

热封切制袋机中多通道温控系统的设计

翟阳, 曹亦轩, 肖永松

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 阐述了一种高精度多通道温度控制器的设计方案。通过高速转换输出的 16 位 AD 芯片 AD7705 以及 ARM 处理器, 可以实现快速轮番采集多路温度信号。采用积分分离的 PID 算法, 计算并输出 PWM 控制信号, 通过固态继电器控制加热器件通断时间, 使得各通道温度达到预设温度并在控制精度允许范围内小幅度波动。通过 Modbus 通信协议与上位机进行通信, 可以实现单台上位机同时监控多个温度控制器。

关键词: 温度控制; 多通道; 制袋机; PID 控制

中图分类号: TB486+.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)17-0068-04

Design of Multi-channel Temperature Control System for Heat Sealing and Cutting Bag Machine

ZHAI Yang, CAO Yi-xuan, XIAO Yong-song

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: A design of high precision multiple channel temperature controller was introduced. By using 16 bit high speed AD7705 and ARM processor, signal of temperature from multiple channels was collected effective in turn. PWM control signal was calculated and output using integral separated PID algorithm. The on-off time of heater was controlled using solid state relays, which make temperatures of each channel approach the presetting value and fluctuate in allowed range of control accuracy. Simultaneous control of multiple temperature controllers was realized with only one upper computer through Modbus protocol.

Key words: temperature control; multiple channel; bag machine; PID control

热封切制袋机是利用塑料的热塑原理, 采用烫刀加热使塑料薄膜的封口部位变成黏流状态, 同时借助烫刀的下压力将上下 2 层塑料融合到一起, 待冷却后定位裁切, 最终将塑料薄膜制成包装袋。制袋机生产过程中要求精确实现对烫封、切割以及送料运动的控制^[1], 其中对烫刀的温度控制是决定热封质量的关键因素之一。目前国内众多的制袋机系统均已采用集成的多路温度控制器, 可以同时控制多路烫刀温度, 并且可以通过上位机显示多路实时温度值, 并能实时调整温度控制参数以及目标温度, 以达到更好的控制效果^[1-4]。不过这些系统大多存有一定的局限性, 例如可以同时控制的温度通道数量不够多^[2], 采用位数较小的 AD 转换芯片导致检测以及控制的温度精度

不够高^[3-4], 通信能力不够强, 人机交互界面不够友好^[2-3]等。

由此, 设计了基于 16 位 AD 转换芯片 AD7705, 以及 32 位 ARM 处理器 LPC2138 的多路温度控制系统。该系统可以实现多达 8 路温度采集, 8 路对应的温度控制输出以及多个自由口输出, 测量温度分辨率达到 0.1 °C, 多个温度控制器可以通过 Modbus 总线通信并仅由 1 台上位机进行监视和控制的功能。

1 测温原理及多路温度信号采集

1.1 测温原理

目前最常用的测温器件主要有热电偶和热电阻。

收稿日期: 2013-04-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61203111)

作者简介: 翟阳(1992-), 女, 江苏无锡人, 江南大学微电子专业学生, 主要研究方向为系统建模、非线性系统自适应控制。

通讯作者: 肖永松(1982-), 男, 江西萍乡人, 江南大学实验师, 主要研究方向为系统建模、非线性系统自适应控制。

热电阻是基于导体或半导体的电阻值随着温度的变化而变化的特性来测温,热电偶则是利用正负两端的电势差与探头温度成正比原理。考虑到热电偶具有测温范围更宽、性能稳定、结构简单等特点,该系统中选用热电偶作为测温原件。虽然热电偶的温度-电势曲线为非线性,但是在选用内部存储资源足够充分的 ARM 芯片作为处理器的前提下,采用查表的方式对电势-温度进行转换,可以很好地弥补这个缺陷。不同类型的热电偶具有不同的温度曲线特性,因此可以将所有类型的热电偶温度曲线表预先存入处理器,以满足使用不同类型热电偶的要求。

热电偶的热端嵌入在烫刀中,以准确测量加热器的温度,热端电势差通过信号调理转换电路送到 AD 转换芯片后得到,输出对应的数字信号给处理器,并最终计算得到热电偶的热端电势差 V_h ,同时选择使用带有 I2C 接口的 LM75A 测量冷端温度 T_0 作为参考温度对热电偶进行补偿,反查表后可以得到冷端温度对应的电势差 V_c ,将 2 个电势差求和得到实际温度对应的电势差 $V = V_h + V_c$,再次查表,即可获得烫刀的温度。

