

微型共振音响作动器性能研究*

黄燕 张方 姜金辉 张闻

(南京航空航天大学机械结构力学及控制国家重点实验室 南京 210016)

摘要: 作动器是振动主动控制系统中的重要部件,它的选择将对振动主动控制系统的控制效果具有重大的影响。对一种微型共振音响作动器的响应幅值线性度、响应相移线性度和在刚性基础上的频响函数曲线进行了实验研究,并基于 LabVIEW 平台对实验的结果进行处理分析,最后对研究结果进行了详细的总结。结果表明:1)在不同频率下,共振音响的功放大小是不一样的。在 0~0.3 V 各频率下,驱动器输出的力响应幅值大小是随着输入幅值呈线性变化的,在大于 0.3 V 的区间,是呈非线性变化的。2)在同一输入电压幅值的情况下,响应相移(相位差)随着频率的增大而减小。3)在 300 Hz 后输出的响应幅值趋于稳定,约为 2 N。

关键词: 共振音响;作动器;幅值线性度;相移线性度;频响函数

中图分类号: TN911.72 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Study of the characteristics of micro-vibration speaker actuator

Huang Yan Zhang Fang Jiang Jinhui Zhang Wen

(State Key Laboratory of Mechanics and Control of Mechanical Structures, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Actuators are important component in active vibration control system, the choice of which is of significant influence on the effectiveness of the whole active vibration control system. In this paper, a type of micro vibration speaker actuator's characteristics was studied. The linearity of the amplitude and the phase in response as well as the FRF curve based on the rigid/ flexible foundation were showed in the paper. Besides, the data processing of result has been done based on the LabVIEW. Finally, the paper made some useful conclusions of the mini vibration speaker's in detail. The result shows: 1) the performance of its power amplifier was different in the case of different frequency. The amplitude in response changed linearly along with the amplitude of sinusoidal voltage ranging from 0 to 0.3 V in various frequencies, which changed nonlinearly when the voltage was greater than 0.3 V. 2) When the voltage was constant, the phase difference was getting small while the frequency was getting high. 3) The amplitude in response was getting constant when the frequency was greater than 300 Hz. The constant amplitude in response was 2 N.

Keywords: vibration speaker; actuator; the linearity of amplitude; the linearity of phase; FRF

1 引言

在航空、航天、机械、土木等领域中,机械振动^[1]会导致结构本身的性能和可靠性降低,为了满足对结构系统的稳定性、形状与定位精度要求,常常需要对其进行振动控制。振动主动控制^[2]是当前振动工程^[3]领域内的高新技术,是动力学^[4]、控制^[5]、计算机、测试技术^[6]与材料学等诸多学科的综合。它具有效果好、适应性强等优于被动控制的特点,目前已经是国内外振动工程界的研究热点。而

作动器是振动主动控制系统中的一个重要部件,它的选择将对整个振动主动控制系统的控制效果具有重大的影响。

目前,国内外使用较多的作动器有液压作动器、气动作动器、电磁作动器、磁致伸缩作动器。这些作动器有各自的优点,但是它们具有体积较大,重量大,成本偏高的缺点。新型的压电作动器虽然具有体积小、便携的优点,但是它的价格高。

随着科技的进步,共振音响逐渐兴起。共振音响是让音频经过转换后以机械振动介质面(木质桌面、玻璃等)使

收稿日期:2015-04

* 基金项目:机械结构力学及控制国家重点实验室(南京航空航天大学)自主研究课题(0115K01)、江苏高校优势学科建设工程基金资助

介质整个物体产生共振,从而使物体发出声音的一种音响。若能将体积小、重量轻、价格低廉的共振音响代替振动主动控制系统中的传统作动器,可以降低振动主动控制的成本。这对振动主动控制技术的发展具有重要的意义。

