

空调冷水二次泵压差模型不确定性的 MFAC 控制

冯增喜, 任庆昌

(西安建筑科技大学 信息与控制工程学院, 西安 710055)

摘要: 中央空调冷水系统管路特性变化、设备老化等因素导致中央空调冷水系统二次泵压差模型具有不确定性, 以致常规 PID 算法的调节性能变差, 甚至在空调系统运行一段时间后出现不可控的现象; 而无模型自适应控制 (Model Free Adaptive Control, MFAC) 是一种采用不依赖被控对象的具体数学模型的“泛模型”和一些“控制功能”的某种组合相结合的、具有参数自适应和结构自适应的控制方法; 引入了无模型自适应控制算法, 来改善中央空调冷水系统二次泵压差控制效果, 确保系统的调节时间和超调量保持不变; 仿真和实验结果表明: 相对于 PID 控制, MFAC 具有很强的鲁棒性和抗干扰能力及自适应能力, 调节性能稳定, 可以克服由于系统管路特性变化、设备老化等因素导致的中央空调冷水系统二次泵压差模型不确定性的情况, 控制效果良好。

关键词: 二次泵; 压差控制; 无模型自适应

Using MFAC to Control the Pressure Difference of Secondary Pump Aiming at Its Model Uncertainty

Feng Zengxi, Ren Qingchang

(School of Information & Control Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Some factors such as the changing pipeline characteristic make the pressure difference model of the second pump of chilled water system be uncertain in the central air condition, which maybe make the adjusting performance of PID algorithm get worse, even make the pressure difference of the second pump be out control. The MFAC (Model Free Adaptive Control) is a combined method with universal model and control function, which can runs without any model of control object and be parameter adaptive and structure adaptive. It is introduced in this paper to improve control result of the pressure difference of the second pump, which ensures that the settling time and the overshoot are good. The simulation and experiment show that the MFAC can overcome the uncertainty of model and control the pressure difference with good robust and anti-interference ability and adaptive ability comparing with the traditional PID control algorithm.

Keywords: secondary pump; pressure difference; the model free adaptive control

0 引言

中央空调冷水系统节能主要是通过变频水泵调节冷冻水流量, 使冷水机组提供的冷量与空调房间实际需要的负荷相匹配, 从而达到水泵节能的目的。压差变频控制是目前应用较多的一种变频水泵调节冷冻水流量的方法, 它是利用供回水压差的实测值与设定压差值相比较, 根据偏差的大小采用 PID 算法控制变频器的输出频率, 驱动水泵变速运行, 从而实现流量调节的目的^[1-2]。然而, 在空调系统运行中, 参数可能会发生变化。如空调水系统管路特性的变化, 导致对象模型发生变化, 存在不确定性, 而 PID 调节器的参数不易在线调整, 以致控制效果变差。空调系统实际运行情况表明针对某一时期建立的准确二次泵压差模型, 利用常规 PID 控制也可取得很好的控制效果, 但是经过较长一段时间后, 利用之前确定的 PID 参数再进行控制时, 调节时间过长, 控制效果变差, 甚至无法使用。本文引进具有参数自适应和结构自适应的无模型自适应控制 (Model Free Adaptive Control, MFAC) 来改善此种情况, 以保证二次泵压差控制能取得理想的效果。

收稿日期: 2014-03-07; 修回日期: 2014-04-11。

基金项目: 住房和城乡建设部科学技术项目 (2012-K1-35); 陕西省教育厅自然科学专项基金项目 (11JK0914)。

作者简介: 冯增喜 (1979-), 男, 陕西韩城人, 在读博士, 讲师, 主要从事智能建筑, 建筑设备自动化方向的研究。

1 冷水系统压差控制

本设计基于西安建筑科技大学智能建筑研究所 VAV 变风量实验平台, 对变风量 (VAV) 中央空调水系统二次泵采用变频调速进行冷冻水压差控制。该实验平台的水系统如图 1 所示。其中一次泵保证冷水机组的流量, 二次泵采用变频水泵, 根据空气处理机组的负荷变化调节压差。冷水系统压差控制是将压差变送器设置在表冷器进水处和出水处 (靠近旁通管), 通过对实时压差值 ΔP 和设定压差值 ΔP_s 进行比较, 控制水泵转速, 实现压差的近似恒定。该种控制方法具有控制实时性强、水力平衡性好等优点, 但是调节过程中, 旁通阀或末端阀门的开度变化、以及管道内壁阻力大小的变化都会引起整个冷水系统管路特性的变化, 从而导致二次泵压差控制模型的变化, 使二次泵压差控制模型具有不确定性。

