

AGC 模式下协调控制系统 PID 型并矢控制器的设计与优化

符慧林, 周洁, 申忠利, 刘康

(长沙理工大学 可再生能源湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114)

摘要: 本研究提出一种基于 PID-DC (PID 型并矢控制器) 的优化设计方法。所提出的 PID-DC 由常规 PID 控制器对角阵及其前后各一个常数阵构成, 对其常数阵根据对象模型的近似并矢展开式进行计算, 采用遗传算法对其参数进行寻优计算, 其目标函数为新提出的区间 ITSWE 指标。应用所提出的方法对某机组 70% 负荷工况点设计 CCS (锅炉与汽轮机的协调控制) 系统, 并以 100% 负荷工况点进行了鲁棒性检验, 获得了优良的 AGC (自动发电控制) 性能和鲁棒性能, 优于现有控制系统。

关键词: 多变量系统; 频域分析; 遗传算法; 积分性能指标

中图分类号: TK17 文献标识码: B
DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.03.019

引言

协调控制系统是单元制火力发电机组自动控制系统的核心, 也是现代电网自动发电控制的基础环节, 是一类典型的多输入、多输出、非线性、时变和强耦合控制系统^[1]。众多控制系统设计方法中, 胡克定给出了机组的数学模型^[2], 提出了频域鲁棒控制器设计的主导增益法; 李益国等从鲁棒预见性进行了一系列研究^[3], 提出了预测函数控制法^[4], 取得了较好的控制效果, 但控制器结构仍较为复杂。同时, 一些学者着手研究基于 PID 的 CCS 设计方法, 得到了非线性和自抗扰 PID 优化设计方法, 并提出了优化算法^[5-7], 但效果仍不理想。因此, 我国学者开始对英国学者 Owens 于 1970 年提出的基于频域的多变量控制系统设计 DE (并矢展开法) 进行研究^[8]。该方法的核心是采用 DE 或近似 DE 方法获

得对象传递函数阵的 DTM (并矢传递函数阵), 进而转化为多个单变量对象进行设计, 并且成功应用于核反应堆控制系统设计。马增辉等将并矢控制和鲁棒控制理论相结合^[9], 给出了鲁棒控制器加权函数的通用设计程序, 声称优于其它方法, 但也没有系统的给出控制器参数的设计和优化方法。

本研究在上述文献的基础上提出一种基于 PID 型并矢控制器的 CCS 设计方法, 所用控制器由常规 PID 控制器对角阵及其前后各一个常数阵构成, 其常数阵根据对象模型的近似并矢展开式进行计算, 而 PID 控制器参数采用众所周知的遗传算法进行寻优计算, 其目标函数为本研究所提出的区间 ITSWE 指标。

1 机组模型

汽轮机和锅炉是单元机组两大主要设备, 汽轮机动态响应快, 锅炉动态响应慢, 两者动态特性存在很大差异, 一般具有如下结构:

$$\begin{bmatrix} N_e(s) \\ P_T(s) \end{bmatrix} = [G(s)] \begin{bmatrix} \mu_B(s) \\ \mu_T(s) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $G(s)$ —机-炉两输入两输出传递函数阵模型; μ_B —锅炉负荷指令; μ_T —汽机主汽门调节阀开度; P_T —汽机调节阀前蒸汽压力; N_e —汽机输出功率。对不同的 CCS 而言, P_T 、 N_e 与 μ_B 、 μ_T 的具体配对关系略有差异。文献 [2] 所述 70% 负荷和 100% 负荷模型分别为:

收稿日期: 2015-03-17; 修订日期: 2015-05-18

基金项目: 湖南省科技厅科技计划项目 (2012FJ4251) 国家自然科学基金资助项目 (61304019); 湖南省自然科学基金资助项目 (13JJ4059)

