Applied Physics 应用物理, 2017, 7(5), 133-139
Published Online May 2017 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/app
https://doi.org/10.12677/app.2017.75019

Research of Vibration Testing Method Based on Detection of Electromagnetic Field

Zhongming Huang, Jun Chen, Fengliang Huang*

Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu
Email: *383015108@qq.com

Received: May 2nd, 2017; accepted: May 23rd, 2017; published: May 26th, 2017

Abstract

On the basis of magnetic resistance effect and converting the single of mechanical vibration into the magnetic field changes, a vibration testing method based on detection of electromagnetic field is proposed. The vibration amplitude and other parameters of the seismic focus with a magnet can be measured by using magnetic resistance to detect the change of electromagnetic field around the space of it. To test this method, the circuit of single processing unit and the test platform are built. The results indicate that the cycle of the measured waveform is 1.17s, and the amplitude attenuates according to the index rule, which show that the measured vibration is the damped vibration. Therefore, the method proposed is verified feasible.

Keywords

Vibration Testing, Electromagnetic Field, Low Frequency Vibration, Mechanical Vibration

基于磁场检测的振动测量方法研究

黄忠明，陈　隽，黄凤良*

南京师范大学，江苏　南京
Email: *383015108@qq.com

收稿日期：2017年5月2日；录用日期：2017年5月23日；发布日期：2017年5月26日

摘　要

基于磁阻效应原理，在将机械振动转化为磁场信号变化的基础上，提出了一种基于磁场检测的振动测量方法。将磁体联接于振源，利用磁敏电阻检测周围空间磁场的变化，从而获得振源的振动幅值等参量。

*通讯作者。

文章引用: 黄忠明, 陈隽, 黄凤良. 基于磁场检测的振动测量方法研究[J]. 应用物理, 2017, 7(5): 133-139.
https://doi.org/10.12677/app.2017.75019

利用设计的信号处理单元电路以及搭建的测试平台对此方法进行了实际测试，测试结果表明：所测波形周期为1.17 s，振幅呈指数规律衰减，是一种阻尼振动，从而验证了提出方法的可行性。

关键词

振动检测，磁场，低频振动，机械振动

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

振动通常表现为物体围绕平衡位置所作的往复运动，是相关设备的重要属性，过程中包含着振动位移、振动速度和振动加速度等反映振动状况的相关信息。由于不同参量对应的敏感振动频率范围不同，因此实际中常根据振源的实际振动频率选取某一参量进行检测，然后通过计算获得其他参量[1]，从而实现对振动的检测。根据检测信号转换方式的不同，振动检测方法一般可以分成以下三类：机械式、光学式和电测法。机械式测量是将振动的信号参量转换成机械类信号，经由机械系统放大，再进行测量和记录，主要针对低频振动检测，常选取振动位移作为检测参量。光学式测量是将振动的信号参量转换成光学类信号，经由光学系统放大，再显示和记录；该方法检测精度高，可选取加速度作为参量、测量高频振动[2] [3]。电测法是将振动的信号参量转换成电信号，经电子线路放大后测量和记录；该方法可测频率范围及动态、线性范围宽，可选取位移、速度或加速度任一参量作为检测参量。

一些设备的工作环境往往伴有高温、噪声、能见度低等条件，给振动的检测带来诸多不便。鉴于磁场受温度、噪声、能见度等环境因素变化影响较小，本文针对机械设备的低频振动检测，以振动位移为检测参量，拟提出一种基于磁场检测的振动机械式测量新方法。

2. 测量原理

将磁体引入并固连于振源处，当振源发生振动时，必将带动磁体振动，进而引起振源处磁场变化，对该变化的磁场进行测量，从而可以实现振源振动规律的测量[4]。

变化磁场的测量通过磁敏电阻实现。磁敏电阻是基于各向异性磁阻效应原理(即当外加磁场偏离铁、钴、镍及其合金等强磁性金属的内磁化方向时，金属的电阻值会出现减小的现象)制成。将磁敏电阻合金薄膜置于圆柱形磁体磁场内(图 1)，平行于 xoz 平面放置；随着磁体的空间位置变化，空间某点磁场强度 M_x 及 M_z 也随之变化，从而导致磁敏电阻合金薄膜内部磁化方向的指向 MD 发生变化(由于合金薄膜厚度及磁化方向限制，y 轴磁场对其影响可忽略不计)，即 M_x 与 M_z 的变化使得磁阻内部磁化方向与电流的夹角 θ 发生变化，从而导致磁敏电阻的电阻值发生改变。

