

高性能通用温度采集仪的研制

张 震, 王 剑, 黄国辉, 姜周曙

(杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 温度采集是现代测控系统的重要内容之一。针对工业现场这一问题, 研制了一套多通道、高性能、通用温度采集仪。该系统以 ARM Cortex 系列的 STM32 芯片和 24 位 AD 芯片 AD7793 为核心, 详细介绍了其温度采集电路、数字量输入输出电路、液晶显示电路、存储电路和通讯接口电路的设计。该采集仪在同一个模拟输入通道上实现了对热敏电阻、三线制热电阻、四线制热电阻、热电偶等信号的通用采集, 通过 RS232/485、USB、CAN 等总线接口与上位机或数据采集网络进行了通讯或显示等, 能够适用于多种场合。实验结果表明, 其设计结构合理, 精度较高, 结果令人满意。

关键词: 温度采集; 通用; STM32; 硬件电路; USB 接口

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)03-0080-05

Study of high performance general-purpose temperature acquisition instrument

ZHANG Zhen, WANG Jian, HUANG Guo-hui, JIANG Zhou-shu

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

Abstract: Temperature acquisition is one of the key sectors in modern measurement and control system. Aiming at the desire of industrial environment, high performance and general-purpose temperature acquisition instruments with multi-channels based on STM32 were fabricated. The system was developed based on ARM Cortex series MCU and 24-bit A/D device-AD7793, and its parts were designed, which included temperature acquisition circuit, digital input/output circuit, LCD circuit, storage circuit, communication interface circuit. Through every analog input channel, the temperature collection of thermistor, 3-Wire/4-Wire RTD and thermocouple signal collection was achieved, and communication with PC, data acquisition network or display on PC with multiple communication interfaces were realized, including RS232/485、USB、CAN bus interface for different environment. The experiment results demonstrate that the system has reasonable structure and high precision and satisfactory results.

Key words: temperature acquisition; general-purpose; STM32; hardware circuit; USB interface

0 引 言

温度采集对工业现场的实时监控和过程控制具有重要的意义, 一般是通过将热敏电阻、三线制热电阻、热电偶等接触式传感器得到的模拟量信号送到 A/D 转换器和单片机来实现的, 少数场合可能会用到四线制热电阻。在多通道的场合下, 通常是每个通道只能采集 1 种信号, 若采集测试任务改变, 则需要更换采集通道甚至更换采集板卡, 通用性不强。虽然国外已出现了通用性强的精度温度采集系统, 但由于其昂贵的价格而限制了其在国内的使用。

针对以上问题, 本研究采用嵌入式设计思想, 选用集成了最新 ARM 技术的 Cortex-M3 内核的 STM32F103V8 芯片和内含恒流源的 24 位 A/D 转换芯片 AD7793 作为核心, 研制一套对不同输入信号类型通用的温度数据采集仪, 以较低的成本最大程度地满足各种工业控制场合多通道、高精度的温度采集需求。

1 采集仪的总体设计方案及主要芯片简介

常见的工业现场的数据采集, 采集速度不是很高, 被采集的信号之间的时序关系不是十分严格, 8 通道

收稿日期: 2009-07-20

作者简介: 张 震(1984-), 男, 河南南阳人, 主要从事智能仪表与控制装置、嵌入式系统方面的研究. E-mail: yuchen1030@163.com

通信联系人: 王 剑, 男, 副教授. E-mail: jianw6@sohu.com

的温度采集能够满足常见的需求。针对这些情况,本设计利用一片 A/D 芯片多通道输入的设计思路,通过选通开关选择需要进行采集的通道,该信号输入单片机进行处理后再选通下一路进行采集,这样依次选通各通道进行采集。

温度通常以热电偶、热电阻、热敏电阻等信号的形式来测量。数字量测量参数有开关量、脉冲量等。信号的类型不同,相应的输入电路、处理电路也就有很大差异。要实现在同一通道上的通用采集,其关键在于对不同信号的处理。

为了解决这些问题,本研究在详细分析了功能需要和现在的性价比的基础上,采用了以下的硬件方案^[1]。硬件电路主要由 ARM 微处理器、温度信号的调理电路、ADC 采样电路、通道功能选择电路、LCD 液晶显示电路、电源电路、存储电路、RS232/485 接口电路、USB/CAN 总线接口电路、JTAG 电路等组成。其功能框图如图 1 所示。

