

基于 DSP 的一体化双丝脉冲 MIG 焊 数字波控研究

黄石生, 缪正平, 吴开源, 文元美

(华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640)

摘要:为改善双丝脉冲 MIG 焊的协同控制,在基于单一 DSP 芯片 TMS320LF2407A 控制下的一体化双丝脉冲 MIG 焊接系统的基础上,利用 DSP 内部集成的脉宽调制模块,以软件方式实现了主、从机两台逆变电源 PWM 信号的直接数字化控制,从而实现主、从机的高频逆变和低频脉冲波形调制,最终实现双丝脉冲 MIG 焊的波形控制。针对双丝脉冲 MIG 焊熔滴过渡过程的控制,通过改变焊接参数进行工艺试验。试验结果表明,基于 DSP 的一体化双丝脉冲 MIG 焊协同控制系统性能稳定,能有效实现两台弧焊逆变电源之间的协同控制,焊接性能好,稳定可靠。

关键词:双丝脉冲 MIG 焊;波形控制;一体化;DSP

中图分类号: TG409

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2009)08-0049-05

Research on digital waveform control for integrative twin-wire pulsed MIG welding based on DSP

HUANG Shi-sheng, MIAO Zheng-ping, WU Kai-yuan, WEN Yuan-mei

(School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: To improve the synchronic control of twin-wire pulsed MIG welding, the control system of integrative twin-wire pulsed power supply based on DSP chip TMS320LF2407A was established in this paper. By adopting the PWM generation modules integrated in DSP, the digital control of the PWM signal is realized in software mode, so the high frequency inverter and low frequency pulsed waveform modulation of master and slave power supplies are realized. Finally the system achieved the waveform control of twin-wire pulsed MIG welding. For the control of metal transfer process in the twin-wire pulsed MIG welding, the welding experiments were carried out. The results of welding experiments show that the twin-wire integrative system based on DSP is stable, and achieved the synchronic control, and the weld quality is excellent.

Key words: twin-wire pulsed MIG welding; waveform control; integrative; DSP

0 前言

双丝自动焊因具有焊接速度快、熔敷系数高、焊接质量好等优点而备受各国焊接学者关注^[1]。与单电弧焊接技术相比,双丝焊由于两个电弧共同在一个熔池上燃烧,不仅提高了总的焊接热输入,而且改变了热量分布的特点,在进行高速焊时能有效避免咬边等缺陷,可以大大提高焊接速度和生产效率,能

够获得优质美观的焊缝质量^[2-3]。目前,高效化焊接方法和不同焊接工艺的组合大量应用于各种生产场合。

常用的双丝脉冲 MIG 焊采用两台双控制系统经协同控制的焊接电源供电。两台双控制系统的弧焊逆变电源要实现协同控制,必须在工作过程中进行数据通信,以确保它们的输出电流相位实现相位关系。通常采用 CAN 现场总线逐脉冲通信的方式,但该方式硬件设计复杂,容易受到外界干扰,不利于焊接过程的稳定。而一体化单控制系统组成的双丝脉冲 MIG 焊可通过软件实现两电源协同控制,避免了上述缺陷。

收稿日期: 2009-04-06

基金项目: 广东省工业科技攻关计划资助项目(2007A010300005)

