

移动基站温度控制节能系统研究

唐文秀, 吕南南

(东北林业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 针对移动基站温度控制消耗大量能源的弊端, 利用冬季室外冷源, 通过智能控制水泵、风机的运转, 将室内的热量由乙二醇液体的循环传达到室外冷凝器, 再由室外冷凝器将乙二醇液体的热量散发出去, 达到降温的目的。保证机房在恒温、恒湿和洁净的条件下节约能源。由于系统存在很大程度的非线性、大滞后和参数时变性, 设计中结合模糊控制和PID算法的优点, 采用模糊PID控制算法, 既保证了温度调节的快速性, 又满足了系统的稳定性, 并且系统稳态误差很小。

关键词: 温度控制; 节能; 模糊控制; 模糊PID控制

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A

The research of energy-saving system of mobile-base station for temperature control

TANG Wen Xiu, LV Nan Nan

(Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In this paper, the control system is mainly designed in allusion to the energy abuse of temperature controlling of mobile base stations. The control system we designed delivered the indoor heat to outdoor condenser in using outdoor winter cold source and through intelligent control pumps, then made the alcohol liquid heat out through the outdoor condenser. In this way, we could save power in the precondition that assurance of constant temperature, constant wet and clean of the base station. Because of a high level of non-linear phenomena, the lag and the time-varying parameters, the design put forward fuzzy PID algorithm, applied in the system, which combined merit of fuzzy control and advantage of PID. The fuzzy PID algorithm not only ensured the celerity of temperature controlling, but also made the system sable in a slight steady-state error.

Key words: temperature control; energy-saving; fuzzy control; fuzzy PID control

空调用电约占机房总用电量的50%左右, 因而存在较大的节能潜力。科学地降低空调用电、减少资源浪费成为节能的主要手段^[1]。

我国北方高纬度地区, 10℃以下的时间较长, 可达180天以上, 有着丰富的可以利用的自然冷源。以哈尔滨市为例, 10℃以下的时间可达180天以上, 冬季长达半年之久, 室外最低气温可达-38℃, 通常一月份的平均气温在-20℃左右。为了克服现有空调制冷系统在冬季不能利用自然冷源的缺点, 本文设计了基站专用温度控制节能系统, 该系统能够利用自然冷源达到降温节能的目的, 同时确保机房内其他设备的安全, 投资综合效益高, 节能效果显著, 预计耗电量仅为现有空调全

年耗电量的60%~70%, 运行成本低且设备运行稳定。

1 系统工作原理

本系统工作原理框图如图1所示。系统实际工作流程如下: 控制系统通过回风口的温度传感器发出信号, 当回风温度高于设备温度, 控制系统发出信号给水泵, 水泵开始运转, 室外风机通电, 再由室外冷凝器上的温度传感器反馈信号, 室外冷凝器管温度高于设置温度, 风机起运, 低于设置温度时, 风机停止运转。当回风口温度低于设置温度时, 恒温控制系统发出信号, 水泵停止工作, 室外风机断电, 以此来保证室内的恒定温度。当春秋季节, 白天室外温度过高, 乙二醇系统不能满足室内温度要求, 原设置压缩机系统启动, 来保证室内恒

定温度。如室内温度低于原设备设定点,压缩机停止工作,乙二醇系统开始启动,来保持室内恒定温度,以达到省电的目的。乙二醇系统室外冷凝管处加装温度传感器,对乙二醇冷凝风机进行控制,以防止冬季乙二醇回液温度过低。

