

大学物理实验

实验 10

数字电表原理与万用表设计使用

1. 实验目的

1. 了解数字电表的基本原理、电表的校准原则及测量误差的来源。
2. 了解万用表的特性、组成和工作原理。
3. 掌握分压、分流电路的原理，设计对电压、电流和电阻的多量程测量。
4. 掌握直流电压200mV、20V档的设计与校准。

2. 数字电表原理

常见的物理量都是幅值大小连续变化的所谓模拟量，指针式仪表可以直接对模拟电压和电流进行显示。而对于数字式仪表，则需要先把模拟电信号（通常是电压信号）转换成数字信号，再进行显示和处理。

数字信号与模拟信号不同，其幅值大小不是连续的，就是说数字信号的大小只能是某些分立的数值，所以需要进行量化处理。若最小量化单位为 Δ ，则数字信号的大小是 Δ 的整数倍，该整数可以用二进制码表示。设 $\Delta = 0.1\text{mV}$ ，我们把被测电压 U 和 Δ 比较，看 U 是 Δ 的多少倍，并把结果四舍五入取为整数 N （二进制）。一般情况下， $N \geq 1000$ 即可满足测量精度要求（量化误差 $\leq 1/1000 = 0.1\%$ ）。所以，最常见的数字表头的最大示数为1999，被称为三位半数字表。如 U 是 Δ （ 0.1mV ）的1861倍，即 $N=1861$ ，显示结果为 $186.1(\text{mV})$ 。这样的数字表头，再加上电压极性判别显示电路和小数点选择位，就可以测量显示 $-199.9\text{mV} \sim 199.9\text{mV}$ 的电压，显示精度为 0.1mV 。

2. 数字电表原理

1. 双积分模数转换器（ICL7107）的基本工作原理：

双积分模数转换电路的原理比较简单，当输入电压为 V_x 时，在一定时间 T_1 内对电量为零的电容器 C 进行恒流充电（电流大小与待测电压 V_x 成正比），这样电容器两极板之间的电量将随时间线性增加，当充电时间到 T_1 后，得到计数值 N_1 ，电容器上积累的电量 Q 与被测电压 V_x 成正比；然后让电容器恒流放电（电流大小与参考电压 V_{ref} 成正比），这样电容器两端之间的电量将线性减小，直到 T_2 时减小为零，得到计数值 N_2 ，则 N_2 与 V_x 成正比。

2. 数字电表原理

实验中所用到的模数转换器 ICL7107 的整个工作过程可分为三个阶段：

第一阶段：自动校零阶段。

第二阶段：信号积分阶段（采集阶段）。

第三阶段：反积分阶段（测量阶段）。

对于 ICL7107，信号积分阶段时间固定为 1000 个 T_{CP} ，即 N_1 的值为 1000 不变。而 N_2 的计数随 V_x 的不同范围为 $0 \sim 1999$ ，同时自动校零的计数范围为 $2999 \sim 1000$ ，也就是测量周期总保持 4000 个 T_{CP} 不变。即满量程时 $N_2 \max = 2000 = 2 \times N_1$ ，所以 $V_x \max = 2V_{ref}$ ，这样若取参考电压为 100mV ，则最大输入电压为 200mV ；若取参考电压为 1V ，则最大输入电压为 2V 。