作者简介: 符慧林 (1963-), 男, 湖南益阳人, 长沙理工大学副教授。

通讯作者: 周洁 (1990-), 女, 长沙理工大学研究生。

$$G_{Hu70} = \begin{pmatrix} \frac{2.116(457s+1)}{(221s+1)^2(21.8s+1)} & \frac{1.483s(150s+1)}{(63^2s^2+40s+1)(2.7s+1)} \\ \frac{1.649(275s+1)}{(168s+1)^2(11.5s+1)} & -0.818\left(0.1 + \frac{0.99}{97s+1}\right) \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$G_{Hu100} = \begin{pmatrix} \frac{2.069(311s+1)}{(149s+1)^2(22.4s+1)} & \frac{4.665s(99s+1)}{(58^2s^2+50s+1)(4.1s+1)} \\ \frac{1.265(205s+1)}{(128s+1)^2(11.7s+1)} & -1.42\left(0.4 + \frac{0.96}{1+70s}\right) \end{pmatrix} \quad (3)$$

由上述模型可见,该对象具有非线性、时变、强耦合等特性,常规设计方法已难以胜任。

2 基于近似并矢展开的优化设计方法

2.1 多变量传递函数阵的近似并矢展开

对象模型用传递函数矩阵描述为 $G(s)$:

$$G(s) = LM(\omega_1) DTM(s, \omega_1) RM(\omega_1) \quad (4)$$

式中: $LM(\omega_1)$ 和 $RM(\omega_1)$ —非奇异常数阵, $DTM(s, \omega_1) |_{s=j\omega_1 \pm \Delta(\omega)}$ ($\Delta(\omega)$ —某一个频率范围) 为强对角阵。设 $DTM(s, \omega_1)$ 的主对角元 — $d_i(s, \omega_1) |_{1 \leq i \leq m}$, 令

$$G_A(s, \omega_1) = LM(\omega_1) \text{diag}\{d_i(s, \omega_1)\} (1 \leq i \leq m) RM(\omega_1) \quad (5)$$

有 $G_A(s, \omega_1) |_{s=j\omega_1} = G(s) |_{s=j\omega_1}$, 也就是在 $\omega_1 \pm \Delta\omega$ 频段内 $G_A(s, \omega_1)$ 和 $G(s)$ 很接近, 或者说是在该频段内二者特征值很接近, 称 $G_A(s, \omega_1)$ 为 $G(s)$ 的近似并矢展开式, 并且可用 $G_A(s, \omega_1)$ 代替 $G(s)$ 进行控制系统的频域设计。

令 $\omega = \omega_1$, 有 $G(j\omega_1) = A(\omega_1) + jB(\omega_1)$, 其中 $A(\omega_1)$ 、 $B(\omega_1)$ 为 $m \times m$ 非奇异实数矩阵, 则有:

$$LM(\omega_1) = T(\omega_1) \quad (6)$$

$$RM(\omega_1) = T^{-1}(\omega_1) A(\omega_1)$$

式中: $T(\omega_1) = B(\omega_1) A^{-1}(\omega_1)$ 特征值, 称 ω_1 —近似频率展开点。

按照 Owens 的观点^[8], 频率点通常选在对象最小剪切频率 ω_c 附近, 本研究通过大量仿真实验得出, 在 $1.0^{-3}\omega_c < \omega_1 < \omega_c$ 的范围内选取较为适宜, 然后根据 DTM 阵的阶跃响应判断是否获得了合适的并矢展开式。合适的 DTM 阵具有阶跃响应特性, 其主对角元的稳态值远大于其它元的动态最大值, 其它元的稳态值接近于零。

2.2 基于并矢展开的控制器结构设计

定义 $G_{DC}(s)$ 为并矢控制器, 如果 $|G_{DC}(s)| \neq 0$, 则 $G_{DC}(s)$ 可展开为:

$$G_{DC}(s) = LK \times \text{diag}\{k_i(s)\} (1 \leq i \leq m) \times RK \quad (7)$$

式中: LK 、 RK — $m \times m$ 非奇异常数阵, 称为并矢控制器常数阵, $k_i(s) (1 \leq i \leq m)$ 为对角传递函数阵, 称为并矢控制器的控制器阵。PID 型并矢控制器 (简称 PID-DC), 即对角传递函数阵由常规 PID 控制器构成的并矢控制器。本研究采用并联型带输出滤波器的常规 PID 控制器, 采用实际微分, 如式 (8) 所示:

$$k_i(s) = \left(K_p + K_i \frac{1}{s} + \frac{K_d K_N s}{1 + \frac{K_N}{s}}\right) \frac{1}{T_f s + 1} \quad (8)$$