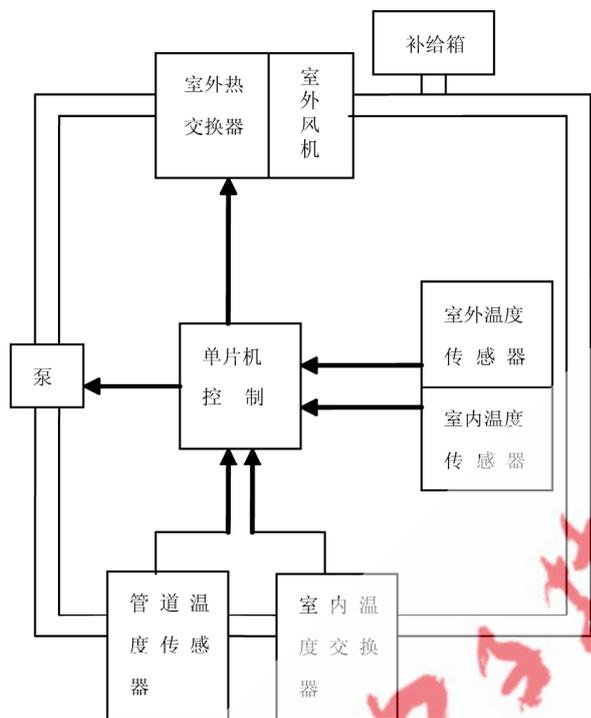


图1 乙二醇制冷循环系统原理框图

2 硬件电路设计

选用飞思卡尔 S12 型处理器为控制核心设计出单片机小系统(包括电源模块、键盘、显示、时钟、串行通信)。电源模块如图 2 所示。温度、湿度测量和数据采集、处理电路以及风机、水泵的控制电路等系统硬件电

路,同时考虑对电机和水泵等交流高压器件的保护和系统运行状态(故障)远程报警电路。

S12 具有 16 位处理能力,速度明显比 89C51 快,而且 S12 有足够大的程序存储空间和内部 RAM 可用,方便了软件编写。S12 把 AD 和 EEPROM 等很多资源都集成到 CPU 上,使电路的复杂程度降低,可靠性也得以提高。S12 具有很好的防程序跑飞的手段。S12 内部集成了模糊推理机,方便了算法的研究及应用^[2]。

温度采集电路如图 3 所示。采用了 DS18B20 数字单线智能温度传感器,将采集的温度数据送入控制核心加以处理。DS18B20 属于新一代适配微处理器的智能温度传感器,它具有体积小、接口方便、传输距离远等特点。采用单总线专用技术,无须经过其他变换电路,直接输出被测温度值,测温范围为 $-55^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$,测量分辨率为 0.0625°C ,适合本系统的温度采集。

时钟、显示、串行通信电路如图 4 所示。可以实时显示风机水泵运行情况,获得直观监测。RS232 串行通信电路可将数据送入 PC 机进行数据分析并存储;显示屏采用 128×64 液晶,显示室内外温度、风扇水泵电机的运行情况、时间等信息;键盘操作可对各项指标进行控制或改写^[3]。

另外对水泵和风机控制方面做了缺相、相序错误的检测和保护的检测和保护;有故障报警和远程监控电路,保证系统安全运行;对强弱电加以隔离,保证控制系统不受干扰^[4]。

3 数学模型

控制系统的数学模型的建立基于以下假设:(1)乙二醇在管内作一维逆流流动;(2)只考虑径向热量交换不计轴向热量传递;(3)换热器金属管壁的导热热阻不计;(4)忽略乙二醇在管内的压降^[5]。

