

机械电子秤的研制

郭新耀

(精密机械工程系)

摘要 本文介绍把机械台秤改造成机械电子秤的制作方法, 给出传感器设计方法和数字显示电路。

关键词 机械台秤, 电子秤, 传感器, 数字显示

0 引言

机械台秤(TGT型)广泛用于工矿商业部门。由于机械杠杆增砵结构和游砵读数带来反应慢、精度差和不直观等缺点, 以致使用不便尤其不适应现代化管理的要求。市面上虽有全数字电子秤供应, 但价格昂贵。从节约和实用的要求出发, 使用部门普遍希望能把现有的机械台秤稍加改造, 使其具有反应快、读数精确、数字显示、并能与电脑联机使用等功能。为此研制本电路。

1 主要功能

机械电子秤有七项主要功能: (1)采用分辨率为1/5000的S型平行梁式荷重传感器, 最大荷重5kg(配500kg台秤); (2)四位半LED显示; (3)自动去皮(自动清零); (4)过荷指示; (5)跌电指示; (6)公斤、市斤切换显示; (7)四位半BCD码输出, 可与电脑联用, 进行运算、存贮、列表等。

2 传感器设计

1)平行梁式荷重传感器具有灵敏度高、精度高、受作用力位置影响小和抗偏载能力强等优点, 普遍用于电子秤, 它有两种基本类型, 如图1所示。图1(a)一般用于台秤; 图1(b)一般用于吊秤。本例采用图1(b)型(S型)。

由材料力学实验和分析可知, 只要刚度比(k 值)足够大, 检测点可选在双连孔各孔的垂直直径线经过的横梁上下外(悬臂式)或内(S型)表面上。

本文1990-05-31收到。

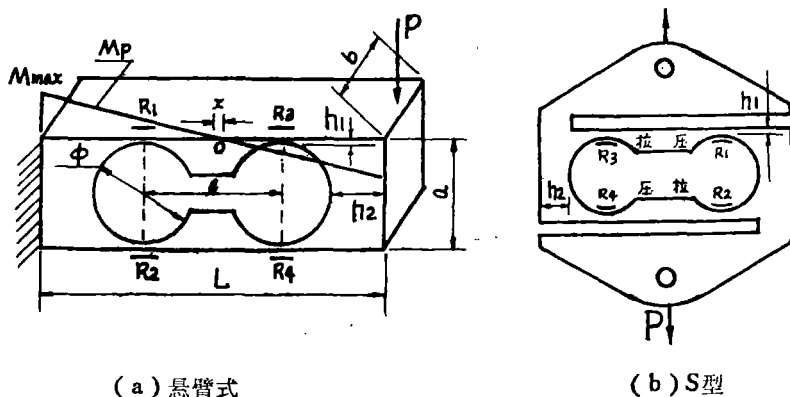


图 1 平行梁式传感器两种类型

2) 计算。传感器弹性元件的尺寸根据最大量程而定, 主要是确定检测点 (应力峰) 截面厚度 h_1 , 从而确定开孔形式和尺寸。传感器灵敏度一般要求在 $1.5\text{--}2\text{mV/V}$ 的范围内。全桥的输出电压 Δu 为

$$\Delta u = s \cdot \epsilon \cdot u \text{ (V)}, \quad (1)$$

式中 s 为应变计灵敏系数 ($s = 2.2$); ϵ 为检测点 (贴应变计处) 应变值; u 为供桥电压 ($\text{DC}5\text{V}$)。则

$$\epsilon = \frac{\Delta u / u}{s} = \frac{1.5}{2.2} = 682 \mu\epsilon. \quad (2)$$

又

$$\epsilon = \frac{M_p}{E \cdot W_1}; \quad (3)$$

式中 M_p 为检测点的弯矩; W_1 为检测点的抗弯模数; E 为材料的弹性模数 ($E = 2.098 \times 10^9 \text{Pa}$) 与

$$W_1 = (1/6) b h_1^2. \quad (4)$$

因为

$$W_p : M_{\max} = \frac{l}{2} : \frac{L}{2} \text{ (相似三角形)},$$

所以

$$M_p = \frac{l}{L} \cdot \frac{PL}{4} = \frac{pl}{4}, \quad (5)$$

式中 b 为弹性元件宽度 (cm); h_1 为检测点截面厚度 (cm); M_{\max} 为弹性元件两端最大弯矩 ($M_{\max} = PL/4$); P 为最大称重 (kg); l 为双连孔的中心距 (cm); L 为弹性体的长度 (cm)。

