



高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材



开关电源基础与应用

主编 辛伊波 陈文清



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“十一五”规划教材

开关电源基础与应用

主编 辛伊波 陈文清

参编 李明伟 蒋健虎 张 波

薛亚宾 姬宣德 张 刚

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书以不同类型的开关电源电路分析为主线,以典型电路为对象,详细介绍了开关电源的工作原理和设计方法,特别对基础应用做了阐述。

全书共8章,内容包括开关电源基础技术、自激式开关电源、它激式开关电源、单片开关电源、开关变换电路、开关电源设计、UPS电路原理与应用以及变频电源原理与应用。

本书内容丰富、深入浅出,力图反映最新的开关电源方面的发展和研究成果。

本书可作为电子、自动化、电气工程及其他相近专业的本科教材或参考书,也可作为工程技术人员继续教育和职业教育的参考教材,还可供从事电源设计、应用及维修等的技术人员参考。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

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.

—西安:西安电子科技大学出版社,2009.7

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2231-6

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第050113号

策 划 毛红兵

责任编辑 张 梁 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 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17.875

字 数 420千字

印 数 1~4000册

定 价 25.00元

ISBN 978-7-5606-2231-6/TN·0502

XDUP 2523001-1

*** 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。

欢迎选购西安电子科技大学出版社教材类图书

~~~~“十一五”国家级规划教材~~~~

计算机系统结构(第四版)(李学干)	25.00
计算机系统安全(第二版)(马建峰)	30.00
计算机网络(第三版)(蔡皖东)	27.00
计算机应用基础教程(第四版)(陈建铎)	
(for Windows XP/Office XP)	30.00
计算机应用基础(冉崇善)(高职)	
(Windows XP & Office 2003 版)	23.00
《计算机应用基础》实践技能训练	
与案例分析(高职)(冉崇善)	18.00
微型计算机原理(第二版)(王忠民)	27.00
微型计算机原理及接口技术(第二版)(裘雪红)	36.00
微型计算机组成与接口技术(第二版)(高职)	28.00
微机原理与接口技术(第二版)(龚尚福)	37.00
单片机原理及应用(第二版)(李建忠)	32.00
单片机应用技术(第二版)(高职)(刘守义)	30.00
Java程序设计(第二版)(高职)(陈圣国)	26.00
编译原理基础(第二版)(刘坚)	29.00
人工智能技术导论(第三版)(廉师友)	24.00
多媒体软件设计技术(第三版)(陈启安)	23.00
信息系统分析与设计(第二版)(卫红春)	25.00
信息系统分析与设计(第三版)(陈圣国)(高职)	20.00
传感器原理及工程应用(第三版)	28.00
数字图像处理(第二版)(何东健)	30.00
电路基础(第三版)(王松林)	39.00
模拟电子电路及技术基础(第二版)(孙肖子)	35.00
模拟电子技术(第三版)(江晓安)	25.00
数字电子技术(第三版)(江晓安)	23.00
数字电路与系统设计(第二版)(邓元庆)	35.00
数字信号处理(第三版)(高西全)	29.00
电磁场与电磁波(第二版)(郭辉萍)	28.00
现代通信原理与技术(第二版)(张辉)	39.00
移动通信(第四版)(李建东)	30.00
移动通信(第二版)(章坚武)	24.00
物理光学与应用光学(第二版)(石顺祥)	42.00

数控机床故障分析与维修(高职)(第二版) 25.00

液压与气动技术(第二版)(朱梅)(高职) 23.00

~~~~~计算机提高普及类~~~~~

计算机应用基础(第三版)(丁爱萍)(高职)	22.00
计算机文化基础(高职)(游鑫)	27.00
计算机文化基础上机实训及案例(高职)	15.00
计算机科学与技术导论(吕辉)	22.00
计算机应用基础(高职)(赵钢)	29.00
计算机应用基础——信息处理技术教程	31.00
《计算机应用基础——信息处理技术教程》	

习题集与上机指导(张郭军) 14.00

计算机组装与维修(中职)(董小莉) 23.00

微型机组装与维护实训教程(高职)(杨文诚) 22.00

~~~~~计算机网络类~~~~~

计算机网络技术基础教程(高职)(董武)	18.00
计算机网络管理(雷震甲)	20.00
网络设备配置与管理(李飞)	23.00
网络安全与管理实验教程(谢晓燕)	35.00
网络安全技术(高职)(廖兴)	19.00
网络信息安全技术(周明全)	17.00
动态网页设计实用教程(蒋理)	30.00
ASP动态网页制作基础教程(中职)(苏玉雄)	20.00
局域网组建实例教程(高职)(尹建璋)	20.00
Windows Server 2003组网技术(高职)(陈伟达)	30.00
组网技术(中职)(俞海英)	19.00
综合布线技术(高职)(王趾成)	18.00
计算机网络应用基础(武新华)	28.00
计算机网络基础及应用(高职)(向隅)	22.00

