



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

## 实验二 电路基本定律的研究





# 1. KCL、KVL定律的提出



古斯塔夫·罗伯特·基尔霍夫

(Gustav. Rebert. Kirchhoff, 1824-1887)

德国物理学家

1845年，德国21岁的大学  
生基尔霍夫发表了划时代论文“  
关于研究电流线性分布所得到的  
方程的解”，文中提出了分析电  
路的第一定律(电流定律KCL)和  
第二定律(电压定律KVL)。



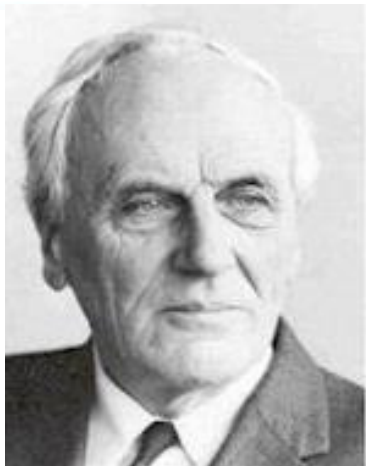
乔治·西蒙·欧姆  
(Georg Simon Ohm  
1787—1854)  
德国物理学家

人们常把德国物理学家**欧姆**(Georg Simon Ohm) **1827年**创立的**欧姆定律**和基尔霍夫提出的**基尔霍夫定律**视为电路学科的基本“公理”。

## 2. 特勒根定理的提出



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



伯纳德·特勒根  
(B. D. H. Tellegen  
1900–1990)  
荷兰学者

1952年，荷兰学者伯纳德·特勒根 (B. D. H. Tellegen) 确立了电路理论中除了KCL和KVL之外的另一个基本定理——特勒根定理。特勒根定理是对所有集中参数电路都成立的定理。



### 3. 戴维南定理的提出



戴维南 (Leon Charles Thevenin, 1857-1926), 法国电报工程师。

1883年, 法国电报工程师戴维南提出线性有源一端口网络可以等效为一个电压源串联电阻的形式, 并于1883年12月发表在法国科学院的刊物上。由于1853年德国人亥姆霍兹也曾提出过, 因而又称亥姆霍兹—戴维南定理。戴维南定理与叠加定理共同构成了电路分析的基本工具。



## 4. 诺顿定理提出



爱德华·劳瑞·诺顿  
(Edward Lawry Norton)  
(1898—1983)  
美国工程师。

1926年, 美国工程师诺顿在贝尔实验室的一个技术报告中提出了戴维南定理的对偶定理——诺顿定理。



## 实验目的

1

验证KCL、KVL定律和特勒根定理。

2

加深对线性电路的特性—叠加性和齐次性的认识。

3

掌握戴维南等效电路参数的测定方法。



### 基尔霍夫电流定律

定理内容：在集总参数电路中，任意时刻，对任意结点，流出或流入该结点电流的代数和等于零。

$$\sum_{k=1}^m i(t) = 0$$

代数和：体现为电流前的“+”、“-”号，可自行定义流出节点为“+”，流入节点为“-”。

or  $\sum i_{\text{入}} = \sum i_{\text{出}}$  无需考虑电流前的正负号





## 基尔霍夫电压定律

内容：在集总参数电路中，任一时刻，沿任一闭合路径绕行，各元件电压的代数和等于零。

$$\sum_{k=1}^m u(t) = 0$$

代数和：体现为电压前的“+”、“-”号，  
选定回路绕行方向，支路电压参考方向与  
绕行方向一致为“+”，相反为“-”。

$$\text{or} \quad \sum u_{\text{降}} = \sum u_{\text{升}} \quad \rightarrow \quad \text{无需考虑正负号}$$



