

Using Feedback Random Framework to Improve
the Hore Sensor Displacement Measurement Range *

ZHAN Qur-feng, LI Ling-jie, YE Li-fu, CHEN Wen-xiang *

(Department of Mechanism and Electron, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

Abstract : Hore unit can be used to microdisplacement measurement. But it is necessary to design a complex magnetic route to ensure the even grad magnetic field within measuring field. Usually it can only measure about 1 mm displacement, which deeply restrict its application. In this paper a feedback random framework is used to drive Hore sensor to track the displacement of the measured object. This framework greatly enlarges the measure range and it can also work in non-even grade magnetic field.

Key words : Hore unit; random framework; displacement measurement; magnetic grads; ZCY-I instrument
EEACC :7230;7320E

通过反馈随动机构改善霍尔传感器位移测量范围 *

詹群峰, 李灵杰, 叶利福, 陈文芗 *

(厦门大学电子学研究室, 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘 要 : 霍尔器件可用于微位移测量, 但实用时要设计复杂的磁路以保证在测量范围内为均匀梯度磁场。通常只能测 1 mm 左右的位移, 这限制了其应用范围。采用反馈随动机构带动霍尔传感器跟踪被测体的位移, 从而大大扩大了位移的测量范围, 且不需要在测量中保持均匀梯度磁场。

关键词 : 霍尔元件; 随动机构; 位移测量; 磁场梯度; ZCY-I 实验仪

中图分类号 : TP212.1

文献标识码 : A

文章编号 : 1004-1699(2009)05-0764-03

霍尔(Hore)式位移传感器保持霍尔元件的激励电流不变, 并使其在一个梯度均匀的磁场中移动, 则其输出可反映出移动的情况。霍尔元件的输出与磁感应强度有线性关系^[1]:

$$V_H = S_H \times B \times I \quad (1)$$

式中, V_H 为霍尔元件的输出电压, S_H 为霍尔器件的乘积灵敏度, B 为磁感应强度, I 为流过霍尔元件的控制电流。当磁场为均匀梯度磁场且控制电流 I 恒定, 输出 V_H 就正比于霍尔元件与产生磁场的磁钢之间的位移^[2]:

$$\frac{dV_H}{dx} = K_H \frac{dB}{dx} = K \quad (2)$$

对上式积分可得:

$$V_H = Kx \quad (3)$$

因此可知, 霍尔电动势与位移量 x 呈线性关系, 可以用来测量位移。它具有惯性小, 响应快, 非接触等特点, 很适应做现场动态测试。然而, 能保持均匀梯度磁场的范围不大, 霍尔元件只能小范围(通

常仅约 1 mm) 的测量位移。且要保持在测量区域内有均匀梯度的磁场, 其磁场设计复杂^[3]。这在很大程度上限制了霍尔元件测量位移的应用。若能在简单磁场的条件下利用霍尔元件测量位移, 增加测量范围; 它惯性小、非接触的优点将使它在各种位移与振动的测量中发挥作用, 成为一种性能优良的位移传感器。采用反馈随动机构可解决这个困难。

1 测量原理

图 1 为霍尔元件与反馈随动机构配合测量位移的基本原理^[4,5]。以 80C51 单片机为核心组成随动控制电路。输入通道由调零放大级与 A/D 转换器组成。输出通道由 D/A 转换器与电压-电流转换器 V-A 组成。其中输入通道中的前置放大级采用贴片的 4558 运算放大器与霍尔元件一起组成霍尔传感器探头装在随动机构的支架上, 可随随动机构的移动而移动。

系统测量原理为: 静止时, 把霍尔元件置于位置

基金项目: 福建省科技项目资助(2007 H0036)

收稿日期: 2009-01-15 修改日期: 2009-03-13

2,此时霍尔元件的输出为零。调整调零放大器使其输出为零。CPU 在无输入的情况下亦无控制 I_0 的信号输出, $I_0 = 0$, 机构处于自由平衡状态。当磁钢移动 X 时,与霍尔元件之间有相对位移,霍尔元件产生输出 V_H ,该输出经放大器放大、A/D 转换并送 CPU 处理。根据处理结果,CPU 送出推动随动机构运动的驱动电压数据,经 D/A 转换后得驱动电压 U_0 ,经 V-A 转换后得驱动电流 I_0 , I_0 推动随动机构运动,带动霍尔传感器探头跟随磁钢的移动而移动 X ,直到霍尔元件与磁钢的相对位置又回到位置 2,使其输出重新为零。显然,此时霍尔元件的移动量 X 就等于磁钢移动量 X 。电流 I_0 就可代表磁钢的位移量。同时,V-A 转换过程是线性的,即 U_0 可代表电流 I_0 ,即 U_0 可代表磁钢的位移量。由于这种测量方法不是直接把霍尔元件的输出 V_H 作为测量结果。因此就避开使用式(1),这就意味着在测量过程中并不需要保证在测量区域内保持均匀梯度的磁场。从图中可看到,只要随动机构能及时带动霍尔元件回到平衡点,测量的精度就可保证。随动机构的动态范围实际上就是测量范围。

