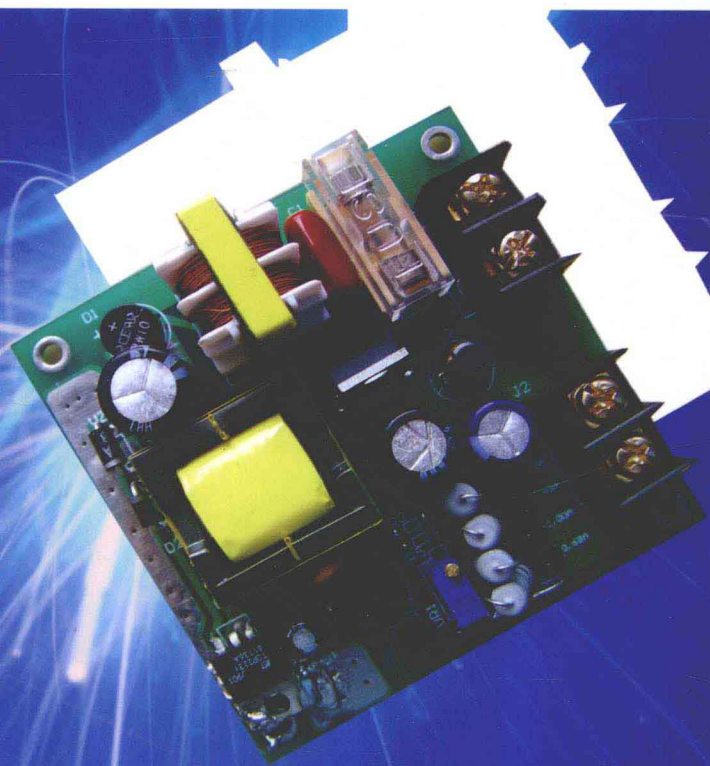


开关电源 原理与设计

KAIGUAN DIANYUAN
YUANLI YU SHEJI

沈显庆 张秀 郑爽 谢蕃芬 康洪明 编著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

开关电源原理与设计

沈显庆 张 秀 郑 爽 编著
谢蓄芬 康洪明

东南大学出版社
·南京·

内 容 提 要

本书从系统工程的角度,以开关电源的拓扑结构为类型模块,以功率因素校正为纽带,重点介绍非隔离型 DC-DC 变换器、隔离型 DC-DC 变换器的主电路拓扑和控制方式,并对开关电源的控制电路、保护电路软开关与同步整流技术、电磁兼容以及环路进行了电路分析和设计。本书共 12 章,内容包括:绪论、开关电源中常用的电力电子器件与驱动、非隔离型 DC-DC 变换器、隔离型 DC-DC 变换器、有源功率因数校正技术、软开关与同步整流技术、开关电源的控制电路、高频开关整流器的保护电路、开关电源的电磁兼容技术、开关电源中的磁性元件、反馈环路的稳定、开关电源设计实例等内容,重点讲述了主电路拓扑和控制方式。

本书可用作高等院校自动化、电气工程及自动化、测控技术与仪器、机电一体化等专业本科生的教材及参考书,也可作为从事工业控制及相关领域工作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源原理与设计 / 沈显庆等编著. —南京:东南大学出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-5641-3796-0

I. ①开… II. ①沈… III. ①开关电源—理论 ②开关电源—设计 IV. ①TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 244527 号

开关电源原理与设计

出版发行 东南大学出版社
社 址 南京市玄武区四牌楼 2 号 210096
网 址 <http://www.seupress.com>
出 版 人 江建中
责任编辑 姜晓乐(seupresselec@gmail.com)
经 销 全国各地新华书店
印 刷 南京京新印刷

开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 14
字 数 349 千
版 印 次 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-3796-0
定 价 29.80 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真):025-83791830。

前 言

随着微型计算机及微电子技术 in 检测及控制领域的广泛应用,新一代开关电源采用了先进的科学技术,成为具有人工智能的高自动化机电设备。因此,学习开关电源的主电路拓扑结构和控制方式,掌握相关的新技术和设计方法是十分重要的。

本书是为从事开关电源设计和控制的高等学校相关专业、研究所以及从事开关电源的操作人员、维修人员编写的教材。本书主要特点为:

(1) 在取材和教材体系编排上注重原理与应用技术相结合,突出应用性和针对性,把作者多年从事开关电源设计的科研成果和具体事例联系在一起,突出针对性。

(2) 力求将最新的传感技术、检测技术等及时反映在教材中,同时还针对从事开关电源设计、操作及维修人员增加了开关电源的电磁兼容技术、软开关与同步整流技术等内容。

(3) 本书力求从完整的体系论述开关电源系统,能使刚刚从事开关电源的人员对整个系统有所了解,由浅入深地对开关电源的整体进行论述,涵盖了开关电源中常用的电力电子器件与驱动和最新的控制方法。

本书由沈显庆、张秀、郑爽、谢蓄芬、康洪明共同编著,本书共分12章,其中第6章和第9章由沈显庆编写;第2章和第3章由康洪明编写;第4章和第7章由郑爽编写;第8章、第11章和第12章由张秀编写;第1章、第5章和第10章由谢蓄芬编写。全书由沈显庆策划与统稿。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2012年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 关于开关电源	1
1.2 开关电源的基本构成	1
1.3 开关电源的分类	2
1.4 开关电源的应用	3
1.5 开关电源的发展史	4
1.6 开关电源技术的发展趋势	6
第 2 章 开关电源中常用的电力电子器件与驱动	7
2.1 电力二极管	7
2.1.1 PN 结与电力二极管的工作原理	7
2.1.2 二极管的基本特性及主要参数	9
2.1.3 二极管的主要类型.....	11
2.2 电力 MOSFET	11
2.2.1 结构和工作原理.....	11
2.2.2 主要参数.....	13
2.3 绝缘栅双极型晶体管(IGBT)	14
2.3.1 结构与工作原理.....	14
2.3.2 主要参数.....	16
2.4 驱动电路.....	17
2.4.1 对驱动电路的要求.....	17
2.4.2 集成电路直接驱动.....	18
2.4.3 加入驱动功率放大级驱动.....	18
2.4.4 用变压器耦合驱动.....	18
2.4.5 光耦合器驱动器.....	19
第 3 章 非隔离型 DC-DC 变换器	21
3.1 降压式(Buck)变换器	21
3.1.1 主电路拓扑和控制方式.....	21
3.1.2 电感电流连续时 Buck 变换器的工作原理和基本关系	22
3.1.3 电感电流断续时 Buck 变换器的工作原理和基本关系	25
3.1.4 电感电流临界连续的边界.....	25
3.2 升压式(Boost)变换器	28

3.2.1	主电路拓扑和控制方式	28
3.2.2	电感电流连续时 Boost 变换器的工作原理和基本关系	29
3.2.3	电感电流断续时 Boost 变换器的工作原理和基本关系	30
3.2.4	电感电流临界连续的边界	31
3.3	升降压(Buck/Boost)变换器	33
3.3.1	主电路拓扑和控制方式	33
3.3.2	电感电流连续时 Buck/Boost 变换器的工作原理和基本关系	34
3.3.3	电感电流断续时 Buck/Boost 变换器的工作原理和基本关系	35
3.3.4	电感电流临界连续的边界	37
3.4	Cuk 变换器	38
3.4.1	主电路拓扑和控制方式	38
3.4.2	电流连续时 Cuk 变换器的工作原理和基本关系	40
3.4.3	电流断续时 Cuk 变换器的工作原理和基本关系	41
3.4.4	两电感有耦合的 Cuk 变换器	43
3.5	Zeta 变换器	44
3.5.1	主电路拓扑和控制方式	44
3.5.2	电流连续时 Zeta 变换器的工作原理和基本关系	45
3.5.3	电流断续时 Zeta 变换器的工作原理和基本关系	47
3.6	Sepic 变换器	47
3.6.1	主电路拓扑和控制方式	47
3.6.2	电流连续时 Sepic 变换器的工作原理和基本关系	49
第 4 章 隔离型 DC-DC 变换器		51
4.1	正激式变换器	51
4.1.1	主电路组成和控制方式	51
4.1.2	电流连续时正激变换器的工作原理和基本关系	52
4.2	反激变换器	55
4.2.1	主电路组成和控制方式	55
4.2.2	电流连续时反激变换器的工作原理和基本关系	57
4.2.3	电流断续时反激变换器的工作原理和基本关系	59
4.3	推挽(Push-Pull)变换器	59
4.3.1	推挽式逆变器	59
4.3.2	推挽变换器	61
4.3.3	推挽变换器的铁芯偏磁	63
4.4	半桥(Half-Bridge)变换器	64
4.4.1	半桥逆变器	64
4.4.2	半桥 DC-DC 变换器	65
4.4.3	考虑漏感时半桥变换器的工作原理	67
4.5	全桥(Full-Bridge)变换器	68

