

电能变换与应用丛书

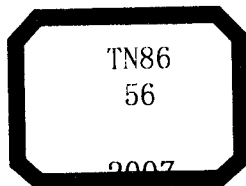
DIANNENG BIANHUAN YU YINGYONG CONGSHU

# 开关电源

## 设计技术与应用实例

赵同贺 主编 刘军 副主编

- 第1章 绪论
- 第2章 开关电源元器件的选用
- 第3章 开关电源变换电路设计与应用
- 第4章 新型开关电源集成控制器及其应用
- 第5章 开关电源各回路设计
- 第6章 有源功率因数校正
- 第7章 开关电源设计制作中出现的问题
- 第8章 软开关技术
- 第9章 PCB设计技术



电能变换与应用丛书

# 开关电源设计技术与应用实例

赵同贺 主 编

刘 军 副主编

人民邮电出版社

北 京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

开关电源设计技术与应用实例 / 赵同贺主编. —北京: 人民邮电出版社, 2007.3

(电能变换与应用丛书)

ISBN 978-7-115-13795-1

I. 开... II. 赵... III. 开关电源—设计 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 144557 号

### 内 容 提 要

本书全面系统、深入浅出地介绍了开关电源的基础知识、电路结构形式、元器件的选用、新型控制器的原理、应用以及 PCB 的布局布线等内容, 尤其对开关电源高频变压器的设计和开关电源出现的故障及维修方法作了示范性的分析。另外, 书中还提供大量的具体应用实例, 附录中给出了一些典型的开关电源电路图, 对广大设计开发人员有很好的指导作用。

本书内容丰富、语言通俗, 具有较强的实用性和可操作性, 可供从事开关电源设计、开发、生产、调试工作的工程技术人员阅读, 也可供大中专院校相关专业的师生参考。

电能变换与应用丛书

### 开关电源设计技术与应用实例

- 
- ◆ 主 编 赵同贺  
副 主 编 刘 军  
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>  
北京鸿佳印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 17.25  
字数: 418 千字 2007 年 3 月第 1 版  
印数: 1—5 000 册 2007 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-13795-1/TN · 2552

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

# 丛 书 前 言

电能变换技术是一种应用功率半导体器件，综合电力变换技术、现代电子技术、自动控制技术的多学科的边缘交叉技术。随着科学技术的发展，电能变换技术又与现代控制理论、材料科学、电机工程、微电子技术等许多领域密切相关，目前已逐步发展成为一门多学科互相渗透的综合性技术学科。

电能变换技术是实现电能变换和功率传递的关键技术，能够对电能变换过程的参数实现精确的控制和高效率的处理，特别是能够实现大功率电能的频率变换，从而为现代通信、电子仪器、计算机、工业自动化、电力工程及某些高新技术提供高质量、高效率、高可靠性的电源支持。因此，电能变换技术不但本身是一项高新技术，而且还是其他许多高新技术发展的基础。电能变换技术及其产业的进一步发展必将为大幅度节约电能、降低材料消耗以及提高生产效率提供重要的技术手段，并对现代生产和生活产生深远的影响。

当前，电能变换技术作为节能降耗、自动化、智能化、机电一体化的基础，正朝着应用技术高频化、硬件结构模块化、产品性能绿色化的方向发展。同时，各行各业的迅猛发展对电能变换产业提出了更多更高的要求，如节能节电、防止污染、改善环境、安全可靠等。这又无形地带动了相关技术的高速发展，也对电能变换技术提出了新的挑战。相信在不久的将来，电能变换技术将更加成熟、经济、实用，实现高效率和高品质用电相结合。

进入 21 世纪以后，电能变换技术已经成为应用最广泛和最受关注的技术之一。发达国家对电能变换技术的创新十分重视，并且投入了大量的人力、物力和财力，形成了具有一定规模的产业，而我国与发达国家相比尚有较大差距。我国政府和社会各界对此十分重视，并把解决能源约束和提高能源利用效率问题提升到了战略的高度。为此，我们结合目前产业发展状况，特组织有关专家、学者和技术人员编写了这套“电能变换与应用丛书”，目的在于介绍目前国内外电能变换技术领域的新器件、新产品、新工艺、新技术和新方法，推广和普及电能变换技术的应用。本丛书在编写时力求突出实用性和先进性，希望本套丛书的出版能够解决电能变换技术应用中的一些实际问题，促进电力电子技术的广泛应用。

本套“电能变换与应用丛书”主要包括《LED 驱动电路设计与应用》、《开关电源设计与应用实例》、《太阳能发电原理与应用》、《高频交流电子镇流技术与典型应用电路》、《便携式电子设备电源设计与应用》、《单片开关电源集成电路应用设计实例》等，将陆续出版，恳请广大读者批评指正。

本套丛书题材新颖，内容丰富，文字通俗，深入浅出，具有很高的实用价值，可供电力、工控、电信、信息、航天、军事及家电等领域从事电源开发、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。

# 前 言

开关电源是近年来应用非常广泛的一种新式电源，它具有体积小、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、医疗器械、家用电器等领域应用效果显著。

目前随着技术的发展，新型多功能开关电源集成控制芯片不断推向市场，大量的超小型、多功能、模块化开关电源不断涌现。工程技术人员在设计、开发、生产、调试这些新产品的过程中会遇到各种技术问题，会遇到一些异常现象和非人为的故障，无形中延长了开发周期和成品出厂时间。笔者在多年的开关电源开发生产实践中积累了一些经验，在元器件和材料的选用上有很多体会，在设计、绕制高频变压器的过程中掌握了一定的工艺方法，在电路板的绘制方面有许多经验教训……在此一并呈现给读者，以期对工程技术人员的设计开发工作有一定的促进作用和指导意义。

