

非高频引弧逆变空气等离子切割机的研究

丁 强 ,苗则层 ,鲍云杰

(北京时代科技股份有限公司 北京 100085)

摘要 成功研制了一种新型非高频定电流引弧的 IGBT 逆变空气等离子切割机,该机切割电流在 30~120 A 范围内连续可调。整机原理上采用 Boost 升压功率因数校正技术将整流后的电网电压提高为 720 V 的稳定直流高压,然后通过 IGBT 半桥逆变主电路、高频变压器和桥式整流得到相应的切割直流电压。采用 DSP 数字化控制技术实现了半桥 PWM 控制、非高频引弧以及整机的过电压、欠电压、过电流、过热等功能。试验表明该等离子切割机具有可靠性高、电磁干扰小、一次引弧成功率高等特点。

关键词 非高频引弧;Boost 升压;IGBT 半桥逆变;数字化控制

中图分类号 TG483 **文献标识码** A **文章编号** 1001-2303(2009)02-0055-04

Research on the inverter air plasma cutting machine of non-HF contact pilot arc

DING Qiang ,MIAO Ze-ceng ,BAO Yun-jie

(Beijing Time Technologies Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: This paper introduces an air plasma arc cutting machine of non-HF contact pilot arc with low starting current. This machine which based on boost PFC comes into being 720 V DC voltage. Through IGBT half-bridge main circuit, HF transformer, DSP control technology and bridge rectifier it outputs 30~120 A cutting current. There are some protective functions of over-voltage, low-voltage, over-current and over-heat etc. The PWM of half-bridge is adjusted by using DSP digital control technology. Experimental results verify that the power supply system is higher stability, lower EMI and higher successful ratio of pilot arc.

Key words: non-HF pilot arc; Boost PFC; IGBT half bridge inverter circuit; digital control

0 前言

切割和焊接是金属行业的“裁缝”,目前国内焊机公司大都同时生产切割机,由于逆变技术在焊接产品上的应用日益成熟,电流 300 A 以下采用 IGBT 逆变技术的切割机也越来越多。但是市场上常见的无论是用晶闸管或是 IGBT 逆变技术的国产切割机产品大都采用了传统的高压、高频引弧技术,产品在引弧的同时存在很大的电磁干扰,影响机器本身的可靠性和引弧成功率,甚至使周边设备不能正常工作。国外由于对电子产品电磁干扰的严格要求以及以人为本的思想,切割行业的领先者美国海宝(Hypertherm)、飞马特(Thermadyne)等公司在切割电流 100 A 以下都主推非高频引弧的机器,例如海宝公司的 powermax 系列、飞马特公司的 cutmaster 系列等。国产 IGBT 逆变切割机主电路大都采用全

桥拓扑,而北京时代研制的非高频引弧逆变空气等离子切割机采用了 boost 升压和半桥逆变拓扑,能很好地克服电网波动对切割质量的影响,较好地消除了负载对电网的高次谐波污染,同时采用了定电流的非高频引弧技术,减少了引弧时对周边电子设备的高频污染。

1 主电路拓扑

研发成功的等离子切割机主电路原理如图 1 所示。二极管 VD₁~VD₆ 组成三相整流桥,负温度系数的热敏电阻 RT₁ 和继电器 K₁ 组成开机缓起启动电路,防止开机因电容瞬间短路引起的大电流冲击,电感 L₁、续流二极管 VD₇、IGBT₁ 组成 boost 升压功率因数校正电路,IGBT₂、IGBT₃ 和高频变压器 T₁ 组成半桥逆变器,二极管 VD₈~VD₁₁ 组成全波整流电路,输出滤波电感 L₂、IGBT₄ 和切割枪组成非高频引弧电路,IF₀ 为过电流检测的电流传感器,IF₁ 和 IF₂ 分别为切割和引弧时电流采样用的闭环霍尔电流传感器。

