

第2章 电路的分析方法

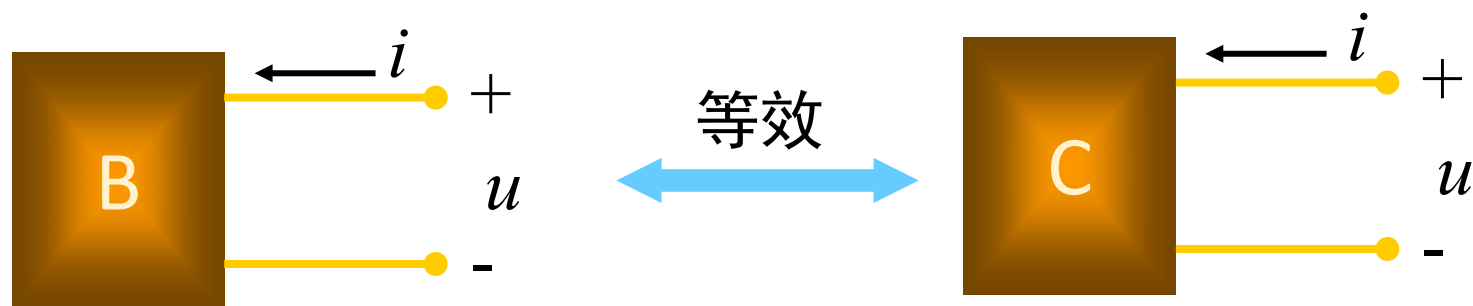
- 2.1 电阻的串联和并联
- 2.2 电阻的Y形连接和 Δ 形连接的等效变换
- 2.3 电压源、电流源的串联和并联
- 2.4 实际电源的两种模型及其等效变换
- 2.5 支路电流法
- 2.6 结点电压法
- 2.7 叠加定理
- 2.8 戴维宁定理与诺顿定理
- 2.9 受控源电路

电阻电路的等效变换

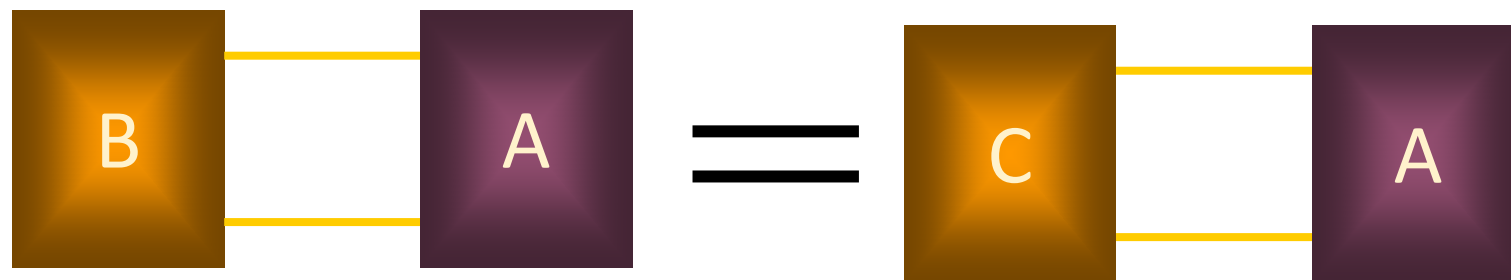
电阻电路：仅由电源和线性电阻构成的电路
等效变换的方法, 也称化简的方法。

二端电路等效的概念

两个二端电路，端口具有相同的VCR, 则称它们是等效的电路。

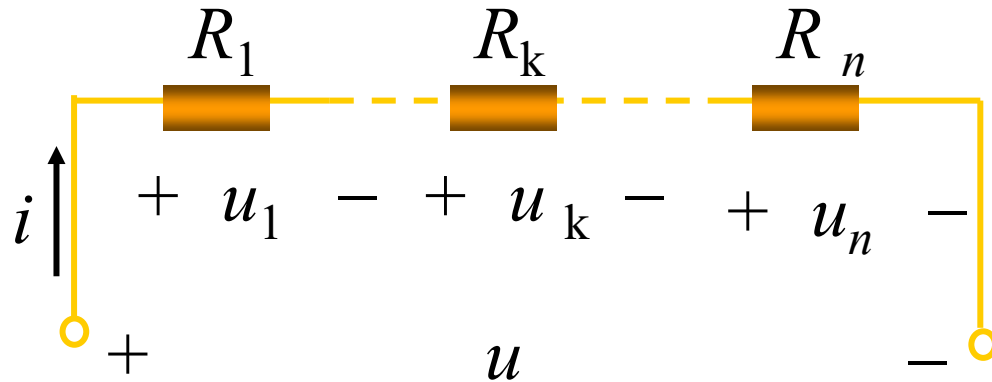


对A电路中的电流、电压和功率而言，满足：



电阻的串联和并联

1. 电阻串联

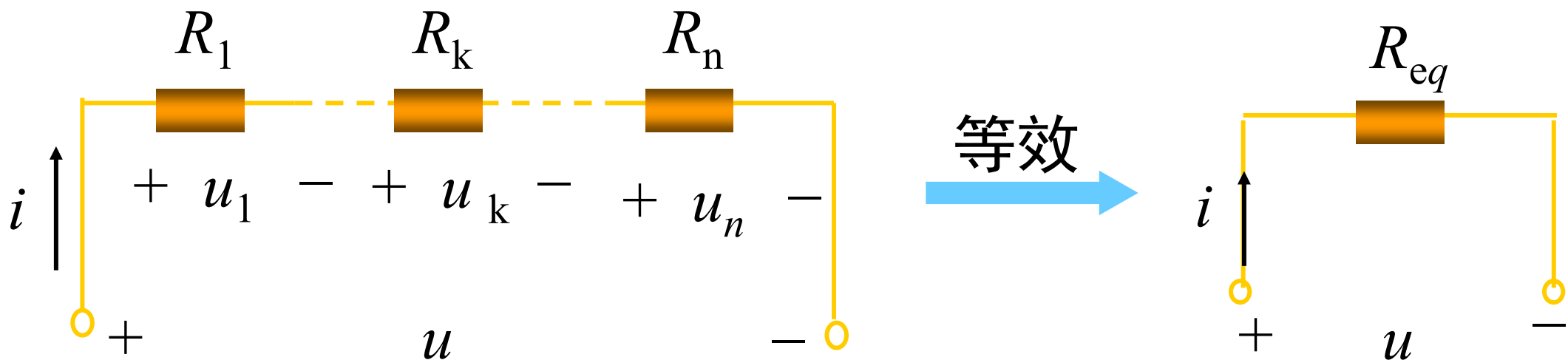


- (a) 各电阻顺序连接，流过同一电流（KCL）；
- (b) 总电压等于各串联电阻的电压之和（KVL）。

$$u = u_1 + \cdots + u_k + \cdots + u_n$$

由欧姆定律

$$u = R_1 i + \cdots + R_k i + \cdots + R_n i = (R_1 + \cdots + R_n) i = R_{eq} i$$

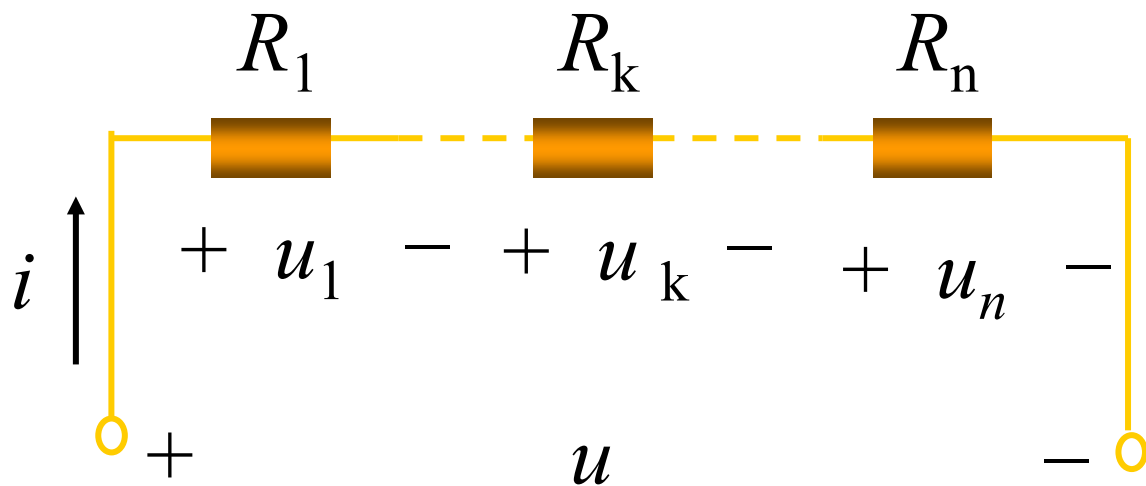


$$u = u_1 + \cdots + u_k + \cdots + u_n$$

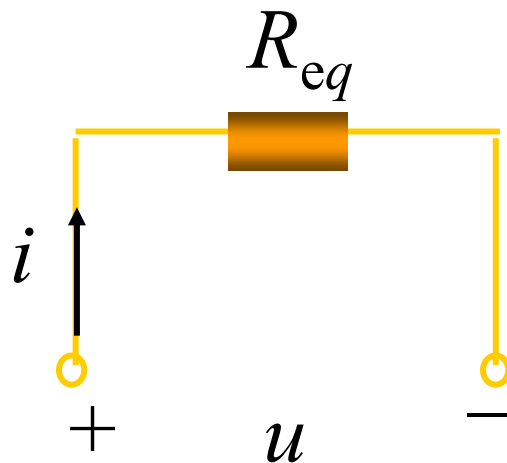
$$= R_1 i + \cdots + R_k i + \cdots + R_n i = (R_1 + \cdots + R_n) i = R_{eq} i$$

$$R_{eq} = R_1 + \cdots + R_k + \cdots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k > R_k$$

串联的表示符号: $R_1 + R_2$



等效
→

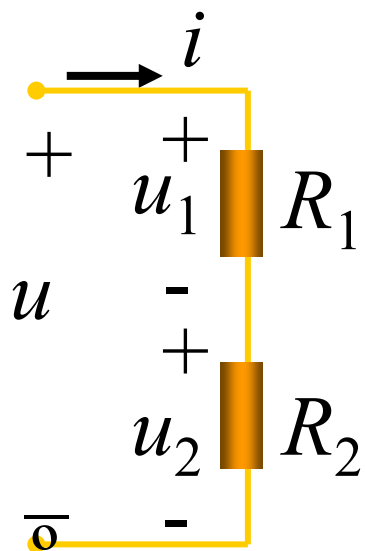


$$u_k = R_k i = R_k \frac{u}{R_{eq}} = \frac{R_k}{R_{eq}} u < u$$

电压与电阻成正比

串联电阻电路可作分压电路。

两个电阻串联：



$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u \quad u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u$$

功率

$$p_1=R_1i^2, \quad p_2=R_2i^2, \quad \dots, \quad p_n=R_ni^2$$

$$p_1:p_2:\dots:p_n=R_1:R_2:\dots:R_n$$

总功率

$$p=R_{\text{eq}}i^2=(R_1+R_2+\dots+R_n)i^2$$

$$=R_1i^2+R_2i^2+\dots+R_ni^2$$

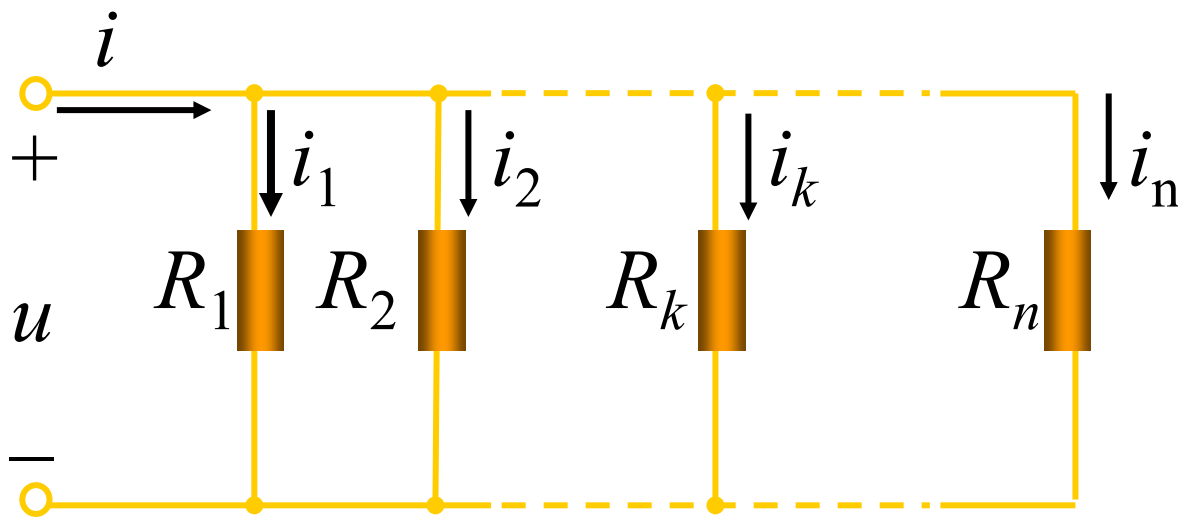
$$=p_1+p_2+\dots+p_n$$



表明 ①电阻串联时，各电阻消耗的功率与电阻大小成正比；

②等效电阻消耗的功率等于各串联电阻消耗功率的总和。

2. 电阻并联



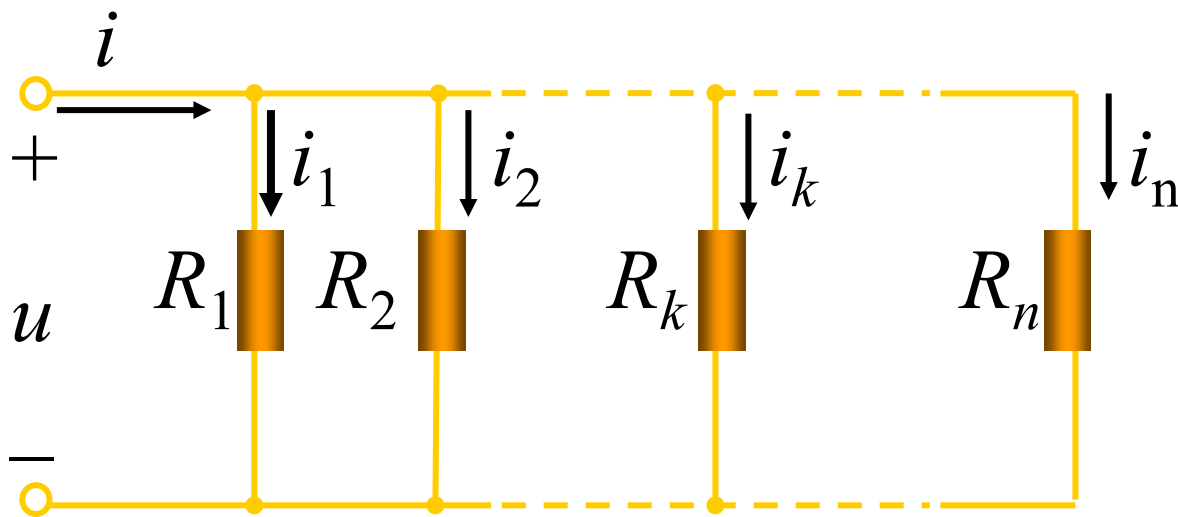
(a) 各电阻两端为同一电压 (KVL)；

(b) 总电流等于流过各并联电阻的电流之和 (KCL)。

$$\begin{aligned} i &= i_1 + i_2 + \dots + i_k + \dots + i_n = u/R_1 + u/R_2 + \dots + u/R_n \\ &= u(1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n) = uG_{eq} \end{aligned}$$

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \sum_{k=1}^n G_k > G_k$$

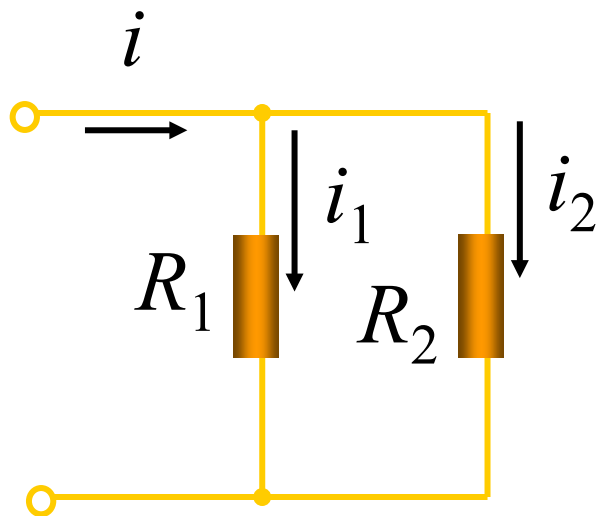
2. 电阻并联



$$R_{eq} = \frac{1}{G_{eq}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} < \frac{1}{R_k}$$

$$\frac{i_k}{i} = \frac{u/R_k}{u/R_{eq}} = \frac{R_{eq}}{R_k} = \frac{G_k}{G_{eq}} \quad \longrightarrow \quad i_k = \frac{G_k}{G_{eq}} i$$

两个电阻并联：



$$R_{eq} = \frac{1/R_1 \cdot 1/R_2}{1/R_1 + 1/R_2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$i_1 = \frac{1/R_1}{1/R_1 + 1/R_2} i = \frac{R_2 i}{R_1 + R_2}$$

$$i_2 = \frac{1/R_2}{1/R_1 + 1/R_2} i = \frac{R_1 i}{R_1 + R_2} = (i - i_1)$$

并联的表示符号： $R_1 // R_2$

功率: $p_1=G_1u^2, \quad p_2=G_2u^2, \quad \dots, \quad p_n=G_nu^2$

$$p_1:p_2:\dots:p_n=G_1:G_2:\dots:G_n$$

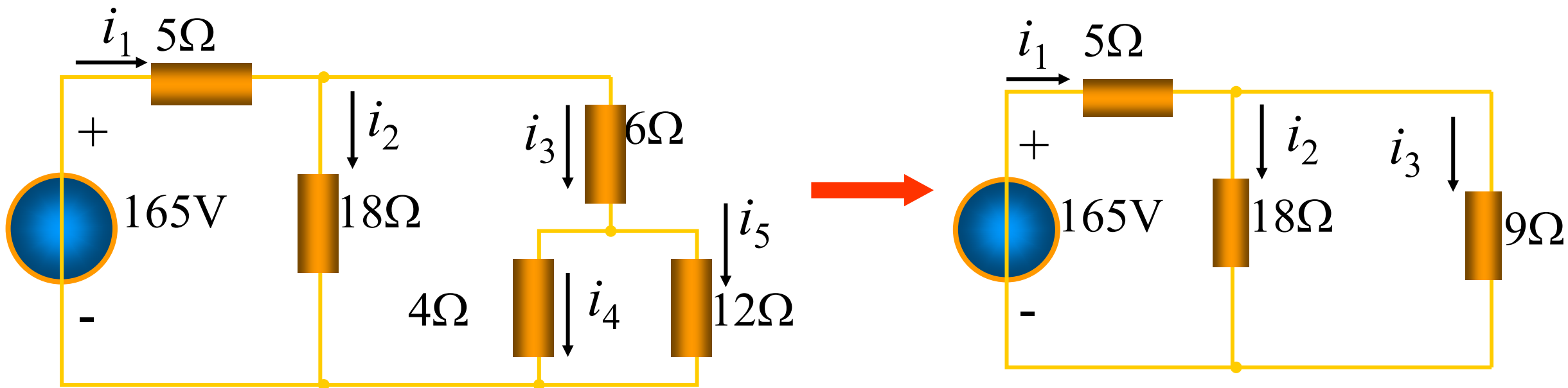
总功率

$$\begin{aligned} p &= G_{\text{eq}}u^2 = (G_1 + G_2 + \dots + G_n) u^2 \\ &= G_1u^2 + G_2u^2 + \dots + G_nu^2 &&= p_1 + p_2 + \dots + p_n \end{aligned}$$



表明

- ①电阻并联时, 各电阻消耗的功率与电阻大小成反比;
- ②等效电阻消耗的功率等于各并联电阻消耗功率的总和



$$i_1 = 165/11 = 15\text{A}$$

$$u_2 = 6i_1 = 6 \times 15 = 90\text{V}$$

$$i_2 = 90/18 = 5\text{A}$$

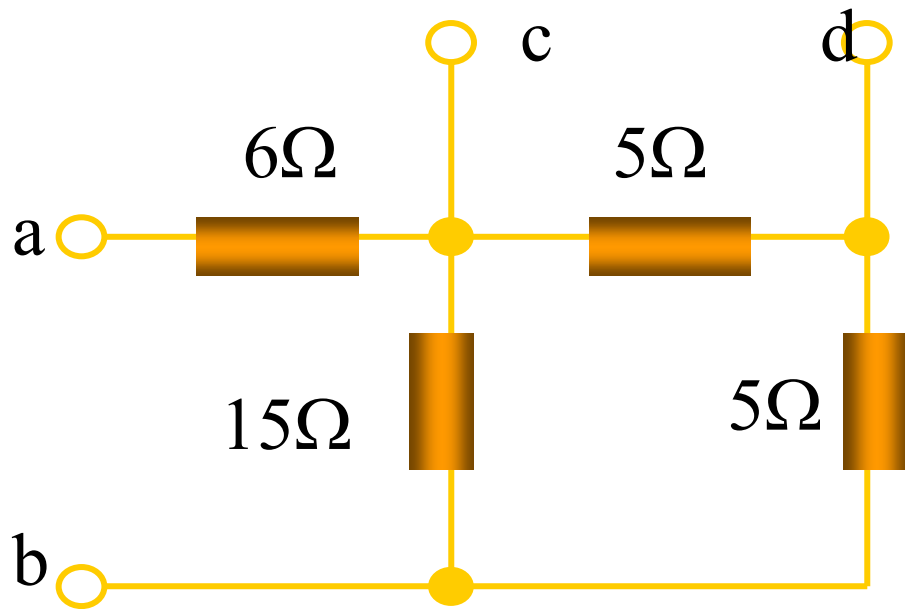
$$u_3 = 6i_3 = 6 \times 10 = 60\text{V}$$

$$i_3 = 15 - 5 = 10\text{A}$$

$$u_4 = 3i_3 = 30\text{V}$$

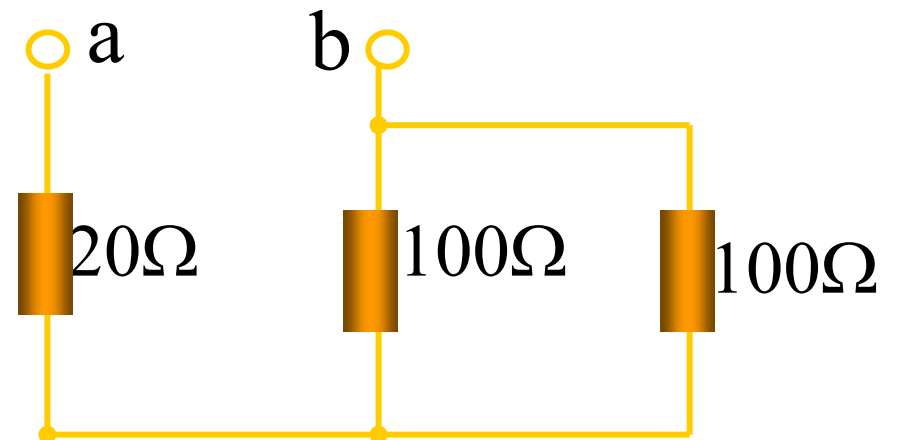
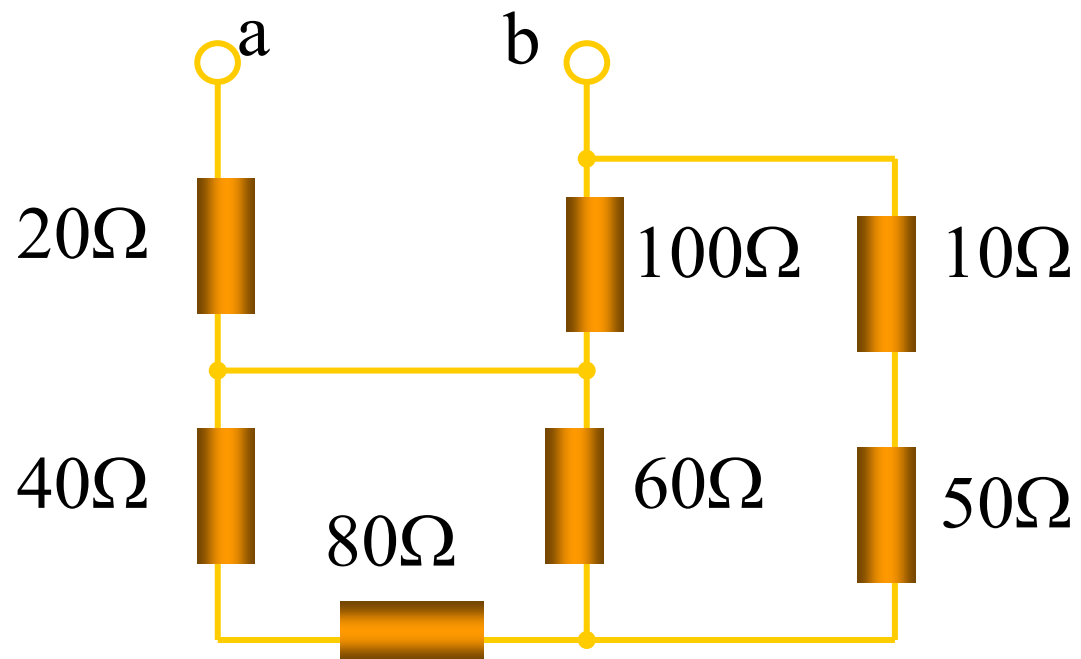
$$i_4 = 30/4 = 7.5\text{A}$$

