

A-PDF Split DEMO : Purchase from [www.A-PDF.com](http://www.A-PDF.com) to remove the watermark

# 多路高精度热电偶采集板研制

袁建挺, 姜周曙\*, 黄国辉

(杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:**为了满足工业应用现场多点测温的需求,研制了16路热电偶高精度数据采集板。选取ADI公司的高性能芯片AD $\mu$ C834作为主芯片,利用其片上24位 $\Sigma$ - $\Delta$ 型A/D、外部高精度参考电压模块,结合信号调理电路和下位机软件的设计,实现了高精度数据采集。采用多路转换芯片,可实现了16路采集通道间的切换。采用热电阻PT100传感器采集热电偶冷端温度实现冷端补偿。实验结果表明,该采集板具有多通道、精度高、成本低、测温范围宽、操作简单等优点。

**关键词:**AD $\mu$ C834;热电偶;16路;冷端补偿;高精度

中图分类号:TH811;TP274

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)01-0087-03

## Development of multi-channel high-accuracy thermocouple acquisition-board

YUAN Jian-ting, JIANG Zhou-shu, HUANG Guo-hui

(School of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In order to meet the requirement that industrial field need to measure lots of temperatures, 16-channels high-accuracy thermocouple acquisition-board was developed, the AD $\mu$ C834 chip made by ADI Corporation was chosen as main chip. By using the on-chip 24bit  $\Sigma$ - $\Delta$  type A/D, external high-accuracy reference-voltage module, combined with the rational design of signal conditioning circuit and MCU program, the high-accuracy acquisition was realized. Multi-channel conversion chip could switch 16 channels. To realize cold junction compensation, thermal resistance PT100 was used to acquire the cold-side temperature. The experiments show that the acquisition-board has the merits of multi-channel switch, high-accuracy, low cost, wide metrical range of temperature, simple operation, etc. .

**Key words:** AD $\mu$ C834; thermocouple; 16-channels; cold junction compensation; high-accuracy

## 0 引言

随着工业的不断发展,测温技术越来越多地应用在化工、冶金、机械、食品等行业,在生产过程中有极其重要的地位。工业测温元件主要有热敏电阻、热电阻和热电偶等。热电偶作为工业上最常用的温度检测元件之一,它主要有测量精度高、测量范围广、构造简单、使用方便等特点。

很多工业现场都需测量多个温度点,为此,笔者研究开发了16路热电偶高精度采集板。该采集板采用了美国ADI公司AD $\mu$ C834芯片作主芯片,利用片上24位的 $\Sigma$ - $\Delta$ 型A/D和外部高精度参考源,用热电阻

PT100传感器实现热电偶的冷端补偿,结合单片机程序的合理设计,可实现16路热电偶高精度采集。

## 1 硬件电路设计

采集板选用的核心芯片是美国ADI公司生产、内含24位A/D转换器的SoC芯片—AD $\mu$ C834。AD $\mu$ C834是全集成的高性能数据采集系统,内部集成了200 $\mu$ A恒流源和2路独立的高精度(16位和24位) $\Sigma$ - $\Delta$ 型A/D,体积小,功耗低,非常适用于各类智能仪表。AD $\mu$ C834芯片有3个主要的优点:率先集成了精密ADC、DAC及快闪存储器于微转换器中,这一特点特别适合于测控系统和仪表;用RS232或一根口线实现

在线调试和在线编程的功能;兼容了 8052 内核<sup>[1-2]</sup>。该芯片虽集成了内部参考源,但为提高采集精度选用了 AD780 作为高精度外部参考源,它能提供 2.5 V 参考电压,最大误差不超过 1 mV<sup>[3-4]</sup>。

该采集板不仅可实现数字电源、模拟电源、通信电源间的隔离功能,也可实现控制信号隔离。采用金升阳公司生产的电源隔离模块实现电源隔离,AQY210S 光耦实现控制信号间的隔离。全隔离技术对于热电偶采集精度和单片机工作的稳定性和抗干扰性至关重要。

