

基于双 TMS320F2808 的变极性 TIG 焊电源

白宏伟¹, 张永停², 李 婧¹

(1.河南机电高等专科学校, 河南 新乡 453002; 2.河南起重机器有限公司, 河南 新乡 453000)

摘要: 设计了以双 TMS320F2808 为控制核心的变极性双逆变 TIG 焊接电源。该电源的主电路由一次逆变电路和二次逆变电路组成, 分别应用了双零软开关 (ZCZVS) 控制技术和变极性控制技术。控制系统中双 DSP 采用主从结构, 主控芯片 DSP1 主要实现人机交互等事务管理, 从控芯片 DSP2 为电源输出控制, 双芯采用串行通信方式实现可靠通信。采用双 DSP 控制提高了焊机的各方面的性能, 实现了焊机的全数字化控制。

关键词: 双芯; 变极性电源; 双零软开关; 全数字化控制

中图分类号: TG434

文献标志码: B

0 序言

变极性 TIG 焊是输出电源频率、DCEN 电流幅值及时间、DCDP 幅值及时间均可独立调节的方波交流电源, 通过调节正负半波时间比、幅值比, 能满足阴极雾化作用和减少钨极烧损的要求, 是目前焊接铝及铝合金最理想的焊接电源。数字化是现代焊接电源的发展趋势, 随着 DSP 芯片技术的不断发展, DSP 芯片不仅具有较强的数值运算能力, 同时外设接口的功能也在不断地丰富, 采用双 DSP 全数字化控制的变极性 TIG 焊焊接电源, 不但可以实现多任务、大信息量处理, 而且使焊接电源具有更高更稳定的控制精度、更灵活的控制性能和更直观的人机交互特性, 从而使焊接质量更加稳定, 焊缝成形精密美观。

本研究的变极性双逆变 TIG 焊焊接电源以 2 只 TI 公司制作的 TMS320F2808 为控制核心, 采用 IGBT 两次逆变技术, 一次逆变采用移相全桥双零软开关 (ZCZVS-PWM) 控制技术来实现恒电流输出控制; 二次逆变采用全桥硬开关 PWM 变换, 采用“共同截止”换向控制策略实现极性转换, 从而控制电流方向。

1 系统的总体结构

所设计的变极性 TIG 焊电源系统由功率变换主电路和控制系统组成, 其电气原理框图如图 1 所示。目前, 变极性 TIG 焊数字控制系统大多采用 MCU+DSP 系统^[1], 本文的全数字化控制系统采用以主从结构的双 DSP 为控制核心的闭环控制系统, DSP 芯片采用美国 TI 公司的 TMS320F2808。双 DSP 采用串行通信方式, 焊接工艺参数由控制面板输入, 经 DSP1 传送给 DSP2, DSP2 根据用户设定的焊接工艺参数和实时的电流、电压等的反馈信号, 进行高速运算后完成控制量的输出。

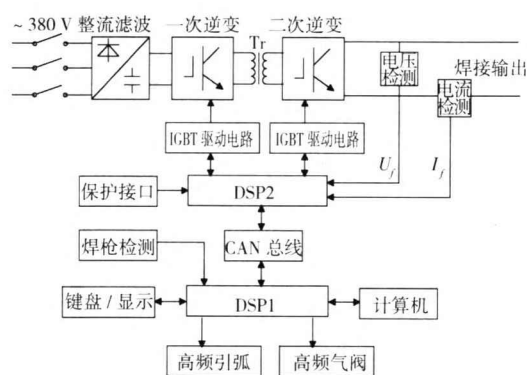


图1 双 DSP 变极性弧焊逆变电源总体结构

功率变换主电路由一次逆变电路和二次逆变电路组成, 两次逆变电路均采用 IGBT 模块作为主控开关器件。一次逆变电路采用 ZCZVS-PWM 软开关移相全桥, IGBT 受 DSP 信号控制进行 DC-AC 逆变过

程,然后通过中频变压器隔离降压和二次整流,获得大电流低电压信号,为进行二次逆变供电;由于二次逆变电路工作特性为大电流、低电压和低开关频率,采用全桥式硬开关 PWM 来实现变极性电源的二次逆变,电路采用“共同截止”的换向控制策略,使焊接电流的频率和正负半波幅值、占空比可以独立调节^[2]。

2 系统硬件设计

2.1 双 TMS320F2808 控制系统

该控制系统是由双 TMS320F2808 为控制核心的双芯闭环控制系统,双 DSP 为主从结构,采用串行通信方式实现可靠通信。主控芯片 DSP1 实现的功能主要包括:人机信息交互、焊接程序控制和远程通信控制。从控芯片 DSP2 实现的功能主要包括:处理实时的电流、电压等的反馈信号,进行高速运算后完成控制量的输出。双 DSP 各司其职,相互配合,实现双逆变协同工作。

