

## 第二章 电路的分析方法及电路定理



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

电工基础教研室

电工  
电子学

2020/12/14

## 第二章 电路的分析方法与电路定理

2-1 等效变换法

2-2 支路电流法

2-3 结点电压法

2-4 叠加定理

2-5 戴维南定理

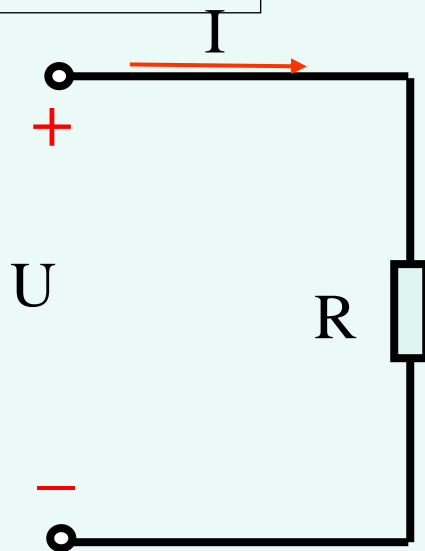
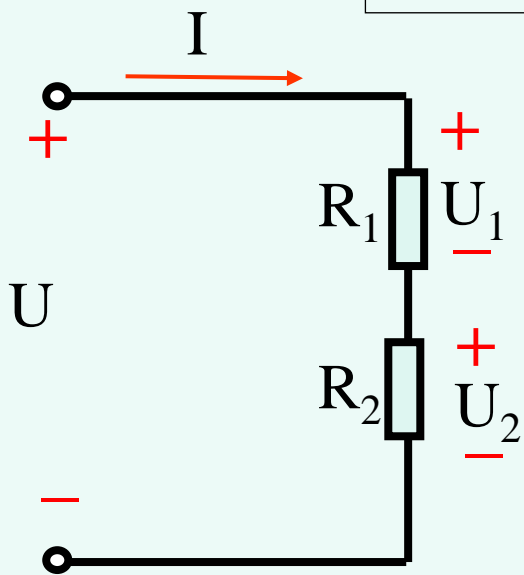
## 2-1 等效变换法分析电路

### 一、电阻串联

1. 定义：若干个电阻元件一个接一个顺序相连，并且流过同一个电流。

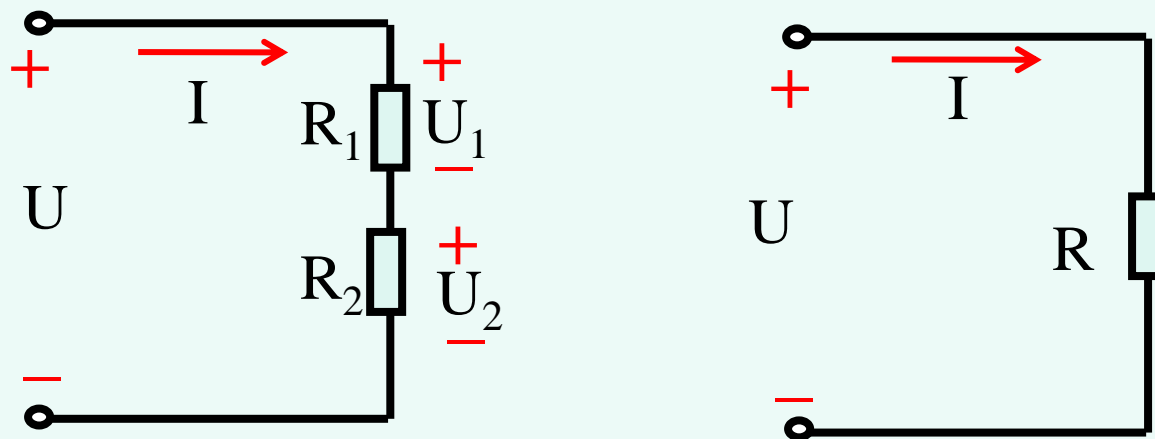
2. 等效电阻：

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum R_n$$



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

## 2-1 等效变换法分析电路



$$U = U_1 + U_2 = I(R_1 + R_2) = IR$$

$$R = R_1 + R_2$$

3. 分压公式: 各段电压降与阻值成正比。

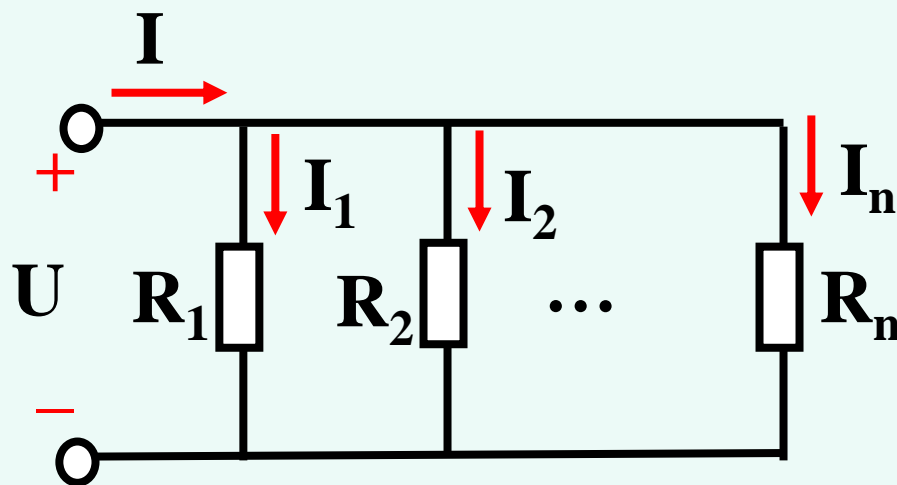
$$U_1 = \frac{R_1}{R} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R} U,$$

$$U_1 : U_2 = R_1 : R_2 \quad P_1 : P_2 = R_1 : R_2$$

4. 作用: 分压、限流

## 2-1 等效变换法分析电路

### 二、电阻的并联



1. 定义：若干个电阻都连接到同一对节点上,并联时**各电阻承受同一电压**。

2. 等效电阻：
$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n} = U \sum \frac{1}{R_i}$$

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

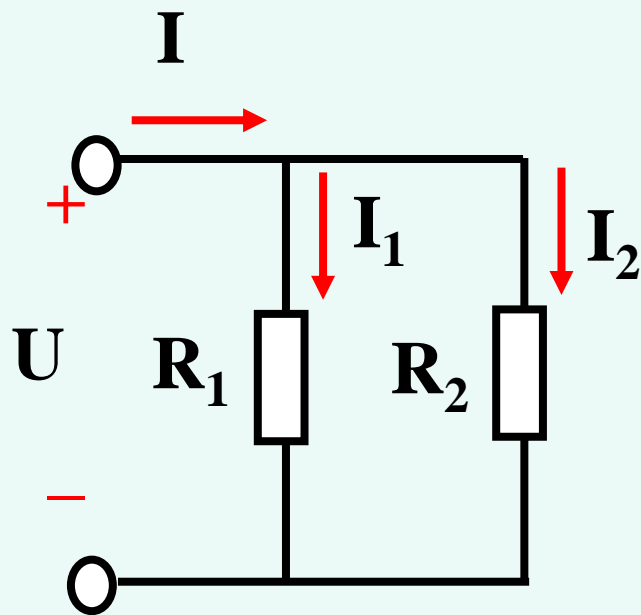
$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

## 2-1 等效变换法分析电路

### 3. 分流公式:



$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

$$\therefore I_1 : I_2 = R_2 : R_1$$

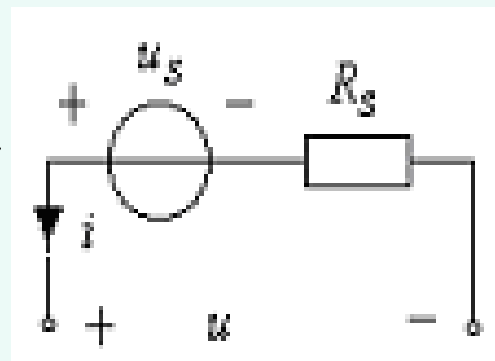
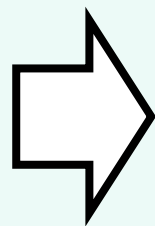
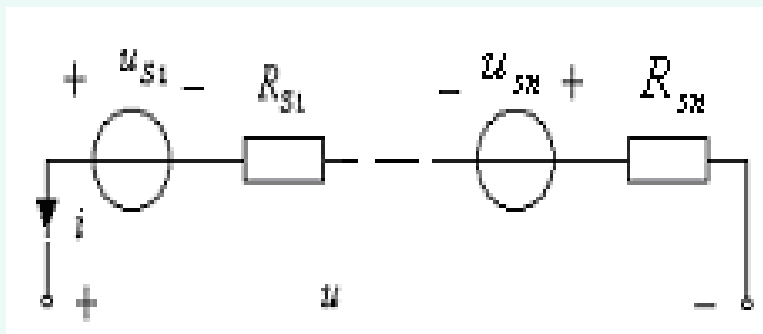
即电流分配与电阻成反比.

$$\text{功率 } P_1 : P_2 = R_2 : R_1$$

## 2-1 等效变换法分析电路

### 三. 电源的等效互换

#### 1、电压源的串联



$$u_s = \sum_{k=1}^n u_{sk}$$

$$R_s = \sum_{k=1}^n R_{sk}$$

$n$ 个电压源串联后的等效电压源的电压为 $n$ 个电压源的电压的**代数和**，等效电源的内阻为串联内阻之和。

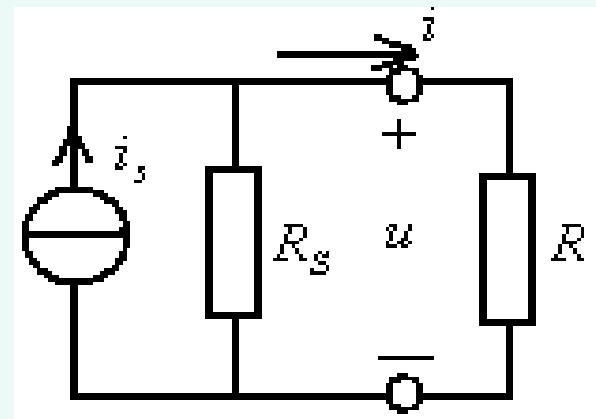
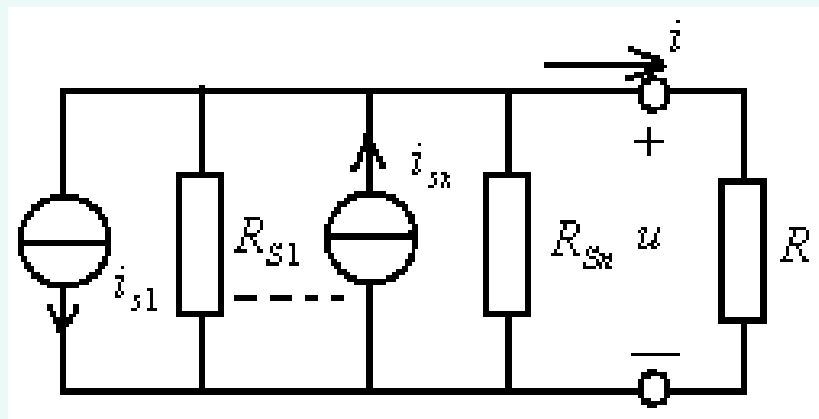
注意：  $u_{sk}$  与  $u_s$  参考方向相同取“+”，反之取“-”



