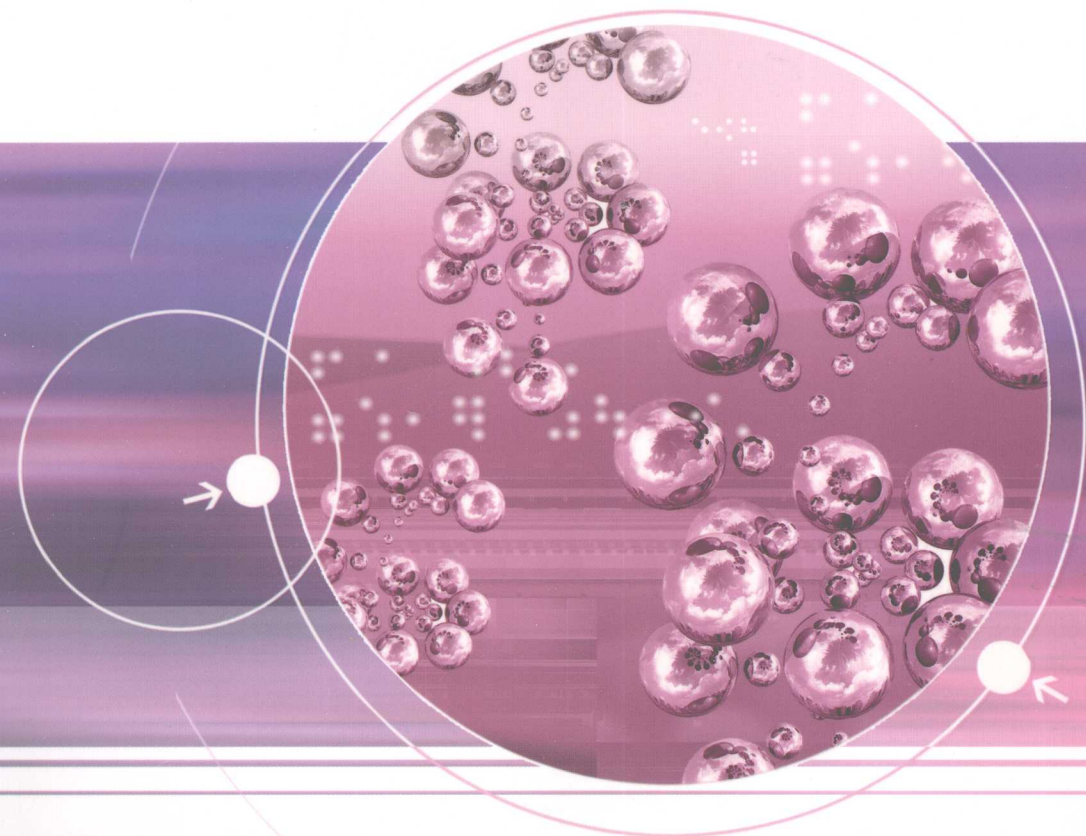


电源技术丛书

开关电源 技术与典型应用



◎ 路秋生 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电源技术丛书

开关电源技术与典型应用

路秋生 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书对数字电源技术、有关总线技术在数字电源中的应用,同步整流技术等内容进行了介绍和分析。全书共 8 章,主要包括开关电源工作原理与电路结构,电源电路常用电子元器件与特性,功率因数与功率因数校正,电磁兼容与电磁干扰,常用开关电源典型应用电路,数字电源和总线技术,同步整流技术与应用,电源并联均流技术与典型应用和国际上的有关节能法案等内容。

本书适合于有关电源产品设计、生产及研发的工程技术人员和广大电子技术爱好者学习参考,也可以作为大专院校相关专业学生学习的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源技术与典型应用/路秋生编著. —北京:电子工业出版社,2009.3
(电源技术丛书)

ISBN 978-7-121-08355-6

I. 开… II. 路… III. 开关电源 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 024371 号

责任编辑:魏永昌 特约编辑:李云霞

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:24.5 字数:627.2 千字

印 次:2009 年 3 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

随着社会经济的不断发展，人们生活水平的不断提高。任何电器和电气设备要正常工作都离不开电源供电，由于开关电源具有体积小、功率密度大和工作效率高的一系列优点，开关电源在人们的工作和生活中得到了广泛的应用。

据了解，目前工作效率、待机损耗和功率因数是在开关电源的设计、生产和使用过程中需要引起重视的重要问题。这一方面是节能的要求，另一方面是使开关电源可靠工作、提高开关电源抗干扰能力和改善开关电源对外干扰的要求，而要满足以上有关技术要求，离不开一些新技术的推出。例如谐振软开关技术、有源功率因数和无源功率因数校正技术、同步整流技术、新电路、新开关电源控制集成电路的设计和制造等新技术的推出，为制造出满足以上技术要求的新型开关电源产品提供了可能。新技术的推出改善了开关电源产品的性能和质量，也极大地方便了人们的生活，改善了人们的生活质量。

直流大电流输出的开关电源在通信系统中得到了广泛的应用，而电源并联均流技术又是一个很好的应用实例，电源并联均流技术为实现大电流输出电源产品的模块化提供了可能。

同时，由于数字技术和总线技术的一系列优点，将数字技术和总线技术（如 I²C、SPI、SMBus、USB、PMBus 和 UART 等）引入开关电源产品，极大提高和改善了开关电源产品的使用方便性、构建和调整灵活性、维护方便性等性能，数字开关电源产品的开发和生产已成为当前开关电源产品发展的一个热点。数字开关电源产品与模拟开关电源产品，无论在设计、开发方法上都有所不同，所需的知识结构也有所不同。在数字开关电源产品的开发、设计和生产中需用到编程技术、总线技术和接口技术等。而在模拟开关电源产品的设计、开发和生产中，经验和知识的积累对模拟开关电源产品的设计、开发和生产有很重要的影响。数字开关电源技术受计算机技术的推动和影响，数字开关电源技术进步很快，新概念、新产品的推出周期越来越短，受益的是广大用户，但是对开关电源的设计和研发人员的知识更新提出了更高要求，使进入电源产业的门槛得到提高。

