

# 并-串组合型双管正激变换器的研究

周平森, 王慧贞

(南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

**摘要:**通过并-并和并-串两种组合方式的比较,提出了一种新型并-串组合双管正激变换器,该组合变换器可以大幅度减少次级整流二极管的电压应力,同时改善次级续流二极管的反向恢复问题。通过交错控制和提高开关频率,大大减小了变换器的体积和重量。研制成功 6 kW 并-串组合型双管正激变换器原理样机。

**关键词:**变换器/双管正激;组合变换器

中图分类号:TM46

文献标识码:A

文章编号:1000-100X(2004)04-0038-03

## Research on Parallel-series Combined Two-Transistor Forward Converter

ZHOU Ping-sen, WANG Hui-zhen

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:**A novel parallel-series combined two-transistor forward converter is proposed by comparing the parallel-parallel and parallel-series combination. This combined converter will greatly reduce the voltage overshoot of the rectifying diode and at the same time improve the reverse recovery of the output freewheeling diode. Moreover, the size and weight of the converter can also be reduced by interleaving technique and increasing the frequency. A 6kW parallel-serial combined two-transistor forward converter is successfully developed.

**Key words:** converter/two-transistor forward; combined converter

## 1 引言

随着现代飞机用电量的增加,航空电源系统对可靠性、功率密度等的要求越来越高。双管正激变换器因初级开关管的电压应力低,具有内在的抗桥臂直通能力,可靠性高,而获得了广泛的应用。但是,双管正激变换器也有自身的弱点,例如:变换器的工作占空比只能小于 0.5,次级整流电路中的二极管电压应力高,整流输出电压和电流脉动大。这些都限制了它在高压、大功率输出场合的应用。

针对高电压和大电流输出的应用场合,文献[1]提出了一种新型的双管正激组合变换器,采用 4 路双管正激变换器交错组合而成,它不仅保留了双管正激变换器的优点,而且克服了变换器的一些缺点。但是该组合变换器的其中两路采用并-并组合方式<sup>[2]</sup>,存在次级整流二极管的电压应力高,次级续流二极管工作频率高、反向恢复损耗大等缺点,制约了开关频率的进一步提高。

本文提出的新型并-串组合双管正激变换器,其中两路采用并-串组合方式<sup>[3]</sup>,有效地克服了上述缺点,并通过提高开关频率,大大减小了变换器的

体积和重量。

## 2 并-串和并-并组合方式的比较

并-串组合方式和并-并组合方式一样都具有所用元件少,结构简单等特点,并且两种组合方式均能提高变换器的等效频率,增加电路的容量和减少输入输出滤波器的体积。图 1 示出两种组合方式的工作原理。

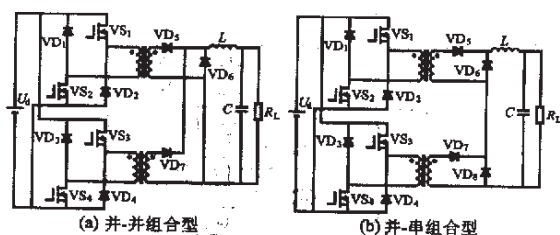


图 1 两种组合型双管正激变换器

### 2.1 工作原理比较

并-并组合型双管正激变换器,因两路在次级共用一个续流二极管,所以两路之间的相互影响较大。主要表现在一路开关管开通期间,另一路在变压器去磁完毕后,变压器的次级不会被续流二极管短路,其变压器初级就成为一个纯粹的电感和开关寄生电容谐振工作,造成并-并组合型双管正激变换器的变压器磁化曲线将运动到第三象限<sup>[4]</sup>。并-串组合型双管正激变换器的次级状态完全受初级开关状态的控

定稿日期:2003-11-27

作者简介:周平森(1980-),男,浙江人,硕士生,研究方向为电力电子技术。

制,其工作过程和单路双管正激变换器类似。

## 2.2 主要电气关系比较

表 1 示出两种组合变换器的主要电气关系。

表 1 两种组合方式的主要电气关系比较

	并-并组合	并-串组合
输入输出电压关系	$U_{o1}=2n_1DU_d$	$U_{o2}=2n_2DU_d$
主开关电压应力	$U_d$	$U_d$
次级整流二极管电压应力	$2n_1U_d$	$2n_2U_d$
次级续流二极管电压应力	$n_1U_d$	$n_2U_d$
次级续流二极管开关频率	$2f_s$	$f_s$
电感电流脉动	$\frac{D(1-2D)T_s}{L}n_1U_d$	$\frac{D(1-2D)T_s}{L}n_2U_d$