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

## 2-1 等效变换法分析电路

### 2、电流源的并联



$$i_s = \sum_{k=1}^n i_{sk}$$

$$\frac{1}{R_s} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_{sk}}$$

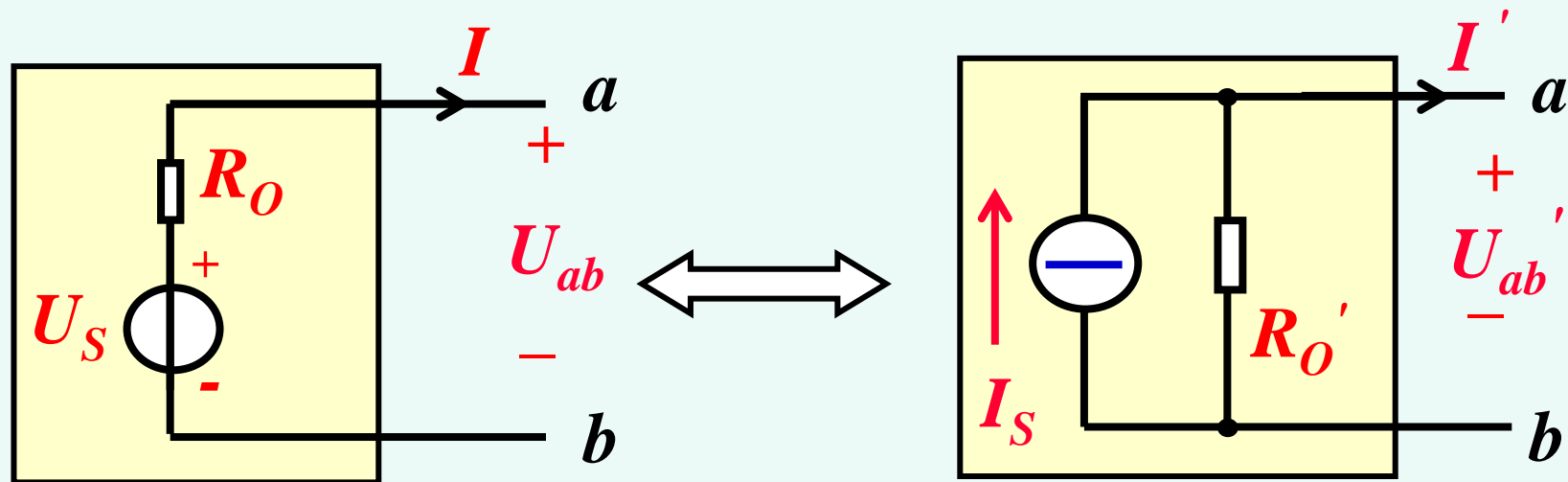
$n$ 个电流源并联后的等效电流源的电流为 $n$ 个电流源的电流的**代数和**，等效电流源内阻为 $n$ 个电阻的并联。

**注意：**  $i_{sk}$  与  $i_s$  的参考方向相同时取“+”，反之取“-”



## 2-1 等效变换法分析电路

### 3、电压源与电流源的等效互换

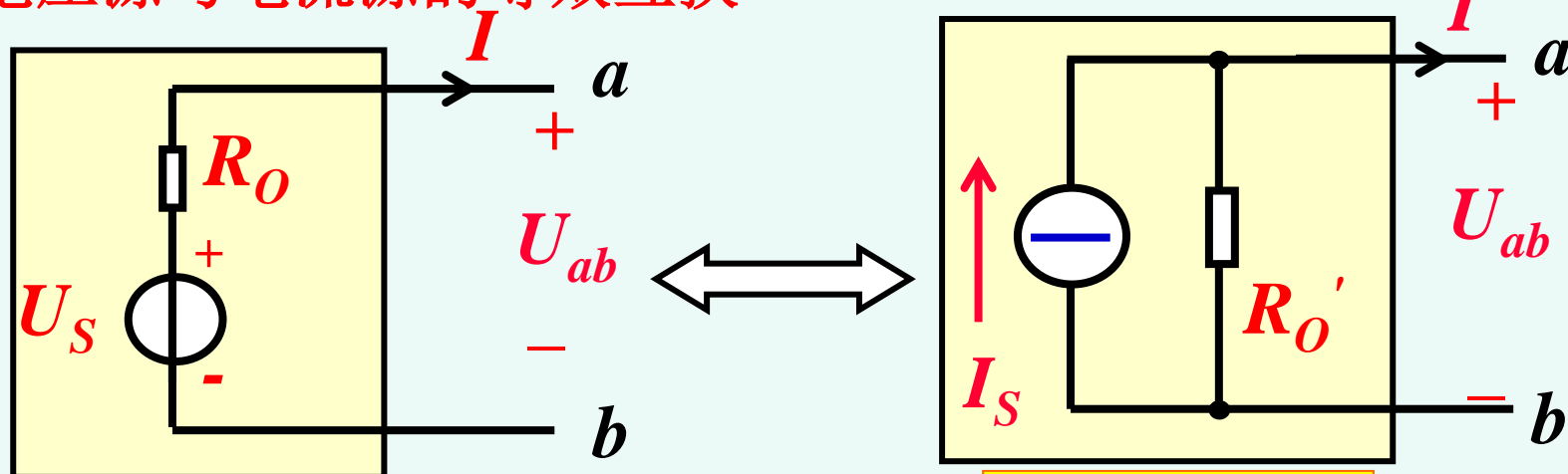


等效互换的条件：等效前后电源的输出电压和输出电流相同。

$$\begin{aligned} I &= I' \\ U_{ab} &= U_{ab}' \end{aligned}$$

## 2-1 等效变换法分析电路

### 电压源与电流源的等效互换



$$U_{ab} = U_s - R_0 I$$

$$I = I_s - \frac{U_{ab}}{R_0'}$$

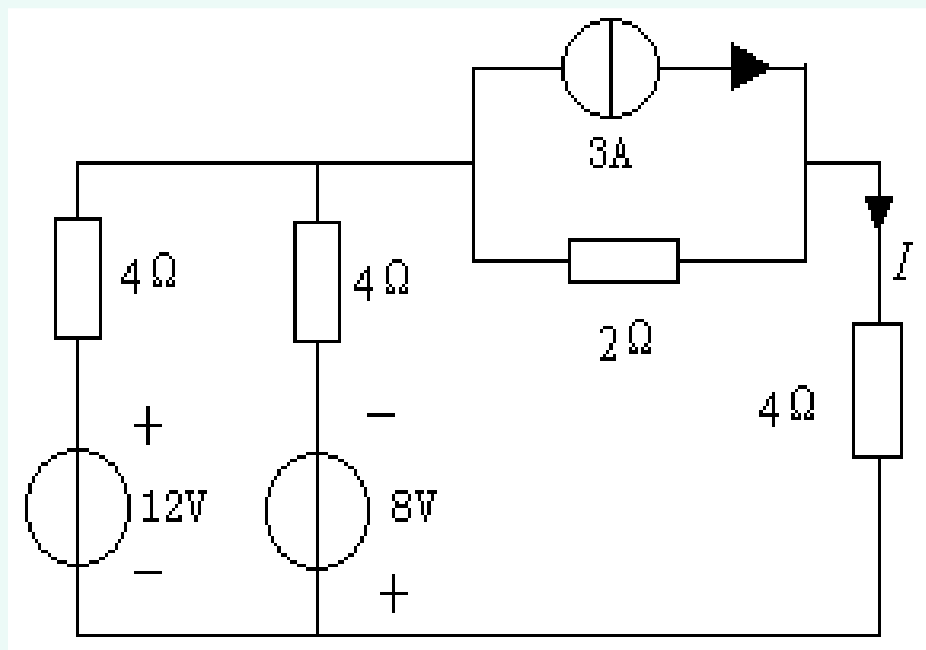
如果令：  $I_s = \frac{U_s}{R_0}$ ，  $R_0 = R_0'$

则电压源与电流源的伏安特性是一样的。

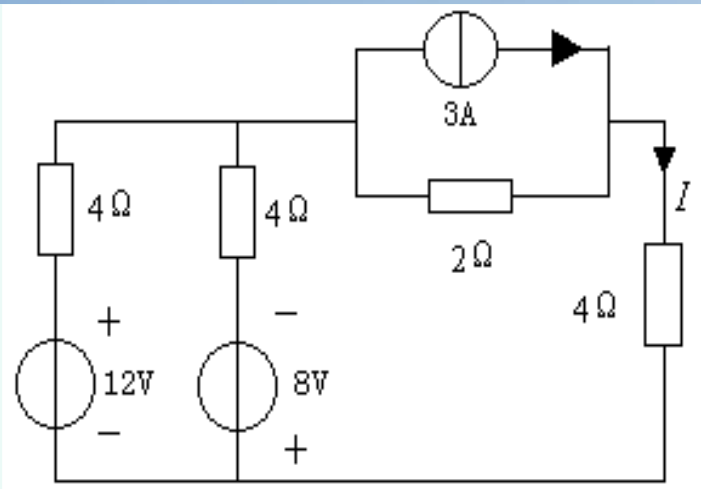
注意：  $I_s$  的方向指向  $U_s$  的正极性端

## 2-1 等效变换法分析电路 -- 例题

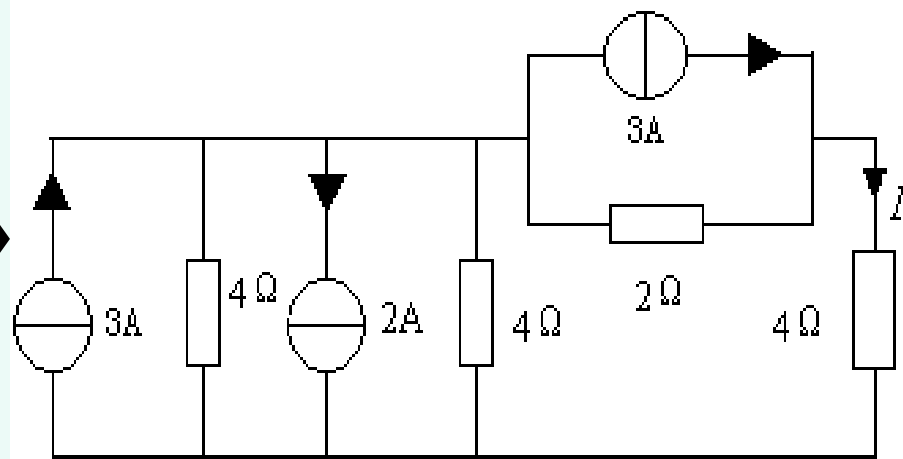
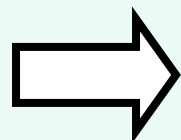
【例2-2】 电路如图所示，求电流 $I$ 。



