

实验报告

课程名称：生物医学电子学实验 I

学号：2024591019

姓名：杜润卓

指导老师：李丹

班级：2025-2

实验时间：2025.10.16

实验名称：电路定理

一. 实验目的与任务

- 1、通过验证戴维南定理与诺顿定理，加深对等效概念的理解。
- 2、掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。
- 3、掌握 EDA 电路仿真软件仿真电路的方法。

二. 实验仪器，软件和材料

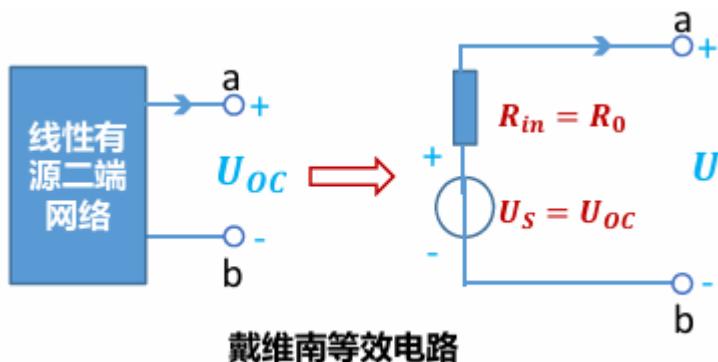
1. 双路（独立）电压源 DP832 一台
2. 桌面式万用表 DM3058E 一台
3. 电路原理课程实验板一块
4. TINA 仿真软件
5. 纯铜硬芯跳线（直径 0.6mm）若干
6. 直插电阻若干 ($1k\Omega \times 1$, $510 \Omega \times 1$, $200 \Omega \times 1$)

三. 实验原理

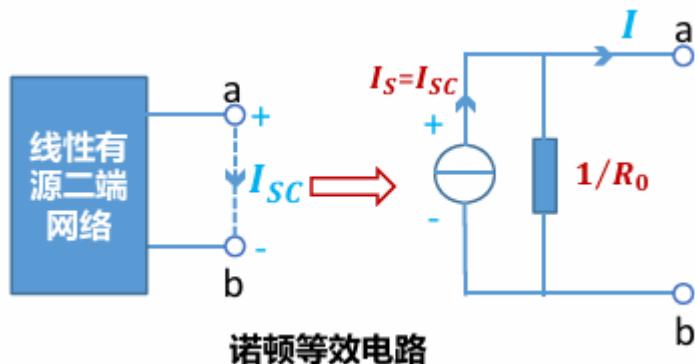
1. 电路等效原理

(1) 戴维南定理指出：任何一个线性有源二端网络，总可以用一个电压源与一个电阻的串联来等效代替，此电压源的电动势 U_s 等于这个有源二端网络的开路电压 U_{oc} ，其等效内阻 R_{in} 等于该网络中所有独立源均置零(理想电压源视为短接，理想电流源视为开路)时的等效电阻 R_0 。

$$\text{即: } U_{oc} = R_0 \cdot I_{sc}$$



(2) 诺顿定理指出：(戴维南定理的对偶形式) 任何一个线性有源二端网络，总可以用一个理想电流源和一个电导并联来等效代替，此电流源的电流 I_s 等于这个有源二端网络的短路电流 I_{sc} ，其等效电导 G_{in} 等于该网络中所有独立源均置零(理想电压源视为短接，理想电流源视为开路)时的等效电导 $\frac{1}{R_0}$ 。



2. 有源二端网络等效参数的测量方法

(1) 开路电压、短路电流法测 R_0

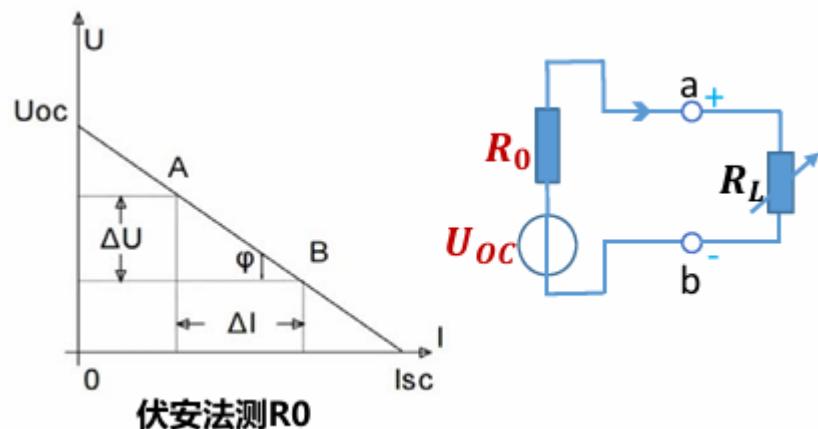
若 R_0 远远小于电压表内阻，在有源二端网络输出端开路时，用电压表直接测其输出端的开路电压 U_{oc} ，然后再将其输出端短路，用电流表测其短路电流 I_{sc} ，则等效内阻为： $R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$

