

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.10.014

一种带电压波动动态补偿的称重系统研究

杨 磊, 尹溶森

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为了消除称重传感器外部电源电压波动对称量不确定度造成的影响, 对称重系统电压波动的检测和补偿方法进行了研究, 分析了电阻应变片的应变效应和惠斯通电桥的测量原理, 给出了称重传感器输出电压与外部电源电压之间的修正关系, 提出了一种通过同步检测输出电压和外部电源电压信号动态补偿电压波动的方法, 设计了基于数字信号处理器TMS320F28335以及模数转换芯片ADS1234的称重系统对所提出的方法进行了验证。研究结果表明, 在外部电源电压的波动范围内, 补偿后称量结果的相对误差始终小于1%, 说明该方法能够用于有效提高称重系统的称量精度。

关键词: 称重; 电压波动; 动态补偿; 压力传感器; 信号采样

中图分类号: TH715.1; TP212.1 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)10-1296-05

Study on a weighing system based on dynamic supply voltage fluctuation compensation

YANG Lei, YIN Rong-sen

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to eliminate the weighing errors caused by external supply voltage fluctuation of the weighing sensor, the method for detecting and compensating the voltage fluctuation of the weighing system was focused on. The strain effect of strain gauge and the measurement principle of the Wheatstone bridge were analyzed. Then the correcting relationship between the output voltage signal and external supply voltage signal was given. A dynamic voltage fluctuation compensation method by synchronously sampling output voltage and supply voltage was proposed subsequently. A weighing system based on digital signal processor TMS320F28335 and analog-digital conversion chip ADS1234 was designed to examine the proposed method. The results indicate that the weighing errors of the compensated weighing system are lower than 1% within the fluctuation range of the external supply voltage, which verifies that this method is feasible for improving the weighing accuracy.

Key words: weighing; voltage fluctuation; dynamic compensation; pressure sensor; signal sample

0 引 言

随着电子技术和数字信号处理技术的飞速发展, 称重装置的计量方法逐渐从模拟测量向数字测量转变, 装置性能也不断得到改善^[1-3]。衡量称重装置性能指标首要的标准是测量精度, 一般来说提高测量精度的方法主要有3类: 一是提高传感器自身的精度, 通过材料的改进来改善传感器的蠕变特性和温度特性等^[4];

二是通过算法来补偿测量中存在的误差, 常用的算法有最小二乘法、三次样条插值以及分段线性拟合等^[5]; 三是提高系统的采样精度, 如提高外部供电电源精度, 补偿外界温度变化对测量精度的影响^[6-7]。

国内外许多学者就以上3方面提出多种方法实现对称量装置测量精度的改进。郑惠群等人^[8]通过改进材料性能, 改善称重传感器的蠕变特性和温度特性, 有效地提高了称重传感器的精度。朱子健等人^[9]通过预先测定方法把标准值存入芯片内, 对传感器的蠕变

特性进行补偿,但由于需要提前测定标准值数据,导致环境适应性低,实时性差。刘卫东^[10]提出用恒流源代替恒压源的方法来消除传感器外部电源电压波动对称重精度的影响,但恒流源芯片较恒压源芯片系统复杂,成本也高。宋爱娟等人^[11]基于DSP数据处理能力强的特点采用实时动态采样低通滤波的方法提高了输出信号的采样精度,但难以降低电源电压等外界因素造成的测量误差。

为了解决传感器外部电源电压波动对测量精度造成影响的问题,本研究提出一种动态补偿电源电压波动提高称重精度的方法,通过同步检测称重传感器输出电压信号和外部工作电源电压,对外部工作电源电压的波动进行动态修正,从而减小电源电压波动造成的称重误差,实现称重量的实时、准确计算。

1 称重的基本原理

本研究采用应变片压力传感器作为称重传感器,该称重传感器通过电阻应变片的应变效应和惠斯通测量电桥将重量信号转换为对应的电压信号。为了更好地理解本研究中提出的电压动态补偿方法,笔者在此简要介绍电阻应变片应变效应的称重原理和惠斯通测量电桥的工作原理。