本文对 More-thing X-Vibe 胶囊式手机便携微型共振音箱的相关性能的进行研究分析与总结,为后续的振动主动控制中作动器的研究作铺垫。

2 作动器响应线性度研究

共振音响驱动器的响应线性度是共振音响的重要性能指标之一,通过研究音响驱动器的响应线性度,能够较好地把握音响驱动器作为作动器的使用范围,以保证后续研究进展的顺利。

对驱动器的响应线性度研究主要分为响应幅值线性度和响应相移线性度。响应幅值线性度反映了音响的功放性能,而响应相移反映了音响的时滞程度。

共振音响的响应线性度研究的试验原理^[7]如图1所示。

将共振音响的驱动器粘贴到力传感器上,并固定于基础(钢板)上,利用 NI PXI 驱动信号发生器分别发出

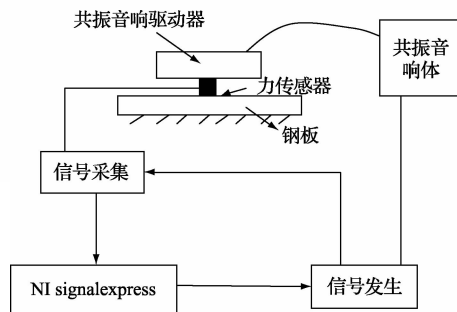


图1 响应线性度研究试验原理

50 Hz、70 Hz、90 Hz、100 Hz、200 Hz、300 Hz、400 Hz、500 Hz、1 000 Hz、1 500 Hz 的正弦信号,采集所得的力信号,同时回采信号源的信号。

2.1 响应幅值线性度

如图2所示响应幅值线性度反映了音响的功放性能,通过实验测试找到共振音响的线性区,以便于后期实验的利用。

利用 LabVIEW^[11]处理所采集到的数据。

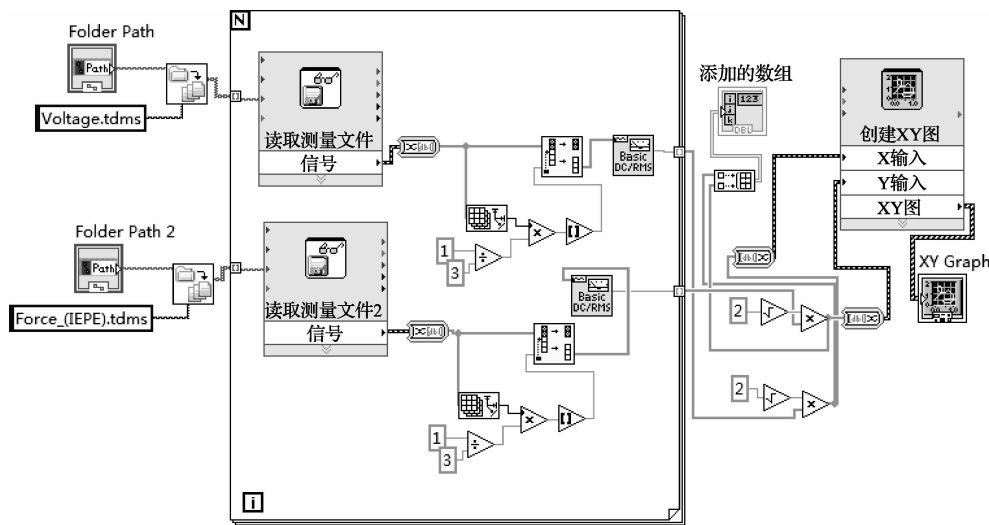


图2 响应幅值线性度处理程序

在处理数据的时候,先求不同频率下各个电压和响应幅值的均方根,然后利用均方根求出对应的幅值,即可得到不同频率下各电压所对应的响应幅值。

经过 LabVIEW 程序处理,导出数据至 Excel,利用 OriginLab 绘图工具,得到不同频率下驱动器输出力信号随输入正弦电压的幅值的变化如图3所示。

从图中可以看出,在不同频率下,共振音响的功放大小是不一样的,可以看出,在 0~0.3 V 的各频率下,驱动器输出的力响应幅值大小是随着输入幅值呈线性变化的,在大于 0.3 V 的区间,是呈非线性变化的。故用驱动器作为振动主动控制的激振器时,使用 0~0.3 V 的输入电压是比较合理的。

