



高等学校电子与电气工程
及自动化专业“十二五”规划教材

开关电源基础与应用

(第二版)

主 编 辛伊波 陈文清
副主编 韩 英 庄淑君

E. & E.



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材

开关电源基础与应用

(第二版)

主 编 辛伊波 陈文清

副主编 韩 英 庄淑君

参 编 郭向阳 布 挺 李小光 何 墉 张 垓

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书全面介绍了现代开关电源基本理论、应用技术、设计基础及其使用要点等。全书共 10 章, 内容分别为开关电源基本原理、自激式开关电源、它激式开关电源、单片式开关电源、大功率变换电路、开关电源设计、UPS 电路原理与应用、多电平直流变换、变频电源原理与应用以及提高电源质量的新技术。本版本是在原书第一版的基础上修订而成的, 新增了“多电平直流变换”和“提高电源质量的新技术”两章内容。本书可作为电子技术、电气工程及其自动化、计算机信息、机电一体化等专业以及其他相关专业的大学本科教材, 也可作为从事电源设计开发、应用维修的工程技术人员参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源基础与应用/辛伊波, 陈文清主编. —2 版. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2011.11
高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2682-6

I. ① 开… II. ① 辛… ② 陈… III. ① 开关电源—高等学校—教材 IV. ① TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 194188 号

策 划 毛红兵

责任编辑 孟秋黎 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2011 年 12 月第 2 版 2011 年 12 月第 3 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 19

字 数 450 千字

印 数 8001~10 000 册

定 价 33.00 元

ISBN 978-7-5606-2682-6/TN·0628

XDUP 2974002-3

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

第二版前言

本书自 2009 年出版以来,被许多学校和培训机构选为教材,并受到读者的好评。但是随着电源技术的快速发展,以及教育改革的不断深化,原书的有些内容已显得比较陈旧,而且在课程体系及教学方法方面也需做必要的调整。因此我们在第一版的基础上进行了修正和补充,同时增加了多电平直流变换技术和提高电源质量的新技术等章节,以充分体现开关电源的工程性和应用性。

近几年开关电源技术发生了不小的变化,但是作为大学教材尤其是作为专业教材,需要保持教学特色和知识的相对稳定,不宜变化过快,因此本次修订保留了第一版的编写特点及部分内容。本书以作者多年的教学和科研为基础,结合大量电源电路的实例,并以实用电路的设计为主,系统地介绍开关电源的基础理论和发展改进过程。本书力求简化理论、通俗易懂、循序渐进、深入浅出,使初学者对开关电源有一全面了解,内容包括基本的自激式电源、它激式电源、集成电源、UPS 电源、变频电源等。本书既有新技术的分析,又有实用电源的设计方法,读者通过本书可以系统地了解 and 掌握开关电源的工作原理和设计方法。

本书的修订工作由辛伊波主持完成并担任主编,韩英、庄淑君担任副主编。参加本书编写和修订工作的有辛伊波(第 9 章),韩英(第 5、6 章),庄淑君(第 1、2 章),郭向阳(第 7、10 章),布挺(第 3 章),李小光(第 4 章),何墉、张垓(第 8 章)。本书在修订过程中得到陈文清教授的关心和支持,并提出了建设性意见。

本书编写过程中参阅一些单位和个人提供的珍贵资料文献,在此对这些文献的作者一并表示诚挚的感谢。另外还要感谢在本书的编辑出版过程中给予大力支持与协助的西安电子科技大学出版社的毛红兵编辑以及其他工作人员。

限于自身的学术水平,书中不足之处在所难免,恳请广大读者及时指正,以帮助我们不断改进。

编 者

2011 年 10 月

第一版前言

电源是实现电能变换和功率传递的主要设备。在信息时代,各行业的迅猛发展对电源产品提出了更多、更高的要求,如节能、节电、节材、缩体、减重、环保、可靠、安全等,这就迫使电源工作者在电源研发过程中不断探索,寻求各种相关技术,做出最好的电源产品。开关电源是一种新型电源设备,较之于传统的线性电源,其技术含量高、能耗低、使用方便。

开关电源技术作为电力电子学的一个重要组成部分,目前国内的相关资料较少,使得在一定程度上影响了这一新技术在我国的推广及应用。本书不采用教科书传统的以理论分析为主、大量公式图表充斥的编写方法,而是以作者多年的教学和科研经验为基础,结合大量实例来分析开关电源的理论和应用。本书以实用电路分析设计为主,系统地介绍了开关电源的基础理论和发展过程,力求简化理论、通俗易懂、循序渐进、深入浅出,使初学者对开关电源有一个全面了解。本书内容包括基本的自激式电源、它激式电源、集成电源、UPS电源、变频电源等的典型电路、工作原理以及设计方法。

本书由洛阳理工学院辛伊波和陈文清进行规划、组织和统编。其中第1章由辛伊波编写,第2章由张波编写,第3章由蒋健虎编写,第4章由陈文清编写,第5章由薛亚宾编写,第6章由李明伟编写,第7章由姬宣德编写,第8章由张刚编写。