1.1 电阻应变片应变效应

电阻丝在外力作用下发生机械形变时,其电阻值发生变化,称为电阻应变效应^[12]。

设有一根长度为 L ,截面积为 S ,电阻率为 ρ 的电阻丝,未受力时的电阻值如下式所示:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1)$$

受力后电阻值如下式所示:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (2)$$

令电阻丝的轴向应变为 $\varepsilon = \Delta L/L$,径向应变为 $\Delta r/r$,由材料力学可知, $\Delta r/r = -\mu(\Delta L/L) = -\mu\varepsilon$, μ 为电阻丝材料的泊松系数,经整理可得下式:

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu)\varepsilon + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (3)$$

再令:

$$K = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} = (1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho/\rho}{\varepsilon} \quad (4)$$

则可得下式:

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon \quad (5)$$

式(5)表明:电阻值变化量与压力应变变量成正比,则可通过测量该电阻值的变化来测量压力的变化量,将重量信号转换为电阻变化信号,完成第一步的信号

转换,以最终达到测量重物质量的目的。

1.2 惠斯通测量电桥

应变片式称重传感器中,通常采用惠斯通测量电桥的方法将电阻变化量转换为电压信号再进行输出^[13]。

惠斯通测量电桥电路图如图1所示,在基于惠斯通电桥的剪切梁式称重传感器中,若采用等臂电桥,并且其初始状态是平衡的,通过计算可以得出电桥的输出电压如下式所示:

$$U_0 = \frac{U}{4} \times \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4}{R} \quad (6)$$

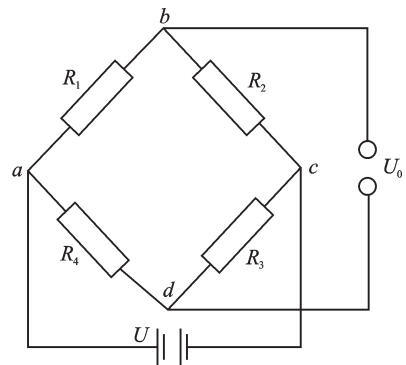


图1 惠斯通测量电桥电路图

当 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 4个应变片相同时,环境温度变化 Δt 引起各个应变片阻值变化 ΔR_i 相同,即 $\Delta R_{1t} = \Delta R_{2t} = \Delta R_{3t} = \Delta R_{4t}$,此时电桥的输出电压 U_0 不变,即环境温度变化不影响电桥的输出电压,温度特性得到补偿。

当采用相同的应变片时,4个应变片灵敏度系数均为 $K(\Delta R/R = K\varepsilon)$,则式(6)可写成下式:

$$U_0 = \frac{UK}{4} \times (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (7)$$

式(7)表明:当应变片灵敏度 K 是确定的,电桥输出的信号 U_0 与外加电源电压 U 成正比,通过测量传感器输出的电压信号即可反映电桥电阻值的变化,从而反映压力的变化量。通过提高外加电源的精度可以提高传感器的灵敏度,但是由于导线分布电容以及外界电磁干扰的存在^[14],提高电源电压精度会极大增加恒压源硬件结构的复杂程度,并引入新的干扰。恒流源可以消除外部电源电压波动对称重不确定度的影响,但恒流源芯片较恒压源芯片结构复杂,成本也高,实际生产不常使用。因此,本研究提出在不改变外加电源的情况下,同时对称重传感器的输出电压信号和外加电源的电压信号进行采样,并通过处理模块的分析计算,来补偿电源电压不稳造成的称重误差的方法,有效地消除了外加电源电压信号波动对测量不确定度的影响,提高了称重精度。

