

脉冲 MIG 软开关逆变焊接电源的研制

朱思君¹, 陆晓明¹, 姚屏^{1,2}, 薛家祥^{1,3}, 文元美¹

(1.华南理工大学机械工程学院, 广东 广州 510640; 2.广东技术师范学院机电学院, 广东 广州 510635; 3.广东欧仕格焊接股份有限公司, 广东 广州 511442)

摘要:采用高速单片机 PIC16F877A 和全桥移相 ZVS 电路, 研制出脉冲 MIG 软开关逆变焊接电源系统。通过采用结构化程序设计方法对控制系统主程序和各个子程序进行设计, 并对脉冲参数进行了优化匹配。实验测试了电源的软开关过程和外特性, 能够满足脉冲 MIG 焊的要求。通过工艺实验验证了所设计的控制系统能够输出稳定的脉冲焊接电流和电压, 可实现一脉一滴的焊接。

关键词:单片机; 软开关; 脉冲 MIG 焊

中图分类号: TG434 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2303(2008)05-0026-05

Study on soft-switching inverting pulsed MIG welding power supply

ZHU Si-jun¹, LU Xiao-ming¹, YAO Ping^{1,2}, XUE Jia-xiang^{1,3}, WEN Yuan-mei¹

(1.Mechanical Engineering College, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2.Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou 510635, China; 3.Guangdong Ask Welding Co., Ltd, Guangzhou 511442, China)

Abstract: A new type of control system of soft-switching inverting pulsed MIG welding power supply was developed by using PIC16F877A, a high-speed MCU, and full bridge phase-shifted ZVS electric circuit. Firstly, the main program and subprograms of the control system were designed according to the structural programmed control method. Then, the pulse parameters were optimally adjusted. Finally, the soft-switching process and external characteristics of the power were tested, and proved to satisfy the requirements of MIG welding. By lots of experiments, it was verified that stable output of current and voltage for pulse welding were obtained by this control system, and one drop per pulse welding could be realized.

Key words: MCU; soft-switching; pulsed MIG welding

0 前言

脉冲焊接技术集高效、优质和自动化于一体, 近年来越来越受到重视。传统的脉冲焊接电源都是以硬开关的电路拓扑结构为主, 由于硬开关逆变器固有的开关损耗大、逆变频率低、功率器件安全性差等缺点, 限制了脉冲焊逆变电源的进一步发展。在此针对目前脉冲焊逆变电源及控制中存在的问题, 设计了以 PIC 单片机为控制核心的焊接逆变电源软硬件控制系统, 结合数字化控制技术和智能控制技术, 提出了基于软开关的脉冲 MIG 焊逆变电源控制系统, 并对其电气特性和焊接工艺进行了研究。

收稿日期: 2007-11-04

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(07006479)

作者简介: 朱思君(1984—), 男, 在读硕士, 主要从事数字焊接电源及其智能控制的研究工作。

1 全桥移相 ZVS 的工作原理

全桥移相软开关电路拓扑, 实现了谐振软开关和 PWM 两种电路拓扑的完美结合。在功率开关器件开关过程中实现谐振换流, 保证较低的开关损耗; 而在开关管开通之后, 采用脉宽调制的办法提供方波电流电压。移相软开关技术实现的基本电路拓扑为零电压开关变换, 利用功率开关管的寄生电容和输出变压器的漏感作为谐振元件, 使移相全桥软开关变换器的四个开关管依次在零电压下导通, 实现恒频开关, 这就是 FB-ZVS-PWM 变换器。

移相全桥变换器主电路如图 1 所示。VT₁~VT₄ 为功率开关器件 IGBT, VD₁~VD₄ 是相应 IGBT 开关管寄生的反并联二极管, 而 C₁~C₄ 是相应 IGBT 总的输出电容。定义 VT₁, VT₃ 为超前桥臂, 领先于滞后桥臂 VT₂, VT₄ 一个相位。四个开关管在恒定开关频

