

基于 ARM 微控制器的 CO₂ 电弧焊全数字化逆变电源设计

朱锦洪，路凯通，石红信，李国伟

(河南科技大学 材料科学与工程学院，河南 洛阳 471003)

摘要：采用基于 ARM7TDMI-S 内核的 LPC2131 微控制器设计了一种全数字化控制的 CO₂ 电弧焊逆变电源，完成了硬件电路和软件程序。在设计方案中采用了独立的送丝系统和全桥逆变主电路，选择了送丝速度作为其它焊接参数控制的基准。充分利用了片内软硬件资源，ARM 控制器产生一路双边沿 PWM 脉冲并转换输出，通过电流、电压检测以分时进行短路电流和燃弧电压控制。其硬件结构简单可靠，控制软件可通过升级接口更新算法。文中介绍了设计思路和方法，对全数字化焊接电源研究和开发具有参考价值。

关键词：全数字化电源；逆变器；CO₂ 电弧焊；短路过渡

中图分类号：TG115.28 文献标识码：A 文章编号：0253-360X(2007)08-005-04



朱锦洪

0 序 言

CO₂ 焊接技术在石化、建筑、汽车、造船和航空等众多行业得到了广泛的应用，并能获得良好的经济效益。焊接电源既要体积小、重量轻、使用方便，又要具有高的稳定性、功能强大、有良好的工艺性和动态品质，能够获得良好的焊缝成形和接头性能。事实上，如采用模拟电路实现焊机的所有功能，必然导致系统庞大，甚至其性能由于部分要求的矛盾制约而难于实现。

数字化的焊接电源具有以下显著优点：数字化焊机实现了柔性化控制和多功能集成；控制精度高、稳定性好；产品的一致性好；接口兼容性好；焊机功能升级方便^[1]。由于数字化焊机具有众多的优点，在全世界范围内得到了迅速的发展。

1 设计方案

对于常见等速送丝的短路过渡 CO₂ 电弧焊接，为实现设备模块化设计和增强通用性，设计了独立的送丝电路。送丝部分由斩波器匹配 PWM（脉冲宽度控制）电路组成，反馈采样参数为送丝电机电压，

稳态时与送丝速度成正比，通过调压调速闭环控制实现输出与给定成正比的等速送丝系统。

设计中采用三相输入全桥逆变电源。4 个 IGBT（绝缘栅双极晶体管）开关轮流被两组 PWM 脉冲驱动导通，通过对电源输出电流或电压检测并调整脉冲宽度，可以对输出参数进行直接控制。

系统选择了送丝速度作为其它焊接参数控制的基准。在稳定的焊接过程中，焊丝熔化速度与焊丝送进速度相等，送丝速度也代表了名义平均焊接电流。平特性输出的焊接电源仍然是 CO₂ 焊接的有效控制方式，但需要送丝速度和焊接电源电压参数匹配，亦即建立送丝速度与焊接电压的对应关系。因此，弧焊主电源工作时，基于 ARM 的微控制器采样预置的送丝速度给定值，计算焊接电压给定值，自动输出与送丝速度匹配的焊接电压。因此，对于短路过渡焊接过程，系统在燃弧阶段控制焊接电弧电压，输出基本恒定的电压获得平特性；同时，在熔滴短路过渡阶段采用分时波形控制，对短路电流上升速度和最大电流值进行调节。

2 控制系统组成

控制系统主要功能包括各输出控制对象（主电源接触器、软开关、气阀、送丝机、PWM 脉冲）的时序控制；采集焊接系统参数（送丝速度、输出电压和电

流)作为反馈信号; PWM 脉冲的产生、控制和转换,由硬、软件配合设计实现控制算法。

目前半导体制造商通过购买 ARM 内核技术,匹配不同片内外设而形成功能不同的片上系统^[2]。系统采用 PHILIPS 公司的 LPC2131(ARM7TDMI-S 内核)微控制器,实现了硬件电路简单但功能齐全的系统。

系统总体组成框图如图 1 示, LPC2131 为片上

系统(SOC), 图中包括 A/D 模数转换器、EINT 外部中断引脚、PWM 脉冲调制器、定时器/计数器(Counter/Timer)和 UART(通用异步收发器)串口通讯控制器等。在系统中有应用但框图没有标出的向量中断控制器(VIC)等也为片内外设。另外, 系统中采用了一片通用阵列逻辑 G22V10, 以实现 PWM 信号的可靠转换。

