

Lab1 电路原理实验日志

日期：2023.11.13

地点：东3-206

实验器材

1. 万用表HY63
2. 电工实验台 直流电流源，电流表。
3. 直流稳压源TM-305DP
4. 连接线
5. 电阻

Part1 线性电路的戴维南等效电路验证

实验方案

实验电路图如下：

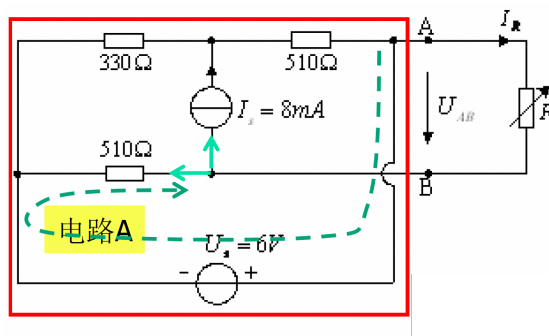


fig1 电路A

首先进行的是线性电路的戴维南定理验证，由该电路可以看出由于内部均为电阻元件，所以该电路是呈线性的。

理论值计算

AB端的开路电压： $U = 10.08V$

AB端左面电源置零： $r = 510\Omega$

AB端的伏安特性： $I = \frac{U_s - U}{R} = -1.96 \cdot U + 19.8 \text{ mA}$

得到等效电路：

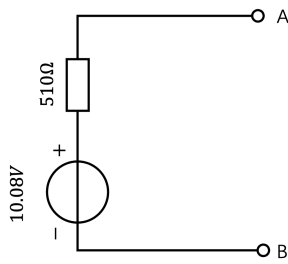
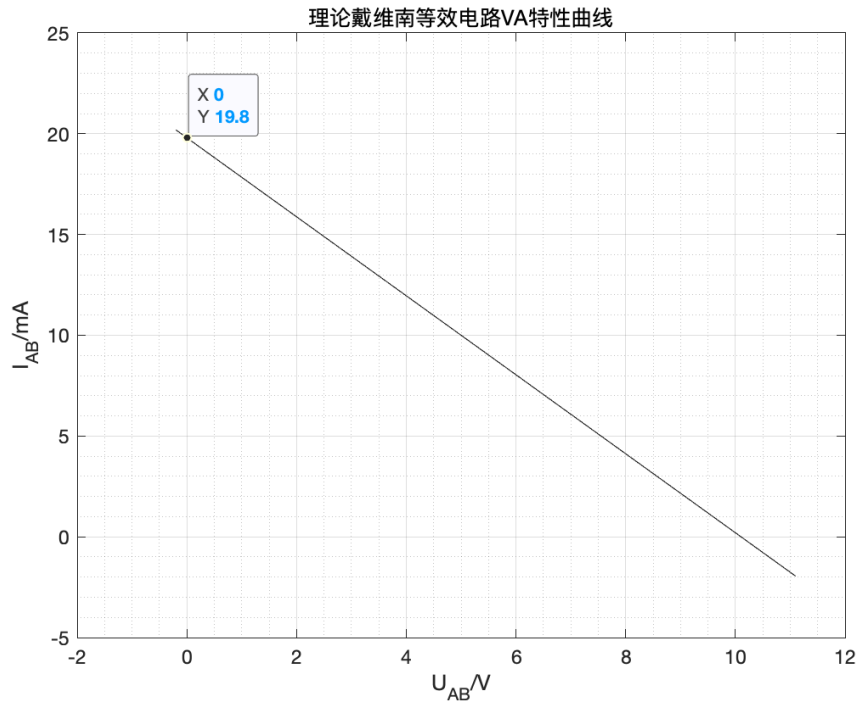


fig2 电路A等效电路

得到理论上的伏安特性曲线:



接下来进行实验上的验证。

实验过程

1. 利用万用表检验各个元件的完好性。

使用欧姆档测量各个电阻，验证电阻的阻值。

使用电工实验台电流表电流档验证电流源输出10mA电流，有如下结果：

电流表档位	20mA	200mA
电流表显示值/mA	10.4	9.5

电流表档位对测量结果的影响

由于电流表内部有不可忽略的电阻，档位越大，阻值越小，所以结果有所不同，但由于电流源内部的结构未知，所以两档测量数据不同，没有较好的模型解释。

使用万用表电压档测量直流稳压源电压，得到电压值：6.009V较为准确。

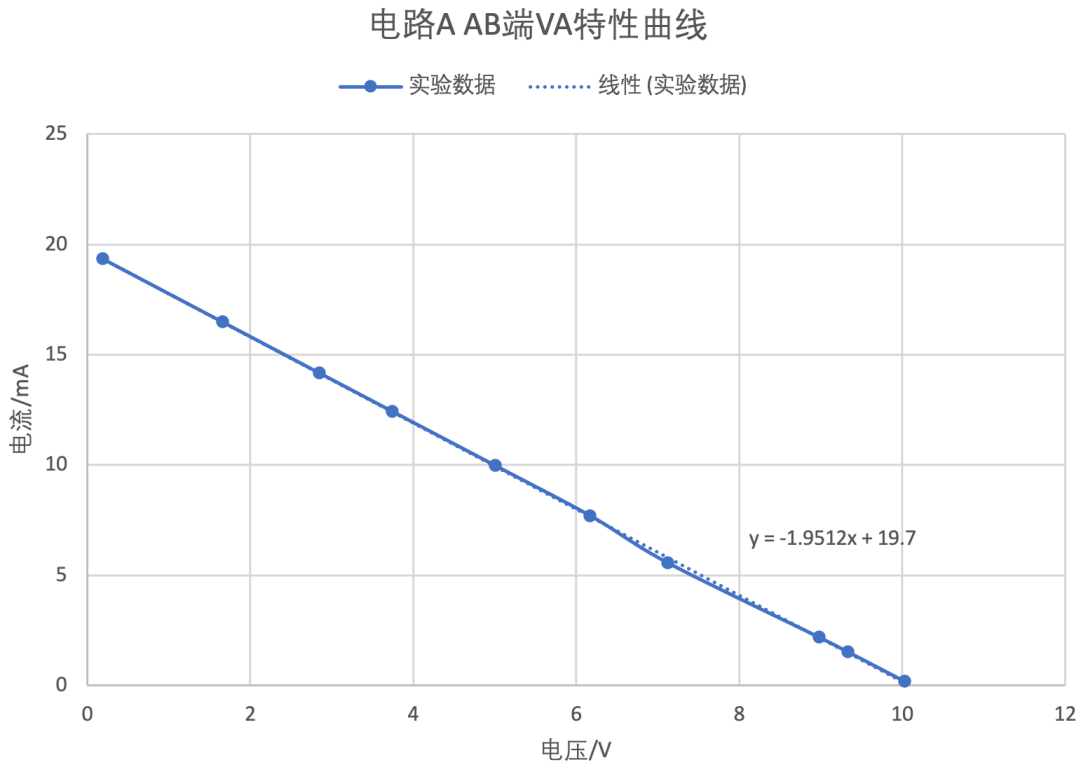
2. 连接电路。
3. 调节AB端电阻大小，使用万用表测量AB端电压与电流。

- 使用excel线性拟合工具，得到VA特性曲线，计算得到等效电路。
- 搭建等效电路，使用万用表以同样的方法测量端口VA特性曲线。

实验结果与分析

R	0	10	100	200	300	500	800	1200	4000	6000	60000	∞
U/V	0	0.1932	1.665	2.858	3.754	5.016	6.18	7.13	8.99	9.34	10.04	10.12
I/mA	19.68	19.32	16.46	14.14	12.40	9.95	7.68	5.551	2.173	1.516	0.1702	0