收稿日期:2008-06-27;修回日期:2008-09-16

作者简介:丁 强(1977—),男,浙江义乌人,工程师,硕士,主要从事切割电源的研发工作。

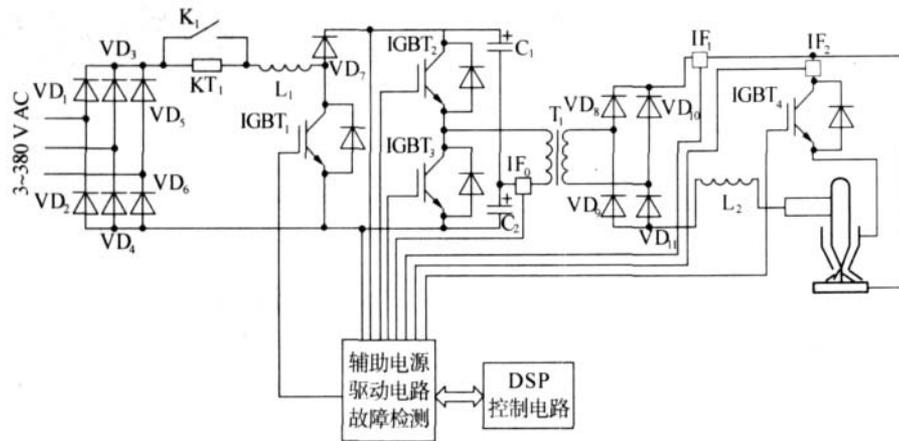


图 1 等离子切割机主电路原理

1.1 Boost 升压功率因数校正(PFC)电路^[1]

目前市场上销售的切割机功率前级一般都采用二极管全桥整流方式,造成电网谐波污染,功率因数下降,产生向四周辐射和沿导线传播的电磁干扰,导致电源的利用效率下降。随着微电子和电力电子技术的飞速发展,用于功率因数校正(PFC)的专用芯片已相当成熟。Unitrod 公司生产的 UC3854BN 芯片,是一种工作于平均电流的升压型(boost)APFC 电路,其峰值开关电流近似等于输入电流,是目前使用最广泛的 APFC 电路,内部电路主要由电压误差放大器、电流误差放大器、乘法器、振荡器和触发器等组成。

UC3854BN 芯片设计的功率因数校正控制电路如图 2 所示,IF 为电流互感器。乘法器是 UC3854BN 的核心,乘法器的输出控制着电流环路,通过控制输入电流来得到一个较高的功率因数。它有三个输入端:调整电流端 $I_{ac}(R_{vac})$ 、来自输入的前馈电压端 $U_{ff}(R_{ff1}, R_{ff2}, R_{ff3}, C_{ff1}, C_{ff2})$ 、电压误差放大器的输出端 $U_a(R_{vc}, R_{vf}, C_{vf})$ 。电压环稳定输出电压,通过检测整流后的输入电流 I_{ac} 与输出直流电压 $U_s(R_{vd})$ 上分压来实时调整 IGBT₁ 的占空比,以获得稳定的输出电压。采样到的电感电流 I_s 与乘法器的输出进行比较后,其高频分量进入电流误差放大器进行补偿、放大,其电流放大器的输出再与锯齿波相比较决定 IGBT₁ 开关的占空比,使占空比的变化遵循正弦规律,从而使电感电流能够跟随基准电流,提高功率因数。

等离子切割机在输入三相交流电源 $380\text{ V} \pm 20\%$ 的情况下,经过升压电感 L_1 、IGBT₁ 和续流二极管 VD_7 ,在储能电容 C_1 、 C_2 两端得到恒定的 720 V 直流电压,有效抑制了由于电网电压波动造成整流后直流电

