电工技术
diangong

电工技术与电子技术

（上）

第2章 电路的分析方法

中国矿业大学信电学院

中国矿业大学

第2章 电路的分析方法

第2章 电路的分析方法

要求:

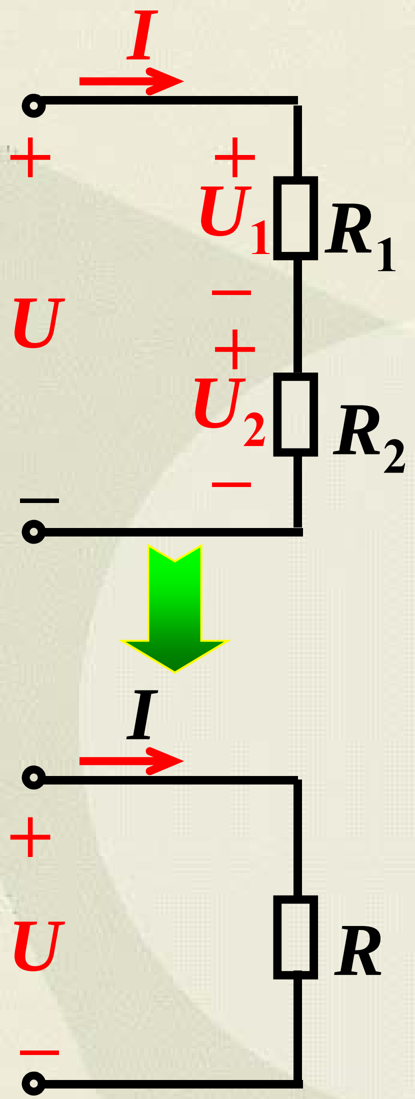
1、掌握支路电流法、节点电压法、叠加原理和戴维宁定理等电路的基本分析方法。

2、了解实际电源的两种模型及其等效变换。

3、了解受控源的概念。

2.1 电阻串联与并联

2.1.1 电阻的串联



特点:

1)各电阻一个接一个地顺序相联;

2)各电阻中通过同一电流;

3)等效电阻等于各电阻之和。

$$R = R_1 + R_2$$

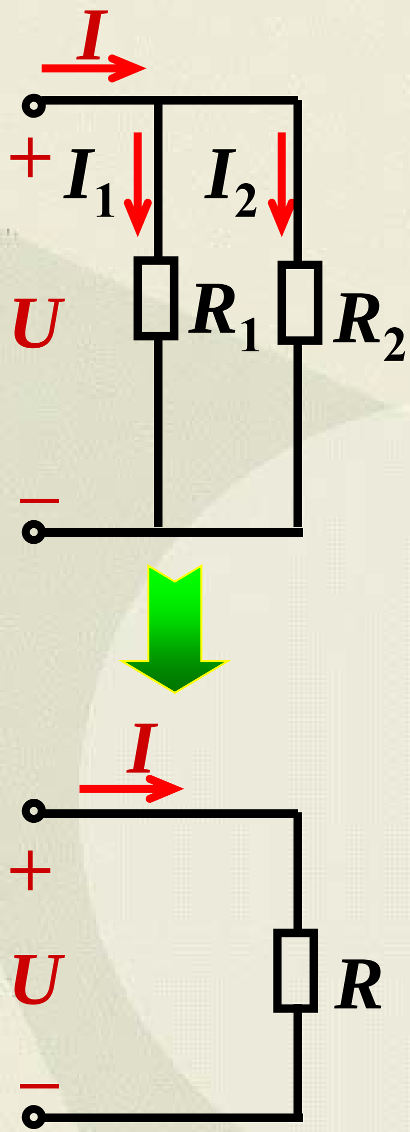
4)串联电阻上电压的分配与电阻成正比。

两电阻串联时的分压公式:

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

应用:降压、限流、调节电压等。

2.1.2 电阻的并联



特点:

1)各电阻联接在两个公共的结点之间;

2)各电阻两端的电压相同;

3)等效电阻的倒数等于各电阻倒数之和;

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

4)并联电阻上电流的分配与电阻成反比。

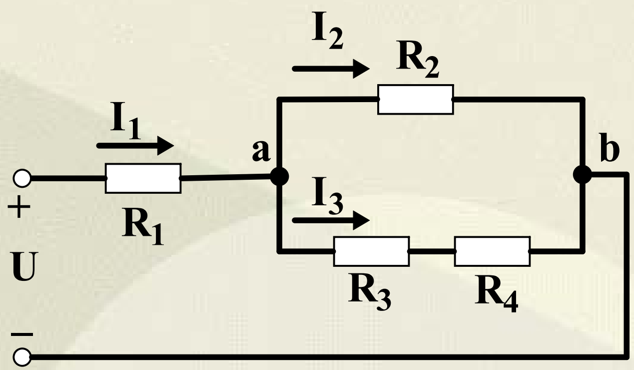
两电阻并联时的分流公式:

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

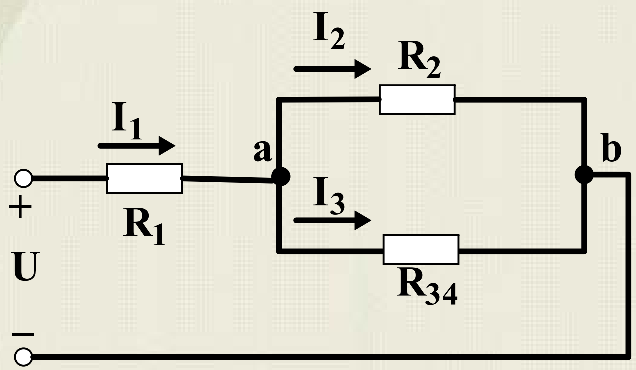
应用: 分流、调节电流等。

例1.图（a）是一复联（串联和并联）电路，其中 R_1=10Ω，R_2=5Ω，R_3=2Ω，R_4=3Ω，电源电压 U=125V，试求电流I_1。

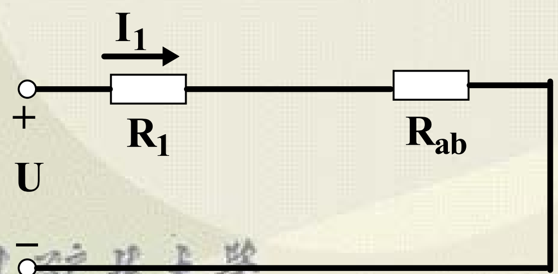
(a)



(b)



(c)



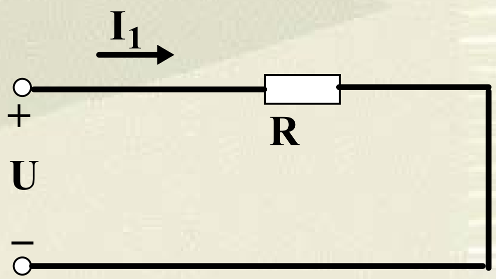
$$(1)R_{34}=R_3+R_4=5\Omega$$

$$(2)R_{ab}=\frac{R_2R_{34}}{R_2+R_{34}}=2.5\Omega$$

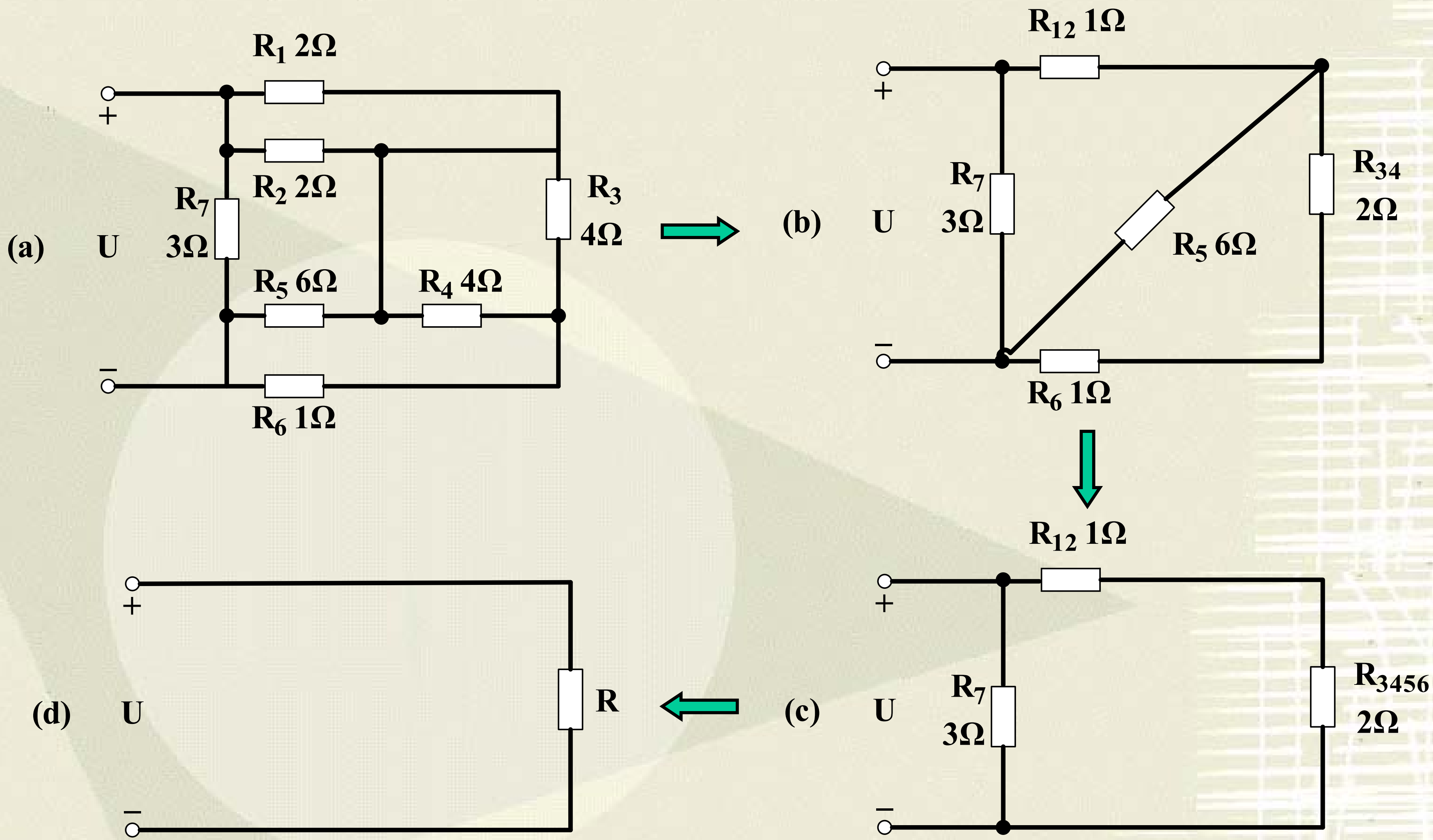
$$(3)R=R_1+R_{ab}=12.5\Omega$$

$$(4)I_1=\frac{U}{R}=10\text{A}$$

(d)

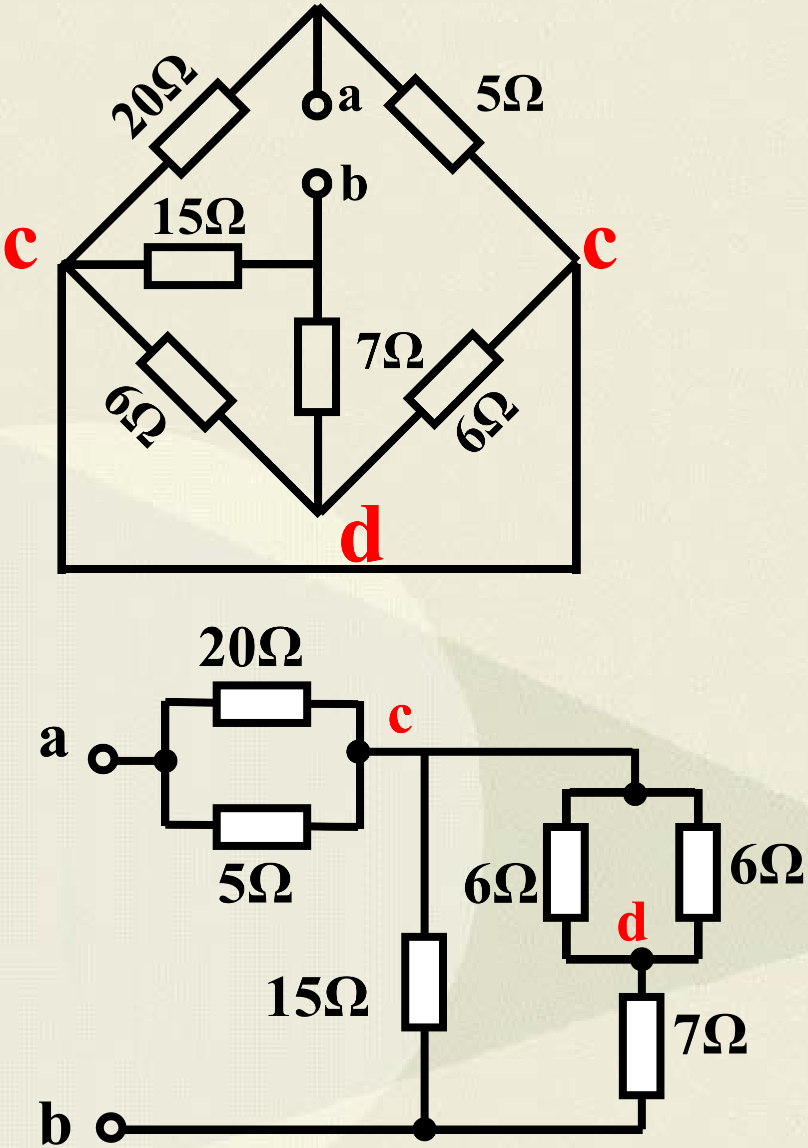


例2.计算图中所示电阻电路的等效电阻R。



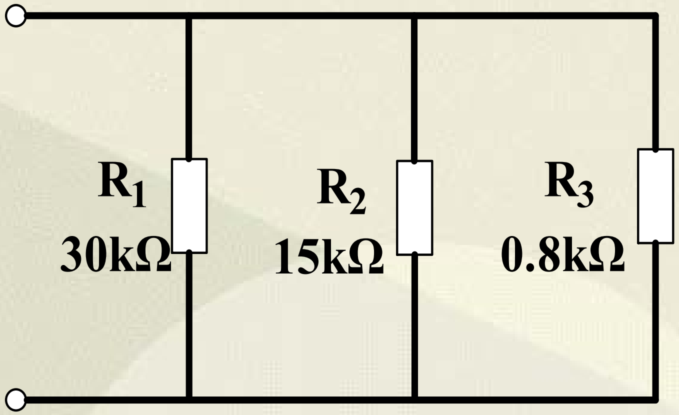
R=1.5Ω

例3. 求R_{ab}



$R_{ab}=10\Omega$

例4. 计算图中所示电阻并联电路的等效电阻R。

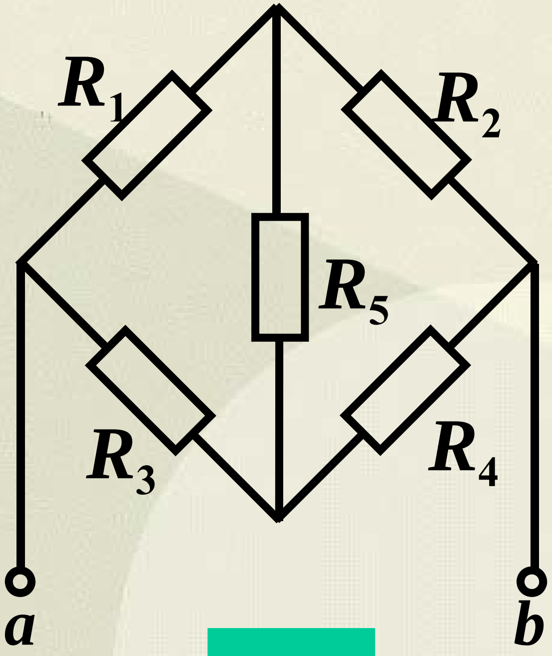


$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}=1.35$$

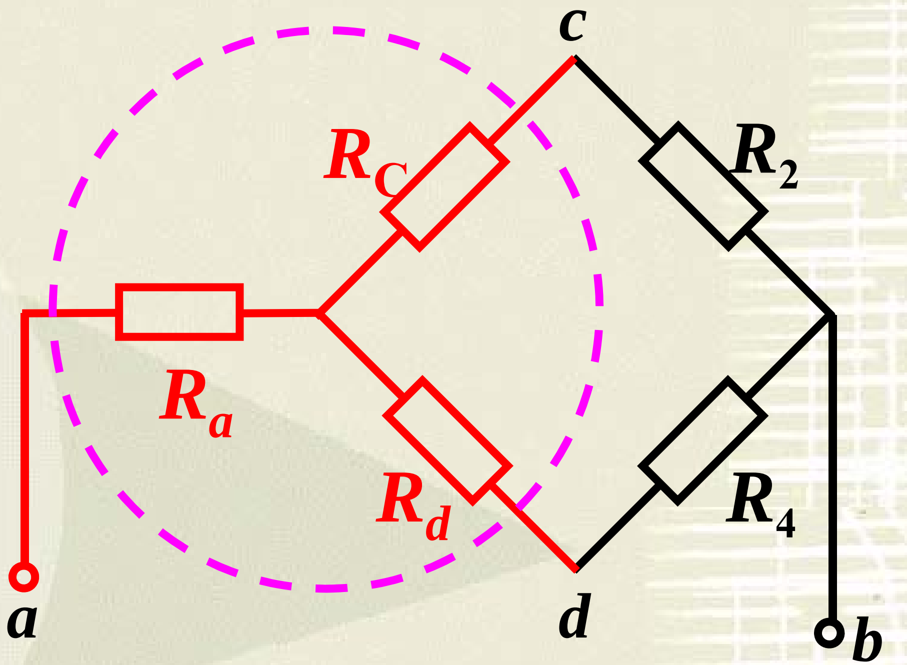
$$R=\frac{1}{1.35}=0.74k\Omega\approx0.8k\Omega$$

有时不需要精确计算，只要求估算。阻值相差很大的两个电阻串联，小电阻的分压作用常可忽略不级；如果是并联，则大电阻的分流作用常可忽略不计。在本例中，因$R_1>>R_3$，$R_2>>R_3$，所以R_1和R_2的分流作用可忽略不计。可将等效电阻估算为0.8kΩ。

2.2 电阻的星形联结与三角形联结的等效变换



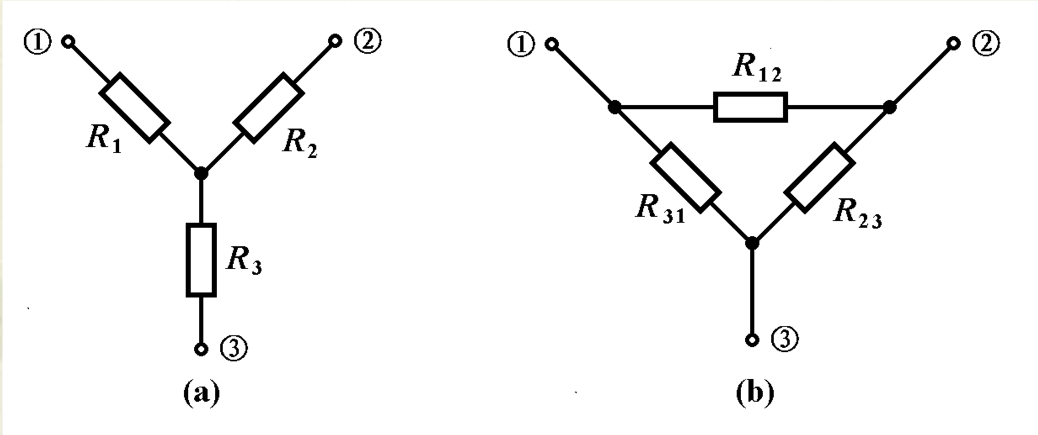
如何求R_{ab}？



用R_a、R_c、R_d构成的Y连接替代R_1、R_3、R_5△电路，即可求得R_{ab}

或者也可用△替代Y

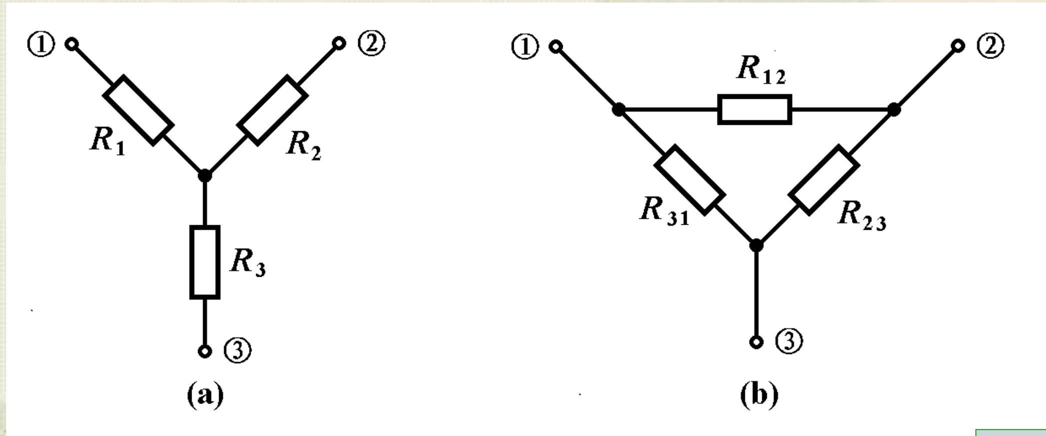
2.2 电阻的星形连接与三角形连接的等效变换

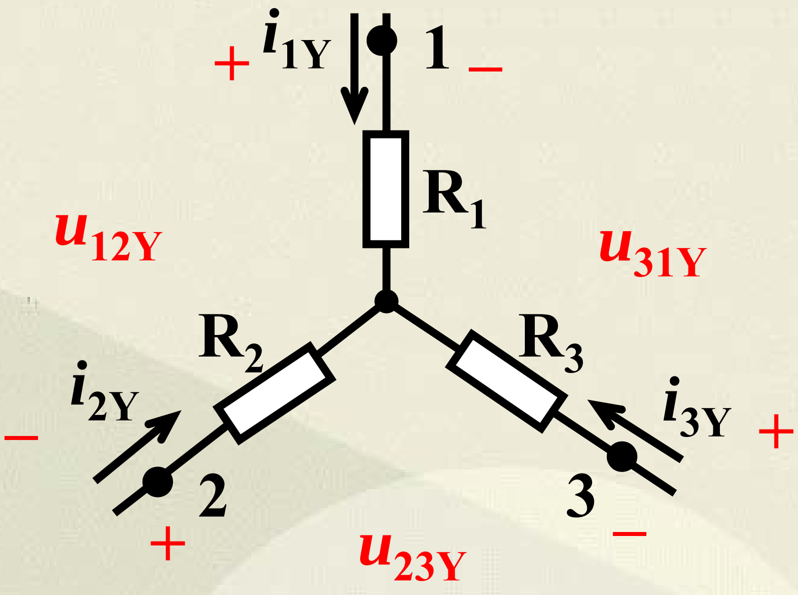


电阻的星形连接:将三个电阻的一端连在一起，另一端分别与外电路的三个结点相连，就构成星形连接，又称为Y形连接，如图 (a)所示。

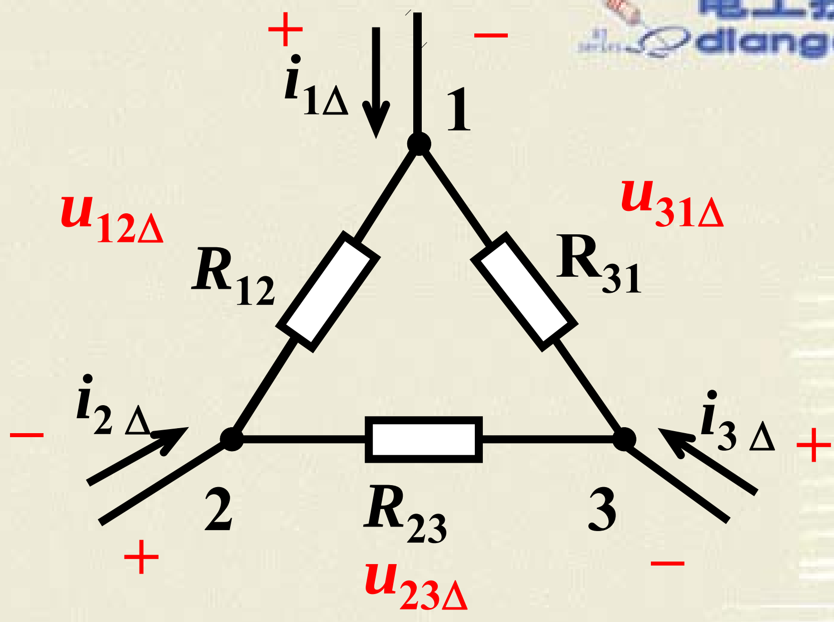
电阻的三角形连接:将三个电阻首尾相连，形成一个三角形，三角形的三个顶点分别与外电路的三个结点相连，就构成三角形连接，又称为Δ形连接，如图(b)所示。

