

户式中央空调变风量控制仿真与实现

于梅春, 张登春

(湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 户式中央空调变风量控制系统由空调机组控制系统、变风量末端装置、末端控制器、中央控制器四个主要部分组成。在计算机仿真实验的基础上, 设计了户式中央空调系统的末端控制器和中央控制器。末端控制器采用 PID 算法调节房间送风量, 控制室内温度; 中央控制器采集各房间温度和风量参数, 对送风机进行模糊变频调速, 控制系统的总送风量。给出了控制系统硬件组成和软件的实现。采用 VB 语言编制控制系统界面, 界面简单友好, 可供户式中央空调控制系统产品的开发作参考。

关键词: 户式中央空调; 末端变风量调节; PID 控制; 控制界面

中图分类号: TU83, TP273

文献标识码: A

文章编号: 1006-8449(2007)03-0060-05

0 引言

随着社会的进步, 人们生活水平的提高, 人们对居住环境, 尤其是居室空气环境提出了越来越高的要求。窗式空调有噪声过大的缺点, 分体式空调器容量往往过小, 室外机破坏建筑物外观, 且极难补充新风。而户式中央空调系统, 一般设有一套集中的冷热机组, 由于室外机数量的减少使得与建筑外立面配合就变得非常容易, 同时制冷效率高, 且大多能较好地补充新风, 改善空气品质, 从这个意义上讲, 户式中央空调把人们带入到“真正的空调时代”, 从“温调”转变为“空气质量调节”^[1,2]。以往的户用风管式空调系统一般采用统一的送风方式, 分室温度控制较难实现, 空调效果欠佳, 且耗能较大。针对这种现实, 作者根据典型房间的温度控制方案, 建立 simulink 仿真模型, 在仿真结果的基础上, 对户式中央空调变风量控制系统进行研究。控制系统主要包括末端控制器、中央控制器及其控制界面, 末端控制器用于调节单个住宅房间温度, 文中讲述了其控制原理和软件设计, 中央控制器主要用于控制系统总送风量^[3]。

1 户式中央空调变风量系统构成

1.1 典型的户式中央空调变风量系统

典型的户式中央空调变风量系统 Household

Variable Air Volume, 简称 HVAV) 如图 1 所示, 其主机是一分体风管式空调机组, 室外机置于室外, 室内机通过风管、静压箱、多个 VAVbox 与各房间相连, 新风由外墙引入。

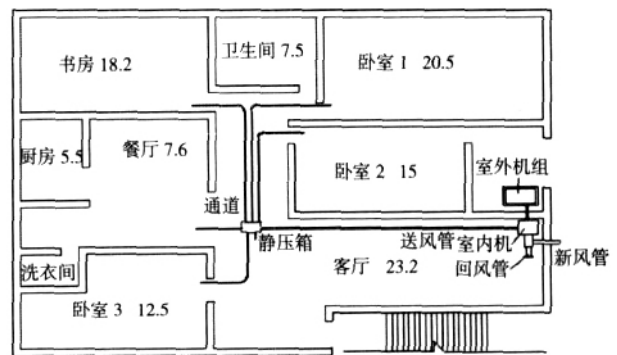


图 1 典型的户式中央空调变风量系统

1.2 户式中央空调变风量控制系统

户式中央空调变风量控制系统, 主要用来控制室内温湿度, 使居室满足人们的舒适要求。通过设在各空调房间内的数字式末端控制器, 对变风量末端装置进行调节, 调节房间送风量, 以达到控制室内温度的目的。而中央控制器根据末端变风量调节(TRAV Terminal Regulated Air Volume)^[4]的参数对系统总风量进行控制, 且将各变风量末端装置与空调机组联成一

个有机整体,从而实现户式中央空调的集散控制。

2 末端控制器研究

2.1 空调房间温度控制 simulink 仿真

2.1.1 数学模型

以卧室 1 为研究对象,如图 2 所示^[5],整个空调系统由末端变风量箱、空调房间和室内散热设备组成。房间几何尺寸为长 5.0m,宽 4.1m,高 3.0m,侧墙有一

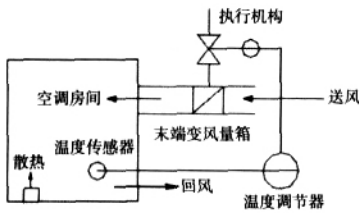


图 2 变风量末端室温调节系统

扇 1.0m×1.0m 的窗户,房间体积为 61.5m³,总表面积为 94.6m²,墙壁的导热系数为 0.489W/(m·),壁厚为 0.24m,则:

