

基于 DSP 的软开关逆变弧焊电源的设计

刘 钊,朱国荣,李 勋,杨 瑾,段善旭,康 勇
(华中科技大学 电气学院,湖北 武汉 430074)

摘要:给出了软开关逆变弧焊电源的主电路和数字化控制电路的设计方法。对比了逆变弧焊电源两种常用的软开关技术,在综合分析两种技术优缺点的基础上选择了 ZVZCS,并就 ZVZCS 工作原理进行了阐述,给出了其主电路参数的设计方法。控制电路采用基于 DSP 的数字化控制系统,详细给出了移相 PWM 的实现原理和控制系统的软件流程图。根据以上原理试制了一台逆变弧焊电源,实验结果证明了设计原理的有效性和可行性。

关键词:数字信号处理器;逆变弧焊电源;零电压零电流开关;软开关

中图分类号: TG434.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2303(2007)04-0017-04

Design of soft-switch arc welding inverter power source based on DSP

LIU Zhao, ZHU Guo-rong, LI Xun, YANG Jin, DUAN Shan-xu, KANG Yong

(School of Electri., Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper gives the design method of main circuit and digital control method of the soft-switch arc welding inverter power source. First make a contrast between the two common soft-switch method of the arc welding inverter power source, choose the ZVZCS method based on their merits and faults and explain its work principle, then give its design method of main circuit parameter. Choose the control circuit with the digital system based on DSP, particularly present the realization method of phase-shifted PWM and software flow chart of the control system. In the end of the paper the experiment proves the validity and feasibility of the design theory.

Key words: DSP; arc welding inverter power source; ZVZCS; soft-switch

0 前言

逆变弧焊电源由于体积小、质量轻、高效节能和性能优良,因此得到了广泛的研究。但逆变弧焊电源中开关频率过高,电流过大,这就存在着较大的开关损耗,同时 EMI 过大^[1],软开关作为目前电力电子技术研究的热点之一,很好地解决这个问题。

近年来,随着单片机、数字信号处理器以及复杂可编程逻辑器件等元器件的发展,数字控制技术已得到广泛的应用。相对于传统的模拟控制,数字控制技术有着控制方法灵活多变、控制精度高、可靠性高等优点^[2]。目前国内外弧焊电源的最新技术趋势就是逆变软开关技术和数字控制技术相结合。

本研究采用 TI 公司的 TMS320LF2407 作为控制芯片,软开关选择移相全桥 ZVZCS,设计了一台

250 A/10 kW 逆变弧焊电源。实验结果表明,即使在较小的负载下也能较好地实现软开关。

1 主电路的选择和设计

1.1 主电路拓扑的选择

弧焊电源是一种特殊的开关电源,其功率等级一般从数千瓦到数十千瓦。因此,适合的拓扑有双管正激变换器、半桥变换器和全桥变换器等几种。一般而言,功率开关管的电压和电流定额相同时,变换器的输出功率与所用开关管数成正比,因此全桥变换器成为逆变弧焊电源中的首选拓扑。而移相全桥软开关 PWM 变换器可以在不增加电路复杂性的基础上,将 PWM 技术和软开关技术的优点相结合,因而成为了逆变弧焊电源领域最有吸引力的拓扑。移相全桥软开关 PWM 变换器的软开关方式有 ZVS 和 ZVZCS 两种^[3]。

由于移相全桥 ZVS PWM 变换器很难实现滞

收稿日期:2006-12-21

作者简介:刘 钊(1983—),男,湖北武汉人,博士,主要从事电力电子技术方面的研究工作。



逆变焊机

后桥臂的 ZVS, 而 ZVZCS PWM 变换器有着效率高、可提高最大占空比等优点, 因此, 本设计选择了移相全桥 ZVZCS。

1.2 移相全桥 ZVZCS 的实现

移相全桥 ZVZCS PWM 变换器中, 超前桥臂的零电压(ZVS)开关是在超前桥臂并联适当的电容实现的, 而滞后桥臂要实现零电流(ZCS)开关必须在变压器一次电压过零期间, 使一次电流复位到零并短暂箝在零电流, 这一般也需要加入辅助电路, 如带饱和电感和副边带箝位^[4]等。

通过分析, 综合考虑到效率、成本和实现难易程度等因素, 本设计选择利用饱和电感和实现滞后桥臂 ZCS 的拓扑作为主电路。

1.3 带饱和电感的移相全桥 ZVZCS PWM 变换器的工作原理

带饱和电感的移相全桥 ZVZCS PWM 变换器的主电路如图 1 所示, 每个桥臂上的两个开关管(IGBT₁和 IGBT₃ 或 IGBT₂ 和 IGBT₄)轮流导通半个周期。两个桥臂之间引入移相从而决定变换器的占空比。

