

## 热敏电阻温度传感实验

### 【概述】

温度传感器的特性测量和定标是大学普通物理热学实验和电磁学实验中的一个基本内容，是新的全国理工科物理实验教学大纲中一个重要实验。本实验仪器可用于多种温度传感器的特性测量和各种材料的电阻与温度关系特性测量实验。

### 【实验目的】

- 1、了解温度控制器的基本原理；
- 2、电流型集成温度传感器 AD590 的特性测量；
- 3、应用 AD590 设计数字温度计；
- 4、测量半导体热敏电阻阻值与温度的关系，求该半导体热敏电阻的经验公式。




### 【实验仪器】

仪器主要由恒温控制温度传感器实验仪、PT100 温度传感器、AD590 温度传感器、NTC 热敏电阻以及连接导线等组成。

### 【主要技术参数】

- 1、加热井控温范围：室温~100℃，分辨率 0.1℃；带过温保护和加热井散热功能；
- 2、可调稳压电源：1.5V~12V 连续可调；
- 3、四位半数字电压表，20V 和 2V 两档切换，最小分辨率 0.1mV；
- 4、NTC 热敏电阻特性测量模块一个；
- 5、AD590 特性测量模块一个、AD590 测温电桥模块一个。

### 【使用方法及注意事项】

- 1、温度控制器使用方法：将 PT100 温度传感器探头插在加热井中，输出插头与温控表下方的 PT100 插座对应相连，组成温度控制系统，实现对加热井温度的控制。按 SET 键 0.5 秒进入温度设定界面， 为设定位移键（被选择的位对应闪烁）， 为设定数字递增键， 为设定数字递减键，设定到需要的温度后再按一下 SET 键退出设定，此时在控温开关开启时，温度控制器将对加热井进行控温使达到设定温度值。
- 2、当需要对加热井进行降温时，将温度控制器温度值设定到室温以下并关闭控温开关，再开启加热井散热开关即可。
- 3、温度控制表的其它使用说明见附录 1，非专业人士指导下不要修改温控表其它参数。

## 实验一 负温度系数热敏电阻 (NTC 1K) 温度传感器温度特性的测量

### 【实验目的】

测量负温度系数 (NTC) 热敏电阻的阻值与温度的关系, 求得热敏电阻材料常数 B。

### 【实验仪器】

DH-WD-D 热敏电阻温度传感实验仪	1 台
NTC 热敏电阻温度传感器	1 只

### 【实验原理】

#### 1. 恒压源法测量热电阻特性

恒电流法测量热电阻, 电路如图 1 所示,

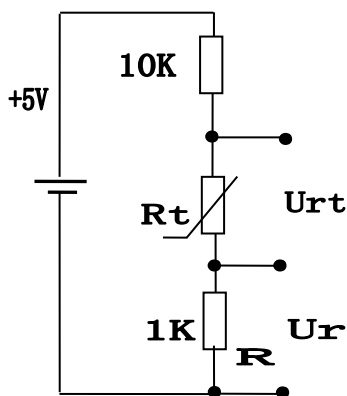


图 1

图 1 中,  $R$  为已知数值的固定电阻,  $R_t$  为热电阻。  $U_r$  为  $R$  上的电压,  $U_{rt}$  为  $R_t$  上的电压。假设回路电流为  $I_0$ , 根据欧姆定律,  $I_0 = U_r / R$ , 所以热电阻  $R_t$  为:

$$R_T = \frac{U_{rt}}{I_0} = \frac{R U_{rt}}{U_r} \quad (1)$$

#### 2. 负温度系数热敏电阻 (NTC 1K) 温度传感器

热敏电阻是利用半导体电阻阻值随温度变化的特性来测量温度的, 按电阻阻值随温度升高而减小或增大, 分为 NTC 型 (负温度系数热敏电阻)、PTC 型 (正温度系数热敏电阻) 和 CTC (临界温度热敏电阻)。NTC 型热敏电阻阻值与温度的关系呈指数下降关系, 但也可以找出热敏电阻某一较小的、线性较好范围加以应用 (如 35-42℃)。如需对温度进行较准确

