

浙江大学

实验报告

专业: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

姓名: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

学号: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

日期: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

地点: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

课程名称: 电路与电子技术实验I 指导老师: XXXXXX 成绩: ____分

实验名称: 仪表内阻对测量的影响、含源一端口
网络等效参数和外特性的测量

实验类型: 个人实验

姓名: XXXXXX

学号: XXXXXXXXXXXXXX

同组学生姓名: 无

目录 (实验2) :

目录 (实验5) :

一、实验目的和要求

二、实验内容和原理

三、主要仪器设备

四、操作方法和实验步骤

五、实验数据记录和处理

六、实验结果与分析

七、讨论、心得

一、实验目的和要求

二、实验内容和原理

三、主要仪器设备

四、操作方法和实验步骤

五、实验数据记录和处理

六、实验结果与分析

七、讨论、心得

电路与电子技术实验报告

实验2—仪表内阻对测量的影响

一、实验目的和要求

实验目的

1. 了解电压表、电流表内阻的测量方法；
2. 理解仪表内阻对测量误差的影响；
3. 掌握修正仪表内阻对测量误差影响的方法。

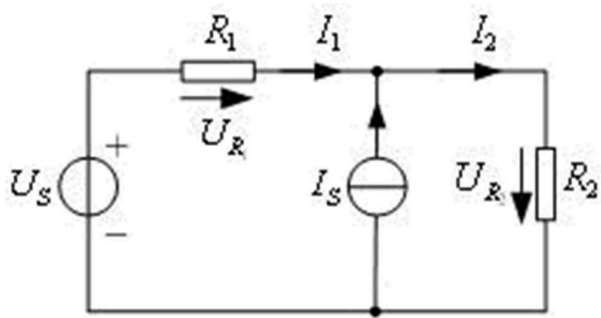
实验要求

1. 请不要带食物进入实验室，更不允许在实验室用餐；
2. 请勿大声喧哗，不要随意走动，不要私自更换实验设备；
3. 请听从实验指导老师的安排，独立完成实验；
4. 实验完毕请关闭电源，万用电表用完后关闭电源归还，并摆放整齐；整理实验桌面，保持实验室整洁；
5. 请注意用电安全，包括人身安全和设备安全；
6. 文明实验。

二、实验内容和原理

实验内容

1. 用万用表测量直流电流表和直流电压表的内阻值；
2. 测量下图中各元件上的电压和各支路的电流。（本次实验使用伏安法测量）



实验2—仪表内阻对测量的影响接线图

实验原理

- **仪表内阻**是指仪表在工作状态下，在仪表两个输入端子之间所呈现的等效电阻或阻抗。在精确测量中，必须考虑其引起的测量误差。

- **仪表内阻**的测量方法：

1. 万用表直接测量；

电表内阻过小时，容易过载，一般不用于测量非常小电阻，如 0.1Ω 。

2. 伏安法；

3. 半偏法。（本次实验没有涉及到）

- **仪表内阻**的影响及修正方法：

- 非理想电压表测量电压时的误差：

$$\Delta U = \frac{U_{\text{测}}}{R_V} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U}{R_V} R_{eq}$$

修正后电压值：

$$U = U_{\text{测}} + \Delta U$$

- 非理想电流表测量电流时的误差：

$$\Delta I = \frac{I_{\text{测}} \times R_A}{R_1 + R_2} = \frac{I}{R_{eq}} R_A$$

修正后电流值：

$$I = I_{\text{测}} + \Delta I$$

三、主要仪器设备

1. 数字万用表；
2. 电工综合试验台；

3. 直流稳压/稳流电源。

四、操作方法和实验步骤

- 1. 用万用表测量直流电流表和直流电压表的内阻值；
- 2. 照图连接电路，其中 $U_S \approx 9V$ ， $I_S \approx 28mA$ ； R_1 的标称值为 180Ω ， R_2 的标称值为 150Ω 。要求电压用直流电压表测量，电流用直流电流表测量。

