

The Design of Closed-Loop Piecewise PID Constant High Temperature Control System

Mingyu Ma, Xi Long, Yuxuan Lu, Yuejian Li, Xin Liu*

Shenyang University of Aeronautics and Astronautics, Shenyang Liaoning
Email: xiaoyuanxiao163@163.com

Received: Apr. 29th, 2020; accepted: May 11th, 2020; published: May 18th, 2020

Abstract

A closed-loop segmented PID model is established to solve the nonlinear, large inertia and large lag problems of temperature control. Firstly, the rising stage of temperature is divided into the rising stage, the oscillation stage and the stable stage. Using Simulink module of MATLAB to build the closed-loop segmented PID model, and changing its proportion, integral and differential coefficients through experiments, the system output is more perfect. Finally, through the combination of heating module, temperature control module and display module circuit and the application of Proteus Software simulation, the results show that the selected parameters can make the system stable at a constant temperature, and the error is small.

Keywords

ADC0809 Converter, AT89C52 Single Chip Microcomputer, PID Controller

闭环分段PID恒高温控制系统设计

马明玉, 龙 洗, 鲁宇轩, 李跃润, 刘 昕*

沈阳航空航天大学, 辽宁 沈阳
Email: xiaoyuanxiao163@163.com

收稿日期: 2020年4月29日; 录用日期: 2020年5月11日; 发布日期: 2020年5月18日

摘 要

针对温度控制非线性、大惯性、大滞后等问题, 建立一种闭环分段式PID模型, 首先将温度的上升阶段分为上升区间、震荡区间及稳定区间。应用MATLAB中的Simulink模块搭建闭环分段PID模型, 通过试

*通讯作者。

验改变其比例、积分、微分系数，使系统输出更加完善。最后，通过结合加热模块、温度控制模块及显示模块电路并应用Proteus软件进行仿真，结果表明，所选择参数能够使系统在恒定的温度下稳定，并且误差较小。

关键词

ADC0809转换器，AT89C52单片机，PID控制器，定时计数器

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

温度是生活中最常见的基本量，它能反映物体的冷热程度。目前，温度控制在工业生产和日常生活中都发挥着重要作用，在冶金、电子、石油、化工领域，温度是最重要的热工参数之一[1] [2]。

在温度控制中，特别是高温控制比较难以实现，因为温度过高时，时间和温度之间并不是线性关系，在实际加热过程中，温度加热的时间既不能过长，又不能过短[3] [4]。否则会导致温度值不能达到预期温度值。而对于一些特定的工业生产及家庭需求，需要一种温度能够恒定的装置，否则会造成一些损失[5]。因此，设计一种可以实时监测并能最终稳定在恒定数值的温度控制系统迫在眉睫[6] [7] [8]。

2. 总体设计

在本系统中，硬件部分主要应用 AT89C52 单片机、ADC0809 数模转换芯片、74HC573 锁存器、OVEN 加热装置、RLY-SPNO 继电器、RESPACK 上拉电阻、以及与非门、数码管等组成。单片机主要用于计算 AD 转换的精度、控制显示、设定 PID 等。主要流程就是单片机控制 OVEN 加热，当温度高于 80 度时，会控制其冷却，当低于 80 度时，会控制其加热，使其最终稳定在 80 度，通过与单片机相连并经过数模转换的数码管显示当前加热器的温度，并且将此时的反馈信号给单片机控制继电器，然后在控制加热器。系统硬件连接示意图如图 1 所示：

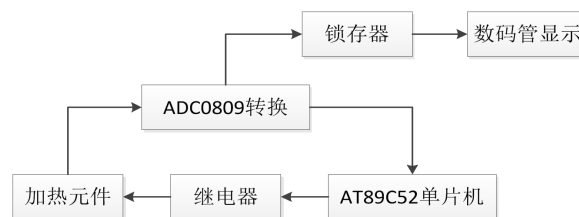


Figure 1. Schematic diagram of the overall hardware connection
图 1. 总体硬件连接示意图

3. 系统硬件设计

3.1. 单片机最小系统设计

在构建 AT89C52 单片机最小系统时，AT89C52 单片机的外围电路需要外接复位电路和时钟电路，本文在构建时钟电路时，选取的晶振的值为 6 MHz，电容值为 30 PF。单片机最小应用系统连接图如

