

ch3.3 等效电源定理

杨旭强

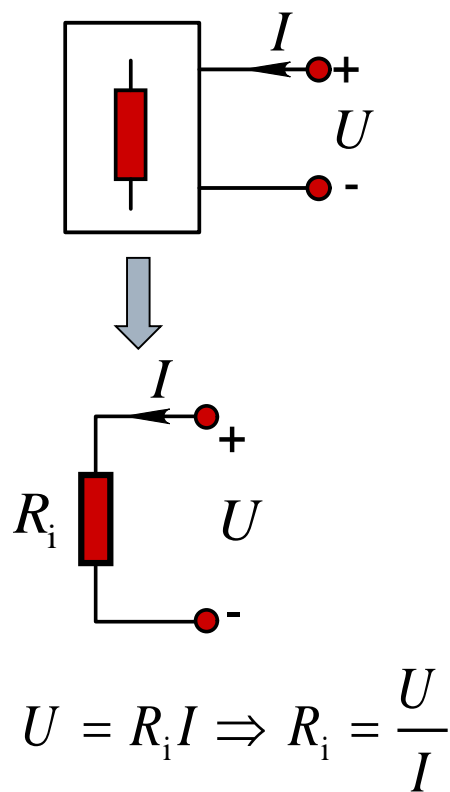
哈尔滨工业大学电气及自动化学院



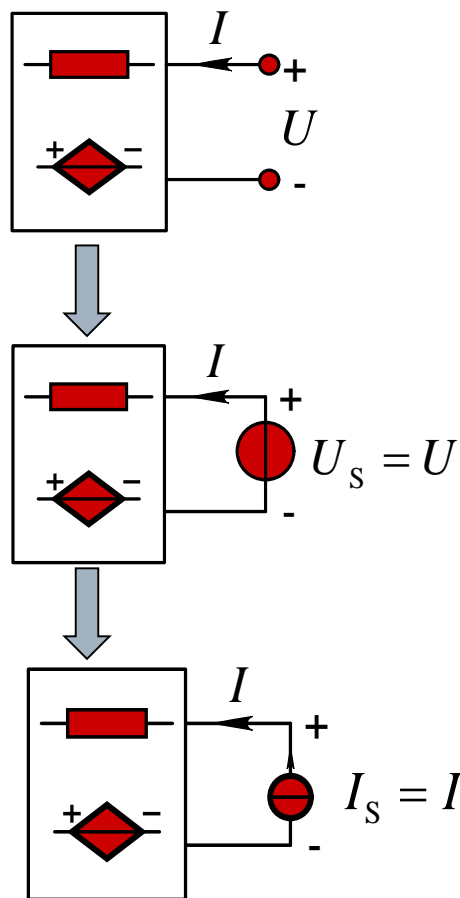
3.3 等效电源定理

基本要求：理解等效电源定理的原理和内容，熟练应用等效电源定理。

1. 电阻网络



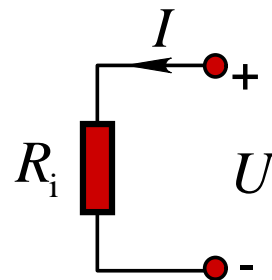
2. 电路中存在受控源、理想运放等元件



$$\begin{cases} I = G_i U \\ U = R_i I \end{cases}$$

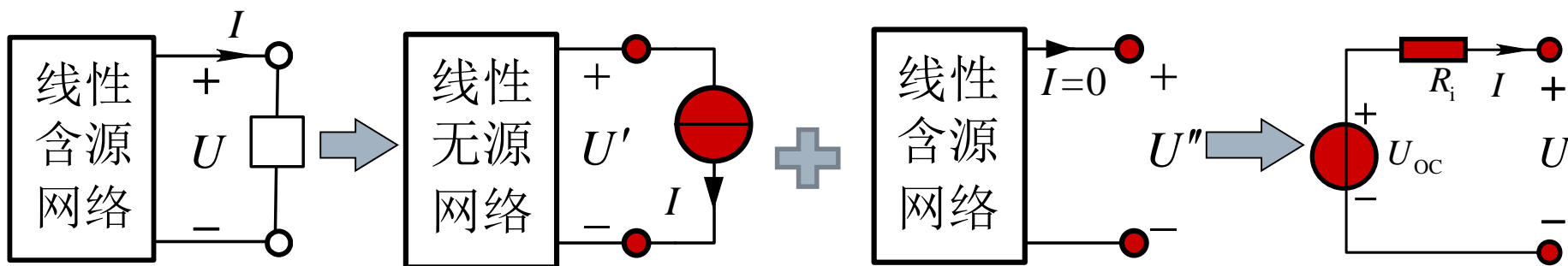
$$R_i = \frac{1}{G_i} = \frac{U}{I}$$

