

软开关逆变电阻点焊机主电路参数的优化及实验分析

于明^{1,3}, 张伟², 崔怀香³, 方臣富³

(1.江苏宏微科技有限公司, 江苏常州 213022, 2.大屯镇 65370 部队 65 分队, 吉林 长春 130163, 3.江苏科技大学 先进焊接实验室, 江苏 镇江 212003)

摘要:设计了软开关逆变式电阻点焊主电路,采用带有饱和电感的全桥逆变主电路结构,利用饱和电感的特殊作用,在退出饱和时,呈现出很大的感抗,阻止了电流的进一步流动,使电流保持在零状态,为滞后臂开关管的导通与关断创造了零电流开关的条件。分析了逆变频率在软开关逆变点焊机中的作用。通过理论计算和 Pspice 电路仿真波形分析等方法,对主电路的主要参数进行了优化。经实验测试分析,设计的主电路参数合理,焊机性能达到设计要求。

关键词:软开关;电阻点焊;主电路;仿真

中图分类号: TG434.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2303(2007)05-0039-03

Parameter optimization and the experiment analyzes of main circiut of soft-switching inverter resistance spot welder

YU Ming^{1,3}, ZHANG Wei², CUI Huai-xiang³, FANG Chen-fu³

(1.MacMic Science & Techonolgy Co., Ltd., Changzhou 213022, China; 2.Country Datun 65370 Army Team 65, Changchun 130163, China; 3.Advangedcd Welding Technology Provincial key laboratory, Jianguo University of science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: The inverter main circuit of resistance spot welder has been designed, Which is used of soft-switching techonolgy in this article. Full-bridge main circuit structure is adopted as well as having saturated inductance. Making use of saturated inductance effect, which appears so big inductive reactances that the current keeps zero condition because of hindered breaking, when removing from saturation, which provide condition for the lagging legs cutting off under zero current state. Inverting frequency effect is analysed in soft-switching inverter spot welder in detailed. The main circuit parameters are optimizd, through analysis using the theoretical calculation and electric circuit simulation of Pspice. By the analysis of the experiment, we can conclude: the designed main circuit parameter is reasonable, the performance meets the designed requirements.

Key words: soft-switching; resistance spot welding; main circuit; simulation

0 前言

电阻点焊是一种广泛应用的生产工艺,近年来,随着新材料、新技术的发展,对电阻点焊工艺技术的要求越来越严格。电阻点焊工艺技术在航空航天、电子电器以及汽车等工业领域的生产中占有较大比重,尤其在航空航天领域中具有不可替代的地位。其焊接质量标准有独特的要求,并且要求生产过程

中必须保持质量的高稳定性。

电阻点焊机的发展经历了单相工频交流点焊机、直流脉冲点焊机、三相低频点焊机、次级整流式和电容储能点焊机的过程,20世纪80年代中期又出现了逆变式点焊机。日本、美国等国家先后推出逆变式电阻焊机产品,并应用于汽车、家电、电子行业,建立起以逆变点焊机器人为主的汽车车身焊装线,使逆变式电阻点焊机进入实际应用阶段。国外逆变点焊机的研究比较成熟,商品化程度也比较高。国内的逆变技术在弧焊领域的应用比较成熟,已形成

收稿日期:2006-05-15;修回日期:2006-11-20

作者简介:于明(1979—),黑龙江讷河人,工程师,硕士,主要从事逆变电源、电力电子产品方面的研发工作。



弧焊逆变电源系列;但在电阻焊领域,这项技术的优点还未得到发挥,有待进一步的研究与开发。为此,研制了软开关控制式逆变电阻点焊机^[1]。

1 主电路拓扑的选择

用于逆变电阻焊电源的主电路主要有双管正激电路和全桥电路。全桥电路中的变压器工作在双向励磁模式下,可以减小变压器的质量和体积,而且全桥电路中变压器二次侧的最大占空比接近 1,对比于双管正激电路,输出电流的上升速度大大提高。因此本研究选用全桥逆变主电路拓扑结构,其原理如图 1 所示。 U_{in} 是输入的直流电压源;IGBT₁~IGBT₄ 是功率器件;VD₁~VD₄ 分别是 IGBT₁~IGBT₄ 的反向并联二极管; C_1 、 C_2 分别是 IGBT₁、IGBT₂ 的寄生电容; C_b 为阻断电容; L_k 是变压器的漏感; T_r 是变压器;VD₅ 和 VD₆ 是输出整流二极管; R 是负载。