墙壁热阻 $R_w = 0.24 / (0.489 \times 94.6) = 5.19 \times 10^{-3} \text{ (} \text{m}^2 \cdot \text{W)}^{-1}$;

窗户玻璃导热系数为 0.85W/(m·),厚为 0.005m,

则得:

窗户热阻 $R_{ch} = 0.005 / (0.85 \times 1) =$

$$5.88 \times 10^{-3} \text{ (} \text{m}^2 \cdot \text{W)}^{-1}$$
;

房间总热阻 $R = R_w + R_{ch} \text{ (} \text{m}^2 \cdot \text{W)}^{-1}$

$$= 2.76 \times 10^{-3} \text{ (} \text{m}^2 \cdot \text{W)}^{-1}$$
;

空气密度 $\rho_a = 1.225 \text{ kg/m}^3$,空气

定压比热 $C_p = 1.005 \text{ kJ / (kg} \cdot \text{)} \text{,}$ 则得房间空气热容量系数:

$$C_a = M_a \times C_p = 61.5 \times 1.225 \times 1.005 = 75.71 \text{ (kJ / } \text{)} \text{)}$$

以制冷工况为例,根据能量守恒定律,单位时间内进入室内的热量减去流出室内的热量等于空调房间内蓄热量的变化率,由此可得如下关系式:

$$C_a \frac{d a}{dt} = Q_c + Q_1 + Q_2 = G \cdot C_p (s - a) + \frac{1}{R} a + Q_2 \quad (1)$$

式中 C_a — 房间内空气的容量系数 (包括室内设备、用具的蓄热),kJ/;

a — 室内空气温度,;

Q_c — 房间送、回风得热,W;

Q_1 — 围护结构对室内的传热量,W;

Q_2 — 室内设备、照明及人体散热量,W;

G — 送风量,kg/s;

s — 送风温度,;

1 — 围护结构的温度,;

R — 空调房间内表面的热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ 。

根据式 1) 可整理得:

$$C_a \frac{d a}{dt} = Q_c + Q_1 + Q_2 = G \cdot C_p \cdot s - G \cdot C_p \cdot a - \frac{1}{R} a + Q_2 \quad (2)$$