1.2 信号调理电路设计

热电偶输出的是毫伏级信号,因此信号采集后送到 AD 转换之前的滤波抗干扰以及放大等调理措施是测温准确必不可少的环节。热电偶输出的毫伏信号首先经过阻容滤波,同时利用双二极管将正负 2 根信号线的电压限定在安全值范围内,以保护电路免受生产现场大信号的冲击,具体电路见图 1。

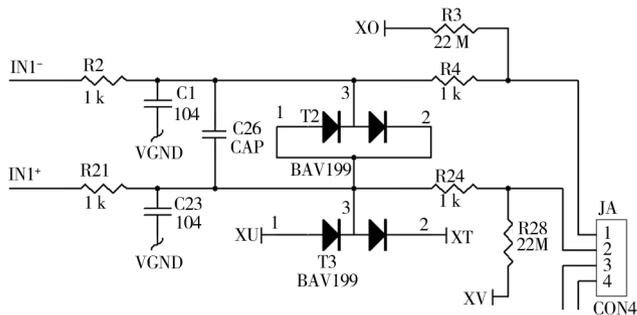


图 1 信号滤波电路

Fig. 1 Filter circuit of signal

控制系统中设计有 8 路相同的温度信号采集和调理电路,考虑到温度信号的更新速度要求并不是很高,因此只需将所有 8 路信号通过逻辑选择开关再送

到放大电路,并由 1 片 AD 转换芯片进行轮番转换即可。该系统中采用 2 片具有八选一功能的 CD4051B 来同时选择温度信号两端。

1.3 信号放大电路

由于热电偶采样得到的信号较小,送到 AD 转换芯片之前都需要放大,并且放大倍数很大,而普通运算放大器在放大倍数很大时会产生较大漂移,严重影响测温精度。该系统通过 2 个措施来解决这个问题,首先在运算放大器的选择上选用具有低通特性的经济运算放大器 OP07,并选择设计差模放大电路来保证所采集到的信号是热电偶正负端的电势差信号;其次,在考虑 AD 转换芯片时,如果能选择具有内部增益放大功能的芯片,则可以适当减小前端放大电路的放大倍数,因此系统中选择内部增益可根据需要编程设定的 16 位 $\Sigma-\Delta$ 模数转换器 AD7705。AD7705 是一种适用于低频测量仪器的典型 16 位 AD 转换芯片,其全差分输入通道能达到 0.003% 非线性的 16 位无误码数据输出,并且数据输出更新频率可以通过程序设定在 20 ~ 500 Hz 之间。具体的放大电路设计见图 2。

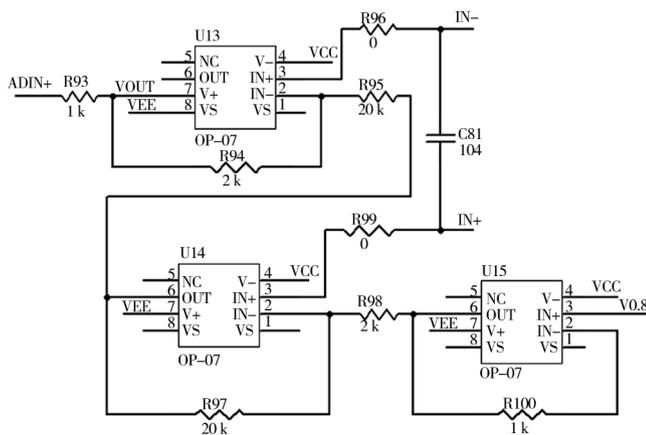


图 2 信号放大电路

Fig. 2 Signal amplification circuit

热电偶采集到的差分电压信号两端分别通过 $IN+$ 和 $IN-$ 等 2 个端口输入,经过图 2 所示放大电路后得到的输出电压 V_{OUT} 的结果为:

$$V_{OUT} = \frac{R_{94}R_{98}}{R_{95}R_{98}}V_{0.8} + \frac{R_{94}(R_{94}+R_{97})}{R_{95}R_{98}}V_{IN+} - \frac{R_{94}+R_{95}}{R_{95}}V_{IN-}$$

设计中取 $R_{94} = R_{98}$, $R_{95} = R_{97}$,可以得到 $V_{OUT} = V_{0.8} +$

$$\frac{R_{94}+R_{95}}{R_{95}}(V_{IN+} - V_{IN-}),$$

其中 $V_{0.8}$ 取值为 0.8 V, 作为

AD7705 输入端的基准电压, 连接到 ADIN-引脚。通过简化后的式子可以清晰看到, 信号放大的倍数为 $(R_{94} + R_{95}) / R_{95}$ 倍, 通过自己选择合适的阻值就可以得到想要的放大倍数。该系统中选择的放大倍数为 11 倍, 若再通过程序设定 AD7705 的内部增益为 16, 最终信号将被放大 176 倍, 完全可以满足制袋机温度精确测量和控制的要求。

