

焊接电源中谐波和电磁干扰的分析

张小平¹, 曹太强²

(1.攀枝花学院 电气信息工程学院, 四川 攀枝花 617000; 2.四川玻璃股份有限公司, 四川 自贡 643000)

摘要:为了分析焊接电源电能质量,通过对高频大功率整流和逆变开关电源理论的分析可知,焊接电源的谐波和电磁干扰是影响焊接电能质量的主要污染源。同时通过实验可知,在开关电源中除了有谐波的传导干扰外,还存在电磁的辐射干扰,因此,在焊接电源中必须要对谐波进行抑制和电磁干扰进行处理。

关键词:谐波;焊接开关电源;电磁干扰

中图分类号: TG434.1, TN03

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2009)12-0059-04

Study on the harmonics and EMI of switching power supply for welding power source

ZHANG Xiao-pin¹, CAO Tai-qiang²

(1.School of Information and Electric Engineering, Panzhihua University, Panzhihua 617000, China; 2.Sichuan Glass CO., LTD., Zigong 643000, China)

Abstract: In order to study the electric energy quality of switching power supply, through the theoretical analysis on the high frequency large-power rectification and the reverse switch supply theory, we conclude that the welding switch supply is the main polluting source of affecting the power energy quality. At the same time, we obtain high harmonic components of the welding switching supply are the major reasons leading to the system polluted. The test shows that the the wave of time field and frequency field of EMI of welding switching power supply was tested, which shows the EMI still exists besides the conduction interference of harmonic in the high power switching power supply. So we must restrict harmonics and EMI.

Key words: harmonics; welding switching power supply; EMI

0 前言

随着电力电子技术快速的发展,一方面焊接电源正朝着高频、高速、高灵敏度、高可靠性、多功能、小型化的方向发展;另外,随着电力电子装置本身功率容量和功率密度不断增大,大功率开关管在运行过程中高频的开、关必然会产生高次谐波和电磁干扰注入电网以及干扰自身系统的稳定性和可靠性。

谐波的抑制有内因和外因两种方法,可分为预防性和补救性两类。内因是在设计焊接开关电源时通过有效的设计方法从硬件和软件上减小系统产生的谐波;外因是系统通过设计已经无法再减小谐波系统的谐波成分,并且不能满足系统的谐波含量的要求,要在系统的外部接上滤波器,从而抑制系统产生的谐波。预防性是在设计开关电源时根据设

计要求从主电路和控制方法用有效的过程和方法来控制开关管的开、关,从而减小谐波的产生。但是无论用何种主电路和先进的控制策略,开关电源谐波成分的产生是不可避免的。补救性的解决方法是为了克服系统已经存在谐波成分所采用的技术。现在国内外抑制谐波的方法有无源滤波和有源滤波两种。虽然有源滤波器在理论上滤波效果较好,但由于其技术复杂(系统谐波含量的检测、抵消谐波含量的多少、实时性,有源滤波器又有开关器件,自身会产生谐波等),成本较高,所以抑制谐波多数还是选用无源滤波^[1-2]。

谐波的干扰是焊接电源系统能否正常可靠运行的主要障碍之一^[2],欧美国家已在1996年制定了相关标准并强制执行,不符合其标准的电气产品不准进入市场。我国已在2003年制定了相关的标准,如果谐波含量超标要实行一定的处罚,因此对谐波的研究尤为重要。

收稿日期: 2009-06-08

作者简介: 张小平(1951—),男,四川攀枝花人,副教授,主要从事电机理论及电力系统控制的研究工作。



近年来,人们从理论上分析了电磁干扰产生的原因,明确了干扰的性质及其数学物理模型,逐渐完善了干扰传输和耦合的计算方法,同时提出了抑制干扰的一系列技术措施,建立了电磁兼容的各种结构组织及电磁兼容系列标准和规范,解决了电磁兼容分析、预测设计及测量等方面的一系列理论问题和技术问题,逐渐在电力电子学中形成了一个新的分支。下面将通过理论和试验测试分析谐波和电磁干扰的存在及其带来的危害^[3-7]。

1 谐波的理论分析

电力电子器件的开关特性是强非线性,开关电源在开、关以及在运行时会产生大量的谐波影响系统的正常工作。

1.1 单相大功率整流器的谐波分析

正弦波不含谐波,能够减少铁损并提高效率^[1]。电机、变压器和电器设备在设计时都假定了供电电源是正弦波,然而实际上在供电系统中不可能有标准的正弦波和直流电源,它们都是由不同频率的正弦波叠加而成,单相整流电路如图 1 所示。