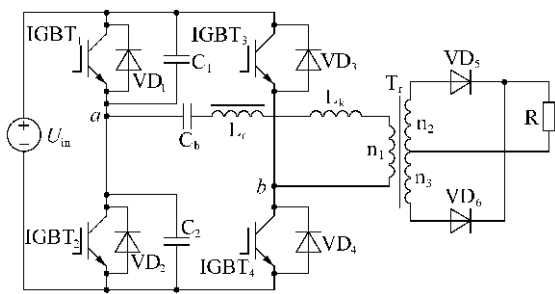


图 1 主电路拓扑结构
Fig.1 Main circuit topology

当全桥逆变电路对角的两个 IGBT 同时导通时,输入电源将能量送到输入端,与此同时一次侧阻断电容 C_b 充电, C_b 上的电压从一个方向向另一个方向线性变化,饱和电感处于饱和状态。在超前臂(IGBT₁ 比 IGBT₄ 先关断,IGBT₂ 比 IGBT₃ 先关断,故 IGBT₁ 和 IGBT₂ 组成的桥臂为超前臂,IGBT₃ 和 IGBT₄ 组成的桥臂为滞后臂)开关管状态转换过程完成后一次侧处于续流阶段时, C_b 上的电压近似保持恒定,极性与一次电流下降到零后将试图向反方向变化,但这时饱和电感已退出饱和,呈现出很大的感抗,阻止了电流的进一步流动,使电流保持在零状态,从而为滞后臂开关管的导通与关断创造了零电流开关的条件。

2 主电路参数的选择与计算

2.1 逆变频率的确定

软开关点焊电源采用 PWM 有限双极性控制

方法,其功率调解方法是定频率调脉宽的,逆变频率直接影响系统的工作性能和电路响应特性。选择逆变频率要从电源的整体设计出发,盲目追求高频率毫无意义,提高频率应以提高电源的性能为设计准则。

逆变频率对软开关点焊电源的影响是积极的,但频率的选择不当又会产生负面影响,因而逆变频率的确定是一个选择-优化的过程。选择逆变频率要从两个方面考虑:

(1) 逆变频率的积极作用。

频率提高对阻焊变压器的设计参数影响最大。变压器匝数和铁心截面积的乘积与工作频率成反比,提高逆变频率可以大幅度减小逆变阻焊变压器的体积和质量。

频率提高使焊机的控制周期缩短,从而提高系统动态响应性能、焊接电流的控制精度,能进行波形控制,实现无飞溅、质量稳定、高效节能的精密焊接。

(2) 逆变频率的消极作用。

由于阻焊变压器二次绕组一般只有一匝,匝数已不能减少;变压器二次侧通过电流大,二次绕组截面积大,要求铁心的窗口面积不能过小,所以逆变频率的进一步提高对减小阻焊变压器尺寸和质量意义不大。

而且频率提高使变压器的涡流和磁滞增加,二次回路的感抗压降增加,限制电流的输出。虽然由于逆变频率采用了软开关工作方式,频率提高对开关管的开关损耗不那么明显,但二次回路的整流二极管仍处于硬开关的强迫换流方式,频率提高会增加开关损耗和整流二极管的发热量,反而会降低焊机效率。此外,高频电路的分布参数影响比较大,容易产生高频振荡和电磁干扰,对系统的可靠性要求更高。

综合考虑以上因素,结合实际电路设计,选择 2 kHz 作为本软开关点焊电源的工作频率。

2.2 饱和电感的设计

实现滞后臂 ZCS,在续流阶段时,当阻断电容 C_b 上的电压近似保持恒定,极性与一次电流下降到零后将试图向反方向变化,饱和电感必须退出饱和,呈现出很大的感抗。根据法拉第定律,可以得出饱和电感的最小匝数 n_{min} 的计算公式

$$n_{\min} = \frac{NB_s L_c}{\mu I_f} \quad (1)$$

式中 N 为逆变变压器的变比; B_s 为磁心饱和磁感应强度; L_c 为磁心磁路长度; μ 为磁心的磁导率; I_f 为实现软开关要求的最低负载电流。

经过初步计算和校核,选用型号 ONL-644020 的铁基纳米晶环形磁心作为饱和电感的磁心。其铁心有效截面积 $S_e=1.68 \text{ cm}^2$,磁心长度 $L_c=1.63 \text{ cm}$,磁心饱和磁感应强度 $B_s=1.25 \text{ T}$,剩余磁感应强度 $B_r=0.2 \text{ T}$,磁导率 $\mu=2 \times 10^4 \text{ G}_s/\text{O}_e$ ($1 \text{ H/m} = \frac{1 \times 10^7}{4\pi} \text{ G}_s/\text{O}_e$)。新型软开关点焊电源用于精密件的焊接,设计的额定焊接电流为 1500 A ,在 10% 的负载电流时实现软开关^[2],即 $I_f=150 \text{ A}$ 。根据式(2),计算饱和电感的最小匝数

$$n_{\min} = \frac{NB_s L_c}{\mu I_f} = \frac{100 \times 1.25 \times 16.3 \times 10^{-2}}{2 \times 4\pi \times 10^{-3} \times 150} \approx 5.7, \quad (2)$$