实验仪器



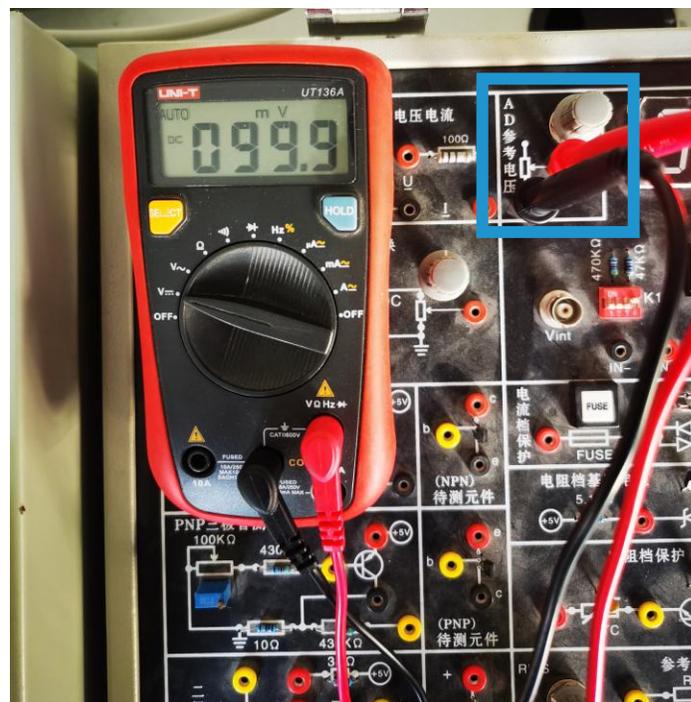
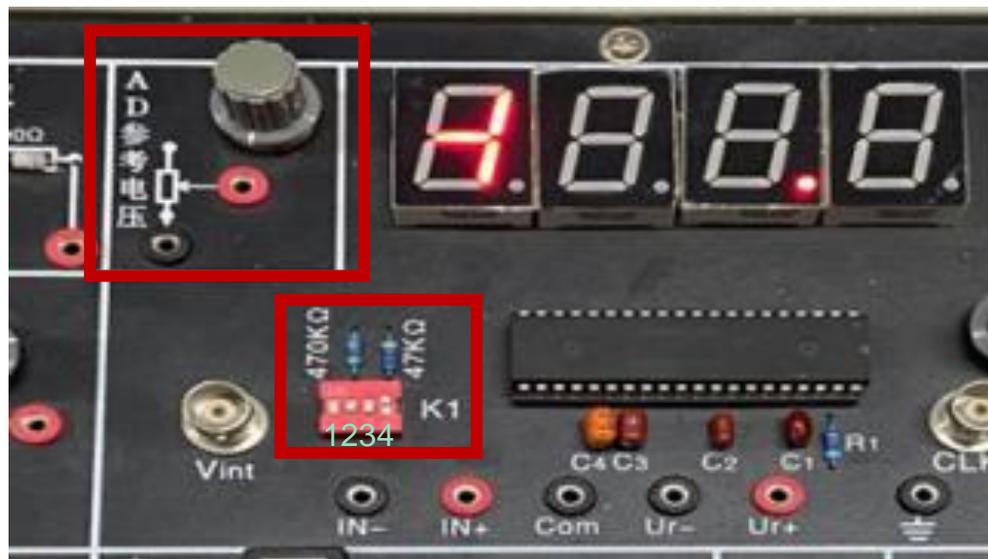




3. 实验步骤

(1) 200 mV档量程的校准

①拨位开关K1-4拨到ON，其他拨到OFF，使 $R_{int} = 47k\Omega$ （注：拨位开关K1拨到上方为ON，拨到下方为OFF）调节AD参考电压模块中的电位器，同时用万用表 直流 V 档测量其输出电压值，直到万用表的示数为100mV 为止。



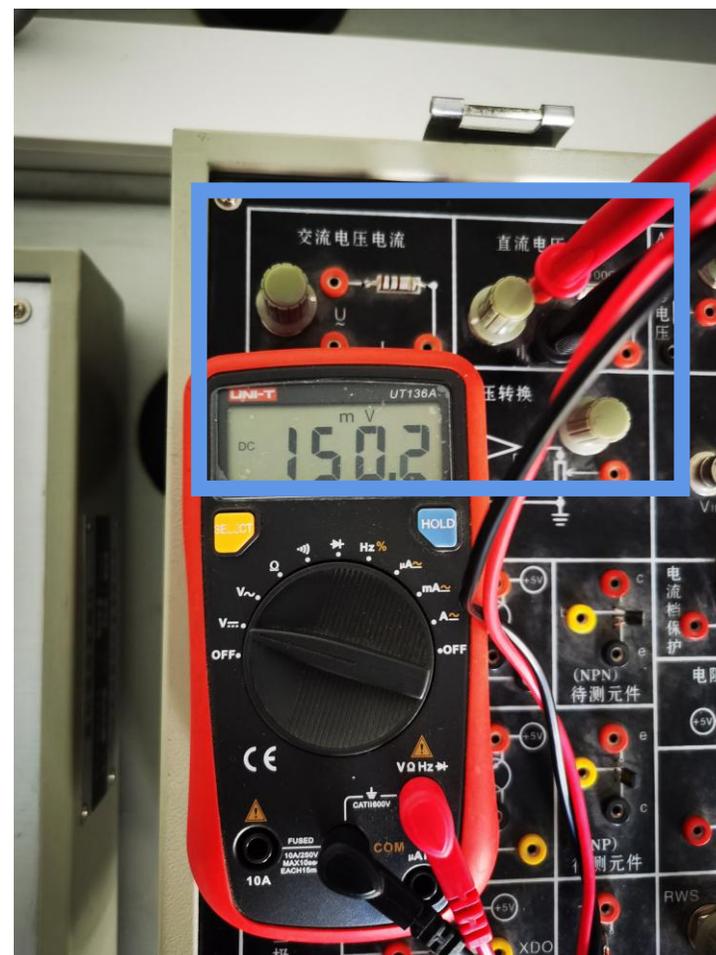
②调节直流电压电流模块中的电位器，同时用万用表 直流 V 档测量该模块电压输出值，使其电压输出值为 150.0mV