五、实验数据记录和处理

万用表测量直流电流表的内阻值

电流表量程	2mA	20mA	200mA	2A
电流表内阻	50.2Ω	6Ω	1.3Ω	0.6Ω

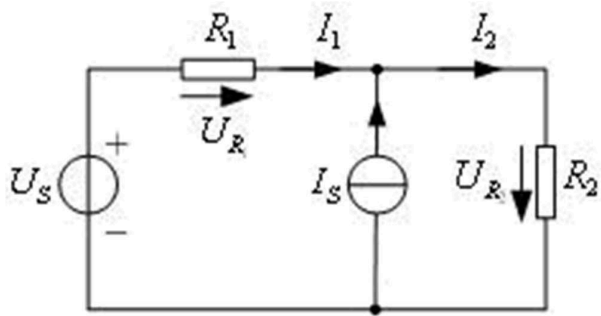
万用表测量直流电压表的内阻值

电压表量程	200mV	2V	20V	200V
电压表内阻	524.2kΩ	502.4kΩ	500.2kΩ	500kΩ

图中各待测参数值

测量指标	测量结果	电表量程
U_{R_1}	1.837V	2V
U_{R_2}	7.21V	20V
U_S	9.01V	20V
I_1	11.68mA	20mA
I_2	39.4mA	200mA
I_S	27.8mA	200mA

为方便对照，附图如下：

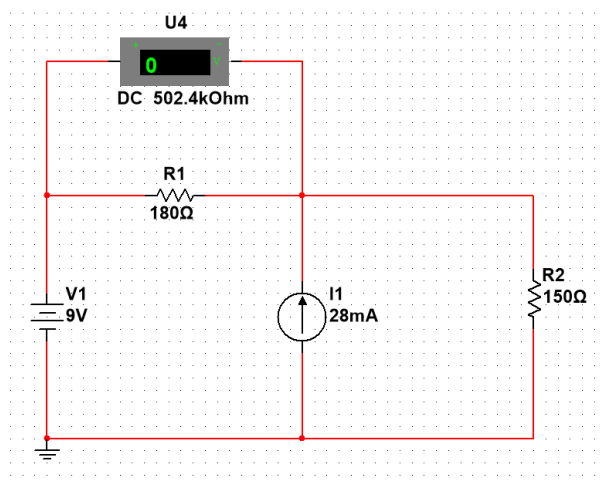


实验2—仪表内阻对测量的影响接线图

在上面的**实验原理**部分的**仪表内阻的影响及修正方法**部分，我已经直接给出了误差的计算公式和修正公式，下面将以**测 R_1 两端电压、电流**为例，分析误差产生的原因，并推导电压表、电流表的内阻误差的修正公式，计算修正值，给出实验误差。

- 在测 R_1 两端的电压时，我们是将直流电压表直接并联在 R_1 两端。**如果电表是理想电表，则测量值就是真实值。**但现在电压表的内阻不为无穷大（即不是理想电表），所以由于**电压表分流**，将导致测量值与真实值出现误差。

在 R_1 两端并联电压表 V ，然后对除电压表外的其余部分做**戴维南等效**，等效电压和电阻分别记为 U_d 和 R_d ，示意图如下：



戴维南等效示意图

计算 R_d 如下：

$$R_d = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

且有 U_d 为

$$U_d = U$$

于是容易计算等效后电路电流 I 为

$$I = \frac{U_d}{R_d + R_V} = \frac{U}{R_d + R_V}$$

电压表的测量值为 R_V 两端的电压：

$$U_{\text{测}} = IR_V = \frac{UR_V}{R_d + R_V}$$

而测量值与真实值的差距 ΔU 为 R_d 两端的电压，即

$$\Delta U = IR_d = \frac{IR_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U}{R_d + R_V} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

容易得到 $U_{\text{测}}$ 与 ΔU 之间的关系为

$$\Delta U = \frac{R_1 R_2}{R_V(R_1 + R_2)} U_{\text{测}}$$

若记 $R_{eq} = R_d = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ ，则得到我们在[仪表内阻的影响及修正方法](#)部分给出的公式：

$$\Delta U = \frac{U_{\text{测}}}{R_V} R_{eq}$$

由修正公式 $U = U_{\text{测}} + \Delta U$ 得

$$U = (1 + \frac{R_{eq}}{R_V}) U_{\text{测}} \quad \blacksquare$$

注：在上述部分中， $R_{eq} = R_d = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{900}{11} \Omega \approx 82.82 \Omega$ 。

在测量 R_1 两端电压时，我们记录了测量值 $U_{R_1 \text{测}} = 1.837 \text{V}$ ，使用的是2V的电压表量程，对应的电压表内阻 $R_V = 502.4 \text{k}\Omega$ ，则经过计算可以得到 $\Delta U \approx 2.99 \times 10^{-4} \text{V}$ ，修正值仍为 $U \approx 1.837 \text{V}$ ，因为误差很小，在三位小数下无法造成显著影响。

