

文章编号:0253-4339(2013)04-0081-05
doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2013.04.081

基于 STC89S52 单片机的电子膨胀阀的控制系统研制

吴俊云¹ 葛荣建¹ 郭明珠¹ 裘慧祥²

(1 上海理工大学能源与动力工程学院 上海 200093; 2 上海源泉电气有限公司 上海 201108)

摘 要 针对家用变频空调蒸发器过热度控制问题,提出了一种基于带死区的积分分离的 PID 控制算法和 STC89S52 单片机为控制核心的电子膨胀阀的开度控制系统,并阐述了控制系统的工作原理、硬件电路及控制软件设计。通过对变频空调系统的电子膨胀阀的控制实验验证:该控制器具有静态精度高,自适应能力强,可靠性高,抗干扰性强的特点。

关键词 自动控制;单片机;PID 控制;电子膨胀阀;过热度

中图分类号:TP21;TB663 **文献标识码**:A

Design of Electronic Expanded Valve (EEV) Control System Based on the STC89S52 Microcontroller

Wu Junyun¹ Ge Rongjian¹ Guo Mingzhu¹ Qiu Huixiang²

(1. School of Energy & Power Engineering, Univ. of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China; 2. Shanghai Yuanquan Electric Co., Ltd., Shanghai, 201108, China)

Abstract Aiming at the control problems of evaporator superheating in the household Variable frequency air conditioner, the Electronic Expanded Valve (EEV) control system was investigated based on a dead band integral-separation PID control algorithm and the STC89S52 single-chip microcontroller as the control core. And the control system principle, the hardware circuit and the software design are expounded too. The experimental results of household air conditioning showed that the EEV control system had the characteristics of static accuracy, adaptability, reliability, and anti-interference.

Keywords automatic control; single-chip microcontroller; PID control; EEV; superheat

为了制冷系统的高效稳定运行,电子膨胀阀以一种可按预设程序进行制冷剂流量调节,保证蒸发器的出口过热度始终保持在最小稳态过热度上,这样即确保了系统的可靠、稳定运行,又使系统处在一个高效节能的工况下^[1]。随着对电子膨胀阀研究的深入,对电子膨胀阀的开度控制逐步简单化,且通过单片机、PC 机对制冷系统实行控制得到了越来越多的研究及应用^[2]。

这里基于 STC89S52 单片机,采用数字 PID 算法来设计的家用空调电子膨胀阀开度调节的控制系统,达到控制蒸发器出口过热度的目的,具有稳定性及一定的抗干扰能力,可以大大提高电子膨胀阀开度的控制质量,提高系统效率,从而达到节能的目的。

1 控制系统硬件设计

1.1 开度控制的基本原理

开度控制的基本原理为当到达采样周期时,由热敏电阻检测蒸发器进出口温度,将温度信号转换

为 0 ~ 2.5V 的电压信号,再由 A/D 转换芯片将电压值转换为数字量,送至单片机,单片机经过计算得到蒸发器过热度并与设定的值进行比较,根据偏差信号进行数字 PID 控制运算,得到相应的脉冲数,经过集成功率放大芯片 ULN2003 驱动电子膨胀阀电机绕组,使阀开度改变,进而改变制冷剂流量,达到控制蒸发器过热度的目的,使蒸发器过热度向着最小稳态过热度变化并最终达到当前负荷下的最小稳态过热度。

所研制的电子膨胀阀开度控制系统采用 STC89S52 单片机实现。系统输入量为蒸发器的进、出口温度,及室温,输出量为电子膨胀阀的脉冲改变量。其中硬件电路主要包括:单片机扩展电路、温度采集电路、电子膨胀阀驱动电路等。图 1 为控制系统组成框图。

1.2 单片机扩展电路

STC89S52 型单片机是整个系统的核心控制部件,单片机根据测得的温度值计算出过热度,再计算

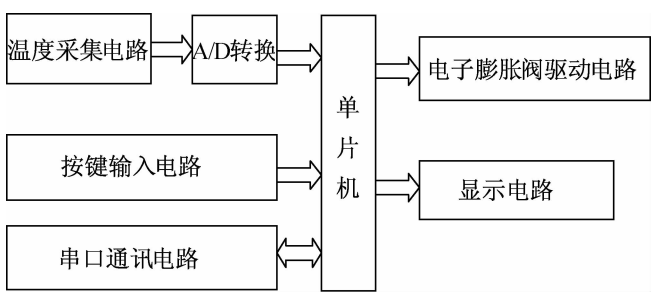


图 1 控制系统组成框图

Fig. 1 The figure of control system composition

出过热度偏差,然后调用 PID 子程序计算出相应的电子膨胀阀脉冲数,将脉冲数输出去控制电子膨胀阀转动,从而实现过热度的变化。STC89S52 型单片机支持 USB 口下载程序,其主模块电路主要分为复位电路、晶振电路、USB 供电电路等。其中,晶振电路的晶振频率为 11.0592MHz,供电电路通过 PC 机的 USB 接口对单片机供电^[3],同时系统也设计了外接电源电路,也可以使用外接电源进行供电。

