

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

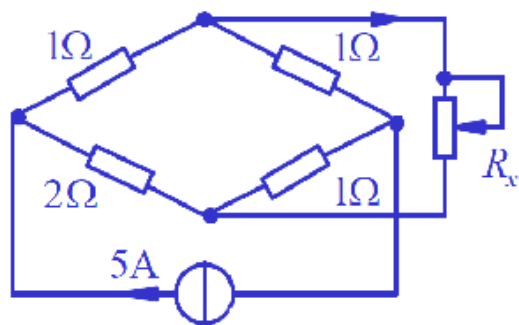
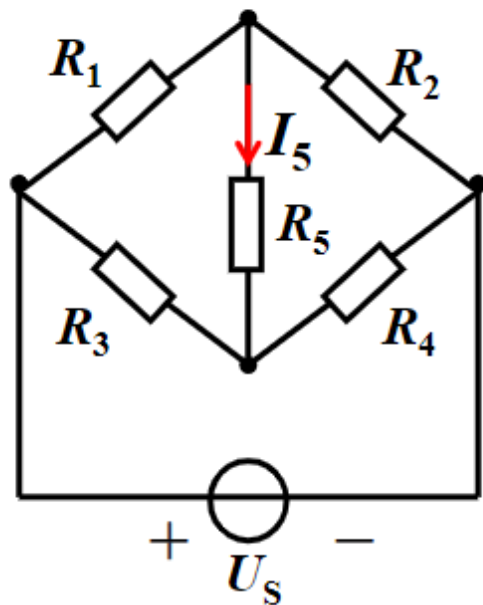
1.12 含受控电源的电阻电路

电路的基本概念

电路的基本
分析方法

§9 等效电源定理

思考：以下电路用哪种方法求解最有效？



方法一：电源等效变换定理

适用于将多电源电路转换为单电源电路

方法二：支路电流法

适用于需要求解所有支路电流的电路

方法三：节点电位法

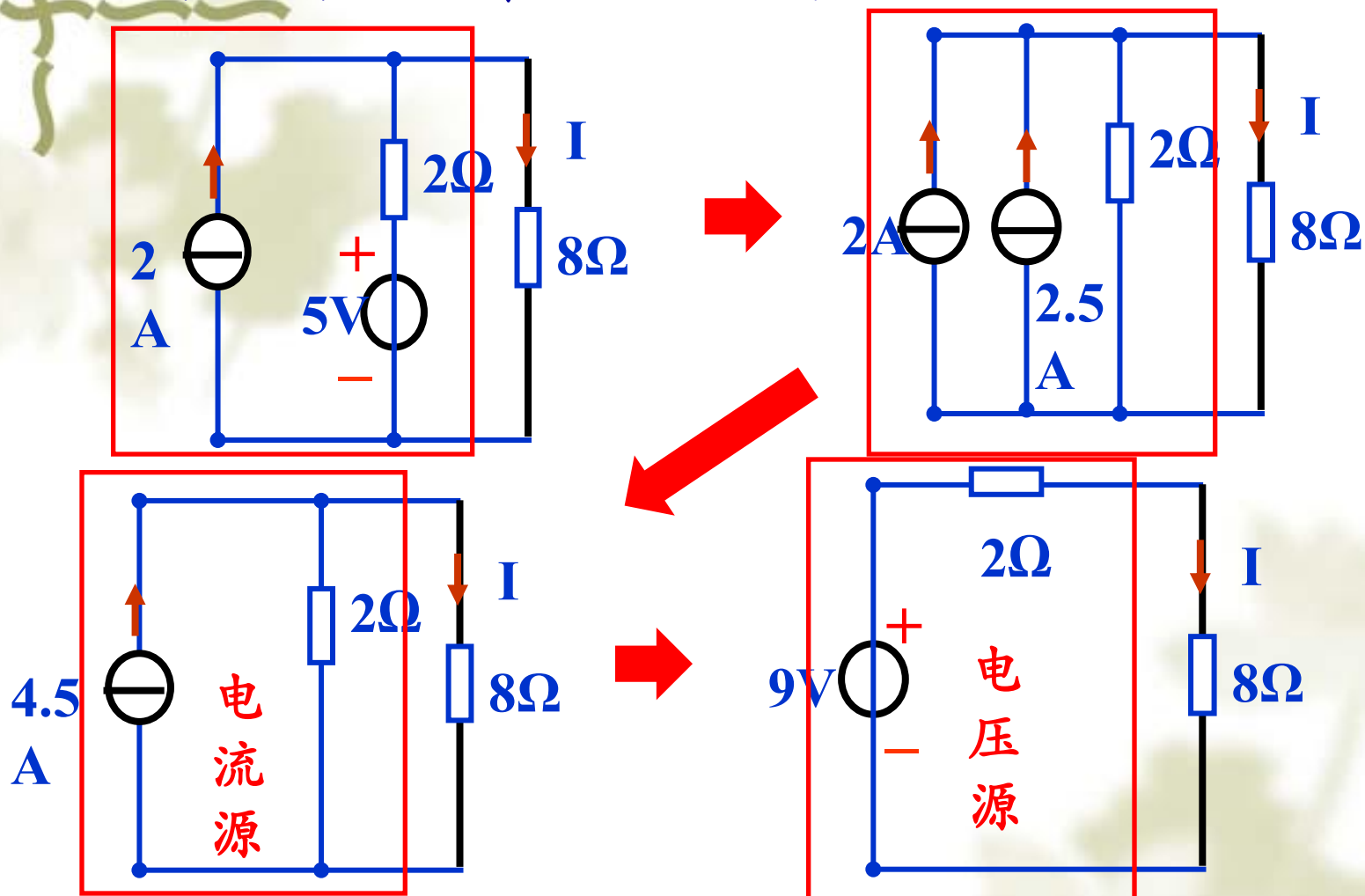
适用于两节点电路（弥尔曼定理）

方法四：叠加原理

适用于多个独立电源电路的逐一攻破

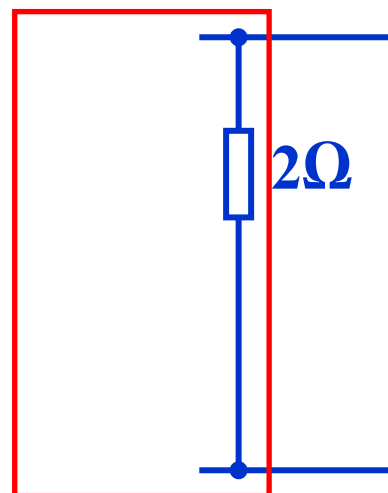
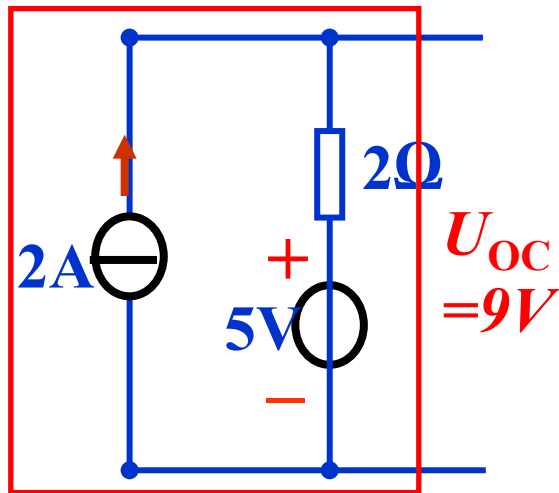
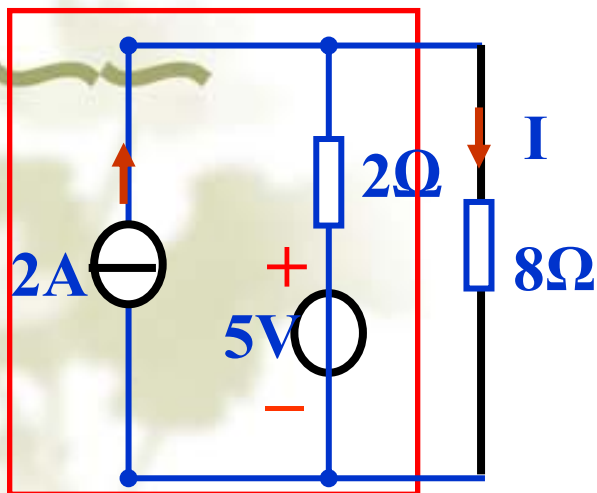
思考2：左边电路中负载 R_x 多少时，负载获得功率最大？

