

传感器与检测技术 实验报告



2021/11/8

实验一 金属箔式应变片——单臂电桥性能实验

一、实验目的:

了解金属箔式应变片的应变效应, 并掌握单臂电桥工作原理和性能。

二、基本原理:

电阻应变式传感器是在弹性元件上通过特定工艺粘贴电阻应变片来组成。一种利用电阻材料的应变效应将工程结构件的内部变形转换为电阻变化的传感器。此类传感器主要是通过一定的机械装置将被测量转化成弹性元件的变形, 然后由电阻应变片将弹性元件的变形转换成电阻的变化, 再通过测量电路将电阻的变化转换成电压或电流变化信号输出。它可用于能转化成变形的各种非电物理量的检测, 如力、压力、加速度、力矩、重量等, 在机械加工、计量、建筑测量等行业应用十分广泛。

1、应变片的电阻应变效应

所谓电阻应变效应是指具有规则外形的金属导体或半导体材料在外力作用下产生应变而其电阻值也会产生相应地改变, 这一物理现象称为“电阻应变效应”。以圆柱形导体为例: 设其长为: L 、半径为 r 、材料的电阻率为 ρ 时, 根据电阻的定义式得

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{\pi \cdot r^2} \quad (1-1)$$

当导体因某种原因产生应变时, 其长度 L 、截面积 A 和电阻率 ρ 的变化为 dL 、 dA 、 $d\rho$,

相应的电阻变化为 dR 。对式 (1—1) 全微分得电阻变化率 $\frac{dR}{R}$ 为:

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - 2 \frac{dr}{r} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1-2)$$

式中: $\frac{dL}{L}$ 为导体的轴向应变变量 ε_L ; $\frac{dr}{r}$ 为导体的横向应变变量 ε_r 。

由材料力学得:

$$\varepsilon_L = -\mu \varepsilon_r \quad (1-3)$$

式中: μ 为材料的泊松比, 大多数金属材料的泊松比为 $0.3 \sim 0.5$ 左右; 负号表示两者的变化方向相反。将式 (1—3) 代入式 (1—2) 得:

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu) \varepsilon + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1-4)$$

式（1—4）说明电阻应变效应主要取决于它的几何应变（几何效应）和本身特有的导电性能（压阻效应）。

2、应变灵敏度

它是指电阻应变片在单位应变作用下所产生的电阻的相对变化量。

(1)金属导体的应变灵敏度K：主要取决于其几何效应；可取

$$\frac{dR}{R} \approx (1 + 2\mu)\varepsilon_l \quad (1-5)$$

其灵敏度系数为：

$$K = \frac{dR}{\varepsilon_l R} = (1 + 2\mu)$$

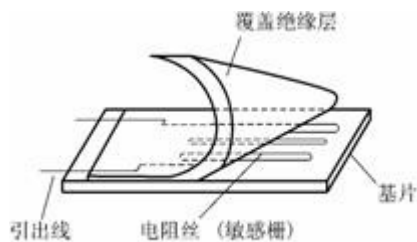
金属导体在受到应变作用时将产生电阻的变化，拉伸时电阻增大，压缩时电阻减小，且与其轴向应变成正比。金属导体的电阻应变灵敏度一般在2左右。

(2) 半导体的应变灵敏度：主要取决于其压阻效应： $\frac{dR}{R} \approx \frac{d\rho}{\rho}$ 。半导体材料之所以具有较大的电阻变化率，是因为它有远比金属导体显著得多的压阻效应。在半导体受力变形时会暂时改变晶体结构的对称性，因而改变了半导体的导电机理，使得它的电阻率发生变化，这种物理现象称之为半导体的压阻效应。不同材质的半导体材料在不同受力条件下产生的压阻效应不同，可以是正（使电阻增大）的或负（使电阻减小）的压阻效应。也就是说，同样是拉伸变形，不同材质的半导体将得到完全相反的电阻变化效果。

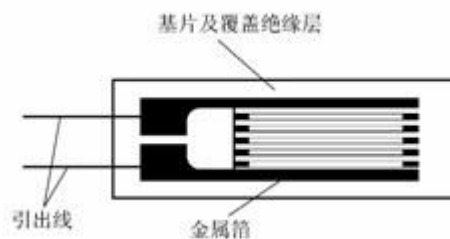
半导体材料的电阻应变效应主要体现为压阻效应，其灵敏度系数较大，一般在100到200左右。

3.箔式应变片的基本结构

金属箔式应变片是在用苯酚、环氧树脂等绝缘材料的基板上，粘贴直径为0.025mm 左右的金属丝或金属箔制成，如图 1—1 所示。



(a) 丝式应变片



(b) 箔式应变片

图 1-1 应变片结构图

金属箔式应变片就是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件，与丝式应变片工作原理相同。电阻丝在外力作用下发生机械变形时，其电阻值发生变化，这就是电阻应变效应，描述电阻应变效应的关系式为： $\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$ 式中： $\frac{\Delta R}{R}$ 为电阻丝电阻相对变化，K 为应变灵敏系数， $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$ 为电阻丝长度相对变化。

5、箔式应变片单臂电桥实验原理图

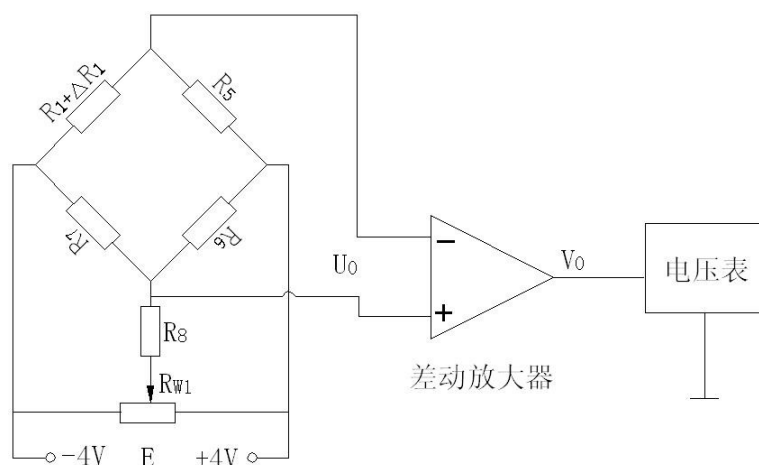


图 1-2 应变片单臂电桥性能实验原理图

对单臂电桥输出电压 $U_{01} = \frac{EK\varepsilon}{4U_0}$ 。

三、需用器件与单元：

应变式传感器实验模板、应变式传感器、砝码、数显表、 $\pm 15V$ 电源、 $\pm 4V$ 电源、万用表(自备)。

四、实验步骤：

1、根据图(1-3)应变式传感器已装于应变传感器模板上。传感器中各应变片已接入模板的左上方的 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 。加热丝也接于模板上，可用万用表进行测量判别， $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 350\Omega$ ，加热丝阻值为 50Ω 左右。

2、接入模板电源 $\pm 15V$ (从主控箱引入)，检查无误后，合上主控箱电源开关，将实验模板调节增益电位器 R_{w3} 顺时针调节大致到中间位置，再进行差动放大器调零，方法为将差放的正、负输入端与地短接，输出端与主控箱面板上数显表电压输入端 V_i 相连，调节实验模板上调零

电位器 R_{w4} ，使数显表显示为零 (数显表的切换开关打到 2V 档)。关闭主控箱电源。

3、将应变式传感器的其中一个应变片 R_1 (即模板左上方的 R_1)接入电桥作为一个桥臂与 R_5 、 R_6 、 R_7 接成直流电桥(R_5 、 R_6 、 R_7 模块内已连接好)，接好电桥调零电位器 R_{w1} ，接上桥路电源 $\pm 4V$ (从主控箱引入)如图 1-4 所示。检查接线无误后，合上主控箱电源开关。调节 R_{w1} ，使数显表显示为零。

