

## 非平衡直流电桥的原理和应用

姓名：王嘉毅

学号：22012670

班级：计 1

实验时间：11 月 21 日四点

组号：5

### 【实验要求】

1. 掌握非平衡电桥的工作原理以及与平衡电桥的异同；
2. 掌握利用非平衡电桥的输出电压来测量变化电阻的原理和方法；
3. 掌握非平衡电桥测量的方法。

### 【仪器用具】

FQJ-2 型加热装置、电阻箱、数字万用表、导线等。

### 【实验原理】

传感器是能够感受规定的被测量，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。通过传感器将温度、压力、湿度、光强等非电学量进行测量，作为现代信息技术的基础——传感器技术越来越广泛地应用在智能检测和自动控制系统中。使用电阻型传感器时，经常用到非平衡电桥电路。本实验用非平衡电桥和铜电阻温度传感器组成测温电路，测量其输入—输出特性。

使用电桥可以准确地测量电阻。如果将平衡电桥电路中的待测电阻换成一个电阻型传感器。在某一条条件下，先调节电桥平衡，当外界条件改变时，传感器阻值会有相应变化，这时电桥失去平衡，桥路两端的电压随之而变。由于桥路的非平衡电压能反映出桥臂电阻的微小变化，因此，通过测量非平衡电压可以检测外界物理量的变化。

非平衡电桥的原理图见图 1，在构成形式上与平衡电桥相似，但测量方法上有很大差别。平衡电桥是调节  $R_3$  使  $I_0=0$ ，从而得到待测电阻值；而非平衡电桥则是使  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  保持不变， $R_x$  变化时则  $U_0$  变化。再根据  $U_0$  与  $R_x$  的函数关系，通过检测  $U_0$  的变化从而测得  $R_x$ ，由于可以检测连续变化的  $U_0$ ，所以可以检测连续变化的  $R_x$ ，进而检测连续变化的非电量。

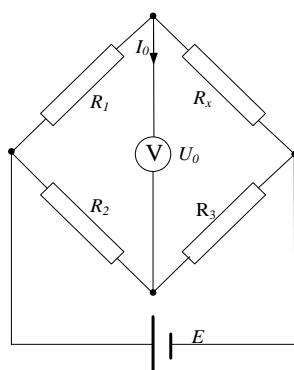


图 1 非平衡直流电桥原理图

分析非平衡电桥原理图，可以得出电桥的三种形式：

- ①等臂电桥：  $R_1 = R_2 = R_3 = R_{x0}$ ；
- ②卧式电桥：  $R_1 = R_{x0}$ ，  $R_2 = R_3$ ，  $R_1 \neq R_2$ ；
- ③立式电桥：  $R_1 = R_2$ ，  $R_{x0} = R_3$ ，  $R_3 \neq R_2$ ；

非平衡电桥的输出有两种情况：一种是输出端开路或负载电阻很大近似于开路，如后接高内阻数字电压表或高输入阻抗运放等情况，这时称为电压输出，实际使用中大多采用这种方式；另一种是输出端接有一定阻值的负载电阻，这时称为功率输出，简称功率电桥。下面我们分析一下电压输出时的输出电压与被测电阻的变化关系。

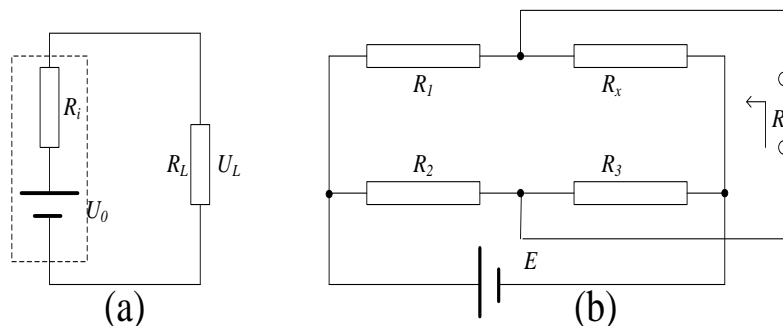


图 2 非平衡电桥等效电路

根据戴维南定理，图 1 所示的桥路可等效为图 2 (a) 所示的二端口网络。其中  $U_0$  为输出端开路的输出电压。  $R_i$  为输出阻抗，等效图见图 2 (b)，可见

