

文章编号:1000-582X(2005)12-0012-03

虚拟测试仪器的误差描述与修正*

金涛¹,付驰²,秦树人¹

(1. 重庆大学机械学院测试中心,重庆 400030; 2. 重庆市信息产业局,重庆 400020)

摘要:虚拟测试仪器在测试过程中不可避免地会产生误差,影响测试结果的精度.作者描述了虚拟测试系统的误差构成、误差传递及误差合成的方法,并对虚拟测试仪器的误差传递及合成进行研究,得出了虚拟测试仪器的误差评价体系和误差处理方法,在误差分析的基础上对误差进行修正.

关键词:虚拟测试仪器的误差;误差传递;误差合成;误差构成公式;误差处理

中图分类号:TM930.115

文献标识码:A

测试与测量是人类认识自然界客观事物并对这些事物的若干现象进行量化从而深入认识其本质的必不可少的手段.测试测量仪器则是实现测试测量的基本工具^[1].作为测试测量仪器先进代表的虚拟仪器是仪器技术与计算机软、硬件技术和总线技术紧密结合的产物,具有优越的测试特性,其核心在于用软件实现测试功能.

在一切静态测量与动态测量中不可避免的会产生测量误差,测量误差的存在使我们不能直接得到被测量的真实值^[2].在科技迅猛发展的现今,对产品的精度要求越来越高,对测量技术的精确度寄以更高的期望.因此,研究测量及测试系统误差,以有效减少和消除误差的影响,提高测试精度成为必须.虚拟仪器在测试过程中也不可避免地会产生误差,影响测试结果的精度.目前还没有针对虚拟测试仪器的完整的误差评价体系,因此对虚拟测试仪器的误差进行研究,得出虚拟测试仪器的误差分析方法和修正方法,是一项具有理论价值和现实意义的工作.

1 虚拟测试仪器的误差描述

如图1所示,一个虚拟测试仪器包括传感器、调理电路、数据采集电路以及虚拟仪器本身^[3],每一部分在测试过程中都会引入不同的误差,这些误差再通过一定的传递而形成系统的总误差.

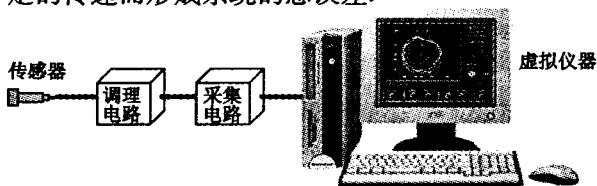


图1 虚拟仪器系统构成框图

测试信号在进入虚拟测试仪器之前,由于外界干扰和测试环境的因素,本身已经带有噪声,即误差.考虑到干扰和测试环境的随机性,可认为信号自带的误差为随机误差.

测试信号经过测试系统时,会按照系统传递函数的关系转变为输出信号,同时输入信号的误差也随着经过系统传递函数的作用转变为输出信号的误差^[4-6].假设测试系统为理想测试系统,本身无误差,则系统对信号误差的影响只体现在系统传递函数所引起的传递系数上,根据机械工程测试原理,有

$$\Delta y = a \times \Delta x. \quad (1)$$

式(1)中 Δy 为输出信号的误差; a 为测试系统的误差传递系数,由系统传递函数确定; Δx 为输入信号的误差.

如果测试系统本身有误差 $e\%$,则式(1)须改写为

$$\Delta y = a \times \Delta x \times (1 + e\%) = a(1 + e\%) \times \Delta x. \quad (2)$$

式(2)表明,该测试系统的误差传递系数应为 $a(1 + e\%)$.

测试信号作为输入信号进入虚拟测试仪器后,经过一系列变换转变为输出信号,同时还包含了2方面的误差:一是输入信号的误差经系统传递函数转换而来;另一个就是引入了虚拟测试仪器本身的误差.这两方面的误差都与虚拟测试仪器相关,因此都属于虚拟测试仪器的误差.