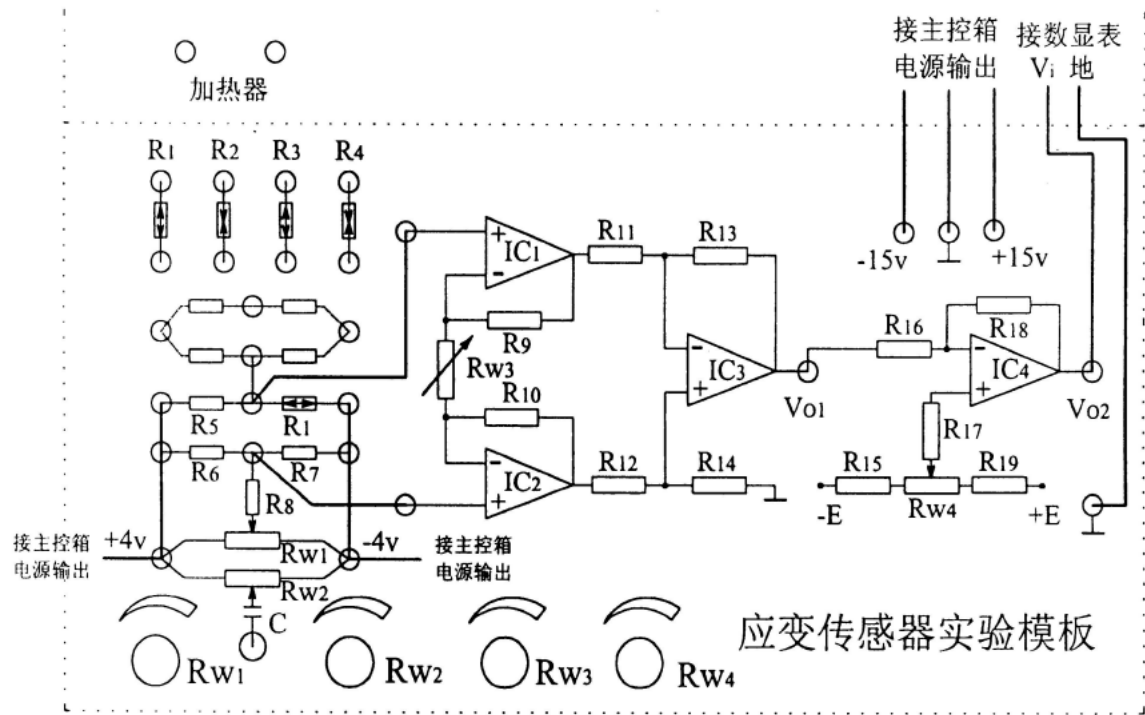


图 1-4 应变式传感器单臂电桥实验接线图

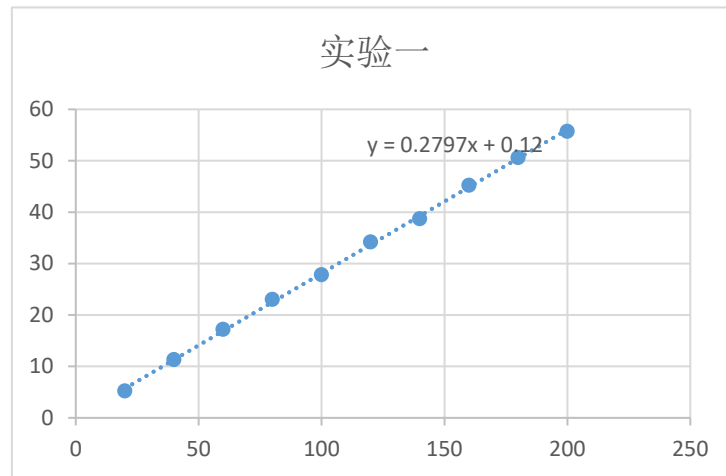
4、在电子称上放置一只砝码，读取数显表数值，依次增加砝码和读取相应的数显表值，直到 200g 砝码加完。记下实验结果填入表 1-1，关闭电源。

表 1-1

重量 (g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压(mv)	5.2	11.3	17.2	23.0	27.8	34.2	38.7	45.2	50.6	55.7
拟合直线	5.14	11.308	16.902	22.496	28.09	33.684	39.278	44.872	50.466	56.06
标准误差	0.06	0.008	0.098	0.504	0.209	0.316	0.578	0.128	0.134	0.36

4、根据表 1-1 计算系统灵敏度 S ， $S = \frac{\Delta u}{\Delta w}$ (Δu 输出电压变化量； Δw 重量变化量)计算线

性误差: $\delta_{f1} = \frac{\Delta m}{y} \cdot S \times 100\%$ 式中 Δm 为输出值(多次测量时为平均值)与拟合直线的最大偏差,
 $yF \cdot S$ 为 满量程输出平均值。



答: 通过excel画图可知 $S=0.2797$

$$\Delta f_1 = 0.504 / 50.5 \times 100\% = 0.998\%$$

五、思考题:

单臂电桥时, 作为桥臂电阻应变片应选用: (1)正(受拉)应变片 (2)负(受压)应变片 (3) 正、负应变片均可以。

答: 正、负应变片均可以。

实验二 金属箔式应变片——半桥性能实验

一、实验目的：

比较半桥与单臂电桥的不同性能，了解其特点。

二、基本原理：

不同受力方向的两片应变片接入电桥作为邻边，电桥输出灵敏度提高，非线性得到改善。

当两片应变片阻值和应变量相同时，其桥路输出电压 $U_{02} = \frac{EK}{\varepsilon_2}$ 。

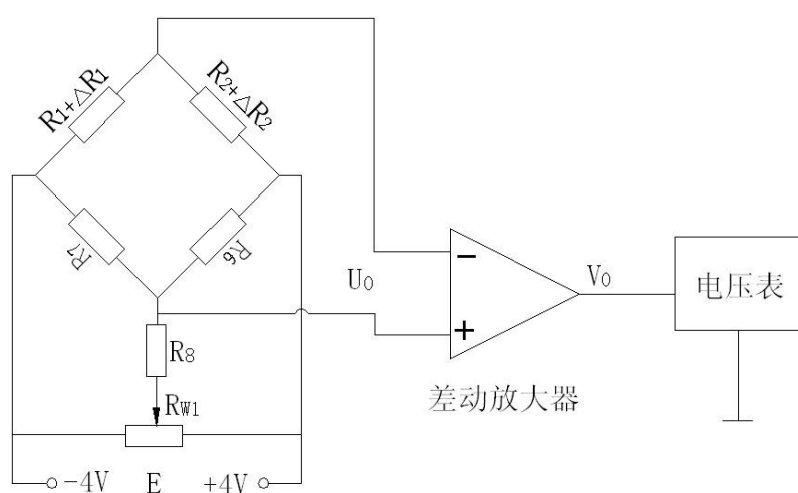


图 2-1 应变片半桥特性实验原理图

三、需用器件与单元：

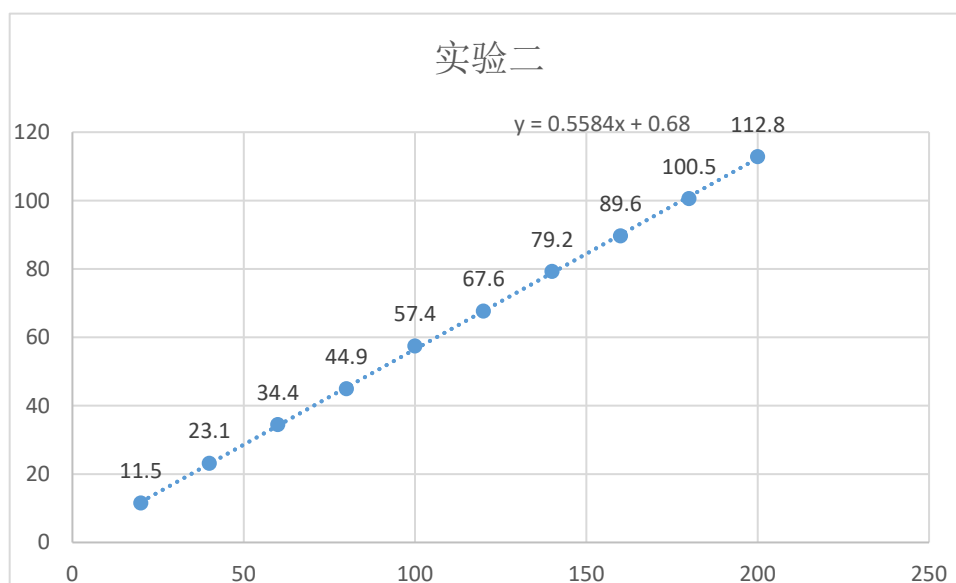
同实验一。

四、实验步骤：

1、传感器安装同实验一。做实验(一)2 的步骤，实验模板差动放大器调零。

2、将适当的两片应变片接入桥路。 R_1 、 R_2 为实验模板左上方的应变片，注意 R_2 和 R_1 受力状态相反，即将传感器中两片受力相反的电桥应变片作为电桥的相邻边。接入桥路电源 $\pm 4V$ ，调节电桥调零电位器 R_{w1} 进行桥路调零，实验步骤 3、4 同实验一中 4、5 的步骤，将实验数据记入表 2-1，计算灵敏度 $S = \frac{\Delta u}{\Delta w}$ ，非线性误差 δ_2 。若实验时无数值显示说明 R_2 与 R_1 为相同受力状态应变片，应更换另一个应变片。

