



电气工程应用技术丛书

高频开关电源 设计与应用实例

周志敏 周纪海 纪爱华 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

电气工程应用技术丛书

高频开关电源设计与应用实例

周志敏 周纪海 纪爱华 编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

高频开关电源设计与应用实例 / 周志敏, 周纪海, 纪爱华编著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.12
(电气工程应用技术丛书)
ISBN 978-7-115-18569-3

I. 高… II. ①周…②周…③纪… III. 高频—开关电源
IV. TN86

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第112971号

内 容 提 要

本书以高频开关电源应用为主线, 在简要介绍国内外技术发展趋势的基础上, 重点讲述了高频开关电源中的电子元器件、基本电路结构、开关电源控制技术、功率因数校正电路、软开关控制电路、电荷泵、开关电源可靠性设计等内容。为了便于读者理解和掌握, 书中还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。

本书内容新颖, 通俗易懂, 具有较高的实用价值, 可供电信、信息、航天及家电等领域从事高频开关电源设计和应用的工程技术人员阅读, 也可供高等院校相关专业的师生参考。

电气工程应用技术丛书

高频开关电源设计与应用实例

◆ 编 著 周志敏 周纪海 纪爱华
责任编辑 刘 朋

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 27.5
字数: 674千字
印数: 1-4 000册

2008年12月第1版
2008年12月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-18569-3/TN

定价: 49.00元

读者服务热线: (010)67120142 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

随着电子技术的快速发展,电子系统的应用领域越来越广泛,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以轻、薄、小和高效率为主要发展方向,对电源的要求更加灵活多样,开关电源恰好符合这些要求。随着电子元器件的快速发展,开关电源的应用越来越广,开关频率的持续提高使开关电源的性能也得以进一步优化,集成度更高,功耗更低,电路更加简单,工作更加可靠,是开关电源发展的方向。

目前,我国通信、信息、家电、国防等领域的电子设备普遍采用高频开关电源,高频开关电源的开发、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,高频开关电源的设计正面临着前所未有的挑战。为此,本书结合国内外高频开关电源技术的发展动向,系统地介绍了在高频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、控制技术及 PWM 控制器,重点讲述了绿色高频开关电源技术,如无源和有源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、高频开关电源软开关控制器及软开关变换器电路设计、现代高效电荷泵技术及典型应用电路设计等。此外,书中还用一定的篇幅介绍了高频开关电源热设计和电磁兼容设计技术,给出了国内外绿色电源集成变换器有代表性的典型应用电路。读者可将书中的典型电路直接或作部分修改后,应用于工程设计中。本书将高频开关电源基础理论知识、设计方法和应用电路融于一体,使内容既通俗易懂,又结合实际,是从事高频开关电源设计、开发和应用的工程技术人员的必备参考书。

本书在写作过程中得到了国内专业学者和同行的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促,水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请读者批评指正。

Contents

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 高频开关电源基础知识	2
1.1.1 高频开关电源的构成、工作原理与分类	2
1.1.2 高频开关电源常用的变换器电路类型	8
1.2 高频开关电源技术的发展	13
1.2.1 技术与产业的发展	13
1.2.2 国外高频开关电源的技术动态	14
第 2 章 高频开关电源中的电子元器件	22
2.1 常用电子元器件	23
2.1.1 电容器	23
2.1.2 饱和电感	27
2.1.3 铁氧体磁珠	29
2.2 电子变压器	34
2.2.1 铁氧体平面变压器	34
2.2.2 扁平变压器设计	40
2.3 光电耦合器	45
2.4 半导体器件	48
2.4.1 硅瞬变吸收二极管	48
2.4.2 功率场效应晶体管 MOSFET	52
2.4.3 绝缘栅双极型晶体管 IGBT	57
第 3 章 高频开关电源基本电路	66
3.1 开关电源电流检测电路	67
3.2 电压基准的特性及选用	71
3.2.1 电压基准的主要技术参数	71
3.2.2 电压基准的类型	73
3.2.3 电压基准的选用	78