~~~~~计算机技术类~~~~~

计算机系统结构与组成(吕辉)	26.00
电子商务基础与实务(第二版)(高职)	16.00
数据结构——使用C++语言(第二版)(朱战立)	23.00
数据结构(高职)(周岳山)	15.00
数据结构教程——Java语言描述(朱振元)	29.00
离散数学(武波)	24.00

现代控制理论基础(舒欣梅)	14.00	数控加工与编程(第二版)(高职)(詹华西)	23.00
过程控制系统及工程(杨为民)	25.00	数控加工工艺学(任同)	29.00
控制系统仿真(党宏社)	21.00	数控加工工艺(高职)(赵长旭)	24.00
模糊控制技术(席爱民)	24.00	数控加工工艺课程设计指导书(赵长旭)	12.00
工程电动力学(修订版)(王一平)(研究生)	32.00	数控加工编程与操作(高职)(刘虹)	15.00
工程力学(张光伟)	21.00	数控机床与编程(高职)(饶军)	24.00
工程力学(皮智谋)(高职)	12.00	数控机床电气控制(高职)(姚勇刚)	21.00
理论力学(张功学)	26.00	数控应用专业英语(高职)(黄海)	17.00
材料力学(张功学)	27.00	机床电器与 PLC(高职)(李伟)	14.00
材料成型工艺基础(刘建华)	25.00	电机及拖动基础(高职)(孟宪芳)	17.00
工程材料及应用(汪传生)	31.00	电机与电气控制(高职)(冉文)	23.00
工程材料与应用(戈晓岚)	19.00	电机原理与维修(高职)(解建军)	20.00
工程实践训练(周桂莲)	16.00	供配电技术(高职)(杨洋)	25.00
工程实践训练基础(周桂莲)	18.00	金属切削与机床(高职)(聂建武)	22.00
工程制图(含习题集)(高职)(白福民)	33.00	模具制造技术(高职)(刘航)	24.00
工程制图(含习题集)(周明贵)	36.00	模具设计(高职)(曾霞文)	18.00
工程图学简明教程(含习题集)(尉朝闻)	28.00	冷冲压模具设计(高职)(刘庚武)	21.00
现代设计方法(李思益)	21.00	塑料成型模具设计(高职)(单小根)	37.00
液压与气压传动(刘军营)	34.00	液压传动技术(高职)(简引霞)	23.00
先进制造技术(高职)(孙燕华)	16.00	发动机构造与维修(高职)(王正键)	29.00
机械原理多媒体教学系统(资料)(书配盘)	120.00	机动车辆保险与理赔实务(高职)	23.00
机械工程科技英语(程安宁)	15.00	汽车典型电控系统结构与维修(李美娟)	31.00
机械设计基础(郑甲红)	27.00	汽车机械基础(高职)(娄万军)	29.00
机械设计基础(岳大鑫)	33.00	汽车底盘结构与维修(高职)(张红伟)	28.00
机械设计(王宁侠)	36.00	汽车车身电气设备系统及附属电气设备(高职)	23.00
机械设计基础(张京辉)(高职)	24.00	汽车单片机与车载网络技术(于万海)	20.00
机械基础(安美玲)(高职)	20.00	汽车故障诊断技术(高职)(王秀贞)	19.00
机械 CAD/CAM(葛友华)	20.00	汽车营销技术(高职)(孙华亮)	15.00
机械 CAD/CAM(欧长劲)	21.00	汽车使用性能与检测技术(高职)(郭彬)	22.00
机械 CAD/CAM 上机指导及练习教程(欧)	20.00	汽车电工电子技术(高职)(黄建华)	22.00
画法几何与机械制图(叶琳)	35.00	汽车电气设备与维修(高职)(李春明)	25.00
《画法几何与机械制图》习题集(邱龙辉)	22.00	汽车使用与技术管理(高职)(边伟)	25.00
机械制图(含习题集)(高职)(孙建东)	29.00	汽车空调(高职)(李祥峰)	16.00
机械设备制造技术(高职)(柳青松)	33.00	汽车概论(高职)(邓书涛)	20.00
机械制造基础(高职)(郑广花)	21.00	现代汽车典型电控系统结构原理与故障诊断	25.00