- 在测量 R_1 两端电流时，与测量电压类似，我们采取**诺顿等效**。在使用非理想电流表测量时，由于**电流表分压**，将导致测量值与真实值出现误差。

不同于上面的戴维南等效，我们此处的诺顿等效电阻 $R_d = R_1 + R_2$ 。

（注意，我们说，对于戴维南等效和诺顿等效，两种方法的 R_d 相同是在说：对于**同一个电路**，既可以使用戴维南等效，又可以使用诺顿等效，等效电阻

阻值相等。但在上述计算中的戴维南等效和诺顿等效的应用中，虽然表面上电路连接是相同的，但是两端子的位置不相同，这导致电路实际上是**不同**的，对于**不同的电路**，戴维南等效和诺顿等效的等效阻值 R_d 当然没有理由相同。) 与上文保持一致，我们也记 $R_{eq} = R_d = R_1 + R_2$ 。

于是我们可以直接算出

$$\Delta I = \frac{I_{\text{测}} R_A}{R_1 + R_2} = \frac{I}{R_{eq}} R_A$$

再结合类似的修正公式 $I = I_{\text{测}} + \Delta I$ ，得

$$I = \left(1 + \frac{R_A}{R_{eq}}\right) I_{\text{测}} \quad \blacksquare$$

注：在上述部分中， $R_{eq} = R_d = R_1 + R_2 = 330\Omega$ 。

在测量 R_1 两端电流时，我们记录了测量值 $I_{1\text{测}} = 11.68\text{mA}$ ，使用的是20mA的电流表量程，对应的电流表内阻 $R_A = 6\Omega$ ，则经过计算可以得到 $\Delta I \approx 0.21\text{mA}$ ，修正值为 $I \approx 11.89\text{mA}$ 。

下面给出各个测量值的误差及修正值。

表中测得的各参数的误差及修正值

测量指标	测量误差	修正值
U_{R_1}	$2.99 \times 10^{-4}\text{V}$	1.837V
U_{R_2}	$1.18 \times 10^{-3}\text{V}$	7.21V
U_S	$1.47 \times 10^{-3}\text{V}$	9.01V
I_1	0.21mA	11.89mA
I_2	0.2mA	39.6mA
I_S	0.1mA	27.9mA

六、实验结果与分析

在这个部分中，我们将验证KCL和KVL。

利用表中的修正值进行计算：

- 由表知， $U_S = 9.01\text{V}$ ， $U_{R_1} + U_{R_2} = 9.047\text{V}$ 。我们可以看到， $9.01\text{V} \approx 9.047\text{V}$ ，即 $U_S \approx U_{R_1} + U_{R_2}$ 。所以，在误差允许的范围
内，KVL成立。
- 由表知， $I_2 = 39.6\text{mA}$ ， $I_1 + I_2 = 39.79\text{mA}$ 。我们可以看到， $39.6\text{mA} \approx 39.79\text{mA}$ ，即 $I_2 \approx I_1 + I_S$ 。所以，在误差允许的范围
内，KCL成立。

综上，在整个实验过程中，我们在如图所示的电路中验证了KCL和KVL的正确性，并修正了电表的误差。

七、讨论、心得

本次实验深入探讨了电表的误差的来源，并教会了我们如何修正误差。实验数据的准确性是科研领域中大家普遍注重追求的一环。只有了解误差，才能尽量减小误差。本实验中对于误差的研究就是这次实验最大的收获。