本书的编写工作得到了华中科技大学博士生导师方华京教授的指导,也得到了洛阳理工学院相关部门的支持。

在本书的编写过程中,我们参阅了大量文献,这些文献包括一些单位和个人提供的珍贵资料、本书末列出的参考文献以及书中未能提及资料来源的文献。我们在此对方华京教授和这些文献的作者一并表示诚挚的感谢。另外还要感谢西安电子科技大学出版社的毛红兵编辑、张梁编辑以及其他工作人员,他们在本书的出版过程中给予了大力支持与帮助。

由于编者水平有限,疏漏和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2009年4月

目 录

第 1 章 开关电源基本原理1	
1.1 开关电源的组成与工作原理1	
1.1.1 开关电源工作原理1	
1.1.2 开关电源的构成2	
1.1.3 开关电源的特点2	
1.2 开关电源主要类型3	
1.2.1 控制方式3	
1.2.2 连接分类3	
1.2.3 输出取样方式4	
1.3 开关电源主要结构5	
1.4 开关电源辅助技术9	
1.4.1 多输出电源9	
1.4.2 倍压/桥式整流切换10	
1.4.3 微处理器控制11	
1.4.4 防干扰技术13	
1.5 开关器件的选择与驱动16	
1.5.1 开关器件的特征和类型16	
1.5.2 电力二极管17	
1.5.3 电力场效应晶体管18	
1.5.4 绝缘栅双极晶体管19	
1.5.5 集成门极换流晶闸管20	
1.5.6 缓冲电路21	
1.6 整流电路22	
1.6.1 恒功率整流22	
1.6.2 倍流整流23	
1.6.3 同步整流23	
1.7 电源指标测试与电源管理24	
1.7.1 开关电源技术指标24	
1.7.2 电源管理25	
1.7.3 技术指标测试26	
1.8 电磁兼容技术与噪声27	
1.8.1 电磁兼容性标准27	
1.8.2 开关电源的电磁兼容性28	
思考与复习30	
第 2 章 自激式开关电源31	
2.1 自激式开关电源的结构和保护电路31	
2.1.1 自激式降压电源的结构和 工作原理31	
2.1.2 降压型电源保护电路33	
2.2 自激电源的优化34	
2.2.1 增大降压比控制34	
2.2.2 自激电源的同步控制35	
2.3 自激式降压型集成电源38	
2.3.1 直接取样电源电路38	
2.3.2 间接取样电源电路39	
2.4 升压式自激电源39	
2.5 开关电源的隔离40	
2.5.1 隔离电源基本电路41	
2.5.2 提高隔离电源稳压性能43	
2.5.3 双 PWM 控制44	
2.5.4 两路正反馈控制47	
2.6 自激开关电源应用设计48	
2.6.1 办公设备电源48	
2.6.2 显示器电源50	
2.7 典型设备开关电源52	
2.7.1 原理框图52	
2.7.2 启动与振荡52	
2.7.3 稳压原理54	
2.7.4 遥控电路55	
2.7.5 保护电路56	
思考与复习57	
第 3 章 它激式开关电源58	
3.1 它激式开关电源58	
3.1.1 MC1394 构成的开关电源58	

3.1.2 UC3842 控制的开关电源.....	60	4.4.3 基于 TPS54350 的 DC/DC 电源.....	114
3.1.3 升压型开关电源	63	思考与复习	115
3.1.4 充电器专用控制电路 MC712.....	64	第 5 章 大功率变换电路	116
3.1.5 反激式开关电源	65	5.1 基本变换电路	116
3.2 集成驱动器及其应用	66	5.1.1 基本变换电路原理	116
3.2.1 半桥控制电路 L6598.....	66	5.1.2 不同电路的特点	121
3.2.2 主从式开关电源	67	5.2 半桥变换电路的应用	122
3.2.3 单周期控制电路	70	5.2.1 降压电路.....	122
3.2.4 大电流电源	75	5.2.2 振荡超声波电路	123
3.3 STR 系列集成变换电路	77	5.3 推挽变换电路的应用	124
3.3.1 STR-S67 系列电路	78	5.3.1 基于 UC3524 的低压电源	124
3.3.2 STR-M65 系列电路	80	5.3.2 基于 UC3524 的高压电源	126
3.3.3 STR-M6811A 电路	81	5.3.3 逆变电源	127
3.4 TOP 系列集成电源	84	5.3.4 TL494 及其应用	128
3.4.1 TOPSwitch 系列集成电源	84	5.4 典型应用电路	131
3.4.2 TinySwitch 系列集成电源	86	5.4.1 自激多输出电源	131
3.4.3 取样电路	88	5.4.2 节能灯控制器	133
3.4.4 设计实例	90	5.4.3 500V 降压电源.....	135
3.5 DC/DC 变换电路	90	5.4.4 基于 IR2112 的半桥电路	137
3.5.1 升压式 DC/DC 变换电路	90	5.4.5 自激振荡半桥驱动电路	138
3.5.2 倍压式 DC/DC 变换电路	91	5.5 谐振开关电源	141
思考与复习	92	5.5.1 低通滤波式谐振变换器	141
第 4 章 单片式开关电源	93	5.5.2 并联谐振电源	141
4.1 典型单片电源电路	93	5.5.3 串联谐振电源	144
4.1.1 单片开关电源 LM25 系列	93	5.5.4 谐振电源的应用	147
4.1.2 单片开关电源 L4962	95	思考与复习	148
4.1.3 低压它激式单片电源 MC78S40.....	97	第 6 章 开关电源设计	149
4.1.4 低压单片开关电源 MC34063	98	6.1 小功率开关电源	149
4.2 同步整流技术的低电压大电流电源	100	6.1.1 50 W 电源设计	149
4.2.1 UC3842 控制的同步整流电路.....	101	6.1.2 120W/24 V 电源设计	154
4.2.2 具有同步整流功能的电路	102	6.2 大功率开关电源	155
4.3 移动电子设备电源	105	6.2.1 技术指标	155
4.3.1 MAX744A 电源	105	6.2.2 功率变换部分	156
4.3.2 MAX767 电源	106	6.3 逆变电源	157
4.3.3 模式控制 CMOS 低功耗电源	107	6.3.1 系统设计	157
4.3.4 MAX782 和 LTC1149 的应用	108	6.3.2 PWM 控制	158
4.4 特殊开关电源	111	6.3.3 输出电压控制	160
4.4.1 显示设备的超高压电源	111	6.4 便携式开关电源	162
4.4.2 行脉冲驱动超高压电源	113	6.4.1 结构与系统设计	162

