第4章
电路定理

4.1 叠加定理 Superposition Theorem

4.2 替代定理 Substitution Theorem

4.3 戴维南(诺顿)定理Thevenin(Norton) Theorem

4.4 最大功率传输定理Maximum Power Theorem

4.5 特勒根和互易定理

Tellegen’s theorem & Reciprocity theorem

第4章
电路定理

目标：

1.熟练应用叠加定理。

2.熟练应用戴维南/诺顿定理。

3.熟练分析最大功率传输问题。

4.应用互易定理和特勒根定理。

难点：

1.互易定理应用

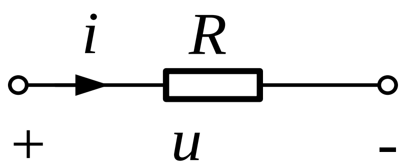
2.电路定理综合应用问题分析。

3.选择合适的分析方法。

讲授学时： 4　　　　**讨论学时：** 2

4.1 叠加定理 Superposition Theorem

1.线性元件



$u = Ri$

If $i' = ki$， then $u' = ku$. Homogeneity property 齐次性

If $i = i_1 + i_2$， then $u = u_1 + u_2$. Additivity property 可加性

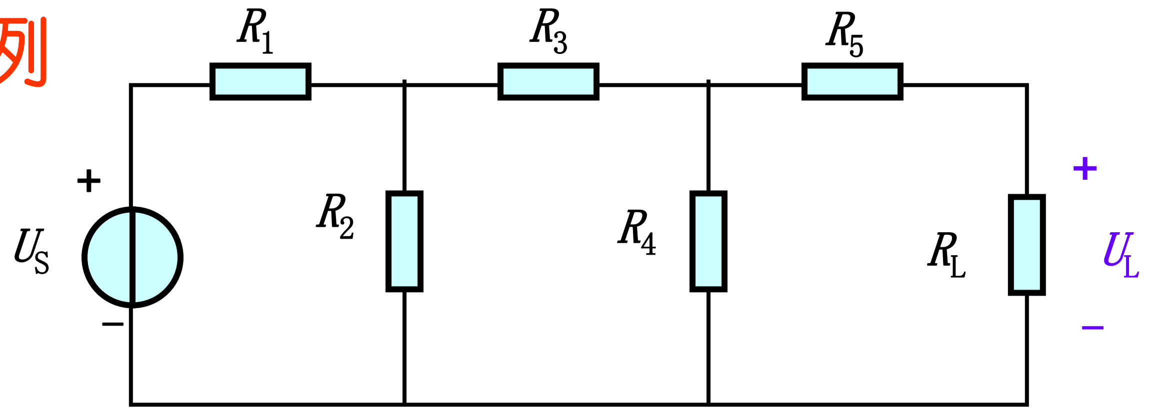
2. 线性电路

线性电路是指完全由线性元件（包括线性受控源）、独立源构成的电路。

齐次性原理

当电路中只有一个激励(独立源)时，则响应(电压或电流)与激励成正比。

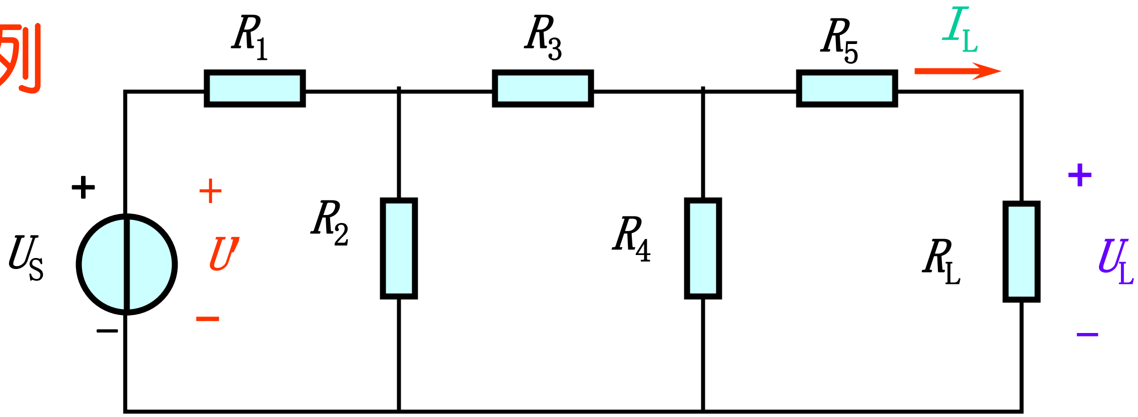
例



已知：如图。

求：电压 U_L。

例



解

法一：节点法、网孔法。

法二：分压、分流。

法三：电源变换。

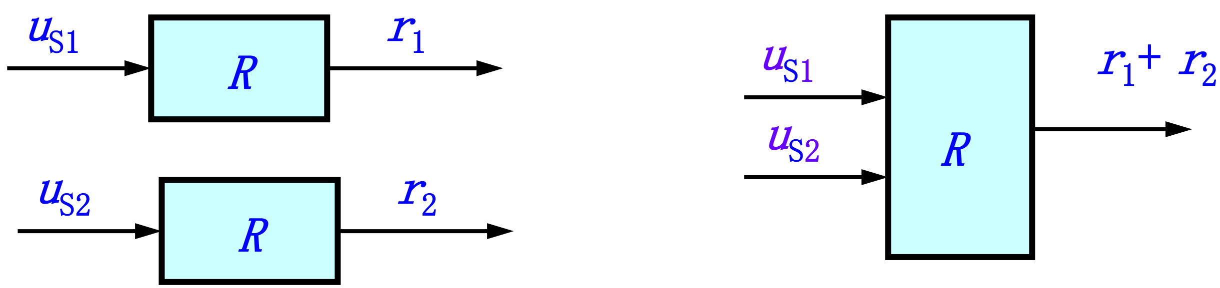
法四：用齐性原理（单位电流法）

设 $I_L = 1\text{A}$ ⟹ U'

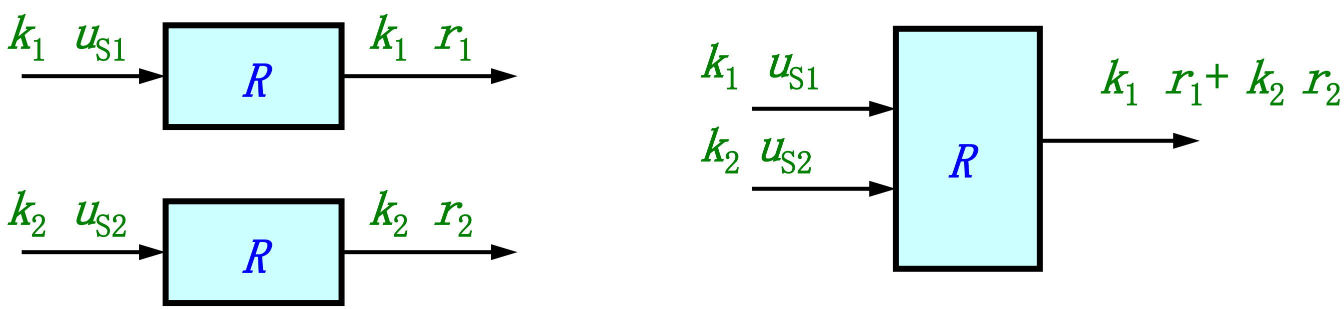
$K = U_S / U'$ ⟹ $I_L = K\ \text{A}$ ⟹ $U_L = K R_L$

可加性（additivity property）

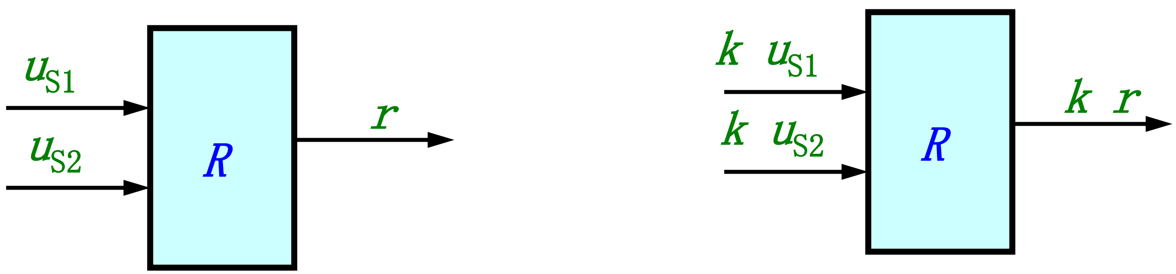
例



例



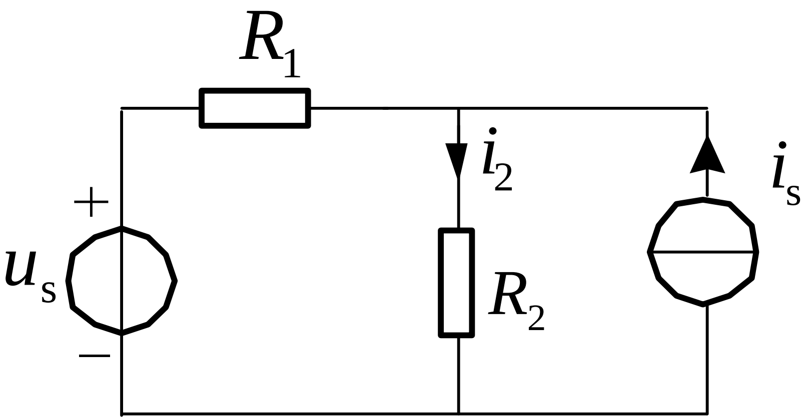
例

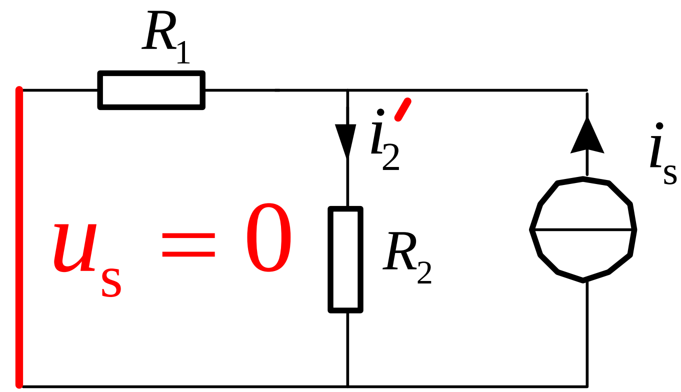


线性电路中，**所有**激励都增大(或减小)同样的倍数，则电路中响应也增大(或减小)同样的倍数。

4.1 叠加定理 Superposition Theorem

2. 线性电路

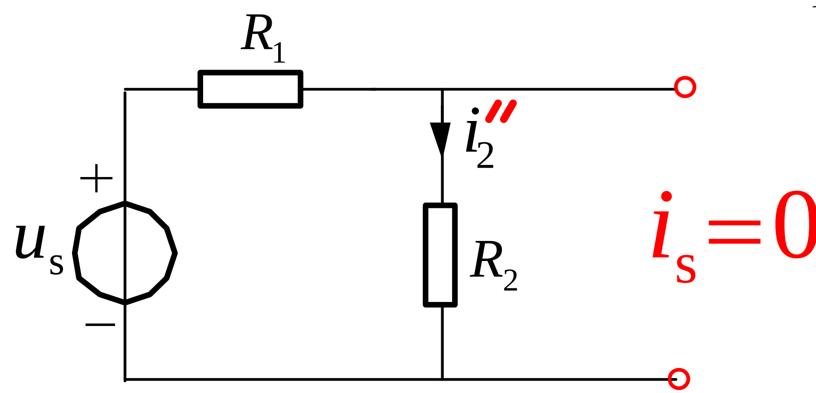




电流源单独作用 $i_2' = \dfrac{R_1}{R_1 + R_2} i_s$

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) R_2 i_2 = i_s + \frac{1}{R_1} u_s$$

$$i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_s + \frac{1}{R_1 + R_2} u_s$$



电压源单独作用 $i_2'' = \dfrac{1}{R_1 + R_2} u_s$

4.1 叠加定理 Superposition Theorem

3.叠加定理

线性电路中，多个**独立电源**共同激励下的响应（任意电流或电压），等于各独立电源单独激励下的响应的代数和。

单独作用：一个电源作用，其余电源不作用

不作用
- 电压源（$u_S=0$）　　短路
- 电流源（$i_S=0$）　　开路

应用叠加定理时注意以下几点：

1. 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)。

不适用于非线性电路。

2. 应用时电路的结构参数必须前后一致。

3. 不作用的电压源短路；不作用的电流源开路。

4. 含受控源(线性)电路亦可用叠加，受控源应始终保留。

5. 叠加时注意参考方向下求代数和。

叠加定理的数学证明（不要求）

推广到有 *l* 个回路的电路

$$
\begin{cases}
R_{11}i_1+\cdots+R_{1j}i_j+\cdots R_{1l}i_l=u_{S11}\\
\vdots\\
R_{j1}i_1+\cdots+R_{jj}i_j+\cdots R_{jl}i_l=u_{Sjj}\\
\vdots\\
R_{l1}i_1+\cdots+R_{lj}i_j+\cdots R_{ll}i_l=u_{Sll}
\end{cases}
$$

