

基于改进 PID 的供暖阀门直流电机控制系统设计

徐 涛, 刘新宇, 王学鹏

(沈阳航空航天大学 自动化学院, 辽宁 沈阳 110136)

摘 要: 针对北方地区传统冬季供暖系统是一个非线性的系统且存在供暖反馈滞后的问题, 引入一套新型控制系统。结合目前分户供暖现状, 设计了一套基于改进 PID 的供暖阀门直流电机控制系统。通过遗传算法对电机控制系统的 PID 参数进行整定, 得到在不同角度下的最优控制曲线并将其应用到实际系统中。同时利用远距离无线电 (LoRa) 建立用户插座与供暖阀门之间的信息传递, 并通过 485 总线将二者温度、角度等信息发送给供热公司实现监测与控制。与传统控制方法相比, 所提控制方法可以提高系统的工作性能与效率。

关键词: 直流电机; PID 控制; 遗传算法; 供暖控制; 485 通信

中图分类号: TM331 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2022)12-0028-06

doi: 10.12177/emca.2022.131

DC Motor Control System Design of Heating Valve Based on Improved PID

XU Tao, LIU Xinyu, WANG Xuepeng

(School of Automation, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: Aiming at the problem that traditional winter heating system in northern China is a nonlinear system with heating feedback lag, a new control system is introduced. Combined with the current situation of household heating, a heating valve DC motor control system based on improved PID is designed. The PID parameters of the motor control system are adjusted by genetic algorithm, and the optimal control curves at different angles are obtained and applied to the actual system. Meanwhile, long range radio (LoRa) is used to establish the information transmission between the user socket and the heating valve, and the temperature, angle and other information are sent to the heating company through the 485 bus to realize monitoring and control. Compared with the traditional control method, the proposed control method can improve the working performance and efficiency of the system.

Key words: DC motor; PID control; genetic algorithm; heating control; 485 communication

0 引 言

随着经济的发展, 热电联网供暖系统的应用前景引起广泛关注。用户按照房屋面积定期向供暖公司交付费用, 实现分户供暖^[1-2]。然而这种集中供暖的方式下, 用户不能按照自身期望来设定屋内所需温度, 而且无法实时监测当前室内温度以及累计使用的热力费用^[3-4]。不仅如此, 传统的供暖系统缺乏闭环, 供热公司也无法及时得到用户的反馈, 控制存在滞后现象。

智能化的温度控制引起了学者们的广泛研究^[5-7]。针对供暖公司无法根据温度控制阀门的问题, 马静等^[5]提出了单片机结合 SIM 卡模块共同作为供暖阀门的控制端, 用户需要通过使用移动端发送短消息的方式来获取屋内的当前温度, 并根据当前温度, 以短消息的方式控制家中的电子阀门。鲁添祎等^[6]提出利用单片机控制无线传输模块 nRF905, 并由上位机接收并处理数据。然而随着通信次数的增加, 若采用短消息获取信息的方式, 用户需要承担高额的通信费用, 且移动端

收稿日期: 2022-06-05; 收到修改稿日期: 2022-10-09

作者简介: 徐 涛 (1971—), 男, 博士, 教授, 研究方向为现代检测技术、故障诊断技术。

刘新宇 (1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向为检测技术与自动化装置。

短消息不方便老人使用。

物联网的出现给供暖行业提供了一种新的解决思路,即每户独立并可以一对一控制,最终实现高效、智能化的自动控制。

传统的 PID 控制^[8](即比例、积分、微分控制)具有操作简便、可使用性强、应用范围广等优点。然而在实际的工程应用中,由于经验不足,其耗时较长。近年来,研究人员提出了很多改进 PID 整定参数的方法^[9-13],如模糊 PID、神经网络 PID 等。蔡满军等^[12]针对电机受到扰动影响的问题,提出了神经网络 PID 的控制方法,定义具有 PID 参数的神经元,提高了系统的跟踪性。然而此类算法需要充足的先验知识,很难应用于实际控制。

为解决以上传统供暖控制存在的问题,本文提出了一种基于改进 PID 的供暖阀门直流电机控制系统。电机控制性能指标的高低会影响整个控制系统的实际应用能力,将遗传算法引入控制器参数整定,提高参数优化效果,同时结合远距离无线电(LoRa)模块建立用户室内的插座、供暖户阀门以及供热公司三者之间的信息交互。最终用户可以监测到屋内的实时温度并设定期望值,同时供热公司也可以随时获取用户屋内温度等信息,并根据用户的需求进行控制。试验表明,此套控制系统可以对户阀旋转的角度进行精确控制,提高系统的整体工作效率,有利于推动新型供暖控制系统在工业领域的发展。