本书共分为 9 章，从开关电源的基础知识到电路结构形式，从开关电源元器件的选用到变换器的设计，从新型控制器的原理应用到 PCB（Printed Circuit Board，印制电路板）的布局布线，全面系统、深入浅出地介绍了开关电源的有关知识和实际应用，尤其对开关电源高频变压器的设计和开关电源出现的故障及维修方法作了示范性的分析。另外，还列举了许多具体的应用实例。附录中给出了一些典型的开关电源电路图，对广大设计开发人员有一定的指导作用。书中没有过多深奥的理论和烦琐的公式推导过程，而是以简洁通俗的语言将笔者多年来积累的开关电源开发设计经验和心得体会娓娓道来，具有较强的实用性和可操作性。

本书由赵同贺主编，刘军担任副主编，王福元、赵舰、阮宏树对书稿内容进行了审核，余爱华、刘春娥、卢姊华负责资料收集工作。

本书可供从事开关电源设计、开发、生产、调试工作的工程技术人员阅读，也可供大中专院校相关专业的师生参考。

由于时间仓促，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 开关电源的分类和结构形式 .....	1
1.1.1 什么是开关电源 .....	1
1.1.2 开关电源的分类 .....	2
1.1.3 开关电源的结构形式 .....	3
1.2 开关电源设计中存在的问题与未来发展 .....	10
1.2.1 开关电源设计中存在的问题 .....	10
1.2.2 开关电源的发展趋势 .....	10
1.3 开关电源的技术标准 .....	11
1.4 开关电源的控制方式 .....	12
1.4.1 脉宽调制的基本原理 .....	13
1.4.2 脉冲频率调制的基本原理 .....	13
1.5 开关电源反馈的基本类型 .....	13
<b>第 2 章 开关电源元器件的选用</b> .....	15
2.1 开关晶体管 .....	15
2.1.1 功率开关 MOSFET .....	15
2.1.2 绝缘栅双极型晶体管 .....	16
2.2 软磁铁氧体磁芯 .....	19
2.2.1 磁性材料的基本特性 .....	20
2.2.2 磁芯的结构与选用 .....	20
2.3 光电耦合器 .....	22
2.4 二极管 .....	24
2.4.1 开关二极管 .....	24
2.4.2 稳压二极管 .....	24
2.4.3 快速恢复及超快速恢复二极管 .....	26
2.4.4 肖特基二极管 .....	28
2.4.5 瞬态电压抑制器 .....	29
2.5 自动恢复开关 .....	29
2.6 热敏电阻 .....	32
2.7 TL431 精密稳压源 .....	33
2.8 压敏电阻 .....	35
2.9 电容器 .....	36

<b>第3章 开关电源变换电路设计与应用</b> .....	40
3.1 正激式脉宽调制变换电路 .....	40
3.1.1 UC3842 的工作原理 .....	40
3.1.2 UC3842 的电路特点 .....	41
3.1.3 UC3842 高频变压器设计 .....	42
3.1.4 光电耦合器在 UC3842 中的应用 .....	45
3.1.5 正激式 UC3842 开关电源故障分析 .....	46
3.2 正激式双晶体管变换电路 .....	48
3.2.1 UC3852 的电路特点 .....	48
3.2.2 UC3852 的工作原理 .....	50
3.2.3 正激式双晶体管变换电路脉冲变压器设计 .....	51
3.2.4 高频变压器设计 .....	52
3.2.5 双管正激式开关电源可能出现的问题 .....	54
3.3 反激式变换电路 .....	54
3.3.1 SG6848D 及其应用 .....	54
3.3.2 MD-1619 的电路特点及其应用 .....	57
3.3.3 TEA-2261 及其应用 .....	65
3.4 RCC 变换器 .....	69
3.4.1 RCC 变换器的工作原理 .....	69
3.4.2 RCC 变换器变压器设计 .....	71
3.5 半桥式变换器 .....	74
3.5.1 概述 .....	74
3.5.2 TL494 的电路特点 .....	76
3.5.3 TL494 的工作原理 .....	77
3.5.4 TL494 的保护电路 .....	79
3.5.5 TL494 高频变压器设计 .....	80
3.6 桥式变换器 .....	83
3.6.1 桥式变换器的工作原理 .....	83
3.6.2 桥式变换器变压器的设计 .....	84
3.7 推挽式变换器 .....	88
3.7.1 概述 .....	88
3.7.2 UC3825 的电路特点 .....	88
3.7.3 UC3825 的工作原理 .....	89
3.7.4 CW3524 的电路特点 .....	90
3.7.5 CW3524 的工作原理 .....	91
3.7.6 CW3524 高频变压器设计 .....	93