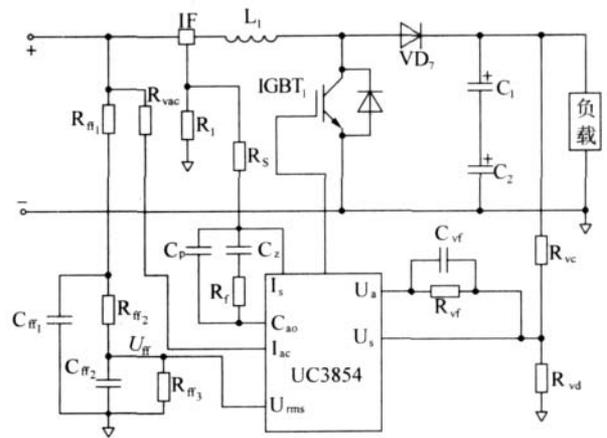


图 2 UC3854 的控制电路

压波动对切割质量的影响。三相 380 V 输入、实际切割电流 120 A 条件下 boost 升压后的输出直流电压波形如图 3 所示。从图 3 中可知,达到设计要求的输出基本恒定的直流电压 720 V ,输出纹波电压约为 18 V ,纹波电压小于 2.5% ,仪器实测功率因数 94% 。

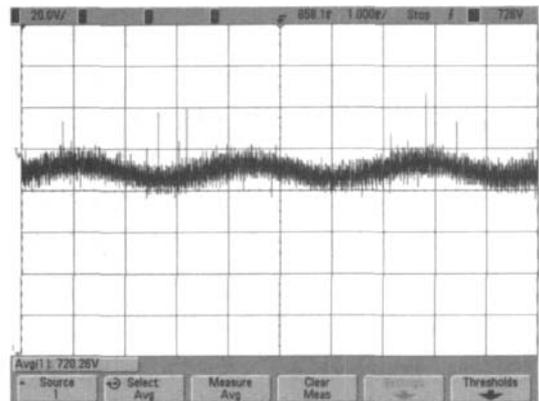


图 3 Boost 升压后直流电压波形

1.2 IGBT 半桥逆变电路

切割机中通常采用的全桥电路有四只开关管,

专题讨论——逆变与数字化焊接电源技术

需要两组相位相反的驱动脉冲分别控制两对开关管,驱动电路复杂,而半桥电路由于只用两只开关管,没有同时通断的问题,且其抗不平衡能力强,也就是说对占空比的要求不是很高,所以驱动电路相对于全桥就简单很多。另外由于采用了 APFC 电路,该主电路不随电网电压变化而能稳定产生 720 V 直流高压,降低了对主电路 IGBT 电流的要求,所以研制的等离子切割机采用半桥拓扑,选取 1 200 V、150 A 的 IGBT,减少了开关管数量,提高了整机的可靠性,降低了成本。

逆变电源中高频变压器的选取直接影响到整机性能。由于铁氧体磁心具有磁导率高、电阻率高、高频损耗小、价格便宜等特点,考虑磁心饱和和窗口大小,采用两副 EE110 型铁氧体磁心,变压器基本技术参数如下:一次电压 $U_1=360\text{ V}$,二次电压 $U_2=300\text{ V}\pm 5\%$,逆变频率 $f=20\text{ kHz}$,额定最大切割电流 120 A。计算变压器一、二次绕组匝数 $N_1、N_2$ ^[2]

$$N_1 = \frac{U_1 \cdot t_{on}}{2 \cdot B \cdot A_e}, \quad N_2 = \frac{N_1 \cdot U_2}{U_1}$$

这样每只电容($C_1、C_2$)上分压 360 V,经过高频变压器(T_1)和二二极管 $VD_8\sim VD_{11}$ 整流后能得到 $300\text{ V}\pm 5\%$ 的空载电压,完全满足切割要求。

2 DSP 数字化控制

随着电源数字化技术的不断成熟,越来越多的焊机采用 DSP 数字化控制技术^[3-4]。该等离子切割机的主控芯片采用德州仪器(TI)型号为 TMS320LF2407A 的 DSP。其特点为:(1)40 MIPS 的执行速度,单指令周期运行速度为 25 ns。(2)高性能静态 CMOS 技术,供电电压 3.3 V,减小了控制器的功耗。(3)片内 32 kB×16 Bits 的 FLASH 程序存储器,2.5 kB×16 Bits 数据/程序 RAM。(4)两个事件管理器模块:包括 2 个 16 位通用定时器,8 个 16 位 PWM 通道。(5)10 位 A/D 转换器,最高转换速度为 500 ns。(6)40 个通用输入/输出引脚(GPIO)。