1 系统总体设计

用户室内温度、累计热力费用等数据通过 LoRa 传输至户阀处,户阀在接收到数据后通过 485 总线发送至数据传输单元(DTU)。同时供热公司也可以根据 ModBus 协议通过云平台发送控制指令控制户阀进而控制用户屋内的温度。供暖阀门采用直流电机进行控制,利用改进的 PID 算法使电机控制精度更加准确。新型供暖控制系统如图 1 所示。

1.1 系统硬件设计

整个控制系统硬件部分分为测温插座系统和供暖阀门系统。

测温插座系统包括一个微控制器(STC8A8K64D4),一个温度传感器(SHT30),一



图1 新型供暖系统系统

块 LCD 显示屏(ST7539),一个存储芯片(BL24C256),一个物联网收发器(LoRa)以及三个按钮,并由 220 V 供电电压经过变压器(LS03-13B03R3)降压供电使用。

供暖阀门系统包括一个微控制器(STC8A8K64D4),一个温度传感器(PT1000),一个角度传感器(SV03A103),一个电机驱动芯片(HR9110S),一个存储芯片(BL24C256),一个物联网收发器(LoRa),一个 485 通信接口(SIT3485),三个 LED 指示灯,并由 24 V 电源经过降压芯片(MP1584EN)降为 5 V 与 3.3 V 供电使用。

系统中插座和阀门分别安装了一个温度传感器。其中插座上配的是 SHT30 温度传感器,该传感器的测温范围能达到 $-40 \sim +125\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。该种温度传感器体积小,便于安装在插座模具中,用来采集屋内的实时温度。阀门上配的是 PT1000 温度传感器,该种传感器可将温度变量转换为可传送的标准化输出信号,主要用于工业过程中温度参数的测量和控制。本系统选取 PT1000b 型温度传感器,其测温范围为 $-50 \sim +300\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。用于采集供暖阀门中的回水温度,便于供热公司进行监测。新型供暖控制系统结构框图如图 2 所示。

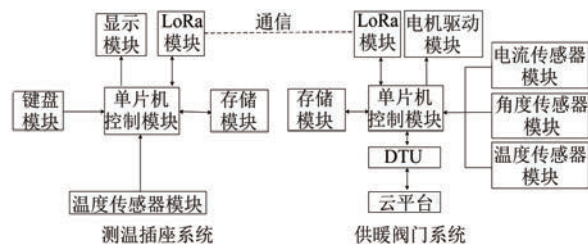


图2 新型供暖系统结构框图

1.2 系统软件设计

根据新型供暖控制系统各部分功能来设计子程序,并通过 C 语言编程实现。各模块程序初始

化后,将默认值保留在存储芯片,用户屋内插座的数据每隔一天会通过 LoRa 更新到户阀处。供热公司可以通过 ModBus 协议发送读写指令,通过读写指令,供热公司可以获取所需信息并进行控制,控制过程引入遗传算法对控制器参数进行整定。系统主程序流程如图 3 所示。

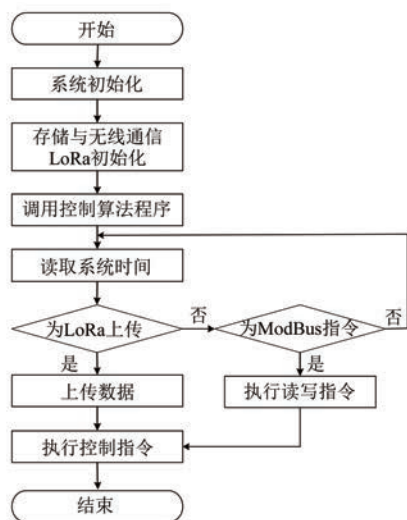


图3 系统主程序流程图

2 PID 控制器

2.1 传统 PID

传统的 PID 控制具有算法简单、可靠性强等特点。PID 控制本质上是一种偏差控制,其中比例控制可以加快系统响应,但是存在稳态误差;积分控制消除稳态误差;微分控制可以减小尖峰^[8]。本文中供暖系统结构如图 4 所示。

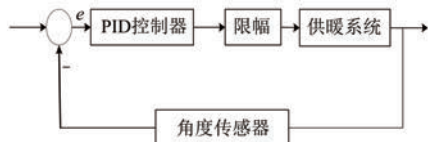


图4 供暖系统结构图

具体 PID 公式为

$$r = K_p * e(k) + K_i * \sum e(k) + K_d * [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

