
4.1.6	无源无损软开关 Boost 变换器	116

4.1.7	三电平软开关变换器	119
4.2	DC/DC 变换器	123
4.2.1	DC/DC 变换	123
4.2.2	单端有源钳位 DC/DC 变换器	124
4.2.3	大功率移相调宽 DC/DC 变换器	130
4.2.4	固定频率谐振式 DC/DC 变换器	132
4.2.5	并-串型双管正激组合变换器	133
4.3	变换器设计	136
4.3.1	有源钳位反激变换器设计	136
4.3.2	两相 ZVT-PWMDC/DC 变换器的设计	138
4.3.3	高可靠性混合集成 DC/DC 变换器(5V/3A)的设计	142
4.3.4	DC/DC 变换器的多路输出技术	146
4.3.5	多路输出式单片开关电源的电路设计	149
4.4	变换器的发展趋势	154
4.4.1	软开关高功率密度 DC/DC 变换器的发展动态	154
4.4.2	DC/DC 变换器改进封装,向高输出电流方向发展	157
4.4.3	DC/DC 变换器发展趋势	159
第 5 章	开关电源的功率因数校正电路	162
5.1	功率因数校正电路	162
5.1.1	功率因数校正原理	162
5.1.2	单极隔离式功率因数校正(PFC)变换器	164
5.1.3	无源功率因数校正电路	168
5.1.4	三相整流器功率因数校正电路	170
5.2	PFC 集成控制电路	176
5.2.1	UC3854	176
5.2.2	UC3854A/B	178
5.2.3	UCC3858	183
5.2.4	TDA16888	189
5.2.5	FA5331P(M)/FA5332P(M)	193
5.3	功率因数校正器的设计	197
5.3.1	应用 UC3854A/B 设计 PFC 电路	197
5.3.2	TOPSwitch 在 PFC 中的应用	203
第 6 章	开关电源的电磁兼容技术与可靠性设计	208
6.1	开关电源的电磁兼容技术	208
6.1.1	电磁兼容技术名词	209
6.1.2	电磁兼容性的国内外标准	210
6.1.3	开关电源的电磁兼容性	211

6.1.4	电磁兼容性研究及解决方法	212
6.1.5	国内开关电源的电磁兼容性现状	213
6.2	开关电源电磁兼容性测试	214
6.2.1	EMC 测试技术	214
6.2.2	开关电源的无线电骚扰特性测试	214
6.2.3	展望我国电磁兼容试验技术	220
6.3	开关电源的噪声	221
6.3.1	开关电源噪声的产生	221
6.3.2	干扰途径与耦合机制	224
6.4	开关电源的 EMC 设计	226
6.5	开关电源印刷电路板(PCB)中的电磁兼容问题	230
6.5.1	PCB 中带状线、电线、电缆间的串音和电磁耦合	231
6.5.2	PCB 布局、布线设计	232
6.5.3	印制电路板的可靠性设计	237
6.5.4	开关电源印制板 EMC 辅助设计的软件方法	238
6.5.5	抑制电磁干扰的 PCB 设计和制造 Build-up 新技术	241
6.6	开关电源可靠性设计	244
6.6.1	可靠性定义	244
6.6.2	提高系统可靠性的途径	247
6.6.3	开关电源电气可靠性设计	253
6.6.4	电源设备可靠性热设计	256
6.6.5	安全性设计	258
6.6.6	开关电源的三防设计	258
第 7 章	国外开关电源典型模块及应用	262
7.1	Unitorde 公司开关电源典型模块及应用	262
7.1.1	UC1864	262
7.1.2	UC3842	263
7.1.3	UCC2802/3802	265
7.1.4	UC3902	267
7.1.5	UC3825	269
7.1.6	UC3846	271
7.2	MAXIM 公司开关电源典型模块及应用	273
7.2.1	MAX1642/MAX1643	275
7.2.2	MAX5003	278
7.2.3	MAX668	284
7.2.4	MAX629	288
7.2.5	MAX1759	292
7.2.6	MAX712	294

