

200MW机组双微机机炉协调控制系统

徐基豫 苏荣培 于达仁 (哈尔滨工业大学)

杨焕义 (哈尔滨汽轮机厂)

〔摘要〕本文介绍了一种用于国产200MW汽轮机及670t/h锅炉的机炉协调微机控制系统的设计方案及控制装置,内容包括作用原理、仿真、硬件结构及可靠性措施。

关键词 协调控制 微机控制 锅炉 汽轮机 仿真 可靠性

一、引言

锅炉和汽轮机作为大型动力设备,在我国能源结构的组成中占有极为重要的地位,大约80%的电力来自火电站。随着电力用户组成成份的变化,尖峰和低谷负荷的差别明显增大,加上大功率机组在电网中比重的提高,对于大机组调整负荷机动性的要求越来越高。在我国大多数火电站中,锅炉和汽轮机都是作为独立控制对象来考虑的,特别是对大功率单元机组,锅炉的惰性在很大程度上限制了汽轮机功率变化的速度。为了提高机组的负荷适应能力,近年来对大功率机组越来越多地要求采取机炉协调控制,并且已经在个别电厂投入运行。我们以微机为手段,为国产200MW机组研究了机炉协调控制系统,现简介如下。

二、协调控制装置的基本功能

本协调控制装置基本功能分为:正常协调、机跟炉和炉跟机三种。

正常协调控制时采取间接能量平衡原理,如图1所示,它由主控制器(图中虚线框内部分)、锅炉调节器和汽机调节器三大部分组成。协调控制系统和汽轮机液压调节系统的接口为由步进电机驱动的汽轮机同步器。

机组的功率给定指令可以由电网调度直接给出(ADS),也可以通过值班员给出,两者通过手动开关切换。功率给定信号通过A/D读入微机,在微机内处理成为变化平缓的机组可以接受的阶跃加斜坡信号,此信号加上频差信号 $\Delta f \cdot 1/\delta$ 后成为机组功率的初步设定值。机组功率的设定值还要经过两次出力限制的运算。第一次出力限制的运算是

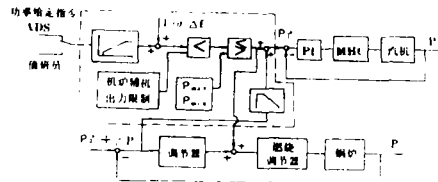


图 1

根据机炉辅机的完好状态来限制机组最大的允许出力。由于条件的限制,只考虑了锅炉的

引风机和送风机,以及汽轮机的凝汽器。机组各有两台送风机和引风机,当两台风机中的一台损坏时限制机组的功率不超过额定值的60%,当两台风机均能正常工作时,限制值为100%,即不限制。凝汽器的状态由真空度表示,当真空度低于59.99kPa时,开始限制功率,真空度愈低,允许出力愈小。第二次出力的限制是由操作人员根据机组的全面情况确定,例如锅炉在60%以下负荷时燃烧不稳定,则可以设定机组的最小功率为60%;假如汽轮机存在某种缺陷,以至在90%以上负荷时轴向推力过大,推力轴瓦温度过高,则可以设定机组的最大出力为90%。最大、最小功率的设定值通过微机接口输送给计算机,并允许在运行中随时修正。

经过最大出力和最小出力限制的功率给定值即为对机组功率的目标值,此信号一方面送给汽机调节器,要求汽轮机功率符合给定的目标值,另一方面又作为前馈信号送往锅炉调节器,使锅炉提前改变其燃烧率,而不必等待蒸汽压力的变化。功率给定信号在作为汽机调节器的给定信号以前,还要经过新蒸汽压力偏差 ΔP_0 的修正。当 $\Delta P_0 = P_0^* - P_0$ 为正,即 P_0 值小于其给定值 P_0^* ,而又超出给定的死区时,将按照一定的斜率修正功率给定值。蒸汽压力越低,则功率给定值越小。当 $\Delta P_0 = P_0^* - P_0$ 为负,即 P_0 值大于其给定值时,不必修正。

送往汽机调节器的功率给定信号 P_T^* 与汽轮发电机的实际输出功率 P_T 相比较后,其偏差值 $\Delta P_T = P_T^* - P_T$ 经比例积分运算(PI),运算结果按增量控制原则转换成为送给步进电机的脉冲数,通过步进电机驱动同步器,操纵汽轮机的液压调节系统去调节汽门的开度,改变汽轮机的功率。