先看一例题：作业1-12：等效变换方法



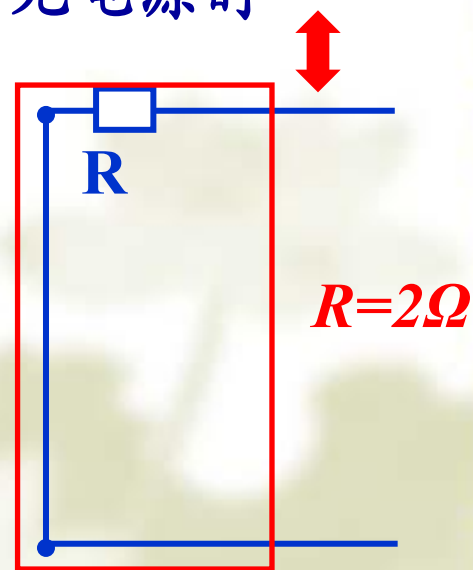
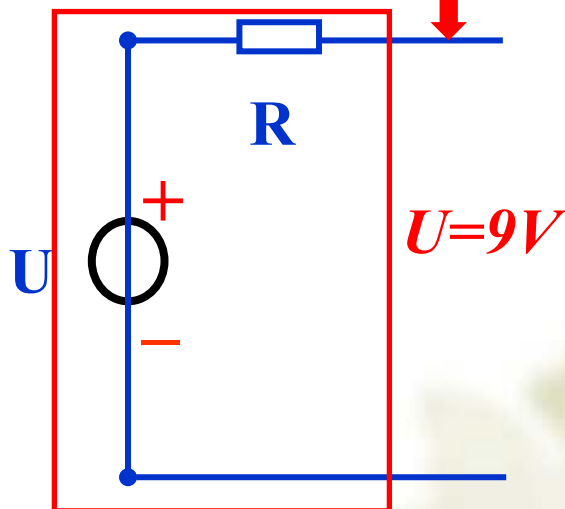
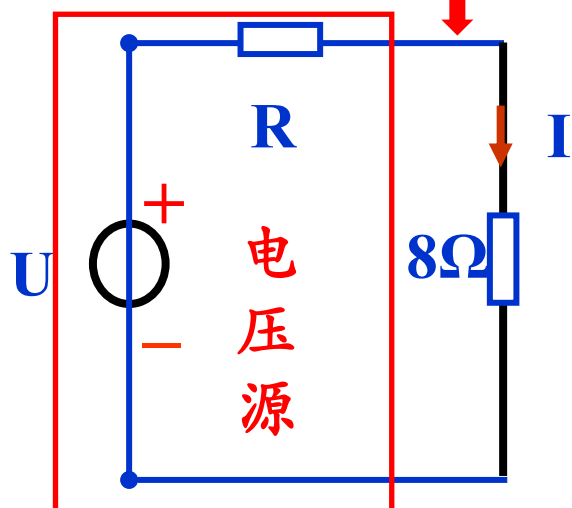
结论：线性有源二端网络对外部电路来说都可以用一个实际电压源或电流源来等效替代

