

基于 PT100 的温度测控系统的设计与仿真

王青

(南通理工学院 电气与能源工程学院, 江苏 南通 226002)

摘要: 温度测控在现代工业生产过程中起着非常关键的作用, 也是设备按照预定的方案正常运行的必要条件; 针对目前工业设备温度控制系统电路稳定性差、精度低、实时显示效果差等缺点, 设计了基于 PT100 的温度测控系统; 该系统采用电桥对 PT100 传感器输出的电信号进行采样; 采用 LM741 设计差分放大电路消除线路阻抗引起的测量偏差; 采用 ADC0808 逐次逼近法消除温控系统的非线性误差; 采用 STC 高性能单片机作为主控芯片进行数据处理、并能够实时显示温度数值和具有设定上下限的功能, 最后通过继电器实现对被控对象通断进行控制; 系统通过 Proteus 软件仿真运行验证了电路设计的合理性、温度显示数据的高精度和系统正常运行的鲁棒性。

关键词: PT100; 温度; Proteus 仿真

Design and Simulation for Temperature Measurement and Control System Based on PT100

Wang Qing

(School of Electrical and Energy Engineering, Nantong Institute of technology, Nantong 226002, China)

Abstract: Temperature measurement and control plays a very important role in the modern industrial production process, and is also the necessary condition for the normal operation of the equipment according to the scheduled scheme. The temperature measurement and control system was designed for the disadvantages (e. g. poor circuit stability, low precision and poor real-time display effect) of the current temperature control system of industrial equipment. The system uses electric bridge to adopt electrical signals from PT100 sensor, adopts LM741 to design differential amplifier circuit to eliminate measurement bias caused by line impedance, adopts ADC0808 successive approximation method to eliminate non-linear error of temperature control system, adopts STC high-performance single chip microcomputer as the main control chip for data processing, and can display temperature value in real time and have the function of setting upper and lower limits. At last, control on the controlled object through relay. The reasonability of circuit design, high accuracy of temperature display data and robustness of normal operation of the system are verified by the simulation operation of Proteus software.

Keywords: PT100; temperature; ADC0808; single chip microcomputer; Proteus simulation

0 引言

温度是表征物体冷热程度的物理量, 它可以通过物体随温度变化的某些特性(如电阻、电压变化等特性)来间接测量, 通过研究发现金属铂(Pt)的电阻值随温度变化而变化, 并且具有很好的稳定性, 利用铂的这种物理特性制成的传感器称为铂电阻温度传感器^[1]。金属铂电阻温度传感器精度高、稳定性好, 在工业测量方面有广泛的应用。

1 PT100 测温工作原理

通常所说的 PT100 是指铂电阻温度传感器在 0 °C 时对应的电阻值为 100 Ω, 电阻变化率为 0.385 1 Ω/°C, PT100 的分度表如表 1 所示。

根据电阻值和摄氏温度的具体关系, 可以推算出变化

电阻对应的温度值。由于 PT100 是中低温区(-200~650 °C)最常用的一种温度传感器, 故环境温度下具体的电阻取值关系为。

$$R_{PT} = R_0 [1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3] \quad (1)$$

式(1)中 R_0 为摄氏温度在 0 °C 时金属铂电阻温度传感器对应的阻值, T 为实时环境温度值, ABC 分别表示系数数值 $A = 3.908 \times 10^{-3}$; $B = -5.775 \times 10^{-7}$; $C = -4.183 \times 10^{-12}$, R_{PT} 为实时环境温度 T 对应 PT100 的电阻值^[2]。本文设计的温度测控系统要求温度范围在(0 °C~100 °C)内变化, 故根据上式可以得出温度和阻值的变化, 如图 1 所示。