输入电阻和输入电导



3.3 等效电源定理

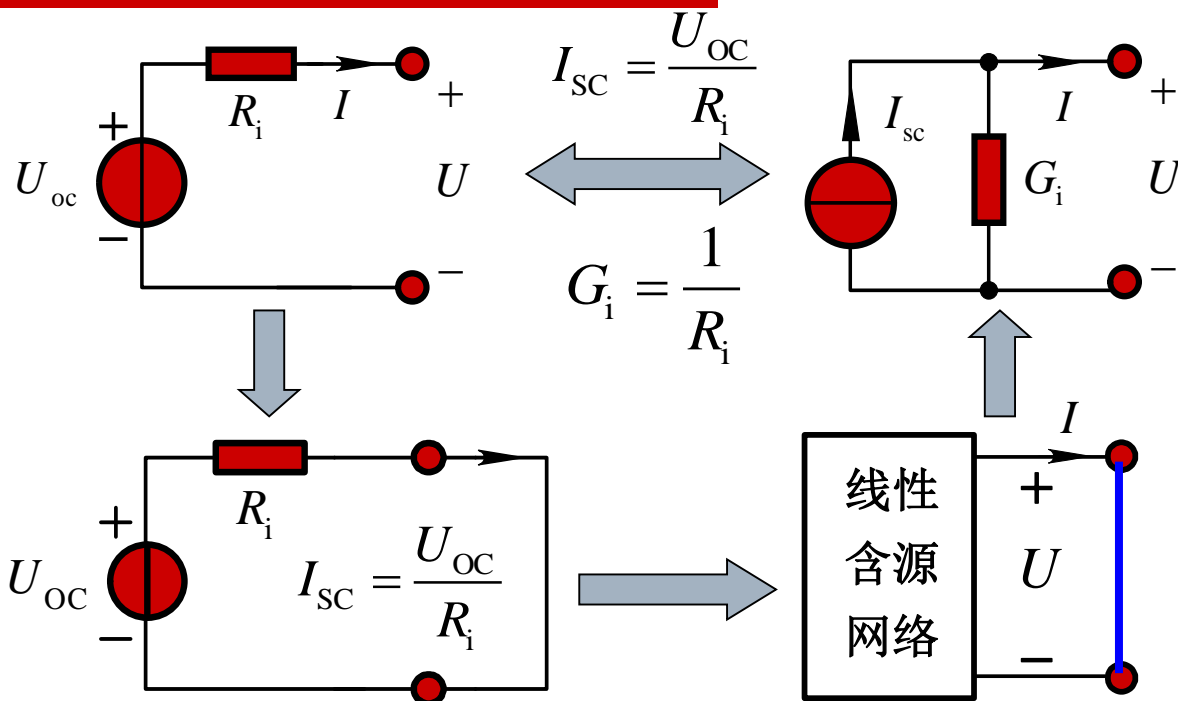
3. 电路中存在独立电源



$$U = U' + U'' = KI + U'' = -R_i I + U'' = -R_i I + U_{oc}$$

戴维宁定理：线性含源一端口网络的对外作用可以用一个**电压源串联电阻**的电路来等效代替。其中电压源的源电压等于此一端口网络的**开路电压**，而电阻等于此一端口网络内部各独立电源置零后所得无独立源一端口网络的**等效电阻**。

3.3 等效电源定理



诺顿定理：线性含源一端口网络的对外作用可以用一个电流源并联电导的电路来等效代替，其中电流源的源电流等于此一端口网络的**短路电流**，而电导等于此一端口网络内部各独立源置零后所得无独立源一端口网络的**等效电导**。