采集卡具有 RS-232/RS-485 总线通信方式,通过切换开关可以方便地选择总线。利用隔离 DC/DC 电源模块单独供电,与单片机的通信利用三通道的磁耦数字隔离芯片 ADuM1301 作信号隔离,确保通信部分不受干扰。

采集板总体结构框图如图 1 所示。

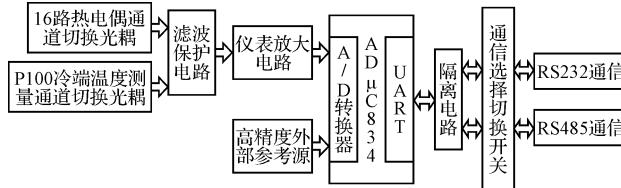


图 1 采集板总体结构框图

热电偶传感器接到采集板通道的正负端,通过控制对应 AQY210S 光耦选择通道进行数据采集,以实现 16 路采集通道的切换。毫伏信号通过滤波和保护电路后经过一个 AD623 组成的信号放大隔离电路,最后进入 ADμC834 的 24 位主 A/D 中进行模/数转换。

为实现高精度温度采集,热电偶冷端温度测量用 PT100 传感器直接测温。通过控制相应的 AQY210S 光耦选通 PT100 冷端温度测量通道进行冷端温度的采集。

为防止由于误操作引入大电压直接作用于单片机,在通道上设计了保护电路,主要由保险丝和 TVS、ESD 管组成。保险丝能够在通道电流输入过大的情况下自动烧断保护后续电路,而 TVS、ESD 管用于输入电压过大时保护单片机。

为了避免高低频噪声影响采集精度,提高采集板抗干扰性,设计了滤波电路和仪表放大电路。滤波部分主要由磁珠和 RC 滤波电路组成,磁珠能抑制高频噪声和尖峰干扰,还具有吸收静电脉冲的能力,RC 滤波电路能够抑制低频噪声和降低射频干扰。为消除输入热电偶信号的共模噪声,采用 AD623 设计仪表放大电路<sup>[5-6]</sup>。AD623 可将差分电压变为单端电压,提供

了极好的随增益增大而增大的交流共模抑制比,保持最小的误差。MAX1720 芯片为 AD623 提供了一个下摆幅负电压,上摆幅电压由 AVDD 提供,使放大器具有有极宽的共模输入范围,放大器的输出摆幅能达到电源的正负限。仪表放大电路如图 2 所示。

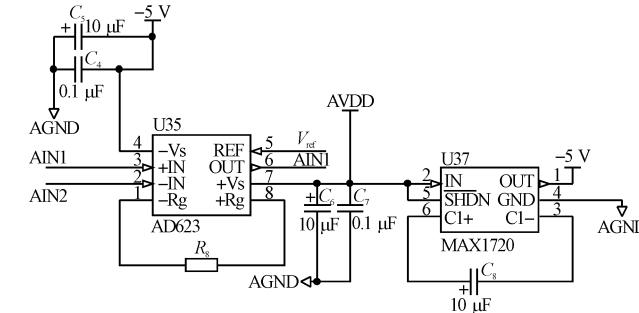


图 2 仪表放大电路

## 2 下位机软件设计

### 2.1 热电偶采集主程序设计

热电偶采集板主程序流程图如图 3 所示。函数首先是初始化时钟,对 ADμC834 的 A/D 进行校准,然后设置串口波特率,开串口中断和总中断。进入循环后会等待发生串口中断将采集允许标志位置 1,采集板开始采集热电偶数据并将数据发送到串口。