注意：如果二端网络的内阻很小，若将其输出端口短路则易损坏其内部元件，因此不宜用此法。



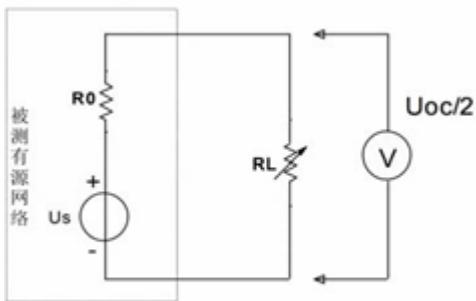
直接法（开路电压，短路电流法）

(2) 伏安法测 R_0 ：用电压表、电流表测出有源二端网络的外特性曲线，如下图所示。根据外特性曲线求出斜率 $\tan\varphi$ ，则内阻： $R_0 = \tan\varphi = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$



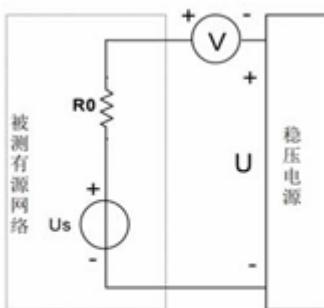
(3) 半电压法测 R_0 ：如图所示，当负载电压为被测网络开路电压的一半即 $U_{oc}/2$ 时，负载

电阻(由电位器的读数确定)即为被测有源二端网络的等效内阻值。



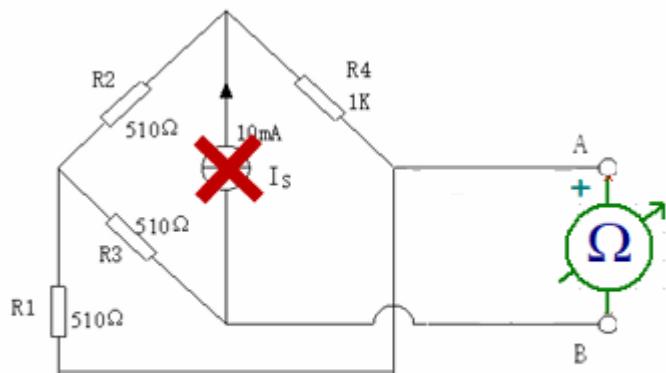
半电压法

(4) 零示法测 U_{oc} : 如右图所示, 在测量具有高内阻有源二端网络的开路电压时, 用电压表直接测量会造成较大的误差。为了消除电压表内阻的影响, 往往采用零示测量法。零示法测量原理是用一低内阻的稳压电源与被测有源二端网络进行比较, 当稳压电源的输出电压与有源二端网络的开路电压相等时, 电压表的读数将为“0”。然后将电路断开, 测量此时稳压电源的输出电压, 即为被测有源二端网络的开路电压。



零示法

(5) 直接法测 R_o : 用数字万用电表的电阻档直接测量, 测量时首先让有源二端网络中所有独立电源为零, 即理想电压源用短路线来代替, 理想电流源用开路线代替。这时电路变为无源二端网络, 用万用电表欧姆档直接测量 a,b 间的电阻即可。

