

文章编号: 1673-5196(2007)01-0021-04

基于 DSP 的数字化逆变式 IGBT 交直流方波脉冲 TIG 焊机研制——软件设计

李鹤岐^{1,2}, 郭学良¹, 王珊¹, 张鹏¹, 李虹¹

(1. 兰州理工大学 材料科学与工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学 有色金属合金省部共建教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 介绍了 DSP 控制的数字化逆变式 IGBT 交直流方波脉冲 TIG 焊的软件设计. 介绍了 TI 公司 TMS320 系列 DSP 及其开发环境、开发流程以及软件 CCS 的使用. 根据系统输出波形的需要, 采用模块化软件设计的方法设计了控制系统主程序, 中断服务程序以及子程序. 系统经脱机联机调试后, 输出波形稳定、平整, 达到了预期的要求.

关键词: DSP(数字信号处理器); CCS(集成开发环境); COFF(公共目标文件格式); TMS320F240

中图分类号: TG434.1 **文献标识码:** A

Development of TIG welding machine with digital IGBT AC/DC square-wave pulse inverter by using DSP

LI He-qi^{1,2}, GUO Xue-liang¹, WANG Shan¹, ZHANG Peng¹, LI Hong¹

(1. College of Material Science and Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. Key Lab. of Non-ferrous Metal Alloys, The Ministry of Education, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: Software designing of TIG welding machine with digital IGBT AC/DC square-wave pulse inverter controlled by DSP was introduced. TMS320-serial DSP produced by Texas Instruments Corp., its developing environment and program flow, and the use of the software CCS were also introduced. According to the requirement of output waveform, the main program of control system, interruption service routine, and subroutines were designed by using modularized software design method. Offline and online experimental results indicated that waveforms were stable and regular, so that the goal was attained.

Key words: DSP(digital signal processor); CCS(code composer studio); COFF(common object file format); TMS320F240

随着工业和计算机的迅速发展, 铝、镁及其合金材料的应用愈来愈多, 焊接这些材料的交、直流钨极氩弧焊应用也愈来愈广泛. 国外数字化交、直流脉冲钨极氩弧焊已经研制并得以应用, 国内的数字化焊机还是少数高校和企业正在研制、开发的产品. 本文应用数字信号处理器完成数字化交、直流方波脉冲钨极氩弧焊焊接电源.

在完成了以 TI 公司生产的 TMS320F240 型数字信号处理器(DSP)为主控芯片的控制系统硬件电路设计之后, 软件设计是达到数字化控制 TIG 焊接电源非常关键的步骤, 这就要求控制系统软件的结构合理、可靠性高、功能性强、具有强的抗干扰和可

维护性. 本文进行了控制系统的软件设计, 使用 DSP 专用的汇编语言编写控制程序, 研制了全数字化逆变式交直流方波脉冲 TIG 焊机的电源系统.

1 DSP 集成开发环境 CCS

CCS2(code composer studio version 2.0)是美国 TI 公司推出的针对 TMS320 系列 DSP 控制系统的集成开发环境. 包含软件仿真器和硬件仿真器 2 部分, 支持联机和脱机 2 种仿真方式.

1.1 DSP 芯片开发工具^[1]

DSP 芯片的开发需要一套完整的软、硬件开发工具. TI 公司为 TMS320 系列 DSP 提供的软件开发工具, 分为代码生成工具和代码调试工具两类.

代码生成工具主要包括 C 编译器, 汇编器和链

接器,其作用是将 C 语言、汇编语言或两者的混合语言编写的 DSP 源代码程序编译、汇编并链接成可执行的 DSP 代码。

代码调试工具的作用是对 DSP 程序及目标系统进行调试,使之能够达到设计目标。TMS320 系列 DSP 芯片的系统集成和调试工具主要有 C 语言源代码调试器、汇编语言源代码调试器、软件仿真器、评估模块 EVM 和软件开发系统等。

1.1.1 公共目标文件格式

为了标准化软件开发流程, TI 公司采用 COFF (common object file format) 公共目标文件格式。目标文件最小单位叫段(section),就是一组代码或数据。COFF 文件格式的核心概念就是使用代码块、数据块编程,而不是指令和数据简单的顺序编写,其优点是:具有良好的可读性、可移植性,能与系统存储单元充分配合。