③拨位开关K2-3 拨到 ON，其他拨到 OFF，使对应的 ICL7107 模块中数码管的相应小数点点亮，显示 $XXX.X$ ；



注意：如果调整旋钮无法稳定输出电压为100mV或者150mV左右，跳动比较严重则为仪器损坏。

仪器损坏的同学和旁边同学一同做一组实验。



④按图 2-10-14 方式接线，供电。

万用表表笔在上，插入连线端口上面

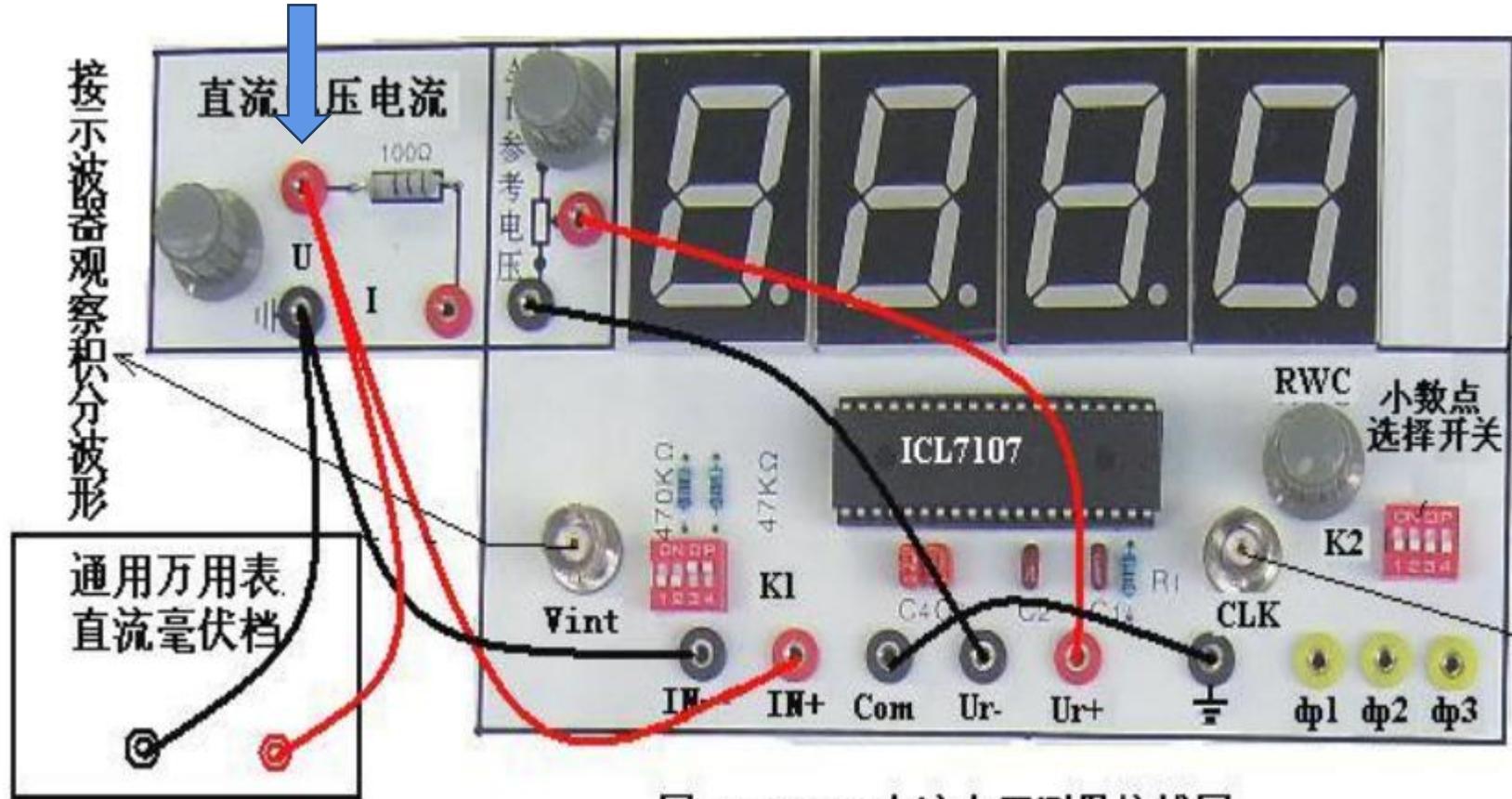
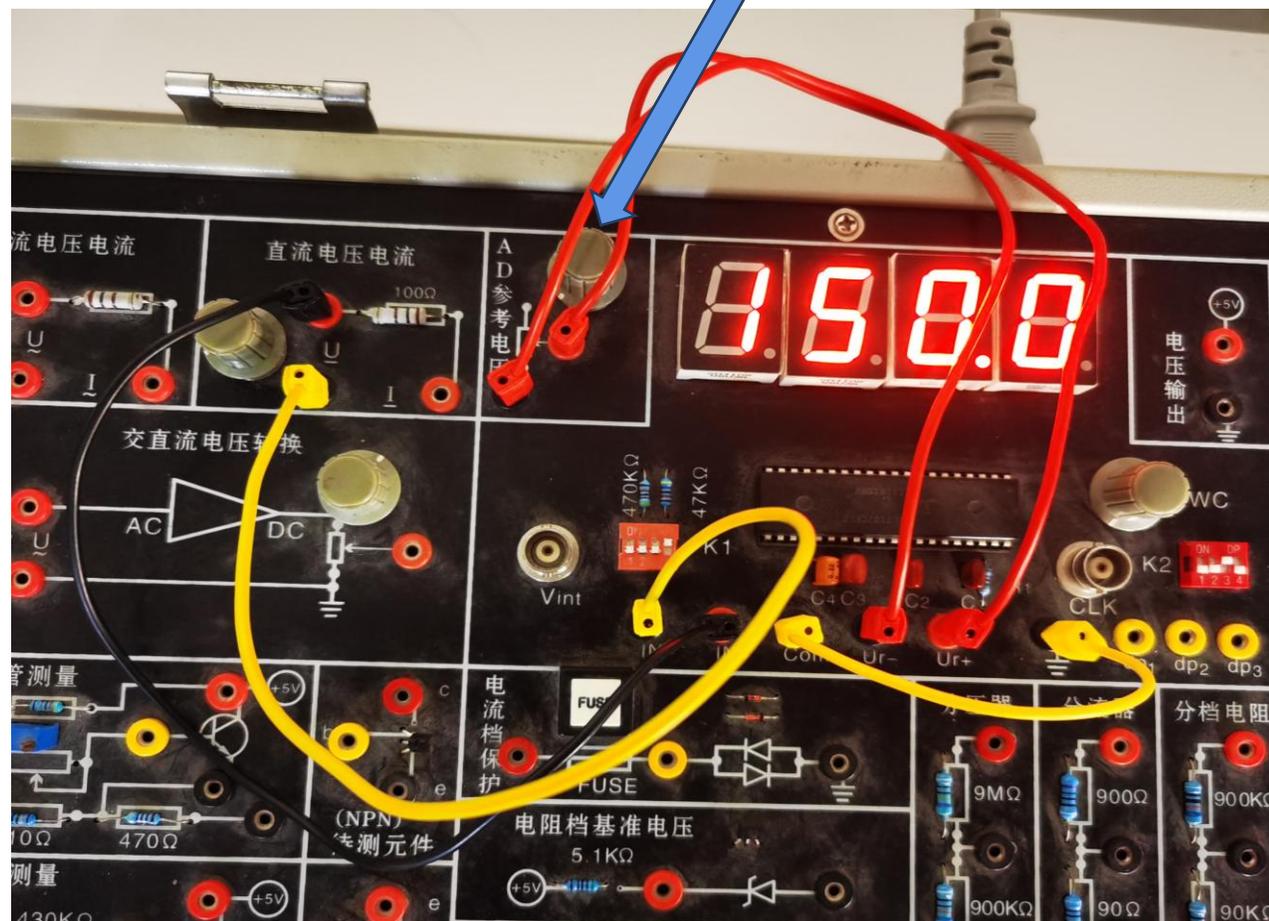


