第二章 电路的分析方法

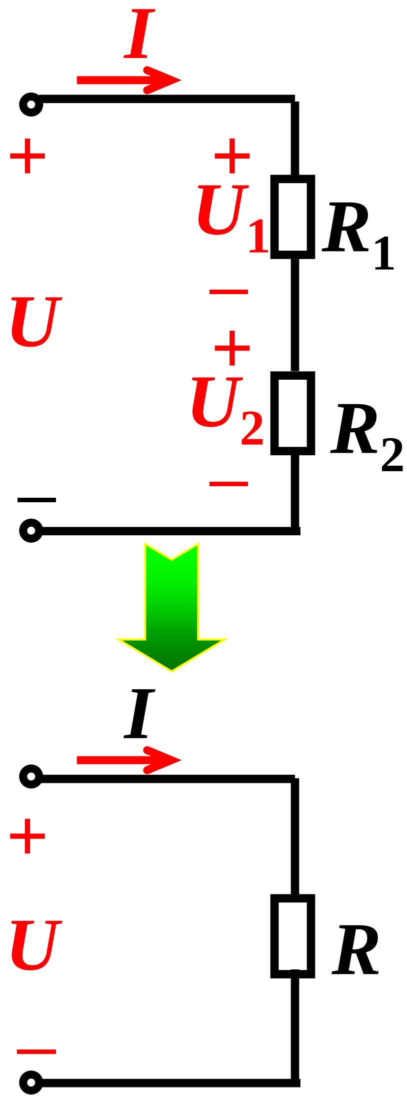
电路的分析方法

- 等效变换法 → 化简法
- 支路电流法
- 结点电压法
- 叠加定理

  → 系统化普遍方法
- 戴维南定理与诺顿定理
- 非线性电阻电路的图解法

2.1 电阻串并联联接的等效变换

一、 电阻的串联



特点:

1)各电阻一个接一个地顺序相联;

2)各电阻中通过同一电流;

3)等效电阻等于各电阻之和; $R = R_1 + R_2$

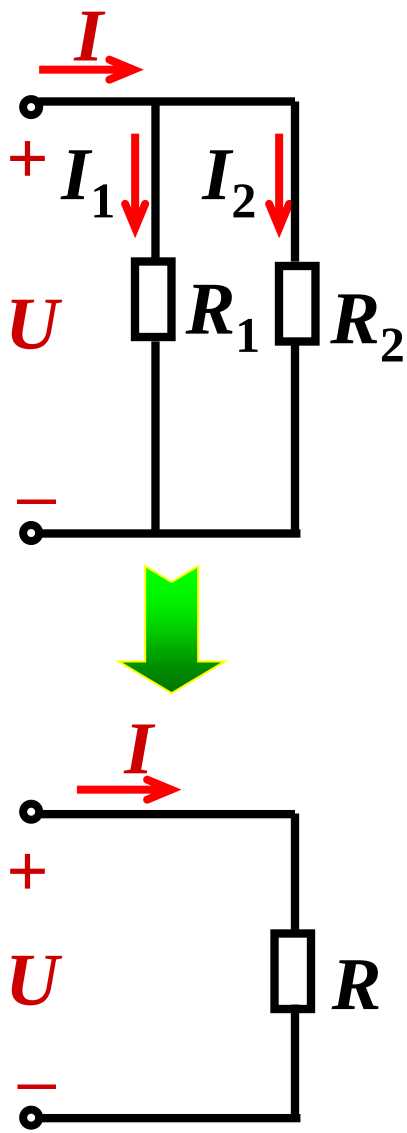
4)串联电阻上电压的分配与电阻成正比。

两电阻串联时的分压公式:

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \qquad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

应用: 降压、限流、调节电压等。

二、 电阻的并联



特点:

(1)各电阻联接在两个公共的结点之间；

(2)各电阻两端的电压相同；

(3)等效电阻的倒数等于各电阻倒数之和；

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

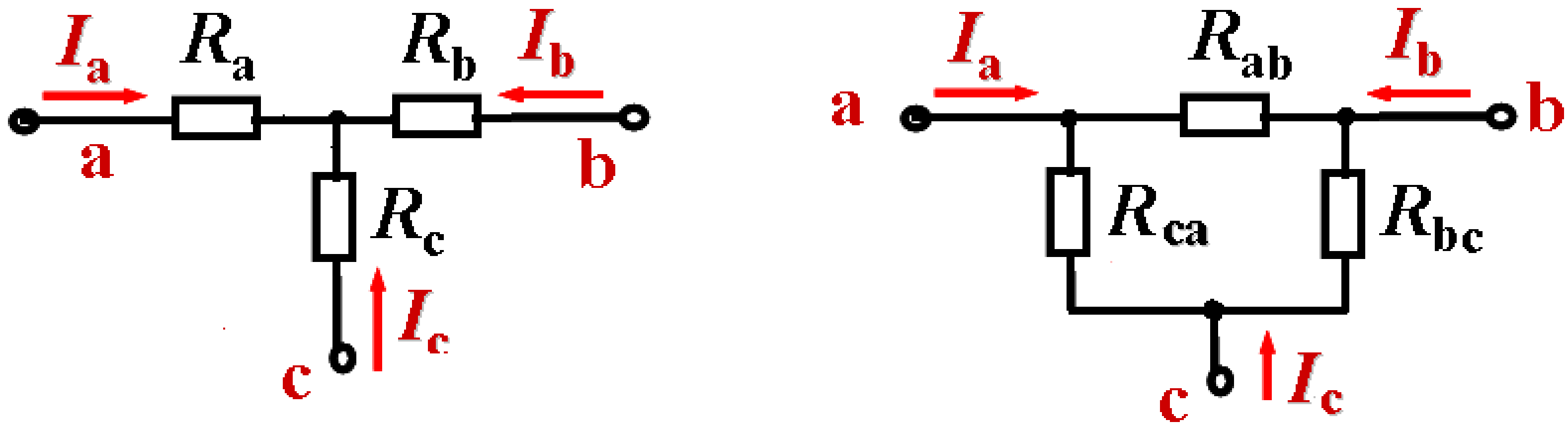
(4)并联电阻上电流的分配与电阻成反比。

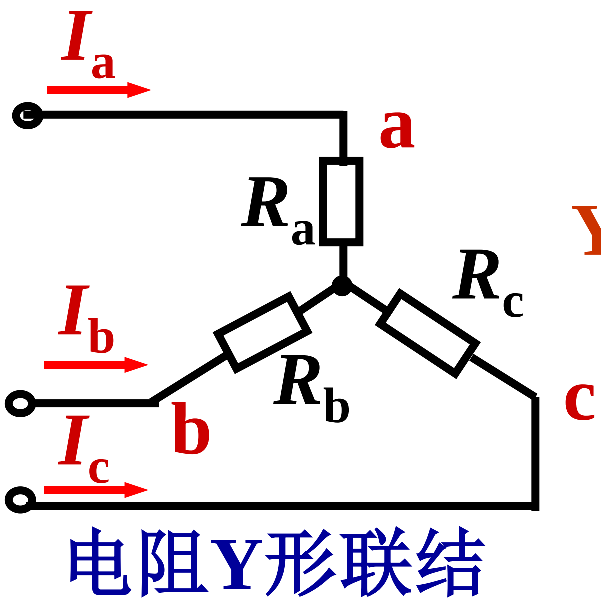
两电阻并联时的分流公式:

$$I_1=\frac{R_2}{R_1+R_2}I \qquad I_2=\frac{R_1}{R_1+R_2}I$$

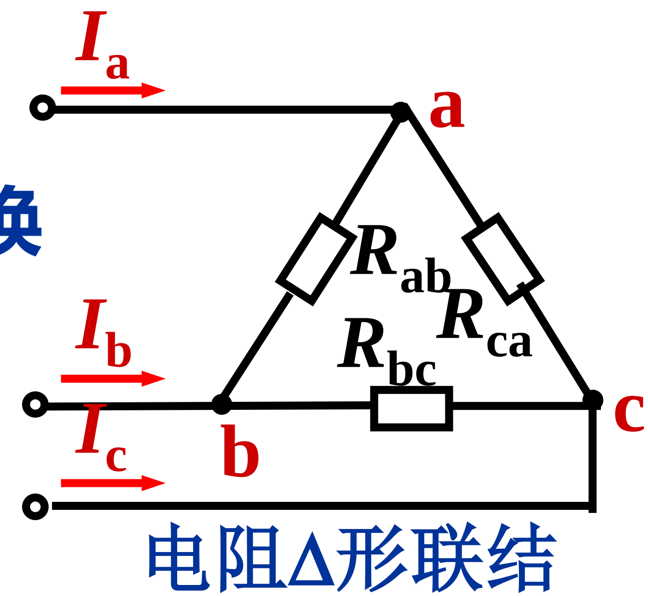
应用：分流、调节电流等。

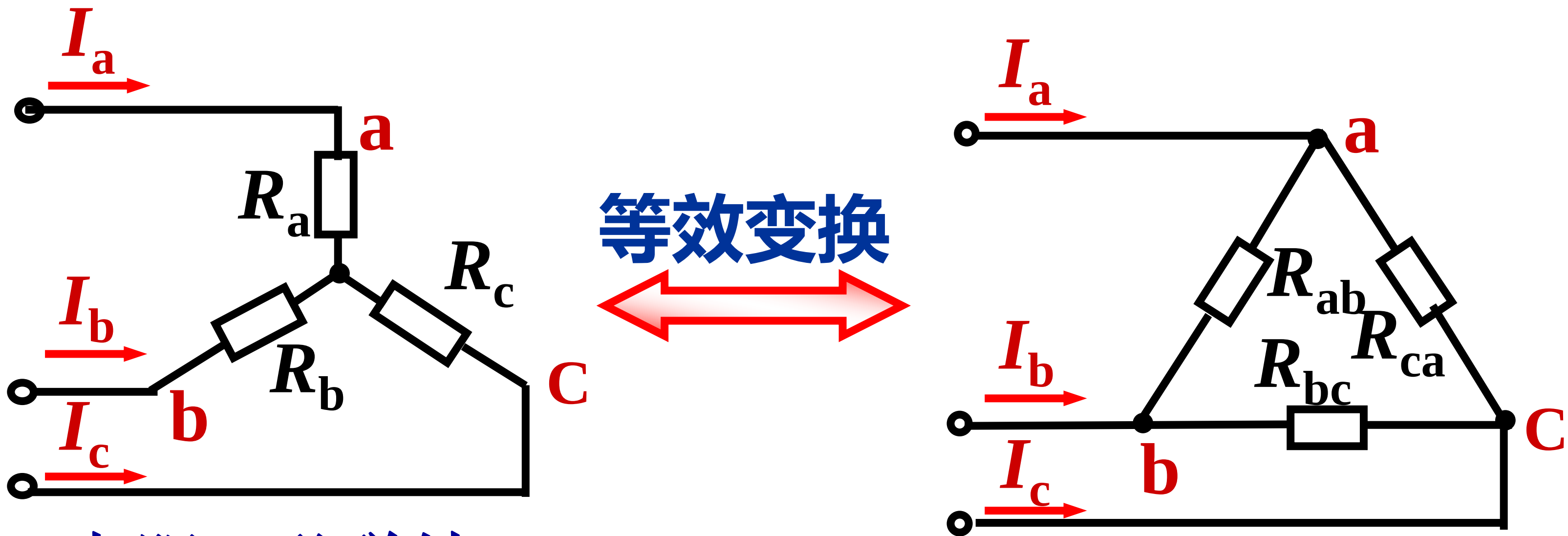
2.2 电阻星形与三角形联接的等效变换





Y-Δ等效变换



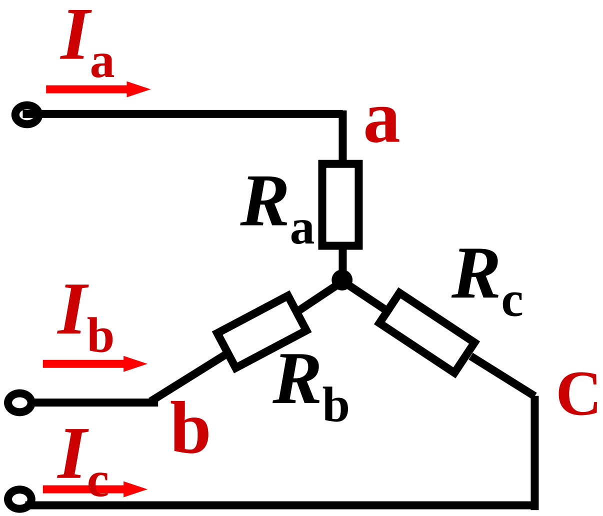


电阻Y形联结　　　　电阻Δ形联结

等效变换的条件：

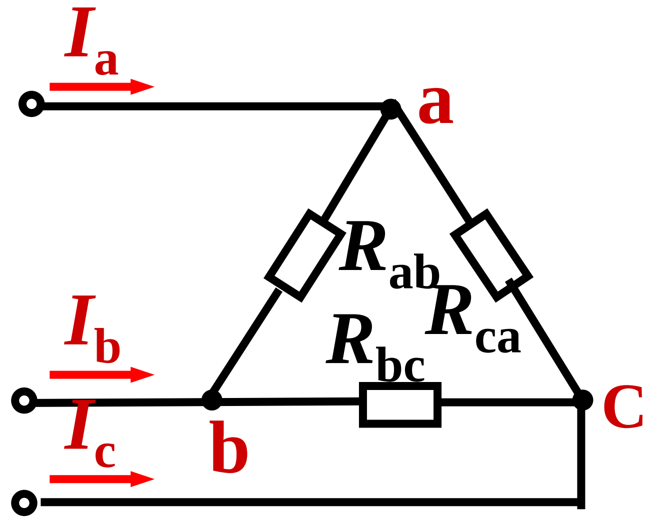
　　对应端流入或流出的电流（I_a、I_b、I_c）一一相等，对应端间的电压（U_{ab}、U_{bc}、U_{ca}）也一一相等。

经等效变换后，不影响其它部分的电压和电流。



电阻Y形联结

等效变换

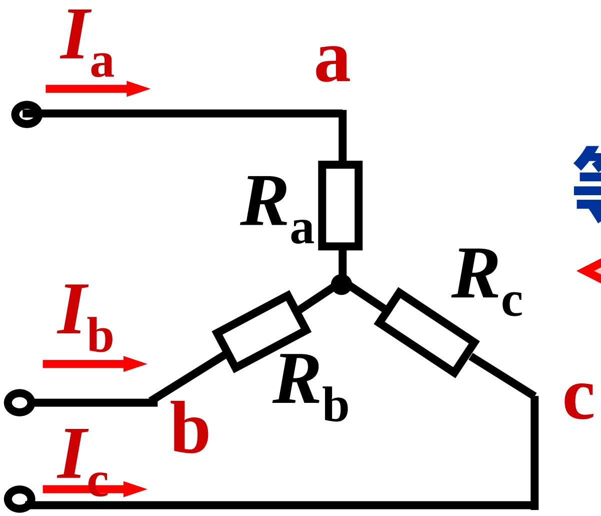


电阻Δ形联结

条件

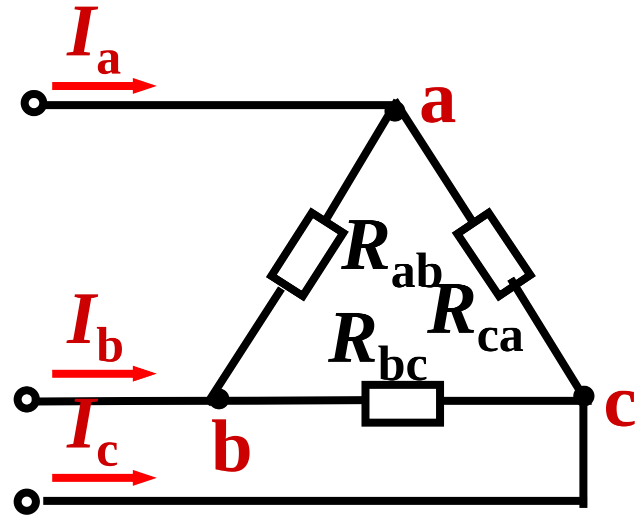
$$\begin{cases} R_a + R_b = R_{ab} //(R_{ca} + R_{ba}) \\ R_b + R_c = R_{bc} //(R_{ab} + R_{ba}) \\ R_a + R_c = R_{ca} //(R_{ab} + R_{bc}) \end{cases}$$