$$U_0 = \frac{R_L}{R_i + R_L} \left( \frac{R_x}{R_i + R_x} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \times E \quad (1)$$

$$\text{其中, } R_i = \frac{R_1 R_x}{R_1 + R_x} + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$\text{当 } R_L \rightarrow \infty \text{ 时有: } U_0 = \left( \frac{R_x}{R_i + R_x} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \times E \quad (2)$$

令  $R_x = R_{x0} + \Delta R$ ,  $R_x$  为被测电阻,  $R_{x0}$  为其初始值,  $\Delta R$  为电阻变化量。

代入(1)、(2)式有:

$$U_0 = \frac{R_L}{R_i + R_L} \times \frac{\Delta R \cdot R_2}{(R_1 + R_{x0} + \Delta R)(R_2 + R_3)} \times E \quad (3)$$

当  $R_L \rightarrow \infty$  时, 整理并将  $R_{x0} = \frac{R_1}{R_2} R_3$  代入得到:

$$U_0 = \frac{R_1}{(R_1 + R_{x0})^2} \times \frac{E \cdot \Delta R}{\left(1 + \frac{\Delta R}{R_1 + R_{x0}}\right)} \times \Delta R \quad (4)$$

这是作为一般形式非平衡电桥的输出与被测电阻的函数关系。

特殊地, 对于等臂电桥或卧式电桥 (4)式简化为:

$$U_0 = \frac{1}{4} \frac{E}{R_{x0}} \times \frac{\Delta R}{1 + \frac{\Delta R}{2R_{x0}}} \quad (5)$$

被测电阻的  $\Delta R \ll R_{x0}$  时, (4)式可简化为:

$$U_0 = \frac{R_1}{(R_1 + R_{x0})^2} \times E \times \Delta R \quad (6)$$

(5)式可进一步简化为:

$$U_0 = \frac{1}{4} \frac{E}{R_{x0}} \times \Delta R \quad (7)$$

此时,  $U_0$  与  $\Delta R$  呈线性关系;

测量传感器电路的输入—输出特性, 以确定其对应关系, 通常称作标定(或校正)。本实验的标定方法: 首先在测量范围下限(如  $0^\circ\text{C}$ )调节电桥平衡; 再调整并测出测温范围上限(如  $100^\circ\text{C}$ )的非平衡输出电压  $U_0$ ; 然后在测温范围内, 取若干点进行线性校正, 即改变温度, 测量输出电压  $U_0$  和温度  $T$ ; 再将测量数据进行线性拟合, 即可确定  $U_0$  和  $T$  的对应关系; 经过标定之后, 以后测量时根据测量值  $U_0$  就可以知道待测温度。在实际工业设计中,  $U_0$  可

以作为前级信号送到运算放大器放大，再经模数转换后可制成数字温度计，也可以构成智能检测或控制系统，将  $U_0$  和  $T$  的拟合关系表达式写入微处理器，经进一步信号处理后可实现反控系统。

