浙江理工大學
ZHEJIANG SCI-TECH UNIVERSITY

电路分析基础总复习

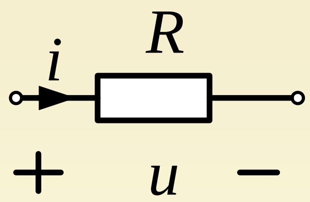
复习重点:

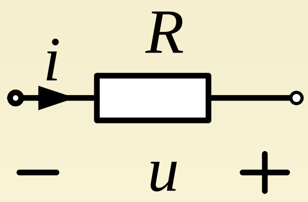
1. KCL和KVL的应用

- 电流和电压的参考方向
- 欧姆定律
- KCL和KVL

电流的参考方向是任意指定的，一般用箭头在电路图中标出，也可以用双下标表示；如i_{ab}表示电流的参考方向是由a到b。电压的参考极性为假设的电压“+”极和“-”极。

若选取电流i的参考方向从电压u的“+”极经过元件A本身流向“-”极，则称电压u与电流i对该元件取关联参考方向。否则，称u与i对A是非关联的。





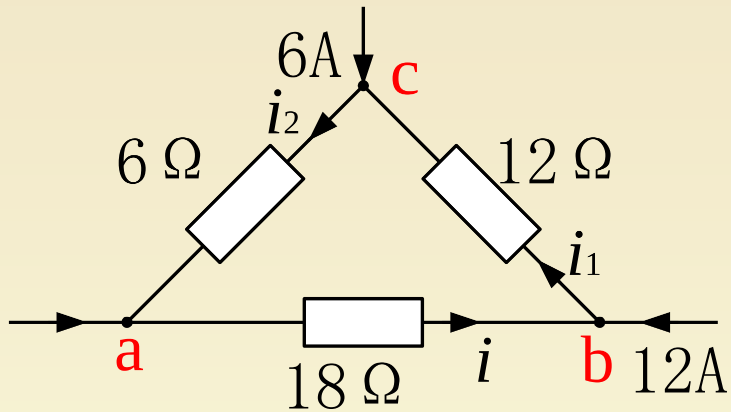
u与i关联时：

$$u(t) = R\,i(t)$$

u与i非关联时：

$$u(t) = -R\,i(t)$$

例 如图所示部分电路，求电流i和18 Ω 电阻消耗的功率。



解：在b点列KCL有 $i_1 = i + 12$，

在c点列KCL有 $i_2 = i_1 + 6 = i + 18$ ，

在回路abc中，由KVL和OL有

$$18i + 12i_1 + 6i_2 = 0$$

即 $18\,i + 12(i + 12) + 6(i + 18\,) = 0$

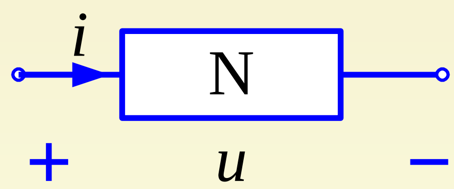
解得 $i = -7(\mathrm{A})$ ， $P_R = i^2 \times 18 = 882(\mathrm{W})$

2. 吸收功率和产生功率

功率与电压*u*、电流*i*的关系

如图(a)所示电路N的*u*和*i*取关联方向，故电路消耗的功率为

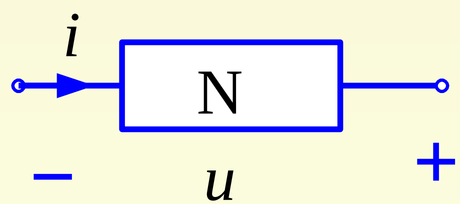
$$\boxed{p(t) = u(t)\, i(t)}$$



(a)

对于图(b)，由于对N而言*u*和*i*非关联，则N消耗的功率为

$$\boxed{p(t) = -\ u(t)\, i(t)}$$



(b)

功率的计算

利用前面两式计算电路N消耗的功率时，

①若p>0，则表示电路N确实消耗（吸收）功率；

②若p<0，则表示电路N吸收的功率为负值，实质上它将产生（提供或发出）功率。

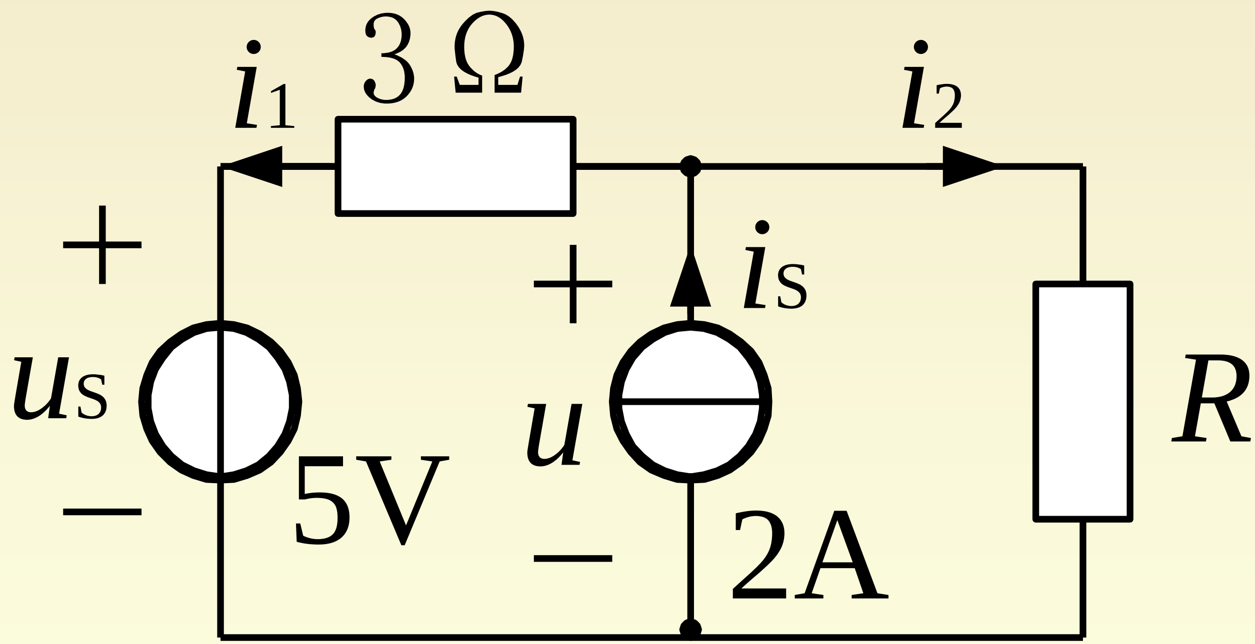
由此容易得出，当电路N的*u*和*i*关联（如图a），N产生功率的公式为

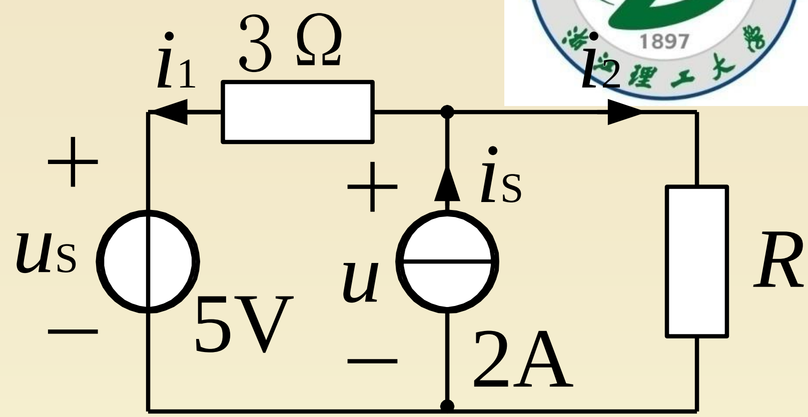
$$\boxed{p(t) = -\ u(t)\ i(t)}$$

当电路N的*u*和*i*非关联（如图b），则N产生功率的公式为

$$\boxed{p(t) = u(t)\ i(t)}$$

例1 如图电路，已知i_2 =1A，试求电流i_1、电压u、电阻R和两电源产生的功率。





解： 由KCL $i_1 = i_S - i_2 = 1\text{A}$

故电压 $u = 3\,i_1 + u_S$

$= 3+5 = 8(\text{V})$

电阻 $R = u\,/\,i_2 = 8/1 = 8\,\Omega$

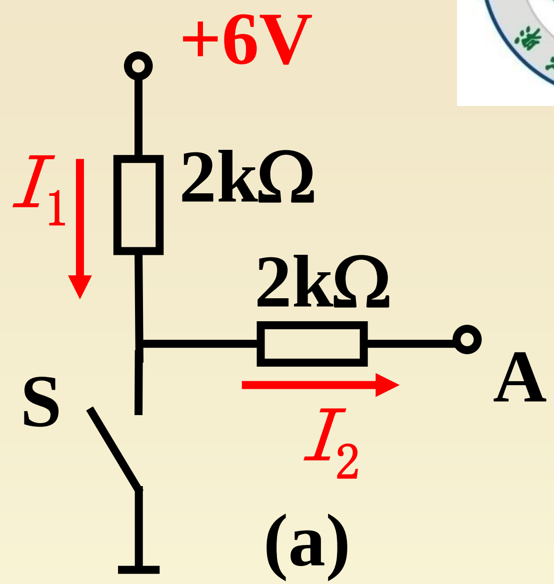
i_s产生的功率 $P_1 = u\,i_S$

$= 8\times 2 = 16\ (\text{W})$

u_S产生的功率 $P_2 = -\,u\,i_1$

$= -5 \times 1 = -5\ (W)$

例1: 图示电路，计算开关S 断开和闭合时A点的电位V_A



解: (1)当开关S断开时

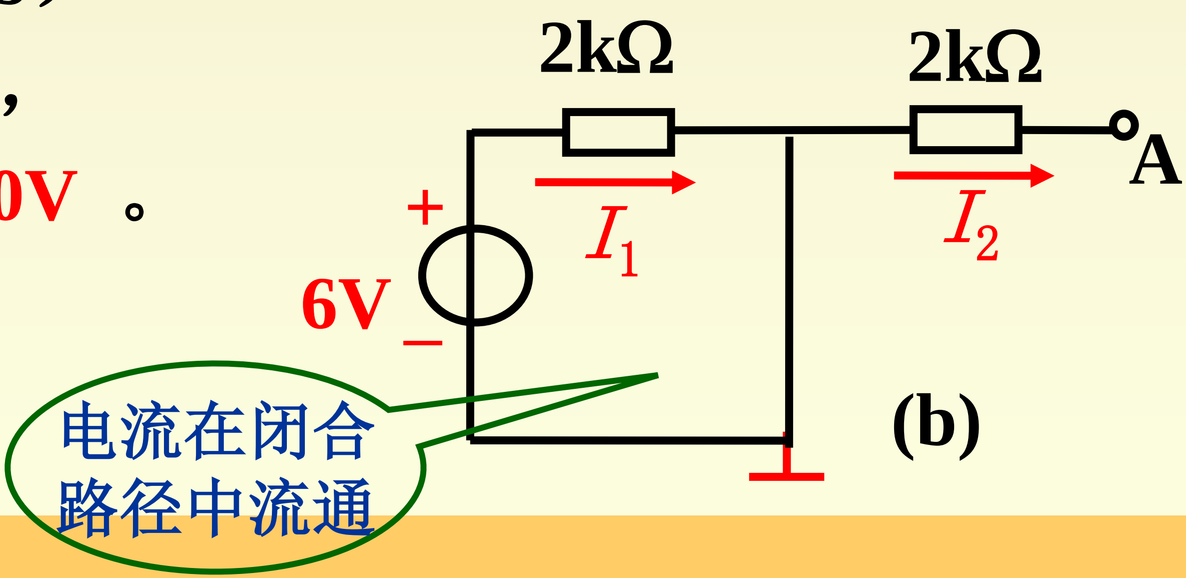
电流 $I_1 = I_2 = 0$,

电位 $V_A = 6V$ 。

(2) 当开关闭合时, 电路如图（b）

电流 $I_2 = 0$,

电位 $V_A = 0V$ 。



4. 网孔方程和节点方程

由电路直接列写网孔方程的规律总结

$R_{ii}(i=\mathrm{I,II,III})$称为回路$i$的自电阻=第$i$个网孔所有电阻之和，恒取正;

R_{ij}称为网孔i与网孔j的互电阻=网孔i与网孔j共有支路上所有公共电阻的代数和；若流过公共电阻上的两网孔电流方向相同，则前取“+”号；方向相反，取“–”号。

$(\sum U_S)_i$称为网孔i的等效电压源=网孔i中所有电压源电压升的代数和。即，当网孔电流从电压源的“ + ”端流出时，该电压源前取“ + ”号；否则取“ – ”。

回路（网孔）法步骤归纳如下：

（1）选定一组(b-n+1)个独立回路（网孔），并标出各回路电流的参考方向。

（2）以网孔电流的方向为回路的巡行方向，按照前面的规律列出各网孔电流方程。自电阻始终取正值，互电阻前的符号由通过互电阻上的两个回路电流的流向而定，两个回路电流的流向相同，取正；否则取负。等效电压源是电源电压升的代数和，注意电压源前的符号。

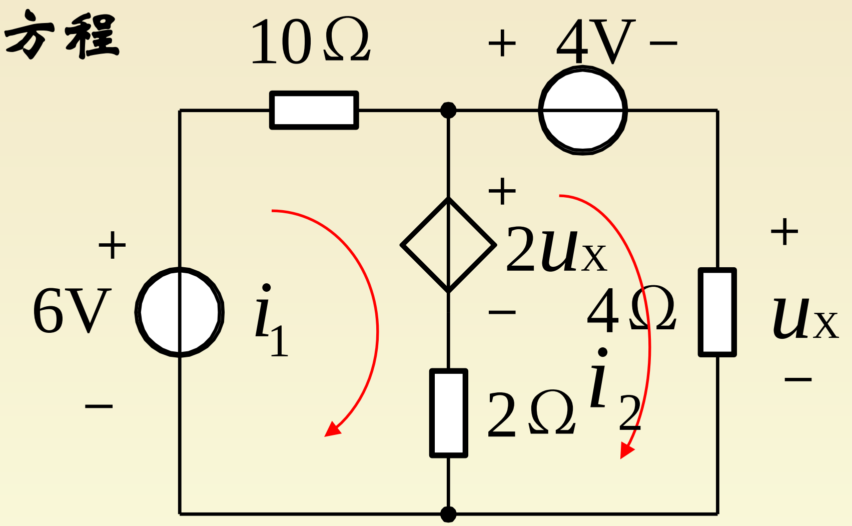
（3）联立求解，解出各网孔电流。

（4）根据网孔电流再求其它待求量。

受控源的处理方法 ★★★

例1 如图电路，求6V电压源产生功率。

解：设网孔电流 i_1，i_2 列方程



题18图

$$\begin{cases} 12i_1 - 2i_2 = 6 - 2u_x \\ -2i_1 + 6i_2 = -4 + 2u_x \end{cases}$$

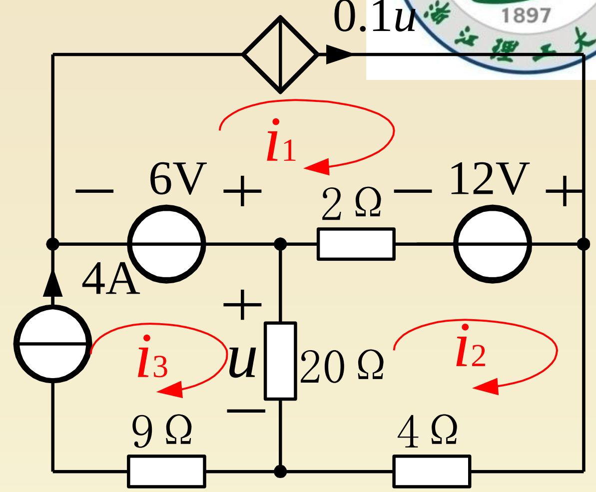
补方程： $4i_2 = u_x$

解得： $i_1 = -1A \quad u_x = 12V$

$$p_{产} = 6i_1 = 6\times(-1) = -6W$$

浙江理工大学 ZHEJIANG SCI-TECH UNIVERSITY

例2 如图电路，用网孔法求电压u。



解： 本例中含受控源(VCCS)，处理方法是：先将受控源看成独立电源。这样，该电路就有两个电流源，并且流经其上的网孔电流均只有一个；故该电流源所在网孔电流已知，就不必再列它们的网孔方程了。如图中所标网孔电流，可知：