第 *j* 个回路的回路电流

$$
i_j=\frac{\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccc} & & \text{第}j\text{列} & & \end{array}\\
\begin{vmatrix}
R_{11} & \cdots & u_{S11} & \cdots & R_{1l}\\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\
R_{j1} & \cdots & u_{Sjj} & \cdots & R_{jl}\\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\
R_{l1} & \cdots & u_{Sll} & \cdots & R_{ll}
\end{vmatrix}
\end{array}}{\Delta}
$$

$$
=\frac{\Delta_{1j}}{\Delta}u_{S11}+\frac{\Delta_{2j}}{\Delta}u_{S22}+\cdots+\frac{\Delta_{jj}}{\Delta}u_{Sjj}+\cdots+\frac{\Delta_{lj}}{\Delta}u_{Sll}
$$

$$= \frac{\Delta_{1j}}{\Delta} u_{S11} + \frac{\Delta_{2j}}{\Delta} u_{S22} + \cdots + \frac{\Delta_{jj}}{\Delta} u_{Sjj} + \cdots + \frac{\Delta_{lj}}{\Delta} u_{Sll}$$

式中的电压源项为实际电路中电压源和电流源的线性组合

$$i_j = \sum_{i=1}^{m} G_{ji} u_{Si} + \sum_{i=1}^{n} R_{ji} i_{Si}$$

回路电流

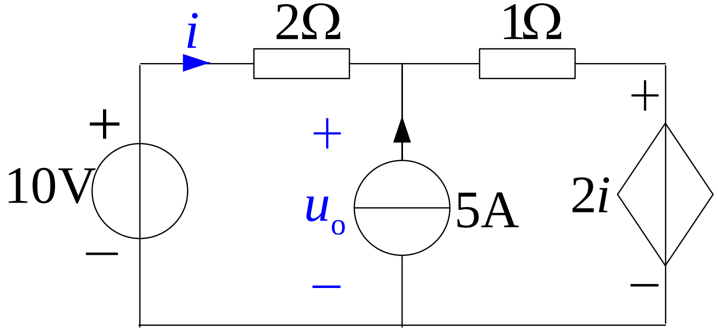
实际电路中的电压源

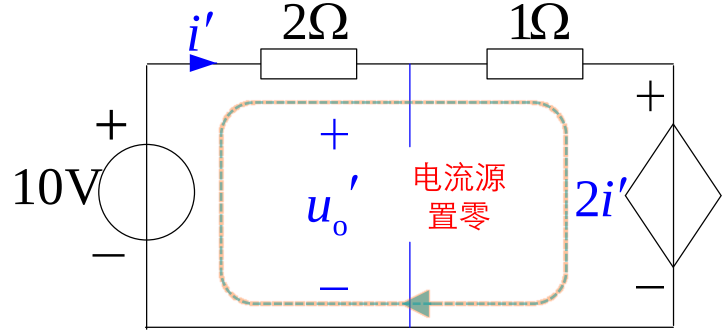
实际电路中的电流源

- ✓ 回路电流是原电路中各电压、电流源的线性组合
- ✓ 支路电流是回路电流的线性组合

4.定理应用Applications

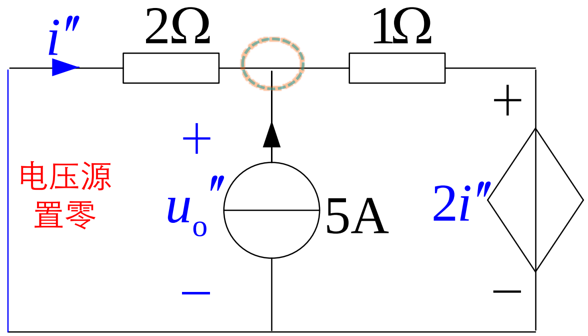
【例 1】 确定电压 u_o 和 5A 电流源提供的功率。





网孔方程：$(2+1)i' = 10 - 2i'$

$$u_o' = 1 \times i' + 2i'$$



结点方程：

$$\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{1}\right)u_o'' = 5 + \frac{2i''}{1}$$

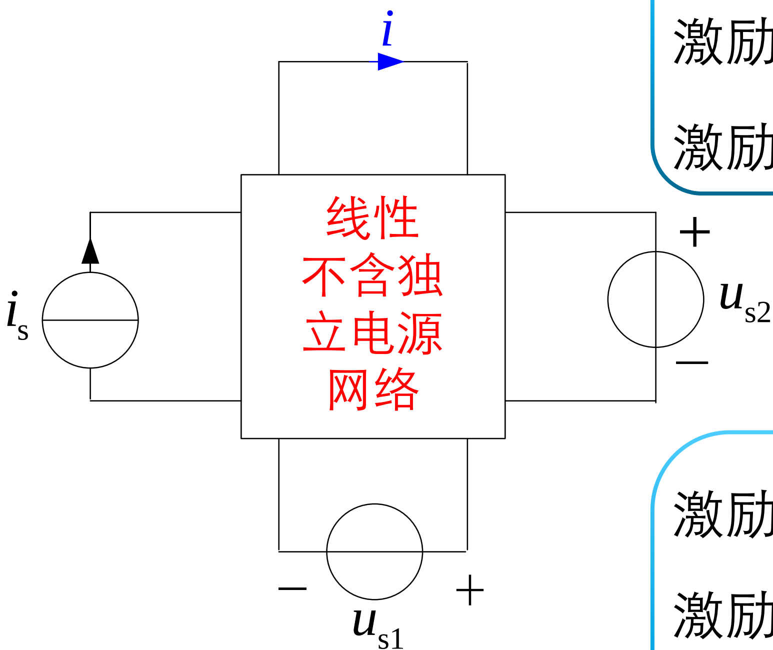
$$u_o'' = -2i''$$

$$\boxed{u_o = u_o' + u_o''}$$

$$\boxed{p_{5A} = 5u_o = 5u_o' + 5u_o'' \neq 5u_o''}$$

功率不符合叠加关系！

【例 2】 确定电流 i 。



已知条件

激励为 i_s 和 u_{s1} (u_{s2} 置零)　　响应 $i = 2\text{A}$

激励为 i_s 和 u_{s2} (u_{s1} 置零)　　响应 $i = -0.5\text{A}$

激励为 i_s 、u_{s1} 和 u_{s2}　　响应 $i = 1.2\text{A}$

确定

激励为 i_s　　响应 $i = ?$　i'

激励为 u_{s1}　　响应 $i = ?$　i''

激励为 u_{s2}　　响应 $i = ?$　i'''

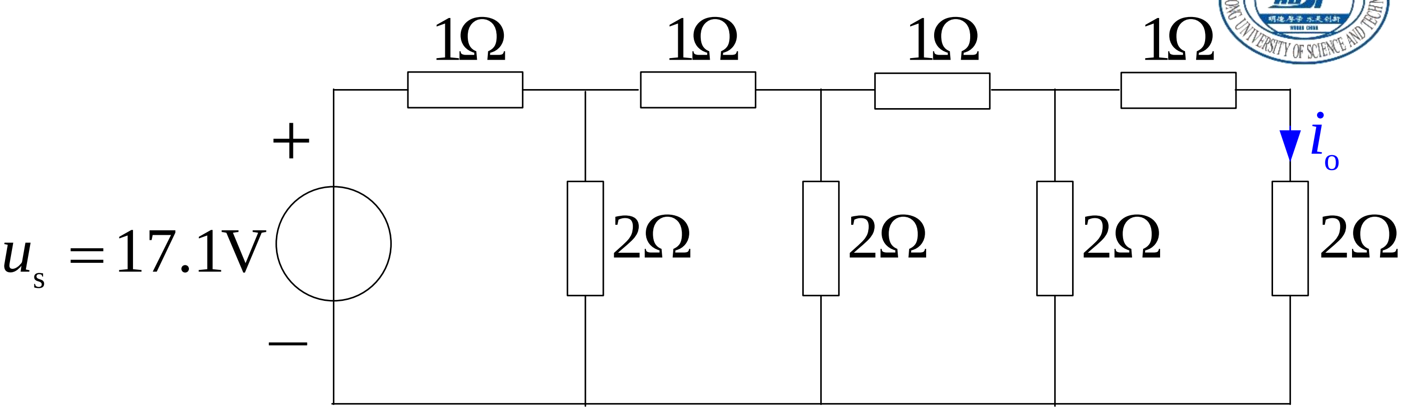
激励为 $0.5i_s$、$2u_{s1}$ 和 $3u_{s2}$　　响应 $i = ?$　i

$$\begin{cases} i' + i'' = 2 \\ i' + i''' = -0.5 \\ i' + i'' + i''' = 1.2 \end{cases}$$

解得 i'、i''、i'''

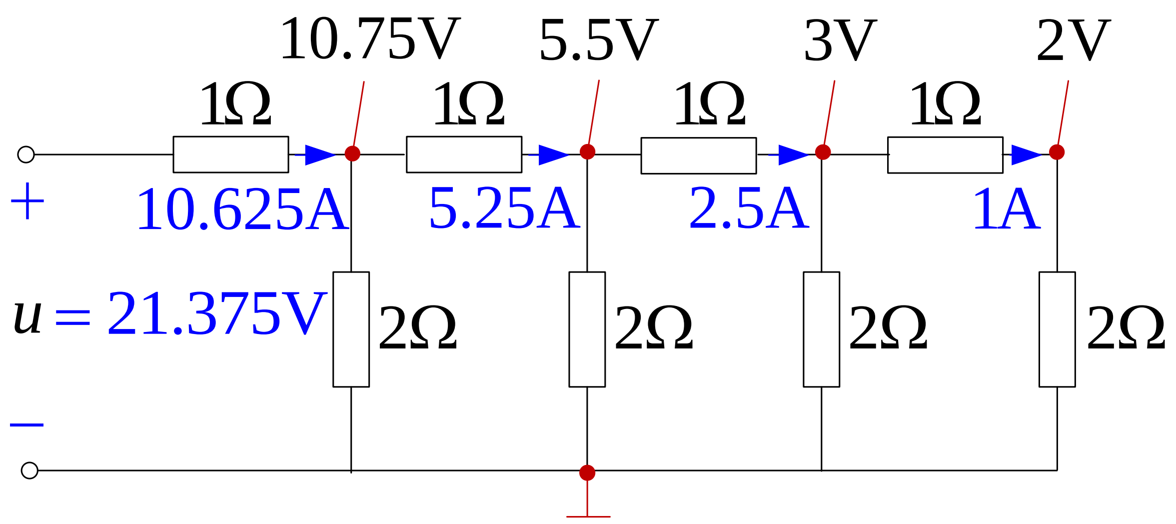
$$i = 0.5i' + 2i'' + 3i'''$$

【例 3】确定 i_o 。



由此

$$u_s = 21.375V \rightarrow i_o = 1A$$



响应与激励的关系为

$$i_o = \frac{1}{21.375}u_s = \frac{8}{171}u_s$$

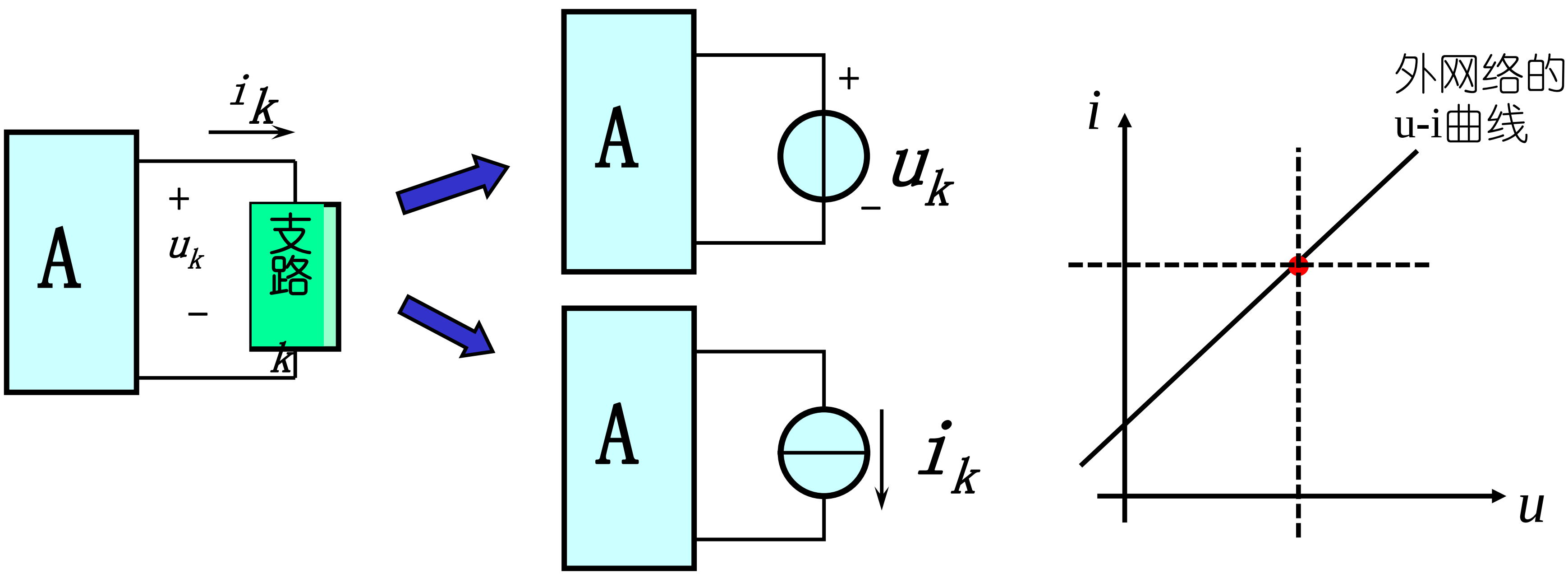
因此

$$u_s = 17.1V \rightarrow i_o = \frac{8}{171} \times 17.1 = 0.8A$$

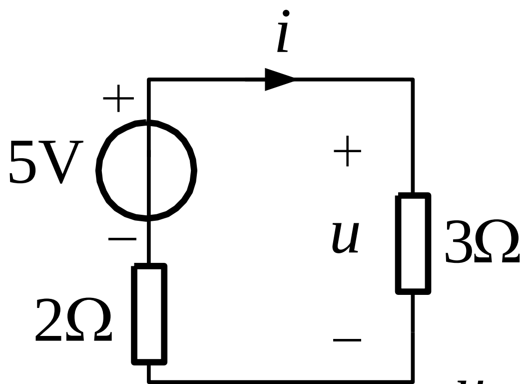
4.2 替代定理 Substitution Theorem

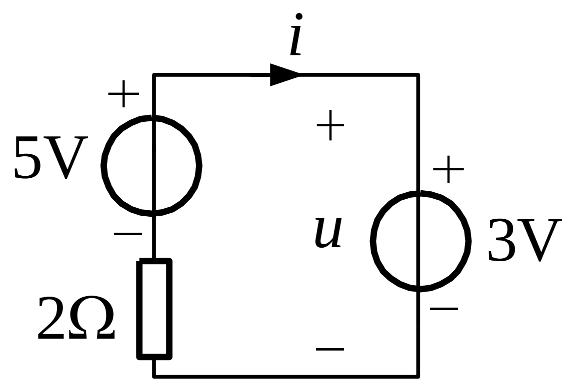
替代定理

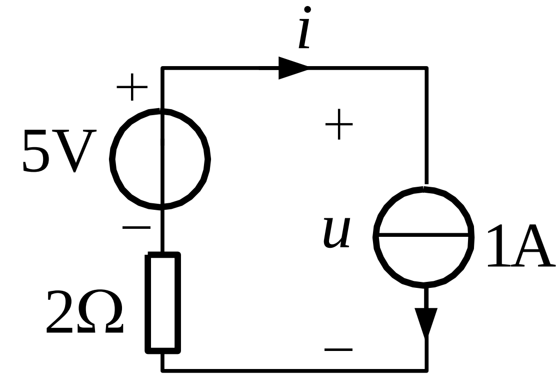
任意一个线性电路，其中第k条支路的电压已知为u_k（电流为i_k），那么就可以用一个电压等于u_k的理想电压源（电流等于i_k的独立电流源）来替代该支路，替代前后(电路有唯一解)电路中各处电压和电流均保持不变。



