# 近代无线电实验 温度控制器 实验报告

张磊 11300720177 指导老师：陆起涌

## 一、综述

在工业生产过程中，温度是工业生产过程中常见的工艺参数之一，对温度控制的好坏直接影响产品的质量。及时准确地得到温度信息并对其进行适当的控制，在许多工业场合中都是重要的环节。[1]

就目前温度控制系统的控制环境与对象来说，既有像电厂蒸汽[2]、加热炉、烘干机之类的工业现场，也有像蔬菜大棚、牛舍、孵化箱之类的农业现场[3]，还有像温箱、空调、冰箱之类的日常生活现场。关于温度控制系统的控制平台，大部分温度控制系统采用了不同型号的单片机作为控制平台，有的温度控制系统则采用了基于 ARM 的嵌入式系统[4]，还有一些温度控制器采用 PLC、CPLD、FPGA 等平台来进行控制。

温度控制系统的控制算法，目前有以下几种类型：PID 算法、模糊控制、神经网络、模糊控制与 PID 结合、模糊控制与神经网络结合、遗传算法、模糊控制与神经网络以及遗传算法三者结合等等。在实际应用中, 应该根据具体的应用场合、不同的加热对象和所要求的控制曲线和控制精度, 选择不同的控制算法。[5]

对于温度控系统优劣的评判，主要有以下几个方面：温度采样速度与精度、温度控制的范围、响应时间、最大超调以及稳态误差等。除此之外，友好的人机交互界面、便捷的控制方式、优秀的环境适应能力等也是一个好的温度控制器所必须的。

本实验的温度控制器采用 51 单片机作为控制平台，使用 PID+PWM 的算法进行温度的控制，力求能够在常温范围内实现对温度迅速、精确的控制，并实现一定的人机交互和控制功能。

## 二、实验目标

利用实验室现有条件和器件，设计一温度控制器，利用 PLC、CPLD/FPGA 或 MCU 实现，并实现下列目标：

1. 温度控制范围大于 30~50℃。
2. 稳态误差在±1℃以内。
3. 最大超调在±2℃以内。
4. 最大响应时间小于 5min。

## 三、实验设计

### （一）系统结构与硬件设计

#### 1. 系统结构

基于实验室所提供的器材，整个温度控制系统的主控部分采用实验室提供的 51 单片机仿真器构成的单片机系统；控制和显示部分采用 8279 芯片控制的 8 个数码管和 4*4 键盘单元；升温装置为 5W 20Ω 的水泥电阻，降温装置为小风扇。

考虑到电流型的温度传感器 AD590 以及电压型的温度传感器 LM235 需要额外的 AD 转换，而且精度也很难达到要求，温度检测部分采用了 DS18B20 单总线数字温度传感器对温度进行检测。

