

一种高精度的电子秤设计

罗及红

(湖南商务职业技术学院, 湖南长沙 410205)

摘要: 设计了一种以 DSP 处理器 TMS320LF2407 为信息处理核心的高精度电子秤, 介绍了其系统框图, 重点阐述了称重传感器的工作原理与电子秤称重数据采集电路的设计方法, 并完成了电子秤的软件设计; 测试结果表明, 电子秤的各项性能均优于国家标准《非自动秤通用检定规程 JJG555-1996》规定的三级秤指标, 称重误差小。

关键词: 电子秤; 称重; 称重数据采集; DSP

DSP-based Design of High Precision Electronic Scale

Luo Jihong

(Hunan Vocational College of Commerce, Changsha 410205, China)

Abstract: The design of a DSP-core processor TMS320LF2407 as information processing high-precision electronic scale, we introduce the system block diagram, focusing on the working principle of the load cell and electronic weighing scale data acquisition circuit design methods, and completed The software design of electronic scales. The results show that the performance of electronic scales higher than the national standard "non-automatic weighing General test procedures JJG555-1996" provides the three scale indicators, weighing error is small.

Key words: electronic scale; weighing; weighing data acquisition; DSP

0 引言

电子秤是一种常用的称重装置, 其因操作简单、称量准确、体积小、称量速度快、读数方便, 广泛应用于商业贸易、医院、学校、企业等部门^[1-2]。本文以 TI 公司的 DSP 处理器 TMS320LF2407 为信息处理核心, 结合 24 位 A/D 转换器, 设计了一种高精度便携式电子秤, 其最大量程为 50kg, 分度值为 10g, 内分度值为 1g, 达到了国家标准《非自动秤通用检定规程 JJG555-1996》规定的三级秤指标^[3]。

1 高精度电子秤的工作原理

高精度电子秤以 DSP 处理器 TMS320LF2407 为信息处理单元, 主要由称重信号采集电路、数字温度传感器、键盘、LCD、通信接口电路、语音提示电路等组成, 其原理如图 1 所示。图中称重传感器、调理电路、A/D 转换电路等组成称重信号采集电路, 当被测物体加载在秤盘上时, 安装在秤盘下方的称重传感器产生与被测载荷成正比的电压信号, 经调理电路放大、滤波、A/D 转换后, 传送至 DSP, 完成称重信号采集, 经 DSP 数据处理后通过 LCD 显示被测物体的质量。系统利用键盘电路完成电子秤不同功能的选择和相关数据的输入; 系统具有语音提示功能, 可完成电子秤相关功能提示、报警等功能; 电子秤具有 RS232 通信接口, 可实现与上位机的通信功能等; AC-DC 模块给系统提供 +5V 电源。

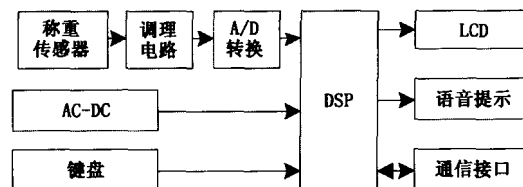


图 1 高精度电子秤的原理框图

2 高精度电子秤的称重信号采集电路设计

基于 DSP 处理器 TMS320LF2407 的高精度电子秤称重信号采集电路由称重传感器、称重信号调理电路、A/D 转换电路等组成。

2.1 称重传感器的工作原理

称重传感器作为电子秤的关键部件之一, 其性能直接决定了电子秤称重的准确性与稳定性。电子秤采用电阻应变式称重传感器作为物体重量(质量)信号——电信号的转换器。电阻应变片式称重传感器将 4 个电阻应变片粘贴在弹性敏感元件上, 然后以适当方式组成惠斯登电桥。当称重传感器不承受载荷时, 弹性敏感元件不产生应变, 粘贴在其上的应变片不发生变形, 应变片的电阻不变, 电桥平衡, 输出电压为零; 反之, 当被测载荷加载在电子秤秤体上时, 称重传感器承受载荷, 应变片电阻改变, 电桥失去平衡, 传感器输出与被测载荷重量成比例的电压信号^[4]。称重传感器的工作原理如图 2 所示。