4.2 替代定理 Substitution Theorem

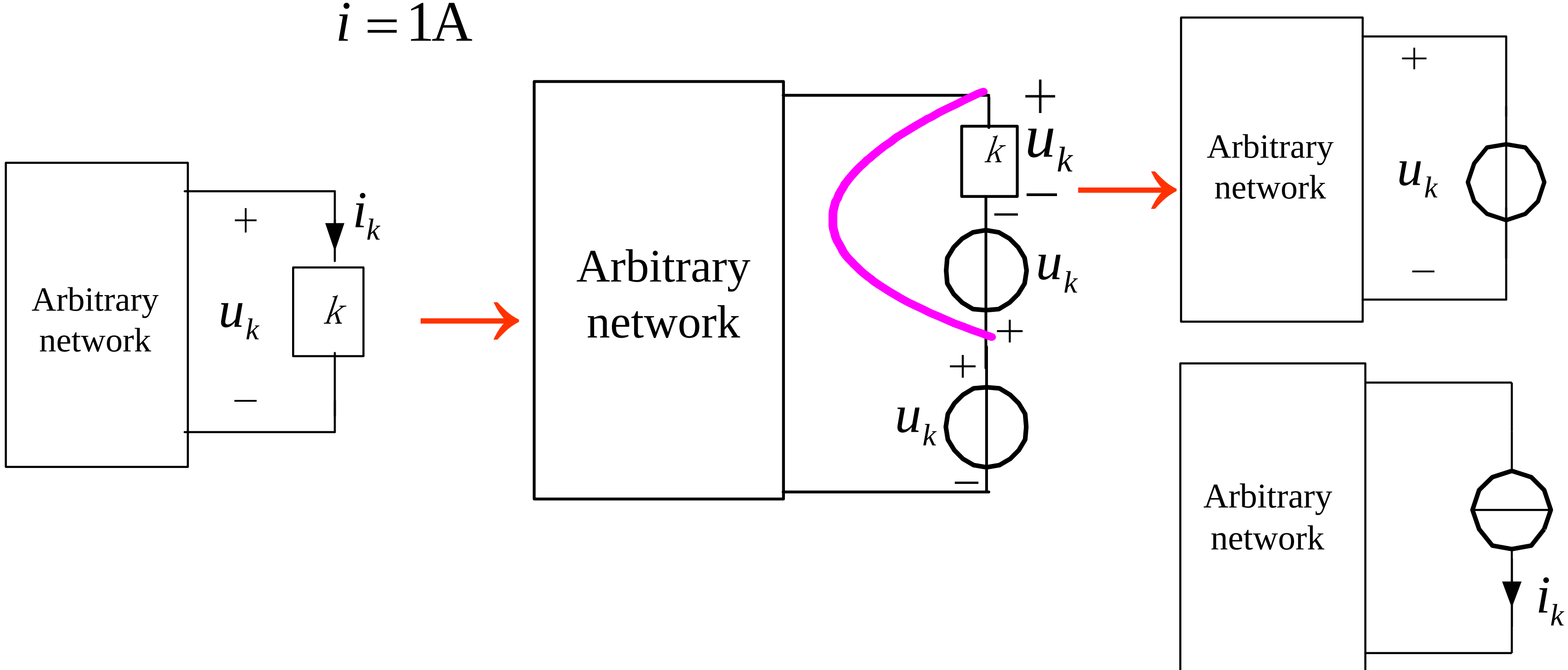






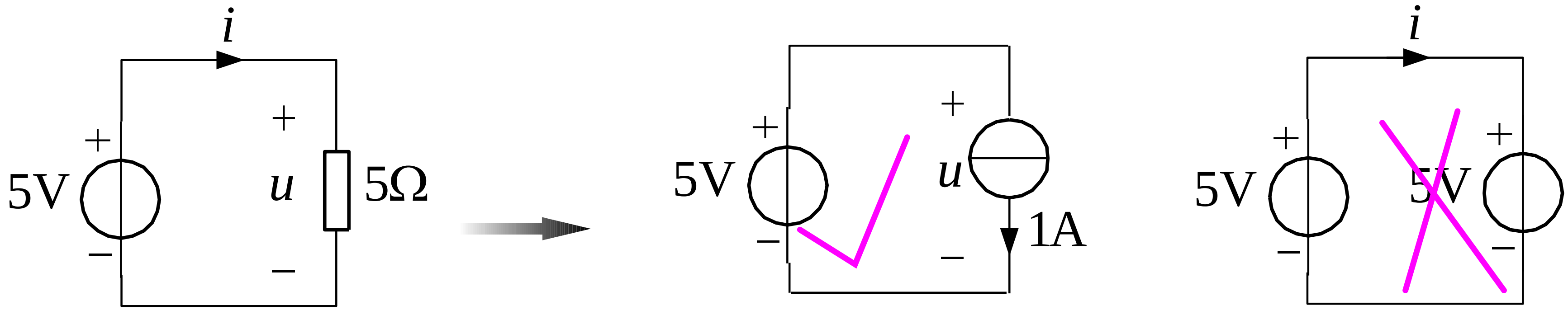
$u = 3\text{V}$

$i = 1\text{A}$

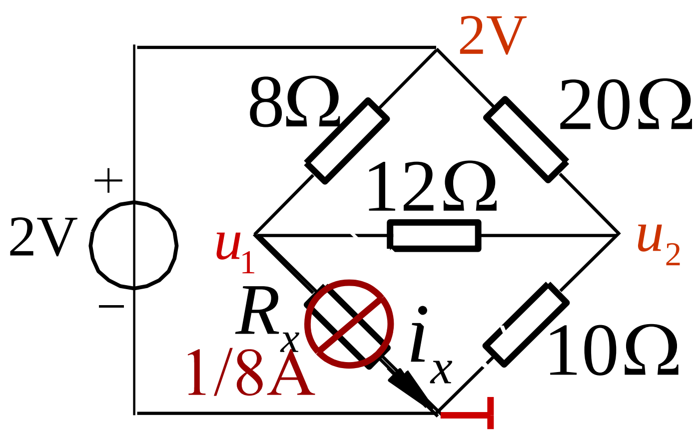


2.定理应用 Applications

注意：支路电压、电流具有唯一解！



Assume i_x =1/8 A. Find the R_x.



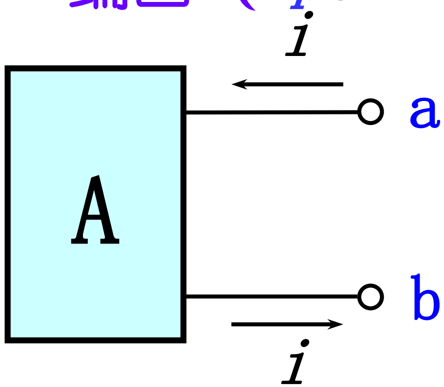
$$\begin{cases} \left(\frac{1}{8}+\frac{1}{12}\right)u_1-\frac{1}{12}u_2-\frac{1}{8}\quad 2=-\frac{1}{8} \\ -\frac{1}{12}u_1+\left(\frac{1}{20}+\frac{1}{12}+\frac{1}{10}\right)u_2-\frac{1}{20}\quad 2=0 \end{cases}$$

$$R_x=u_1\Big/\frac{1}{8}$$

4.3 戴维南－诺顿定理Thevenin-Norton Theorem

1. 几个名词

(1) 端口（ *port* ）



端口指电路引出的一对端钮，其中从一个端钮（如a）流入的电流一定等于从另一端钮（如b）流出的电流。

(2) 一端口网络 （*network*）

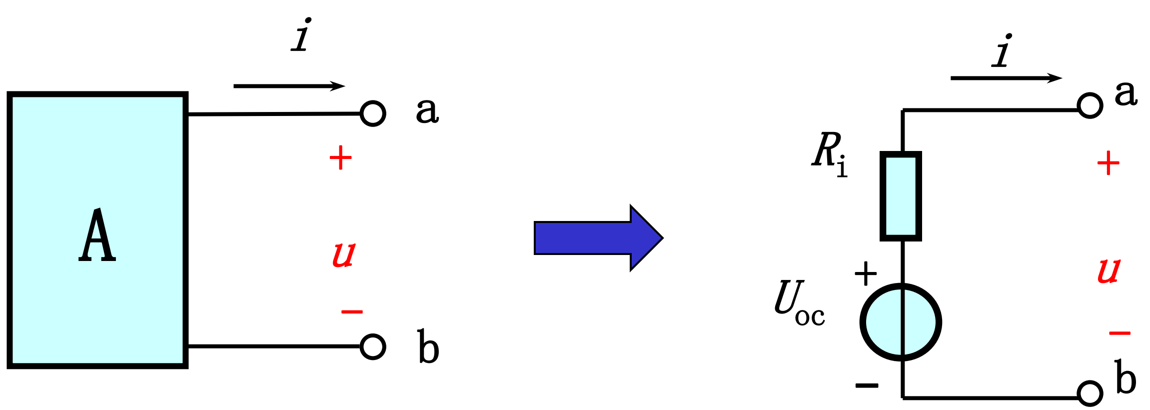
网络与外部电路只有一对端钮（或一个端口）联接。

(3) 二端口网络 （*network*）

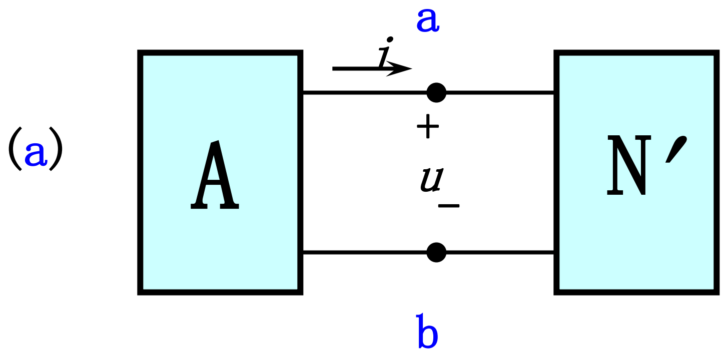
网络与外部电路有两对端钮（或两个端口）联接。

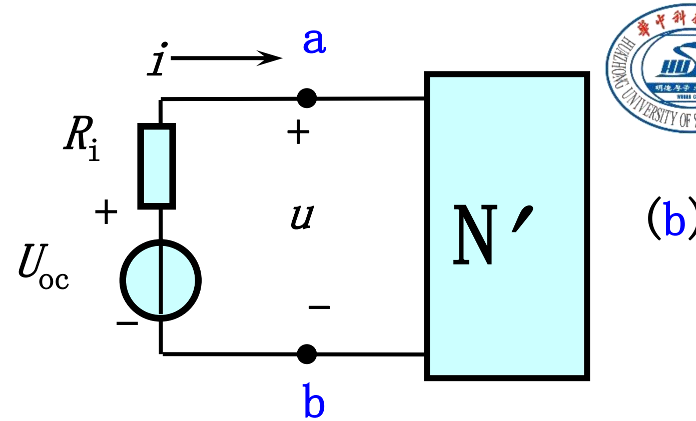
2. 戴维南定理

任何一个含有独立电源、线性电阻和线性受控源的一端口网络，对外电路来说，可以用一个电压源（U_{oc}）和电阻R_i的串联组合来等效；此电压源的电压等于外电路断开时端口处的开路电压，而电阻等于一端口中全部独立电源置零后的端口等效电阻。