绘制得到VA特性曲线



得到线性拟合曲线为： $I = -1.9512U + 19.7 \text{ mA}$

计算等效电路：

$$I_s = 19.7 \text{ mA}$$

$$r = \frac{1}{1.9512 \times 10^{-3}} = 512.5 \Omega$$

$$U_s = 19.7 \times 10^{-3} \cdot 512.5 \Omega = 10.1 \text{ V}$$

等效电路图为：

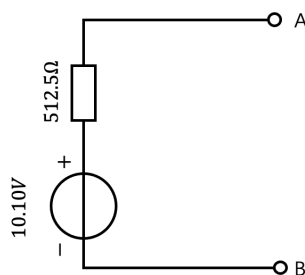


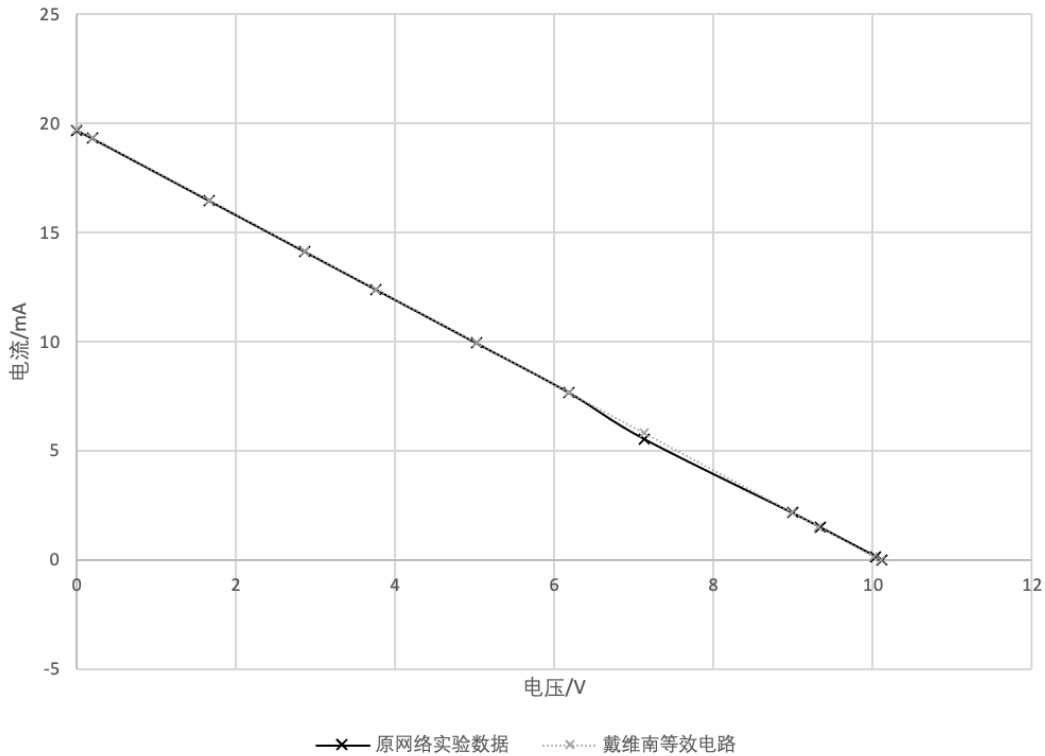
fig3 实验电路等效图

搭建实际电路图，并测得数据：

AB端电阻/ Ω		0	10	100	200	300	500	800	1200	4000	6000	60000	∞
原网络	U/V	0	0.1932	1.665	2.858	3.754	5.016	6.18	7.13	8.99	9.34	10.04	10.12
	I/mA	19.68	19.32	16.46	14.14	12.4	9.95	7.68	5.551	2.173	1.516	0.1702	0
戴维南等效	U/V	0	0.1933	1.667	2.862	3.758	5.018	6.18	7.13	8.98	9.32	10.01	10.10
	I/mA	19.73	19.35	16.49	14.16	12.41	9.96	7.67	5.81	2.19	1.52	0.16	0

电压	直流电压档 600mV	直流电压档 6V	直流电压档 60V
电流	直流电流档 60mA	直流电流档 6mA	

AB端VA特性曲线与戴维南电路曲线



其中可以发现，戴维南等效电路呈现非常好的线性性质，与理论相符合，而实际电路与该线性曲线也有较大的重合（有且仅有一个点有较大程度上的偏离）。

误差分析

仪表读数误差

量程	分辨率	准确度
600mV	0.1mV	$\pm (0.5\% \text{读数} + 2 \text{字})$
6V	0.001V	
60V	0.01V	
600V	0.1V	$\pm (0.8\% \text{读数} + 2 \text{字})$
1000V	1V	

