

浙江大学实验报告

专业：信息工程
姓名：胡东东
学号：3240102873
日期：2025 年 11 月 10 日
地点：东 4-216

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：电路定律验证实验 实验类型：验证性实验 同组学生姓名：赵皓翌

实验一 基尔霍夫定律实验研究

一、实验目的

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。

二、实验任务与要求

实验前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，完成下列步骤。再用二极管 D_1 代替 R_5 ，重复实验。

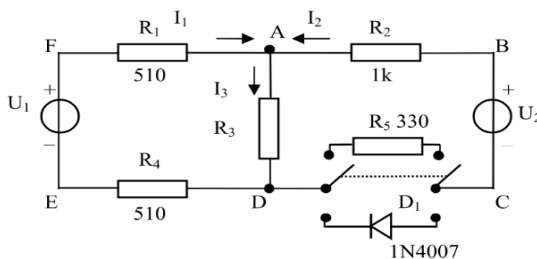


图 1 验证基尔霍夫定律的实验电路

①先理论计算出 3 个支路的电流值 I_1 、 I_2 和 I_3 记入表 1 中，然后用电流表分别测量支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ，将测量数据记录于表 1 中，验证基尔霍夫电流定律是否成立。

②先理论计算出表 2 所列各节点之间的电压并记录于表 2 中，然后用数字万用表分别测量各节点间的电压值，记录数据，并验证基尔霍夫电压定律是否成立。

三、实验原理

基尔霍夫定律是电路的基本定律。测量某电路中的各支路电流及每个元件两端的电压，应能分别满足基尔霍夫电流定律（KCL）和电压定律（KVL）。即对电路中的任一个节点而言，应有 $\sum I=0$ ；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。

四、实验方案设计与参数计算

(1) 实验方案总体设计：

本实验使用图 1 所示的电路来验证基尔霍夫定律。测量某电路中的各支路电流及每个元件两端的电压，应能分别满足基尔霍夫电流定律（KCL）和电压定律（KVL）。即对电路中的任一个节点而言，应有 $\Sigma I=0$ ；对电路中的任何一个闭合回路而言，应有 $\Sigma U=0$ 。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) 各功能电路设计与计算

分别理论计算出电阻 R_5 和二极管 D_1 接入电路时的 3 个支路电流值，记录在表 1 中。

表 1 各支路电流理论值

	I_1 理论值(mA)	I_2 理论值(mA)	I_3 理论值(mA)
电阻 R_5 接入	1.926	5.988	7.914
二极管 D_1 接入	3.922	0.000	3.922

分别理论计算出电阻 R_5 和二极管 D_1 接入电路时的 3 个支路电流值，记录在表 1 中。

表 2 各节点电压理论值

	$U_{FA}(V)$	$U_{AB}(V)$	$U_{AD}(V)$	$U_{CD}(V)$	$U_{DE}(V)$
电阻 R_5 接入	0.982	-5.988	4.036	-1.976	0.982
二极管 D_1 接入	2.000	0.000	2.000	-10.000	2.000

五、实验步骤、调试过程、实验数据记录

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 $U_{s1}=6V$ ， $U_{s2}=12V$ 。

(1) 将电阻 R_5 接入电路，完成下列步骤。

①先理论计算出 3 个支路的电流值 I_1 、 I_2 和 I_3 记入表 1 中，然后用电流表分别测量支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ，将测量数据记录于表 1 中，验证基尔霍夫电流定律是否成立。

