

## 实验 B（一） 热敏电阻的特性研究

### 一、实验目的

了解热敏电阻的特性与应用。

### 二、基本原理

热敏电阻是一种对热敏感的电阻元件，一般用半导体材料做成，可以分为负温度系数热敏电阻 NTC（Negative Temperature coefficient Thermistor）和正温度系数热敏电阻 PTC（Positive Temperature Coefficient Thermistor），临界温度系数热敏电阻 CTR（Critical Temperature Resistor）三种，本实验主要研究前两种，半导体热敏电阻的工作原理一般用量子跃迁观点进行分析。由于热运动（譬如温度升高），越来越多的载流子克服禁带（或电离能）引起导电，这种热跃迁使半导体载流子浓度和迁移发生变化，根据电阻率公式可知元件电阻值发生变化。NTC 通常是一种氧化物的复合烧结体，特别适合于 $-100\sim 300^{\circ}\text{C}$  之间的温度测量，它的电阻值随着温度的升高而减小，其经验公式为： $R_T = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$ ，式中， $R_0$  是在  $25^{\circ}\text{C}$  时或其他参考温度时的电阻， $T_0$  是热力学温度（K）， $B$  称为材料的特征温度，其值与温度有关，主要用于温度测量。PTC 是由在  $\text{BaTiO}_3$  和  $\text{SrTiO}_3$  为主的成分中加入少量  $\text{Y}_2\text{O}_3$  和  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  构成的烧结体。其特征曲线是随温度升高而阻值增大，开关型的 PTC 在居里点附近阻值发生突变，有斜率最大的区段，即电阻值突然迅速升高。PTC 适用的温度范围为 $-50^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ ，主要用于过热保护及温度开关。NTC 和 PTC 的特征曲线如图所示：

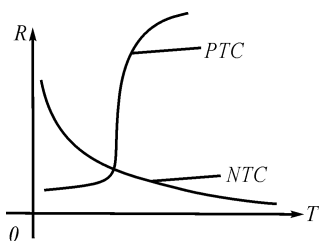


图 11-1 NTC、PTC 电阻温度曲线图

### 三、需用器件与单元

直流恒流源、传感器实验箱（一）、万用表。

### 四、实验内容与步骤

1. 将直流数显恒流源接入传感器实验箱（一）中的恒流输入端，电流设置为 1A；
2. 将温度控制器下面的 Pt100 输入和温控 Pt100 相连。
3. 温度控制器 PV 显示测量的温度值，SV 显示设定的温度值。当  $SV > PV$  时 ALM2 灯亮，恒流源有输出，温度控制器加热；当  $PV > SV$  时，ALM1 灯亮，恒流源无输出，不再加热。按 SET 键 0.5 秒 SV 显示窗闪烁，此时可改变设定值，设定好数值后再按 SET 键 0.5 秒确认。

将温度控制器的 SV 窗口设置在 50°C，然后每隔 5°C 设置一次。

4. 用万用表测量温度模块上的 NTC 和 PTC 的输出，记下每次设置温度下的电阻值，将结果填入下表：

NTC:

t(°C)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
R(Ω)										
t(°C)	100	105	110							
R(Ω)										

PTC:

t(°C)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
R(kΩ)										
t(°C)	100	105	110							
R(kΩ)										

## 五、实验注意事项

加热器温度不能加热到 120°C 以上，否则将可能损坏加热器。如果温度超过 120°C 仍继续上升，断开总电源进行冷却。

## 六、实验报告要求

- 根据实验所得的数据绘制出 NTC、PTC 的特性曲线，并找出曲线上较为线性部分对应的温度范围。
- 对 NTC、PTC 特性曲线进行拟合，计算其均方根误差(RMSE)，并绘制出灵敏度 S 的曲线。
- 回答以下思考题：
  - 若要用 NTC 测量温度，怎样将其线性化？画出它的线性化电路。
  - 归纳总结 NTC 与 PTC 用作温度测量时应注意哪些问题，主要应用在什么场合，有哪些优缺点。

