

基于 ARM 和 CPLD 的脉冲 TIG 焊接电源的研究

刘 强,宋永伦

(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院,北京 100124)

摘要:研制了基于双 ARM 和 CPLD 的多功能 TIG 焊接系统,采用脉冲电源+基值电源的组合方式,实现多功能的电流输出。脉冲电源采用双闭环的 PI 控制方法,实现脉冲电流输出;基值电源采用单闭环的控制方法,实现基值电流的恒定输出。详细阐述了双电源二次逆变的架构及工作原理,并分析 PI 控制算法和 A/D 采样滤波。通过实验,实测出针对不同脉冲频率和脉冲宽度下的电流响应,系统对过电流、过电压等信号进行特殊处理,提高了系统的可靠性和稳定性。

关键词:TIG;直流脉冲;ARM;CPLD

中图分类号:TG434;TG409

文献标识码:A

文章编号:1001-2303(2012)06-0031-04

Research on pulsed TIG welding power base on ARM and CPLD

LIU Qiang, SONG Yong-lun

(Department of Mechanical Engineering & Applied Electronics Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: A multi-TIG welding power source with double ARMs and CPLD is developed in this paper, the combinations of Pulsed power source and Based power source achieve multi-functional current output. The pulsed power source used dual closed-loop PI control method outputs pulsed current; the based power source used single closed-loop control method outputs based current. The structure of the power source and its working principle are described, and the PI control algorithm and AD sampling filter are analyzed. The currents response for different pulse frequencies and pulse widths are measured out. System process over-current, over-voltage and other special signal and improve the reliability and stability of system.

Key words: TIG; DC pulse; ARM; CPLD

0 前言

脉冲焊接是一种先进的焊接工艺方法,它在自由电弧的基础上加入高频可控的脉冲电流来加热工件,每一次脉冲电流通过时,工作就被加热熔化形成一个熔池;基值电流通过时熔池冷凝固结晶,同时维持电弧燃烧,熔池金属高温停留时间短,金属冷凝固快,可减少热敏感材料产生裂纹的倾向。对焊件热输入少,电弧能量集中且挺度高,有利于薄板、超薄板焊接,接头热影响小;电流频率超过 10 kHz 以后,电弧具有强烈的电磁收缩作用,电弧变细,指向性强,因此可以进行高速焊;脉冲 TIG 焊的高频振

荡作用有利于获得细晶粒的全相组织,消除气孔,提高接头的力学性能^[1]。

近年来的研究表明,脉冲电源参数、脉冲电流上升沿和下降沿的变化速率将对电弧的物理形态及其稳定性等产生重要作用,同时影响焊接质量,因此对脉冲电源的研究显得更加迫切。

针对直流脉冲 TIG 焊接工艺研制了数字化双电源结构的二次逆变 TIG 焊接电源,实现脉宽、脉冲电流、基值电流的数字化控制,提高了焊接电源的适应性,同时满足脉冲焊接工艺需求。

1 电源设计

目前脉冲电源主要采用两种控制方式:一是单电源方式,控制器周期性的改变变压器一次电流,二

收稿日期:2011-11-11;修回日期:2012-03-16

作者简介:刘 强(1975—),男,陕西西安人,博士,主要从事数字化焊接设备和焊接物理过程方面的研究。

次电流也呈周期性变化,通过全桥整流,输出脉动电流,实现脉冲方式。这种方式受控制器的影响,一般输出频率较低,为了实现软开关或滤波,变压器一次侧或二次侧一般都会串联电感,使得脉冲电流的上升沿和下降沿缓慢。二是双电源模式,如图 1 所示。

