

## 一种高精度大功率电镀电源设计

严泳兴, 张志, 朱维龙, 陈文芾

(厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 针对传统电镀电源体积大、实现方式复杂以及输出纹波大的特点, 提出了一种新型的 DC/DC 变换器, 采用双闭环 PWM 实时控制方式, 具有恒电流和恒电压两种工作方式。用该方法设计了一组 9.6 kW 电源模块, 实验表明, 电源输出纹波系数小于 1%, 效率达到 90%。

**关键词:** 直流电源; 双闭环控制; DC/DC 变换器; 大功率; PWM

中图分类号: TN86

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2012)18-0054-03

## A design of high precision and high power electroplating power source

YAN Yong-xing, ZHANG Zhi, ZHU Wei-long, CHEN Wen-xiang

(School of Physics and Mechanical &amp; Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** The tradition electroplating power is large and the output ripple is big. This paper provides a circuit scheme that use high-frequency switch power supply. The double close-loop PWM control is adopted in control circuit. The power supply has two kinds of working patter, which are constant current mode and constant voltage mode. A group of 9.6 KW power supply module are designed. According to the experiments, the power output ripple coefficient is less than 1%, and the efficiency is 90%.

**Key words:** direct current power supply; double closed-loop; DC/DC converter; high power; PWM

在电镀行业中, 电镀设备所需的电源主要是低压大电流的大功率直流电源, 功率通常在几 KW 至几十 KW。传统的电镀电源大多采用可控硅整流器, 其缺点是体积大、效率低、直流源输出纹波大等。这些缺点影响了表面处理技术及表面质量的提高。随着开关器件和控制技术的发展, 开关式电镀电源逐渐得到广泛应用。开关电源设计通常选用 PWM 集成芯片为核心, 近年来, 将 PWM 控制电路、保护电路集成到一块芯片上的开关电源集成控制器, 其外围电路简单、可靠性高<sup>[1-2]</sup>。

文中设计的高频开关式电镀电源采用并联均流技术, 可根据用户的需要, 使多个电源模块并联运行, 实现高精度恒流恒压, 提高了电源的容量和可靠性。电源的核心是逆变器, 它由功率电子开关器件 IGBT 和高频变压器组成。

## 1 逆变电源原理

逆变电源原理框图如图 1 所示<sup>[3]</sup>。

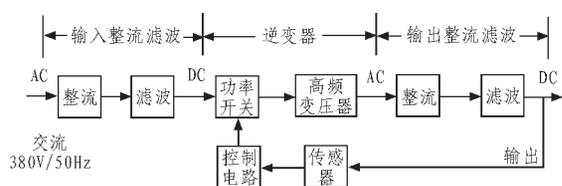


图 1 逆变电源原理框图

Fig. 1 Principle block diagram of the Inverter power supply

收稿日期: 2012-06-03

稿件编号: 201206012

基金项目: 厦门市科技计划项目 (3502Z20123013)

作者简介: 严泳兴 (1988—), 男, 江西宜春人, 硕士研究生。研究方向: 电力电子技术。

-54-

如图 1 所示, 主电路分为 3 部分。

## 1) 输入整流滤波

电网输入 50 Hz, 380 V 的交流电, 经二极管整流, 电容滤波后, 为逆变器提供直流电压。

## 2) 逆变器

功率电子开关在控制电路控制下, 将输入整流滤波电路产生的直流电压变换为 25 kHz 的交流方波, 经高频变压器降压输出。输出电压大小通过调节方波宽度 (即占空比) 进行控制。

## 3) 输出整流滤波

高频变压器输出的交流方波电压再经整流、滤波, 变为直流电压输出, 为电镀提供能量。

## 2 主电路实现

逆变式电镀电源中逆变器是其核心部分, 系统主回路如图 2 所示。

该电源属低压大电流, 逆变器有多种电路拓扑结构, IGBT (绝缘栅双极型晶体管) 是由 MOSFET 管和 GTR 管复合而成的, 它结合了两者的优点, 具有容量大、开关频率高等优点, 已经成为大、中容量逆变器的功率电子开关的主流<sup>[5]</sup>, 所以本设计采用 IGBT 作为开关管。

如图 2 所示, 380 V 交流电经整流滤波斩波后送到逆变器, 产生 25 kHz 高频交流电, 经功率变压器降压, 再进

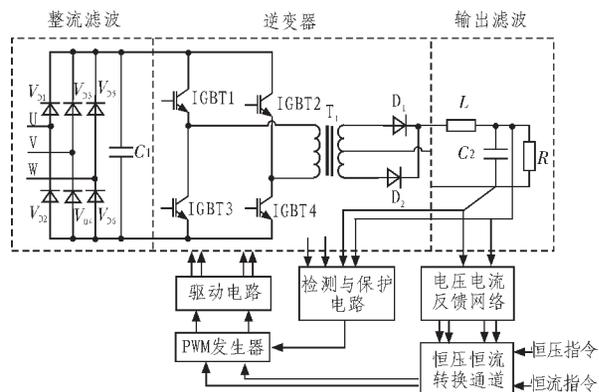


图2 逆变电源主电路

Fig. 2 Inverter power supply circuit

行二次整流滤波形成平稳的直流电流供给负载 R。电源的外特性控制和输出电流的调节均采用脉宽调制实现。与传统的硅整流式、晶闸管整流式等电镀电源相比,此电源不仅电流调节范围宽,并且具有体积小,重量轻,逆变噪音小等优点。