设计的 DSP 控制系统框图如图 4 所示。整机利用 DSP 技术实现了对半桥 PWM 输出控制、非高频引弧小电流输出、30~120 A 恒电流切割、过电压、欠电压、过电流、过热和气压不足等保护功能。

3 非高频引弧

传统的高压高频引弧电路在引弧过程中产生的高频高压震荡信号将会带来非常严重的电磁干扰(EMI),无法用于自动数控切割和对电磁干扰要

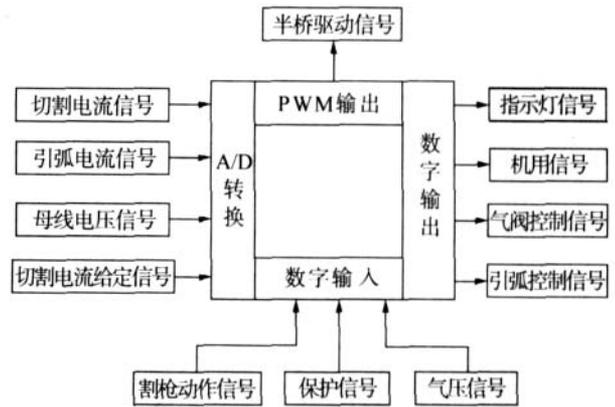


图 4 DSP 控制系统框图

求较严格的场所,同时对人体健康也产生一定危害。该等离子切割机采用了非高频引弧技术,其电路工作原理为:未切割时,割枪的电极与喷嘴处于短路状态;当有切割开始的触发信号后,DSP 控制气阀给气,利用空气推力作用将电极与喷嘴吹开瞬间引燃电弧,利用霍尔电流闭环传感器(IF_2)采集电流信号,在 DSP 内部通过软件来输出 PWM 信号驱动半桥 IGBT₂、IGBT₃ 和引弧 IGBT₄ 导通以维持低电流空气等离子弧状态。引弧时的半桥驱动 PWM 波形和输出电压波形如图 5 所示,半桥驱动波形带死区控制,两路互补,同时输出电压波形较稳定。

当切割枪放到工件上开始引弧切割时,霍尔电

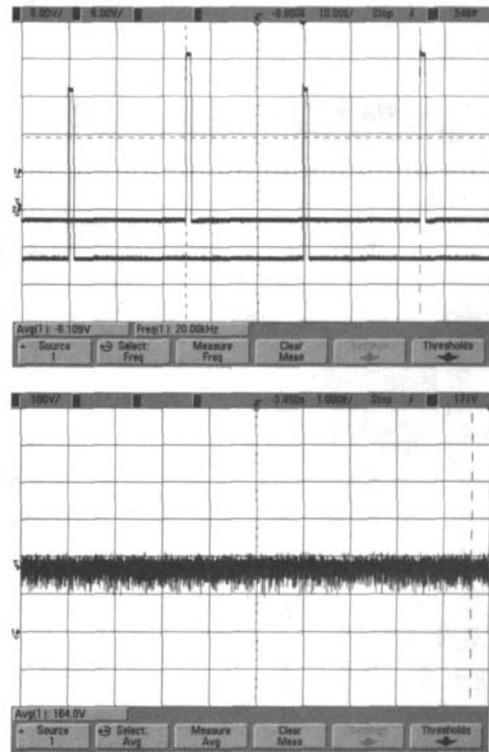


图 5 半桥驱动波形及输出电压波形

流闭环传感器(IF₁)检测到切割回路有一定电流后关闭引弧 IGBT₄,此时利用 IF₁ 电流采样信号通过 DSP 控制半桥 IGBT₂、IGBT₃ 的导通来实现电流 30~120 A 的恒电流切割。该产品配数控切割机在电流 100 A、速度 1 500 mm/min 条件下切割 10 mm 厚的普通碳钢样品如图 6 所示,从图中可看到样品切割面光滑,挂渣极少。切割电流经过 IF₁ 采样波形如图 7 所示,从图 7 可知切割电流稳定。

