

浙江大学 实验报告

专业： 微电子科学与工程

姓名： Misaka3125

学号： _____

日期： 2025 年 11 月 11 日

地点： 紫金港东四 216

课程名称： 电子电路设计实验 I 指导老师： 施红军、叶险峰、邓靖靖 成绩： _____

实验名称： 电路定理验证实验 实验类型： 设计类实验 同组学生姓名： ZJUISEE

一、实验目的

验证基尔霍夫电压定理、基尔霍夫电流定理、叠加定理、诺顿定理、戴维南定理。

二、实验任务与要求

1. 验证基尔霍夫定律

(1) 先理论计算出 3 个支路的电流值 I_1 、 I_2 和 I_3 ，然后用电流表分别测量支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3

(2) 先理论计算出各节点电压，再用万用表测量

2. 验证叠加定理

先接入 U_1 ，将 U_2 短路，再接入 U_2 ，短路 U_1 ，最后同时接入 U_1 ， U_2 ，重复下列步骤

(1) 先理论计算出 3 个支路的电流值 I_1 、 I_2 和 I_3 ，然后用电流表分别测量支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3

(2) 先理论计算出各节点电压，再用万用表测量

3. 验证戴维南定理

(1) 测量电路的戴维南开路电压 U_{OC} 和短路电流 I_{SC}

(2) 利用测得的参数构建等效电路，并且对戴维南定理进行验证

三、实验原理

1. 基尔霍夫定律

基尔霍夫电流定律：电路中的任何一个节点流入与流出的电流相等，或 $\sum I = 0$;

基尔霍夫电压定律：任何一个闭合回路，应有 $\sum U = 0$ 。

2. 叠加定理

叠加定理是指：若干个电源在某线性网络的任一支路产生的电流或在任意两个节点之间产生的电压，等于这些电源分别单独作用于该网络时，在该部分所产生的电流与电压的代数和

3. 戴维南定理

任何一个线性网络，如果只研究其中一条支路的电压与电流，则可将电路的其余部分视为一个含源的单端口网络。该网络可以等效于一个电压源或者是一个电流源。

如果将该网络等效于一个电压源，则电压源的输出电压等于该网络的开路电压，等效内阻等于该网络中各电源均为零时的无源网络的入端电阻，这就是戴维南定理。

四、实验方案设计与参数计算

4.1 实验方案总体设计

1. 基尔霍夫电流定律

实验前先任意设定三条支路和三个闭合回路的电流正方向。图 1 中的 I_1 、 I_2 、 I_3 的方向已设定。

三个闭合回路的电流正方向可设为 ADEFA、BADCB 和 FBCEF。将两路直流稳压源接入电路，其中 $U_{s1} = 6V$ ， $U_{s2} = 12V$ ；先将电阻 R_5 接入电路，完成测量。再用二极管 D_1 代替 R_5 ，重复实验。