图 2 中, 设 4 个应变片的电阻分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 , 电桥电源电压为 U , 则惠斯登电桥输出电压 U_x 为:

$$U_x = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) U \quad (1)$$

当称重传感器空载时, 4 个应变片的零点阻值(即空载时的电阻)相等, 即

收稿日期:2010-03-08; 修回日期:2010-04-15。

作者简介:罗及红(1971-), 男, 湖南常德人, 硕士, 副教授, 主要从事电子信息与电气控制方向的研究。

黄会雄(1961-), 男, 湖南长沙人, 硕士, 教授, 高级工程师, 主要从事计算机控制方向的研究。

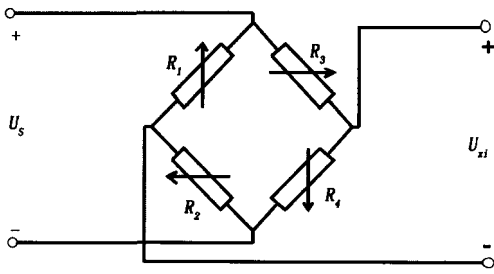


图 2 称重传感器电桥电路

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \quad (2)$$

当传感器承受载荷时，横向粘贴的应变片 R_1 、 R_4 被拉伸，阻值增大；纵向粘贴的应变片 R_2 、 R_3 被压缩，阻值减少，即

$$\begin{cases} \Delta R_1 = \Delta R_4 = \Delta R \\ \Delta R_2 = \Delta R_3 = -\mu \Delta R \end{cases} \quad (3)$$

式中， μ 为弹性元件的泊松比^[5]； ΔR 为应变片的电阻变化值。

将式 (3) 代入式 (1) 有

$$U_{xi} = \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_3 + \Delta R_3} - \frac{R_2 + \Delta R_2}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2} \right) U_s = \left[\frac{1 + \frac{\Delta R}{R}}{2 + (1 - \mu) \frac{\Delta R}{R}} - \frac{1 - \mu \frac{\Delta R}{R}}{2 + (1 - \mu) \frac{\Delta R}{R}} \right] U_s = \left[\frac{(1 + \mu) \frac{\Delta R}{R}}{2 + (1 - \mu) \frac{\Delta R}{R}} \right] U_s \quad (4)$$

由于 $\frac{\Delta R}{R} \ll 1$ ，因此忽略式 (4) 中分母含 μ 的项，并考虑到式 (3)，则有

$$U_{xi} \approx \frac{(1 + \mu) \frac{\Delta R}{R}}{2} u_s = \frac{(1 + \mu)}{8} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) U_s \quad (5)$$

式 (5) 表明，称重传感器的输出与应变片电阻变化量的代数和成正比。

称重传感器的灵敏度与最大量程是称重传感器两个最重要的参数，必须根据电子秤的设计要求综合考虑，以选择合适的参数。在本设计中，选用灵敏度为 2mV/V、最大量程为

100kg 的称重传感器传感器。

2.2 电子秤 A/D 转换电路设计

本文设计的电子秤内分度^[3]为 1g，最大秤量^[3]为 50kg，分度数^[3]为 5000，因此 A/D 转换电路的分辨率至少为 1/50000。考虑到噪声的影响，实际应用中应设定裕量，一般为最小分辨率的 10 倍（即能够分辨出 0.1g），因此 A/D 转换电路的分辨率设计为 1/500000。此时 A/D 转换器至少为 19 位（19 位 A/D 转换器的分辨率为 1/524288），本文设计的电子秤采用 Analog Devices 公司的 24 位高精度、低噪声的 Δ - Σ 型 A/D 转换器 AD7799^[6] 完成称重信号的 A/D 转换。图 3 为 A/D 转换电路原理图。图中，AD7799 采用差分输入方式（AIN+、AIN-），将经调理后的称重信号转换为数字信号，其与称重传感器、信号调理电路、DSP 处理器 TMS320LF2407 等构成了分辨率为 0.1g 的称重信号采集电路。集成运放 U0 与电阻 R_6 、 R_7 等组成 A/D 转换器的基准电压发生器，其输出 $V_{REF} = 2.5V$ ；AD7799 具有 SPI 接口，DSP 利用 IOPC2、IOPC3、IOPC4 模拟 SPI 总线，实现与 AD7799 的数据通信。

