

家庭影院音响性能测试分析系统开发

王高平¹,皮云晗¹,周 攀²,陈汉新¹

(1. 武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430205;2. 广东环境保护工程职业学院,广东 佛山 528216)

摘 要:针对使用声音测量设备对家庭影院音响系统检测时噪声信号多的问题,建立了一种音响性能分析系统.首先利用振动计测量音响产生的振动信号,然后用数据采集卡采集该振动信号和函数发生器发出的标准信号,最后由软件进行信号分析,完成对音响性能的检测.该系统以振动计、任意函数发生器、NI 数据采集卡、计算机为主要硬件平台,用 LabVIEW 图形化编程语言编写仪器控制、数据采集、数据存储、信号分析等软件程序,实现了多通道信号的实时数据采集、在线监测、数据存储、信号分析等功能.实验结果表明该系统能准确测量音响的振动频率、幅值大小,并对音响的振动信号进行频率校准、功率谱分析、相关性分析以及频响函数分析等;该系统测量精度高、实时性好,测量所得信号噪声小,测量分析结果能反应音响的基本性能.该系统组建简单方便,适合家庭影院音响系统的性能测试.

关键词:LabVIEW;音响性能分析;振动信号

中图分类号:TN912.2

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2013.08.009

0 引 言

常用的音响测试系统采用对声音信号进行测量和分析,这需要昂贵、精密的测量设备和特殊的测量环境,这样才能降低噪声并提高测量精度.这在家庭音响系统的测试中难以实现.随着电脑的性能越来越强大,虚拟仪器的出现使得组建测试系统的成本大大降低. LabVIEW 作为虚拟仪器中的领导者^[1],其直观的图形化编程语言深受工程师的喜爱.由于声音与振动^[2]之间有着密不可分的关系,因此用振动的特性对声音进行评价,可以实现声音的立体分析.本文以 LabVIEW 为基础,设计了一个家庭影院音响性能测试分析系统^[3].该系统能快速、准确地对音响发出的振动信号进行采集、处理和分析^[4].

1 音响测试平台的构成

音响振动测试系统的硬件配置框图如图 1 所示.

音响振动测试平台硬件采用 QUEST VI-100 振动计——它包括压电式加速度传感器和测量仪两个部分,VI-100 为一台宽带振动计,它可测量位移、速度或加速度中任意一个项目的大小,并提供快速、简单的指示.它的 AC 输出端口主要提供振

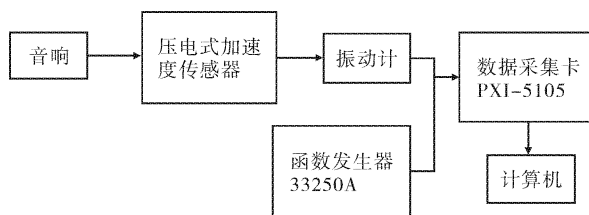


图 1 音响测试系统的硬件配置框图

Fig. 1 Hardware configuration of the audio test system
动的频率组成信号,可为示波器、数据采集卡等装置提供信号.它的各测量模式的频率响应如图 2 所示.

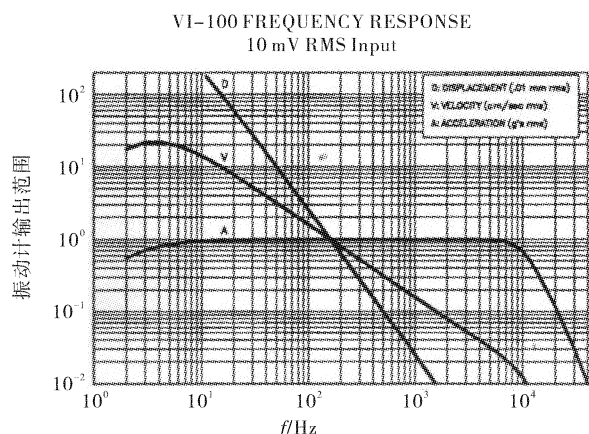


图 2 VI-100 各测量模式的频率响应

Fig. 2 Frequency response in different measurement mode of VI-100

收稿日期:2013-06-18

基金项目:留学回国人员科研启动基金(教外司留[2011]508号);湖北省教育厅科学技术研究项目(Q20101503)

作者简介:王高平(1979-),男,湖北钟祥人,副教授,博士.研究方向:噪声、振动与结构健康监测.