在本书的编写过程中，作者试图投石问路、抛砖引玉，以期能对读者在开关电源技术方面能有一点儿帮助，但是由于作者的水平有限，书中可能存在各种各样的问题和不足，敬请读者对书中存在的不足批评指正。

为了便于读者在阅读完本书后能进一步进行相关的技术开发，在本书的附录中给出了主要参考资料的来源。同时为了便于读者阅读相关英文技术资料，在附录中给出了相关英文术语的中文解释，供读者参考。

在本书的编写过程中得到了北京交通大学电气工程学院张钢博士、路晨等同志的大力支持和帮助，在此表示感谢。

路秋生

2008年8月8日

目 录

第 1 章 开关电源工作原理与电路结构	(1)
1.1 开关电源工作原理与分类	(1)
1.1.1 开关电源的电路结构	(1)
1.1.2 开关稳压电源工作原理	(2)
1.1.3 开关电源的分类	(3)
1.2 开关电源的反馈控制方式与有关能耗要求	(7)
1.2.1 开关电源常用的反馈控制方式	(7)
1.2.2 对开关电源的有关能耗要求	(8)
1.3 软开关变换器	(9)
1.3.1 硬开关与开关损耗	(9)
1.3.2 软开关技术	(10)
1.4 常用开关电源电路拓扑与特点	(13)
1.5 开关电源的干扰	(24)
第 2 章 电源电路常用电子元器件与特性	(26)
2.1 双极型晶体管	(26)
2.1.1 双极型晶体管 (BJT) 的特性	(26)
2.1.2 双极型开关晶体管的基极驱动电路	(29)
2.1.3 几种常见开关晶体管基极驱动加速电路	(33)
2.1.4 双极型开关晶体管的抗饱和电路	(33)
2.1.5 双极型晶体管的二次击穿和安全工作区	(34)
2.1.6 双极型开关晶体管的保护电路	(36)
2.1.7 开关电源用功率开关晶体管的选用	(37)
2.2 大功率晶体管 (GTR)	(38)
2.2.1 功率晶体管的结构和工作原理	(38)
2.2.2 功率晶体管的开关特性	(40)
2.2.3 功率晶体管的极限参数	(41)
2.2.4 达林顿复合管与功率晶体管模块	(42)
2.2.5 功率晶体管的驱动电路	(43)
2.3 功率 MOSFET 管与栅极驱动电路	(44)
2.3.1 功率 MOSFET 管	(44)
2.3.2 功率 MOSFET 管的基本特性	(45)
2.3.3 功率 MOSFET 管的主要参数	(46)
2.3.4 功率 MOSFET 管的主要特点	(48)
2.3.5 功率场效应晶体管的驱动电路	(49)
2.3.6 功率 MOSFET 管的保护电路	(52)

2.3.7	由功率 MOSFET 管构成的线性稳压电路	(52)
2.4	绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)	(53)
2.4.1	绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 的特点	(53)
2.4.2	IGBT 的结构与工作原理	(53)
2.4.3	IGBT 的静态工作特性	(53)
2.4.4	IGBT 的动态工作特性与有关参数	(54)
2.4.5	IGBT 的主要参数	(55)
2.4.6	IGBT 的栅极驱动及要求	(55)
2.5	光电耦合器	(57)
2.5.1	光电耦合器的类型、选取原则及性能特点	(58)
2.5.2	光电耦合器的主要参数、选用与检测	(59)
2.6	低压差线性稳压器	(60)
2.6.1	线性稳压器存在的问题	(61)
2.6.2	低压差稳压技术 (LDO)	(61)
2.6.3	LDO 的输出过电流保护	(62)
2.6.4	LDO 的热管理	(63)
2.7	TL431 的主要特性与应用	(64)
2.7.1	TL431 的主要特性	(64)
2.7.2	TL431 的工作原理	(64)
2.7.3	TL431 的检测	(65)
2.8	开关电源中的磁性元件	(66)
2.8.1	开关电源中磁性元件的功能	(66)
2.8.2	磁性材料及铁氧体磁性材料	(66)
2.8.3	磁性材料的基本特性	(67)
2.8.4	软磁铁氧体磁芯	(68)
2.9	电容器	(72)
2.9.1	陶瓷电容器	(72)
2.9.2	薄膜电容器	(72)
2.9.3	电解电容器	(73)
第 3 章	功率因数与功率因数校正	(75)
3.1	功率因数校正原理	(75)
3.1.1	功率因数的定义	(75)
3.1.2	PF 与总谐波失真系数的关系	(76)
3.1.3	不良功率因数的来源与改善	(77)
3.1.4	谐波电流对电网的危害	(79)
3.1.5	IEC 61000-3-2 关于电气设备的分类	(80)
3.2	功率因数校正的实现方法	(82)
3.2.1	常用功率因数校正电路分类	(82)
3.2.2	无源功率因数校正	(82)