## 实验 B（二） 差动变压器的性能测定

### 一、实验目的

1. 了解差动变压器的工作原理和特性。
2. 了解三段式差动变压器的结构。

### 二、基本原理

差动变压器由一只初级线圈和二只次级线圈及铁芯组成，根据内外层排列不同，有二段式和三段式，本实验采用三段式结构。当传感器随着被测物体移动时，由于初级线圈和次级线圈之间的互感发生变化促使次级线圈感应电势产生变化，一只次级感应电势增加，另一只感应电势则减少，将两只次级反向串接，即同名端接在一起，就引出差动输出，其输出电势则反映出被测体的位移量。

### 三、需用器件与单元

传感器实验箱（一）、传感器调理电路挂件、测微头、差动变压器、信号源。

### 四、实验内容与步骤

1. 将“差动式”传感器引线插头插入实验模板的插座中。
2. 调节“功率函数信号发生器”，使之输出频率为 4-5KHz、幅度为  $V_{p-p}=2V$  的正弦信号，并用示波器的 CH1 监视输出。
3. 将功率信号发生器的输出端接“差动变压器实验”单元激励电压输入端，把“差动变压器实验”单元的输出端 3、4 接入示波器的 CH2-（为了避免线圈烧毁，请不要将线圈接到功率输出端上！）。
4. 旋动测微头，使示波器第二通道显示的波形  $V_{p-p}$  为最小，这时可以左右移动旋动测微头，假设其中一个方向为正位移，另一个方向为负位移，从  $V_{p-p}$  最小开始旋动测微头，每 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，注意观察左、右位移时，初、次级波形的相位关系。

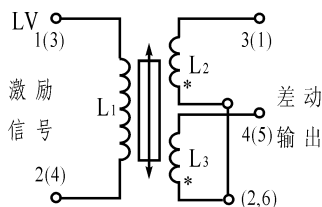


图 6-1 差动变压器连接示意图

表 6-1 差动变压器位移 X 值与输出电压数据表

V(mV)										
X(mm)	-3.0	.....	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	.....	3.0

4. 实验过程中注意差动变压器输出的最小值即为差动变压器的零点残余电压的大小，观察

零点残余电压的波形，注意与激励电压相比较，保存（记录）零点残余电压的波形。

5. 实验过程中注意观察正位移输出和负位移输出的相位变化，注意与激励电压相比较，并保存（记录）一组波形。

## 五、实验注意事项

1. 在做实验前，应先用示波器监测差动变压器激励信号的幅度，使之  $V_{p-p}$  值为 2V，不能太大，否则差动变压器发热严重，影响其性能，甚至烧毁线圈。

2. 模块上  $L_2$ 、 $L_3$  线圈旁边的 “\*” 表示两线圈的同名端。

## 六、实验报告要求

1. 将实验步骤 4 中保存（记录）的零点残余电压波形附到实验报告中，读出放大前的零点残余电压幅值。

2. 将实验步骤 5 中保存（记录）的正/负位移下的一组输出电压波形附到实验报告中，分析其相位特性。

3. 根据表 6-1 测得的数据，绘制出测微头左移和右移时传感器的特性曲线，求出量程为  $\pm 1\text{mm}$ 、 $\pm 3\text{mm}$  时的灵敏度和非线性误差。

3. 分析产生非线性误差的原因。

4. 回答以下思考题

(a). 如果用差动变压器测量较高频率的振动位移，例如 1KHz 的振动幅值，可以吗？差动变压器测量振动频率的上限受什么影响？

(b). 试分析差动变压器与一般电源变压器的异同？

## 实验 B（三） 差动变压器零点残余电压测定及补偿

### 一、实验目的

了解差动变压零点残余电压组成及其补偿方法。

### 二、基本原理

由于差动变压器阻抗是一个复数阻抗，有感抗也有阻抗，为了达到电桥平衡，就要求线圈的电阻  $R$  相等，两线圈的电感  $L$  相等。实际上，这种情况是难以精确达到的，就是说不易达到电桥的绝对平衡。在零点有一个最小的输出电压，一般把这个最小的输出电压称为零点残余电压，如果零点残余电压过大，会使灵敏度下降，非线性误差增大，甚至造成放大器末级趋于饱和，致使仪器电路不能正常工作。造成零残电压的原因，总的来说，是两电感线圈的等效参数不对称造成的。包括差动变压器二只次级线圈的等效参数不对称，初级线圈的纵向排列的不均匀性，二次级的不均匀、不一致，铁芯  $B-H$  特性的非线性等。