温度控制器的系统原理如图 1 所示。

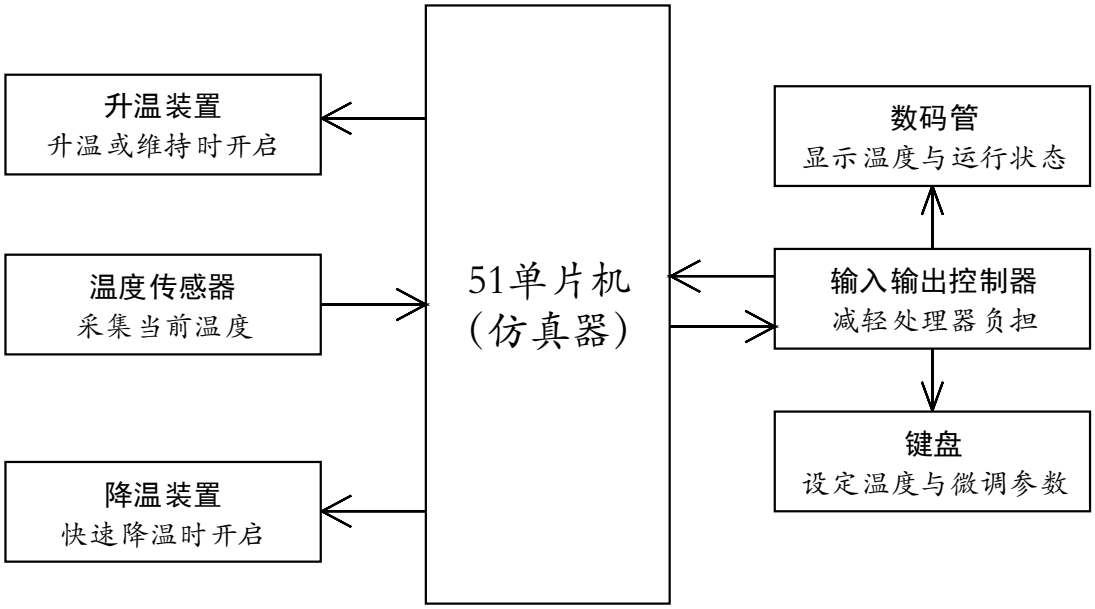



图 1 系统结构

**2. 硬件设计**

根据任务要求，确定了器件和系统电路。51 单片机的 P3.3、P3.4、P3.5 三个 I/O 口分别连接小风扇、DS18B20 以及水泥电阻。小风扇和水泥电阻的供电电压为 9V。考虑到 51 单片机 I/O 口的负载能力有限，选择了实验室所提供的达林顿管 2SD560 作为功率放大。小风扇和水泥电阻的两端各并联了一个带有电阻分压的发光二极管，用来直观地观察小风扇和水泥电阻的工作状态。

