

火力发电厂再热汽温控制系统现状频域分析

王 勇¹, 刘鑫屏², 刘 洁²

(1. 华北电力科学研究院有限责任公司, 北京 100045;

(2. 华北电力大学控制科学与工程学院, 河北保定 071003)

摘 要:文章通过对某电厂的再热汽温系统进行频域特性分析,发现大多数扰动下的系统对象呈带通滤波特性。针对一实际的 600 MW 级火力发电机组,通过对影响再热汽温的 9 种扰动信号进行频谱密度分析,发现除了再热减温水温度和机组负荷以外的扰动信号都有通带以外频率,因此采用单纯串级控制结构系统不能对现场扰动信号进行有效抑制,需要设计新的控制方案。

关键词:能源与动力工程;火力发电厂;再热汽温控制;频域分析;数据分析

中图分类号:TK323 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-9171(2010)03-0010-05

Frequency-domain Analysis on Reheated Steam Temperature Control System for Thermal Power Plant

Wang Yong, Liu Xin-ping, Liu Jie

(1. North China Electric Power Research Institute Co. Ltd., Beijing, 10045, China;

2. School of Control Science and Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The spectral densities of nine disturbance signals for reheat steam temperature in a 600 MW thermal power plant were analyzed. Through the frequency domain characteristics analysis of the reheat steam temperature system, it was found that the target system under the majority disturbance was the same as the band-pass filter characteristics. Through spectrum analysis showed that in addition to desuperheating water temperature and unit load other disturbance signals have a frequency outside the passband, so it was difficult for single cascade control system to effectively damp the combustion disturbance.

Key words: energy and power engineering; thermal power plant; reheat steam temperature control; frequency domain analysis; data analysis

0 引言

目前火力发电占我国总发电量 70% 以上,主力为 300~600 MW 级机组。电网要求机组具有更高的负荷调整范围和调整速率。机组参与电网一次调频,负荷变化频繁,导致机组更多处于动态工况下。快速的负荷变化易导致过热器、再热器超温。燃料性质不稳定、磨煤机启/停操作影响机组负荷、压力、汽温的控制品质。汽温波动及大量减温水喷入都影响机组经济性。许多机组存在低负荷再热汽温偏低、高负荷再热器减温水喷入量大的问题,严重降低机组热效率。影响再热器减温水量的原因多而复杂,如火焰中心、煤质、风煤配比、炉膛结焦等。过量再热汽减温水导致再热器导前汽温进入饱和区,系统无法

投入自动。再热器管道因结垢、交变热应力发生损坏。

对于中小型火电机组而言,再热汽温控制系统的研究已经很完善了,许多先进的控制理论和工程方法获得了应用,一般可以满足控制品质的要求。但是,许多大容量、高参数火电机组参与一次调频并且承担起电网调峰任务,受煤质变化较大的影响,在调节系统的可控性上存在着一些问题,加大了再热汽温系统的控制难度。甚至有些问题不仅影响着自动调节的正常投入,而且还制约着机组的出力,甚至会影响机组的安全运行。针对这种情况,本文将从影响大型火电机组再热汽温系统的主要扰动和现场普遍采用的串级控制系统的频域特性方面入手,分析造成再热汽温系统控制品质下降的原因。

1 影响再热汽温的主要因素

在锅炉运行中,再热器温度容易受到机组负荷、燃烧工况等干扰和减温水扰动的影响。在现场实际运行中,影响再热汽温的因素有很多,如再热器出口蒸汽温度、再热减温器出口蒸汽温度、再热减温水流量、机组负荷、高压缸排汽温度、空气预热器入口烟气含氧量等等。

对于现场普遍采用的串级控制系统来说,在内回路内的扰动也就是内扰,系统本身通过控制算法的调配是可以及时消除的。但是某些处于内回路以外的扰动通过串级控制系统难以消除,造成了当前机组再热汽温系统控制效果的下降。

2 串级控制系统频域特性分析

图1是常见的经过简化的汽温串级控制系统方框图,其中: $C_1(s)$ 是主调节器, $C_2(s)$ 是副调节器, $G_{11}(s)$ 和 $G_{12}(s)$ 分别是再热汽温导前区和惰性区传递函数。

