

## 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：

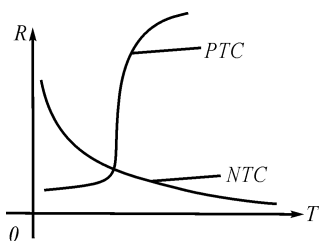


图 11-1 NTC、PTC 电阻温度曲线图

### 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） 霍尔转速传感器测速实验

### 一、实验目的

了解霍尔转速传感器的应用。

### 二、基本原理

利用霍尔效应表达式： $U_H = K_H IB$ ，当被测圆盘上装有  $N$  只磁性体时，圆盘每转一周磁场就变化  $N$  次。每转一周霍尔电势就同频率相应变化，输出电势通过放大、整形和计数电路就可以测量被测旋转物的转速。

本实验采用 3144E 开关型霍尔传感器，当转盘上的磁钢转到传感器正下方时，传感器输出低电平，反之输出高电平。

### 三、需用器件与单元

霍尔转速传感器、直流电源+5V、转动源 2~24V、转动源电源、转速测量部分。

### 四、实验步骤

1. 霍尔转速传感器及转动源已经安装于传感器实验箱（二）上，其中霍尔转速传感器位于转动源的右边。
2. 将+5V 直流源加于霍尔转速传感器的电源端。
3. 将霍尔转速传感器的输出接入信号发生器的测频端，在信号发生器的面板上按下外测按钮和滤波按钮。
4. 将面板上的直流稳压电源调节到 5V，接入传感器实验箱（二）上的转动电源端。
5. 调节转动源的输入电压，使转盘的速度发生变化，观察频率计的频率变化。
6. 调节转动源的输入电压，使转盘的转速发生变化，把界面切换到示波器状态，观察传感器输出波形的变化。

### 五、注意事项

1. 转动源的正负输入端不能接反，否则可能击穿电机里面的晶体管。
2. 转动源的输入电压不可超过 24V，否则容易烧毁电机。
3. 转动源的输入电压不可低于 2V，否则由于电机转矩不够大，不能带动转盘，长时间也可能烧坏电机。

### 六、思考题

根据上面实验观察到的波形，分析为什么方波的高电平比低电平要宽。

## 实验 B（三） 光电转速传感器测速实验

### 一、实验目的

了解光电转速传感器测量转速的原理及方法。

### 二、基本原理

光电式转速传感器有反射型和透射型两种，本实验装置是透射型的，传感器端部有发光管和光电管，发光管发出的光源通过转盘上开的孔透射后由光电二极管接受转换成电信号，由于转盘上有相间的 6 个孔，转动时将获得与转速及孔数有关的脉冲，将电脉冲计数处理即可得到转速值。

### 三、需用器件与单元

光电转速传感器、直流电源 5V、转动源及 2~24V 直流电源、智能转速表。

### 四、实验步骤

1. 光电转速传感器已经安装在传感器实验箱（二）上。
2. 将+5V 直流源加于光电转速传感器的电源端。
3. 将光电转速传感器的输出接到面板上的智能转速表。
4. 将面板上的 0~30V 稳压电源调节到 5V，接入传感器实验箱（二）上的转动电源处。
5. 调节转动源的输入电压，使转盘的速度发生变化，观察转速表上转速的变化。
6. 调节转动源的输入电压，使转盘的转速发生变化，把界面切换到示波器状态，观察传感器输出波形的变化。

### 五、注意事项

1. 转动源的正负输入端不能接反，否则可能击穿电机里面的晶体管。
2. 转动源的输入电压不可超过 24V，否则容易烧毁电机。
3. 转动源的输入电压不可低于 2V，否则由于电机转矩不够大，不能带动转盘，长时间也可能烧坏电机。

### 六、思考题

根据上面实验观察到的波形，分析为什么方波的高电平比低电平要宽。

## 实验 B（四） 电容式传感器的位移特性实验

### 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  $C = \varepsilon S / d$  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  $\varepsilon$ 、 $S$ 、 $d$  中三个参数中，保持两个参数不变，而只改变其中一个参数，则可以有测谷物干燥度（ $\varepsilon$  变）测微小位移（变  $d$ ）和测量液位（变  $S$ ）等多种电容传感器。变面积型电容传感器中，平板结构对极距特别敏感，测量精度受到影响，而圆柱形结构受极板径向变化的影响很小，且理论上具有很好的线性关系，（但实际由于边缘效应的影响，会引起极板间的电场分布不均，导致非线性问题仍然存在，且灵敏度下降，但比变极距型好得多）成为实际中最常用的结构，其中线位移单组式的电容量  $C$  在忽略边缘效应时为：

$$C = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln(r_2/r_1)} \quad (1)$$

