



新能源工程应用系列丛书

开关电源驱动LED电路 设计实例

◎ 周志敏 纪爱华 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

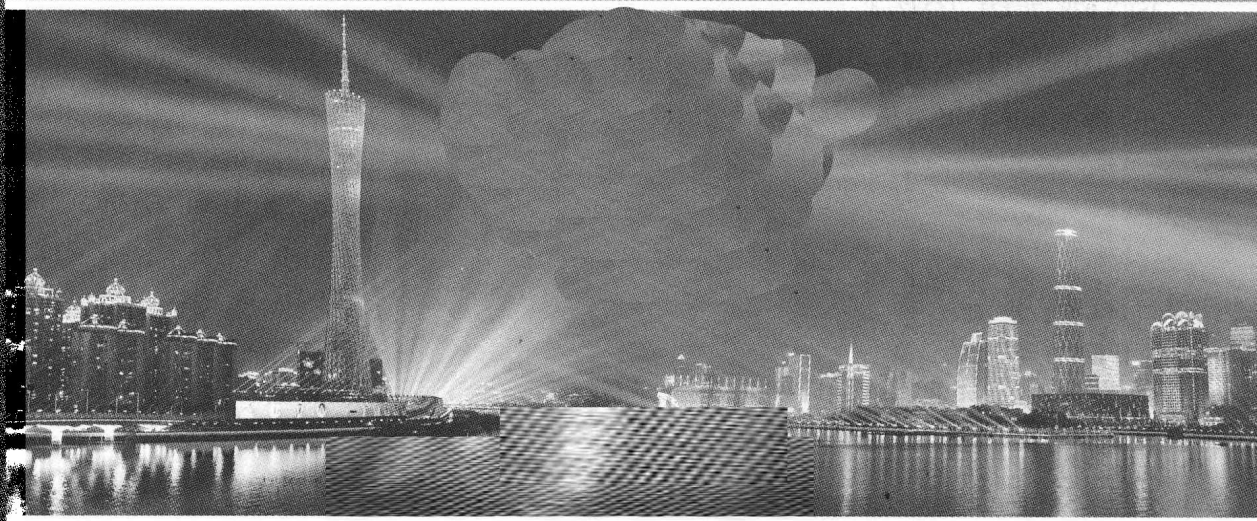
<http://www.phei.com.cn>



新能源工程应用系列丛书

开关电源驱动LED电路 设计实例

◎ 周志敏 纪爱华 编著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书结合国内外开关电源技术和 LED 驱动技术的发展和应⤵用,以基于开关电源设计的 LED 驱动电路为本书的核心内容,系统地介绍了开关电源基础知识、LED 驱动电路、电感式开关电源驱动 LED 电路设计实例、电容式开关电源(电荷泵)驱动 LED 电路设计实例等内容。本书题材新颖实用、内容丰富、深入浅出、文字通俗、具有很高的实用价值。

本书可供电信、信息、航天、汽车、国防及家电等领域从事开关电源驱动 LED 电路的开发、设计和应用的工程技术人员和高等学院及职业技术学院的师生阅读参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源驱动 LED 电路设计实例 / 周志敏,纪爱华编著. —北京:电子工业出版社,2012.1
(新能源工程应用系列丛书)

ISBN 978-7-121-15247-4

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(2011)第 241311 号

策划编辑:富 军

责任编辑:毕军志

印 刷:

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:19 字数:486.4 千字

印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@s@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@s@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言



开关电源以其低损耗、高效率、电路简洁等显著优点受到人们的青睐，近年来随着LED技术的不断创新和发展，人们对LED驱动器的需求与日俱增，基于开关电源设计的LED驱动电路在工程应用中显示出了强大的竞争力，其具有高集成度、高性能比、最简的外围电路、最佳的性能指标等特点。开关电源式LED驱动器现已成为具有发展前景和影响力的一项高新技术产品。目前，随着LED技术的广泛应用，开关电源式LED驱动器显示出了强大的发展潜力。开关电源式LED驱动器产品的开发、研制、生产已成为发展前景十分诱人的朝阳产业。

本书结合国内外开关电源技术、LED驱动技术的发展动向，在简述开关电源基础知识和LED驱动技术的基础上，重点介绍了开关电源驱动LED电路的设计实例，书中解析了94例基于开关电源设计的驱动LED电路实例，读者可将书中讲述的LED驱动电路设计实例，直接采用或结合实际应用设计的特点，在此基本电路的基础上进行改进，应用于工程设计实践中。本书在写作上尽量做到有针对性和实用性，力求做到理论和应用相结合，使得从事开关电源驱动LED电路的开发、设计、应用的技术人员从中获益，读者可以以此为“桥梁”，系统地全面了解和掌握开关电源式LED驱动器的最新设计和应用技术。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、纪达安、纪和平、刘淑芬等，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的专业学者和同行及开关电源集成芯片制造商的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间短，水平有限，难免有错误之处，敬请读者批评指正。