根据上述假设物理模型简化为如图 5 所示。

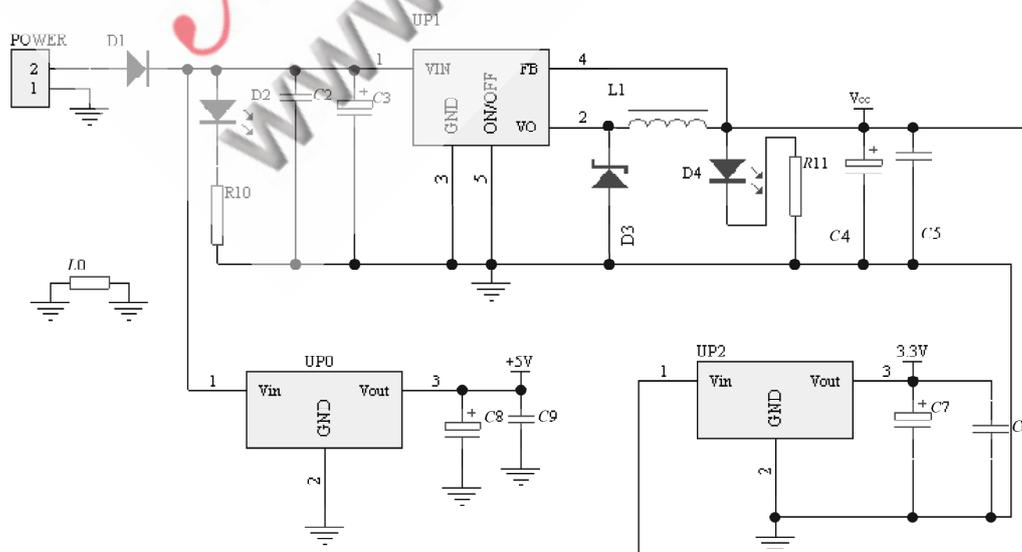


图2 电源模块

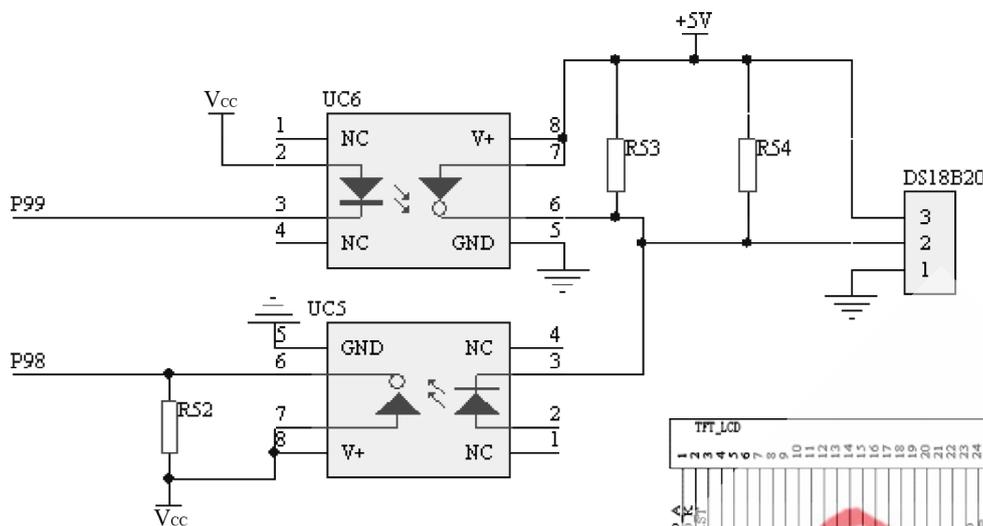


图3 温度采集电路

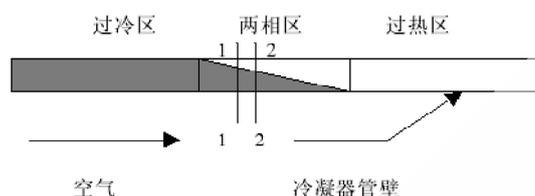


图5 冷凝器简化数学模型

乙二醇侧流动换热方程包括换热温差与流动焓差其计算公式为：

$$Q_r = m_r (h_{rin} - h_{rput}) = \alpha_r A_i (T_{rm} - \frac{T_{ain} + T_{aput}}{2}) \quad (1)$$

式中： m_r 为管中乙二醇储量； m_r 为乙二醇的焓； α_r 为乙二醇侧换热系数； T_a 为管外空气温度； A_i 为冷凝器管内断面积； T_r 为微元断面管内壁乙二醇液体的温度。

空气侧流动换热方程包括换热温差与流动焓差其计算公式为：

$$Q_a = m_a (h_{ain} - h_{aput}) = \alpha_a A_i (T_{rm} - \frac{T_{ain} + T_{aput}}{2}) \quad (2)$$

式中： m_a 为管中空气储量； h_a 为空气焓； α_a 为空气侧换热系数。

乙二醇侧换热系数的计算如式(3)：

$$\alpha_r = 0.683 r_s^{0.25} B_m [1/d_i (t_k - t_w)]^{0.25} \quad (3)$$

式中： $B_m = (9.81 \rho \lambda^3 / \nu) m^{0.25}$ 为组合物性参数； t_k 为冷凝温度； t_w 为管壁温度

空气侧换热系数的计算为如式(4)：

$$\alpha_a = \frac{c \lambda_f R_{ef}^n}{d_{eq}} \left(\frac{L}{d_{eq}} \right)^m \quad (4)$$