3.3	无损吸收网络	82
3.4	开关电源保护电路	87
3.5	开关电源整流电路	92
3.5.1	倍流整流电路	92
3.5.2	同步整流电路	95
第4章	开关电源控制技术	107
4.1	开关电源控制方式	108
4.1.1	概述	108
4.1.2	开关电源基本控制电路	108
4.1.3	PWM 反馈控制模式	110
4.1.4	电流型控制模式中的斜坡补偿	116
4.1.5	准固定频率滞环 PWM 电流控制方法	120
4.2	开关电源主电路结构	123
4.2.1	基本电路结构	123
4.2.2	改进型 DC/DC 变换器拓扑结构	126
4.3	高频开关电源 PWM 控制器	142
4.3.1	FA5310/FA5311 集成控制器	142
4.3.2	HIP6004E 集成控制器	145
4.3.3	M51995A 集成控制器	150
4.3.4	MAX5003 集成控制器	154
4.3.5	TEA1504 电流模式的 PWM 控制器	158
4.3.6	UC3842 电流型控制器	162
4.3.7	UC3843 集成控制器	164
第5章	高频开关电源功率因数校正电路	167
5.1	功率因数的定义及功率因数校正	168
5.1.1	功率因数的定义	168
5.1.2	功率因数校正的基本原理和常用方法	170
5.1.3	功率因数校正控制方法	173
5.2	无源 PFC 校正技术	177
5.2.1	无源 PFC 电路	177
5.2.2	改进型无源 PFC 电路	181
5.3	APFC 电路	182
5.3.1	APFC 电路的工作原理及分类	182
5.3.2	APFC 变换器中的电流型控制技术	184
5.4	PFC 集成控制器	191
5.4.1	UC3852 PFC 集成控制器	191
5.4.2	UC3854 PFC 集成控制器	194
5.4.3	UCC3858 PFC 集成控制器	197
5.5	高性能软开关 PFC 电路设计	199
5.5.1	PFC 主电路设计	199
5.5.2	PFC 控制电路的设计	204
5.5.3	UC3852 控制的 APFC 应用电路设计	208
5.5.4	UC3854 应用电路分析	210

第 6 章 软开关控制技术	213
6.1 软开关技术	214
6.1.1 硬开关问题分析	214
6.1.2 软开关的基本概念及软开关电路的分类	215
6.1.3 典型软开关电路的工作原理	217
6.1.4 无源软开关技术	221
6.2 软开关变换器电路	222
6.2.1 无源软开关变换器	222
6.2.2 无损缓冲双管串联单正激电路	225
6.2.3 准谐振软开关反激变换器	228
6.2.4 半桥不对称 PWM 控制变换器	230
6.2.5 正激式 ZVT-PWM 变换器	232
6.2.6 零电流零电压开关交错并联双管正激变换器	234
6.2.7 零转换 PWM DC/DC 变换器	238
6.2.8 推挽工作模式软开关 DC/DC 变换器	243
6.2.9 ZVS-PWM 全桥 DC/DC 变换器	249
6.2.10 有限双极性控制 ZVZCS-PWM 全桥变换器	254
6.3 高频开关电源软开关控制器	257
6.3.1 UC3875 软开关控制器	257
6.3.2 UCC289×PWM 控制器	259
6.3.3 UCC3895 软开关控制器	261
第 7 章 电荷泵	266
7.1 电荷泵的工作原理及特性	267
7.1.1 电荷泵的工作原理	267
7.1.2 新型电荷泵电路	281
7.2 典型电荷泵应用电路设计实例	289
7.2.1 MAX1759 电荷泵应用电路设计实例	289
7.2.2 LTC 系列电荷泵应用电路设计实例	292
7.2.3 电荷泵驱动白光 LED 应用电路设计实例	298
7.2.4 电荷泵驱动 Flash-LED 应用电路设计实例	304
第 8 章 开关电源可靠性设计	308
8.1 开关电源热设计	309
8.1.1 开关电源变换器的转换效率	309
8.1.2 热设计中常用的几种方法	311
8.2 开关电源电磁兼容设计	314
8.2.1 开关电源中的电磁干扰源	314
8.2.2 开关电源中 EMI 的传播方式	321
8.2.3 开关电源 EMI 抑制技术	328
8.2.4 开关电源 EMC 新技术	337
8.2.5 开关电源的 EMI 滤波器	341
8.2.6 开关电源电路的 EMC 设计	346
第 9 章 开关电源典型应用电路	351
9.1 AC/DC 开关稳压电源应用电路	352