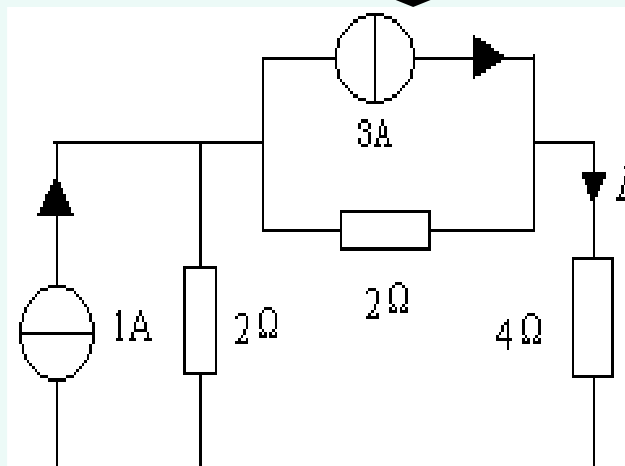
## 2-1 等效变换法分析电路 -- 例题



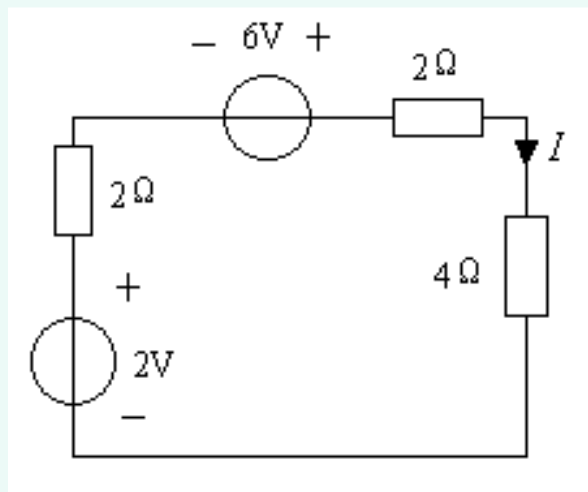
(a)



(b)



(c)



(d)

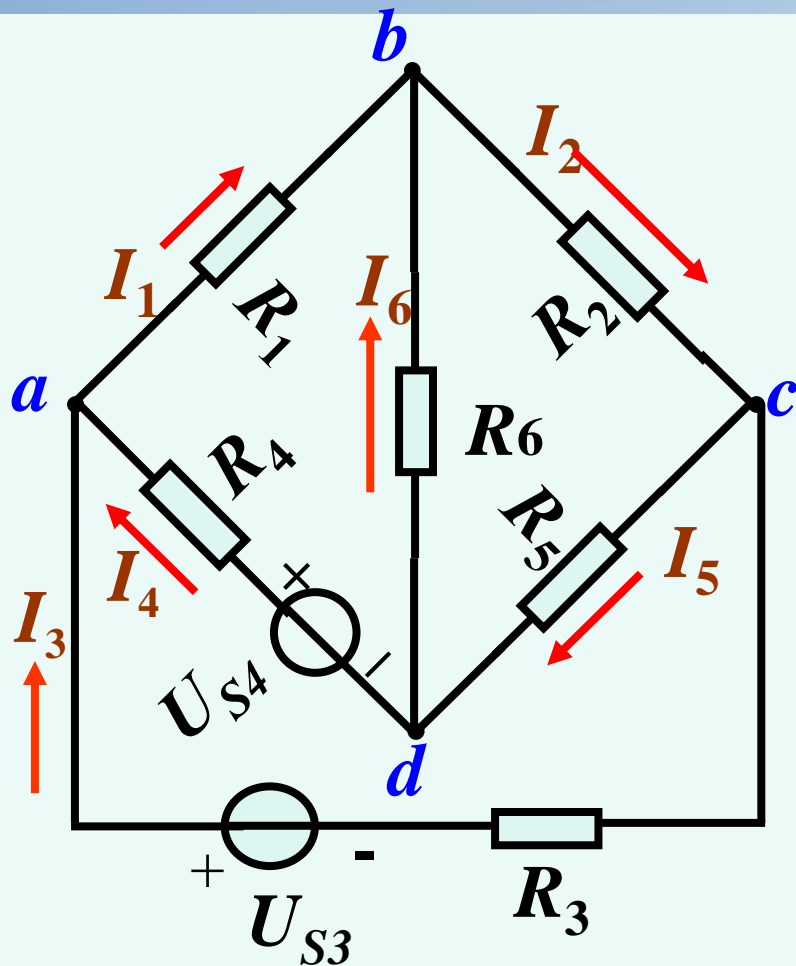
$$I = \frac{6 + 2}{2 + 2 + 4} = 1 \text{ A}$$



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

## 2-2 支路电流法

未知量：各支路电流



节点数  $n=4$ , (a, b, c, d)

支路数  $b=6$ , (ab, ad, bd, bc, cd, ca)

### 分析步骤:

1. 对每一支路假设一未知电流 ( $I_1$ -- $I_6$ )，标明参考方向

2. 列电流方程

对每个节点有

$$\sum I = 0$$

3. 列电压方程

对每个回路有

$$\sum Ri = \sum U_s$$

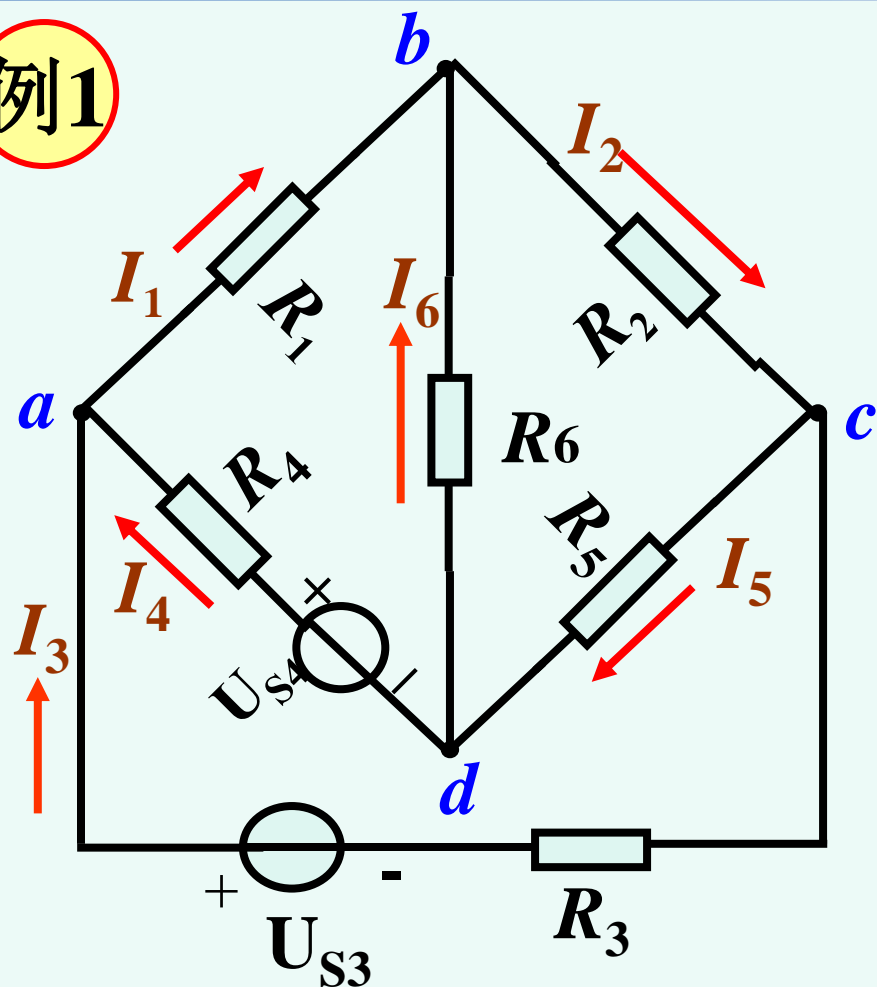
4. 解联立方程组



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

## 2-2 支路电流法

例1



节点数  $n=4$

支路数  $b=6$

### 列电流方程

节点a:  $I_3 + I_4 = I_1$

节点b:  $I_1 + I_6 = I_2$

节点c:  $I_2 = I_5 + I_3$

节点d:  $I_5 = I_4 + I_6$

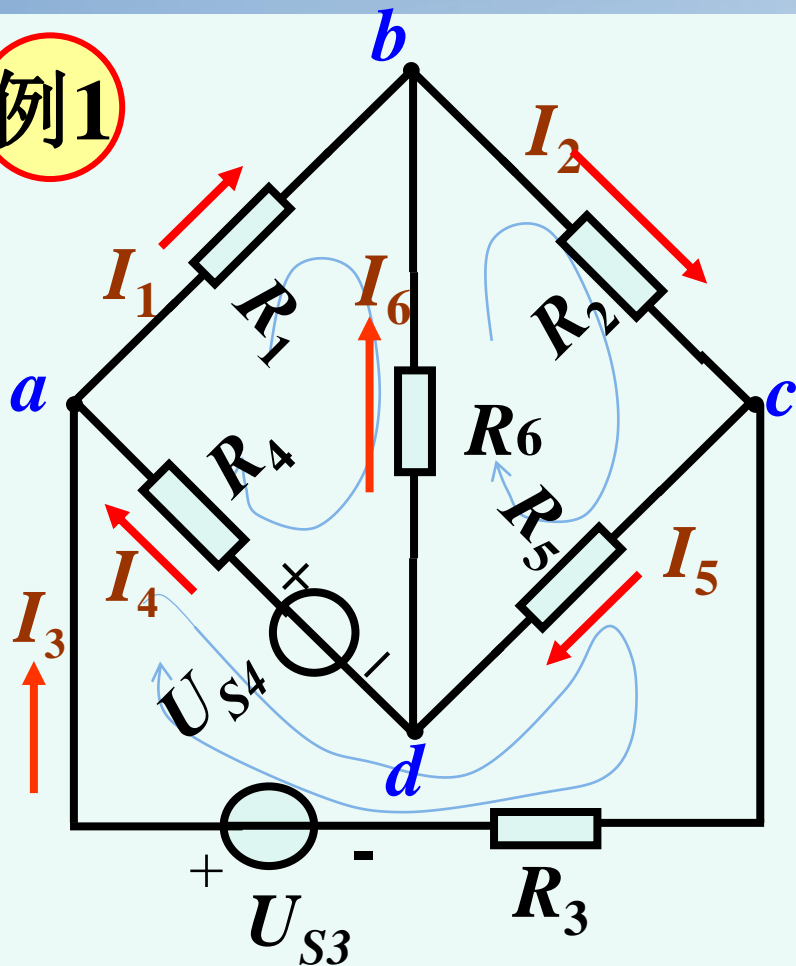
(其中三个方程是独立的)



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

## 2-2 支路电流法

例1



根据独立回路，列电压方程

*abda* :

$$I_1 R_1 + I_4 R_4 - I_6 R_6 = U_{S4}$$

*bcdb* :

$$I_2 R_2 + I_5 R_5 + I_6 R_6 = 0$$

*adca* :


$$I_3 R_3 - I_4 R_4 - I_5 R_5 = U_{S3} - U_{S4}$$

电压、电流方程联立求得：  $I_1 \sim I_6$



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

# 支路电流法小结

	解题步骤	结论与引申
1	对每一支路假设一未知电流	1. 假设未知电流时，方向可任意选择。 2. 原则上，有 <b><math>b</math></b> 个支路就设 <b><math>b</math></b> 个未知电流。
2	列电流方程： 对每个节点有 $\sum I = 0$	若电路有 <b><math>n</math></b> 个节点， 则可以列出 <b><math>n-1</math></b> 个独立KCL方程。
3	列电压方程： 对每个回路有 $\sum Ri = \sum U_s$	1. 未知电流数= <b><math>b</math></b> ，已有 <b><math>(n-1)</math></b> 个节点方程， 需补足 <b><math>b - (n-1)</math></b> 个KVL方程。 2. 独立回路的选择：一般按网孔选择 
4	联立解方程组	根据结果的正负确定电流的实际方向。