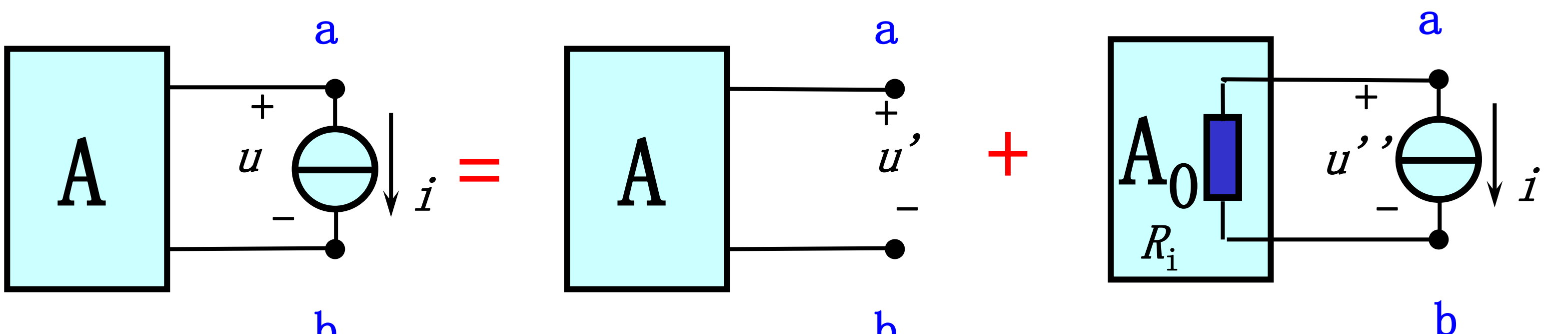


证明:





(对a)利用替代定理，将外部电路用电流源替代，此时u、i值不变。计算 u值。（用叠加定理）



电流源i为零

网络A中独立源全部置零

根据叠加定理，可得

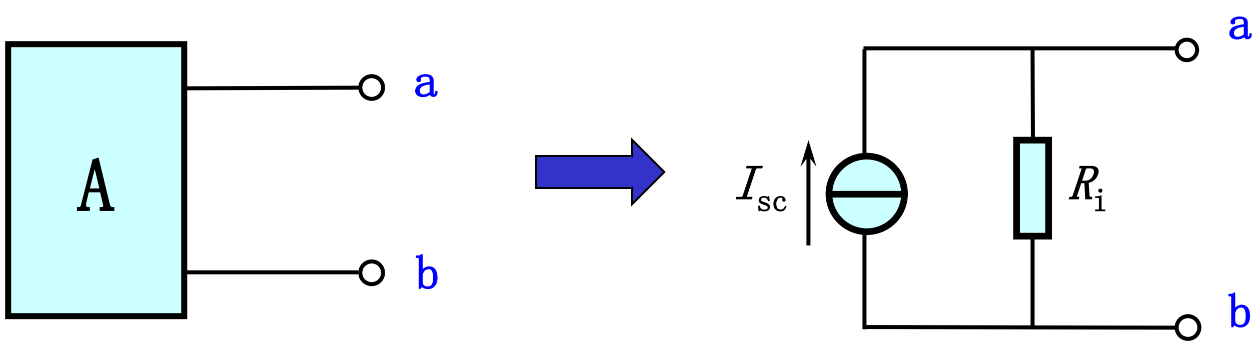
$$\begin{cases} u' = U_{oc} \\ u'' = -R_i\ i \end{cases}$$

（外电路开路时a 、b间开路电压）

则 $u = u' + u'' = U_{oc} - R_i\ i$ 此关系式恰与图（b）电路相同。

3. 诺顿定理

任何一个含独立电源，线性电阻和线性受控源的一端口，对外电路来说，可以用一个电流源和电阻（电导）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，而电阻（电导）等于把该一端口的全部独立电源置零后的输入电阻（电导）。



诺顿等效电路可由戴维南等效电路经电源等效变换得到。但须指出，诺顿等效电路可独立进行证明。证明过程从略。

小结:

（1）戴维南等效：求开路电压；诺顿等效：求短路电流；$U_{oc}=i_{sc}*R_{eq}$；

（2）串联电阻为将一端口内部独立电源全部置零（电压源短路，电流源开路）后，所得一端口网络的等效电阻。

等效电阻的计算方法:

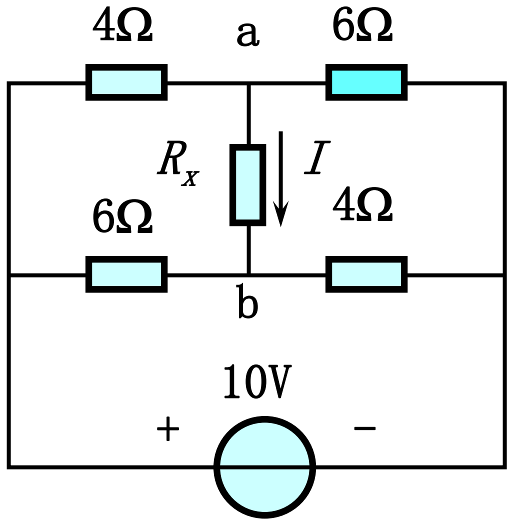
a. 当网络内部不含有受控源时可采用电阻串并联的方法计算;

b. 加压求流法：端口加电压求电流法或加电流求电压法（内部独立电 源置零）。

c. 开路电压短路电流法：等效电阻等于端口的开路电压与短路电流的比（内部独立电源保留）。

（3） 当一端口内部含有受控源时，控制支路与受控源支路必须包含在被等效变换的同一部分电路中。

例1

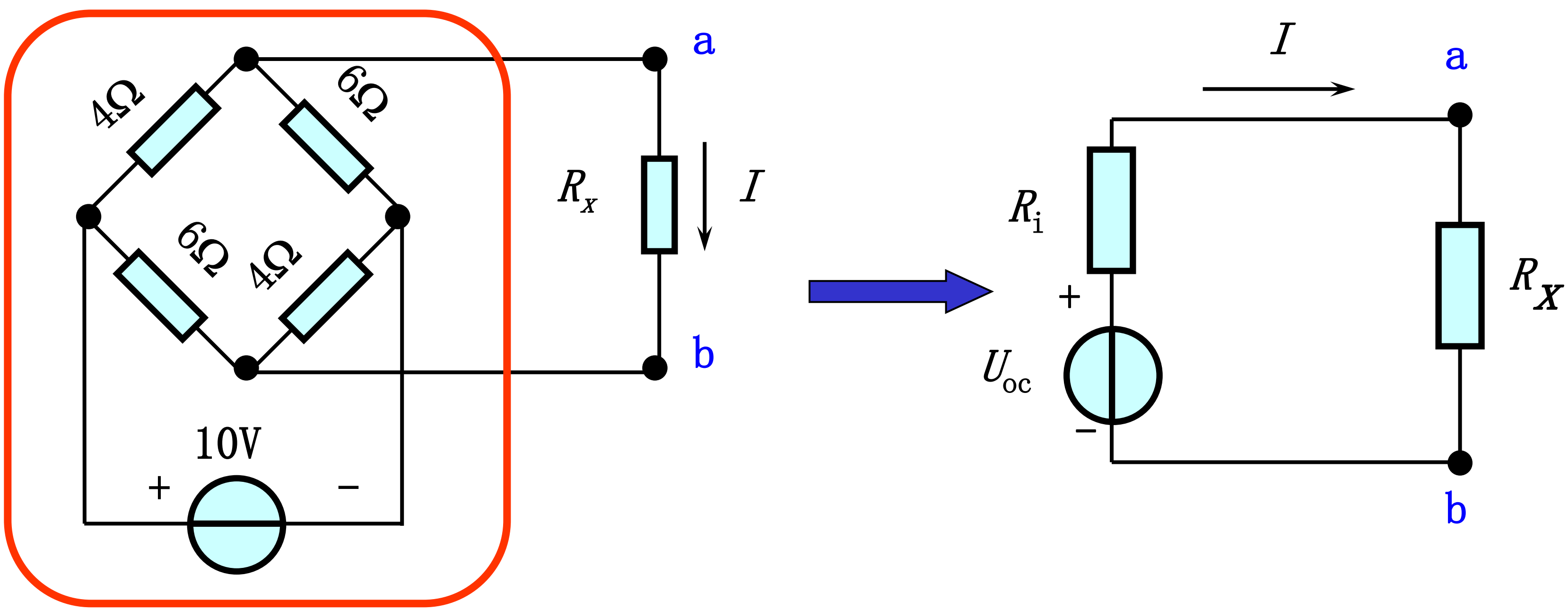


电路如图所示

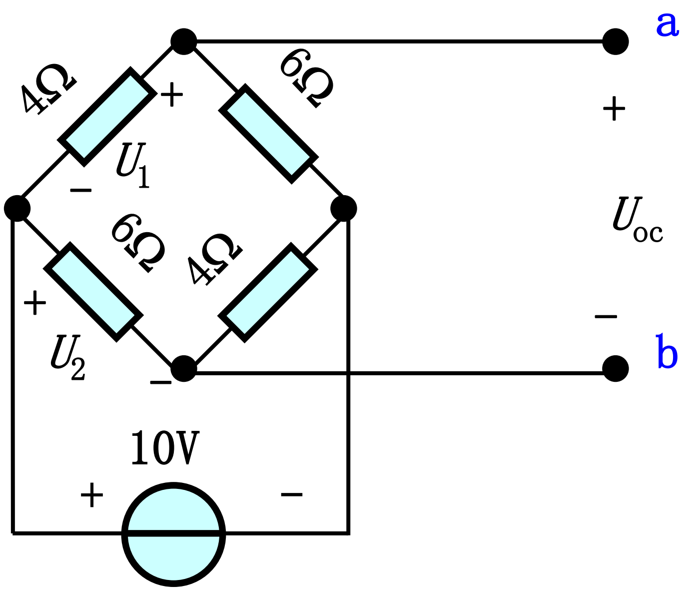
（1） 计算R_X分别为1.2Ω、5.2Ω时的电流I；

（2） R_X为何值时，其上获最大功率？

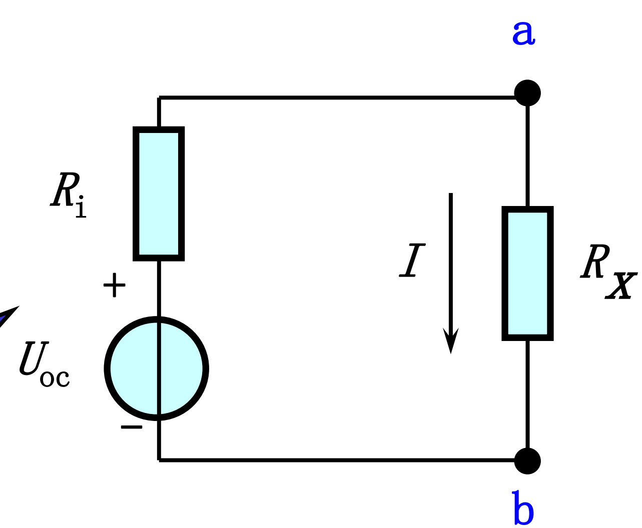
解　保留R_X支路，将其余一端口化为戴维南等效电路：



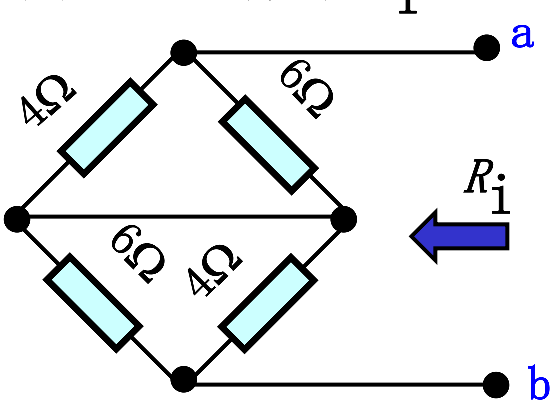
(1) 求开路电压



$$U_{oc} = U_1 + U_2$$
$$= -10\times4/(4+6)+10\times6/(4+6)$$
$$= -4+6=2V$$



(2) 求等效电阻R_i



R_i=4//6+6//4=4.8Ω

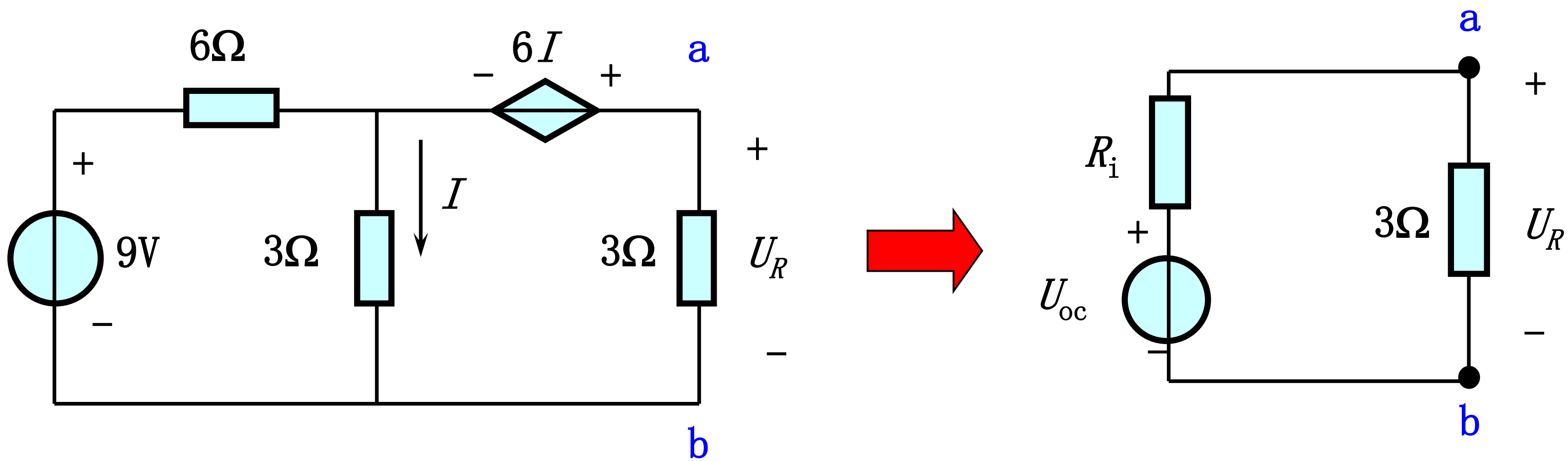
(3) R_X =1.2Ω时， $I= U_{oc} /(R_i + R_X)$ =0.333A

