

新型电源 变换与控制

 辛伊波 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

新型电源变换与控制

辛伊波 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍各类开关电源的基本电路和工作原理。全书共 8 章, 内容包括开关电源的基本原理、通用开关电源、集成开关电源、基础变换电路、电源控制新技术、多重变换在电源中的应用、多电平结构电源和开关电源设计。

本书可作为高等院校电力电子等相关专业本科生、研究生的教材, 也可作为开关电源研究开发领域的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新型电源变换与控制/辛伊波编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2014. 1
ISBN 978-7-5606-3230-8

I. ① 新… II. ① 辛… III. ① 电源—变流 ② 电源控制器
IV. ① TM46 ② TM91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 261808 号

策 划 毛红兵

责任编辑 王 瑛 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 西安文化彩印厂

版 次 2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 11.5

字 数 266 千字

印 数 1~2000 册

定 价 23.00 元

ISBN 978-7-5606-3230-8/TM

XDUP 3522001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

新型电源作为研究电力电子技术理论及应用的一门学科,其应用前景十分广阔。新型电源是由电工理论、电力半导体器件、控制理论三者相互交叉而形成的新型边缘学科。随着现代新技术的快速发展,新型电源的性能越来越好,技术含量也越来越高,并具有体积小、重量轻、耗能低、使用方便等优点,在邮电通信、航空航天、仪器仪表、工业设备、商用电器等领域得到了广泛应用。目前新型电源技术正以高频开关变换技术为基础,朝着高效率、大功率、模块化和无污染的方向发展。

本书融入了作者多年的开关电源理论教学和研究实践的体会、方法、经验等,以开关电源的结构及控制技术的发展过程为主线,介绍各类开关电源的基本电路和工作原理。

本书共8章:第1章介绍基本开关电源的工作原理;第2章讨论通用开关电源的特点;第3章分析典型的集成开关电源;第4章介绍基本变换电路的原理及应用;第5章讨论电源变换及控制的新技术;第6章讨论电源多重变换的理论及应用;第7章介绍电源多电平结构及控制;第8章讨论开关电源的设计理论及方法。

本书在编写过程中参考了大量国内外相关文献,在此谨向这些文献的作者表示衷心的感谢。本书的出版得到了洛阳理工学院的大力支持和资助,西安电子科技大学出版社的毛红兵编辑为本书的出版做了大量工作,特此致谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2013年4月

目 录

第 1 章 开关电源的基本原理	1
1.1 开关电源基础	1
1.1.1 开关电源的工作原理及组成	1
1.1.2 开关电源的主要结构	2
1.1.3 开关电源的类型	6
1.2 开关电源辅助技术	8
1.2.1 整流技术	8
1.2.2 待机控制电路	10
1.2.3 防干扰技术	12
1.3 电磁兼容技术	15
1.3.1 电磁兼容性标准	15
1.3.2 开关电源的电磁兼容性	16
1.3.3 提高开关电源电磁兼容性的方法	17
1.4 电源管理与电源指标测试	18
1.4.1 电源管理技术	18
1.4.2 开关电源指标与测试	19
第 2 章 通用开关电源	22
2.1 自激式开关电源原理	22
2.1.1 自激式开关电源电路	22
2.1.2 辅助电路	25
2.1.3 PWM 控制	30
2.2 自激式开关电源	34
2.2.1 办公设备电源	34
2.2.2 谐振开关电源	37
2.3 它激式开关电源	40
2.3.1 典型它激式开关电源	40
2.3.2 复合控制电路	44
2.3.3 自激-它激式电源	47
2.3.4 单周期控制电路	48
2.3.5 大电流电源	52
第 3 章 集成开关电源	53
3.1 单片电源电路	53
3.1.1 输出可调电源	53
3.1.2 低压大电流电源	54
3.1.3 升降压单片电源	55
3.1.4 同步整流电路	56

