

# 中频炉工作原理及谐波治理

王 亮

(温州电业局, 温州 325000)

## 0 引言

近年来, 公用电网中的谐波电流和谐波电压成为对电网环境最严重的一种污染。谐波能使电能的传输和利用的效率降低, 电容器等设备烧毁, 继电保护和自动装置误动作, 使电能计量出现混乱, 对通信设备和电子设备会产生严重干扰等, 造成十分严重的危害。电力电子装置是公用电网中最主要的谐波源, 如何降低电力电子设备对电能质量的影响成了供电部门治理谐波的主要着力点。本文结合中频炉的工作原理及其谐波治理措施进行讨论, 并提出了解决方法, 现介绍如下。

## 1 中频炉工作原理

### 1.1 中频炉电气原理

图 1 为国内较多采用的一种中频电源装置的主电路, 图 2 为其电路及波形图。

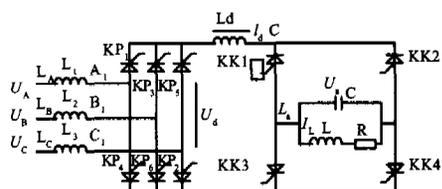


图 1 中频电源主电路

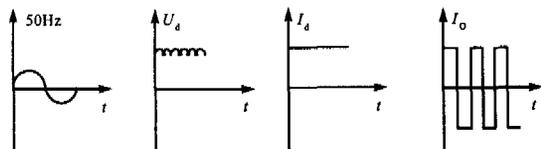


图 2 交-直-交变换

电网提供工频电源, 经整流滤波后变成直流, 再通过逆变器转换成负载所需频率的中频交流。滤波电抗器 ( $L_d$ ) 除滤波外, 还起着整流桥与逆变桥

之间的交流隔离和限制短路时故障电流上升速率和峰值的作用。在并联逆变器中, 由感应线圈 ( $L$ ) 和炉料 ( $R$ ) 组成的负载与中频电容 ( $C$ ) 并联, 工作于接近谐振的状态。因此中频感应电源设备为电炉提供中频大电流, 使得熔炼炉具备了良好的加热功能。

### 1.2 谐波分析

中频炉谐波主要由三相整流电路交流三相和直流电流不断地换相引起的, 在假定理想条件下, 确定其交流侧电流表达式, 对其进行傅里叶分解, 以 A 相电压过零点为时间零点, 则有:

$$i_a = 2\sqrt{3}/\pi I_d [\sin(\omega t - \delta) - 1/5\sin 5(\omega t - \delta) - 1/7(\sin(\omega t - \delta) + 1/11\sin 11(\omega t - \delta) + 1/13\sin(\omega t - \delta) - 1/17\sin(\omega t - \delta) - 1/19(\omega t - \delta) + \dots] \quad (1)$$

由式 (1) 可知, 交流侧电流中仅含  $6k \pm 1$  ( $k$  为正整数) 次谐波, 各次谐波有效值与谐波次数成反比, 且与基波有效值的比值为谐波次数的倒数。三相桥式整流波形和频谱如图 3。

以上讨论的是整流变压器二次侧电流, 即阀侧的线电流。至于整流变压器一次侧的线电流, 其波

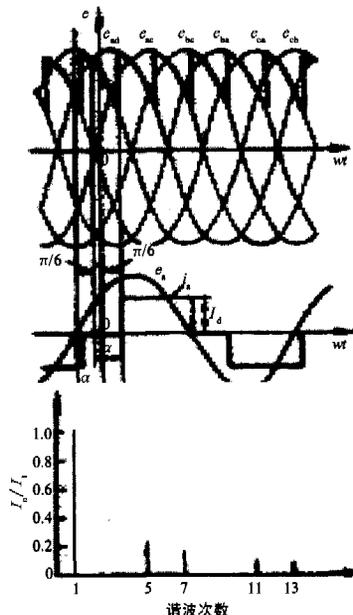


图 3 三相桥式整流波形和频谱

形随变压器的联结方式不同而有所不同。

## 2 中频炉谐波治理措施

### 2.1 LC 滤波器

LC 滤波器也称为无源滤波器，是由滤波电容器、电抗器和电阻器适当组合而成的滤波装置，与谐波源并联，除起滤波作用外，还兼顾无功补偿的需要。实际应用中常用几组单调谐滤波器和一组高通滤波器组成滤波装置。单调谐滤波器是利用串联的 L、C 谐振原理构成的，只要将滤波器的谐振次数设定为与需要滤除的谐波次数一样，则该次谐波将大部分流入滤波器，从而起到滤除该次谐波的目的。高通滤波器可设置为对次数较高谐波呈现低阻抗，使得这些谐波电流大部分流入高通滤波器。

