

# 实验报告

课程名称: 电路 IA 实验 实验二: 电路定理

实验日期: 2023 年 4 月 11 日 地点: K408 实验台号: 40

姓名: psp

评分: \_\_\_\_\_

---

教师评语:

教师签字: \_\_\_\_\_

日期: \_\_\_\_\_

## 一、实验目的

- 1、学习和掌握常用电工电子仪器仪表的使用方法
- 2、通过实验验证并加深对戴维南定理和诺顿定理的理解
- 3、加深对最大功率传输定理的理解和认识
- 4、了解特勒根定理、互易定理和对偶定理

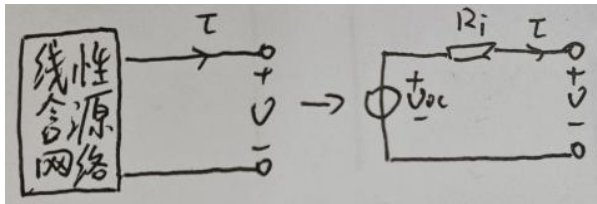
## 二、实验设备及元器件

- |               |     |
|---------------|-----|
| 1、直流稳压电源      | 1 台 |
| 2、手持万用表       | 1 台 |
| 3、直流电压电流表     | 1 台 |
| 4、电阻器         | 若干  |
| 5、可变电阻器       | 1 只 |
| 6、测电流插孔       | 3 只 |
| 7、电流插孔导线      | 3 条 |
| 8、短接桥和连接导线    | 若干  |
| 9、实验用 9 孔插件方板 | 一块  |

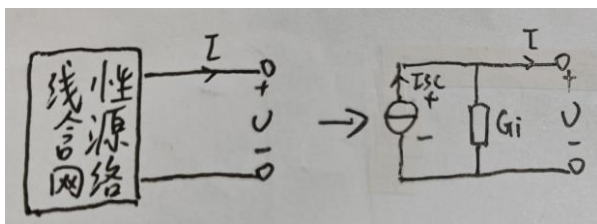
## 三、实验原理（重点简述实验原理，画出原理图）

### 1、戴维南定理和诺顿定理：

(1) 戴维南定理：线性含源一端口网络的对外作用可以用一个独立电压源串联一个电阻的电路来等效代替。其中电压源的源电压等于此一端口网络的开路电压，而电阻等于此一端口网络的内部各独立电源置零（电压源处短路，电流源处开路）后所得无独立源网络的等效电阻。



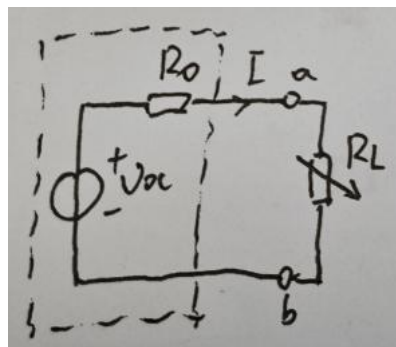
(2) 诺顿定理：线性含源一端口网络的对外作用可以用一个独立电流源并联一个电阻的电路来等效代替。其中电流源的源电流等于此一端口网络的短路电流，而电导等于此一端口网络的内部各独立电源置零（电压源处短路，电流源处开路）后所得无独立源网络的等效电导。



2、最大功率传输定理：线性含源一端口网络中负载  $R_L$  获得最大功率的条件是：可变电阻等于电源的内电阻，即  $R_L=R_0$

此时负载电阻  $R_L$  获得的最大功率为：

$$P_{max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_0}$$



### 3、特勒根定理和互易定理

(1) 特勒根定理：

特勒根定理一（功率守恒定理）：对于网络  $N$  共用  $n$  个结点、 $b$  条支路，其支路电压、支路电流向量分别为  $U=[U_1 \cdots U_b]^T$ ， $I=[I_1 \cdots I_b]^T$ ，且各支路电压与电流参考方向相关联，则  $U^T I=0$  或者  $I^T U=0$ ，即  $\sum_{k=1}^b U_k I_k = 0$ ；

