

提高电子衡器性能的几点探讨

中国衡器协会 曹立平

【摘 要】 衡器的电子结构势必对称重性能产生影响。本文就若干影响称重质量和性能的电子因素提出意见，对甄别信号特征调理、降噪、数据转换参数、软件优先和基于 PC 的称重技术的概念、选择通行的总线标准和在大规模 DCS 系统中构建符合无线标准的衡器等方面做一些粗浅的探讨。

【关键词】 称重信号测量；软硬件无缝集成；软件优先；基于 PC 的称重；总线选择；构建无线标准

我一直把衡器归类于信息设备类别，随着社会文明的发展，衡器对信息社会和知识型经济的联系越来越紧密，新需求促进新发展。称重的本质是获取重量信息的过程，衡器的机械结构和电子结构都是为这一目的服务的，且均对称重的性能产生影响。本文仅对衡器电子线路的若干影响因素进行一些粗略的探讨。

一、称重信号测量

就称重技术来说，如果从数据采集（DAQ，Data Acquisition）的角度进行分析，可能会收到较好的效果。限于篇幅，下面仅就称重仪表有关的信号调理和采集处理做些讨论。

1、甄别信号特征进行信号调理

衡器的结构确定以后，称重仪表在体现衡器质量与功能上发挥关键作用。在称重仪表中需要处理模拟与数字两种的信号，并运用这两种的信号完成预期的工作。模拟信号是对比于时间的值，而数字信号不能以时间为基准赋与任何数值，这是两种截然不同的信号，认识两种信号的特征并甄别调理是解决称重技术的基础。

模拟信号的主要特性是幅值（强度）、形状及频率。测量信号的强度时，系统的准确度非常重要。和信号的形状或强度不同的是，频率信号不能直接进行测量，必须使用傅利叶变形的软件进行分析。当频率是最重要的信息时，就必须同时考虑准确度和采集速度，确保获此速度的条件称为奈奎斯特取样定理（Nyquist Sampling Theorem），得出了采样频率至少两倍于输入信号频率。

数字信号的主要特性是状态和速率。状态只有高及低两个可能值，通常要符合 TTL（Transistor to Transistor Logic）规格，当强度落在 0 至 0.8 伏特之间时，数字信号视为低；在 2 至 5 伏特之间

则视为高。数字信号的速率是测量单位时间内某种特征信号出现的次数。数字信号的处理不需要复杂的软件算法来确定。

借助于数据分析仪器，针对信号特征，通过仿真测试正确选择出电路的设计参数，是称重仪表成功的第一步。

2、最大程度降低噪声的影响

有时尽管噪声信号并不大，但当在称重分度数小于 200 时传感器的输出电压很低，这时除称重仪表本身的噪声、漂移会影响测量质量外，小信号在传输的过程中更容易被叠加的偏移电压和噪声歪曲，比如引起称重仪表末位数字跳动，甚或称重信号被噪声湮灭，造成粗大测量误差。这些误差很大程度上是由白噪声（覆盖所有频率的随机噪声）和 $1/f$ 噪声组成；热电压通常具有 $1/f$ 特性，这意味着在信号上产生偏移量，而所做的测量越多，产生的漂移就会越大。降低噪声干扰，是高灵敏度电子仪表所必须考虑的问题。

通过采取技术手段如适当滤波可以减小白噪声；但滤波对 $1/f$ 噪声没有明显作用，而 $1/f$ 噪声恰恰确定了测量噪声的基底，利用斩波技术对付超低频噪声会有效果。

模数转换中使用 CHOP 模式去除 ADC 的偏移误差；ADC 的参考源可以由传感器电桥的激励源提供，采取比例测量方法抵消激励源中的噪声也是行之有效的措施。

搞技术的人更容易体会“细节决定成败”的含义，制造与使用中，看似技术含量不高的诸如电路中的机械应力、热梯度、热电偶结点效应、热隔离、温度控制和触点不洁等细微因素所产生的漂移切勿忽略。其它如信号远离强干扰源、缩短信号源与模拟放大器的间距、加强电磁屏蔽等抗干扰效果，有时还是靠实践得出。

现在的数字传感器将模拟、数字和控制运算结合为一体，同时又高度集成了多种抗扰措施，实现了稳定的数据采集功能，并且以尽可能短的模拟信号传输距离换来了超长的数字信号传输距离，堪称是有效降低噪声和漂移电压干扰的典范思想。