2. 叠加定理

将两路稳压电源 U_1 和 U_2 的输出分别调节为 6V 和 12V 。

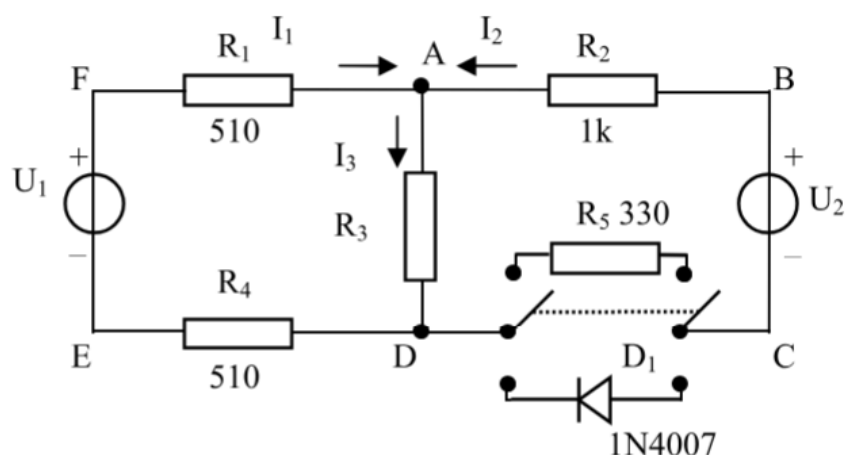


图 1: 验证基尔霍夫定律的电路

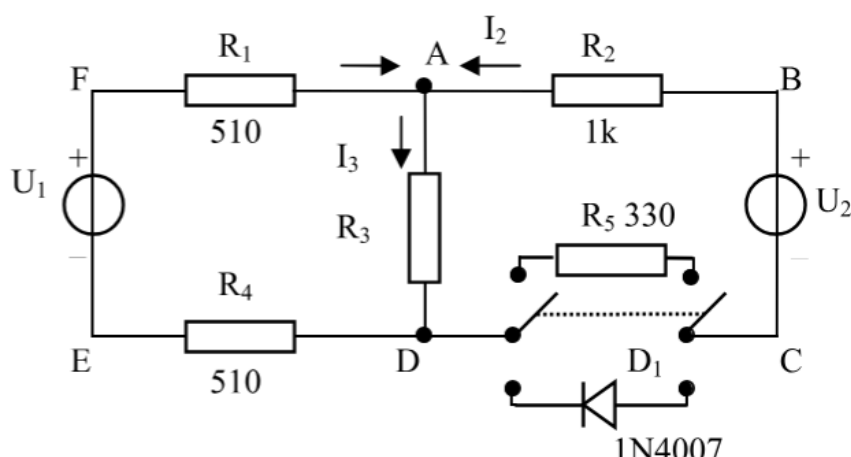


图 2: 验证叠加定理的电路

在节点 F, E 之间接入电压源 U_1 , U_2 处不接电源, 将节点 B, C 短接, 测量各点电压与各支路电流。

U_1 处不接电源, 将节点 F, E 之间短路, 在节点 B, C 之间接入电压源 U_2 , 再次测量各点电压与各支路电流。

同时接上电压源 U_1 和 U_2 , 重复上述测量。

3. 戴维南定理

用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的 U_{OC} 、 R_O 。

接着接入负载测量外特性曲线, 最后接入 U_{OC} 、 R_O 数值的电压源和电阻, 并测定外特性曲线。

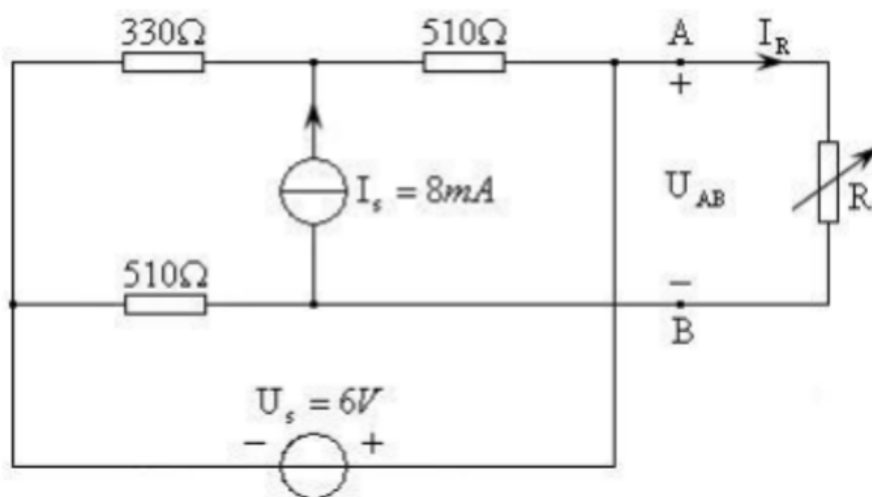


图 3: 验证戴维南定理

4.2 各电路理论值计算

1. 基尔霍夫定律

R_5 接入电路，各支路电流值

$$\begin{cases} 1020I_1 + 510I_3 = 6 \\ 1330I_2 + 510I_3 = 12 \\ I_1 + I_2 = I_3 \end{cases} \quad (1)$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = 1.92mA \\ I_2 = 5.99mA \\ I_3 = 7.91mA \end{cases} \quad (2)$$