3.2.3	有源功率因数校正	(83)
3.3	有源功率因数校正典型应用电路	(92)
3.3.1	NCP1337 的工作原理与典型应用	(92)
3.3.2	L6561/L6562 的工作原理与典型应用	(103)
3.3.3	由 L6561 到 L6562	(107)
3.3.4	L6562 的工作原理与典型应用	(111)
第 4 章	电磁兼容与电磁干扰	(118)
4.1	电磁兼容与电磁干扰简介	(118)
4.1.1	电磁兼容	(118)
4.1.2	研究电磁兼容的重要性	(119)
4.1.3	电磁兼容检测的重要性	(121)
4.1.4	关于电磁兼容常用的名词和术语	(122)
4.2	关于电磁干扰	(123)
4.2.1	干扰源分析	(124)
4.2.2	电磁干扰	(124)
4.2.3	电磁干扰的特点	(125)
4.2.4	电磁干扰 (EMI) 的抑制	(125)
4.3	开关电源中的干扰	(133)
4.3.1	对供电系统及与之相连电子设备的传导干扰及解决措施	(133)
4.3.2	开关电源中的辐射干扰	(136)
4.3.3	开关电源中的输入浪涌电流及解决措施	(138)
4.4	有关电磁兼容标准	(139)
4.4.1	有关电磁兼容标准概述	(139)
4.4.2	有关电磁兼容标准的发展	(140)
4.5	与电磁兼容 (EMC) 有关的 IEC 标准	(142)
4.5.1	IEC 第 77 技术委员会出版的有关出版物	(143)
4.5.2	由 IEC 第 77 技术委员会出版的有关电磁兼容的出版物 (1000 系列) (IEC publications prepared by Technical Committee No.77)	(143)
4.5.3	由 IEC 第 77 技术委员会出版的有关出版物 (61000 系列) (IEC publications prepared by Technical Committee No.77)	(145)
第 5 章	常用开关电源典型应用电路	(148)
5.1	LED 常用开关电源典型应用电路	(148)
5.1.1	MIC3289 工作原理与典型应用	(148)
5.1.2	MP1529 的工作原理与典型应用	(156)
5.1.3	利用 LM317L 的 LED 恒电流供电电路	(162)
5.1.4	电荷泵 LED 驱动集成电路 CAT3636 工作原理与应用	(163)
5.2	NXP 第二代绿色电源控制集成电路 GreenChip™ II	(174)
5.2.1	GreenChip™ II 的主要特性	(174)
5.2.2	TEA1532 的工作原理与典型应用	(177)

5.2.3	采用 TEA1532 的 90W 峰值输出功率打印机电源适配器	(181)
5.3	常用充电器电路与应用	(185)
5.3.1	TI 的锂离子电池充电保护集成电路 UCC3957	(185)
5.3.2	采用 UC3906 的开关型铅酸蓄电池充电电路	(190)
5.4	LDO 的典型应用电路	(200)
5.4.1	NCP629 CMOS LDO 的工作原理与应用	(200)
5.4.2	LDO CAT6219 的工作原理与应用	(202)
5.4.3	LDO 线性稳压器 NCV8674 的工作原理与典型应用	(205)
5.5	单片开关电源工作原理与应用	(207)
5.5.1	单片开关电源简介	(207)
5.5.2	单片开关电源集成电路系列器件简介	(208)
5.5.3	TOPSwitch [®] -GX 的工作原理与应用	(209)
5.6	RCC 变换器	(226)
5.6.1	RCC 变换器的特点	(226)
5.6.2	RCC 变换器工作原理分析	(226)
5.6.3	20W 输出 RCC 式开关电源实例分析	(227)
第 6 章	数字电源和总线技术	(229)
6.1	数字电源技术	(229)
6.1.1	模拟电源的优势与不足	(230)
6.1.2	数字电源的优势与不足	(231)
6.2	I ² C 总线	(238)
6.3	电源管理总线 (PMBus)	(246)
6.3.1	关于 PMBus	(246)
6.3.2	PMBus 的系统结构与特点	(248)
6.4	系统管理总线 (SMBus)	(251)
6.4.1	系统管理总线简介	(251)
6.4.2	系统管理总线的特点	(252)
6.5	用于数字电源系统管理的数据通信	(254)
6.5.1	数字电源系统管理中数据通信的重要性	(254)
6.5.2	数据通信的特点和对电源管理协议的有关技术要求	(256)
6.5.3	对总线的功能要求与实现	(263)
6.5.4	总线类型的推荐	(263)
6.5.5	总线应用场合的推荐	(266)
第 7 章	同步整流技术与应用	(268)
7.1	同步整流技术	(268)
7.1.1	关于 MOSFET 管	(269)
7.1.2	同步整流技术与传统整流技术的对比	(271)
7.1.3	常用同步整流电路	(272)
7.1.4	同步整流器的驱动	(274)

7.2	同步整流的典型应用	(278)
7.2.1	FPP06R001-75V/60A 同步整流模块的工作原理与典型应用	(278)
7.2.2	IR1167 同步整流控制集成电路的工作原理与典型应用	(281)
7.2.3	采用 IR1166/IR1167A 的同步整流电路计算机辅助设计	(294)
7.2.4	同步整流控制集成电路 STSR2P/2PM	(297)
7.2.5	STSR3 同步整流用智能驱动控制集成电路	(301)
7.2.6	用于推挽式、半桥式和全桥式双端变换电路同步整流的 STSR4	(304)
第 8 章	电源并联均流技术与典型应用	(306)
8.1	电源并联均流工作原理	(306)
8.1.1	均流的主要任务	(307)
8.1.2	电源并联均流的常用概念	(308)
8.1.3	几种常用并联均流控制技术的工作原理	(309)
8.2	电源并联均流的典型应用电路	(315)
8.2.1	利用 UC3907 实现直流稳压电源并联均流	(315)
8.2.2	UC3902 负载均流控制器的工作原理与应用	(325)
8.2.3	负载均流控制集成电路 LM5080 的工作原理与典型应用	(329)
8.2.4	L6615 负载均流控制集成电路与典型应用	(337)
附录 A	常用英文术语中文解释	(352)
附录 B	国际上的有关节能法案	(379)
参考文献	(381)