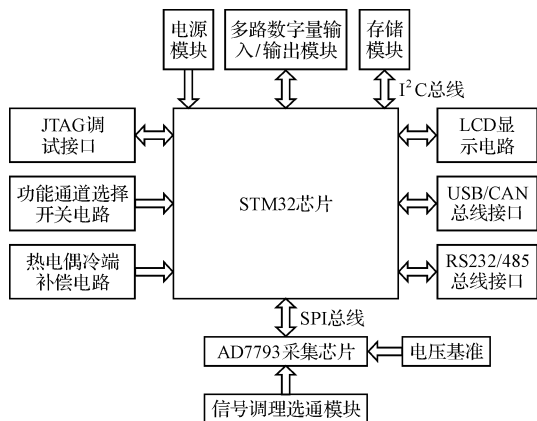


图 1 采集仪的总体结构框图

在该系统中,ARM 处理器选用 100 脚封装的 STM32F103V8 芯片。该芯片采用 ARM 公司高性能、低成本、低功耗的 ARM® Cortex™-M3 内核,具有 32 位芯片的速度和性能,却只有 8 位 MCU 的价格。它采用 3.3 V 电源供电,最高工作频率为 72 MHz,提供 64 KB 的嵌入式闪存 ROM、20 KB 的 RAM 和丰富的外设接口,包括两个 12 位模数转换器、3 个 USART、2 个 SPI、2 个 I²C、3 个 16 位定时器、6 路 PWM 定时器、USB 2.0 总线接口、CAN 总线接口和 7 个 DMA 通道、串行调试和 JTAG 接口^[2-3]。除一个电源外,LQFP100 封装产品的最小系统只需要 7 个电容器。

为提高采集精度,系统的 A/D 转换器没有采用 MCU 自带的 12 位 A/D 转换器,而是采用 ADI 公司 24 位的 $\Sigma - \Delta$ 型 A/D 芯片 AD7793。它采用 2.7 V ~ 5.25 V 电源供电,具有 19.53 mV、39.06 mV、2.5 V 等

8 档量程,含有 3 个差分模拟输入,片内集成低噪声仪表放大器,因而可直接输入小信号。它还具有两路可编程恒流源输出(10 μ A, 210 μ A, 1 mA),可以为电阻类型的传感器提供电流,适合高精度测量应用的低功耗、低噪声需求。本研究还选用了精度为 $\pm 0.05\%$ 的恒压电源芯片 AD780 作为模拟转换的外部基准电压,可实现 2.5 V 或 3.0 V 的基准电压输出(本设计中使用了 2.5 V 的基准电压输出)。

系统可以用外接 LCD 进行显示,也可以通过 RS232/485 总线、USB/CAN 总线连接上位机采集界面以更多显示形式显示数据。系统也可以通过这些总线接成网络,作为数据采集网络中的温度采集节点。

系统在进行温度采集的过程中,可能要求达到某一温度点后,通过继电器来控制风机、压缩机、电磁阀等,以及通过不同的开关量输入以进行不同的控制操作,所以本研究增加了开关量输入/输出模块。

2 温度采集电路设计

温度采集电路负责热敏电阻、三线制热电阻、四线制热电阻、热电偶 4 种信号的采集。每种输入信号都要通过低通滤波、开关选通、滤波消噪等单元后再进入 AD7793 的 A/D 输入端。由于引线电阻的存在,则不同测温方法的测量精度不同,其中热电阻测温精度最低,价格也最低,四线制热电阻的方法精度最高,但价格最昂贵。下面本研究首先以 Pt100 为例介绍三/四线制热电阻的测温原理,然后再介绍具体的实现方法。

2.1 四线制 Pt100 的测温方法

四线制 Pt100 的测温的方法如图 2 所示。

它采用一个恒流源 I 激励铂电阻,其中 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 分别为近似相等的传感器引线电阻, R 为铂电阻。AIN1 和 AIN2 测量端通常是高输入阻抗,因此测量电路对电流 I 的分流可忽略不计,得到的铂电阻上的电压为 $I \times (R_i + \Delta R)$,可以完全消除引线电阻所引起的误差。