作者简介: 黄石生(1938—),男,广东人,教授,博导,主要从事科研教学、培养博士以及产业新研究开发和现代电源与智能控制等方面的工作。

1 一体化双丝脉冲 MIG 焊控制系统

双丝脉冲 MIG 焊系统由两套脉冲焊接系统经过协同控制组合而成。所设计的一体化双丝脉冲 MIG 焊控制系统如图 1 所示,由 DSP 控制系统和两台逆

变焊接电源组成,两台逆变焊接电源设定为主从模式,主机电弧在前,从机电弧在后。主、从机采用脉冲输出方式,采用脉冲电弧可以有效地降低主、从机两电弧对熔滴过渡的影响。

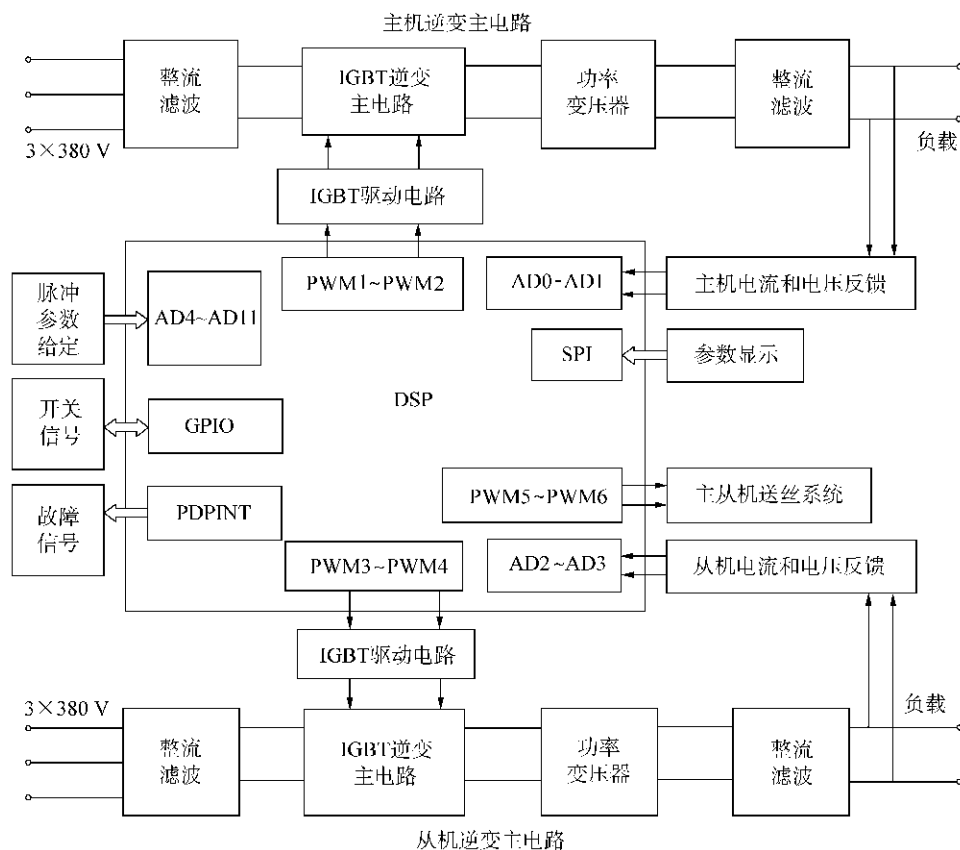


图 1 一体化双丝脉冲焊的 DSP 控制系统框图

所构建的基于 DSP 的一体化双丝脉冲 MIG 焊数字化控制系统以美国 TI 公司专门为数字化控制而推出的 16 位定点数字信号处理器 TMS320LF2407A 为核心控制芯片。该芯片包括两个事件管理器模块和 AD 转换模块,事件管理器模块包括通用定时器、比较单元、捕获单元以及正交编码脉冲电路,两个事件管理器模块共产生 10 路独立的 PWM 脉冲信号。AD 转换模块包括多达 16 个可编程的模拟输入通道^[4]。应用 DSP 内部集成的 AD 转换模块和 PWM 模块用软件可实现如图 1 所示的 12 路 AD 信号采样和 6 路 PWM 信号的数字化调制,配合输出信号检测、运算处理和算法,就可实现双丝脉冲波形调制输出控制。

2 脉冲波形调制及其控制算法

脉冲焊参数主要包括峰值电流 I_p 、基值电流 I_b 、

峰值时间 T_p 和基值时间 T_b 等,如图 2 所示^[5]。中低频脉冲波形调制示意如图 3 所示。其脉冲波形的调制机理为:三相交流工频(50~60 Hz)经整流滤波变成直流后,借助大功率 IGBT 的开关作用,将直流变成逆变频率为 20 kHz 的交流方波,经高频变压器降压后再经过肖特基快速二极管整流输出加以中低频调制而获得 1~1 000 Hz 的矩形波脉冲。中低频的调制信号由控制系统提供。从本质上来说,它是对输出固有频率为 20 kHz 的脉冲宽度进行调制,得到较低频率的信号,使其脉冲宽度出现一段宽一段窄,宽的一段为较低频率的脉冲峰值电流,窄的一段为脉冲基值电流^[6]。