磁敏电阻阻值变化[5]：

$$\begin{cases} R = R_{\perp}\sin^2\theta + R_{\square}\cos^2\theta \\ \sin\theta = k_1 M_x \\ \cos\theta = k_2 M_z \end{cases} \tag{1}$$

式中：$R_{\perp}$ 为电流方向与磁化方向垂直时即 z 方向的电阻值，$R_{\square}$ 为电流方向与磁化方向平行时即 x 方向的

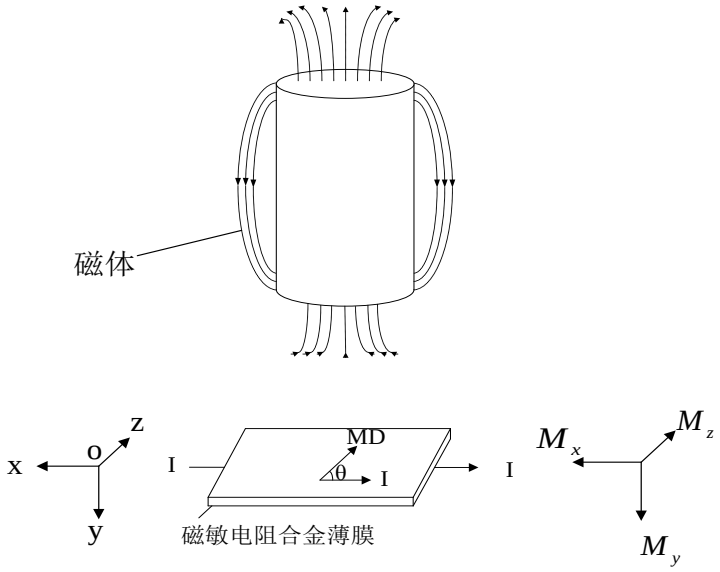

Figure 1. Diagram of measuring principle
图 1. 测量原理示意图

电阻值，θ 为磁化方向与电流 I 的夹角，k_1、k_2 是与材料磁化强度、磁体半径以及到磁体中心距离相关的常数。

取相同 $R_\perp$ 和 $R_{\square}$ 的磁敏电阻 R_A，R_B，R_C 以及 R_D，连成如图 2 所示惠斯通电桥。记磁化方向与经过 R_A 的电流 I_A 的夹角为 θ，则与经过 R_B 的电流 I_B 夹角为$(90^\circ-\theta)$。

由式(1)得：

$$\begin{cases} R_A = R_C = R_\perp \sin^2\theta + R_{\square}\cos^2\theta \\ R_B = R_D = R_\perp \cos^2\theta + R_{\square}\sin^2\theta \end{cases} \tag{2}$$

则输出电压为：

$$V_{out} = V_{bridge}\frac{R_B}{R_A+R_B} - V_{bridge}\frac{R_C}{R_C+R_D} = V_{bridge}\frac{R_B-R_C}{R_\perp+R_{\square}} = V_{bridge}\frac{\left(R_\perp-R_{\square}\right)\cos 2\theta}{R_\perp+R_{\square}} \tag{3}$$

可见，由被测磁场变化而引起的 θ 角变化转换为输出电压的变化。因此，通过测量磁敏电阻构成的惠斯通电桥输出电压的变化可以反映周围空间磁场的变化，从而实现与之处于联接状态的振源的振动测量。

3. 测试平台与测试结果

基于测量原理，选用 Honeywell 公司的 HMC1021Z 磁阻传感器，设计并制作信号处理单元电路，以 $\phi 3.5\ \text{mm}\times 4\ \text{mm}$ 圆柱形磁体为测试件，搭建测试平台，对方法的可行性进行验证。

3.1. 信号处理单元

信号处理单元由放大电路、数模转换电路及微处理器组成。其中，信号放大电路采用 AD622 仪用放大器构成运算放大电路，模数转换模块采用 12 位串行模数转换芯片 TLC2543，选用单片机 AT89S52 作为微处理器，负责整个测量电路各信号的协调处理，同时通过串口与上位机通讯，完成被测信号的获得与传输。磁阻传感器电路与信号处理单元电路如图 3 所示。