由表 1 可见,在输出滤波电感  $L$ 、输入直流母线电压  $U_d$ 、输出电压  $U_o$  和开关频率  $f_s$  都相同的条件下,两种组合方式的变压器次级匝比  $n_1$ 、初级匝比  $n_2$ 、主开关周期  $T_s$  和次级续流二极管的电压应力、输出电感电流脉动等都一样。其区别主要表现在:

(1) 并-并组合方式次级整流二极管的电压应力为并-串组合方式的两倍。这样,并-并组合方式下的次级整流二极管必须选用耐压值高的二极管,但是耐压值高的二极管,导通压降大,反向恢复特性差,反向恢复损耗大,降低了整个电路的可靠性。基于此,并-串组合方式更适用于高压输入、输出的应用场合。

(2) 并-串组合方式次级续流二极管开通截止频率为开关频率,是并-并组合方式的 50%,有利于减少次级续流二极管的反向恢复损耗。随着开关频率的提高,次级续流二极管的反向恢复问题尤为突出,严重时危及整个变换器的安全运行,这制约了并-并组合方式开关频率的进一步提高。因此,并-串组合方式更适用于高频应用场合。

## 3 新型组合变换器

为了进一步降低次级整流电路中二极管的电压应力和初级主开关的电流应力,在图 1b 所示的两个并-串组合型双管正激变换器中,采用输入端并联,输出端电容侧串联的组合方式得到图 2 所示的新型组合变换器,控制上采用交错  $90^\circ$  控制。

因为两个变换器之间在输出电容侧串联,所以组合变换器在工作上相当于两个独立的并-串组合型变换器,每个变换器输出 50% 的输出电压,所以新型组合变换器输入输出电压关系为:

$$U_o=4nDU_d \quad (1)$$

式中  $D$ ——双管正激变换器单元的占空比

$n$ ——变压器次级与初级的匝数比

假设新型组合变换器的滤波电感满足  $L_1=L_2=$

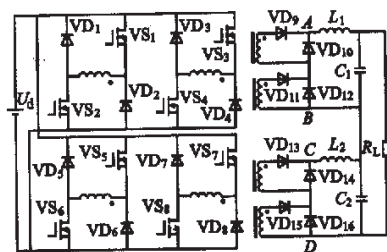


图 2 新型并-串组合双管正激变换器

$L$ , 则该变换器的输出滤波电感电流脉动为:

$$\Delta I_L = \frac{D(1-2D)T_s}{L}nU_d \quad (2)$$

在输入电压、输出电压和负载相同,以及输出滤波电感电流的最大纹波相等的条件下,对新型组合变换器和图 1b 所示的两路并-串组合型双管正激变换器进行比较,可得:

(1) 新型组合变换器变比  $n$  是两路并-串组合型双管正激变换器变比  $n_2$  的 50%。

(2) 新型组合变换器次级整流二极管和续流二极管电压应力是两路并-串组合型双管正激变换器相应二极管电压应力的 50%。因此比较适合于输出电压高的应用场合。

(3) 新型组合变换器初级开关管的电流应力是两路并-串组合型双管正激变换器初级开关电流应力的 50%。因此比较适合输出电流大的应用场合。

(4) 新型组合变换器的滤波电感是两路并-串组合型双管正激变换器滤波电感的 50%。由于采用交错  $90^\circ$  控制,新型组合变换器的输入电流和输出电流脉动频率均为开关频率的 4 倍,脉动幅值是两路并-串组合型双管正激变换器的 50%,这样输入输出滤波器的体积和重量就可以大大减小。

## 4 实验结果

采用图 2 所示的电路研制成功了 6 kW DC/DC 变换器作为某航空静止变流器的前级。该变换器主要技术指标为:  $U_d=240\sim 300$  V,  $U_o=360$  V, 额定输出功率  $P_o=6$  kW,  $f_s=70$  kHz。

### 4.1 两种样机比较

表 2 给出了本文与文献<sup>[1]</sup>对应的样机的开关频率和主要磁性元件的比较。可见,通过提高开关频率,大幅度减小了磁性元件的体积和重量,提高了变换器的功率密度。

### 4.2 实验波形

图 3 给出了在  $U_d=270$  V,  $U_o=360$  V,  $P_o=6$  kW 的实验波形。图 3a, b 分别为次级整流、续流二极管的电压波形。可见,次级整流二极管和续流二极管