图 2 所示。

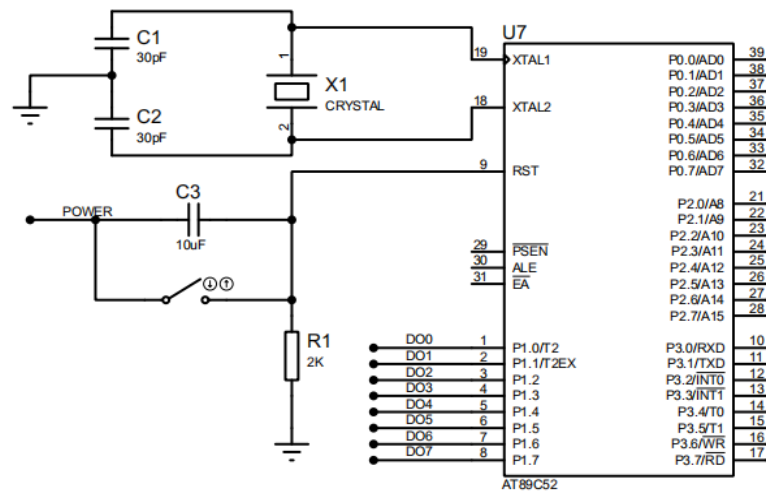


Figure 2. Schematic diagram of single chip microcomputer application system connection

图 2. 单片机最小应用系统连接示意图

3.2. 显示电路设计

锁存器 U4、U5、U6 的输出口 Q0-Q7 分别对应三个数码管的 A1-G1、A2-G2、A3-G3。三个锁存器的输入 D0-D7 都接到了单片机的 P0.0-P0.7。锁存器的 IE 口分别接在 P2.7-P2.5 引脚。电路连接图如图 3 所示。

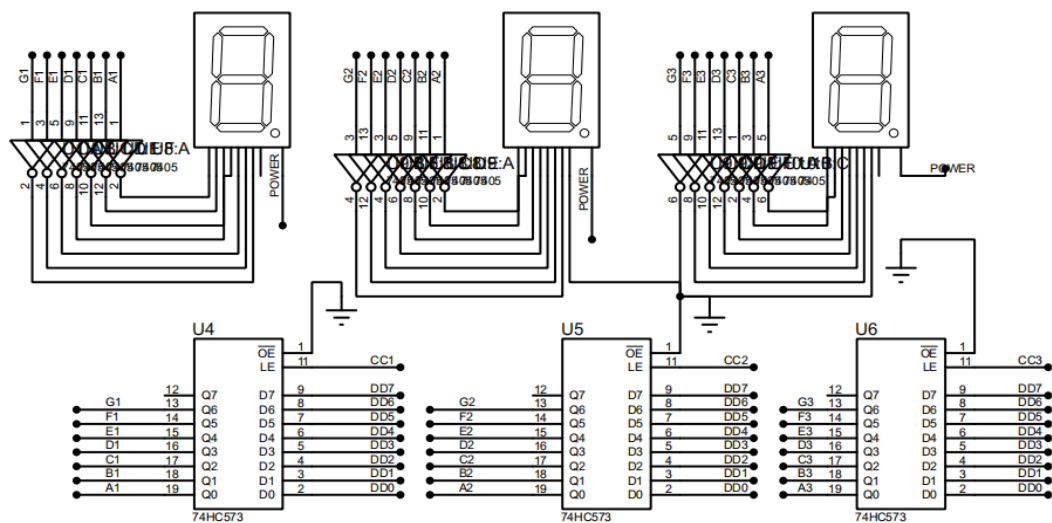


Figure 3. Shows the circuit connection diagram

图 3. 显示电路连接示意图

本设计选用共阳极 LED，其使能端均接高电平，在其输入端连接一个反相器。将第二、三个数码管分别作为个位及小数点后一位。将第二位数码管的最后一个显示引脚接低电平，使之长时间工作。

若单片机要对左边第一个数码管赋值，首先需将所输出的数据发送到 P0 口，再将 P2.7 置于高电位，

使得 U5 芯片选通工作, 进而将从 P0 口接受的数据锁存起来。外接的石英晶振向单片机输出 6MHz 的时钟频率, RP1 为上拉电阻, 保护电路。

3.3. 模数转换电路设计

将一个大频率的时钟信号接到 ADC0809 模数转换的时钟引脚上, P1.0~P1.7 与输出端 OUT1~OUT8 相连。选择 IN0 口输入模拟信号, 因为三个二进制数分别可对应 8 个十进制数的选择, 故 ADDA-ADDC 接地。将 IN0 口引入的 u_0 即 OVEN 输出电压的模拟量转化成数字量。模数(A/D)转换电路连接图如图 4 所示。