### 三、需用器件与单元

信号源、测微头、差动变压器、传感器调理电路挂件、虚拟示波器、传感器实验箱（一）。

### 四、实验内容与步骤

1. 将“差动式”传感器引线插头插入实验模板的插座中。
2. 调节信号发生器，使之输出频率为 4-5KHz、幅度为  $V_{p-p}=2V$  的正弦信号，并用示波器的 CH1 监视输出（为了避免线圈烧毁，请不要将线圈接到功率输出端上！）。
3. 按图 7-1 接线，实验模板上  $R_1$ 、 $C_1$ 、 $R_{W1}$ 、 $R_{W2}$  为电桥单元中调平衡网络。

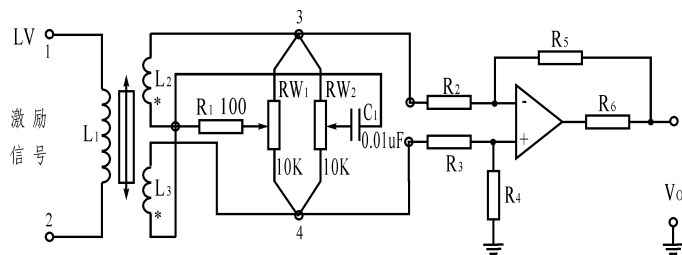


图 7-1 零点残余电压补偿电路之一

4. 将差动变压器实验单元的输出端  $U_o$  接入示波器的 CH2。
5. 打开实验箱左下角  $\pm 15V$  “直流稳压电源”的开关，检查无误后，打开差动变压器实验单元右侧电源开关 POWER1（正确打开后指示灯会亮）。
6. 调整测微头，使差动放大器输出电压最小。
7. 依次调整  $R_{W1}$ 、 $R_{W2}$ ，使差动放大器输出电压降至最小。
8. 将示波器第二通道的灵敏度提高，观察零点残余电压的波形，注意与激励电压相比较，保存（记录）观察到的波形。
9. 测量差动变压器的零点残余电压值（峰-峰值）。（注：这时的零点残余电压是经放大后的

零点残余电压)。

10. 按图 7-2 接线，重复步骤 3-9。

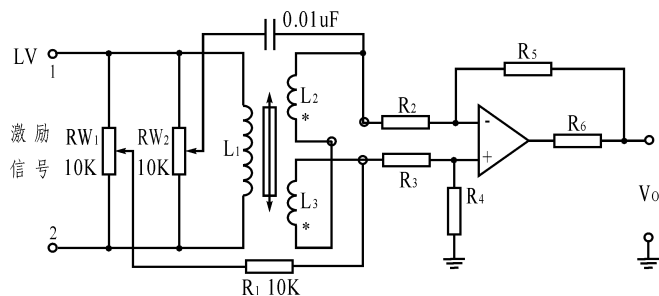


图 7-2 零点残余电压补偿电路之二

## 五、实验注意事项

1. 在做实验前，应先用示波器监测差动变压器激励信号的幅度，使之  $V_{p-p}$  值为  $2\text{V}$ ，不能太大，否则差动变压器发热严重，影响其性能，甚至烧毁线圈。
2. 模块上  $L_2$ 、 $L_3$  线圈旁边的“\*”表示两线圈的同名端。