第 1 章 开关电源工作原理与电路结构

1.1 开关电源工作原理与分类

1.1.1 开关电源的电路结构

开关电源是进行交流/直流 (AC/DC)、直流/直流 (DC/DC)、直流/交流 (DC/AC) 功率变换的装置,通过对主变换回路和控制回路的控制完成变换。主变换回路将输入的交流电变换后传递给负载,它决定开关电源电路的结构形式、变换要求和负载能力等技术指标;控制回路按输入、输出技术指标的要求来检测、控制主变换回路的工作状态。开关电源集成控制电路就是将控制回路集成化的集成电路。

一般开关电源控制集成电路包括振荡器、误差放大器、PWM 触发器、状态控制器等部分功能电路,高品质开关电源还包括高电压功率开关管、电流比较器,以及各种保护功能电路。

所谓 AC/DC 变换就是交流/直流变换;AC/AC 变换称为交流/交流变换,即为改变电源的频率;DC/AC 变换称为逆变;DC/DC 变换为直流电变成交流电后再将交流电变为直流电。自 20 世纪 60 年代研发出了二极管、三极管半导体器件后,人们就开始利用半导体器件进行变换。所以,凡是利用半导体功率器件做开关,将一种电源形态变换成另一种电源形态的电路,称为开关电源变换电路。在电源变换时,采用开关变换技术,利用自动控制技术来稳定输出,并加有各种保护控制电路的电源开关变换电路,称为开关电源。

在开关电源的变换过程中,用高频变压器隔离称为离线式开关变换器,常用的 AC/DC 变换器就是离线式开关变换器。开关电源的工作原理框图如图 1-1 所示。

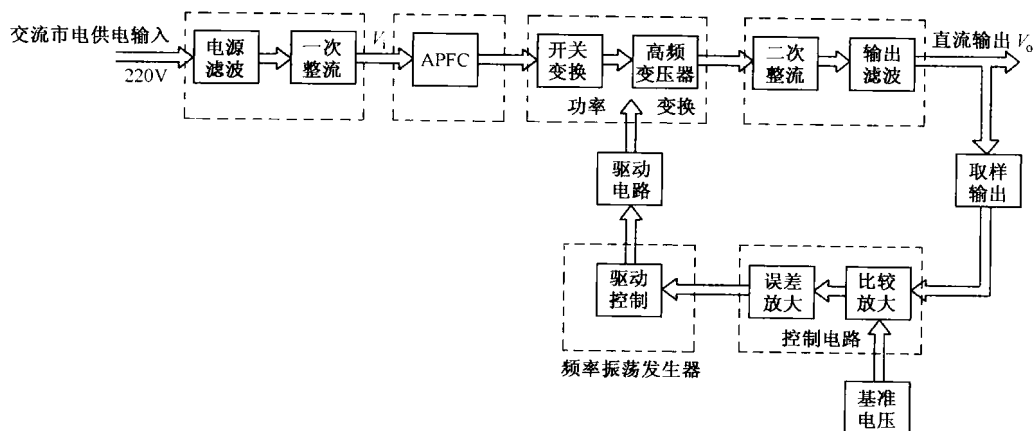


图 1-1 开关电源的工作原理框图

第一部分电路是交流市电供电输入电路,包括低通滤波电路和一次整流电路。220V 交流输入市电经低通滤波电路和整流电路整流后,输出没有稳压的直流电压 V_i , 直流电压 V_i 送到第二部分电路进行功率因数校正,以提高开关电源电路的功率因数。功率因数校正电路的具体实现方法有无源功率因数校正和有源功率因数校正两种。所谓有源功率因数校正是指开关电源在功率因数校正过程中,采用如三极管和集成电路等有源器件来实现功率因数校正功能的电路。由于有源功率因数校正具有功率因数校正特性好的优点,在开关电源电路中得到了广泛应用。第三部分电路是功率变换,功率变换是通过高频电子开关电路和高频脉冲变压器来实现的,把经过功率因数校正输出的直流电压变换成受控制的、符合设计要求的高频脉冲电压。第四部分电路是输出电路,用于将高频脉冲电压经整流滤波后输出所需的直流电压。第五部分电路是驱动控制电路,输出直流电压经过分压、采样后与开关电源电路的基准电压进行比较、放大,从而输出相应的误差控制电压来稳定输出直流电压。第六部分电路是振荡信号产生电路,由它产生高频振荡信号,该高频振荡信号与控制信号叠加,从而实现输出稳压控制,实现高频电源变换。

1.1.2 开关稳压电源工作原理

开关稳压电源是通过对输入的直流电进行高频开关变换,来实现输出电压变换和输出直流电压稳压的控制目的,其工作原理如图 1-2 所示。

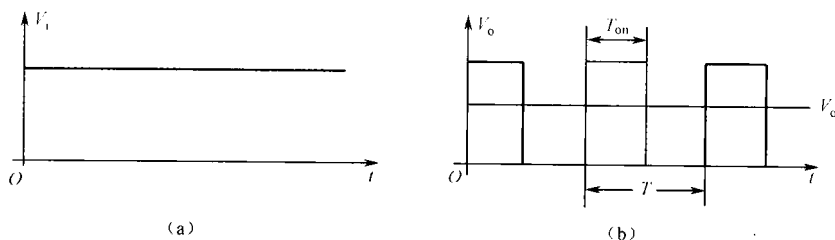


图 1-2 开关稳压电源的工作原理图

从图 1-2 (a) 可以看出,未稳压交流输入市电经交流输入市电整流电路(功率因数校正)后输出的直流电压 V_i 经过高频开关变换后输出高频脉冲波,高频脉冲波的周期为 T , 脉冲宽度为 T_{on} , 这个高频脉冲波经滤波电路滤波后输出如图 1-2 (b) 所示的直流电压 V_o , 输出的直流电压 V_o 可以用式 (1-1) 计算,可见当输入直流电压 V_i 发生变化时,改变 T_{on}/T 的比值,使 T_{on}/T 与 V_i 的乘积保持不变,就可以使输出直流电压保持不变,从而实现输出直流电压稳压的控制目的。