这种滤波器成本比较低，但也存在一些较难克服缺点：中频炉的功率因数较高，一般都在 0.9 以上，电容组数多也会出现无功倒送问题，方案设计较难，一般只能对起主要作用的 5、7 次谐波采取分流或滤波；单调谐滤波器的谐振频率会因电容、电感参数的偏差或变化而改变，电网频率也会有一定波动，这将导致滤波器失谐；电网阻抗变化会对滤波装置尤其是其中的单调谐滤波器的滤波效果有较大影响，更为严重的是，电网阻抗与滤波装置有发生并联谐振的可能，需在设计时充分考虑。

### 2.2 有源电力滤波器 (APF)

有源电力滤波器是谐波抑制比较新的方法，它是一种电力电子装置，其基本原理是从补偿对象中检测出谐波电流，由补偿装置产生一个与该谐波电流大小相等而极性相反的补偿电流，从而使电网电流只含基波分量。这种滤波器能对频率和幅值都变化的谐波进行跟踪补偿，且补偿特性不受阻抗的影响，因而受到广泛重视，并且已在日本等国获得广泛应用。但该滤波器成本高昂，投资回报长，大多数中频炉企业较难承受。

### 2.3 混和型滤波补偿

利用有源电力滤波器与多组 LC 滤波器并联使用。LC 滤波器包括多组单调谐滤波器及高通滤波器。对于三相桥式整流电路这样谐波源，LC 滤波器典型的组成包括 5、7 次及高通滤波器，有时可能包括 11 次，甚至 13 次滤波器。这样，绝大多数由谐波源产生的谐波已由 LC 滤波器滤除，有源电力滤波器能起到拾遗补缺的作用，它只需补偿 LC 滤

器未能补偿的谐波。这样的一个混合系统性能好于只使用 LC 滤波器，而有源电力滤波器只需提供很小的补偿电流，因而容量不需很大。

有源与无源混合补偿，滤波性能较好，装置容量大（与有源比较），成本相对较低。

### 2.4 多相整流电路

本文通过改变整流器交流侧的变压器的接线形式抵消较低次的特征谐波。

图 4 中 I、II 两个三相桥式整流电路就是通过变压器的不同联结构成 12 相整流电路的，该电路一次侧只有 1 个绕组，为星形联结；二次侧有 2 个绕组，一个为星形联结，另一个为三角形联结，分别为桥 I 和桥 II 供电，三个绕组匝数比依次为 1:1:√3，相当于桥 I 和桥 II 分别接在 Yy0 和 Yd11 联结的整流变压器上。

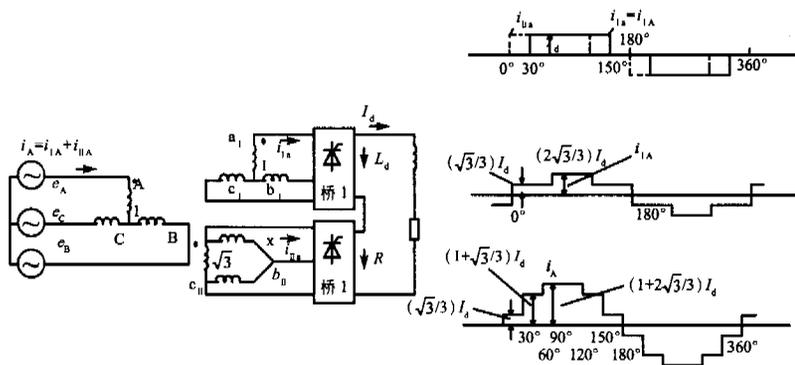


图 4 由两个三相桥式电路构成的 12 相整流电路及其波形

则桥 I 的阀侧线电流与其感应的网侧线电流相同，即：

$$i_{IA} = 2\sqrt{3}/\pi I_d \{ \sin \omega t - 1/5 \sin 5\omega t - 1/7 \sin 7\omega t + 1/11 \sin 11\omega t + 1/13 \sin 13\omega t - 1/17 \sin 17\omega t - 1/19 \sin 19\omega t + \dots \} \quad (2)$$

根据 Yd11 变压器一次与二次线电流的关系，桥 II 阀侧线电流表达式可得其感应的网侧线电流应为：

$$i_{IIA} = 1/\pi I_d \{ \sin \omega t + 1/5 \sin 5\omega t + 1/7 \sin 7\omega t + 1/11 \sin 11\omega t + 1/13 \sin 13\omega t + 1/17 \sin 17\omega t + 1/19 \sin 19\omega t + \dots \} \quad (3)$$

