



电子科技大学

University of Electronic Science and Technology of China

电路电子学基础

SMART

SMART Hybrid Radio Lab.
Since 2003

何松柏 教授

SMART数字射频混合集成电路实验室

1 电路模型及电路网络

问题引入

◆ 对电路分析如何化简？

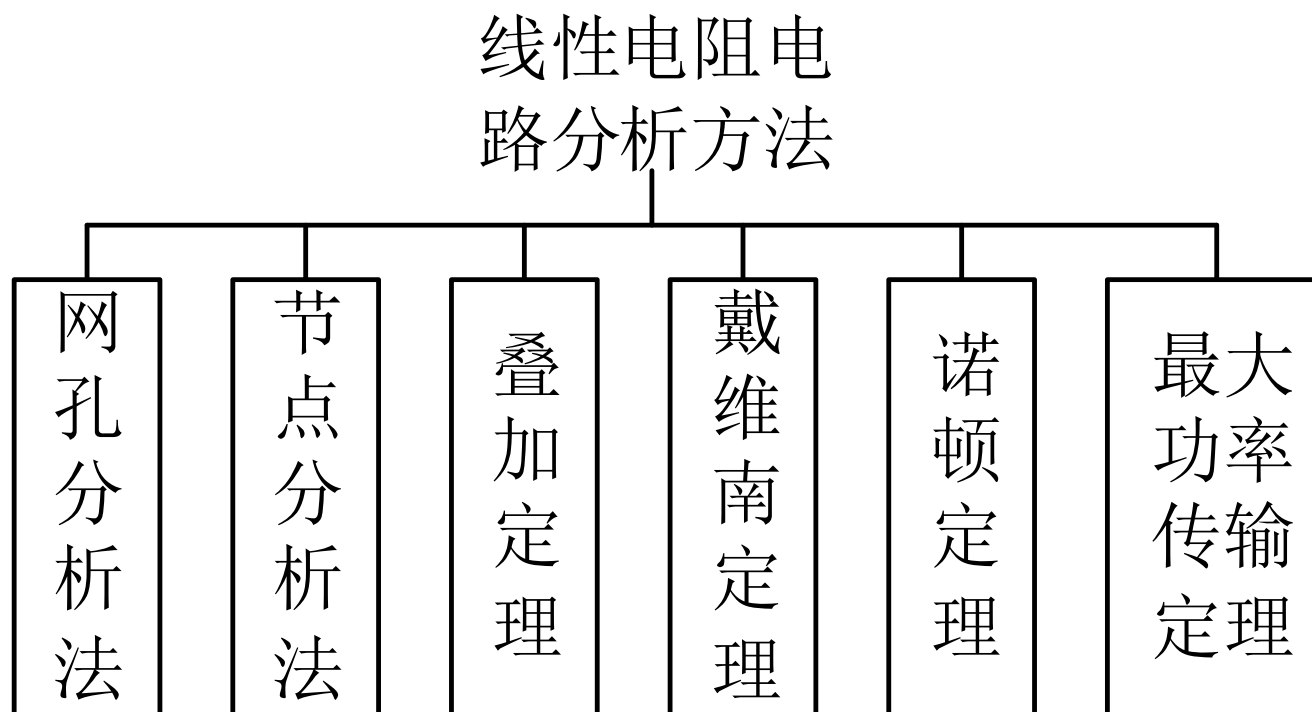


网络定理



关心输入输出关系

1 电路模型及电路网络



1 电路模型及电路网络

阅读材料：

节点电压，ANANT AGARWAL, 于歆杰等译，
模拟和数字电路基础，清华大学出版社，2015年，PP77-81

1 电路模型及电路网络

阅读材料

阅读后需要解决的问题

◆几个概念：

节点电压

参考节点，地零电位，共地

1 电路模型及电路网络

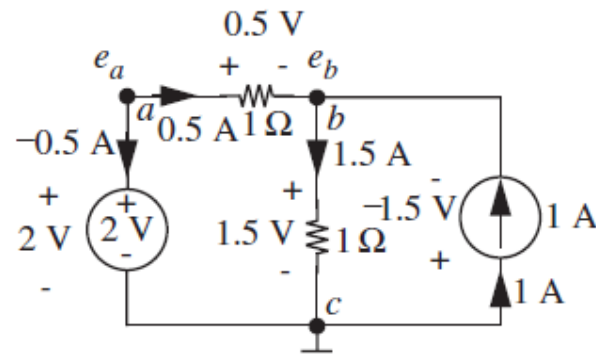
阅读材料

阅读后需要解决的问题

◆右图：

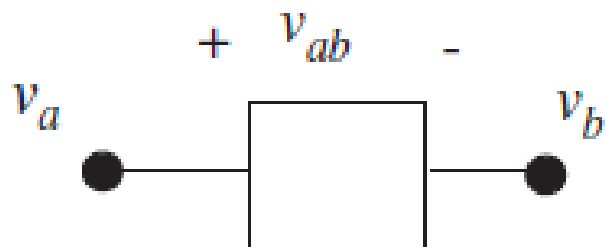
节点电压

参考节点，地零电位，共地



1 电路模型及电路网络

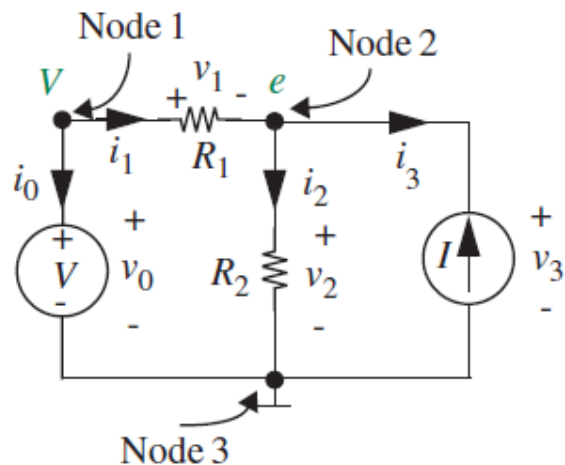
节点电压与支路电压关系：



$$v_{ab} = v_a - v_b.$$

1 电路模型及电路网络

节点电压



$$e = \frac{1}{G_1 + G_2} I + \frac{G_1}{G_1 + G_2} V.$$

电导

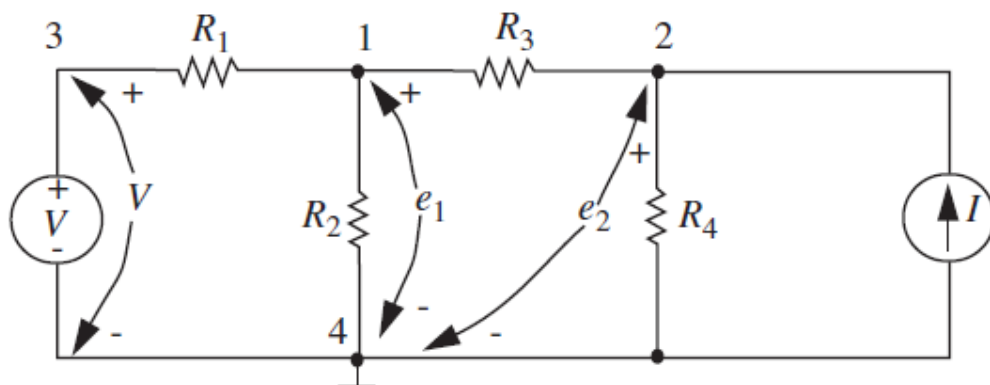
叠加原理

线性系统

$$f(ax_1 + bx_2) = af(x_1) + bf(x_2).$$

1 电路模型及电路网络

节点法：



(1) 指定节点电压，参考点

(2) 列节点KCL方程

$$\frac{(V - e_1)}{R_1} + \frac{(e_2 - e_1)}{R_3} - \frac{e_1}{R_2} = 0$$

$$\frac{(e_1 - e_2)}{R_3} - \frac{e_2}{R_4} + I = 0$$

1 电路模型及电路网络

节点法:

(3) 整理得到

$$G_1 V = e_1(G_1 + G_2 + G_3) - e_2 G_3$$

$$I = -e_1 G_3 + e_2(G_3 + G_4).$$

$$\begin{bmatrix} G_1 + G_2 + G_3 & -G_3 \\ -G_3 & G_3 + G_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix}.$$

观察电导矩阵特点

利用矩阵求解可以得到节点电压

节点法:

阅读资料: 参考书 PP88-93

阅读后问题探讨:

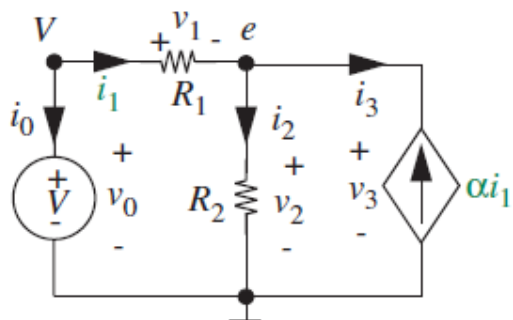
- (1) 节点法与KCL, KVL, VCR的关系;
- (2) 节点法列写方程特点, 步骤;
- (3) 浮动独立电压源
- (4) 超节点概念

1 电路模型及电路网络

节点法:

含受控源电路节点分析

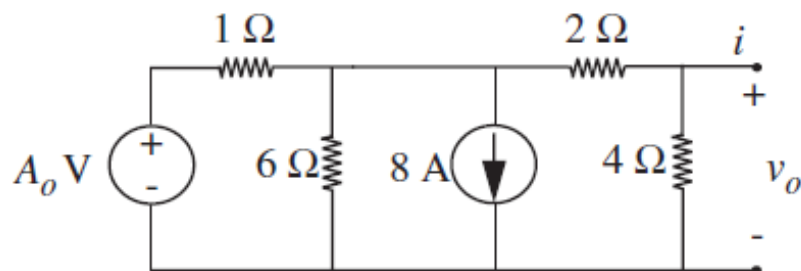
阅读材料: PP90--93



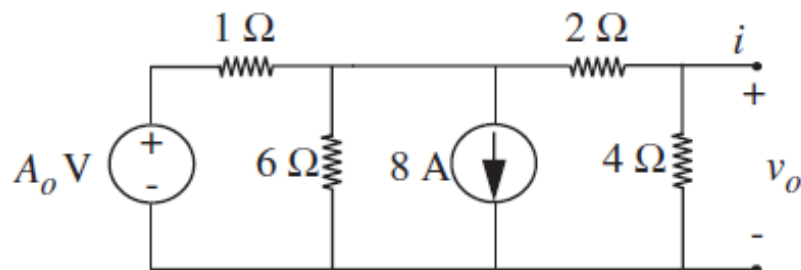
1 电路模型及电路网络

节点法:

例: 求 V_o =?



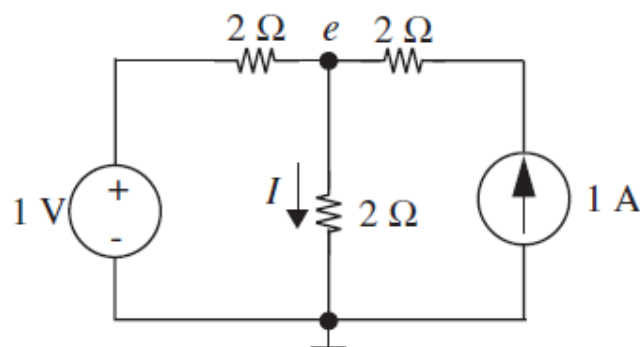
求 V_o =?



正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

1 电路模型及电路网络

叠加定理:



求电流 I ?

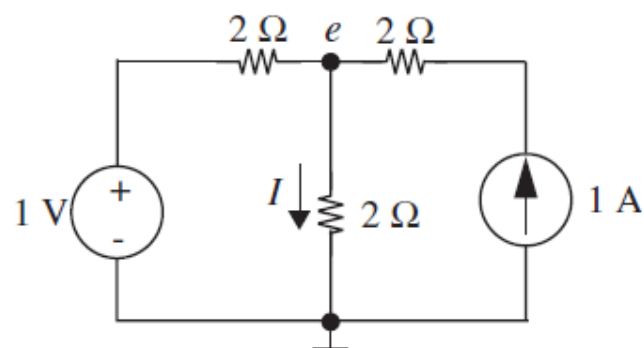
(1) 节点分析法

$$\frac{e - 1}{2} + \frac{e}{2} = 1 \quad \Rightarrow \quad e = 1.5V$$

$$I = \frac{e}{2} = 0.75A$$

1 电路模型及电路网络

叠加定理:

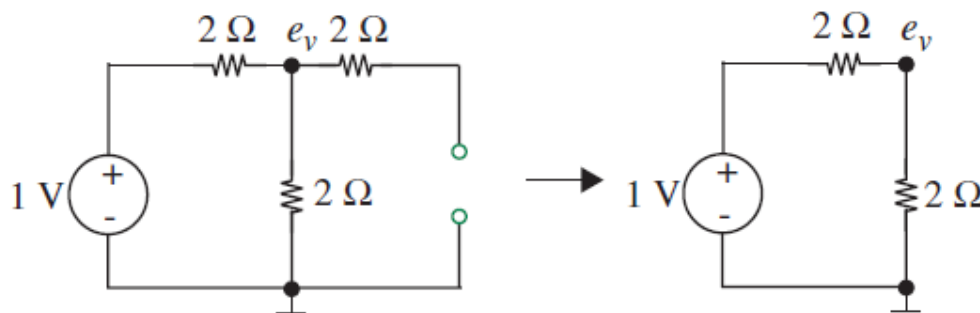


(2) 叠加定理求解

分析这个电路特点，一个电压源，电流源，如单独考虑各个源的作用，最后叠加

第1步：单独考虑电压源作用，电流源置0（开路？）

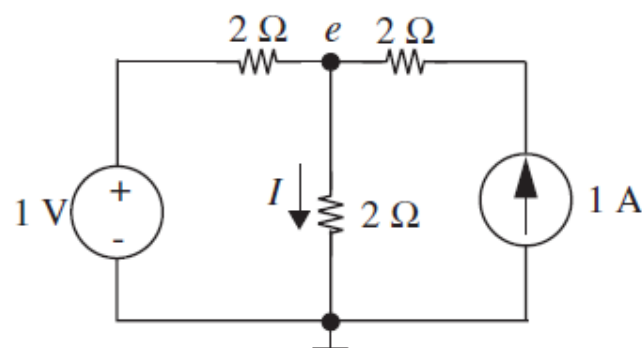
求电流 I ？



$$e_v = 0.5V$$

1 电路模型及电路网络

叠加定理:

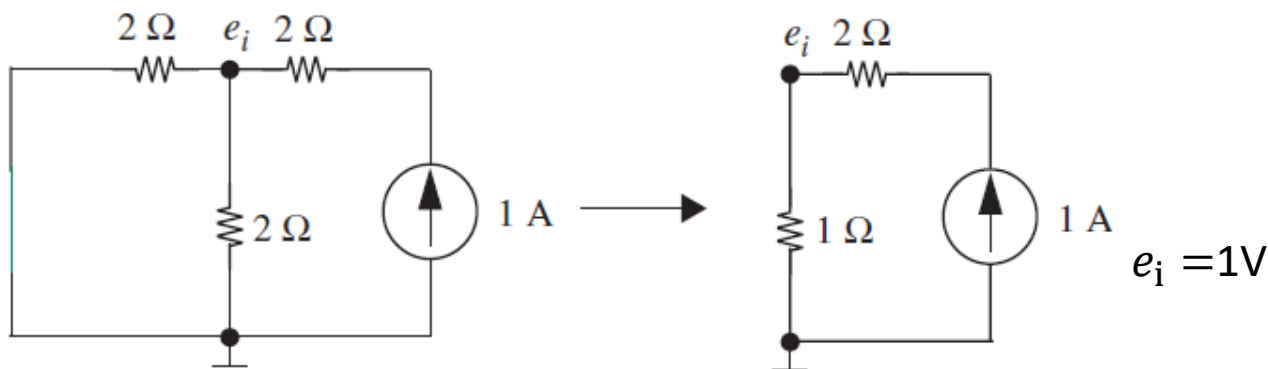


(2) 叠加定理求解

分析这个电路特点，一个电压源，电流源，如单独考虑各个源的作用，最后叠加

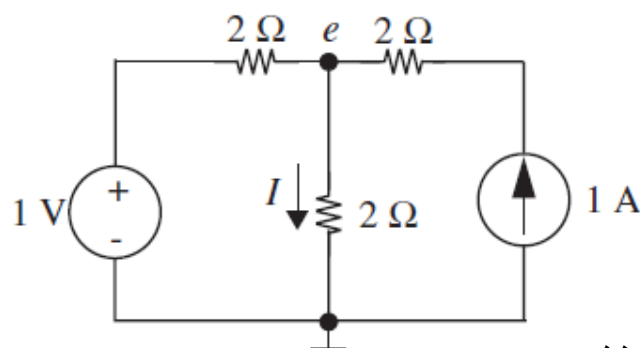
第2步：单独考虑电流源作用，电压源置0（短路？）

求电流I？



1 电路模型及电路网络

叠加定理:



(2) 叠加定理求解

分析这个电路特点，一个电压源，电流源，如单独考虑各个源的作用，最后叠加

第3步：两次计算叠加（线性特性）

求电流 I ？

$$e = e_v + e_i = 1.5\text{V}$$

$$I = \frac{e}{2} = 0.75\text{A}$$

总结：叠加定理理解选择？

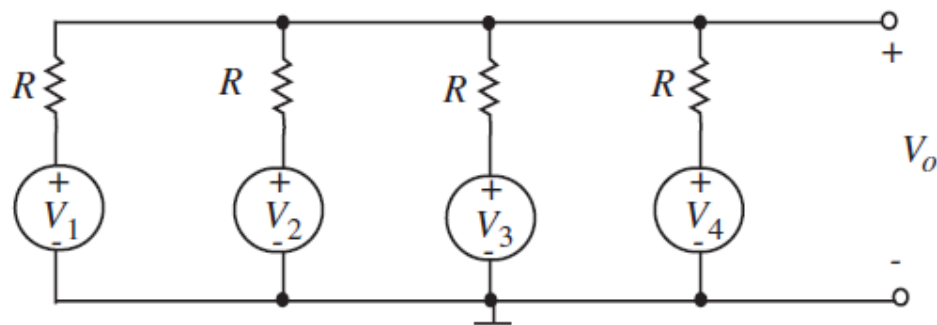
- ☒ A 线性电路满足
- ☐ B 非线性电路满足
- ☒ C 电压源置零，短路
- ☒ D 电流源置零，开路

叠加定理：

讨论叠加定理的关键理解：

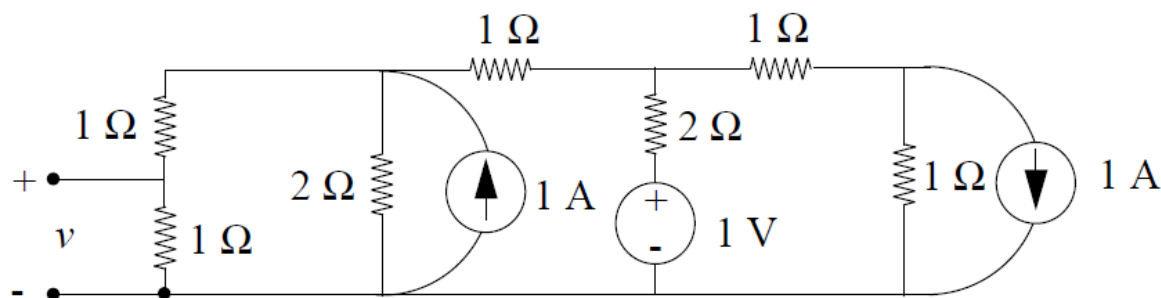
- (1) 线性电路
- (2) 每个源单独作用，其余源置0，
注意：电压源置0短路，电流源置0开路
- (3) 叠加求和

练习1, 求 v_o ?



正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

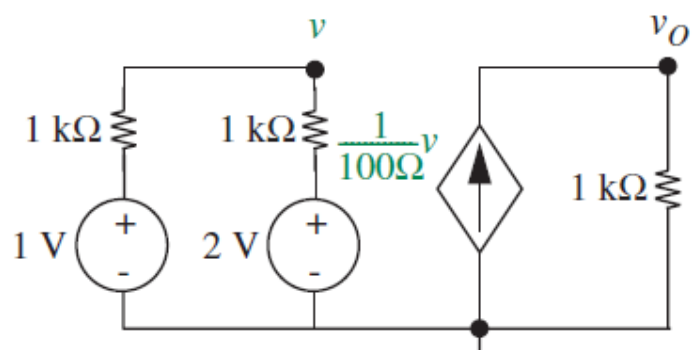
用叠加定理求电压 V_o



正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

受控源的叠加

如图：求 $V_o = ?$ 给出关键点是什么？

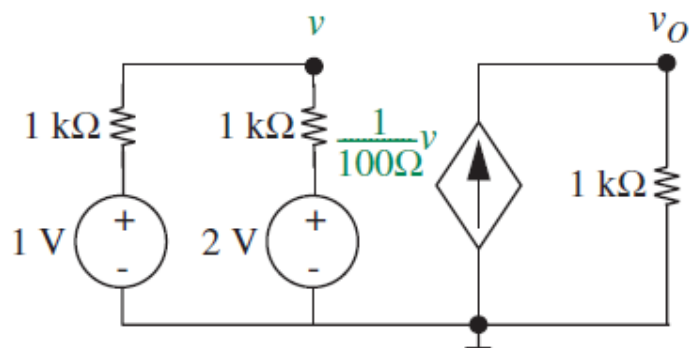


正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

1 电路模型及电路网络

叠加定理:

练习2:



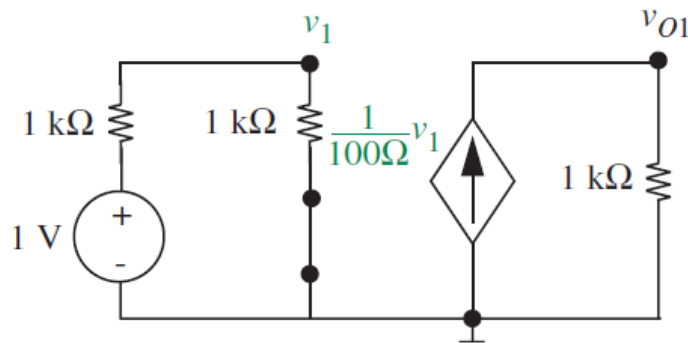
求 v_o ?

注意关键点是什么?