$$V_o = \frac{T_{on}}{T} \times V_i \quad (1-1)$$

在一个电子开关周期 (T) 内,电子开关的接通时间 T_{on} 与一个电子开关周期 T 所占的时间比,称为脉冲占空比 (D), $D = T_{on}/T$, 如图 1-3 所示,开关周期是开关频率的倒数。例如,一个开关电源的工作频率是 50kHz, 它的开关工作周期 $T = \frac{1}{50 \times 10^3} = 20\mu s$ 。很明显,脉冲占空比 (D) 越大,输出的直流电压 V_o 越高。提高开关工作频率对实现开关电源高频变压器的小型化很有帮助,但是提高开关工作频率,使开关电源中的开关功率管、高频变压器、控制集

成电路,以及输入整流二极管的发热量高、损耗大。对于不同的变换器形式,可用的脉冲占空比大小是不一样的。

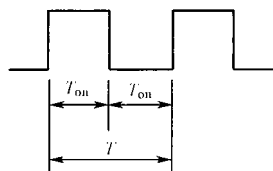


图 1-3 占空比示意图

在实用中,根据改变脉冲占空比 D 的实现方式不同,开关电源有 PWM (脉冲宽度调制)、PFM (脉冲频率调制) 和 PFM/PWM (脉冲调频、调宽) 实现方式。在 PWM 实现方式中,利用开关工作频率不变,利用改变开关工作导通时间 T_{on} 的方法来改变脉冲占空比 D ,从而实现输出直流电压稳压的目的。而在 PFM 工作方式中,利用保持开关工作导通时间 T_{on} 不变,而改变脉冲开关工作频率(周期)的方法来改变脉冲占空比 D ,从而实现输出直流电压稳压的目的。而在 PFM/PWM 实现方式中,利用既改变脉冲开关导通时间 T_{on} ,又改变脉冲开关工作频率(周期)的方法来改变脉冲占空比 D ,从而实现输出直流电压稳压的目的。以上几种输出直流电压稳压的实现方法在开关电源中都有所应用。

1.1.3 开关电源的分类

1. 根据开关电路单开关、双开关拓扑划分

根据开关电路单开关、双开关拓扑,开关电源可分为以下两种。

1) 单开关拓扑

单开关拓扑输出单极性交流电(除非工作在谐振开关状态)。从工作原理上来说,单端正激式、单端反激式开关逆变电路结构都应归属于单开关变换电路拓扑。它只利用了开关变压器磁芯磁化曲线的一半(一个象限),单端反激式开关逆变器输出功率一般在 200W 以下,而单端正激式开关逆变器的输出功率较单端反激式开关逆变器要大。

2) 双开关拓扑

双开关拓扑输出双极性交流电。它利用了开关变压器磁芯磁化曲线的全部(两个象限)。按双开关电路拓扑在开关电源中的应用又可分为半桥、全桥、推挽和推挽串、并联谐振式电流、电压型变换等几种主要电路拓扑。

2. 按输出电压的控制方式划分

由于开关电源的输出电压和开关电源的脉冲占空比 $D(D = \frac{T_{on}}{T})$ 有关。所以开关电源按控制方式可分为:

1) 脉冲宽度调制(PWM)方式

开关电源输出电压 $V_o = V_i \times \frac{T_{on}}{T}$, 它正比于开关管的导通时间 T_{on} , 而反比于开关脉冲的重复周期 T , 可以通过取样、比较、误差放大后去控制开关管的导通时间 T_{on} 。通过这一反馈控制过程可以调整输出电压 V_o , 从而实现开关电源的输出电压稳压控制。

2) 脉冲频率调制(PFM)方式

脉冲频率调制方式是利用反馈控制电路来控制开关脉冲频率,即开关脉冲周期(T),从而实现开关电源的脉冲占空比 D 调节,达到开关电源输出电压稳压控制的目的。

3) 脉冲调频、调宽 (PFM/PWM) 控制方式

脉冲调频、调宽控制方式是利用既控制开关电源的脉冲宽度 (T_{on}), 又控制开关电源的脉冲开关周期 (T) 的方法来实现脉冲占空比调节, 从而实现开关电源输出电压稳压控制的目的。

4) 调压方式

调压方式是利用调节开关电源直流供电电压大小的方法, 来达到调节逆变器的输出交流电压幅度, 从而实现开关电源的输出电压稳压控制的目的。

3. 按开关电源的激励方式划分

按开关电源的激励方式可分为自激式和他激式。

1) 自激式开关电源

自激式开关电源是利用电路中的开关管和高频脉冲变压器构成正反馈环路, 来完成自激振荡, 使开关电源正常工作。自激式开关电源的输出功率一般在 100W 左右, 电路比较简单, 造价较低。

2) 他激式开关电源

他激式开关电源必须有一个振荡器, 振荡器用以产生开关脉冲用来驱动控制开关电源中的功率开关管, 使开关电源正常工作。他激式开关电源的输出功率较自激式开关电源大, 电路较自激式开关电源复杂, 造价较高。

