ISSN 1005 - 2763
CN 43 - 1215/TD

矿业研究与开发 第 25卷 第 2期
MINING R & D, Vol 25, No. 2

2005年 4月
Apr 2005

基于 ZCS/ZVS软开关技术的电镀电源研制*

肖岸文[1],佘致廷[2], 李军军[2]

(1. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410076;
2. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘 要:为解决常规 PWM控制中功率器件随着频率提高而功耗大的问题,通过分析全桥移相逆变器的基本原理,利用 ZCS/ZVS软开关技术,设计了一容量为 12 kW,工作频率为 20 kHZ的水冷电镀电源。该系统具有工作稳定可靠,整机体积小,工作效率高等显著特点。试验结果表明,软开关技术能够有效地改善功率器件的工作环境,明显地降低损耗。

关键词: ZCS; ZVS;全桥移相逆变器;电镀电源;软开关
中图分类号: TM564. 8 **文献标识码**: A
文章编号: 1005 - 2763(2005)02 - 0059 - 03

Development of a Electroplating Power Supply Base on ZCS/ZVS Soft - Switching Technology

Xiao Anwen[1], *She Zhiting*[2], *Li Junjun*[2]

(1. College of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410015, China; 2. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China)

Abstract: In order to effectively solve the problem that the power consumption of conventional PWM converter is high when frequent increases, through analyzing basic principle of full bridge phase - shifted inverter and based on ZCS/ZVS soft switch technology, the authors design a water - cooled electroplate power supply with the capacity of 12khz and the work frequent of 20khz. This system is of such characteristics as high stability and reliability of operation, small volume and high efficiency of operation. The experimental results show that soft switch technology can effectively improve work environment of power converter and greatly decrease its power consumption.

Key Words: ZCS, ZVS, Full bridge phase - shifted inverter, Electroplating power supply, Soft switch

随着科学技术的不断发展,电镀工业所涉及和应用的领域越来越宽,人们对镀层的要求也越来越高。电镀电源实际上是一种变流设备,它把电网的交流电变成恒直流或脉冲的低电压、大电流电源以供电镀使用。其技术除了电镀工艺外,电源变换技术和控制技术对电镀电源的发展、性能以及效率的提高有着至关重要的作用。

电镀电源经历了 4代发展:直流发电机组、不可控硅整流器、可控硅整流器以及高频开关逆变电源[1],前 3种因为设备过于笨重庞大,同时产生严重的电磁干扰噪声,影响镀层质量的提高,已逐渐被后者所取代。在常规的控制中,功率器件工作于硬开关状态,当工作频率进一步提高,开关损耗将增大并且使电源效率降低,直流输出品质低,纹波大。1986年,美国威斯幸康大学的 Divan博士首先提出了带有谐振直流环节的软开关逆变器的概念[1],一举突破了以往硬开关电路的局限性,从而引起了软开关技术的兴起。它使得开关元件工作在零电压 (ZVS)或零电流 (ZCS)条件下,从而大大降低了功率器件的开关损耗,提高了电源的功率密度,其自身体积、重量也大大减小,目前已被广泛应用于电力电子等诸多领域。本文研究了一种基于 ZCS/ZVS的软开关电镀电源,实验证明,该系统具有工作稳定可靠,整机体积小,工作效率高等显著特点。

1 原理分析

图 1为单相全桥移相式逆变器主电路。这种控制方式实际上是将谐振变换技术与常规 PWM变换技术相结合。常规的 PWM变换器是改变驱动信号的脉冲宽度来调节输出电压,功率管在开关期间存在很大的损耗,开关电源的尖刺干扰大,可靠性差,效率低。功率开关管在电压不为零时导通,在电流不为零时关断,处于强迫开关过程。而移相全桥软开关是通过改变全桥两臂对角线上下管移相角的大小来调节输出电压,让超前臂栅压领先滞后臂栅压一个相位,巧妙利用变压器漏感 (Lk)、功率器件管

* **收稿日期**: 2004 - 02 - 13
作者简介:肖岸文 (1962 -),女,湖南湘潭人,讲师,硕士,主要从事电子技术及电工技术的教学和科研工作.

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

输出端结电容、外并联电容以及原、副边之间寄生电容(图 1中的 C1, C2, C3, C4)来完成谐振过程,实现零电压开通,以此来错开功率器件大电流与大电压同时出现的硬开关状态,减少了开关损耗与干扰。图 1中 Q1与 Q2称超前臂,Q3与 Q4称滞后臂。Q1与 Q3为一组各轮流导通 180的 IGBT, Q2与 Q4为另一组各导通 180的 IGBT, Q1与 Q3(Q2和 Q4)各自导通截止时间保持不变,通过控制移相角 α的大小可调节输出电压或电流。由于各导通管(Q1, Q2, Q3, Q4)均处于最大导通状态,其续流二极管(D1, D2, D3, D4)的续流作用,可使 Q1, Q2, Q3, Q4在电压接近零时导通。另一方面,关断过程中由于电容(C1, C2, C3, C4)对电流的吸收和二极管对电流的续流作用,主回路电路产生谐振,使得 IGBT几乎实现了零截止。Q2和 Q4的移相角 α在 0°~180°间可调,当 Q1与 Q3(Q2与 Q4)移相导通时刻相差为 0时,则 AB两点间的电压输出为最大值,当 Q1与 Q3(Q2与 Q4)移相导通时刻相差为 180°时,即 Q1与 Q4(Q3与 Q2)同时导通,输出电流、电压为零。