$$i_1 = 0.1u, \quad i_3 = 4$$

对网孔2列方程为

$$26i_2 - 2i_1 - 20i_3 = 12$$

上述一些方程中会出现受控源的控制变量*u*，用网孔电流表示该控制变量，有

$$u = 20(i_3 - i_2)$$

解得 $i_2 = 3.6\ (\text{A})$，$u = 8\ (\text{V})$。

由电路直接列写节点方程的规律总结

G_{ii}(i =1,2,3)称为节点i的自电导=与节点 i相连的所有支路的电导之和，恒取“+”；

G_{ij}称为节点i与节点j的互电导=节点 i与节点 j之间共有支路电导之和；恒取“–”。

$(\sum I_S)_i$ 称为节点i的等效电流源＝流入节点 i的所有电流源电流的代数和。即，电流源电流流入该节点时取 “＋”；流出时取“－”。

节点法步骤归纳如下：

（1）指定电路中某一节点为参考点，并标出各独立节点的电压。

（2）按照规律列出节点电压方程。 自电导恒取正值，互电导恒为负。

（3）联立求解，解出各节点电压。

（4）根据节点电压再求其它待求量。

受控源的处理方法

例 如图(a)电路，用节点法求电流i_1和i_2。

解： 本例中含受控源(CCCS)，处理方法是：先将受控源看成独立电源。将有伴电压源转换为电流源与电阻的并联形式，如图(b)所示。

设独立节点电压为u_a和u_b，则可列出节点方程组为：

$$(1+1)\,u_a - u_b = 9 + 1 + 2\,i_1$$

$$(1+0.5)\,u_b - u_a = -2\,i_1$$

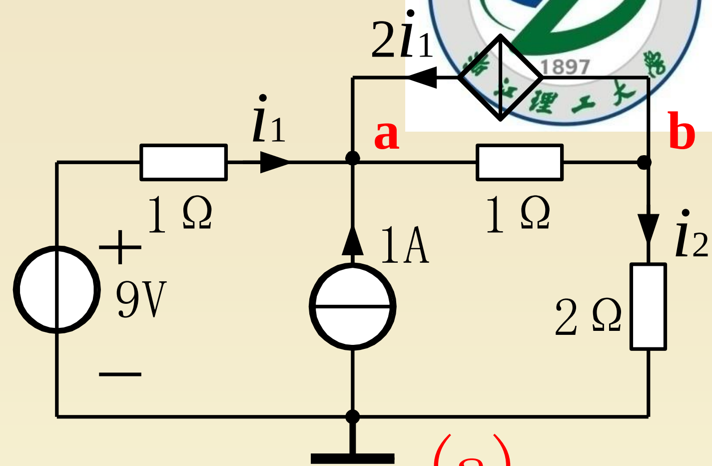
再将控制量用节点电压表示，即

$$i_1 = 9 - u_a/1$$

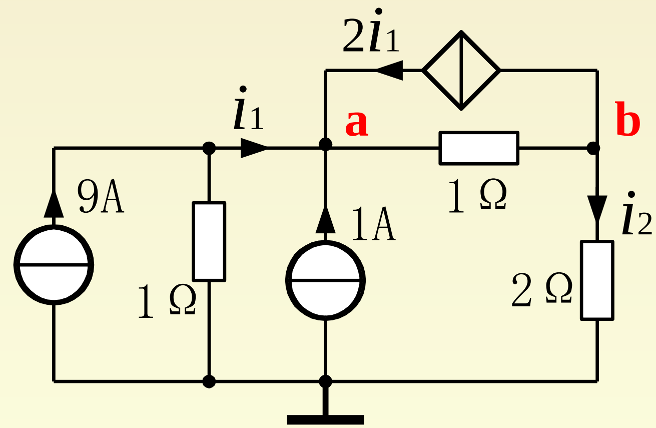
解得：

$$u_a = 8\text{V},\ u_b = 4\text{V},\ i_1 = 1\text{A}$$

$$i_2 = u_b/2 = 2(\text{A})$$



(a)



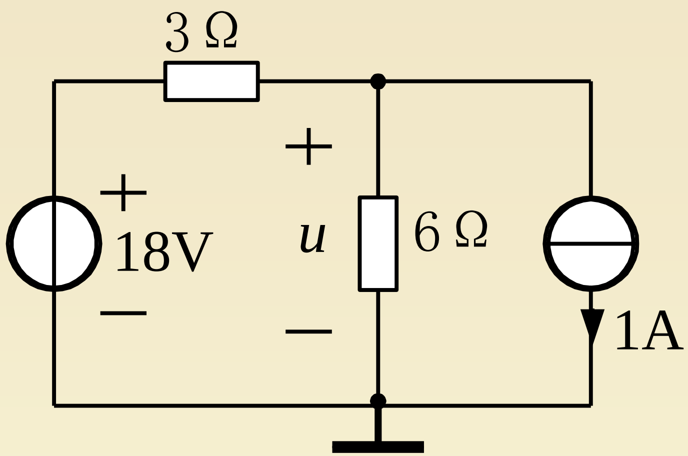
(b)

小结：对受控源首先将它看成独立电源；列方程后，对每个受控源再补一个方程将其控制量用节点电压表示。

5. 叠加原理的应用

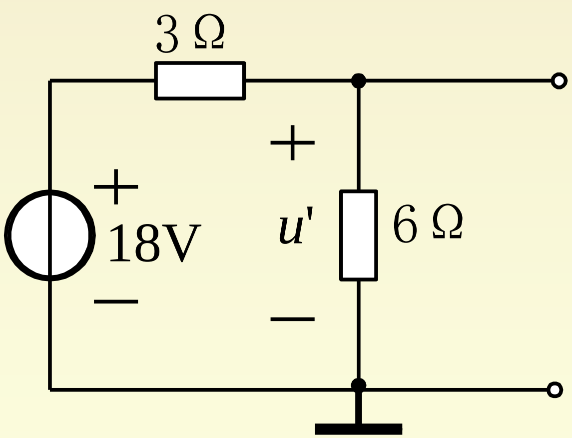
对于具有唯一解的线性电路，多个激励源共同作用时引起的响应（电路中各处的电流、电压）等于各个激励源单独作用时（<u>其它激励源的值置零</u>）所引起的响应之和。

2、说明：

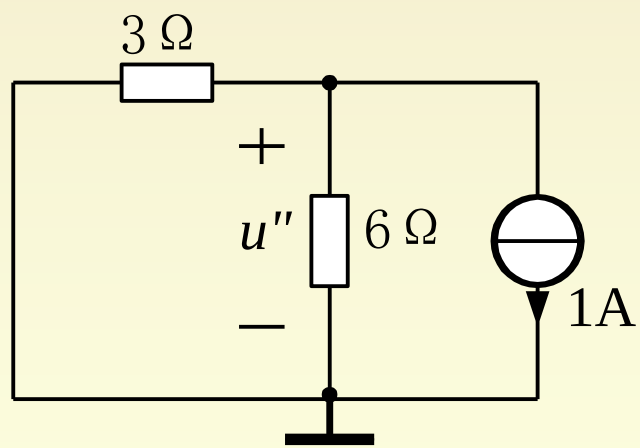


求6Ω电阻上的电压u

(a)两激励源共同作用时

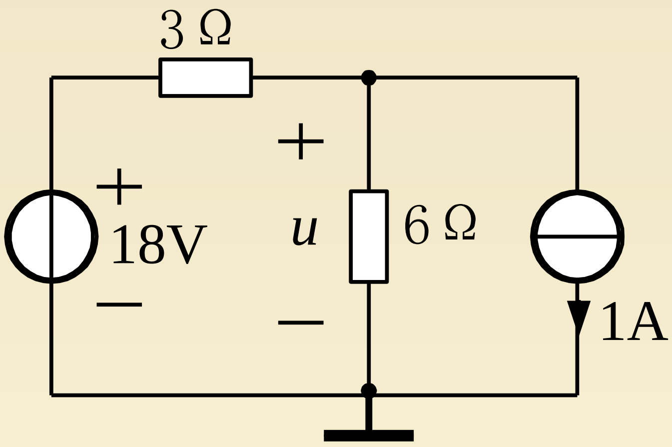


(b)电压源单独作用时



(c)电流源单独作用时

$$u = u' + u''$$



(a) 两激励源共同作用时

先对电路(a)，利用节点法列方程得

$$\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{6}\right)u=\frac{18}{3}-1$$

解得 $\boldsymbol{u = 10(V)}$

再对电路(a)利用网孔法列方程得

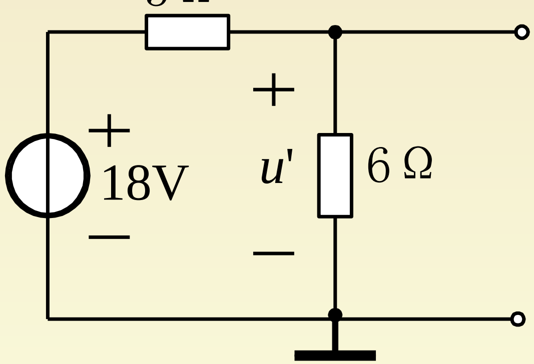
$$(3+6)i_1-6\times 1=18$$

解得: $\boldsymbol{i_1 = 8/3\ (A)}$

$$u=6\times(8/3-1)=10(V)$$

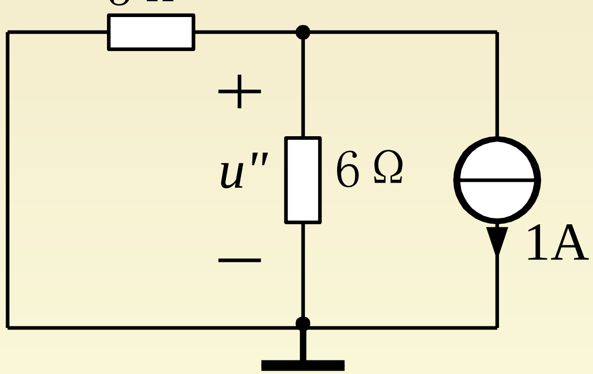
使用叠加原理求*u*

当电压源单独作用时，电流源置零，既电流源开路，如图 (b) 。



(b) 电压源单独作用时

当电流源单独作用时，电压源置零，即电压源短路，如图 (c) 。



(c) 电流源单独作用时

由分压公式得

$u' = 12(V)$

可得

$u'' = -2(V)$

可见，$u = u' + u'' = 10(V)$

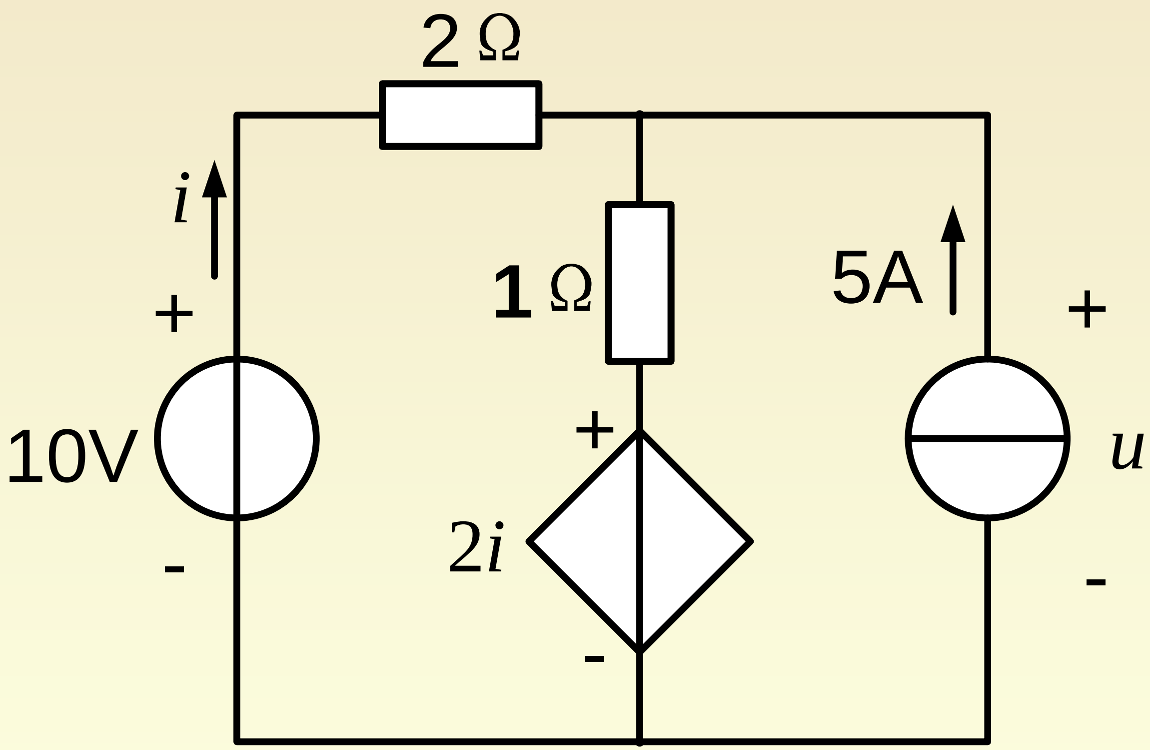
浙江理工大学 ZHEJIANG SCI-TECH UNIVERSITY

使用叠加定理时应注意：

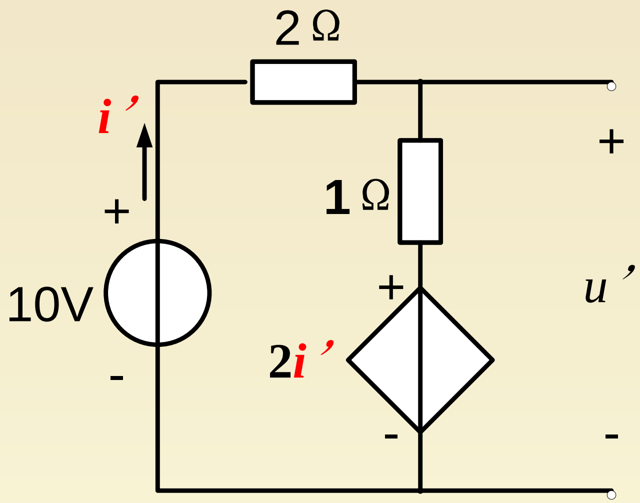
（1）叠加定理仅适用于线性电路求解电压和电流响应，而不能用来计算功率。

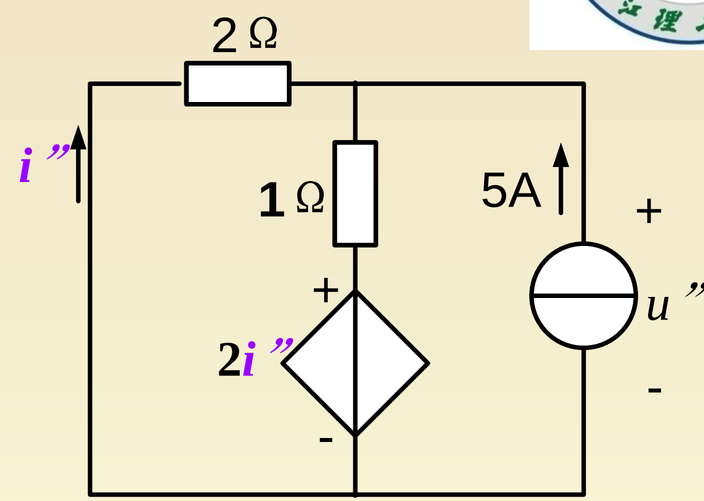
（2）当一独立源单独作用时，其它独立源的值都应等于零；（即，其它独立电压源短路，独立电流源开路），而电路的结构和所有电阻和受控源均应保留。*注意：受控源保留。*

例：电路如图所示，求电流 ***i*** ,电压 ***u***。



解：运用叠加定理





$$i' = (10 - 2i')/(2+1)$$

$$u' = 1 \times i' + 2i' = 3i'$$

$$i' = 2A \quad u' = 3i' = 6V$$

$$2i'' + 1 \times (5 + i'') + 2i'' = 0$$

$$i'' = -1A \quad u'' = -2 \times i'' = 2V$$

$$i = i' + i'' = 2 + (-1) = 1A \qquad u = u' + u'' = 6 + 2 = 8V$$

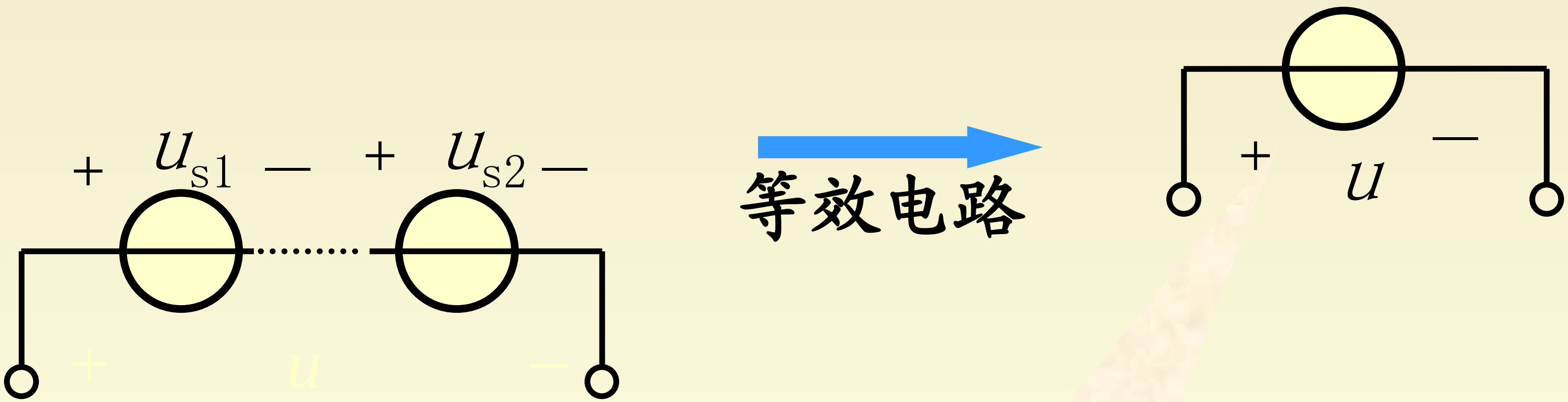
6. 等效变换法

电路等效的一般定义：如果一个二端网络（对外有两个端钮的网络）和另一个二端网络的伏安关系完全相同，则这两个二端网络对任意的外电路来说是等效的 .