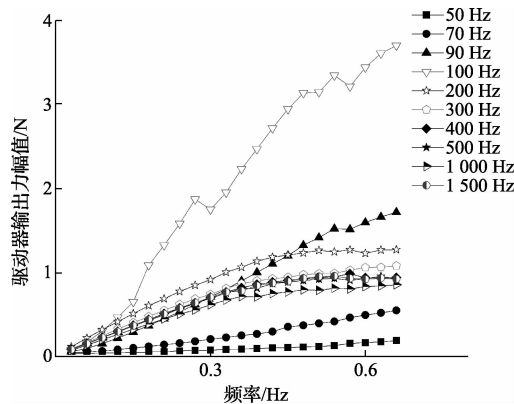


图3 输入的正弦电压幅值与驱动器输出力幅值关系

2.2 响应相移线性度

音响驱动器响应的相移反映了共振音响的从输入信号到响应时间延迟,相移的大小反映时滞的大小。而在振动主动控制系统中,时滞会对整个控制系统的控制精确程度具有很大的影响,故研究音响驱动器的相移特性具有重要的意义。

利用图 1 所示的实验方案测得实验原始数据。

对于正弦输入及响应的信号,利用相关积分的方法求得输出的响应与输入信号之间的相位差。

对一般周期振动的分析常采用谐波分析方法。根据数学定律,如果函数在一个周期内只有有限个第一类间断点和极值点,则可展开为 Fourier 级数:

$$u(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{r=1}^{+\infty} (a_r \cos r\omega t + b_r \sin r\omega t)$$

式中:Fourier 系数:

$$\begin{cases} a_r = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} u(t) \sin r\omega t dt, & r = 0, 1, 2, \dots \\ b_r = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} u(t) \cos r\omega t dt, & r = 1, 2, \dots \end{cases}$$

式中: $\omega = \frac{2\pi}{T_0}$ 是基频。

上述的谐波分析是连续信号的分析。在该采集过程中获得的信号是离散的时域信号,对离散信号进行处理的

时候,上式需要进行离散化处理,这个离散化分析的过程称之为“相关积分”。

相关积分的目的是对离散信号作时频变换,从中提取出某一频率下的信号幅值和相位。

当所要分析的信号为离散时域信号时,假设离散数据长度为 N ,所要分析的信号频率为 f ,则:

上式可写成如下形式:

$$\begin{cases} a = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N u(i) \sin(2\pi f \cdot i \cdot dt), & i = 0, 1, 2, \dots \\ b = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N u(i) \cos(2\pi f \cdot i \cdot dt), & i = 1, 2, \dots \end{cases}$$

设此次采集得到的波形为:

$$y = u(t) = A \sin(\omega t - \varphi)$$

则对应的相位为:

$$-\varphi = \arctan^{-1} \frac{b}{a}$$

那么采集到的信号与原信号的相位差为:

$$\varphi = -\arctan^{-1} \frac{b}{a}$$

利用 LabVIEW^[10]对实验得到的数据进行相关积分,得到不同频率下,相移随着输入正弦电压幅值的变化如图 4 和 5 所示。

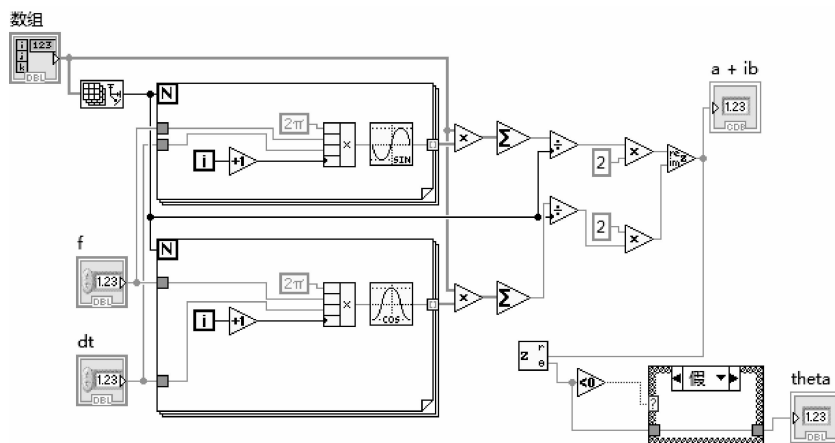


图 4 LabVIEW 相关积分程序

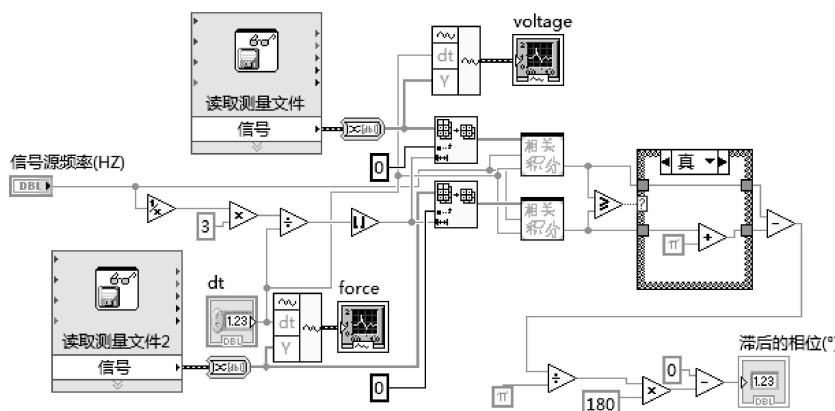


图 5 相移线性度数据处理 LabVIEW 程序

将 LabVIEW 程序处理的数据导出至 Excel, 利用 OriginLab 软件绘出不同频率下, 驱动器响应相移随着不同电压的变化而变化, 如图 6 和 7 所示。

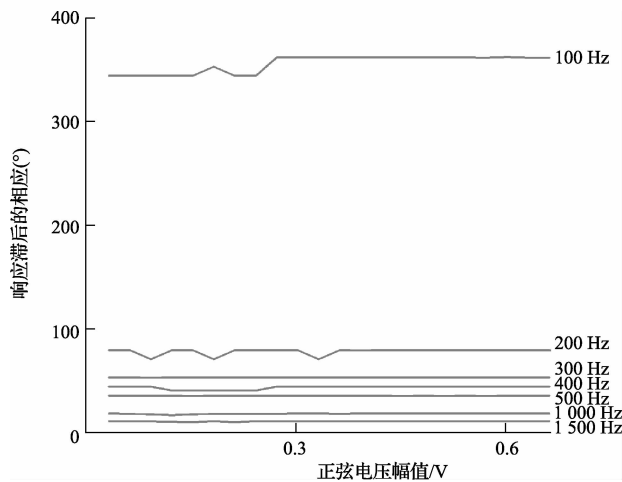


图 6 输入的正弦电压幅值与力响应滞后相位关系

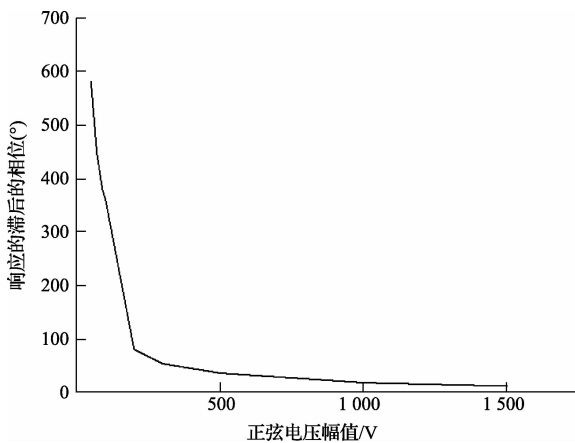


图 7 力响应滞后相位与输入信号的频率关系

从图 6 和图 7 可以看出, 在同一输入频率下, 共振音响驱动器的响应相移是基本不变的, 即共振音响驱动器的响应时滞基本不随输入电压幅值的影响。而在不同频率下, 共振音响的响应时滞是不一样的。在同一输入电压幅值的情况下, 共振音响的响应相移(相位差)随着频率的增大而减小, 即音响的响应时滞随着输入频率的增大而减小。