其扩展电路包括 A/D 转换与单片机的接口电路、EEPROM 存储器电路、串口通讯电路等。其中 EEPROM 存储电路存储电子膨胀阀的总的脉冲数及步进电机转动的时序值。串口通讯电路可以方便进行 Keil C 程序的下载以及在线调试,并且可以把制冷系统的过热度、电子膨胀阀开度等数据传给 PC 机,方便数据的存储和显示^[3]。同时,单片机还负责按键中断、温度显示等工作。

1.3 温度采集电路

所研制的制冷系统电子膨胀阀控制器所采用的温度传感器为 NTC10k 热敏电阻。热敏电阻具有灵敏度高、工作范围广、使用方便(电阻值可在 0.1 ~ 100k 间任意选择)、稳定性好等特点,在空调、冰箱等产品中得到广泛地应用。其精度达到制冷系统的控制要求,并且热敏电阻还有一个大的优点就是,成本低,阻值随着温度的变化较大,放大电路可以省去,降低成本。

由于传感器输出的信号为 0 ~ 2.5V 的模拟电压信号,而单片机接受的信号为数字信号,故在两者之间要加模数转换芯片,并且温度信号为缓慢变化的信号,并不要求较高的模数转换速度,可采用较为低廉的 PCF8591 模数/数模转换芯片。PCF8591 具有 4 个模拟输入、1 个模拟输出和 1 个串行 i2c 总线接口,其中输入为 8-bit 逐次逼近 A/D 转换,转换速率由 i2c 总线的最大速率决定。PCF8591 把传感器测得的模拟电压信号转化为与其大小成正比的数字量传给单片机。

1.4 电子膨胀阀控制电路

电子膨胀阀的开度大小由步进电机驱动,一般家用空调用电子膨胀阀采用四相八拍爪极步进电机,通过单片机 P1.0 ~ P1.3 口控制电机的四相绕组,其中采用 ULN2003 集成功率放大芯片驱动电机绕组。

2 软件系统设计

2.1 程序流程

程序采用模块化设计,其中包括:主程序、采样子程序、控制算法子程序、步进电机驱动子程序、定时中断子程序、显示子程序、按键处理子程序、串口通讯子程序等。由于在控制计算过程中要涉及到浮点数,而对于浮点数的计算,汇编语言较为复杂,不易实现,所以采用 C 语言进行程序编写,可读性强,大大提高开发调试的工作效率^[4]。主程序流程如图 2 所示。

主程序首先完成系统的初始化操作,为程序运行做好准备。主程序根据室温,完成系统的开停控制。其中温度采样、控制算法以及步进电机驱动等由定时中断子程序控制调用,按键处理和串口通讯采用中断的方式进行调用。

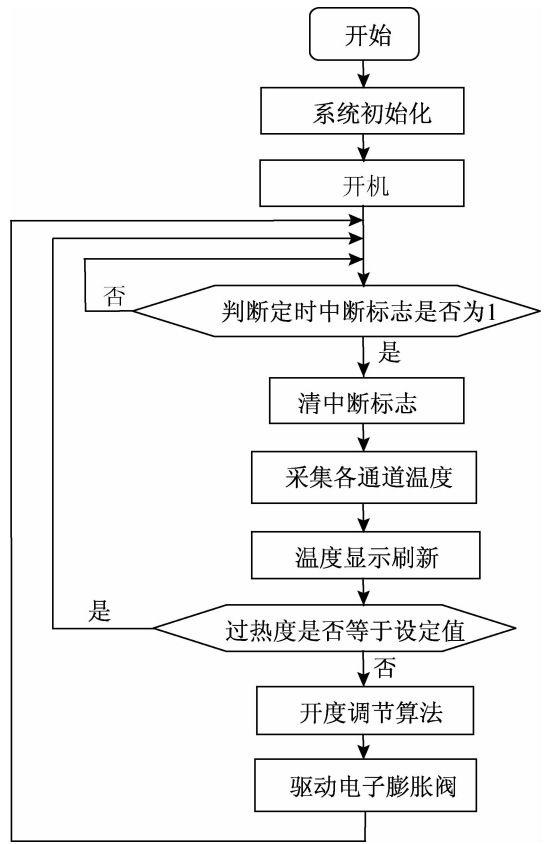


图 2 主程序流程图

Fig. 2 Main program block diagram

2.2 PID 控制算法

控制算法采用 PID 控制算法,即按设定值与测量

值之间偏差的比例、偏差的积累和偏差变化的趋势进行控制。

在连续的系统, PID 控制规律^[4-5]为:

$$y(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

式中: $e(t)$ 为目标过热度与实际过热度偏差; $y(t)$ 为阀开度大小函数; K_p 为比例调节系数; T_i 为积分调节系数; T_d 为微分调节系数; τ 为时间变量。

由于单片机不能进行连续计算, 所以必须把方程离散化。当采样周期相当短时, 用矩形法代替数值积分, 用向后差分来代替微分, 则 PID 变化规律变为:

$$y(k) = K_p \left[e(k) + \frac{1}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) \times T_s + T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T_s} \right] \quad (2)$$

式中: $y(k)$ 为采样时刻 kT 时的输出值; $e(k)$ 为采样时刻 kT 时的偏差值; $e(k-1)$ 为采样时刻 $(k-1)T$ 时的偏差值。

式(2)为位置型控制算法, 可是步进电机的控制要求的是每次改变的脉冲数, 所以可采用增量式控制。这样式(2)就变成:

$$\begin{aligned} \Delta y(k) &= y(k) - y(k-1) \\ &= K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $\Delta y(k)$ 为两个周期之间控制器的输出量,

K_p 为比例系数, K_i 为积分系数 K_d 为微分系数。

2.3 带死区的积分分离 PID 控制策略

由于蒸发器-电子膨胀阀系统具有大滞后, 非线性等特点, 并且存在许多外界不确定因素, 很难通过标准 PID 算法进行控制。当有较大的扰动时, 再加上系统本身的滞后及惯性, 在积分的作用下, 系统会产生超调和振荡, 不利于系统的稳定。因此, 为了得到更好的控制效果, 采用带死区的积分分离 PID 控制^[6-7]。当偏差 $e(k)$ 较大时, 采用 PD 控制, 取消积分作用; 当偏差 $e(k)$ 小于某一设定值 M 时, 但是大与死区值 m 时, 使积分作用; 当偏差 $e(k)$ 小于死区值 m 时, 系统不作变化。电子膨胀阀带死区的积分分离 PID 控制系统框图如图 3 所示。

1) 当 $|e(k)| > M$ 时, 采用 PD 控制。偏差较大, 说明当前过热度相当于目标过热度即最小稳态过热度有较大的偏离, 应使阀的开度快速变化, 减少系统的响应时间, 取消积分作用, 以免由于积分作用降低系统的稳定性, 避免大的超调量。

2) 当 $|e(k)| \leq M$ 时并且 $|e(k)| > m$ 时, 采用 PID 控制。偏差一般, 说明当前过热度与目标过热度即最小稳态过热度已经接近, 因此增加积分作用, 消除静态误差。

3) $|e(k)| \leq m$ 时, 系统不做反应, 避免系统的频繁动作, 过热度与目标过热度存在一定的差值是容许的。

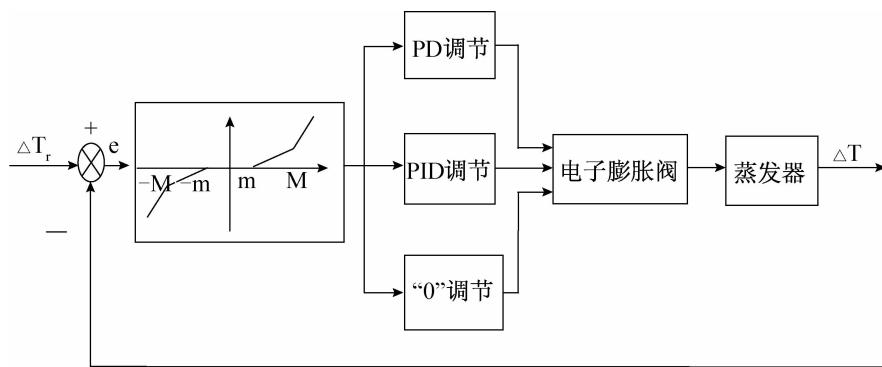


图 3 带死区的积分分离 PID 控制系统框图
Fig. 3 The dead band integral-separation PID control algorithm

