

基础电路与电子学

主讲：陈开志

办公室：学院2号楼304

Email: ckz@fzu.edu.cn

第1章 直流电路

1.1 电路与电路模型

1.2 电流,电压,电位

1.3 电功率

1.4 电阻元件

1.5 电压源与电流源

1.6 基尔霍夫定律

1.7 简单的电阻电路

1.8 支路电流分析法

1.9 节点电位分析法

1.10 叠加原理

1.11 等效电源定理

1.12 含受控电源的电阻电路

电路的基本概念

电路的基本
分析方法

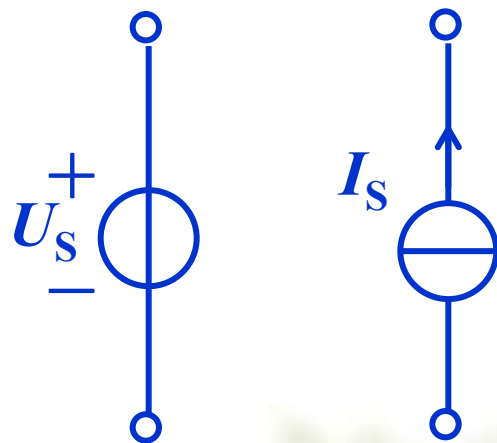
1.12 含受控电源的电阻电路

1.12.1 受控电源

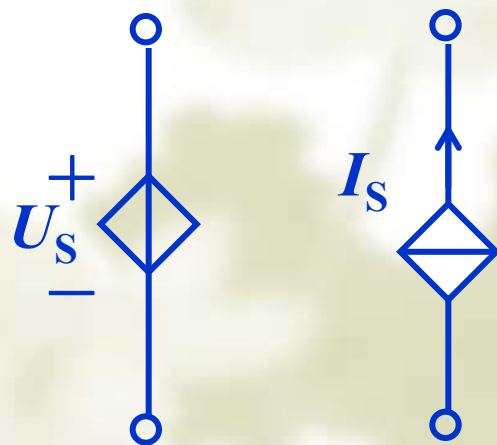
独立电源：指电压源的电压或电流源的电流不受外电路的控制而**独立**存在的电源。