问题：如何求实际电源、电压和电流和内阻？



负载无穷大时

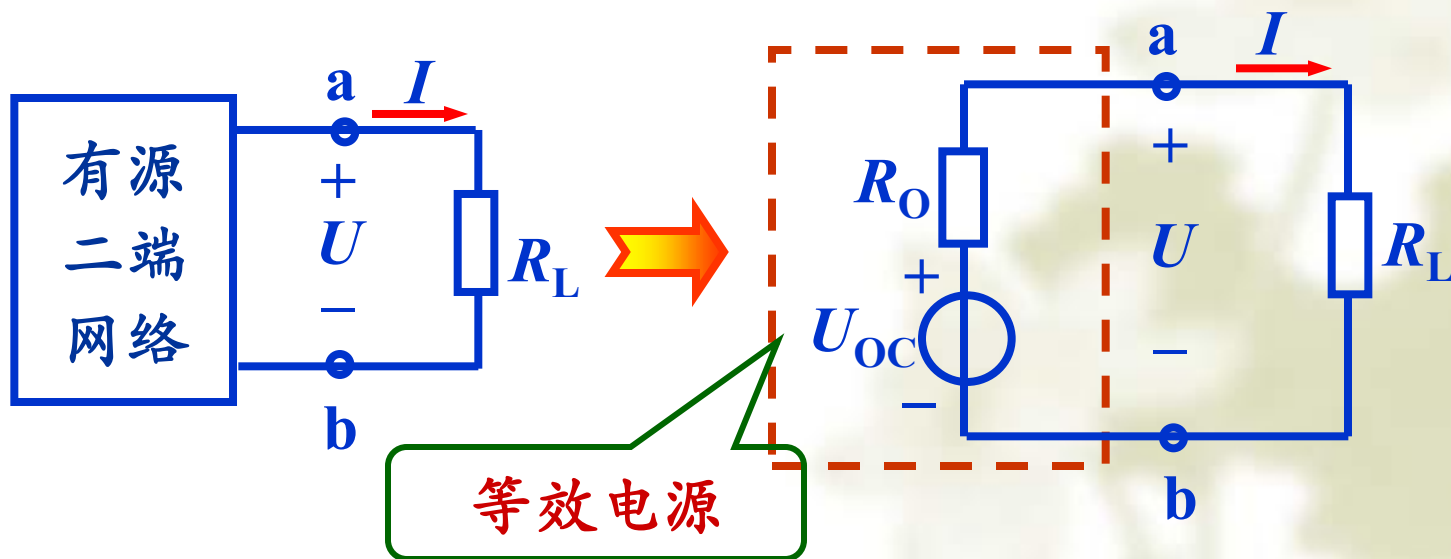
无电源时



结论：电压源大小和外部电路开路时电压相等，电流源大小和外部电路短路时流过电流相等，内阻为所有电源除源时的内部等效电阻。-----等效电源定理

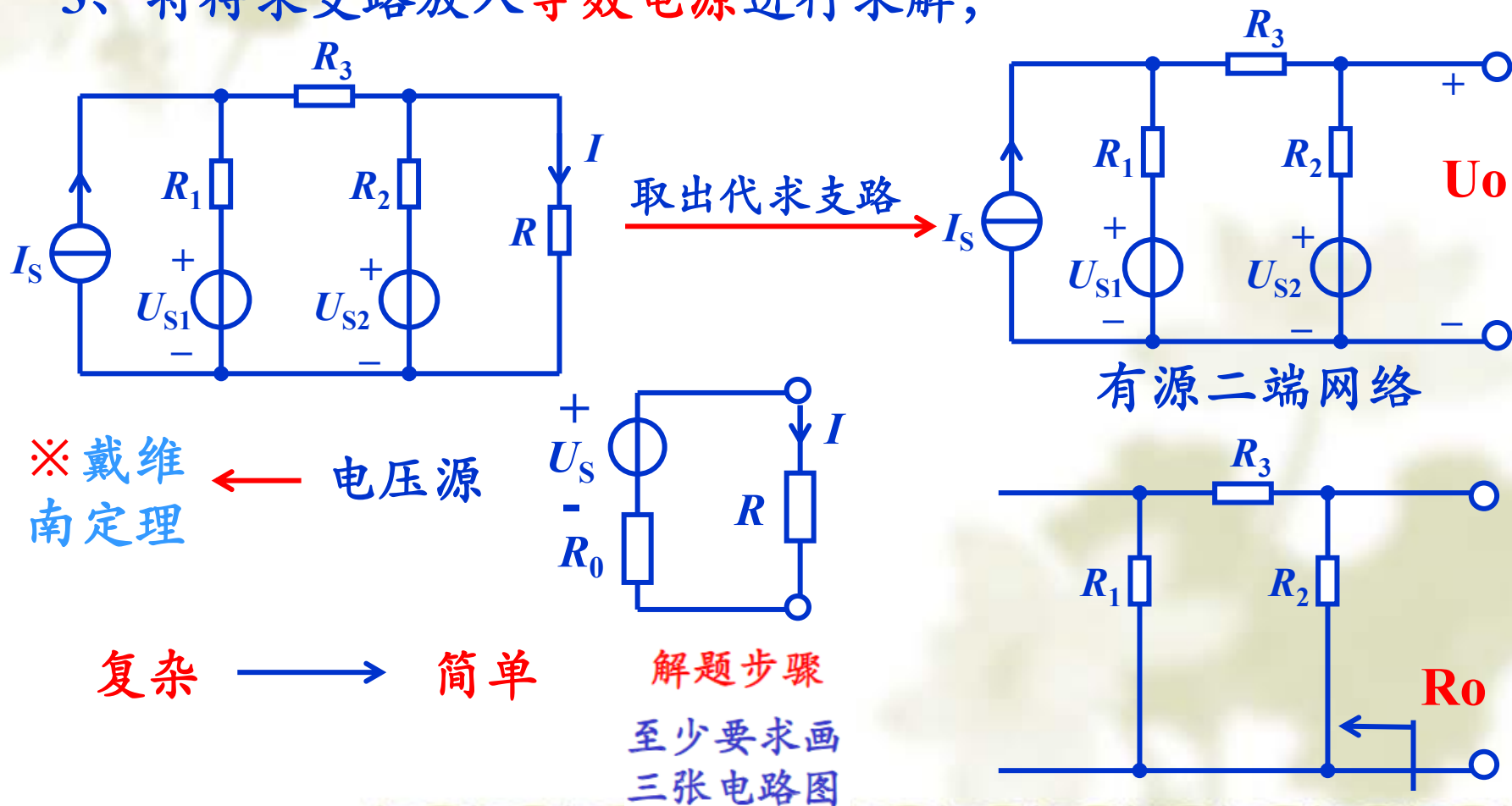
1.11.1 戴维南定理

戴维南定理：任何一个有源二端线性网络都可以用一个电压源和电阻的串联来等效代替。等效电压源的电压等于有源二端网络的开路电压 U_{OC} ，等效电阻等于有源二端网络中除去所有电源（电压源短路，电流源开路）后所得到的无源二端网络的等效电阻 R_0 。



等效电源定理的解题原理：

- 1、取出待求支路 \longrightarrow 得到一个有源二端网络,求开口电压 U_0 ;
- 2、对有源二端网络除源, 计算开口位置的等效电阻 R_0 ;
- 3、将待求支路放入等效电源进行求解;



首先通过一个例子来说明戴维南定理。

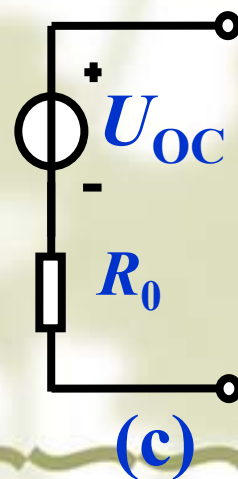
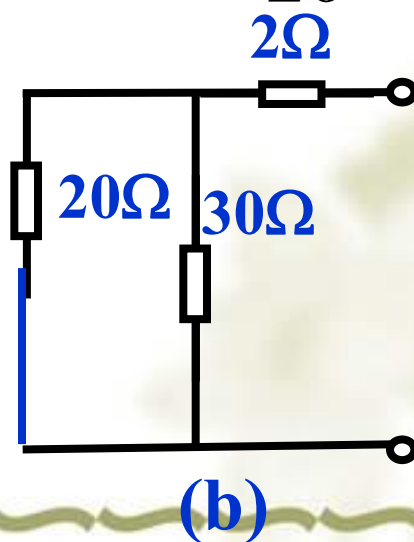
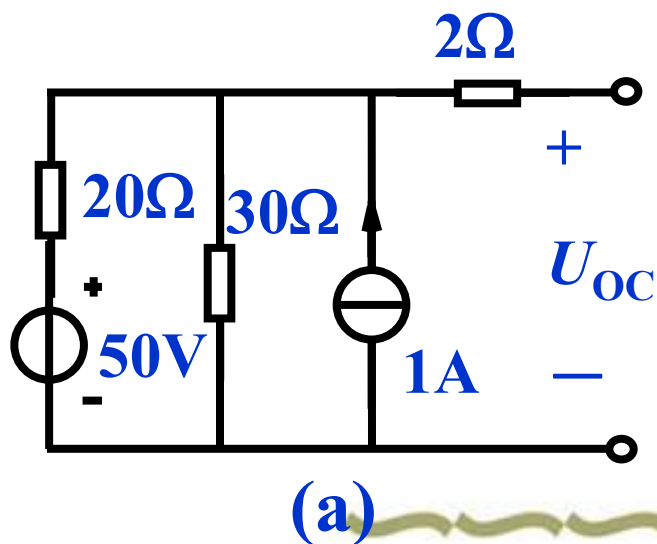
[例1-12] 求图(a)所示电路的戴维南等效电路。

解：(1) 计算开路电压。可以用叠加原理

$$U_{oc} = U'_{oc} + U''_{oc} = 50 \times \frac{30}{30+20} + 1 \times \frac{30 \times 20}{30+20} = 42(\text{V})$$

也可以用两节点公式

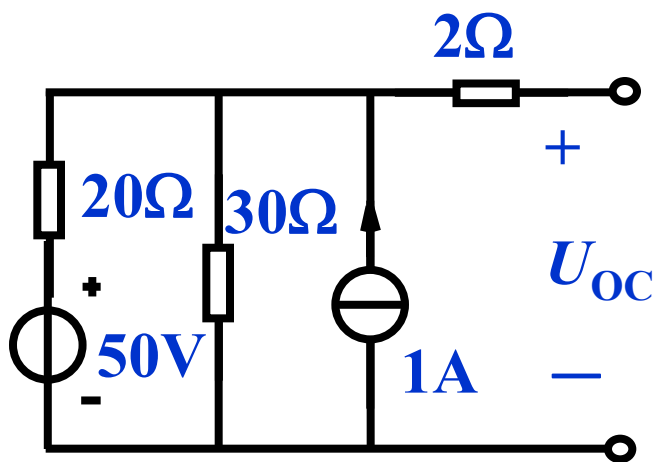
$$U_{oc} = V_a = \frac{\frac{50}{20} + 1}{\frac{1}{20} + \frac{1}{30}} = 42\text{V}$$