3 作动器频响特性研究

以上研究都是对共振音响驱动器时域特性进行研究, 现在对共振音响驱动器的频域特性进行研究。其中, 最能反映音响驱动器频域特性的是音响的频响特性曲线。对

音响驱动器进行扫频实验^[12]能够得到共振音响驱动器的频响函数曲线。

本文利用德国 M+P 公司提供的软件对音响驱动器进行扫频。

将共振音响分别放在刚性较大的基础上和梁上进行扫频实验。

扫频实验如图 8 所示。

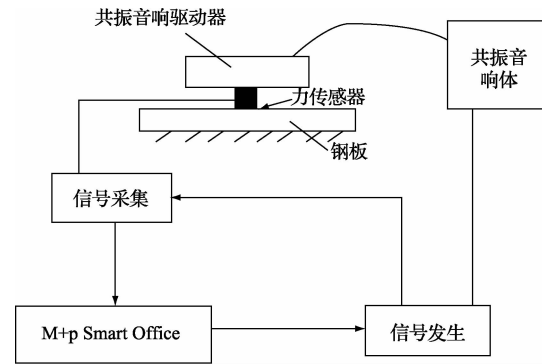


图 8 扫频实验装置

设置正弦扫频从 20 Hz 到 1 500 Hz, 步长为 1 Hz, 扫频幅值是 0.2 V, 加平顶窗。得到扫频结果图如图 9 和 10 所示。

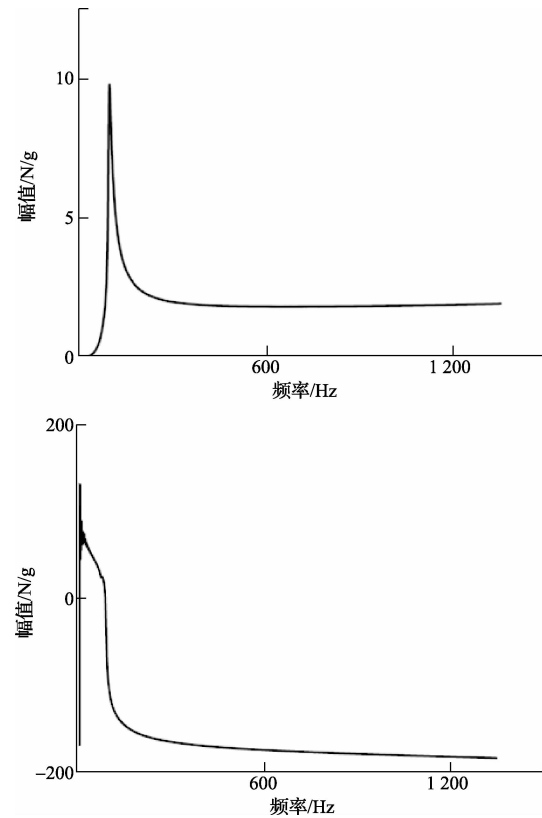


图 9 在刚性基础上的幅频相频曲线

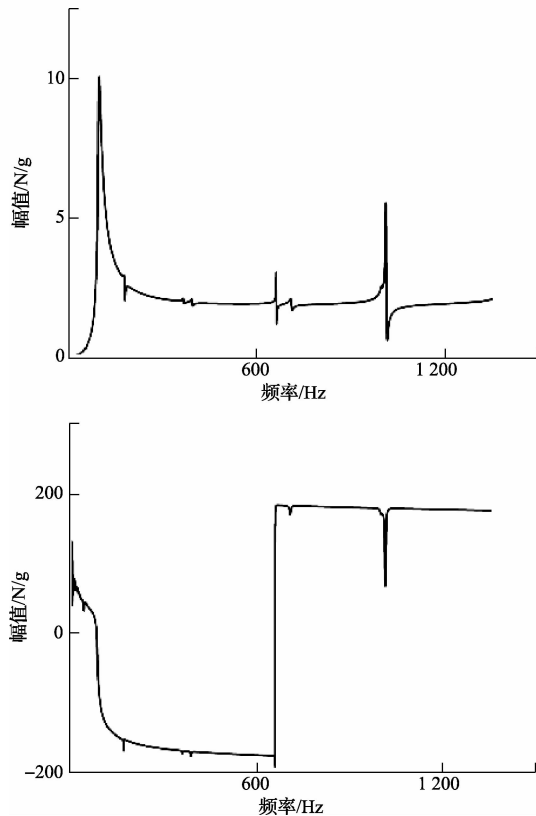


图 10 在梁上的音响驱动器幅频相频曲线

由图 9 可以看出,共振音响驱动器的共振频率在 100 Hz 附近,在 300 Hz 后输出的响应幅值趋于稳定,约为 2N。故在后续实验中取 300 Hz 及以后的频率能得到较为稳定的输出力。