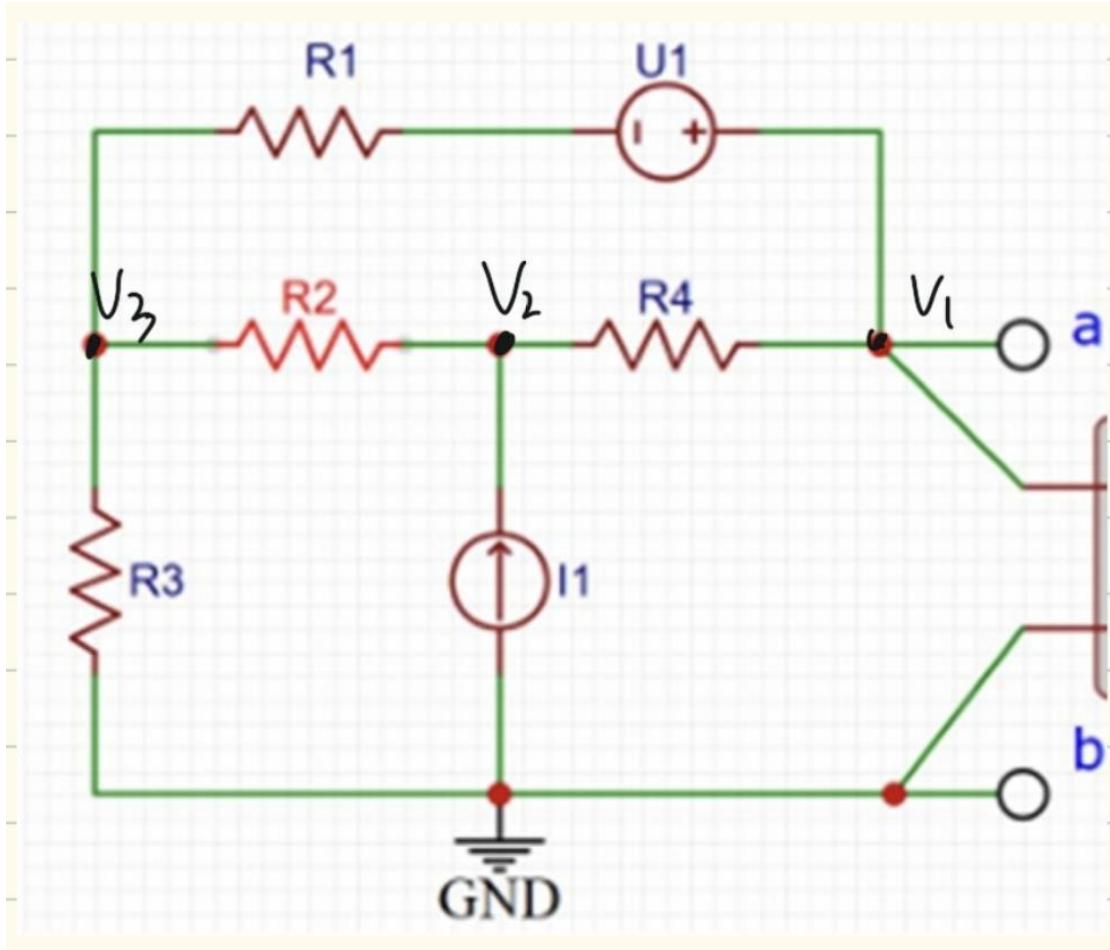


直接法

注: 本实验用 (5) 进行测定, 用 (3), (4) 两种方法进行评估, 详见后文实验方法。

四 . 实验内容与数据记录

1. 根据戴维南定理计算左图中有源二端网络的等效参数 (开路电压 U_{oc} , 短路电流 I_{sc} , 等效电阻 R_0) , 绘制戴维南和诺顿等效电路。(R1=R2=R3=R4=1k 欧姆, Us=12V, Is=10mA)



(简化电路图)

2. 使用戴维南定理和诺顿定理计算等效电路图

(1) 戴维南定理:

等效电阻: 将 U_1 视作短路, I_1 视作断路, $R_{eq}=(R_1||(R_2+R_4))+R_3$

解得 $R_{eq}=1666.67$ 欧姆

等效电压: 将 ab 端口视作断路

根据接地点的 KCL 有: $U_3/R_3=I_1$

根据 U_2 节点的 KCL 有: $I_1= (U_2-U_3) /R_2+(U_2-U_1)/R_4$

根据 V_3 节点的 KCL 有: 流经 R_1 电阻电流为 $(U_2-U_3) /R_2- U_3/R_3$

根据 U_3 , R_1 , V_1 , U_3 回路的 KVL 有: $((U_2-U_3) /R_2- U_3/R_3)*R_1-U_1+U_1-U_3=0$

联立上面四式, 解得 $U_1=21.33V$

所以等效电压为 $U_1-0=21.33V$

(2) 诺顿定理

等效电阻：将 U_1 视作短路， I_1 视作断路， $R_{eq} = (R_1 \parallel (R_2 + R_4)) + R_3$

解得 $R_{eq} = 1666.67$ 欧姆

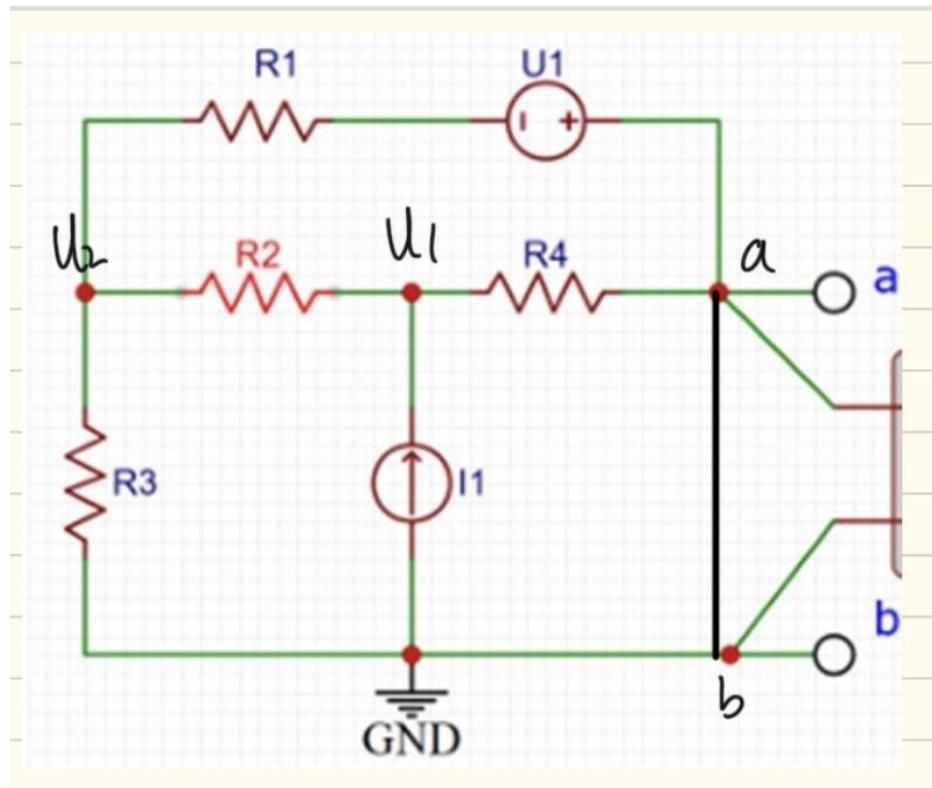
等效电流：将 ab 端口视为短路

根据节点 U_1 处 KCL： $I_1 = (U_1 - U_2)/R_2 + U_1/R_4$

根据 U_2, R_1, A, U_2 环路的 KVL 有： $((U_1 - U_2)/R_2 - U_2/R_3) * R_1 - 12 - U_2 = 0$