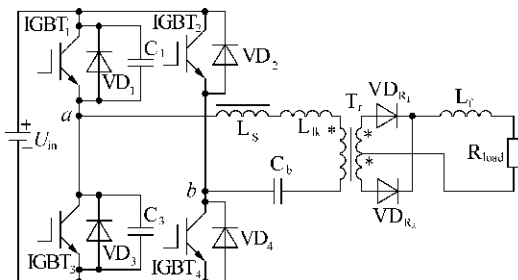


图 1 带饱和电感的 ZVZCS 变换器主电路

其工作原理为: 在超前臂一只 IGBT 关断后, 主电路进入自然换相过程, 此时饱和电抗 L_s 仍处于饱和状态, 变压器一次电流 i_p 在隔直电容 C_b 和主变压器一次侧漏抗 L_{lk} 的谐振作用下迅速下降。当 i_p 下降到零时, 由于饱和电抗 L_s 已退出了饱和, 阻止了阻断电容峰值电压 U_{Cbp} 引起的电流反向流动, 从而使滞后臂的关断在零电压零电流状态下完成。随后, 滞后臂上的另一只 IGBT 管开通, 电源电压 U_{in} 与 U_{Cbp} 之和加在饱和电抗上, 由于饱和电抗进入饱和需要一个短暂的过程, 电流不能立即上升, 这样滞后臂的开通也是在零电流下完成^[5]。

1.4 主电路参数设计

1.4.1 主变压器的设计

变压器变比

$$K = \frac{U_{in(\min)} D_{p(\max)}}{U_o / D_{sec(\max)}} \quad (1)$$

一次侧绕组匝数

$$N_1 = \frac{U_{in(\min)} \times 10^8}{K_f B_m f S_c} \quad (2)$$

二次侧绕组匝数

$$N_2 = N_3 = \frac{N_1}{K} \quad (3)$$

式中 $U_{in(\min)}$ 为输入电压的最小值; $D_{p(\max)}$ 为一次侧最大占空比; $D_{sec(\max)}$ 为二次侧最大占空比; U_o 为额定输出电压; K_f 为波形系数, 正弦时取 4.44, 方波时取 4; B_m 为所选磁心最高工作磁密(单位: Gs); f 为开关频率(单位: Hz); S_c 为磁心有效截面积(单位: cm^2)。

1.4.2 超前桥臂并联电容的设计

并联电容

$$C_1 = C_3 \leq \frac{I_o(\min) t_{d(\text{lead})}}{2K U_{in(\max)}} \quad (4)$$

式中 $I_o(\min)$ 为最小输出电流; $U_{in(\max)}$ 为最大输入电压; $t_{d(\text{lead})}$ 为超前桥臂两开关管驱动信号之间的死区时间。

1.4.3 饱和电感的设计

饱和电感伏秒积

$$\Phi_{Ls} = U_{Cbp} \cdot T_{ZC} = U_{Cbp} \left(\frac{T}{2} - D \frac{T}{2} - \Delta T \right) \quad (5)$$

式中 U_{Cbp} 为阻断电容峰值电压; T_{ZC} 为滞后桥臂零电流开关时间; ΔT 为环流时间。

1.4.4 阻断电容的设计

阻断电容

$$C_b = \frac{n I_o}{8} \cdot \frac{DT^2 - D^2 T^2}{\Phi_{Ls} + n I_o L_{lk}} \quad (6)$$

式中 Φ_{Ls} 为饱和电感伏秒积, 为已知; L_{lk} 为变压器漏感。

1.4.5 输出滤波电感的设计

输出滤波电感

$$L_r = \frac{U_{o(\min)}}{2 \cdot 2f \cdot 5\% I_{o(\max)}} \left(1 - \frac{U_{o(\max)}}{U_{in(\min)} / k - U_{Lr} - U_D} \right) \quad (7)$$

式中 f 为输出滤波电感的工作频率; U_{Lr} 为滤波电感上电压降; U_D 为整流二极管导通电压降。

2 控制电路的设计

2.1 移相 PWM 波的实现方法

基本原理是: 利用 DSP 事件管理器中的两个全比较单元输出四路脉冲。由全比较单元 1 输出超前臂上下管脉冲, 全比较单元 2 输出滞后臂上下管脉冲。两个全比较单元的比较寄存器数值按照调节器输出的要求在下溢中断和周期中断当中不断地修改,



如图 2 所示。在下溢中断中赋给 CMPR1&CMPR2 在计数器计数下降沿比较值,在周期中断中赋给 CMPR1&CMPR2 在计数器计数上升沿比较值。计数器计数周期为脉冲周期。实际编程时,需要按照全比较输出对称脉冲的设置方法设置。

