

实验二 传感器系列实验

传感器是能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。其中，敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分；转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分。传感器是获取信息的重要手段。

传感器按其变换原理和工作机理可分为物理传感器、化学传感器和生物传感器。物理传感器是利用某些变换元件的物理性质以及某些功能材料的特殊物理性能制成的传感器。如利用金属或半导体材料在被测量作用下引起的电阻值变化的电阻式传感器；利用磁阻随被测量变化的电感和差动变压器式传感器；利用压电晶体在被测力作用下产生的压电效应而制成的压电式传感器；利用半导体材料的压阻效应、光电效应、霍尔效应制成的压敏、光敏和磁敏传感器。

本系列实验将分别研究光纤位移传感器、电容式传感器、霍尔式传感器和电涡流传感器的特性。

1. 光纤位移传感器

【实验目的】

1. 了解光纤位移传感器的工作原理；
2. 掌握光纤位移传感器测量位移的方法；
3. 掌握光纤位移传感器测量转速的方法。

【实验原理】

光纤传感器是伴随着光纤及光通信技术的发展而逐步形成的。光纤传感器一般可分全光纤传感器和传光型光纤传感器两大类。全光纤传感器是利用光纤本身的特性把光纤作为敏感元件，被测量对光纤内传输的光进行调制，使传输光的强度、相位、频率或偏振态等特性发生变化，再通过对被调制过的信号解调，从而得出被测信号。传光型光纤传感器是利用其它敏感元件感受被测量的变化，光纤仅作为光波的传输介质，常用来传输来自远处或难以接近场所的光信号。光纤传感器可以探测的参量很多，按被测对象不同可分为位移、

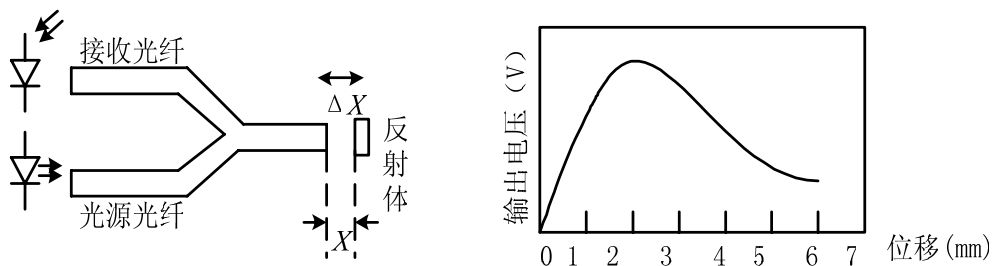


图1 反射式光纤位移传感器原理图及输出电压特性曲线

压力、温度、速度、流量、振动、转动、加速度、弯曲、应变、磁场、电压、电流、以及生物医学量和化学量等。

反射式光纤位移传感器的工作原理如图1所示，光纤采用Y型结构，两束光纤一端合并组成光纤探头，另一端分为两束，分别作为接收光纤和光源光纤。光纤只起着传输信息的作用。当光发射器发射的红外光，经光源光纤照射至反射体，被反射的光经接收光纤传至光电转换元件，由光电转换元件将信号转化为电信号输出。经接收光纤传至光电转换元件的光强决定于反射体距光纤探头的位置，通过对反射光强的检测可得到位移量。

【实验内容】

1. 熟悉仪器的配置、功能、使用方法和操作注意事项等，详细阅读仪器说明书和有关资料。

2. 静态测量

(1) 在工作台右边的固定支架上装上光纤传感器的光纤探头，使探头对准镀铬反射片中心，光纤传感器的另一端四芯插头与处理电路光电变换器中输入插座对准后插紧。光纤传感器中间的连接块要水平放置，以免损坏。