图 2-10-14 直流电压测量接线图

⑤观察 ICL7107 模块数码管显示是否为前述 150.0mV

若略有差异，稍微调整 AD 参考电压模块中的电位器使模块显示读数为前述 150.0mV

稍微稍微



⑦ 调节直流电压电流模块中的电位器，改变其输出电压，使模块输出电压为 199.9mV、180.0mV、160.0mV、……20.0mV、0mV；并同时记录下万用表所对应的读数。再以模块显示的读数为横坐标，以万用表显示的读数与模块显示的读数之差为纵坐标，绘制校准曲线。

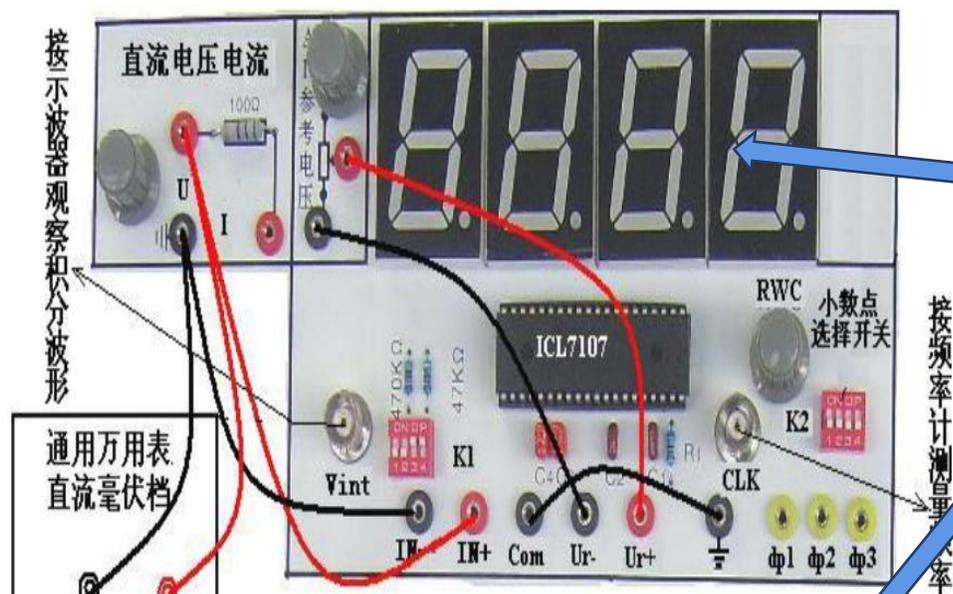


图 2-10-14 直流电压测量接线图

1、200mV 量程校准 (单位: mV)