欢迎来函索取本社书目和教材介绍! 通信地址: 西安市太白南路2号 西安电子科技大学出版社发行部
 邮政编码: 710071 邮购业务电话: (029)88201467 传真电话: (029)88213675。

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦 力	王建中	巨永锋	孙 强	陈在平	李正明
吴 斌	杨马英	张九根	周玉国	党宏社	高 嵩
秦付军	席爱民	穆向阳			

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉	李荣正	余健明
段晨东	郝润科	谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋	刘晓婷	朱建公	朱若燕	何法江	李鹏飞
麦云飞	汪传生	张功学	张永康	胡小平	赵玉刚
柴国钟	原思聪	黄惟公	赫东锋	谭继文	

项目策划：马乐惠

策 划：毛红兵 马武装 马晓娟

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,农业、能源、交通运输、信息、国防、教育等领域的迅猛发展,对电源产业提出了更多、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,以满足各行各业的要求。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,耗能低,使用方便,并取得了较好的经济效益。

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,一定程度上影响了这一新技术在我国的推广应用。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、本书末尾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 开关电源基础技术	1	第 2 章 自激式开关电源	28
1.1 开关电源概述	1	2.1 自激式开关电源的工作原理	28
1.1.1 开关电源的工作原理	1	2.1.1 自激式降压开关电源	28
1.1.2 开关电源的组成	2	2.1.2 自激式降压开关电源的 基本电路	28
1.1.3 开关电源的特点	2	2.1.3 自激式降压开关电源的 保护电路	30
1.2 开关电源的分类	3	2.2 自激式降压开关电源的改进	31
1.3 开关电源的主要技术指标	5	2.2.1 降压比增大的实现方案	31
1.4 开关电源典型结构	6	2.2.2 自激式降压开关电源的 强制同步	32
1.4.1 串联开关电源结构	6	2.3 自激式降压开关电源的 厚膜集成电路	35
1.4.2 并联开关电源结构	6	2.3.1 直接取样的厚膜集成电路	35
1.4.3 正激开关电源结构	7	2.3.2 间接取样的厚膜集成电路	35
1.4.4 反激开关电源结构	8	2.4 升压式开关电源	36
1.4.5 半桥开关电源结构	8	2.5 具有隔离功能的自激式开关电源	37
1.4.6 全桥开关电源结构	9	2.5.1 基激或隔离开关电源的	38
1.5 开关电源技术要点	10	2.5.2 自激式隔离开关电源稳压性能的 改善	40
1.5.1 电源电路的组成及主要特点	10	2.5.3 双路 PWM 控制系统	41
1.5.2 倍压/桥式整流自动切换	11	2.5.4 自激式隔离开关电源的 保护电路	43
1.5.3 电源的微处理器控制	12	2.6 双脉宽控制的开关电源	44
1.5.4 防开机浪涌电流技术	13	2.7 办公设备电源设计	45
1.5.5 开关电源干扰的抑制	14	2.7.1 功率变化负载的电源	45
1.6 开关器件	16	2.7.2 自激并联型开关电源	47
1.6.1 开关器件概述	16	2.8 彩色电视机开关电源	49
1.6.2 电力二极管	17	2.8.1 启动与自激振荡	51
1.6.3 电力场效应晶体管 MOSFET	19	2.8.2 稳压原理	52
1.6.4 绝缘栅双极晶体管 IGBT	20	2.8.3 遥控开关	52
1.6.5 功率模块与功率集成电路	22	2.8.4 +B 过压保护	53
1.6.6 缓冲电路	22	2.8.5 X 射线保护及束电流过流保护	54
1.7 开关电源中的整流电路	23	思考题	54
1.7.1 恒功率整流器	23	第 3 章 它激式开关电源	55
1.7.2 倍流整流器	23	3.1 典型它激式开关电源	55
1.7.3 同步整流器	23		
1.8 电源设备的评价与测量	24		
1.8.1 电源设备的评价	24		
1.8.2 开关电源的技术指标	26		
思考题	27		