(2) 在工作台右边的振动台两旁固定支架上装上T型测微头，使测微头端面与振动台中磁钢端面接触良好。

(3) 开启电源及±15 V直流稳压电源，光电变换器输出 V_o 接数字电压表。旋动测微头带动振动平台，使光纤探头端面紧贴反射镜面，此时 V_o 输出为最小。

(4) 旋动测微头使反射镜面离开探头，测量电压和位移量，并作 $V-X$ 关系曲线。

3. 动态测量—振动实验

(1) 将测微头移开，振动台处于自由状态，根据 $V-X$ 曲线选取线性较好的区域装好光纤探头。

(2) 如图2所示，将低频振荡器输出接“激振I”（激振I为带有振动圆盘的悬臂梁），调节激振频率和幅度，使振动台保持适当幅度的振动（以不碰到光纤探头为宜）。

(3) 用示波器观察 V_o 端电压波形，并用电压/频率表测出振动频率。

4. 转速测量

(1) 将光纤探头置于调制转盘的反射面上，调整探头高度，使探头端面与调制盘反光面相距1 mm左右，光纤探头对准调制盘边缘向内3 mm为宜。

(2) 光电变换器输出 V_o 端分别接电压/频率表和示波器。

(3) 开启电源和±15 V直流稳压电源开关，调节电机转速，用示波器观察输出波形并读出频率。

(4) 计算电机的转速。

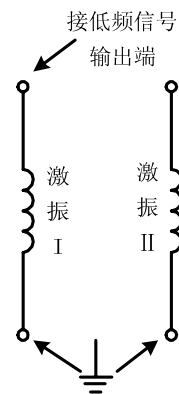


图2 振荡器与激振连接

【注意事项】

1. 实验时应保持反射面的洁净，并使光纤端面与反射面平行。光纤勿成锐角曲折。
2. 实验时应避免强光直接照射反射面，以免造成测量误差。光纤端面不宜长时间直照

强光，以免内部电路受损。

3. 光电变换器工作时 V_o 最大输出电压以2 V左右为好，可通过调节增益电位器控制。

2. 电容式传感器

【实验目的】

1. 了解电容式传感器的工作原理；
2. 掌握电容式传感器测量位移的方法。

【实验原理】

电容式传感器是将被测非电量的变化转换为电容量变化的一种传感器。它结构简单、体积小、分辨率高，可非接触式测量，并能高温、辐射和强振动等恶劣条件下工作，广泛应用于压力、压差、液位、振动、位移、加速度、成分含量等多方面测量。电容式传感器可分为变面积型、变极距型和变介质型三种类型。

本实验中使用的差动变面积型电容传感器工作原理如图3所示。传感器由两组定片和一组动片构成，当安装在振动台上的动片上下改变位置，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。

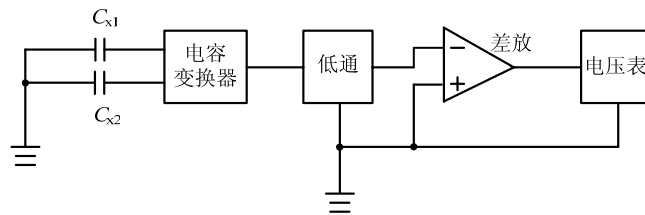


图3 电容式传感器原理图

【实验内容】

1. 按图3接线，电容变换器和差动放大器的增益调至适中。
2. 装上测微头，带动振动台位移，使电容动片位于两定片中间，此时差动放大器输出应为零。
3. 以此为起点，向上和向下位移动片，直至动片与一组静片全部重合为止。测量电压和位移量，并作 $V-x$ 关系曲线，计算该电容传感器的灵敏度 S ($S = \Delta V / \Delta x$)。
4. 低频振荡器输出接“激振I”端，移开测微头，适当调节频率和振幅，使差动放大器输出波形较大但不失真，用示波器观察波形并确定振动频率。

【注意事项】

1. 电容动片与两定片之间的片间距离须相等，必要时可稍做调整。位移和振动时均不可有擦片现象，否则会造成输出信号突变。
2. 如果差动放大器输出端用示波器观察到波形中有杂波，请将电容变换器增益进一步

减小。

3. 霍尔式传感器

【实验目的】

1. 理解霍尔式传感器的原理；
2. 学会用霍尔式传感器作静态位移测试。

【实验原理】

霍尔式传感器是基于霍尔效应的一种传感器，它广泛用于电磁测量、压力、加速度、振动等方面的测量。将霍尔元件（半导体材料）置于磁场中（图4），二端通一电流，当电流方向与磁场方向不一致时，电荷在运动过程中受磁力的影响积聚于二端，因而在平行于电流和磁场方向的两个端面间产生电动势，这一现象称为霍尔效应，该电势称为霍尔电势，此电势正比于磁场强度 B 。