量程	分辨率	准确度
60 μ A	0.01 μ A	$\pm (0.8\% \text{读数} + 10 \text{字})$
600 μ A	0.1 μ A	
6mA	1 μ A	
60mA	10 μ A	$\pm (1.0\% \text{读数} + 10 \text{字})$
600mA	100 μ A	
10A	10mA	$\pm (2.0\% \text{读数} + 5 \text{字})$

以上为HY63说明书中标注的准确度表。

对AB端电阻为0的情况和AB端电阻 ∞ 的情况进行考虑。

当AB端短路时，电流表读数为19.68mA，量程为60mA，则计算得：

$$u_B = 1.0\% \cdot 19.68 + 10 \cdot 0.01 = 0.3mA$$

$$\therefore I = (19.68 \pm 0.3) \text{ mA}$$

$$\text{相对误差为: } \frac{u_B}{I} = 1.5\%$$

当AB端开路，电压表读数为10.12V，量程为60V电压档，则计算得：

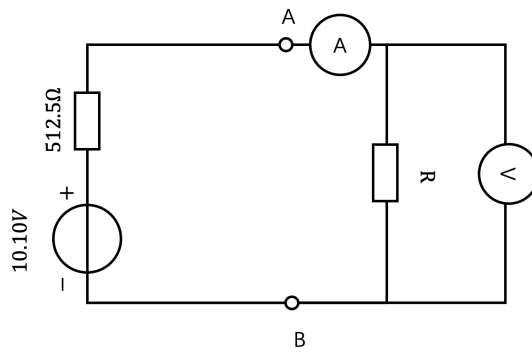
$$u_B = 0.5\% \cdot 10.12 + 0.02 = 0.07V$$

$$\therefore U = (10.12 \pm 0.07)V$$

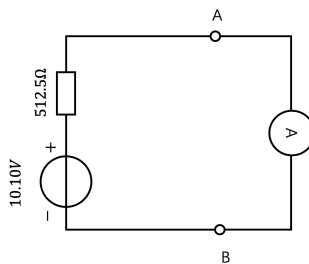
$$\text{相对误差为: } \frac{u_B}{U} = 0.7\%$$

仪表内阻误差

该误差为系统误差，实验中的等效电路为下图，现考虑AB端电阻为0的情况和AB端电阻 ∞ 的情况。



当AB端短路时：



由于电流表量程在60mA，内阻约为0.99Ω，则计算误差：

$$\Delta I = -\frac{I_{measure}}{R_{eq}} R_A = -\frac{19.68}{512.5} \cdot 0.99 = -0.03mA$$

$$\text{修正后: } I = I_{measure} + |\Delta I| = 19.68 + 0.03 = 19.71mA$$

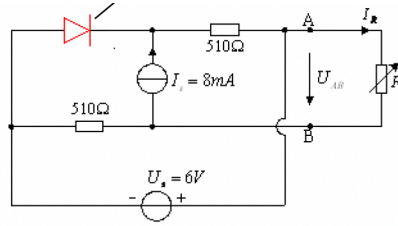
电压表内阻达到10MΩ，计算并修正：

$$\Delta U = -\frac{U_{measure}}{R_U} R_{eq} = -\frac{10.10}{10M} \cdot 512.5\Omega = -5.18 \times 10^{-4}$$

$$\text{修正后 } U = U_{measure} + |\Delta U| = 10.10052V$$

由此可以看出，电压表内阻本身对实验干扰会比电流表小很多，所以具体实验中，一般会采取电压表和电阻结合对电路中电流进行计算，而直接使用电流表测量电流可能干扰测量结果进行直接测量。

Part2: 更换二极管后, 验证戴维南等效定理



实验方案

由于戴维南定理仅仅适用于线性电路, 而二极管并非线性元件。现验证该电路是否适用于戴维南等效定理

理论计算

将二极管支路开路, AB段用阻值为R的电阻替代。

则该支路的开路电压为: $U_D = 6 + 0.51 \times 8 = 10.1V$, 不论R取值多少, 二极管支路两端的开路电压均为这个值, 二极管反向不导通, 所以截止, 等效电路可以去除二极管。