本次实验使我体会到了科研的严谨性。严谨的精神是每个科研人员都不可或缺的重要品质。

电路与电子技术实验报告

实验5—含源一端口网络等效参数和外特性的测量

一、实验目的和要求

实验目的

1. 验证戴维南定理和诺顿定理；
2. 验证电压源与电流源相互进行等效转换的条件。

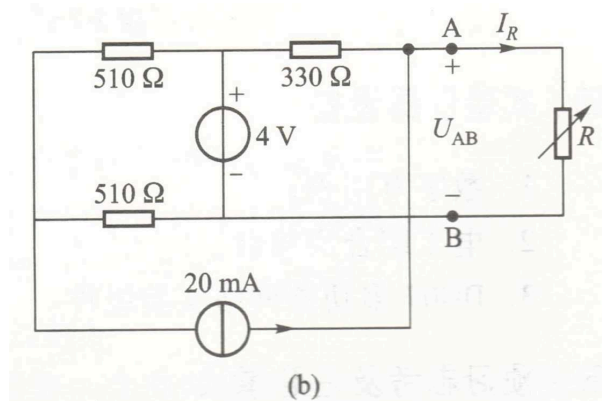
实验要求

1. 请不要带食物进入实验室，更不允许在实验室用餐；
2. 请勿大声喧哗，不要随意走动，不要私自更换实验设备；
3. 请听从实验指导老师的安排，独立完成实验；
4. 实验完毕请关闭电源，万用电表用完后关闭电源归还，并摆放整齐；整理实验桌面，保持实验室整洁；
5. 请注意用电安全，包括人身安全和设备安全；
6. 文明实验。

二、实验内容和原理

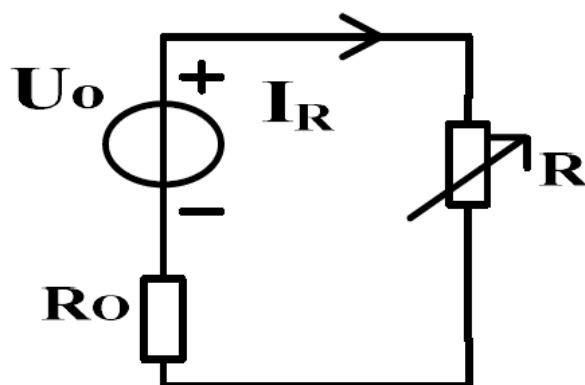
实验内容

1. 按下图连线，改变可调电阻 R ，测量 U_{AB} 和 I_R 的关系曲线；



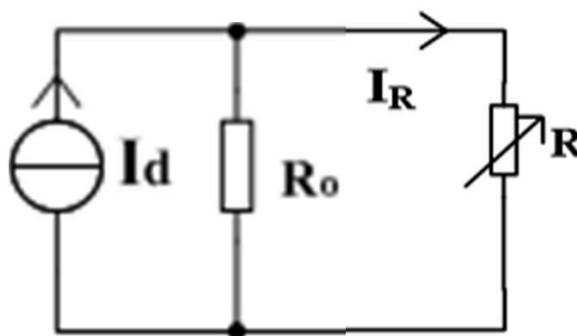
实验5—含源一端口网络等效参数和外特性的测量接线图

2. 测量上图中无源一端口网络的入端电阻。此时，电压源、电流源数值为零，再将负载电阻开路，用伏安法或直接用万用表（本实验中直接用万用表）测量A、B两点间的电阻，即为该网络的入端电阻 R_{AB} ；
3. 将A、B两端左侧电路做戴维南等效（等效电路图如下），重复测量 U_{AB} 和 I_R 的关系曲线并与1. 中所测得的数据进行比较，验证戴维南定理（注：下图中 $R_0 = R_{AB}$ ，由2. 步骤测出； U_0 是1. 中 $R = \infty$ 时电流 I 的**计算值**（不是错误的测量值11.54V））；



戴维南等效电路图

4. 将A、B两端左侧电路做诺顿等效（等效电路图如下），重复测量 U_{AB} 和 I_R 的关系曲线，并与1. 中所测得的数据进行比较，验证诺顿定理（注：下图中 $R_0 = R_{AB}$ ，由2. 步骤测出； I_d 是1. 中 $R = 0$ 时电流 I 的测量值）。



实验原理

- 1. 戴维南定理；
- 2. 诺顿定理。

三、主要仪器设备

- 1. 数字万用表；
- 2. 电工综合试验台；
- 3. 直流稳压/稳流电源。

四、操作方法和实验步骤

简述实验步骤如下：

- 1. 按图接线，改变电阻 R ，测 U_{AB} 和 I_R ；
- 2. 测入端电阻 R_{AB} ；
- 3. 戴维南等效，测 U_{AB} 和 I_R ；
- 4. 诺顿等效，测 U_{AB} 和 I_R 。

五、实验数据记录和处理

测量值将以表格形式记录在下面的表格中， $I_R - U_{AB}$ 曲线将在[实验结果与分析](#)部分中给出。

原始电路的 U_{AB} ， I_R 在不同 R 下的值

R	U_{AB} /电压表量程	I_R /电流表量程
0 Ω	23.3 mV/200 mV	31.8 mA/200 mA
100 Ω	2.48 V/20 V	24.3 mA/200 mA
200 Ω	4.02 V/20 V	19.85 mA/20 mA
300 Ω	5.11 V/20 V	16.74 mA/20 mA