1 电路模型及电路网络

叠加定理:

(1)

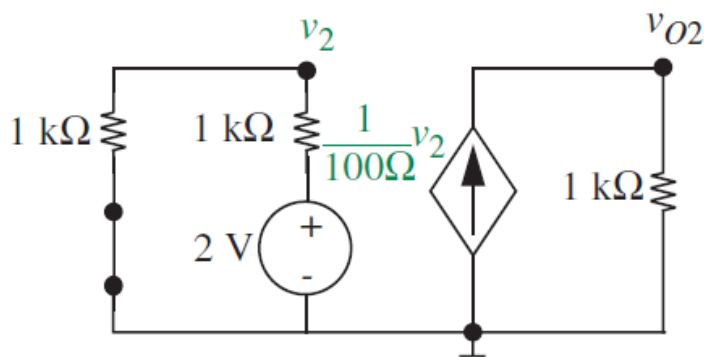


$$v_{O1} = \frac{1}{100}v_1 \times 1 \text{ k}\Omega = 5 \text{ V}.$$

1 电路模型及电路网络

叠加定理:

(2)



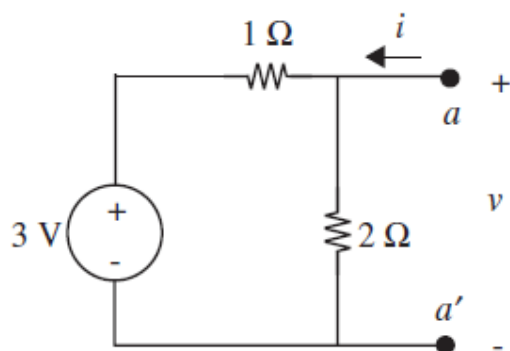
$$v_{O2} = \frac{1}{100}v_2 \times 1\text{ k}\Omega = 10\text{ V}.$$

$$v_O = v_{O1} + v_{O2} = 15\text{ V}.$$

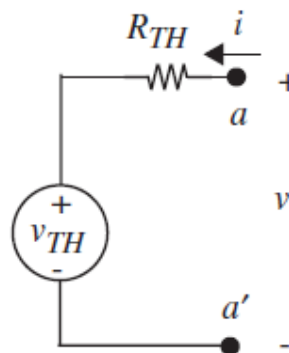
1 电路模型及电路网络

戴维南定理：（线性网络，端口等效）

问题引出：阅读参考书P102



端口等效



$$v_{TH} = 3\text{ V} \frac{2\ \Omega}{1\ \Omega + 2\ \Omega} = 2\text{ V.}$$

端口电压

$$R_{TH} = 1 \parallel 2 = \frac{2}{3}\ \Omega.$$

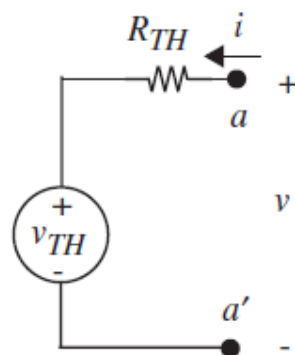
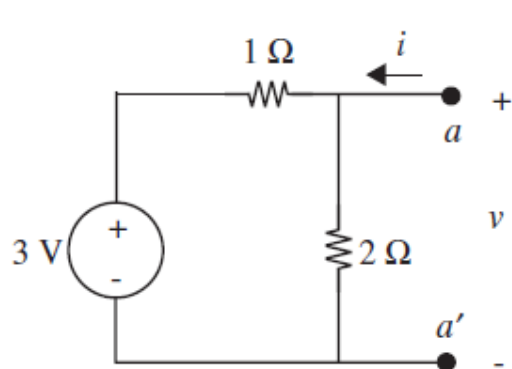
注意：求解过程？

内部独立源置零，端口电阻

1 电路模型及电路网络

戴维南定理：（线性网络，端口等效）

具体分析



$$v_{TH} = 3\text{ V} \frac{2\ \Omega}{1\ \Omega + 2\ \Omega} = 2\text{ V}.$$

$$R_{TH} = 1\ \Omega \parallel 2\ \Omega = \frac{2}{3}\ \Omega.$$

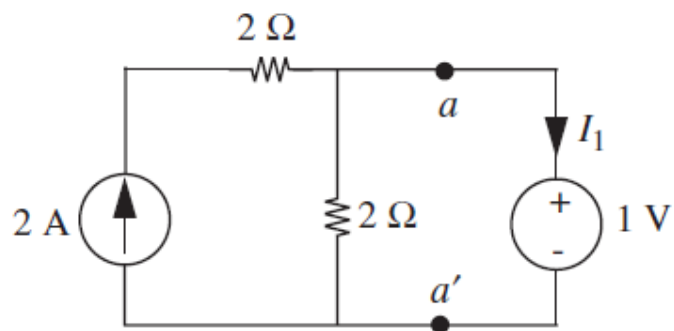
端口等效

检验：a ,a' 端口接2欧姆电阻，分别用两个图求出端口电压电流？

1 电路模型及电路网络

戴维南定理:

例子1



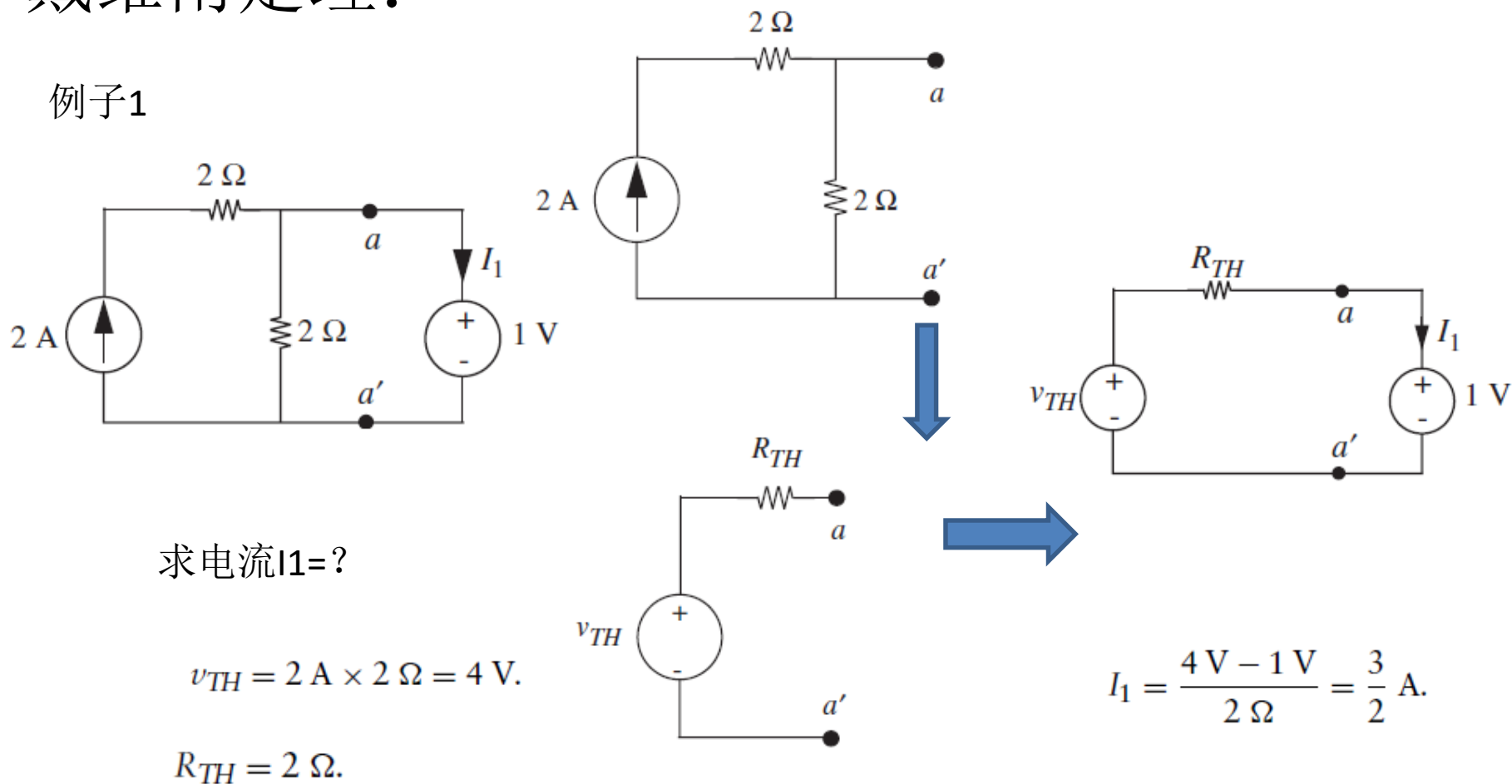
求电流 I_1 =?