7.2.7	MAX2003A	297
7.3	国外其他公司开关电源典型模块	302
7.3.1	DB2800S 系列	302
7.3.2	ICL8211/ICL8212	303
7.3.3	KA 系列 SPS 单片开关电源器件	311
7.3.4	L4970A	319
7.3.5	LA4960	323
7.3.6	LM2575	324
7.3.7	LM2576-ADJ	326
7.3.8	LM2678	327
7.3.9	LT1769	330
7.3.10	LT1930	334
7.3.11	M51995	336
7.3.12	NJU7660	341
7.3.13	SG3524	343
7.3.14	TL494	345
7.3.15	TL499AC	346
7.3.16	X-8438	349
7.3.17	FA5310/FA5311	351
7.3.18	L6598	354
7.3.19	PWM 开关调整器	357
7.4	单片 TOPSwitch 系列器件	360
7.4.1	TOPSwitch 系列器件简介	360
7.4.2	TOPSwitch-I 系列	362
7.4.3	TOPSwitch-II 系列	364
7.4.4	TOPSwitch-FX 系列	367
7.4.5	TOPSwitch-GX 系列	372
7.5	TinySwitch 系列器件及应用	378
7.5.1	TinySwitch	378
7.5.2	TinySwitch-II	381
第 8 章	开关电源典型设计	386
8.1	小功率开关稳压电源的设计	386
8.1.1	实用小功率开关稳压电源的设计	386
8.1.2	120W、24V 开关电源模块的电路设计	391
8.2	大功率高稳定度开关电源设计	393
8.3	模块化逆变电源的设计	397
8.4	机载高可靠性开关电源的设计	400
8.4.1	结构设计	401

8.4.2	高可靠性电源的设计原则	402
8.4.3	机载高可靠性电源的设计	402
8.4.4	机载小型化开关电源的设计	405
8.4.5	机载三相交流稳压电源的设计	407
8.5	卫星用多输出精密直流稳压电源系统	410
8.6	高速通信产品电源设计	417
第9章	系统电源设计与应用	420
9.1	系统电源应用技术	420
9.1.1	系统中电源的选择	421
9.1.2	电源的合理应用	422
9.1.3	电源的测试	435
9.2	开关电源典型应用电路	438
9.2.1	移动电话充电器	438
9.2.2	摄录像机的电池快速充电器	439
9.2.3	笔记本电脑电池充电器	440
9.2.4	隔离型待机电源	441
9.2.5	多路输出的35W机顶盒电源	442
9.2.6	喷墨打印机、激光打印机等计算机外部设备中的电源	443
9.2.7	精密小功率电源	444
9.2.8	绿色PC电源	446
9.2.9	高效率通用开关电源	447
9.2.10	双路输出的稳压稳流电源	451
9.2.11	200kHz/200W环保型开关电源	452
9.2.12	TOP202Y构成的7.5V、15W开关电源	455
9.2.13	12.5W恒流/恒压输出式手机电池充电器	456
9.2.14	7.5V、1A恒压/恒流输出式开关电源	457
9.2.15	固定-5V输出、200mA反相DC/DC变换器	459
9.2.16	固定12V输出、120mA升压变换器电源	460
参考文献	461

第 1 章 概 述

1.1 开关电源的发展

随着电子技术的高速发展,电子系统的应用领域越来越广泛,电子设备的种类也越来越多,电子设备与人们的工作、生活的关系日益密切。任何电子设备都离不开可靠的电源,它们对电源的要求也越来越高。电子设备的小型化和低成本化使电源以轻、薄、小和高效率为发展方向。传统的晶体管串联调整稳压电源是连续控制的线性稳压电源。这种传统稳压电源技术比较成熟,并且已有大量集成化的线性稳压电源模块,具有稳定性能好、输出纹波电压小、使用可靠等优点。但其通常都需要体积大且笨重的工频变压器与体积和重量都很大的滤波器。由于调整管工作在线性放大状态,为了保证输出电压稳定,其集电极与发射极之间必须承受较大的电压差,导致调整管功耗较大,电源效率很低,一般只有 45% 左右。另外,由于调整管上消耗较大的功率,所以需要采用大功率调整管并装有体积很大的散热器,很难满足现代电子设备发展的要求。20 世纪 50 年代,美国宇航局以小型化、重量轻为目标,为搭载火箭开发了开关电源。在近半个多世纪的发展过程中,开关电源因具有体积小、重量轻、效率高、发热量低、性能稳定等优点而逐渐取代传统技术制造的连续工作电源,并广泛应用于电子整机与设备中。20 世纪 80 年代,计算机全面实现了开关电源化,率先完成计算机的电源换代。20 世纪 90 年代,开关电源在电子、电器设备、家电领域得到了广泛的应用,开关电源技术进入快速发展期。