上述过程,从给定值电压输入微机开始,信号的处理、最大最小值的限制、蒸汽压力的修正、PI调节规律的运算,到输出脉冲为止,全部由微机完成。

在锅炉发生故障时可以将系统切换到“机跟炉”状态,此时锅炉由于设备条件的限制只能提供一定数量的蒸汽,为了保证锅炉的稳定工作,汽轮机的出力由锅炉能够提供的蒸汽量决定。此时协调控制装置的作用是按照蒸汽压力的偏差调节汽轮机调节汽门的开度,当压力降低时关小调节汽门,压力升高时开大调节汽门。在“机跟炉”状态下,微机接受的是蒸汽压力偏差 ΔP_0 信号,进行PI规律运算后输出脉冲给步进电机,通过同步器操纵调节系统,改变调节汽门的开度,保证蒸汽压力的恒定。

在汽轮机发生故障时将系统切换到“炉跟机”状态,此时通过手动操作将汽轮机功率设定在对汽轮机最理想的水平上,而锅炉则根据汽轮机的需要量供给蒸汽。在“炉跟机”状态下,机组不接受外界对汽轮机要求负荷变动的信号,微机控制装置处在不工作的备用状态。

三、系统仿真及参数整定

为了检验协调控制的效果,对图1所示系统进行了仿真计算,并与一般非协调控制系统作比较。将图1等效变换成如图2所示的方块图(未考虑汽压偏差 ΔP_0 对汽轮机功率的修正作用)。由文献介绍,各环节的传递函数为:

$$W_{N\mu}(s) = \frac{3s+1}{9s+1}$$

$$W_{T\mu}(s) = \frac{1.529(1+64.93s)}{(1+310s)(1+7.43s)}$$

$$W_{PM}(s) = \frac{1.262(1-7.296s)}{(1+314.65s)(1+30.86s)}$$

$$W_{NM}(s) = \frac{1.1}{(1+10s)(1+280s)}$$

$$W_{T1}(s) = 4\left(1 + \frac{1}{4s}\right)$$

$$W_{T2}(s) = 0.02\left(1 + \frac{1}{5s}\right)$$

取不同的 K 值,则在阶跃输入 P_T^* 下,压力 P_0 的变化过程如图3所示,由图可见,前馈信号放大系数 K 值为 $0.4 \sim 0.5$ 时,压力 P_0 的波动幅度最小。

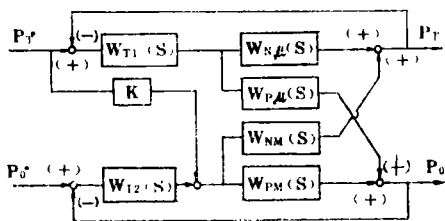


图 2

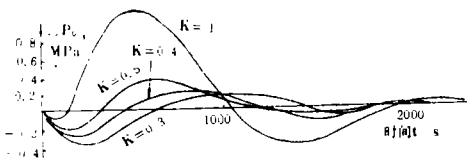


图 3 P_0 的变化过程

从电网调度(ADS)或值班员手动操作所给出的机组功率给定电压,如图1所示,经微机处理成为阶跃加斜坡信号,处理后的信号可以用下式表示:

$$(P_T)_{gd} = a + bt$$

式中 a 值一般为 $0.02 \sim 0.05$,取决于锅炉蓄热能力。斜率 b 决定机组的负荷变化速率,在压力 P_0 波动的许可范围内,总是希望有较快的变化速度。

取 $a = 0.03$, $b = 0.4\%$ 、 0.2% 、 0.1% 、 0.05% ,当 $K = 0$ (即非协调控制,无前馈信号)时,压力偏差 ΔP_0 的变化过程如图4所示。当 $K = 0.45$ 时,压力偏差 ΔP_0 的变化过程如图5所示。比较两组曲线可以看到,在不采取前馈控制时($K = 0$),当 $b = 0.02\%$ 时, $\Delta P_0 \approx -0.4\text{MPa}$;采取前馈控制后(图5),当 $b = 0.4\%$ 时, $\Delta P_0 \approx -0.4\text{MPa}$ 。两者对比,在采取协调控制后,负荷的变化速度提高了近20倍,效果十分显著。