重量 (g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压(mv)	11.5	23.1	34.4	44.9	57.4	67.6	79.2	89.6	100.5	112.8
拟合直线	11.848	23.016	34.184	45.352	56.32	67.688	78.856	90.024	101.19	112.36
标准误差	0.348	0.016	-0.216	0.452	-1.08.	0.088	-0.344	0.424	0.609	-0.44



答：通过excel画图可知 $S=0.5584$

$$\delta_2^{\%} = 1.08/101.3 \times 100\% = 1.07\%$$

1

、思考题：

1、半桥侧量时两片不同受力状态的电阻应变片接入电桥时，应放在： (1)对边 (2)邻边。

答：邻边

2、桥路(差动电桥)测量时存在非线性误差，是因为： (1)电桥测量原理上存在非线性 (2)应变片应变效应是非线性的 (3)调零值不是真正为零。

答：电桥测量原理上存在非线性。

实验三 金属箔式应变片——全桥性能实验

一、实验目的：

了解金属箔式应变片的应变效应，理解全桥测量电路优点。

二、基本原理：

全桥测量电路中，将受力性质相同的两应变片接入电桥对边，不同的接入邻边，当应变片初始阻值： $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ，其变化值 $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4$ 时，其桥路输出电压 $U_{03} = KE\varepsilon$ 。其输出灵敏度比半桥又提高了一倍，非线性误差和温度误差均得到改善。

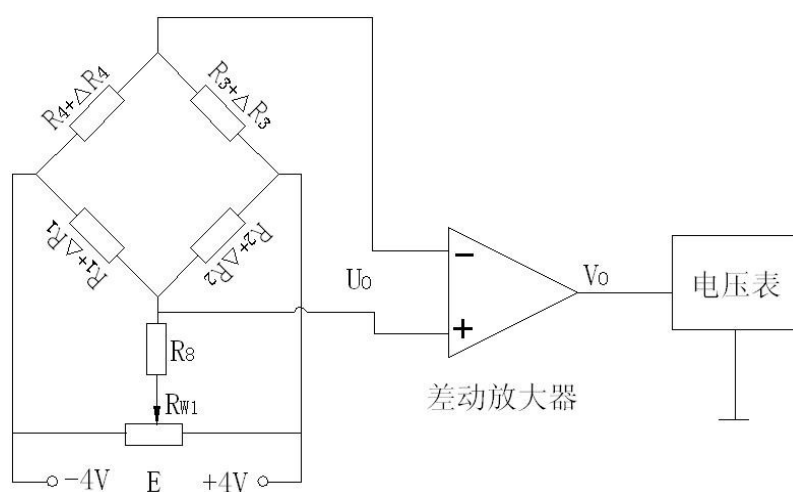


图 3-1 应变片全桥特性实验接线示意图

三、需用器件和单元：

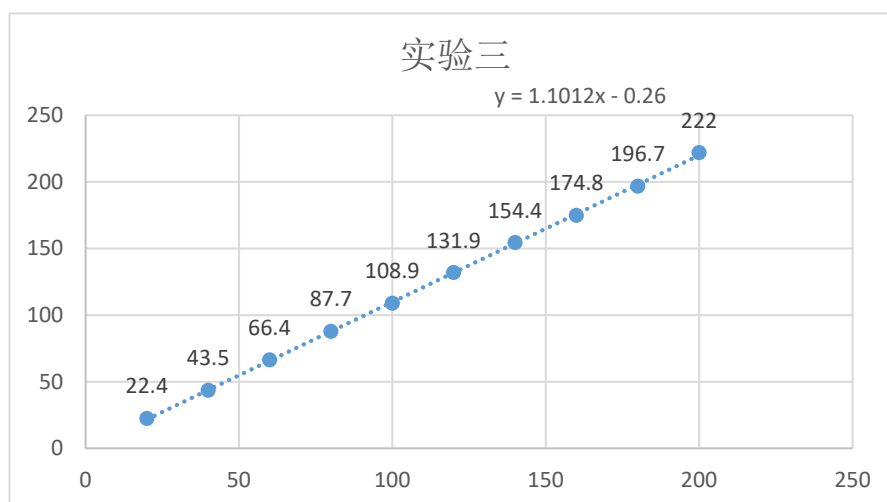
同实验一。

四、实验步骤：

1、传感器安装同实验一。

2、参考图 1-4 接线，将四片应变片按正确的方式接入桥路。将实验结果填入表 3-1；实验后进行灵敏度和非线性误差计算。

重量 (g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压(mv)	22.4	43.5	66.4	87.7	108.9	131.9	154.4	174.8	196.7	222.0
拟合直线	21.764	43.788	65.812	87.836	109.86	131.88	153.9	175.93	197.95	219.98
标准误差	-0.636	0.288	-0.582	0.136	0.96	-0.02	-0.5	1.13	1.25	-2.02



答：通过excel画图可知 $S=1.1012$

$$\Delta f_3 = 2.02 / 199.6 \times 100\% = 1.01\%$$

五、思考题：

1、全桥测量中，当两组对边(R_1 、 R_3 为对边)电阻值 R 相同时，即 $R_1 = R_3$ ， $R_2 = R_4$ ，而 $R_1 \neq R_2$ 时，是否可以组成全桥：(1)可以 (2)不可以。

可以。

2、某工程技术人员在进行材料拉力测试时在棒材上贴了两组应变片，如何利用这四片电阻应变片组成电桥，是否需要外加电阻。见图 3-2。

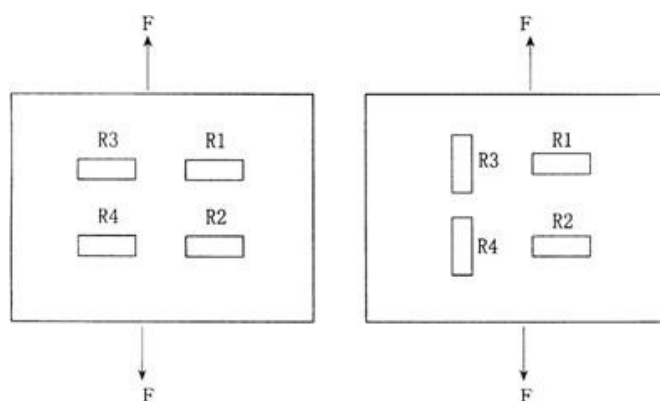


图 3-2 应变片传感器受拉时传感器圆周面展开图

将这两组应变片分别按照两个不同的方向贴在棒材上面就可以了，然后利用不同的两组测量值就可以组成一个全桥电路，进而获得测量结果，无需再引入外界电阻。

实验五 直流全桥的应用——电子秤实验

一、实验目的：

了解应变片直流全桥的应用电路的标定。

二、基本原理：

电子秤实验原理为实验三全桥测量原理，通过对电路调节使电路输出的电压值为重量对应值，电压量纲(V)改为重量量纲(g)即成为一台原始电子秤。

三、需用器件与单元：

应变式传感器实验模板、应变式传感器、砝码、 $\pm 15\text{V}$ 电源、 $\pm 4\text{V}$ 电源。

四、实验步骤：

1、按实验一中 2 的步骤将差动放大器调零：参考图 1-4 将四个应变片按正确的接法接成全桥形式，合上主控箱电源开关调节电桥平衡电位器 R_{w1} ，使数显表显示 0.000V 。

2、将 10 只砝码轻轻地全部置于传感器的托盘上，调节电位器 R_{w3} (增益即满量程调节)，使数显表显示为 0.200V (2V 档测显)。

3、拿去托盘上的所有法码，调节电器 R_{w4} （零位调节），使数显表显示为 0.000V 。

4、重复 2、3 步骤的标定过程，一直到精确为止，把电压量纲 V 改为重量量纲 g ，就可称重，成为一台原始的电子秤。

5、把砝码依次放在托盘上，填入下表 5-1：

6、放入重量稍轻的一件随身物品，称出其实际重量记录下来。

记录结果：手机质量 192g 。

重量(g)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
电压(mv)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200