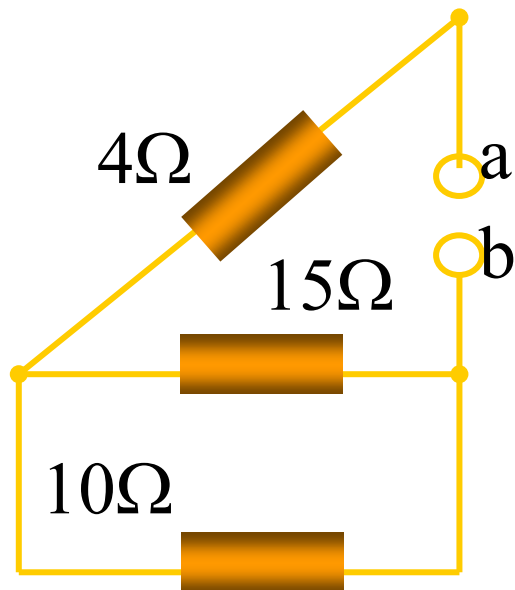
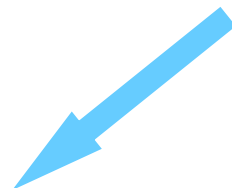
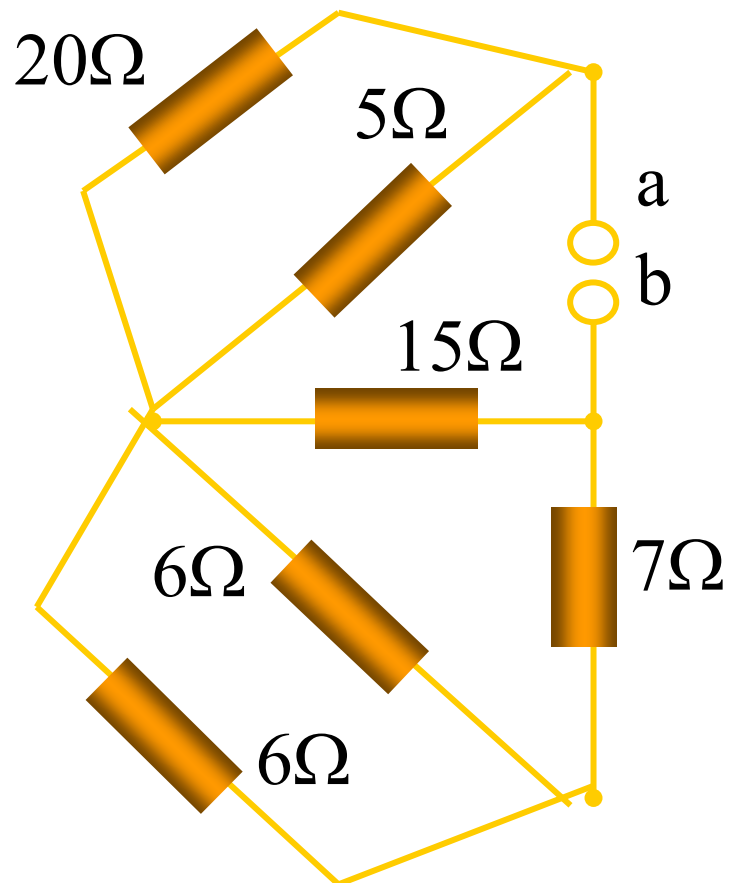
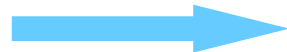
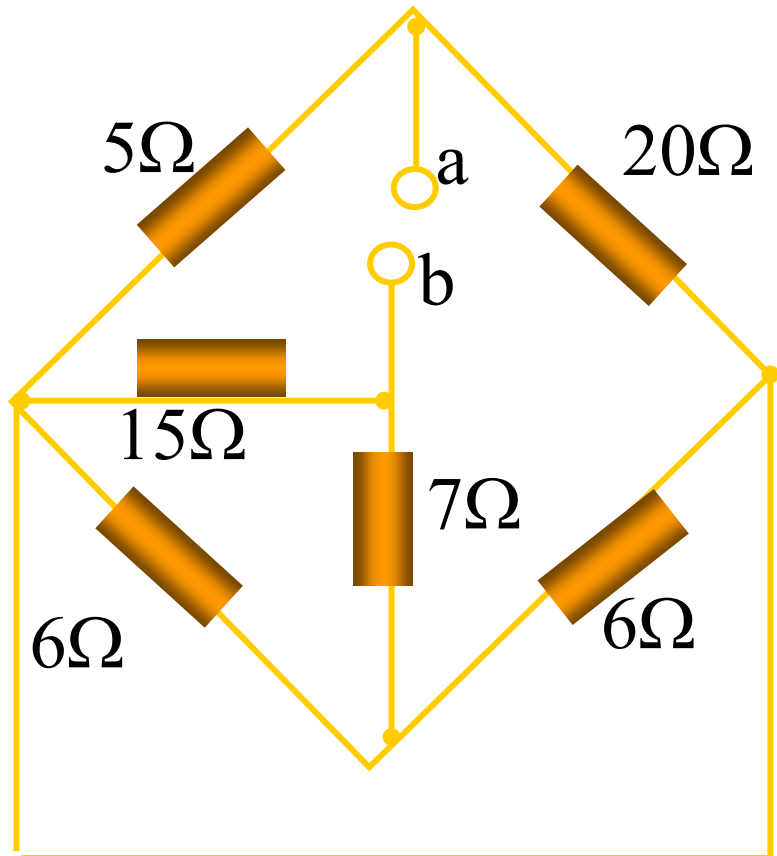
$$i_5 = 10 - 7.5 = 2.5\text{A}$$

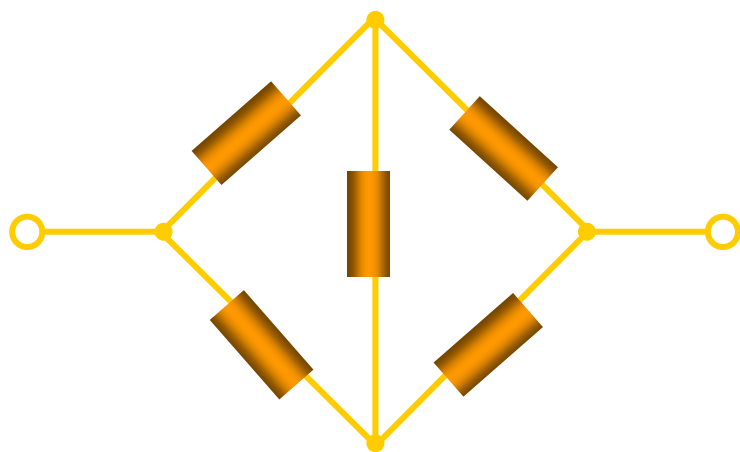


$$R_{ab} = (5 + 5) // 15 + 6 = 12\Omega$$

$$R_{cd} = (15 + 5) // 5 = 4\Omega$$

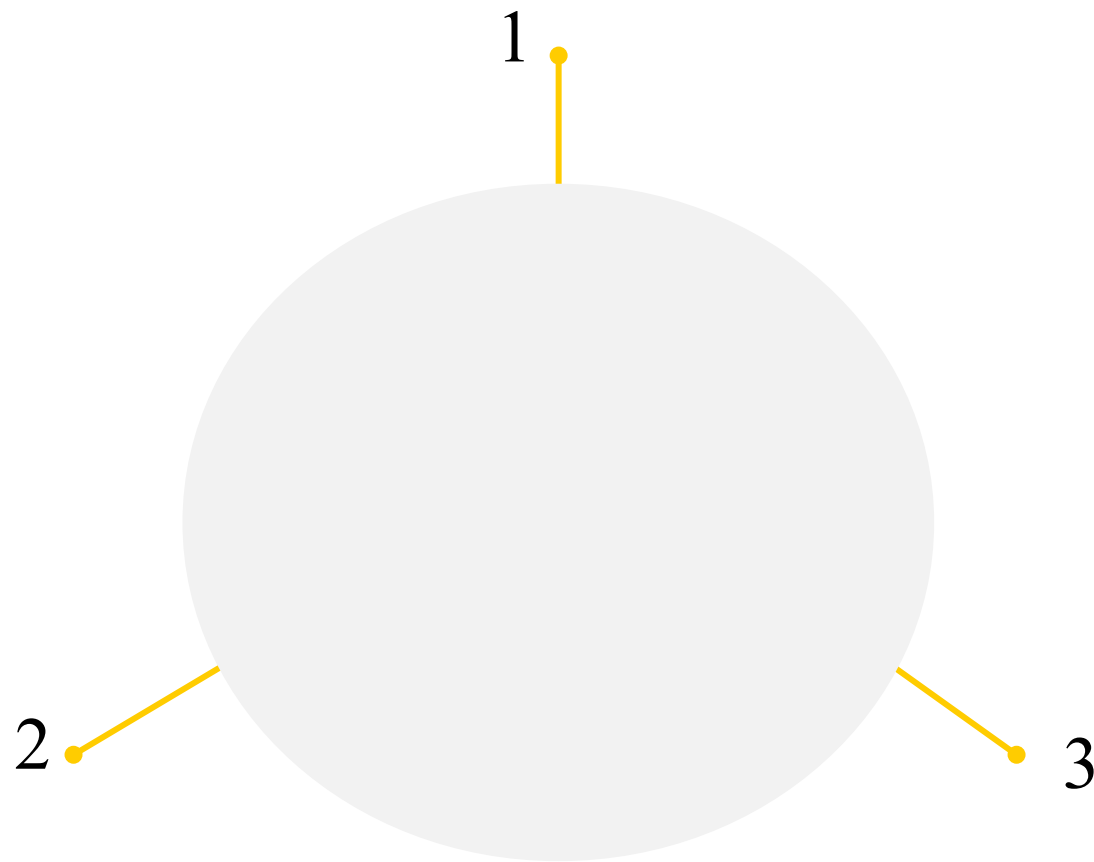






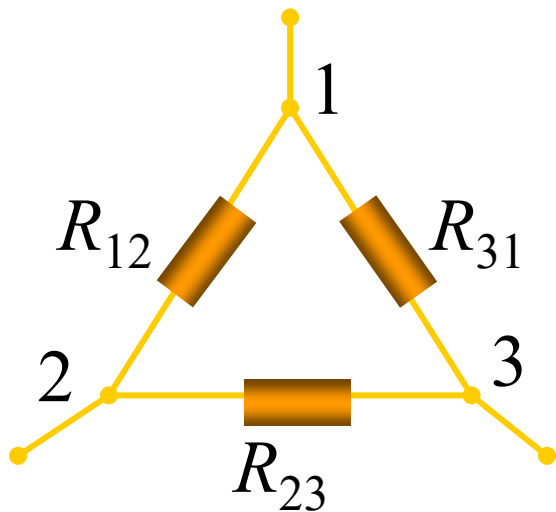
电阻的Y形连接和 Δ 形连接的等效变换

三端网络

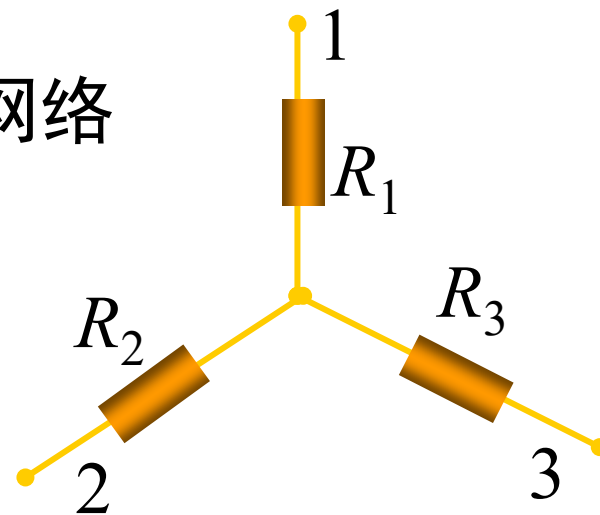


1. 电阻的 Δ 、Y形连接

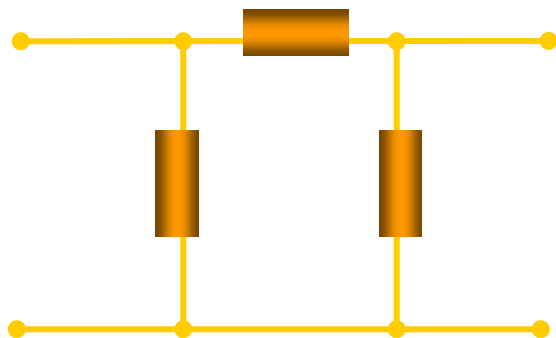
Δ 形网络



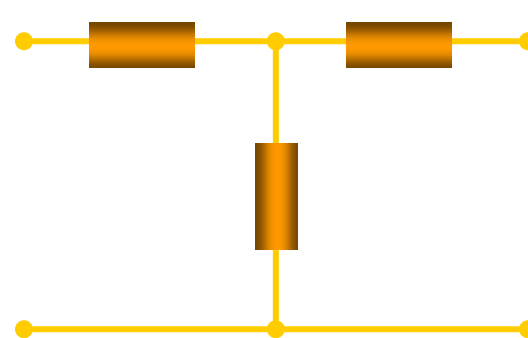
Y形网络



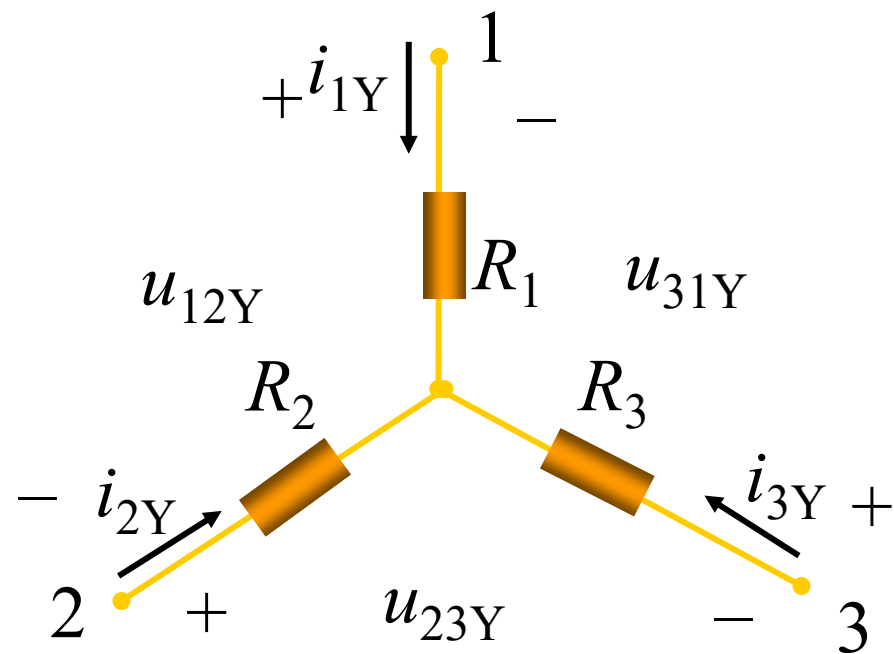
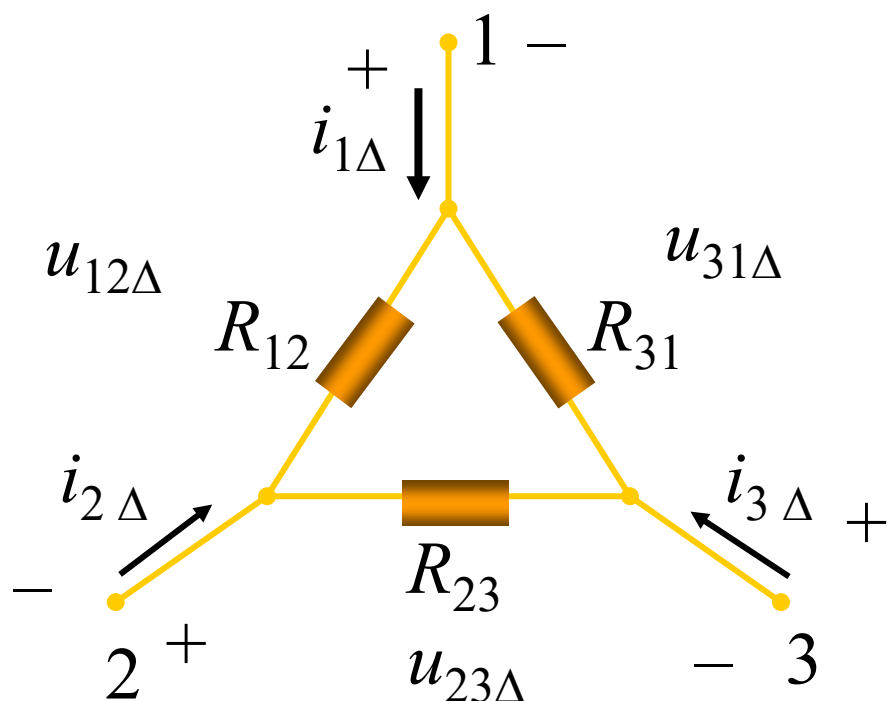
π 形网络



T形网络

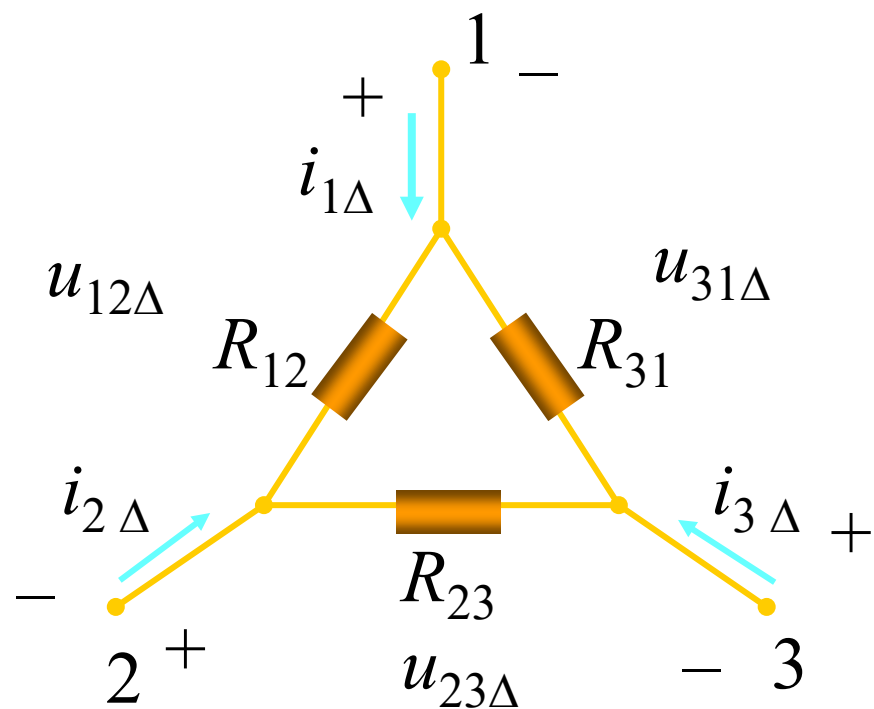


2. Δ —Y 变换的等效条件



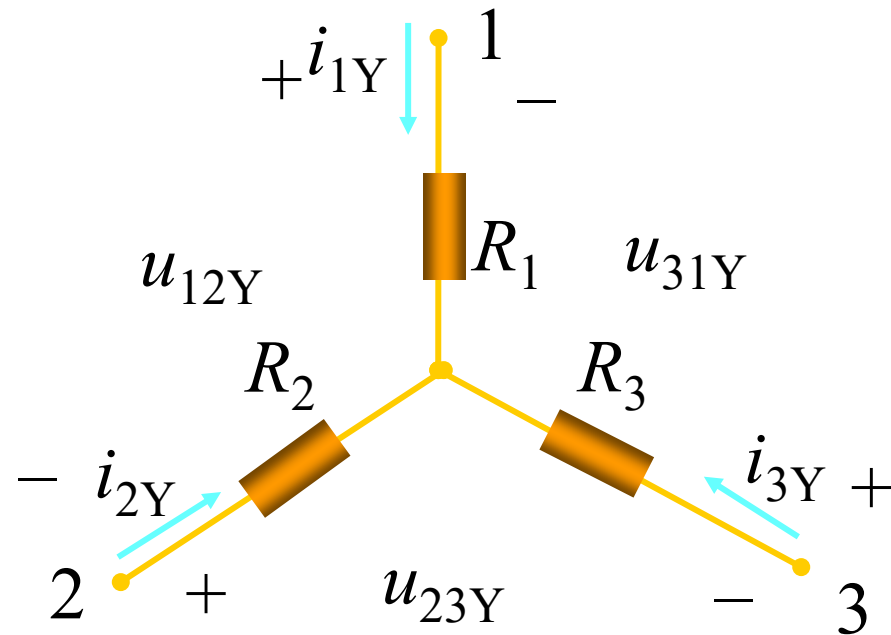
等效条件:

$$\begin{aligned} i_{1\Delta} &= i_{1Y}, & i_{2\Delta} &= i_{2Y}, & i_{3\Delta} &= i_{3Y}, \\ u_{12\Delta} &= u_{12Y}, & u_{23\Delta} &= u_{23Y}, & u_{31\Delta} &= u_{31Y} \end{aligned}$$



Δ接: 用电压表示电流

$$\left. \begin{aligned} i_{1\Delta} &= u_{12\Delta} / R_{12} - u_{31\Delta} / R_{31} \\ i_{2\Delta} &= u_{23\Delta} / R_{23} - u_{12\Delta} / R_{12} \\ i_{3\Delta} &= u_{31\Delta} / R_{31} - u_{23\Delta} / R_{23} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$



Y接: 用电流表示电压

$$\left. \begin{aligned} u_{12Y} &= R_1 i_{1Y} - R_2 i_{2Y} \\ u_{23Y} &= R_2 i_{2Y} - R_3 i_{3Y} \\ u_{31Y} &= R_3 i_{3Y} - R_1 i_{1Y} \\ i_{1Y} + i_{2Y} + i_{3Y} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

由式(2)解得：

$$\left. \begin{aligned} i_{1Y} &= \frac{u_{12Y}R_3 - u_{31Y}R_2}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1} \\ i_{2Y} &= \frac{u_{23Y}R_1 - u_{12Y}R_3}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1} \\ i_{3Y} &= \frac{u_{31Y}R_2 - u_{23Y}R_1}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1} \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{1\Delta} &= u_{12\Delta}/R_{12} - u_{31\Delta}/R_{31} \\ i_{2\Delta} &= u_{23\Delta}/R_{23} - u_{12\Delta}/R_{12} \\ i_{3\Delta} &= u_{31\Delta}/R_{31} - u_{23\Delta}/R_{23} \end{aligned} \right\} (1)$$

根据等效条件，比较式(3)与式(1)，得Y→Δ的变换条件：

可得到由 $\Delta \rightarrow Y$ 的变换条件：

$$R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$
$$R_2 = \frac{R_{23}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$
$$R_3 = \frac{R_{31}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

简记方法：

$$R_Y = \frac{\Delta \text{相邻电阻乘积}}{\Sigma R_{\Delta}}$$

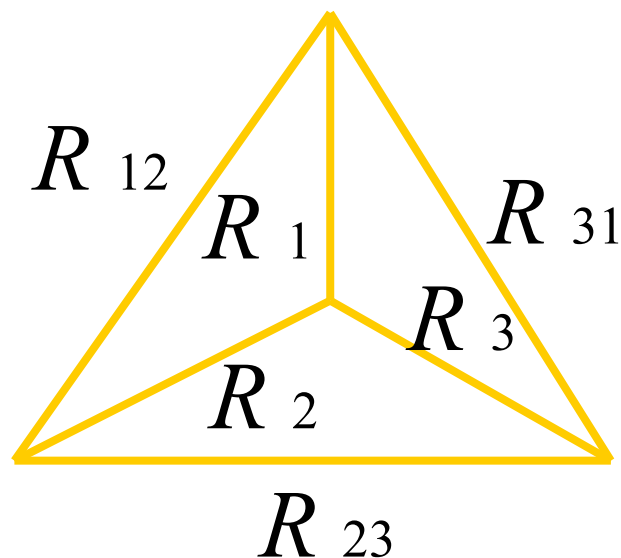
由 $Y \rightarrow \Delta$ 的变换条件：

$$R_{12} = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3}$$
$$R_{23} = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3}$$
$$R_{31} = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3}$$

$$R_{\Delta} = \frac{Y \text{电阻两两乘积之和}}{\text{不相关} R_Y}$$

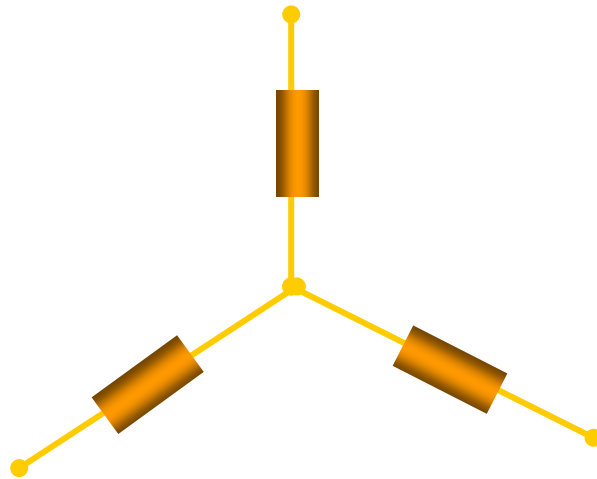
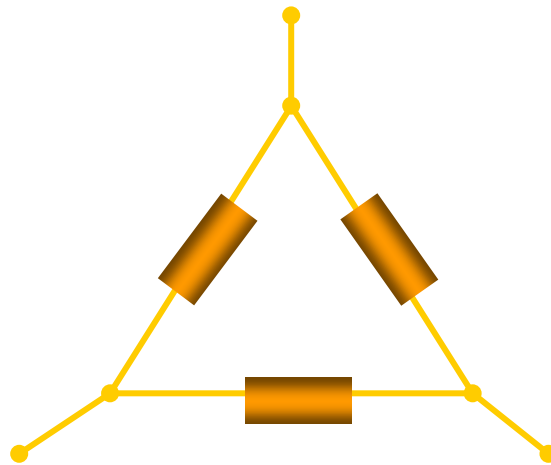
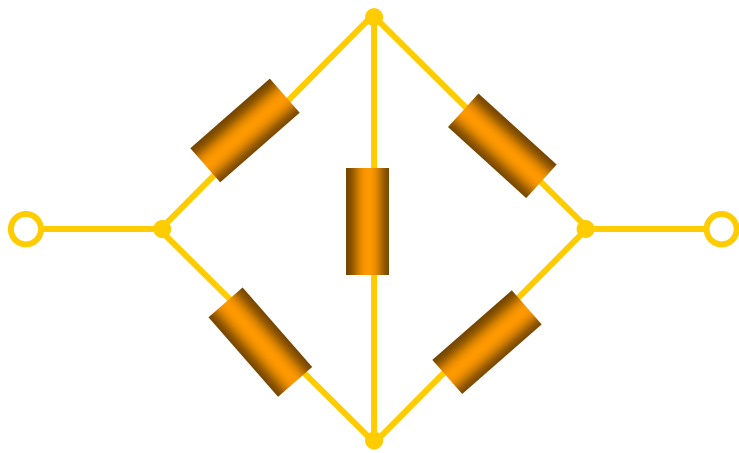
特例：若三个电阻相等(对称)，则有