率下,以小于 50%的占空比持续运行,通过调节两桥臂驱动波形的相位关系来调节功率输出,谐振发生在每个桥臂的死区时间内。功率开关管 VT_1, VT_4 共同导通时,加在功率变压器两端的电压为 U_d ,这个时候属于正半波功率输出阶段,也即为有源状态;当功率功率开关管 VT_3, VT_2 共同导通时,加在功率变压器两端的电压为 $-U_d$,为负半波功率输出阶段;当功率开关管 $VT_2(VD_2), VT_1(VD_1)$ 或者 $VT_3(VD_3), VT_4(VD_4)$ 同时导通时,变压器两端电压为零,属于换流阶段,没有功率输出,为无源状态。这三个状态就是移相全桥变换器的三个标准工作状态。当这三个状态互相切换时,便形成了不同的换流模式。对于移相全桥变换器,只存在有源状态(正或者负半波功率输出阶段)和无源态之间的切换,不存在正半波输出阶段和负半波功率输出阶段之间的切换,因为后一种是传统的硬开关状态,需要加 RC 电路或者 RCD 等吸收回路来改善开关管与主电路的工作环境。

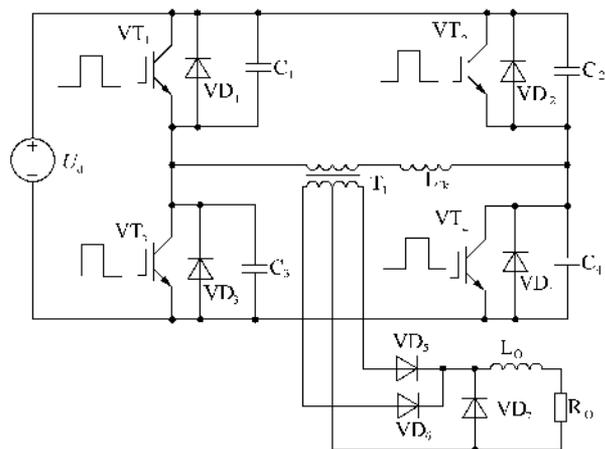


图 1 全桥移相软开关电路

2 脉冲 MIG 软开关焊接电源控制系统组成及设计

2.1 脉冲 MIG 软开关焊接电源控制系统的组成

脉冲 MIG 软开关逆变焊接电源焊接过程本身具有大电流、短时、高速的特点,其焊接可调节参数多、焊接过程复杂多变、焊接质量容易波动,因而要求控制系统能够满足脉冲 MIG 软开关逆变焊接电源焊接工艺的控制特点,响应速度快,可靠性高。此外,逆变电源的工作频率高,动态性能好,控制精度高,也对控制系统也提出了更高的要求。

控制系统以高速单片机 PIC16F877A 为控制核心,通过其进行焊接系统的综合控制,其主要组成部分分别为 IGBT 逆变主电路、PIC16F877A 运用最小系统、IGBT 驱动电路、PWM 发生芯片电路、电流反馈电路、电压反馈电路、脉冲参数给定电路、焊接开关信号判断电路、故障信号检测电路, PIC16F877A 在线调试接口以及送丝系统和预留的通讯接口等电路组成。

2.2 脉冲 MIG 软开关焊接电源外特性选择

在脉冲焊逆变电源中,电源的外特性不同于一般的恒流或恒压特性电源。脉冲峰值电弧特性和维弧基值电弧特性必须依据不同的工艺特点合理选择和匹配。不同的外特性设计对脉冲焊接过程的电弧稳定性、熔滴过渡形式及焊缝质量有着很大的影响,所以,电源外特性的设计非常重要。

一般来说脉冲峰值电流和维弧基值电流的获得可以通过四种常用的外特性切换方法得到:峰值阶段恒压+基值阶段恒压、峰值阶段恒压+基值阶段恒流、峰值阶段恒流+基值阶段恒压、峰值阶段恒流+基值阶段恒流。

上述四种外特性组合方法的峰值阶段和维弧基值阶段都是由单独外特性供电的,因而各自存在一定的缺点,恒压特性使电弧具有足够的自调节作用,但对熔滴过渡过程不利,而恒流特性则相反,能使熔滴过渡恒定,焊缝成型均匀,但是电弧自调节能力较差。目前峰值阶段恒流+基值阶段恒流($I-I$)和峰值阶段恒压+基值阶段恒流($U-I$)这两种组合方式应用较为广泛。综合考虑,因为本逆变焊接电源是软开关控制方式,采用的 PWM 控制方式为平均电流控制模式,所以电源的外特性设计为峰值阶段恒流+基值阶段恒流($I-I$),通过电流反馈达到恒流控制目的。针对 $I-I$ 外特性方式电源电弧自调节能力较差的缺点通过设置弧压反馈阈值达到稳定电弧的作用。