2.4 PID 参数的整定

PID 参数通常通过以下几种方法整定: 1) 扩充临界比例度法; 2) 扩充响应曲线法; 3) PID 归一参数整定法

在控制系统中, 采用扩充响应曲线法。通过过热度对电子膨胀阀脉冲阶跃变化响应的实验, 得到系统的动态响应曲线, 根据表 1 对各个参数整定, 得到一个初始值, 其中控制过热度取 1.5。然后在实际操作

过程中进行修正, 直到满意的结果。

3 控制效果

3.1 目标过热度的调整

为使系统在高效率的工况下运行, 目标过热度必须始终保持在当前负荷下的最小稳态过热度附近, 要保证目标过热度与最小稳态过热度的匹配。但是在实际的过热度控制当中, 蒸发器负荷的测量不易测

出,而蒸发温度与蒸发器的负荷存在一定的定量关系,故实际控制中,通过测量蒸发器的蒸发温度来决定最小稳态过热度的值,程序中过热度的设定值根据不同的蒸发温度而改变。

表 1 按阶跃响应曲线法整定参数

Tab. 1 The setting parameters based on the step response					
控制度	控制规律	T	$K_p t$	T_i	T_d
1. 05	PI	0.1τ	$0.84 T_\tau$	3.4τ	0.45τ
	PID	0.05τ	$1.15 T_\tau$	2.0τ	
1. 2	PI	0.12τ	$0.78 T_\tau$	3.6τ	0.55τ
	PID	0.16τ	$1.0 T_\tau$	1.9τ	
1. 5	PI	0.5τ	$0.68 T_\tau$	3.9τ	0.65τ
	PID	0.34τ	$0.85 T_\tau$	1.62τ	
2. 0	PI	0.8τ	$0.57 T_\tau$	4.2τ	0.82τ
	PID	0.6τ	$0.6 T_\tau$	1.5τ	

3.2 控制效果

家用变频空调的制冷系统原理如图 4 所示,由压缩机、冷凝器、过滤器、电子膨胀阀等组成。图 5 为国内某品牌家用变频空调验证机及测点布置。经过一段时间的测试运行,具有良好的效果,达到了预期的目的。

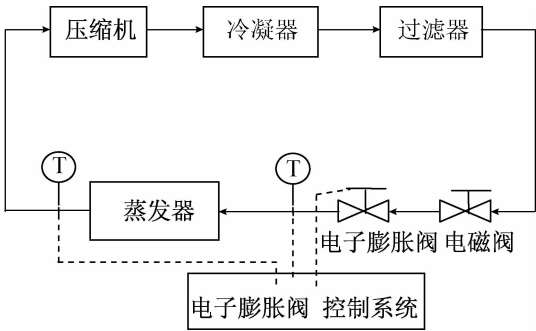


图 4 家用空调实验系统图

Fig. 4 Experimental system of frequency air conditioner

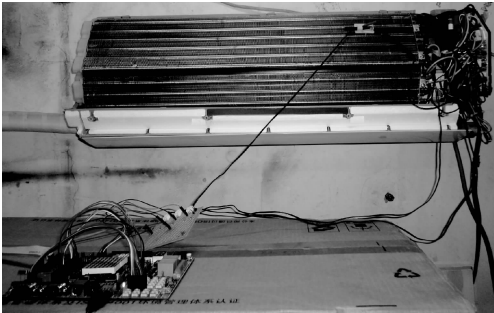


图 5 国产某品牌家用变频空调验证机

Fig. 5 Frequency conversion test air-conditioner

在变频空调系统中采用改变过热度设定值来验证带死区的积分分离的 PID 控制的效果。改变前,过

热度设定值为 3℃,电子膨胀阀的总脉冲数在 263 ~ 278 之间变化,蒸发器的进口温度为 14℃左右,出口温度为 17℃左右。图 6 为家用变频空调系统过热度 PID 实时控制效果曲线。