6.4.2 主要元件参数计算	163	7.6.2 PWM 控制器电路	205
6.4.3 机载小型电源的设计	166	7.6.3 监控系统设计	207
6.4.4 机载三相交流电源的设计	167	7.6.4 通信功能	208
6.5 多输出高精度直流电源	170	7.7 UPS 功率因数	208
6.5.1 系统的结构与原理	171	7.7.1 整流电路的理想状态	208
6.5.2 控制单元原理	172	7.7.2 相控整流电路存在的问题	210
6.6 通信系统电源	176	7.7.3 决定功率因数的主要因素	211
6.6.1 线性调节器输出低压	176	7.7.4 功率因数的提高	212
6.6.2 升压型 DC/DC 变换器	177	7.7.5 滞环电流变换器及其在 PFC 中的 应用	215
6.6.3 降压型开关电源	177	思考与复习	218
6.6.4 DC/DC 变换器设计	178	第 8 章 多电平直流变换	219
思考与复习	180	8.1 多电平变换的基本原理	219
第 7 章 UPS 电路原理与应用	181	8.1.1 多电平变换器的特点	219
7.1 UPS 的电路结构及性能特点	181	8.1.2 多电平变换器主电路拓扑结构	219
7.1.1 后备式 UPS	182	8.1.3 多电平变换器的控制方法	222
7.1.2 在线互动式 UPS	182	8.2 单管直流变换器三电平拓扑变换	227
7.1.3 双变换在线式	183	8.2.1 Buck 电路三电平变换	227
7.1.4 双向变换串/并联补偿在线式	184	8.2.2 Boost 电路三电平变换	228
7.2 新型 UPS 变换技术	185	8.2.3 Buck-Boost 电路三电平变换	228
7.2.1 新型 UPS 电源电路	186	8.2.4 Cuk 三电平电路变换	229
7.2.2 双向 DC/DC 变换器的 工作原理	187	8.3 推挽变换器三电平拓扑变换	230
7.2.3 双向 DC/DC 电路主要 参数设计	188	8.4 全桥直流变换器的三电平拓扑变换	231
7.2.4 在线式 UPS 的控制和保护技术	191	8.5 三电平直流变换器的控制方法	232
7.3 UPS 专用免维护蓄电池	192	8.5.1 移相角与输出电压的关系	232
7.3.1 免维护蓄电池的工作原理与 应用	193	8.5.2 移相角与电感电流脉动的关系	235
7.3.2 利用双向 DC/DC 电路实现 蓄电池的充放电	194	8.5.3 Buck 变换器的电感电流 脉动值分析	235
7.4 UPS 的性能指标与测试	195	8.5.4 Boost 变换器的电感电流 脉动值分析	237
7.4.1 UPS 的技术指标	195	8.5.5 Buck-Boost 变换器的电感电流 脉动值分析	239
7.4.2 UPS 系统的测试	198	8.5.6 其他类型电路的电感 电流脉动分析	242
7.4.3 UPS 的安全运行	200	思考与复习	243
7.5 大功率 UPS 干扰原因与抑制方法	202	第 9 章 变频电源原理与应用	244
7.5.1 UPS 干扰来源	202	9.1 变频电源	244
7.5.2 抗干扰措施	204	9.1.1 变频电源技术	244
7.6 专用电池充电电源设计	205	9.1.2 VVVF 的基本调制方法	244
7.6.1 电路组成及工作机理	205		

9.2 变频电源硬件电路设计	247
9.2.1 变频电源设计要点	247
9.2.2 DC/DC 升压模块设计要求	248
9.2.3 直流升压原理	248
9.2.4 反激直流升压电路设计	249
9.2.5 DC/AC 逆变模块设计	250
9.2.6 电路模块设计	252
9.3 系统软件设计	256
9.3.1 系统软件设计流程	256
9.3.2 系统中断程序设计	256
9.4 变频技术的应用	258
9.4.1 PWM 双桥叠加交流 电压调节方式	258
9.4.2 采用 PWM 斩波方式的 交流电压调节器	259
9.4.3 串联电压源模式的交流 电压调节器	260
9.4.4 三种方案的对比	261
9.5 大功率变频技术及其对负载的影响	261
9.5.1 器件串联方案	261
9.5.2 多电平控制方案	262
9.5.3 变频器对电动机的影响	264
9.5.4 中压变频器技术发展	266
9.6 实现电动机带载启动的 AC/AC 变频技术	266
9.6.1 系统原理与组成	267