$$R_{\Delta} = 3R_Y$$



注意

- ①等效对外部(端钮以外)有效，对内不成立。
- ②等效电路与外部电路无关。
- ③用于简化电路



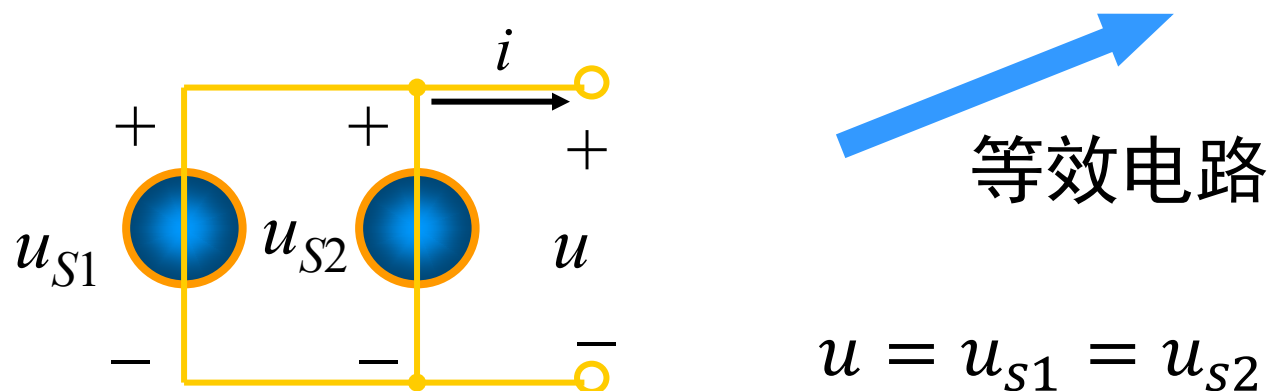
电压源、电流源的串联和并联

1. 理想电压源的串联和并联

① 串联

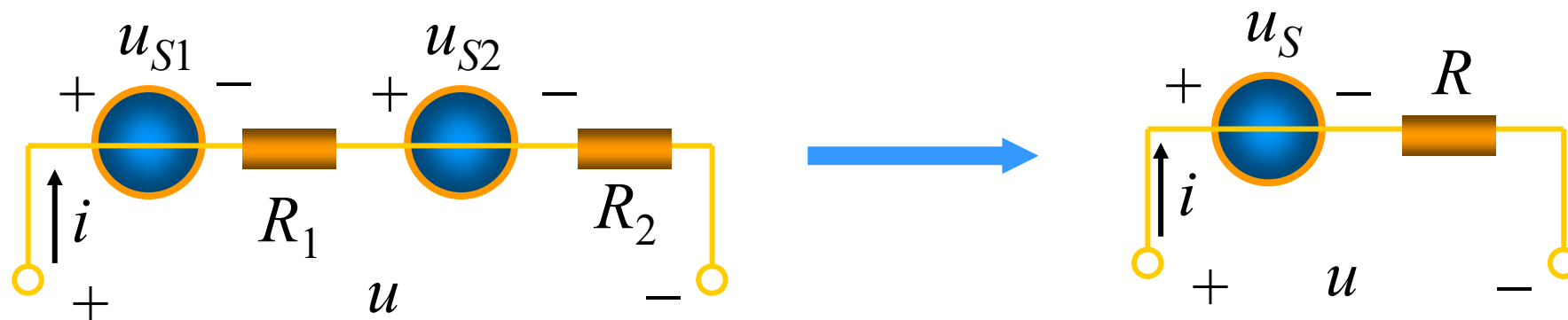


② 并联

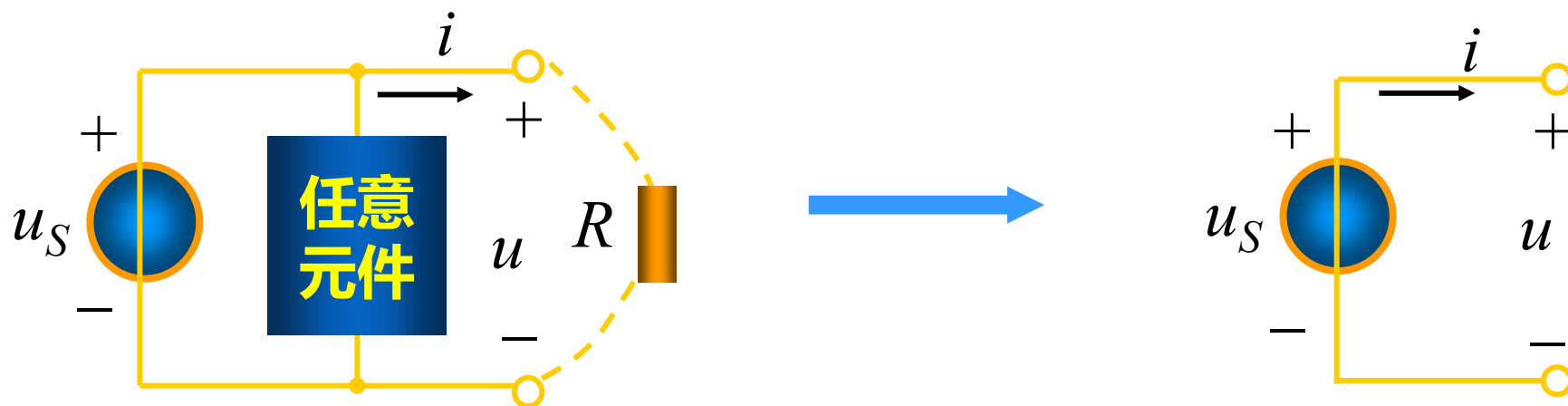


相同电压源才能并联, 电源中的电流不确定。

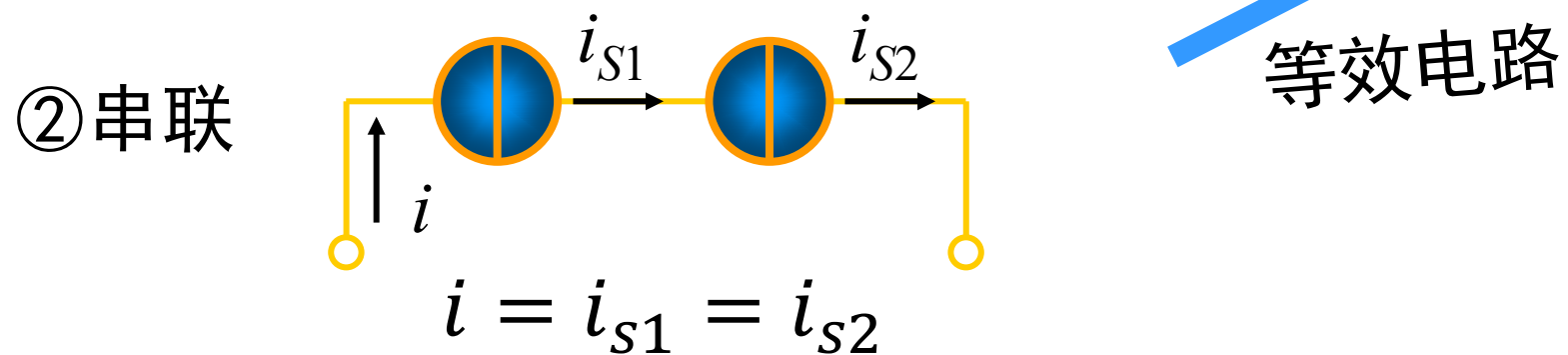
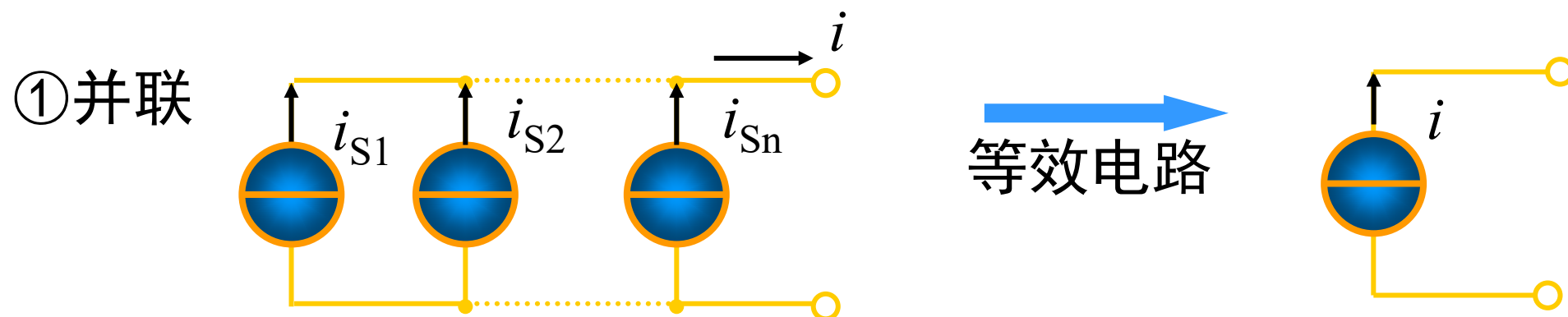
③电压源与支路的串、并联等效



$$u = u_{S1} + R_1 i + u_{S2} + R_2 i = (u_{S1} + u_{S2}) + (R_1 + R_2) i = u_S + R i$$

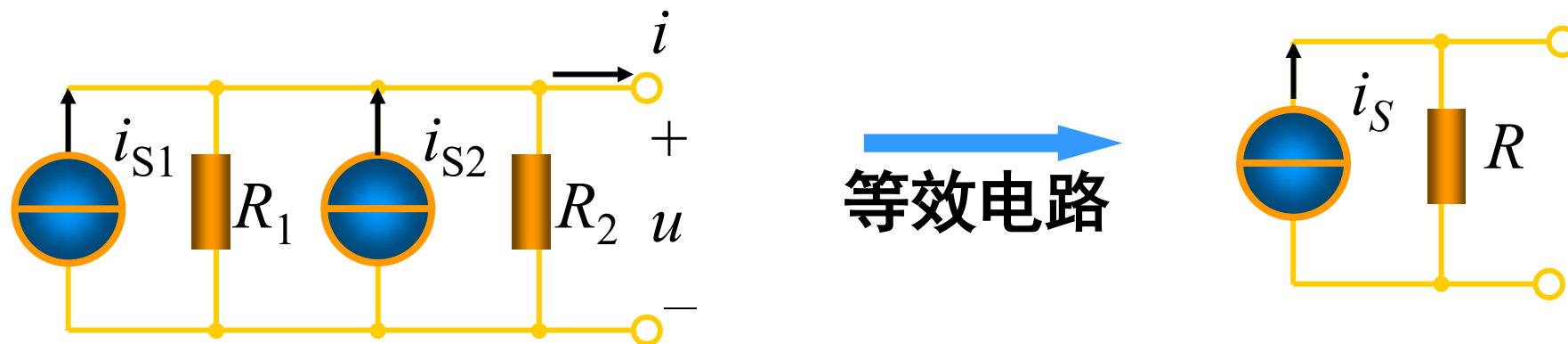


2. 理想电流源的串联并联

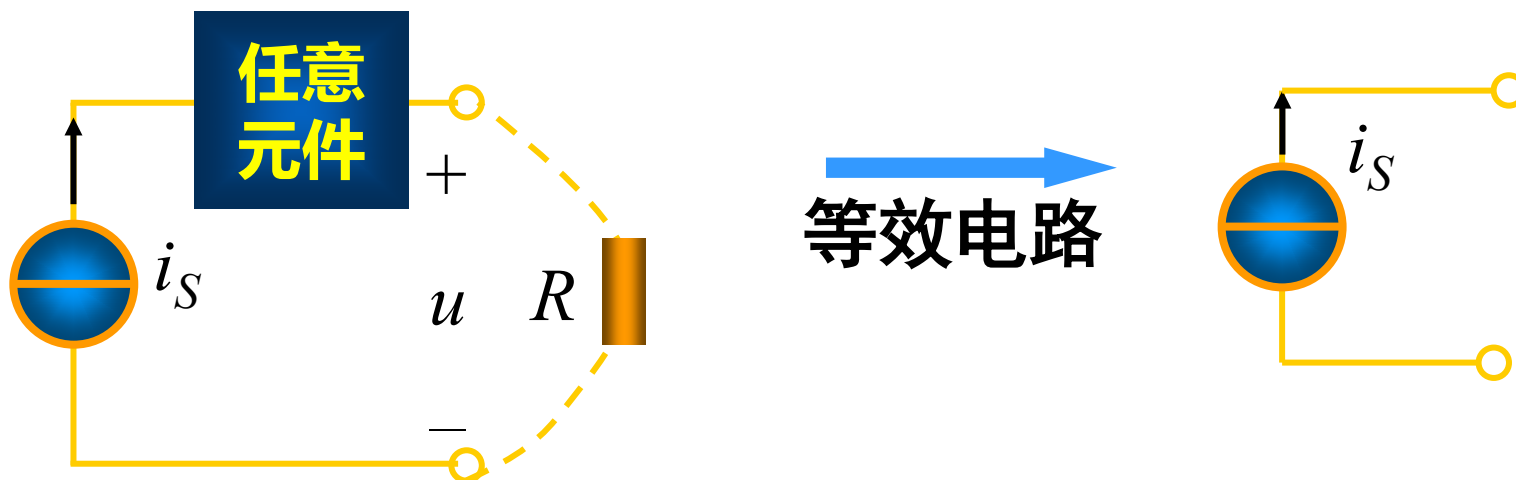


相同的理想电流源才能串联，每个电流源的端电压不能确定。

3. 电流源与支路的串、并联等效

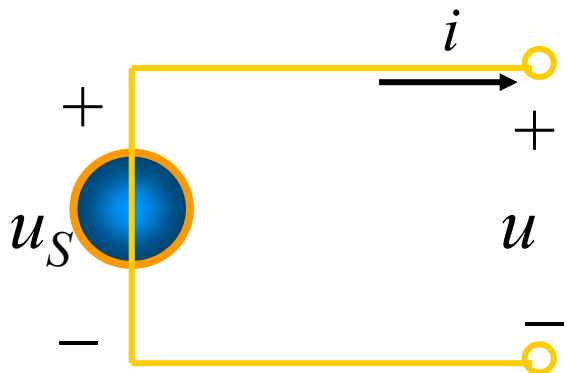


$$i = i_{s1} - u/R_1 + i_{s2} - u/R_2 = i_{s1} + i_{s2} - (1/R_1 + 1/R_2)u = i_s - u/R$$

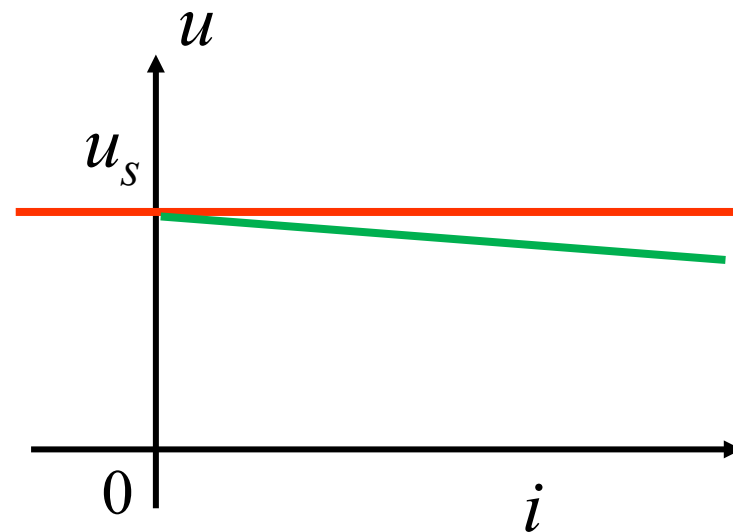


实际电源的两种模型及其等效变换

理想电压源

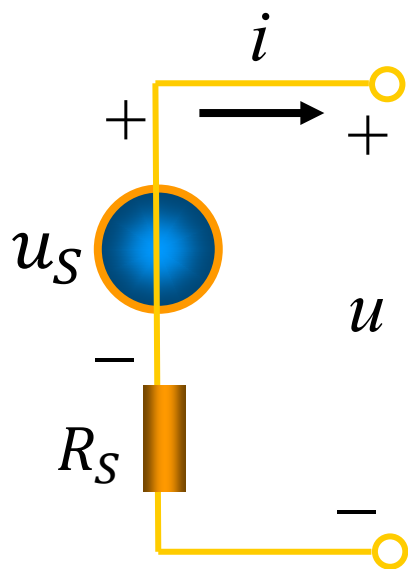


$$u = u_S$$



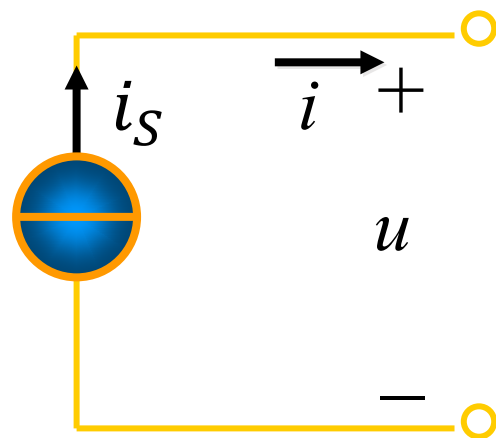
VCR

实际电压源

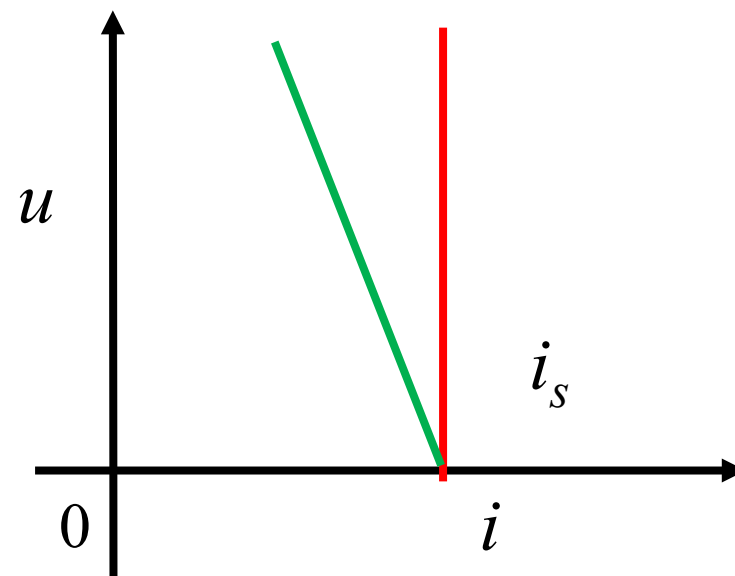


$$u = u_S - R_S i$$

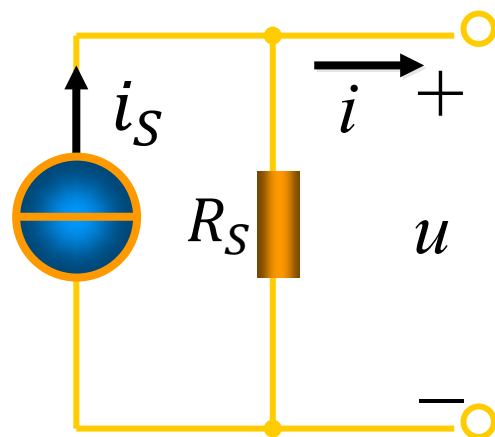
理想电流源



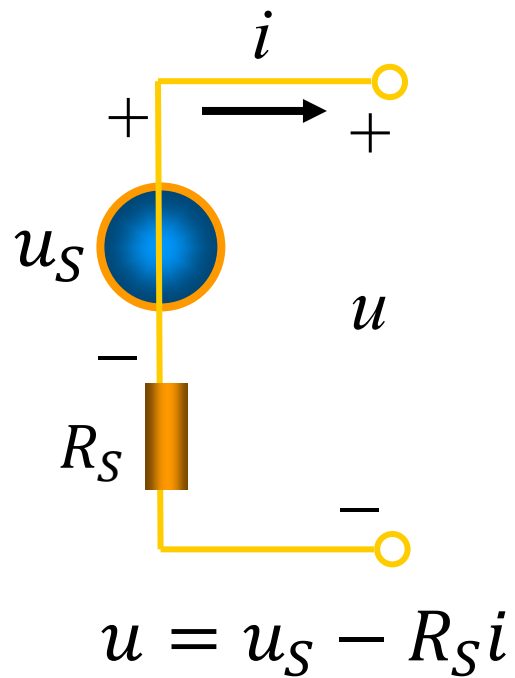
$$i = i_S$$




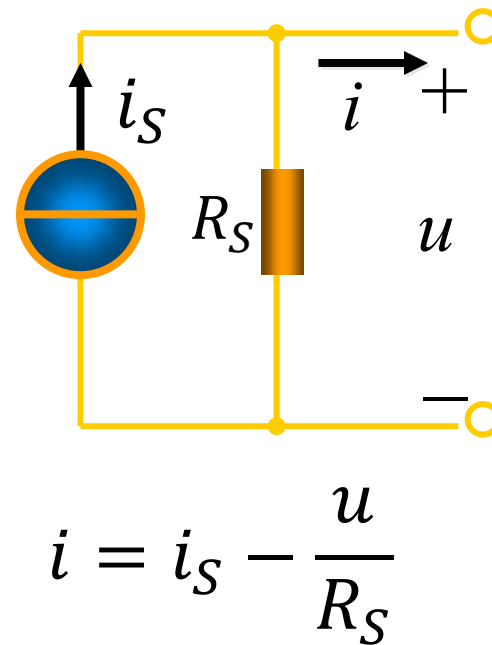
实际电流源



$$i = i_S - \frac{u}{R_S}$$




 互为等效电路

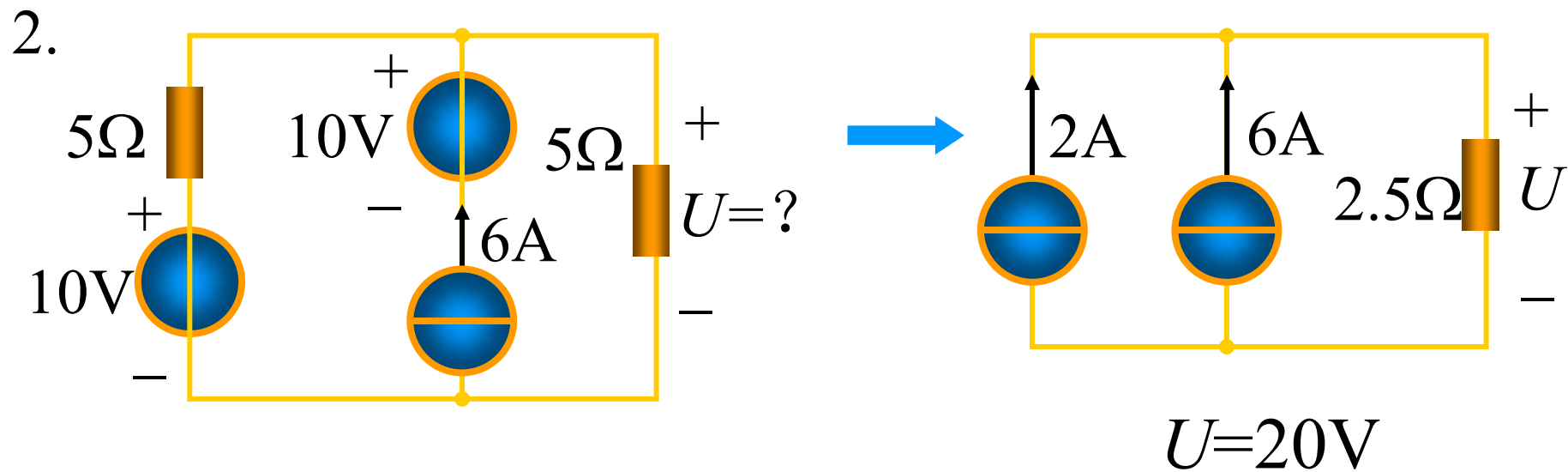
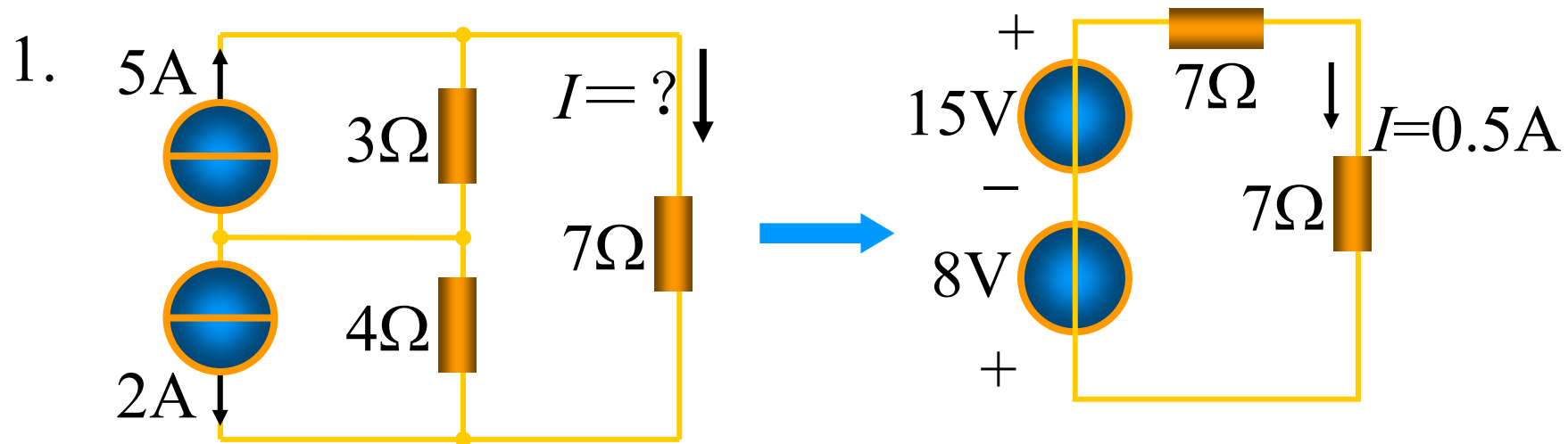