开关型稳压电源采用功率半导体器件作为开关,通过控制开关的占空比调整输出电压。以功率晶体管(GTR)为例,当开关管饱和导通时,集电极和发射极两端的压降接近零;当开关管截止时,其集电极电流为零。所以其功耗小,效率可高达 70%~95%。而功耗小,散热器也随之减小。开关型稳压电源直接对电网电压进行整流、滤波、调整,然后由开关调整管进行稳压,不需要电源变压器。此外,开关工作频率为几十千赫,滤波电容器、电感器数值较小。因此开关电源具有重量轻、体积小等优点。另外,由于功耗小,机内温升低,提高了整机的稳定性和可靠性。而且其对电网的适应能力也有较大的提高,一般串联稳压电源允许电网波动范围为 $220\text{V} \pm 10\%$,而开关型稳压电源在电网电压在 110~260V 范围内变化时,都可获得稳定的输出电压。

开关电源的高频化是电源技术创新技术,高频化带来的效益是使开关电源装置空前地小型化,并使开关电源进入更广泛的领域,特别是在高新技术领域的应用,推动了高新技术产品的小型化、轻便化。另外开关电源的发展与应用在节约资源及保护环境方面都具有深远的意义。

目前市场上开关电源中功率管多采用双极型晶体管,开关频率可达几十千赫;采用 MOSFET 的开关电源转换频率可达几百千赫。为提高开关频率,必须采用高速开关器件。对于兆赫以上开关频率的电源可利用谐振电路,这种工作方式称为谐振开关方式。它可以极大地提

高开关速度,理论上开关损耗为零,噪声也很小,这是提高开关电源工作频率的一种方式。采用谐振开关方式的兆赫级变换器已经实用化。开关电源的技术追求和发展趋势可以概括为以下四个方面。

① 小型化、薄型化、轻量化、高频化——开关电源的体积、重量主要是由储能元件(磁性元件和电容)决定的,因此开关电源的小型化实质上就是尽可能减小其中储能元件的体积。在一定范围内,开关频率的提高,不仅能有效地减小电容、电感及变压器的尺寸,而且还能够抑制干扰,改善系统的动态性能。因此,高频化是开关电源的主要发展方向。

② 高可靠性——开关电源使用的元器件比连续工作电源少数十倍,因此提高了可靠性。从寿命角度出发,电解电容、光耦合器及排风扇等器件的寿命决定着电源的寿命。所以,要从设计方面着眼,尽可能使用较少的器件,提高集成度。这样不但解决了电路复杂、可靠性差的问题,也增加了保护等功能,简化了电路,提高了平均无故障时间。

③ 低噪声——开关电源的缺点之一是噪声大。单纯地追求高频化,噪声也会随之增大。采用部分谐振转换回路技术,在原理上既可以提高频率又可以降低噪声。所以,尽可能地降低噪声影响是开关电源的又一发展方向。

④ 采用计算机辅助设计和控制——采用 CAA 和 CDD 技术设计最新变换拓扑和最佳参数,使开关电源具有最简结构和最佳工况。在电路中引入微机检测和控制,可构成多功能监控系统,可以实时检测、记录并自动报警等。

开关电源的发展从来都是与半导体器件及磁性元件等的发展休戚相关的。高频化的实现,需要相应的高速半导体器件和性能优良的高频电磁元件。发展功率 MOSFET、IGBT 等新型高速器件,开发高频用的低损磁性材料,改进磁元件的结构及设计方法,提高滤波电容的介电常数及降低其等效串联电阻等,对于开关电源小型化始终产生着巨大的推动作用。总之,人们在开关电源技术领域里,边研究低损耗回路技术,边开发新型元器件,两者相互促进并推动着开关电源以每年超过两位数的市场增长率向小型、薄型、高频、低噪声以及高可靠性方向发展。