## 特勒根定理1(功率守恒定理)

对于一个具有 $n$ 个结点 $b$ 条支路的电路，令这 $b$ 条支路的电流和电压分别为  $(i_1, i_2, \dots, i_b)$  和  $(u_1, u_2, \dots, u_b)$ ，并规定各支路电流和支路电压取关联参考方向，则

$$\sum_{k=1}^b u_k i_k = 0$$



## 特勒根定理2(似功率守恒定理)

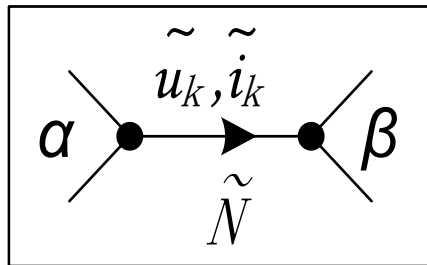
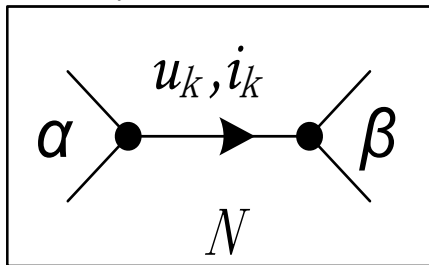
有两个具有 $n$ 个结点和 $b$ 条支路的电路，它们在拓扑结构上完全相同，规定两电路中 $b$ 条支路的电流和电压分别为

$$(i_1, i_2, \dots, i_b), (u_1, u_2, \dots, u_b)$$

$$(\hat{i}_1, \hat{i}_2, \dots, \hat{i}_b), (\hat{u}_1, \hat{u}_2, \dots, \hat{u}_b)$$

各支路电流和电压都取关联参考方向，则在任一瞬间有

$$\sum_{k=1}^b u_k \hat{i}_k = 0 \quad \sum_{k=1}^b \hat{u}_k i_k = 0$$

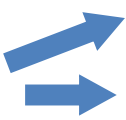




## 叠加定理

在线性电路中，任一支路的电压(或电流)可以看成是电路中每一个独立电源单独作用于电路时，在该支路产生的电压(或电流)的代数和。

### 说明：

1. 叠加定理只适用于**线性电路**。
2. 一个电源作用，其余电源为零  **电压源为零—短路。**  
**电流源为零—开路。**
3. 叠加方式可以是多个独立源同时作用，也可以是一个电源被分成几个子电源作用



### 齐次性定理

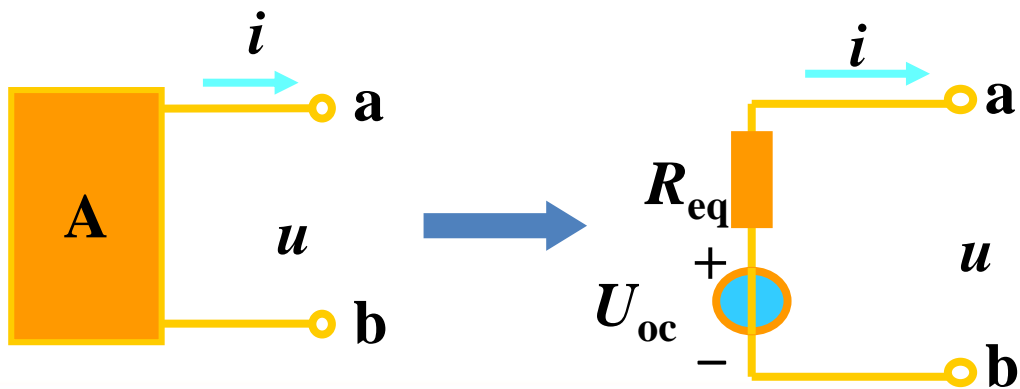
线性电路中，所有激励(独立源)都增大(或减小)同样的倍数，则电路中响应(电压或电流)也增大(或减小)同样的倍数。

当激励只有一个时，则响应与激励成正比。



## 戴维南定理

线性含源一端口网络，对外电路来说，可以用一个电压源和电阻串联的电路来等效代替；其中电压源的源电压等于外电路断开时端口处的开路电压 $U_{oc}$ ，而电阻等于该一端口网络中所有独立源置零后的等效电阻 $R_{eq}$ 。