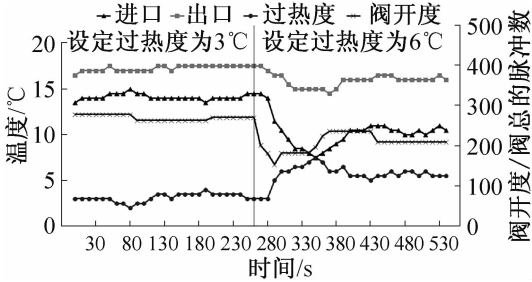


图 6 过热度 PID 控制

Fig. 6 The superheat PID control

在 $t = 260\text{s}$ 时,将过热度设定值改变为 6℃。此时,控制算法使电子膨胀阀总的脉冲数减少到 209 ~ 236 左右,此时蒸发器入口的温度为 10.5℃左右,蒸发器出口温度为 16℃左右,出口温度的降幅低于入口温度的降幅。在正常的要求精度内,过热度波动是容许的。大约经过 110s 的时间,过热度到达新的设定值附近。从控制效果的曲线图 6 上看出,过热度有个明显的超调。

4 结论

主要从硬件、软件以及控制算法方面开发了一种基于单片机对于电子膨胀阀开度的控制系统:

- 1) 编程采用 C 语言进行编写,便于浮点计算,程序灵活简便且调试的效率;
- 2) 在控制算法方面:加入了带死区的方法,可以满足控制精确度的要求和减少电子膨胀阀的频繁动作;
- 3) 采用积分分离的方法来改善调节的效果,避免系统产生过大的超调量及振荡;
- 4) 为了提高系统的效率,程序保证了目标过热度始终与当前蒸发温度下的最小稳态过热度保持对应关系。
- 5) 控制系统在某家用空调电子膨胀阀测试系统中,经过一段时间的测试运行,具有良好的效果,达到了预期的目的。

参考文献

[1] 招伟. PID 和自适应联合控制电子膨胀阀对蒸发器供液量的影响[J]. 制冷与空调, 2004, 4(1): 63-66. (Zhao Wei. A Study Of The PID And Self-Adaptive Control On Refrigerant Supply By Electronic Expansion Valve To The Evaporator[J]. Refrigeration And Air-Conditioning, 2004,

- 4(1): 63-66.)
- [2] 陈曦,李炜. 制冷空调系统的模糊控制实现[J]. 自动化与仪器仪表,2000,26(11):32-34. (Chen Xi, Li Wei. Refrigeration And Air Conditioning System To Realize Fuzzy Control [J]. Electronic Technology Applications, 2000, 26(11):32-34.)
- [3] 李伟. 基于单片机技术的微波加热温控系统设计[J]. 广东农业科学,2011,38(20):161-162. (Li Wei. Temperature Control System For Microwave Heating Based On SCM Technology [J]. Guangdong Agricultural Science, 2011,38(20):161-162.)
- [4] 刘迪,谭春亮,李建海,等. 基于数字 PID 和 89C52 单片机的温度控制系统[J]. 电子设计工程,2010,18(4):28-30. (Liu Di, Tan Chunliang, Li Jianhai, et al. Temperature Control System Based On Digital PID And 89C52 Single-Chip Microcomputer [J]. Electronic Design Engineering, 2010, 18(4):28-30.)
- [5] 吴心纯,赵金燕,杨秀莲,等. 基于 80C52 单片机的电加热数字恒温控制系统设计[J]. 电子设计工程,2011,19(11):82-84. (Wu Xinchun, Zhao Jinyan, Yang Xiulian, et al. Design Of Temperature Digital Control System For Electric Heaters Based On 80C52 Microcontroller [J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(11):82-84.)
- [6] 夏大勇,周晓辉,赵增,等. MCS-51 单片机温度控制系统 [J]. 工业仪表与自动化装置,2007(1):43-46. (Xia Dayong, Zhou Xiaohui, Zhao Zeng, et al. Temperature Control System Of Single-Chip Of Model MCS-51 [J]. Industrial Instrumentation and Automation Equipment, 2007(1):43-46.)
- [7] 刘绿山,刘建群,李仕勇,等. 基于 AT89S52 单片机的温度控制系统[J]. 微计算机信息,2007,23(6-2):98-100. (Liu Lvshan, Liu Jianqun, Li Shiyong, et al. Temperature Control System Based On AT89S52 Single Chip Microcomputer [J]. Micro Computer Information, 2007, 23(6-2):98-100.)

作者简介

吴俊云,男(1969-),工学博士,副教授,上海理工大学能源与动力工程学院制冷与低温工程研究所,(021) 54158136, E-mail:jyun_wu@126.com。研究方向:制冷装置仿真与优化,电子膨胀阀等。

About the author

Wu Junyun(1969-), male, Ph. D., Associate professor, Institute of Refrigeration & Cryogenics, University of Shanghai for Science and Technology, (021) 54158136, E-mail:jyun_wu@126.com. Research fields: Simulation and optimization of refrigeration device, Study of Electronic Expanded Valve.