据此可推出两者的关系



Y→Δ

等效变换



Δ →Y

$$R_{ab} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_c}$$

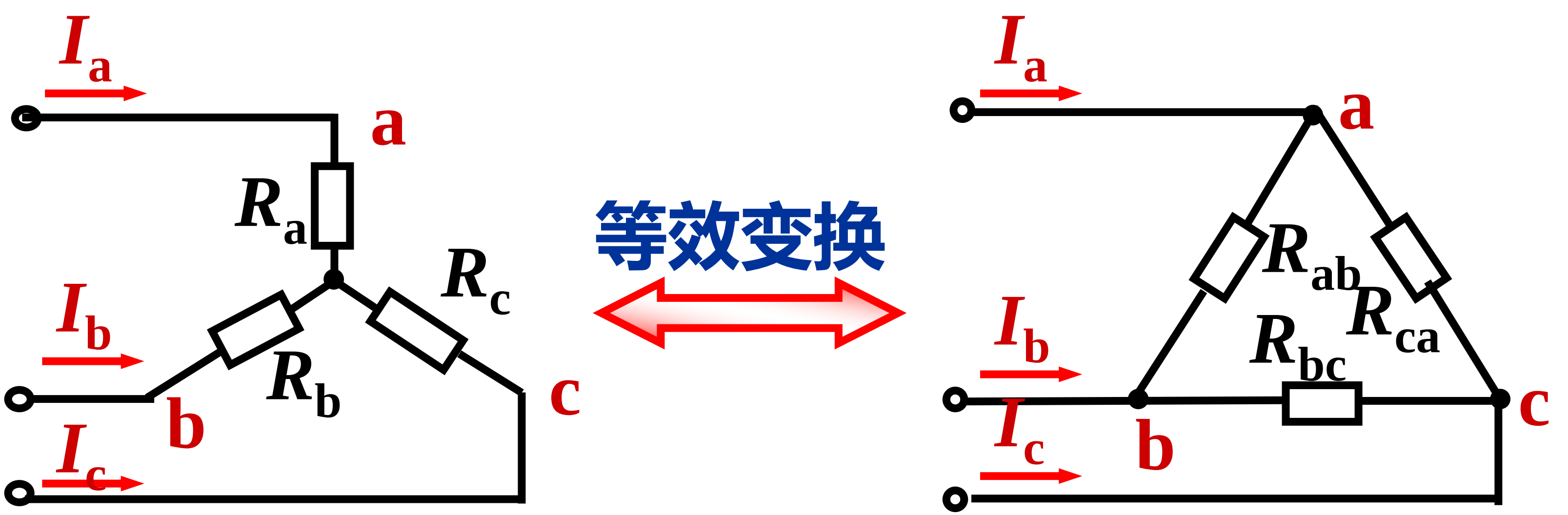
$$R_{bc} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_a}$$

$$R_{ca} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_b}$$

$$R_a = \frac{R_{ab} R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}$$

$$R_b = \frac{R_{bc} R_{ab}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}$$

$$R_c = \frac{R_{ca} R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}$$



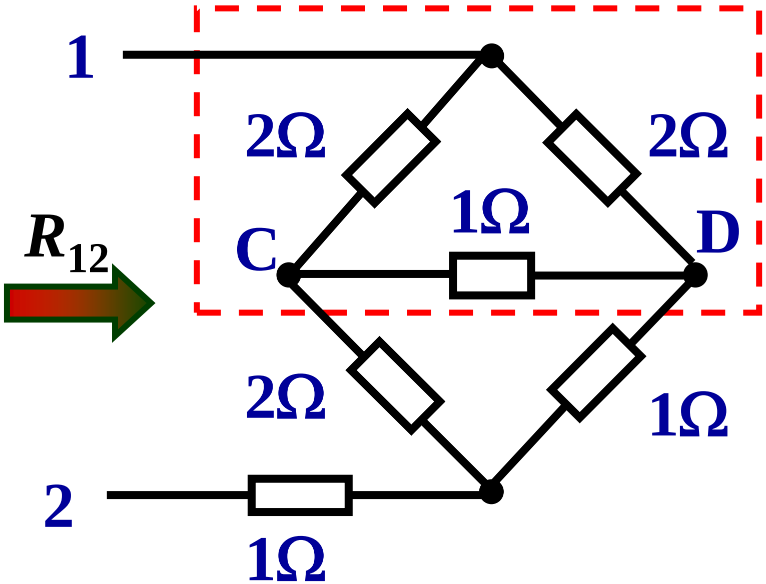
将Y形联接等效变换为Δ形联结时

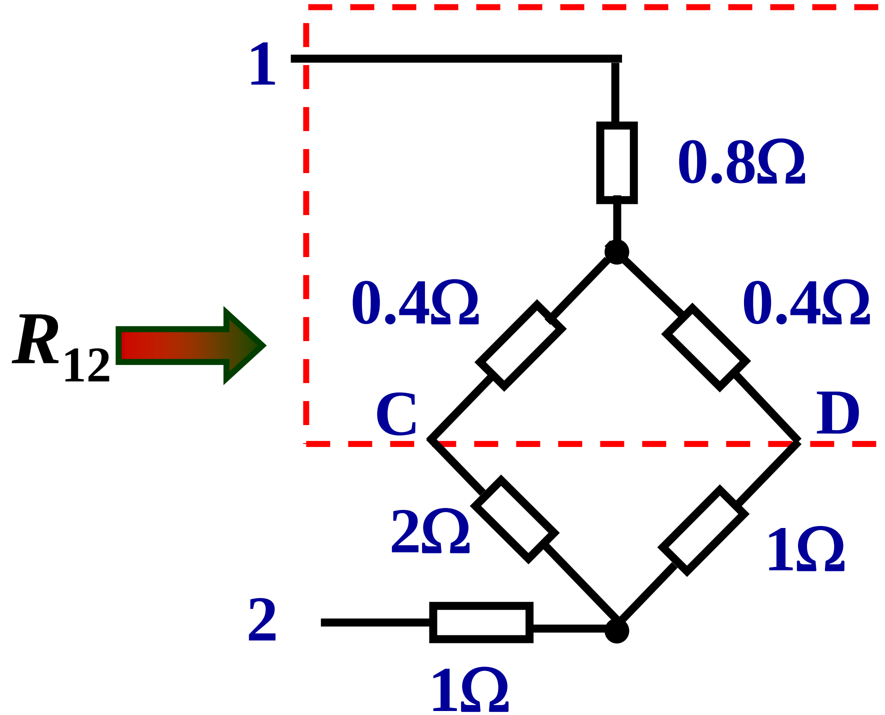
若 $R_a=R_b=R_c=R_Y$ 时，有$R_{ab}=R_{bc}=R_{ca}= R_\Delta= 3R_Y$；

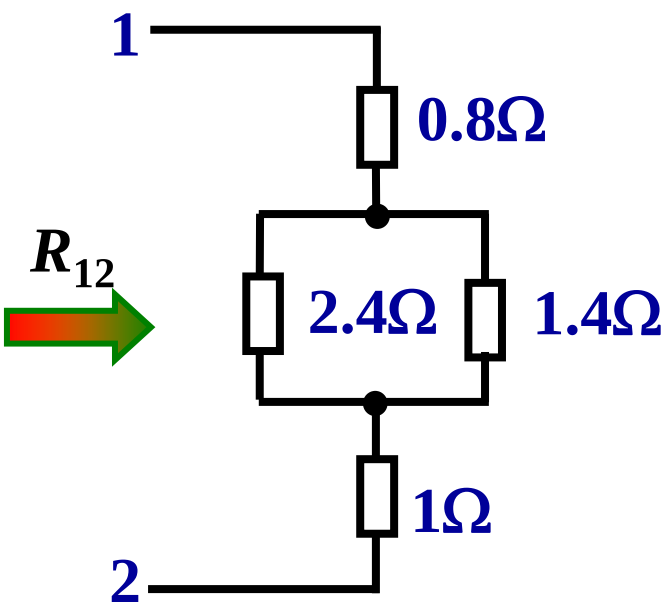
将Δ形联接等效变换为Y形联结时

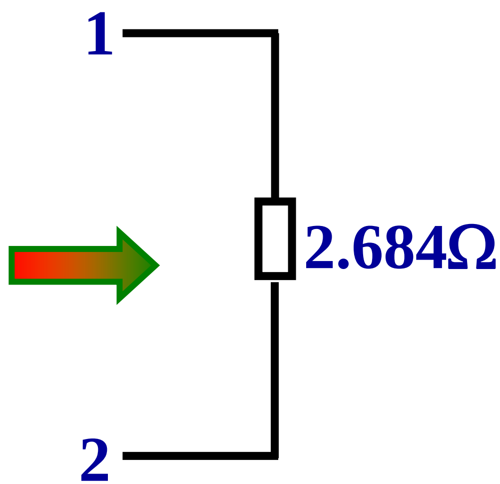
若 $R_{ab}=R_{bc}=R_{ca}=R_\Delta$ 时，有$R_a=R_b=R_c=R_Y=R_\Delta/3$

例1:对图示电路求总电阻R_{12}





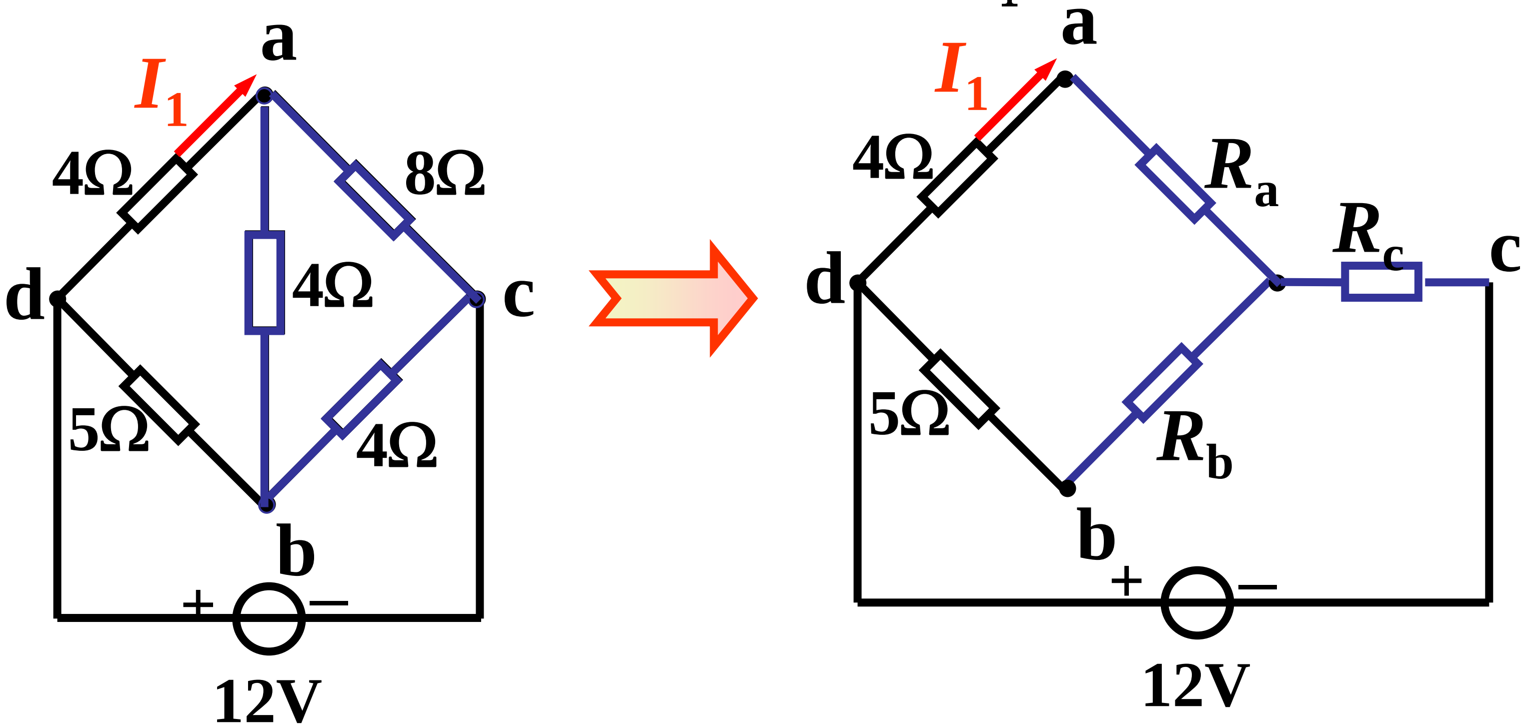




由图:

R_{12}=2.68Ω

例2：计算下图电路中的电流 I_1 。

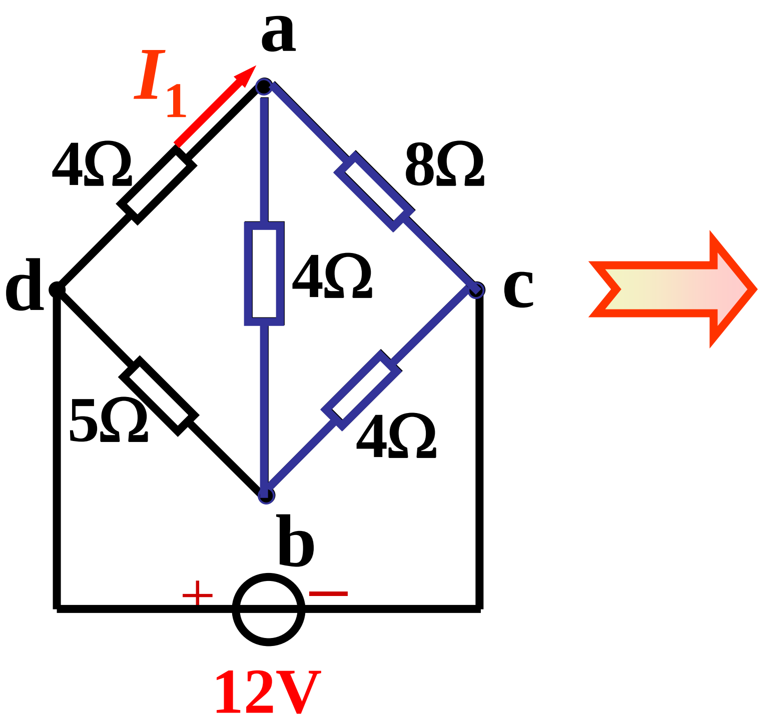


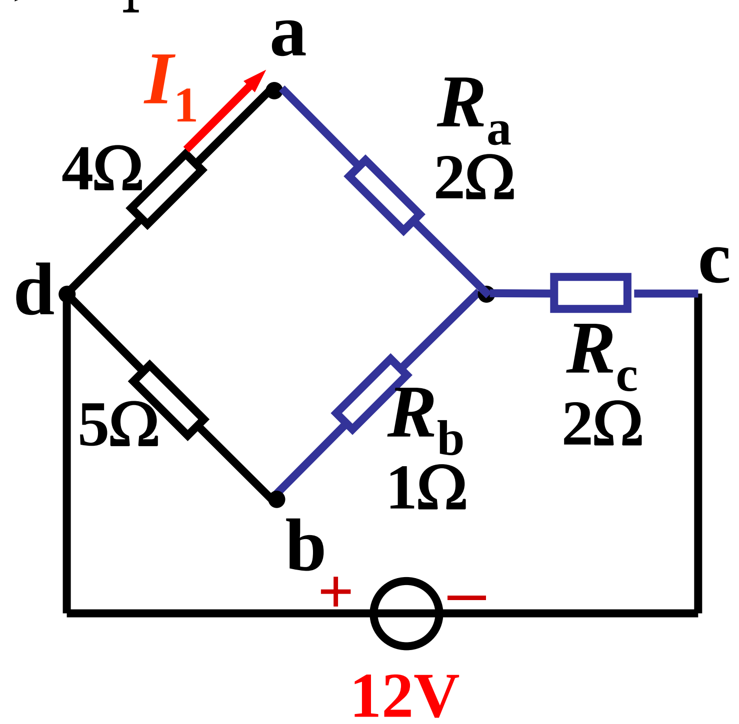
解：将联成Δ形abc的电阻变换为Y形联结的等效电阻

$$R_a = \frac{R_{ab}R_{ca}}{R_{ab}+R_{bc}+R_{ca}} = \frac{4\times 8}{4+4+8}\Omega = 2\,\Omega$$

$$R_b = \frac{4\times 4}{4+4+8}\Omega = 1\,\Omega \qquad R_c = \frac{8\times 4}{4+4+8}\Omega = 2\,\Omega$$

例2：计算下图电路中的电流 I_1 。





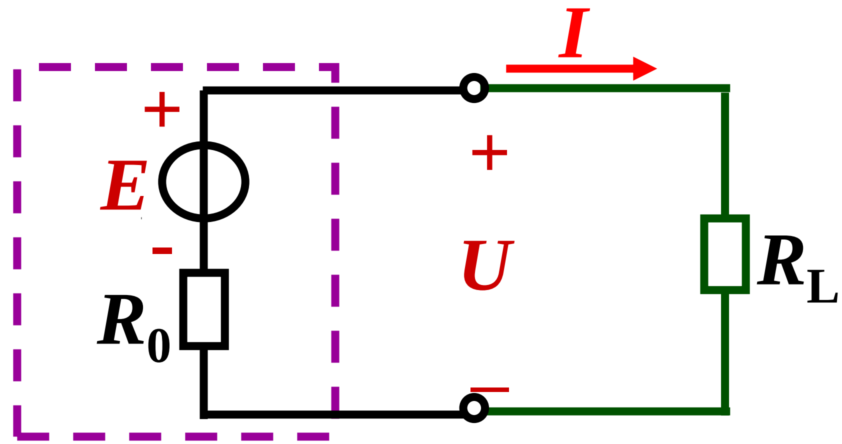
解：$$R=\frac{(4+2)\times(5+1)}{(4+2)+(5+1)}\Omega+2\Omega=5\ \Omega$$

$$I_1=\frac{5+1}{4+2+5+1}\times\frac{12}{5}\text{A}=1.2\ \text{A}$$

2.3 电压源与电流源及其等效变换

一、 电压源

电压源是由电动势 E 和内阻 R_0 串联的电源的电路模型。



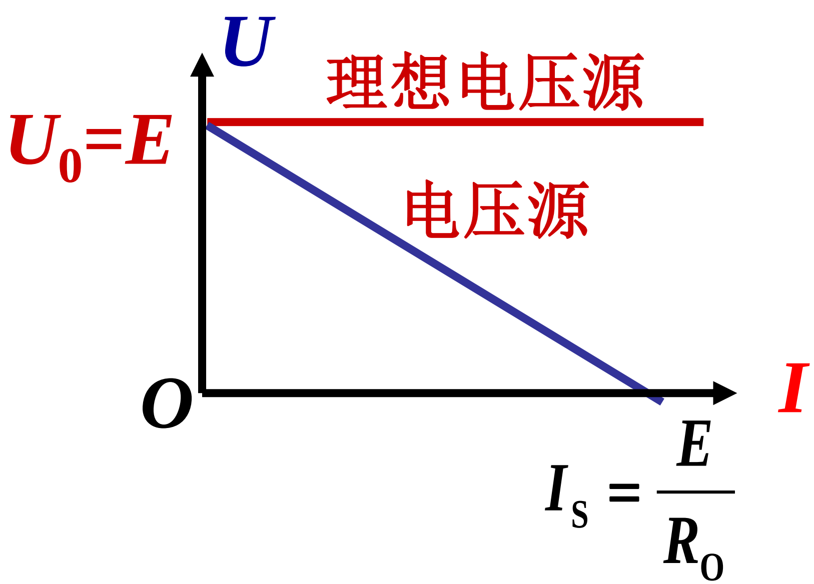
电压源模型

由上图电路可得: $U = E - IR_0$

若 $R_0 = 0$

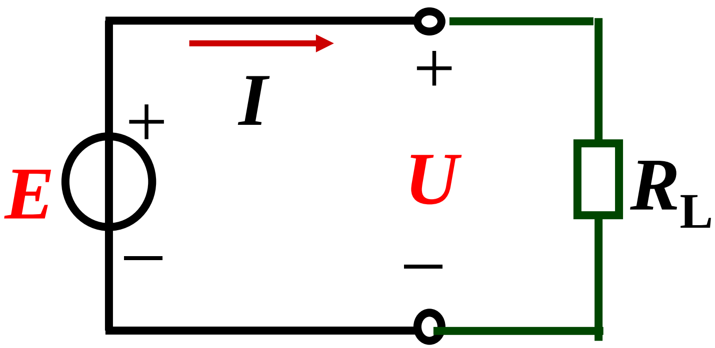
理想电压源： $U \equiv E$

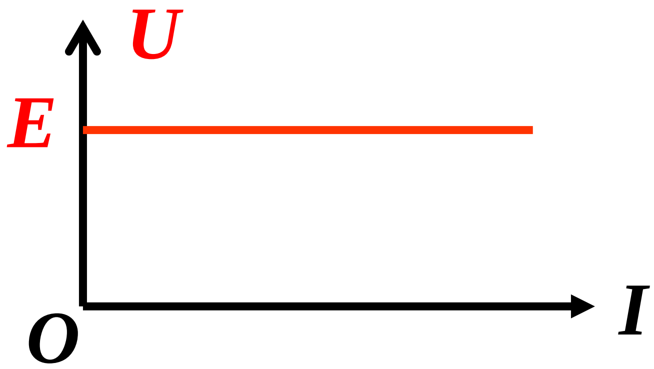
若 $R_0 << R_L$， $U \approx E$ ，
可近似认为是理想电压源。