3.2 移动设备电源	60
3.2.1 低功耗电源	60
3.2.2 多组输出电源	62
3.2.3 充电控制电路	64
3.3 专用开关电源	65
3.3.1 视听设备高压电源	65
3.3.2 行脉冲驱动高压电源	66
第4章 基础变换电路	68
4.1 变换电路	68
4.1.1 基础变换电路的类型	68
4.1.2 不同电路的特点	71
4.2 基础变换电路的应用	72
4.2.1 半桥型变换电路的应用	72
4.2.2 全桥型变换电路的应用	75
4.2.3 推挽式变换电路的应用	76
4.3 典型电路分析	83
4.3.1 500 V 降压电源	83
4.3.2 倍压变换电路	85
第5章 电源控制新技术	86
5.1 交错并联技术	86
5.1.1 交错并联结构	86
5.1.2 工作模式	86
5.2 多电平变换器的控制方法	89
5.2.1 三角载波 PWM 法和空间电压矢量法	89
5.2.2 基于离散自然采样法的 PWM 控制方法	90
5.2.3 均衡控制技术	92
5.3 均流技术	94
5.3.1 均流技术的实现	94
5.3.2 极值均流法结构	97
5.3.3 运算分析及电路实现	99
5.4 变换电路的 PFC 功能	103
5.4.1 整流电路的理想状态	103
5.4.2 电容滤波整流电路	104
5.4.3 有源 PFC 电路	105
第6章 多重变换在电源中的应用	108
6.1 多重逆变技术	108
6.1.1 多重级联变换器的结构	108
6.1.2 变换电路的工作原理及数学模型	109
6.1.3 单元级联型变换电路的数学模型	112
6.1.4 三相单元级联功率变换电路	113
6.2 多重整流技术	115
6.2.1 多重化主电路	116

6.2.2 串并联控制策略对比分析	120
6.3 动态环流分析	120
6.3.1 功率模块动态环流	121
6.3.2 工程条件下的环流分析	124
6.3.3 动态环流抑制	125
第7章 多电平结构电源	127
7.1 多电平变换电源的基本原理	127
7.1.1 多电平变换器主电路的拓扑结构	127
7.1.2 多电平变换器的控制方法	130
7.2 三电平电源变换器的拓扑变换	134
7.3 三电平电源变换器的控制方法	136
7.3.1 移相角与输出电压的关系	137
7.3.2 电感电流对移相角的影响	139
7.3.3 电感电流动态分析	139
第8章 开关电源设计	144
8.1 通用开关电源设计	144
8.1.1 120 W/24 V 电源设计	144
8.1.2 50 W 电源设计	145
8.1.3 三相输入开关电源设计	148
8.1.4 半桥型开关电源设计	149
8.2 小型开关电源设计	151
8.2.1 系统与结构设计	151
8.2.2 微波发生器电源设计	152
8.2.3 机载仪表电源设计	154
8.3 低压大电流电源设计	155
8.3.1 低压输出电源设计	155
8.3.2 输出可调电源设计	157
8.3.3 DC/DC 电源设计	157
8.3.4 TOP 系列电源设计	160
8.4 双向变换电源设计	162
8.4.1 升压模式和降压模式	162
8.4.2 双向 DC/DC 变换器电路主要参数设计	164
8.4.3 充电电源设计	167
8.4.4 监控系统设计	168
附录 A 国家与行业电源标准	170
附录 B 开关电源常用英文标识与缩写	171
参考文献	175

第 1 章 开关电源的基本原理

开关电源是利用现代电力电子技术控制开关管开通和关断的时间比率来稳定输出电压或电流的一种电源。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、电源体积小等突出优点,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了广泛应用。开关电源被誉为高效节能电源,代表着稳压电源的发展方向,现已成为稳压电源的主流产品。采用控制集成电路的开关电源更具有输出稳定、可靠性高、可实现远程控制等功能,是当今电源的发展趋势。

