



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

电子电路设计实验 I

本科实验报告

课程名称:	电子电路设计实验 I
姓 名:	wcHikaru
学 号:	/
学 院:	信息与工程学院
专 业:	微电子科学与工程
指导教师:	施红军、叶险峰、邓婧婧
报告日期:	2025 年 11 月 11 日

浙江大学实验报告

专业：微电子科学与工程

姓名：wcHikaru

学号： /

日期：2025 年 11 月 11 日

地点：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、邓婧婧 成绩：

实验名称：电路定律验证实验 实验类型：设计型实验 同组学生姓名： /

一、实验目的

1. 基尔霍夫定律实验研究

(1) 验证基尔霍夫电流、电压定律的正确性，加深对基尔霍夫定律的理解

2. 叠加定律实验研究

(1) 实验研究叠加定理的正确性

(2) 加深叠加定理适用范围的认识

3. 戴维南定理与诺顿定理的实验研究

(1) 实验研究戴维南定理与诺顿定理

(2) 掌握有源二端口网络等效电路参数的测量方法

二、实验任务和要求

1. 基尔霍夫定律实验研究

(1) 理论计算出 3 个支路的电流值与各节点的电压值

(2) 用电流表测得各支路的电流值，用电压表测得各节点的电压值，与理论值进行比较

2. 叠加定律实验研究

(1) 用电流表测得各支路的电流值，用电压表测得各节点的电压值，与理论值进行比较，验证叠加定理

3. 戴维南定理与诺顿定理的实验研究

(1) 测量戴维南定理的相关等效参数（开路电压、短路电流）

(2) 利用测得的参数构建等效电路，并且对于戴维南定理进行验证

三、实验原理

1. 基尔霍夫定律实验研究

- 基尔霍夫定律：测量某电路中的各支路电流及每个元件两端的电压，应分别满足基尔霍夫电流定律（KCL）和电压定律（KVL）：

- KCL: 对电路中的任一个节点而言，应有 $\sum I = 0$ 。

- KVL: 对电路中的任何一个闭合回路而言，应有 $\sum U = 0$ 。

- 注意：运用上述定律时必须注意各支路或闭合回路中电流的正方向，此方向可预先任意设定。

2. 叠加定律实验研究

- 叠加定理：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。

- 对于非线性网络，叠加定理将不再成立，也不能用叠加定理计算或处理功率、能量等二次的物理量。

3. 戴维南定理与诺顿定理的实验研究

- 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输入电阻，这就是戴维南定理。如图 1 所示，其电压源的电动势 U_s 等于这个有源二端口网络的开路电压 U_{OC} ，其等效电阻 R_o 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。

