

# 基于单片机控制的软开关逆变 焊接电源平台的研制

温永平<sup>1</sup>,方臣富<sup>1</sup>,方宁<sup>2</sup>,马飞<sup>2</sup>,牛卫华<sup>2</sup>

(1.江苏科技大学 先进焊接技术省级重点实验室,江苏 镇江 212003;2.海军某部)

**摘要:**介绍了一种软开关逆变焊接电源平台,功率电路采用饱和电感式 FB-ZVZCS-PWM 变换器拓扑,控制系统采用有限双极性控制模式,其中以 3 片 Atmega16 单片机完成给定、显示、遥控等功能,以 UC3846 为核心芯片设计了 ZVZCS-PWM 控制电路。试验表明该焊接电源平台性能稳定,效率高,具有良好的电气性能。该焊接电源平台可作为焊条焊、TIG 焊、CO<sub>2</sub> 焊、埋弧焊等的研究基础。

**关键词:**逆变;软开关;单片机;焊接电源

中图分类号: TG409

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2006)09-0054-04

## Development of soft switch inverter welding power supply based on MCU

WEN Yong-ping<sup>1</sup>, FANG Chen-fu<sup>1</sup>, FANG Ning<sup>2</sup>, MA Fei<sup>2</sup>, NIU Wei-hua<sup>2</sup>

(1.Provincial Key Laboratory of Advanced Welding Technology, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China; 2.Navy Certain Part, China)

**Abstract:** A soft-switch inverter welding power supply is developed, FB-ZVZCS-PWM topology with saturable inductor is used in power circuit, and limited bipolar control mode is used in control system, within which 3 MCU of Atmega16 is used to set, display and telecontrol, etc, UC3846 is used as main chip to constitute ZVZCS-PMW control circuit. Research presented this welding power supply has stable performance, high efficiency, good electrical performance, and can be used as research basis for SMAW, TIG welding, CO<sub>2</sub> welding, submerged arc welding, etc.

**Key words:** inverter; soft-switch; SCM; welding power source

## 0 引言

软开关技术使得功率开关管在开关过程瞬间电流轨迹和管压降轨迹错开,在较大程度上解决了功率开关管损耗和开关应力过大的问题,减少了功率器件的  $du/dt$  和  $di/dt$  造成的电磁干扰,提高了效率。因此,软开关式焊接电源是一种具有广阔前景的新型焊接电源。

随着单片机技术在焊接电源中的应用,焊接电源的柔性化设计成为可能,焊接电源设计时间大大缩短,正朝着模块化方向发展。因此,集合软开关技术和单片机技术搭建一个焊接电源平台来研制开发焊条焊、TIG 焊、CO<sub>2</sub> 焊、埋弧焊等焊接电源显得

十分有意义。

## 1 软开关逆变焊接电源平台功率电路

焊接电源功率电路原理如图 1 所示。功率电路采用饱和电感式 FB-ZVZCS-PWM 变换器拓扑<sup>[1]</sup>,超前桥臂(IGBT<sub>1</sub> 和 IGBT<sub>2</sub> 组成的桥臂)实现零电压开关,滞后桥臂(IGBT<sub>3</sub> 和 IGBT<sub>4</sub> 组成的桥臂)实现零电流开关,从而实现了软开关逆变焊机的零电压零电流开关(ZVZCS)。阻断电容  $C_b$  衰减环流电流,饱和电感  $L_r$  阻断电流反向增加。 $U_m$  为输入直流电压源,VD<sub>1</sub>~VD<sub>4</sub> 分别是与 IGBT<sub>1</sub>~IGBT<sub>4</sub>(型号为 BSM75GB 120DN2)反向并联的二极管, $C_1, C_2$  分别是 IGBT<sub>1</sub>, IGBT<sub>2</sub> 的输出电容和外接电容之和, $L_k$  为变压器  $T_r$  的漏感,VD<sub>R1</sub> 和 VD<sub>R2</sub>(型号 MUR200)为输出整流二极管, $L_f$  为输出滤波电感,R 为电弧等效电阻。现以图 1 所示电路拓扑并采用有限双极性控制为例,说明超前臂零电压、滞后臂零电流的实现原理。

