

基于 DSP 的 IGBT 逆变 TIG 焊电源研究

李春旭, 张鹏, 王新, 王珊
(兰州理工大学, 甘肃 兰州 730050)

摘要:研制了一台以 TMS320F240 型 DSP 为核心的数字化 TIG 焊机。通过 DSP 片内 PWM 模块编程产生驱动脉冲,并由前后级驱动电路驱动 IGBT,以得到理想的输出电流。保护电路保护焊机不受过流、过热、过欠压的损坏。检测采样电路实时检测电流值并传递给 DSP。DSP 运用 PI 控制算法得到 TIG 的恒流特性。在此给出系统软件流程图。实验证明焊机具有电路简单,控制容易,工作可靠,易升级等特点。

关键词:逆变器; 电源; 焊接/数字信号处理器; 绝缘栅双极型晶体管

中图分类号: TM464, TN86

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2007)04-0077-03

Research on IGBT Inverter TIG Welding Machine based on DSP

LI Chun-xu, ZHANG Peng, WANG Xin, WANG Shan

(Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: A digital IGBT inverter multifunctional TIG welding machine based on DSP is developed, which adopts DSP-TMS320F240 as a core of the control system. PWM module of TMS320F240 is programmed to drive the IGBT by the former and the latter drive circuit. A corresponding protecting and alarm circuit is designed to keep the welding machine from over/lower voltage, over-current, over-heat. The current is sampled by Hall sensor and a current feedback control system is designed. The system soft flow chart is showed. The experiments show that this system has sample circuit, operates conveniently, and works stably, update easily which meets the respecting requirements.

Keywords: inverter; power supply; welding/digital signal processor; insulated gate bipolar transistor

1 前言

钨极惰性气体保护 (Tungsten Inert Gas, 简称 TIG) 焊机的用途广泛, 适合用于焊接铝、镁、不锈钢、钛等材料。对于不同材料的焊接需采用不同的电源和接法, 常用的有交流方波电源和直流正极性接法、直流反极性接法。国外的一些公司开发出系列数字化 TIG 焊机, 国内的院校也作了相关研究, 如兰州理工、北工大等。这里, 紧跟国内外先进技术发展, 将数字化控制技术和逆变技术相结合, 利用数字信号处理器 (DSP) 的强大功能和 IGBT 优点, 研制了一台数字化 IGBT 逆变 TIG 焊机。该焊机具有交流方波、直流正和直流负输出特性, 并且可在不改动硬件的条件下进行升级换代, 并增强功能。

2 电源主电路设计

图 1 示出交直流方波 TIG 焊机电源的主电路原理。它分为 4 部分: ①输入整流滤波。电网输入 50Hz, 380V 交流电, 经大功率整流二极管整流, 为逆变器提供直流电压; 整流电路采用三相全控整流桥, 之后还有 1500 μ F/1kV 的电解电容滤波。②逆变器。

前级功率电子开关管 IGBT 在控制回路的作用下, 周期性开/关, 把输入整流滤波电路产生的直流电压变换成频率为 20kHz 的交流方波, 之后经中频变压器降压输出。③输出整流滤波。中频变压器输出的交流电压经二极管整流、阻容滤波后变为直流电压输出。④二次逆变输出。交流电压经整流滤波后输出的直流电压, 在后级功率电子开关管 IGBT 周期性开/关作用下, 变为交流/直流电压输出, 其频率由 IGBT 的开关频率所决定, 为焊接提供能量^[1]。

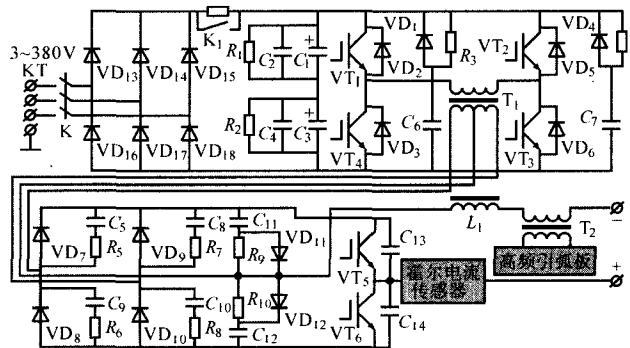


图 1 交直流方波 TIG 焊机电源主电路原理

在要求直流正输出时, VT₅ 一直开通, VT₆ 一直关断, 变压器次级的交流电压经整流滤波和 IGBT 后输出正相直流电压; 而直流负输出原理与直流正一样, 只是 IGBT 导通次序相反, VT₅ 一直关断, 而