2.3 电子秤的信号调理电路设计

调理电路由称重信号放大电路、低通滤波电路及相关外围电路组成，其原理如图 4 所示。图中，U2（包括 U2A 和 U2B）、 R_3 、 R_4 、 R_5 、 C_1 、 C_2 等组成双端输入双端输出的仪用放大器与低通滤波器，这种仪用放大器具有低噪声、高输入阻抗、低输出阻抗等优点，用以实现称重传感器输出微弱信号（IN1+、IN1-）的放大和低通滤波，并将调理后的信号（AIN1+、AIN1-）直接传送到 A/D 转换器；集成运放 U1 采用 TI 公司的 OPA2227，该集成运放具有低噪声、低漂移、低失调电压、高共模抑制比（CMRR）、工作频带宽等优点，很适合微弱信号处理。

2.3.1 信号调理电路电压放大倍数的确定

图 4 中，U2、 R_3 、 R_4 、 R_5 、 C_1 、 C_2 等组成的调理电路电压放大倍数为：

$$A_u = 1 + \frac{R_3 + R_5}{R_4} \quad (6)$$

设 S 为称重传感器的灵敏度， F_{max} 为其最大量程， u_s 为称重传感器的电源电压， M_{min} 为称重传感器能够分辨的最小载重量，则称重传感器在最小载重量 M_{min} 作用下的输出 u_{min} 为：

$$u_{min} = \frac{S u_s}{F_{max}} M_{min} \quad (7)$$

当 $S = 2mV/V$ ， $F_{max} = 100kg$ ， $u_s = 5V$ ， $M_{min} = 0.1g$ 时， $u_{min} = 0.02\mu V$ 。

采用 24 位的高精度 A/D 转换器，其能够分辨的最小输入电压 \tilde{u}_{min} 为：

$$\tilde{u}_{min} = \frac{V_{REF}}{2^{24} - 1} \quad (8)$$

式中， V_{REF} 为参考电压，当 $V_{REF} = 2.5V$ 时， $\tilde{u}_{min} \approx 0.149\mu V$ 。

由以上分析可以看出，如果信号不放大，A/D 转换器将不能识别 u_{min} 。因此必须对称重传感器的输出电压放大，其最小放大倍数 $A_{u_{min}}$ 为：

$$A_{u_{min}} = \frac{\tilde{u}_{min}}{u_{min}} \approx 7.45 \quad (9)$$

当称重传感器承载满负荷时（即 $M = F_{max}$ ，此时 A/D 满

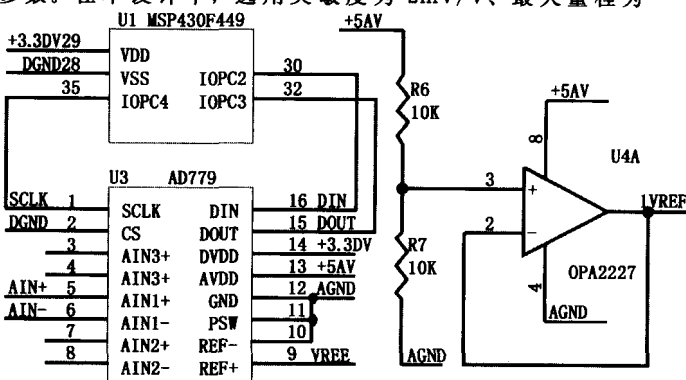


图 3 电子秤 A/D 转换原理图

幅值输出 FFFFFFFH)，传感器输出电压 u_{max} 为：

$$u_{max} = \frac{Su_s}{F_{max}} M = 10(\text{mV}) \quad (10)$$

因 A/D 转换器的最大输入电压可达 $\tilde{u}_{inmax} = V_{REF} = 2.5\text{V}$ ，则调理电路的最大放大倍数 A_{umax} 为

