

基于电阻应变片传感器教学的电子称设计

张喜红, 王玉香

(亳州职业技术学院 电子与电气工程系, 安徽 亳州 236800)

摘 要: 基于全桥测量电路原理利用 BF350-3AA 电阻应变片在铁质悬臂梁上构建重量信号拾取装置, 采用集成仪用放大器 AD620 与集成运放 OP07 设计了信号放大电路, 通过 STM32 内置 A/D 模块与串口模块实现了信号的采集与上传。基于最小二乘法建立了重量计算的线性方程式; 基于 PC 机平台设计了数据采集、重量计算、信息存贮 GUI 界面。经实验测试, 在 0~500 g 量程范围内, 绝对平均误差小于 0.05 g。

关键词: 电阻应变计; STM32; 电子秤; matlab2010

中图分类号: TN791

文献标识码: A

文章编号: 1009-9115(2017)05-0141-04

DOI: 10.3969/j.issn.1009-9115.2017.05.041

A Design of Electronic Scales Based on Strain Gauge Sensor

ZHANG Xi-hong, WANG Yu-xiang

(Department of electrical and electronic engineering, Bozhou Vocational and Technical College, Bozhou 236800, China)

Abstract: Based on the principle of whole bridge measurement circuit using BF350-3AA resistance strain gauge in the iron cantilever beam on building weight signal pick-up device, using integrated instrument amplifier AD620 and integrated op-amp LM324 signal amplifier circuit is designed, through the STM32 built-in A/D module and A serial port module implements the signal acquisition and upload. Based on the least squares method to establish the weight computation of the linear equations; Based on PC platform, designed the GUI interface of the data acquisition, the weight calculation and the information storage. Through experimental test: within the scope of the range 0~ 500 g, average absolute error is less than 0.05 g.

Key Words: resistance strain gauge; STM32; electronic weighing; Matlab2010

电阻应变片作为基础的传感器之一, 在工业、医疗界的测压、称重仪器中被广泛运用。因此, 电阻应变片在电类专业传感器课程教学中被列为重点内容, 然而由于现有实验设备存在固化、封闭的特征, 在实验教学中只能进行理论的验证, 学生在课程学习后只停留在理论层面, 再加上各门课程教学内容的相对独立, 学生很难将所学的专业知识融会贯通, 极大地束缚了学生工程实践应用能力的培养, 进而导致与企业的用人要求差距甚大。电子称是电阻应变片传感器的典型应用之一^[1-3], 看似简单的电子称, 但其内部涵盖了传感器、模拟电路、数字电路及微处理器等多方面的知识应用。本文介绍基于 BF350-3AA 电阻应变片和 STM32, 设计一款上位机 PC 进行示重、计价的电子称。

1 系统整体结构

系统的组成结构如图 1 所示, 由供电电源模块、应变片全桥电路模块(即称重传感电路)、信号预处理电路、STM32 主控制器及上位机 PC 构成。电源模块可稳定输出+5 V、+15 V、-15 V、3.3 V 电压, 分别为传感器测量电路、信号预处理电路及 STM32 主控制器提供工作电源。系统的整体工作流程是: 测重时, 应变全桥测量电路先将应变片的阻值变化转化为电压信号输出, 信号预处理电路将微弱的电压信号进行差分放大、主放大、阻抗匹配处理后, 通过 STM32 内置的 A/D 转化模块进行采集、数字化, 并通过串口将数据上传至上位机 PC, 上位机 PC 根据已标定好的重量计算公式求出被测物重量, 最后通过显示窗口进行显示。

基金项目: 安徽省教育厅重点教学研究项目(2015jyxm535)