R_X =5.2Ω时， $I= U_{oc} /(R_i + R_X)$ =0.2A

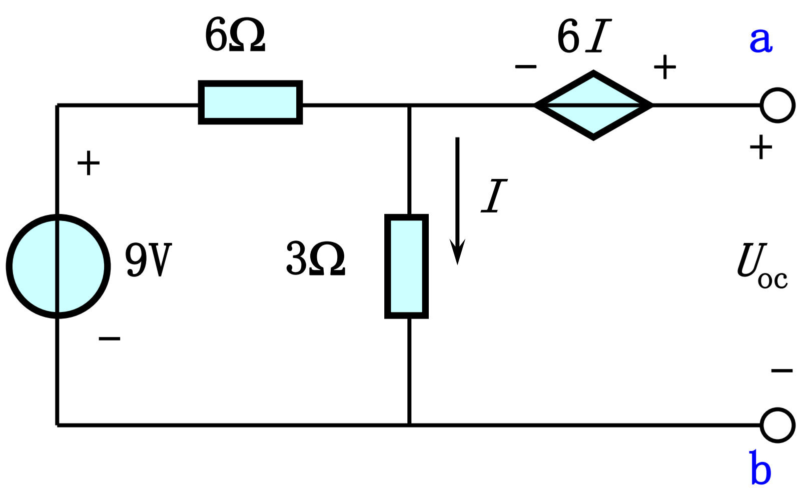
$R_X = R_i$ =4.8Ω时，其上获最大功率。

含受控源电路戴维南定理的应用

例2　　电路如图所示，求电压U_R。



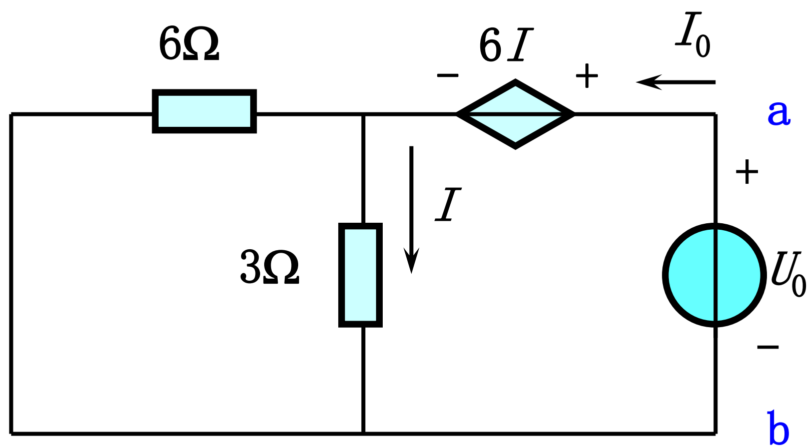
解　(1)　求开路电压U_{oc}。



$$\begin{cases} U_{oc}=6I+3I \\ I=9/9=1\text{A} \end{cases} \Rightarrow U_{oc}=9\text{V}$$

（2） 求等效电阻R_i

方法1　　端口加压求流（内部独立电压源短路）

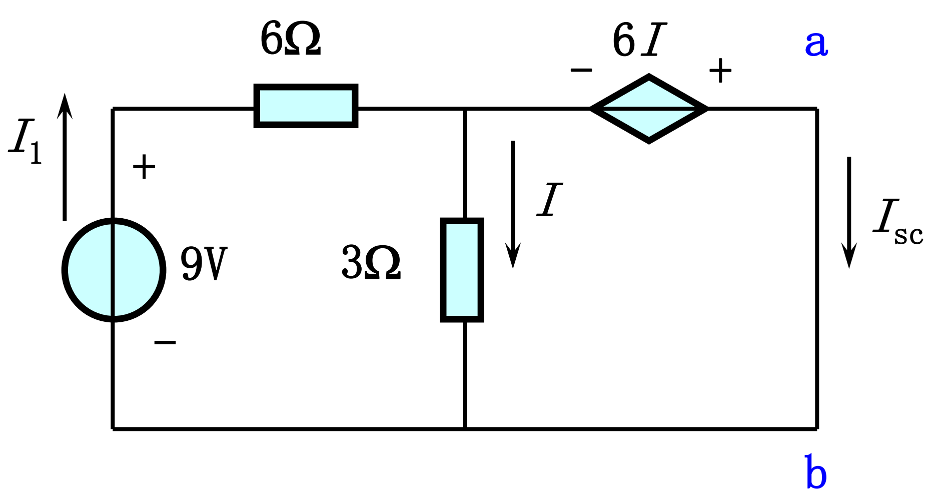


$$\begin{cases} U_0=6I+3I=9I \\ I=I_0\times6/(6+3)=(2/3)I_0 \end{cases}$$

$\Rightarrow$ $U_0=9\times(2/3)I_0=6I_0$

$\Rightarrow$ $R_i=U_0/I_0=6\ \Omega$

方法2　　开路电压、短路电流



$(U_{oc}=9V)$

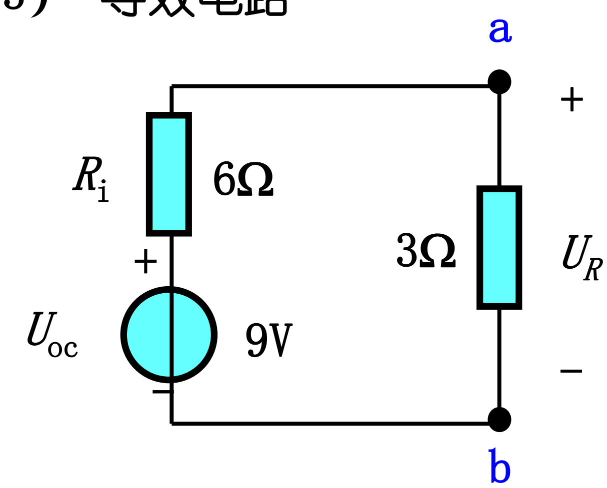
$6I_1+3I=9$

$I=-6I/3=-2I$ $\Rightarrow$ $I=0$

$I_{sc}=I_1=9/6=1.5A$

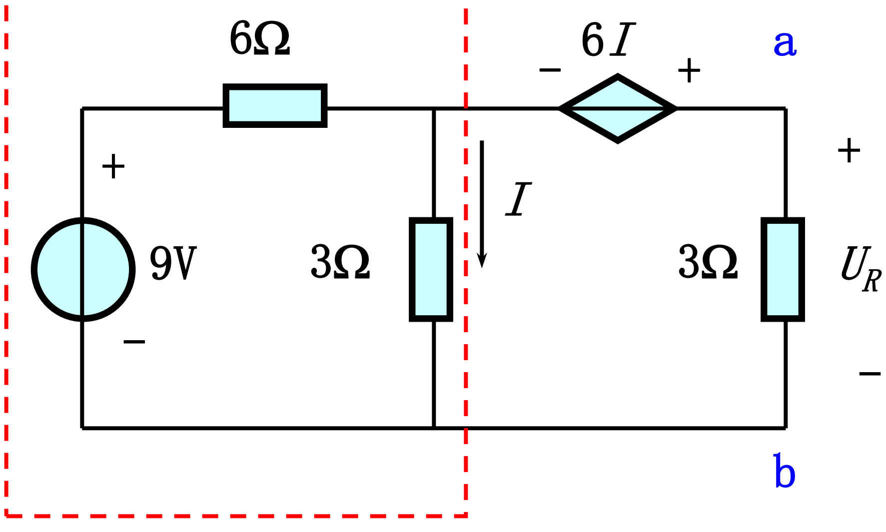
$R_i=U_{oc}/I_{sc}=9/1.5=6\ \Omega$

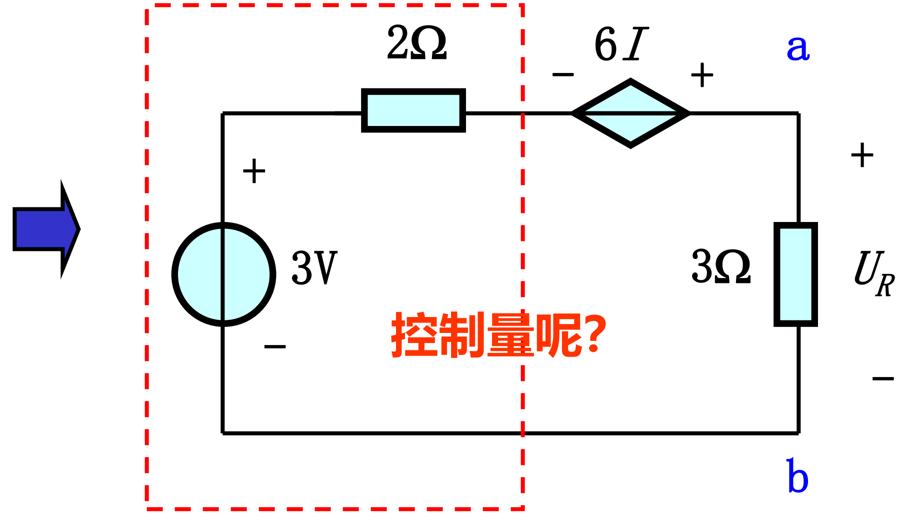
(3) 等效电路



$$U_R = \frac{3}{6+3} \times 9 = 3V$$

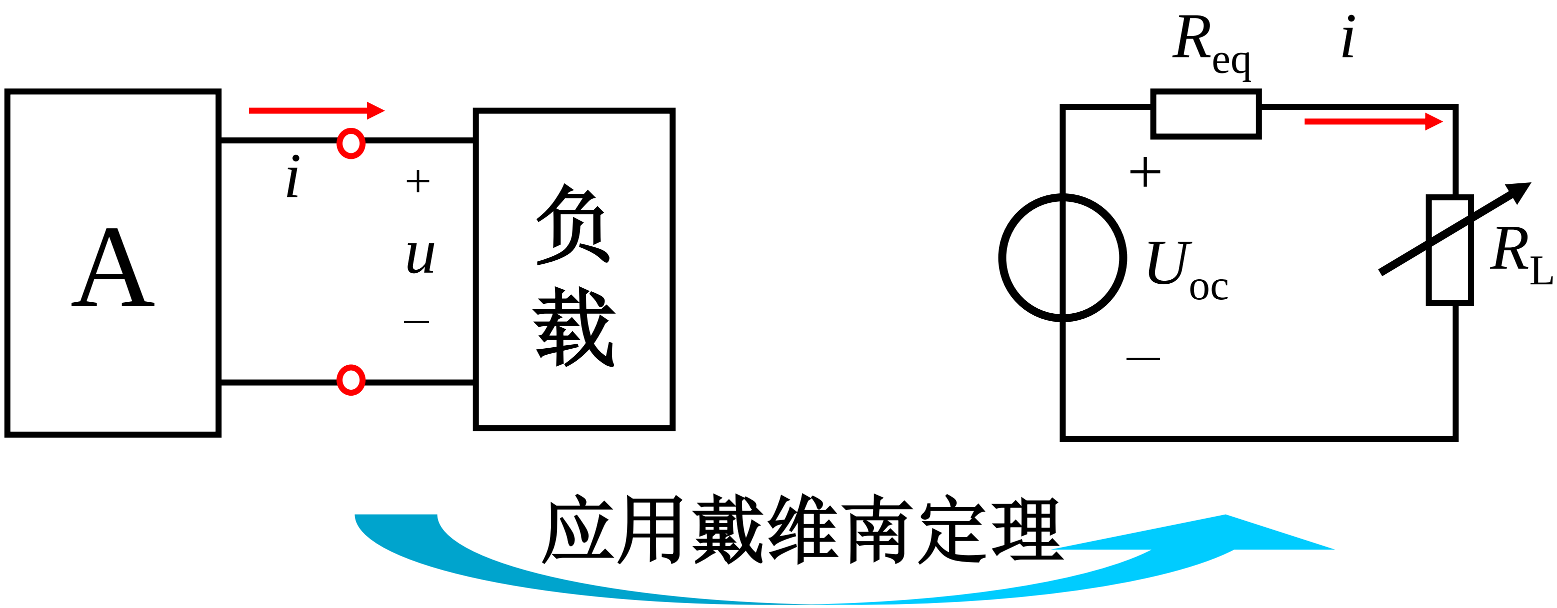
下图电路经戴维南等效变换后将难于继续进行计算。



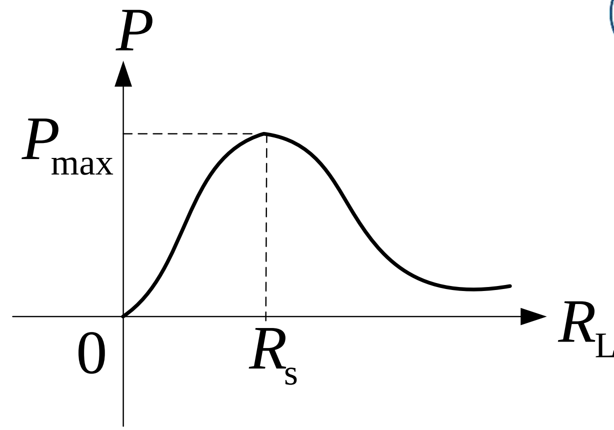


4.4 最大功率传输定理Maximum Power Theorem

一个含源线性一端口电路，当所接负载不同时，一端口电路传输给负载的功率就不同，讨论负载为何值时能从电路获取最大功率，及最大功率的值是多少的问题是有工程意义的。



$$P = R_L\left(\frac{u_{oc}}{R_{eq} + R_L}\right)^2$$



P对R_L求导：

$$P' = u_{oc}^2 \frac{(R_{eq} + R_L)^2 - 2R_L(R_{eq} + R_L)}{(R_{eq} + R_L)^4} = 0$$