特勒根定理二（拟功率守恒定理）：对于网络  $N$  和  $\hat{N}$ ，可以由不同的元器件构成，但它们具有相同的拓扑结构，即  $N=\hat{N}$ ，其中各网络的支路电压、支路电流向量分别为  $U=[U_1 \cdots U_b]^T$ ， $I=[I_1 \cdots I_b]^T$ ， $\hat{U}=[\hat{U}_1 \cdots \hat{U}_b]^T$ ， $\hat{I}=[\hat{I}_1 \cdots \hat{I}_b]^T$ ，且各网络中支路上的电压和电流的参考方向关联，则  $U^T \hat{I}=0$  或者  $I^T \hat{U}=0$ ，即  $\sum_{k=1}^b \hat{U}_k I_k = 0$ ，

同理  $\sum_{k=1}^b U_k \hat{I}_k = 0$

(2) 互易定理：

互易定理一：对于一无源线性二端口网络，无论以哪个端口作为激励端，哪个端口作为响应端，其电流响应和电压激励的比值相同，即为

$$\frac{I_2}{U_{s1}} \Big|_{U_{s2}=0} = \frac{I_1}{U_{s2}} \Big|_{U_{s1}=0}$$

当  $U_{s1}=U_{s2}$  时，由  $I_2=I_1$ ，即将两个端口的激励电压和响应电流互换位置后，响应电流值不变。

互易定理二：对于不含受控源的单一激励的线性电阻电路，互易激励（电流源）与响应（电压）的位置，其响应与激励的比值仍保持不变。

当激励  $I_{s1}=I_{s2}$  时，则响应  $U_2=U_1$

## 实验预习和实验过程原始数据记录

预习结果审核： \_\_\_\_\_ 原始数据审核： \_\_\_\_\_

（包括预习时，计算的理论数据）

小提示：认真踏实的第一步，扎实走好每一步

表 2-1 线性含源一端口电阻网络等效电路参数测试

测试方法	测量值	等效电路参数的计算
方法一	$U_{OC}=6.14V, I_{SC}=38.3mA$	$U_{OC}=6.15V, I_{SC}=40.0mA$
方法二	$U_{OC}=6.14V, R_i=153.4\Omega$	$U_{OC}=6.15V, R_i=153.7\Omega$
方法三	$I_{SC}=38.3mA, R_i=153.4\Omega$	$I_{SC}=40.0mA, R_i=153.7\Omega$

表 2-2 含源一端口网络及等效电路外特性数据

参数	改变 $R_L$	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组	$U_{OC}/V$	$I_{SC}/mA$
$U = f(I)$	$I/mA$	6.9	13.8	19.1	27.4	33.0	0	理论值: 40.0 测量值: 38.3
	$U/V$	5.01	4.00	3.04	2.06	0.99	理论值: 6.15 测量值: 6.14	0
$U' = f(I')$	$I'/mA$	7.1	13.9	20.2	27.0	34.0	0	理论值: 40.0 测量值: 38.3
	$U'/V$	5.05	4.05	3.00	2.07	1.00	理论值: 6.15 测量值: 6.14	0
$U'' = f(I'')$	$I''/mA$	6.7	13.2	18.5	26.3	32.6	0	理论值: 40.0 测量值: 38.3
	$U''/V$	5.06	3.90	3.00	2.10	1.02	理论值: 6.15 测量值: 6.14	0

理论计算功率  $P_L$  最大时,  $R_L = \underline{1000.0\Omega}$

表 2-3 验证最大功率传输定理数据

测量数据	$I/mA$	6.0	4.9	4.5	3.9	3.0	2.4	1.9	1.0
	$U_L/V$	1.95	3.01	3.46	$U_{OC}/2=4.01$	4.95	5.49	5.98	6.99
计算	$R_L/\Omega$	325	614.29	768.89	1028.21	1650	2287.5	3147.37	6990
计算结果	$P_L/mW$	11.7	14.75	15.57	15.64	14.85	13.18	11.36	6.99

