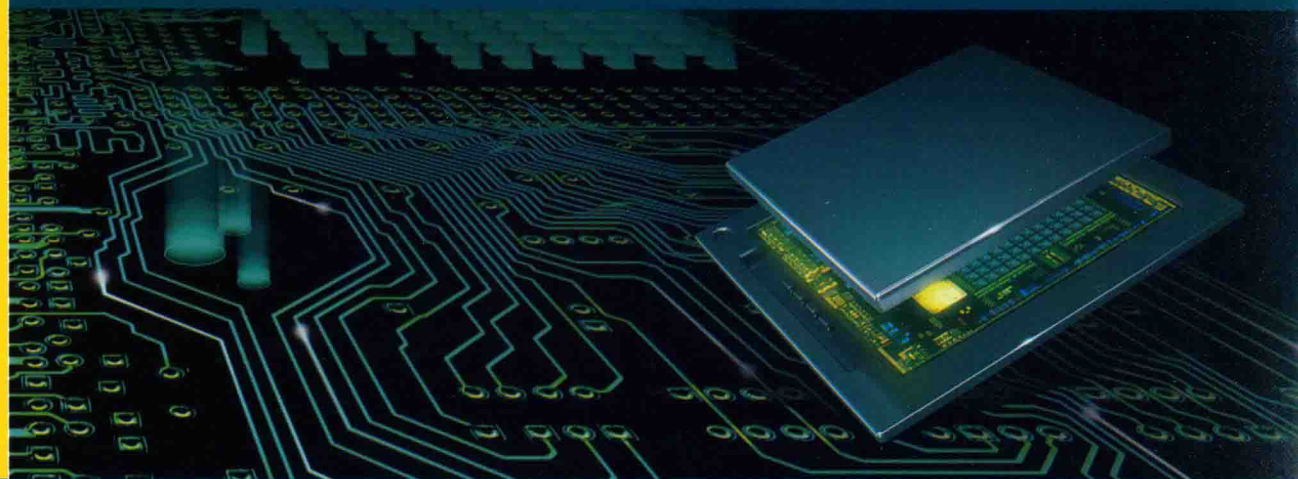


电子工程技术丛书

模块电源 外围电路设计要点 及应用实例

● 周志敏 纪爱华 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子工程技术丛书

模块电源外围电路设计 要点及应用实例

周志敏 纪爱华 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书结合国外模块电源技术的发展动向及国内的应用实践,在简介 DC/DC 变换器与模块电源的基础上,系统地讲述软开关控制技术及电路分析、VICOR 模块电源、DC/DC 模块电源工程应用、系统电源架构及模块电源应用电路实例等内容。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,是从事模块电源设计与应用工程技术人员的必备读物。

本书可供电信、信息、航空航天、军事、家电行业从事模块电源开发、设计和应用的工程技术人员和高等院校、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

模块电源外围电路设计要点及应用实例 / 周志敏, 纪爱华编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.6
(电子工程技术丛书)
ISBN 978-7-121-31385-1

I. ①模… II. ①周… ②纪… III. ①电源电路-电路设计 IV. ①TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 078280 号

责任编辑: 富 军

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

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: 787×1092 1/16 印张: 15.75 字数: 405 千字

版 次: 2017 年 6 月第 1 版

印 次: 2017 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 48.00 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, 88258888。

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

本书咨询联系方式: (010) 88254456; fujun@phei.com.cn。

前 言

随着电子技术的高速发展，电子设备的应用领域越来越广泛。随着 IC 技术的不断发展，电子系统对电源的要求更加灵活多样。电子设备的小型化和低成本化使电源以轻、薄、小和高效率为发展方向，而电子设备电源的模块化、智能化已是当今电源技术发展的主流趋势。

在全球倡导节能环保、提高能效的背景下，电源变换技术正面临着前所未有的挑战。软开关控制技术已成为提高模块电源效率、功率密度、减少电磁干扰的核心技术。目前，模块电源在我国通信、信息、家电、国防等领域得以广泛应用，现已成为具有发展前景的一项高新技术产品。模块电源具有高集成度、高性能比、低损耗、高效率、电路简洁、工作更加可靠、最佳的性能指标等特点得以广泛应用。模块电源的开发研制生产已成为发展前景十分诱人的朝阳产业。

本书结合国内外模块电源技术的发展动向及最新应用技术，系统地讲述模块电源基础知识、系统电源设计、模块电源应用实例等内容，尽量做到有针对性和实用性，力求做到通俗易懂和结合实际，具有技术前沿、新颖实用等特点，是从事模块电源设计和应用的工程技术人员必备图书。