5-1 标定后的应变片全桥输出电压和重量对应值

表

实验一到五老师签字:

实验二 (mv)	
20g → 0.005	11
40g → 0.011	23
60g → 0.017	34
80g → 0.023	45
100g → 0.028	57
120g → 0.034	68
140g → 0.039	79
160g → 0.045	90
180g → 0.051	101
200g → 0.056	113

实验三 (mv)	
22	197
44	222
66	
88	
109	
132	
154	
175	

实验五

21 41 60 82 100 119 140 160 181 201

手机: 190

190

实验六 差动变压器的性能实验

一、实验目的：

了解差动变压器的工作原理和特性。

二、基本原理：

差动变压器的工作原理电磁互感原理。差动变压器的结构如图6-1所示，由一个一次绕组 1和两个二次绕组2、3及一个衔铁4组成。差动变压器一、二次绕组间的耦合能随衔铁的移动而变化，即绕组间的互感随被测位移改变而变化。由于把二个二次绕组反向串接（同名端相接），以差动电势输出，所以把这种传感器称为差动变压器式电感传感器，通常简称差动变压器。

当差动变压器工作在理想情况下（忽略涡流损耗、磁滞损耗和分布电容等影响），它的等效电路如图6-2所示。图中 U_1 为一次绕组激励电压； M_1 、 M_2 分别为一次绕组与两个二次绕组间的互感； L_1 、 R_1 分别为一次绕组的电感和有效电阻； L_{21} 、 L_{22} 分别为两个二次绕组的电感； R_{21} 、 R_{22} 分别为两个二次绕组的有效电阻。对于差动变压器，当衔铁处于中间位置时，两个二次绕组互感相同，因而由一次侧激励引起的感应电动势相同。由于两个二次绕组反向串接，所以差动输出电动势为零。当衔铁移向二次绕组 L_{21} ，这时互感 M_1 大， M_2 小，

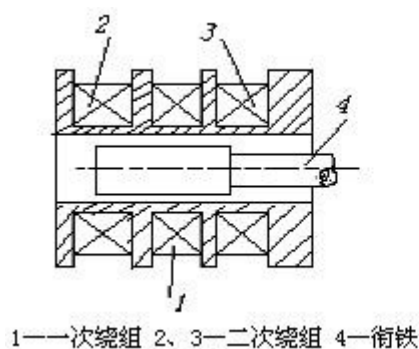


图 6-1 差动变压器的结构示意图

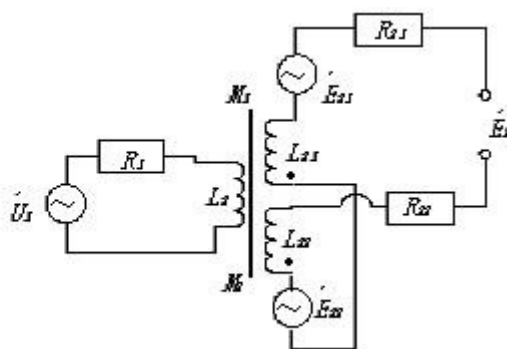


图 6-2 差动变压器的等效电路图

因而二次绕组 L_{21} 内感应电动势大于二次绕组 L_{22} 内感应电动势，这时差动输出电动势不为零。在传感器的量程内，衔铁位移越大，差动输出电动势就越大。同样道理，

当衔铁向二次绕组 L_{22} 一边移动差动输出电动势仍不为零，但由于移动方向改变，所以输出电动势反相。因此通过差动变压器输出电动势的大小和相位可以知道衔铁位移量的大小和方向。

由图 6-2 可以看出一次绕组的电流为： $\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{R_1 + j\omega L_1}$ 二次绕组的感应电动势为：

$$\dot{E}_{21} = -j\omega M_1 \dot{I}_1$$

$$\dot{E}_{22} = -j\omega M_2 \dot{I}_1$$

由于二次绕组反向串接，所以输出总电动势为：

$$\dot{E}_2 = -j\omega(M_1 - M_2) \frac{\dot{U}_1}{R_1 + j\omega L_1}$$

其有效值为：

$$E_2 = \frac{\omega(M_1 - M_2)U_1}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}}$$

差动变压器的输出特性曲线如图 6-3 所示。图中 E_{21} 、 E_{22} 分别为两个二次绕组的输出感应电动势， E_2 为差动输出电动势， x 表示衔铁偏离中心位置的距离。其中 E_2 的实线表示理想的输出特性，而虚线部分表示实际的输出特性。 E_0 为零点残余电动势，这是由于差动变压器制作上的不对称以及铁心位置等因素所造成的。零点残余电动势的存在，使得传感器的输出特性在零点附近不灵敏，给测量带来误差，此值的大小是衡量差动变压器性能好坏的重要指标。

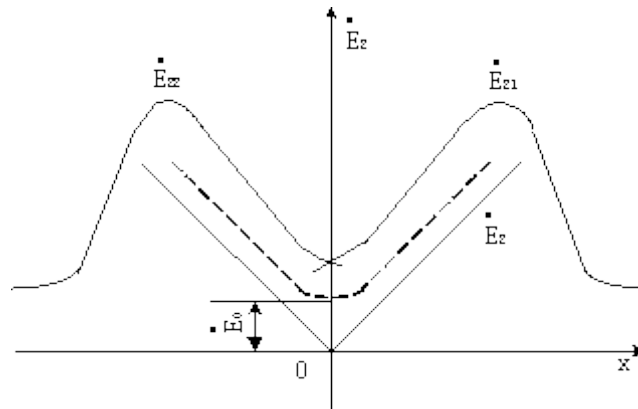


图 6-3 差动变压器输出特性

三、需用器件与单元:

差动变压器实验模板、测微头、双线示波器、差动变压器，音频信号源(音频振荡器)、直流电源、万用表。

四、实验步骤:

- 1、根据图 6-4，将差动变压器装在差动变压器实验模板上。

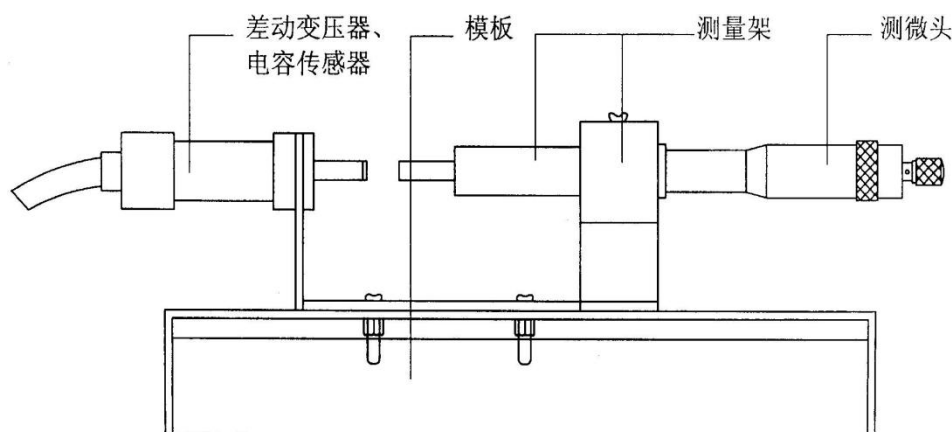


图 6-4 差动变压器电容传感器安装示意图

2、在模块上按图 6-5 接线，音频振荡器信号必须从主控箱中的 L_v 端子输出，调节音频振荡器的频率，输出频率为 $4 \sim 5\text{KHz}$ (可用主控箱的数显表的频率档 Fin 输入来监测)。调节幅度使输出幅度为峰一峰值 $V_{p-p} = 2\text{V}$ (可用示波器监测： X 轴为 0.2ms/div 、 Y 轴 CH1 为 1V/div 、 CH2 为 20mv/div)。判别初次级线圈及次级线圈同名端方法如下：设任一线圈为初级线圈，并设另外两个线圈的任一端为同名端，按图 6-5 接线。当铁芯左、右移动时，观察示波器中显示的初级线圈波形，次级线圈波形，当次级波形输出幅值变化很大，基本上能过零点，而且相位与初级圈波形 (L_v 音频信号 $V_{p-p} = 2\text{V}$ 波形) 比较能同相和反相变化，说明已连接的初、次级线圈及同名端是正确的，否则继续改变连接再判别直到正确为止。图中 (1)、(2)、(3)、(4) 为模块中的实验插孔。