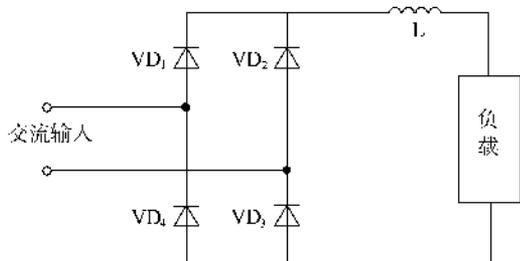


图 1 单相大功率整流电路

要使交流电压整流后负载直流电流的纹波较小,就需要加入一个大的电感即 $L/R \gg T$ (工频时 $T=20\text{ms}$),这样负载直流近似为直流 I_0 。由于在负载端电感电流不能突变,同时开关管在开和关的时候有上升和下降时间,因此负载电流如图 2 所示^[3]。

在上升、下降的时间角度为

$$\varphi = \frac{2\pi t_r}{T} \quad (1)$$

对图 2 进行傅立叶分解

$$i = I_0 [c_1 \sin \omega t + c_3 \sin 3\omega t + c_5 \sin 5\omega t + \dots] \quad (2)$$

从式(2)可看出,单相整流的电流含有奇次谐波。同理可以得出,电焊机三相整流的数学表达式。因此,单相整流和三相整流时一定存在高次谐波。

1.2 单相逆变的谐波分析

典型的单相半桥高频逆变电路如图 3 所示。假

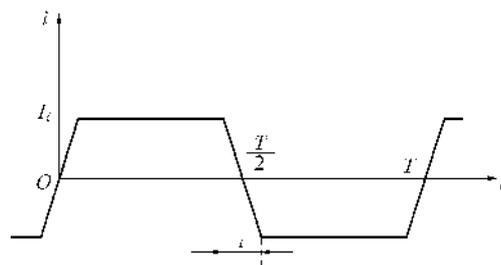


图 2 单相整流负载电流

设直流电压为 E ,开关管在理想情况下工作,即零电压开通,零电流关断,开、关的时间为零,开关管占空比为 50%。

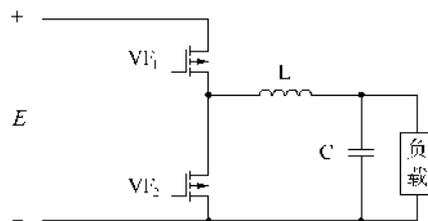


图 3 单相逆变电路

由图 3 可得如下表达式

$$U(t) = E, 0 \leq t \leq T/2 \quad (3)$$

$$U(t) = 0, T/2 \leq t \leq T \quad (4)$$

式(3)和(4)进行傅立叶变换可得

$$U(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[a_m \cos \frac{2\pi mt}{T} + b_m \sin \frac{2\pi mt}{T} \right] \quad (5)$$

$(m=2n-1, n=1, 2, \dots)$

式中 $a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} U(t) dt = \frac{E}{2}, a_m = 0$

$$b_m = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} U(t) \sin mtdt = \frac{2E}{m\pi}$$

则

$$U(t) = \frac{E}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{2E}{(2n-1)\pi} \sin \frac{2(2n-1)\pi t}{T} \right]$$

$$= \frac{E}{2} + \frac{2E}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{2E}{3\pi} \sin(3\omega t) + \dots \quad (6)$$

其中频率与周期信号一致的分量称为 1 次谐波,又称基波;频率为周期信号 3 倍的称为 3 次谐波;3 次及以上的谐波称为高次谐波。图 4 是由式(6)的分量叠加而成^[1-3]。