为进一步提高采集精度,可将恒流源电流 I 适当增大,则其量程、输入电压、分辨率都会增大,使得最后得到的采集数据的分辨率大大提高^[4-5]。

2.2 三线制 Pt100 的测温方法

在实际的应用中,出于性价比的考虑,三线制热电阻测量温度的方式更加常用。传统的三线制 RTD 温

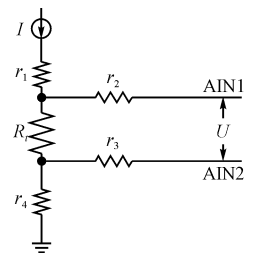


图 2 四线制测量电路

度测量的电路如图 3 所示,其测量误差 $U_e = I\Delta r$ (其中 I 为恒流源的值, Δr 为引线电阻随温度变化而变化的值)。

若用两路相等的恒流源来激励三线制 RTD 温度传感器,测量电路如图 4 所示,图中 I_1 、 I_2 为激励电流源, R_t 为铂电阻, r_1 、 r_2 、 r_3 为近似相等的引线电阻, Δr 为引线电阻随温度变化的阻值, AIN1、AIN2 为 A/D 转换器的两个差分输入端。假设 I_1 、 I_2 恒定不变,则最终的测量误差为 $U_e = 2(I_1 - I_2) \Delta r$ 。

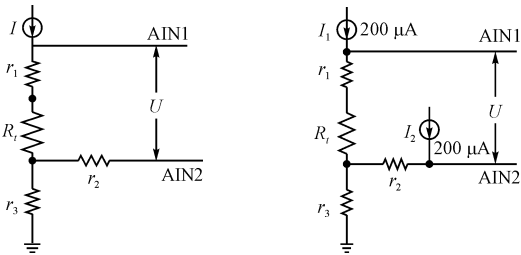


图 3 传统三线制测量电路

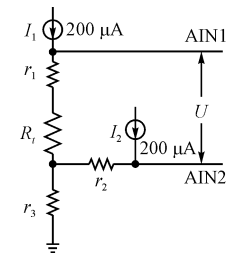


图 4 改进三线制测量电路

假如 I_1 、 I_2 相等,那么误差可完全消除。但事实上,这两路恒流源并不完全相等,使得采集精度取决于 I_1 、 I_2 的差值。根据 AD7793 的官方数据手册可知,两路恒流源的匹配误差为 $\pm 0.5\%$ 。即使如此,改进的三线制测温电路的误差要比传统三线制测量电路的误差小得多。

2.3 温度采集电路的具体实现

温度采集电路大体上又分为信号调理和 A/D 转换两大部分,如图 5 所示(图中省略了 RC 滤波等)。

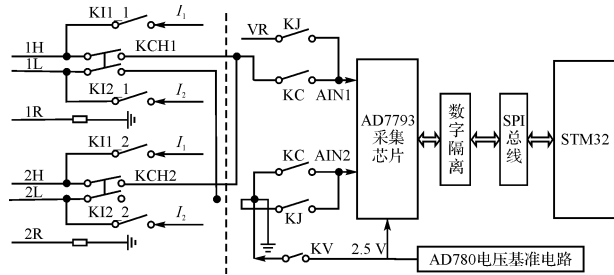


图 5 温度采集电路的设计

信号调理部分(图中虚线之前的部分)所要完成的任务是把非电量的信号转化为电压类型(下面以第一通道为例,其余各通道也类似)。若利用热敏电阻进行温度的采集,则接 1H、1L 两端子,通过开关 K11_1 把 $10\mu\text{A}$ 恒流源 I_1 (从 AD7793 编程得到) 打开送到第一通道,将电阻类型的信号转化成电压类型并进行 RC 滤波处理;若利用三线制热电阻进行采集,则接 OH、OL、OR,需要通过 K11_1、K12_1 把 $210\mu\text{A}$ 恒流源 I_1 、 I_2 都送到第一通道,分别加到热电阻的正端和负端。若传感器为四线制热电阻,则采用了一种以空间换功能的方法,即不增加电路的复杂性,但占用了两个通

道:热电阻的两正端分别接 1H、2L 作为电压回路,两负端接 1L、2R 作为电流回路(选通 K12_1 的 $210\mu\text{A}$ 恒流源 I_2 送到第二通道),可在 1H、2L 上得到转换后的电压值。若传感器为热电偶,则其产生的就是电压信号且无需恒流源(对较粗略的温度测量用偏差为 $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 的数字温度传感器 DS18B20 来实现冷端补偿,对精密的温度测量用 Pt100 来实现冷端补偿)。至此,温度信号的调理完成。