本书在写作过程中，在资料的收集和技术信息的交流上，都得到国内外专业学者及模块电源制造商的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间短，加之作者水平有限，书中难免有谬误之处，敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 DC/DC 变换器与模块电源	1
1.1 DC/DC 变换器分类及典型电路	1
1.1.1 DC/DC 变换器分类及拓扑结构	1
1.1.2 DC/DC 变换器的典型电路	3
1.1.3 高功率密度 DC/DC 变换器	9
1.1.4 高功率密度 DC/DC 变换器的发展现状	13
1.2 模块电源	16
1.2.1 模块电源的特点及分类	16
1.2.2 模块电源的功能及损耗	18
1.2.3 模块电源可靠性及设计中的挑战	20
1.2.4 模块电源的优点及设计规则	22
1.2.5 模块电源发展呈现的特点及发展趋势	23
第 2 章 软开关技术及电路分析	25
2.1 软开关技术	25
2.1.1 软开关及软开关电路分类	25
2.1.2 软开关电路的工作原理	29
2.1.3 无源软开关技术	32
2.2 软开关变换器的电路分析	33
2.2.1 无源软开关变换器的电路分析	33
2.2.2 无损缓冲双管串联单正激电路分析	36
2.2.3 准谐振软开关反激变换器电路分析	39
2.2.4 不对称脉宽调制半桥 DC/DCZVS 变换器电路分析	41
2.2.5 正激式 ZVT—PWM 变换器电路分析	43
2.2.6 零电流零电压开关交错并联双管正激变换器电路分析	45
2.2.7 ZVT (零转换)—PWM 变换器电路分析	51
2.2.8 推挽工作模式软开关 DC/DC 变换器电路分析	55
2.2.9 ZVS—PWM 全桥变换器电路分析	60
2.2.10 有限双极性控制 ZVZCSPWM 全桥变换器电路分析	64
2.2.11 单相 Boost 型软开关功率因数校正电路分析	67
第 3 章 VICOR 模块电源	74
3.1 VICOR 模块电源的特性及应用电路	74

3.1.1	VICOR 模块电源的特性	74
3.1.2	VICOR 模块电源的应用电路	79
3.2	VICOR 模块电源的恒流控制与保护及均流技术	90
3.2.1	VICOR 模块电源的恒流控制技术	90
3.2.2	VICOR 模块电源的保护技术	92
3.2.3	VICOR 模块电源的均流技术	94
3.3	VICOR 的辅助模块	98
3.3.1	自动调整整流模块 (ARM)	98
3.3.2	滤波/自动调整整流模块 (FARM)	105
3.3.3	高压谐波衰减模块 (HAM)	109
3.3.4	交流前端模块 (ENMod)	115
3.3.5	滤波及输入衰减模块 (FIAM)	120
3.3.6	输出纹波衰减模块 (MicroRAM)	121
第 4 章	DC/DC 模块电源工程应用	124
4.1	DC/DC 模块电源的选择及可靠性计算	124
4.1.1	DC/DC 模块电源的选择	124
4.1.2	模块电源可靠性计算	127
4.1.3	模块电源应用中的注意事项	129
4.2	模块电源的设计要求及热插拔技术	134
4.2.1	模块电源的设计要求	134
4.2.2	模块电源的热插拔功能及冲击电流限制	139
4.2.3	提高电源冗余度的热插拔结构	144
4.3	系统电源优化设计及模块电源测试	146
4.3.1	系统电源应用技术	146
4.3.2	应用 DC/DC 变换器优化设计系统电源	147
4.3.3	模块电源的合理应用	152
4.3.4	分布电源设计	161
4.3.5	模块电源测试	169
第 5 章	系统电源架构及模块电源应用电路实例	173
5.1	系统电源架构的发展和分比功率架构的特点	173
5.1.1	系统电源架构的发展	173
5.1.2	FPA 的控制架构及特点	178
5.2	模块电源应用实例	179
	实例 1. 基于全砖 DC/DC 变换器的铅酸蓄电池充电器应用电路	179
	实例 2. 母线变换模块 (BCM) 与非隔离负载点变换器 (niPOL) 的组合应用电路	183
	实例 3. 基于电压变换模块 (VTM) 的宽输入电压应用电路	186

实例 4. 基于总线变换模块 (BCM) 构成的大功率阵列应用电路	186
实例 5. 微型 DC/DC 变换器遥感功能应用电路	191
实例 6. 高功率密度 DC/DC 变换器的欠压、过压锁定应用电路	195
实例 7. 基于全型、小型及微型系列 DC/DC 变换器的高功率阵列应用电路	201
实例 8. 基于高功率密度 DC/DC 变换器的工业高电压电源应用电路	208
实例 9. 基于分比功率架构的系统电源应用电路	212
实例 10. 单个 PRM 驱动多个 VTM 的并联应用电路	223
实例 11. 基于 PRM 和 VTM 的恒定电流驱动 LED 的应用电路	227
参考文献	240

第 1 章

DC/DC 变换器与模块电源

1.1 DC/DC 变换器分类及典型电路

1.1.1 DC/DC 变换器分类及拓扑结构

1. DC/DC 变换器分类

将一种直流电压变换成另一种直流电压（固定或可调）被称为 DC/DC 变换（亦称直流变换器），开关式 DC/DC 变换器利用无源磁性器件和电容器件的能量存储特性，从输入电压源获取能量，暂时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，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，目前大多数采用 PWM（脉冲宽度调制）技术，从输入电源提取的能量随脉宽变化，在一固定周期内保持平均能量转换。PWM 的占空比 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。对于开关式 DC/DC 变换器，其稳定的输出电压正比于 PWM 占空比，而且控制环路利用“大信号”占空比作为电源开关的控制信号。