式中: K_p 、 K_i 、 K_d —比例、积分、微分系数; K_N —微分滤波器系数, 取为 100; T_f —控制器输出滤波器时间常数, 取为 1。

按式 (6) 将 $G(s)$ 近似并矢展开为式 (4) 或式 (5), 可得到 PID-DC 常数阵为:

$$LK = RM^{-1} \quad (9)$$

$$RK = LM^{-1}$$

由 PID-DC 负反馈控制系统结构图得到系统闭环传递函数阵为:

$$H(s) = [I_m + G(s) K(s)]^{-1} G(s) K(s) = LM \text{diag} \left\{ \frac{g_i(s) k_i(s)}{1 + g_i(s) k_i(s)} \right\}_{1 \leq i \leq m} LM^{-1} \quad (10)$$

显然, 闭环系统 $H(s)$ 的稳定性取决于 $h_i(s)$ 的稳定性:

$$h_i(s) = \frac{g_i(s) k_i(s)}{1 + g_i(s) k_i(s)} \quad (11)$$

式中: $g_i(s)$ — $DTM(i, i)$ 。

根据式 (11) 可以对 $g_i(s)$ 和 $k_i(s)$ 构成的单回路控制系统进行设计, 进而完成 PID-DC 设计。

2.3 并矢控制器的参数优化

本研究提出一种基于区间积分的误差加权型 ITSWE 指标:

$$ITSWE = \int_0^1 t \times (w \times e(t))^2 dt \quad (12)$$

式中: w —误差加权系数。

设某回路实际所能容许的偏差上限为 σ , 当偏差值大于某一阈值 $Th < \sigma$ 时, 取 w 为某一大于 1 的常数; 当偏差值小于某一阈值 $Th < \sigma$ 时, 取 w 为某一小于 1 的常数, 本研究采用后者。与常规 ITSE 不同, ITSWE 指标只对实际所关心的 t_0 时刻到 t_1 时刻的控制过程进行加权误差积分。

确定了 ITSWE 目标函数后, 就将 PID 阵的设计问题转换成求解 ITSWE 最小值的优化问题, 本研究提出了一种高效协同进化遗传算法求解该优化问题, 进而获得 PID 控制器参数。

3 仿真研究及分析

首先对 70% 负荷模型进行设计, 然后用 100% 负荷模型检验控制器鲁棒性能。

3.1 PID-DC 的设计

(1) 选取合适的 ω_1

根据对象传递函数矩阵模型, 从对象幅频特性

图可知系统最小剪切频率 $\omega_c = 0.0138$, 故取 $\omega_1 = 0.0115$, 经检验符合设计要求。

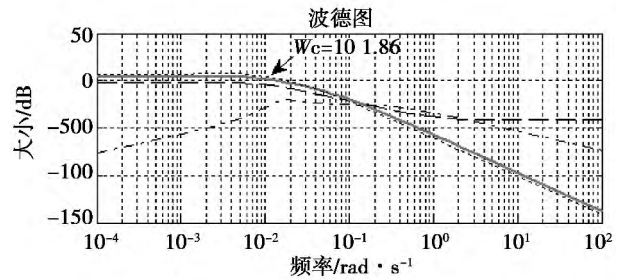


图 1 对象传递函数阵的幅频特性图

Fig. 1 Chart showing the amplitude - frequency characteristics of the object obtained by using the transfer function matrix

(2) 计算 LM、DTM、RM、LK、RK

根据式 (6)、式 (4) 计算 LM、DTM、RM, (9) 式计算 LK、RK。按照近似并矢展开法得到 LM、DTM、RM、DTM 相关系数如表 1 所示。对 LM、RM 求逆, 得到 PID-DC 常数阵:

$$LK = \begin{bmatrix} -1.924 & 152.570 & 701.8 & 0.035 & 551.389 & 622.868 \\ 0.840 & 637.007 & 714.30 & 2.1397 & 732.663 & 229.7 \end{bmatrix}$$
$$RK = \begin{bmatrix} 1.470 & 629.505 & 086.23 & 0.058 & 827.088 & 537.009 \\ 1.039 & 080.568 & 106.78 & 1.042 & 364.303 & 187.14 \end{bmatrix}$$