400 Ω	5.85 V/20 V	14.45 mA/20 mA
500 Ω	6.43 V/20 V	12.72 mA/20 mA
600 Ω	6.88 V/20 V	11.36 mA/20 mA
700 Ω	7.25 V/20 V	10.24 mA/20 mA
800 Ω	7.55 V/20 V	9.29 mA/20 mA
900 Ω	7.80 V/20 V	8.52 mA/20 mA
1000 Ω	8.01 V/20 V	7.88 mA/20 mA
∞	!11.54 V/20 V (电源变为4.91V)	0 mA

用万用表测得该网络的入端电阻 $R_{AB} = 328.8\Omega$ 。

戴维南等效电路的 $R_0 = R_{AB} = 328.8\Omega$ ，实际上由于器材精确度，取 $R_{AB} = 329\Omega$ 。计算得 $U_0 = 10.6773V$ ，实际上由于器材精确度，取 $U_0 = 10.67V$ 。据此得到下表：

戴维南等效电路的 U_{AB} ， I_R 在不同 R 下的值

R	U_{AB} /电压表量程	I_R /电流表量程
0 Ω	5.1 mV/200 mV	31.9 mA/200 mA
100 Ω	2.47 V/20 V	24.2 mA/200 mA
200 Ω	4.01 V/20 V	19.83 mA/20 mA
300 Ω	5.05 V/20 V	16.74 mA/20 mA
400 Ω	5.81 V/20 V	14.48 mA/20 mA
500 Ω	6.39 V/20 V	12.75 mA/20 mA
600 Ω	6.84 V/20 V	11.39 mA/20 mA

700 Ω	7.23 V/20 V	10.26 mA/20 mA
800 Ω	7.53 V/20 V	9.34 mA/20 mA
900 Ω	7.79 V/20 V	8.58 mA/20 mA
1000 Ω	7.99 V/20 V	7.95 mA/20 mA
∞	10.68 V/20 V	0 mA

诺顿等效电路的 $R_0 = R_{AB} = 328.8\Omega$ ，实际上由于器材精确度，取 $R_{AB} = 329\Omega$ 。测得 $I_d = 31.8\text{mA}$ 。据此得到下表：

