

# 300V ZVZCS 直流稳压电源设计

贵洪奇<sup>1</sup>, 高忠波<sup>2</sup>, 杜旭<sup>1</sup>, 李明<sup>1</sup>

(1.哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2.哈尔滨 703 研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

**摘要:**为克服零电压开关(ZVS)变换器自身存在的初级环流较大,以及滞后臂开关实现 ZVS 受负载电流限制等缺点,利用零电压零电流(ZVZCS)全桥变换器设计了一种用于某新型金属表面处理工艺的 300V 直流稳压电源。它能在很宽的负载范围内实现 ZVZCS。为满足工艺对该电源的要求,在电源中采用了峰值电流型控制模式,提高了电源的快速动态响应性能。实验结果验证了该电源设计方案的可行性。

**关键词:**稳压电源; 变换器/零电压开关; 零电流开关

**中图分类号:** TM44, TM86

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-100X(2005)02-0075-03

## Design of 300V ZVZCS Direct Current Constant Voltage Power Supply

BEN Hong-qi<sup>1</sup>, GAO Zhong-bo<sup>2</sup>, DU Xu<sup>1</sup>, LI Ming<sup>1</sup>

(1.Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2.Harbin No.703 Institute, Harbin 150036, China)

**Abstract:**For overcoming Zero-Voltage-Switching (ZVS) converter inherent shortcomings such as the bigger primary circle current and difficult ZVS of lagging leg switches restricted by load current, the 300V constant voltage power supply for a novel metal surface treatment technology adopts Zero-Voltage-Zero-Current Full-Bridge converter. It can realize Zero-Current-Switching (ZCS) in a considerable wide load range. For meeting the demands of technique, the power supply adopts peak-sensing current controlling mode to improve power supply rapid dynamic respond. The experiment results demonstrate the feasibility of the power supply design.

**Key words:** constant voltage power supply; converter/ZVS; ZCS

## 1 引言

零电压-全桥-脉宽调制(ZVS-FB-PWM)变换器无需辅助器件,仅利用器件的寄生参数就能为有源开关提供 ZVS 条件,而且开关器件的电压电流应力也低。因此,与以往的变换器相比,ZVS 变换器在提高开关频率,提高变换器功率密度,减小体积和重量,乃至减小 EMI 等方面都有了很大改进<sup>[1]</sup>,但其本身仍存在初级环流大,滞后臂开关实现 ZVS 受负载电流的限制等缺点<sup>[2]</sup>。由于全桥-零电压零电流开关(FB-ZVZCS)变换器解决了全桥-零电压(FB-ZVS)变换器不易实现滞后臂软开关和初级环流大的问题,而且还具有消除 IGBT 的拖尾电流,使其得以用于高频大功率场合等突出优点,近年来受到普遍重视。为此,针对某种新型表面处理工艺的要求,利用 FB-ZVZCS 变换器设计了一种输出电压可在 30~300V 较宽范围调整的 300V 直流稳压电源。

## 2 电源系统结构

图 1 示出电源系统结构框图。交流输入经 EMI

及输入整流滤波电路后,得到一个直流电压。该直流电压通过 DC/DC 变换部分后,变成高频交流脉冲波,再经输出整流滤波电路后,变成直流输出。通过控制电路对 DC/DC 变换部分的控制,可得到一个符合工艺要求的连续可调的直流输出电压。图 1 中的 DC/DC 变换部分是该电源的核心。它直接影响着电源的效率和可靠性。由于设计的电源输出电压高达 300V,因此对输出整流部分的要求也比较高。