表 1 DTM 相关系数表

Tab.1 Table of the correlation coefficients relating to the DTM

70% /0.01Hu	s^{10}	s^9	s^8	s^7	s^6	s^5	s^4	s^3	s^2	s^1	s^0
DTM11. num	7.185e15	1.86e16	5.69e15	6.001e14	2.732e13	6.324e11	1.001e10	1.002e08	5.707e05	1.673	0.1023
DTM12. num	-5.438e13	1.632e16	2.786e15	1.626e14	4.526e12	7.065e10	7.706e08	6.467e06	3.561e04	101.1	-36.38
DTM21. num	5.198e15	1.346e16	3.518e15	1.743e14	4.681e12	7.812e10	9.54e08	7.912e06	5.348e04	182.9	0.1379
DTM22. num	-3.935e13	1.181e16	2.504e15	3.578e14	2.697e13	7.523e11	1.361e10	1.581e08	1.007e06	3047	3.225
DTM**. den	3.592e17	1.956e17	2.692e16	1.497e15	4.26e13	7.918e11	9.908e09	7.883e07	3.733e05	951	1

(3) PID-DC 中 PID 控制器参数的优化设计

根据 DTM(1,1)、DTM(2,2) 的特点, 将 PID 控制器进行单回路控制, P_t 、 P_e 的指令信号如图 2 所示。

图中, 斜坡信号的斜率分别为 0.15、-0.15, 起始时间分别为 500、1200 s, 饱和环节的上下限为 45, 死区环节的死区为 1。斜坡指令乘以 0.0533 后加上 14.3 作为汽压指令, 斜坡指令加上 210 后作为功率指令, 目标函数采用 ITSWE 指标, 计时起始值

为 10 s, 偏差绝对值小于 0.3 时权值 $W = 0.1$ 。PID 参数取值范围为:

$$0.1 < K_{p1} < 20, 0.00001 < K_{i1} < 0.2, 0 < K_{d1} < 20.$$

采用遗传算法求解最小 ITSWE, 适应度函数为 $100/ITSWE$, 种群规模为 30, 染色体长度为 24, 交叉概率 0.65, 变异概率 0.1, 进化代数 30, 针对汽压回路和功率回路分别进行优化, 最佳适应度分别为 1.2652、 3.1822×10^{-4} 时, 得到优化结果为:

$Kp1 = 19.9725; Ki1 = 0.199; Kd1 = 0.2371;$
 $Kp2 = 2.9585; Ki2 = 0.0031; Kd2 = 19.8705;$

适应度曲线如图 3 所示(代数是遗传算法里的专用术语,与该领域参考文献说法一致,如文献[7]所示)。

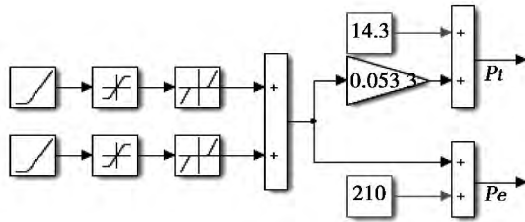
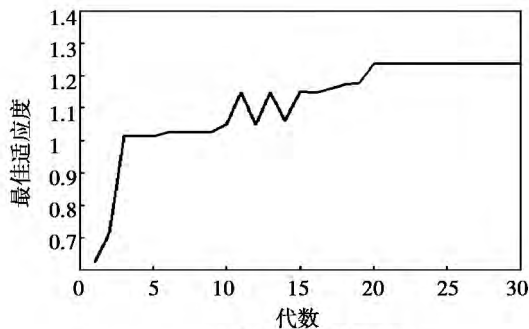
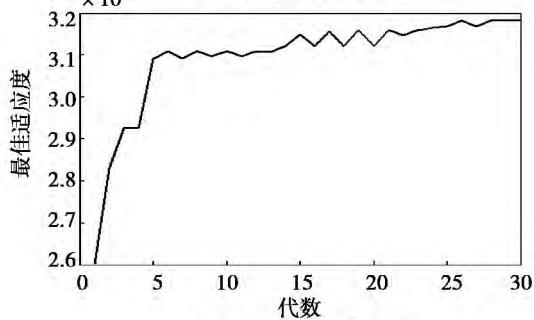