表 3 电阻接入电路时各支路电流测量值

	I_1 测量值(mA)	I_2 测量值(mA)	I_3 测量值(mA)
电阻 R_5 接入	1.748	6.630	8.420

②先理论计算出表 2 所列各节点之间的电压并记录于表 2 中，然后用数字万用表分别测量各节点间电压。

表 4 电阻接入电路时各节点电压测量值

	$U_{FA}(V)$	$U_{AB}(V)$	$U_{AD}(V)$	$U_{CD}(V)$	$U_{DE}(V)$
电阻 R_5 接入	1.001	-5.960	4.030	-1.980	0.960

(2) 用二极管 D_1 代替 R_5 ，重复实验。

①先理论计算出 3 个支路的电流值 I_1 、 I_2 和 I_3 记入表 1 中，然后用电流表分别测量支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ，将测量数据记录于表 1 中，验证基尔霍夫电流定律是否成立。

表 5 二极管接入电路时各支路电流测量值

	I_1 测量值(mA)	I_2 测量值(mA)	I_3 测量值(mA)
二极管 D_1 接入	3.950	0.000	3.940

②先理论计算出表 2 所列各节点之间的电压并记录于表 2 中，然后用数字万用表分别测量各节点间电压。

表 6 二极管接入电路时各节点电压测量值

	$U_{FA}(V)$	$U_{AB}(V)$	$U_{AD}(V)$	$U_{CD}(V)$	$U_{DE}(V)$
二极管 D_1 接入	2.040	0.000	1.980	-10.010	1.970

六、数据分析与讨论

(1) 验证基尔霍夫电流定律：

根据表 3 和表 5 的实验数据知，无论电阻接入还是二极管接入电路，均满足 $I_1+I_2\approx I_3$ ，验证基尔霍夫电流定律（KCL）成立。

(2) 验证基尔霍夫电压定律：

根据表 4 和表 6 的实验数据知，无论电阻接入还是二极管接入电路，

对于回路 ADEFA，均满足 $U_{FA}+U_{AD}+U_{DE}-U_1\approx 0$ ；

对于回路 BADCB，均满足 $U_{AB}+U_2+U_{CD}-U_{AD}\approx 0$ ；

对于回路 FBCEF，均满足 $U_{FA}+U_{AB}+U_2+U_{CD}+U_{DE}-U_1\approx 0$ ；

验证基尔霍夫电压定律（KVL）成立。

七、结论

通过对实验电路支路电流和节点电压的测量，验证了基尔霍夫电流、电压定律的正确性。

八、思考题

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：成立。KCL 和 KVL 与电流的参考方向无关。

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？

答：成立。KCL 的本质是电荷守恒定律，KVL 的本质是能量守恒定律，故基尔霍夫定律的成立与电路中是否含有非线性元件无关。

实验二 叠加定理实验研究

一、实验目的

实验研究叠加定理的正确性，加深叠加定理适用范围的认识。

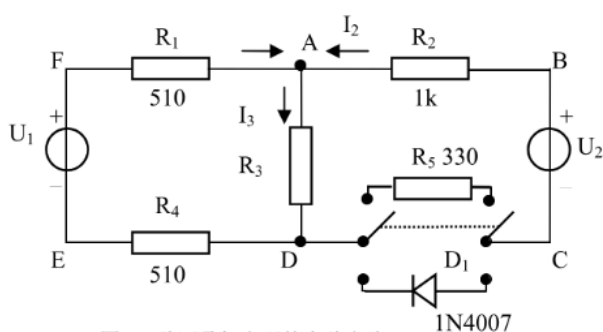


图 1 验证叠加定理的实验电路

二、实验任务与要求

- 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、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, 测量数据并记录。
- 3、 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, 测量数据并记录。
- 4、同时接上电压源 U_1 和 U_2 , 重复上述测量, 测量数据并记录, 根据测量的数据验证叠加定理。
- 5、将 R_5 更换为二极管 D_1 , 重复步骤 2、3、4, 测量数据并记录, 根据测量的数据验证叠加定理。

三、实验原理

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。需要注意的是，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。

四、实验方案设计与参数计算

(1) 实验方案总体设计：

本实验使用图 1 所示的电路来验证叠加定理。分别测量 U_1 单独作用、 U_2 单独作用、 U_1 和 U_2 共同作用时各支路电流值和各节点电压值，应能满足叠加定理。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) 各功能电路设计与计算