在双丝脉冲 MIG 焊逆变电源中,电源的外特性采用峰值阶段恒电流+基值阶段恒电流(I-I),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精确控制,在基值阶段电流稳定

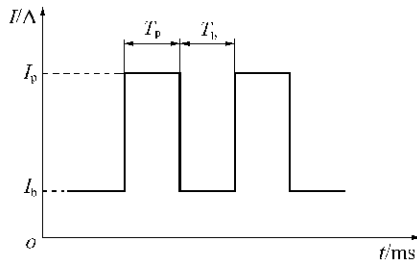


图 2 焊接脉冲参数

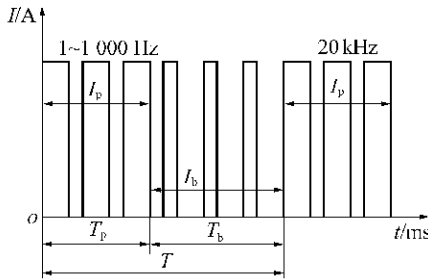


图 3 脉冲波形调制示意

不易熄弧。通过电流实时反馈和数字 PI 控制可达到恒电流控制的目的,实现峰值阶段恒电流+基值阶段恒电流的电源外特性。

为了获得良好的控制效果,脉冲电流控制系统采用变参数的增量式数字 PI 控制方法,即在峰值阶段和基值阶段分别采用不同的 PI 控制参数。PI 控制器的输出信号 $m(t)$ 能同时成比例反映其输入信号 $e(t)$ 和它的积分^[7]。其结构原理如图 4 所示。

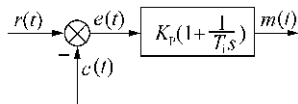


图 4 PI 控制器原理

传递函数为

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) = \frac{K_p}{T_i} \cdot \frac{T_i s + 1}{s}$$

动态方程为

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

式中 K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数。

其控制增量为

$$\Delta m_k = m_k - m_{k-1} = K_p \left[(e_k - e_{k-1}) + \frac{T}{T_i} e_k \right]$$

PI 控制器中各个校正的环节作用为:

(1)比例环节 P。在比例控制中,控制器的输出与输入误差信号成比例关系,即成比例地反映控制系统的偏差信号 $e(t)$,偏差一旦产生,控制器立即产生控制作用,以减小偏差。

(2)积分环节 I。在积分控制中,控制器的输出与输入误差信号的积分成正比关系,主要作用是消除稳态误差。在控制器中引入“积分项”,积分项对误差取决于时间的积分,随着时间的增加,积分项会增大。这样,即便误差很小,积分项也会随着时间的增加而加大,它推动控制器的输出增大,使稳态误差进一步减小,直到等于零。

可见,比例积分的作用在于:在保证系统稳定的基础上提高系统的性能,从而提高系统的稳定精度,改善其稳态性能。

在电路控制系统中,需要控制的变量是 PWM 驱动脉冲的宽度,即 PWM 占空比。所以将控制增量作相应的变换,可以得到

$$W_{pwmk} = W_{pwmk-1} + \alpha \cdot e_k + \beta \cdot e_{k-1}$$

式中 $\alpha = K_p [(T+T_i)/T_i]$, $\beta = -K_p$, α, β 通过大量试验后确定; e_k 和 e_{k-1} 分别是第 k 次和第 $k-1$ 次电流给定值和反馈值之差; W_{pwmk} 和 W_{pwmk-1} 分别为第 k 次和第 $k-1$ 次 PWM 脉冲信号的宽度。