2 无模型自适应控制

2.1 无模型自适应控制方法

无模型控制是一种采用不依赖被控对象的具体数学模型的“泛模型”和一些“控制功能”的某种组合相结合的方法^[3-6], 该控制方法采用边建模边控制的方式, 得到新的观测数据后, 再建模再控制, 使每次得到的“泛模型”逐渐精确, 从而控制律的性能也随之得到改善。

无模型控制的“泛模型”如式 (1) 所示:

$$y(k) - y(k-1) = \varphi(k-1)^T [u(k-1) - u(k-2)] \quad (1)$$

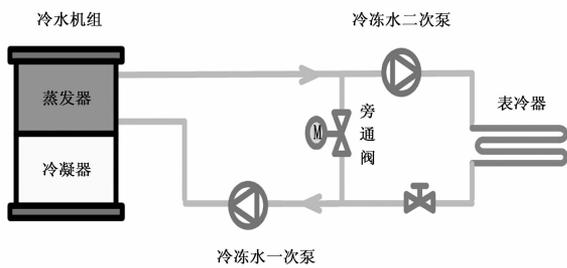


图 1 冷水系统结构图

式中, $y(k)$ 是系统的一维输出, $u(k-1)$ 是 $k-1$ 时刻的输入, $\varphi(k)$ 是特征参量, 它是利用某种辨识算法在线估计的, k 是离散时间。

无模型控制方法的控制律基本形式如式 (2) 所示^[3]:

$$u(k-1) = u(k-2) + \frac{\lambda_k}{\sigma + \|\varphi(k)\|^2} \varphi(k) [y_0 - y(k-1)] \quad (2)$$

式中, σ 为适当的正常数, λ_k 是控制参数, y_0 是系统的输出希望值。

在无模型控制方法应用时, 要用 $\varphi(k)$ 的估值 $\hat{\varphi}(k)$ 来代替 $\varphi(k)$ 进行计算, 因此要求 $\varphi(k)$ 的估值 $\hat{\varphi}(k)$ 能够被实时得到, 且有足够的准确性。关于 $\varphi(k)$ 的估值有一系列方法。本文采用递推梯度算法来计算 $\varphi(k)$ 的估值 $\hat{\varphi}(k)$ 。 $\hat{\varphi}(k)$ 的计算如式 (3)^[3]:

$$\hat{\varphi}(k-1) = \hat{\varphi}(k-2) + \frac{\delta}{\eta_k + \|\hat{\varphi}(k-2)\|^2} \varphi(k) [z(k) - \varphi(k) \hat{\varphi}(k-2)] \quad (3)$$

式中, η_k 是适当小的正数, δ 为适当的常数, $z(k) = y(k) - y(k-1)$, $\varphi(k) = u(k-1) - u(k-2)$ 。

等式 (2) 和 (3) 构成了无模型自适应控制器的基本形式。

为了扩大无模型控制器的应用范围, 并加强其抗干扰和解耦等性能, 在基本无模型控制器中引入了功能组合模块。可将等式 (2) 做以下改进:

$$u(k-1) = u(k-2) + \frac{\lambda_k}{\sigma + \|\varphi(k)\|^2} \varphi(k) [y_0 - y(k-1) + G(Y_{k-1}^{k-n} - U_{k-2}^{k-m})] \quad (4)$$

等式 (3) 和 (4) 构成了无模型自适应控制器的一般形式。

在无模型自适应控制器的一般形式中, 无模型控制的“控制功能”的组合途径是由一系列单元控制方法用线性和非线性方式组合成控制律的途径。其单元控制方法包括静差克服控制方法、反向预调控制方法、控制作用转向加速控制方法、强制稳定控制方法、前馈控制方法、时滞控制方法、串级调节控制方法及正反作用控制方法等^[7]。

2.2 无模型自适应控制算法流程与仿真

依据无模型自适应控制算法, 完成无模型自适应控制算法的流程如图 2 所示。

针对某一时期, 基于现场采集到的数据, 辨识和建立了实验室冷水系统的压差控制模型 $G(s) = \frac{0.0016}{4.98S+1} e^{-2s}$, 利用无模型自适应控制算法进行了仿真。基于无模型自适应的冷水系统二次泵压差控制原理图如图 2 所示。