在开关式 DC/DC 变换器中，功率开关和储能器件的物理尺寸直接受工作频率的影响。磁性器件所耦合的功率为

$$P_L = 1/2(L \times I^2 \times f) \quad (1-1)$$

式中， P_L 为磁性器件所耦合的功率； L 为磁性器件的电感； I 为流过磁性器件的电流； f 为流过磁性器件电流的频率。

随着频率的提高，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，所以可减小电感器的物理尺寸。

电容器件所耦合的功率为

$$P_C = 1/2(C \times U^2 \times f) \quad (1-2)$$

式中， P_C 为磁性器件所耦合的功率； C 为电容器件的容量； U 为电容器件两端的电压； f 为电容器件两端电压的频率。

随着频率的提高,为保持恒定的功率,所要求的电容量相应地减小,同样可减小储能电容器的物理尺寸。器件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,可使得开关式 DC/DC 有较小的体积,可占用较小的 PCB 面积。

2. 开关式 DC/DC 变换器拓扑结构

开关式 DC/DC 变换器的拓扑结构是指用于转换、控制和调节输入电压的功率开关器件和储能器件的不同配置。开关式 DC/DC 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享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器件(变压器)来实现的,而且从电源到负载的耦合是借助磁通而不是共同的电路]。开关式 DC/DC 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) 非隔离开关式 DC/DC 变换器

① 降压变换器。降压变换器可将一输入电压变换成一较低的(比输入电压低)、稳定的输出电压。输出电压(U_o)和输入电压(U_i)的关系为

$$U_o/U_i = D \quad (U_i > U_o) \quad (1-3)$$

式中, U_o 为变换器的输出电压; U_i 为变换器的输入电压; D 为占空比。

② 升压变换器。升压变换器可将一输入电压变换成一较高的(比输入电压高)、稳定的输出电压。输出电压(U_o)和输入电压(U_i)的关系为

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

③ 逆向变换器。逆向变换器可将一输入电压变换成一较低的(比输入电压低)、反相的(相对于输入电压)输出电压。输出电压(U_o)和输入电压(U_i)的关系为

$$U_o/U_i = -D/(1-D) \quad (U_i > |U_o|) \quad (1-5)$$

④ Cuk 变换器。Cuk (“丘克”)变换器可将一输入电压变换成一稳定反相较低值或较高值(相对于输入电压)的输出电压(电压值取决于占空比)。输出电压(U_o)和输入电压(U_i)的关系为

$$U_o/U_i = -D/(1-D) \quad (|U_i| > |U_o|, \quad D < 0.5 \quad |U_i| < |U_o|, \quad D > 0.5 \quad |U_i| > |U_o|) \quad (1-6)$$

(2) 隔离开关式 DC/DC 变换器

隔离开关式 DC/DC 变换器有很多拓扑结构,有三种比较通用:逆向变换器、正向变换器、推挽变换器。这些电路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通耦合磁性器件实现的。

① 逆向隔离变换器。逆向隔离变换器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(相对于输入电压)的输出电压。输出电压(U_o)和输入电压(U_i)的关系式为

$$U_o/U_i = (1/N)(D/(1-D)) \quad (U_i > U_o \text{ 或 } U_i < U_o) \quad (1-7)$$

式中, N 为变压器匝数比。

② 正向隔离变换器。正向隔离变换器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(相对于输入电压)的输出电压。输出电压(U_o)和输入电压(U_i)的关系为

$$U_o/U_i = (1/N)D(U_i > U_o \text{ 或 } U_i < U_o) \quad (1-8)$$

③ 推挽隔离变换器。推挽隔离变换器可将一输入电压变换成一稳定较低值（相对于输入电压）的输出电压。输出电压（ U_o ）和输入电压（ U_i ）的关系为

$$U_o/U_i = (2/N)D(U_i > U_o) \quad (1-9)$$

1.1.2 DC/DC 变换器的典型电路

DC/DC 变换器最基本的降压斩波电路如图形 1-1 (a) 所示。斩波电路的负载为 R ，当开关 S 合上时， $U_o = U_R = U_i$ ，持续时间为 t_1 。当开关断开时， $U_o = U_R = 0$ ，持续时间为 t_2 ， $T = t_1 + t_2$ 为斩波电路的工作周期。斩波电路的输出波形如图 1-1 (b) 所示。若定义斩波电路的占空比 $D = t_1/T$ ，则当占空比 D 从零变到 1 时，输出电压平均值从零变到 U_i 。其等效电阻也随着 D 而变化。

t_1 为斩波电路的导通时间， T 为斩波电路的通断周期，通常斩波电路的工作方式有两种：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 。在开关式 DC/DC 变换器中，普遍采用的是脉宽调制方式。因为脉频调制方式容易产生谐波干扰，且设计滤波器也比较困难。

1. 降压式 (Buck) 变换器

图 1-1 所示的降压斩波电路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 1-2 所示。在图 1-2 中， V_2 为续流二极管。图 1-2 所示的降压 (Buck) 式变换器的输出电压平均值 U_o 总是小于输入电压 U_i ，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。