定稿日期: 2006-09-01

作者简介: 李春旭(1941-), 女, 辽宁鞍山人, 教授, 博导。
研究方向为数字化焊接电源、焊接质量控制、
表面工程等。

VT₆ 一直开通;要求交流输出时,控制 VT₅ 和 VT₆ 轮流导通,从而输出交流电压。

3 控制电路设计

图 2 示出基于 TMS320F240 芯片的控制系统硬件整体框图。该控制系统由 DSP 最小系统、电流采样电路、参数预置与显示电路、保护电路、前级/后级驱动脉冲电路等组成^[2]。

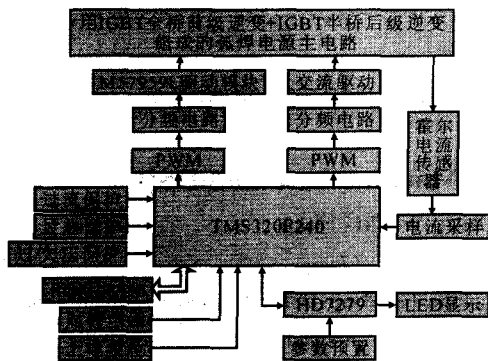


图 2 控制系统硬件整体框图

3.1 DSP 最小系统

DSP 最小系统的设计,主要包括电源、时钟和复位电路设计,以及 JTAG 仿真接口和 SRAM 设计两部分。DSP 要求有独立的内核工作电源、I/O 电源^[3]和 A/D 转换模拟电源。因此采用了基于 7805 的+5V 电源电路给 DSP 模拟电路电源供电,以及基于 SG3524PWM 调制精密+5V 电源电路给其它 DSP 电源引脚供电的设计。

TMS320F240 控制器的时钟源模块采用了锁相环 PLL 技术,可以对外部振荡器的频率进行倍频。该系统采用的是外部振荡器,频率为 10MHz,通过对时钟模块的编程,将 CPUCLK 定为 20MHz。

DSP 的正确复位是一切工作的前提,复位电路的可靠工作无疑有着极其重要的作用。在此采用一种智能监控芯片 MAX705,它可以输出宽度高达 200ms 的低电平复位脉冲,足以保证 DSP 的可靠复位^[2]。

3.2 驱动脉冲调制及分频电路

使用 TMS320F240 内置的 PWM 模块产生脉冲,经过专门设计的分频电路,分频出两路带死区时间的脉冲,确保两桥臂不能直通,以保护 IGBT。分频电路由一个 D 触发器和一个与门构成。图 3 示出分频后分频电路的输入信号 u_{in} 、输出信号 1 (u_{o1}) 和输出信号 2 (u_{o2}),以及死区时间 t_d 的

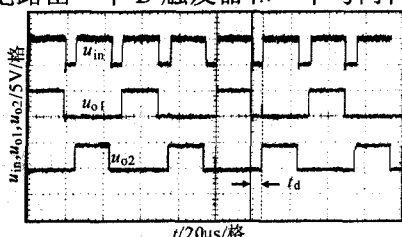


图 3 分频电路各点的 u_{in} 、 u_{o1} 、 u_{o2} 波形

波形。

研究的前级逆变电路选用 M57959L 驱动模块。它是专为驱动 IGBT 而设计的厚膜集成电路,其实质是一个隔离型放大器,采用光电耦合方法实现输入与输出的电气隔离,隔离电压高达 2.5kV;并配置了短路/过载保护电路,具有封闭式短路保护功能。M57959L 可驱动 1.2kV/200A 级的 IGBT 模块,具有很高的性价比,得到了广泛的应用^[4]。图 4 示出 M57959L 的驱动电路。