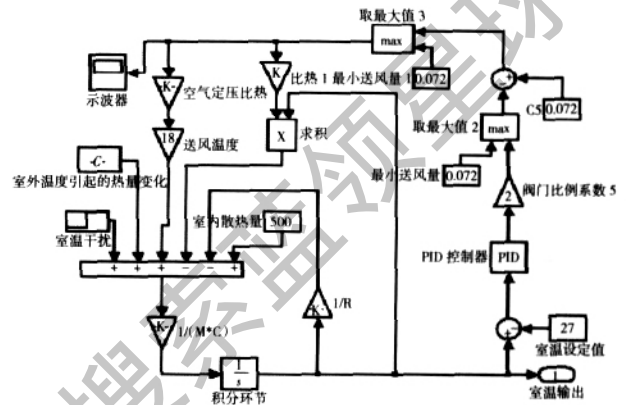


图 3 居室房间温度 PID 控制 simulink 仿真模型

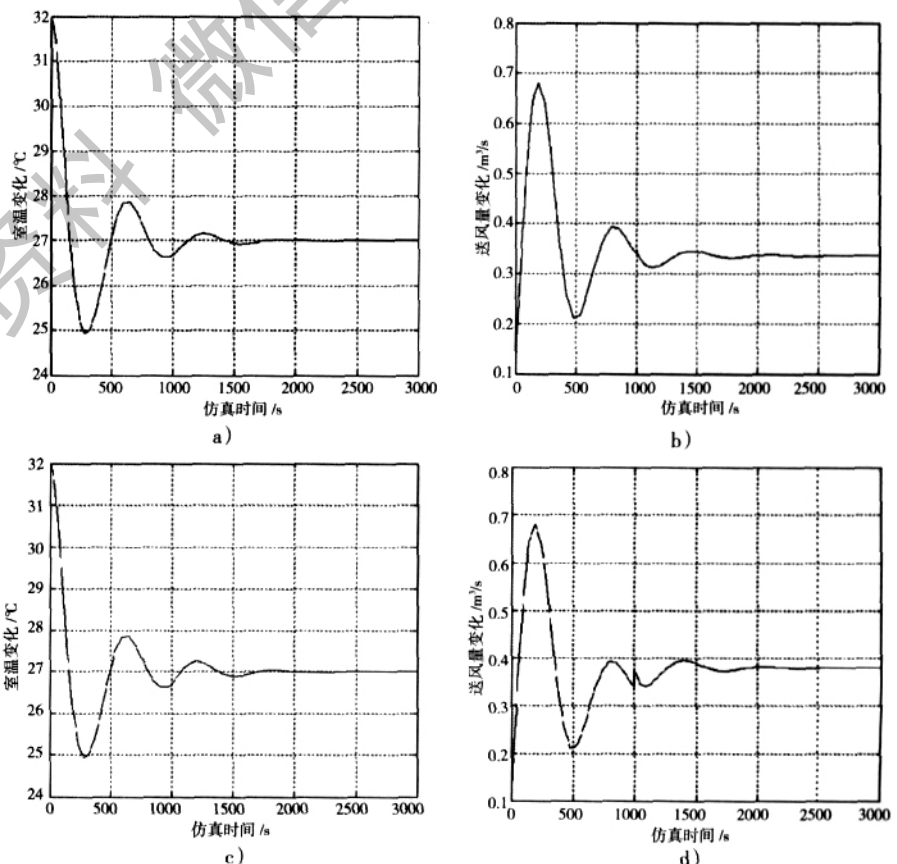


图 4 室温和送风量变化曲线

- a) $S_w = 0$ 时室温变化
- b) $S_w = 0$ 时送风量变化
- c) $S_w = 0.5^\circ\text{C}$ 时室温变化
- d) $S_w = 0.5^\circ\text{C}$ 时送风量变化

$$\text{即 } 75710 \frac{d a}{d t} = G \cdot 1005 \cdot s - G \cdot 1005 \cdot a - \frac{a}{0.00276} + \frac{1}{0.00276} + Q_2 \quad (3)$$

2.1.2 仿真模型及结果分析

卧室 1 温度控制 simulink 仿真框图如图 3 所示^⑥, 仿真结果如图 4 所示。

设室外平均温度为 32, 室内设备散热为 0.5kW, 调整 PID 参数各为 0.004, 0.001, 4。从图 4 可看出, 在室外温度 (32) 高于室温设定值 (27) 时, 末端风阀开度改变, 送风量发生变化, 经过大约 1250s, 室温稳定于 27, 参见图 4 a), 送风量稳定于 0.34m³/s, 参见图 4 b); 在仿真时间 1000s 时, 室外温度干扰信号 (s) 从 0 变为 0.5, 室温出现了波动, 参见图 4 c), 而送风量变化更明显, 到 1500s 时送风量稳定于新的平衡值 0.38m³/s, 参见图 4 d)。从仿真结果来看, PID 控制曲线较为光滑、反应迅速, 且静态误差小。

2.2 数字末端控制器研究

2.2.1 数字末端控制器控制原理

基于以上仿真结果, 数字末端控制器调节室温的原理如图 5 所示, 房间温度 T 为系统控制对象, 温度变送器检测信号经 A/D 转换成 T_c^[7], 输入控制器。与给定值 T_h (用户设定) 比较, 得到偏差信号。控制器根据偏差信号, 执行 PID 算法程序, 得控制量 T_u, 控制输出 T, 使其跟踪给定值 T_{sp}。f₁ 为室外温度对房间温度的干扰信号, f₂ 为室内热源对房间温度的干扰信号。

2.2.2 数字末端控制器软件设计

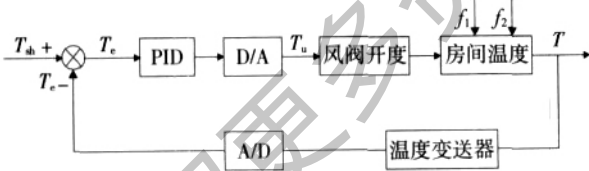


图 5 房间温度控制系统原理图

软件设计中包括控制算法、滤波子程序、采集子程序和输入输出子程序。

针对被控对象的特性, 采用数字 PID 控制算法, 其增量型控制算式为:

$$\psi(k) = K_p [\epsilon(k) - \epsilon(k-1)] + K_i \epsilon(k) + K_d [\epsilon(k) - 2\epsilon(k-1) + \epsilon(k-2)] \quad (4)$$