受控电源：指电压源的电压或电流源的电流**受电路中其它部分的电流或电压控制**的电源。

受控源的特点：当控制量（电压或电流）消失或等于零时，受控量（电压或电流）也就为零。

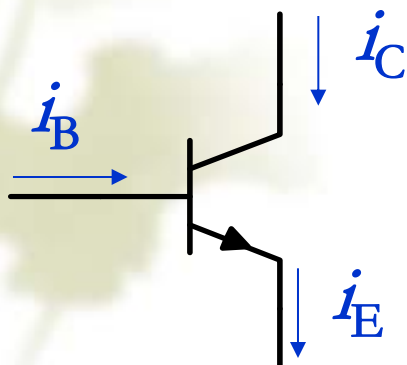


独立电源符号

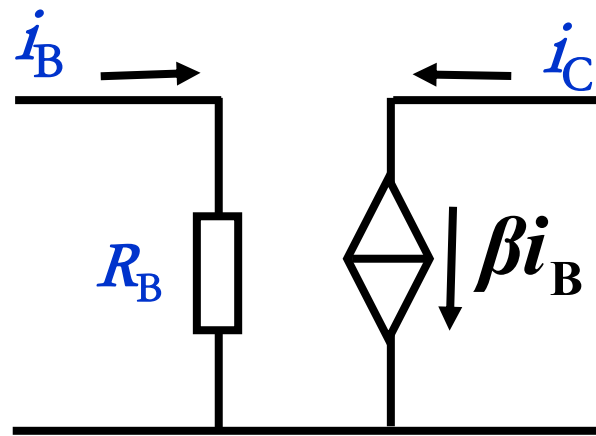


受控电源符号

晶体三极管



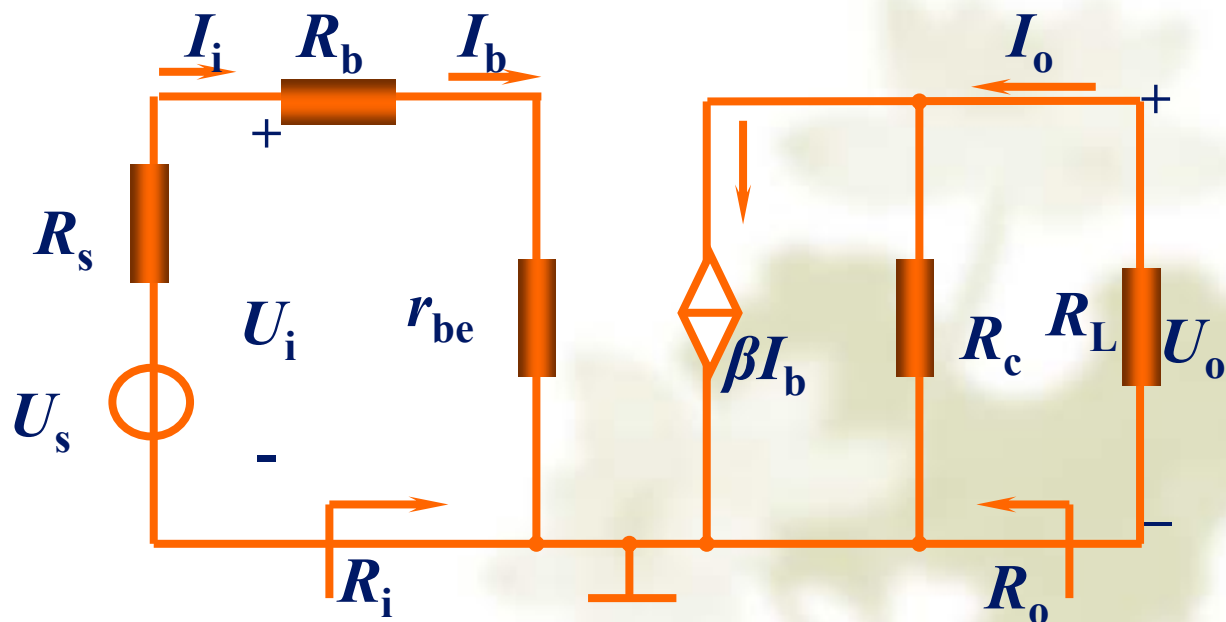
$$i_C = \beta i_B$$



例题： 计算电压放大倍数

❖ 计算

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$$

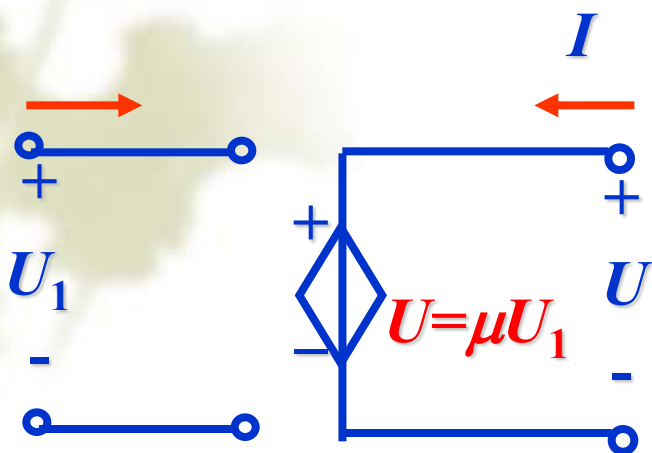


微变等效电路

注意：先看符号再看控制量

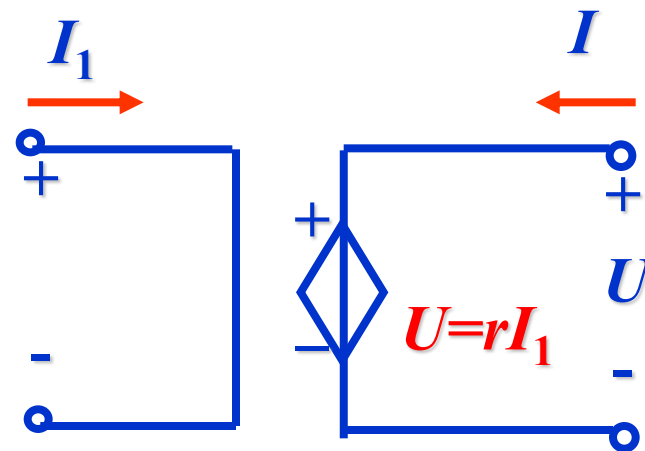
四种受控电源的模型

电压控制电压源



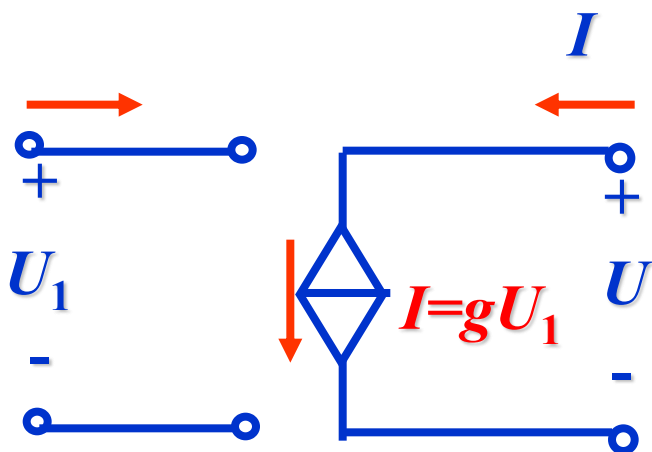
(a) VCVS

电流控制电压源



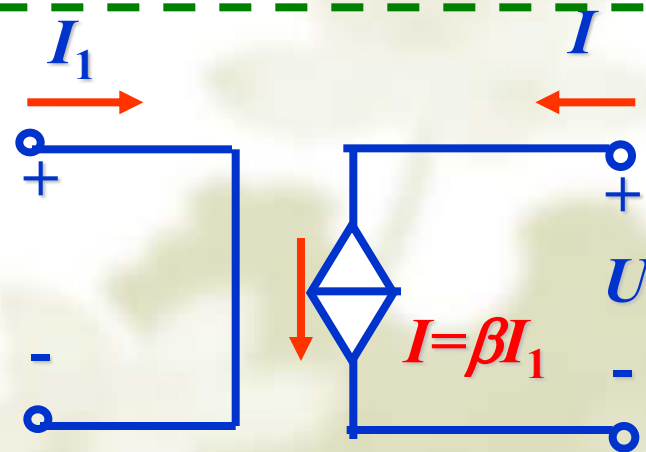
(b) CCVS

电压控制电流源



(c) VCCS

电流控制电流源



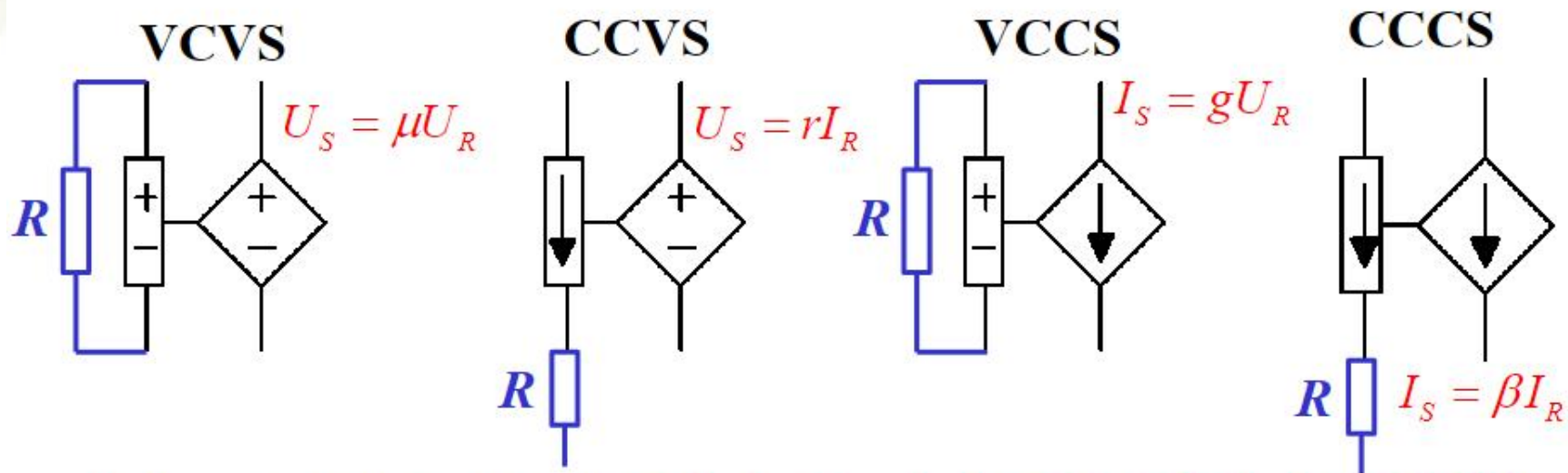
(d) CCCS

二、受控源的特点

受控源不是一个独立的个体，它依附于控制量的存在而存在。

受控源与控制量是不可分割的整体 \therefore 受控源是一个四端元件

在Multisim仿真软件中的受控源：左边接控制量；右边为受控源



结论：受控源与控制量同生共死，要么同时存在要么同时消失。

对含有受控源的电路进行分析时，应注意两点：P24

- ① 当受控源存在时，不能把控制量消除； \rightarrow 电源等效变换定理
- ② 当控制量存在时，不能把受控源除源； \rightarrow 叠加和戴维南定理

1.12.2 含受控源电阻电路的分析

[例1-15] 用支路电流法
计算图1-43的各支路电流。

$$\left. \begin{aligned} -I_1 + I_2 + I_3 &= 0 \\ 4I_1 + 3I_2 - 8 &= 0 \\ 2U + 4I_3 - 3I_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} I_1 &= 0.5(\text{A}) \\ I_2 &= 2(\text{A}) \\ I_3 &= -1.5(\text{A}) \end{aligned}$$

补充方程 $U = 3I_2$

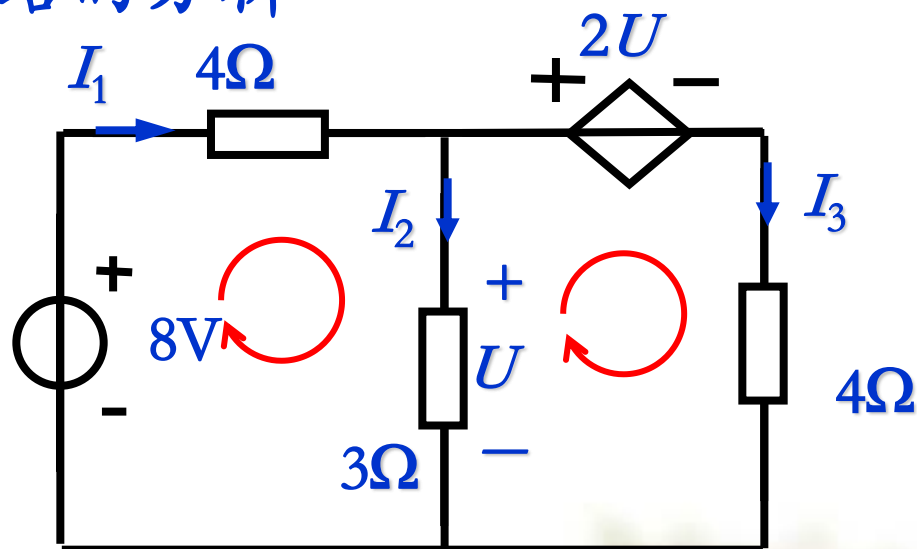


图1-43

这里多出一个未知量 U ，需要补充一个方程。用支路电流表示出这个控制量。

$$V_a = \frac{\sum \frac{U_s}{R}}{\sum \frac{1}{R}} = \frac{\frac{8}{4} + \frac{2U}{4}}{\frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4}}$$

