

基于 PID 型模糊神经网络的火电站汽包压力控制

陈彦桥, 王印松, 刘吉臻, 曾德良

(华北电力大学 动力工程系, 河北 保定 071003)

摘要: 为克服火电站燃料-汽包压力调节对象的非线性、时变和纯迟延特性, 采用含自回归神经元的 PID 型模糊神经网络作为汽包压力控制器, 进行协调控制系统的设计. 仿真研究表明, 这种初值易选、学习能力较强的模糊神经网络控制器可以克服该对象的时变性和随机性干扰, 大大改善控制品质.

关键词: 汽包压力; PID 型模糊神经网络; 自学习; 时变性

中图分类号: TP273.22 **文献标识码:** A

Drum pressure control based on PID-type fuzzy neural network in fossil-fired electric power station

CHEN Yan-qiao, WANG Yin-song, LIU Ji-zhen, ZENG De-liang

(Department of Power Engineering, North China Electric Power University, Hebei Baoding 071003, China)

Abstract: In order to overcome the nonlinearization, time-variability and pure lag of fuel-drum pressure control loop in the power station, a PID-type fuzzy neural network with a self-regress nerve cell was proposed as the drum pressure controller in the coordinate control system. The simulation research shows that the time-variability and random disturbance can be overcome by the controller, which is easy to select the initial value and capable of self-learning and thus considerably improves control quality.

Key words: drum pressure; PID-type fuzzy neural networks; self-learning; time-variable

1 引言(Introduction)

火电站单元机组协调控制系统中的燃料-汽包压力控制对象具有非线性、时变、大迟延的性质^[1~3]. 目前传统的燃料-汽包压力控制方式基本上采用的是 PID 加前馈补偿, 远远满足不了控制的要求. 在汽包压力控制回路中使用诸如模糊控制器这样的非线性控制器, 可以大大改善汽包压力控制的品质^[4~6]. 但是, 一般模糊控制器不具有自学习功能, 因而无法适应机组的变工况和参数时变特性. 采用神经网络构成的模糊控制器却可以解决这一难题.

为了实现文献[7]提出的模糊推理系统, 文献[8]提出了一种特殊类型的 PID 型模糊神经网络, 它是一个 5 层的前馈型神经网络; 作为控制系统的一个自学习控制器, 它的每层及每层中的各个神经元都有明确的物理意义, 各层的初始权值可根据对应的模糊控制器来唯一的确定, 克服了神经网络权值随机选取的缺点.

本文采用这种模糊神经网络做为火电单元机组

协调控制中燃料-汽包压力控制回路的控制器, 通过对文献[1]中的单元机组非线性模型进行仿真研究, 证明了此控制器具有良好的自学习、鲁棒和抗干扰性能.

2 PID 型模糊神经网络控制器 (PID-type fuzzy neural network controller)

2.1 PID 型模糊神经网络 (FNN) 的构成 (Structure of PID-type FNN)

PID 型模糊神经网络结构如图 1 所示, 它由 5 层前向神经网络构成, 各层的意义和定义方法参照文献[8].

所对应的模糊控制器结构如图 2 所示, 图 1 所示的网络为图 2 中 PID 型模糊控制器的拓扑结构, 可以引入在线学习功能.

图 2 所描述的双输入单输出模糊控制器, 其输出可表示为

$$u(t) = F(e(t), \int_0^t e(t)dt, e'(t)). \quad (1)$$

它等效于一个参数时变的 PID 控制器.

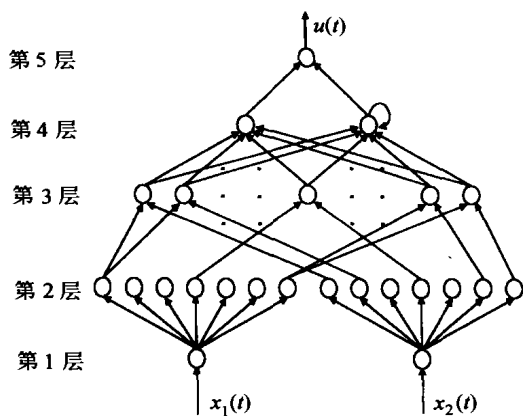


图1 PID型模糊神经网络结构图
Fig.1 The structure of PID-type FNN

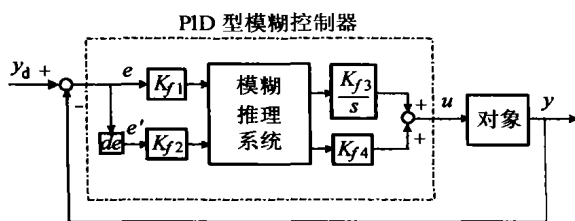


图2 PID型模糊控制器结构图
Fig. 2 The structure of PID-type fuzzy controller

2.2 FNN的学习算法(Learning Arithmetic of FNN)

第1步 FNN的初始化. 首先根据被控对象在设计工作点的模型特征设计一个如图2所示的PID型模糊控制器, 并将它导入FNN, 从而确定FNN的连接方式、各层神经元个数、联接权值或参数的初始值.