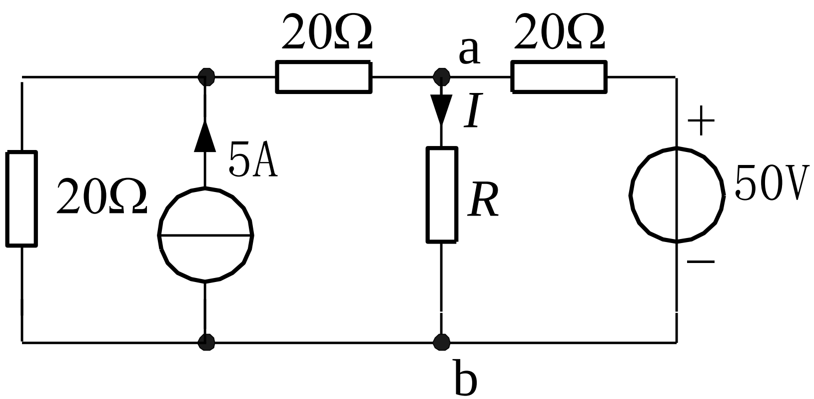
$$\rightarrow \quad R_L = R_{eq} \quad \rightarrow \quad P_{max} = \frac{u_{oc}^2}{4R_{eq}}$$

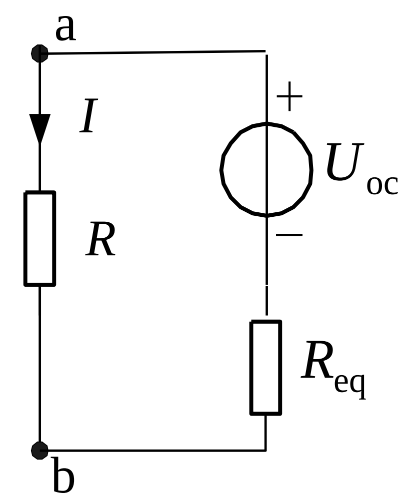
最大功率匹配条件

负载与网络匹配（The source and load are matched）

讨论 ——目标3：最大功率问题分析

例1：Find the value of *R* for maximum power transfer in the circuit .Find the maximum power absorbed by *R*.





$$U_{oc} = \frac{20 \times 5}{20+40} \times 20 + \frac{40 \times 50}{20+40} = 66.7\text{V}$$

$$R_{eq} = 20//(20+20) = 13.3\Omega$$

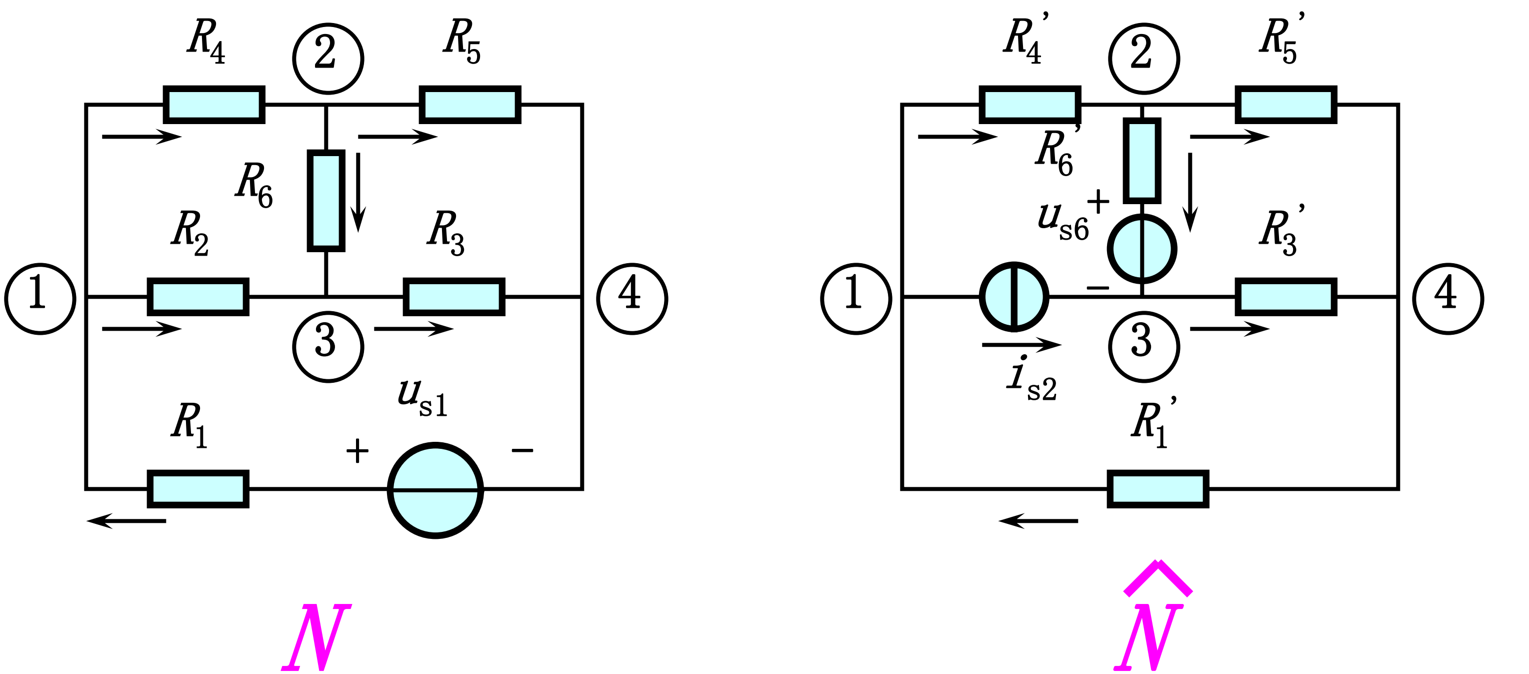
$$R = R_{eq} \qquad P_{max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_{eq}} = 83.4\text{W}$$

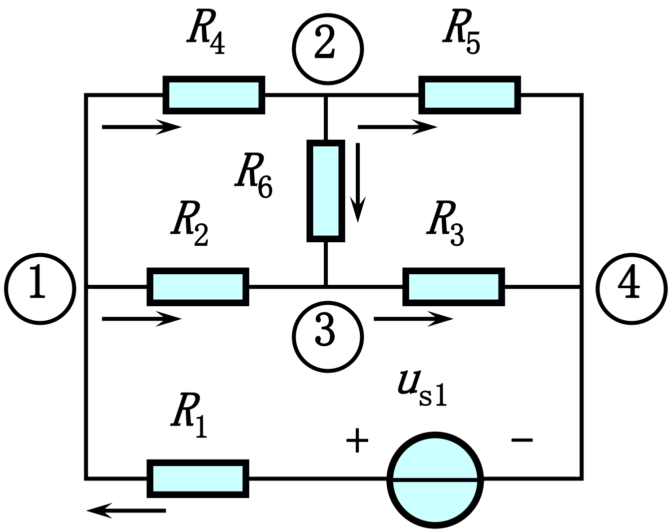
4.5 Tellegen's Theorem and Reciprocity Theorem

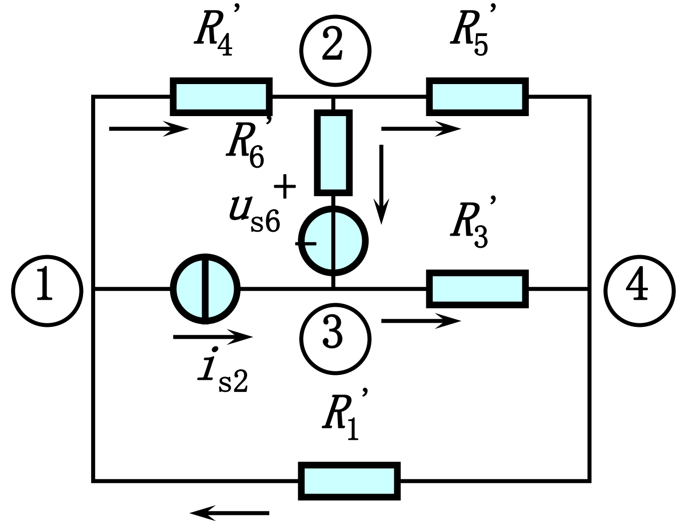
特勒根定理与互易定理

1. 具有相同拓扑结构的电路

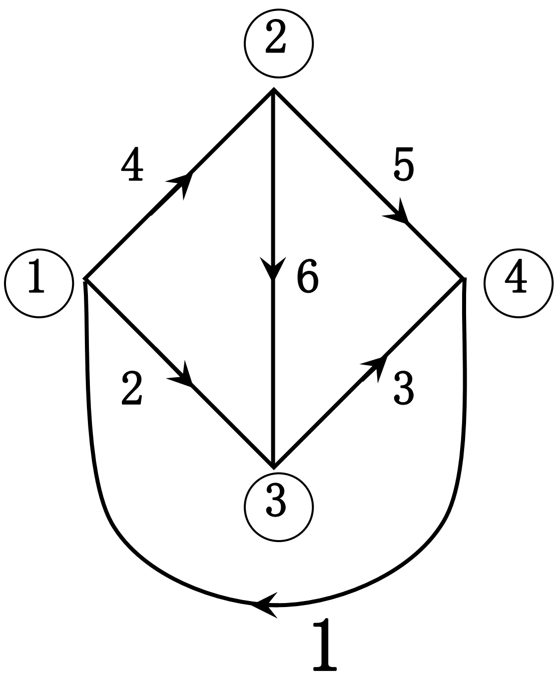
两个电路，支路数和节点数都相同，而且对应支路 与节点的联接关系也相同，则这两个电路具有相同的有向图。