电阻的星形连接和电阻的三角形连接是一种电阻三端网络，电阻三端网络的特性是由端口电压电流关系来表征的，当两个电阻三端网络的电压电流关系完全相同时，称它们为等效的电阻三端网络。将电路中某个电阻三端网络用它的等效电阻三端网络代替时，不会影响端口和电路其余部分的电压和电流。





Y型网络



Δ型网络

Y-Δ变换的等效条件

等效的条件：

$$i_{1\Delta}=i_{1Y} \qquad u_{12\Delta}=u_{12Y}$$

$$i_{2\Delta}=i_{2Y} \qquad u_{23\Delta}=u_{23Y}$$

$$i_{3\Delta}=i_{3Y} \qquad u_{31\Delta}=u_{31Y}$$

$$\left.\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_{31}R_{12}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \\ R_2 &= \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \\ R_3 &= \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \end{aligned}\right\} \quad (2-1)$$

电阻三角形连接等效变换为电阻星形连接的公式为

$$R_i = \frac{\text{接于}i\text{端两电阻之乘积}}{\Delta\text{形三电阻之和}}$$

当$R_{12}= R_{23}= R_{31}= R_{\Delta}$时，有

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_Y = \frac{1}{3} R_{\Delta}$$

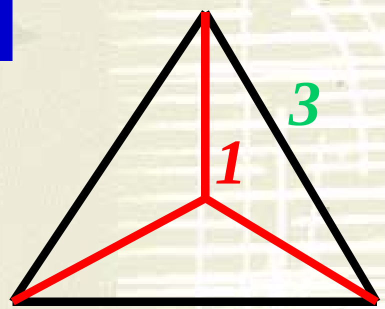
$$\left.\begin{aligned} R_{12} &= \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3} \\ R_{23} &= \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1} \\ R_{31} &= \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_2} \end{aligned}\right\} \qquad (2-2)$$

电阻星形联结等效变换为电阻三角形联结的公式为

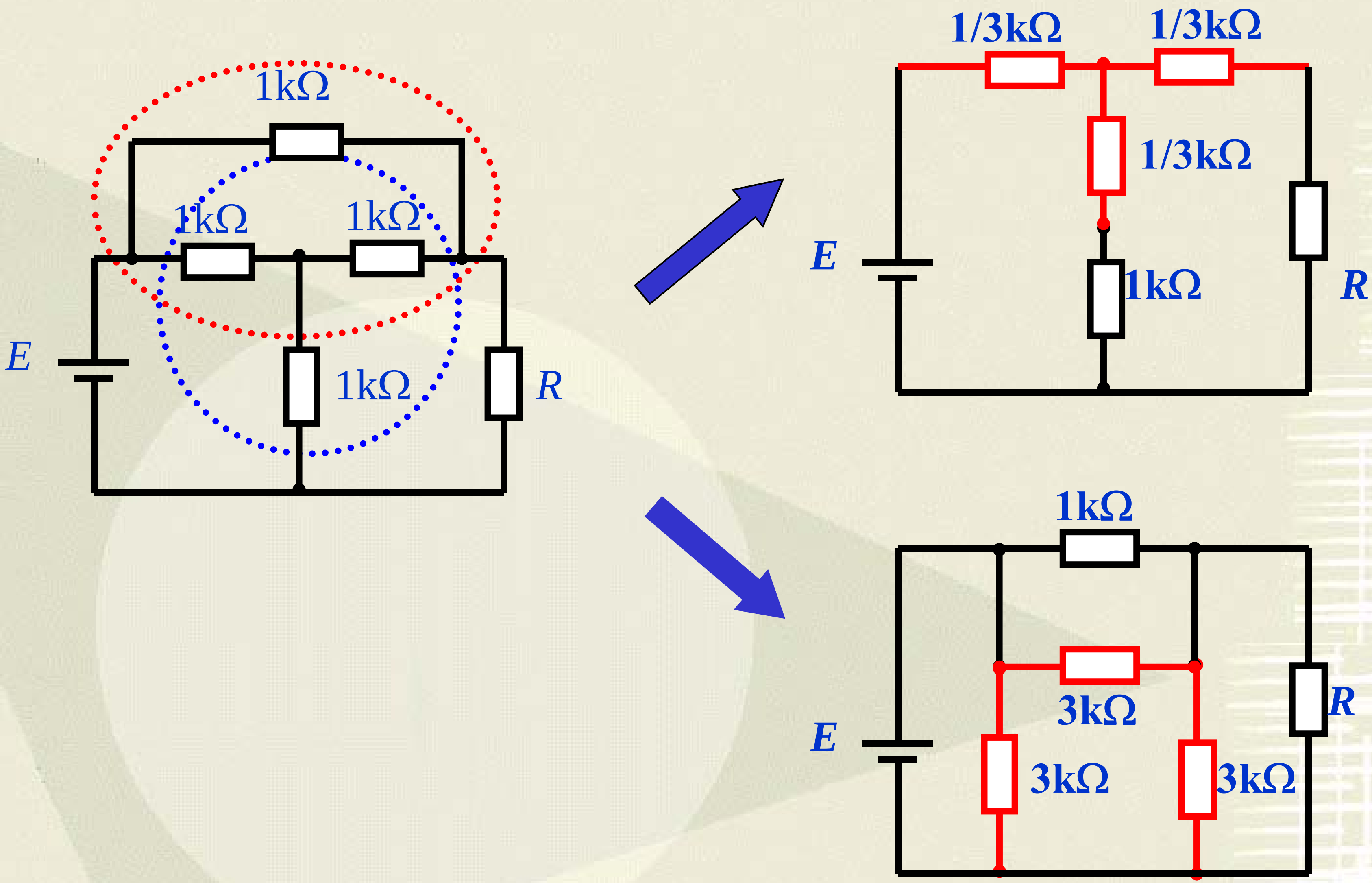
$$R_{mn} = \frac{\text{Y形电阻两两乘积之和}}{\text{不与}mn\text{端相连的电阻}}$$

当$R_1 = R_2 = R_3 = R_Y$时，有

$$R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_\Delta = 3R_Y$$



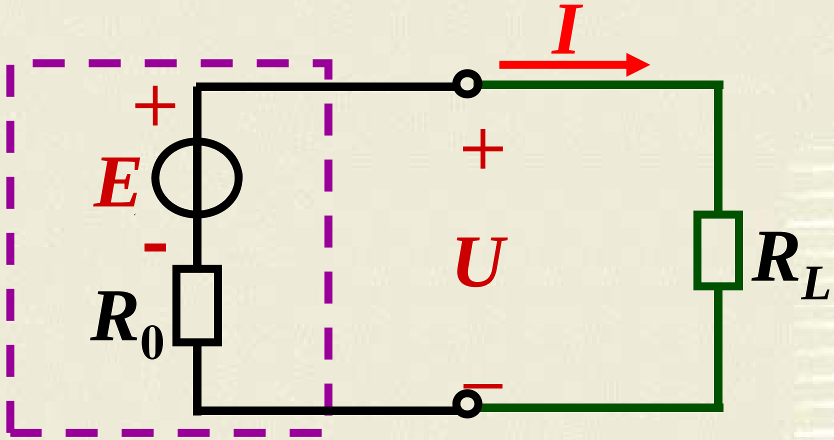
例 . 桥 T 电路



2.3 电源的两种模型及其等效变换

2.3.1 电压源

电压源是由电动势 E 和内阻 R_0 串联的电源的电路模型。



电压源模型

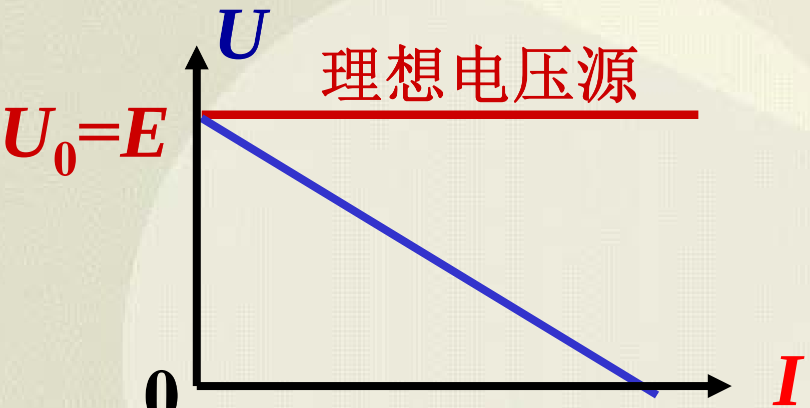
由上图电路可得:

$$U = E - IR_0$$

若 $R_0 = 0$

理想电压源：$U \equiv E$

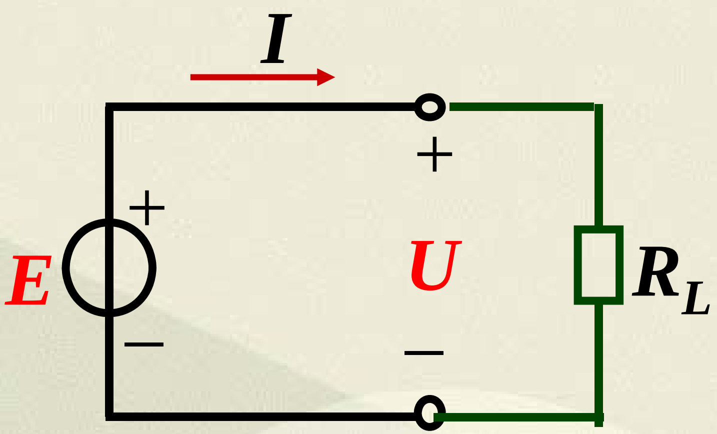
若 $R_0 << R_L$，$U \approx E$，可近似认为是理想电压源。

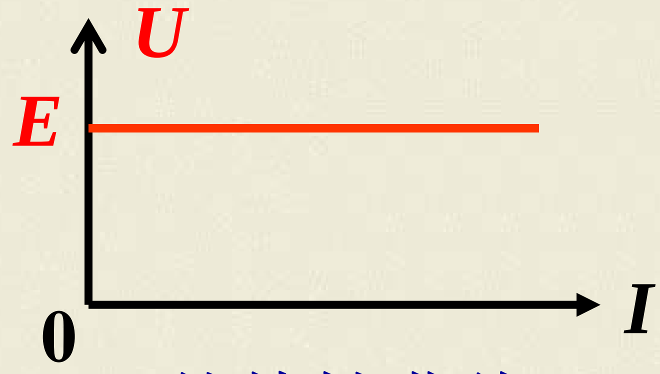


$$I_S = \frac{E}{R_0}$$

电压源的外特性

理想电压源（恒压源）





外特性曲线

特点：(1) 内阻$R_0 = 0$

(2) 输出电压是一定值，恒等于电动势。对直流电压，有 $U \equiv E$。

(3) 恒压源中的电流由外电路决定。

例1：设 $E = 10$ V，接上R_L后，恒压源对外输出电流。

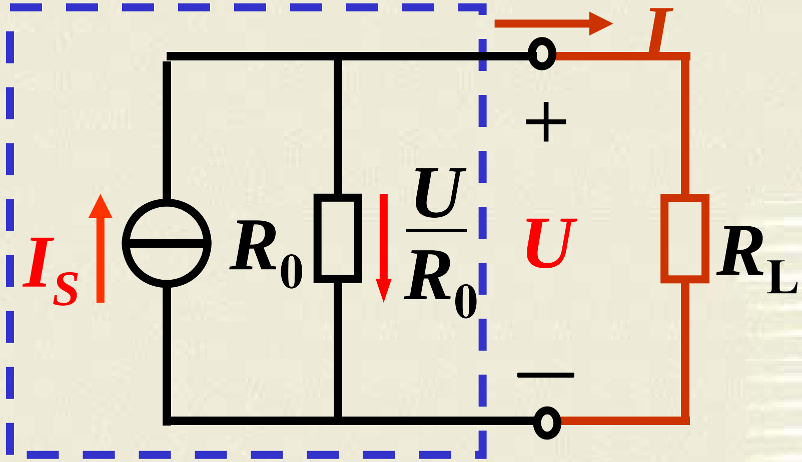
当 $R_L = 1\ \Omega$ 时，$U = 10$ V，$I = 10$A

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

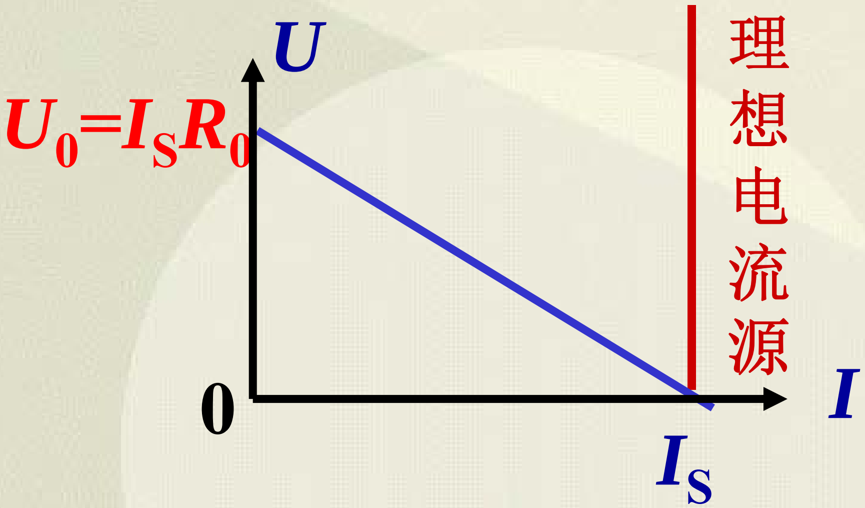
电压恒定，电流随负载变化

2.3.2 电流源

电流源是由电流 I_S 和内阻 R_0 并联的电源的电路模型。



电流源模型



电流源的外特性

由上图电路可得:

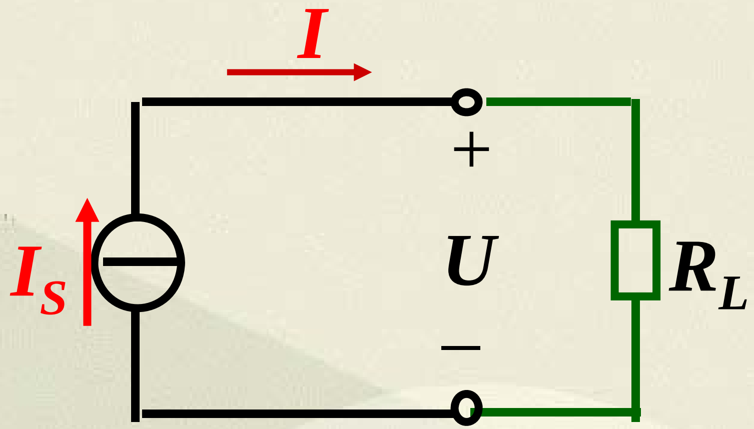
$$I = I_S - \frac{U}{R_0}$$

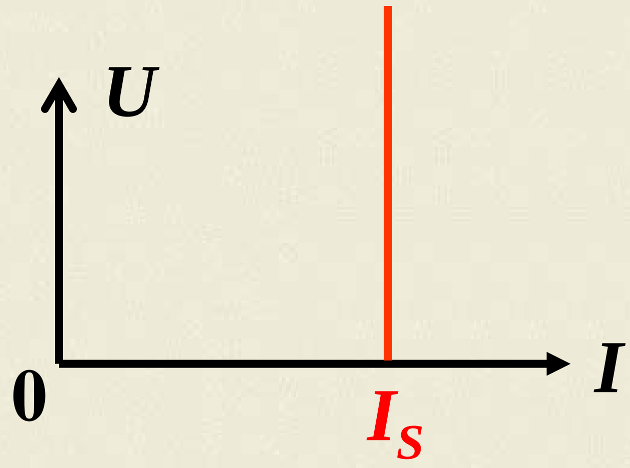
若 $R_0 = \infty$

理想电流源：$I \equiv I_S$

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

理想电流源（恒流源）





外特性曲线

特点：(1) 内阻$R_0 = \infty$；

(2) 输出电流是一定值，恒等于电流 I_S；

(3) 恒流源两端的电压 U 由外电路决定。

设 $I_S = 10$ A，接上R_L 后，恒流源对外输出电流。

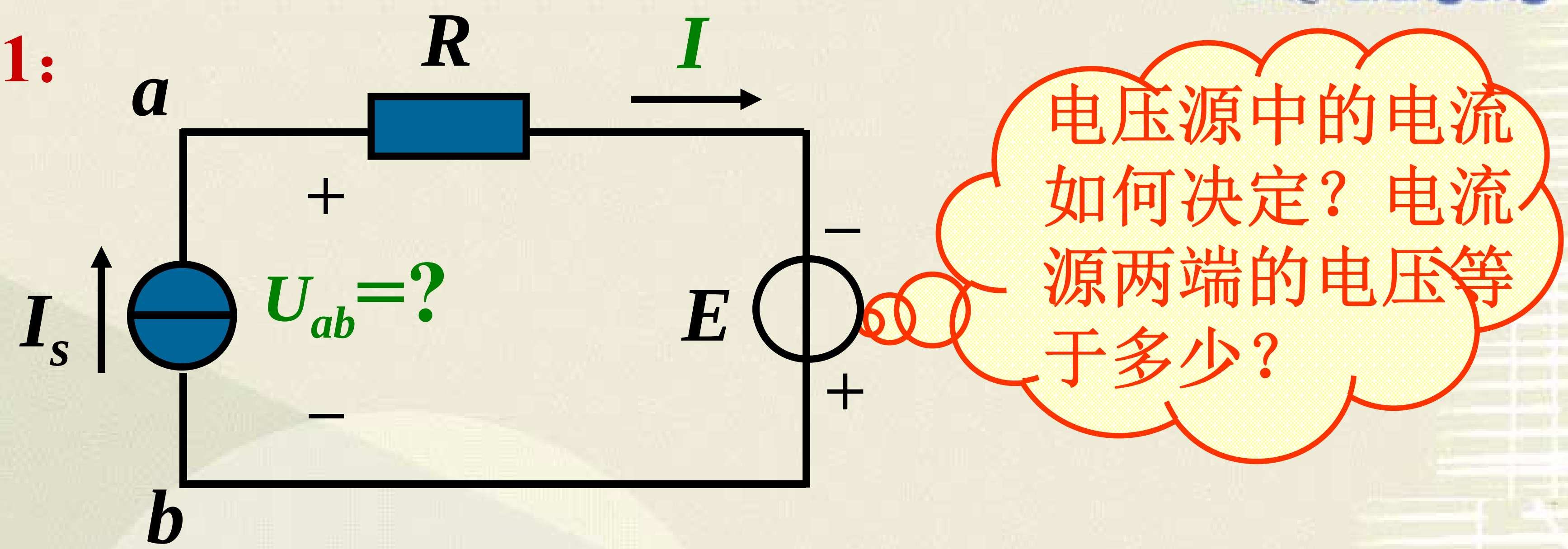
当 $R_L = 1\ \Omega$ 时，$I = 10$A，$U = 10$ V

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

电流恒定，电压随负载变化。

电工技术 diangong

例1：

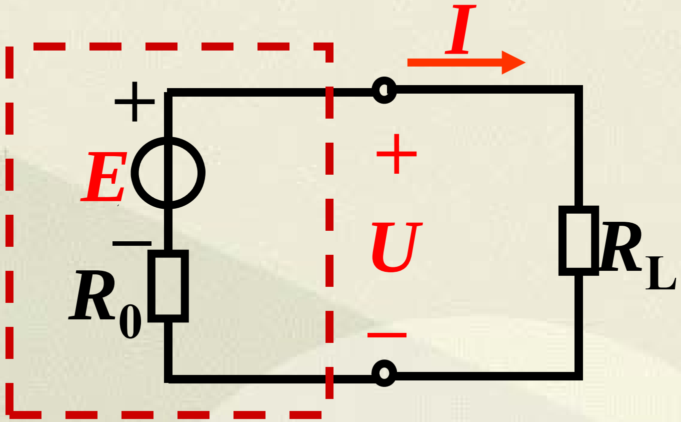


原则：I_s 不能变，E 不能变。

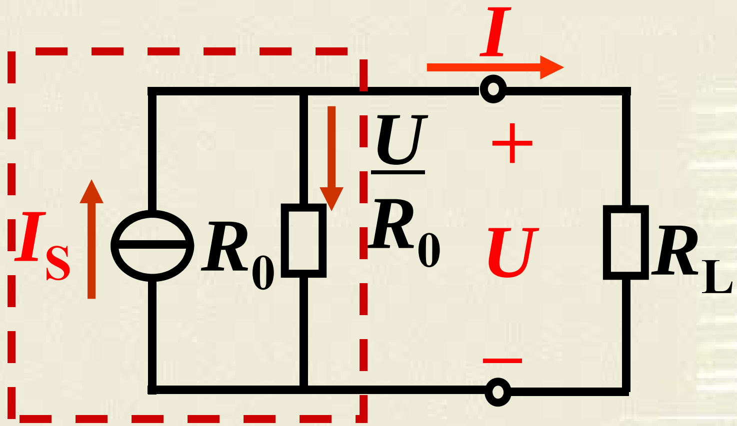
电压源中的电流 $I = I_S$

恒流源两端的电压？

2.3.3 电压源与电流源的等效变换



电压源



电流源

由图a：

$$U = E - IR_0$$

由图b：

$$U = I_S R_0 - IR_0$$

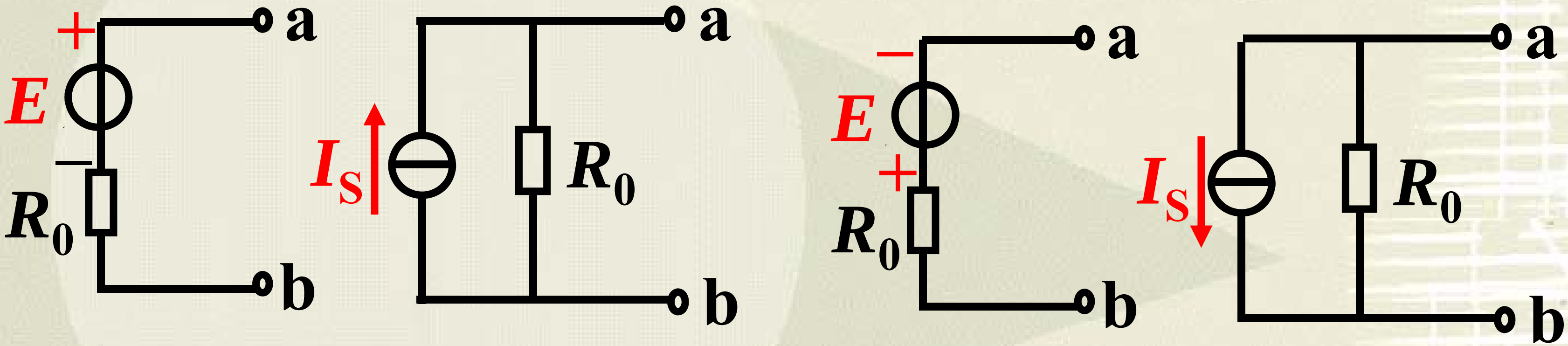
等效变换条件：
$$\begin{cases} E = I_S R_0 \\ I_s = \dfrac{E}{R_0} \end{cases}$$

注意事项：

1）等效变换是对外电路等效对内不等效。

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

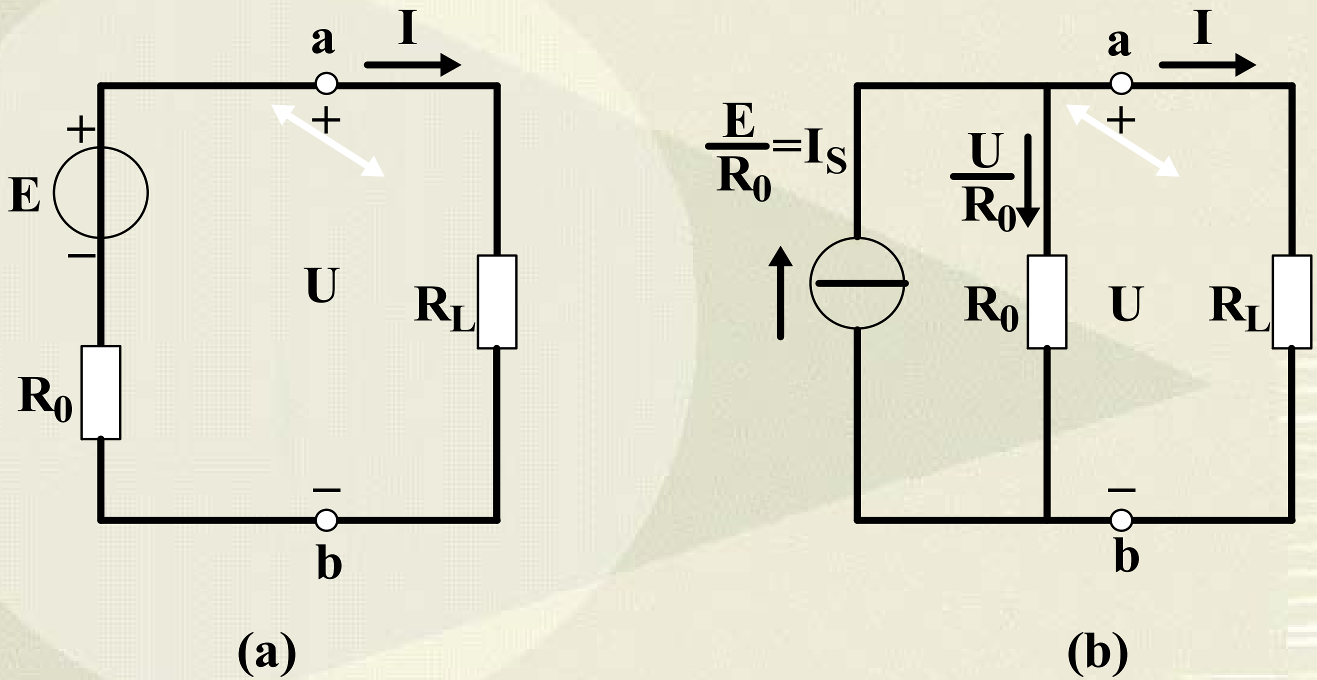
2）等效变换时，两电源的参考方向要一一对应。



3）理想电压源与理想电流源之间不能等效。

例1：有一直流发电机，$E=230V$，$R_0=1\Omega$，当负载电阻$R_L=22\Omega$时，用电源的两种电路模型分别求电压U和电流I，并计算电源内部的损耗功率和内阻压降，看是否也相等？

