

The High Precision Temperature Control System Based on the Incremental PID Algorithm

Lijun Wei

Department of Electrical Engineering, Hunan Railway Professional Technology College, Zhuzhou
Email: 398741983@qq.com

Received: Jan. 29th, 2013; revised: Feb. 20th, 2013; accepted: Feb. 28th, 2013

Copyright © 2013 Lijun Wei. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Temperature sensors are widely used in industrial and agricultural production, scientific research and other areas of life, and play an important role in the temperature control system. The high precision temperature control system has a very important place in measurement and control instrument development and deep processing industry. So, it has very strong application value and practical significance to design and develop a high precision temperature control system. In this paper, based on the hardware design of temperature control system, through incremental PID algorithm, a design of a temperature control in the range of $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ high precision temperature control system is completed, when compared with the existing similar temperature control systems, precision increases nearly 10 times.

Keywords: Temperature Sensor; High Precision Temperature Control System; Incremental PID Algorithm

基于增量式 PID 算法的高精度温控系统的设计

魏丽君

湖南铁道职业技术学院电气工程系, 株洲
Email: 398741983@qq.com

收稿日期: 2013 年 1 月 29 日; 修回日期: 2013 年 2 月 20 日; 录用日期: 2013 年 2 月 28 日

摘要: 温度传感器被广泛用于工农业生产、科学研究和生活等领域, 在温控系统中发挥着重要的作用。而高精度的温控系统在测控仪器开发以及工业深加工过程中占有相当重要的地位, 因此设计开发高精度的温控系统具有很强的应用价值和现实意义。本文在温控系统硬件设计的基础上, 通过增量式 PID 算法, 设计完成了一套控温范围在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的高精度温控系统, 相比现有同类温控系统, 精度提高近 10 倍。

关键词: 温度传感器; 高精度温控系统; 增量式 PID 算法

1. 引言

高精度的温控系统在测控仪器开发以及工业深加工过程中占有相当重要的地位, 在工业深加工的过程中, 对过程的控制以及实时温度的控制提出了很高的要求, 在产品一致性上, 要求温度基本维持恒定。设计和开发高精度的温控系统具有很强的应用价值。

国内外的基于 PID 的温控系统一般应用于化工

业、医疗单位、大专院校、科研部门及工矿企业等机构的实验室里的水浴恒温控制, 因为这些应用经常需要对各种试剂进行蒸馏、干燥、浓缩及恒温加热处理^[1], 在测控仪器和工业深加工领域, PID 的温控系统应用还不够深入^[2], 现有同类温控系统的控温范围一般都在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的水平^[3]。本文在选定温度传感器的基础上, 通过增量式 PID 算法^[4-6], 设计完成了一套应用在

测控仪器和工业深加工领域的高精度温控系统，控温范围可达±0.1℃^[7]。

2. 系统硬件框图及原理

硬件系统以 P89V669 单片机为核心，由温度采集模块、A/D 转换模块、加热控制模块、温度补偿模块以及串口等构成。总体硬件框图如图 1。

整个系统的工作原理是：由温度采集模块采集控制区域的实时温度值，通过 A/D 转化模块转化后传送给单片机处理，单片机通过对当前温度的判断，不断调整加热模块的 PID 输出控制参数，使得温度值往设定值越来越靠近并保持恒定，变化范围不超过 0.1℃。

3. 温度采集与 A/D 转换模块的设计

集成温度传感器采用 AD590，它是美国模拟器件公司生产的集成两端感温电流源，是电流型温度传感器^[8]，通过对电流的测量可得到所需要的温度值流过器件的电流(μA)等于器件所处环境的热力学温度(开尔文)度数，即：

$$I_T / T = 1 \mu A / K$$

式中： I_T ：流过器件(AD590)的电流，单位 μA。 T ：热力学温度，单位 K。

其工作原理是：在被测温度一定时，AD590 相当于一个恒流源，把它和 5~30 V 的直流电源相连，并在输出端串接一个 1 kΩ 的恒值电阻，那么，此电阻上流过的电流将被测温度成正比，此时电阻两端将会有 1 mV/K 的电压信号。

A/D 转换芯片采用 ADS1110，它是精密的连续自校准的片内带基准电压的 16 位 A/D 转换器，带差分输入。片内基准为 2.048% + 0.05%，片内可编程增益放大器 PGA，片内振荡器，可编程的转换速率为 15 次/秒~240 次/秒，具有 I²C 总线接口。