在 U_1 单独作用情况下，分别理论计算出电阻 R_5 和二极管 D_1 接入电路时的各支路电流值和各节点电压值，记录在表 1 中。

表 1 U_1 单独作用时各支路电流理论值和各节点电压理论值

	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)	U_{AB} (V)	U_{CD} (V)	U_{AD} (V)	U_{DE} (V)	U_{FA} (V)
电阻接入	4.321	-1.198	3.123	1.198	0.395	1.593	2.204	2.204
二极管接入	4.419	-1.493	2.926	1.493	0.000	1.492	2.254	2.254

在 U_2 单独作用情况下，分别理论计算出电阻 R_5 和二极管 D_1 接入电路时的各支路电流值和各节点电压值，记录在表 2 中。

表 2 U_2 单独作用时各支路电流理论值和各节点电压理论值

	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)	U_{AB} (V)	U_{CD} (V)	U_{AD} (V)	U_{DE} (V)	U_{FA} (V)
电阻接入	-2.395	7.186	4.791	-7.186	-2.731	2.443	-1.221	-1.221
二极管接入	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-12.000	0.000

五、实验步骤、调试过程、实验数据记录

(1) 将电阻 R_5 接入电路，完成下列步骤。

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，将测量数据记录于表 3。

③ 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，将测量数据记录于表 3。

④同时接上电压源 U_1 和 U_2 ，重复上述测量，将测量数据记录于表 3。

表 3 电阻 R_5 接入电路时各支路电流测量值和各节点电压测量值

	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{AB}	U_{CD}	U_{AD}	U_{DE}	U_{FA}
U_1 单独作用	5.96	0.00	4.14	-0.40	3.71	1.17	0.38	1.56	2.15	2.23
U_1 单独作用	0.00	11.98	-2.42	7.43	4.88	-7.14	-2.38	2.46	-1.19	-1.24
U_1 与 U_2 共同作用	6.01	11.98	1.75	6.63	8.42	-5.96	-1.98	4.03	0.96	1.00

*单位：电压 (V)，电流 (mA)

(2) 用二极管 D1 代替 R5，重复实验。

表 4 二极管 D1 接入电路时各支路电流测量值和各节点电压测量值

	U ₁	U ₂	I ₁	I ₂	I ₃	U _{AB}	U _{CD}	U _{AD}	U _{DE}	U _{FA}
U ₁ 单独作用	5.96	0.00	4.30	-1.05	3.22	1.02	0.59	1.61	2.13	2.21
U ₁ 单独作用	0.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-12.00	0.00
U ₁ 与 U ₂ 共同作用	6.00	12.00	3.95	0.00	3.94	0.00	-10.01	1.98	1.97	2.04

*单位：电压（V），电流（mA）

六、数据分析与讨论

(1) 电阻 R5 接入电路时：

根据表 3 的实验数据知，对于所有支路电流和节点电压值，均满足 U₁ 单独作用+ U₂ 单独作用=U₁ 和 U₂ 共同作用，故叠加定理成立。

(2) 二极管 D1 接入电路时：

根据表 4 的实验数据知，对于 I₂、U_{AB}、U_{CD}、U_{DE} 等实验数据，U₁ 单独作用+ U₂ 单独作用≠U₁ 和 U₂ 共同作用，故叠加定理不成立。

七、结论

对于有若干个电源的线性网络的任一支路电流或在任意两个节点之间的电压，叠加定理成立，电流、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；但对于非线性网络，叠加定理将不再成立。