<b>第 4 章 新型开关电源集成控制器及其应用</b> .....	97
4.1 绿色开关电源 .....	97
4.1.1 ML4841 的电路特点 .....	98
4.1.2 ML4841 的工作原理 .....	99
4.1.3 ML4841 脉冲变压器设计 .....	101
4.1.4 ML4841 高频变压器设计 .....	102
4.1.5 ML4841 开关电源故障修理 .....	104
4.2 变频开关电源 .....	106
4.2.1 UC1864 的电路特点 .....	106
4.2.2 UC1864 的工作原理 .....	107
4.2.3 UC1864 的参数设计与计算 .....	109
4.2.4 UC1864 高频变压器设计 .....	110
4.2.5 UC1864 开关电源故障修理 .....	112
4.3 准谐振开关电源 .....	113
4.3.1 MC34067 的电路特点 .....	114
4.3.2 MC34067 的工作原理 .....	114
4.3.3 MC34067 变压器设计 .....	117
4.4 单片开关电源 .....	122
4.4.1 单片三端开关电源 .....	122
4.4.2 单片五端开关电源 .....	128
4.4.3 单片六端开关电源 .....	136
4.5 高效能开关电源 .....	147
4.5.1 FA5321 开关电源 .....	147
4.5.2 KAIL0380 开关电源 .....	150
4.5.3 MC34060 开关电源 .....	151
4.5.4 SPH4692 开关电源 .....	153
4.6 恒功率开关电源 .....	155
4.6.1 SG6858 开关电源 .....	155
4.6.2 SG6858 的工作原理 .....	156
4.6.3 SG6858 电路的参数计算 .....	157
4.6.4 TOP204Y 开关电路 .....	159
4.6.5 正反馈式恒功率开关电源 .....	162
<b>第 5 章 开关电源各回路设计</b> .....	165
5.1 开关电源输入回路的设计 .....	165
5.1.1 低通滤波回路的设计 .....	165
5.1.2 整流滤波回路的设计 .....	165
5.2 功率驱动电路的设计 .....	169



5.2.1	功率驱动的方式	169
5.2.2	功率驱动电路的驱动方法	170
5.2.3	开关功率管的选用	171
5.2.4	吸收回路的设计	172
5.3	开关电源保护电路	173
5.3.1	过流保护电路	173
5.3.2	过压保护电路	175
5.3.3	欠压保护电路	176
5.3.4	过热保护电路	177
5.4	软启动电路的设计	178
5.4.1	软启动电路的作用	179
5.4.2	软启动电路的设计	179
5.5	多路输出反馈电路的设计	181
5.5.1	多路输出反馈电阻的计算	181
5.5.2	多路对称型输出的实现	183
5.5.3	多路输出变压器的设计	184
5.5.4	设计多路输出高频变压器的注意事项	185
5.6	怎样提高高频变压器的性能	186
<b>第 6 章</b>	<b>有源功率因数校正</b>	<b>188</b>
6.1	电流谐波	188
6.1.1	电流谐波的危害	189
6.1.2	功率因数	189
6.1.3	功率因数与 <i>THD</i> 的关系	190
6.1.4	功率因数校正的基本原理	191
6.2	有源功率因数校正	192
6.2.1	有源功率因数校正的主要优缺点	192
6.2.2	有源功率因数校正的控制方法	194
6.2.3	峰值电流控制法	194
6.2.4	滞环电流法	196
6.2.5	平均电流控制法	197
6.2.6	峰值电流控制法 APFC 调整电路的设计	198
6.2.7	UC3854 在平均电流法 APFC 中的应用	206
6.2.8	ML4813 反激式 APFC 控制电路	208
<b>第 7 章</b>	<b>开关电源设计制作中出现的问题</b>	<b>213</b>
7.1	干扰与绝缘问题	213
7.1.1	开关电源中的主要干扰源	213
7.1.2	电磁干扰的传播方式	215

7.1.3	辐射干扰的产生、传播和测量	215
7.1.4	电磁干扰抑制方法	218
7.1.5	隔离与绝缘	223
7.2	效率与功率因数问题	224
7.2.1	高效率与产品质量	224
7.2.2	高功率因数与效益	224
7.2.3	如何提高开关电源的效率	225
<b>第 8 章</b>	<b>软开关技术</b>	<b>230</b>
8.1	软开关功率变换技术	230
8.1.1	硬开关功率损耗	230
8.1.2	准谐振变换开关电源	231
8.2	零开关-PWM 变换器	231
8.2.1	ZCS-PWM 变换器	231
8.2.2	ZVS-PWM 变换器	233
8.3	零开关-PWM 转换变换器	234
8.3.1	ZCT-PWM 转换变换器	234
8.3.2	ZVT-PWM 转换变换器	236
8.4	DC/DC ZVS-PWM 变换器	238
8.4.1	DC/DC 有源钳位正激式变换器	238
8.4.2	DC/DC 有源钳位反激式变换器	239
8.4.3	DC/DC 有源钳位正反激组合式变换器	240
<b>第 9 章</b>	<b>PCB 设计技术</b>	<b>244</b>
9.1	PCB 技术简介	244
9.1.1	PCB 的类型	244
9.1.2	PCB 的布局、布线要求	245
9.1.3	PCB 设计过程	246
9.1.4	PCB 总体设计原则	247
9.1.5	PCB 设计布线技巧	248
9.1.6	元器件放置要求及注意事项	249
9.2	PCB 抑制电磁干扰的新技术	250
9.2.1	什么是表面积层技术	250
9.2.2	微孔技术	250
<b>附录 1</b>	<b>充电器电路</b>	<b>252</b>
<b>附录 2</b>	<b>开关电源电路</b>	<b>255</b>
	<b>参考文献</b>	<b>266</b>

# 第1章 绪 论

## 1.1 开关电源的分类和结构形式

### 1.1.1 什么是开关电源

电是工业的动力，是人类生活的源泉。电源是产生电的装置，表示电源特性的参数有功率、电压、电流、频率等；在同一参数要求下，又有重量、体积、效率和可靠性等指标。我们用的电，一般都需经过转换才能适合使用的需要，例如交流转换成直流，高电压变成低电压，大功率变换为小功率等。