在图 5 中的 A/D 转换部分(即虚线之后的部分),信号经过消噪处理后,进入 AD7793 的第一个差分输入端。在此之前,首先利用 AD780 产生的 2.5 V 电压来提高进入 A/D 的共模电压以抑制小信号的共模噪声。AD7793 也以 AD780 产生的 2.5 V 电压为基准电压。若进行正常的采集,则需要把图 2 中的采集控制开关 KC 闭合,使信号进入 AD7793,然后再经过数字隔离芯片 ADum1301 的有效隔离后通过 SPI 总线进入单片机进行后续的处理。若令自检开关 KJ 闭合,则用于 AD7793 自检,即 AD7793 是否正常工作。其输入电压 VR 为 2.5 V 分压后的 1.25 V 。若转换得到的电压值和 1.25 V 相差不大,则可认为 AD7793 正常工作。若把这个 1.25 V 接到 1H 端,1L 端接地,可以用于检查 A/D 转换前向通道是否正常工作。这里涉及到的开关可以利用导通电阻小、开关速度快的 PhotoMos 继电器来实现。

2.4 数字量输入/输出电路设计

数字量输入/输出信号通常夹杂着众多的噪声,对单片机的稳定工作有较大影响。本设计采用光耦 TLP521-4 进行信号隔离,使得信号与单片机在电气上隔离开来,从而减小外部的干扰。因为光耦的输出电流有限,无法直接驱动继电器,所以本研究在光耦后接了一片输出电流达 500 mA 的大功率驱动芯片 ULN2803 来驱动继电器,完成数字量输出。其具体框图如图 6、图 7 所示。

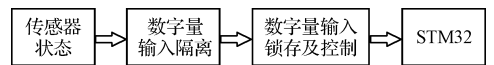


图 6 数字量输入框图

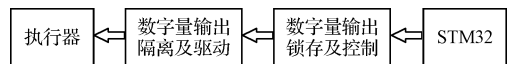


图 7 数字量输出框图

2.5 通讯接口电路设计

本温度采集仪可以以 RS232/485 总线、USB 总线、CAN 总线等方式与外界通信。RS232/485 总线通讯比较简单,这里介绍 USB 总线、CAN 总线的通讯。

由于 USB 和 CAN 共享一个 512 B 的 SRAM 存储器用于数据的发送和接收,因此两者不能同时使用,需要通过开关或者继电器切换。

USB/CAN 总线接口电路图如图 8 所示,上面部分为 USB 部分,图中的三极管的作用是把电压上拉到 3.3 V(至少为 2.5 V 以上),这样计算机才能识别出该设备。PhotoMos 继电器的作用是控制何时连接和断开该 USB 设备。其中的 USBL6-2P6 是一个 ESD 芯

片,其作用是防止 USB 接口受到静电干扰或雷击时损坏主芯片。

图 8 的下面部分为 CAN 总线部分,MCU 的 CANTX、CANRX 引脚经过一片数字隔离芯片分别与 CAN 总线控制器芯片 SN65HVD230 的数据输入口 D、数据读出口 R 相连。含有跳线的接插件用于选择 R_s 端的输入电阻或者电压,从而决定其传输方式为下列 3 种方式之一:待机模式、斜率模式、高速模式。

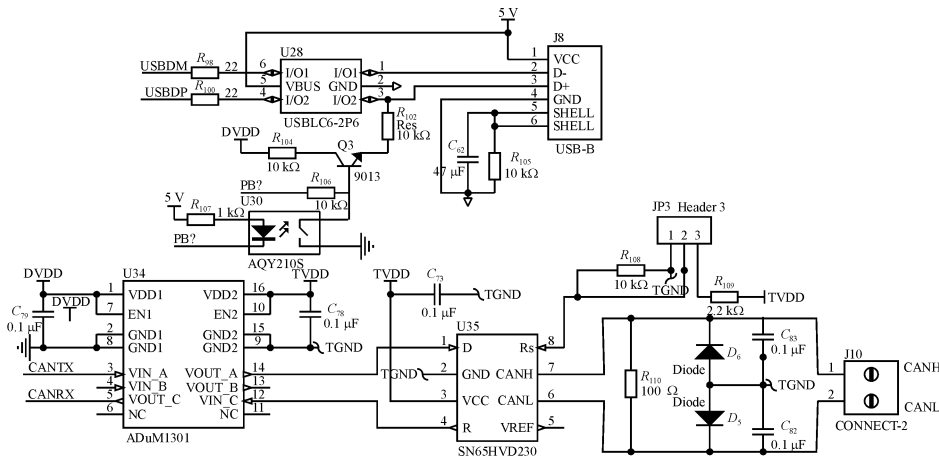


图 8 USB/CAN 总线接口电路图

2.6 显示电路的设计

本采集仪采集得到的数据可以按两种方式显示:

- ①利用另行开发的上位机采集界面,通过 RS232/485 总线、USB 总线、CAN 总线等方式与采集仪通信,可以显示各通道采集的曲线图和数据报表;
- ②利用液晶显示。本设计利用杭州清达光电出品的液晶 THS19264-6 进行显示,其电路图如图 9 所示。其中 JP2 的前 8 脚接 LCD 的数据线,9,10 脚为数据读/写锁存控制,JP1 的 1,5,6 脚显示控制,8 脚为液晶的复位控制脚,其余的为电源及电压调节控制脚。

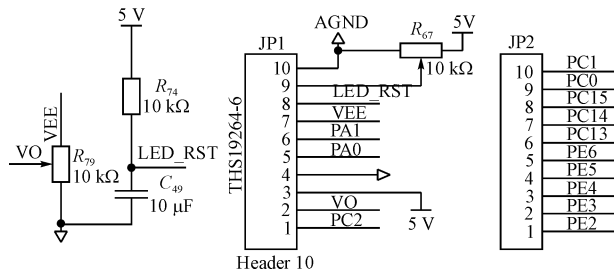


图 9 液晶显示接口电路图

2.7 其他模块电路的设计

(1) 电源电路设计。系统外接 24 V 开关电源,经滤波处理后为传感器供电。此 24 V 电源经 7805 降压后得到 5 V 电源。板内的 3.3 V 电源又分为模拟电源、数字电源、通讯电源 3 部分,以防止模拟数字通讯信号之间的干扰。5 V 电源经过 DC-DC 芯片 B0505S-1W

隔开,再经过 LM1117-3.3 稳压得到各路 3.3 V 电源。

(2) 存储电路设计。充分利用 STM32F103V8T6 内带的 I²C 总线模块,扩展了一片 AT24C02 E2PROM 芯片,保存重要的控制操作参数和数据处理的结果。

(3) 通道功能选择电路设计。在本采集仪中,设置了 10 个开关,其中 2 个开关控制温度采集的 4 种形式(热敏电阻,三线制热电阻、四线制热电阻、热电偶),其余的 8 个开关控制 8 个通道。开关拨到不同位置,表示不同的通道和功能选择的情况。这个功能也可以在上位机的采集界面中进行设置。

3 软件设计

采集仪的软件部分主要完成程序的初始化、模拟量和数字量的采集、数据发送和开关量的控制输出等。主程序首先通过初始化函数配置单片机、液晶显示等进行初始化,并执行 A/D 自检;然后读取 flash 中的采集命令,接着主程序进入一个循环函数,对以下 3 种标志位进行判断:数据采集标志位、数据发送标志位和控制输出标志位,其中数据采集标志位和数据发送标志位是通过 TIC 定时中断来进行置位的,而控制输出标志位则是通过串口接收中断来进行置位的;一旦标志位为 1,主程序立即跳转到相应的子程序去执行,完成相应的操作。主程序流程图如图 10 所示。

在采集子程序中,本研究采用去极值滑动平均滤波

法来减小或消除干扰信号;在对采集数据的处理上,笔者利用了分段线性的方法(即认为在 50 ℃ 的范围内温度和采集值存在线性关系)以计算温度值,然后液晶显示。

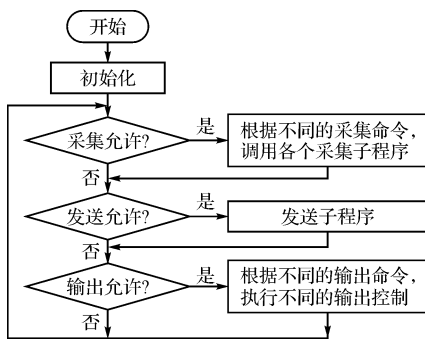


图 10 主程序流程图

4 软、硬件抗干扰措施

为了增强采集仪的抗干扰能力和容错性,电路中采用了多种软、硬件抗干扰措施。

在硬件设计上,采用电源接地抗干扰、RC 低通滤波、器件去耦、光电隔离技术、防止浪涌电流的 TVS 管、静电防护的 PESD 管、屏蔽接地、合理的 PCB 布局布线等硬件抗干扰措施。