通过 MATLAB 验证了铂电阻温度传感器的阻值和环境温度的变化呈线性关系, 精度上也完全满足 PT100 分度表中电阻变化率 0.3851 Ω/°C。

2 温度测控系统硬件设计

2.1 系统总体功能框图

该系统采用电桥对 PT100 传感器输出的电信号进行采样, 采用 LM741 设计差分电路消除线路阻抗引起的测量偏

收稿日期: 2019-02-24; 修回日期: 2019-03-29。

基金项目: 南通理工学院中青年科研骨干培养计划(ZQNGG306)。

作者简介: 王青(1983-), 男, 江苏大丰人, 硕士, 高级工程师, 主要从事电路与系统、控制工程方向的研究。

表 1 PT100 分度表

电阻值 Ω	100.0	103.9	107.7	111.6	115.5	119.3	123.2	127.1	130.8	134.7	138.5
PT100 分度表 $^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

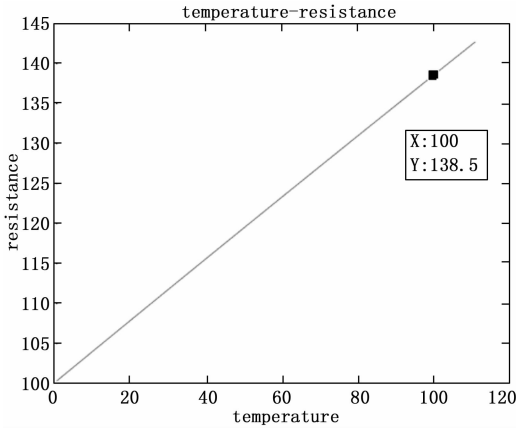


图 1 PT100 阻值与温度变化关系

差, 采用 ADC0808 逐次逼近法消除温控系统的非线性误差, 采用 STC 高性能单片机作为主控芯片进行数据处理, 最后在四位数码管 (数码管位选和段选的动态扫描显示, 利用了发光管的余辉和人眼视觉暂留的功能) 上实时显示温度数值和实现按键采用外部中断技术实现对温度上下限的设定功能^[3], 最后通过单片机的 IO 引脚输出低电平使 PNP 三极管工作在饱和状态, 进而对固态继电器进行控制 (吸合), 当模拟温度一直上升达到设定的上限值, 则通过单片机的 IO 引脚输出高电平使 PNP 三极管工作在截止状态, 进而对固态继电器进行控制 (断开), 即实现对执行机构的控制。具体系统总体框图如图 2 所示。

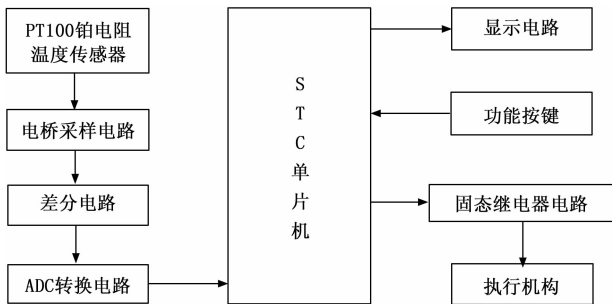


图 2 温度测控系统框图

该温度测控系统的主控处理器选用的是宏晶科技的 STC89C51 单片机, 这款单片机是采用 8051 内核的 ISP 在系统可编程芯片, 最高工作时钟频率为 80 MHz, 片内含 4K Bytes 的可反复擦写 1 000 次的 Flash 只读程序存储器, 器件兼容标准 MCS-51 指令系统及 80C51 引脚结构, 芯片内集成了通用 8 位中央处理器和 ISP Flash 存储单元, 具有在系统可编程 (ISP) 特性, 配合 PC 端的控制程序即可将用户的程序代码下载进单片机内部, 而且速度更快。STC89C51 系列单片机是单时钟/机器周期 (1T) 的兼容 8051 内核单片机, 是高速/低功耗的新一代 8051 单片机, 全新的流水线/精简指令集结构, 内部集成 MAX810 专用复