4.5.1	全桥逆变器	68
4.5.2	全桥变换器	71
4.5.3	全桥变换器中直流分量的抑制	74
第5章 有源功率因数校正技术		75
5.1	概述	75
5.1.1	AC/DC 变换器输入电流的谐波分量	75
5.1.2	功率因数和总谐波畸变的定义	76
5.1.3	提高 AC/DC 变换器输入侧功率因数的主要思路	77
5.1.4	有关谐波标准	78
5.2	基本 Boost 型 PFC 电路	78
5.2.1	PFC 电路的工作原理	78
5.2.2	占空比的瞬态表达式	80
5.2.3	理想模型	81
5.2.4	电感 L 的设计	82
5.3	PFC 电路的控制技术	82
5.3.1	DCM 工作模式的控制技术	83
5.3.2	CCM 工作模式的电流型控制技术	84
5.4	改进的 PFC 电路	86
5.4.1	ZVT-Boost 型 PFC 电路	86
5.4.2	Buck+Boost 型 PFC 电路	87
5.4.3	DCM 反激式 PFC 电路	88
第6章 软开关与同步整流技术		90
6.1	软开关技术	90
6.1.1	硬开关和软开关	90
6.1.2	零电压开关与零电流开关	91
6.1.3	准谐振变换电路	92
6.1.4	零开关 PWM 变换电路	95
6.1.5	零转换 PWM 变换电路	98
6.2	同步整流技术	100
6.2.1	电压自驱动同步整流	101
6.2.2	环路电流抑制	102
6.2.3	用于同步整流的功率 MOSFET 的最新进展	103
第7章 开关电源的控制电路		104
7.1	电压模式 PWM 控制器	104
7.2	电流模式 PWM 控制器	104
7.3	电压型控制芯片 SG3525	105

7.3.1	性能及工作原理	105
7.3.2	关断操作	106
7.3.3	SG3525 输出的不同驱动型式	107
7.4	脉宽调制芯片 UC3843	108
7.4.1	UC3843 管脚连接图	108
7.4.2	UC3843 的主要特性	109
7.4.3	UC3843 芯片原理	109
7.5	移相全桥控制芯片 UC3875	111
7.5.1	UC3875 的电气特性	111
7.5.2	内部结构和工作原理	111
7.5.3	各部分的基本工作原理分析	112
7.6	峰值电流控制 PWM 芯片 MC34261	115
7.6.1	引言	115
7.6.2	工作描述	115
7.6.3	设计公式	117
7.7	平均电流型功率因数校正芯片 UC3854	120
7.7.1	UC3854 内部功能模块介绍	120
第 8 章	高频开关整流器的保护电路	123
8.1	输入端连续过电压保护	123
8.2	输入瞬态过压保护	125
8.3	启动冲击电流抑制	125
8.4	软启动电路	127
8.5	输出限流保护	128
8.6	过热保护电路	131
8.7	缺相保护电路	132
第 9 章	开关电源的电磁兼容技术	134
9.1	开关电源中的电磁干扰问题	134
9.1.1	开关电源干扰的产生	134
9.1.2	开关电源外部干扰	135
9.1.3	开关电源干扰耦合途径	135
9.2	开关电源中的电磁干扰的抑制	137
9.2.1	电磁屏蔽	137
9.2.2	接地技术	140
9.2.3	滤波器技术	141
第 10 章	开关电源中的磁性元件	144
10.1	在开关电源中磁性元件的作用	144