式中  $l$  ——外圆筒与内圆柱覆盖部分的长度；

$r_1$ 、 $r_2$  ——外圆筒内半径和内圆柱外半径。

当两圆筒相对移动  $\Delta l$  时，电容变化量  $\Delta C$  为：

$$\Delta C = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln(r_2/r_1)} - \frac{2\pi\varepsilon(l - \Delta l)}{\ln(r_2/r_1)} = \frac{2\pi\varepsilon\Delta l}{\ln(r_2/r_1)} = C_0 \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

于是，可得两个差动电容测量的静态灵敏度为：

$$k_s = \frac{C_2 - C_1}{\Delta l} = \left[ \frac{2\pi\varepsilon(l + \Delta l)}{\ln(r_2/r_1)} - \frac{2\pi\varepsilon(l - \Delta l)}{\ln(r_2/r_1)} \right] / \Delta l = \frac{4\pi\varepsilon}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3)$$

可见灵敏度与  $r_2/r_1$  有关， $r_1$  与  $r_2$  越接近，灵敏度越高，虽然内外极筒原始覆盖长度  $l$  与灵敏度无关，但  $l$  不可太小，否则边缘效应将影响到传感器的线性。

本实验为变面积式电容传感器，采用差动式圆柱形结构，因此可以很好的消除极距变化对测量精度的影响，并且可以减小非线性误差和增加传感器的灵敏度。

### 三、需用器件与单元

传感器实验模块、传感器调理电路挂件电容式传感器实验单元、测微头、万用表、 $\pm 15V$  电源。

### 四、实验步骤

1. 将电容式传感器装于传感器实验模块的黑色支架上，将传感器引线插头插入传感器调理电路中电容式传感器实验单元的插孔中。

2. RW 调节到大概中间位置（RW 为 10 圈电位器），将“电容传感器实验”单元的输出端  $U_o$  接入万用表以读取电压。

3. 把  $\pm 15V$  直流稳压电源接入“传感器调理电路”实验挂箱，检查无误后，开启实验台面板上的直流稳压电源开关。

4. 左右旋转测微头，改变电容传感器动极板的位置，找到电压值为  $0.0mV$  的位置，并记录下来（填入表 4-1 的中间位置），向左记为负向位移，向右记为正向位移，由电压为零处开始先向右每隔  $0.2mm$  移动测微头，一共向右移动  $1.0mm$ ，记下位移  $X$  与输出电压值，然后返回零点处位置，再向左每隔  $0.2mm$  移动测微头，一共向左移动  $1.0mm$ ，记下位移  $X$  与输出电压值，将记录的数据填入表 4-1（位移保留三位小数，电压保留一位小数）。

表 4-1 电容传感器位移与输出电压值

X (mm)										
V (mV)										

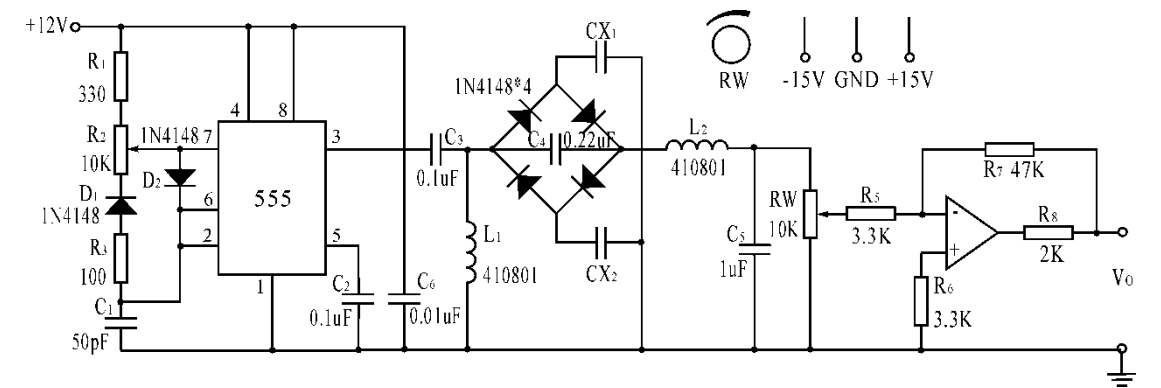


图 4-1 电容传感器位移实验接线图

五、实验注意事项

- 1. 传感器要轻拿轻放，绝不可掉到地上。
- 2. 做实验时，不要用手或其它物体接触传感器，否则将会使线性度变差。

六、实验报告要求

- 1. 整理实验数据，根据所得的实验数据利用最小二乘法做出传感器的特性曲线，并计算电容传感器的系统灵敏度和非线性误差。

2. 根据实验结果，分析引起这些非线性的原因，并说明怎样提高传感器的线性度。
3. 回答以下思考题：
  - (a). 简述什么是电容式传感器的边缘效应，它会对传感器的性能带来哪些不利影响。
  - (b). 电容式传感器和电感式传感器相比，有哪些优缺点？

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）。