电压源的外特性

理想电压源（恒压源）





外特性曲线

特点： (1) 内阻$R_0 = 0$

(2) 输出电压是一定值，恒等于电动势。

对直流电压，有 $U \equiv E$。

(3) 恒压源中的电流由外电路决定。

例1：设 $E = 10$ V，接上R_L 后，恒压源对外输出电流。

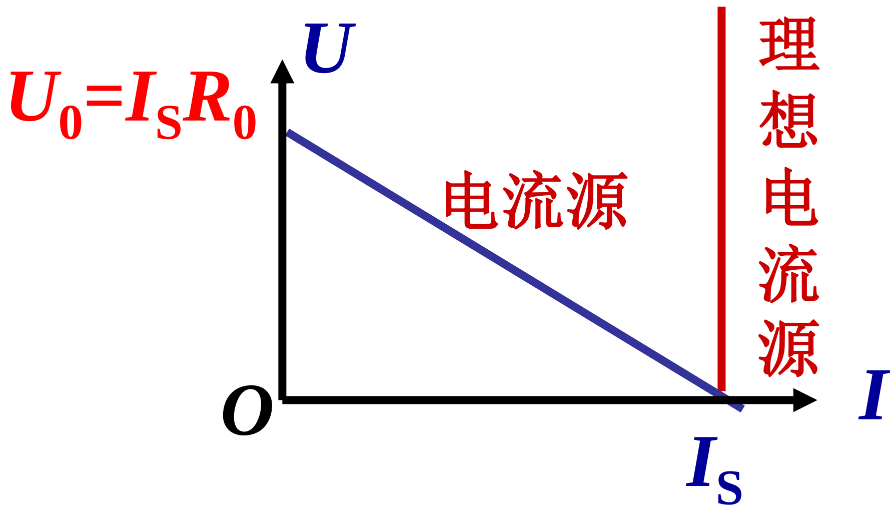
当 $R_L = 1\ \Omega$ 时， $U = 10$ V，$I = 10$A

当 $R_L = 10\ \Omega$ 时， $U = 10$ V，$I = 1$A

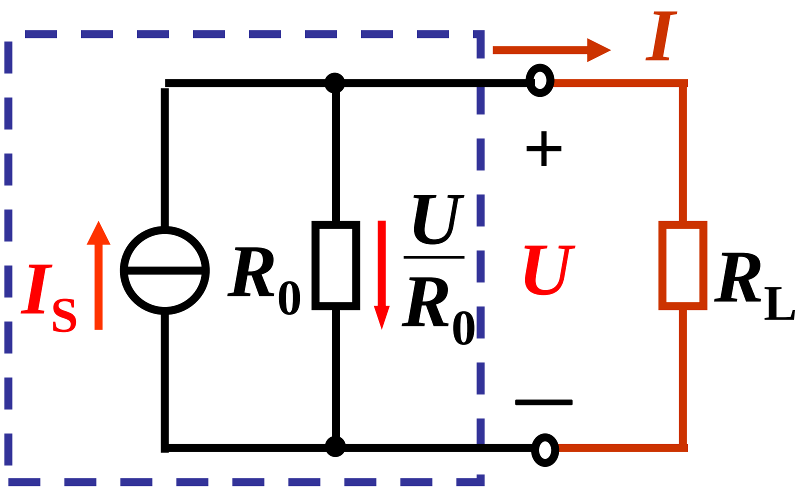
电压恒定，电流随负载变化

二、 电流源

电流源是由电流 I_S 和内阻 R_0 并联的电源的电路模型。



电流源的外特性



电流源模型

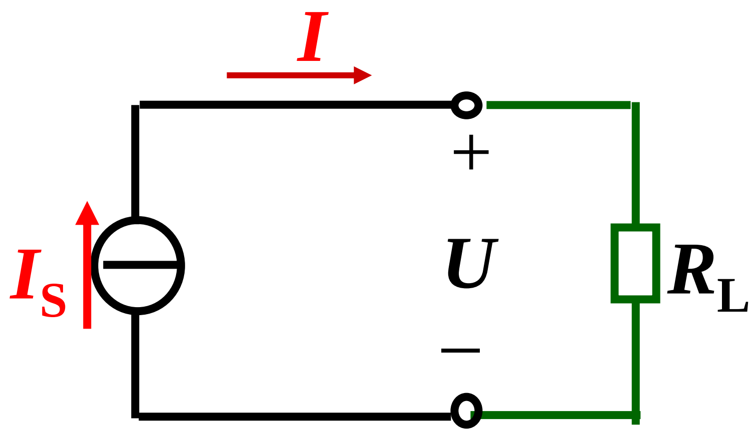
由电路图可得: $I = I_S - \dfrac{U}{R_0}$

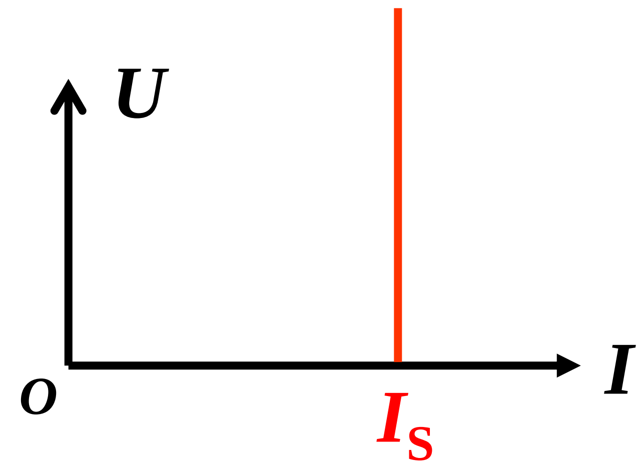
若 $R_0 = \infty$

理想电流源 : $I \equiv I_S$

若 $R_0 >> R_L$，$I \approx I_S$， 可近似认为是理想电流源。

理想电流源（恒流源）





外特性曲线

特点：(1) 内阻$R_0 = \infty$；

(2) 输出电流是一定值，恒等于电流 I_S；

(3) 恒流源两端的电压 U 由外电路决定。

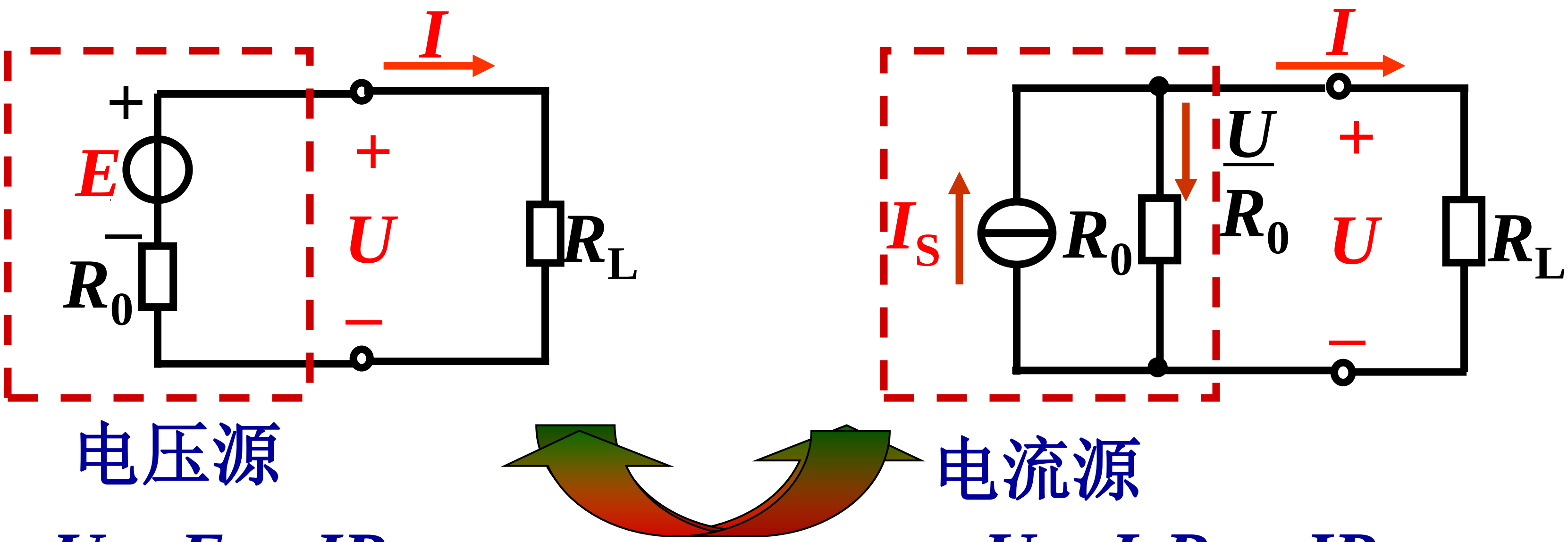
例1：设 $I_S = 10$ A，接上R_L 后，恒流源对外输出电流。

当 $R_L = 1\ \Omega$ 时，$I = 10$A，$U = 10$ V

当 $R_L = 10\ \Omega$ 时，$I = 10$A，$U = 100$V

电流恒定，电压随负载变化。

三、 电压源与电流源的等效变换



$U = E - IR_0$　　　　　　$U = I_S R_0 - IR_0$

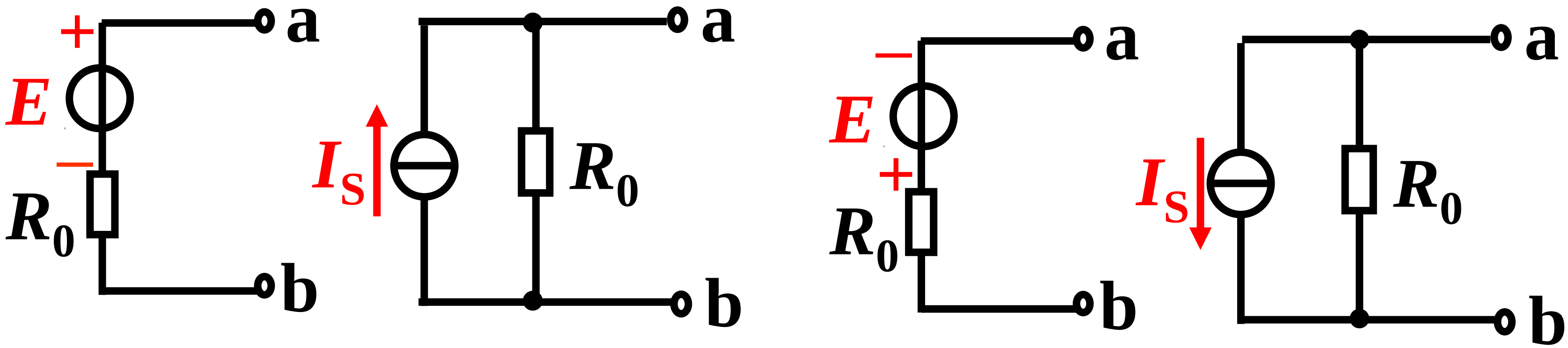
等效变换条件: $\begin{cases} E = I_S R_0 \\ I_S = \dfrac{E}{R_0} \end{cases}$

注意事项：

① 电压源和电流源的等效关系只对外电路而言，对电源内部则是不等效的。

例：当$R_L = \infty$时，电压源的内阻 R_0 中不损耗功率，而电流源的内阻 R_0 中则损耗功率。

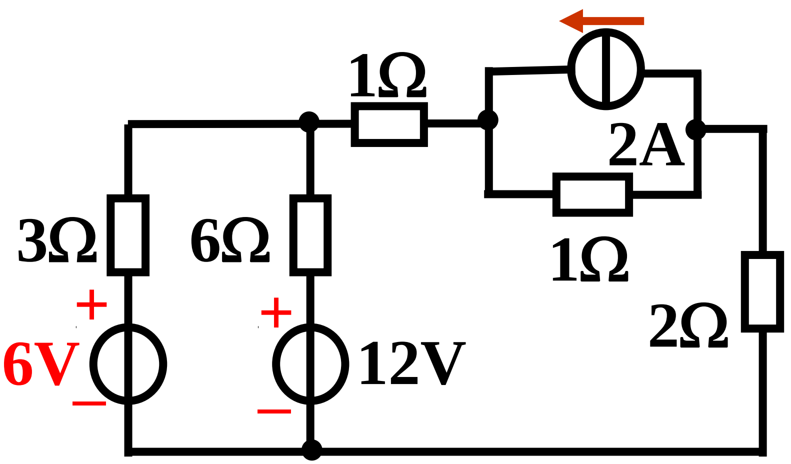
② 等效变换时，两电源的参考方向要一一对应。



③ 理想电压源与理想电流源之间无等效关系。

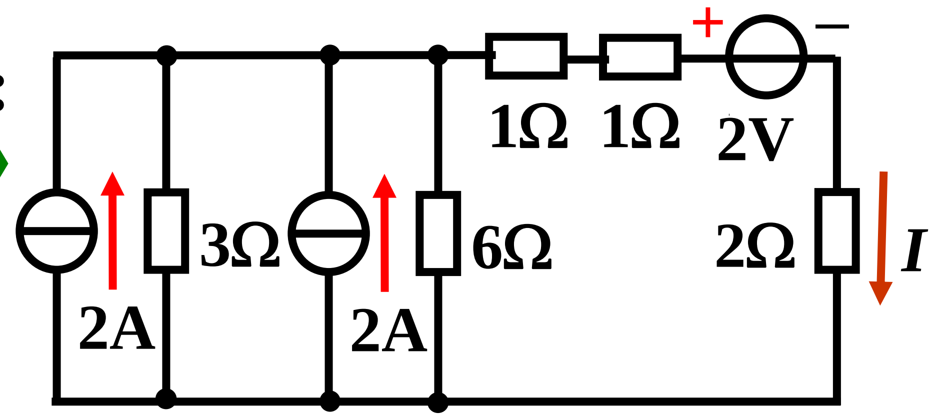
④ 任何一个电动势 E 和某个电阻 R 串联的电路，都可化为一个电流为 I_S 和这个电阻并联的电路。

例1: 试用电压源与电流源等效变换的方法计算2Ω电阻中的电流。

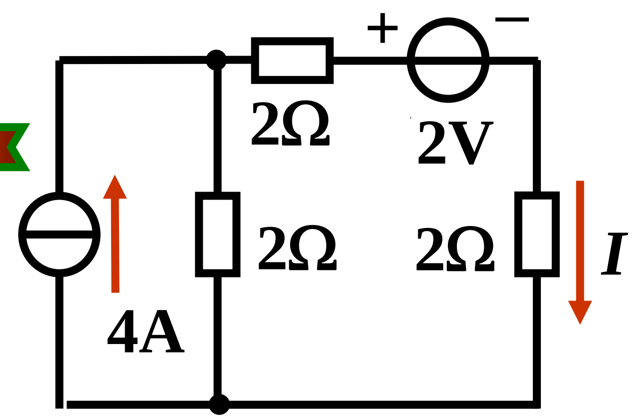


(a)

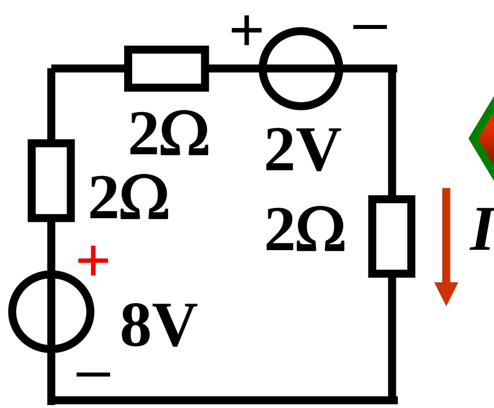
解:



(b)



(c)

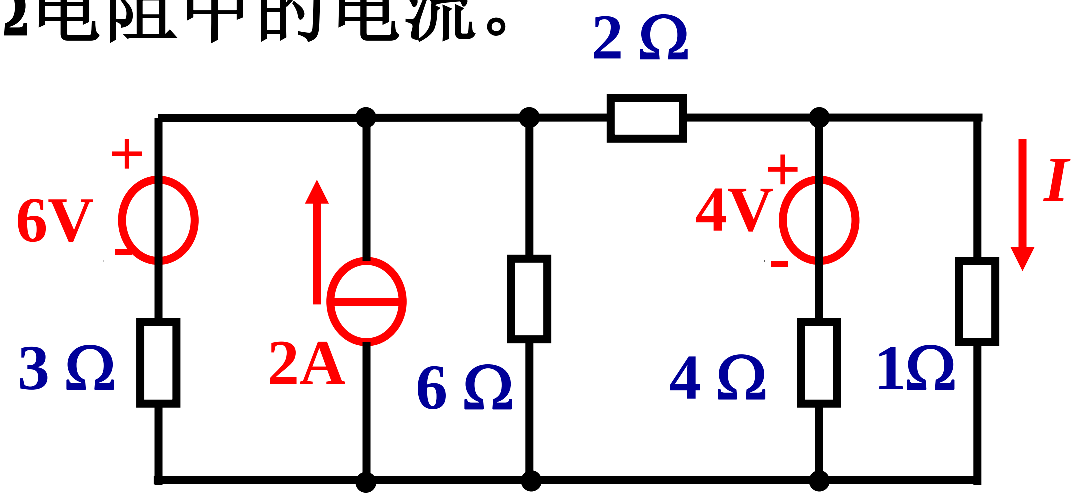


(d)

