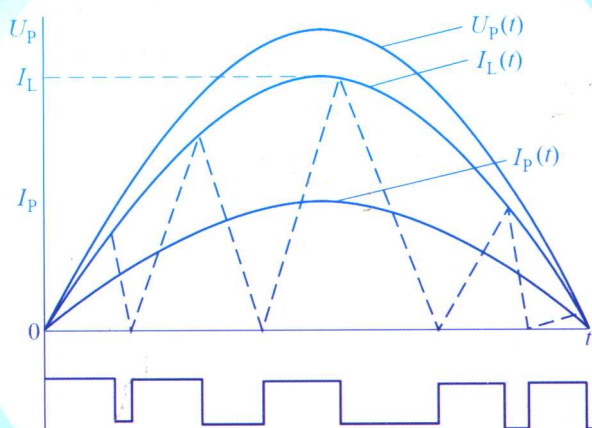


开关电源电路 设计要点与应用实例

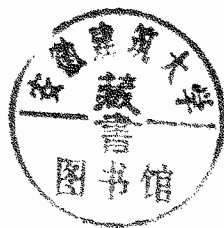
周志敏 纪爱华 编著

KAIGUAN DIANYUAN DIANLU
SHEJI YAODIAN YU YINGYONG SHILI



开关电源电路 设计要点与应用实例

周志敏 纪爱华 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以开关电源应用技术为主线,在简要介绍国内外开关电源技术发展趋势的基础上,重点讲述了开关电源中的电子元器件、开关电源基本电路、开关电源控制电路、开关电源的功率因数校正电路、软开关技术及软开关变换器、开关电源典型应用电路设计实例等内容。为了便于读者理解和掌握,书中介绍了许多新型开关电源集成电路的功能特点和应用方法,给出了典型实用电路的设计要点。

本书内容新颖,文字通俗易懂,具有较高的实用价值,可供电信、信息、航天、军事及家电等领域从事开关电源设计、开发和应用的工程技术人员阅读,也可供高等院校、职业技术学院相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源电路设计要点与应用实例/周志敏,纪爱华编著. —北京:中国电力出版社,2018.6
ISBN 978-7-5198-1817-3

I. ①开… II. ①周… ②纪… III. ①开关电源—电路设计 IV. ①TN86

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第043138号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:杨 扬(010-63412524)

责任校对:郝军燕

装帧设计:赵姗姗

责任印制:杨晓东

印 刷:三河市航远印刷有限公司

版 次:2018年6月第一版

印 次:2018年6月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:17.75

字 数:391千字

印 数:0001—2000册

定 价:59.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

前 言

随着电子技术的快速发展,电子设备的种类也越来越多。而电子设备都离不开可靠的电源,电源性能的优劣直接关系到整个电子系统的安全性和可靠性。电子设备的小型化和低成本化使电源向轻、薄、小和高效率发展方向,开关频率的持续提高也使开关电源的性能得以进一步优化,集成度更高,功耗更低,电路更加简单,工作更加可靠。

目前,开关电源的开发、研制和生产已成为发展前景十分诱人的朝阳产业,在全球倡导节能环保、提高能效的背景下,开关电源的设计正面临着前所未有的挑战。为此,本书结合国内外开关电源技术的发展动向,系统地介绍了在开关电源设计中应掌握的电子元器件特性、电子变压器、基本电路和开关电源控制技术,并讲述了绿色开关电源技术,如功率因数校正电路的特性、功率因数校正集成控制器及高性能软开关功率因数校正电路设计、软开关控制技术、软开关变换器电路设计及开关电源典型应用电路设计实例等内容。读者可将书中的典型应用电路直接或做部分修改后,应用于工程设计中。本书将开关电源基础理论知识、设计要点和典型应用电路融于一体,力求做到通俗易懂和结合实际,是从事开关电源设计、开发和应用的工程技术人员必备的参考书。

本书在写作过程中,无论从资料的收集和技术信息交流上,都得到了国内外的专业学者和同行及开关电源制造商的大力支持。在此表示衷心的感谢。

由于时间短,水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 开关电源基础知识	1
1.1.1 开关电源构成与分类	1
1.1.2 开关电源变换器拓扑结构	6
1.2 开关电源的技术动态	12
1.2.1 开关电源电路器件发展动态	12
1.2.2 集成电路和系统集成发展动态	13
第2章 开关电源中的电子元器件	15
2.1 常用电子元器件	15
2.1.1 电容器	15
2.1.2 饱和电感	19
2.1.3 铁氧体磁珠	21
2.2 电子变压器	26
2.2.1 铁氧体平面变压器	26
2.2.2 扁平式变压器设计	34
2.3 光耦合器及 TL431 三端器件	39
2.3.1 光耦合器	39
2.3.2 TL431 三端器件	42
2.4 半导体器件	43
2.4.1 硅瞬变吸收二极管	43
2.4.2 场效应晶体管	47
2.4.3 绝缘栅双极晶体管	52
第3章 开关电源基本电路	60
3.1 开关电源电流检测电路及无损吸收网络	60
3.1.1 开关电源电流检测电路	60
3.1.2 无损吸收网络	63
3.2 开关电源保护电路及整流技术	68
3.2.1 开关电源保护电路	68
3.2.2 倍流整流技术	73