从图 4 可看出,方波电压 $U(t)$ 是高次谐波叠加而成,谐波电压经过非线性电感、电容在经过负载后,负载电流一定是谐波电流的叠加。

通过以上单相整流和单相逆变电路分析可知,在电流回路中一定有谐波电流,同理可推出三相整

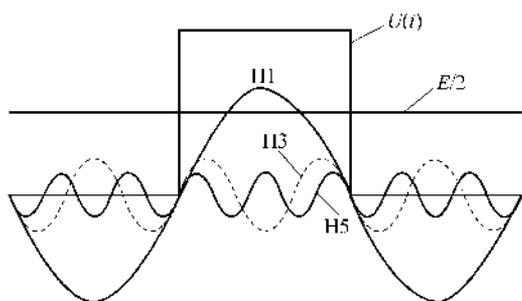


图 4 各分量叠加成矩形波

流和逆变一定也有谐波电流存在,因此只要有开关电源电气设备就一定会产生谐波。

2 电磁干扰的分析

目前我国电磁干扰的研究大多停留在某一实际干扰问题的防护研究水平。焊接开关电源的电压和电流在输送过程中,不仅有传导的谐波存在,而且电磁干扰 EMI 也严重影响开关电源的正常运行。由于 du/dt 、 di/dt 以及电路中的寄生电感和电容使得开关电源的电磁干扰噪声很难与其他敏感电子设备电磁兼容。通常对开关电源产生的 EMI 所采取的抑制措施应从两个方面考虑^[3]:一是减小干扰源的干扰强度;二是切断干扰传播途径。但是伴随着一个严重的问题,开关电源中的大功率开关管在高频的开、关以及运行时是如何产生电磁干扰的?这些干扰是怎样注入电网中的?又是怎样干扰自身系统的稳定性和可靠性?电磁干扰又是怎样通过辐射传播的?

作为工作于开关状态的能量转换装置,开关电源的电压、电流变化率很高,产生的干扰强度较大,干扰源主要集中在功率开关器件以及与之相连的散热器和高压变压器上,相对于数字电路干扰源的位置较为清楚;开关频率从几十 kHz 到数 MHz,主要的干扰形式是传导干扰和辐射干扰。

在开关电源中采用以 PWM 为基础的控制模式,其输出电压由高频的 PWM 脉冲电压,脉冲宽度由每个开关周期输出电压的幅值决定,脉冲由高频开关管产生。由于开关管的门极 G 与发射极 E、集电极 C 之间有一定的寄生电容,使得开关管产生的波形有一定的上升和下降时间,这些快速上升和下降的脉冲信号由高速半导体开关器件产生,如 IGBT、MOSFET 等,可以大大加快逆变器的动态响应过程,但是,这些半导体开关产生的高频脉冲信号具有很大的 du/dt 、 di/dt ,由于驱动电路和控制电路

中也存在电感和电容器件,开关器件自身以及其他器件和布线存在杂散电感和电容, du/dt 会通过电容产生一个脉冲电流,而 di/dt 则通过电感的作用产生一个脉冲电压。同时,有很大 di/dt 的电流环路也是一个辐射源,这样在开关电源中就形成了很强的电磁干扰。

电磁干扰的过程首先是要有干扰源,其次要有敏感的干扰设备,同时在干扰源和干扰设备之间要有耦合途径和传播方式。干扰源发出不同频率的电磁干扰能量,其干扰信号可能是周期的,也可能是非周期的。因此,要研究 EMI 先要分析干扰信号的空间、时间、频率等分布。该分布的功率密度 $\rho = F(t, f, \varphi, r)$, t, f, φ, r 分别为时间、频率、方位、距离。

耦合途径及传播方式是通过电磁场耦合。不论哪种性质的电磁场,都可以通过电力线或磁力线接触或穿入被干扰设备的表面或内部。要消除干扰一定要判别电磁干扰的模式,干扰的模式一般有共模干扰和差模干扰,共模干扰是指出现在每个导体与参考点(地或机壳)之间的电压和电流,它在线路上产生同相位电流。共模干扰大多来自雷电,大功率辐射,通过空间电、磁场耦合;差模干扰是指在规定的导体系统中任意两点之间的电压在线路上产生反相位的电流^[3-6]。

2.1 干扰信号的时-频特性及转换

电磁干扰信号除了极少数为恒定,绝大部分的干扰都是时变的,可以是正弦的、非正弦的、周期的、非周期的,甚至是脉冲波形的。但是无论从耦合途径的分析还是进一步采取干扰措施,用频域的方法分析时变的干扰信号不仅方便而且必要。在对敏感设备进行屏蔽和滤波时一定要对干扰源产生的信号所含的频率成分进行理论分析。

2.2 干扰源周期信号的傅立叶变换

假设干扰源产生的信号为周期信号的干扰源,即

$$f(t) = f(t + nt) \tag{7}$$

其傅立叶分解为

$$\begin{aligned} f(t) &= F_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \left[a_m \cos \frac{2\pi mt}{T} + b_m \sin \frac{2\pi mt}{T} \right] \\ &= F_0 + \sum_{m=1}^{\infty} F_m \cos \left(\frac{2\pi mt}{T} + \varphi_m \right) \end{aligned} \tag{8}$$