编著者

目 录



第 1 章 开关电源基础知识	1
1.1 电感式开关电源	1
1.1.1 开关电源构成与分类	1
1.1.2 开关型 DC/DC 变换器主电路结构	5
1.1.3 开关型 DC/DC 变换器控制方式	13
1.2 电荷泵的工作原理与结构	20
1.2.1 电荷泵的工作原理	20
1.2.2 电荷泵的结构	26
1.3 电荷泵的技术特性	31
1.3.1 电荷泵电路分析	31
1.3.2 电荷泵技术创新	38
1.4 三种开关式 DC/DC 变换器性能比较	44
第 2 章 LED 驱动电路	48
2.1 LED 驱动技术	48
2.1.1 LED 驱动的技术方案	48
2.1.2 LED 驱动器特性	49
2.1.3 LED 与驱动器的匹配	52
2.2 白光 LED 驱动技术	57
2.2.1 白光 LED 驱动器	57
2.2.2 白光 LED 驱动电路的设计	61
2.2.3 白光 LED 的并联和串联驱动	68
2.2.4 白光 LED 的驱动电路	74
2.2.5 白光 LED 工作电流的匹配	83
2.3 白光 LED 驱动方案比较	86
2.3.1 白光 LED 串联与并联驱动方案	86
2.3.2 白光 LED 驱动电路拓扑选择	88
第 3 章 电感式开关电源驱动 LED 电路设计实例	93
【实例 1】基于 XLT604 的 LED 驱动电路	93
【实例 2】基于 LT3756 的 LED 驱动电路	95
【实例 3】基于 PT4201 的 LED 驱动电路	97
【实例 4】基于 ZXLD1350 的 LED 驱动电路	101
【实例 5】基于 LM3445 的 LED 驱动电路	102

【实例 6】	基于 PT4107 的 LED 驱动电路	105
【实例 7】	基于 SLM2842S 的 LED 驱动电路	109
【实例 8】	基于 HV991X 驱动 LED 电路	112
【实例 9】	基于 IRS2540 的 LED 驱动电路	115
【实例 10】	基于 IRS2541 的 LED 驱动电路	118
【实例 11】	基于 LT3476 的 LED 驱动电路	122
【实例 12】	基于 LTC3783 的 LED 驱动电路	123
【实例 13】	基于 PT4115 的 LED 驱动电路	125
【实例 14】	基于 NCP1216 的 LED 驱动电路	130
【实例 15】	基于 NCP3065/NCP3066 的 LED 驱动电路	131
【实例 16】	基于 SG1524 的 LED 驱动电路	133
【实例 17】	基于 PAM2842 的 LED 驱动电路	135
【实例 18】	基于 TNY279PN 的 LED 驱动电路	136
【实例 19】	基于 LNK306DN 的 LED 驱动电路	140
【实例 20】	基于 LNK302PN 的 LED 驱动电路	141
【实例 21】	基于 TOP247YN 的 LED 驱动电路	143
【实例 22】	基于 LNK306PN 的 LED 驱动电路 1	147
【实例 23】	基于 LNK306PN 的 LED 驱动电路 2	149
【实例 24】	基于 TNY270GN 的 LED 驱动电路	150
【实例 25】	基于 TOP246F 的 LED 驱动电路	152
【实例 26】	基于 LNK304PN 的 LED 驱动电路	153
【实例 27】	基于 TOP250YNLED 的驱动电路	154
【实例 28】	基于 LNK605DG 的非隔离式 LED 驱动器	157
【实例 29】	基于 LNK606PG 的 LED 驱动器	160
【实例 30】	基于 LNK605DG 的隔离式 LED 驱动器	162
【实例 31】	基于 AP3706 的 LED 驱动电路	163
【实例 32】	基于 MAX16802 的 LED 驱动电路	165
【实例 33】	基于 MAX5003 的 LED 驱动电路	167
【实例 34】	基于 LT3475 的 LED 驱动电路	170
【实例 35】	基于 LT3486 的 LED 驱动电路	171
【实例 36】	基于 LT3575 的 LED 驱动电路	173
【实例 37】	基于 LT3477 的 LED 驱动电路	174
【实例 38】	基于 LT3466 的 LED 驱动电路	175
【实例 39】	基于 LTC3783 的 LED 驱动电路	177
【实例 40】	基于 LM3423 的 LED 驱动电路	179
【实例 41】	基于 LM3406 的 LED 驱动电路	180
【实例 42】	基于 ZXSC300/ZXSC310 的 LED 驱动电路	181
【实例 43】	基于 MAX1582 的 LED 背光照明驱动电路	184
【实例 44】	基于 LM2733/LM27313 的 LED 背光照明驱动电路	187

