

# 弧焊电源传导骚扰试验研究

陈树君, 杜利, 卢振洋, 刘泽伟, 殷树言  
(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022)

**摘要:** 弧焊电源工作时产生的传导骚扰, 不仅会影响设备本身的正常工作, 还可能对同一电网中其他用电设备产生干扰. 针对常见的几类弧焊电源进行了传导骚扰发射试验, 分析了弧焊电源中传导骚扰的产生机理, 提出了传导骚扰抑制方案, 通过滤波器拓扑结构和元件参数的选择对弧焊电源进行整改, 试验结果显示满足 IEC 60974—10 中对弧焊电源传导发射的限值要求.

**关键词:** 弧焊电源; 传导骚扰; EMI 滤波器

**中图分类号:** TM 930

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0254-0037(2007)10-1044-04

国际电工委员会(IEC)已经通过了电弧焊接设备的电磁兼容性标准(IEC 60974—10), 在欧盟市场销售的弧焊设备及其辅助设备必须通过 CE 认证. 我国也制订了较为全面的电磁兼容标准, 目前正在酝酿将弧焊设备的 EMC 要求纳入国家强制性产品认证范围.

弧焊电源除了谐波之外, 还有一些频率成分更高的干扰通过交流电源线传播到电网中去, 这种干扰称为传导骚扰发射. 新一代的弧焊电源多采用高速电力电子器件为主功率开关的逆变技术, 逆变技术的应用能减小主变压器及电抗器体积, 降低了铜铁损耗, 提高焊机的效率及功率因数, 节能效果显著, 但是功率开关的噪声频率达到几十兆赫兹, 噪声会沿着弧焊电源内部寄生元件组成的低阻抗通道进行传播, 进一步加剧了传导骚扰的危害<sup>[1-2]</sup>.

本文对国内几种弧焊电源进行了交流电源线输入端口的传导骚扰试验, 分析了弧焊电源传导骚扰的产生机理, 提出了传导骚扰抑制措施, 并通过实验进行验证.

## 1 弧焊电源传导骚扰分类

弧焊交流电源输入端口的传导骚扰按产生机理和传播形式分为差模骚扰电流和共模骚扰电流<sup>[3]</sup>.

1) 差模骚扰电流. 如图 1 所示, 差模骚扰电流  $I_d$  指相线之间流过的噪声电流. 差模骚扰电流大小相等, 方向相反. 在弧焊电源中, 差模骚扰电流由开关噪声和电路的振荡引起, 集中在低频段.

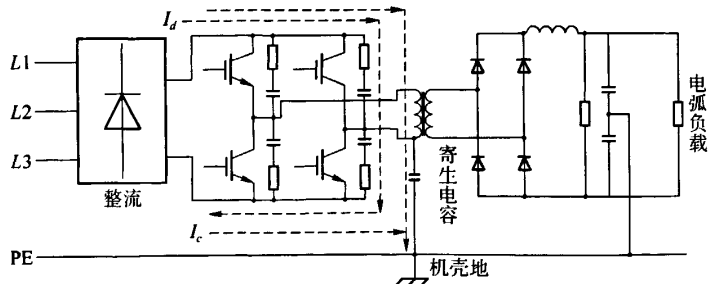


图 1 传导骚扰产生机理

Fig. 1 Generate mechanism of conducted emission

收稿日期: 2006-09-26.

基金项目: 北京市科技新星计划资助(H020821230120). 国家科技部资助项目资助(2003EG119072).

作者简介: 陈树君(1971-), 男, 黑龙江双城人, 教授.

2) 共模骚扰电流. 图 1 中共模骚扰电流  $I_c$  为相线与地线之间流过的噪声电流. 共模骚扰电流大小相等, 方向相同, 地线为公共电流回路. 在弧焊电源中, 共模骚扰电流由寄生参数引起, 因为高频时, 变压器原副边、变压器原边与机壳、变压器副边与机壳都会产生寄生电容, 为电路中的噪声电流提供了一条低阻抗通道. 此外, 共模回路的环路面积较大, 弧焊电源内的电磁场变化会在回路中感应出较大的噪声电流. 弧焊电源中的共模噪声主要集中在 10 MHz 以上的高频段.