补充方程: $V_a = U$

这里多出一个未知量 U ，需要补充一个方程，用节点电位表示出这个控制量。

[例1-16]用节点电位法求解图1-44中的节点电位 V_A 和 V_B 。

解：列节点电位方程

节点A

$$-16 + \frac{1}{3}V_A + \frac{1}{5}(V_A - V_B) = 0$$

节点B

$$\frac{1}{5}(V_B - V_A) + \frac{1}{8}V_B - 0.8U = 0$$

$$U = V_A - V_B \quad \leftarrow \text{补充一个方程，用节点电位表示控制量 } U$$

将这4个方程联立求解，得

$$V_A = 45\text{V}$$

$$V_B = 40\text{V}$$

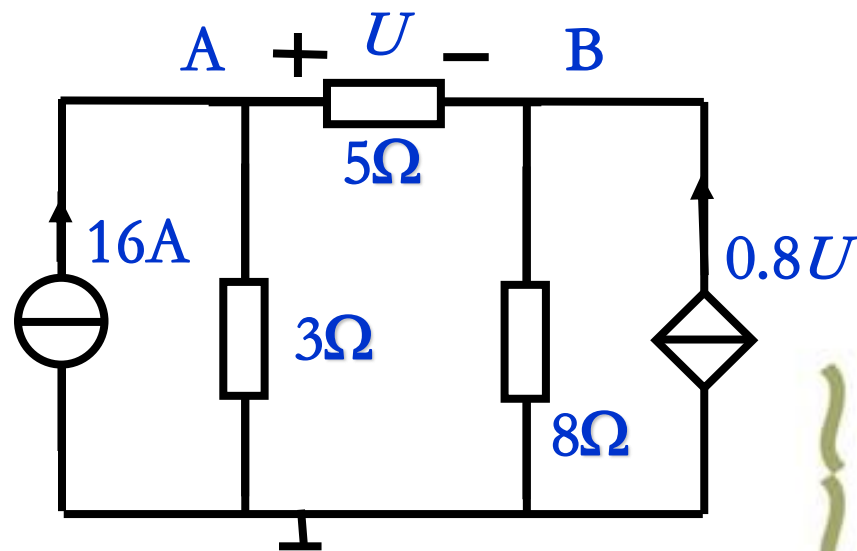


图1-44

仍可以使用基尔霍夫定律和电路的**五种**分析方法；

1、电源等效变换定理

[问题] 用电压源电流源等效计算图1-43的电流 I_2 。

$$2 + \frac{2U}{4} = \frac{U}{4} + \frac{U}{4} + \frac{U}{3}$$

$$U = 6V$$

$$I = 3A$$

注意：变换后受控源的控制量对应的那个电压电流不能等效没掉；

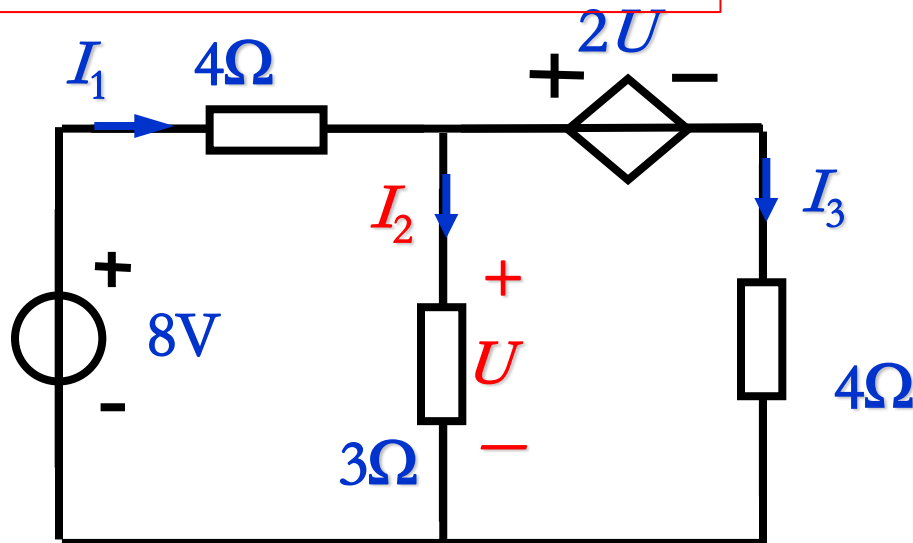


图1- 43

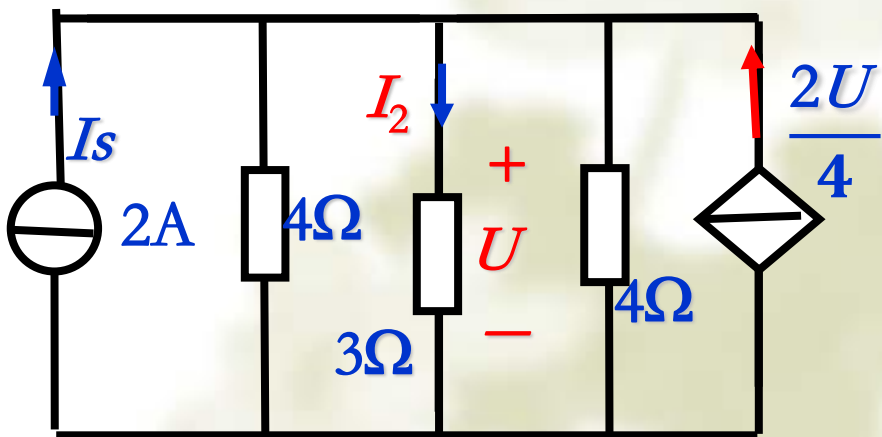
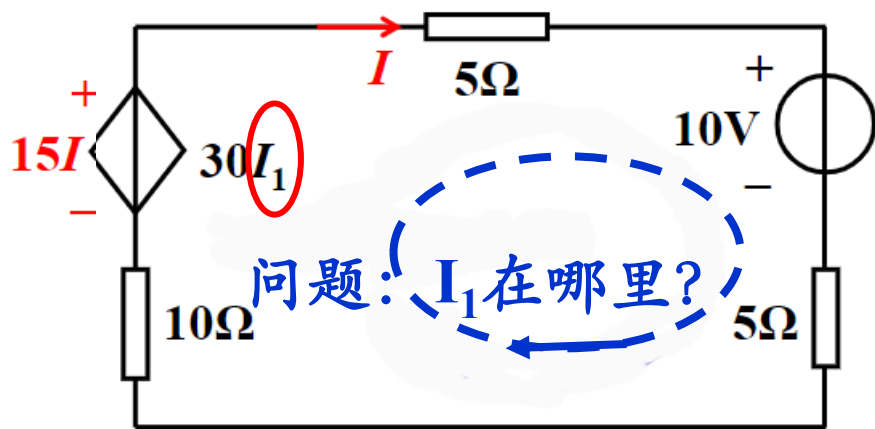
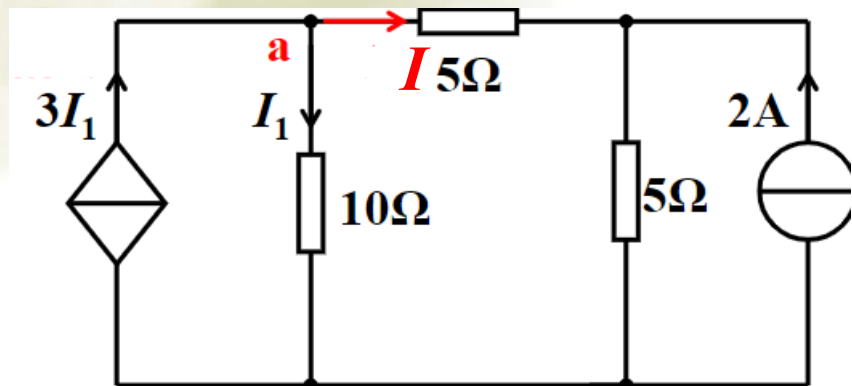


图1- 43

[问题] 用电压源电流源等效计算电流 I 。



当控制量属于内电路时，控制量会被消除，造成错误

原因：等效变换仅仅对外成立，对内不等效；

③ 解决方法：把控制量替换为不会被消除且与之等价的外电路物理量。

$$a: 3I_1 = I + I_1 \rightarrow I_1 = 0.5I$$

$$\text{KVL: } 5I + 10 + 5I + 10I - 15I = 0$$

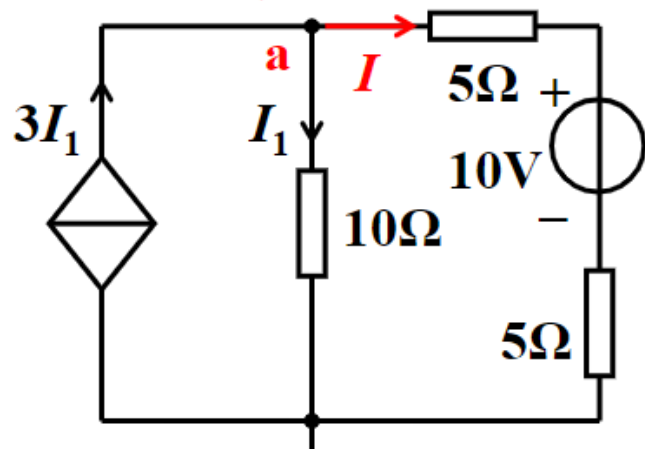
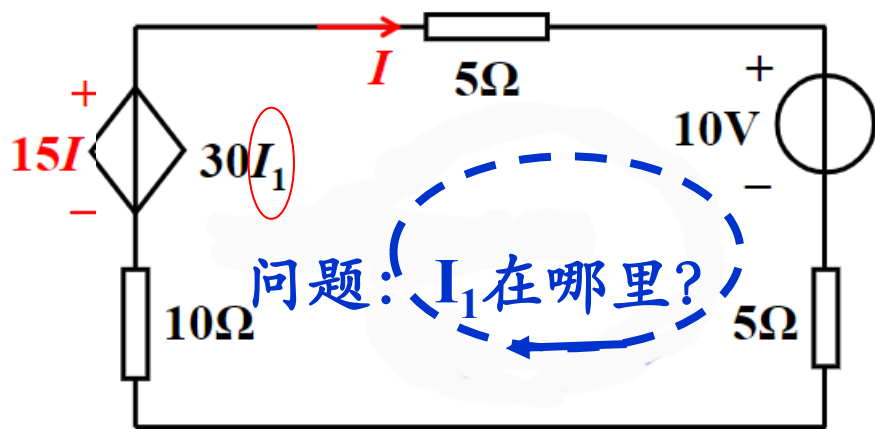
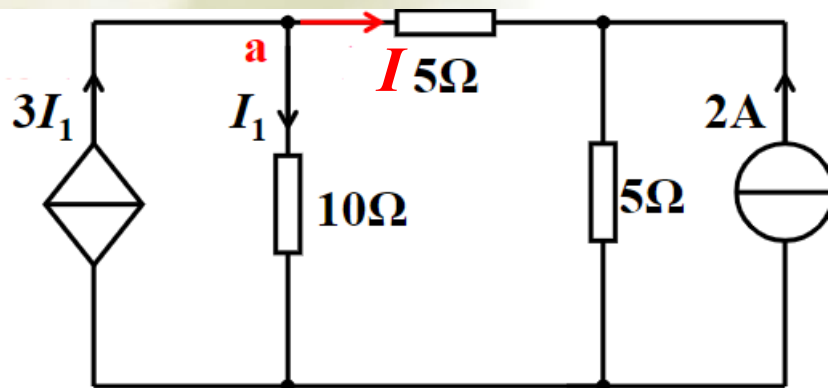
$$\rightarrow I = -2A$$

思考：快速检查的方法？

仍可以使用基尔霍夫定律和电路的**五种**分析方法；

1、电源等效变换定理

注：当控制量属于内电路时，**控制量会被消除，造成错误，尽量不动该支路**



$$V_a = \frac{\sum \frac{U_s}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}} = \frac{\frac{10}{10} + 3I_1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}$$

$$V_a = 10I_1 \quad \text{KCL: } 3I_1 = I + I_1$$

$$I_1 = -1\text{A} \quad I = -2\text{A}$$

[例1-17]

用叠加原理求解图1-45(a)中的电压 U 。

解：应用叠加原理是将每个独立源单独作用时的响应叠加，受控源不能单独作用，不能除源，保留在各个分图中。

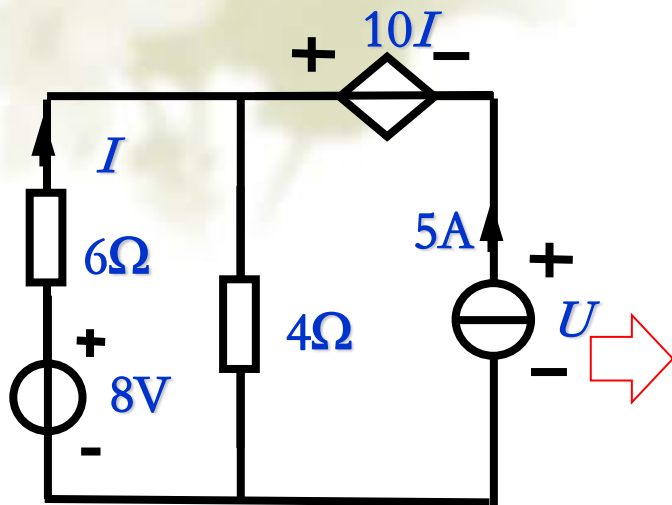


图1-45(a)

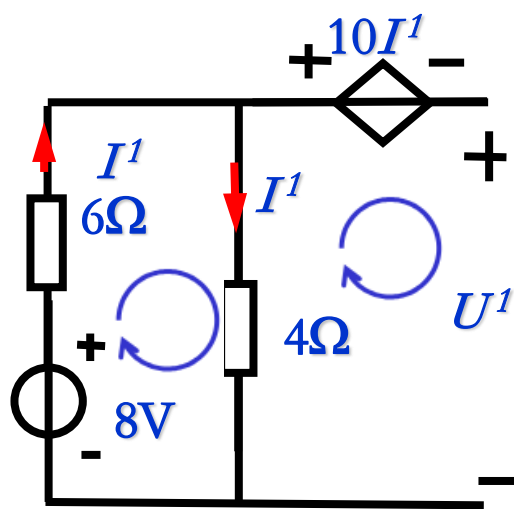


图1-45(b)