3.3 等效电源定理

注：

- 1) 被等效部分与未被等效部分之间应无耦合（无受控源联系）；
- 2) 可能只存在一种等效电路： $G_i=0$ 时只存在诺顿等效电路； $R_i=0$ 时只存在戴维南等效电路；
- 3) （开路、短路或接任意负载）对外电路作用相同。

等效电路的计算方法：

- 1) 计算开路电压 U_{OC} 或短路电流 I_{SC}
令一端口开路或短路，根据电路的特点，选择某种列方程的方法求出开路电压 U_{OC} 或短路电流 I_{SC}

3.3 等效电源定理

2) 计算等效电阻 R_i ，常用的方法概括如下：

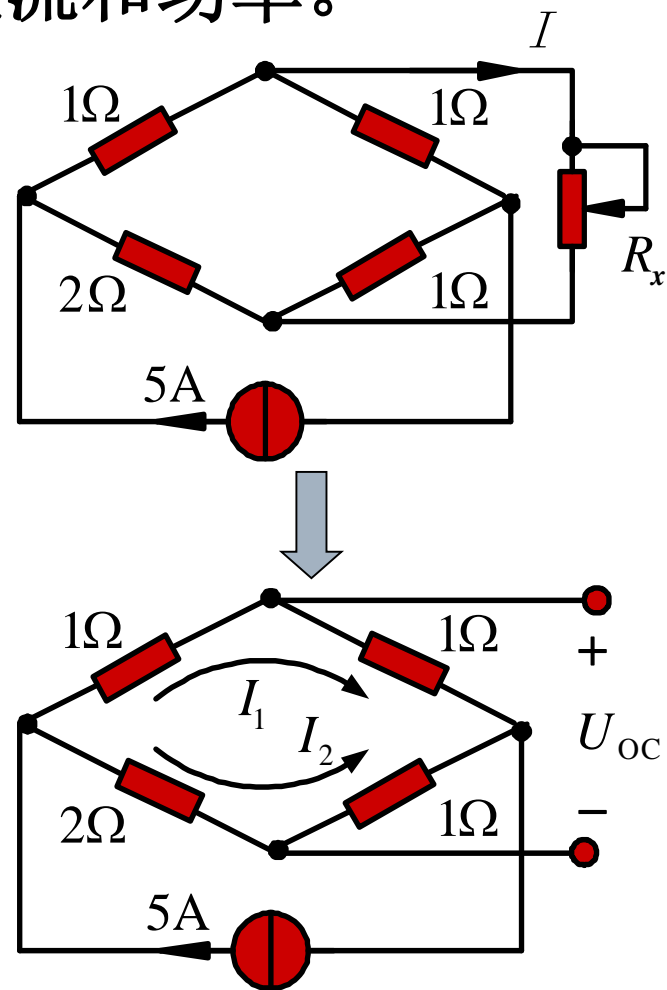
- ① 对不含受控源的简单一端口网络，令内部独立电源为零，通过电阻的串并联或星形-三角形化简得到等效电阻，称为等效化简法。
- ② 对复杂的或含受控源的一端口网络，令内部独立电源为零，在端口处加一独立电压源或独立电流源，利用端口处电压和电流之比得到等效电阻， $R_i = U/I$ ，称为外施激励法。
- ③ 求出含源一端口网络的开路电压 U_{OC} 和短路电流 I_{SC} ，二者之比即为等效电阻，称为开路短路法。