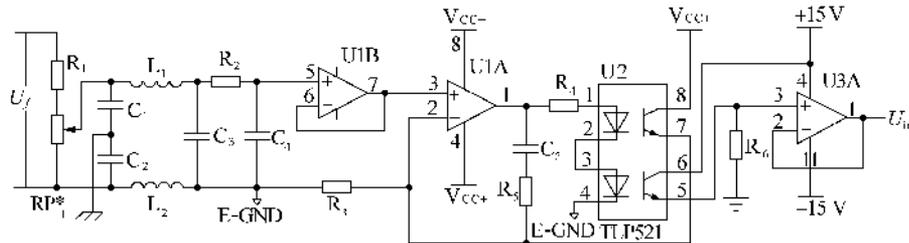
2.3 控制系统硬件设计

反馈信号采集电路是为了实现焊接系统闭环稳定的控制。如图 2a 所示,是焊接电弧电压信号反馈采集电路。该采集电路运用了线性光耦 TLP521,该光耦具有传输带宽宽、线性度好、隔离电压高等优点,直流信号和交流信号的隔离均可使用,完全适合于电弧电压信号的采集。电路直接对焊接电弧电压进行取样,经过电感、低通滤波电路,滤掉信号

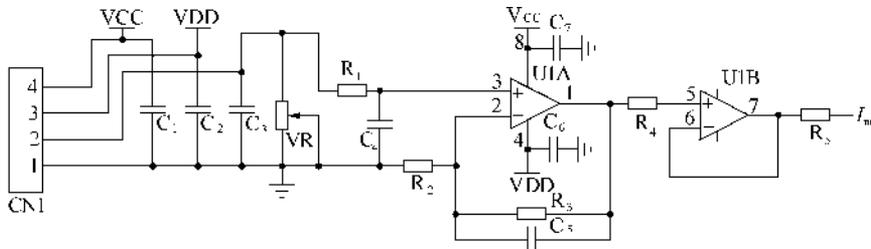
中的高频成分,获取所需要的信号经运放、二级光藕隔离线性放大,调理成直流电压信号 U_m ,送给单片机的 A/D 通道进行处理。由于本焊接电源设置的空载电压为 71 V,正常焊接电压一般在 50 V 以下,所以本电压反馈采集电路的处理范围是将在 0~50 V 内的电弧电压 U_f 调理成 0~5 V 的电压 U_m 给单片

机进行处理。

焊接电流信号采样如图 2b 的电路,当电流霍尔传感器采集端电流为 100 A 时,测量电流为 100 mA。正常焊接时,焊接电流的范围为 0~400 A,给到单片机的电压范围为 0~5 V。焊接电流采样信号用于焊接电流反馈运算,同时用作过流保护判断信号。



a 电弧电压采样电路



b 电弧电流采样电路

图 2 电弧电压、电弧电流采样电路

2.5 控制系统软件设计

控制系统的软件采用模块化程序设计,根据焊接电源需要控制的部分,分为不同的功能模块。软件部分要完成峰值电流、峰值时间、基值电流、基值时间以及送丝速度等焊接参数的给定,而且还要对反馈信号进行采样和运算处理,对焊接过程的实时监控等。根据这些功能要求,控制系统软件主要包括四大部分,即焊接参数设定及初始化过程、引弧过程、恒流控制过程以及收弧过程。

3 脉冲 MIG 软开关焊接电源实验及分析

3.1 逆变电源外特性测试

由前面部分所述,电源外特性设计为峰值阶段恒流+基值阶段恒流的控制方式,其特点表现为峰值阶段电流稳定能得到稳定的喷射过渡并可对熔滴过渡进行精确控制,在基值阶段电流稳定不易熄弧,所以实际上电源外特性的测试主要是指恒流外特性的测试。脉冲峰值阶段和基值阶段电流相差较大,所以测试从 50 A 到 250 A 的恒流外特性。对逆

变电源在电流给定值为一定的情况下,通过改变大功率模拟负载值从而获得不同的负载端电压值和电流值。如图 3 所示,所研制的逆变电源空载电压为 71 V,完全可以满足脉冲焊电源的起弧要求,同时,从图中可以看出本电源具有良好的恒流外特性,也符合脉冲焊逆变电源的峰值阶段恒流+基值阶段恒流(I-I)的外特性要求。