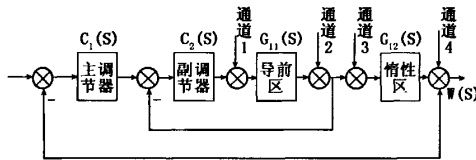


图1 再热汽温串级控制系统方框图

利用大唐盘山电厂600 MW机组数据进行模型辨识,得到其再热汽温动态数学模型,其中导前区的数学模型为:

$$G_{11}(s) = \frac{1}{(20s + 1)(40s + 1)^2} \quad (1)$$

惰性区的数学模型为:

$$G_{12}(s) = \frac{1}{(90s + 1)^6} \quad (2)$$

在MATLAB中搭建Simulink模块,内外回路均采用常规PID控制,内回路利用P控制,外回路利用PID控制,在定值扰动下用枚举法进行参数整定,寻求最优的PID参数。使得被控对象在给定值扰动下,以及运行时其他扰动,如再热减温器出口蒸汽温度、再热减温水流量、机组负荷、总风量等扰动下得到相对稳定的控制。

根据以上的仿真模型,利用MATLAB可以画出各个通道闭环控制系统的频率特性曲线来进行分析,如图2~图6所示。

分析图2,可以发现在给定值扰动时,其bode图呈低通滤波特性,即扰动频率在低频段时系统可以抑制。给定值信号的主频段在0~0.0005 Hz之间,而从系统给定值到输出传递函数的bode图中可以看出,系统对于小于0.0005 Hz的信号是全部复现的,相角基本上没有滞后。