图 2 机组协调控制系统指令信号构成图

Fig. 2 Diagram of the composition of a command signal for the coordination control system of a unit



(a) 汽压回路优化结果



(b) 功率回路优化结果

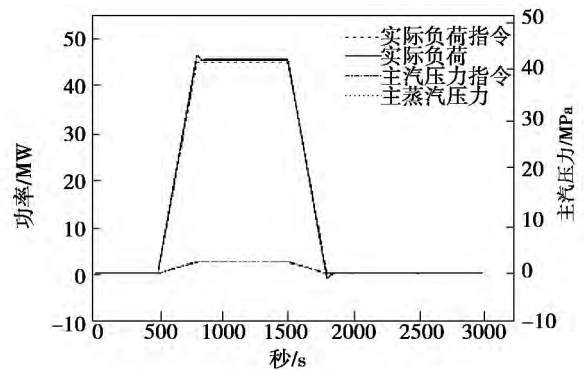
图 3 用遗传算法进行 PID 参数寻优的适应度曲线图

Fig. 3 Chart showing the curves of the adaptability to the PID parameters in optimum searching by using the genetic algorithm

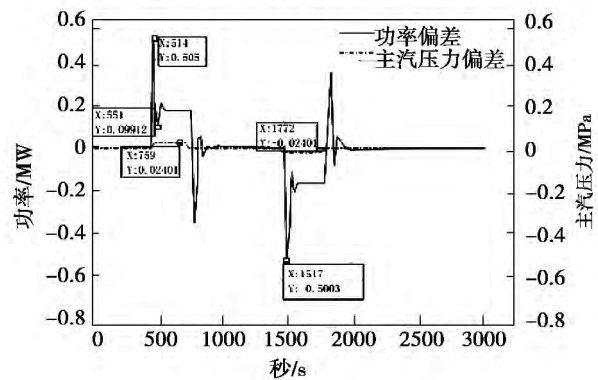
3.2 AGC 性能实验

按照 AGC 要求,以 3% BMCR(锅炉最大连续蒸发容量)/min 的增减率进行负荷变动实验,变动量

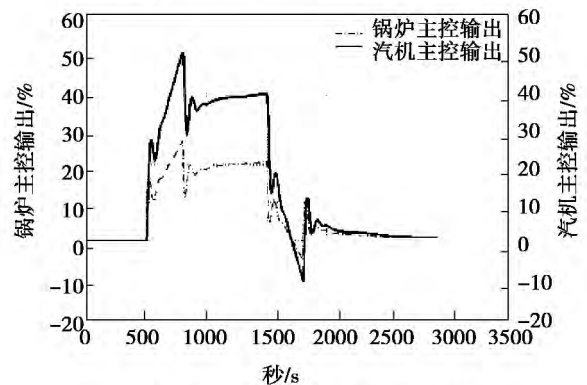
为 15% MCR。采用上节所获得的参数,70% 负荷模型下有关结果如图 4 所示。



(a) 负荷变动实验时实际负荷和主蒸汽压力



(b) 负荷变动实验时功率偏差和主汽压力偏差



(c) 负荷变动实验时锅炉和汽轮机主控输出

图 4 CCS 系统 AGC 性能实验

Fig. 4 AGC performance test of the CCS system

图中从 500 s 开始进行升负荷实验,在 514 s 时产生最大功率偏差,偏差值为 0.506 MW,在 7 s 内偏差值减少到 0.099 12 MW,表明峰值持续时间很短。升负荷期间,主汽压力偏差只有 0.024 01 MPa,完全在安全值范围内,且无波动。从 1 500 s 开始进行降负荷实验,与升负荷过程具有类似的性能。负荷升降期间,锅炉主控输出和汽机主控输出均较为平滑,

