

传感器用于微小位移测量的实验设计

杨博文

(衡水第一中学 河北 衡水 053000)

杨景发

(河北大学物理科学与技术学院 河北 保定 071002)

(收稿日期:2016-11-11)

摘要:许多物理量诸如加速度、压力、应变、振动等都可以通过测量微小位移来间接测量. 讨论了利用霍尔、电感式、电容式传感器实现对微小位移测量的实验原理、实验方法及实验数据的分析讨论.

关键词:传感器 微位移 霍尔效应 差动变压器

1 引言

随着现代测量、控制和自动化技术的发展,传感器技术越来越受到人们的重视,它的应用范围也越来越广泛.许多物理量如加速度、压力、应变、振动等都可以通过测量微小位移来间接测量.特别是在微型计算机广为普及的今天,数据的采集、处理和自动控制都采用计算机来实现,需要根据测量对象的不同选择相应的传感器,提供可靠准确的信息,完成非电量的电测量.本文分别讨论了利用霍尔、差动变压器、电容传感器实现对微小位移测量的实验原理、实验方法步骤,并对实验结果进行了分析讨论.该系列实验的设计必将在实验教学和科学研究工作中发挥其应有的价值.

2 霍尔器件测量微位移

2.1 实验原理

霍尔器件是基于霍尔效应工作的.所谓霍尔效应是指:若在样品的 x 方向通以电流 I_x ,同时在 z 方向加上磁场 B_z ,则会在 y 方向获得一个电场 E_y ,对应一个电压 U_y ,常以 U_H 表示,称为霍尔电压(见图1霍尔效应原理图).

若采用 N 型半导体作材料,理论推导可知

$$U_H = -\frac{I_x B_z}{ned} = R_H \frac{I_x B_z}{d} = K_H I_x B_z$$

其中 n 为单位体积内的电子数, e 为电子电荷量, d 为霍尔元件的厚度, R_H 为霍尔系数, K_H 为霍尔元件的灵敏度.

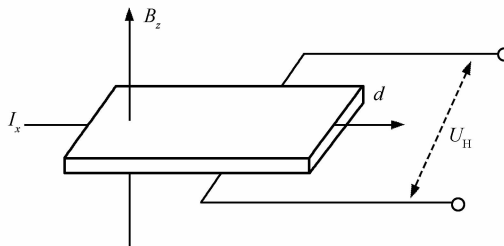


图1 霍尔效应原理图

在 I_x 一定的情况下,对于确定的样品, U_H 的大小和正负只与 B_z 的方向和大小有关,或说通过测量 U_H 可以确定 B_z 的大小和方向.

用极性相反、磁场强度相同的两个磁钢制作结构如图2所示的永磁体,其磁感线的方向如图.内置霍尔器件,若器件处于对称位置,则由于上下两部分 B 方向相反,产生的 U_H 极性相反,而大小相等,使输出的 $U_H = 0$.

若器件沿 x 方向有微小位移,霍尔器件偏离对称位置,输出 $U_H \neq 0$.理论推知 $U_H = Kx$ (K 称为霍尔位移传感器的输出灵敏度), U_H 大小正比于位移量,通过测量 U_H 可以确定微位移的方向和大小.

作者简介:杨博文(1999-),男,在读高中生.

指导教师:杨景发(1964-),男,高级实验师,主要从事实验技术、光伏新能源、设施农业等方面的研究.

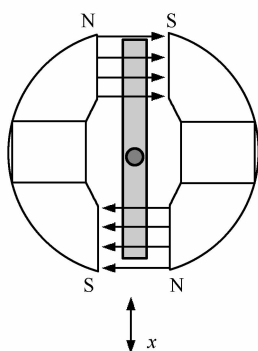


图2 霍尔式位移传感器结构示意图

2.2 实验方法

本实验是在 CSY 系列传感器系统实验仪上完成的,按图 3 连接电路. 本实验采取直流激励方式,给霍尔器件加电流 I_x 的电压是直流 $\pm 2\text{ V}$. 器件 x 方向的微小位移通过螺动千分尺的方式来完成. 输出 U_H 可以通过指针式电压表或数字电压表读出.