取饱和电感的匝数 $n=6$ 。

饱和电感未饱和时的电感值 L_s 为

$$L_s = \mu n^2 \frac{S_e}{L_c} = 2 \times 6^2 \times 4\pi \times 10^{-3} \times \frac{1.68 \text{ cm}^2 \times 10^{-2}}{16.3 \text{ mm}} \approx 9.32 \times 10^{-4} \text{ H} \quad (3)$$

2.3 超前臂电容的设计

超前臂电容增大,IGBT 关断损耗显著降低,但增大相同的电容值,损耗降低相对值越来越小^[3]。考虑成本和实用性,采用 Pspice 对主电路进行仿真分析,仿真结果如图 2 所示, $P_{\text{off}}(Q1)$ 为 IGBT₁ 关断点。根据仿真结果,采用 50 nF 的超前臂电容。

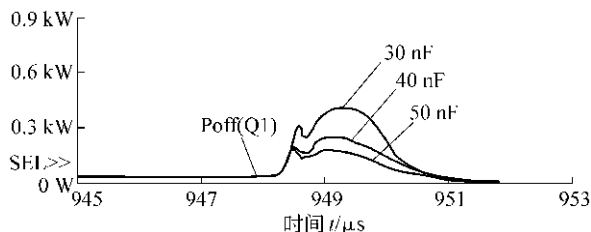


图 2 超前臂电容值对超前臂 IGBT 关断损耗影响仿真波形
Fig.2 Simulation waveform of the influence of IGBT's Shutdown loss Under electric capacity function in leading leg

3 实验分析

3.1 超前臂软开关的实现

如图 3 所示,当超前臂开关管 IGBT₁ 开通时(管压降为零),驱动信号为零,即超前臂开关管是在零电压的条件下开通;当超前臂开关管 IGBT₁ 关断时,

驱动信号为零,即超前臂开关管是在零电压的条件下关断。

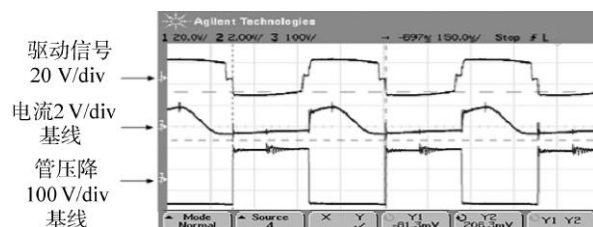


图 3 IGBT₁ 驱动信号、管压降和电流的实测波形
Fig.3 Driving signal of IGBT₁, U_{ce} of IGBT₁ and current waveform

3.2 滞后臂软开关的实现

如图 4 所示,当滞后臂开关管 IGBT₄ 开通时,IGBT₄ 的电流为零,即超前臂开关管是在零电流的条件下开通;当滞后臂开关管 IGBT₄ 关断时,通过 IGBT₄ 的电流为零,即滞后臂开关管是在零电流的条件下关断。

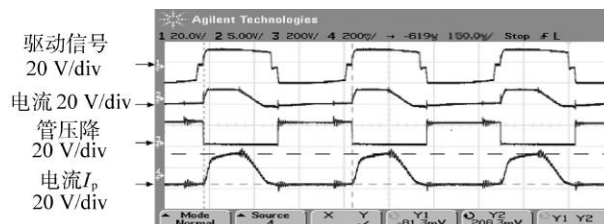


图 4 IGBT₄ 驱动信号、管压降和电流的实测波形
Fig.4 Driving signal of IGBT₄, U_{ce} of IGBT₄ and current waveform

4 结论

(1)所采用的主电路变换器结构,通过加大桥臂并联电容改善了超前臂零电压的效果,滞后臂实现了零电流开关,消除了拖尾电流的影响,关断损耗和应力明显降低,通过合理设计阻断电容和最大占空比实现了全负载范围内软开关。

(2)通过实验测试分析,所设计的主电路参数设计达到要求,实现了软开关,从而降低了开关损耗和开关应力。

参考文献:

- [1] 王福生.国内外电阻焊设备的发展[J].电焊机,2005,35(2):1-4.
- [2] 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:科学出版社,1999.
- [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):39-41.