按照电子理论，所谓 AC/DC 就是交流转换为直流；AC/AC 称为交流变交流，即为改变频率；DC/AC 称为逆变；DC/DC 为直流变交流后再变为直流。为了达到转换的目的，电源变换的方法是多样的。自 20 世纪 60 年代，人们研发出了二极管、三极管半导体器件后，就用半导体器件进行转换。所以，凡是用半导体功率器件作开关，将一种电源形态转换成另一种形态的电路，叫做开关变换电路。在转换时，以自动控制稳定输出并有各种保护环节的电路，称为开关电源（Switching Power Supply）。

开关电源在转换过程中，用高频变压器隔离称之为离线式开关变换器（Off-line Switching Converter），常用的 AC/DC 变换器就是离线式变换器。

开关电源通常由六大部分组成，如图 1-1 所示。

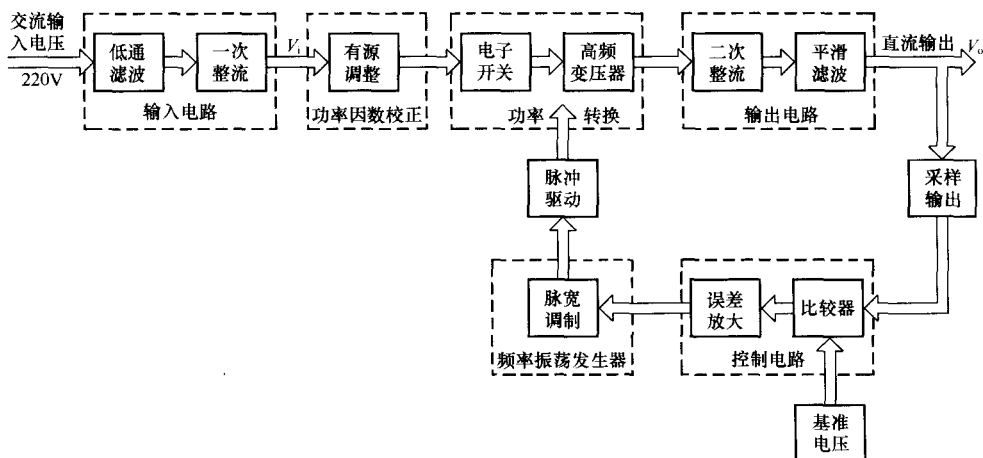


图 1-1 开关电源工作原理框图

第一部分是输入电路，它包含有低通滤波和一次整流环节。220V 交流电直接经低通滤波

和桥式整流后得到未稳压的直流电压  $V_i$ ，此电压送到第二部分进行功率因数校正，其目的是提高功率因数，它的形式是保持输入电流与输入电压同相。功率因数校正的方法有无源功率因数校正和有源功率因数校正两种。所谓有源功率因数校正（Active Power Factor Correction, APFC），是指电源在校正过程中常采用三极管和集成电路。开关电源电路常采用有源功率因数校正。第三部分是功率转换，它是由电子开关和高频变压器来完成的，是把高功率因数的直流电压变换成受到控制的、符合设计要求的高频方波脉冲电压。第四部分是输出电路，用于将高频方波脉冲电压经整流滤波后变成直流电压输出。第五部分是控制电路，输出电压经过分压、采样后与电路的基准电压进行比较、放大。第六部分是频率振荡发生器，它产生一种高频波段信号，该信号与控制信号叠加进行脉宽调制，达到脉冲宽度可调。有了高频振荡才有电源变换，所以说开关电源的实质是电源变换。

高频电子开关是电能转换的主要手段和方法。在一个电子开关周期（ $T$ ）内，电子开关的接通时间  $t_{on}$  与一个电子周期所占时间之比，叫接通占空比（ $D$ ）， $D = \frac{t_{on}}{T}$ ，如图 1-2 所示。

断开时间  $t_{off}$  所占  $T$  的比例称为断开占空比（ $D'$ ）， $D' = \frac{t_{off}}{T}$ 。开关周期是开关频率的倒数，

$T = \frac{1}{f}$ 。例如：一个开关电源的工作频率是 50kHz，它的周期  $T = \frac{1}{50 \times 10^3} = 20\mu\text{s}$ （微秒）。很

明显，接通占空比（ $D$ ）越大，负载上的电压越高，表明电子开关接通的时间越长，此时负载感应电压较高，工作频率也较高。这对于开关电源的高频变压器实现小型化有帮助，同时，能量传递的速度也快。但是，开关电源中的开关功率管、高频变压器、控制集成电路以及输入整流二极管的发热量高、损耗大。对于不同的变换器形式，所选用的占空比大小是不一样的。

开关电源与铁芯变压器电源以及其他形式的电源比较起来具有较多的优点：

一是节能。绿色电源是开关电源中用途最为广泛的电源，它的效率一般可以达到 85%，质量好的可以达到 95% 甚至更高，而铁芯变压器的效率只有 70% 或者更低。最近欧盟和美国消费者协会统计，美国一般家用电器和工业电气设备的单机能源消耗指数大于 92%。美国的“能源之星”对电子镇流器、开关电源以及家用电器的效率都制定有很仔细的、非常严格的规章条款。

二是体积小，重量轻。据统计，100W 的铁芯变压器的重量为 1200g 左右，体积达  $350\text{cm}^3$ ，而 100W 的开关电源的重量只有 250g，而且敞开式的电源更轻，体积不到铁芯变压器的 1/4。