9.6.2 系统构成	268
9.6.3 系统软件	270
9.6.4 应用方案	271
思考与复习	272
第 10 章 提高电源质量的新技术	273
10.1 交错并联技术	273
10.1.1 交错并联结构	273
10.1.2 设计方案	275
10.2 多重变换在电源中的应用	276
10.2.1 多重变换器技术的优点	276
10.2.2 多重级联变换器的结构	277
10.2.3 变换电路工作原理及 数学模型	277
10.2.4 单元级联型变换电路的 数学模型	281
10.2.5 三相单元级联功率变换电路	283
10.3 多电平变换器的控制方法	285
10.3.1 基于离散自然采样法的 PWM 控制方法	285
10.3.2 变换器的均衡控制技术	287
思考与复习	288
附录 1 国家与行业电源标准	289
附录 2 开关电源常用英文标识与 缩写	291
参考文献	296

第1章 开关电源基本原理

开关电源中的功率调整管工作在开关状态，具有功耗小、效率高、稳压范围宽、温升低、体积小等突出优点，在通信设备、数控装置、仪器仪表、视频音响、家用电器等电子电路中得到广泛应用。

1.1 开关电源的组成与工作原理

1.1.1 开关电源工作原理

开关电源的工作原理可以用图 1-1 进行说明。图中输入的直流不稳定电压 U_i 经开关 S 加至输入端， S 为受控开关，是一个受开关脉冲控制的开关调整管。开关 S 按要求改变导通或断开时间，就能把输入的直流电压 U_i 变成矩形脉冲电压。这个脉冲电压经滤波电路进行平滑滤波就可得到稳定的直流输出电压 U_o 。

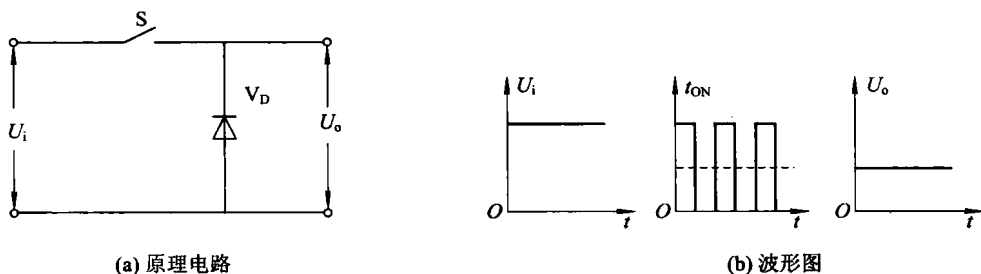


图 1-1 开关电源的工作原理

定义脉冲占空比如下：

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (1-1)$$

式中， T 表示开关 S 的开关重复周期； t_{on} 表示开关 S 在一个开关周期中的导通时间。

开关电源直流输出电压 U_o 与输入电压 U_i 之间具有如下关系：

$$U_o = U_i D \quad (1-2)$$

由式(1-1)和式(1-2)可以看出：

(1) 若开关周期 T 一定，改变开关 S 的导通时间 t_{on} ，即可改变脉冲占空比 D ，达到调节输出电压的目的，这种保持 T 不变而只改变 t_{on} 来实现占空比调节的方式，称为脉冲宽度调制(PWM)。由于 PWM 式的开关频率固定，输出滤波电路比较容易设计，易实现最优化，因此 PWM 式开关电源用得较多。

(2) 若保持 t_{on} 不变, 利用改变开关频率 $f=1/T$ 来实现脉冲占空比调节, 从而实现输出直流电压 U_o 稳压的方式, 称为脉冲频率调制(PFM)。由于开关频率不固定, 所以 PFM 方式的输出滤波电路的设计不易实现最优化。

(3) 既改变 t_{on} , 又改变 T , 从而实现脉冲占空比的调节的稳压方式, 称做脉冲调频调宽方式。

在各种开关电源中, 以上三种脉冲占空比调节方式均有应用。

1.1.2 开关电源的构成

开关电源由以下四个基本环节组成(见图 1-2):

(1) DC/DC 变换器: 用以进行功率变换, 是开关电源的核心部分。DC/DC 变换器有多种电路形式, 其中控制波形为方波的 PWM 变换器以及工作波形为准正弦波的谐振变换器应用较为普遍。