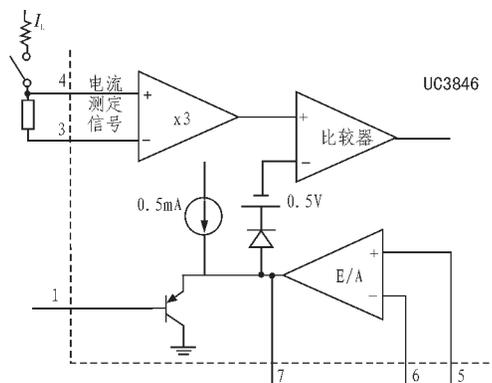


图3 UC3846 工作原理及波形

Fig. 3 Working principle and waveform of UC3846

如图3所示,3、4脚是电流测定放大器的输入端,用于检测变压器初级绕组的电流。电流测定放大器的增益为3,其输出由内电路限定在3.5V,因此,其最大输入电压值为3.5/3≈1.2V之内,根据1.2V数值可以选定电流测定环节参数。5、6脚是E/A放大器(误差放大器)的同相、反相输入端,单片机输入相应设定值至E/A放大器两端。电流测定放大器的输出(即3倍后的电流感应信号)和误差放大器输出<sup>[7]</sup>,经二极管和0.5V偏压后进行比较,当前者的信号大于后者的信号时,脉宽比较器状态翻转,锁存器置位,从而在比较器的输出端出现逐个检测和调节的电流脉冲,经过锁存器及T触发器,得到两路相位相差180°的脉冲信号,其脉冲宽度受反馈电流及单片机给定电压值大小的影响。

UC3846振荡频率由外接电阻 $R_T$ 、 $C_T$ 决定, $C_T$ 的充电时间由内部恒流源所提供。时钟振荡频率计算如下:

$$f(\text{kHz}) = \frac{2.2}{R_T(\text{k}\Omega)C_T(\mu\text{F})} \quad (1)$$

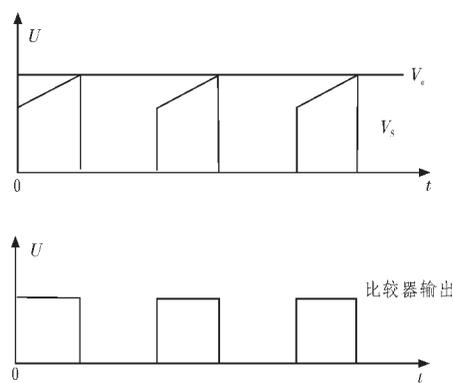
为了防止两路开关管的互通,还要设定两路输出都关断

本设计为开关式电镀电源,为满足电镀电源大功率输出,电源由多个模组并联。多组结构相同的模块式电源电路并联工作,在程序控制模块的协调控制作用下,通过积木式结构实现大功率输出,构成模块式大功率高频IGBT逆变式电镀电源。多组模块式主机电源电路的控制器通过程序控制模块相连接,实现多模块并联均流控制。

### 3 控制电路设计

开关电源的控制电路可以分为电压控制型和电流控制型,前者是一个单闭环电压控制系统,系统响应慢,很难达到较高的线性调整率精度;后者是一个电压、电流双闭环控制系统,变换器的幅频特性由双极点变成单极点,因此增益带宽乘得到了提高,稳定幅度大,具有良好的频率响应特性<sup>[6]</sup>。

本系统采用了UC3846作为全桥变换器的控制芯片。UC3846是一款双端输出的电流控制型脉宽调制器芯片,它对外部电路要求简单,具有电流限制、欠压锁定、软启动及关断、不需要外接元件可实现同步等功能。



的“死区时间”。CT上的电压为一个锯齿波,其下降时间即为死区时间,由式(2)决定:

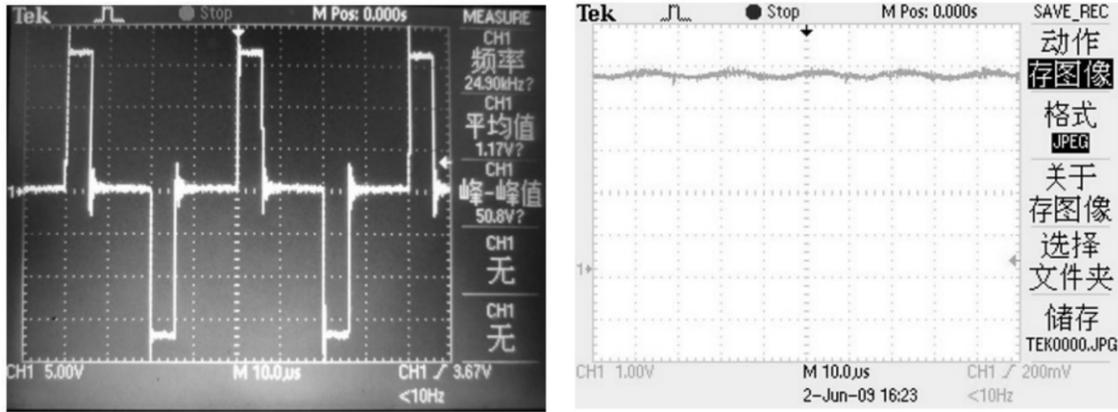
$$T_d(\mu\text{s}) = 145 \times C_T(\mu\text{F}) \times \frac{12}{12 - 3.6/R_T(\mu\text{F})} \quad (2)$$