D_1 接入电路，各节点电流值

$$\begin{cases} 1020I_1 + 510I_3 = 6 \\ I_2 = 0 \\ I_1 = I_3 \end{cases} \quad (3)$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = 3.92mA \\ I_2 = 0 \\ I_3 = 3.92mA \end{cases} \quad (4)$$

由电流的结果可以依次算出 $U_1, U_2, U_{FA}, U_{AB}, U_{AD}, U_{CD}, U_{DE}$ 。

2. 叠加定理

首先计算接入 R_5 时，不同电源作用时的电流电压理论值

当 U_1 和 U_2 共同作用时，对各 Mesh 应用 KVL，并对 nodeA 应用 KCL

$$\begin{cases} 1020I_1 + 510I_3 = 6 \\ 1330I_2 + 510I_3 = 12 \\ I_1 + I_2 = I_3 \end{cases} \quad (5)$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = 1.92 \text{ mA} \\ I_2 = 5.99 \text{ mA} \\ I_3 = 7.91 \text{ mA} \end{cases} \quad (6)$$

电压的结果可以由电流求得，结果与基尔霍夫定律验证电路的理论值相同

U_1 单独作用时， U_2 短路，应用 KVL，并对 nodeA 应用 KCL 我们有：

$$\begin{cases} 1020I_1 + 510I_3 = 6 \\ 1330I_2 + 510I_3 = 0 \\ I_1 + I_2 = I_3 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} I_1 = 4.32 \text{ mA} \\ I_2 = -1.20 \text{ mA} \\ I_3 = 3.12 \text{ mA} \end{cases} \quad (8)$$

实验名称: 电路定理验证试验 姓名: Misaka 学号: 3125

电压结果: $U_1 = 6 \text{ V}$, $U_2 = 0 \text{ V}$, $U_{FA} = 2.20 \text{ V}$, $U_{AB} = 1.20 \text{ V}$, $U_{AD} = 1.59 \text{ V}$, $U_{CD} = 0.40 \text{ V}$, $U_{DE} = 2.20 \text{ V}$ 。

U_2 单独作用时, U_1 短路, 应用 KVL, 并对 nodeA 应用 KCL 对于电流, 有:

$$\begin{cases} 1020I_1 + 510I_3 = 0 \\ 1330I_2 + 510I_3 = 12 \\ I_1 + I_2 = I_3 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} I_1 = -2.40 \text{ mA} \\ I_2 = 7.19 \text{ mA} \\ I_3 = 4.79 \text{ mA} \end{cases} \quad (10)$$

从而依次可以推出 $U_1 = 0 \text{ V}$, $U_2 = 12 \text{ V}$, $U_{FA} = -1.22 \text{ V}$, $U_{AB} = -7.18 \text{ V}$, $U_{AD} = 2.44 \text{ V}$, $U_{CD} = -2.37 \text{ V}$, $U_{DE} = -1.22 \text{ V}$ 。

现在计算接入 D_1 时, 不同电源作用时的电流电压理论值

当 U_1 和 U_2 共同作用时, 对各 Mesh 应用 KVL, 并对 nodeA 应用 KCL

$$\begin{cases} 1020I_1 + 510I_3 = 6 \\ I_2 = 0 \\ I_1 = I_3 \end{cases} \quad (11)$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = 3.92 \text{ mA} \\ I_2 = 0 \text{ mA} \\ I_3 = 3.92 \text{ mA} \end{cases} \quad (12)$$

由电流的结果可以依次算出 $U_1 = 6 \text{ V}$, $U_2 = 12 \text{ V}$, $U_{FA} = 2.00 \text{ V}$, $U_{AB} = 0 \text{ V}$, $U_{AD} = 2.00 \text{ V}$, $U_{CD} = -10.00 \text{ V}$, $U_{DE} = 2.00 \text{ V}$ 。

当 U_1 单独作用时, 对各 Mesh 应用 KVL, 并对 nodeA 应用 KCL

$$\begin{cases} 1020I_1 + 510I_3 = 6 \\ I_2 + 0I_3 = 0 \\ I_1 + 0I_2 = I_3 \end{cases} \quad (13)$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = 3.92 \text{ mA} \\ I_2 = 0 \text{ mA} \\ I_3 = 3.92 \text{ mA} \end{cases} \quad (14)$$