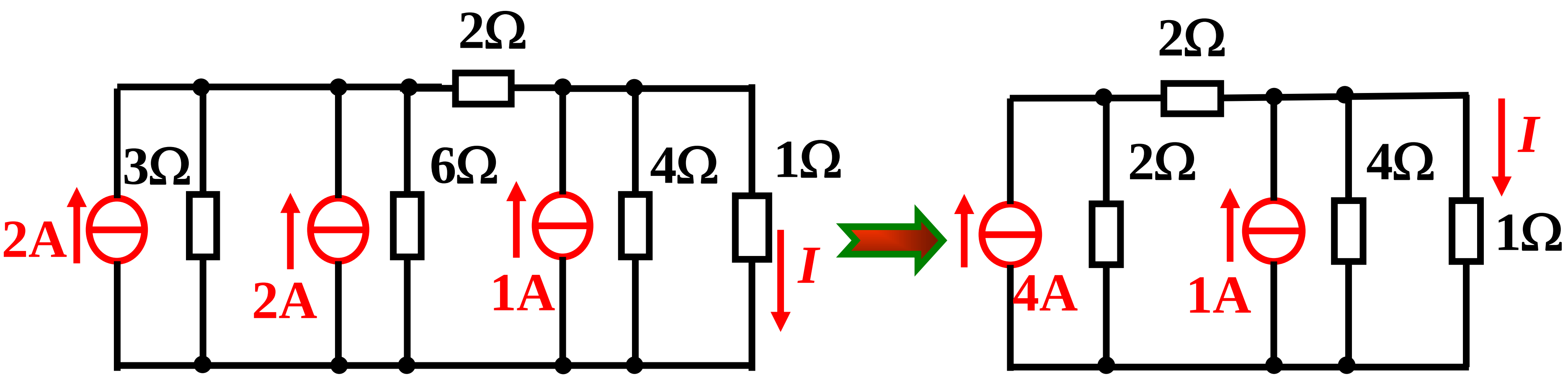
由图(d)可得

$$I=\frac{8-2}{2+2+2}\text{A}=1\text{A}$$

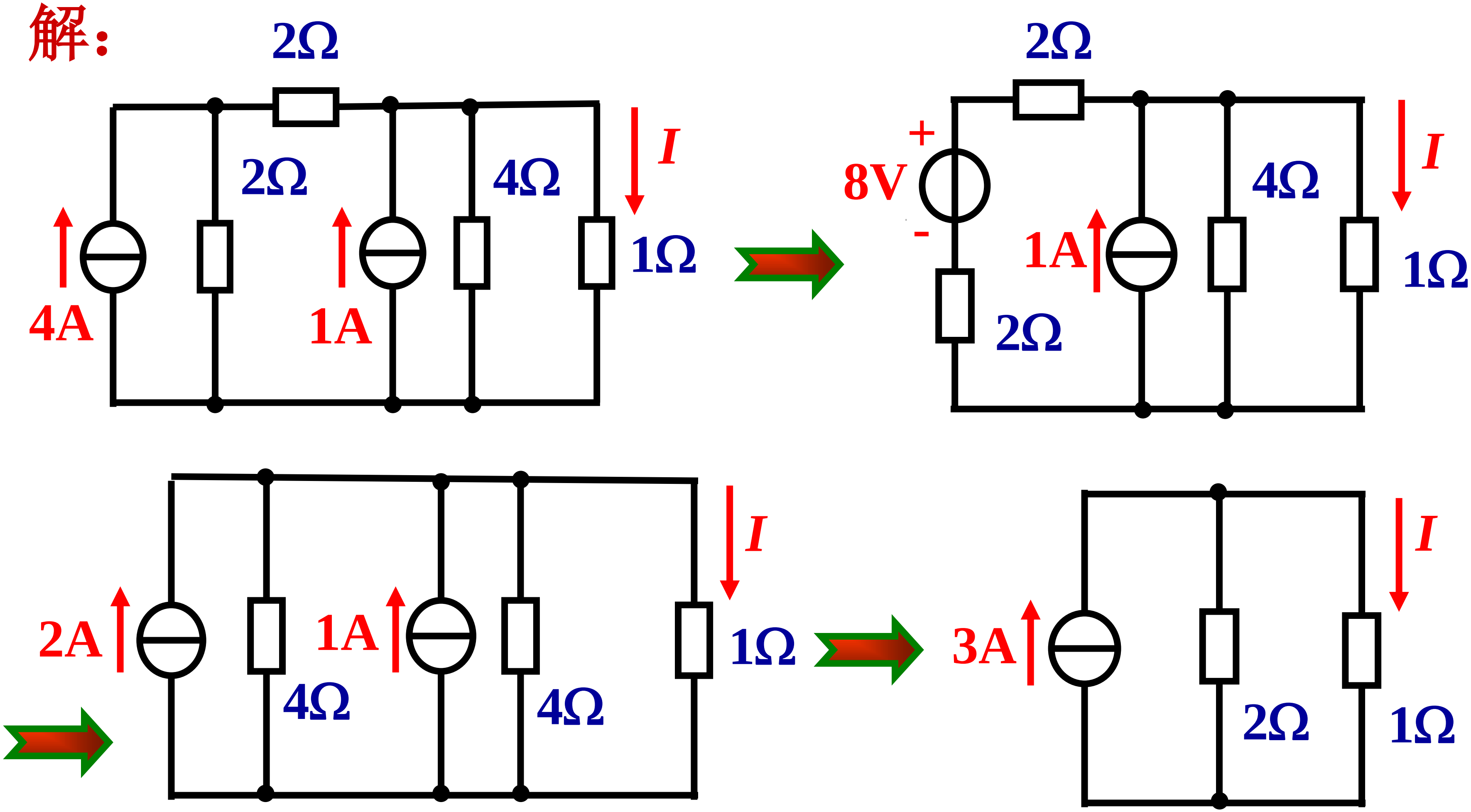
例2:试用电压源与电流源等效变换的方法计算图示电路中1 Ω电阻中的电流。



解：统一电源形式



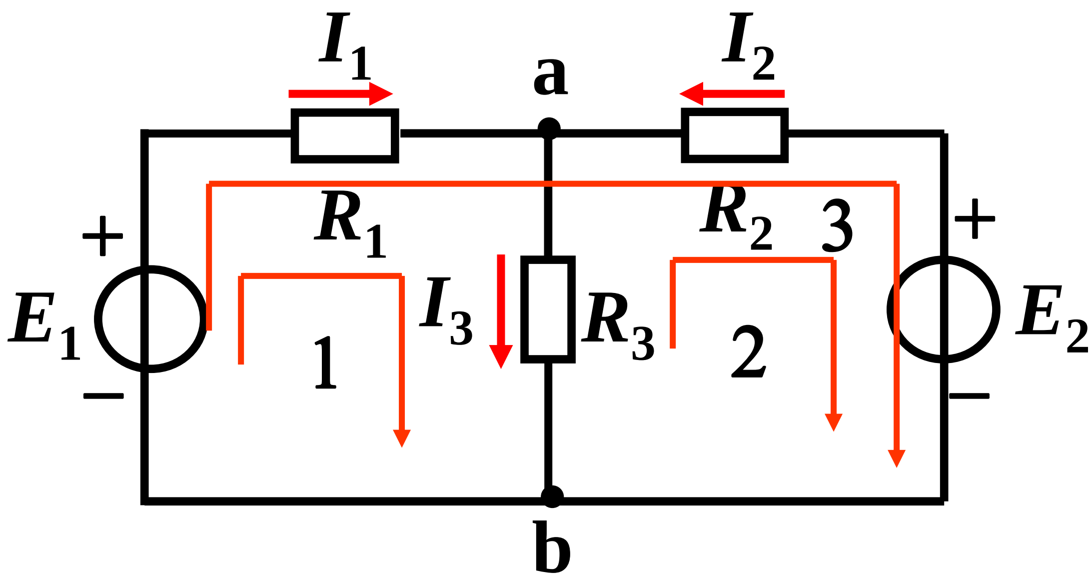
解:



$$\boxed{I=\frac{2}{2+1}\times 3\mathrm{A}=2\mathrm{A}}$$

2.4 支路电流法

支路电流法：以支路电流为未知量、应用基尔霍夫定律（KCL、KVL）列方程组求解。



支路数： b=3　　结点数：n =2

回路数 = 3　单孔回路（网孔）=2

若用支路电流法求各支路电流应列出三个方程

支路电流法的解题步骤:

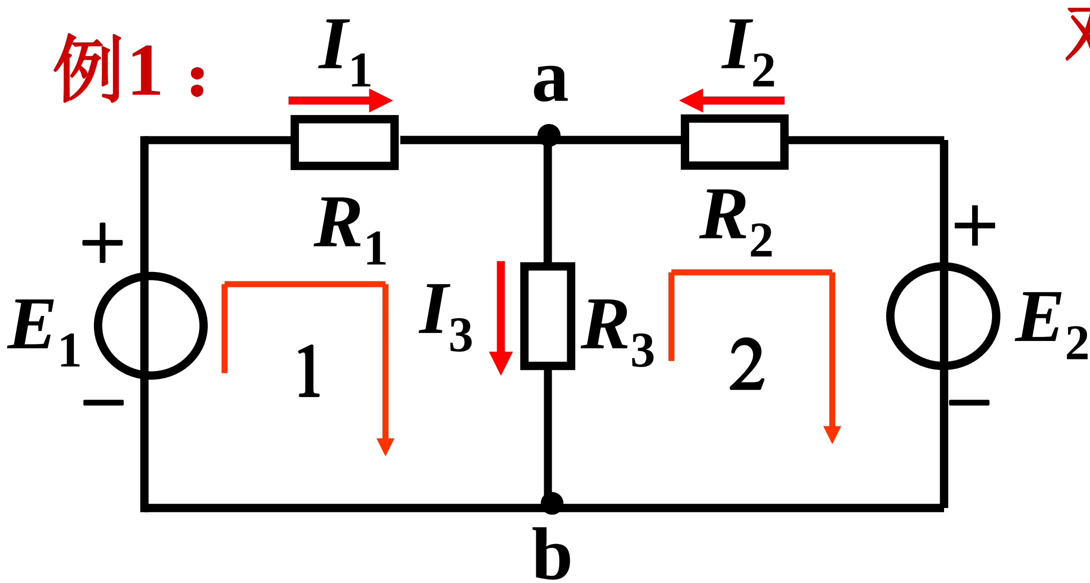
1. 在图中标出各支路电流的参考方向，对选定的回路标出回路循行方向。

2. 应用 KCL 对结点列出 ($n-1$)个独立的结点电流方程。

3. 应用 KVL 对回路列出 $b-(n-1)$ 个独立的回路电压方程（通常可取网孔列出）。

4. 联立求解 b 个方程，求出各支路电流。

例1：



对结点 a：

$$I_1+I_2-I_3=0$$

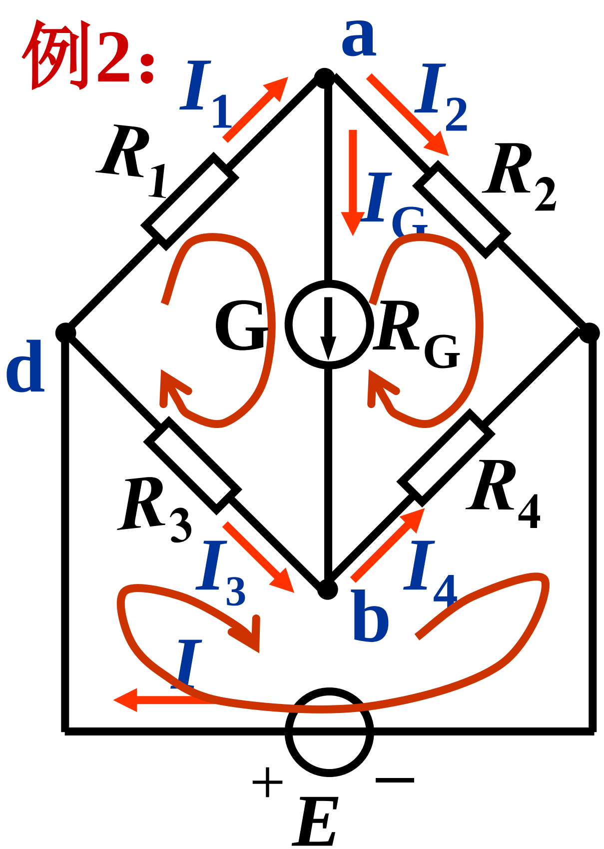
对网孔1：

$$I_1R_1+I_3R_3=E_1$$

对网孔2：

$$I_2R_2+I_3R_3=E_2$$

例2:



试求检流计中的电流I_G。

支路数 b=6，要列6个方程。

(1) 应用KCL列(n-1)个结点电流方程

对结点 a：$I_1 - I_2 - I_G = 0$

对结点 b：$I_3 - I_4 + I_G = 0$

对结点 c：$I_2 + I_4 - I = 0$

(2) 应用KVL选网孔列回路电压方程

对网孔abda：$I_G R_G - I_3 R_3 + I_1 R_1 = 0$

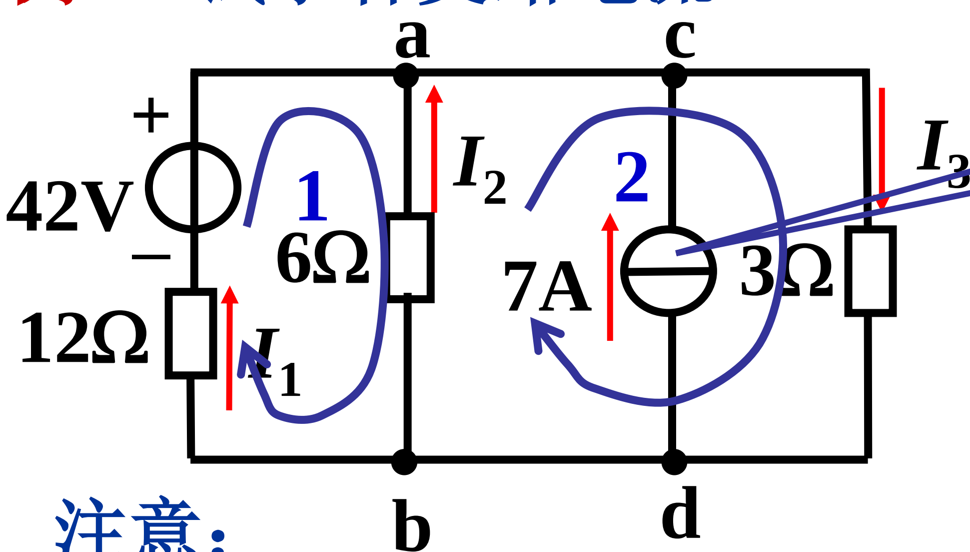
对网孔acba：$I_2 R_2 - I_4 R_4 - I_G R_G = 0$

对网孔bcdb：$I_4 R_4 + I_3 R_3 = E$

(3) 联立解出 I_G

支路电流法是电路分析中最基本的方法之一，但当支路数较多时，所需方程的个数较多，求解不方便。

例3：试求各支路电流。



支路中含有恒流源。

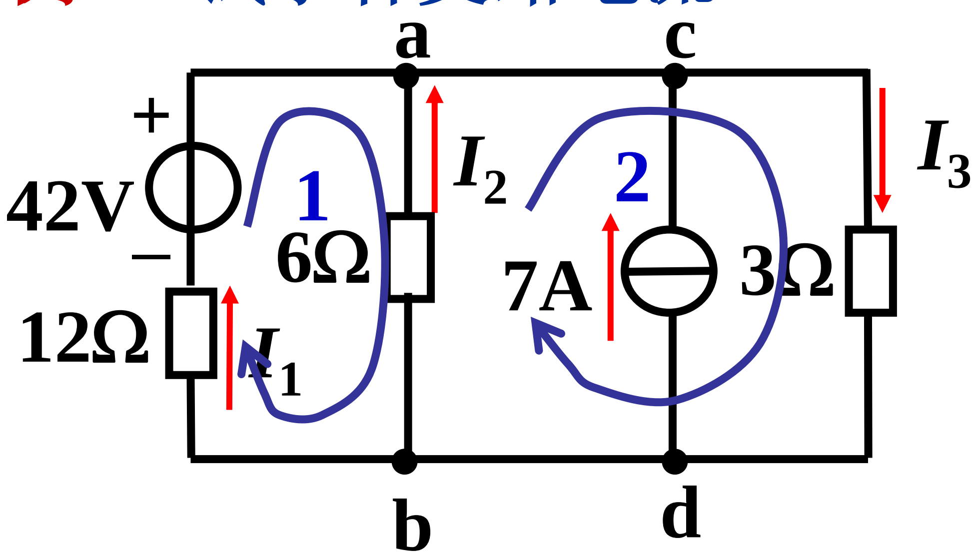
支路数b =4，但恒流源支路的电流已知，则未知电流只有3个，能否只列3个方程？可以。

注意：

(1) 当支路中含有恒流源时，若在列KVL方程时，所选回路中不包含恒流源支路，这时，电路中有几条支路含有恒流源，则可少列几个KVL方程。

(2) 若所选回路中包含恒流源支路，则因恒流源两端的电压未知，所以，有一个恒流源就出现一个未知电压，因此，在此种情况下不可少列KVL方程。

例3：试求各支路电流。



支路数b =4，但恒流源支路的电流已知，则未知电流只有3个，所以可只列3个方程。

(a、c)(b、d)可分别看成一个结点。

支路中含有恒流源。

(1) 应用KCL列结点电流方程

对结点 a：$I_1 + I_2 – I_3 = – 7$

(2) 应用KVL列回路电压方程

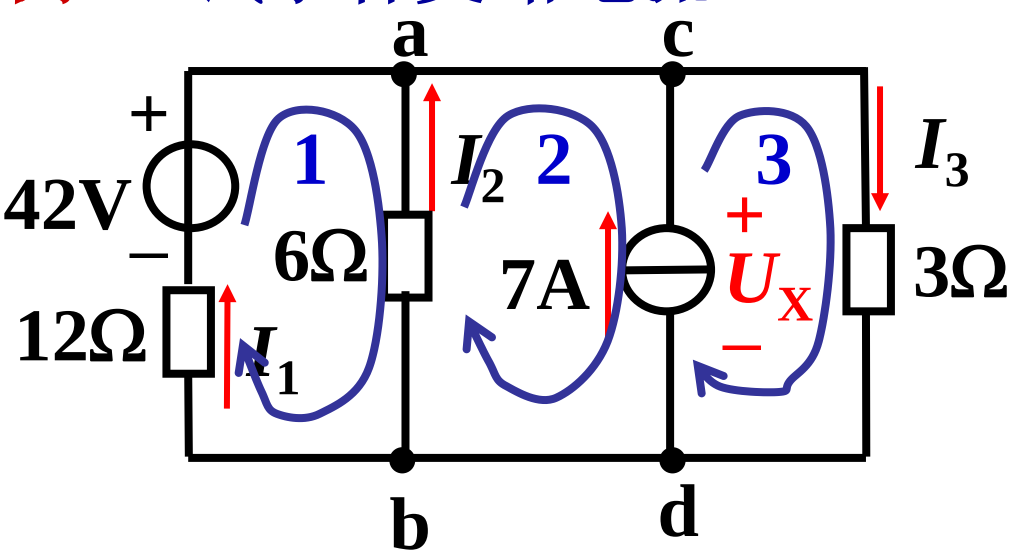
对回路1：$12I_1 – 6I_2 = 42$

对回路2：$6I_2 + 3I_3 = 0$

因所选回路不包含恒流源支路，所以，3个网孔列2个KVL方程即可。

(3) 联立解得：I_1= 2A，I_2= –3A，I_3=6A

例3：试求各支路电流。



支路数b =4，且恒流源支路的电流已知。

(1) 应用KCL列结点电流方程

对结点 a：$I_1 + I_2 - I_3 = -7$

(2) 应用KVL列回路电压方程

对回路1：$12I_1 - 6I_2 = 42$

对回路2：$6I_2 + U_X = 0$

对回路3：$-U_X + 3I_3 = 0$

(3) 联立解得：$I_1 = 2A$，$I_2 = -3A$，$I_3 = 6A$

因所选回路中包含恒流源支路，而恒流源两端的电压未知，所以有3个网孔则要列3个KVL方程。

2. 5 结点电压法

结点电压的概念：

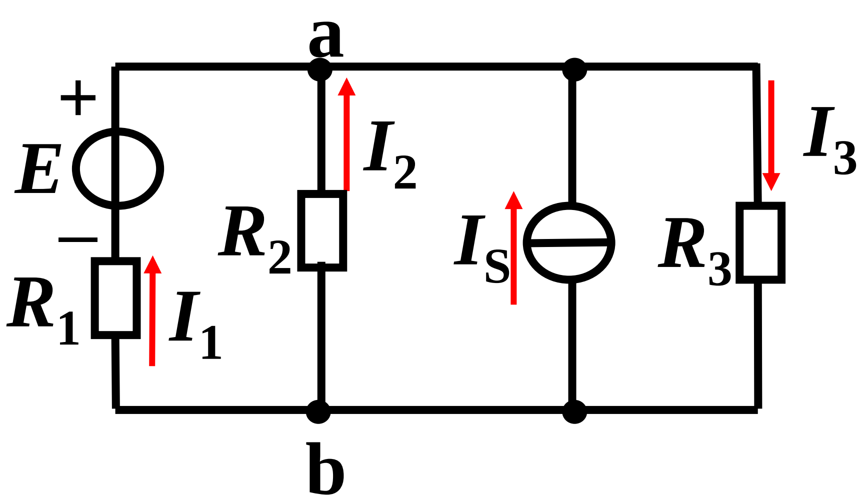
任选电路中某一结点为零电位参考点(用 ⊥ 表示)，其他各结点对参考点的电压，称为结点电压。

