

文章编号:1002-025X(2007)06-0039-04

全数字化 IGBT 逆变焊机系统设计

李峰¹, 杨泽林¹, 李亮玉²

(1.宁夏大学 物理电气信息学院, 宁夏 银川 750021; 2.天津工业大学 机械电子学院, 天津 300160)

摘要: 设计了基于DSP和单片机的全数字化IGBT逆变焊机系统。该系统的主电路采用IGBT逆变技术, 控制系统采用主从式控制结构, 同时阐述了该控制系统硬件和软件的设计方法, 以及主从控制系统的通信问题。

关键词: 数字化; IGBT逆变器; DSP; 单片机

中图分类号: TP273 **文献标识码:** B

数字化焊机的概念于1998年由奥地利的Fronius公司提出, 随后其他国外公司也相继推出了各自的数字化焊机产品。数字化焊机是伴随着微处理器技术的进步, 由传统的焊机逐步发展而形成的一种新型焊机, 目前, 国内对于数字化焊机的研究和开发尚处于起步阶段。根据目前国内外数字化焊机的发展趋势, 笔者设计了基于DSP和单片机的全数字化IGBT逆变焊机系统, 其主电路采用全桥式逆变结构, 控制系统采用主从式控制结构, 并且设计了人机交互系统和相关的控制软件。

1 主电路的设计和控制系统结构选择

1.1 主电路设计

全数字化焊机主电路由输入整流器、滤波器、逆变器、高频变压器、输出整流器和电抗器构成, 其中逆变器采用绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 作为大功率开关器件。如图1所示, 三相380 V交流电源经过输入整流器和电容滤波器后变成540 V左右的直流电, 然后经IGBT组成的全桥逆变器变成20 kHz的脉冲占空比可调的高频交流电压, 由于高频交流电压的幅值比较高, 因此必须采用高频降压变压器把它降到焊接所要求的电弧电压。该电压再经输出整流器和电抗器滤波后变成直流电压输出。图2所示为全桥式逆变电路原理图, 全桥式电路的优点在于输出功率较大, 因此满足本设计对于功率的设计要求。

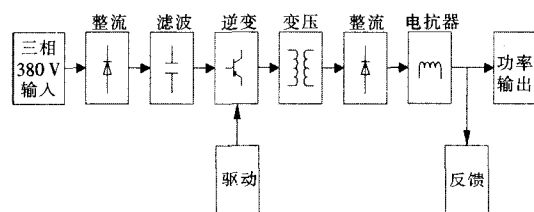


图1 主电路方框图

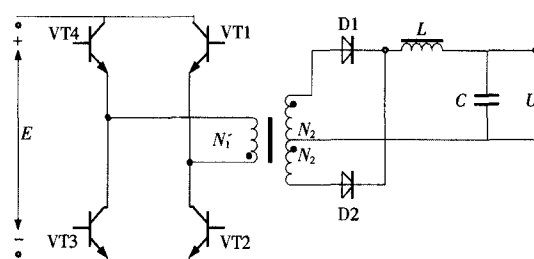


图2 全桥式逆变电路原理图

1.2 控制系统结构选择

全数字化焊机系统是一个比较复杂的、多任务的系统, 它包括焊接过程的时序控制、外特性实时控制、人机交互实时控制、焊接现场的实时信息采集和处理、网络通信等。通常采用的单个DSP芯片辅以必要的存储器、模数转换器和外设接口, 仅可以完成较少任务的焊机控制。而对于全数字化焊机系统这个比较复杂的控制系统来说, 除了要完成数字信号处理功能之外, 还需要完成人机交互、送丝电机控制、与外部系统的通信等多种功能, 仅使用单个DSP芯片来实现上述功能是比较困难的。基于以上系统设计的要求, 同时又考虑到DSP和单片机各自的优缺点, 因此, 本设计的主控制部分采用了1个DSP加1个单片机构成主从式结构, 其中以DSP为系统的控制核心, 而由单片机对整个系统进行管理, 图3为该焊机主从控制系统结构框图。