(2) 驱动器: 开关信号的放大部分, 对来自信号源的开关信号放大、整形, 以适应开关管的驱动要求。

(3) 信号源: 产生控制信号, 由它激或自激电路产生, 可以是 PWM 信号, 也可以是 PFM 信号或其他信号。

(4) 比较放大器: 对给定信号和输出反馈信号进行比较运算, 控制开关信号的幅值、频率、波形等, 通过驱动器控制开关器件的占空比, 达到稳定输出电压的目的。

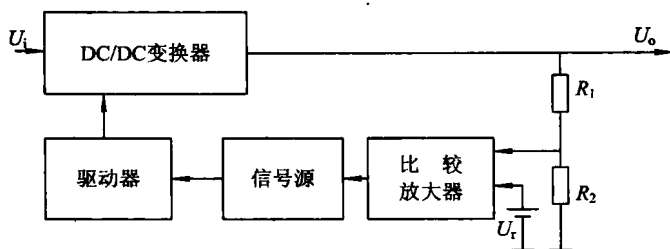


图 1-2 开关电源基本组成框图

除此之外, 开关电源还有辅助电路, 包括启动电路、过流过压保护、输入滤波、输出采样、功能指示等。

开关电源与线性电源相比, 输入的瞬态变换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指标也能得到改善。负载变换瞬态响应主要由输出端 LC 滤波器的特性决定。所以可以通过提高开关频率、降低输出滤波器 LC 的值的方法改善瞬态响应特性。

1.1.3 开关电源的特点

开关电源具有以下特点:

(1) 效率高。开关电源的功率开关调整管工作在开关状态, 所以调整管的功耗小、效率高。调整管的效率一般为 80%~90%, 高的可达 90% 以上。

(2) 重量轻。由于开关电源省掉了笨重的电源变压器, 节省了大量的漆包线和硅钢片, 所以电源的重量只是同容量线性电源的 1/5, 体积也大大缩小。

(3) 稳压范围宽。开关电源的交流输入电压在 90~270 V 范围变化时, 输出电压的变化在 $\pm 2\%$ 以下。合理设计电路还可使稳压范围更宽, 并保证开关电源的高效率。

(4) 安全可靠。在开关电源中, 由于可以方便地设置各种形式的保护电路, 所以当电源负载出现故障时, 能自动切断电源, 保护功能可靠。

(5) 元件数值小。由于开关电源的工作频率高, 一般在 20 kHz 以上, 所以滤波元件的数值可以大大减小。

(6) 功耗小。功率开关管工作在开关状态, 其损耗小; 电源温升低, 不需要采用大面积散热器。采用开关电源可以提高整机的可靠性和稳定性。

1.2 开关电源主要类型

为了使读者能够更好地设计和使用开关电源, 下面从电路的控制方式和输出取样方式两方面对开关电源作一大致的分类。

1.2.1 控制方式

1. 脉冲宽度调制式

由开关电源输出直流电压表达式(1-2)可知, 控制开关管的导通时间 t_{on} , 可以调整输出电压 U_o , 达到输出稳压的目的。脉冲宽度调制(PWM)方式是采用恒频控制, 即固定开关周期 T , 通过改变脉冲宽度 t_{on} 来实现输出稳压。开关器件的开关频率 f 由自激或它激方式产生。

2. 脉冲频率调制式

脉冲频率调制(PFM)方式是利用反馈来控制开关脉冲频率或开关脉冲周期, 实现调节脉冲占空比 D , 达到输出稳压的目的。

3. 脉冲调频调宽式

这种控制方式是利用反馈控制回路, 既控制脉冲宽度 t_{on} , 又控制脉冲开关周期 T , 以实现调节脉冲占空比 D , 从而达到输出稳压的目的。

4. 其他方式

若触发信号利用电源电路中的开关晶体管、高频脉冲变压器构成正反馈环路, 完成自激振荡, 使开关电源工作, 则这种电源称为自激式开关电源。

它激式开关电源需要外部振荡器, 用以产生开关脉冲来控制开关管, 使开关电源工作, 输出直流电压。它激式电源大多数需要专用的 PWM 触发集成电路。

1.2.2 连接分类

电源以功率开关管的连接方式分类, 可分为单端正激开关电源、单端反激开关电源、半桥开关电源和全桥开关电源; 以功率开关管与供电电源、储能电感的连接方式以及电压输出方式分类, 可分为串联开关电源和并联开关电源。