## (1) 开路电压 $U_{oc}$ 的计算

戴维南等效电路中电压源电压等于将外电路断开时的开路电压  $U_{oc}$ ，电压源方向与所求开路电压方向有关。

## (2) 等效电阻的计算

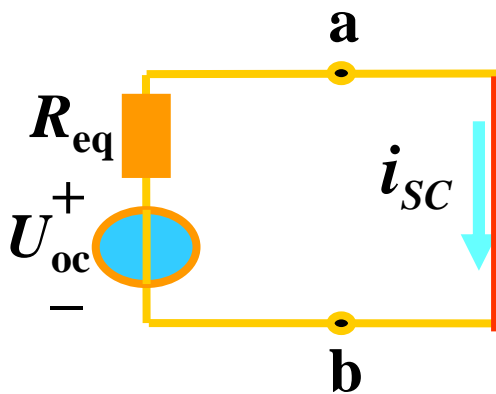
等效电阻为将一端口网络内部独立电源全部置零(电压源短路，电流源开路)后，所得无源一端口网络的输入电阻。



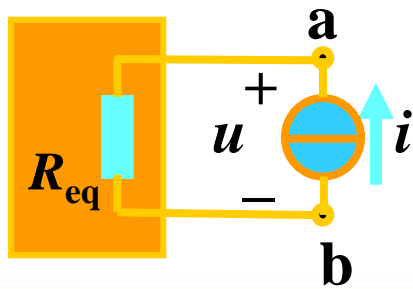
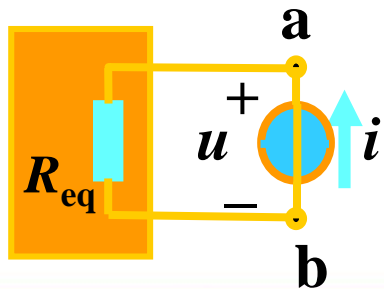
等效内阻的计算方法

1. 当网络内部不含有受控源时可以把独立源置零，直接进行电阻串并联等效。
2. 开路电压、短路电流法

$$R_{eq} = \frac{u_{oc}}{i_{sc}}$$



3. 外加电源法



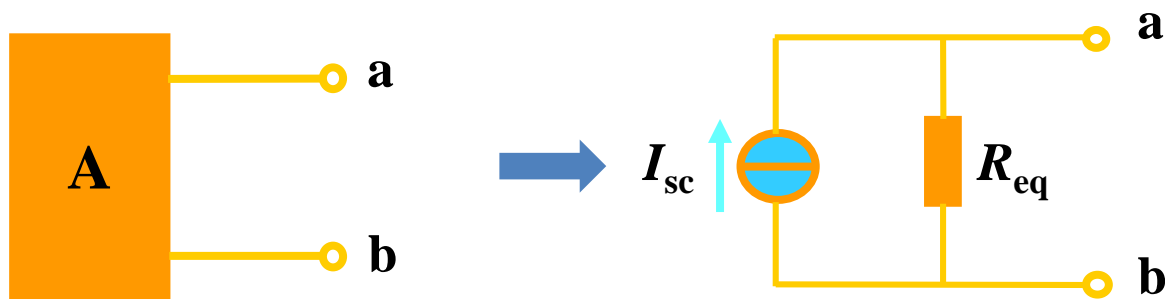
$$R_{eq} = \frac{u}{i}$$





## 诺顿定理

线性含源一端口网络，对外电路来说，可以用一个**电流源**和**电阻的并联组合**来等效代替；其中电流源的电流等于此一端口网络的短路电流，而电阻等于把该一端口网络内部所有独立电源置零后的等效电阻。