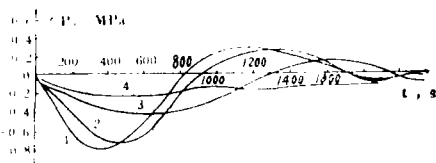


图 4 $K = 0$ 时, ΔP_0 的变化过程

1- $b = 0.1\%/s$ 2- $b = 0.05\%/s$ 3- $b = 0.02\%/s$
4- $b = 0.01\%/s$

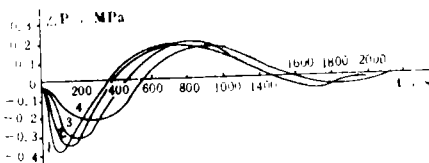


图 5 $K = 0.45$ 时 ΔP_0 的变化过程

1- $b = 0.4\%/s$ 2- $b = 0.2\%/s$ 3- $b = 0.1\%/s$
4- $b = 0.05\%/s$

四、硬件结构

机炉协调微机控制装置的硬件结构如图6所示。该装置由三台微机组成:一台IBM-PC/XT微机 and 二台SC-80/C工业控制微机。此外尚有三块A/D、D/A板(每块32路A/D、6路D/A)、12块模拟量光电隔离板(每块2路)、两块电平转换板(每块4路)、一块毫伏信号放大板(2路)、一块开关量光电隔离板(每块10路)、一块微机故障鉴别板(每块2路)、一块总线裁决板、两块电压电流转换板(每块3路)、一块模拟对象板、以及电源、步进电机驱动电源等。

在控制屏的面板上设有15个多圈电位器,可以在运行中调整系统中的各种参数,如功率给定信号处理中的阶跃量和变化率(即 a 值和 b 值)、最大功率限制 P_{max} 和最小功率限制 P_{min} 、压力 P_0 降低修正功率给定时死区和斜率、各PI调节功能中的放大倍数 K ,及积分时间常数 T_I 等等。

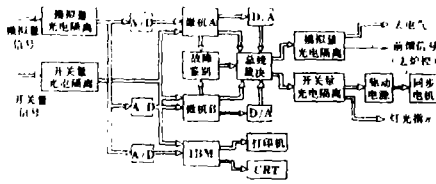


图6 机炉协调微机控制装置结构图

为了方便装置的整定，在控制屏中设有被控对象的模拟电路，在装置处于模拟试验状态时，可以进行系统的模拟试验，也可以用来作为运行人员的操作培训。

在装置正常工作时，由两套工业控制微机SC-801C为核心的系统对锅炉和汽轮机进行直接控制，IBM-PC/XT 微机起运行状态监视、数据采集与显示、参数越限报警、事故追忆等作用，每一套工业控制微机都能独立完成协调控制的任务，两套系统互为热备用。如果两套微机系统同时故障，经过短期的处理后，可以由IBM微机代替工业控制微机的工作。

由于在本装置中功率给定值可以有三种方式，即：由电网调度遥控(ADS)、在机炉协调方式下由值班员手动设定和完全手动操作。为了避免在三种方式相互切换时，由于给定值的不同设置而造成对机组的大幅度扰动，在本装置中机炉协调的功率给定电位器上设有电动跟踪系统，在ADS工作状态下电位器自动跟踪电网调度所设定的功率给定电压，在完全手动操作时跟踪机组的电功率，因此可以实现从ADS工作方式切换到值班员给定工作方式的无扰动切换，也可以在从完全手动操作方式切换到协调控制方式的无扰动切换。跟踪系统由一台SC-801C工业控制微机、一块8位A/D、D/A板、步进电机及其驱动电源等组成。

五、系统的可靠性及抗干扰措施

火电站工作环境有很强的电磁干扰，因此对微机控制装置的可靠性和抗干扰能力都

有很高的要求，在设计本系统时对此作了许多考虑，下面仅就这方面作简单阐述。

1. 双微机系统

为了提高系统工作的可靠性，在本装置中协调控制部分采用了双机容错系统，它包含两套完全相同的由SC-801C工业控制微机、12位A/D、12位D/A组成的微机控制系统。两套子系统同时通过各自的A/D和PIO口接受来自被控对象的模拟量和开关量信号，两套子系统的模拟量输出和开关量输出均挂在总线上，而由总线裁决器决定那一套子系统的输出可以通过总线输出，系统的原理如图7所示。

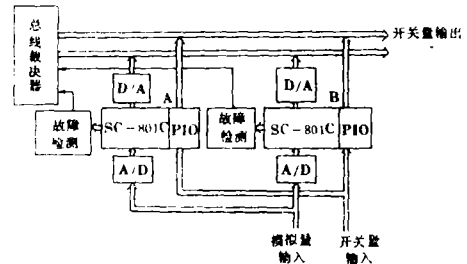


图7

两套子系统中任何一套都能独立完成全部控制功能，当二者能正常工作时，总线裁决器指定子系统A执行控制功能，子系统B处于热备用状态。当子系统A故障时，总线裁决器将总线从子系统A切换到子系统B，同时通过闪烁的指示灯发出报警信号。如果两套微机系统同时故障，则自动切断总线与两套子系统的联系，自动切换到手动操作。

