

基于磁阻尼的超低频绝对振动传感器机理研究

夏 灿, 余水宝, 黄相平
(浙江师范大学, 浙江 金华 321004)

摘 要: 通过分析普通磁电式速度传感器在测量超低频绝对振动信号时存在固有缺陷带来的问题, 介绍了基于磁阻尼的超低频绝对振动传感器机理, 系统用磁阻尼代替机械阻尼工作, 克服了普通磁电式速度传感器体积大、质量大、不便运输等问题, 下限频率达到了 0.25 Hz。

关键词: 超低频; 绝对振动; 机械阻尼; 磁阻尼

中图分类号: TP212.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2014)05-0074-02

Theoretical research about ultra-low frequency of absolute vibration sensor in magnetic damper

Xia Can, Yu Shuibao, Huang Xiangping
(Zhejiang Normal University, Jinhua, 321004, China)

Abstract: The theoretical research about ultra-low frequency of absolute vibration sensor in magnetic damper, we raise it by analyzing the inherent vice, which exist in ordinary magnetolectric speed sensor when we measure the ultra-low frequency. In our study, magnetic damper replace mechanical damper, and solve the problem in ordinary magnetolectric speed sensor, just like more bigger, heavier, harder to move and so on. At the same time, the lower frequency limit attain 0.25 Hz.

Key words: ultra-low frequency; absolute vibration; mechanical damper; magnetic damper

超低频绝对振动是指振动频率在 1 Hz 及以下的相对于惯性空间没有静止参考点(即基准)的振动, 如空中飞机和海上船舶的颠簸、地震波动以及大型铁路桥梁的晃动等^[1]。由于绝对振动在测量时难以找到静止参照基准, 同时振动频率低, 传感器的机械固有频率难以做到足够低, 其输出信号极其微弱, 信噪比低, 因此对于其测量至今仍是工程测试领域的难题之一。目前国内外对超低频绝对振动测量的研究也不乏研究者, 如参考文献[1]的学者提出采用频响展宽的方法来改善传感器的性能, 虽取得良好的成效, 但频率下限和体积仍有局限。此外, 国内外也有研究者通过增大惯性质量块的质量来减小传感器的固有频率, 但这种方法使得传感器的体积、重量大大增加, 缺陷非常明显。

1 普通电磁式速度传感器及其固有缺陷

低频绝对振动测量通常选用压电式和磁电式传感器, 以后者居多。磁电式传感器是一个典型的“质量-阻尼-弹簧”单自由度振动系统, 如图 1 所示。

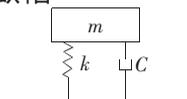


图 1 普通磁电式速度传感器的力学模型

其传递函数、角频率和阻尼系数可表示为:

$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (1)$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2)$$

$$\xi_0 = \frac{c}{2\sqrt{mk}} \quad (3)$$

式中 ω_0 为传感器的固有角频率, ξ_0 为阻尼系数。

由传感器的力学原理可知^[3], 仅当传感器的固有频率比被测物体的频率低很多时, 惯性质量块才可以作为“静止”基准, 或者说为使传感器在测量超低频绝对振动时的输出信号有一定的信噪比, 传感器的固有频率应足够低。然而由于材料及机械结构的限制, 用弹簧模片支撑质量块的磁电式速度传感器的固有频率, 一般只能做到 5 Hz~30 Hz 之间^[4]。在重力场中垂直使用的传感器, 弹簧的位移 y 与质量块 m 和弹性系数 k 的关系为:

$$y = \frac{mg}{k} = \frac{g}{\omega_0^2} = \frac{g}{(2\pi f_0)^2} \quad (4)$$

技术与方法 Technique and Method

式中 g 为重力加速度常量。由式(4)易知,当 f_0 取 5 Hz 时,惯性质量块与壳体间的相对位移接近 1 cm;而当 f_0 取 1 Hz 时,相对位移达 25 cm,这在传感器有限的空间内是不可能实现的。因此要直接检测超低频绝对振动,磁电式速度传感器存在机械结构上的固有缺陷^[2]。

从式(2)可以看出,减小弹簧弹性系数 k 和增大质量块 m 均可降低传感器的固有角频率 ω_0 。但是,采用减小弹性系数 k , 弹簧本身就会变得很软很“娇气”, k 越小,弹簧的静态位移越大,在感受振动即便是微小的振动时,弹簧自身就会“振动”不止,从而影响测量精度;此外,当传感器由一个地方运输到其他地点时,由于运输过程中的颠簸和自身的“振动”,弹性系数 k 的大小也会受“损”而改变;如果采用增加惯性体质量 m ,固然可以提高传感器在低频段的灵敏度,但此时传感器的体积、重量将大大增加,在一定程度上会影响振动体本身的振动特性,从而降低测量可信度。所以,目前直接用这种传感器测量超低频绝对振动仍存在着一定的难度。

