

用 FCGA 优化的锅炉给水自适应模糊控制系统的设计

窦春霞

(燕山大学 电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 针对汽包锅炉给水过程的特点, 设计自适应模糊控制器, 并采用一种模糊控制的遗传算法将控制器的隶属参数进行优化。理论分析和仿真结果都表明该方案对解决汽包锅炉给水内扰动特性的延迟及蒸汽流量和热负荷扰动时的“虚假水位”有显著效果, 具有快速的实时性和强的鲁棒性, 有工程实用价值。

关键词: 自适应; 模糊控制; 遗传算法; 鲁棒性

中图分类号: TK223.5; TP273. 文献标识码: B

1 引言

汽包给水反映了汽包锅炉蒸汽负荷与给水量之间的平衡关系, 是锅炉运行中非常重要的监控参数, 保持汽包水位正常是保证锅炉和汽轮机安全运行的必要条件。然而汽包水位控制是锅炉控制系统的一个难点, 这是由于汽包给水系统本身存在着诸多复杂扰动因素, 且这些扰动都不同程度地导致“虚假水位”现象的存在, 尤其是系统在低负荷情况下出现不同程度的时滞及非最小相位行为。锅炉水位控制系统的复杂特点使得其常规的 PID 控制器难以获得良好的控制效果, 其它经典的控制方法在对付这些控制难点时也都显得无能为力^[1~3]。众所周知, 模糊控制是当今控制领域中令人瞩目的新的控制方法和技术, 它无需建模, 只通过把专家的经验和控制策略总结成若干规则, 采用简便、快速、灵活的手段, 来完成那些用经典和现代控制难以实现的自动化和智能化的目标, 因而在多个领域中得到越来越广泛的应用^[4]。但由于常规模糊控制器的控制规则是根据现场操作人员或专家的经验总结出来的, 其语言规则和合成推理往往是固定的, 从而使模糊控制缺乏适应性和完整性, 使其应用有一定的局限性^[5]。为了保持模糊控制的简便、灵活和快速性, 加强模糊控制的自适应性, 本文采用模糊控制的遗传算法优化模糊控制器的隶属参数, 该遗传算法的交叉概率和突

变概率在搜索进程中由模糊规则控制, 其目的是提高模糊控制的适应性, 强化渐进收敛和进化能力, 满足系统控制的适应性和实时性要求, 实现了锅炉这一复杂系统的自适应控制。该方案在 220 t/h 锅炉水位控制系统中进行了仿真, 结果证实了该方案具有强的鲁棒性、实时性和可行性。

2 加权模糊控制器设计^[6]

引起汽包锅炉水位变化的扰动因素有三种:

给水流量扰动——来自给水调节阀开度变化、给水压力变化、给水泵转速波动等引起锅炉给水流量改变的一切因素。

蒸汽流量扰动——是指汽轮机负荷变化而引起的蒸汽流量的变化, 它使水位发生变化, 产生严重的“虚假水位”。

炉膛热负荷扰动——主要由锅炉燃烧率的变化改变了蒸发强度而引起的, 它影响锅炉的输出蒸发流量和汽水容积中气泡体积。由于气泡体积的增量较小, 所以产生的“虚假水位”无论在幅值或变化速度上都相对较小。

针对锅炉给水系统的前两种扰动, 设计一种加权模糊控制系统, 如图 1 所示。

e_1 为参考模型的输出 H_m 和被控对象的输出 H 的差值, 即为设定水位与汽包实际水位的偏差; \dot{e}_1 为 e_1 的变化率; e_2 为主控入水阀与调汽门开度偏差, 即气泡入水量与出水量的偏差; e_3 为入水流量与理想值的偏差。最后主控入水阀开度是由三个相互独立的模糊控制器的输出量加权决定的, w_1 、 w_2 和 w_3 分别为加权系数, 这三个模糊控制器分别考察了汽包水位、汽水流量平衡和实际输出功率。