3.1.1	MC1394 控制的开关电源	55	4.3.3	模式控制的 CMOS 低功耗 集成电路	106
3.1.2	UC3842 控制的开关电源	57	4.3.4	MAX782 电路	107
3.1.3	典型应用电路	60	4.3.5	LTC1149 电路	108
3.1.4	反激式开关电源	62	4.4	特殊用途开关电源	109
3.2	集成驱动器及其应用	63	4.4.1	显示设备的超高压稳压电源	109
3.2.1	半桥拓扑控制电路 L6598	63	4.4.2	行脉冲驱动超高压变换器	111
3.2.2	主从式开关电源及驱动器	65	4.5	基于 TPS54350 型 DC/DC 变换器电路	112
3.2.3	单周期控制集成电路	67	思考题		113
3.2.4	大电流电源	73	第 5 章 开关变换电路		114
3.3	STR 系列集成变换电路	75	5.1	主要开关变换电路分析	114
3.3.1	STR - S67 $\times\times$ 电路	75	5.1.1	推挽开关变换电路	114
3.3.2	STR - M65 $\times\times$ 电路	77	5.1.2	全桥开关变换电路	117
3.3.3	STR - M6811A 电路	79	5.1.3	半桥开关变换电路	118
3.4	TOP 系列集成开关电源	81	5.1.4	正激开关变换电路	119
3.4.1	TOPSwitch 系列三端开关电源	81	5.1.5	反激开关变换电路	119
3.4.2	TOPSwitch 系列的结构	82	5.1.6	各种不同开关变换电路的比较	120
3.4.3	TinySwitch 系列四端开关电源	83	5.2	半桥变换器的应用	120
3.4.4	TOPSwitch 延伸开关电源	84	5.2.1	半桥开关降压电路	120
3.5	TOPSwitch 的应用	85	5.2.2	自激式振荡超声波电路	122
3.5.1	间接取样的 TOPSwitch 应用电路	85	5.3	集成电路驱动的推挽和 全桥开关电路	123
3.5.2	直接取样的 TOPSwitch 应用电路	86	5.3.1	UC3524 组成的低压开关电源	123
3.5.3	电路设计	87	5.3.2	UC3524 组成的高压开关电源	125
3.6	DC/DC 变换电路	88	5.3.3	UC3524 在 UPS 中的应用	126
3.6.1	新型升压式 DC/DC 变换器	88	5.3.4	双端驱动集成电路 TL494	127
3.6.2	倍压 DC/DC 变换器	89	5.3.5	TL494 构成的单端正激电源	129
思考题		90	5.3.6	自激式半桥开关电源	130
第 4 章 单片开关电源		91	5.3.7	高压卤素灯控制电路	132
4.1	典型单片开关电源	91	5.3.8	高压直流输入开关电源	134
4.1.1	LM25 $\times\times$ 系列单片开关电源	91	5.3.9	新型半桥开关驱动器 IR2112	136
4.1.2	L49 $\times\times$ 系列单片开关电源	93	5.3.10	自振荡的半桥开关驱动器	137
4.1.3	它激式低压单片开关电源 MC78S40	95	5.4	谐振式开关电源	140
4.1.4	低压单片开关电源 MC34063	97	5.4.1	低通滤波式谐振变换器	140
4.2	同步整流技术的低压大电流 开关电源	99	5.4.2	并联谐振原理在变换器中的 应用	140
4.2.1	UC3842 控制的同步整流电路	99	5.4.3	半桥谐振式调频开关电源	143
4.2.2	具有同步整流功能的 专用集成电路	101	5.4.4	谐振电路在节能灯中的应用	146
4.3	移动电子设备电源集成电路	104	思考题		147
4.3.1	MAX744A 电路	104	第 6 章 开关电源设计		148
4.3.2	MAX767 电路	105	6.1	小功率开关电源设计	148
			6.1.1	实用小功率开关电源设计	148