4. 按功率开关管的连接方式划分

开关电源一般采用单端正激式、单端反激式、双管正激式、双单端正激式、双正激式、推挽式、半桥式、全桥式等电路拓扑。单端正激式、单端反激式、双单端正激式、推挽式的开关管的承受电压在两倍以上的输入电压, 如果开关管按 60% 降额使用, 则使开关管不易选型。而在推挽式和全桥式拓扑的开关电源中可能出现变压器磁芯单向偏磁饱和, 使开关管损坏。半桥电路因为具有自动抗不平衡能力, 所以就不会出现变压器磁芯单向偏磁饱和的问题。双管正激式和半桥电路开关管的承受电压仅为电源的最大输入电压, 即使按 60% 降额使用, 开关管选用也比较容易。

5. 按调整管工作方式划分

直流稳压电源按调整管工作方式可以分为线性直流稳压电源和开关直流稳压电源两大类。

1) 线性直流稳压电源

线性直流稳压电源也称串联调整式稳压电源, 其稳压性能好, 输出纹波电压小, 工作可靠性高, 易于做成多路输出电压连续可调的稳压电源产品。线性直流稳压电源的特点就是它的稳压功率调整管工作在线性区, 利用调节在功率调整管上的电压降来稳定输出电压。但是它必须使用笨重的工频变压器与电网隔离, 并且调整管上的功耗较大, 需要安装一个很大的散热器来给调整管散热, 致使电源的体积和重量大、工作效率低, 工作效率一般不大于 50%。

2) 开关直流稳压电源

与线性直流稳压电源不同的另一类稳压电源就是开关直流稳压电源, 它的电路实现形式主要有单端反激式、单端正激式、半桥式、推挽式和全桥式等。它和线性直流稳压电源的根本区别就在于它的输出电压调整管工作于高频开关状态。功率输出电压调整管不是工作在饱和区即截止区, 功率开关管上的功耗很低, 电源工作效率可达 70%~90%, 比普通线性直流稳压电源

的工作效率提高近一倍。开关电源是利用体积很小的高频变压器来实现电压变换及电网隔离的, 不仅去掉了笨重的工频变压器, 还可以采用体积较小的滤波元件和散热器, 这就为研究与开发高工作效率、高功率密度, 高工作可靠性、体积小、重量轻的开关电源奠定了基础。

相对于线性直流稳压电源来说, 开关直流稳压电源的缺点是它的输出纹波电压较大(一般不大于 $1\%V_{O(P-P)}$), 好的可以做到十几 $mV_{(P-P)}$ 或更小), 下面介绍几种常用的开关电源。

(1) AC/DC 电源

AC/DC 电源也称一次电源, 它将来自交流电网的交流市电经整流滤波得到一个 400V 左右的直流高压输出, 供后面连接的 DC/DC 变换器在输出端得到一个或几个稳定的直流电压输出, 输出功率从几瓦到几千瓦, 可以用于不同的应用场合。

(2) DC/DC 电源

DC/DC 电源在通信电源系统中也被称为二次电源, 它是把一次电源或直流电池组提供的直流输入电压经 DC/DC 变换以后, 在输出端得到一组或几组直流输出电压的开关电源。

(3) 通信电源

通信电源实质上就是 DC/DC 变换器式开关电源, 只是它一般以直流 $-48V/-24V$ 供电, 将直流 $-48V/-24V$ 的供电电压变换成电路所需的工作电压, 并用后备电池作为直流供电的备份。

(4) 电台电源

电台电源将交流 220V/110V 输入市电电压经变换后输出 13.8V 直流电压, 电源功率由所供电的电台功率而定, 直流输出电流从几安培到几百安培均有产品。为防止由于交流输入市电网断电而影响电台工作, 在使用时需用电池组作为直流供电备份, 所以, 此类开关电源除输出一个 13.8V 直流电压外, 还需具有对电池充电的自动转换功能。

(5) 模块电源

随着科学技术飞速发展, 对电源工作的可靠性、容量/体积比要求越来越高, 模块电源越来越显示其优越性, 它具有工作频率高、体积小和工作可靠性高, 便于安装和易于组合扩容等优点, 得到了广泛的应用。

(6) 特种电源

高压小电流电源、大电流电源、400Hz 输入的 AC/DC 电源等均可以归于特种电源, 可以根据特殊需要来选用。

(7) 数字电源

数字电源与模拟电源的区别主要集中在控制与通信部分。在简单易用、参数变更要求不多的应用场合中, 模拟电源产品具有优势, 由于模拟电源应用的针对性, 模拟电源可以通过硬件固化来实现。而在可控因素较多、实时反应速度更快、需要用到多个模拟电源管理的复杂高性能系统应用中, 数字电源更具有优势。

相对模拟电源, 数字电源是通过软件编程来实现多方面的应用, 数字电源的可扩展性与可重复使用性使用户可以方便更改电源的工作参数, 优化电源系统。通过实时过电流保护与管理, 数字电源还可以减少外围器件的数量。

数字电源有用 DSP 控制的, 也有用 MCU 控制的。相对来说, DSP 控制的电源采用数字滤波方式, DSP 控制的电源较 MCU 控制的电源更能满足复杂的电源需求、实时反应速度更快、电源稳压性能更好。数字电源的优点是它的可编程工作特性, 比如数字电源的通信、检测、遥