NI 公司的 PXI-5105 型高速数字化仪^[5]. 它的部分性能参数如下: 60 MS/s 实时采样率, 8 通道同步采样通道, 12 位垂直分辨率. 它的最大模拟输入电压为 $-15 \sim 15$ V, 最大电压范围的灵敏度为 7.3 mV; 最小模拟输入电压为 $-25 \sim 25$ mV, 最小电压范围的灵敏度为 $12.2 \mu\text{V}$. 还有一个设备是 Agilent 33250A 任意函数发生器. 实验平台以音响为振动元件, 通过软件 Adobe Audition 可以让它发出固定频率的声音, 并可以选择正弦波、方波、三角波和反正弦波四种输出波形. 测试系统的实物图如图 3 所示.

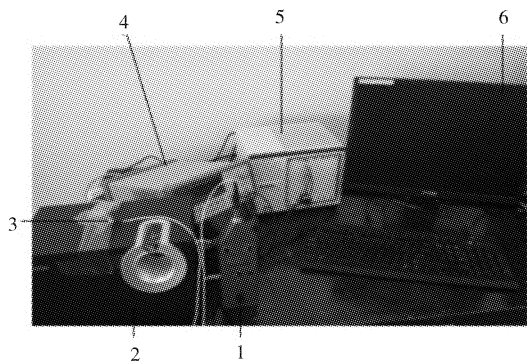


图 3 测试系统实物图

Fig. 3 Chart in kind of the test system

注: 1. 振动计; 2. 音响; 3. 压电式加速度传感器;

4. 函数发生器; 5. PXI-5105 高速数字化仪; 6. 计算机

系统运行时, 音响的振动由加速度传感器采集, 输入到振动计中; 然后, 振动计的 AC 输出端向 PXI-5105 输出振动信号, 与此同时, 函数发生器向 PXI-5105 发出标准信号与触发信号. 最后, 多路信号经 PXI-5105 输入到计算机中并由 LabVIEW 编辑的软件继续处理.

2 平台的软件设计

本系统采用 LabVIEW 作为软件开发平台, 来实现音响振动信号的采集、存储以及分析等功能. 整个软件可以分为几个部分: 在线监测、时域分析、频域分析以及频率校准等^[6]. 图 4 为该系统软件结构图.

2.1 软件运行顺序

本系统主要采集音响振动时产生的信号和函数发生器产生的标准信号, 因此程序的设计可以放在一个 While 循环中分两帧完成. 程序开始运行时, 首先在循环外初始化 33250A 和 PXI-5105, 然后进入循环运行第一帧程序, 如图 5 所示, 即设置函数发生器的输出波形参数并让它输出波形.

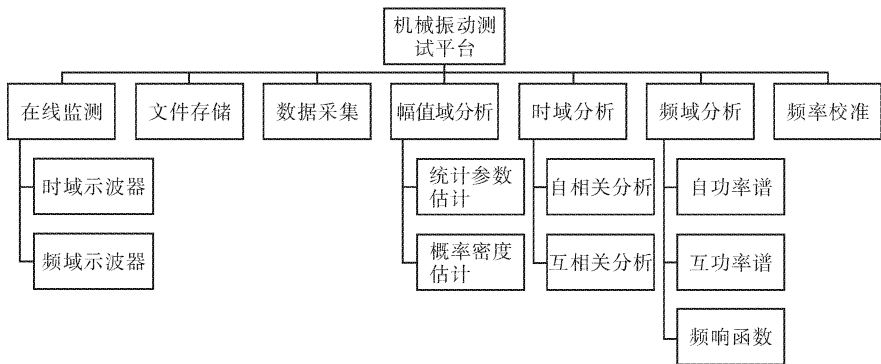


图 4 测试平台软件结构

Fig. 4 Software structure of the test platform

接着运行第二帧程序. 首先进行数据采集如图 6 所示, 用 NI-SCOPE subVI 编写程序, 设置数据采集与采样通道等参数, 包括垂直方向参数: 幅值范围、输入方式、输入阻抗; 水平方向参数: 采样率、采样长度以及记录文件数量等; 由于本系统用函数发生器的同步信号作为采样触发, 所以选择数字边缘相对触发模式, 触发源为 PFI1. 在这部分程序中, 可以添加一些数据处理的程序, 如波形显示、数据存储、信号分析等, 如图 7 所示.