串联开关电源、并联开关电源、单端正激、单端反激、半桥及全桥开关电源的工作原

理将在以后章节分别讨论。

1.2.3 输出取样方式

取样电路是电源反馈电路的重要部分，取样方式对系统的稳定性有决定作用。取样方式是开关电源电路设计的重点工作之一。

1. 直接取样电路

图 1-3 为直接输出取样电路在开关电源中的应用实例。光电耦合器中三极管集电极电流 I_C 的大小与发光二极管电流 I_F 及光电耦合系数 h 成正比例关系，即

$$I_C = hI_F \quad (1-3)$$

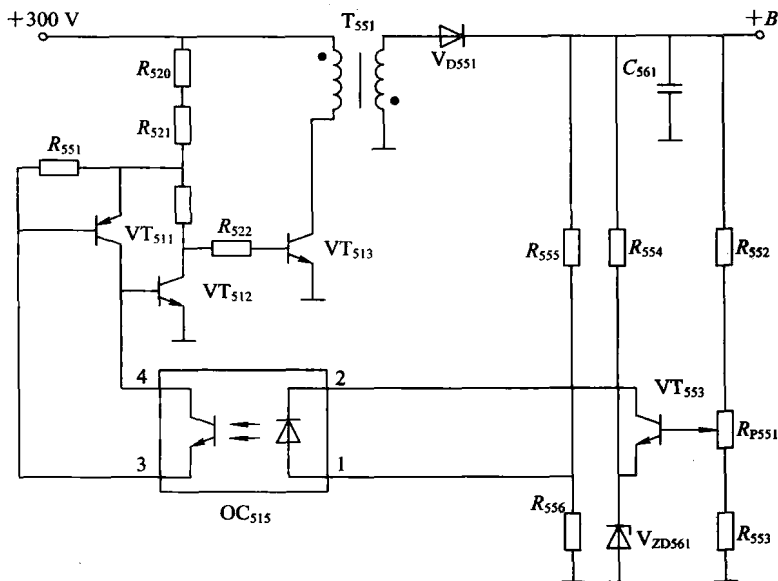


图 1-3 直接输出取样电路

当开关电源的输出电压因输入电压升高或负载减轻而升高时，开关电源 +B 滤波电容 C_{561} 两端升高的电压一路经取样电阻 R_{555} 、 R_{556} 取样，光电耦合器 OC_{515} 的 1 脚电压升高，即发光二极管正极电位升高；另一路经取样电阻 R_{552} 、 R_{P551} 、 R_{553} 取样，误差放大管 VT_{553} 的基极电位升高，由于 VT_{553} 发射极接有稳压管，其发射极电位不变，所以 VT_{553} 加速导通，集电极电位下降，于是 OC_{515} 内的发光二极管发光强度增大， OC_{515} 内的光电三极管内阻下降，脉宽调节电路的 VT_{511} 、 VT_{512} 相继导通，开关管 VT_{513} 导通时间减小，使输出电压下降到正常值。

采用直接输出取样方式的开关电源安全性好，且具有便于空载检修、稳压反应速度快、瞬间响应时间短等优点。

由误差取样电路与误差放大电路组成的三端误差取样放大器电路如图 1-4 所示。该电路不但简化了结构，而且提高了电路的可靠性。

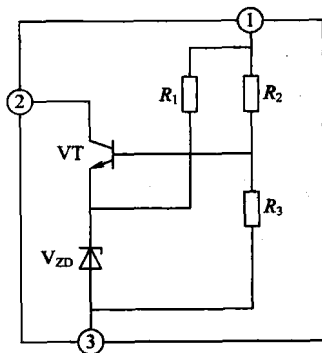


图 1-4 三端误差取样放大器电路

2. 间接取样电路

图 1-5 是一个开关电源的间接输出取样电路。在开关变压器上专门设置有取样绕组(即①、②绕组), 取样绕组感应的脉冲电压经 V_{D811} 整流, 在滤波电容 C_{815} 两端产生供取样的直流电压。由于取样绕组与次级绕组采用了紧耦合结构, 所以滤波电容 C_{815} 两端电压的高低就间接反映了开关电源输出电压的高低。

间接输出取样方式的缺点是响应慢, 当输出电压因输入电压等原因发生突变时, 输出电压的变化需经开关变压器磁耦合才能反映到取样绕组两端, 所以稳压的动态效果一般。

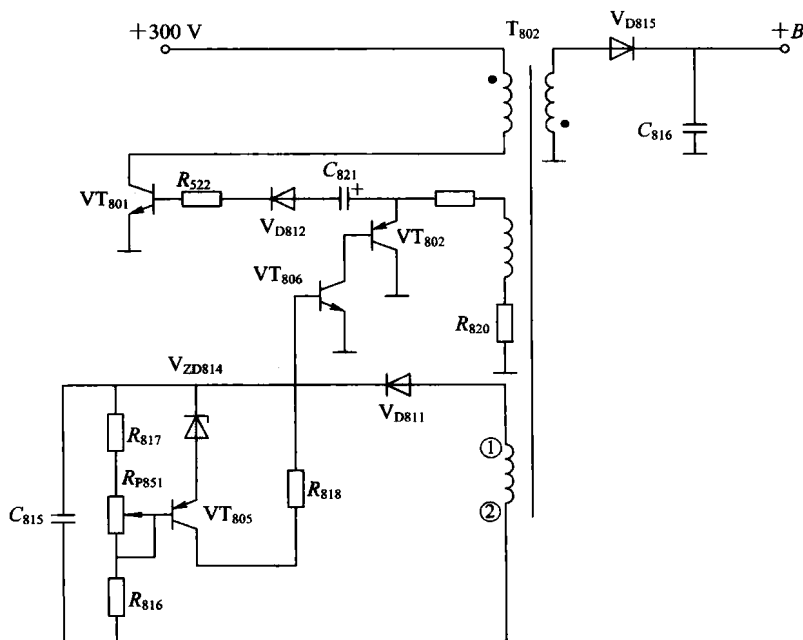


图 1-5 间接输出取样电路

1.3 开关电源主要结构

1. 串联型结构

串联开关电源工作原理方框图如图 1-6 所示。功率开关晶体管 VT 串联在输入与输出之间, 正常工作时, 它在开关驱动控制脉冲的作用下周期性地导通和截止。输入不稳定的直流电压通过功率开关晶体管 VT 后输出为周期性脉冲电压, 再经滤波后就可得到平滑的直流输出电压 U_o 。 U_o 与功率开关晶体管 VT 的脉冲占空比 D 有关, 见式(1-2)。输入交流电压或负载电流的变化将引起输出直流电压的变化, 通过输出取样电路将取样电压与基准电压相比较, 误差电压通过误差放大器放大, 去控制脉冲调宽电路的脉冲占空比 D , 就可达到稳定直流输出电压 U_o 的目的。