联立上面两式，解得 $U_1 = 3.6V, U_2 = -2.8V$

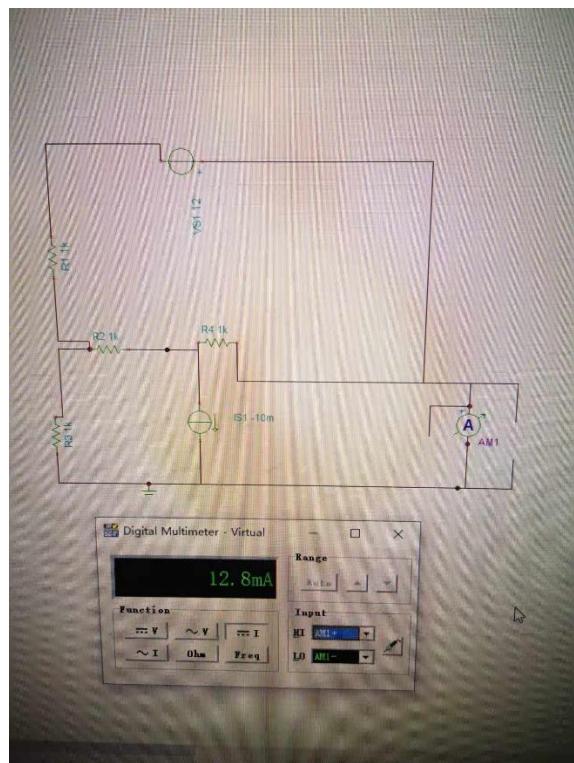
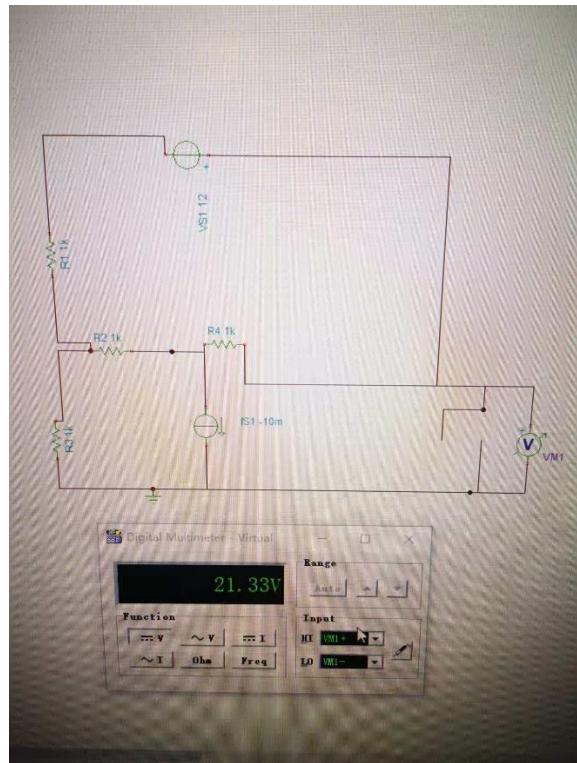
通过 ab 电流为： $(U_2 - U_3)/R_2 - U_3/R_3 + U_1/R_4 = 12.8mA$