CAN 总线主要应用于强干扰环境下的可靠通信。TMS320F2808 的 eCAN 模块符合 CAN 0B 协议标准,其可用在电噪声环境下的与其他 CAN 控制器的串行通信。焊接过程的环境比较恶劣,且控制系统中双芯之间通信量不大,因此采用串行通信方式实现双芯的可靠通信,使用时只需将要传输的数据写入 CAN 邮箱,即可由 DSP 的 eCAN 模块自动进行数据发送。

2.2 一次逆变电路

一次逆变电路采用移相式双零软开关 ZCZVS-PWM 全桥逆变电路,如图 2 所示电路原理图,电路主要由整流滤波电路、全桥逆变电路和中频变压器组成。

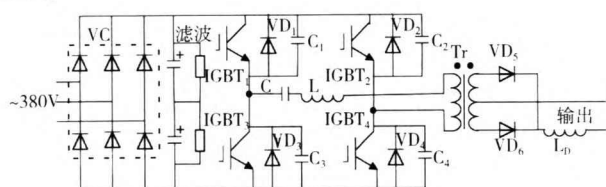


图2 双零软开关全桥逆变电路

由三相全控整流桥和大容量电解电容组成的

AC-DC 变换环节将工频交流电整流成 540 V 的直流电^[3];由 4 个 IGBT 组成的逆变器,中频变压器 Tr,隔直电容器 C,饱和电抗器 L 组成了软开关 DC-AC 变换环节,将直流电变成频率约为 20 kHz,脉冲宽度可调的交流电。饱和电感 L 是一个磁性开关,处于饱和状态时电感值为零,饱和电感未饱和时电感值较大。隔直电容 C 足够大,在续电流过程中可被等效为一个恒电压源。

逆变器中,IGBT₁, IGBT₃ 组成超前臂,IGBT₂, IGBT₄ 组成滞后臂,C₁, C₃ 为超前臂并联电容,C₂, C₄ 为滞后臂并联电容,C₁=C₃≫C₂=C₄,为不对称结构。超前臂的开关管实现零电压开通和关断。由于变压器原边回路中隔直电容器 C (抑制环流电容) 和饱和电抗器 L 使一次电流在箝位续电流期间迅速衰减到零并保持,因此滞后桥臂上的 IGBT₂, IGBT₄ 可以实现零电流开通和关断。全桥移相变换器的工作过程波形如图 3 所示,图中, I_p 为一次电流, U_o 为逆变器输出电压, U_{g1}~U_{g4} 为相应 IGBT 的触发脉冲。

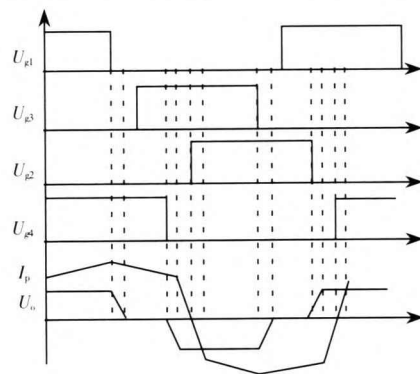


图3 双零逆变器工作波形

由图 3 可以看到,滞后臂 IGBT₂, IGBT₄ 的驱动脉冲比超前臂 IGBT₁, IGBT₃ 的驱动脉冲有一定移相角的滞后。逆变器开关管 IGBT 受驱动信号控制开通或关断,经 ZCZVS-PWM 软开关变换,输出经过中频变压器实现阻抗和电压匹配,经过整流滤波后,成为具有较高动态响应的可控恒流源,为二次逆变供电。