变动幅值和变动速率基本在设备允许范围之内,表明 AGC 性能具备可实现的基础。

3.3 控制器鲁棒性能实验

继续采用上节 PID 型并矢控制器,使用 100% 负荷模型进行负荷变动实验,如图 5 所示。不同负荷模型的间隙度虽然达到了 0.33,但是仍然取得了几乎一致的功率和汽压输出,只在负荷升降期间存在 1.89 MW 的功率偏差,表明该控制器有非常好的鲁棒性能。

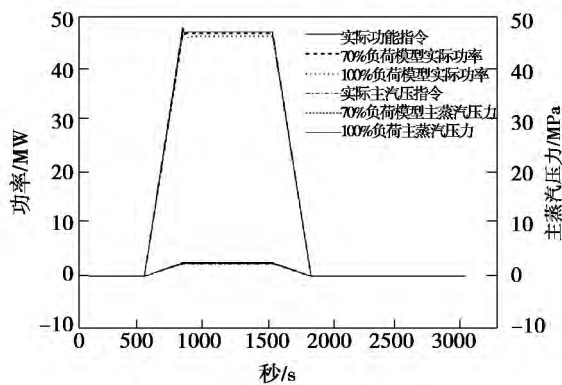


图 5 控制器鲁棒性能实验

Fig. 5 Robust performance test of the controller

3.4 CCS 系统抗干扰性能实验

机组运行过程中存在各种变化因素,主要包括煤种、大气环境温度、凝汽器循环水温度和运行过程中的吹灰动作等,这些因素的变化都将引起锅炉燃烧工况的变化。为此,在锅炉主控输出端引入一个增幅 5%、持续时间 300 s 的干扰信号模拟上述变化因素,以检验控制系统抗干扰能力,结果如图 6 所示。

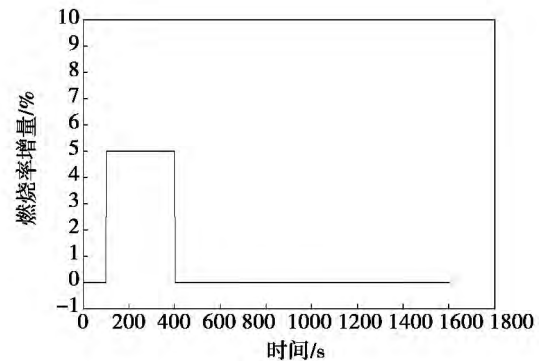
3.5 讨论与分析

多变量系统控制器参数优化存在目标函数的选取、自变量取值范围的确定、算法的数值性能等问题。

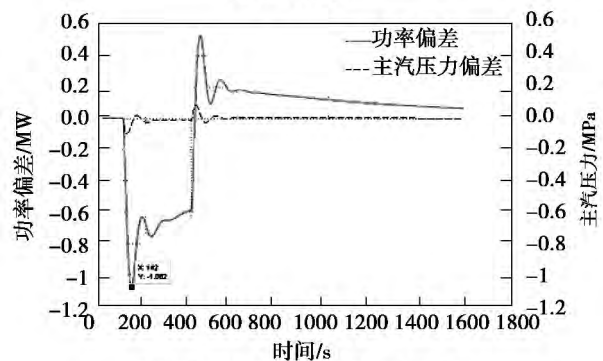
通过广泛研究多变量控制系统参数优化方法,发现针对本研究对象而言,存在以下不足:

(1) 指令信号的设计没有体现实际约束。对实际多变量系统而言,各指令值之间存在不同的幅值约束和耦合约束,并且具有不同的信号类型,多数设计方法忽略了这些约束,而仅仅采用阶跃指令信号,是使这些方法理论和实践之间存在误差的根本原因。

