

力控随机振动试验的双控策略研究

Study on the Dual-Control Strategy for Force-limited Random Vibration Testing

蒋瑜 / 国防科技大学机电工程与自动化学院 装备综合保障技术重点实验室

摘要: 力控振动试验的目的是为了解决传统振动试验中的过试验问题。除了控制加速度, 力控振动试验中还同时测量和限制试件和振动台之间的作用力。确定力限条件和对力、加速度进行双重同步控制是力控振动试验中的两个关键环节。目前, 简单二自由度系统方法 (TDFS)、复杂二自由度系统方法 (TDFS)、半经验方法 (SEM) 等方法已经得到研究, 并用于估计力限功率谱密度 (即力限条件)。但是在得到力谱之后, 如何根据力谱和加速度谱进行力和加速度的双重同步振动控制研究甚少。本文提出了一种可行的双控策略, 可用于开发力控振动试验所需的新型振动控制器。

Abstract: The purpose of Force Limited Vibration (FLV) testing is to reduce the overtesting occurring during conventional vibration testing. In addition to controlling the acceleration, the FLV testing measures and limits the reaction force between the test item and the shaker. Estimation of the force limits and realization of the dual-control strategy in the vibration controller are the most critical steps of the FLV approach. There have been several methods available for estimating the force spectral density, such as the simple two-degree-of-freedom system(TDFS), the complex TDFS and semi-empirical methods(SEM). However, details of control procedure after estimating the force power spectral density(FPSD) have been rarely discussed. This paper presents a feasible dual-control strategy for force-limited random vibration testing, which will be very useful to develop new vibration controllers for the force-limited random vibration testing.

关键词: 力限; 振动试验; 双控策略

Keywords: force-limited; vibration testing; dual-control strategy

0 引言

振动环境适应性是产品在设计验证阶段必须考虑的因素之一, 为此必须进行能够代表产品典型工作环境的振动试验。传统的随机振动试验将试件安装在振动台上, 并选择感兴趣的控制点使其加速度功率谱密度达到期望值。这种试验方法已经使用了多年, 但是由于试验安装条件和实际使用条件下的阻抗差异, 使得产品在共振频率处出现了严重的过试验问题。

力控振动试验的目的是为了解决传统振动试验中的过试验问题。除了控制加速度, 力控振动试验中还同时测量和限制试件和振动台之间的作用力。确

定力限条件和对力、加速度进行双重同步控制是力控振动试验中的两个关键环节。已发展了多种方法来估计力限功率谱密度 (即力限条件), 如简单二自由度系统方法、复杂二自由度系统方法、半经验方法等^[1-5]。但是, 在得到力谱之后, 如何根据力谱和加速度谱进行双重同步振动控制研究甚少。本文提出了一种可行的双控策略, 可用于开发力控振动试验所需的新型振动控制器。

1 传统随机振动试验控制策略

1.1 传统的随机振动试验系统

图1所示是一个典型的传统随

机振动试验系统, 包括振动台、功放、振动控制器、加速度传感器等。

控制点的加速度响应信号由加速度传感器拾取, 经过电荷放大器变成电压信号后进行低通滤波, 然后进行A/D变换成为数字信号, 振动控制器根据

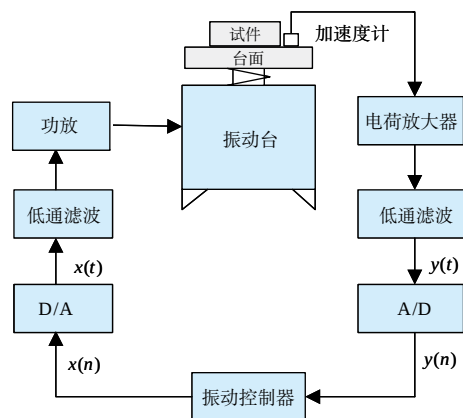


图1 传统的振动试验系统构成

* 基金项目: 航空科学基金 (2009ZD88002) 项目资助。

该数字信号进行反馈控制,得到驱动信号,再经过滤波放大后驱动振动台,如此经过多次反复修正控制使得控制点加速度功率谱密度接近目标值。

控制点的运动由加速度功率谱密度来定义。由于振动台和夹具的动力学特性影响,控制点加速度谱密度会发生变化。通过连续地测试系统的频响函数并进行修正,最终可使控制点的加速度谱密度接近参考谱。