八、思考题

1、可否直接将不起作用的电源（U₁ 或 U₂）短接置零？

答：不可以，直接短接电源会损坏电源。

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：对于电阻 R₂ 而言，

当 U₁ 单独作用时， $P_1 = U_{AB} \times I_2 = 0.468\text{mW}$ ；

当 U₂ 单独作用时， $P_2 = U_{AB} \times I_2 = 53.05\text{mW}$

当 U₁ 和 U₂ 共同作用时， $P = U_{AB} \times I_2 = 39.51\text{mW}$

可见 $P_1 + P_2 \neq P$ ，故功率不具有叠加性。

实验三 戴维南定理与诺顿定理的实验研究

一、实验目的

实验研究戴维南定理与诺顿定理，掌握有源二端口网络等效电路参数的测量方法。

二、实验任务与要求

1. **测量有源二端网络的等效参数：**使用开路电压、短路电流法，测量并计算原网络的开路电压 U_{oc} 、短路电流 I_{sc} 及等效内阻 R_o 。
2. **测量原网络的外特性曲线：**在原网络输出端接入可变负载 R_L ，通过改变负载电阻，测量多组对应的端电压 U_{AB} 和输出电流 I ，将数据记录于表 2。要求测量点应在电压从 0 到开路电压 U_{oc} 的范围内均匀选取。
3. **验证戴维南定理：**根据步骤 1 测得的等效参数（ U_{oc} 和 R_o ），搭建戴维南等效电路。在等效电路输出端接入与步骤 2 中阻值相近的负载 R_L ，测量多组端电压 U_{AB} 和输出电流 I ，验证戴维南定理的正确性。
4. **验证诺顿定理：**根据步骤 1 测得的等效参数（ I_{sc} 和 R_o ），搭建诺顿等效电路。在等效电路输出端接入与步骤 2 中阻值相近的负载 R_L ，测量多组端电压 U_{AB} 和输出电流 I ，通过对比表 2 和表 4 的数据（或所作外特性曲线），验证诺顿定理的正确性。
5. **实验操作要求：**在验证定理的步骤中，为便于比较，负载 R_L 的取值应尽量相近。整个实验过程中，务必注意用电安全，防止直流电源短路。

三、实验原理

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。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。

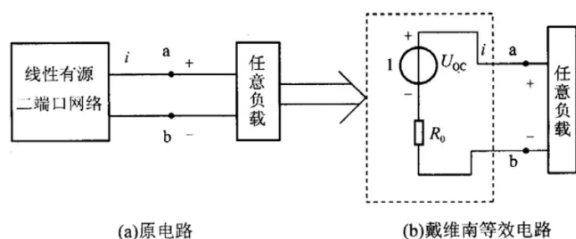


图 1 戴维南等效电路图

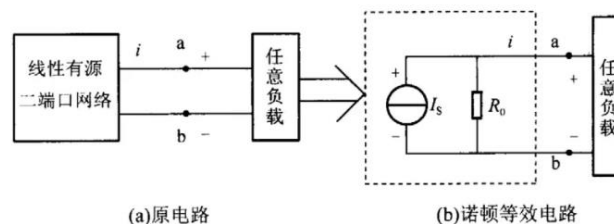


图 2 诺顿等效电路图

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，等效内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。

有源二端口网络等效参数的测量方法：

①开路电压、短路电流法测 R_o 。在有源二端口网络输出端开路时，用电压表直接测出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} ，其等效内阻为 $R_o = U_{oc}/I_{sc}$ ，如果二端口网络的内阻很小，若将其输出端短路则易损坏其内部元件，因此不宜用此法。

②伏安法。用电压表、电流表测出有源二端口网络的外特性如图 3 所示。根据外特性曲线输出斜率 $\tan \alpha$ ，则内阻为 $R_o = (U_{oc} - U_N)/I_N$ 。其中额定值 I_N 时的输出端电压值为 U_N 。