1.1 开关电源基础

1.1.1 开关电源的工作原理及组成

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 加至输入端, S 为受开关脉冲控制的开关调整管。对开关 S 进行周期性的通、断控制,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 。通过控制脉冲电压的占空比还可以控制输出电压 U_o 。

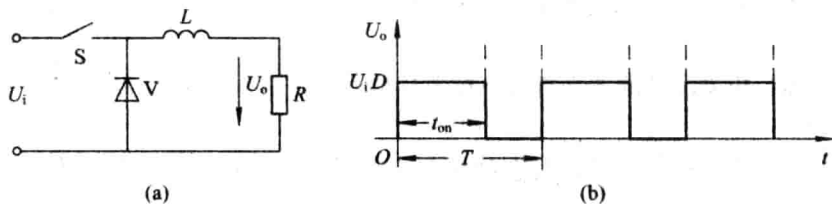


图 1-1 开关电源的工作原理

(a)原理电路图;(b)波形图

脉冲占空比 D 定义如下:

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

式中: T 为开关 S 的开关工作周期; t_{on} 为开关 S 在一个开关周期中的导通时间。

图 1-1 所示的开关电源输出电压 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:

(1) 若开关周期 T 一定,只改变开关 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)方式。由于 PWM 方式的开关频率固定,输出滤波电路比较容易设计,易实现最优化,因此 PWM 方式的开关电源用得较多。

(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)方式。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,称为脉冲调频调宽方式。

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。

2. 开关电源的组成

开关电源采用功率半导体器件作为开关元件,通过周期性地通断开关,控制开关元件的占空比来稳定输出电压。开关电源主要由 DC/DC 变换器、驱动器、信号源和比较放大器四个基本环节组成,如图 1-2 所示。

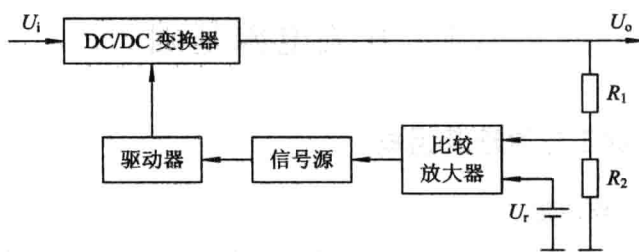


图 1-2 开关电源的基本组成框图

各环节的作用如下:

(1) DC/DC 变换器:用于进行功率变换,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。

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

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,提高开关频率时,反馈放大器的频率特性得到改善,从而使开关电源的瞬态响应指标也得到改善。负载变换瞬态响应主要由输出端 LC 滤波器的特性决定,所以通过提高开关频率、降低输出滤波器 LC 的值的可以改善瞬态响应特性。

1.1.2 开关电源的主要结构

开关电源的主要结构有串联型结构、并联型结构、正激式结构、反激式结构、半桥型

结构和全桥型结构。

1. 串联型结构

串联型开关电源原理图如图 1-3 所示。功率开关晶体管 VT 串联在输入与输出之间，VT 在开关驱动控制脉冲的作用下周期性地导通和截止，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，再经滤波就可得到平滑的直流输出电压 U_o 。 U_o 与控制脉冲的占空比 D 有关，见式(1-2)。

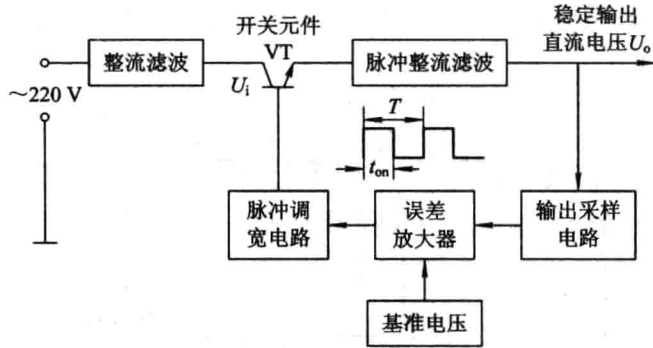


图 1-3 串联型开关电源原理图

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，通过输出采样电路将采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 ，即可达到稳定直流输出电压 U_o 的目的。