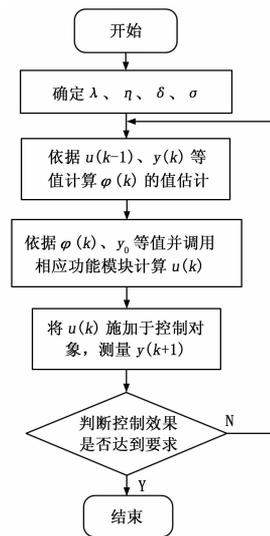


图 2 MFAC 算法的流程图

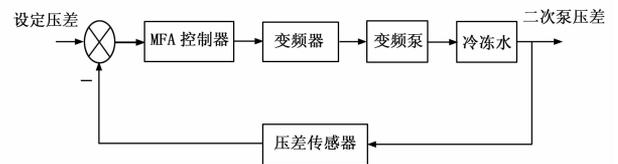


图 3 基于 MFAC 的二次泵压差控制原理图

为实现中央空调系统节能, 实际中需进行变压差控制, 故仿真时采用了变设定值。参数 $\delta = 1, \eta = 0.001, \lambda = 1, \sigma = 0.0001$, 仿真结果如图 4 所示。仿真结果表明本文算法控制稳定, 系统响应较快。同时, φ 的变化曲线如图 5 所示, 其值最终收敛于 0.0026, 说明该方法可适用于实时控制。

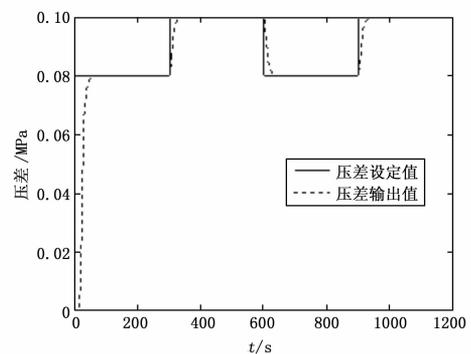


图 4 基于 MFAC 的二次泵压差控制仿真结果

3 实验验证

本实验控制系统采用三层结构的计算机控制系统。上位机采用研华工控机。下位机采用 Ormon PLC。无模型自适应控制算法利用上位机软件 Labview 实现。将无模型自适应控制算法施加于前面所述的中央空调的二次泵压差控制, 进行控制效果检测和分析。此时的冷水系统的压差控制模型已发生改变, 传统的 PID 控制效果变差。

实验时出于对变频器的保护, 其频率取值范围限制在

(下转第 2127 页)

参考文献:

[1] 李亦君. 基于 PXI 和 GPIB 总线电路测试系统的开发与设计 [J]. 现代电子技术, 2010, (22): 35-38.

[2] 蒋新广. 基于 PXI 总线的某型导弹综合测试系统设计 [J]. 计算机工程与科学, 2012, (34): 151-154.

[3] 张黎明. 基于 PXI 的卫星综合测试系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16: 27-29.

[4] 杨乐平, 李海涛, 等. 虚拟仪器技术概论 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

[5] 牟建华. 基于 PXI 总线的自动检定系统 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14: 740-742.

[6] 中国电子科技集团公司第四十一研究所. AV1442 射频信号发生器用户手册 [Z]. 青岛, 2008.

[7] 何石. 一种均值滤波的优化算法 [J]. 信息技术, 2012, (3): 133-135.

(上接第 2117 页)