2.2 频域分析模块

在对采集到的音响振动信号和标准信号进行分析时, 首先通过加窗处理来抑制频谱的泄漏. 由于窗函数一般取为 $x(n)$ 中间大两头小的光滑函数, 这样的冲击响应所对应的滤波器具有低通特性, 其带宽和频率响应取决于窗函数的选择. 用得最多的三种窗函数是矩形窗、海明 (Hamming) 窗和汉宁 (Hanning) 窗.

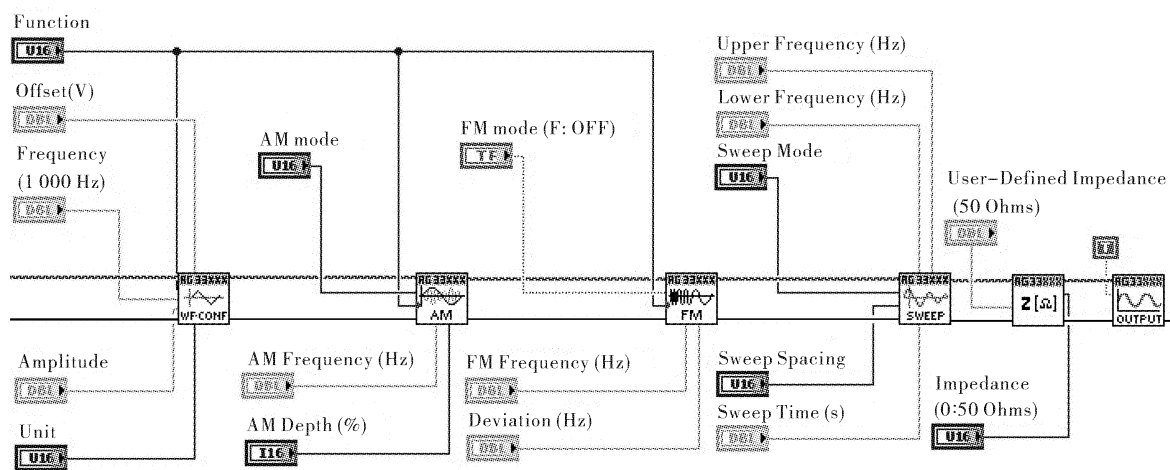


图 5 第一帧程序图

Fig. 5 The first frame of program graph

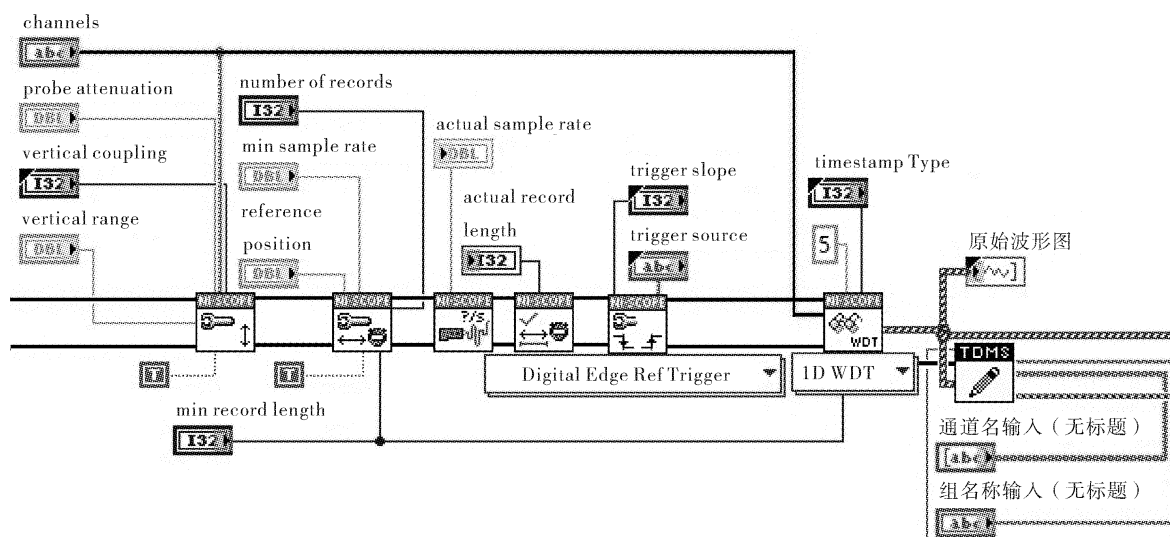


图 6 第二帧程序图

Fig. 6 The second frame of program graph

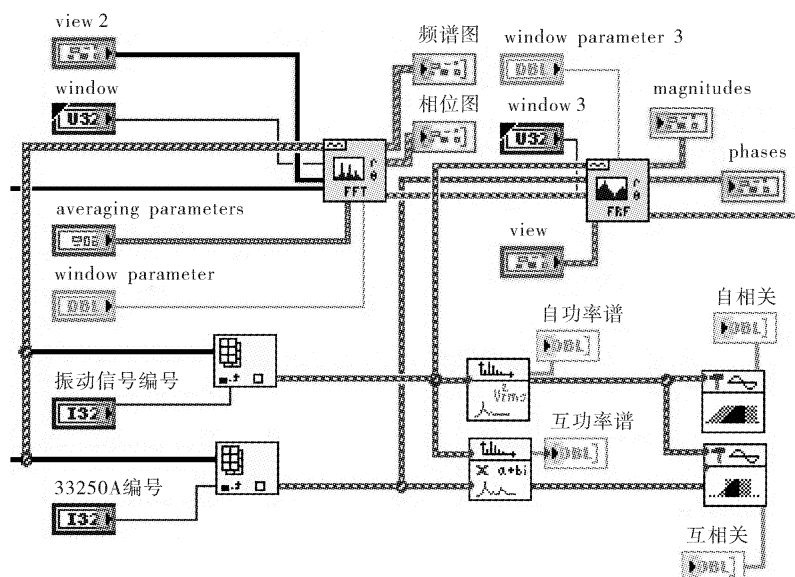


图 7 数据处理部分

Fig. 7 Data processing part

2.2.1 自功率谱分析 功率谱分析主要研究信号在频域中的各种特征,目的是提取有限数据在频域内被淹没在噪声中的有用信号,包括自功率谱和互功率谱.实际信号分析中常常利用 FFT (快速傅里叶变换)把信号从时域变换到频域.信号 $x(t)$ 经过离散采样后得到长度为 T 的信号序列 $\{x(n)\}$, $(n=0,1,2\cdots,N-1)$,首先进行 FFT 运算,得到

$$X(f) = \sum_{i=0}^{n-1} x(i) e^{-j2\pi f/N} \quad (1)$$

在此基础上,由共轭运算计算信号的自功率谱

$$S_{xx}(f) = X^*(f) X(f) \quad (2)$$

式(2)中 $X^*(f)$ 为 $X(f)$ 的共轭复数.