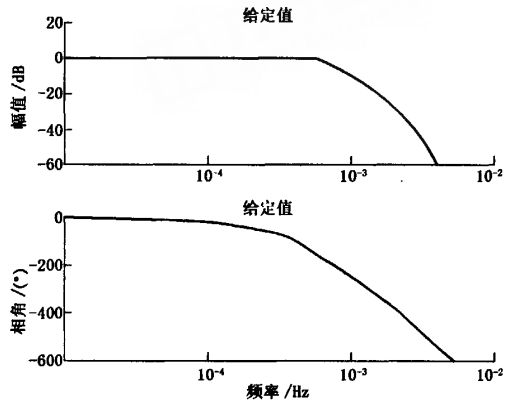


图2 给定值通道的频率特性曲线

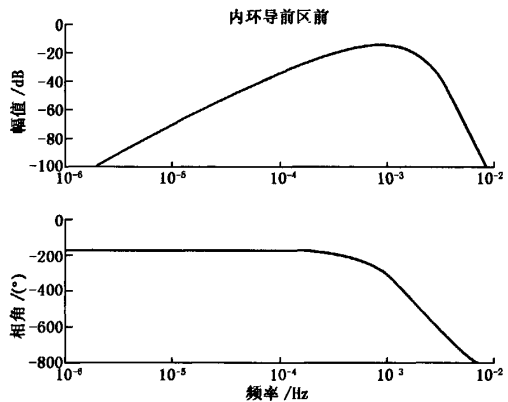


图3 内环导前区前即扰动通道1的频率特性曲线

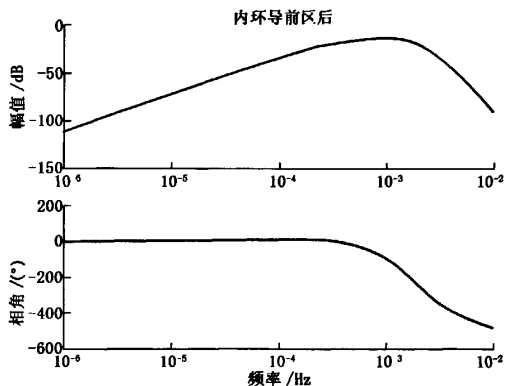


图4 内环导前区后即扰动通道2的频率特性曲线

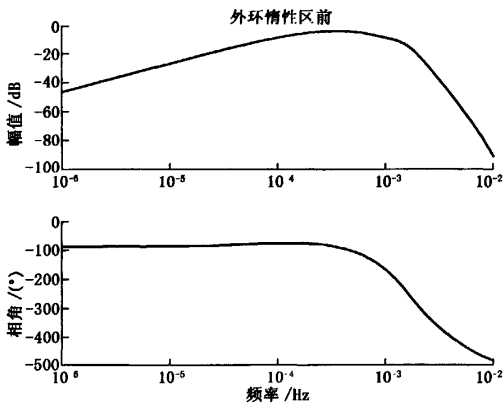


图5 外环惰性区前即扰动通道3的频率特性曲线

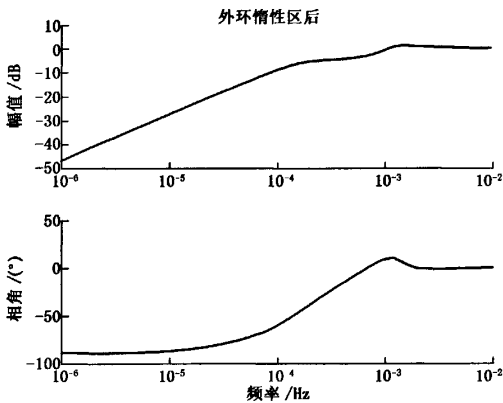


图6 外环惰性区后即扰动通道4的频率特性曲线

分析图3~图6可以发现,只要扰动信号是加在外环惰性区之前的,其bode图都呈现带通滤波特性,且幅频特性的最高值都在零分贝以下。可以把此系统的闭环传递函数看成一个带通滤波器。因此,各个区的各个频段的扰动信号,可以得到串级控制系统的抑制,如果扰动频率处在低频段或者高频段,系统应该有较强的抑制能力;但扰动频率处在中频段时,系统本身对其进行有效抑制稍差,只能维持在0 dB附近。

在惰性区之后加扰动信号时,其bode图呈高通滤波特性,即扰动频率在低频段时系统可以抑制。

由图3~图6可以看出,内环导前区前扰动:对于扰动信号频率在 4×10^{-4} Hz和 2×10^{-3} Hz之间的;内环导前区后扰动:对于扰动信号频率在 4×10^{-4} Hz和 2×10^{-3} Hz之间;外环惰性区前扰动:对于扰动信号频率在 2×10^{-5} Hz和 2×10^{-3} Hz之间时抑制情况不能满

足现场要求。外环惰性区后扰动:扰动信号频率小于0.000 02 Hz的才有明显的衰减,可以达到20 dB,而大于0.000 1 Hz的扰动信号是不能克服的。

3 现场扰动信号频率的求取

频谱即幅度谱与相位谱,是在频域中描述信号特征的方法之一。除此之外能量谱或功率谱也能来描述系统的频率特性。对于随机信号一般用功率谱来描述它的频域特性。功率谱是在整个时间过程中单位时间、单位频率间隔中能量的平均值。若是某一随机过程,功率谱的计算公式为:

瞬时功率谱

$$S_{xxp}(k) = \frac{T^2}{P} X(k) \cdot X(k) \quad (1)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, (N/2) - 1$$

式中 P ——所采的数据时间长度, $P = NT, s$;

N ——采样数;

T ——采样间隔时间, s ;

$X(k)$ —— $x(t)$ 的傅里叶级数。

经过 M 次采样平均后的自功率谱值为:

$$S_{xx}(k) = (1/M) \sum_{p=0}^{M-1} S_{xxp}(k) \quad (2)$$

式中 $S_{xxp}(k)$ ——瞬时功率谱。

先确定原始信号的采样频率,然后用FFT(快速傅里叶变换)找出扰动信号的主频段。

信号的傅立叶分析方法是通过对傅立叶级数可以用正弦型或复指数型信号来表示。

定义一个物理量频谱密度:

$$\hat{X}(n\omega_0) = \frac{X(n\omega_0)}{\Delta\omega} = \frac{1}{2\pi} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (3)$$

当 $T_0 \rightarrow \infty, n\omega_0 \rightarrow \omega$ 时,得到频谱密度函数

$$X(\omega) = 2\pi \hat{X}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (4)$$

式(4)称之为信号 $x(t)$ 的傅立叶变换,它反映了信号的基本特征,因而是非周期信号进行频域分析的理论依据和最基本公式。

在大唐盘山电厂600 MW机组SIS数据库中导入了跟再热汽温有关的信号的现场数据,并利用FFT对其进行频谱分析,得到信号频谱图,如图8所示,从图中可以看出给定值信号的主频段在0~0.000 5 Hz之间,而从系统给定值到输出传递函数的bode图中可以看出,系统对