收稿日期: 2017-04-26

作者简介: 张喜红(1983-), 男, 山西朔州人, 硕士, 讲师, 研究方向为生物医学工程。

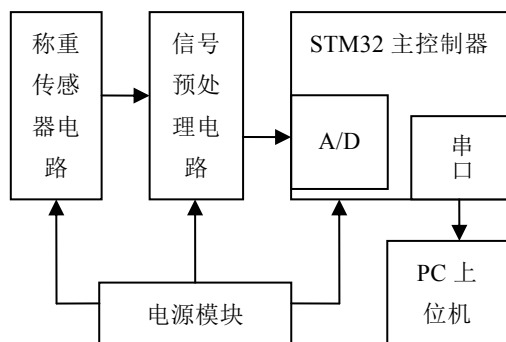


图1 系统整体框图

2 关键电路的设计

2.1 传感器及测量电路

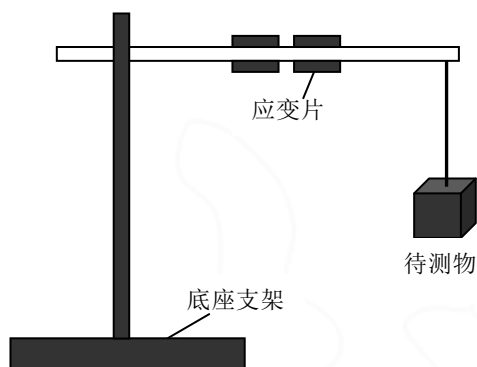


图2 电子称模型图

电子称的模型结构如图2所示，由底座支架和铁质梁称重传感器构成，铁质梁的一端固定于支架上，另一端用于悬挂待测重的物体。称重传感器由4片BF350-3AA电阻应变片以横梁中点为中心，用胶水将4片BF350-3AA电阻应变片呈上、下两侧各两片对称分布粘贴于横梁中央组成。在选择应变片时，为了减少因生产工艺造成的差异，选择同批次生产的电阻应变片。其测重原理是：当被测物悬挂于铁质梁一端时，横梁因受到应力作用其中央部分会产生向上弓起的形变，此时粘贴在横梁上方的两个应变片因受到拉力而阻值变大，下方的两个应变片因受到压力而阻值减小，阻值变化的大小与横梁的形变程度相关，而横梁的形变程度又与被测物的重量相关，因此，可通过相应的测量电路将电阻变化信号转变为电压信号，并通过定标建立电压信号与重量的关系方程，便可实现重量的测量。

测量电路如图3所示，是典型的全桥电路，电阻 R_1 、 R_4 与 R_2 、 R_3 分别对应于横梁上、下两侧粘贴的应变片； E 为电桥工作的激励电压，其由系统电源模块输出稳定的5V直流电压提供； U_o 为电桥输出，静态时输出电压的大小如式(1)所示。因四个电

阻对称分布于横梁两侧，当称重工作时， R_1 、 R_4 、 R_2 、 R_3 电阻变化量 ΔR 存在如式(2)所示的关系，那么此时输出电压 U_o 如式(3)所示，其中 R 为各个BF350-3AA电阻的静态阻值。因4个电阻在实际中很难做到完全一致，采用 R_5 与 R_{w1} 进行调零补偿。

