

文章编号: 1671-7848 (2008) S₁-0200-03

基于 MSP430F449 的高精度数据采集系统

李惠光, 薛雅丽

(燕山大学 电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004)



摘 要: 研究了以 MSP430F449 为核心的体积小、功耗低的高精度数据采集系统。该系统由硬件电路搭建和以控制软件编写来共同实现。小模拟信号经 AD7714 采集并由单片机控制转换成数字信号, 并送往单片机进行数字滤波, 进行变换后送 LCD 显示; 同时经由 UART 模块送往 PC 机, 进行其他处理。利用 430C 语言编写功能软件, 包括 A/D 转换程序, 系统主程序, 以及与 PC 机通讯程序和滤波程序, 单片机采用切比雪夫等波纹逼近法设计数字滤波器。充分利用 MSP430F449 和 AD7714 的特性, 通过自主设计的硬件电路软件编程实现了高精度数据采集及处理。该系统具有体积小、功耗低, 及可靠性高的特点。

关键词: MSP430F449; AD7714; 数字滤波

中图分类号: TP 273

文献标识码: A

High Precision Data Sampling System Based on MSP430F449

LI Hui-guang, XUE Ya-li

(Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: A high precision data sampling mini system based on MSP430F449 is researched. The system is established by hardware constructing and software programming. Small simulating signals are obtained via AD7714, transformed into digital signals by singlechip and sent to singlechip for filtering. Then the transformed signals are shown on LCD and sent to PC via UART for further work. Using 430C language programming softwares, such as A/D transform program, system main program, communicating program with PC, and filtering program, digital filters are designed by using of ripple approaching method on singlechip. Well utilizing the performances of MSP430F449 and AD7714, high precision data sampling system is realized through self-design hardware circuit and software programming. The proposed system possesses characteristics of small volume, low power consuming, and high reliability.

Key words: MSP430F449; AD7714; digital filter

1 引言

随着电子技术、微计算机技术及半导体技术的发展, 微处理器越来越向小体积、低功耗、高计算速度的方向发展, A/D 转换模块精度也越来越高, 位数可达到 24 位无误码传输, 这使测量系统的精度越来越高, 实时性越来越好。由于各种微处理器的开发软件多而且方便好用, 使用户开发越来越方便, 开发周期也越来越短, 相应成本越来越低。实际应用中, 对测量的性能要求越来越高, 而实现成本却越来越低。

本文针对可燃性气体浓度小信号模拟量测量, 采用 AD7714 设计了一个高精度测量系统。小模拟信号直接输入 AD7714, 转换成数字信号, 数字信号经软件滤波器滤波, 进行变换, 直接通过单片机内 LCD 接口送液晶显示屏显示; 同时, 经由片内 UART 模块送往 PC 机。

2 器件选择

单片机采用 TI 公司的 MSP430F449, 它属于一种中低端的单片机, 使用非常灵活, 具有 2 K 字节的 RAM, 64 K 字节的 FLASH, 除了正常工作模式外, 还有 5 种低功耗工作模式, 使其可以实现很低的工作功耗。低工作电压 1.8~3.6 V, 超低功耗掉电模式仅 0.1 μ A, 待机模式 1.1 μ A, 活动模式也只有 280 μ A (2.2 V, 1 MHz)。片内集成了丰富的外设, 本系统应用其 LCD 接口, UART 串行口, 大大减小了产品的体积。另外, 它可在线编程, 不用外部编程电压, 使用十分方便, 而且开发工具很多, 易于完成软件的设计、调试及测试, 大大缩短了开发周期。

MSP430F449 片内集成的 LCD 驱动模块, 有静态, 2MUX, 3MUX, 4MUX 这 4 种驱动方式, 有 20 个字节的显示缓冲器。在 4MUX 方式下, 所有的显

收稿日期: 2007-05-16; 收修定稿日期: 2007-07-19

作者简介: 李惠光(1947-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 教授, 主要从事机器人视觉、图像处理、网络等方面的教学与科研工作。

示缓冲器位都用于段驱动，可以达到 160 段显示。使用时可将 LCD 直接与单片机的引脚相连，电路简单，使用方便，同时也减少了外部干扰源，降低了干扰。

MSP430F449 内部的两个 UART，为串行通信提供了很大方便。再外接一个电平转换模块就可以采用 RS485 总线和计算机进行远距离通信了。系统原理，如图 1 所示。

