

基于 DSP 的数字化焊机

张根元,李 婧,吴冬春,陈洪莲,孙 焯,田松亚

(河海大学 机电工程学院,江苏 常州 213022)

摘要:基于 DSP 的数字化焊机设计,采用 TMS320F240 数字信号处理器作为 CO₂ 焊接电源的控制核心,IGBT 全桥逆变主电路,以软件方式实现波形控制,并设计了焊接过程中的短路与缩颈信号的检测电路。试验结果表明,主电路工作稳定,检测电路能准确地测出短路、缩颈信号,控制软件可靠性高,能完成所需的波形控制功能。

关键词:DSP;数字化焊机;信号检测;波形控制

中图分类号:TG409

文献标识码:A

文章编号:1001-2303(2006)08-0018-04

Study of digital welding machine based on DSP

ZHANG Gen-yuan, LI Jing, WU Dong-chun, CHEN Hong-lian, SUN Ye, TIAN Song-ya

(College of Mechanical & Electrical Engineering, Hohai Univ., Changzhou 213022, China)

Abstract: Based on the digital design, taking digital signal processor TMS320LF240 as control core, it realizes waveform control and signal detecting circuits. The results show that the main circuit works stably, some signal can be detected accurately.

Key words: DSP; digital welding; signal detecting; waveform control

0 前言

CO₂ 焊接技术问世以来已获得了广泛应用,其金属飞溅大和焊缝成形差是 CO₂ 焊接研究的热点和难点。焊接设备数字化因其控制性能优良,能较好地解决上述问题,而成为研究主流,相应的数字控制系统应运而生,微控制器(单片机)、PLC、DSP 等数字化芯片大量使用,使焊接设备管理、波形(参数)给定、闭环控制、通信等功能^[1]成为可能。

该研究设计的数字化焊机是在逆变电源的基础上,结合计算机技术,采用数字信号处理器(DSP),通过微处理器的精确运算来控制焊机的各项性能和工作全过程,控制电路高度集成、简化,且实现了数控化。相对于采用以运算放大器、电阻、电容等为核心的控制系统,不存在固有的元件参数漂移、性能随环境和时间而变化等缺点^[2]。

为了进一步提高焊接性或满足一些特殊应用的需要,波形控制技术在焊接中得到了广泛的应用。如 SIT 控制法,对改善焊缝成形和减少飞溅起到

了显著成效。并且以软件实现的波形控制方法表现出越来越明显的优势。

本研究设计了基于 TMS320F240 DSP 为主控元件的数字化焊机的主电路,并对焊接过程中的短路、缩颈进行实时检测,达到波形控制的目的。

1 数字化逆变系统设计

焊机数字化包括主电路数字化和控制电路数字化。以 TMS320F240 DSP 芯片作为 CO₂ 焊接电源的控制核心。主电路采用交—直—交—直转换电路;控制系统包括电压、电流反馈系统, DSP 系统和接口电路,短路和燃弧状态检出电路,送丝机调速和控制系统。其系统框图如图 1 所示。

工作原理为:为了获得更好的动态响应特性,通过霍尔传感器采集反馈电流 I_f 和反馈电压 U_f , 采样数据输入到 DSP 的 A/D 转换模块,并转换为数字信号,再经实时数据处理、运算和输出控制模式,输出 PWM 信号,该信号经过驱动电路输送到 IGBT 模块,控制 IGBT 的通断,从而产生所需脉宽。此外,焊接若有过电流、过电压、过热现象产生, DSP 控制系统即产生中断、复位,关断驱动脉冲。