1.1.1 高频开关电源的发展

1. 技术发展

目前我国通信、信息、家电和国防等领域的电源普遍采用高频开关电源,相控电源将逐渐被淘汰。国内开关电源技术的发展,基本上起源于 20 世纪 70 年代末和 80 年代初。当时引进的开关电源技术,在高等院校和一些科研院所停留在试验开发和教学阶段。20 世纪 80 年代中期开关电源产品开始推广和应用。20 世纪 80 年代开关电源的特点是采用 20kHz 脉宽调制(PWM)技术,效率可达 65%~70%。

经过 20 几年来的不断发展,开关电源技术有了重大进步和突破。新型功率器件的开发促进了开关电源的高频化,功率 MOSFET 和 IGBT 可使中小型开关电源工作频率达到 400kHz(AC/DC)或 1MHz(DC/DC);软开关技术使高频开关电源的实现有了可能,它不仅可以减少电源的体积和重量,而且提高了电源的效率,国产 6kW 通信开关电源,采用软开关技术,效率可达 93%;控制技术的发展以及专用控制芯片的生产,不仅使电源电路大幅度简化,而且使开

关电源的动态性能和可靠性大大提高;有源功率因数校正技术(APFC)的开发,提高了 AC/DC 开关电源的功率因数,既治理了电网的谐波污染,又提高了开关电源的整体效率。

在开关电源的所有应用领域内,通信电源是增长速度最快的一部分。新型磁材料和新型变压器的开发,新型电容器和 EMI 滤波器技术的进步,以及专用集成控制芯片的研制成功,使开关电源实现了小型化,并提高了 EMC 性能。微处理器监控技术的应用,提高了电源的可靠性,也适应了市场对其智能化的要求。

新型半导体器件的发展是开关电源技术进步的龙头。目前正在研究高性能的碳化硅半导体器件,一旦开发成功,对电源技术的影响将是革命性的。此外,平面变压器、压电变压器及新型电容器等元器件的发展,也将对电源技术的发展起到重要作用。

另外,集成化是开关电源的一个重要发展方向。通过控制电路的集成、驱动电路的集成以及保护电路的集成,最后达到整机的集成化生产。集成化和模块化减少了外部连线和焊接,提高了设备的可靠性,缩小了电源的体积,减轻了重量。目前,DC/DC 开关电源的功率密度可达每立方英寸 120 瓦。

总之,回顾开关电源技术的发展过程,我们可以看到,高效率、小型化、集成化、智能化以及高可靠性是大势所趋,也是今后的发展方向。

2. 生产发展

在开关电源领域,民族产业一直占有举足轻重的地位。在开关电源应用的起步阶段,很多生产厂家采取的都是小作坊式的生产模式。经过 20 余年的不懈努力,逐步向大规模生产转化,产品也从单一品种走向系列化。现在,我国已形成一批上亿元、甚至 10 亿元以上产值的电源企业,有些产品已进入国际市场。

3. 市场发展

我国信息产业、国防工业、家电行业,特别是电信业的迅猛发展,是电源市场发展的强大推动力。据国家统计局最新资料显示,当前我国电子信息产业的产区、产出、销售总规模以及对国家经济增长的贡献均居全国各工业行业之首,成为我国工业第一支柱产业。

由于开关电源巨大的市场需求,孕育了大批电源的生产企业。成规模的企业有十几家,分为三种类型:第一类是自主研制开发,已生产出具有先进水平的系列电源产品,不仅可以满足各种电子设备的需要,而且在航空、铁路、电力、国防及家电等领域中得到了广泛应用;第二类是中外合资企业,采用国外较为先进的技术,在国内用户中有较高的信誉度;第三类是进口部件在国内组装,然后直接销售到国外市场,这些产品质量好,但成本也高,对国内市场的适应能力较差。

每年几十亿元的电源市场孕育了几百家开关电源生产企业,而且已有大量的国外产品和公司进入国内,今后的竞争将是技术的竞争、质量的竞争和服务的竞争,品牌效应越来越突出。市场的竞争和发展必将促使产业内部的分化和重组,实现大企业的产品互动和整合营销,而适应不了市场竞争的企业将被淘汰。