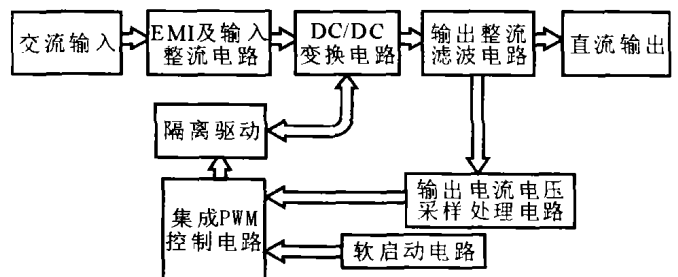


图 1 电源系统结构框图

### 2.1 主电路

通过对各种实现 ZVZCS 方法的优缺点分析,并结合该电源的具体要求,选择图 2 所示的 FB-ZVZCS 变换器作为电源主电路拓扑。FB-ZVZCS 变换器超前桥臂实现 ZVS 与 ZVS 变换器超前臂实现 ZVS 的方式完全相同,都是借助输出滤波电感的储能,在很宽的输入电压范围和输出负载范围内实现的,但 FB-ZVZCS 变换器滞后臂实现 ZCS 却与 ZVS 变换

定稿日期:2004-10-09

作者简介:贵洪奇(1965-),男,黑龙江双城人,博士后,教授,研究方向为高频功率变换技术及有源功率因数校正技术。

器滞后臂实现 ZVS 的方式不同, ZVS 变换器是在初级续流阶段保持电流恒定, 为滞后臂创造 ZVS 条件的, 而 ZVZCS 变换器是在续流阶段, 实现初级电流的电流复位, 为滞后臂创造 ZCS 条件的<sup>[1]</sup>。

选择图 2 的拓扑, 主要基于下述考虑:

(1) 全桥结构适用于大功率场合, 功率开关所承受的电压为输入直流电压  $V_m$ , 功率器件容易选择。

(2) 超前臂 ZVS 适合多数载流子导电的半导体器件, 如选用功率 MOSFET; 滞后臂 ZCS, 适合少数载流子导电的半导体器件, 即选用 IGBT, 因它消除了拖尾电流特性引起的关断损耗, 且 IGBT 的导通损耗小, 因而有利于提高电源效率和降低成本。

(3) 设置阻断电容  $C_b$ , 不仅能起到电流复位时的反向阻断电压源作用, 帮助滞后臂实现 ZCS, 还具有抑制主变压器偏磁的作用。一个器件双重作用, 既减少了电源结构的复杂性, 又增加了电源的可靠性。

(4) 滞后臂串入二极管起到承受 IGBT 反压的作用, 同时又可帮助实现变换器滞后臂的 ZCS。

(5) 次级采用桥式整流, 可满足电源输出电压  $V_o$  高的要求。

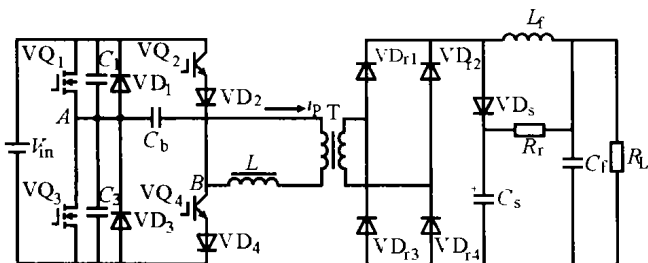


图 2 选用的主电路拓扑

## 2.2 次级无源箝位电路

图 2 电路中, 次级采用无源箝位电路有两个目的: 一是, 抑制整流管的电压过冲, 减轻整流管的寄生振荡, 减小整流管的电压应力; 二是, 减小快恢复整流管的结电容和变压器次级漏感的寄生振荡, 减少次级振荡对变压器工作稳定性的影响, 使变压器能在较窄的电压脉冲下工作, 有利于扩大电源输出电压的调节范围。

因整流电路是由无源元件组成的, 无需外加控制环节, 因此结构简单, 实现容易。利用小的无源电容实现箝位, 其箝位电压  $V_{cs}$  与放电电阻  $R_f$  有关, 可通过调节  $R_f$  实现对  $V_{cs}$  的调节, 实际应用中一般设  $V_{cs}=120\%nV_m$ 。这种无源箝位电路的缺点是  $R_f$  有功率损耗。

