

有源功率因数校正技术在焊接设备上的应用

孙腾 鲍云杰 赵智江 宋朝乐

(北京时代科技股份有限公司 北京 100085)

摘要:

焊接设备国家标准的实施要求焊机研发工作必须考虑设备的电磁兼容性。本文分析了焊接设备电磁骚扰的来源、危害以及解决方法,研制了等离子切割机功率因数校正电路,实验证明电路有效提高了功率因数,降低了谐波含量。

关键词: 电磁兼容 APFC UC3854

0.引言

与“水、气、渣、声”等传统环境污染不同,“电磁污染”对人体健康的潜在危害严重。逆变焊接设备因具有节能、成型好、控制精度高、热效率高等优点,是焊接电源的重要发展方向。逆变焊接电源通常采用二极管接电容进行整流,电容起到滤波的作用并且容量很大,因此产生一个网侧尖峰电流,导致设备功率因数低,谐波含量大,污染电网,降低用户供电变压器实际使用容量和使用寿命。除此之外,弧焊设备也会对电网造成传导性电磁骚扰和对空间的辐射性电磁骚扰。

在 GB 15579.10-2008/IEC 60974-10 强制性国家标准实施之下,如何改善逆变焊机的电磁兼容性(EMC),使得逆变焊机达到标准要求,是开发人员的研究重点,应将产品的电磁兼容性纳入开发环节必须考虑的内容。

1.焊接设备电磁兼容问题

电磁兼容性(EMC),是指电子设备在电磁场环境中能相互兼顾并能正常工作的性能。随着电力电子器件的不断涌现,焊接设备向着大容量的方向发展,产生了大量电磁干扰问题:如高频噪声、谐波、切断设备时的瞬时噪声和接通负载时的冲击电流等。这不仅影响了焊接设备自身工作的可靠性,同时也对电网造成了污染。由于电磁干扰的危害严重,因此国家实施了强制性电磁兼容标准,使得设计焊机时必须采取相应的解决措施来降低电磁干

扰。

1.1. 电磁兼容标准

电磁兼容标准体系分为基础标准^[1]、通用标准、产品族标准和专用产品标准。电焊机的 IEC 60974-10 (国际电工术语) 标准属于专用产品标准, 对电磁兼容性能要求与相应的产品族标准一致。试验方法、试验环境参照基础标准。只是考虑到电焊机的特殊性, 对试验项目进行了删减, 对电磁兼容性能要求做了一些改变。

弧焊设备的电磁兼容性测试包括电磁骚扰发射测试和抗扰性测试两个方面。骚扰发射测试包括谐波电流发射测试、电压波动及闪烁测试、传导骚扰发射测试和辐射骚扰发射测试等。抗扰度试验包括静电放电抗扰度、射频电磁场辐射抗扰度、电快速瞬变脉冲群抗扰度、浪涌抗扰度、射频传导抗扰度和电压暂降抗扰度等。标准适用于弧焊及相关设备, 包括电源及辅助设备, 如送丝机、冷却系统、引弧及稳弧设备等。特别的是, 电磁兼容标准的实施要求国内电焊机在设计过程中必须对谐波电流加以抑制。

1.2 干扰源

1.2.1 输入整流引起的低频谐波骚扰

网侧电流谐波产生的主要原因是电源电路的非线性, 逆变焊机电源输入环节的主电路如图 1 所示, 三相 380V 交流电源首先要经过三相整流桥整流和电容 C_1 滤波。在整流中, 由于电容容量很大, 因此只有在网侧电压瞬时高过电容电压时二极管才导通, 随着电容电压迅速上升超过网侧电压, 二极管迅速关断, 二极管导通时间较短。滤波电容充电电流的瞬时值很大, 电流波形近似为尖脉冲, 使 50Hz 正弦电流波形发生畸变, 从而产生谐波电流。IGBT 逆变焊机的输入相电流、相电压波形如图 2 所示。由图 2 可知, 输入电流已不再是正弦波, 而是一种前后沿都比较陡峭的脉冲, 这种电流波形畸变是 IGBT 逆变焊机的共性问题。畸变的高次谐波电流会沿电源输入电缆, 传导至供电网, 严重污染电网。