解：下图所示的是电压源电路和电流源电路。



（1）计算电压U和电流I

在图（a）中

$$I=\frac{E}{R_L+R_0}=\frac{230}{22+1}=10\text{A}$$

$$U=R_L I=22\times10=220\text{V}$$

在图（b）中

$$I=\frac{R_0}{R_L+R_0}I_S=\frac{1}{22+1}\times\frac{230}{1}=10\text{A}$$

$$U=R_L I=22\times10=220\text{V}$$

（2）计算内阻压降和电源内部的损耗功率。

在图（a）中 $R_0 I = 1 \times 10 = 10V$

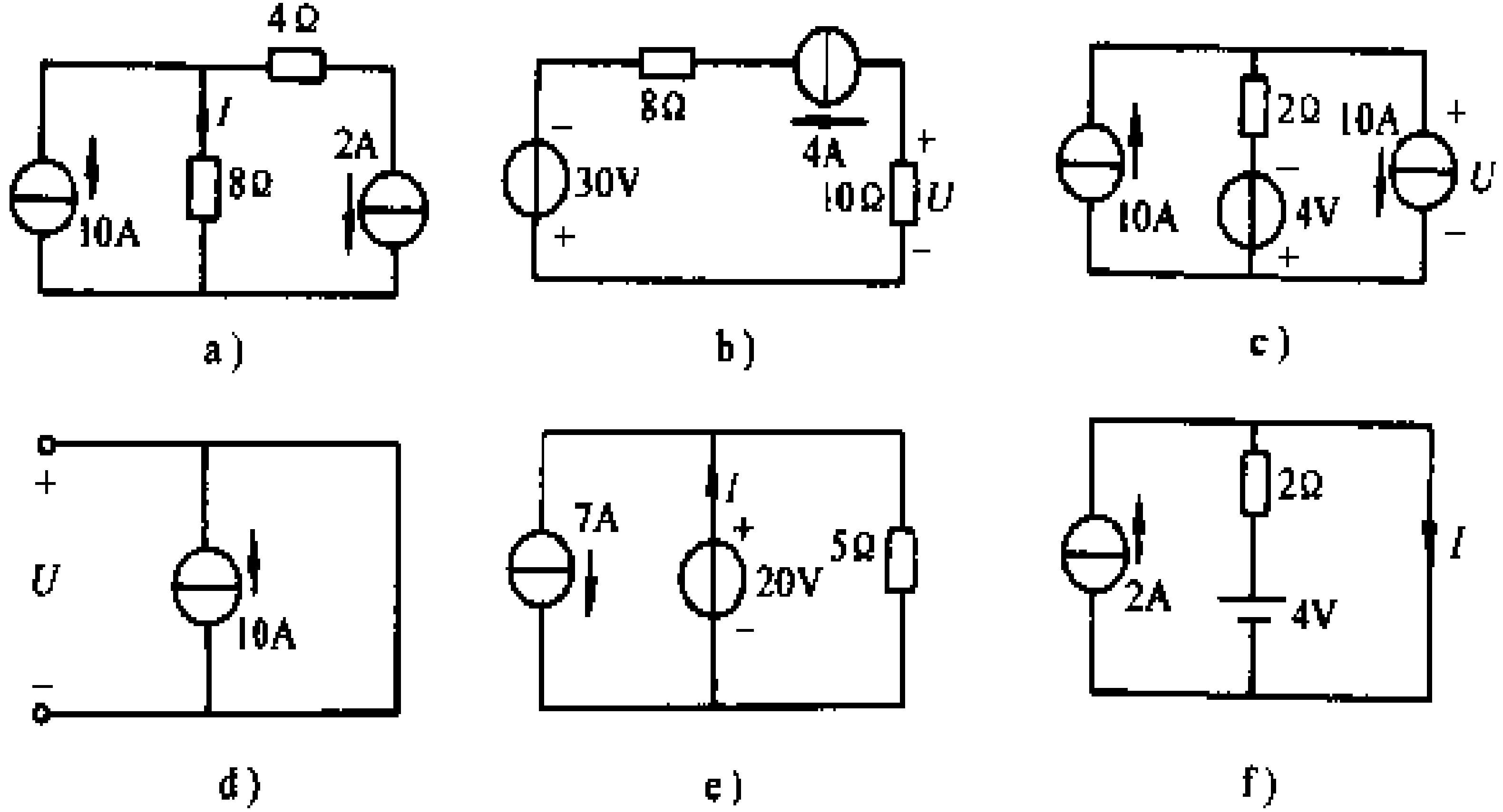
$$\Delta P_0 = R_0 I^2 = 1 \times 10^2 = 100W$$

在图（b）中 $\dfrac{U}{R_0} R_0 = 220V$

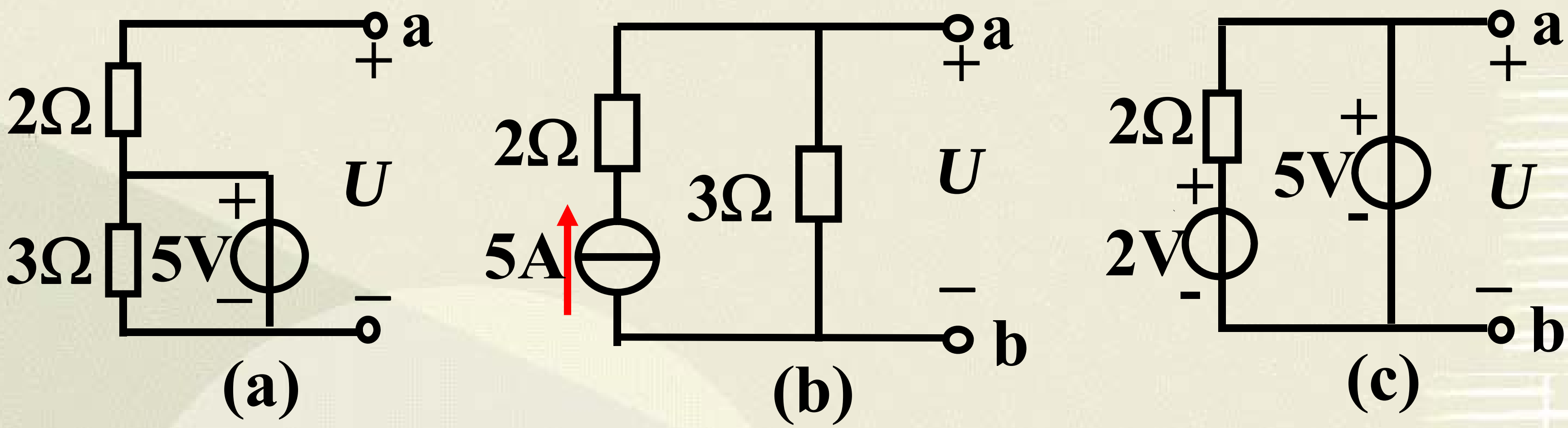
$$\Delta P_0 = \left(\frac{U}{R_0}\right)^2 R_0 = \frac{U^2}{R_0} = \frac{220^2}{1} = 48400W$$

因此，电压源和电流源对外电路讲，相互间是等效的；但对电源内部讲，是不等效的。

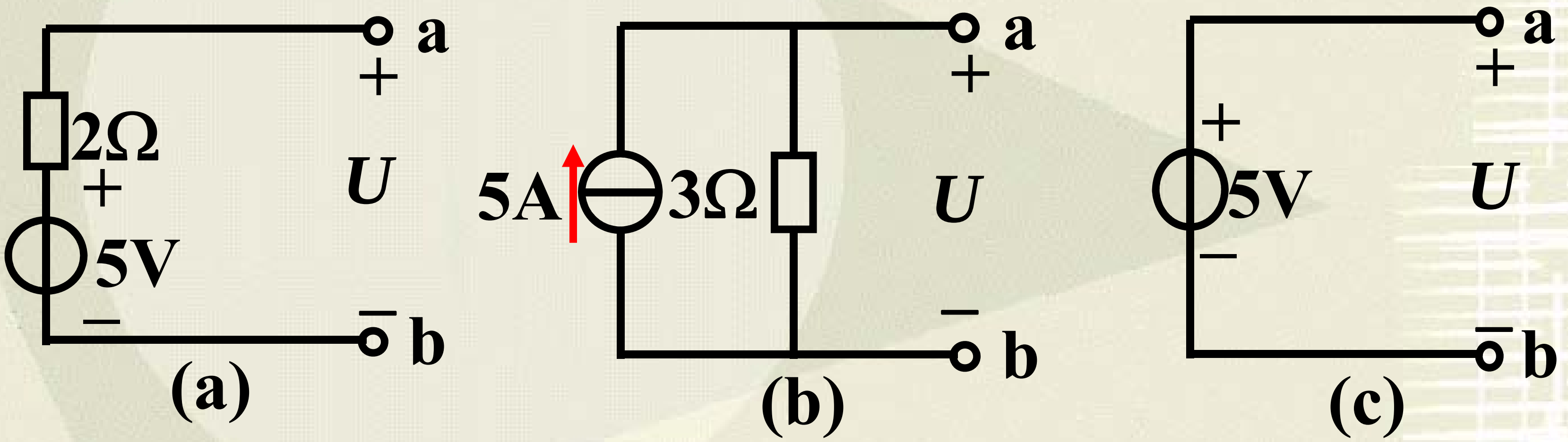
计算图示电路中的*U*和*I*。



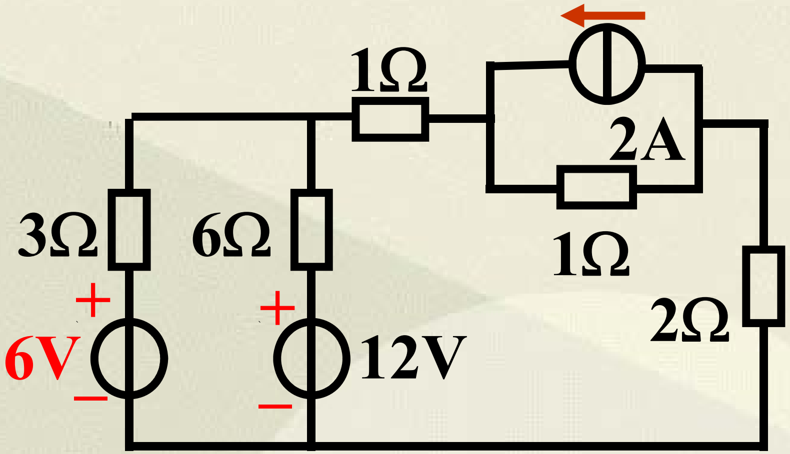
例2：求下列各电路的等效电源



解:

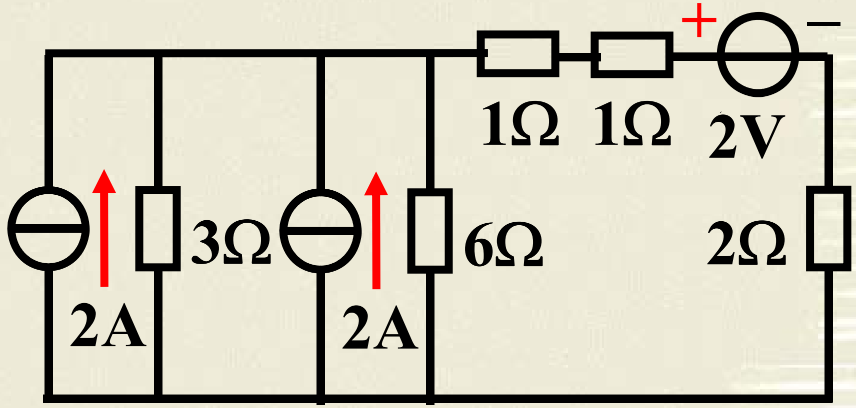


例3: 试用电压源与电流源等效变换的方法计算2Ω电阻中的电流。

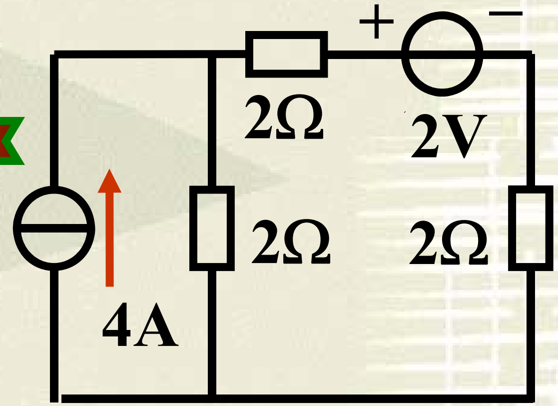


(a)

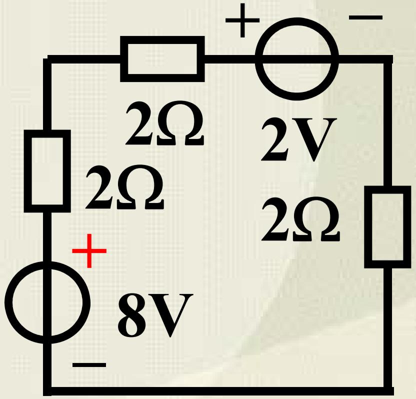
解:



(b)



(c)



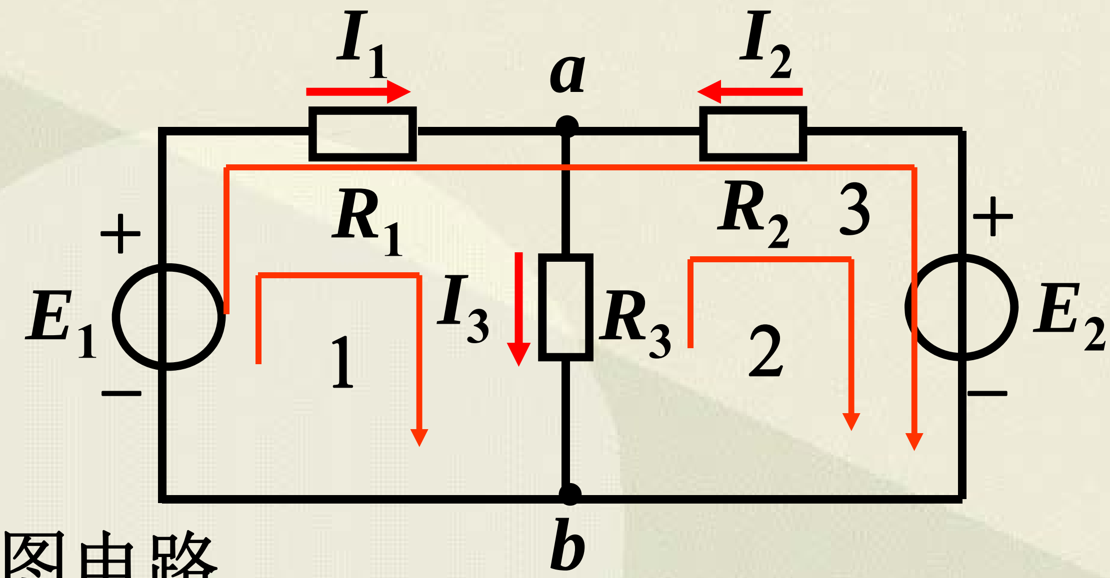
(d)

由图(d)可得

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

2.4 支路电流法

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



对上图电路

支路数： b=3　　结点数：n =2

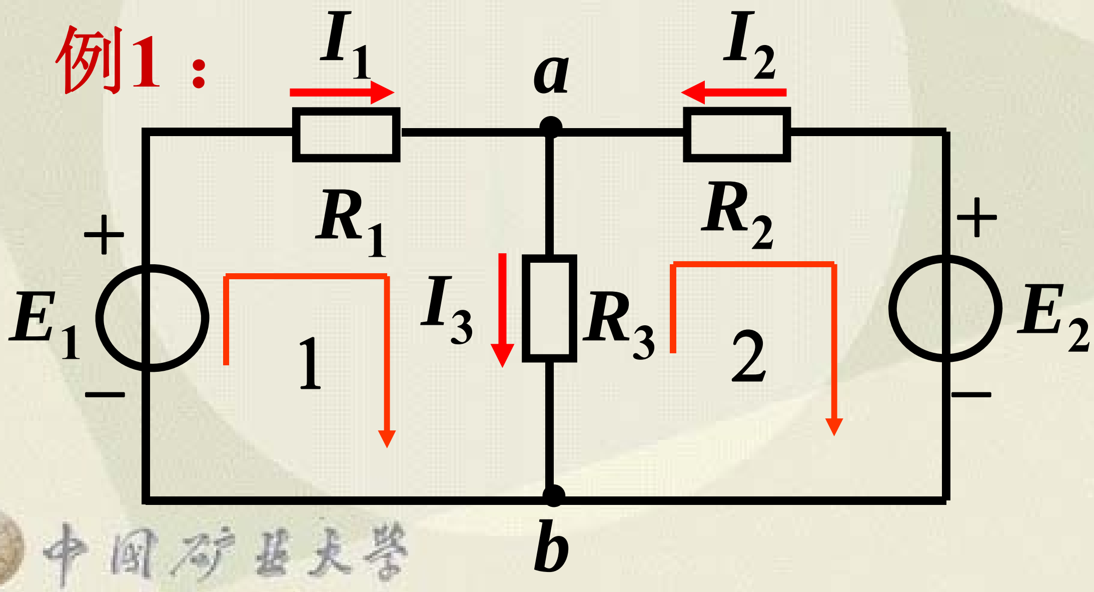
回路数 = 3　单孔回路（网孔）=2

若用支路电流法求各支路电流应列出三个方程

支路电流法的解题步骤:

1. 在图中标出各支路电流的参考方向，对选定的回路标出回路循行方向。
2. 应用 KCL 对结点列出 (n－1)个独立的结点电流方程。
3. 应用 KVL 对回路列出 b－(n－1) 个独立的回路电压方程（通常可取网孔列出）。
4. 联立求解 b 个方程，求出各支路电流。

例1：



对结点 a：

$$I_1+I_2-I_3=0$$

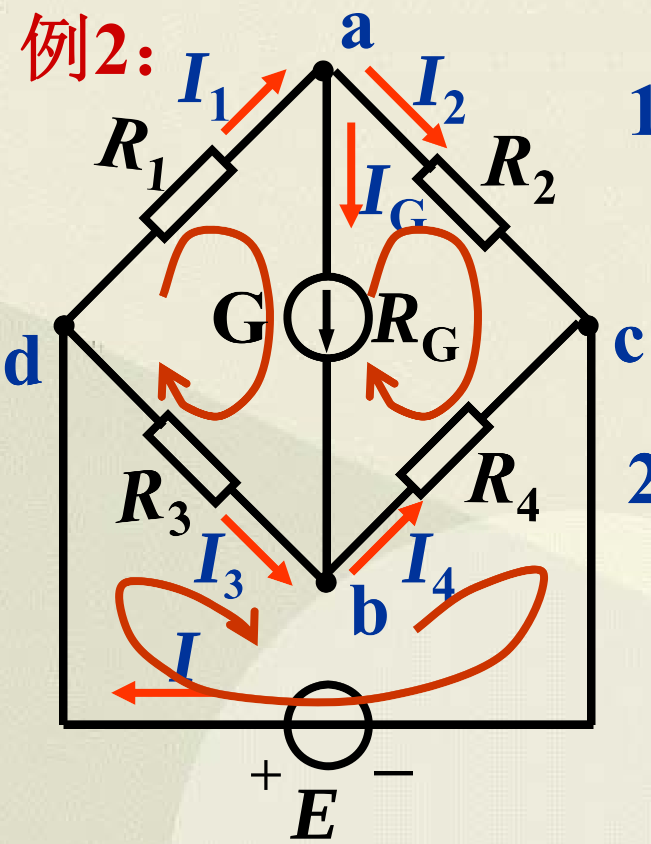
对网孔1：

$$I_1R_1+I_3R_3=E_1$$

对网孔2：

$$I_2R_2+I_3R_3=E_2$$

例2：



试求检流计中的电流I_G。

因支路数 b=6，所以要列6个方程。

1. 应用KCL列(n-1)个结点电流方程

对结点 a： $I_1 - I_2 - I_G = 0$

对结点 b： $I_3 - I_4 + I_G = 0$

对结点 c： $I_2 + I_4 - I = 0$

2. 应用KVL选网孔列回路电压方程

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

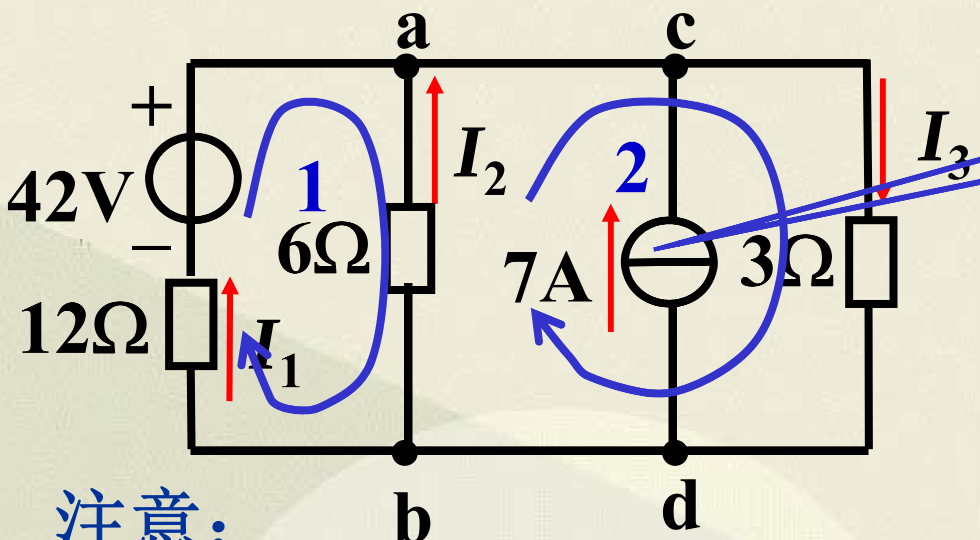
对网孔acba： $I_2 R_2 - I_4 R_4 - I_G R_G = 0$

对网孔bcdb： $I_4 R_4 + I_3 R_3 = E$

3. 联立解出 I_G

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

例3：试求各支路电流。



支路中含有恒流源。

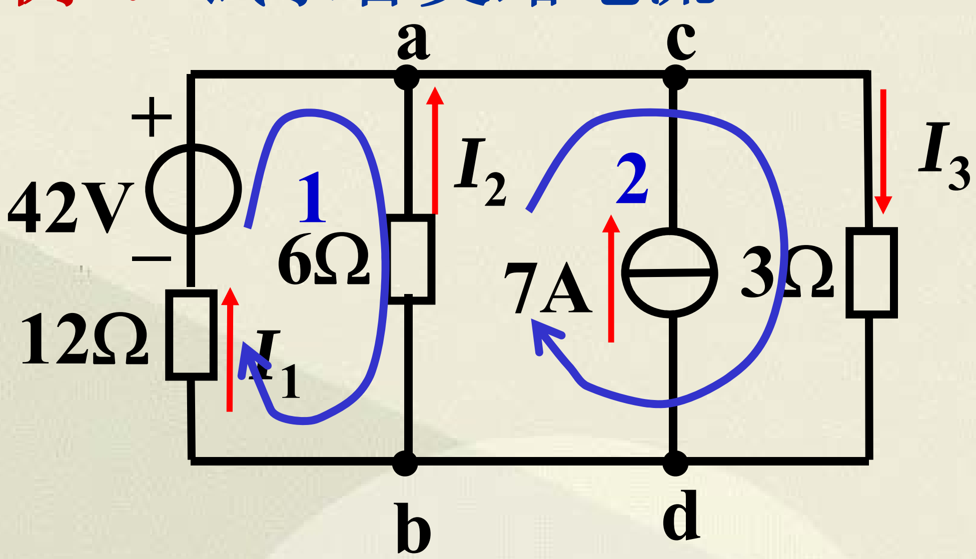
支路数b =4，但恒流源支路的电流已知，则未知电流只有3个，能否只列3个方程？可以。