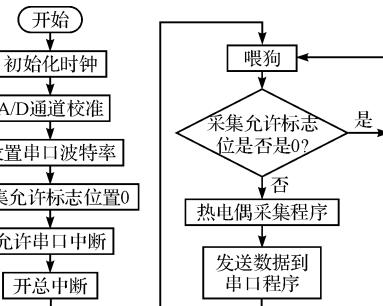


图 3 热电偶采集板主程序

### 2.2 热电偶采集子程序设计

ADμC834 主 24 位高精度 Σ-Δ 型 A/D 通道功能框图如图 4 所示。

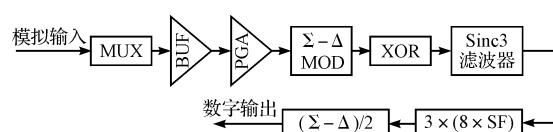


图 4 ADμC834 Σ-ΔADC 通道功能方框图

该 A/D 通道具有缓冲器,可处理较高内阻的信号源。PGA 为增益可编程放大器,可配置 A/D 满量程输入范围。Σ-Δ 调制器中的积分器用于量化噪声成形,可将噪声展宽到调制频率的一半<sup>[7-10]</sup>。A/D 的滤波器

是低通  $\sin c^3$  滤波器, 可滤除由调制器引入的量化噪声。滤波器的转折频率和抽样数据输出速率(A/D更新频率)可通过写入SF滤波器控制字实现。

经研究发现热电偶采集精度与A/D更新频率、A/D量程和A/D转换次数有关。A/D更新频率越快, 采集精度越低, 但更新频率过慢, 会导致采集时间过长; 由于采集微小的热电偶毫伏信号, A/D量程不能过大, 否则采集精度也会降低; ADC不断对模拟输入信号进行变换,  $\sin c^3$  滤波器交替输出 $+V_o$ 和 $-V_o$ ( $V_o$ 代表通道的失调), 这些失调由每两个数平均一次进行消除, 模拟输入信号的每一次变换在ADC此刻的两个输出数据中并不能够完全反映出来, 但在紧接着的第3个输出数据中能够得到完全的响应, 经过多此A/D采样后的数据才是正确的。A/D通道输入发生非连续的输入变化是ADC建立时间如图5所示。

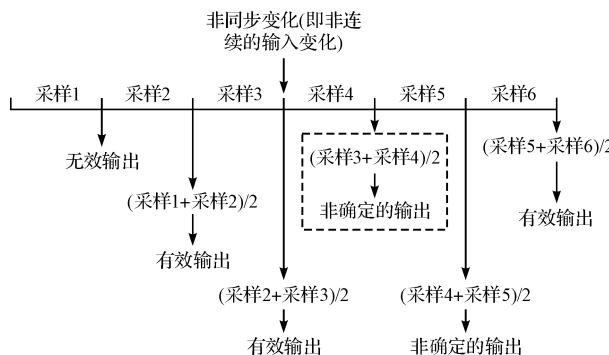


图5 输入发生同步变化后ADC建立时间

最终设计的热电偶采集子程序流程图如图6所示。首先设置A/D更新频率为19.79 Hz, 然后通过控制光耦开关来进行通道选择, 具体选择通道进行数据采集。接着通过PGA进行量程选择后完成3次A/D单次转换, 最后将A/D采集到的数据存放到单片机内存单元中。

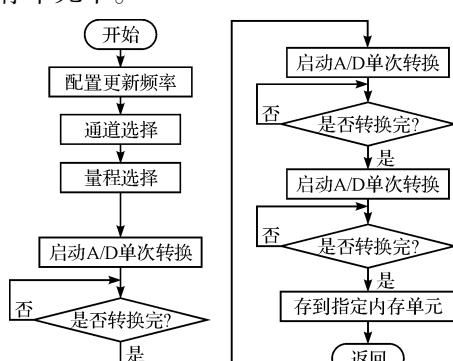


图6 热电偶采集子程序流程图

### 3 采集板精度分析

由于PT100和热电偶都有非线性因素存在, 需要

对PT100电阻/温度曲线和热电偶电势/温度曲线进行拟合, 最大程度上逼近实际值。

实验过程如下:首先进行PT100电阻/温度曲线拟合。将实验用的PT100放入湖州双林信立仪表厂生产的RST-35A制冷恒温槽中, 以10℃为单位递增调节恒温槽温度, 采集板采集数据并记录采集电阻值, 得到多组数据后计算得到相应温度对应的电阻平均值, 然后利用拉格朗日插值法拟合出相应的PT100电阻/温度曲线。