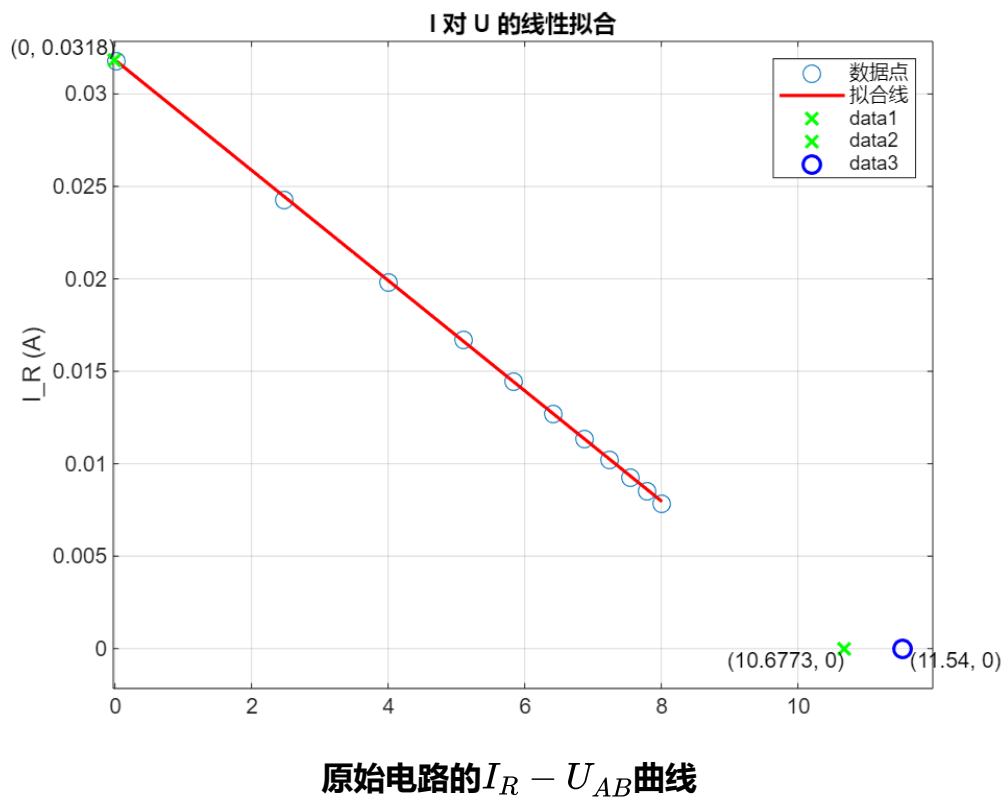
诺顿等效电路的 U_{AB} ， I_R 在不同 R 下的值

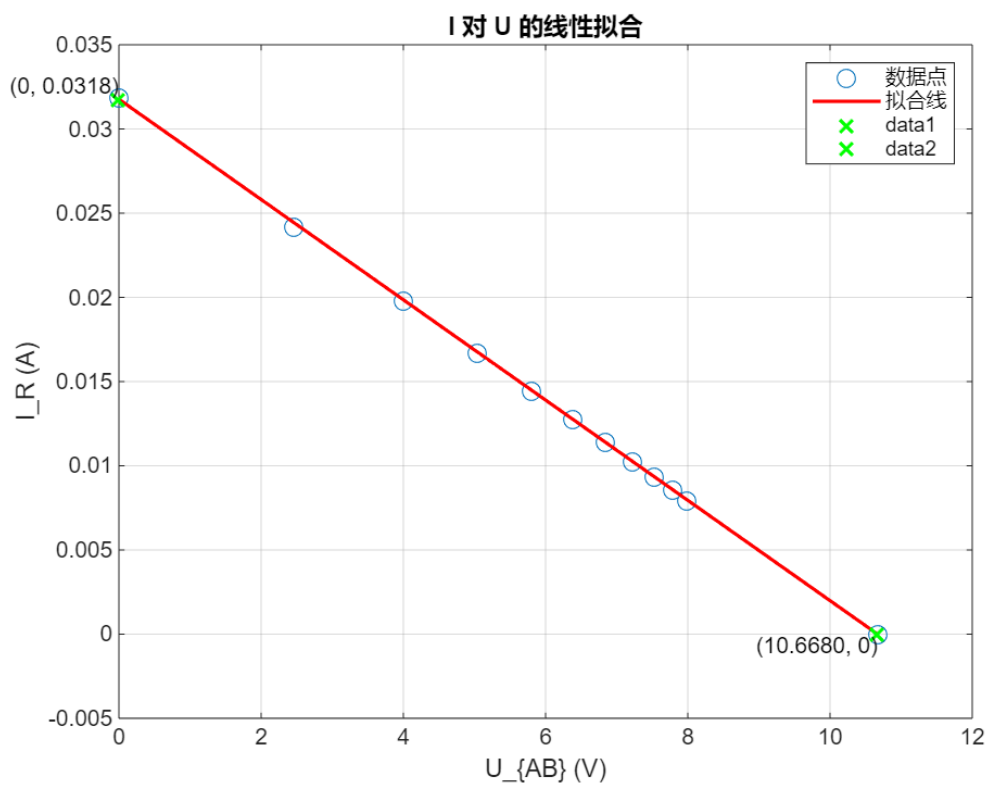
R	U_{AB} /电压表量程	I_R /电流表量程
0 Ω	3.4 mV/200 mV	31.5 mA/200 mA
100 Ω	2.43 V/20 V	23.8 mA/200 mA
200 Ω	3.93 V/20 V	19.68 mA/20 mA
300 Ω	4.97 V/20 V	16.56 mA/20 mA
400 Ω	5.73 V/20 V	14.33 mA/20 mA
500 Ω	6.30 V/20 V	12.58 mA/20 mA
600 Ω	6.76 V/20 V	11.27 mA/20 mA
700 Ω	7.12 V/20 V	10.16 mA/20 mA
800 Ω	7.28 V/20 V	9.03 mA/20 mA
900 Ω	7.54 V/20 V	8.32 mA/20 mA
1000 Ω	7.79 V/20 V	7.77 mA/20 mA