1.1.2 汇编器

汇编器(assembler)把汇编语言源文件翻译成机器语言目标文件。两次应用汇编器完成以下工作^[2]:

- 1) 处理源语句,生成可重定位的目标文件;
- 2) 允许用户划分代码成段,每一个目标代码段获得一个 SPC(段程序计数器);
- 3) 定义并引用全局符号,汇编条件块;
- 4) 汇编 TMS320F240 代码。

1.1.3 链接器

链接器对各个 COFF 目标文件进行正确的组合,确定目标系统的内存空间以及各个模块的段在内存中的分配,生成可执行的模块。通过两个命令 MEMORY 和 SECTION,将 COFF 中的段用来建立程序段和数据段,将输入段组合起来建立可执行的 COFF 输出模块,并为输出模块选择存储器地址。

1.2 DSP 系统与仿真器的连接

TMS320 系列 DSP 应用系统具有仿真器的标准接口,通过这个接口用户可以通过 PC 调试、下载应用软件到指定的应用板。

本文设计的 DSP 主控板与仿真器的连接如图 1 所示。

1.3 DSP 软件开发流程^[3]

DSP 软件的基本开发过程为:

- 1) 安装 XDS510 硬件仿真驱动程序和 CCS 软件驱动程序,进行相应的设置,进入仿真调试环境;
- 2) 新建工程 *.mak。在 *.mak 中添加源程序 *.asm 或 *.c,命令文件 *.cmd,以及头文件 *.h;

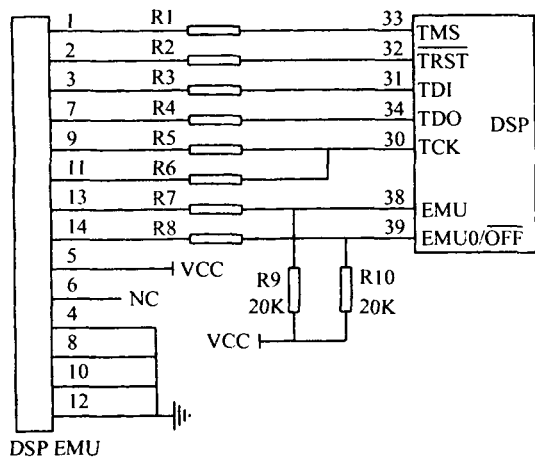


图 1 DSP 主控板与仿真器的连接

Fig. 1 Connection of DSP control board with its emulator

3) 编译代码;

4) 链接生成可执行代码程序 *.out 文件,然后将程序载入目标系统进行调试;

5) 初调成功,将程序烧写进 DSP 进一步调试。

具体开发流程图如图 2 所示。

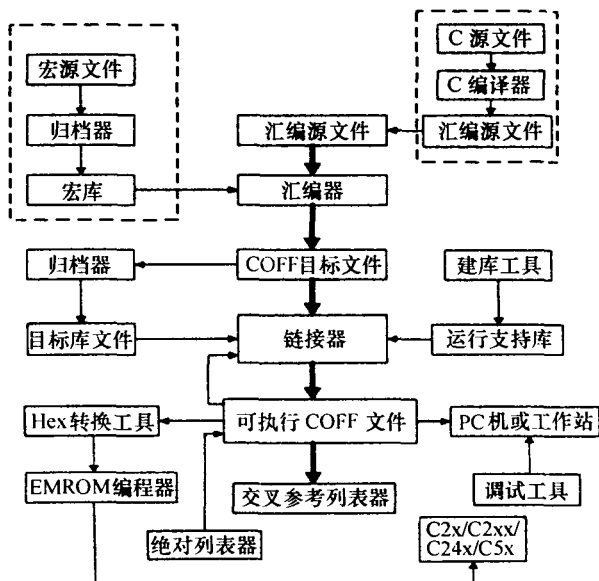


图 2 DSP 软件开发流程

Fig. 2 Developing flow of DSP software

2 PI 控制算法

PI 控制算法的控制规律如下式^[4]:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right] \quad (1)$$