1.2 传统的加速度控制策略

传统的加速度控制策略如图2所示。首先,第一帧驱动信号功率谱密度等于参考谱

$$G_x^{(0)}[k] = G_r[k], k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

相应第一帧响应信号的功率谱密度为 $\hat{G}_y^{(0)}[k]$, 从而第一次驱动信号加速度功率谱密度(APSD)均衡公式为

$$G_x^{(1)}[k] = \frac{(G_r[k])^2}{\hat{G}_y^{(0)}[k]}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

第*i*帧驱动信号加速度谱密度均衡公式为

$$G_x^{(i)}[k] = \frac{G_r[k]G_x^{(i-1)}[k]}{\hat{G}_y^{(i-1)}[k]}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

用来生成驱动信号的IFFT变换的幅值 $|X^{(i)}[k]|$ 由驱动信号的加速度功率谱密度 $G_x^{(i)}[k]$ 得到:

$$|X^{(i)}[k]| = \sqrt{2G_x^{(i)}[k]\Delta f}, k = 1, \dots, N \quad (4)$$

这里 Δf 代表控制器的频率分辨率, $\phi^i[k]$ 是均匀分布在 $0 \sim 2\pi$ 之间的随机相位角, 也称为相位随机化, 是随机信号生成中的重要步骤。

2 力控随机振动试验中的双控策略

2.1 力控振动试验系统

减轻产品振动试验中过试验问题的方法包括加速度响应控制与力响应控制

(力限控制)两种, 目前国内主要采用关键点加速度响应限幅控制的方法, 但是一般认为加速度响应控制较复杂, 试验条件不易确定。力限控制技术是加速度和力的双重控制, 能有效解决由于采用加速度包络作为试验的输入条件和边界条件与实际情况有差别这两个因素导致产品在振动试验中特别是主结构共振频段容易产生过试验问题。

图3所示是一个典型的力控振动试验系统, 增加了力传感器安装在试件和振动台之间。其中, $y_1(t)$ 是响应加速度信号, $y_2(t)$ 是响应力信号。这两个信号同时输入到振动控制器, 并进行同步控制, 而传统的振动控制器仅控制加速度信号。

2.2 力控振动试验的双控策略

图4是一种易于在现有振动控制器中实现的双控策略。

类似加速度信号驱动谱修正公式

$$G_{x_1}^{(i)}[k] = \frac{G_r[k]G_x^{(i-1)}[k]}{\hat{G}_{y_1}^{(i-1)}[k]}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

根据第*i*-1帧力信号得到的第*i*帧驱动信号谱修正公式

$$G_{x_2}^{(i)}[k] = \frac{F_r[k]G_x^{(i-1)}[k]}{\hat{G}_{y_2}^{(i-1)}[k]}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (6)$$