在计算中可把一个复杂的二端网络用简单的二端网络代替，从而简化计算过程。

理想电压源串联

若几个理想电压源串联，对外可等效成一个理想电压源，其电压等于相串联理想电压源端电压的代数和。

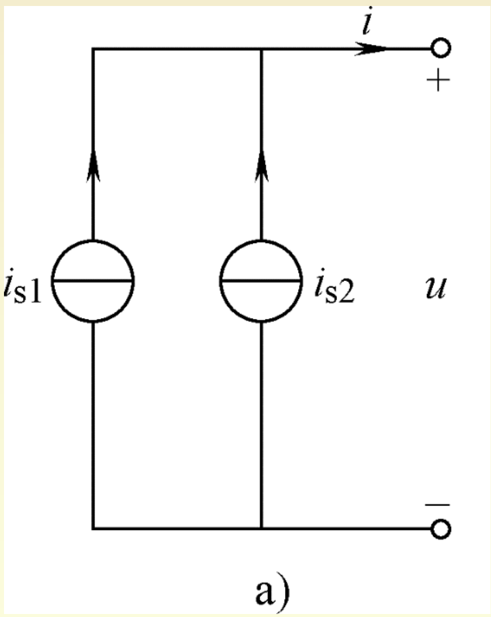


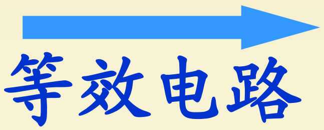
$$u = u_{s1} + u_{s2}$$

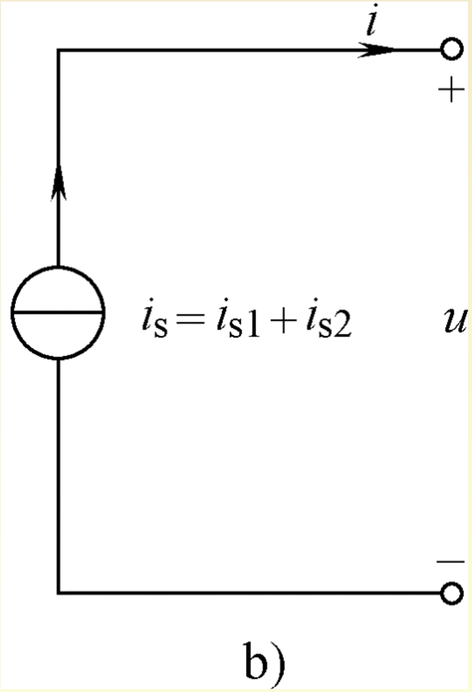
注意参考方向

理想电流源并联

若几个理想电流源并联可等效成一个理想电流源，其等效源的输出电流等于相并联理想电流源输出电流的代数和。



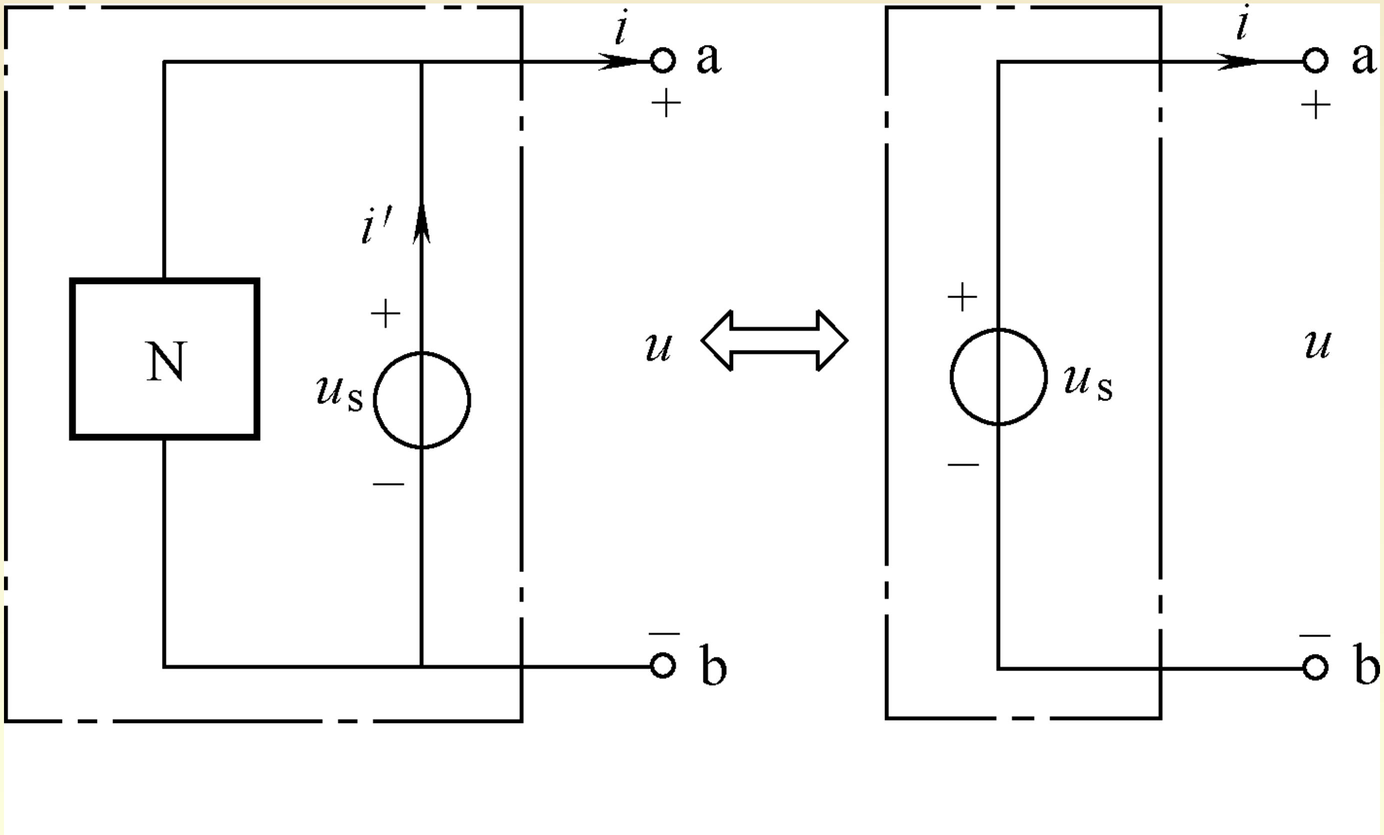




$$i_s = i_{s1} + i_{s2}$$

任意二端网络与理想电压源并联

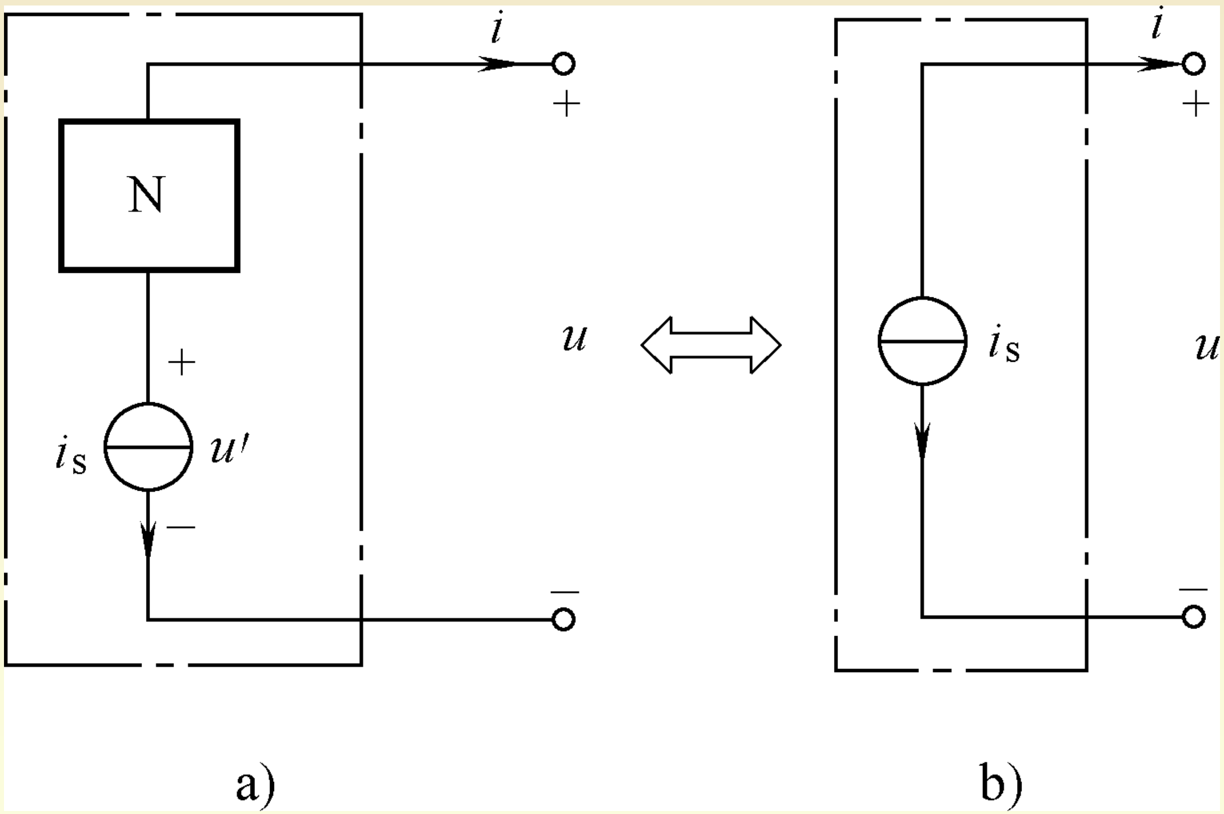
任意二端网络与理想电压源并联对外等效为此此理想电压源．



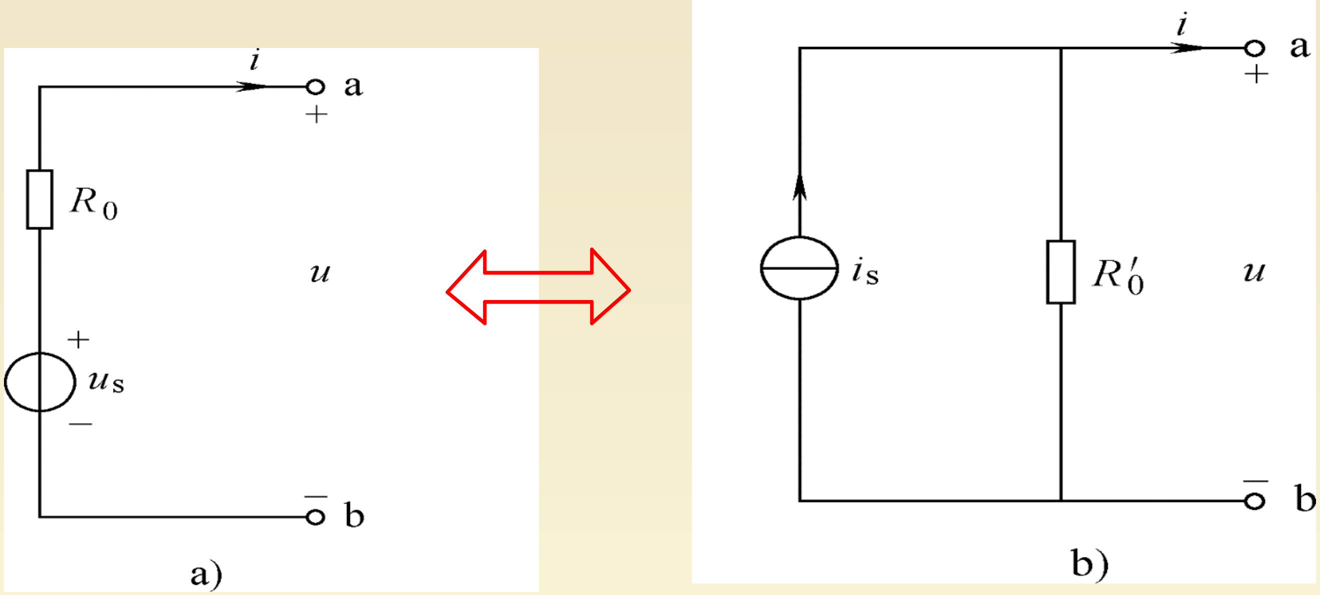
a)　　　　b)

任意二端网络与理想电流源串联

任意二端网络与理想电流源串联对外均可将其等效为此理想电流源



实际电压源、电流源模型的等效互换



图a　$u = u_s - R_0 i$

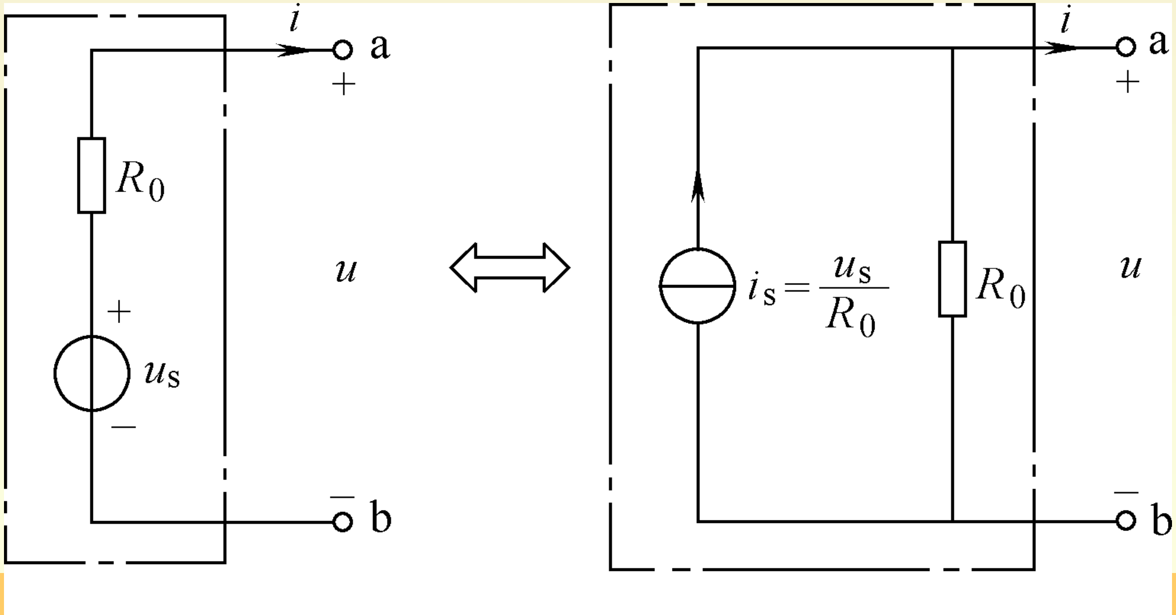
图b　$u = R_0' i_s - R_0' i$

如果要让实际电压源、实际电流源等效应满足

$$R_0 = R_0' \qquad u_s = R_0 i_s$$

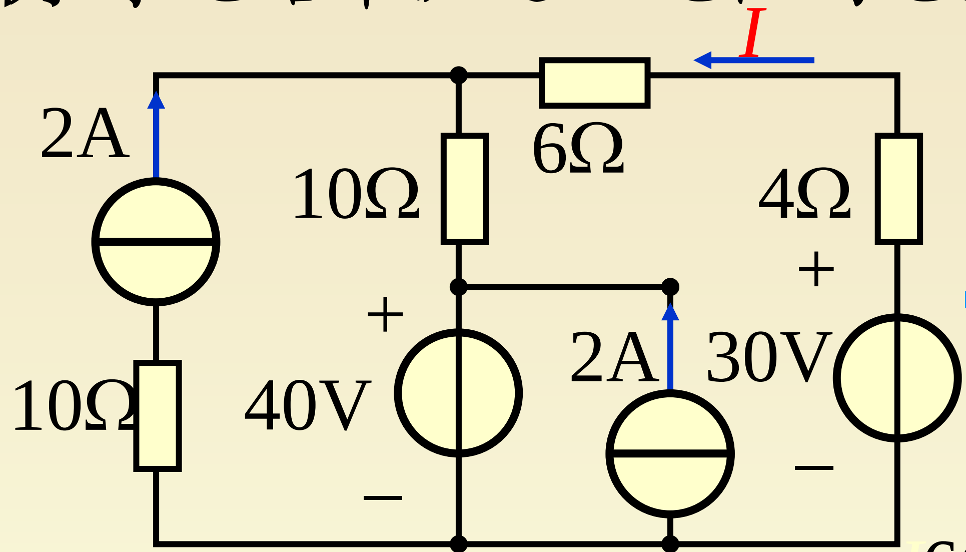
注意

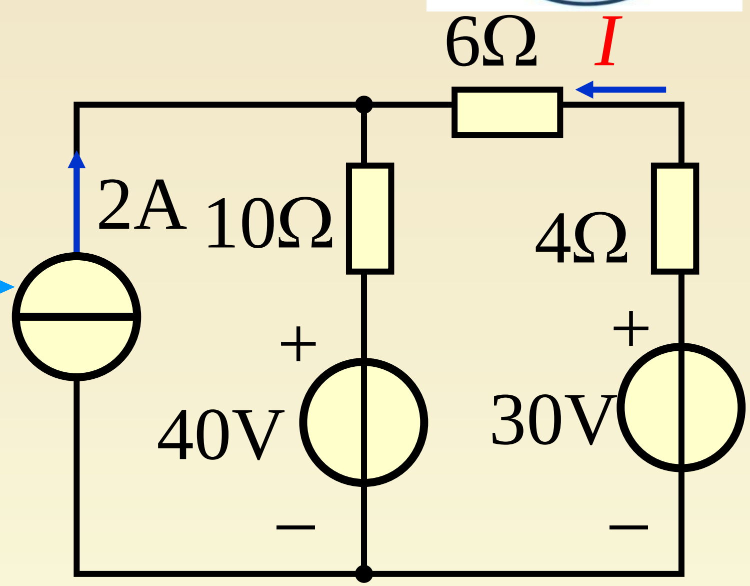
- （1）这种等效并不局限于电源模型，可以这样总结：电压为U_S的理想电压源和电阻R_0串联都可以等效为电流为U_S/R_0的理想电流源和这个电阻并联。
- （2）电压源和电流源的等效是对外电路而言的，或是对电源输出电流、端电压的等效，对电源内部讲是不等效的。
- （3）理想电压源和理想电流源之间不能等效。
- （4）等效互换时要特别注意理想电压源的极性和理想电流源的电流方向。