满足条件：
 $i_S = u_S / R_S$ 或 $G_S = 1 / R_S$
 R_S 相同

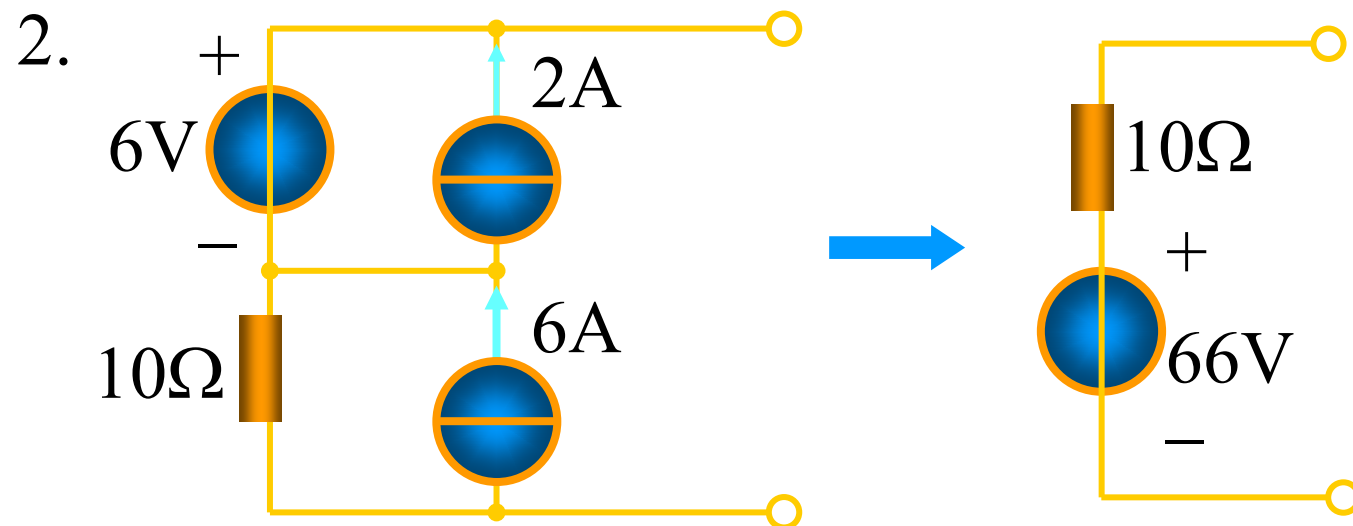
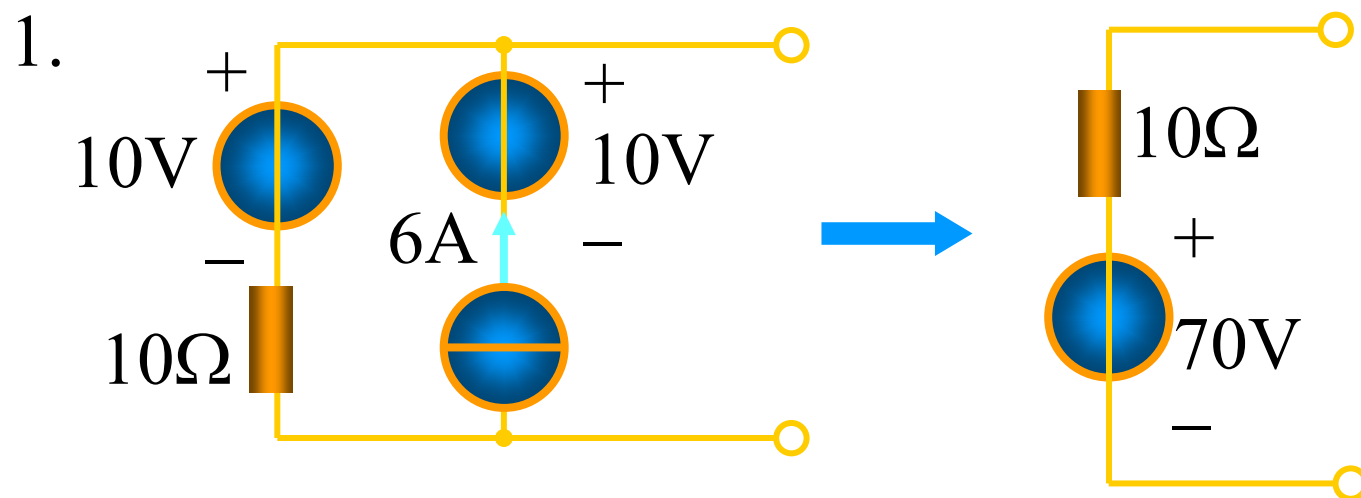


- 注意：
- ① 数值关系
 - ② 方向
 - ③ 等效是对外部电路等效，对内部电路是不等效的。
 - ④ 理想电压源与理想电流源不能相互转换。

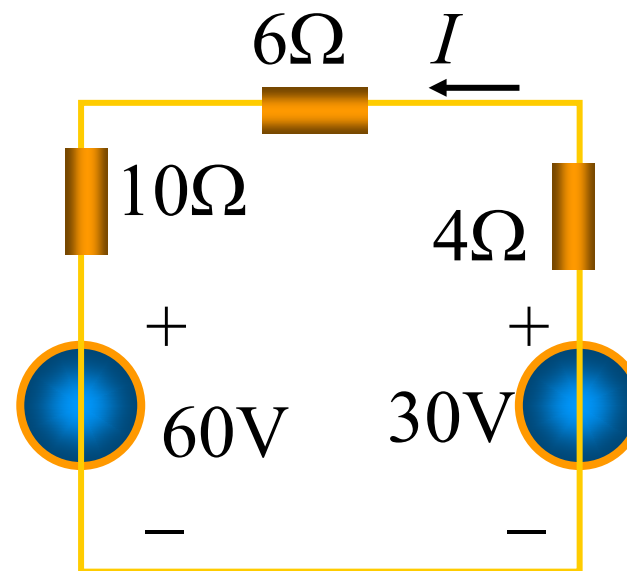
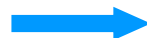
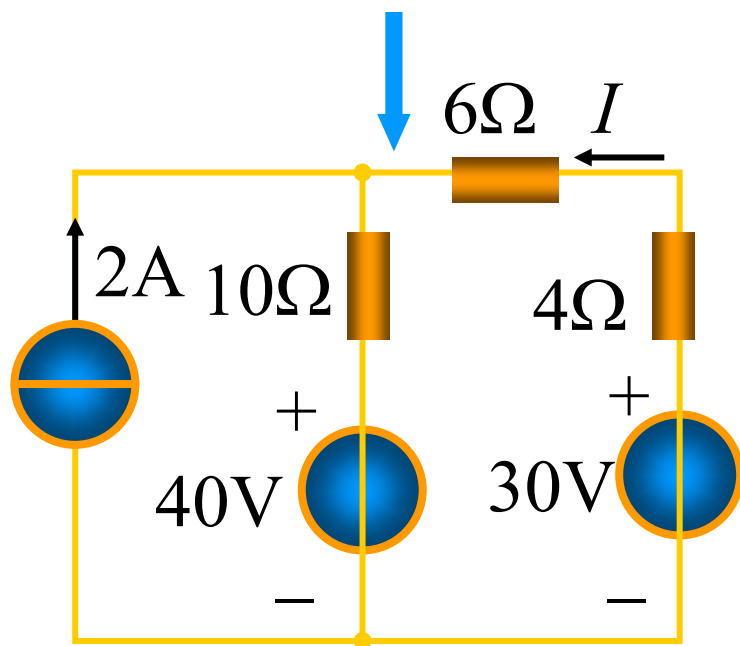
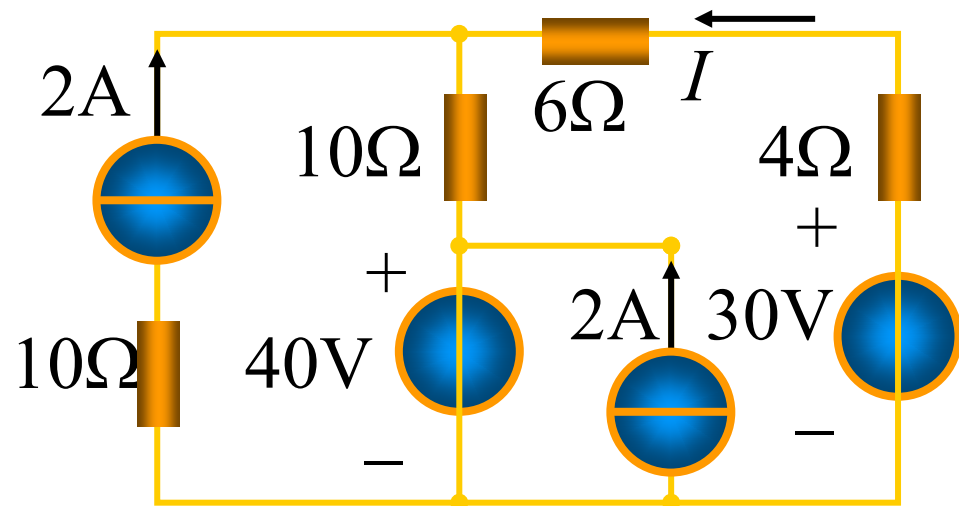
利用电源转换简化电路计算



把电路转换成一个电压源和一个电阻的串联



求电路中的电流 I



支路电流法

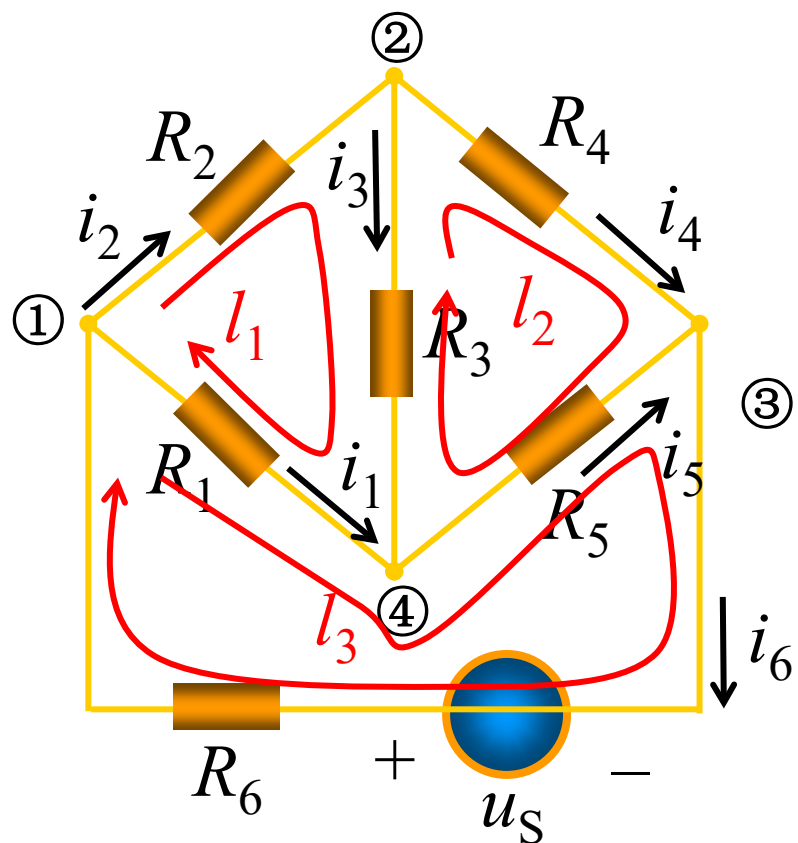
1. 支路电流法

以各支路电流为未知量列写电路方程分析电路的方法。

2. 独立方程的列写

①从电路的 n 个结点中任意选择 $n-1$ 个结点列写KCL方程

②选择网孔列写 $b-n+1$ 个KVL方程。（电阻电压用 Ri ）



KCL: $(n-1)$

$$\textcircled{1} \quad i_1 + i_2 - i_6 = 0$$

$$\textcircled{2} \quad -i_2 + i_3 + i_4 = 0$$

$$\textcircled{3} \quad -i_4 - i_5 + i_6 = 0$$

KVL: $(b-n+1)$ 网孔, 沿顺时针方向绕行

~~$$l_1 \quad u_2 + u_3 - u_1 = 0$$~~

~~$$l_2 \quad u_4 - u_5 - u_3 = 0$$~~

~~$$l_3 \quad u_1 + u_5 + u_6 = 0$$~~

这一步可以省去

应用欧姆定律消去支路电压得:

$$l_1: R_2 i_2 + R_3 i_3 - R_1 i_1 = 0$$

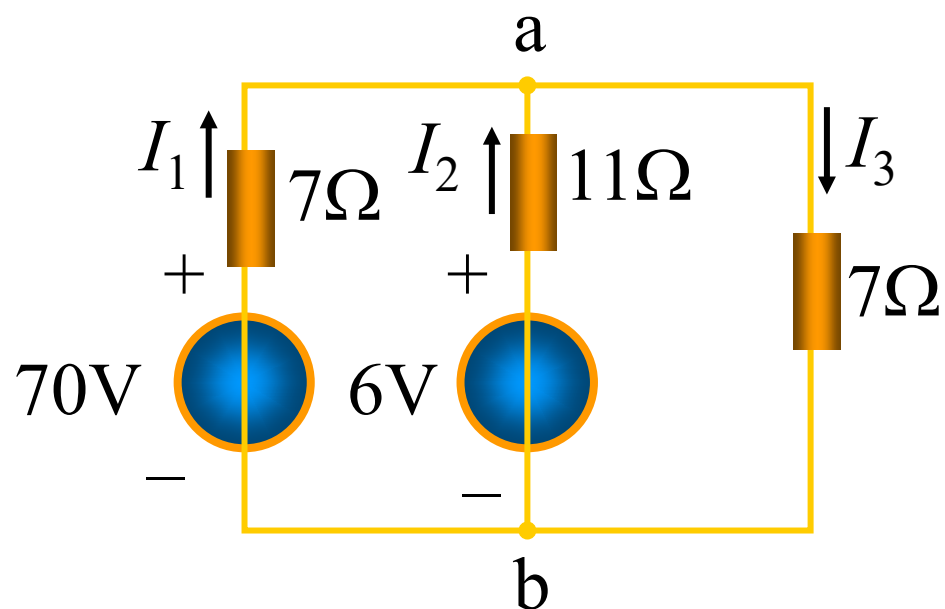
$$l_2: R_4 i_4 - R_5 i_5 - R_3 i_3 = 0$$

$$l_3: R_1 i_1 + R_5 i_5 + R_6 i_6 - u_S = 0$$

支路电流法的特点：

方程列写方便、直观，但方程数较多，宜用于支路数不多的情况下。

例：求各支路电流及各电压源发出的功率。



① $n-1=1$ 个KCL方程：

结点a: $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$

② $b-(n-1)=2$ 个KVL方程：

$$\begin{cases} 7I_1 - 11I_2 = 70 - 6 = 64 \\ 11I_2 + 7I_3 = 6 \end{cases}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} -1 & -1 & 1 \\ 7 & -11 & 0 \\ 0 & 11 & 7 \end{vmatrix} = 203$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 64 & -11 & 0 \\ 6 & 11 & 7 \end{vmatrix} = 1218$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 7 & 64 & 0 \\ 0 & 6 & 7 \end{vmatrix} = -406$$

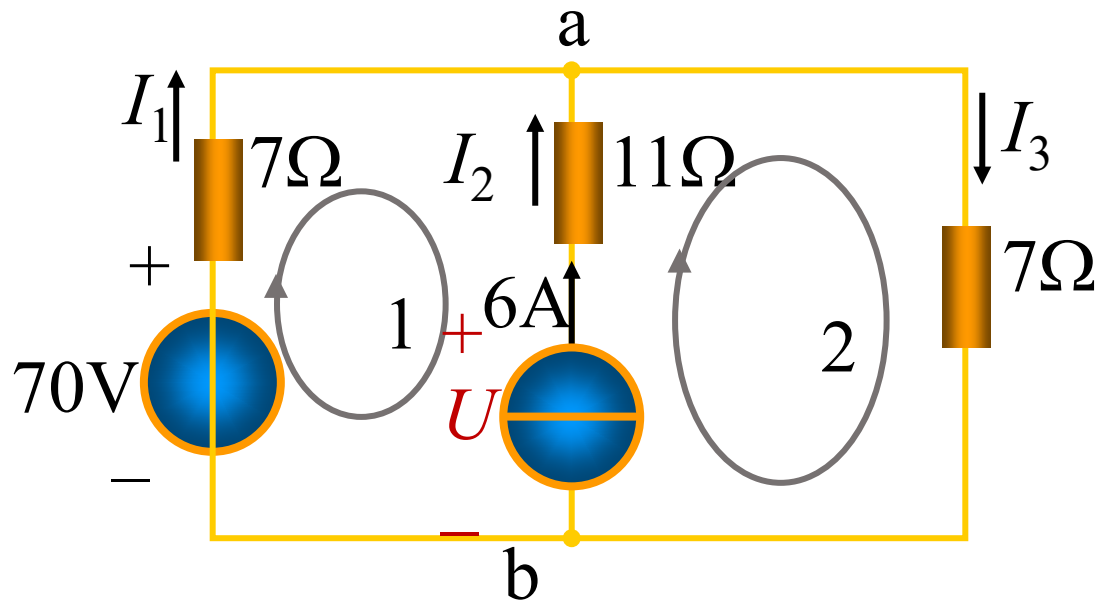
$$I_1 = 1218/203 = 6\text{A} \quad I_2 = -406/203 = -2\text{A}$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = 6 - 2 = 4\text{A}$$