2 基于磁阻尼的超低频绝对振动检测机理

鉴于上述传感器的体积和频率下限等问题,本文介绍了一种利用 2 块磁铁同名端之间的斥力来代替弹簧力的超低频绝对振动检测新机理,即用刚性的永久磁铁代替柔性的弹簧,用磁场力代替弹性力,调节磁铁间的距离来调节弹性力(磁阻尼)的大小,进而改变传感器的固有频率,同时传感器体积也可以做得更小。将这种基于磁场力系统取名为“磁阻尼”系统。在磁阻尼系统中,由于弹簧已被替换,则无需考虑在机械阻尼中弹簧受重力场的作用而不能运输的问题,使之更好地适应其在工程上的应用。

基于此机理的传感器,由 2 块永久磁铁构成,一块固定在传感器外壳底部,另一块(惯性质量块)依托磁场斥力悬浮在上方,在悬浮磁铁外围绕有线圈。当感受到外界振动时,外壳被迫振动,悬浮磁铁由于惯性作用相对“静止”,此时,两磁铁间的距离减小,斥力增强,迫使悬浮磁铁向上运动,线圈做切割磁感线运动,产生感应电动势。如图 2 所示。

悬浮磁铁(惯性质量块 m)在磁场力和重力作用下处于平衡位置,设系统磁场强度为 B ,平衡时相距为 r_0 ,即

$$\frac{\mu_0 B}{4\pi(r_0+x)^2} - mg = 0 \quad (5)$$

当振动系统感受到外界振动时,悬浮磁铁 m 偏离平衡位置的位移为 x ,即

$$\frac{\mu_0 B}{4\pi(r_0+x)^2} - mg = ma = m\ddot{x} \quad (6)$$

式中, μ_0 为常数。由式(6)可知,该系统具有加速度特

性,经二次积分可获得相应的位移信息。

3 实验测试

由于实验室条件有限,无法对本传感器的性能指标进行全面测试,只对该传感器的灵敏度和频率响应做如下的简易测试。利用 1 只 1.5 V、转速 15 r/min 的微型电机,搭建了一个简易的振动台,通过精确计算设计响应的凸轮,用于模拟产生正弦振动,供传感器检测。装置照片如图 3 所示,示波器检测到的波形如图 4 所示。峰峰值为 1.90 V,频率为 239.1 mHz。由于振动台制作过程中其机械精度较难达到预期,所以图形中有毛刺,且由于凸轮在精雕过程中有瑕疵,波形显示不够完美,这些都将是以后在以后的研究中需要解决的问题。



图 3 装置照片(左一为乒乓球,中间是本文介绍的传感器,右一为自制振动台)

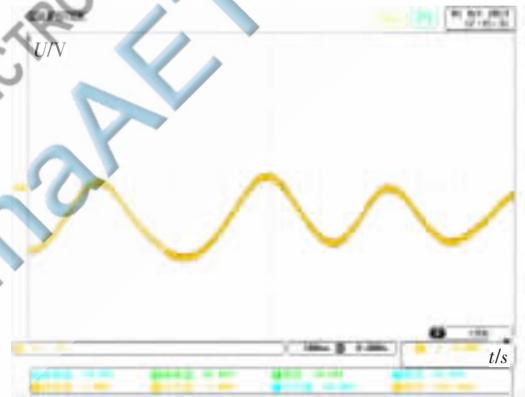


图 4 示波器显示波形

基于磁阻尼超低频绝对振动传感器的机理,解决了传感器体积大、频率下限不够低以及不便于运输等问题。目前传感器的体积尺寸能做到 40 mm×40 mm,与乒乓球大小相似。振动台使用的微型电机频率为 0.25 Hz,可见本文所介绍的传感器具有较低的频率下限,足够实现超低频段信号的测量。同时由于磁场间的楞次定律,系统可避免一些不正常的振动带来的误差,从而使系统性能稳定性增加,便于运输。

但该传感器仍存在一些不足。由于实验中电机和放大滤波电路同时由一路电源供电,导致测量响应信号不稳定。可尝试增加两级积分电路,从而得到更好波形。悬浮磁铁(即惯性质量块)运动复杂,需要先进行解耦分析,再通过计算机,将采集到的信号进行智能处理,并拟合出相应的幅频特性及相频特性曲线。

参考文献

- [1] 余水宝.基于选频补偿的磁电式速度传感器频响展宽研究[J].传感技术学报,1999(3):201-205.
- [2] 余水宝.一种测量超低频绝对振动的新方法[J].电子测量与仪器学报,1998(2):7-12.
- [3] 余水宝.超低频绝对振动传感器传递函数优化技术研究[J].仪器仪表学报,2006(8):940-942.

- [4] 余水宝,李鸣华,吕振洪.磁电式绝对振动速度传感器频响展宽研究 [J]. 浙江师大学报 (自然科学版),1999(1):23-28.

(收稿日期:2013-12-20)

作者简介:

夏灿,女,1988年生,硕士研究生,主要研究方向:传感器技术。