式中 K_p — 比例增益 K_p = 1/ , 对应控制参数“P”;
K_i — 积分系数 K_i = K_pT_s/T_i, 对应控制参数“I”;
K_d — 微分系数 K_d = K_pT_d/T_s, 对应控制参数“D”;
ψ(k), ψ(k-1) — 当前时刻和上一时刻的控制量;
ε(k) — 当前时刻的给定量和检测量的偏差;

ε(k-1) — 上一时刻的给定量和检测量的偏差;
ε(k-2) — 两个时刻前的给定量和检测量的偏差。

为了方便编程, 将式 4) 整理成如下形式:

$$\psi(k) = q_0 \psi(k) + q_1 \epsilon(k-1) + q_2 \epsilon(k-2) \quad (5)$$

$$q_0 = K_p (1 + T_s / T_i + T_d / T_s)$$

$$q_1 = -K_p (1 + 2T_d / T_s)$$

$$q_2 = K_p \cdot T_d / T_s$$

式中 T_i — 积分时间, s;

T_d — 微分时间, s;

T_s — 采样周期, s。

所谓采样,

是及时将连续的

模拟信号, 按

一定的采样周

期采集为离散

数字信号的过程。

采样控制周

期的长短, 取

决于控制对象

的特性和控制

精度的要求, 文

中采用 T_s = 0.1s。

控制系统中, 为了

提高信号的可靠

性, 通常采用

滤波方法, 本文

采用中位值滤波

法。

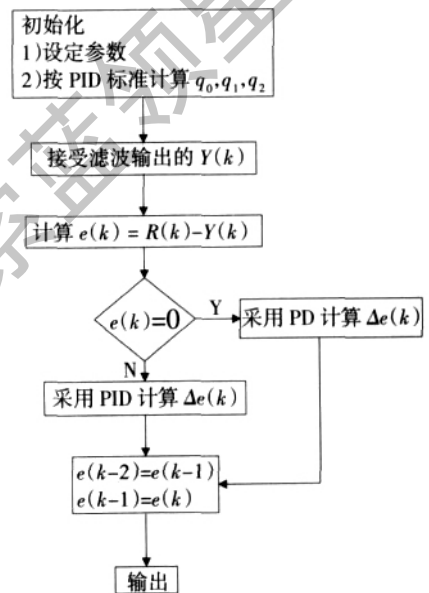


图 6 PID 程序流程图

3 中央控制器研究

变风量空调系统中, 定静压控制容易出现振荡, 而变静压控制也有由于测量不准导致控制不稳现象, 为此, 作者借鉴末端调节的变风量系统 (TRAV) 方法, 对各居室房间总风量进行控制。TRAV 不采用变风量系统中的静压调节, 而由末端装置的实时风量需求直接控制送风机。

3.1 风机风量调节原理

模糊控制不需要经过精密的计算和严密的逻辑推理, 是一个模糊的推理决策过程。中央控制器根据各末端结构为满足室内温度要求所需的额定风量及其实际风量的差值 e, 计算出 e 的变化率 ec, 以 e, ec 作为控制量的输入, 模糊化后查表得出控制量 u, 模糊改变风机频率, 从而调节风机风量。实际控制过程中, 控制输出通过查表实现。

3.2 控制表的生成及查表方法的软件实现流程

实际控制时, 只要将 e, ec , 相应转变为 E 和 EC , 即可输出所需的控制量 U , 将 U 重新量化为真实控制量, 送到相应的执行机构达到控制目的。软件控制的查表方法: 首先将 $n \times m$ 矩阵按行展开使之成为一维数组, 并按先后顺序依次存放, 然后根据 E 和 EC , 通过查表找到对应的 U ; 程序代码先将当前的 EC 加上 6, 以获得行信息 i , 再根据 E 的正负和大小确定列信息 j , 最后根据 $14 \times i + j$ 的值决定 U 在表中的位置。查表程序清单如下:

```
int i, j, E, EC, adf( U)
i = EC+6
if E<0 then
j = E+6
else if E>0 then
j = E+7
else if E = +0 then
j = 7
else
j = 6
end if
adf( U) = 14* i + j
```