10.2 磁的基本概念和基本定律	144
10.2.1 磁场的几个常用物理量	144
10.2.2 磁路的概念	145
10.2.3 磁路的基本定律	145
10.3 软磁性材料	148
10.3.1 磁性材料的磁化	148
10.3.2 磁材料的磁化曲线	148
10.3.3 磁芯损耗	151
10.3.4 相对磁导率 μ_r	154
10.3.5 磁芯磁性能	156
10.4 高频变压器设计方法	157
10.4.1 变压器设计方法之一——面积乘积(AP)法	157
10.4.2 变压器设计方法之二——几何参数(K_G)法	160
10.5 电感器设计方法	162
10.5.1 电感器设计方法之一——面积乘积(AP)法	162
10.5.2 电感器设计方法之二——几何参数(K_G)法	164
10.5.3 无直流偏压的电感器设计	165
第 11 章 反馈环路的稳定	166
11.1 引言	166
11.2 系统振荡原理	167
11.2.1 电路稳定的增益准则	167
11.2.2 电路稳定的增益斜率准则	167
11.2.3 输出 LC 滤波器的增益特性(输出电容含/不含 ESR)	170
11.2.4 脉宽调制器的增益	171
11.2.5 LC 输出滤波器加调制器和采样网络的总增益	172
11.3 误差放大器幅频特性曲线的设计	173
11.4 误差放大器的传递函数、极点和零点	175
11.5 零点、极点频率引起的增益斜率变化规则	176
11.6 只含单零点和单极点的误差放大器传递函数的推导	177
11.7 根据 II 型误差放大器的零点、极点位置计算相移	178
11.8 考虑 ESR 时 LC 滤波器的相移	179
11.9 设计实例——含有 II 型误差放大器的正激变换器反馈环路的稳定性	180
11.10 III 型误差放大器的应用及其传递函数	182
11.11 III 型误差放大器零点、极点位置引起的相位滞后	183
11.12 III 型误差放大器的原理图、传递函数及零点、极点位置	184
11.13 设计实例——通过 III 型误差放大器反馈环路稳定正激变换器	185
11.14 III 型误差放大器元件的选择	187
11.15 反馈系统的条件稳定	187

11.16	不连续模式下反激变换器的稳定	188
11.16.1	从误差放大器端到输出电压节点的直流增益	188
11.16.2	不连续模式下反激变换器的误差放大器输出端到输出电压节点的 传递函数	190
11.17	不连续模式下反激变换器误差放大器的传递函数	191
11.18	设计实例——不连续模式下反激变换器的稳定	192
11.19	跨导误差放大器	194
第 12 章	开关电源设计实例	197
12.1	完全能量传递反激式开关电源的设计	197
12.1.1	电路设计	197
12.1.2	反激变换器 RCD 缓冲器的设计	198
12.1.3	主要元件的参数计算与选型	201
12.2	基于 SG3525 的半桥式开关电源的设计	205
12.2.1	电路设计	205
12.2.2	主要元件参数的计算与选择	205
12.3	基于 MC34261 的有源功率因数校正器的设计	209
12.3.1	电路设计	209
12.3.2	主要元件参数的计算与选型	210
参考文献	212

第 1 章 绪 论

1.1 关于开关电源

开关电源电路是电力电子电路的一种。通常我们把电力分为交流(AC)、直流(DC)两大类。因此,基本的电力电子电路就可分为四大类型,即 AC-DC 电路,DC-AC 电路,AC-AC 电路,DC-DC 电路,见表 1-1。AC-DC 电路和 DC-AC 电路一般比较容易理解。对于 AC-AC 电路,可以变换的对象有频率、相数、电压和电流等。对于 DC-DC 电路,可以变换的主要对象是电压和电流。电力电子电路中的核心元器件是电力电子器件,它们一般都工作在开关状态,这样可以使损耗很小,这是电力电子电路的一个显著特点。

表 1-1 电力电子电路的基本类型

输入 \ 输出	直流(DC)	交流(AC)
交流(AC)	整流	交流电力控制、变频、变相
直流(DC)	斩波	逆变

顾名思义,开关电源就是电路中的电力电子器件在开关状态工作的电源。这样一来,如果把由表 1-1 的四大类基本电力电子电路都看成开关电源电路,则所有的电力电子电路也都可以看成开关电源电路。而实际中,开关电源所涵盖的范围远比表中的范围要小得多,如整流电路中的相控电路就不属于开关电源范畴。

1.2 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(R_1 , R_2)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。

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。在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。