## 3 控制电路及参数设计

从简单可靠和快速动态响应性能方面考虑, 选择峰值电流型 PWM 控制, 并以 UC3875 为核心构成

电源的控制电路。

### 3.1 斜坡补偿电路的设计

为提高电源的稳定性, 在内环, 即电流环引入电流斜坡补偿。采用电流互感器来检测电流环的电感电流  $i_L$  变化, 并在控制芯片 UC3875 的电流斜坡补偿脚加入适当的电流斜坡补偿, 图 3 示出实现电路。其斜坡电流的补偿斜率为:

$$m = \frac{dv_L}{dt} = \frac{V_{ref}}{C_{slope} R_{slope}} \quad (1)$$

调节  $R_{slope}$  使得  $m$  等于  $i_L$  下降斜率的 0.75 倍。

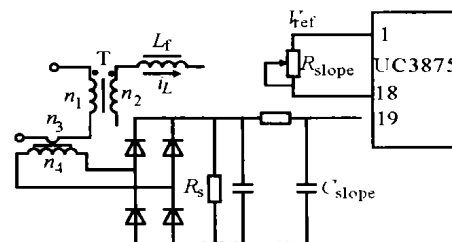


图 3 电流内环和补偿电路

### 3.2 阻断电容的选择

全桥变换器的主变压器存在偏磁现象, 严重时会导致变压器磁芯单向饱和, 致使变压器初级绕组瞬间过流, 损坏功率器件。FB-ZVZCS-PWM 变换器中, 移相起始时刻的偏磁现象要比硬开关方式的全桥变换器严重得多。最简单有效的办法是在变压器初级设置一个串联电容, 即图 2 中的  $C_b$ , 以此来抑制全桥变换器的主变压器偏磁, 同时  $C_b$  还有助于实现变换器初级电流复位, 起到反向阻断电压源的作用。

在高频工作情况下,  $C_b$  需提供较低的阻抗, 并能够阻断由初级不对称引起的不平衡直流成分, 防止其通过高频变压器引起的偏磁饱和。  $C_b$  与主变压器漏感  $L_k$  谐振, 谐振频率  $f_r$  满足<sup>[4]</sup>:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_b}} \approx \frac{1}{4} f \quad (2)$$

式中  $f$  ——开关频率

测得  $L_k$  可求出  $C_b$  的值, 但  $C_b$  的选取还要考虑对变换器最大占空比  $D_{max}$  的影响。为了提高  $D_{max}$ , 增加电源输出电压调节范围,  $C_b$  应尽量小; 但为了降低滞后桥臂的电压应力和反向电压,  $C_b$  应尽量大, 所以应折中选择  $C_b$  的大小, 其种类可选用耐高温且等效串联电阻小的聚丙烯高压电容。

## 4 实验结果

实验所用参数: 变压器初次级匝比  $n=1:1.38$ ,  $f_s=33\text{kHz}$ ,  $L_k=10.1\mu\text{H}$ ,  $C_b=0.6\mu\text{F}$ , 输出滤波电感  $L_f=1.1\text{mH}$ , 箝位电容  $C_d=2\times 4.7\mu\text{F}/800\text{V}$ 。

图 4a 示出输出电压  $u_o=100\text{V}$ , 输出电流  $i_o=1.8\text{A}$  条件下, 超前臂开关管 VQ1 的驱动电压  $u_{VQ1g}$  和漏源

电压  $u_{VQ1ds}$  的实验波形。由图可见,开关管是零电压开通。因开关管选用 MOSFET,故其输出电容  $C_o$  较大,可看作零电压关断。图 4b 示出滞后臂开关  $VQ_2$  的驱动电压  $u_{VQ2gs}$  和变压器初级电流  $i_p$  的实验波形(因受测试条件的限制,只测量了变压器的  $i_p$ )。由图可见,滞后臂开关管是零电流关断的,开关管选用的是 IGBT,已经看不到电流拖尾现象。

