《基础物理实验》课程完整报告

学院： 物理学院　专业： 物理学　年级： 2024 级　地址： 陆佑堂

日期： 2025 年 10 月 3 日　　时间： 上午

室温： 29°C　　相对湿度： None

实验人姓名（学号）： 周文斌 (　　)

参加人姓名（学号）： 焦润泽 (　　)

实验 G1 温度测控仪的设计和组装

1　实验目的

(1) 学习数显温度计和温度控制仪的工作原理。

(2) 利用 LM35 型温度传感器组装温度测试和控制电路。

2　仪器用具

表 1: 仪器用具

仪器名称	数量	主要参数 (型号、精度等)
致冷/加热温度控制仪	1	HJK-100
直流稳压稳流电源	1	JK-31
数字万用表	1	DM3068
加热井	1	
致冷井	1	
温度传感器	1	LM35
九孔板	1	
导线	若干	

3　实验原理

本实验利用 LM35 电压型温度传感器作为感温元件，组装温度测试和控制电路。

3.1　温度传感器

LM35 电压型集成电路温度传感器。输出电压大小与温度成正比，线性度极好，准确度一般为 ±0.5℃。内部有激光校准电路，保证了极高的准确度及一致性。被测温度与输出电压的关系可写为

$$T℃) = V_0/K_V$$

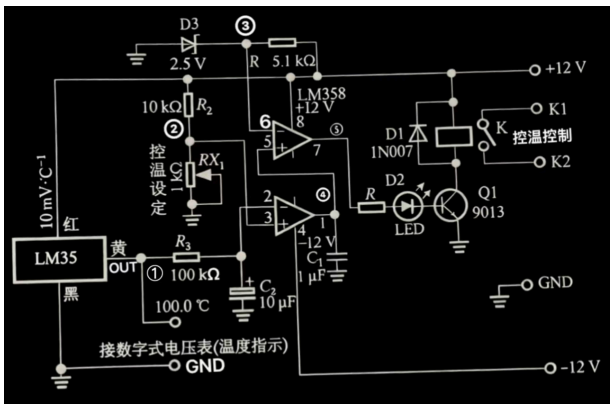


图 1

其中，K_V 称为电压温度系数，$K_V = 10.0mV \cdot ℃^{-1}$。

3.2 温度测控仪电路

图 1所示电路中测试点　的电压随温度线性变化，由式 (G1.2) 确定。调节 RX_1 使测试点　的电压为 0.800 V (即控温 80 ℃)。温度低于设置的温度时，测试点　和　为高电平，开关 K 吸合，开始加热；温度高于设置温度时，测试点　和　为低电平，继电器开关 K 断开，停止加热。

4 实验内容

基于 LM35 温度传感器的数显温度测控仪

(1) 参照图 1组装电路，在室温时测量并记录 5 个测试点的对地电压。

(2) 改变温度，测量数字电压表测量值随温度变化关系曲线。

(3) 根据曲线确定 80 ℃ 对应的电压，将温度控制电压设置为该值。

(4) 观察电路工作状态，记录继电器通、断时对应的温度，以及受控温金属浴温度波动的最小值 T_{min} 和最大值 T_{max}, 则控温精度为 $\Delta T = T_{max} - T_{min}$

5 数据记录及处理

5.1 数据表

5.1.1 5 个测试点对地电压

表 2: 5 个测试点对地电压

	①	②	③	④	⑤
U/V	0.319	0.320	1.251	1.259	-6.928

5.1.2 电压-温度关系曲线

表 3: LM35 温度传感器温度-电压对应表 (0°C 到 100°C)

温度 (°C)	升温电压 (V)	降温电压 (V)
0	0.009	0.011
5	0.047	0.061
10	0.082	0.111
15	0.148	0.153
20	0.198	0.203
25	0.249	0.243
30	0.300	0.293
35	0.341	0.334
40	0.392	0.382
45	0.452	0.432
50	0.482	0.480
55	0.527	0.527
60	0.570	0.573
65	0.611	0.617
70	0.662	0.671
75	0.703	0.716
80	0.742	0.770
85	0.793	0.813
90	0.843	0.843
95	0.883	0.893
100	0.930	0.930