【实例 45】	基于 LM3431 的 LED 背光照明驱动电路	190
【实例 46】	基于 LT3595 的 LED 背光照明驱动电路	193
【实例 47】	基于 LT3543 的 LED 背光照明驱动电路	196
【实例 48】	基于 LT3755 的 LED 背光照明驱动电路	198
【实例 49】	基于 LT3599 的 LED 背光照明驱动电路	199
【实例 50】	基于 NCP5009 的 LED 背光照明驱动电路	201
【实例 51】	基于 TPS6106x 的 LED 背光照明驱动电路	203
【实例 52】	基于 TPS61150/TPS61151 的 LED 背光照明驱动电路	208
【实例 53】	基于 CAT37 的 LED 背光照明驱动电路	209
【实例 54】	基于 LM3402/LM3402HV 的 LED 背光照明驱动电路	213
第 4 章	电容式开关电源 (电荷泵) 驱动 LED 电路设计实例	215
【实例 1】	基于 MAX684 电荷泵驱动 LED 电路	215
【实例 2】	基于 MAX1570 电荷泵驱动 LED 电路	216
【实例 3】	基于 MAX1576 电荷泵驱动 LED 电路	218
【实例 4】	基于 MAX1707 电荷泵驱动 LED 电路	221
【实例 5】	基于 MAX8647 电荷泵驱动 LED 电路	222
【实例 6】	基于 CP2128 电荷泵驱动 LED 电路	224
【实例 7】	基于 CP2130 电荷泵驱动 LED 电路	225
【实例 8】	基于 CP2131 电荷泵驱动 LED 电路	226
【实例 9】	基于 CP2133 电荷泵驱动 LED 电路	228
【实例 10】	基于 CP2137/CP2163A 电荷泵驱动 LED 电路	229
【实例 11】	基于 CP2160/CP2162 电荷泵驱动 LED 电路	230
【实例 12】	基于 CP2167/CP2168 电荷泵驱动 LED 电路	231
【实例 13】	基于 CP2166 电荷泵驱动 LED 电路	232
【实例 14】	基于 CAT3200/CAT3200 - 5 电荷泵驱动 LED 电路	233
【实例 15】	基于 CAT3604 电荷泵驱动 LED 电路	236
【实例 16】	基于 CAT3606 电荷泵驱动 LED 电路	238
【实例 17】	基于 CAT3616 电荷泵驱动 LED 电路	240
【实例 18】	基于 CAT3626 电荷泵驱动 LED 电路	241
【实例 19】	基于 CAT3636 电荷泵驱动 LED 电路	243
【实例 20】	基于 LTC3220/LTC3220 - 1 电荷泵驱动 LED 电路	244
【实例 21】	基于 LTC3202 电荷泵驱动 LED 电路	245
【实例 22】	基于 LTC3206 电荷泵驱动 LED 电路	246
【实例 23】	基于 LTC3208 电荷泵驱动 LED 电路	247
【实例 24】	基于 LTC3215 电荷泵驱动 LED 电路	248
【实例 25】	基于 LTC3219 电荷泵驱动 LED 电路	249
【实例 26】	基于 LM27952 电荷泵驱动 LED 电路	253
【实例 27】	基于 LM27965 电荷泵驱动 LED 电路	256
【实例 28】	基于 LM2792 电荷泵驱动 LED 电路	258

【实例 29】	基于 LM3354 电荷泵驱动 LED 电路	259
【实例 30】	基于 LM2794 电荷泵驱动 LED 电路	260
【实例 31】	基于 AAT3110 电荷泵驱动 LED 电路	260
【实例 32】	基于 AAT3170 电荷泵驱动 LED 电路	264
【实例 33】	基于 AAT3113/AAT3114 电荷泵驱动 LED 电路	265
【实例 34】	基于 LN9364/LN9366 电荷泵驱动 LED 电路	267
【实例 35】	基于 LC40159 电荷泵驱动 LED 电路	270
【实例 36】	基于 SP 系列电荷泵驱动 LED 电路	275
【实例 37】	基于 NCP560x 电荷泵驱动 LED 电路	282
【实例 38】	基于 TPS60230/TPS60231 电荷泵驱动 LED 电路	285
【实例 39】	基于 APS4070 电荷泵驱动 LED 电路	286
【实例 40】	基于 AW9655 电荷泵驱动 LED 电路	287
参考文献		294