3.2.3 同步整流技术	77
第4章 开关电源控制电路	89
4.1 开关电源控制方式	89
4.1.1 开关电源基本控制电路	89
4.1.2 PWM 反馈控制模式	92
4.1.3 电流控制模式中的斜波补偿	98
4.1.4 准固定频率滞环 PWM 电流控制模式	104
4.2 开关电源主电路结构	106
4.2.1 基本电路结构	106
4.2.2 改进型 DC/DC 变换器拓扑结构	110
4.3 开关电源 PWM 控制器	126
4.3.1 MAX5003 集成控制器	126
4.3.2 TEA1504 集成控制器	130
4.3.3 UC3842 集成控制器	133
4.3.4 UC3843 集成控制器	136
第5章 开关电源的功率因数校正电路	139
5.1 功率因数的定义及功率因数校正	139
5.1.1 功率因数的定义	139
5.1.2 功率因数校正基本原理及分类	141
5.1.3 功率因数校正控制方法	145
5.2 无源 PFC 校正技术	149
5.2.1 无源 PFC 电路	149
5.2.2 改进型无源 PFC 电路	153
5.3 有源 PFC 电路	155
5.3.1 有源 PFC 电路的工作原理及分类	155
5.3.2 APFC 变换器中电流型控制技术	157
5.4 PFC 电路集成控制器	164
5.4.1 UC3852PFC 电路集成控制器	164
5.4.2 UC3854PFC 电路集成控制器	166
5.4.3 UCC3858PFC 电路集成控制器	169
5.5 高性能软开关 PFC 电路设计	171
5.5.1 PFC 主电路设计	171
5.5.2 PFC 控制电路的设计	176
第6章 软开关技术及软开关变换器	180
6.1 软开关技术	180
6.1.1 硬开关问题分析	180
6.1.2 软开关的基本概念及软开关电路分类	181

6.1.3	典型的软开关电路工作原理	184
6.1.4	无源软开关技术	188
6.2	软开关变换器	189
6.2.1	无源软开关变换器	189
6.2.2	无损缓冲双管串联单正激变换器	192
6.2.3	准谐振软开关反激变换器	196
6.2.4	不对称脉宽调制半桥 ZVS DC/DC 变换器	198
6.2.5	正激式 ZVT-PWM 变换器	200
6.2.6	零电流零电压开关交错并联双管正激变换器	202
6.2.7	零转换 PWM DC/DC 变换器	205
6.2.8	推挽工作模式软开关 DC/DC 变换器	211
6.2.9	ZVS-PWM 全桥 DC/DC 变换器	216
第7章	开关电源典型应用电路设计实例	223
7.1	AC/DC 开关电源典型应用电路设计实例	223
实例 1.	多路输出开关电源应用电路	223
实例 2.	7.5W (峰值 13W) 宽范围多路输出开关电源应用电路	228
实例 3.	25W (峰值 28W) 多路输出开关电源应用电路	230
实例 4.	9.65W 双输出开关电源应用电路	231
实例 5.	57W、230VAC 多输出开关电源应用电路	232
实例 6.	17.7W (峰值 29.7W) 多路输出开关电源应用电路	233
实例 7.	1.2W 非隔离双输出开关电源应用电路	234
实例 8.	35W 反激式开关电源应用电路	235
实例 9.	5V/0.8A 精密开关电源应用电路	236
实例 10.	4W/5V 开关电源应用电路	237
7.2	电源适配器应用电路设计实例	238
实例 1.	15W/12V 适配器应用电路	238
实例 2.	2.75WCV/CC 适配器/充电器应用电路	239
实例 3.	通用输入 45W 适配器应用电路	241
实例 4.	70W/19V 适配器应用电路	242
实例 5.	10W/5V 适配器应用电路	243
7.3	DC/DC 变换器应用电路设计实例	244
实例 1.	基于 MAX1790 的 DC/DC 变换器应用电路	244
实例 2.	基于 LT3710 的 DC/DC 变换器应用电路	247
实例 3.	60W/12VDC/DC 变换器应用电路	251
实例 4.	30W 同步整流 DC/DC 变换器应用电路	253
实例 5.	16.5W/3.3VDC/DC 变换器应用电路	255
实例 6.	50W 双输出 DC/DC 变换器应用电路	256