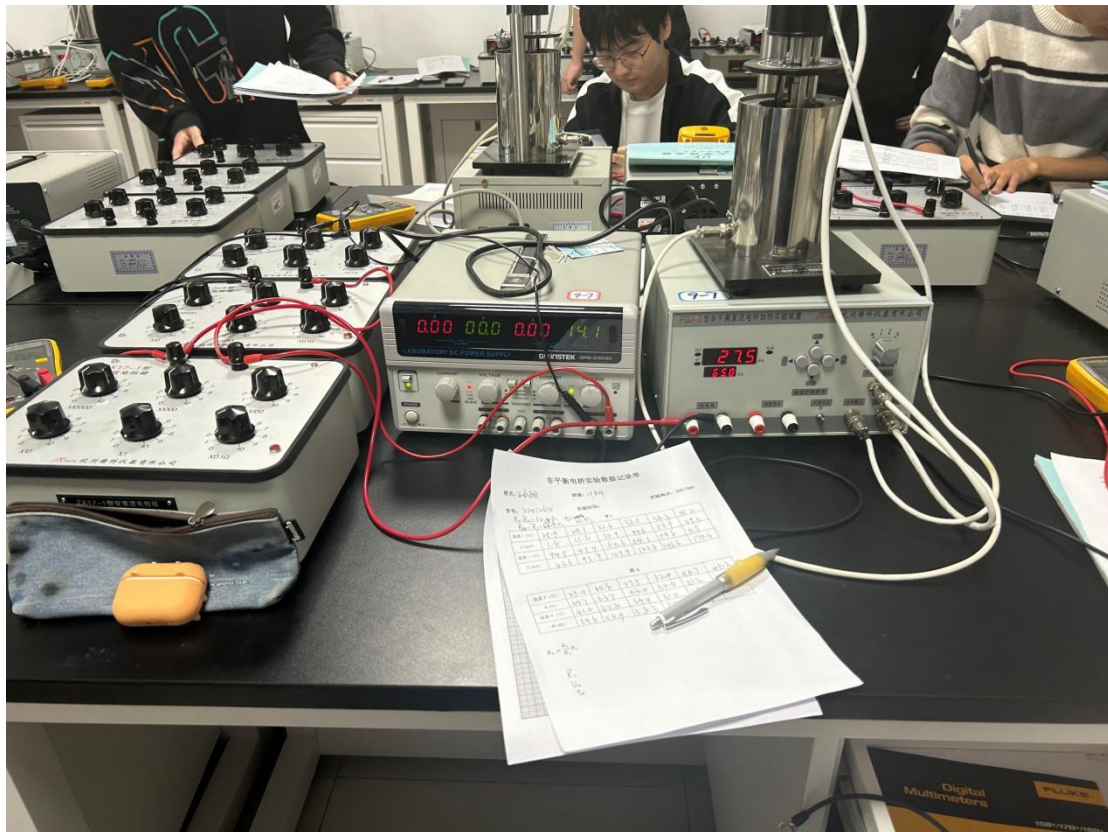
**灵敏度：**线性传感器的校准线的斜率就是静态灵敏度，它是传感器的输出变化量和输入变化量之比。对于非线性传感器，其灵敏度可以用拟合直线的斜率表示。

传感器电路的灵敏度与传感器本身的灵敏度、检测仪表及检测电路的相关参数有关。

**分辨率：**当传感器的输入从非零的任意值缓慢增加，只有在超出某一输入增量后输出才有变化，这个输入增量称为传感器的分辨率。分辨率说明了传感器的最小可测出的输入变量。

### 【实验内容】

1. 非平衡电桥电压输出形式测量铜电阻：将电路照片粘贴至此处
2. 用平衡电桥测量铜电阻：将电路照片粘贴至此处



### 【数据记录及数据处理】

用手机拍照的“文档”模式拍照“数据记录单”并将照片粘贴至此处。

# 非平衡电桥实验数据记录单

姓名: 王长俊

班级: 计科

学号: 22012670

实验时间: 11/21

实验地点: 205/209

$R_2 = R_3 = 50.8 \Omega$   
 $R_{x0} = R_1 = 50.8 \Omega$   
 $t = 25.9^\circ\text{C}$

表 1

温度 $t$ ( $^\circ\text{C}$ )	25.9	29.1	32.6	35.5	38.3	41.2
$U$ (mV)	1.8	15.6	30.9	44.6	56.9	69.3
温度 $t$ ( $^\circ\text{C}$ )	44.5	47.4	50.6	54.1	59.8	65
$U$ (mV)	83.6	95.9	109.9	123.8	146.6	170.6