诺顿等效电路可由戴维南等效电路经电源等效变换得到。

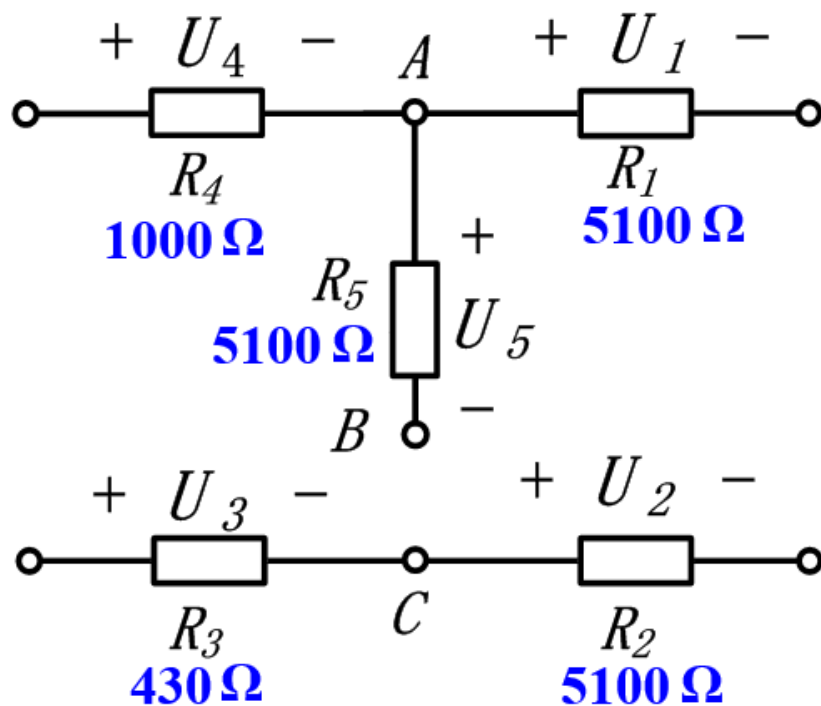


## 实验内容



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

实验电路如下图所示，在实验箱上搭接好电路。



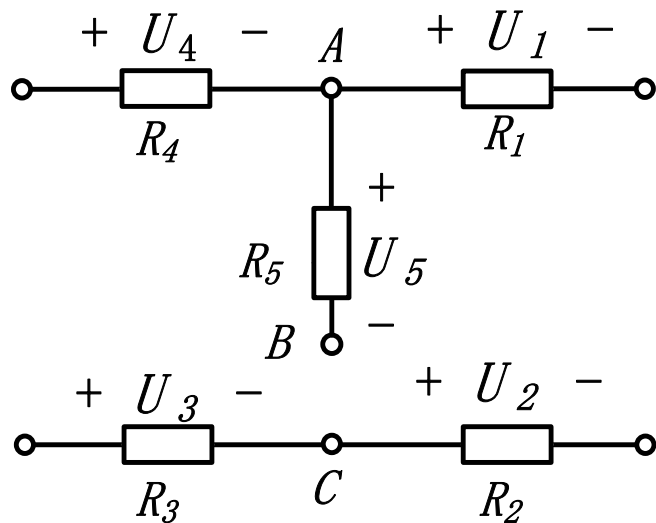


# 实验内容



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

## 1. 验证基尔霍夫定律和特勒根定理之一



(1) 用数字万用表电阻档  
测出左图电路中各个电阻值。  
测量数据记录于表2-1中

表2-1

电阻	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
标称值( $\Omega$ )	5100	5100	430	1000	5100
测量值( $\Omega$ )					