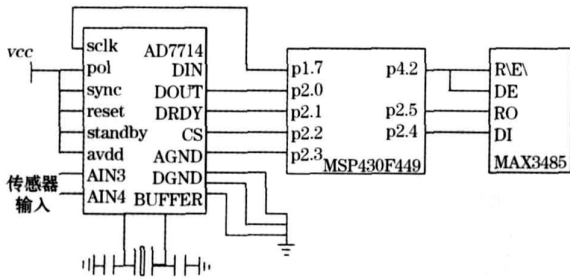


图 1 系统原理图

AD7714 是一个完整的模拟前端，不再需要保持电路等附加电路，可以直接连接传感器输出的低电平信号，这使其在高精度测量时，降低了干扰，提高了精度。它采用 $\Sigma\Delta$ 技术，通过采样和数字抽取技术提高分辨率和信噪比，可以达到 24 位的转换精度。片内集成有模拟调制器和数字滤波器，片内的模拟调制器具有可编程增益的模拟前端，数字滤波器可通过设置相应寄存器，调整其截止频率，数据输出更新率。它有 3 个差分模拟输入，并可以实现 5 个准差分基准输入。AD7714 内部包含 8 个寄存器，通过对 8 个寄存器的设置就可以实现其具体功能。对任何寄存器的写入读出都是始于对通信寄存器的写入，它选择下一个要写入读出的寄存器。通信寄存器还控制通道的选择，模式寄存器决定校准模式和增益大小，滤波寄存器可以设置截止频率，数据寄存器存有最新转换数据。此外，还有测试寄存器，零、满刻度校准寄存器，通过对各个寄存器设置，就可以实现所要求的功能，使用很方便，可以达到 24 位的精度。

3 软硬件设计

1) AD7714 与单片机的接口电路以及 A/D 转换结果的数据处理 单片机通过设置 CS，选择是否选中 AD7714，通过设置 SCLK，控制与 AD7714 数据传送的时钟；DIN，DOUT 为数据发送与接收端口，单片机通过查询 DRDY 位，判断 AD7714 有无数据要发送。POL 是时钟极性选择，在此接高电平，因为单片机提供的 SCLK 在空闲时为高电平，SYNC，STANDBY 接高电平。信号输入采用差分输入，可以有效抑制共模干扰。硬件电路连接见图 1。

2) 软件设计及注意事项 首先，配置通信寄存器，设置通道；然后，依次设置滤波寄存器高位寄存器，低位寄存器，模式寄存器，设置增益系数，烧断电流断开，无滤波同步并启动自校准。CPU 采用查询 DRDY 位的方式，确定下次操作是通信寄存器还是数据寄存器。最后，从数据寄存器读取数据，循环执行上两步，直到得到需要的样本数。数据经过处理以后得到最终结果。在调试过程中需注意，频率的设置与转换有效数据是密切联系的，要实现 24 位无误码，片内数字滤波器的第一个凹口频率要小于 60 Hz；输出噪声，分辨率，增益和第一个凹口频率密切相关，要协调其之间关系；还要注意单片机读入写出位次序要与 AD7714 相符，不然得不到数据。

4 数字滤波器实现

为了提高测量的准确性和可靠性，在 A/D 转换之后采用数字滤波来消除信号中的无用成分。数字滤波器无需硬件，只用一个软件算法实现，没有阻抗匹配的问题，可靠性高，使用方便。只要适当改变运算参数，就可以改变滤波特性。

1) 工程上常用的软件滤波方法 算术平均值法，滑动平均值法，防脉冲干扰平均值法等，这些方法一般只可以消除偶然因素引起的干扰，对周期性干扰尤其工频干扰和白噪声干扰抑制效果不太好，而且平滑度不高。切比雪夫等波纹逼近法是 FIR 滤波器设计方法之一。它采用“最大误差最小化”优化原则，使用 PM 算法和逼近理论设计滤波器，在期望滤波器频率响应和实际滤波器频率响应之间实现最佳匹配。应用这种方法设计的滤波器具有较好的通带和阻带性能，并能准确指定通带和阻带边缘。由于在通带和阻带的误差是均匀分布的，其频率响应在通带和阻带内显示出等波纹特性。在同样的滤波指标要求下，使用切比雪夫等波纹逼近所设计的滤波器比用窗函数设计的阶次低。而单片机资源有限，过高阶数不易实现，因此，本文采用切比雪夫等波纹逼近方法设计滤波器。

2) 决定切比雪夫等波纹逼近低通滤波器系数的主要参数 滤波器长度 M ，通带和阻带截止频率 ω_p ， ω_s ，相应频带的幅度 m ，权系数 w 。其中，权系数由通带和阻带波动 A_p ， A_r 决定。设计滤波器时，通带和阻带的逼近程度常不同，故乘以不同的权系数，以统一使用最小化最大误差。长度 M 由 ω_p ， ω_s ， A_p ， A_r 决定。Kaiser 提出近似计算单通带，单阻带滤波器长度 M 的一个简单公式为

$$M = \frac{-201 \lg \left(\frac{10^{-A_p} - 10^{-A_r}}{7.3 * (10^{-A_p} - 10^{-A_r})} \right) - 13}{7.3 * (10^{-A_p} - 10^{-A_r})} + 1$$

式中, $\omega_1 = (10^{A_p/20} - 1)/(10^{A_s/20} + 1)$, 为理想通带容限, A_p 为通带波动, A_s 为阻带波动; $\omega_2 = (1 + \omega_1) * 10^{-A_p/20}$, 为理想阻带容限; ω_s, ω_p 为理想阻带, 通带归一化截止频率。