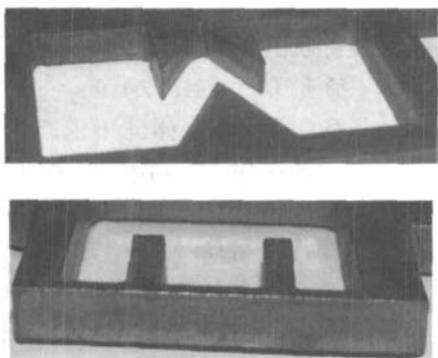


图 6 10 mm 厚碳钢切割样品

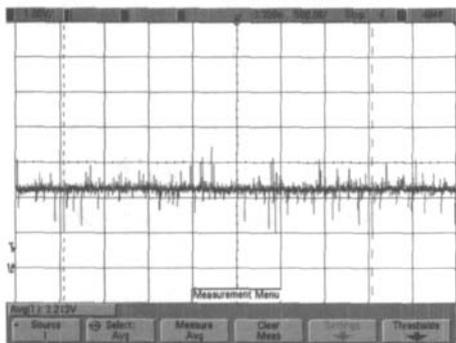


图 7 切割电流 100 A 的采样波形

由于采用了 DSP 数字化控制和相对简单的时序,降低了气压以及割枪长度对引弧成功率的影响,极大提高了切割机一次引弧成功率。该产品分别在预设切割电流 30 A、75 A、120 A 和每种切割电流引弧试验配全新电极、喷嘴情况下各做了 300 次的引弧切割试验,试验结果表明产品的一次引弧成功率在 300 次内大于 99%。另外产品在 0.65 MPa 压缩空气下,20 m 长的切割枪仍能正常引弧切割。

4 结论

(1)利用 Boost 升压技术提高了整机对电网的宽范围适应性,降低了切割时对电网的谐波干扰,升压后稳定的直流电压输出有利于提高切割质量。

(2)采用 TMS320LF2407A 芯片的 DSP 数字控制系统,成功实现了逆变等离子切割机电源的数字化,提高了整个控制系统的稳定性。

(3)采用非高频引弧技术减少了引弧过程中的电磁干扰,极大提高了一次引弧成功率,增加了整机的可靠性。

参考文献:

- [1] 张占松,蔡宣三.开关电源的原理与设计[M].北京:电子工业出版社,1998.
- [2] 常云龙,汪殿龙,信雷,等.逆变式等离子切割机主变压器设计[J].电焊机,2001,31(7):10-12.
- [3] 鲍云杰.时代焊机的数字化历程[A].2005年焊接学术年会文集[C].湖北,2005.
- [4] 刘嘉,卢振洋.电焊机的数字化[J].焊接学报,2002,23(1):89-92.

《电焊机》杂志 2008 年合订本简介

2008 年《电焊机》杂志不但将前沿性的焊接技术、实用工艺、生产和使用维修经验奉献给了读者,而且更以技术系统化、行业信息及时全面化展现在大家面前。

2008 杂志社精心策划,推出了 11 期“专题讨论”——焊接软件的开发与应用,焊缝跟踪与图像处理,第十二次全国焊接学术会议论文,奥运场馆焊接暨国家体育场(鸟巢)焊接技术,焊接机器人与先进焊接设备,焊接材料,现代铁路焊接技术与装备,精密连接与微细连接技术,电力建设中的焊接技术,新型钢种可焊性研究及应用,船舶焊接技术与设备。您能从中了解到行业人士最关心、关注的

技术问题,它为您提供了深层次、系统化和广泛的技术,是您掌握国内外技术发展的最佳途径。

2008 年,杂志的优秀栏目——专题综述、研究与设计、生产与应用、产品导购等,在 2008 年得到了进一步发扬光大,连续刊载的“使用与维修”,将更多的维修经验介绍给大家。

《电焊机》杂志 2008 年合订本已正式出版发行,每套订价 120 元/套(含邮寄费)。

联系人 王杏英

电话 028-84216674 传真 028-84216654

地址 成都市东三环路二段龙潭都市工业集中发展区航天路 24 号《电焊机》杂志社(610052)