$$A_{umax} = \frac{\tilde{u}_{inmax}}{u_{imax}} = 250 \quad (11)$$

因此，调理电路总的电压放大倍数 A_u 应满足 $7.45 \leq A_u \leq 250$ 。综合各方面的因素，取调理电路总的电压放大倍数 $A_u = 200$ 。将 A_u 代入式 (6)，考虑到电阻的标称值，令 $R_4 = 100\Omega$ ， $R_3 = R_5$ ，则有 $R_3 = R_5 \approx 10\text{k}\Omega$ 。

2.3.2 低通滤波器参数的确定

参见图 4， $U2$ 、 R_3 、 R_4 、 R_5 、 C_1 、 C_2 等组成有源低通滤波器，用于滤除工频信号干扰。由于称重信号为直流信号，考虑到滤波效果，取低通滤波器的截止频率均为 $f_c = 10\text{Hz}$ ，令 $C_1 = C_2$ ，则有

$$C_1 = C_2 = \frac{1}{2\pi R_3 f_c} \approx 1.592(\mu\text{F}) \quad (12)$$

取标称值 $C_1 = C_2 = 2\mu\text{F}$ 。调理电路的幅频响应仿真曲线如图 5 所示。从图可以看出，当调理电路的增益 Gain 下降 -3dB 时，即 $\text{Gain} = 33.15\text{dB}$ 时，滤波器的截止频率 $f_c = 9.82\text{Hz}$ ；当频率 $f = 50\text{Hz}$ 时，调理电路增益 $\text{Gain} = 21.78\text{dB}$ ，符合设计要求。

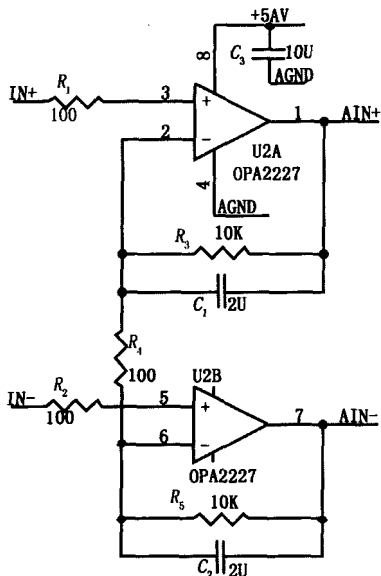


图 4 电子秤调理电路原理图

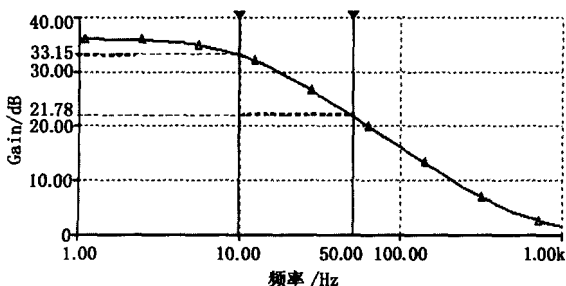


图 5 调理电路的幅频响应曲线

2.4 称重数据预处理方法

A/D 转换后的称重数据受各种干扰，必须首先进行数据预处理。本文采用一种去极大极小值滑窗均值滤波方法完成称重数据的预处理。设 $u(n)$ 为称重传感器 n 时刻的采样值， L 为滑窗均值滤波器的窗口长度，则 n 时刻滤波器的输出 $x(n)$ 为

$$x(n) = \frac{1}{L-2} \left\{ \sum_{i=n-m}^{n+m} u(n+i) - \max_{0 \leq j \leq L} \{u(n+j)\} - \min_{0 \leq i \leq L} \{u(n+i)\} \right\} \quad n = m, m+1, m+2, \dots \quad (13)$$