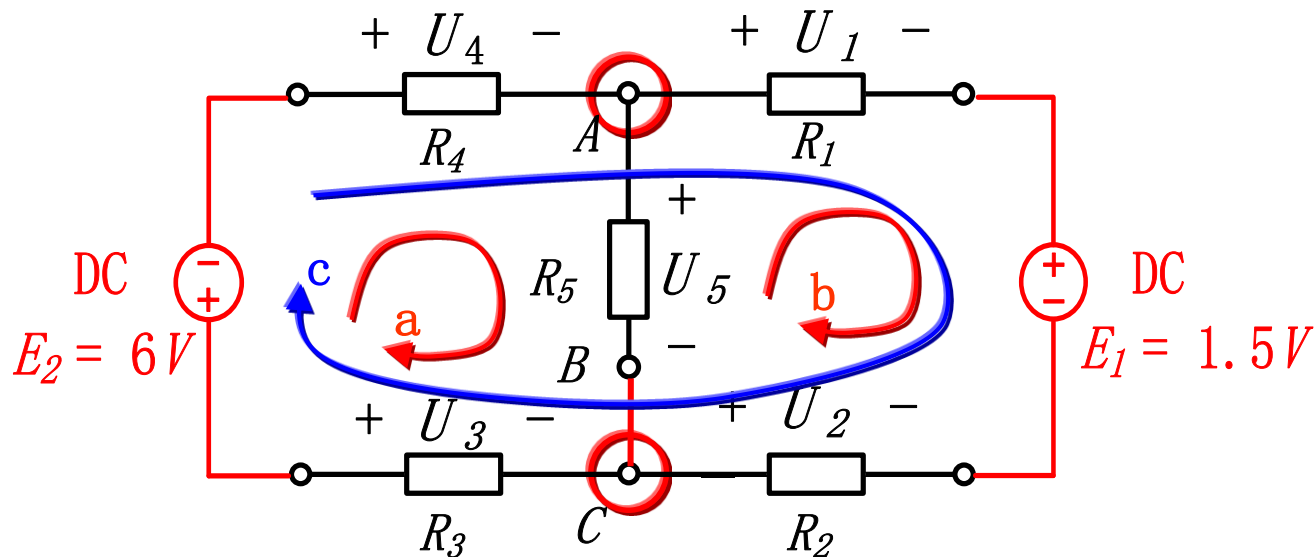


# 实验内容



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

## 1. 验证基尔霍夫定律和特勒根定理之一(续)



(2) 按上图接线, 连接BC两点, 注意 $E_1$ ,  $E_2$ 电压读数有效数字的位数。数据记录于表2-2中。

表2-2

电压	$E_1$	$E_2$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
测量值(V)							