5.2 通断时温度及控温精度

表 4: 5 个测试点对地电压

	T_{min}	T_{max}	ΔT
T/℃	79.4	81.0	1.6

5.3 数据图

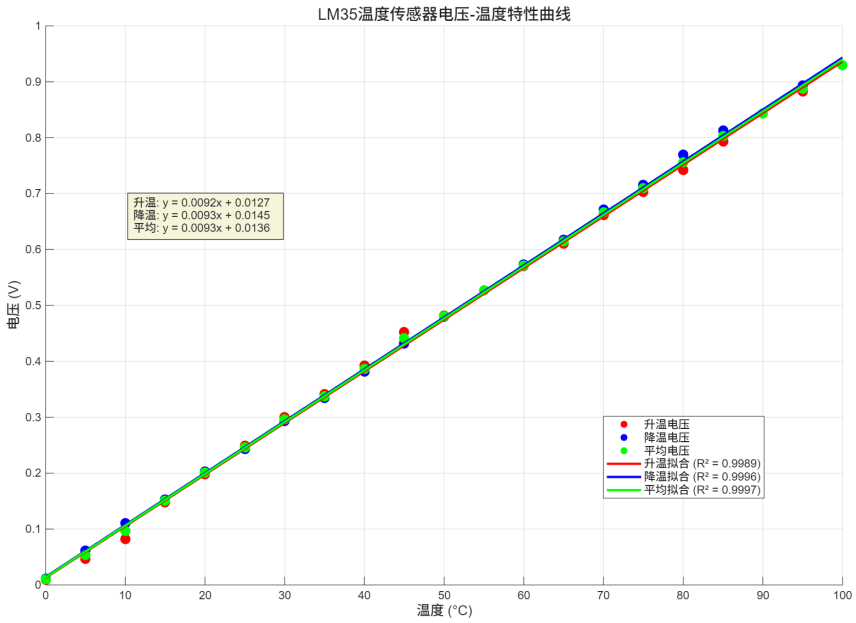


图 2

5.4 讨论分析

我们可以看出曲线拟合程度较好，说明实验操作大致没有问题。

其中升温降温两线的取平均是最贴合的，而升温普遍较低，降温普遍较高，是由于回滞现象，即当升温时原本温度更低，降温时原本温度更高，即使升温到特定温度，也会有一些原有情况滞留存在

我们数据存在明显低温区照比高温区更贴近理论值，并且最终 100℃ 时电压未到 1.0V，主要原因可能为系统误差，为实验仪器 (主要是加热井和传感器) 不精准，因为实验开始时，我们发现我们的传感器和加热井较为陈旧，同时致冷井完全坏掉，更换了新的致冷井，所以低温区较为理想。

我们的数据在 25℃-55℃ 区间出现降温电压小于升温电压的反常情况，我们推测主要原因系偶然误差与系统误差，为由于该实验课时要求，分两周完成，第一周实验在我们降温至 65℃ 左右时停止，因此第一周我们升温实验是在上课后接近 11 点时操作，已加热多次、长时间，器件可能有更高余热，而我们的降温实验是在第二周一开始操作，器件第一次加热又降温，器件所含余热相对会更低，并且加热井的老化不精确更加剧了这点，同时这个效应也可由当温度降到 25℃ 以下，即室温以下到不太由该效应引起的反常所影响时又出现降温过程电压比升温高的现象所说明验证

6 思考题

(1) 当前温度控制的最有效方法为 PID 控温，试简述 PID 控温的基本原理。

(2) 若需要将一个不大于 5 mm×5 mm×5 mm 的固体样品的温度控制在 30 K 附近，可采用什么方法？请作介绍。

(3) 若需要将一个不大于直径 10 mm、厚 1 mm 的固体样品的温度控制在 1200 ℃附近，可采用什么方法？请作介绍。

解答：

(1)PID 控温是一种应用最广泛的先进控制方法，其名称来源于三个基本控制环节：比例（P）、积分（I）、微分（D）。它的基本原理是根据当前温度（被控量）与目标温度（设定值）之间的偏差，通过 P、I、D 三种作用的线性组合，计算出控制信号（如加热器的功率），从而使系统温度快速、准确、稳定地达到并维持在设定值。