图2列出了虚拟测试仪器中存在的一系列误差,这些误差均是影响虚拟测试仪器的误差的元素^[7].由于传感器、调理电路、数据采集电路和计算机都是串联构成虚拟测试仪器的,各环节的传递函数相乘即得虚拟测试仪器的总传递函数.

* 收稿日期:2005-09-10

基金项目:国家自然科学基金资助重点项目(50135050)

作者简介:金涛(1975-),女,辽宁海城人,重庆大学讲师,博士,主要从事虚拟仪器技术和信号处理的研究.

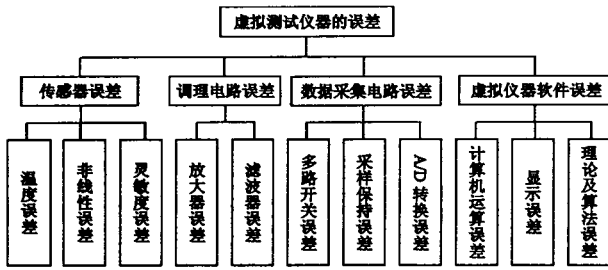


图 2 虚拟测试仪器的误差构成示意图

类似式(1)有表达式

$$\Delta y = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot \Delta x =$$

$$a_1 \cdot (a_{21} \cdot a_{22}) \cdot (a_{31} \cdot a_{32} \cdot a_{33}) \cdot a_4 \cdot \Delta x. \quad (3)$$

式(3)中 a_1 为传感器的误差传递系数,由传感器的转换函数确定; a_2 为调理电路的误差传递系数,由于调理电路主要由放大器和滤波器串联构成,因此 $a_2 = a_{21} a_{22}$; a_3 为数据采集电路的误差传递系数,由于数据采集电路主要由多路开关、采样保持和 A/D 转换器串联构成,因此 $a_3 = a_{31} a_{32} a_{33}$; a_4 为虚拟仪器软件的误差传递系数,主要是指进行信号分析时所采用的理论和算法所引起的误差; a_{21} 为放大器的误差传递系数,即增益系数; a_{22} 为滤波器的误差传递系数,是频率的函数; a_{31} 为多路开关的误差传递系数; a_{32} 为采样保持的误差传递系数; a_{33} 为 A/D 转换的误差传递系数,由 A/D 转换器的转换函数确定。

虚拟测试仪器不是理想系统,它本身也存在误差。其中传感器的温度误差、非线性误差和灵敏度误差均属系统误差;调理电路中的放大器误差、滤波器误差和数据采集电路中的多路开关误差、采样误差、A/D 转换误差也属系统误差;虚拟仪器软件中的计算机运算误差主要由数据字长有限引起的截断误差和舍入误差等,而显示误差特指数据转换为图形显示过程中的转换误差,但显示误差并不带入到数据计算的过程中,因此不会影响到分析结果,至于信号分析理论及算法误差根据不同的仪器功能会有不同的计算结果。因此,进一步考虑到虚拟测试仪器中的各组成部分的误差,并采用相对误差的表示方法,则式(3)可改写为

$$\begin{aligned} \Delta y &= a_1 (1 + e_1\%) a_{21} (1 + e_{21}\%) a_{22} (1 + e_{22}\%) \cdot \\ &a_{31} (1 + e_{31}\%) a_{32} (1 + e_{32}\%) a_{33} (1 + e_{33}\%) a_4 (1 + e_4\%) \Delta x = \\ &a_1 a_{21} a_{22} a_{31} a_{32} a_{33} a_4 (1 + e_1\%) (1 + e_{21}\%) (1 + e_{22}\%) \cdot \\ &(1 + e_{31}\%) (1 + e_{32}\%) (1 + e_{33}\%) (1 + e_4\%) \Delta x = \\ &a (1 + e_1\%) (1 + e_{21}\%) (1 + e_{22}\%) (1 + e_{31}\%) \cdot \\ &(1 + e_{32}\%) (1 + e_{33}\%) (1 + e_4\%) \Delta x. \quad (4) \end{aligned}$$