$$I_{SC} = \frac{U_{OC}}{R_i} \longrightarrow G_i = 1 / R_i = I_{SC} / U_{OC}$$

3.3 等效电源定理

【例题3.12】 计算电桥中 R_x 分别等于 0Ω 、 0.4Ω 、 0.8Ω 、 1.2Ω 、 1.6Ω 、 2.0Ω 时，该支路的电流和功率。

解：(1) 求开路电压 U_{OC} 。将 R_x 支路断开。



$$I_1 = \frac{(2+1)\Omega}{(2+1)\Omega + (1+1)\Omega} \times 5A = 3A$$

$$I_2 = 5A - I_1 = 2A$$

$$U_{OC} = (1\Omega \times I_1 - 1\Omega \times I_2) = 1V$$

3.3 等效电源定理

(2) 求等效电阻 R_i 。

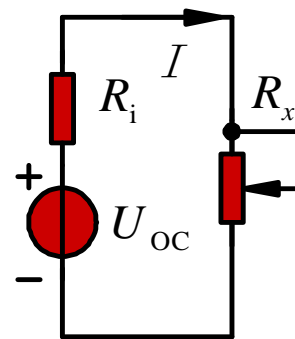
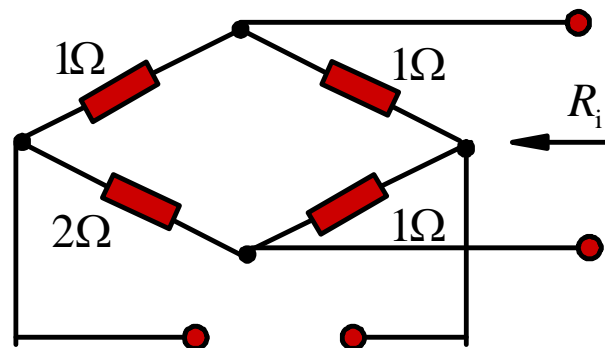
$$R_i = [(1 + 2) // (1 + 1)]\Omega = 1.2\Omega$$

(3) 戴维南等效电路如图所示。

$$I = \frac{U_{oc}}{R_i + R_x} = \frac{1V}{1.2\Omega + R_x} \quad P = I^2 R_x$$

(4) R_x 的电流和功率。

$R_x (\Omega)$	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
$I(A)$	0.83	0.63	0.5	0.42	0.36	0.31
$P(W)$	0	0.16	0.2	0.21	0.207	0.18



(5) 当 $R_x = R_i$ 时, 负载可获得最大功率。 $P_{\max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_x}$

3.3 等效电源定理

【例题3.13】求图示电路的戴维南等效电路。

解：1) 计算开路电压

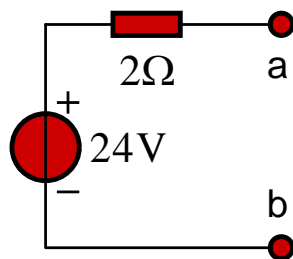
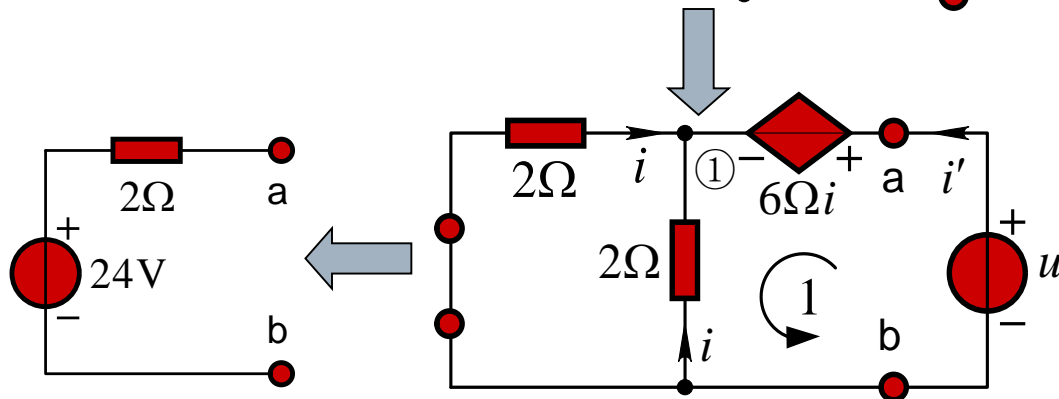
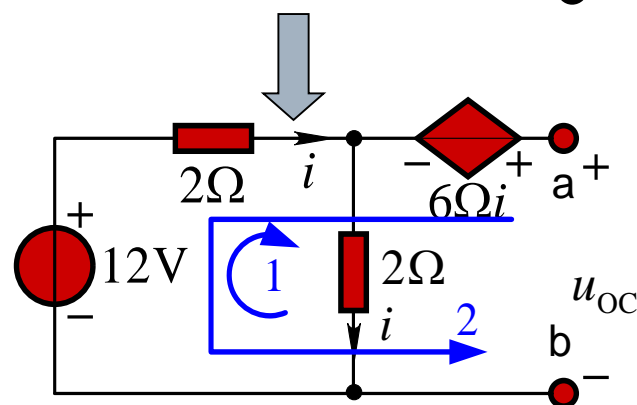
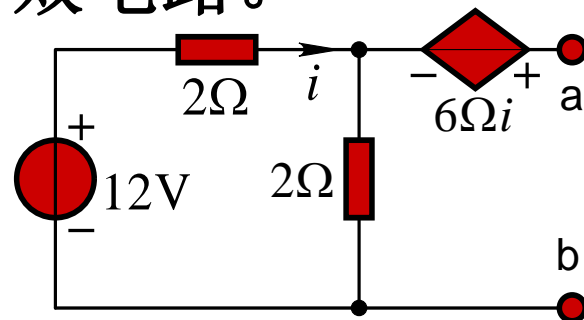
$$\begin{cases} 2\Omega \times i + 2\Omega \times i - 12V = 0 \\ u_{OC} = 6\Omega \times i - 2\Omega \times i + 12V \end{cases}$$