由电流的结果，我们可以得出, $U_1 = 6V$, $U_2 = U_{AB} = 0V$, $U_{FA} = U_{AD} = U_{CD} = U_{DE} = 2.00V$

当 U_2 单独作用时, 对各 Mesh 应用 KVL, 并对 nodeA 应用 KCL

$$\begin{cases} 1020I_1 + 510I_3 = 0 \\ I_2 + 0I_3 = 0 \\ I_1 + 0I_2 = I_3 \end{cases} \quad (15)$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = 0 \text{ mA} \\ I_2 = 0 \text{ mA} \\ I_3 = 0 \text{ mA} \end{cases} \quad (16)$$

由电流的结果，我们可以得出除 $U_2 = 12V$, $U_{CD} = -12.00V$ 外，其他节点电压值均为 0

3. 戴维南定理

计算开路电压，短路电流。

首先使 AB 间开路，应用基尔霍夫定律

$$\begin{cases} 330I_1 + 510I_2 + 6 = 0 \\ I_2 - I_1 = I_s \end{cases} \quad (17)$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = -1.2 \times 10^{-2} \text{ mA} \\ I_2 = -4 \times 10^{-3} \text{ mA} \end{cases} \quad (18)$$

$$U_{OC} = 6 + 510I_sV = 10.08V$$

使 AB 间短路，应用基尔霍夫定律

$$\begin{cases} 840I_1 + 510I_2 - 510I_3 = 0 \\ I_2 - I_1 = I_s \\ -510I_1 + 510I_3 = -6 \end{cases} \quad (19)$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = -1.2 \times 10^{-2} \text{ mA} \\ I_2 = -4.0 \times 10^{-3} \text{ mA} \\ I_3 = -2.4 \times 10^{-2} \text{ mA} \end{cases} \quad (20)$$

$$I_{SC} = I_2 - I_3 = 2.0 \times 10^{-2} \text{ mA}$$

$$\text{则 } R_O = \frac{U_{OC}}{I_{SC}} = 510\Omega$$

五、实验仪器设备

1. 电流表
2. 万用表
3. 电源
4. 实验用电路板
5. 恒流源

六、实验步骤、数据记录与分析

实验一：验证基尔霍夫定律

实验数据记录（ R_5 接入）：

表 1: R_5 接入时各支路电流测量值

R_5	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA
理论值	1.92	5.99	7.91
测量值	1.96	5.92	7.78

表 2: R_5 接入时各节点电压测量值（一）

R_5	U_1/V	U_2/V	U_{FA}/V	U_{AB}/V
理论值	6	12	0.98	-5.99
测量值	5.9	11.9	1.01	-5.53

表 3: R_5 接入时各节点电压测量值（二）

R_5	U_{AD}/V	U_{CD}/V	U_{DE}/V
理论值	4.03	-1.98	0.98
测量值	4.02	-2.01	0.99

观察表 1，在误差允许的范围内， $I_1 + I_2 \approx I_3$ ，这就验证了基尔霍夫电流定律
我们取任意一个 Mesh，以外回路 FABCDE 为例：

$$U_{FA} + U_{AB} + U_2 + U_{CD} + U_{DE} - U_1 = 0.46$$

较理论计算指有 $\frac{0.01}{0.46} \times 100\% = 2.2\%$ 的误差

同理可以取另外的闭合环路，在误差允许的范围内， $\sum U = 0$ ，这就验证了基尔霍夫电压定律

实验数据记录（ D_1 接入）：

表 4: D_1 接入时各支路电流测量值

D_1	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA
理论值	3.92	0	3.92
测量值	3.78	0	3.78

表 5: D_1 接入时各节点电压测量值（一）

D_1	U_1/V	U_2/V	U_{FA}/V	U_{AB}/V
理论值	6	12	2.00	0
测量值	5.9	11.9	2.02	0.00

表 6: D_1 接入时各节点电压测量值（二）

D_1	U_{AD}/V	U_{CD}/V	U_{DE}/V
理论值	2.00	-10.00	2.00
测量值	1.99	-10.02	1.99

观察表 4, $I_1 + I_2 = I_3$, 这就验证了基尔霍夫电流定律

我们取任意一个 Mesh, 以外回路 FABCDE 为例:

$$U_{FA} + U_{AB} + U_2 + U_{CD} + U_{DE} - U_1 = -0.01$$

同理可以取另外的闭合环路, 在误差允许的范围内, $\sum U = 0$, 这就验证了基尔霍夫电压定律

回顾整个实验, 接入电阻时误差明显比二极管要大, 这说明实验的误差来源主要是各电阻元件（老化、使用时间过长放热等）与标称值电阻发生了偏差。

实验二：验证叠加定理

实验数据记录（ R_5 接入）:

表 7: U_1 单独作用时各参数测量值 (R_5 接入)

	U_1/V	U_2/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA
理论值	6	0	4.32	-1.20	3.12
测量值	5.9	0	4.27	-1.18	3.11

表 8: U_1 单独作用时各节点电压测量值 (R_5 接入)

	U_{FA}/V	U_{AB}/V	U_{AD}/V	U_{CD}/V	U_{DE}/V
理论值	2.20	1.20	1.59	0.40	2.20
测量值	2.22	1.15	1.59	0.39	2.18

表 9: U_2 单独作用时各参数测量值 (R_5 接入)

	U_1/V	U_2/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA
理论值	0	12	-2.40	7.18	4.79
测量值	0	11.9	-2.35	7.16	4.75

表 10: U_2 单独作用时各节点电压测量值 (R_5 接入)

	U_{FA}/V	U_{AB}/V	U_{AD}/V	U_{CD}/V	U_{DE}/V
理论值	-1.22	-7.18	2.44	-2.37	-1.22
测量值	-1.22	-6.99	2.42	-2.40	-1.20

表 11: U_1 、 U_2 共同作用时各参数测量值 (R_5 接入)

	U_1/V	U_2/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA
理论值	6	12	1.92	5.98	7.91
测量值	5.9	11.9	1.92	5.98	7.86

表 12: U_1 、 U_2 共同作用时各节点电压测量值 (R_5 接入)

	U_{FA}/V	U_{AB}/V	U_{AD}/V	U_{CD}/V	U_{DE}/V
理论值	0.98	-5.98	4.03	-1.97	0.98
测量值	1.00	-5.84	4.01	-2.01	0.98

观察表 11, 12, 可以发现理论值与测量值在误差允许的范围内相等, 且都有相应的参数 (电流或电压) 符合叠加定理:

$$Parameter(U_1) + Parameter(U_2) \approx Parameter(U_1, U_2)$$

实验数据记录 (D_1 接入):

表 13: U_1 单独作用 (D_1 接入) 的电流参数

U_1 单独作用 (D_1)	U_1/V	U_2/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA
理论值	6	0	3.92	0	3.92
测量值	5.9	0	4.22	-1.03	3.17

表 14: U_1 单独作用 (D_1 接入) 的节点电压

	U_{FA}/V	U_{AB}/V	U_{AD}/V	U_{CD}/V	U_{DE}/V
理论值	2.00	0	2.00	2.00	2.00
测量值	2.20	1.03	1.63	0.58	2.10

表 15: U_2 单独作用 (D_1 接入) 的电流参数

U_2 单独作用 (D_1)	U_1/V	U_2/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA
理论值	0	12	0	0	0
测量值	0	11.9	0	0	0

表 16: U_2 单独作用 (D_1 接入) 的节点电压

D_1	U_{FA}/V	U_{AB}/V	U_{AD}/V	U_{CD}/V	U_{DE}/V
理论值	0	0	0	-12.00	0
测量值	0	0	0	-12.01	0

表 17: U_1 、 U_2 共同作用 (D_1 接入) 的电流参数

U_1 U_2 共同作用 (D_1)	U_1/V	U_2/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA
理论值	6	12	3.92	0	3.92
测量值	5.9	11.9	3.78	0	3.78

表 18: U_1 、 U_2 共同作用 (D_1 接入) 的节点电压

U_1 U_2 共同作用 (D_1)	U_{FA}/V	U_{AB}/V	U_{AD}/V	U_{CD}/V	U_{DE}/V
理论值	2.00	0	2.00	-10.00	2.00
测量值	2.02	0.00	1.99	-10.01	1.99

接入 D_1 时, 电压单独作用理论值与测量值都出现了较大的误差, 这主要是因为二极管不是线性元件。对误差进行简要分析:

1. 主要误差原因

- **二极管非线性特性:** 理论假设二极管截止时电流为 0, 但实际存在反向漏电流, 导致 U_1 单独作用时出现非零 $I_2 = -1.03\text{ mA}$, 叠加定理不适用于非线性元件。
- **仪器与电路误差:** 电源输出精度 (如 U_2 理论 12V, 实测 11.9V)、仪表精度限制及接触电阻, 导致测量值与理论值存在偏差。

2. 关键参数误差

参数	理论值（mA）	测量值（mA）	误差分析
I_1	3.92	4.22	相对误差 7.65%
I_2	0	-1.03	绝对误差 1.03mA（漏电流）
I_3	3.92	3.17	相对误差 19.13%

参数	理论值（V）	测量值（V）	误差分析
U_{FA}	2.00	2.20	相对误差 10.00%
U_{CD}	2.00	0.58	相对误差 71.00%（非线性特性导致）

3. 结论

二极管非线性特性是误差主因，叠加定理不适用于此类元件； I_2 的非零值为反向漏电流，属原理性误差。应当采用非线性模型分析，或选用高精度仪器减少测量误差。

实验三：验证戴维南定理

等效参数测量结果：

表 19: 戴维南等效参数测量

U_{OC}/V	I_{SC}/mA	R_O/Ω
10.04	19.28	521

负载实验数据：

表 20: 网络外特性测量（改变 R_L ）

R_L/Ω	10	80	130	170	270	490	810	1270	2310	6470
U_{AB}/V	0.15	1.36	2.05	2.50	3.48	4.95	6.18	7.17	8.23	9.23
I/mA	19.51	17.14	15.76	14.87	12.93	10.03	7.64	5.63	3.56	1.58

戴维南定理验证数据：

表 21: 戴维南等效电路外特性测量

R_L/Ω	10	80	130	170	270	490	810	1270	2310	6470
U_{AB}/V	1.68	2.20	3.44	4.05	4.80	5.63	6.83	7.60	8.61	9.04
I/mA	16.04	15.04	12.69	11.49	10.03	8.46	6.15	4.70	2.74	1.90

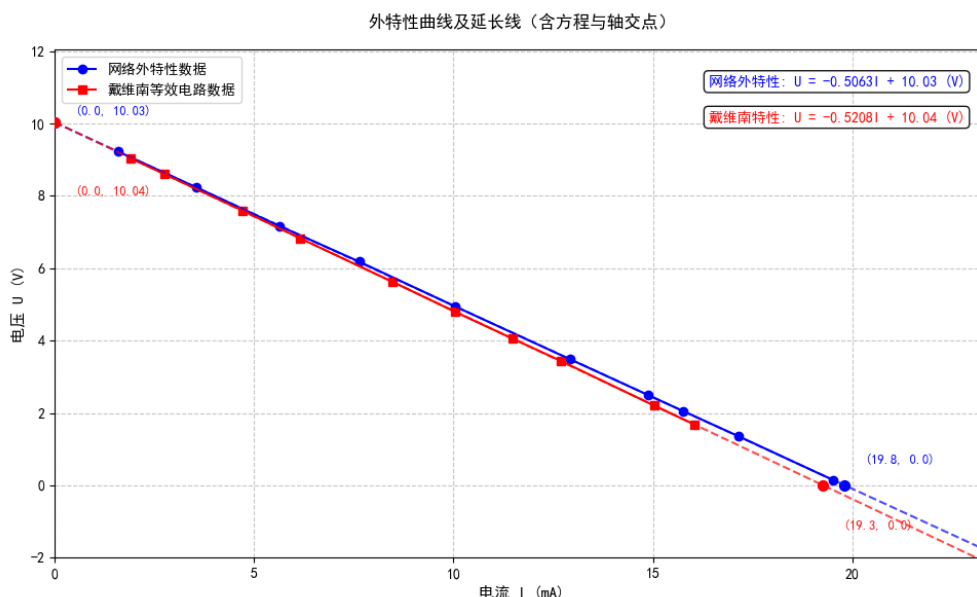


图 4: 外特性曲线对比图

从外特性曲线可知，实际网络与戴维南等效电路的电压-电流关系均呈良好线性，曲线基本重合。实际网络拟合方程为 $U = -0.5063I + 10.03 \text{ V}$ ，戴维南等效电路为 $U = -0.5208I + 10.04 \text{ V}$ 。由方程推得：