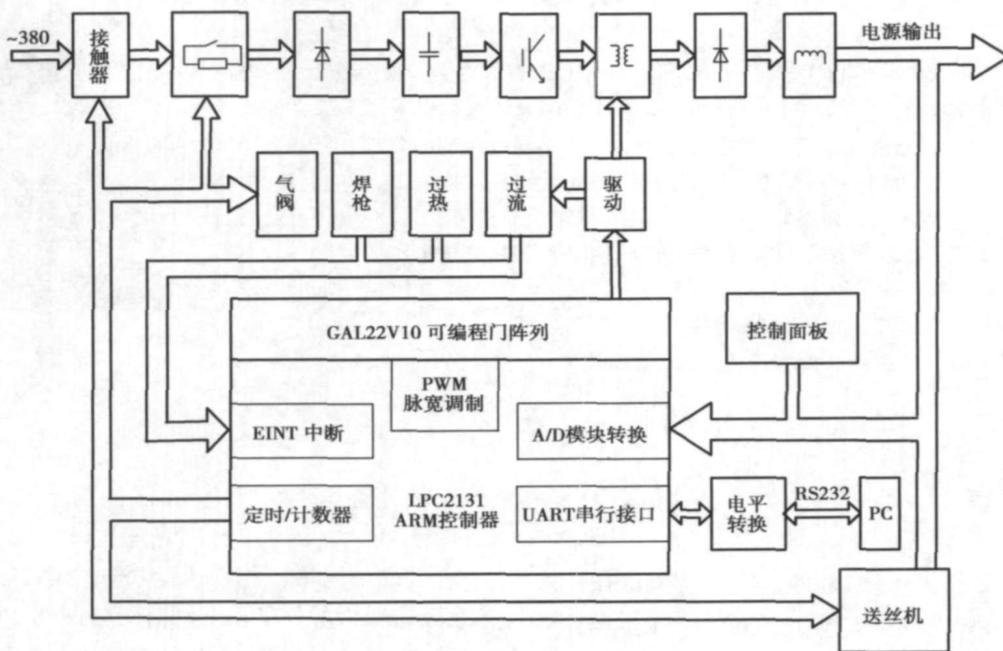


图 1 数字化弧焊电源系统结构框图

Fig. 1 System diagram of digital arc welding inverter

2.1 微控制器资源规划及引脚定义

LPC2131 微控制器完成以下功能: 焊枪开关启动信号的捕捉(查询); 各输出量的时序控制, PWM 原始脉冲的生成; 电压、电流的控制算法; 过流和过热等保护信号的采集及处理(通过快中断实现); 焊枪开关结束信号的采集(通过中断实现)及处理。

在 LPC2131 中, 各引脚功能通过管脚连接寄存器 PINSEL0 ~ PINSEL2 定义获得。LPC2131 有 4 个外部中断输入引脚 EINT0 ~ EINT3, 设计中定义 EINT0 作为焊枪开关信号, EINT1 作为保护信号(过流、过热)。主电源接触器、软开关、气阀、送丝机和 PWM 脉冲输出的时序通过定时器 1 计时实现, MAT1.0 ~ MAT1.3 用以控制主电源接触器、软开关、气阀和送丝机的动作, 达到各自的定时值时发生电平转换开始工作, 当送丝机工作时允许 PWM 脉冲输出。内置 A/D 转换器分时完成预置给定量和主电源输出量采集。AD0.0 ~ AD0.4 相应作为给定送丝速度、

燃弧时给定电弧电压、电弧电压反馈、短路时给定焊接电流及焊接电流反馈。

2.2 数字化 PWM 脉冲的实现

全数字化系统无须采用普通 PWM 集成芯片产生脉冲信号。由于 LPC2131 芯片内嵌 PWM 脉冲调制器, 可产生 6 路单边沿控制的 PWM 脉冲或 3 路双边沿控制的 PWM 脉冲。设计中采用一路双边沿控制的 PWM 脉冲, 比单边沿控制更灵活且可靠, 较好地实现了目标。

首先使能 PWM 和启动计数器, n_1 , n_2 , n_3 分别表示匹配寄存器 PWMMR1, PWMMR2, PWMMR0 的值。PWM 脉冲调制器开始工作, 计数器的值等于 n_1 值时, PWM 脉冲调制器输出发生正跳变; 当计数器的值等于 n_2 值时, PWM 脉冲调制器输出发生负跳变, 当计数器的值等于匹配寄存器 n_3 值时, 完成第一个时钟周期并重复, 直到 n_1 , n_2 , n_3 中的值变化并生效^[3,4]。

同时在程序设计中控制以下环节。

- (1) 使 n_3 的值保持不变(恒定频率)。
- (2) 使 n_2 的值恒定且小于 n_3 , 死区时间正比于 $(n_3 - n_2)$ 。

- (3) 赋值不同的 n_1 (不同脉宽)。

这样得到带一定死区、频率恒定、脉宽可调的 PWM 脉冲。系统中产生的 PWM 脉冲频率为 40 kHz, 该脉冲在通用阵列逻辑 G22V10 内部完成转变, 使得该脉冲转变为频率减半, 相位相差 180° 的两路脉冲^[3]。这种处理方法, 还可以防止数字化控制系统受到干扰后出现紊乱^[4], 造成出现两路 PWM 脉冲同时为高电平而导致逆变桥直通的情况。

2.3 系统接口

ARM 7TDMI-S 内核内含测试/调试用标准 20 脚 JTAG 仿真器和标准并行接口, 该系统可方便快捷地与通用计算机交换数据。主要用于片内 8K RAM(存储器)仿真调试和 32K FLASH(快速存储器)的程序固化。LPC2131 微控制器中嵌入多种通讯接口, 系统中应用 UART 接口, 电平转换电路和 RS232 标准串行通讯总线, 组成在系统编程(ISP)接口。

3 控制程序

3.1 控制程序组成

ARM 内核体系结构复杂, 但功能强大, 具有包括串行通信在内的丰富功能, 但由于大多数代码涉及硬件操作, 实现起来既繁琐又不易查错。通过移植实时操作系统(RTOS)如 μcOS-II 或其部分功能模块(如串行通信模块), 即可以方便完成串行通信, 实现数字化系统升级接口。利用内置的 8K 片内 RAM 可以实现系统初期的开发调试; 利用 32 K 的片内 FLASH, 可以实现系统程序固化或系统升级。

在系统上电后, 首先判断是进入系统升级或是进入焊接程序。如非升级状态, 则进入焊接程序。

通过焊接程序实现整个焊接过程控制, 有 3 个部分: 焊接主程序、焊接控制程序、结束焊接中断程序。焊接主程序如图 2 所示。

3.2 焊接主程序

在焊接主程序里完成以下工作。

- (1) 输入输出初始化设置。
- (2) 通过查询方式, 捕捉开始焊接信号。
- (3) 结束焊接中断设置。
- (4) 焊接过程的顺序控制。
- (5) 调用焊接过程控制程序。将程序的控制权交给焊接控制程序。
- (6) 程序跳转到(1)。

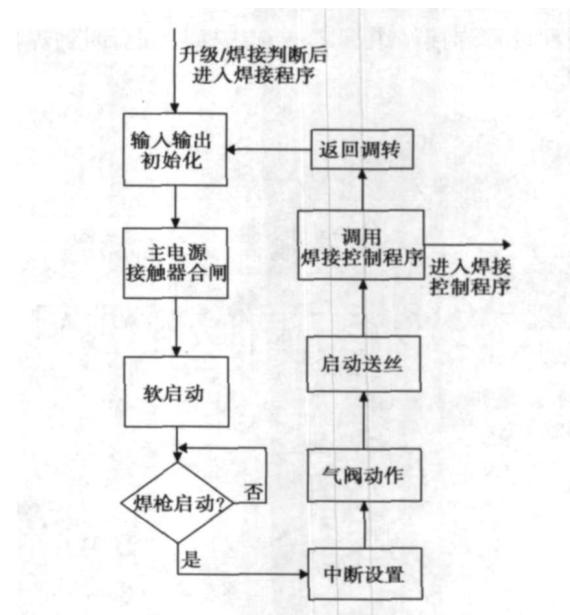


图 2 焊接主程序流程图

Fig. 2 Flowchart of main welding program

3.3 焊接控制程序

焊接控制程序如图 3 所示, 其中完成以下工作。

- (1) 预置的给定焊接参数采集。

(2) 起弧控制。按照预置的参数, 输出合适的 PWM, 以便顺利完成焊接起弧。

(3) 燃弧控制。按预置参数输出合适的燃弧 PWM 脉宽, 采集输出电压。根据采集到的电压判断系统是否处于熄弧状态, 如果处于熄弧状态, 程序重新跳转到(2); 系统是否处于燃弧状态, 如果没有处于燃弧状态, 程序跳转到(4)。否则焊接采样电压与给定电压做比较, 根据比较结果调整 PWM 的脉宽。程序跳转到(3)。