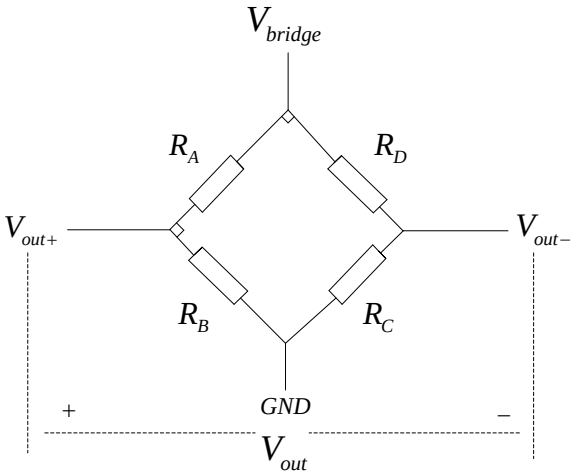

Figure 2. Equivalent circuit of magnetic resistance sensor
图 2. 磁阻传感器等效电路

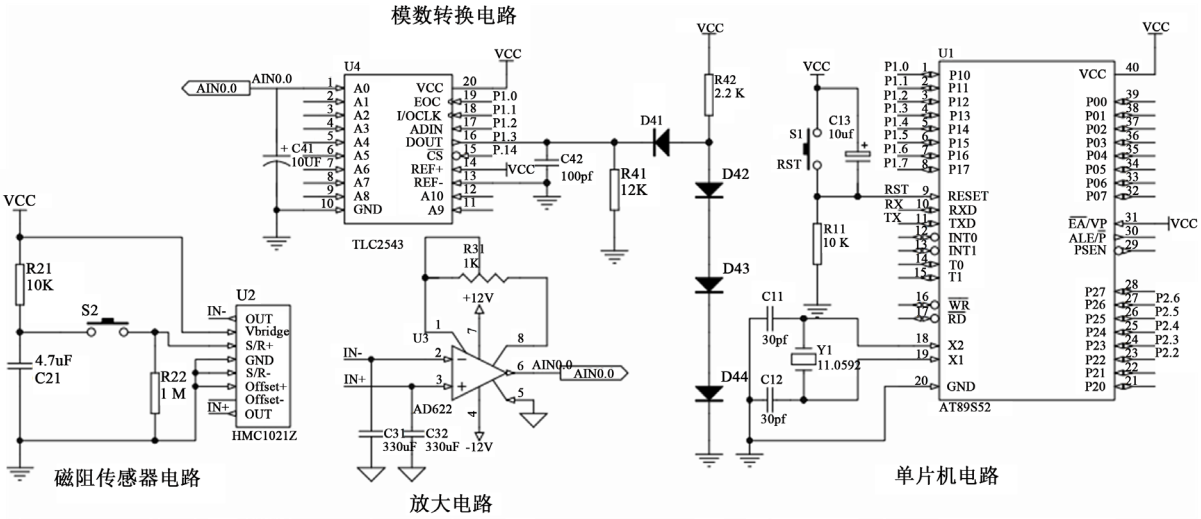

Figure 3. Circuits of magnetic resistance sensor and signal processing unit
图 3. 磁阻传感器电路与信号处理单元电路

3.2. 测试平台

在实验室搭建的振动测试平台如图 4 所示。其中，测试平台 1 用于测量系统(磁阻传感器+信号处理单元+上位机)的基本特性测量，平台 2 用于振源的振动波形测量。对于平台 1，将滑轮固定，磁体通过细绳绕于滑轮之上，将工具尺一边竖直固定，磁阻传感器置于磁体的正下方，垂直于工具尺所在平面，固定于工具尺 0 cm 处；测量时牵引磁体沿垂直方向发生位移改变，HMC1021Z 磁阻传感器获得周围空间磁场的变化，信号经放大电路处理，至模数转换电路，在微处理器控制下，最后获得测量信号并传输至上位机。平台 2 只需将平台 1 中的滑轮换成弹簧振子并将磁体固连于振子下端，构成阻尼振动系统[6]。测量时设定平衡位置，使得弹簧振子作为振源带动磁体在垂直方向上振动。

3.3. 测试结果

1) 基本特性

改变磁体位置，使磁体分别从下往上运动(上行)和从上往下运动(下行)，记录某些特定位置及其电压值(表 1)，其变化曲线及输出电压与磁体位置关系的拟合曲线如图 5 所示。将放大电路的输出端接到示波器，以示波器的波形为参考，计算得到测量结果误差 < ±1% 。

可见，输出电压与磁体位置成非线性关系。当磁体位置距磁阻传感器小于 2 cm 或大于 11 cm 时，输出电压不变，即当振动位移过大时，测量系统处于饱和状态。

2) 振动波形

基于平台 1 和测量系统基本特性，平台 2 中弹簧振子的平衡位置置于刻度尺 6.5 cm 处，此时，测量系统可以测量振幅 4.5 cm 范围内的振动。测量时，拉动弹簧振子的自由端至工具尺 3 cm 处释放，磁体做阻尼振动。微处理器协调各信号实现信号测量，并将获得的电压信号传至上位机，上位机对信号数据进行处理和保存。振动稳定形成后振幅随时间变化曲线以及振幅衰减曲线如图 6 所示，振幅衰减符合：