其中:

$$e(k) = \theta_{\text{set_value}} - \theta_{\text{current_value}} \quad (2)$$

式中: $\theta_{\text{set_value}}$ 为设定角度值; $\theta_{\text{current_value}}$ 为当前实际角度值; $e(k)$ 为本次偏差; $e(k-1)$ 为上一次偏

差; $\sum e(k)$ 为 $e(k)$ 以及之前的偏差累计和 ($k = 1, 2, 3, \dots, k$); K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例、积分及微分控制调节系数; r 为输出。

2.2 遗传算法改进 PID

遗传算法通过编码技术构造一个可寻找最优化的目标函数,并建立一个适应度函数^[13]。随机生成自定义大小的初始种群,接着对目标种群进行复制、交叉、变异、筛选。通过数据多次的迭代,最终得到数据当中的最优参数值作为目标问题的结果。

在实际供暖阀门里,传统 PID 控制往往存在系统超调量大、调节时间长等问题,这使得系统耗电增加。因此选用遗传算法对 PID 进行改进。通过遗传算法整定 PID 参数的具体流程图如图 5 所示,具体步骤如下。

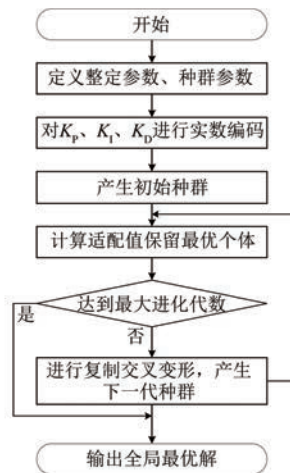


图5 遗传算法流程图

步骤 1: 确定待整定参数以及种群的参数和约束范围。根据参数的物理意义、实际应用环境的考量以及试验的经验确定 PID 控制的系数 K_p 、 K_i 、 K_d 取值范围。根据实际情况确定群体大小 M 、遗传代数 K_g 、交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 和权值 w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 的大小。

步骤 2: 确定编码和解码方法。遗传算法对 PID 参数寻优,需要对其进行编码。本文选择无符号的二进制数进行编码,每一个 PID 参数对应 10 位二进制数,共 30 位,依次为 K_p 、 K_i 、 K_d 。

步骤 3: 建立优化模型,得到个体评价方法,即确定个体适应度函数。采用误差绝对值时间积分性能指标作为参数,选择最小目标函数。利用

该目标函数获取期望过渡过程较好的动态特性。同时,为了设置控制量阈值,在目标函数中加入控制输入的平方项。最后的指标公式为

Q = \int_0^\infty [w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t)] dt + w_3 t_u \tag{3}

式中: e(t) 为系统误差;u(t) 为系统输出;t_u 为上升时间。

不仅如此,为防止系统出现超调现象,将超调量作为最优指标的一项,通过采取遗传算法内的惩处功能来解决。如果 e(t)<0,则最优指标为

Q = \int_0^\infty [w_1 |e(t)| + w_2 u^2(t) + w_4 |e(t)|] dt + w_3 t_u \tag{4}

式中:w_4>w_1。

步骤 4:交叉和变异,最终择优选择。

3 角度控制算法设计与实现

3.1 电机角度控制模型

采用大减速水泵直流电机,便于克服供暖系统中的水流冲击,通常其转矩与电枢绕组通过的电流大小和磁场强度成正比。磁场强度一定时,转子和轴可以默认是不变的^[14]。由牛顿第二定律和基尔霍夫电压定律,可以得到:

\begin{cases} J\dot{\theta} + b\dot{\theta} = K_t i \\ L \frac{di}{dt} + Ri = V - K_e \dot{\theta} \end{cases} \tag{5}

式中: J 为转子转动惯量; b 为黏性摩擦常数; K_t 为电机转矩常数; K_e 为电动势常数; L 为电感; R 为电阻; V 为电压; \dot{\theta} 为角速度,即 \theta 的积分为角度 \theta。

参数的具体值如表 1 所示。

表 1 直流电机参数值	
参数名称	参数值
电感 L/H	0.50
电阻 R/\Omega	1.00
黏性摩擦常数 b/(N·m·s)	0.10
转子转动惯量 J/(kg·m)	0.01
电动势常数 K_e/(V·rad ⁻¹ ·s ⁻²)	0.01
电机转矩常数 K_t/(N·m·A ⁻¹)	0.15

通过拉普拉斯变换在零初始条件下可以得到控制系统的传递函数:

P(s) = \frac{\dot{\theta}(s)}{V(s)} = \frac{0.15}{0.005 s^2 + 0.06 s + 0.100} \tag{6}