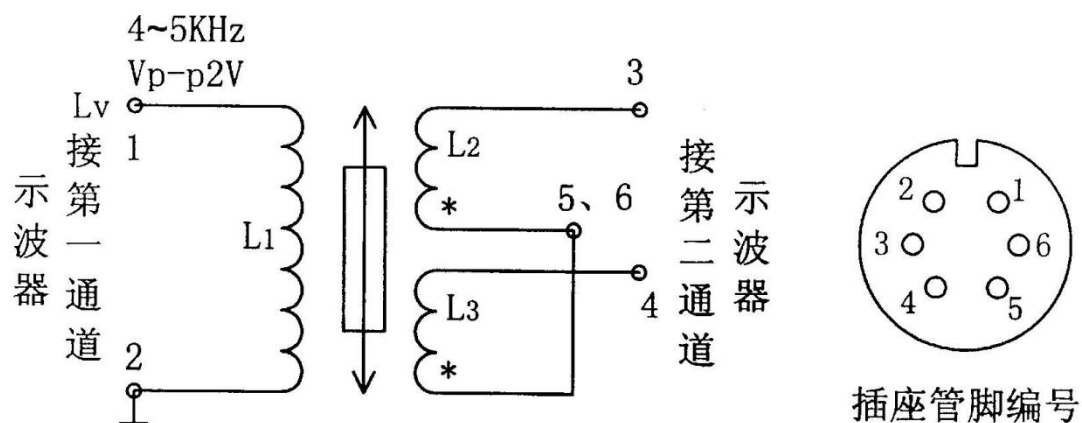


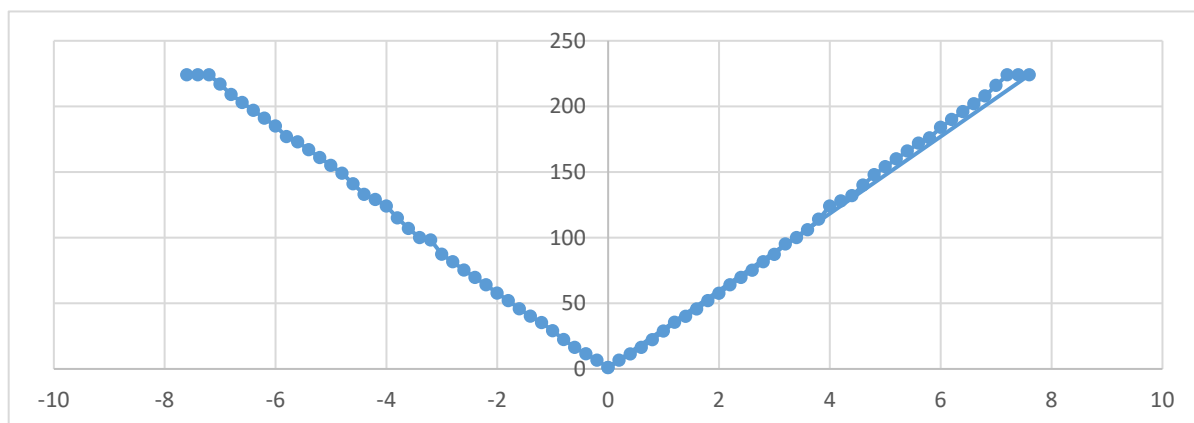
图 6-5 双线示波与差动变压器连结示意图

3、旋动测微头，使示波器第二通道显示的波形峰一峰值 V_{p-p} 为最小。这时可以左右位移，假设其中一个方向为正位移，则另一方向位移为负。从 V_{p-p} 最小开始旋动测微头，每隔 0.2mm 从示波器上读出输出电压 V_{p-p} 值填入下表 6-1。再从 V_{p-p} 最小处反向位移做实验，在实验过程中，注意左、右位移时，初、次级波形的相位关系。

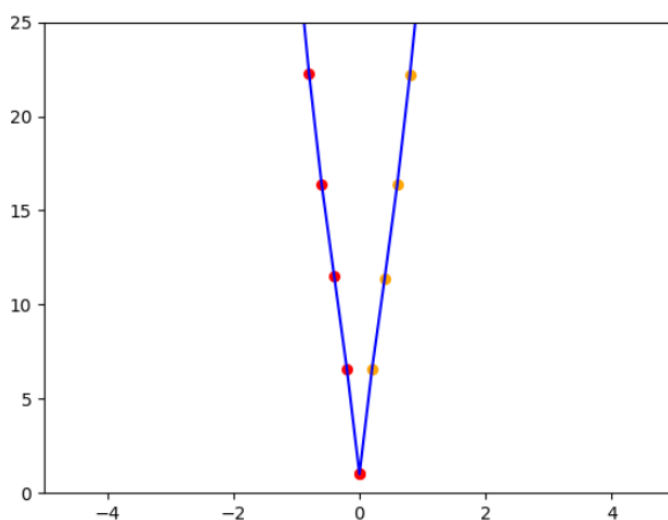
V(mv)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
X(mm)	1.3	6.6	11.4	16.4	2.2	28.8	35.5	40.0	45.6	52.0	57.6	64.0	69.6	75.2
V(mv)	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4
X(mm)	81.6	87.2	95.2	100	106	114	124	128	132	140	148	154	160	166
V(mv)	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6			
X(mm)	172	176	184	190	196	202	208	216	224	224	224			
V(mv)	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	-2.2	-2.4	-2.6
X(mm)	1.3	6.6	11.5	16.4	22.3	29.1	35.3	40.1	45.7	52.0	57.7	64.1	69.7	75.3
V(mv)	-2.8	-3.0	-3.2	-3.4	-3.6	-3.8	-4.0	-4.2	-4.4	-4.6	-4.8	-5.0	-5.2	-5.4
X(mm)	81.6	87.3	98.2	100	107	115	124	129	133	141	149	155	161	167
V(mv)	-5.6	-5.8	-6.0	-6.2	-6.4	-6.6	-6.8	-7.0	-7.2	-7.4	-7.6			
X(mm)	173	177	185	191	197	203	209	217	224	224	224			

表 6-1 差动变压器位移 ΔX 值与输出电压 V_{p-p} 数据表

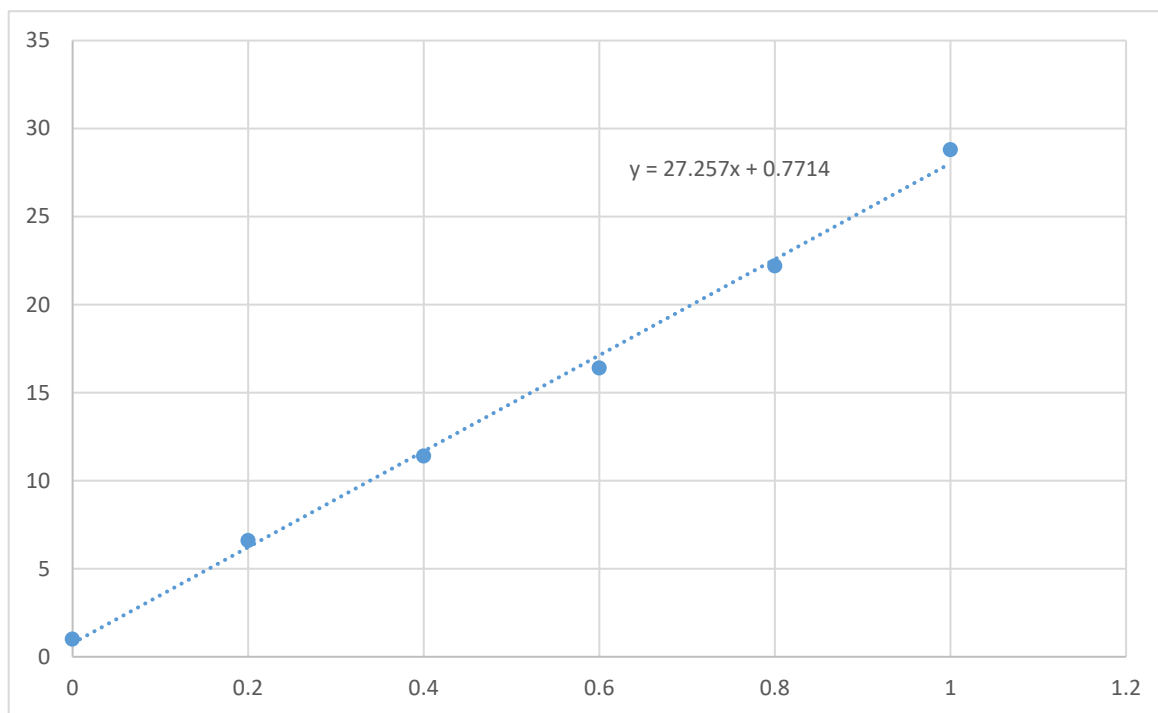
4、实验过程中注意差动变压输出的最小值即为差动变压器的零点残余电压大小。
根据表 6-1 画出 $V_{op-p}-X$ 曲线, 作出量程为 $\pm 1\text{mm}$ 、 $\pm 3\text{mm}$ 灵敏度和非线性误差。