此时计算AB两端的戴维南等效:

不可以利用开路电压计算, 此时电流源两端开路。

可以利用短路电流: $I = U/0.51 + 8 = 19.76mA$

$$R_0 = 0.51k\Omega$$

$$U_o = I_0 \times R_0 = 10.08V$$

电流/电压源出现问题的情况

电流源两端电压 (上为+, 下为-) 大小为:

$$U_{IS} = 6 \times \frac{R}{0.51 + R} + 8 \times \frac{0.51R}{0.51 + R} + 0.51 \times 8 > 0$$

则电流源始终为发出功率。

将电压源开路, 计算两端电压, 当两端电压大于6V时, 则电压源发出吸收功率:

$$U' = 8R > 6V$$

$$R > 750\Omega$$

则R应小于750Ω, 否则将会产生吸收功率。

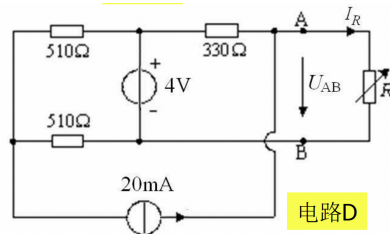
实验结果

AB端电阻/Ω		0	500	1200	5344	∞
原网络	U/V	0	5.016	7.13	/	
	I/mA	19.68	9.95	5.551	/	
二极管网络	U	0.0019	5.018	7.13	电压源开始	电压源两端并联电阻3493Ω, 稳定电压10.18V
	I	19.69	9.96	5.551	跳变	

- 可以看到, 二极管网络的输出特性仍然与原网络相似, 这是由于更换二极管网络后, 不改变戴维南等效电路的输出情况。

- 当电阻值大于5344kΩ时，电压源无法承受吸收功率，从而进行跳变。
- 电压源两端并联一个电阻，不改变实际电路输出性质，但是对电压源两端的戴维南等效电路而言，对戴维南等效电路的电压进行了分压，使其等效电路的输出电压小于6V，从而使得电压源输入功率变为输出功率

Part3: 电路D的戴维南等效电路分析与验证电流/电压源出现吸收功率的问题



理论计算

该电路的等效戴维南电路为

$$U_0 = 20 \cdot 0.33 + 4 = 10.6V$$

$$R_0 = 330\Omega$$

$$I_0 = 32.1mA$$

电流源出现问题

$$U_{IS} = 13.95 \times 0.51 + 20 \times (0.33 // R) > 0$$

所以电流源不会出现问题。

电压源出现问题

当电压源断路以后，两端电压大于4V，则变为吸收功率，计算此时阻值为

$$U = 20 \cdot \frac{0.33 + 0.51}{0.51 \cdot 2 + 0.33 + R} \cdot R - 20 \cdot \frac{R + 0.51}{0.51 \cdot 2 + 0.33 + R} \cdot 0.33 = 4$$

$$\Rightarrow R = 1.414k\Omega$$

实验结果

AB端电阻/Ω		0	5646	∞
理论计算	U/V	0	/	10.6
	I/mA	32.1	/	0
实际测量	U/V	0	电压源开始	电压源两端并联电阻2306
	I/mA	31.85	跳变	Ω，稳定电压10.67V

- 理论计算与实际结果保持一致，戴维南定理有效。
- 当电阻R大于一定值以后，电压源的确开始失效，采用并联电阻的方法，能够使电压源保持稳定，但是会增加电压源的功耗，因此，并联的电阻应当在能够使电压源保持稳定的同时，阻值越大越好。

实验思考与总结

- 戴维南定理的扩展补充。

电路中含有非线性元件并不能说明电路一定是非线性的，无法适用于戴维南等效定理，而是要看这些元件在电路中起到的实际作用。如使用二极管，如果使用的是二极管的截止特性，则可等效为开路，是线性的，可进行戴维南等效定理的处理。

当电路中的信号是微变的，则非线性元件有线性电阻的性质，此时也可以使用戴维南等效进行分析。

因此，具体电路中的非线性元件应该进行分析确认其在电路中的实际作用之后，观察是否能够使用戴维南等效定理进行分析。