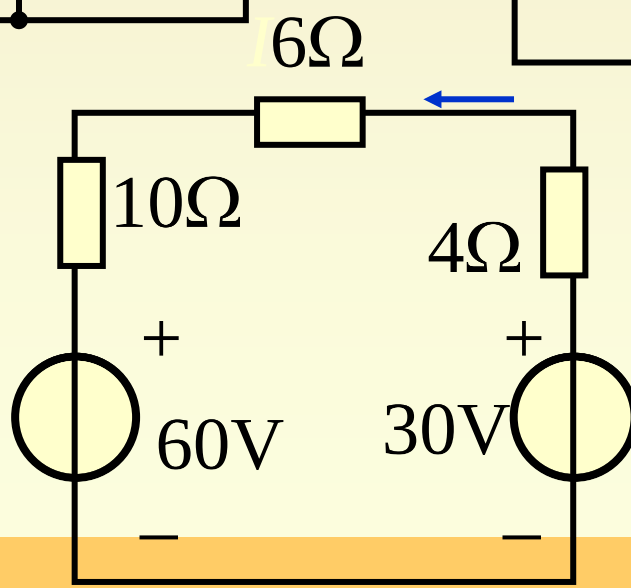


a)　　b)

例 求电路中流过6Ω电阻的电流

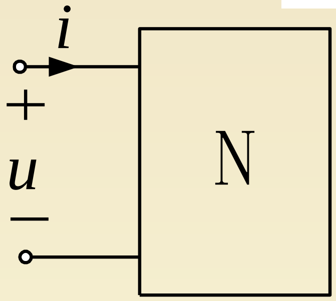






$$I = \frac{30-60}{20} = -1.5\text{A}$$

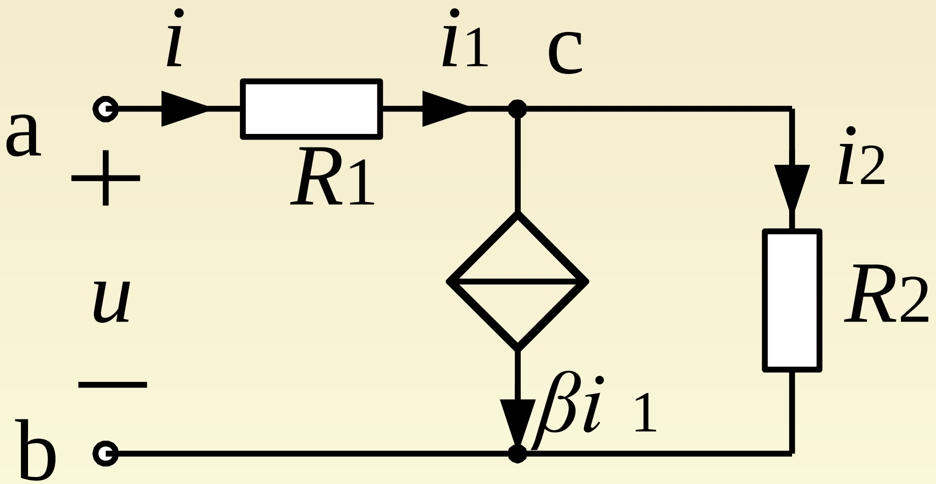
7. 单口网络等效电阻的求解



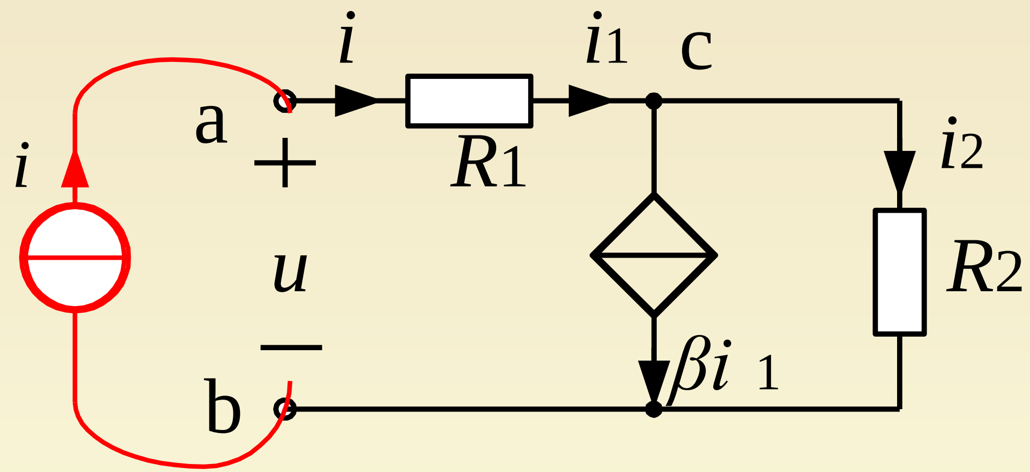
若N中除电阻外，还包括受控源，常用端口加电源的办法（称为**外施电源法**）来求等效电阻：加电压源u，求电流i；或加电流源i，求电压u(注意：必须设其端口电压u与电流 i为关联参考方向)，则定义电路N的等效电阻为

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

例 求图示电路ab端的等效电阻R_{ab}。



解　端口外施电流源i求端口的伏安特性。



在c点，根据KCL，有 $i_2 = i_1 - \beta i_1$

由于 $i = i_1$，故 $i_2 =$（$1-\beta$）i

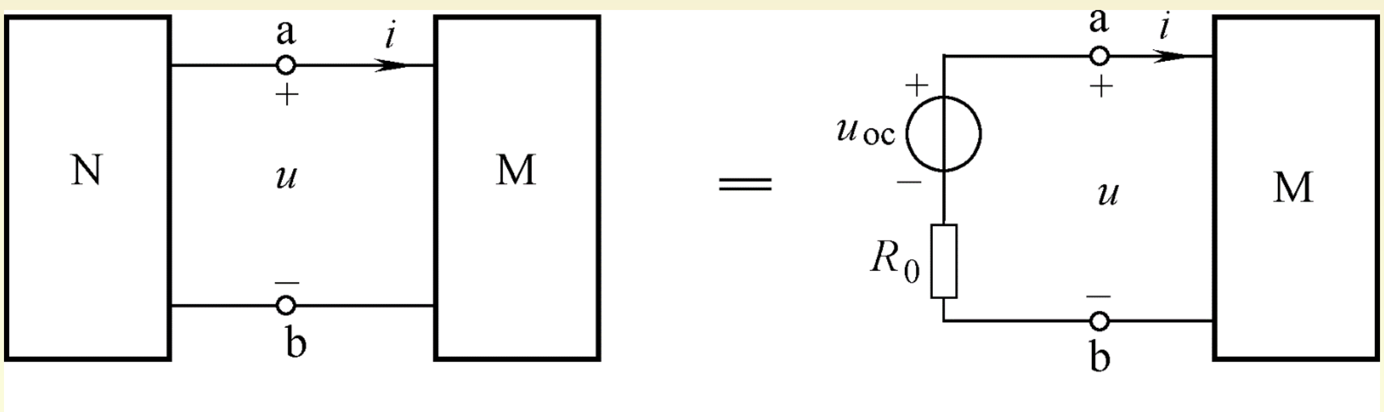
由KVL，有

$$u = R_1 i_1 + R_2 i_2 = R_1 i + R_2(1-\beta)i = [R_1 + R_2(1-\beta)]\, i$$

故 $R_{ab} = u/i = R_1 + R_2(1-\beta)$

8.戴维南定理、最大功率传输

定理内容：线性有源二端网络N，就其端口来看可等效为一个理想电压源串联电阻支路，理想电压源的电压等于网络N的开路电压u_{oc}。串联电阻R_0（戴维南等效电阻）等于网络中所有独立源为零时所得网络N_0的等效电阻R_{ab}。

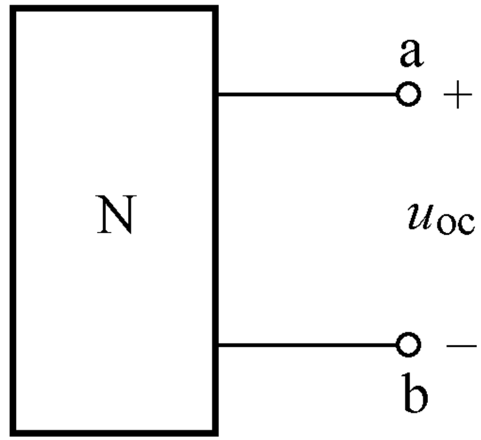


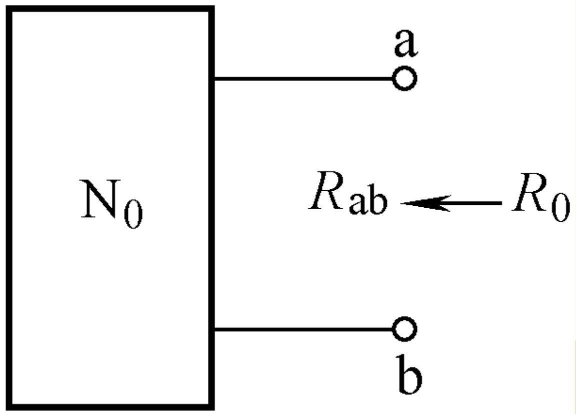
应用戴维宁定理求解电路的解题步骤

（1）求网络N的开路电压u_{oc}。计算方法视具体电路而定。前面讲过的串并联等效、分流分压关系、电源的等效变换、叠加定理、节点法等都可用。

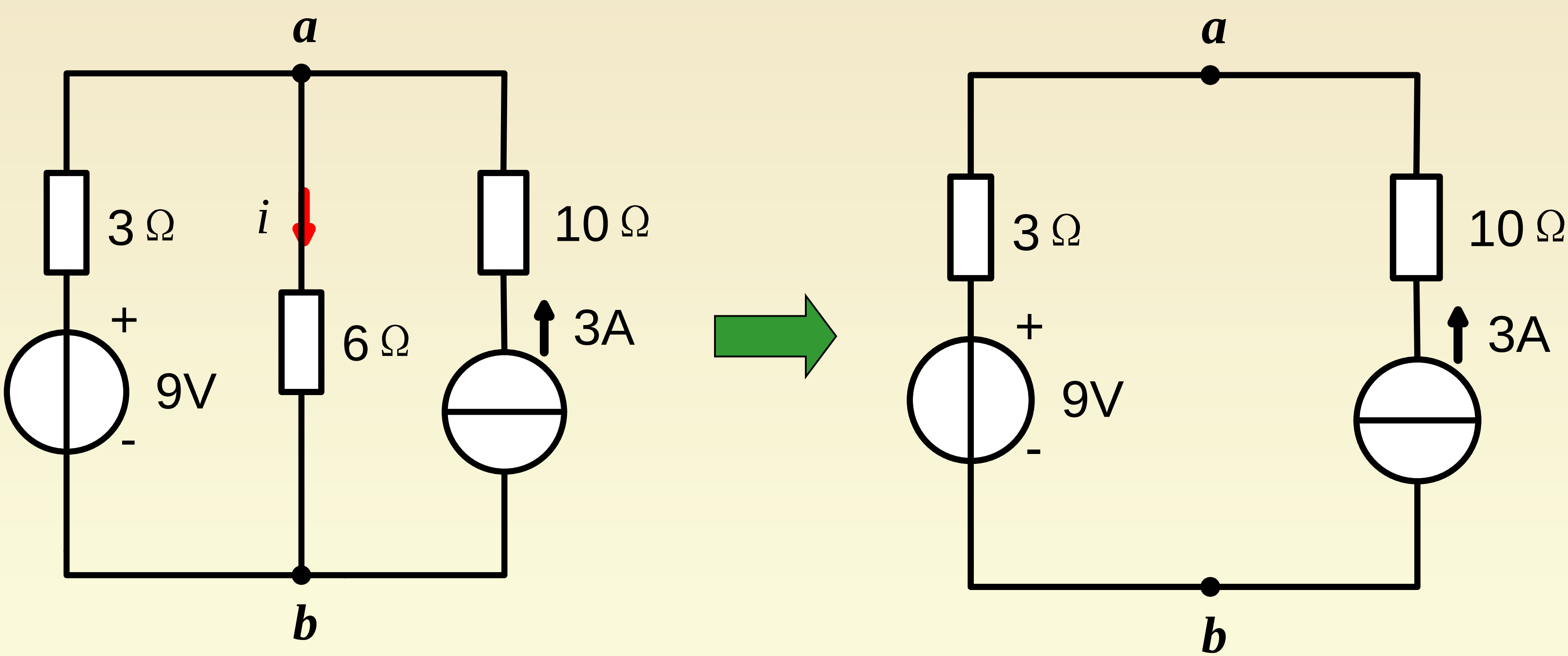
（2）求R_0：断开待求支路，剩余的二端网络中所有独立源置零（电压源短路、电流源开路），求此无源网络端钮a、b之间的等效电阻。求戴维宁等效电阻的方法有电阻串并联等效法、开路电压短路电流法、外加电源法，如果二端网络中不含受控源，通常采用电阻串并联等效法。

（3）画等效电路，求解待求量。



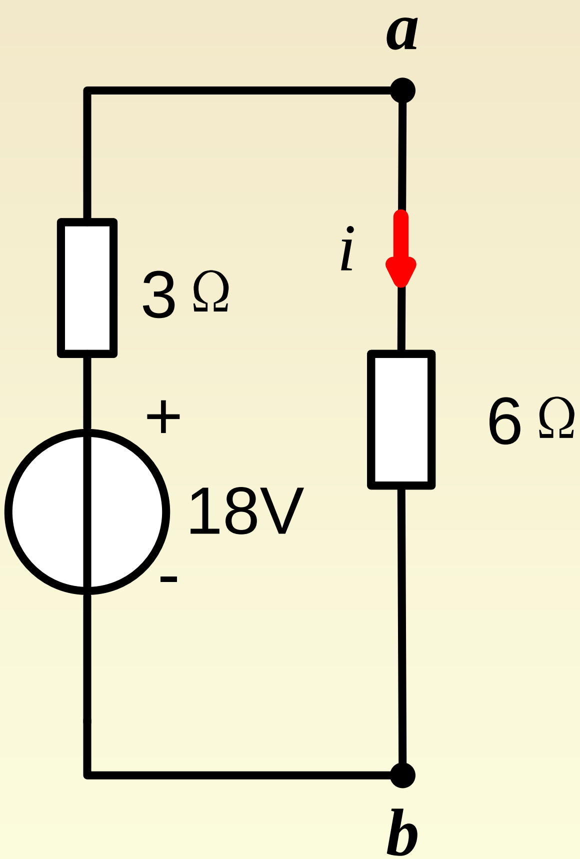


例. 已知电路如图，求i



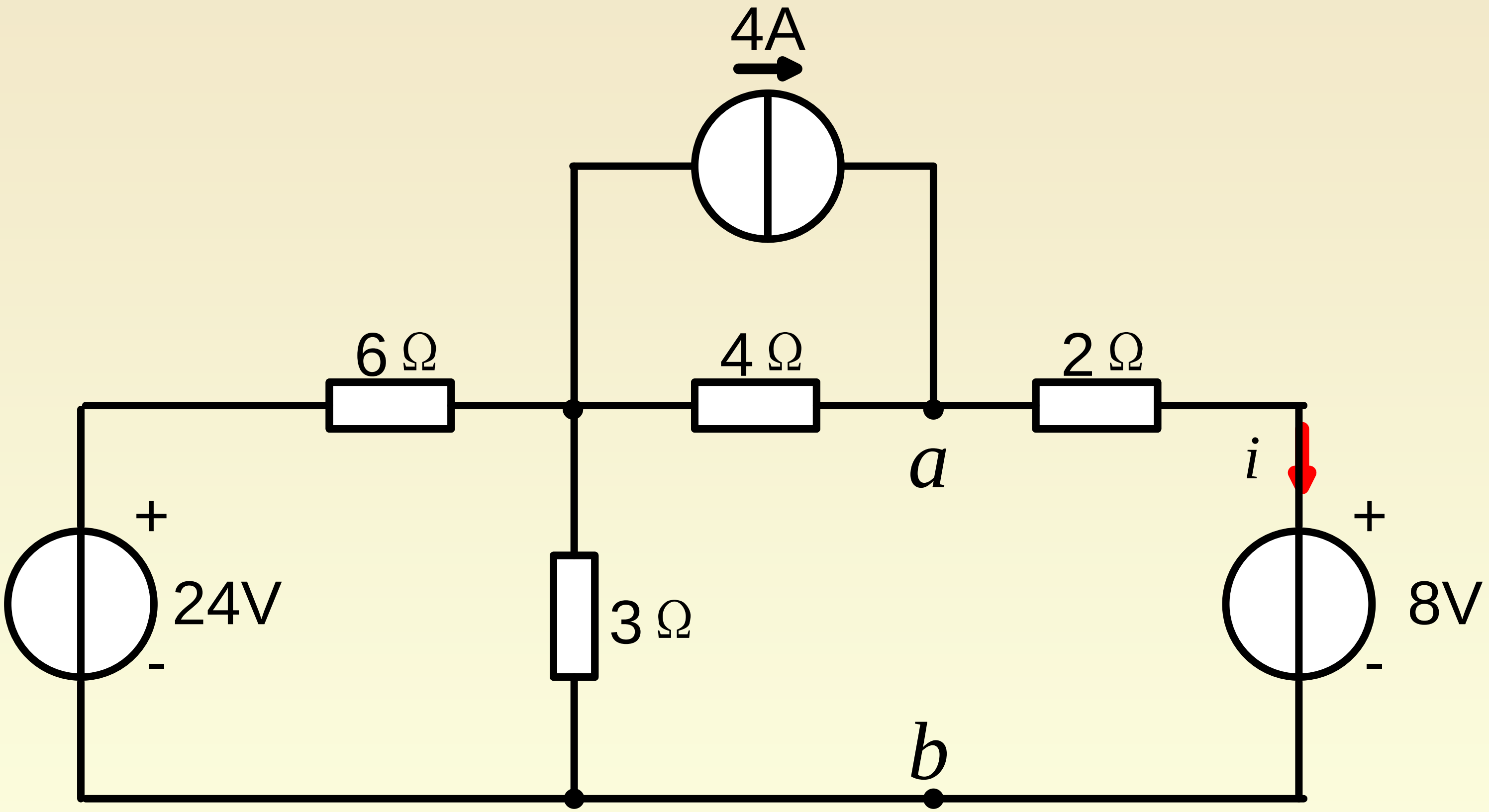
$$U_{ab} = 3 \times 3 + 9 = 18\ \text{V}, \quad R_{ab} = 3\ \Omega$$