三是开关电源具有各种保护功能，不易损坏。而其他的电源由于本身原因或使用不当，发生短路或断路的事故较多。

四是改变输出电流、电压比较容易，且稳定、可控。

五是根据人们的要求，可设计出各种具有特殊功能的电源，以满足人们的需要。

### 1.1.2 开关电源的分类

目前开关电源的种类很多，从工作性质来分，大体上可分为“硬开关”和“软开关”两

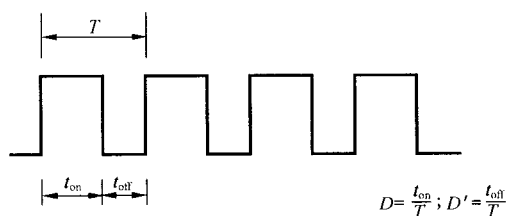


图 1-2 占空比示意图

种。所谓硬开关,是指电子脉冲、外加控制信号强行对电子开关进行“开”和“关”,而与电子开关自身流过的电流以及两端施加的电压无关。显然,开关在接通和关断期间是有电流、电压存在的,因此,这种工作方式是有损耗的。但是它比其他变换电源的形式简单得多,所以,硬开关在很多地方仍然在应用,如脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)器就属于硬开关。目前,很多开关电源都用 PWM 来控制。另一类叫做软开关,电子开关在零电压下导通,在零电流下关断。可见,电子开关是在“零状态”下工作的,所以,理论上它的损耗为零,对浪涌电压、脉冲尖峰电压的抑制能力很大,其工作频率可以提高到 5MHz 以上,开关电源的重量和体积则可进行更大的改变。为了实现零电压“开”和零电流“关”,我们常采用谐振的方法。从电子理论可知道,谐振就是容抗等于感抗,总的电抗为零,电路中的电流为无穷大。如果正弦波电压加到并联的电感回路上,这时电感上的电压就为无穷大。利用谐振电路可实现正弦波振荡,当振荡到零时,电子开关导通,称之为零电压导通(Zero Voltage Switching)。同样,流过电子开关的电流振荡到零时,电子开关关断,称之为零电流关断(Zero Current Switching)。总之,电子开关具有零电压导通、零电流关断的外部条件,这种变换器称为准谐振变换器。它是在脉宽调制器上附加谐振网络而形成的,固定电子开关导通时间,通过调整振荡频率,最终使电路产生谐振,从而获得准谐振变换器的模式。准谐振变换器开关电源的输出电压不随输入电压的变化而变化,它的输出电流也不随用电负载的变化而变化,这种开关电源的主变换器依靠开关频率来稳定输出参数,我们称之为调频开关电源。调频开关电源没有脉冲调制开关电源那么容易控制,再加上准谐振电路电压峰值高,开关所受到的应力大,目前还没有得到广泛应用。

DC/DC 变换类型是开关电源变换的基本类型,它通过控制开关通、断时间的比例,用电抗器与电容器上蓄积的能量对开关波形进行微分平滑处理,从而更有效地调整脉冲的宽度及频率。从输入、输出有无变压器隔离来说,DC/DC 变换分为有变压器隔离和没有变压器隔离两类。每一类有 6 种拓扑,即降压式(Buck)、升压式(Boost)、升压—降压式(Buck-Boost)、串联式(Cuk)、并联式(Sepic)以及塞达式(Zata)。按激励方式分,有自激式和他激式两种。自激式包括单管式和推挽式,他激式包括调频式(PWF)、调宽式(PWM)、调幅式(PAM)和谐振式(RSM) 4 种,我们用得最多的是调宽式变换器。调宽式变换器有以下几种:正激式(Forward Converter Mode)、反激式(Feedback Converter Mode)、半桥式(Half Bridge Mode)、全桥式(Overall Bridge Mode)、推挽式(Push Draw Mode)和阻塞式(Ringing Choke Converter, RCC)等 6 种。

按谐振方式分,有串联谐振式、并联谐振式和串并联谐振式;按能量传递方式分,有连续模式和不连续模式两种。凡是脉冲宽度来调制的电子开关变换器都叫 PWM 变换器。

### 1.1.3 开关电源的结构形式

开关电源的结构形式很多,按 PWM 方式来分有以下几种。

#### 1. 反激式变换器

所谓反激式是指变压器的初级极性与次级极性相反,其基本电路如图 1-3 所示。如果变压器的初级上端为正,则次级上端为负。反激式变换器效率高,线路简单,能提供多路输出,所以得到了广泛应用。但是在次级输出的电压中,有较大的纹波电压。为了解决这一问题,只有加大输出滤波电容和电感,但这样做的结果是增大了电源的体积。最近,开发人员发现

利用小型 LC 噪声滤波器效果比较好。反激式变换器有两种工作模式：一种是完全能量转换，即变压器在储能周期 ( $t_{on}$ ) 中储存的所有能量在反激周期 ( $t_{off}$ ) 传递输送出去；另一种是不完全量转换，即变压器在储能周期 ( $t_{on}$ ) 中储存的部分能量在反激周期 ( $t_{off}$ ) 一直保存着，直至等到下一个储能周期 ( $t_{on}$ )。在脉宽调制开关变换器中引用完全能量转换模式，可以减少控制电路触发脉冲的宽度，但也会出现波形失真和调制困难等一些问题。