(2) 采用闭环循环制冷机（如 G-M 制冷机或脉冲管制冷机）结合真空和绝热技术的低温恒温器

制冷机启动，将冷头冷却至远低于 30 K（例如 15 K）。PID 控制器开始工作：传感器测量到的样品温度（如 15 K）低于目标温度（30 K），PID 控制器会向加热器输出一个精确的功率，对样品进行“加热”，利用精确的热量输入来对抗过度的冷却，从而将样品温度稳定地控制在 30 K。

(3) 采用小型高温管式炉结合 PID 控制器和热电偶。

该系统通过热电偶实时监测炉内温度，并由 PID 控制器根据测量值与 1200℃ 目标值的偏差，动态调节加热元的功率，从而在通有保护气体的管式炉内，实现对小块样品温度的精确与稳定控制。

参考文献

[1] 沈韩. 大学物理实验[M]. 北京: 科学出版社, 2024.

附录: 源代码

Listing 1: 数据图 MATLAB code

```
temperature = [0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65,
    70, 75, 80, 85, 90, 95, 100];
heating_voltage = [0.009, 0.047, 0.082, 0.148, 0.198, 0.249, 0.300,
    0.341, 0.392, 0.452, 0.482, 0.527, 0.570, 0.611, 0.662, 0.703,
    0.742, 0.793, 0.843, 0.883, 0.930];
cooling_voltage = [0.011, 0.061, 0.111, 0.153, 0.203, 0.243, 0.293,
    0.334, 0.382, 0.432, 0.480, 0.527, 0.573, 0.617, 0.671, 0.716,
    0.770, 0.813, 0.843, 0.893, 0.930];
average_voltage = (heating_voltage + cooling_voltage) / 2;

p_heat = polyfit(temperature, heating_voltage, 1);
p_cool = polyfit(temperature, cooling_voltage, 1);
p_avg = polyfit(temperature, average_voltage, 1);

y_heat_fit = polyval(p_heat, temperature);
y_cool_fit = polyval(p_cool, temperature);
y_avg_fit = polyval(p_avg, temperature);

```

```
14 r2_heat = 1 - sum((heating_voltage - y_heat_fit).^2) /
       sum((heating_voltage - mean(heating_voltage)).^2);
15 r2_cool = 1 - sum((cooling_voltage - y_cool_fit).^2) /
       sum((cooling_voltage - mean(cooling_voltage)).^2);
16 r2_avg = 1 - sum((average_voltage - y_avg_fit).^2) /
       sum((average_voltage - mean(average_voltage)).^2);
17
18 temp_fit = linspace(0, 100, 200);
19 heat_fit = polyval(p_heat, temp_fit);
20 cool_fit = polyval(p_cool, temp_fit);
21 avg_fit = polyval(p_avg, temp_fit);
22
23 % 绘图
24 figure('Position', [100, 100, 1200, 800]);
25
26 scatter(temperature, heating_voltage, 80, 'red', 'filled',
       'DisplayName', '升温电压');
27 hold on;
28 scatter(temperature, cooling_voltage, 80, 'blue', 'filled',
       'DisplayName', '降温电压');
29 scatter(temperature, average_voltage, 80, 'green', 'filled',
       'DisplayName', '平均电压');
30
31 plot(temp_fit, heat_fit, 'red', 'LineWidth', 2, 'DisplayName',
       sprintf('升温拟合␣(R²␣=␣%.4f)', r2_heat));
32 plot(temp_fit, cool_fit, 'blue', 'LineWidth', 2, 'DisplayName',
       sprintf('降温拟合␣(R²␣=␣%.4f)', r2_cool));
33 plot(temp_fit, avg_fit, 'green', 'LineWidth', 2, 'DisplayName',
       sprintf('平均拟合␣(R²␣=␣%.4f)', r2_avg));
34
35 equation_text = {
36     sprintf('升温:␣y␣=␣%.4fx␣+␣%.4f', p_heat(1), p_heat(2)),
37     sprintf('降温:␣y␣=␣%.4fx␣+␣%.4f', p_cool(1), p_cool(2)),
38     sprintf('平均:␣y␣=␣%.4fx␣+␣%.4f', p_avg(1), p_avg(2))
39 };
40
41 annotation('textbox', [0.02, 0.75, 0.2, 0.2], 'String',
       equation_text, ...
42     'FitBoxToText', 'on', 'BackgroundColor', [0.96 0.96 0.86], ...
43     'FontSize', 10, 'EdgeColor', 'black');
44
45 xlabel('温度␣(°C)', 'FontSize', 12);
46 ylabel('电压␣(V)', 'FontSize', 12);
47 title('LM35温度传感器电压-温度特性曲线', 'FontSize', 14);
48 legend('Location', 'northwest', 'FontSize', 10);
49 grid on;
50 xlim([0, 100]);
```

```
51  ylim([0, 1.0]);
52
53  hold off;
54
55  fprintf('升温拟合方程:␣y␣=␣%.4fx␣+␣%.4f,␣R²␣=␣%.4f\n', p_heat(1),
        p_heat(2), r2_heat);
56  fprintf('降温拟合方程:␣y␣=␣%.4fx␣+␣%.4f,␣R²␣=␣%.4f\n', p_cool(1),
        p_cool(2), r2_cool);
57  fprintf('平均拟合方程:␣y␣=␣%.4fx␣+␣%.4f,␣R²␣=␣%.4f\n', p_avg(1),
        p_avg(2), r2_avg);
```