注意：

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

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

例3：试求各支路电流。



支路中含有恒流源。

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

当不需求a、c和b、d间的电流时，(a、c)(b、d)可分别看成一个结点。

1. 应用KCL列结点电流方程

对结点 a： $I_1 + I_2 - I_3 = -7$

2. 应用KVL列回路电压方程

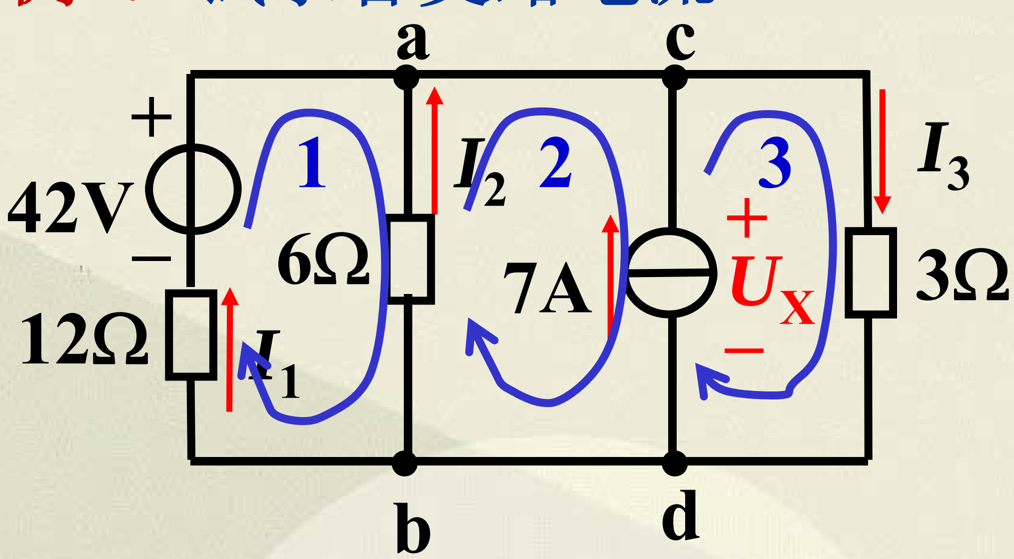
对回路1： $12I_1 - 6I_2 = 42$

对回路2： $6I_2 + 3I_3 = 0$

因所选回路不包含恒流源支路，所以，3个网孔列2个KVL方程即可。

3. 联立解得：$I_1 = 2\text{A}$， $I_2 = -3\text{A}$， $I_3 = 6\text{A}$

例3：试求各支路电流。



支路数b =4，且恒流源支路的电流已知。

1. 应用KCL列结点电流方程

对结点 a：$I_1 + I_2 - I_3 = -7$

2. 应用KVL列回路电压方程

对回路1：$12I_1 - 6I_2 = 42$

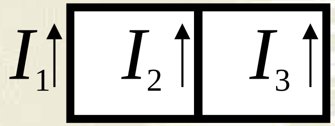
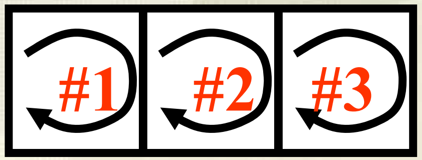
对回路2：$6I_2 + U_X = 0$

对回路3：$-U_X + 3I_3 = 0$

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

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

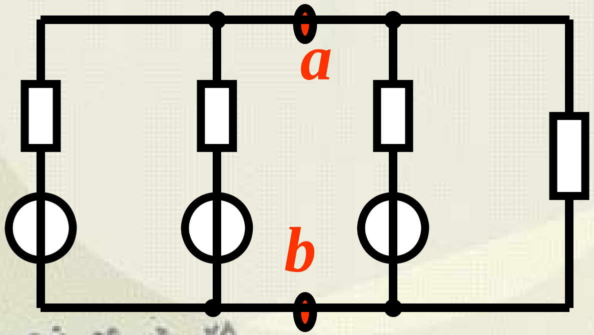
支路电流法小结

	解题步骤	结论与引申
1	对每一支路假设一未知电流	1. 假设未知数时，正方向可任意选择。 2. 原则上，有*B*个支路就设*B*个未知数。 （恒流源支路除外）　例外？
2	列电流方程： 对每个结点有 $\Sigma I = 0$	若电路有N个结点， I_1 I_2 I_3 则可以列出 $\boxed{(N\text{-}1)}$ 个独立方程。
3	列电压方程： 对每个回路有 $\Sigma E = \Sigma U$	1. 未知数=*B*，已有(*N*-1)个结点方程， 需补足 *B* -（*N* -1）个方程。 2. 独立回路的选择：  #1 #2 #3　一般按网孔选择
4	解联立方程组	根据未知数的正负决定电流的实际方向。

支路电流法的优缺点

优点： 支路电流法是电路分析中最基本的方法之一。只要根据基尔霍夫定律、欧姆定律列方程，就能得出结果。

缺点： 电路中支路数多时，所需方程的个数较多，求解不方便。



支路数 B=4

需列4个方程式

2.5 结点电压法

电工技术 diangong

结点电压的概念：

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

解题思路：

假设一个参考点，令其电位为零，

→ 以其它结点电压为未知数列方程，

→ 解方程求各结点电压，

→ 求各支路的电流或电压。

结点电压法适用于支路数多，结点少的电路。

结点电压方程的推导过程(2个结点)

设：$\boxed{V_b = 0\ \mathrm{V}}$

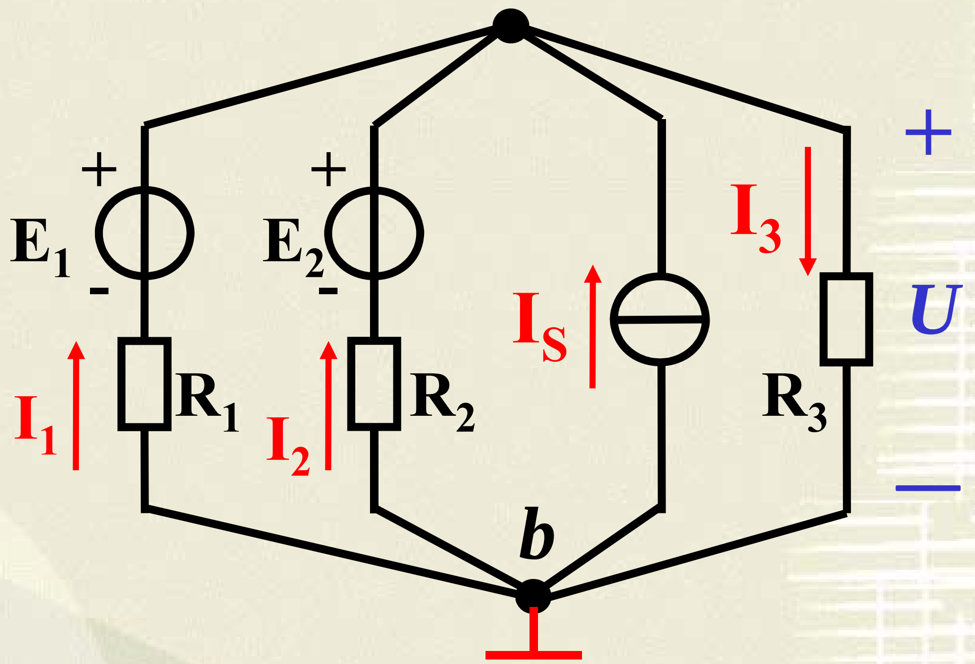
对a 结点列电流方程：

$$I_1 + I_2 + I_S = I_3$$

各支路电流分别为：

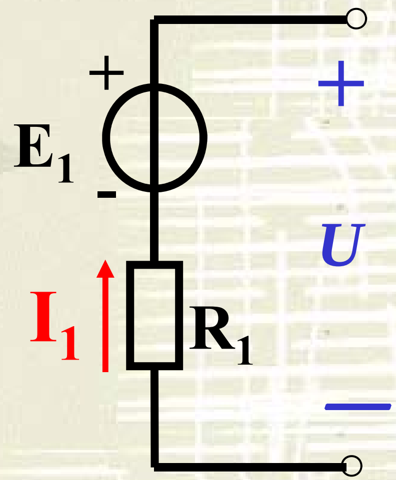
$$I_1 = \frac{E_1 - U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U}{R_2} \qquad I_3 = \frac{U}{R_3}$$



$$\because U = E_1 - I_1 R_1$$

$$\therefore I_1 = \frac{E_1 - U}{R_1}$$



结点电压方程的推导过程(2个结点)

则有：
$$\frac{E_1-U}{R_1}+\frac{E_2-U}{R_2}+I_S=\frac{U}{R_3}$$

整理：
$$\frac{E_1}{R_1}+\frac{E_2}{R_2}+I_S-\left(\frac{U}{R_1}+\frac{U}{R_2}+\frac{U}{R_3}\right)=0$$

$$\therefore\ U=\frac{E_1/R_1+E_2/R_2+I_S}{1/R_1+1/R_2+1/R_3}$$

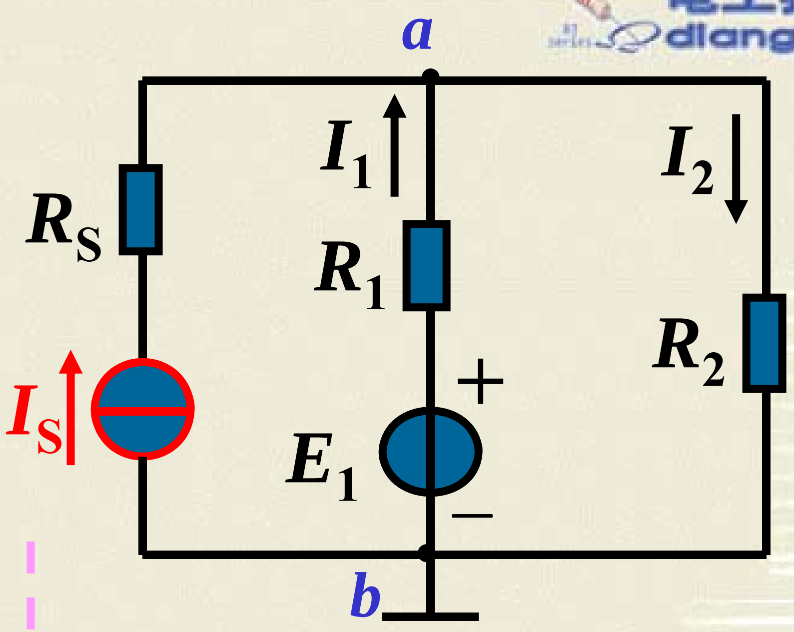
一般表达式：
$$U=\frac{\sum E/R+\sum I_S}{\sum 1/R}$$
（弥尔曼定理）

注意：

1. 弥尔曼定理仅适用于两个结点的电路.

2. 实际使用中最好记住方法,而不是公式。

结点电压法应用举例



支路中含恒流源

设：$V_b = 0$

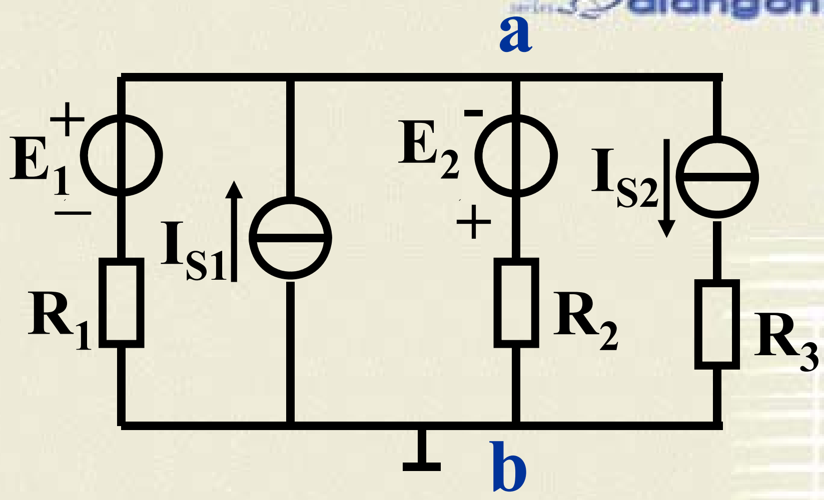
则：

$$U_{ab} \overset{?}{=} \frac{\frac{E_1}{R_1} + I_S}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cancel{\frac{1}{R_S}}}$$

$$U_{ab} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + I_S}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

分母中不应出现恒流源支路的电导

例2：电路如图：



已知：E_1=50 V、E_2=30 V

I_{S1}=7 A、I_{S2}=2 A

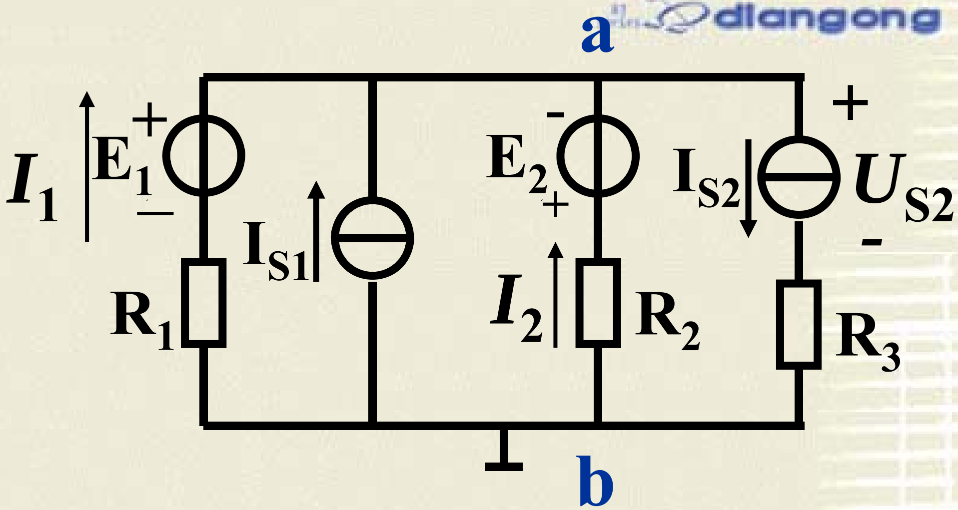
R_1=2 Ω、R_2=3 Ω、R_3=5 Ω

试求：结点电压U_{ab}和各元件的功率。

解： 1. 应用弥尔曼定理求结点电压 U_{ab}

$$U_{ab} = \frac{\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} + I_{S1} - I_{S2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = 24\ \text{V}$$

2. 求各元件功率



$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = 13A$$

$$I_2 = \frac{-E_2 - U_{ab}}{R_2} = -18A$$

或 $I_2 = I_{S2} - I_{S1} - I_1 = -18A$　　$U_{S2} = U_{ab} - I_{S2}R_3 = 14V$

$$P_{E1} = -E_1 I_1 = -650W \qquad P_{R1} = I_1^2 R_1 = 338W$$

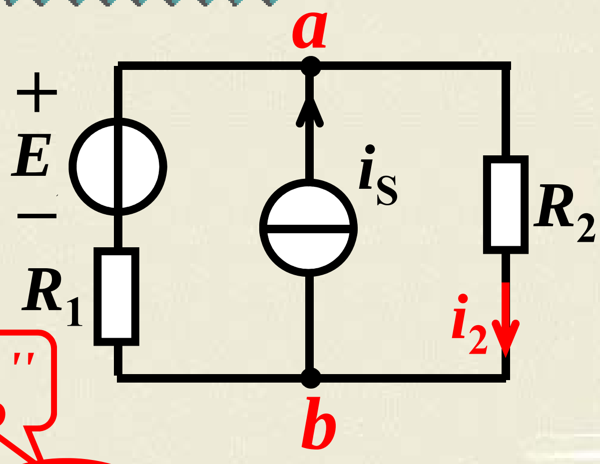
$$P_{E2} = E_2 I_2 = -540W \qquad P_{R2} = I_2^2 R_2 = 972W$$

$$P_{I_{S1}} = -U_{ab} I_{S1} = -168W \qquad P_{R3} = I_{S2}^2 R_3 = 20W$$

$$P_{I_{S2}} = U_{S2} I_{S2} = 28W$$

2.6 叠加原理

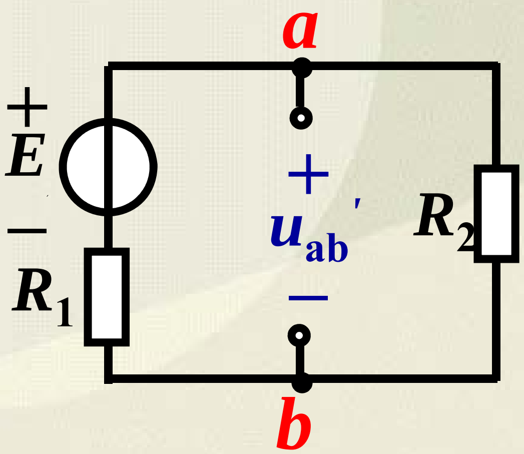
例：图示电路，求u_{ab}，i_2。

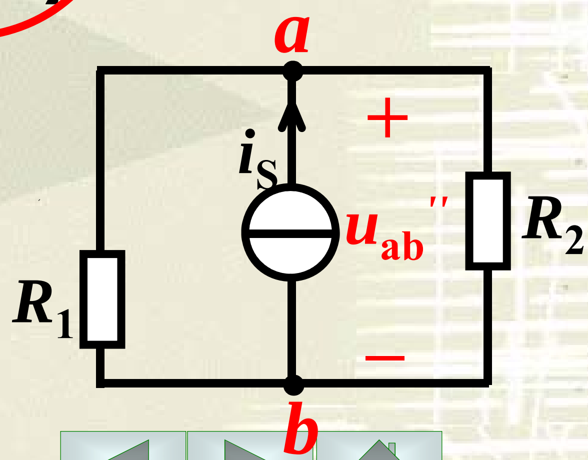


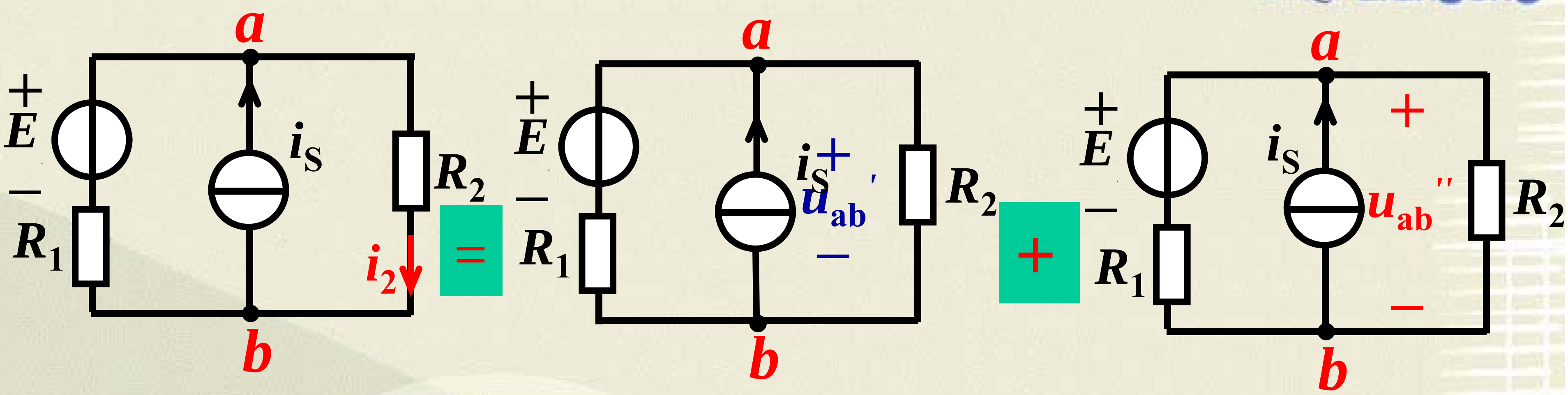
解：

$$u_{ab}=\frac{\dfrac{E}{R_1}+i_s}{\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}}=\underbrace{E\frac{R_2}{R_1+R_2}}_{u_{ab}'}+\underbrace{i_S\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}}_{u_{ab}''}$$

$$u_{ab}=u_{ab}'+u_{ab}''$$







$$u_{ab} = E\frac{R_2}{R_1+R_2} + i_S\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$$

求解i_2：$$i_2 = \frac{u_{ab}}{R_2} = \underbrace{\frac{E}{R_1+R_2}}_{i_2'} + \underbrace{\frac{R_1}{R_1+R_2}i_s}_{i_2''}$$

$$i_2 = i_2' + i_2''$$

一．叠加定理内容

在线性电路中，任一支路电流(或支路电压）是电路中各个独立电源单独作用时，在该支路产生的电流(或电压)的叠加。

二．叠加定理使用注意事项

1. 叠加定理只适用于线性电路;

2. 各个独立电源单独作用（其余独立电源置零）；

   电压源置零 ——用短路替代

   电流源置零 ——用开路替代

3. 电压、电流可以叠加，功率能不能叠加？

$$P_{R_2} = i_2^2 R_2 = (i_2' + i_2'')^2 R_2 \neq i_2'^2 R_2 + i_2''^2 R_2$$

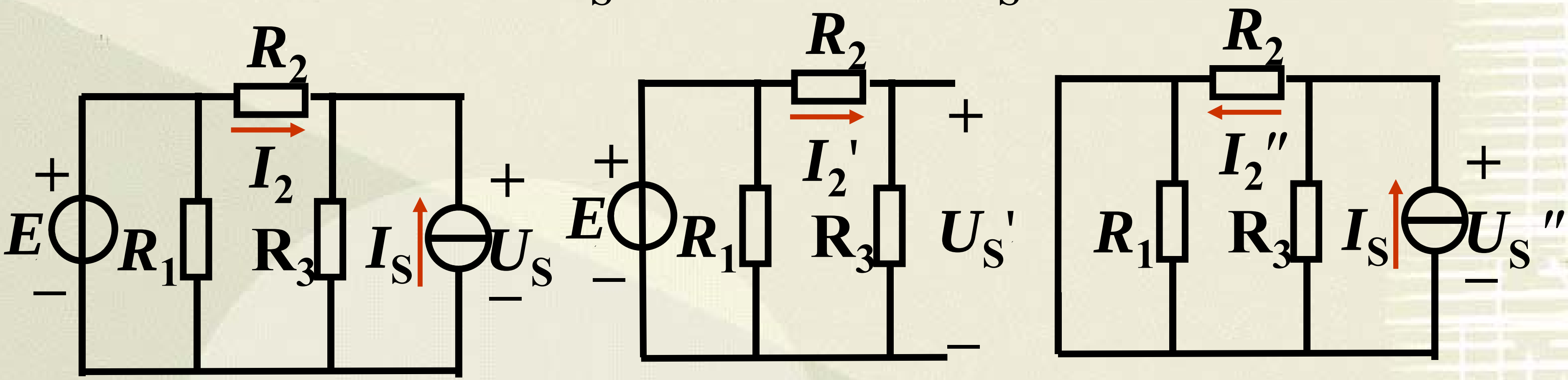
功率不能叠加

4. 叠加时要注意各分量的方向（代数和）。

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

5. 应用叠加原理时可把独立源分组求解，但每个独立源只能在分电路图中出现一次。

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



(a)

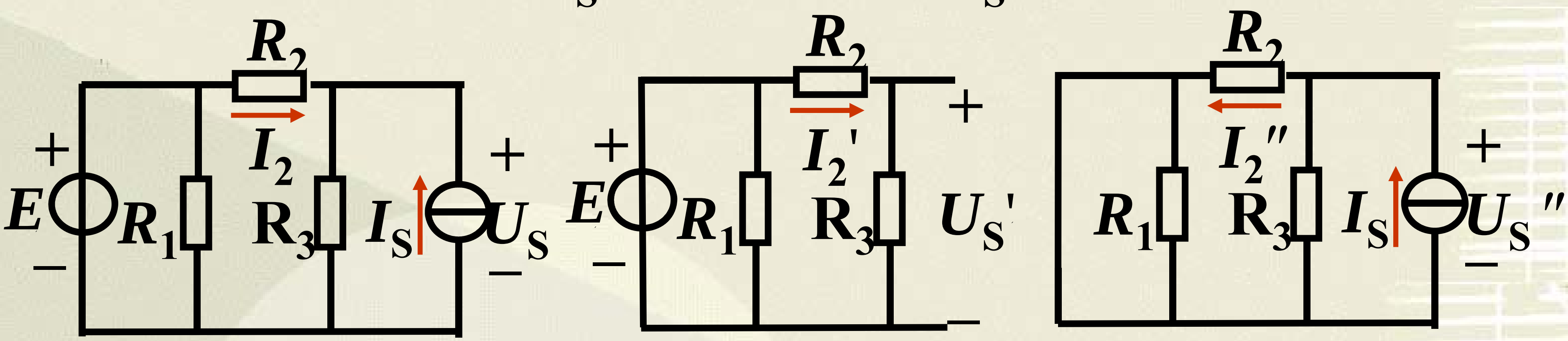
(b) E单独作用
将 I_S 断开

(c) I_S单独作用
将 E 短接

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

$$U_S' = I_2' R_2 = 1 \times 5 = 5\text{V}$$

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



(a) (b) E单独作用 (c) I_S单独作用

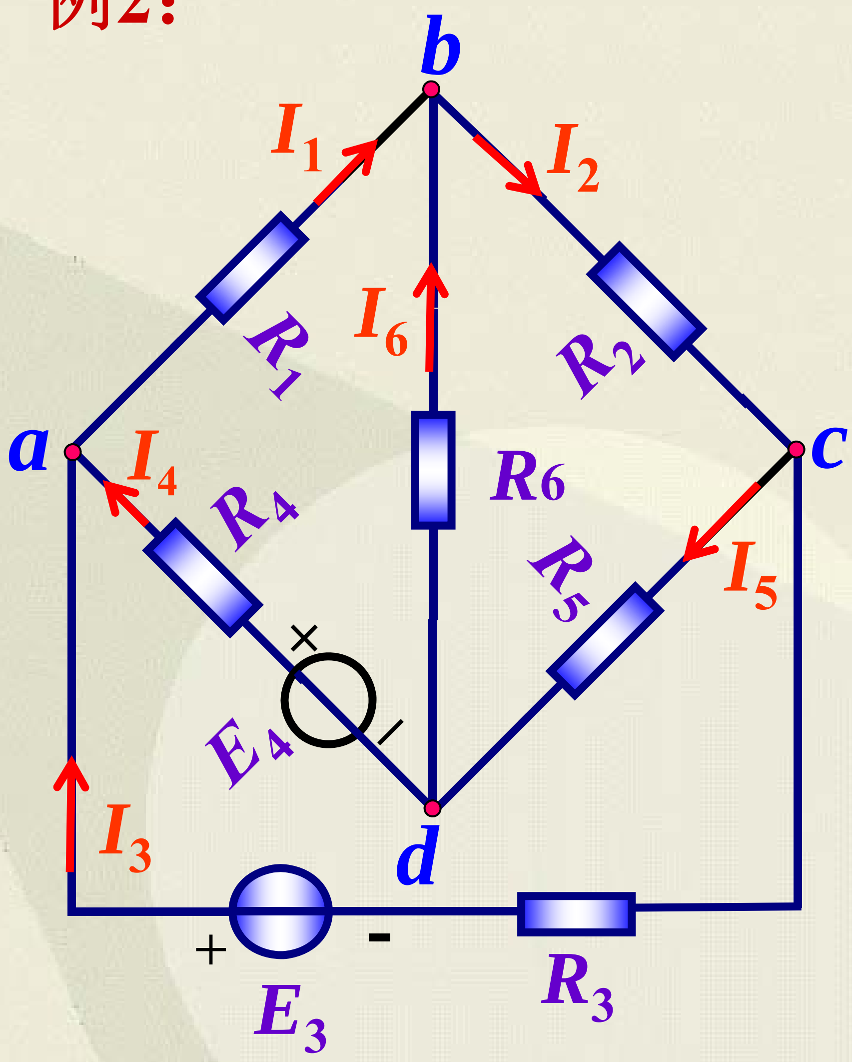
解：由图(c)
$$I_2'' = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I_S = \frac{5}{5+5} \times 1 = 0.5\text{A}$$

