




# 第1章

## 直流电路



# 第1章 直流电路

1.1 电路与电路模型

1.2 电流,电压,电位

1.3 电功率

1.4 电阻元件

1.5 电压源与电流源

1.6 基尔霍夫定律

1.7 简单的电阻电路

1.8 支路电流分析法

1.9 节点电位分析法

1.10 叠加原理

1.11 等效电源定理

1.12 含受控电源的电阻电路

电路的基本概念

电路的基本  
分析方法

### 三、理想电源的串并联化简

1、多个恒压源的串联  $\longrightarrow$  可以用一个等效的恒压源来代替

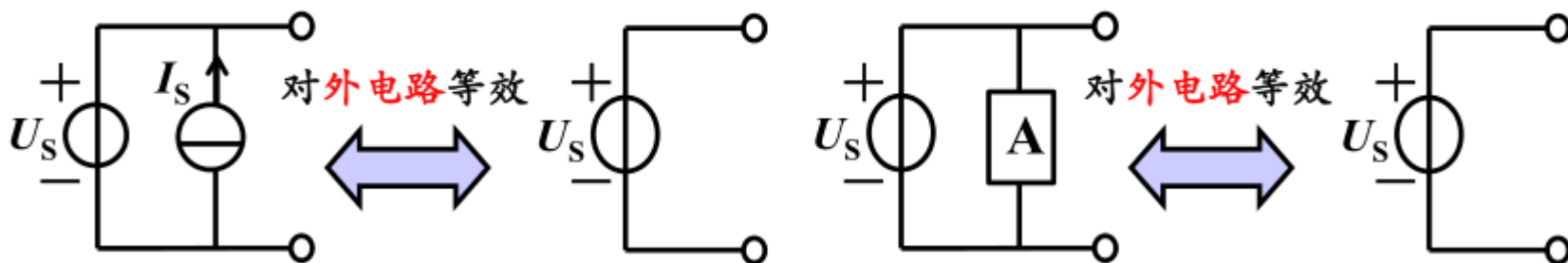
2、多个恒压源的并联  $\times$       多个实际电压源的并联  $\checkmark$

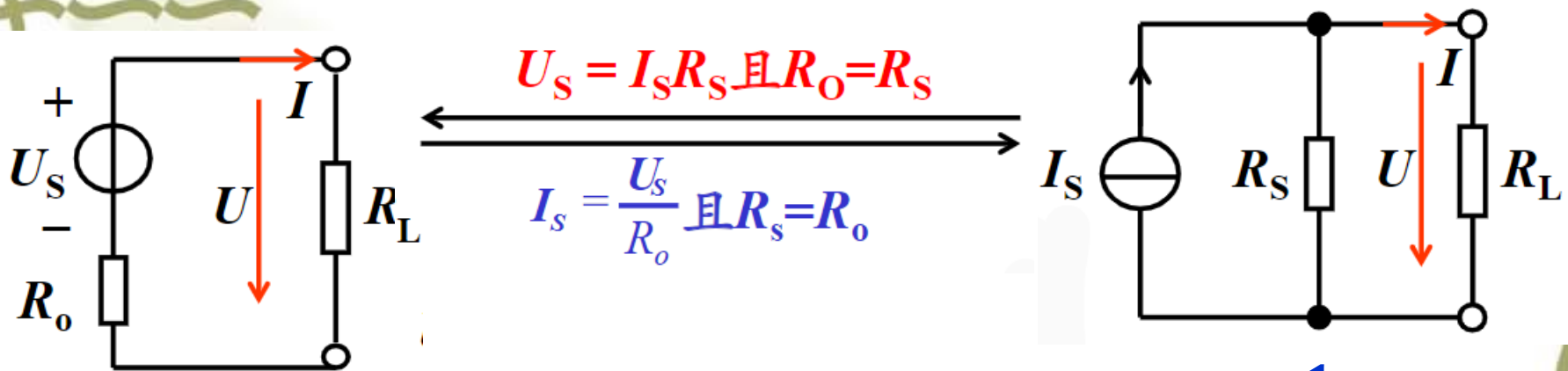
3、多个恒流源的并联  $\longrightarrow$  可以用一个等效的恒流源来代替

4、多个恒流源的串联  $\times$       多个实际电流源的串联  $\checkmark$

5、恒压源与恒流源的串联  $\longrightarrow$  可以用一个恒流源等效

6、恒压源与恒流源的并联  $\longrightarrow$  可以用一个恒压源来等效代替





$$U = U_S * \frac{R_L}{R_L + R_0}$$

$$U = I_S * \frac{1}{1/R_L + 1/R_S}$$

$$= I_S * \frac{R_S * R_L}{R_L + R_S}$$

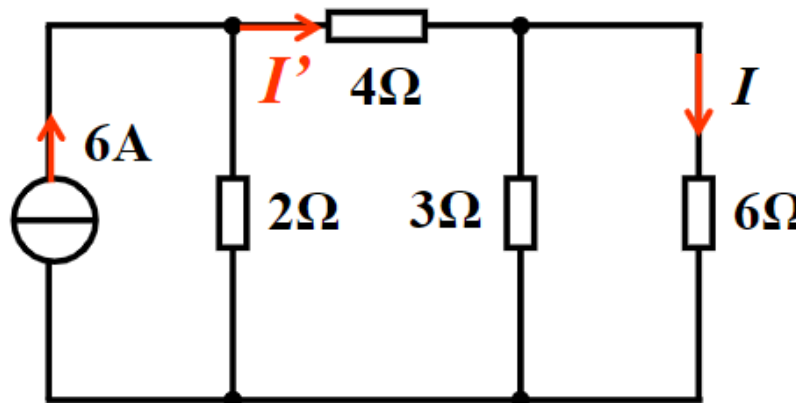
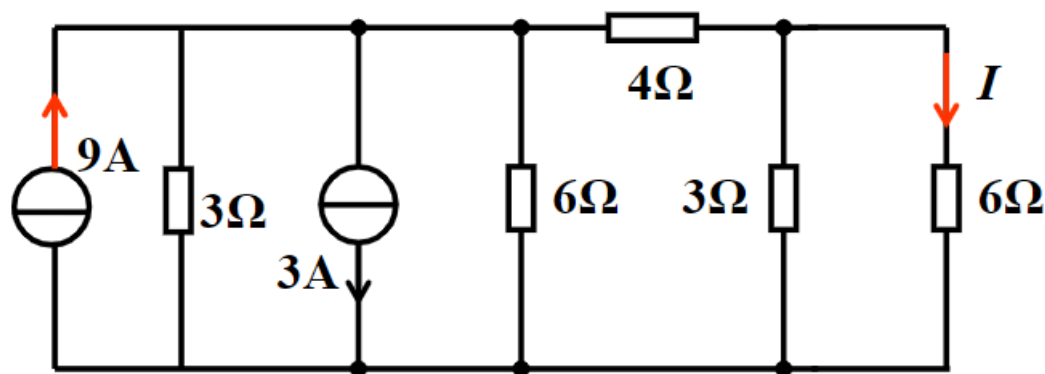
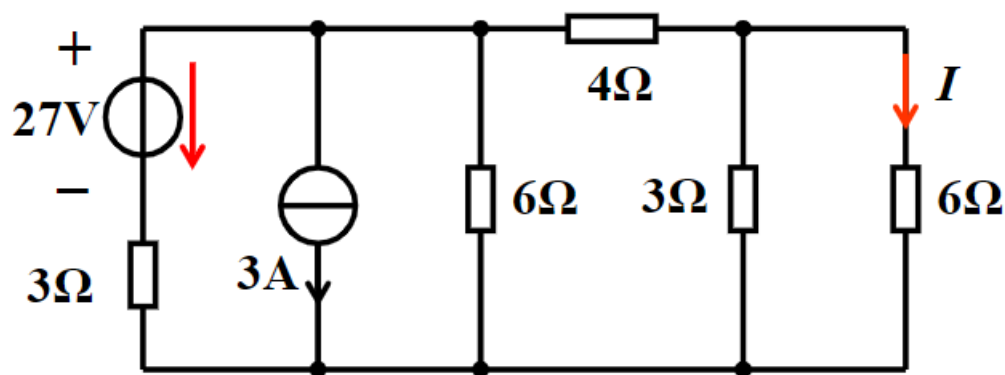
$$= I_S * R_S \frac{R_L}{R_L + R_S}$$