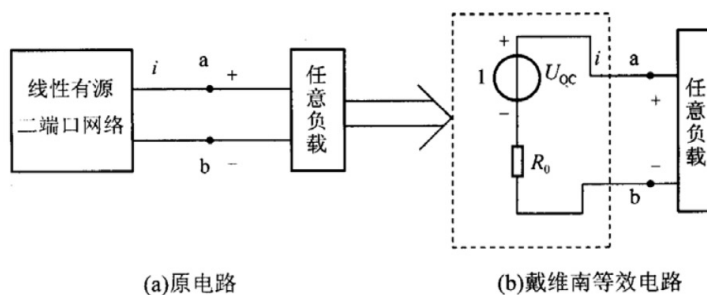


Figure 1: 戴维南等效电路图

- 如果将该网络等效于一个电流源，则电流源的输出电流等于该网络的短路电流，等效电导等于该网络中各电源均为零时的无源网络的入端电导，这就是诺顿定理。

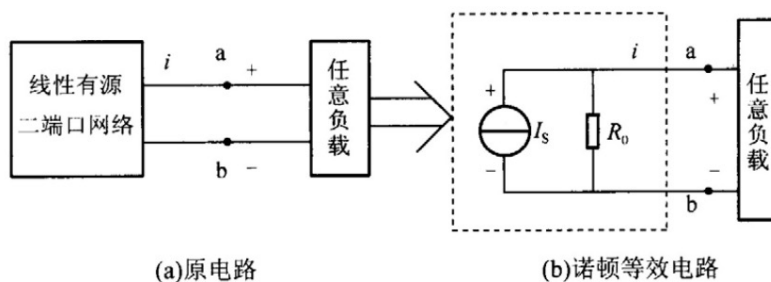


Figure 2: 诺顿等效电路图

四、实验方案设计与参数计算

1. 基尔霍夫定律实验研究

1.1) 实验基本方案

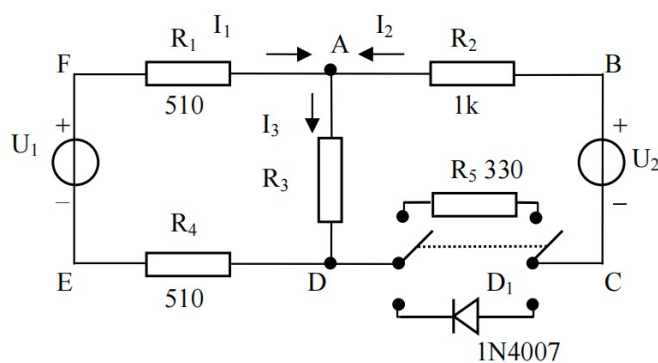


Figure 3: 验证基尔霍夫定律的实验电路

本实验使用图 3 所示的电路来验证基尔霍夫定律。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，测量相应的电压和电流值；再用二极管 D_1 代替 R_5 ，重复实验。

1.2) 理论值计算

- R_5 接入电路，各支路电流值

$$\begin{cases} (510 + 510)I_1 + 510I_3 = 6 \\ (1000 + 330)I_2 + 510I_3 = 12 \\ I_1 + I_2 = I_3 \end{cases}$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = 1.926 \text{ mA} \\ I_2 = 5.988 \text{ mA} \\ I_3 = 7.914 \text{ mA} \end{cases}$$

由电流的结果依次算出：

$$\begin{cases} U_1 = 6V \\ U_2 = 12V \\ U_{FA} = 0.982V \\ U_{AB} = -5.988V \\ U_{AD} = 4.036V \\ U_{CD} = -1.995V \\ U_{DE} = 0.982V \end{cases}$$

- D_1 接入电路，各节点电流值

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

解得

$$\begin{cases} I_1 = 3.922 \text{ mA} \\ I_2 = 0 \\ I_3 = 3.922 \text{ mA} \end{cases}$$

由电流的结果依次算出：

$$\begin{cases} U_1 = 6V \\ U_2 = 12V \\ U_{FA} = 2V \\ U_{AB} = 0 \\ U_{AD} = 2 \\ U_{CD} = -10 \\ U_{DE} = 2 \end{cases}$$