由图 9 和图 10 可以看出,在刚性基础和柔性基础上进行扫频实验会得到不一样的扫频结果,基础的刚度会影响扫频的结果。

从图 10 和图 11 可以看出,若在柔性基础(梁)上进行扫频实验,梁的频响特性将会耦合进最终的音响驱动器的扫频结果中,故在实验中应注意选取的基础。

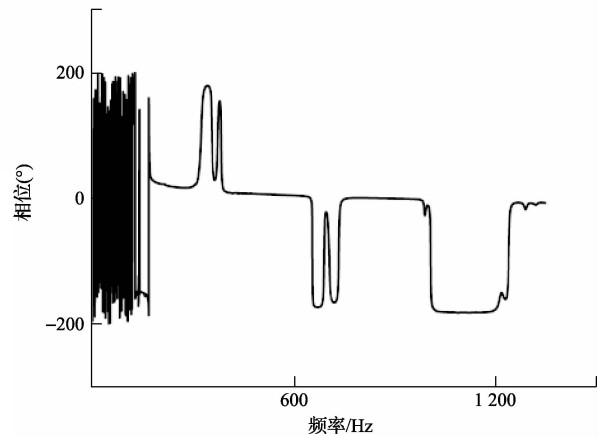
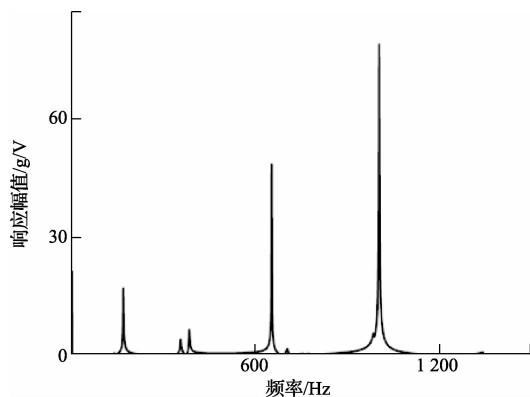


图 11 扫频实验中梁的 1/4 点处的幅频相频曲线

4 结 论

本文对 X-Vibe 微型共振音响的驱动器的时域和频域相关的性能进行了研究。

在时域方面,主要研究了驱动器时域响应幅值线性度和响应相移线性度。时域响应幅值线性度的研究表明:在不同频率下,共振音响的功放大小是不一样的。当输入电压幅值在 0~0.3 V 时,驱动器输出的力响应幅值随着输入幅值呈线性变化;当输入正弦电压幅值大于 0.3 V 时,驱动器输出的力响应幅值随着输入幅值呈非线性变化。因此,当音响驱动器作为振动主动控制的激振器时,使用 0~0.3 V 的输入电压是比较合理的。时域响应相移线性度的研究表明:同一输入频率下,共振音响驱动器的响应时滞不受输入电压幅值的影响。而在同一输入电压幅值的情况下,共振音响的响应相移(相位差)随着频率的增大而减小,即音响的响应时滞随着输入频率的增大而减小。