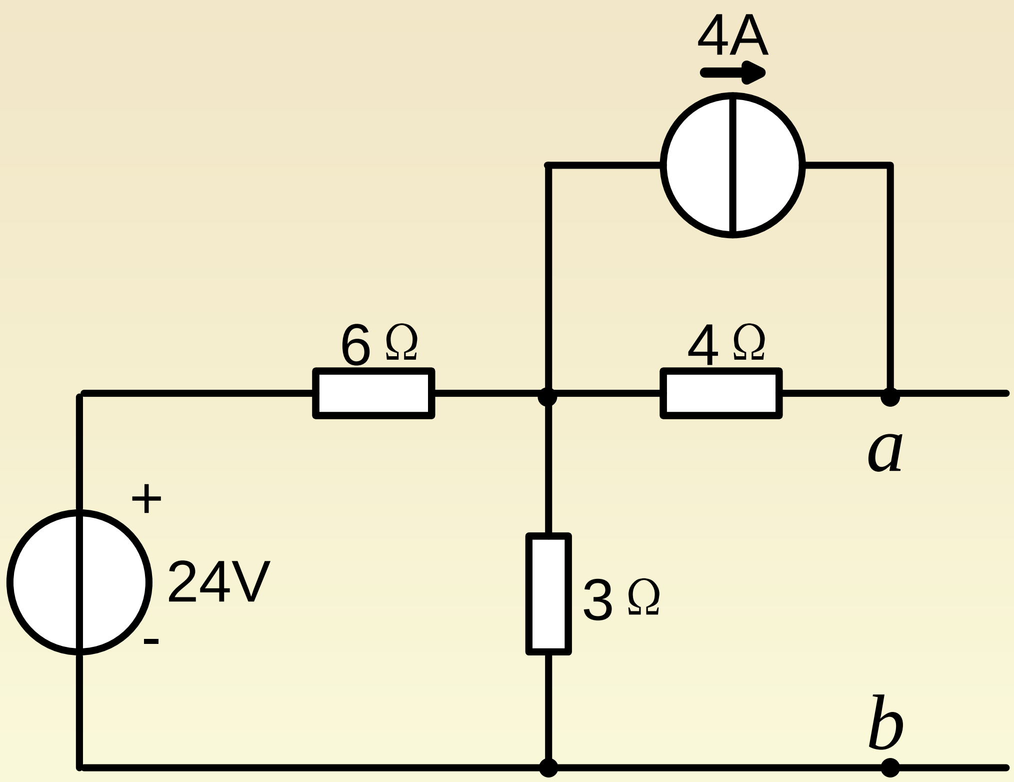
戴维南等效电路



$$i = 18/(3+6) = 2A$$

例．已知电路如图，求*i*

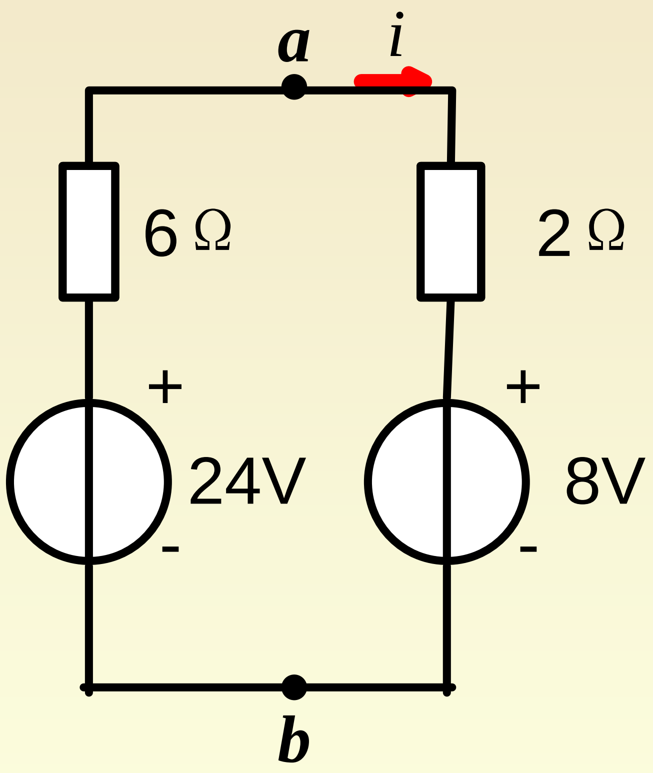




$$U_{ab} = 4 \times 4+3 \times [24/(3+6)] = 24 \text{ V},$$

$$R_{ab} = 4+(6//3)=6\ \Omega$$

戴维南等效电路



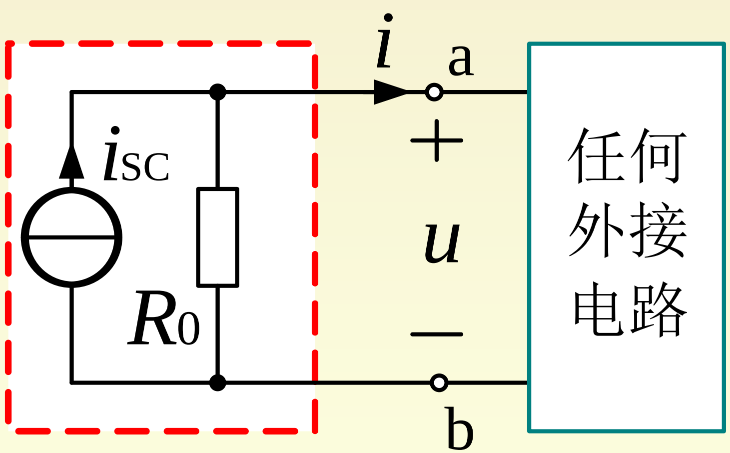
$$i = (24-8)/（2+6）= 8A$$

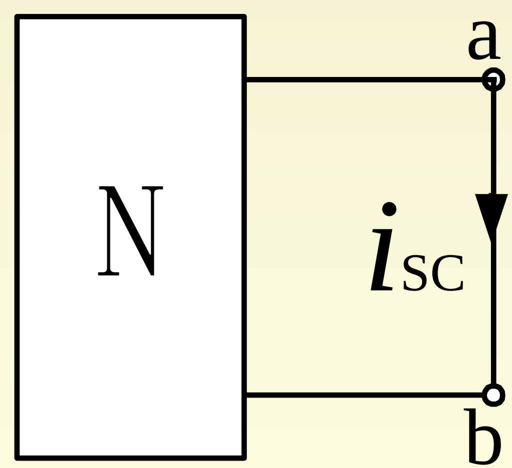
诺顿定理:

先将负载支路(或外接电路)短路，设出短路电流i_{SC}的参考方向，如图所示。注意与诺顿等效电路相对应。

然后利用前面所学过的方法计算短路电流即可。

戴维男电路与诺顿电路互为等效电路. (注意电流源与电压源的方向)：





$$u_{OC} = R_0\, i_{SC}$$

等效内阻的求解

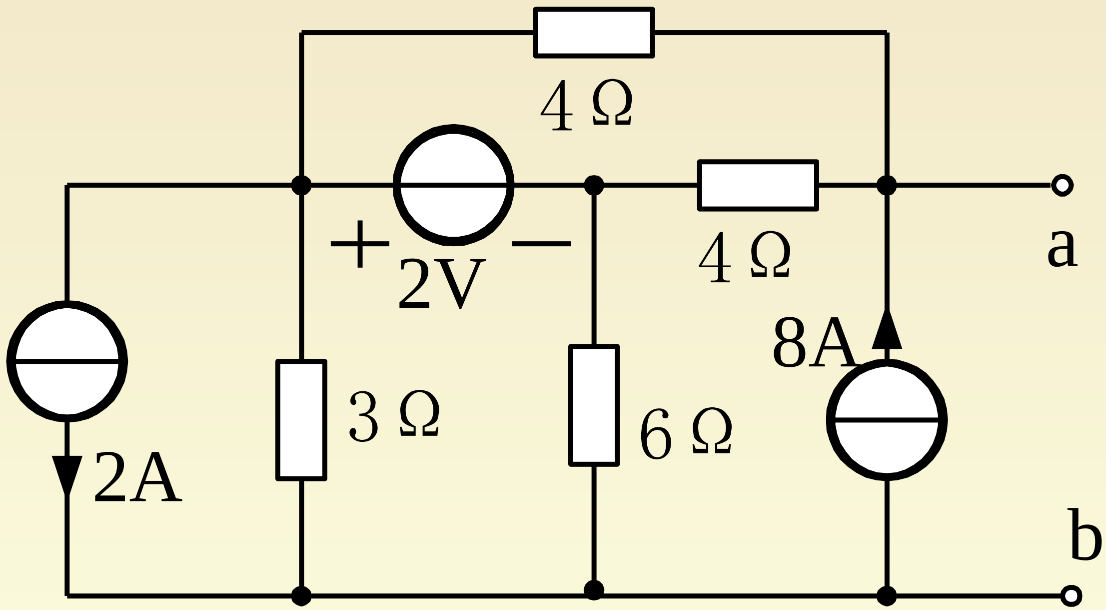
戴维南等效内阻R_0的求解是本节的一个难点。

求R_0常用下列方法:

① 对无受控源的二端电路N---串并联方法:

若二端电路N中无受控源，当令N中所有独立源的值为零（电压源短路，电流源开路）后，得到的N_0是一个纯电阻电路。此时，利用电阻的串并联公式求R_0。

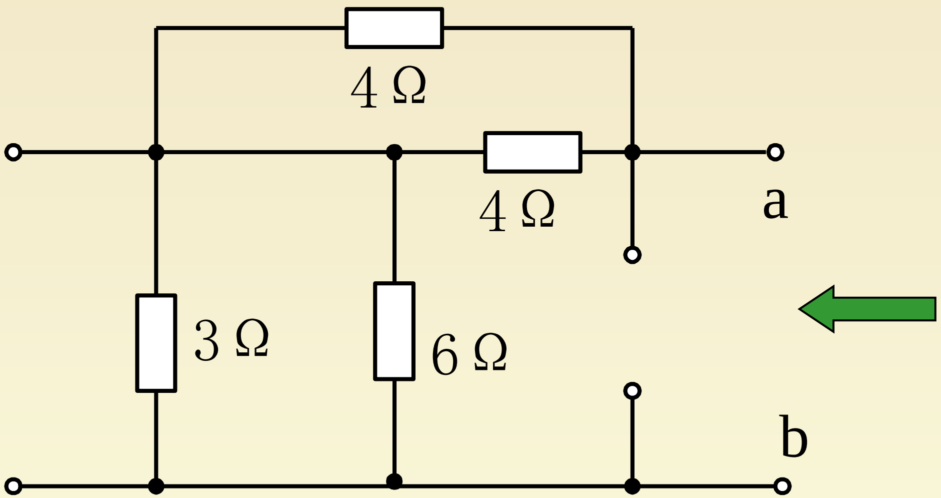
例：如图(a)所示电路N，求其戴维南等效电阻R_0。



(a) 电路N

浙江理工大学 ZHEJIANG SCI-TECH UNIVERSITY

解： 根据N_0的定义，将N中的电压源短路，电流源开路得N_0，如图 (b) 所示



(b) 电路N_0

由图 (b) 很容易求出N_0的ab端等效电阻，该电阻就是戴维南等效电阻

$$R_0=3//6+4//4 = 2+2 = 4\ (\Omega)$$

② 对于含受控源的二端电路N:

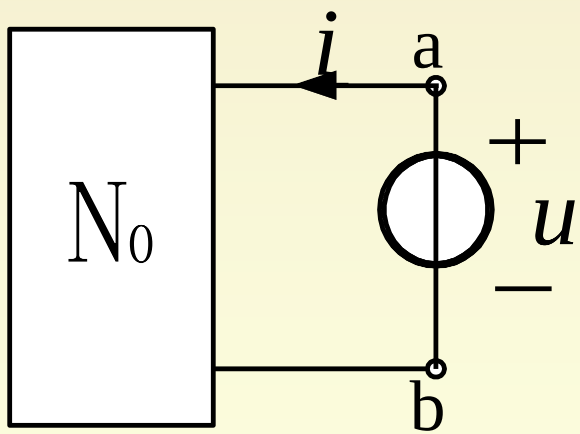
若二端电路N中含有受控源，令N中所有独立源的值为零（电压源短路，电流源开路），注意：受控源要保留，此时得到的N_0内部含受控源. 方法有两种:

i 外加电源法

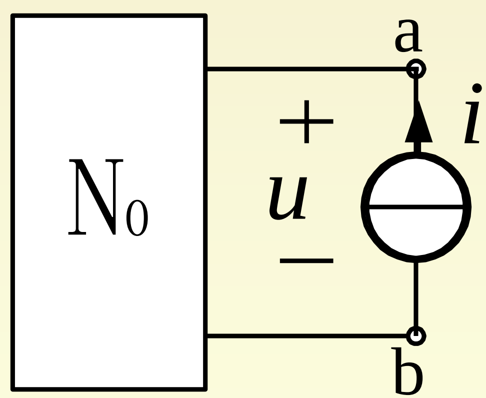
ii 开路短路法

i 外加电源法

根据电阻的定义，在N_0的二端子间外加电源，若加电压源u，就求端子上的电流i(如图a)；若加电流源i，则求端子间电压u (如图b)。注意：u与i对N_0来说，必须关联。



(a) 外加电压源法



(b) 外加电流源法

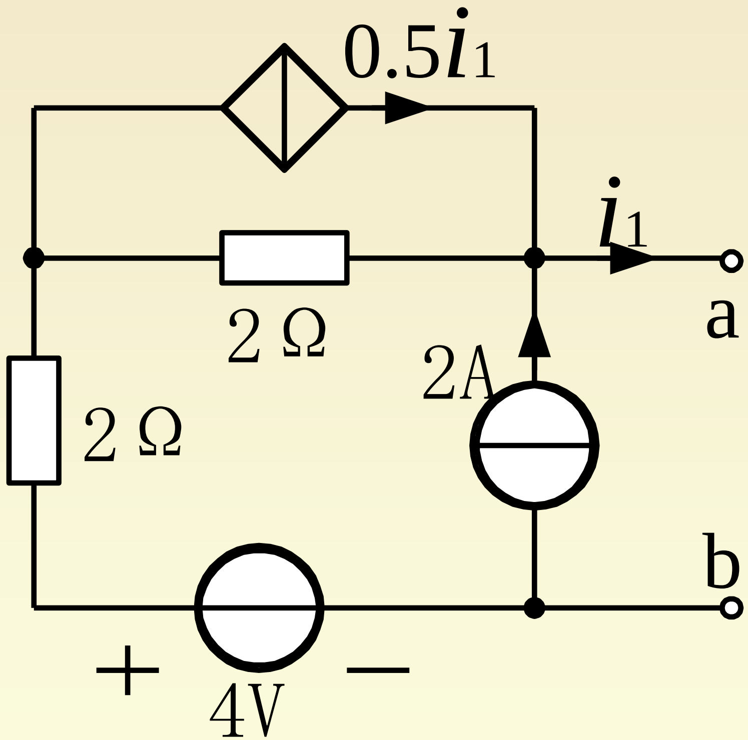
$$R_0 = \frac{u}{i}$$

ii 开路短路法

根据开路电压u_{OC}、短路电流i_{SC}和R_0三者之间的关系求R_0。先求出u_{OC}，再求出i_{SC}(注意：若求u_{OC}时其参考方向为a为“+”极，则求i_{SC}时其参考方向应设成从a流向b)，则