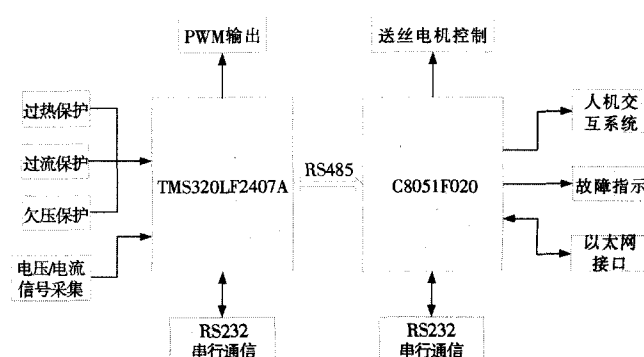


图3 主从控制系统结构框图

收稿日期: 2007-06-01

基金项目: 天津市自然科学基金重点项目, 天津市教委科技发展

基金项目 (05YFJZJC02100)

其中DSP主要完成焊接实时参数的采集、PI运算和PWM波形的产生等工作,单片机则可以实现对人机交互系统(包括键盘和显示)、送丝电机和一些开关量的控制以及通信等功能。

2 主从控制系统硬件设计

2.1 DSP系统硬件设计

经过综合考虑后,最终选择了定点DSP芯片TMS320LF2407A。TMS320LF2407A是TI公司最新推出的高性能16位数字信号处理器,其内部采用增强型哈佛结构,四级流水线作业,几乎每条指令可在25 ns (40MIPS)完成。

在TMS320LF2407A片内,集成了32K字节的FLASH和2.5K字节的RAM。片内的FLASH虽然可以用作程序存储器,但在开发调试阶段使用片内FLASH作为程序存储器非常不方便,因为每一次程序的修改都需要对FLASH进行擦除和编程操作,而且进行调试时只能设置硬件断点,所以本设计外扩了64K×16位的高性能COMS静态RAM(CY7C1021CV33)。此外,还外扩了64K×8位FLASH(2片SST39VF512)用于存储一些重要的控制算法参数。

在焊接过程中,DSP需要对焊机的焊接电流 I_t 和电弧电压 U_t 信号进行采样,而 I_t 和 U_t 信号是通过霍尔电流和霍尔电压传感器进行隔离测量的,由于测量出的信号电压范围较大,不能满足DSP片内A/D转换的要求,所以专门设计了如图4所示的A/D转换前向通道电路,经过该电路对信号进行调理后,再送入DSP片内A/D转换单元进行转换,从而得到 I_t 和 U_t 的现场数据。

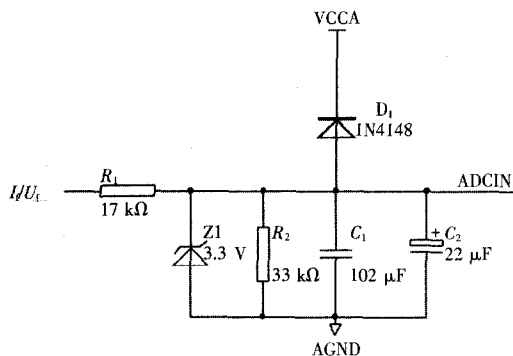


图4 A/D转换前向通道电路

在实际焊接过程中,电流和电压的给定值 I_g 和 U_g 由人机交互系统的键盘进行输入,然后由单片机采用串行通信方式传送给DSP。DSP根据给定值 I_g 、 U_g 与现场反馈值 I_t 、 U_t 进行PI运算后,输出符合要求的PWM(TMS320LF2407A内部自带PWM生成模块,因此可通过软件编程实现多路PWM输出)信号。该信号经过驱动电路驱动IGBT功率元件模块,控制IGBT的通断,从而产生所需要的脉宽。

2.2 单片机系统硬件设计

本设计采用的Silicon Labs公司生产的C8051F020单片机,是完全集成的混合信号系统级芯片(SOC),具有与MCS-51指

令集完全兼容的全新CIP-51内核。它在一个芯片内集成了构成一个单片机数据采集或控制系统所需要的几乎所有模拟和数字外设及其他功能部件,采用全新的CIP-51内核,指令以时钟周期为运行单位,平均每个时钟可以执行1条单周期指令。