ADS1110 的 A/D 转换器内核是由差分开关电容 Δ-Σ 调节器和数字滤波器组成。调节器测量正模拟输入和负模拟输入的压差，并将其与基准电压相比较。数字滤波器接收高速数据流并输出代码，该代码是一个与输入电压成比例的数字，即 A/D 转换值。

ADS1110 是 I²C 总线接口，在对其进行读写操作时，需根据其读写操作的时序进行，在之前需要正确配置其输出寄存器和配置寄存器。

其读操作时序如图 2。

其写操作时序如图 3。

温度采集模块与 A/D 转换模块的电路原理图如图 4。该模块整体作用是：对控制的温度进行采集，并转化为数字量，传送给单片机处理。在温度采集的过程中，进行实时温度补偿。

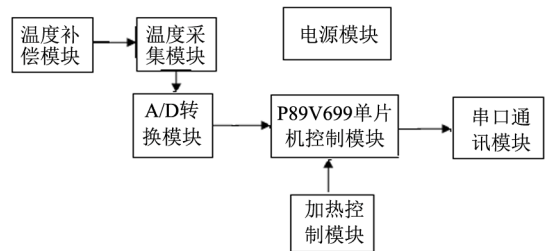


Figure 1. Hardware block diagram of the overall device
图 1. 系统总体硬件框图

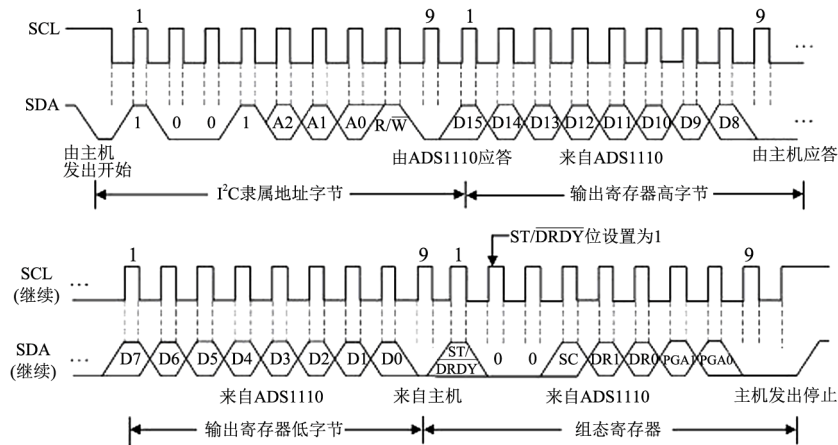


Figure 2. ADS1110 read operation sequence
图 2. ADS1110 读操作时序

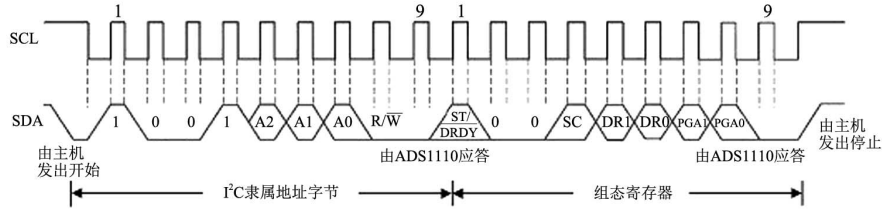


Figure 3. ADS1110 write operation sequence
图 3. ADS1110 写操作时序

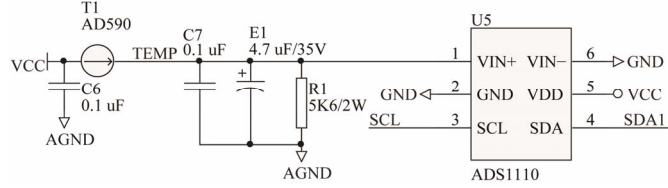


Figure 4. Temperature acquisition and A/D conversion module
图 4. 温度采集与 A/D 转换模块

4. 加热控制模块电路设计

加热控制模块电路设计如图 5。由单片机控制输出 PID 信号，通过三极管的开关作用，控制固态继电器的通断，从而达到控制加热片实现以 PID 控制的方式通断。

5. 增量式 PID 算法设计实现

增量式 PID 控制公式：

$$\Delta u(k) = k_p (e(k) - e(k-1)) + k_i e(k) + k_d (e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \quad (1)$$