在软件设计上,采用去极值滑动平均滤波抑制叠加在模拟输入信号上的噪声;采取软件拦截技术、软件看门狗技术、数据通信的校验、故障处理自恢复技术、输入口信号重复检测等措施使受到干扰而“跑飞”的程序回到正常的轨道上来;采用 I/O 口自检、ROM 和 RAM 的自检、A/D 转换器自检等程序预先发现故障并定位故障所在,提高系统的可靠性;利用单片机的标志寄存器和程序中设置的观测单元判断系统的各种复位原因并进行相应的故障处理等。

5 实验结果分析

在采集仪器的软、硬件设计完成后,笔者还进行了软、硬件调试,就实验结果进行了精度分析。下面仅以四线制热电阻 - Pt100 的温度采集为例进行分析。

利用日本横河公司精度为 0.02% 的 CA150 多功能校验仪产生的四线制 Pt100 信号,输入到美国吉时利 Keithley2001 七位半数字多用表和本采集仪进行采集实验。用 CA150 产生的不同大小的信号作为采集点送入到单片机及 Keithley2001 多用表,得到 A/D 采集数据和多用表读数。根据采集数据和温度的线性关系得到采集计算值,与 Keithley2001 多用表的读数进行比较分析后得到其精度。

实验结果表明,对 0 ℃ ~ 600 ℃ 内的温度点,采集仪的 Pt100 温度测量偏差保持在 ± 0.2 ℃ 以内,采集

效果令人满意。

再对同一温度点 50.0 ℃ 连续采样 20 次,计算得到温度的平均值为 50.000 462 ℃,平均值的标准差为 0.002 748 ℃,即采集仪 Pt100 测量温度的不确定度为 0.002 748 ℃,采集数据只在小数点后第 3 位有波动,表明该采集仪具有很好的重复性。

以上给出的实验结果是利用四线制 Pt100 信号进行单通道测试的结果。热敏电阻、三线制 Pt100、热电偶信号的温度采集效果也很好。若同时进行多通道信号采集,其误差也都在 0.2% 或 0.5% 以内,采集精度完全满足常见工业控制场合下温度采集的高精度需求。其具体实验结果将与上位机采集界面配合,在另外的文章中进行分析。

如果要进一步提高该采集仪的采集精度,可从采集序列的谐波失真、采集信号的周期抖动^[6-9]、直线拟合误差等方面考虑。

6 结束语

该数据采集仪的软、硬件都已调试成功,配合另行开发的上位机采集界面,应用于某公司的板式换热器的翅片检测和热泵热水器控制器中,运行效果良好。采集仪的数据精度、分辨率和不确定度完全能满足精密工业控制的需要,温度误差在 ± 0.2 ℃ 或 ± 0.5 ℃ 以内,且通用性强、价格低、性能高、抗干扰性好,具有广阔的发展前景。增加采集仪的触摸屏操作是本研究下一步将要进行的工作。

参考文献 (References) :

- [1] 王瑞阳,高梅娟. 基于 ADS1216 的多路温度采集系统[J]. 机电工程,2004,21(5):38-40.
- [2] STMicroelectronics. STM32F103x8[EB/OL]. [日期不详]. <http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/13587/stm32f103v8.pdf>.
- [3] 王永虹,徐炜,郝立平. STM32 系列 ARM Cortex-M3 微控制器原理与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [4] MCCARTHY M. Peak-to-Peak Resolution Versus Effective Resolution[EB/OL]. [日期不详]. ADI Application Note AN-615. http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/483455032911909735055330198351486AN-615_0.pdf.
- [5] 陈旭灿,姜周曙,黄国辉. 基于 ADuC834 的低温测量仪表设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2009(2):96-98.
- [6] 梁志国. 采集速率的测量不确定度[J]. 仪器仪表学报,2005,26(7):741-746.
- [7] 汤建斌,蒋庆,蔡晋辉,等. 基于 ARM 微处理器的自动称重选别系统[J]. 轻工机械,2009,27(1):58-60.
- [8] 徐晓宇,张传福. 矿井风机监控系统设计——ST-JK06 系列智能监控终端在矿井风机监控中的应用[J]. 现代制造技术与装备,2007(4):25-26.
- [9] 方祖梅. 多通道振动数据采集分析系统[J]. 机电技术,2009(1):1-2.

[编辑:张翔]