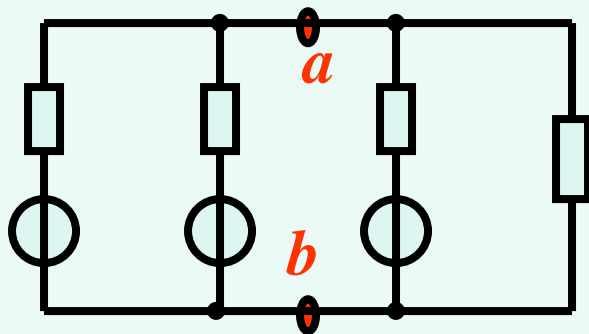
石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University



## 支路电流法的优缺点

**优点：**支路电流法是电路分析中最基本的方法之一。只要根据**基尔霍夫电流电压定律**、**欧姆定律**列方程，就能得出结果。

**缺点：**电路中支路数多时，所需方程的个数较多，求解不方便。

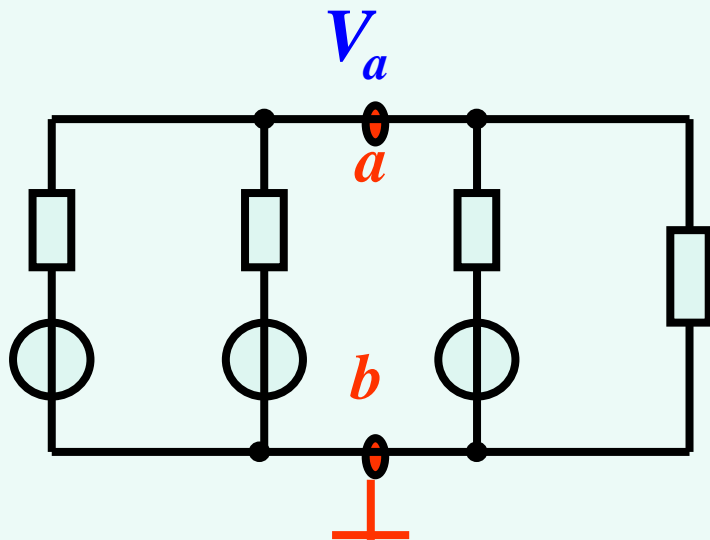


支路数  $b=4$   
须求4个未知电流

## 2-3 结点电压法

结点电压法中的未知量：结点电压 “ $V_x$ ”。

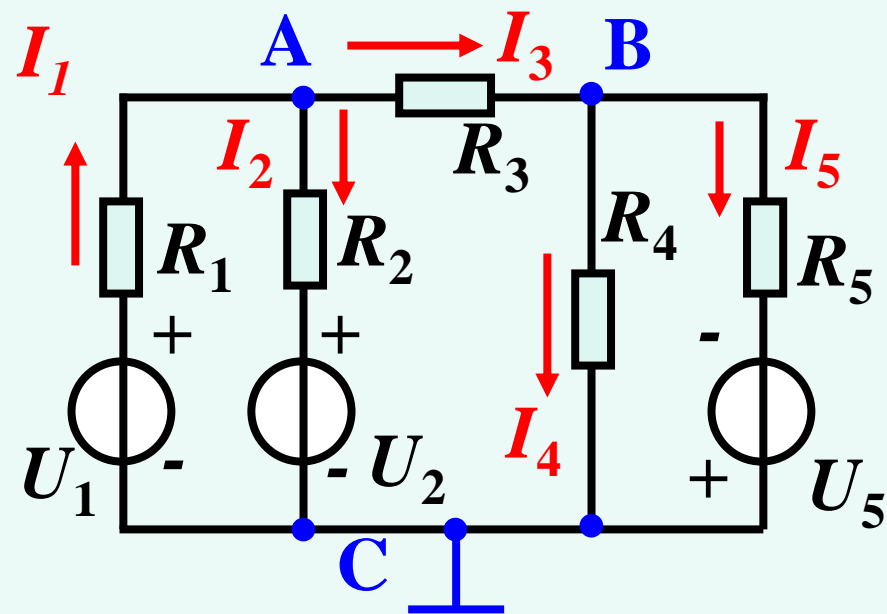
节点电位法适用于支路数多，节点少的电路。如：



共 $a$ 、 $b$ 两个节点， $b$ 设为参考点后（ $V_b=0$ ），仅剩一个未知量—— $a$ 点电位 $V_a$ 。

## 2-3 结点电压法

### 结点电压法应用举例



结点电流方程:

A点:  $I_1 = I_2 + I_3$

B点:  $I_3 = I_4 + I_5$

设:  $V_C = 0 \text{ V}$

则: 各支路电流分别为:

$$I_1 = \frac{U_1 - V_A}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_A - U_2}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V_A - V_B}{R_3}$$

$$I_4 = \frac{V_B}{R_4}$$

$$I_5 = \frac{V_B + U_5}{R_5}$$



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

## 2-3 结点电压法

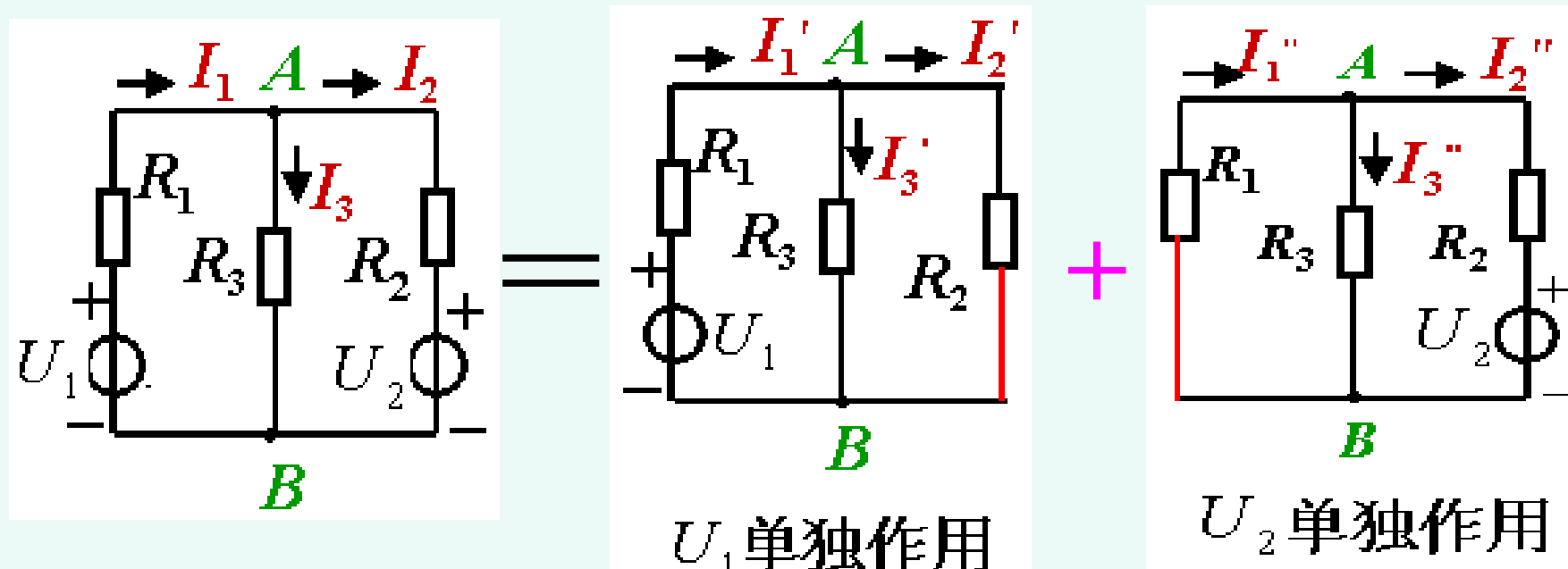
将各支路电流代入A、B两结点电流方程，  
然后整理得：

$$\begin{cases} V_A \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - V_B \left( \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} \\ V_B \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) - V_A \left( \frac{1}{R_3} \right) = -\frac{U_5}{R_5} \end{cases}$$

其中未知量仅有： $V_A$ 、 $V_B$  两个。

## 2-4 叠加定理

在多个电源同时作用的线性电路(电路元件参数不随电压、电流的变化而改变)中, 任何支路的电流或任意两点间的电压, 都是各个电源单独作用时所得结果的代数和。



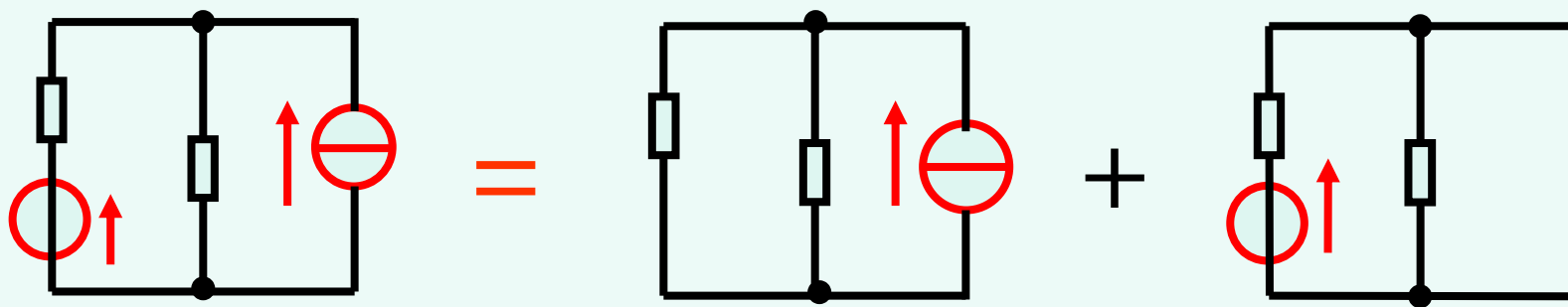
$$I_1 = I_1' + I_1''$$

$$I_2 = I_2' + I_2''$$

$$I_3 = I_3' + I_3''$$

# 应用叠加定理要注意的问题

1. 叠加定理只适用于**线性电路**（电路元件参数不随电压、电流的变化而改变）。
2. 叠加时只将电源分别考虑，电路的结构和参数不变。  
暂时不予考虑的**恒压源应予以短路**，即令  $U=0$ ；  
暂时不予考虑的**恒流源应予以开路**，即令  $I_S=0$ 。