## 2 弧焊电源传导骚扰试验

弧焊电源的传导骚扰试验按照 CISPR 11<sup>[4]</sup> 规定, 在屏蔽室内进行, 试验布局如图 2 所示, LISN(线性阻抗稳定网络)的作用有 3 个方面: 1) 为弧焊电源提供交流电源, 并隔离电网中的高频噪声; 2) 将弧焊电源工作时产生的传导骚扰耦合到频谱仪; 3) 提供了稳定电阻抗, 使实验结果具有重复性和可比性. 负载使用 IEC 60974—1 中规定的纯电阻性负载<sup>[5]</sup>.

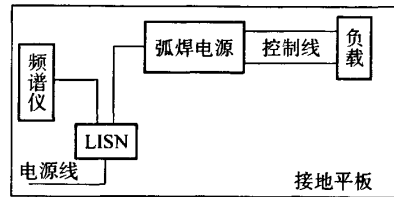


图 2 传导骚扰试验布局

Fig. 2 Layout of conducted emission test

在传导骚扰实验中, 互联电缆的摆放方式和相互距离会对试验结果产生影响, 为了保证试验的重复性, 每次试验前需要对布局进行记录.

试验中使用 HP 7401A 频谱仪测量弧焊电源产生的传导骚扰. 频谱仪的参数按照 CISPR 16—1 的规定进行设置, 检波器采用 QP + AV, 频率为 0.15~30 MHz, 带宽为 9 kHz, 视频带宽 30 kHz.

弧焊电源的传导骚扰测试在 IEC 60974—10 中规定的空载、最小工作电流和 100% 暂载率模式下工作.

## 3 试验结果及分析

对目前国内市场上 3 种典型的弧焊电源进行了传导骚扰测试. 这 3 种弧焊电源分别采用晶闸管、MOSFET 和 IGBT.

在试验过程中发现弧焊电源在 100% 暂载率下的传导骚扰是 3 种工作模式下最大的, 100% 暂载率工作状态下的试验结果如图 3 所示, 较高的骚扰发射曲线为准峰值(QP)扫描结果, 较高的限值曲线为 QP 限值; 较低的骚扰发射曲线为平均值(AV)扫描结果, 较低的限值曲线为 AV 限值. QP 骚扰曲线须低于 QP 限值, AV 骚扰曲线须低于 AV 限值才能满足 IEC 60974—10 的要求.

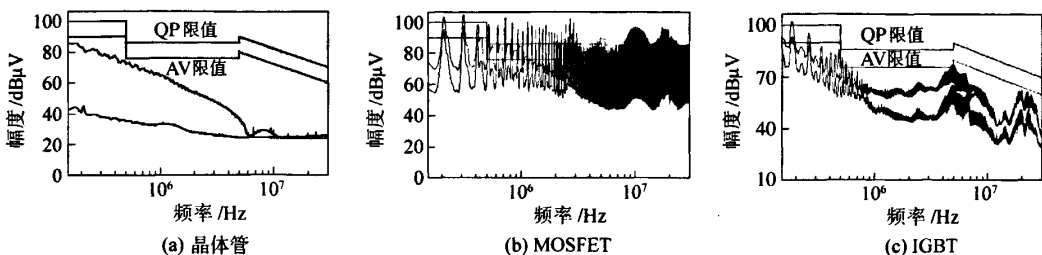


图 3 开关弧焊电源传导骚扰

Fig. 3 Conducted emission switched arc welding source

1) 晶闸管开关弧焊电源. 图 3(a)所示为某晶闸管控制 CO<sub>2</sub>/MAG 弧焊电源的传导骚扰发射, 该电源采用相控模式, 最大输出电流 500 A, 在 100% 暂载率时输出为 388 A, 33.4 V.