位电路。

2.2 信号处理电路

系统采用三线 PT100 温度传感器作为温度信号的采集器件, 由于 PT100 铂电阻传感器的阻值是根据环境温度的变化而变化, 所以要想获得温度数据, 就首先要获取电阻值, 然后将它转成电信号进行输出。那么, 如何获取到电信号的数值呢? 我们设计了电桥, 电桥是一种用电位比较法进行测量的仪器, 被广泛用来精确测量许多电学量和非电学量。在自动控制测量中也是常用的仪器之一。根据 PT100 分度表可知环境温度在 0°C 时, PT100 电阻值为 $100\ \Omega$, 故在 Proteus 仿真软件中选择 $200\ \Omega$ 的 RV1 模拟三线 PT100 铂电阻温度传感器, RV2 是一个校准电位器^[4-6]。初始情况下调整 RV1 使 RV1 的阻值调整为 $100\ \Omega$ (即温度数值显示 0°C), 通过调整 RV2 使 V_A 和 V_B 两点的电位相等, 即使电桥达到平衡状况。信号处理电路如图 3 所示。

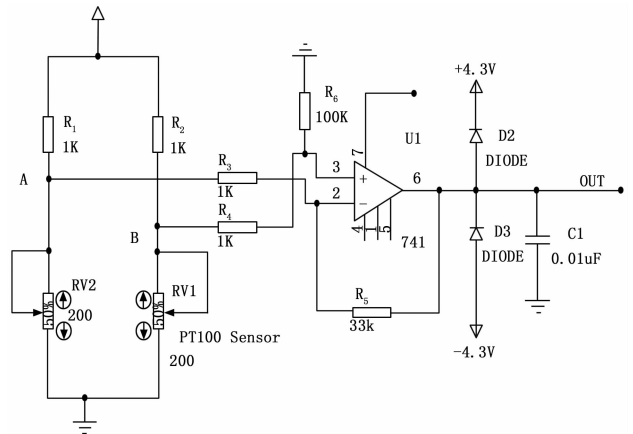


图 3 信号处理电路

随着环境温度上升, 根据 PT100 的定义可知铂电阻的阻值上升, 则电桥失去平衡 (V_B 的电位上升, 因为 V_A 的电位是环境温度在 0°C 时, PT100 电阻值为 $100\ \Omega$ 的基准电压, 则 V_B 和 V_A 形成电位差)。利用这一特点可以采用差分放大电路实现电信号的运算放大作用, 差分电路的电压增益公式为。

$$V_o = \left(\frac{R_3 + R_5}{R_3} \right) \left(\frac{R_6}{R_4 + R_6} \right) V_B - \frac{R_5}{R_3} V_A \quad (2)$$

由于当 RV1 取值为 $138.51\ \Omega$ 时, 环境温度对应 100°C 。经过计算, 差分电路中的反馈电阻 R_5 取值为 $33\ \text{K}\Omega$, 同时输出电压 V_o 为 $5.018\ \text{V}$ 。由于差分运算放大电路所使用的器件是 LM741 集成芯片, 该芯片供电电源为 $+12\ \text{V}$ 和 $-12\ \text{V}$, 则正饱和电压和负饱和电压分别为 $+12\ \text{V}$ 和 $-12\ \text{V}$, 所以当 RV1 取值超出了 $138.51\ \Omega$ 时 (即 PT100 温度传感器随着环境温度的上升, 铂电阻的继续上升), 差分电路还工作在线性放大区, 将继续输出高于 $5\ \text{V}$ 的电压值, 直

至饱和电压 12 V。为了使差分电路输出端输出的电压值最大值为 5 V，采用了二极管 VD2 和 VD3 构成限幅电路^[7-9]，当 RV1 取值为 100~138.51 Ω 时，输出的电压值 (0~5 V)，供后续 ADC 模数转换电路作为输入信号。