$\Delta u(k)$ 是控制量增量，“增量式 PID”就是直接以这个增量进行控制。根据响应的情况进行参数的整定。增量式 PID 控制算法可以通过(1)式推导出。由(1)可以得到控制器的第 $k-1$ 个采样时刻的输出值为：

$$u_{k-1} = K_p \left[e_{k-1} + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^{k-1} e_j + T_d \frac{e_{k-1} - e_{k-2}}{T} \right] \quad (2)$$

将(1)与(2)相减并整理，就可以得到增量式 PID 控制算法公式为：

$$\begin{aligned} \Delta u_k &= u_k - u_{k-1} \\ &= K_p \left[e_k - e_{k-1} + \frac{T}{T_i} e_k + T_d \frac{e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}}{T} \right] \\ &= K_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) e_k - K_p \left(1 + \frac{2T_d}{T} \right) e_{k-1} + K_p \frac{T_d}{T} e_{k-2} \\ &= A e_k - B e_{k-1} + C e_{k-2} \end{aligned} \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned} A &= K_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right), B = K_p \left(1 + \frac{2T_d}{T} \right), \\ C &= K_p \frac{T_d}{T} \end{aligned} \quad (4)$$

由(4)可以看出，如果计算机控制系统采用恒定的采样周期 T ，一旦确定 A 、 B 、 C ，只要使用前后三次测量的偏差值，就可以由(4)求出控制量。增量式 PID 控制算法与位置式 PID 算法(1)相比，计算量小得多，因此在实际中得到广泛的应用。

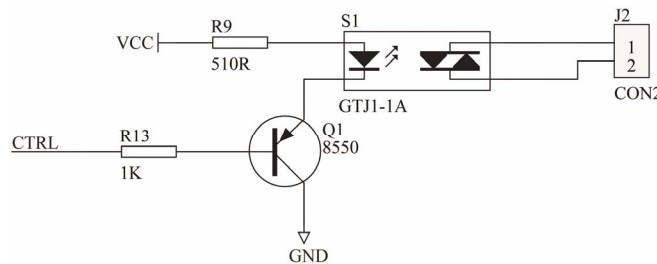


Figure 5. Heating control module circuit schematic diagram
图 5. 加热控制模块电路原理图

具体在本设计中温度采集频率为 10 Hz(100 ms)，每秒钟采样的温度值通过滑动平均值滤波。系统控温采用模糊算法和增量式 PID 算法相结合的方式，快速升温阶段采用模糊算法，恒温时采用增量式 PID 算法。控温周期 20 秒。为防止加温过冲，当温度接近恒温点时，采用阶梯式恒温控制方法，如图 6 先将恒温点设置在小于恒温温度的值，当温度恒定后，再将恒温点调整为恒温温度。

6. PID 程序设计

PID 算法控制子程序流程图如图 7。

```

/*****
PID 算法控制子程序
*****/
static int xdata StablePwm;
void PID_con(void)
{
    int xdata P_out=0,I_out=0,D_out=0;
    uint count=0;
    PIDshu++;
    if(PIDshu>500)
    {
        PIDshu=0;
        if(AD_dangqian.ad16<0x7035)
            pwm.ad16 =475;
        else if(0x7047<AD_dangqian.ad16<0x706B)
        {
            if(AD_dangqian.ad16<0x705a)
                StablePwm++;
            if(AD_dangqian.ad16>0x705a)
                StablePwm--;
            if(StablePwm>175)
                StablePwm =175;
            if(StablePwm<0)
                StablePwm =0;
            pwm.ad16 =250 + StablePwm;
        }
        else if(AD_dangqian.ad16>=0x706B)
            pwm.ad16 = 0;
        else pwm.ad16 =275;
    }
}

```

```

if(pwm.ad16<0)
    pwm.ad16=0;
if(pwm.ad16>475)
    pwm.ad16=475;
UART_setchar(0XAA);
}
if (pwm.ad16>0)
{
    pwm.ad16--;
    C_out=0;
    UART_setchar(0X66);
}
else
{
    C_out=1;
    UART_setchar(0X67);
}
}

```

7. 结论

通过对硬件电路和软件部分的设计，并在此基础上，通过上位机软件监控，得到了温度控制效果图，如图 8、图 9。

预定控制温度在 $48^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，由图可以看出，设计系统很好的完成了设计任务，控制温度变化在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 之间，针对现有类似温控系统，精度提高近 10 倍。该研究成果将直接应用到“十二·五”国家支持