9.1.1	多路输出开关电源应用电路	352
9.1.2	7.5W (峰值 13W) 宽范围多路输出电源应用电路	357
9.1.3	25W (峰值 28W) 多路输出电源应用电路	359
9.1.4	9.65W 双输出电源应用电路	361
9.1.5	57W、230V 多输出电源应用电路	363
9.1.6	17.7W (峰值 29.7W) 多路输出电源应用电路	365
9.1.7	1.2W 非隔离双输出电源应用电路	367
9.1.8	35W 反激式开关电源应用电路	368
9.1.9	5V/0.8A 精密开关电源应用电路	370
9.1.10	4W、5V 开关型稳压电源应用电路	370
9.2	电源适配器应用电路	371
9.2.1	15W、12V 适配器应用电路	371
9.2.2	4.56W 适配器应用电路	373
9.2.3	2W 低成本恒压适配器应用电路	374
9.2.4	12W 通用输入恒压适配器应用电路	375
9.2.5	2.75W CV/CC 充电器或适配器应用电路	377
9.2.6	1.5W CV/CC 充电器或适配器应用电路	378
9.2.7	45W 通用输入的 LCD 外部适配器应用电路	380
9.2.8	70W、19V 笔记本电脑外部适配器应用电路	382
9.2.9	10W 便携式音频播放器适配器应用电路	384
9.3	DC/DC 变换器应用电路	386
9.3.1	MAX1790 DC/DC 变换器应用电路	386
9.3.2	LT3710 DC/DC 变换器应用电路	390
9.3.3	60W DC/DC 变换器应用电路	395
9.3.4	30W DC/DC 同步整流变换器应用电路	397
9.3.5	16.5W DC/DC 变换器应用电路	399
9.3.6	50W DC/DC 双输出变换器应用电路	401
9.3.7	15W 多输出 DC/DC 变换器应用电路	403
9.4	充电器应用电路	405
9.4.1	5W 高效率充电器应用电路	405
9.4.2	16W 宽电压输入铅酸电池充电器应用电路	407
9.4.3	2.75W 高效率恒压/恒流输出 USB 充电器应用电路	409
9.4.4	3W 高效率恒压/恒流充电器应用电路	411
9.5	LED 驱动电路	413
9.5.1	无源 PFC LED 驱动电路	413
9.5.2	非隔离降压式 LED 驱动电路	415
9.5.3	0.5W 非隔离恒流 LED 驱动电路	416
9.5.4	带 PFC 电路的 20W LED 驱动电路	417
9.5.5	可调光 LED 驱动电路	420
9.5.6	高效 LED 驱动电路	422
9.5.7	14W 高效率 LED 驱动电路	423
9.5.8	隔离式、带功率因数校正的 17W LED 驱动电路	425
9.5.9	1.25W 非隔离恒流 LED 驱动电路	427
	参考文献	429

Chapter 1

第 1 章 概述

- 高频开关电源的构成、工作原理与分类
- 高频开关电源常用的变换器电路类型
- 高频开关电源技术与产业的发展
- 国外高频开关电源的技术动态

1.1 高频开关电源基础知识

开关电源被誉为高效节能电源，它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。近 20 多年来，集成开关电源沿着下述两个方向不断发展。第一个方向是对开关电源的核心单元——控制电路实现集成化。1997 年国外首先研制成脉宽调制（PWM）控制器集成电路，美国摩托罗拉（Motorola）公司、硅通用公司（Silicon General）、尤尼特德公司（Unitrode）等相继推出一批 PWM 芯片，典型产品有 MC3520、SG3524、UC3842。20 世纪 90 年代以来，国外又研制出开关频率达 1MHz 的高速 PWM、PFM（脉冲频率调制）芯片，典型产品如 UC1825、UC1864。第二个方向则是对中、小功率开关电源实现单片集成化。这大致分两个阶段：20 世纪 80 年代初意—法半导体有限公司（SGS—Thomson）率先推出 L4960 系列单片开关式稳压器。该公司于 20 世纪 90 年代又推出了 L4970A 系列，其特点是将脉宽调制器、功率输出级、保护电路等集成在一个芯片中，使用时需配置上工频变压器与电网隔离，适用于制作低压输出（5.1~40V）、大中功率（400W 以下）、大电流（1.5~10A）、高效率（可达到 90% 以上）的开关电源。