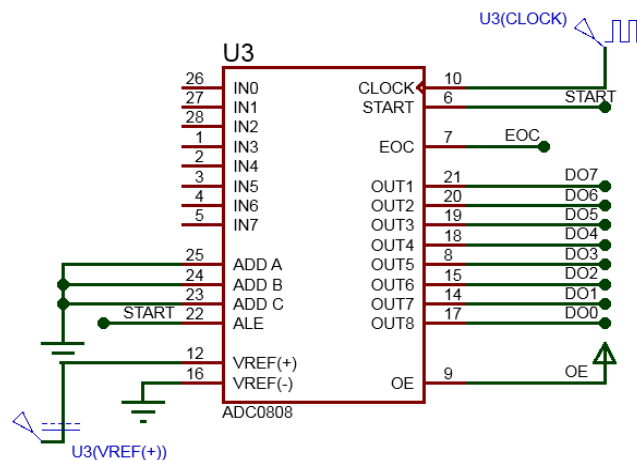


Figure 4. Schematic diagram of analog-to-digital conversion circuit connection

图 4. 模数转换电路连接示意图

当系统向外部读一个模拟信号时, P2.4、P3.6 端口处于低电平, 模拟信号由 IN0 口进入模数转换器并进行模数转换, 随后使 P3.7 位于低电平时转换后的二进制信号输出到 OUT1~OUT8 端口。

3.4. 温度控制电路设计

继电器 RL1 的一个端口与加热管的负端口相连, RL1 的另一端口接地, 继电器 RL2 的输出端与加热管正端口相连, 继电器的开关分别与 P2.3 端口及 DAWN 端和地相连。单片机发出冷却指令时, P2.3 和 DAWN 端口输出相应的电平, 使继电器断开或者工作, 即加热/冷却。电路连接图如图 5 所示。

主要工作原理是: 当温度比设定温度低时, DAWN 为低电平, P2.3 为高电平, 左面的继电器断开, 右面的继电器工作, 加热器处于加热状态。当温度高于设定温度时, 左面的继电器工作, 右面的继电器为低电平, 其引入一个 -5 V 的直流电源, 加热器可以自动调节温度, 处于冷却工作状态, 使其保持在恒定状态[9]。

4. 分段 PID 算法

4.1. PID 算法基本原理

PID 控制算法的核心思想是指将比例环节 P、积分环节 I 及微分环节 D 集成一个三者均包含的控制器。类似一种黑匣子, 将三者均放在一起, 但参数可调。通过调试三者的参数来改变其控制系统的性能, 一般来说, 根据调试经验或现场设备情况手动设定 P、I、D 三个参数, 应用简单、有效, 这也是 PID 算

法经久不衰的原因。但 PID 在控制温度时，由于其温度很高，此时的 PID 参数不容易调节，并且在控制过程中常出现发散的情况。因此需要应用分段 PID 进行控制，为了综合整个系统，本文选择了三段进而对应三组不同的 PID 参数。

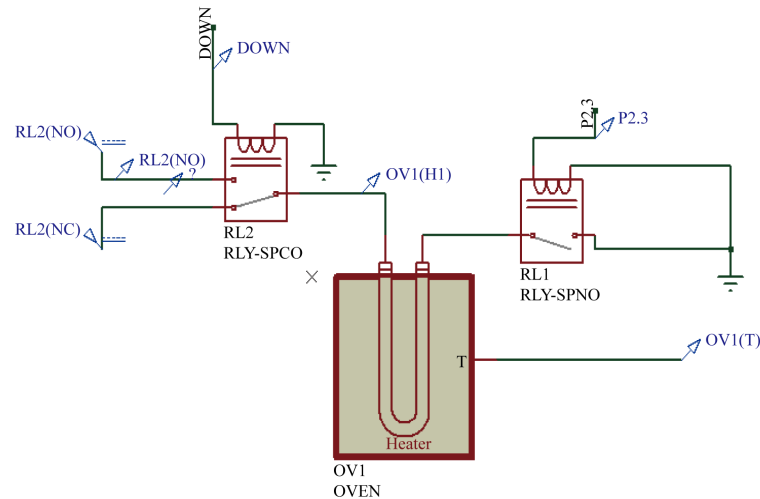


Figure 5. Schematic diagram of temperature control circuit connection
图 5. 温度控制电路连接示意图