第 1 章 开关电源基础知识

1.1 电感式开关电源

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和电源的体积。开关电源中的调整管工作于开关状态，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。另外，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，也随开关频率的提高而增加。

目前市场上开关电源中功率管多采用双极型晶体管，开关频率可达几十 kHz，而采用 MOSFET 器件的开关电源的开关频率可达几百 kHz，为提高开关电源的开关频率必须采用高速开关器件。对于开关频率在兆赫以上的开关电源可采用谐振工作方式，谐振工作方式的开关电源的开关损耗理论上为零，噪声也很小，采用谐振工作方式的兆赫级开关电源目前已经实用化。

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。高频开关稳压电源的基本构成如图 1-1 所示，图 1-1 中 DC/DC 变换器是开关电源的核心部分（实现功率转换），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 V_{REF} 进行比较，比较后获得的误差电压经过放大及脉宽调制（PWM）电路处理，输出至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。如图 1-2 所示为一种高频开关稳压电源的原理电路。

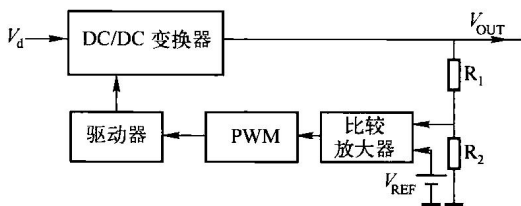


图 1-1 高频开关稳压电源的基本构成

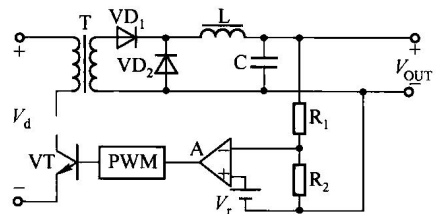


图 1-2 高频开关稳压电源的原理电路

开关电源核心部分的 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。

2. 开关电源的优缺点

1) 开关电源的优点

(1) 功耗小,效率高。在图 1-2 所示的开关电源电路中,开关管在激励信号的激励下,交替地工作在导通—截止和截止—导通的开关状态,开关管的转换速度很快,频率一般为 50kHz 左右,在一些技术先进的国家,可以做到几百 kHz 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% 以上。

(2) 体积小,质量轻。从开关电源的原理框图可以清楚地看到,电路中没有采用笨重的工频变压器。由于开关管上的损耗功率大幅度降低后,又省去了较大的散热片。由于这两方面的原因,使开关电源体积变小,质量变轻。

(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,改变开关管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。由于开关电源开关频率的提高,使滤波电容的容量和体积大为减小。开关电源的工作频率目前基本上工作在 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,采用开关电源时,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,设计中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,功率调整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来抑制、消除和屏蔽,就会严重地影响系统的正常工作。此外,因开关电源振荡电路中没有工频变压器隔离,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。

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国际领先技术还有一定的差距,因而开关电源的造价还不能进一步降低,也影响了其广泛应用和可靠性的进一步提高。所以在我国的电子仪器及机电一体化仪器中,开关电源还不能得到十分广泛的普及应用。特别是在无工频变压器开关电源中的高压电解电容器、高压大功率开关管、开关变压器的磁芯材料等器件,我国还处于研究、开发阶段。在一些技术先进国家,开关电源虽然有了一定的发展,但在实际应用中也还存在一些问题,不能令人十分满意。开关电源的另一个缺点是电路结构复杂,故障率高,维修麻烦。对此,如果在设计和制造中不予以充分重视,则将直接影响到开关电源的推广应用。目前影响开关电源推广应用的主要因素有:制

作技术难度大、维修麻烦和造价成本较高。

3. 开关电源的分类

现在,电子技术和应用迅速地发展,对电子仪器和设备提出了更多要求:在性能上,更加安全可靠;在功能上,不断地增加;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电源就显得更加重要了。所以,开关电源在计算机、通信、航天、彩色电视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。如图1-3所示给出了各种类型开关稳压电源的原理图。