2.2.2 频响函数分析 利用 FFT 把时域数据序列 $x(t)$ 、 $y(t)$ 变换成为相应的频域数据序列 $X(k)$ 、 $Y(k)$;求出信号的自功率谱密度和互功率谱密度 $S_{xx}(k)$ 、 $S_{xy}(k)$;根据式(3)可求出系统的频响函数.

$$H(k) = \frac{S_{xy}(k)}{S_{xx}(k)} \quad (3)$$

图 8 为实现频响函数和相干函数分析的程序图. $x(t)$ 接线端连接振动信号; $y(t)$ 接线端连接函数发生器信号.

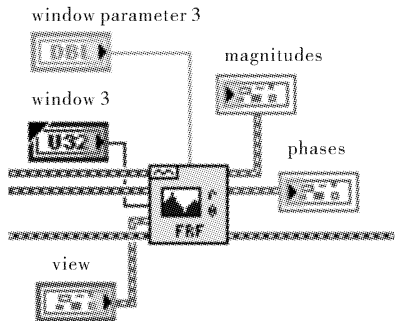


图 8 频响函数分析程序图

Fig. 8 Frequency response function analysis program graph

2.3 信号的时域分析

信号的时域分析包括自相关分析与互相关分析^[7],指的是变量之间的线性关系.自相关函数 $R_x(\tau)$ 是描述一个时刻的取值与另一个时刻的取值之间的依赖关系,可表示为

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau) dt \quad (4)$$

互相关函数 $R_{xy}(\tau)$ 是表示两组数据之间依赖关系的相关统计量,可表示为

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau) dt \quad (5)$$

2.4 频率校准

振动源的频率校准需要借助函数发生器的标

准信号,并利用软件 Adobe Audition 控制音响发出特定频率的声音.运行程序时,以上两路信号同时被采样,经 FFT 变换后即可观察到两路信号在频域上的吻合程度,实现频率的校准.图 9 为 FFT 变换程序图.