e_1 、 \dot{e}_1 、 k_{11} 、 k_{12} 的隶属函数如图 2 所示。

收稿日期: 2002-04-20; 修订日期: 2002-09-02

作者简介: 窦春霞(1967-)女, 黑龙江肇东人, 燕山大学博士研究生。

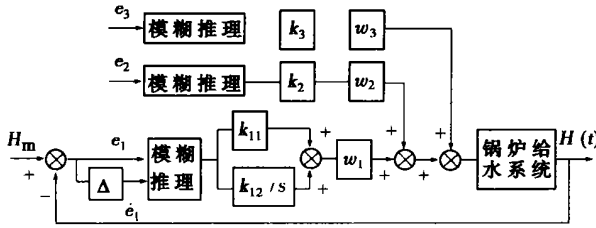


图 1 加权模糊控制系统

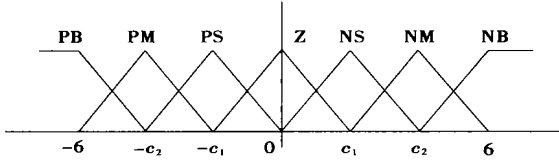


图 2 隶属函数曲线

需要优化的隶属参数为 $c_1(e_1)$ 、 $c_2(e_1)$ 、 $c_1(e_1)$ 、 $c_2(e_1)$ 、 $c_1(k_{11})$ 、 $c_2(k_{11})$ 、 $c_1(k_{12})$ 、 $c_2(k_{12})$ 。

k_{11} 、 k_{12} 的模糊控制规则见表 1 和表 2。

e_2 、 k_2 、 e_3 和 k_3 的隶属函数如图 3 所示。

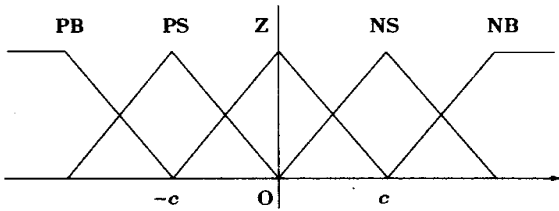


图 3 隶属函数曲线

表 1 k_{11} 的模糊控制规则

e	e						
	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PB	PB	PS	0	NS
PM	PB	PB	PM	PM	PS	NS	NM
PS	PB	PM	PS	PS	0	NM	NM
Z	PB	PM	PS	0	NS	NM	NB
NS	PM	PM	0	0	NS	NM	NB
NM	PM	PS	NS	NS	NM	NB	NB
NB	PS	0	NS	NM	NS	NB	NB

表 2 k_{12} 的模糊控制规则

e	e						
	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PB	PS	0	NM	NB
PM	PM	PB	PB	0	NS	NM	NB
PS	PB	PM	PM	0	NS	NM	NB
Z	PB	PM	PM	NS	NM	NM	NB
NS	PB	PM	PS	NM	NM	NM	NB
NM	PB	PM	PS	NM	NB	NB	NB
NB	PB	PM	0	NB	NB	NB	NB

需要优化的隶属参数为 $c(e_2)$ 、 $c(k_2)$ 、 $c(e_3)$ 和 $c(k_3)$ 。

k_2 和 k_3 的模糊控制规则见表 3。

表 3 $k_2(k_3)$ 的模糊控制规则

$e_2(e_3)$	PB	PS	Z	NS	NB
$k_2(k_3)$	PB	PS	Z	NS	NB

采用最大—最小模糊推理方法和重心法来解决模糊。

3 模糊控制遗传算法 (FCGA) 的实现

FCGA 主要是设置了交叉控制器和突变控制器，并能在最优化过程中自动修改交叉率与突变率。模糊逻辑交叉控制器和模糊逻辑突变控制器可独立地进行交叉率与突变率的适应性调整，这也是 FCGA 与传统遗传算法的主要差别。传统上，交叉由随机数发生器来随机决定。本文中，遮盖物已被设计好以决定交叉点。遮盖物由随机数发生器随机产生，其长度等于染色体长度。只当遮盖物上的位数得二进制数字 1，交叉将在这一点产生，否则，交叉会被遮盖，并且部分染色体将被复制给它的子孙。这种策略能加快父母样本之间的信息交流。同时，在最优化过程中模糊逻辑控制器将自动调整交叉可能性。交叉可能性的启发式更新原理是：如果群体中平均适应值水平的差别超过了规定范围，并且大于零和在连续的几代中保持不变，提高交叉可能性，否则降低交叉可能性。如果群体中平均适应值水平的差别接近于零，应大幅度提高交叉可能性。这里交叉控制器的输入是时刻 t 的平均适应值水平的差别 $\Delta f(t)$ 和时刻 $t-1$ 的平均适应值水平的差别 $\Delta f(t-1)$ ，输出是交叉可能性的差别 $\Delta c(t)$ 。