式(4)中 e_1 为传感器误差; e_{21} 为放大器误差; e_{22} 为滤波器误差; e_{31} 为多路开关误差; e_{32} 为采样保持误差; e_{33} 为 A/D 转换误差; e_4 为虚拟仪器软件的误差; a 为虚拟测试仪器的误差传递系数,由系统传递函数确定。

传感器的灵敏度误差是传感器的标称误差,采用相对误差的表示方法,一般由生产商提供;温度误差和非线性误差可以利用软件进行补偿和校正,因此可以不计入系统总误差。放大器误差主要是增益误差,也采

用相对误差的表示方法。滤波器用来去除输入信号的噪声,但它本身因为是模拟器件的缘故又会引入新的误差,不过,滤波器误差也可以通过软件进行修正。通过使用采样/保持器或快速的 A/D 转换器,就能减小采样误差或使其不显著。A/D 转换误差是由偏移误差、增益误差、积分线性误差、微分线性误差、温度漂移等综合因素引起的,其中量化误差是一种原理性误差,只能减小而无法完全消除;偏移误差在一定温度下,可以通过对外部电路的调整,使偏移误差减小到接近于零;增益误差在一定温度下,可通过外部电路的调整使 $K=1$,从而得以消除;线性误差是不能进行补偿的,而且线性误差的数值会随温度的升高而增加;微分线性误差也不能进行补偿。虚拟仪器的软件误差包括因实现分析功能所采用的理论方法不完善或者实现算法存在近似等原因产生的误差,即理论误差和算法误差;另外还有主要由数据字长有限引起的截断误差和舍入误差等计算机运算误差;显示误差因为只作用于显示的图形而不参与结果的计算,所以不写入虚拟测试仪器的误差公式。

去除可以进行软件修正的误差,虚拟测试仪器本身的误差还剩下传感器的灵敏度误差(采用相对误差表示),放大器误差(采用相对误差表示),A/D 转换的量化误差(一般在 $\pm 1/2$ LSB 范围内,LSB,最低有效位)、线性误差(一般不大于 $1/2$ LSB)和微分线性误差(以 LSB 为单位),以及计算机运算误差,这样式(4)可以简化。

由此,可以得出结论:虚拟测试仪器的误差是以误差传递系数的形式出现的,是系统传递函数和本身的误差因素综合作用的结果。

$$\begin{aligned} s &= \frac{\Delta y}{\Delta x} = a (1 + e_1\%) (1 + e_{21}\%) (1 + e_{22}\%) \cdot \\ &(1 + e_{31}\%) (1 + e_{32}\%) (1 + e_{33}\%) (1 + e_4\%) = \\ &a \prod_i (1 + e_i\%). \quad (5) \end{aligned}$$

式(5)中 s 为虚拟测试仪器的误差; a 为虚拟测试仪器的误差传递系数,由系统传递函数确定; e_i 为虚拟测试仪器中各组成部分的误差(指相对误差)。

式(5)是对虚拟测试仪器的误差的概括性描述,是虚拟测试仪器的误差构成公式。对于每个具体的不同种类的虚拟测试仪器,会出现某个或某几个环节是重点误差源的情形,此时,其余部分的误差影响相比较而言可以忽略不计。

2 虚拟测试仪器的误差修正

虚拟仪器技术的核心就是利用软件代替或部分代替传统仪器的硬件,降低仪器开发成本,提高仪器性能^[3]。深刻体会虚拟仪器的这个技术特征,在消除或减少虚拟测试仪器的误差上,可以做 2 方面的工作^[7]:

1) 对于某些易于产生误差和误差较大的硬件部分,考虑用软件来代替硬件实现相应的功能;