4.2. 分段 PID 控制器设计

由于 PID 控制温度的过程中，其效果是不稳定的，并且温度最终输出的值并不一定能够恒定在要求的值，因此，就系统的上升阶段、超调阶段及稳定阶段进行分析，对不同的阶段应用不同的 PID 参数，从而能够使输出恒定在需求值。分段式 PID 温控系统框图如图 6。

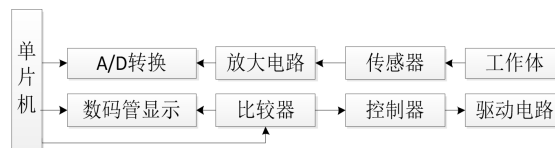


Figure 6. PID temperature control system diagram
图 6. 分段式 PID 温控系统图

由于若分段较多，在实际操作中比较难实现，并且单片机程序中循环较多，反应较慢，因此综合整体系统，将响应过程主要分为三个阶段，即上升阶段、稳态阶段及稳定阶段即可，通过闭环 PID 来不断的选择参数，参数选择应满足相应曲线。若系统的对应输出是稳定的，则该参数可选，之后不断的调节 PID 的系数，使其更加完善。

本文设计的分段 PID 控制算法的主要流程如下：

由于加热系统响应时间较长，在控温程序中，设计用 2 Hz 采样率进行温度采样，设置 2 个温度阈值进行分段控制，采用增量式 PID 算法计算占空比增量($dDuty$)并输出 PWM 波的占空比($dDuty\%$)。其划分阶段及各阶段执行的任务为：

- ① 当实际温度 T 小于预设温度 A 的一半($T < A \times 0.5$)时，占空比增量 $dDuty$ 设置为 0；
- ② 当实际温度 T 小于预设温度 A 的 98% ($A \times 0.5 < T < A \times 0.9$)时，使用第一组 PID 调节参数进行增量式 PID 计算 $dDuty$ ；

③ 当实际温度 T 大于预设温度 A 的 98% ($T < A \times 0.9$) 时, 使用第二组 PID 调节参数进行增量式 PID 计算 $dDuty$ 。

温度控制算法的流程图如图 7 所示。

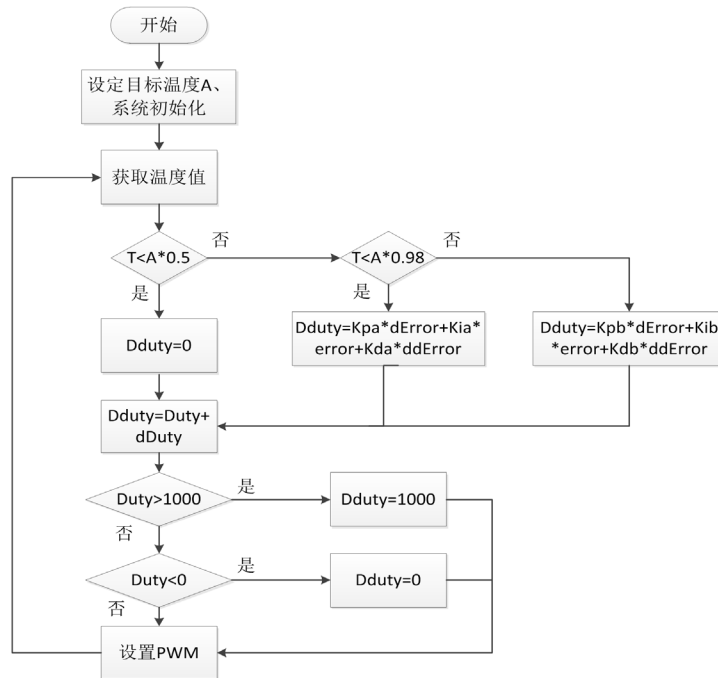


Figure 7. Flow chart of temperature control algorithm
图 7. 温控算法流程图

5. 系统软件设计

5.1. 定时程序设计

定时的原理是利用定时计数器技术溢出后产生溢出中断的特点, 当产生中断时, 进入中断函数, 在该函数内, 对 num 进行加 1, 以 num 到达一定值为一个周期, 定时程序设计图如图 8 所示。

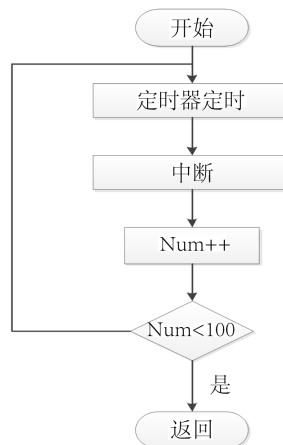


Figure 8. Timing program design
图 8. 定时程序设计图

5.2. 模数转换程序设计

因为从 ADC 输出的数据是 8 位二进制数，所以不能直接输出，经测量，当输出为 1 V 时，ADC 转换为 51，当输出为 5 V 时，ADC 转换输出为 255。