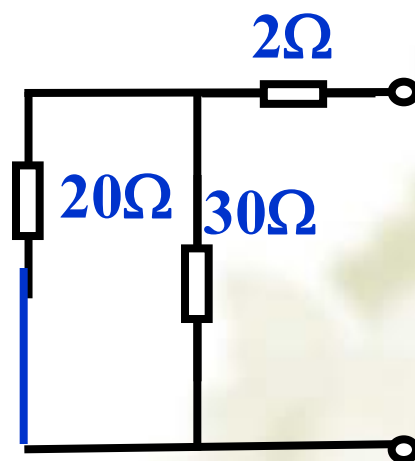
(2) 计算等效电阻。将有源二端网络内部的电源置为零，如图 (b) 所示。

$$R_o = 2 + \frac{20 \times 30}{20 + 30} = 14(\Omega)$$

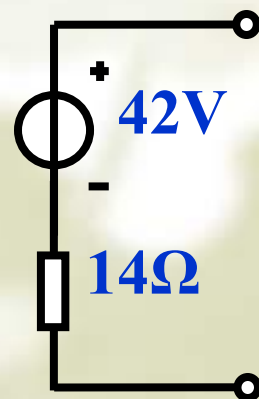
(3) 图 (c) 所示42V 电压源与14Ω电阻的串联即为图(a)中有源二端网络的戴维南等效电路。



(a)



(b)



(c)

[例1-13] 试计算图(a)中电流 I 。

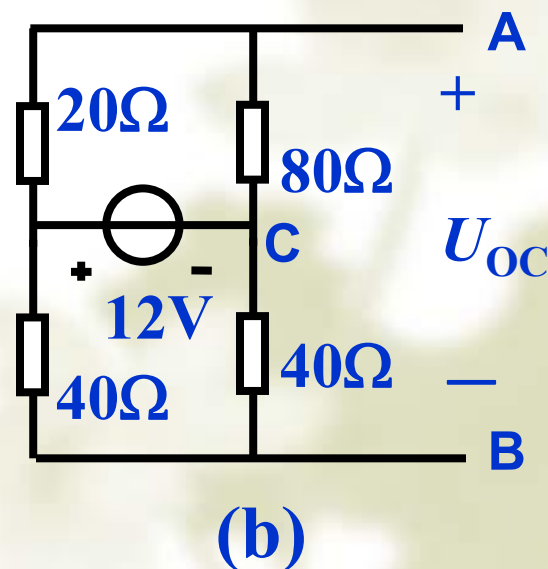
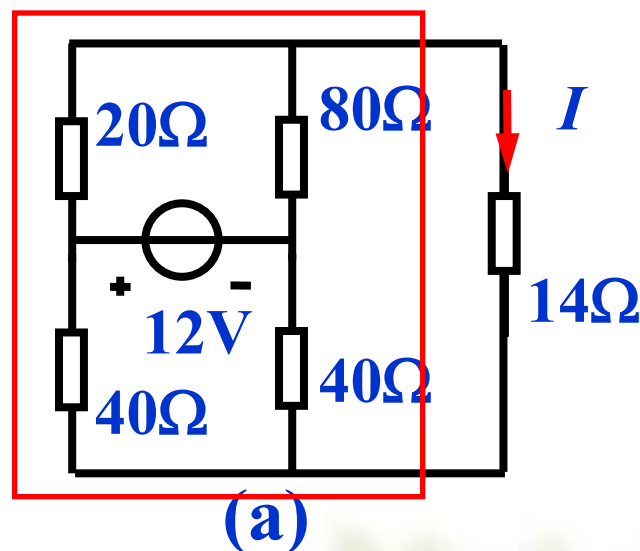
解：应用戴维南定理求解。断去 14Ω 电阻，计算开路电压和等效电阻。

(1) 计算开路电压，见图(b)。

$$U_{AC} = 12 \times \frac{80}{20 + 80} = 9.6(\text{V})$$

$$U_{BC} = 12 \times \frac{40}{40 + 40} = 6(\text{V})$$

$$\begin{aligned} U_{OC} &= U_{AB} = U_{AC} - U_{BC} \\ &= 9.6 - 6 = 3.6(\text{V}) \end{aligned}$$



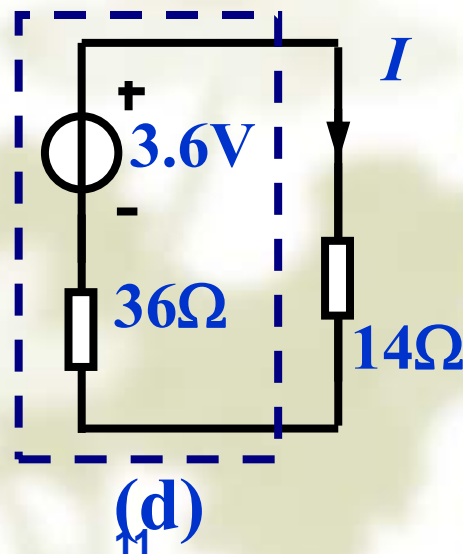
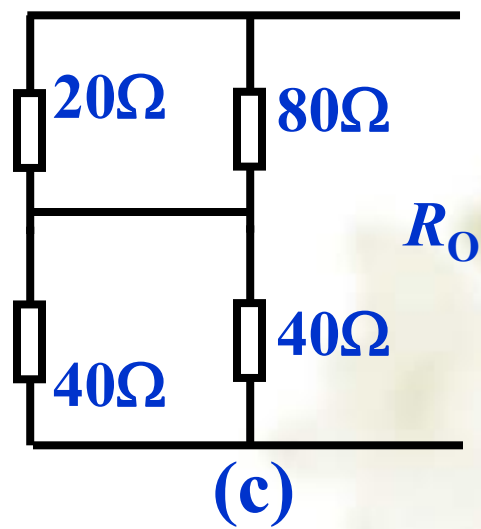
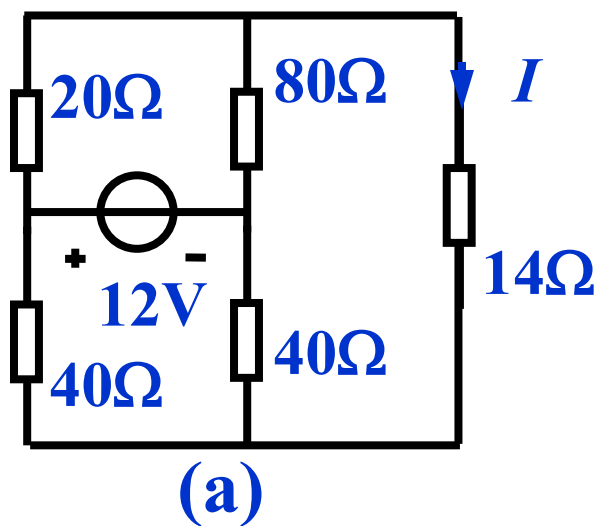
(2) 计算等效电阻，见图(c)。

$$R_O = R_{AC} + R_{CB} = \frac{20 \times 80}{20 + 80} + \frac{40 \times 40}{40 + 40} = 36(\Omega)$$