收稿日期:2005-12-08;修回日期:2006-07-05

作者简介:张根元(1963),男,江苏昆山人,高级工程师,硕士,主要从事焊接过程智能控制方面的研究工作。

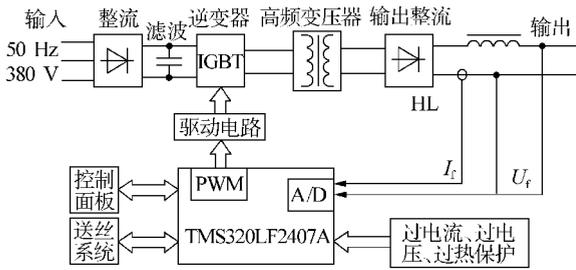


图 1 数字化波控焊机系统框图

Fig.1 Digital waveform welding power system block

1.1 逆变主电路单元

逆变 CO₂ 焊接电源的主电路承担着转换、传递能量的任务,是整个电源基础。主电路必须安全、可靠,器件参数选择应该以极限工作条件为依据,并留有

一定余量,保证所选器件工作在安全区域。主电路采用全桥逆变拓扑结构如图 2 所示。其中二极管 VD₁~VD₆ 组成输入整流滤波电路;高频滤波电容 C₁ 吸收电网与逆变电路间谐波干扰;R₂,R₃,C₂,C₃ 组成滤波电路;R₁ 限制启动时合闸浪涌电流;继电器 K 控制 R₁ 切换,启动后闭合,把 R₁ 从主电路去除;R₁₀,R₁₁,VS₉,C₁₁ 组成延时电路控制 R₁ 切换时间。VG₁~VG₄ 功率开关管 IGBT 与中频变压器 TF₁ 组成逆变器;R₄~R₇,C₄~C₇,VD₁₀~VD₁₃ 组成 VG₁~VG₄ 的 RC 吸收回路,减小 IGBT 开关过程电压冲击。快速整流二极管模块 VD₇,VD₈ 和直流电抗器 L₁ 组成单相全波整流滤波输出电路;R₉,C₉,R₁₀,C₁₀ 组成 VD₇,VD₈ 的吸收回路。

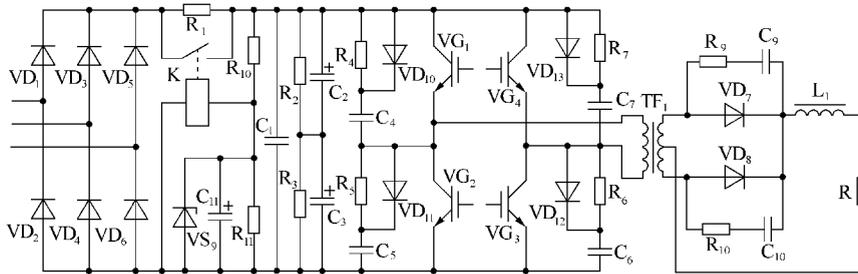


图 2 逆变 CO₂ 焊接电源的主电路

Fig.2 Inverter CO₂ welding power main circuit

主电路调试实验时,设模拟负载 $R=0.5 \Omega$,保护电容 $C_4=C_5=C_6=C_7=0.001 \mu F$,保护电阻 $R_4=R_5=R_6=R_7=6.8 \Omega$,TF₁ 中频变压器,R 模拟负载电阻,硬开关驱动方式 VG₁,VG₃ 与 VG₂,VG₄ 分别同时开、关,两组交替进行,得到图 2 中 IGBT 的 VG₂ 两端 A,B 两点间的电压波形图如图 3 所示。

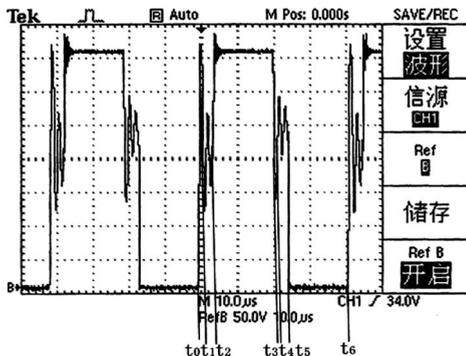


图 3 IGBT 的 CE 两端的电压波形

Fig.3 Voltage wave of CE in IGBT

主电路的工作过程:

(1) $t_0 \sim t_1$ 时段。VG₂,VG₄ 从导通转到关断状态,变压器一次侧续电流,对 C₄,C₆ 充电,当 C₄ 电压变为上负下正时,续电流二极管 VD₁₀,VD₁₂ 导通,直到 t₁ 时刻。