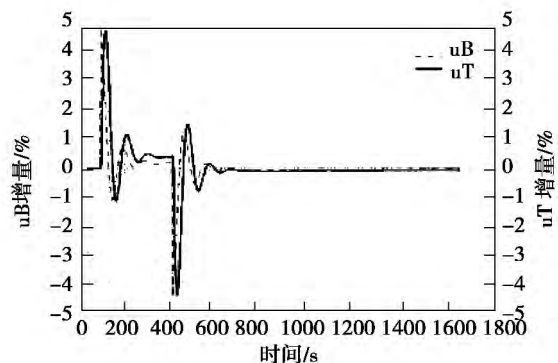
本研究对象的两个输入指令具有不同的幅值,且并不是最小幅值对应最小幅值,最大幅值对应最大幅值,导致按照单回路方法采用单位阶跃实验信号获得的优化结果难以直接用于多变量对象。



(a) 干扰信号



(b) 干扰信号下功率和主蒸汽压力偏差



(c) 干扰信号下锅炉负荷指令和汽机主汽门调节阀开度

图 6 CCS 系统抗干扰性能实验

Fig. 6 Anti-interference performance test of the CCS system

(2) 积分性能指标的计时过程忽略了手动投自动过程。对于多变量控制系统而言,各回路具有实际约束条件,并非在同一时刻投入自动控制,尤其难以同时从零初始时刻投入自动,因而适用于单回路的从零初始时刻计算性能指标的方法,不适合多变量对象。

量系统。对于本研究的 CCS 系统而言,一般都是首先进行手动运行,当锅炉侧产生的蒸汽温度、压力等符合汽轮机运行要求时进入汽轮机做功,经历缓慢的升负荷过程才能并网,稳定后才能投自动,并且存在炉跟机、机跟炉等多种形式,因而不能统一从零时刻开始计算积分性能指标。

(3) 忽略了多变量系统对控制品质的要求因控制变量而异的特点。对多变量系统而言,不同被控变量具体物理意义和参数量纲不同,通常具有不同的控制品质要求。对于本研究的 CCS 而言,容许的功率偏差值是以百分比表达的,而对汽压的要求是以压力值而不是百分比表达的。此外,对汽压而言只需满足安全性要求,而对功率而言则是无止境地追求更快的响应速度、更高的稳态精度、更小的动态偏差。由此可见,统一采用某一精度指标对待不同被控量的做法难以设计出满足实际要求的控制系统。

在上述分析的基础上,本研究提出 ITSWE 指标,通过对误差进行加权,并且只对有实际意义的某一具体时间段进行积分,适宜于用作多变量系统优化设计的目标函数。

4 结 论

(1) 基于 Owens 提出的多变量控制系统并矢展开设计方法,提出了 PID-DC 的概念,是多变量 PID 控制器的一个发展。

(2) 发现了多变量系统设计中普遍存在测试信号和目标函数设计不合理的问题,指出了多变量控制系统设计的独特性,并提出了基于区间积分的 ITSWE 指标,为控制系统的设计从理论走向实践提供了极为关键的桥梁,具有普遍意义。

(3) 应用 PID-DC 控制器和 ITSWE 指标,采用遗传算法对 CCS 系统进行了优化设计,在 70% 和 100% 负荷模型下均获得了优越的 AGC 控制品质,满足最新的 AGC 考核细则,鲁棒性能良好,所用方法简单易行,具有重要的工程实用价值。

参考文献:

[1] 周红英. AGC 新模式下协调控制系统的分析及改进[J]. 华北

电力技术 2010 (04): 32-36.

ZHOU Hong-ying. Analysis and improvement of a coordination control system (CCS) in a new AGC mode [J]. North China Electric Power Technology 2010 (04): 32-36.

[2] 胡克定,钱钟韩,等. 单元机组协调控制的一种频域设计方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 1989 (01): 69-77.

HU Ke-ding, QIAN Zhong-han, et al. A frequency-domain design method for the coordination control of a single unit [J]. Journal of South East University (Natural Science Edition), 1989 (01): 69-77.

[3] 李益国,沈炯,薛景岩,等. 火电机组负荷多模型鲁棒预见控制方法[J]. 热能动力工程 2004 (02): 186-190.

LI Yi-guo, SHEN Jiong, XUE Jing-yan, et al. Multi-model robust prediction method for controlling the load of a thermal power plant [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2004, 20(02): 186-190.

[4] 侯国莲,刘洋,张建华. 预测函数控制在火电厂单元机组协调控制系统中的应用[J]. 动力工程 2005 (02): 239-243.