串联开关电源中的功率开关管 VT 串在输入电压 U_i 与输出电压 U_o 之间, 因此对开关管耐压要求较低。但是由于输入电压和输出电压共用地线, 故电源输入与输出间不隔离。

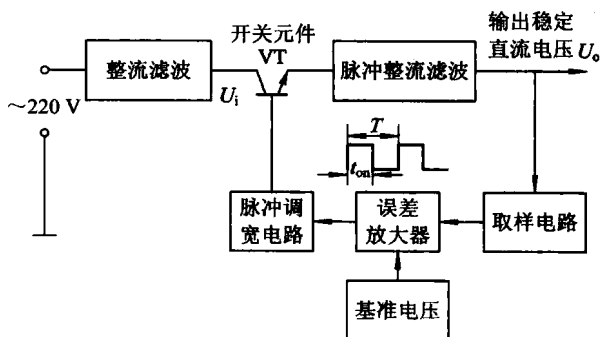


图 1-6 串联开关电源原理图

2. 并联型结构

并联开关电源工作原理方框图如图 1-7 所示。功率开关晶体管 VT 与输入电压、输出负载并联，输出电压为

$$U_o = U_i \frac{1}{1-D} \quad (1-4)$$

图 1-7 是一种输出升压型开关电源，电路中有一个储能电感，适当利用这个储能电感可将并联开关电源转变为广泛使用的变压器耦合并联开关电源。

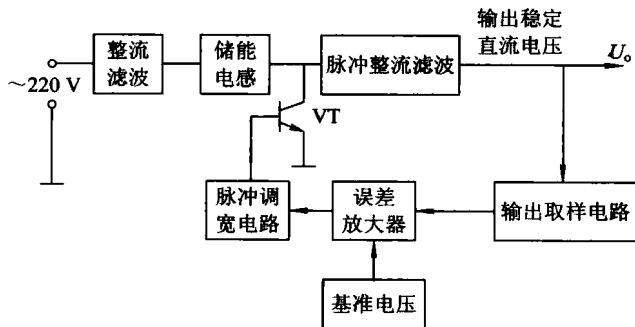


图 1-7 并联开关电源原理图

变压器耦合并联开关电源原理图如图 1-8 所示。

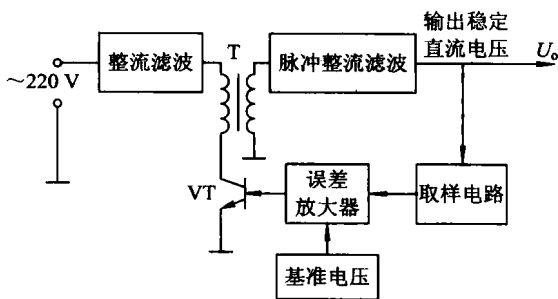


图 1-8 变压器耦合并联开关电源原理图

功率开关晶体管 VT 与开关变压器初级绕组串联，连接在电源供电输入端，它在开关脉

冲信号的控制下周期性地导通与截止。集电极输出的脉冲电压通过变压器耦合在次级得到脉冲电压,这个脉冲电压经整流滤波后得到直流输出电压 U_o 。经过取样电路将取样电压与基准电压 U_E 进行比较,误差电压通过误差放大器放大后输出至功率开关晶体管 VT,通过控制 VT 的导通与截止达到控制脉冲占空比的目的,从而稳定直流输出电压。由于采用变压器耦合,所以变压器的初、次级相互隔离,使初级电路地与次级电路地分开,做到次级电路地不带电,使用时很安全。同时由于变压器耦合,可以使用多组次级绕组,在次级得到多组直流输出电压。

3. 正激式结构

正激式开关电源电路如图 1-9 所示,是一种采用变压器耦合的降压型开关稳压电源。加在变压器 N_1 绕组上的脉冲电压振幅等于输入电压 U_i ,脉冲宽度为功率开关管 VT 导通时间 t_{on} 的开关脉冲序列,变压器次级开关脉冲电压经二极管 V_{D1} 整流变为直流。电源中功率开关管 VT 导通时变压器初级绕组励磁电流最大值为

$$I_{N1} = \frac{U_i}{L_{N1}} DT \quad (1-5)$$

式中: L_{N1} 表示变压器初级绕组 N_1 的电感量; D 表示脉冲占空比; T 表示脉冲开关周期。

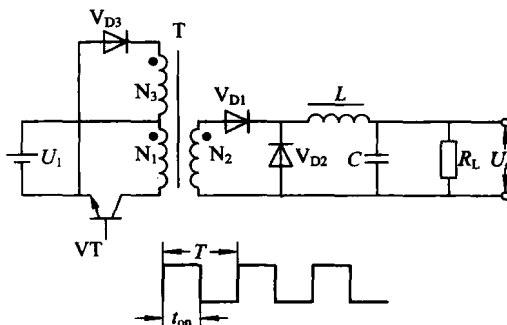


图 1-9 正激式开关电源电路

图 1-9 中的二极管 V_{D2} 为续流二极管,用以在二极管 V_{D1} 由导通变为截止时将储存在电感 L 中的磁能按原电流方向释放给负载。二极管 V_{D3} 和绕组 N_3 用以在功率晶体管 VT 断开时对变压器进行消磁。功率开关管 VT 断开时, N_3 绕组同名端脉冲信号极性变负,这时励磁能量便经 V_3 、 N_3 绕组回馈到电源输入端。功率开关管 VT 断开,绕组 N_1 中存储的能量就转移到 N_3 绕组,并经 N_3 绕组回馈到电源输入端。