(2) $t_1 \sim t_2$ 时段。续电流二极管 VD₁₀,VD₁₂ 上的电流变为 0,被关断,变压器一次侧由于漏感作用,在一个 LRC(L 为变压器的漏感;R,C 为保护电路的阻容)回路中发生振荡,直到 t₂ 时刻。

(3) $t_2 \sim t_3$ 时段。VG₁,VG₃ 导通,直到 t₃ 时刻。

(4) $t_3 \sim t_4$ 时段。VG₁,VG₃ 关断,变压器一次侧续电流,对 C₅,C₇ 充电,当 C₇ 电压变为上负下正时,续电流二极管 VD₁₁,VD₁₃ 导通,直到 t₄ 时刻。

(5) $t_4 \sim t_5$ 时段。续电流二极管 VD₁₁,VD₁₃ 上的电流变为 0,被关断,变压器一次侧在一个 LRC 回路中发生振荡,直到 t₅ 时刻。

(6) $t_5 \sim t_6$ 时段。VG₂ 和 VG₄ 导通,直到 t₆ 时刻,VG₂,VG₄ 断,进入下一个循环。

从主电路调试实验可以看出逆变主电路能满足要求。

1.2 采样电路单元

因 DSP 自带有 A/D 转换模块,仅需设计采样电路,采集电压、电流信号送入 DSP 即可,如图 1 所示。

(1)电流采样。系统电流反馈信号 I_f 通过霍尔电流传感器 CSK4~400 A 获取。该器件额定电流(有效值)±400 A,线性范围 0~±800 A,额定输出 ±4 V,工作

专题讨论——焊接设备

电压±15 V DC, 精确度±1%, 响应时间小于 1 μs, 完全满足焊接回路电流反馈信号采集需要。将此霍尔电流传感器串入电路, 得到反馈电流信号, 接入 DSP 的 ADCIN0 脚。

(2)电压采样。电压反馈信号 U_f 的采集通过光耦 6N136 完成, 输出限定在 0~3.3 V, 接入 DSP 芯片 ADCIN1 脚。图 4 是电压波形采样后经 D/A 转换后输出的波形, 图中 A 为实际的电压波形, 图中 D 为采样后的波形。

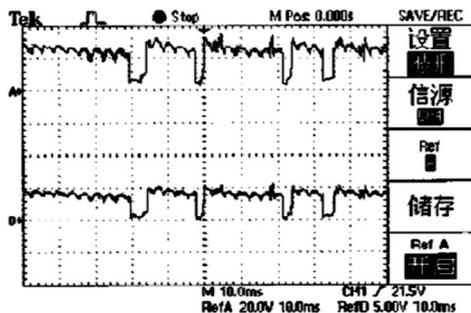


图 4 电压采样波形
Fig.4 Sampling voltage wave of arc

1.3 短路和缩颈信号检测

短路信号通过对电弧电压进行检测来获得, 如图 5 所示。 U_f 电压信号源, R_3 作用是给定短路检测电压阈值。当电弧电压高于或低于短路阈值电压时, 比较器 U_{SB} 的 7 脚输出高电平或低电平, 向 CPU 申请中断。通过调试选取短路阈值电压 8.6 V。

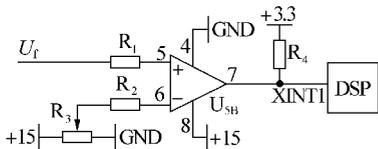


图 5 短路信号检测电路
Fig.5 Detection circuit for short-circuit signal

缩颈信号检测电路如图 6 所示。采用电弧电压的一阶微分信号进行检测, 信号接入 DSP 的 IOPE3 口。 U_f 是得到的信号源, 因其含有燃弧和短路 2 个阶段的信号, 燃弧阶段的信号对于缩颈检测电路来说是多余的, 可能对缩颈检测电路产生干扰, 有必要将燃弧期间的电压信号滤除。为此, 在微分电路之前采用了一个削波电路见图 6 中稳压二极管 VS_3 。又因微分信号太弱, 不能直接驱动快速光耦 6N137, 该微分电路后加了两级放大电路。当缩颈时刻到来时, 光耦 6N137 输出低电平, 并送至 DSP。

