

高精度自动称量系统数据采集功能的实现

曾晓洋

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要:介绍一种高精度电子秤的数据采集系统,给出了系统的硬件电路和软件设计。分析了系统的工作原理;较详细地讨论了信号调理模块中的应变转换问题,给出了一种抗干扰能力强、并能消除称重时偏心影响的并联组秤方式;重点讨论了信号预放以及滤波电路设计中应该考虑的问题及其对策;最后讨论了系统的软硬件抗干扰设计。

关键词:数据采集;应变转换;并联组秤;抗干扰设计

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

1 系统简介

按照任务的要求:本高精度称量系统应用于矿山生产流水线上稀有金属的称量,称量范围为 $2.5\text{kg} \sim 5.0\text{kg}$;称量精度优于 1% ;要求系统具有数据采集,数据分析与处理,数据显示、打印与存储等功能。而整个数据采集子系统由传感器模块、信号调理模块、A/D转换模块和单片机处理系统四大部分组成,其组成框图如图1所示。

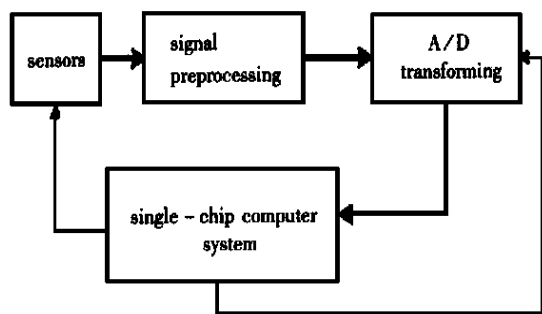


Fig. 1 Diagram of the data sampling system

信号调理模块将被测重量参数的变化转换成电压信号的变化,经放大、滤波后送A/D模块进行模/数转换。

A/D模块为单通道,12位模数转换板。其模拟输入电压设置为 $0\text{V} \sim 5\text{V}$,所以最小分辨电压为 $5/2^{12} = 1.22\text{mV}$ 。它将模拟输入电压转换成数

字量后,送入单片机处理系统。单片机处理系统的主要功能是:接受外部输入命令并作出反应,启动A/D转换器进行数据采集,对实时采集的数据进行分析 and 处理,并打印和存储数据。

2 信号调理模块的设计

信号调理模块的作用是将被测重量参数的变化转化成电压变化,经放大、滤波后,输出既能满足分辨率要求,又能满足量程要求的电压。信号调理模块包括应变转换电路,前置放大电路,低通滤波电路等。

2.1 荷重传感器的并联组秤

在本系统中,使用GWS-1型高精度荷重传感器,该荷重传感器以电阻应变片作敏感元件,以惠斯登电桥为基本原理,量程为 20kN ,输出电阻为 350Ω ,桥路电源电压为 12V 。具有灵敏度高(1mV/V)、精度高($0.5\%F.S.$)、线性好(零点温度影响与输出温度影响为 $0.025\%F.S./^\circ\text{C}$)等优点。

我们放弃了传统的串联组秤方法,而是采用并联组秤的方法。因为串联组秤的抗干扰能力差:其电桥串联后总输出阻抗大,容易引入共模干扰,而这种干扰信号可能扰乱低电平的应变信号电压。而三个荷重传感器的输出并联后总的输出电阻小,于是信号传输系统的抗干扰能力加强。

三个荷重传感器的并联组秤原理如下:

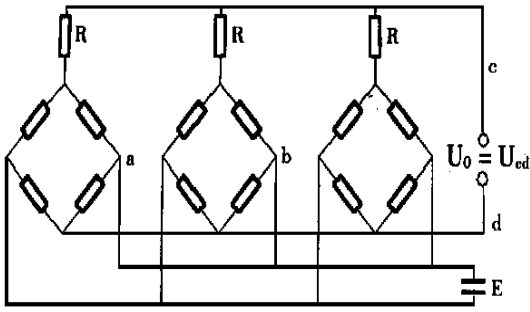


Fig. 2 Three-sensor parallel connection and bridge differential circuit bridge

三只电阻应变式荷重传感器的并联差动全桥电路如图2所示, R 为灵敏度调整电阻。并联电路可简化成如图3所示的等效电路。

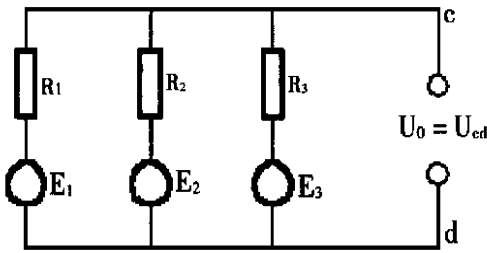


Fig. 3 Equivalent circuit for three-sensor parallel connection bridge

我们设 K_i 为传感器 i ($i = 1, 2, 3$) 的灵敏度系数, W_i 为传感器 i 所分担承受的重量, R_i 为传感器 i 的桥路输出电阻, U_0 为三个传感器输出并联后总的输出电信号。则通过等效并联电路节点电压方程有:

$$U_0 = \sum_{i=1}^3 \frac{K_i W_i}{R_i} \bigg/ \sum_{i=1}^3 \frac{1}{R_i} \quad (1)$$

由(1)式可知, 当每只荷重传感器的灵敏度系数 K_i 与输出阻抗 R_i 之比一致时, 则可将 K_i/R_i 作常数处理。而 $\sum_{i=1}^3 1/R_i$ 对于给定的三个传感器, 必然是常数。所以, 最后可对输出并联电路用下式表达其输出电压与各传感器所负载荷的关系:

$$U_0 = C \sum_{i=1}^3 W_i = CW \quad (2)$$

其中 C 为常数。由(2)式可知, 电子秤采用三个荷重传感器输出电压并联的方法后, 其总的输出电压与被称的物重成线性关系, 还可得出, 输出电压信号不受物料在料斗中偏心的影响, 即并联组秤有效地消除了物料偏心装载的影响; 同时可以减少每个传感器的载荷, 提高传感器的使用寿命。

2.2 前置放大与滤波电路

根据分辨率和量程要求, 放大器放大倍数应为 1000 倍左右。应变电桥输出电压相当微弱(毫伏级)而放大器放大倍数很高, 故提高放大器稳定性是需解决的关键问题, 如图4所示我们采用两级放大, 第一级为测量放大器 AD522, 它适合于恶劣环境下进行高精度数据采集的场合, 具有低电压偏移、低非线性、高共模抑制比、低噪声、低失调电压等优点, 并且有数据防护功能。第二级为测量放大器 AD521, 它也是一种精密测量放大器, 具有高输入阻抗、低失调电流、高共模抑制比等特点。选择第一级放大器的放大倍数为 10, 第二级放大器的放大倍数为 100, 这样可以有效地抑制噪声和放大信号。如图4示, 对于测量放大器 AD522, R_C 是放大倍数调节电阻; 而对于测量放大器 AD521, R_C 和 R_S 是放大倍数调节电阻。

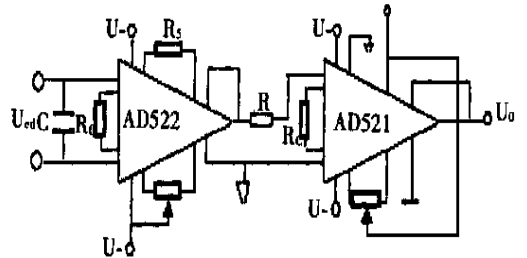


Fig. 4 Circuits of amplifier and filter

该放大电路具有抗共模干扰能力强和输入电阻高的优点。

图4中, 在输入端并联了一个电容, 其作用有两个: 一是与应变电桥一起对差分信号形成 RC 滤波器; 二是有并联电容交叉耦合效应, 可以减少输入端两边对地共模电容的不平衡, 使两个输入信号接近相等, 从而抑制共模干扰。

3 A/D 转换模块的设计

3.1 A/D 模块硬件设计

图5所示为系统 A/D 转换模块电路原理图。根据实际需要选择的 A/D 转换器为 AD574A, 它的转换时间为 $25\mu s$, 转换速率为 40000 次/s。由采样定理与实际需要, 一个周期的波形需采 10 个样点, 则 A/D 转换器的最高处理频率为 4kHz。由于 A/D 转换一次需一定时间, 对于快速变化的信号源, 转换期间其值可能变化, 从而引起转换误差, 为保持时变信号的瞬时值, A/D 通道中采用采样保持器 AD582, 其孔径时间为 $150\mu s$, 最短信号采样时间为 $6\mu s$ 。

