

# 弧焊逆变电源谐波的产生与抑制分析

## 前言

自 20 世纪 70 年代以来,随着电力电子技术的不断发展,逆变技术逐步被引进焊接领域。到了 80 年代,性能优良的大功率电子元器件如功率晶体管、场效应管,IGBT 等相继出现,促进了弧焊电源的进一步发展。逆变电源正是运用这些先进的功率电子元器件和逆变技术发展起来的,它比传统的工频整流电源节材 80%~90%,节能 20%~30%,动态响应速度提高 2~3 个数量级。由于优点众多,目前逆变电源已成为弧焊电源的主要发展方向之一。但逆变电源发展中还存在不少问题,诸如可靠性与市场管理等,其中尤为重要是谐波干扰的电磁兼容性(EMC)问题。谐波抑制技术是一个崭新的研究方向,国内外很多专家和学者对谐波的理论抑制方案进行了研究和探索。受各种条件限制,国内焊机的研制者往往很少考虑产品的电磁兼容性。从 1996 年开始,欧洲共同体市场对电子产品的电磁兼容性能提出了更严格的要求,解决谐波问题也就更加迫在眉睫。我国虽起步较晚,但也颁布了相应的标准,并规定自 2003 年 8 月开始强制执行。

## 1、弧焊逆变电源的谐波分析

### 1.1 谐波产生原因

自 1972 年美国研制出第一台 300A 晶闸管弧焊逆变电源以来,弧焊逆变电源有了很大发展,经历了晶闸管逆变,大功率晶体管逆变,场效应逆变以及 IGBT 逆变,其容量和性能大大提高,目前弧焊逆变电源已成为工业发达国家焊接设备的主流产品 [1]。弧焊逆变电源作为一种典型的电力电子装置,虽然具有体积小、重量轻、控制性能好等优点,但其电路中存在整流和逆变等环节,导致电流波形畸变,产生大量的高次谐波。高次电压和电流谐波之间存在严重相移,导致焊机的功率因数很低。谐波产生的原因主要有以下两方面因素:

(1) 逆变电源内部干扰源 逆变电源是一个强电和弱电组合的系统。在焊接过程中,焊接电流可达到几百甚至上千安培。因电流会产生较大的电磁场,特别在逆变主电路采用高逆变频率的焊接电源系统中,整流管整流,高频变压器漏磁,控制系统振荡,高频引弧,功率管开关等均会产生较强的谐波干扰。

其次,钨极氩弧焊机如果采用高频引弧时,由于焊机利用频率达几十万赫兹,电压高达数千伏的高频高压击穿空气间隙形成电弧,因此高频引弧也是一个很强的谐波干扰源。对于计算机控制的智能化弧焊逆变电源来说,由于采用的计算机控制系统运行速度越来越高,因此控制板本身也成了一个谐波干扰源,对控制板的布线也提出了较高的要求。

(2) 逆变电源外部干扰源 电网上的污染对电源系统来说是较为严重的干扰,由于加到电网上的负载千变万化,这些负载或多或少对电网产生谐波干扰,如大功率设备的使用使电网电压波形产生畸变,偶然因素造成瞬时停电,高频设备的开启造成电网电压波形具有高频脉冲、尖峰脉冲成分。另外在焊接车间内,由于

不同焊接电源在使用时接地线可能相互连接，因此如不采取相应的措施，高频成分的谐波信号很容易窜入控制系统，使电源不能正常工作，甚至损坏。

## 1.2 谐波的特点及危害

弧焊逆变电源以其高效率电能转换著称，随着功率控制器件向实用化和大容量化方向发展，弧焊逆变电源也将跨入高频化、大容量的时代。弧焊逆变电源对电网来说，本质上是一个大的整流电源，由于电力电子器件在换流过程中产生前后沿很陡的脉冲，从而引发了严重的谐波干扰。逆变电源的输入电流是一种尖角波，使电网中含有大量高次谐波。高次电压和电流谐波之间存在严重相移，导致焊机的功率因数很低。低频畸变问题是当前电力电子设备的一个共性问题，目前在通信行业、家电行业都已引起相当的重视。另外，目前逆变焊机多采用硬开关方式，在功率元件的开关过程中不可避免地对空间产生谐波干扰。这些干扰经近场和远场耦合形成传导干扰，严重污染周围电磁环境和电源环境，这不仅会使逆变电路自身的可靠性降低，而且会使电网及临近设备运行质量受到严重影响。

## 2、弧焊逆变电源常用的谐波抑制措施

谐波干扰是影响弧焊逆变电源正常工作的一个重要问题，应该得到足够的重视。为抑制谐波水平，保证弧焊逆变电源的正常工作，通常可采用滤波方法。根据所用器件及其滤波原理的不同，可分为无源滤波器和有源滤波器。