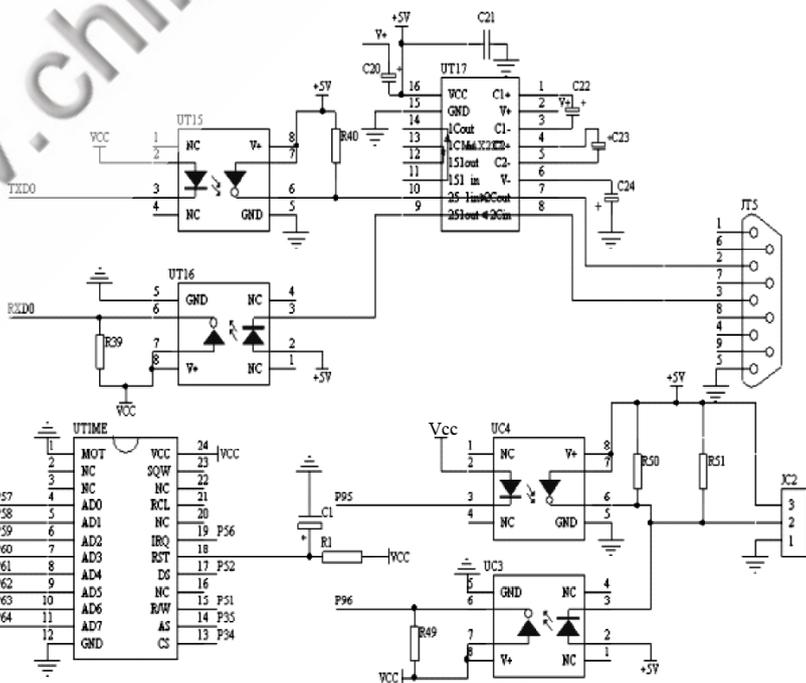
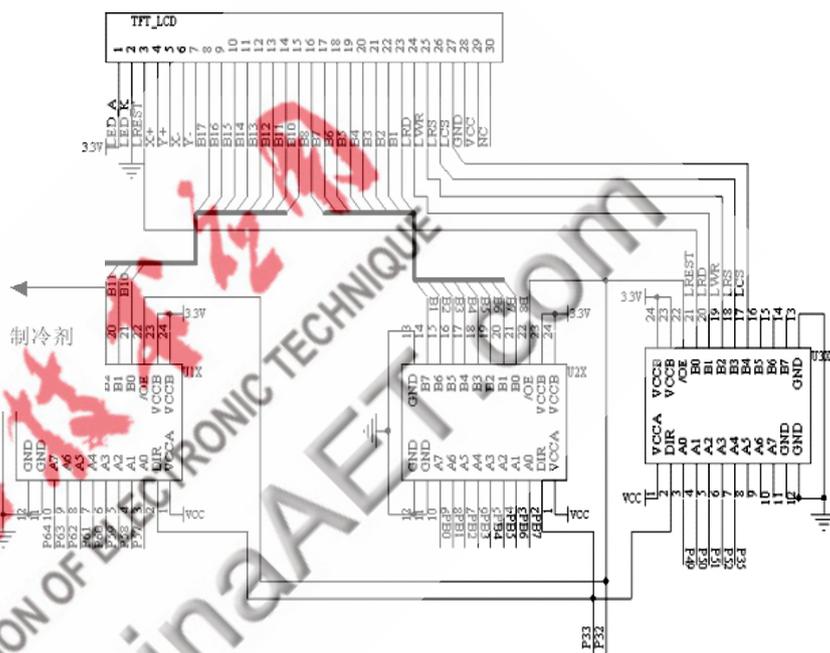


图4 时钟、显示、串行通信电路原理图

式中: $R_{ef}^n = \frac{w_{\max} d_{eq}}{v_f}$, 其中 w_{\max} 为最大迎面风速; v_f 为空气运动粘度; $\frac{L}{d_{eq}} = \frac{N S_2}{d_{eq}}$, 其中 s_2 为横向的管间距; N 为排数; d_{eq} 为当量直径。