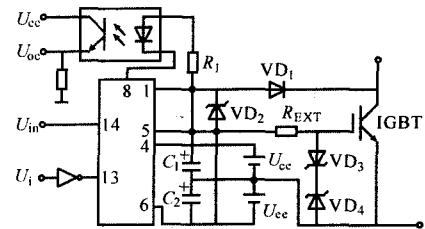


图 4 M57959L 驱动电路

研究的后级驱动电路图中 $C_1=C_2=100\mu\text{F}$ 路由 TLP250,IRF9640,IRF640 组合构成。TLP250 是一种可直接驱动小功率 MOSFET 和 IGBT 的功率型光耦,既保证了功率驱动电路与 PWM 脉宽调制电路的可靠隔离,又具备了直接驱动 MOSFET 的能力。

3.3 反馈检测电路

TIG 焊机电源需要恒流特性,这就要求控制系统对电流进行闭环控制,其控制精度和实时性主要取决于 DSP 运算速度、A/D 转换器件和传感器 3 个方面。其中,前两个方面都由 DSP 选型决定,TMS320F240 完成一次 A/D 转化所需的时间大约是 $6\mu\text{s}$ 。该系统采用直测式(开环)霍尔电流传感器 CSK3-500A。它具有精度高,线性度高,频带宽,响应快,过载能力强和不损失被测电路能量等优点,其额定电流为 500A,额定输出为 4V,采用 $\pm 15\text{V}$ 供电^[5]。

3.4 保护电路与软启动

对弧焊电源构成危险的故障有过压、欠压、过热、过流 4 种^[6]。为了保护电源,该系统将各种故障的检测、报警、保护输出以及软启动电路集成起来,制作了一个专门的模块。对设计的过压、欠压、过热、过流综合保护措施采取封闭式保护,即有上述 4 种故障发生时,DSP 首先判断是否真的出现了故障,以排除误报警,如果真的有上述 4 种中一种故障发生时,就彻底封闭 IGBT 的输出,结束焊接过程,除非手工进行复位。图 5 示出保护电路。由 C_{15} 和 R_{33}

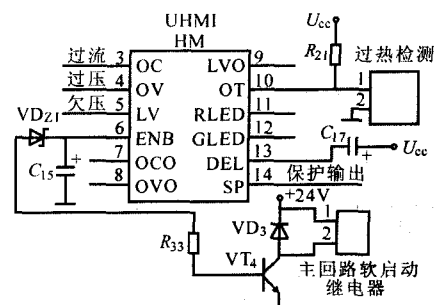


图 5 保护电路

组成一个延时电路,待电容经过 $3\sim 4\tau$ 充满电后,三极管 VT_4 导通,主回路的软启动模块中继器线圈通电闭合,主电路正常通电工作。

4 系统软件设计

图 6 示出整个焊接电源的软件流程图。系统软件设计可分为焊前准备、引弧控制、焊接阶段控制及熄弧控制 4 部分。具体控制思路是: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 初始化等功能。参数预置主要有脉冲频率、占空比等。开始提前送水、供气,在高频引弧成功后,选择交流方波、直流正极性和直流反极性焊接方式中的一种。