6.1.2	120 W/24 V 开关电源模块的 电路设计	154	6.9.2	开关电源的电磁兼容性问题	200
6.2	大功率高稳定度开关电源设计	155	思考题		202
6.2.1	主要技术指标	156	第 7 章 UPS 电路原理与应用		203
6.2.2	控制电路	156	7.1	UPS 的电路结构及性能特点	203
6.2.3	功率变换部分	157	7.1.1	后备式	204
6.2.4	其他电路	159	7.1.2	在线互动式	204
6.3	模块化逆变电源设计	159	7.1.3	双变换在线式	205
6.3.1	系统设计	159	7.1.4	双向变换串并联补偿在线式	206
6.3.2	PWM 波形控制	160	7.2	新型 UPS 技术	207
6.3.3	输出电压控制	163	7.2.1	新型 UPS 电路	207
6.4	便携式开关电源设计	164	7.2.2	双向 DC/DC 变换器的 工作原理	208
6.4.1	结构与系统设计	164	7.2.3	双向 DC/DC 电路主要 参数设计	210
6.4.2	高可靠性电源设计	165	7.2.4	在线式 UPS 的控制和 保护技术	213
6.4.3	机载小型化开关电源设计	168	7.3	UPS 专用免维护蓄电池	215
6.4.4	机载三相交流稳压电源设计	170	7.3.1	免维护蓄电池的工作原理 与应用	215
6.5	多输出高精度直流稳压电源系统	173	7.3.2	利用双向 DC/DC 电路实现 蓄电池的充放电	216
6.5.1	电源系统的结构和原理	173	7.4	UPS 的设计指标与测试	218
6.5.2	系统各控制单元原理简介	174	7.4.1	UPS 的技术指标	218
6.6	通信系统电源设计	178	7.4.2	UPS 的静态测试	220
6.6.1	利用线性调节器获得低压输出	178	7.4.3	UPS 的动态测试和 其他常规测试	221
6.6.2	采用升压型 DC/DC 开关变换器	179	7.4.4	UPS 的安全运行	222
6.6.3	采用降压开关电源	179	7.5	大功率 UPS 干扰的原因与 抑制方法	224
6.6.4	高效 DC/DC 变换器设计	180	7.5.1	UPS 干扰来源	224
6.7	基于交错并联技术的励磁电源	183	7.5.2	抗干扰措施	226
6.7.1	交错并联结构	183	7.6	专用电池充电电源设计	227
6.7.2	工作模式	183	7.6.1	电路组成及工作机理	227
6.7.3	应用方案	184	7.6.2	PWM 控制器电路	228
6.8	多重变换技术	186	7.6.3	监控系统设计	229
6.8.1	多重变换器的技术特点	186	7.6.4	通信功能	230
6.8.2	多重级联变换器的结构	187	7.7	电源功率因数	230
6.8.3	变换电路的工作原理及 数学模型	188	7.7.1	决定功率因数的主要因素	231
6.8.4	单元级联型功率变换电路的 数学模型	191	7.7.2	提高自然功率因数	231
6.8.5	三相多单元级联功率变换电路	193	7.7.3	静止无功补偿	232
6.8.6	多电平控制方法	195	7.7.4	APF 与动态无功补偿	232
6.8.7	基于离散自然采样法的 PWM 控制策略	196	7.7.5	无功补偿的效益	234
6.8.8	级联变换器的均衡控制	198	7.7.6	滞环电流变换器	235
6.9	电磁兼容技术与噪声	199			
6.9.1	电磁兼容性标准	199			

思考题	238	8.4.3 串联电压源模式的交流电压 调节器	256
第8章 变频电源原理与应用	239	8.4.4 三种方案的对比	257
8.1 变频电源	239	8.5 大功率中压变频技术及其对负载 的影响	257
8.1.1 变频电源技术	239	8.5.1 器件串联方案	257
8.1.2 实现VVVF的基本调制方法	239	8.5.2 多电平控制方案	258
8.1.3 谐振型开关电路	241	8.5.3 变频器对电动机的影响	260
8.1.4 逆变器的控制	242	8.5.4 中压变频器技术发展	262
8.2 变频电源的硬件电路设计	242	8.6 实现电动机带载启动的 交/交变频技术	262
8.2.1 变频电源设计要点	242	8.6.1 系统原理与组成	263
8.2.2 DC/DC升压模块设计要求	243	8.6.2 系统构成	264
8.2.3 不同升压方案的原理及分析	243	8.6.3 系统软件	266
8.2.4 反激直流升压电路设计	245	8.6.4 应用方案	267
8.2.5 DC/AC逆变模块设计	246	思考题	268
8.2.6 控制模块设计	248	附录1 国家与行业电源现有标准的 名称及编号	209
8.3 系统软件设计	251	附录2 开关电源常用英文标志 与缩写	271
8.3.1 系统软件设计流程图	251	参考文献	276
8.3.2 系统中断程序设计	252		
8.4 变频技术在交流调压中的应用研究	254		
8.4.1 PWM双桥叠加交流电压方式	254		
8.4.2 PWM斩波方式的交流电压 调节器	255		

第1章 开关电源基础技术

开关电源具有功耗小、效率高、稳压范围宽、体积小(重量轻)等突出优点,在通信设备、数控装置、仪器仪表、影音设备、家用电器等电子电路中得到了广泛应用。

1.1 开关电源概述

1.1.1 开关电源的工作原理

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 加至输出端, S 为受控开关,是一个受开关脉冲控制的开关调整管,若使开关 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后就得到稳定的直流输出电压 U_o 。