零点误差为: 1.3mV 。由于图像纵向量程较大, 故在图上体现不出来, 具体局部图如下:



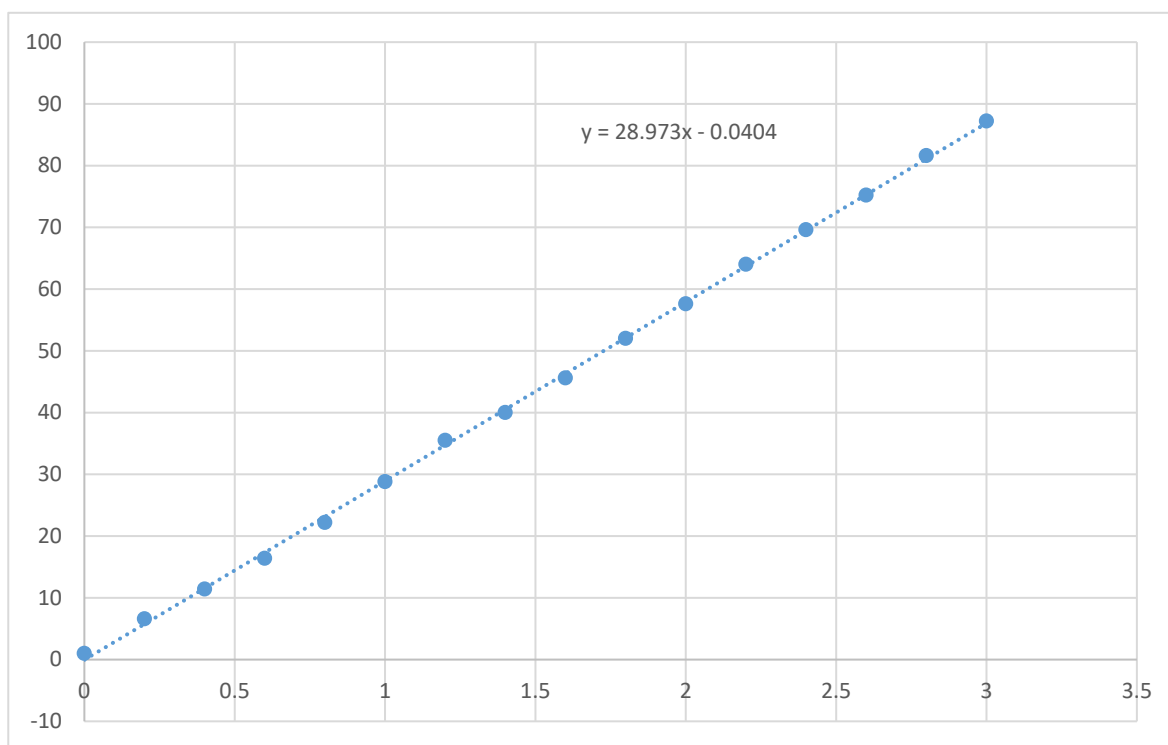
由于左右大致对称, 只考虑 $+1\text{mm}$ 量程分析
量程为 $\pm 1\text{mm}$ 时:



通过excel画图可知 $S=27.257$

$$\delta_{f_1} = 0.7714/28.8 \times 100\% = 2.68\%$$

量程为 $\pm 3\text{mm}$ 时:



通过excel画图可知 $S=28.973$

$$\delta_{f_2} = 0.0404/87.2 \times 100\% = 0.05\%$$

五、思考题：

1、用差动变压器测量较高频率的振幅，例如 1KHz 的振动幅值，可以吗？差动变压器测量频率的上限受什么影响？

可以。受铁磁材料磁感应频率响应上限影响。原则上来说没影响，因为即使磁材料不响应的高频，线圈本身的磁场还是有互感现象，只不过早已偏离了线性区域了，得到的结论也不准，需要修正才行。

2、试分析差动变压器与一般电源变压器的异同？

不同磁路。普通变压器磁路中的铁芯要形成封闭回路，分别与原来的二次线圈耦合；差动变压器磁路是不在铁芯形成闭合回路，但铁芯与二次线圈的间隙形成一个封闭回路，分别与原、副边环耦合。互感系数是不同的。普通变压器互感系数为常数，二次侧线圈的差动变压器的互感系数和互感系数是可变的，并随铁芯位置的变化而变化。副边线圈是不同的。普通变压器的二次侧线圈具有一个或多个彼此独立的，差动变压器的二次侧绕组只有2个，并且彼此相对。

实验七 电容式传感器的位移实验

一、实验目的：了解电容式传感器结构及其特点。

二、基本原理：利用平板电容 $C = \epsilon A/d$ 和其它结构的关系式通过相应的结构和测量电路可以选择 ϵ 、 A 、 d 中三个参数中，保持二个参数不变，而只改变其中一个参数，则可以有测谷物干燥度(ϵ 变)测微小位移(变 d)和测量液位(变 A) 等多种电容传感器。

三、需用器件与单元：电容传感器、电容传感器实验模板、测微头、相敏检波、滤波模板、数显单元、直流稳压源。

四、实验结果：

正向

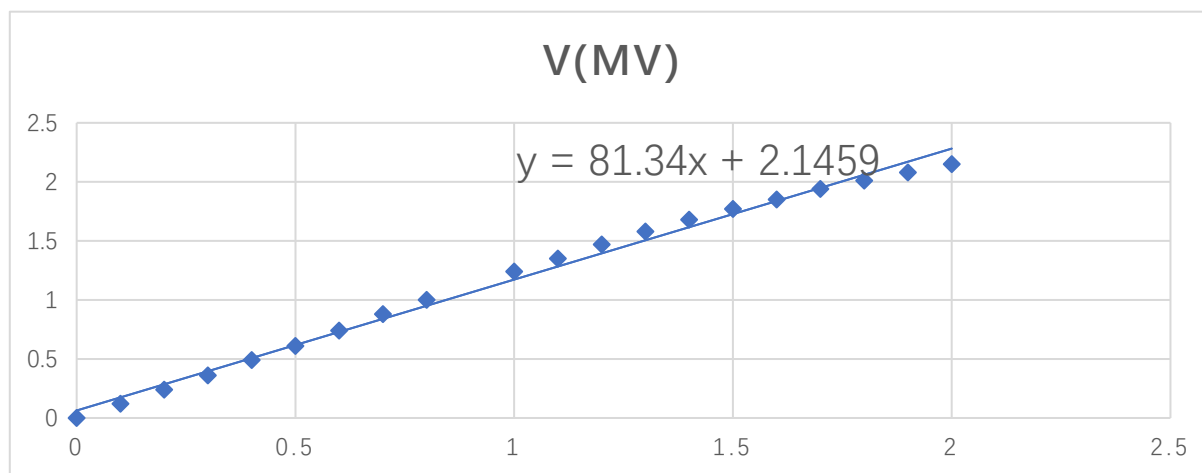
$X_{(mm)}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
$V_{(mv)}$	0	17.4	33.9	50.3	66.5	82.3	99.5	116.2	132.9	149.7

$X_{(mm)}$	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	4.0
$V_{(mv)}$	165.6	182.9	198.9	216	232	248	265	281	298	314

反向

$X_{(mm)}$	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0
$V_{(mv)}$	315	299	282	265	249	232	216	197.3	81.9	165.5

$X_{(mm)}$	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0
$V_{(mv)}$	148.6	132.5	115.6	99.1	83.6	66.3	49.8	33.9	17.5	0