实例 7. 15W 多输出 DC/DC 变换器应用电路	257
7.4 充电器应用电路设计实例	258
实例 1. 5W/5V 高效率充电器应用电路	258
实例 2. 16W/13.55V 宽电压输入铅酸蓄电池充电器应用电路	259
实例 3. 2.75W/5V 恒压/恒流充电器应用电路	260
实例 4. 3W/2V 高效率恒压/恒流充电器应用电路	262
7.5 LED 驱动电路设计实例	263
实例 1. 10V/1.5A (PFC) LED 驱动电路	263
实例 2. 9~15V/300mA 非隔离降压式 LED 驱动电路	264
实例 3. 0.5W/13mA 非隔离恒流 LED 驱动电路	265
实例 4. 20W/12V (PFC) LED 驱动电路	267
实例 5. 70V/130mA 可调光 LED 驱动电路	268
实例 6. 70V/130mA 高效 LED 驱动电路	270
实例 7. 14W/20V 高效 LED 驱动电路	271
实例 8. 17W/700mA (PFC) LED 驱动电路	272
实例 9. 1.25W/25mA 非隔离恒流 LED 驱动电路	273
参考文献	275

第 1 章

概 述

1.1 开关电源基础知识

1.1.1 开关电源构成与分类

开关电源具有体积小、效率高等一系列优点，在各类电子产品中得到广泛的应用。但由于开关电源的控制电路比较复杂、输出纹波电压较高，所以开关电源的应用也受到一定的限制。

电子装置小型轻量化的关键是供电电源的小型化，因此需要尽可能地降低电源电路中的损耗。开关电源中的开关管工作于开关状态，必然存在开关损耗，而且损耗的大小随开关频率的提高而增加。另一方面，开关电源中的变压器、电抗器等磁性元件及电容元件的损耗，也随频率的提高而增加。

功率开关管采用双极型晶体管的开关电源，开关频率可达几十千赫兹；功率开关管采用 MOSFET 的开关电源其开关频率可达几百千赫兹。为提高开关频率必须采用高速开关器件，对于兆赫以上开关频率的开关电源可利用谐振电路，这种工作方式称为谐振开关方式。它可以极大地提高开关速度，原理上开关损耗为零，噪声也很小，这是提高开关电源工作频率的一种方式，采用谐振开关方式的兆赫级变换器已经实用化。

1. 开关电源的基本构成

开关电源采用功率半导体器件作为开关器件，通过周期性间断工作，控制开关器件的占空比来调整输出电压。开关电源的基本构成如图 1-1 所示，DC/DC 变换器（功率转换部分）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，与基准电压 U_r 比较，误差电压经过

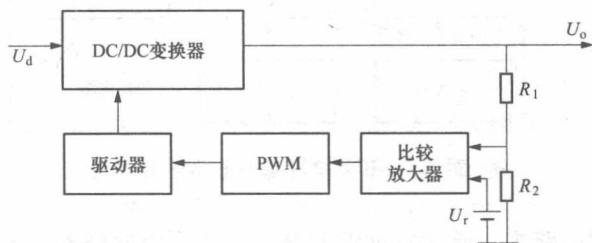


图 1-1 开关电源的基本构成

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。

开关电源的核心部分 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。但对于开关电源, 输入的瞬态变化比较多地表现在输出端。开关电源负载变化的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 体积的方法来改善瞬态响应特性。

2. 开关电源的基本工作原理

开关式电源按控制方式分为调宽式和调频式两种, 在实际的应用中, 调宽式使用得较多, 在目前开发和使用的开关电源集成电路中, 绝大多数为脉宽调制型, 调宽式开关电源的基本原理如图 1-2 所示。

对于单极性矩形脉冲来说, 其直流平均电压 U_0 取决于矩形脉冲的宽度, 脉冲越宽, 其直流平均电压值就越高。直流平均电压 U_0 可由以下公式计算

$$U_0 = U_m \times T_1 / T \quad (1-1)$$

式中: U_m 为矩形脉冲最大电压值; T 为矩形脉冲周期; T_1 为矩形脉冲宽度。

从式 (1-1) 可以看出, 当 U_m 与 T 不变时, 直流平均电压 U_0 将与脉冲宽度 T_1 成正比。这样, 只要设法使脉冲宽度随稳压电源输出电压的增高而变窄, 就可以达到稳定电压的目的。

开关电源的基本电路框图如图 1-3 所示, 交流电压经整流电路及滤波电路整流滤波后, 变成含有一定脉动成分的直流电压, 该电压进入高频变换器被转换成所需电压值的方波, 最后再将这个方波电压经整流滤波变为所需要的直流电压。