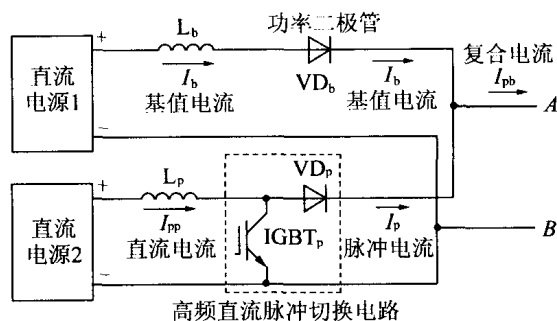


图 1 高频脉冲电源原理

如图 1 所示,直流电源 1 提供基值电流,直流电源 2 作为脉冲电源,脉冲由并联开关结构组成,脉冲频率为 $IGBT_p$ 的开关频率。当 $IGBT_p$ 开通时,直流电流通过 L_p 和 $IGBT_p$ 形成回路, L_p 储能;当 $IGBT_p$ 关断时, L_p 所储的能量和直流电源同时对电弧供电,形成脉冲电流,这种方式需要 L_p 的电感量很大。当频率降低,电源能耗增加时,脉冲电流并没有明显增加;当频率升高时,由于电感量大,储能不足造成脉冲电流减少,因此这种结构适用于固定频率或

频率小幅度变化的脉冲焊接电源。

针对以上两种脉冲电源的不足,设计了一种基于双电源二次逆变结构的脉冲电源,其中一组电源提供脉冲电流由全桥二次逆变组成,采用分段 PI^[2] 双闭环控制;另一组电源只提供基值电流,由半桥结构组成,采用 PI 闭环控制。这种结构避免了单一电源在直流脉冲方式下的脉冲上升和下降沿缓慢的问题,同时也解决了多种频率、不同脉冲宽度的频率响应问题。

为了操作方便,设计了基于 WINCE 操作系统的人机界面,通过基于 RS232 和 RS485 接口的 MODBUS 协议与脉冲电源和基值电源进行通信,对两组电源的工作参数进行监控。

1.1 电源结构

电源主要由主电路拓扑结构和控制结构两部分组成。电源主电路拓扑结构如图 2 所示,脉冲电源采用全桥二次逆变拓扑,全桥逆变具有输出功率大、工作效率高、控制技术成熟等特点^[3-4]。 $IGBT_1$ 、 $IGBT_2$ 、 $IGBT_3$ 、 $IGBT_4$ 为脉冲电源的一次逆变功率管,分别采用 RC 吸收电路, C_3 为一次逆变的隔直电容,可以有效防止高频变压器偏磁, LK_1 为变压器漏感, $IGBT_5$ 、 $IGBT_6$ 、 $IGBT_7$ 、 $IGBT_8$ 为二次逆变功率管, T_1 为功率变压器。