这样就可知各个频率的分量。非周期性干扰信号的频谱分析对非周期信号 $f(t)$, 傅立叶变换为

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \tag{9}$$

当周期 $T \rightarrow \infty$ 时,式(9)中的频率间隔 $\Delta \omega$ 成为无穷小量 $d\omega$,变量 $n\omega$ 由离散量变为连续量 ω ,求和变为积分,因此非周期脉冲的谱线变为连续谱^[3-7]。

3 测试分析

对 TZ-3X100 型三相整流凸焊机在没有进行谐波处理时的谐波和电磁干扰进行测试,如图 5 所示,其谐波含量达到了 21.5%,远远超过国家 5% 的标准。图 6 为电磁干扰测试波形,从图 6 中可以看出电磁干扰很严重。

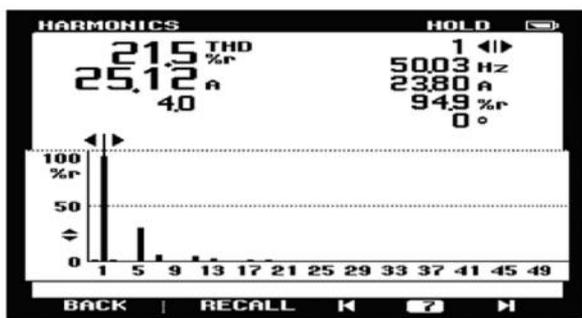


图 5 谐波测试波形

4 结论

通过对单相开关电源整流和逆变的理论分析可知,焊接电源一定存在谐波含量,通过测试可看出谐波含量较大,因此抑制谐波已是当务之急,同时通过电磁干扰的理论分析和测试,在焊接电源中电

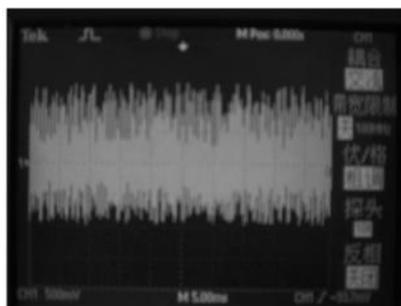


图 6 电磁干扰测试波形

磁干扰是非常严重的,因此,对焊接电源谐波和 EMI 的研究和治理是非常必要的。

参考文献:

- [1] J.W. George.电力系统谐波——基本原理、分析方法和滤波器设计[M].徐政译,北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 曹太强,许建平,徐顺刚.开关电源谐波的研究[J].电焊机,2007,37(5):58-60.
- [3] 凡木文.新型无污染大功率开关电源[D].四川:四川大学,2003.
- [4] 钱照明.电磁兼容设计基础及干扰抑制技术[M].浙江:浙江大学出版社,2000.
- [5] 曹太强,许建平,徐顺刚.开关电源 EMI 的研究[J].电焊机,2008,38(16):68-70.
- [6] 钱照明,袁义生.开关电源 EMC 设计研究现状及发展(下)[J].电源,2003(4B),69-71.
- [7] 周佩白,鲁君伟.电磁兼容问题的计算机模拟与仿真技术[M].北京:中国电力出版社,2006.

电磁兼容术语(二)

无线电(频率)噪声(Radio (frequency) Noise):具有无线电频率分量的电磁噪声。

无线电(频率)骚扰(Radio Disturbance):具有无线电频率分量的电磁骚扰。

无线电频率干扰(Radio frequency Interference, RFI):由无线电骚扰引起的有用信号接收性能下降。

系统间干扰(inter-system Interference):系统中出现的由本系统内部电磁骚扰引起的电磁干扰。

系统内干扰(intra-system Interference):由其它系统产生的电磁骚扰对一个系统造成的电磁干扰。

自然噪声(Natural Noise):来源于自然现象而非人工装置产生的电磁噪声。

人为噪声(Man-made noise):来源于人工装

置产生的电磁噪声。

性能降低(Degradation of performance):装置、设备或系统的工作性能与正常性能的非期望偏离。

抗扰性(Immunity):装置、设备或系统面临电磁骚扰不降低运行性能的能力。

电磁敏感性(Electromagnetic Susceptibility):在存在电磁骚扰的情况下,装置、设备或系统不能避免性能下降的能力(灵敏度高,抗扰性低)。

静电放电(Electrostatic Discharge, ESD):具有不同静电电位的物体相互靠近或直接接触引起的电荷转移。

瞬态的(Transient adjective and noun):在两相邻稳定状态之间变化的物理量或物理现象,其变化时间小于所关注的时间尺度。