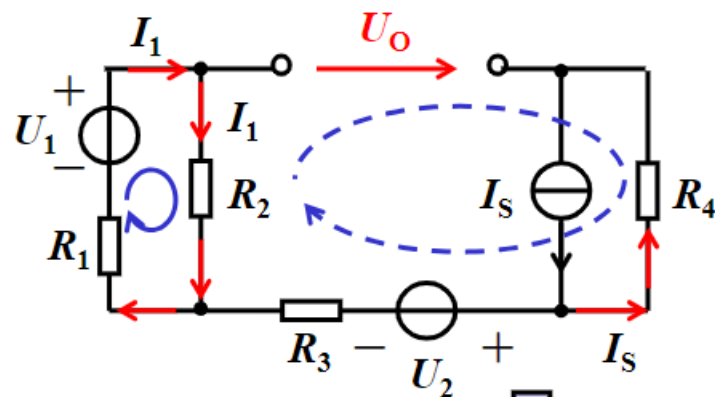
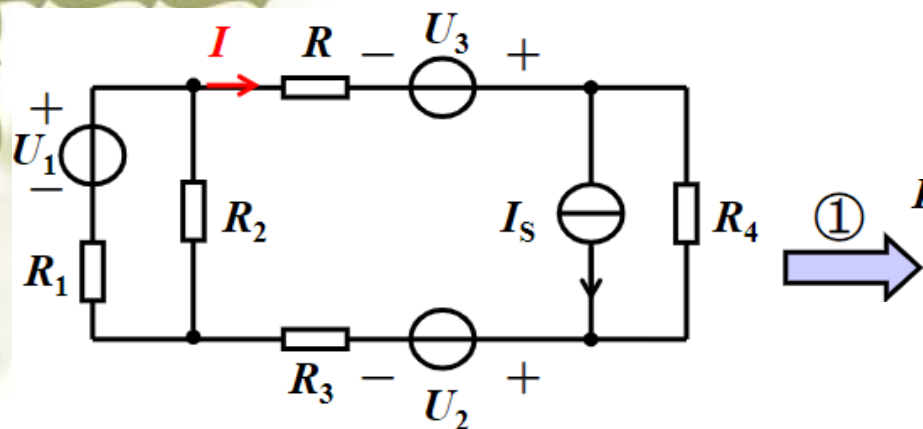
(3) 戴维南等效电路见图(d)，端口处联接 14Ω 电阻，计算电流 I 。

$$I = \frac{3.6}{36 + 14} = 0.072(\text{A})$$

戴维南等效电路



试用戴维南等效计算图中电流 I 。



② $U_o = ?$

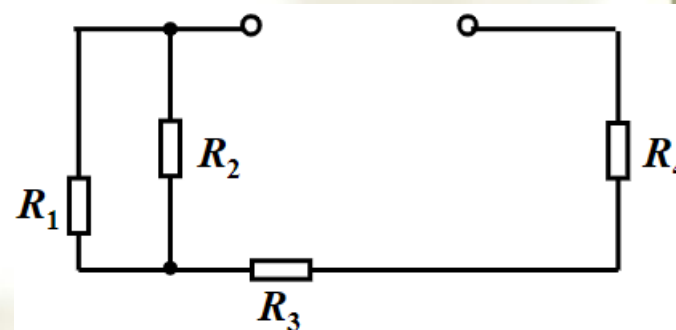
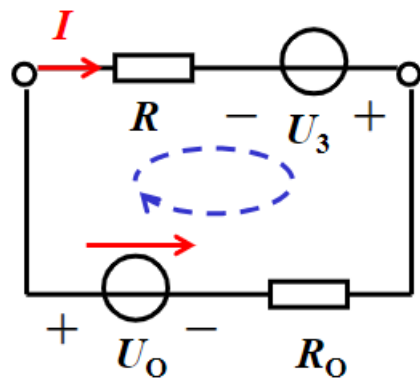
$$KVL: U_o - I_s R_4 + U_2 + 0 - I_1 R_2 = 0$$

$$I_1 R_2 + I_1 R_1 - U_1 = 0$$

③ $R_o = ?$

$$R_o = (R_1 // R_2) + R_3 + R_4$$

④ 等效模型中放入待求支路



⑤ $I = ?$

$$KVL: IR - U_3 + IR_o - U_o = 0 \quad \rightarrow \quad I = \frac{U_o + U_3}{R + R_o}$$

思考：还有
没其它方法

戴维南定理的**解题步骤与注意点**：把有源二端网络化简为电压源

1、取出待求元件**或支路**；

思考：如何增加难度？

2、求开路电压 U_O ；

建议1：把 U_O 的参考方向设为与**待求元件相同**；

建议2：含有**恒流源**的有源二端网络可先尝试利用**KVL**求 U_O 。

复杂情况： U_O 要利用**其他分析方法求得**

电源等效变换定理

3、求除源后的等效内阻 R_O ；

支路电流法

除源方法：恒压源短路、恒流源开路

节点电位法

复杂情况： R_O 要利用**特殊的方法求得**

叠加原理

4、画出等效电压源模型；

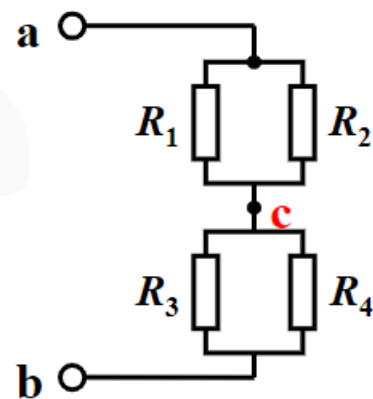
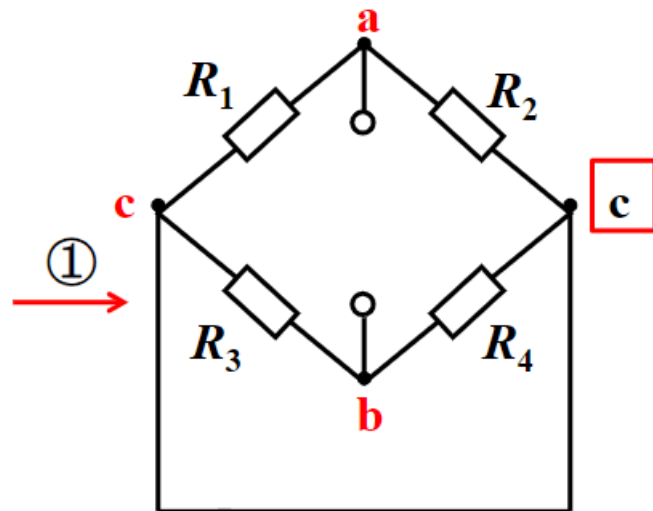
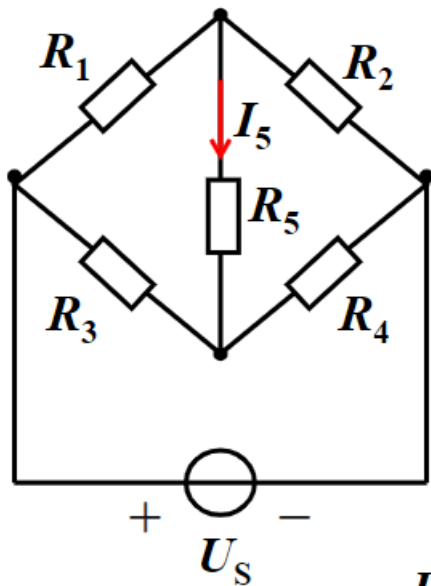
→ 标电位点的方法

注意：等效电压源的参考方向必须和开路电压**设为相同**；

5、将待求支路放入等效电路求解；

注意：放入待求支路时，应保证与原电路**一致**；

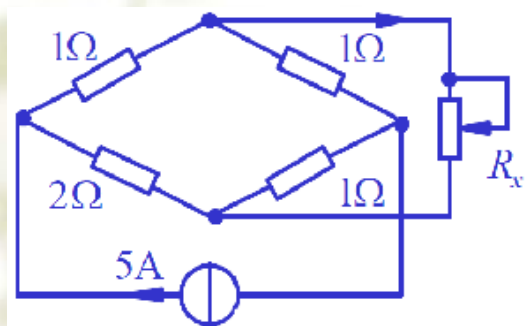
求戴维南等效计算图中电流 I 时的对应的等效 R_0 是多少。



标电位点法
求等效电阻

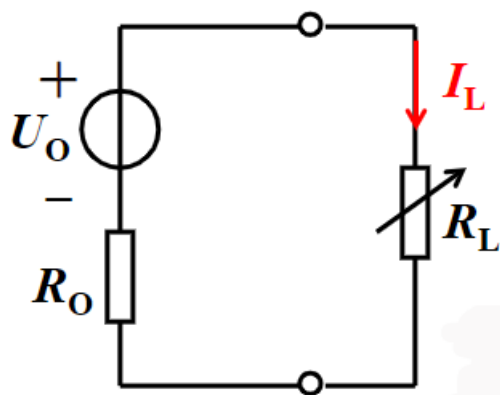
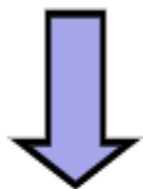
$$R_O = (R_1 // R_2) + (R_3 // R_4)$$

