

称重指示器的噪声

上海耀华称重系统有限公司 徐平均

【摘要】 本文论述了称重指示器噪声的定义、来源、影响和评价方法。

【关键词】 称重指示器 噪声

一、概述

“噪声”一词，按《现代电子科学技术辞典》中给出的定义为“对电路及系统中有用信号造成干扰的无规则电性扰动。”噪声在非自动衡器中的表现，就是称重示值的跳动，使操作人员无法判断准确地测量结果；在自动衡器中的表现，就是定量秤中定量值的误差、分选秤中测量值的误差等等。总之，在称重系统中噪声是一种有害的现象，应尽量消除或减小其影响。称重系统噪声的来源有称重指示器内部产生的，也有指示器外部，如机械系统的振动、气流扰动、工业干扰和天电干扰引起的电磁干扰、称重传感器和信号传输线的噪声等产生的。

本文重点是如何正确定义和评价模拟信号输入称重指示器的噪声，对如何减少称重指示器的噪声也作了粗浅的探讨。对于数字信号输入的称重指示器，理论上其本身不会产生噪声，实际上数字运算的过程中也会产生一定的误差，在动态条件下，也可以看作一种噪声，但如果算法合适，计算精度足够高，其影响可以忽略，因此本文未作分析探讨。

二、噪声对称重系统计量性能的影响

称重系统的噪声使称重信号输出值在一定的范围内无规律地波动，在置零操作时，把当前的输出值作为零点，会使衡器的零点产生一定的偏差。这里的输出值指称重指示器内称重信号数据处理后的数据流。按照 OIML R76《非自动衡器》的要求，衡器置零后，零点偏差应小于 $0.25e$ 。按称重指示器零点偏差的误差分配系数 $P_i=0.5$ 计算，则称重指示器输出值噪声的峰峰值应小于 $0.25e$ 。进行衡器的鉴别力试验时，在规定的载荷下，先在承载器上加 10 个 $0.1e$ 的小砝码，衡器示值为 I ，然后逐一取下小砝码，直到示值 I 明确地减少了一个实际分度值而变成 $I-d$ ，将一个小砝码重新放上，再轻缓地将相当于 $1.4d$ 的载荷放到承载器上，称重指示器应明确地指示出在原示值上增加一个实际分度值的结果，即 $I+d$ 。很明显，在鉴别力试验中衡器示值的噪声峰峰值不能大于 $0.4d$ （这里 $d=e$ ），按误差分配系数 $P_i=0.5$ 计算，则称重指示器输出值的噪声峰峰值应小于 $0.2e$ 。

可以看出，如果称重指示器的噪声太大，将会使衡器检定时超差，因此必须控制称重指示器的噪声。

三、噪声来源和它们的频谱特性

大家知道，应变传感器的输出信号都是毫伏级的微弱信号，特别是一些使用多个传感器的大型衡器，最大秤量时传感器的输出仅零点几 mV/V，每检定分度值 e 的信号电压在几个微伏以下，甚至低于 1 微伏，因此称重指示器对电路中的噪声非常敏感。称重指示器的噪声主要由前级，特别是第一级运算放大器、A/D 转换器等电路产生，因此，要降低称重指示器的噪声，关键是选择低噪声的运算放大器和 A/D 转换器件。

称重指示器中的噪声主要来源于电阻内电子的热运动产生的热噪声和晶体管中带电粒子的不规则运动产生的热噪声、散粒噪声、分配噪声和 1/f 噪声等。这些噪声源有的为白噪声，如热噪声、散粒噪声，它们的谱密度与频率无关；有的为有色噪声，如 1/f 噪声为粉红噪声，在低频段它的频谱密度较大；称重指示器电路中噪声总的频谱密度如下图所示：