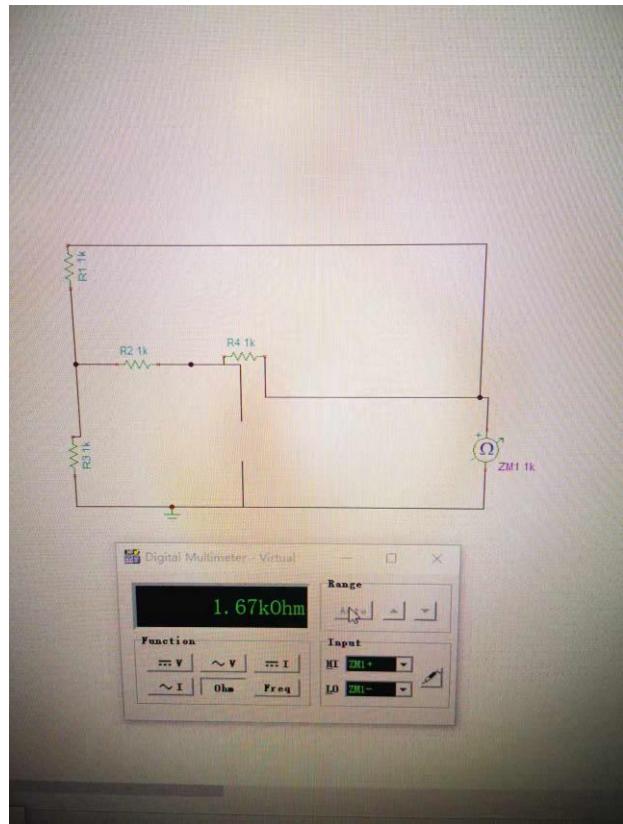


下表为计算值 vs 仿真值

	U_{oc}	R_0	I_{sc}
计算值	21.33V	1.67kΩ	12.8mA
仿真值	21.33V	1.67kΩ	12.8mA

实验测量值见下组图：



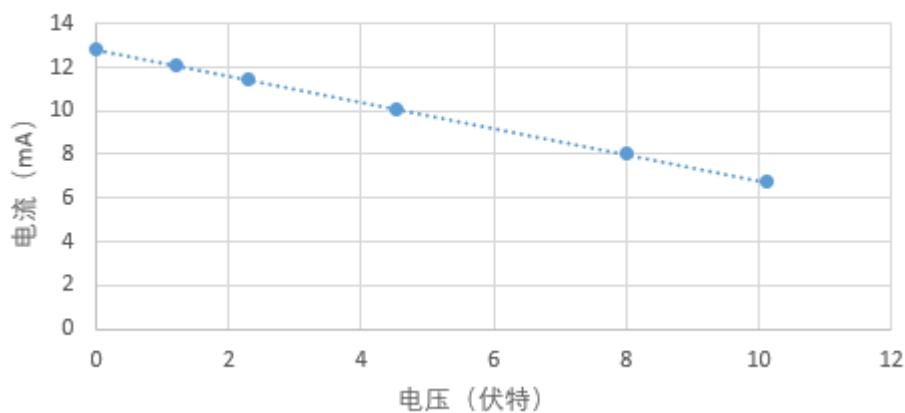


3.仿真实验

(1) 负载实验：测量有源二端网络的外特性，并绘出曲线。

RL (Ω)	0	100	200	450	1000	1500
U (V)	0	1.208	2.29	4.54	8	10.105
I (mA)	12.8	12.08	11.43	10.08	8	6.737

直接法U-I图像

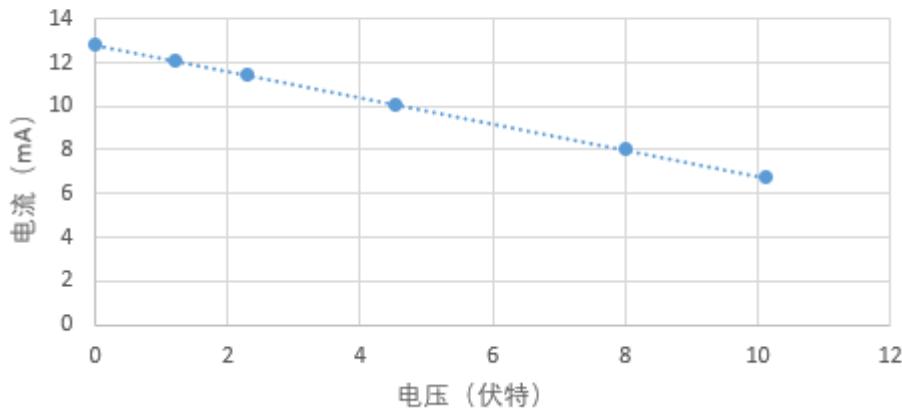


(2) 验证戴维南定理，测量等效电压源的外特性，并绘出曲线。

此时 $U_{oc}=21.33V$, $R_0=1670\Omega$

RL (Ω)	0	100	200	450	1000	1500
U (V)	0	1.207	2.28	4.53	7.99	10.104
I (mA)	12.8	12.07	11.41	10.06	7.99	6.736

戴维南定理下U-I图像