2 称重系统的硬件设计

称重系统的硬件结构图如图2所示。系统包括数字信号处理器TMS320F28335、外部电源模块、A/D采样模块和至少一个称重传感器。称重传感器用于感应承载物的重量,并生成对应的重量信号;外部电源模块向其他功能模块提供工作电压;调理模块分别对重量信号和工作电压信号进行调理放大;A/D采样模块对调理放大后的重量信号和工作电压信号进行A/D转换;处理模块接收A/D转换后的重量信号和工作电压信号,使工作电压信号与压力传感器的额定电压作差后得到电压误差,根据所述的电压误差计算出重量误差,进而利用重量误差对重量信号进行补偿后输出承载物的重量。该称重系统中,数字信号处理器TMS320F28335为浮点型高速DSP芯片,具备强大的数据处理能力,最高时钟频率为150 MHz,有独立的DMA,带512 KB的Flash存储器,68 KB的RAM存储器,88路GPIO口,运行性能优良,可以有效保证在线监测的实时性,并且方便扩展RS232等外设接口,非常方便现场和上位机联机调试。

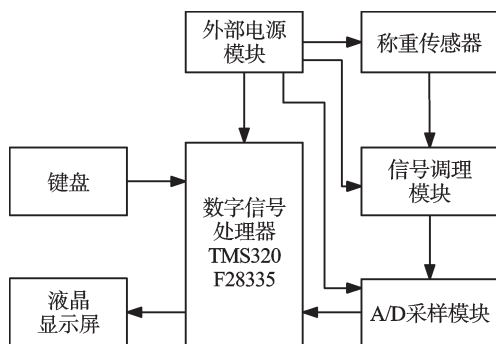


图2 称重系统的硬件结构图

为了使性能更加优化,人机交流更方便,处理模块连接有键盘作为输入模块,用于对数字信号处理器输入相关指令;数字信号处理器还连接有液晶显示屏,用于显示计算得到的重量值。

2.1 称重传感器及其外围电路

该系统中称重传感器采用剪切梁式传感器0745A,其确定的灵敏度为1.940 9 mV/V@1 100 kg,外加工作电压为5 V,输出的信号电压跟传感器外加的电压有关,因此,为了检测到精确的信号电压,系统必须同时采样传感器外加的电压值。

该传感器的惠斯通测量电桥电路在原始的惠斯通电桥的基础上做出了修正,笔者通过在4个桥臂应变片电阻上串、并联精密电阻,可以有效地改善该传感器的温度特性,提高传感器的测量精度。

2.2 信号调理模块

信号调理模块与外部电源模块和称重传感器相连,同时对电源的电压及传感器的输出电压进行放大处理。

该系统的调理电路采用AD620仪表放大器。AD620是一种完整的单片仪表放大器,提供8引脚DIP和SOIC两种封装。用户使用一个外部电阻器可以设置从1~1 000任何要求的增益。按照设计要求,增益10和100需要的电阻值是标准的1%金属膜电阻值。在该系统中,信号调理模块中压力传感器输出信号的放大倍数调节电阻采用精密电阻01A,阻值为100 Ω,则放大倍数为 $G=(49.4 \times 10^3/100)+1=495$ 。

2.3 高精度A/D采样模块

A/D采样模块与信号调理模块相连,采集调理电路输出的电压信号,将模拟信号转换为数字信号,并输出给数字信号处理器TMS320F28335。A/D采样模块采用TI公司生产的精度为24位的A/D转换芯片ADS1234,其连接图如图3所示,自带内部时钟,也可以使用外部时钟。