系统的硬件设计如图 2 所示。

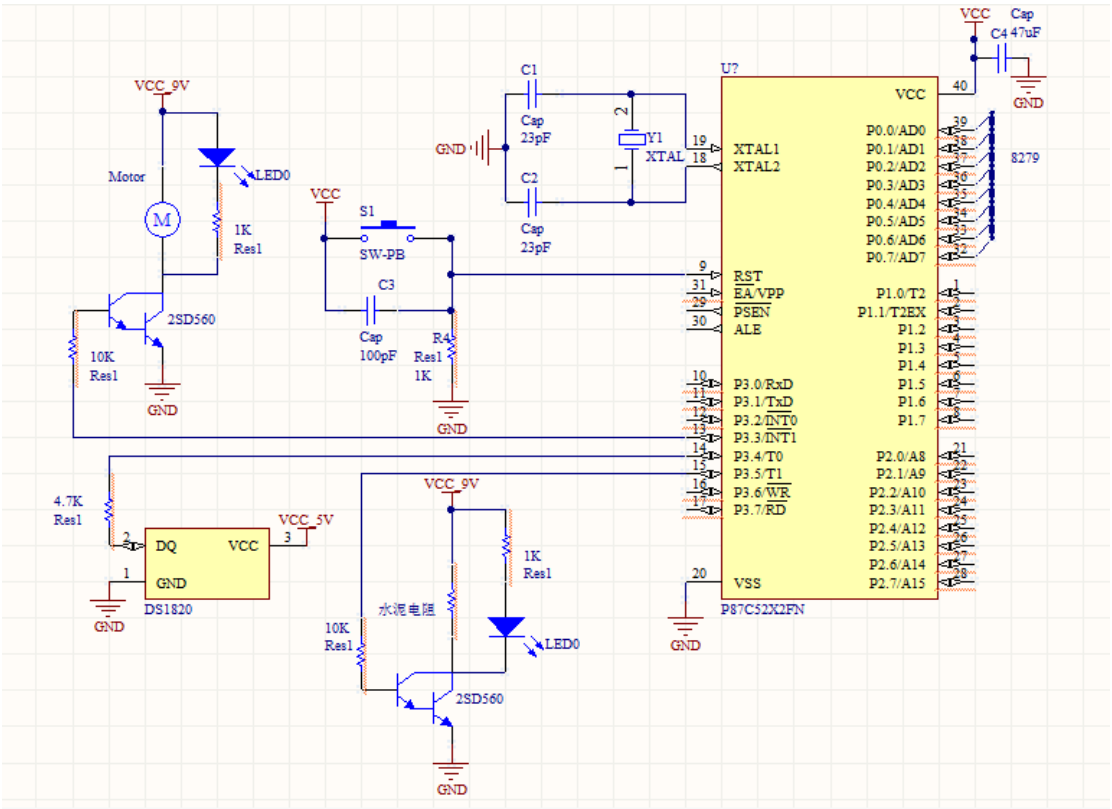



图 2 硬件设计

**（二）程序流程及温控算法**

### 1. 程序流程

系统的程序主要由系统的主程序、硬件初始化、环境温度采集子程序、PID 计算子程序、PWM 计算子程序、温度控制子程序、键盘控制子程序、显示子程序、中断控制子程序等部分构成。其中的温度采集模块参考了文献[6]进行设计。