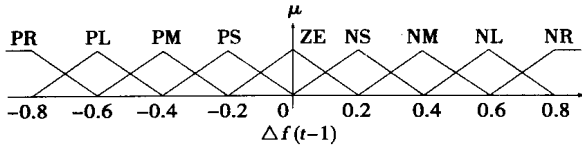
突变过程取决与突变发生率的随机性，并且突变点随机出现。突变率在优化过程中根据模糊逻辑控制器可被自动修改，模糊逻辑控制器的输入与交叉模糊控制器的相同，其输出是突变率的差别。用于修改突变率的启发式信息是：如果平均适应值水平的差别在连续几代中都很小，那么提高突变率直到平均适应值水平的差别增加为止。如果平均适应值水平的差别下降，突变率应下调。同样，当平均适应值水平的差别接近于零时，则应大幅度提高突变率。

3.1 交叉模糊控制器的设计

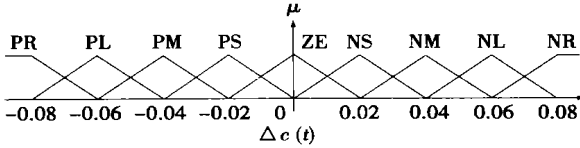
如上所述，交叉控制器的输入是 $\Delta f(t)$ 和 $\Delta f(t-1)$ ，输出是交叉可能性的差别 $\Delta c(t)$ 。 $\Delta f(t)$ 、 $\Delta f(t-1)$ 的隶属函数如图 4(a) 所示； $\Delta c(t)$ 的隶属函数

如图 4(b) 所示。

图 4 中, NR 为极大正值; NL 为较大正值; NM 为一般正值; NS 为较小正值; ZE 为零; PS 为较小负值; PM 为一般负值; PL 为较大负值; PR 为极大负值。



(a) $\Delta f(t), \Delta f(t-1)$ 的隶属函数曲线



(b) $\Delta c(t)$ 的隶属函数曲线

图 4

模糊控制规则由于文章篇幅关系, 不再论述。

这里采用最大—最小模糊推理方法和重心法来解模糊。

3.2 突变模糊控制器的设计

突变模糊控制器的设计与交叉模糊控制器的设计不同之处是突变模糊控制器的输出为 $\Delta m(t)$, 其它设计均相同。

模糊控制的遗传算法的组合形成了 FCGA, 如图 5 所示。

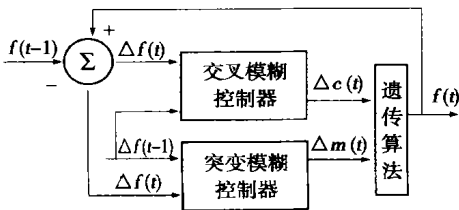


图 5 模糊控制的遗传算法的组合策略

4 仿真研究

在 220 t/h 锅炉水位控制系统中投入自适应模糊控制器, 需要用遗传算法优化的隶属函数为 $c_1(e_1), c_2(e_1), c_1(e_1), c_2(e_1), c_1(k_{11}), c_2(k_{11}), c_1(k_{12}), c_2(k_{12}) \in [0.00, 6.00]$; 此时, m 取 9; r 取 8; 字符串 72 位; 种群样本数 100。

$c(e_2), c(k_2), c(e_3)$ 和 $c(k_3) \in [0.00, 1.00]$; m 取 8; r 取 4; 字符串 32 位; 种群样本数 50。

表 4 不同负荷时的最优隶属函数

负荷 MW	$c_1(e_1)$	$c_2(e_1)$	$c_1(e_1)$	$c_2(e_1)$	$c_1(k_{11})$	$c_2(k_{11})$	$c_1(k_{12})$	$c_2(k_{12})$
140	1.85	4.10	1.95	4.20	1.97	4.31	1.99	4.33
200	1.81	4.20	1.92	4.35	1.95	4.33	1.98	4.35

表 5 不同负荷时的最优隶属函数

负荷 MW	$c(e_2)$	$c(k_2)$	$c(e_3)$	$c(k_3)$
140	0.45	0.64	0.44	0.66
200	0.48	0.60	0.48	0.64