在频域方面,分别对共振音响驱动器在刚性基础和柔性基础上的进行扫频实验。实验结果表明:共振音响驱动器的共振频率在 100 Hz 附近。在 300 Hz 后,输出的响应幅值趋于稳定,约为 2 N。故在后续实验中,取 300 Hz 及以后的频率能得到较为稳定的输出力。由扫频得到的频响特性曲线图可以看出,柔性基础的频响特性会影响扫频结果。故在后续的振动主动控制实验中,应考虑选取的基础对控制实验的影响。

参 考 文 献

- [1] 成其荣,张方,姜金辉. 基于 LabVIEW 算法作动器时滞的试验研究[J]. 国外电子测量技术,2014,33(3): 68-71.

- [2] 邢峰. 基于蚁群算法的车身振动主动控制研究[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(7): 2103-2105.
- [3] 陈章位, 于慧君. 振动控制技术现状与进展[J]. 振动与冲击, 2014, 28(3): 73-77.
- [4] 周凌波, 张方, 姜金辉. FTF 自适应主动控制算法的参数研究及应用[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(5): 44-51.
- [5] 邝昊, 黄毅, 王佳茜, 等. 基于 CompactRIO 的变姿态超长柔性臂架振动主动控制系统研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(增刊 2): 87-92.
- [6] 蒋新花, 丁德宝, 沈庆宏. 应用于桥梁结构健康监测的低噪声振动测量系统实现[J]. 电子测量技术, 2014, 37(2): 116-119.
- [7] WANG H J, XING F, YOU ZH, et al. Study of high-precision earth sensor with triple-FOV [J]. Instrumentation, 2014, 1(2): 23-29.
- [8] 李舜酩, 郭海东, 李殿荣. 振动信号处理方法综述[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(8): 1907-1915.
- [9] CHENG W, HE ZH J, ZHANG ZH S. Vibration source number estimation of a shell structure [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(12): 142-146.
- [10] 肖丰霞, 闫廷光. 基于 LabVIEW 的数据采集与信号处理系统[J]. 信息技术与信息化, 2014, 12(47): 112-113.
- [11] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW 8. 20 程序设计从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [12] 杨志东, 丛大成, 韩骏伟, 等. 正弦扫频振动控制中的信号综合与信号分析[J]. 振动工程学报, 2008, 21(3): 309-313.

作者简介

黄燕, 1991 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为振动主动控制。

E-mail: yanhuang050930101@163.com

张方, 1962 年出生, 博士, 教授。主要研究方向为复杂结构动载荷识别、噪声与振动控制、振动信号数据分析等。

E-mail: zhangf@nuaa.edu.cn

姜金辉(通讯作者), 1981 年出生, 博士, 讲师。主要研究方向为振动测试与数据处理、动载荷识别、虚拟仪器设计与实现。

E-mail: jiangjinhui@nuaa.edu.cn

(上接第 54 页)

- [8] 王笑天, 杨志家, 王英男, 等. 双卡尔曼滤波算法在锂电池 SOC 估算中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(8): 1732-1738.
- [9] 陈铭. 电磁波层析成像方法与应用研究[D]. 荆州: 长江大学, 2013.
- [10] 龚声蓉, 刘纯平, 王强. 数字图像处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [11] 徐超. 基于形态滤波和提升小波变换的漏磁信号处理研究[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(8): 23-25.

作者简介

赵磊, 1988 年出生, 工学硕士研究生, 主要研究方向为电磁波 CT 成像。

E-mail: 15996460438@163.com