∞	10.55 V/20 V	0 mA
----------	--------------	------

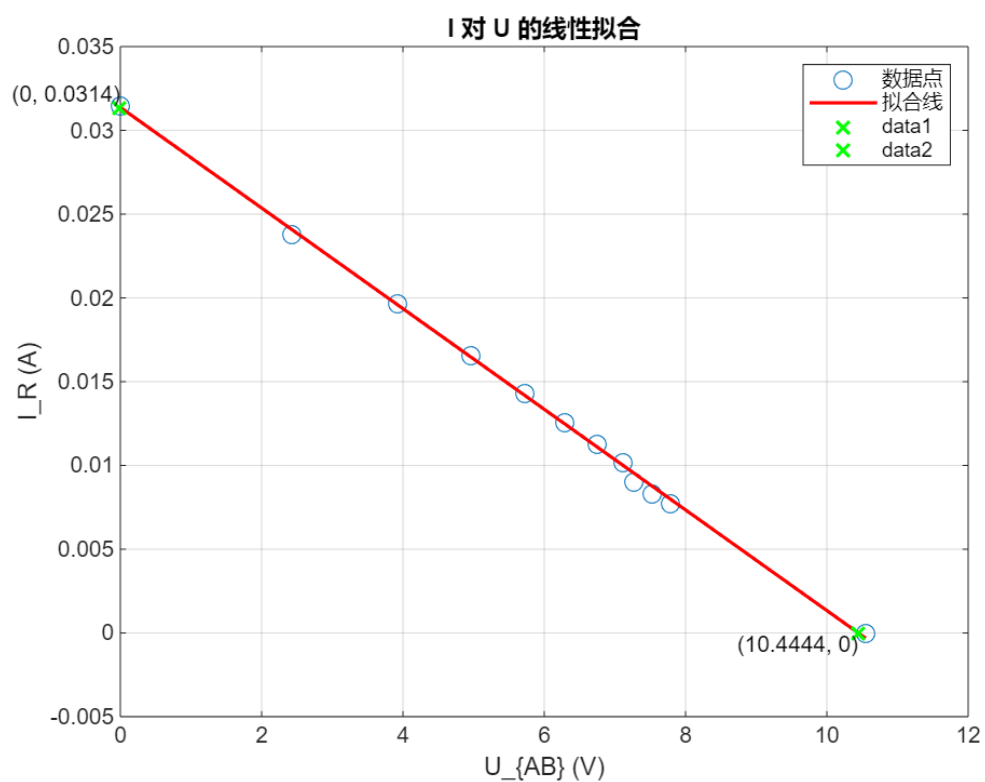
六、实验结果与分析

上述三个表格中的数据基本都相差不大，据此已经可以粗略验证戴维南定理和诺顿定理的正确性。下面采用图像法，更加形象地对比原始电路，戴维南等效电路和诺顿等效电路的差别。