的电压应力均为次级电压。图 3c 为上下两路次级续流二极管上的电压。可见, 4 路组合变换器是交错 90°工作的。

### 4.3 效率测试

表 2 两种样机比较

	文献 <sup>[1]</sup> 样机	本文样机
开关频率	50 kHz	70 kHz
主功率变压器	双 EE55B 铁心 (重量: 590 g)	EE55B 铁心 (重量: 337 g)
输出滤波电感	双 EE55B 铁心 (重量: 519 g)	EE42C 铁心 (重量: 188 g)

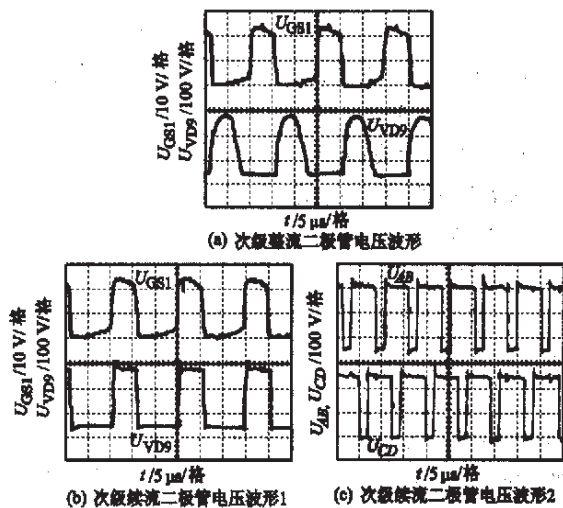


图 3 实验波形

开发的 6 kW 样机满载时效率为 94.89%, 对

(上接第 7 页) 与图 3a 相比, CPDM 控制方式比采用相同控制精度的单纯 PDM 控制方式具有更好的输出电流波形。

在此基础上进行了验证实验。图 4 给出电路谐振频率为 50 kHz 时,  $P/P_{max}=8/32$  和  $P/P_{max}=26/32$  时的电流输出波形。由此可知, 采用该控制策略时, 轻载电流连续性好。

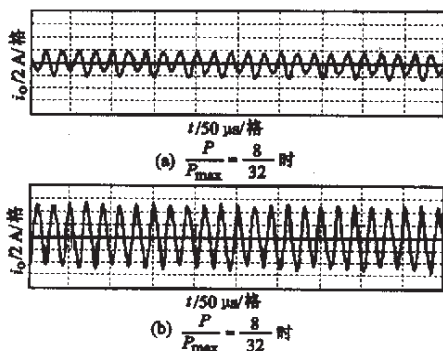


图 4 输出电流波形

应样机满载时的效率为 95.10%<sup>[1]</sup>, 两种样机满载时的效率基本相等。

## 5 结论

由理论分析和实验结果可得如下结论:

(1) 并-串组合方式具有次级整流二极管电压应力低, 次级续流二极管反向恢复损耗小等优点, 更适用于输入、输出电压高和频率高的应用场合。

(2) 提出的新型并-串组合型双管正激变换器, 不仅保留了原双管正激变换器的优点, 而且进一步减少了初级开关的电流应力和次级二极管的电压应力, 特别适用于输出电压高、电流大的应用场合。通过交错控制和提高开关频率, 大幅度提高了变换器的功率密度。

### 参考文献

- [1] 石健将, 王慧贞, 严仰光. 一种新颖组合变换器拓扑研究与应用 [J]. 南京航空航天大学学报, 2002, 34(6): 590~593.
- [2] Michael T, Zhang M M. Analysis and Evaluation of Inter-leaving Techniques in Forward Converter [J]. IEEE Transaction on Power Electronics, 1998, 13 (4): 690~698.
- [3] 冯 翰. 双管正激变换器组合研究 [D]. 浙江大学 [博士学位论文], 2001.
- [4] 杨正龙. 3 kVA 交错并联双管正激变换器的研究与开发 [D]. 南京航空航天大学 [硕士学位论文], 2002.

## 5 结论

本文提出了 CPDM 功率控制策略, 该策略的优点是功率控制精度高, 轻载时电流连续, 输出电流波形始终为正弦波, 谐波分量小。通过实验证明该控制策略可行。电路功率器件工作在软开关状态, 可显著减少功率开关器件的损耗, 为大容量、高频化的串联谐振电源提供技术支持, 在感应加热电源方面具有良好的应用前景。

### 参考文献

- [1] 沈锦飞. 串联谐振式高频感应焊接逆变电源 [J]. 焊接技术, 2002, 31(5): 35~37.
- [2] 李爱文, 张承慧. 现代逆变技术及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [3] Hideaki Fujita, Hirofumi Akagi. Pulse-Density-Modulated Power Control of a 4 kW, 450 kHz Voltage-Source Inverter for Induction Melting Application [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1996, 32 (2): 276~286.