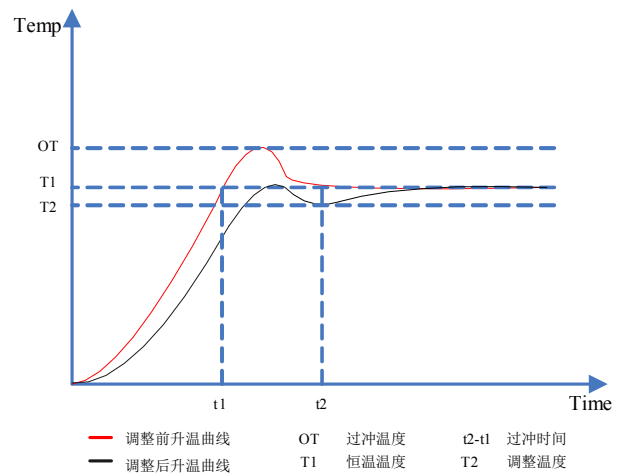


Figure 6. Incremental PID step control method
图 6. 增量式 PID 阶梯控制方法

基于增量式 PID 算法的高精度温控系统的设计

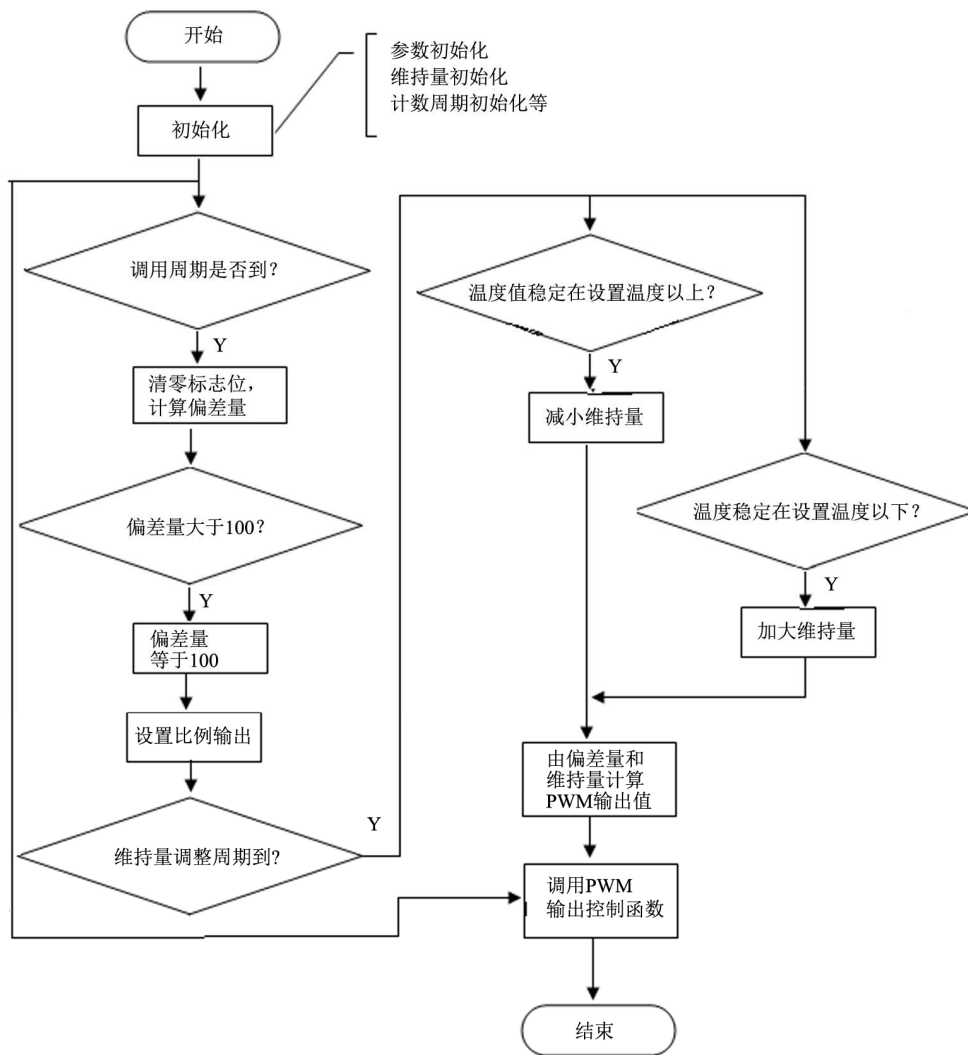


Figure 7. PID algorithm flow chart of software
图 7. PID 算法软件流程图

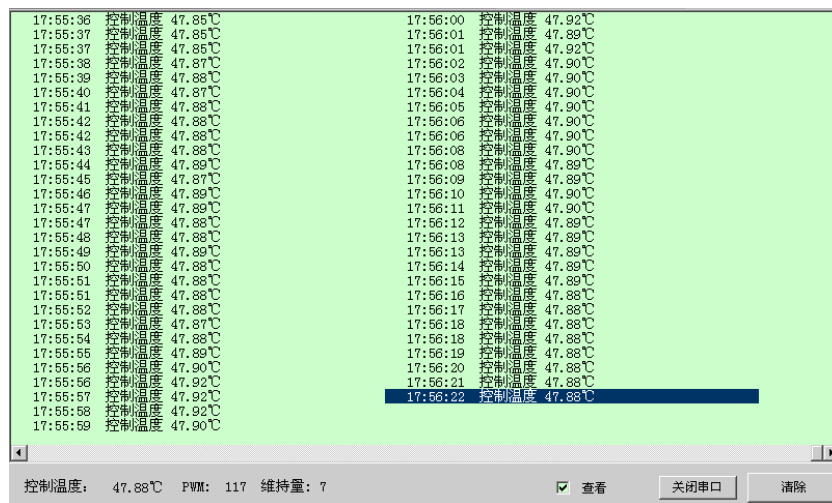


Figure 8. The temperature effect diagram
图 8. 控温效果图

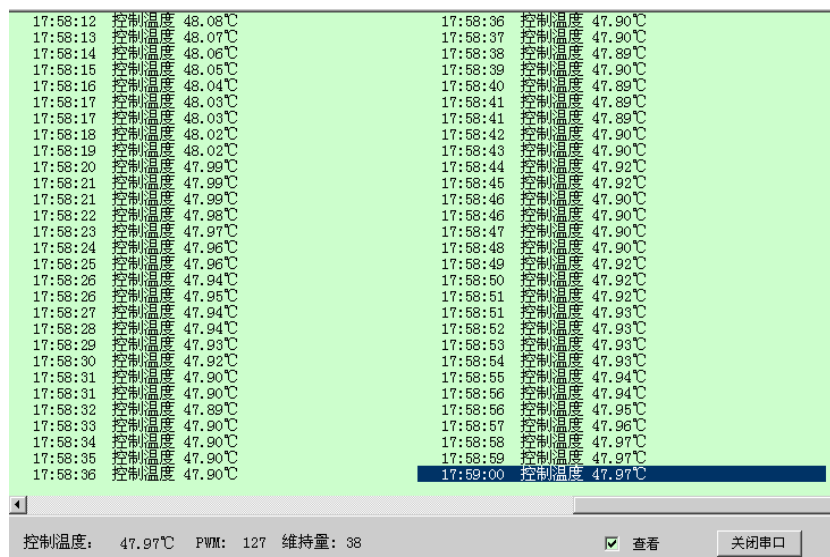


Figure 9. The temperature effect diagram
图 9. 控温效果图

项目中。

参考文献 (References)

- [1] 陈静. 基于单片机的温度湿度控制系统设计[J]. 科技信息, 2011, 28: 96.
- [2] 文科星. 智能 PID 算法的研究及其在温度控制中的应用[D]. 东华大学, 2009.
- [3] 罗文军. 基于参数自整定的模糊 PID 控制在水箱控制系统中的应用[D]. 中南大学, 2011.
- [4] 徐天龙, 李长城. 传感器和检测仪表的现状与发展趋势分析[J]. 民营科技, 2011, 12: 216.
- [5] 贺启峰. 基于模糊 PID 的恒温水浴控制器的研究[D]. 吉林大学, 2011.
- [6] 王威, 杨平. 智能 PID 控制方法的研究现状与应用展望[J]. 自动化仪表, 2008, 29(10): 12-16.
- [7] 崔体人. 元器件选用大全[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1998.
- [8] (日)电气学会. 徐国鼎等, 译. 电工电子技术手册[M]. 北京: 科学出版社, 2004.