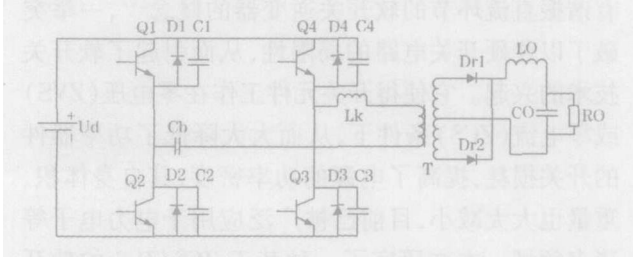


图 1 移相 FB - ZVSZS - PWM 变换电路

图 2为 IGBT的驱动脉冲波形。Ts为上下导通的延迟时间。在超前臂开关管转换过程完成后原边处于续流阶段时,阻断电容 Cb上的电压近似保持恒定,极性与原边电流相同,恰好成为一个反向阻断电源,使得原边电流迅速下降到零,为滞后臂实现零电流做好准备。由此可见, IGBT在这种逆变控制方式下实现了零损耗软开关工作状态。

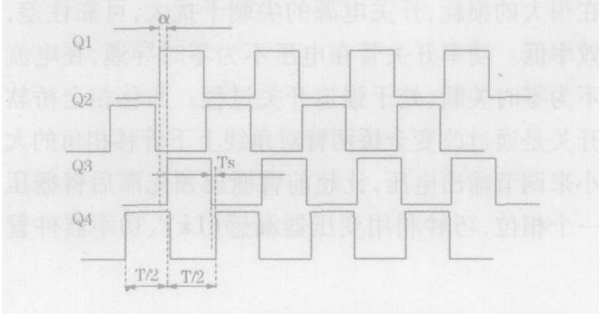


图 2 Q1, Q2, Q3, Q4驱动波形

2 控制系统结构

电镀电源的控制系统分别采用了单独的电流/电压闭环实时控制。唯一不同的是,恒压控制只是把反馈电压引入误差比较器经过调节校正输出电压以达到恒压控制。而恒流控制则把反馈电流、反馈电压同时引入误差比较器,既恒流是通过同时调节电压、电流来实现的。恒流/恒压调节回路框图见图 3。反馈回来的电流/电压信号与给定信号经过比例放大后,送入 UC3875N中的误差放大器进行比较,若误差比较器的输出低于零移相电压(1V),移相角将为零,若大于斜坡电压(UC3875N18引脚电压),移相角降为 180°。UC3875N输出脉冲经过驱动电路送到 IGBT的栅极。

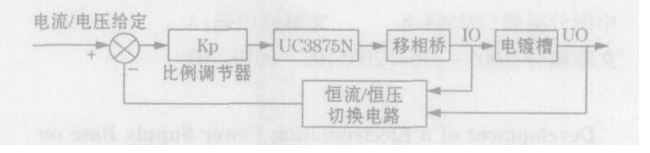


图 3 恒流/恒压调节回路框图

3 PWM脉冲的产生

PWM脉冲由 UC3875芯片产生。UC3875是软开关电源移相控制的专用集成电路,可对两半桥进行相位移相控制,实现半桥的恒频控制。其工作频率最高可达 2 M。改变引脚 16的电阻值可改变输出脉冲的频率,阻值增大频率减小。借助开关器件的输出电容,在输出电容放电结束的状态下完成零电压开通。相位控制的特点体现在 UC3875的 4个端口分别驱动的两个半桥,并且两个半桥各自导通时间都可以单独进行调节控制。死区时间可通过引脚 15和 7上的电阻来调节,增大电阻值,死区时间随之增大。在该死区时间内确保一个导通管输出电容放电完毕,为即将导通的开关管提供零电压开通条件,使全桥移相控制的优点得到充分体现。18引脚产生斜坡电压,与误差放大器的输出进行比较,改变该引脚上的阻值可实现 0°~180°范围内的移相控制。UC3875内部有一个误差放大比较器,其引脚 3和引脚 4分别为误差放大器的反相与同相输入端,分别引入电压/电流反馈信号和电压/电流给定信号,通过调节给定信号就可以调节输出。

4 试验与结论

试验结果表明系统工作正常稳定,其输出电压

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

可在 0～12 V线性可调,输出电流最大可达 1000 A。软开关单相全桥逆变器大大改善了 IGBT功率开关器件工作环境,降低了开关损耗,提高了工作效率,改善了直流输出的品质,提高了电镀的质量。可以预计高频软开关技术将来在高品质电镀电源中得到广泛应用,以取代传统的电镀电源。

参考文献:

[1] 郑 鹏,毛海荣. 电镀电源的发展 [J]. 电镀与涂饰, 1996, 15 (3): 47～50.