3、优化数据转换参数

前面提及的模数转换器，高分辨率和高速度一直是矛与盾的问题。24 位的 ADC 放在 25 年之前是不敢想象的，今天我们除崇拜这一成果外，还应在实践中继续研究。

首先，如图 1 所示的一个传统 ADC 频域传输特性中，输入一个正弦信号，按照 Nyquist 定理，以两倍于输入信号的频率 F_s 采样。根据快速傅里叶变换（FFT）分析可得一个基频和一系列频率分布于 DC 到 $F_s/2$ 之间的随机噪声，这就是所谓的量化噪声，主要是由于 ADC 的有限分辨率而造成的。我们所必须的信号噪声比（SNR），就是基频信号的功率与所有频率的噪声的功率之和（RMS）的比值。对于一个 N 位 ADC，SNR 可由公式： $SNR=6.02N+1.76dB$ 得到。在传统 ADC 中，改善 SNR 的办法是增加位数。



图 1 N 位 ADC 以频率 f_s 采样单音信号的频谱分析

Σ -型 ADC 把大部分转换过程转移到了数字域因而显现其优势，它更接近于数字器件，成本低廉且把高性能模拟与数字处理融合在一起，在整个电压范围内实现高水平的线性化，噪声整形功能使低通数字滤波器能够消除大部分噪声并产生高精度的电压测量，因而被称重仪表广泛采用。

如果将采样频率提高到 kF_s ，利用过采样系数 k ，FFT 分析显示噪声基线降低了，SNR 值虽未改变，但噪声能量却分散到更宽的频率范围。 Σ - Δ 转换器正是利用了这一原理，采用过采样在多个频率段分散量化噪声，它与 Δ - Σ 调制器一起整形噪声，使大部分噪声不被包含在信号测量频带中，这样 RMS 就降低了，使得 Σ - Δ 转换器能够从一个低分辨率 ADC 获得宽动态范围，图 2 即是以 k 倍采样频率经过 Σ - Δ 转换器的滤波效果。

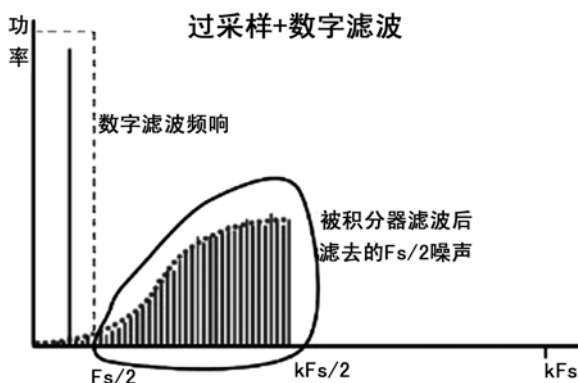


图 2 对整形后噪声的滤除效果

一阶的 Σ - Δ 调制器在每两倍的过采样率下可提供 9dB 的 SNR 改善。采用更多的积分与求和环节，可以提供更高阶数的量化噪声成形。例如，一个二阶 Σ - Δ 调制器在每两倍的过采样率下可改善 SNR 15dB，三阶 Σ - Δ 调制器在每两倍的过采样率下可改善 SNR 21dB。

虽然 Δ - Σ 转换器的最终绝对精度主要取决于基准电压的精度，但为了追求优化数据和最佳转换结果，并非易事。随着抽样、调制时钟和 PGA 的调整，相同数据速率在性能方面的表现会有所不

同。另外一些问题还包括输入阻抗、滤波器响应、抗混叠以及面对长期漂移等问题，需要耐心地选择正确的参数。

二、硬件、软件的无缝集成已成称重仪表发展趋势

1、树立软件优先的概念

随着电子系统功能的日益强大和微型化，硬件和软件不再是截然分开的两个概念，而是亲密结合、相辅相成。以软件为核心的模块化系统日臻完善，让软件发挥甚至替代硬件功能具有不可抵挡的优势。比如在设计时以软件实现全量程范围内的多点校验修正，除变动误差外，其余误差依照标准修正为零，测量达到理想的准确度；加入信号自动识别技术，能清除变动信号和粗大干扰信号等非正常信号的影响，又不存在硬件固有的延时效应，提高动态测量性能；发挥软件的校验修正能力，既能减少硬件成本，更可提高准确度的长期稳定性。