电容传感器的系统灵敏度 $S = 81.34 \text{ } \mu\text{V/m}$

非线性误差 $\delta = 13.5059/314 = 4.3\%$

五、思考题：试设计利用 ϵ 的变化测谷物湿度的传感器原理及结构，并叙述一下在此设计中应考虑哪些因素？

原理：通过湿度影响介电常数从而改变电容的大小，并通过电压表现出来，建立起电压变化与湿度的联系，从而起到湿度传感器的作用；

结构：与电容传感器的结构大致相同，不同之处在于电容面板的面积应适当增大，使得测量灵敏度提高；应考虑测量误差，温度对测量的影响等

实验八 直流激励时霍尔式传感器位移特性实验

一、实验目的：了解霍尔式传感器原理与应用。

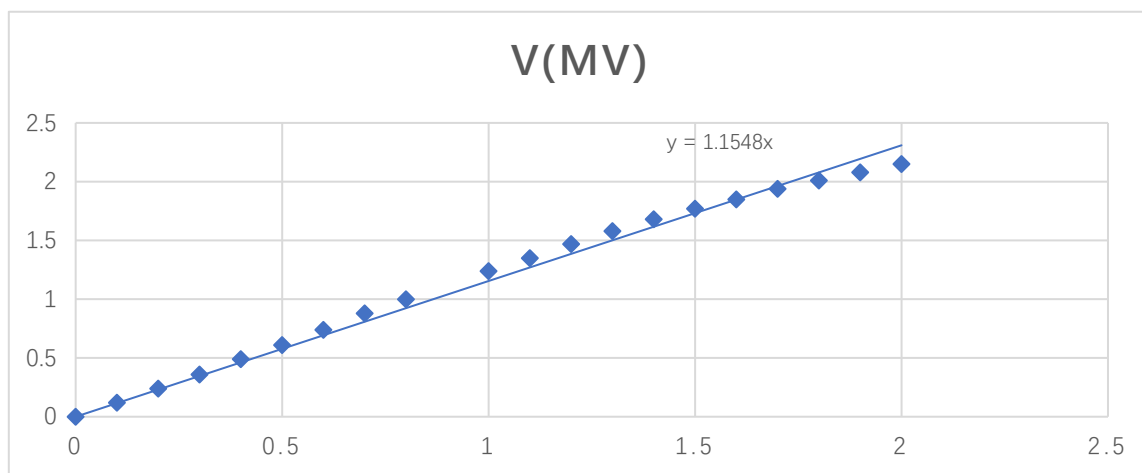
二、基本原理：霍尔式传感器是一种磁敏传感器，基于霍尔效应原理工作。它将被测量的磁场变化（或以磁场为媒体）转换成电动势输出。根据霍尔效应，霍尔电势 $U_H=KHIB$ ，当霍尔元件处在梯度磁场中运动时，它就可以进行位移测量。

三、需用器件与单元：霍尔传感器实验模板、霍尔传感器、直流源 $\pm 4V$ 、 $\pm 15V$ 、测微头、数显单元。

四、实验结果：

X(mm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
V(mv)	0	131	246	345	436	520	578	632	675	711

X(mm)	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8					
V(mv)	736	754	765	766	756					



计算不同线性范围时的灵敏度和非线性误差。

传感器的系统灵敏度 $S = 63.806$

非线性误差 $\delta = 16.086/756 = 2.1\%$

五、思考题：

本实验中霍尔元件位移的线性度实际上反映的是什么量的变化？

磁场强度B的变化。

实验九 电涡流传感器位移实验

一、实验目的：了解电涡流传感器测量位移的工作原理和特性。

二、基本原理：通以高频电流的线圈产生磁场，当有导电体接近时，因导电体涡流效应产生涡流损耗，而涡流损耗与导电体离线圈的距离有关，因此可以进行位移测量。

三、需用器件与单元：电涡流传感器实验模板、电涡流传感器、直流电源、数显单元、测微头、铁圆片。

四、实验结果：

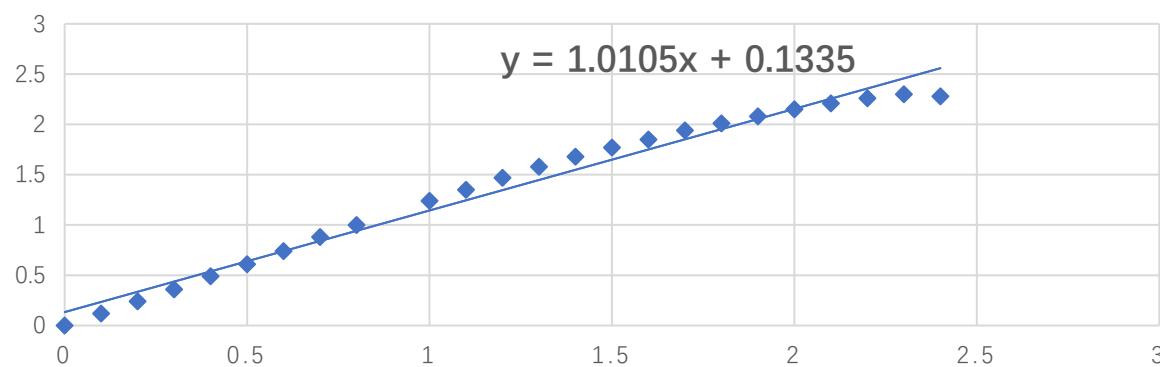
X(mm)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
V(v)	0	0.27	0.58	0.88	1.21	1.54	1.89	2.25	2.63	3.03

X(mm)	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
V(v)	3.44	3.86	4.29	4.75	5.21	5.67	6.15	6.63	7.11	7.60

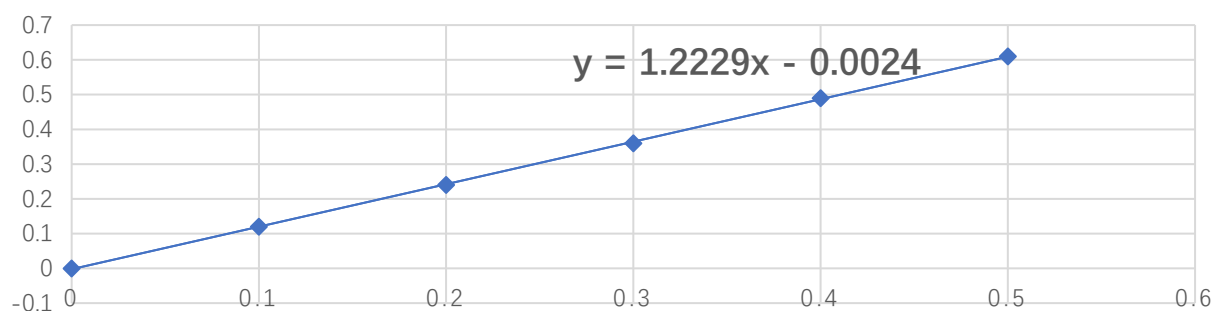
X(mm)	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0				
V(v)	8.09	8.3	8.34	8.36	8.37	8.39				

根据表 9-1 数据，画出 V-X 曲线，根据曲线找出线性区域及进行正、负位移测量时的佳工作点，试计算量程为 1mm、3mm 及 5mm 时的灵敏度和线性度（可以用端基法或其它拟合直线）。