有哪些方法? 比较方法差异?

1 电路模型及电路网络

戴维南定理:

例子1



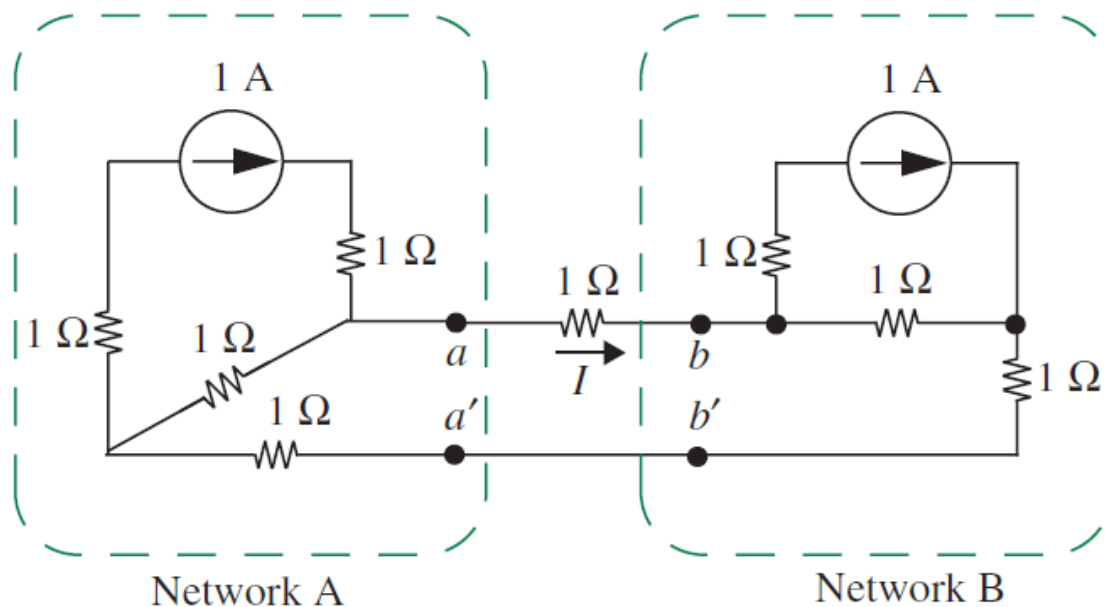
求电流 I_1 =?

$$v_{TH} = 2\text{ A} \times 2\ \Omega = 4\text{ V}.$$

$$R_{TH} = 2\ \Omega.$$

$$I_1 = \frac{4\text{ V} - 1\text{ V}}{2\ \Omega} = \frac{3}{2}\text{ A}.$$

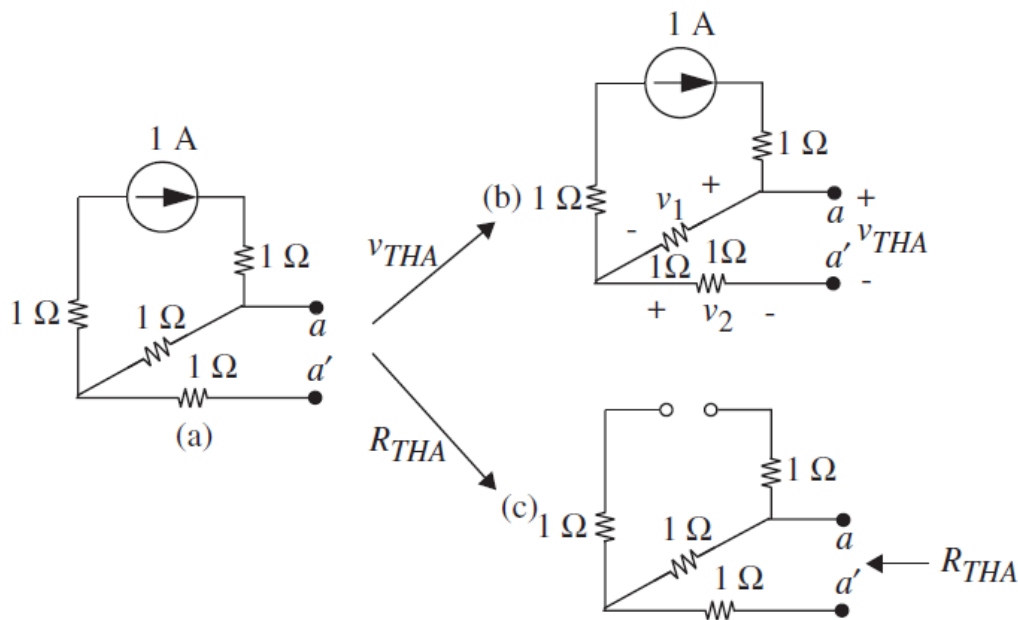
利用戴维南定理求I



正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

1 电路模型及电路网络

解析:

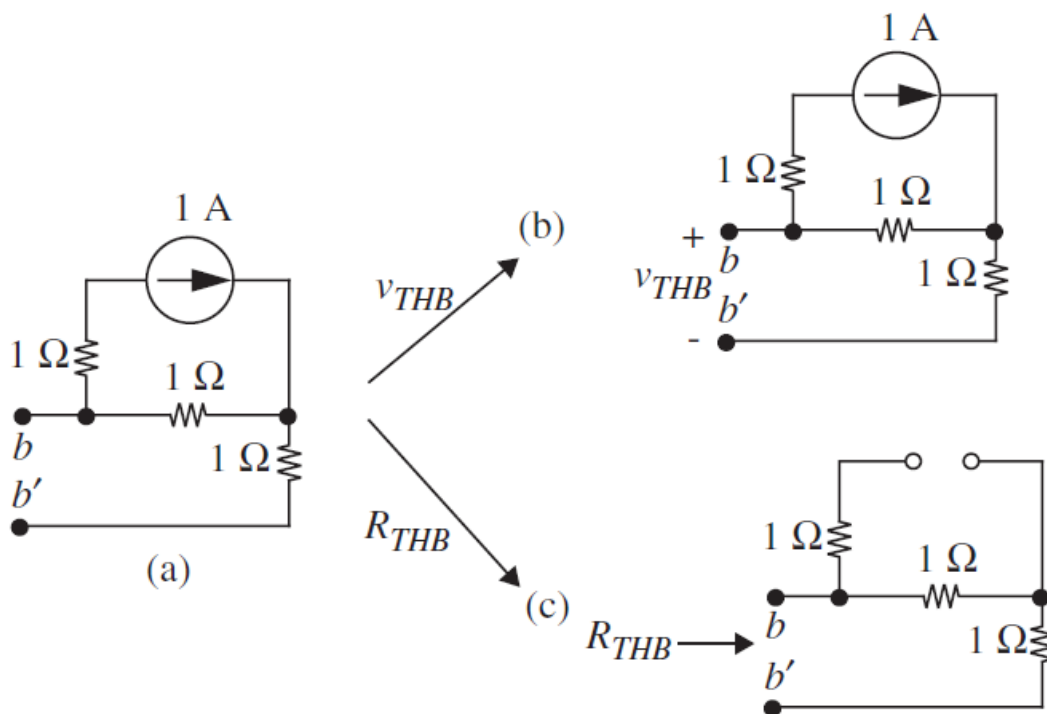


$$v_{THA} = 1\text{ V}$$

$$R_{THA} = 2\ \Omega.$$

解析:

1 电路模型及电路网络

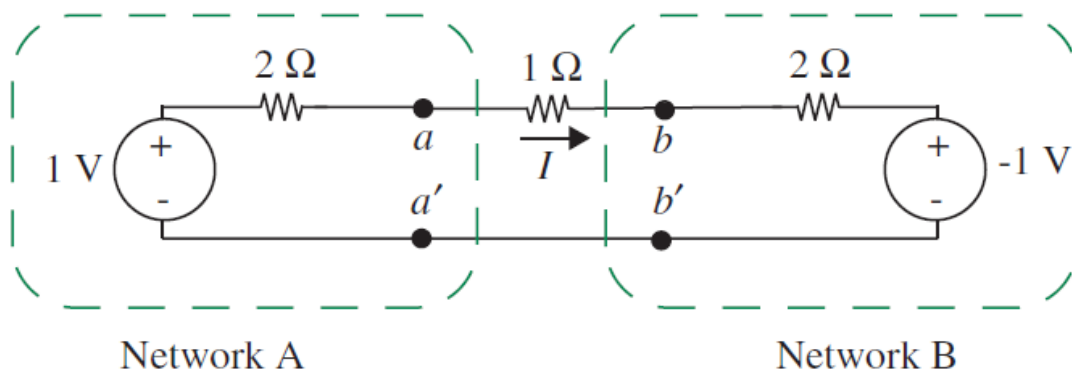


$$v_{THB} = -1\text{ V.}$$

$$R_{THB} = 2\ \Omega.$$

1 电路模型及电路网络

解析:

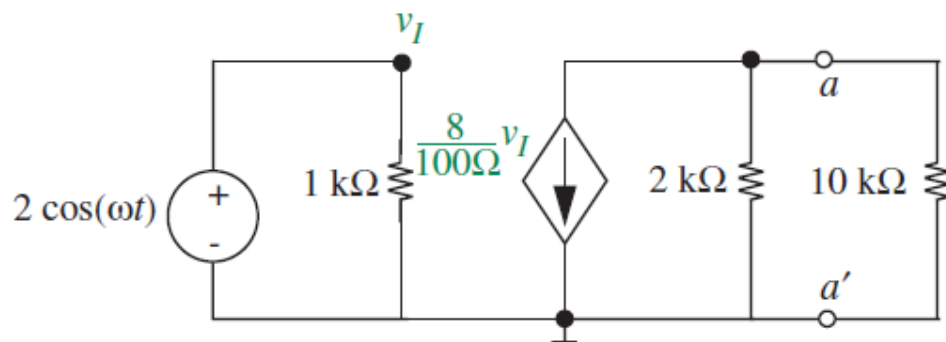


$$I = \frac{1\text{ V} - (-1\text{ V})}{2\ \Omega + 1\ \Omega + 2\ \Omega} = \frac{2}{5}\text{ A}.$$

1 电路模型及电路网络

戴维南定理:

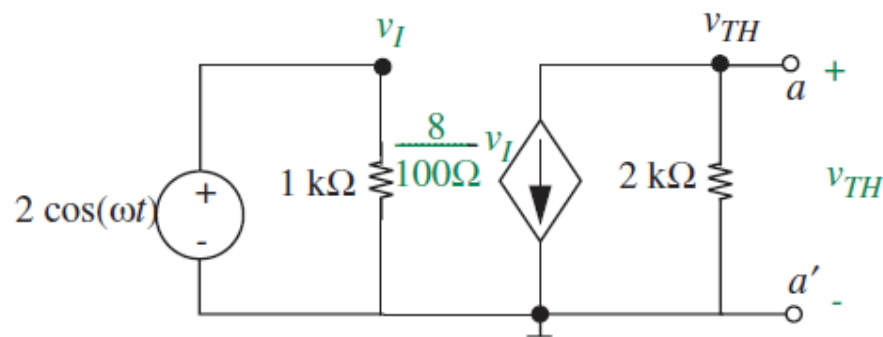
例子2, 分析aa'接线端 (aa'端口) 左侧网络的戴维南等效



1 电路模型及电路网络

戴维南定理:

例子2



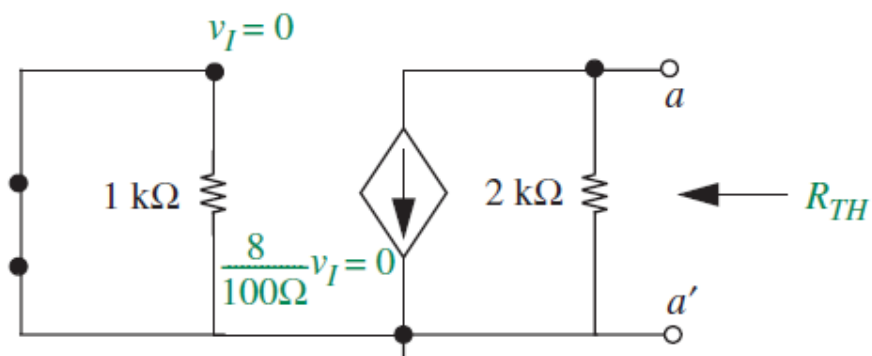
(1) 求等效电压

$$v_{TH} = -160v_I = -320 \cos(\omega t).$$

1 电路模型及电路网络

戴维南定理:

例子2

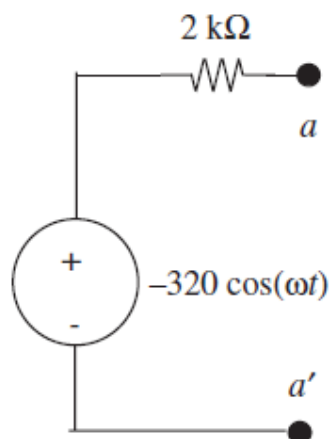


(1) 求等效电阻 $R_{TH} = 2 \text{ k}\Omega$.