串联型开关电源中的功率开关晶体管 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，故电源输入与输出之间不隔离。

2. 并联型结构

并联型开关电源原理图如图 1-4 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

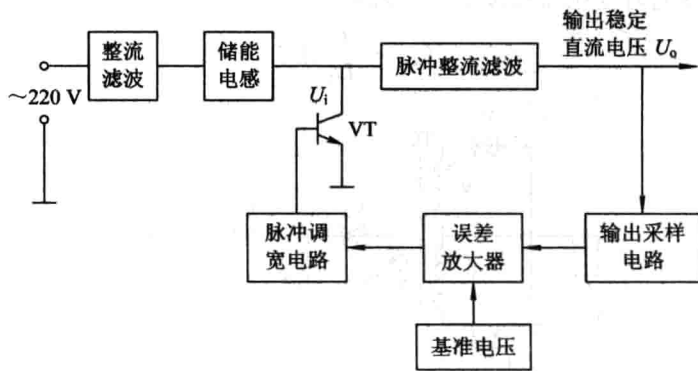


图 1-4 并联型开关电源原理图

$$U_o = U_i \frac{1}{1-D} \quad (1-3)$$

图 1-4 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变压器耦合并联型开关电源。变压器耦合并联型开关电源原理图如图 1-5 所示。功率开关晶体管 VT 与开关变压器的初级绕组串联, 连接在电源供电输入端, 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, 这个脉冲电压经整流滤波后得到直流输出电压 U_o 。经过输出采样电路将采样电压与基准电压进行比较, 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, 通过控制功率开关晶体管 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。

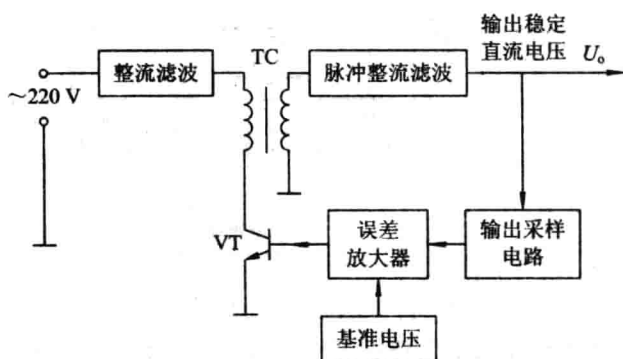


图 1-5 变压器耦合并联型开关电源原理图

由于采用变压器耦合, 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 1-6 所示, 该电源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晶体管 VT 的导通时间 t_{on} , 变压器次级侧开关脉冲电压经二极管 V_1 整流输出。电源中功率开关晶体管 VT 导通时变压器初级绕组励磁电流最大值为

$$I_{N_1} = \frac{U_i}{L_{N_1}} DT \quad (1-4)$$

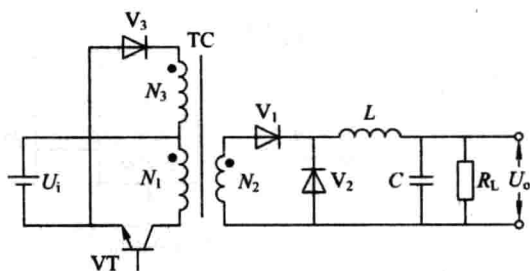


图 1-6 正激式开关电源电路

式中： L_{N_1} 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 1-6 中续流二极管 V_2 在整流二极管 V_1 由导通变为截止期间将储存在电感 L 中的磁能按原电流方向释放给负载。二极管 V_3 和绕组 N_3 在功率开关晶体管 VT 关断时对变压器进行消磁。 N_3 绕组同名端脉冲信号极性变负，励磁能量经二极管 V_3 、绕组 N_3 回馈到电源输入端。