其次进行热电偶电势/温度曲线拟合。将实验用的K型热电偶放入RST-35A制冷恒温槽中, 将热电偶冷端延伸至另一个小恒温槽中并将小恒温槽温度设为10℃。然后以10℃为单位递增调节RST-35A恒温槽温度, 采集板采集数据并记录采集电势值, 得到多组数据后计算得到相应温度对应的电势平均值, 然后同样利用拉格朗日插值法拟合出相应的热电偶电势/温度曲线。

最后, 将拟合出来的曲线函数应用到上位机软件处理采集值, 将PT100置于空气中测量冷端温度, 热电偶置于RST-35A恒温槽温度, 对应不同的真实温度值通过上位机软件就可得到采集板的采集值。得到采集板精度分析表如表1所示, 其中真实值是RST-35A恒温槽温度显示值。

表1 采集板精度分析表

采集值/(℃)	真实值/(℃)	绝对误差/(℃)	相对误差/(%)
15.050 34	15	0.050 34	3.356
21.996 42	22	-0.003 58	-0.163
24.986 7	25	-0.013 3	-0.532
35.008 33	35	0.008 33	0.238
51.003 56	51	0.003 56	0.070
65.004 42	65	0.004 42	0.068
71.997 85	72	-0.002 15	-0.030
84.998 33	85	-0.001 67	-0.020
92.996 59	93	-0.003 41	-0.037

从图表中可以看到, 采集板的温度测量偏差保持在±0.1℃之内, 相对误差保持在4%之内, 热电偶采集板精度较高, 符合工业测控系统温度采集要求。

### 4 结束语

该16路热电偶高精度采集板软硬件已调试成功, 具有精度高、抗干扰性强、性价比高等诸多优点。该采集板符合工业高精度温度采集要求, 具有良好的应用前景。目前已成功应用于上海海事大学圆球导热系统、横管自然对流实验系统和上海交大热泵实验台中, 运行情况良好。下一步要完成的工作是采用嵌入式技术将热电偶采集板和ARM板结合, 最终研发完成带显示、触摸功能的高精度热电偶采集仪。

(下转第114页)

同输入条件和控制对象的 PID 控制系统响应曲线如图 10(b) 所示, 经比较可证明, 模糊控制系统响应时间快, 超调量小, 比传统的 PID 磨球机压力控制的效果要好。

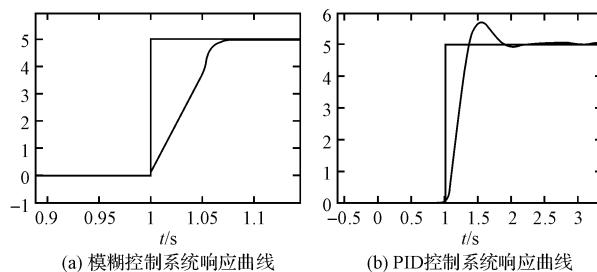


图 10 系统响应曲线

本研究进行偏心磨球和双自转磨球实验, 并对两种控制系统的控制效果进行了比较, 对比的双方所设定的上磨盘载荷相同, 上下磨盘转速变化一致, 磨削液材料浓度相同, 所磨球来自同一批次。

在偏心磨球实验时, 测得传统 PID 控制系统下材料去除率为  $56 \mu\text{m}/\text{h}$  左右, 平均球度为  $4.6 \mu\text{m}$ , 而模糊控制系统下平均去除率为  $60 \mu\text{m}/\text{h}$  左右, 平均球度为  $4.3 \mu\text{m}$ ; 在双自转磨球实验中, 测得传统 PID 控制系统下材料去除率为  $13 \mu\text{m}/\text{h}$  左右, 平均球度为  $2.0 \mu\text{m}$ , 而模糊控制系统下平均去除率为  $15 \mu\text{m}/\text{h}$  左右, 平均球度为  $1.8 \mu\text{m}$ <sup>[11-13]</sup>。