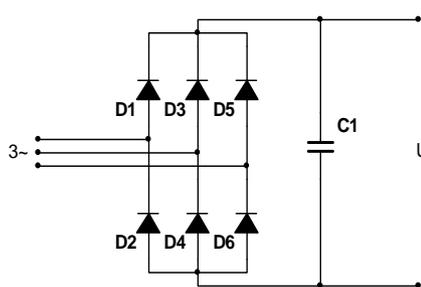


图 1 整流主电路

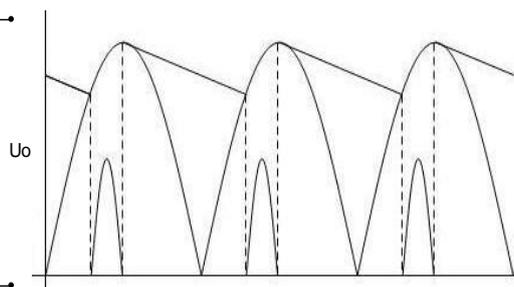


图 2 电流畸变

1.2.2 逆变环节引起的高频骚扰

大多数 IGBT 逆变焊机主电路采用 20kHz 桥式逆变电路，焊机的开关器件、快恢复整流管在运行时均会产生高频电磁骚扰，高频骚扰可通过线路和多种途径耦合向外传输。另外，IGBT 在很高的电压下以高频开关方式工作，开关电压、电流接近方波。由频谱分析可知，方波含丰富的高次谐波，其频谱可达基波频率的 1000 倍以上，辐射能力很强。

同时，由于主变压器的漏感和分布电容存在，IGBT 开关时常常产生高频、高压尖峰震荡。由此而产生的高次谐波可由多种途径传入内部电路，也可通过散热器及主变压器等途径向空间辐射。用于次级整流的快恢复二极管也是产生高频骚扰的一个原因，整流工作于高频开关状态时，由于二极管的引线寄生电感、结电容的存在，以及反向恢复电流的影响，使得二极管工作在很高的电压和电流变化率下，且产生高频震荡。由次级整流快恢复二极管产生的高频骚扰很容易通过焊机输出端输出。

1.2.3 传导

大功率弧焊逆变器工作时功率器件开关电路寄生参数引起的电路寄生振荡，是电磁骚扰产生的重要原因。在硬开关电路中，开关管关断时，变压器的漏感所产生的反电势会使开关管的集射极之间出现电压振荡。这种电压突变会产生与变压器一次侧接通时一样的磁化冲击电流瞬变，产生传导型电磁骚扰，通过电源线传导返回到配电系统，造成电网的电磁干扰。

1.2.4 辐射

目前逆变焊机多采用硬开关方式，做为一种高频开关电源，在功率元件

开关过程中不可避免的产生电磁骚扰。低于 30MHz 的主要以传导形式返回电网，而高于 30MHz 的电磁骚扰，大多数沿着电源线向外辐射，也会通过机箱表面向外辐射。1GHz 以下的辐射骚扰一般采用辐射场强来度量，1GHz 以上的辐射骚扰一般采用辐射功率来度量。

1.3 降低干扰的途径

降低电磁干扰的主要途径包括：

(1) 谐波抑制（功率因数校正）：将整流装置设计成线性整流器，使网侧电流跟随电压同相位，减少谐波电流。

(2) 改善电磁兼容性提高抗干扰能力：通过改进电路板，缩短电流通路长度，减小回路面积，设置良好的隔离接地等方法阻止干扰的传播。

(3) 软开关技术降低高频骚扰^[2]：采用零电压软开关变换器，能在高频段降低干扰水平。时代逆变焊机多采用全桥软开关逆变技术，不仅降低了高频骚扰水平，同时降低了开关损耗，低碳节约能源。

(4) 建立焊机电磁兼容性计算机仿真平台优化焊机参数设置：建立针对谐波抑制装置的精度与速度合适的系统仿真、电路仿真、器件仿真三个级别仿真平台，对不同焊机电磁兼容水平进行预测和分析。

在以上四种降低干扰的途径中，重点介绍一下谐波抑制技术。

2. 谐波抑制技术

开关电源多数通过整流器与电力网相接。传统的整流器是由二极管或晶闸管组成的非线性电路，在电网中会产生大量的谐波电流和无功功率而污染电网，这些都迫切需要采取有效措施来减少谐波并提高功率因数。

2.1 功率因数校正与 UC3854

导致电力电子装置谐波电流增大和功率因数降低的主要原因是装置常采用不控整流和电容滤波电路，只有当电源电压高于电容电压时，整流二极管才能导通，因此网侧输入电流为高充电尖峰脉冲，造成网侧输入电流谐波含量大，功率因数低。功率因数校正的目的是增大整流二极管的导通角，改善网侧输入电流波形，使其与电压波形同步，这样就可以提高功率因数、减小谐波。