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

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

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

例2：



已知各U_S和R；求：I_6。

解题方法有：

支路法：6个方程

叠加原理： 能用但很繁

若只需计算复杂电路中某一条支路的电流时，可采用戴维宁定理。

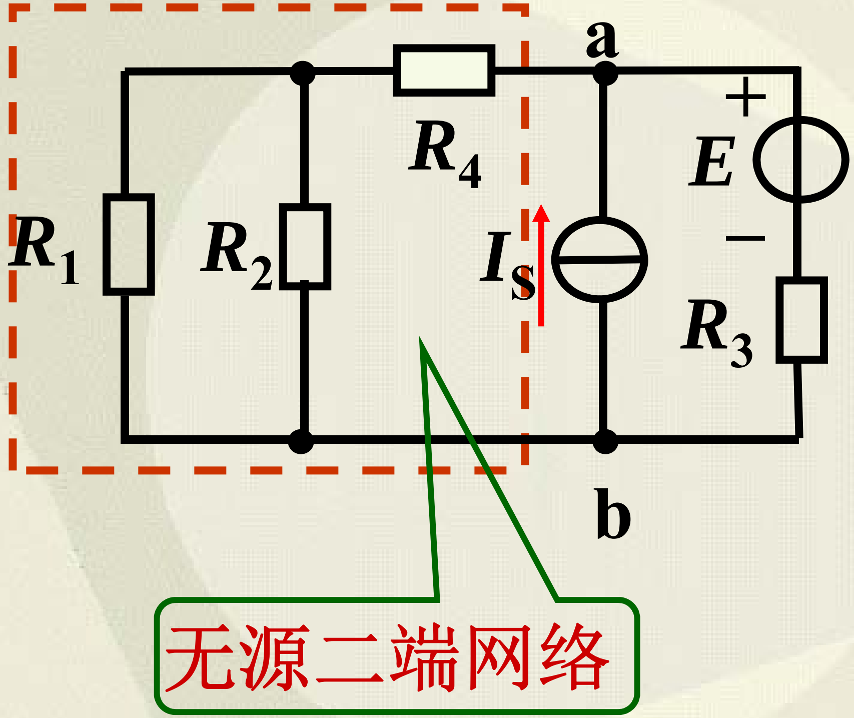
2.7 戴维宁定理

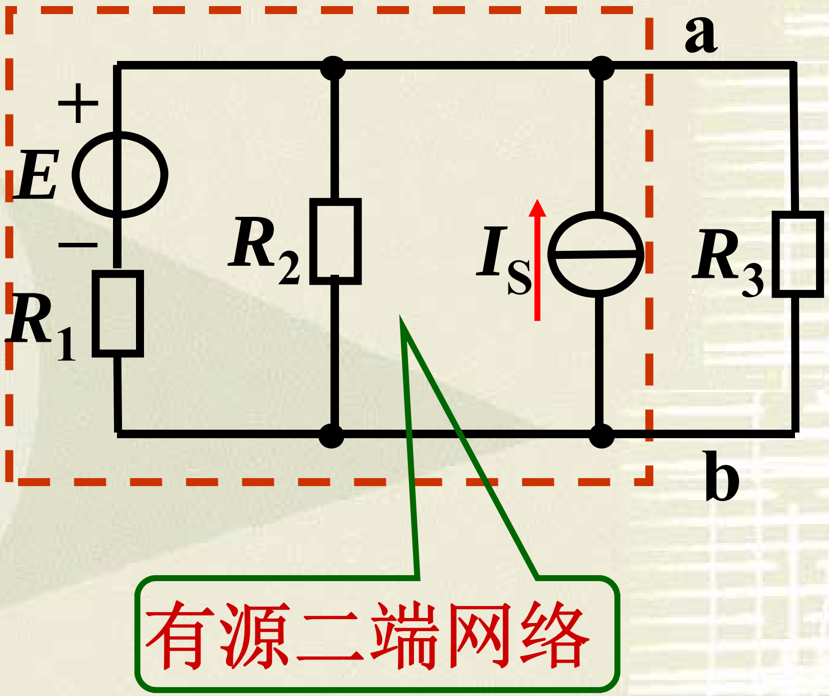
二端网络的概念：

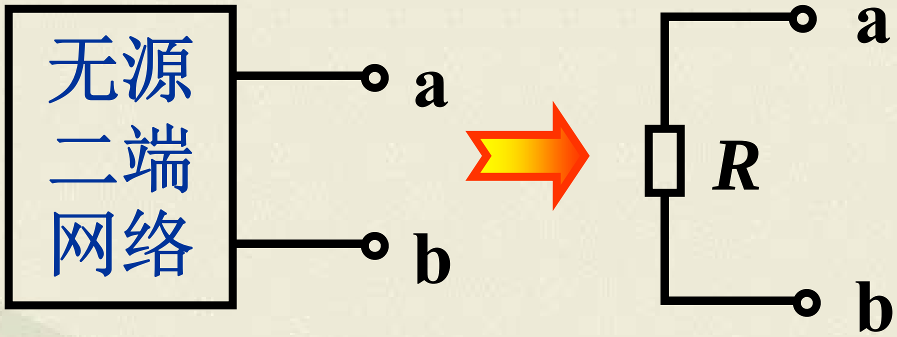
二端网络：具有两个出线端的部分电路。

无源二端网络：二端网络中没有电源。

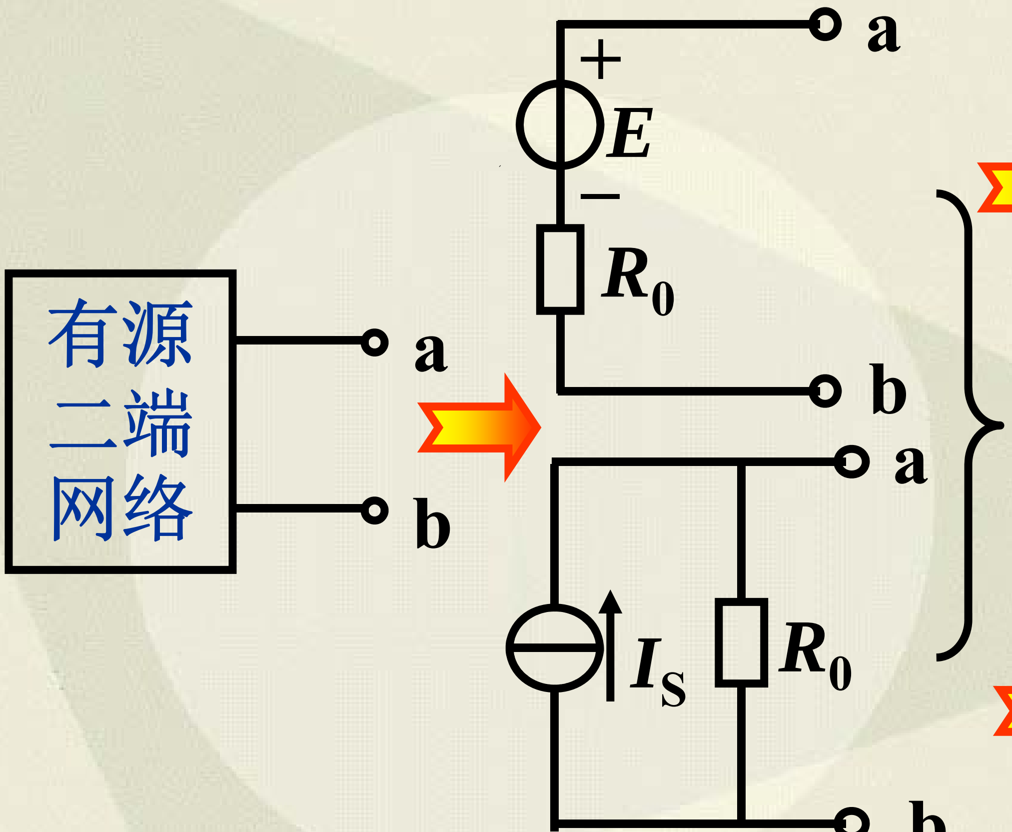
有源二端网络：二端网络中含有电源。







无源二端网络可化简为一个电阻

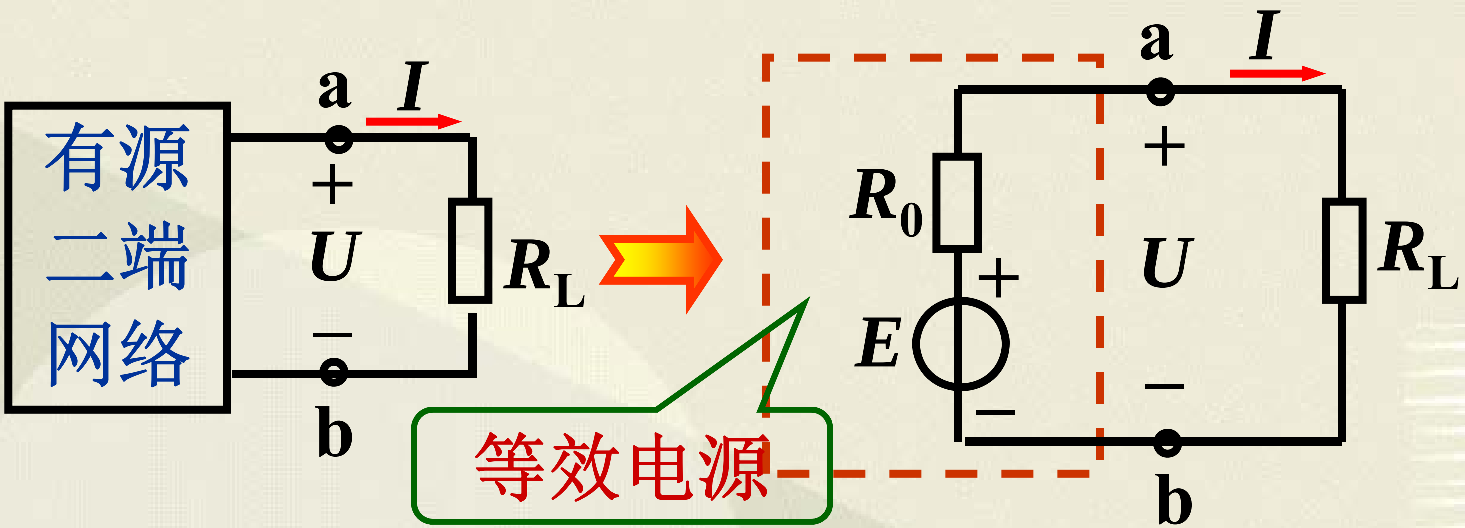


电压源
（戴维宁定理）

有源二端网络可化简为一个电源

电流源
（诺顿定理）

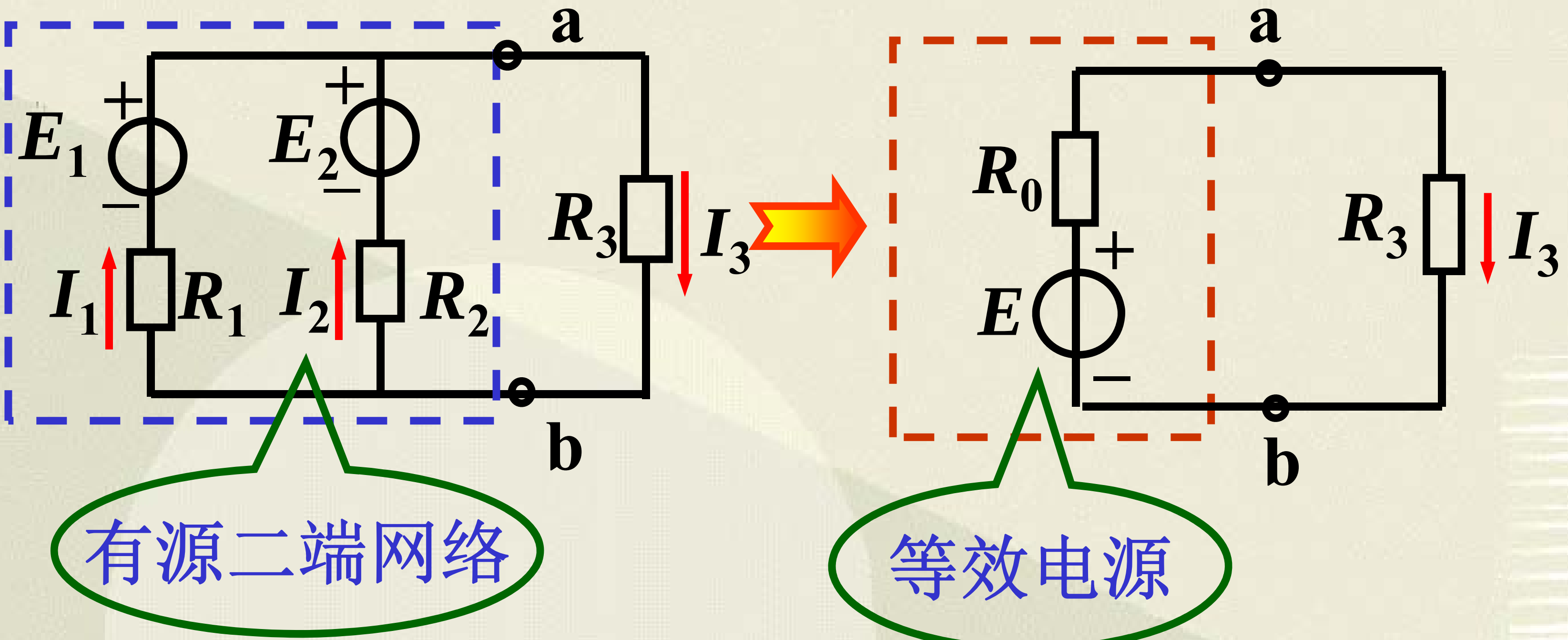
任何一个有源二端线性网络都可以用一个电动势为E的理想电压源和内阻 R_0 串联的电源来等效代替。



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

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

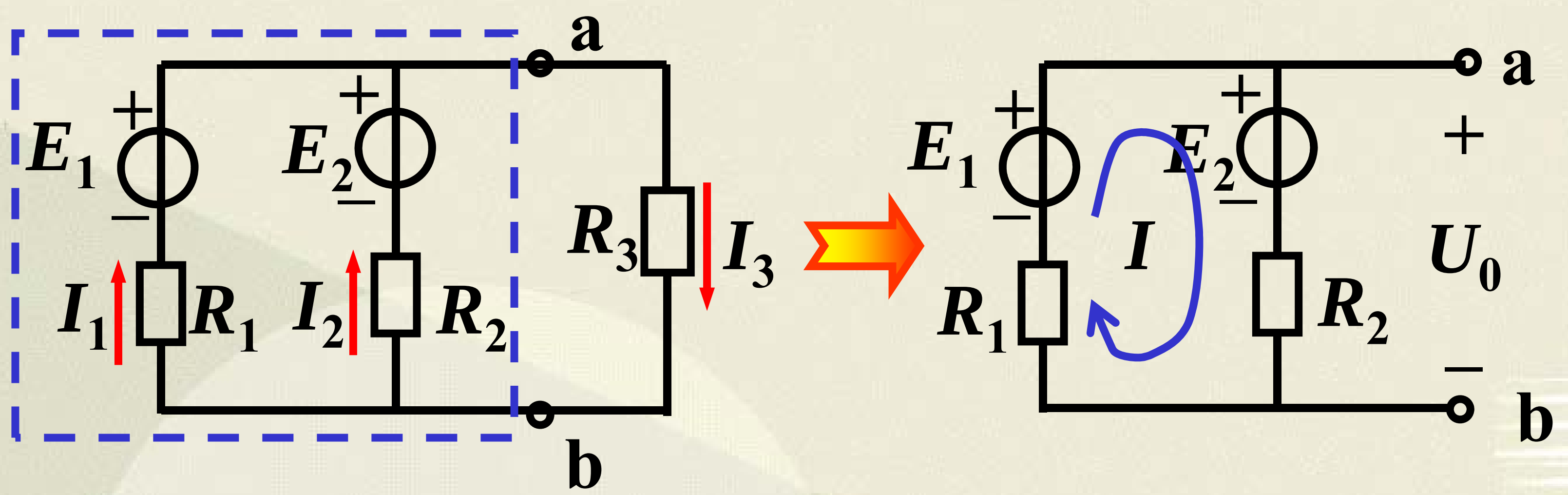
例1：电路如图，已知E_1=40V，E_2=20V，R_1=R_2=4Ω，R_3=13 Ω，试用戴维宁定理求电流I_3。



注意：“等效”是指对端口外等效

即用等效电源替代原来的二端网络后，待求支路的电压、电流不变。

例1：电路如图，已知E_1=40V，E_2=20V，R_1=R_2=4Ω，R_3=13 Ω，试用戴维宁定理求电流I_3。



解：1. 断开待求支路求等效电源的电动势 E

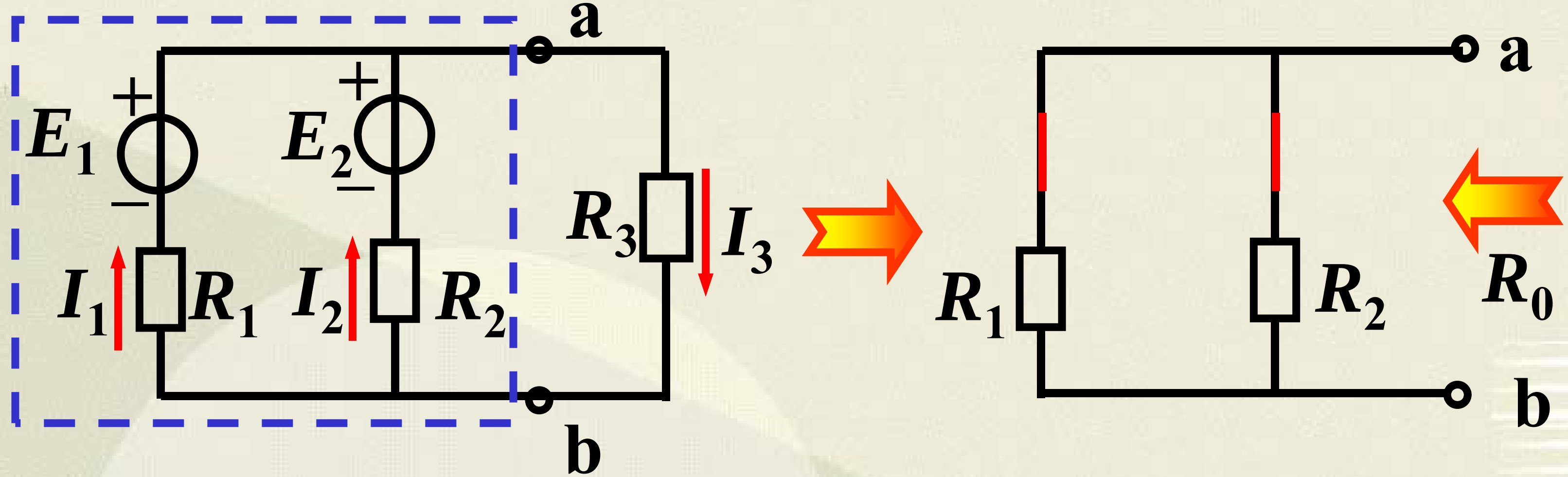
$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{40 - 20}{4 + 4} = 2.5\ \text{A}$$

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

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

E 也可用叠加原理等其它方法求。

例1： 电路如图，已知E_1=40V，E_2=20V，R_1=R_2=4Ω，R_3=13 Ω，试用戴维宁定理求电流I_3。



解：2. 求等效电源的内阻R_0

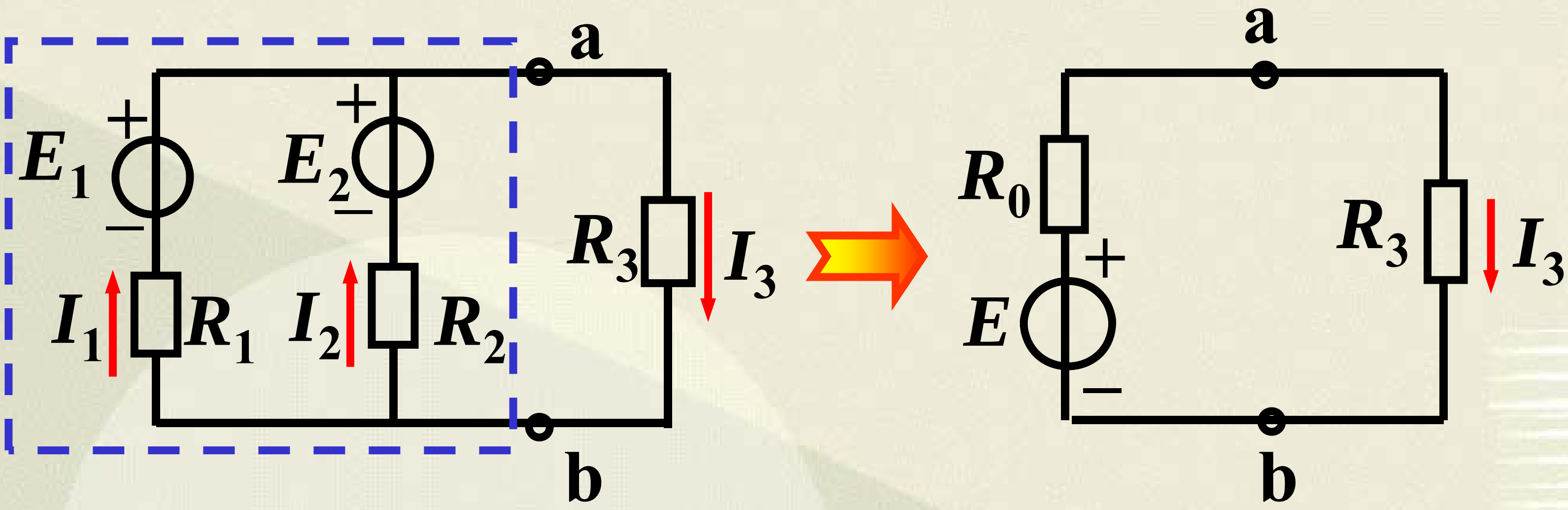
除去所有电源（理想电压源短路，理想电流源开路）

从a、b两端看进去， R_1 和 R_2 并联

$\therefore\ R_0 = R_1 // R_2 = 4 // 4 = 2\Omega$

求内阻R_0时，关键要弄清从a、b两端看进去时各电阻之间的串并联关系。

例1：电路如图，已知E_1=40V，E_2=20V，R_1=R_2=4Ω，R_3=13 Ω，试用戴维宁定理求电流I_3。

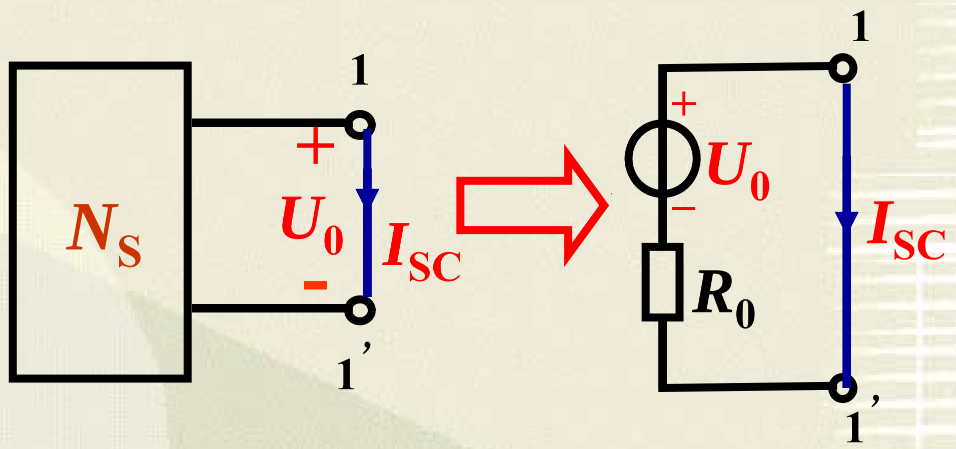


解：3. 画出等效电路求电流I_3

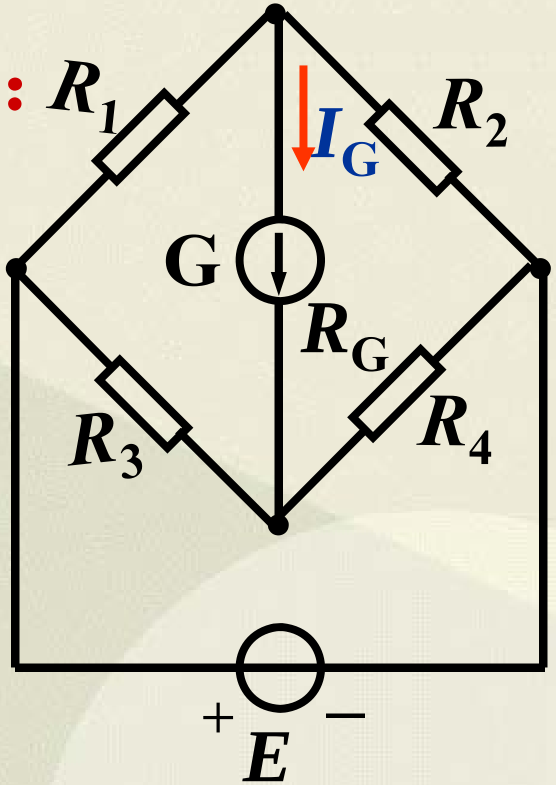
$$I_3 = \frac{E}{R_0 + R_3} = \frac{30}{2+13} = 2\ \text{A}$$