[2] 赵靖辉. 全桥移相软开关 IGBT弧焊逆变电源设计 [J]. 洛阳工学院学报, 2001, 22 (5): 21～24.

[3] 王 聪. 软开关功率变换器及其应用 [M]. 北京:科学出版社, 2000.

[4] Satoshi A Novel Zero Voltage and Zero Current Switching PWM DC_DC Converter With Reduced Conduction Losses [J]. IEEE Transaction on Power Electronics 2002, 17 (3): 413～419.

[5] Hang - Seok Choi Novel Zero Voltage and Zero Current Switching Full Bridge PWM Converter Using Coupled Output Inductor [J]. IEEE Transaction on Power Electronics, 2002, 17 (5): 641～648.

[6] 韩刚峰,韩苗兴. 大功率开关电镀电源的设计 [J]. 材料保护, 2000, 33 (10): 16～17.

(上接第 6页)

能,率先在资源型城市推进城市改革。一是在资源型城市率先进行城市部分税费改革试点,免除全部行政事业收费,削减行政审批项目,减化审批程序,推进行政审批的法制化、合理化和科学化。二是精减政府机构。进一步合并各职能机构及其内设处室,按经济区域合理撤并乡、镇行政机构,精简和分流政府富余人员。三是强化政府的服务功能,根据市场调整政府的行为。政府的服务功能主要体现在:对市场进行分析和研究,解决当地的发展潜力及有关劳动力就业市场、基础设施、环保、能源、住房质量、技术发展等问题,制定发展战略目标,提出具体的措施和具体的投资项目;为企业提供咨询服务,帮助其做出选择和指明方向。加快省属企业的改制步伐,下放行政管理权,扩大地方政府对经济社会发展进行统一管理的权限。使地方政府与企业之间形成一种"不分彼此、互相尊重、不搞分割、互相协作"的良好氛围。将企业办社会职能全部剥离,进行自主、独立经营。

(4) 加大招商引资力度。资源型城市长期依赖国家的大量投入,使其吸引外来资本的能力明显被弱化。1998河北省资源型城市人均利用外资额约相当于全省的 78%, 2001年下降到 60%左右。目前,在国家投入越来越少、主导产业走向衰落、社会负担又比较重的情况下,资源型城市必须充分利用外来资本促进自身发展。一是将有开采价值的矿山"打捆",同时加大公益性资源勘探的投入力度,为商业勘探提供必要的基础数据,保证后续资源"供给";二是对城区整体改造进行统一规划;三是协调森工企业与森林资源型城市地方政府的关系,加强合作,促进"林"、"地"整合;四是将由企业剥离出来的医院、学校等机构的优良资产进行整合。并以此作为招商的"标的",本着谁投资谁经营谁受益的原则,通过媒体和网络进行公开招标,鼓励民间资本进入,进行独立经营。另外,要充分利用国家投入,对塌陷区进行综合治理的有利时机,改善土地投资环境,为前来投资的企业提供低价土地、建筑物、人员培训等。创造资源型城市投资的环境。

(5) 建立河北省资源型城市可持续发展基金。基金主要用于本地区发展替代产业的补贴、人员培训、环境治理等。资金主要来源:一是由国家和省里共同出资,作为启动资金;二是从处于高产和稳产期的资源型产业的利润中提取一定比例;三是建立矿山环保与土地复垦保证金制度。落实"开发与保护并重"和"谁污染谁治理"、"谁治理谁受益"的政策。同时,加大培训投入力度,提高劳动力质量。制定和实施矿工再就业特别计划。以解决就业问题为突破口,引导矿工从事废弃物利用、土地复垦、现代农业和劳务输出等多种职业。

参考文献:

[1] 阿兰.兰德尔. 资源经济学一从经济角度对自然资源和环境政策的探讨 [M]. 施以正,北京:商务印书馆, 1989.

[2] 王四光,等. 矿产资源资产管理概论 [M]. 北京:中国大地出版社, 2001.

[3] 沈 镭,魏秀鸿. 区域矿产资源开发概论 [M]. 北京:气象出版社, 1998.

[4] 李纪良. 河北省唐山市矿产资源利用的主要问题及其对策 [J]. 中国地质, 2000, (2).

[5] 罗树清. 资源型城市的改革与发展 [N]. 经济日报, 1997 - 08 - 18(6).

[6] 王 元. 重视单一产业性城市的可持续发展 [N]. 人民日报, 2000 - 1 - 11, (8).

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.