4. 标准制定

20 世纪 90 年代初,高频开关电源的应用刚刚在电子、电信行业起步,适时颁布的《通信用

高频开关整流器》和《通信局(站)电源系统总技术要求》等标准对指导生产、服务用户起到了重要作用,为高频开关电源在电信行业的迅速推广也起到了积极作用。随着市场的扩大,用户对电源智能化程度的要求越来越高,有关通信电源集中监控的标准相继被推出。随着技术不断进步,经验逐渐积累,我们深感行业标准急需修订,技术指标需要改进,测试方法需要完善,内容需要增加(例如动态响应、电磁兼容等),为把好产品质量关提供更可靠的依据。

1.1.2 开关电源技术指标的探讨

1. 杂音

《TD/T731-94 通信用高频开关整流器》中对杂音的要求比较全面,包括峰—峰值杂音、宽频杂音、电话衡量杂音和离散杂音。但由于与杂音这一术语相近的名词较多,如果不了解它们的对应关系,就会产生疑问。峰—峰值杂音是用足够带宽的示波器测量的,是波形的最大值与最小值之差;宽频杂音是利用带通滤波器截取一定带宽内的杂音而测得的真有效值;电话衡量杂音是通过电话衡量网络后的宽频杂音,主要衡量对通话语音质量的影响;离散杂音是用选频电平表或频谱分析仪测得的单一频率上的幅值,较大值多出现在开关频率的倍频点上。IEC标准中提出“周期和随机漂移”(PARD)一词,定义周期部分为纹波,随机部分为噪声,纹波与开关频率的谐波有关。欧洲地区标准 ETS300132-2 中出现的“窄带杂音”,与上述的离散杂音的含义相同。高频段的杂音往往可以通过选取适当的滤波电容来降低,而降低低频段的杂音却是通过调整回路而不是滤波回路来实现的。电压调整速度快,动态响应好,低频段杂音就小。

2. 功率因数和谐波电流

为了减小市电干扰对电源测试的影响,一般测试时被测电源都接在净化电源上。我们发现有的电源接在净化电源上工作时,电压失真度、谐波电流都比较大,而功率因数低,但当换到市电时,功率因数却提高了。在实际应用中,高频开关电源有接到柴油发电机组的情况,并不总是接市电,所以有必要分析这种现象的成因,以利于生产厂家改进。被测电源接在市电上工作正常,接在净化电源上不行,那么从表面上看,一定是净化电源出了问题。其实不然,根源还是在被测电源上,关键就是被测电源工作时产生的谐波电流太大。市电电源内阻很小,吸收谐波电流的能力很强,所以没有造成很大的电压失真,功率因数也比较高。而净化电源的内阻以及柴油发电机组的内阻不能忽略不计,它们吸收谐波电流的能力有限,就会造成大的电压失真,功率因数就低。但如果对被测电源的功率因数校正部分进行优化设计,功率因数很高,工作时产生的谐波电流就不会超出净化电源的吸收能力。在实际应用中,通过提高柴油发电机组或净化电源的容量来提高吸收谐波电流的能力,就意味着加大成本。所以,根本的解决办法还是改进开关电源的功率校正电路,降低谐波电流,减小对电网的污染和能量损耗。

3. 动态响应

动态响应是评定开关电源稳定性的重要指标,超调量和恢复时间受到电流阶跃量、电流变化率和允差带来的影响,而行业标准中仅对电流阶跃量作了限定,使得实际应用中可操作性不

强。开关电源的输出回路中或测试连接回路中必然存在一定的电感,而电流变化率和电感的乘积将产生一定的感应电势。因此,电流阶跃并不是理想的,总存在一定的斜率,如果不规定电流变化率,测量结果就缺乏可比性。在美国工业标准中,一般取电流变化率为 $2\text{A}/\mu\text{s}$ 或 $5\text{A}/\mu\text{s}$ 。另外,还应统一测试方法,若用空气开关手动控制负载的突加突减,空气开关的抖动时间就已经超过了恢复时间的要求,致使测量结果不准确,所以应采用可控制电流变化率的电子开关来通断负载。