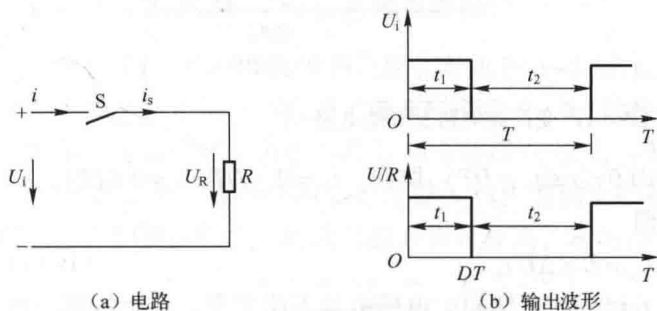


图 1-1 DC/DC 变换器最基本的降压斩波电路及输出波形

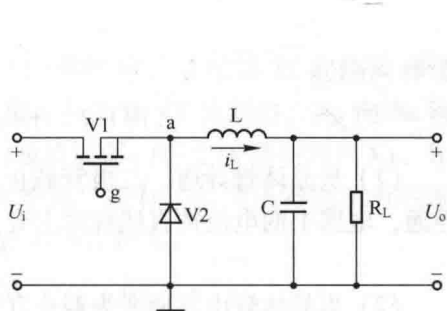


图 1-2 降压式 (Buck) 变换器

当电路工作频率较高时，若电感量和电容量足够大并为理想器件，则电路进入稳态后，可以认为输出电压为常数。当晶体管 V_1 导通时，电感中的电流呈线性上升，因而有

$$U_i - U_o = L(i_{\text{omax}} - i_{\text{omin}})/t_{\text{on}} = L\Delta i_{\text{on}}/t_{\text{on}} \quad (1-10)$$

式中， t_{on} 为晶体管的导通时间； i_{omax} 为输出电流的最大值； i_{omin} 为输出电流的最小值； Δi_{on} 为晶体管导通时间内的输出电流变化量。

当晶体管截止时，电感中的电流不能突变，电感上的感应电动势使二极管导通，这时

$$U_o = L(i_{\text{omax}} - i_{\text{omin}})/t_{\text{off}} = L\Delta i_{\text{off}}/t_{\text{off}} \quad (1-11)$$

式中， t_{off} 为晶体管的截止时间； Δi_{off} 为晶体管截止时间内的输出电流变化量。

在稳态时

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

式中, Δi_o 为输出电流变量。

因为电感滤波保持直流分量, 消除谐波分量, 所以输出电流的平均值为

$$I_o = (i_{\text{omax}} + i_{\text{omin}})/2 = U_o/R_L \quad (1-13)$$

式中, R_L 为负载电阻。

2. 升压式 (Boost) 变换器

升压式 (Boost) 变换器电路如图 1-3 (a) 所示, 由功率晶体管 V1、储能电感 L、二极管 V2 及滤波电容 C 组成。当晶体管导通时, 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 V1 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。在电感电流连续的情况下, 电路工作在两种模式下的等效电路如图 1-3 (b) 所示。

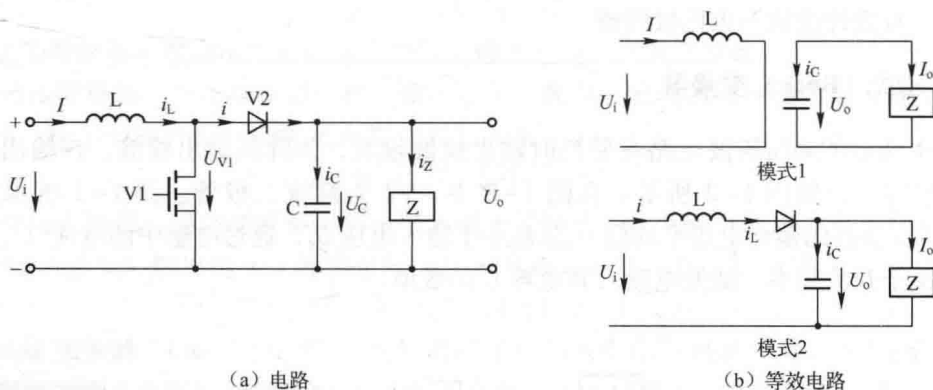


图 1-3 升压式 (Boost) 变换器电路及等效电路

(1) 当晶体管导通、二极管截止 (即 $0 \leq t \leq t_1 = DT$) 期间, $t_1 = 0 \sim DT$, $t = 0$ 时刻, V1 导通, 电感中的电流按直线规律上升, 即

$$U_i = L \times \Delta I / t_1 \quad (1-14)$$

(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, 产生的感应电动势迫使二极管导通, 此时

$$U_o - U_i = L \times I / t_2 \quad t_2 = DT \sim T = (1-D)T \quad (1-15)$$

则

$$\Delta I = U_i \times t_1 / L = (U_o - U_i) t_2 / L \quad (1-16)$$

式中, ΔI 为输入电流变量。

将 $t_1 = DT$, $t_2 = (1-D)T$ 代入上式, 求得

$$U_o = U_i / (1-D) \quad (1-17)$$

升压式 (Boost) 变换器是一个升压斩波电路, 当 D 从零趋近于 1 时, U_o 从 U_i 变到任意大, 同理可求得输入电流为

$$I = I_o / (1-D) \quad (1-18)$$

$$T = \Delta I_L U_o / U_i (U_o - U_i) \quad (1-19)$$

$$\Delta I = U_i (U_o - U_i) / f \times L \times U_o = U_i D / f \times L \quad (1-20)$$