2. 叠加定律实验研究

2.1) 实验基本方案

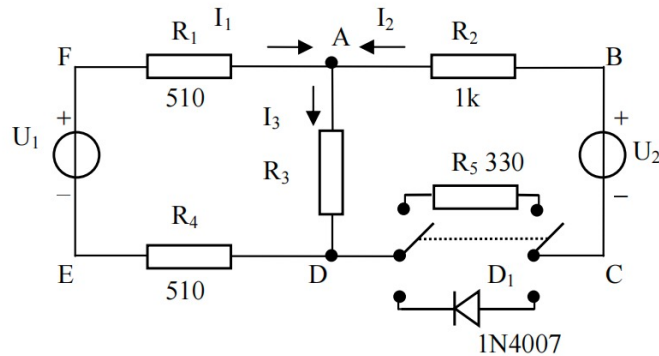


Figure 4: 验证叠加定律的实验电路

本实验使用图 4 所示的电路来验证叠加定律。其中 $U_{s1} = 6V$ ， $U_{s2} = 12V$

2.2) 理论值计算

2.2.1) R_5 接入电路

- 当 U_1 和 U_2 共同作用时：各电流电压值如 1.2 中所述。
- 当 U_1 单独作用时：

此时电路简化为：

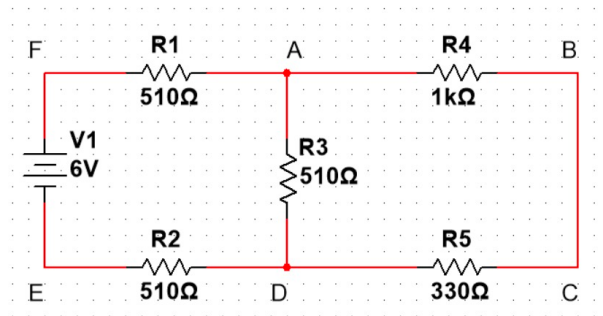


Figure 5: U_1 单独作用时的电路

$$\begin{cases} (510 + 510)I_1 + 510I_3 = 6 \\ (1000 + 330)I_2 + 510I_3 = 0 \\ I_1 + I_2 = I_3 \end{cases}$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = 4.320 \text{ mA} \\ I_2 = -1.200 \text{ mA} \\ I_3 = 3.120 \text{ mA} \end{cases}$$

依次算出

$$\begin{cases} U_1 = 6V \\ U_2 = 0V \\ U_{FA} = 2.20V \\ U_{AB} = 1.20V \\ U_{AD} = 1.59V \\ U_{CD} = 0.39V \\ U_{DE} = 2.21V \end{cases}$$

- 当 U_2 单独作用时：

此时电路简化为：

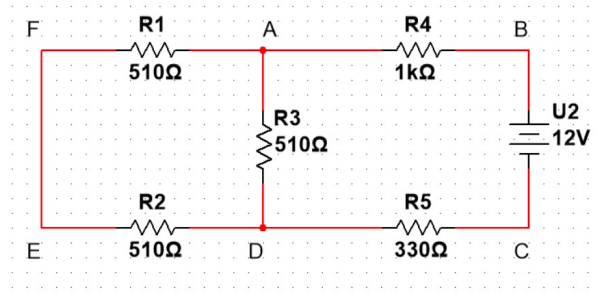


Figure 6: U2 单独作用时的电路

$$\begin{cases} (510 + 510)I_1 + 510I_3 = 0 \\ (1000 + 330)I_2 + 510I_3 = 12 \\ I_1 + I_2 = I_3 \end{cases}$$

解得

$$\begin{cases} I_1 = -2.400 \text{ mA} \\ I_2 = 7.190 \text{ mA} \\ I_3 = 4.790 \text{ mA} \end{cases}$$

依次算出

$$\begin{cases} U_1 = 0V \\ U_2 = 12V \\ U_{FA} = -1.224V \\ U_{AB} = -7.19V \\ U_{AD} = 2.443V \\ U_{CD} = -2.367V \\ U_{DE} = -1.219V \end{cases}$$

2.2.2) U_1 接入电路

- 当 U_1 和 U_2 共同作用时：各电流电压值如 1.2 中所述。
- 当 U_1 单独作用时：

此时电路简化为：

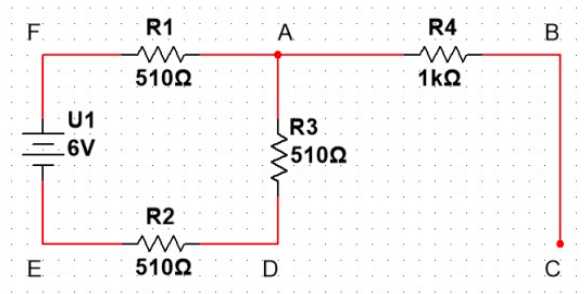


Figure 7: U1 单独作用时的电路

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

解得

$$\begin{cases} I_1 = 3.922 \text{ mA} \\ I_2 = 0 \\ I_3 = 3.922 \text{ mA} \end{cases}$$

依次算出

$$\begin{cases} U_1 = 6V \\ U_2 = 0V \\ U_{FA} = 2V \\ U_{AB} = 0V \\ U_{AD} = 2V \\ U_{CD} = 2V \\ U_{DE} = 2V \end{cases}$$

