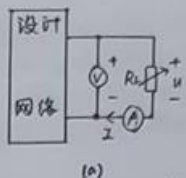
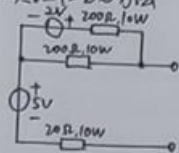


实验三：线性有源一端口网络等效参数的测定 实验台编号：8

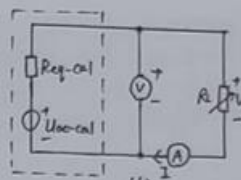
一、注意事项

1. 设计的有源一端口网络若含有两个独立电源时，应注意直流电子稳压源只能向外提供功率而不能吸收功率。
2. 在测量电流表或电压表内阻时，通过被测电压表的电流和加在被测电压表两端的电压均不得超过仪表量程。

二、实验设备与方法



(a)



(b)

表1 设计网络和等效网络的测试数据记录表

$R_L(\Omega)$	∞	800	600	400	200	0	
设计网络 (a)	$U(V)$	6.02	5.22	5.00	4.60	3.73	0.02
	$I(mA)$	0	6.5	8.83	11.6	18.8	49.1
等效网络 (b)	$U(V)$	6.02	5.21	4.99	4.59	3.72	0.02
	$I(mA)$	0	6.5	8.3	11.3	18.7	48.5

等效网络数据：

$$\begin{cases} U_{oc} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} \\ R_{eq} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} (800\Omega, 400\Omega) \\ U_{oc1} = 6.01V \\ R_{eq1} = 121\Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} (600\Omega, 200\Omega) \\ U_{oc2} = 6.01V \\ R_{eq2} = 121\Omega \end{cases}$$

故等效网络 $U_{oc} = 6.01V$
 $R_{eq} = 121\Omega$ 最后 U_{oc} 设为 $6.01V$ ，等效电阻 R_{eq} 设为 $82 + 20 + 20 = 122\Omega$ 。

一、实验目的

1. 学习线性有源一端口网络等效电路参数的测量方法；
2. 学习以实验方案合理设计和正确使用元件、设备，提高分析问题和解决问题的能力。

二、实验原理

1. 戴维南定理和诺顿定理

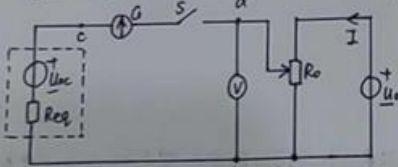
戴维南定理指出：任一线性有源一端口网络，对外部电路而言，总可以用一个理想电压源和电阻相串联的有源支路来代替。其电压源的电压等于原网络端口的开路电压 U_{oc} ，其电阻等于原网络中所有独立电源为零值时的入端等效电阻 R_{eq} 。

戴维南定理的对偶形式——诺顿定理指出：任一线性有源一端口网络，对外部电路而言，总可以用一个理想电流源和电导相并联的有源支路来代替。其电流源的电流等于原网络端口的短路电流 i_{sc} ，其电导等于原网络中的所有独立电源为零值时的入端等效电导 G_{eq} ，且 $G_{eq} = \frac{1}{R_{eq}}$ 。

应用戴维南定理或诺顿定理时，被变换的一端口网络必须是线性的，可以包含独立电源或受控电源，但是与外部电路之间除直接相连接外，不允许存在任何耦合，如通过受控电源的耦合或者是磁耦合（互感耦合）等。外部电路可以是线性、非线性或时变元件，也可以是由它们组合成的网络。

三、思考题

1. 某同学在采用如图所示的线路测量一端口网络的开路电压 U_{oc} 时，将电压表接在 b、c 时，他认为调节 R_0 使检流计指零时，电压表的示值 U 即为不含仪表内阻影响的开路电压 U_{oc} ，即 $U = U_{oc}$ 。试问该想法是否正确？为什么？



解：正确。不考虑仪表内阻影响，当检流计指零时 $R=0$ ，相当于电压表直接接在电源两侧，即 $U = U_{oc}$ 。

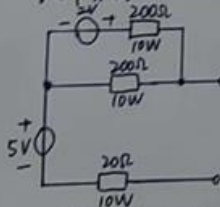
2. 试设计 1~2 种不同于“实验原理与说明”中介绍的测量等效参数的方法并简述其特点。

解：① 两次电压测量法：先直接接入电压表，测得开路电压 U_{oc} ，再接入已知电阻为 R_L 的电阻，用电压表测量电阻 R_L 上的电压 U_L ，则等效电阻 $R_{eq} = \frac{U_{oc} - U_L}{U_L} R_L$ 。该方法操作较简便，所需数据较少。

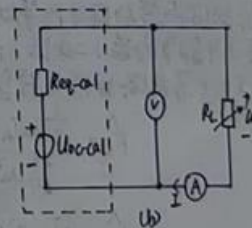
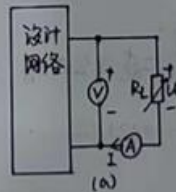
② 半电压法：接入电阻箱，用电压表先测得开路电压 U_{oc} ，再测量电阻箱电压值，调节电阻箱阻值，当电压表示数为 $\frac{U_{oc}}{2}$ 时停止调节，一端口等效电阻 $R_{eq} = R_{ext}$ 。该方法会根据仪器精度差异，准确性会相应发生变化。