收稿日期:2006-06-16

基金项目:江苏科技大学先进焊接技术省级重点实验室博士科研基金项目

作者简介:温永平(1981—),男,江苏扬州人,在读硕士,主要从事焊接电源及其自动化的研究工作。

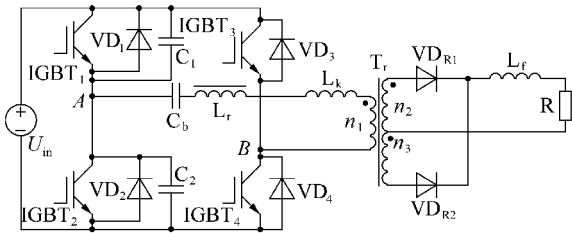


图 1 焊接电源功率电路原理

Fig.1 Principle of welding power circuit

IGBT<sub>1</sub>~IGBT<sub>4</sub>的控制信号、两桥臂中点电压  $U_{AB}$ 、变压器一次电流  $i_p$  和电容  $C_b$  两端电压  $U_{cb}$  的波形如图 2 所示<sup>[2]</sup>。

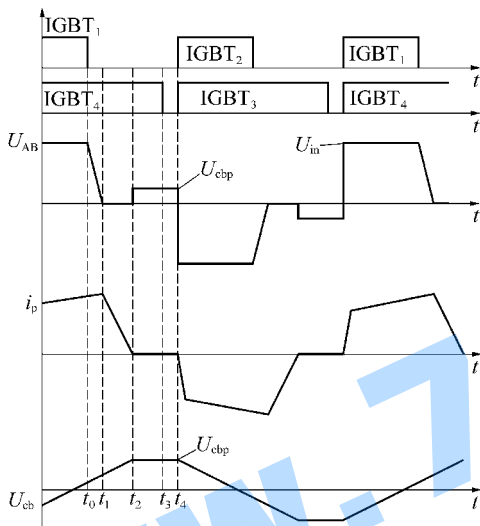


图 2 功率器件的控制信号和主电路波形

Fig.2 Control signal of power part and waveform of main circuit

$t_0$ 时刻关断 IGBT<sub>1</sub>,由于 IGBT<sub>1</sub> 并联电容  $C_1$  两端电压不能突变,所以 IGBT<sub>1</sub> 零电压关断。此后  $C_1, C_2$  开始充放电,  $t_1$  时刻充放电结束,  $VD_2$  导通为 IGBT<sub>2</sub> 开通创造了零电压开通的条件,一次电流环流开始。此时,电容  $C_b$  的电压  $U_{cb}$  全加在变压器的漏感上,一次电流很快衰减,  $t_2$  时刻一次电流衰减到零,饱和电感阻断电流反向增加,使一次电流保持为零,从而实现 IGBT<sub>4</sub> 零电流关断。另半个周期的软开关过程与此类似。

## 2 单片机控制系统

整个控制系统由单片机控制系统和外围电路组成,系统构成原理如图 3 所示。以 Atmega16 为核心,与上电复位电路、时钟电路一起构成单片机最小系统, PD(0~7)输出的给定电流经过 D/A 转换器 7537 转换成模拟量和反馈电流  $i_t$  进行 PI 调节, PI

调节后的值送入电流模式的 PWM 芯片 UC3846, 然后输出 PWM 驱动脉冲,经驱动变压器隔离放大后驱动 IGBT。当过热、欠电压或空载时,单片机输出封锁信号封锁 UC3846,从而封锁输出。另外,单片机利用通用同步和异步串行接收器和转发器 (USART)与表头的单片机实现通信,实时把焊接参数发送给表头单片机,利用串行外设接口 SPI 通过 485 总线实现与遥控器的远距离通信。

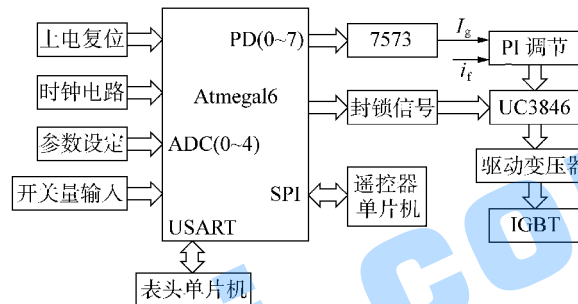


图 3 控制系统框图

Fig.3 Diagram of control system

### 2.1 单片机硬件系统

整个单片机硬件系统由 3 片 Atmega 单片机组成,主控板、表头和遥控器分别用一片单片机,主控单片机与表头单片机和遥控单片机实现通信。下面以 SMAW 焊机为例,介绍 3 片单片机的功能。