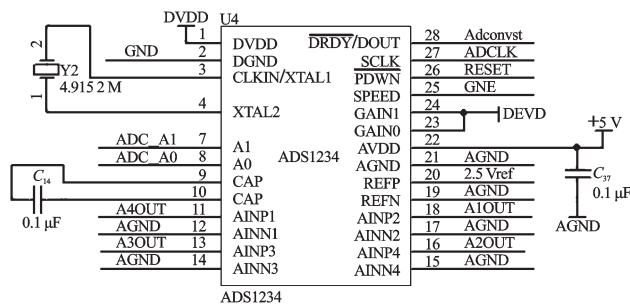


图3 A/D转换模块连接图

该系统中,AVDD为5 V,所以模拟信号输入最大值为5.3 V,考虑实际使用情况,将模拟信号的输入幅值设定为5 V较为合理。综合考虑精密电阻的阻值,实际输入电压可能小于5 V,根据前述内容,该系统调理电路中,放大倍数调节电阻采用精密电阻01A,阻值为100 Ω,所以A/D采样模块输入的幅值可能是4.853 49 V。

3 称重系统的软件设计

该系统的核心优势在于,数字信号处理器TMS320F28335同时接收称重传感器电压信号及电源模块的工作电压信号,对其进行有效放大,并通过数字信号处理器的后续分析计算,可有效补正电源电压不稳造成的称重误差,能够有效降低对外加电源的精度要求,实现了对微小信号的高精度称重测量。硬件结构的优化结合补偿算法的设计可以实现上述要求。

算法的核心思想在于,对于传感器外加的电压信

号,不再采用标称值,而是采用通过调理电路和A/D转换电路输入电源电压实测值进行计算。

该系统对信号电压和外加电源电压的处理,都是由DSP的软件来实现。为了提高测量的实时性和可靠性,软件采用模块化结构,分为主程序和中断子程序模块,信号检测和处理在中断子程序中实现,由DSP的事件管理器来管理。主程序完成系统初始化,打开中断然后进入键盘扫描子程序循环以等待中断的发生。中断服务子程序完成信号电压和外加电源电压的A/D采样,经过处理输出重量测量结果,程序框图如图4所示。

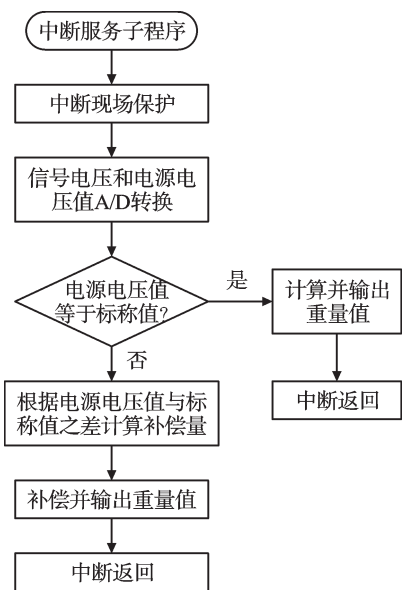


图4 中断服务子程序框图

4 实验结果与分析

为了验证所提出的动态电压补偿方法对称重精度的改善效果,本研究设计了一个由称重传感器、硬件核心板和开关电源组成的称重系统。其中,称重传感器采用剪切梁式压力传感器0745A,灵敏度为1.940 9 mV/V@1 100 kg;硬件核心板集成数字信号处理器TMS320F28335、A/D采样模块、调理模块、处理模块和RS232通讯接口;开关电源提供标称值5.00 V的电源电压,实际值4.90 V~5.10 V之间波动。

实验过程中,笔者将待测量的物体放置在称重传感器接触面上,待测物体实际质量为110.003 2 kg。在未采用本研究提出的方法时,认为外部电源电压的实际值与其标称值相等,均为5.000 0 V,但电源电压实际值在4.90 V~5.10 V之间波动。那么,在电源电压波动时,未修正与采用该方法修正后的测量结果的对应关系如表1所示。

表1 电源电压波动值与测量结果的对应关系

外部电源电压值/V	未补偿测量结果/kg	未补偿相对误差/(%)	补偿后测量结果/kg	补偿后相对误差/(%)
4.901 5	108.155 0	-1.680	109.142 0	-0.783
4.922 5	108.297 0	-1.551	109.088 2	-0.832
4.944 2	108.752 0	-1.137	109.175 6	-0.752
4.977 0	109.098 0	-0.823	109.585 2	-0.380
5.003 0	110.377 6	0.340	110.333 5	0.300
5.022 4	110.802 5	0.727	110.528 2	0.477
5.042 4	111.082 3	0.981	110.588 5	0.532
5.053 0	111.186 8	1.076	110.632 2	0.572
5.072 0	111.624 2	1.474	110.745 8	0.675
5.095 0	111.690 4	1.534	110.772 0	0.699