其中, $e(t)$ 是给定值与实际输出值之间的误差, K_p 为比例系数, T_i 为积分时间常数。

写出传递函数的形式为

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2)$$

在 DSP 控制系统中,使用的是数字 PI 控制器,上式也可写为

$$G(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right) E(s) \quad (3)$$

其中, K_p 为比例增益、 K_i 为积分增益,取 z 变换为

$$U(z) = \left(K_p + \frac{z}{T_i(z-1)} \right) E(z) \quad (4)$$

以离散时域表示为

$$u_k = u_{k-1} + K_p [(e_k - e_{k-1}) + K_i e_k] \quad (5)$$

在控制系统中需要控制驱动 PWM 脉冲的宽度,因此写成

$$DPWM_{NEW} = DPWM_{OLD} + \alpha * e_k + \beta * e_{k-1} \quad (6)$$

式中: $\alpha = K_p + K_i$, $\beta = -K_p$.

e_k, e_{k-1} 分别为第 k 次和第 $k-1$ 次电流给定值与反馈值之差; $DPWM_{NEW}$, $DPWM_{OLD}$ 分别为第 k 次和第 $k-1$ 次驱动 PWM 脉冲的宽度; α, β 的值是通过大量实验整理后确定的。

3 控制系统软件设计

系统设计的 DSP 控制程序包括主程序和中断服务程序两大部分。主程序流程如图 3 所示。程序的编制采用模块化的设计方法。

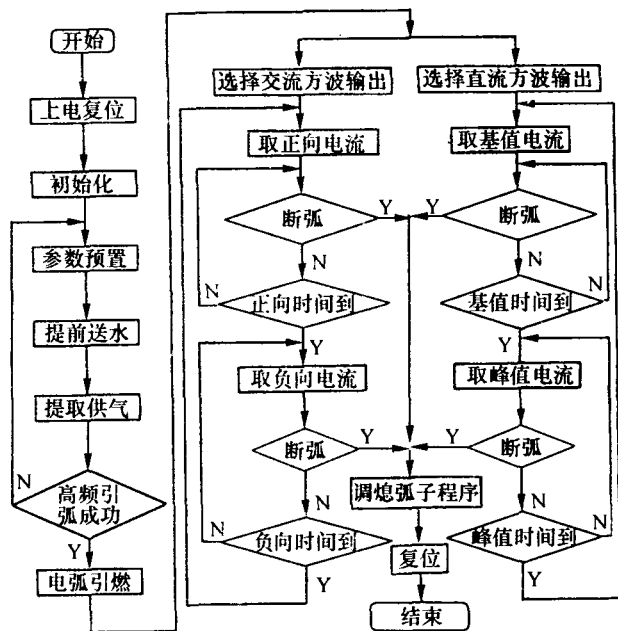


图3 主程序流程图

Fig. 3 Main programme flow

其具体控制思想是:上电复位后进行初始化,主要完成变量声明、中断地址赋值、系统控制寄存器初始化、时钟初始化、中断初始化、I/O 初始化等;参数

预置主要有脉冲频率、占空比等;开始提前送水、供气;在高频引弧成功之后选择焊接方式为交流方波或直流方波。如果焊接是交流方波输出,首先取正向电流值,每时刻判断是否断弧,如果断弧,立即进行调熄弧子程序,如没有发生断弧,继续判断是否到达正向电流时间,正方向时间到达后取负方向电流值,程序这样进行下去,就得到了方波交流焊接方式。选择直流方波输出时,首先取基值电流值,判断是否断弧和是否到达基值时间,如果没有断弧但到达基值时间则程序开始取峰值电流值,再判断是否断弧和峰值时间到达情况,这样就得到预置的基值和峰值的方波直流输出。

通过软件的设计,达到了交流方波输出和直流方波输出,实现了逆变焊接电源交、直流方波两种方式的焊接。

4 系统调试与试验结果

系统调试分为脱机调试和联机调试。脱机调试是指分别测试系统前级、后级驱动脉冲及各模块是否正常工作,是否输出预期的控制信号。这种调试可以先不加焊机的主电路;而联机调试则是给主回路供电而测得是否得到预期的波形输出。

脱机调试的结果显示:系统前级和后级驱动脉冲均能够达到预期的目的,控制信号稳定平整,死区时间可调,可以有效避免两路 IGBT 直通。图 4 为经过分频电路分频之后的 PWM 波形图。