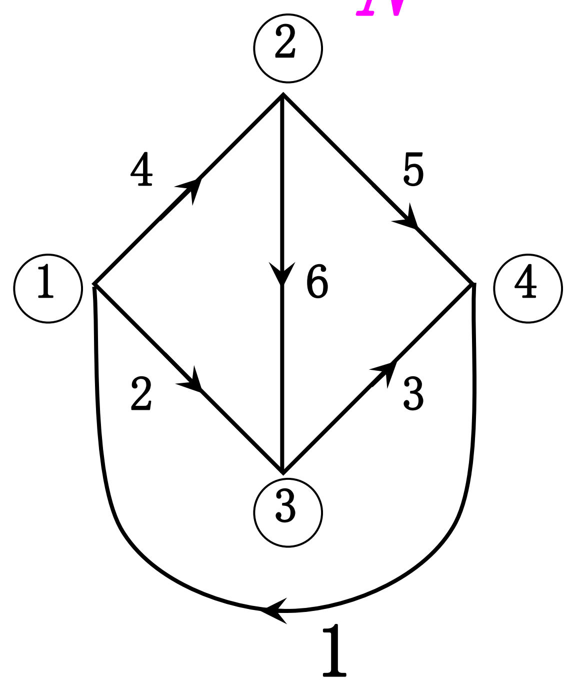

R_4
R_5
R_6
R_2
R_3
R_1
u_{s1}
+
−
1
2
3
4


R_4'
R_5'
R_6'
R_3'
R_1'
u_{s6}
i_{s2}
+
−
1
2
3
4

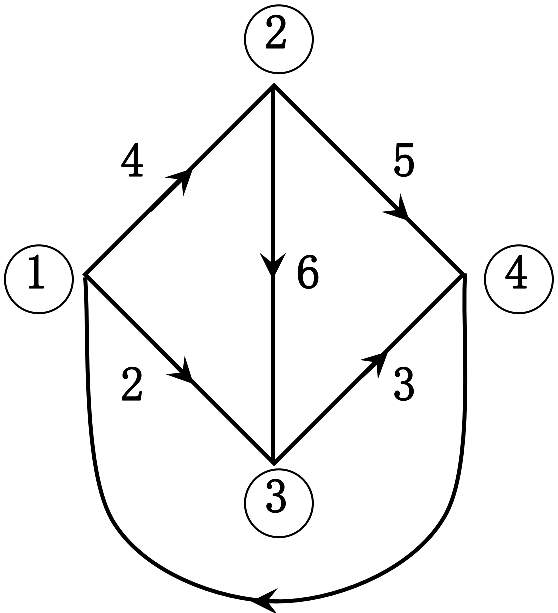
N


1
2
3
4
5
6

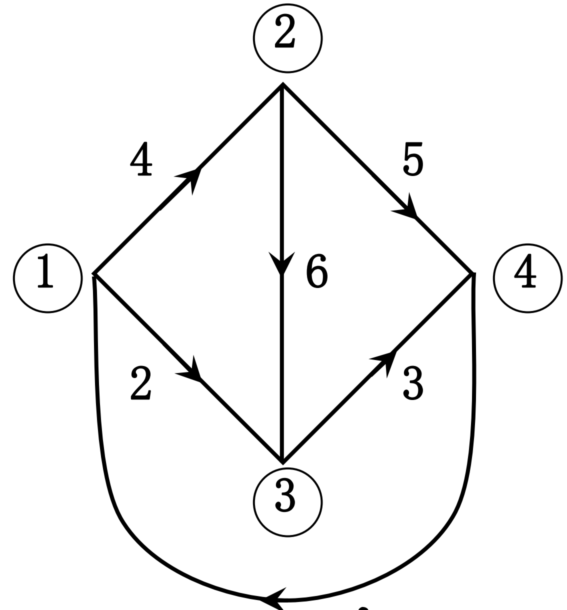
$\hat{N}$


1
2
3
4
5
6

1. 特勒根定理



1

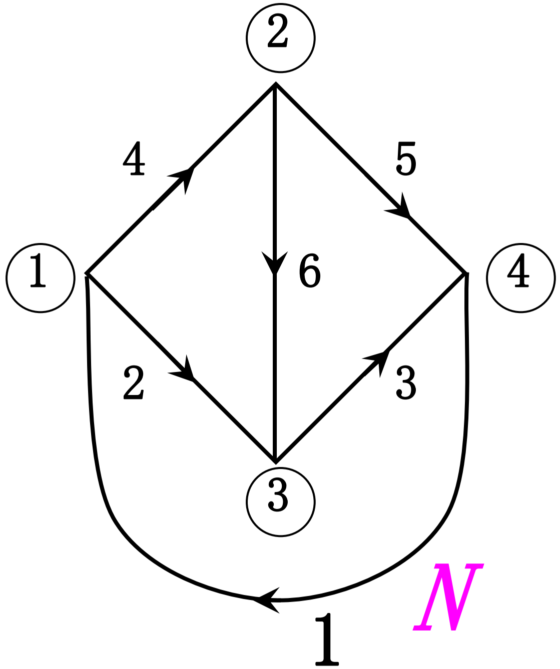


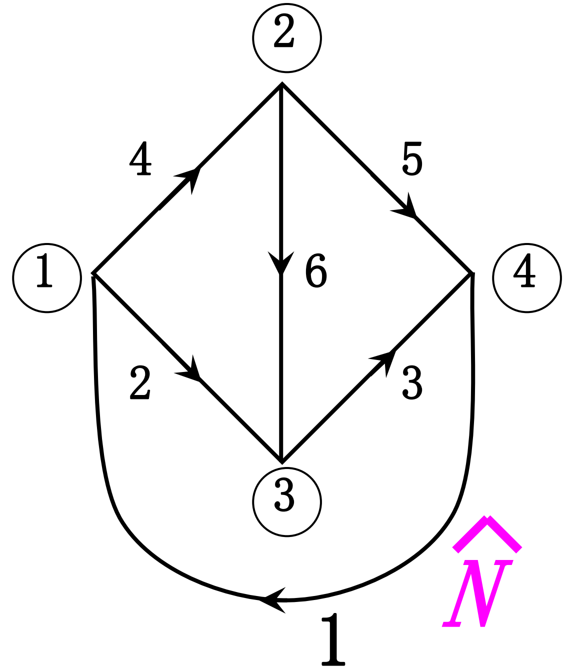
1'

$$
\left.\begin{aligned}
&u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3 + u_4 i_4 = 0 \\
&\hat{u}_1 \hat{i}_1 + \hat{u}_2 \hat{i}_2 + \hat{u}_3 \hat{i}_3 + \hat{u}_4 \hat{i}_4 = 0
\end{aligned}\right\}
$$

——Conservation of power

例





求 $\sum_{k=1}^{6}(u_k \hat{i}_k)$

解

$$\sum_{k=1}^{6}(u_k \hat{i}_k) = u_1\hat{i}_1 + u_2\hat{i}_2 + u_3\hat{i}_3 + u_4\hat{i}_4 + u_5\hat{i}_5 + u_6\hat{i}_6$$

$$= (u_{n4} - u_{n1})\hat{i}_1 + (u_{n1} - u_{n3})\hat{i}_2 + (u_{n3} - u_{n4})\hat{i}_3$$

$$+ (u_{n1} - u_{n2})\hat{i}_4 + (u_{n2} - u_{n4})\hat{i}_5 + (u_{n2} - u_{n3})\hat{i}_6$$

$$= u_{n1}(-\hat{i}_1 + \hat{i}_2 + \hat{i}_4) + u_{n2}(-\hat{i}_4 + \hat{i}_5 + \hat{i}_6)$$

$$+ u_{n3}(-\hat{i}_2 + \hat{i}_3 - \hat{i}_6) + u_{n4}(\hat{i}_1 - \hat{i}_3 - \hat{i}_5) = 0$$

2. 功率守衡定理

在任一瞬间，任一电路中的所有支路所吸收的瞬时功率的代数和为零，即

$$\boxed{\sum_{k=1}^{b} p_k = \sum_{k=1}^{b} u_k i_k = 0}$$

$$2\sum_{k=1}^{b} u_k i_k = \sum_{p=1}^{n}\sum_{q=1}^{n} u_{pq} i_{pq} = \sum_{p=1}^{n}\sum_{q=1}^{n}\left(\varphi_p - \varphi_q\right) i_{pq}$$

$$= \sum_{p=1}^{n}\sum_{q=1}^{n}\left(\varphi_p i_{pq} - \varphi_q i_{pq}\right)$$

$$= \sum_{p=1}^{n}\varphi_p \sum_{q=1}^{n} i_{pq} - \sum_{q=1}^{n}\varphi_q \sum_{p=1}^{n} i_{pq} = 0$$

3. 特勒根定理（似功率守恒）

两个具有相同拓扑结构的电路N和$\hat{N}$。电路$N(\hat{N})$的所有支路中的每一支路的电压$u_k(\hat{u}_k)$与电路$\hat{N}(N)$中对应的支路中的电流$\hat{i}_k(i_k)$的乘积之和为零, 即

$$\sum_{k=1}^{b} u_k \hat{i}_k = 0 \quad 和 \quad \sum_{k=1}^{b} \hat{u}_k i_k = 0 \qquad (似功率守衡关系)$$

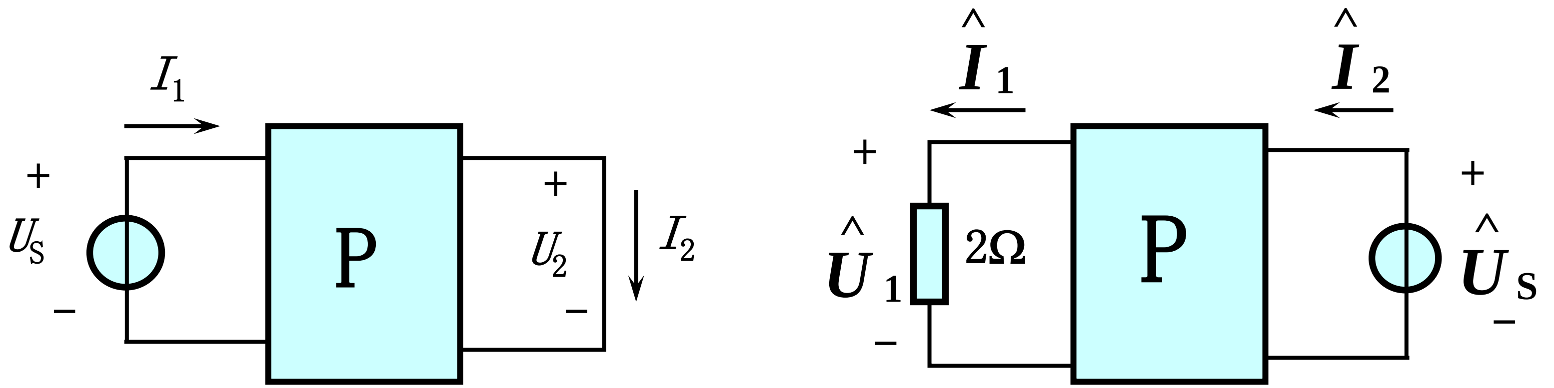
注意（1）**对应支路取相同的参考方向。**

（2）**各支路电压、电流均取关联的参考方向。**

例　图示两个电路中方框内为同一电阻网络。

已知：U_S=10V，　I_1=5A，I_2=1A ，$\hat{U}_s = 10\text{V}$

求：$\hat{U}_1$ 。



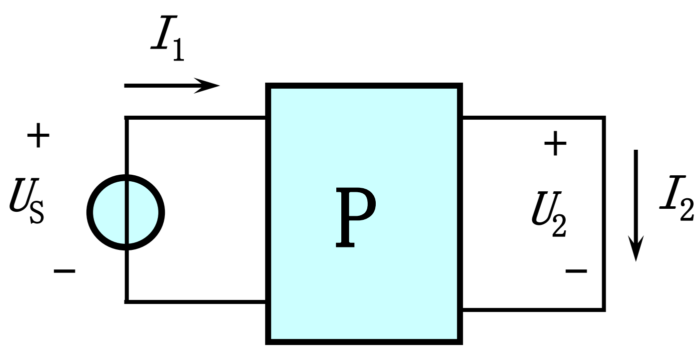
解　由特勒根定理

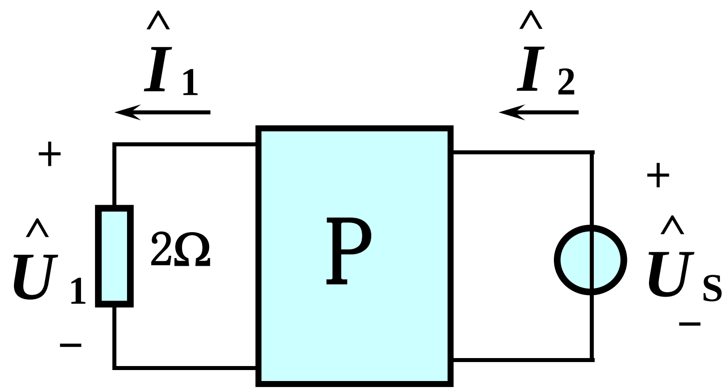
$$\begin{cases} U_S \hat{I}_1 + U_2(-\hat{I}_2) + \sum_{k=3}^{b} U_k \hat{I}_k = 0 \\ \hat{U}_1(-I_1) + \hat{U}_S I_2 + \sum_{k=3}^{b} \hat{U}_k I_k = 0 \\ \hat{U}_1 = 2\hat{I}_1 \end{cases}$$

例　图示两个电路中方框内为同一电阻网络。

已知：U_S=10V， I_1=5A，I_2=1A ， $\hat{U}_s=10\text{V}$

求：$\hat{U}_1$ 。





$$\sum_{k=3}^{b} U_k\hat{I}_k=\sum_{k=3}^{b} I_kR_k\hat{I}_k=\sum_{k=3}^{b} I_k\hat{U}_k=\sum_{k=3}^{b}\hat{U}_kI_k$$

得 $\boxed{U_S\hat{I}_1+U_2(-\hat{I}_2)=\hat{U}_1(-I_1)+\hat{U}_SI_2}$

$$U_S\times\frac{\hat{U}_1}{2}+0\times(-\hat{I}_2)=\hat{U}_1(-I_1)+\hat{U}_SI_2$$

非常重要！！！

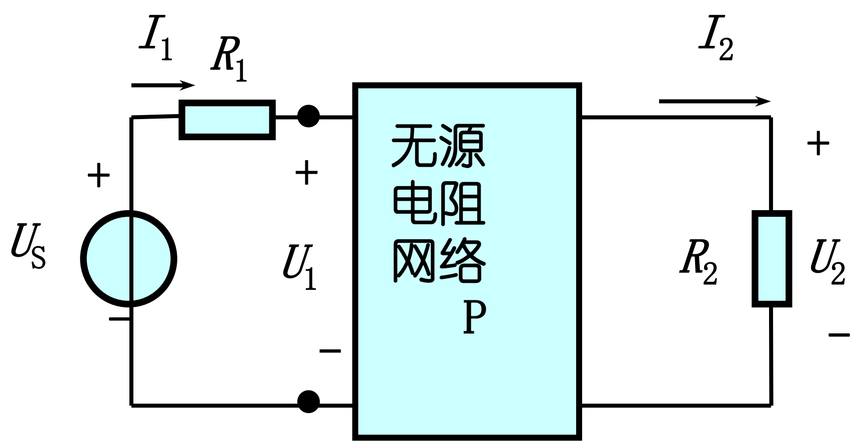
$$10\times\frac{\hat{U}_1}{2}+0=\hat{U}_1\times(-5)+10\times1 \qquad \hat{U}_1=1\text{V}$$

例　已知图中：

（1）当$R_1=R_2=2\Omega$, $U_S=8V$时，$I_1=2A$，$U_2=2V$。

（2）当$R_1=1.4\ \Omega$，$R_2=0.8\Omega$，$U_S'=9V$，$I_1'=3A$。

求U_2'。



$U_1=4V$，　$I_1=2A$，　$U_2=2V$，　$U_2/R_2=1A$

$$\hat{U}_1=4.8V,\ \hat{I}_1=3A,\ \hat{I}_2=\hat{U}_2/R_2=(5/4)\hat{U}_2$$

$U_1=4\text{V}$， $I_1=2\text{A}$， $U_2=2\text{V}$， $U_2/R_2=1\text{A}$

$$\hat{U}_1=4.8\text{V},\ \hat{I}_1=3\text{A},\ \hat{I}_2=\hat{U}_2/R_2=(5/4)\hat{U}_2$$