1.1.1 高频开关电源的构成、工作原理与分类

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了广泛的应用。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。

电子装置小型化和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。

目前市场上开关电源中功率开关管多采用双极型晶体管，开关频率可达几十千赫；采用 MOSFET 的开关电源转换频率可达几百千赫。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，通过周期性地间断工作，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，其中 DC/DC 变换器用于进行功率转换，它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 ）用于检测输出电压的变化，与基准电压 U_r 比较，误差电压经过放大及脉宽调制（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。

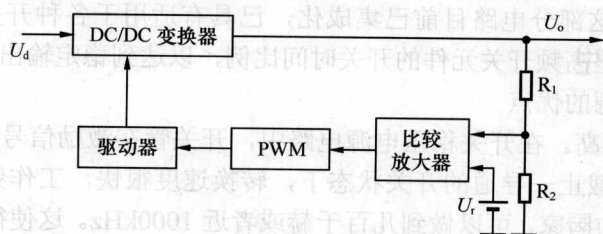


图 1-1 开关电源的基本构成

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。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问题也能得以解决。负载变化瞬态响应主要由输出端 LC 滤波器的特性决定，所以可以利用提高开关频率、降低输出滤波器体积的方法来改善瞬态响应特性。

2. 开关稳压电源的基本工作原理

开关稳压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。因此，下面就主要介绍调宽式开关稳压电源。调宽式开关稳压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。

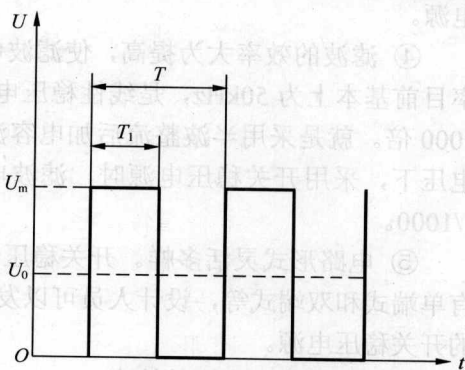


图 1-2 调宽式开关稳压电源的基本原理图

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。

开关稳压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。

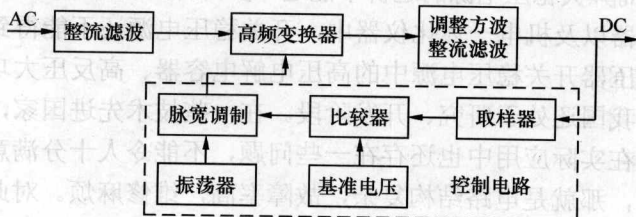


图 1-3 开关电源基本电路框图

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、脉宽调制电路及基准电压等电路构成。这部分电路目前已集成化，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) 开关稳压电源的优点

① 功耗小，效率高。在开关稳压电源电路中，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—导通的开关状态下，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，可以做到几百千赫或者近 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，重量轻。从开关稳压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。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。由于这两方面的原因，开关稳压电源实现了体积小、重量轻。

③ 稳压范围宽。开关稳压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，开关稳压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稳压电源。

④ 滤波的效率大为提高，使滤波电容的容量和体积大为减小。开关稳压电源的工作频率目前基本上为 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方式，效率也可提高 500 倍。在相同的纹波输出电压下，采用开关稳压电源时，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。开关稳压电源的形式有自激式和他激式，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稳压电源。

(2) 开关稳压电源的缺点

开关稳压电源的缺点是存在较为严重的开关干扰。在开关稳压电源中，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，由于开关稳压电源振荡器没有工频变压器的隔离，这些干扰就会窜入工频电网，使附近的其他电子仪器和控制设备受到严重的干扰。