$$\Rightarrow u_{OC} = 24V$$

2) 计算等效电阻

$$\begin{cases} i' = 2i \\ u = 6\Omega \times i - 2\Omega i \end{cases}$$

$$R_i = \frac{u}{i'} = \frac{4\Omega \times i}{2i} = 2\Omega$$



3.3 等效电源定理

【例题3.14】图示的电路 R 可调，试求 R 可获得的最大功率是多少？

解：1) 计算开路电压

$$I = \frac{20V}{1\Omega + 3\Omega} = 5A; U_{oc} = I \times 3\Omega - 0.5I \times 2\Omega = 10V$$

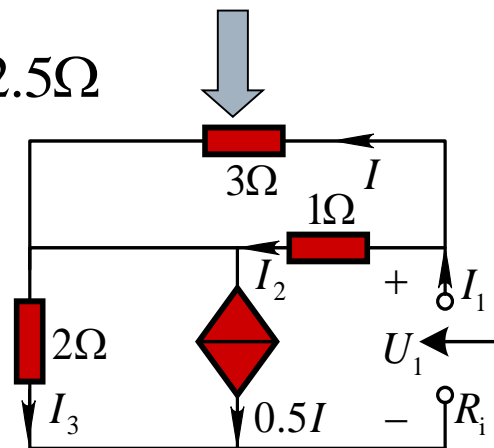
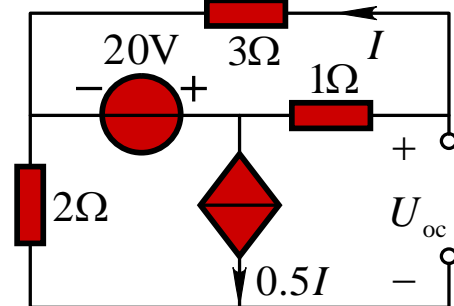
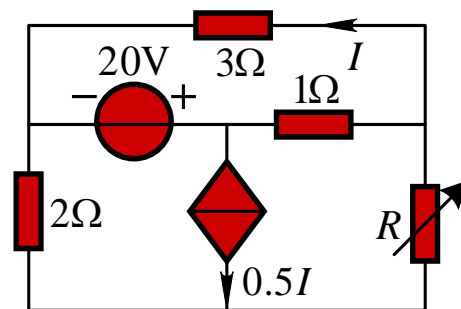
2) 计算等效电阻

$$3\Omega \times I = 1\Omega \times I_2; I_3 = I + I_2 - 0.5I = 3.5I$$

$$R_i = \frac{U_1}{I_1} = \frac{1\Omega \times I_2 + 2\Omega \times I_3}{I + I_2} = \frac{1\Omega \times 3I + 2\Omega \times 3.5I}{I + 3I} = 2.5\Omega$$