$$P_{70} = 6 \times 70 = 420\text{W} \quad P_6 = 6 \times (-2) = -12\text{W}$$

特殊情况一：（电路中含有理想电流源）

方法一：



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

$$l_1: 7I_1 - 11I_2 + U - 70 = 0$$

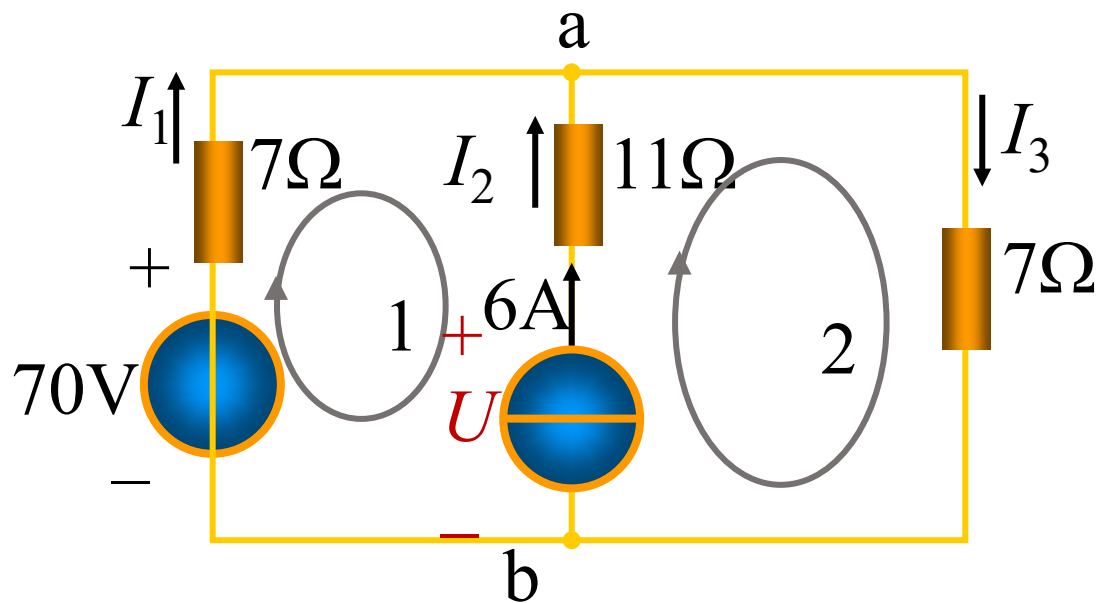
$$l_2: 11I_2 + 7I_3 - U = 0$$

增补方程：

$$I_2 = 6A$$

特殊情况：（电路中含有理想电流源）

方法一：



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

$$l_1: 7I_1 - 11I_2 + U - 70 = 0$$

$$l_2: 11I_2 + 7I_3 - U = 0$$

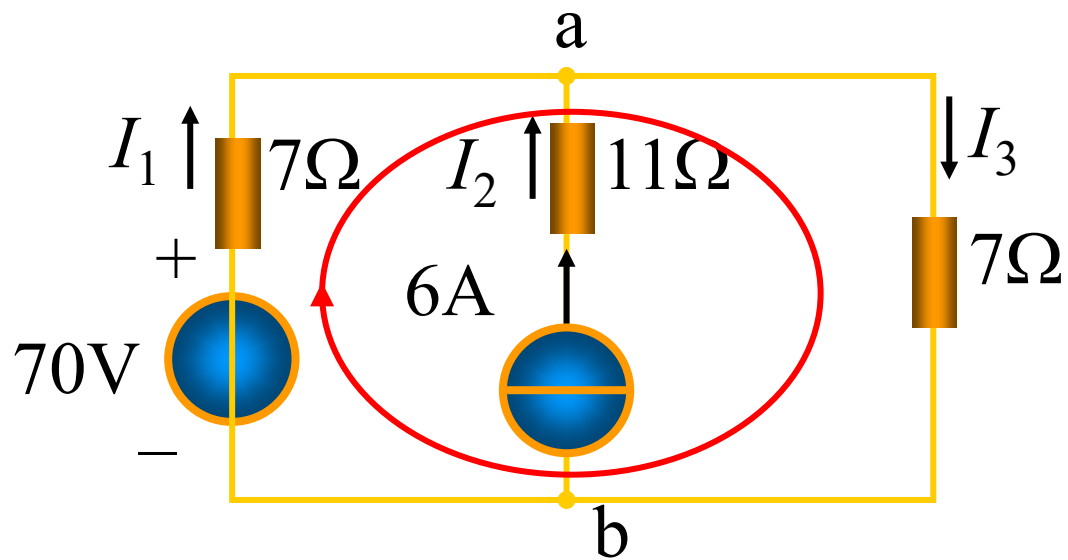
增补方程：

$$I_2 = 6A$$

注意：

先在电流源两端标上电压 U 的方向，然后再写方程！

特殊情况：电路中含有理想电流源



方法二：

a: $-I_1 + I_3 = 6$

经过同一个电流源的网孔合并取回路：

$$7I_1 + 7I_3 = 70$$

结点电压法

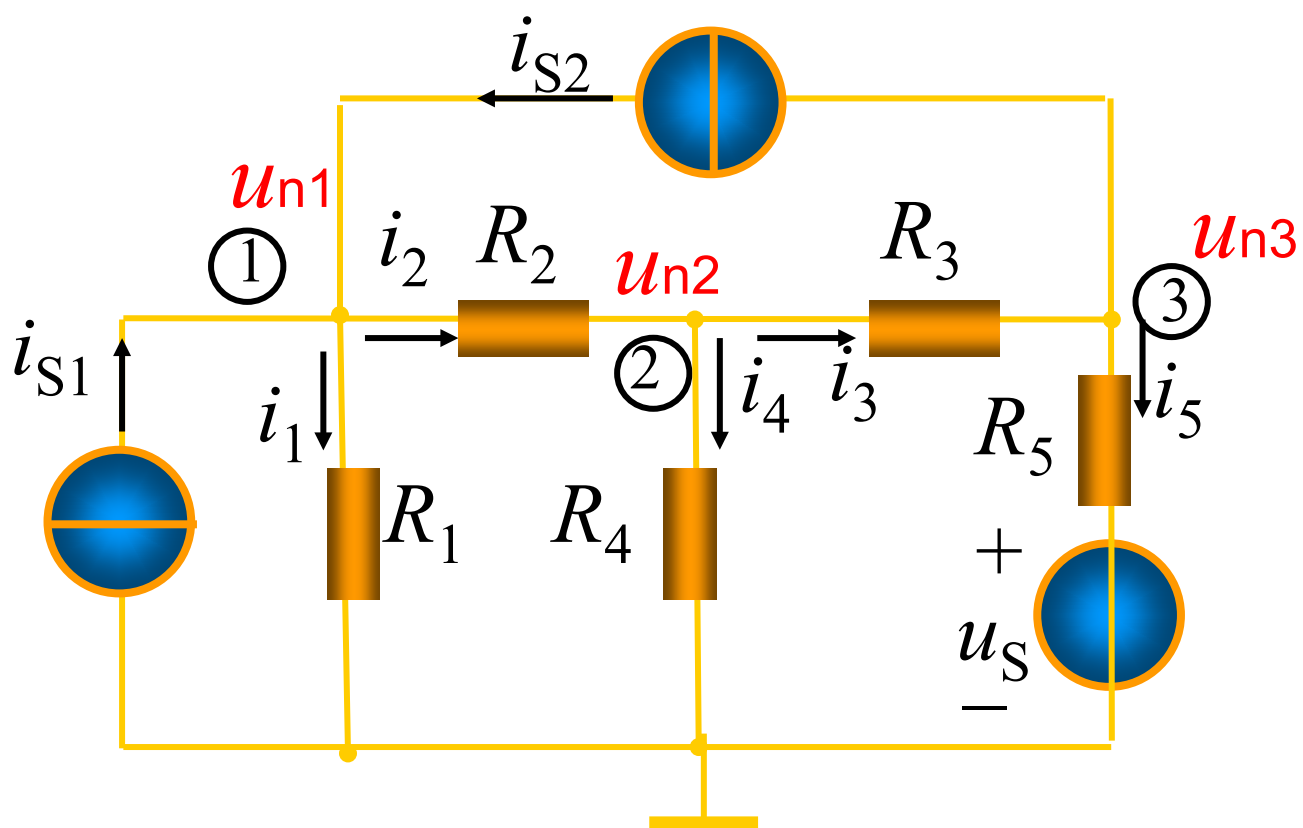
以结点电压为未知量列写电路方程分析电路的方法。

- 基本思想：

选结点电压为未知量，则KVL自动满足，无需列写KVL方程。

各支路电流、电压可视为结点电压的线性组合，求出结点电压后，便可方便地得到各支路电压、电流。

- 独立方程数为： $(n-1)$ 个



$$R_1 i_1 = u_{n1}$$

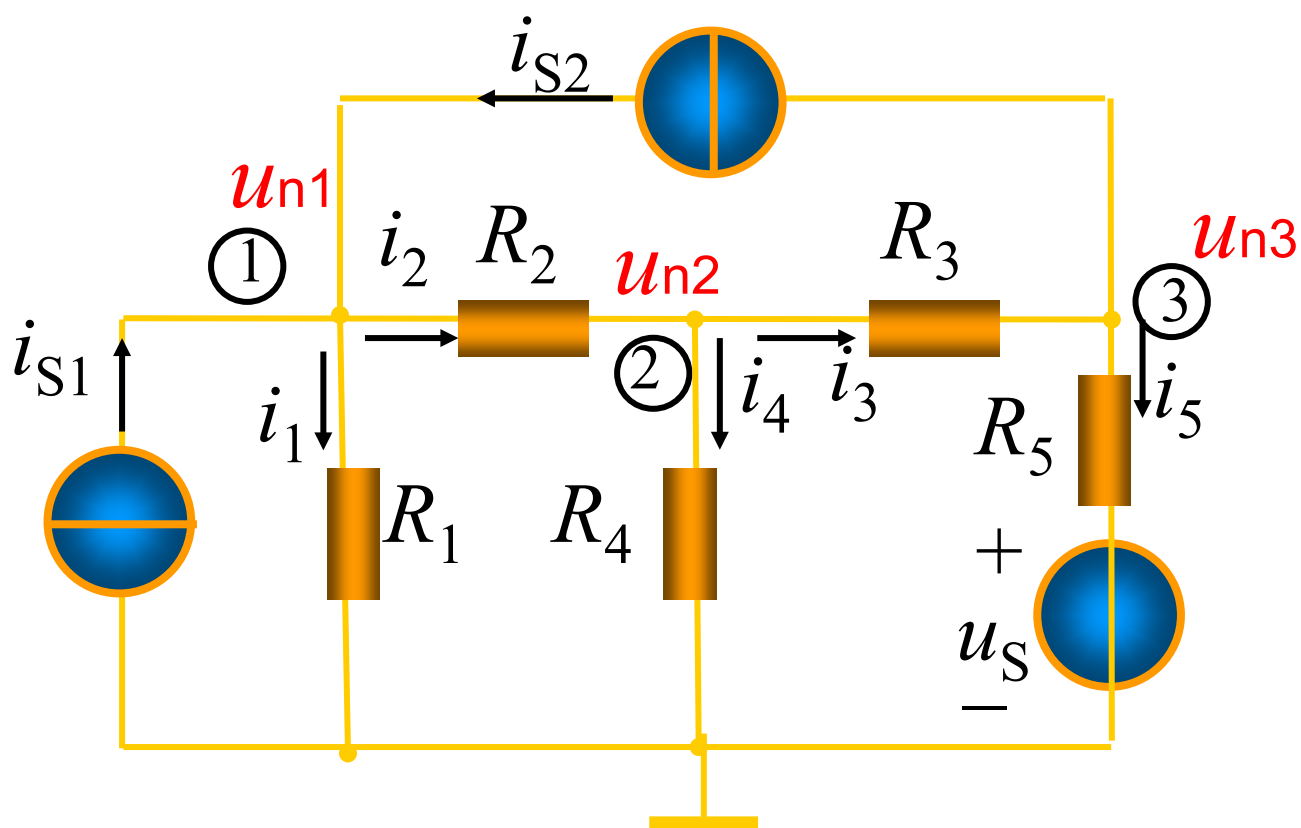
$$R_2 i_2 = u_{n1} - u_{n2}$$

$$R_4 i_4 = u_{n2}$$

$$KVL: R_2 i_2 + R_4 i_4 - R_1 i_1 = 0$$

$$(u_{n1} - u_{n2}) + \underset{0}{u_{n2}} - u_{n1} = 0$$

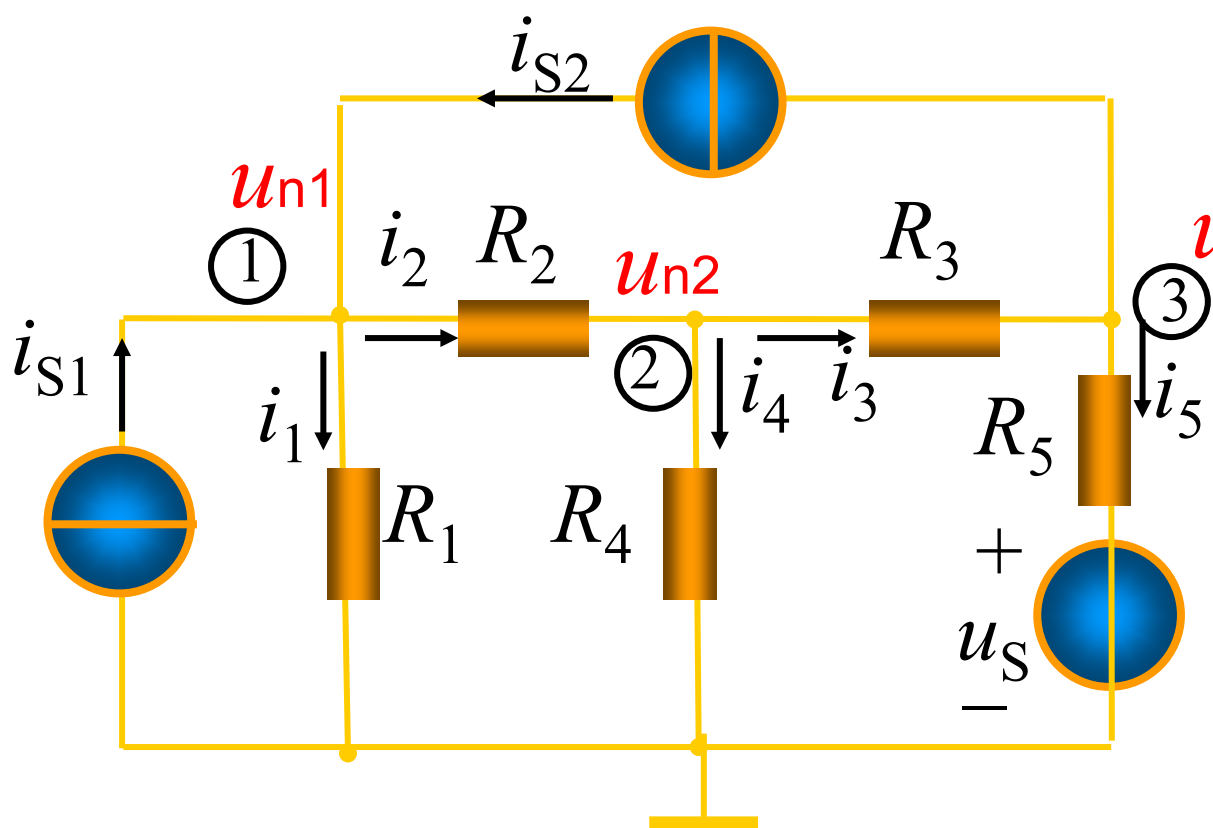
KVL自动满足



$$\begin{cases} i_1 + i_2 - i_{S1} - i_{S2} = 0 \\ -i_2 + i_4 + i_3 = 0 \\ -i_3 + i_5 + i_{S2} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{u_{n1}}{R_1} & i_2 &= \frac{u_{n1} - u_{n2}}{R_2} \\ i_3 &= \frac{u_{n2} - u_{n3}}{R_3} & i_4 &= \frac{u_{n2}}{R_4} \\ i_5 &= \frac{u_{n3} - u_S}{R_5} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \frac{u_{n1}}{R_1} + \frac{u_{n1} - u_{n2}}{R_2} = i_{S1} - i_{S2} \\ -\frac{u_{n1} - u_{n2}}{R_2} + \frac{u_{n2} - u_{n3}}{R_3} + \frac{u_{n2}}{R_4} = 0 \\ -\frac{u_{n2} - u_{n3}}{R_3} + \frac{u_{n3} - u_S}{R_5} = -i_{S2} \end{cases}$$



$$\begin{cases} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) u_{n1} - \left(\frac{1}{R_2} \right) u_{n2} = \underline{i_{S1} + i_{S2}} \quad \underline{i_{sn1}} \\ -\frac{1}{R_2} u_{n1} + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) u_{n2} - \frac{1}{R_3} u_{n3} = 0 \\ -\left(\frac{1}{R_3} \right) u_{n2} + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} \right) u_{n3} = \underline{-i_{S2} + \frac{u_S}{R_5}} \quad \underline{i_{sn3}} \end{cases}$$

Matrix representation of the nodal equations:

$$\begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & 0 \\ G_{21} & G_{22} & G_{32} \\ 0 & G_{32} & G_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{n1} \\ u_{n2} \\ u_{n3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{sn1} \\ 0 \\ i_{sn3} \end{bmatrix}$$

自导: G_{11}, G_{22}, G_{33}

互导: $G_{12}, G_{13}; G_{21}, G_{23};$
 G_{31}, G_{32}

流入结点的电源电流: $i_{sn1}, i_{sn2}, i_{sn3}$

结点法标准形式的方程：

$$\begin{cases} G_{11}u_{n1} + G_{12}u_{n2} + \dots + G_{1,n-1}u_{n,n-1} = i_{Sn1} \\ G_{21}u_{n1} + G_{22}u_{n2} + \dots + G_{2,n-1}u_{n,n-1} = i_{Sn2} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ G_{n-1,1}u_{n1} + G_{n-1,2}u_{n2} + \dots + G_{n-1,n-1}u_{n,n-1} = i_{Sn,n-1} \end{cases}$$

G_{kk} — 自电导，总为正。

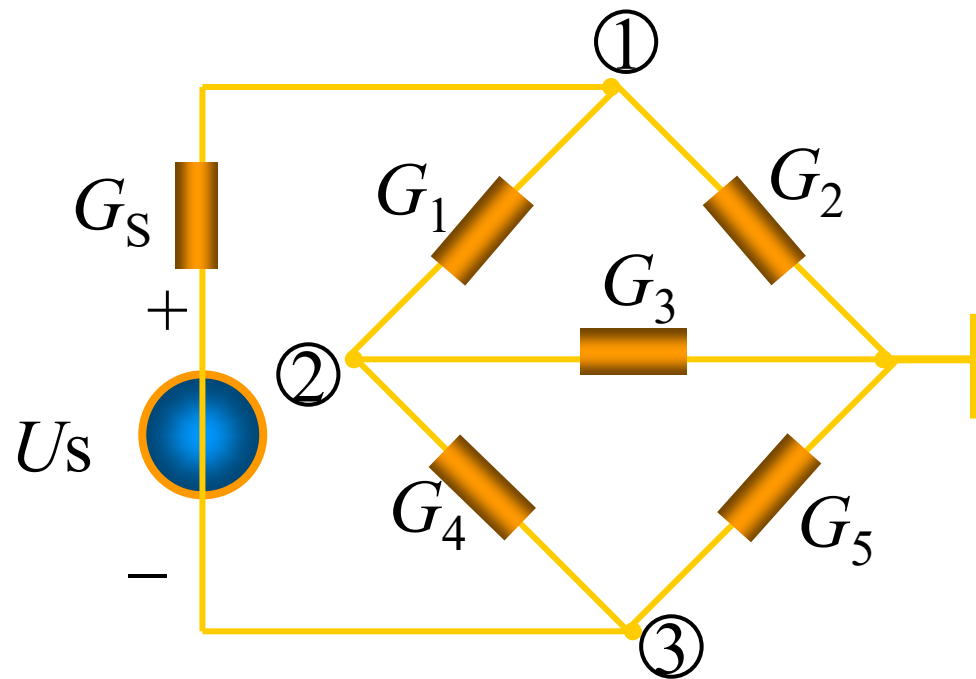
$G_{ij} = G_{ji}$ — 互电导，结点*i*与结点*j*之间所有支路电导之和，总为负。

i_{Snk} — 流入第*k*个结点的所有电源电流的代数和。



注意 电路不含受控源时，系数矩阵为对称阵。

试列写电路的结点电压方程

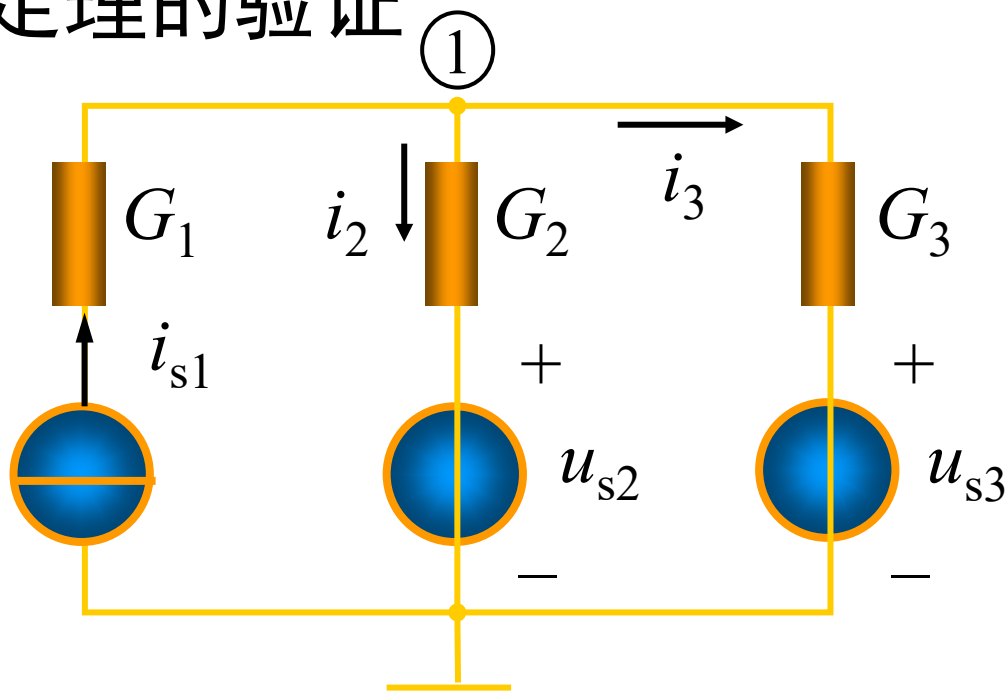


$$\begin{cases} (G_1 + G_2 + G_S)U_1 - G_1U_2 - G_SU_3 = G_SU_S \\ -G_1U_1 + (G_1 + G_3 + G_4)U_2 - G_4U_3 = 0 \\ -G_SU_1 - G_4U_2 + (G_4 + G_5 + G_S)U_3 = -U_SG_S \end{cases}$$

叠加定理

在**多电源**的线性电路中，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流(或电压)的**代数和**。

定理的验证



应用结点法：

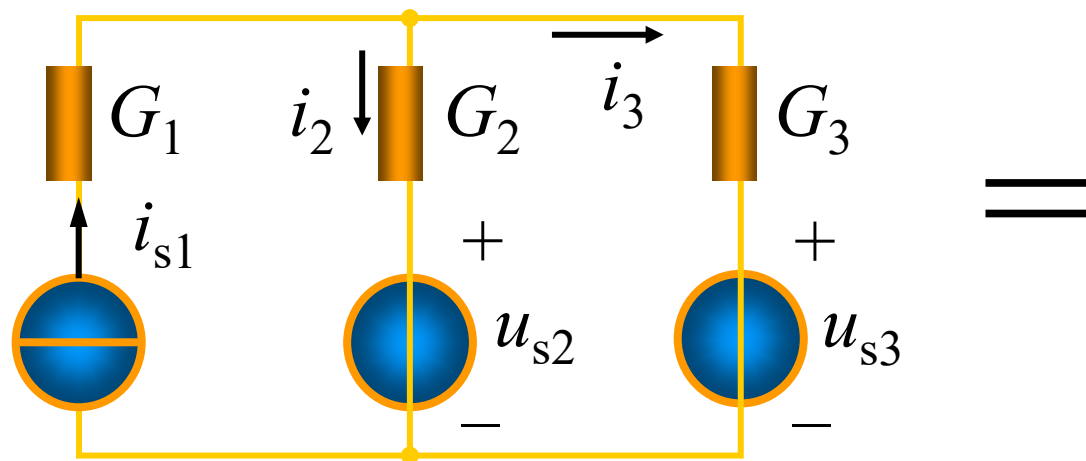
$$(G_2 + G_3)u_{n1} = G_2 u_{s2} + G_3 u_{s3} + i_{s1}$$

$$u_{n1} = \frac{G_2 u_{s2}}{G_2 + G_3} + \frac{G_3 u_{s3}}{G_2 + G_3} + \frac{i_{s1}}{G_2 + G_3}$$

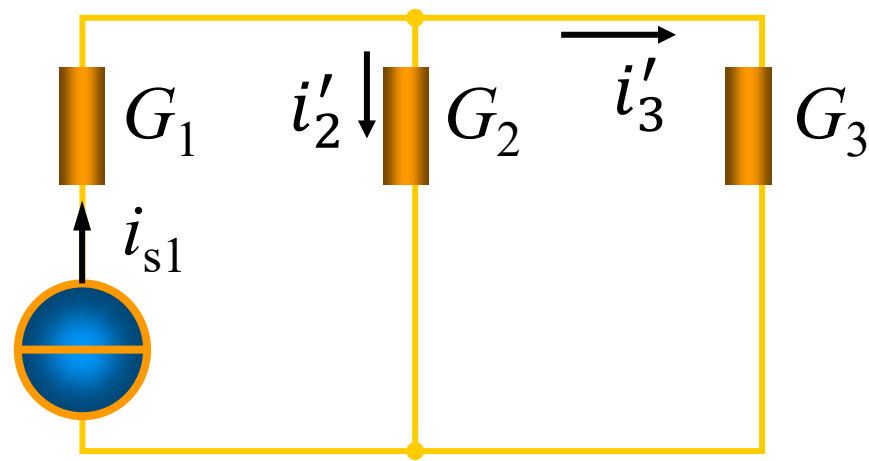
$$\begin{aligned} u_{n1} &= a_1 i_{s1} + a_2 u_{s2} + a_3 u_{s3} \\ &= u'_{n1} + u''_{n1} + u'''_{n1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_2 &= (u_{n1} - u_{s2})G_2 = \left(\frac{-G_3 G_2}{G_2 + G_3} \right) u_{s2} + \frac{G_3 G_2 u_{s3}}{G_2 + G_3} + \frac{G_2 i_{s1}}{G_2 + G_3} = b_1 i_{s1} + b_2 u_{s2} + b_3 u_{s3} \\ &= i'_2 + i''_2 + i'''_2 \end{aligned}$$

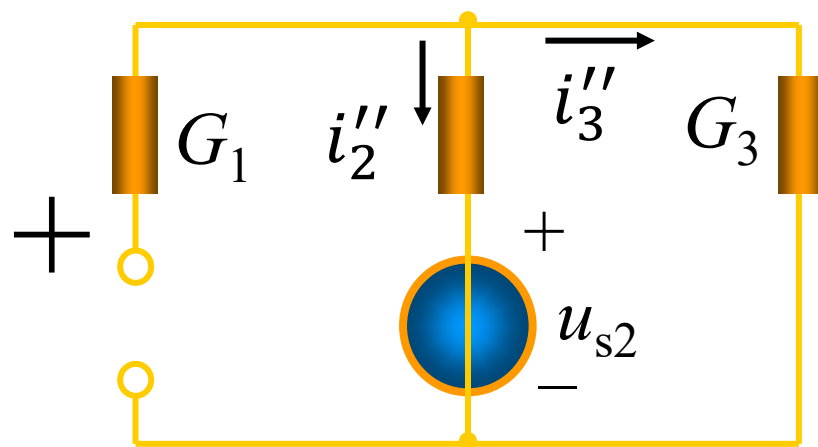
$$\begin{aligned} i_3 &= (u_{n1} - u_{s3})G_3 = \left(\frac{G_3 G_2}{G_2 + G_3} \right) u_{s2} + \left(\frac{-G_2 G_3}{G_2 + G_3} \right) u_{s3} + \frac{G_3 i_{s1}}{G_2 + G_3} = c_1 i_{s1} + c_2 u_{s2} + c_3 u_{s3} \\ &= i'_3 + i''_3 + i'''_3 \end{aligned}$$



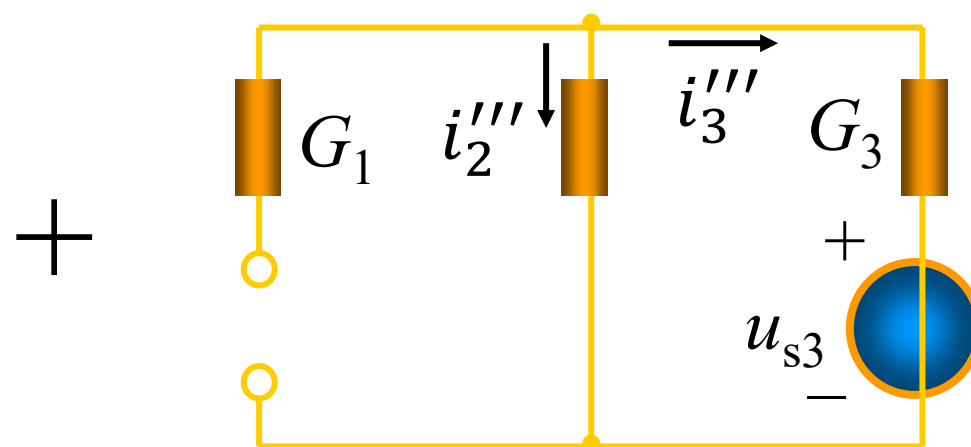
三个电源共同作用



i_{s1} 单独作用

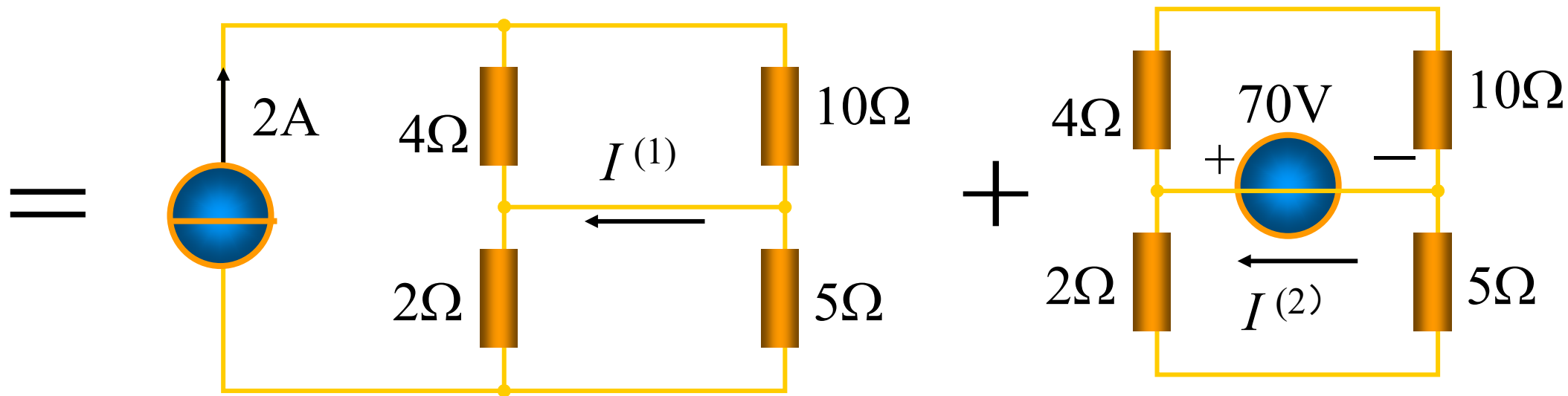
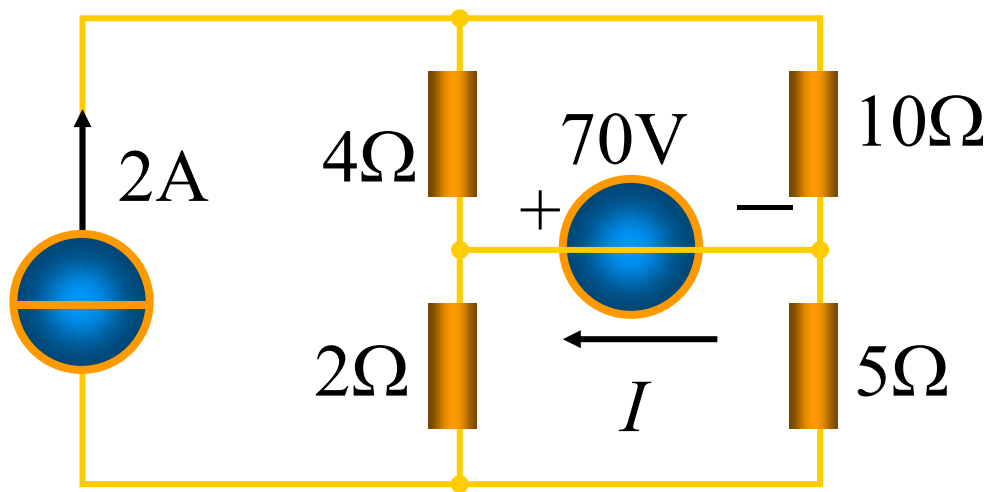