通过实验测得短路、缩颈波形如图 7 所示, 表明检测电路可以很准确地检测到短路、缩颈信号。图 7 中 1 与 A 为真实信号, 2 与 D 为检测到的信号。

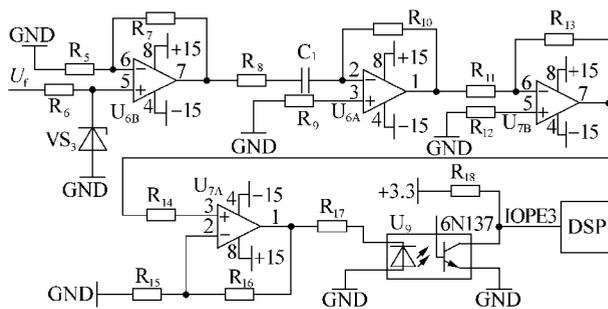
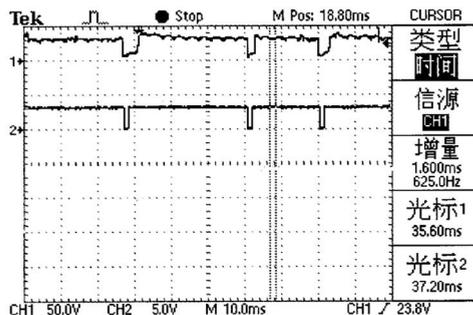
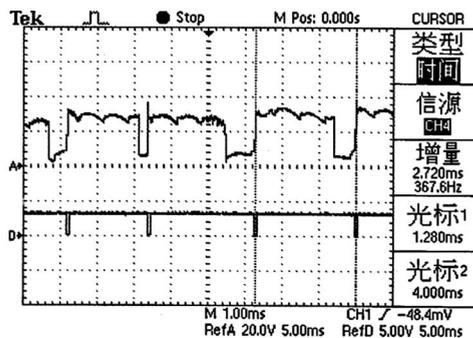


图 6 缩颈信号检测电路
Fig.6 Detection circuit for liquid bridge pinch circuit



a 短路



b 缩颈

图 7 信号检测波形

Fig.7 Signal detection for short circuit and liquid bridge pinch

1.4 数字 PWM 单元

在弧焊逆变电源中, 数字化 PWM 芯片的设计是数字化弧焊逆变电源实现数字控制的关键。PWM 波形生成实验采用事件管理器 A 的通用定时器 1 产生两路 PWM1 和 PWM2 输出信号。设弧焊逆变电源频率 25 kHz, 周期 40 μs, 死区时间 4 μs。图 8 是 PWM 生成模块输出对偶波形, 幅值 3.3 V, 波形严格一致, 相位精确。为了避免直通, 两组 PWM 波形必须保留 4 μs 以上的“死区”。脉宽在限定的死区外连续可调。

2 控制系统软件结构和初始化程序

2.1 波形控制原理

为了减少飞溅, 更好地改善焊缝成形, 研究工

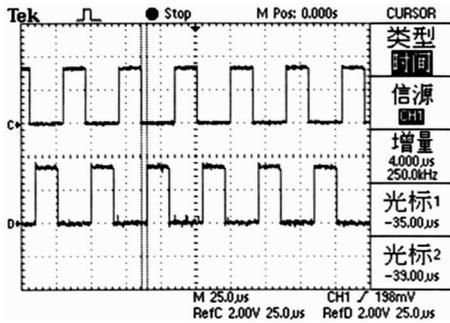


图 8 PWM 生成模块输出的波形

Fig.8 Output wave for PWM production module

作者提出了波形控制法,即通过控制短路和燃弧期间的电流波形。将整个短路过渡周期分为短路初期、液桥形成段、缩颈段、液桥爆断段、重新引弧段、等离子体扩展阶段和等离子体稳定阶段 6 个阶段进行控制,如图 9 所示。