综上所述，正激式开关电源的特点是：当初级的功率开关晶体管 VT 导通时，电源输入端的能量由次级侧二极管 V_1 经输出电感 L 为负载供电；功率开关晶体管 VT 关断时，由续流二极管 V_2 继续为负载供电，并由消磁绕组 N_3 和消磁二极管 V_3 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 1-7 所示。功率开关晶体管 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，二极管 V_1 不导通，负载没有电流流过。功率开关晶体管 VT 关断时，变压器的次级绕组以输出电压 U_o 为负载供电，并对变压器消磁。

反激式开关电源通过改变变压器变比，既可实现升压又可实现降压。

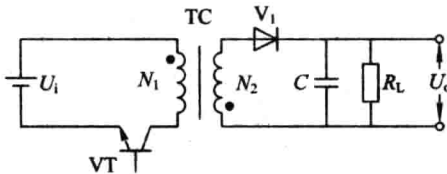


图 1-7 反激式开关电源电路

5. 半桥型结构

半桥型开关电源电路如图 1-8 所示。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 VT_1 导通、 VT_2 截止时，在输入电压 U_i 的作用下，有电流经功率开关晶体管 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，同时经次级侧二极管 V_1 、绕组 N_2 给负载供电。当 VT_1 截止、 VT_2 导通时，输入电压经 C_1 、变压器初级侧绕组 N_1 、功率开关晶体管 VT_2 给变压器初级绕组 N_1 励磁，同时经次级侧二极管 V_2 给负载供电。所以，初级侧电源通过功率开关晶体管 VT_1 和 VT_2 交替给变压器初级绕组 N_1 励磁并为负载供电。变压器初级侧的脉冲电压幅度为 $U_i/2$ 。同样，电容 C_1 、 C_2 上的电压均为 $U_i/2$ 。

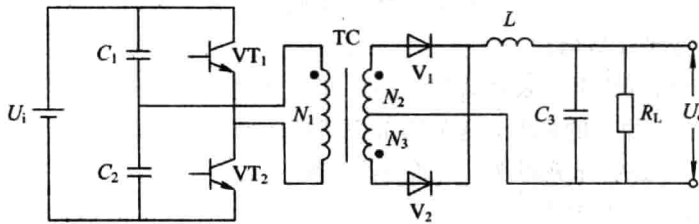


图 1-8 半桥型开关电源电路

在 VT_1 、 VT_2 导通时间不一致的条件下，变压器初级侧绕组 N_1 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,对应的电容器电压越小,从而起到自平衡对称作用,所以电源不会由于 VT_1 、 VT_2 的导通时间不一致而使变压器产生磁饱和现象,导致 VT_1 、 VT_2 损坏。由于每个功率开关晶体管上的电压仅为 $U_i/2$,因此要输出同样的功率,每个功率开关晶体管中流过的电流将要增大一倍。半桥型开关电源中需要避免 VT_1 、 VT_2 同时导通,为此需使 VT_1 、 VT_2 的导通时间相互错开,相互错开的最小时间称为死区时间。

6. 全桥型结构

全桥型开关电源电路如图 1-9 所示。四个功率开关晶体管 VT_1 、 VT_2 、 VT_3 、 VT_4 组成桥式电路, VT_1 和 VT_4 、 VT_2 和 VT_3 分别组成两个导通回路。当 VT_2 、 VT_3 的触发控制信号有效时, VT_1 、 VT_4 的触发控制信号无效。 VT_2 、 VT_3 导通时,输入电压 U_i 经功率开关晶体管 VT_2 、变压器的初级绕组 N_1 和功率开关晶体管 VT_3 形成电流回路,加至变压器初级绕组的电压幅度为电源电压 U_i ,并经次级绕组 N_2 和二极管 V_1 整流、滤波后输出,为负载供电。同理,当 VT_2 、 VT_3 关断, VT_1 、 VT_4 导通时,输入电压 U_i 从与 VT_2 、 VT_3 导通时电流相反的方向为变压器初级绕组 N_1 励磁,并通过次级绕组 N_3 和整流二极管 V_2 为负载供电。