的测量,则需配置线性化电路进行校正(本实验没进行全范围线性化校正,仅选取 35-42℃ 温度范围内进行相对线性化处理)。以上三种热敏电阻特性曲线见图 2。

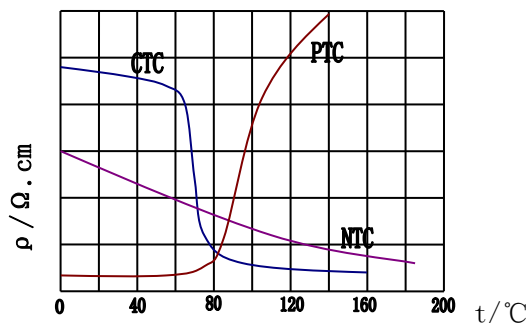


图 2 热敏电阻特性曲线

在一定的温度范围内(小于 150℃) NTC 热敏电阻的电阻  $R_T$  与温度  $T$  之间有如下关系:

$$R_T = R_0 e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} \quad (2)$$

(2) 式中  $R_T$ 、 $R_0$  是温度为  $T$ 、 $T_0$  时的电阻值(  $T$  为热力学温度,单位为 K);  $B$  是热敏电阻材料常数,一般情况下  $B$  为 2000~6000K。对一定的热敏电阻而言,  $B$  为常数,对(2)式两边取对数,则有:

$$\ln R_T = B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}) + \ln R_0 \quad (3)$$

由(3)式可见,  $\ln R_T$  与  $1/T$  成线性关系,作  $\ln R_T - (1/T)$  直线图,用直线拟合,由斜率即可求出常数  $B$ 。

## 【实验内容】

### NTC 热敏电阻温度特性测量实验

- 1、将控温传感器 PT100 探头插入加热井中,并将三芯插头与温控表下方的 PT100 插座对应相连,构成温度控制系统,实现加热井温度控制;将 NTC 温度传感器探头插入加热井中另一个孔内,把输出插头与处理单元对应的 NTC 插座连接起来;
- 2、按图 3 接线和电压表选择 mV 档;电压  $V_i$  调节到 5V;从室温起开始测量,然后每隔 5.0℃ 设定一次温控器,待温度稳定后(2 分钟内温度变化在  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  以内),测量热敏电阻上对应电压  $U_{RT}$  (纽子开关打向  $V_{o1}$ ) 以及取样电阻  $R_2$  (1KΩ) 上电压  $U_r$  (纽子开关打向  $V_{o2}$ ),根据公式(1) 求出  $R_T$  与温度  $t$  的关系。