表 2-4 电路 N 与  $\hat{N}$  测量数据及计算结果

节点 a	测量值	$I_1/mA$	$I_2/mA$	$I_3/mA$	/	$\Sigma I_k=0$
	电路 N	12.9	8.9	-3.5		成立
	测量值	$\hat{I}_1/mA$	$\hat{I}_2/mA$	$\hat{I}_3/mA$	/	$\Sigma \hat{I}_k=0$
	电路 $\hat{N}$	-7.7	21.9	30.1		成立
回路 a-b-c-d-e	测量值	$U_{ab}/V$	$U_{bc}/V$	$U_{cd}/V$	$U_{da}/V$	$\Sigma U_k=0$
	电路 N	2.06	6.48	-10.00	1.28	成立
	测量值	$\hat{U}_{ab}/V$	$\hat{U}_{bc}/V$	$\hat{U}_{cd}/V$	$\hat{U}_{da}/V$	$\Sigma \hat{U}_k=0$
	电路 $\hat{N}$	4.81	-4.03	0.00	-0.79	成立
回路 a-b-e-a	测量值	$U_{ab}/V$	$U_{be}/V$	$U_{ea}/V$	/	$\Sigma U_k=0$
	电路 N	2.06	-1.83	-0.18		成立
	测量值	$\hat{U}_{ab}/V$	$\hat{U}_{be}/V$	$\hat{U}_{ea}/V$	/	$\Sigma \hat{U}_k=0$
	电路 $\hat{N}$	2.06	15.09	-19.92		成立

## 四、实验过程

(叙述具体实验过程的步骤和方法,记录实验数据在原始数据表格,如需要引用原始数据表格,请标注出表头,如“实验数据见表 1-1”)

实验一:

(1) 按照书上图 2.14 (a) 接线,按照实验原理中的三种测量方法,测试 ab 一端口网络的戴维南和诺顿的等效电路参数,计算电路参数,填入表 2-1

(2) 测量含源一端口网络的外特性。①将外电路断开,用万用表的电压端测试开路电压 $U_{OC}$ ,②连接外电路,可调电阻用短接导线代替,测量其短路电流 $I_{SC}$ ,③将短接导线去掉,此位置换成  $0\sim 10k\Omega$  的可调电阻,调节  $R_L$  的值,测量该网络外特性 $U = f(I)$ ,并画在坐标系中

(3) 测定戴维南等效电路的外特性。根据戴维南定理的要求,将表 2-1 中测得的含源网络的开路电压 $U_{OC}$ 和等效电阻  $R_i$  组成戴维南等效电路,调节  $R_L$ ,测量外特性 $U' = f(I')$ ,在坐标系中画出第二条外特性曲线,并根据外特性曲线讨论电源的等效变换,验证戴维南定理的正确性。

(4) 测定诺顿等效电路的外特性。根据诺顿定理的要求,用表 2-1 中测得的含源网络的开路电压 $I_{SC}$ 和等效电阻  $R_i$  组成诺顿等效电路,调节  $R_L$ ,测量外特性 $U'' = f(I'')$ ,在坐标系中画出第三条外特性曲线,并根据特性曲线讨论电源的等效变换,验证诺顿定理的正确性。

实验二:

首先根据实验原理图 2.16 接线,然后理论计算功率  $P_L$  最大时,  $R_L$  的值。接着调节  $R_L$  的值,测量端口电压  $U_L$  和端口电流  $I$ ,并根据数据计算此时的  $R_L$  和  $P_L$ ,填入表中。