## 2. 验证叠加性

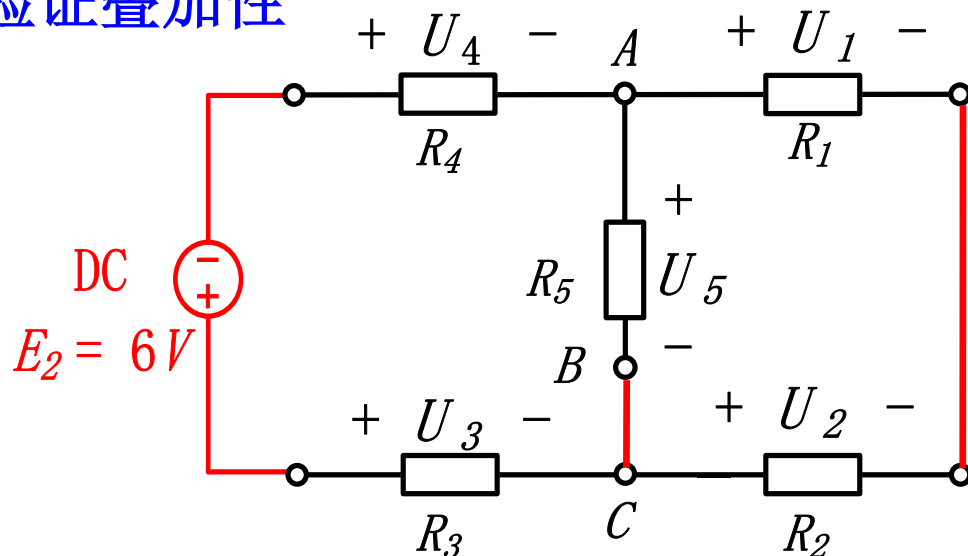


表2-3-1

条件 \ 测量值	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
$E_1=0V, E_2=6V$					



## 2. 验证叠加性 (续)

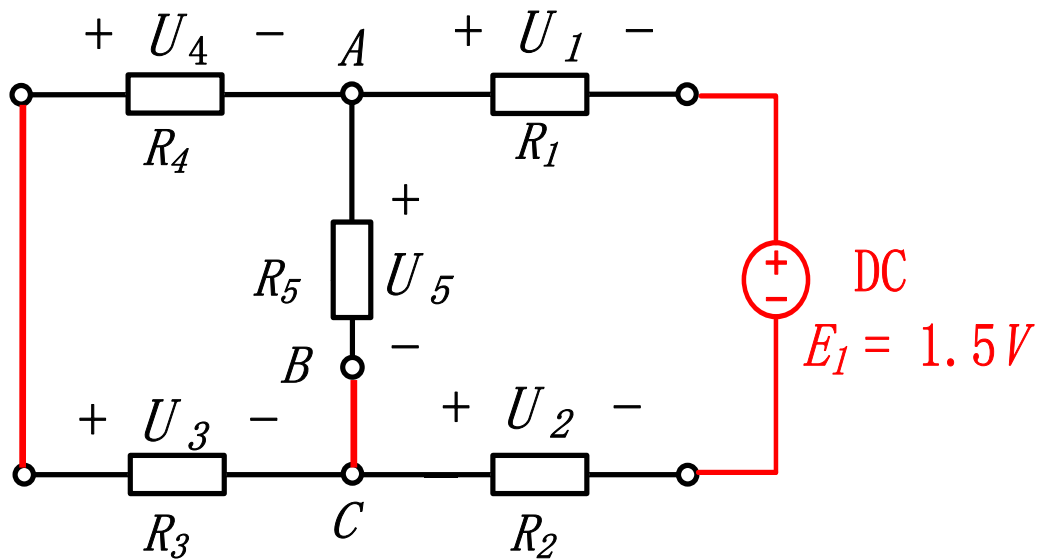


表2-3-2

测量值 条件	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
$E_1=1.5V, E_2=0V$					



## 3. 验证齐次性定理

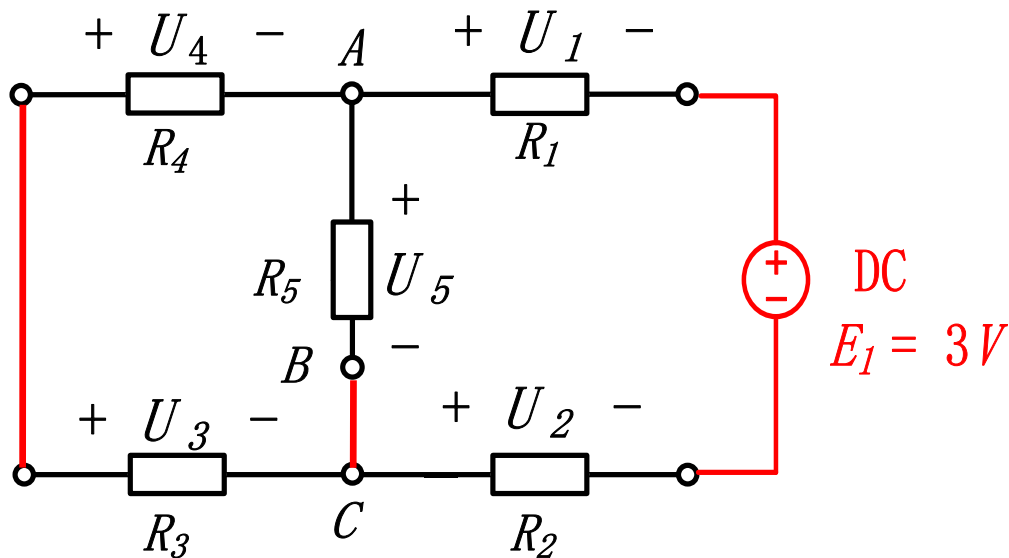


表2-4

条件 \ 测量值	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
$E_1=3V, E_2=0V$					



## 4. 戴维南等效定理

### (1) 公式法

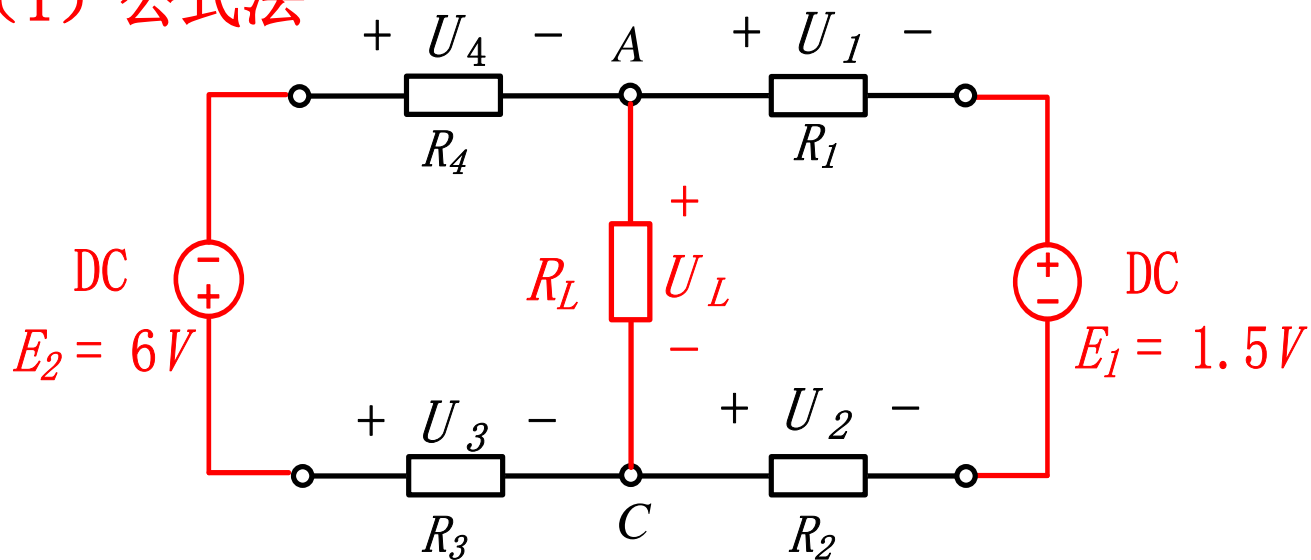