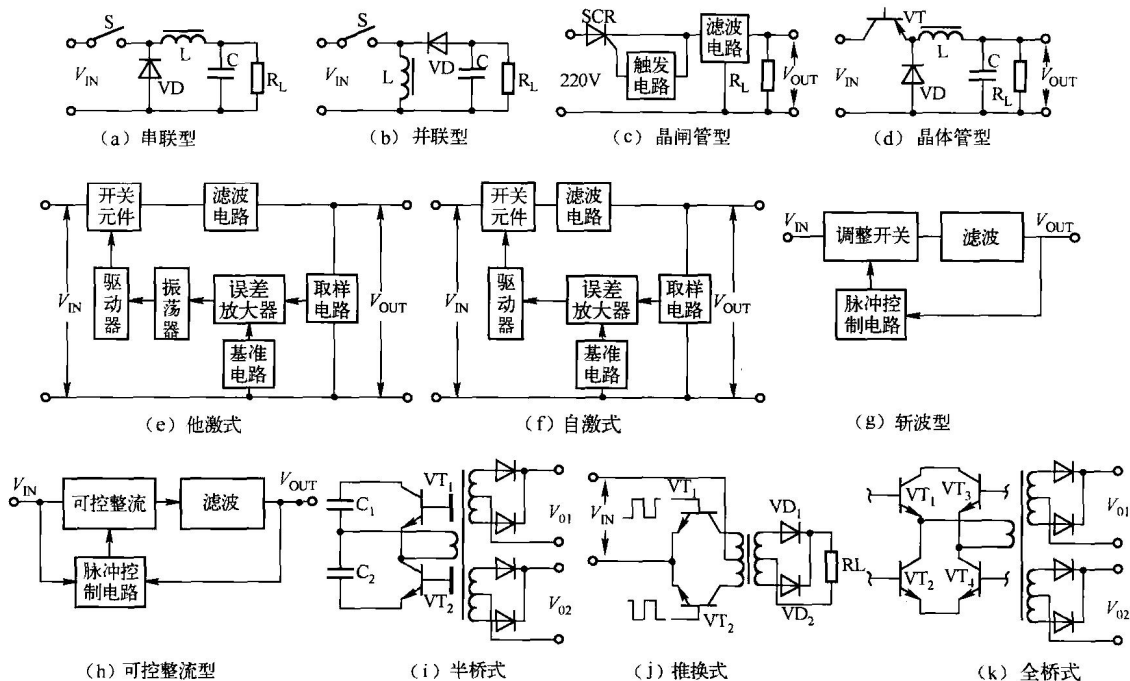


图1-3 各种类型开关稳压电源的原理图

1) 按激励方式分类

(1) 他激式开关电源。电路中设有激励信号的振荡器,电路形式如图1-3(e)所示。

(2) 自激式开关电源。开关管兼做振荡器中的振荡管,电路形式如图1-3(f)所示。

2) 按调制方式分类

(1) 脉宽调制型开关电源。开关电路的振荡频率保持不变,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。开关电路的占空比保持不变,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。通过调节开关管导通时间和开关频率来完成调节和稳定输出电压的目的。

3) 按开关管电流的工作方式分类

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

(2) 谐振型开关电源。开关管与 LC 谐振回路将直流变成标准正弦波，电路形式类似于自激式。

4) 按开关管的类型分类

(1) 晶体管型开关电源。采用晶体管作为开关管，电路形式如图 1-3 (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 1-3 (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电压与输出电压之间，电路形式如图 1-3 (a) 所示。

(2) 并联型开关电源。储能电感并联在输入电压与输出电压之间，电路形式如图 1-3 (b) 所示。

6) 按开关管的连接方式分类

(1) 单端式开关电源。开关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 1-3 (a)、图 1-3 (b) 和图 1-3 (d) 所示。

(2) 推挽式开关电源。使用两个晶体管作为开关管，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 1-3 (j) 所示。

(3) 半桥式开关电源。使用两个晶体管作为开关管，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 1-3 (i) 所示。

(4) 全桥式开关电源。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 1-3 (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电源刚兴起的初期常常采用，目前基本上不大采用。）可控整流型开关电源依靠调节晶闸管整流元件导通角的大小，可达到调整输出电压和稳定电压的目的，其电路如图 1-3 (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。斩波型开关电源的控制电路从输出电压取样，经过比较、放大、控制脉冲发生电路产生的脉冲信号，用以控制开关管的导通时间和截止时间的长短或开关管的工作频率，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工作的。斩波型电路形式如图 1-3 (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，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，最后就可以得到新的、极性和数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在实际稳压电源中应用最为广泛。

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，有的则不包括开关管。这种电源的特点是电路结构简单、调试方便、可靠性高。彩色电视机中常采用这种开关电源。

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、开关管器件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 开关型 DC/DC 变换器主电路结构

1. 开关型 DC/DC 变换器中的储能元件

开关电源利用无源磁性元件和容性元件的能量存储特性，从输入电压源获取能量，暂时地把能量以磁场形式存储在电感器中，或以电场形式存储在电容器中，然后将能量转换到负载，以实现 DC/DC 变换。