$$U_o = E \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (1)$$

$$\Delta R_1 = -\Delta R_2 = -\Delta R_3 = \Delta R_4 = \Delta R \quad (2)$$

$$U_o = E \frac{\Delta R}{R} \quad (3)$$

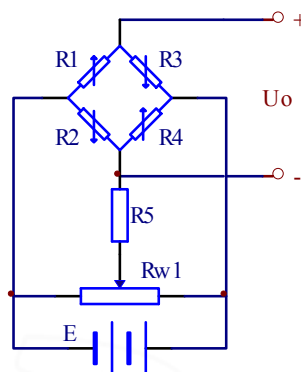


图3 传感器电路原理图

2.2 信号预处理电路

图4为信号预处理电路原理图。

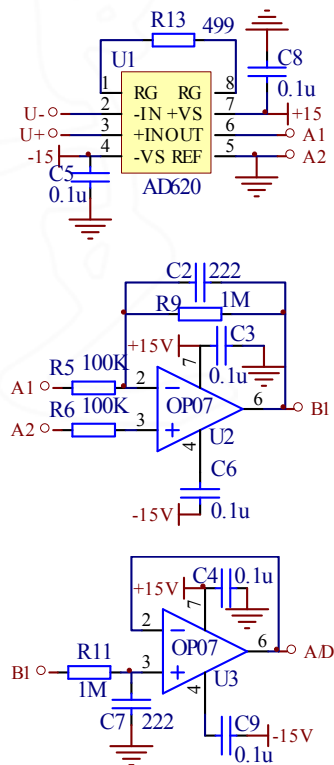


图4 信号预处理电路原理图

从测量电路输出的电压信号极其微弱，处于毫伏级，很容易被噪声覆盖，在模数采样前需进行放大及噪声衰减处理。放大电路的级数选择尤为重要，

多级放大电路有利于实现高增益,但也更容易引入噪声,同时初级放大路的好坏将决定整个系统的抑噪能力。综合考虑上述情况,设计了如图4所示的信号预处理电路,电路由前置放大、滤波放大及缓冲级三级电路构成。鉴于AD620共模抑制比较高、漂移较小、外围电路简单,前置放大采用集成仪用放大器AD620实现。为了减少漂移,整个放大电路采用双电源结构,通过电阻 R_{13} 设置初级放大倍数 A_1 为100; C_5 、 C_8 用于退耦。第二级滤波放大电路选用OP07高精度运放实现,其中 C_2 与 R_9 构成了截止频率 f ($f=1/2\pi R_9 C_2$)约为73赫兹的低通滤波器;通过OP07运放 U_2 和电阻 R_9 、 R_5 构建放大器,再次将信号放大10倍。通过 U_3 构建电压跟随器来提高模数转换的输入阻抗,实现与运放电路的输出阻抗的匹配,减少信号的能量衰减; R_{11} 、 C_7 再次实现低通滤波电路。

3 系统软件的设计

3.1 数据采集与滤波

经信号预处理电路处理后的信号,需经模数转化后才能用于后续的称重计算。主控制器STM32F103 ZET6内部集成了3路12位精度的A/D转换器,只需设置参考电压和配置相应的寄存器便可实现A/D采集,参考电压 V_{ref} 接电源地线, V_{ref+} 接STM32F103 ZET6工作电源3.3V,则A/D输出值与电压的换算表达式为:

$$U = \frac{D_{AD} \times 3.3}{4096}.$$

为了提高A/D采样的精度,将每个周期的多次采样数据,按下式(4)进行均值移动滤波处理后作为最终值^[4],即在一个采样周期内,去除 M 次采样数据中的最大值与最小值,求剩余 $M-2$ 个数据的平均值作为最终值。为了降低处理器求平均数的运算量,该系统每个采样周期的采样次数 M 选10次,则 $M-2=2^3$,求均值时可通过数据右移3位代替复杂的除法运算。每个采样周期中的每次采样间隔为50毫秒,即每500毫秒通过串口上传一次采样数据。

$$y = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} x_i - (x_{\max} + x_{\min})}{M-2} \quad (4)$$

3.2 称重方程的建模

为了建立物体重量与模数转换输出电压量的关系式,以及评判系统在0~500g量程范围内的线性度。在0~10g、10~50g与50~500g量程范围分以5g、10g与50g法码为步长,进行正、逆行程8次测量取平均值获得重量与A/D输出的样本数据

对。在Matlab2010平台下,以重量为纵坐标、A/D采样均值为横坐标,先以式(5)所示的相关系数 R 对数据对的线性相关程度进行评判,经计算求得 $R=0.99$,则说明所采集的数据线性相关度较高,直线拟合具有意义。

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \sum (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

式中,

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

$R \in [-1, 1]$, $|R| \rightarrow 1$ 线性关系越好。

接着采用最小二乘法进行直线拟合建模^[5],建模时为了进一步提高精度,将所采集到数据样本对的重量值进行100倍的放大,拟合直线图如图5所示。求得拟合关系式为:

$$y = 371400x - 335000$$

则可知重量的计算方程式如式(6)所示:

$$m = \frac{y}{100} = \frac{371400U - 335000}{100} \quad (6)$$

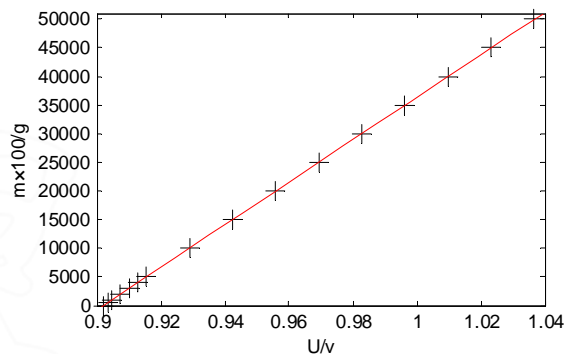


图5 称重方程拟合直线图

3.3 上位机处理程序

上位机程序的主要作用是接收A/D采样数据并计算重量,依据事先存放于表格数据库中的商品信息进行计价及销售信息的记录。鉴于Matlab在实验数据处理方面的优越性及非计算机专业人员容易上手的特点,基于Matlab平台设计了如图6所示的GUI界面程序。整个程序由串口通信设置区,价格、重量显示区,商品编码信息输入及销售记录等区域组成。串口通信设置模块由串口号、波特率、数据位、停止位下拉列表控件及打开与关闭串口按钮构成。串口的初始化实现流程是:当打开串口按钮被点击后,将执行其回调函数下的语句,在回调函数中首先通过get()函数得到各下拉列表控件的参数