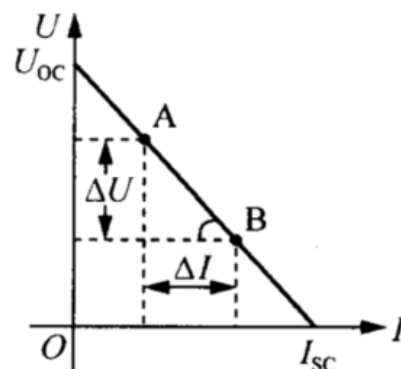


图 3 开路电压、短路电流法

四、实验方案设计与参数计算

(1) 实验方案总体设计：

本实验使用图 4 所示的电路来验证戴维南定理与诺顿定理。本实验旨在通过“先测量后验证”的思路，研究戴维南与诺顿定理。首先，对给定的有源二端网络，采用开路电压、短路电流法测量其等效参数 U_{oc} 、 I_{sc} 与 R_o ，并通过负载实验测绘原网络的外特性曲线；随后，根据测得的参数分别搭建对应的戴维南等效电路与诺顿等效电路，在相同的负载条件下测量其外特性；最终，通过对比原网络与两个等效电路的外特性曲线（或数据），验证二者是否一致，从而实证戴维南定理与诺顿定理的正确性。

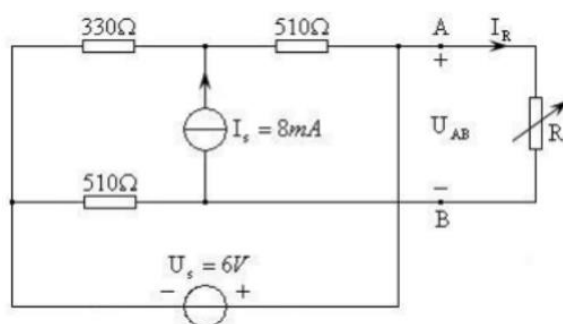


图 4 戴维南与诺顿定理的实验电路

(2) 各功能电路设计与计算

根据实验电路，理论计算得出端口的开路电压 $U_{oc} = 10.08V$ ，短路电流 $I_{sc} = 19.8mA$ 。

五、实验步骤、调试过程、实验数据记录

(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 。按图 4 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} 和 I_{sc} ，并计算出 R_o

表 1 端口 AB 的开路电压与短路电流测量

$U_{oc}(V)$	$I_{sc}(mA)$	$R_o=U_{oc}/I_{sc}(\Omega)$
10.09	18.00	560.26

(2) 负载实验。按图 4 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。

表 2 负载实验实验数据

$R_L(\Omega)$	970	1150	1350	1800	2520	2880	3460	3960	5050
$U_{AB}(V)$	6.36	6.95	7.18	7.77	8.26	8.42	8.82	8.94	9.17
$I(mA)$	6.58	5.95	5.25	4.26	3.27	2.94	2.45	2.24	1.79

(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} （即步骤 (1) 所测得的开路电压值）相串联，按图 1 进行实验，将实验数据填入表 3 中，作图对戴维南定理进行验证。

表 3 验证戴维南定理的实验数据

$R_L(\Omega)$	1000	1086	1227	1460	1766	2124	3022	4672	9747
$U_{AB}(V)$	6.27	6.58	7.07	7.81	8.62	9.39	11.03	12.52	15.01
$I(mA)$	6.27	6.06	5.76	5.35	4.88	4.42	3.65	2.68	1.54