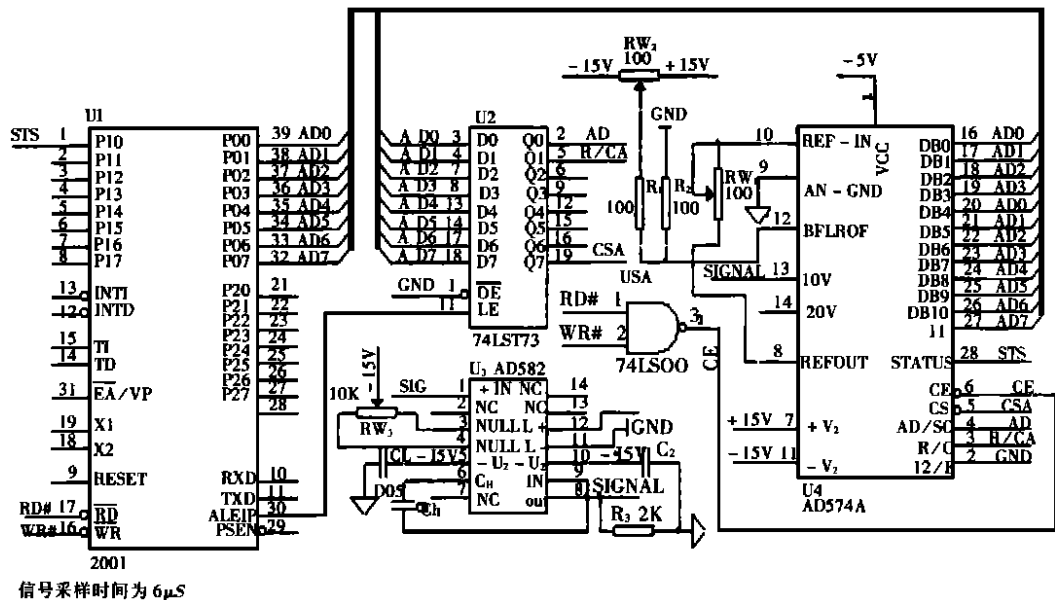


Fig. 5 Circuits of A/D conversion

由图可知 A/D 转换器 AD574A 共有 5 根控制线—CE, CS, $12/\bar{8}$, A_0 , R/\bar{C} 来完成 A/D 转换器的定时、寻址、启动和读出功能。启动转换时, 要求 $CE=1, \bar{CS}=0, R/\bar{C}=0$; 读出时, 要求 $CE=1, \bar{CS}=0, R/\bar{C}=1$ 。转换状态 STS 在转换开始后为高电平, 当转换结束后, STS 端为低电平。AD574A 作 12 位转换, 要求启动时, $A_0=0, R/\bar{C}=0$ 。因“ $12/8$ ”引脚接地, 故转换的 12 位数据 2 次输出。高 8 位从 DB₁₁ ~ DB₄ 输出而低 4 位从 DB₃ ~ DB₀ 输出。读数据的高 8 位结果时, 要求 $A_0=0, R/\bar{C}=1$; 读数据的低 4 位时, $A_0=1, R/\bar{C}=1$ 。

每一次数据采集过程都包含一次采样和一次 A/D 转换, 所以采样保持器和 A/D 转换器各完成一次动作所需要的时间之和应小于采样周期 T_s 。设 A/D 转换器的转换时间为 t_{conv} ; 采样保持器的捕捉时间为 t_{AC} , 设定时间为 t_{ST} 。则有:

$$t_{AC} + t_{ST} + t_{conv} < T_s \quad (4)$$

采样保持器的捕捉时间 t_{AC} 与规定的误差范围以及保持电容 C_H 的大小有关。捕捉时间 t_{AC} 的大小应与 A/D 转换器的精度相配合, 由于我们选择了 12 位的 A/D 转换器, 其精度等于 $2^{-12} = 1/4096 = 0.00024 = 0.024\%$, 则可选择采样保持器的误差带为 0.01%。选择保持电容 $C_H = 1000\text{pF}$, 这时捕捉时间 t_{AC} 为 $25\mu\text{s}$ 。