故合成的网侧电流为：

$$i_A = i_{IA} + i_{IIA} = 4I_d/\pi [ \sin \omega t + 1/11 \sin 11\omega t + 1/13 \sin 13\omega t + \dots ] \quad (4)$$

可见，两个整流桥产生的 5、7、17、19…次谐波相互抵消，注入电网的只有  $12k \pm 1$  ( $k$  为正整数) 次谐波，且其有效值与谐波次数成反比，而与基波有效值的比值为谐波次数的倒数。

既然通过 2 个相角差 30° 的变压器分别供电的 2 个三相整流桥可构成 12 相整流电路，其网侧电流仅含  $12k \pm 1$  次谐波，类似地，通过依次相差 20°

# PLC 给水泵自启动控制在发电厂中的应用

张 彬

(永荣矿业有限公司发电厂, 重庆 荣昌 402465)

[摘要] 介绍了 PLC 在给水泵自启动控制系统中的应用, 以及该系统的组成、工作原理、运行情况及经济安全情况分析对比。

关键词 PLC 给水泵 自动控制

## 0 引言

永荣矿业有限公司发电厂现有 5 台 35t/h 循环流化床(沸腾炉)锅炉, 4 台 6000kW 汽轮发电机组, 8 台 150kW 给水泵, 4 台喷雾填料式除氧器, 总装机容量 24MW。由于我厂各台锅炉采用给水母管制, 为经济调度给水泵提供了前提条件, 经过实验, 用 3 台给水泵带 4 台锅炉切实可行, 从而可停运 1 台给水泵。为了保证锅炉事故状态下或给水泵事故状态下锅炉给水的可靠性和稳定性, 以防止锅炉因缺水而全部停运的事故, 必须使备用给水泵在事故状态下紧急全自动投运, 从而避免事故的发生, 因此须设计给水泵自启动控制系统。

## 1 给水泵自启动控制系统

### 1.1 系统组成

给水泵自启动控制系统由信号采集、PLC 逻辑

收稿日期: 2005-09-30

控制、给水泵、出水电动阀门控制、被调对象给水泵及出水电动阀门组成, 其系统框图如图 1。



图1 给水泵自启动控制系统框图

### 1.2 实现功能

(1) 给水压力低一值时, 相应启动第一台备用给水泵, 在给水泵启动稳定后, 自动打开出水电动门, 投入给水泵。

(2) 给水压力低二值时, 相应启动第二台备用给水泵, 在给水泵启动稳定后, 自动打开出水电动门, 投入第二台给水泵。

(3) 给水压力高一值时, 相应自动关断出水电动门, 停运第一台备用给水泵, 发出声光信号提醒运行人员对控制开关复位。

(4) 给水压力高二值时, 相应自动关断出水电动门, 停运第二台备用给水泵, 发出声光信号提醒

的 3 个变压器分别供电的 3 个三相整流桥就可构成 18 相整流电路, 其网侧电流仅含  $18k \pm 1$  次谐波, 通过依次相差  $15^\circ$  的 4 个变压器分别供电的 4 个三相整流桥就可构成 24 相整流电路, 其网侧电流仅含  $24k \pm 1$  次谐波。

根据以上分析可知, 通过多相整流技术可使中频炉流入电网的谐波含量大大下降, 达到治理目的。该办法解决了有、无源滤波装置由于用户管理或者电气元件故障原因不能与中频炉同时投切的缺陷, 有效地治理了低次谐波。

## 3 结束语

中频炉的大量挂网运行已导致了电网谐波污染

日趋严重, 在电网薄弱的区域, 甚至发生了大量电子表内电容击穿, 变电所电容器烧毁或跳闸, 继电保护误动作, 各地供电部门都纷纷采取措施进行治理。本文提及的 4 种谐波治理方法都已在含谐波源用户处应用, 前三种是补救性的治理方法, 即为克服既存谐波问题所采用的方法, 而后者是避免中频炉谐波出现的预防性的措施。供电部门在确定含有中频炉负荷用户供电方案时, 首先应要求中频电源装置采用多相整流技术, 从根本上阻止中频炉的低次谐波进入电网, 达到谐波治理目的。

### 参考文献

- [1] 鲍伟勇. 变频谐振高压试验装置在 GIS 站内的应用. 重庆: 电工技术, 2004 (7): 8