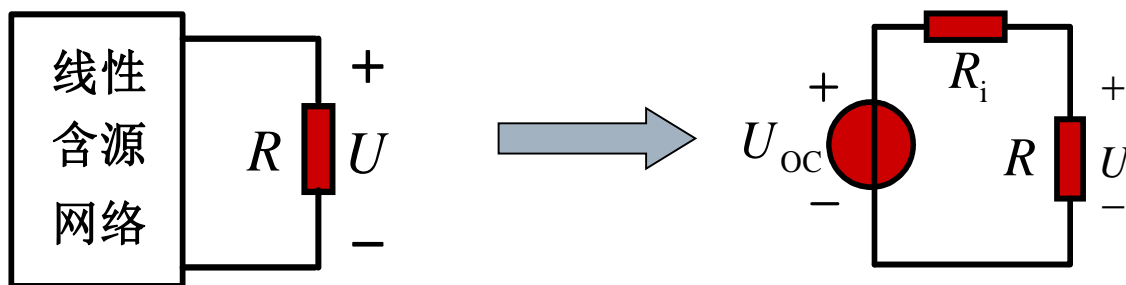
3) 求最大功率

$$\left\{ \begin{array}{l} R = R_i = 2.5\Omega \\ P_{\max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_i} = 10W \end{array} \right.$$



3.3 等效电源定理

【例题3.15】 图示电路，已知 $R = 10\Omega$ 时 $U = 15V$ ；
当 $R = 20\Omega$ 时 $U = 20V$ ；求 $R = 30\Omega$ 时 $U = ?$



解：

$$U = \frac{R \times U_{oc}}{R + R_i} \rightarrow \begin{cases} 15V = \frac{10\Omega \times U_{oc}}{R_i + 10\Omega} \\ 20V = \frac{20\Omega \times U_{oc}}{R_i + 20\Omega} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} U_{oc} = 30V \\ R_i = 10\Omega \end{cases}$$

$$\rightarrow U = \frac{R \times U_{oc}}{R + 10\Omega} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{当 } R = 30\Omega \text{ 时} \\ U = \frac{30\Omega \times 30V}{30\Omega + 10\Omega} = 22.5V \end{array} \right.$$

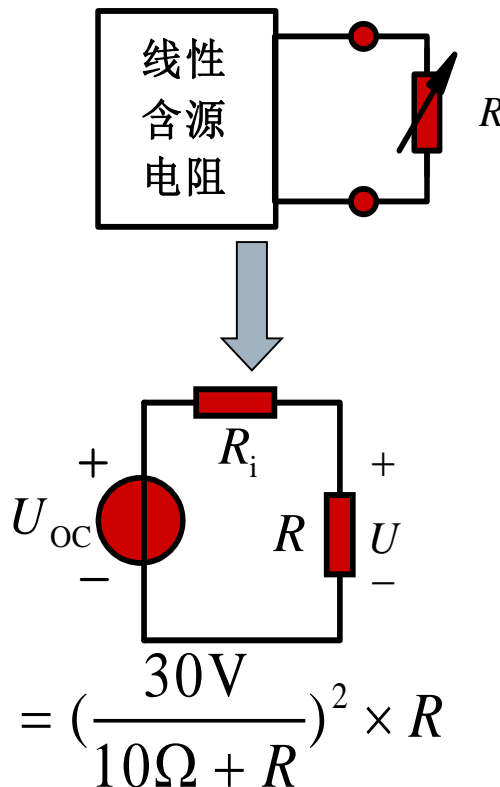
3.3 等效电源定理

【例题3.16】已知图示电路中 $R=10\Omega$ 时，其消耗的功率为 22.5W ； $R=20\Omega$ 时，其消耗的功率为 20W 。求当 $R=30\Omega$ 时它所消耗的功率。

解：

$$P_R = \left(\frac{U_{\text{OC}}}{R_i + R} \right)^2 \times R$$

$\Rightarrow \begin{cases} \left(\frac{U_{\text{OC}}}{R_i + 10\Omega} \right)^2 \times 10\Omega = 22.5\text{W} \\ \left(\frac{U_{\text{OC}}}{R_i + 20\Omega} \right)^2 \times 20\Omega = 20\text{W} \end{cases}$



联立解得 $R_i = 10\Omega$ $U_{\text{OC}} = 30\text{V}$ $\Rightarrow P_R = \left(\frac{30\text{V}}{10\Omega + R} \right)^2 \times R$

当 $R = 30\Omega$ 时

$\Rightarrow P_R = \left(\frac{U_{\text{OC}}}{R_i + 30\Omega} \right)^2 \times 30\Omega = \left(\frac{30\text{V}}{(10 + 30)\Omega} \right)^2 \times 30\Omega \approx 16.9\text{W}$