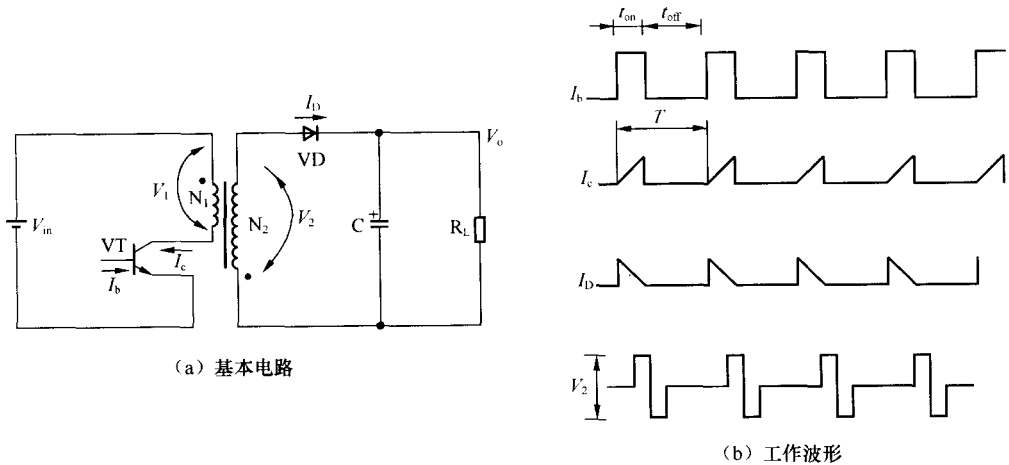


图 1-3 反激式变换器

反激式变换器是怎样工作的呢？当开关三极管 VT 截止时（见图 1-3），变压器初级所积蓄的电能向次级传送，这时变压器次级绕组下端为负、上端为正，二极管 VD 正向导通，导通电压经电容 C 滤波后向负载  $R_L$  供给电能。当变压器初级储存的电能释放到一定程度后，电源电压  $V_{in}$  通过变压器的初级绕组  $N_1$  向三极管 VT 的集电极充电， $N_1$  又开始储能。 $V_1$  上升到一定程度后，三极管 VT 截止，又开始了新一轮放电。在充电周期，变换器的输出电压为  $V_o = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_{in} \cdot D$ 。从工作波形图可以看出，开关管与整流二极管的电流波形为相位相差  $180^\circ$  的两个锯齿波。

## 2. 反激式双晶体管变换器

开关电源的功率在 200W 以上，不宜采用单管反激式电路，这时可以利用反激式双晶体管结构，两管可用双极型晶体管或功率场效应管。其中，场效应管特别适用，无论是固定频率、可变频率、完全和不完全能量传递方式，用场效应管代替双极型晶体管是首选方案。

反激式双晶体管变换器的基本电路如图 1-4 (a) 所示。高频变压器  $TR_1$  的初级绕组通过两只场效应管接到直流电源  $V_{in}$  上。两只场效应管需要同时导通、同时截止，因此要求通过两个相同相位但又互相隔离的信号，一般用一只双线路输出的变压器  $TR_2$ 。与前面介绍的单管反激式电路一样，场效应管导通时，只把能量存在磁路中；场效应管截止时，磁能转化为电能送到负载。二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  是交叉连接的，这样连接的目的是可把过剩的能量反馈回电源  $V_{in}$  中，并把两只场效应管都钳位在  $V_{in}$  电压水平上。所以，采用市电桥式整流的电路，可选用耐压为 400V 的场效应管。

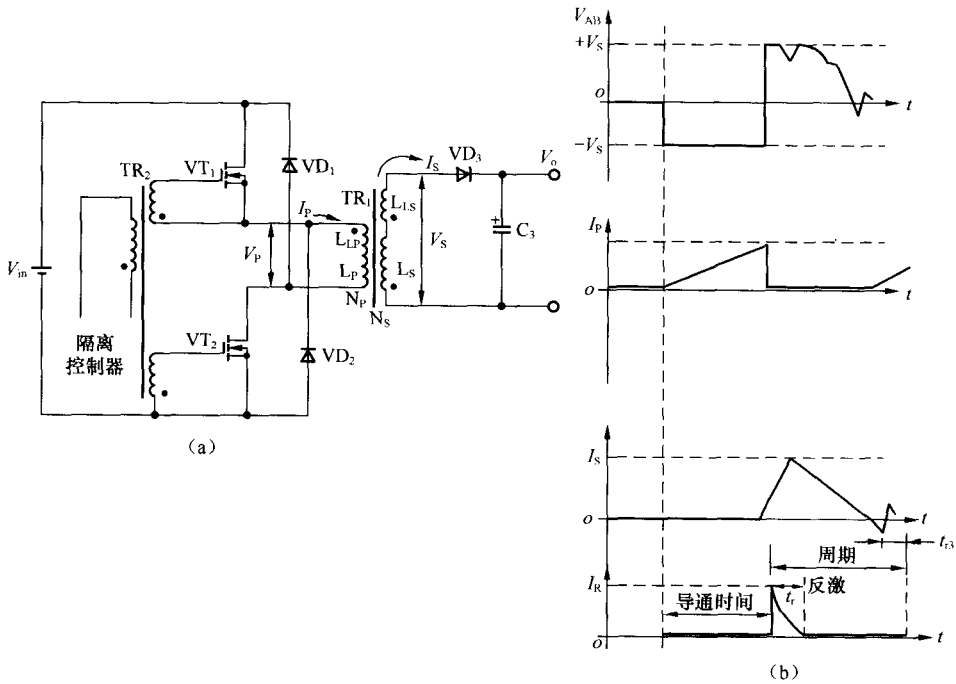


图 1-4 反激式双晶体管变换器

在图 1-4 (a) 所示电路中, 变压器漏感起着重要作用。当  $VT_1$  和  $VT_2$  导通时, 直流电压  $V_{in}$  加在变压器初级绕组  $N_p$  上。设绕组的同名端为正, 那么输出整流二极管  $VD_3$  将正向偏置且导通, 这样次级绕组中有电流流通, 它的漏感为  $L_{LS}$ 。在导通期间, 变压器初级绕组的电流呈线性增加, 参见图 1-4 (b)。