u_{s2} 单独作用



u_{s3} 单独作用

例：求电压源的电流及功率

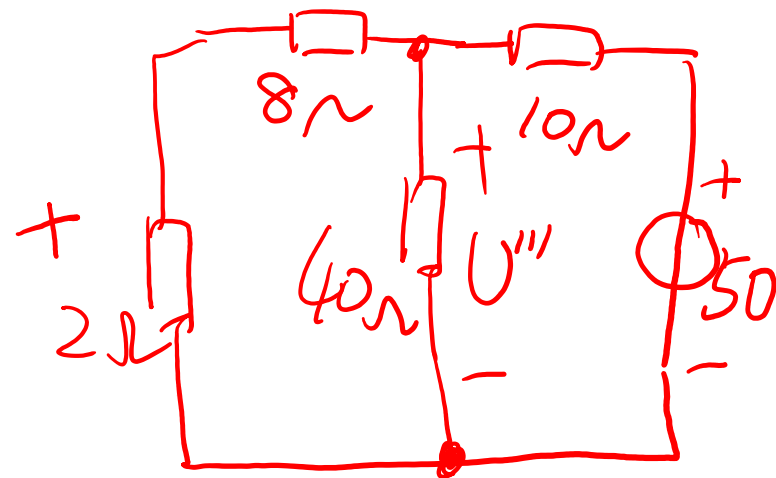
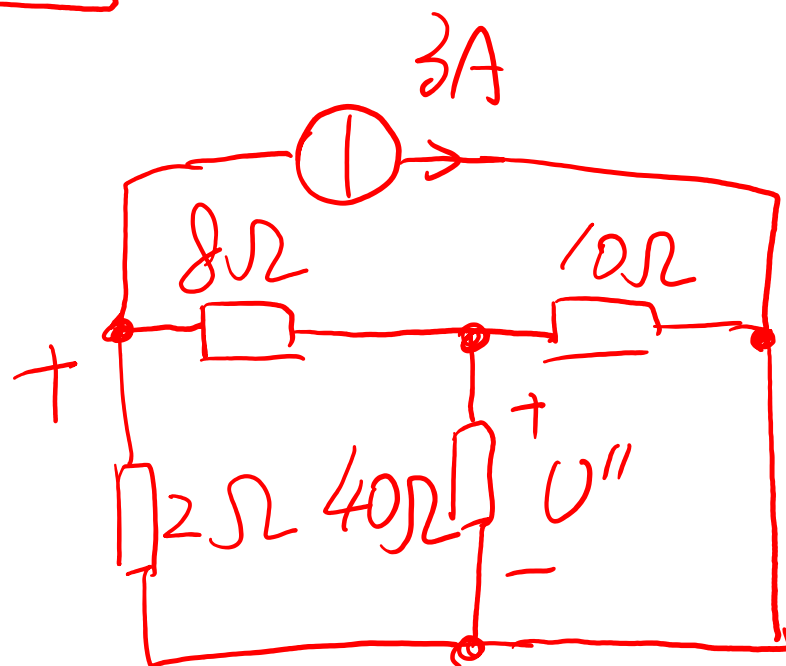
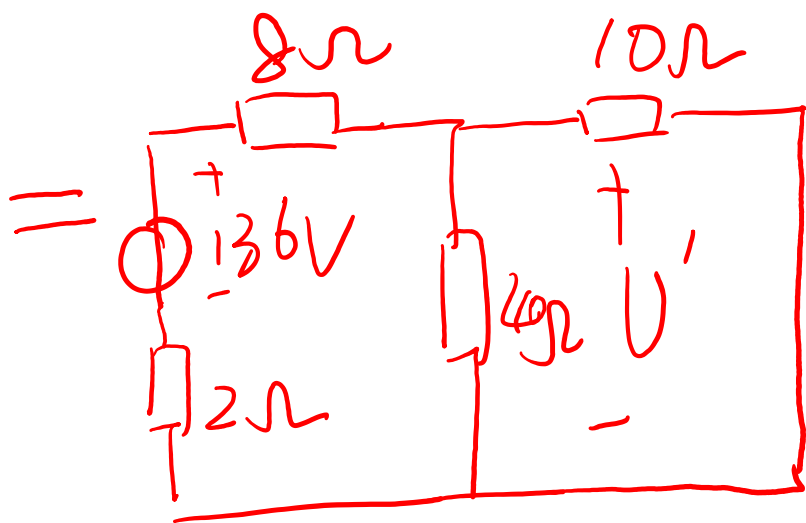
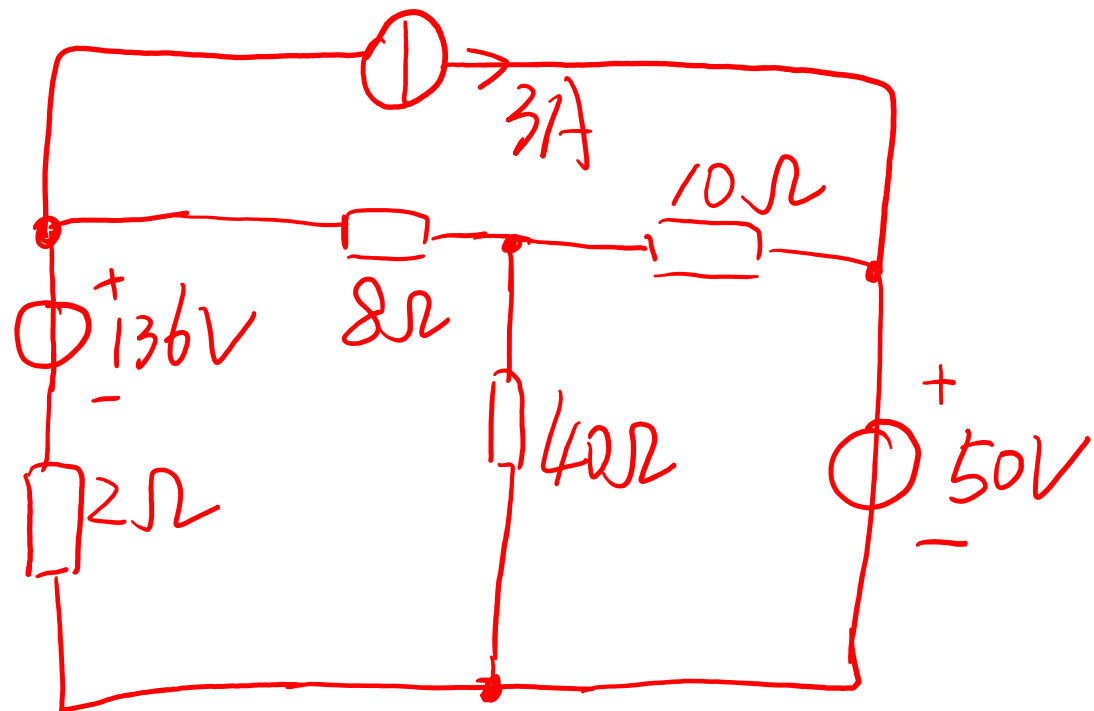


注意：

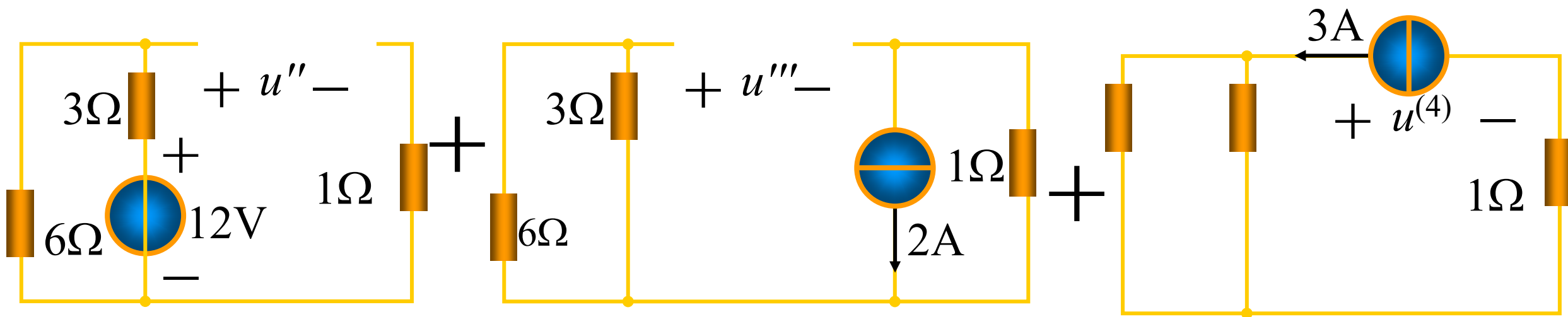
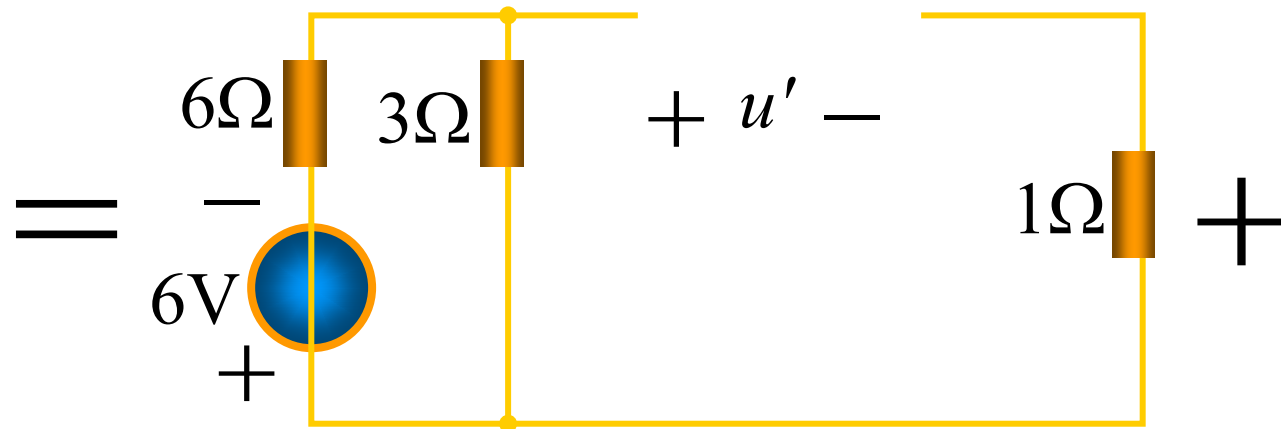
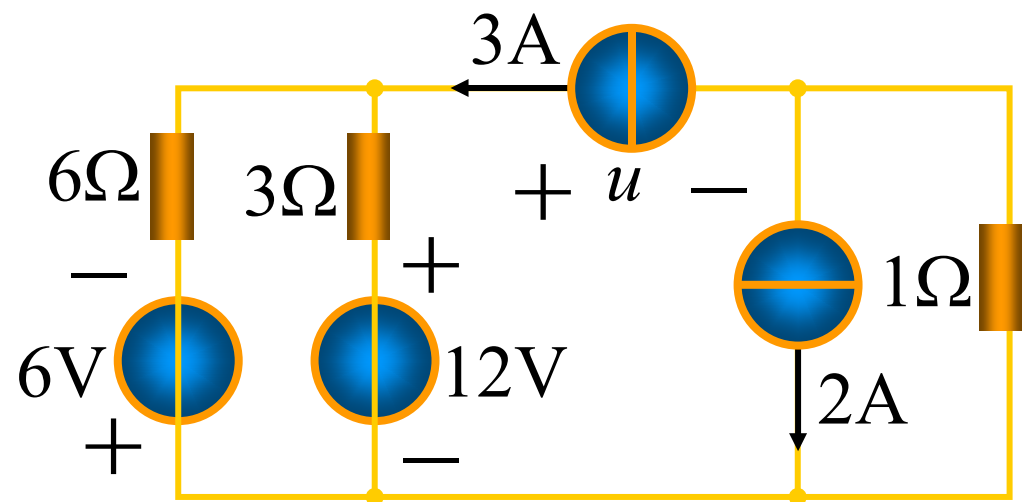
① 叠加定理只适用于线性电路。

② 一个电源作用时，其余电源为零。

{ 电压源为零 — 短路。
电流源为零 — 开路。

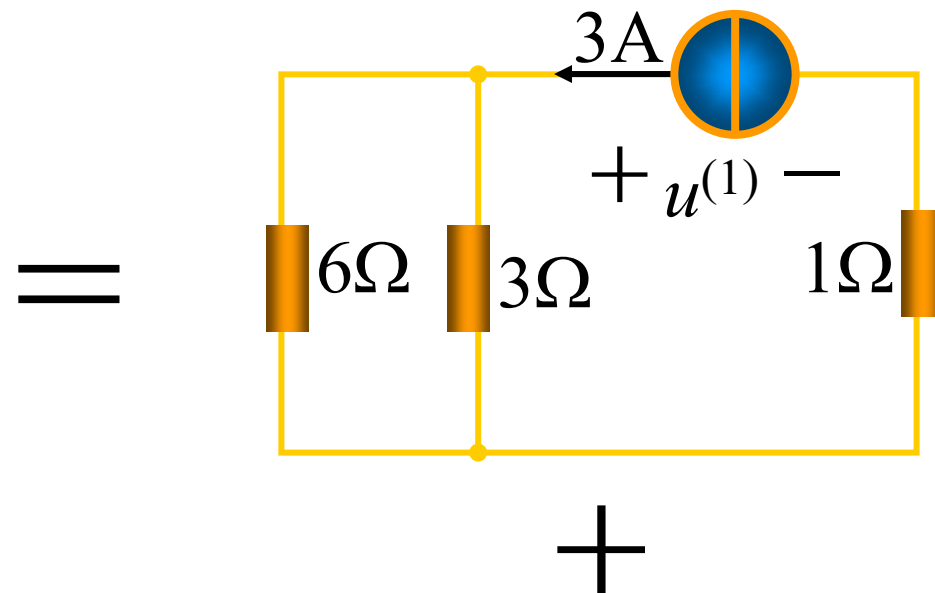
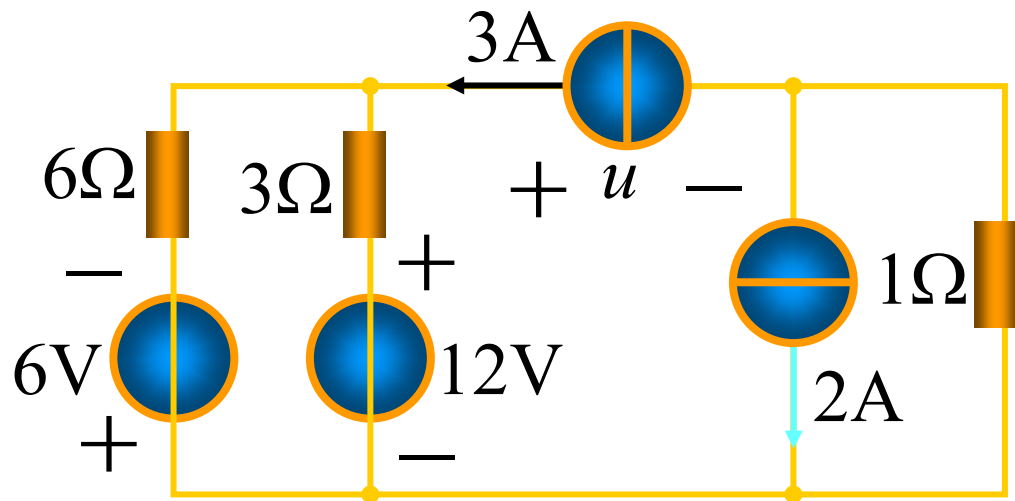


例：计算电压 u



图太多！

例：计算电压 u



3A电流源作用：

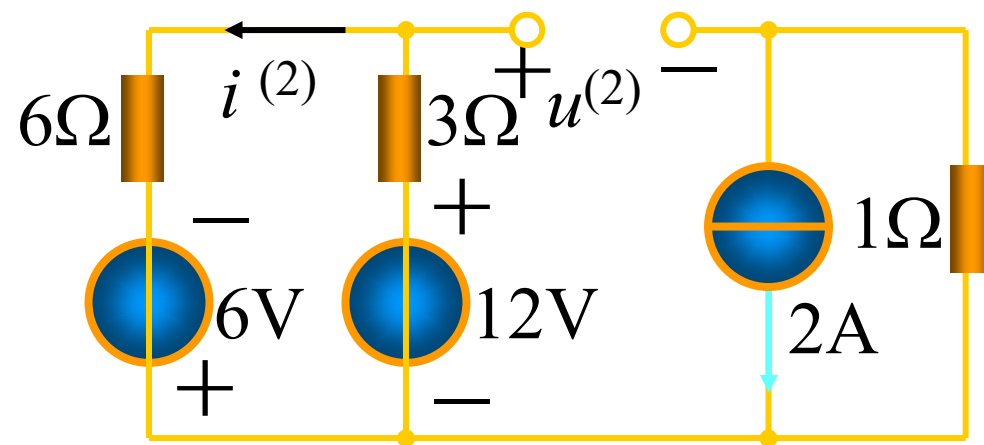
$$u^{(1)} = (6//3 + 1) \times 3 = 9V$$

其余电源作用：

$$i^{(2)} = (6 + 12)/(6 + 3) = 2A$$

$$u^{(2)} = 6i^{(2)} - 6 + 2 \times 1 = 8V$$

$$u = u^{(1)} + u^{(2)} = 9 + 8 = 17V$$



注意：

① 叠加定理只适用于线性电路。

② 一个电源作用时，其余电源为零。

{ 电压源为零 — 短路。
电流源为零 — 开路。

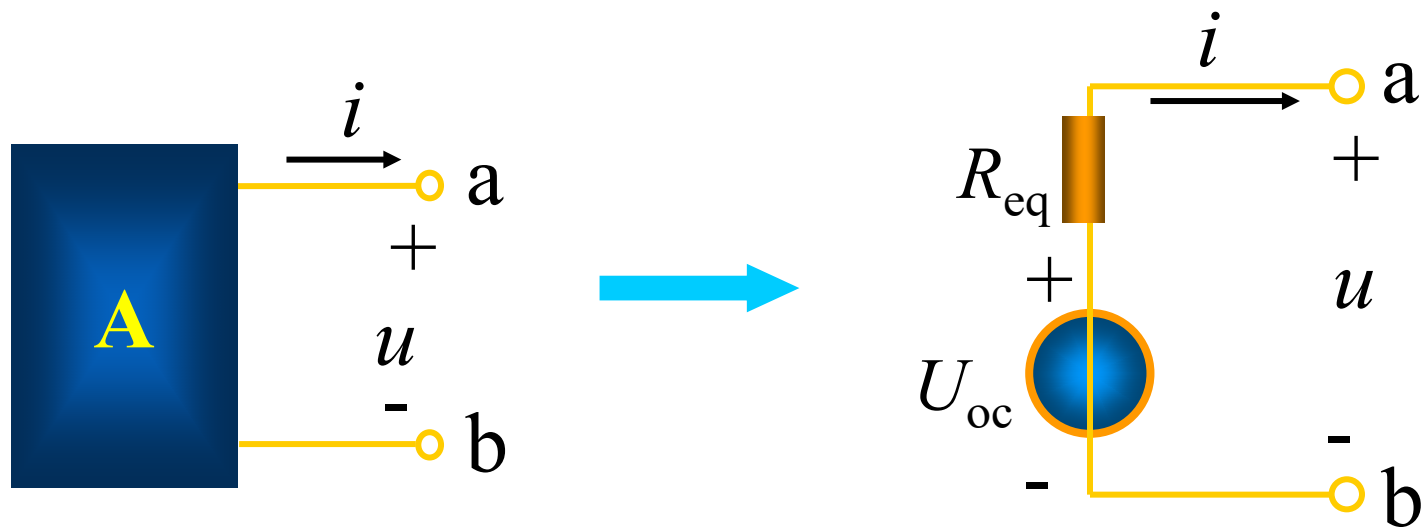
电源可以分组

戴维宁定理和诺顿定理

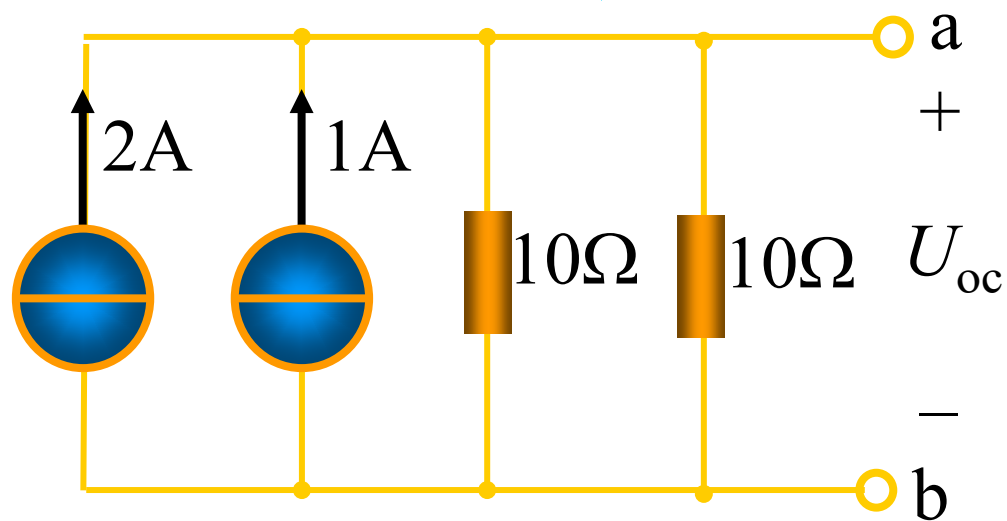
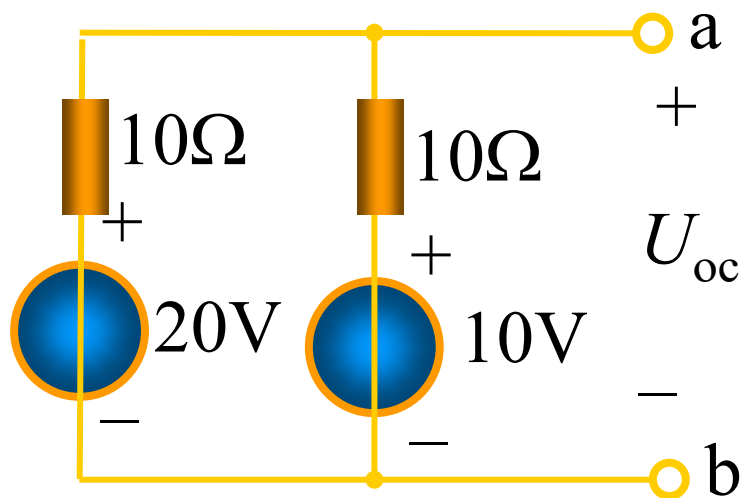
工程实际中，常常碰到只需研究某一支路的电压、电流或功率的问题。对所研究的支路来说，电路的其余部分就成为一个有源二端网络，可等效变换为较简单的含源支路(电压源与电阻串联或电流源与电阻并联支路)，使分析和计算简化。戴维宁定理和诺顿定理正是给出了等效含源支路及其计算方法。

戴维宁定理

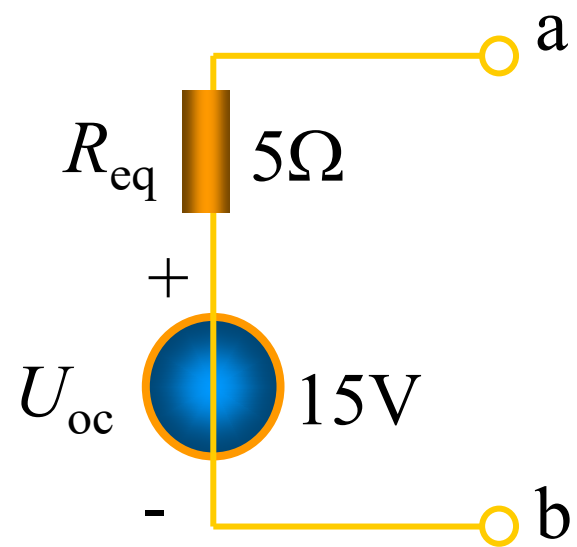
任何一个线性含源一端口网络，对外电路来说，总可以用一个电压源和电阻的串联组合来等效置换；此电压源的电压等于外电路断开时端口处的开路电压 u_{oc} ，而电阻等于一端口的输入电阻（或等效电阻 R_{eq} ）。



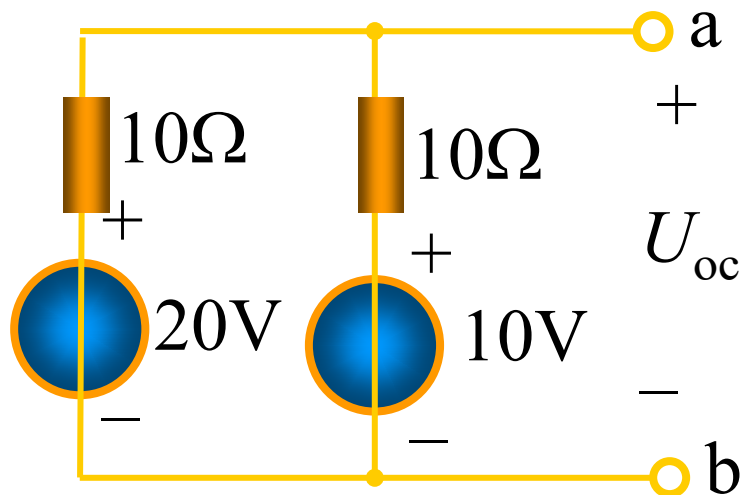
例



应用电源等效变换



例

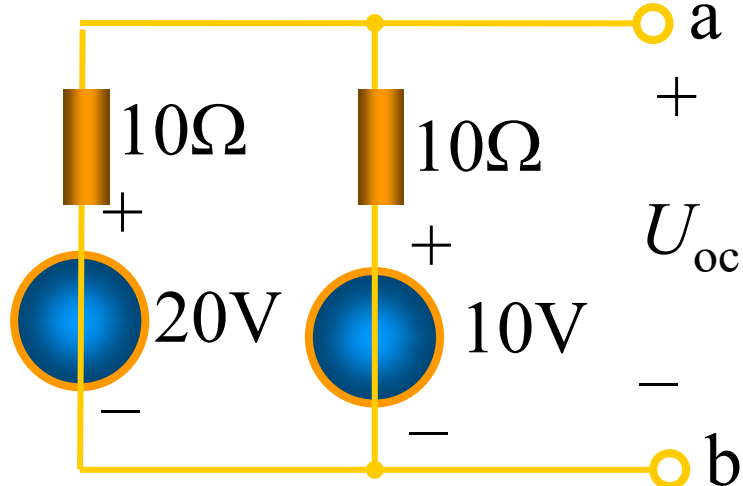


应用戴维宁定理

(1) 求开路电压 U_{oc}

(2) 求输入电阻 R_{eq}

例

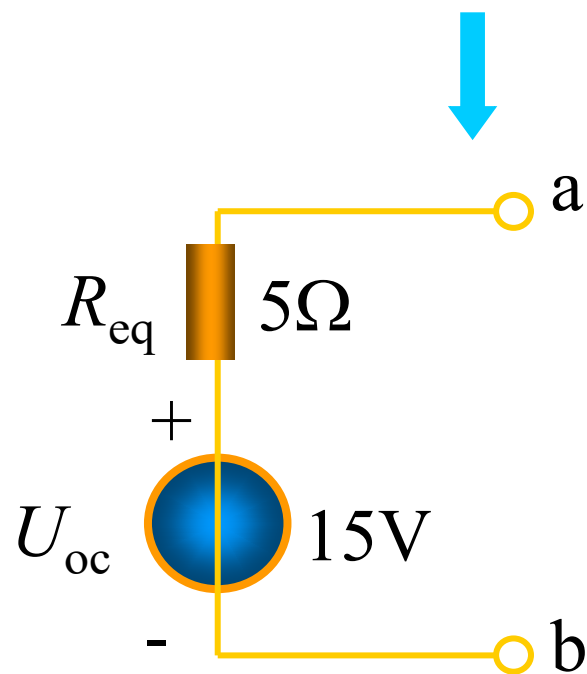


应用戴维宁定理

(1) 求开路电压 U_{oc}

$$I = \frac{20 - 10}{20} = 0.5A$$

$$U_{oc} = 0.5 \times 10 + 10 = 15V$$



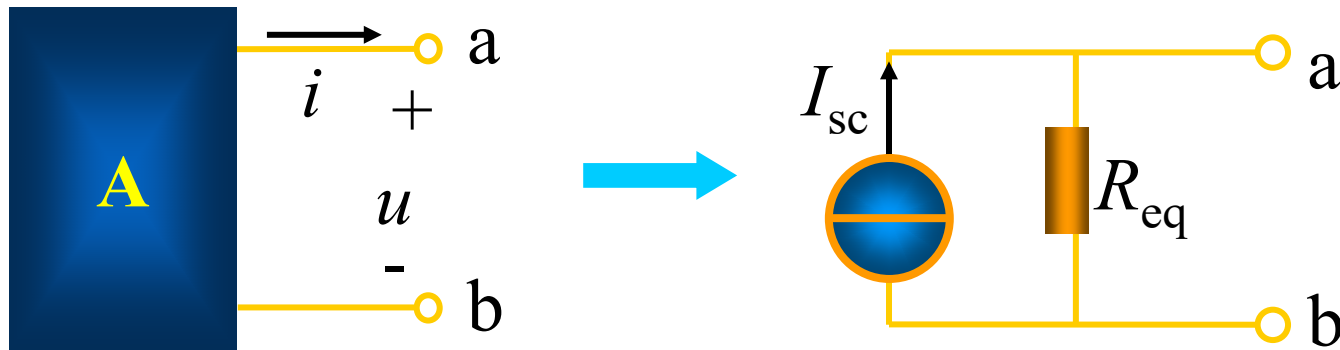
(2) 求输入电阻 R_{eq}

$$R_{eq} = 10 // 10 = 5\Omega$$

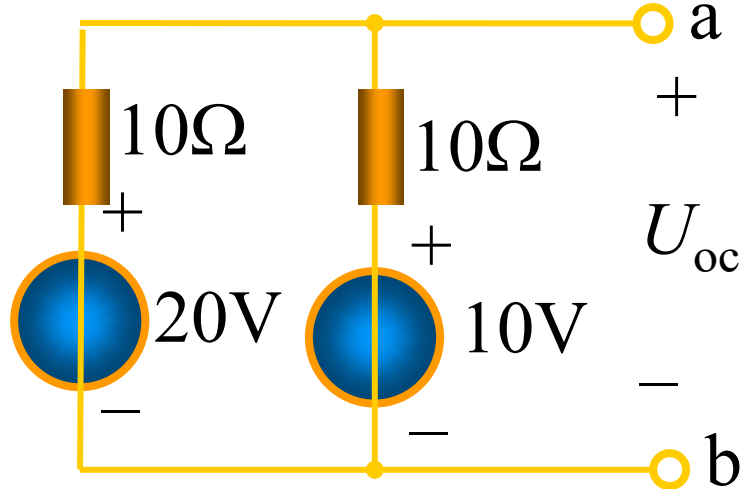
两种解法结果一致，戴维宁定理更具普遍性。

诺顿定理

任何一个含源线性一端口电路，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置换；电流源的电流等于该一端口的短路电流，电阻等于该一端口的输入电阻。