戴维南定理的推广应用：求解一个有源二端网络的**最大输出功率**



思考2：左边电路中负载 R_x 多少时，负载获得功率最大？

根据戴维南定理：任何一个**线性有源二端网络**都可以用一个**电压源**来等效替代



$$P_L = I_L^2 R_L = \left(\frac{U_o}{R_o + R_L} \right)^2 R_L$$

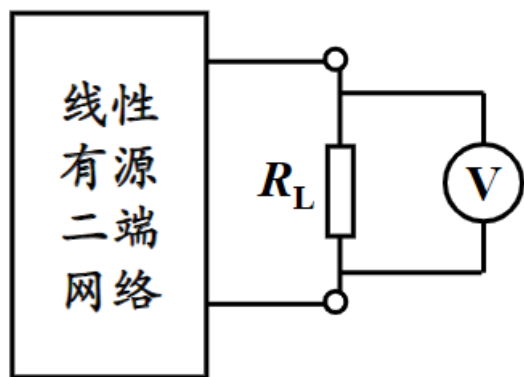
$$\frac{dP_L}{dR_L} = \frac{U_o^2 (R_o - R_L)}{(R_o + R_L)^3}$$

$$\text{令 } \frac{dP_L}{dR_L} = 0 \Rightarrow R_o = R_L$$

※ 结论：当 $R_L = R_o$ 时，能获得最大功率

$$P_{L\max} = \frac{U_o^2}{4R_o} = \frac{U_o^2}{4R_L} \quad \begin{array}{l} \text{最大功率} \\ \text{传输定理} \end{array}$$

思考：在生活中，如何获得线性有源二端网络的戴维南参数？

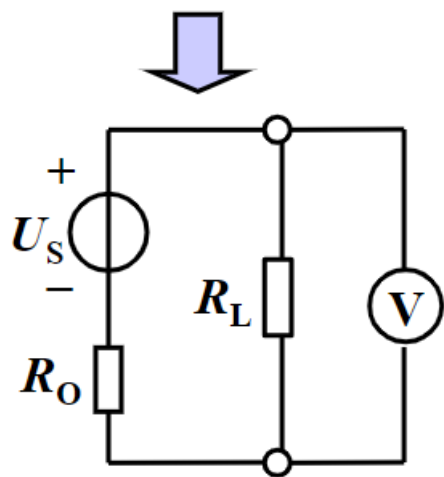


假设电压表是理想的（内阻无穷大）

当 $R_L = 50\text{k}\Omega$ 时，电压表读数为 60V ；

当 $R_L = 100\text{k}\Omega$ 时，电压表读数为 80V ；

当 $R_L = 50\text{k}\Omega$ 时 $\frac{50\text{k}}{50\text{k} + R_O} \times U_S = 60$



当 $R_L = 100\text{k}\Omega$ 时 $\frac{100\text{k}}{100\text{k} + R_O} \times U_S = 80$

$\longrightarrow U_S = 120\text{V} \quad R_O = 50\text{k}\Omega$

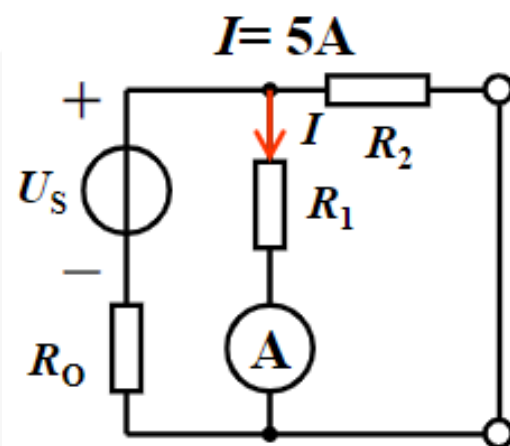
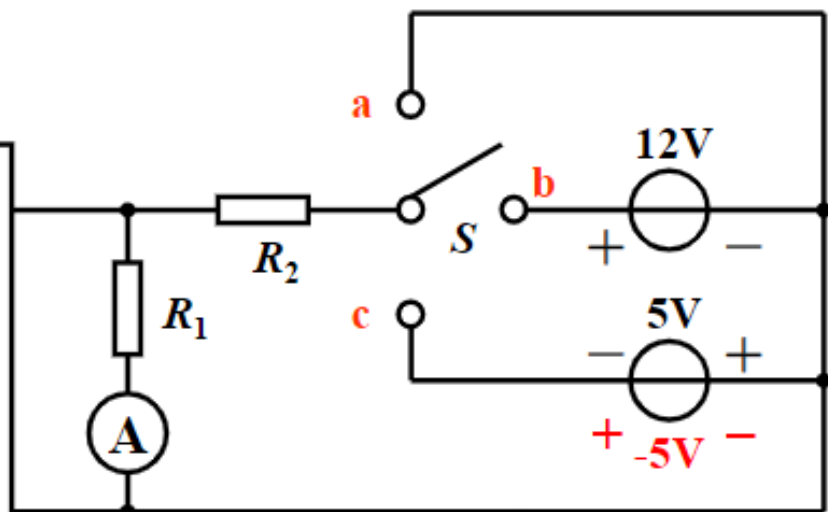
当 $R_L = R_O = 50\text{k}\Omega$ 时，负载将获得最大功率

$$P_{L\max} = \frac{U_S^2}{4R_O} = 72\text{mW}$$

思考：做实验时如何更快速找出 U_S ？

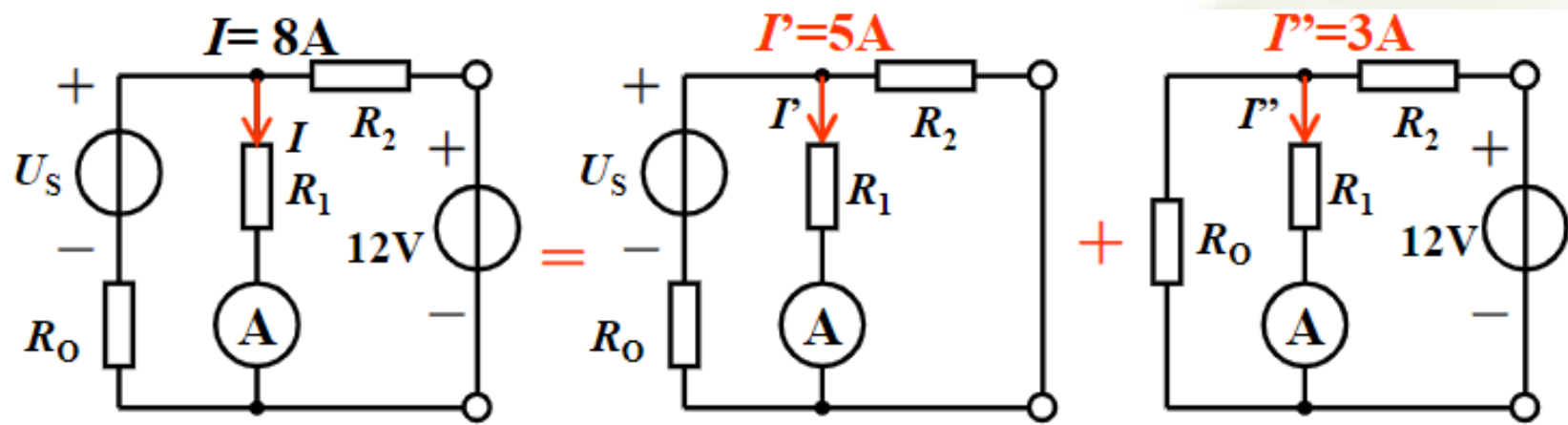
1-18:

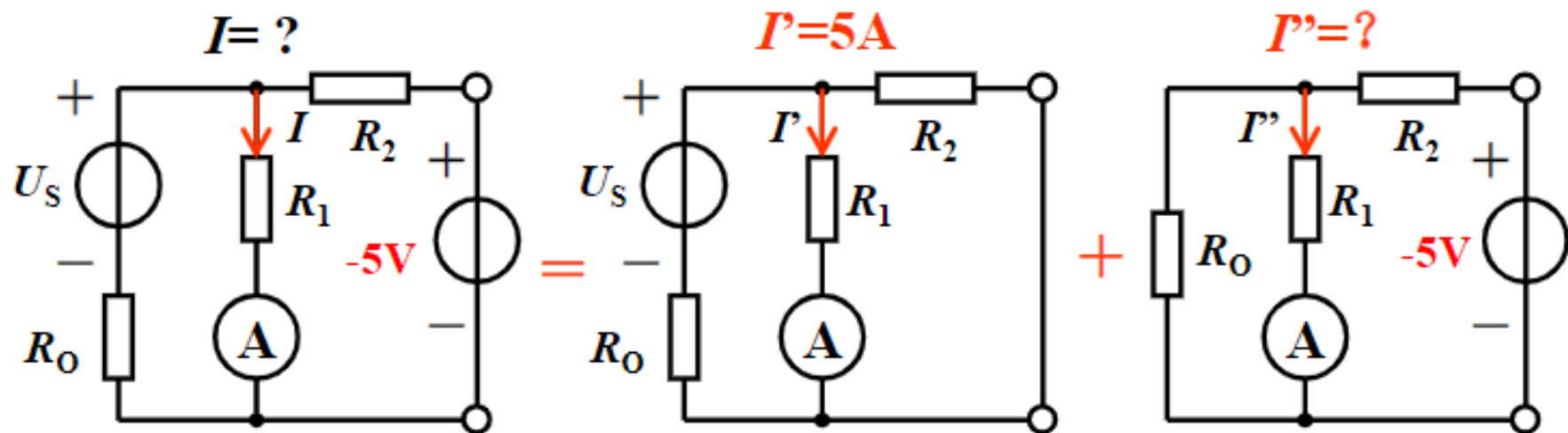
线性
有源
二端
网络



已知: S 置于 a 时, $(A) = 5A$; S 置于 b 时, $(A) = 8A$;

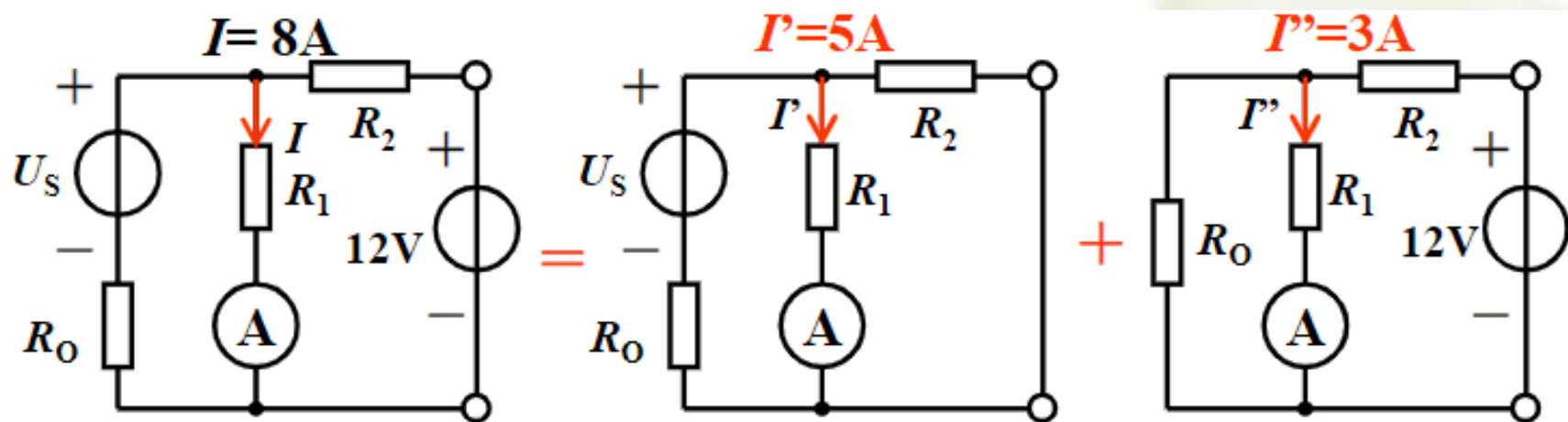
求: S 置于 c 时, $(A) = ?$





$I = I' + I'' = 3.75A$
 $I'' = -1.25A$
 $\left\{ \begin{array}{l} I'' = \frac{R_0}{R_0 + R_1} \times \frac{-5}{R_2 + R_1 // R_0} \\ 3 = \frac{R_0}{R_0 + R_1} \times \frac{12}{R_2 + R_1 // R_0} \end{array} \right.$

比例关系:



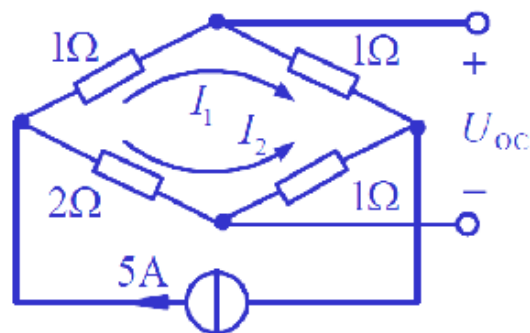
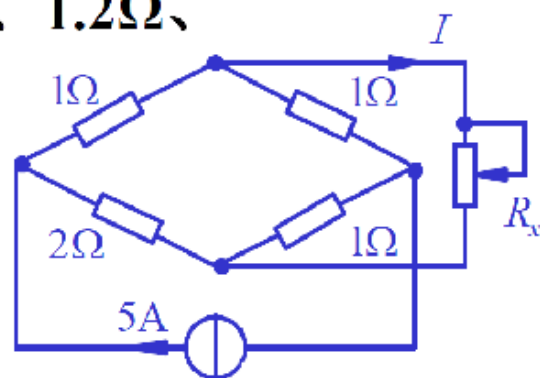
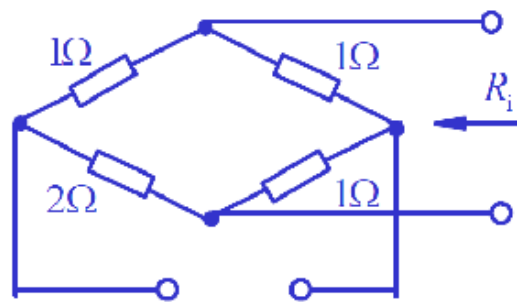
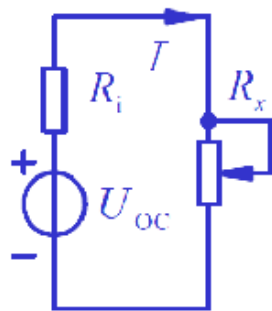
戴维南定理例题