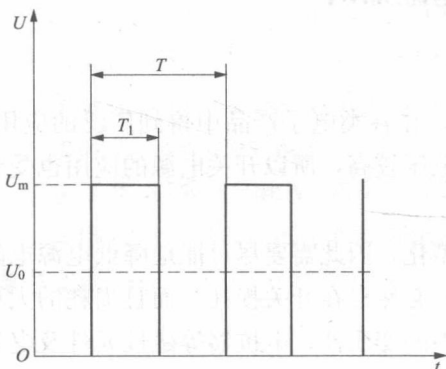


图 1-2 调宽式开关电源的基本原理图

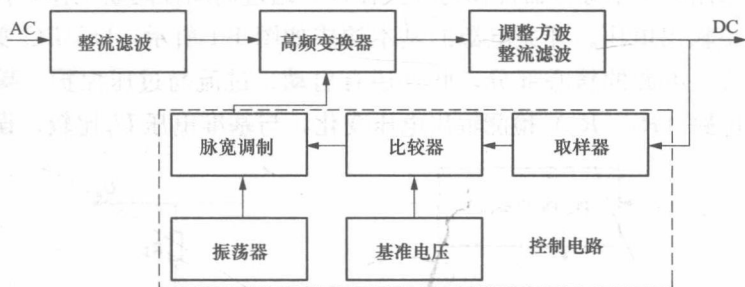


图 1-3 开关电源基本电路框图

开关电源的控制电路为一脉冲宽度调制器, 它主要由取样器、比较器、振荡器、脉宽调制及基准电压等电路构成。这部分电路目前已集成化, 目前已具有适用于各种开关

电源应用的系列产品。控制电路用来调整高频开关元件的开关时间比例,以达到稳定输出电压的目的。

(1) 开关电源的优点。

1) 功耗小,效率高。在开关电源电路中的,开关管在激励信号的激励下,它交替地工作在导通—截止和截止—导通的开关状态,转换速度很快,工作频率一般为 50kHz 左右,在一些技术先进的国家,可以做到几百或者近 1000kHz。这使得开关管的功耗很小,电源的效率可以大幅度地提高,其效率可达到 80%。

2) 体积小,质量轻。从开关电源的原理框图可以清楚地看到没有采用笨重的工频变压器。由于开关管上的耗散功率大幅度降低后,又省去了较大的散热片。由于这两方面原因,使开关电源实现了体积小,质量轻。

3) 稳压范围宽。开关电源的输出电压是由激励信号来调节的,输入信号电压的变化可以通过调频或调宽来进行补偿,这样,在工频电网电压变化较大时,它仍能够保证有较稳定的输出电压。所以开关电源的稳压范围很宽,稳压效果很好。此外,改变占空比的方法有脉宽调制型和频率调制型两种。这样,开关电源不仅具有稳压范围宽的优点,而且实现稳压的方法也较多,设计人员可以根据实际应用的要求,灵活地选用各种类型的开关电源。

4) 滤波的效率大为提高,使滤波电容的容量和体积大为减少。开关电源的工作频率目前基本上是工作在 50kHz,是线性稳压电源的 1000 倍,这使整流后的滤波效率几乎也提高了 1000 倍。就是采用半波整流后加电容滤波,效率也提高了 500 倍。在相同的纹波输出电压下,开关电源中滤波电容的容量只是线性稳压电源中滤波电容的 $1/500 \sim 1/1000$ 。

5) 电路形式灵活多样。开关电源的形式有自励式和他励式,有调宽型和调频型,有单端式和双端式等,设计人员可以发挥各种类型电路的特长,设计出能满足不同应用场合的开关电源。

(2) 开关电源的缺点。开关电源的缺点是存在较为严重的开关干扰,在开关电源中,功率开关管工作在开关状态,在其开关过程中产生的交流电压和电流通过电路中的其他元器件产生尖峰干扰和谐振干扰,这些干扰如果不采取一定的措施进行抑制、消除和屏蔽,就会严重地影响整个系统的正常工作。此外由于开关电源振荡器没有工频变压器的隔离,这些干扰就会串入工频电网,使附近的其他电子仪器、设备和控制设备受到严重的干扰。

3. 开关电源的分类

现在,电子技术和应用迅速地发展,对电子仪器和设备的要求是:性能上,更加安全可靠;在功能上,不断地增加;使用上,自动化程度越来越高;体积上,要日趋小型化。这使在电子仪器和设备中采用具有众多优点的开关电源就显得更加重要了。所以,开关电源在计算机、通信、航天、家电等方面都得到了越来越广泛的应用,发挥了巨大的作用,这大大促进了开关电源的发展,从事这方面研究和生产的人员也在不断地增加,开关电源的品种和类型也越来越多。图 1-4 给出了各种类型开关电源的原理图。就目前按开关电源的拓扑结构可分为以下几类。