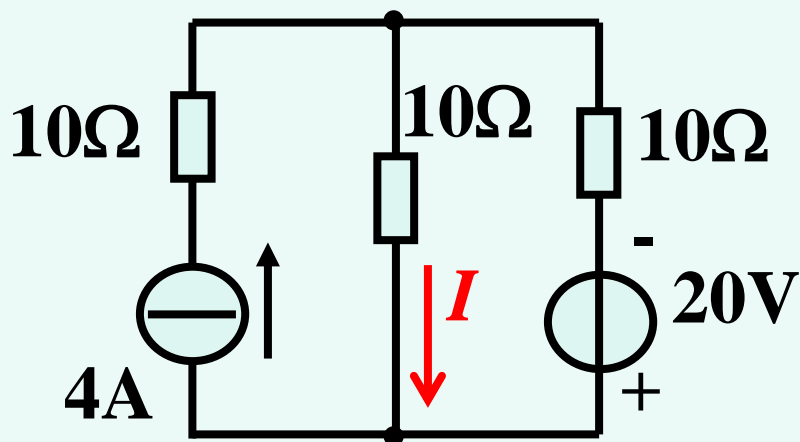


3. 解题时要**标明各支路电流、电压的正方向**。原电路中电压、电流的最后结果是各独立电源作用下电压、电流的**代数和**。



## 2-4 叠加定理

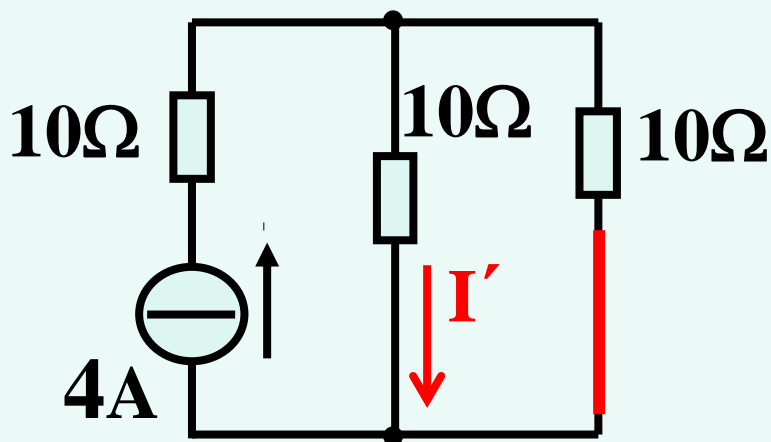
例



用叠加原理求：

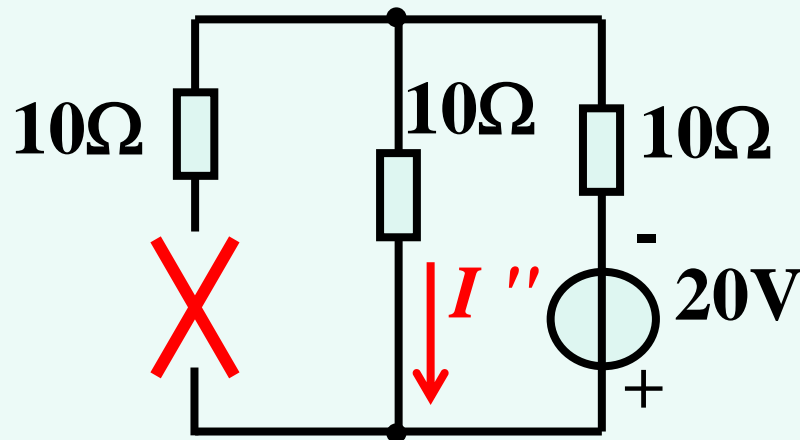
$$I = ?$$

解：



$$I' = 2A$$

+



$$I'' = -1A$$

$$I = I' + I'' = 1A$$

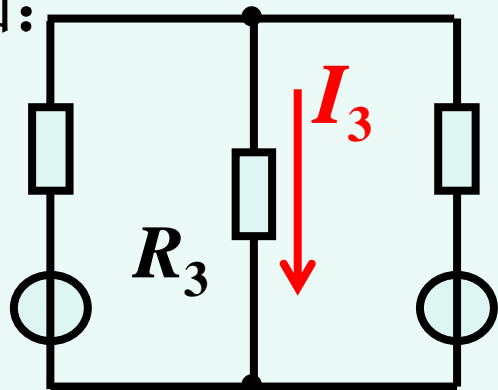


石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

# 应用叠加定理要注意的问题

4. 叠加原理只能用于电压或电流的计算，不能用来求功率。

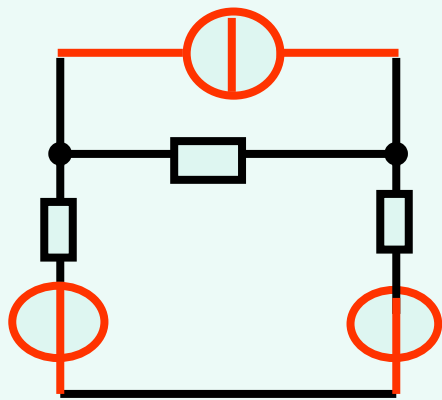
如：



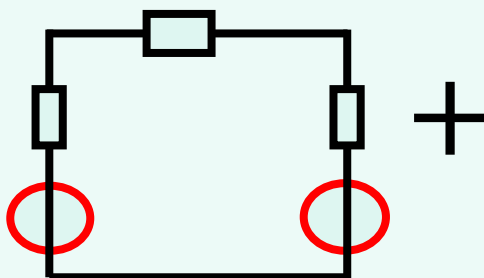
设：  $I_3 = I_3' + I_3''$

则：  $P_3 = I_3^2 R_3 = (I_3' + I_3'')^2 R_3$   
 $\neq (I_3')^2 R_3 + (I_3'')^2 R_3$

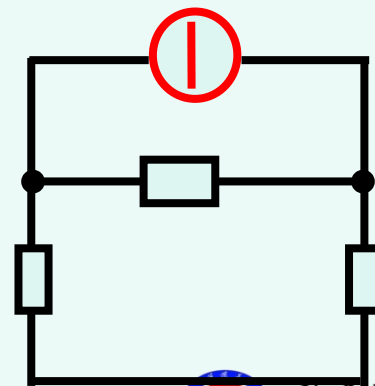
5. 运用叠加定理时也可以把电源分组求解，每个分电路的电源个数可能不止一个。



=



+

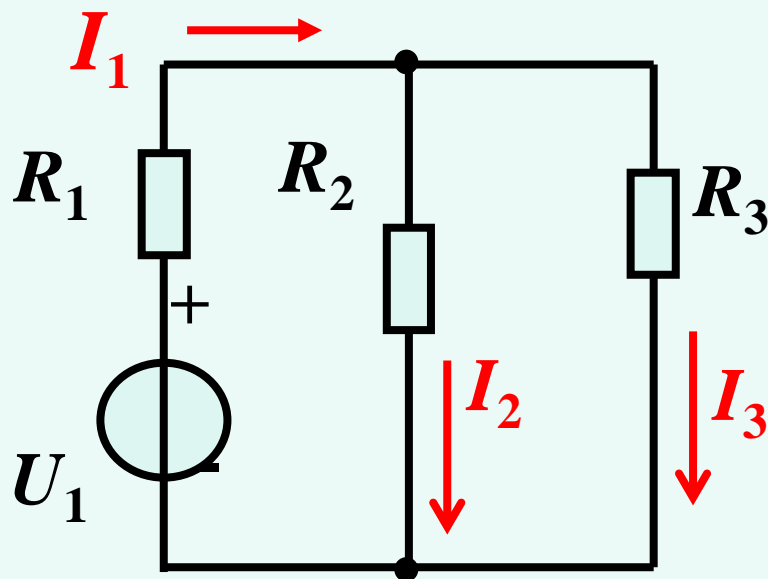


石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University



# 齐次性定理

线性电路中独立电源同时增大或缩小 $K$ 倍时，电路中的各支路电压和各支路电流也同时增大或缩小 $K$ 倍



若  $U_1$  增加  $n$  倍，各支路电流也会增加  $n$  倍。



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

# 齐次性定理

例

已知  $I_S = 12A$

用齐次性定理求:

$I = ?$   $U = ?$

解: 先假设  $I = 1A$  得

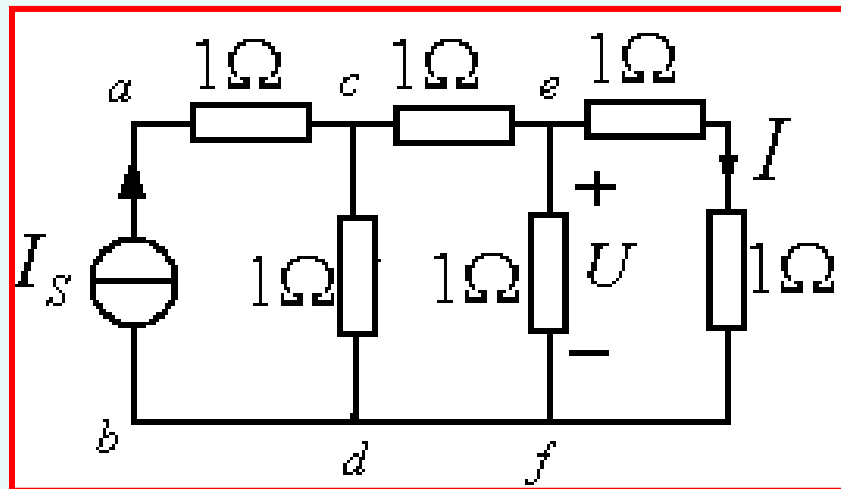
$$U_{ef} = 2V$$

$$I_{ef} = 2A$$

$$I_{ce} = 3A$$

$$U_{cf} = 5V$$

$$I_{ac} = 8A$$



实际  $I_{ac} = I_S = 12A$

所以  $I = \frac{12}{8} \times 1 = 1.5A$

$$U = 2 \times 1.5 = 3V$$



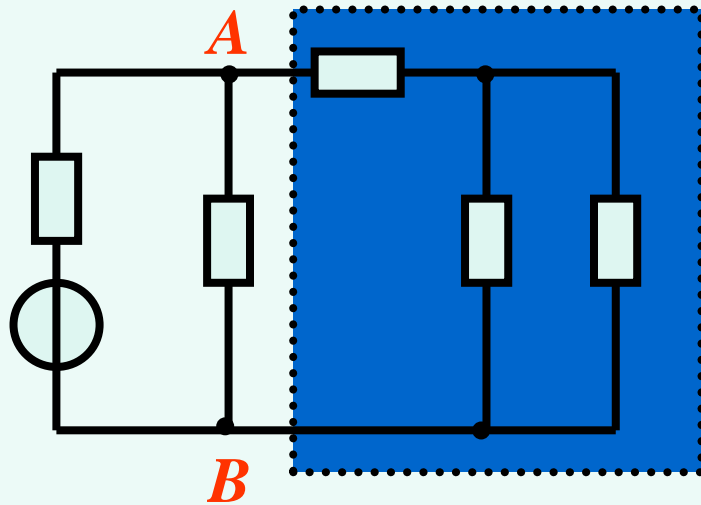
石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

