

# 浙江大学实验报告

2024/3/26

## Lab5 仪用放大电路及其应用实验

### 一、实验目的

1. 了解热电阻传感器的原理与应用；
2. 掌握普通运放构成的放大电路的电路结构及设计方法；
3. 了解仪表放大器与运算放大器的性能区别；
4. 掌握仪表放大器的电路结构及设计方法；
5. 比较各电路的测量精度分析与指标测试。

### 二、实验要求

设计并制作一个Pt100热电阻的温度测量放大器。输入信号 $V_i$ 取自桥式测量电路的输出 $U_o$ 。

### 三、实验原理

#### 差分放大电路原理

将两个输出信号 $V_+$  和 $V_-$  分解为差模信号和共模信号。

$$\text{差模信号: } V_{id} = V_+ - V_-$$

$$\text{共模信号: } V_{ic} = V_+ + V_-$$

对于差分放大电路而言，需要对差模信号进行有效放大，同时对共模信号的输入需要进行抑制。差模信号的电压放大倍数称为差模电压放大倍数，用 $A_{vd}$ 表示：

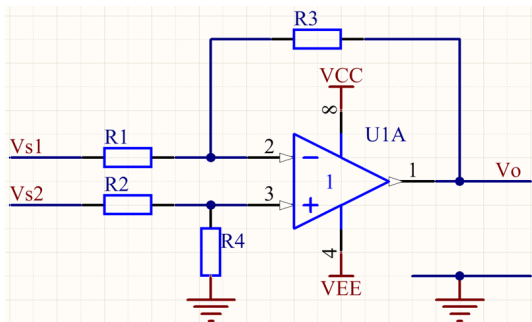
$$A_{vd} = V_{od} / V_{id}$$

由于实际电路往往做不到完全抑制共模输入信号，用共模电压放大倍数 $A_{vc}$ 来衡量差分放大电路的性能：

$$A_{vc} = V_{oc} / V_{ic}$$

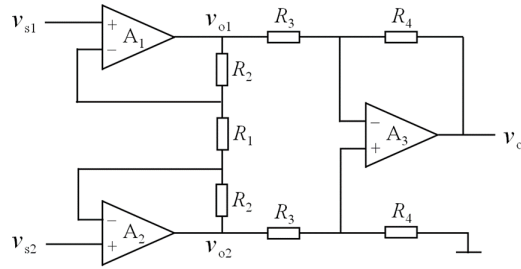
将差模电压放大倍数与共模电压放大倍数之比的绝对值定义为共模抑制比 $K_{CMR}$ 。

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_{vd}}{A_{vc}} \right|$$



为抑制放大器自身的电压偏置，选用 $R_1 = R_2, R_3 = R_4$

$$V_o = \frac{R_3}{R_1}(V_{s2} - V_{s1})$$

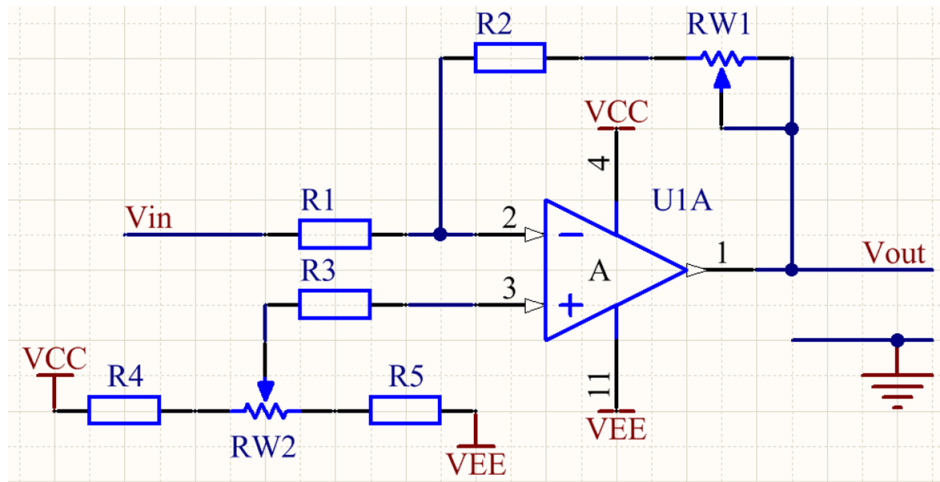


$$V_{O1} = (1 + \frac{2R_2}{R_1}) \frac{V_d}{2} + V_c$$

$$V_{O1} = -(1 + \frac{2R_2}{R_1}) \frac{V_d}{2} + V_c$$

$$V_O = -(1 + \frac{2R_2}{R_1}) \frac{R_4}{R_3} V_d$$

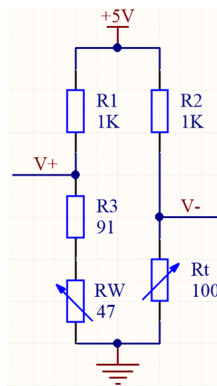
$$\dot{A}_v = -(1 + \frac{2R_2}{R_1}) \frac{R_4}{R_3}$$