实验法求等效电阻:

$$R_0=U_0/I_{SC}$$



例2：

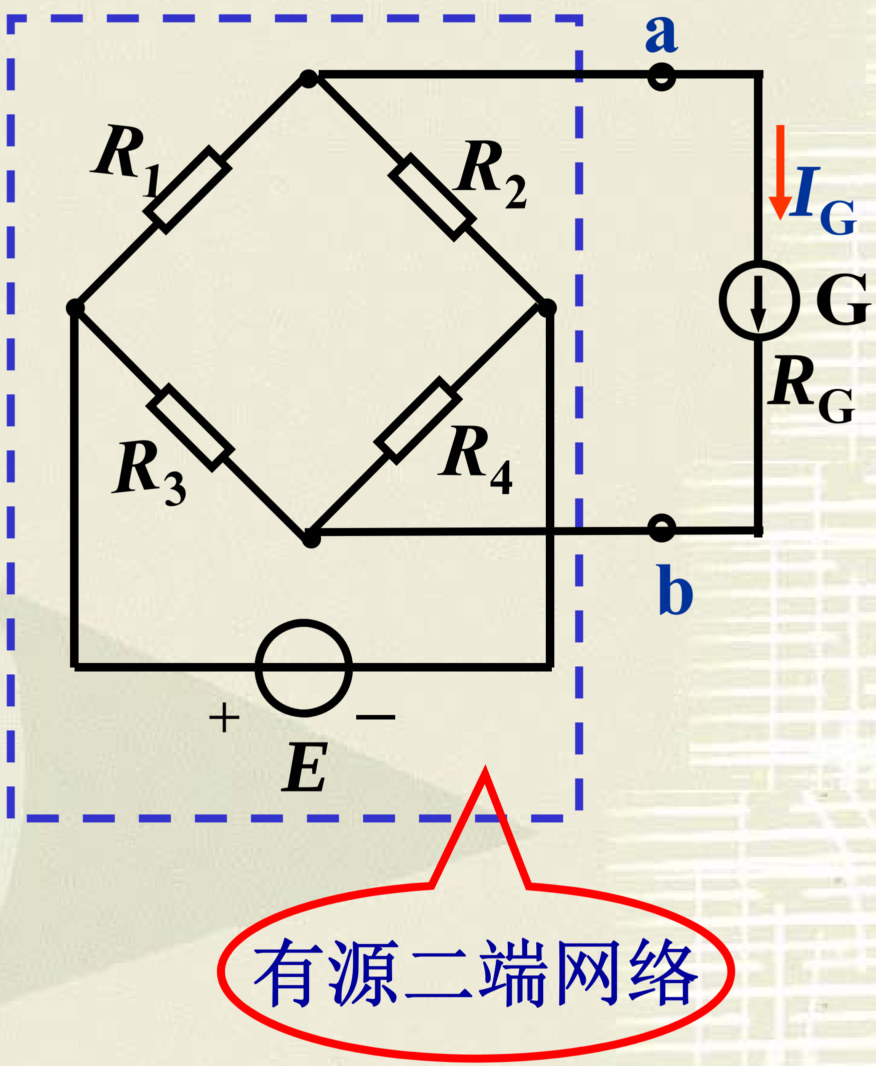


已知：R_1=5 Ω、 R_2=5 Ω

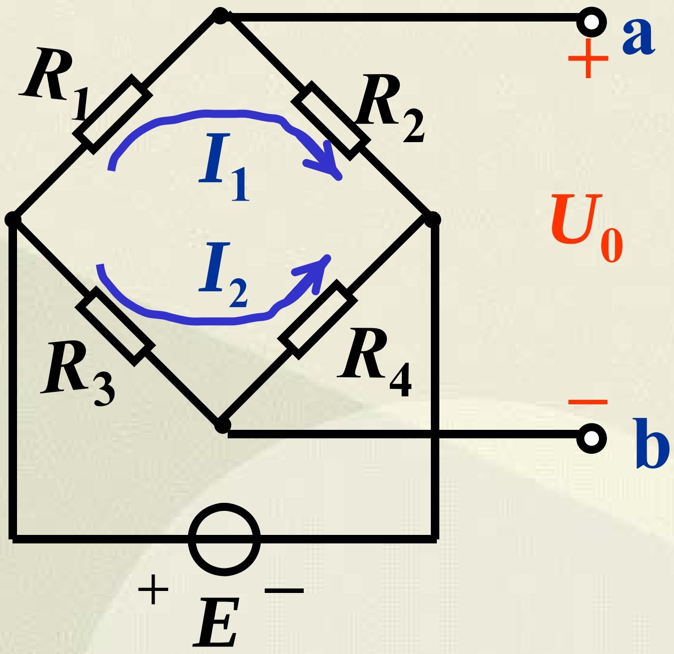
R_3=10 Ω、 R_4=5 Ω

E=12V、R_G=10 Ω

试用戴维宁定理求检流计中的电流I_G。



解：1. 求开路电压U_0



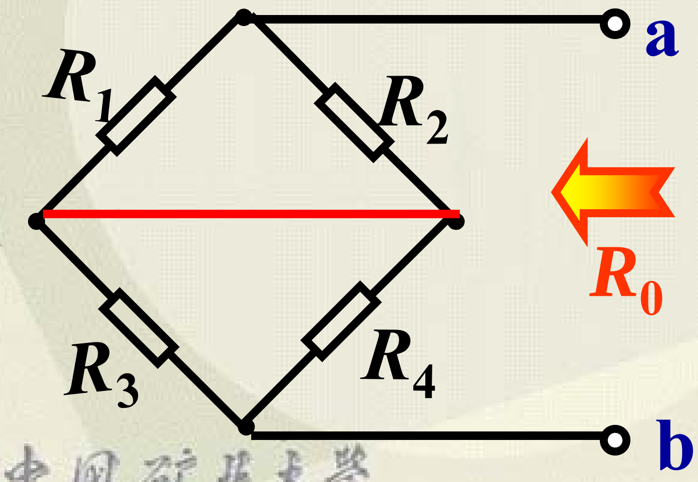
$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{12}{5+5} = 1.2\text{A}$$

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

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

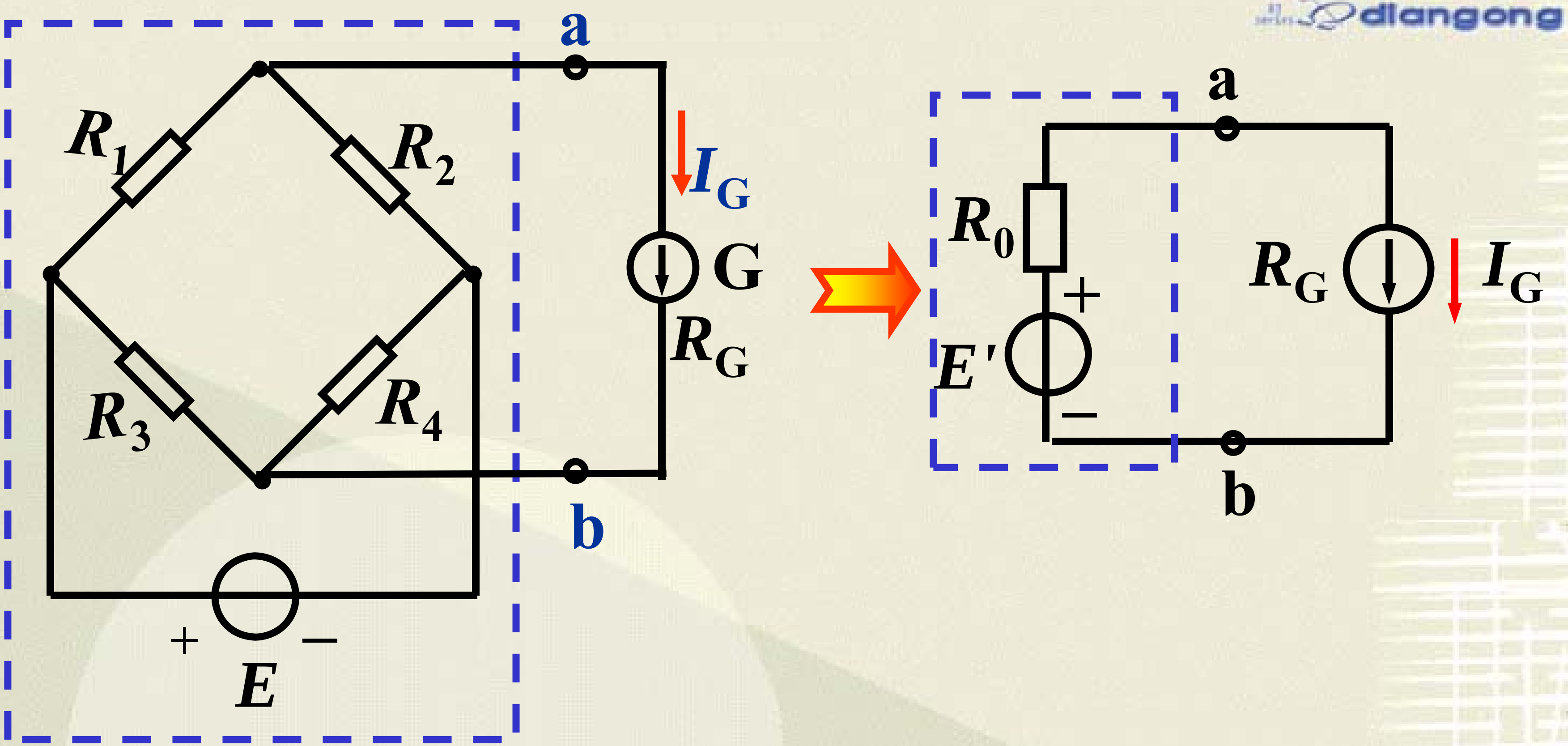
或：$E' = U_o = I_2 R_3 - I_1 R_1$
$$= 0.8 \times 10 - 1.2 \times 5 = 2\text{V}$$

2. 求等效电源的内阻 R_0



从a、b看进去，R_1和R_2并联，R_3和R_4并联，然后再串联。

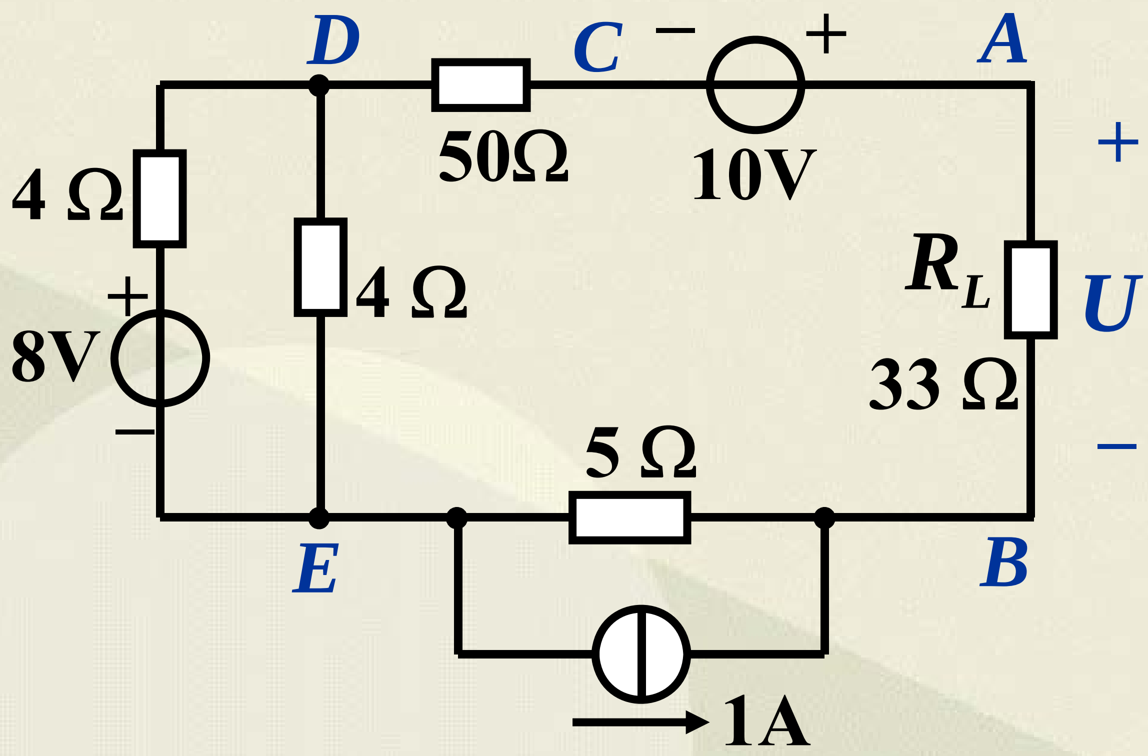
$$\therefore\ R_0 = (R_1 // R_2) + (R_3 // R_4)$$
$$= (5 // 5) + (10 // 5)$$
$$= 5.8\Omega$$



解：3. 画出等效电路求检流计中的电流 I_G

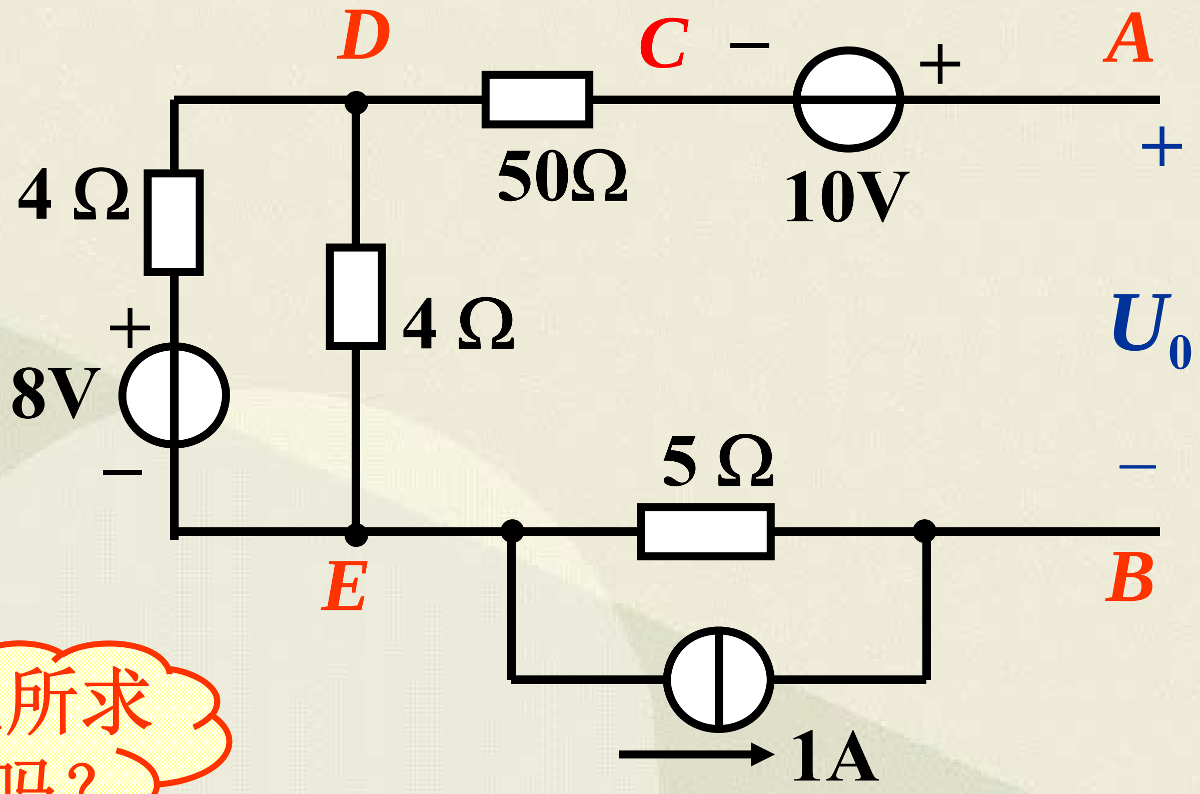
$$I_G = \frac{E'}{R_0 + R_G} = \frac{2}{5.8+10} = 0.126\ \text{A}$$

例3 （练习）



电路如图，求：$U=?$

第一步：求开端电压U_0。

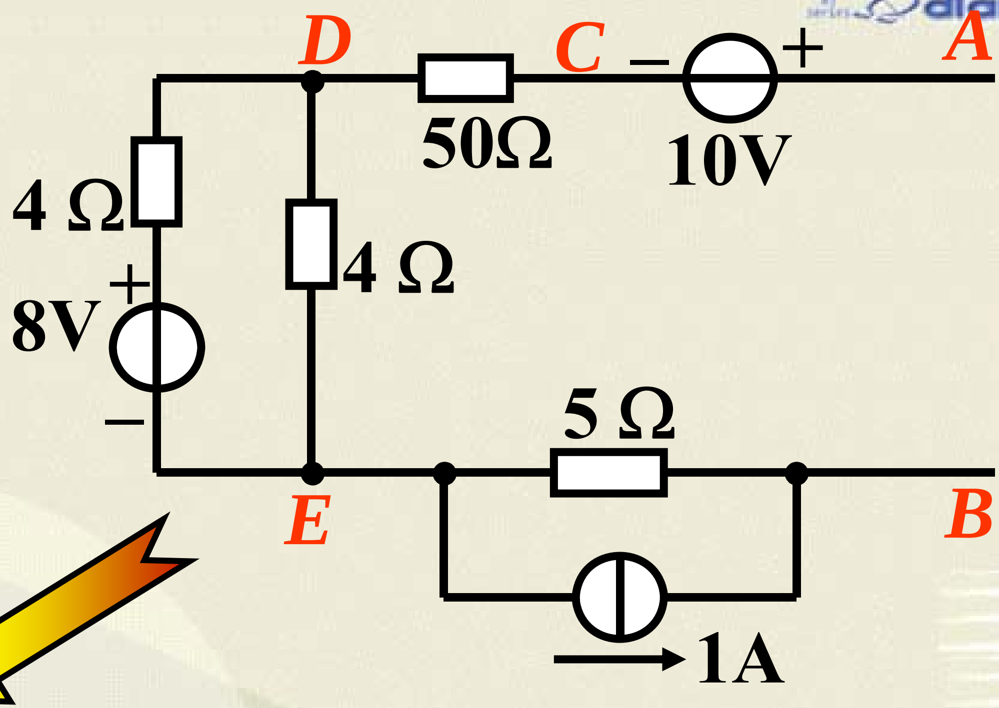


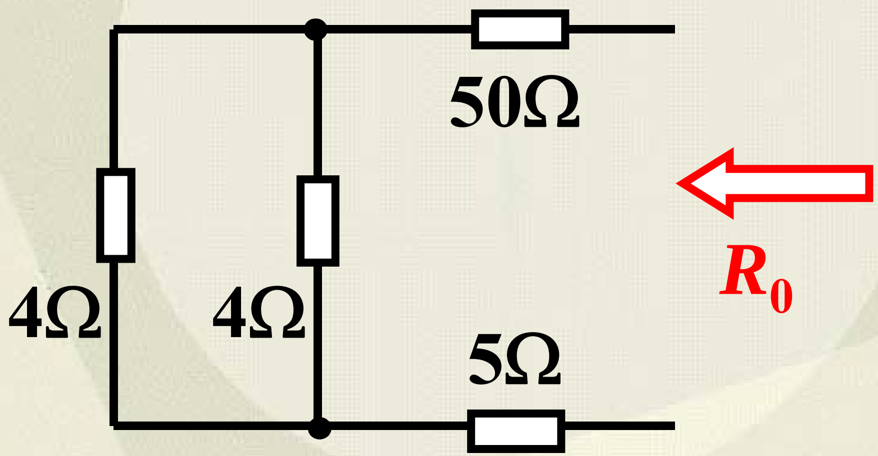
此值是所求结果U吗？

$$U_0 = U_{AC} + U_{CD} + U_{DE} + U_{EB}$$
$$= 10 + 0 + 4 - 5$$
$$= 9\ \mathrm{V}$$