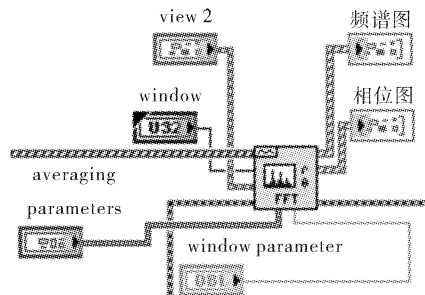


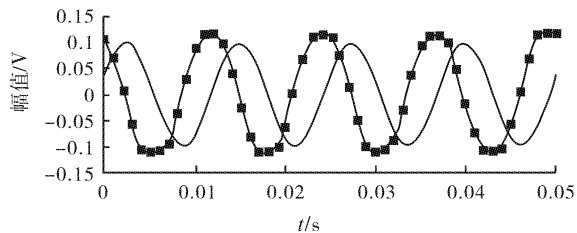
图 9 FFT 变换程序图

Fig. 9 FFT transform program graph

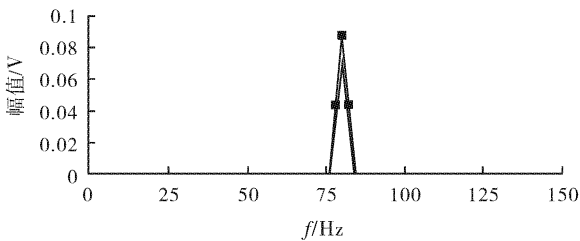
3 实验结果与系统分析

3.1 实验结果

为了检验测试系统的功能及其有效性,利用图 3 构成的硬件系统进行了测试实验.该实验分两步进行.第一步进行频率校准实验^[8],分别设定音响发出 80 Hz、90 Hz、100 Hz、110 Hz、120 Hz 的声调,同时函数发生器的输出波形设置与之对应,幅值设为 0.1 V.为检测音响在每个方向上的振动是否一致,在每个频率上分别测试 X、Y、Z 轴三个方向的振动频率以及幅值^[9].实验结果表明:音响仅在设定频率处有较大幅值,其他频率上没有明显幅值,例如 80 Hz 的校准结果,如图 10 所示.表 1 为特定频率上的幅值统计结果.



(a) 原始波形图



(b) 频谱图

图 10 80 Hz 校准结果

Fig. 10 80 Hz calibration results

注: 33250A \wedge ; 振动计 \blacksquare

表 1 特定频率上的幅值统计

Table 1 Amplitude statistics of the specific frequency

频率 /Hz	幅值/V		
	X 方向	Y 方向	Z 方向
80	0.087	0.038	0.047
90	0.048	0.036	0.040
100	0.019	0.029	0.031
110	0.007	0.022	0.020
120	0.011	0.016	0.013

实验第二步进行信号分析. 图 10~13 分别显示的是在 80 Hz 特定频率 Z 轴方向的原始波形图、振动信号的自功率谱、频响函数分析以及相关分析^[10].

图 11 显示的是数据采集卡采集到的原始振动信号与函数发生器发出的标准信号在时域上的显示;图 12 为振动信号的自功率谱;图 13 是振动信号对于标准信号的频响函数分析;图 13 是振动信号的相关分析.