3.3 等效电源定理

【例题3.17】求戴维宁等效电路（问能否求出诺顿等效电路？）

解：(1) 求开路电压 $U_{OC} = -\frac{R_2}{R_1} U_S$

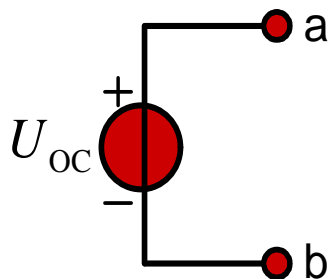
(2) 求等效电阻，如图所示

$$U = R_2 I_2; \quad I_1 = I_2$$

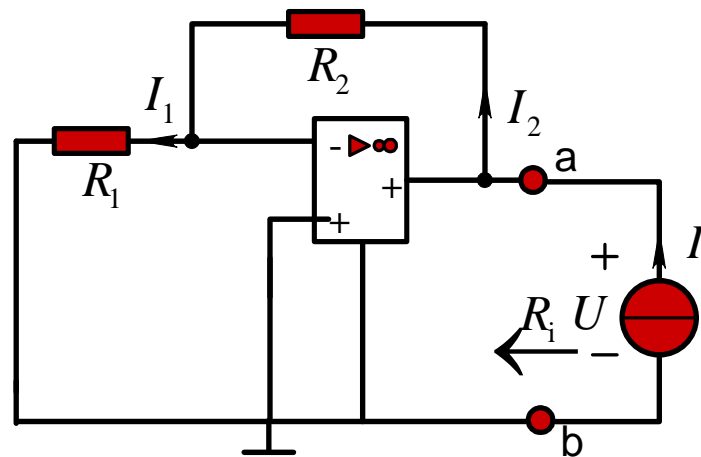
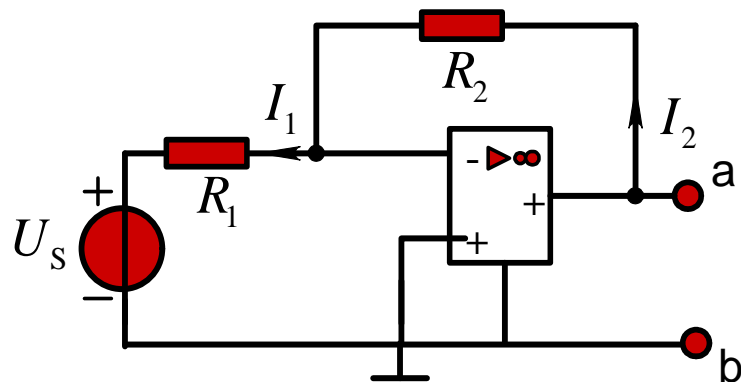
R_1 两端的电压为0(虚短)，即

$$I_1 = 0 \Rightarrow U = 0$$

等效电阻 $R_i = U / I = 0$

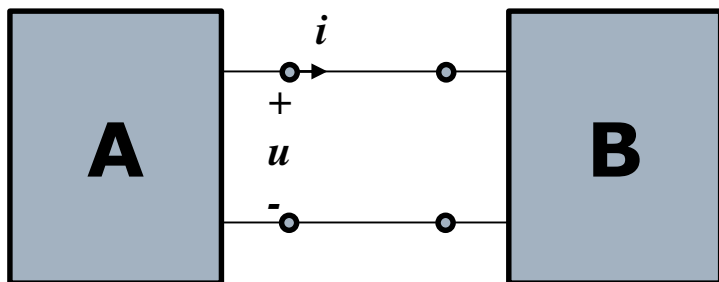


不可以等效成诺顿电路

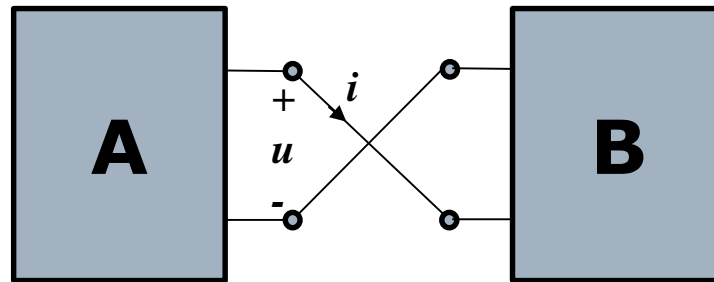


3.3 等效电源定理

【例题3.18】图示电路中，A,B为线性含源电阻网络。已知图a中 $u=1\text{V}$ ， $i=0\text{mA}$ ；图b中 $u=0.5\text{V}$ ， $i=0.5\text{mA}$ 。试求A，B网络的等效电路。