例1 计算电桥中 R_x 分别等于 0Ω 、 0.4Ω 、 0.8Ω 、 1.2Ω 、 1.6Ω 、 2.0Ω 时，该支路的电流和功率。

步骤1：取出 R_x ，得到有源二端网络

步骤2：求该网络的戴维南等效电路

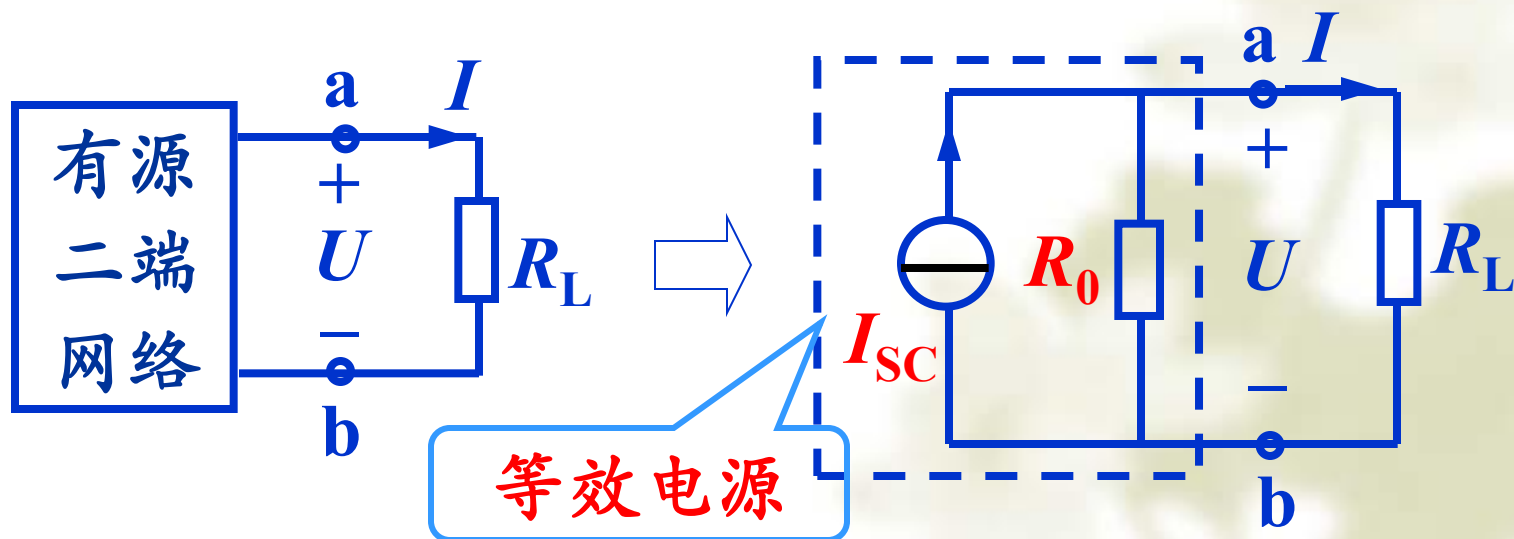
步骤3：放入 R_x ，求电流和功率



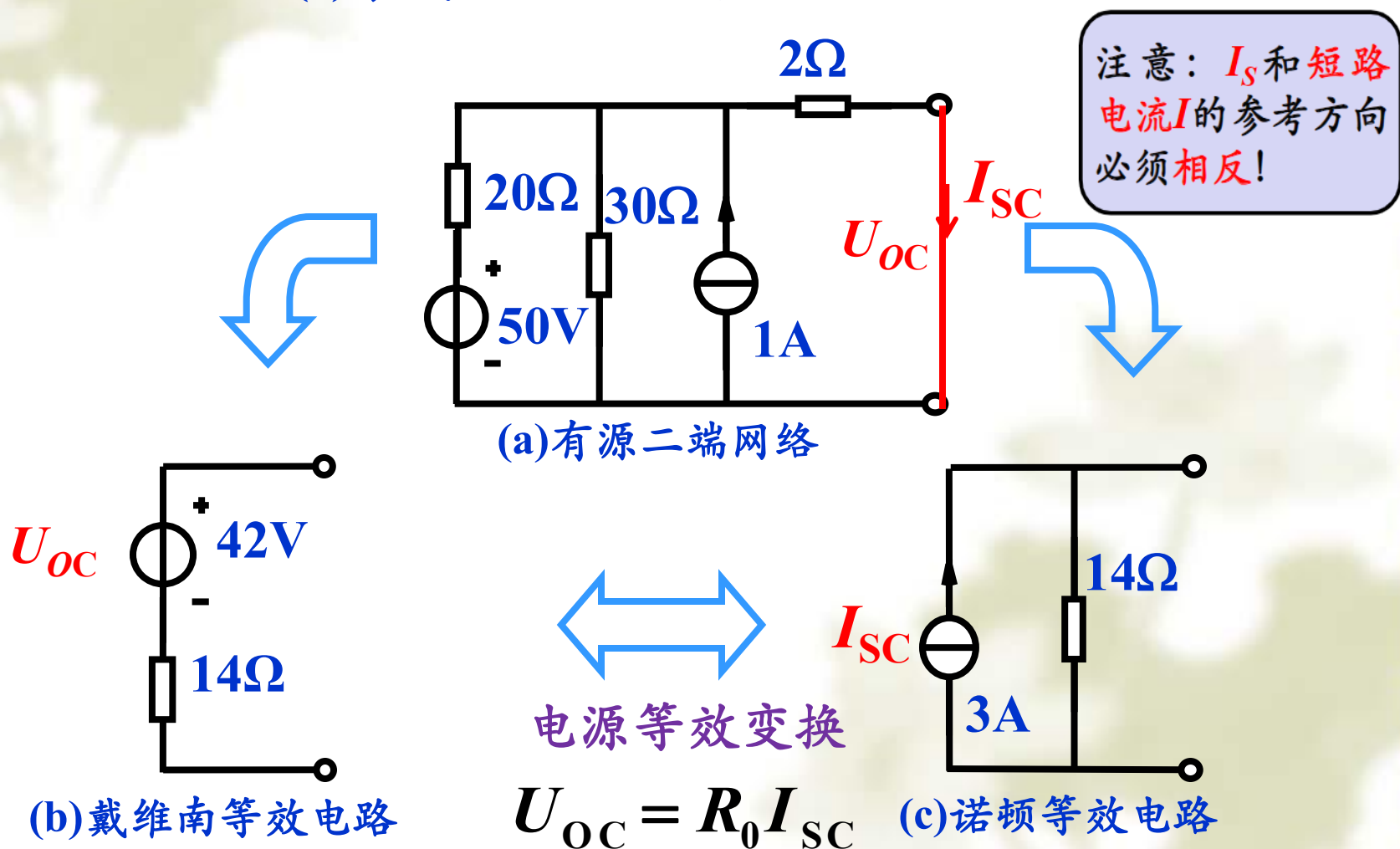
| $R_x (\Omega)$ | 0 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 |
|----------------|------|------|-----|------|-------|------|
| $I(A)$ | 0.83 | 0.63 | 0.5 | 0.42 | 0.36 | 0.31 |
| $P(W)$ | 0 | 0.16 | 0.2 | 0.21 | 0.207 | 0.18 |

1.11.2 诺顿定理

诺顿定理：任何一个有源二端线性网络都可以用一个电流源和电阻的并联来等效代替。等效电流源的电流等于有源二端网络的短路电流 I_{SC} ，等效电阻等于有源二端网络中除去所有电源（电压源短路，电流源开路）后所得到的无源二端网络的等效电阻 R_0 。



总结：对照有源二端网络(a) 的戴维南等效电路(b) 和诺顿等效电路(c)，考虑电压源与电流源的等效变换，有





作业1-18到1-21