4 控制算法

模糊 PID 控制器具有模糊控制器所具有的动态特性好和鲁棒性好的优点。同时由于模糊 PID 控制器实质上就是变参数的 PID 控制器, 因此具有 PID 控制稳态性好的优点, 可以克服常规模糊控制器稳态存在静差的缺陷, 即模糊 PID 控制器在控制过程的前期阶段具有模糊控制器的优点, 而在控制过程的后期阶段又具有 PID 调节器的优势。模糊 PID 控制框图如图 6 所示^[6]。

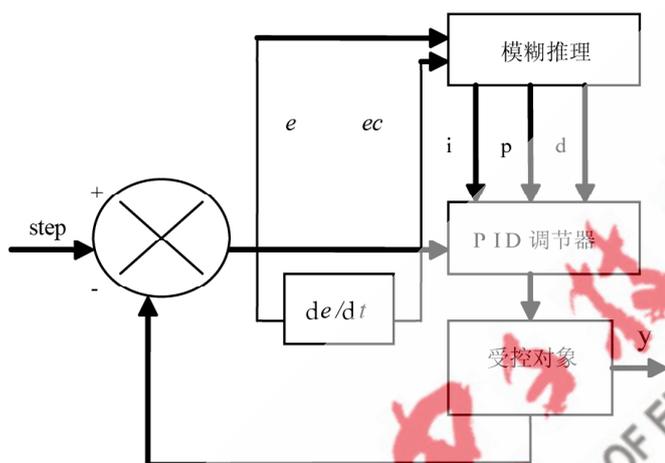


图6 模糊PID控制框图

本系统的输入量是设定的温度值, 所以这里选择模糊控制器的输入量为温度的偏差 e 和偏差变化率 ec , 输出量为 PID 参数的修正量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 。而最终输出为控制风机和泵运转的时间。模糊推理过程为双输入三输出系统。两个输入分别为系统误差 e 以及误差的变化率 ec , 而输出则为 PID 调节器的三个控制参数 K_p 、 K_i 和 K_d 。

模糊逻辑控制器的工作过程可以描述为: 首先将模糊控制器的输入量转化为模糊量供模糊逻辑决策系统用, 模糊逻辑决策器根据控制规则决定的模糊关系 R , 应用模糊逻辑推理算法得出控制器的模糊输出控制量。最后精确化计算得到精确的控制值去控制被控制对象。描述输入变量 e 和 ec 以及输出变量 K_p 、 K_i 和 K_d 的语言集的模糊子集及其论域定义如下:

(1) e 、 ec 和 K_p 的模糊子集为: {NB(负大), NM(负中), NS(负小), ZO(零), PS(正小), PM(正中), PB(正大)};

(2) K_i 和 K_d 只取正值, 其模糊子集为: {ZO, PS, PM, PB}。

根据经验和实际情况制定模糊控制表、得到输入量和输出量的隶属函数及其分布如图 7 所示。

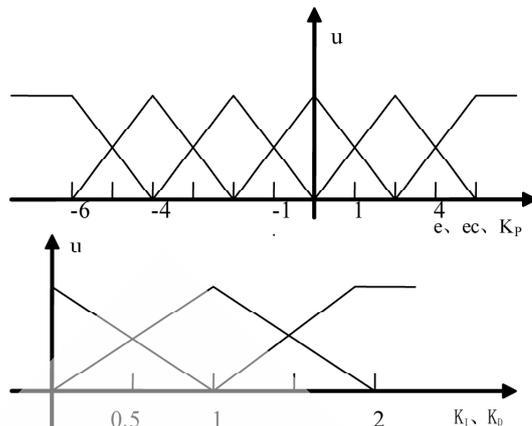


图7 输入、输出隶属函数及其分布

为了正确控制输出量, 本文根据 K_p 、 K_i 和 K_d 这三个参数对系统的影响情况, 结合经验及对系统响应过程的掌握, 采用理论分析加实验“试凑”得到模糊 PID 控制规则, 总结归纳如下^[7]:

(1) 在偏差较大时, 为尽快消除偏差, 提高响应速度, K_p 取大值, K_i 取零; 在偏差较小时, 为继续消除偏差, 并防止超调过大, 产生振荡, K_p 值要减小, K_i 取小值; 在偏差很小时, 为消除静差, 克服大超调, 使系统尽快稳定, K_p 值继续减小, K_i 值不变或稍取大一点。