第二步：

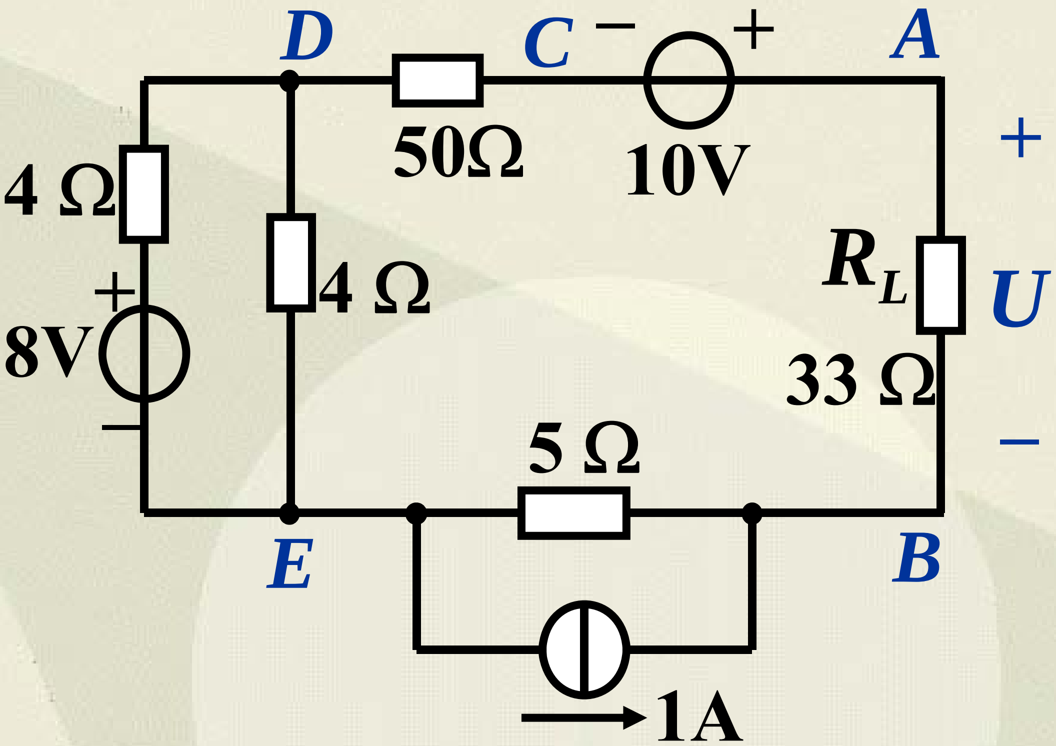
求等效电源的内阻 R_0



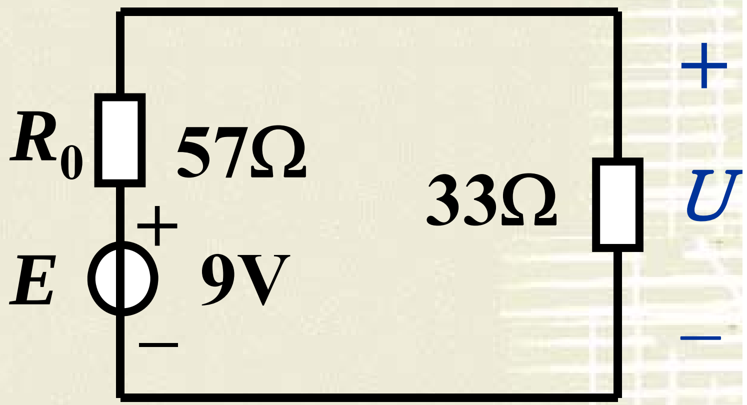


$$R_0 = 50 + 4 // 4 + 5$$
$$= 57\ \Omega$$

第三步：求解未知电压 U



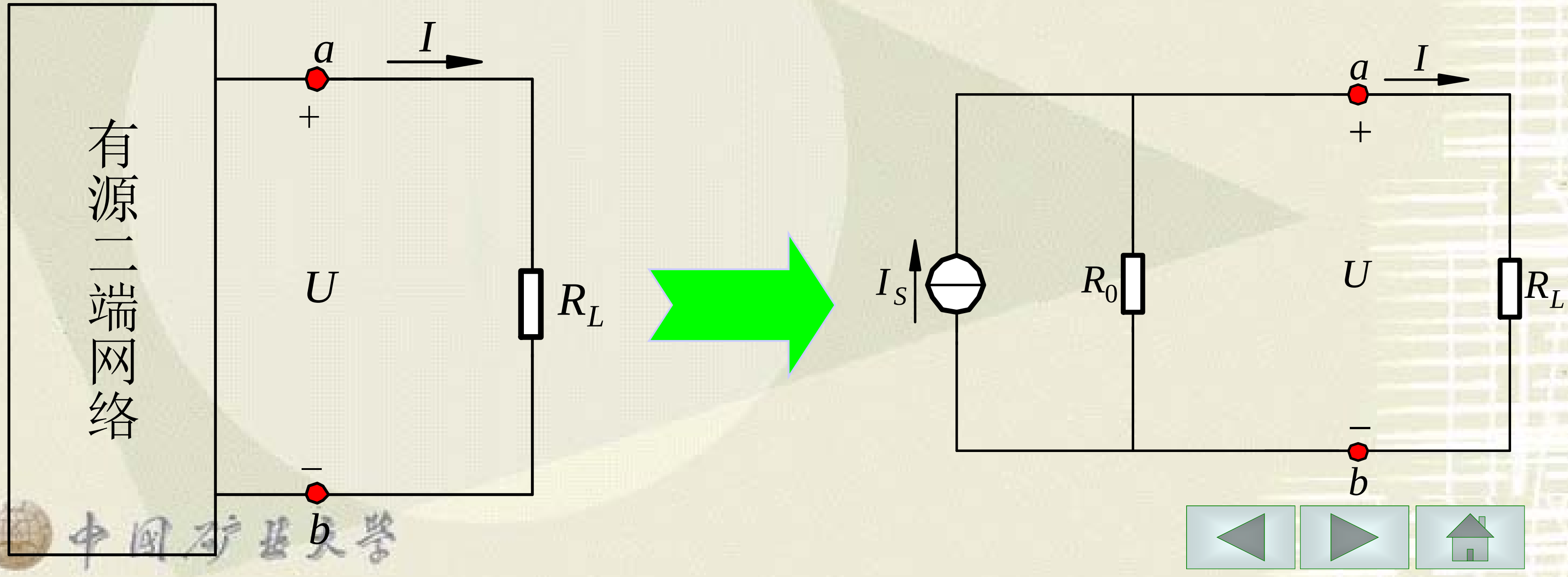
等效电路



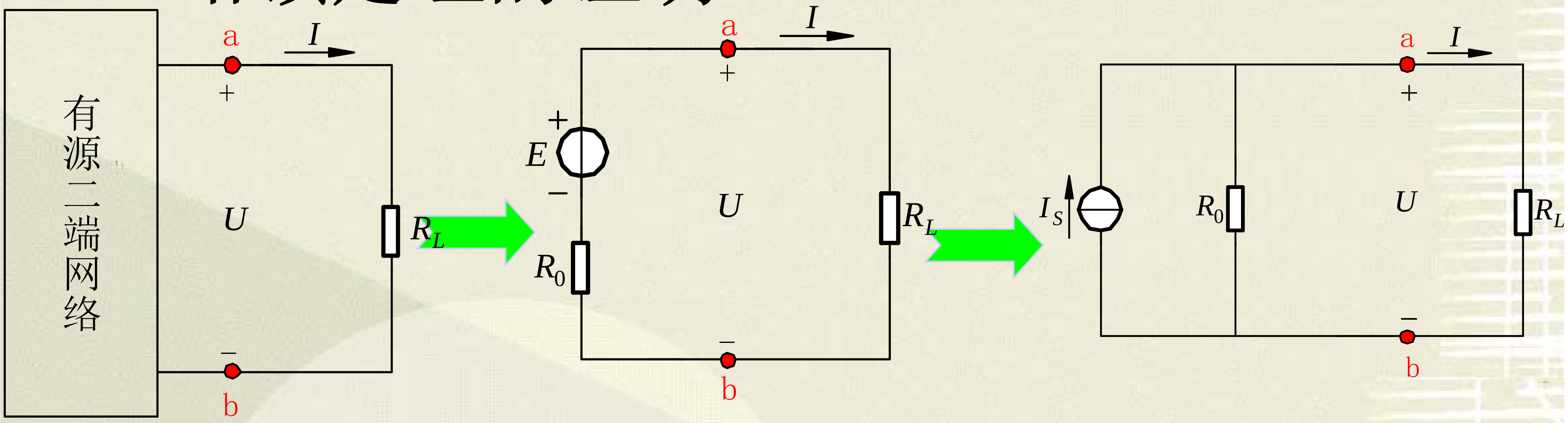
$$U=\frac{9}{57+33}\times 33=3.3\text{ V}$$

2.7.2 诺顿定理

任何一个有源二端线性网络都可以用一个电流为 I_S 的理想电流源和内阻为 R_0并联的电源来代替。理想电流源的电流就是有源二端网络的短路电流，即将**a**、**b** 两端短接后其中的电流。等效电源的内阻 R_0 等于有源二端网络中所有电源均除去后所得无源网络**a**、**b**之间的等效电阻。



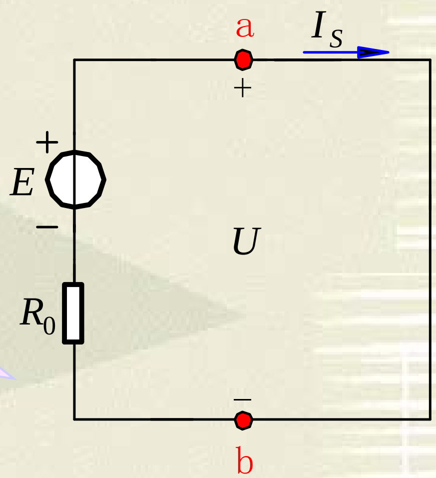
诺顿定理的证明



$$U = E - IR_0$$

a、b两端短接后， $U = 0$

$$0 = E - I_S R_0$$



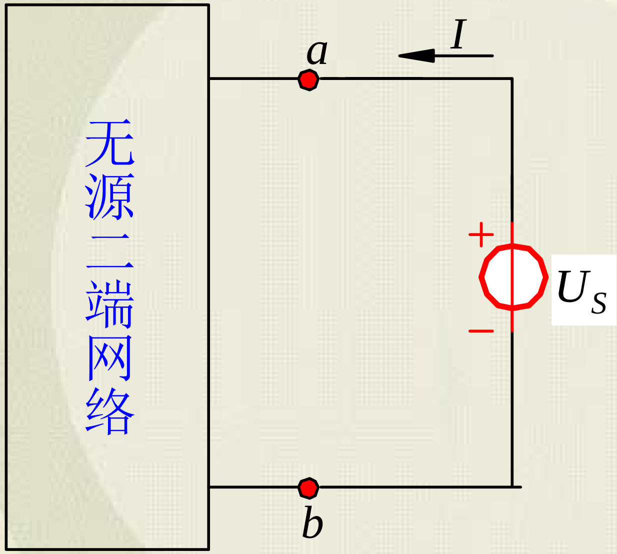
$$I_S = \frac{E}{R_0}$$

I_S 为其中的短路电流

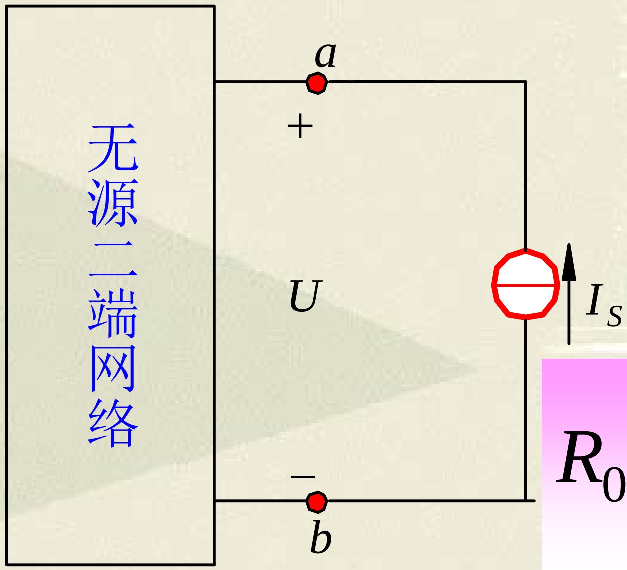
$$I_S = \frac{E}{R_0} \Rightarrow R_0 = \frac{U_O}{I_S}$$

上式称为计算电阻 R_0 方法中的开、短路法

此外还有外加激励法

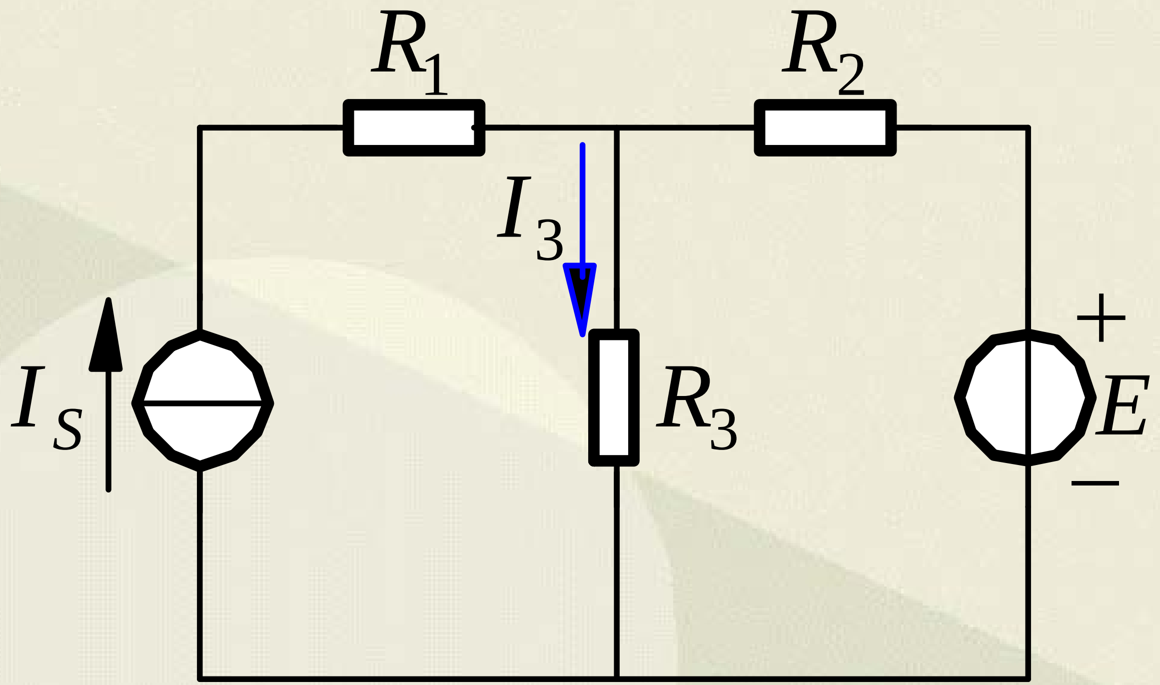


$$R_0 = \frac{U_S}{I}$$

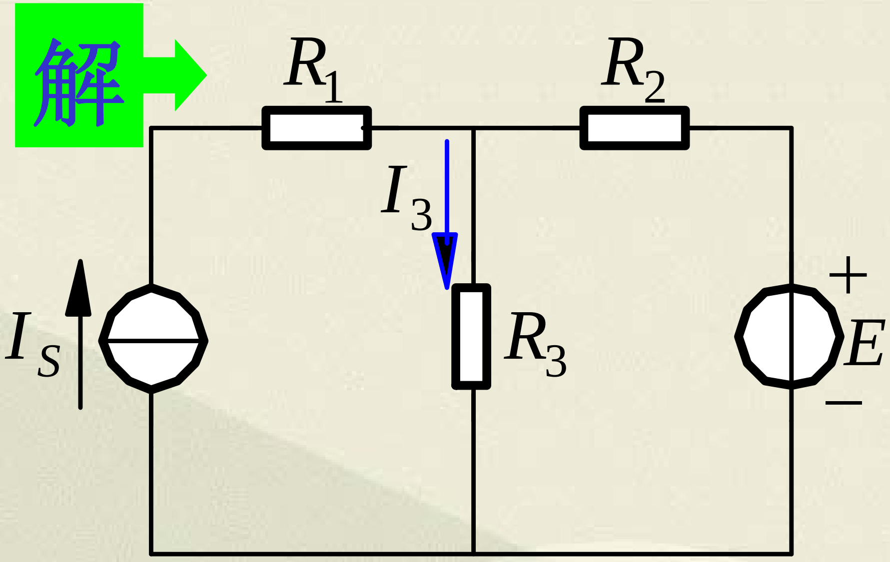


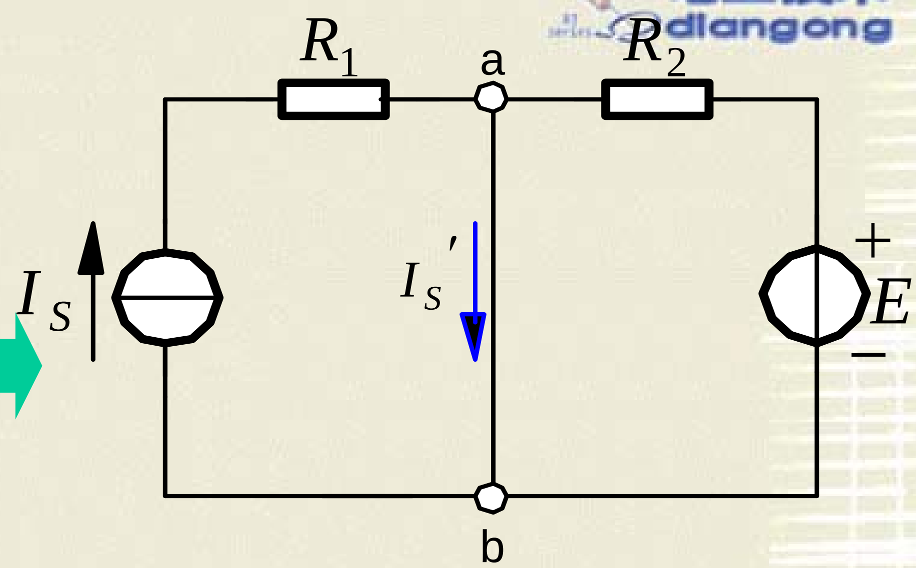
$$R_0 = \frac{U}{I_S}$$

例. 用诺顿定理计算下图中电阻R_3上的电流I_3 。



解





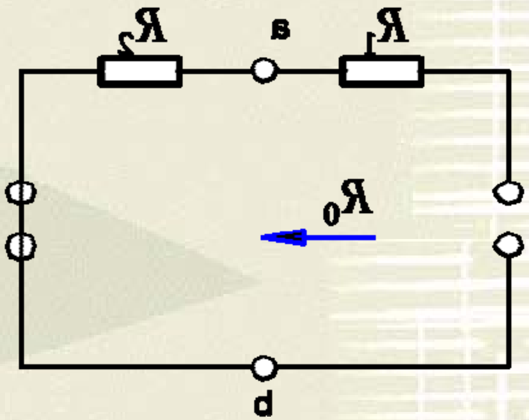
(a)

由(a)图计算得到短路电流

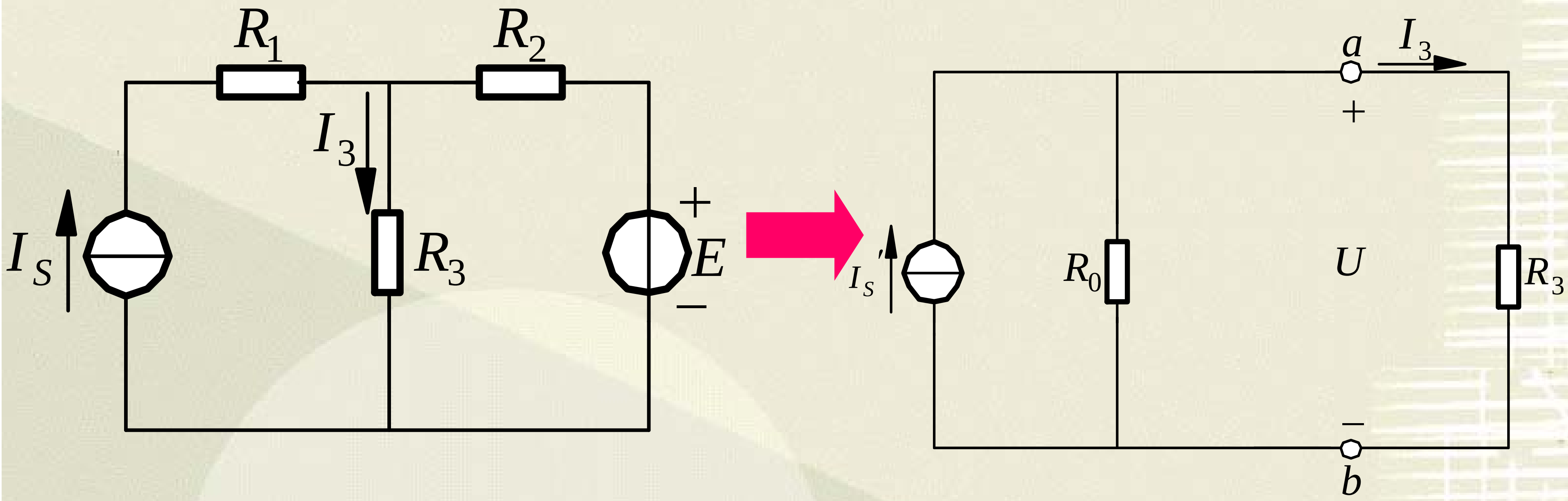
$$I_S{}' = I_S + \frac{E_S}{R_2} = 10 + \frac{6}{2} = 13\text{A}$$

由(b)图得到

$$R_0 = R_2 = 2\Omega$$



(b)



$$I_3 = \frac{R_0}{R_0 + R_3} I_S = 5.2\,\text{A}$$

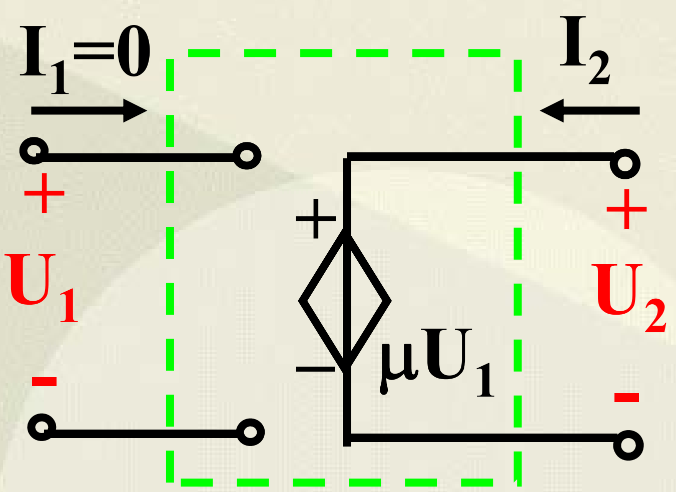
*2.8 受控电源电路的分析

如果电压源的电压或电流源的电流不受外电路的控制而独立存在，这样的电源称为独立电源 。

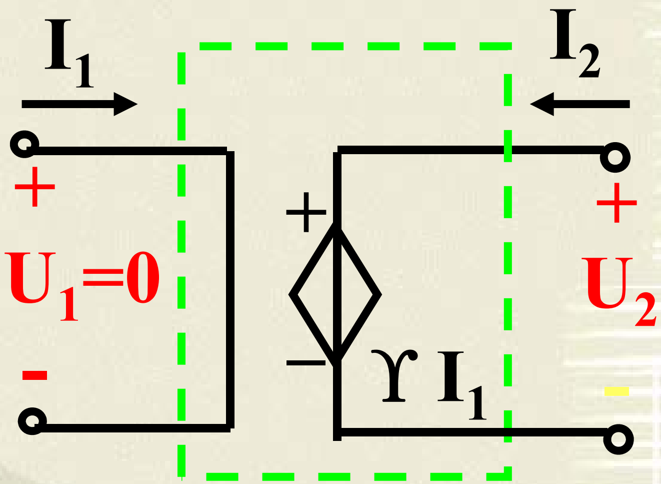
如果电压源的电压和电流源的电流受其他部分的电流或电压控制，这种电源称为受控电源。