2.3 二次逆变电路

二次逆变电路工作在大电流、低电压、低开关频率下,因此采用硬开关 PWM 实现变极性电源的二

次逆变, 如图4所示。

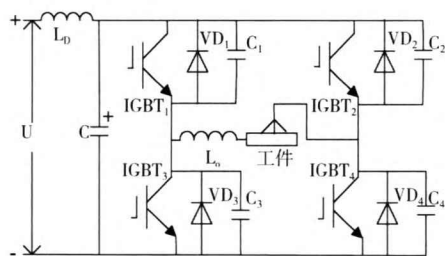


图4 二次逆变电路

电路采用“共同截止”换向控制策略, 图4中参与换向的4个开关管IGBT存在共同截止时间(死区)。L₀为一次逆变回路的输出滤波电感器, 并联在主电路母线间的吸收电容C为滤波电感器L₀提供续流回路, 在焊接电流间断和换向期间吸收一次直流源的能量。L₀为回路电感器, 容值为8 μH。以DCEP到DCEN的变极性切换过程为例: 当IGBT₁, IGBT₄导通时, IGBT₂, IGBT₃截止, 此时工件接负, 电源输出极性DCEP, 焊接电流从焊枪流向工件, 焊接电流通过电感器L₀储存能量, 吸收电容C等于电弧电压加上IGBT₁, IGBT₄的正向导通压降; 然后IGBT₁, IGBT₄关断, 4个IGBT都处于截止状态, 进入共同截止(死区)时间, 电弧迅速下降为零, 电弧瞬间熄灭, L₀给电容C充电, 使电容C两端的电压迅速上升; 接着, 当IGBT₂, IGBT₃导通时, IGBT₁, IGBT₄截止, 此时工件接正, 电源输出极性DCEN。电容C两端的电压直接加在电弧空间两端, 重新引燃电弧。

二次逆变电路的2对IGBT交替导通, 以及与一次逆变桥的协调控制, 获得输出正负半波幅值和占空比可以独立调节的变极性电流波形。当IGBT₁, IGBT₄导通时, 根据一次逆变输出的恒流源, 输出一定幅值的正半波, 当IGBT₂, IGBT₃导通时, 输出另一幅值的负半波, 从而实现正负半波幅值的独立调节。改变2对桥臂的导通时间, 可以调节正负半波的占空比和变极性输出频率。

3 变极性输出的实现与控制

TMS320F2808具有较高的信号处理和控制能力、事件管理能力, 采用主从结构的双芯控制系统能够

实现焊机的数字化控制, 提高焊接电源的安全性、稳定性和焊接质量。DSP1作为主控芯片实现人机信息交互、焊接过程的时序控制和远程通信等事务管理。焊接参数由控制面板输入, 经DSP1传送给DSP2, 从控芯片DSP2对电弧电压、电流的实时反馈信号进行A/D转换, 并根据系统设定的焊接参数, 采用PID控制, 由DSP2的PWM输出通道输出脉冲开关信号, 经过功率放大后为一次逆变功率开关管提供频率为20 kHz的驱动脉冲信号; 二次逆变利用DSP2的高速通用输出口, 通过软件编程调制出两路换向脉冲, 经功率放大后控制功率开关管的通断, 使正、负半波的电流频率、幅值和导通比均可以独立调节和控制^[4]。从控芯片DSP2的控制流程如图5所示。

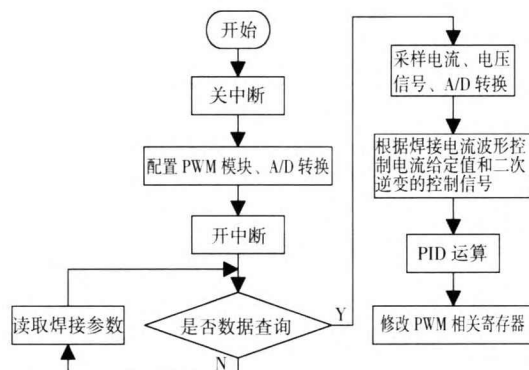


图5 DSP2控制流程图

4 应用试验

试验所设计的变极性TIG焊的焊接电源额定电流为300 A。主电路的技术参数为: 三相输入电压380 V, 额定输出电流 $I_0=300$ A, 一次逆变频率 $f_1=20$ kHz, 二次逆变频率 $f_2=5\sim 100$ Hz, 中频变压器T的变比 $N=8$ 。

4.1 一次恒流源外特性试验

为了检测一次逆变电路的设计是否符合设计要求, 在MATLAB7.0中建立可变电感模型代替饱和电感, 对全桥ZVZCS-PWM软开关构成的逆变主电路进行仿真, 得到了相应波形, 如图6所示, 图6a为超前臂电压 U_{ce} , 电流 I_{ce} , 驱动信号 U_{ge} 波形, 当 U_{ce} 减小到零一段时间后, 给出驱动信号 U_{ge} , I_{ce} 才逐渐

上升,实现了零电压开通,并且有很宽的负载范围;图6b为滞后臂电压 U_{ce} ,电流 I_{ce} ,驱动 U_{ge} 信号波形,当电流减小到零后,电压开始上升,实现了滞后臂的零电流关断。在焊接过程中对相应波形进行测试,结果一致。