(1)主控单片机负责整个焊机的管理功能,并实时与表头单片机和遥控器单片机实现通信。它具有参数设定和开关量输入功能,设定参数包括焊接电流、推力电流、引弧电流、引弧时间、电缆长度,开关量输入包括过热保护信号、弧压状态  $V_{im}$ 、引弧成功信号等, PD(0~7)口输出不同焊接状态时刻的给定电流(即叠加引弧电流、推力电流),并根据需要及时输出保护信号封锁输出。

(2)表头单片机负责采样三相电输入、弧压和反馈电流,并和主控单片机发送过来的焊接参数一并显示。因有专门的单片机负责显示,所以显示参数大大增加(显示参数 5 个:焊接电流、推力电流、引弧电流、引弧时间、电缆长度;焊接参数 6 个:焊接时电流、A, B, C 三相输入电压、弧压、累计焊接时间)。

(3)遥控器单片机可以在遥控方式时设定焊接电流和推力电流,实时显示主控单片机发送过来的焊接电流和弧压参数,而且能及时根据故障情况点亮故障灯。

Atmega16 单片机是基于增强 AVR RISC 结构的低功耗 8 位 CMOS 微控制器。由于其先进的

指令集和单时钟周期指令执行时间,ATmega16 的数据吞吐率高达 1 MIPS/MHz,从而可以减缓系统在功耗和处理速度之间的矛盾。它具有 16 kB 的系统内可编程 Flash(具有同时读写能力,即 RWW), 512 B 的 EEPROM,1 kB 的 SRAM,32 个通用 I/O 口线,32 个通用工作寄存器,支持片内调试与编程,3 个具有比较模式的灵活的定时器/计数器、片内/外中断,可编程串行 USART,8 路 10 位具有可选差分输入级可编程增益的 ADC,振荡器的可编程看门狗定时器,1 个 SPI 串行端口,而且价格适中,因此具有极高的性价比。

### 2.2 单片机软件系统

以 SMAW 焊机为例,主控单片机的软件主要由以下几个部分组成:主程序、初始化程序、A/D 转换程序、引弧程序、电缆补偿程序、加减推力中断程序、通信程序。主程序流程图如图 4 所示。

上电后复位后,程序从 002AH 开始运行。系统先执行初始化子程序,并封锁焊机输出,然后完成各参数的初始值设定。当选用遥控方式时,接受遥控器上的设定参数,否则接受本机参数。单片机根据输入的电缆长度和焊接电流值计算出输出电缆压降,自动计算出叠加推力电流弧压拐点值。随后焊机检测弧压状态  $V_{im}$  是否为 1(即焊条是否与工件接触),为 1 时,焊机解除封锁,开中断,并开始执行引弧程序,即输出叠加了引弧电流后的焊接电流给定值,当引弧时间到了以后取消引弧电流,输出正常的焊接电流值。焊机检测弧压,当弧压低于单片机计算后的拐点值时利用外部中断进入中断子程序叠加推力,输出叠加推力值后的焊接电流给定值。

由于系统采用 Atmega 单片机,占用空间冗余多,可以在线编程对焊接电源进行升级。

### 3 ZVZCS-PWM 软开关控制电路

控制电路以电流模式的 UC3846 芯片为核心,UC3846 芯片采用峰值电流模式控制方法,即开关器件在固定时间开通,电流瞬时值达到电流给定值时,开关器件关断<sup>[3-4]</sup>。UC3846 外围电路见图 5。

给定值和反馈值经 PI 调节后的值输入 UC3846 的 5 脚(误差放大器同向输入端)、6 脚(误差放大器反向输入端)和 7 脚(补偿端)相连,接成跟随器形式,形成电压外环输入反馈。