1.2 开关电源的基本构成及分类

1.2.1 开关电源的基本构成

开关电源的基本构成如图 1-1 所示,其中 DC/DC 变换器用以进行功率转换,它是开关电源的核心部分,此外还有启动、过流与过压保护、噪声滤波等电路。输出采样电路(R1、R2)检测输出电压变化,并与基准电压 U_r 比较,误差电压经过放大及脉宽调制(PWM)电路,再经过驱动电路控制功率器件的占空比,从而达到调整输出电压大小的目的。

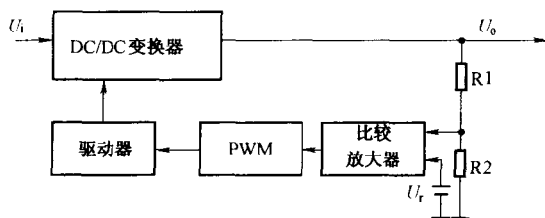


图 1-1 开关电源的基本构成

DC/DC 变换器有多种电路形式,常用的有工作波形为方波的 PWM 变换器以及工作波形为准正弦波的谐振型变换器。

对于串联线性稳压电源,输出对输入的瞬态响应特性主要由调整管的频率特性决定。但对于开关型稳压电源,输入的瞬态变化比较多地表现在输出端。提高开关频率的同时,由于反馈放大器的频率特性得到改善,开关电源的瞬态响应问题也能得到改善。负载变化瞬态响应主要由输出端 LC 滤波器特性决定,所以可以利用提高开关频率、降低输出滤波器 LC 乘积的方法来改善瞬态响应特性。

1.2.2 开关电源的分类

开关电源可分为 AC/DC 和 DC/DC 两大类。作为二次电源的 DC/DC 变换器现已实现模块化,且设计技术及生产工艺在国内外均已成熟和标准化,并已得到用户的认可。但一次电源 AC/DC,因其自身的特性使得在模块化的进程中,遇到了较为复杂的技术问题和工艺制造问题。以下分别对两类开关电源的结构和特性加以阐述。

1. DC/DC 类开关电源

DC/DC 类开关电源是将固定的直流电压变换成可变的直流电压,也称为直流斩波器。斩波器的工作方式有两种:一是脉宽调制方式 T 不变,改变频率调制方式 t (通用);二是频率调制方式 t 不变而改变 T (易产生干扰)。其具体的电路有以下几类:

- ① Buck 电路——降压斩波器,其输出平均电压 U_o 小于输入电压 U_D ,极性入出相同;
- ② Boost 电路——升压斩波器,其输出平均电压 U_o 大于输入电压 U_D ,极性入出相同;
- ③ Buck—Boost 电路——降压或升压斩波器,其输出平均电压 U_o 大于或小于输入电压 U_D ,极性入出相反,电感传输;
- ④ Cuk 电路——降压或升压斩波器,其输出平均电压 U_o 大于或小于输入电压 U_D ,极性入出相反,电容传输。

当今软开关技术使得 DC/DC 变换器发生了质的飞跃。美国 VICOR 开关电源公司设计制造的多种 ECI 软开关 DC/DC 变换器,其最大输出功率有 300W、600W、800W 等,相应的功率密度为 $6.2\text{W}/\text{cm}^3$ 、 $10\text{W}/\text{cm}^3$ 、 $17\text{W}/\text{cm}^3$,效率为 $80\% \sim 90\%$ 。日本 Nemic Lambda 公司最新推出的一种采用软开关技术的高频开关电源模块 RM 系列,其开关频率为 $200 \sim 300\text{kHz}$,功率密度已达到 $27\text{W}/\text{cm}^3$,采用同步整流器(MOS-FET 代替肖特基二极管),使整个电路效率提高到 90% 。