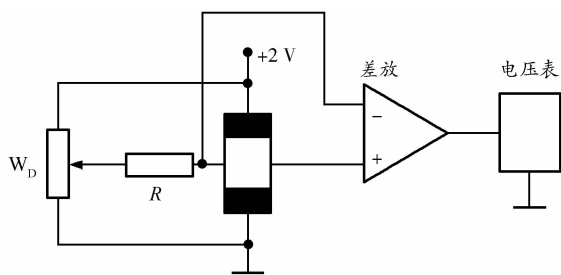


图3 霍尔器件测量电路图

装上测微头,调节振动圆盘上、下位置,使霍尔元件位于梯度磁场中间位置. 开启电源,调节测微头和电桥 W_D ,使差放输出为零. 上下移动振动台,使差放正负电压输出对称. 上、下移动测微头各 6.0 mm ,每变化 0.5 mm 读取相应的电压值,并记入表 1.

表 1 霍尔器件测量微位移的实验数据

位移 x/mm	电压 $/\text{V}$	位移 x/mm	电压 $/\text{V}$
-6.0	-0.94	-2.0	-0.56
-5.5	-0.92	-1.5	-0.44
-5.0	-0.91	-1.0	-0.29
-4.5	-0.88	-0.5	-0.16
-4.0	-0.85	0	0
-3.5	-0.79	0.5	0.19
-3.0	-0.73	1.0	0.34
-2.5	-0.65	1.5	0.5

续表

位移 x/mm	电压 $/\text{V}$	位移 x/mm	电压 $/\text{V}$
2.0	0.67	4.5	1.24
2.5	0.81	5.0	1.3
3.0	0.95	5.5	1.35
3.5	1.07	6.0	1.38
4.0	1.16		

2.3 数据处理与讨论

由表 1 数据作出 U_H-x 曲线如图 4 所示,该曲线呈现出一定的线性范围,与理论 $U_H \propto x$ 相符.

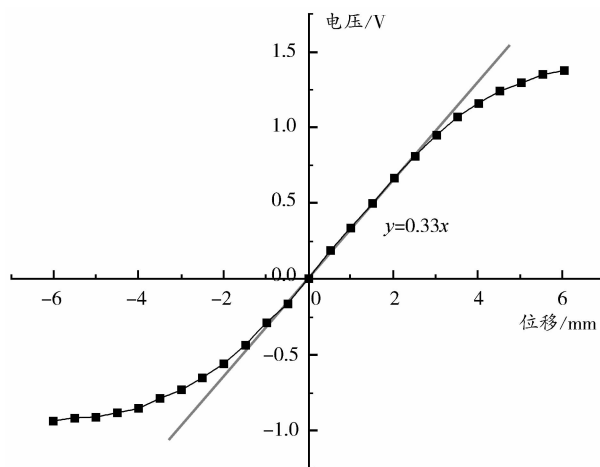


图4 霍尔传感器电压-位移关系曲线

本实验测出的实际上是磁场的分布情况,它的线性越好,位移测量的线性度也越好,它们的变化越陡,位移测量的灵敏度也越大.

若霍尔器件在均匀的磁场中转动,则产生与转角 θ 的正弦函数成比例的霍尔电压,因此可用来测量角位移.

3 电感式(差动变压器)传感器测量微小位移

3.1 实验原理

差动变压器属电感式传感器,由衔铁、初级线圈、次级线圈和线圈骨架等组成. 初级线圈作为差动变压器激励用,相当于变压器的原边,次级线圈有两个结构尺寸和参数相同的线圈反接串联而成,相当于变压器的副边,有两段和三段之分,本实验采用的是三段式差动变压器. 如图 5 所示,其中中段输入交变信号. 其他两段输出相应的交变信号,两次级线圈反接;线圈中心置铁芯,当铁芯位于对称位置时,由于初级线圈与两次级线圈间互感相等,使两次

级输出电信号大小也相等,而两次级反接,故总输出为零.

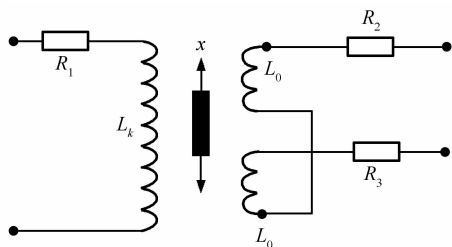


图5 三段式差动变压器原理图

若铁芯沿 x 方向发生微小位移,则初级与两次级间互感不等,输出信号大小也不再相等.反接后总

输出不再为零,使总输出与位移成正比,通过测量输出量的大小和极性,即可确定铁芯沿 x 方向位移的大小和方向.