### 2.1 无源滤波器 (PassiveFilter, 简称 PF)

传统的谐波抑制和无功功率补偿的方法是电力无源滤波技术，又称间接滤除法，即使用电力电容器等无源器件构成无源滤波器，与需要补偿的非线性负载并联，为谐波提供一个低阻通路，同时提供负载所需的无功功率。具体而言是将畸变的 50Hz 正弦波分解成基波及相关的各次主谐波成分，然后采用串联的谐振原理，将由 L、C（或者还有 R）组成的各次滤波支路调谐（或偏调谐）到各主要谐波频率形成低阻通道而将其滤除 [2-3]。它是在已产生谐波的情况下，被动地防御，减轻谐波对电气设备的危害。

无源滤波方案成本低，技术成熟，但是也存在以下不足：

- (1) 滤波效果受系统阻抗的影响；
- (2) 由于其谐振频率固定，对于频率偏移的情况效果不好；
- (3) 与系统阻抗可能发生串联或并联谐振，造成过负荷。

在中小功率场合，正逐步被有源滤波器所替代。

### 2.2 有源滤波器 (ActiveFilter, 简称 AF)

早在 20 世纪 70 年代初，就有学者提出有源功率滤波器的基本原理，但由于当时缺乏大功率开关元件和相应的控制技术，只能用线性放大器等方法产生补偿电流，存在着效率低、成本高、难以大容量化等致命弱点而未能实用化。

随着电力半导体开关元件性能的提高，以及相应的 PWM 技术的发展，使得研制大容量低损耗的谐波电流发生器成为可能，从而使有源滤波技术走向实用化，当系统中出现谐波发生源时，用某种方法产生一个和谐波电流大小相等、相位相反的补偿电流，且和成为谐波发生源的电路并联连接来抵消谐波发生源的谐波，使直流侧的电流仅为基波分量，不含有谐波成分。

当谐波发生源产生的谐波不能被预计出是何种高次谐波电流，且随时发生变化时，则必须从负载电流  $i_l$  中检测出谐波电流  $i_h$  信号，经检测后的谐波电流  $i_h$  信号，经过调制器进行调制，并按制定的方法转换为开关方式控制电流逆变器工作方式，使电流逆变器产生补偿电流  $i_{FM}$  并注入到电路中，以便抵消谐波电流  $i_h$  逆变主电路一般采用 DC/AC 全桥式逆变器电路，其中的开关元件可用 GTO、GTR、SIT 或 IGBT 等大功率可控型电力半导体元件，借助开关元件的通断，控制输出电流波形，产生所需的补偿电流。电力有源滤波器作为抑制电网谐波和补偿无功功率，改善电网供电质量最有希望的一种电力装置，与无源电力滤波器相比，具有以下优点：

(1) 实现了动态补偿，可对频率和大小都变化的谐波以及变化的无功功率进行补偿，对补偿对象的变化有极快的响应；

(2) 可同时对谐波和无功功率进行补偿，且补偿无功功率的大小可做到连续调节；

(3) 补偿无功功率时不需储能元件，补偿谐波时所需储能元件容量也不大；

(4) 即使补偿对象电流过大，电力有源滤波器也不会发生过载，并能正常发挥补偿作用；

(5) 受电网阻抗的影响不大，不容易和电网阻抗发生谐振；

(6) 能跟踪电网频率的变化，故补偿性能不受频率变化的影响；

(7) 既可对一个谐波和无功功率单独补偿，也可对多个谐波和无功功率集中补偿。

### 3、软开关技术

随着电力电子技术向着高频率、高功率密度方向发展，硬开关工作方式的开关损耗及谐波干扰问题日益突出。从提高变换效率、器件利用率，增强电磁兼容性以及装置可靠性着眼，软开关技术对任何开关功率变换器都是有益的。在某些特殊情况（如有功率密度要求或散热条件限制场合）下尤为必要。在无源与有源两大类软开关技术中，不使用额外开关元件、检测手段和控制策略的无源方式有

着附加成本低，可靠性、变换效率及性能价格比高等诸多优势，在工业界单端变换器制造领域基本确立了主流地位。对拓扑结构而言，串电感和并电容的方法是唯一的无源软开关手段，由此演变而来的所谓无源软开关技术，实际上就是无损耗吸收技术。

就桥式逆变电路而言，从早期的耗能式吸收到后来提出的部分馈能式、无损耗方案，都存在负载依赖性强，工作频率范围窄，附加应力高，网络过于复杂等问题，实用性较差。同时在开关功率器件模块化潮流下，可供放置吸收元件的空间越来越小，适于逆变模块的无损耗吸收技术也很少见诸文献。总的来看，适用于逆变模块化的无源吸收技术因其特殊结构和难度而仍处在进一步研究和发展中。

#### 4、结论

弧焊逆变电源中存在大量谐波，危害严重。为了抑制谐波，提高功率因数，必须采取相应的抑制措施。传统的 PF 方式存在明显不足，限制了它的应用，而 AF 方式能弥补 PF 的不足，有效抑制弧焊逆变电源的谐波，得到了越来越广泛的应用。软开关技术在一定程度上，也可以实现良好的滤波效果。