全数字化焊机人机交互系统。主要由键盘、LCD显示模块、LED显示模块以及故障指示共4部分组成。通过键盘和LCD显示模块,可以很容易地完成诸如焊接方式选择、焊接参数输入、存储、调用、修改等多种功能。键盘部分共设计了23个按键(这23个键被划分为显示控制键盘区、数字输入键盘区、焊接前检测键盘区和扩展功能键盘区共4个功能键盘区),通过智能显示驱动芯片HD7279A与单片机连接,作为焊机的全数字化输入设备。系统选用LCMI2864ZK带汉字字库的图形点阵液晶显示模块,并采用2线串行方式与单片机进行连接,实现对焊机控制过程的显示;2块LED显示模块主要用来实时地显示焊接过程中的焊接电流 I_t 和电弧电压 U_t 值。若在焊接过程中有过电流、欠电压或过热等现象发生时,焊机面板上相应的故障指示灯将被点亮,同时控制系统产生相应的保护信号,使DSP产生中断,关断PWM驱动脉冲,从而彻底关断IGBT,立即停止焊接,只有进行手动复位后,才能够继续工作。

利用C8051F020单片机的PCAO(可编程计数器阵列)单元可以很容易地产生PWM信号,通过调节PWM的脉宽就可以很方便地调节送丝速度。本设计采用24 V直流伺服电机,晶体管斩波调速电路,并采用电压负反馈加电流正反馈的双闭环控制结构(通过引入电压负反馈可以使控制系统控制的电机转速稳定在给定值上,电流正反馈的作用又称作电流补偿,使得送丝电机的特性比较硬,负载变化时电枢电压也可以进行相应的补偿),如图5所示。

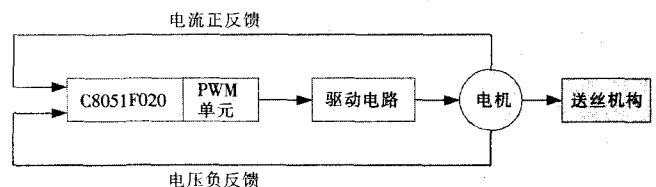


图5 调速电路方框图

此外,C8051F020还扩展了以太网接口,为以后实现焊机的网络化控制奠定了良好的基础。同时C8051F020还可以通过RS-232串行接口连接上位机,来实现数据和信息的交换。

2.3 DSP与单片机的通信接口设计

主从式控制系统设计的关键在于主机与从机之间的数据通信。一般实现主从机通信的方式主要有以下3种:串行通信、并行通信、共享存储器式(DMA或双口RAM)。其中以共享存储器式通信方式交换数据的速度为最快,目前应用双口RAM加以实现的也比较普遍。但是,对于本系统而言,由于其通信的数据量不大,采用双口RAM实现双机通信就会造成资源的浪费,同时也增加了系统的复杂程度,所以本设计采用串行通信方式。

因为RS-485串行通信协议支持的通信距离远，抗干扰能力强，传输速度快，所以本设计采用的是RS-485串行通信方式。其中TMS320LF2407A是基于串行通信接口模块SCI来实现的，SCI模块支持CPU与其他使用标准格式的异步外设之间的数字通信。而C8051F020内部有1个通信接口，它由2个物理上独立的串行数据缓冲器SBUF发送控制器和接收控制器、输入移位寄存器、输出控制门组成，其串行口有4种操作模式，在此选择工作方式1。

DSP的SCI模块采用的是空闲线模式，没有附加的地址/数据位，它的一帧格式为：1个起始位（0）、数据位，可选择奇偶校验或无校验，1个停止位；单片机在方式1状态下，串行口为8位异步通信接口，一帧信息为10位，其帧格式为：1个起始位（0）、8个数据位和1个停止位。这样的选择，既实现了通信的帧格式的统一，也确保了DSP和单片机工作在相同的波特率下，从而保证了整个通信程序能够正确、顺利地执行。

3 控制系统软件设计

主从控制系统的程序主要由DSP（TMS320LF2407A）数据处理程序和单片机（C8051F020）系统控制程序组成。在这两部分程序的编写和调试中，分别采用了DSP的集成仿真环境CCS（TMS320LF2407A）和Silicon Labs集成开发环境（C8051F020）。整个系统软件采用模块化设计方案，同时采用了C语言进行编程，大大缩短了软件开发周期，提高了程序的可读性和可移植性，而且又能满足系统的要求。

DSP数据处理程序主要包括系统初始化子程序、A/D转换子程序、PWM产生子程序、串行通信子程序、PI算法子程序和各种中断服务程序等；单片机系统控制程序主要包括系统初始化子程序、键盘/显示子程序、D/A转化子程序、串行通信子程序和各种中断服务程序等。DSP数据处理程序和单片机系统控制程序的流程图分别如图6、图7所示。