有源功率因数校正 (APFC) 技术可将开关电源等电子负载变换成等效的纯电阻, 从而提高电路功率因数, 减小低频谐波。功率因数校正的核心思想是去掉电容, 用其它电路代替滤波电容, 使得整流后的脉动电压可以变为恒值电压, 供给后面逆变单元使用。在各种功率因数校正电路中, boost 电路因具有效率高、电路简单、体积小等优点而得到广泛应用。典型拓扑是整流后加 boost 电路升压, 使半波脉动电压变成恒定直流电压。

整流后半波电压变成恒值电压的工作由 boost 电路完成。boost 电路可以将输入电压值升高到另一电压值, 升比由电路中开关管导通时间决定, 如图 3 所示, 在正弦半波曲线的较低位置, 开关管的导通时间较长, boost 电路变比较大, 从而可以将低输入电压提升为比正弦波的幅值高的电压。随着输入电压上升, PFC 控制芯片将不断自动减少开关管的导通时间, 以使正弦半波上升段的每一时刻的电压都被转换为比正弦波的幅值稍高的相同幅值直流电压。

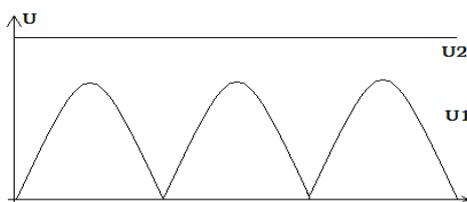
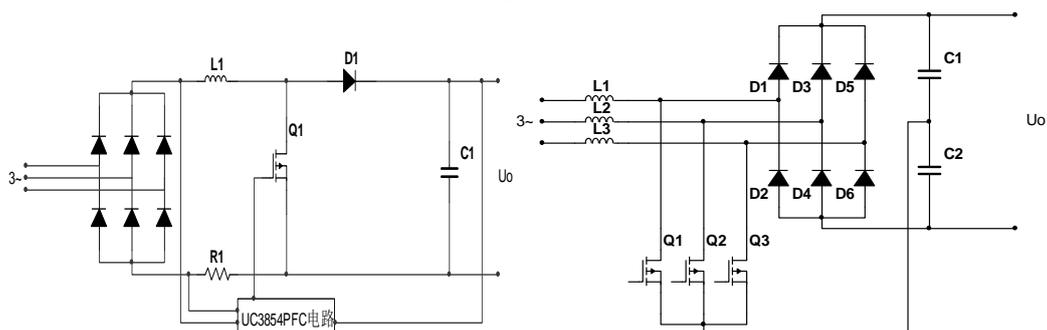


图 3 boost 电路升压示意图



(a) 直流升压三相功率因数校正电路 (b) 交流升压三相功率因数校正电路

图 4 三相功率因数校正电路

PFC 电路原理图如图 4 (a、b) 所示, 图 4a 是直流升压方式, 图 4b 是交流升压方式, 两者原理相同。开关管的驱动信号由控制芯片给出, UC3854 是用于功率因数校正的专用芯片, 内置乘法器, 跟踪电压使用连续工作模式

boost 变换器拓扑，通过脉宽调制来检测和控制直流输出电压和输入电网电流。

图 4a 是将单相功率因数校正技术直接用在三相电路上。电路中，boost 变换器输出电压经检测电阻采样，送入 UC3854 电压误差放大器的负端。电压误差放大器的输出与整流器输出端的检测电压相乘，作为基准电流信号送入 UC3854 中电流误差放大器的正端。电感电流采样信号被送入电流误差放大器的负端。经过变换，电流误差放大器的输出与振荡器输出的三角波信号进行比较，控制脉宽调制信号的占空比，得到一个既能维持升压变换器输出电压恒定，又能使变换器输入电流与输入电压同相的 PWM 信号，该 PWM 信号经门极驱动器直接驱动开关管。

2.2 等离子切割机谐波抑制

本文在上述原理的基础上，设计研制了等离子切割机（型号为 LGK-120）谐波抑制电路，采用直流升压三相功率因数校正方式，输入三相交流电源 380V，经过升压电感、开关管，整流二极管，在储能电容 C_1 两端得到恒定的 720V 直流电压，有效的改善了整流电流，同时解决了由于电网电压波动造成整流后直流电压波动影响切割质量的问题，样机如图 5 所示。