2.3 ADC 模数转换电路

ADC0808 是含 8 位 A/D 转换器、8 路多路开关，以及与微型计算机兼容的控制逻辑的 CMOS 组件，其转换方法为逐次逼近型。ADC0808 的精度为 1/2LSB。在 AD 转换器内部有一个高阻抗斩波稳定比较器，一个带模拟开关树组的 256 电阻分压器，以及一个逐次逼近型寄存器。8 路的模拟开关的通断由地址锁存器和译码器控制，可以在 8 个通道中任意访问一个单边的模拟信号。该系统采用 ADC0808 用于将连续变化的模拟信号转换为数字信号，它也是模拟系统与计算机之间的接口部件。ADC 转换类型包括计数型 AD 转换器、双积分型 AD 转换器、逐次逼近 AD 转换器，该系统采用逐次逼近 AD 转换器，它工作原理类似天平称重量时的尝试法，逐步用砝码的累积重量去逼近被称物体。ADC0808 是一个八位的模数转换器，故它的分辨率 Δ 表达式为：

$$\Delta = \frac{5V}{2^8 - 1} \quad (3)$$

ADC0808 模数转换器工作的具体过程为：首先通过三根地址线 ADDA—ADDC 连接 STC 单片机的 P1.4~P1.6，它决定输入的通道。该系统前级已经通信号处理得到输出电压 OUT，直接通过 ADC0808 的 IN3 输入，因为当 STC 单片机 P1.6~P1.4 输出二进制数 100B 给 ADDC—ADDA 对应的地址时，则表示从 IN3 通道输入模拟量。其次，通过单片机 P1.2 引脚先后输出 0—1—0 给锁存和启动信号 ALE/START，则表示开始启动 AD 转换^[10-12]。再次，通过 P1.1 引脚输出低电平给 EOC，则表示判断转换是否已经结束。最后通过单片机 P1.0 引脚输出高电平给 OE，则表示允许输出数字量给单片机的 P2 口。ADC0808 和 STC89C51 系统连接图、ADC0808 工作时序图分别如图 4 和图 5 所示。

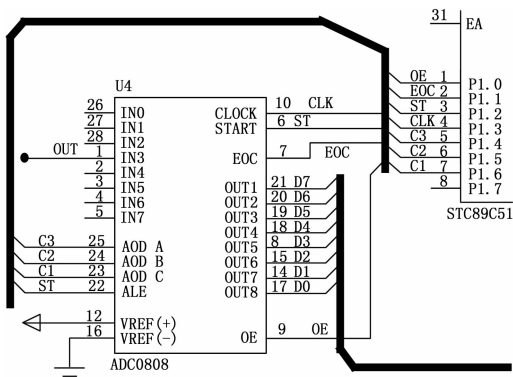


图 4 ADC0808 和 STC89C51 系统连接图

2.4 继电器电路

继电器是一种功率开关器件，它不但能够实现弱电控制强电的功能，同时还能够具有隔离的作用。图 6 中的二极管 D1 是为了防止自感高电压对电路的损坏，起保护作用。

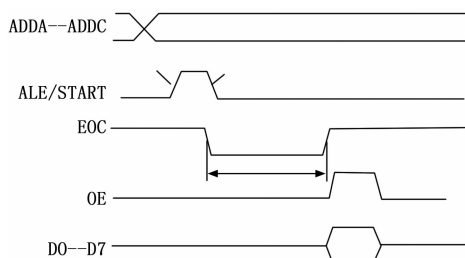


图 5 ADC0808 工作时序图

用。由于单片机引脚的驱动能力有限，在实际应用中经常使用 PNP 型大功率晶体管控制电路。具体工作原理：当单片机 P1.7 输出高电平时，发射极和集电极均截止，PNP 三极管相当于开关断开；当单片机 P1.7 输出低电平时，发射极和集电极均饱和，PNP 三极管相当于开关闭合，则继电器线圈通电吸合，被控对象断电停止工作^[13-15]。该系统的被控对象在 Proteus 仿真软件中用 12 V 蓄电池和灯泡进行模拟仿真，以达到实物真实效果。继电器电路仿真效果如图 6 所示。

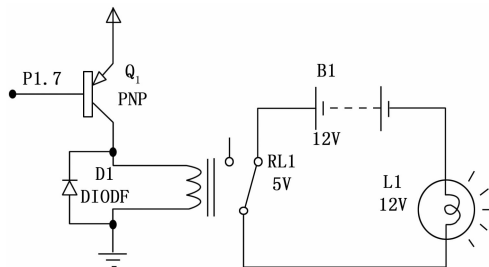


图 6 继电器电路仿真效果

2.5 系统功能键及显示电路

该系统具有超出上限温度时断开继电器、低于下限温度时自动吸合继电器功能。故设定了四个功能键，图中的 KEY1、KEY2 主要是对环境温度的上限和下限进行设定，初始在程序设定上限温度 90℃ 下限温度 30℃。当用户需要对设备温度的上下限值进行修改时，即可通过单片机的外部中断技术实现对温度上下限进行+和-操作。KEY3 主要是通过 FLAG 标志位判断中断设定是否已经结束，如果已结束则通过此键返回显示当前实时温度。KEY4 主要是功能切换键（设定上限温度还是下限温度的选择功能）。

显示电路主要是通过单片机的 P0 口输出单片机处理后的数据，通过 P3 口的部分引脚对数码管进行位选，以达到数码管的动态显示功能。根据 PT100 的电阻实时显示设备当前温度数值，还可以根据功能键切换显示设备设定的上限数值和下限数值。

3 温度测控系统软件设计

系统的软件设计思想：首先，通过对单片机的 P1 口和内部定时器 T0 采用中断技术产生 CLK 脉冲信号进行初始化配置，保证 ADC0808 模数转换器能够稳定的输出数字量。其次，ADC0808 模数转换器的输出口与单片机的 P2 口对应连接。单片机从 P2 口获取 ADC0808 转换的数字量进行理论计算得到实时温度数值，并通过数码管动态扫描显

示。再次，系统会根据用户设定的上限和下限温度数值与当前环境温度数值进行比较，初始设定的设备上限温度 90℃ 下限温度 30℃，当环境温度超过上限 P1.7 输出低电平，低于下限 P1.7 输出高电平^[16]。如果用户想调整设备温度的上限和下限，可以通过外部中断 INT0 和外部中断 INT1 采用中断技术实现递增和递减功能。KEY4 按键为功能选择键，可以切换上限还是下限，初始条件下默认是上限数值。流程图中的 FLAG 标志位，主要是用来判断是否有外部中断产生，如果没有 FLAG 为 0 继续往下执行显示程序，否则转向执行中断处理程序（因为中断随时可能发生，为了能够在流程图体现出中断过程，所以用了 FLAG 标志位）。测温控制系统流程图如图 7 所示。

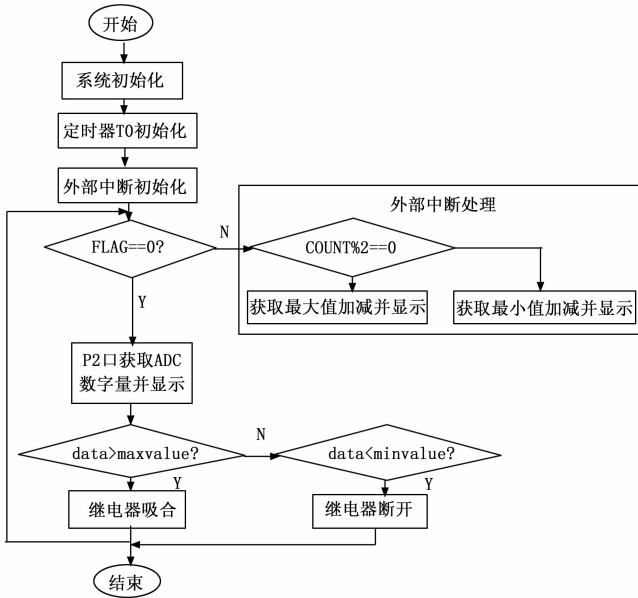


图 7 测温控制系统流程图

4 实验过程与分析

本系统是基于 Proteus 仿真软件进行在线构建温度测控系统，Proteus 软件是英国 Lab Center Electronics 公司出版的 EDA 工具软件，也可称之为电子虚拟实验室。它是目前比较好的仿真单片机及外围器件的工具。虽然目前国内推广刚起步，但已受到单片机爱好者、从事单片机教学的教师、致力于单片机开发应用的科技工作者们的青睐。正是由于这款仿真软件在单片机开发中的优势，所以本系统的调试都是建立在它的虚拟平台之上的。

在实验过程中，我们首先通过调节电桥上 RV1 的数值（模拟真实的 PT100 随外界工作环境温度变化时所引起的电阻值的相应变化）使电桥失去平衡，以此达到电信号的变化。最终在输出端 IO 口外接的数码管上显示经单片机处理后相应的温度数值（随着电阻 RV1 变化模拟外界环境的温度）。通过模拟设备设定温度的上下限，当模拟输出的温度低于设定温度的下限，可以通过单片机的 P1.7 引脚输出低电平使 PNP 三极管工作在饱和状态，进而对继电器进行控制（吸合），当模拟温度一直上升达到设定的上限值，则通

过单片机的 P1.7 引脚输出高电平使 PNP 三极管工作在截止状态，进而对继电器进行控制（断开），即实现对被控对象的控制。经过整体联调，温度测控系统达到了系统预期的目的^[17]。系统总体仿真效果图如图 8 所示。

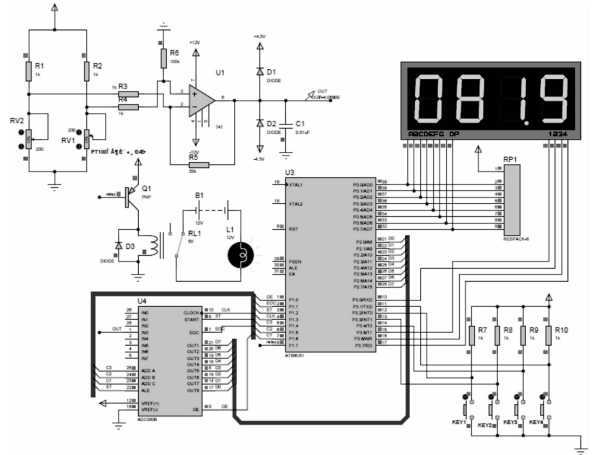


图 8 系统总体仿真效果图

5 总结

本文结合目前工业生产过程中的温度测控系统存在的主要问题，设计了基于 PT100 铂金属电阻作为传感器的温度测量和控制系统。通过对电桥和 LM741 构成的差分放大电路进行理论分析与合理设计，实现了对 PT100 铂电阻传感器的电信号进行采样。通过对 ADC0808 采用逐次逼近法消除温度测控系统的非线性误差，提高了转换精度的精准性^[18]。经过 STC 高性能单片机的软、硬件设计与多次调试，达到了温度测控系统温度实时显示要求和按键操控灵敏度高的预期目标，最终实现了利用继电器对被控对象的通断进行控制。

参考文献：

- [1] 冯冬青, 李现旗. 基于 RBF 神经网络的检定炉温度控制系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2014 (1): 61-63.
- [2] 王恩亮. 基于 MSP4305438A 的中频电炉温度控制设计 [J]. 鄂州大学学报, 2014, 21 (10): 104-106.
- [3] 王青. 单片机与 PC 机设计与仿真 [J]. 实验室研究与探索, 2016, 12 (1): 100-103.
- [4] 钟君, 黎黎明, 于涌. 基于 MLX90614 的无线温度采集系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2015, 34 (3): 87-89.
- [5] 尹彦龙, 高守玮, 李洋. 大滞后温控系统自整定 PID 控制算法的研究与仿真 [J]. 工业控制计算机, 2016, 29 (10): 38-41.
- [6] 刘道. 基于改进型粒子群优化算法的 PID 参数整定 [D]. 衡阳: 南华大学, 2012.
- [7] 孙瑞霞, 王宗乾. 干燥箱的 PID 温控系统的优化设计与分析 [J]. 佳木斯大学学报: 自然科学版, 2016, 34 (5): 787-790.
- [8] 孙跃光, 林怀蔚, 等. 基于临界比例度法整定 PID 控制器参数的仿真研究 [J]. 现代电子技术, 2012, 35 (8): 192-194.