- 当 U_2 单独作用时：

此时电路简化为：

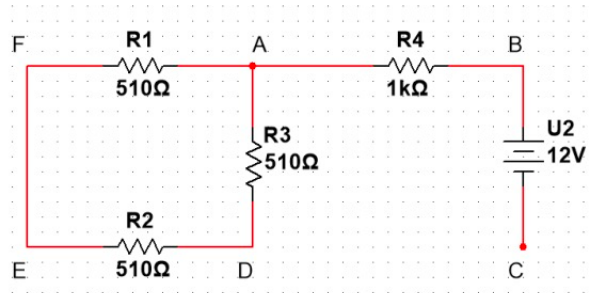


Figure 8: U_2 单独作用时的电路

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

解得

$$\begin{cases} I_1 = 0 \\ I_2 = 0 \\ I_3 = 0 \end{cases}$$

依次算出

$$\begin{cases} U_1 = 0V \\ U_2 = 12V \\ U_{FA} = 0V \\ U_{AB} = 0V \\ U_{AD} = 0V \\ U_{CD} = -12V \\ U_{DE} = 0V \end{cases}$$

3. 戴维南定理与诺顿定理的实验研究

3.1) 实验基本方案

本实验大致思路如下：

- (1) 用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的 U_{OC} 、 R_O 。
- (2) 负载实验。按图 5 接入负载 R_L ，改变 R_L 阻值，测量有源二端口网络的外特性，并记录实验数据。
- (3) 验证戴维南定理：用一只 $1k\Omega$ 的电位器作为 R_O ，将其阻值调整到等于步骤 (1) 所得的等效电阻 R_O 的值，然后令其与直流稳压电源 U_{OC} 相串联，按下图实验电路进行实验，记录实验数据，作图对戴维南定理进行验证。

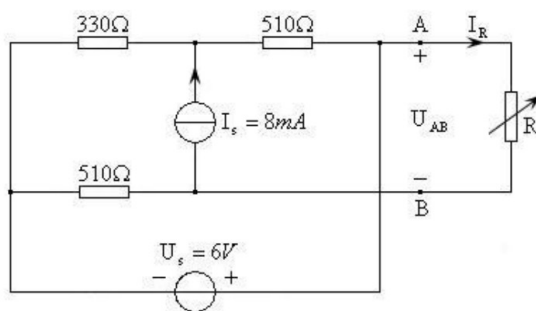


Figure 9: 验证戴维南定理实验电路(1)

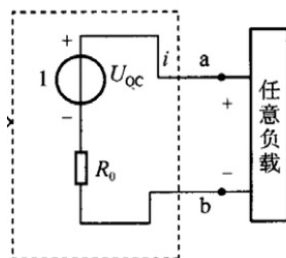


Figure 10: 验证戴维南定理实验电路(2)

3.2) 理论值计算

• 开路电压 U_{OC}

如下图，画出 A 和 B 开路时的等效电路：

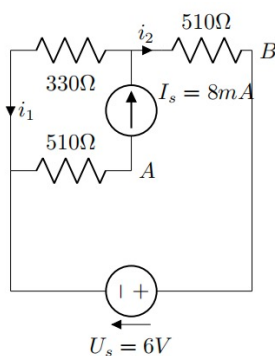


Figure 11: 计算开路电压时的等效电路图

$$\Rightarrow U_{AB} = 6 + (510 \cdot I_s) = 10.08V$$

• 短路电流 I_{SC}

如下图，画出 A 和 B 短路时的等效电路：

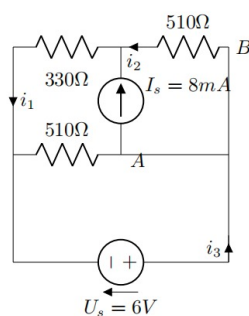


Figure 12: 计算短路电流时的等效电路图

使用网孔法求解：

$$\begin{cases} (510 + 330)i_1 + 510i_2 - 510i_3 = 0 \\ i_1 - i_2 = 8\text{mA} \\ 510(i_3 - i_1) = 6 \end{cases}$$

解得

$$\begin{cases} i_1 = 12.4\text{mA} \\ i_2 = 4.44\text{mA} \\ i_3 = 24.21\text{mA} \\ I_{\text{SC}} = i_3 - i_2 = 19.77\text{mA} \end{cases}$$