实现能量从源到负载的变换需要复杂的控制技术。现在，大多数开关电源采用 PWM（脉冲宽度调制）控制技术。DC/DC 变换器工作时输入端的能量随脉宽变化，在一固定周期内保持平均能量转换。PWM 的占空因数 D 是“ t_{ON} ”时间（ t_{ON} ，从电源提取能量的时间）与总开关周期（ T ）之比。对于开关电源，其稳定的输出电压正比于 PWM 占空因数。

在开关型 DC/DC 变换器中，功率开关和储能元件的物理尺寸直接受工作频率影响。磁性元件所耦合的功率是：

$$P_L = \frac{1}{2LI^2f} \quad (1-1)$$

式中 P_L ——磁性元件所耦合的功率；

L ——磁性元件的电感；

I ——流过磁性元件的电流；

f ——流过磁性元件的电流的频率。

随着开关频率的提高，为保持恒定的功率所要求的电感相应地减小。由于电感与磁性材料的面积和线匝数有关，所以可以减小电感器的物理尺寸。

电容元件所耦合的功率是：

$$P_C = \frac{1}{2CV^2f} \quad (1-2)$$

式中 P_C ——磁性元件所耦合的功率；

C ——电容元件的电容容量；

V ——电容元件两端的电压；

f ——电容元件两端的电压的频率。

随着开关频率的提高，储能电容器的容量和外形尺寸也相应地减小。

元件容量和外形尺寸的减小，对于电源设计人员和系统设计人员来说都是非常重要的，可使得开关电源占用较小的体积和印制电路板面积。

2. 开关型 DC/DC 变换器拓扑结构

开关型 DC/DC 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元件和储能元件的不同配置。很多不同的开关电源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，如变压器来实现的，而且从源到负载的耦合是借助于磁通而不是共同的电路）。开关型 DC/DC 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) 非隔离开关型 DC/DC 变换器

下面介绍常用的四种非隔离开关型 DC/DC 变换器的输出电压（ V_{OUT} ）和输入电压（ V_{IN} ）的关系。

（1）降压开关型 DC/DC 变换器。降压开关型 DC/DC 变换器将一输入电压变换成一较低的稳定输出电压。输出电压（ V_{OUT} ）和输入电压（ V_{IN} ）的关系为：

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = D \quad V_{IN} > V_{OUT} \quad (1-3)$$

式中 V_{OUT} ——变换器输出电压；

V_{IN} ——变换器输入电压；

D ——占空因数。

（2）升压开关型 DC/DC 变换器。升压开关型 DC/DC 变换器将一输入电压变换成一较高的稳定输出电压。输出电压和输入电压的关系为：

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{1}{1-D} \quad V_{IN} < V_{OUT} \quad (1-4)$$

（3）逆向开关型 DC/DC 变换器。逆向开关型 DC/DC 变换器将一输入电压变换成一较低的反相输出电压。输出电压与输入电压的关系为：

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{D}{1-D} \quad V_{IN} > |V_{OUT}| \quad (1-5)$$

（4）Cuk 开关型 DC/DC 变换器。Cuk（丘克）开关型 DC/DC 变换器将一输入电压变换成一稳定反相比较低值或较高值输出电压（电压值取决于占空比）。输出电压与输入电压的关系为：

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -n \times \frac{D}{1-D} \quad |V_{IN}| > |V_{OUT}| \text{ 或 } |V_{IN}| < |V_{OUT}| \quad (1-6)$$

式中 n ——变压器匝数比， $n = \frac{N_2}{N_1}$ 。

2) 隔离开关型 DC/DC 变换器

隔离开关型 DC/DC 变换器拓扑结构有很多种，但其中三种比较通用，分别是：反激隔离开

关型 DC/DC 变换器、正激隔离开关型 DC/DC 变换器、推挽隔离开关型 DC/DC 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或其他磁耦合元件实现的。

(1) 反激隔离开关型 DC/DC 变换器。反激隔离开关型 DC/DC 变换器不需要磁复位措施,可将一输入电压变换成一稳定的取决于变压器匝数比的较低值或较高值输出电压。输出电压与输入电压的关系为:

$$\frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = \frac{nD}{1-D} \quad V_{\text{IN}} > V_{\text{OUT}} \text{ 或 } V_{\text{IN}} < V_{\text{OUT}} \quad (1-7)$$