1 电路模型及电路网络

戴维南定理:

例子2



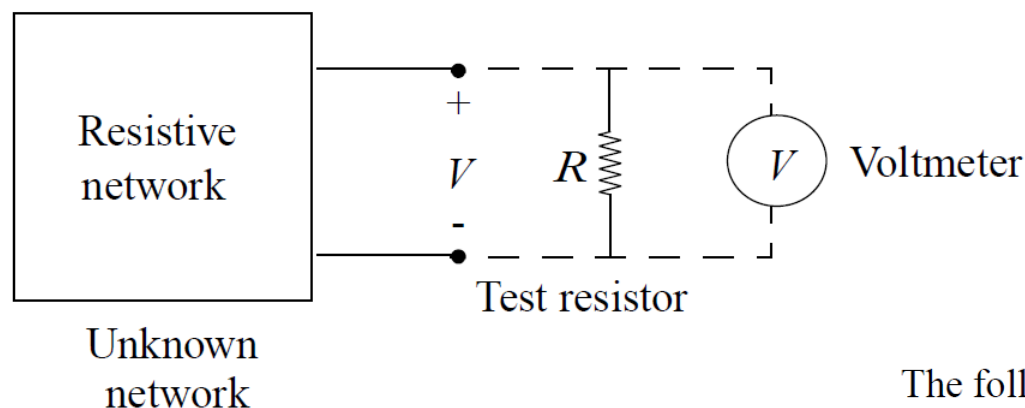
(3) 等效电路

1 电路模型及电路网络

戴维南定理：

讨论总结对该定理及叠加定理认识？

确定下图未知网络是否是线性的？如是，给出戴维南等效



The following data were recorded:

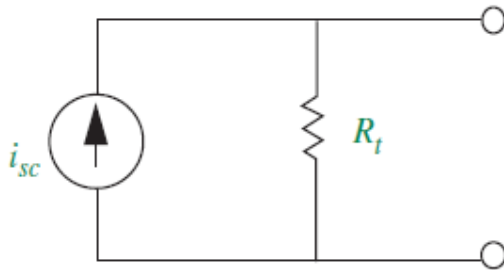
Test Resistor	Voltmeter Reading
Absent	$1.5v$
$100k\Omega$	$0.25v$
$1M\Omega$	$1.0v$

正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

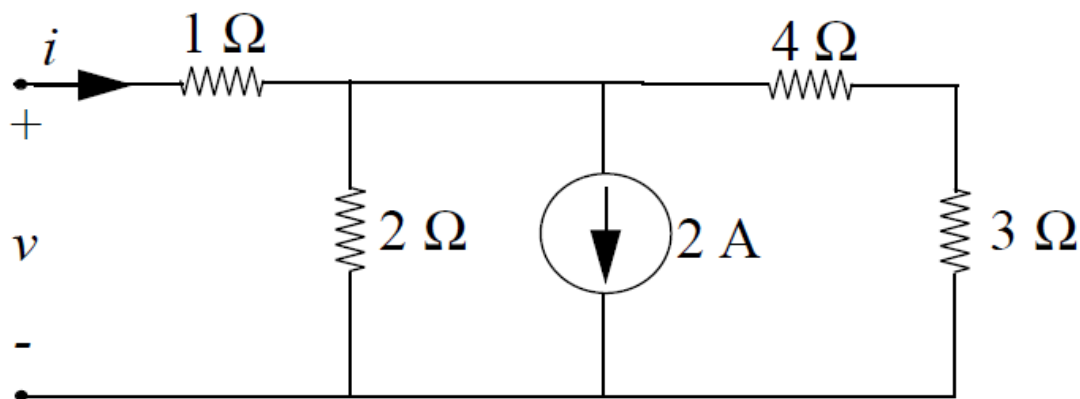
1 电路模型及电路网络

诺顿等效定理:

阅读材料：参考书PP108-112



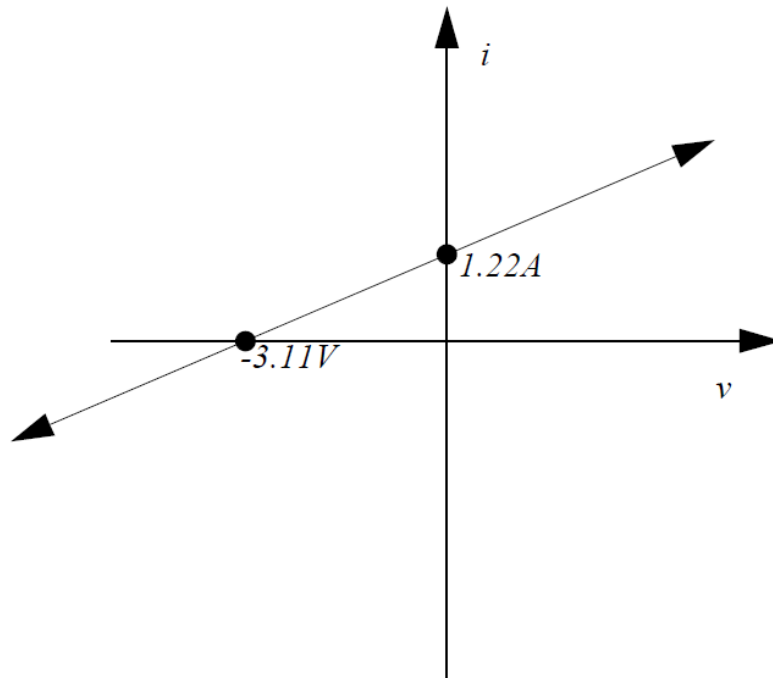
- (1) 给出下图的V-i关系方程与特性曲线;
- (2) 戴维南等效;
- (3) 诺顿等效。



正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

1 电路模型及电路网络

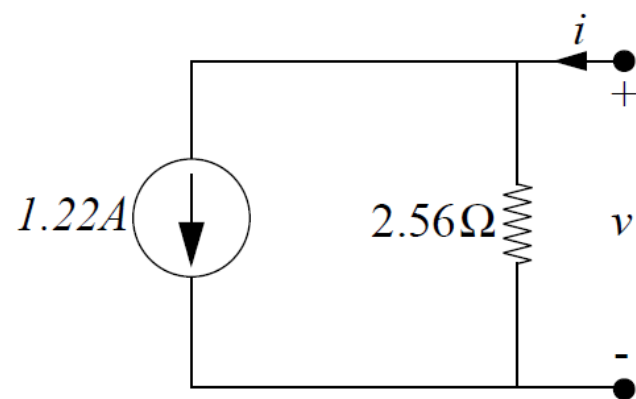
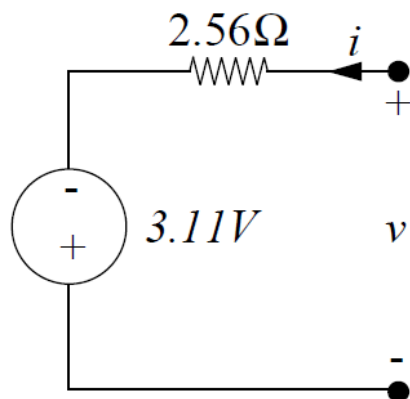
解析



$$v = (2.55 \text{ Ohms})i - 3.11 \text{ V}$$

1 电路模型及电路网络

解析



讨论

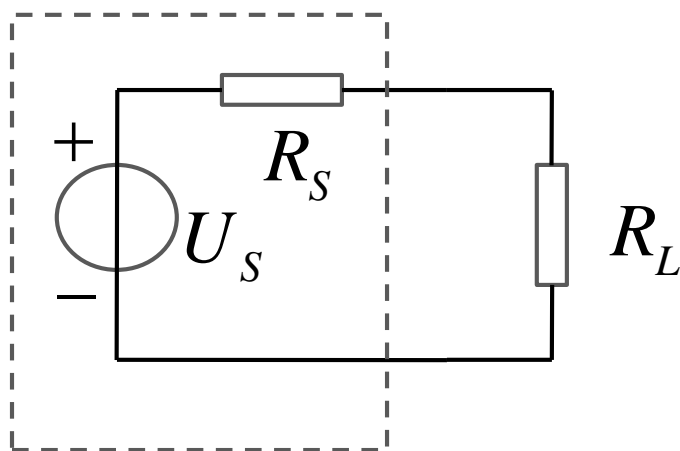
(1) 能否从线性电阻网络 V - I 特性曲线快速得到戴维南和 诺顿等效参数？