式中, I 为输入电流; f 为开关转换频率。

若忽略负载电流脉动, 那么在 $[0, t_1]$ 期间, 电容上泄放的电荷量可反映电容峰—峰电压的脉动量, 亦是输出电压 U_o 的脉动量。

3. 单端正激 DC/DC 变换器电路拓扑

单端正激 DC/DC 变换器电路拓扑如图 1-4 所示, 在图 1-4 中, 变压器 T1 起隔离和变压作用, 输出端电感器 L_o (续流电感) 起能量储存及传递作用。变压器初级的复位绕组 Nr 在实际使用中可用 RCD 吸收电路取代, 如果控制芯片的辅助电源采用反激供给, 则也可削去调整管的部分峰值电压 (相当一部分的复位绕组)。VD1、VD2 为输出回路的整流二极管和续流二极管。若变压器使用无气隙的磁芯, 则铜损较小, 变压器温升较低, 输出的纹波电压较小。

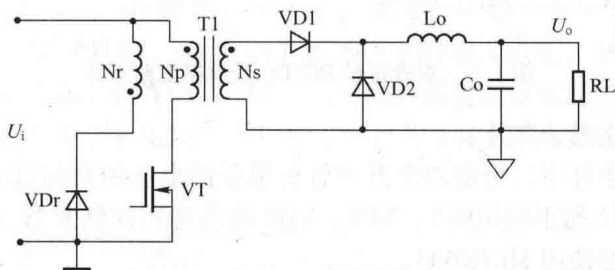


图 1-4 单端正激 DC/DC 变换器电路拓扑

4. 单端反激 DC/DC 变换器电路拓扑

单端反激 DC/DC 变换器电路拓扑如图 1-5 所示。在图 1-5 中, 变压器 T1 起隔离和传递储存能量的作用, 即在开关管 VT 开通时, N_p 储存能量, 开关管 VT 关断时, N_p 向 N_s 释放能量; 在输出端, 由电感器 L_o 和电容器 C_o 组成一个低通滤波器; 在变压器初级由 C_r 、 R_r 和 V_{Dr} 组成 RCD 漏感尖峰吸收电路, VD1 为输出回路的整流二极管。若变压器使用有气隙的磁芯, 则铜损较大, 变压器温升相对较高, 输出的纹波电压比较大。

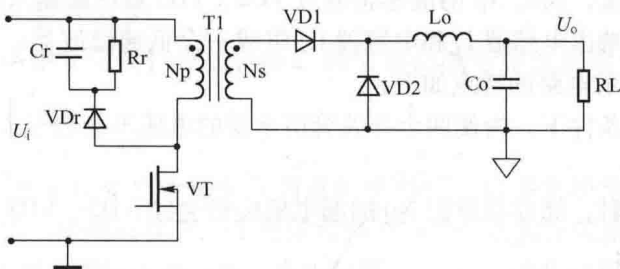


图 1-5 单端反激 DC/DC 变换器电路拓扑

5. 双管正激 DC/DC 变换器电路拓扑

双管正激 DC/DC 变换器电路拓扑如图 1-6 所示。在图 1-6 中, 变压器 T1 起隔离和变

压的作用；在输出端，电感器 L_o （续流电感）起能量储存及传递作用；变压器初级无需复位绕组，因 VD1、VD2 的导通限制了两个调整管关断时所承受的电压，VD3、VD4 为输出回路的整流二极管和续流二极管（VD3、VD4 应选用恢复时间快的整流管）；输出滤波电容 C_o 选用低 ESR（等效电阻）大容量，有利于降低纹波电压（对于其他拓扑结构也是这样要求）。

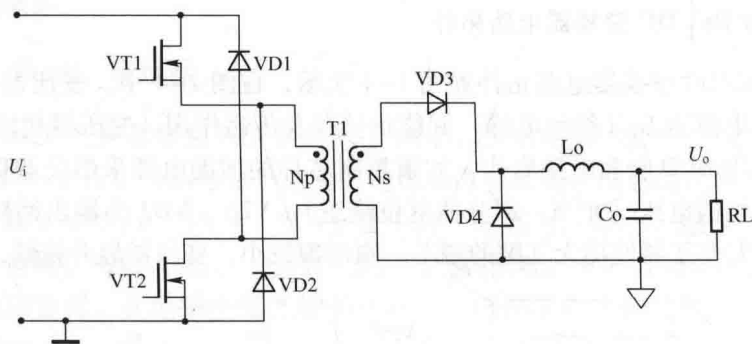


图 1-6 双管正激 DC/DC 变换器电路拓扑

图 1-6 所示电路的特点如下：

(1) 在任何工作条件下，为使两个开关管所承受的电压不会超过 $U_i + U_d$ （ U_i 为输入电压， $+U_d$ 为 VD1、VD2 的正向压降），VD1、VD2 必须选用快恢复管（恢复时间越短越好，在实际设计和调试中多使用 MUR460）；