3.2 数据采集软件设计

系统中 CPU 对 A/D 转换模块主要操作有: 发通道选择命令, 启动 A/D 转换命令, 判断 A/D 转换是否完成, 读 A/D 转换结果, 对采集数据作

处理等。根据高精度电子秤系统的要求, 为达到系统的 0.1% 称量精度, 我们采用了两种采样频率的方法, 即在开始时使用相对较低的采样频率, 而在达到设定称量值的 90% 后采用较高的数据采集频率。数据采集程序流程如图 6 所示。

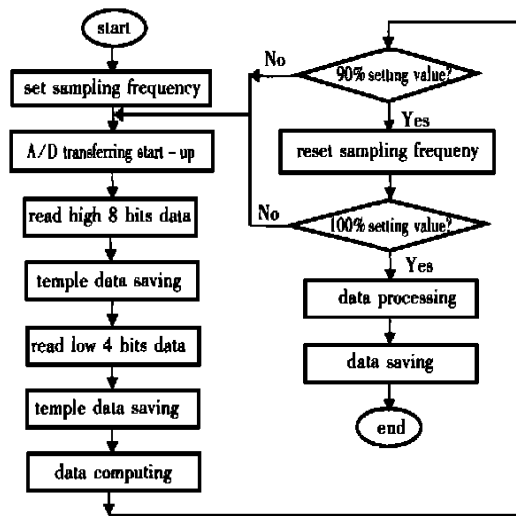


Fig. 6 Flow diagram of data sampling

4 系统抗干扰设计

A/D 接口电路是由 A/D 转换器和单片机系统组合在一起的模拟数据采集系统, 是模拟电路和数字电路混合使用的典型系统, 仅有正确的逻辑线路是不够的。系统的抗干扰性是抑制系统误差的关键, 本系统中我们运用一系列软硬件防止干扰的措施。

4.1 硬件电路的干扰和抗干扰措施

对于图 1 所示的数据采集子系统,干扰主要来源于信号调理与模数转换部分。

信号调理电路的干扰是多样的,按干扰的作用方式可分为串态干扰和共模干扰两种。

串态干扰是指叠加在信号调理电路输入端荷重传感器输出信号上的无用输出电压。由于本高精度电子秤工作环境比较恶劣,故信号调理电路输入端会存在各种干扰,如供电系统中瞬时扰动产生的脉冲干扰、由寄生电容串入的工频干扰以及稳压电源的纹波干扰等。对于工频干扰和稳压电源的纹波干扰我们使用高通滤波器来消除;对于信号调理电路中最严重的供电系统中的脉冲干扰,因为信号调理电路的输出动态范围为 $0V \sim 5V$,而一般的脉冲干扰的幅度要远大于这个值,因此可在信号调理电路的输入输出端都采用限幅电路,这样便可消除供电系统的大脉冲干扰。

共模干扰是指信号调理电路两输入端和地之间存在的电压。为提高电路的共模抑制比,采用双端差分输入法,并且对信号调理电路的输入输出采用屏蔽措施。而使用测量放大器便可达此目的。测量放大器的共模抑制比(CMRR)很大,可以将市电频率的噪声当作共模噪声加以清除。

数据采集电路中的干扰主要由地噪声、供电系统的脉冲干扰和空间电磁场的干扰等组成。抗这类干扰的主要措施是滤波、屏蔽和合理的接地。

在电路的直流供电端并联 $0.01\mu F$ 瓷片电容作高频旁路及并联 $1\mu F$ 钽电容作低频旁路,同时在电路板的直流供电端加高频阻流圈,模拟电路和数字电路分开供电。

在接地方面,遵守“一点接地并接触良好”的原则:微弱电平电路的地和高电平电路的地不放在同一点。在线路设计中,将所有器件的模拟地和数字地分别相连,两种地仅在一处相连。并将印刷板的元件面大部分用作地,以尽量减小地线的阻抗。

屏蔽可以有效地抑制空间电磁场的干扰,同时也能减小数据采集系统本身的电磁辐射,使系统满足电磁兼容性的要求。在设计的过程中,对高频传输线进行屏蔽,对调理电路的输出采用低阻设计,这样便大大提高了系统的抗电磁干扰的能力,并且保证了系统的共模抑制比。