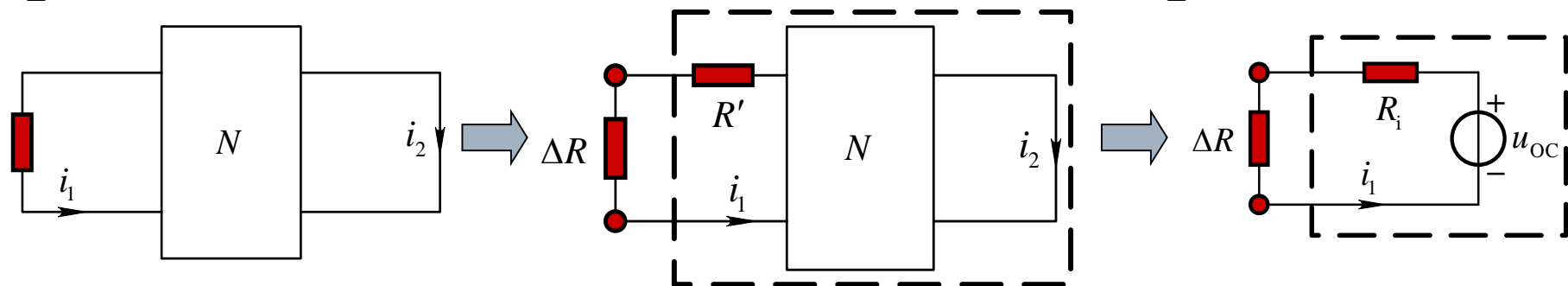
图a



图b

3.3 等效电源定理

【例题3.19***】图示电路中， N 为线性含源电阻网络。已知 $i_1=2\text{A}$ 时， $i_2=1/3\text{A}$ 。当 R 增加 10Ω 时， $i_1=1.5\text{A}$ ， $i_2=1/2\text{A}$ 。当 R 减少 10Ω 时，试求支路电流 i_2 。

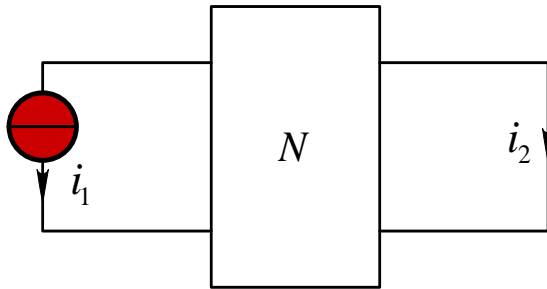


解：

$$i_1 = \frac{u_{OC}}{R_i + \Delta R} \longrightarrow \begin{cases} 2\text{A} = \frac{u_{OC}}{R_i} \\ 1.5\text{A} = \frac{u_{OC}}{R_i + 10\Omega} \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} u_{OC} = 60\text{V} \\ R_i = 30\Omega \end{cases}$$

$$i_1 = \frac{60\text{V}}{30\Omega + \Delta R} \longrightarrow \begin{cases} \Delta R = -10\Omega \\ i_1 = 3\text{A} \end{cases}$$

3.3 等效电源定理



$$i_2 = i'_2 + i''_2 = ki_1 + i''_2$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \begin{cases} \frac{1}{3} \text{A} = k \times 2\text{A} + i''_2 \\ \frac{1}{2} \text{A} = k \times 1.5\text{A} + i''_2 \end{cases} & \rightarrow \begin{cases} k = -\frac{1}{3} \\ i''_2 = 1\text{A} \end{cases} \end{aligned}$$

$$\rightarrow i_2 = -\frac{1}{3} \times i_1 + 1\text{A} \rightarrow \begin{cases} \Delta R = -10\Omega & i_1 = 3\text{A} \\ i_2 = 0\text{A} \end{cases}$$