结点电压的参考方向从结点指向参考结点。

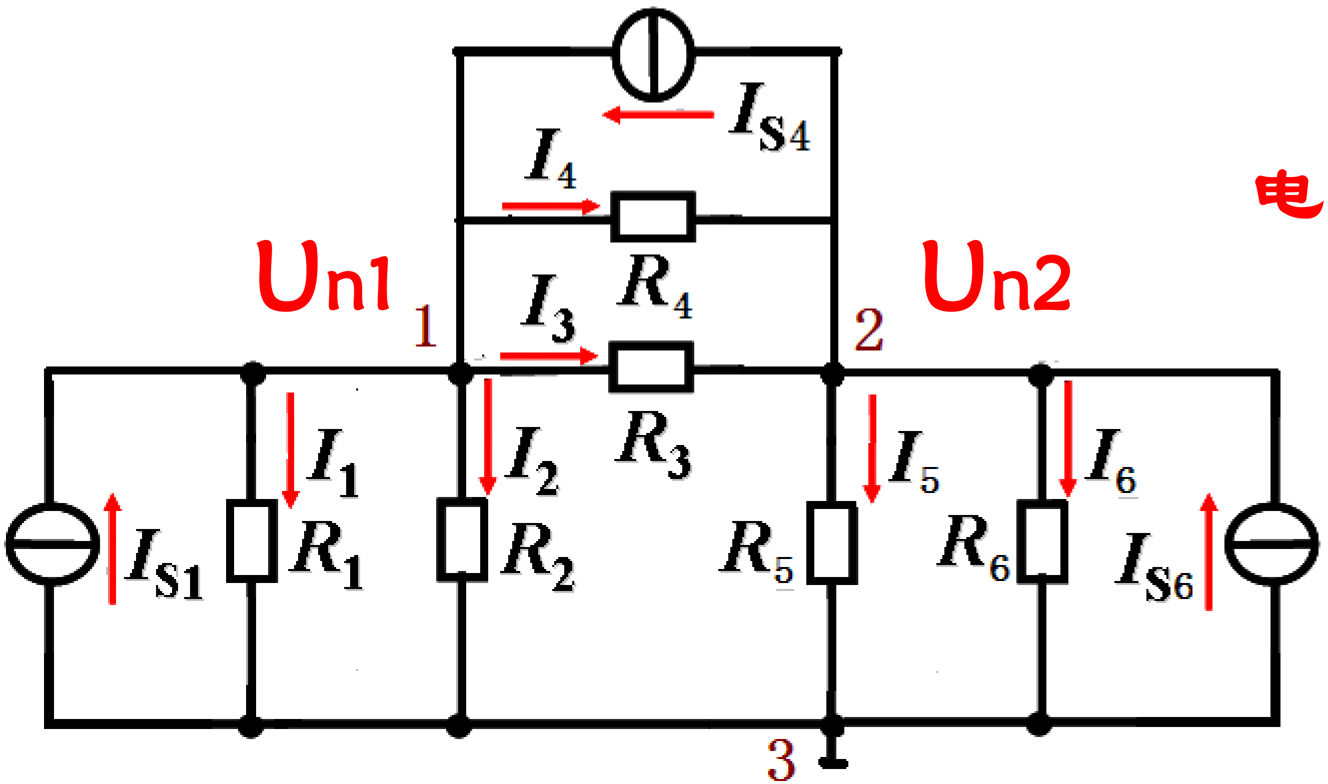
结点电压法：以结点电压为未知量，列方程求解。

在求出结点电压后，可应用基尔霍夫定律或欧姆定律求出各支路的电流或电压。

结点电压法适用于支路数较多，结点数较少的电路。



在左图电路中只含有两个结点，若设 b 为参考结点，则电路中只有一个未知的结点电压。

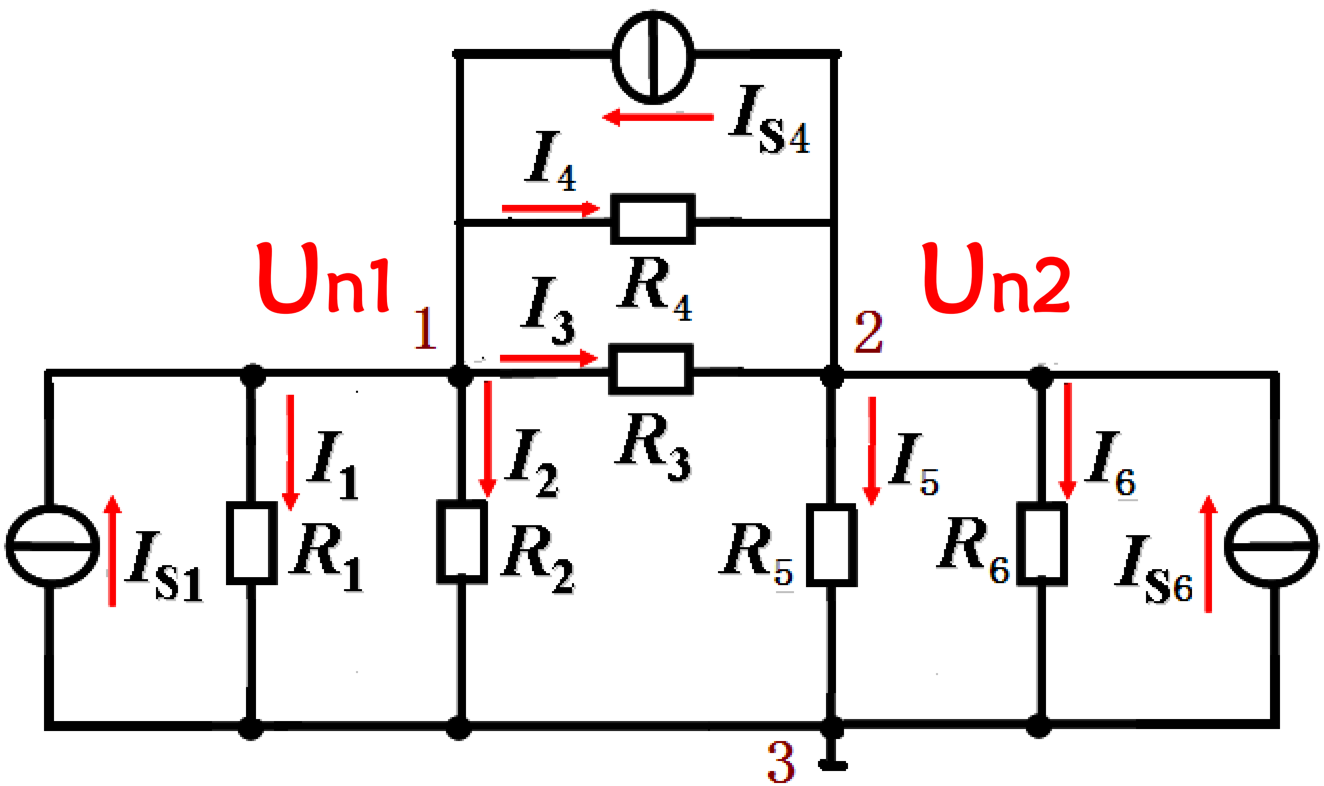


电路中只有电流源

选结点3为参考结点，其它结点与参考结点之间的电压为结点电压

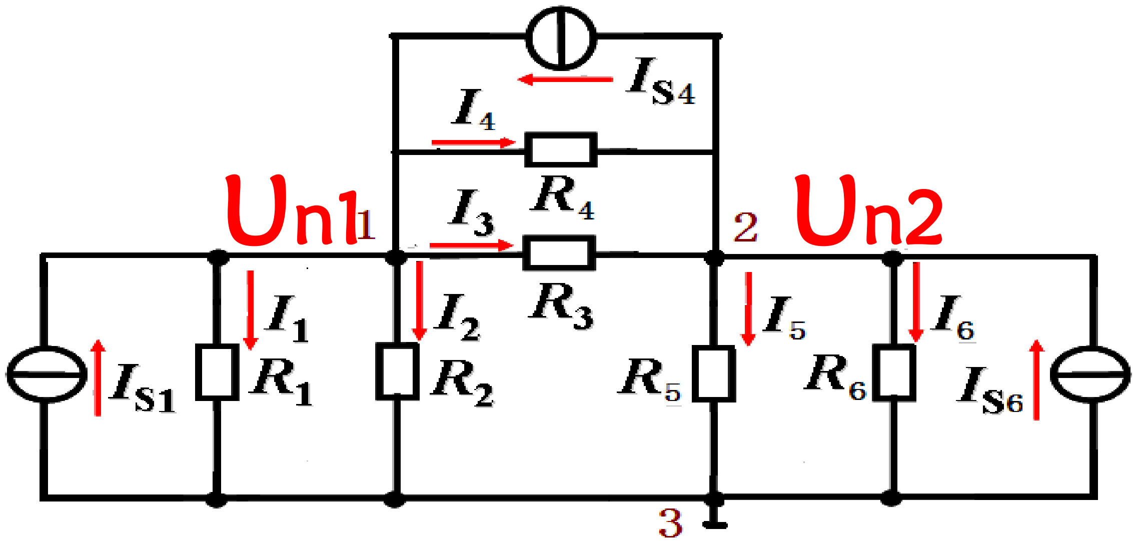
以结点电压为变量列出与结点电压数目相等的独立方程，从而解得结点电压。

根据结点电压可求出各支路的电流



结点1：$$-\frac{U_{n1}}{R_1}-\frac{U_{n1}}{R_2}-\frac{1}{R_3}(U_{n1}-U_{n2})-\frac{1}{R_4}(U_{n1}-U_{n2})+I_{S1}+I_{S4}=0$$

结点2：$$\frac{1}{R_3}(U_{n1}-U_{n2})+\frac{1}{R_4}(U_{n1}-U_{n2})-\frac{U_{n2}}{R_5}-\frac{U_{n2}}{R_6}+I_{S6}-I_{S4}=0$$



$$\ldots_{n2}) + I_{S1} + I_{S4} = 0$$

$$\ldots + I_{S6} - I_{S4} = 0$$

自电阻的倒数和　　　　互电阻的倒数和

整理，得

$$\begin{cases} \left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}\right)U_{n1} - \left(\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}\right)U_{n2} = I_{S1} + I_{S4} \\ -\left(\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}\right)U_{n1} + \left(\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}+\dfrac{1}{R_5}+\dfrac{1}{R_6}\right)U_{n2} = I_{S6} - I_{S4} \end{cases}$$

互电阻的倒数和　　　　自电阻的倒数和

说明：　如果两个结点之间没有支路直接相连，则相应的互电阻的倒数和为零。

结点电压法的步骤：

1. 指定零电位参考结点，其它各结点对参考结点的电压就是结点电压。结点电压的参考方向从结点指向参考结点。

2. 列出各结点的方程，自电阻的倒数和为正,互电阻的倒数和为负。

3. 连接到本结点的电流源，流入为正，流出为负。

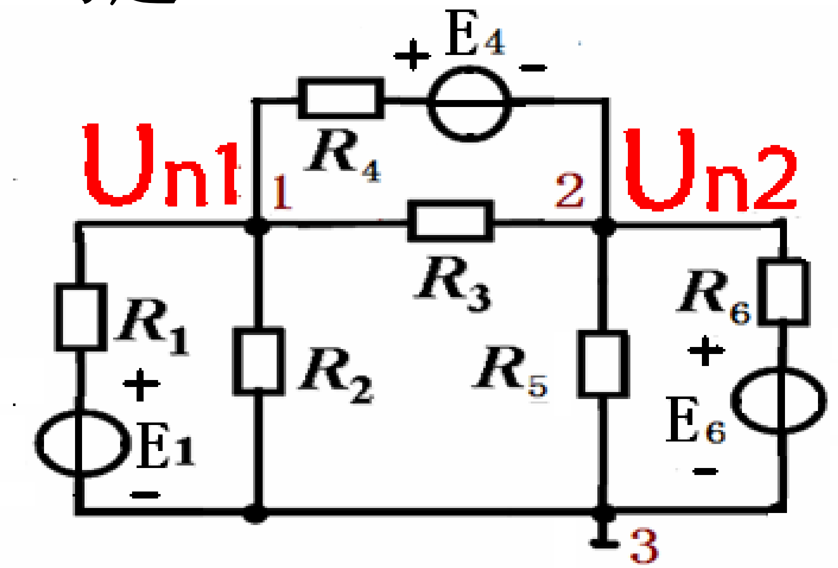
4. 解方程求出各个结点电压，根据欧姆定律可求各支路电流。

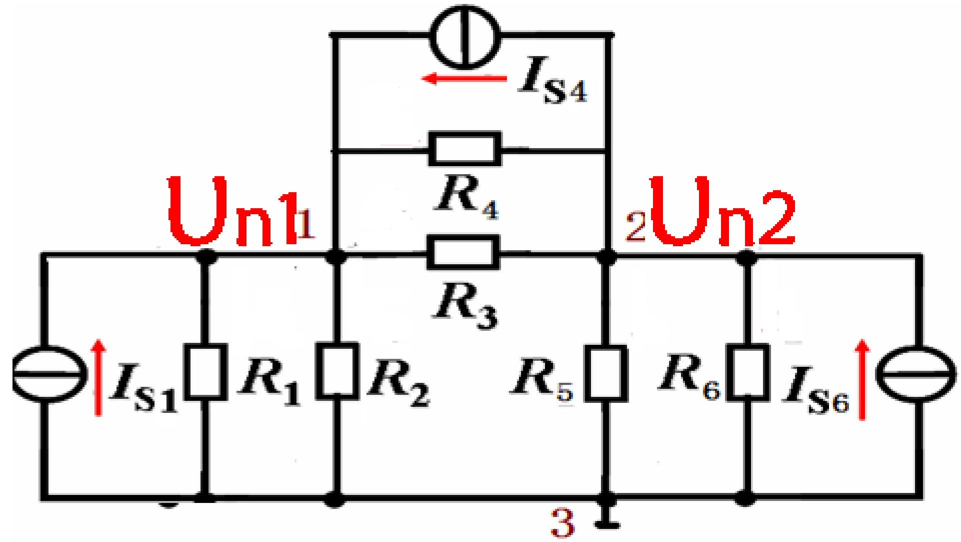
说明：

1. 如果电路中还有电压源，可把电压源与电阻的串联转换为电流源与电阻的并联。

2. 如果电路中的电压源支路无电阻，则相应的结点电压为已知条件，可少列方程。

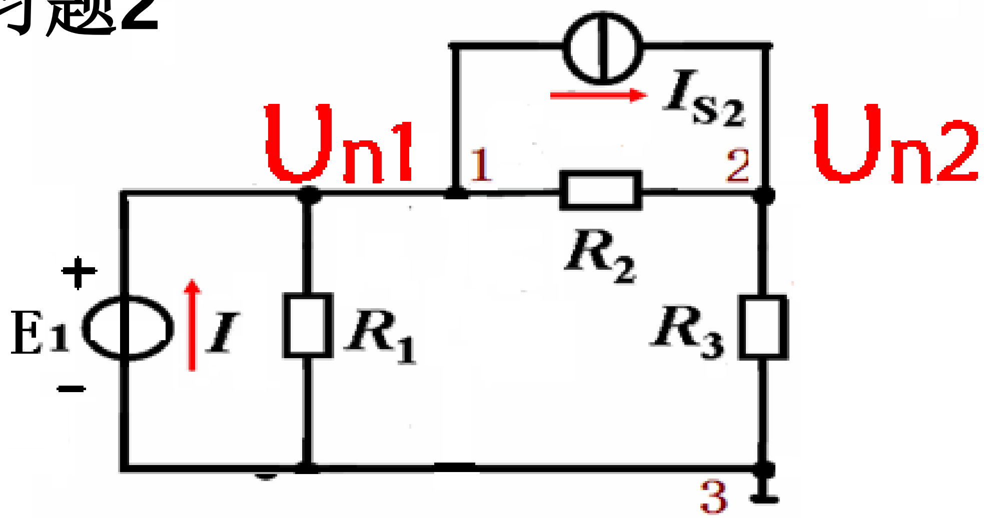
习题1





$$
\begin{cases}
\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}\right)U_{n1}-\left(\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}\right)U_{n2}=\dfrac{E_1}{R_1}+\dfrac{E_4}{R_4} \\[2ex]
-\left(\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}\right)U_{n1}+\left(\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}+\dfrac{1}{R_5}+\dfrac{1}{R_6}\right)U_{n2}=\dfrac{E_6}{R_6}-\dfrac{E_4}{R_4}
\end{cases}
$$

习题2



$$\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)U_{n1}-\frac{1}{R_2}U_{n2}=I-I_{S2}$$

$$-\frac{1}{R_2}U_{n1}+\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)U_{n2}=I_{S2}$$

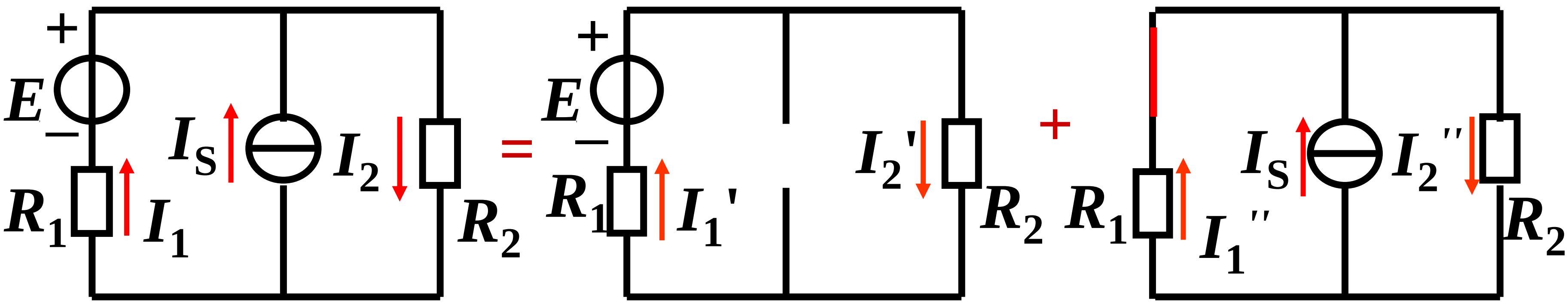
$$U_{n1}=E_1$$

思考：

理想电压源接在两个节点之间

2.6 叠加原理

叠加原理：对于**线性电路**，任何一条支路的电流，都可以看成是由电路中各个电源（电压源或电流源）分别作用时，在此支路中所产生的电流的代数和。

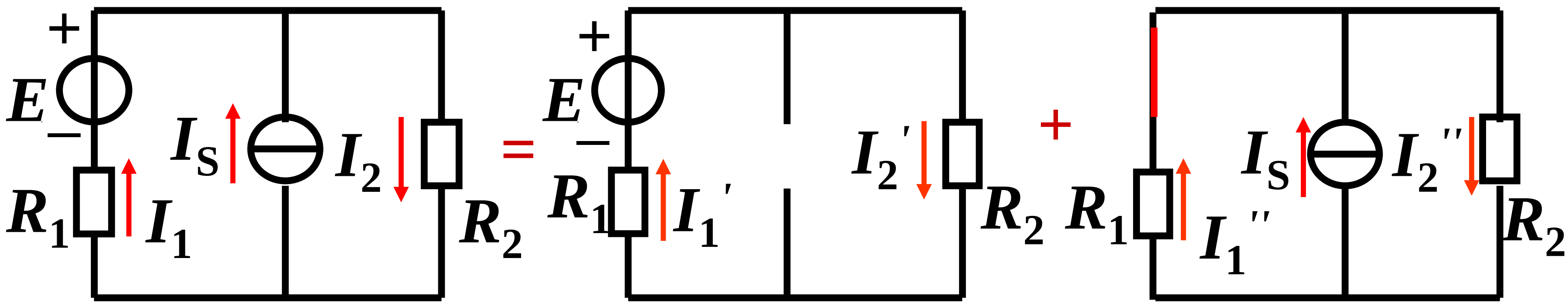


(a)
原电路

(b)
• *E* 单独作用

(c)
I_S单独作用

叠加原理



(a) 原电路 (b) *E* 单独作用 (c) I_S单独作用

由图 (b)，当*E* 单独作用时

$$I_1' = I_2' = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

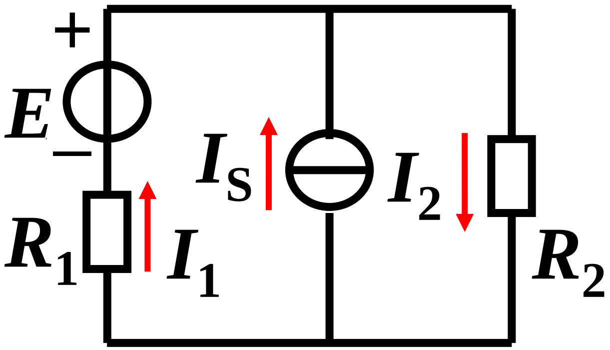
由图 (c)，当 I_S 单独作用时

$$I_1'' = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} I_S \qquad I_2'' = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_S$$