(2) 当 e 和 ec 同号时, 被控量是朝着偏离给定值的方向变化, 而当 e 和 ec 异号时, 被控量朝着接近给定值的方向变化。因此, 当被控量接近给定值时, 反号的比例作用阻碍积分作用, 避免积分超调及随之带来的振荡, 有利于控制; 而当被控量远未接近给定值并向给定值变化时, 则由于这两项反向, 将会减慢控制过程。在偏差 e 较大, 偏差变化 ec 与偏差 e 异号时, K_p 值取零或负值, 以加快控制的动态过程。

(3) 偏差变化 ec 的大小表明偏差变化的速率, ec 越大, K_p 取值越小, K_i 取值越大, 反之亦然。

(4) 微分作用类似于人的预见性, 它阻止偏差的变化, 有助于减小超调, 克服振荡, 使系统趋于稳定, 加快系统的动作速度, 减小调整时间, 改善系统的动态性能。因此, 在 e 较大时, K_d 取零, 实际为 K_i 控制; 在 e 较小时, K_d 取一正值, 实行 PID 控制。

由于模糊控制器输出是一个模糊集合, 它无法对精确的模拟或数字系统进行控制。因此, 必须进行精确化计算得出此模糊集中最有代表意义的确定值作为系统的输出控制, 主要方法有: 最大隶属度法、重心法、加权平均法等, 本文采用重心法, 即加权平均法, 记为:

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_{U_1}(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{U_1}(x_i)} \quad (5)$$

其中: x_i 表示论域中的元素; $\mu_{U_i}(x_i)$ 表示每个元素对应的隶属度。

5 系统仿真

用 MATLAB 中的 Simulink 和 Fuzzy 工具箱, 对控制对象进行仿真研究, 通过对系统采用不同的控制策略, 得出它们各自的仿真结果, 然后进行分析比较。

设控制对象的传递函数为:

$$G(s) = \frac{6e^{-50s}}{200s+1} \quad (6)$$

设 $T_{\min}=100$ s; $K_r=2.13$; $T_r=76$ s; 采样周期 $T=0.014 \times T_r=1.064$; 比例系数 $K_p=0.63 \times K_r=1.341$ 9; 积分时间常数 $K_i=0.49 \times T_r=37.24$; 微分时间常数 $K_d=0.14 \times T_r=10.36$; 室温范围为 $25^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}$, 达到调节时间短、超调量小且稳态误差在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 内的要求。仿真结果如图 8、9、10 所示。