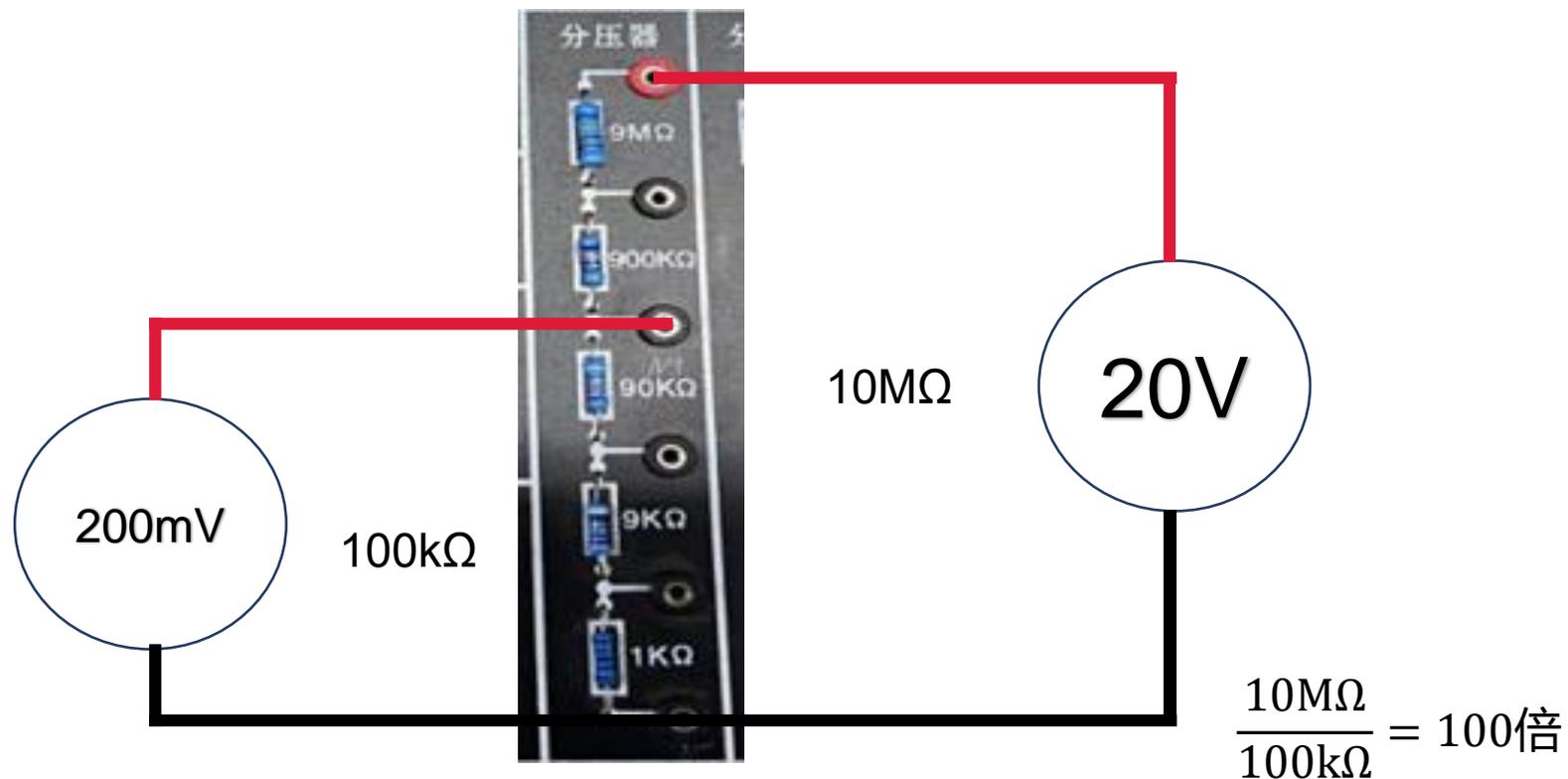
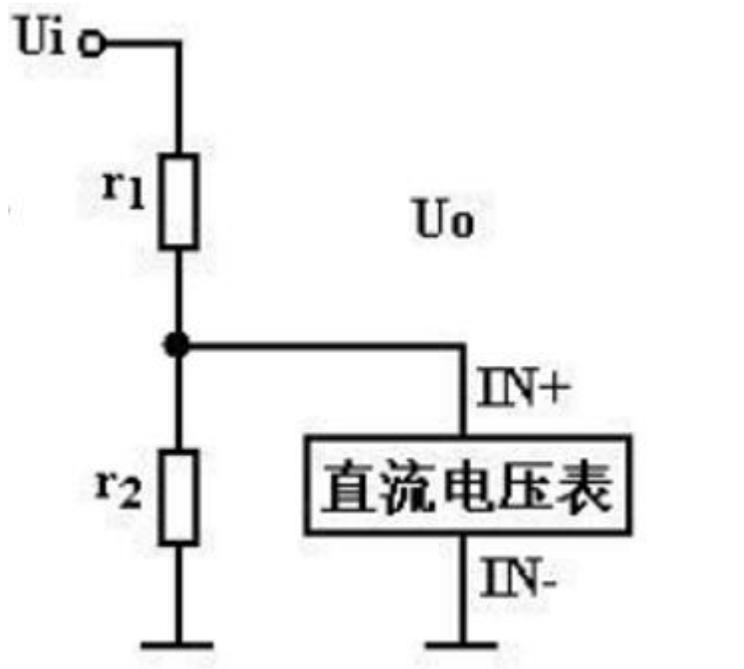
$U_{\text{改}}$	199.9	180.0	160.0	140.0	120.0	100.0	80.0	60.0	40.0	20.0	0.0
$U_{\text{标}}$											
ΔU											