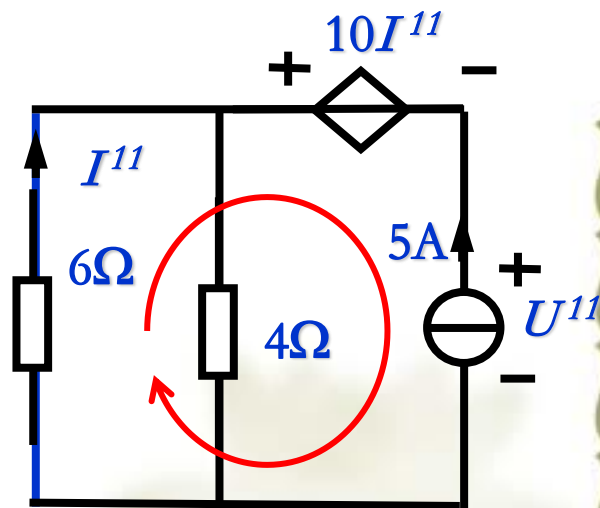


图1-45(c)

$$4I' - 8 + 6I' = 0 \longrightarrow I' = 0.8\text{A}$$

$$8 + U' - 4I' = 0 \longrightarrow U' = -4.8\text{V}$$

$$I'' = -5 \times \frac{4}{6 + 4} = -2$$

$$10I'' + U'' + 6I'' = 0$$

$$\longrightarrow U'' = 32\text{V}$$

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

$$= 27.2\text{V}$$

2、叠加原理的注意事项：分图数=独立电源个数

只能拆分独立电源，受控源不能除源，必须保留在分图中。

利用两节点电压公式检查结果：

$$V_a = \frac{\sum \frac{U_s}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}} = \frac{\frac{8}{6} + 5}{\frac{1}{6} + \frac{1}{4}} = 15.2V$$

$$KVL: V_a - 8 + 6I = 0 \rightarrow I = -1.2A$$

$$KVL: 10I + U - V_a = 0 \rightarrow U = 27.2V$$

注意：展开的公式中不要出现与恒流源串联的所有元件

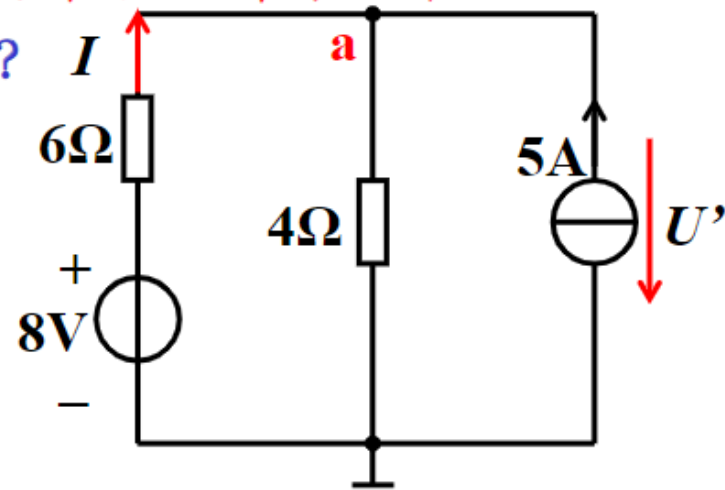
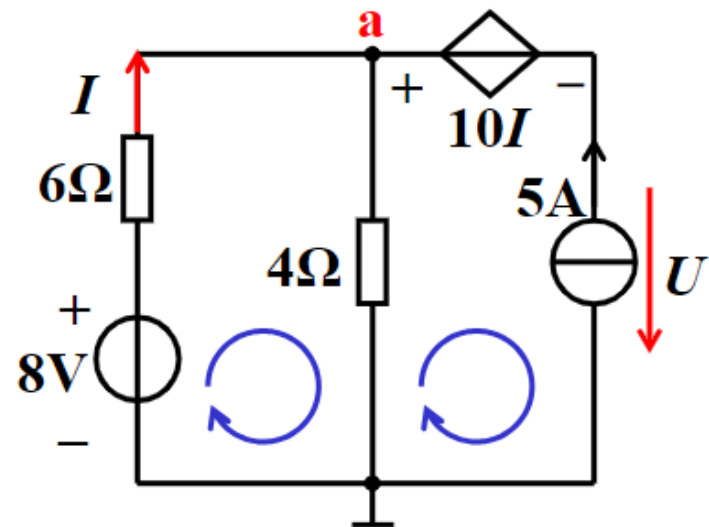
思考：能在下图求解5A两端的电压吗？

注意： $U' \neq U$

∴ 等效变换对外成立，对内不等效；

∴ 下图对 V_a 等效，对 U 并不等效；

对 U 的求解必须回到原图。



1、戴维南定理

已知： $U_S=1V$, $R_1=1k\Omega$,
 $R_2=R_3=4k\Omega$

利用戴维南定理求： $I_3 = ?$

解题步骤：

① 取出待求支路；

② 求开路电压 U_0 ；

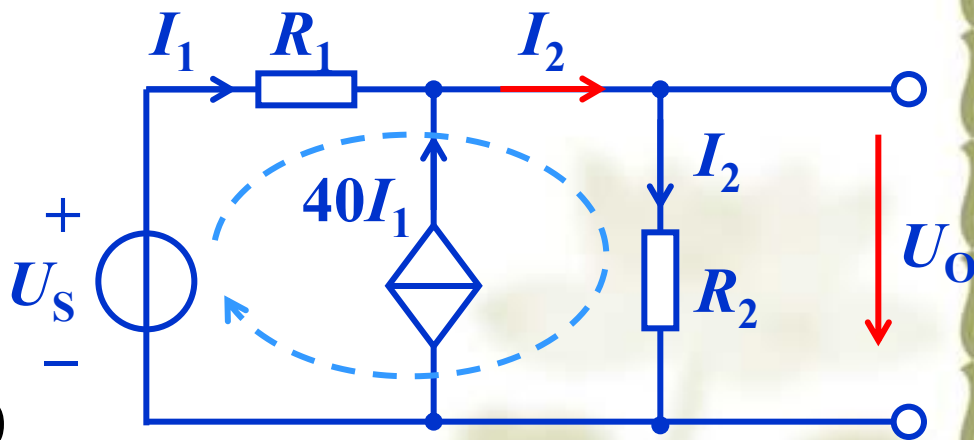
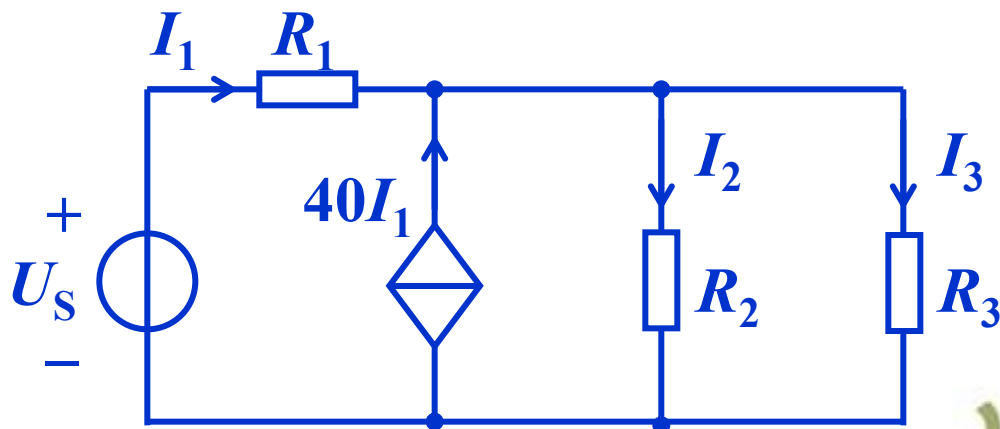
$$\begin{cases} KCL : I_1 + 40I_1 = I_2 \\ KVL : I_1 R_1 + I_2 R_2 - U_S = 0 \end{cases}$$