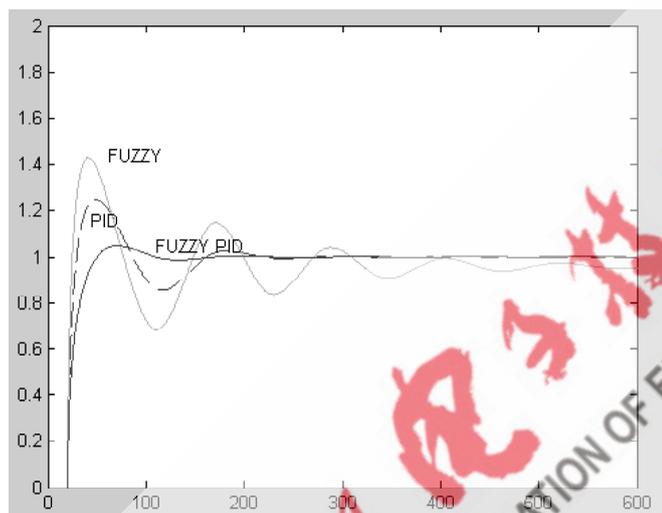


图 8 三种控制阶跃响应曲线

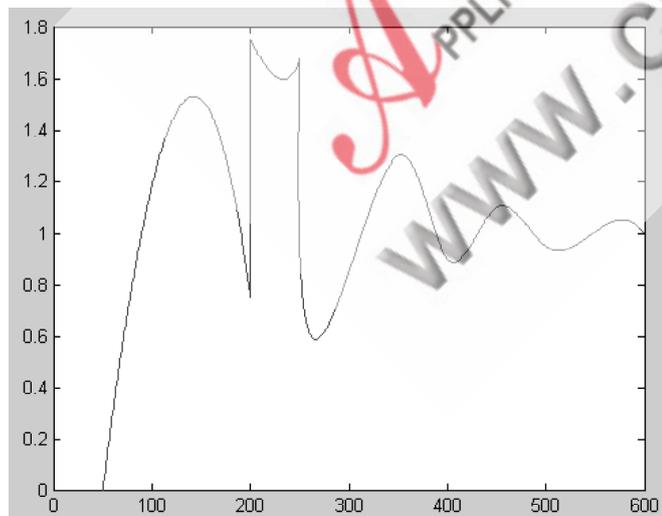


图 9 带干扰的模糊控制仿真结果

从阶跃响应曲线来看, 采用模糊 PID 的控制调节时间减小, 系统的响应速度增加, 在抗干扰能力和对象参数变化时的适应性都优于常规的模糊控制和 PID 控制, 系统在设定值范围内振荡减弱比常规的 PID 控制具有更

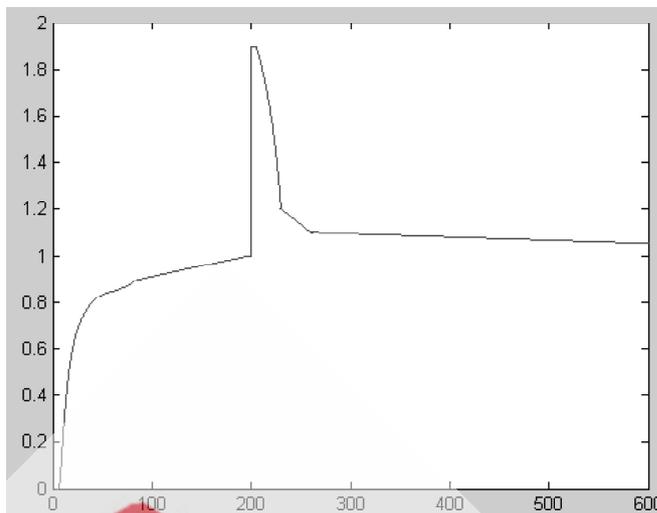


图 10 带干扰的模糊 PID 控制仿真结果

好的动态特性和稳定性。

针对当前空调制冷主要靠压缩机的运转, 利用氟利昂两态的变化吸收热量来降温进而消耗大量的电能这一缺点, 本文设计了一种利用冬季室外冷源, 基于模糊 PID 算法的移动基站温度控制系统。该系统利用飞思卡尔 (Freescale) S12 型微处理器为控制核心实现了机房温度、湿度的实时自动控制。MATLAB 仿真结果表明, 该系统既能保证温度调节的快速性, 又能满足系统的稳定性, 达到有效地节能的作用。

该控制系统具有稳定、智能化、实时监测、温度控制精度高, 突出的节能效果必将在未来的市场发挥卓越的作用。

参考文献

- [1] 王耀南. 智能控制系统. 长沙: 湖南大学出版社, 1996.
- [2] 陶永华, 尹怡欣, 葛芦生. 新型 PID 控制及其应用. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [3] 邵贝贝. 单片机嵌入式应用的在线开发方法. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] 施俊良. 室温自动调节原理和应用. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983.
- [5] 吴振顺, 姚建均, 岳东海. 模糊自整定 PID 控制器的设计及其应用, 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(11).
- [6] 张颖超, 郭妹梅. MATLAB 及其在模糊控制系统仿立中的应用, 系统仿真学报, 2001.11
- [7] 储岳中, 陶永华. 基于 MATLAB 的自适应模糊 PID 控制系统计算机仿真, 安徽工业大学学报, 2001.
- [8] YSUNOBU S, MIANIOT S. Automatic train operation by predication fuzzy control, in sugeno(Hrsy.) industrial Automatic train operation of fuzzy control(1985).1—18.
- [9] HUANG S M, Nelson. A PID-Law-Combining Fuzzy Controller for HVAC Applications, ASHRAE Trans. Research. 1991, 97(2):768-774.

(收稿日期: 2008-11-27)