代入式 (3) 可得

$$h_1 = \sqrt{\frac{6 \cdot p \cdot l}{4 \cdot \epsilon \cdot E \cdot b}}, \quad (6)$$

选 $p = 5\text{kg}$, $l = 3\text{cm}$, $b = 1.5\text{cm}$, $L = 7.5\text{cm}$, $\alpha = 2.4\text{cm}$, 代入式 (6) 可得

$$h_1 = \sqrt{\frac{6 \times 5 \times 3}{4 \times (682 \times 10^{-6} / 9.81 \times 10^4) \times 2.098 \times 10^{-9} \times 1.5}} = 0.1 \text{cm},$$

为所求的检测点截面厚度。

开圆孔之直径 ϕ 为

$$\phi = a - 2 \times h_1 = 2.4 - 0.2 = 2.2 \text{cm},$$

竖梁圆孔处截面厚度 h_2 为

$$h_2 = (L - l - \phi) / 2 = (7.5 - 3 - 2.2) / 2 = 1.15 \text{cm},$$

则刚度比

$$k = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^3 \cdot \frac{L}{a} = \left(\frac{1.15}{0.1} \right)^3 \frac{7.5}{2.4} = 4753.$$

k 值已足够大，可把弯矩图作对称处理。其零点偏离中点的距离为

$$x = \frac{L}{2} \times \frac{1}{k+1} = \frac{7.5}{2} \times \frac{1}{4753+1} = 0.0008 \text{cm}.$$

本例按图1(a)尺寸加工，用40CrNiMOA钢，硬度为RC-38—40，实测参数：测量范围：0—5kg；灵敏度： $s = 2.0 \text{mV/V}$ （桥压DC5V）；线性： $L \leq 0.05\% \text{ F.S.}$ ；滞后： $H \leq 0.05\% \text{ F.S.}$ ；重复性： $R \leq 0.06\% \text{ F.S.}$ 。

弹性元件的加工按常规工艺规范，经热处理，数控线切割开孔，磨削等过程。贴片按常规要求。

传感器安装在台秤的横梁与传力杆连接点上，如图2所示。这样安装可以把机械台秤和数字电子秤两用，並可用标准砝码对传感器进行标定。作用在传感器上的力是重物经杠杆衰减后的力，所以5kg的传感器可用在500kg的台秤上。

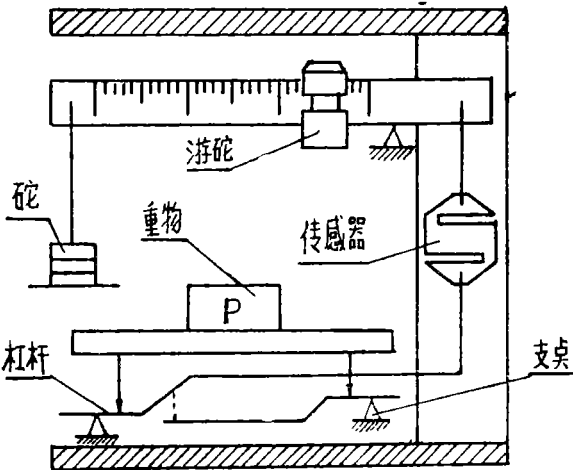


图2 传感器在台秤上安装位置

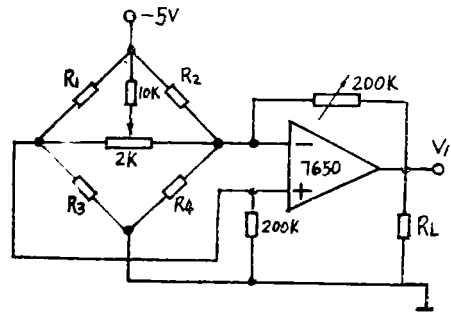


图3 应变电桥放大器

3 放大和清零电路

3.1 测量电路原理

传感器输出满程时为10mV左右。4N 1/2 A/D转换器用单片集成块5G7135，其输入满量

程为200—2000mV, 所以必须进行20—200倍放大。采用5G7650—CMOS 斩波稳零单片集成运放作信号放大器, 接成具有负共模电压的电桥放大器, 如图3所示。只要A、B两点对地电压不超过CMV(共模电压)范围(−5V), 就能获得 $\geq 130\text{db}$ 的共模抑制比。图中 $R_1=R_2$, $R_3=R_4=350\Omega$, R_5 为电桥平衡补偿电路的电阻, 可作电桥和放大器调零装置。