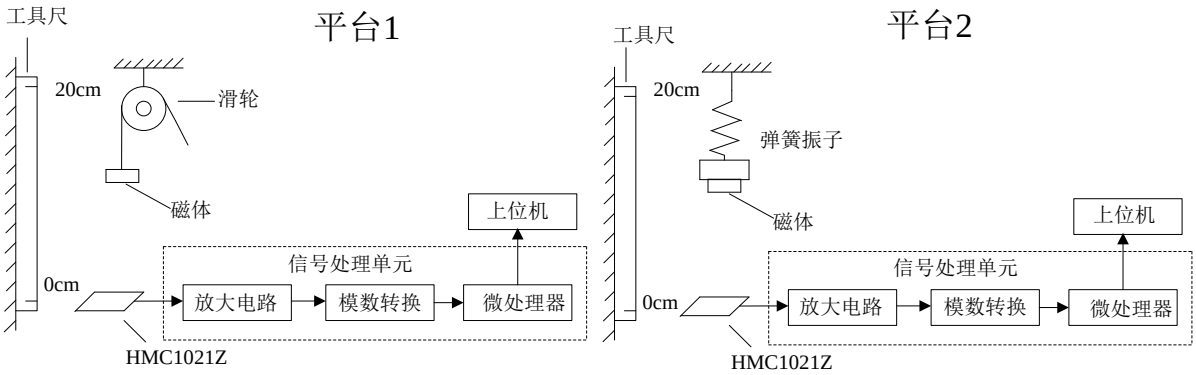

Figure 4. Diagram of the test platform structure
图 4. 测试平台结构示意图

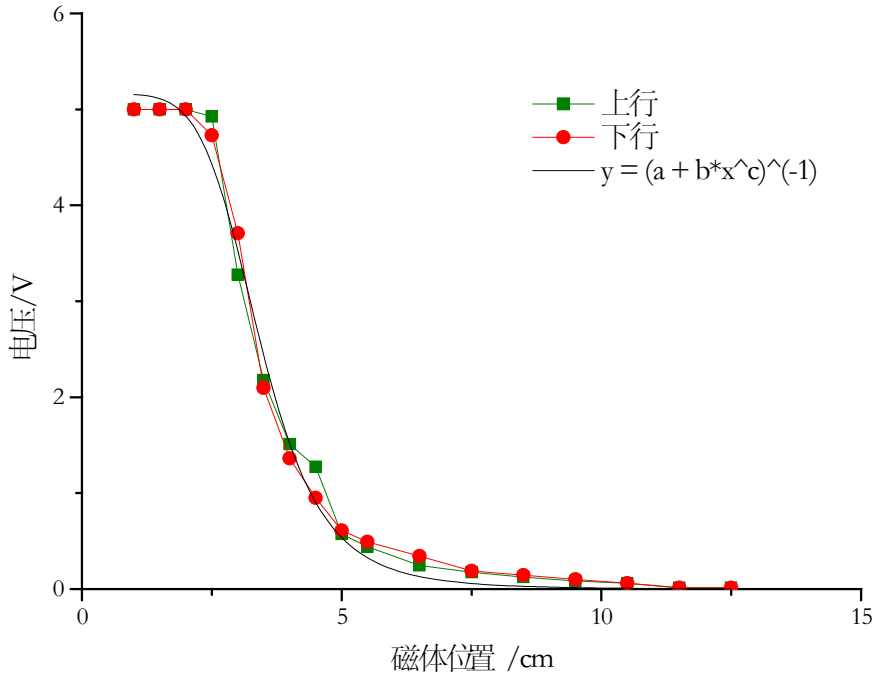

Figure 5. Relation between output amplitudes and the position
图 5. 输出幅值随位置变化图

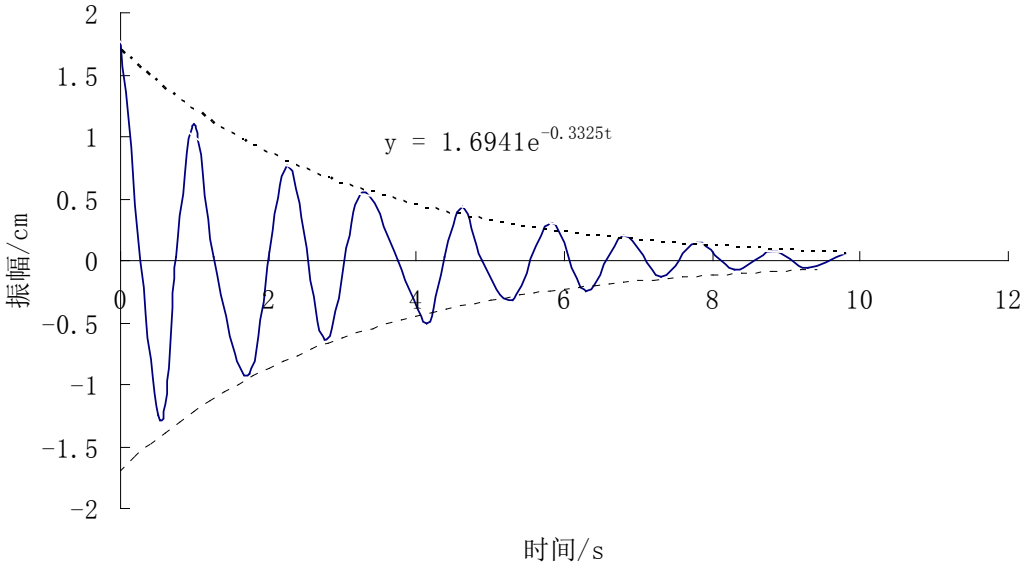

Figure 6. Relation between amplitudes and time
图 6. 振幅随时间变化波形图

Table 1. Voltage values corresponding to the upward and downward position of the magnet
表 1. 磁体上行和下行不同位置对应的电压值

上行	磁体位置/cm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
	电压值/V	4.998	4.998	4.998	4.926	3.276	2.178	1.510	1.275	0.574	0.441	0.246	0.174	0.126	0.083	0.059	0.015	0.015
下行	磁体位置/cm	12.5	11.5	10.5	9.5	8.5	7.5	6.5	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
	电压值/V	0.015	0.015	0.061	0.100	0.144	0.190	0.343	0.493	0.609	0.949	1.362	2.095	3.708	4.729	4.998	4.998	4.998

$$y = 1.6941\mathrm{e}^{-0.3325t} \tag{4}$$

其中，t 表示时间，y 表示振幅。

可见，测量所得波形的周期为 1.17 s，振幅呈指数规律衰减，符合阻尼振动的规律[7] [8]。因此，该测量系统能够实现振源的振动测量。

4. 结论