根据叠加原理 $I_1 = I_1' + I_1'' = \dfrac{E}{R_1 + R_2} - \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} I_S$

同理： $I_2 = I_2' + I_2'' = \dfrac{E}{R_1 + R_2} + \dfrac{R_1}{R_1 + R_2} I_S$

用支路电流法证明：



(a)
原电路

列方程：

$$I_1 + I_S = I_2$$

$$E = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

解方程得：

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} I_S$$

I_1' I_1''

$$I_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_S$$

I_2' I_2''

$$I_1' = I_2' = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$I_1'' = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} I_S$$

$$I_2'' = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_S$$

即有

$$I_1 = I_1' + I_1'' = K_{E1}E + K_{S1}I_S$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' = K_{E2}E + K_{S2}I_S$$

说明：

① 叠加原理只适用于线性电路。

② 线性电路的电流或电压均可用叠加原理计算，

但功率*P*不能用叠加原理计算。例：

$$P_1 = I_1^2 R_1 = (I_1' + I_1'')^2 R_1 \neq I_1'^2 R_1 + I_1''^2 R_1$$

③ 不作用电源的处理：

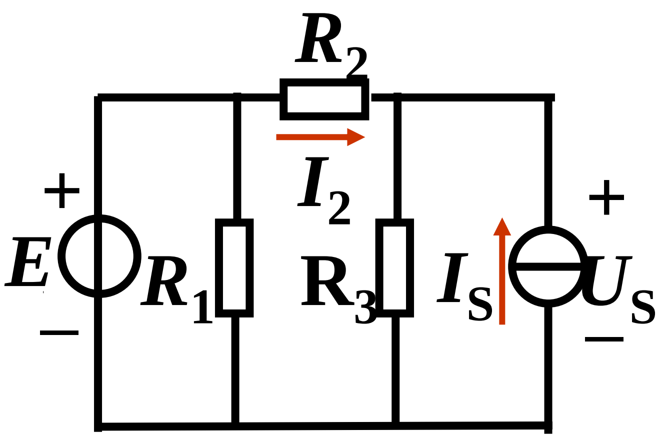
E* = 0**，即将*E* 短路； ***I**s=0**，即将 ***I*****s** 开路 。

④ 解题时要标明各支路电流、电压的参考方向。

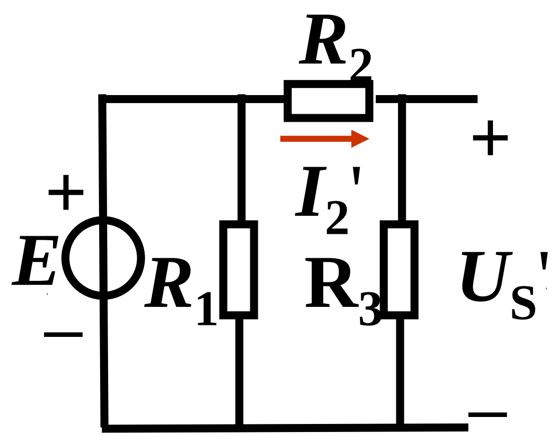
若分电流、分电压与原电路中电流、电压的参考方向相反时，叠加时相应项前要带负号。

⑤ 应用叠加原理时可把电源分组求解 ，即每个分电路中的电源个数可以多于一个。

例1： 电路如图，已知 E =10V、I_S=1A，R_1=10Ω R_2= R_3= 5Ω，试用叠加原理求流过 R_2的电流 I_2和理想电流源 I_S 两端的电压 U_S。

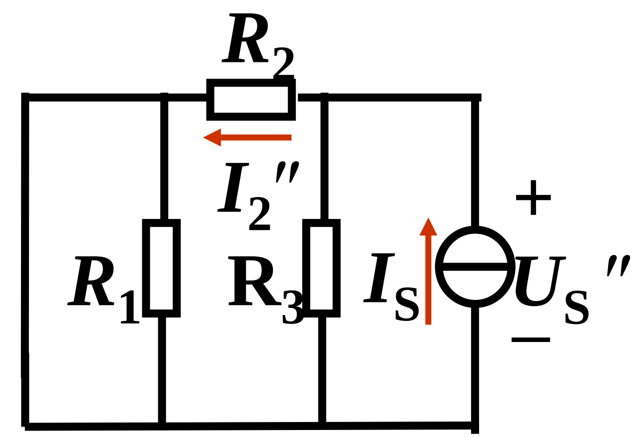


(a)



(b) E单独作用

将 I_S 断开



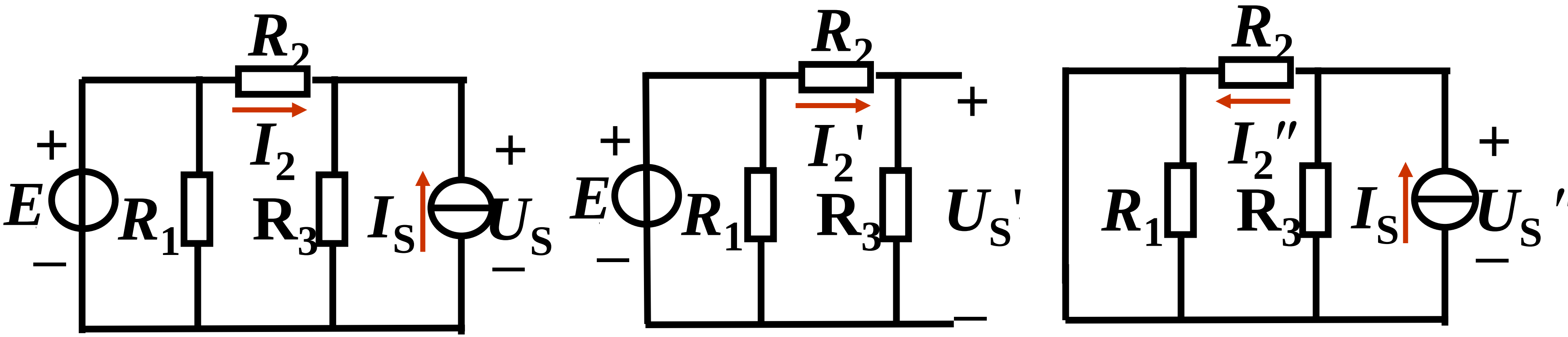
(c) I_S单独作用

将 E 短接

解：由图(b) $I_2' = \dfrac{E}{R_2 + R_3} = \dfrac{10}{5+5}\,A = 1A$

$$U_S' = I_2' R_3 = 1 \times 5V = 5V$$

例1： 电路如图，已知 $E=10\text{V}$、$I_S=1\text{A}$，$R_1=10\Omega$，$R_2=R_3=5\Omega$，试用叠加原理求流过 R_2 的电流 I_2 和理想电流源 I_S 两端的电压 U_S。



(a) (b) E单独作用 (c) I_S单独作用

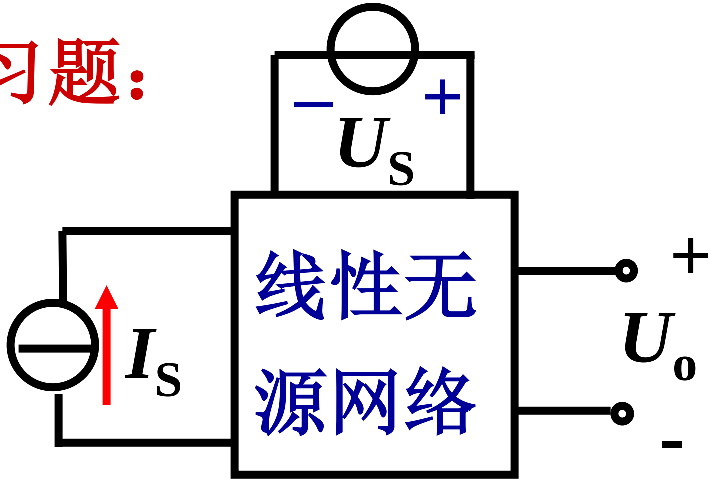
解：由图(c) $I_2'' = \dfrac{R_3}{R_2+R_3} I_S = \dfrac{5}{5+5} \times 1 = 0.5\text{A}$

$$U_S'' = I_2'' R_2 = 0.5 \times 5\text{V} = 2.5\text{V}$$

所以 $I_2 = I_2' - I_2'' = 1\text{A} - 0.5\text{A} = 0.5\text{A}$

$$U_S = U_S' + U_S'' = 5\text{V} + 2.5\text{V} = 7.5\text{V}$$

习题：



已知：

U_S =1V、I_S=1A 时， U_o=0V

U_S =10 V、I_S=0A 时，U_o=1V

求：

U_S = 0 V、I_S=10A 时， U_o=?