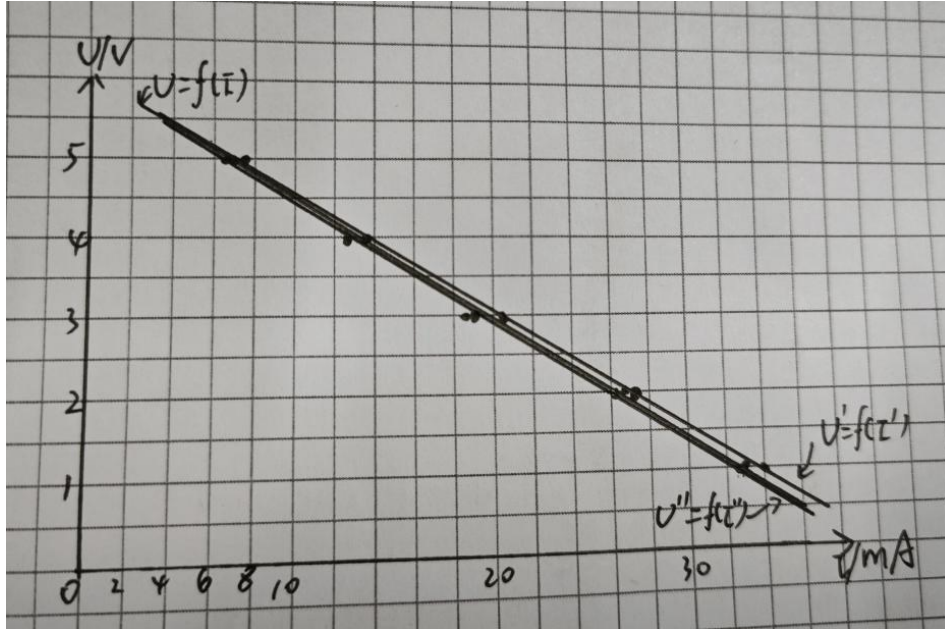
实验三:

首先根据实验原理图 2.17 接线,测量流入节点 a 的电流  $I_1, I_2, I_3$  或  $\hat{I}_1, \hat{I}_2, \hat{I}_3$ ,并计算三者之和是否为零。接着按照规定的回路参考方向进行各节点之间电压的测量,并计算回路电压之和是否为零。然后根据上面测量的数据,将电流和电压取相关关联参考方向,计算 $\sum_{k=1}^b U_k I_k = 0$ ;  $\sum_{k=1}^b U_k \hat{I}_k = 0$ ;  $\sum_{k=1}^b \hat{U}_k I_k = 0$ ;  $\sum_{k=1}^b \hat{U}_k \hat{I}_k = 0$ 是否成立。

## 五、实验数据分析

(按指导书中实验报告的要求用图表或曲线对实验数据进行分析 and 处理, 并对实验结果做出判断, 如需绘制曲线请在坐标纸中进行)

1、根据表 2-2 的数据, 在同一坐标系中画出 3 条外特性曲线, 如下图所示, 并根据外特性曲线讨论电源的等效变换, 验证戴维南定理和诺顿定理的正确性。(坐标纸绘图)



2、根据表 2-4 的数据, 电流与电压取关联参考方向, 计算  $\sum_k U_k I_k = 0$ ,  $\sum_k \hat{U}_k \hat{I}_k = 0$ ,  $\sum_k U_k \hat{I}_k = 0$ ,  $\sum_k \hat{U}_k I_k = 0$  是否成立, 若不成立, 请分析原因。将计算结果及必要的计算步骤记入表 2-5 中。