程序流程设计如图 3 所示。

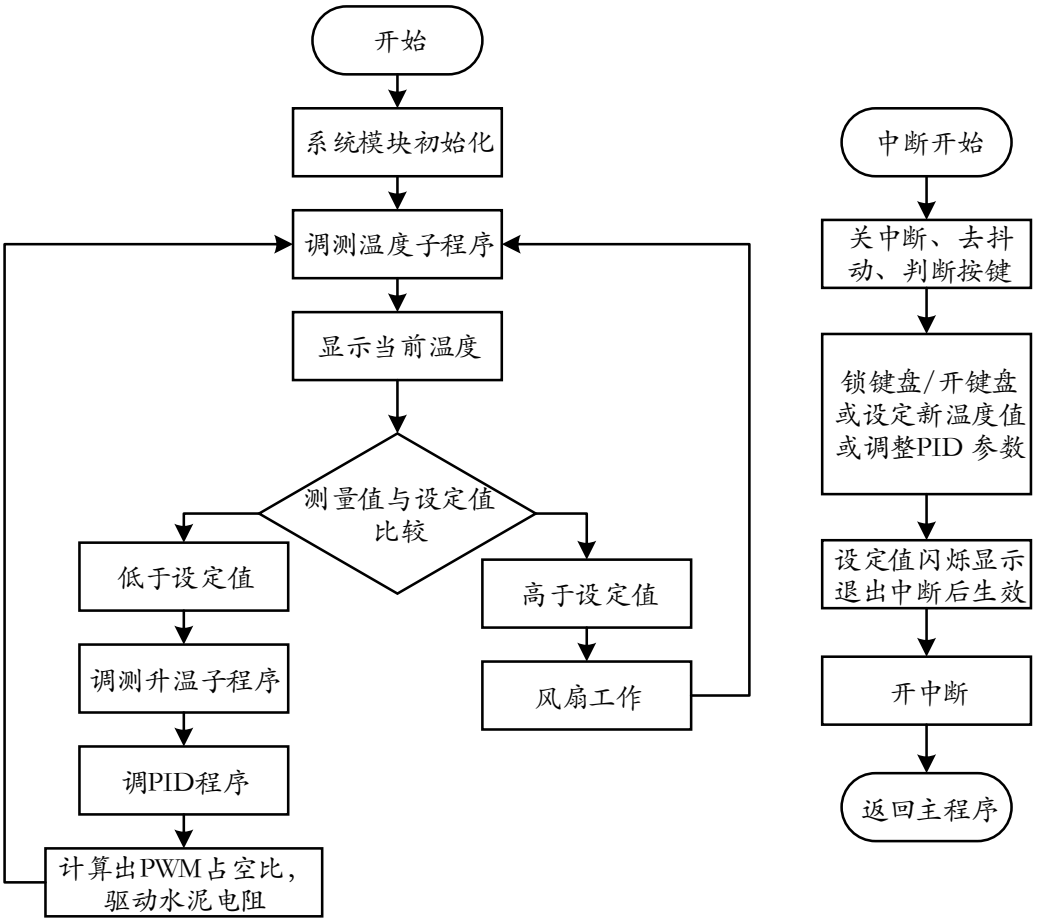



图 3 程序流程

### 2. 温控算法

温控系统采用了数字 PID 算法，并由软件实现，PID 算法的返回值用来控制 PWM 的高电平和低电平个数，进而驱动水泥电阻。

PID 算法的离散数学模型可以描述为：

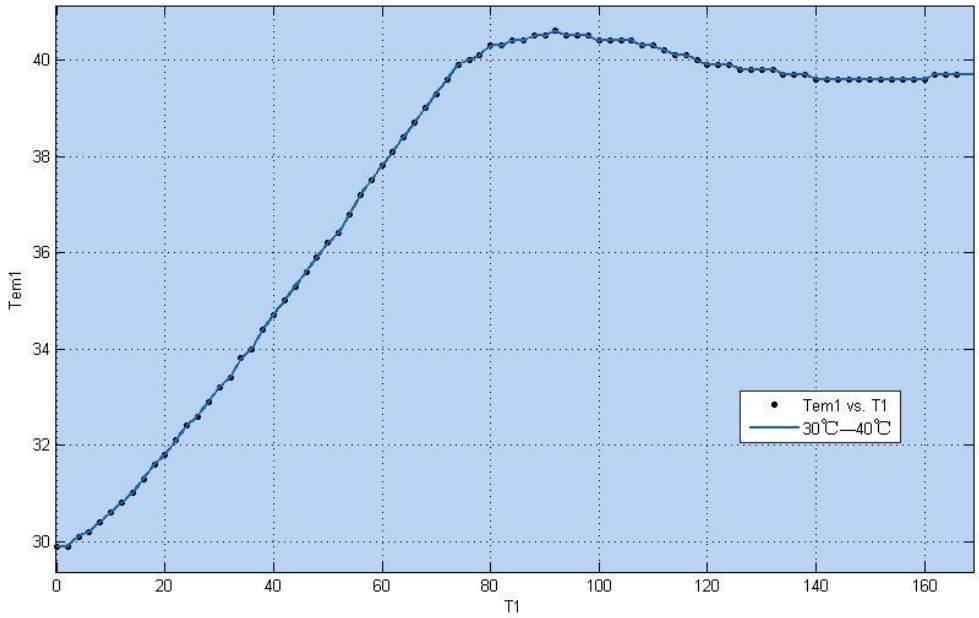
$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^{k} e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)]$$

其中的 $K_p$、$K_i$ 和 $K_d$ 分别为比例系数、积分系数和微分系数；$u(k)$ 为第 $k$ 次的采样值；$e(k)$ 为第 $k$ 次采样时刻输入的偏差值；$e(k-1)$ 为第 $k-1$ 次采样时刻输入的偏差值。[7]