在导通末期, 储存在变压器中可耦合到次级的磁场能量为  $\frac{1}{2} I_p^2 \cdot L_{LP}$ 。一旦  $VT_1$  和  $VT_2$  同时截止, 次级绕组电流  $I_s$  降为零。然而, 磁感应强度没有改变, 则通过反激作用, 变压器上所有的电压将反向。二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  也导通, 初级绕组在反激电压作用下使供电电源保持  $V_{in}$  值。由于绕组的极性反向, 次级绕组感应出的反向电势将导致整流二极管  $VD_3$  截止。

次级绕组感应的电流为  $n \cdot I_p$  值时 ( $n = \frac{N_p}{N_s}$ ), 储存在次级绕组的漏感  $L_{LP}$  中的能量反馈到电源  $V_{in}$  中, 则初级绕组电压  $V_p$  降至次级绕组反射电压。此时, 次级绕组电压等于  $C_3$  上的电压折算到初级绕组。通过设计使钳位电压小于供电电源电压  $V_{in}$ , 否则, 反激能量将回送到供电电源中去。然而, 在正常条件下, 对于一个完善的能量转换系统, 两只场效应管刚截止关断时, 储存在变压器磁场中的能量将转移到输出电容和负载上。在两只场三极管截止关断的末期, 新一轮周期将开始。

双晶体管反激式变换器在任何条件下, 两只场效应管所承受的电压都不会超过  $V_{in}$ 。 $VD_1$ 、 $VD_2$  必须是超快速恢复二极管。因为这些元器件在电压超值时特别容易损坏, 与单管反激式变换器相比, 开关功率管可选用较低的耐压值。

反激开始时, 储存在初级漏电感中的能量经  $VD_1$ 、 $VD_2$  进行反馈, 系统能量损失小、效率高。当负载减小时, 在电路导通期间, 变压器初级绕组中储存过多的能量, 那么, 在下一个

周期反激时，将能量反馈至电源  $V_{in}$ ，降低损耗。

双晶体管反激式电路与单晶体管反激式电路相比，不需要能量反馈绕组。这对于生产商来说有利于降低成本，提高电源的可靠性。

### 3. 正激式变换器

如图 1-5 (a) 所示，正激式变换器的变压器纯粹是个隔离元件，它的初级分为两组  $N_{1a}$  和  $N_{1b}$ ，中心抽头接输入电压的正极，两端分别接二极管  $VD_F$  和开关三极管  $VT$  的集电极。次级绕组接整流二极管  $VD_1$ 、续流二极管  $VD_2$  以及电感器  $L$ 。正激式变换器是利用电感  $L$  储能及传送电能的。变压器的初级和次级线圈是相同的同名端，由于电感  $L$  的存在，它的电感折算到初级，使初级电感增大，而电流却减小。

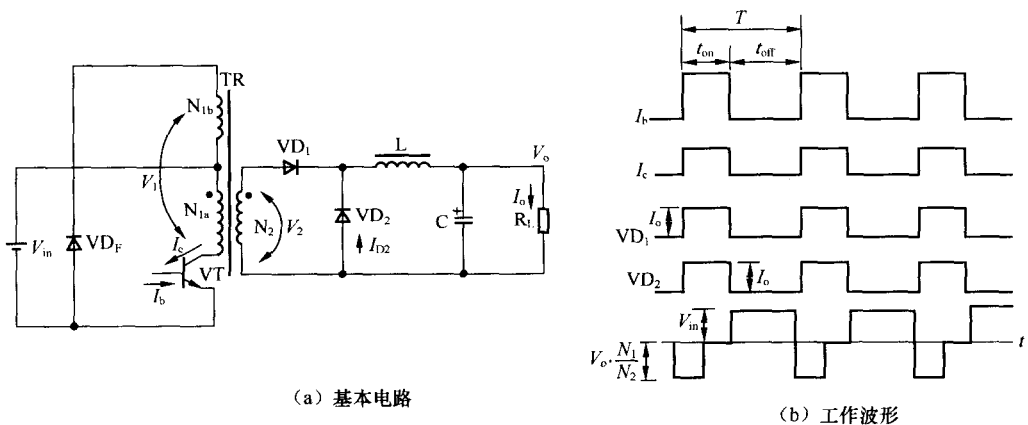


图 1-5 正激式变换器

正激式变换器的工作原理是这样的：开关三极管  $VT$  截止时，在电感的反激作用下， $VD_2$  正向导通，导通后的电路通过电感  $L$  和负载  $R_L$  构成回路，这时电感上的电压等于输出电压  $V_o$ 。电感  $L$  中存储的能量的大小将影响输出电压的峰值。由图 1-5 可知，电感电流等于峰值电流。当开关三极管  $VT$  导通时，电源电压经变压器初级线圈向三极管  $VT$  充电，这时变压器初级线圈  $N_1$  储能，而线圈  $N_2$  在二极管  $VD_2$  的作用下释放电能，结果  $VD_1$  导通， $VD_2$  截止。 $VD_1$  向电感  $L$  供电，“感化”储能，输出直流电压。当三极管  $VT$  截止时，电感器  $L$  积蓄的电能经二极管  $VD_2$  整流、LC 滤波后，向负载供电。正激式变换器次级整流二极管与开关管集电极的电流是一致的。输出电压  $V_o = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_{in} \cdot D$ 。正激式变换器的优点是铜损低，因为使用