附录: 原始数据

LM35 温度传感器原始实验数据:

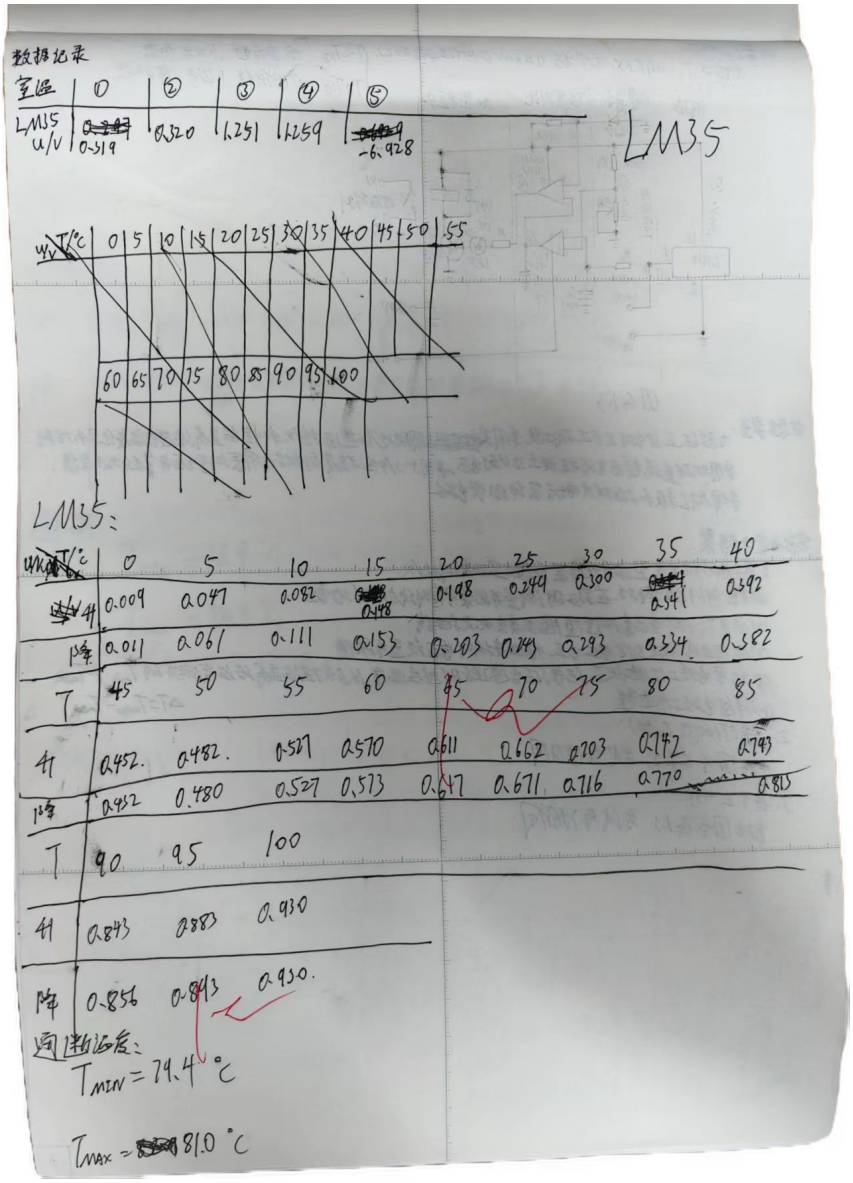


图 3

AD590 温度传感器原始实验数据:

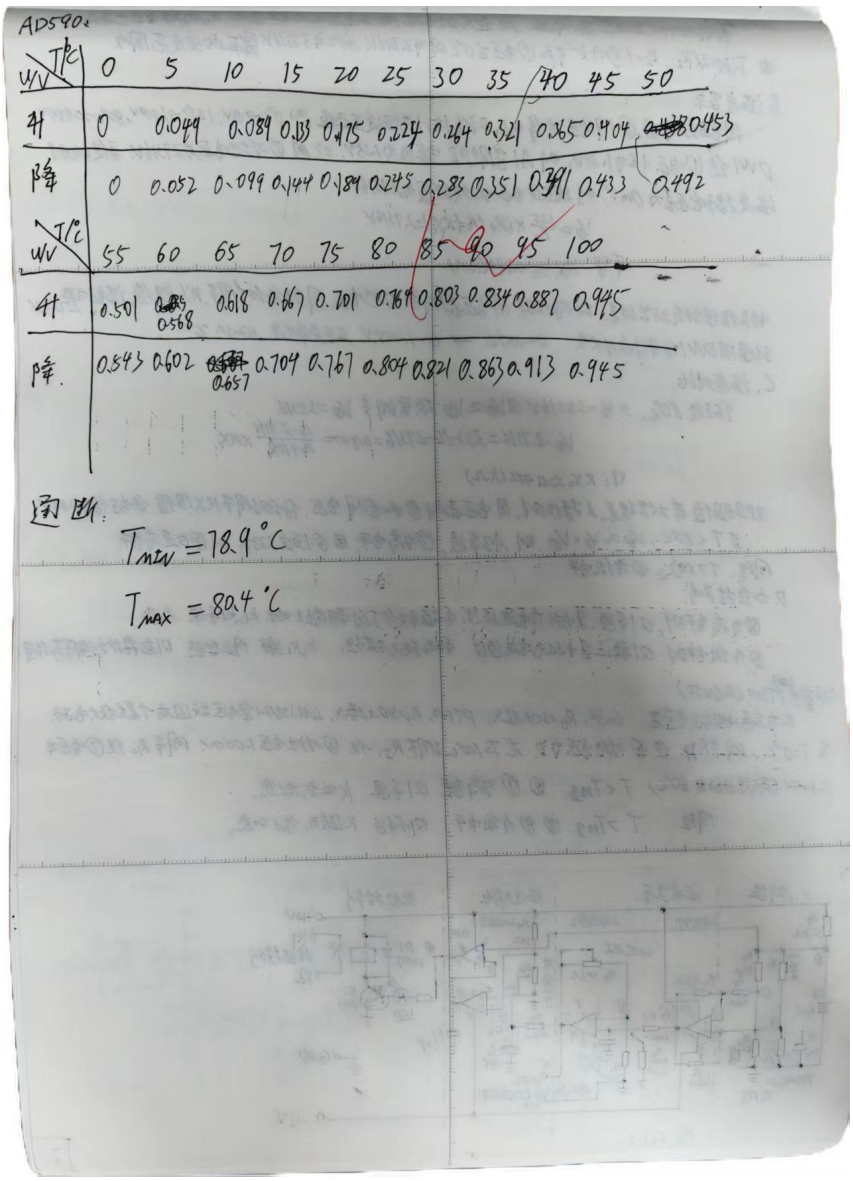

AD590
T/℃
U/V
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
升 0 0.049 0.089 0.133 0.175 0.224 0.264 0.321 0.365 0.404 0.453
降 0 0.052 0.099 0.144 0.184 0.245 0.283 0.351 0.391 0.433 0.492
T/℃
U/V
55 60 65 70 75 80 85 90 95 100
升 0.501 0.568 0.618 0.667 0.701 0.764 0.803 0.834 0.887 0.945
降 0.543 0.602 0.657 0.704 0.767 0.804 0.821 0.863 0.913 0.945
通断:
$T_{min} = 78.9\,^{\circ}C$
$T_{MAX} = 80.4\,^{\circ}C$

图 4