- 实际网络：开路电压 $U_{OC} = 10.03 \text{ V}$ ，短路电流 $I_{SC} \approx 19.8 \text{ mA}$ ，等效电阻 $R_O \approx 506.3 \Omega$ 。
- 等效电路： $U_{OC} = 10.04 \text{ V}$ ， $I_{SC} \approx 19.3 \text{ mA}$ ， $R_O \approx 520.8 \Omega$ 。

与直接测量值（ $U_{OC} = 10.04 \text{ V}$ ， $I_{SC} = 19.28 \text{ mA}$ ， $R_O = 521 \Omega$ ）对比，等效电路参数吻合较好，实际网络 I_{SC} 略有偏差。负载实验数据（表 20、表 21）显示，除低阻负载（如 $R_L = 10 \Omega$ ）外，电压电流值接近，验证了戴维南定理的准确性。

1. 主要误差原因

1. 测量误差：仪器精度限制（如万用表、电流表精度等级不足），导致 U_{OC} 、 I_{SC} 读数偏差

实验名称： 电路定理验证试验 姓名： Misaka 学号： 3125

2. 环境因素：导线电阻、接触电阻在低阻负载时影响显著（如 $R_L = 10\ \Omega$ 数据差异）；温度变化引起电阻值波动

2. 结论

实验成功验证戴维南定理，误差在合理范围内，可通过提高仪器精度、减少寄生电阻优化。

七、结论

通过实验，我们初步验证了电路定律，在误差允许的范围内，基尔霍夫定律，线性网络的叠加定理，线性网络的戴维南定理均成立

特别注意，**叠加定理不适合非线性元件**，在实验二数据中我们也可观察到理论值与测量值的较大偏差。

八、心得与体会

这些电路实验进一步加深了我对电路基本定律的理解，同时，我也认识到任何定理都有一定的限制范围，如叠加定理的线性网络适用性，这是我在理论中常常忽略的部分。

另一方面，对实验的误差分析也锻炼了我的数据处理能力，不难发现，这些电学实验误差的主要原因基本是各元件的老化、测量仪器的精度等，这也提供了我们进行一般误差分析的思考角度。

最后，实验教会了我排查电路故障的一般步骤，先检查供电，再检查各元件，实验中的许多问题也确实是因为电压输出接触不良导致的。

九、思考题

基尔霍夫定律

1. 如果设定不同的电压与电流参考方向，基尔霍夫定律是否仍然成立？

答：基尔霍夫定律的成立与参考方向的设定无关。基尔霍夫电流定律基于“电荷守恒”，核心是“任一节点流入与流出电流的代数和为零”；基尔霍夫电压定律（KVL）基于“能量守恒”，核心是“任一闭合回路各段电压的代数和为零”。参考方向仅用于判断电流、电压的正负符号，不改变其实际的守恒关系。例如实验一的理论计算，我们没有预先强制规定电流方向，但是无论如何设定 I_1, I_2, I_3 的参考方向，最终测量数据都能通过代数符号调整满足 KCL 和 KVL 的本质要求。

2. 如果电路中含有非线性器件，基尔霍夫定律是否仍然成立？（在图 1 所示电路中，可选择将二极管 1N4007 替换电阻 R5 连入电路，进行实验验证。）

答：基尔霍夫定律**仍然成立**。基尔霍夫定律是描述电路拓扑关系的基本定律，仅与电路

的连接方式有关，与元件线性或非线性无关。实验一中将电阻 R_5 替换为二极管 1N4007 后，测量得到的支路电流仍满足 KCL ($I_1 = I_3$, $I_2 = 0$)，各闭合回路的电压代数和仍满足 KVL，这直接验证了非线性器件存在时，基尔霍夫定律依然有效。