值。接着通过 `S=serial('COM1','BaudRate',a,'Parity','none','DataBits',b,'StopBits',d)` 语句,实现串口各通信参数的初始化;通过 `set(S,'InputBufferSize',512)` 语句设置数据接收缓冲区的大小为 512 字节大小;通过 `S.BytesAvailableFcnMode='byte'` 语句设置数据类型为字节型数据;通过 `S.BytesAvailableFcnCount=5` 语句设置每接收 5 个字节数据触发一次串口回调函数;通过 `S.BytesAvailableFcn={@串口回调函数名,handles}` 语句指定串口接收事件回调函数。最后通过 `fopen(S)` 语句打开串口进行通信。当串口接收事件发生时,在串口回调函数中根据式(6)将收到的下位机采样值进行质量计算,并依据设定的单价计算出总价,最后通过 `set(handles.控件名,'String',值)` 语句在对应的可编辑文本框中进行显示。当关闭串口按钮被点击后,在其回调函数中通过执行 `fclose(S)` 语句关闭已打开的串口。当记录按钮被点击后,在其回调函数中通过执行 `xlswrite()` 函将商品名称、单价、重量、总价写入指定的表格文件中,实现销售信息的记录。



图6 上位机界面

4 实验结果与分析

连接好上、下位机串行接口,设置好串口通信参数后,开启串口,用标准法码对系统的稳定性与测重精度进行实验测试,4次测量数据的结果如表1所示。通过实验测试结果可知:当测量范围在 10 g 以内时,测量绝对误差约为-0.01 g,实际测量值大

多低于真实值;当测量范围在 20~50 g 时,测量绝对误差上升至 0.02 g,且实际测量值大多高于真实值;当测量范围在 100~500 g 时,测量绝对误差达 0.06 g,实际测量值均高于真实值。系统整体呈现出伴随着重量的上升误差上升的现象,排除随机因素,究其原因可知与电阻应变片在横梁粘贴位置不对称有关,导致应变片受力不均一所造成,后续的研究中可通过依据量程档次设置合理的修正值来进行补偿,以减少此系统误差。总之本文设计的电子称在 0 g~500 g 量程范围内基本能满足市场交易过程中的测重要求。

表1 对比测试结果

质量/g	第1次		第2次		第3次		第4次	
	测量/g	偏差/g	测量/g	偏差/g	测量/g	偏差/g	测量/g	偏差/g
0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.99	-0.01	1.00	0.00	0.99	-0.01	0.99	-0.01
2	1.99	-0.01	1.99	-0.01	2.00	0.00	1.99	-0.01
3	3.00	0.00	2.99	-0.01	2.99	-0.01	2.99	-0.01
5	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	4.99	-0.01
10	10.00	0.00	9.99	-0.01	9.99	-0.01	9.99	-0.01
20	20.01	0.01	20.00	0.00	20.01	0.01	20.01	0.01
50	50.02	0.02	50.02	0.02	50.01	0.01	50.02	0.02
100	100.03	0.03	100.02	0.02	100.03	0.03	100.03	0.03
200	200.04	0.04	200.03	0.03	200.03	0.03	200.05	0.05
500	500.05	0.05	500.06	0.06	500.05	0.05	500.06	0.06

[参考文献]

- [1] 姚远,周伟,鲍承毅,等.便携式防水蓝牙电子秤设计[J].软件导刊,2016,(8):59-61.
- [2] 陈秋顺,仲梁维.应变式称重传感器弹性体线性度的有限元分析[J].现代制造工程,2010,(10):97-100.
- [3] 霍志林,吴洪潭.溯源电子秤系统设计[J].食品工业,2016,(7):230-233.
- [4] 郭怀天,李宝华,赵玉侠,等.基于电阻应变式传感器的电子天平的研制[J].传感器与仪器仪表,2007,23(1):140-142.
- [5] 徐泽清,高旭东,韩喜春.基于 PSOC 的电子称设计[J].黑龙江工程学院学报,2012,(4):48-51.

(责任编辑、校对:吴树新)