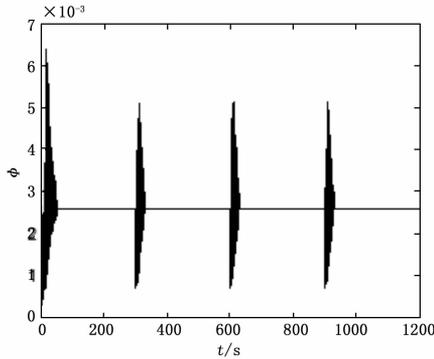


图 5 φ 的变化曲线

20~50 Hz。在此频率范围里, 对应的二次泵压差变化范围为 0.077~0.14 MPa。实际中, 由于室内所需的冷热负荷随室外温湿度等因素的变化, 为最大限度实现中央空调系统的最大限度节能, 往往需要对二次泵实现变压差控制, 因此, 在 0~300 s 将压差设定值设定为 0.1 MPa, 在 301~600 s 将压差设定值设定为 0.08 MPa, 在 601~900 s 将压差设定值设定为 0.1 MPa, 在 901~1 200 s 将压差设定值设定为 0.08 MPa。无模型控制器参数 $\delta = 1, \eta = 0.0012, \lambda = 1, \sigma = 0.00095$, PID 参数, $k_p = 0.01, 1/k_i = 0.0025, k_d = 0.0051$ 。基于无模型自适应控制和传统 PID 控制的实验结果如图 6、图 7 所示。图 6 是半年前准确建模时无模型自适应控制和传统 PID 控制的实验结果对比图, 图 7 是半年后模型变化后无模型自适应控制和传统 PID 控制的实验结果对比图。

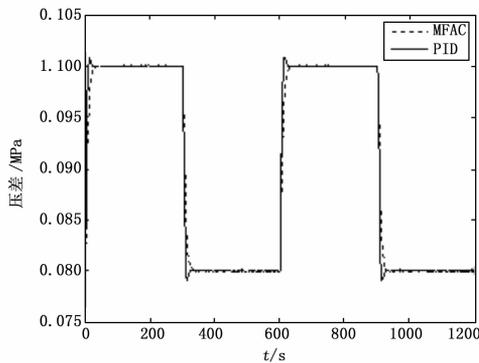


图 6 半年前两种方法控制二次泵压差的效果

实验结果表明, 对于数学模型确定的系统, 无模型自适应控制和传统 PID 控制都可以快速跟随设定值, 取得很好的控制效果: 对于无模型控制, 调节时间为 22 s, 超调量为 0。对于传统 PID 控制, 调节时间为 20 s, 超调量为 1.2%, 该超调

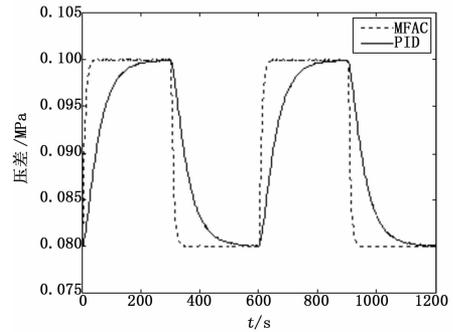


图 7 半年后两种方法控制二次泵压差的效果

量处在可接受范围里。经过一段时间后, 对于无模型控制, 调节时间为 38 s, 超调量为 0, 控制效果基本保持不变, 且控制稳定, 有很强的鲁棒性和抗干扰能力。而此时对于传统 PID 控制, 调节时间为 260 s, 超调量为 0%, 此时由于 PID 调节时间过长, 已无实际意义。因此, 对于具有不确定性的空调冷冻水二次泵压差控制, 无模型控制效果优于传统 PID。

4 结束语

根据负荷变化对中央空调进行变水量调节, 有很好的节能效果。然而冷水系统二次泵压差模型随时间的变化导致常规 PID 的调节性能变差。空调实际运行情况表明针对某一时期的准确模型利用常规 PID 控制对二次泵压差控制也可取得很好的控制效果, 但是较长一段时间后, 利用之前确定的 PID 参数再进行控制时, 调节时间过长, 控制效果变差, 甚至无法使用。本文引入的无模型自适应控制算法可以很好地改善这一状况, 且避免了建模这一过程, 使中央空调冷水系统二次泵压差控制过程变得更加简单、更易实施, 控制效果良好。

参考文献:

[1] 沈世平, 宁绍龙, 陈明. 中央空调冷冻水干管压差及温差控制节能研究 [J]. 建筑热能通风空调, 2012, 31 (2): 49-52.

[2] 王建华, 任庆昌. 基于 LabVIEW 的空调水系统优化控制策略研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (2): 332-335.

[3] 韩志刚. 关于建模与自适应控制的一体化途径 [J]. 自动化学报, 2004, 30 (3): 380-389.

[4] 韩志刚. 大型复杂系统控制器设计的功能组合途径 [J]. 控制工程, 2004, 11 (2): 103-107.

[5] 韩志刚. 一类复杂系统非建模控制方法的研究 [J]. 控制与决策, 2003, 18 (4): 398-402.

[6] 韩志刚. 无模型控制器的设计问题 [J]. 控制工程, 2002, 9 (3): 19-22.

[7] 江欣欣, 巫红, 曾刚, 等. 无模型控制方法的应用研究 [J]. 控制工程, 2007, 14 (1): 24-26.