式中， $L=2m+1$ ， $\max_{0 \leq i \leq L} \{u(n+i)\}$ 表示取极大值， $\min_{0 \leq i \leq L} \{u(n+i)\}$ 表示取极小值。

由式 (13) 可知，滑窗均值滤波器首先采集 L 个数据并分别存入 L 个内存单元；完成 L 个称重数据的初次采样后，以后每采样一次， L 个内存单元便顺序移出一个最初的数据，并移入本次采样获得的称重数据，去除本次 L 个数据的最大最小值后，求取剩余 $L-2$ 个数据的均值，即可获得预处理后的称重数据；以后每更新一次数据后，则求取一次去极大极小值后的均值，获得称重数据输出序列。

滑窗均值滤波器长度 L 由 A/D 转换速率和电子秤称重结果稳定时间决定。本设计中，A/D 转换器 AD7799 的转换速率为 16.7Hz ，并考虑到电子秤一般要求 $2 \sim 5\text{s}$ 内称重结果稳定，经多次试验确定 $L=8$ 。

3 高精度电子秤的软件设计

电子秤的软件设计主要包括系统初始化子程序、称重信号采集与处理子程序、功能键处理子程序、显示器程序、通信子程序等。图 6 为电子秤主程序流程框图，图中，系统首先完成称重信号的实时采集，并进行数据预处理，然后根据保存在 DSP 内部的各种判别程序（如超量程判别等）处理、显示处理（如 BCD 码转换、单位转换等），获得最终的称重结果，通过 LCD 显示，并调用语音提示子程序完成称重结果报读等提示。若需要与上位机通信，则调用通信子程序，完成与上位机通信功能。

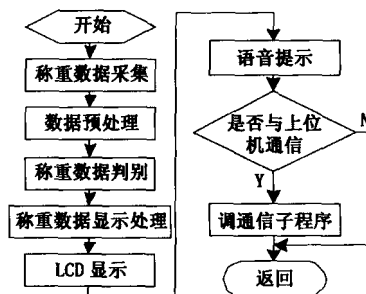


图 6 电子秤主程序流程框图

4 高精度电子秤的测试

根据国家标准《非自动秤通用检定规程 JJG555 - 1996》的要求，利用 M_1 级的检定砝码（包括标称值为 20kg 、 10kg 、 1kg 、 10g 和 1g 的标准砝码各若干），对本文设计的电子秤偏载误差、线性度误差、重复性误差、鉴别力、零点误差

等进行了现场检定。表 1 为部分测试结果，由表可以看出，电子秤的各项指标均优于国家标准规定的三级秤指标^[3]。

5 结论

本文以 TI 公司的 DSP 处理器 TMS320LF2407 为信息处理核心，结合 24 位 A/D 转换器，设计了一种高精度电子秤，完成了电子秤的软、硬件电路设计。这种电子秤的最大量程为 50kg，分度数为 5000，内分度值为 1g。测试结果表明，电子

表 1 电子秤部分测试结果

项目	实测值	允许误差
置零准确度	+2g	±2.5g
偏载误差	-6g	±10g
秤量 0~5kg	-4g	±5g
秤量 5~20kg	-6g	±10g
秤量 20~50kg	+11g	±15g
重复性(50%Max)	+8g	15g
鉴别力	10g	/

.....

(上接第 1955 页)

行模数转换，根据采样后的电压和电流大小情况进行比较，决定采取哪种计量方法，如果线路出现异常还要执行过流过压保护。同时检查是否收到小区中心发来的指令，并执行相关操作，完成后进入下次采样循环。

3 小区数据中心

小区数据中心的主要功能是保持与各用户的通信畅通，并对从用户接收到的数据进行处理、显示和保存，同时也与上一级的电力局进行数据交换，完成相关的操作和数据传输。硬件组成基本与用户单元相似，只是没有采样电路，另外，多了一个 GPRS 通信模块 MC55 和一个 SD 卡存储接口。