$IGBT_9$ 、 $IGBT_{10}$ 为基值电源的功率管, C_8 为隔直

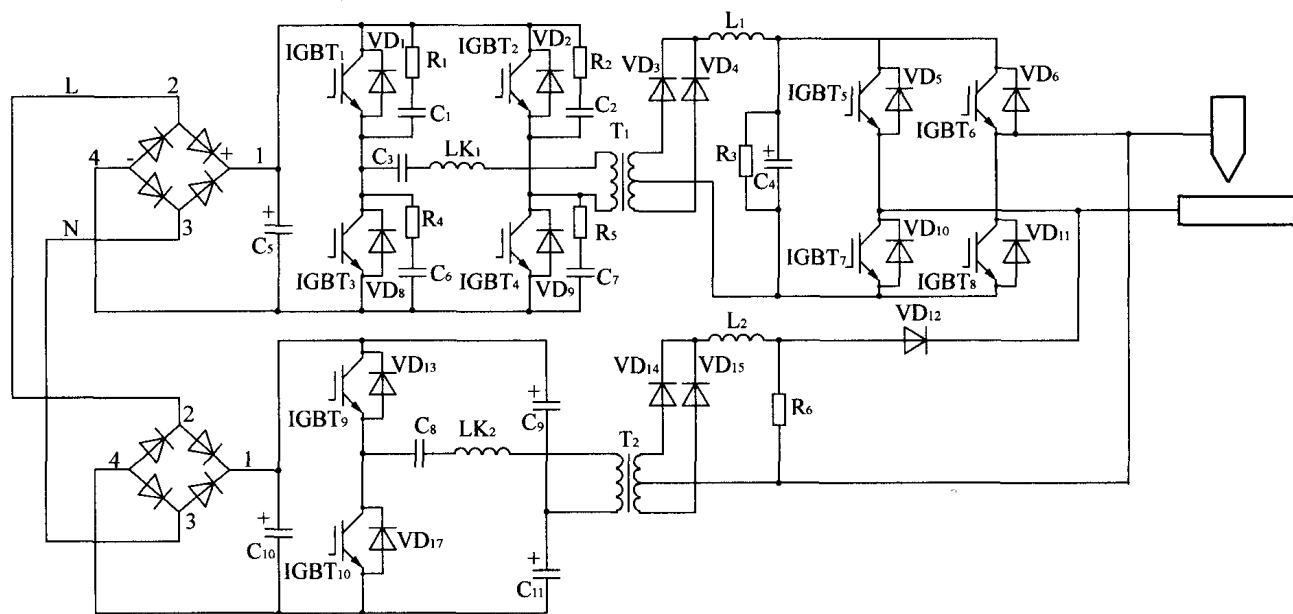


图 2 电源主电路拓扑结构

电容, LK_2 为变压器漏感, T_2 为功率变压器。

系统控制结构如图 3 所示,分为脉冲电源控制、功能控制和基值电源控制三部分。

1.2 系统控制方案

为适应多种工况,系统控制采用脉冲电源和基值电源独立的控制方式,控制结构如图 3 所示。

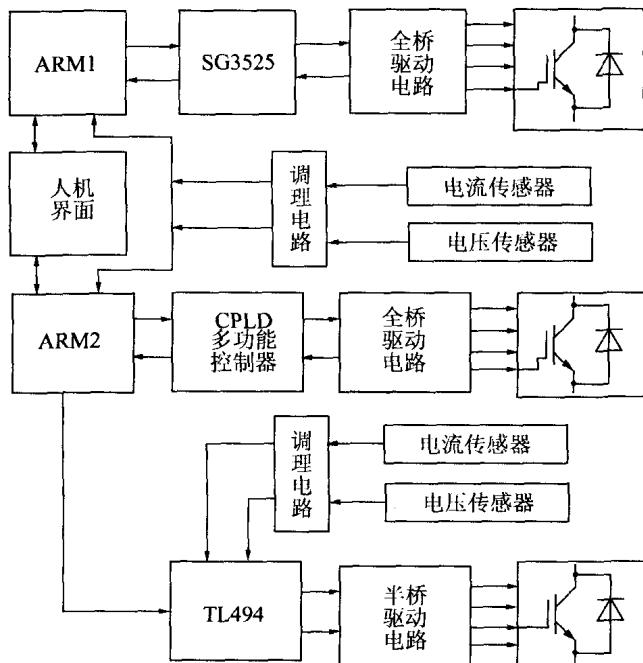


图 3 控制系统结构

脉冲电源控制方案采用一次功率控制,二次功能控制的方式。一次逆变采用 ARM+SG3525 全桥控制方案,ARM 为 Advanced RISC Machines 简称,在本工作中选用嵌入式处理器 STM32F103RB8,内部集成高速 12 位 A/D 及硬件乘法器和多通道 DMA,既可实现高速数据处理,又可以满足与上位机的实时通信要求。一次逆变频率 25 kHz,通过对输出电流的采样,采用分段 PI、双闭环的控制方式得到恒电流控制。分段 PI 的控制方式可以提高大范围内调节的稳定性,减少超调量,降低功率管的开关冲击。SG3525 采用电流反馈,通过 PI 调节,形成内层电流闭环,控制 PWM 输出,实现可控电流输出,并且实现输出过电流、短路保护。