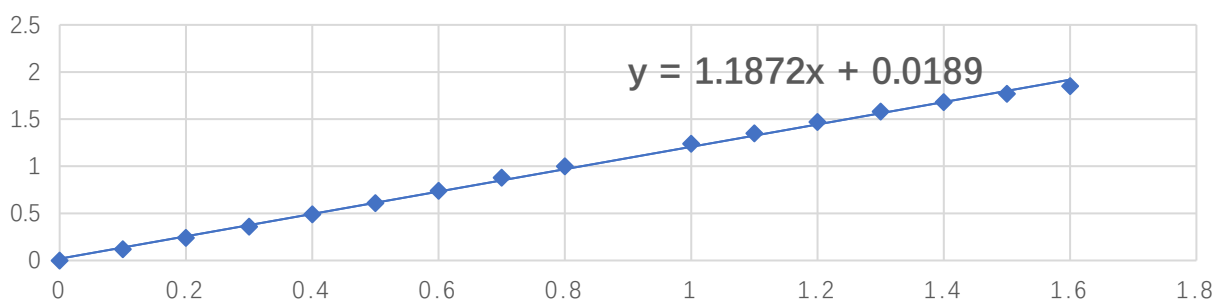
总实验图

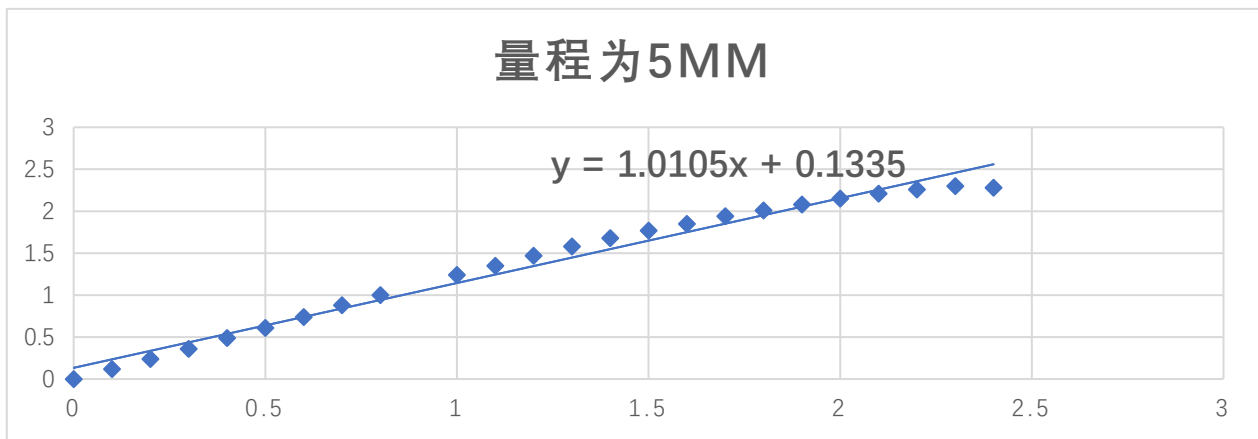


量程为1MM



量程为3MM





量程为1mm时：系统灵敏度 $S=1.545$ 非线性误差 $\delta f = 0.1/0.88 = 11.3\%$
 量程为3mm时：系统灵敏度 $S=1.895$ 非线性误差 $\delta f = 0.206/2.63 = 7.83\%$
 量程为5mm时：系统灵敏度 $S=2.007$ 非线性误差 $\delta f = 0.2805/5.21 = 5.37\%$

五、思考题：

- 1、电涡流传感器的量程与哪些因素有关，如果需要测量 $\pm 5\text{mm}$ 的量程应如何设计传感器？
- 2、用电涡流传感器进行非接触位移测量时，如何根据量程使用选用传感器。

答：1，传感器能够产生磁场大小、被测体的材质；如果要测量正负5mm的量程 让传感器从被测物体靠近一侧，并远离另外一侧。

2. 在保证精度的情况下尽量使用量程大的传感器。

实验十一 光纤传感器的位移特性实验

一、实验目的：了解光纤位移传感器的工作原理和性能。

二、基本原理：本实验采用的是导光型多模光纤，它由两束光纤组成Y 型光纤，探头为半圆分布，一束光纤端部与光源相接发射光束，另一束端部与光电转换器相接接收光束。两光束混合后的端部是工作端亦即探头，它与被测体相距 X ， 由光源发出的光通过光纤传到端部射出后再经被测体反射回来，由另一束光纤接收反射光信号再由光电转换器转换成电压量，而光电转换器转换的电压量大小与间距 X 有关，因此可用于测量位移。

三、需用器件与单元：光纤传感器、光纤传感器实验模板、数显单元、测微头、直流源 $\pm 15\text{V}$ 、反射面。

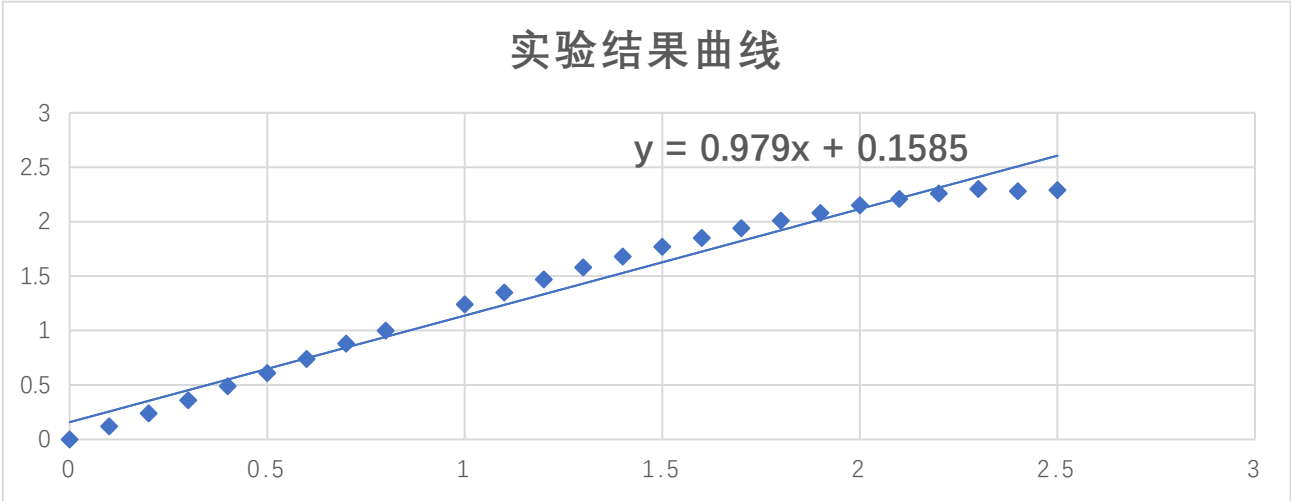
四、实验步骤：

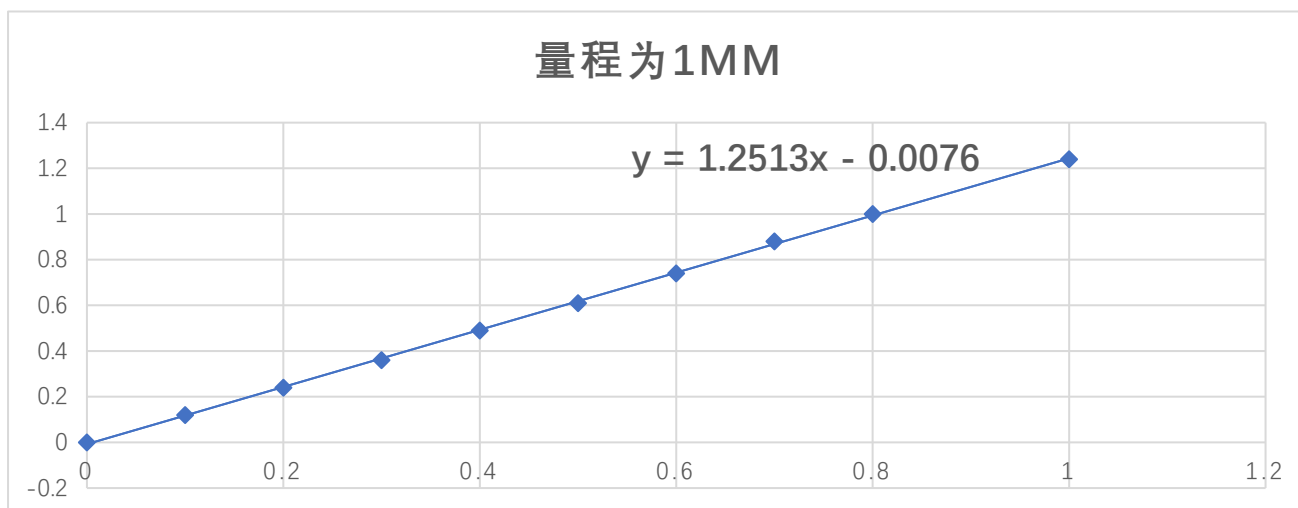
X(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
V(v)	0	0.12	0.24	0.36	0.49	0.61	0.74	0.88	1.0	1.13

X(mm)	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
V(v)	1.24	1.35	1.47	1.58	1.68	1.77	1.85	1.94	2.01	2.08

X(mm)	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5				
V(v)	2.15	2.21	2.26	2.30	2.28	2.29				

根据表 9-1 数据，作光纤位移传感器的位移特性，计算在量程 1mm 时灵敏度和非线性误差。





量程为1mm时，系统灵敏度 $S = 1.2513$ ，

非线性误差 $\delta f = 0.08/1.23 = 3.8\%$

五、思考题：

光纤位移传感器测位移时对被测体的表面有什么要求

表面光滑，反光性能好。