QP 扫描结果和 AV 扫描结果都小于相应的限值线, 可以达到标准的限值要求. 因为晶闸管开关速度

低,开关噪声小,所以低频段(0.15~10 MHz)传导骚扰发射较高,但波动较小,曲线比较平滑,在高频段(大于10 MHz)传导骚扰较小。

2) MOSFET 开关弧焊电源. 图 3(b)所示为某 MOSFET 控制手弧焊机的传导骚扰发射,该电源最大输出电流 160 A,在 100% 暂载率时输出为 124 A,25 V. QP 扫描结果和 AV 扫描结果都大于相应的限值线,严重超标. 由于采用了逆变技术,该弧焊电源的体积大大减小,结构很紧凑,但 MOSFET 功率容量小,开关速度快,多为上百 kHz,开关噪声大,所以低频段(0.15~10 MHz)传导骚扰发射较高,且开关噪声的作用很明显. 在高频段(大于 10 MHz),因为机箱结构紧凑,寄生电容较大,共模噪声电流回路阻抗低,传导骚扰很大。

3) IGBT 开关弧焊电源. 图 3(c)所示为某 IGBT 控制手弧焊机的传导骚扰发射,该电源最大输出电流 400 A,在 100% 暂载率时输出为 310 A,32.4 V. 由于 IGBT 开关速度较高,多为几十千赫,开关噪声大,低频段(0.15~1 MHz)传导骚扰发射较高,超出限值要求. 在高频段(大于 10 MHz),因为机箱空间较大,寄生电容小,共模噪声电流回路阻抗高,传导骚扰较小,能满足限值要求。

#### 4 传导骚扰抑制措施<sup>[6-8]</sup>

1) 对噪声源进行抑制. 在弧焊电源中,主要的噪声源为主功率开关器件,通过设计吸收和缓冲电路,可以使功率开关开通和关断时产生的噪声减小,但是理想的开关波形为矩形波,本身就包含大量的高次谐波,导致电源线的传导骚扰发射过高,所以通过控制噪声源来抑制弧焊电源的传导骚扰效果不是很理想。

2) 对噪声电流进行旁路. 传导骚扰必须有适当的回路才能传播出去,高阻抗的回路和回路上较大的衰减都会很好的抑制传导骚扰电流. 目前,最常用的解决方法是在电源输入端口加装 EMI 滤波器. 图 4 为典型的输入 EMI 滤波器,  $L_1, L_2$  和  $C_y$  可以衰减共模骚扰电流,  $C_x$  可以抑制差模骚扰电流。

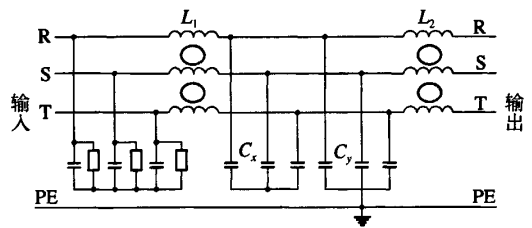


图 4 输入 EMI 滤波器结构图  
Fig. 4 Schematic of input EMI filter

对某台传导骚扰电流超标的 IGBT 开关弧焊电源进行改装,分别使用了 2 种不同型号的滤波器,试验结果见图 5. 图 5(a)为未采取干扰抑制措施时的传导骚扰. 图 5(b)和图 5(c)为使用 EMI 滤波器后的传导发射,可以看出滤波器 a 和滤波器 b 的加装都能改善该弧焊电源的传导骚扰发射水平,其中 2.3 MHz 和 15 MHz 处的尖峰是因为 EMI 滤波器的插入产生的电路谐振. EMI 滤波器 a 对低频衰减较大,EMI 滤波器 b 对高频衰减较大,这是因为 2 种 EMI 滤波器电气参数不同造成的,EMI 滤波器 a 对高频共模骚扰电流衰减较大,而 EMI 滤波器 b 对低频差模骚扰电流衰减较大. 根据弧焊电源传导骚扰电流的成分不同,选择合适的滤波器拓扑结构和元件参数,可以很好地抑制弧焊电源的传导骚扰发射。