(2) 与单端正激变换器相比，无需复位电路，有利于简化电路和变压器设计。功率器件可选择较低的耐压值，功率等级也会很大；

(3) 两个开关管工作状态一致，同时处于通态或断态。在大功率等级电源中选用此种电路，其开关管比较容易选择。

6. 双管反激 DC/DC 变换器电路拓扑

双管反激 DC/DC 变换器电路拓扑如图 1-7 所示。在图 1-7 中，变压器 T1 起隔离和传递储存能量的作用，即在开关管 VT1、VT2 开通时， N_p 储存能量，开关管 VT1、VT2 关断时， N_p 向 N_s 释放能量，同时 N_p 的漏感将通过 VD2、VD3 返回给输入端，可省去 RCD 漏感尖峰吸收电路；输出端由电感器 L_o 和电容器 C_o 组成一个低通滤波器；VD1 为输出回路的整流二极管。图 1-7 所示电路的特点如下：

(1) 在任何工作条件下，为使两个开关管所承受的电压不会超过 $U_i + U_d$ ，VD2、VD3 必须选用快恢复管；

(2) 在反激开始时，储存在原边 N_p 的漏电感能量会经 VD2、VD3 反馈回输入端，系统能量损失小，效率高；

(3) 与单端反激变换器相比，无需 RCD 吸收电路，功率器件可选择较低的耐压值，功率等级也会很大；

(4) 在轻载时，若在“开通”周期变压器的原边绕组储存了过多的能量，那么在“关断”周期会将过多的能量反馈到输入端；

(5) 两个开关管工作状态一致，VT2 的波形会优于 VT1 的波形。

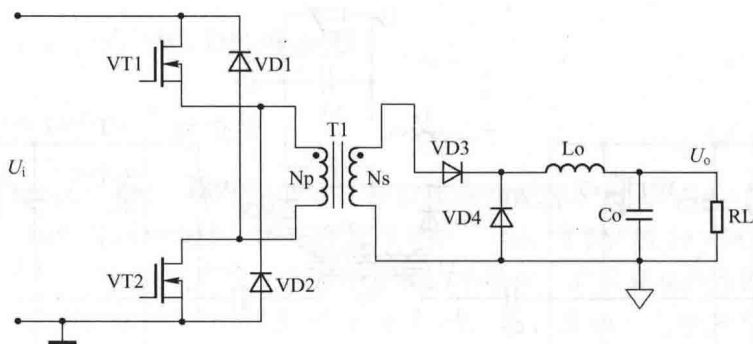


图 1-7 双管反激 DC/DC 变换器电路拓扑

7. 半桥 DC/DC 变换器电路拓扑

半桥 DC/DC 变换器电路拓扑如图 1-8 所示。在图 1-8 中，变压器 T1 起隔离和传递能量的作用，在开关管 VT1 导通时， N_p 绕组上承受一半的输入电压，副边绕组的电压使 VD1 导通，反之亦然；在输出端，由 VD1、VD2、 L_o 、 C_o 共同组成整流滤波电路。

此电路减小了原边开关管的电压应力，所以是目前比较成熟和常见的电路。

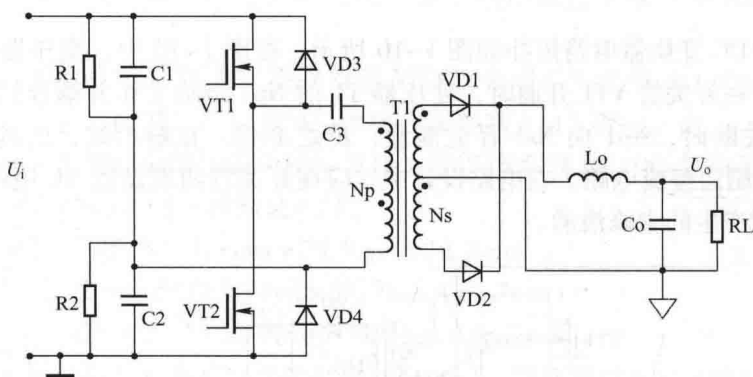


图 1-8 半桥 DC/DC 变换器电路拓扑

图 1-8 所示电路的特点如下：

(1) 两个开关管是相互交替打开的，所以两组驱动波形相位差要大于 180° ，但存在一定的死区时间；

(2) $C_1 = C_2$ ， $R_1 = R_2$ ；

(3) C_1 、 C_2 主要用来自动平衡每个开关管的伏秒值，许多半桥电路的 C_1 、 C_2 多用高压铝电解电容，因为铝电解电容存在一个高频特性的问题，在实际应用中可采用 CBB 电容；