解：电路中有两个电源作用，根据叠加原理可设

$$U_o = K_1 U_S + K_2 I_S$$

当 U_S = 1V、I_S=1A 时， 得 $0 = K_1 \times 1 + K_2 \times 1$

当 U_S =10 V、I_S=0A 时， 得 $1 = K_1 \times 10 + K_2 \times 0$

联立两式解得： $K_1 = 0.1$、$K_2 = -0.1$

所以 $U_o = K_1 U_S + K_2 I_S = 0.1 \times 0 + (-0.1) \times 10 = -1\text{V}$

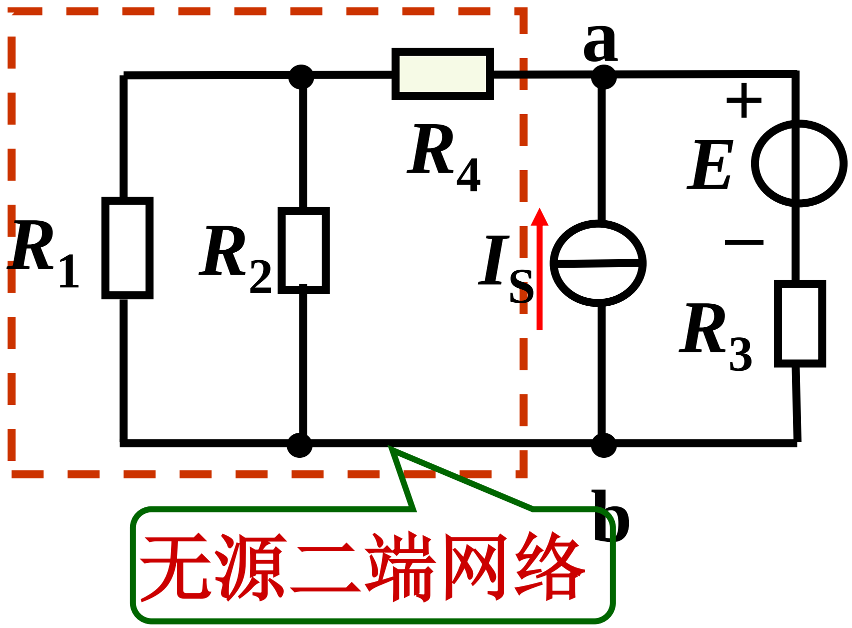
2.7 戴维宁定理与诺顿定理

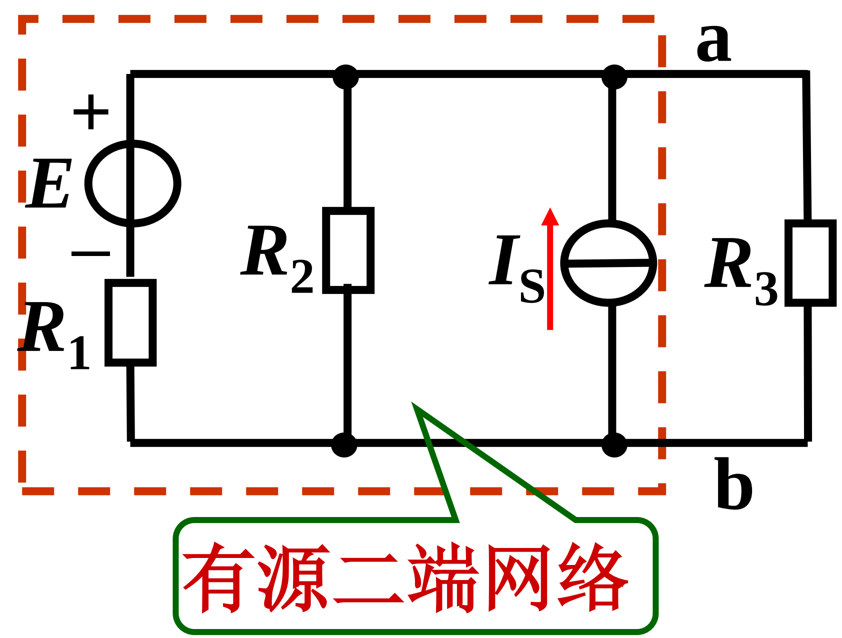
二端网络的概念：

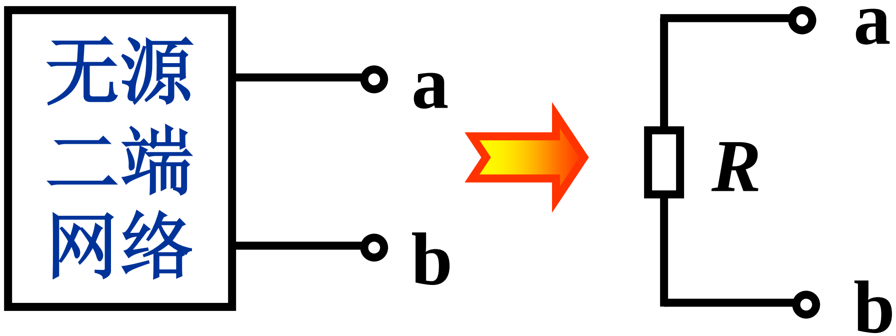
二端网络：具有两个出线端的部分电路。

无源二端网络：二端网络中没有电源。

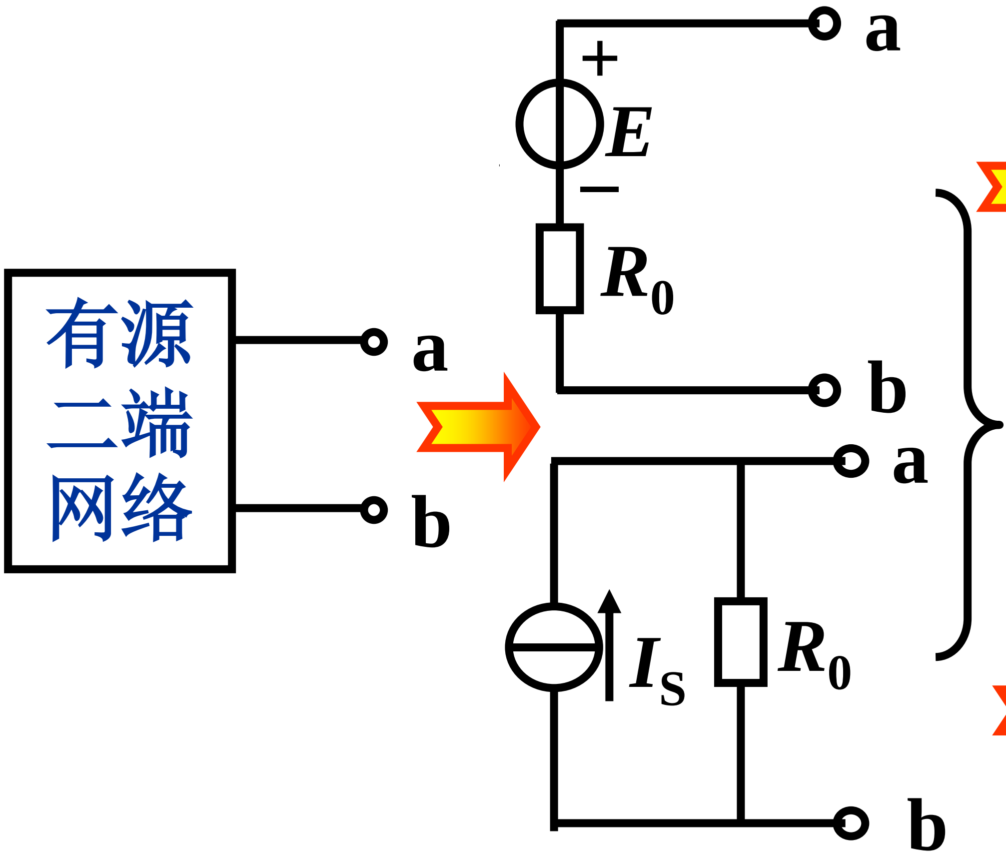
有源二端网络：二端网络中含有电源。







无源二端网络可化简为一个电阻



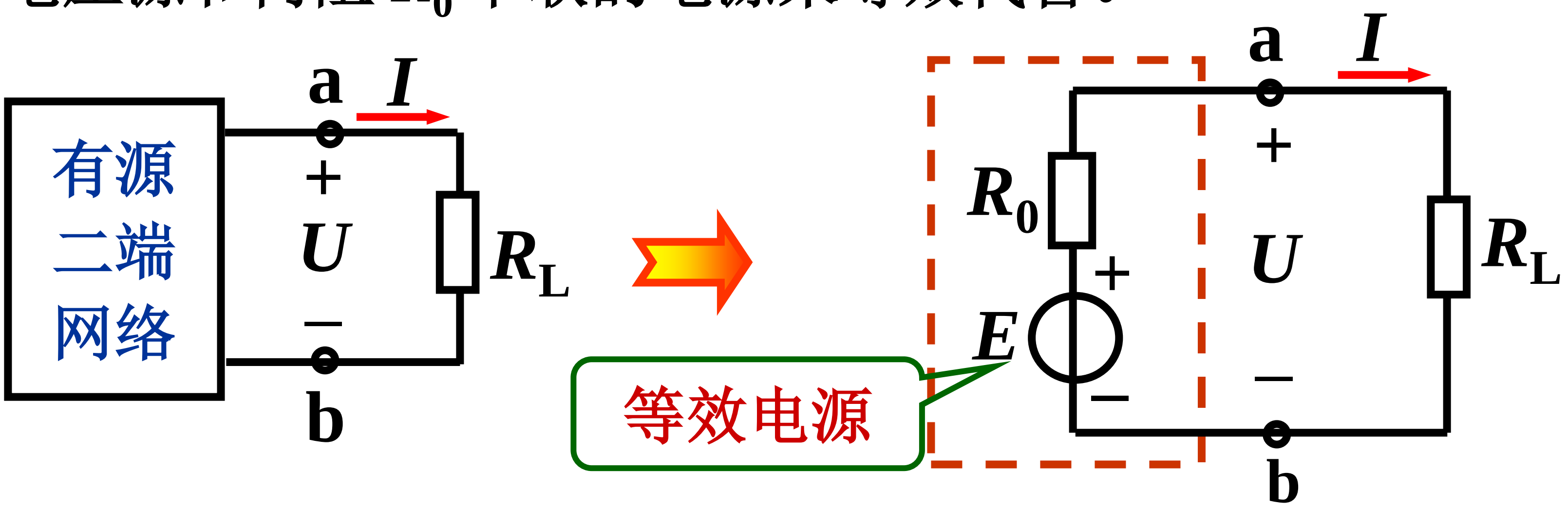
电压源（戴维宁定理）

有源二端网络可化简为一个电源

电流源（诺顿定理）

一、 戴维宁定理

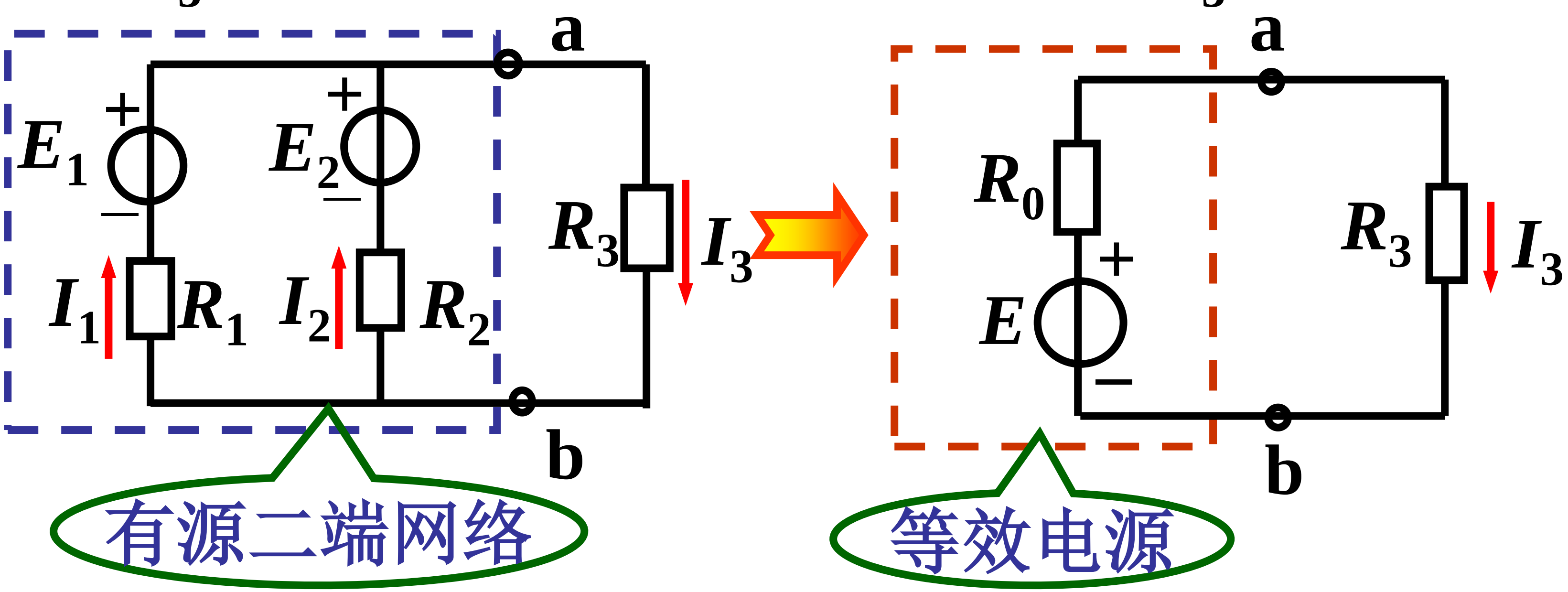
任何一个有源二端线性网络都可以用一个电动势为E的理想电压源和内阻 R_0 串联的电源来等效代替。



等效电源的电动势E 就是有源二端网络的开路电压U_0，即将负载断开后 a 、b两端之间的电压。

等效电源的内阻R_0等于有源二端网络中所有电源均除去（理想电压源短路，理想电流源开路）后所得到的无源二端网络 a 、b两端之间的等效电阻。

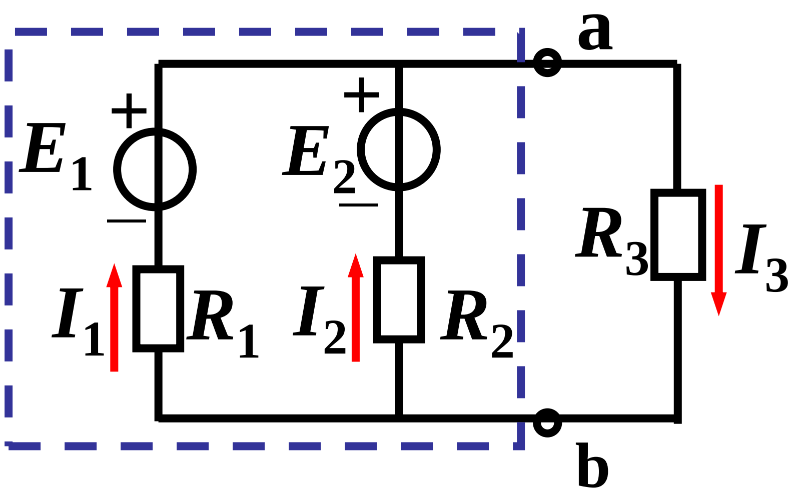
例：电路如图，已知E_1=40V，E_2=20V，R_1=R_2=4Ω，R_3=13 Ω，试用戴维宁定理求电流I_3。

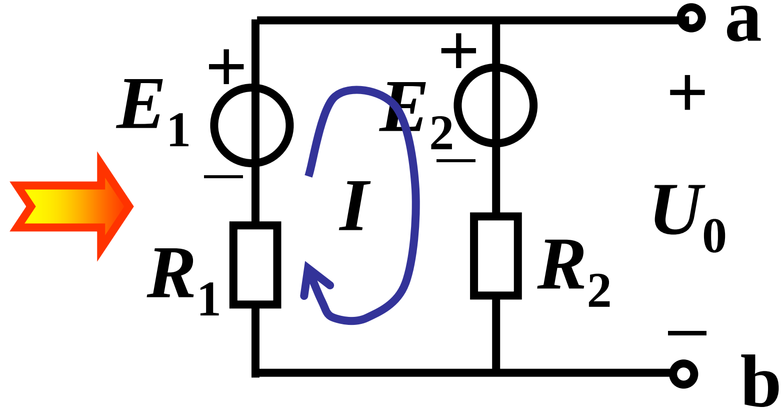


注意：“等效”是指对端口外等效

即用等效电源替代原来的二端网络后，待求支路的电压、电流不变。

例：电路如图，已知E_1=40V，E_2=20V，R_1=R_2=4Ω，R_3=13 Ω，试用戴维宁定理求电流I_3。





解：(1) 断开待求支路求等效电源的电动势 E

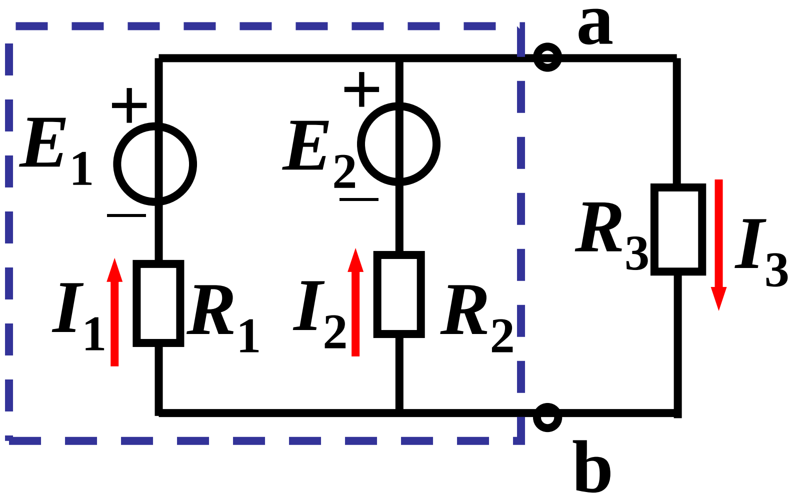
$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{40 - 20}{4 + 4}\text{ A} = 2.5\text{ A}$$

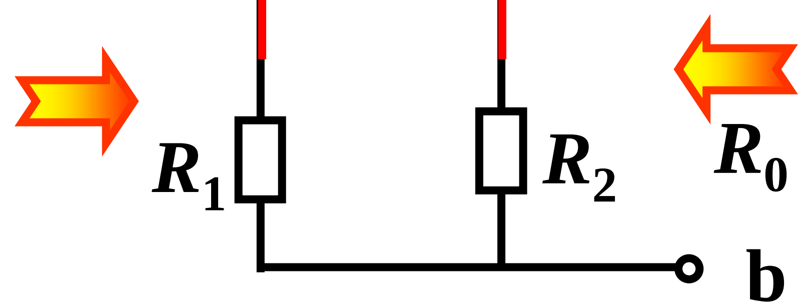
$$E = U_0 = E_2 + I R_2 = 20\text{V} + 2.5 \times 4\text{ V} = 30\text{V}$$

或：$E = U_0 = E_1 - I R_1 = 40\text{V} - 2.5 \times 4\text{ V} = 30\text{V}$

E 也可用结点电压法、叠加原理等其它方法求。

例：电路如图，已知E_1=40V，E_2=20V，R_1=R_2=4Ω，R_3=13 Ω，试用戴维宁定理求电流I_3。





解：(2) 求等效电源的内阻R_0

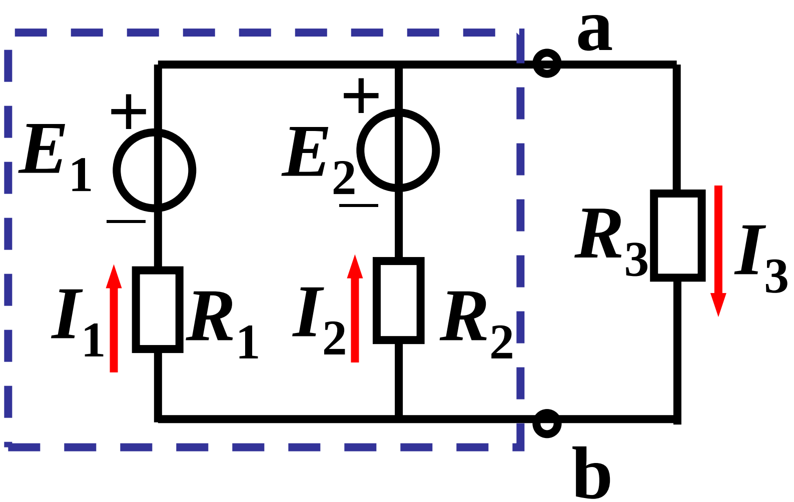
除去所有电源（理想电压源短路，理想电流源开路）

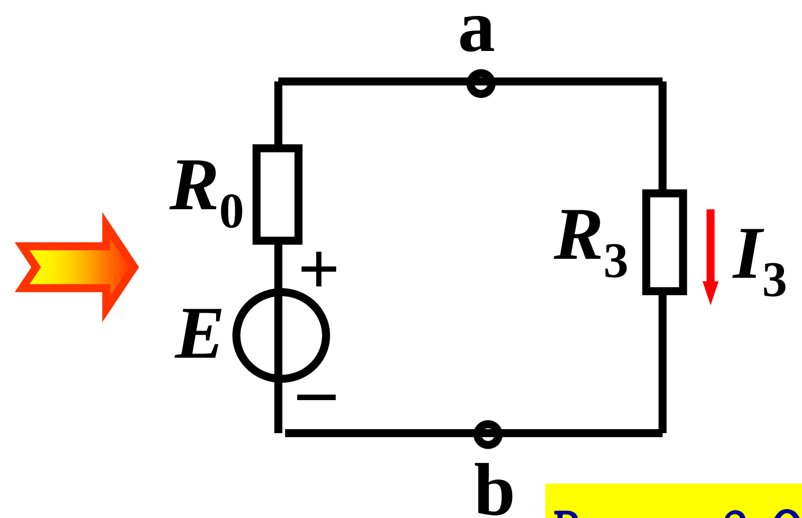
从a、b两端看进去， R_1 和 R_2 并联

所以，$R_0 = \dfrac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = 2\Omega$

求内阻R_0时，关键要弄清从a、b两端看进去时各电阻之间的串并联关系。

例：电路如图，已知E_1=40V，E_2=20V，R_1=R_2=4Ω，R_3=13 Ω，试用戴维宁定理求电流I_3。





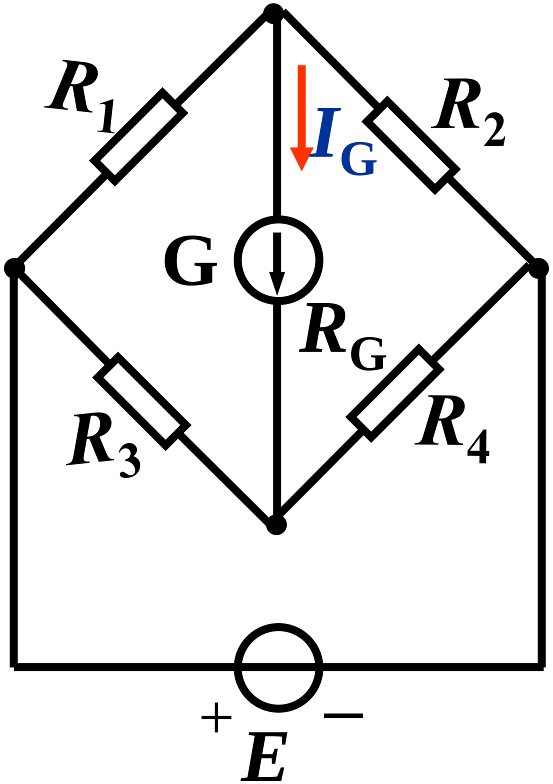
$R_0 = 2\ \Omega$

$E = 30\text{V}$

解：(3) 画出等效电路求电流I_3

$$I_3 = \frac{E}{R_0 + R_3} = \frac{30}{2+13}\text{A} = 2\ \text{A}$$

例：

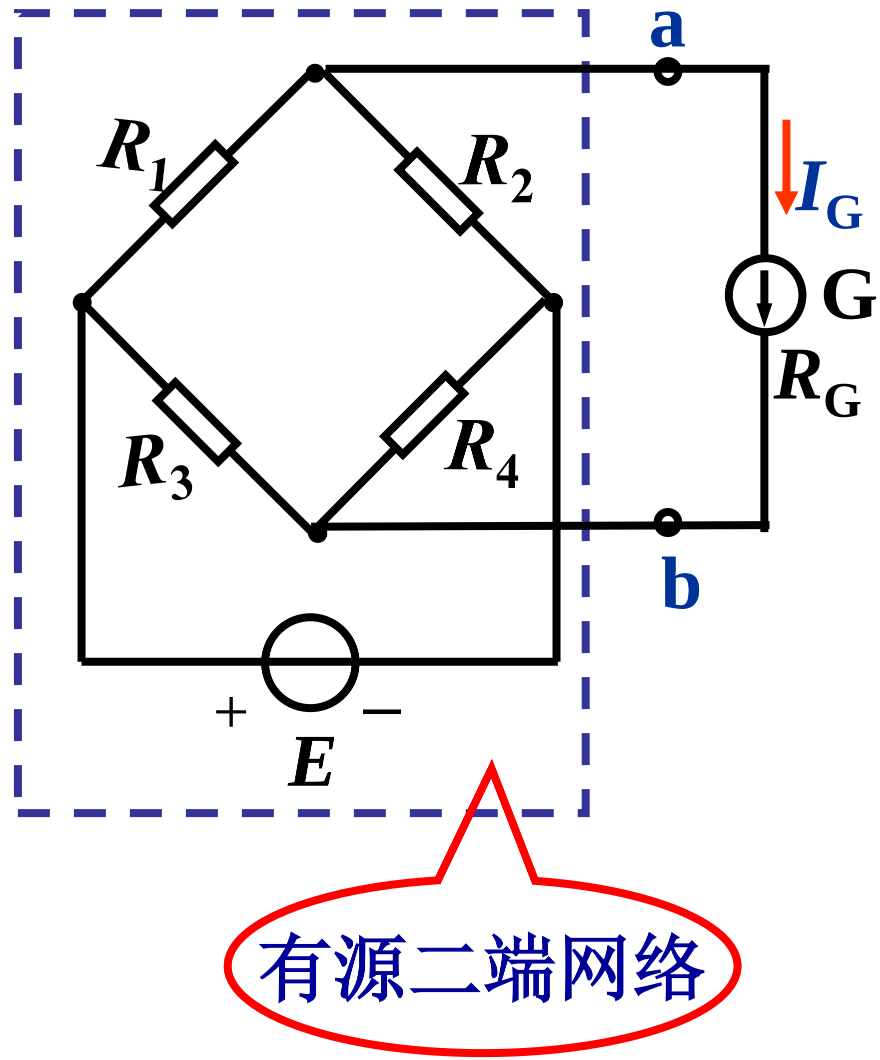


已知：R_1=5 Ω、 R_2=5 Ω

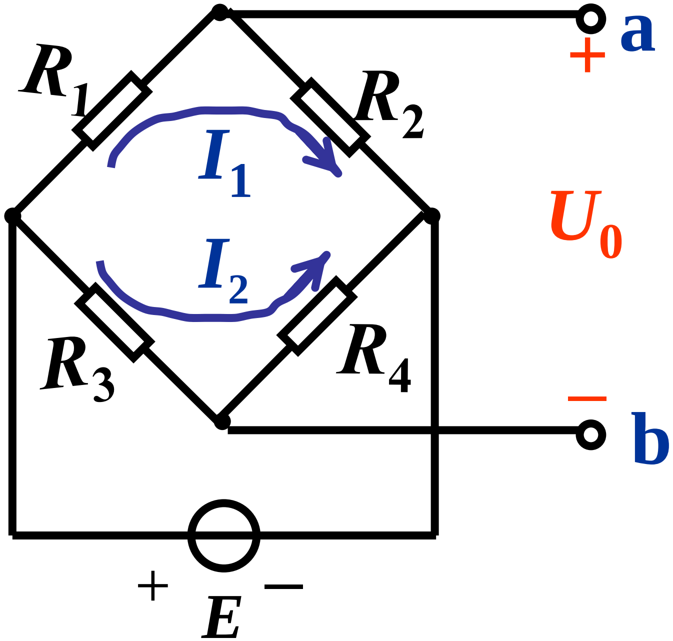
R_3=10 Ω、 R_4=5 Ω

E=12V、R_G=10 Ω

试用戴维宁定理求检流计中的电流I_G。



解：(1) 求开路电压U_0



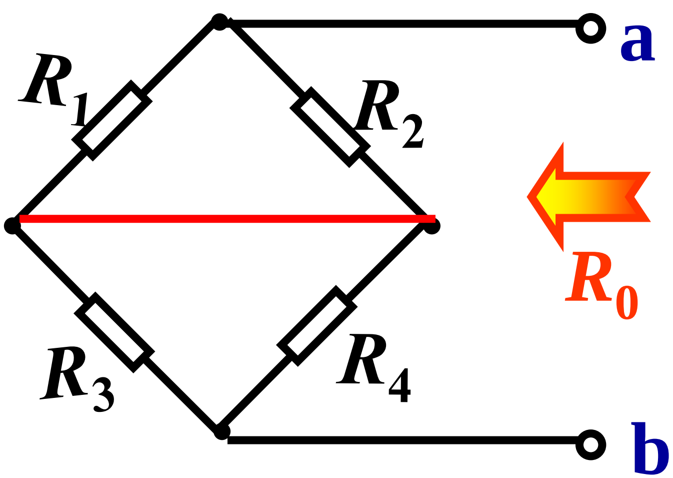
$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{12}{5+5}\text{A} = 1.2\text{A}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_3 + R_4} = \frac{12}{10+5}\text{A} = 0.8\text{A}$$

$$E' = U_o = I_1 R_2 - I_2 R_4$$
$$= 1.2 \times 5\text{V} - 0.8 \times 5\text{ V} = 2\text{V}$$