3.2 实验方法

本实验是在 CSY 系列传感器系统实验仪上完成的,按图 6 连接好电路.音频振荡器的作用是产生激励电压(L_v 端输出 5 kHz, V_{p-p} 值 2 V),相敏、移相器组成相敏检波电路,实现对铁芯移动方向的鉴别.低通滤波器滤去高次谐波,输出由数字电压表读出,铁芯位移通过螺动千分尺完成.

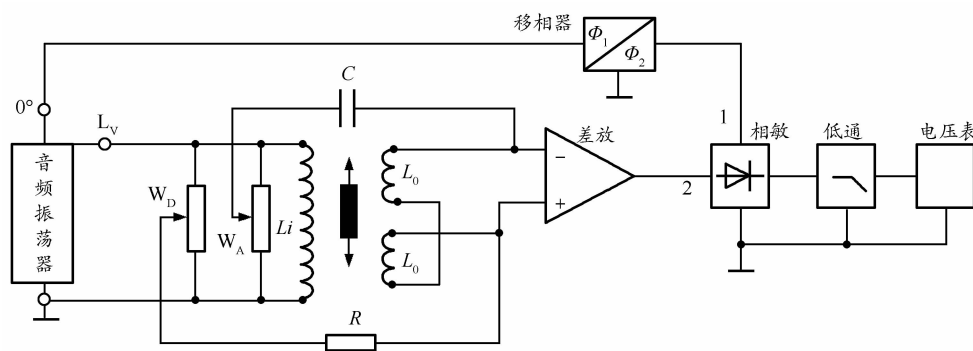


图6 电感式传感器测量电路图

调整电路,使 0.5 mm 位移对应 100 mV 左右输出,每 0.05 mm 测一点,共测 21 点,实验数据如表 2 所示.

表 2 差动变压器测量微位移的实验数据

位移 x/mm	电压 /V	位移 x/mm	电压 /V
-0.15	-0.0745	0.015	0.0065
-0.135	-0.0675	0.03	0.0155
-0.12	-0.0595	0.045	0.0245
-0.105	-0.0515	0.06	0.032
-0.09	-0.044	0.075	0.0395
-0.075	-0.037	0.09	0.0485
-0.06	-0.029	0.105	0.0565
-0.045	-0.022	0.12	0.064
-0.03	-0.0145	0.135	0.0715
-0.015	-0.0065	0.15	0.08
0	0		

3.3 数据处理与讨论

由表 2 数据作出位移与输出电压对应的曲线如图 7 所示,该曲线类似霍尔器件.

本实验的误差主要来自于零点残余电压(铁芯置于中间位置时,存在的微小输出电压),可通过在设计和工艺上保证结构的对称性;选用合适的测量

电路以及采用适当的补偿电路来削弱.

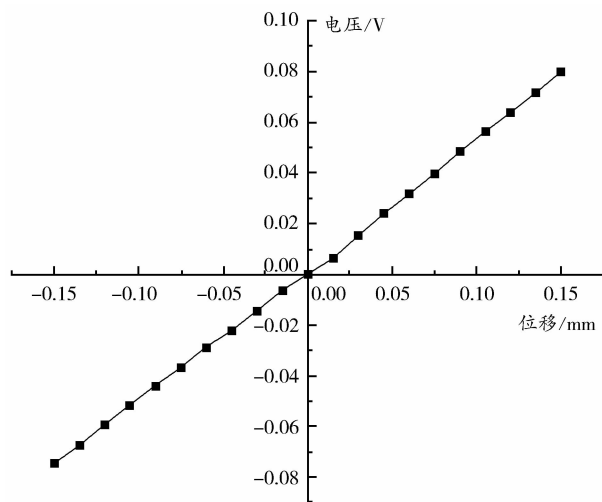


图7 差动变压器电压-位移关系曲线

本传感器测量微小位移具有分辨率高,线性度好,测量范围宽(几十微米到数百毫米)的特点.