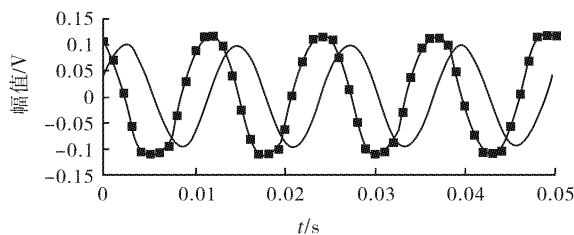


图 11 原始波形图

Fig. 11 Original waveform diagram

注: 33250A ; 振动计

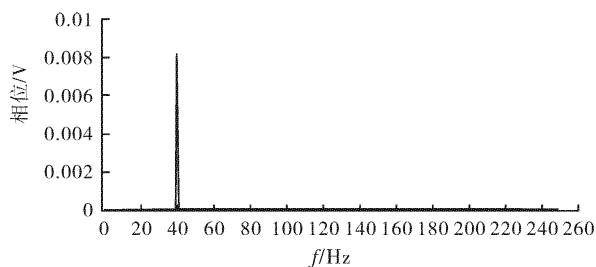


图 12 振动信号的自功率谱

Fig. 12 Self-power-spectrum of the vibration signal

3.2 系统精度与效率分析

由振动计 VI-100 各测量模式的频率响应(见图 2)可知,振动计在测 100 Hz 左右这种低频率的振动时应该用位移模式. 实验结果表明:测得的振动幅值范围在 0.01~0.1 V 之间,符合振动计的频率响应范围^[11]. 根据 PXI-5105 的性能参数可知当输入电压范围设定为-0.1~0.1 V 并且采样率设为 2 000 Hz 时,PXI-5105 就能准确地采集到振动计和函数发生器的信号. 所以该测试系统具有较高的采样精度并且实时性较好.

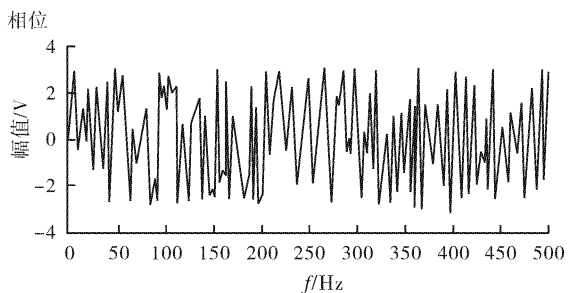
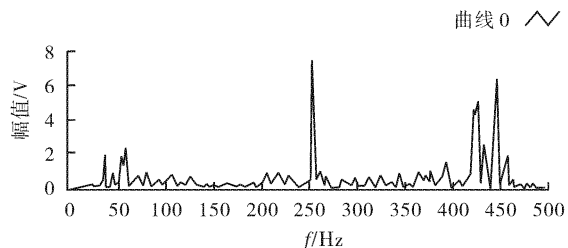


图 13 振动信号的频响函数分析

Fig. 13 Frequency response function analysis of the vibration signal

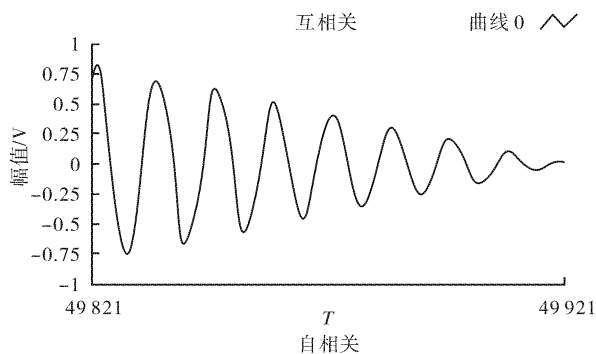
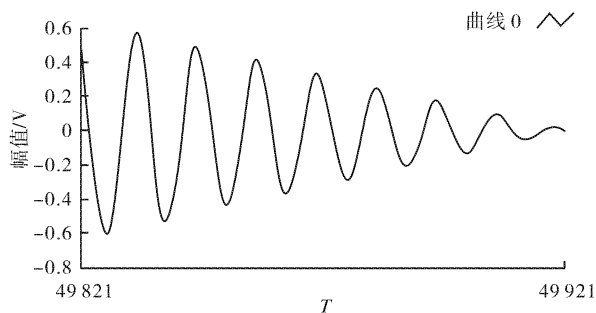


图 14 振动信号的相关分析

Fig. 14 Correlation analysis of the vibration signal

该系统与现有音响测试系统相比,具有以下优点:

1)使用压电式加速度传感器采集信号,这种方式与用声音测量设备采集信号相比,对发声源的测量更为准确.

2)采用虚拟仪器进行系统设计,可以实现对信号的分析多样化,并且程序的调试更加方便.

3)采用函数发生器发出校准信号,使得实验结果对比直观.

4 结 语

综上所述,利用振动计和数据采集卡作为硬件部分,以 LabVIEW 为基础开发软件部分来设计的音响性能测试系统测量精度高,实时性好,测量所得信号噪声小,测量分析结果能反应音响的基本性能.且系统对测量环境的要求低,不需要隔音降噪设施也能获得较好的测试结果,为家庭影院的音响性能分析提供了一种新的方法.