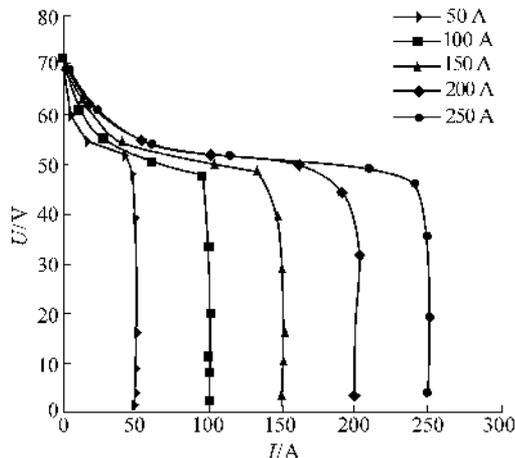


图 3 实际测得的电源恒流外特性曲线

3.2 软开关换流波形测试与分析

3.2.1 超前桥臂软开关换流过程分析

图 4 为超前桥臂开关管空载状态下实测电压波形和驱动波形。由图可见,在驱动脉冲信号 U_{ge} 上升到阈值电压之前,开关管的集射极电压 U_{ce} 已经降低到零值,说明超前臂已经实现了零电压开通,而在驱动脉冲信号 U_{ge} 降低到零点之后,IGBT 的集射极电压 U_{ce} 才从零值上升,说明超前臂已经实现了零电压关断;因此,超前桥臂在空载情况下可以实现零电压开通和关断。由此可知,可以断定此逆变电源超前桥臂具有全范围软开关能力。

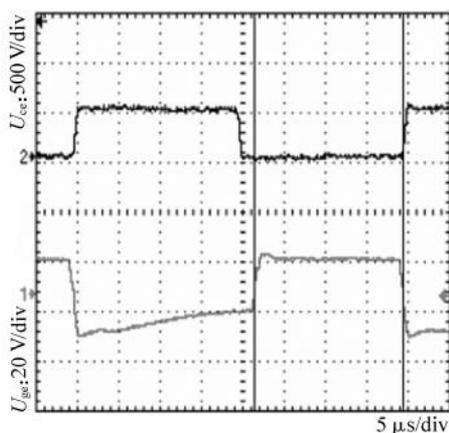


图 4 超前桥臂开关管空载下的软开关

3.2.2 滞后臂软开关换流过程分析

图 5 为滞后桥臂功率开关管在空载条件下的软开关波形。一般来说,移相控制软开关全桥逆变电源超前桥臂比较容易实现软开关状态,而滞后桥臂的软开关范围比较窄,在轻载的情况下(约 10%)很容易失去软开关状态,在空载情况下,仅只有漏感能量参与滞后桥臂的换流过程,开关状况最为恶劣,也最不容易实现软开关。由图 5 可以看出,滞后桥臂能实现全范围的软开关状态。由此我们可以断定滞后桥臂开关管也具有全范围软开关能力。

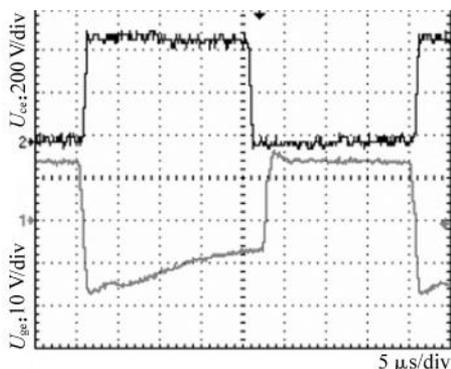


图 5 滞后桥臂开关管空载下的软开关

3.4 脉冲焊接工艺实验

脉冲峰值电流的大小直接影响着脉冲能量,因此设计了峰值电流的工艺实验,考察它对脉冲焊过程的影响。焊接电源采用的焊丝直径为 1.0 mm,其临界电流大概是 190 A。实验条件:峰值电流 250 A,峰值时间 7 ms,基值电流 50 A,基值时间 10 ms,峰值电压阈值 40 V,基值阈值电压 15 V,低碳钢板 3 mm,焊丝直径 1.0 mm,保护气体为纯氩。