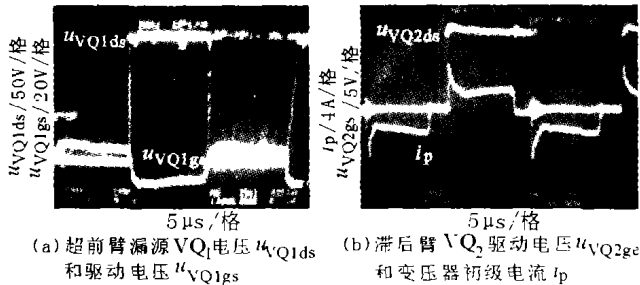


图 4  $VQ_1$  的  $u_{VQ1ds}$ ,  $u_{VQ1gs}$  和  $VQ_2$  的  $u_{VQ2gs}$ ,  $i_p$  波形

## 5 结论

由上述分析和实验可得:

(1) 针对该电源的实际要求,利用 FB-ZVZCS 变换器设计出  $u_o$  可在较宽范围内调整的 300V 直流稳压电源。实现了功率开关管的 ZVZCS。它为提高电

源效率和电源可靠性提供了有利保证。

(2)  $C_o$  的设置,即能实现初级电流复位,又能起到隔直电容的作用,还可抑制功率变压器偏磁,一个器件双重作用,使得电源结构简单,工作可靠。

(3) 经实际运行表明,采用峰值电流型 PWM 控制技术能够满足表面处理工艺对电源动态响应速度的要求。

## 参考文献

- [1] 林 磊. 大功率移相全桥 DC/DC 变换器的控制方法研究[J]. 电力电子技术, 2004, 38(3):17~19.
- [2] Jung-Goo Cho. Zero-Voltage and Zero-Current-Switching Full Bridge PWM Converter for High-Power Applications [J]. IEEE Trans. on Power Electronics, 1996, 11(4):622~627.
- [3] 阮新波, 严仰光. 脉宽调制 DC/DC 全桥变换器的软开关技术[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [4] A K S Bhat, R Venkatraman. A Soft-Switched Full-Bridge AC-to-DC Converter with Low Line Current Harmonic Distortion [A]. In IEEE APEC Rec '2000 [C]. 2000: 799~804.

## “功率因数校正”专辑征文启事

许多用电设备通过整流器与电网接口,而传统的二极管或晶闸管整流器会对电网产生谐波电流,对电网造成污染。国内外相继制定了一系列限制用电设备谐波的标准。功率因数校正技术能够有效地消除整流装置的谐波,具有广泛的应用前景。功率因数校正技术已经成为电力电子技术的一个研究热点。为此,本刊拟将《电力电子技术》2005 年第 6 期设立为“功率因数校正”专辑,以集中反映这一领域的最新科研成果。专辑的论文范围包括:

- (1) 单相有源功率因数校正电路拓扑及控制
- (2) 三相有源功率因数校正电路拓扑及控制
- (3) 软开关在有源功率因数校正电路中的应用
- (4) 有源功率因数校正器的动态模型和控制器设计
- (5) 有源功率因数校正电路的 PWM 控制技术
- (6) 有源功率因数校正电路参数和磁元件的设计
- (7) 无源功率因数校正技术
- (8) 多重化、多电平技术在整流器输入谐波抑制技术中的应用
- (9) 功率因数校正技术在通讯电源、计算机电源等的应用
- (10) 单级 AD/DC 变换器
- (11) 新颖检测和控制方法、新器件在有源功率因数校正器中应用

作者请在 2005 年 7 月 31 日前将论文寄到本刊编辑部(电子信箱或信件),并注明“功率因数校正”的字样。所投论文将按本刊的常规评审程序请国内同行专家评审,评审结果将于 2005 年 9 月 30 日通知作者。本刊将请浙江大学徐德鸿教授作为该专辑的特邀主编。

截稿日期:2005 年 7 月 31 日

录用通知发出日期:2005 年 9 月 30 日

论文刊登期号:2005 年第 6 期(2005 年 12 月出版)