目前，由于国内微电子技术、阻容器件生产技术以及磁性材料技术与一些技术先进国家还有一定的差距，因而开关稳压电源的造价不能进一步降低，也影响到可靠性的进一步提高。所以在我国的电子仪器以及机电一体化仪器中，开关稳压电源还不能得到十分广泛的应用。特别是对于无工频变压器开关稳压电源中的高压电解电容器、高反压大功率开关管、开关变压器的磁芯材料等，我国还处于研究、开发阶段。在一些技术先进国家，开关稳压电源虽然有了一定的发展，但在实际应用中还存在一些问题，不能令人十分满意。这暴露出开关稳压电源的又一个缺点，那就是电路结构复杂，故障率高，维修麻烦。对此，如果设计者和制造者不予以充分重视，则将直接影响到开关稳压电源的推广应用。当今，开关稳压电源推广

应用比较困难的主要原因就是它的制作技术难度大、维修麻烦和成本较高。

3. 开关电源的分类

现在,电子技术及其应用,对电子仪器和设备的要求是:在性能上更加安全可靠,在功能上不断地增强,在使用上自动化程度越来越高,在体积上要日趋小型化。这使采用具有众多优点的开关稳压电源就显得更加重要了。所以,开关稳压电源在计算机、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,这大大促进了开关稳压电源的发展,从事这方面研究和生产的人员也在不断地增加,开关稳压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稳压电源的原理图。目前开关稳压电源的拓扑结构可分为以下几类。

(1) 按激励方式分类

① 他激式开关稳压电源。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 自激式开关稳压电源。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 脉宽调制型开关稳压电源。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 频率调制型开关稳压电源。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 混合调制型开关稳压电源。通过调节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 开关型开关稳压电源。用开关管把直流电变成高频标准方波,电路形式类似于他激式。

② 谐振型开关稳压电源。开关管与 LC 谐振回路将直流电变成准正弦波,电路形式类似于自激式。

(4) 按开关管的类型分类

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

② 可控硅型开关稳压电源。采用可控硅作为开关管,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 串联型开关稳压电源。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 并联型开关稳压电源。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 单端式开关稳压电源。电路中仅使用一个开关管,这种电路的特点是价格低,结构简单,但输出功率不高,其电路形式如图 1-4 (a)、(b) 和 (d) 所示。