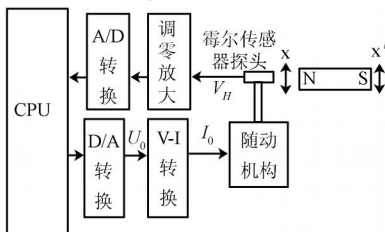


图 1 反馈随动机构测量原理图

图 2 表明了霍尔元件与磁钢之间相对位置变化时,霍尔元件的输出曲线^[6]。图中表明,霍尔元件与磁钢的相对位置由 1 点移动到 3 点时,输出电压 V_H 由最小值过度到最大值,其中在 2 点经过零点。

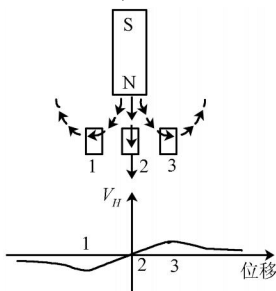


图 2 霍尔元件输出特性

随动结构实际上是一种动圈型的位移结构,亦可称为力发生器,如图 3 所示。它主要由反馈线圈和永久磁铁组成。反馈线圈置于永久磁铁的磁场中并由四条弹簧固定住。霍尔元件则装在反馈线圈上面的支架上。当反馈线圈流过电流 I_0 时线圈就要产生电磁力 F_c 。 F_c 使得反馈线圈在磁场中运动,并带动霍尔元件相应的移动 X 。而在位移 X 的作用下

弹簧产生一个与 F_c 反向的平衡力 F_T 。该平衡力 F_T 阻止反馈线圈进一步的运动。因此,反馈线圈及霍尔元件就停留在由驱动电流 I_0 产生的电磁力 F_c 和由弹簧产生的平衡力 F_T 所确定的平衡点上。显然,驱动电流 I_0 越大,位移 X 就越大。

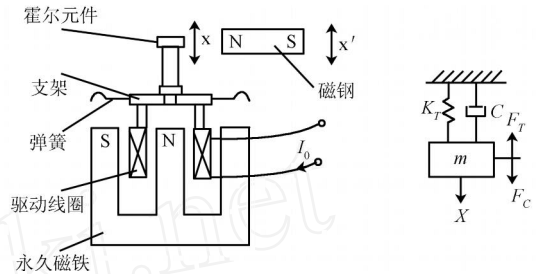


图 3 随动装置示意图

为了分析位移 X 与驱动电流 I_0 之间的关系,我们把反馈线圈、支架等活动部分看成一个刚体,系统的运动可用一个二阶微分方程描述^[7-8]:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + K_T x = F_c \tag{2}$$

m 为运动部分的质量; c 为等效阻尼系数; K_T 为弹簧的弹性系数;

令 $n = \sqrt{K_T/m}$ 、 $\zeta = c/\sqrt{mK_T}$;并代入 F_c 与 I_0 的关系:

$$F_c = n B D I_0 = K_c I_0 \tag{3}$$

式(2) 可改写为:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2 \zeta n \frac{dx}{dt} + n^2 x = \frac{K_c}{K_T} n^2 I_0 \tag{4}$$

n 为随动机构的固有频率、 ζ 为阻尼比。在 X 变化频率远小于固有频率 n 时,可忽略式(4) 中的微分项并将其改写为:

$$x = \frac{K_c}{K_T} I_0 \tag{5}$$

式(5) 表明驱动电流 I_0 与霍尔元件位移 X 之间呈线性关系。考虑 U_0 与 I_0 之间亦为线性关系:

$$I_0 = K_I U_0 \tag{6}$$

式中 K_I 为电压 - 电流转换器的传递函数,带入式(5),可得最终结果:

$$x = \frac{K_c K_I}{K_T} U_0 = K U_0 \tag{7}$$

从上面分析可知,系统增加了随动机构装置后,就不需要保证测量范围内磁场梯度的均匀,位移量可直接通过驱动电压线性地表示出来。在测量精度方面,当系统传递函数 K 越小时,测量的位移精度越高,通过式(7) 可知,增大弹性系数 K_T 或者减小随动机构中的均匀磁场强度 B 都可以提高系统的测量精度,但同时系统的测量范围将会减小。所以在实际应用中,应测量特性确定 K_T 和 B 的大小,选择适当的 K 值。

2 实验平台及结果

实验设备的安装如图4。主要实验设备包括ZCY-I综合传感器实验仪、Tektronix TDS220数字式示波器。将磁钢安装在ZCY-I综合传感器实验仪试验台应变梁末端,霍尔元件位移测量系统如图所示装在磁钢旁。