六、数据分析与讨论

分别根据表 2 和表 3 中的实验数据绘制 U-I 图像如下图所示：

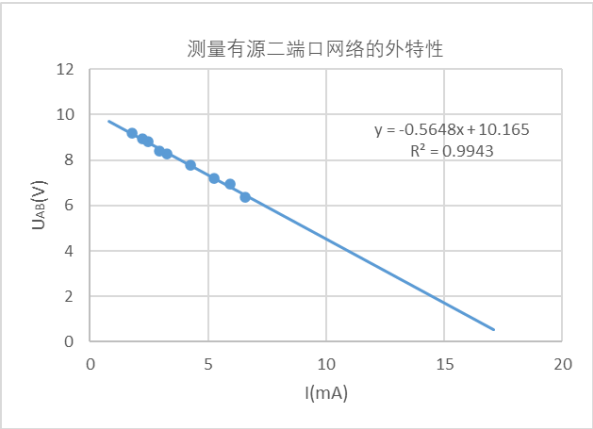


图 5 测量有源二端口网络的外特性

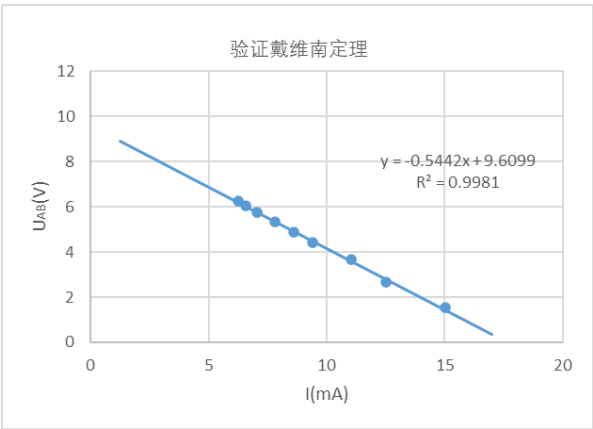


图 6 验证戴维南定理

由两伏安特性曲线图可看出，两曲线重合度很高，基本可认为伏安特性相同，成功验证了戴维南定理。

七、结论

任一线性有源二端网络，就其外部特性而言，都可以等效为一个电压源（戴维南等效电路）或一个电流源（诺顿等效电路），其等效参数可通过实验测量确定。

八、思考题

1、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？在本实验中可否直接做负载短路实验？

答：测量短路电流 I_{sc} 的条件是：将有源二端网络的输出端 a、b 两点用一根导线直接短接。在本实验中不可以贸然直接进行负载短路实验。正确的做法是在实验前，先理论计算出短路电流 I_{sc} 的大致范围，根据此计算值选择合适的电流表量程，并在连接电路时确保无误后，再进行短暂的测量操作，一旦读数稳定立即断开，以确保安全。

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。

①开路电压、短路电流法

方法描述：首先，直接使用电压表测量网络输出端的开路电压 U_{oc} ；然后，将输出端短接，用电流表测量其短路电流 I_{sc} ，最后通过公式 $R_o = U_{oc}/I_{sc}$ 计算出等效内阻。

优点：操作和计算都非常简便、直接，只需两次测量即可得到结果。

缺点：安全性差。如果网络等效内阻很小，短路实验会产生极大的短路电流，极易损坏网络内部的元器件或测量仪表，因此严禁在不允许短路的网络中使用。

②伏安法

方法描述：在网络输出端接入一个可变负载电阻，改变阻值，测量多组对应的端电压 U 和电流 I ，绘制出外特性曲线。开路电压 U_{oc} 即为曲线电压轴上的截距，等效内阻 R_o 则等于该曲线斜率的绝对值 $\Delta U / \Delta I$ 。

优点：非常安全，无需进行危险的短路操作；同时能获得网络的完整外特性，信息全面，结果可靠。

缺点：操作过程较为繁琐，需要多次测量并绘制曲线；内阻的计算依赖于作图或数据拟合，可能会引入人为的读数误差或拟合误差。

③半电压法

方法描述：先测量网络的开路电压 U_{oc} ，然后在输出端接上一个可调电阻箱作为负载。调节负载电阻的阻值，同时监测其两端的电压，当电压下降至开路电压值的一半时，此时负载电阻的阻值即为等效内阻 R_o 。

优点：原理直观，测量准确度高，无需复杂计算即可直接从电阻箱上读取 R_o 的值，且避免了短路风险。

缺点：需要有一个精度高、阻值连续可调的电阻箱；同时，此方法要求在整个测量过程中，网络的开路电压 U_{oc} 必须保持稳定不变。