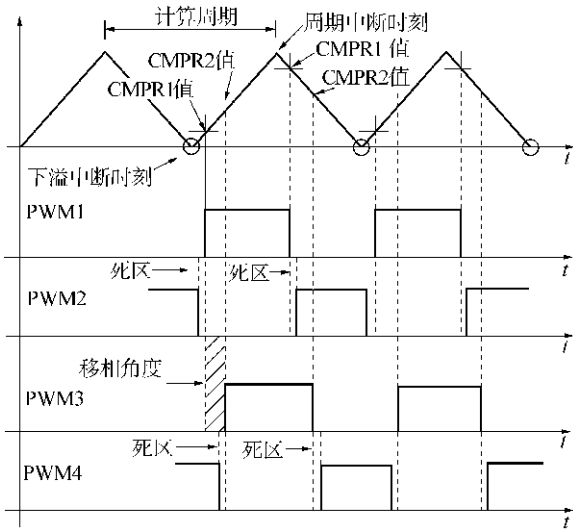


图 2 移相脉冲生成原理

2.2 数字控制系统的软件流程

系统软件有主程序和中断程序两大部分,主程序流程如图 3 所示。

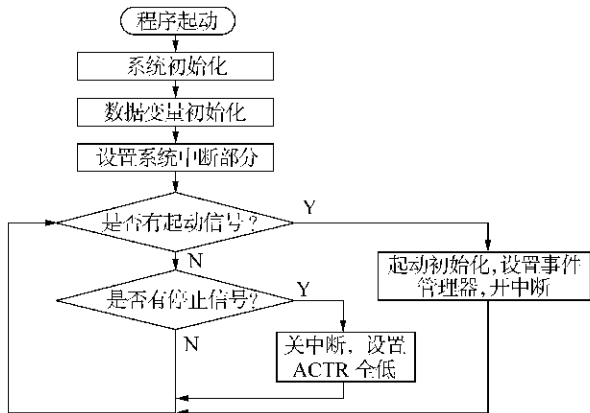


图 3 主程序流程

主程序主要是完成系统初始化、开关机检测、开关机初始化,然后进入主程序循环等待中断。周期中断程序、下溢中断程序和 PDPINTA 程序共同构成系统中断程序。在周期中断程序中完成空载电压的软起动,读取电压电流采样值,通过检测输出电流实现空载和负载两种不同工况的切换,在两种不同工况下实施各自的控制算法等工作。周期中断中完成空载电压的建立、负载电流的恒定以及推力电流的

调节。

下溢中断程序用来更新 CMPR1 和 CMPR2 的值。

当主电路出现故障时,如输出过电压过电流、直流母线过电流、输入过/欠电压以及机器过热等,外部硬件产生信号去封锁脉冲放大和整形电路,同时产生 PDPINTA 信号送 DSP,DSP 内部产生 PDPINTA 中断封锁脉冲输出。