$$R_0 = \frac{u_{OC}}{i_{SC}}$$

例　如图 (a) 电路，求R_0。



(a) 电路N

解一： 将N中电压源短路、电流源开路，受控源保留，得到N_0，并外加电流源i。

对电路(b)，已知i(可以给定具体的值，也可以不给定)，求u。

$i_1 = -i$

在a点列KCL，有

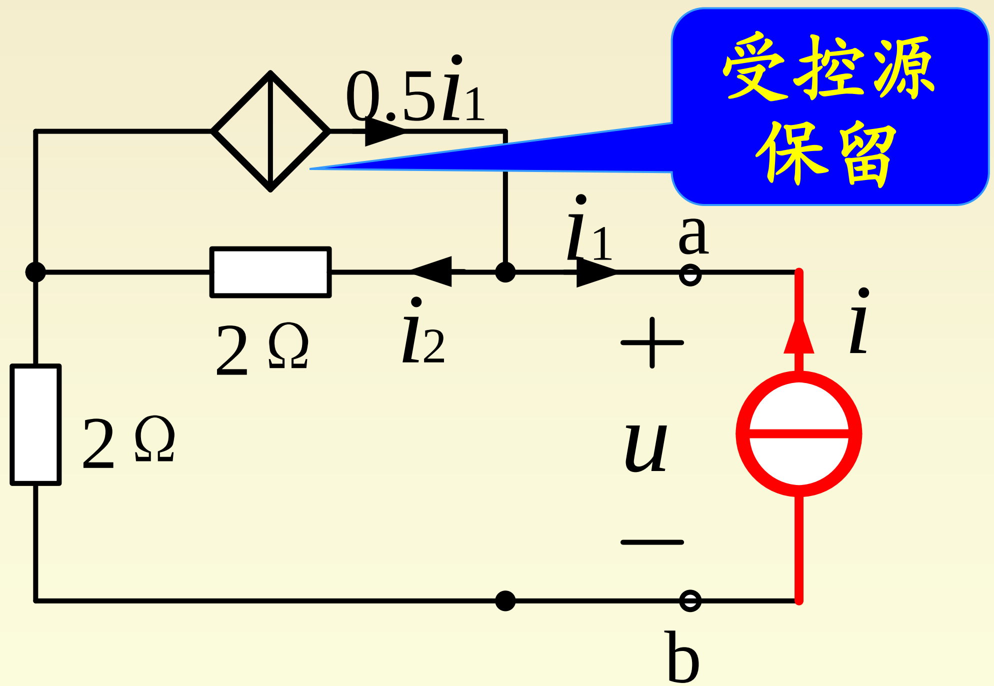
$i_2 + i_1 - 0.5\, i_1 = 0$ 故

$i_2 = -0.5\, i_1 = 0.5\, i$

$$u = 2\, i_2 + 2i = i + 2i = 3i$$

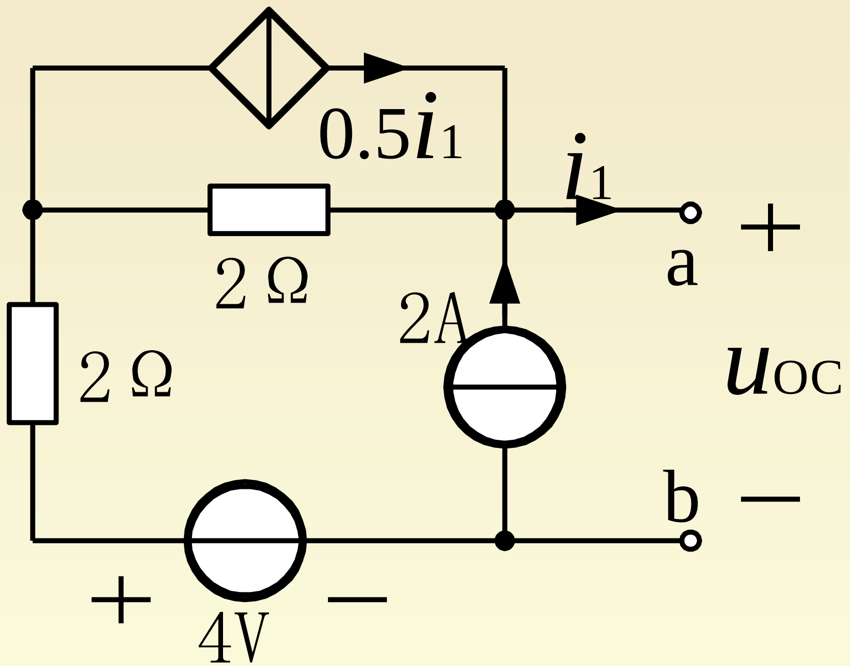
因此

$$R_0 = \frac{u}{i} = 3\Omega$$



(b) 电路N_0, 并外加电流源i

解二：用开路短路法，求R_0。



(a) 电路N

开路电压：对图(a)电路，由于ab端开路，故有：

$i_1 = 0$

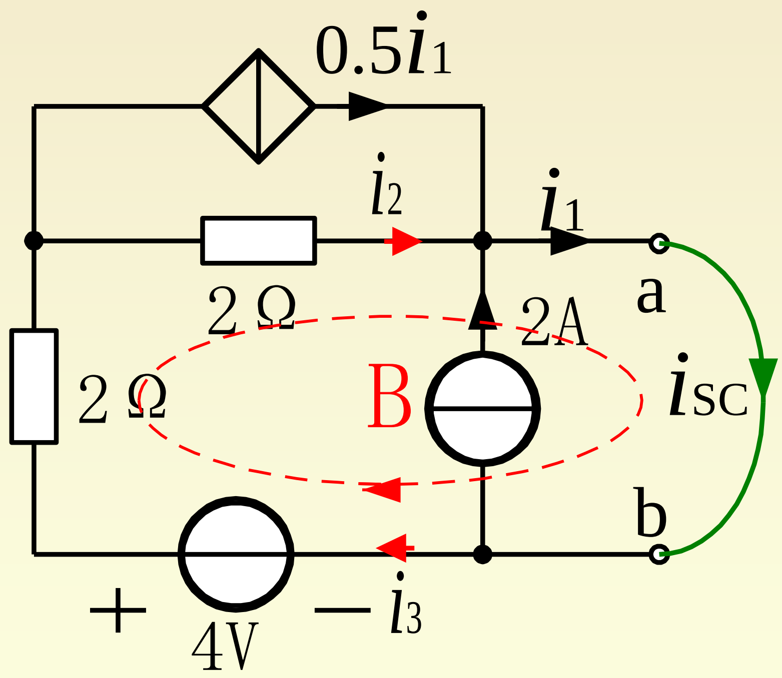
此时，受控电流源相当于开路

$$u_{OC} = 2 \times 2 + 2 \times 2 + 4 = 12(V)$$

求短路电流

将N的端口短路，并设定短路电流i_{SC} ，$i_1 = i_{SC}$ 。

设定一些必要支路电流i_2和i_3，并设定回路B的巡行方向。



(b) 对N求i_{SC}

在节点a, b分别列KCL，有

$$i_2 + 0.5i_1 + 2 = i_1,\quad i_3 + 2 = i_{SC}\qquad \text{故}$$

$$i_2 = -2 + 0.5\, i_1 = -2 + 0.5\, i_{SC},\quad i_3 = i_{SC} - 2$$

对回路B利用KVL和OL，有

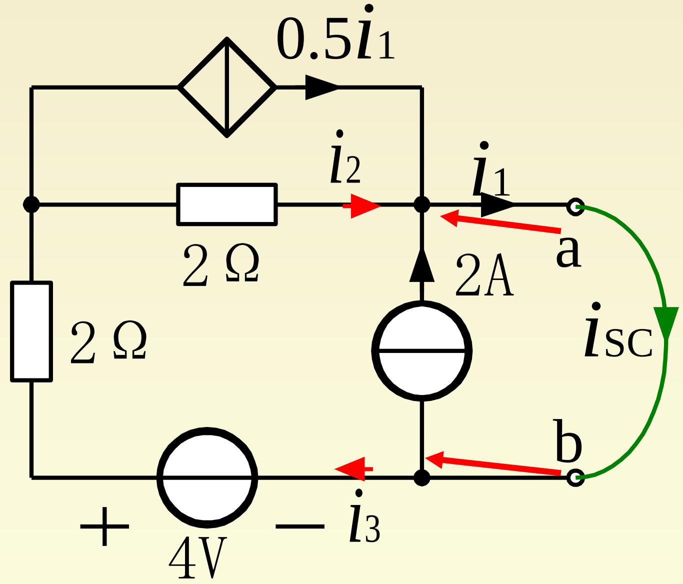
$$2\, i_2 - 4 + 2\, i_3 = 0$$

代入得

$$2(-2 + 0.5\, i_{SC}) - 4 + 2(i_{SC} - 2) = 0$$

解得 $i_{SC} = 4\text{A}$

$$R0 = u_{OC} / i_{SC} = 12/4 = 3(\Omega)$$



(b) 对N求i_{SC}

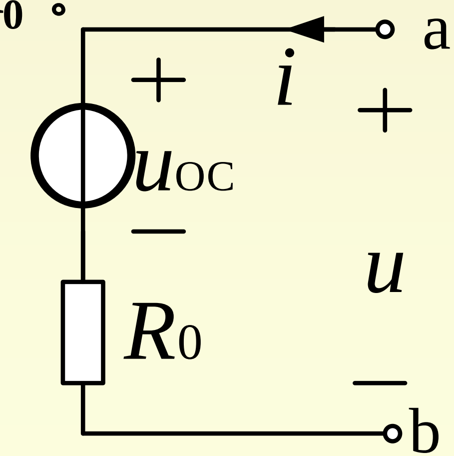
强力推荐

伏安关系法直接求戴维南等效电路

戴维南等效电路如图(a)，端口上电压u与电流i取关联参考方向，其端口的伏安关系（VCR）为

$$u = u_{OC} + R_0 i$$

伏安关系法就是直接对二端线性电路N，推导出两端子上的电压u和电流i之间的一次关系式［即N端子上的伏安关系式(VCR)］，其**常数**项即为开路电压u_{OC}，电流前面所乘的**系数**即为等效内阻R_0。

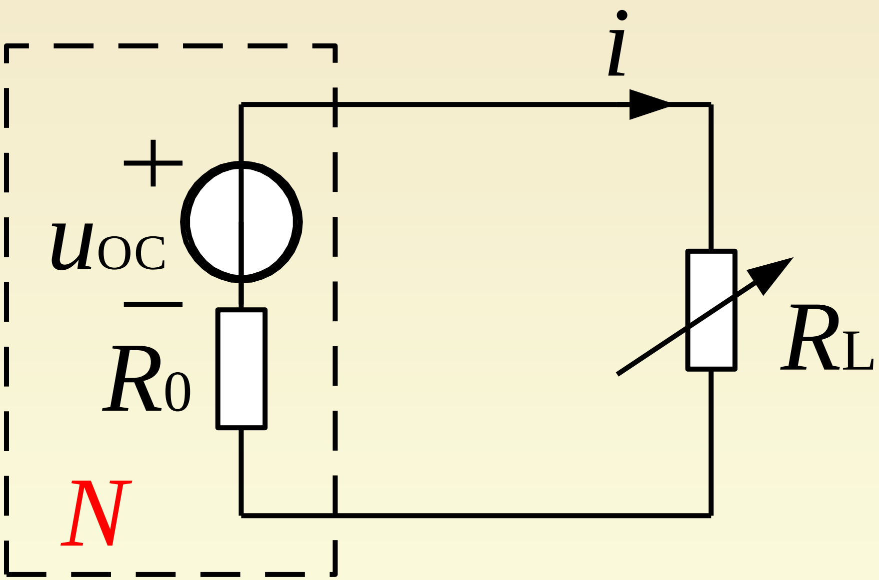


u与i对N取关联

最大功率传输条件(最大功率匹配定理):

当$R_L = R_0$时负载获得的功率最大。功率的最大值为

$$P_{L\max} = \frac{u_{OC}^2}{4R_0}$$



(b)

$R_L = R_0$也称为最大功率匹配条件

浙江理工大學
ZHEJIANG SCI-TECH UNIVERSITY

7. 电容电感VCR的微分形式

电容的VCR

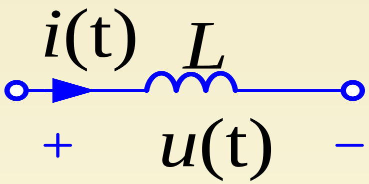
若电容上电压与电流参考方向关联 ，考虑到
i=dq/dt， q = C u(t)，有

$$\boxed{i(t) = C\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}}$$

电容VCR的微分形式

电感的VCR

对线性电感，由于$\Psi(t) = L\, i(t)$，故有 $$u(t) = \frac{\mathrm{d}\Psi(t)}{\mathrm{d}t}$$



$$\boxed{u(t) = L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}}$$

称电感VCR的微分形式

8. 三要素法求电路的一阶响应

直流激励时一阶电路的响应为

$$y(t) = [y(0_+) - y(\infty)]e^{-t/\tau} + y(\infty), \quad t \geq 0$$

三要素公式

★★★

三要素公式说明

（1）适用范围：直流激励下一阶电路中任意处的电流和电压;

（2）三要素:

$y(0_+)$ ：响应（电压或电流）的初始值,

$y(\infty)$ ：响应的稳定值

τ ：电路的时间常数。

（3）三要素法不仅可以求全响应，也可以求零输入响应和零状态响应分量。

（4）若初始时刻为$t = t_0$，则三要素公式为

$$y(t) = [y(t_{0+}) - y(\infty)]e^{-(t-t_0)/\tau} + y(\infty),\quad t \geq t_0$$

三要素的计算（归纳）

（1）初始值$y(0_+)$

步骤：

（1）0_-等效电路，计算$u_C(0-)$和$i_L(0-)$

（2）换路定律得

$$u_C(0_+) = u_C(0-)，\quad i_L(0_+) = i_L(0-)$$

（3）画0_+等效电路，求其它电压、电流的初始值。

（2）稳态值$y(\infty)$

换路后 $t\rightarrow\infty$时，电路进入直流稳态，电容开路，电感短路

步骤:

（1）换路后，电容开路，电感短路，画出稳态等效电阻电路。

（2）稳态值$y(\infty)$。

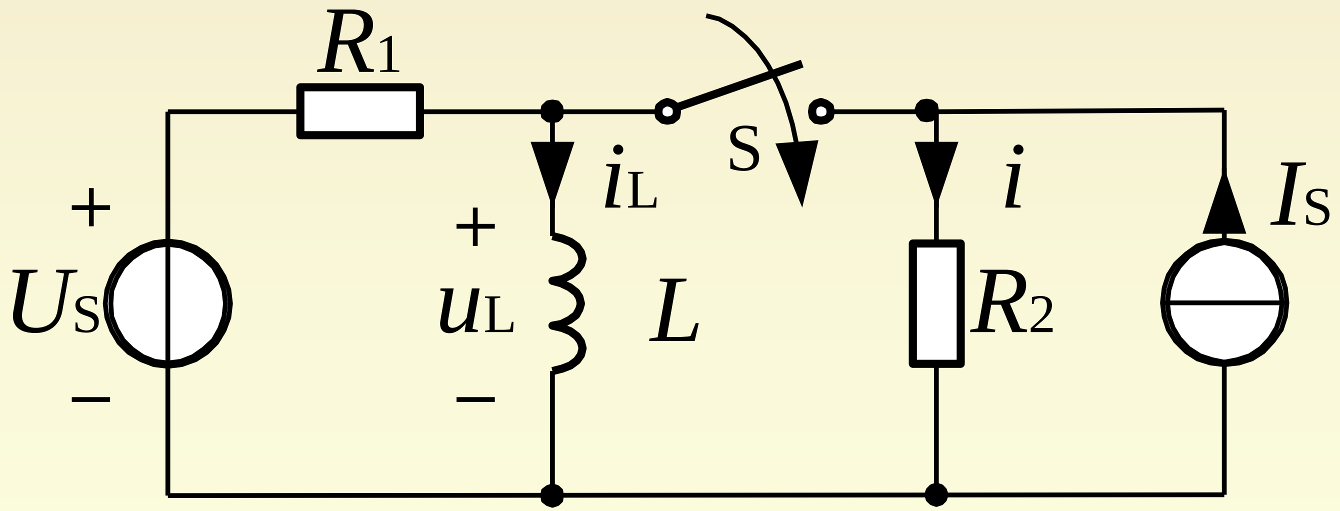
（3）时常数 τ

一阶RC电路， $\tau = R_0C$；

一阶RL电路， $\tau = L/R_0$；

R_0是换路后从动态元件C或L看进去的戴维南等效内阻

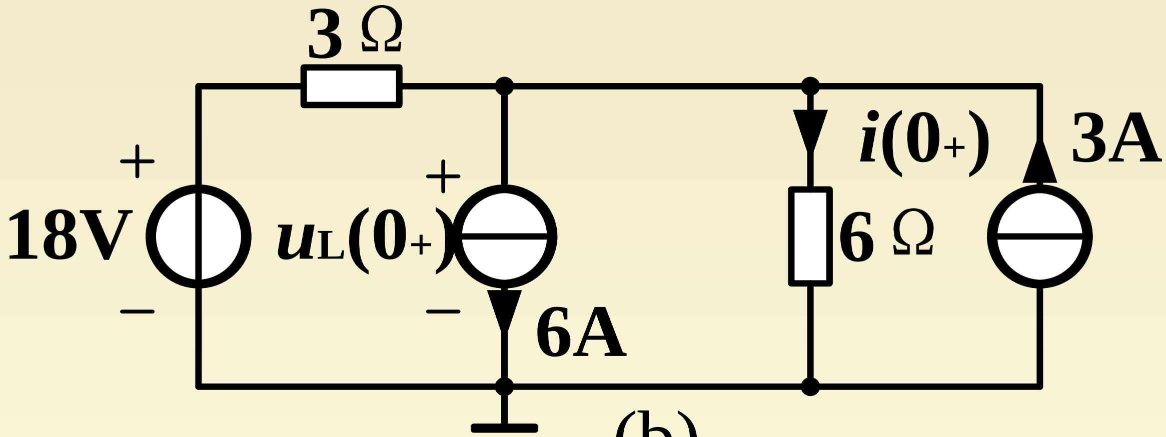
例1　图 示电路， $I_S = 3\text{A}$， $U_S = 18\text{V}$， $R_1 = 3\Omega$，$R_2 = 6\Omega$，L=2H，在$t < 0$时电路已处于稳态， 当$t = 0$时开关S闭合，求$t \geq 0$时的$i_L(t)$、$u_L(t)$和$i(t)$ 。