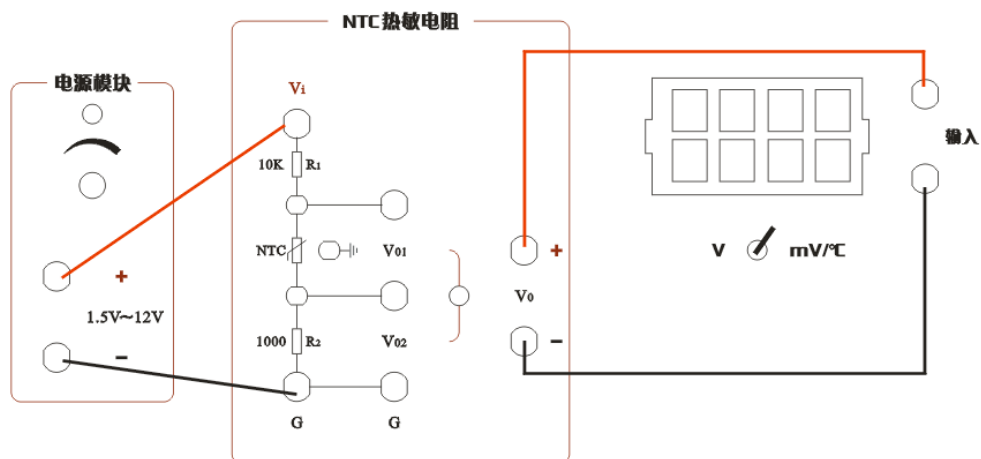


图 3 NTC 热敏电阻特性测量

作  $\ln R_T - (1/T)$  直线图，用直线拟合，由斜率即可求出常数 B。

#### 【实验数据举例】（数据仅供参考）

\*本实验所用传感器与仪器出厂所配传感器性能有一定差异，实验数据仅供参考

表 1 NTC 热敏电阻与温度的关系

$t/^{\circ}\text{C}$	25	30	35	40	45	50
$T \text{ (K)}$	298.15	303.15	308.15	313.15	318.15	323.15
$1/T \text{ (}\times 10^{-3}\text{K}^{-1}\text{)}$	3.354	3.299	3.245	3.193	3.143	3.095
$R_T \text{ (}\Omega\text{)}$	933.9	763.5	628.4	519.3	433.3	363.0
$\ln(R_T)$	6.839	6.638	6.443	6.252	6.071	5.894
$t/^{\circ}\text{C}$	55	60	65	70	75	80
$T \text{ (K)}$	328.15	333.15	338.15	343.15	348.15	353.15
$1/T \text{ (}\times 10^{-3}\text{K}^{-1}\text{)}$	3.047	3.002	2.957	2.914	2.872	2.832
$R_T \text{ (}\Omega\text{)}$	305.7	258.8	220.2	188.2	161.6	139.3
$\ln(R_T)$	5.723	5.556	5.394	5.237	5.085	4.937

\*如需节省时间，可每隔 10.0 $^{\circ}\text{C}$ 控温系统设置一次。

根据表 1 数据，绘制  $\ln R_T - (1/T)$  图，见图 4 所示：

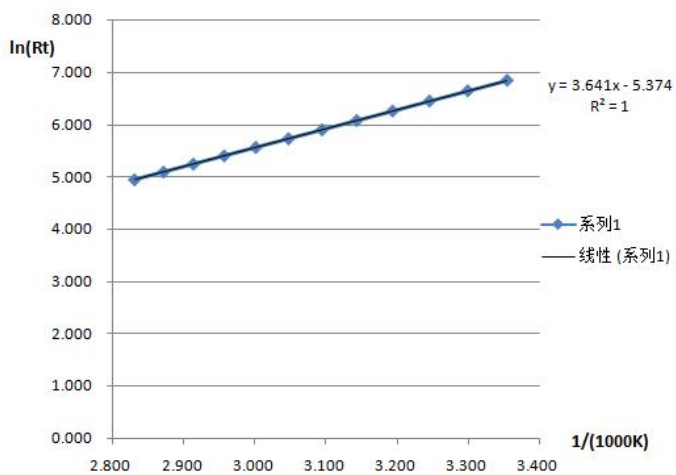


图 4  $\ln R_T - (1/T)$  图

对  $\ln R_T - (1/T)$  图中数据作直线拟合，得到斜率  $B = 3.641 \times 10^3 \text{K}$ 。

即热敏电阻阻值  $R_T$  与温度  $T$  的关系满足： $R_T = Ae^{B/T}$  的指数关系。

## 实验二 集成电路温度传感器 AD590 的特性测量及应用

随着科技的发展，各种新型的集成电路温度传感器器件不断涌现，并大批量生产和扩大应用。这类集成电路测温器件有以下几个优点：（1）温度变化引起输出量的变化呈现良好的线性关系；（2）不像热电偶那样需要参考点；（3）抗干扰能力强；（4）互换性好，使用简单方便。因此，这类传感器已在科学研究、工业和家用电器温度传感器等方面被广泛使用于温度的精确测量和控制。

### 【实验目的】

- 1、测量电流型集成电路温度传感器 AD590 的温度特性。
- 2、利用 AD590 温度传感器设计数字式温度计。

### 【实验仪器】

DH-WD-D 热敏电阻温度传感实验仪	1 台
AD590 集成温度传感器	1 只

### 【实验原理】

AD590 集成电路温度传感器是由多个参数相同的三极管和电阻组成。该器件的两端当加有某一定直流工作电压时（一般工作电压可在 4.5V—20V 范围内），它的输出电流与温度满足如下关系：

$$I=Bt+A$$

式中，I 为其输出电流，单位  $\mu\text{A}$ ，t 为摄氏温度，B 为斜率（一般 AD590 的  $B=1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ ，即如果该温度传感器的温度升高或降低  $1^\circ\text{C}$ ，传感器的输出电流增加或减少  $1\mu\text{A}$ ），A 为摄氏零度时的电流值，其值恰好与冰点的热力学温度 273K 相对应。（对市售一般 AD590，其 A 值从 273—278  $\mu\text{A}$  略有差异。）利用 AD590 集成电路温度传感器的上述特性，可以制成各种用途的温度计。采用非平衡电桥线路，可以制作一台数字式摄氏温度计，即 AD590 器件在  $0^\circ\text{C}$  时，数字电压显示值为“0”，而当 AD590 器件处于  $t^\circ\text{C}$  时，数字电压表显示值为“t”。