(4) 短路控制。按预置参数输出合适的短路 PWM 脉宽, 采集输出电流。依据采样焊接电流判断系统是否处于熄弧状态, 如果处于熄弧状态, 程序跳转到(2); 系统是否处于短路状态, 如果脱离短路状态, 程序跳转到(3); 输出电流是否已达最大, 如果最大, 输出 PWM 的维持脉宽; 否则作此次采样焊接电流与上次采样焊接电流之差, 依据差值输出 PWM 的脉宽。同时, 在短路中判断焊接是否结束, 以实现收弧控制。

在焊接控制程序设计中, 通过简单易行的电流、电压检测, 判断实时状态及其可能的变换, 相应地分别实现短路电流和燃弧电压控制^[7]。焊接控制程序运行完毕, 断点返回, 程序的控制权重新转到焊接主程序。

如果在焊接控制程序里焊枪开关动作, 将进入焊接结束中断程序, 禁止 PWM 输出、结束焊接时序

控制和设置焊接结束标志, 断点返回, 重新回到焊接

控制程序中。

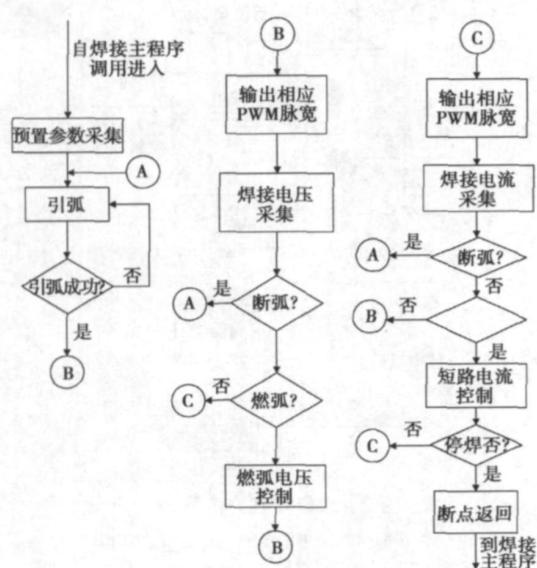


图 3 焊接控制程序

Fig. 3 Flowchart of welding control program

4 结 论

(1) 设计了全数字化弧焊逆变电源,选用独立送丝电路、全桥主电源和基于 ARM7TDMI-S 内核的微控制器 LPC2131。PWM 信号产生及电源参数均由片上系统控制,其硬件结构简单可靠,全部功能由

控制程序决定,即实现了系统的柔性化。

(2) 系统提出以送丝速度为基准,短路期间调节电流,燃弧期间调节电压的控制方案,可以分阶段控制短路过渡过程,有助于改善工艺效果,对开发研究高品质CO₂弧焊设备具参考和应用价值。

(3) ARM 内核体系结构复杂, 但功能强大, 可选择和移植实时操作系统, 具有较高性能和完善的接口。可通过修改焊接控制程序实现焊机的各种功能及系统升级, 具有继续完善提高的特点和待开发功能。

参考文献:

- [1] 刘嘉. 数字化焊机及其特点[J]. 电焊机, 2001, 31(6): 8—10.
 - [2] Andrew N. Sloss, Dominic Symes et al. ARM 嵌入式系统开发 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
 - [3] 周立功. 深入浅出 ARM7—LPC213X/214X [M]. 广州: 广州周立功单片机发展有限公司, 2005: 253—277.
 - [4] Philips Semiconductors. USER MANAUL[EB/OL]. (2004).
 - [5] Lattice Semiconductors. GAL22V10 DATASHEET[EB/OL]. (2000).
<http://www.datasheetcatalog.com>
 - [6] 丁京柱. 全数字化 CO₂ 气体保护焊机研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2002.
 - [7] 李鹤歧, 路广. 基于 DSP 的全数字化的 IGBT 逆变脉冲 MIG/MAG 焊机研制(二)——软件设计及系统调试[J]. 电焊机, 2005, 35(1): 31—34.