使用以上电路，能够通过

- RW2调整输出零点电压；
- RW1调整电路增益。

## 温度测量原理



1. 以Pt100的电阻值为温度标准值。电源为+5V直流电压。
2. 室温时，加+5V电源，调节 $R_W$ 使 $V_+$ 和 $V_-$ 端的电压相等，使 $R_3 + R_W$ 的电阻值与热电阻 $R_t$ 的阻值相等；

然后去掉+5V电源，将V<sub>+</sub>和V<sub>-</sub>两端短路，测量短路点与地之间的电阻值，乘以二即为室温时热电阻R<sub>t</sub>的阻值；

对照热电阻Pt100的分度表，即可得到此时的室温值。

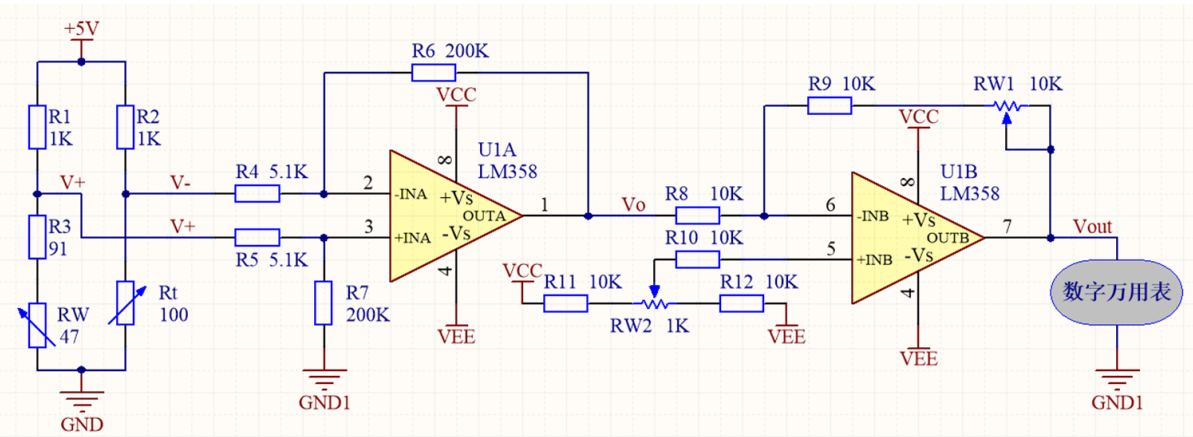
- 3. 调节R<sub>W</sub>，使R<sub>3</sub>+R<sub>W</sub>=100Ω（测量电压）。
- 4. 温度测量时，保持R<sub>3</sub>+R<sub>W</sub>的阻值100Ω不变，测量V<sub>+</sub>与V<sub>-</sub>两端间的电压值，可以计算热电阻Pt100在某个温度下的电阻值，查表得到温度实际值。