3) 用单片机实现滤波器 MSP430F449 单片机内置乘法器具有强大的数据处理能力, 采用汇编语言可以编写出高效率的源程序, 程序采用定点运算模式即能满足精度要求。切比雪夫等波纹逼近滤波主程序框图, 如图 2 所示。

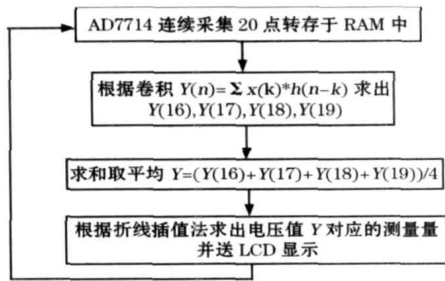


图 2 程序流程图

由于本系统输入信号变化缓慢, 通带、阻带截止频率选 $\omega_p = 0.1$, $\omega_s = 0.3$ (采样频率 150 Hz)。为了方便数据的进一步处理, 选择通带幅频特性较平坦并接近于 1。

当 $A_p = 0.22$ DB, $A_s = 30$ DB 时, 根据 Matlab 仿真, 恰能满足要求, 此时, $M = 16$ 。由以上指标设计出的切比雪夫等波纹滤波器系数扩大 1 280 倍, 四舍五入取整, 并转换成 16 进制, 以系数表格形式存放在单片机内部的 FLASH 中 (滤波器长度为 16, 由于系数偶对称, 所以只需存储一半系数), $h = [-1f -1e -15 0f 4c 99 db 104]$ 。采集的 20 个数据 (转为 16 进制) 与滤波器系数进行卷积, 得到 $Y(n)$, 选取稳定的点 (稳定的点才能够代表输入信号的特征) ($Y(16), Y(17), Y(18), Y(19)$) 进行平均作为此 20 个采样点滤波后的真值。程序采用模块化结构设计, 可以使用查表的方法进行卷

(上接第 188 页)

8) 可以实现无级调速, 精度高。特别适合于对旧设备的技术改造, 它既保证了原电动机结构简单可靠耐用, 维护方便的优点, 又能达到显著的节能效果。

9) 引进的变频调速装置还采用了先进的分布式计算机控制系统 (也叫集散型控制系统或 DCS), 具有分散控制、信息集中管理的特点, 使变频调速的控制更为可靠、简单易行。

9 结 语

变频调速电机自应用以来, 性能可靠、调节方

积。在卷积求点 $Y(16), Y(17), Y(18), Y(19)$ 以及折线插值求对应显示值时, 调用了 16 位 \times 16 位定点乘法和 32 位/16 位定点除法运算子程序。由于本系统存储的滤波器系数为 12 位, 采集的电压值亦为 12 位, 所以, 定点乘法以及定点除法运算不会发生溢出。当发生溢出时, 程序舍掉当前数据, 重新采集一组新数据进行处理, 从溢出达到下次采集程序执行时间小于 0.05 s, 这样的处理速度不会影响测量结果。

5 结 语

本文设计的数据采集系统, 采用功能丰富的 MSP430F449 作为控制器, 采用 AD7714 作 A/D 转换模块, 使硬件电路结构简单, 受外界干扰小, 功耗低, 实时性较好, 更适合外界仪表的应用。利用 MSP430F449 强大的计算功能对输出数据采用切比雪夫等波纹逼近法设计的滤波器进行滤波, 此滤波器通带平坦, 截止频率可以设置很低, 过渡带衰减很快, 输出数据稳定, 准确可靠, 满足了系统高精度数据采集的滤波要求; 而且, 用软件实现数字滤波, 无需硬件, 没有阻抗匹配的问题, 可靠性高, 使用方便, 设计过程简便, 便于移植。只要适当改变运算参数, 就可以改变滤波特性, 改变滤波代码就可以得到适合不同场合的滤波器, 输出数据更稳定, 有效降低了干扰, 体积可以做到很小, 功耗很低, 适用于空间比较小, 而环境又比较恶劣的情况。

参考文献:

- [1] 沈建华, 杨艳琴, 翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 程佩青. 信号处理教程 (第二版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [3] 薛年喜. Matlab 在数字信号处理中的应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [4] 乔毅, 栾美艳, 袁爱进, 唐明新. 基于 LabVIEW 和 OPC 的数据通信的实现 [J]. 控制工程, 2005, 12(2): 153-156.

便、降低了电能消耗、减轻了工作人员的劳动强度、提高了劳动生产率、延长了电机的使用寿命、节约了备品备件消耗、减少了维修费用。更重要的是使电机运行更加稳定可靠, 保证了正常生产。同时也为其他企业的技术改造提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 顾绳谷. 电机及拖动基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 张杰卿. 变频调速技术在选矿生产过程中的应用 [J]. 控制工程, 2006, 13(S): 7-10.
- [4] 王秀青, 孙昊, 句希源, 等. 变频调速系统电动机故障的在线检测 [J]. 控制工程, 2005, 12(S): 56-58.