电源等效变换定理:

如果一个电压源与一个电流源对于同一个负载可以提供相同的输出电压和输出电流，就称这两个电源对于负载（外电路）而言是等效的，可以相互置换，而不影响外电路的工作状态。

例题：利用电源等效变换定理求 $I=?$

复杂单电源电路



分流公式：

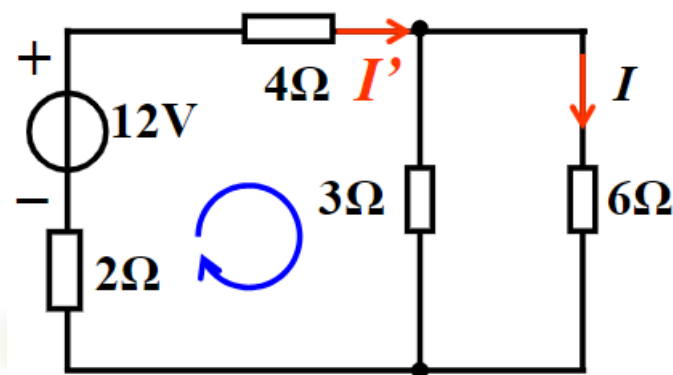
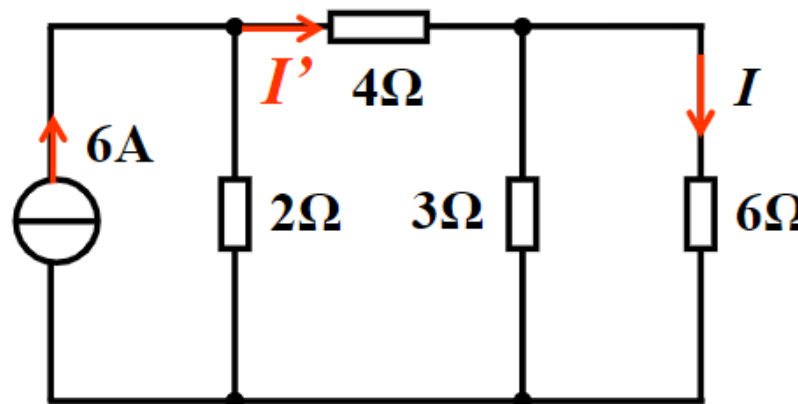
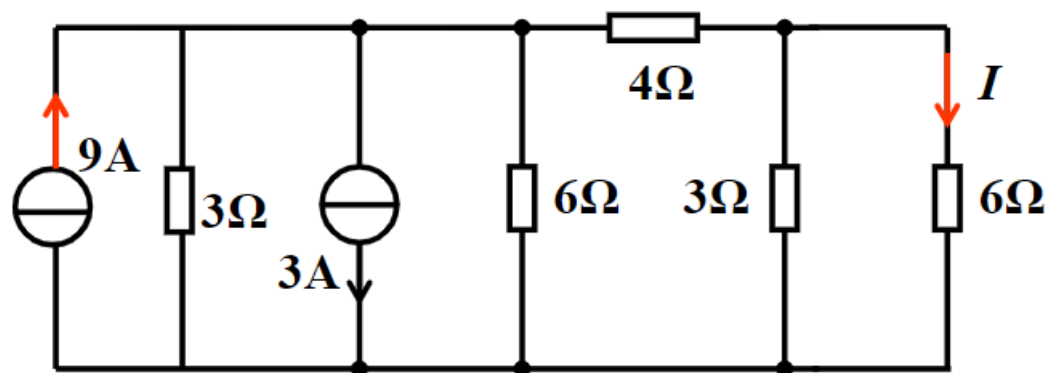
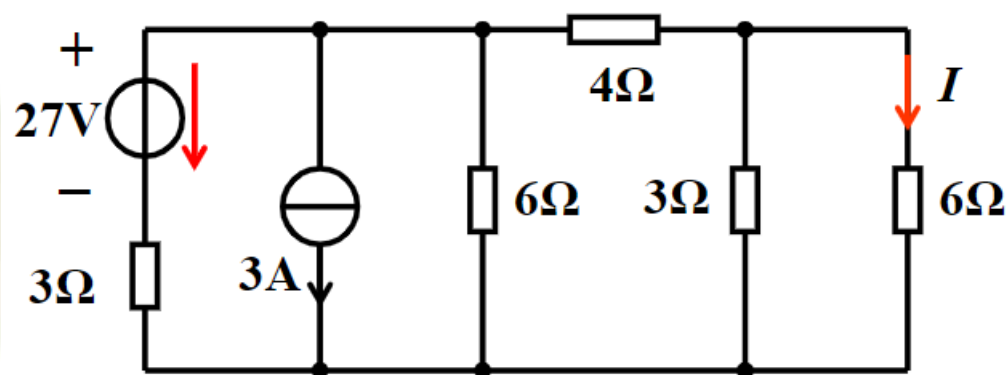
$$I' = \frac{2}{2 + (4 + 3 // 6)} \times 6A$$