$$\longrightarrow I_1 = 6\mu A \quad I_2 = 246\mu A$$

$$\longrightarrow U_0 = I_2 R_2 = 0.994V$$

③ 求该有源二端网络除源后的等效内阻 $R_0 \longrightarrow$ 利用特殊方法

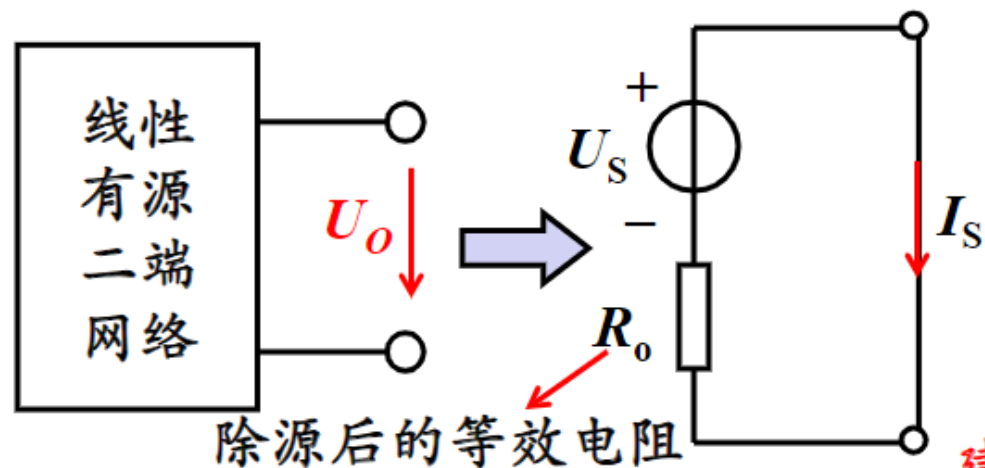
※ 结论：在分析电路时，受控源不能随便除源。



3、戴维南定理的注意事项：

需要利用特殊方法求 R_o

若有源二端网络内含有受控源，则受控源不能除源，**必须保留**。



方法一：开路短路法

① 求开路电压 $U_o = U_s$

② 求短路电流 I_s

③ $R_o = \pm U_o / I_s$

建议： I_s 和 U_o 参方设置相同

适合于独立电源较多或者短路电流难求的情况

加压求流法

方法二：外加电源法

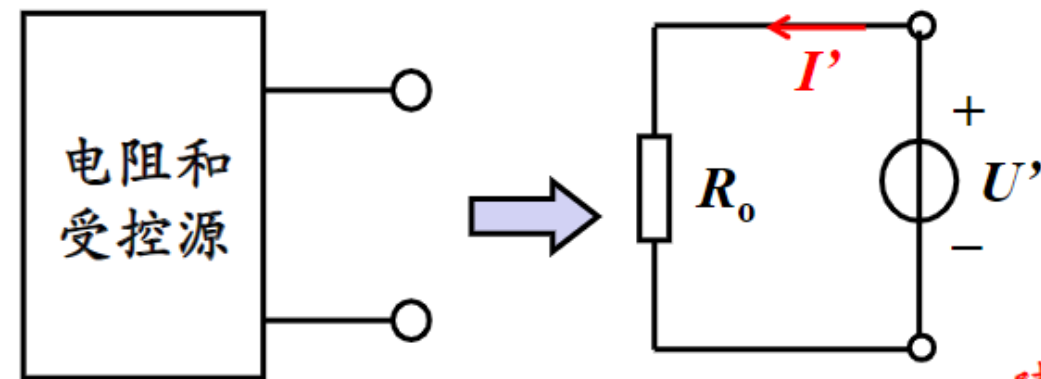
① 先消除独立电源

保留电阻和受控源

② 外加电压 U' 求 $I' = ?$

③ $R_o = \pm U' / I'$

建议： I' 从 U' 的正极流出

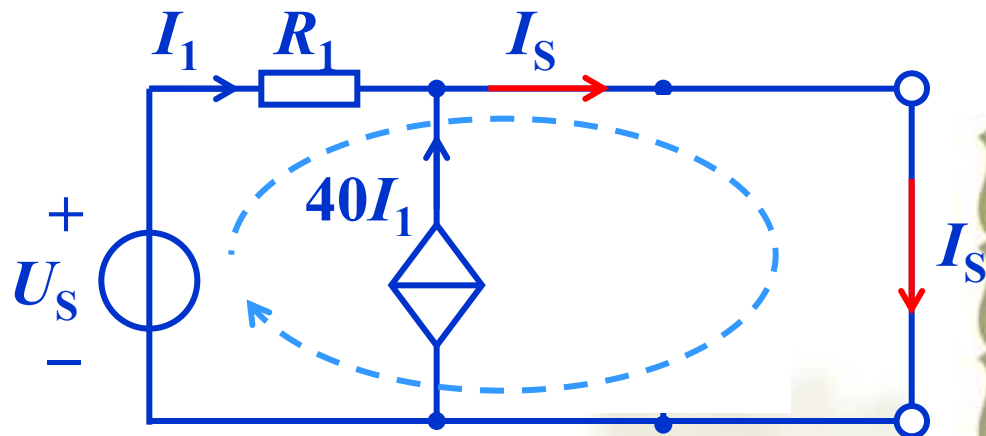


方法一：开路短路法

① 求开路电压 $U_O \longrightarrow U_O = 0.994V$

② 求短路电流 I_S

注意：短路电流 I_S 的参考方向须和开路电压一致



$$\begin{cases} KCL : I_1 + 40I_1 = I_S \\ KVL : I_1 R_1 - U_S = 0 \end{cases}$$

$$\longrightarrow I_1 = 1 \text{ mA} \quad I_S = 41 \text{ mA}$$

$$\textcircled{3} R_O = \frac{U_O}{I_S} = 24.2 \, \Omega$$

方法二：外加电源 (加压求流法)

① 除去独立源

保留受控源

② 外加电压源 U 、求 I

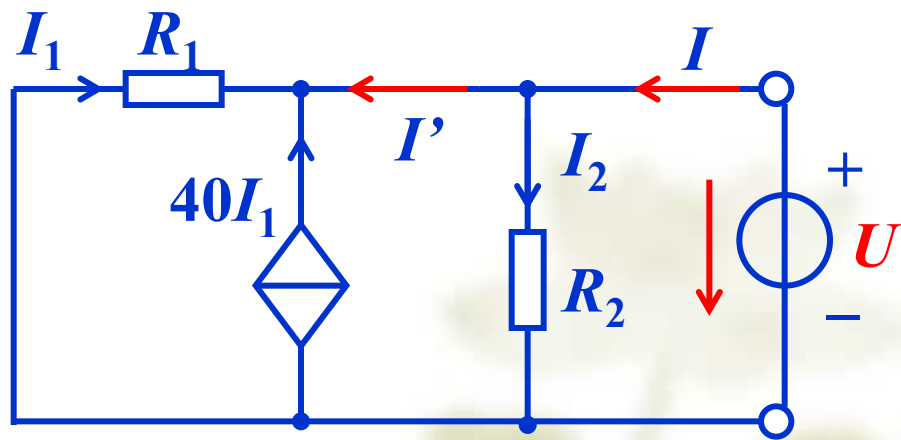
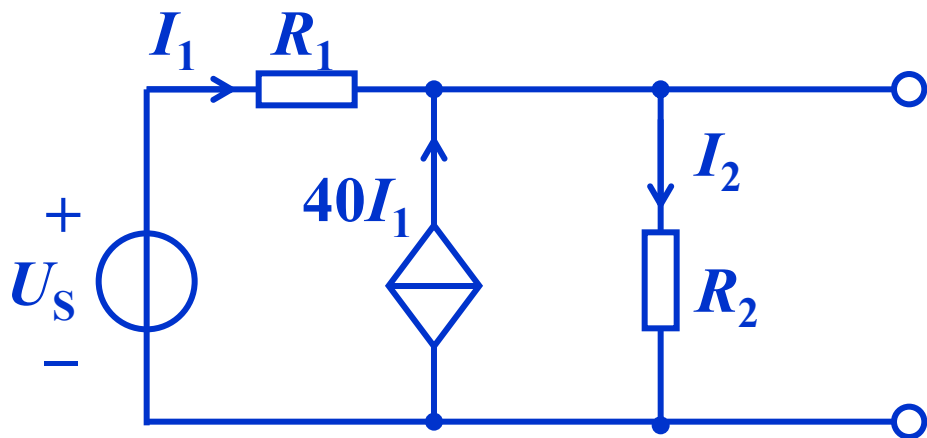
注意： I 的流向须

从正极出发

求 $I = ?$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{① } I = ? U \\ \text{② } U = ? I \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{KCL} \\ \text{KVL} \end{array}$

$$\text{③ } R_0 = \frac{U}{I} = \text{常数}$$

$$= 24.2 \, \Omega$$



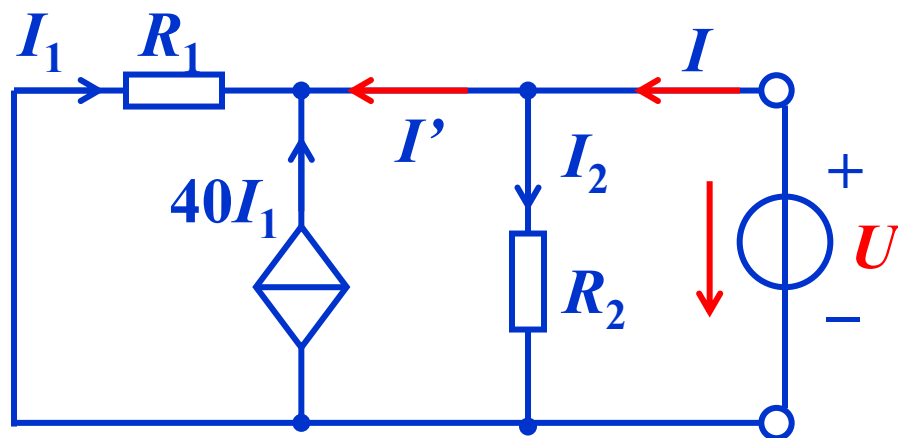
$$\begin{aligned} KCL : I &= I_2 + I' = I_2 - 41I_1 \\ &= \frac{U}{R_2} - 41 \times \left(-\frac{U}{R_1} \right) \\ &= 0.04125 U \end{aligned}$$

方法二：外加电源 (加压求流法)

更简化的方法1

② 外加电压 $U=1V$ 、求 I

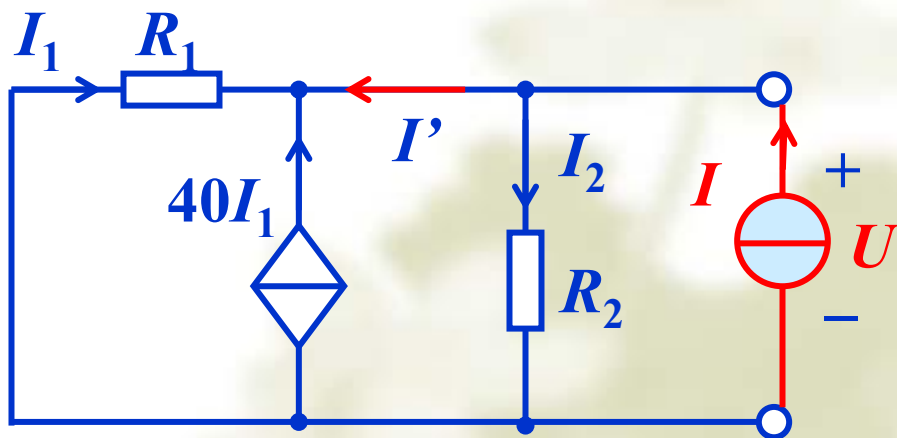
$$\textcircled{3} R_0 = \frac{U}{I} = \text{常数} \\ = 24.2 \Omega$$



$$\begin{aligned} KCL: I &= I_2 + I' = I_2 - 41I_1 \\ &= \frac{U}{R_2} - 41 \times \left(-\frac{U}{R_1}\right) = 0.04125 \end{aligned}$$

更简化的方法2:加电 流源求电压

假设用电流源 $I=1A$,
求 U , 然后求 R



① 取出待求支路;