表 2

温度 $T$ ( $^\circ\text{C}$ )	65.0	60.8	57.5	52.4	48.7	45.3
$R_x$ ( $\Omega$ )	64.7	63.7	63.0	62.0	61.2	60.5
温度 $T$ ( $^\circ\text{C}$ )	41.0	37.8	34.4	31.0	29.3	25.9
$R_x$ ( $\Omega$ )	59.6	58.9	58.3	57.5	57.1	56.2

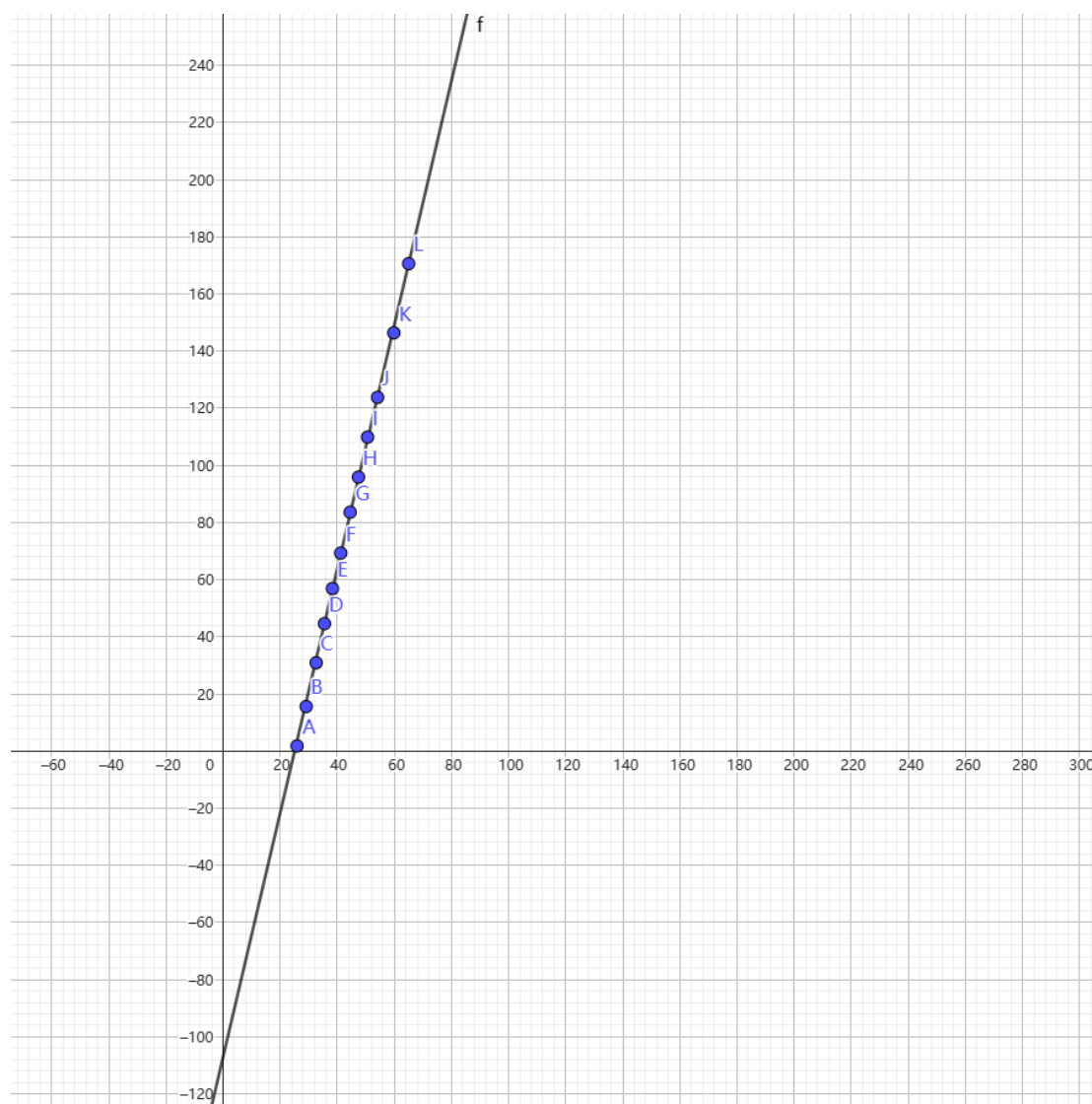
$$R_x = \frac{R_3}{R_2} R_1$$

张 23.11.21

$R_1$   
 $U_0$   
 $t_0$

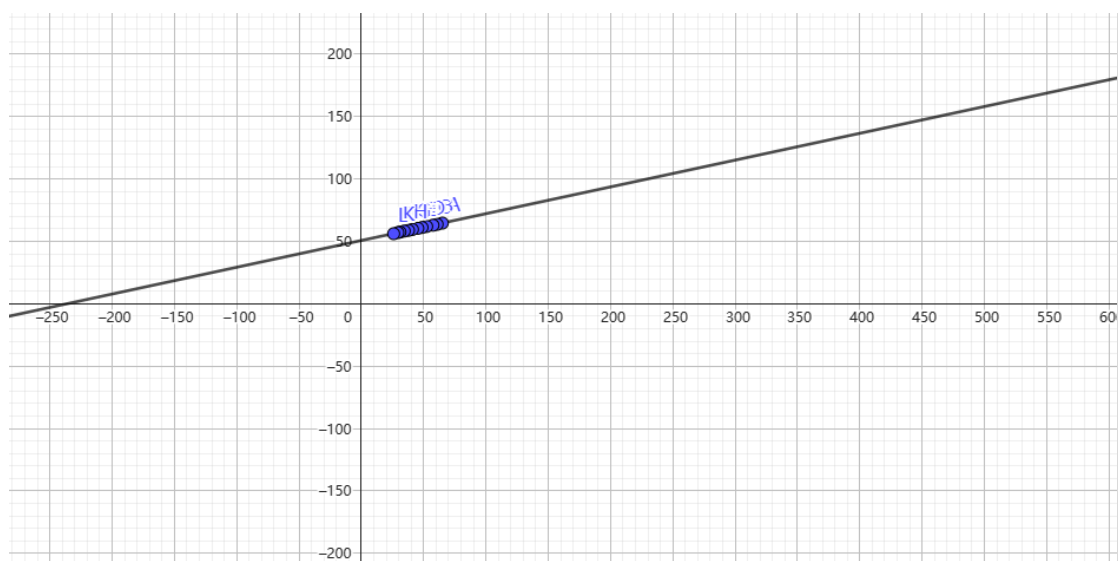
1、

根据表 1 的测量数据作  $U_0 - t$  图: 在坐标纸上绘制  $U_0 - t$  图, 用手机拍照的“文档”模式拍照  $U_0 - t$  图并将照片粘贴至此处或者用电脑软件作图粘贴至此处。



2、根据表 2 的测量数据作  $R_x - T$  图，并进行线性拟合，求出铜电阻的温度系数  $K$ ；在坐标纸上绘制  $U_0 - t$  图，用手机拍照的“文档”模式拍照  $R_x - T$  图并将照片粘贴至此处或者用电脑软件作图粘贴至此处。





$$K = \underline{\quad 0.214 \quad} \Omega/^{\circ}\text{C}$$

思考题：

### 1、总结本次实验的经验教训

一定不要着急动手，做实验前先回顾一下具体要干什么，每一步的目的是什么，这样才能确保实验在每一步没有重大的错误，确保后续的进行。

### 2、对本实验的建议（选作）