2) 对无法用软件代替的硬件部分,所产生的系统误差可以设计软件进行修正。

例如,传感器的温度误差和非线性误差是可以利用软件进行补偿和校正的,模拟滤波器误差也可以通过软件进行修正。

对于传感器误差,可以建立温度校正表和非线性校正表进行修正,也可以用高精度标定设备准确地测出传感器的标定曲线,然后作为系统误差进行修正。

由滤波器的设计理论可知,理想滤波器在物理上不可能实现,抗混滤波器的引入必然会对信号产生影响并带来误差。这种误差一般具有非线性特性,如果采用软件进行补偿会非常有效,方法是利用高精度检定设备对滤波器的通带幅频特性进行一次高精度测量,利用测量结果完成系统的误差修正。

由于具体的不同种类的虚拟测试仪器,其重点误差源不同,所以误差修正的重点也不同^[8]。例如,虚拟式温度测试仪、虚拟式流量测量仪的主要误差源是传感器,则系统误差修正的重点是减小传感器误差的影响;虚拟式示波器的误差主要产生在信号采样和 A/D 转换环节,可以从采样频率和频率分辨率以及选用合适的 A/D 转换器予以保证;虚拟式噪声分析仪的误差主要产生在对噪声信号进行计权和倍频程分析时的滤波过程中,一个有效的保证精度的方法是采用数字计权和数字滤波技术;虚拟式信号分析仪中主要考虑的是选用合适的信号分析方法以获得高质量的有效信息。

另外,还有针对整个虚拟测试仪器的误差修正方法,即标定。具体方法是:在虚拟测试仪器建立之后,用高精度的标定设备测出标定曲线,存储在虚拟仪器软件中,并据此修正。标定既可以是针对整个系统的,也可以是针对系统中的某一部分,如传感器或包括传感器在内的前端装置。

3 结论

从虚拟测试仪器的误差构成、误差传递、误差合成及误差处理等方面展开深入的研究,具体工作包括:

1) 论述了虚拟测试仪器的构成,针对基于 PC 机的虚拟测试仪器的误差分析方法和修正方法进行了系统研究。

2) 运用机械工程测试理论和误差理论中的误差传递与误差合成的理论方法对虚拟测试仪器的误差传递及合成进行了研究。

3) 在分析虚拟测试仪器各组成部分的误差的基础上,总结出虚拟测试仪器的误差构成公式。

4) 体会虚拟仪器技术的核心就是用软件代替或部分代替传统仪器的硬件的思想,提出虚拟测试仪器的误差处理方法:①对于某些易于产生误差和误差较大的硬件部分,用软件来代替硬件实现相应的功能;②对无法用软件代替的硬件部分,所产生的系统误差设计软件进行修正。

参考文献:

- [1] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2000.
- [2] 秦树人. 虚拟仪器——测试仪器从硬件到软件[J]. 振动、测试与诊断, 2000, 20(1): 1-6.
- [3] 秦树人. 虚拟仪器[M]. 北京:中国计量出版社, 2004.
- [4] 卢文祥, 杜润生. 机械工程测试·信息·信号分析[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1999.
- [5] 秦树人, 张明洪, 罗德扬. 机械工程测试原理与技术[M]. 重庆:重庆大学出版社, 2002.
- [6] 洪水棕. 现代测试技术[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2002.
- [7] 金涛. 虚拟仪器系统的误差分析方法的研究[D]. 重庆:重庆大学, 2005.
- [8] 金涛, 季忠, 秦树人. 虚拟仪器系统中的误差分析和修正[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2004, 27(12): 1-4.

Error Description and Modification of Virtual Measuring Instrument

JIN Tao¹, FU Chi², QIN Shu-ren¹

(1. Test Center, College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Information Industry Bureau of Chongqing City, Chongqing 400020, China)

Abstract: When measuring, virtual instruments are inevitable to cause error damaging the precision of measuring results. It presents error constitution, methods of error transfer and synthesis of virtual measuring instrument. Based on the analysis of error transfer and synthesis of virtual measuring instrument, it generalizes the error constitution formula of virtual measuring instrument and gets the method of dealing with errors. Then, errors can be modified.

Key words: error of virtual instrument; error transfer; error synthesis; error constitution formula; dealing with error

(编辑 成孝义)