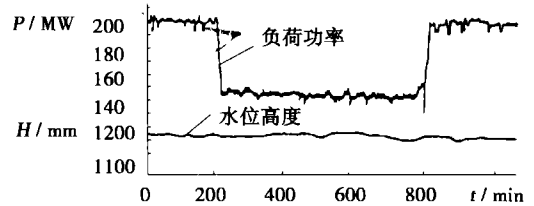


图 6 机组变工况下仿真曲线图

仿真曲线如图 6 所示。仿真结果表明, 不仅正常负荷稳定情况下水位高度能保持波动范围在 ± 50 mm, 而且在机组调峰, 负荷发生较大变化情况下, 约为 15 min 由 140 MW 升到 200 MW (4 MW/min) 或 200 MW 降到 140 MW (4 MW/min), 仍能保持波动范围在 ± 50 mm, 有效地满足了实际控制的要求。

5 结 论

本文设计的自适应模糊控制的突出特点是在用模糊控制实现基于专家控制策略和经验的模糊规则的同时, 采用模糊控制的遗传算法优化了模糊控制器的隶属参数, 增强模糊控制的适应性和完整性, 且该遗传算法加速了搜索的收敛速度, 满足了系统实时性要求, 控制方法简练、快速和灵活。仿真表明该控制具有强的鲁棒性、实时性, 即使调峰机组在变工况下(大范围变负荷下)保持了良好的控制性能和运行效果。

参考文献:

[1] KUIPERS B J. QUALITATIVE REASONING. Modeling and simulation with incomplete knowledge[M]. Cambridge, MA MIT Press, 1994.

[2] DE KLEER J, BROWN J. A qualitative physics based on confluences [J]. *Artificial Intelligence*, 1984, 24: 7—83.

[3] FORBUS. Qualitative process theory [J]. *Artificial Intelligence*, 1984, 20: 2—4.

[4] 刘向杰. 模糊控制在电厂锅炉控制中的应用现状及前景 [J]. *电网技术*, 1998, 22(11): 4—9.

变偏置双交叉限幅燃烧控制系统设计及应用研究

李来春¹, 邓彩霞², 杨明极¹

(1. 哈尔滨理工大学 测通学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;

2. 哈尔滨工程大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 在双交叉限幅燃烧控制系统的基础上, 针对船用蒸汽动力装置主锅炉负荷变化频繁及幅度大的运行特点, 设计了一种变偏置双交叉限幅燃烧控制系统, 并对所设计的变偏置双交叉限幅燃烧控制系统在船用主锅炉燃烧控制系统中的应用进行了仿真实验研究, 给出了变偏置函数的最佳取值范围。

关键词: 船用主锅炉; 变偏置; 双交叉限幅; 控制系统

中图分类号: TK229; TK223.7 文献标识码: A

1 引言

船用蒸汽动力装置受船舶航行特点的决定, 主锅炉的负荷不但变化频繁, 而且变化幅度大, 一般负荷变化范围为 10%~100%。这就对主锅炉燃烧控制系统提出了非常高的要求, 首先要求燃烧控制系统具有良好的快速性, 即控制系统跟踪负荷变化的响应速度要快; 其次要求燃烧控制系统具有良好的经济性, 即主锅炉无论升负荷还是降负荷都要求具有较佳的风/油配比, 即不冒黑烟也不冒白烟。双交叉限幅燃烧控制系统由于采用燃料量与空气流量之间相互制约, 并限制过剩空气系数 μ 的瞬态变化的控制方法, 可以保证锅炉具有较高的燃烧效率, 因此具有良好的经济性, 同时也具有较好的安全性, 因此双交叉限幅燃烧控制系统目前在电站锅炉和工业锅炉上已经获得应用。但是, 双交叉限幅燃烧控制系统是用牺牲控制系统跟踪负荷变化的响应速度, 来换取燃料量与空气流量之间相互制约, 并限制过剩

空气系数 μ 的瞬态变化, 从而达到节约能源的目的。双交叉限幅燃烧控制系统特别适用于负荷基本稳定, 变化缓慢的锅炉, 这种控制系统显然不能满足船用主锅炉对变负荷快速性的要求。对双交叉限幅燃烧控制系统的原理分析可知, 影响控制系统响应性能的主要参数是限幅中的偏置值的选取, 由于双交叉限幅燃烧控制系统中偏置值采用了固定常数, 偏置值越大, 变负荷时系统响应速度越快, 但系统经济性会有所降低; 反之, 偏置值越小, 系统响应速度越慢, 但系统经济性会有所提高。由此得到启示, 若控制系统中偏置值不采用固定常数, 而是根据系统中某些参数的变化情况动态地进行改变, 于是在双交叉限幅燃烧控制系统的基础上, 通过对偏置值进行动态改变的设计, 便产生了变偏置双交叉限幅燃烧控制系统, 该控制系统兼顾了变负荷响应性能和经济性。