本文提出了一种基于磁场检测的振动机械式测量新方法，将磁体固连于振源，振源带动磁体振动使周围空间磁场发生变化，通过磁敏电阻测量周围磁场的变化反映振源的振动情况。设计了信号处理单元电路，搭建了基于磁场检测的振动测试平台，分别对测量系统的基本特性和振源的振动进行了测量。测试结果表明：测量系统能够对振源振动进行测量，从而验证了本文提出的振动测量方法的可行性；测量系统测量范围为 2 cm~11 cm，其输出电压与位置成非线性关系；所设计测量系统能够对振幅 4.5 cm 范围内的振动进行测量。下一步工作将改进测量装置，通过安装配备不同的磁体来改变待测磁场的强度和梯度，从而适应不同的振幅测量范围和测量精度要求。

参考文献 (References)

[1] 王海华, 周汉义, 王程. 飞机发动机振动测量仪的研制[J]. 工业控制计算机, 2009, 22(2): 78-79.

[2] 刘彬, 蒋金水, 宋文健. 激光测量回转机械振动的新方法[J]. 计量学报, 2008, 29(2): 145-148.

[3] 梁志国, 李新良, 孟晓风. 激光测振仪独立线性度的测量不确定度[J]. 计量学报, 2008, 29(3): 242-247.

[4] 陈隽. 便携式振动检测仪的设计[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2013.

[5] 裴轶, 虞南方, 刘奇, 等. 各向异性磁阻传感器的原理及其应用[J]. 仪表技术与传感器, 2004(8): 26.

[6] 陈东生, 陈发堂, 熊慧萍, 等. 数码相机在研究阻尼振动中的应用[J]. 大学物理, 2006, 25(9): 43-45.

[7] 胡继云, 荆海伟, 李辉. 惯性往复振动机械自由振动阻尼的试验研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2011, 32(3): 78.

[8] 姜付锦. 一种阻尼振动规律的研究[J]. 物理通报, 2012(9): 103-105.

Hans 汉斯

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：app@hanspub.org