第2步 FNN的在线学习. 根据对被控系统的动态特征的要求, 选性能指标函数为

$$E = k_1 S + k_2 \sigma_{\max}. \quad (2)$$

其中 $S = \int_0^t |y_d - y| dt$ 为面积指标, $\sigma_{\max} = \max |y - y_d|$ 为超调量指标; $y_d(t)$ 和 $y(t)$ 分别为控制系统的期望输出和实际输出, k_1 和 k_2 分别为面积和最大超调量指标的权值. FNN的在线学习过程就是根据梯度下降法, 在线修正网络的权值, 使上述性能指标最优.

3 火电站单元机组数学模型及分析(Description and analysis of mathematical model of fossil-fired power unit)

本文选用的单元机组的数学模型可由一组非线性微分方程描述为^[1]

$$\dot{x}_1 = -0.0018 u_2 x_1^{9/8} + 0.9 u_1 - 0.15 u_3, \quad (3)$$

$$\dot{x}_2 = (0.073 u_2 - 0.016) x_1^{9/8} - 0.1 x_2, \quad (4)$$

$$\dot{x}_3 = [141 u_3 - (1.1 u_2 - 0.19) x_1] / 185, \quad (5)$$

$$y_1 = x_1, \quad (6)$$

$$y_2 = x_2, \quad (7)$$

$$y_3 = 0.05(0.13073 x_3 + 100 \alpha_{cs} + (q_e/9 - 67.975)). \quad (8)$$

上述各式中, x_1 为汽包压力, x_2 为功率输出, x_3 为汽包内液体密度, u_1 为燃油调节阀开度, u_2 为汽轮机调节阀开度, u_3 为给水调节阀开度, y_3 是汽包水位, α_{cs} 为质量系数, q_e 为蒸汽消耗率.

对上述微分方程描述的机组仿真模型, 选取的平衡工作点为

$$x_1^0 = 108, x_2^0 = 66.65, x_3^0 = 428, \quad (9)$$

$$u_1^0 = 0.34, u_2^0 = 0.69, u_3^0 = 0.436. \quad (10)$$

另外, 对输入 u_1, u_2, u_3 的速率和幅值限制如下:

$$\left| \frac{du_1}{dt} \right| \leq 0.007/s, 0.0 \leq u_1 \leq 1.0, \quad (11)$$

$$-1.0 \leq \frac{du_2}{dt} \leq 0.1/s, 0.0 \leq u_2 \leq 1.0, \quad (12)$$

$$\left| \frac{du_3}{dt} \right| \leq 0.05/s, 0.0 \leq u_3 \leq 1.0. \quad (13)$$

对于上述模型, 其3个输入分别为燃料、主汽调门开度和给水阀; 3个输出分别为汽包压力、功率和汽包水位. 对于具有汽包的单元机组, 其给水阀-汽包水位控制系统相对独立, 可以单独考虑. 燃料量输入的响应较慢, 主汽调门的响应较快. 因为在协调控制系统中, 功率的定值跟随品质是一个要求较高的指标, 因此, 对功率回路的控制宜采用主汽调门; 在汽包压力控制回路, 宜采用燃料量进行控制. 在燃料控制回路, 由于其具有大惯性和大迟延, 并且会随着燃料品质的变化, 产生内部扰动, 因此, 如何克服燃料控制回路的这些不利因素, 是协调控制系统取得良好控制品质的关键.

4 火电站单元机组控制系统的设计(Design of control system for fossil-fired power unit)

所设计的协调控制系统的结构如图3所示. 其中, FNNC为FNN控制器, FC为PI类型模糊控制器. P_b, P_0 分别为汽包压力和压力定值, N, N_0 分别为功率和功率定值, H, H_0 分别为汽包水位及其定值.

根据对火电站单元机组数学模型的分析, 对于给水阀-汽包水位控制回路, 采用常规的PID控制器; 对于主汽门-功率控制回路, 采用FC, 用以提高功率的响应品质; 对燃料-汽包压力控制回路, 采用前面所述FNNC, 利用FNNC特定的结构、初始参数和在线自学习能力来克服该回路的大迟延、大惯性、参数的时变性和扰动的随机性等这些不利因素. FNNC在经过充分的学习之后, 可以将控制器参数调整优化, 从而可以消除由于功能大范围变化, 或者参数的时变性和随机干扰对燃料-压力控制回路控

制品质量下降的影响。

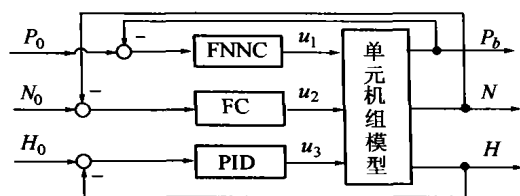


图3 单元机组控制系统图

Fig. 3 The control system of power unit

5 仿真研究(Simulation)

为了检验本文所设计的模糊神经网络控制器的自学习性能,对协调控制系统的压力定值做了多次阶跃扰动试验。压力定值上加了一个幅值为1 atm,宽度为500 s的脉冲序列信号。图4为主汽压力响应曲线。其中曲线1为FNNC未经过学习时的压力响应曲线,曲线2为FNNC经过第一次学习后的响应曲线,曲线3为FNNC经过37次学习后的响应曲线。