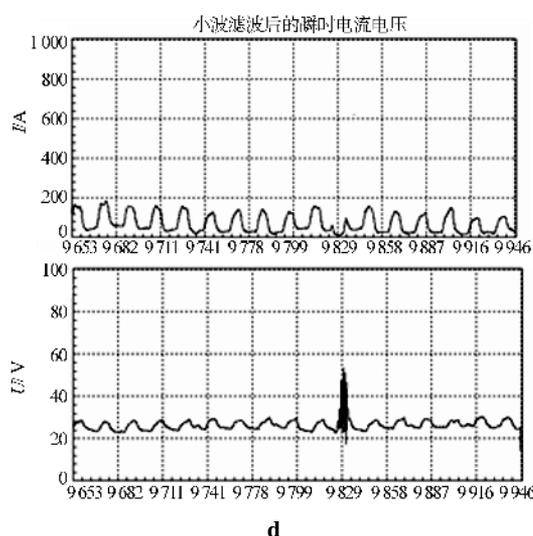
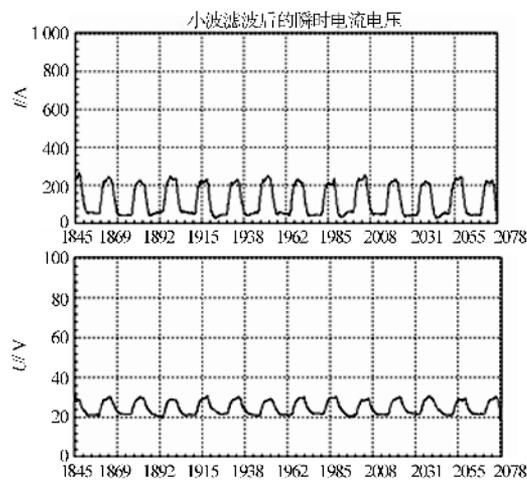
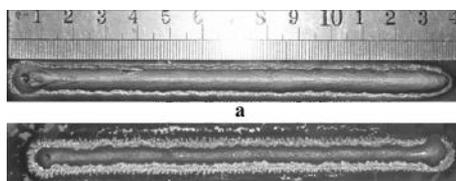


图 6 不同峰值电流时的电流电压波形和焊缝外观照片(a、c 峰值为 250; b、d 峰值为 160)

图 6c 为峰值电流为 250 A 时的

Page 29 焊接电流电压波形,从图中可以看出电流电压波形规整,波形主要由规则的脉冲波形组成,且重复性很好。图 6d 为峰值电流为 160 A 时的焊接电流电压波形,从图中可以看出波形不规则,跳动比较大,还有断弧发生。通过对比可以看出峰值电流的大小对脉冲波形有很大影响,一般情况下峰值电流应该大于射流过渡的临界电流值。当峰值电流过小时,因峰值能量不够从而引起焊接过程中短路和断弧情况严重,峰值电流为 160 A 时,小于钢焊丝较射流过渡时的临界值 190 A,因此出现短路、断弧,飞溅也大,电流电压波形不规则,焊接过程不稳定。当峰值电流为 250 A 时,大于钢焊丝射流过渡时的临界值,此时的过渡形式为射滴过渡,无短路、断弧和飞溅,电弧稳定,焊接声音柔和。如图 6a 和 6b 也可以看出,焊缝 a 成型好,表面纹波均匀,焊道细致。而 b 则焊道细且不规则,成型不好。

4 结论

在此设计了以单片机 PIC16F877A 为控制核

心的焊接逆变电源硬件系统和软件系统;建立了峰值阶段恒流+基值阶段恒流($I-I$)的外特性控制方法和峰值基值电压阈值的弧长控制法并对所研制的逆变电源进行了电源实验,利用所建立的电源测试平台对脉冲 MIG 焊软开关逆变电源进行了全面的性能测试,测试结果表明本焊接电源具有良好的动、静态特性。

参考文献:

- [1] 余文松.新型大功率软开关弧焊逆变器的研究[A].华南理工大学博士学位论文,2000.
- [2] 王其隆,张九海,张 龙.自适应 Synergic 脉冲 MIG(MAG)焊数字化控制研究[J].焊接,1990(9):1-5.
- [3] 王振民,董 飞,薛家祥,等.IGBT 模块开关过程仿真分析[J].焊接技术,2006,35(6):40-42.
- [4] 李鹤歧,郝 伟,徐德进.微机控制的脉冲 MIG/MAG 焊接电源的研制[J].甘肃工业大学学报,2002,28(3):11-14.
- [5] ANDBRSENK, COOK G E. Gas Tungsten Arc Welding Process Control Using Artificial Neural Networks[C]. Proceedings of the 3rd International Conference on Trends in Welding Research, 1992.