本实验所用霍尔式传感器是由两个环形磁钢形成梯度磁场和位于梯度磁场中的霍尔元件组成（图5）。当霍尔元件通以恒定电流时，霍尔元件就有电势输出。霍尔元件在梯度磁场中上下移动时，输出的霍尔电势取决于其在磁场中的位移量，所以测得霍尔电势的大小便可获知霍尔元件的静位移。

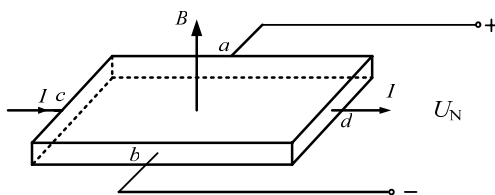


图4 霍尔元件的引线

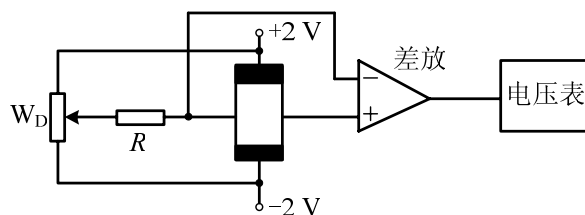


图5 霍尔式传感器接线图

【实验内容】

1. 按图5接线，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。
2. 开启电源，调节测微头和电桥直流平衡电位器 W_D ，使差动放大器输出为零。上下移动振动台，使差动放大器正负电压输出对称。
3. 上下移动测微头，测量电压和位移量，并作 $V-X$ 关系曲线，计算该霍尔式传感器的灵敏度 $S(S = \Delta V / \Delta x)$ 。

【注意事项】

直流激励电压须严格限定在 $\pm 2V$ ，绝对不能任意加大，以免损坏霍尔元件。

4. 电涡流传感器的特性研究

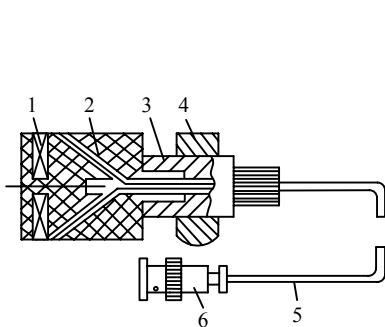
【实验目的】

1. 了解电涡流传感器的结构、工作原理和基本特性；
2. 掌握电涡流传感器的静态标定方法；
3. 了解不同被测材料对电涡流传感器特性的影响。

【实验原理】

1. 电涡流传感器的简单结构。

见图 6，它是由多股漆包铜线绕制的一个扁平线圈固定在框架上。线圈框架的材料是聚四氟乙烯，其损耗小，电性能好，热膨胀系数小。



1. 线圈
2. 框架
3. 框架衬套
4. 支座
5. 电缆
6. 插头

图 6 电涡流传感器结构

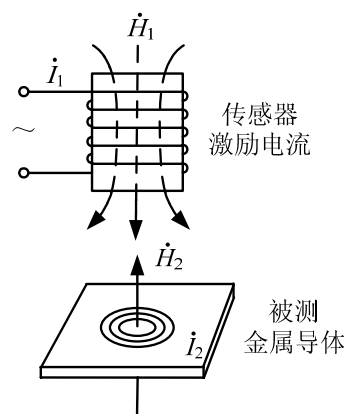


图 7 电涡流传感器原理图

2. 电涡流传感器的基本工作原理

见图 7 所示，根据法拉第电磁感应定律，当传感器线圈通以正弦交变电流 \dot{I}_1 时，线圈周围空间必然产生正弦交变磁场 \dot{H}_1 ，它使置于此磁场中的金属导体表面感应出电涡流， \dot{I}_2 又产生新的交变磁场 \dot{H}_2 ； \dot{H}_2 与 \dot{H}_1 方向相反，并力图削弱 \dot{H}_1 ，从而导致线圈的电感量和阻抗相应地发生变化。其变化程度取决于被测金属导体的电阻率 ρ ，磁导率 μ ，厚度 t ，线圈与金属导体的距离 x ，以及线圈激励电流的角频率 ω 等参数，若固定其中若干参数，就可