# 2-5戴维南定理

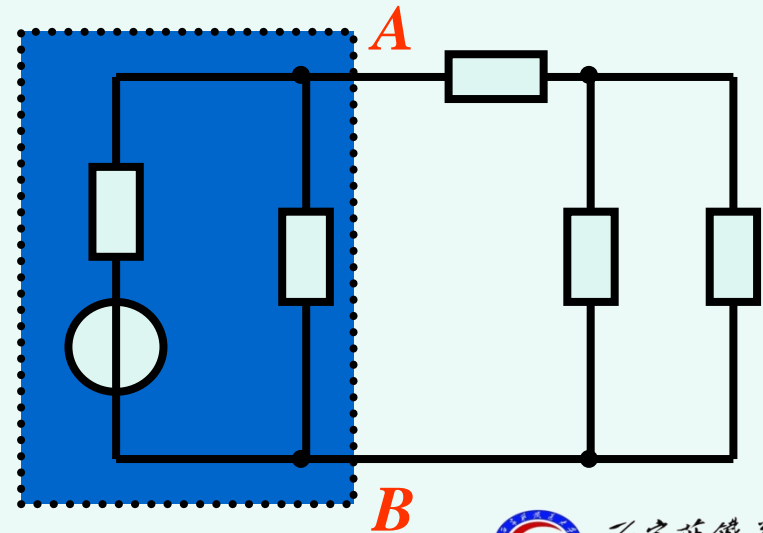
## 一、名词解释：

**二端网络：** 若一个电路只通过两个端子与外电路相联，则该电路称为“二端网络”。

**无源二端网络：**  
二端网络中没有电源



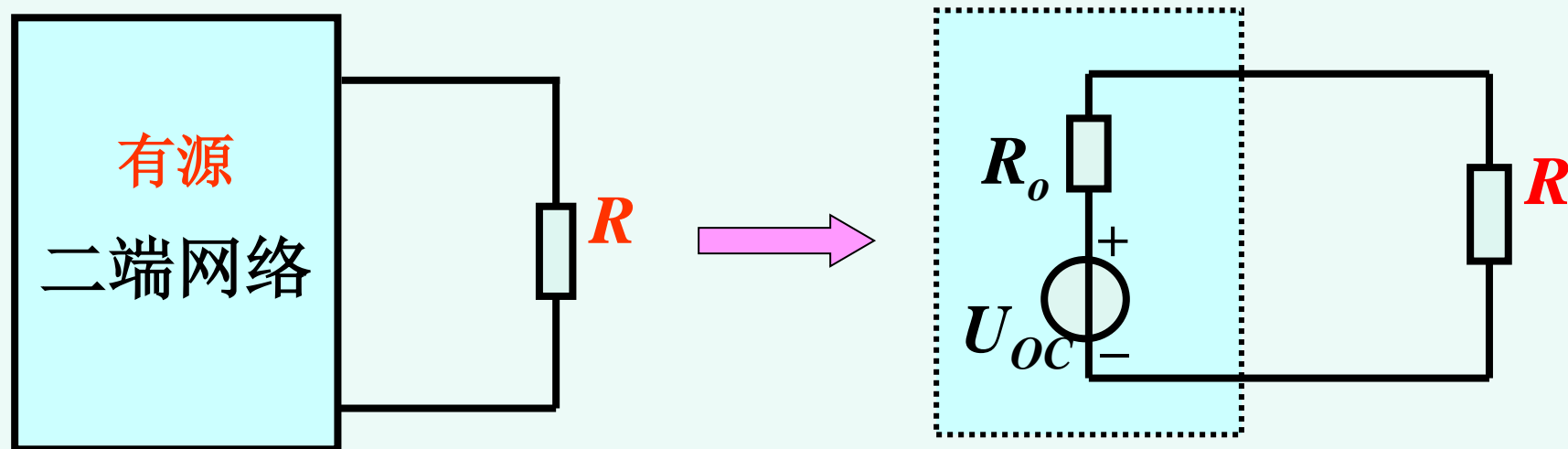
**有源二端网络：**  
二端网络中含有电源



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

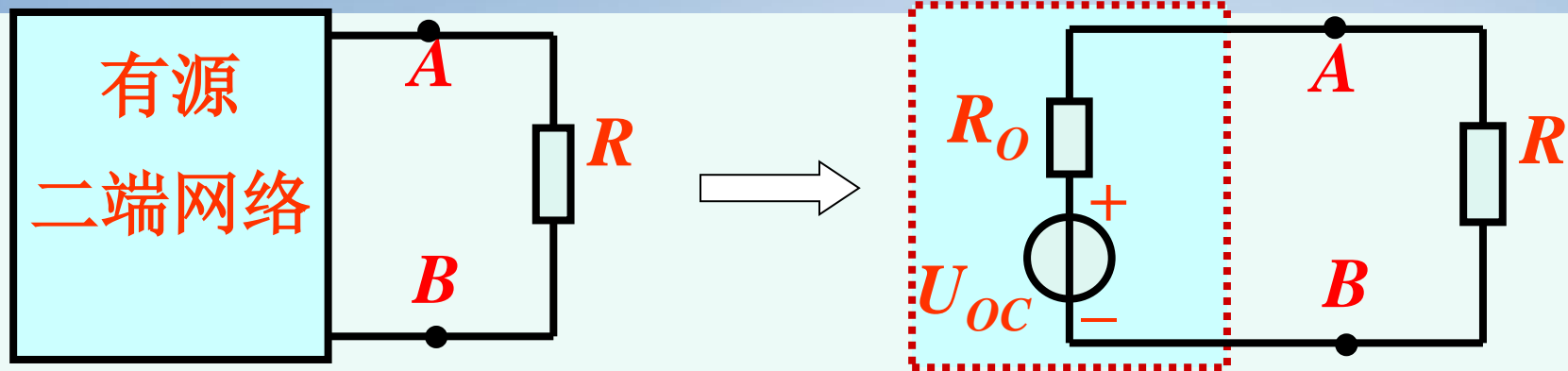
## 2.5.1 戴维南定理

对于任意**线性有源**二端网络都可以用一个**理想电压源**和**电阻**的串联形式来等效。

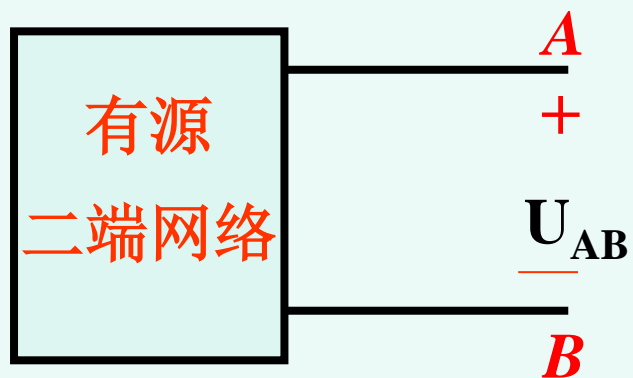


注意：“等效”前后与外电路相联部分的电压和电流相同

## 2.5.1 戴维南定理

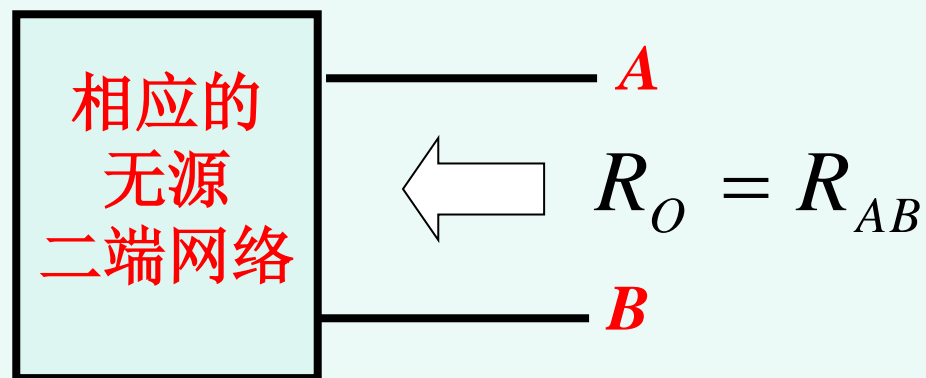


等效电压源的电压 ( $U_{OC}$ ) 等于有源二端网络的开路电压



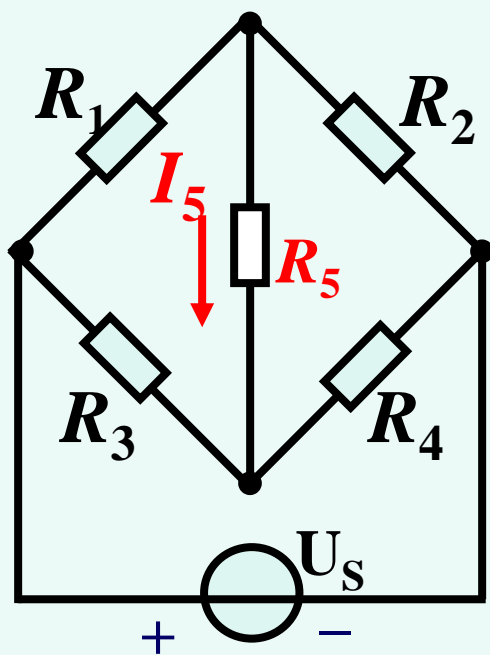
$$U_{OC} = U_{AB}$$

等效电压源的内阻等于有源二端网络的输入电阻 (电压源短路, 电流源断路)



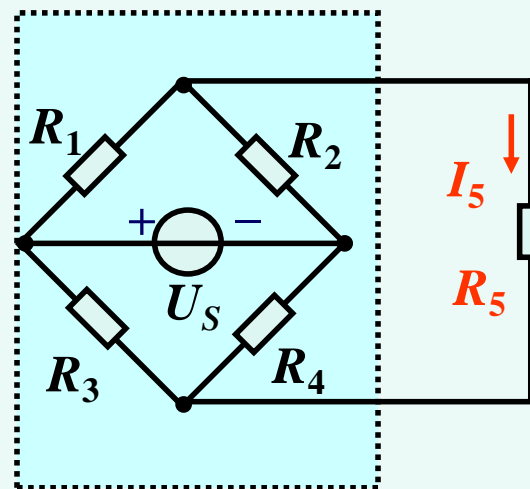
石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

# 戴维南定理应用举例 (一)

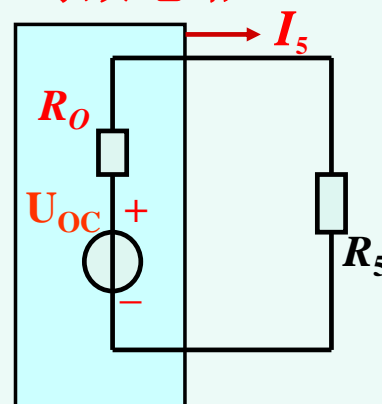


已知:  $R_1=20\ \Omega$ 、 $R_2=30\ \Omega$   
 $R_3=30\ \Omega$ 、 $R_4=20\ \Omega$   
 $U_S=10V$