例



应用诺顿定理

(1) 求短路电流 i_{SC}

(2) 求输入电阻 R_{eq}

(1) 开路电压 U_{oc} 的计算

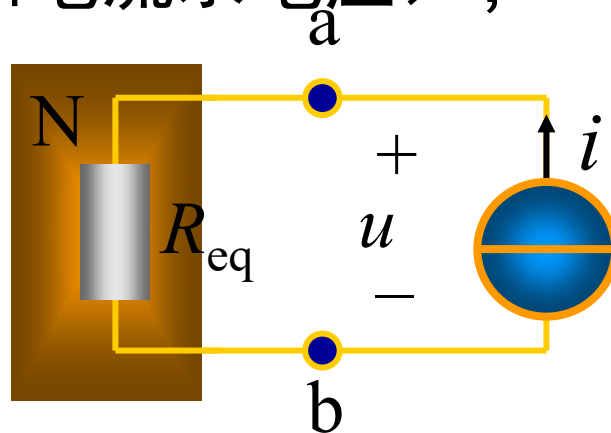
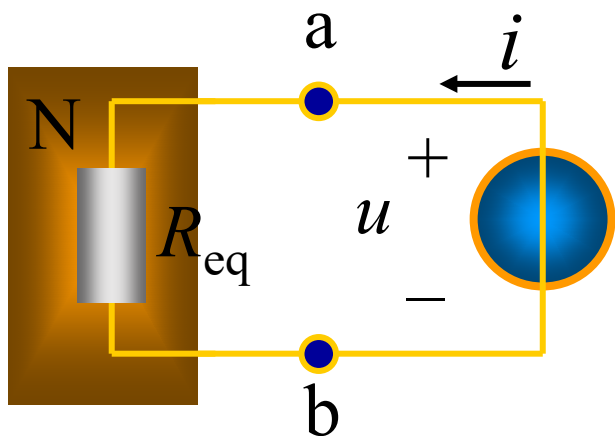
戴维宁等效电路中电压源电压等于将外电路断开时的开路电压 U_{oc} ，电压源方向与所求开路电压方向有关。计算 U_{oc} 的方法视电路形式选择前面学过的任意方法，使易于计算。

(2) 等效电阻的计算

将一端口网络内部独立电源全部置零后，所得无源一端口网络的输入电阻。

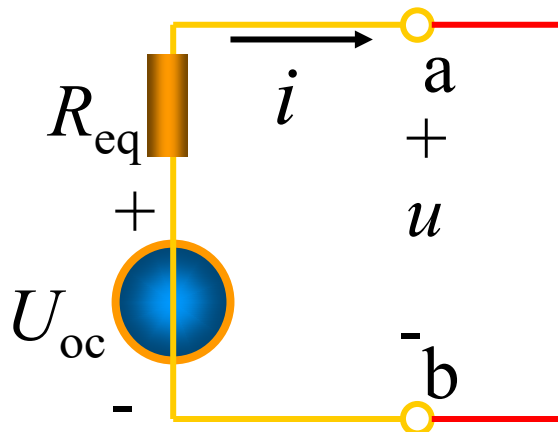
①当网络内部不含有受控源时可采用电阻串并联和 Δ -Y互换计算电阻；

②外加电源法（加电压求电流或加电流求电压）；



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

③开路电压，短路电流法。



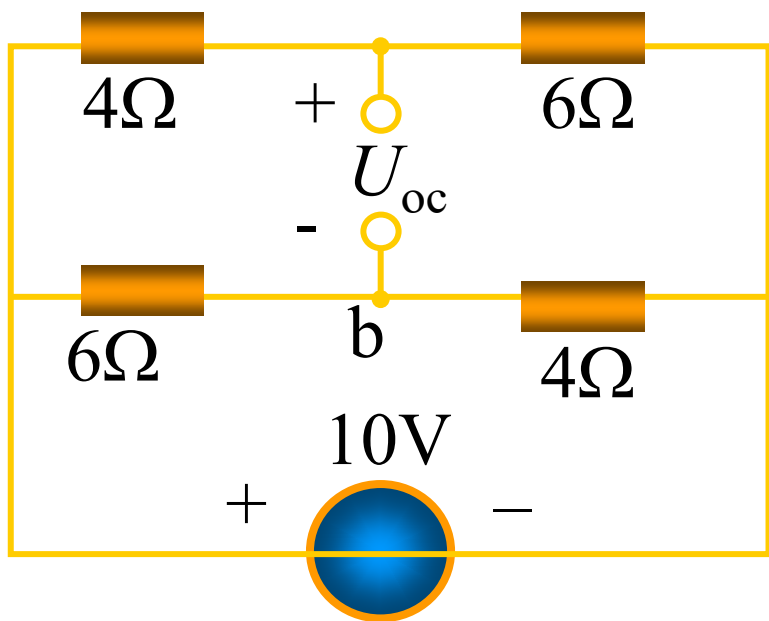
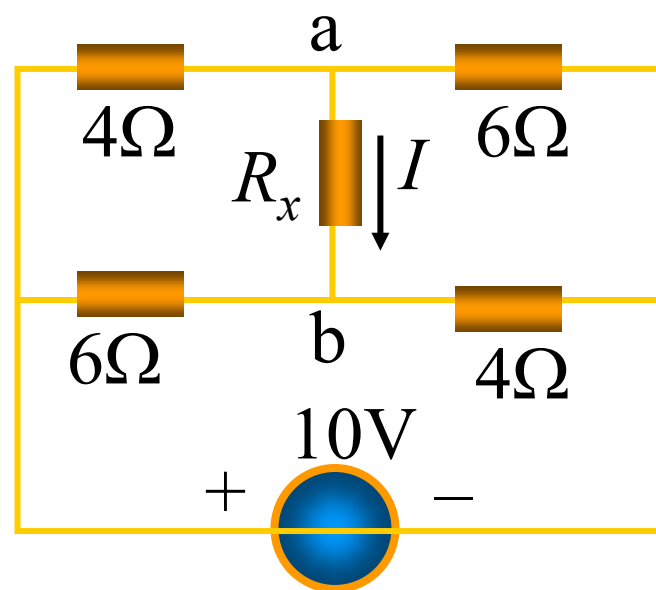
$$R_{eq} = \frac{u_{oc}}{i_{sc}}$$

(3) 短路电流 i_{SC} 的计算

诺顿等效电路中电流源电流等于将外电路短路时的短路电流 i_{SC} ，电流源方向与所求短路电流方向有关。计算 i_{SC} 的方法视电路形式选择前面学过的任意方法，使易于计算。

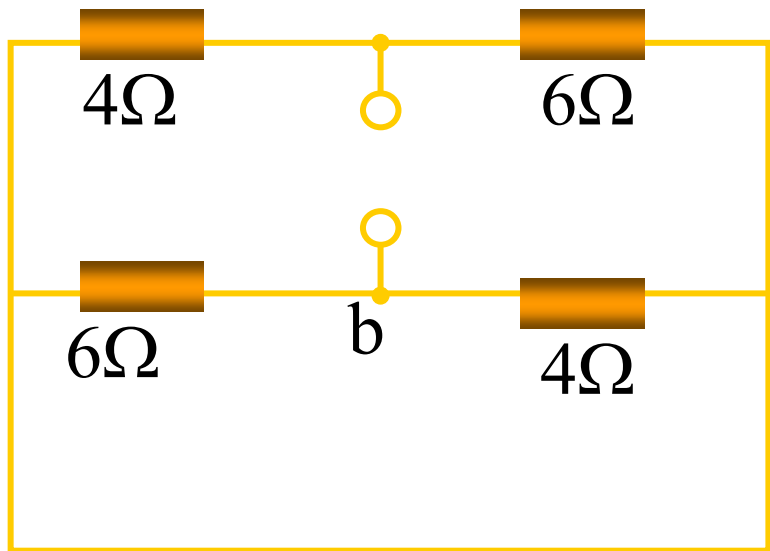
计算 R_x 分别为 1.2Ω 、 5.2Ω 时的电流 I

断开 R_x 支路，将剩余一端口网络化为戴维宁等效电路：



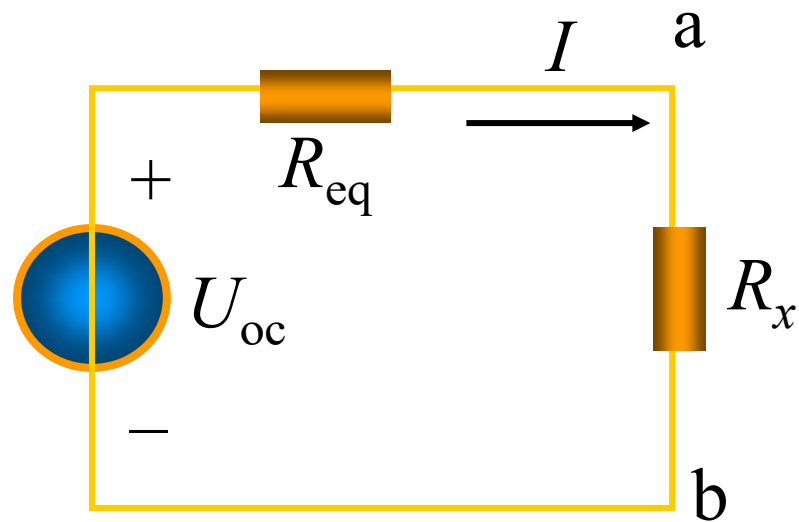
① 求开路电压 u_{oc}

$$U_{oc} = 2V$$



②求等效电阻 R_{eq}

$$R_{eq} = 4 // 6 + 6 // 4 = 4.8 \Omega$$

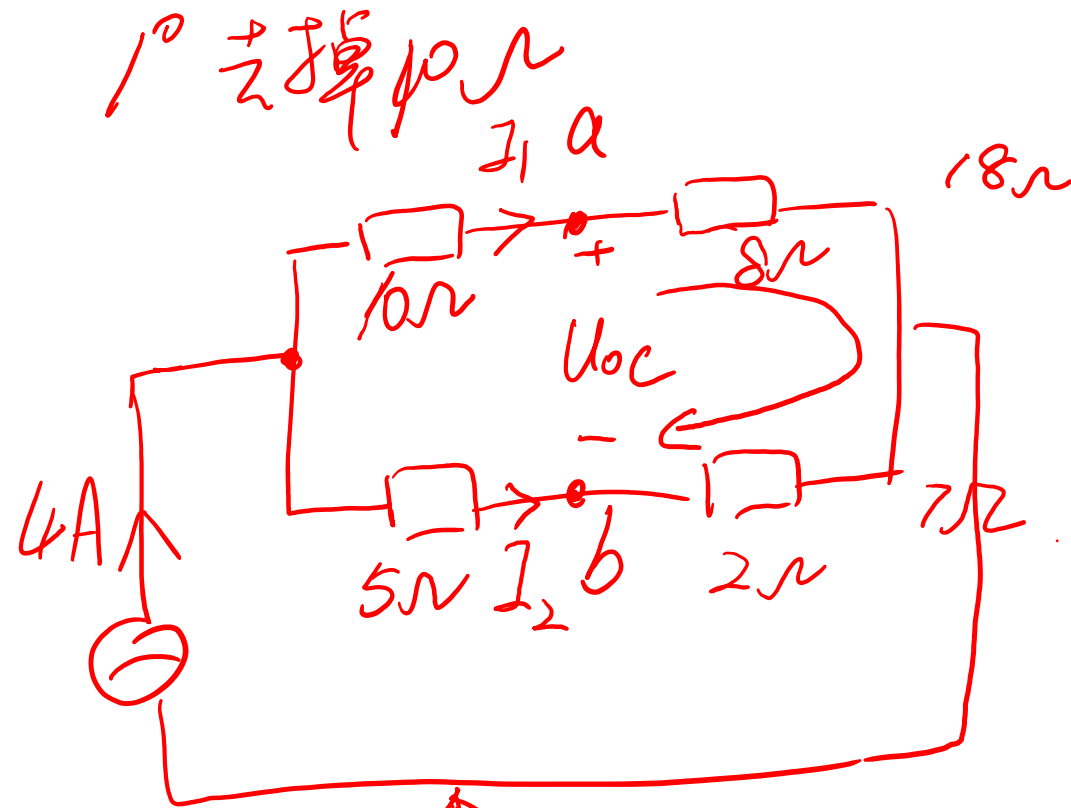
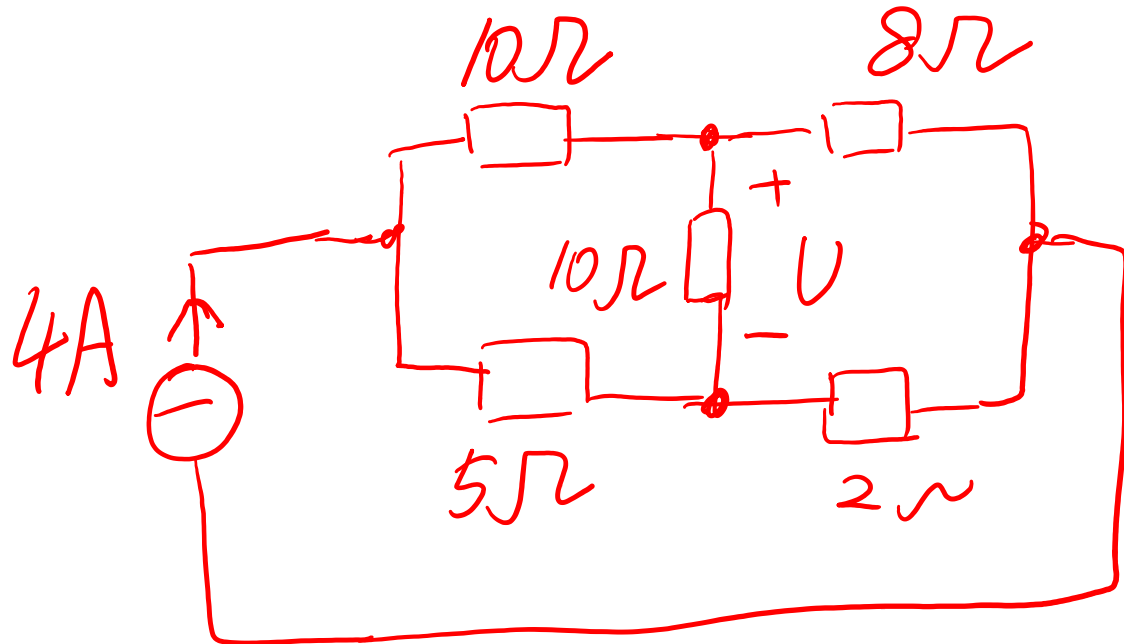


③ $R_x = 1.2 \Omega$ 时,

$$I = U_{oc} / (R_{eq} + R_x) = 0.333 \text{ A}$$

$R_x = 5.2 \Omega$ 时,

$$I = U_{oc} / (R_{eq} + R_x) = 0.2 \text{ A}$$



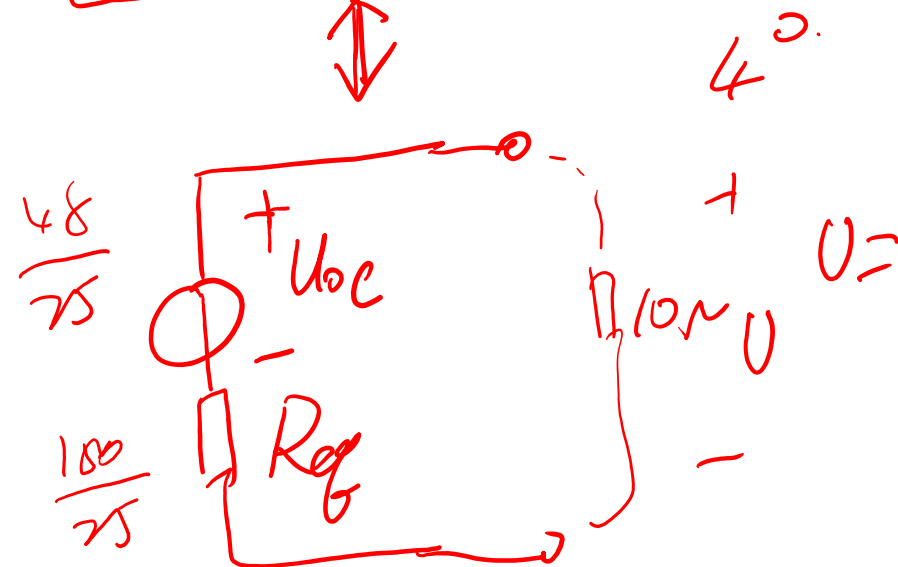
2° U_{oc}

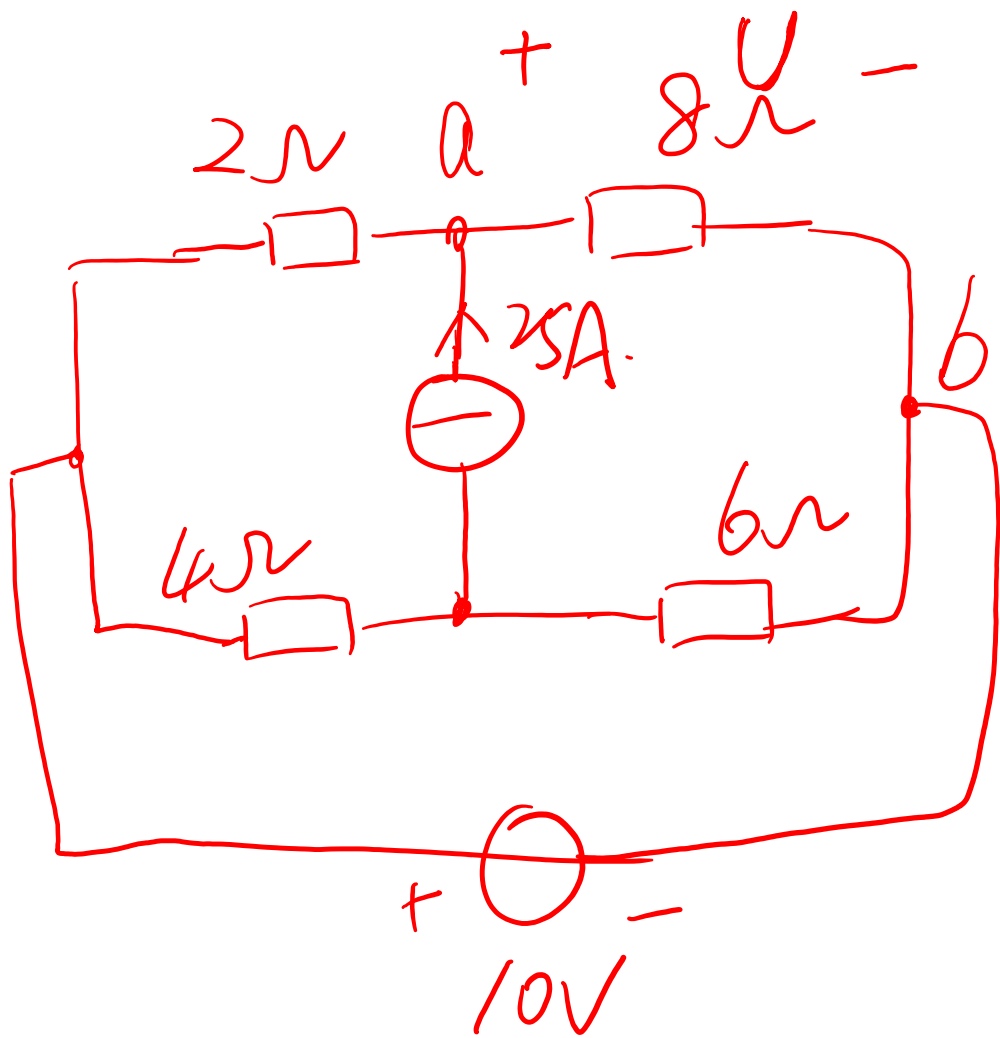
$$I_1 = \frac{7}{18+7} \times 4 \quad I_2 = \frac{18}{18+7} \times 4$$

$$U_{oc} = 8I_1 - 2I_2 = \frac{48}{25}$$

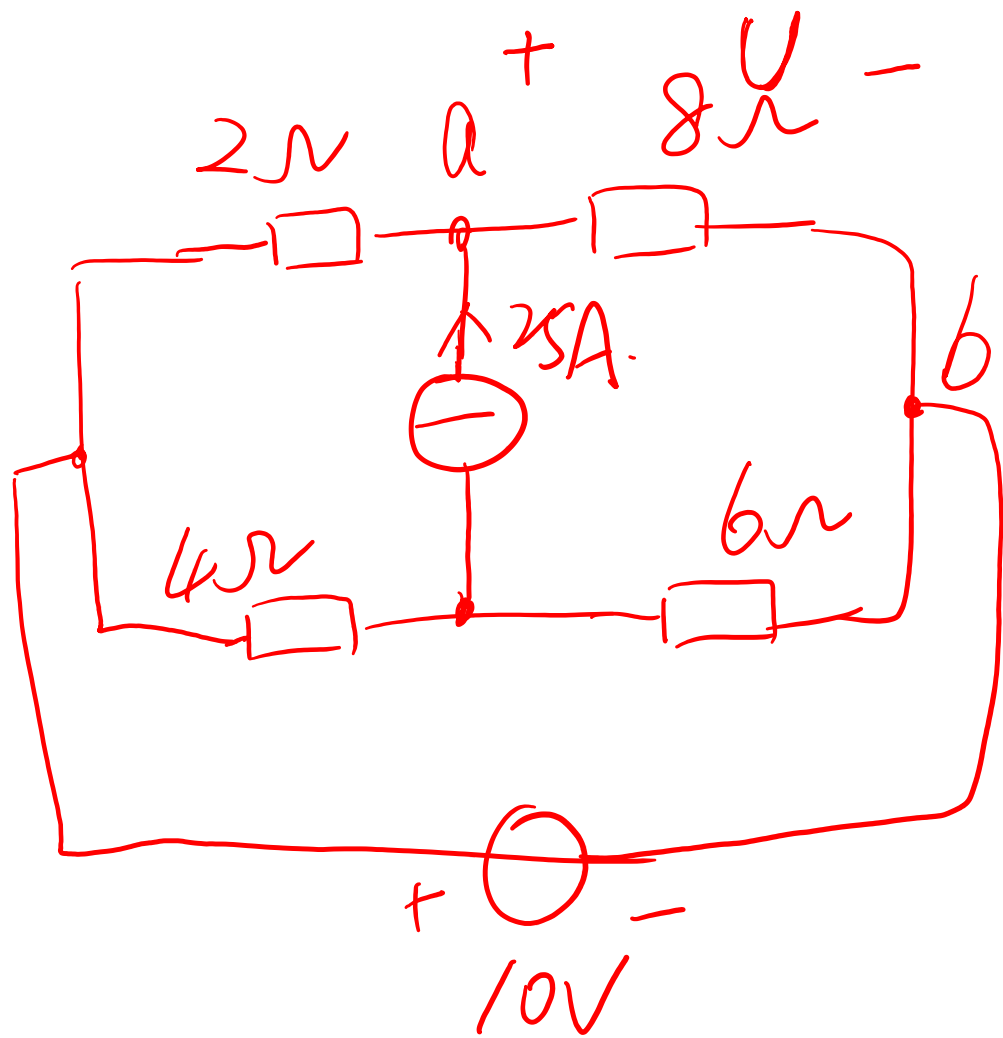
3° $R_{eq} =$

$$= 15 // 10 = \frac{150}{25}$$

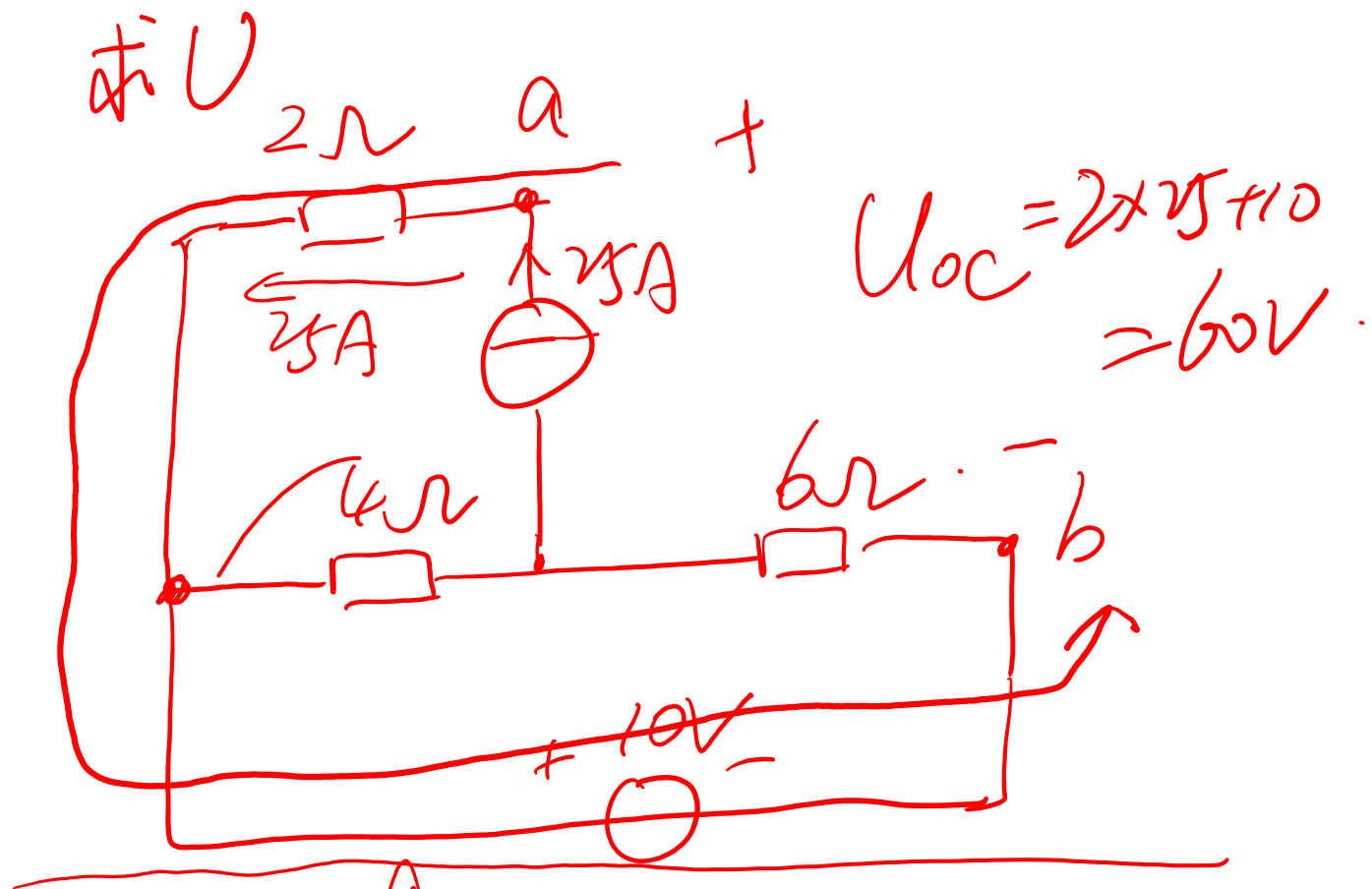
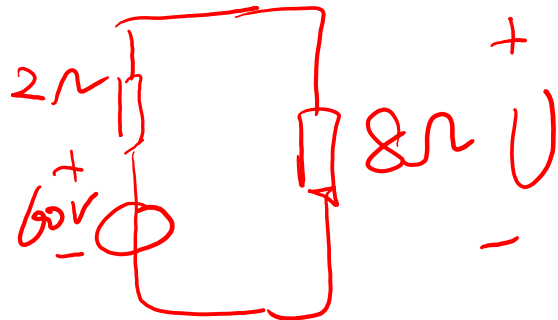