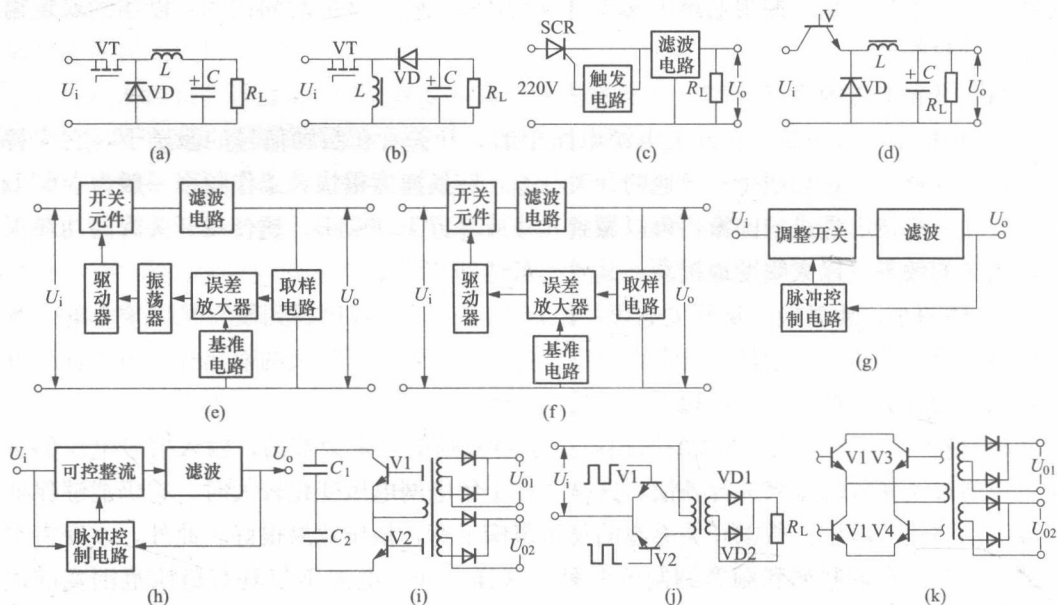


图 1-4 各种类型开关电源的原理图

(a) 串联型；(b) 并联型；(c) 晶闸管式；(d) 晶体管式；(e) 他励式；(f) 自励式；(g) 斩波型；

(h) 可控整流型；(i) 半桥式变换电路；(j) 推挽式变换器；(k) 桥式变换电路

(1) 按激励方式分类。

1) 他励式开关电源。电路中设有激励信号的振荡器，电路形式如图 1-4 (e) 所示。

2) 自励式开关电源。开关管兼作振荡器中的振荡管，电路形式如图 1-4 (f) 所示。

(2) 按调制方式分类。

1) 脉宽调制型开关电源。振荡频率保持不变，通过改变脉冲宽度来改变和调节输出电压的大小，有时通过取样电路、耦合电路等构成反馈闭环回路，来稳定输出电压的幅度。

2) 频率调制型开关电源。占空比保持不变，通过改变振荡器的振荡频率来调节和稳定输出电压的幅度。

3) 混合调制型开关电源。通过调节开关管的导通时间的振荡频率来完成调节和稳定输出电压的幅度。

(3) 按开关管电流的工作方式分类。

1) 开关型开关电源。采用开关管把直流变成高频标准方波，电路形式类似于他励式。

2) 谐振型开关电源。采用开关管与 LC 谐振回路将直流变成准正弦波，电路形式类似于自励式。

(4) 按开关管的类型分类。

1) 晶体管型开关电源。采用晶体管作为开关管，电路形式如图 1-4 (d) 所示。

2) 晶闸管型开关电源。采用晶闸管作为开关管，这种电路的特点是直接输入交流电，不需要一次整流部分，其电路形式如图 1-4 (c) 所示。

(5) 按储能电感与负载的连接方式分类。

1) 串联型开关电源。储能电感串联在输入与输出电压之间, 电路形式如图 1-4 (a) 所示。

2) 并联型开关电源。储能电感并联在输入与输出电压之间, 电路形式如图 1-4 (b) 所示。

(6) 按开关管的连接方式分类。

1) 单端式开关电源。电路中仅使用一个开关管, 这种电路的特点是价格低, 电路结构简单, 但输出功率不高, 其电路形式如图 1-4 (a)、图 1-4 (b) 和图 1-4 (d) 所示。

2) 推挽式开关电源。电路中使用两个开关管, 将其连接成推挽功率放大器形式。这种电路的特点是开关变压器必须具有中心抽头, 电路形式如图 1-4 (j) 所示。

3) 半桥式开关电源。电路中使用两个开关管, 将其连接成半桥形式。它的特点是适应于输入电压较高的场合, 电路形式如图 1-4 (i) 所示。

4) 全桥式开关电源。电路中使用四个开关管, 将其连接成全桥形式。它的特点是输出的功率比较大, 其电路形式如图 1-4 (k) 所示。

(7) 按输入与输出的电压大小分类。

1) 升压式开关电源。输出电压比输入电压高, 实际就是并联型开关电源。

2) 降压式开关电源。输出电压比输入电压低, 实际就是串联型开关电源。

(8) 按工作方式分类。

1) 可控整流型开关电源。所谓可控整流型开关电源, 是指采用晶闸管整流元件作为调整开关管, 可由交流市电直接供电, 也可用变压器变压后供电 (这种供电方式在开关电源刚兴起的初期常常采用, 目前基本上不太采用)。在可工作的半波内, 截去正弦曲线的前一部分, 这一部分所占角度称为截止角, 导通的正弦曲线的后一部分称为导通角。依靠调节导通角的大小, 可达到调整输出电压和稳定电压的目的。其电路如图 1-4 (h) 所示。