(4) C_3 主要用于滤去影响伏秒平衡的直流分量，应采用 CBB 电容。

8. 全桥 DC/DC 变换器电路拓扑

全桥 DC/DC 变换器电路拓扑如图 1-9 所示。此电路多用于大功率等级电源中，主要特点有：

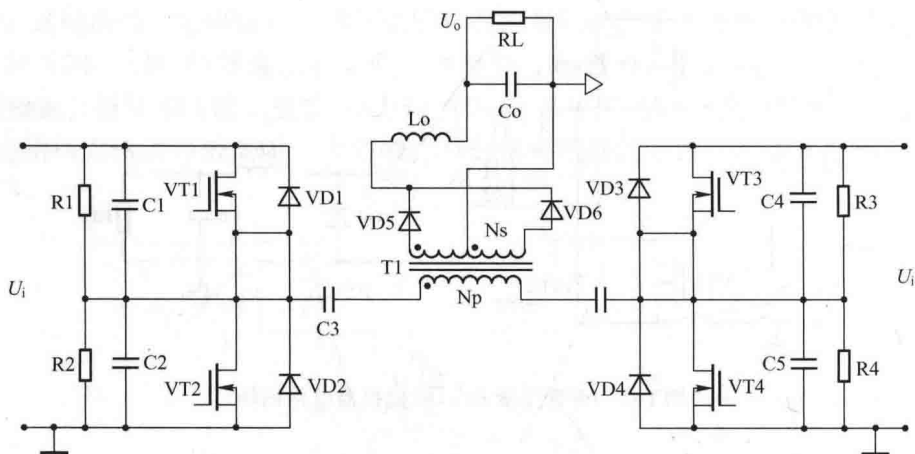


图 1-9 全桥 DC/DC 变换器电路拓扑

- (1) 变压器的利用率比较高，空载能量可以反馈回电网，电源效率高；
- (2) 稳态无静差，动态响应速度快，系统稳定，抗高频干扰能力强。

9. 推挽式 DC/DC 变换器电路拓扑

推挽式 DC/DC 变换器电路拓扑如图 1-10 所示。在图 1-10 中，变压器 $T1$ 起隔离和传递能量的作用。在开关管 $VT1$ 开通时，变压器 $T1$ 的 N_{p1} 绕组工作并耦合到副边 N_{s1} 绕组，在开关管 $VT1$ 关断时， N_{p1} 向 N_{s1} 释放能量；反之亦然。在输出端，由续流电感器 L_o 和 $VD1, VD2$ 组成副边整流电路。在电路设计中，应在开关管两端设置 RC 吸收电路，以吸收开关管关断时所产生的尖峰浪涌。

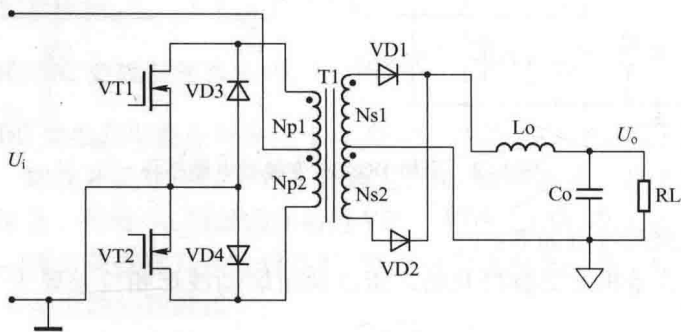


图 1-10 推挽式 DC/DC 变换器电路拓扑

图 1-10 所示电路的工作特点如下：

- (1) 在任何工作条件下，开关管都承受两倍的输入电压，所以此电路多用于大功率等级电源中；
- (2) 两个开关管是相互交替打开的，两组驱动波形相位差要大于 180° ，故存在一定的死区时间；
- (3) 此电路存在一定的磁偏问题。

1.1.3 高功率密度 DC/DC 变换器

1. 高功率密度 DC/DC 变换技术

自 20 世纪 80 年代中期起,采用 PWM 控制技术的高功率密度 DC/DC 变换器走进了市场,如今已广泛应用在各种领域中,国外将其称为第一代高功率密度 DC/DC 变换器(以下简称“第一代产品”)。“第一代产品”对电子系统的小型化、高可靠及高性能起到了关键作用,并做出了很大贡献,正是由于“第一代产品”的出现,推动了先进分布式系统电源的建立和发展。第一代高功率密度 DC/DC 变换器中的变压器等磁性组件和滤波器仍占据大部分体积,工作频率大都被限制在数百千赫范围内,是“第一代产品”的先天不足之处。

1997 年,在已进行近 30 年的软开关基础理论研究之后,美国 VICOR 开关电源公司最先推出了 VI—300 系列软开关高密度 DC/DC 产品。VICOR 公司称自己的产品为第二代高功率密度 DC/DC 变换器(以下简称“第二代产品”)。

“第二代产品”以 VICOR 公司有专利权的零电流开关(ZCS)、零电压开关(ZVS)控制技术为基础,结合控制集成、封装、铁氧体、噪声和散热技术等方面的最新成果,达到与“理想功率器件”极为接近的境地。“第二代产品”与“第一代产品”相比,功率密度增加了两倍,高达 $120\text{W}/\text{in}^3$ 。“第二代产品”的出现预示着将是 DC/DC 变换器未来的主流产品。

全型、小型、微型系列的 DC/DC 变换器是 VICOR 公司以先进的设计和制作程序制造的模块电源。全型、小型、微型系列功率组件解决方案如图 1-11 所示。由于该系列模块电源的控制器、电磁、开关和封装部件采用独特设计,使得该系列 DC/DC 变换器的功率密度高达 $120\text{W}/\text{in}^3$ ($7.3\text{W}/\text{cm}^3$),有三种封装尺寸:

全型: $4.6'' \times 2.2'' \times 0.5''$ ($117\text{mm} \times 55.9\text{mm} \times 12.7\text{mm}$);

小型: $2.28'' \times 2.2'' \times 0.5''$ ($57.9\text{mm} \times 55.9\text{mm} \times 12.7\text{mm}$);

微型: $2.28'' \times 1.45'' \times 0.5''$ ($57.9\text{mm} \times 36.8\text{mm} \times 12.7\text{mm}$)。