求: 当  $R_5=10\ \Omega$  时,  $I_5=?$



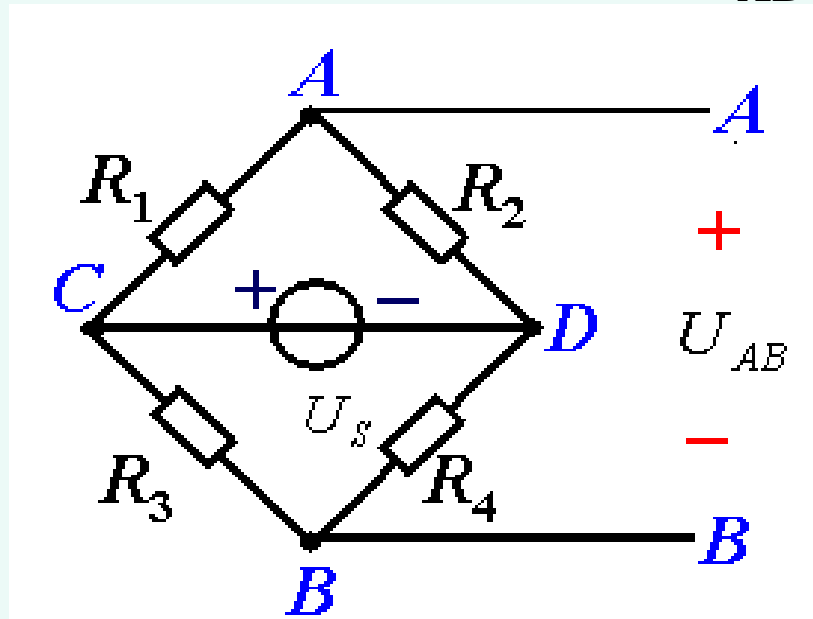
等效电路



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

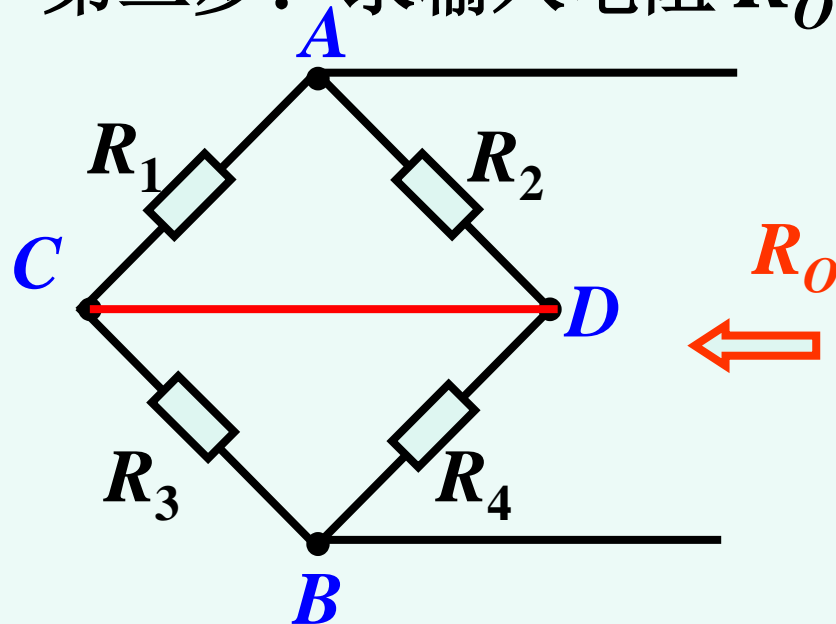
# 戴维南定理应用举例 (一)

第一步：求开路电压  $U_{AB}$



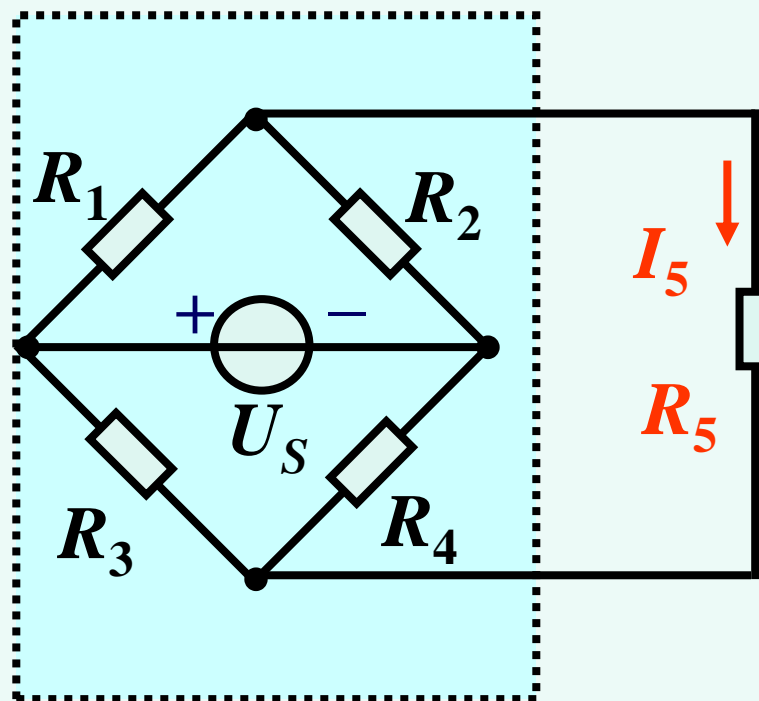
$$\begin{aligned} U_{AB} &= U_{AD} + U_{DB} \\ &= U_s \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_s \frac{R_4}{R_3 + R_4} \\ &= 2V \end{aligned}$$

第二步：求输入电阻  $R_O$

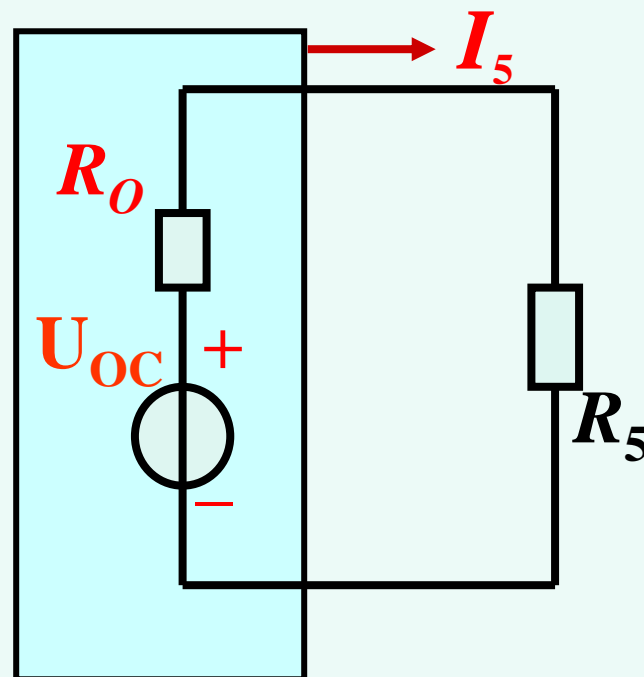


$$\begin{aligned} R_O &= R_1 // R_2 + R_3 // R_4 \\ &= 20 // 30 + 30 // 20 \\ &= 24\Omega \end{aligned}$$