一次电流检测值输入 4 脚(电流检测放大器正输入端),进行瞬时电流反馈,形成电流内环反馈。

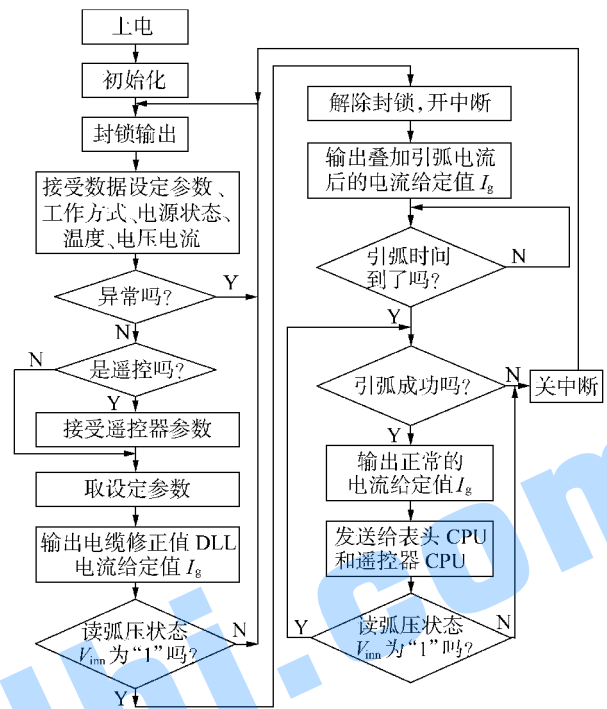


图 4 主程序流程

Fig.4 Proceeding of main program

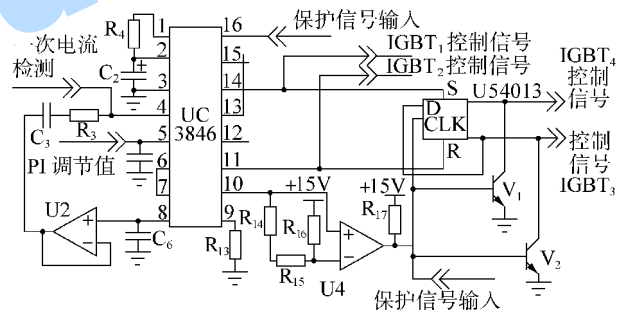


图 5 UC3846 外围电路

Fig.5 Periphery circuit of UC3846

因为电流模式变换器工作在占空比大于 50% 和连续电感电流条件下会产生分谐波振荡,它是由固定频率和峰值电流取样同时工作状况所引起的。为此,利用 8 脚(振荡输出端)输出的锯齿波对 4 脚进行斜率补偿。

11,14 脚输出 2 路 PWM 信号,分别送 U5 为核心的脉宽展宽电路,形成滞后桥臂的 2 路固定脉宽触发信号;10 脚(同步信号输出端)输出的脉冲送固定脉宽展宽电路形成 2 路固定脉宽的死区;16 脚接保护信号,只要有高电平的保护信号输入,11,14 脚停止 PWM 信号的输出,从而封锁超前桥臂。

### 4 试验

针对所设计的控制电路,利用四通道记忆示波

器进行检测,图 6、图 7 分别为采集到的 2 种不同负载情况下的 4 个 IGBT 驱动控制信号。由图可知,在焊接电流和弧压较高(焊接电流 400 A,弧压 36 V)时,超前桥臂 IGBT<sub>1</sub>、IGBT<sub>2</sub> 脉宽较大,滞后桥臂 IGBT<sub>3</sub>、IGBT<sub>4</sub> 固定脉宽,IGBT<sub>1</sub>~IGBT<sub>4</sub> 4 组驱动控制信号实现有限双极性控制方式;当焊接电流 58 A,弧压 6 V 时,超前桥臂 IGBT<sub>1</sub>、IGBT<sub>2</sub> 压缩脉宽,滞后桥臂 IGBT<sub>3</sub>、IGBT<sub>4</sub> 固定脉宽。经过试验和联机调试,结果表明控制电路各部分工作正常。

### 5 结论

(1)采用软开关技术,因此性能稳定,效率高,功耗小,具有良好的电气性能。

(2)采用 3 片单片机,省去了大量的模拟电路,另外整个单片机系统采用先进的 Atmega 单片机,系统占用空间冗余多,可以在线编程随时对焊机进行在线升级。

(3)该焊接电源平台可用于焊条焊、TIG 焊、CO<sub>2</sub> 焊、埋弧焊等。

### 参考文献:

[1] 方臣富.VPTIG 焊接电源与电弧稳定性的研究[D].北京:北京工业大学机电学院,2005.  
 [2] 方臣富,殷树言,侯润石,等.辅助变压器式 FB-ZVZCS-PWM 逆变弧焊电源[J].焊接学报,2005,26(9):9-12.