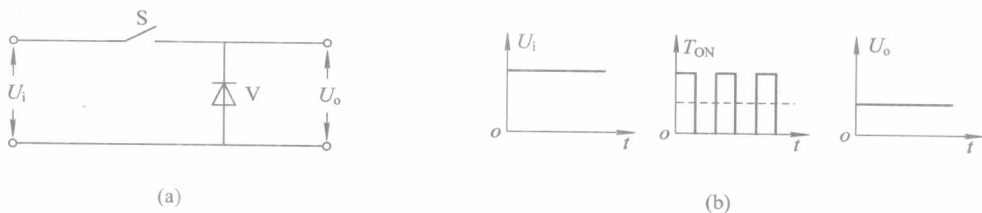


图 1-1 开关电源的工作原理

(a) 电路图; (b) 波形图

为方便分析开关电源电路,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,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 ,从而达到调节输出电压的目的。 T 不变,只改变 T_{ON} 来实现占空比调节的稳压方式叫做脉冲宽度调制(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。若保持 T_{ON} 不变,利用改变开关频率 $f=1/T$ 实现脉冲占空比调节,从而实现输出直流电压 U_o 稳压的方法,称做脉冲频率调制(PFM)。由于该方式的开关频率不固定,因此输出滤波电路的设计不易实现最优化。既改变 T_{ON} ,又改变 T ,实现脉冲占空比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的稳压方式均有应用。

1.1.2 开关电源的组成

开关电源的基本组成如图 1-2 所示。其中 DC/DC 变换器用以进行功率变换,它是开关电源的核心部分;驱动器是开关信号的放大部分,对来自信号源的开关信号进行放大和整形,以适应开关管的驱动要求;信号源产生控制信号,该信号由它激或自激电路产生,可以是 PWM 信号、PFM 信号或其他信号;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,以达到稳定输出电压值的目的。除此之外,开关电源还有辅助电路,包括启动、过流过压保护、输入滤波、输出采样、功能指示等电路。

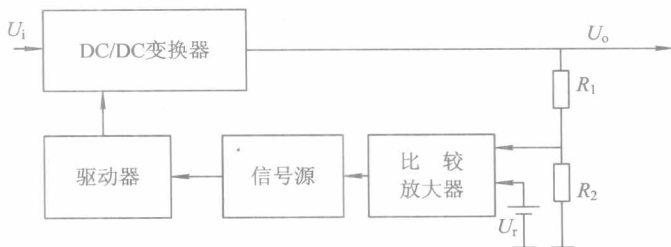


图 1-2 开关电源的基本组成

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。

开关电源与线性电源相比,其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,由于比较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。开关电源的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 的方法来改善瞬态响应特性。

1.1.3 开关电源的特点

开关电源具有如下特点:

(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,一般在 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,从而使其重量只有同容量线性电源的 1/5,体积也大大缩小了。

(3) 稳压范围宽。开关电源的交流输入电压在 90~270 V 内变化时,输出电压的变化在 $\pm 2\%$ 以下。合理设计开关电源电路,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,因此当电源负载出现故障时,能自动切断电源,保障其功能可靠。

(5) 功耗小。由于开关电源的工作频率高,一般在 20 kHz 以上,因此滤波元件的数值可以大大减小,从而减小功耗;特别是,由于功率开关管工作在开关状态,损耗小,不需要采用大面积散热器,电源温升低,周围元件不致因长期工作在高温环境而损坏,因此采用开关电源可以提高整机的可靠性和稳定性。

1.2 开关电源的分类

为了使读者更好、更方便地设计和使用开关电源，在此按电路的输出稳压控制方式、开关电源的触发方式、电路的输出取样方式等多种角度，对开关电源进行分类。

1. 按电路的输出稳压控制方式分类

按电路的输出稳压控制方式，开关电源可分为脉冲宽度调制(PWM)式、脉冲频率调制(PFM)式和脉冲调频调宽式三种。这三种开关电源在 1.1.1 节已有介绍，这里不再赘述。

2. 按开关电源的触发方式分类

1) 自激式开关电源

自激式开关电源利用电源电路中的开关晶体管和高频脉冲变压器构成正反馈环路，来完成自激振荡，使开关电源输出直流电压。在显示设备的 PWM 式开关电源中，自激振荡频率同步于行频脉冲，即使在行扫描电路发生故障时，电源电路仍能维持自激振荡而有直流输出电压。

2) 它激式开关电源

它激式开关电源必须有一个振荡器，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。

3. 按电路的输出取样方式分类

1) 直接输出取样开关电源

直接输出取样电路在光电耦合器尚未应用时，主要在串联开关电源上使用；在光电耦合器应用后，开始在变压器耦合并联开关电源上使用。图 1-3 为直接输出取样电路在开关电源中的应用实例。