根据炉温系数，将转化得到的电压换算成真实温度。在温度的显示部分，需要将温度的各个位赋给各个数码管，将数字取余取整后除以各个位的权，进而取出各位的数。在取余取整的过程中，需要判断取余取整后的数是否大于原来的数来避免四舍五入的情况，如果大于原来的数，则说明进五，需要进行减一。模数转换程序框图如图 9 所示。

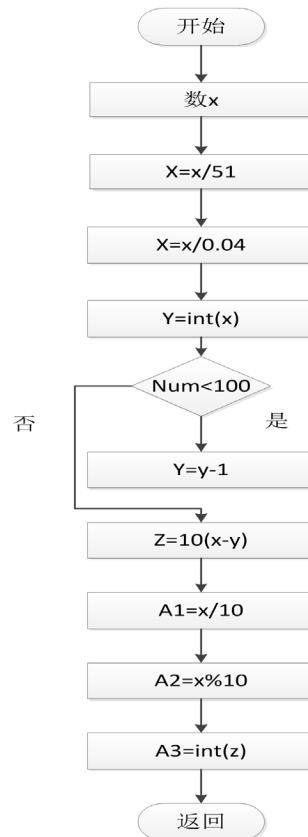


Figure 9. Block diagram of analog-to-digital conversion

图 9. 模数转换程序框图

6. 仿真结果

6.1. PID 温度控制仿真

图 10 是通过 Proteus 软件输出的温度控制曲线，根据图 10 所示的曲线可知，温度控制的过程是一个二阶响应，最终稳定的温度趋近于 80℃，与设计设定的 80℃ 相近，表明本控制器较为合理。最终输出的温度值可通过数码管来读数。