仪器数码管显示为 $U_{\text{改}}$ ，通用万用表显示为 $U_{\text{标}}$

$$\Delta U = U_{\text{改}} - U_{\text{标}}$$

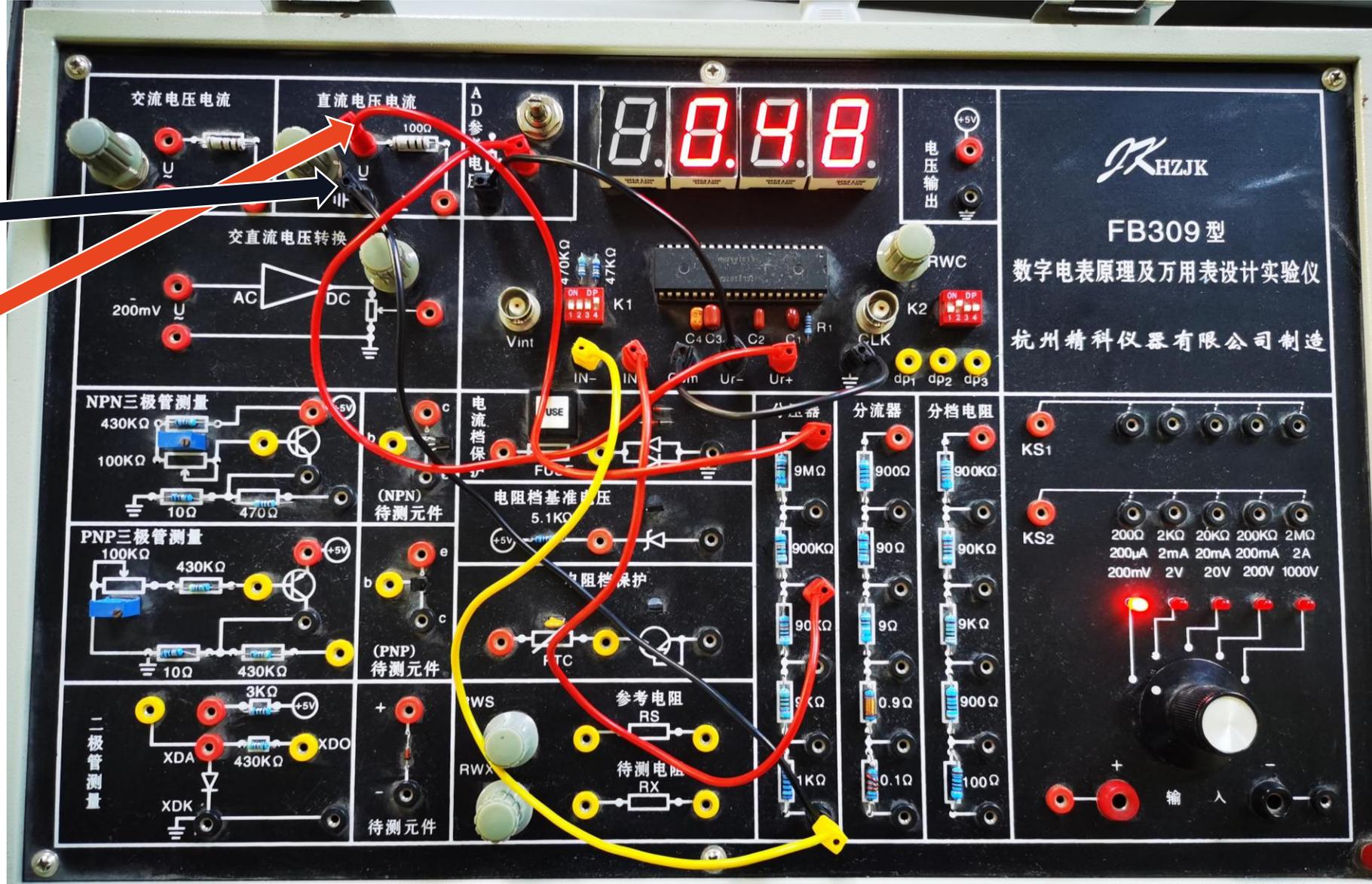
(2) 20 V档量程校准

$$\frac{U_0}{U_i} = \frac{r_2}{r_1 + r_2}, \quad \text{扩展后的量程为: } U_i = \frac{r_1 + r_2}{r_2} U_0。$$



开关K2-2到ON, K2其余开关为OFF, 按照图示连线:

通用万用表
直流毫伏档



⑦调节直流电压电流模块中的电位器，改变其输出电压，使模块输出电压为 0.00V、0.50V、1.00V、……、5.00V；并同时记录下万用表所对应的读数。再以模块显示的读数为横坐标，以万用表显示的读数与模块显示的读数之差为纵坐标，绘制校准曲线。

2、20V 量程校准 (单位: V)

$U_{\text{改}}$	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
$U_{\text{标}}$											
ΔU											