PI 控制算法流程如图 5 所示。

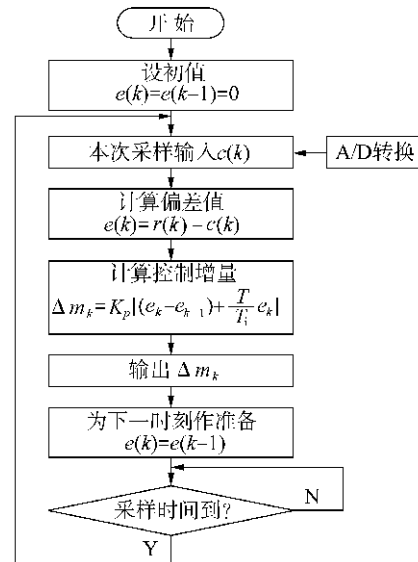


图 5 PI 控制算法流程

3 双丝脉冲波形相位协同关系的调制

3.1 双丝脉冲波形协同控制

双丝焊的问题主要是两个电弧之间的干扰,而这种干扰直接表现为焊接过程熔滴过渡的不稳定性。采用脉冲电弧方式,通过控制两路脉冲电流的相位关系使得两个电弧的脉冲阶段交替出现,即对两路脉冲电流的输出进行协同控制,从而有效地降低了两个电弧相互间的作用力,有利于电弧的稳定。

此一体化双丝焊机设定为主从模式,采用脉冲电流进行焊接,两个电源由同一 DSP 控制,通过软件设计可以实现如图 6 所示的协调控制。

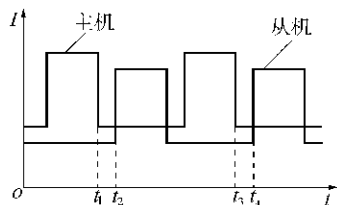


图 6 协同控制方式

3.2 一体化双丝脉冲波形协同控制软件设计

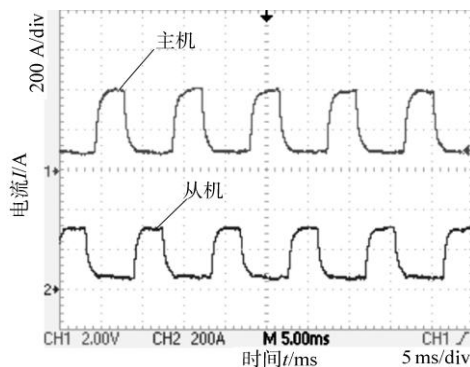
双控制系统组成的双丝脉冲 MIG 焊系统中的两台弧焊逆变电源要实现协同控制,必须在工作过程中进行数据通信,以确保它们的输出电流相位实现相位关系。通常采用 CAN 现场总线逐脉冲通信的方式,但该方式硬件设计复杂,容易受到外界的干扰,不利于焊接过程的稳定。采用一体化的双丝脉冲 MIG 焊控制系统只需通过软件编程便能实现协调控制。

基于 DSP 的一体化双丝脉冲 MIG 系统的软件设计主要分为两部分:脉冲波形调制部分和双丝协同控制部分。协同控制系统的软件采用模块化程序设计,根据控制系统完成的功能,分为不同的功能模块。软件部分要完成主、从机两台电源之间的协同控制及各自的焊接电流、电弧电压、峰值时间、基值时间以及送丝速度等焊接参数的设定,实现对反馈采样信号的处理,对焊接过程的实时监控、焊接参数的动态显示以及对焊接时序进行设置等功能。TMS320LF2407A 的定时器 T_1 和 T_3 的周期中断服务程序用于产生 20 kHz 的高频 PWM 信号来驱动 IGBT 模块。

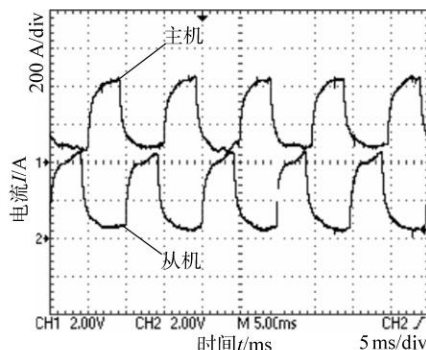
定时器 T_2 和 T_4 的周期中断服务程序用于进行双丝脉冲波形的协同控制。 T_2 周期中断服务子程序用于主机峰值时间和基值时间的定时, T_4 周期中断服务子程序用于从机峰值时间和基值时间的定时。 T_4 以 T_2 计数为参考点,延时半个脉冲周期启动计数,实现从机与主机之间的交替相位输出。通过以上的软件设计可达到主、从机数字化协同控制的目的。