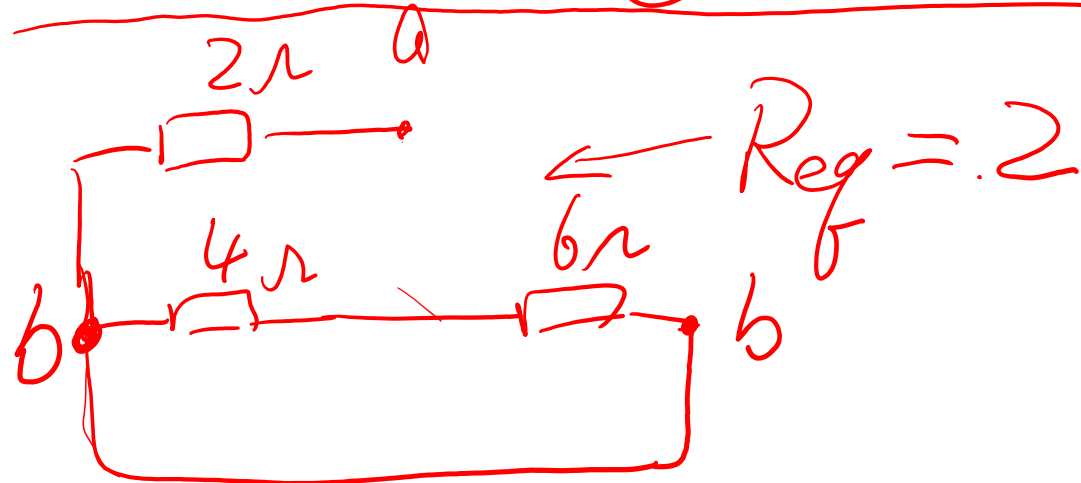
求 U



∴

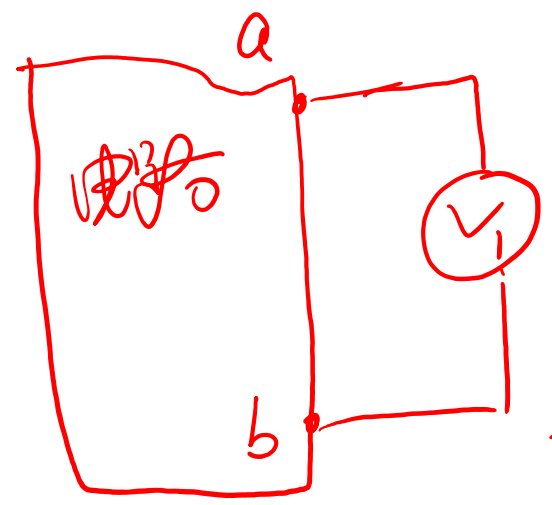


$$U_{oc} = 2 \times 25 + 10 = 60V$$

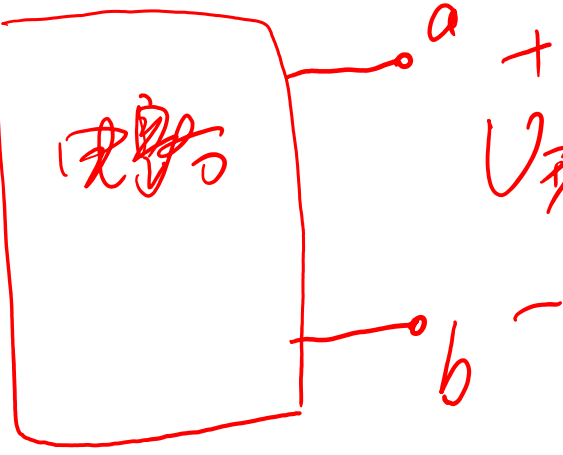


$$R_{eq} = 2$$

②



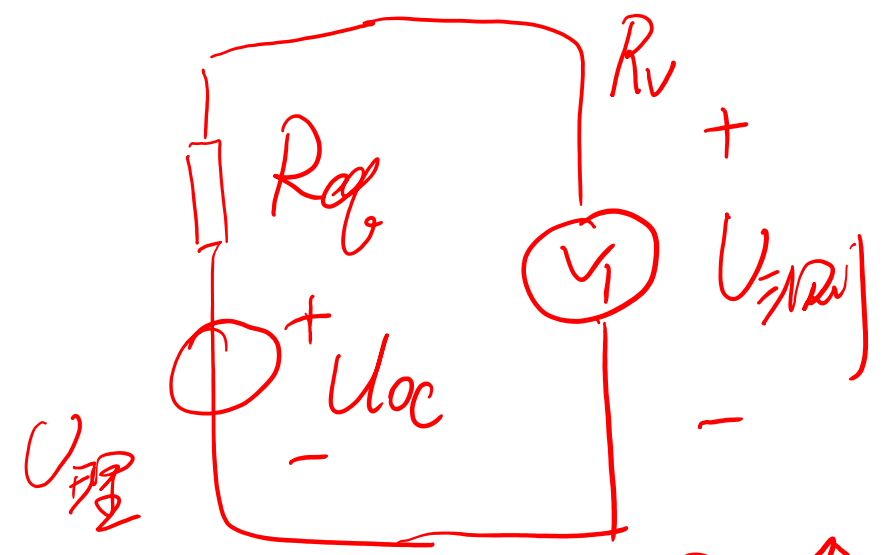
①



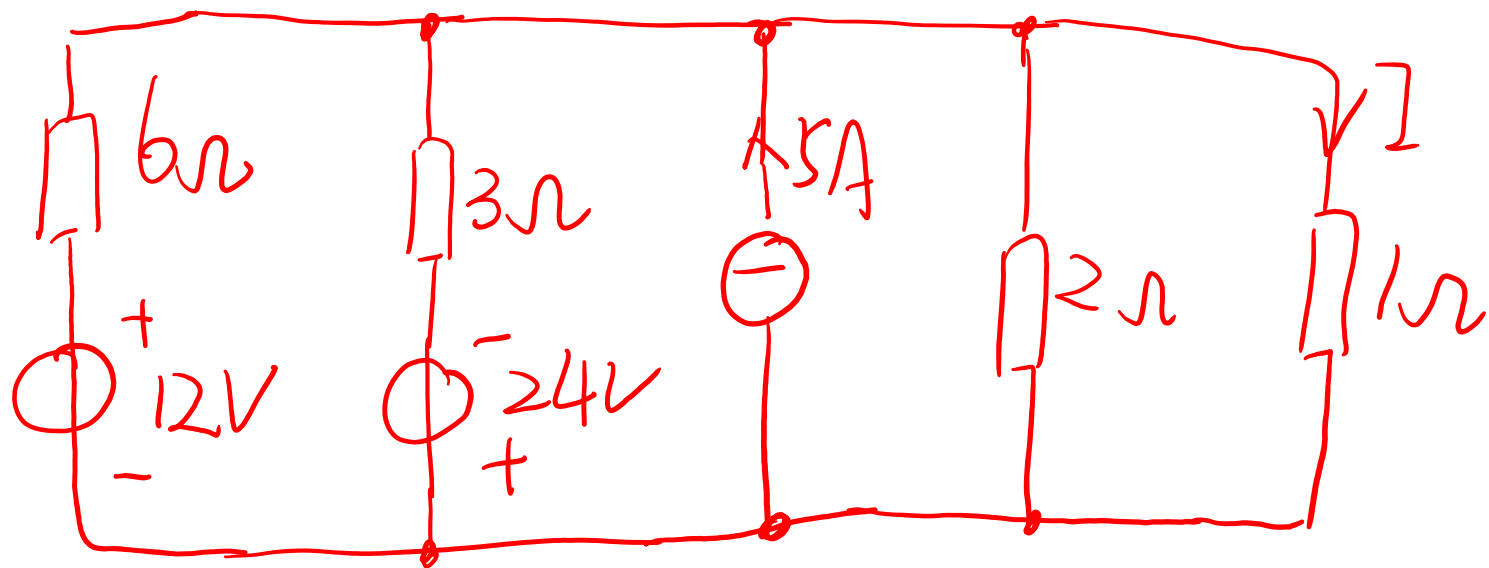
$U_{理} = U_{oc}$

$$S = \frac{|U_{测} - U_{理}|}{U_{理}} \%$$

$R_v \uparrow \quad S \downarrow$



$$U_{测} = \frac{R_v}{R_{eq} + R_v} U_{理}$$



思考几种特殊情况：

①若一端口网络的等效电阻 $R_{eq}=0$,

该一端口网络只有戴维宁等效电路，无诺顿等效电路。

②若一端口网络的等效电阻 $R_{eq}=\infty$,

该一端口网络只有诺顿等效电路，无戴维宁等效电路。

③若开路电压为0或短路电流为0,

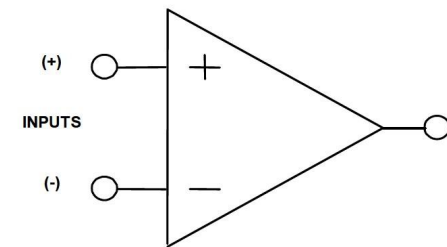
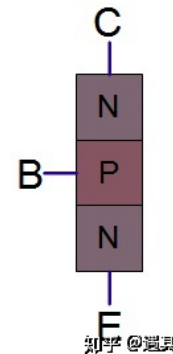
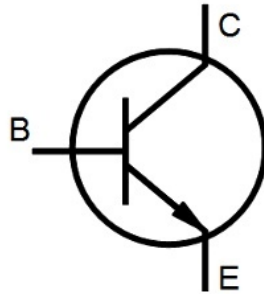
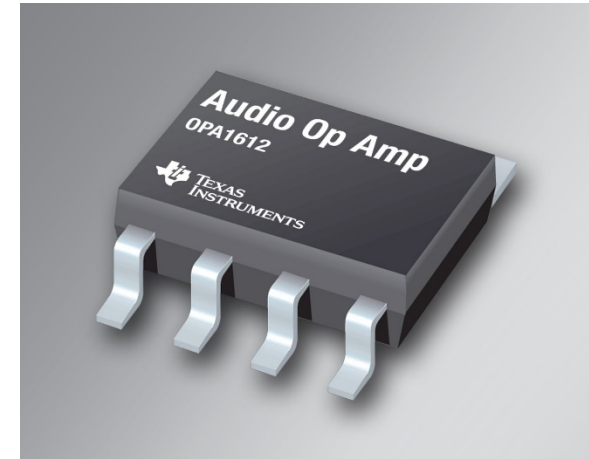
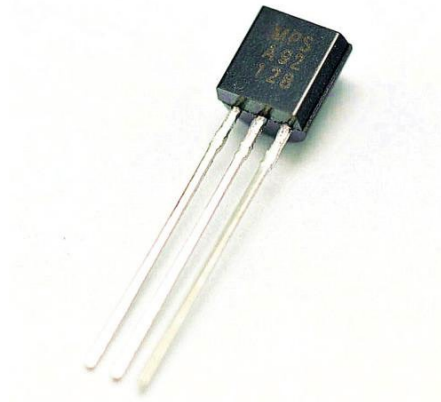
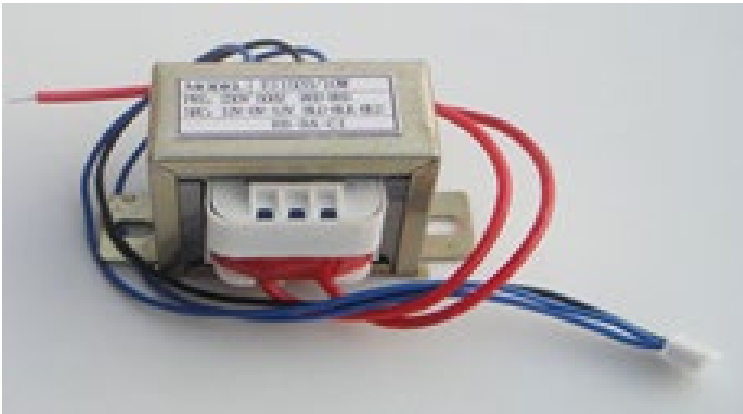
该一端口网络等效为电阻。

思考题：

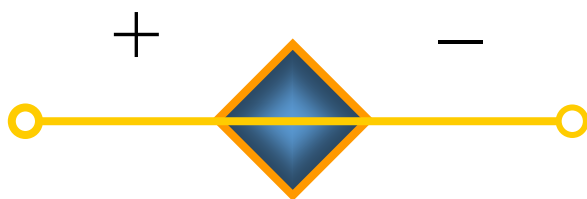
- ①有源一端口等效电源的开路电压和短路电流数值确定后，怎么确定他们的方向（电压的正负极，电流的指向）？

受控源

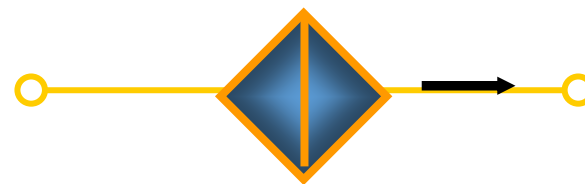
电压或电流的大小和方向不是给定的时间函数，而是受电路中某个地方的电压(或电流)控制的电源，称受控源。



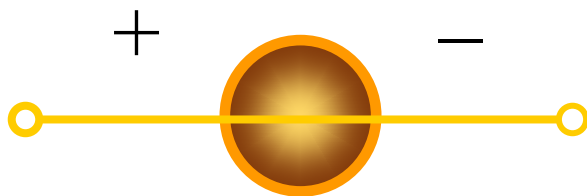
受控电压源



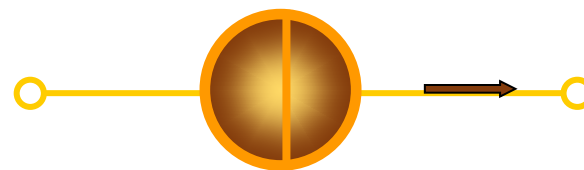
受控电流源



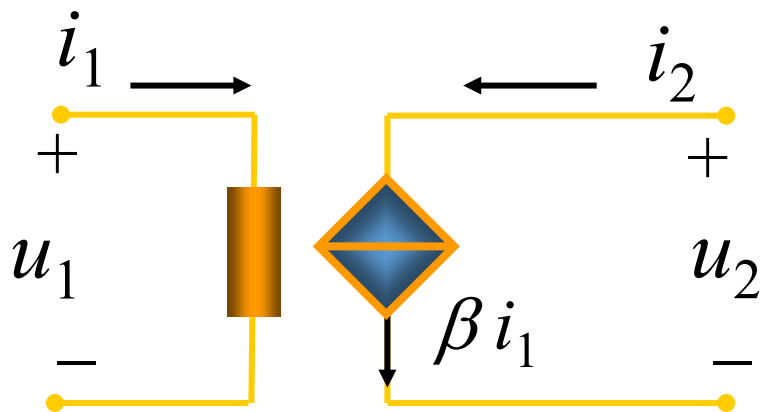
独立电压源



独立电流源



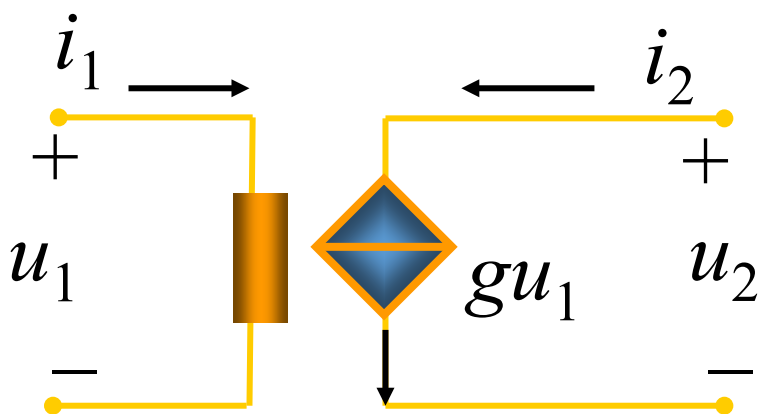
① 电流控制的电流源 (CCCS)



$$i_2 = \beta i_1$$

β : 电流放大倍数

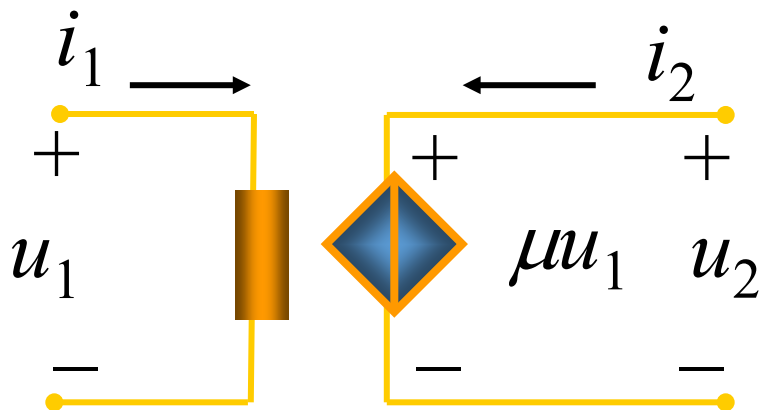
② 电压控制的电流源 (VCCS)



$$i_2 = g u_1$$

g : 转移电导, (s)

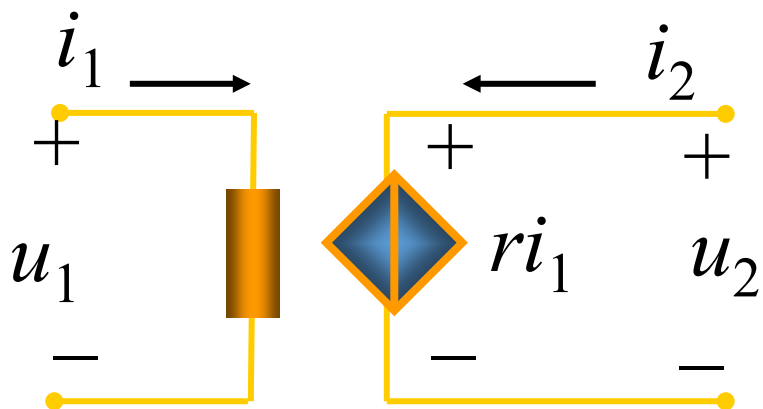
③ 电压控制的电压源 (VCVS)



$$u_2 = \mu u_1$$

μ : 电压放大倍数

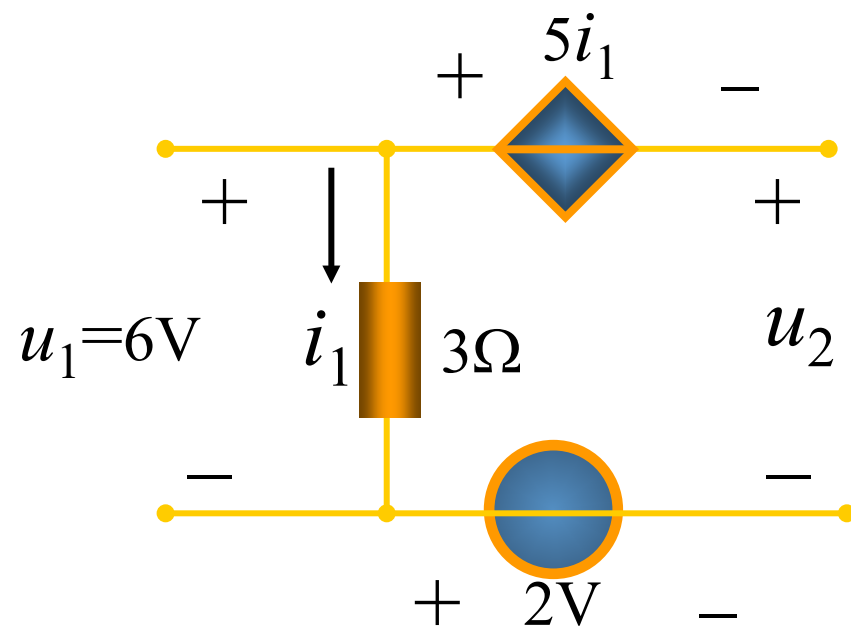
④ 电流控制的电压源 (CCVS)



$$u_2 = r i_1$$

r : 转移电阻, (Ω)

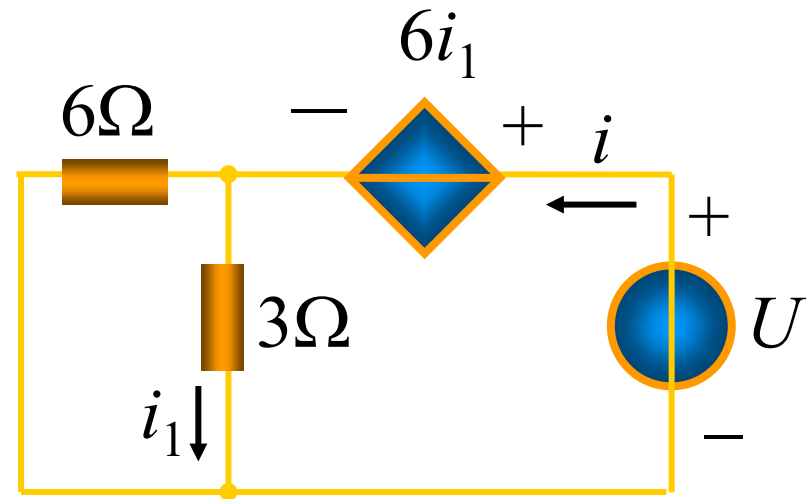
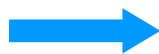
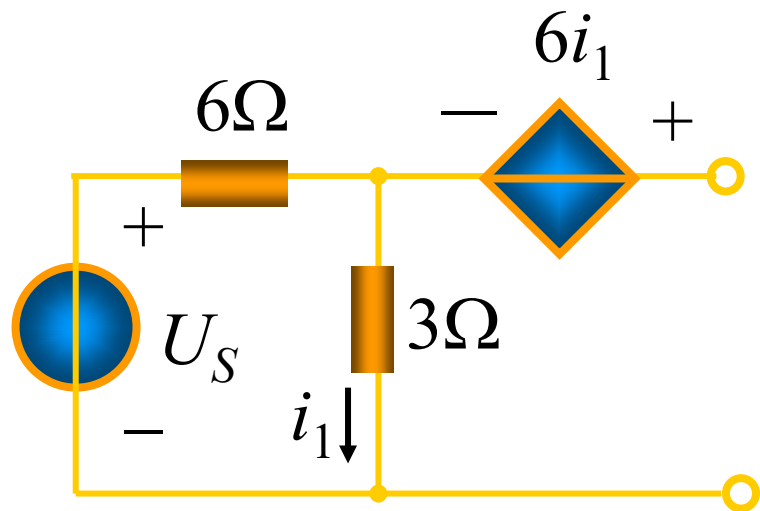
求图示电路中电压 u_2



$$i_1 = \frac{6}{3} = 2$$

$$5i_1 = 10$$

$$u_2 = -10 + 6 + 2 = -2$$



$$i = i_1 + \frac{3i_1}{6} = 1.5i_1$$

$$U = 6i_1 + 3i_1 = 9i_1$$

$$R_{in} = \frac{U}{i} = \frac{9i_1}{1.5i_1} = 6\Omega$$

3. 受控源与独立源的比较

- ①独立源电压(或电流)由电源本身决定，与电路中其它电压、电流无关，而受控源电压(或电流)由控制量决定。
- ②独立源在电路中起“激励”作用，在电路中产生电压、电流，而受控源是反映电路中某处的电压或电流对另一处的电压或电流的控制关系，在电路中不能作为“激励”。