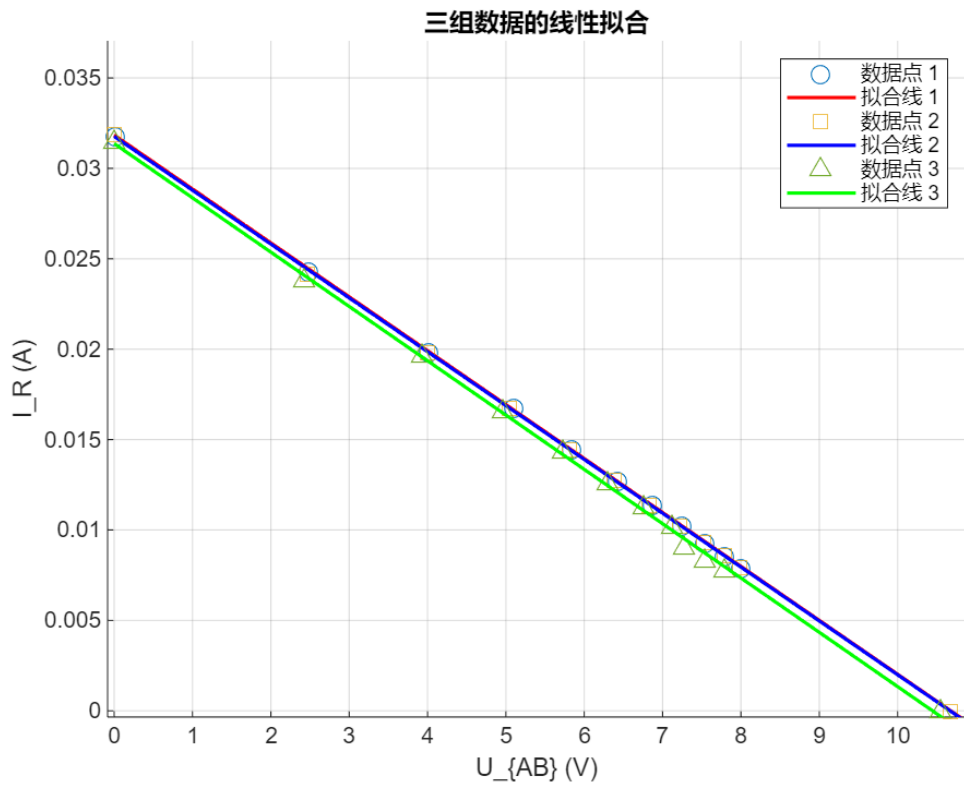


戴维南等效电路的 $I_R - U_{AB}$ 曲线



诺顿等效电路的 $I_R - U_{AB}$ 曲线

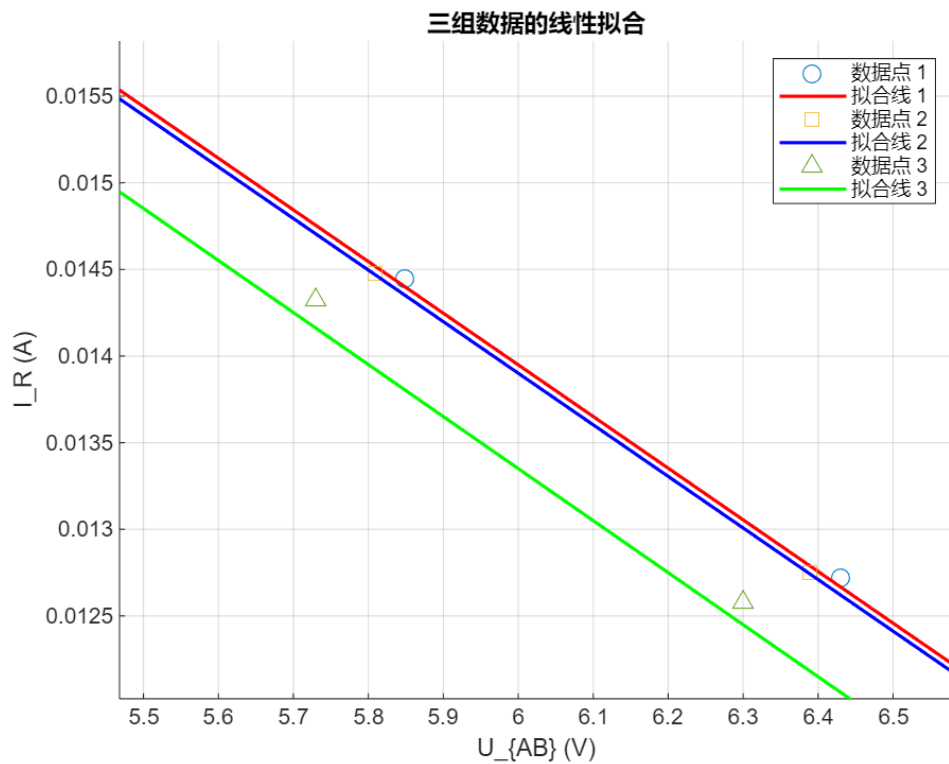
从上面三条图线已经可以粗略看出，它们十分接近。为了更加清楚，把它们画在一张图中：



三个电路的 $I_R - U_{AB}$ 曲线

上图中“1”代表原始数据，“2”代表戴维南等效电路，“3”代表诺顿等效电路

你或许只看到了两条图线，但这实际上是拟合线“1”和拟合线“2”十分接近造成的。局部放大得到下图：



三个电路的 $I_R - U_{AB}$ 曲线 (局部放大版)

上面的图线已经能非常有力的说明戴维南定理和诺顿定理的正确性。尤其是戴维南等效，我们实验测得的误差非常小。

最后，给出戴维南定理和诺顿定理的使用条件：**戴维南定理和诺顿定理均只适用于线性有源一端口网络。**

七、讨论、心得

本次实验验证了戴维南定理和诺顿定理的正确性，并探究了它们的适用条件。无论是学习还是科研，重要的一件事情都是要将理论和实际相结合。本次实验，通过真正动手连接电路，测量电压，电流，绘制曲线的方法实际验证了理论上的戴维南定理和诺顿定理，既提高了我们的动手操作能力，也巩固了我们的理论知识。理论和实际相结合是科研与学习中的重要课题，希望在以后的学习生涯中，也能继续让理论紧跟实际，多多实践。