在该设计中应用了软件实现波控,能够精确控制短路初期、液桥爆断时刻以及等离子体扩展阶段的电流、电压。

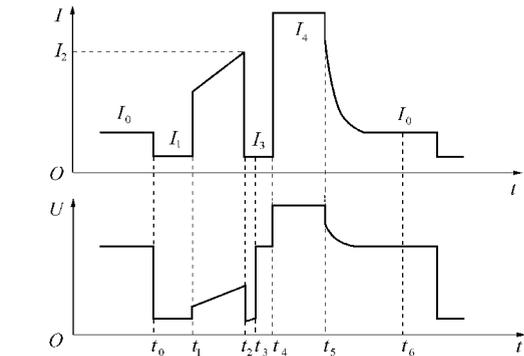


图 9 STT 法控制波形
 I_0 —燃弧电流; I_1 —短路电流; I_2 —缩颈电流; I_3 —表面张力过渡期电流; I_4 —再引燃峰值电流。

图 9 STT 法控制波形

Fig.9 STT control current and voltage wave

2.2 软件流程图和初始化程序

系统的软件设计采用模块化设计,包含主程序与各种功能的子程序。采用 DSP 的 C 语言编写燃弧、短路阶段程序。其流程图如图 10 所示。

引弧阶段,通过焊枪开关闭合来检测焊接的开始,

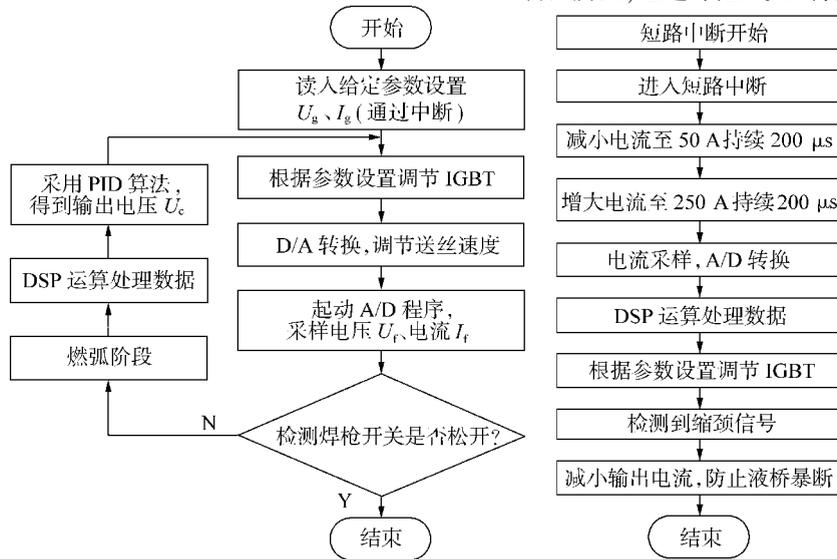


图 10 焊接过程(短路、燃弧阶段)流程

Fig.10 Block diagram for welding process

引弧是否成功通过门阈值电压 U_k 的大小来检验。短路过渡阶段检测到短路信号后,进入中断子程序,调节 PWM,增大电调节 PWM,减小电流输出,防止液桥暴断。熄弧阶段,依次关断送丝机、PWM、IGBT 气阀。

3 结论

(1)设计了 IGBT 全桥逆变主电路,调试运行稳定、可靠。

(2)设计了焊接过程电流、电压反馈信号采样,使得控制系统和焊机主电路得以构成闭环控制系统。

(3)能准确检测短路与缩颈信号的检测电路,为波控实现提供了可靠保障。

(4)相应开发了与硬件系统配套的控制软件,其可靠性高、性能好。

参考文献:

- [1] 殷树言,张九海.气体保护焊工艺[M].黑龙江:哈尔滨工业大学出版社,1989.
- [2] 李鹤岐,李春旭,高忠林,等.基于 DSP-MCU 实现焊接电源系统数字化控制的设计[J].焊接学报,2005,26(3):17-20.

专题讨论——焊接设备