作者简介：朱锦洪 男, 1965 年出生, 博士, 教授。主要从事焊接工艺与设备的研究工作。发表论文 40 余篇。

Email: zhih@mail.haust.edu.cn

MAIN TOPICS, ABSTRACTS & KEY WORDS

Vision-based identification model and extracting algorithm of wire extension in aluminum MIG alloy welding process SHI Yu¹, HUANG Jiankang², FAN Ding¹, XUE Cheng²(1. Key Laboratory of Non-ferrous Metal Alloys The Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050 China; 2. State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050 China). p1—4

Abstract: A vision sensing system and corresponding image-processing algorithm for extracting the information of wire extension during aluminum MIG (metal inert-gas) welding process have been presented. The images of welding area are real-time captured by CCD camera. According the character of the wire in the image, its ordinate can be located by image processing algorithm. After image clipping, shifting and superposing, the difference between wire and background in the image will be enhanced, and then the information of wire extension can be extracted accurately. Experiments show that this method is effective and feasible. Based on the step response experimentation, the influence of wire speed on wire extension is identified and the mathematic model has been set. It provides the theoretical basis to realize the wire extension sensing and control in aluminum MIG welding process.

Key words: wire extension; vision sensing system; aluminum alloy; metal inert-gas welding; system identification

Full digital inverter power supply for CO₂ arc welding based on ARM controller ZHU Jinhong, LU Kaitong, SHI Hongxin, LI Guowei (School of Materials Science and Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, Henan, China). p5—8

Abstract: A full digital inverted power supply based on LPC2131 ARM controller for CO₂ arc welding was developed, and the control strategy of short circuiting transfer was proposed. In this system, arc voltage is preset in accordance with the speed of a separate wire feeder, while output current during short circuiting period can be adjusted independently. The digital pulse width modulation signals are generated directly at low hardware expense, and control strategy is implemented through software algorithm. The simplified configuration shows high reliability, and control program can also be updated via upgrade interface for property enhancement.

Key words: full digital power supply, inverter, CO₂ arc welding, short circuiting transfer

Analysis about formation and microstructure of laser welding tailored-blanks with unequal thickness of high strength steels

LEI Yucheng, ZHU Qiang, CHEN Wei, CHENG Xiaonong, YE Yiming (School of Material Science and Engineering, Jiangsu Uni-

versity, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China). p9—12, 16

Abstract: Two kinds of high-strength steel sheets, HSA340 (2.0 mm, 1.5 mm) and H340LAD+Z (0.7 mm), were introduced. They were arranged in pairs and welded together by laser welding on principle of similar strength but unequal thickness. The special cross section of welded joints was chosen for metallographic examination and hardness measurement. The results show, in the welding process, the microstructure of the weld will have great diversity at local region closing each parent metal because of the different cooling condition of each parent metal. The width of heat affected zone(HAZ) in laser-welding-tailored-blanks is narrow, the remarkable boundary divides the HAZ with the parent metal and weld, and not only the grain size but also the microstructure in the HAZ are also fine. And the hardness of the weld and the HAZ are higher than that of parent metal. The joints of tailored blanks will be obviously improved when the incident position and incident angle of laser beam were set rationally.

Key words: high strength steel; laser welding; tailored blanks; unequal thickness

Microstructure of small diameter cemented carbide YG5FA / 45Cr steel joined by capacitor discharge welding ZHAI Qiuya, XU Jinfeng, CAI Zaisheng (School of Material Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China). p13—16

Abstract: The butt welding of Φ1.5 mm ultrafine grain cemented carbide YG5FA and 45Cr steel was performed by using a micro-type capacitor discharge welding machine. The structure characteristic of weld interface, microstructural morphology and joining mechanism were investigated, and the effect of welding parameters on joint quality is also analyzed. The results show that the capacitor discharge welding can realize the rapid solidification joining of the cemented carbides. This method can efficiently prevent the interface reaction and the joint with fine and dense microstructure is obtained. The microstructure of cemented carbide has no coarsening appearance. The crack is the main welding defect in cemented carbide joint which has typical brittle and delay characteristic, the welding crack could be effectively eliminated by annealing of 350 °C/30 min after welding.

Key words: small diameter cemented carbide; 45Cr steel; capacitor discharge welding; interface microstructure.

Supervising and management on states of digital-controlled inverter arc welding power supply in real-time ZHOU Xuezhen, ZHU Zhiming, FU Cejian, JI Shenru (Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University; Key Laboratory for Ad-