受控电源

分类及符号



(a)VCVS



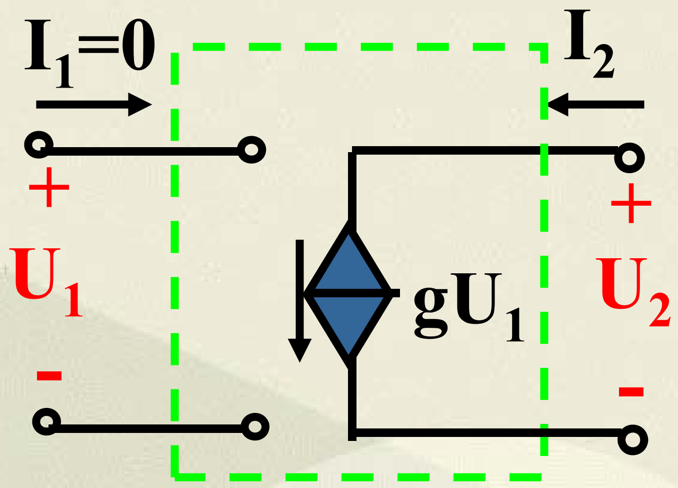
(b)CCVS

比例系数: $\mu = U_2/U_1$

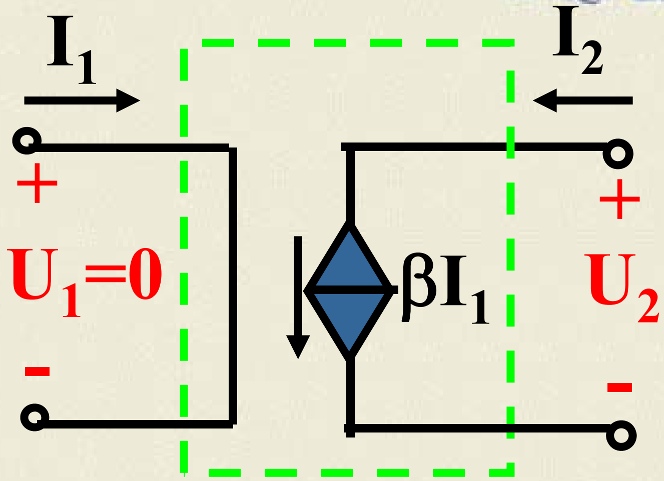
电压放大倍数

$\Upsilon = U_2/I_1$

转移电阻



(c) VCCS



(d) CCCS

比例系数：$g = I_2 / U_1$　　$\beta = I_2 / I_1$

转移电导　　电流放大倍数

注:受控源可象独立源一样进行等效变换

应用:可用于晶体管电路的分析

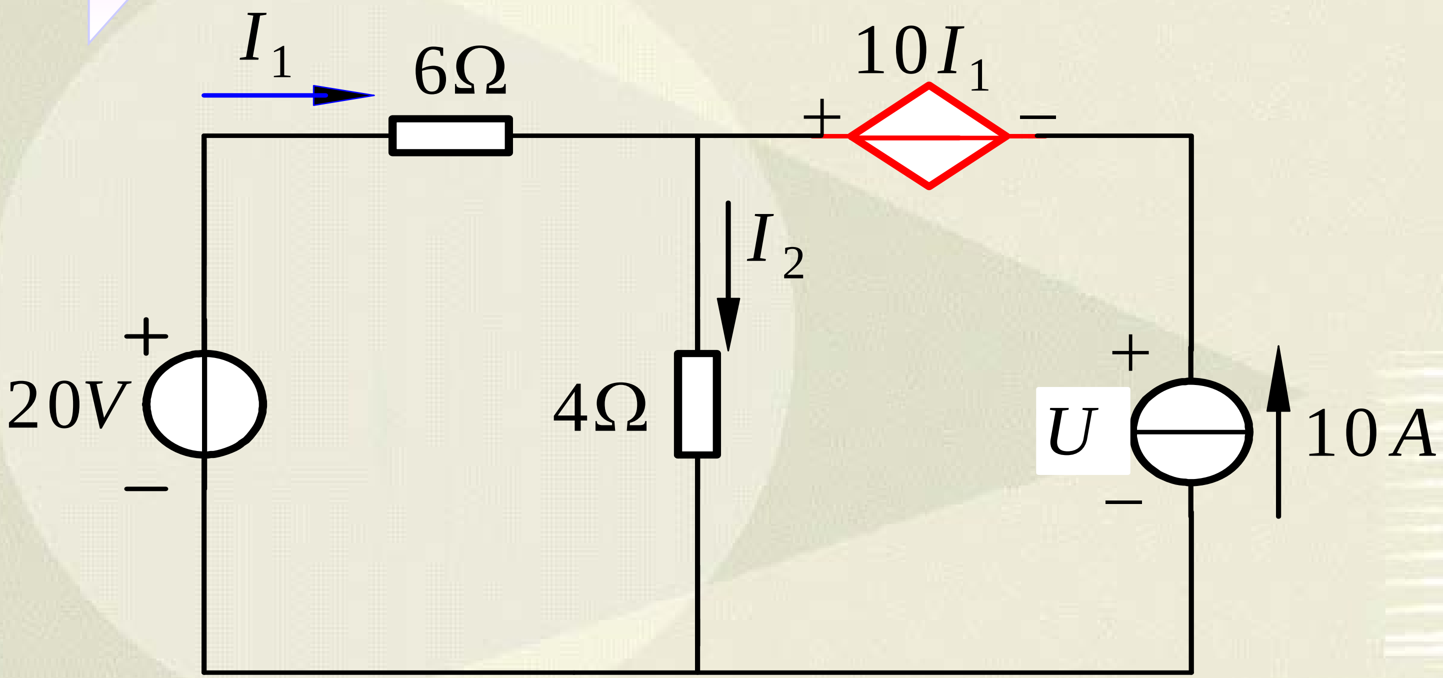
下面我们将用学过的几种方法解含有受控源的电路问题

例题2.8.1

求图示电路中的电压 U

受控电压源

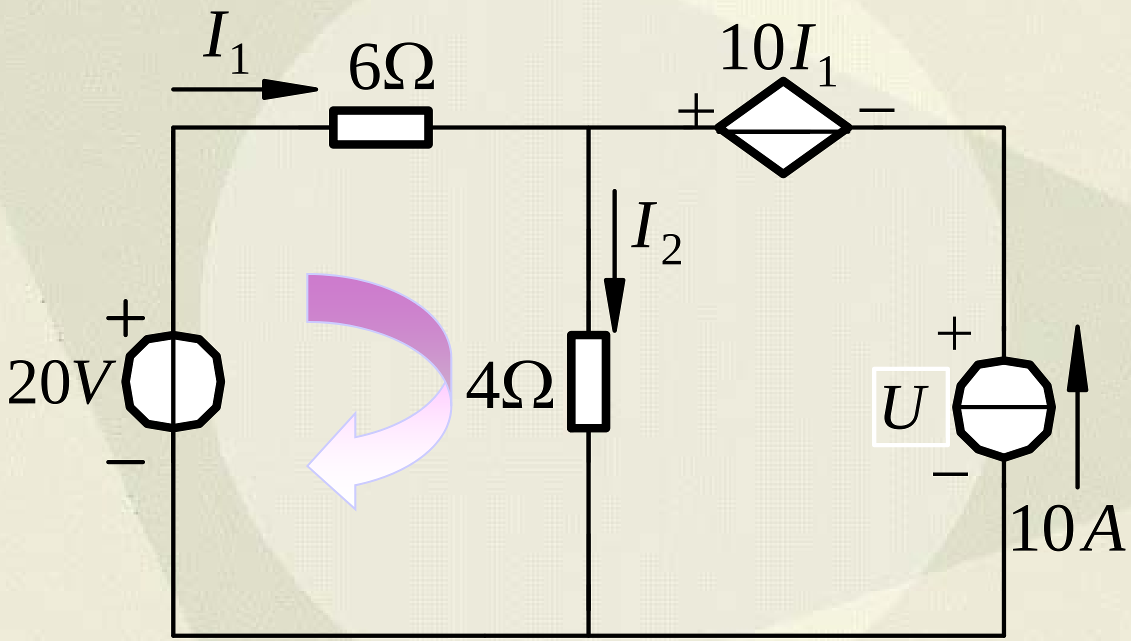
控制量



解

1 支路电流法

按基尔霍夫定律列出方程



$$\begin{cases} I_1 + 10 = I_2 \\ 6I_1 + 4I_2 = 20 \end{cases}$$

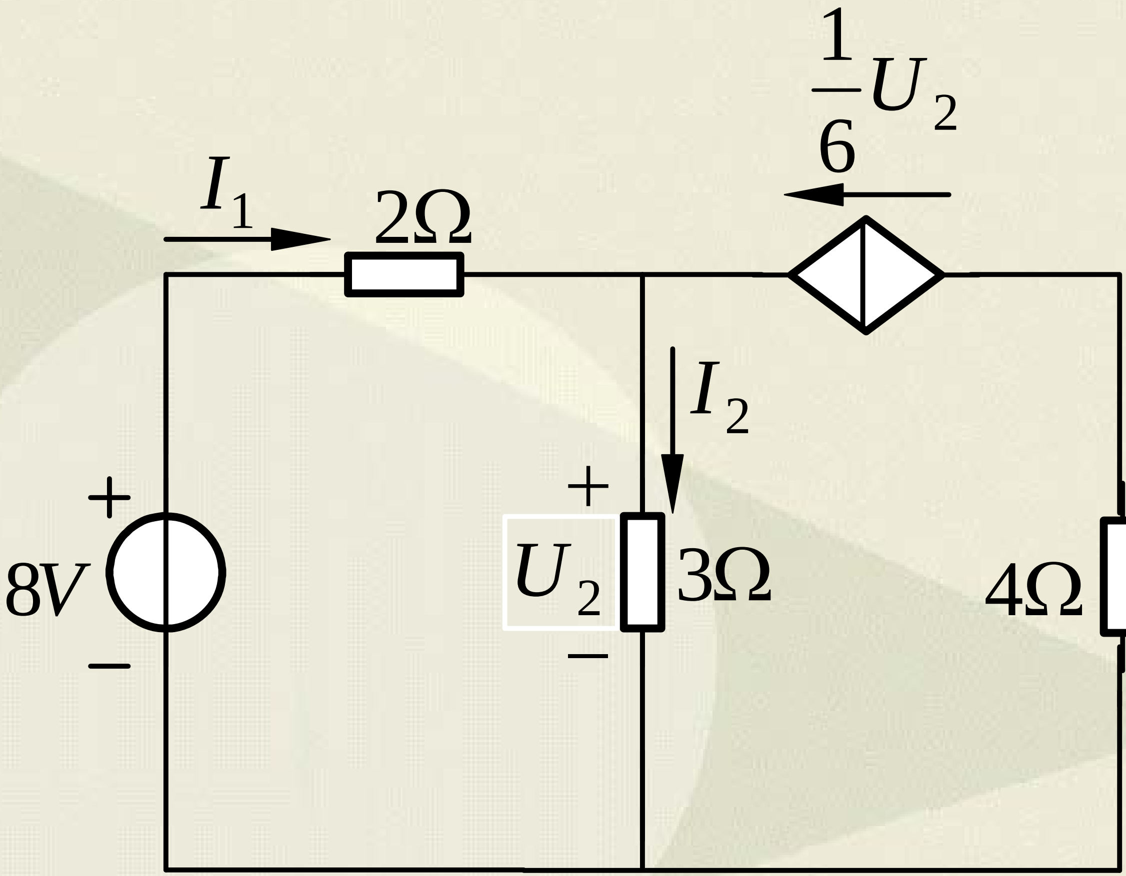
解得 $I_1 = -2$

$I_2 = 8$

$$U = -10I_1 + 4I_2 = 52\text{V}$$

例题2.8.2

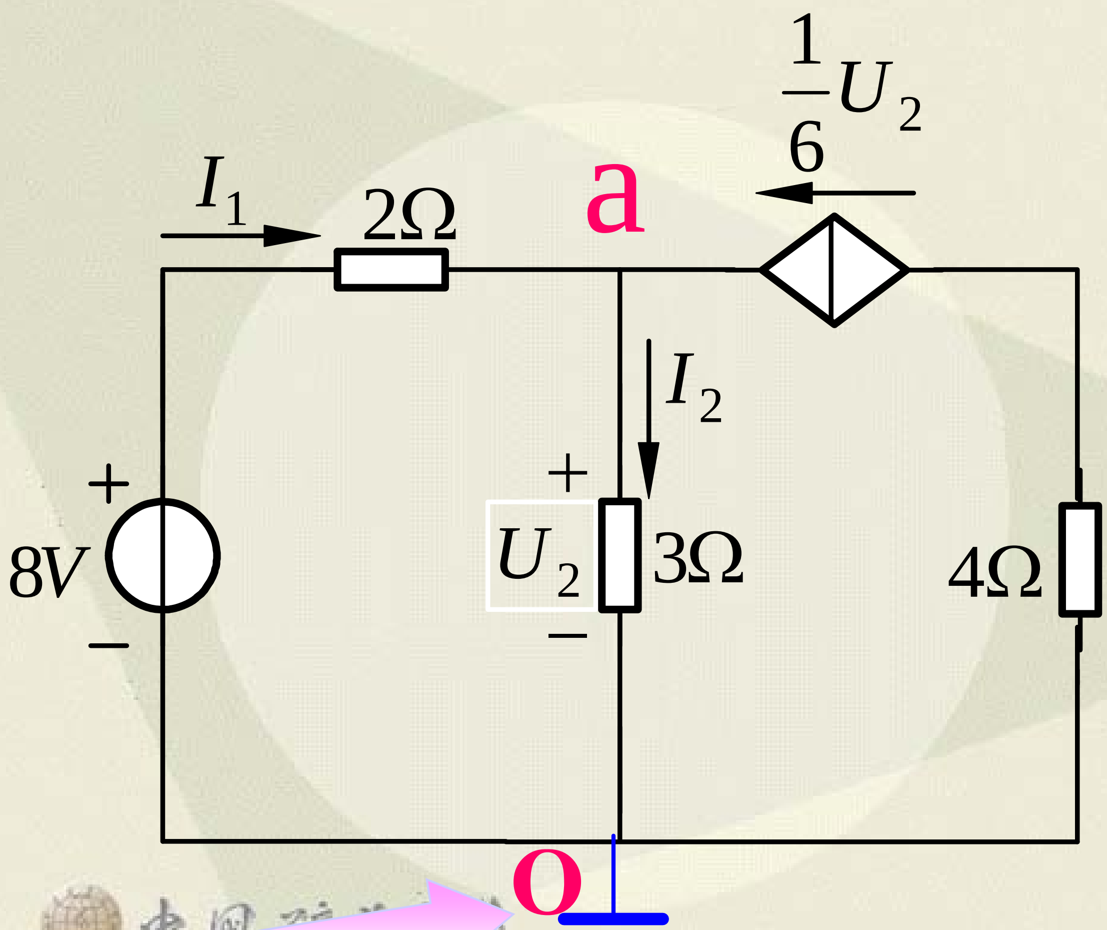
求图示电路中的电压 U_2



解

2 结点电压法

选O点为零参考电位， 列出 a 点的电压方程

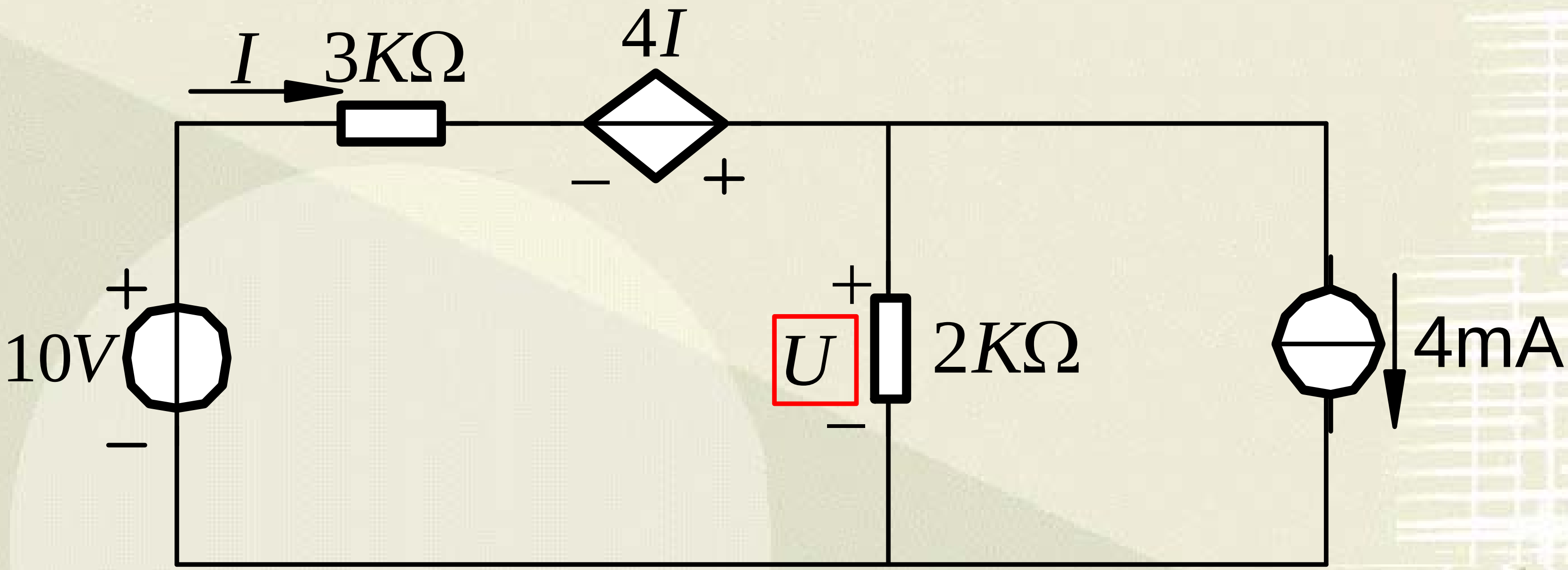


$$U_a\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}\right)=\frac{8}{2}+\frac{1}{6}U_2$$

因 $U_2=U_a$

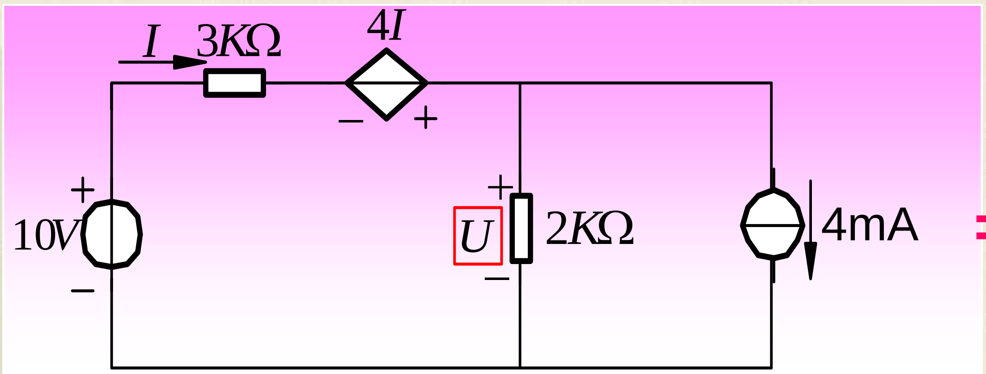
解得 $U_2=6\text{V}$

求所示电路中的电压U。

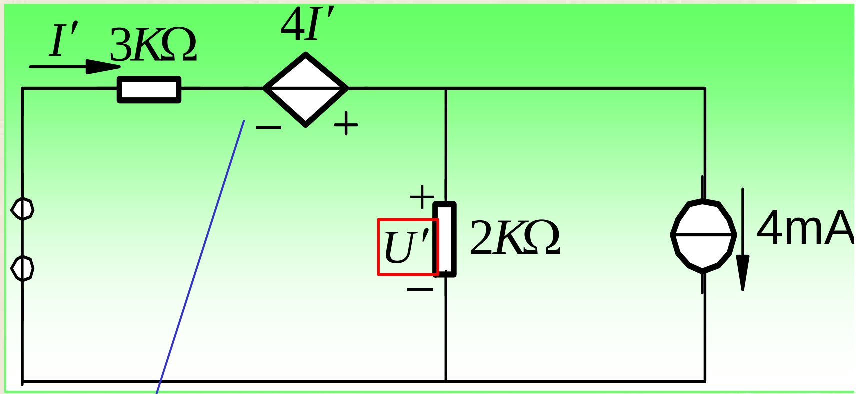


解

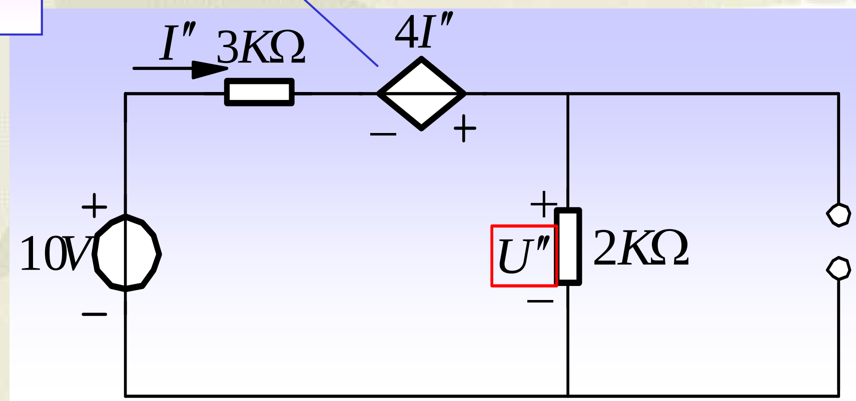
3 叠加原理（简述方法）



=



+



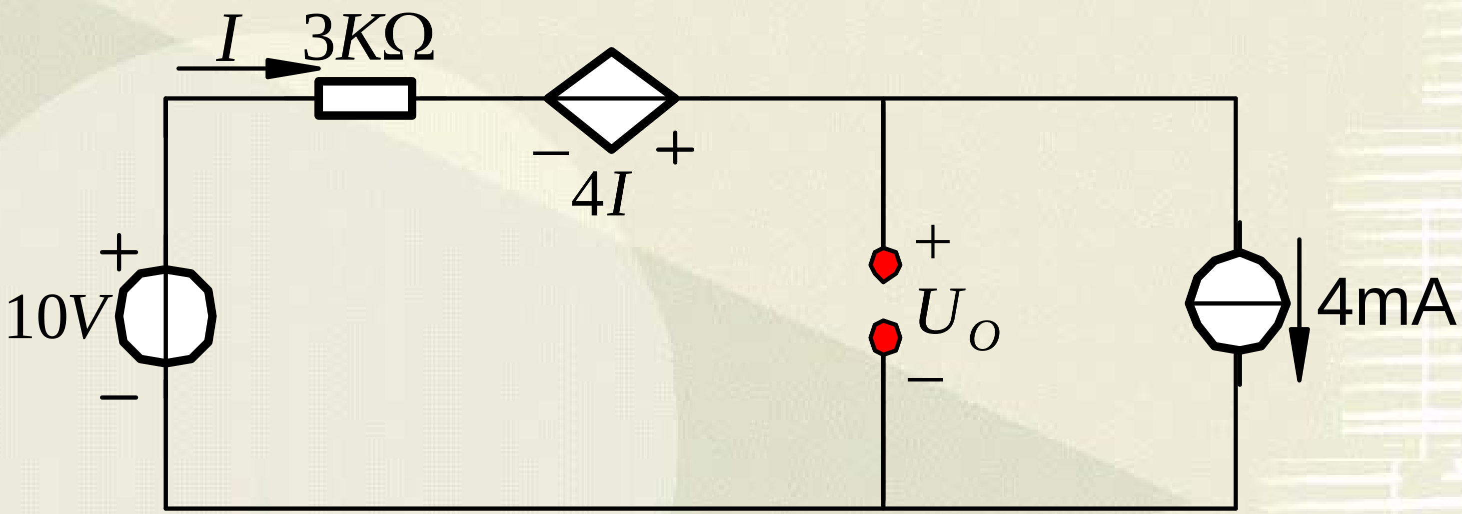
受控源需保留

$$U = U' + U''$$

例题2. 8. 4

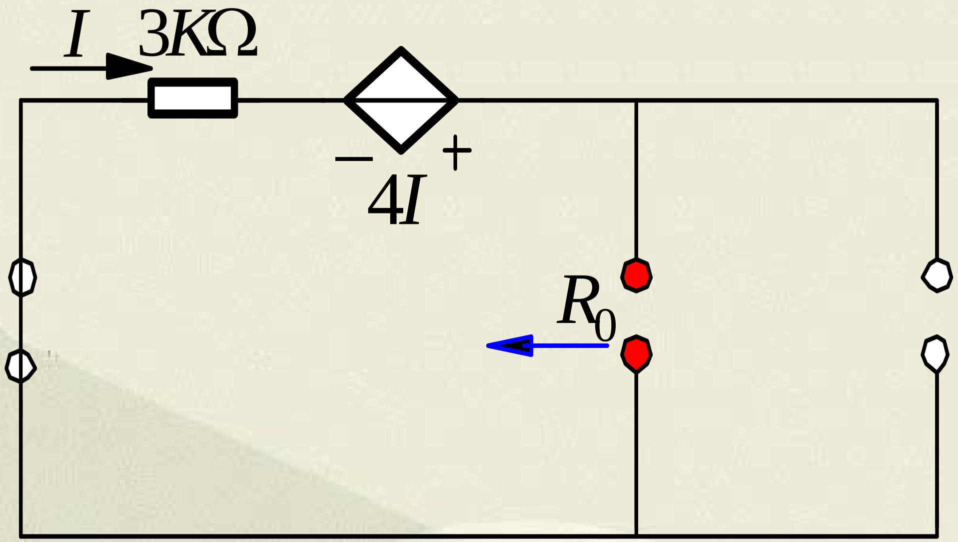
4 用戴维宁定理解例2.8.3

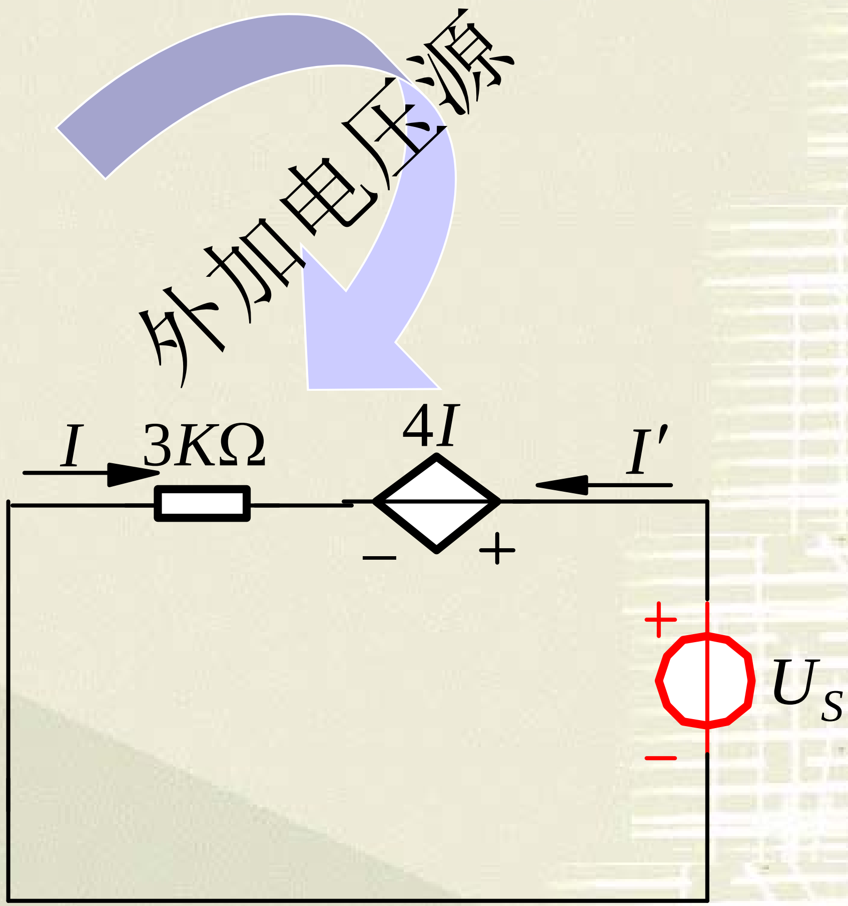
解



I=4mA

$$U_O = 4I - 3I + 10 = 14V$$

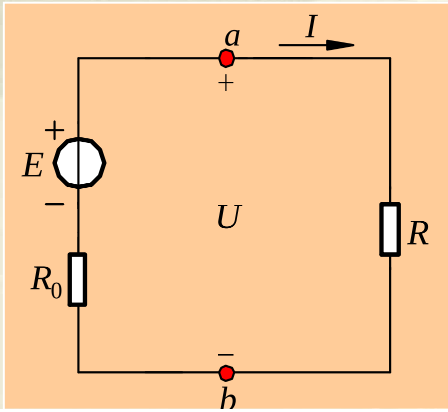




$$U_S = 4I - 3I = -I'$$

$$R_0 = \frac{U_O}{I'} = -1\text{k}\Omega$$

$$U = \frac{U_O}{R + R_0} R = 14 \times 2 = 28\text{V}$$



返回