# 戴维南定理应用举例 (一)



等效电路

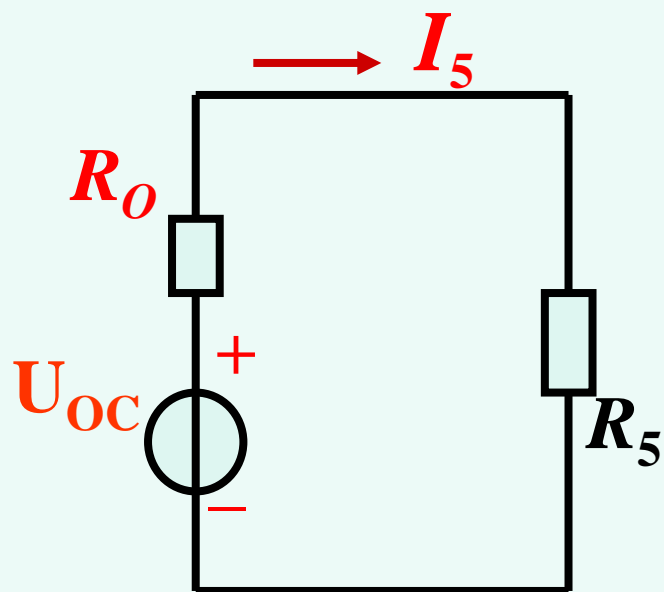


$$U_{OC} = U_{AB} = 2V$$
$$R_O = 24\Omega$$



# 戴维南定理应用举例 (一)

第三步：求未知电流  $I_5$



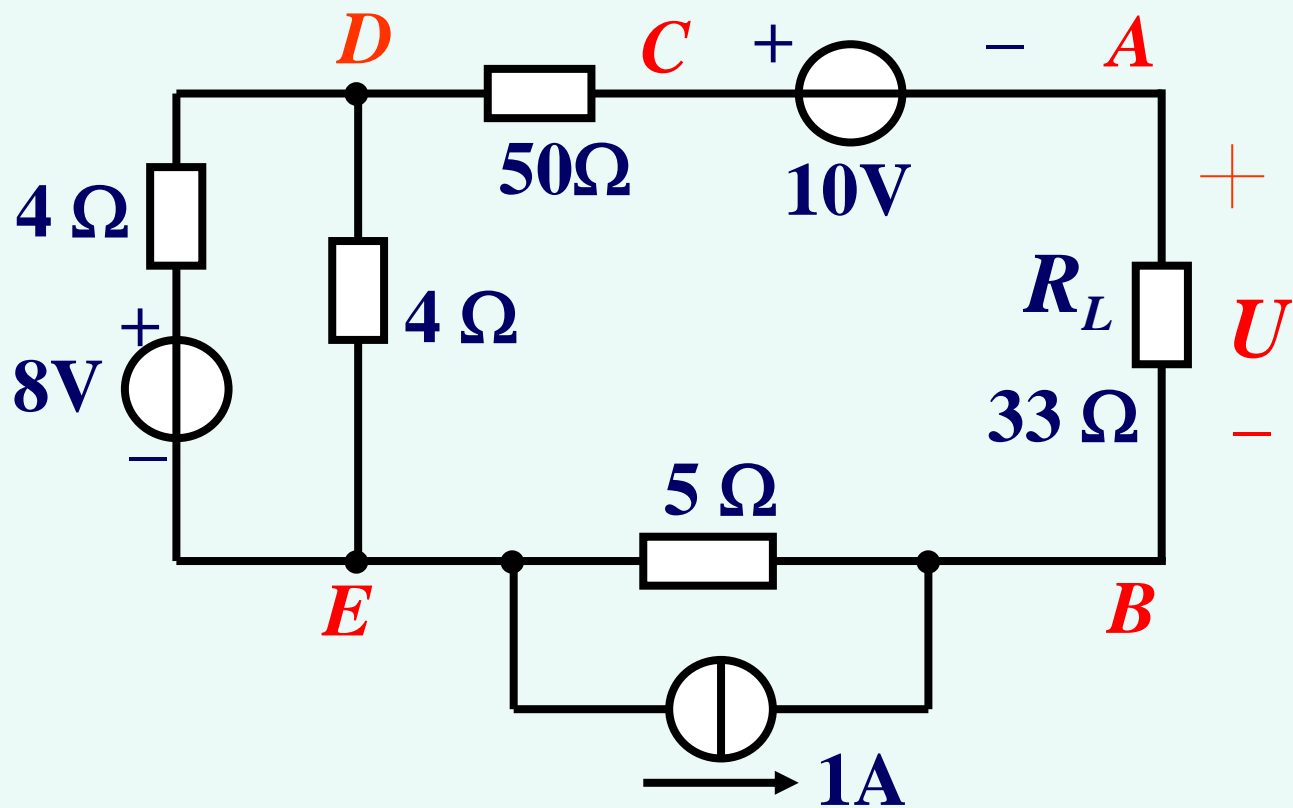
$$U_{OC} = U_{AB} = 2V$$

$$R_o = 24\Omega$$

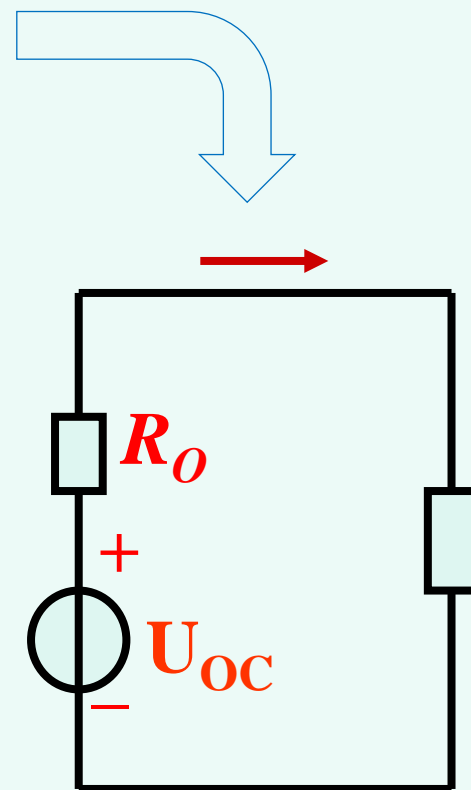
$$R_5 = 10\Omega \quad \text{时}$$

$$I_5 = \frac{U_{OC}}{R_o + R_5} = \frac{2}{24 + 10} = 0.059A$$

# 戴维南定理应用举例 (二)



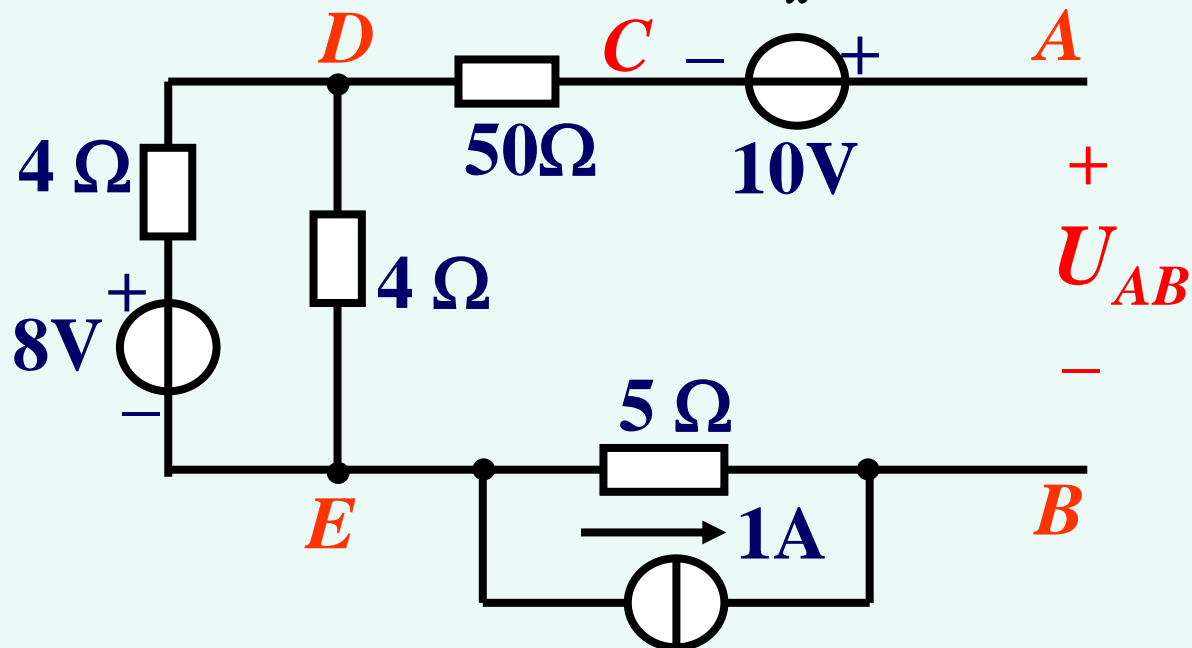
求:  $U=?$



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

# 戴维南定理应用举例（二）

第一步：求开路电压 $U_x$ 。



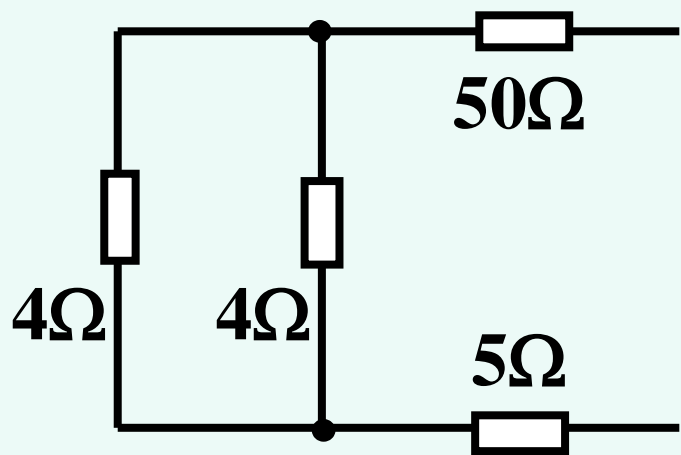
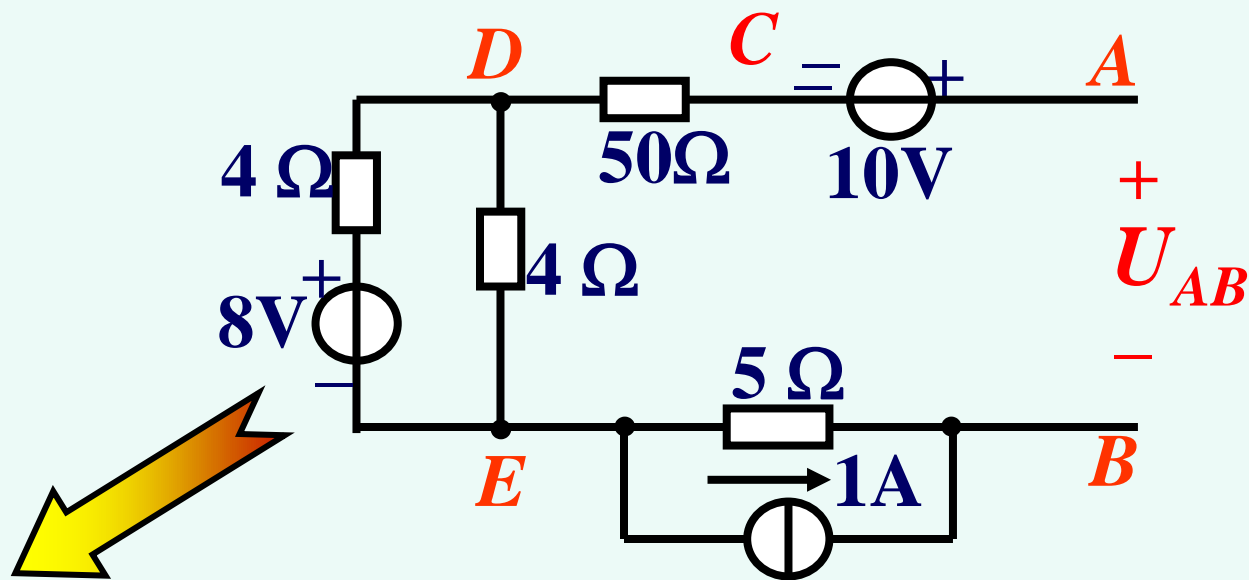
$$\begin{aligned} U_{AB} &= U_{AC} + U_{CD} + U_{DE} + U_{EB} \\ &= 10 + 0 + 4 - 5 \\ &= 9V \end{aligned}$$



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

# 戴维南定理应用举例（二）

第二步：  
求输入电阻  $R_0$ 。



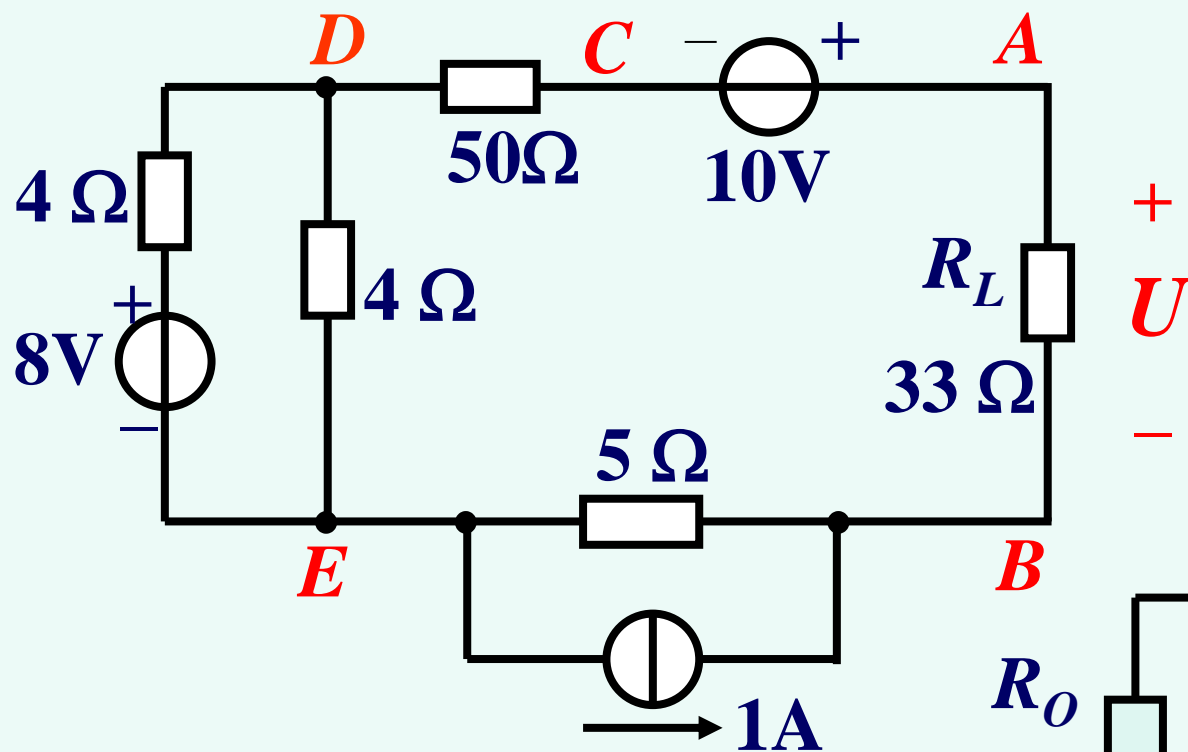
$$R_0 = 50 + 4 // 4 + 5 = 57\Omega$$

$R_0$

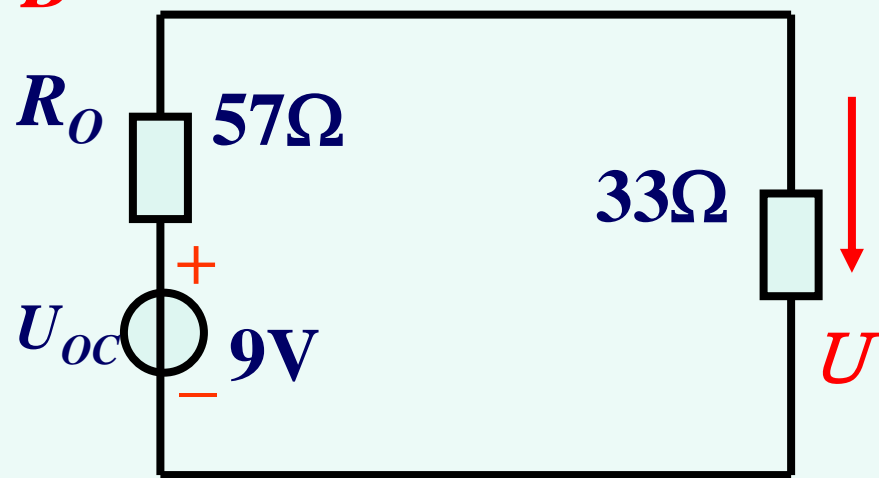


石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

# 戴维南定理应用举例（二）



等效电路



$$U = \frac{9}{57 + 33} \times 33 = 3.3 \text{ V}$$



石家庄铁道大学  
Shijiazhuang Tiedao University

# 第二章

# 结 束

石家庄铁道学院

电工基础教研室

电工  
电子学