2. AC/DC 变换器

AC/DC 变换器是将交流变换为直流,其功率电流流向可以是双向的。功率电流流向负载的变换称为“整流”,功率电流由负载传输回电源的称为“有源逆变”。AC/DC 变换器输入为 $50 \sim 60\text{Hz}$ 的交流电,必须经整流、滤波,相对来说体积较大的滤波电解电容器是必不可少的。同时,因遇到安全问题,如 UL、CCEE 等标准及 EMC 指令的限制(如 IEC、FCC、CSA),交流输入则必须加 EMC 滤波及使用符合安全标准的元件,这样就限制了 AC/DC 电源的体积进一步小型化。另外,由于内部的高频、高压、大电流开关动作,使得解决 EMC 电磁兼容问题的难度加大,也就对内部高密度安装电路的设计提出了很高的要求。由于同样的原因,高电压、大电流开关使得电源工作损耗增大,限制了 AC/DC 变换器模块化的进程。因此,必须采用电源系统优化设计方法才能使其工作效率达到一定的满意程度。

AC/DC 变换器按电路的接线方式可分为半波电路和全波电路;按电路的控制特点可分为不可控、半控和全控三类;按电源相数可分为单相、三相和多相;按电路工作象限又可分为一象限、二象限、三象限和四象限。

3. 电路结构

开关型稳压电源的电路结构有多种:

- ① 按驱动方式分,有自励式和他励式;
- ② 按 DC/DC 变换器的工作方式分,有单端正励式和反励式、推挽式、半桥式、全桥式、降压式、升压式和升降压式等;
- ③ 按电路组成分,有谐振型和非谐振型;
- ④ 按控制方式分,有脉冲宽度调制(PWM)式、脉冲频率调制(PFM)式和 PWM 与 PFM

混合式；

⑤ 按电源是否隔离和反馈控制信号耦合方式分,有隔离式、非隔离式和变压器耦合式、光电耦合式等。

以上这些方式的组合可构成多种方式的开关型稳压电源。因此,设计者需根据各种方式的特征进行有效地组合,制作出满足需要的高质量开关型稳压电源。

1.2.3 开关电源常用拓扑结构

实现能量从电源到负载的变换需要复杂的控制技术,现在大多采用 PWM(脉冲宽度调制)技术。从输入电源提取的能量随脉宽变化,在一固定周期内保持平均能量转换。PWM 的占空因数(Δ)是“ON”时间(T_{on} ,从电源提取能量的时间)与总开关周期(T)之比。

对于开关稳压器,其稳定的输出电压正比于 PWM 占空因数,而且控制环路利用“大信号”占空因数作为电源开关的控制信号。

1. 开关频率和储能元件

在 DC/DC 变换器中,功率开关和储能元件的物理尺寸直接受工作频率影响。磁性元件所耦合的功率是: $P(L) = \frac{1}{2}LI^2F$ 。随着频率的提高,为保持恒定的功率,所要求的电感相应地减小。由于电感与磁性材料的面积和绕线匝数有关,所以可以减小电感器的物理尺寸。

电容元件所耦合的功率是: $P(C) = \frac{1}{2}CV^2F$ 。所以,储能电容器可实现类似的尺寸减小。元件尺寸的减小对于电源设计人员和系统设计人员来说都是非常重要的,这可使开关电源占用较小的体积和较小的印刷电路板面积。

2. 开关变换器拓扑结构

开关变换器的拓扑结构指能用于转换、控制和调节输入电压的功率开关元件和储能元件的不同配置。开关变换器拓扑结构可分为两种基本类型:非隔离型(在工作期间输入电源和输出负载共用一个电流通路)和隔离型(能量转换是用一个相互耦合磁性元件变压器来实现的,而且从电源到负载的耦合是借助于磁通而不是共同的电流)。变换器拓扑结构是根据系统造价、性能指标和输入/输出负载特性等因素选定的。

(1) 非隔离开关变换器

非隔离开关变换器有四种基本拓扑结构用于 DC/DC 变换器。

① 降压变换器将输入电压变换成较低的稳定输出电压。输出电压(U_{OUT})和输入电压(U_{IN})的关系为:

$$U_{OUT}/U_{IN} = \Delta(\text{占空因数}) \quad (1-1)$$

$$U_{IN} > U_{OUT} \quad (1-2)$$

② 升压变换器将输入电压变换成较高的稳定输出电压。输出电压和输入电压的关系为:

$$U_{OUT}/U_{IN} = 1/(1-\Delta) \quad (1-3)$$