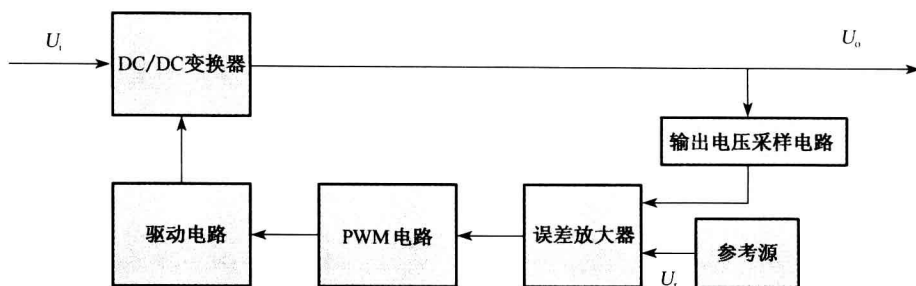


图 1-1 开关电源的基本结构

1.3 开关电源的分类

开关稳压电源的构成方法很多,其分类方法也多得使人无所适从,下面介绍其中的几种分类方法。

1. 按输出能量的形式分类

(1) 直流开关电源 输出的是高质量的直流电能。

(2) 交流开关电源 输出的是高质量的交流电能。

2. 按驱动方式分类

(1) 自激式开关电源 其借助于变换器自身的正反馈控制信号,实现开关自持周期性开关。开关管起着振荡器和功率开关的作用。如单管振铃扼流圈变换器,即称 RCC 变换器;双管单变压器罗耶尔(Royer)电路;双管双变压器詹森(Jensen)变换器电路。

(2) 他激式开关电源 其电源内部备有专门独立的振荡电路,与振荡器同步的控制信号驱动开关管。

3. 按能量转换过程的类型分类

(1) 直流—直流变换器(DC-DC) 它是将一种直流电转换成另一种或几种直流电。DC-DC 变换器是直流开关电源的核心部件,也是非隔离式或隔离式变换器直流电源的重要组成部分。

(2) 逆变器(DC-AC) 它是将直流电转换成交流电的开关变换器,有的称其为变流器,是交流输出开关电源和不间断电源(UPS)的主要部件。

(3) 开关整流器(AC-DC) 它是将交流电转换成直流电的一种电源装置,这种变换器其变换过程应该理解为交流—直流—交流—直流(AC-DC-AC-DC)。

(4) 交流—交流变频器(AC-AC) 它是将一种频率的交流电直接转换成另一种恒频或可变频率的交流电,或是将变频交流电直接转换成恒频交流电的变换装置。

4. 按输入与输出是否隔离分类

(1) 隔离式开关变换器 它用高频变压器将变换器的一次侧(输入)与二次侧(输出)隔离。这种变换器结构主要有单端正激式变换器、单端反激式变换器、中心抽头式(推挽)变换器、半桥式变换器、全桥式变换器。

(2) 非隔离式开关变换器 它在电气上输入与输出不隔离,输入与输出共用一个公共

端。这种变换器结构主要有降压型(Buck)变换器、升压型(Boost)变换器、降压-升压型(Buck-Boost)变换器以及它们的组合变形电路,如Cuk变换器、Zeta变换器、Sepic变换器等。

5. 按功率开关管关断和开通的工作条件分类

(1) 硬开关变换器 功率开关器件是在承受电压或电流应力的情况下接通或关断的。这样不但产生开关损耗,而且形成开关尖峰干扰噪声,需要附加屏蔽、滤波等抗噪声技术,才能满足高精度、高性能用电设备的要求。

(2) 软开关变换器 功率开关器件是在不承受电压或电流应力的情况下接通或关断的;或是加于开关管上的电压为零,称零电压开关(ZVS);或是流过开关管的电流为零,称零电流开关(ZCS)。因开关过程中无电压、电流重叠(理想情况),开关损耗大大降低,而且开关噪声电压小,有利于开关变换器的高频化、小型化。

1.4 开关电源的应用

开关电源是20世纪60年代电源历史上的一次革命,它安装于各种家用电器、工业设备及军用电子装置中,同时作为赋能装置应用于各个领域。下面列举开关电源应用领域的一些例子。