$$= 1.5A$$

$$I = \frac{3}{3 + 6} \times I' = 0.5A$$

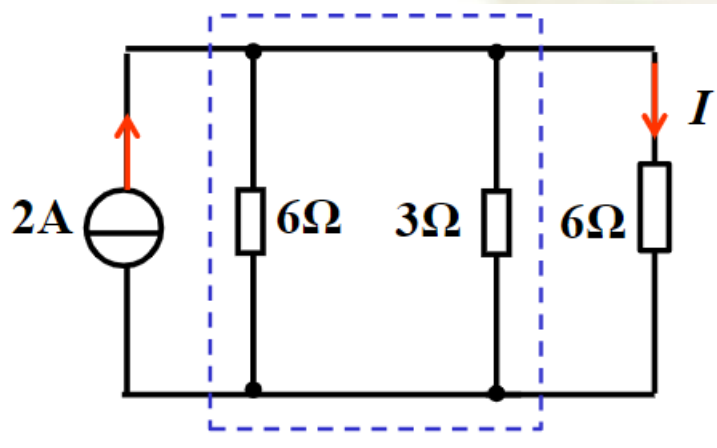
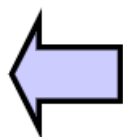
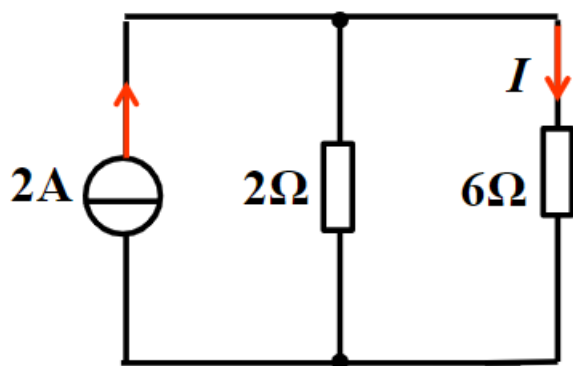
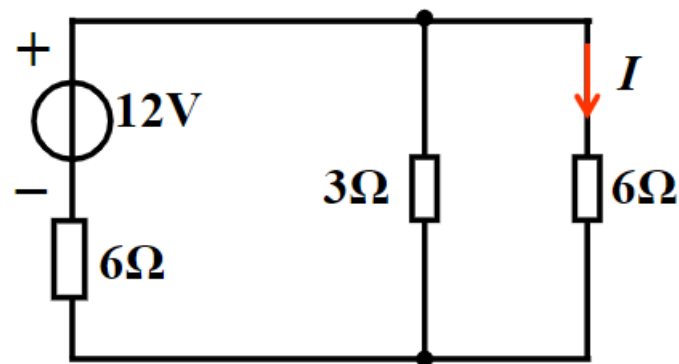
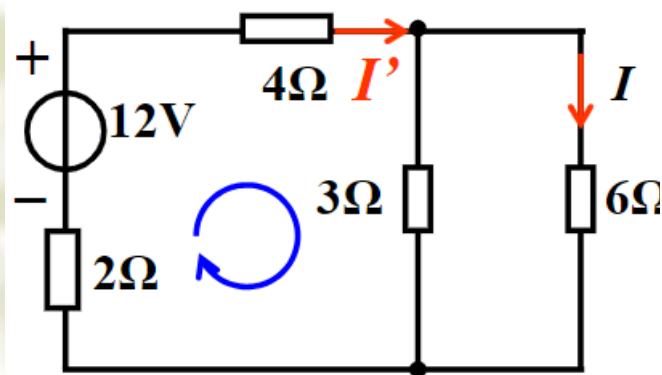
例题：利用电源等效变换定理求 $I=?$

复杂单电源电路





## 复杂单电源电路

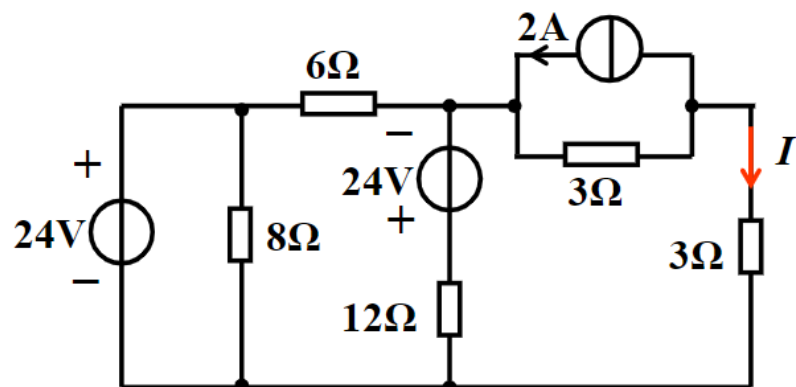


$$I = \frac{2}{2+6} \times 2$$

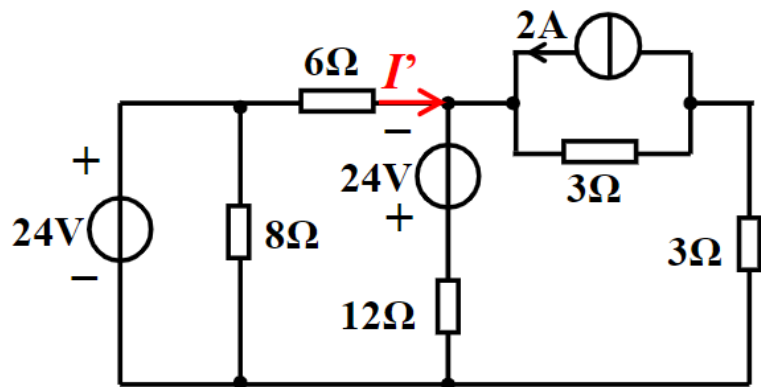
$$= 0.5A$$

每一次变换均不允许动到待求元件。

思考题1：利用电源等效变换定理求 $I$ =?



思考题2：利用电源等效变换定理求 $I'$ =?



作业：1-7, 1-8, 1-12, 1-13



# 第1章 直流电路

1.1 电路与电路模型

1.2 电流,电压,电位

1.3 电功率

1.4 电阻元件

1.5 电压源与电流源

1.6 基尔霍夫定律

1.7 简单的电阻电路

1.8 支路电流分析法

1.9 节点电位分析法

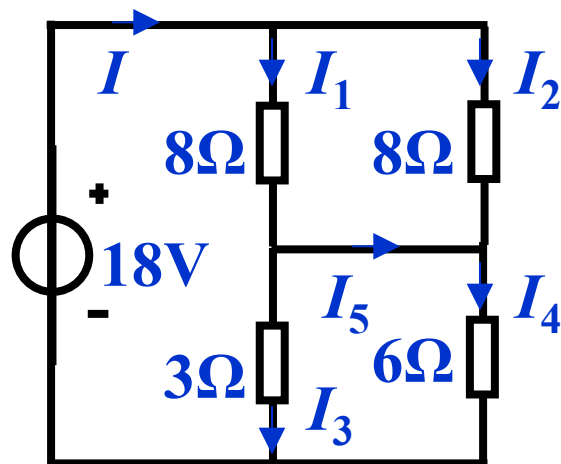
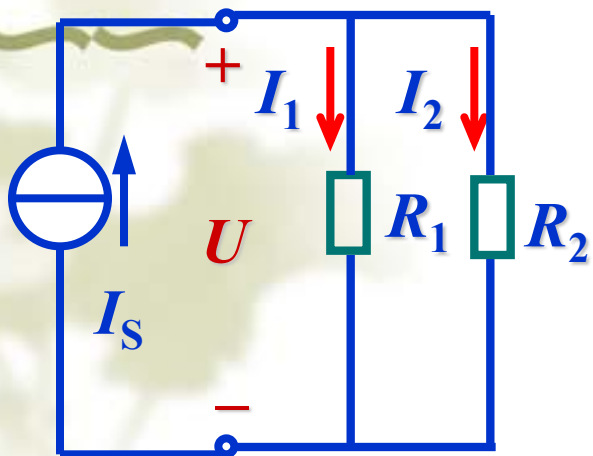
1.10 叠加原理

1.11 等效电源定理

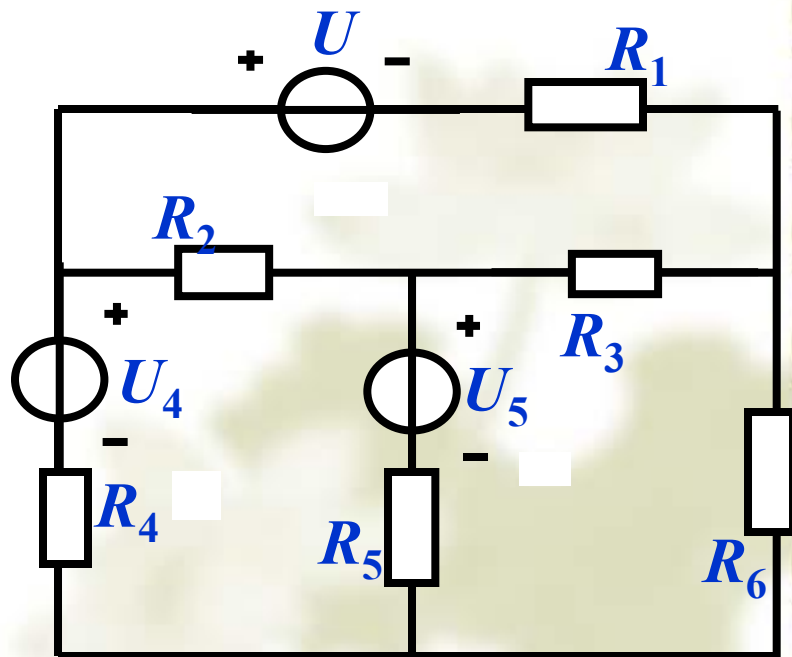
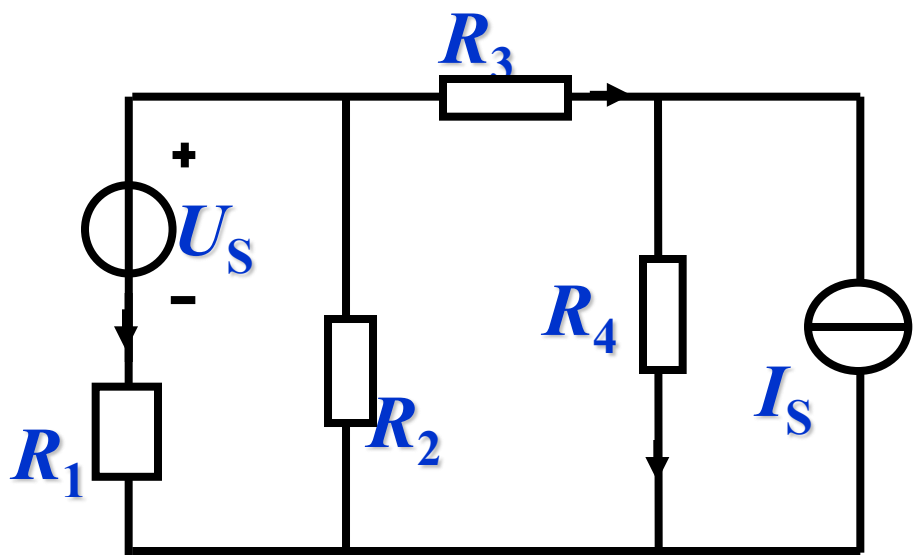
1.12 含受控电源的电阻电路

电路的基本概念

电路的基本  
分析方法



简单的电阻电路



复杂电路，如何分析？

方案：列方程求解

# 1.6

## 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是分析电路的基本定律之一，它包含了两个

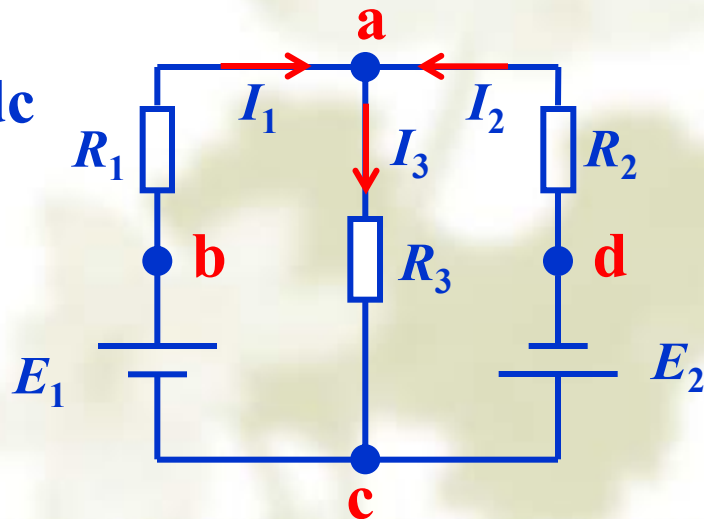
部分的内容：  
—— 基尔霍夫 **电**流定律 (KCL)  
—— 基尔霍夫 **电**压定律 (KVL)

### 一、名词术语

1、支路：由若干个二端元件**串**联组成的**不**分岔的一段电路

① 特点：支路中的所有元件流过**同**一**电**流

② 分类：  
—— 有源支路：abc、adc  
—— 无源支路：ac

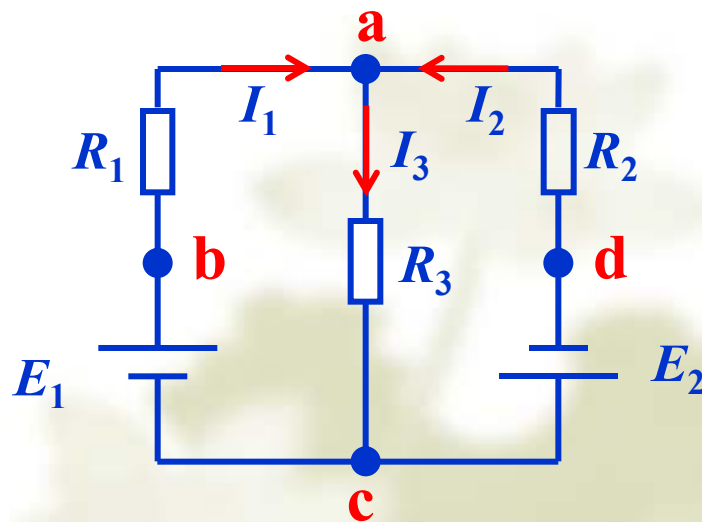


# 1.6 基尔霍夫定律

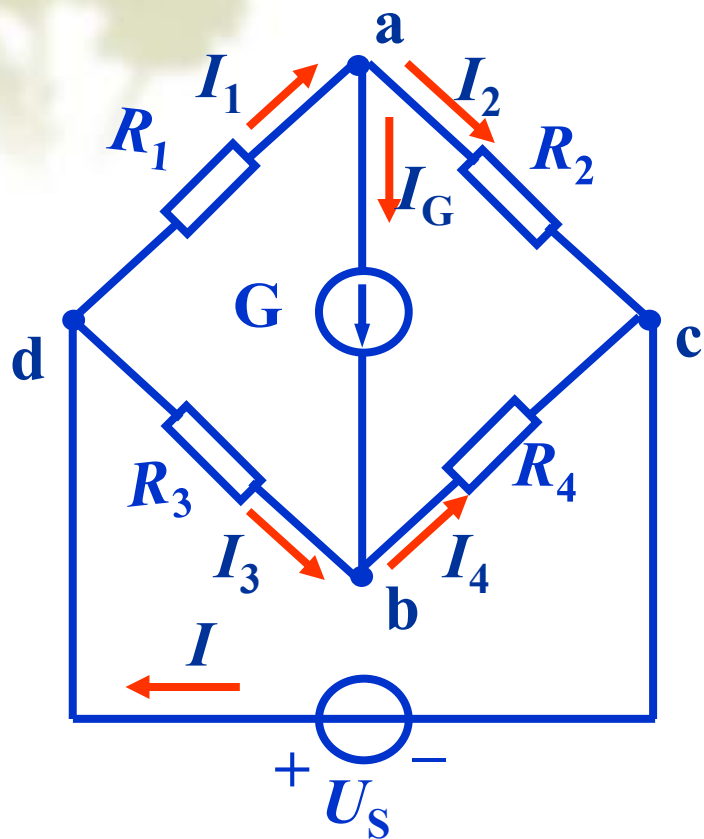
## 一、名词术语

- 1、支路：由若干个二端元件串联组成的不分岔的一段电路
- 2、节点：电路中三条或者三条以上支路的连接点
- 3、回路：电路中任一闭合的路径
- 4、网孔：是一种特殊的回路

内部不包含其他支路的回路



**[例]** 支路、节点、回路？



支路：ab、bc、ca、...  
(共6条)

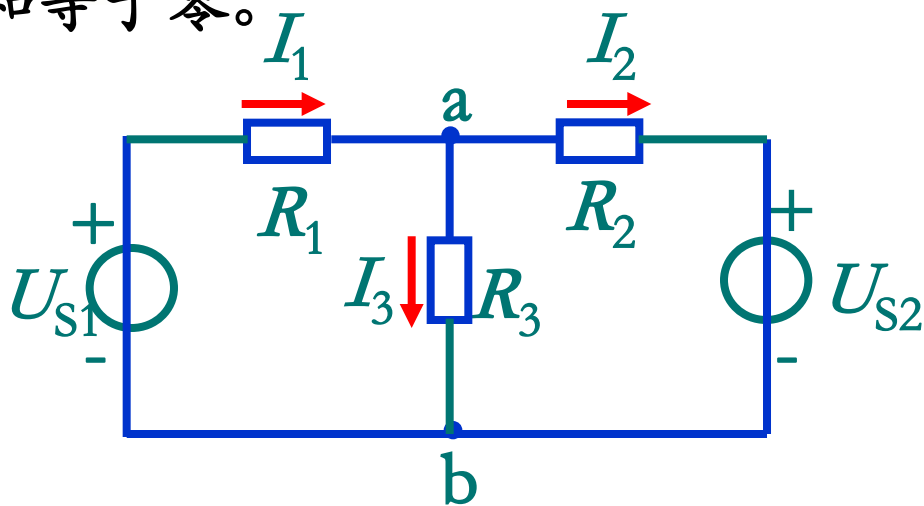
节点：a、b、c、d  
(共4个)

回路：abda、abca、  
adbca ...  
(共7个)

## 1.6.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律又称为基尔霍夫第一定律，简单记为KCL。其表达式为： $\sum I=0$

可以表述为：流出（或流入）任一节点的电流的代数和等于零。



对结点 a:

$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

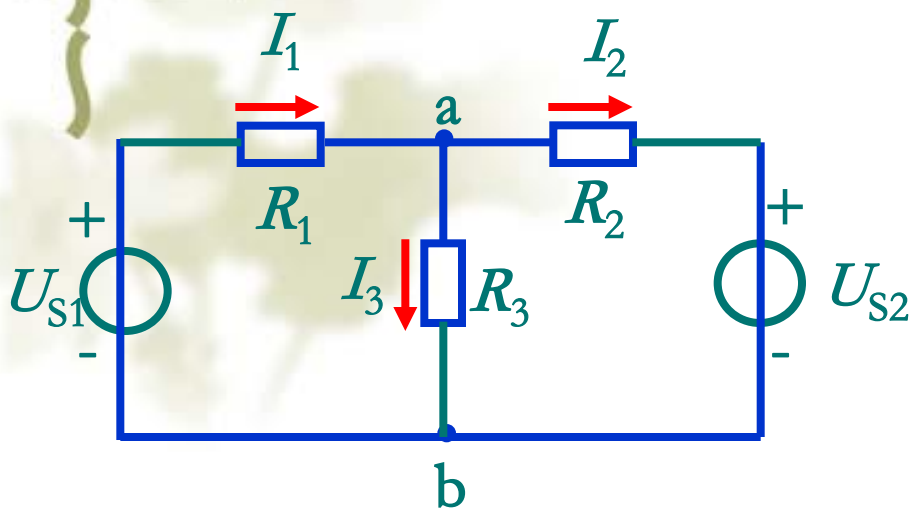
对结点 b:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

**注意点1:**

① 在应用KCL之前，应首先设定各支路电流的参考方向





基尔霍夫电流定律表述2:  
流入任一节点的电流的代数和等于零。

对节点 a:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

对节点 b:

$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

基尔霍夫电流定律表述3: 流入任一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。

对节点 a:  $I_1 = I_2 + I_3$

对节点 b:  $I_2 + I_3 = I_1$

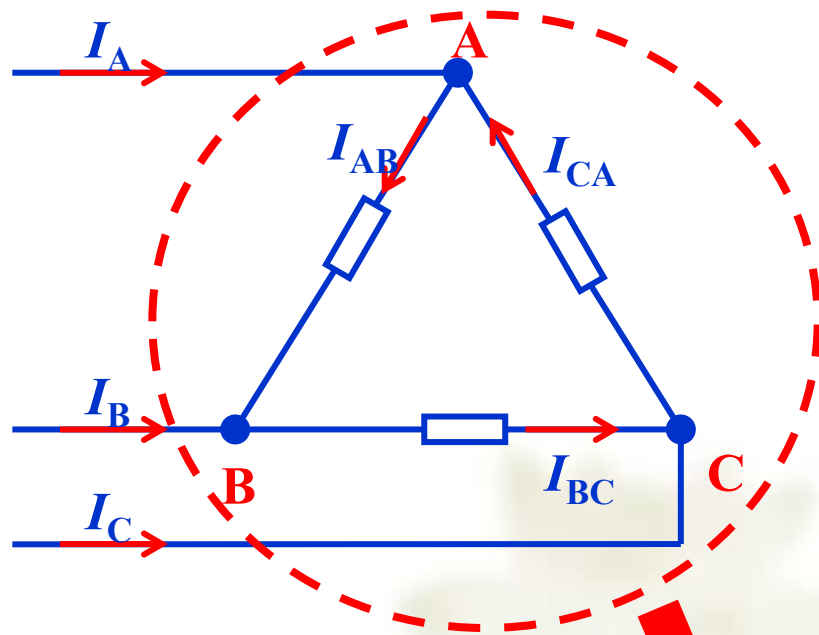
从各个表达式可以看出这几种表述方式是一致的。

**[例]** 求  $I_A + I_B + I_C = ?$

**注意点2:**

基尔霍夫电流定律可以推广应用于包围部分电路的任一**假设的闭合面**。这个假设的闭合面称为**广义节点**。

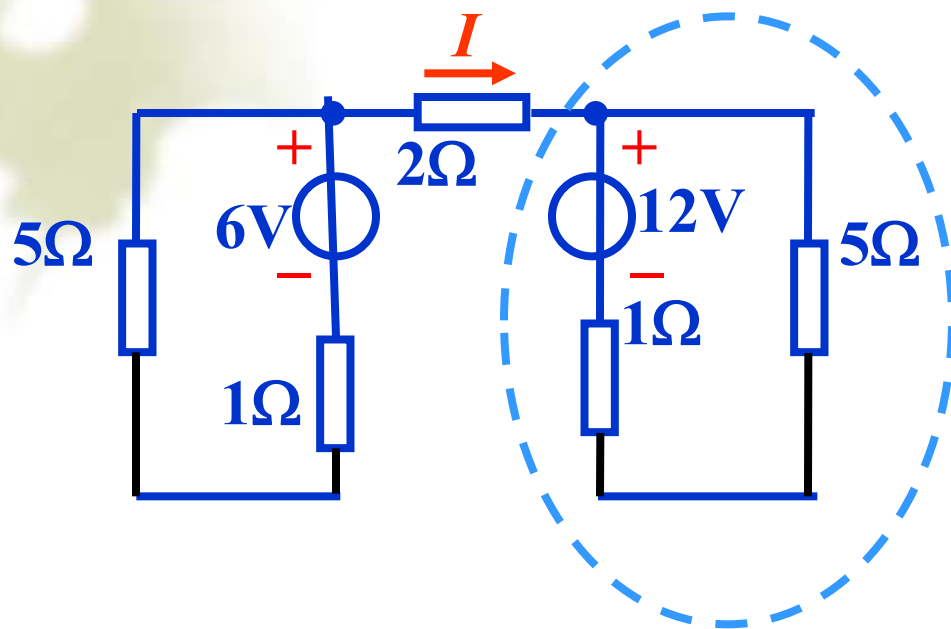
优点：可简化电路的分析。



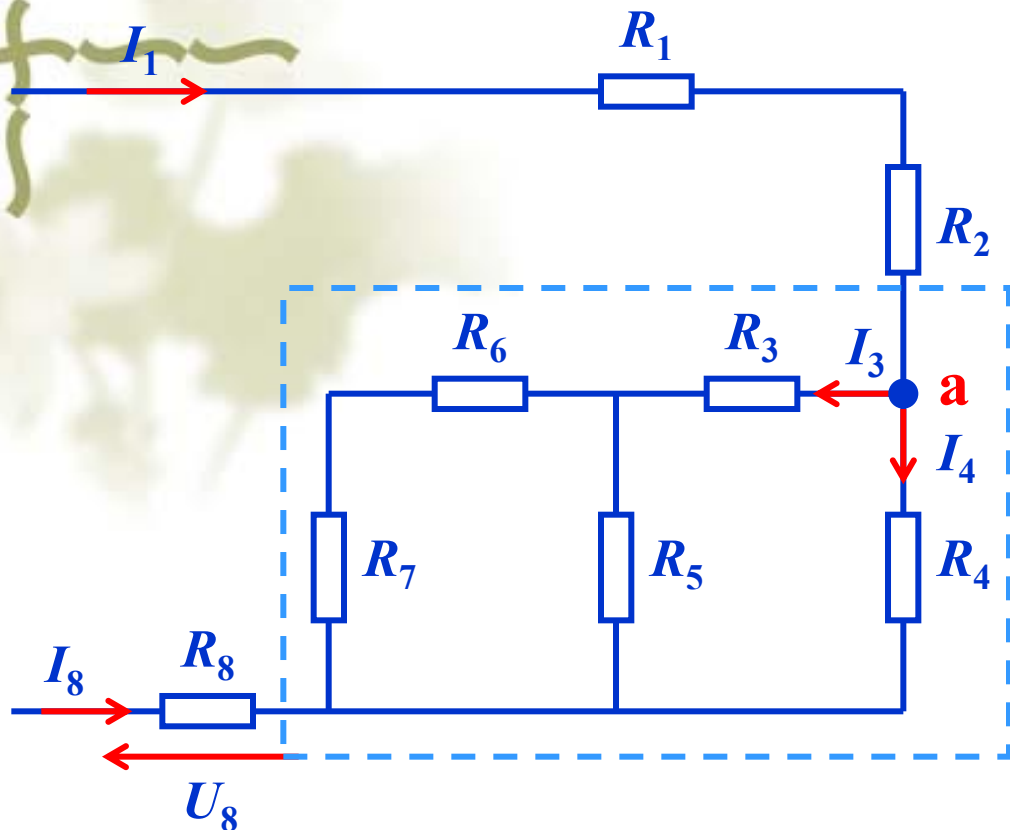
**解**

$$\text{KCL} \left\{ \begin{array}{l} \text{A: } I_A + I_{CA} = I_{AB} \longrightarrow I_A = I_{AB} - I_{CA} \\ \text{B: } I_B + I_{AB} = I_{BC} \longrightarrow I_B = I_{BC} - I_{AB} \\ \text{C: } I_C + I_{BC} = I_{CA} \longrightarrow I_C = I_{CA} - I_{BC} \end{array} \right\} I_A + I_B + I_C = 0$$

例：求电流 $I$ 的大小？



广义节点，然后用 $KCL$ 得 $I = 0$



已知:  $I_3 = -1\text{A}$

$I_4 = 2\text{A}$

$R_8 = 10\Omega$

求:  $U_8 = ?$

→ 广义节点

KCL:  $I_1 + I_8 = 0$

节点a:  $I_1 = I_3 + I_4 = 1\text{A}$

$I_8 = -1\text{A}$

$\therefore U_8$  和  $I_8$  的参考方向相反

$\therefore U_8 = -I_8 R_8 = 10\text{V}$

## 1.6.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律：在同一节点，流进去的电流之和等于流出电流之和。

### 注意点1:

① 在应用KCL之前，应首先设定各支路电流的参考方向

### 注意点2:

基尔霍夫电流定律可以推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面。这个假设的闭合面称为广义节点。

优点：可简化电路的分析。

## 1.6.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律又称为基尔霍夫第二定律，简单记为 KVL。其表达式为： $\sum U = 0$

此定律表明：沿任一闭合回路绕行一周，各支路电压的代数和为零。

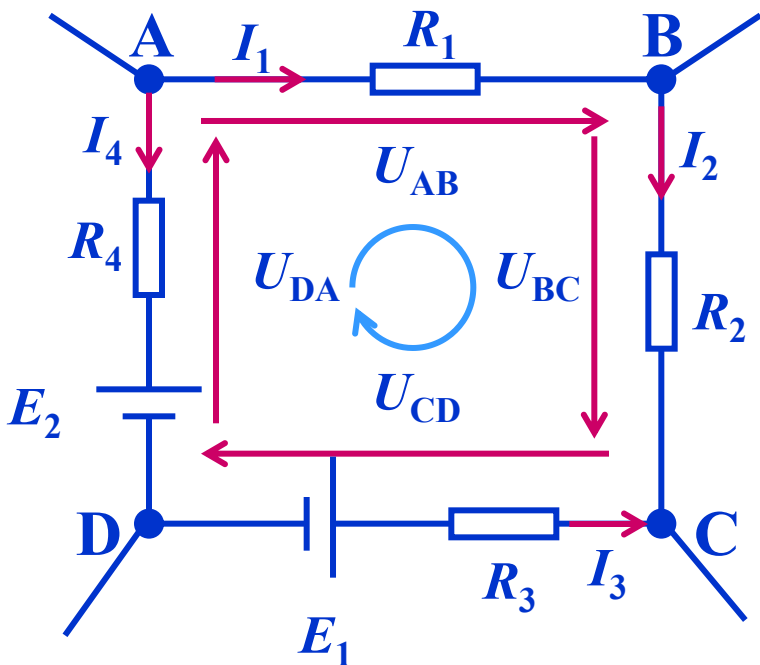
建议选择顺时针作为绕行方向

问题： $U_{AB}$ 、 $U_{BC}$ 、 $U_{CD}$ 、 $U_{DA}$  关系？

$$\text{KVL: } U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$$

参考方向与绕行方向相同时，电压取“+”

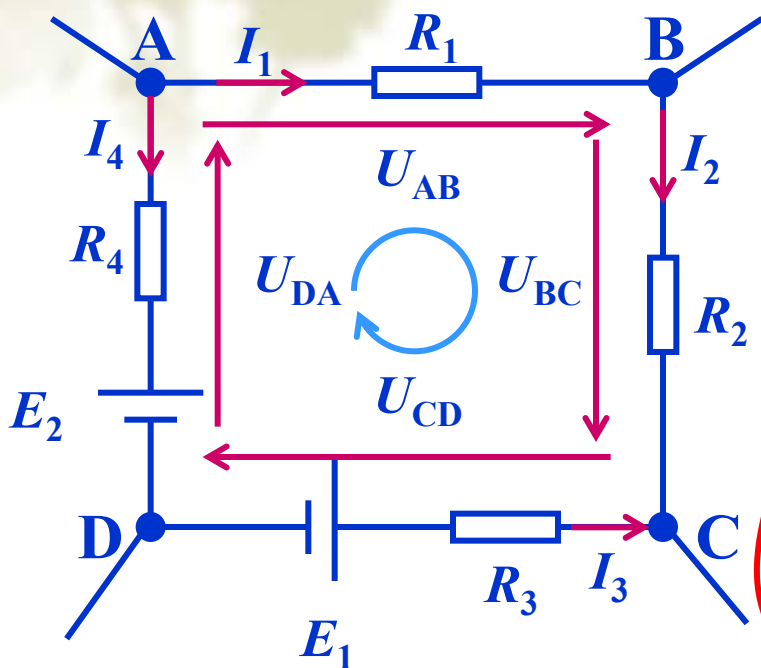
参考方向与绕行方向相反时，电压取“-”





## 1.6.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)

用途：列出回路上各个元件电压之间的关系。



问题：  $U_{AB}$ 、 $U_{BC}$ 、 $U_{CD}$ 、 $U_{DA}$  关系？

$$\text{KVL: } U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$$

$$U_{AB} = I_1 R_1$$

$$U_{BC} = I_2 R_2$$

$$U_{CD} = -I_3 R_3 + E_1$$

$$U_{DA} = -I_4 R_4 - E_2$$

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 + E_1 - I_4 R_4 - E_2 = 0$$

$U$ ， $I$ ：参考与绕行相同，取“+”

参考与绕行相反，取“-”

## 1.6.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)

总结：列KVL方程的步骤：

- ① 应首先设定回路内电压或电流的参考方向
- ② 任意选定一个回路的绕行方向（顺时针）列分段电压方程
- ③ 当 $U$ 或 $I$ 的参考方向与绕行方向相同时，取“+”  
当 $U$ 或 $I$ 的参考方向与绕行方向相反时，取“-”

**注意点：** KVL不仅适用于电路中的回路，还可以推广应用于开口电路

【例1-2】 图1-17,  $U_{s1}=20V$ ,  $U_{s2}=5V$ ,  $U_{s3}=12V$ ,  $R_2=5\Omega$ ,  $R_3=4\Omega$ ,  $I_{s4}=2A$ , 求电流  $I_1, I_2, I_3$ 。

解:首先选定回路1、回路2,并设定其绕行方向,如图1-23中虚线所示。

对回路1 按KVL列方程  $R_2 I_2 + U_{s2} - U_{s1} = 0$

求解得

$$I_2 = \frac{U_{s1} - U_{s2}}{R_2} = \frac{20 - 5}{5} = 3A$$

对回路2按KVL列方程  $R_3 I_3 - U_{s3} - U_{s1} = 0$

求解得

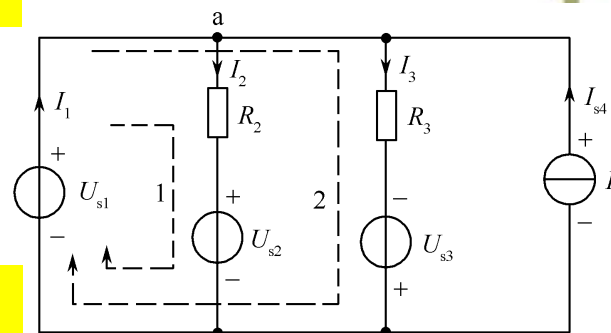
$$I_3 = \frac{U_{s1} + U_{s3}}{R_3} = \frac{20 + 12}{4} = 8A$$

对节点a, 按KCL列方程

$$-I_1 + I_2 + I_3 - I_{s4} = 0$$

求解得

$$I_1 = I_2 + I_3 - I_{s4} = 3 + 8 - 2 = 9A$$



**注意点：** KVL不仅适用于电路中的回路，还可以推广应用于开口电路

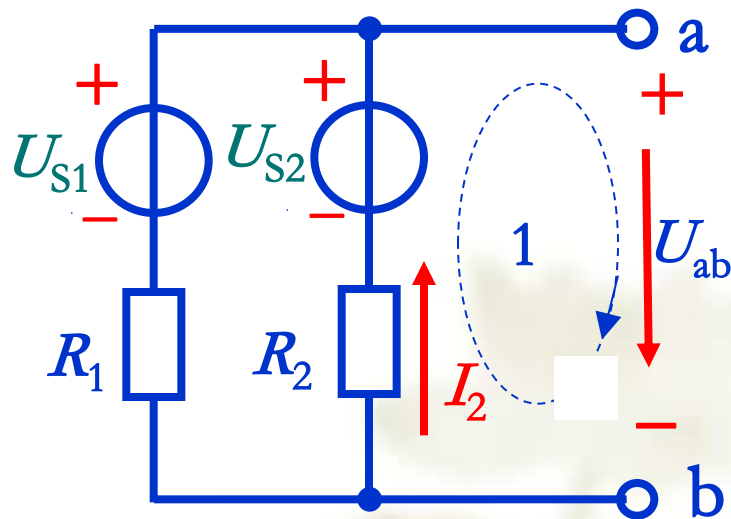
以图中回路1为例：

- ① 设定各段电压的参考方向
- ② 选定回路的绕行方向(顺时针)
- ③  $R_2 I_2 - U_{S2} + U_{ab} = 0$

↓

$$U_{ab} = U_{S2} - R_2 I_2$$

这表明两点之间的电压与路径无关。在有些情况下，利用这一点可以比较方便的计算两点之间的电压。

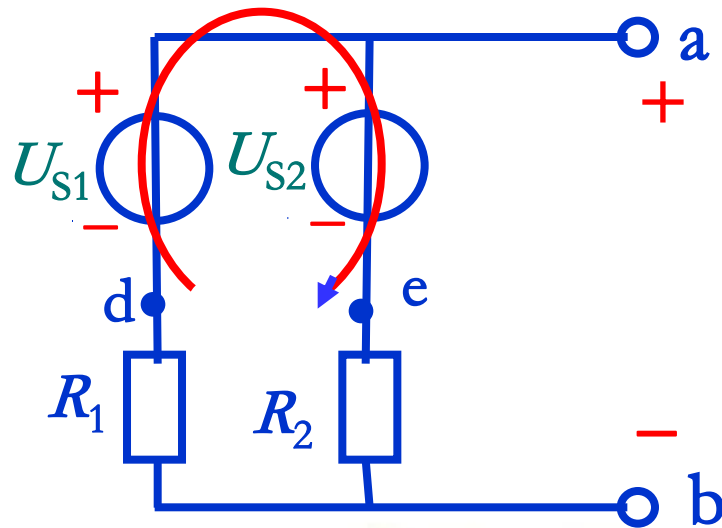


[例] 右图中  $U_{S1}=12V$ ,  
 $U_{S2}=8V$ 。求  $U_{de}$ ?