2) 斩波型开关电源。斩波型开关电源是指采用直流供电, 输入直流电压加到开关电路上, 在开关电路的输出端得到单向的脉动直流, 经过滤波得到与输入电压不同的稳定直流电压, 电路还从输出电压取样, 经过比较、放大、控制脉冲发生电路产生的脉冲信号, 用以控制调整开关的导通时间和截止时间的长短或开关的工作频率, 最后达到稳定输出电压的目的。电路的过压保护电路也是依据这一部分提供的取样信号来进行工作的, 斩波型电路形式如图 1-4 (g) 所示。

3) 隔离型开关电源。这种形式的开关电源是在输入回路与逆变电路之间设有高频变压器 (也可称为开关变压器), 利用磁场的变化实现能量的传递, 没有电流间的直接流通, 隔离型开关电源采用直流供电, 经过开关电路, 将直流电变成频率很高的交流电, 再经变压器隔离、变压 (升压或降压), 然后经整流器整流, 最后就可以得到极性和幅值各不相同的多组直流输出电压。电路从输出端取样, 经放大后反馈至开关控制端, 控制驱动电路的工作, 最后达到稳定输出电压的目的, 这种形式的开关电源应用最为广泛。



(9) 按电路结构分类。

1) 散件式开关电源。整个开关电源电路都是采用分立元器件组成的，它的电路结构较为复杂，可靠性较差。

2) 集成电路式开关电源。整个开关电源电路或电路的一部分是由集成电路组成的，这种集成电路通常为厚膜电路。有的厚膜集成电路中包括开关管，有的不包括开关管，这种开关电源的特点是电路结构简单、调试方便、可靠性高。

以上阐述的开关电源的品种都是站在不同的角度，以开关电源不同特点而分类的。尽管各种电路的激励方法、输出直流电压的调节手段、储能电感的连接方式、开关管的种类以及串并联结构等各不相同，但是它们最后总可以归结为串联型开关电源和并联型开关电源这两大类。

1.1.2 开关电源变换器拓扑结构

开关电源变换器的拓扑结构系指能用于转换、控制和调节输入电压的功率开关元件和储能元件的不同配置，开关电源变换器拓扑结构可分为两种基本类型：非隔离型（在工作期间输入源和输出负载共用一个共同的电流通路）和隔离型（能量转换是用一个相互耦合磁性元件变压器来实现的，而且从源到负载的耦合是借助于磁通而不是共同的电流回路），开关电源变换器的拓扑结构是根据系统造价、性能指标和输入/输出负载特性诸因素选定的。

1. 非隔离开关电源变换器

非隔离开关电源变换器有四种基本拓扑结构用于 DC/DC 变换器。

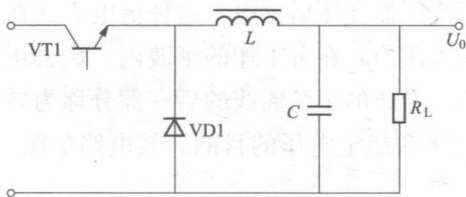


图 1-5 降压式开关电源的典型电路

(1) 降压拓扑结构。降压式开关电源的典型电路如图 1-5 所示。当开关管 VT1 导通时，二极管 VD1 截止，输入的整流电压经 VT1 和 L 向 C 充电，这一电流使电感 L 中的储能增加。当开关管 VT1 截止时，电感 L 感应出左负右正的电压，经负载 R_L 和续流二极管 VD1 释放电感 L 中存储的能量，维持输出

电压不变，电路输出电压的高低由加在 VT1 基极上的脉冲宽度确定。

这种电路使用元件少，只需要利用电感、电容和二极管即可实现。降压变换器将输入电压变换成较低的稳定输出电压。输出电压 (U_o) 和输入电压 (U_i) 的关系为

$$U_o/U_d = \Delta (\text{占空因数}) \quad (1-2)$$

$$U_d > U_o \quad (1-3)$$

(2) 升压拓扑结构。升压式开关电源的典型电路如图 1-6 所示，当开关管 VT1 导通时，电感 L 储存能量。当开关管 VT1 截止时，电感 L 感应出左负右正的电压，该电压叠加在输入电压上，经二极管 VD1 向负载供电，使输出电压大于输入电压。升压变换器将输入电压变换成较高的稳定输出电压。输出电压和输入电压的关系为