根据系统的传递函数在 Simulink 软件里搭建直流电机角度控制模型,并通过示波器观察调节后的曲线,模型如图 6 所示。

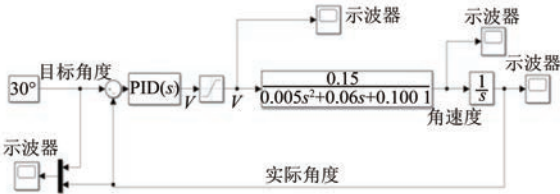


图 6 Simulink 搭建直流电机角度控制模型

3.2 角度控制流程

阀门系统中安装了 SV03 角度采集模块,用于采集电机旋转中的实时角度。阀门上电的初始角度值存储在片外带电可擦可编程只读存储器 (EEPROM) 内,供热公司可以通过 ModBus 读写指令进行角度的读取与控制。具体控制过程如下:

- (1) 获取期望角度目标值,由 DTU 通过 485 总线根据 ModBus 协议下发得到;
- (2) 经由角度传感器采集实际的角度;比较目标值与测量值并得到偏差,送入 PID 子程序进行计算;
- (3) PID 控制器计算输出,根据输出值控制输出给驱动的信号;
- (4) 驱动放大控制信号然后输出给电机,实现电机的控制。

角度控制算法流程图如图 7 所示。

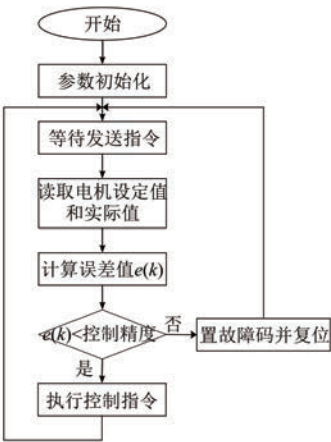


图 7 角度控制算法流程图

4 仿真与实物

4.1 仿真结果

将遗传算法改进 PID 控制器应用于电机控制系统,选取目标群体值 $M=50$,遗传代数 $K_g=200$,交叉概率 $P_c=0.9$,权值分别为 $w_1=0.999$ 、 $w_2=0.001$ 、 $w_3=2$ 、 $w_4=100$,编写遗传算法程序,并进行仿真,从而得到优化后的 PID 参数,比例系数 $K_p=0.607$ 、积分系数 $K_i=0.04$ 、微分环节 $K_d=1$,性能指标的优化过程如图 8 所示。

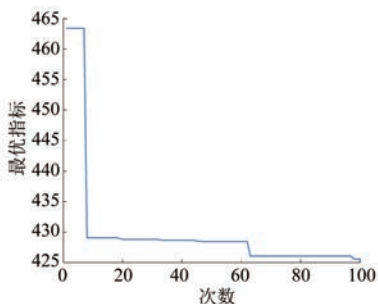


图 8 性能指标优化仿真结果

采用改进 PID 整定参数后,电机从 0° 经过目标角度为 30° 、 90° 时的仿真图如图 9 和图 10 所示。结果表明,本文所提系统控制速度快,调节时间较短,可以对电机位置达到良好的控制效果。

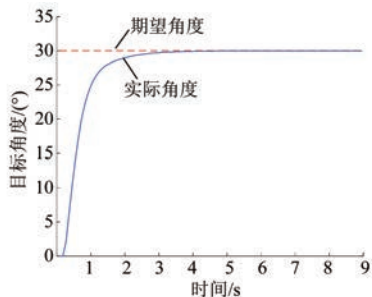


图 9 目标角度为 30° 时 PID 仿真结果

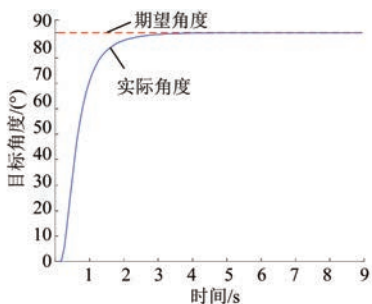


图 10 目标角度为 90° 时 PID 仿真结果

同时,将传统 PID 整定方法应用到直流电机控制模型中,与遗传算法改进 PID 整定参数方法进行对比,将目标角度设为 30° ,结果如图 11 所示。从图 11 可以看出,相比于传统 PID,本文通过引进遗传算法改进的 PID 算法减小了系统带来的超调量,明显缩短了调节时间,电机可以更快达到目标角度,使系统节能并提高了整个系统的实用性与快速性。