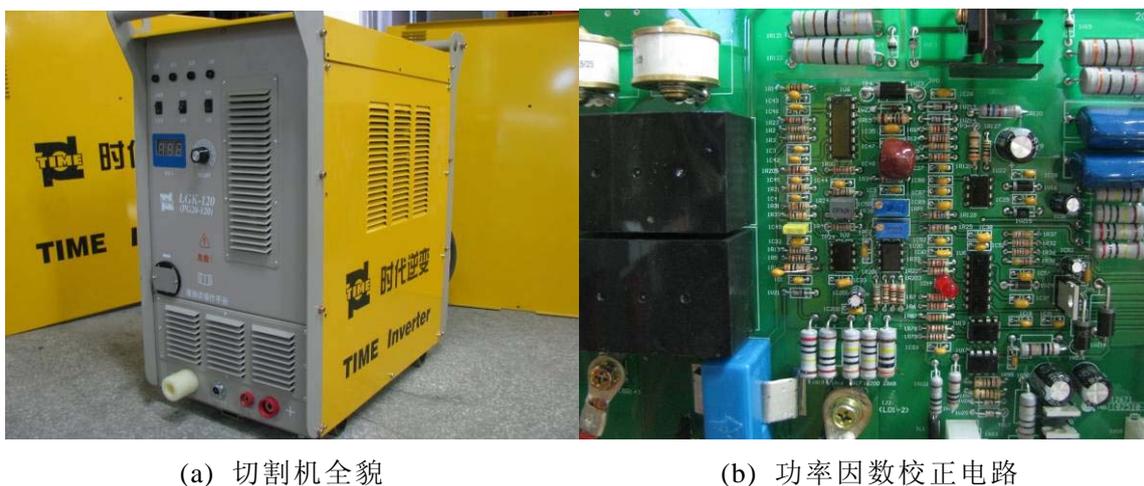


图 5 等离子切割机

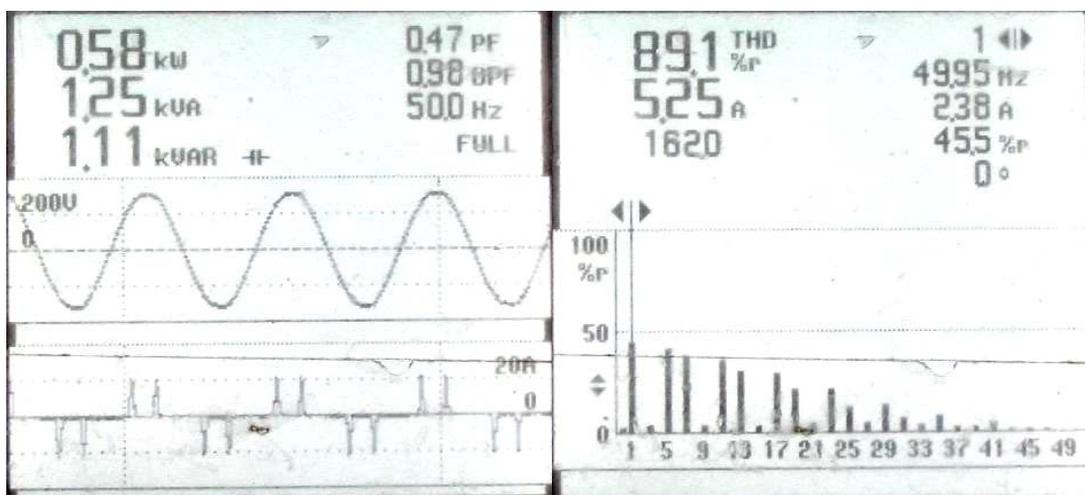
图 6 所示，为没有 PFC 的焊接设备的网侧电流波形、功率因数、谐波含量图。图中可以看出，移相功率因数为 0.98，但是电流畸变率仅为 0.48，使