## 四、实验过程与步骤

### 电路初步调节

调节Pt100所在电路电位器组织大小，即调节R<sub>W</sub>使得V<sub>+</sub>输出电压为0.455V左右。

### 单个运算放大器温度测量电路

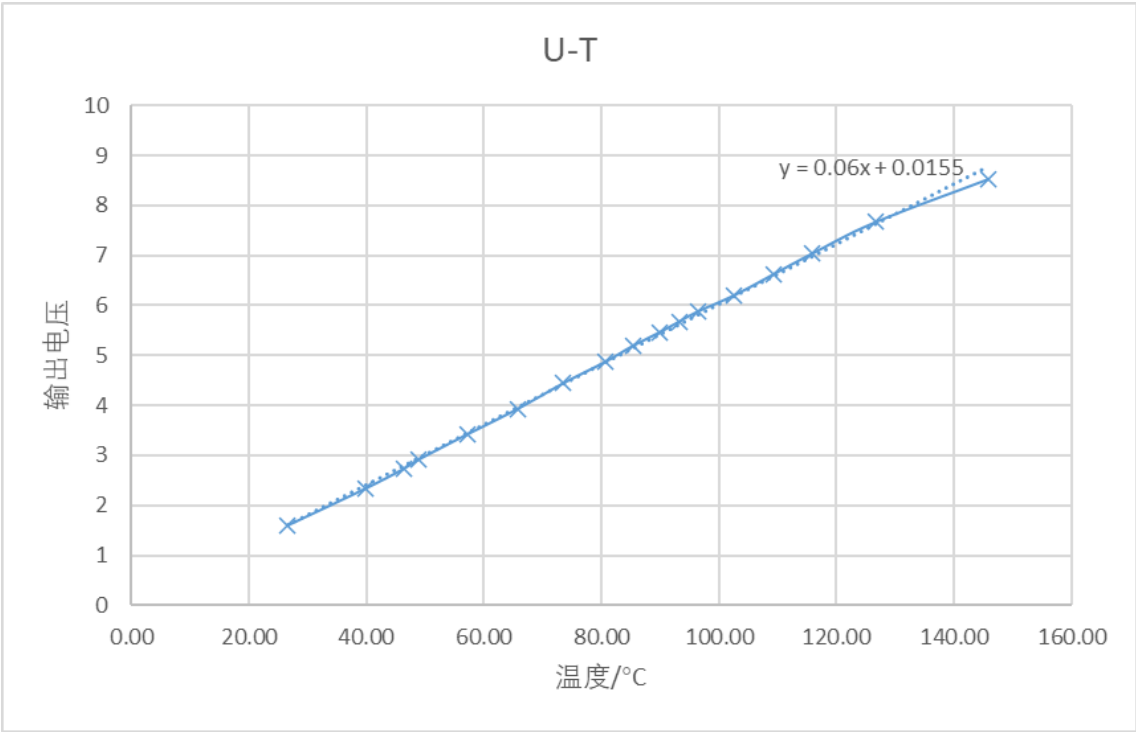


- 1. 连接电路为上图，先将V<sub>-</sub>所在管脚与V<sub>+</sub>连接在同一电位上，调节RW2的阻值，使得输出电压为0V（避免非线性失真）。
- 2. 将电路恢复原状，调节RW1，使得输出电压大小合适。
- 3. 使用万用表测量V<sub>-</sub>，V<sub>out</sub>数据。
- 4. 通过V<sub>-</sub>大小，得到Pt100的阻值，换算得到R<sub>t</sub>以后，通过温度-阻值对照表得到温度值。
- 5. 绘制温度，输出电压的曲线图，观察输出的线性性质：

V-	R	T	$\Delta$	V_o
0.497	110.37	26.59	-0.04	1.603
0.518	115.57	39.93	-0.061	2.347
0.528	118.07	46.33	-0.071	2.735
0.532	119.07	48.89	-0.075	2.92
0.545	122.33	57.27	-0.088	3.431
0.558	125.62	65.69	-0.101	3.928
0.57	128.67	73.51	-0.113	4.447
0.581	131.48	80.71	-0.124	4.878

V-	R	T	$\Delta V$	V_o
0.588	133.27	85.32	-0.131	5.192
0.595	135.07	89.93	-0.138	5.466
0.6	136.36	93.24	-0.143	5.68
0.605	137.66	96.55	-0.148	5.888
0.614	139.99	102.54	-0.157	6.2
0.624	142.60	109.22	-0.167	6.62
0.634	145.21	115.93	-0.177	7.04
0.65	149.43	126.73	-0.193	7.67
0.678	156.87	145.83	-0.221	8.52

绘制T-V\_o图线：



得到输出电压与温度的线性关系约为：

$$U = 0.06T + 0.0155$$

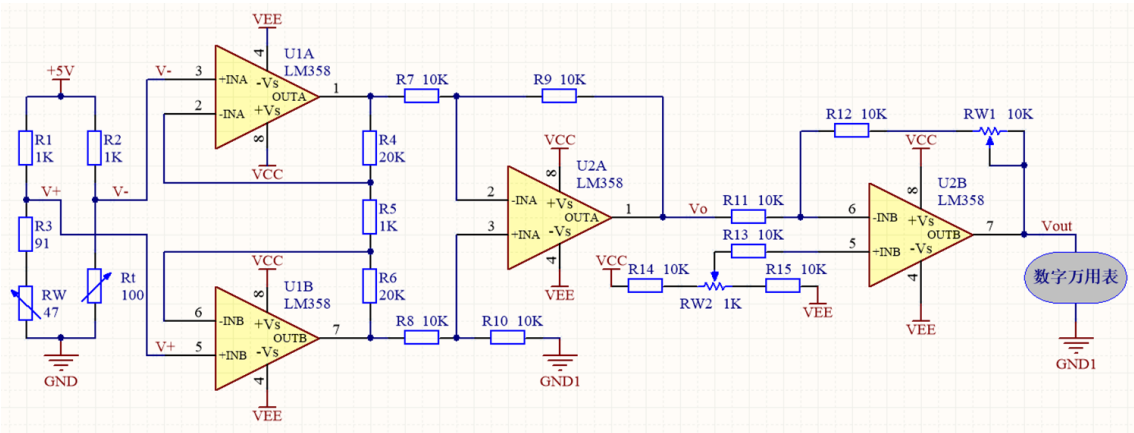
可以看到，输出结果基本符合线性性质，但是当温度过高时，曲线偏移原估计线，原因可能为临近Pt100的电阻也受到加热的影响，温度升高，阻值增大，使得差模电压减小，输出电压比原预期值小。