1. 金属焊接与切割电源

全世界生产的钢材约50%需要焊接加工成构件才能使用,每生产1万t钢,就需要相应生产20万~25万台焊机以满足加工需求。高频开关整流焊接电源在体积、质量、节能及焊接性能等方面是传统焊接电源无法比拟的,已取代传统焊接电源,广泛用于焊接行业。

2. 表面处理工程

用于电镀行业的整流电源,其特点是低电压、大电流。高频逆变开关整流电镀电源与二极管的硅整流电源、晶闸管整流电镀电源相比,除了体积小、质量轻、效率高之外,还有可控性好、稳压稳流精度高、易于并联、易于实现计算机监控和故障检测安全控制等优点,而且镀层品质大大提高。直流电镀与脉冲电镀相结合,可获得均匀、无裂缝、耐腐蚀能力和耐磨能力强的镀层表面。

用于工业设备和武器装备、舰船维修的电弧热喷涂工艺,应用高频开关电源电弧为热源,对实现涂层结构致密、低孔隙率、高强度、耐磨、防热腐蚀具有广泛的应用前景。

用于塑料表面处理,采用工作电压10~13kV,开关频率10~36kHz的高压开关电源以电晕方法使塑料表面改性,提高印刷性和粘接性,用此法同时还可去除油污、水汽和尘垢。

用于电容器铝箔表面处理,可提高电容器的比容量及抗电强度等。

3. 在环境保护中的应用

脉冲电晕加氨脱硫是一种很有前景的烟气净化技术,对解决世界性三大环保问题之一的酸雨,高压开关电源有其用武之地。

高频开关电源在脉冲放电废水处理中也得到了广泛应用,利用强脉冲放电所产生的等离子体能够高密度储存能量并具有高膨胀效应,能形成强烈的热能、膨胀压力热能、光能、声能和辐射能,进而在水中产生各种游离基。这些活性游离基可以破坏工业废水中的有害物质。

脉冲电场杀菌消毒使用开关电源,可以克服热处理、防腐剂等杀菌的局限性并可避免给食品引入新的污染。强脉冲放电,特别是高压脉冲放电产生的强烈冲击波以及紫外线、强电流、臭氧等综合效应,灭菌效果和能量利用率更高。

4. 在激光中的应用

激光在国防、工业加工、医疗卫生等领域用于靶场试验、杀伤武器、探测、防御、打孔、成形、修模、手术、修复等。激光器的电源应用高频开关电源赋能,克服了晶闸管开关的缺点,为激光技术的发展和應用开辟了广阔的前景。

5. 在电力系统中的应用

在电力操作系统中使用 AC-DC, DC-DC 高频开关电源,可以实现与市电的热备运行,既可在正常情况下用市电为蓄电池充电,也可在市电断电时提供负载所需的操作电源,克服了硅整流器及二极管调压存在的体积大、精度差等缺点。电力输、配电系统需要应用高压大功率开关变换器。

6. 在通信领域中的应用

开关电源应用于通信系统时间较早,技术已日趋成熟,主要是一次电源(如 48 V 直流电源)和二次电源(如 24 V, 12 V, 6 V 等直流电源)。

7. 在蓄电池充电中的应用

以往的大容量蓄电池充电装置多用硅二极管和晶闸管整流电源。采用开关电源对蓄电池充电,不仅体积小、质量轻,可以实现计算机或单片机控制,充电参数更符合蓄电池接受率,充电效率高,能实现快速充电,而且可以提高蓄电池的使用寿命。作为蓄电池能量再生工具的开关电源充电机,具有很好的应用市场,尤其是给电动汽车电池充电。

8. 在风能、太阳能发电中的应用

风能、太阳能是一种可再生能源,对于节约能源和减少环境污染具有重要意义。在风能、太阳能发电系统中应用到 DC-DC 和 DC-AC 开关变换器,因其体积小、质量轻、效率高、噪声低而备受青睐。

9. 在电动机调速中的应用

全世界用电量中约有 60% 是通过电动机消耗掉的。如何使电动机工作在高效状态,具有重大的意义。开关电源变频器在该领域可以发挥重要作用。

10. 在军事装备中的应用

在军用电子设备中安装开关电源已成为现代军用电子设备的特征之一。开关电源用于坦克、火炮、导弹发射装置的启动控制、训练和点火,提高了军事训练的效果和战斗力,还可节省军费开支。

凡是在使用电源的装置和设备中,开关电源都有用武之地,从民用电器到工业设备及军事装备等各个领域,开关电源的应用无处不在。要囊括其应用是十分困难的,上述列举的应用领域只是其中几例,供参考。应用是设计制造的目的,应用也是促进设计师正确设计产品的关键。

1.5 开关电源的发展史

1955 年,美国罗耶(GH. Roger)发明的自激振荡推挽晶体管单变压器直流变换器,是实

现高频转换控制电路的开端,1957年美国查赛(Jen Sen)发明了自激式推挽双变压器,1964年美国科学家们提出取消工频变压器的串联开关电源的设想,这使电源向体积和重量的下降获得了一条根本的途径。

到了1969年,由于大功率硅晶体管的耐压提高,二极管反向恢复时间的缩短等元器件改善,终于做成了25 kHz的开关电源。

后来,随着电力MOSFET的应用,开关电源的开关频率进一步提高,使得电源体积更小,重量更轻,功率密度更进一步提高。

由于和线性电源相比,开关电源在绝大多数性能指标上都具有很大的优势。因此,目前除了对直流输出电压的纹波要求极高的场合以外,开关电源已经全面取代了线性电源。计算机、电视机、各种电子仪器的电源几乎都已开关电源一统天下。

作为电子装置的供电电源,线性电源主要用于小功率范围。因此,在20世纪80年代以前,作为线性电源的更新换代产品,开关电源也主要用于小功率场合。那时,中大功率直流电源仍以晶闸管相控电源为主。但是,80年代起,绝缘栅双极型晶体管(IGBT)的出现打破了这一格局。

IGBT可以看成是MOSFET和BJT复合而成的器件。和BJT相同,它们都主要用于中等功率场合,但IGBT工作频率更高,且属于电压驱动型器件,易于驱动,具有突出的优点而没有明显的缺点。因此,IGBT迅速取代了昙花一现的BJT,而成为中等功率范围的主流器件,并且不断向大功率方向拓展其生存空间。

IGBT的出现使得开关电源的容量不断增大,在许多中等容量范围内迅速取代了相控电源。在通信领域,早期的48 V基础电源几乎都是采用的晶闸管相控电源,现在已逐步被开关电源所取代。电力系统的操作用直流电源以前也是采用晶闸管相控电源,目前开关电源已经成为其主流。此外,电焊机、电镀装置等传统的晶闸管相控电源的应用范围,也逐步被开关电源所蚕食。

如前所述,开关频率的提高可以使电源体积减小、重量减轻,但却使得开关损耗增大,电源效率降低。另外,开关频率的提高也使得电源的电磁干扰问题变得突出起来。为了解决这一问题,20世纪80年代出现了采用准谐波技术的零电压开关电路和零电流开关电路,这种技术被称为软开关技术。采用软开关技术,在理想情况下可使开关损耗降为零,提高效率,同时也使电磁干扰大大减小,因而也有助于进一步提高开关频率,使得电源进一步向体积小、重量轻、效率高、功率密度大的方向发展。经过近20年的发展,对于软开关技术的研究至今仍十分活跃,它也已经成为应用于各种电力电子电路的一项基础性技术。但是,迄今为止,软开关技术应用最为成功的领域仍然是开关电源领域。

开关电源和交流电网连接的电路通常都是二极管整流电路,这种电路的输入电流已不再是正弦波,且含有大量的谐波,这也使得电源的功率因数很低。当公用电网上接有大量的开关电源负载时,就会对电网产生严重的谐波污染。最近几年经常听到“绿色电源”这个名词。这里所说的“绿色”,其标志主要就是对电网不产生谐波污染,对环境不产生电磁干扰,当然也包括不产生噪声。为了降低开关电源对电网的谐波污染,提高开关电源的功率因数,在20世纪90年代出现了功率因数校正(Power Factor Correction, PFC)技术,并在各种开关电源中大量应用。目前,单相PFC技术已比较成熟,并广泛用于各种开关电源中,而三相PFC技术则还有很长的路要走。

1.6 开关电源技术的发展趋势

开关电源正向高频化、高功率密度、高功率因数、高效率、高可靠性、标准化方向发展。

1. 高功率因数

有源功率因数校正(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。今后,低成本、结构简单、容易实现,并且具有软开关性能、高响应速度、低输出纹波的单级隔离高功率因数变换器是研究人员研究的最终目标。

2. 高效率

应用各种软开关技术,包括无源无损软开关技术、有源软开关技术及目前同步整流用 MOSFET 代替整流二极管都能大大地提高模块在低输出电压时的效率,而效率的提高使得敞开式无散热器的电源模块有了实现的可能。这类模块是当今世界模块潮流,必将得到广泛应用。随着器件性能的改变,电源效率将越来越高,目前,有的公司生产的电源模块的效率已经超过 96%。

3. 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存储元件的体积。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。

4. 高可靠性

开关电源的寿命主要由电解电容、光耦合器及风扇的器件决定,所以,要从设计方面着眼,尽可能使用较少器件,提高集成度。另外,发热也是影响开关电源寿命的重要原因。随着开关电源效率的不断提高,开关电源的发热量越来越小,这大大提高了开关电源的使用寿命,现有的开关电源的平均故障间隔时间(Mean Time Between Failures, MTBF)可以达到几百万小时,而且随着新材料、新工艺不断被采纳,开关电源的可靠性会进一步提高。

5. 标准化工作

模块电源产品走势日趋模块化、标准化,并以积木式结构组成分布式供电系统,封装式模块电源则以国际工业标准 1/4 砖、半砖或砖式结构为主。标准化的管脚给设计师和使用者都带来了即插即用的便利,使设计师能够方便地完成产品的设计,利于电源升级。

第 2 章 开关电源中常用的电力电子器件与驱动

在开关电源中,电力电子器件是完成电能转换以及主电路拓扑中最为关键的元件。电力电子器件通常工作于开关状态,因此又常称为开关器件。

随着半导体材料及技术的发展,新型电力电子器件不断推出,传统电力电子器件的性能也不断提高,这成为包括开关电源在内的各种电力电子装置的体积、效率等性能指标不断提高的重要因素。了解和掌握各种电力电子器件的特性和使用方法是正确设计开关电源的基础。

在开关电源中应用的电力电子器件主要为二极管、IGBT 和 MOSFET。SCR 在开关电源的输入整流电路及其软启动中有少量应用,GTR 由于驱动较为困难、开关频率较低,也逐渐被 IGBT 和 MOSFET 所取代。因此这里将主要介绍二极管、IGBT 和 MOSFET 的工作原理和主要参数。

MOSFET 和 IGBT 是全控型器件,输入具有一定的容性,要使其工作于高速的开关状态,必须要有具有一定驱动能力的驱动电路,本章对这两种器件的驱动电路进行介绍。

2.1 电力二极管

2.1.1 PN 结与电力二极管的工作原理

电力二极管(Power Diode)基本结构和工作原理与信息电子电路中的二极管一样以半导体 PN 结为基础,由一个面积较大的 PN 结(PN-junction)和两端引线以及封装组成。

电力二极管的外形、结构和电气图形符号如图 2-1 所示。

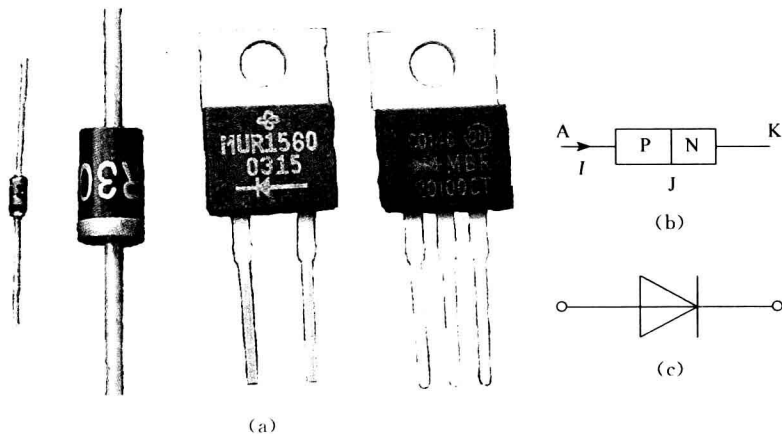


图 2-1 电力二极管的外形、结构和电气图形符号

(a) 外形; (b) 结构; (c) 电气图形符号