测等所有功能都可用软件编程实现。另外，数字电源具有高性能和工作可靠性高的特点，使用非常灵活。

但是，在一些应用领域模拟电源管理技术还有很多优势。首先，模拟电源管理设备适合于用硬件完成固定或定制的功能性设备，传统的脉冲带宽调制（PWM）控制技术用于完成已知电源结构、应用的控制和固定功能已经很成熟。如果对应用有彻底的理解且设计相当简单，无须和外部通信，那么模拟电源更有可能提供非常经济有效的解决方案，具有很好的成本优势。

其次，在成本方面数字电源没有优势，因数字电源的成本较高。目前，因为数字电源需要大的滤波器，所以工作效率比模拟电源低。同时数字电源的工作可靠性还有待证明，特别是对电源管理要求非常严格和应用环境比较特殊的环境，而模拟电源在此方面有它特有的优势。

另外，数字电源的设计需要编程，这就加大了数字电源的开发复杂程度。目前，从电源的研发角度来说模拟电源还是主流。

当然，数字和模拟两种电源技术各有所长，目前还谈不上谁取代谁。数字电源技术的出现及其带来的挑战必会使模拟电源技术继续向前快速发展，其结果是两种电源技术各展所长，共同推动电源技术的发展。

6. 按谐振工作方式划分

按谐振工作方式可以分为串联谐振、并联谐振、串/并联谐振等开关变换电路；按谐振式的开关接通时刻来分，又可分为零电流谐振开关（ZCS）和零电压谐振开关（ZVS）。

7. 按开关电源的供电方式划分

按开关电源的供电方式可以分为电流型变换开关电源和电压型变换开关电源。

电流型变换开关电源在它的直流供电输入端接有一个大电感，使其直流供电输入可以等效为一个电流源，电流型变换开关电源具有控制速度快、控制特性好的优点，但电路需要一个或两个大电感，并且对功率开关管的耐压要求高（ πV_{dc} ）。而电压型变换开关电源在它的直流供电输入端接有一个大电容，使其直流供电输入可以等效为一个电压源，对功率开关管的耐电压要求较电流型变换开关电源低，控制特性不及电流型变换开关电源。电流型变换开关电源是在电压型变换开关电源之后发展起来的，电压型变换开关电源较电流型变换开关电源多。

电压型逆变电路在直流供电输入端并联有大电容，一方面可以抑制直流电压的脉动，减少直流电源的内阻，使直流电源近似为恒压源；另一方面也为来自逆变器侧的无功电流提供导通路径。因此，称为电压型逆变电路。

电流型逆变电路在直流供电侧串联有大电感，使直流供电电源近似为恒流源，故称为电流型逆变电路。电路中串联的电感一方面可以抑制直流电流的脉动；另一方面可承受来自逆变电路侧的无功分量，维持电路间的电压平衡。

电压型逆变电路与电流型逆变电路相比较，各自的特点如下。

（1）直流回路的滤波环节。电压型逆变电路的直流回路的滤波环节主要采用大电容。因此，电源阻抗小，相当于恒压源。电流型逆变电路的直流回路的滤波环节主要采用大电感，相当于恒流源。

（2）输出波形。电压型逆变电路输出的电压波形是交变的矩形波，输出的电流波形在感性负载时近似于正弦波，但含有较多的高次谐波分量。电流型变换电路输出的电流波形是交变矩形波，其输出的电压波形接近正弦波。

(3) 四象限运行。电压型逆变电路不容易进行四象限运行,原因是四象限运行时要求逆变电路能运行在整流状态,而产生直流电源的整流桥能运行在逆变状态,这就要求直流供电侧的电压极性能改变。由于直流端接有大电容,因此直流电压极性难以改变。虽然逆变电路都设有反馈二极管可将负载电流反馈给直流供电回路,但直流供电侧若想将能量反馈回交流电网,就必须增加一组与原整流器反并联的整流器,使再生能量经过反馈二极管的电流能反馈回电网。这样为获得再生能量而增加一套整流器,由于不经济而很少使用。电流型逆变电路由于在其直流供电侧串联大电感,在维持电流方向不变的情况下,整流桥可改变电压极性,所以很容易将逆变电路运行在整流状态,而使整流桥处于逆变状态,实现四象限运行。

(4) 动态性能。电压型逆变电路有大电容,进行电流控制较困难;电流型逆变电路可以用电流反馈环控制,响应速度快,动态性能好。

(5) 过电流及短路保护。电流型逆变电路因回路中串有大电感,能抑制短路等故障时的电流上升率,故电流型逆变电路的过电流和短路保护容易实现;而电压型逆变电路的过电流和短路保护则较为困难。

(6) 对功率开关管的要求。电压型逆变电路中的功率开关管要求关断时间短,但耐电压要求较低;而电流型逆变电路中的功率开关管对关断时间无严格要求,但耐电压要求相对较高。

(7) 采用电流型逆变电路需加一个电感或两个电感,并且在开关管截止时,功率开关管承受的电压应力较电压型逆变电路要大,而两个电感的体积较大。在中、小功率电源中,电流型 PWM 控制是大量采用的方法,电流型控制较电压型控制具有可以实现逐周期电流限制,比电压型控制速度更快,不会因为过电流而使功率开关管损坏;优良的电网电压调整率;快捷的瞬态响应特性;控制环路工作稳定,易于补偿;输出纹波电压比电压控制型小得多等优点。