致谢

在系统的开发过程中得到了湖北省教育厅留学回国人员科研启动基金的资助,在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 赵华. 虚拟仪器在机械振动测试平台设计中的应用[J]. 煤矿机械, 2012, 33(1): 17-20.
ZHAO Hua. Application of Virtual Instrument in Design of Mechanical Vibration Test Platform[J]. Coal Mine Machinery, 2012, 33(1): 17-20. (in Chinese)
- [2] 师汉民. 机械振动系统[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992.
SHI Han-min. Mechanical Vibration System-Analysis o Measurement o Modeling o Control[M]. Wuhan: Hua zhong University of Science and Technology press, 1992. (in Chinese)
- [3] 李德葆, 陆秋海. 工程振动试验分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
LI De-bao, LU Qiu-hai. Engineering Vibration Experimental Analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. (in Chinese)
- [4] 陈汉新, 张琰, 刘岑. 线性自适应小波理论的齿轮箱故障诊断方法[J]. 武汉工程大学学报, 2012, 34(12): 44-49.
CHEN Han-xin, ZHANG Yan, LIU Cen. Fault detection of gearbox by linear combination of adaptive wavelets[J], Journal of Wuhan Institute of Technology, 2012, 34(12): 44-49. (in Chinese)
- [5] 张彦铎, 陈驰, 于宝成, 等. 高速图像采集系统的研制[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(5): 67-72.
ZHANG Yan-duo, CHEN chi, YU Bao-cheng, et al. Development of high-speed image acquisition system [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2013, 35(5): 67-72. (in Chinese)
- [6] 佟德纯, 姚宝恒. 工程信号处理与设备诊断[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
TONG De-chun, Yao bao-heng. Engineering Signal Processing and Equipment Diagnosis [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)
- [7] 臧观建, 刘正平. 基于 LABVIEW 的联合时频分析[J]. 华东交通大学学报, 2007, 24(4): 121-124.
ZANG Guan-Jian, LIU Zheng-ping. The Joint Time Frequency Analysis Based on LabVIEW[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2007, 24(4): 121-124. (in Chinese)
- [8] Eddy Bøgh Brixen. Audio Metering: Measurements, Standards and Practice [M]. Amsterdam: Focal Press, 2010.
- [9] 许钢, 林园胜, 胡天水, 等. 虚拟仪器技术在温度采集系统中的应用[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(7): 81-86.
XU Gang, LIN Yuan-sheng, HU Tian-shui, et al. Application of virtual instrument technology in temperature acquisition system[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2013, 35(7): 81-86. (in Chinese)
- [10] 张彦铎, 邓超, 于宝成, 等. 图像跟踪器性能检测设备的设计与应用[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(6): 44-49.
ZHANG Yan-duo, DEN Chao, YU Bao-cheng, et al. Design and application of testing equipment of image tracker performance[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2013, 35(6): 44-49. (in Chinese)
- [11] 舒安庆, 张鹏, 丁克勤, 等. 事故树分析法在港机故障检测中的应用[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(6): 62-66.
SHU An-qing, ZHANG Peng, DING Ke-qin, et al. Application of accident tree analysis in port machinery fault detection[J], Journal of Wuhan Institute of Technology, 2013, 35(6): 62-66. (in Chinese)

Development of measurement and analysis system of home theater sound performance

WANG Gao-ping¹, PI Yun-han¹, ZHOU Pan², Chen Han-xin¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institution of Technology, Wuhan 430205, China;

2. Guangdong Environmental Protection Engineering Vocational College, Foshan 528216, China)

Abstract: A system which can collect vibration signals for audio performance analysis was specially proposed to solve the problem that lots of noise may occur when sound measurement equipment is used to detect an audio system. To detect the audio performance, firstly, vibration meter was used to measure the vibration signal generated by audio, then the data acquisition card acquired the vibration signals and the standard signals produced by function generator, finally both of the two signals were analyzed by software to finish the measurement. The vibration meter, arbitrary function generator, NI data acquisition card and computer were used as the system's main hardware platform. The programs of instrument control, data acquisition, data storage, and signal analysis were developed by graphical programming language-LabVIEW, achieving the real-time multi-channel signal data acquisition, online monitoring, data storage, signal analysis and other functions. Experimental results show that the system can accurately reflect the variations of the audio's vibration frequency, amplitude, it can also analyse the audio vibration signals' frequency calibration, power spectrum analysis, correlation analysis, and frequency response function analysis; the system has high accuracy, good real-time and low noise generated by measured signals, the basic properties of audio can be reflected by the test. It is found that the system can be set up simply conveniently, and which is suitable for home theater sound system performance test.

Key words: LabVIEW; audio performance; vibration signal

本文编辑:陈小平