$$U_o/U_d = 1/(1-\Delta) \quad (1-4)$$

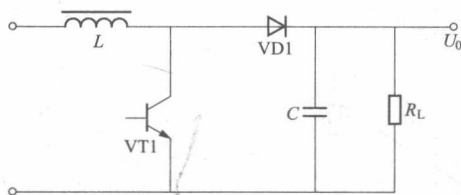


图 1-6 升压式开关电源的典型电路

$$U_d < U_0 \quad (1-5)$$

(3) 逆向拓扑结构。逆向变换器将输入电压变换成较低反相输出电压，输出电压与输入电压的关系为

$$U_0/U_d = -\Delta/(1-\Delta) \quad (1-6)$$

$$U_d > U_0 \quad (1-7)$$

(4) 反转式拓扑结构。反转式开关电源的典型电路如图 1-7 所示，这种电路又称为升降压式开关电源。无论开关管 VT1 之前的脉动直流电压高于或低于输出电压，电路均能正常工作。

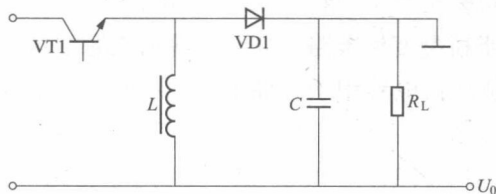


图 1-7 反转式开关电源的典型电路

当开关管 VT1 导通时，电感 L 储存能量，二极管 VD1 截止，负载 R_L 靠电容 C 上的充电电荷供电。当开关管 VT1 截止时，电感 L 中的电流继续流通，并感应出上负下正的电压，经二极管 VD1 向负载供电，同时给电容 C 充电。

反转式开关电源将输入电压变换成稳定反相较低值或较高值输出电压（电压值取决于占空因数），输出电压和输入电压的关系为

$$U_0/U_d = -\Delta/(1-\Delta) \quad (1-8)$$

$$U_d > U_0, \Delta < 0.5 \quad (1-9)$$

$$U_d < U_0, \Delta > 0.5 \quad (1-10)$$

2. 隔离式开关电源变换器

隔离式开关电源变换器的拓扑结构有很多种，但其中三种比较通用，它们是逆向变换器、正向变换器、推挽变换器。在这些电路中，从输入电源到负载的能量转换是通过一个变压器磁通耦合或其他磁性元件实现的。

(1) 推挽型变换器与半桥型变换器。推挽型变换器与半桥型变换器是典型的逆变整流型变换器，电路结构如图 1-8 所示。加在变压器一次绕组上的电压为输入电压 U_i ，宽度为开关导通时间 t_{on} 的脉冲波形，变压器二次电压经二极管 VD1、VD2 全波整流为直流。

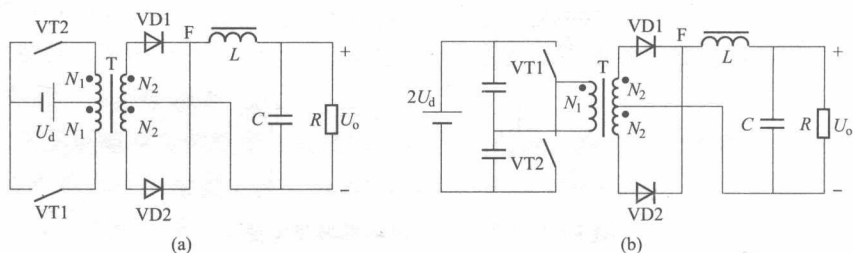


图 1-8 推挽型与半桥型变换电路

(a) 推挽型; (b) 半桥型

推挽式开关电源的典型电路如图 1-8 (a) 所示。它属于双端式变换电路, 高频变压器的磁芯工作在磁滞回线的两侧。电路使用两个开关管 VT1 和 VT2, 两个开关管在外激励方波信号的控制下交替的导通与截止, 在变压器 T 二次绕组得到方波电压, 经整流滤波变为所需要的直流电压。

这种电路的优点是两个开关管容易驱动, 主要缺点是开关管的耐压要达到两倍电路峰值电压。电路的输出功率较大, 一般为 100~500W。

图 1-8 (b) 所示的半桥型变换电路, 如只从输出侧滤波器来看, 工作原理和降压型变换器完全相同, 二次侧滤波电感用于存储能量。电压变换比 m 与降压型变换器相类似, 即

$$m = \Delta / n \quad (1-11)$$

$$n = N_1 / N_2$$

式中: n 为变压器的匝数比; N_1 为一次绕组的匝数; N_2 为二次绕组的匝数。

(2) 单端激励型变换器。

1) 单端反激式开关电源。单端反激式开关电源的典型电路如图 1-9 (a) 所示, 所谓的单端是指高频变换器的磁芯仅工作在磁滞回线的一侧。所谓的反激, 是指当开关管 VT1 导通时, 高频变压器 T 一次绕组的感应电压为上正下负, 整流二极管 VD1 处于截止状态, 在一次绕组中储存能量。当开关管 VT1 截止时, 变压器 T 一次绕组中存储的能量通过二次绕组及 VD1 整流和电容 C 滤波后向负载输出。