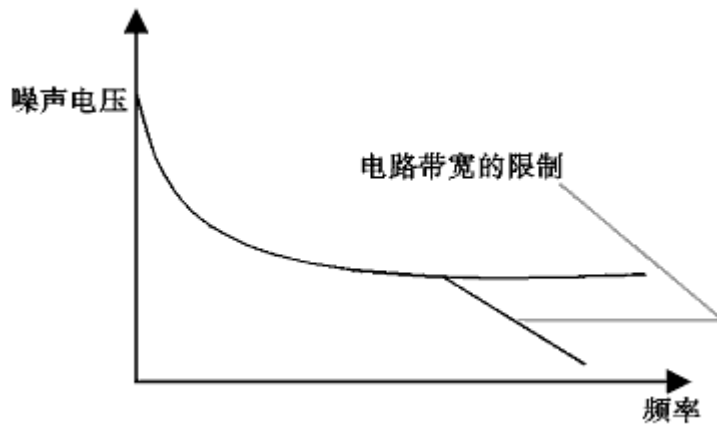


图 1 电路中噪声电压的频谱密度

在器件数据手册中，噪声电压有时以均方根值形式给出，有时以峰峰值的形式给出，有时以 nV/√Hz 的形式给出。可用噪声电压峰峰值 $\approx 6.6 \times$ 噪声电压均方根值换算。使用这些数据时必须注意它们与通频带之间的关系，实际噪声应是噪声谱密度在通频带上的积分。

四、评价方法

在 GB《称重显示器》中规定了对称重指示器噪声指标的要求。笔者认为，因为 OIML R76 中零点误差、鉴别力试验等要求已隐含了对噪声的限制，没有必要再另外增加对噪声的要求和试验。

从噪声的频谱分布可以看出，总的噪声与称重指示器的通频带或称重数据输出的截止频率是密切相关的，通频带宽则噪声增大，通频带窄则噪声可以压低。如一台称重指示器用于静态称重，可以将其截止频率设置在零点几赫兹以下，用于动态称重，如每分钟分选 200 件物体的高速分选秤，则要求截止频率在数十甚至数百赫兹以上。同一台仪表，用于不同的场合，由于通频带宽度相差上

百倍，输出的噪声幅度相差可在 10 倍以上。因此，对于自动衡器用称重指示器，不考虑通频带宽度的噪声指标值是没有实际意义的。

OIMLR76 没有明确规定称重指示器的通频带宽度，仅有一条要求与截止频率相关。R76 要求，当承载器上的载荷改变时，原示值的保持时间不应大于 1 秒。注意，这里仅规定了原示值保持的最大时间限制，而未规定准确示值的出现时间，这就为称重指示器的通频带宽度留下了更大的选择空间，称重指示器的设计者可以减低通频带的截止频率来压低系统的噪声。软件的设计可以使指示器在满足R76 的上述要求的同时，使用尽量低的通频带上限。ADI公司的A/D转换器件AD7730 就给出了这样的例子。AD7730 中有两级数字滤波器：第一级为 sinc^3 低通滤波器，第二级为FIR滤波器（有限冲激响应数字滤波器）。第一级滤波器是一直接入的，第二级滤波器则可选择三种不同的工作模式。第一种为普通FIR滤波器模式，滤波效果好但对阶跃信号的响应较慢；第二种为快速模式，在这种模式下，当FIR滤波器的输出与第一级滤波器的输出相差超过 1%FS时，FIR滤波器自动转入移动平均值滤波状态，平均值计算的数据数自动从 2 或 1 逐步增加到 4、8、16，到达 16 后滤波器又自动转回FIR滤波器状态，这种功能加快了A/D器件的响应速度而不增加输入信号稳定时的输出噪声，图 2 为普通模式和快速模式响应速度的对比；第三种为跳跃（SKIP）模式，在这种模式下，第二级滤波器被旁路掉，虽然输出响应快了，但输出的噪声大了 3 倍左右。国内一些衡器制造公司的称重指示器软件也采用了类似第二种模式的算法，有效的降低了平衡稳定时的噪声，又能使指示器满足R76 对响应速度的要求。