4 电容式传感器测位移

4.1 实验原理

利用平板电容器原理

$$C = \frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$$

式中, S 为极板面积, d 为极板间距离, ϵ_0 真空介电常数, ϵ_r 介质相对介电常数. 由此可以看出当被测物理量使 S, d 或 ϵ_r 发生变化时, 电容量 C 随之发生改变, 如果保持其中两个参数不变而仅改变另一参数, 就可以将该参数的变化单值地转换为电容量的变化. 因此, 电容式传感器可分为变面积型、变间距型和变介质型 3 种类型.

本实验设计中采用的是差动变面积型电容传感器(线位移型), 其工作原理如图 8 所示. 传感器由两组定片 1, 2 和一组动片 3 构成, 当安装在振动台上的动片上下改变位置时, 与两组定片间的重叠面积发生变化, 极间电容亦发生相应变化, 此称为差动电容. 如将上层定片与动片形成的电容定为 C_{x1} , 下层定片与动片形成的电容定为 C_{x2} , 当将 C_{x1} 和 C_{x2} 接入桥路作为相邻两臂时, 桥路的输出电压与电容量变化有关, 即与振动台的位移有关.

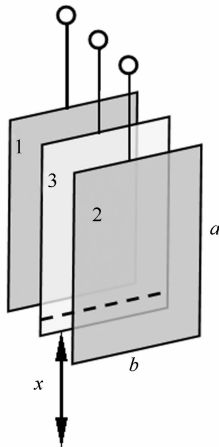


图 8 变面积型电容传感器原理图

4.2 实验方法

本实验设计是在 CSY 系列传感器系统实验仪上完成的, 按图 9 连接好电路. 电容变换器和差动放大器的增益适中; V/F 表打 2 V 挡; 装上测微头, 带动振动台位移, 使电容动片位于两静片中, 此时差动

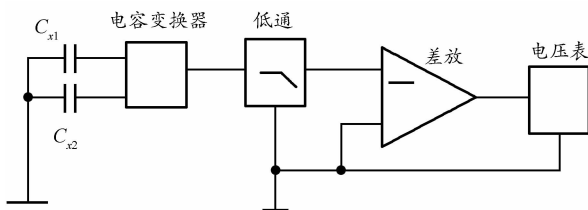


图 9 电容式传感器测量电路图

放大器输出应为零. 以此为起点, 向上和向下移动动片, 每次 0.5 mm, 直至动片与一组静片全部重合为止. 并记入表 3. 退回测微仪至初始位置, 并开始反向旋转, 同上, 并将数据记录到表 3.

表 3 电容传感器测量微位移的实验数据

位移 x/mm	电压 /V	位移 x/mm	电压 /V
-6.0	-4.2	0	0
-5.5	-3.9	0.5	0.39
-5.0	-3.5	1.0	0.82
-4.5	-3.2	1.5	1.3
-4.0	-2.9	2.0	1.7
-3.5	-2.5	2.5	2.1
-3.0	-2.1	3.0	2.5
-2.5	-1.8	3.5	2.8
-2.0	-1.4	4.0	3.2
-1.5	-1.1	4.5	3.5
-1.0	-0.77	5.0	3.8
-0.5	-0.39	5.5	4.1

4.3 数据处理与讨论

由表 3 数据作出位移与输出电压对应的曲线如图 10 所示.

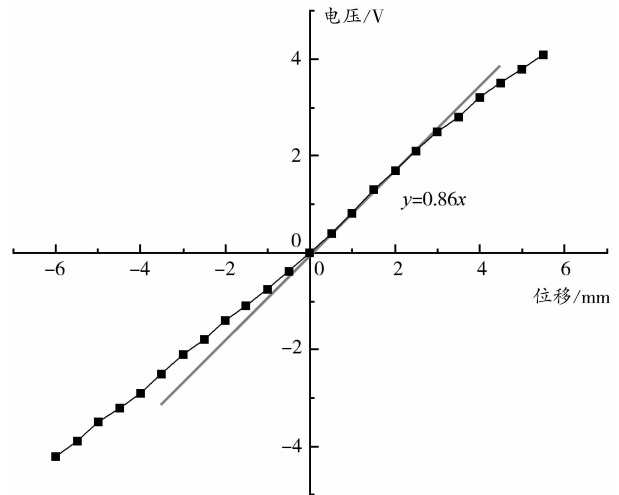


图 10 电容传感器电压-位移关系曲线

由上述可知, 面积变化型电容传感器的优点是输出与输入成线性关系, 灵敏度高, 适用于较大角位移及直线位移的测量.