## 四、实验测试和结果

### 1. 升温过程

初始温度为 30℃，设定温度为 40℃，每 2s 采集一次数据。



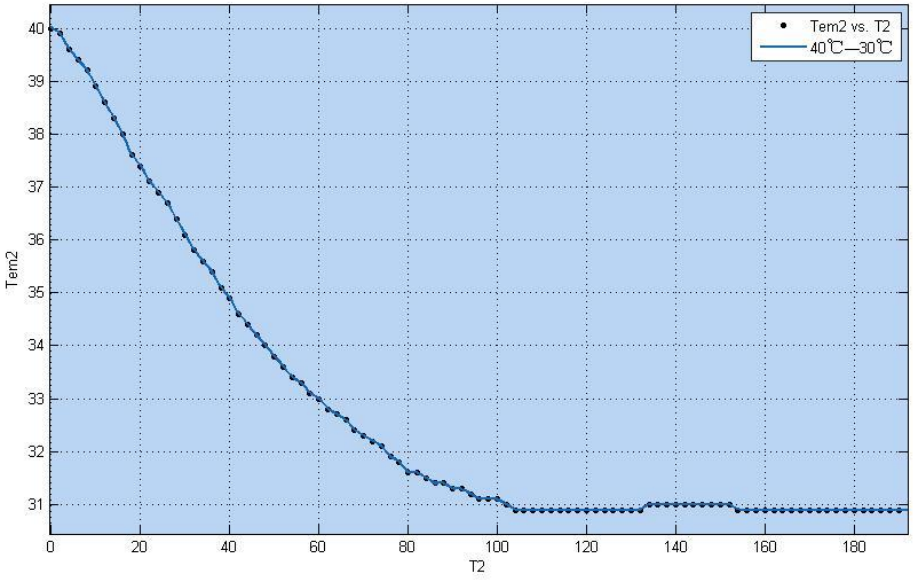

由 Matlab 处理后的图像可以看出：

| 响应时间/s | 最大超调/℃ | 稳态误差/℃ |
|---|---|---|
| 68 | 0.6 | ±0.5 |

表 1 升温测试

**2. 降温过程**

初始温度为 40℃，设定温度为 30℃，每 2s 采集一次数据。




由 Matlab 处理后的图像可以看出：

| 响应时间/s | 最大超调/℃ | 稳态误差/℃ |
|---|---|---|
| 104 | 0.0 | ±1.0 |

表 2 降温测试

## 五、实验分析——目标完成度分析

**1. 温度控制范围大于 30~50℃。**

实验测试中，实际测量得到的温度控制范围约为 23~80℃，远超过实验的设计目标。

针对于本实验的实际情况，在软件设计的时候，如果设置温度超过 80℃，程序将强制调整温度到 80℃，这样的设计主要是出于安全性考虑。

**2. 稳态误差在±1℃以内。**

实验测试中，无论是升温还是降温，最终的稳态误差都在±1℃以内，大部分情况下（特别是升温），稳态误差都能够控制在±0.5℃以内，可以说很好地实现了设计目标。

**3. 最大超调在±2℃以内。**

实验测试中，升温情况下，最大超调基本控制在+1℃以内；降温情况下，则一般不会出现超调。总的来看，最大超调的范围在+1℃以内，完成了实验设计的要求。

**4. 最大响应时间小于 5min。**

实验中测试了温度控制范围内的最大响应时间（见下表），可以看出，在设定温度与初始温度相差最大的情况下，温度控制器的响应时间都达到了设计要求。

| 初始温度/℃ | 设定温度/℃ | 响应时间/s |
|---|---|---|
| 25 | 75 | 226 |
| 75 | 25 | 288 |

表 3 最大响应时间测试

实验设计时，水泥电阻和小风扇的供电电压都为 9V，而且由达林顿管提供电流放大。实际测试中水泥电阻的最大电流超过了 0.2A，达到了水泥电阻 5W 的最大功率，小风扇降温时也以满功率运转。所以针对于实验所拥有的条件，响应时间已经达到了实验设计的要求。

## 六、实验结论

设计的温度控制器能够很好的完成温度控制的功能，温度控制器的控制范围、稳态误差、最大超调以及响应时间都达到了实验设计时的要求，除此之外，还实现了开机界面、键盘锁、PID 实时调节等功能，实验成功。

在实验的设计和调试阶段，遇到了很多问题，程序也经过了多次改进，之后通过自己的努力、与老师同学的交流，都得到了比较完善的解决。比如，DS18B20 的控制时序导致的读数跳错问题，数码管显示不稳定问题，特别是两台电压源同时使用的方法，得到了陆老师的耐心帮助，自己也学习到了很多知识，在此十分感谢。

## 七、参考文献

[1]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.

[2]冯晓露. 智能控制在电厂主蒸汽温度控制系统中的应用研究[D]. 浙江大学, 2006.

[3]关伟, 李喜武, 孙宏宇, 等. 牛舍饲养环境温度控制系统的研制及应用[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(5): 587-590.

[4]张素文, 项希. 基于 ARM 的温度采集与显示系统的设计[J]. 自动化技术与应用, 2007, 26(6): 123-124.

[5]吴为民, 王仁丽. 温度控制系统的发展概况[J]. 工业炉, 2002, 24(2): 18-20.

[6]李钢, 赵彦峰. 1-Wire 总线数字温度传感器 DS18B20 原理及应用[J]. 现代电子技术, 2006, 28(21): 77-79.

[7]李善寿, 方潜生, 肖本贤, 等. 基于单片机的恒温控制器的设计和实现[J]. 计算机技术与发展, 2009, 18(12): 197-199.