这里, $F_r[k]$ 是通过简单二自由度系统方法, 复杂二自由度系统方法或半经验方法得到的力信号控制参考谱。

为了避免过试验, 在分别依据加速度反馈信号和力反馈信号得到的驱动信号谱中取二者中的最小值, 即

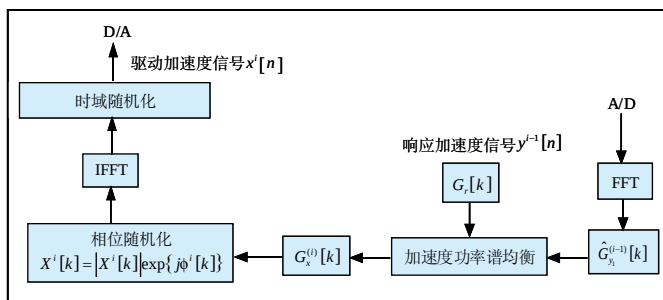


图2 传统的加速度控制策略

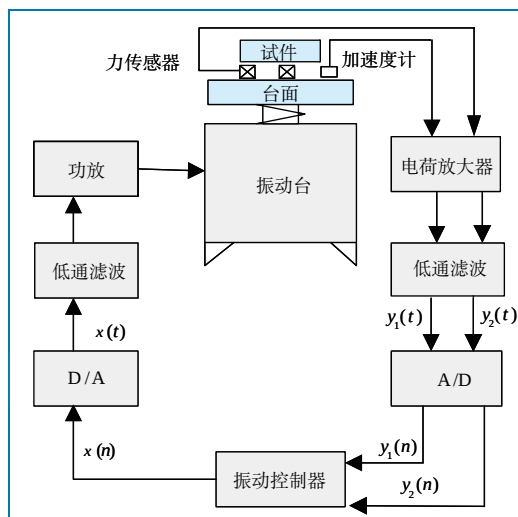


图3 力控振动试验系统构成

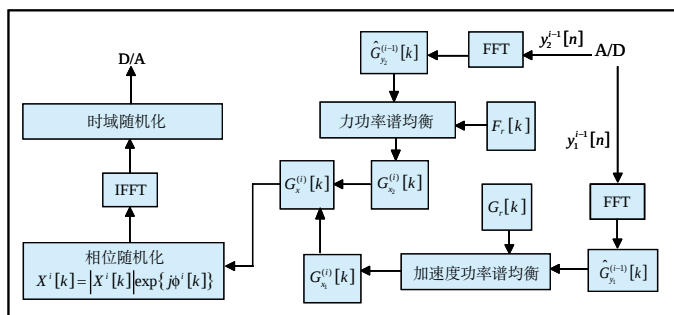


图4 力和加速度同步双控策略



质子交换膜燃料电池驱动直流电机转速性能的动态仿真模型*

A Dynamic Model Simulating the Velocity Properties of DC Motor Driven by PEMFC

许震宇 孙诚骁 / 同济大学航空航天与力学学院

摘 要: 燃料电池具有能量转化效率高、低噪声、低排放、稳定可靠等优点,被认为是继蒸汽机和内燃机之后的第三代动力系统。燃料电池已经成为无人机、轻型飞机的主动力,并用于大型客机的辅助动力装置。本文设计了应用质子交换膜燃料电池直接驱动直流电机和螺旋桨的方案,并利用Matlab/Simulink构建了仿真模型,模拟燃料电池的动态输出特性以及电动机的转速特性。该模型可以为燃料电池飞行器的研发提供参考数据。

Abstract: Fuel cell is believed to be the third generation power system after the steamer and the internal-combustion engine, with the virtues of high efficiency, low noise, low emission, reliability and stability. Fuel cell have been developed as the main power of UAV and light airplane, or as the APU of a large passenger airliner. In this paper, a DC motor system is proposed, which is driven directly by a Proton Exchange Membrane fuel cell. A Matlab/Simulink model is used to simulate the dynamic characteristics of the fuel cell and the motor speed. The work here can be applied to help the design of the fuel cell powered flight vehicles.

关键词: 质子交换膜燃料电池; 直流电机; 仿真; 动态模型

Keywords: proton exchange membrane fuel cell; DC motor; simulation; dynamic model

0 引言

对能源和环境问题的持续关注,

使人们对于核能、太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能、氢能等新能源的应

用寄予极大的期望^[1]。在汽车、轮船等交通工具中,已经推出了多种电驱动的类型

$$G_x^{(i)}[k] = \min\{G_{x_1}^{(i)}[k], G_{x_2}^{(i)}[k]\} \quad (7)$$

余下的控制过程类似前面所述的加速度控制流程。

3 结论

针对如何对力和加速度两种信号进行双重同步控制这一力控振动试验关键问题,本文提出了一种可行的双控策略,可用于开发力控振动试验所需的新型振动控制器。

AST

参考文献

[1] Scharton, T.D. Force Limited

Vibration Testing Monograph. Jet Propulsion Lab., NASA RP 1403, Pasadena, CA, May 1997.

[2] Force Limited Vibration Testing. Jet Propulsion Lab., NASA Technical Handbook, NASA-HDBK-7004B, Pasadena, CA, Jan. 2003.

[3] Daniel B. and Worth A1. A Method for Implementing Force-Limited Vibration. Control [J]. Journal of the IEST, 1997, 40: 34-41.

[4] Soucy, Y., Dharanipathi, V.R. and Sedaghati, R. Comparison of Methods

for Force Limited Vibration Testing[C]. Proceedings of the IMAC XXIII Conference and Exposition on Structural Dynamics, Society of Experimental Mechanics, Bethel, CT, 2005.

[5] Chang, Kurng Y. Structural response loads in force-limited vibration testing [J]. Journal of the IEST, 2002, 45: 129-135.

作者简介

蒋瑜, 博士, 副教授, 主要研究方向为随机振动, 结构动力学与振动试验技术等。