② 求开路电压 U_0 ;

$$U_0 = 0.994V$$

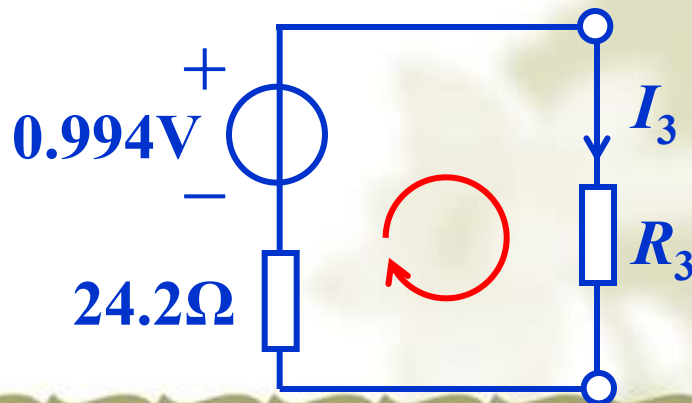
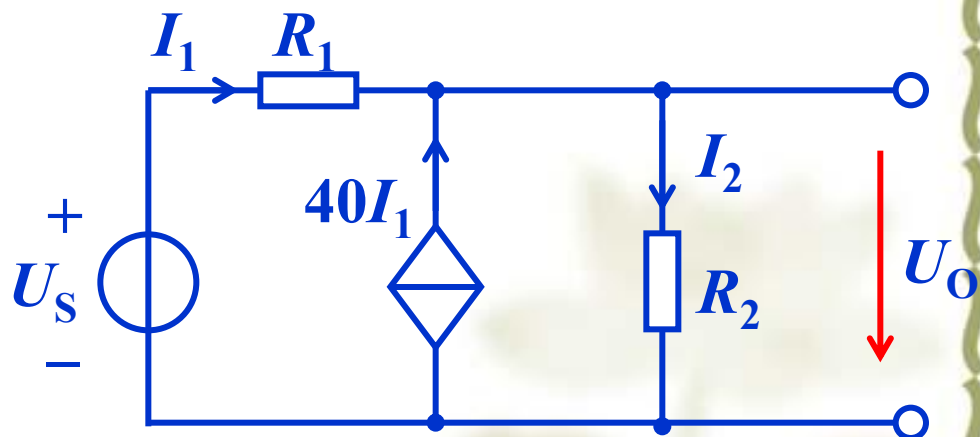
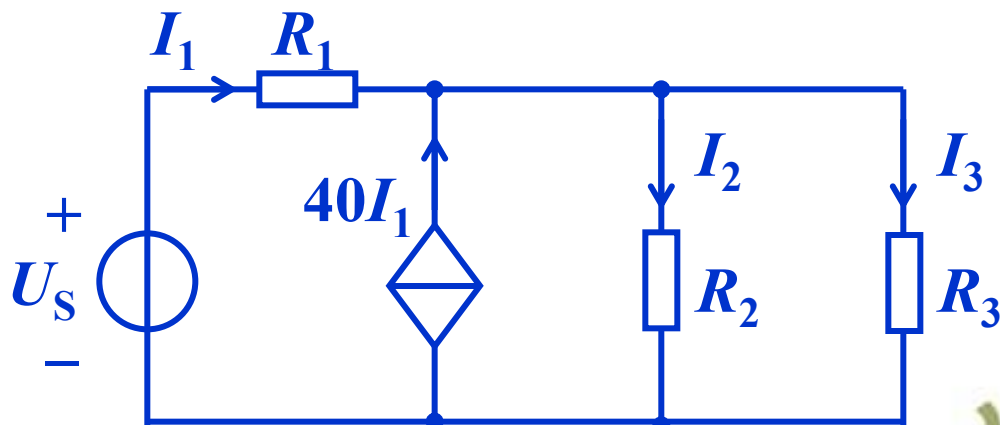
③ 求等效内阻 R_0

$$R_0 = 24.2 \Omega$$

④ 画出等效电压源模型

⑤ 放入待求支路进行求解

$$I_3 = \frac{0.994}{24.2 + R_3}$$
$$= 0.25mA$$



[例1-18]: 试求图1- 46 (a)所示二端电路的戴维南等效电路。

解: 1、计算开路电压。开路时 $I=0$ ，受控量 $3I=0$ 。等效电路图见图1- 46 (b)所示。用叠加原理求开路电压

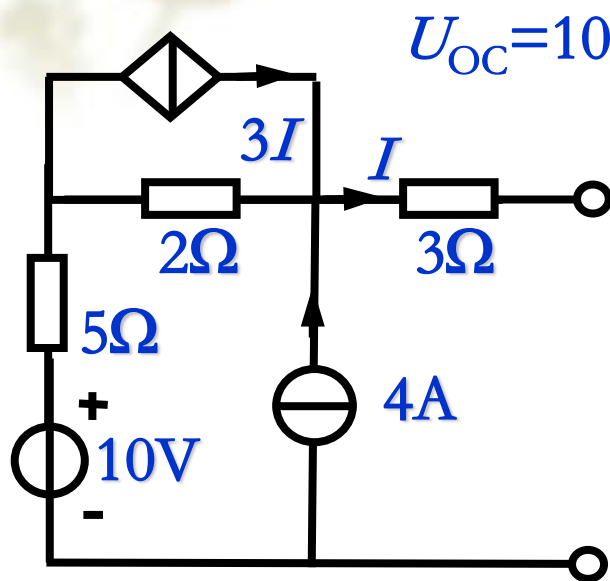


图1- 46 (a)

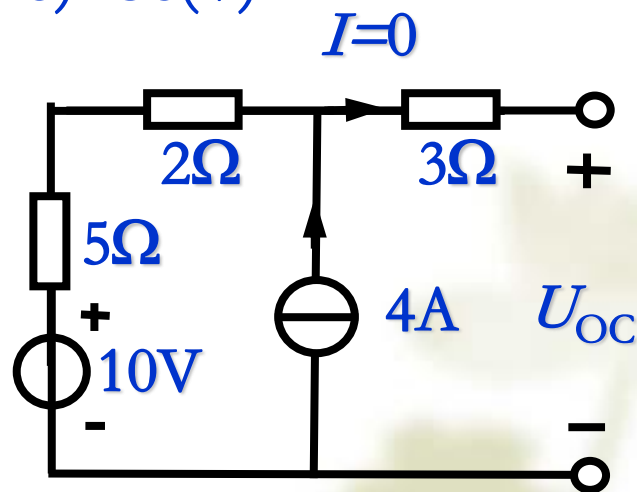


图1- 46 (b)

受控源依附于**控制量**的存在而存在
当控制量**为零**时，受控源可以**除源**
当控制量**恢复**时，受控源必须**恢复**

2、计算等效电阻。

方法一：开路短路法

$$R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$$

输出端口短路 用支路电流法分析

节点KCL方程 节点a: $I_1 = I_2 + 3I$

节点b: $I_2 + 3I + 4 = I$

三个未知数，两个方程，
差一个方程用KVL方程补

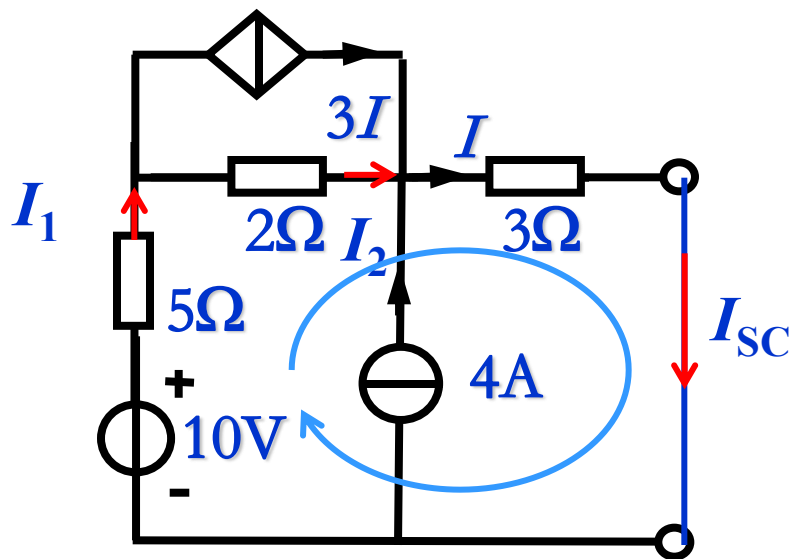


图1-46 (a)

$$-10 + 5I_1 + 2I_2 + 3I = 0$$

求得 $I = 9.5A$

$$I_{sc} = I = 9.5A$$

$$R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}} = \frac{38}{9.5} = 4\Omega$$

方法二：加压求流法

去掉二端网络内部的独立电源，在端口出加电源，见图1-46 (c)，则

$$R_0 = \frac{U'_0}{I'_0}$$

由图1-46 (c) 得 $I = -I'_0$

$$\begin{aligned} U'_0 &= 3I'_0 + 2(I'_0 + 3I) + 5I'_0 \\ &= 3I'_0 + 2(I'_0 - 3I'_0) + 5I'_0 \\ &= 4I'_0 \end{aligned}$$

于是 $R_0 = \frac{U'_0}{I'_0} = 4(\Omega)$

最终求得的戴维南等效电路见图1-46 (d)

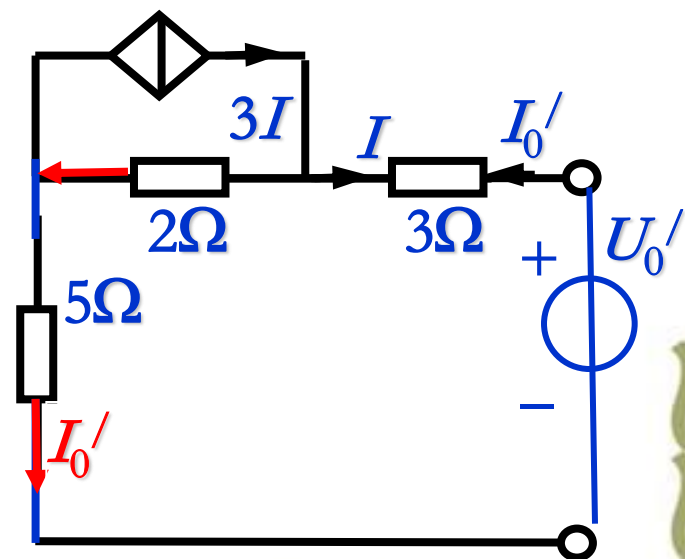


图1-46 (c)

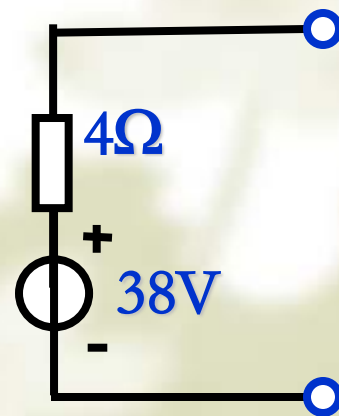


图1-46 (d)