四、实验任务与方法

设计有源一端口网络如下：



经计算得理论值
 $U_{oc} = 6V$, $R_{eq} = 120\Omega$



1. 测量所设计线性有源一端口网络的伏安特性；
2. 计算网络的等效参数 U_{oc-cal} , R_{eq-cal} ；
3. 测出由测得的等效参数组成的等效网络的端口伏安特性。

得到实验数据如下：

实验报告

表1 设计网络和等效网络测试数据

$R_L(\Omega)$	∞	800	600	400	200	0
设计网络(a)						
U(V)	6.02	5.22	5.00	4.60	3.73	0.02
I(mA)	0	6.5	8.3	11.6	18.8	99.1
等效网络(b)						
U(V)	6.02	5.21	4.99	4.59	3.72	0.02
I(mA)	0	6.5	8.3	11.3	18.7	98.5

设计网络参数确定过程如下:

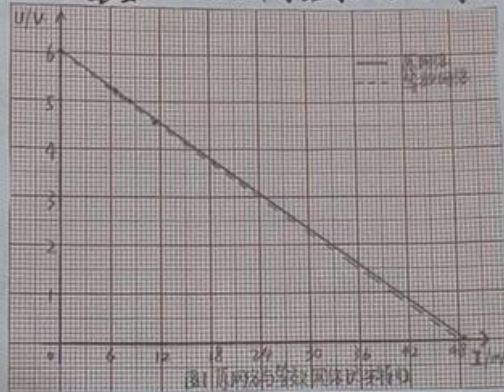
由组合测量法有

$$\begin{cases} U_{oc} = \frac{U_1 I_2 - U_2 I_1}{I_2 - I_1} \\ R_{eq} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \end{cases}$$

将数据分组计算求平均,得

$$U_{oc-av} = 6.01V, R_{eq-av} = 21\Omega$$

在实验中特电压源设为6.01V, 等效电阻设为 $82+20+20=122\Omega$



五. 误差分析

1. 电压表、电流表精度准确度有限。从表1数据可看出当 $R_L=0$ 时, 电压表示数在设计网络和等效网络中均示数为 0.02V, 这表明电表电阻有限 (如电流表存在一定内阻, 电压表电阻不是无穷大) 或电表示数准确度有限。
2. 实验台电阻数目有限, 电阻阻值范围也有限。在本次实验中, 通过简单的串联电阻无法得到阻值为 121Ω 的等效电阻, 因此选择了与之阻值相近的 122Ω 电阻, 这会产生一定实验误差, 在图1中反映出等效网络伏安特性曲线相较于原网络更加陡峭, 斜率绝对值更大。
3. 计算方法准确度有限。本次实验设计网络电参数由组合测量法得到, 相较于线性拟合的最小二乘法模型, 其准确度略低, 同时计算精度也较低。

六. 讨论原网络与等效网络的等效性

采用更为精确的最小二乘法方法分析:

对于原网络, 由线性模型的最小二乘法公式有

$$\hat{R}_{eq} = \frac{\sum_{k=1}^n U_k I_k - 6 \bar{U} \bar{I}}{\sum_{k=1}^n I_k^2 - 6 \bar{I}^2} = 122.1\Omega$$

$$\hat{U}_{oc} = \bar{U} - \bar{I} \cdot \hat{R}_{eq} = 6.02V, \text{线性回归系数 } R^2 = 1$$

对于等效网络, 由线性模型的最小二乘法公式有

$$\hat{R}_{eq}' = \frac{\sum_{k=1}^n U_k' I_k' - 6 \bar{U}' \bar{I}'}{\sum_{k=1}^n I_k'^2 - 6 \bar{I}'^2} = 123.5\Omega$$

$$\hat{U}_{oc} = \bar{U} - \bar{I} \cdot \hat{R}_{eq} = 6.01V, \text{ 线性回归系数 } R^2 = 1.$$

考虑到等效网络电阻本身设定值又原网络阻值进行修正, 有误差百分比

$$\eta_{Req} = \left| \frac{(\hat{R}_{eq} - 1) - R_{eq}}{\hat{R}_{eq}} \right| \times 100\% = 0.3\%$$

$$\eta_{Uoc} = \left| \frac{\hat{U}_{oc} - U_{oc}}{\hat{U}_{oc}} \right| \times 100\% = 0.2\%$$

由于二者误差非常小, 且图1两曲线非常接近, 故可以认为原网络与等效网络之间是等效的。

七. 实验小结.

在本次实验中, 我学习了线性有源一端口网络等效参数的测量方法, 通过自主设计元件组成线性有源一端口网络, 提高了分析问题和解决问题的能力。由于在设计实验时, 我设置的电压源电阻数值上比较便于计算 ($U_{oc-cal} = 6V$, $R_{eq-cal} = 120\Omega$), 因此大大简便了实验过程, 减少了接线上的麻烦, 这使我意识到, 无论一端口网络参数如何, 设计的不同电路图往往在实际中体现出不同难度, 这也就是电路的拓扑结构会一定程度上影响现实电路的构建。同时, 通过实验我发现, 原网络与等效网络之间的伏安特性基本完全吻合, 这验证了戴维南定理及其对偶的诺顿定理的正确性, 加深了我对课本知识的理解, 感受课本定理的现实运用。