4 控制系统界面设计

本控制系统中人机界面采用 VB^[8] 编写, 控制算法程序和硬件接口程序在 C 语言环境中完成。

4.1 控制系统的模拟组成

该系统由空调机组、各空调房间、变风量末端装置、风量输送装置及相关的检测、变送、执行仪表、微电脑中央控制器、模/数、数/模接口板等组成^[9], 系统的模拟图如图 7 所示, 组成部分如下:

(1) 微电脑中央控制器。采用 CPU8088, 它的作用是按照规定的算法, 根据各空调房间送来的温度、风量信号进行运算, 运算结果输出控制系统新风量; 调节变频风机转速, 调节总送风量; 根据风机的相关参数或过滤器压力信号进行实时显示、报警等。

(2) A/D 转换和 D/A 转换。采用 ADS774 逐次逼近型转换器和 DAC7541 转换器, 实现 4~20mA 信号与微电脑能接收的数字信号之间的相互转换。

(3) 测量变送。测量温度参数时, 采用 PT-100 铂电阻检测温度, 并将之转为 4~20mA 电信号。

(4) 数据采集。数据采集卡有 16 路单端模拟量输入通道, 2 路模拟量输出通道。

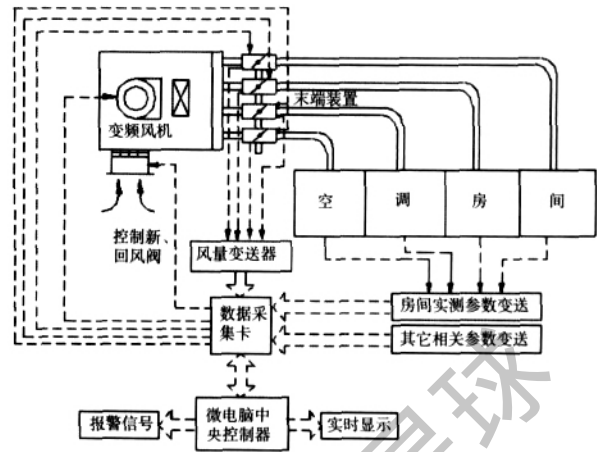


图 7 户式中央空调变风量控制系统模拟流程图

(5) 末端控制。将 D/A 送来的电信号转换为调节的风阀开度, 调节末端送风量。

(6) 操作控制。显示空调系统的运行状态及实现对系统的某些操作控制。

(7) 报警及实时钟。对参数超限进行报警, 以及产生中断的实时时钟信号。

(8) 电源。

其中末端装置送风量是根据房间温度实测值与设定值之差, 直接调整末端装置中的风阀而测得。

4.2 控制系统主要硬件

主要硬件包括: CPU8088、PCL-812PG 加强型多功能数据采集卡、模数转换器 ADS774 和数模转换器 DAC7541、在线系统可编程逻辑器件 ISP1024、可编程定时器/计数器 8254、可编程增益放大器 PGA205、高速电可擦除逻辑控制器件 ATF16V8B 等。

其中 PCL-812PG 图 8) 具有综合所有数据采集的功能, 将 A/D, D/A, DIO 和定时器/计数器集成在一块板上。这种卡的特性使它非常适合要求高速的 12 位数据采集。具体功能包括: AT 总线, 16 路单端输入(输出), PCL-812PG 的 5 级增益, 板上采样保持, 两个 12 位单片乘法模拟输出通道, 可编程定时器/计数器, 37 芯 D 型接口, 三个 A/D 触发模式。其中 A/D 输入采用 B.B.ADS774 转换器进行 16 路单端输入, 并采用 B.B.DAC7541 转换器进行 2 路双缓冲模拟输出, 可编程计数器为 8254。

4.3 控制系统界面设计

图 9 a) 是控制系统界面首页, 按继续键进入控制项目界面如图 9 b), 在此界面可进行各个控制子项的选择, 选择定时界面则就进入界面如图 9 c), 在此界面可以设定空调系统开、关机时间, 同时显示当前时间。选择设定则进入界面如图 9 d), 在此界面可以设