表 2-5 根据测量值的计算结果

$\sum_k U_k I_k = \sum_k P_k = 0$	$I_1(U_{bc}+U_{cd}+U_{da})+I_2U_{ab}+I_3(U_{bc}+U_{ca})$ $=[12.9*(6.48-10+1.28)+8.9*2.06+-3.5*(-1.83-0.18)]*10^{-3}$ $=-0.003527W \approx 0$
$\sum_k U_k \hat{I}_k = 0$	$\hat{I}_1(U_{bc}+U_{cd}+U_{da})+\hat{I}_2U_{ab}+\hat{I}_3(U_{bc}+U_{ca})$ $=[-7.7*(6.48-10+1.28)+21.9*2.06+30.1*(-1.83-0.18)]*10^{-3}$ $=-0.001861W \approx 0$
$\sum_k \hat{U}_k I_k = 0$	$I_1(\hat{U}_{bc}+\hat{U}_{cd}+\hat{U}_{da})+I_2\hat{U}_{ab}+I_3(\hat{U}_{bc}+\hat{U}_{ca})$ $=[12.9*(-4.03+0.00-0.79)+8.9*4.81+-3.5*(15.09-19.92)]*10^{-3}$ $=-0.002464W \approx 0$
$\sum_k \hat{U}_k \hat{I}_k = 0$	$\hat{I}_1(\hat{U}_{bc}+\hat{U}_{cd}+\hat{U}_{da})+\hat{I}_2\hat{U}_{ab}+\hat{I}_3(\hat{U}_{bc}+\hat{U}_{ca})$ $=[-7.7*(-4.03+0.00-0.79)+21.9*4.81+30.1*(15.09-19.92)]*10^{-3}$ $=-0.00293W \approx 0$

### 2.4.4 自主探究性小实验设计

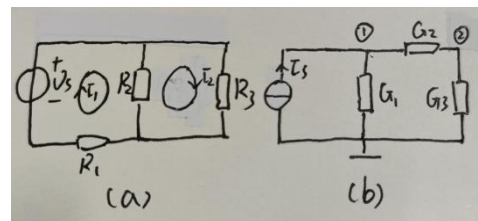
(1) 对偶原理: 在对电路进行分析研究时, 发现电路中有许多具有相似性的内容成对出现,

包括结构、定律、定理、元件、变量等。例如：支路电压  $u$  与支路电流  $i$  是对偶变量；电阻  $R$  与电导  $G$  是对偶元器件；KCL 与 KVL 是对偶定律；戴维南定理与诺顿定理是对偶定理。

(2) 设计实验验证对偶定理：

使用如图电路，验证以下两组方程的对称性：

$$\begin{cases} (R_1 + R_2)I_1 - R_2I_2 = U_s \\ -R_2I_1 + (R_2 + R_3)I_2 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} (G_1 + G_2)U_{n1} - G_2U_{n2} = I_s \\ -G_2U_{n1} + (G_2 + G_3)U_{n2} = 0 \end{cases}$$



## 六、问题思考

(回答指导书中的思考题)

1. 总结利用等效电源定理化简复杂电路的适用条件。

答：利用等效电源定理化简复杂电路的适用条件是线含源性一端口网络

一般情况下，含源一端口网络既可以用戴维南电路等效，也可以用诺顿电路等效代替。但是，若  $R_i=0$ ，则只能等效为戴维南电路；若  $G_i=0$ ，则只能等效为诺顿电路

2. 如何判断含源支路是发出功率还是吸收功率？

答：

按关联参考方向计算功率  $P=UI$ ，若计算出来的功率为正，则该支路为吸收功率，若计算出来的功率为负，则为发出功率。

按非关联参考方向计算功率  $P=UI$ ，若计算出来的功率为负，则该支路为吸收功率，若计算出来的功率为正，则为发出功率。

3. 最大功率传输定理的应用范围？是否适用于交流电路？

答：最大功率传输定理适用于计算负载的最大功率，是适用于交流电路的，在交流电路中计算的是负载最大的平均功率。

4. 总结二次定义的参考方向对应用特勒根定理的重要性。

答：二次定义参考方向有助于我们更好地清楚电流电压的正负性，更加有利于我们使用特勒根定理。

## 七、实验体会与建议

电路实验很不错，可以上手验证自己学过的知识，也能从实验中获得新的体会

**小提示：戴维南定理将一个线性有源二端电路等效成一个简单的电压源，通过将复杂的电路等效为一个简单的电路进而求解物理量，实际上就是透过现象看本质哦。**