6.2. 数码管输出

系统稳定时，数码管的工作状态如图 11 所示。

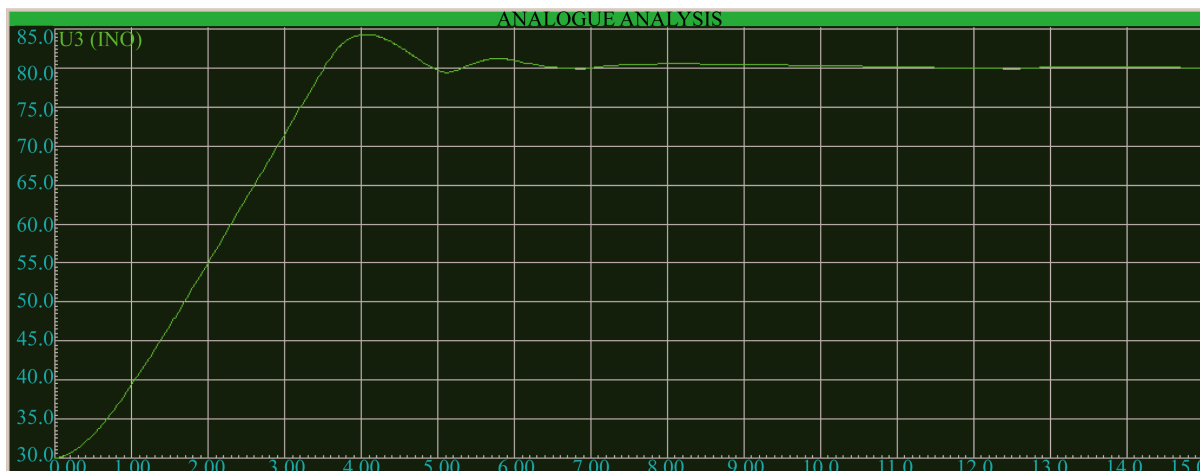


Figure 10. Proteus temperature output curve

图 10. Proteus 温度输出曲线

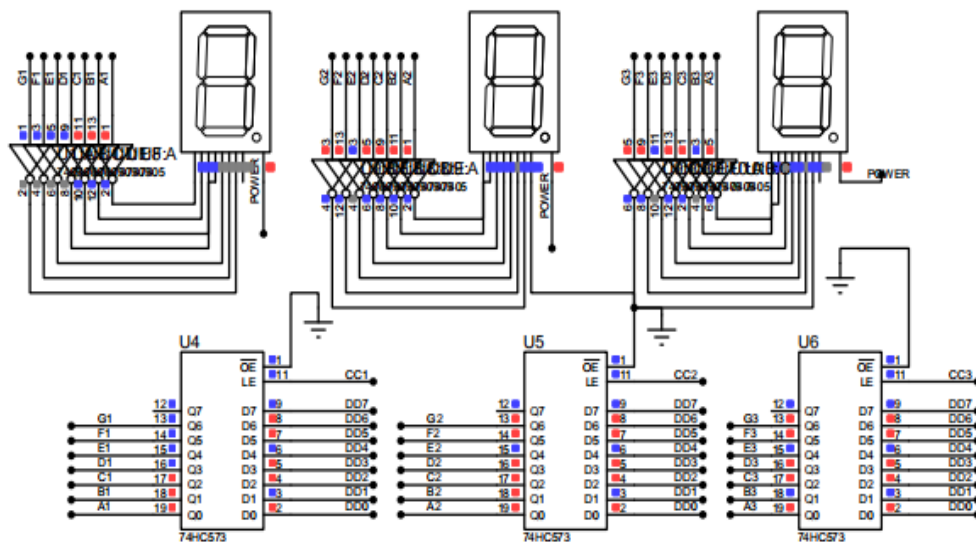


Figure 11. Digital tube output

图 11. 数码管输出图

如图 11 为输出的显示模块，由于 Proteus 导出为 PDF 时数码管没有显示出颜色变化，但是可以根据锁存器的红色、蓝色判断出每个引脚的高低电平，蓝色代表低电平，红色代表高电平。最左侧的逻辑引脚分别为 G1、F1、E1、D1、C1、B1、A1，对应的颜色分别为蓝色、蓝色、蓝色、蓝色、红色、红色、红色，即逻辑功能为 00001111，对应的数码管显示为 7。中间的逻辑引脚分别为 G2、F2、E2、D2、C2、B2、A2，对应的颜色分别为红色、红色、蓝色、红色、红色、红色、红色，即逻辑功能为 11011111，对应的数码管显示为 9。最右侧的逻辑引脚分别为 G3、F3、E3、D3、C3、B3、A3，对应的颜色分别为红色、红色、蓝色、红色、红色、蓝色、红色，即逻辑功能为 11011011，对应的数码管显示为 2。即此时输出的温度为 79.2°。

7. 结论

本文在“计算机控制技术”电烤箱闭环控制实验进行研究。使用温度检测单元测量温度，经 ADC0809

转换后读入系统中，引入数字分段 PID 控制，最后在虚拟示波器上实时显示温度控制信号的响应曲线。实验结果表明，本文提出的分段 PID 控制方法，能够有效地实现温控系统的实时监测和温度恒定功能。

参考文献

- [1] 钱鹏, 沈为群, 朱恺, 刘旺开. 高温环境模拟试验测控系统设计及高温控制方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(11): 2553-2557.
- [2] 王华. 单片机在数字温控器中的应用[J]. 技术与市场, 2011, 9(11): 34.
- [3] 魏庆涛. 单片机在炉温控制中的应用[J]. 现代电子技术, 2006(7): 119-120.
- [4] 乔志杰, 程翠翠. 基于遗传算法优化的模糊 PID 控制研究及其仿真[J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2011, 10(8): 158-159.
- [5] 宋超, 曹翱, 温家玺. 自适应模糊 PID 控制器的设计及 MATLAB 仿真[J]. 现代制造技术与装备, 2018(7): 203-205.
- [6] 郭军让. 对目前 DS18B20 AT89S51 的数字温控器设计分析[J]. 中国气象科学研究院, 2014(21): 37-38.
- [7] 黄俊梅, 罗贤, 支字堃. 基于单片机的模糊 PID 算法在索氏体化炉温度控制系统中的应用[J]. 电子测量技术, 2019, 6(11): 133-136.
- [8] Bhookya, J. and Kumarjathoth, R. (2019) Optimal FOPID/PID Controller Parameters Tuning for the AVR System Based on Sine-Cosine-Algorithm. *Evolutionary Intelligence*, **12**, 725-733. <https://doi.org/10.1007/s12065-019-00290-x>
- [9] Pamela, D. and Premi, M.S.G. (2016) Wireless Control and Automation of Hot Air Temperature in Oven for Sterilization Using Fuzzy PID Controller and Adaptive Smith Predictor. *Wireless Personal Communications*, **1**, 1-10.