此系列模块的器件数目只有其原先产品的三分之一,器件数目减少自然可以提高产品的可靠性并降低了成本,在模块内多出来的空间可以放置电磁和开关组件,集中处理功率转换,意味着模块的功率转换性能可以做得更加卓越。

VICOR 公司的 DC/DC 变换器模块有六种引脚类型、三种基板及齐备的数据表和不同的测试报告。模块的工作温度范围在 $-55^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 之间,分成五个产品级别: E、C、T、H 和 M。

其他技术规格包括典型的 $\pm 0.5\%$ 的空载到满载调节率、 $10\% \sim 110\%$ 的可编程输出、转换效率高达 92% (取决于所选择的电压组合和功率)及 $3000\text{V}_{\text{rms}}$ (4242V_{dc}) 的输入到输出隔离测试电压,所有的型号均可 N+M 容错和均流并联,并联结构具有直流或交流耦合接口。

全型、小型及微型系列 DC/DC 变换器设计的关键是高水平的器件级集成,如图 1-12 所示。该模块的所有控制功能和有源电路融合为两个集成电路(初级和次级),每个体积占不到 $1/10\text{in}^3$ (1.6cm^3) 的空间。全型、小型及微型系列 DC/DC 变换器的功率变压器采用先进的电镀技术,把铜粉直接镀到铁氧磁心腔上,可有效禁闭磁场外泄,有助分隔开的初级和次级线圈更紧密的交连。

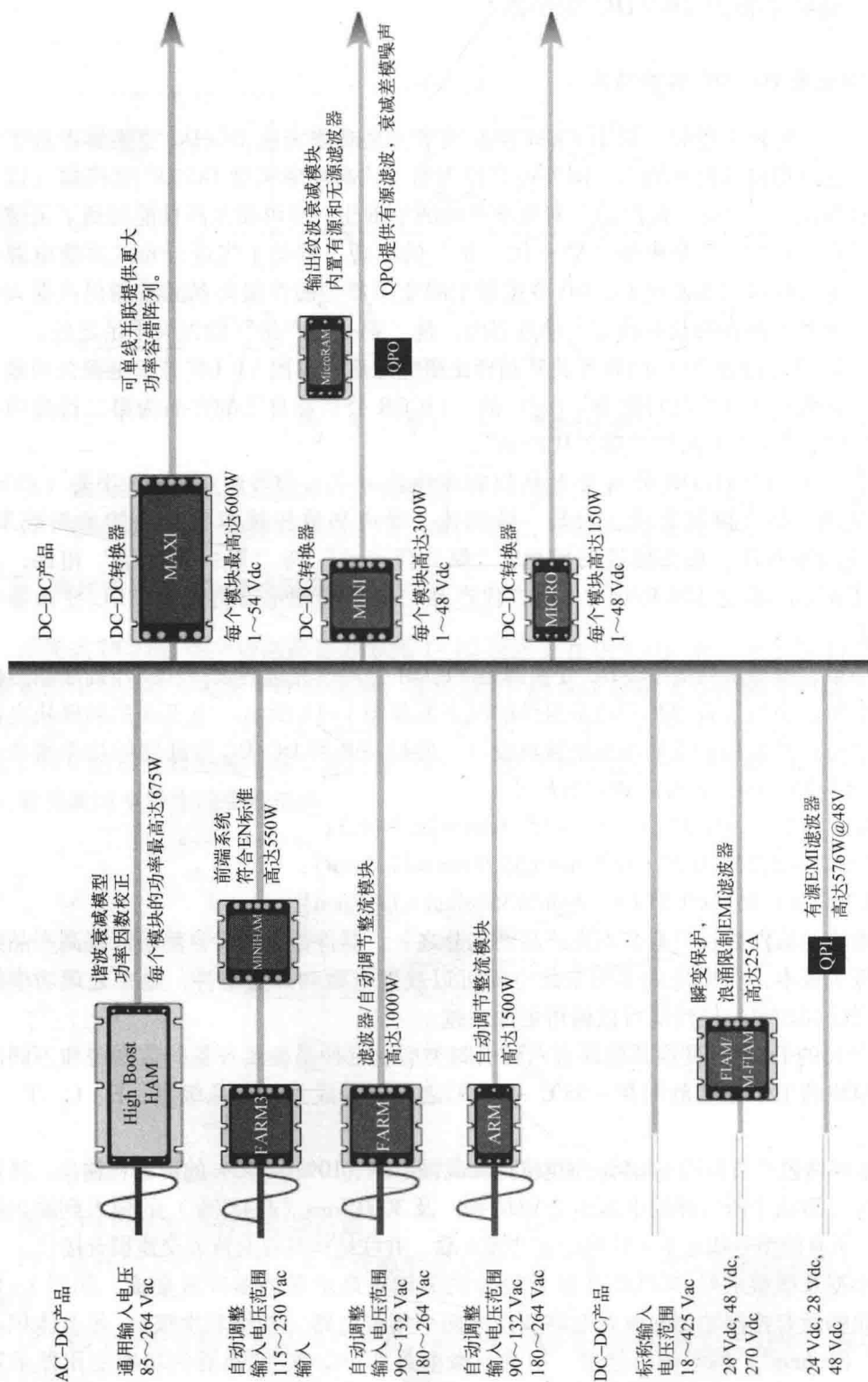


图1-11 全型、小型、微型系列功率组件解决方案