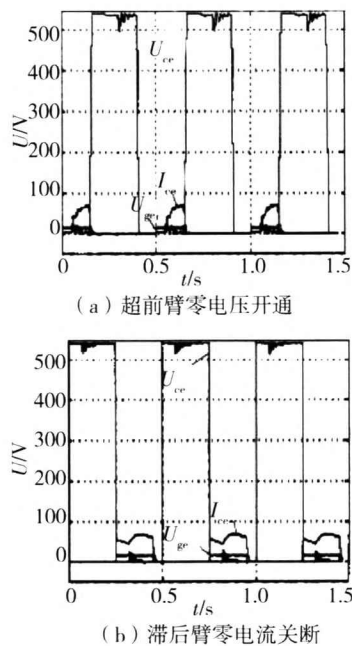
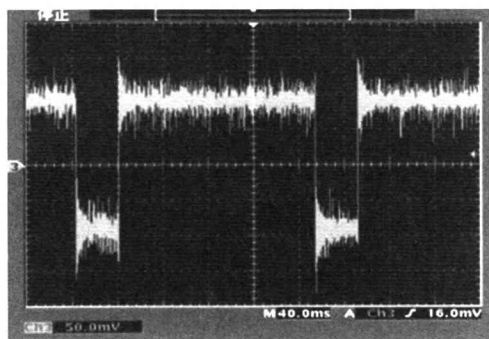


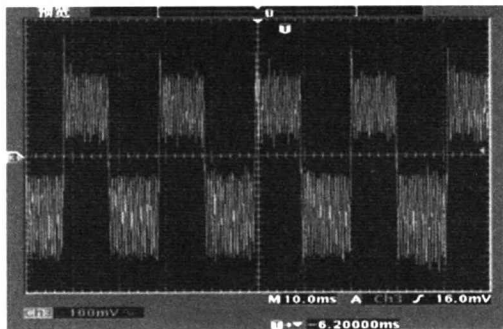
图6 移相全桥 ZCZVS-PWM 相应波形

4.2 焊接过程电流波形测试

所设计的变极性 TIG 焊电源具有频率、占空比和正负半波幅值调节的特性,不同焊接工艺参数的 2 种电流波形如图 7 所示,图 7a 为焊接电流 $I_r=I_l=20$ A,测试频率 $f=5$ Hz,占空比 $D=81\%$,焊接速度 12 mm/s 时的电流波形;图 7b 为焊接电流 $I_r=40$ A, $I_l=60$ A,测试频率 $f=50$ Hz,占空比 $D=51\%$,焊接速度 9 mm/s 时的电流波形。焊接试验证明,所设计的变极性 TIG 焊焊接电源符合设计要求,可用于铝及铝合金的焊接。



(a) $f=5$ Hz, $D=81\%$, $I_r=I_l=20$ A



(b) $f=50$ Hz, $D=51\%$, $I_r=40$ A, $I_l=60$ A

图7 不同焊接工艺参数时的焊接电流波形

5 结论

(1) 在变极性 TIG 焊电源设计中,采用双芯控制系统,实现了数字化控制,双芯通过 DSP 芯片内部的 eCAN 模块实现串行通信,设计简单,通信可靠。电源电弧稳定,换向效果理想,具有良好的变极性输出性能。

(2) 一次逆变电路采用 ZCZVS-PWM 软开关工作方法,增加了阻断电容,负载范围变大,利用饱和电感器,有效减小了占空比损失,提高了变换器的效率和变压器的能量传输性能。

(3) 所设计的变极性 TIG 焊电源,通过调节正负半波时间比、幅值比,在保证阴极清理作用前提下,最大限度地减少负极性时间,使电弧具有直流正极性特点,从而获得较大的熔深,提高生产率,延长钨极寿命。

参考文献:

- [1] 李鹤岐, 李春旭, 商忠林, 等. 基于 DSP 和 MCU 的全数字化逆变焊接电源系统设计[J]. 焊接技术, 2004, 33(S0): 5-8.
- [2] 倪倩, 齐铂金. 软开关全桥 PWM 逆变焊接主电路拓扑结构发展现状[J]. 焊接技术, 2002, 31(1): 4-6.
- [3] 马学军, 陈青昌, 彭力, 等. 移相全桥变换器双模块并联技术的研究[J]. 电力电子技术, 2005, 39(3): 43-44.
- [4] 李中友, 刘秀忠. 变极性方波电源的换向和控制[J]. 焊接学报, 2002, 23(2): 68-71.

作者简介:白宏伟(1973—),女,河南浚县人,工程师,实验师,硕士,研究方向为:电气自动化和焊接设备。