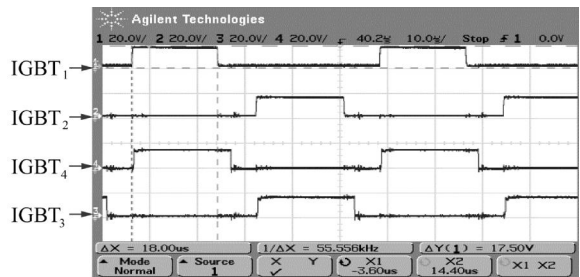


图 6 焊接电流 400 A,弧压 36 V 时的 IGBT<sub>1</sub>~IGBT<sub>4</sub> 控制信号  
 Fig.6 Control signal of IGBT<sub>1</sub>~IGBT<sub>4</sub> when welding current is 400 A and voltage is 36 V

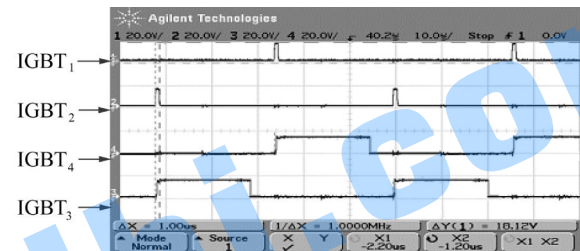


图 7 焊接电流 58 A,弧压 6 V 时的 IGBT<sub>1</sub>~IGBT<sub>4</sub> 控制信号  
 Fig.7 Control signal of IGBT<sub>1</sub>~IGBT<sub>4</sub> when welding current is 58 A and voltage is 6 V

Page 11

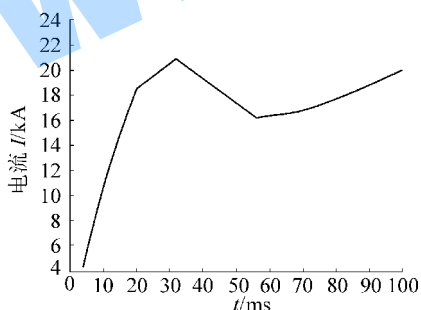


图 6 合格熔核的电流时间曲线

计,说明了进行熔核逆过程设计方法是可行的,同时说明对于同一合格熔核会有不同的工艺参数能够满足设计要求。并将该模拟结果用于实际电阻点焊实验中取得了良好的效果。

### 参考文献:

[1] 赵熹华.压力焊技术新发展[EB/OL].http://www.china-weldnet.com/Chinese/jinindaxuehui/0312729.htm.  
 [2] CHO Y.Experimental study of nugget formation in resistance

[3] 侯润石,方臣富.电流模式零电压零电流开关 TIG 焊机的研制[J].电焊机,2004,34(11):39-42.  
 [4] 杨旭,裴云庆,王兆安.开关电源技术[M].北京:机械工业出版社,2004:208-211,234-238.  
 [5] spot welding[J].Welding journal,2003,83(8):195-201.  
 [6] Greenwood J A.Temperature in spot welding[J].British Welding journal,1961,8(6):316-322.  
 [7] Yamamoto Y,Okudu T.A study of spot welding of heavy gauge mild steel[J].Welding in the world,1971,(7-8):234-255.  
 [8] Gould J E.An examination of nugget development during spot welding using both experimental and analytical techniques [J].Welding Journal,1987,66(1):1-10.  
 [9] Cho H S,Cho Y J.A study of the thermal behavior in resistance spot welding[J].Welding Journal,1989,68(6):236-371.  
 [10] Nied H A.The finiteelement modeling of the resistance spot welding process[J].Welding journal,1984,63(4):123-132.  
 [11] 龙昕.电阻点焊过程的数值模拟[D].上海:上海交通大学焊接研究所,2001.  
 [12] 李宝清.铝合金电阻点焊过程的数值模拟及能量分析研究[D].天津:天津大学材料学院,2002.  
 [13] 白钢,张勇,杨思乾.点焊熔核尺寸与工艺参数关系的模型化处理[J].机械科学与技术,2004,5(23):570-572.  
 [14] 朱正行,严向明,王敏.电阻焊技术[M].北京:机械工业出版社,2002.