### 【实验内容】

- 1、AD590 传感器温度特性测量。

（1）将控温传感器 PT100 探头插入加热井中，并将三芯插头与温控表下方的 PT100 插座对应相连，构成温度控制系统，实现加热井温度控制；将 AD590 温度传感器探头插入加热井中另一个孔内，把输出插头与处理单元对应的 AD590 插座连接起来，注意接线（AD590

的正负极不能接错，AD590 的工作电压一般为+4~+30V，红色插脚为正极，黑色插脚为负极），调节电源模块，使输入电压  $V_i=8V$ 。

（2）测量 AD590 集成电路温度传感器的电流  $I$  与温度  $t$  的关系，电流  $I=V_o/R_3$ ，取样电阻  $R_3$  的阻值为  $1000\ \Omega$ ，数据计入表 2。

（3）根据测量的数据，绘制  $I-t$  曲线，把实验数据用最小二乘法进行拟合，求斜率  $B$  截距  $A$  和相关系数  $r$ 。

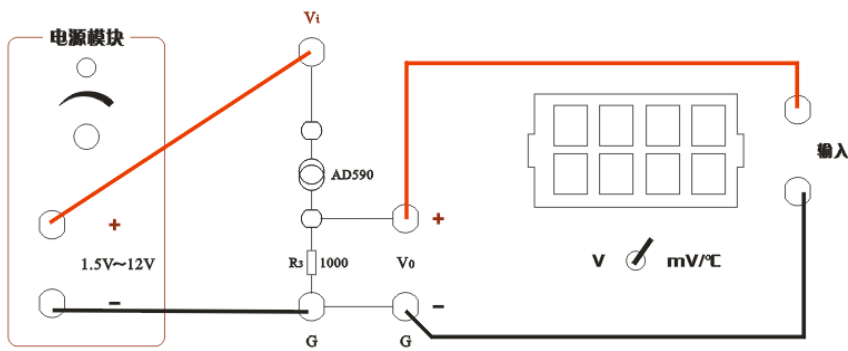


图 5 AD590 传感器温度特性测量

2、制作量程为 0—50℃范围的数字温度计。

（1）按图 6 接线，图中 AD590 与电阻  $R_4$ 、 $R_5$  以及  $R_w$  构成非平衡电桥，其中  $R_4=R_5=1000\ \Omega$ ， $R_w$  为可调电位器；

（2）将电桥的供电电压  $V_i$  设定到  $8V$ ，将 AD590 探头放置在冰水混合物中，调节电位器  $R_w$ ，使电桥输出电压为  $0000.0mV$ （对应  $0000.0^{\circ}C$ ），实现数字温度计零点校准；如果实验室没有冰水混合物，可以将加热井温度控制在稳定的  $25^{\circ}C$ ，将 AD590 传感器置于加热井中使稳定数分钟后，调节电位器  $R_w$ ，使电压表显示为  $25.0mV$  即可。