2 温度加热控制输出及通信电路设计

2.1 加热控制输出设计

测量得到的各通道实时温度与设定的目标温度进行比较运算后, 得到相应的 PWM 输出信号 OUT1, 通过光电隔离器件 2501 实现弱强电信号的隔离, 同时选择能够承载大电流的场效应管 FQD5N50C, 来驱动 1 个外接固态继电器控制烫刀的加热电源的通断, 以达到期望的控制效果。输出部分电路见图 3, 同时通过 1 个 LED 灯来指示该通道的输出状况。

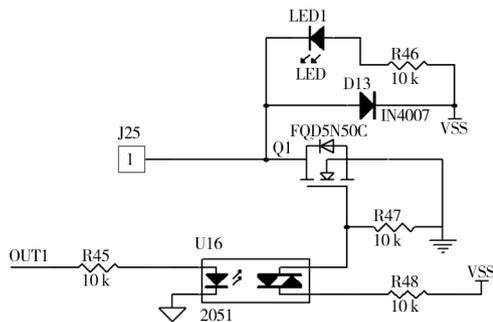


图 3 输出控制电路

Fig. 3 Output control circuit

2.2 通信接口设计

为保证控制器具有良好的人机交互界面, 方便操作人员对各通道的目标温度以及控制参数进行设定和调整, 该系统基于控制器内置的串行通信接口设计 485 通信电路, 采用工业现场常用的 Modbus 通信协议实现系统与一般工业屏显设备, 或者是具有 Modbus 通信协议的上位机软件之间进行通信, 具体电路见图 4。

由于系统设计为 Modbus 总线通信方式, 所以只要选用处理器的 6 个 IO 口连接拨码开关用于唯一标定该台设备温度控制器的地址, 就仅需 1 台上位机设备(触摸屏或者装有相关软件的 PC 机), 就可以同时监视和控制多台制袋机设备上的多个温度采集控制

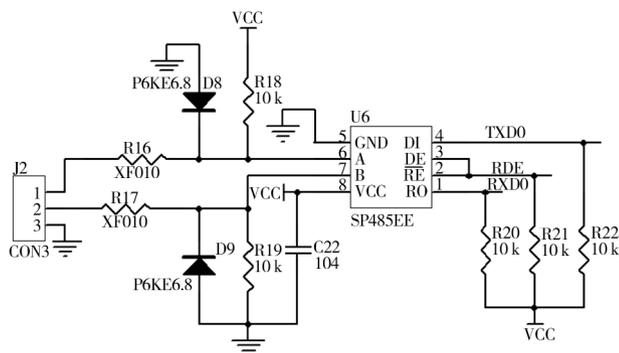


图 4 串口通信电路

Fig. 4 Serial communication circuit

通道。

3 软件设计

系统软件的主程序流程见图 5, 其中包含多个子

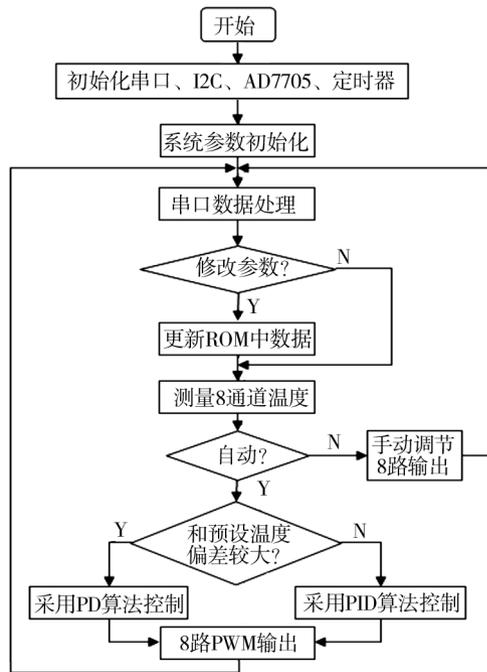


图 5 主程序流程

Fig. 5 Flow diagram of main program

程序模块: 串口中断服务子程序, 用于接收和发送基于 Modbus 协议的通信数据; I²C 中断服务子程序, 用于读取预存在外接 EEPROM 中的系统参数, 或者将修改过的系统参数保存进去, 以及读取 LM75A 测量得到的热电偶冷端温度; 8 路温度采集及 AD 转换子程序; PID 运算以及参数正定子程序; 8 路 PWM 中断