微机的故障检查有一些常用的方法，如奇偶检查等，但这些方法一般只限于微机本身，并不涉及A/D、D/A等外围设备，而外围设备的故障对于控制系统的影响并不亚于微机本身的故障。可以通过通信方式来核对每一套微机的运算结果，以判断微机工作是否正常，但是对于双机系统如仅仅是一般性的差别，很难裁决那一套微机是正确的，那一套是错误的，为了解决这个问题，只能求

助于一个外部的判断标准。

微机故障检测的内容至少应包括：

- (1) 执行运算指令功能的检查；
- (2) 内存区所贮存数据的检查；
- (3) 外围设备 (A/D、D/A等) 功能的检查。

在本装置中对微机系统的检查采取了一种笼统的方式，即从A/D输入一个固定的电压，执行一定的运算程序，在运算程序中包括了算术运算、逻辑、赋值和转移指令，也调用了内存区中部分数据，将结果转换成一定幅值和宽度的脉冲，无论是 A/D 发生故障、执行程序中的错误、还是D/A的故障，都会引起输出脉冲幅度的改变。在本装置中微机故障检测板的功能就是检测该脉冲的幅度，如果脉冲消失，或者幅度误差超出预定范围，即可判断该子系统发生了故障。脉冲幅值的检查电路如图 8 所示。

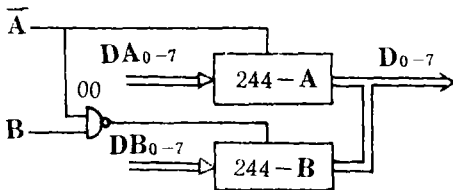


图 8 脉冲幅值的检查电路

图 9 是总线裁决器开关量部分的原理图。当微机子系统 A 和 B 均能正常工作时，

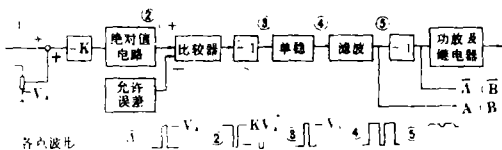


图 9 总线裁决器开关量原理图

$A = B = 1, \bar{A} = \bar{B} = 0$ 。所以 8 驱动器 74LS 244-A 的三态门开启，微机 A 的数字量输出 DA_{0-7} 与总线联通，而非门 74LS00 的输出为高电平，244-B 的三态门关闭。当 A 机故障时， $A = 0, \bar{A} = 1$ ，所以 244-A 的三态门

关闭，而非门 00 的输出成为低电平，244-B 的三态门开启， DB_{0-7} 与总线联通。

总线裁决器除了起切换作用外，在微机系统故障时还起报警的作用。

2. 软件再启动

在系统遇到干扰而打乱原来程序的执行次序时，有可能打乱堆栈中的内容（例如 PUSH POP 不配对），使之不能返回正确的地址，对此采取了下列措施：

(1) 在中断服务程序的开头将 SP 中的内容（即中断返回地址）弹出，保存起来，在中断返回前再压入 SP，保证中断返回地址不会出错。

(2) 将程序分为主程序、中断服务程序和工作程序三大部分。中断服务程序的功能只是修改返回地址，在第一次执行中断后，由中断服务程序将中断返回地址修改成工作程序的入口地址。由于 SP 的内容被修改，所以中断返回时将回到工作程序的入口而不是主程序。工作程序结束后再等待下一次中断，如此不断循环。由于中断服务程序很短，所以大大减少了受干扰破坏返回地址的可能。

3. 硬件再启动

为了防止微机受干扰被锁死的故障，在系统中设有硬件再启动电路，其原理如图 10 所示。在微机工作正常时，通过 PIO 口定时向再启动电路送出脉冲。由于单稳集成电路 122-1 的翻转时间 T_{w1} 大于脉冲周期 t ，所以 122-1 的输出将保持高电平，而单稳 122-2 由于没有触发脉冲，所以输出为恒定的低电平，晶体管截止，RESET 为高电平，程序正常进行。