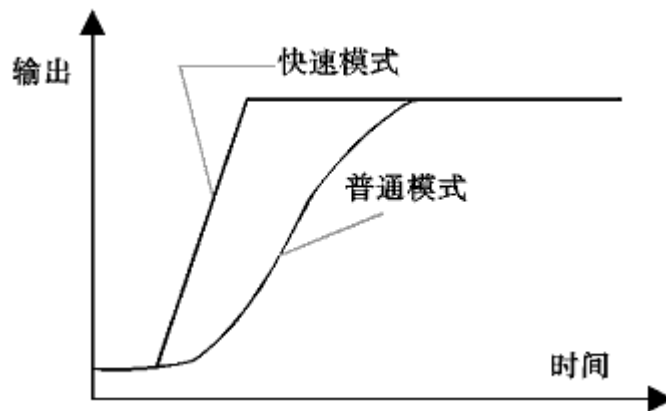


图 2 普通模式和快速模式响应速度的对比

对于自动衡器，它们大多数是在动态下称量，称重指示器的噪声与响应速度（或输出数据的截止频率）的矛盾比较突出，而且仅从仪表的指示对这两个参数的关系不好定量的测定，而称重指示器的这两个参数对定量秤、分选秤等自动衡器的动态性能又有重要影响。现有的称重指示器的标准

和检定规程对此也是一个空白。为使自动衡器的生产厂家对称重指示器的频率和噪声性能有一个定量的评价方法，为改进自动衡器的性能增加一个途径，笔者尝试提出下面一种方法解决这个问题，以期起到抛砖引玉的作用。

该方法要求称重指示器具有可连续输出称重数据的一个接口，这对现有的称重指示器，特别是自动衡器用称重指示器应不是一个大问题，但可能要修改指示器的软件，使该接口输出的数据率与仪表内部数据处理的速度相匹配，并具有足够高的数据精度即分辨率。另外需要一台 PC 和一台可由 PC 控制的称重信号发生器，如上海耀华称重系统有限公司生产的 XY1 型传感器模拟器，测试系统按图 3 的方法连接。

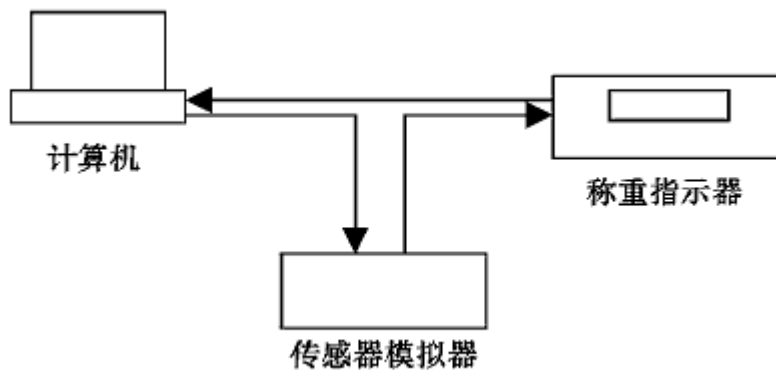


图 3 噪声与响应速度的测试方案

计算机的一个 RS-232C 串行接口与 XY1 型传感器模拟器相连接，另一个 RS-232C 接口采集称重指示器输出的称重数据，传感器模拟器的模拟信号输出与称重指示器的传感器接口相连。用 XY1 型传感器模拟器的可编程功能编制一个循环执行的小程序，当接收到计算机的发出的启动信号时传感器模拟器产生一个方波信号，计算机同时采集称重指示器的输出数据进行分析，即可测出称重指示器的响应速度和噪声水平。如果称重指示器的滤波参数可调，则可在不同的参数下进行测试，得出两者的关系。还可在计算机上用傅立叶变换来分析自动衡器整机噪声的频谱，分析噪声来源，以改进整机结构。

参考文献

- (1) 《现代电子科学技术辞典》，电子工业出版社，1992 年 6 月第 1 版。
- (2) 《AD7730 DATASHEET》，ADI 公司，1998 年。