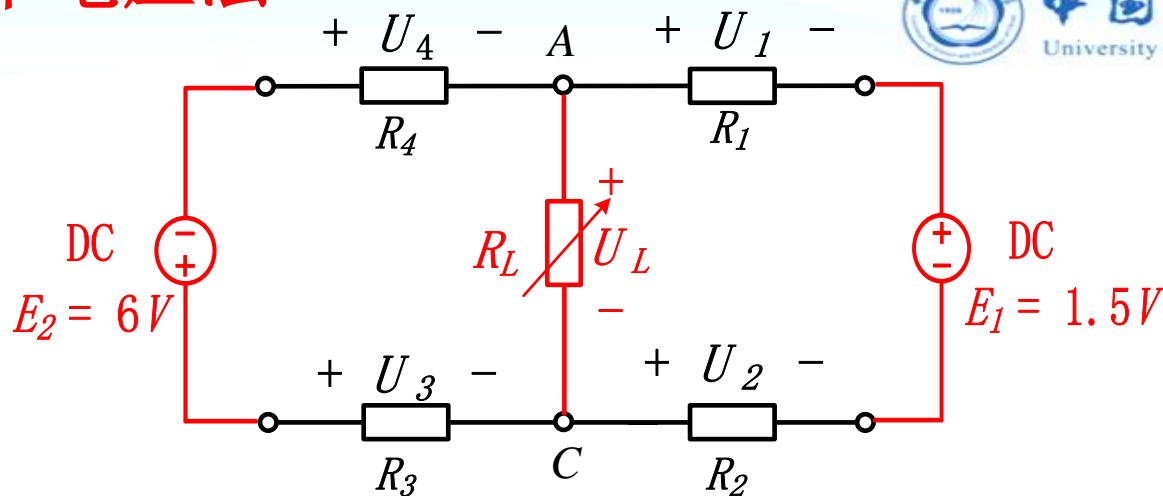


表2-5

	$U_{OC}$	$U_L$	$R_L$
公式法			



## (2) 半电压法



断开BC点，在AC两端接上10K电位器，调节电位器，使AC两端电压  $U_L = \frac{U_{OC}}{2}$ ，断开电位器，用万用表测出电位器的阻值即为  $R_o$  (等效内阻)。

(3) 理论计算  $U_{OC}$  和  $R_o$  (要有必要的列式和计算过程)



# 实验思考与研究



中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China

1

简述你所知道的电路定律、定理及适用的条件？

2

戴维南—诺顿定理的适用条件，电压源或电流源方向如何确定？有几种求等效内阻的方法？使用时分别应该注意什么？

3

把 $R_3$ 换成二极管，KCL、KVL是否成立？说明理由

4

本次实验中能用毫伏表测电压吗？为什么？

下次实验(102室)：一阶电路的研究或者

RC电路的频率特性