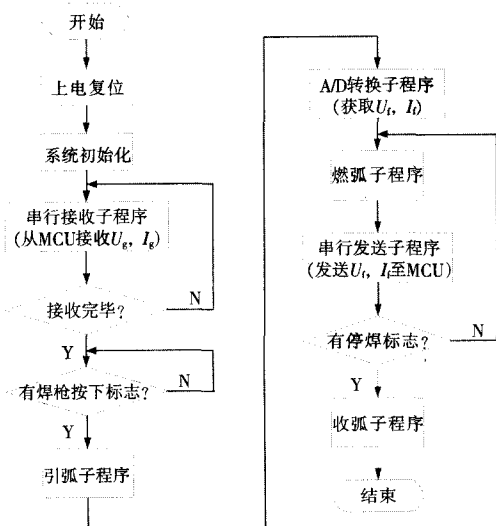


图6 DSP数据处理程序流程图

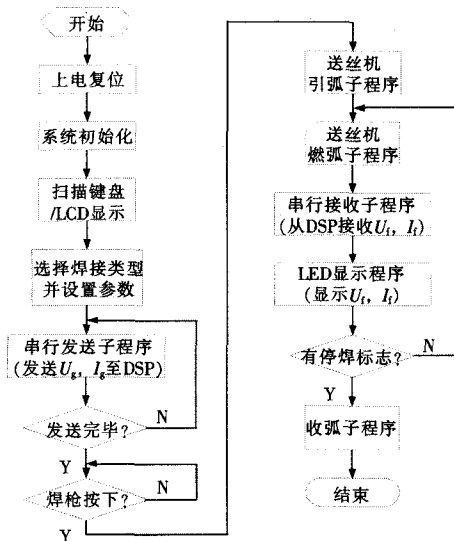


图7 单片机系统程序流程图

4 控制系统PWM输出

输出符合要求的PWM信号是整个焊机控制系统的核心任务。该PWM信号通过驱动电路来驱动IGBT模块，控制其通断，从而产生所需要的脉宽。本设计采用DSP事件管理模块EVA的比较单元产生4路PWM输出（PWM1~PWM4）。如图2所示，IGBT中开关管VT1和VT3是1组，分别由PWM1和PWM3来控制它们的开关，而VT2和VT4是1组，分别由PWM2和PWM4来控制它们的开关，为了避免2组IGBT开关管同时导通，因此2组PWM波形保留了5 μs的死区时间。如图8、9所示为PWM生成模块输出的波形，幅值为5 V。

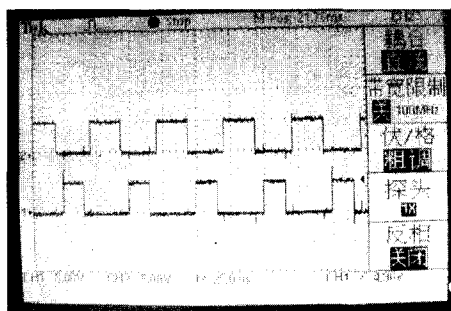


图8 PWM1, PWM2波形图

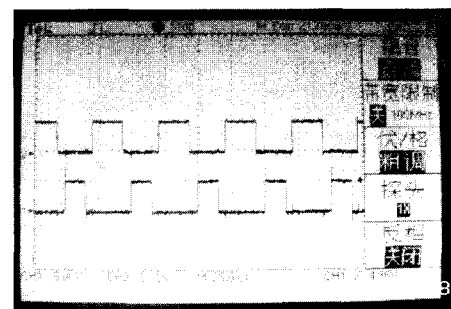


图9 PWM3, PWM4波形图

5 结论

本文设计的全数字化IGBT焊机系统主电路采用全桥式逆

让每一个焊点成为永恒

——庆祝天津大桥焊材集团成立五十周年

2007年是天津大桥焊材集团建厂50周年,50年的风风雨雨,天津大桥焊材集团经历了无数次的市场考验,从一个由几个小作坊合并的合作社发展到近4 100名员工、年产量达50万t的大型的、综合性的我国最大焊材生产基地。