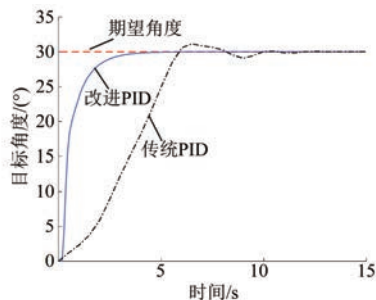


图 11 仿真对比结果

4.2 测温插座装置

测温插座装置上设有加、减以及翻页等三个功能按键,通过按键可以显示如下四个信息:当前屋内实时温度值、用户设定的温度值、用户累计使用的费用值、以及当前的 LoRa 地址。插座装置外部实物图如图 12 所示。



图 12 插座装置外部实物图

4.3 供暖阀门装置

供暖阀门内部由电源板、主控板和电机三者构成,装配到模具后带动阀门进行转动。供暖阀门内部结构图如图 13(a) 所示,供暖阀门整体结构图如图 13(b) 所示。

4.4 云端 DTU 界面

供热公司按照协议下发标准 ModBus 指令来实现控制作用。操作人员可以通过读取指令实时监测到阀门开度、用户屋内温度等信息,并可以通过写指令来进行控制。

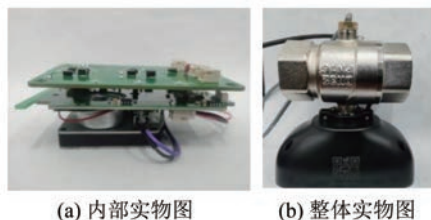


图 13 供暖阀门装置

5 结 语

本文提出了一个基于遗传算法的改进 PID 控制器,将其应用到供暖阀门直流电机控制系统,并结合 LoRa 模块与 485 总线成功地实现了用户、阀门、供热公司之间的信息交互。试验表明,本文改进的 PID 控制器在供暖阀门电机控制系统的应用中响应时间快且超调量小,系统工作稳定可靠,可以有效保证阀门开度的快速性,减小功耗,具有一定的使用价值。

【参考文献】

- [1] 麻少轩,岳巨恒,曹凤才. 城市分户供暖系统的研究[J]. 现代信息科技,2020,4(20): 169.
- [2] 程鹏飞,彭雨,郝正航,等. 热电联合供暖系统节能温度控制仿真[J]. 计算机仿真,2018,35(12): 160.
- [3] TOMASZ C, IGOR B, ALICJA S O. On the influence of local and zonal hydraulic balancing of heating system on energy savings in existing buildings-Long term experimental research [J]. Energy and Buildings,2018,179: 156.

- [4] 赵安军,周梦,于军琪,等. 基于分布式群控技术的高层建筑集中供暖系统控制与优化研究[J]. 建筑科学,2020,36(6): 23.
- [5] 马静,朴金宁,杨帆. 一种供暖阀门远程控制系统设计[J]. 自动化仪表,2018,39(11): 68.
- [6] 鲁添祎,付新森,王亦凡,等. 基于单片机的供暖室温实时监测系统[J]. 电子世界,2019(6): 193.
- [7] MEDYAKOV A A, SUHANOV K V, ANISIMOV P N, et al. Evaluation of the effectiveness of the building heating control system[J]. Journal of Physics Conference Series,2021,2094(5): 052023.
- [8] 曾喆昭,陈泽宇. 论 PID 与自耦 PID 控制理论方法[J]. 控制理论与应用,2020,37(12): 2654.
- [9] MOHANTY P, SAHU R K, SAHOO D K, et al. Adaptive differential evolution and pattern search tuned fractional order fuzzy PID for frequency control of power systems [J]. International Journal of Modelling and Simulation,2022,42(2): 240.
- [10] 张堂玉,龙祖强. 基于限幅模糊 PID 算法的果酒温度控制系统[J]. 自动化技术与应用,2022,41(2): 18.
- [11] 马晓阳,米珂,杜巍,等. 基于新型积分分离 PID 控制算法的无刷直流电机控制系统[J]. 电机与控制应用,2020,47(4): 30.
- [12] 蔡满军,赵晓东,于彬,等. 带跟踪微分器的永磁直线同步电机的 PID 神经网络控制[J]. 电机与控制应用,2017,44(2): 18.
- [13] 张涵,刘铁军,刘波,等. 遗传优化 PID 整定算法在阀门定位器中的应用[J]. 电子测量与仪器学报,2021,35(11): 215.
- [14] 陈露,李凌. 直流电机转速系统控制方法仿真研究[J]. 工业仪表与自动化装置,2021(5): 29.

声 明

本刊已许可万方数据、重庆维普、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司在其网站及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网

络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊相关费用抵消。如作者不同意文章被收录,请在来稿时向本刊声明,本刊将做适当处理。

《电机与控制应用》编辑部