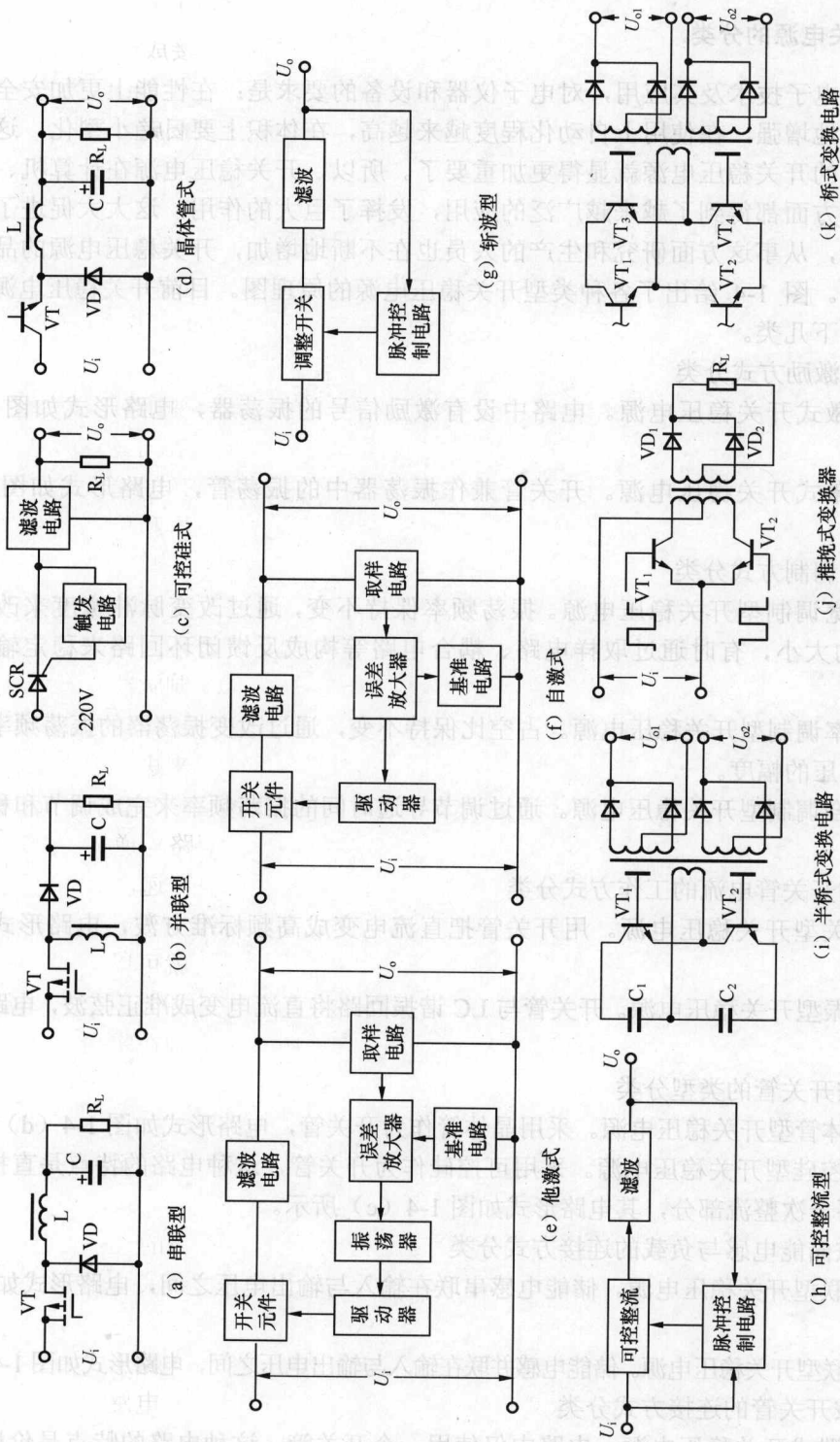


图 1-4 各种类型开关电源的原理图

② 推挽式开关稳压电源。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 半桥式开关稳压电源。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 全桥式开关稳压电源。电路中使用 4 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) 按输入与输出电压的大小分类

① 升压式开关稳压电源。输出电压比输入电压高，实际上就是并联型开关稳压电源。

② 降压式开关稳压电源。输出电压比输入电压低，实际上就是串联型开关稳压电源。

(8) 按工作方式分类

① 可控整流型开关稳压电源。所谓可控整流型开关稳压电源，是指采用可控硅整流元件作为调整开关管，可由交流市电电网直接供电，也可用变压器变压后供电（这种供电方式在开关稳压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。这种类型的开关电源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 斩波型开关稳压电源。斩波型开关稳压电源是指采用直流供电，直流输入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电，经过滤波得到与输入电压不同的稳定的直流电压。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。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，斩波型电路的形式如图 1-4 (g) 所示。

③ 隔离型开关稳压电源。这种形式的开关电源是在输入回路与逆变电路之间，经过高频变压器（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。隔离型开关稳压电源采用直流供电，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。这种形式的开关稳压电源在实际稳压电源中的应用最为广泛。

(9) 按电路结构分类

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

② 集成电路式开关稳压电源。整个开关稳压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，有的则不包括开关管。这种开关电源的特点是电路结构简单，调试方便，可靠性高。

以上阐述的开关稳压电源的种类都是站在不同的角度，按开关稳压电源的不同特点来分类的。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，但是它们最后可以归结为串联型开关稳压电源和并联型开关稳压电源两大类。

1.1.2 高频开关电源常用的变换器电路类型

开关电源变换器的拓扑结构是指能用于转换、控制和调节输入电压的功率开关器件和储能元件的不同配置。开关电源变换器的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的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）。变换器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. 非隔离开关变换器

非隔离开关变换器有 4 种基本拓扑结构用于 DC/DC 变换器。

(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 VT_1 导通时，二极管 VD_1 截止，输入的整流电压经 VT_1 和 L 向 C 充电，这一电流使电感 L 中的储能增加。当开关管 VT_1 截止时，电感 L 感应出左负右正的电压，并经负载 R_L 和续流二极管 VD_1 释放存储的能量，维持直流输出电压不变。电路输出的直流电压的高低由加在 VT_1 基极上的脉冲宽度确定。