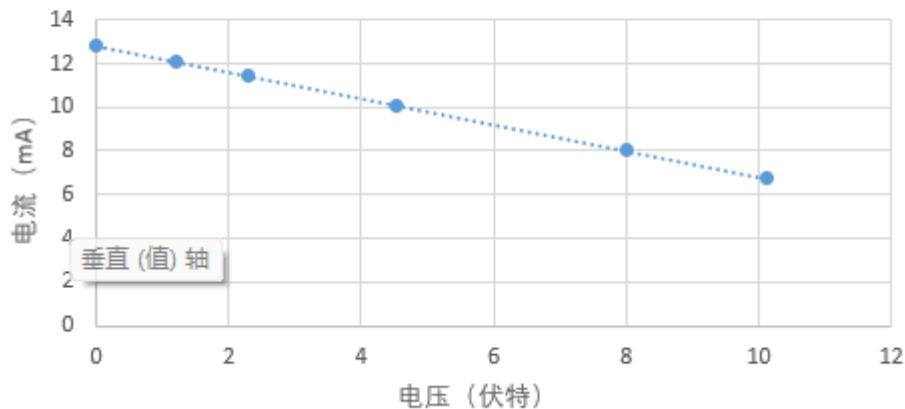


(3) 验证诺顿定理, 测量等效电流源的外特性, 并绘出曲线。

此时 $I_{sc}=12.8mA$, $R_0=1670\Omega$

RL (Ω)	0	100	200	450	1000	1500
U (V)	0	1.208	2.29	4.54	8.01	10.105
I (mA)	12.8	12.08	11.43	10.08	8.01	6.737

诺顿定理下U-I图像



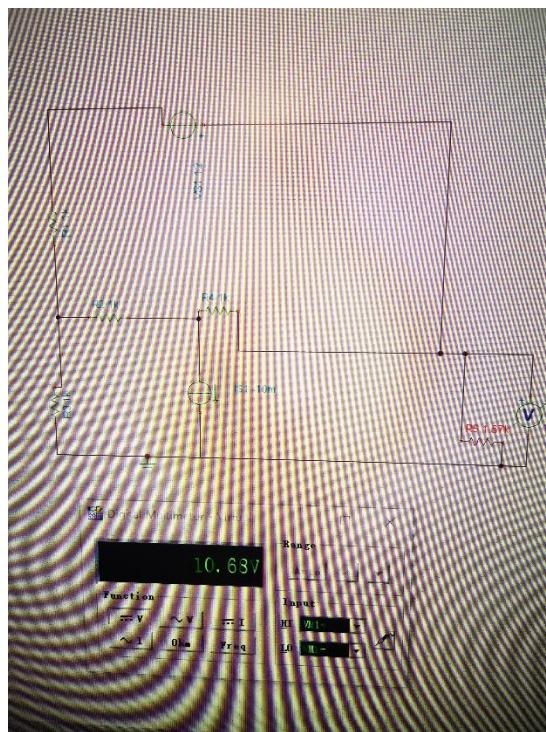
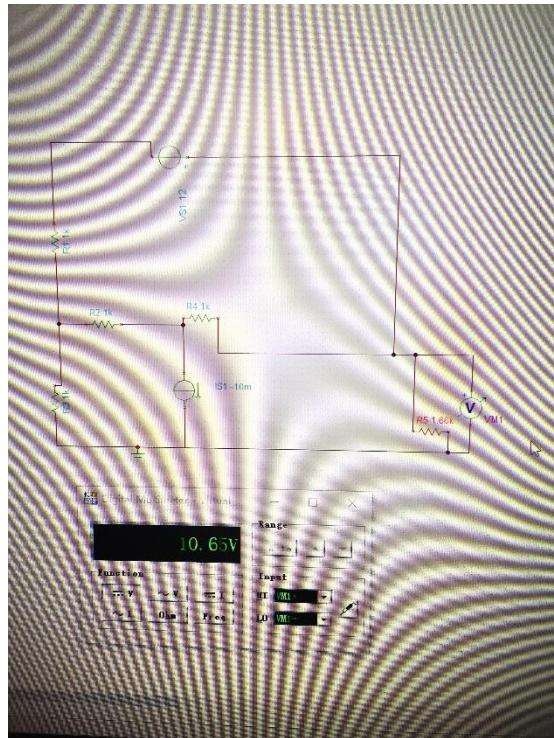
实验测量值见压缩包附件 (为节约空间只放了电阻值为 1000, 450, 200 欧姆时的测量情况)

结论: 在每个点处取附近的 ΔU 与 ΔI , 可得 $RL=\Delta U/\Delta I$, 证明戴维南等效定理与诺顿等效

定理的有效性。

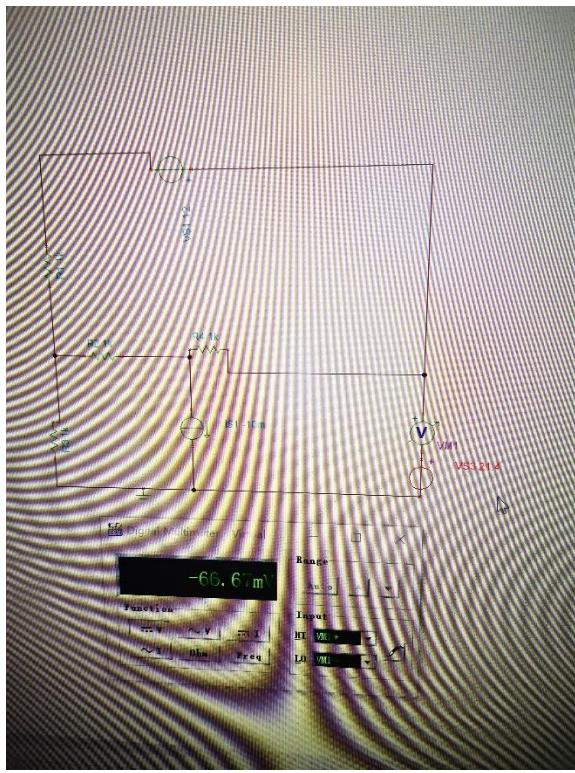
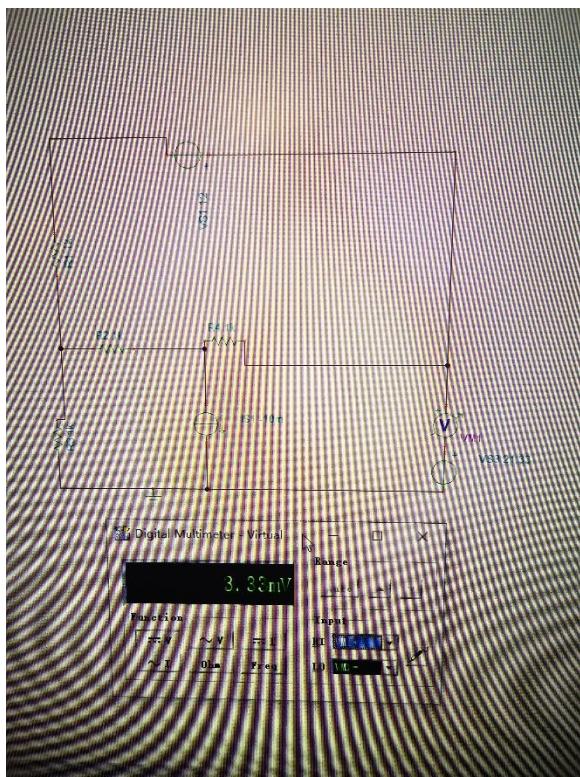
(4) 使用半电压法和零示法分别测 R_0 与 U_{oc} (用于评估直接测量的准确性)

i. 首先通过半电压法:



不难发现在电阻值设置为 $1.66k\Omega$ 与 $1.67k\Omega$ 时，外电压分别等于 $10.65V$ 与 $10.68V$ ，最接近 $U_{oc}/2$ ，所以由半电压法可见直接法所测得的电阻较为准确。

ii. 零示法



不难发现，在电压设置为 21.3V 与 21.4V 之间的的时候，电压表示数最接近 0，说明原开路电压在该范围内，所以由半电压法可见直接法所测得的电压较为准确。

两种方法均较好验证了测量数据的准确性。

4. 电路实验

(1) 电压源与实验板的连接，其中电压源 1 调节至 6V；电压源 2 调节至 12V。 $R_1=200\Omega$ 、 $R_2=510\Omega$

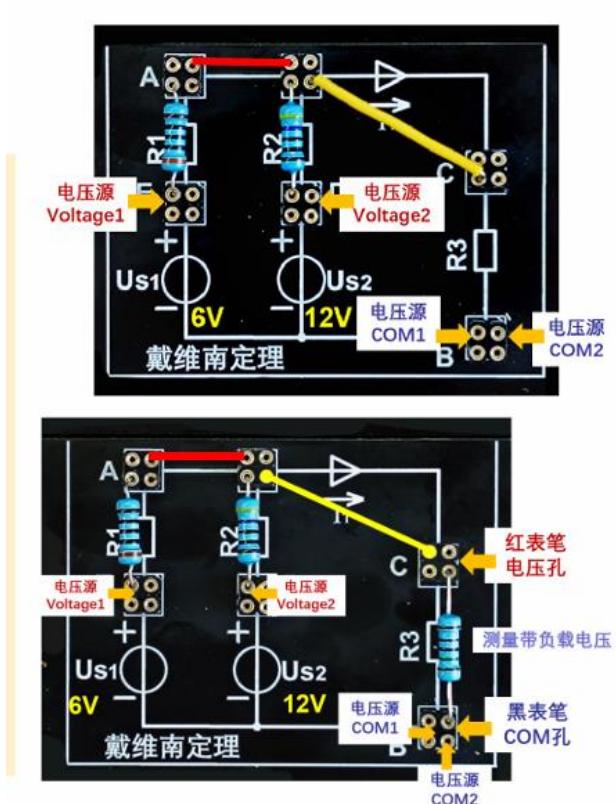
(2) 实验测试步骤：测试开路空载情况时的电压值

测电压时：红表笔（V 孔）点到 C 测试点，黑表笔（COM 孔）点到 B 测试点。

测电流：此时，因为开路： $I = 0$ 。

测量带负载时电压、电流——插入负载电阻 测电压时：红表笔（电压孔）点到 C 测试点，黑表笔（COM 孔）点到 B 测试点。

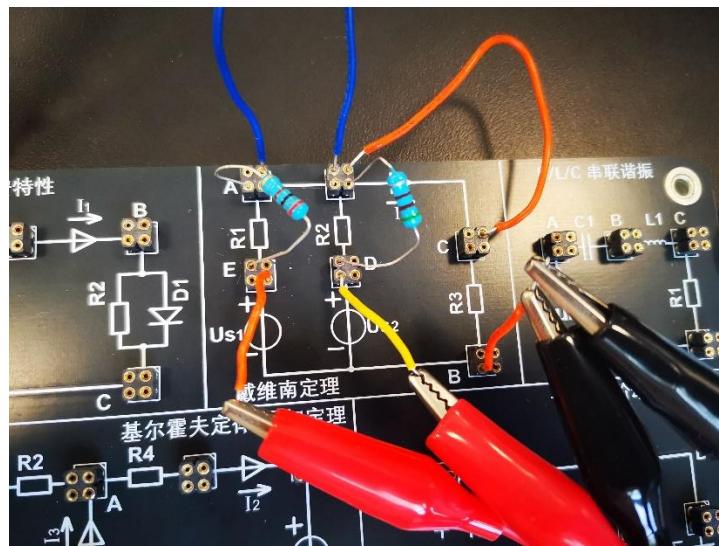
实验电路图如下：



测得数据如下表：

	U (V)	I (mA)
开路时	7.76	0
负载 $RL=0.982k\Omega$ 时	6.75	6.875

实验过程图如下：



(3) 验证步骤:

1. (空载时测得的电压值-带负载的电压值) / 电流值= 等效电阻 R_0 。

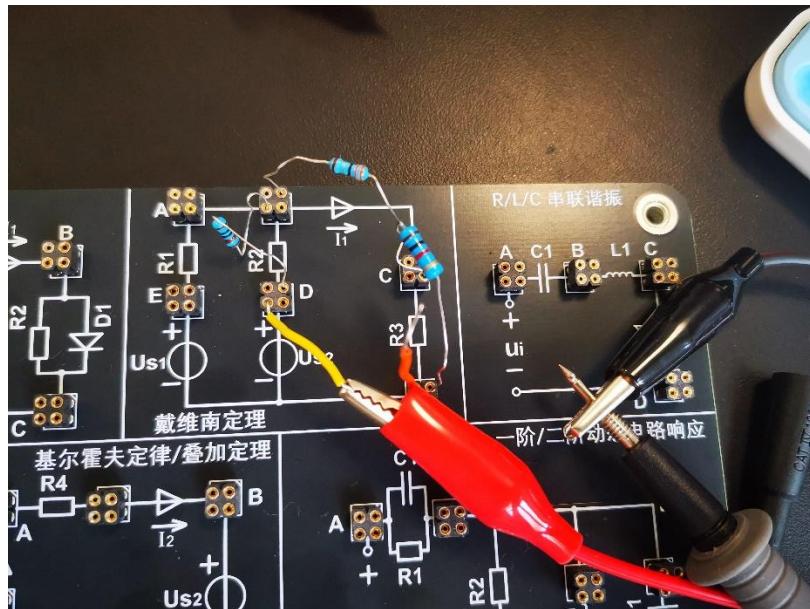
代入数据后得到等效电阻 $R_0=146.9\Omega$

2. R_3 负载电阻不动, R_2 放置与 R_0 相等或近似的阻值。 U_{s2} 设置为二端网络开路时的电压即 U_{oc} 。(注: 实验室并无完全等于等效电阻阻值的实际电阻, 因此取阻值分别为 110.31Ω , 32.84Ω 的电阻串联进行等效。

3. 测量 R_3 两端电压 U_a' , I_a' (数据如下表所示)

戴维南等效电路	$U_{a'} (V)$	$I_{a'} (mA)$
$R_{in}=143.15\Omega$, $U_s=7.76V$ 负载 $R_L=0.982k\Omega$ 时	6.766	6.89

实验过程图如下:



4. 结论: 实验结果与原有源二端网接同样负载的电压值 U_a 、 I_a 在可接受的误差范围内一致, 戴维南定理验证成功。

五 . 结论与心得体会

结论：根据仿真实验的有源二端网络的外特性仿真结果、等效电压源的外特性仿真结果及等效 电流源的外特性仿真结果绘制出外特性曲线，戴氏定理和诺顿定理得到验证。

心得体会：通过本次实验，我更加深入地理解了戴维南定理的实际意义。实验中，我们将复杂的有源二端网络等效为一个电压源与一个电阻串联的形式，从而大大简化了电路分析过程。通过测量不同负载下的电压和电流，并绘制外特性曲线，可以直观地验证理论与实际的一致性。在实验过程中，我发现由于仪器精度、接线接触电阻以及读数误差等原因，实验结果与理论值存在一定偏差，但总体趋势正确。这说明戴维南定理在工程分析中具有良好的适用性。通过本次实验，我不仅巩固了电路等效分析的基本方法，也提高了实验动手能力和数据分析能力，为后续学习复杂电路设计打下了基础。

六 . 思考题

1. 在求戴维南等效电路时，作短路试验，测 I 的条件是什么？在本实验中可否直接作负载短路实验？请实验前对线路预先作好计算，以便调整实验线路及测量时可准确地选取电表的量程。

答：条件是等效电阻较大而短路电流不大，不超过电源电流的额定值。如果短路电流不超过电源电流额定值，且不会损坏电路中的元件，则可以直接作负载短路实验；否则，不能直接进行负载短路实验，需要采用其他方法测量等效参数，如伏安法、半电压法等。所以，在实验前对线路进行计算时，可先根据电路的参数，利用基尔霍夫定律、叠加定理等方法计算出开路电压和短路电流的理论值。

2. 、总结测有源二端网络开路电压及等效内阻的几种方法，结合仿真实验比较其优缺点。

答：测有源二端网络开路电压及等效内阻主要有四种核心方法，在仿真实验中各有优劣且适用场景不同。开路电压法 + 短路电流法操作最简单，直接测开路电压和短路电流后通过等效内阻 = 开路电压 / 短路电流计算即可，但短路电流可能过大，不适用含恒流源的网络；伏安法需接入不同负载测多组负载电压和负载电流并拟合 U-I 曲线，无过流风险且精度高，却需多次更换负载，操作较繁琐；半电压法先测开路电压，再调节负载电阻使电压减半，此时电阻值即为等效内阻，直观易读且电流小，不过结果依赖开路电压精度，电阻调节需精细；外加电源法需先对原网络除源（电压源短路、电流源开路），再外加电源测电压和电流计算等效内阻，适用所有线性网络且结果稳定，但步骤多，易因除源操作错误导致偏差。

3. 、本次电路（非仿真）实验中用的是哪一种方法？

答：伏安法

七 . 附录

压缩包内的“附件实验记录图”为仿真实验过程中测得的相关数据，因图片较多因此未完整放在正文部分，有需要可查看该文件夹。