于小于 0.000 5 Hz 的信号是全部复现的,能跟随给定值。相角基本上没有滞后,能满足现场的要求。

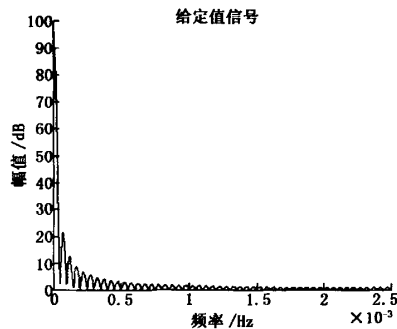
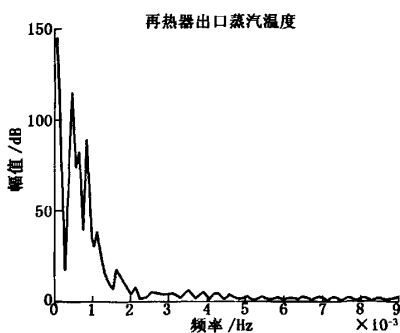
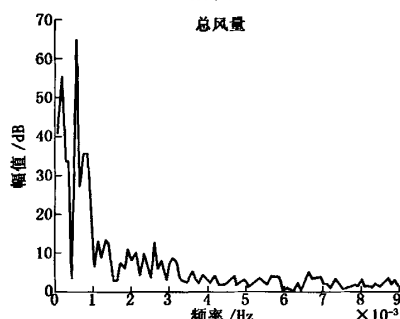
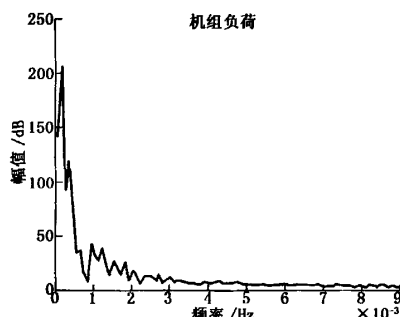
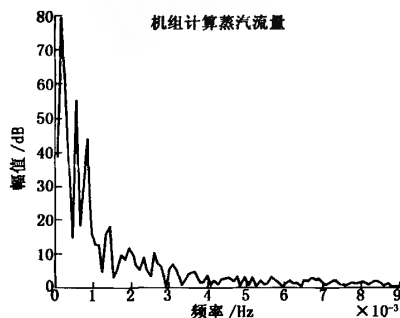
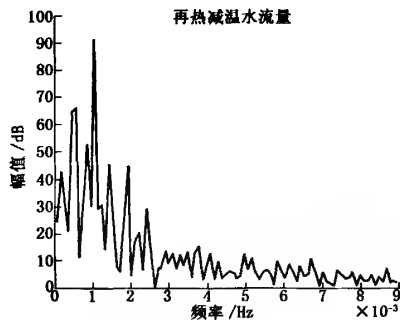
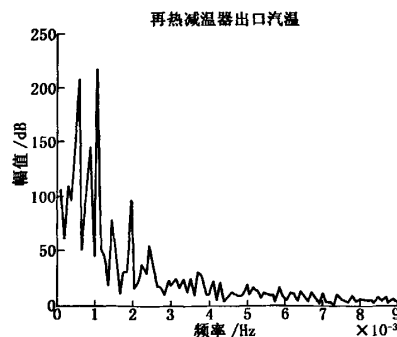
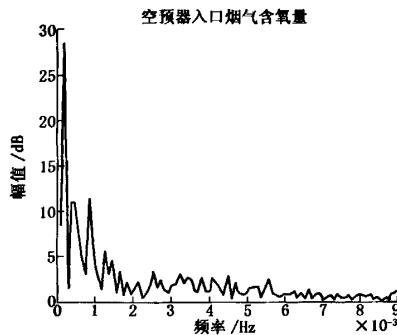
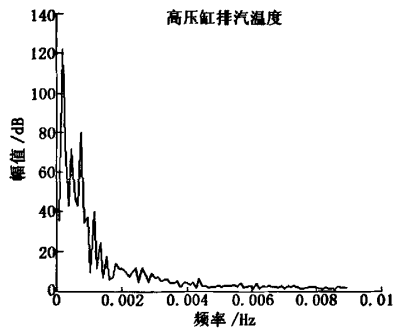


图 7 阶跃信号的频谱图



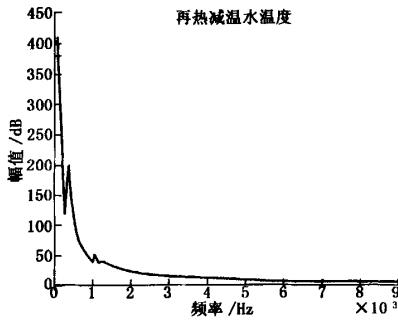


图8 有关信号的频谱图

从图9中可以看出扰动信号都存在大于0.000 1 Hz的频率信号,加在外回路惯性区以后的扰动无法消除这一频率的扰动信号,所以加在外回路惯性区以后的扰动是无法消除的。