电压波动在动态补偿前、后对测量结果造成的相对误差如图5所示。

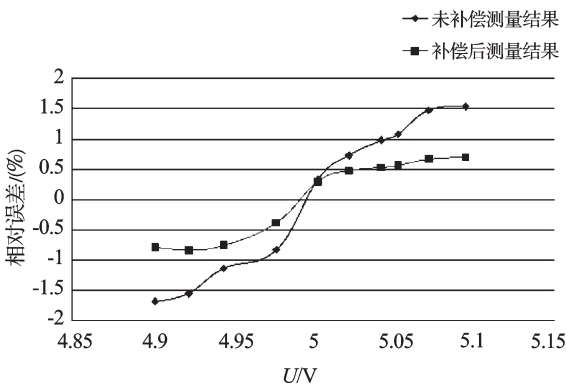


图5 补偿前后电源电压波动值与相对误差的关系

由表1和图5可知,称量系统在标称工作电压5.0 V下,测量结果的相对误差约0.3%。在外部电源电压偏离标称工作电压约0.1 V条件下,测量结果的相对误差明显增大,约1.6%;在相同条件下,经电压波动动态补偿后,测量精度提高了约1%。实验结果表明,该方法对消除电源电压波动、提高测量精度具有明显效果。

5 结束语

本研究对称重传感器外部电源电压波动造成称量精度降低的问题进行了研究,提出了一种对电源电压波动进行动态补偿提高称量精度的方法,设计了一个基于TMS320F28335和压力传感器0745A的称重系统,并通过实验对比分析了补偿前后系统的测量误差,可得到如下结论:

(1) 在该称重系统中,信号调理模块同时接收称重传感器电压信号及外加电源的电压信号,对其进行有效放大,并通过处理模块的后续分析计算,可有效

补偿电源电压不稳造成的称重误差,能够有效降低对外加电源的精度要求,实现了对微小信号的高精度称重测量;

(2) TMS320F28335型DSP有非常快的计算速度,进一步保证了在线监测的实时性,对不同的监测算法只要改变系统软件控制部分地参数设定,无须改变系统的其他部分就可以完成,并且它具有RS232通讯接口,非常方便现场和上位机联机调试;

(3) 24位A/D转换芯片ADS1234,可以有效保证对外部电源电压信号和传感器输出电压信号的采样精度,提高传感器的测量精度。

参考文献(References):

- [1] 赵广平,孙雯萍,孙建军. 电子称重技术现状及发展趋势[J]. 仪表技术与传感器,2007(7):76-77.
- [2] 刘九卿. 浅谈称重传感器技术动向、发展趋势和产业方向[J]. 衡器,2005,3(6):1-5.
- [3] 周祖瀛. 数字称重系统—称重技术新概念[J]. 衡器,2005,3(5):13-17.
- [4] 于留波,赵湛,方震,等. 基于MEMS技术的技术应变式压力传感器优化设计[J]. 仪表技术与传感器,2010

(2):1-3.