方法二：更简单的加压
求流法

更简单的方法，假设

$$I'_0 = 1\text{A}$$

求得

$$U'_0 = 3 * 1 + 2 * (-2) + 5 * 1 = 4\text{V}$$

$$R_0 = \frac{U'_0}{I'_0} = 4(\Omega)$$

最终求得的戴维南等效电路见图1-46 (d)

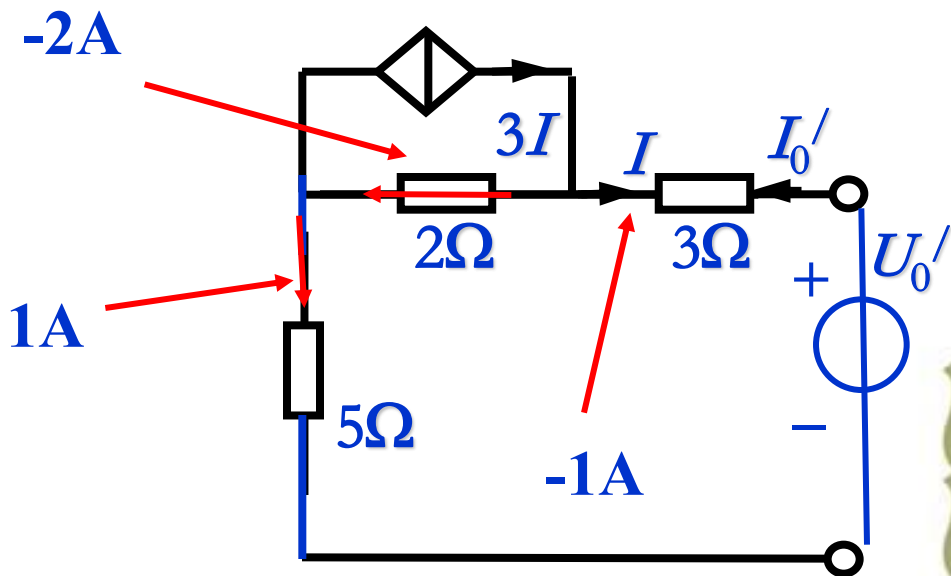


图1-46 (c)

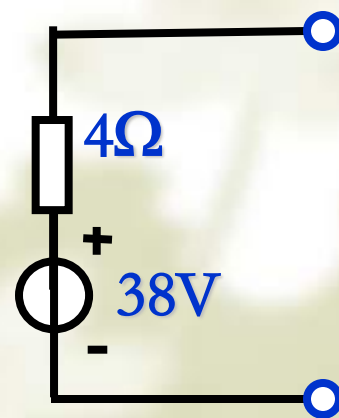
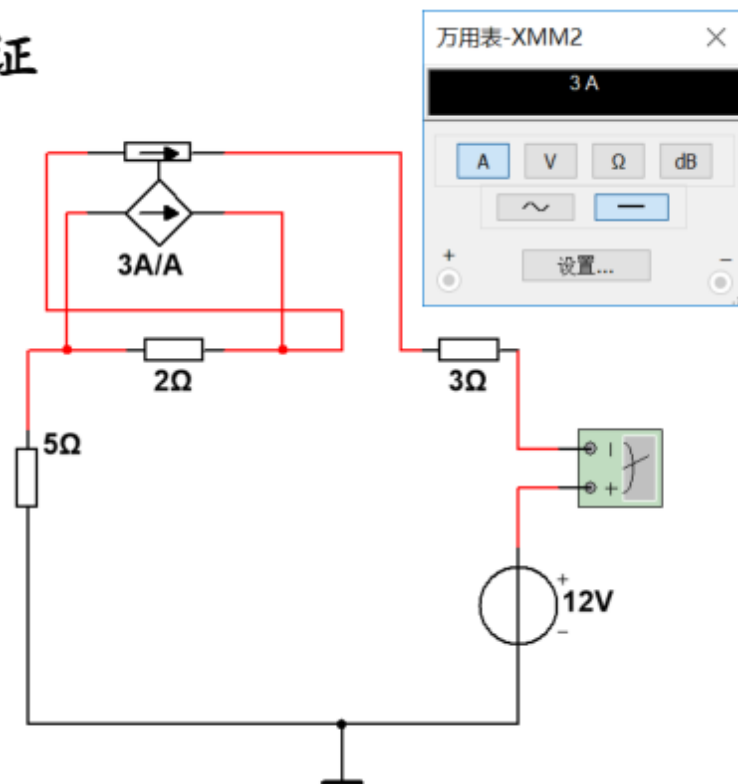
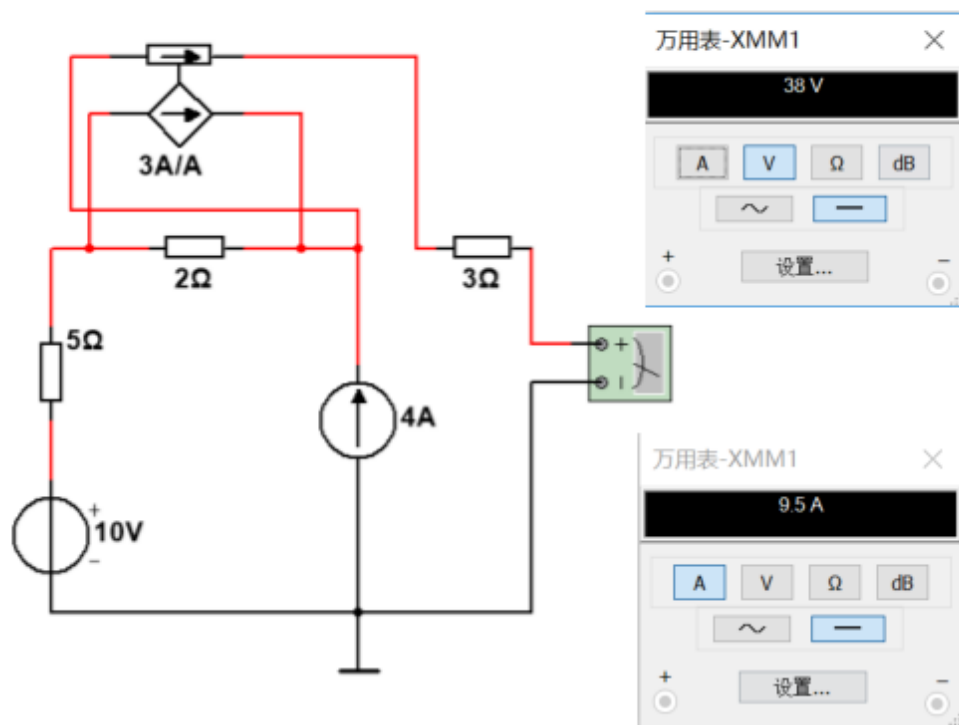


图1-46 (d)