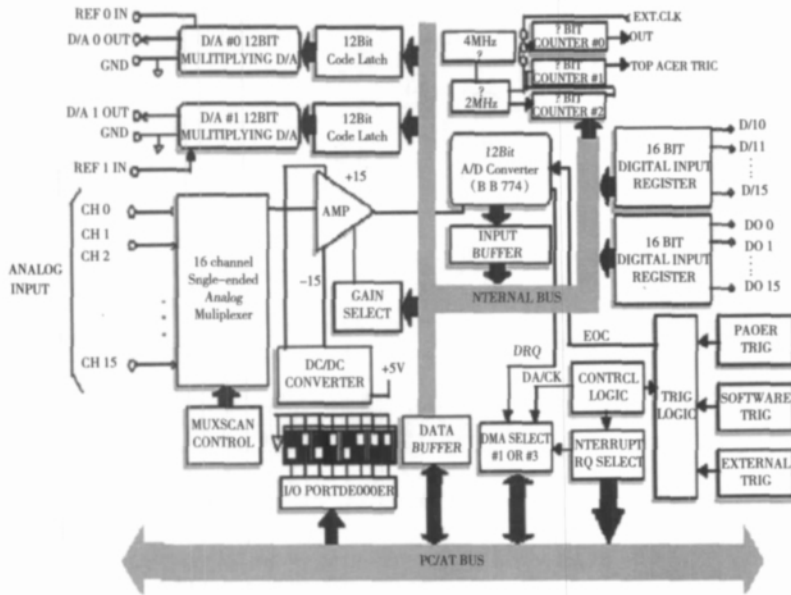


图 8 PCL-812PG 数据采集卡结构框图

定开机密码、节能参数、是否一键开机、是否联网等，图 9 e)、图 9 f) 分别是房间温度、风量控制界面。

开始按钮使系统开始运行，结束按钮使系统结束运行，退出键功能将使整个系统退出，返回按钮均使系统返回到控制项目界面图 9 b)，以上所述的各个按钮的功能在菜单中也可实现。

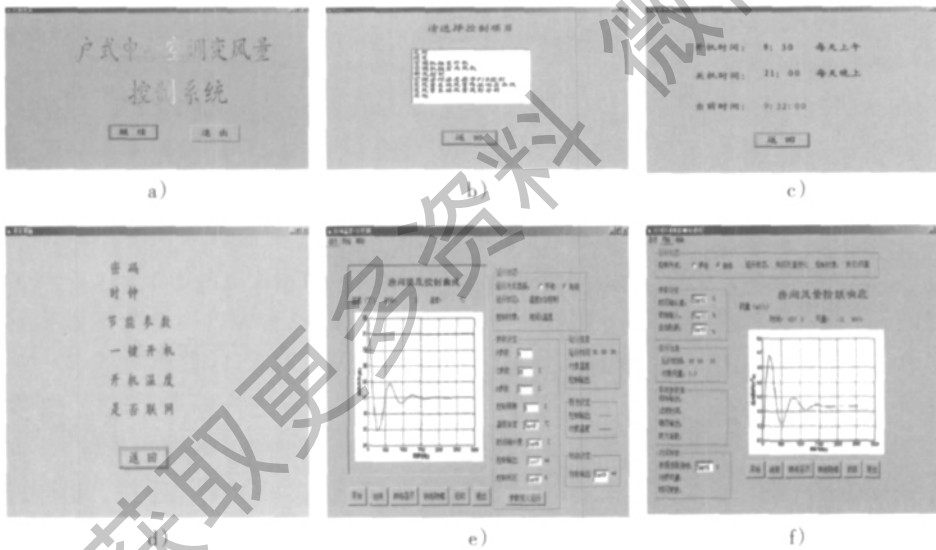


图 9 控制界面

a) 首页 b) 控制项目界面 c) 控制定时界面
d) 控制设定界面 e) 房间温度控制界面 f) 房间送风量控制界面

系统运行方式有手动和自动两种，控制对象表明目前状态是针对某房间的控制。参数设定栏中可以输入 P、I、D 整定值，温度给定值，控制周期等。曲线图框上方显示的数据是系统采集的实时数据，图片框中的温度、送风量响应曲线光滑可靠，控制误差小参见图 9 e)、图 9 f)。

5 结语

(1) 将末端变风量调节 (TRAV) 这一总风量控制思路应用于户式中央空调变风量 (HVAV) 控制系统中，使户式中央空调变风量系统的集散控制成为可能。

(2) 在系统控制仿真的基础上，设计了数字式末端控制器。采用 PID 控制方法调节房间的送风量；基于送风机的动态特性和行为，采用模糊逻辑控制技术调节系统总送风量，增强了空调系统对环境不确定性因素的适应性。