FNNC的初值设置为

$$K_{f1} = 1, K_{f2} = 1, K_{f3} = 0.04, K_{f4} = 0.05.$$

FC的参数设置为

$$K_{f1} = 0.01, K_{f2} = 0.05, K_{f3} = 0.01, K_{f4} = 0.$$

PID控制器的参数设置为

$$K_p = 2.8, K_i = 0.03, K_d = 0.$$

经过学习的FNNC的部分参数调整为

$$K_{f3} = 0.1219, K_{f4} = 0.0431.$$

第2层隶属度函数的宽度调整结果见表1。

表1 多次学习后隶属度函数的宽度设置

Table 1 The width setting of the membership degree function after multi-learning

	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
$b(i)$	0.8000	0.4000	0.2001	0.1000	0.1999	0.4000	0.8000

从图4中可以看出,经过多次学习的汽包压力控制,其控制效果明显优于未经过学习的汽包压力控制。

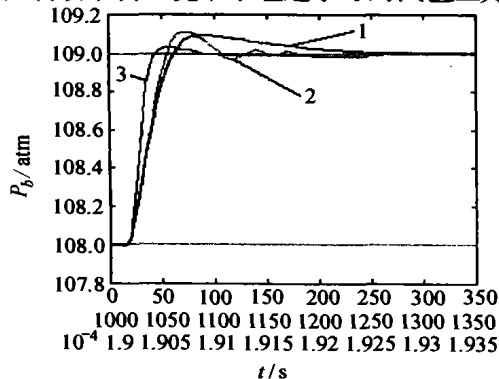


图4 汽包压力响应曲线

Fig. 4 The response curves of drum pressure

6 结论(Conclusion)

针对火电单元机组的非线性模型,采用了一种初值易选、自学习能力强的模糊神经网络控制器,以克服燃料-汽包压力控制回路的时变性以及其它不确定的随机干扰造成的控制品质下降。经过仿真研究,可以看出由于采用了这种控制器,大大提高了汽包压力控制品质。

参考文献(References):

- [1] HWANG C S, KIM D W. A design of robust two-degree-of-freedom boiler-turbine control system using H_∞ optimization method [A]. *Proc of 34th SICE Annual Conference* [C]. [s.l.]: [s.n.], 1995: 1263 - 1268.
- [2] MELLO F P, FELLO W. Dynamic models for fossil fueled steam units in power system studies [J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 1991, 6(2): 753 - 761.
- [3] SHINOHARA W, KODITSCHKE D E. A simplified model based supercritical power plant controller [A]. *Proc of 35th IEEE Conf on Decision and Control* [C]. [s.l.]: [s.n.], 1996: 4486 - 4491.
- [4] HWANG Changsun etc., Comparison of fuzzy and PI controllers for a benchmark drum-boiler model [A]. *Proc of 1998 IEEE Int Conf on Control Applications* [C]. [s.l.]: [s.n.], 1998: 958 - 962.
- [5] CHEUNG Kaipong WANG Li Xin. Fuzzy system tuned PI controller for a benchmark drum-boiler model [A]. *Proc of 37th IEEE Conf on Decision & Control* [C]. [s.l.]: [s.n.], 1998: 3171 - 3176.
- [6] 朱予东, 刘吉臻, 陈彦桥. 基于专家规则的模糊控制器的仿真研究[J]. 华北电力大学学报, 2000, (4): 29 - 31.
(ZHU Yudong, LIU Jizhen, CHEN Yanqiao. The research and simulation of the PID-type fuzzy controller based on the rules of experts in the turbine and boiler coordinated control system [J]. *J of North China Electric Power University*, 2000, 27(4): 29 - 34.)
- [7] WU Zhiqiao, MIZUMOTO M. PID-type fuzzy controller and parameters adaptive method [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1996, 78(1): 23 - 25.
- [8] WANG Yinsong, SHANG Guocai, HE Tongxiang. The PID-type fuzzy neural network control and its application in the hydraulic turbine generators [A]. *IEEE Power Engineer Society Winter Meeting* [C]. [s.l.]: [s.n.], 2000: 338 - 343.

作者简介:

陈彦桥 (1971—), 男, 1993年7月、1999年3月分别在华北电力学院、华北电力大学获学士、硕士学位, 现在华北电力大学攻读博士学位。主要研究方向为智能控制, 非线性系统。E-mail: cyq@ncepu.edu.cn;

王印松 (1967—), 男, 1988年7月、1991年1月、1999年3月分别在华北电力学院、华北电力大学获学士、硕士、博士学位。主要研究方向为智能控制, 非线性系统分析和控制;

刘吉臻 (1951—), 男, 教授, 博士生导师, 1982年获华北电力大学硕士学位, 1989年、1994年两次去加拿大女王大学进修。主要研究方向为计算机控制, 自适应控制, 智能控制;

曾德良 (1969—), 男, 1992年7月、1995年3月、2000年3月分别获华北电力大学获学士、硕士、博士学位。主要研究方向为智能控制, 自适应控制。