内回路中的扰动基本能很好的抑制掉,从图9中各个扰动信号的频谱图看到:机组负荷、再热器减温水温度的扰动可以得到有效的抑制;再热减温水流量、高压缸排汽温度、空气预热器入口烟气含氧量、总风量、再热器出口蒸汽温度以及机组计算蒸汽流量的扰动则得不到很好的抑制,需要加入前馈或设计新的控制方案。

4 结论

利用机理分析结合数据分析的方法对再热汽温系统进行频域特性分析,取得了良好的效果。

通过对再热汽温串级控制系统频域特性分析,以及利用频谱分析方法得到现场主要扰动信号的频谱图,发现串级控制系统本身对一些扰动信号难以直接进行有效的抑制。因此在改善系统控制品质时要考虑系统本身的结构问题,为再热汽温控制系统的设计提供参考。

参考文献

- [1] M Manuela Prieto González, F Javier Fernández García, Inés Suárez Ramón, et al. Experimental thermal behaviour of a power plant reheat[J]. Energy, 2006, 31(5): 665-676.
- [2] A Sanchez-Lopez, G Arroyo-Figueroa, A Villavicencio-Ramirez. Advanced control algorithms for steam temperature regulation of thermal power plant[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2004, 26(10): 779-785.
- [3] 于希宁,孙建平. 自动控制原理[M]. 北京:中国电力出版社, 2008.
- [4] 李旭. 再热汽温的动态特性与控制[J]. 动力工程, 2009, 29(2): 150-154.
- [5] 张文景,黄郁明,张书谨. 大型机组再热汽温调节手段研究[J]. 热能动力工程, 2002, 17(98): 195-197.
- [6] 邹晓昕,田亮,刘吉臻,等. 一次调频工况下汽温系统抗燃烧扰动能力分析[J]. 电力科学与工程, 2008, 24(1): 44-47.
- [7] R N Silva, P O Shirley, J M Lemos, et al. Adaptive regulation of super-heated steam temperature: a case study in an industrial boiler[J]. Control Engineering Practice, 2000, 8(12): 1405-1415.
- [8] 刘林华. 电站锅炉汽温问题的现状及应采取的对策[J]. 热能动力工程, 1996, 11(5): 297-300.
- [9] 符慧林,黄树红,周亦可,等. 钢球磨煤机噪声测试及频谱分析[J]. 湖南电力, 2002, 22(5): 10-14.
- [10] 殷桂梁,肖丽萍,郑德忠,等. 窄带信号采样频率选取的改进方法[J]. 电子学报, 1997, 25(9): 125-127.
- [11] 吴湘淇. 信号与系统(第3版)[M]. 北京:电子工业出版社, 2009.

收稿日期:2009-09-07

作者简介:王勇(1978—),男,工程师,现主要从事燃煤发电机组自动控制系统的研究工作。

(本文编辑 杜秋平)

***** · 消息 · 华东电网公司确定世博梯度保电原则

“华东电网保长三角、长三角保上海。世博会期间,紧急情况下,华东电网有限公司将统一快速调配全网资源支援上海,确保上海电网稳定运行。”这是3月1日华东公司正式确定的世博梯度保电原则,并得到上海、江苏、浙江、安徽、福建五省市电力公司的支持。

上海用电负荷超过三分之一需要依靠外来电力,因此,世博保电工作是涉及华东主要输电网络和所有区外受电通道的一项系统工程。据预测,世博会期间,华东全网最大用电需求1.599亿kW,同比增长11.2%,上海电网最大用电负荷2550万kW,若出现极端高温,将达2600万kW,需要从市外输入电力近850万kW。

据统计,华东电网内对世博核心区及周边电网安全有重要影响的供电设施,包括27座变电站和76条线路。世博会举办时段不仅跨越通常的电网建设、改造、检修高峰时段和迎峰度夏时段,也是华东地区极端天气、自然灾害多发时段,届时持续高位负荷下的电能平衡和应对恶劣天气的压力将非常大。世博会期间,上海电网将封网运行。

本刊编辑部 供稿