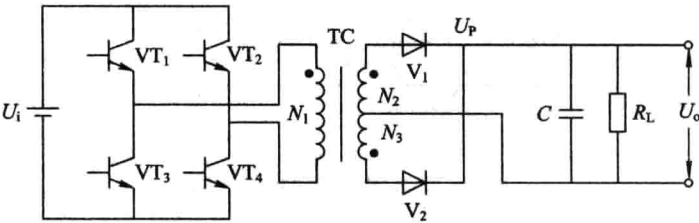


图 1-9 全桥型开关电源电路

和半桥型开关电源相比,由于加在全桥型变压器初级绕组上的电压和电流比半桥型开关电源的各增大一倍,在同样的电源供电电压 U_i 下,全桥型开关电源的输出功率比半桥型开关电源大四倍。

1.1.3 开关电源的类型

开关电源可以从输出稳压控制方式、触发方式、输出采样方式等多种角度进行分类。

1. 按输出稳压控制方式分类

开关电源的控制体现在对功率开关晶体管的调制方式上。

1) 脉冲宽度调制(PWM)

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,这种调节方式称为脉冲宽度调制(PWM)方式。PWM 方式采用恒频控制,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(PFM)

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

脉冲调频调宽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实现调节脉冲占空比 D ,从而达到输出稳压的目的。

开关电源按触发方式可分为自激式和它激式。

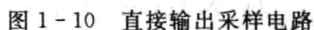
自激式开关电源中的开关管触发信号利用电源电路中的功率开关晶体管、高频脉冲变压器构成正反馈环路,完成自激振荡,控制电源工作。

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功率开关晶体管,使开关电源工作,输出直流电压。它激式电源需要专用的 PWM 触发集成电路。

输出采样电路是开关电源反馈电路的重要部分,要求采样不能破坏系统的隔离,不能引起输出值变换,采样方式对系统的稳定性起决定性作用。开关电源按输出采样方式的不同可分为直接输出采样和间接输出采样两种。

图 1-10 所示为直接输出采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 成正比关系, 即

式中, h 为光电耦合系数。



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,输出电压+110 V 升高的电压值一路经采样电阻 R_{55} 、 R_{56} 采样,光电耦合器 OC_1 的①脚电压升高,即发光二极管正极电位升高;另一路经采样电阻 R_{51} 、 R_{P51} 、 R_{52} 采样,误差放大管 VT_{53} 的基极电位升高,由于 VT_{53} 发射极接有稳压管,其发射极电位不变,所以 VT_{53} 加速导通,集电极电位下降,

于是光电耦合器 OC_1 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_{11} 、 VT_{12} 相继导通, VT_{13} 导通时间减小, 使输出电压下降到正常值。

采用直接输出采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。

2) 间接输出采样电路

图 1-11 所示为间接输出采样电路。在开关变压器上专门设置有采样绕组(即①、②绕组), 采样绕组感应的脉冲电压经 V_{11} 整流, 在滤波电容 C_{15} 两端产生供采样的直流电压。由于采样绕组与次级绕组采用了紧耦合结构, 所以滤波电容 C_{15} 两端电压的高低间接反映了开关电源输出电压的高低。输出电压因在干扰作用下发生突变时须经开关变压器磁耦合才能反映到采样绕组, 所以间接输出采样方式与直接输出采样方式相比响应稍慢, 但电路简单、运行可靠的优势使得间接输出采样方式仍在大量使用。