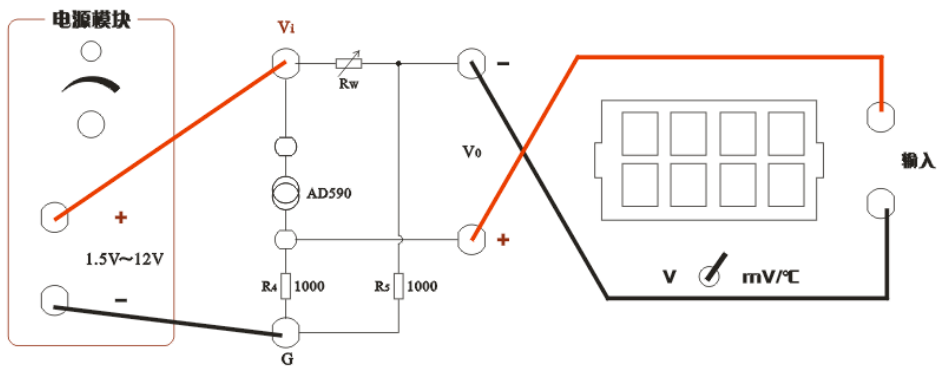


图 6 AD590 数字温度计测温实验

(3) 利用设计的数字温度计测量加热井中的温度，并与温度控制表上显示的温度进行对比。

(4) 用设计的数字温度计测量人体温度。

3、令图 5 中电源电压  $V_i$  发生变化，如从 8V 变为 10V，观测一下，AD590 传感器输出电流有无变化？分析其原因。

4、测量不同温度调节下 AD590 传感器的输出电流和工作电压关系测量（选做）

将 AD590 传感器处于恒定温度，按图 5 接线，调节电源输出电压从 1.5V—10V，测量加在 AD590 传感器上的电压  $U$  ( $U=V_i-V_o$ ) 与输出电流  $I$  ( $I=V_o/R_s$ ) 的对应值，要求实验数据 20 点以上。在 EXCEL 中作 AD590 传感器输出电流  $I$  与工作电压  $U$  的关系图，求出该温度传感器输出电流与温度呈线性关系的最小工作电压  $U_r$ 。

### 【实验数据举例】（数据仅供参考）

1. 测量 AD590 传感器输出电流  $I$  和温度  $t$  之间的关系，求  $I$ - $t$  关系的经验公式。

表 2 AD590 传感器温度特性测量

$t/^{\circ}\text{C}$	20	25	30	35	40	45	50
$V_o/\text{V}$	0.2946	0.3002	0.3055	0.3099	0.3151	0.3205	0.3252
$I/\mu\text{A}$	294.6	300.2	305.5	309.9	315.1	320.5	325.2

将表 2 的数据输入到 EXCEL 中得到  $I$ - $t$  曲线如图 7：

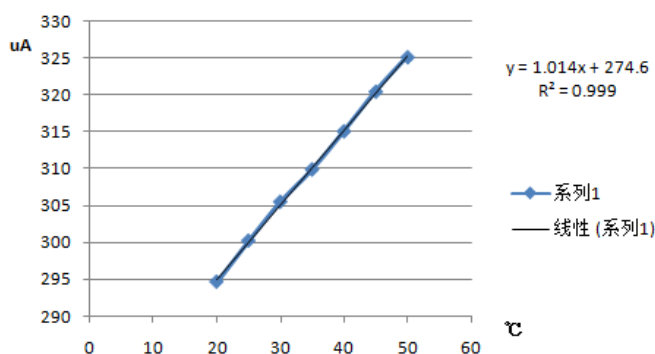


图 7 AD590 输出电流  $I$  与温度  $t$  关系图

对图 7 所示曲线进行直线拟合，得到直线： $y=1.014x+274.6$ ；

斜率  $B=1.014 \mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$ ；



截距  $A=274.6\ \mu\text{A}$ ;

相关系数  $R^2=0.999$ ;

与灵敏度标准值  $B=1.000\ \mu\text{A}/^\circ\text{C}$  相比百分误差为 1.4%;

## 2. 制作数字温度计

将设计的数字温度计校准后测量加热井的温度，与温控表的指示值进行对比如下：

加热井温度值 $^\circ\text{C}$	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
数字温度计测量值 $^\circ\text{C}$	25.1	30.2	35.4	40.5	45.5	50.6

## 3. 不同温度条件下 AD590 输出电流与工作电压的关系（摘录于 AD590 产品标准）

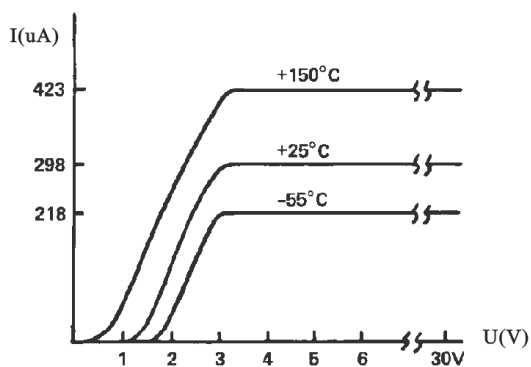


图 8 AD590 输出电流  $I$  与工作电压  $U$  曲线图

附录 1:

仪表操作说明:

