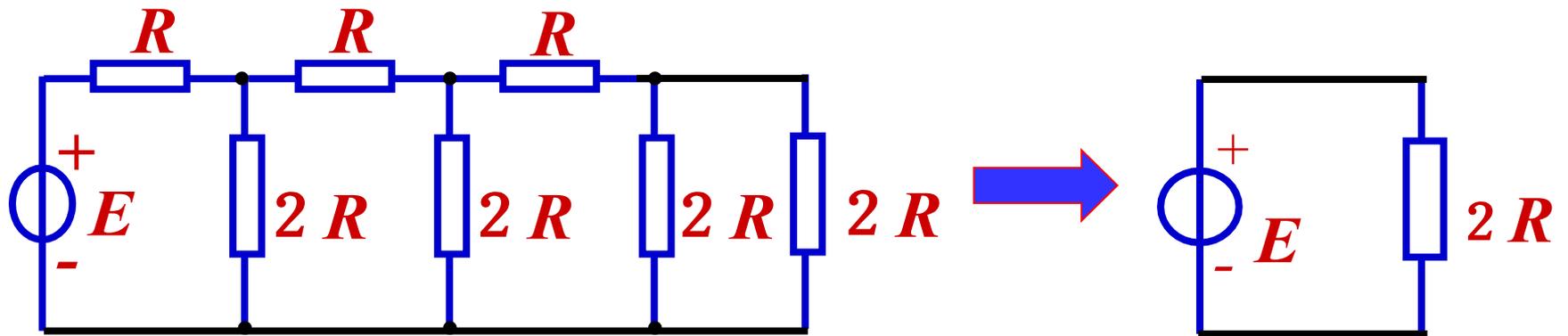


本章学习目标

- 掌握支路电流方程的列写。
- 掌握节点电压的方程的列写。
- 理解等效的概念, 掌握电源等效变换的分析方法。
- 理解叠加原理, 能够正确应用叠加原理分析和计算电路。
- 掌握戴维宁定理, 在电路分析中能熟练地应用该定理。

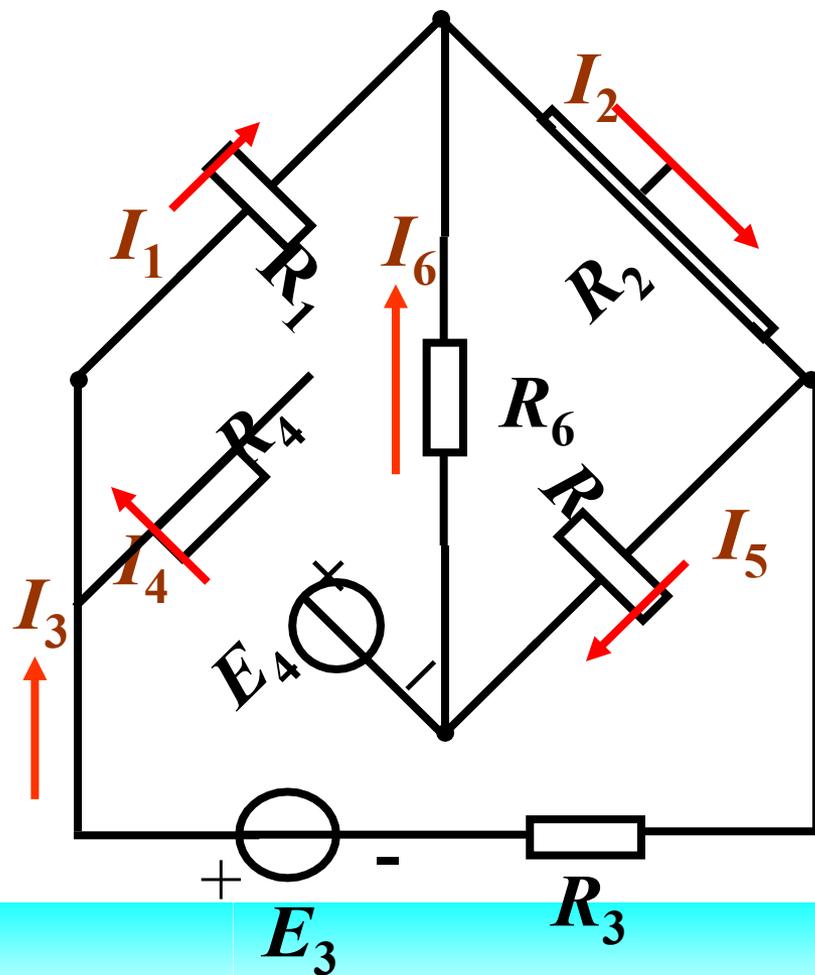
电路的分析方法

1. 欧姆定律和基尔霍夫定律是分析电阻电路的依据；
2. 对于简单电路，通过串、并联关系即可求解。如



对于复杂电路（如下图）仅通过串、并联无法求解，
必须经过一定的解题方法，才能算出结果。

如：



2.1 支路电流法

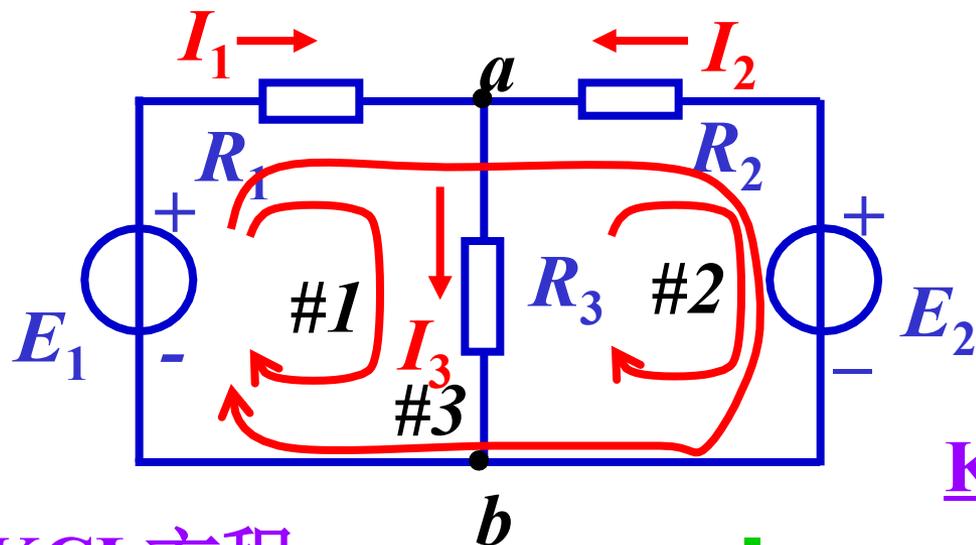
已知： 电路结构和参数

未知： 各支路电流

解题思路： 根据电路的基本定律（欧姆定律、基尔霍夫电流定律和电压定律），列节点电流和回路电压方程，然后联立求解。

关于独立方程式的讨论

问题：在用基尔霍夫电流定律或电压定律列方程时，可以列出多少个独立的KCL、KVL方程？



3条支路； 2个节点；
3个回路， 2个网孔

KCL方程：

节点a: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

节点b: $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$

KVL方程：

#1: $I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1$

#2: $I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2$

#3: $I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2$

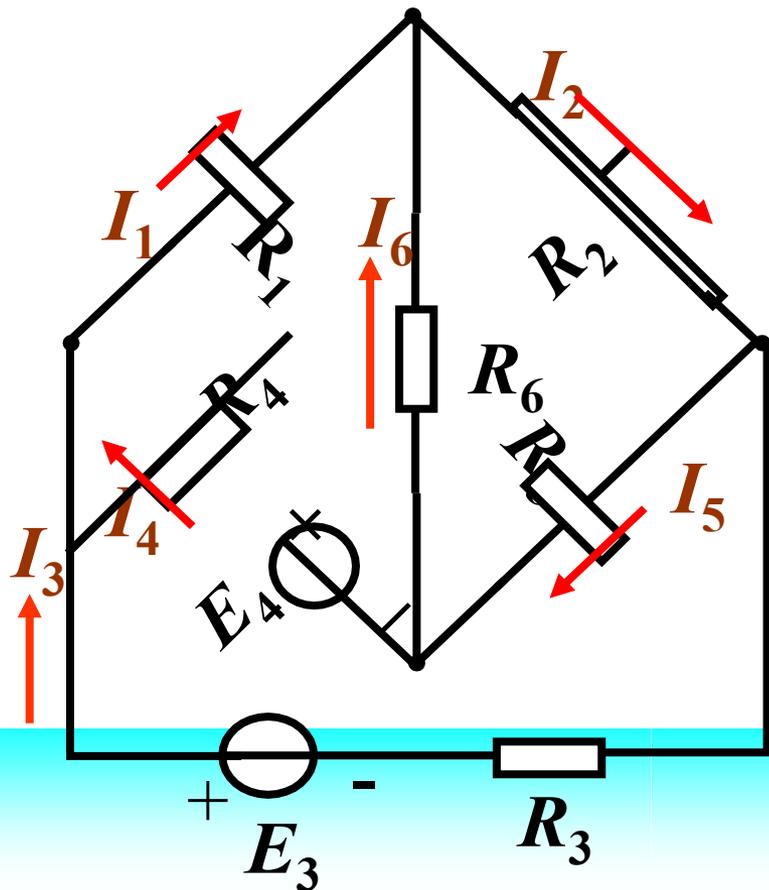
独立方程只有 1 个

独立方程只有 2 个

小结 设：电路中有 N 个节点， B 个支路

则：独立的节点电流方程有 $(N-1)$ 个

独立的回路电压方程有 $(B-N+1)$ 个



$$N=4、B=6$$

独立电流方程：3个

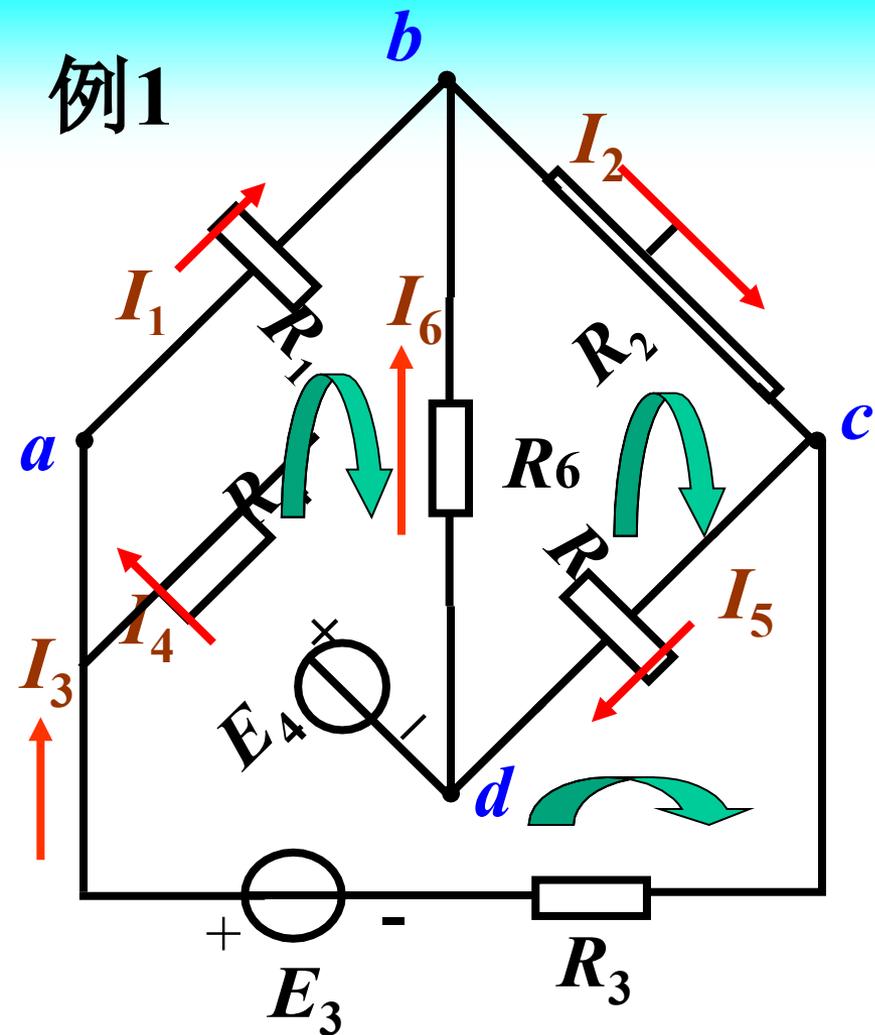
独立电压方程：3个
(一般为网孔个数)

用支路电流法解题步骤

设：电路中有 N 个节点， B 个支路

1. 对每一支路假设一未知电流 ($I_1 \sim I_B$) ；
2. 列 $N-1$ 个节点电流方程；
3. 列 $B - (N-1)$ 个回路（取网孔）电压方程；
4. 解联立方程组，得 $I_1 \sim I_B$ 。

例1



列3个独立KCL方程

节点a: $I_1 + I_6 - I_2 = 0$

节点b: $I_2 - I_5 - I_3 = 0$

节点c: $I_1 R_1 - I_6 R_6 + I_4 R_4 = E_4$

列3个独立KVL方程 (网孔)

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

$$I_3 R_3 - I_4 R_4 - I_5 R_5 = E_3 - E_4$$

$$I_3 R_3 - I_4 R_4 - I_5 R_5 = E_3 - E_4$$

节点数 $N=4$
支路数 $B=6$

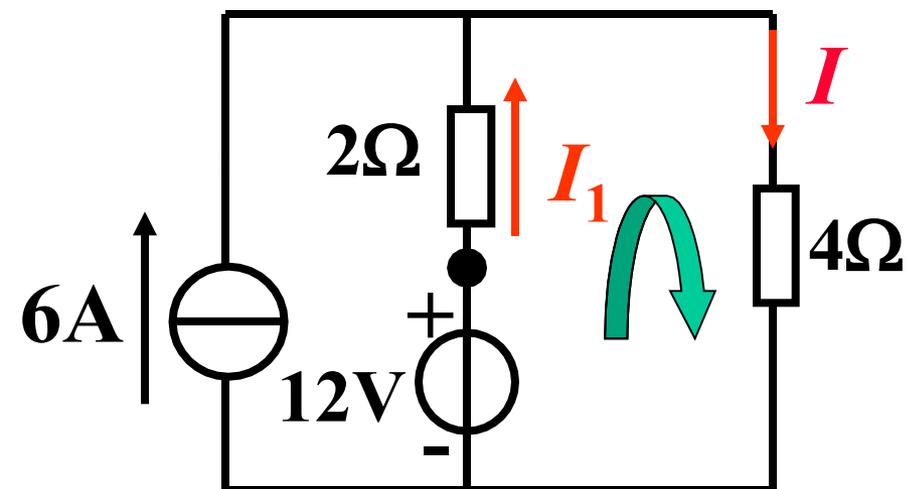
电压、电流方程联立求得: $I_1 \sim I_6$

支路中含有恒流源的情况

是否能少列一个方程?

例2

支路电流未知数少一个:



$$\begin{cases} I_1 + 6 = I & \text{--- KCL} \\ 2I_1 + 4I = 12 & \text{--- KVL} \end{cases}$$

解得: $I = 4A$

$$I_1 = -2A$$

$$N=2$$

$$B=3$$

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KCL、KVL、欧姆定律列方程，就能得出结果。

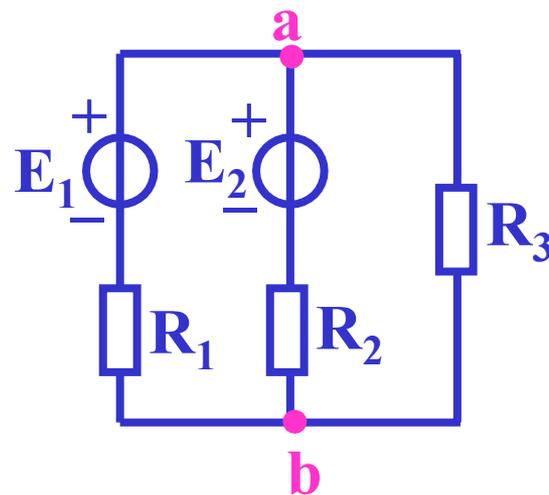
缺点：电路中支路数多时，所需方程的个数较多，求解不方便。

手算时，适用于支路数较少的电路。

2.2 节点电压法

已知： 电路结构和参数

未知： 各节点电压

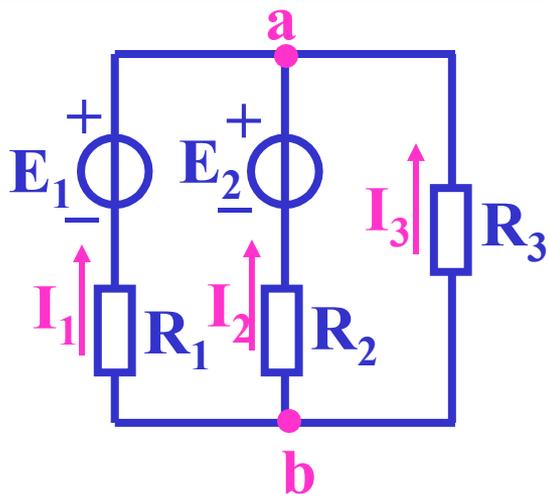


节点电压： 任意选择电路中的某个节点为参考节点，其他节点与此参考节点之间的电压称为节点电压。

解题思路：

- (1) 指定支路电流的参考方向。
- (2) 除参考节点外，对其余节点列KCL方程。
 - (3) 用节点电压来表示支路电流，代入KCL方程中，求解节点电压。
- (4) 根据节点电压求解电路中其他的参数。
 -

例1 用节点电压法求解 U_{ab}



以b点为参考节点，对a点列KCL

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

用节点电压 U_{ab} 表示支路电流：

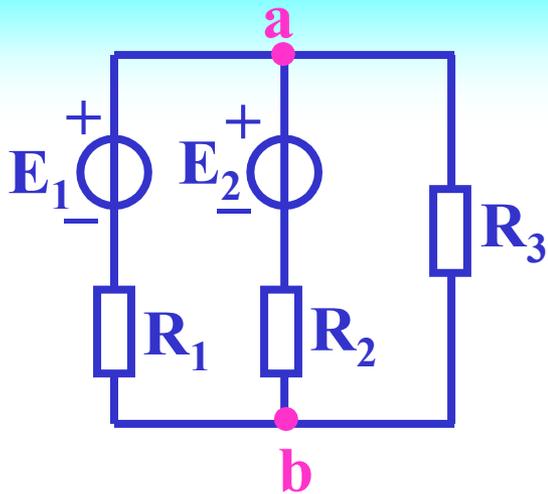
代入KCL方程中：

$$U_{ab} = \frac{E_1/R_1 + E_2/R_2}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$\begin{cases} I_1 = (U_{ab} - E_1)/R_1 \\ I_2 = (U_{ab} - E_2)/R_2 \\ I_3 = U_{ab}/R_3 \end{cases}$$

结点电压：

$$U_{ab} = \frac{I_s + E/R_3}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$



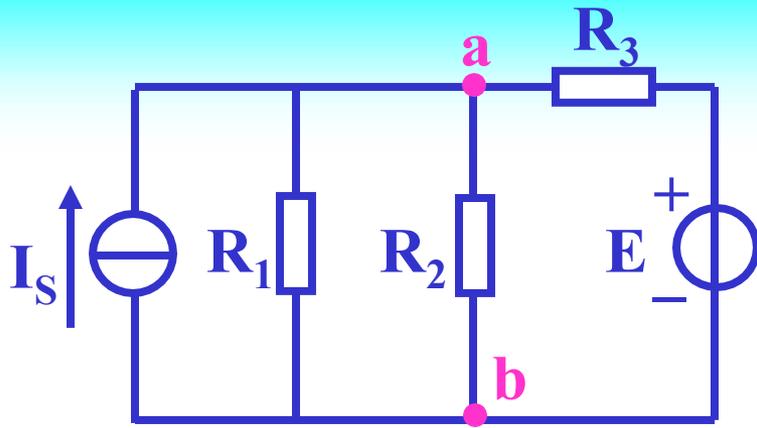
结点电压:

$$U_{ab} = \frac{I_s + E/R_3}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

结论:

- (1) 分母各项总为正，等于与该节点相连的各支路的电阻的倒数和。
- (2) 分子各项可为正，也可为负。当与该节点相连的支路包含电压源，**电压源的电压与结点电压一致时，为正**，反之，为负。若该支路包含电流源，**电流源的电流流入结点给正**，相反为负。

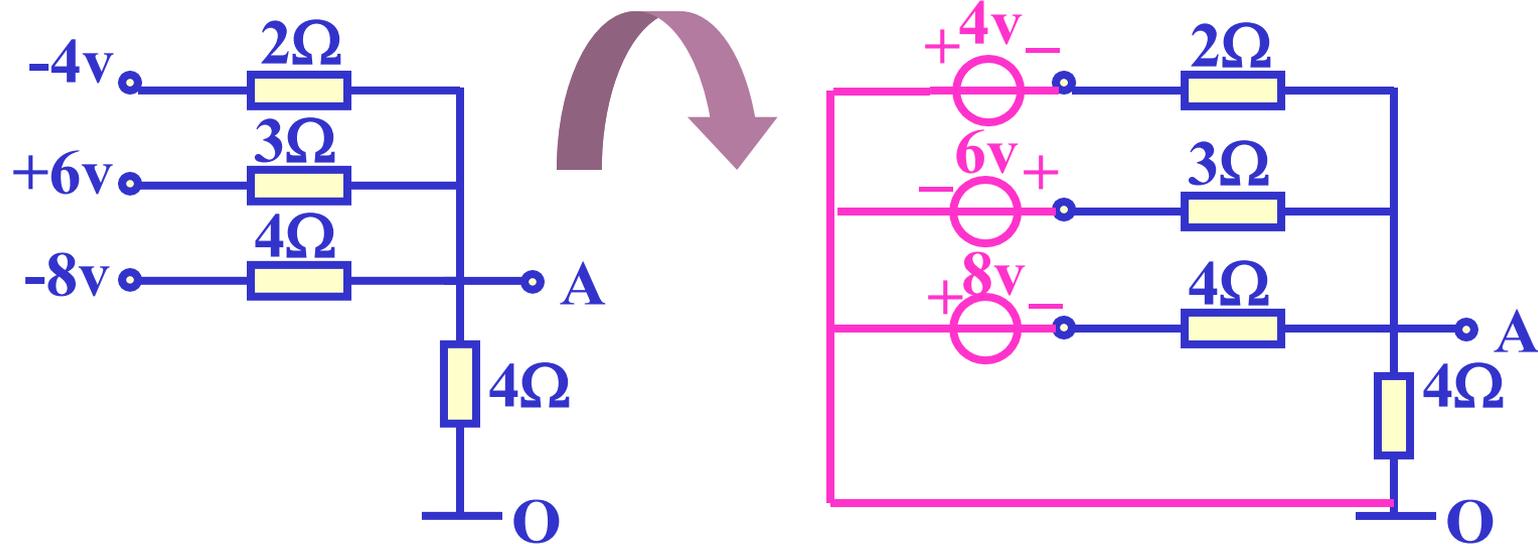
例2



以b为参考结点:

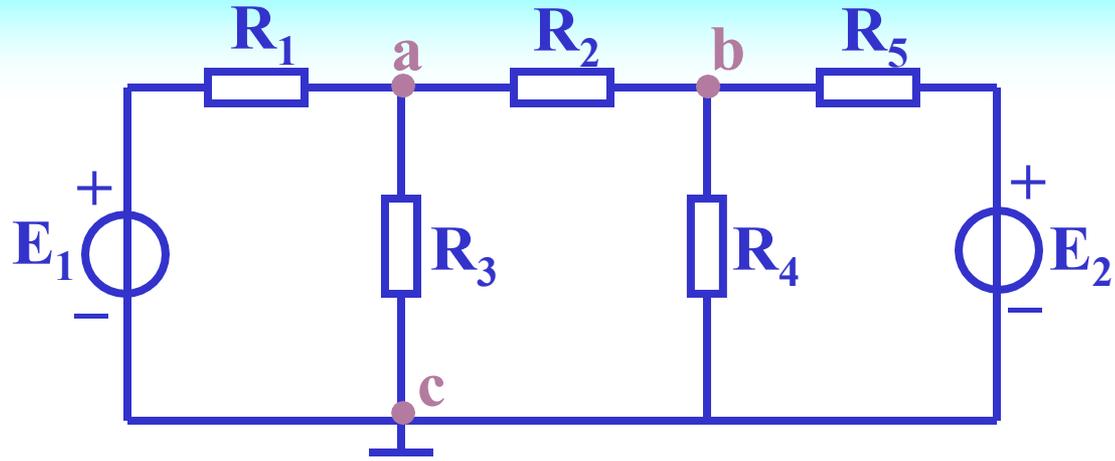
$$U_{AO} = \frac{-4/2 + 6/3 - 8/4}{1/2 + 1/3 + 1/4 + 1/4}$$

例3



$$V_a = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{V_b}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

例4 求a、b两点的
的电位。



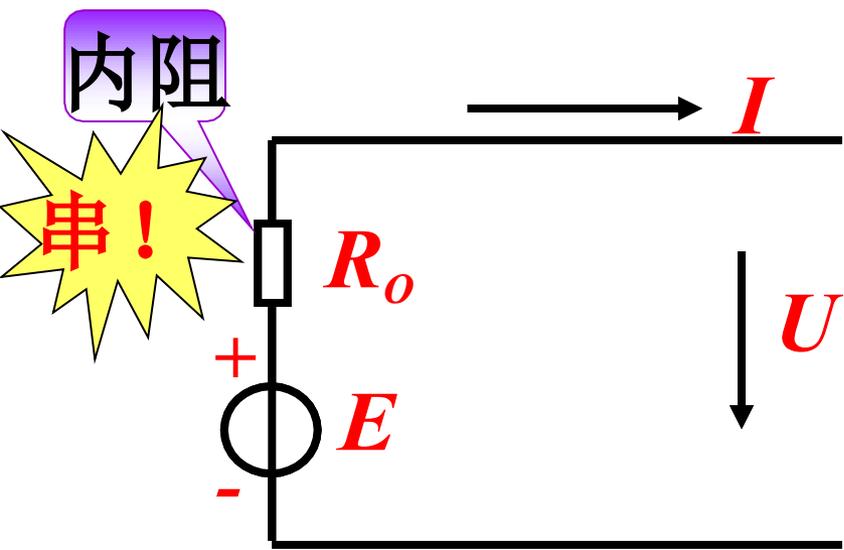
$$V_b = \frac{\frac{E_2}{R_5} + \frac{V_a}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}}$$

$$U = E - IR_o$$

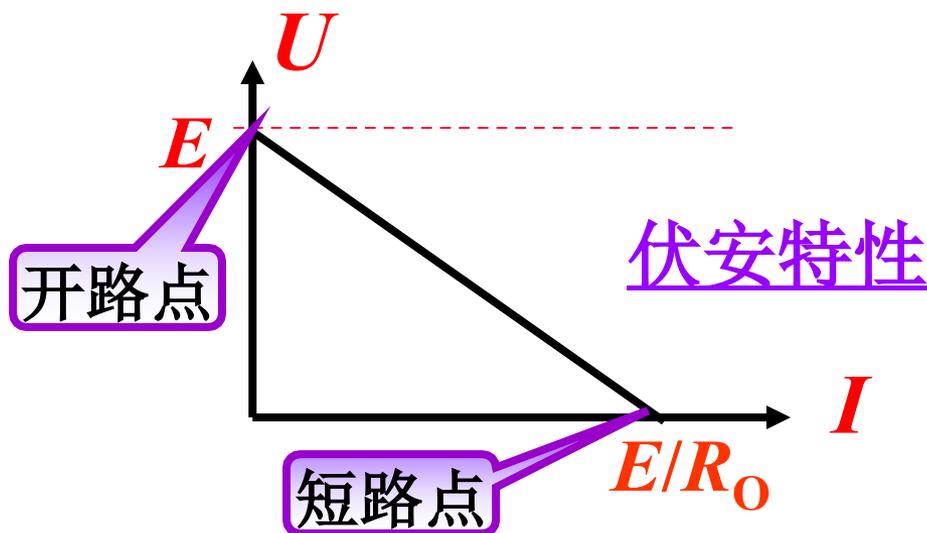
2.3 电源等效变换法

1. 实际电压源模型

用理想电压源和电阻的串联组合来表示



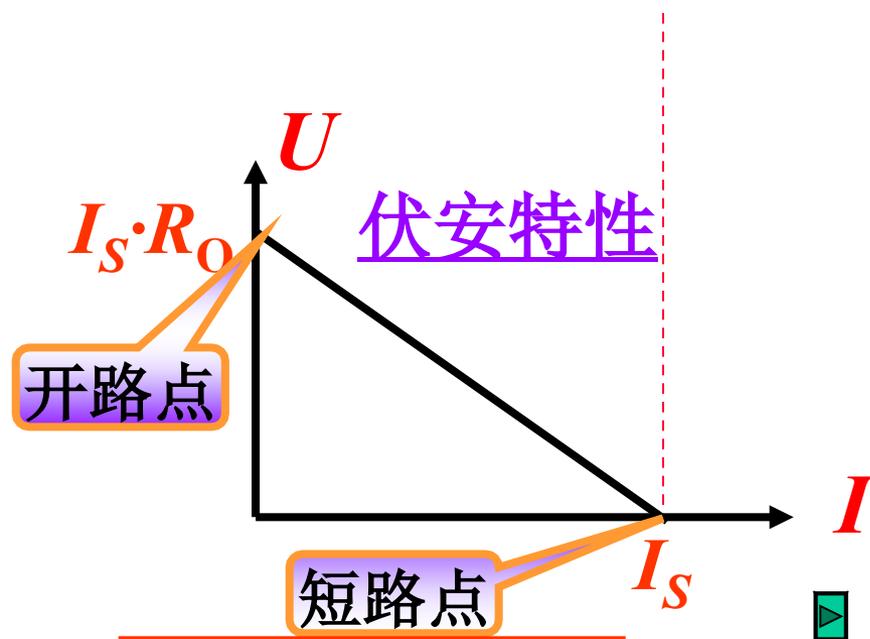
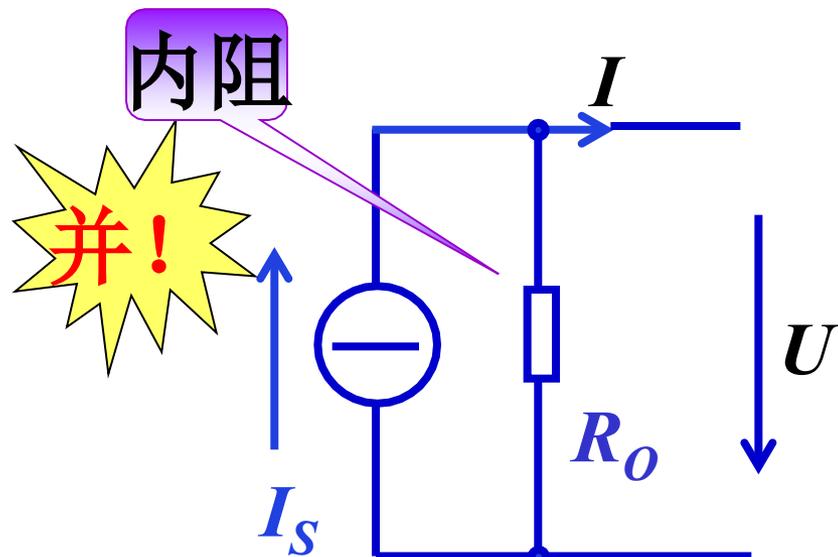
$$U = E - IR_o$$



$$I \uparrow \rightarrow U \downarrow$$

2、实际电流源模型

用理想电流源和电阻(电导)的并联组合来表示



$$I = I_s - \frac{U}{R_o}$$

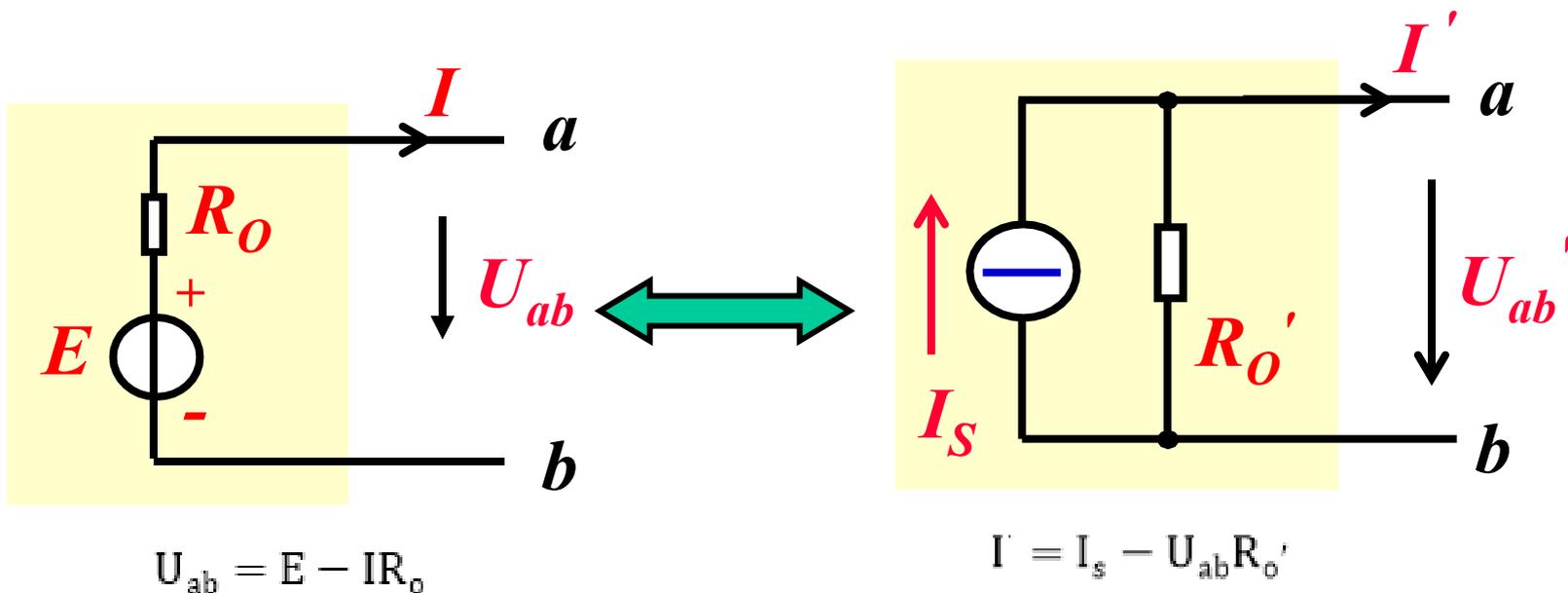
$I \uparrow \rightarrow U \downarrow$

3、两种电源的等效互换

等效互换的条件：对外的电压电流相等。

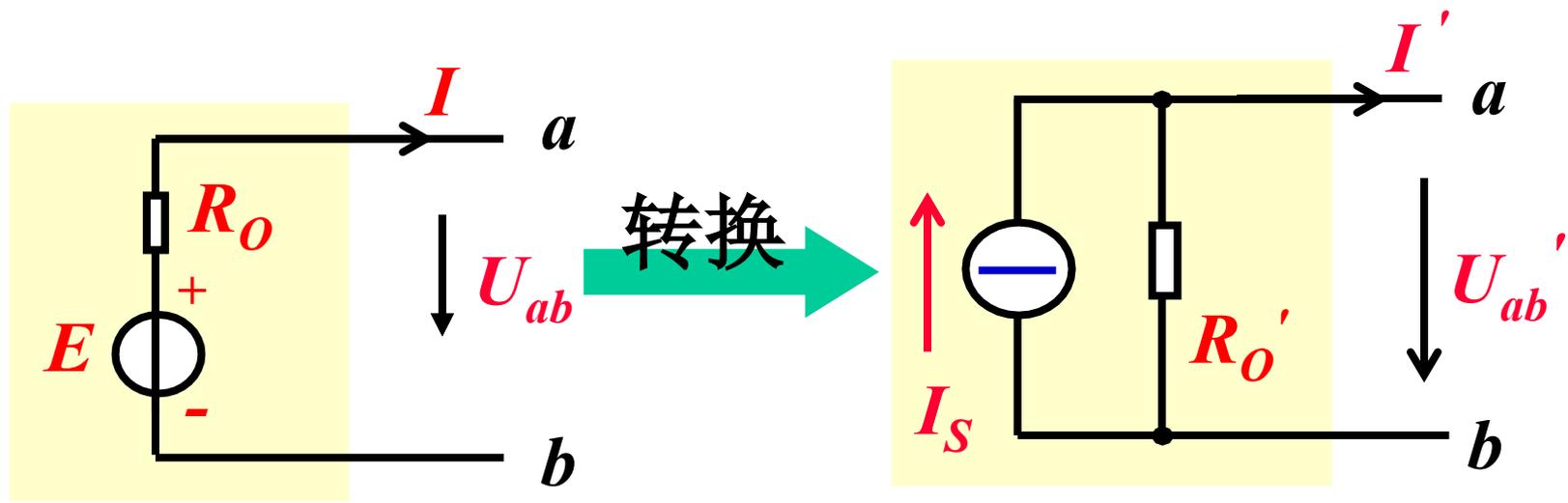
即：外特性一致

$$I = I'$$
$$U_{ab} = U_{ab}'$$



$$I = E/R - U_{ab}/R_o$$

4、由实际电压源 变换为 实际电流源：



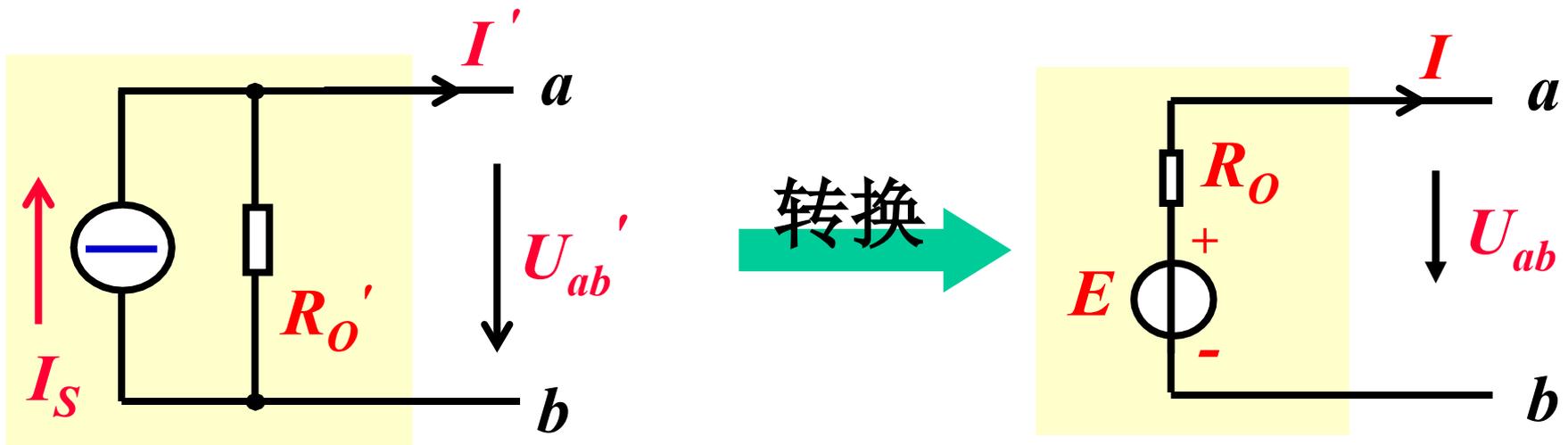
$$I_s = ER_0$$

大小：

方向： 电流流出的方向为电压源的正极

内阻 不变

5、由实际电流源变换为实际电压源：



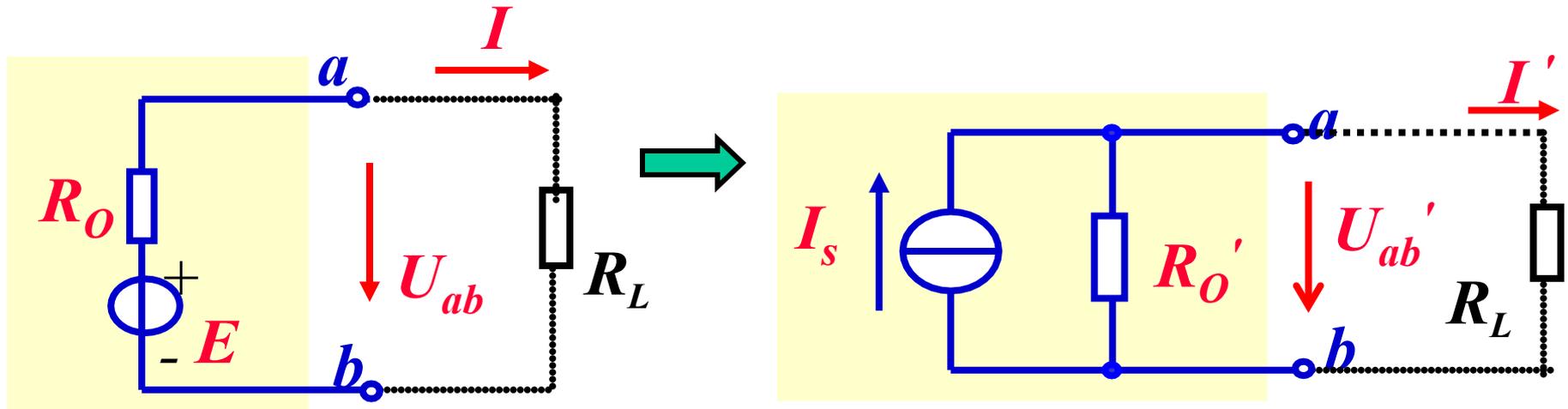
大小： $R_L = \infty$

方向：电流流出的方向为电压源的正极

内阻不变

6、等效变换的注意事项

(1) “等效”是指“对外”等效（等效互换前后对外伏—安特性一致），对内不等效。



例如： $R_L = \infty$ 时

对内不等效

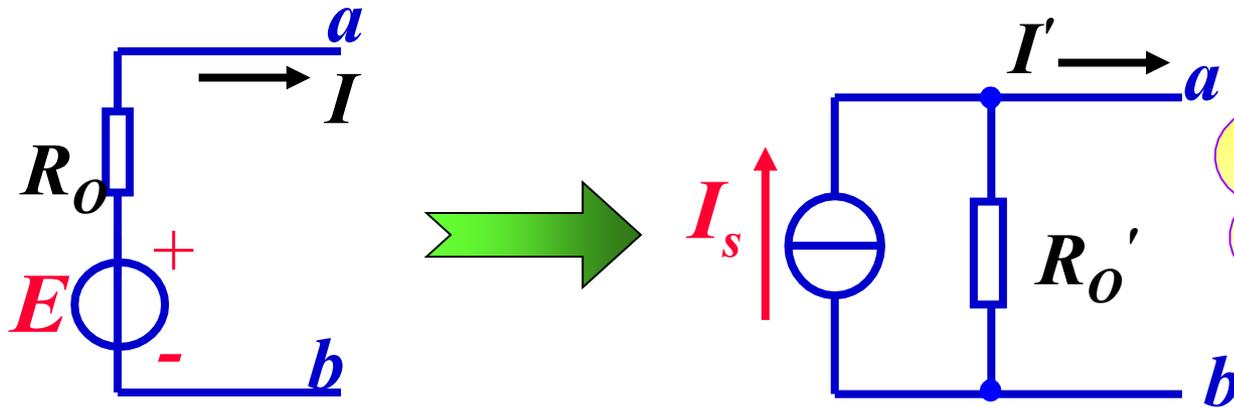
对外等效

R_O 中不消耗能量

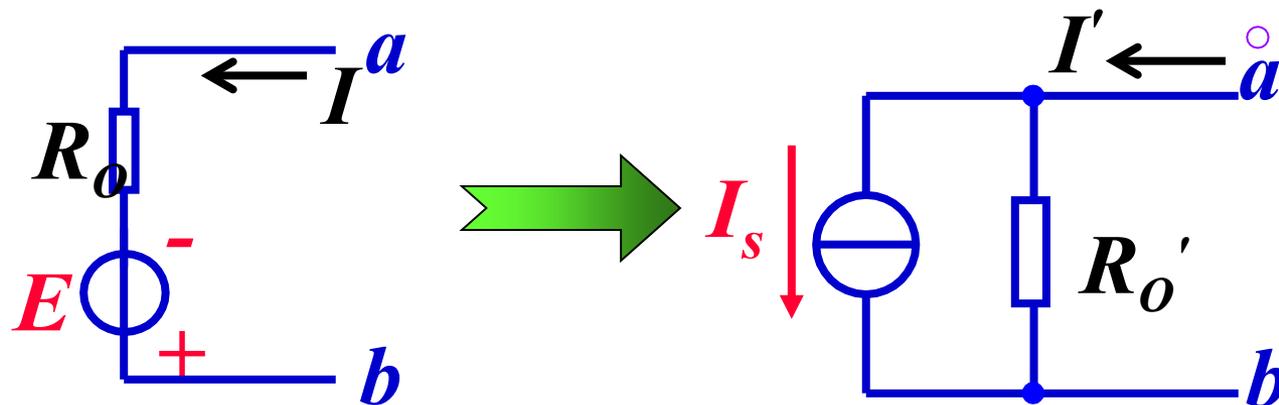
R_O' 中则消耗能量

$$I = \frac{30 - 60}{20} = -1.5\text{A}$$

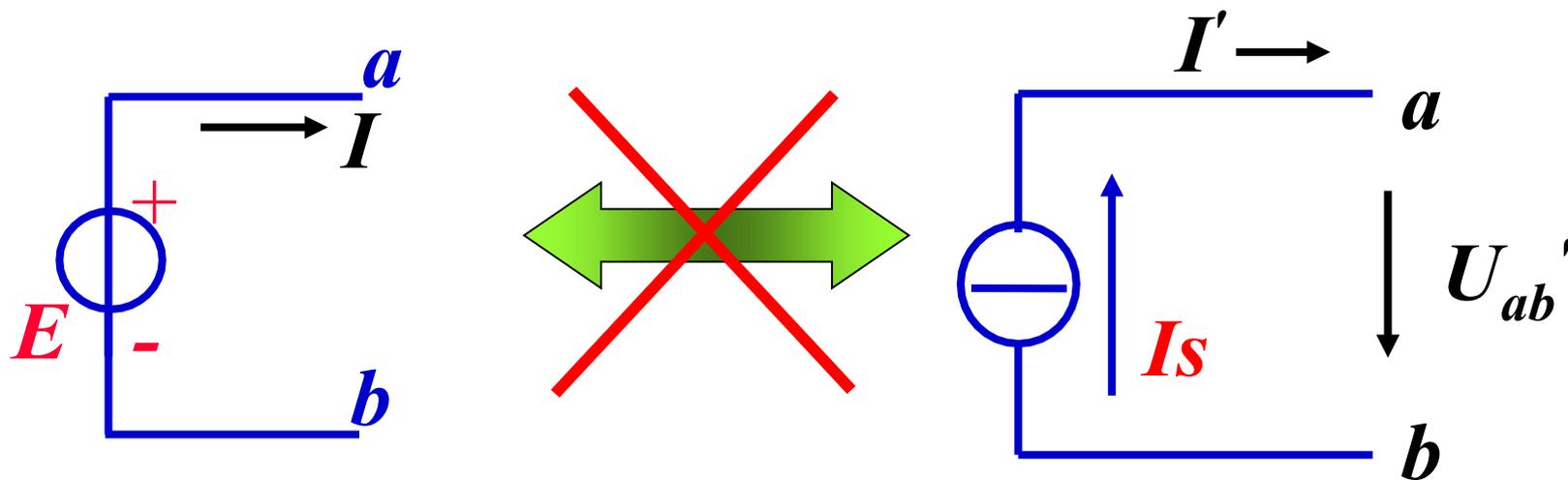
(2) 注意转换前后 E 与 I_s 的方向



E 与 I_s 方向
不一致!



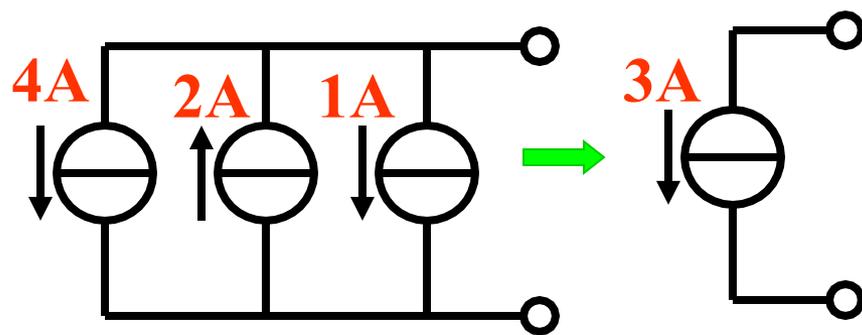
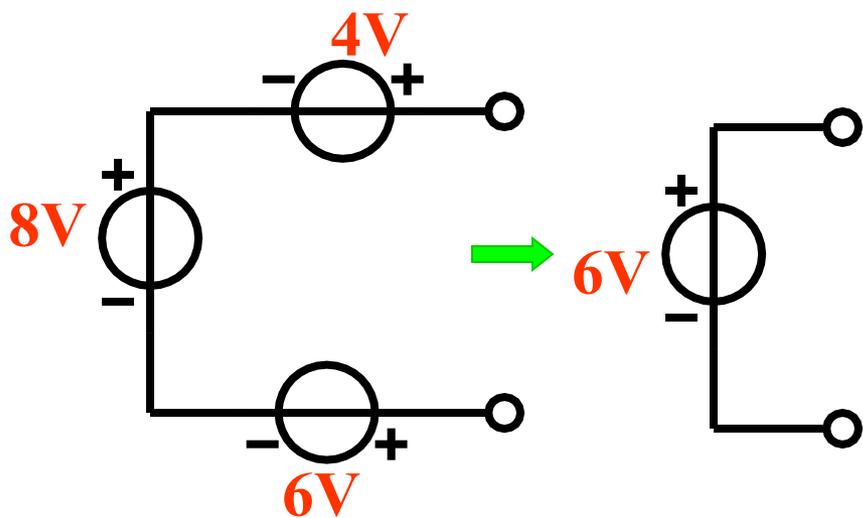
(3) 恒压源和恒流源不能等效互换



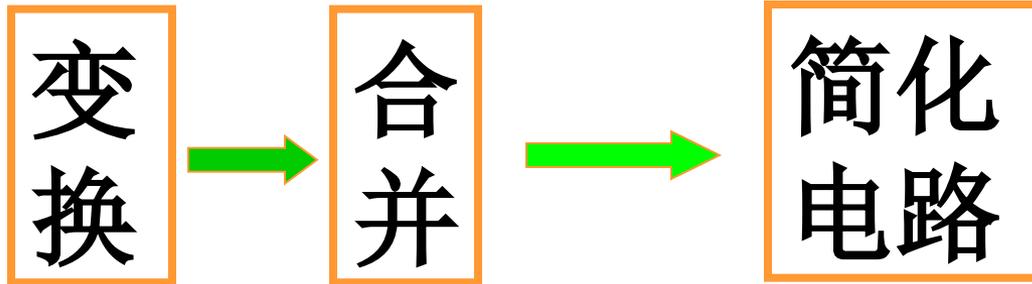
恒压源和恒流源伏安特性不同！

(4) 在进行等效变换时，与恒压源串联的电阻和与恒流源并联的电阻可以作为其内阻处理。

(5) 串联的恒压源可以合并，并联的恒流源可以合并。



利用电源的等效变换分析电路

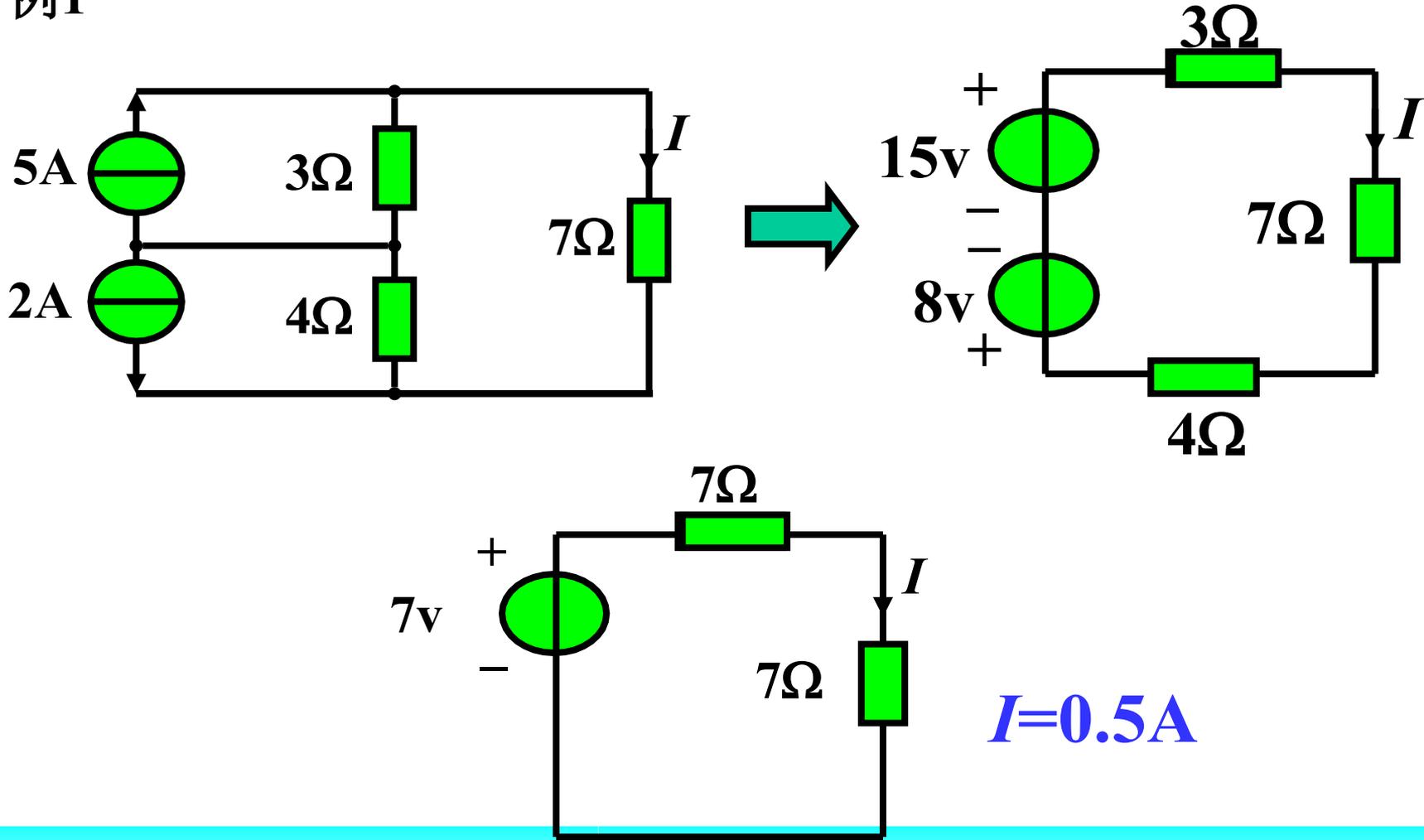


$I = ?$

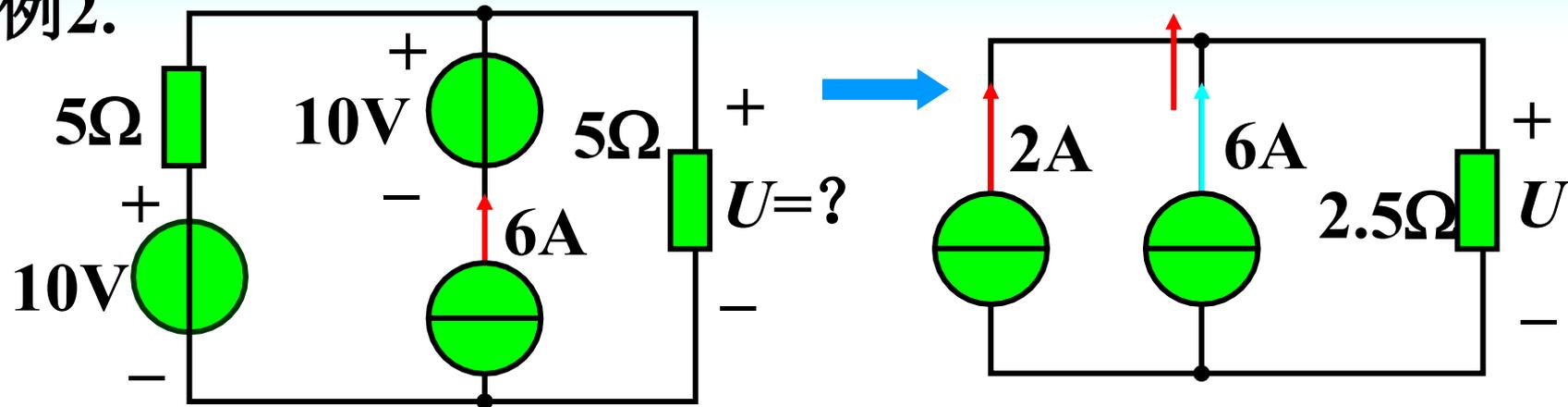
- 1、**所求支路**不得参与变换；
- 2、与恒压源并联的元件、与恒流源串联的元件对**外电路**不起作用。

应用：利用电源转换可以简化电路计算。

例1

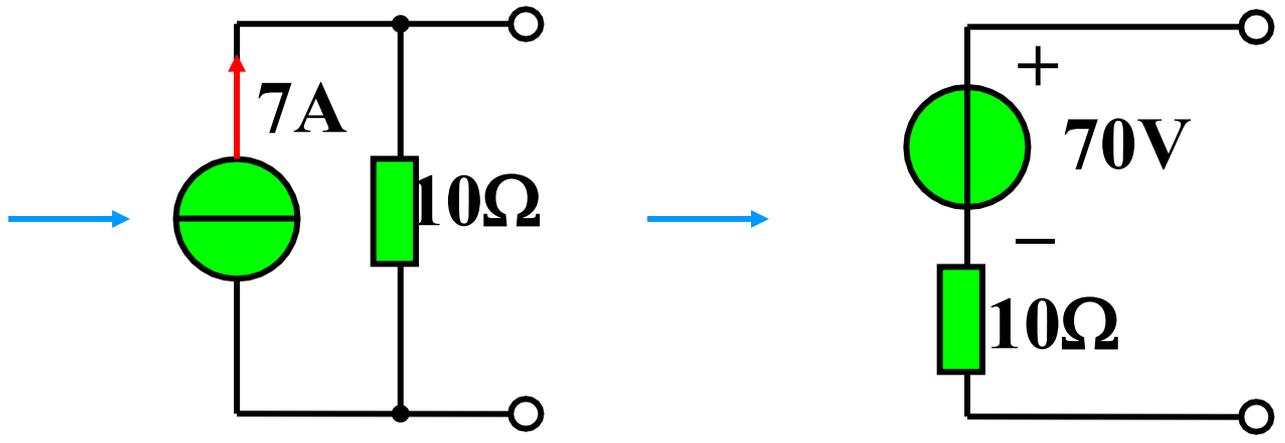
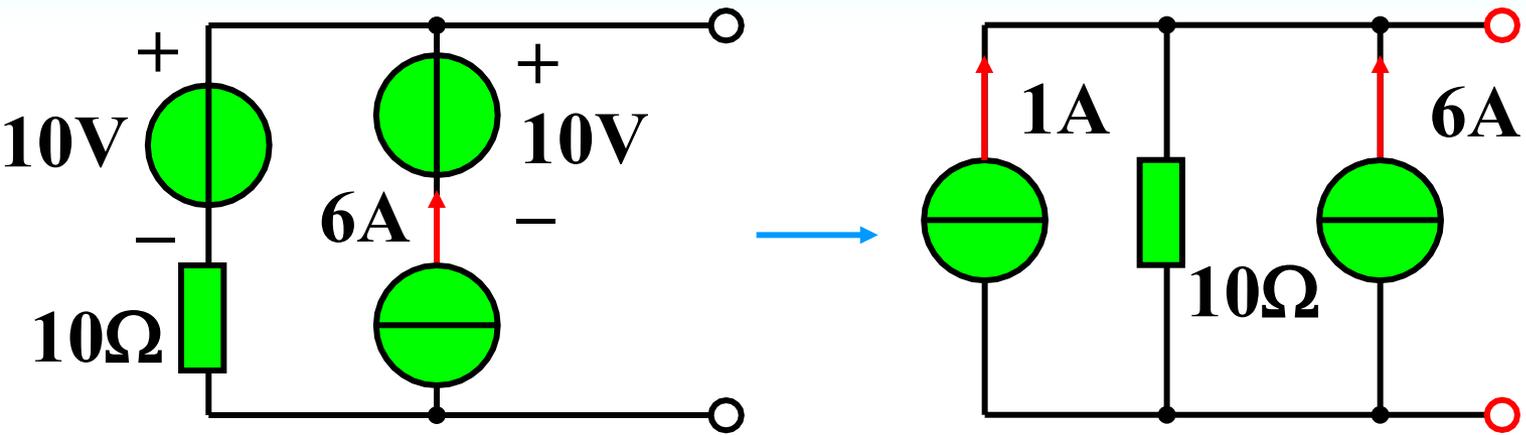


例2.

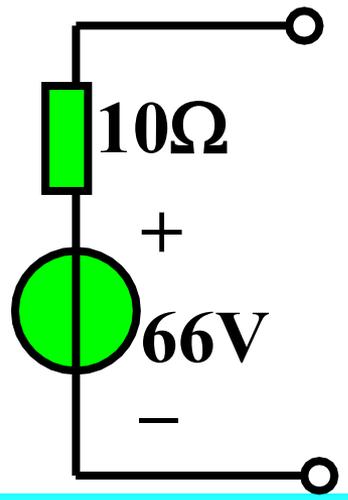
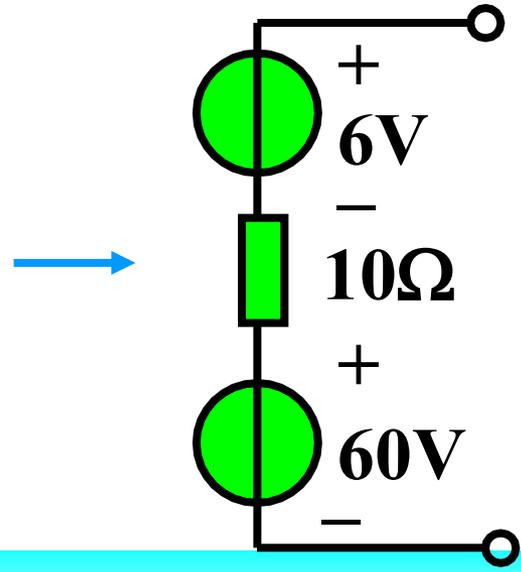
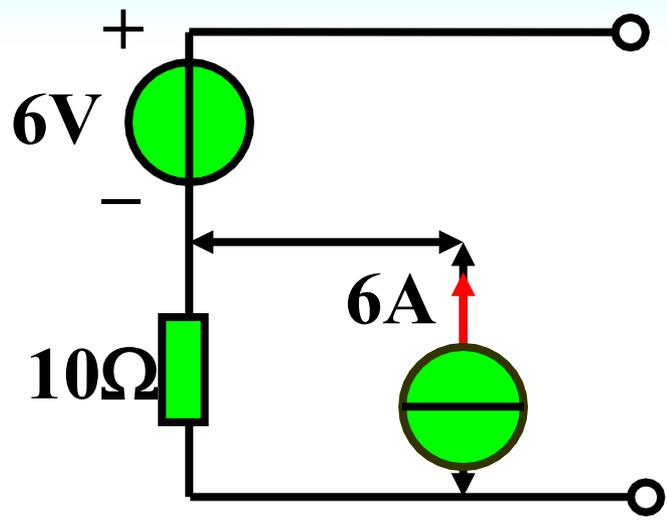
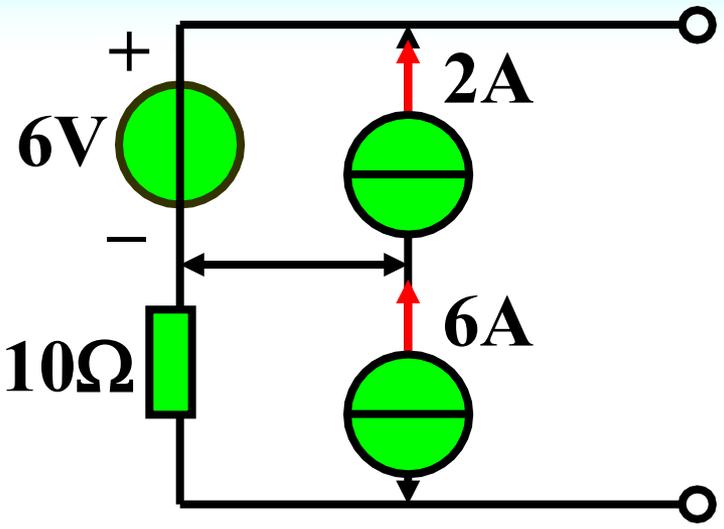


$$U=20\text{V}$$

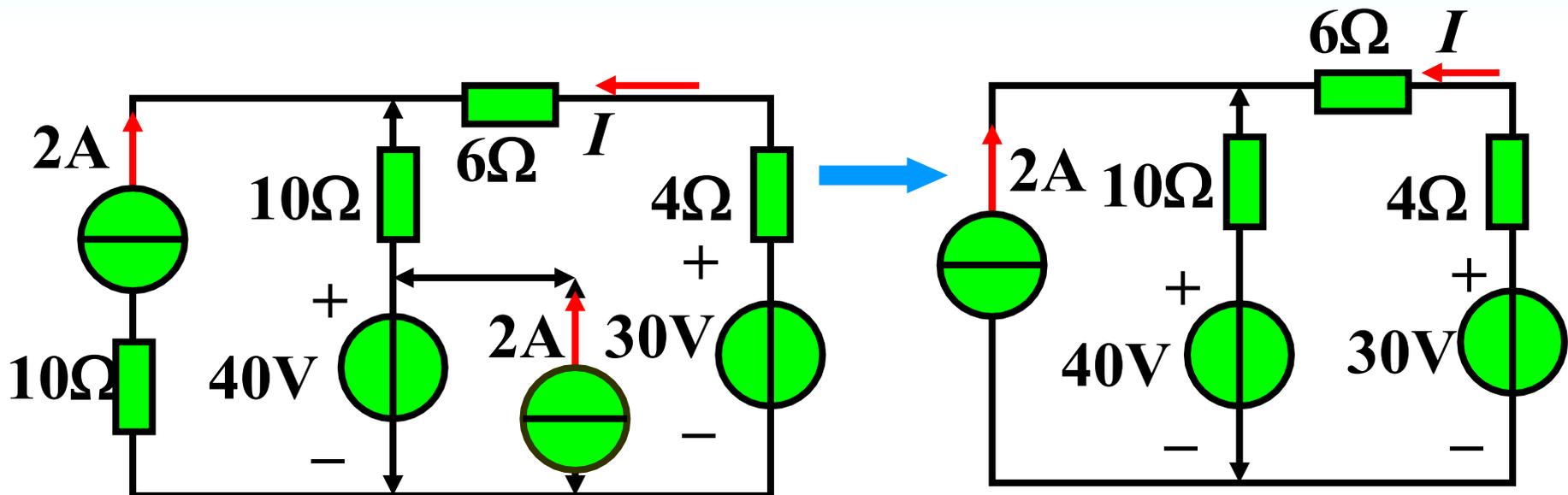
例3 把电路转换成一个电压源和一个电阻的串联



例4 把电路转换成一个电压源和一个电阻的串连



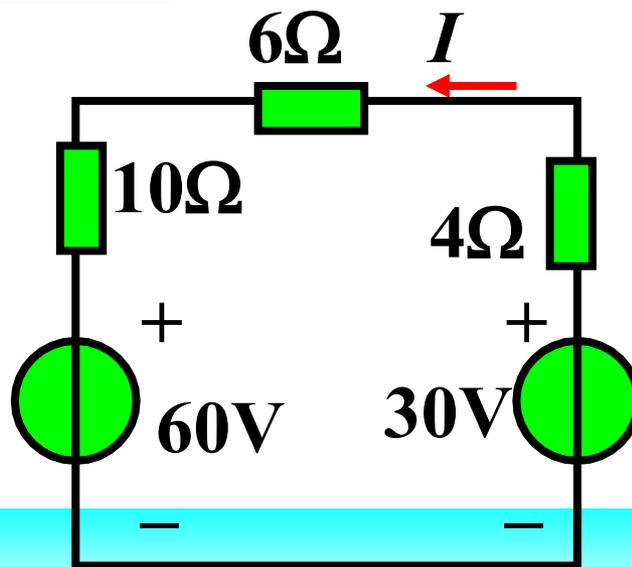
例5 求电路中的电流 I



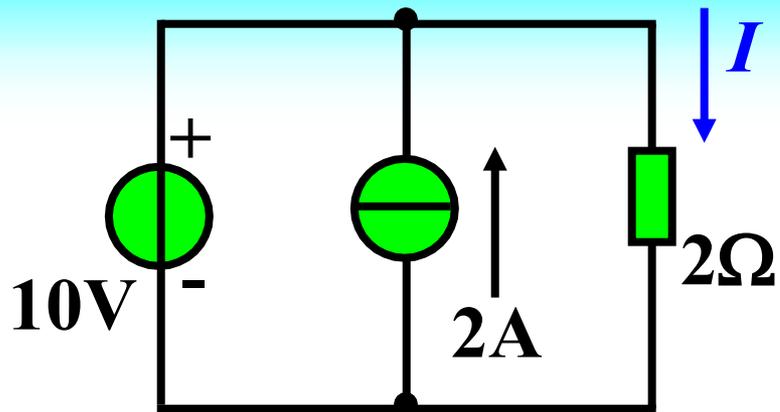
$$I = \frac{10}{2} = 5 \text{ A}$$

$$I = \frac{10}{2} + 2 = 7 \text{ A}$$

$$I = \frac{10 - 4}{2} = 3 \text{ A}$$



例6



$$\leftarrow R_{eq} = R_{ab}$$

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

哪个答案对



2.4 叠加定理

1. 叠加定理 →

在多个电源同时作用的线性电路中，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。

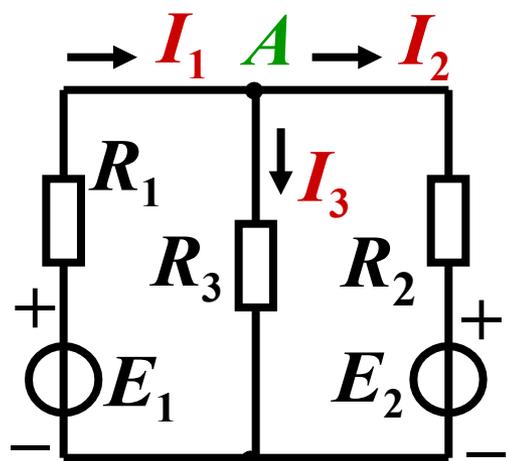
2. 几点说明 →

- 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。

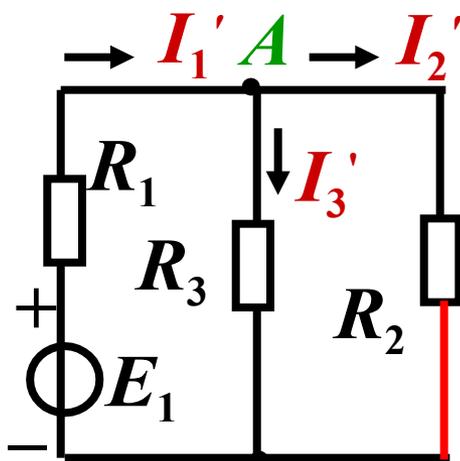
3. 定理的证明



原电路

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

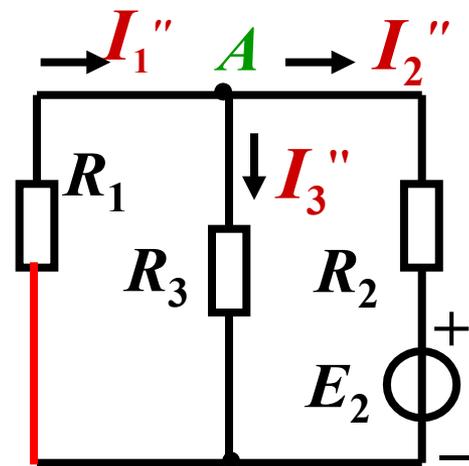
=



E_1 单独作用

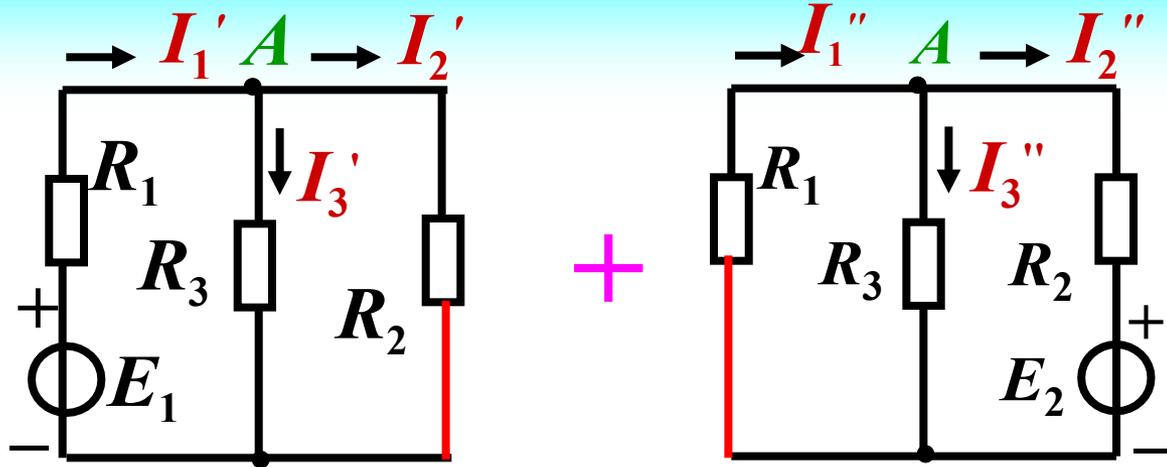
$$I_2 = I_2' + I_2''$$

+



E_2 单独作用

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



$$I_1' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \cdot E_1$$

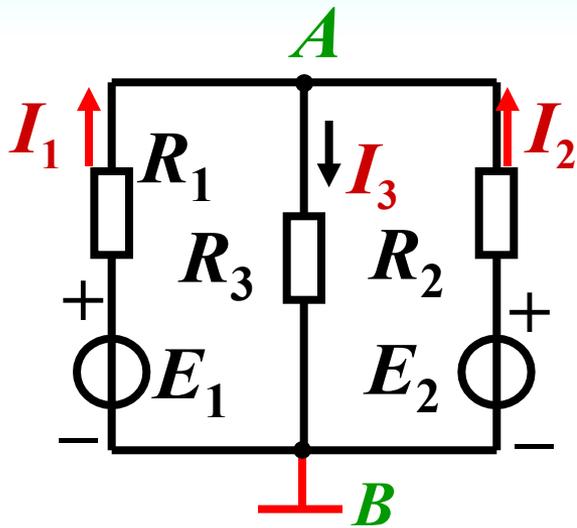
$$I_1'' = \frac{-E_2 \frac{R_3}{R_1 + R_3}}{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \cdot -E_2$$

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

$$I_1 = \frac{R_2 + R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \cdot E_1 - \frac{R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \cdot E_2$$



利用支路电流法求解



(以 I_1 为例)

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1 \\ I_2 R_2 + I_3 R_2 = E_2 \end{cases}$$

解得:

$$I_1 = \frac{R_2 + R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \cdot E_1 - \frac{R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \cdot E_2$$



4. 注意事项 →

- ① 叠加方式是任意的，可以一次一个独立源单独作用，也可以一次几个独立源同时作用，取决于使分析计算简便。
- ② 叠加定理只适用于线性电路求电压和电流；不能用叠加定理求功率（功率为电源的二次函数）。
- ③ u , i 叠加时要注意各分量的参考方向。

5. 应用叠加定理时步骤

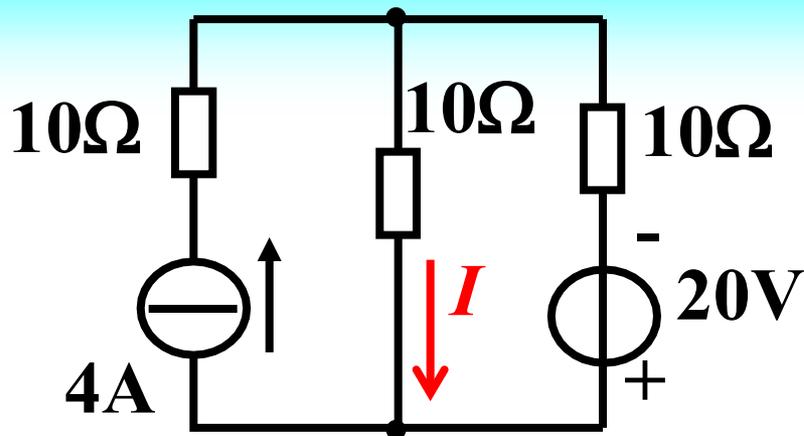
①在原电路中标出待求量的参考方向。

②画出电源单独作用时的分电路图，标出待求分量的参考方向。

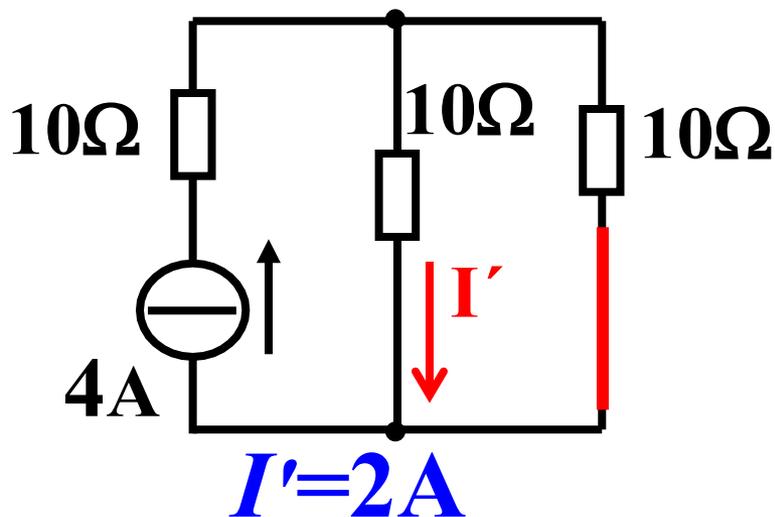
③求各分量。

④将各分量代数求和得到总量。叠加时注意分量的参考方向。

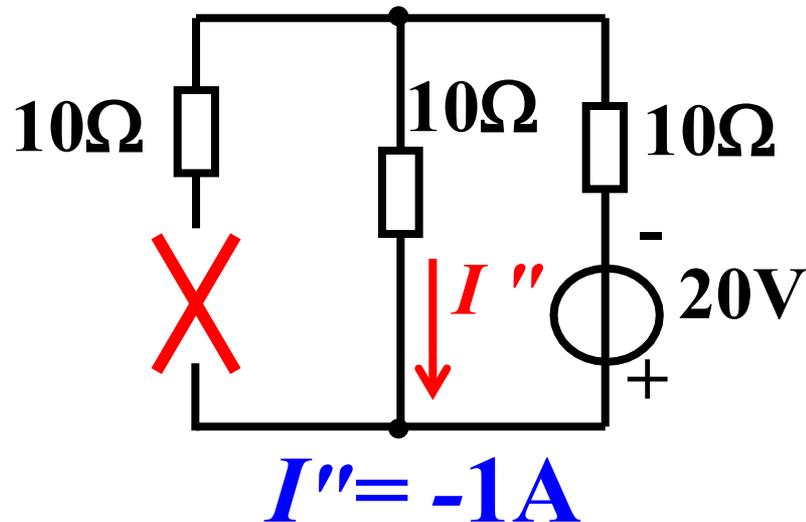
例1 电路如图所示，用叠加原理求 I =?



解:



+



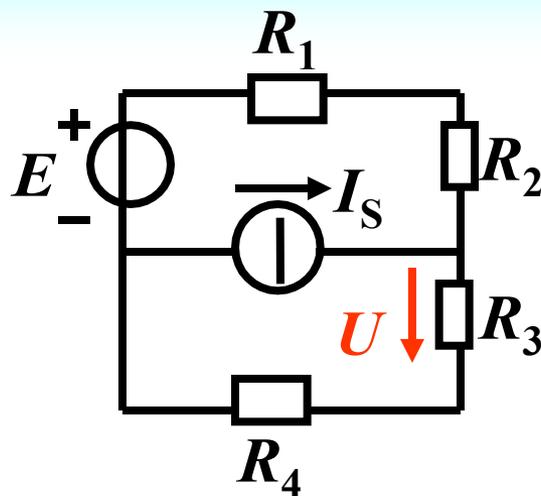
$$I = I' + I'' = 1A$$

例2 如图所示电路，已知：

$$E=12V, I_S=10A$$

$$R_1=R_2=R_3=R_4=1\Omega$$

用叠加原理计算 $U=?$

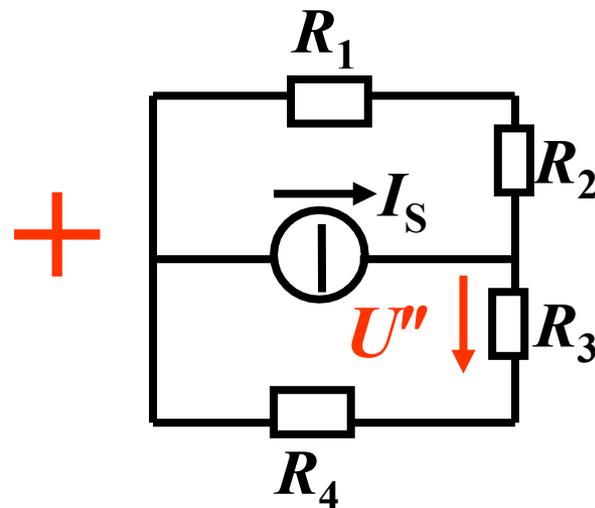
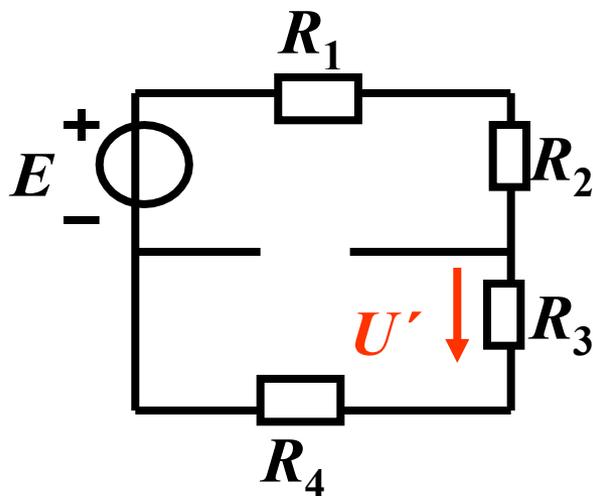


解：原图化为：

$$U' = 12/4 = 3V$$

$$U'' = 10 \cdot 1/2 \cdot 1 = 5V$$

$$U = U' + U'' = 8V$$

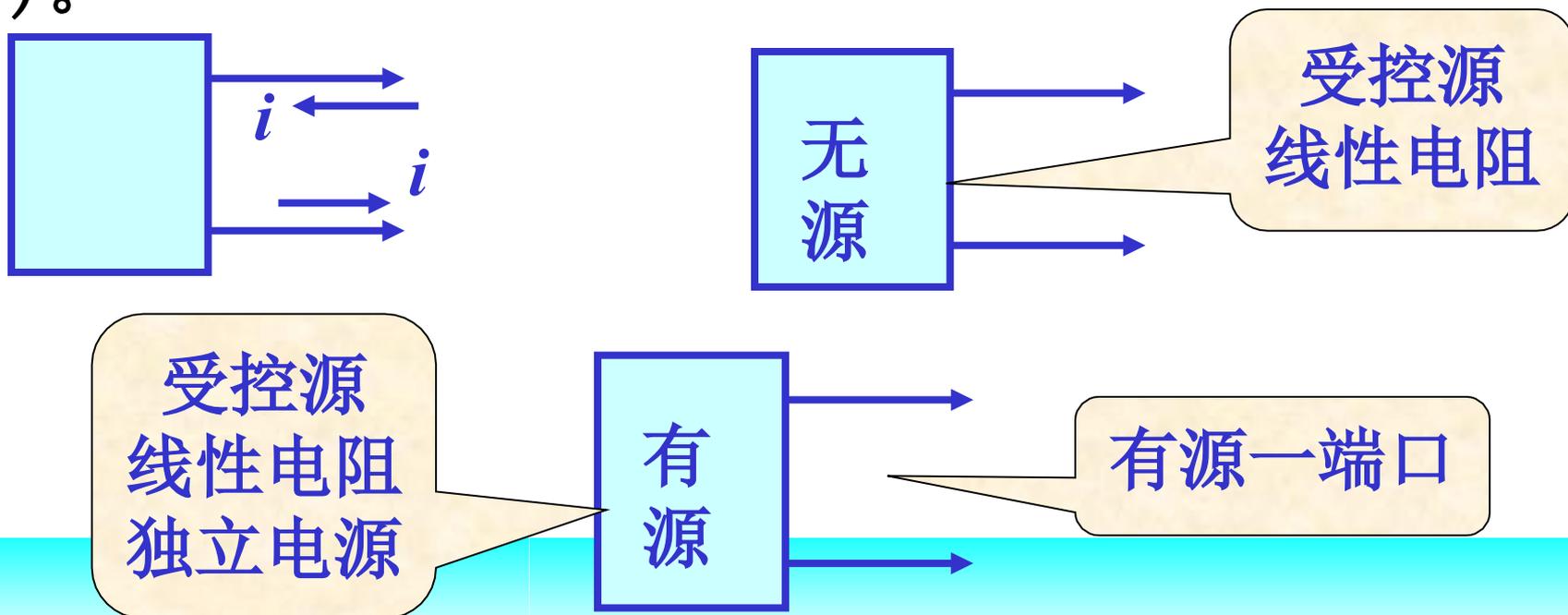


2.5 等效电源定理

工程实际中，常常碰到只需研究某一支路的电压、电流或功率的问题。对所研究的支路来说，电路的其余部分就成为一个有源一端口网络，可等效变换为较简单的含源支路(电压源与电阻串联或电流源与电阻并联支路)，使分析和计算简化。戴维宁定理和诺顿定理正是给出了等效含源支路及其计算方法。

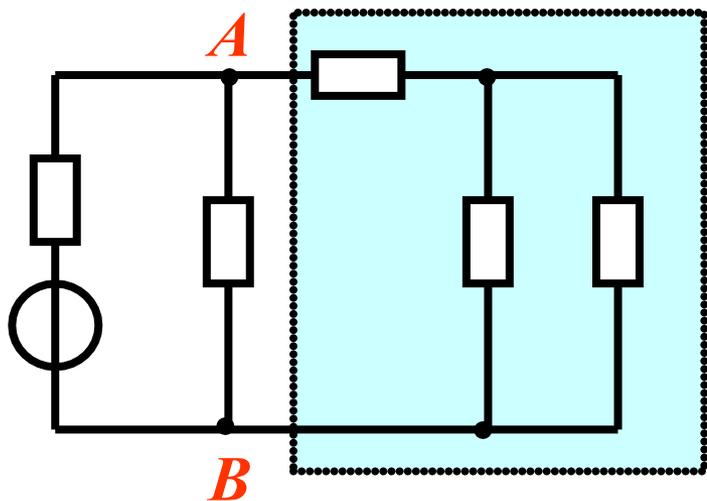
一端口网络 \longrightarrow

任何一个复杂的电路，向外引出两个端钮，且从一个端子流入的电流等于从另一端子流出的电流，则称这一电路为一端口网络(或二端网络)。



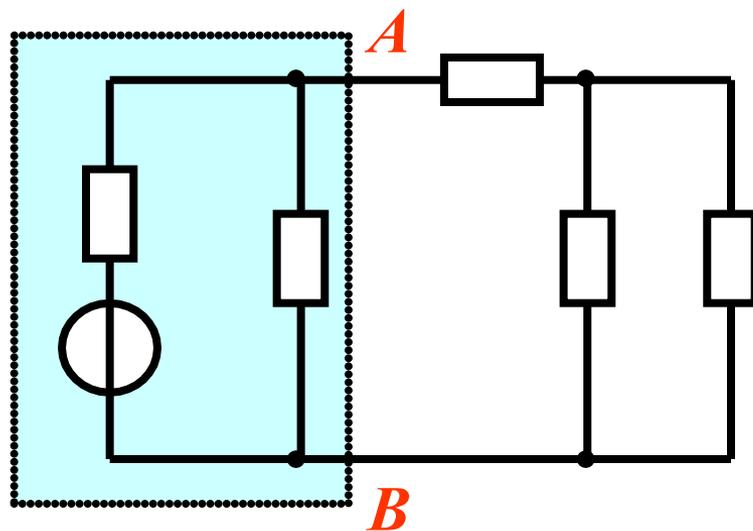
无源一端口:

一端口网络中没有独立源
通常用 N_0 表示



有源一端口:

一端口网络中含有独立源
通常用 N_S 表示



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/075103301002012023>