根据特勒根定理

$$U_1(-\hat{I}_1)+U_2\hat{I}_2+\sum_3^b U_k\hat{I}_k=0$$

$$\sum_{k=3}^b U_k\hat{I}_k=\sum_{k=3}^b \hat{U}_k I_k$$

$$\hat{U}_1(-I_1)+\hat{U}_2I_2+\sum_3^b \hat{U}_kI_k=0$$

$$U_1(-\hat{I}_1)+U_2\hat{I}_2=\hat{U}_1(-I_1)+\hat{U}_2I_2$$

$$-4\times3+2\times1.25\hat{U}_2=-4.8\times2+\hat{U}_2\times1$$

$$\hat{U}_2=2.4/1.5=1.6\text{V}$$

思考：
能否将R1合并到网络P中？

2. 互易定理 Reciprocity theorem

互易定理的表述：

对一个仅含电阻的二端口电路 ，其中一个端口加激励源，一个端口作响应端口，在只有一个激励源的情况下，当激励与响应互换位置时，同一激励所产生的响应相同。

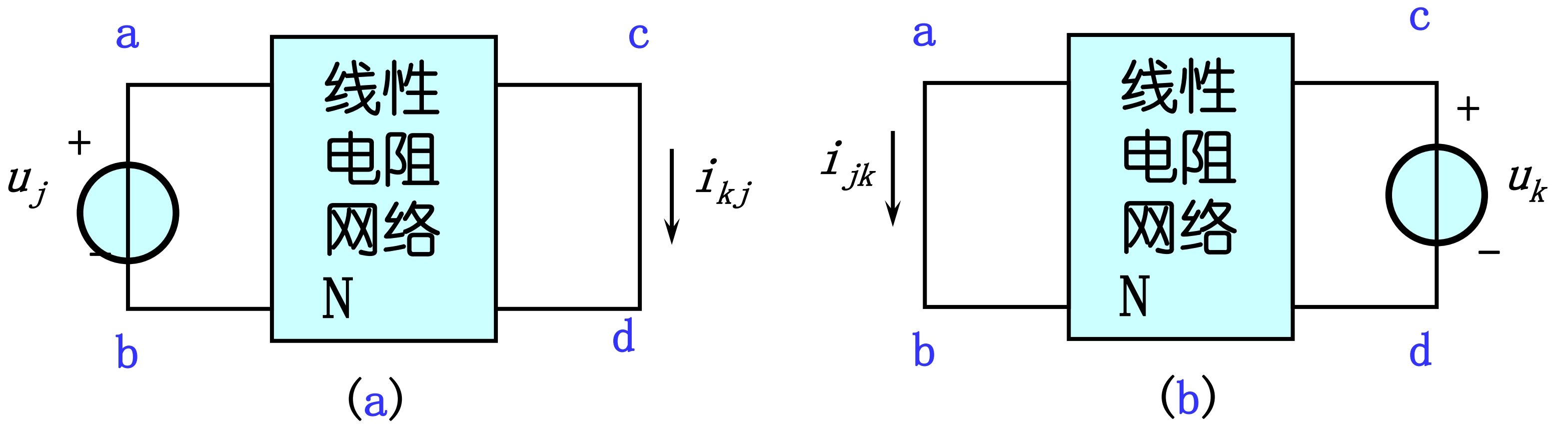
互易定理是对一类特殊网络的总结，其证明可由特勒根定理直接得到。

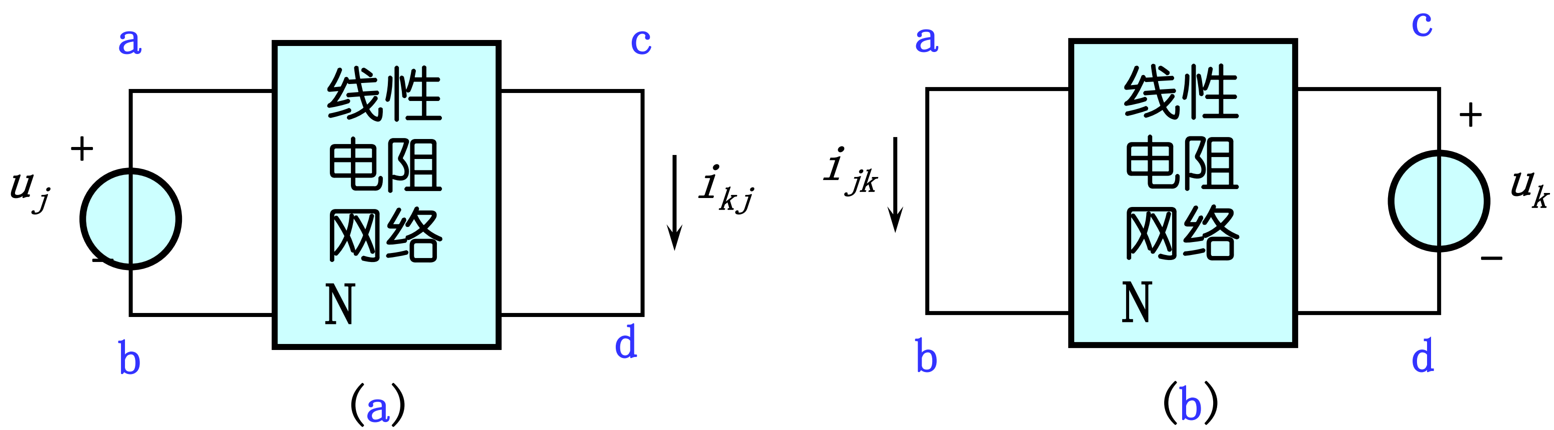
2. 互易定理　Reciprocity theorem

第一种形式：

激励（*excitation*）为电压源，响应（*response*）为电流。

给定任一仅由线性电阻构成的网络（见下图），设支路 j 中有电压源u_j，其在支路k中产生的电流为i_{kj}（图a）；若支路k中有电压源u_k，其在支路j中产生的电流为i_{jk}（图b）。





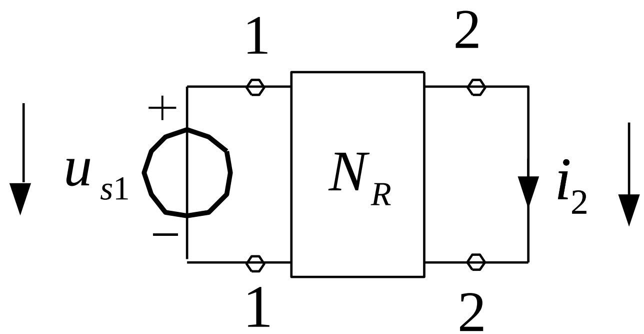
则两个支路中电压电流有如下关系：

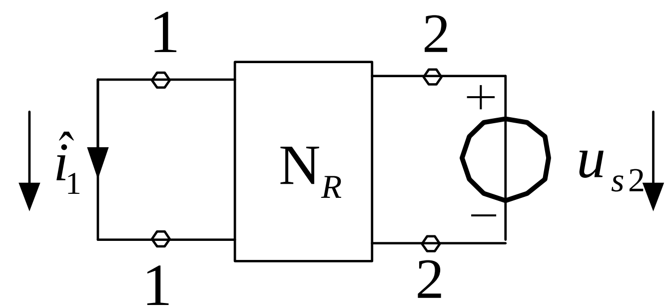
$$\frac{i_{kj}}{u_j} = \frac{i_{jk}}{u_k} \quad \text{或} \quad u_k i_{kj} = u_j i_{jk}$$

当 $u_k = u_j$ 时，$i_{kj} = i_{jk}$。

2. 互易定理 Reciprocity theorem

第一种形式的证明





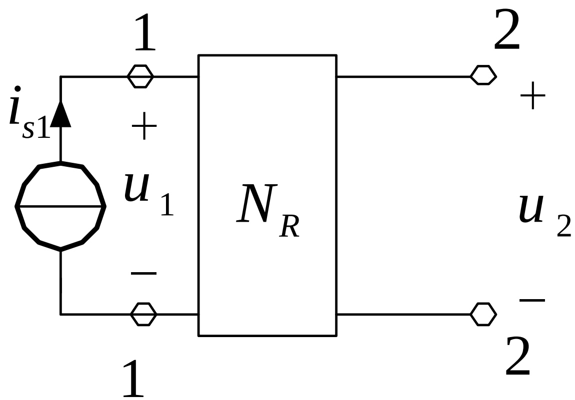
N_R——Consists of linear resistors only—— reciprocity network

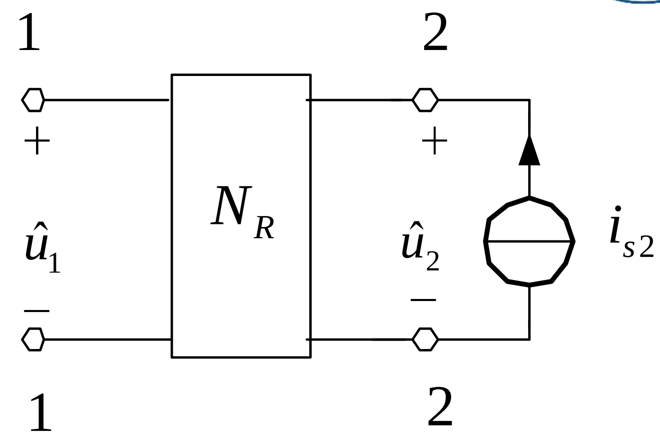
$$\left.\begin{aligned} u_{s1}\hat{i}_1 + 0 + \sum_{k=3}^{b} u_k \hat{i}_k = 0 \\ 0 + u_{s2} i_2 + \sum_{k=3}^{b} \hat{u}_k i_k = 0 \end{aligned}\right\}$$

$$\hat{u}_k i_k = R_k \hat{i}_k i_k = u_k \hat{i}_k \longrightarrow \boxed{\frac{u_{s1}}{i_2} = \frac{u_{s2}}{\hat{i}_1}}$$

两电路的激励与响应之比相等

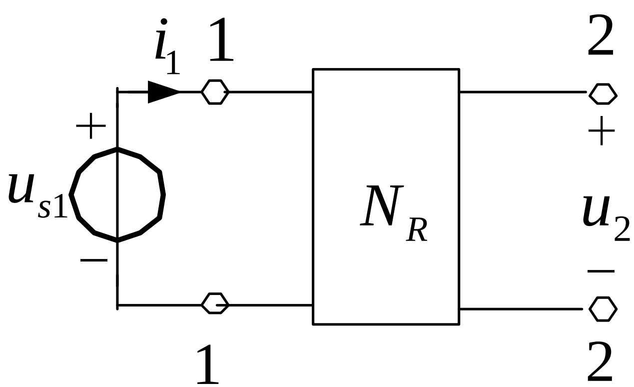
第二种形式： 激励是电流源，响应是电压。

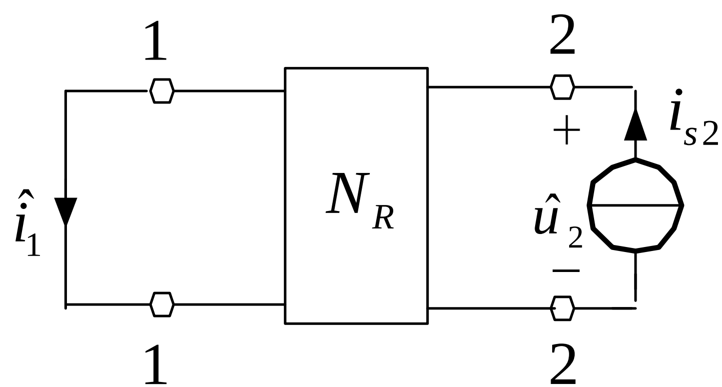




$$\frac{i_{s1}}{u_2}=\frac{i_{s2}}{\hat{u}_1}$$

第三种形式：电路1激励是电压源，响应是电压；电路2激励是电流源，响应是电流





$$\frac{u_{s1}}{u_2}=\frac{i_{s2}}{\hat{i}_1}$$

应用互易定理时应注意：

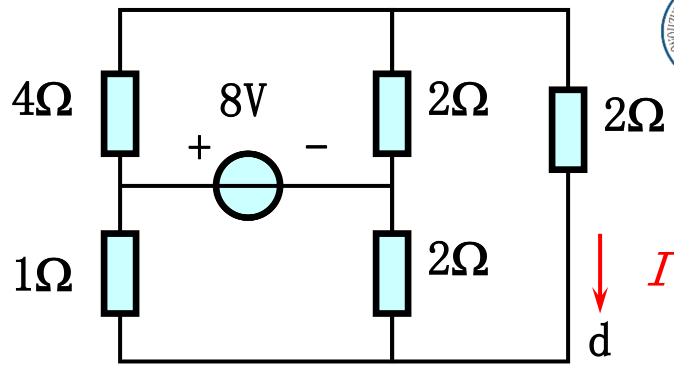
I. 互易前后应保持网络的拓扑结构不变，仅理想电源搬移；

II. 互易前后端口处的激励和响应的极性保持一致（要么都关联，要么都非关联)；

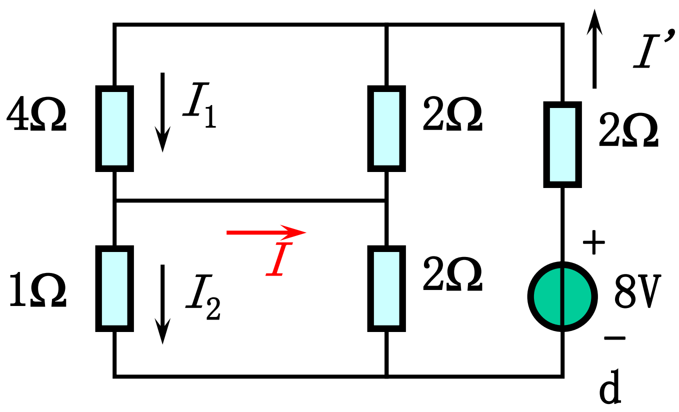
III. 互易定理只适用于纯电阻网络在单一电源激励下，端口两个支路电压电流关系；

IV. 含有受控源的网络，互易定理一般不成立。

例　电路如图所示，求电流I。



解　利用互易定理，可得下图



$$I' = \frac{8}{2+4/\!/2+1/\!/2} = \frac{8}{4} = 2\text{A}$$

$I_1 = I' \times 2/(4+2) = 2/3\text{A}$

$I_2 = I' \times 2/(1+2) = 4/3\text{A}$

$I = I_1 - I_2 = -0.667\text{A}$

作业

- 4.3节：4-10
- 4.4节：4-17
- 4.5节：4-25
- 4.6节：4-33
- 4.7节：4-37
- 综合：4-45