解：两点之间电压与路径  
无关，沿图示路径计算电压  $U_{de}$

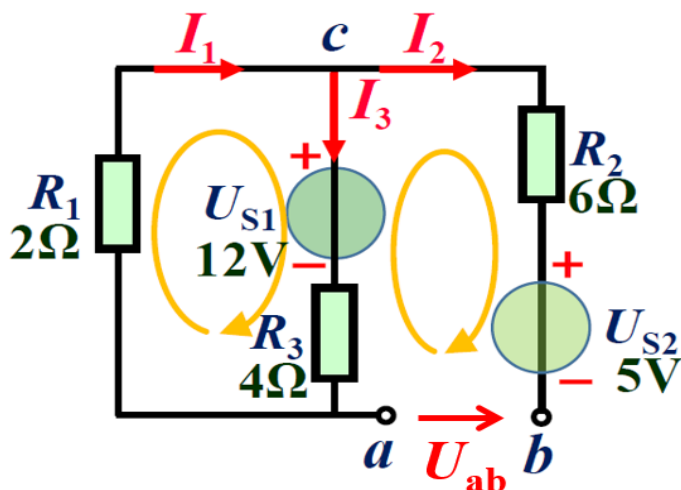
$$-U_{S1} + U_{S2} - U_{de} = 0$$

$$\begin{aligned} U_{de} &= -U_{S1} + U_{S2} \\ &= -12 + 8 \\ &= -4(V) \end{aligned}$$



## 例2

图示电路中，求端口开路电压  $U_{ab}$ 。



**注意：**  $\because I_2=0 \quad \therefore I_1=I_3 \rightarrow$  对左边回路用KVL进行求解

$$U_{S1} + I_3 R_3 + I_1 R_1 = 0 \rightarrow U_{S1} + I_3 R_3 + I_3 R_1 = 0 \rightarrow I_3 = -2\text{A} = I_1$$

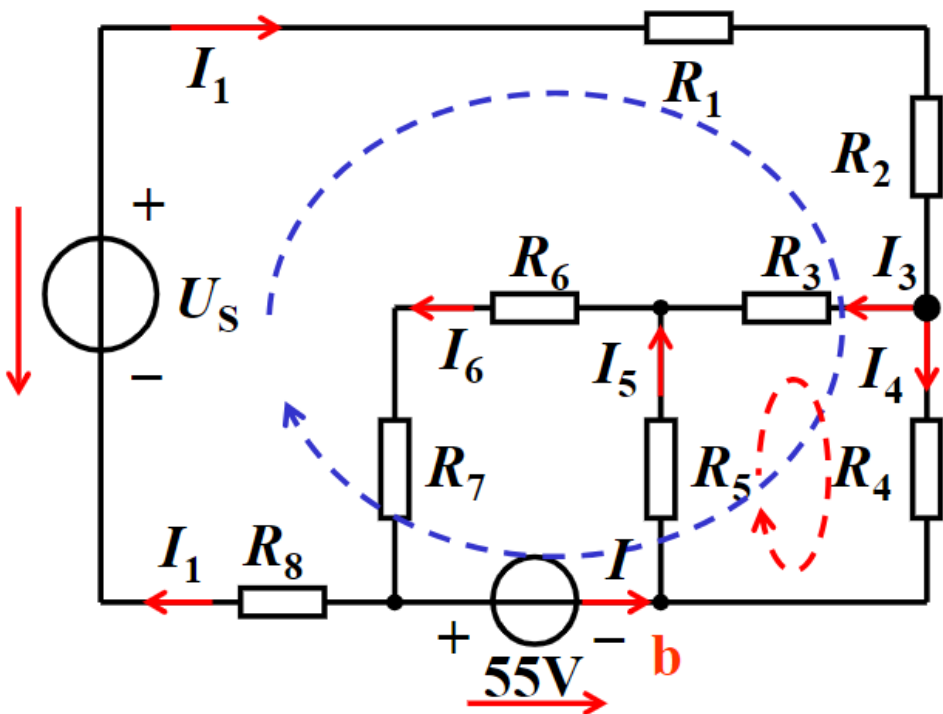
对右边回路用KVL进行求解：

$$0 \times R_2 + U_{S2} - U_{ab} - I_3 R_3 - U_{S1} = 0 \rightarrow U_{ab} = 1\text{V}$$

对最大回路用KVL进行验证：  $0 \times R_2 + U_{S2} - U_{ab} + I_1 R_1 = 0$



已知:  $I_3 = -1\text{A}$ ,  $I_4 = 2\text{A}$ ,  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 5\Omega$ ,  $R_8 = 10\Omega$



判断  $U_S$  是充电还是放电状态?

利用 **功率计算** 判断元件性质

求  $I_1 = ?$   $U_S = ?$

节点a:  $I_1 = I_3 + I_4 = 1\text{A}$

$\because U_S$  和  $I_1$  的参考方向相反

$\therefore P_{U_S} = -U_S I_1 = 25\text{W} > 0$

消耗电能  $\rightarrow$  充电状态

KVL:  $I_1(R_1 + R_2) + I_4 R_4 - 55 + I_1 R_8 - U_S = 0 \rightarrow U_S = -25\text{V}$

思考:  $55\text{V}$  提供多少能量?

KVL:  $-I_3 R_3 + I_4 R_4 + I_5 R_5 = 0 \rightarrow I_5 = -3\text{A}$

节点b:  $I + I_4 = I_5 \rightarrow I = -5\text{A}$

$P_{55\text{V}} = 55 * I = -275\text{W} < 0 \rightarrow$  提供电能

# 复 习

## 一、基尔霍夫电流定律 (KCL)

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

任一瞬间，流入一个节点的电流总和 = 流出该节点的电流总和

注意：KCL可推广应用到电路中的广义节点（任一闭合的回路）

## 二、基尔霍夫电压定律 (KVL)

$$\sum U = 0$$

任一瞬间，沿着某个回路绕行一周，各段电压代数数和 = 0

① 设定回路内各元件的参考方向（电阻可以设电流参考方向）

② 任意选定一个回路的绕行方向（建议选择顺时针）

③ 每一个元件都要逐一判断其参考方向与绕行方向是否相同

$U$ 或 $IR$ 的参考方向与绕行方向相同时取“+”；相反时取“-”

常见应用：① 适合求解回路电流；② 适合求解开路电压。

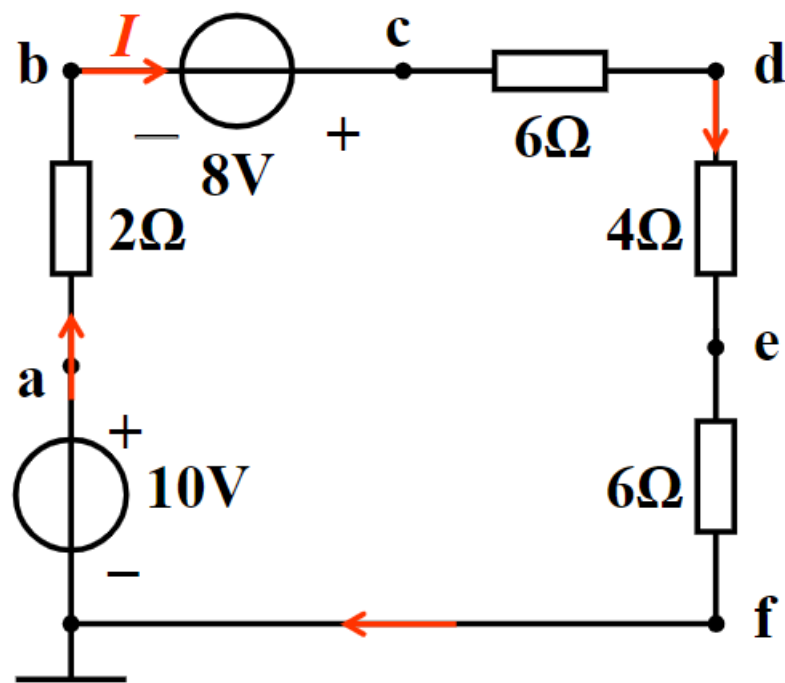
本次作业：P27

要求画图，并写出详细解答过程

1-2 求  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ 、 $V_d$ 、 $V_e$  = ?

建议1：求回路电流推荐使用KVL

建议2： $I$ 的方向推荐设置成顺时针



1-8 求  $I$ 、 $R$ 、 $U_S$  = ?