五、实验仪器设备

- 万用表、电流表
- 实验电路板
- 直流稳压电源
- 跳线帽

六、实验步骤与数据记录

1. 基尔霍夫定律实验研究

(1) 测量电流值

先将 R_5 接入电路，测量电流值

	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)
计算值	1.926	5.988	7.914
测量值	1.94	5.95	7.82

Table 1: R_5 接入，各支路电流测量值

再将 D_1 接入电路，测量电流值

	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)
计算值	3.922	0	3.922
测量值	3.78	0	3.79

Table 2: D_1 接入，各支路电流测量值

可以发现, $I_1 + I_2 \approx I_3$, 即验证了基尔霍夫电流定律成立.

(2) 测量电压值

先将 R_5 接入电路，测量各节点电压值

	U_1	U_2	U_{FA}	U_{AB}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}
理论值	6V	12V	0.982V	-5.988V	4.036V	-1.995V	0.982V
测量值	5.99V	11.77V	0.999V	-5.96V	3.93V	-1.886V	1.005V

Table 3: R_5 接入，各节点电压测量值

满足 $\sum U = 0$, 验证了基尔霍夫电压定律成立。

再将 D_1 接入电路，测量各节点电压值

	U_1	U_2	U_{FA}	U_{AB}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}
理论值	6V	12V	2V	0V	2V	-10V	2V
测量值	5.89V	12.04V	2V	0V	1.94V	-10.11V	1.97V

Table 4: D_1 接入，各节点电压测量值

满足 $\sum U = 0$, 即验证了对于非线性元件，基尔霍夫电压定律依旧成立。

2. 叠加定律实验研究

(1) 将两路稳压电源 U_1 和 U_2 的输出分别调节为 6V 和 12V。

(2) 接入 R_5 ，在 U_1 单独作用、 U_2 单独作用， U_1 和 U_2 共同作用的时候分别测量数据：

• U_1 单独作用

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，测量数据如下：

	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{FA}	U_{AB}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}
理论值	6V	0V	4.32mA	-1.20mA	3.12mA	2.20V	1.20V	1.59V	0.39V	2.21V
测量值	5.92V	0.12V	4.26mA	-1.15mA	3.12mA	2.15V	1.165V	1.613V	0.353V	2.18V

Table 5: 接入 R_5 ， U_1 单独作用

• U_2 单独作用

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，测量值如下：

	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{FA}	U_{AB}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}
理论值	0V	12V	-2.40mA	7.19mA	4.79mA	-1.224V	-7.19V	2.443V	-2.367V	-1.219V
测量值	0V	11.90V	-2.32mA	7.01mA	4.68mA	-1.200V	-7.24V	2.41V	-2.26V	-1.21V

Table 6: 接入 R_5 ， U_2 单独作用

• U_1 、 U_2 共同作用

	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{FA}	U_{AB}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}
理论值	6V	12V	1.926mA	5.988mA	7.914mA	0.982V	-5.988V	4.036V	-1.995V	0.982V
测量值	5.99V	11.77V	1.94mA	5.95mA	7.82mA	0.999V	-5.96V	3.93V	-1.886V	1.005V

Table 7: 接入 R_5 ， U_1 、 U_2 共同作用

• 汇总

	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{FA}	U_{AB}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}
U_1 单独作用	5.92V	0.12	4.26mA	-1.15mA	3.12mA	2.15V	1.165V	1.613V	0.353V	2.18V
U_2 单独作用	0	11.90V	-2.32mA	7.01mA	4.68mA	-1.20V	-7.24V	2.41V	-2.26V	-1.21V
U_1 和 U_2 共同作用	5.99V	11.77V	1.94mA	5.95mA	7.82mA	0.999V	-5.96V	3.93V	-1.886V	1.005V

Table 8: 汇总表

可以发现大致有第一行的数据 + 第二行的数据为第三行的数据，即验证了叠加定理成立。

(3) 接入 D_1 ，重复上述测量：

• U_1 单独作用

	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{FA}	U_{AB}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}
理论值	6V	0V	3.922mA	0	3.922mA	2V	0	2V	2V	2V
测量值	5.95V	0.05V	4.18mA	-0.96mA	3.19mA	2.16V	0.98V	1.613V	0.58V	2.16V