1.2 开关电源的反馈控制方式与有关能耗要求

1.2.1 开关电源常用的反馈控制方式

开关电源根据通过电感的电流是否连续可以分为两种工作模式:一种是电流连续导通工作模式 CCM (Current Continuous Mode);另一种是电流不连续导通工作模式 CDM (Current Discontinuous Mode)。这两种工作模式的主要区别在于一个振荡周期中电感电流是否连续。也就是说,在一个振荡周期中电感上的电流为零值时的工作模式称为电流不连续导通工作模式;在一个振荡周期中电感上的电流不为零值时的工作模式称为电流连续导通工作模式。电流连续导通模式是能量的不完全传递,电流不连续导通模式则为能量的完全传递。采用电流连续导通工作模式的变换器可以减小变压器的初级峰值电流和有效值电流,降低电路损耗。但电流连续导通工作模式要求增大变压器的初级电感,这将会使变压器的匝数增多、体积增大。电流不连续导通工作模式就是将高频变压器所储存的能量,在每个关断周期内全部释放出去,所以要求高频变压器的初级电感量较小。

开关电源工作时应为一个闭环控制系统,需用到反馈控制回路。开关电源反馈控制回路的种类很多,反馈控制电路的形式也千变万化,但开关电源反馈控制回路主要有基本反馈控制电路、改进型基本反馈控制电路、配稳压管的光电耦合反馈控制电路,以及配 TL431 的精密光

电耦合反馈控制电路四种，其反馈控制电路如图 1-4 所示。图 (a) 所示的电路为基本反馈电路，这种电路在小功率开关电源中应用较多，具有电路结构简单、电路实现成本低、有利于开关电源小型化的优点；缺点是稳压性能差，电压调整特性和负载调整特性不太理想。图 (b) 所示的电路为改进型基本反馈电路，它是在基本反馈电路的基础上加了一只稳压二极管 VD_{Z2} 和电阻 R_2 而组成的。这样可使反馈电压稳定，改善负载调整特性，输出电压的稳定性得到提高。图 (c) 所示的电路为配稳压管的光电耦合反馈电路。当输出电压 V_o 发生变化时，光电耦合器的发光二极管将发出不同亮度的光，外部电压与基准电压的差值经光电耦合器接收后，控制集成电路 IC 进行输出电压调整，该电路能使电源的负载调整率达到 1% 以下。图 (d) 所示的电路是配合 TL431 的精密光电耦合反馈电路，该电路在开关电源中应用得最多，它的反馈控制效果和稳压性能最好。

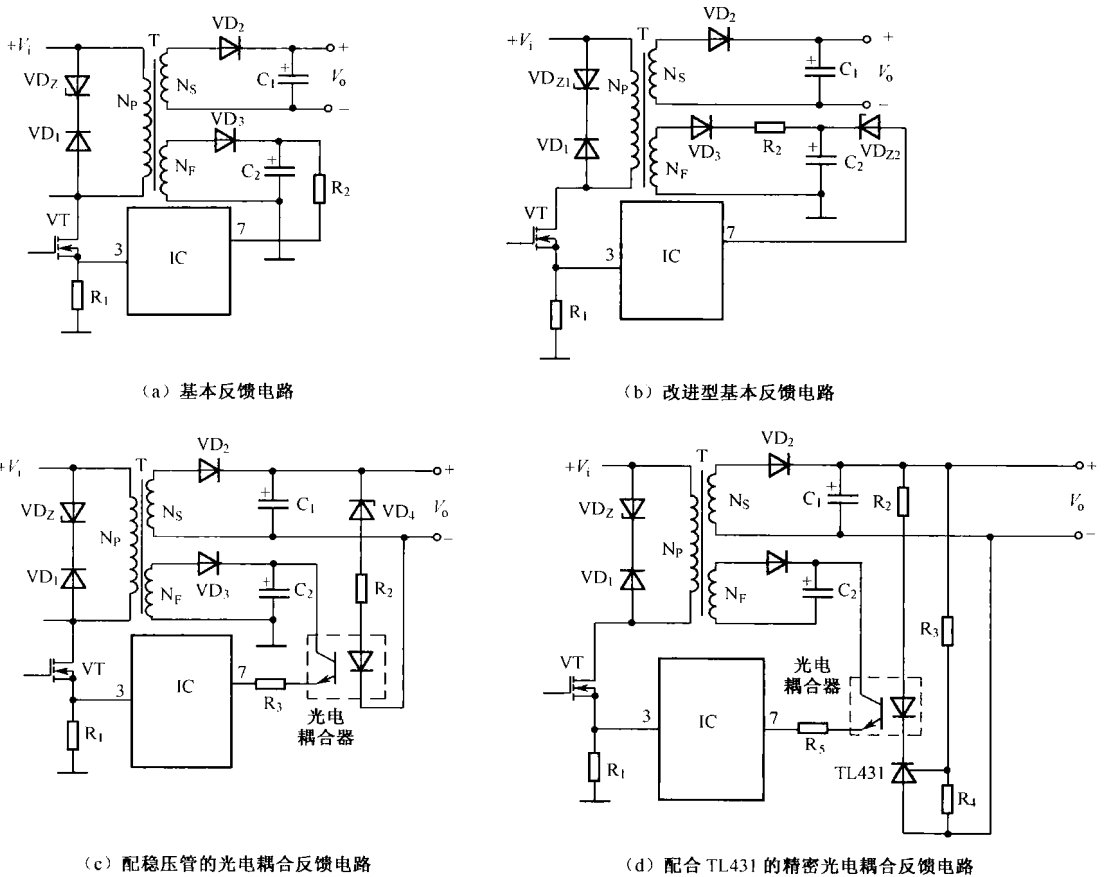


图 1-4 开关电源的四种基本类型反馈控制电路

1.2.2 对开关电源的有关能耗要求

1. 开关电源设计中存在的问题

由于开关电源具有其他电源所无法比拟的优势，使开关电源技术的发展非常迅速。开关电源用途广，所用新材料、新技术发展之快，使它快速发展的主要动力。但是，开关电源在体