这种电路所用元件少，它同下面介绍的另外两种电路一样，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的输出电压。输出电压 (U_o) 和输入电压 (U_i) 的关系为：

$$U_o/U_i = D(\text{占空比}) \quad (1-2)$$

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

(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 VT_1 导通时，电感 L 储存能量。当开关管 VT_1 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 VD_1 向负载供电，使输出电压大于输入电压，形成升压式开关电源。升压变换器将输入电压变换成较高的稳定的输出电压。输出电压和输入电压的关系为：

$$U_o/U_i = 1/(1-D) \quad (1-4)$$

$$U_i < U_o \quad (1-5)$$

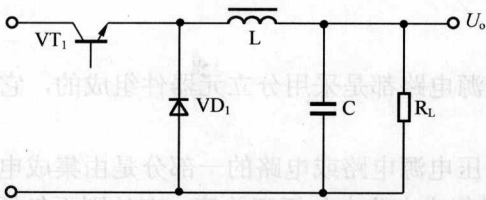


图 1-5 降压式开关电源

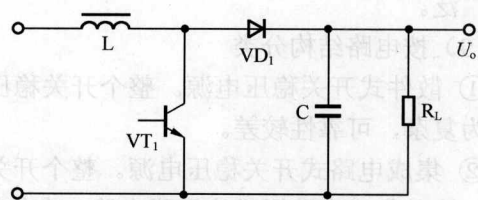


图 1-6 升压式开关电源

(3) 逆向拓扑结构

逆向变换器将输入电压变换成较低的反相输出电压。输出电压与输入电压的关系为：

$$U_o/U_i = -D/(1-D) \quad (1-6)$$

$$U_i > U_o \quad (1-7)$$

(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 VT_1 之前的脉动直流电压是高于还是低于输出端的稳定电压，电路均能正常工作。

当开关管 VT_1 导通时，电感 L 储存能量，二极管 VD_1 截止，负载 R_L 靠电容 C 上的充电电荷供电。当开关管 VT_1 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 VD_1 向负载供电，同时给电容 C 充电。

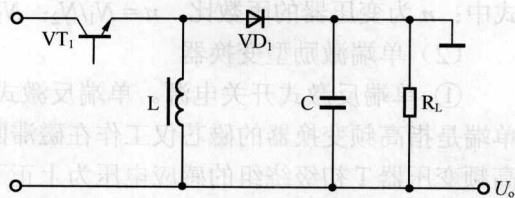


图 1-7 反转式开关电源

反转式变换器将输入电压变换成稳定的较低的反相电压或较高的输出电压（电压值取决于占空比）。输出电压和输入电压的关系为：

$$U_o/U_i = -D/(1-D) \quad (1-8)$$

$$U_i > U_o, D < 0.5 \quad (1-9)$$

$$U_i < U_o, D > 0.5 \quad (1-10)$$

2. 隔离式开关变换器

隔离式开关变换器的拓扑结构有很多种，但其中 3 种比较通用，它们是逆向变换器、正向变换器和推挽变换器。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幅度等于输入电压 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 VD_1 、 VD_2 全波整流变为直流。

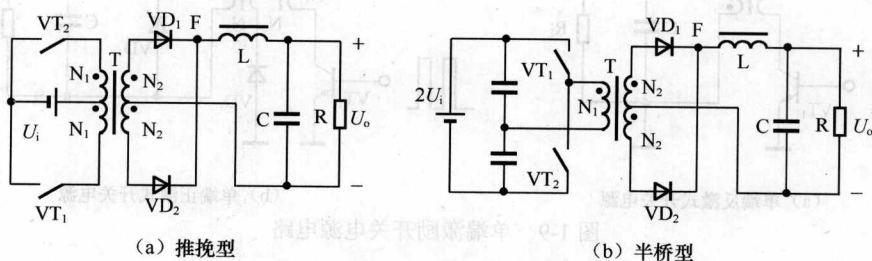


图 1-8 推挽型与半桥型变换电路

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。该电路使用两个开关管 VT_1 和 VT_2 ，两个开关管在外激励方波信号的控制下交替导通与截止，在变压器 T 的次级绕组得到方波电压，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电路峰值电压的两倍。电路的输出功率较大，一般为 $100 \sim 500W$ 。

图 1-8 (b) 所示为半桥型变换器的电路结构。如只从输出侧滤波器来看，其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