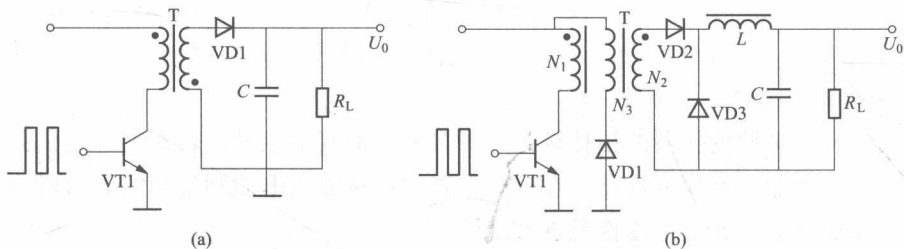


图 1-9 单端激励式开关电源的典型电路

(a) 单端反激式开关电源; (b) 单端正激式开关电源

单端反激式开关电源是一种成本最低的电源电路, 输出功率为 20~100W, 可以同

时输出不同的电压,且有较好的电压调整率。唯一的缺点是输出的纹波电压较大,外特性差,适用于相对固定的负载。

单端反激式开关电源中的开关管 VT1 承受的最大反向电压是电路工作电压值的两倍,工作频率为 $20\sim 200\text{kHz}$ 。

2) 单端正激式开关电源的典型电路如图 1-9 (b) 所示。这种电路在形式上与单端反激式电路相似,但工作情形不同。当开关管 VT1 导通时,VD2 也导通,这时电网向负载传送能量,滤波电感 L 储存能量;当开关管 VT1 截止时,电感 L 通过续流二极管 VD3 继续向负载释放能量。图 1-9 (b) 所示电路是采用变压器耦合的降压型变换器电路,与推挽型变换器一样,加在变压器一次侧(一半)上的电压为输入电压 U_i ,宽度为开关导通时间 t_{on} 的脉冲波形,变压器二次电压经二极管全波整流变为直流。电压变换比为 $m=\Delta/n$ 。

开关管 VT1 断开时,变压器释放能量,二极管 VD3 和绕组 N_3 就是为此而设,能量通过它们反馈到输入侧。开关一断开,绕组 N_1 中存储的能量转移到绕组 N_3 中,为防止变压器饱和,在开关断开期间内变压器必须全部消磁,则 $t_{re} \leq (1-\Delta)T_s$ 。

在电路中还设有钳位线圈与二极管 VD1,它可以将开关管 VT1 的最高电压限制在两倍电源电压之间。为满足磁芯复位条件,即磁通建立和复位时间应相等,所以电路中脉冲的占空比不能大于 50%。

由于这种电路在开关管 VT1 导通时,通过变压器向负载传送能量,所以输出功率范围大,可输出 $50\sim 200\text{W}$ 的功率。电路使用的变压器结构复杂,体积也较大,正因为这个原因,这种电路的实际应用较少。

(3) 隔离型 CuK 变换器。隔离型 CuK 变换器电路如图 1-10 所示,在开关 VT1 断开时,电感 L_1 的电流 I_{L1} 对电容 C_{11} 充电,同时 C_{12} 也充电(二极管 VD 导通),开关 VT 导通时,二极管 VD 变为截止状态, C_{12} 通过 L_2 向负载放电。

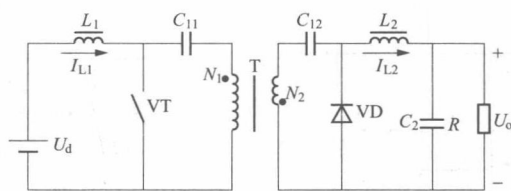


图 1-10 隔离型 CuK 变换电路

(4) 电流变换器。电流变换器电路如图 1-11 所示,它是逆变整流型变换器。图 1-11 (a) 是能量回馈方式,开关 VT1(VT2) 导通时,电感器 L 的一次侧电压为 $U_d - nU_o$ (式中 $n=N_1/N_2$),电感 L 励磁并储存能量;VT1(VT2) 断开时,储存在电感 L 中的能量通过二极管 VD3 反馈到输入侧。对于图 1-11 (b) 所示的变换器,两只开关同时导通时,加在电感 L 上的电压为 U_i ,电感 L 励磁并储存能量。任意一只开关断开时,反向电压 $(nU_o - U_i)$ 加到电感 L 上,电感 L 释放能量。其工作原理与升压型变换器类似。