自动去皮电路采用十位D/A转换器5G7520集成块,接成“永久”性取样/保持放大器(S/A电路)。如图4所示,图中74LS393为用两片双四位二进制计数器构成十位二进制计数器。 A_1 为信号放大器, A_2 为过零比较器, A_3 为加法放大器, L 为时钟发生器, F_1 和 F_2 为反相器, M 为主门, W_{R1} 为调零电位器, W_{R2} 为比较器阈值调节电位器, AN 为清零(去皮)按钮。

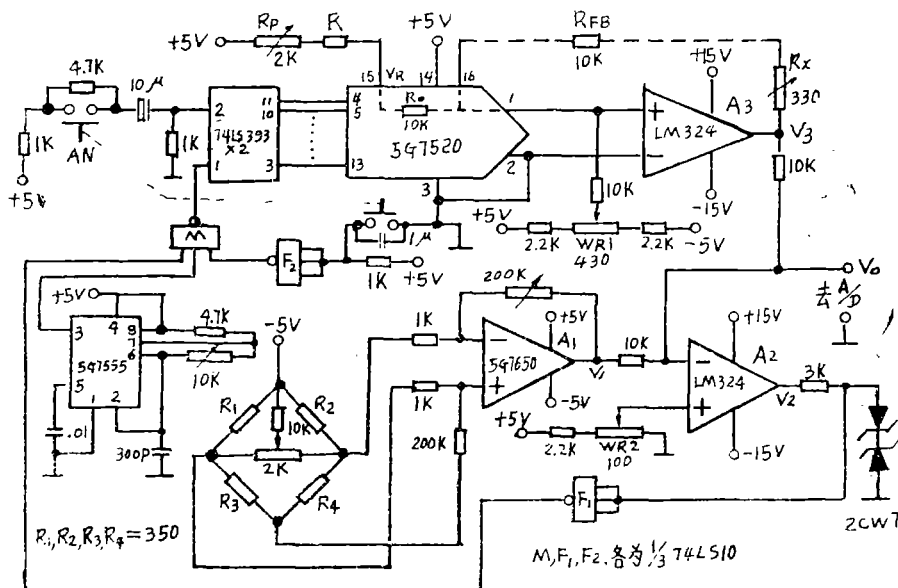


图4 放大与清零(去皮)电路

现介绍其工作过程。当台秤上有物体（包括承重板自重）时，传感器输出差动信号，並让负极加在7650的反相端4，其输出端10则为正电平，使 A_2 翻转，输出为低电平，经反相器 F_1 ，把“1”加到主门 M 的9脚。但 M 被 F_2 的6脚的“0”封住。时钟脉冲过不去，计数器不工作。电路的输出端 V_0 有正电平输出至A/D转换器，使显示器有一定显示值即为皮重。这时若按下 AN ， F_2 的6脚变为“1”，同时393的清零端2受到一正脉冲，计数器清零。正脉冲过后， C_p 经 M 对393计数，其输出端十位2进二编码并行加入D/A转换器7520。负输出经相加放大器 A_3 ，在 V_0 与7650的正输出进行比较（抵消），当 V_0 为零时， A_2 翻转为“1”，经 F_1 把“0”加到 M ，又把 M 封住，停止计数，进入保持阶段，达到清零（去皮）目的。此后传感器再受力， V_0 又有输出，视为实重。

3.2 去皮电路的调整

5G7520是一种具有双向、四象限工作能力的乘法型DAC(即MDAC)。接成单极性工作,其输出电压 U_A 与输入数字量 D 以及参考电压 U_R 的关系为

4. 1. 1 积分电阻的选择 积分器对积分电容 C_{INT} 的充电电流 I_0 可表示为

$$I_0 = \frac{V_{INH1} - V_{INLO}}{R_{INT}} = \frac{\text{满量程电压}}{R_{INT}}, \quad (1)$$

I_0 取典型值 $20\mu\text{A}$, 线性较好, 则

$$R_{INT} = \frac{2\text{V}}{20\mu\text{A}} = 100\text{k}\Omega. \quad (2)$$

4. 1. 2 积分电容的选择 积分电容 C_{INT} 两端的积分电压 V_c 可表示为

$$V_c = \frac{I_0 \cdot t}{C_{INT}},$$

式中 t 为积分时间, 7135的积分时间为10000个时钟脉冲周期, U_c 为积分器输出幅度, 为使积分器输出进入饱和区. 在电源电压为 $\pm 5\text{V}$ 时, U_c 取 $\pm 3.5\sim 4\text{V}$ 为宜, 这样

$$C_{INT} = \frac{(10000 \times 1/f_{CLK}) \times I_0}{V_c}. \quad (3)$$

取时钟频率 $f_{CLK} = 120\text{kHz}$, $V_c = 3.5\text{V}$, $I_0 = 20\mu\text{A}$, 代入式(3)得

$$C_{INT} = \frac{[10^4 \times (1/12 \times 10^4)] 20 \times 10^{-6}}{3.5} = 0.47\mu\text{F}. \quad (4)$$