或：$E' = U_o = I_2 R_3 - I_1 R_1 = 2\text{V}$

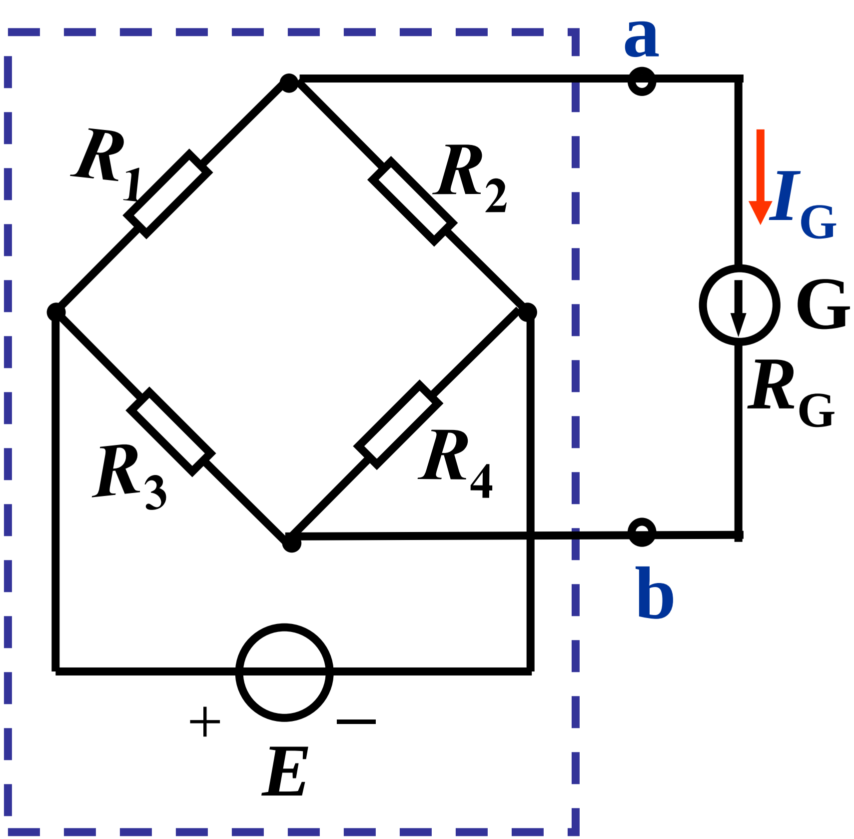
(2) 求等效电源的内阻 R_0

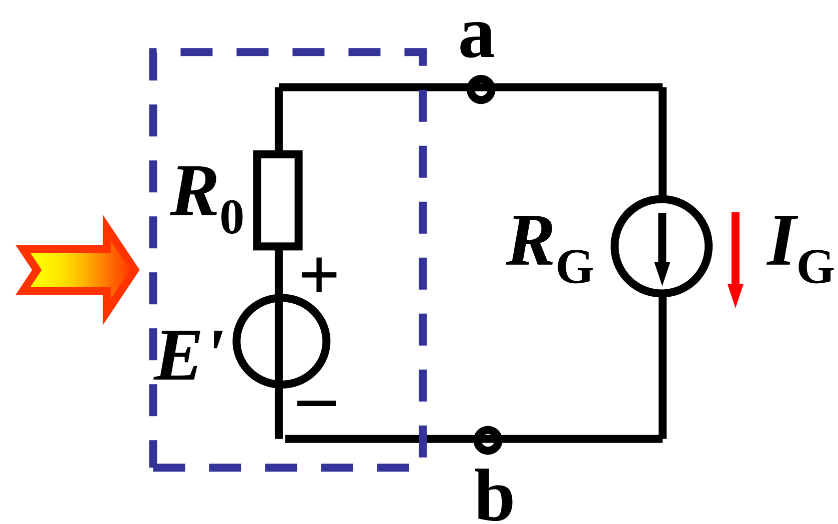


从a、b看进去，R_1和R_2并联，R_3和 R_4并联，然后再串联。

所以，$R_0 = \dfrac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} + \dfrac{R_3 \times R_4}{R_3 + R_4}$

$= 5.8\ \Omega$



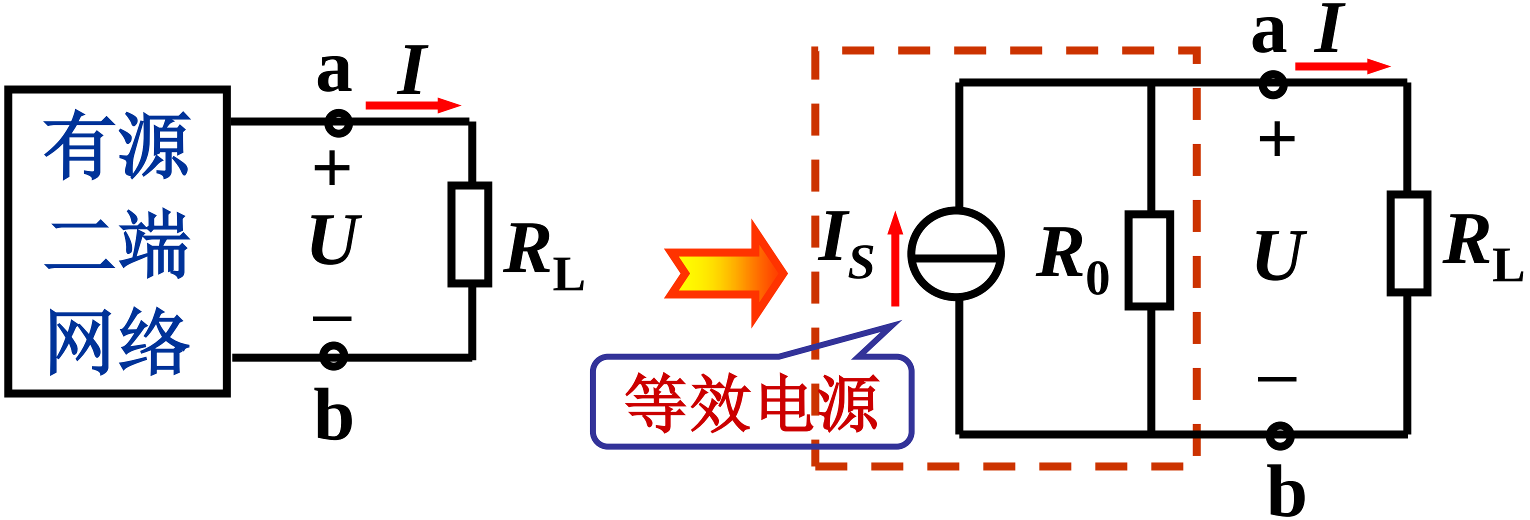


解：**(3) 画出等效电路求检流计中的电流 I_G**

$$I_G = \frac{E'}{R_0 + R_G} = \frac{2}{5.8 + 10}\text{ A} = 0.126\text{ A}$$

二、 诺顿定理

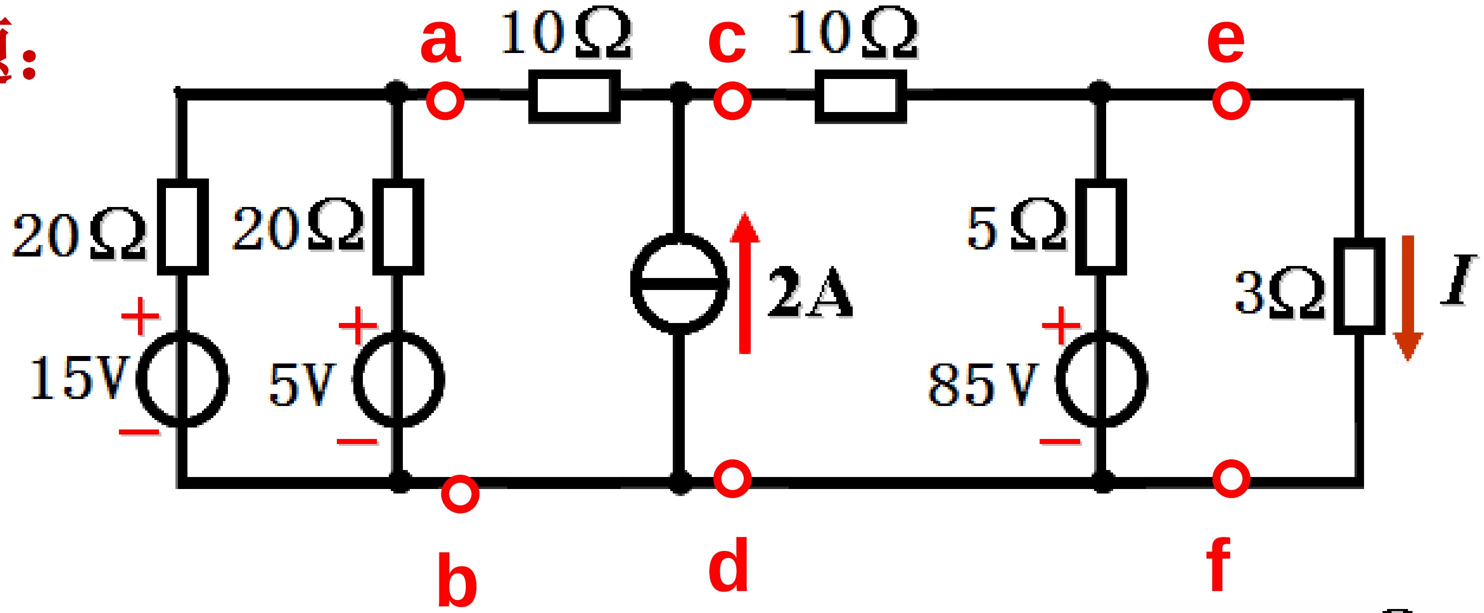
任何一个有源二端线性网络都可以用一个电流为I_S的理想电流源和内阻 R_0 并联的电源来等效代替。



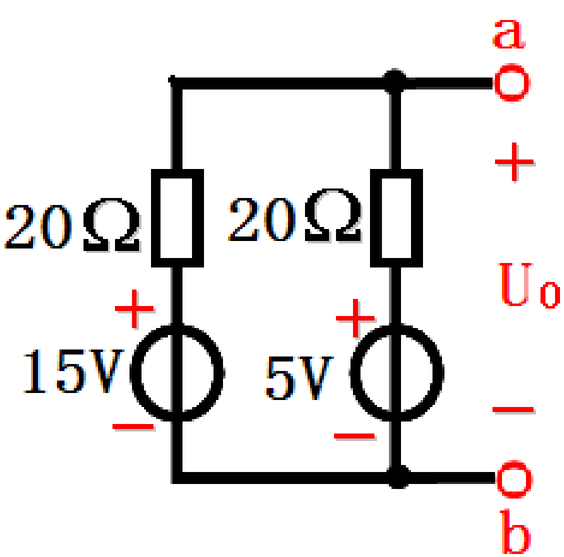
等效电源的电流 I_S 就是有源二端网络的短路电流，即将 a 、b 两端短接后其中的电流。

等效电源的内阻R_0等于有源二端网络中所有电源均除去（理想电压源短路，理想电流源开路）后所得到的无源二端网络 a 、b 两端之间的等效电阻。

习题：



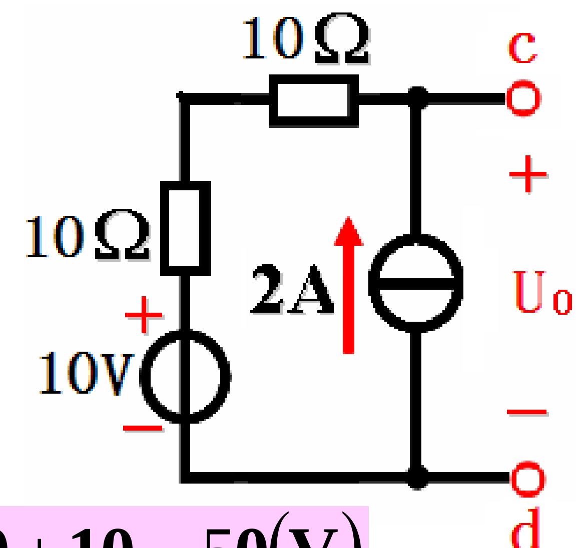
求I



$$I = \frac{15-5}{40} = 0.25(A)$$

$$U_O = 0.25 \times 20 + 5 = 10(V)$$

$$R_0 = 10(\Omega)$$

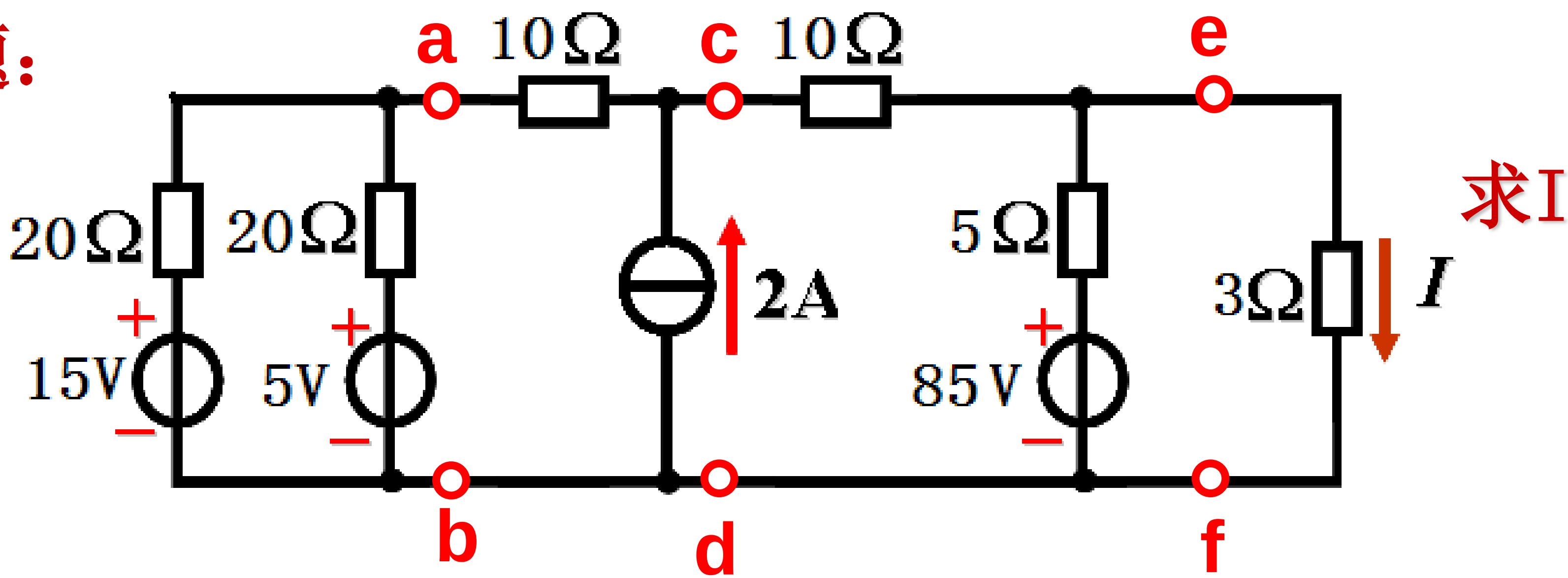


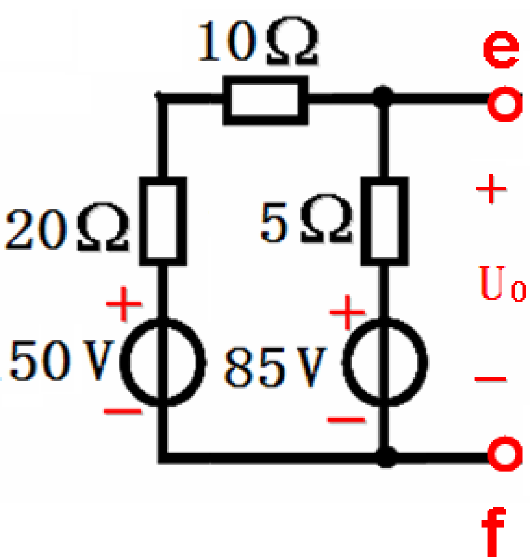
叠加法

$$U_O = 2 \times 20 + 10 = 50(V)$$

$$R_0 = 20\Omega$$

习题：

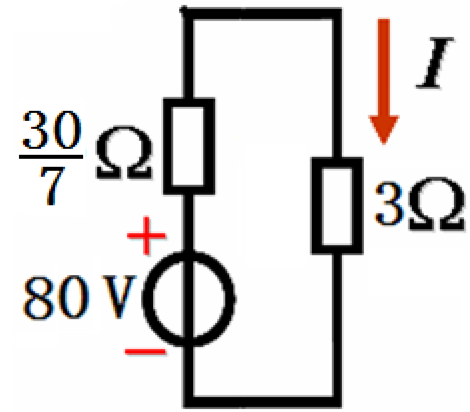




$$I=\frac{50-85}{35}=-1(\mathrm{A})$$

$$U_O=-1\times 5+85=80(\mathrm{V})$$

$$R_0=\frac{30}{7}\Omega$$



$$I=\frac{80}{3+\frac{30}{7}}=10.98(\mathrm{A})$$