(a)

解 （1）求$i_L(0_+) = i_L(0_-) = U_S / R_1 = 6\text{A}$

（2）画0+等效电路。

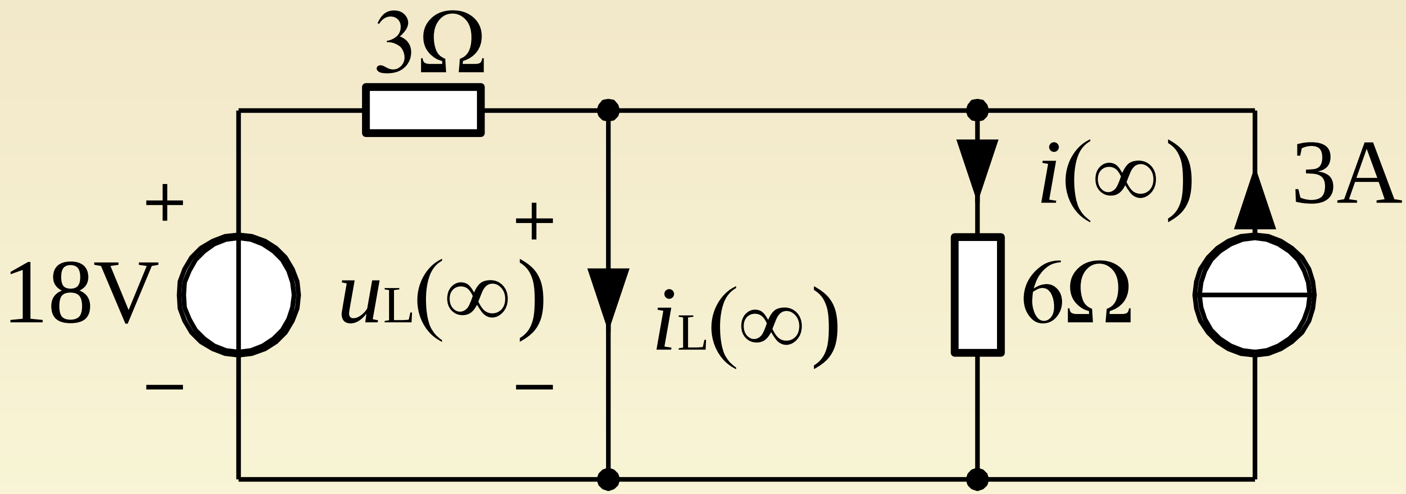


(b)

列节点方程
$$\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{6}\right)u_L(0_+)=\frac{18}{3}-6+3$$

得 $u_L(0_+) = 6\text{V}$，$i(0_+) = u_L(0_+)/6 = 1\text{A}$

（3）画∞等效电路



(c)

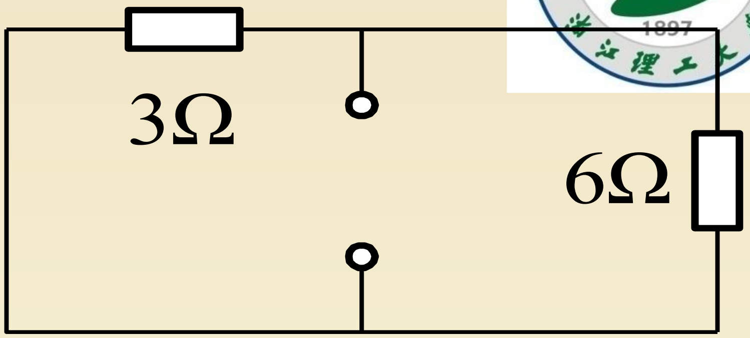
$$u_L(\infty) = 0,\quad i(\infty) = 0,$$

$$i_L(\infty) = 18/3 + 3 = 9\text{A}$$

（4）计算时常数 τ 。

$$\tau = L/R_0 \qquad R_0 = 3//6 = 2\Omega$$

$$\tau = 2/2 = 1\text{s}$$



(d)

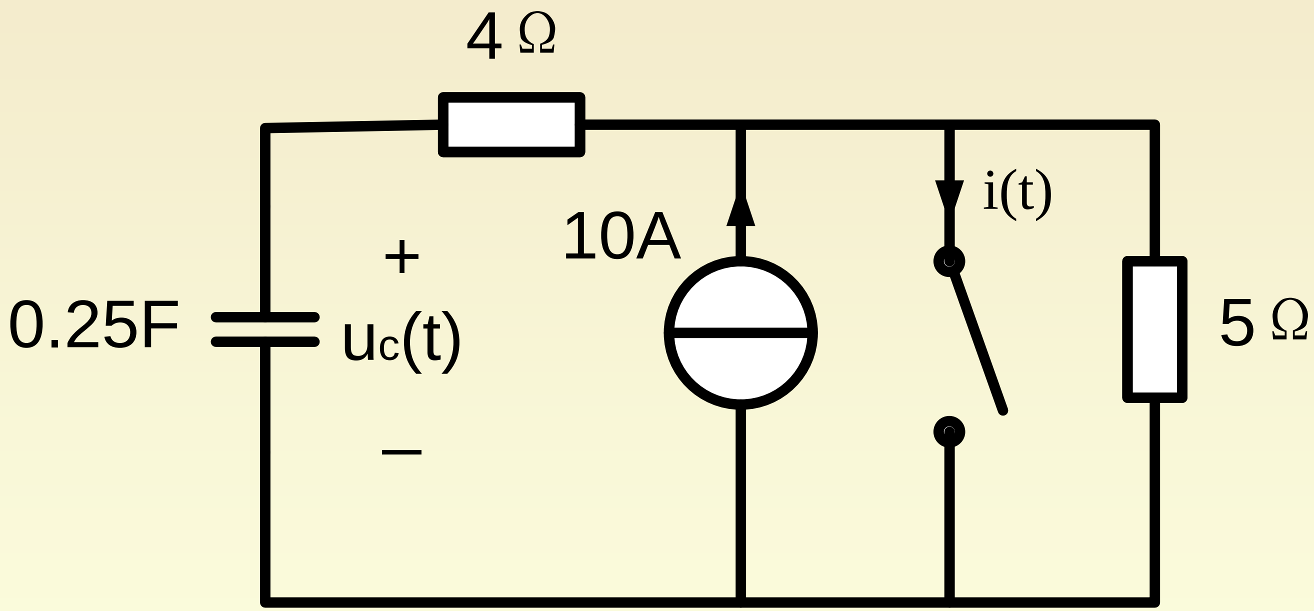
（5）代入三要素公式得。

$$i_L(t) = [i_L(0_+) - i_L(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} + i_L(\infty) = (6-9)e^{-t} + 9 = 9 - 3e^{-t}(A) \qquad t \geq 0$$

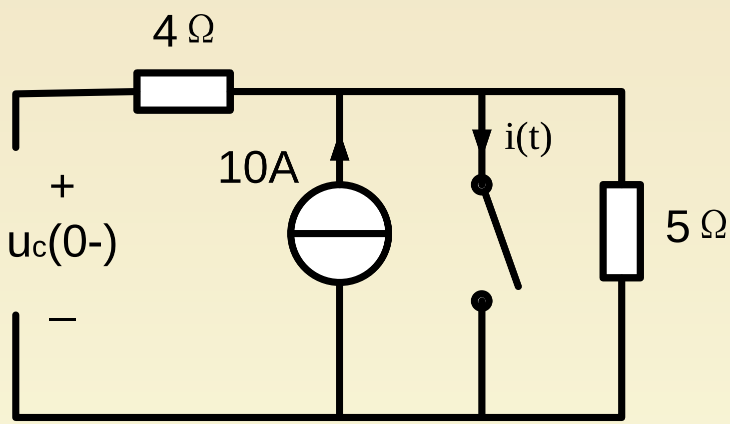
$$u_L(t) = [u_L(0_+) - u_L(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} + u_L(\infty) = 6e^{-t} \quad (V) \qquad t \geq 0$$

$$i(t) = [i(0_+) - i(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} + i(\infty) = e^{-t} \quad (A) \qquad t \geq 0$$

例 电路如图，t=0时开关闭合，闭合前电路已处于稳态，求$u_c(t)$ 和 $i(t)$

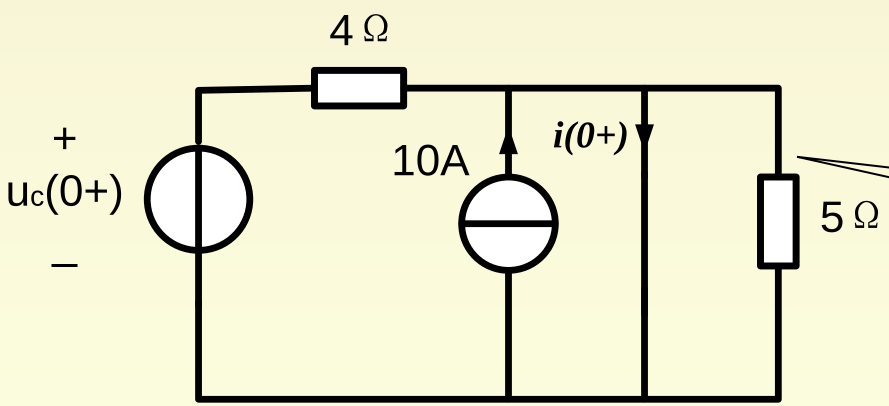


解: （1）求初始值 $u_c(0+)$, $i((0+)$



$$u_c(0-) = 50V = u_c(0+)$$

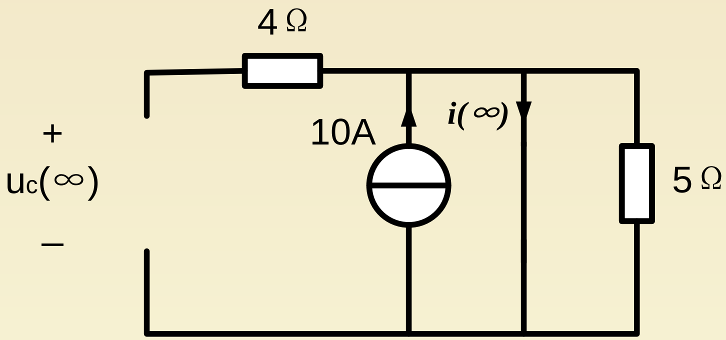
$$i\,(0-) = 0 = i\,(0+)$$



$$i\,(0+) = 10 + 50/4 = 22.5A$$

求非独立初始值时一定要画0+等效电路。切记！切记！

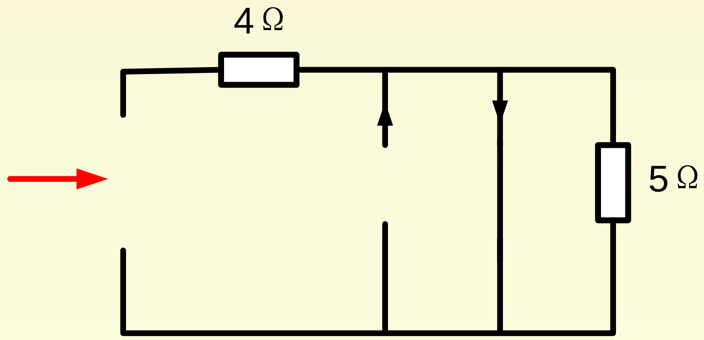
(2) 求稳态值$u_c(\infty)$, $i(\infty)$



$$u_c(\infty) = 0V$$

$$i(\infty) = 10A$$

(3) 求τ



$$R = 4\Omega$$

$$\tau = RC = 1$$

最后写出结果:

$$u_c(t) = (50 - 0)e^{-t} + 0 = 50e^{-t}V$$

$$i(t) = (22.5 - 10)e^{-t} + 10 = 12.5e^{-t} + 10A$$

9. 正弦稳态电路的计算（平均功率，电表读数）

平均功率 (average power)P：

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T p(t)\mathrm{d}t=\frac{1}{T}\int_0^T[UI\cos\theta+UI\cos(2\omega t+2\varphi_u-\theta)]\mathrm{d}t$$

$$\boxed{P=UI\cos\theta}$$

$\theta=\varphi_u-\varphi_i$：功率因数角。对无源网络，为其等效阻抗的阻抗角。

$\cos\theta$：功率因数。

$$\cos(= \begin{cases} 1, & \text{纯电阻电路} \\ 0, & \text{纯电抗电路} \end{cases}$$

一般地，有 $0 \le |\cos(| \le 1$

例：cos(=0.5 (感性)，则(=60° (电压超前电流60°)。

平均功率实际上是电阻消耗的功率，亦称为有功功率。表示电路实际消耗的功率，它不仅与电压电流有效值有关，而且与 cos(有关，这是交流和直流的很大区别, 主要由于电压、电流存在相位差。

无功功率 (reactive power) Q

$$Q \overset{\text{def}}{=} UI\sin\theta$$

表示交换功率的最大值，单位：**var (乏)**。

Q 的大小反映电路N与外电路交换功率的大小。是由储能元件***L***、***C***决定。

视在功率*S*

$$\boldsymbol{S \overset{\text{def}}{=} UI}$$ 单位：**VA (伏安)**

反映电气设备的容量。

单口网络平均功率的求解：

$$P = UI\cos\theta = U^2 Re[Y] = I^2 Re[Z]$$

Z为单口网络的等效阻抗，Y为单口网络的等效导纳。

注：$R_e[Z] \neq \dfrac{1}{R_e[Y]}$

根据功率守恒：$P = \sum P_k$

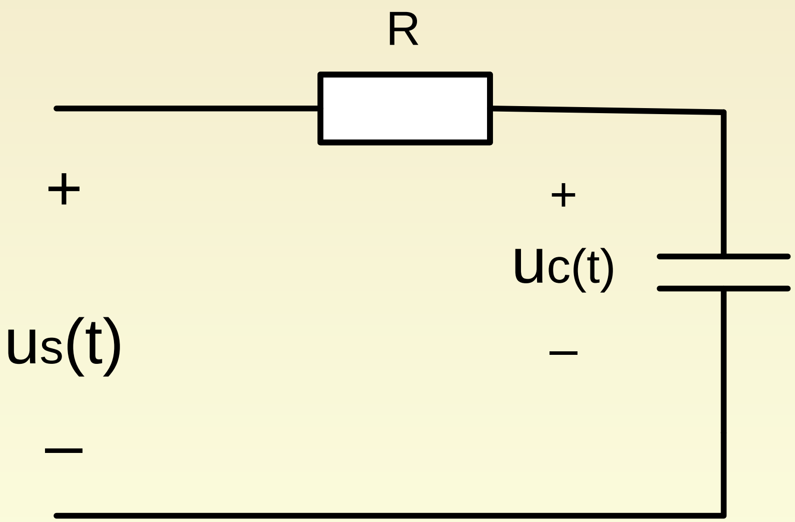
对不含电源的单口网络，消耗的平均功率

P = 网络内部各电阻消耗的平均功率的总和

= 端口处所接电源提供的平均功率

RC串联电路， 已知Uc = 6V, 电阻消耗功率P=18W,外施电压

$u_s(t)$=12cos4t v ,求 R 和C



解：由题已知　$U_s = 12/\sqrt{2} = 6\sqrt{2}V$　　$\omega = 4$

此题的关键

又电容的电压滞后电阻的电压90度，所以：

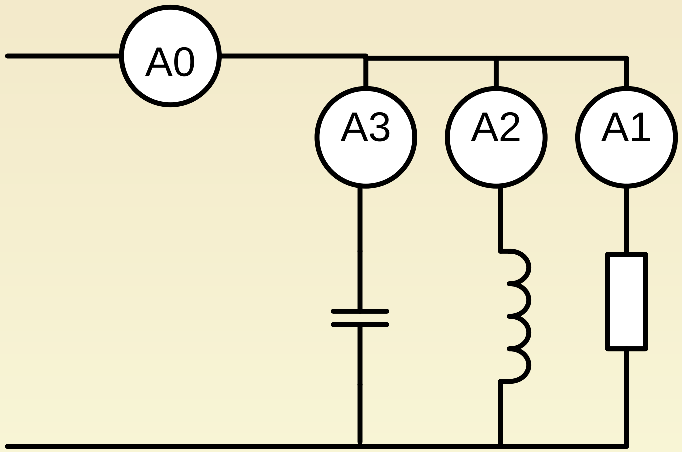
$$U_R = \sqrt{U_s^{\,2} - U_c^{\,2}} = 6V$$

$$R = \frac{U_R^{\,2}}{P} = \frac{36}{18} = 2\Omega \qquad I = \frac{P}{U_R} = \frac{18}{6} = 3A$$

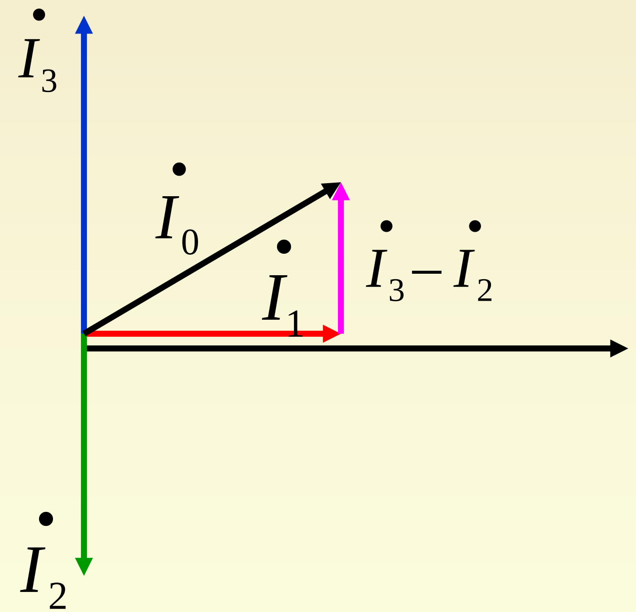
$$X_C = \frac{U_C}{I} = \frac{6}{3} = 2\Omega \qquad C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{8}F$$