叠加定理

1. 可否直接将不起作用的电源 (U_1 或 U_2) 短接置零？

答：对于独立电压源，不起作用时理论上可直接短接置零，但实际操作中，不能直接短接，因为会让电源内部产生大电流烧坏元件。

2. 根据测量数据，计算各种状况下，某一电阻消耗的功率，并验证功率是否具有叠加性。

答：功率不具有叠加性。以下以实验二中的电阻 R_5 为例验证（由实验一数据计算得 $R_5 \approx \frac{U_{CD}}{I_2} = \frac{0.39\text{V}}{1.18\text{mA}} \approx 334\Omega$ ）：- U_1 单独作用时， $I_2 = -1.18\text{mA}$ ，功率 $P_1 = I_2^2 R_5 = (-1.18 \times 10^{-3})^2 \times 334 \approx 4.65 \times 10^{-3}\text{W}$ ；- U_2 单独作用时， $I_2 = 7.16\text{mA}$ ，功率 $P_2 = I_2^2 R_5 = (7.16 \times 10^{-3})^2 \times 334 \approx 0.017\text{W}$ ；- U_1 与 U_2 共同作用时， $I_2 = 5.92\text{mA}$ ，功率 $P = I_2^2 R_5 = (5.92 \times 10^{-3})^2 \times 334 \approx 0.012\text{W}$ 。由于功率与电流（或电压）呈二次函数关系，不满足线性叠加的“可加性”，因此 $P \neq P_1 + P_2$ ，功率无叠加性。

戴维南定理

1. 在求戴维南或诺顿等效电路时，测 I_{SC} 的条件是什么？在本实验中可否直接做负载短路实验？

答：测 I_{SC} 的条件是：将有源二端网络的输出端口直接短路，且网络内部所有独立源、受控源均保持原工作状态，此时测得的端口短路电流即为 I_{SC} 。同时 AB 端等效电阻要保证不会产生大电流损坏元件。

本实验中不可直接做负载短路实验，因短路时电流可能超出电流表量程或损坏电路元件。

2. 简述测量有源二端口网络开路电压及等效内阻的几种方法，并比较其优缺点。

答：测量有源二端口网络开路电压 U_{OC} 及等效内阻 R_O 的常用方法及优缺点如下：

1. 开路电压法 + 短路电流法

- 测量步骤：先断开负载，测量端口开路电压 U_{OC} ；再将端口短路，测量短路电流 I_{SC} ，由 $R_O = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$ 计算等效内阻。
- 优点：原理简单直观，计算量小，无需额外辅助元件。

- 缺点：端口短路时可能产生过大电流，存在损坏电源或电路元件的风险；含受控源的网络可能因短路导致工作状态异常。

2. 开路电压法 + 负载电阻法

- 测量步骤：先测 U_{OC} ；再接入已知阻值的负载电阻 R_L ，测量负载两端电压 U_L ，由分压公式 $U_L = \frac{R_L}{R_O + R_L} U_{OC}$ 推导得 $R_O = \frac{U_{OC} - U_L}{U_L} R_L$ 。
- 优点：无需短路操作，安全性高；适用于含受控源或不宜短路的网络。
- 缺点：测量精度依赖 R_L 的标称精度，且 R_L 的阻值需与 R_O 相当（过大或过小会导致 U_L 变化不明显，增大误差）。

3. 伏安法

- 测量步骤：改变负载电阻 R_L 的阻值，测量多组对应的端口电压 U 和电流 I ，绘制 $U-I$ 伏安特性曲线，曲线的截距为 U_{OC} ，斜率的绝对值为 R_O 。
- 优点：利用伏安特性曲线可以直观地看出电压与电流的关系，能同时得到 U_{OC} 和 R_O 的变化趋势。
- 缺点：需绘制曲线，过程比较繁琐；若电表内阻较大，会引入额外误差，影响测量精度。

4. 半电压法

- 测量步骤：先测开路电压 U_{OC} ；再接入电位器作为负载 R_L ，调节 R_L 使负载电压 $U_L = \frac{1}{2} U_{OC}$ ，此时 $R_L = R_O$ ，即 R_O 等于该电位器的阻值。
- 优点：方法原理简单，测量精度较高，误差较小；不受电源电压波动的影响。
- 缺点：需要使用精度较高的电源以保证 U_{OC} 的稳定性；测量过程中需多次调节负载并测量，操作相对复杂。