4. 1. 3 自动调零电容 C_{AZ} 和基准电容 C_{REF} 的选择 自动调零电容器的大小对系统的噪声有影响, 选用较大容量的电容可以减少噪声, 典型值取 $1\mu\text{F}$. 基准电容则应大到足以使结点对地的寄生电容可以被忽略为止. 典型值取 $1\mu\text{F}$.

4. 1. 4 时钟频率的选择 时钟频率依据 A/D 转换器的转换速率和对工频干扰的抑制能力而定. 典型值为每秒转换2.5次, 时钟频率应为工频50Hz的整数倍. 即

$$\frac{10000 \times 1/f_{CLK}}{20\text{ms}} = n \quad (n \text{ 为正整数}),$$

$$f_{CLK} = \frac{1}{2\mu\text{s}} \cdot \frac{1}{n} = \frac{500\text{kHz}}{n}.$$

取 $f_{CLK} = 100\text{kHz}$, $n = 5$, 转换速率约2.5次/S.

时钟脉冲由5G1555接成多谐振荡器提供. 根据定时器555工作原理, 其振荡频率 f 为

$$f = \frac{1.443}{(Ra + 2Rb)C},$$

取 $Ra = 4.7\text{k}\Omega$, $Rb = 20\text{k}\Omega$ (加微调), $C = 300\text{pF}$.

4. 1. 5 基准电压的选取 在7135中, 满程时反积分(计数)时间为20000个时钟周期, 是积分(模拟输入)时间10000个时钟周期的两倍. 所以为产生满量程输出, 要求模拟输入 $U_{IN} = 2U_{REF}$. 即输出的数字读数和输入电压的关系为

$$\text{读数} = 10000(U_{IN}/U_{REF}).$$

欲得满程读数为20000, 只要调整基准电压为输入电压的一半, 可把重量数与显示数一一对应起来. 输入电压不变, 改变基准电压, 显示将成反比改变. 实现公斤到市斤的切换, 只要把基准电压切换至原来的一半即可.

过载指示和跌电指示见图6和图7. 电网正常时, 比较器LM358反相端电位高于同相端, LED灭, 当7815输入掉至17V时, 比较器翻转LED亮.

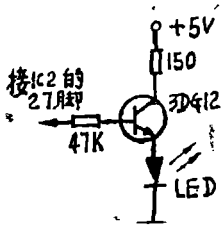


图6 传感器输出电路

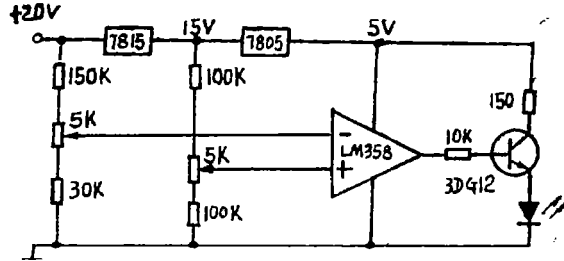


图7 数字显示电路

4.2 试验结果

本测量电路在传感器输出电压为0—10mV范围内(加载0—5kg),数字显示分辨值为±1个字,即0.1kg。在称量0—500kg范围内,其分辨率为1/5000,即其感量为0.1kg。达到设计预期结果。这在使用机械台秤的场合是允许的。

参 考 文 献

- [1] 张宏民, 平行梁式荷重传感器设计与计算, 自动化仪表, 7 (1984) 3—5.
- [2] 许多青, 平行梁式传感器弹性元件的有限元计算, 自动化仪表, 1 (1984), 7—9.
- [3] 王国定, 数据采集和数字测量专用集成电路原理和应用, 上海科学技术文献出版社, (1984), 83.
- [4] 许祖涛, TCL7135高度4 (1/2) 数字单片A/D转换器, 晶峰器件应用, 35 (1984), 1—2.

Development of a Mechano-electronic Weighing

Guo Xinyao

(Department of Precision Mechanical Engineering)

Abstract A mechanical weighing bridge is remoulded by the author into a mechano-electronic weighing. Of which the design of sensor and digital display circuit is given in detail.

key words mechanical weighing bridge, electronic weighing scale, sensor, digital display