T1 的周期中断和下溢中断子程序如图 4、图 5 所示。

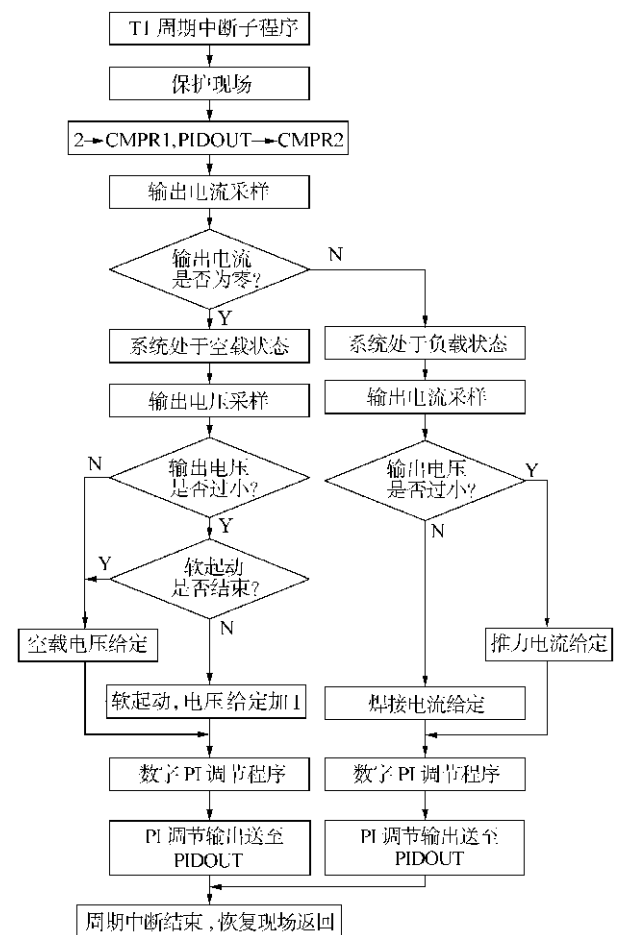


图 4 T1 周期中断子程序

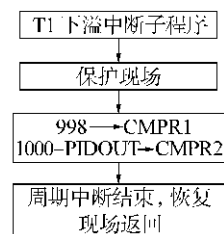


图 5 T1 下溢中断子程序

3 实验分析

通过以上方法设计了一台 250 A/10 kW 逆变弧焊电源,输入为三相 380 V±15%,输出空载电压 70 V,最大输出焊接电流 250 A,控制器采用 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320LF2407。图 6 为超前桥臂 ZVS 波形;图 7 为滞后桥臂 ZCS 波形;图 8 为空载—短路—负载过程焊接电压电流波形。

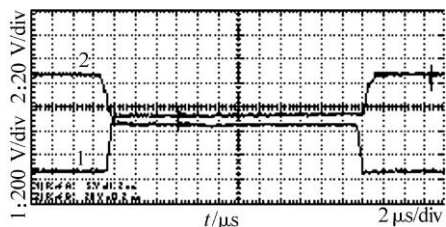


图 6 超前桥臂 ZVS 波形

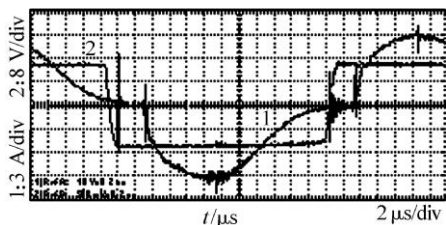


图 7 滞后桥臂 ZCS 波形

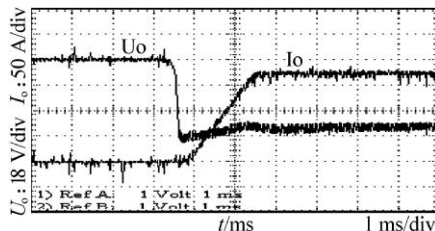


图 8 空载—短路—负载过程焊接电压电流波形

桥臂的 ZCS,其有效地减小了开关管的开通关断损耗,提高了开关频率;数字控制系统的引入不仅减小了控制器设计的复杂性,而且大大提高了其灵活性。根据上述原理设计的软开关逆变弧焊机,通过实验证明性能良好。

参考文献:

- [1] 黄石生.新型弧焊电源及其智能控制[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [2] 吴开源,黄石生,李 阳,等.弧焊电源的数字化控制技术[J].半导体技术,2005,30(1):72-75.
- [3] 阮新波,严仰光.脉宽调制 DC/DC 全桥变换器的软开关技术[M].北京:科学技术出版社,1999.
- [4] Jeon Seong-jeub, Cho Gyu-hyong. A Zero-Voltage and Zero-current Switch Full Bridge DC-DC Converter With Transformer Isolation[J].IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, 2001, 16(5):573-580.
- [5] 段善旭,余新颜,康 勇.便携逆变弧焊电源的研究[J].电焊机,2004,34(12):28-31.

4 结论

移相全桥 ZVZCS PWM 变换器利用箝位电容实现超前桥臂的 ZVS,利用饱和谐振电感实现滞后

弧焊变压器的维护保养方法

(1)使用新焊机或起用长久未用的焊机之前,应事先检查焊机有无损坏之处,并按产品说明和有关技术要求(JB807-80)进行检验。

(2)焊机一次侧、二次侧的绝缘电阻值应分别在 0.5 MΩ 和 0.2 MΩ 以上。若低于此值,应作干燥处理,损坏处需要修复。

(3)从焊机连接到焊件上的焊接电缆应采用橡胶绝缘多股软电缆。

(4)焊机离焊件超过 10 m 时,必须适当加粗两根焊接电缆截面,使焊接电缆通过焊接电流时的电压降不超过 4 V,否则引弧及电弧燃烧的稳定性会受到影响。

(5)不允许使用角钢、铁板搭接来接长焊接电缆,否则将因接触不良或电压降过大而使电弧燃烧不稳定,影响焊接质量。

(6)焊机与电缆的接头处必须拧紧,接触不良不但会造成电能消耗,还会导致焊机过热,甚至将接线板烧坏。目前可采用电缆连接器进行连接。

(7)使用中应经常注意焊机的声音、温升是否正常,发现异常应及时进行修理。

(8)经常清扫焊机内部,机内不应有灰尘、铁屑等物。