GPRS 通信模块 MC55 内置完整的 TCP/IP 协议栈，不仅支持 SOCKET 连接下的 TCP/UDP 数据传输，还支持 HTTP、FTP、SMTP 和 POP3 等上层应用协议。模块有 40 个引脚，通过一个 ZIF 连接器引出。这 40 个引脚可以划分为 5 类，即电源、数据输入/输出、SIM 卡、音频接口和控制^[4]。MC55 模块的数据输入/输出接口实际上是一个串行异步收发器，符合 ITU-T RS232 接口标准，波特率在 300~115kbps 之间可选。MC55 的串行接口与控制单元 LPC2129 的 UART 接口相连，在通信过程中主要是接收来自控制单元发出的 AT 指令来完成各项网络配置和数据传输等任务^[5]。

表 1 DT-9205 万用表与电能表测量数据

万用表测 量电压	仪表测 量电压	万用表测 量电流	仪表测 量功率
219V	219.2V	0.16A	34.5W
231.5V	230.1V	0.32A	73.92W
219V	219.3V	6.3A	1373.4W
220V	220.5V	10A	2200W
226V	226.7V	15A	3405W

秤的各项性能均优于国家标准《非自动秤通用检定规程 JJG555-1996》规定的三级秤指标。

参考文献:

[1] 佟莹辛. 基于 C8051F350 的高精度低成本电子秤 [J]. 辽宁科技学院学报, 2008, 10 (3): 9-10.
 [2] 王德清, 胡晓毅, 贾宏, 等. 基于 SPCE061A 的高精密电子秤设计 [J]. 电子技术应用, 2008, 27 (5): 83-86.
 [3] 中华人民共和国国家计量检定规程. JJG555-1996 非自动秤通用检定规程 [S]. 北京: 国家技术监督局, 1996.
 [4] Lou E, Raso V J, Durdle N G, et al. An electronically integrated load cell [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2001, 9 (2): 232-240.
 [5] 潘学军. 应变式非平衡电桥与电子秤 [J]. 四川师范大学学报 (自然科学版), 2000, 23 (1): 75-78.
 [6] Analog Devices Inc. 3-Channel, Low Noise, Low Power, 24bit, Σ - Δ ADC with On-Chip In-Amp Ad7799 [OL]. http://www.analog.com/static/imported-files/data-sheets/AD7798_7799.pdf, 2005.

4 实验结果

在计算用电量时，是把一度电换算成 36000000 每 0.1s，把采样电压电流相乘再乘 0.1s，每 0.1s 累加一次即得用电总量。用深圳新乐电子仪表厂 DT-9205 万用表和该电能表测得的一组数据如表 1 所示。

该电能表的测量精度为 0.1 级，测量功率范围 0.8~4400W，电流分辨率 3.9 mA，允许最高工作电压 355V，能累计用电量 999999 度。

5 结论

该电能表的设计采用了火线与零线同时采样取大者的方法，有效防止了窃电；采用电阻和电流互感器两种传感器采样电流，有效地提高了测量精度，解决了在测量小电流电能时的非线性差的问题，同时还加入了过流过压保护功能。经实验表明，该电能表具有精度高、可靠性高、稳定性好以及不受功率因素的影响等优点。引入的智能无线网络，实现了分散用户的集中管理，该系统对未来的电网管理和部署具有重要意义。

参考文献:

[1] 黄静, 薛佳, 吴娇俊, 等. 远程抄表漏水点定位及故障诊断模型的研究 [J]. 仪表技术与传感器, 2008, (9): 102-104.
 [2] 向平, 毕玉庆, 程建民, 等. 基于 ARM 的太阳跟踪控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, (6): 1102-1105.
 [3] 陈建峰, 孙志锋. 基于 NRF2401 的智能车无线调试系统设计 [J]. 工业控制计算机, 2009, (10), 54-55.
 [4] 李蒙蒙, 曹玉香, 王琴, 等. GPRS 在 SCADA 系统和地理信息系统中的应用 [J]. 制造业自动化, 2009, (9), 203-204.
 [5] 刘淑荣, 滕召胜, 严性平, 等. 基于 MC55 的电力负荷管理终端设计 [J]. 仪表技术与传感器, 2008, (12): 72-74.