二次逆变采用 ARM+CPLD 的控制方案,主要实现直流和脉冲控制方式,脉冲占空比、频率线性可调。其中 CPLD(Complex Programmable Logic Device)全称为复杂可编程逻辑器件,选用 ALTERA 公司的 MAXII 系列的 EPM1270T144I5,使用原理图、硬件描述语言等方法生成相应的目标文件,通过下载电缆将代码传送到目标芯片中,实现设计的数字系统。

基值电源采用 TL494 作为控制芯片,组成半桥逆变方式,将输出电流作为 TL494 的反馈回路,实现恒电流控制。

所设计的控制方案速度快、成本低且可调性好,脉冲宽度调整范围 0~100%,脉冲频率 0~20 kHz。

1.3 系统控制原理

在弧焊电源控制常采用 PI 控制^[5],基值电源由于工作方式简单,工作在直流条件下,实现恒电流较为容易,因此采用电阻+电容+运算放大器组成硬件 PI 控制方式可以满足要求;而脉冲电源输出工作在开关状态,所以要实现开状态时的恒电流,而且不影响功率管的保护性能,除了采用硬件 PI 调节外,还需要进行软件外环 PI 调节,实现双闭环 PI 控制方式。双 PI 结构控制模型如图 4 所示。

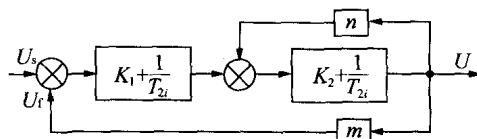


图 4 双闭环控制模型

外环 PI 控制由软件实现,采用长周期调节方法,即采集多个周期脉冲的波峰电流进行滤波,与设置电流进行计算,得到输出的电压值,通过 D/A 转换输出到内环 PI 调节器,内环 PI 调节器由 SG3525 自带的误差放大器和电阻、电容组成。其中,正向输入端为外环 DA 转换的电压信号,反向输入端为反馈电流与输出形成的 PI 调节,输出 EAOUT 控制 PWM 输出。内环调节周期为逆变周期的一半,称为短周期调节。采用长短周期组合的控制方式,可以降低系统因控制带来的不必要的震荡。

2 软件设计

2.1 A/D 采样和滤波

设计采用 ARM 自带的 A/D 转换器进行模数转换。采样时刻为脉冲起始后延时 3 μ s,可以降低功率管开通时的噪声影响,采样频率为 1/4 脉冲频率。脉冲频率经过四分频后再延时 3 μ s 输入 ARM 的外部中断。ARM 接收到中断,进入 A/D 采样程序,并且对采样的数据进行处理。滤波采用中值滤波方法去除最大值和最小值后,计算其余值的平均值

$$U_{\text{ver}} = \frac{\sum_{j=1}^N U_j - U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{N-2} \quad (1)$$

式中 U_j 为第 j 次采样时刻电压值; U_{max} 为最大电压值; U_{min} 为最小电压值; N 为采样次数。

2.2 数字 PI 处理

在弧焊电源控制中为了实现数字控制,PI 控制的数学模型需要离散化为差分方程

$$u_k = K_p e_k + K_i \sum_{j=0}^N e_j \quad (2)$$

式中 k 为采样信号; u_k 为第 k 次采样时刻的值; e_k 为第 k 次采样时刻输入的偏差值; K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数; K_i 为积分系数, $K_i = \frac{K_p T}{T_i}$; T 为采样周期。

由于增量式算法无积分饱和问题,具有良好的鲁棒性和控制精度,因此本设计采用增量式数字 PI 算法,计算方式为

$$\Delta u_k = A e_k + B e_{k-1} \quad (3)$$

式中 $A = K_p(1 + \frac{T}{T_i})$; $B = -K_p$ 。

由式(3)可知, A 、 B 值的大小直接与电源的输出控制相关。根据焊接电源的特性,采取分段的 PI 调节技术,可以保证小电流时防止熄弧,大电流时防止功率管的电流过冲。

3 实验结果

实验结果表明,直流脉冲电源能够实现不同频率和不同脉宽的线性输出,脉冲电流 30~100 A,基值电流 5~15 A,脉冲频率 0~20 kHz,脉冲宽度可调范围 0~100%。