正激式开关电源的特点是:当初级的功率开关管 VT 导通时,电源输入端的能量由次级二极管 V_{D1} 经输出电感 L 为负载供电;功率开关管 VT 断开时,由续流二极管 V_{D2} 继续为负载供电,并由消磁绕组 N_3 和消磁二极管 V_{D3} 将初级绕组 N_1 的励磁能量回馈到电源输入端。

4. 反激式结构

反激式开关电源电路如图 1-10 所示。功率开关管 VT 导通时,输入端的电能以磁能的形式存储在变压器的初级绕组 N_1 中,依据图中次级 N_2 同名端标注,二极管 V_{D1} 不导通,负载没有电流流过。功率开关管 VT 断开时,变压器次级绕组以输出电压 U_o 为负载供电,并对变压器消磁。

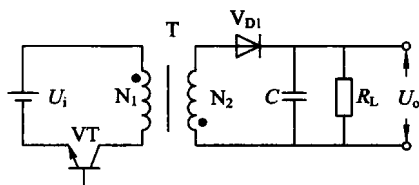


图 1-10 反激式开关电源电路

反激式开关电源电路简单，输出电压 U_o 既可高于输入电压 U_i ，又可低于 U_i ，一般适用于输出功率为 200 W 以下的开关电源中。

5. 半桥型结构

当要求电源输出功率较大时可采用半桥型开关电源，其工作原理和波形如图 1-11 所示。两个功率开关晶体管 VT_1 和 VT_2 在开关驱动脉冲的作用下，交替地导通与截止。当开关管 VT_1 导通时，在输入电压 U_i 作用下，电流经 VT_1 、变压器初级绕组 N_1 和电容 C_2 给变压器初级绕组 N_1 励磁，同时经次级二极管 V_{D1} 、绕组 N_2 给负载供电。当开关管 VT_1 截止、 VT_2 导通时，输入电源经 C_1 、变压器初级绕组 N_1 、开关管 VT_2 给变压器初级绕组 N_1 励磁，同时经次级二极管 V_{D2} 给负载供电。所以，电源通过功率开关管 VT_1 、 VT_2 交替给变压器初级绕组 N_1 励磁并为负载供电。变压器初级的脉冲电压幅度为 $U_i/2$ 。同样，电容 C_1 、 C_2 上的电压也分别为 $U_i/2$ 。

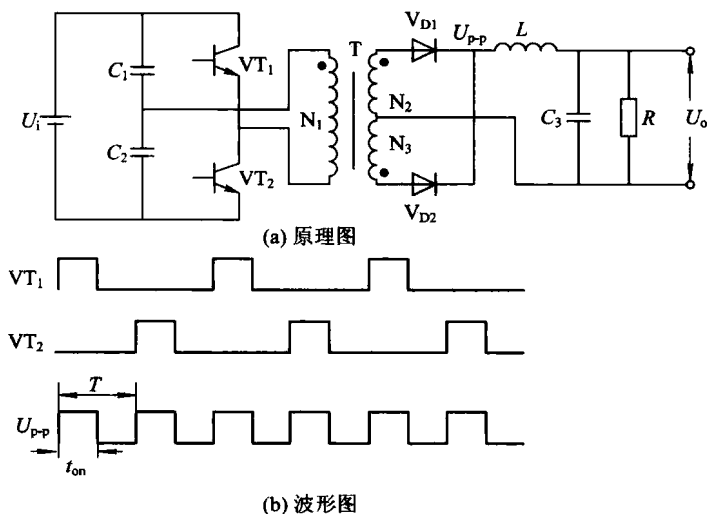


图 1-11 半桥型开关电源原理图和波形图

半桥型开关电源的自平衡能力强，不易使变压器由于 VT_1 、 VT_2 的导通时间不一致而产生磁饱和现象，导致功率开关管 VT_1 、 VT_2 损坏。当 VT_1 、 VT_2 导通时间不一致时，变压器初级 N_1 绕组的励磁电流大小不一样，致使电容 C_1 、 C_2 上的电压不相等，励磁电流越大，则对应的电容器电压越小，从而起到自平衡对称作用。由于每个功率开关管上的电压只有输入电源电压 U_i 的一半，所以要输出同样的功率，每个功率开关管中流过的电流就要增大一倍。半桥型开关电源中需要避免功率开关管 VT_1 、 VT_2 的同时导通，需使 VT_1 、 VT_2 功率开关管的导通时间相互错开，相互错开的最小时间称为死区时间。