得总功率因数低至 0.47，图 6b 可见，谐波含量大。

图 7 所示，为某国外机型的带有 PFC 的焊接设备，网侧电流波形、功率因数、谐波含量图。

图 8 所示，为时代公司研制的带有 PFC 的等离子切割机，网侧电流波形、功率因数、谐波含量图。

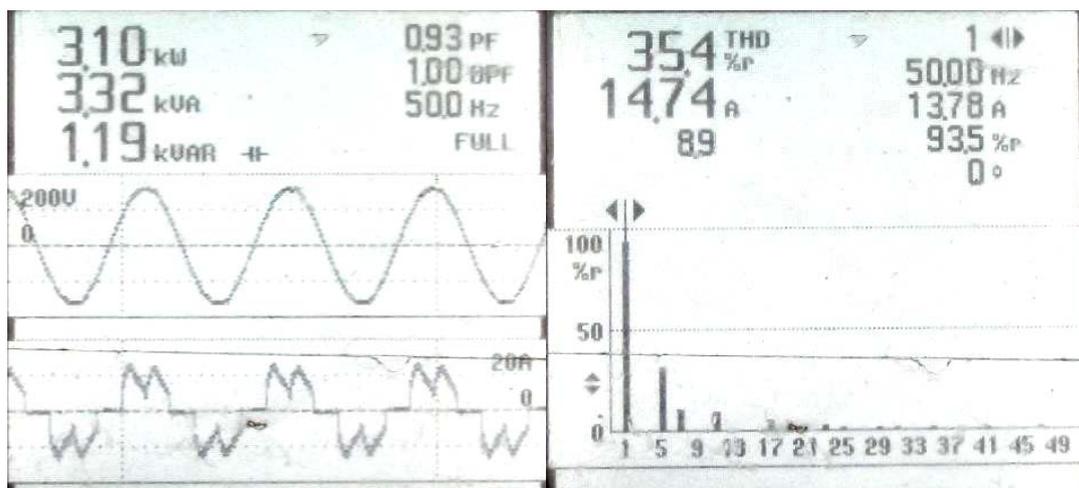
从图 6、图 7、图 8 可以看出，与没有 PFC 的设备相比较，国外设备和时代设备的移相功率因数都达到了 1，虽然存在电流畸变，但是总功率因数有了很大的提高。测量中显示 5 次、7 次、11 次电流谐波较高，因此设备的谐波抑制工作虽取得了一定成效，但还需进一步进行研究。



(a) 网侧电流波形、功率因数数值

(b) 谐波含量

图 6 没有 PFC 的焊接设备



(a) 网侧电流波形、功率因数数值

(b) 谐波含量

图 7 某国外机型，带有 PFC 的焊接设备



(a) 网侧电流波形、功率因数

(b) 谐波含量

图 8 时代公司研制的带有 PFC 的等离子切割机

三相 380V 输入、实际切割电流 80A 条件下 boost 升压电感的电流波形如图 9 所示。

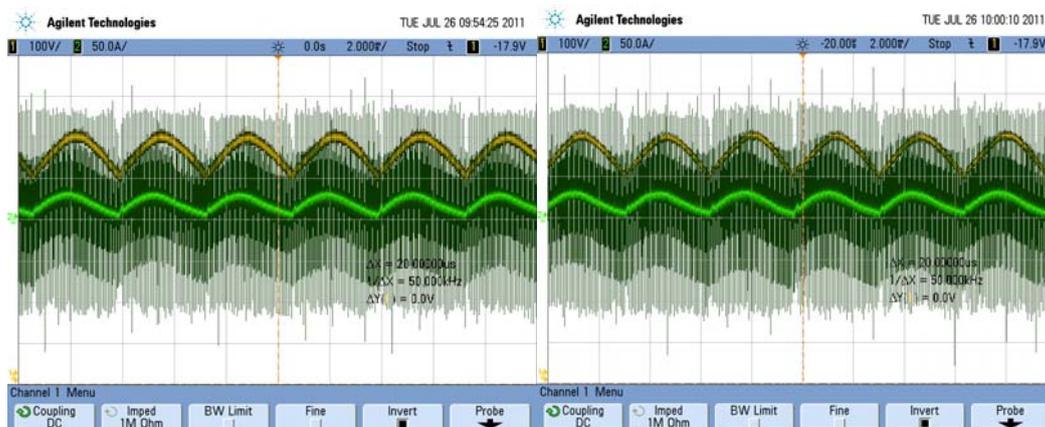


图 9 校正前后对比图（左校正前，右校正后）

为了使电路工作在连续工作模式，电感 L_1 应该选取较大值，从图中可以看到，选取较大的 L_1 值，整个开关周期里的电流纹波保持很小。 Q_1 的开关速度越快，采样电阻上越可能出现正弦半波电流上叠加许多窄的电流尖峰的情况，严重程度与开关速度有关。在采样电阻两端并联一个很小的电容，可以缓解这种尖峰电流的程度。图中左右两侧分别为无并联电容和有并联电容的波形，在示波器上可以看出含有电容的电流波形尖刺有所减少，但程度不大，尖峰电流目前没有发现影响使用。

3. 结语

直流升压三相功率因数校正方式的焊接设备，采用 UC3854 控制芯片，不仅减少了输入电流谐波含量，提高了功率因数，而且获得了稳定的整流电压。但是网侧电流没有与输入电压同步，这是需要继续研究的方向，研究交流升压方式 PFC 技术，降低电流谐波含量，解决焊接设备的电磁兼容问题。

参考文献

- [1]陈树君,杨庆轩,殷树言等.电焊机的电磁兼容性测试[J].专题综述. 2005 中国焊接论坛论文集.
- [2]钱照明,袁义生.开关电源 EMC 设计研究现状及发展(下)[J].电子产品世界.2003(4B):69-71.