以 5 kHz 脉冲为例,图 5 为脉冲电源在钨极直径 1 mm,钨极与工件距离 2 mm,基值电流 5 A,峰值电流 80 A,占空比 50%的条件下,工件为 1Cr18Ni9Ti 不锈钢板,频率为 5 kHz 的实测电压、电流波形。

由图 5 可知,在 5 kHz 脉冲频率下,在脉冲上升沿电流的平均变化率为 30~60 A/ μ s,在脉冲下降沿电流的平均变化率为 30~50 A/ μ s。

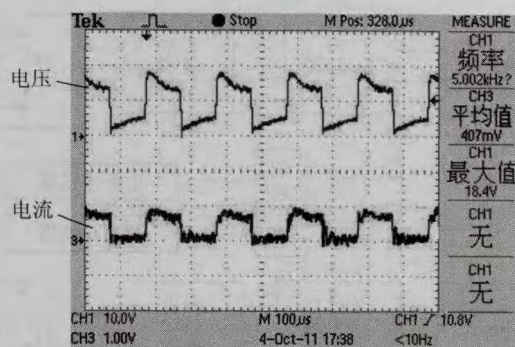


图 5 5 kHz 脉冲电源波形

4 结论

(1)采用双闭环的分段 PI 控制方法可以实现可靠、精确的脉冲电源输出控制。

(2)采用 CPLD 技术实现了复杂的输出控制,减少了 ARM 的运算量,同时提高系统柔性和稳定性。

(3)采用 ARM+CPLD 系统的双电源脉冲控制系统实现可调脉冲电流 30~100 A,可调基值电流 5~15 A,可调脉冲频率 1~20 kHz,可调脉冲宽度 0~100%,可以实现不同的焊接工艺。

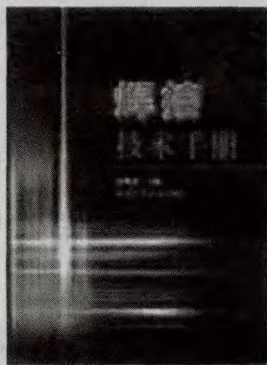
参考文献:

- [1] 赵家瑞,张东元,孙 栋,等.矩形波直流脉冲 TIG 焊电弧稳定性的研究[J].焊接学报,1988(3):48-57.
- [2] 张恩勤,施颂椒,翁正新,等.模糊控制与 PID 控制方法的比较[J].上海交通大学学报,1999(4):501-503.
- [3] 张兴柱.开关电源功率变换器拓扑与设计[M].北京:中国电力出版社,2010.
- [4] 刘胜利.高频开关电源实用新技术[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [5] 刘金琨.先进 PID 控制 MATLAB 仿真(第二版)[M].北京:电子工业出版社,2004.

《焊接技术手册》

书号:166

定价:99 元



本手册反映了当前焊接生产的现状和前沿技术,具有实用性、准确性和先进性,兼顾常规技术与先进技术,使读者对焊接新材料、新装备与新技术的运用有扩展思路的空间。读者可从书中查找与焊接技术相关的各种实用资料,是处理和解决焊接问题的必备工具书。本手册主要供工程技术人员、管理人员、高级焊接操作人员和大专院校师生使用。高效优质地生产焊接结构是研究焊接问题的出发点与归宿。本手册介绍了焊接结构的特点、焊接工艺文件的编制方法和要求,对焊接结构生产中的应力与变形控制这一难点问题进行了分析并提出了相应的解决办法;介绍了焊接材料的特点,突出介绍焊接材料及高效药芯焊丝的选用和正确使用。在材料焊接技术中注意反映新发展的、焊接性优良的微合金钢等新型结构材料的焊接,并特别关注不同材料优势焊接方法的介绍。本手册除了介绍焊接新工艺、新设备及其典型设备型号与生产厂家外,还介绍相关设备的工作原理和控制技术;为保护工人健康,还介绍了焊接清洁生产的要求。