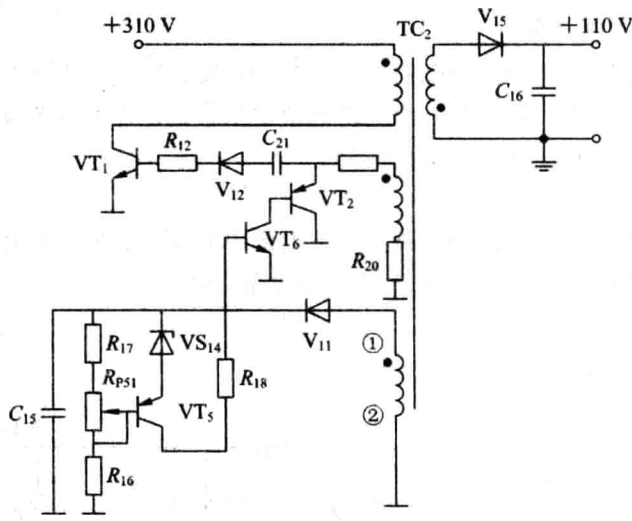


图 1-11 间接输出采样电路

4. 其他分类

开关电源以功率开关晶体管的连接方式分类, 可分为单端正激式开关电源、单端反激式开关电源、半桥型开关电源、全桥型开关电源等; 以功率开关晶体管与供电电源、储能电感的连接方式以及电压的输出方式分类, 可分为串联开关电源、并联开关电源等。

串联开关电源、并联开关电源、单端正激式开关电源、单端反激式开关电源、半桥型开关电源及全桥型开关电源的工作原理将在以后章节分别讨论。

1.2 开关电源辅助技术

1.2.1 整流技术

整流电路是组成基础开关电源的主要部分。整流电路的单相半波、单相全波、单相桥式、倍压整流和多相整流等形式, 可以直接或间接用于开关电源中。部分整流电路的工作

频率与开关频率一致，远远高于普通的线性稳压电源的整流电路。

1. 恒功率整流

普通限流型整流器分为恒压型限流整流器和恒流型限流整流器。恒压型限流整流器的输出电压保持不变；恒流型限流整流器的输出电流保持不变。如果负载电流超过限流值，整流器输出电压将随电流的增加迅速下降，直至整流器过流而关断。恒流型限流整流器的额定电流、限定电流和过流三个电流值相当接近，要求整流器在输入电压和输出电压的变化范围内均能输出额定功率。

恒功率整流器与普通限流型整流器相比有三种不同的输出阶段，即在恒压阶段和恒流阶段中插入了一个恒功率阶段。恒压阶段和恒流阶段的工作情况与普通限流型整流器的完全相同，恒功率阶段可使整流器输出功率保持不变。普通限流型整流器的输出电流超过限定值时，输出电压大幅度降低，不能保证输出功率不变。在恒功率整流器中，随着输出电流超过限定值，输出电压会降低，但下降速率较慢，基本保持输出功率不变，负载可以正常工作。所以，在采用恒功率整流器的开关电源的设计中，只需考虑电子设备的最大负荷和整流器的冗余，即可确定额定输出功率及输出电压和输出电流的调整指标。

2. 倍流整流

倍流整流器由高频变压器次级绕组、两个电感器、两个整流二极管和输出电容器组成。倍流整流器的高频变压器次级绕组没有中心抽头，两个滤波电感器绕制在同一磁心上，其电感量相等。这样，流过变压器次级绕组和两个电感器的电流只是输出负载电流的一半，因此简化了高频变压器和滤波电感器的结构设计，也缩小了倍流整流器的尺寸。倍流整流器的输出电流是两个滤波电感器电流之和，而两个滤波电感器电流的脉动电流可以相互抵消，所以倍流整流器可以得到脉冲电流很小的直流输出。

3. 同步整流

在高速数据处理系统、计算机等需要低电压的超大规模高速集成电路中，电源的整流损耗变成了主要损耗。由于 MOSFET 的正向压降很小，因此在整流电路中采用具有低导通电阻的 MOSFET 器件整流，可大大提高变换器的效率。