## 六、实验报告要求

1. 将实验步骤 8 与步骤 10 保存（记录）的零点残余电压波形附到实验报告中。分析经过补偿后的零点残余电压波形特点。
2. 补偿电路既可以用图 7-1 所示电路，也可用图 7-2 所示电路，请分析其原理。
3. 回答以下思考题：
  - (a). 分析零点残余电压的产生原因，对差动变压器的性能有何不利影响，用哪些方法可以减小零点残余电压。
  - (b). 比较两种补偿电路的结果，归纳总结其各自的优缺点。

## 实验 B（四） 激励频率对差动变压器特性的影响

### 一、实验目的

了解激励频率对差动变压器输出的影响。

### 二、基本原理

差动变压器的输出电压的有效值可以近似用关系式：

$$U_0 = \frac{\omega(M_1 - M_2)U_i}{\sqrt{R_p^2 + \omega^2 L_p^2}}$$

表示，式中  $L_p$ 、 $R_p$  为初级线圈电感和损耗电阻， $U_i$ 、 $\omega$  为激励电压和频率， $M_1$ 、 $M_2$  为初级与两次级间互感系数，由关系式可以看出，当初级线圈激励频率太低时，若  $R_p^2 > \omega^2 L_p^2$ ，则输出电压  $U_0$  受频率变动影响较大，且灵敏度较低，只有当  $\omega^2 L_p^2 \gg R_p^2$  时输出  $U_0$  与  $\omega$  无关，当然  $\omega$  过高会使线圈寄生电容增大，对性能稳定不利。

### 三、需用器件与单元

传感器实验箱（一）、传感器调理电路挂件、测微头、虚拟示波器、差动变压器、信号源。

### 四、实验步骤

1. 将“差动式”传感器引线插头插入实验模板的插座中。
2. 按图 7-1 连接好线。
3. 调节信号发生器，使之输出频率为 1KHz、幅度为  $V_{p-p}=2V$  的正弦信号，并用示波器的 CH1 监视输出（为了避免线圈烧毁，请不要将线圈接到功率输出端上！）。
4. 移动铁芯至中间位置即输出信号最小时的位置，调节  $R_{w1}$ 、 $R_{w2}$  使输出变得更小。
5. 将差动变压器实验单元的输出端  $U_0$  接入示波器的 CH2。

6. 分别将激励频率设置为 1kHz、2kHz、3kHz、4kHz、5 kHz、10kHz、20 kHz、30kHz，旋动测微头，每隔 0.5mm 在示波器上读取一个  $V_{p-p}$  数据，并将测试结果记入表 8-2。

x \ f(kHz)	0mm	0.5mm	1mm	1.5mm	2mm	2.5mm	3mm
1kHz							
2kHz							
3kHz							
4kHz							
5kHz							

10kHz							
20kHz							
30kHz							

## 五、实验注意事项

1. 在做实验前，应先用示波器监测差动变压器激励信号的幅度，使  $V_{p-p}$  值为 2V，不能太大，否则差动变压器发热严重，影响其性能，甚至烧毁线圈。
2. 模块上  $L_2$ 、 $L_3$  线圈旁边的 “\*” 表示两线圈的同名端。

## 六、实验报告要求

1. 根据实验所得的数据作出  $x=2.5\text{mm}$  时幅频特性曲线(横轴为频率  $f$ ，纵轴为电压幅度  $V_{p-p}$ )。
2. 根据实验所得的数据作出每个频率的幅频特性曲线(横轴为  $x$ ，纵轴为电压幅度  $V_{p-p}$ )，求出每个频率的灵敏度  $S$ ，作出灵敏度与激励频率的关系曲线(横轴为频率  $f$ ，纵轴为灵敏度  $S$ )
3. 归纳总结差动变压器的输出随激励信号频率的变化规律。
4. 回答以下思考题：
  - (a). 提高激励频率有哪些优点？但是过高的激励频率又会带来哪些不利因素？应怎样确定激励频率。
  - (b). 若用差动变压器式传感器测量振动，测量的频率受什么限制？

以上，实验报告于实验结束后两周内上交，实验数据附到实验报告最后(同组数据可以复印)。