式中 n ——变压器匝数比, $n = \frac{N_2}{N_1}$ 。

(2) 正激隔离开关型 DC/DC 变换器。正激隔离开关型 DC/DC 变换器需增加磁复位措施,可将一输入电压变换成一稳定的取决于变压器匝数比的较低值或较高值输出电压。输出电压和输入电压关系为:

$$\frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = nD \quad V_{\text{IN}} > V_{\text{OUT}} \text{ 或 } V_{\text{IN}} < V_{\text{OUT}} \quad (1-8)$$

(3) 推挽隔离开关型 DC/DC 变换器。推挽隔离开关型 DC/DC 变换器将一输入电压变换成一稳定较低值输出电压。它们的关系为:

$$\frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = \frac{2D}{n} \quad V_{\text{IN}} > V_{\text{OUT}} \quad (1-9)$$

3. DC/DC 变换器典型电路结构

降压斩波电路原理如图 1-4 所示,斩波器负载为 R ,当开关 S 合上时, $V_{\text{OUT}} = V_{\text{R}} = V_{\text{IN}}$,并持续 t_1 时间。当开关切断时 $V_{\text{OUT}} = V_{\text{R}} = 0$,并持续 t_2 时间, $T = t_1 + t_2$ 为斩波器的工作周期,斩波器的输出波形如图 1-4 (b) 所示。若定义斩波器的占空比 $D = \frac{t_1}{T}$, t_1 为斩波器导通时间, T 为通断周期。通常斩波器的工作方式有两种:一是脉宽调制工作方式,维持 T 不变,改变 t_1 ;二是脉频调制工作方式,维持 t_1 不变,改变 T 。当占空比 D 从零变到 1 时,输出电压平均值从零变到 V_{IN} ,其等效电阻也随着 D 而变化。

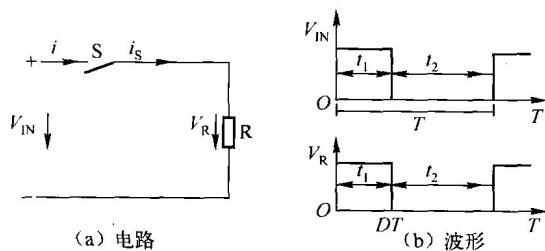


图 1-4 降压斩波电路原理

在高频稳压开关电源设计中,普遍采用的是脉宽调制方式。因为频率调制方式容易产生谐波干扰,而且滤波器设计也比较困难。

1) 降压式 (Buck) DC/DC 变换器

图 1-4 所示的直流变换器在使用时输出纹波较大,为降低输出纹波,在输出端接入电

感 L、电容 C，如图 1-5 所示，图 1-5 中 VD_2 为续流二极管。降压式变换器的输出电压平均值 V_{OUT} 总是小于输入电压 V_{IN} 。通过电感中的电流 (i_L) 是否连续，取决于开关频率、滤波电感 L 和电容 C 的数值。

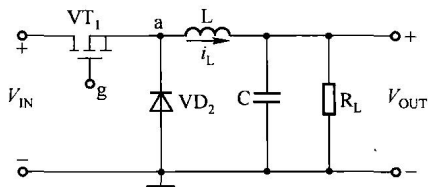


图 1-5 降压式 (Back) 变换器

当电路工作频率较高，若电感量和电容量足够大并为理想元件，电路进入稳态后，可以认为输出电压为常数。当晶体管 VT_1 导通时，电感中电流呈线性上升，因而有：

$$V_{IN} - V_{OUT} = L \frac{i_{o(max)} - i_{o(min)}}{t_{on}} = \frac{L \Delta i_{on}}{t_{on}} \quad (1-10)$$

式中 t_{on} ——晶体管导通时间；

$i_{o(max)}$ ——输出电流最大值；

$i_{o(min)}$ ——输出电流最小值；

Δi_{on} ——晶体管导通时间输出电流变量。

当晶体管截止时，电感中电流不能突变，电感上感应电动势使二极管导通，这时：

$$V_{OUT} = L \frac{i_{o(max)} - i_{o(min)}}{t_{off}} = \frac{L \Delta i_{off}}{t_{off}} \quad (1-11)$$