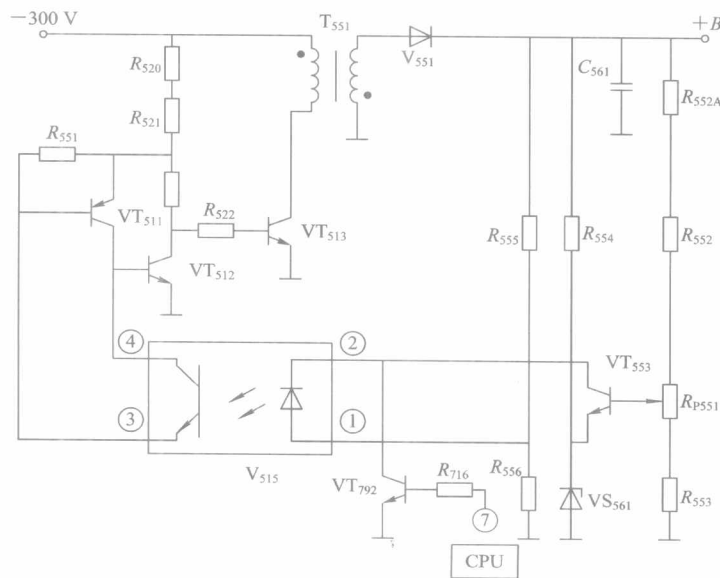


图 1-3 直接输出取样开关电源电路

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 成正比关系, 即

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

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, 滤波电容 C_{561} 两端升高的电压一路经取样电阻 R_{555} 、 R_{556} 取样后, 使光电耦合器 V_{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_{552A} 、 R_{552} 、 R_{P551} 、 R_{553} 取样后使误差放大管 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 V_{515} 内的发光二极管发光强度增大, 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, 不仅安全性好, 而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见图 1-4。该放大器的电路结构不但得到了简化, 其可靠性也得到了提高, 因此目前视听设备的开关电源大多采用这种三端误差取样放大器的直接取样电路方式。

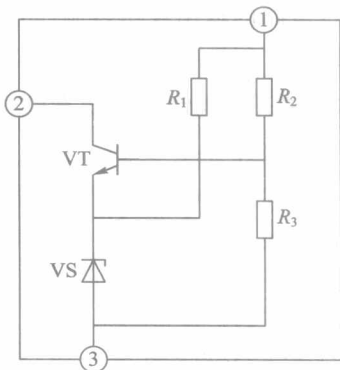


图 1-4 三端误差取样放大器

2) 间接输出取样开关电源

图 1-5 所示是间接输出取样开关电源电路。该电路的特点是在开关变压器上专门设

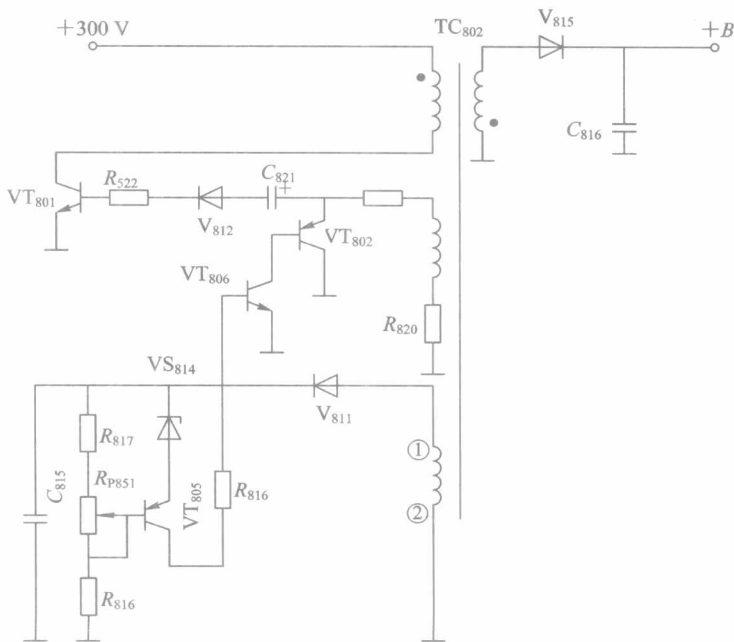


图 1-5 间接输出取样开关电源电路

置了一个取样绕组,即①-②绕组,取样绕组感应的脉冲电压经 V_{811} 整流,在滤波电容 C_{815} 两端产生供取样电路取样的直流电压。由于取样绕组与次级绕组采用了紧耦合结构,因此滤波电容 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,所以这种取样方式称为间接输出取样方式。间接输出取样方式的缺点是响应差,当输出电压因输入电压等原因发生变化时,输出电压的变化须经开关变压器磁耦合才能反映到取样绕组两端,所以稳压速度低,并且这种开关电源不能空载检修,检修时须在输出端接替代负载。