- [5] 李宝安,李行善,罗先和. 动态称重系统计量误差的动态校正[J]. 仪器仪表学报,2001,22(3):251-255.
- [6] 冯玉昌,史冬琳,冯锁丽,等. DSP在动态称重系统中的应用[J]. 仪表技术,2007(7):33-34.
- [7] 潘若禹. 基于DSP的动态称重系统设计[J]. 现代电自技术,2010(13):183-186.
- [8] 郑惠群,陈偕雄. 动态称重技术问题的分析与研究[J]. 科技通报,2006,22(4):567-570.
- [9] ZHU Zi-jian, CHEN Ren-wen. A new hysteresis compensation method for load cell[J]. *Transaction of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics*, 2002, 19(1): 89-93.
- [10] 刘卫东. 高精度数字化称重传感器系统研究[J]. 河南理工大学学报,2012,31(1):78-81.
- [11] 宋爱娟,严冬梅. 基于DSP的动态称重系统的设计[J]. 仪器仪表学报,2003,24(4):115-117.
- [12] 闫好奎,任建国. 电阻应变片的工作原理[J]. 计量与测试技术,2013,40(4):12.
- [13] 李洪津,邹来智,史延龄. 电阻应变效应与电阻应变式传感器[J]. 现代物理知识,2006,18(6):13-14.
- [14] 王艳霞,王迎迎,鲍春晖. 多传感器数据融合技术在动态称重系统中的应用[J]. 仪表技术,2014(2):49-51.

[编辑:洪伟娜]

本文引用格式:

杨磊,尹溶森. 一种带电压波动动态补偿的称重系统研究[J]. 机电工程,2014,31(10):1296-1300.

YANG Lei, YIN Rong-sen. Study on a weighing system based on dynamic supply voltage fluctuation compensation[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014, 31(10):1296-1300.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第1281页)

参考文献(References):

- [1] 孟光. 转子动力学研究的回顾与展望[J]. 振动工程学报,2002,15(1):1-9.
- [2] RABINOW J. The magnetic fluid clutch[J]. *AIEE Transactions*, 1948(67):1308-1315.
- [3] 廖昌荣,余森,陈伟民,等. 汽车磁流变减振器设计原理与实验测试[J]. 中国机械工程,2002,13(16):1391-1394.
- [4] 王修勇,陈政清,高赞明,等. 磁流变阻尼器对斜拉索振动控制研究[J]. 工程力学,2002,19(6):22-28.
- [5] 周云,谭平. 磁流变阻尼控制理论与技术[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [6] 汪建晓,孟光. 磁流变液阻尼器在转子振动控制中的应用[J]. 化学物理学报,2001,14(5):548-554.
- [7] 汪建晓,孟光. 磁流变液阻尼器用于转子振动控制的实验研究[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2001,29(7):47-49.
- [8] 汪建晓,孟光. 磁流变液阻尼器用于振动控制的理论及实验研究[J]. 振动与冲击,2001,20(2):41-47,95.
- [9] 汪建晓,孟光. 磁流变液阻尼器-转子-滑动轴承系统稳定性实验研究[J]. 振动工程学报:自然科学版,2003,16

(1):71-74.

- [10] 张冲,鲁刘磊. 磁流变液矩形夹层板的动力特性分析[J]. 机电工程技术,2013(2):22-27.
- [11] 汪建晓,孟光. 磁流变液阻尼器-柔性转子系统振动特性与控制的再研究[J]. 机械强度,2003,25(4):378-383.
- [12] 祝长生. 剪切型磁流变流体阻尼器-柔性转子系统动力特性的理论和试验研究[J]. 功能材料,2006,6(37):1006-1012.
- [13] 祝长生. 剪切型磁流变脂阻尼器柔性转子系统不平衡响应的试验研究[J]. 中国电机工程学报,2007,27(18):48-54.
- [14] 祝长生. 剪切型磁流变脂阻尼器转子系统的动力特性[J]. 机械工程学报,2006,42(10):91-94.
- [15] CARLSON J D, CATANZARITE D M, CLAIR K A. Commercial magnetorheological fluid devices[J]. *International Journal of Modern Physics B*, 1996, 10 (23-24): 2857-2865.
- [16] MILECKI A. Investigation and control of magneto-rheological fluid dampers[J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2001, 41(3):379-391.
- [17] 王衍平. 单神经元PID算法在包装机温控系统中的应用[J]. 包装与食品机械,2013(3):69-72.

[编辑:程浩]