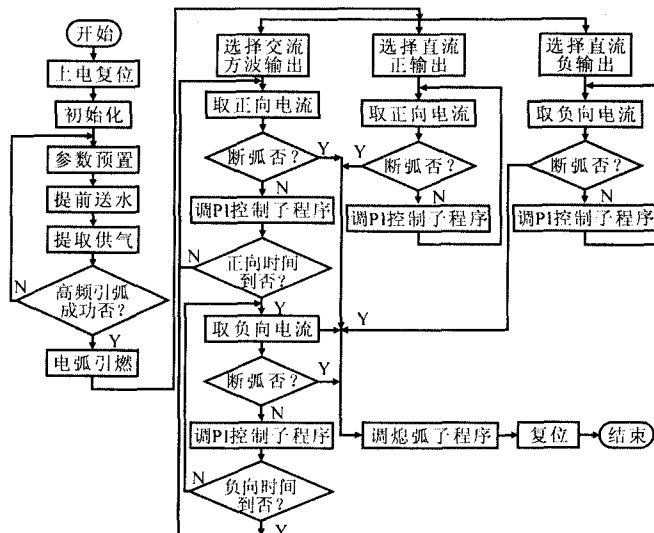


图 6 系统软件流程图

如果选择交流方波输出焊接方式,则先取正向电流值,调用 PI 控制子程序消除偏差,以保持恒流,并时刻判断是否断弧,如果断弧立即进行调熄弧子程序;如果没有发生断弧,继续判断是否到达正方向电流时间。正方向时间到达后,取反方向电流值,调用 PI 控制子程序消除偏差,以保持恒流,并时刻判断是否断弧,是否到达反方向时间。这样,按程序进行,可实现交流方波焊接方式。

如果选择直流正极性输出焊接方式,则先取电流值,调用 PI 控制子程序消除偏差,以保持恒流,并判断是否断弧,如果没有断弧,则继续采样电流值,进行 PI 控制消除偏差;如果断弧,立即进行调熄弧子程序。选择直流反极性输出焊接方式与选择直流正极性输出焊接方式的流程相同。

5 实验分析

在主电路输入 50Hz, 380V 交流电,占空比设为 40%的条件下进行了静负载实验。图 7 分别示出静负载下焊机采用交流方波输出时输出电压 u_{oac} ,焊机

采用直流正输出时输出电压 u_{o+} 和焊机采用直流负输出时输出电压 u_{o-} 的实验波形。由图可见,焊机的功能符合设计指标。可实现占空比、阴极清理效果、脉冲频率、电流上升和下降等多种参数的调节。

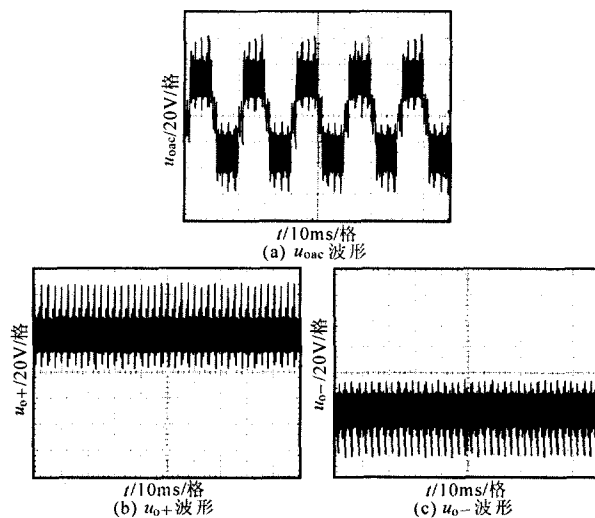


图 7 实验结果

6 结论

(1)整个控制系统采用高性能的 TMS320F240 作为核心,配以各种专用芯片进行控制,并在整个控制电路的各个环节采取了多种抗干扰和保护措施。实验证明,该系统的电路简单,操作方便,工作稳定。

(2)IGBT 作为新型功率器件,更适合用于高频大功率逆变器。它的应用将简化弧焊逆变器的电路和结构,提高可靠性,使控制更加容易。利用 DSP 编程软件实现 IGBT 的驱动,具有抗干扰性强,控制精度高,而且容易实现在线升级及修改的功能。

(3)研制的数字化 IGBT 逆变 TIG 弧焊电源,单机可实现直流正极性、直流反极性、交流方波电流输出,且在交流方波焊接时,电流波形频率及正反时间比率可调范围大,电流极性翻转速度快,是一种发展前景看好的弧焊电源。

参考文献

- [1] 李虹.基于 DSP 控制的交直流方波逆变电源系统研究[D].兰州理工大学[硕士论文].2006.
- [2] 李春旭,李虹.基于 DSP 的数字化 IGBT 逆变交直流方波脉冲 TIG 焊机的研制——硬件电路设计[J].电焊机.2005(12):15~18.
- [3] 宁改娣,杨栓科.DSP 控制器原理及应用[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [4] 华伟.IGBT 驱动及短路保护电路 M57959L 研究[J].电力电子技术,1998,2(2):88~91.
- [5] 李芳.全数字化 IGBT 逆变脉冲 MIG/MAG 焊接电源的研制[D].兰州理工大学[硕士论文].2004.