(3) 给出了控制系统模拟结构和硬件组成，编写了控制系统界面，界面简单友好，为户式中央空调控制系统产品的开发提供理论参考。通过对 HVAV 控制系统的

研究，对于解决以往户式空调各房间温度较难控制这一难题，提高空调机组运行效率，改善室内人体热舒适环境具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 龙惟定, 白玮. 中国住宅空调的未来发展[J]. 暖通空调, 2002, 32(4): 1~6.
- [2] 蒋能照, 张华. 家用中央空调实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [3] 胡卫东. 变风量空调系统控制研究[J]. 长沙铁道学院学报, 2001, 19(1): 100~102
- [4] THOMOS B HARTMAN. Global optimization strategies for high-performance controls [J]. ASHARE Transactions 1995, 101(2): 679~687.
- [5] 张子慧, 黄翔等. 制冷空调自动控制[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [6] BYU & AHC VAN PAASSEN. Modeling with SIMULINK and bang graph method for fault[A]. Proceeding of the 4th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation Energy Conservation in Buildings [C]. Part .2001.1163~1170.
- [7] 秦丰, 胡良彬. 触摸屏在中央空调控制系统中的应用[J]. 沈阳航空工业学院学报, 2005, 22(4): 77~79.
- [8] 宋伟. 中文 VB 6.0 编程基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [9] 刘书名. 高性能模数与数模转换器[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.

收稿日期: 2006-09-11

修回日期: 2006-12-13

(下转第 67 页)

系统应立即封锁风机电压驱动信号,向空调控制系统发出相应的保护标志,停止风机运转,进入保护状态。

4 结语

本文设计了一种直流变频空调的室外无刷直流风机控制电路,并针对沿海风力大,无刷直流电机容易反向发电的问题,给出了解决方案,编写了风机控制驱动程序框图,可供直流变频空调的生产作参考。

参考文献:

- [1] 张琛. 直流无刷电动机原理及应用[M]. 机械工业出版社, 2004(12) .
- [2] 陈敏祥, 陈永校. 小容量无刷直流电动机换向逻辑的研究[J]. 微电机, 2002(6) .
- [3] 邹继斌, 张豫, 李宗政, 等. 无位置传感器无刷直流电机驱动电路研究[J]. 微电机, 2005(2) .
- [4] 高金行. 反电势换相无刷直流电动机驱动线路的探讨[J]. 中小型电机, 2003(8) .

收稿日期: 2006- 09- 18

修回日期: 2007- 02- 02

Resolving Method of the Fan Motor Reversing to Generating Electricity in Air Conditioner

ZHAO Jin- yun, WANG Ben- qiang

(Technical Secondary College of Qingdao Development Zone, Qingdao 266555, China)

Abstract: A kind of control electric circuit of variable velocity DC air-condition was designed, and improvements of the protection measures of the electric circuit were also made against strong winds in coastal areas as well as brushless DC motor reversing to generating electricity in starting process. Besides, a drive program was introduced.

Key words: brushless DC fan motor; ENC3022 chip; reversing to generating electricity; drive program

作者简介: 赵金云 (1969-), 女, 山东青岛人, 高级电工, 教师;

王本强 (1973-), 男, 山东青岛人, 硕士, 从事控制理论与控制工程的教学和研究。

(上接第 64 页)

VAV Control Simulation and Implementation of Household Central Air- Conditioning

YU Mei- chun, ZHANG Deng- chun

(College of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Household central air-conditioning VAV control system includes control system of air conditioning unit, VAV terminal, terminal controller and central controller. Based on the computational simulating result, the terminal controller and central controller were designed. The terminal controller with PID algorithm was used to control the single room temperature. The central controller's function is collecting the room temperature and airflow parameters, controlling total airflow of the system, and fuzzy control was introduced in the central controller according to the dynamic characteristics and behavior of the system. In the end, the organizations of hardware and technique realization of software were all particularly discussed. And VB language was used to compile control system interface, which is friendly and simple. The results have theoretical signification on developing products of household central air-conditioning control system.

Key words: household central air-conditioning; terminal regulating air volume; PID control; control interface

基金项目: 湖南省教育厅基金资助项目 No: 05C193

作者简介: 于梅春 (1972-), 女, 湖南祁阳人, 硕士, 讲师。