2 船用主锅炉变偏置双交叉限幅燃烧控制系统的设计

针对船用主锅炉的运行特点, 在双交叉限幅燃烧控制系统的基础上, 结合船用主锅炉燃烧系统的实际情况, 设计的变偏置双交叉限幅燃烧控制系统原理图, 如图 1 所示。本控制系统设计的重点在于变偏置函数的设计及变量的选取。船用主锅炉燃烧控制的目的是控制锅炉出口过热蒸汽压力为给定值, 以便适应主机负荷的变化要求。因此, 图 1 中将主蒸

收稿日期: 2002-04-02

作者简介: 李来春(1963-), 男, 吉林榆树人, 现在哈尔滨·第七 0 三研究所工作, 研究员。

[5] 张乃尧. 用遗传算法优化模糊控制器的隶属度参数[J]. 电气自动化, 1996(1): 4-6.

[6] 罗万金. 电厂热工过程自动调节[M]. 北京: 水利电力出版社, 1996.

ture of a Membrane Water-wall [刊, 汉] / LI Zhi-hong, LIU Shi (Institute of Engineering Thermophysics under the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100080), LIU Wen-tie (College of Energy Sources under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 173—176

By using a finite difference method a numerical calculation was performed of the temperature field distribution of membrane water-walls with rectangular fins and fillet welded fins. Concerning the above two kinds of finned tube waterwall the influence of such factors as fin size, heat flow density, working medium heat-exchange factor on wall temperatures are analyzed. Also discussed is the relationship between tube pitch and allowable wall temperature. Moreover, pertinent calculation procedures were worked out. All of the above may serve as reference information for the design and operation of boilers. **Key words:** membrane water wall, heat transfer, temperature field

离心叶轮过流截面沿流程变化的计算方法= A Method for Calculating the Changes of Flow Channel Section of a Centrifugal Impeller along Its Flow Path [刊, 汉] / CHEN Ying, LI Yan-tao, GAO Hui-ying (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 177-179

A method for calculating the variation of flow channel section of a centrifugal impeller along its flow path was obtained through a geometric analysis and strict mathematical deduction of the impeller flow path, thus providing an analytical solution of the flow channel section. In a specific engineering case a design method based on the above approach was employed followed by an adjustment of the impeller design. With the elimination of gas-flow separation phenomenon and the realization of higher impeller efficiency one can conclude that relatively good results have been achieved. **Key words:** centrifugal compressor, flow path, flow channel section

用FCGA 优化的锅炉给水自适应模糊控制系统的设计= The Design of a FCGA (Fuzzy Control Genetic Algorithm) Optimization-based Self-adaptive Fuzzy Control Scheme for a Boiler Feedwater System [刊, 汉] / DOU Chun-xia (Electric Engineering Institute under the Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei Province, China, Post Code: 066004) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 180—182

Taking account of the specific features of the water feeding process for a drum boiler, the authors have designed a type of self-adaptive fuzzy controller with its subordinate parameters being optimized by the use of a fuzzy control-based genetic algorithm. The results of a theoretical analysis and simulation indicate that the control scheme under discussion is highly effective in solving a variety of problems. The latter include the delay of inner perturbation characteristics of boiler feedwater and the emergence of "false water level" during steam flow rate and thermal load disturbances. The method features rapid adaptability and exceptional robustness, enjoying a high potential for engineering applications. **Key words:** self-adaptation, fuzzy control, genetic algorithm, robustness

变偏置双交叉限幅燃烧控制系统设计及应用研究= The Design and Applied Research of a Combustion Control System Featuring Variable Offset and Dual-crisscross Amplitude Limit [刊, 汉] / LI Lai-cun, YANG Ming-ji (Survey and Communications College under the Harbin University of Science and Technology, Harbin, China, Post Code: 150040), DEN Cai-xia (Automation College under the Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 183—186

Based on a combustion system featuring dual-crisscross amplitude limit and in the light of high frequency and wide range of load changes specific to the main boiler of a steam propulsion plant the authors have designed a combustion control system characterized by a variable offset and dual-crisscross amplitude limit. In addition, the application of the above-mentioned control system in the combustion control of a marine main boiler has been studied through simulation tests with an