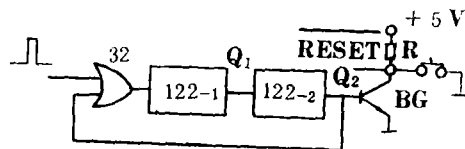


图 10 硬件再启动电路原理图

如果微机受干扰不能正常执行程序,不再向再启动电路送脉冲,因此经过一定时间后单稳 122-1 就自动复位,在它的输出端由高电平向低电平跳转时,触发单稳 122-2,使它输出高电平,晶体管 BG 导通,将工业控制微机 SC-801C 的 RESET 脚置为低电平,使微机复位。由于工业控制微机具有在复位后转向起始地址重新执行程序的功能,因此强制系统继续执行其工作程序。

4. 模拟量光电隔离

干扰信号对电路引入共模干扰电平,引起测量误差,在干扰电平较强时,则可能引起微机及其他设备的损坏。光电隔离是常用的使计算机与信号源隔离避免干扰影响的方法。由于模拟量电压信号的隔离电路一般漂移较大,影响精度,所以常用的方法是在 A/D 之后用开关量光电隔离电路将输入信号源与微机隔离。但是这种隔离方案其 A/D 部分仍与信号源共地,因此不能消除共模干扰,其 A/D 部分仍有可能因强干扰而损坏,只起到保护微机的作用。为了避免这些缺点,在本装置中采用了模拟量光电隔离电路,为了减少零漂和温漂,采取了特殊设计的电路。

一般的模拟量光电隔离电路是通过信号的强弱改变光电耦合器的导通程度来传递信号的,不可避免地会因 PN 结工作点的变化

而引起漂移。为了避免这个缺点,在本装置中模拟量光电隔离电路采取了脉冲宽度调制(PWM)的原理。如图 11 所示,输入电压 $V_{i.n}$ 改变振荡器的脉冲宽度,通过光电耦合器将脉冲送到另一侧,再通过滤波恢复成为模拟量电压信号输出。由于脉冲宽度受环境影响很小,所以这种电路的时漂、温漂和线性度都比较好。

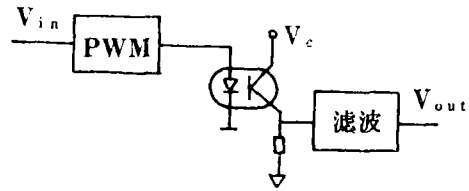


图 11 脉冲宽度调制原理图

除了以上措施以外,在可靠性方面还采取了微机浮地、输入信号的硬件软件滤波等多重措施。

参 考 文 献

- (1) 孙天月.前馈技术在协调控制系统中的应用.动力系统工程,1986,(2)
- (2) 重庆大学热力设备动态特性科研组.20万千瓦机组动态特性的数学模型及其模拟.电力技术,1983,(6)
- (3) 徐基豫等.模拟量光电隔离电路.电工技术杂志,1988,(5)

(下转第31页)

t_p ——达到第一个极值的时间 (s),
 t ——时间 (s)。

- [1] 李风.船用原动机调速系统的结构分析.热能动力工程, 1989, 4 (2): 15—20
 [2] 涂健.控制系统的数字仿真与计算机辅助设计.华中工学院出版社, 1985

参 考 文 献

Simulation of Speed Governing Systems for Marine Prime Movers

Lj Feng

(Dalian Ocean Transportation Institute)

Cai Xjao Yan

(Gongyuan Sensitive Material Manufacturing Company in Shantou City)

Abstract

This paper dealing with the simulation of speed governing systems for marine prime movers is the continuation of a previous paper "The Structural Analysis of a Speed Governing System for a Marine Prime Mover" (JETEP, Vol.4(20), 1989, 2, pp 15-20). It presents the step response characteristics of six systems being simulated and also the corresponding dynamic performance criteria, such as stability, damping criterion and fast response.

Key words: *marine engine, speed governing system, simulation*

(上接第27页)

Dnal Microcomputer-based Boiler-Turbine Coordinated Control System for a 200MW Generating Set

Xu Jiyu, Su Rongpej, Yu Daren

(Harbin Institute of Technology)

Yang Huanyi

(Harbin Steam Turbine Works)

Abstract

This paper presents the design version and control unit of a microcomputer-based coordinated control system for a home-made 200MW steam turbine and 670 t/h boiler. A detailed description is given of its working principle, simulation, hardware configuration and measures aimed at achieving reliability.

Key Words: *coordinated control, microcomputer-based control, boiler, steam turbine, simulation, reliability*