如果当两个电源并联运行时,将两个电源的驱动信号短接,使用同一个基准和采样电压,就能实现负载电流的自动均分。

### 4 实验结果

将该系统应用于一台9.6kW的电源中(12V,800A),图4(a)所示为高频变压器的输出波形,频率为25k,两桥臂之间加有死区。图4(b)所示为直流电压输出,输出稳定,波形理想,纹波系数小。

表1所示,在同一测试条件下,对10台机器的镀膜厚度进行测量,其中薄膜厚度单位为 $\mu\text{m}$ 。由表中数据可知,与同类型机器相比,本设计的电镀电源不仅输出电流、电压精度高,并且稳定性好。



(a) 主变压器输出  
(a) output of the main transformer

(b) 直流电压输出  
(b) DC voltage output

图 4 电源输出波形

Fig. 4 Output waveform of the power

表 1 镀膜厚度数据对比

Tab. 1 Data contrast of the Coating thickness

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	STDEV
13.7	13.6	13.7	13.8	14.1	14.2	14.2	14.1	14.3		13.99	0.260128

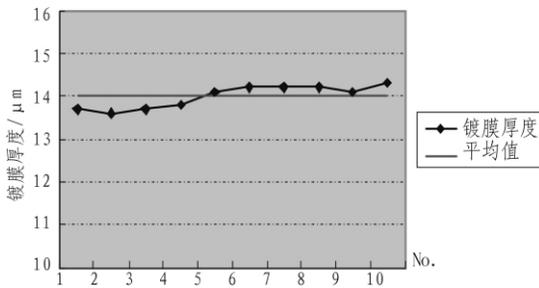


图 5 镀膜厚度对比图

Fig. 5 Coating thickness comparison chart

## 5 结论

该设计方案中转换器采用全桥逆变方式, 电路简单, 且转换器输出稳定、波形理想, 纹波系数小, 易于在实际中应用, 并通过对并联均流技术的研究, 为大功率电镀电源的设计提供了一条理想的解决方案。

参考文献:

- [1] 张强, 姚绪梁, 张敬南. 大功率直流电源并联运行的均流控制[J]. 电力电子技术, 2011, 45(3): 73-75.  
ZHANG Qiang, YAO Xu-liang, ZHANG Jing-nan. Current sharing control in the parallel operation of DC power supplies[J]. Power Electronics, 2011, 45(3): 73-75.
- [2] 杜鹏英, 任国海, 杜少武, 等. 基于 IGBT 器件的大功率

- DC/DC 电源并联技术研究[J]. 原子能科学技术, 2006, 40(3): 326-330.
- DU Peng-ying, REN Guo-hai, DU Shao-wu, et al. Paralle connection of high-power DC/DC power supply based on IGBT device[J]. Atomic Energy Science and Technology, 2006, 40(3): 326-330.
- [3] 赵涛, 王相纂, 张海燕, 等. 基于双闭环控制技术的开关直流稳流电源[J]. 中国科学技术大学学报, 2007, 37(1): 104-108.  
ZHAO Tao, WANG Xiang-qi, ZHANG Hai-yan, et al. A DC stabilized current supply based on double closed-loop control technique with PS2FB converter[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2007, 37(1): 104-108.
- [4] Middlebrook R D. Input filter considerations in design and application of switching regulators[J]. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 1979: 366-382.
- [5] Jung-Won K, Hang-Seok C, Bo Hyung C. A novel droop method for converter parallel operation [J]. IEEE Transaction on Power Electroics, 2002, 17(1): 25-31.
- [6] Cheng Chin-Hsing. Current sharing of paralleled DC/DC converters using GA-based PID controllers[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(1): 733-740.
- [7] 李永胜, 韦正元, 宋雪芹, 等. 柔性直流与交流并列输电换流器交流故障穿越[J]. 陕西电力, 2012(4): 75-78.  
LI Yong-sheng, WEI Zheng-yuan, SONG Xue-qin, et al. HVDC flexible converter AC fault ride-through with AC parallel transmission[J]. Shaanxi Electric Power, 2012(4): 75-78.

欢迎订阅 2012 年度《电子设计工程》(半月刊)

国内邮发代号: 52-142

国际发行代号: M2996

订价: 15.00 元/期 360.00 元/年