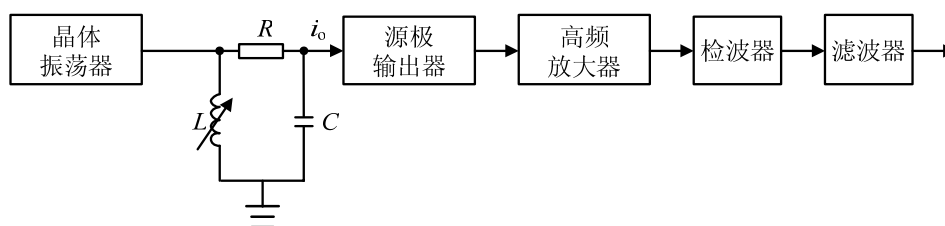


图 8 定频调幅电路框图

按电涡流大小测量其它参数。

2. 电涡流传感器涡流变换的基本原理。

如图 8 所示，传感器线圈与电容 C 并联组成谐振回路，谐振频率 $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ 。

测量时，当传感器线圈远离被测金属导体， LC 回路处于谐振状态，谐振频率为石英晶体振荡器的振荡频率，谐振回路上的输出电压也最大；当传感器线圈接近被测金属导体，线圈的等效电感发生变化，导致回路失谐而偏离谐振频率，使输出电压下降。输出的电压再经过放大、检波、滤波后由指示仪表（电压/频率表）读出，或输入示波器显示电压波形。这样就实现了将 $L-x$ 关系转换成 $V-x$ 关系，通过对输出电压的测量，可确定电涡流传感器线圈与被测金属导体之间的距离 x 。

【实验内容】

电涡流传感器的静态标定。

当电涡流式传感器的平面线圈中通以一定的高频交变电流后，与其平行的金属薄片表面产生电涡流，电涡流大小导致线圈的等效电感发生变化，在实验条件不变时，等效电感变化只与距离 x 有关，则输出电压是距离 x 的单值函数。

安装线圈和金属薄片，两者必须保持平行。安装好测微头，将线圈接入涡流变换器输入端，见图 9 所示，涡流变换器输出端接电压表 20 V 档。

开启仪器电源，用测微头将线圈与涡流片分开一定距离，此时输出端有一电压值输出。用示波器观察传感器的高频波形，信号频率约为 1 MHz。

用测微头带动振动平台使线圈完全贴紧金属片，此时涡流变换器输出电压为零。涡流变换器中的振荡电路停振。然后，旋动测微头，使线圈平面离开金属片，从电压表开始有读数起每位移 0.25 mm 记录一个读数，并用示波器观察变换器的高频振荡波形。记录 $V-x$ 数据，并作出 $V-x$ 曲线，找出线性范围，求出灵敏度 $S_n (\Delta V/\Delta x)$ 。

不同被测材料会使传感器的线性范围和灵敏度指标有明显不同，如材料的电阻率越小，涡流效应越明显，传感器的灵敏度越高。因此对本实验选用的铁、铜、铝三种不同的材料需分别进行静态标定，并进行比较。

【注意事项】

1. 当涡流变换器接入电涡流线圈处于工作状态时，接入示波器会影响线圈的阻抗，使涡流变换器的输出电压减小，或是使传感器在初始状态有一死区。

2. 在更换不同的被测材料的金属薄片时，应先移开传感器探头（线圈）。

【参考文献】

[1] 金象芷，王明时主编。现代传感技术。北京：电子工业出版社，1995

[2] 郁有文，常健编著。传感器原理及工程应用。西安：西安电子科技大学出版社，2000

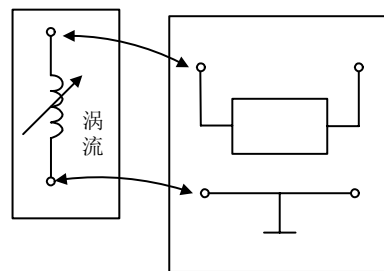


图 9 线圈接涡流变换器