控制输出子程序;基于 Modbus 的通信服务子程序等。基于 ARM 处理器丰富的中断资源、快速处理能力,以及 AD7705 最高可以达到 500 Hz 输出更新频率,控制器可以快速完成对所有 8 个通道的温度检测、与目标温度的比较以及控制输出等一系列动作。在温度信号采集方面,除了利用有效的滤波电路去除干扰外,还可以在软件中采用多次采样后去除峰谷值再取均值滤波的方式来保证测温的准确性。

制袋机系统中温度除了要求测温准确以外,更重要的是要求能够准确快速地将温度稳定在预设的目标温度。虽然不断有学者提出各种如模糊自整定 PID^[6]、基于神经网络的 PID^[7] 等新型控制算法用于控制温度,但是由于传统的 PID 算法实现简单,适用性好,具有一定的鲁棒特性,再结合实际需求考虑,该系统决定在传统的 PID 算法基础上稍微进行调整。为防止系统遇到较大扰动,或者预设温度突然变化较大时出现较大超调量和长时间的波动,该系统采用积分分离的 PID 算法,即在实际温度与预设温度相差较大时取消积分功能,当温度偏差较小时再加入积分作用,使温度能够以平滑的方式逼近预设温度。

随着人们在各种消费电子的使用频率增加,自动化设备的操作人员也逐渐希望现场的工业设备能够提供友好的人机界面,能够很直观地通过触摸屏或者通过 PC 机的鼠标而不是通过各种功能按键的复杂组合来完成一系列的参数设定、修改等操作。该系统中通过设计标准的 Modbus 总线接口,为上位机留下广阔的选择空间,用户通过 PC 机上运行的上位机软件或者触摸屏等设备,不但可以实时监测到各通道的温度值,还可以通过实时趋势图查看整个通道的温度变化趋势。

4 结语

系统经过实际调试和运行,在选用 K 型热电偶进行测温的情况下可以在 0 ~ 450 °C 之间对烫刀实现有效控制。系统在首次快速接近预设温度过程中带有相对较大的超调量(3 °C 以内)后,能够以 ±1 °C 的幅度偏差稳定在预设温度。与功能丰富、界面友

好的上位机配合使用,可以为用户提供良好的使用体验。

参考文献:

- [1] 韩凌,陆荣鑑. 制袋机的检测与控制技术发展概述[J]. 包装工程,2010,31(6):135-139.
HAN Ling, LU Rong-jian. Profile of Bag-making Machine Detection and Development of Control Technique[J]. Packaging Engineering,2010,31(6):35-139.
- [2] 丁金华,周茂君,孙秋花,等. 制袋机多路温度控制器[J]. 仪表技术与传感器,2008(10):63-65.
DING Jin-hua, ZHOU Mao-jun, SUN Qiu-hua, et al. Multi-temperature Controller of Bag-making[J]. Instrument Technique and Sensor,2008(10):63-65.
- [3] 方沛昱,李兴根. 制袋机中的多路温度控制系统[J]. 包装工程,2003,24(4):26-28.
FANG Pei-yi, LI Xing-gen. A New Temperature Control Multiplexer in Package Machine[J]. Packaging Engineering,2003,24(4):26-28.
- [4] 彭远芳,赵友新. 高精度温度采集系统[J]. 仪表技术与传感器,2007(5):46-49.
PENG Yuan-fang, ZHAO You-xin. High Precision Temperature Acquiring System[J]. Instrument Technique and Sensor, 2007(5):46-49.
- [5] 周立功. ARM 嵌入式系统基础教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [6] 王海青,姬长英,刘同召,等. 模糊自整定 PID 温度控制系统的建模与仿真[J]. 计算机工程,2012,38(7):233-235.
WANG Hai-qing, JI Chang-ying, LIU Tong-zhao, et al. Modeling and Simulation of Fuzzy Self-tuning PID Temperature Control System[J]. Computer Engineering, 2012, 38(7):233-235.
- [7] 涂川川,朱凤武,李铁. BP 神经网络 PID 控制器在温室温度控制中的研究[J]. 中国农机化,2012(2):153-156,146.
TU Chuan-chuan, ZHU Feng-wu, LI Tie. Study and Simulation of BP Neural Network PID Controller-take the Control System of Greenhouse Temperature as Example[J]. Chinese Agricultural Mechanization,2012(2):153-156,146.