式中 t_{off} ——晶体管截止时间；

Δi_{off} ——晶体管截止时间输出电流变量。

在稳态时

$$\Delta i_{on} = \Delta i_{off} = \Delta i \quad (1-12)$$

式中 Δi ——输出电流变量。

因为电感滤波保持了直流分量，消除了谐波分量。输出电流平均值为：

$$I_o = \frac{i_{o(max)} + i_{o(min)}}{2} = \frac{V_{OUT}}{RL} \quad (1-13)$$

式中 R ——负载电阻。

2) 升压式 (Boost) DC/DC 变换器

如图 1-6 所示为升压式 DC/DC 变换器电路，它由功率晶体管 VT_1 、储能电感 L、二极管 VD_2 及滤波电容 C 组成。当功率晶体管导通时，电源向电感储能，电感电流增加，感应电动势为左正右负，负载 Z 由电容 C 供电。当 VT_1 截止时，电感电流减小，感应电动势为左负右正，电感中能量释放，与输入电压顺极性一起经二极管向负载供电，并同时向电容充电。这样把低压直流变换成高压直流。在电感电流连续的条件下，电路工作于图 1-6 (b) 所示的两种状态。

(1) 当晶体管导通、二极管截止 (即 $0 \leq t \leq t_1$) 期间， $t_1 = 0 \sim DT$ ， $t = 0$ 时刻， VT_1 导通，电感中的电流按直线规律上升， $V_{IN} = \frac{L \Delta I}{t_1}$ 。

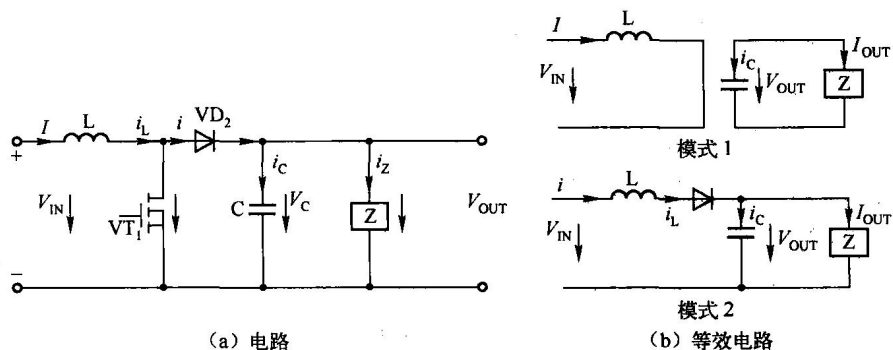


图 1-6 升压式 (Boost) DC/DC 变换器电路

(2) 当晶体管由导通变为截止 (即 $t_1 \leq t \leq T$) 期间, 电感电流不能突变, 产生感应电动势迫使二极管导通, 此时:

$$V_{\text{OUT}} - V_{\text{IN}} = \frac{LI}{t_2}, t_2 = (1-D)T \quad (1-14)$$

则

$$\Delta I = \frac{V_{\text{IN}} t_1}{L} = \frac{(V_{\text{OUT}} - V_{\text{IN}}) t_2}{L} \quad (1-15)$$

式中 ΔI ——输入电流变量。

将 $t_1 = DT$, $t_2 = (1-D)T$ 代入上式, 则求得:

$$V_{\text{OUT}} = \frac{V_{\text{IN}}}{1-D} \quad (1-16)$$

Boost DC/DC 变换器是一个升压斩波器。当 D 从零趋近于 1 时, V_{OUT} 从 V_{IN} 变到任意大。同理可求得输入电流:

$$I = \frac{I_0}{1-D} \quad (1-17)$$

$$T = \frac{\Delta I_L V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}} (V_{\text{OUT}} - V_{\text{IN}})} \quad (1-18)$$

$$\Delta I = \frac{V_{\text{IN}} (V_{\text{OUT}} - V_{\text{IN}})}{fL V_{\text{OUT}}} = \frac{V_{\text{IN}} D}{fL} \quad (1-19)$$

式中 I ——输入电流;

f ——开关转换频率。

若忽略负载电流脉动, 那么 $[0, t_1]$ 期间, 电容上泄放的电荷量反映了电容峰—峰电压脉动量, 即输出电压 V_{OUT} 的脉动量。

3) 单端正激 DC/DC 变换器

单端正激 DC/DC 变换器电路拓扑图如图 1-7 所示。图 1-7 中变压器 T_1 起隔离和变压的作用, 在输出端要加一个电感器 L_o (续流电感) 起能量的储存及传递作用, 变压器初级需有复位绕组 N_r 。在实际使用中, 此绕组也用 R、C、VD 吸收

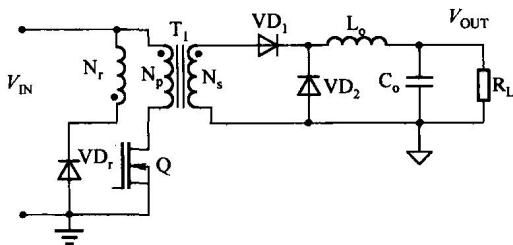


图 1-7 单端正激 DC/DC 变换器电路拓扑图