50年前,武汉长江大桥在毛泽东主席、周恩来总理的指示下,在前苏联专家和建设者们的努力下,经过精心测量、详细论证、严谨试验、科学摸索,大胆地使用了天津电焊条厂生产的电焊条,千百年来中国人“一桥飞架南北,天堑变通途”的梦想终于实现了。天津电焊条厂为了永远记住这一荣誉,为产品的商标取名为“大桥牌”。半个世纪过去了,如今,万里长江建起了60多座大桥,“大桥牌”焊接材料也从当时的10几个品种、年产量几百吨发展到今天的350个焊材品种、年产量50万t的生产规模,成为全国同行业的排头兵,为我国的经济建设和发展做出了巨大的贡献。

从建第一座长江大桥、第一艘万吨远洋货轮开始,到我国第一艘潜水艇、2008年北京奥运会主体育场——国家体育场(“鸟巢”)、奥运场馆天津的“水滴”,50年来大桥焊材集团取得了令国内外焊材行业瞩目的佳绩。在国内,大桥牌电焊条第一个通过九国船级社认可;第一个获得国家质量金奖;第一个荣获“中国驰名商标”……“大桥牌”焊材蜚声中外,获得了国内同行业“十个第一”。

1979年,天津市电焊条厂首次邀请英国劳埃德船级社对电焊条进行认证,开创了中国产品国外认证的先河。1981年,又通过了美国ABS、法国BV、中国CCS、挪威DnV、英国LR、日本NK七国船级社产品的联合认证,即著名的“七国认证”。它带动了我国焊条行业和其它行业的认证认可工作,推动了焊材产品检验标准向国际先进标准的靠近。近年,又先后增加了韩国KR和加拿大CWB船级社,使“大桥牌”焊材产品认证达到“九国”。

1982年“大桥牌”主导产品THJ422、THJ421两种电焊条获得国家质量金质奖,摘下了我国焊材行业唯一的一枚金牌,为天津市电焊条厂确立了国内的领先地位。1988年,企业在全国同行业首批获得了自营进出口权;2002年,在我国焊材制造行业,第一个荣获“中国驰名商标”称号;2006年,公司2种主导不锈钢焊材在国内率先通过了中国船级社CCS“可用于冷环境的-196℃冲击试验”的认可。2007年公司主导实心焊丝产品一次性通过德国钢结构CPD-CE、机车车辆DB AG、压力容器VDTUV的产品认证。

焊材的研发速度加快,带动了包括高强度、高韧性焊接材料、超低碳、双相不锈钢系列焊接材料、船用焊接材料、管线用焊接材料、机车车辆用耐候钢焊接材料等系列产品的生产和销售,近年来就有10几个产品获得国家、天津市科技成果奖,获得近10项专利。同时销售市场继续扩大,“大桥牌”产品日益深入人心,国内市场已经覆盖国内29个省市,市场占有率达25.8%。出口市场从28个国家发展到目前的56个国家和地区。品种从过去的单一电焊条扩展为各种类型的电焊条、实心焊丝、药芯焊丝、埋弧焊丝、氩弧焊丝、焊剂和模料模具等351个品种。企业经济效益大幅度提高,2006年,大桥集团实现销售收入19.8亿元,利税1.7亿元,创造了历史最好水平。

站在新的起点,展望新的航程,“大桥”人深感使命责任重大,决心不辜负各级领导和业界朋友们的殷切希望,认真贯彻落实党的十七大精神,进一步解放思想,加快转变经济发展方式,在优化产品结构,开发新产品,降低能耗,保护环境等方面狠下功夫。进一步开拓国内外市场,竭诚为广大用户服务,为促进国民经济又好又快发展,为大桥焊材集团创建百年企业而努力奋斗。

(高盛平 供稿)

变结构,控制系统采用以数字信号处理器为检测运算核心,以单片机为系统管理核心的主从式控制结构,经过相应控制软件的设计和调试,基本实现了全数字化焊机系统的全部功能,为今后进一步的研究工作提供了良好的软硬件平台。

参考文献:

[1] 殷树言,刘嘉,丁京柱,等.电焊机的数字化[J].焊接学报,2002,23(1):88-92.

[2] 李春旭,李芳,李鹤岐,等.逆变焊机数字化控制研究[J].焊接技术,2003,32(增刊):13-15.

[3] 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.

[4] 罗环敏,罗剑兵,许华明,等.基于单片机和DSP的数字化逆变焊机研究[J].电焊机,2004,34(8):38-41.

作者简介:李峰(1979—),男,宁夏银川人,硕士,主要从事焊接过程智能控制等方面研究工作。