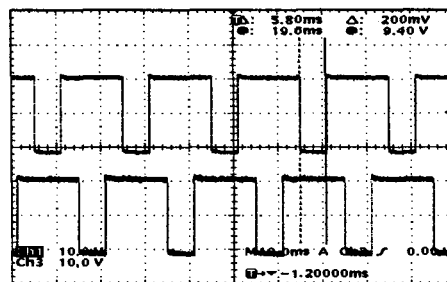


图4 分频后的 PWM 脉冲波形

Fig. 4 Waveform of PWM pulse after frequency division

联机调试主要是对静负载的波形输出进行测试。主电路输入 380 V 交流电,频率 51 Hz,占空比 29.6%。

图 5 和图 6 分别为静负载时直流正方向和直流负方向波形图。对比图 5 和图 6,可以发现,静负载时直流正方向和直流负方向电流的幅值是基本相同的。图 7 为静负载时交流方波脉冲波形图。图中显示:设计的控制系统能够很好地达到预期的目标,得到脉宽可变的交变式矩形波,实现脉冲交流、直流方

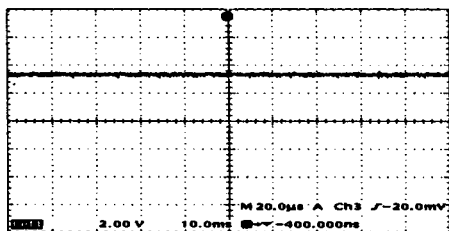


图5 静负载直流正方向波形图

Fig. 5 Waveform of no-load DC positive current

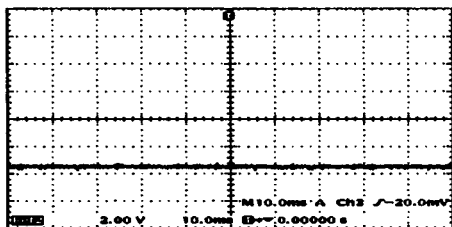


图6 静负载直流负方向波形图

Fig. 6 Waveform of no-load DC counter current

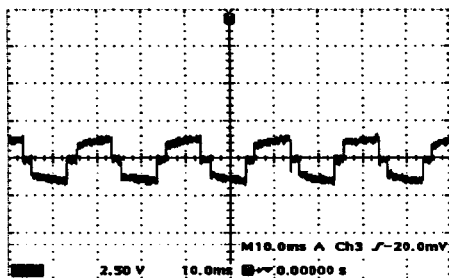


图7 静负载交流方波脉冲波形图

Fig. 7 Waveform of no-load alternating current square-wave pulse

波输出,死区时间可以由程序调节,可达到 2 ms 以上,有效的死区时间可以避免两路 IGBT 直通现象发生而损坏 IGBT,并且保证其他模块的正常工作。

5 结论

1) 本文设计的控制系统软件指令执行效率高,速度快.同一套硬件电路,通过改变软件可以很方便地实现直流正方向、直流负方向和交流三种输出,以满足不同焊接工艺的需要,充分体现了数字化控制的灵活性与优越性。

2) 通过静负载测试表明,焊机能够实现预期的波形输出.其占空比、频率、幅值均独立可调,可满足不同焊接方法的需要。

3) 设计的焊机性能价格比高,软硬件设计均采用模块化设计方法,具有重要的使用价值。

参考文献:

- [1] 尹 勇,欧光军,关荣锋. DSP 集成开发环境 CCS 开发指南 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [2] Texas Instruments Incorporated. TMS320LF/LC24 系列 DSP 指令和编程工具 [M]. 徐科军,译. 北京:清华大学出版社,2005.
- [3] 李鹤岐,路 广,李 虹,等. TMS320 系列 DSP 在逆变焊机中的应用研究 [J]. 兰州理工大学学报,2005,31(3):5-8.
- [4] 路 广. 基于 DSP 的数字化逆变脉冲焊接电源研制 [D]. 兰州:兰州理工大学,2005.
- [5] 李鹤岐,李 芳,吴 荣,等. 单片机控制多功能逆变焊机研究(二)——控制系统模块化软件设计 [J]. 电焊机,2003,33(10):6-8.
- [6] 何建萍,张春波,吴毅雄,等. 基于 DSP 与 MCU 通信的数字化焊机实时控制系统 [J]. 焊接学报,2003,24(4):59-64.