思考：换成RL串联电路呢？

例 电路如图，电流表内阻为零，A1,A2,A3的读数依次是40mA,50mA,80mA,求A0的读数（求I）



分析：三者电压相同，以电压相量作为参考



$$I_0=\sqrt{40^2+(80-50)^2}=50mA$$

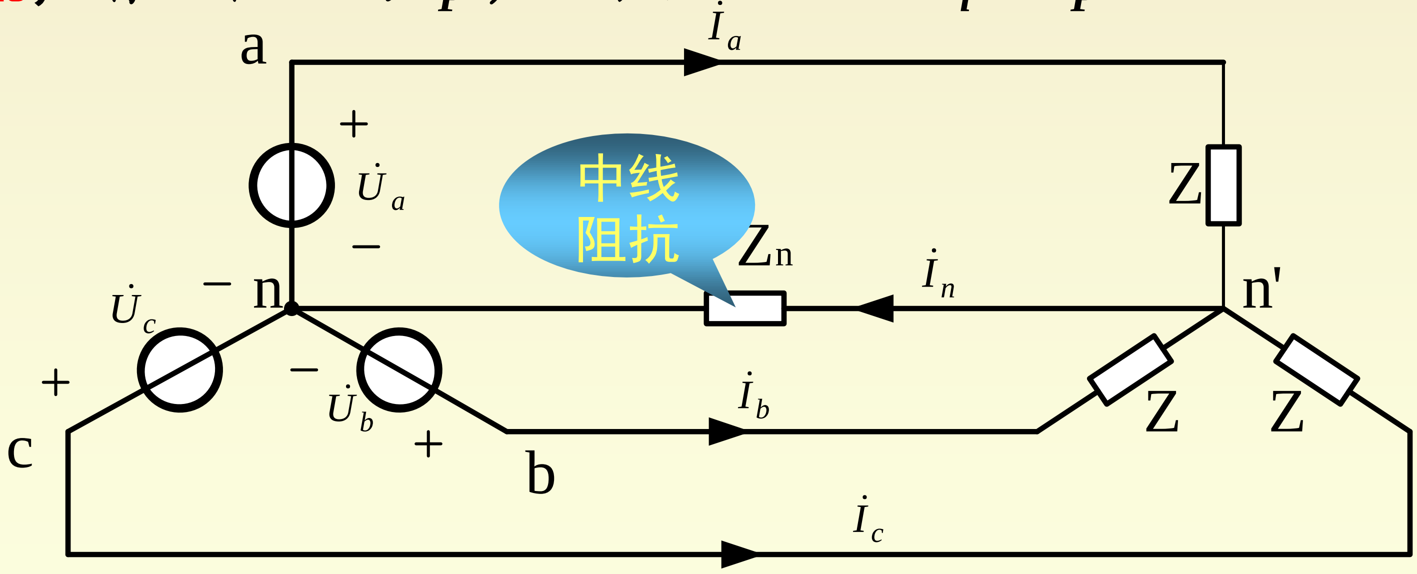
思考：求 RLC 串联时的总电压的情况。

10. 三相电路

Y－Y电路分析

图中为对称三相四线制Y-Y系统，

端线电流称为**线电流**，有效值记为I_l；各相负载电流称为**相电流**，有效值记为I_P；显然，这里 $I_l = I_P$ 。



显然有： $U_l = U_P$ $I_l = \sqrt{3} I_P$

各相负载吸收的功率

$$P_P = U_P I_P \cos\theta_Z = \frac{U_l}{\sqrt{3}} I_l \cos\theta_Z$$

三相负载吸收的总功率为

$$P = 3P_P = 3U_P I_P \cos\theta_Z = \sqrt{3} U_l I_l \cos\theta_Z$$

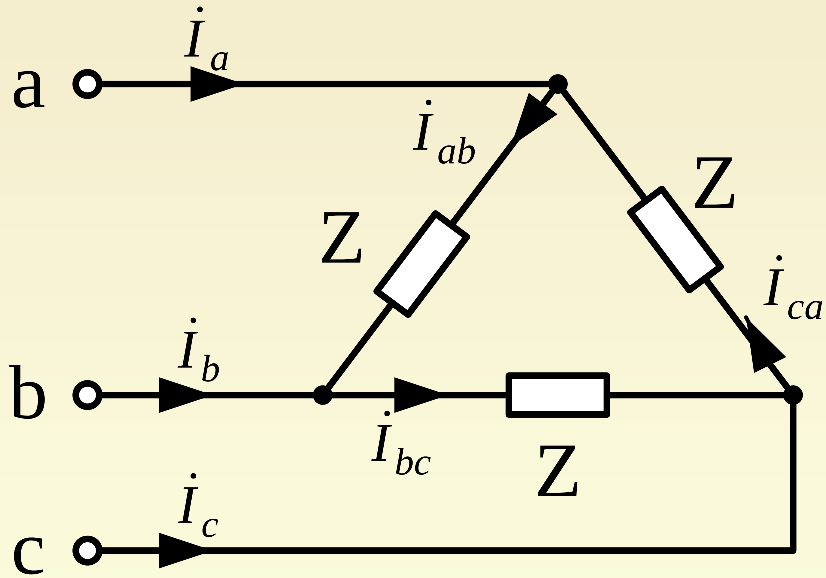
Y—△电路分析

图是△形连接的对称负载，若线电压是对称的，就组成对称三相电路。线电压为

$$\dot{U}_{ab}=U_l\angle 0^\circ$$

$$\dot{U}_{bc}=U_l\angle -120^\circ$$

$$\dot{U}_{ca}=U_l\angle 120^\circ$$



显然，有 $U_l = U_p \quad I_l = \sqrt{3} I_P$

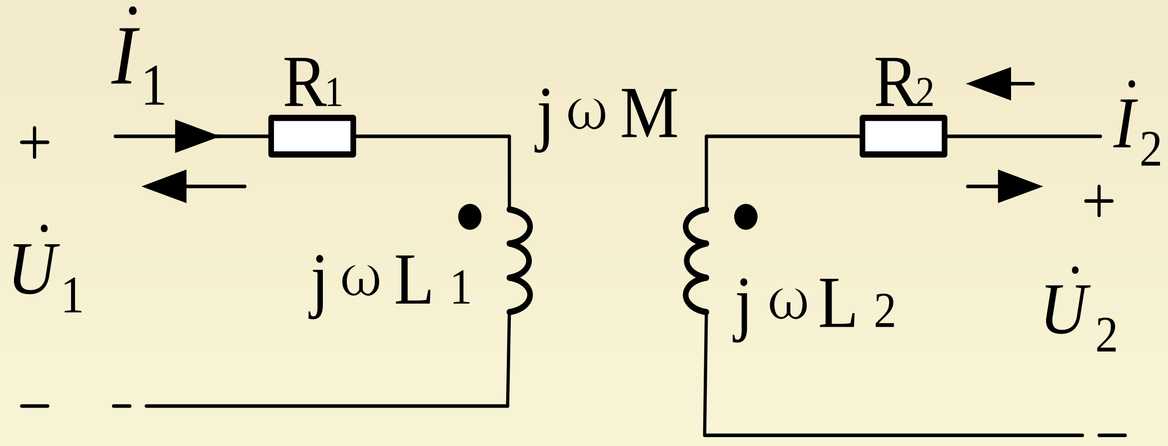
各相负载功率

$$P_P = U_P I_P \cos\theta_Z = U_l \frac{I_l}{\sqrt{3}} \cos\theta_Z$$

总功率同前

$$P = 3P_P = 3U_P I_P \cos\theta_Z = \sqrt{3} U_l I_l \cos\theta_Z$$

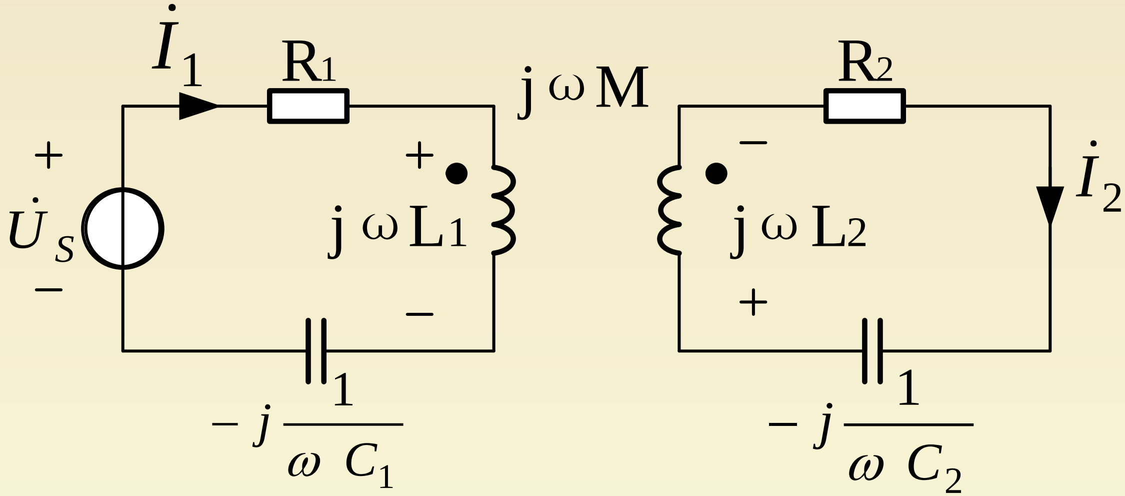
11. 耦合电感的相量模型



$$\dot{U}_1 = j\omega\ L_1\dot{I}_1 \pm j\omega\ M\dot{I}_2$$

$$\dot{U}_2 = j\omega\ L_2\dot{I}_2 \pm j\omega\ M\dot{I}_1$$

回路（网孔）法分析



列回路KVL方程得

$$R_1\dot{I}_1+\dot{U}_1-j\frac{1}{\omega C_1}\dot{I}_1-\dot{U}_S=0$$

$$R_2\dot{I}_2-j\frac{1}{\omega C_2}\dot{I}_2+\dot{U}_2=0$$

耦合电感VCR，得

$$\dot{U}_1 = j\omega L_1\dot{I}_1 - j\omega M\dot{I}_2$$

$$\dot{U}_2 = j\omega L_2\dot{I}_2 - j\omega M\dot{I}_1$$

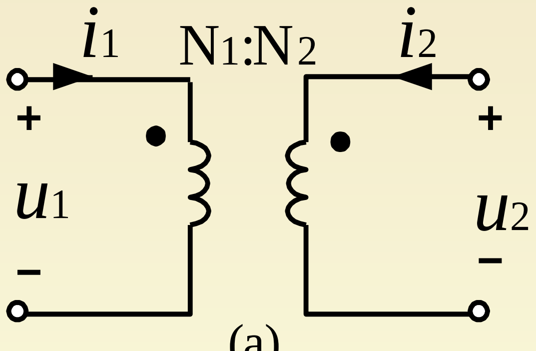
代入即可解得 $\dot{I}_1$和$\dot{I}_2$。

此方程可以使用互感电源和去耦等效两种方法获得

$$\begin{cases} (R_1 + j\omega L_1 - j\dfrac{1}{\omega C_1})\ \dot{I}_1 - j\omega M\dot{I}_2 = \dot{U}_S \\ - j\omega M\dot{I}_1 + (R_2 + j\omega L_2 - j\dfrac{1}{\omega C_2})\ \dot{I}_2 = 0 \end{cases}$$

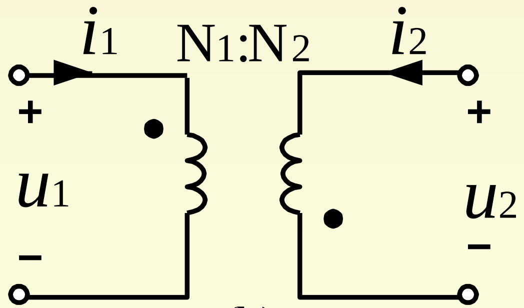
12. 理想变压器

理想变压器的电路模型：



(a)

VCR为
$$\boxed{\begin{cases} u_1(t) = nu_2(t) \\ i_1(t) = -\dfrac{1}{n} i_2(t) \end{cases}}$$

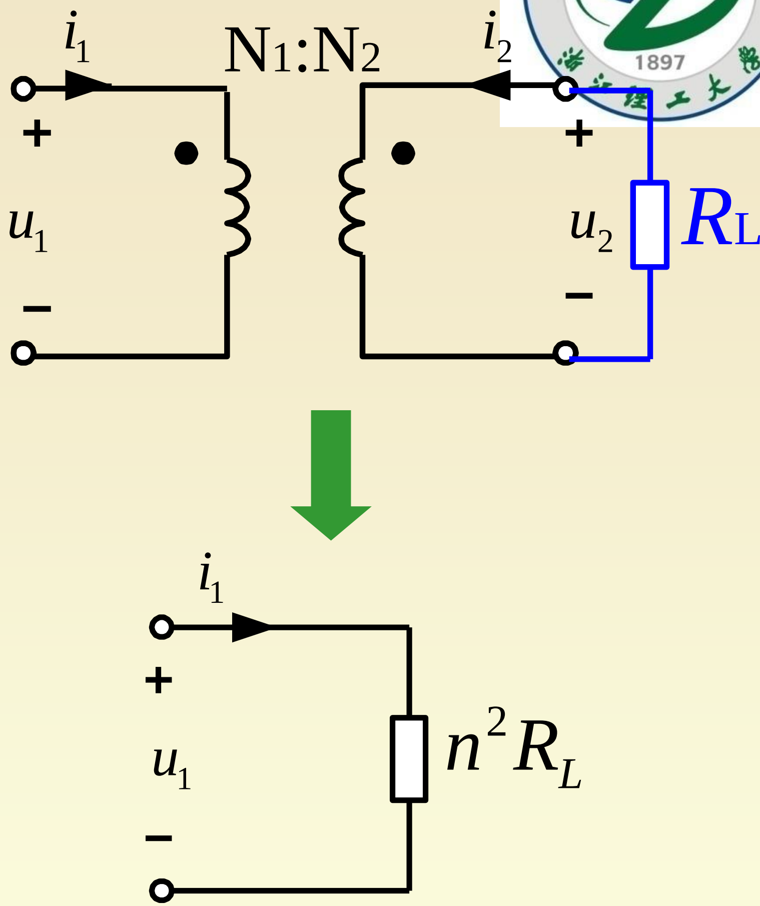


(b)

VCR为
$$\boxed{\begin{cases} u_1(t) = -nu_2(t) \\ i_1(t) = \dfrac{1}{n} i_2(t) \end{cases}}$$

$$n = \frac{N_1}{N_2}$$

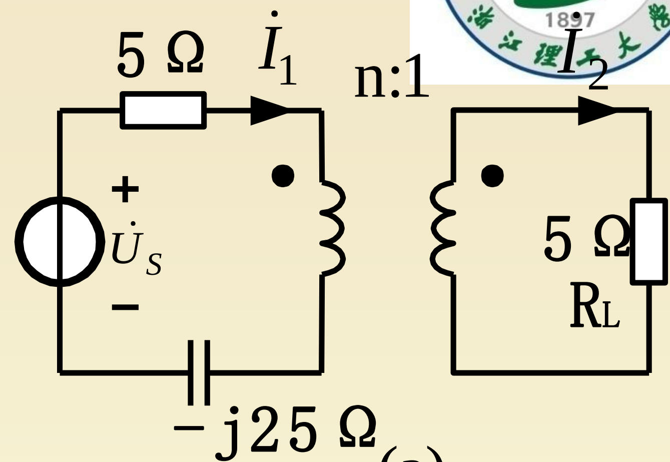
变阻特性： 强力推荐使用



$$\boxed{R_{in} == \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L = n^2 R_L}$$

理想变压器的阻抗变换作用只改变阻抗的大小，且与同名端无关。

例 已知图(a)示正弦稳态电路中 $\dot{U}_S = 10\angle 0°$ A，变比n =2，求电流 $\dot{I}_1$ 和负载R_L消耗的平均功率P_L。



(a)

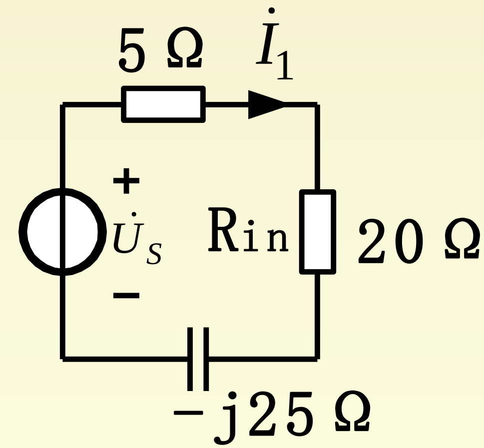
解 变压器初级等效输入电阻为

$R_{in}=n^2R_L = 2^2\times 5 = 20\Omega$ 如(b)图

根据KVL方程，有

$$(5-j25+R_{in})\dot{I}_1=\dot{U}_S$$

$$\dot{I}_1=\frac{\dot{U}_S}{5+R_{in}-j25}=\frac{50}{25-j25}=\sqrt{2}\angle 45°A$$



(b)

R_L消耗的平均功率就是R_{in}消耗的功率，即

$$P_L = I_1^2R_{in} = 2\times 20 = 40\ W$$