实验过程中，也测量了第一级差分放大器的输出结果，得到：

V+	V-	V_O1	V_O2	A_vd1	A_vd2	Avd
0.457	0.497	-1.509	1.603	37.725	-1.06229	-40.075

该结果与理论计算基本符合，说明电路正确。

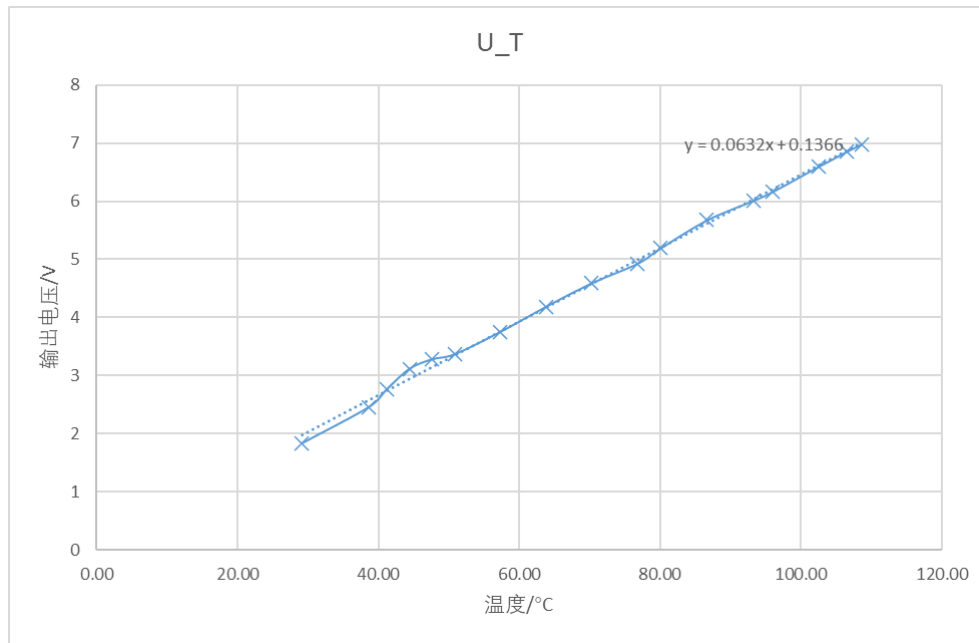
## 通用运算放大器



1. 搭建如图电路，先将 $V_-$ 所在管脚与 $V_+$ 连接在同一电位上，调节RW2的阻值，使得输出电压为0V（避免非线性失真）。
2. 将电路恢复原状，调节RW1，使得输出电压大小合适。
3. 使用万用表测量 $V_-$ ， $V_{out}$ 数据。
4. 通过 $V_-$ 大小，得到Pt100的阻值，换算得到 $R_t$ 以后，通过温度-阻值对照表得到温度值。
5. 绘制温度，输出电压的曲线图，观察输出的线性性质：

$V_-$	$R$	$T$	$\Delta$	$\Phi$	$\Psi$
0.501	111.36	29.12	-0.044	1.824	-41.4545
0.516	115.08	38.66	-0.059	2.454	-41.5932
0.52	116.07	41.21	-0.063	2.76	-43.8095
0.525	117.32	44.41	-0.068	3.113	-45.7794
0.53	118.57	47.61	-0.073	3.276	-44.8767
0.535	119.82	50.82	-0.078	3.364	-43.1282
0.545	122.33	57.27	-0.088	3.747	-42.5795
0.555	124.86	63.74	-0.098	4.18	-42.6531
0.565	127.40	70.25	-0.108	4.586	-42.463
0.575	129.94	76.78	-0.118	4.925	-41.7373
0.58	131.22	80.06	-0.123	5.19	-42.1951
0.59	133.79	86.63	-0.133	5.673	-42.6541
0.6	136.36	93.24	-0.143	6.011	-42.035
0.604	137.40	95.89	-0.147	6.16	-41.9048
0.614	139.99	102.54	-0.157	6.6	-42.0382
0.62	141.55	106.54	-0.163	6.86	-42.0859

V-	R	T	$\Delta V$	$V_o$	$\dot{A}_v$
0.623	142.33	108.55	-0.166	6.98	-42.0482



$$U = 0.0632T + 0.1366$$

与实验预期基本一致，但拟合结果有一定的截距，原因可能如下：

1. V+的电压调节为0.457V，并非准确的0.4545...V，所以在两端电压保持一致，即，电压应该输出为0时，温度并非为0
2. 仪放本身有一定的非线性，导致本身的电压偏置影响了实验结果。

通过测量各个输出点的电压，可以看到该电路的放大倍数基本稳定在-42倍左右，与理论计算基本一致。