4.2 软件设计的抗干扰措施

在信号进入单片机系统正式使用以前,我们对数据作了适当的数字滤波,取得了较好的抗干扰效果,消除了硬件滤波难于消除的低频干扰和偶然性脉冲干扰。

使用了中位值滤波法:对被参数连续采样 m 次($m > 3$),并按大小排列,从首尾各舍掉 $1/3$ 个大数和小数,再将剩余的 $1/3$ 个大小居中的数据进行算术平均,其结果作为本次采样的有效数据进入单片机系统。中位值滤波法较好地消除了偶然脉冲干扰。

极低频干扰经常突破硬件的抗干扰措施进入单片机系统。为消除这种低频干扰,在软件中使用一段程序来模拟 RC 滤波器:

$$y(n) = ax(n) + (1 - a)y(n - 1) \quad (5)$$

其中 $x(n)$ 为第 n 次采样时滤波器输入值, $y(n)$ 为第 n 次采样时滤波器输出值, $y(n - 1)$ 为第 $(n - 1)$ 次采样时滤波器输出值, $a = T_s / (T_s + T_f)$ 为滤波系数, T_s 采样周期, T_f 为滤波器的时间常数,它依据低频干扰信号的频率决定。

5 结 束 语

设计中采用了一系列硬件和软件的措施:使用灵敏度高、精度高、线性好的高精度荷重传感器,并且利用了并联组秤方法的并联后总的输出电阻小的优点,以提高信号传输系统的抗干扰能力;信号预处理时,选用具有高共模抑制比、低噪声等优点的测量放大器分两级放大,并且使用滤波措施,进一步降低噪声,提高信噪比;A/D 转换时,合适地选择采样保持器、A/D 转换及其它器件,以保证转换精度;电子设计时的工艺和处理时的软件措施也很好地保证了转换精度。本数据采集子系统经过设计、试验,然后与其它子系统一起装配联调后工作,现场系统运行情况较稳定,完成了 $2.5kg \sim 5.0kg$ 高精度数据采集的任务,精度满足了任务书所要求的小于 1% ,达到了 0.5% 。

致谢:在本工作的进行过程中,得到湘潭大学机械工程的浣淑瑜副教授富有成效的合作,与广州市神采电脑系统集成有限公司的潘亚工程师进行了很好的合作,并且曾多次与湘潭大学自动化与电子工程系的易震中教授、粟建新副教授进行过有益的讨论。本工作受湖南省科委项目基金的资助。

参考文献:

- [1] 潘新民,等:微型计算机与传声器技术[M].北京:人民邮电出版社,1988.
- [2] 曾献辉,等.软件容错技术初探[J].电子技术应用,1997,23(9):11-12.
- [3] 刘乐善,等:微型计算机接口技术原理及应用[M].武汉:华中理工大学出版社,1996.
- [4] 马明建,周长城.数据采集与处理技术[M].西安:西安交通出版社,1998.
- [5] 张毅刚,等:MCS-51单片机应用设计[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1992.
- [6] 何遵文,李在庭.高速数据采集系统干扰抑制[J].北京理工大学学报,1994,14(4):355-388.
- [7] Analog Devices Inc. High-speed design seminar[M]. USA: Analog Devices Inc. 1989.

Design of a high precision electronic steelyard data sampling system

ZENG Xiao-yang

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China*)

Abstract: The paper introduces a data sampling system of high precision electronic steelyard, and also presents the design of hardware and software work principles of the data sampling system, especially, the design of strain-transition, forward signal amplifier and filter. Finally, the paper gives an anti-interference design of the hardware and software.

Key words: data sampling systems; strain-transition; anti-interference

作者简介: 曾晓洋(1972-),男,湖南衡南人,中国科学院长春光机所博士研究生,攻读光学工程博士学位,研究方向为空间电子学,参与多项国防重点工程和“863-2”重点课题的研究工作,从事EDA(电子设计自动化)及应用电子技术工作,感兴趣的研究领域有:通信与存储系统检纠错码的应用研究,数字图象与信号处理技术的研究等,已发表科研论文10多篇。