无气隙磁芯，电感量较高，变压器的峰值电流比较小，输出电压纹波低；缺点是电路较为复杂，所用元器件多，如果有假负载存在，效率将降低。它适用于低电压、大电流的开关电源，多用于 150W 以下的小功率场合。它还具有多台电源并联使用而互不影响的特点，而且可以自动均衡，而反激式却不能做到这点。

### 4. 正激式双晶体管变换器

正激式双晶体管变换器（又称双管正激式变换器）是在单管正激式的电路上再串接一只三极管而组成的，这对于高压大功率的开关电源来说更加安全可靠。安全可靠是最大的效益，所以，双管正激式变换器得到了广泛应用。



如图 1-6 所示, 三极管  $VT_1$ 、 $VT_2$  在工作期间同时导通, 或者同时截止。在导通时, 电源电压  $V_{in}$  加在变压器  $TR_2$  的初级绕组  $N_p$  上。在这个工作周期里, 电感  $L_1$  已经储存了电能, 电流通过续流二极管  $VD_4$  后经电感器  $L_1$  向负载  $R_L$  供电。由于  $VT_1$ 、 $VT_2$  的导通, 变压器  $TR_2$  的初级绕组  $N_p$  向次级绕组  $N_s$  感应了电势, 整流二极管  $VD_3$  在正向电压作用下导通, 便有电流  $I_L$  向负载  $R_L$  供电。但是, 供电时间受到次级绕组漏感的影响,  $I_L$  继续保持。在此期间, 流经  $VD_4$  的电流快速减小, 直至  $VD_4$  转为截止。当  $VT_1$ 、 $VT_2$  截止时, 次级绕组电压反向, 这时二极管  $VD_3$  很快截止。在电感  $L_1$  的反激下,  $VD_4$  进入导通状态, 电流经  $VD_4$ 、 $L_1$  向负载  $R_L$  供电。当  $I_L$  慢慢减小后, 在变压器初级电压  $V_{in}$  的帮助下,  $VT_1$ 、 $VT_2$  再次进入导通状态, 这就是双管反激式变换器的电能传递过程。

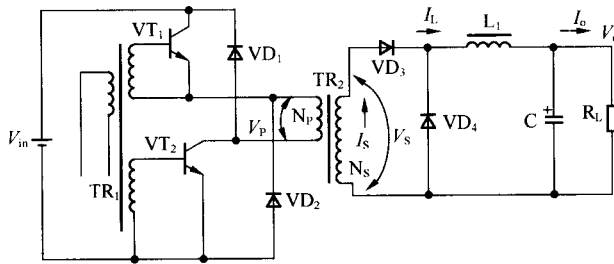


图 1-6 正激式双晶体管变换器

### 5. 半桥式变换器

为了减小开关三极管的电压应力, 可以采用半桥式变换器, 它是离线式开关电源较好的拓扑结构。电容器  $C_1$ 、 $C_2$  与开关晶体管  $VT_1$ 、 $VT_2$  组成半桥式变换器电路, 如图 1-7 所示。桥的对角线接高频变压器  $TR$  的初级绕组。如果  $C_1=C_2$ , 在某一只开关晶体管导通时, 绕组上的电压只有电源电压  $V_{in}$  的一半。在稳定的条件下,  $VT_1$  导通,  $C_1$  上的电压  $\frac{1}{2} V_{in}$  加在变压器的初级线圈上。由于初级绕组和漏感的作用, 电流继续流入初级绕组黑点标示端。如果变压器初级绕组漏感储存的电能足够大, 二极管  $VD_6$  导通, 钳位电压进一步变负。在  $VD_6$  导通的过程中, 反激能量对  $C_2$  进行充电。连结点 A 的电压在阻尼电阻的作用下, 以振荡形式最后回到中间值。如果这时  $VT_2$  的基极有触发脉冲, 则  $VT_2$  导通, 初级绕组黑点标示端电压变负,  $I_p$  电流加上磁化电流流经初级绕组和  $VT_2$ , 然后重复前面的过程。不同的是  $I_p$  变换了方向。二极管  $VD_5$  对三极管  $VT_1$  的导通钳位, 反激能量再对电容  $C_1$  进行充电。

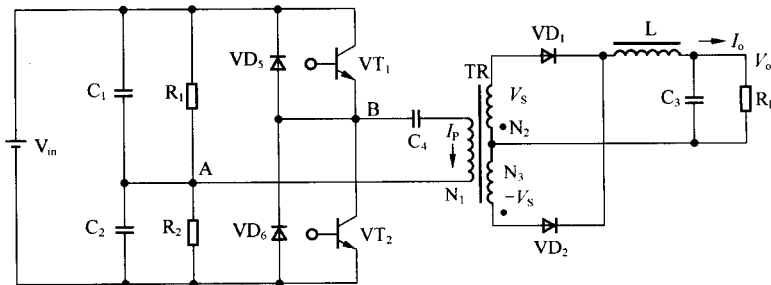


图 1-7 半桥式变换器

次级电路的工作过程如下: 当  $VT_1$  导通时, 变压器次级绕组电压  $V_s$  使  $VD_1$  导通, 这与