Table 9: 接入 D_1 ， U_1 单独作用

• U_2 单独作用

	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{FA}	U_{AB}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}
理论值	0	12V	0	0	0	0	0	0	-12V	0
测量值	0	12.05V	0	0	0	0	0	0	12.04V	0

Table 10: 接入 D_1 , U_2 单独作用

• U_1 、 U_2 共同作用

	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{FA}	U_{AB}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}
理论值	6V	12V	3.922mA	0	3.922mA	2V	0	2	-10V	2V
测量值	5.89V	12.04V	3.78mA	0	3.79mA	2V	0	1.94V	-10.11V	1.97V

Table 11: 接入 D_1 , U_1 、 U_2 共同作用

• 汇总

	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{FA}	U_{AB}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}
U_1 单独作用	5.95V	0.05V	4.18mA	-0.96mA	3.19mA	2.16V	0.98V	1.613V	0.58V	2.16V
U_2 单独作用	0	12.05V	0	0	0	0	0	0	12.04V	0
U_1 和 U_2 共同作用	5.89V	12.04V	3.78mA	0	3.79mA	2V	0	1.94V	-10.11V	1.97V

Table 12: 汇总表

“第一行的数据 + 第二行的数据 = 第三行的数据”不再成立，说明对于非线性电路，叠加定理不再适用。

3. 戴维南定理实验研究

(1) 用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的 U_{OC} 、 R_O 和诺顿等效电路的 I_{SC} 、 R_O 。接入稳压电源 $U_s = 6V$ 和恒流源 $I_s = 8mA$ ，接入负载 R_L 。测出 U_{OC} 、 I_{SC} ，并计算出 R_O 。

	U_{oc} (V)	I_{sc} (mA)	$R_O = U_{oc}/I_{sc}(\Omega)$
理论值	10.08	19.77	509.86
测量值	9.90	19.06	516.70

Table 13: 测量数据

(2) 负载实验。按图 9 接入负载 R_L ，改变 R_L 阻值，测量有源二端口网络的外特性，实验数据如下：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_L(\Omega)$	613	1309	1745	2370	3580	5150	5680	2630	4320
$U_{AB}(V)$	5.2	6.82	7.45	7.93	8.48	8.90	8.98	8.08	8.68
$I(mA)$	8.80	5.23	4.15	3.36	2.36	1.73	1.58	3.08	2.01

Table 14: 负载实验测量数据

作出 U-I 图像：

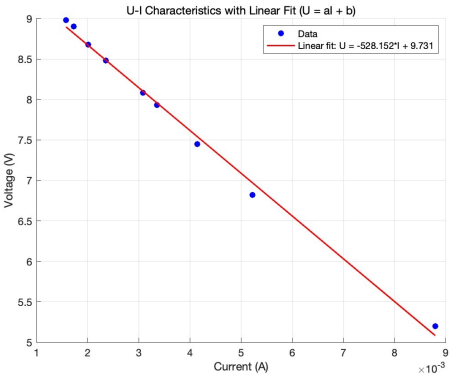


Figure 13: 负载实验线性回归图

拟合结果：
斜率（戴维南等效电阻 R_0 ）：528.1515 Ω
截距（开路电压 U_{oc} ）：9.7310 V

Figure 14: 负载实验线性拟合值

(3) 验证戴维南定理：用一只 $1k\Omega$ 的电位器作为 R_o ，将其阻值调整到等于步骤 (1) 所得的等效电阻 R_o (516Ω) 的值，然后令其与直流稳压电源 U_{OC} ($9.9V$) 相串联，测得相应数据如下表：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_L(\Omega)$	10.4	1020	2300	3820	2530	890	4820	200	537
$U_{AB}(V)$	0.192	6.64	8.12	8.76	8.20	6.19	8.92	2.86	5.01
$I(mA)$	18.3	6.3	3.5	2.2	3.2	6.8	1.8	13.4	9.3