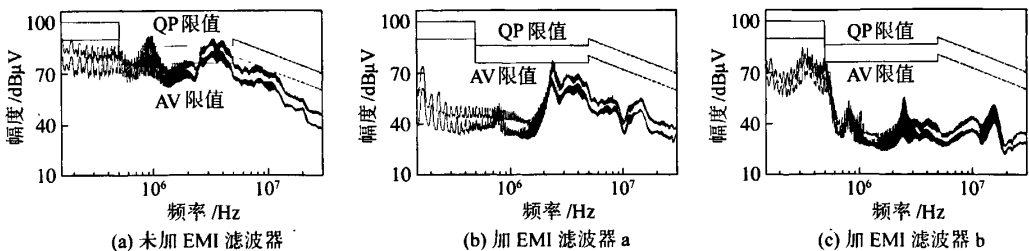


图 5 某弧焊电源传导骚扰  
Fig. 5 Conducted disturbances of some arc welding source

## 5 结论

- 1) 弧焊电源的传导骚扰电流有两种,分别为差模骚扰电流和共模骚扰电流;
- 2) 在几种不同功率器件开关的弧焊电源中,MOSFET 开关的弧焊电源传导骚扰最大,晶闸管开关的弧焊电源传导骚扰最低,但体积庞大;
- 3) 根据弧焊电源中传导骚扰电流的成分不同,选择适当的滤波器拓扑结构和元件参数,可以很好的对传导骚扰发射进行抑制。

### 参考文献:

- [1] 黄石生,李远波,吴祥森,等.大功率弧焊逆变器的电磁兼容性设计研究[J].电焊机,2003,33(5):11-13.  
HUANG Shi-sheng, LI Yuan-bo, WU Xiang-miao. EMC design of high power arc welding inverter[J]. Welding Machine, 2003, 33(5): 11-13. (in Chinese)
- [2] 邓集杰,路登平,刘建屏,等.国内弧焊设备电磁兼容性研究进展[J].电焊机,2003,33(9):1-4.  
DENG Ji-jie, LU Deng-ping, LIU Jian-ping. Research of EMC performance of arc welding machine[J]. Welding Machine, 2003, 33(9): 1-4. (in Chinese)
- [3] FANG Lin-luo, HONG Ye. Investigation of EMI, EMS and EMC in power DC/DC converters[J]. Power Electronics and Drive Systems, 2003, 1: 572-577.
- [4] International Special Committee on Radio Interference, Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment-Radio disturbance characteristics-Limits and methods of measurement CISPR11[S], London: CISPR, 2003.
- [5] International Electrotechnical Commission, Arc welding equipment-Part 10: Electromagnetic compatibility (EMC) IEC 60974-10[S], Geneva: IEL, 2002.
- [6] ZHANG Yong-gao, ZHANG Kai, ZHOU Yun-bin, et al. Common mode EMI suppression based on simulated annealing algorithm[J]. Intelligent Control and Automation, 2006, 2: 844-8452.
- [7] XUE Wen-yan, CHEN Xiao, MA Xi-kui. Analysis and reduction of conducted EMI from an AC/DC high power converter, Microwave[J]. Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, 2005, 1: 503-506.
- [8] ZHONG Er-kuan, THOMAS A. Improvements in EMC performance of inverter-fed motor drives[J]. IEEE Trans. Industry Application, 1995, 31(6): 1247-1256.

## Measurement of and Study on Conducted EMI of Arc Welding Inverter

CHEN Shu-jun, DU Li, LU Zhen-yang, LIU Ze-wei, YIN Shu-yan

(College of Mechanical Engineering & Applied Electrons Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract:** The conducted emission generated by arc welding power source not only may affect devices connected in the same main supply, but also may result in mal-function of itself. In this paper, many types of arc welding power sources were tested for conducted emission. The mechanism of conducted emission is analyzed and the suppression method is developed. The re-design of arc welding power source can meet the conducted emission requirement of IEC 60974-10 and has been verified by experiments.

**Key words:** arc welding inverter; conducted EMI; filter