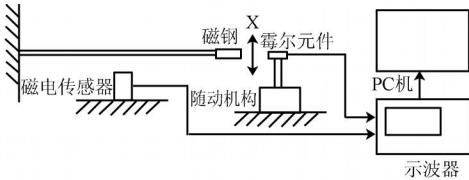


图4 实验设备安装示意图

实验分为二部分:

1、静态实验

利用传感器实验仪配置的千分尺的螺杆推动磁钢移动,磁钢的位移量 X 由千分尺的刻度读出。该位移由霍尔元件位移测量系统测出,其测量结果如表1:

表1 磁钢位移的测量结果

位移 X / mm	测量输出 U_0 / mV	位移 X / mm	测量输出 U_0 / mV
0.5	130	5.5	1460
1.0	260	6.0	1592
1.5	394	6.5	1710
2.0	525	7.0	1851
2.5	660	7.5	1980
3.0	789	8.0	2107
3.5	923	8.5	2241
4.0	1053	9.0	2374
4.5	1185	9.5	2502
5.0	1321	10	2639

图5是根据表1绘出磁钢位移与霍尔元件位移测量系统测量结果关系曲线。从图中可看到,采用反馈随动机构后,霍尔元件克服了线性不好的缺点,在较大的范围内线性的进行位移测量。

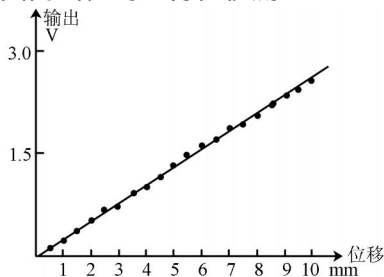


图5 磁钢位移与霍尔元件位移测量系统测量结果关系曲线

2、动态实验

当应变梁在激振器^[8]驱动下产生振动时,磁钢在 X 方向有一个简谐位移,位移幅值和频率由激振器确定。利用传感器实验仪配置的磁电传感器可测得磁钢的位移,其输出用作参比信号。应变梁的振动位移 X 可由磁电传感器和霍尔元件位移测量系

统分别测出并送示波器显示比较。

调整激振器使应变梁产生幅度 1 cm 频率 16 Hz 的简谐位移。磁电传感器和霍尔元件位移测量系统分别测出该位移,示波器显示的结果如图6:

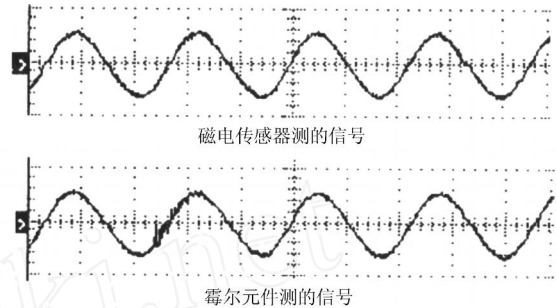
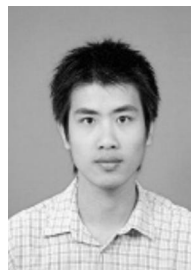


图6 磁钢简谐振动测量结果

从实验结果可看到,霍尔元件测量结果与参比信号很接近,能比较准确地反映应变梁以正弦规律变化的位移。这表明,霍尔元件采用随动结构伺服后,克服了只能线性测量 1 mm 左右的位移的局限,完全可以在简单的磁场条件下大范围地进行位移测量。

参考文献:

- [1] 赵继文. 传感器与应用电路设计[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 11-15.
- [2] 付家才. 传感器与检测技术原理及实践[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008: 139-142.
- [3] 黄延军, 沈跃, 魏淑贤. 大位移测量中均匀梯度磁场的构建[J]. 传感器技术, 2005, (02): 55.
- [4] 王桂霞, 李媛. 位置随动控制系统设计与实现[J]. 机电设备, 2007, (12): 29.
- [5] 张寿安. 霍尔效应在位置控制中的应用[J]. 长沙铁道学院学报, 2005, (02): 208.
- [6] 贺水燕, 叶凡. 磁场在微小位移量测量中的应用[J]. 湘潭师范学院学报, 2007, (04): 21-23.
- [7] 倪春生, 鲁统利, 张建武. 新型提高自校正位移传感器的建模及特性分析[J]. 传感技术学报, 2008, (09): 1541.
- [8] 黄长艺. 机械工程测试技术基础, 机械工业出版社, 1997: 151-154.



詹群峰(1984-),男,06级硕士生,现就读于厦门大学机电工程系精密仪器及机械专业。研究方向:电子类,嵌入式系统方向,zhanqf@139.com



陈文彦(1955-),男,现为厦门大学机电工程系博士生导师。研究方向:汽车电子,嵌入式系统方向,wxchen@163.com