Table 15: 验证实验测量数据

也作出 U-I 图像：

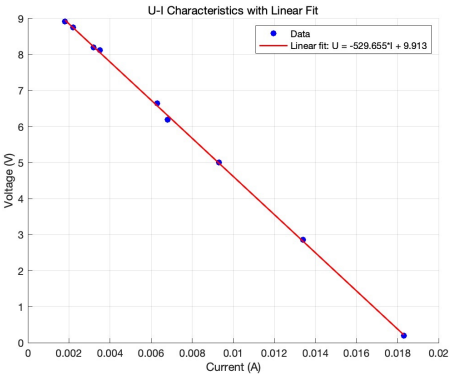


Figure 15: 验证戴维南定理实验线性回归图

--- 拟合结果 ---
拟合方程： $U = -529.6548 \cdot I + 9.9126$
开路电压 (U_{oc})：9.9126 V
等效电阻 (R_0)：529.6548 Ω (绝对值)

Figure 16: 验证戴维南定理实验线性拟合值

七、数据分析与讨论

1. 基尔霍夫定律实验研究

本实验通过对比线性 (R_5 接入) 与非线性 (D_1 接入) 两种电路状态，验证了基尔霍夫定律的普适性。实验数据表明，无论电路中是否包含非线性元件，各节点的电流代数和以及各回路的电压代数和均趋近于零，相对误差极低。这有力地证明了基尔霍夫定律是基于电荷守恒和能量守恒的拓扑约束定律，其有效性仅取决于电路连接结构，而与元件的具体伏安特性无关。

关于实验误差，主要来源于测量仪表的非理想性（电压表分流与电流表分压）以及器件插接处的接触电阻。这些因素导致实际电路参数与理论模型存在细微偏差，但在允许范围内，实验结果充分证实了定律的正确性。

本实验存在较小误差，因为测量误差的存在是不可避免的，但误差范围在可接受范围内，这表明实验方法和设备的准确性较高。

2. 叠加定律实验研究

本实验重点对比了叠加定理的适用边界。在线性纯电阻电路中，单独作用的响应之和与共同作用的总响应完全一致，完美验证了线性系统的可加性。然而，在接入二极管 D_1 后，计算值与实测值出现了巨大偏差（如 I_2 在 U_1 单独作用下实测导通，而非理论截止）。该偏差并非操作失误，而是物理规律的体现。

叠加定理的数学基础是线性方程组，而二极管具有指数型的非线性伏安特性。在不同电源单独作用下，二极管的偏置电压不同，导致其工作点（导通/截止状态）及等效电阻发生剧烈变化。由于电路结构在不同状态下实质上已发生改变，故不能进行简单的代数叠加。

实验数据直观地证明了叠加定理只适用于线性电路这一结论。

3. 戴维南定理实验研究

本实验利用伏安法测绘了有源二端网络的外特性曲线。MATLAB 线性回归分析显示，测量数据点高度拟合一条直线，相关系数接近 1。这直观验证了戴维南定理的核心结论：线性有源二端网络的端口特性等效于一个电压源 (U_{OC}) 与电阻 (R_{eq}) 的串联。拟合直线的纵截距即为开路电压，斜率绝对值即为等效内阻。

误差分析方面，除了仪器本身的非线性误差外，负载电阻 R_L 的取值分布对结果影响显著。本实验中部分数据点在坐标轴上分布过于密集，导致拟合斜率对个别点的测量噪声较为敏感（杠杆效应）。应选取阻值跨度更大的负载，使电流数据在量程内均匀分布，以提升通过作图法求解等效参数的准确度。

八、实验结论

1. 基尔霍夫定律实验研究

基尔霍夫电流定律和电压定律成立，即 $\sum I_{in} = \sum I_{out}$, $\sum U = 0$ 。

2. 叠加定律实验研究

叠加定理只适用于线性电路。

3. 戴维南定理实验研究

戴维南定理成立，即线性有源二端网络的端口特性可以等效于一个电压源 (U_{OC}) 与电阻 (R_{eq}) 的串联。

九、心得体会

本次电路实验对我而言，绝不仅是教科书定律的简单验证，更像是一次从宏观经典理论到微观器件特性的关键“跳跃”。作为一名微电子科学与工程专业的学生，我第一次如此真切地感受到了自己所学专业的核心价值所在。