5 结束语

选择适当的传感器, 配以不同的测量电路, 就可以实现对微小位移的电测量, 除以上介绍的几种测量方法外, 在实验中还设计了用电涡流式、光纤位移

(下转第 99 页)

压表内阻的真实值 R_V 相比, $R_V' \underline{\hspace{1cm}} R_V$ (填“>”、“=”或“<”), 主要理由是 .

解析: 该题是电压表内阻的半偏法测量. (1)、(2)、(3) 解题思路及答案与电压表半偏误差分析相同, 这里不再赘述. 下面主要分析该实验测量原理上的科学精神.

由电压表实验误差分析知道, 在半偏法原理测量电压表内阻时, 要求支路电压表及电阻箱阻值满足定量关系 $R_0 \geq 5.25R_1$ 及 $R_V \geq 5R_1$.

而实际情况, 电阻箱内阻 $R_0 = 99\ 999.9\ \Omega$, 滑动变阻器阻值 $R_1 = 100\ \Omega$, 大小关系有

$$R_0 = 999.999R_1 \gg 5.25R_1$$

而电压表的阻值 $R_V \approx 3\ 000\ \Omega$, 亦有

$$R_V \approx 30R_1 > 5R_1$$

所以实验是可以满足电阻定量条件的.

其次, 分析利用该半偏法实验测量的相对误差大小, 由上述式(11)得

$$\delta \leq \frac{R_1}{4R_0 - R_1} \times 100\% \approx 0.000\ 25\% \ll 5\%$$

或者由前面电压表半偏法相对误差变形式亦得

$$\delta \leq \frac{R_1}{4R_g} \times 100\% = 0.83\% < 5\%$$

可见, 该实验方案是比较符合半偏法实验科学精神的, 其测量结果较为准确.

参 考 文 献

- 1 张锦科. 半偏法实验误差分析与原理改进. 河北理科教学研究, 2010(5):41
- 2 沈莉萍, 杨建宋. “半偏法”测内阻的误差分析和实验选择. 杭州师范学院学报(自然科学版), 2005(7)
- 3 陈建伟. 浅谈半偏法测内阻实验中的系统误差的定量分析. 中学物理, 2011(4)

(上接第 96 页)

式、光栅传感器、磁栅实现对微小位移电测量的实验原理和实验方法. 同时还设计了用同心径向光栅测角位移的实验, 本系列实验设计原理、方法可行, 测量数据准确可靠, 已成功地开设了专业实验, 在实验教学和科学研究工作中发挥了其应有的价值.

致谢, 本论文实验内容得到河北大学物理实验教学中心鼎力帮助, 在此表示衷心感谢.

参 考 文 献

- 1 刘迎春. 传感器原理设计与应用. 长沙: 国防科技大学出

版社, 2002

- 2 王化祥. 传感器原理及应用. 天津: 天津大学出版社, 2004
- 3 郭振芹. 非电量电测量. 北京: 国防出版社, 1986
- 4 CSY 系列传感器系统实验仪实验指导书. 浙江: 浙江大学仪器系, 1999
- 5 郁有文, 常健, 程继红. 传感器原理及工程应用(第 3 版). 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008. 7
- 6 江月松, 阎平, 刘振玉. 光电技术与实验. 北京: 北京理工大学出版社, 2007

The Experimental Design on Sensor Used in Measuring Microdisplacement

Yang Bowen

(Hengshui No. 1 Middle School, Hengshui, Hebei 053000)

Yang Jingfa

(College of Physics Science and Technology, Hebei University, Baoding, Hebei 071002)

Abstract: Many physical quantities such as acceleration, pressure, strain, vibration and so on all may survey indirectly by surveying the microdisplacement. This article discussed using the sensor of Hall, the sensor of inductance, the sensor of electric capacity to realize the experimental principle, the experimental technique and the empirical data's analysis and discussion which surveys the microdisplacement.

Key words: sensor; microdisplacement; Hall's effect; differential motion transformer