例1-18：用Multisim仿真软件进行验证



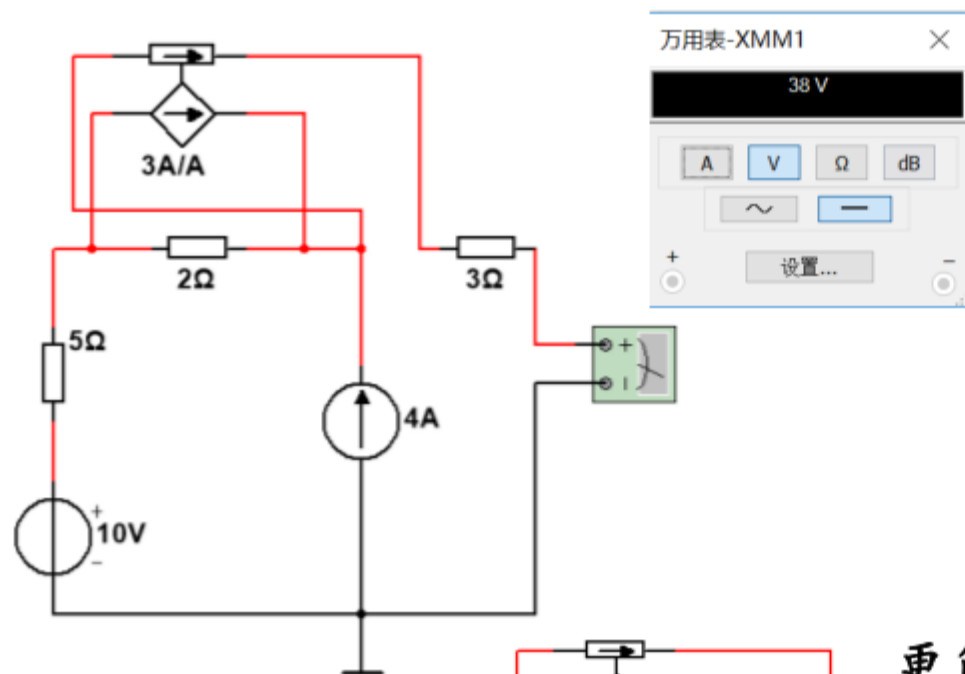
方法一：开路短路法

- ① 求开路电压 U_o
- ② 求短路电流 I_s
- ③ $R_o = U_o / I_s = 38 / 9.5 = 4\Omega$

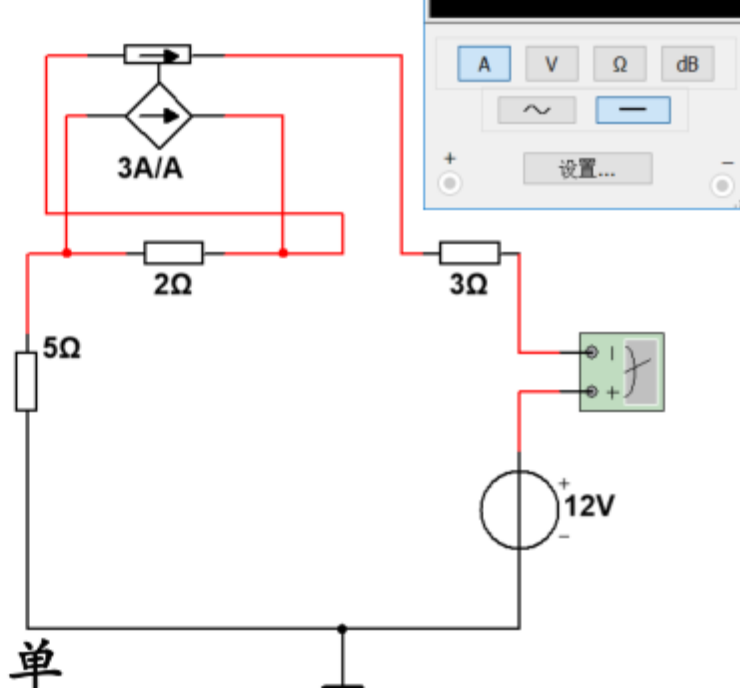
方法二：外加电源法

- ① 先消除独立电源
- ② 外加电压 U' 求 $I'=?$
- ③ $R_o = U' / I' = 12 / 3 = 4\Omega$

例1-18：用Multisim仿真软件进行验证



把万用表设置为欧姆档



更简单的做法

方法二：外加电源法

① 先消除独立电源

② 外加电压 U' 求 $I'=?$

③ $R_o = U'/I' = 12/3 = 4\Omega$

受控源电路的分析方法

1、在运用电源等效变换定理时，不能把控制量消除掉；

当控制量属于内电路时，应把它转换为外电路物理量

2、在运用叠加原理时，受控源应看成普通元件，不能除源处理

3、在戴维南定理的第3步（求有源二端网络除源后的等效电阻）时，受控源同样不能除源处理，需使用特殊方法。

方法一：开路短路法

① 求开路电压 U_O

② 求短路电流 I_S

$$\textcircled{3} R_O = \frac{U_O}{I_S}$$

方法二：加压求流法

※ ① 除去独立源、保留受控源

② 外加电压 U 、求 I

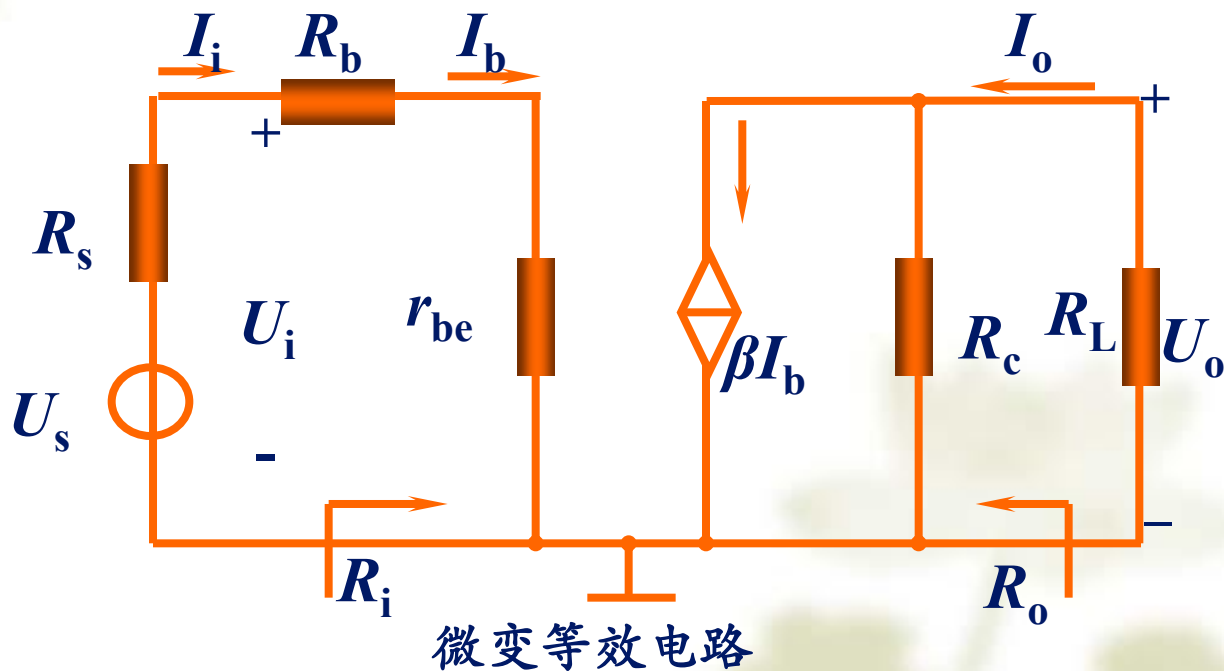
$$\textcircled{3} R_O = \frac{U}{I}$$

共发电极放大电路

例题： 计算电压放大倍数, R_o , R_i

❖ 计算

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$$



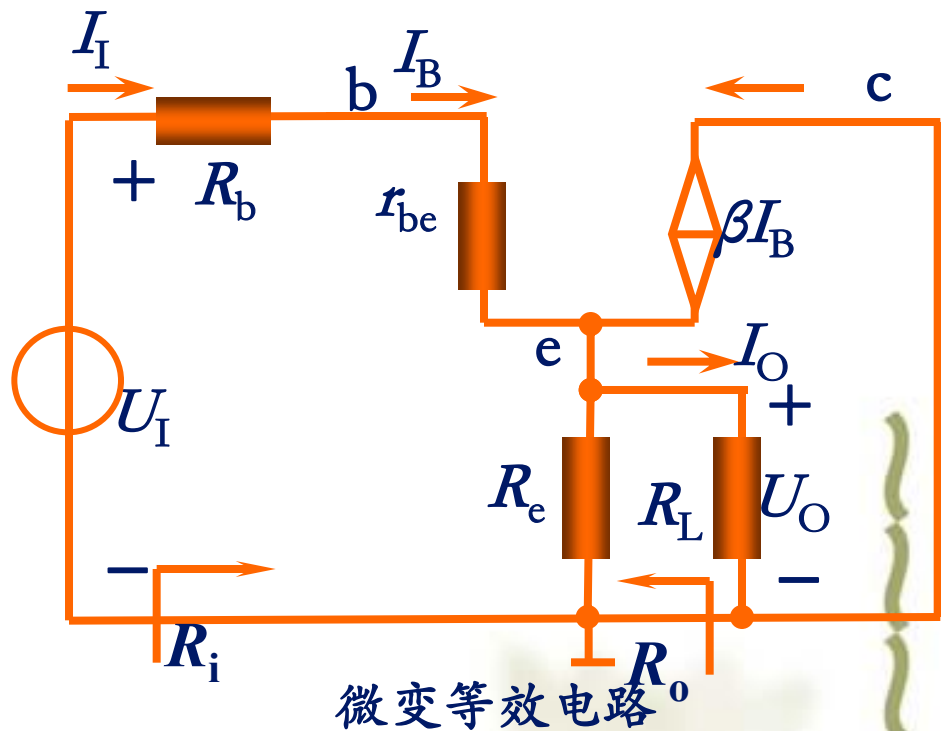
共集电极放大电路

(2) 性能指标的分析计算

1 电压放大倍数

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{(1 + \beta)R'_L}{R_b + r_{be} + (1 + \beta)R'_L}$$

其中 $R'_L = R_L // R_e$



$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = R_b + r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)$$

$$R_o = \frac{1}{\frac{1}{R_e} + \frac{1 + \beta}{r_{be} + R_b}}$$

第1章 直流电路

1.1 电路与电路模型

1.2 电流,电压,电位

1.3 电功率

1.4 电阻元件

1.5 电压源与电流源

1.6 基尔霍夫定律

1.7 简单的电阻电路

1.8 支路电流分析法

1.9 节点电位分析法

1.10 叠加原理

1.11 等效电源定理

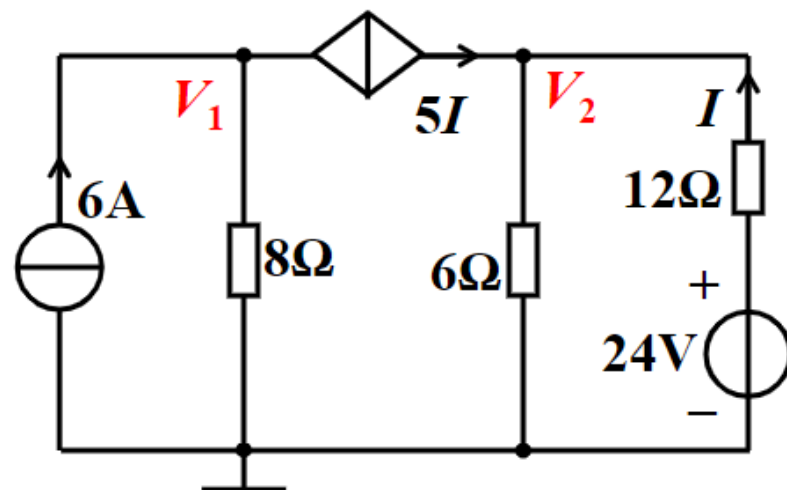
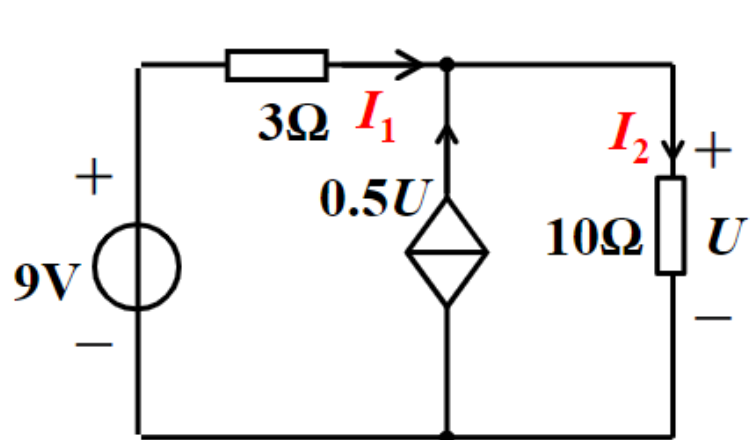
1.12 含受控电源的电阻电路

电路的基本概念

电路的基本
分析方法

作业1-22到1-26

1-22: 利用支路电流法求 I_1 和 I_2 1-23: 利用节点电位法求 V_1 和 V_2



1-24 利用叠加原理求 U 和 I