实验初期，无论是验证基尔霍夫定律的严谨，还是拟合戴维南等效电路时的那条完美直线，都让我惊叹于经典电路理论的简洁与和谐。这些“线性”的、可预测的规律，是我们构建一切复杂系统的基石。

然而，对我触动最深的，是叠加定理实验中那个“不守规矩”的二极管。当我发现引入二极管后，实测数据与理论叠加值出现巨大偏差时，我最初以为是操作失误。但随即我意识到，这正是实验的精髓所在——我亲手“复现”了线性理论的边界。二极管，这个最基础的 PN 结，它不是一个简单的电阻，它是非线性的。

这一刻，我豁然开朗。微电子科学的意义不就在于此吗？我们专业的使命，正是要去理解和驾驭这些“不听话”的非线性器件。我们研究半导体物理，就是为了掌握晶体管的开关特性；我们设计集成电路，就是在数以亿计的非线性器件上构建宏伟的数字逻辑。那个失效的叠加定理，它非但不是个“错误”，反而是我专业学习的“起点”。这次实验让我深刻体会到，从“电路”到“微电子”，关键的跨越就是理解并精妙利用好“非线性”，这正是我未来职业生涯中需要不断探索的核心。

十、思考题

1. 基尔霍夫定律实验研究

- 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：成立。基尔霍夫电流定律 KCL 表明，进入一个节点的电流总和等于离开该节点的电流总和，这个关系与电流的方向无关。而在 KVL 中，电压降的总和等于电压升的总和，也与电压的参考方向无关。

基尔霍夫定律本身描述的是代数和，不会因为参考方向的改变而受到影响。

- 如果电路中含有非线性器件，基尔霍夫定律是否仍然成立？

答：依旧成立，基尔霍夫定律同样适用于含有非线性器件的电路。KCL 展现的是电路中的电荷守恒，KVL 则是能量守恒，它们不依赖于电路元件的线性特性，因此对于非线性器件（例如二极管）依旧成立。

2. 叠加定律实验研究

- 可否直接将不起作用的电源（U1 或 U2）短接置零？

答：不能，短接电源会让电源内部产生巨大的电流，从而烧坏电源。

- 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：在接入 R_5 的情况下，计算 R_1 的功率：

(1) U_1 单独作用时：

$$P_1 = I_1^2 \times R_1 = ((4.30 \times 10^{-3}))^2 \times 510 = 9.430 \times 10^{-3} \text{ W}$$

(2) U_2 单独作用时：

$$P_2 = I_1^2 \times R_1 = ((-2.43 \times 10^{-3}))^2 \times 510 = 3.011 \times 10^{-3} \text{ W}$$

(3) U_1 和 U_2 共同作用时：

$$P_{12} = I_1^2 \times R_1 = ((1.82 \times 10^{-3}))^2 \times 510 = 1.689 \times 10^{-3} \text{ W}$$

显然 $P_1 + P_2 \neq P_{12}$ ，故推出功率不具有叠加性。

3. 戴维南定理与诺顿定理的实验研究

- 在求戴维南或诺顿等效电路时，做短路实验，则测 I_{sc} 的条件是什么？

答：(1) 必须断开负载，使其与电路分离 (2) 要求 AB 端的等效电阻应该足够大，而不至于短路的电流超过额定值，损坏电源。

- 在本实验中可否直接做负载短路实验？

答：不能。如果没有对开路电压一定的估计，RL 的选取过小，会导致烧坏电源。

- 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：

方法	优点	缺点
(1) 开路电压、短路电流法	测量方法简单，容易操作。	当二端网络的内阻很小时，容易损坏其内部元件。
(2) 伏安法	利用伏安特性曲线可以直观地看出其电压与电流的关系。	- 需作图，比较繁琐。 - 电表的内阻较大时，误差可能较大。
(3) 半电压法	- 方法比较简单，精准度更高，误差较小。 - 不受电压波动的影响。	需要使用精度较高的电源；测量次数较多，较复杂。