## 6 结束语

经过仿真与实验证明, 模糊策略的引入提高了材料去除率, 也改善了球度, 由于系统响应较快, 又达到了减少振动的效果, 从而实现了提高加工效率和加工精度的目标, 同时也延长了设备的使用寿命。

## 参考文献(References) :

[1] YUAN Ju-long, WANG Zhi-wei, LV Bing-hai. Simulation

(上接第 89 页)

## 参考文献(References) :

- [1] 李刚, 林凌, 何峰. ADμC845 单片机原理、开发方法及应用实例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [2] 马明建. 数据采集与处理技术 [M]. 2 版. 西安: 西安交通大学出版社, 2005.
- [3] 李霖. 高集成度热电偶温度变送器的研制 [J]. 郑州轻工业学院学报, 2000, 15(1): 37-40.
- [4] 张震, 黄国辉, 王剑, 等. 高性能的工业通用型数据采集卡的研制 [J]. 自动化仪表, 2009(12): 72-75.
- [5] 陈玉林, 徐飞, 杨永梅, 等. 新型热电偶温度测量仪的研制 [J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(4): 31-33.

study on the developed eccentric V-grooves lapping mode for precise ball [J]. Key Engineering Material, 2006 (304-305): 300-304.

- [2] 周兆忠, 赵萍, 陈苗青, 等. 精密球体研磨技术的现状与发展方向 [J]. 新技术新工艺, 2005(5): 25-28.
- [3] UMEHARA N, KIRTANE T, GERLICK R, et al. A new apparatus for finishing large size/large batch silicon nitride ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) balls for hybrid bearing applications by magnetic float polishing (MFP) [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2006, 46(2): 151-169.
- [4] YE Bin, ZHU Cheng-zhi, GUO Chuang-xin. Fuzzy modeling strategy for control of nonlinear dynamical systems [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 36(13): 882-885.
- [5] SALA A, GUERRA T M, BABUŠKA R. Perspectives of fuzzy systems and control [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2005(156): 432-444.
- [6] 贾玉坤, 胡克佳, 王华东, 等. 基于 ATmega128 的高效精密球体研磨机控制系统 [J]. 机电工程, 2009, 26(6): 24-27.
- [7] 武星星, 朱喜林, 李晓梅. 模糊推理系统在 DSP 上的实现和优化 [J]. 微计算机信息, 2007(8): 177-179.
- [8] 陈晓龙. DSP 在现代测控技术中的应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.
- [9] 王茂飞, 程昱. TMS320C2000DSP 技术与应用开发 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [10] 刘建辉, 冀常鹏. 单片机智能控制技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [11] 曲其飞. 压力容器接管焊接过程中焊接质量的控制 [J]. 现代制造技术与装备, 2009(6): 44-45.
- [12] 刘秉, 刘俊, 张凯凯. 交流伺服电机为动力的包装压力试验机设计 [J]. 轻工机械, 2010(1): 67-69.
- [13] 孟宏君, 姜献峰. 手柄曲向压力分布测试系统设计关键技术 [J]. 轻工机械, 2009(6): 66-68.

[编辑: 张翔]

- [6] 王建新, 任勇峰, 焦新泉. 仪表放大器 AD623 在数采系统中的应用 [J]. 传感器与仪器仪表, 2007, 23(3): 169-170.
- [7] 郭松林, 张礼勇, 林海军.  $\Sigma-\Delta$ A/D 转换器的原理与分析 [J]. 电测与仪表, 2002, 11(39): 21-24.
- [8] 陈胜勇, 张凯翔. 多点温度采集控制系统的分析与研究 [J]. 宁夏机械, 2007(1): 19-22.
- [9] 陈旭灿, 姜周曙, 黄国辉. 基于 ADμC834 的低温测量仪表设计 [J]. 工业与自动化装置, 2009(2): 96-98.
- [10] Analog Devices, Inc.. MicroConverter, Dual 16-/24-Bit ADCs with Embedded 62 KB FLASH MCU ADμC834 Datasheet [M]. Analog Devices, Inc., 2002.

[编辑: 李辉]