4 一体化双丝脉冲 MIG 焊试验结果

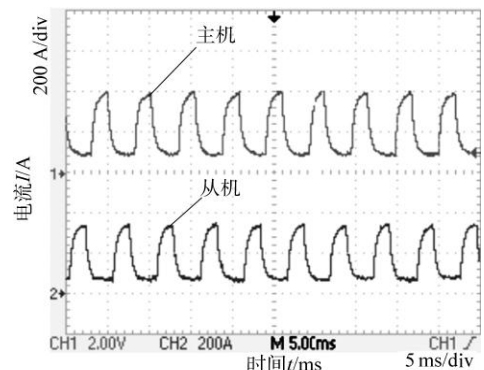
双丝高速焊试验采用的焊接条件为:4 mm 厚低碳钢板,焊丝 H08Mn2SiA,焊丝直径 φ 1.2 mm,保护气 $\varphi(\text{Ar})80\% + \varphi(\text{CO}_2)20\%$,气流量 20 L/min,堆焊试验。协同控制双丝焊接电流波形和相应焊缝如图 7 所示。



主机: $I_p=400\text{ A}, I_b=80\text{ A}$; 从机: $I_p=320\text{ A}, I_b=70\text{ A}$; 脉冲频率 $f=102\text{ Hz}$; 占空比 35%; 焊速 1.5 m/min。



主机: $I_p=400\text{ A}, I_b=90\text{ A}$; 从机: $I_p=340\text{ A}, I_b=80\text{ A}$; 脉冲频率 $f=172\text{ Hz}$; 占空比 40%; 焊速 1.8 m/min。



主机: $I_p=480\text{ A}, I_b=90\text{ A}$; 从机: $I_p=420\text{ A}, I_b=70\text{ A}$; 脉冲频率 $f=100\text{ Hz}$; 占空比 43%; 焊速 2.0 m/min。

图 7 双丝焊电流波形和相应焊缝



由试验结果可知,采用协同控制双丝脉冲焊时,主、从机输出电流波形的相位刚好相差 180° ,相邻脉冲之间的间隔非常均匀,没有丢失和重叠的现象,并且其峰值电流和峰值时间几乎是固定不变的,因此可以认为两个电弧是在交替进行脉冲熔滴过渡。由于两个电弧以交替的脉冲方式进行焊接,脉冲电流到达峰值的时间不同,所以极大地减少了两个电弧之间的相互作用力,从而有效地降低了两个电弧之间的干扰。焊接过程无短路、断弧等现象,且声音柔和;熔滴过渡稳定、规则;脉冲电弧非常稳定、无飞溅、焊缝表面光滑、成形美观、效果好、焊接质量高。

5 结论

(1)基于 DSP 的一体化双丝电源大大简化了双丝脉冲焊控制系统的硬件设计,通过软件实现脉冲相位的协同控制。

(2)试验结果表明:所设计的基于 DSP 的一体化双丝脉冲 MIG 焊控制系统能有效地实现两台弧

焊逆变电源之间的协同控制,性能可靠。一体化双丝脉冲 MIG 焊电源的频率和脉冲占空比可调范围大,焊接性能好,稳定可靠。

参考文献:

- [1] 黄石生,吴祥森,王志强,等.现代焊接电源的新发展[J].中国机械工程,2002(14):36-39.
- [2] NADZAM J.Tandem GMAW offers quality weld dePosits, high travel sPeeds[J].Welding Design and Fabrication, 2003, 71(11):28-31.
- [3] 李星林,黄石生,吴开源,等.双丝脉冲 MIG/MAG 焊的研究现状和发展方向[J].电焊机,2007,37(10):11-13.
- [4] 刘和平.TMS320LF240X DSP 结构原理及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [5] Pan Jiluan, Ou Zhiming, Wu Zhiqiang, *et al.* Pulsed inert gas metal arc welding with feed back control[J].Schweissen und Schneiden, 1985, 37(4):54-55.
- [6] 吴开源.基于 DSP 的 GMAW-P 焊逆变电源数字化智能控制系统的研究[D].广州:华南理工大学,2005.
- [7] 陶永华.新型 PID 控制及其应用[M].北京:机械工业出版社,2002.