现在出现了软硬件协同（codesign）设计方法——使用统一的方法和工具对软件和硬件进行描述、综合和验证，可以避免软件、硬件体系独立设计带来的各自为政的弊病。设计中，软件是满足系统需求的首要选择，系统设计者采用了软件优先的设计理念，也是一场设计理念的革命。

国际流行的“软件定义仪器”的思想，应当引起我们重视并值得借鉴，尤其对于新仪表开发甚有裨益。

衡器界的问题是软件在称重技术中的认识尚待提高，应用软件、组态软件的开发尚待加强。现在我们要做的工作是在系统中尽可能多的嵌合的软件模块，尽可能多的实现以软代硬，以取得衡器功能更大的扩展性和智能化的升级。

2、为数据采集硬件与 PC 总线的选择说几句话

（1）基于 PC 的称重技术

信息社会对衡器的性能要求越来越高、功能要求越来越多，这样任务幸亏有了计算机才得以完成。现在的称重数据无不是包括收集传感器的模拟信号以及放大、数字化，连接到 PC 以便分析、管理、储存及通讯，形成了基于 PC 的称重技术，更容易定制个性化的称重系统。

特别是 PC 进入多核处理器时代，为衡器应用带来的巨大的性能和吞吐量的提升，我们进入了基于 PC 的称重技术的时代，把计算机变成了灵活、高性能的称重和控制系统。

（2）为用户利益，选择通行的总线标准

由于目前基于不同 PC 技术构建的硬件平台有很大灵活性，同时林林总总的总线也有如雨后春笋源源不断涌现，于是各厂家的制式差异悬殊。但用户不可能只买一家的产品，其总线标准的五花八门，令用户很是烦恼。事实上用户的最大利益是不管哪家产品，使用方便才好。由此出发，生产厂家还是尽可能集中选用主流总线，以提高设备的通用性为高。

当然选择总线，首先考虑的是传输的数据量、是否有单点 I/O 需求、多台设备是否要求同步、

有无便携要求和测量结果与计算机的距离等基本要素。

当满足上述基本要素后，就应考虑选择常用总线，范围缩小，以便于各厂家设备的驳接，减少用户的茫然。外设部件互连总线 PCI、可扩展至 x16 数据通路的 PCI Express、面向仪器系统的 PXI、扩展的 PXI Express、局域主干的以太网、具有 IEEE 802.11x (x 为版本号，如 g、i 等) 标准的无线技术和成本低廉而方便的通用串行总线 USB 等都是通行的总线，能从不同的角度满足厂家的选择。

三、符合无线标准的衡器将有更广阔的使用空间

大规模 DCS 系统中需布置很长的电缆或光缆，不仅成本高昂，而且长距离的电缆还容易引入噪声。如果使用便携式计算平台将采集系统移至更接近信号源的地方，去除计算机与测量硬件之间的长连线连接，改用无线技术结合主干线以太网，可以更方便、灵活地进行分布式测量并将数据回传至上位中央监控平台。

实现这一构想的关键，是为远端的称重传感器及其他参数采集装置集成无线通讯功能，借鉴 WSN (wireless sensor network) 技术，构建无线称重传感器网络。

我们可以设想，如果在恶劣的、或危险的、或移动的的复杂环境中，不便在传感器和称重仪表间连接缆线，这时只要给数字称重传感器配置了无线输出的能力，将不仅在传输距离、传输质量、传输场地等方面，而且在称重系统的巡检、诊断与定位等方面，都将带来颇具竞争力的飞跃。

参考资料

- 1 . ADI Issue, CAST (M) Analog Devices Inc.
- 2 . 嵌入式系统的构建 (试用教材), 慕春棣 清华大学自动化系
- 3 . NI DAQ Issue, Dr.James Truchard & Dr.Snow National Instrument
- 4 . WinCC data collection, Siemens Issue
- 5 . Automating Diagnostics and Repair with ATEasy, Geotest, inc.

作者简介

曹立平，毕业于清华大学自动控制系。曾任中国衡器协会副理事长，全国衡器标准化技术委员会委员，全国衡器技术专家委员会常务副主任委员，在企业时曾主持过大型精密电子仪器的研发与试制。