HOU Guo-lian, LIU Yang, ZHANG Jian-hua. Applications of the predictive functional control in monoblock unit coordinated control systems in thermal power plants [J]. Power Engineering, 2005, (02): 239-243.

[5] 顾红艳,李东海,等. 单元机组的非线性协调控制器[J]. 动力工程 2007 (04): 541-544.

GU Hong-yan, LI Dong-hai, et al. Nonlinear coordinated controllers for use in monoblock units [J]. Power Engineering, 2007 (04): 541-544.

[6] 薛亚丽,李东海,吕崇德. 基于遗传算法的机炉协调系统 PID 控制器优化[J]. 热能动力工程 2006 (01): 80-83.

XUE Ya-li, LI Dong-hai, LYU Chong-de. Optimization of a PID controller in a turbine-boiler coordination system based on the genetic algorithm [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2006, 21(01): 80-83.

[7] 谢 谢,曾德良,等. 基于遗传算法的协调控制系统鲁棒 PID 参数寻优[J]. 动力工程学报 2010 (12): 937-940.

XIE Xie, ZENG De-liang, et al. Optimization searching for the robust PID parameters of a coordinated control system based on the genetic algorithm [J]. Power Engineering, 2010 (12): 937-940.

[8] Owens, D. H. Dyadic approximation about a general frequency point[J]. Electronics Letters, 1975, 11(15): 331-332.

[9] 马增辉,刘长良,等. 单元机组负荷协调系统的并矢鲁棒控制[J]. 系统仿真学报 2014 (12): 2964-2968.

MA Zeng-hui, LIU Chang-liang, et al. Dyadic robust control over a monoblock unit by using a load coordinated system [J]. Journal of System Simulation, 2014 (12): 2964-2968.

(陈 滨 编辑)

AGC 模式下协调控制系统 PID 型并矢控制器的设计与优化 = **Design and Optimization for PID Type Dyadic Controller of Coordinated-Control System under AGC Mode** [刊, 汉] FU Hui-lin, ZHOU Jie, SHEN Zhong-li, LIU Kang (Key Laboratory of Hunan Province on Power Technology of Renewable Energy Sources, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan Province, China, Post Code: 410114) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016, 31(3). -114-119

This paper presented a kind of optimized design method based on PID Type Dyadic Controller (PID-DC). The proposed PID-DC was composed of a conventional PID controller diagonal matrix as well as each constant matrix separately on the front and back of the diagonal matrix. The constant matrices were determined by the approximate dyadic expansion equation for the object model, and the parameters were computed and optimized by ways of the genetic algorithm with its objective function being of ITSWE index. In addition, by utilizing the proposed method to design CCS system for a certain unit under the operating condition of 70% load and conducting the robustness test under the operating condition of 100% load, the excellent AGC and robustness performances can be obtained, which proves that the proposed method is better than existing control method. **Key words:** multivariable system, frequency domain analysis, genetic algorithm, integral performance index

富燃料区喷氨降低 NO_x 排放浓度的热态试验研究 = **Study on Hot-state Test of Reduction of NO_x Emission Concentration by Injecting NH_3 in Fuel-rich Zone** [刊, 汉] RONG Yan-yan, BI De-gui, LI Ming-qiang (School of Environment and Building Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093), ZHANG Zhong-xiao (School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016, 31(3). -120-124

The technical renovation and modernization were made for a 75 t/h pulverized coal fired boiler of a certain thermal power plant with the purpose of reducing the NO_x emission concentration. By a hot-state test for the modified pulverized coal fired boiler, the influences of NH_3/NO_x ratio (NSR), O_2 concentration and temperature on the denitration efficiency were studied in this paper. The test results indicate when NSR is 1.5, the technology of injecting NH_3 in fuel-rich zone can lower the NO_x emission concentration to about 50% on the basis of the air classification technology reform; When the temperature in the area of injecting NH_3 is higher than 1200 °C, NO_x emission concentration will increase; When NSR is 1.5 and NH_3 is injected from the four corners, about 70% denitration efficiency can be achieved by the means of combination of the air classification technology and the technology of injecting NH_3 .