4. 按其他方式分类

开关电源按功率开关管的连接方式,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;按功率开关管与电源供电、储能电感、稳压电压的输出方式,可分为串联开关电源和并联开关电源。

串联、并联、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中分别进行介绍。

1.3 开关电源的主要技术指标

开关电源有以下主要技术指标。

(1) 输入电压变化范围:当稳压电源的输入电压发生变化时,使输出电压保持不变的输入电压变化范围。这个范围越宽,表示电源适应外界电压变化的能力越强,电源使用范围就越宽。它和电源的误差放大、反馈调节电路的增益以及占空比调节范围有关。目前开关电源的输入电压变化范围已做到 $90\sim 270\text{ V}$,可以省去许多电器中的 $110\text{ V}/220\text{ V}$ 转换开关。

(2) 输出内阻 R_o :输出电压的变化量 ΔU_o 与输出电流的变化量 ΔI_o 的比值。这个比值越小,表示电源输出电压随负载电流的变化越小,稳压性能越好。

(3) 效率 η :电源输出功率 P_o 与输入功率 P_i 的比值。这个比值越高,开关电源的体积越小,同时可靠性也越高。目前开关电源的效率可达到 90% 以上。

(4) 输出纹波电压:由于开关电源的稳压过程是一个不断反馈调节的过程,因此在输出的直流电压 U_o 上会出现一个叠加的波动的纹波电压,即输出纹波电压。这个电压值越小,表示电源的输出性能越好。这个参数的表示有两种方法:一是输出纹波电压有效值;二是输出纹波电压的峰峰值 U_{pp} 。

(5) 输出电压调节范围:由于电源的输出电压只和基准电压与输出取样电路的元器件参数有关,因此,输出电压调节范围反映在线性电源上是稳压调整管集电极电流的变化范围,反映在开关电源上是开关调整管脉冲占空比 D 的变化范围。

(6) 输出电压稳定性:输出电压随负载变化而变化的特性,这个变化量越小越好。它主要和反馈调节回路的增益及频响特性有关。反馈调节回路增益越高,基准电压 U_E 越稳定,输出电压 U_o 的稳定性就越好。

(7) 输出功率 P_o :电源能输出给负载的最大功率,它和负载功率有关。为了保证电源安全,要求输出功率有 $20\%\sim 50\%$ 的裕量。

1.4 开关电源典型结构

1.4.1 串联开关电源结构

串联开关电源原理图如图 1-6 所示。开关元件即功率开关晶体管 VT 串联在输入与输出之间。正常工作时,功率开关晶体管 VT 在开关脉冲信号的作用下周期性地导通、截止之间交替转换,使输入与输出之间周期性地闭合与断开。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,再经脉冲整流滤波后,就可得到平滑直流输出电压 U_o 。 U_o 和功率开关晶体管 VT 的脉冲占空比 D 有式(1-2)的关系。

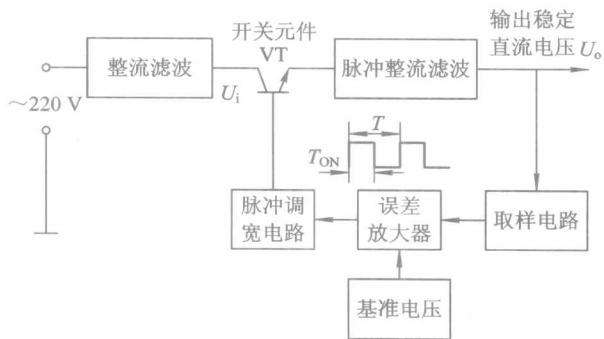


图 1-6 串联开关电源原理图

输入交流电压或负载电流的变化,会引起输出直流电压的变化,通过输出取样电路后将得到的取样电压与基准电压相比较,其误差电压通过误差放大器放大后控制脉冲调宽电路的脉冲占空比 D ,达到稳定直流输出电压 U_o 的目的。

在串联开关电源中,由于功率开关管 VT 串联在输入电压 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,电源输入与输出间不隔离,有可能使电路板底板带电,使用不安全,更不能满足外接 AV 输入、影碟机、录像机的要求。因此在目前的电子装置和视听设备的电源电路中已较少采用串联开关电源,而更多的是采用并联开关电源。

1.4.2 并联开关电源结构

并联开关电源原理图如图 1-7 所示,其中功率开关管 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 所示为一种输出升压型并联开关电源,电路中有一个储能电感,适当利用这个储能电感,可将输出升压型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。

变压器耦合并联开关电源原理图如图 1-8 所示。功率开关管 VT 与开关变压器初级线圈相串联接在电源供电输入端,功率开关管 VT 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,这个次级脉冲电压