图 1-12 是用 MOSFET 作为整流二极管的整流电路。MOSFET 器件作为开关使用时，驱动信号加在栅极(G)和源极(S)之间。MOSFET 作为同步整流器件使用时，漏极(D)和源极(S)间仍类似一个开关管。

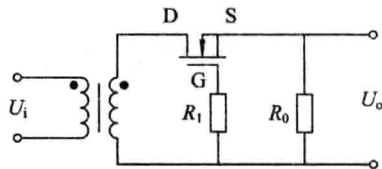


图 1-12 MOSFET 组成的同步整流电路

该整流电路属于半波整流电路，MOSFET 的 D 极接在变压器的输出同名端，G 极通过电阻 R_1 接在变压器输出的另一端。当 D 为高电位时，G 为低电位，MOSFET 被阻断；当 D 为低电位时，G 为高电位，MOSFET 导通，在负载 R_0 上得到整流输出。由于利用变压器

实现了 MOSFET 器件的 G 极驱动信号与 D、S 极间开关的同步，所以将这种方式称为同步整流。用于同步整流的 MOSFET 开关器件称为同步整流管(SR)。SR 的优点是导通电阻小，可做到 $m\Omega$ 量级，正向压降小，功率变换器的效率高，同时还有阻断电压高、反向电流小等优点。

4. 倍压/桥式整流切换

倍压/桥式整流自动切换电路可使电源在 110 V 交流输入电压下工作在倍压整流方式，在 220 V 交流输入电压下工作在桥式整流方式，从而使电源在 110 V/220 V 两种交流供电情况下均能正常工作。

倍压/桥式整流自动切换电路的原理图如图 1-13 所示。当交流输入电压为 220 V 时，通过电压检测电路使双向晶闸管 V 截止，电容 C_1 、 C_2 串联，电路形成桥式整流方式，整流输出电压 U_o 为 310 V 左右的直流电压；当交流输入电压为 110 V 时，通过电压检测电路使双向晶闸管 V 导通，电路形成倍压整流方式。在交流电压的正半周，交流电经二极管 V_1 、电容 C_1 、双向晶闸管 V 形成回路，并给电容 C_1 充电；在交流电压的负半周，交流电经双向晶闸管 V、电容 C_2 和二极管 V_4 形成回路，并给电容 C_2 充电，输出电压 U_o 为电容 C_1 、 C_2 上电压之和，亦为 310 V 左右的直流电压。

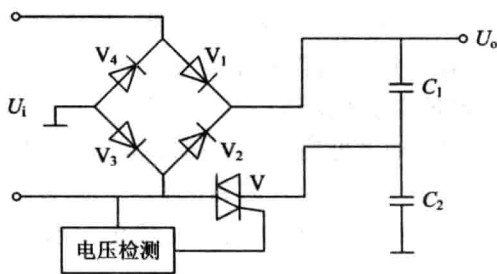


图 1-13 倍压/桥式整流自动切换电路的原理图

1.2.2 待机控制电路

供电系统的节电控制包含实现转换、待机、遥控等功能。待机状态，即休眠状态时仍需继续保持微处理器控制电路的 +5 V 供电，整机功耗可下降到 10 W 以下。

待机工作方式分为三种：第一种是手动待机方式，通过待机键使设备在工作状态与待机状态间转换；第二种是定时待机方式，利用定时键设定所需的定时待机时间；第三种是无信号自动待机方式，微处理器通过信号检测判定电路为无信号时，延时后设备自动进入待机状态。

几种典型的待机控制电路如图 1-14 所示。

图 1-14(a)所示的待机控制电路中，微处理器在待机状态下输出的高电平使 VT_1 饱和导通、 VT_2 截止，将行振荡电路的供电电压切断，整机处于待机状态。为了降低待机状态下的整机功耗，微处理器还要使开关电源由正常振荡转变为低频弱振荡，使主要输出电压减小到正常值的二分之一，但仍为微处理器控制电路提供 +5 V 电压。这种待机控制电路的特点是整机需设单独电源。