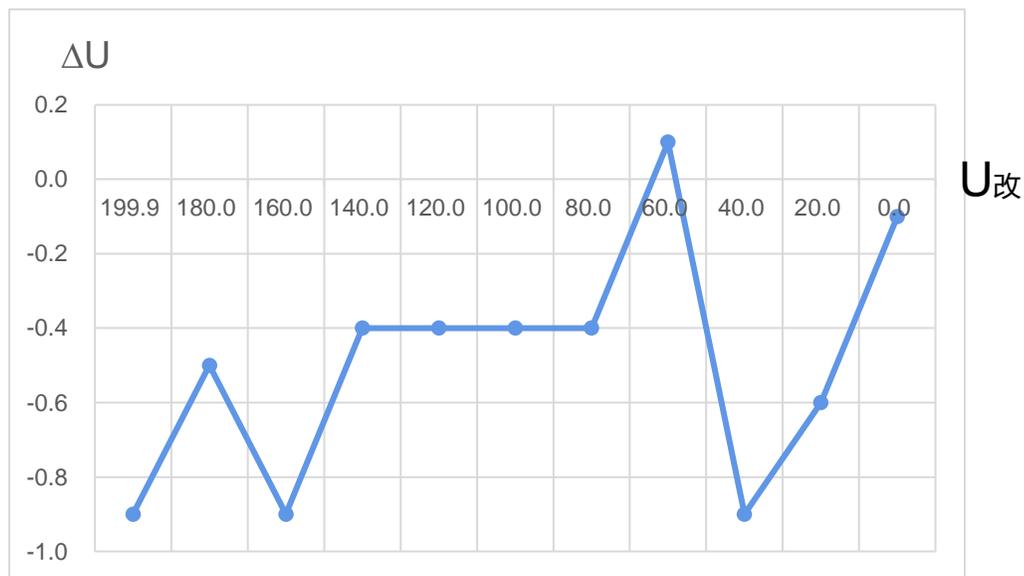
仪器数码管显示为 $U_{\text{改}}$ ，通用万用表显示为 $U_{\text{标}}$

$\Delta U = U_{\text{改}} - U_{\text{标}}$

4. 实验数据及处理

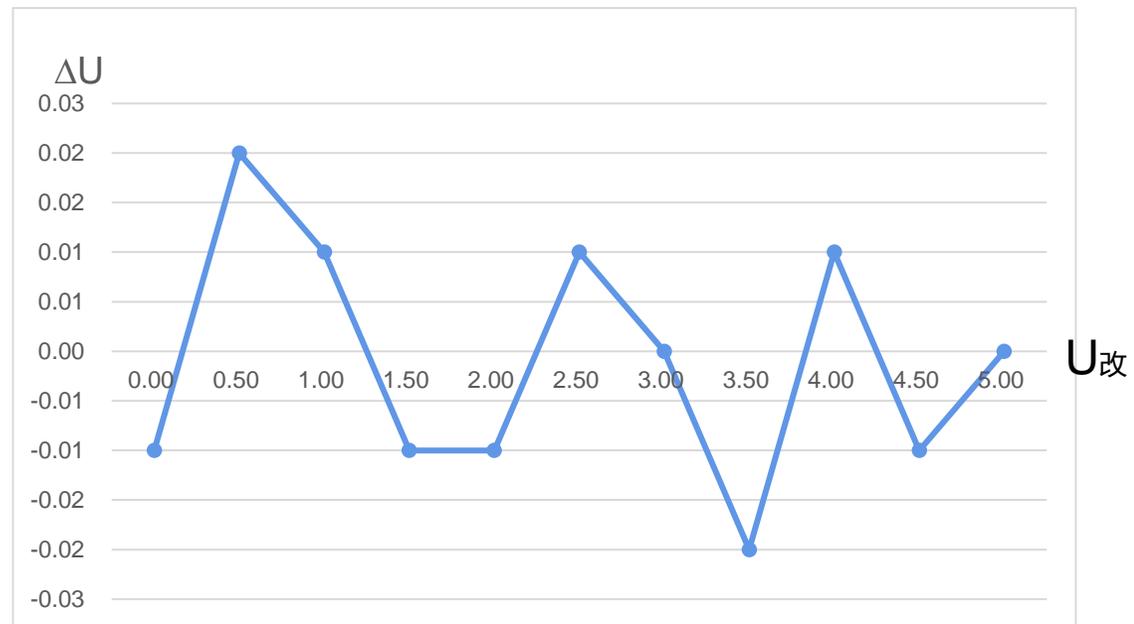
1. 200mV量程校准 (mV)

U改	199.9	180.0	160.0	140.0	120.0	100.0	80.0	60.0	40.0	20.0	0.0
U标											
ΔU											



2. 20V量程校准 (V)

U改	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
U标											
ΔU											



【课后思考题：4】

4. 以电流表的改装为例，说明校正曲线的物理意义。