(2) 戴维南等效和诺顿等效参数间的关系？

1 电路模型及电路网络

最大功率传输：

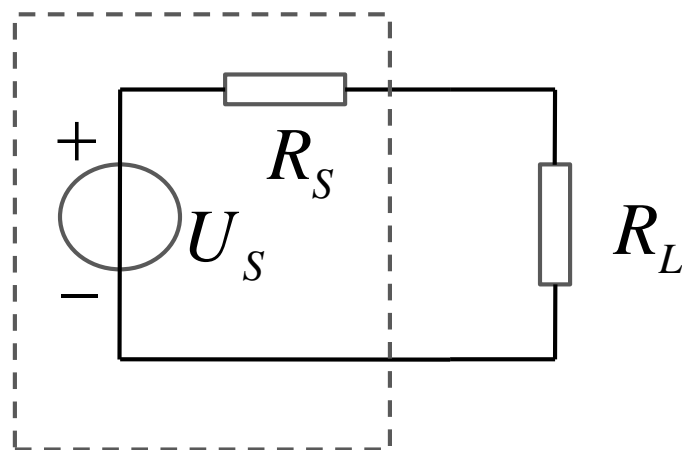
阅读材料：钟洪声等，简明电路分析，机械工业出版社，参考书PP114-115



讨论分析：什么情况下，负载电阻从电压源得到最大功率？

1 电路模型及电路网络

最大功率传输:



$$i = \frac{U_s}{R_s + R_L}$$

$$P_L = \left(\frac{U_s}{R_s + R_L} \right)^2 R_L$$

$$P_L = i^2 R_L$$

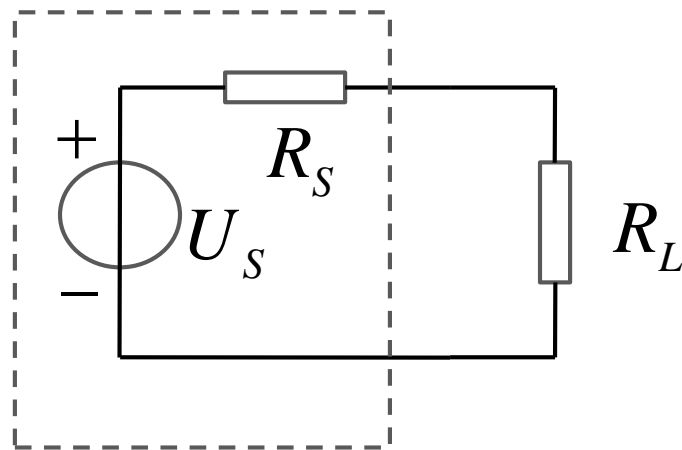
最大功率传输:

1 电路模型及电路网络

$$\text{令: } \frac{\partial P_L}{\partial R_L} = 0$$

可找到极值点

$$\frac{\partial P_L}{\partial R_L} = \frac{U_S^2}{(R_S + R_L)^2} - \frac{2R_L U_S^2}{(R_S + R_L)^3} = 0$$



$$\begin{aligned} \frac{\partial P_L}{\partial R_L} &= \frac{(R_S + R_L)U_S^2}{(R_S + R_L)^3} - \frac{2R_L U_S^2}{(R_S + R_L)^3} \\ &= \frac{(R_S + R_L)U_S^2 - 2R_L U_S^2}{(R_S + R_L)^3} = 0 \end{aligned}$$

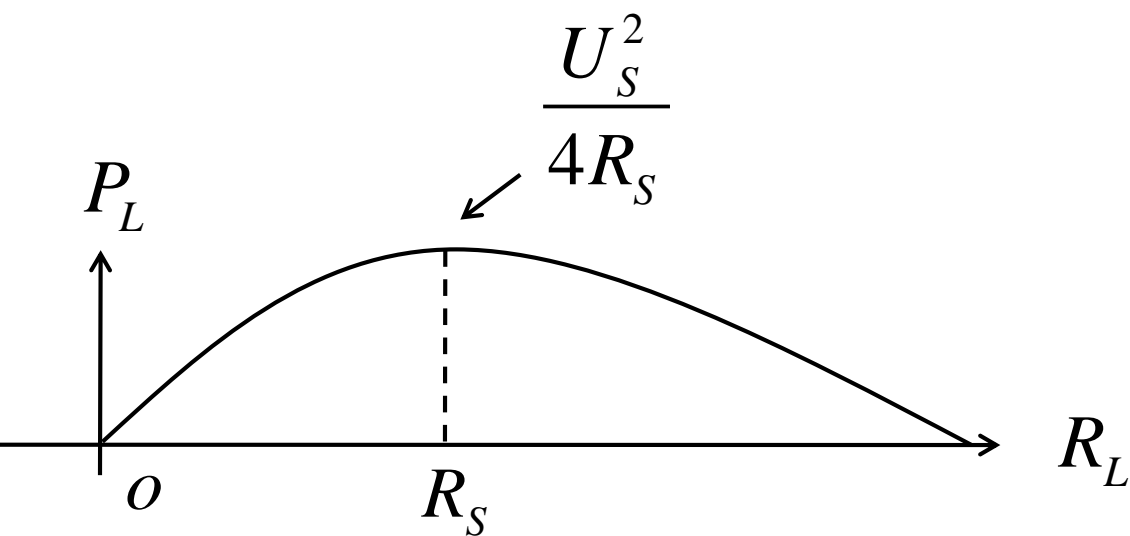
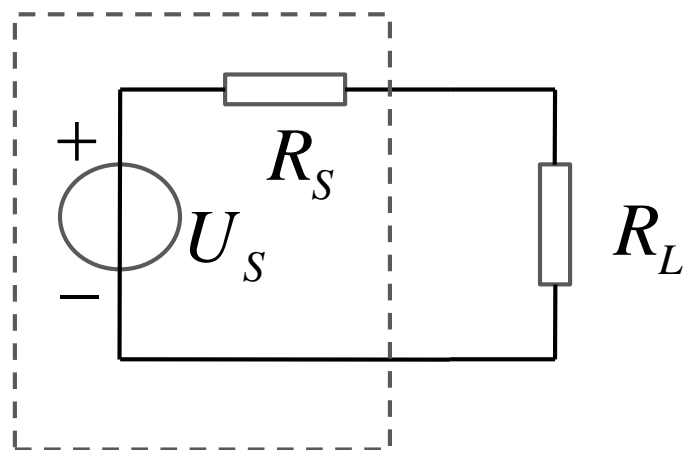


$$R_L = R_S$$

$$P_L = \frac{U_S^2}{4R_S}$$

1 电路模型及电路网络

最大功率传输:

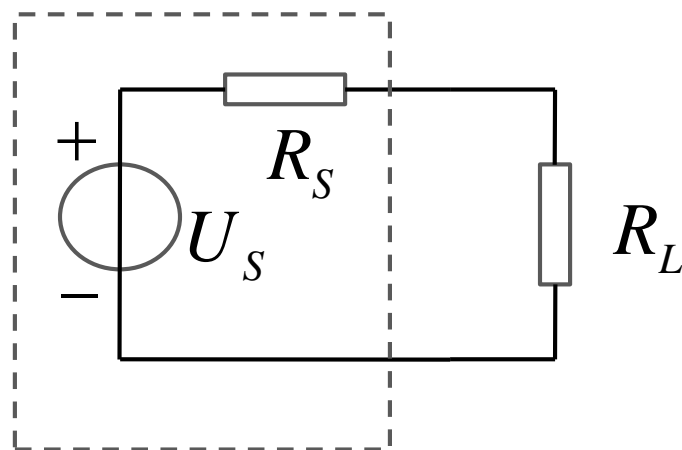


1 电路模型及电路网络

最大功率传输:

讨论:

- (1) 匹配概念
- (2) 负载得到最大功率时? 电压源输出效率?



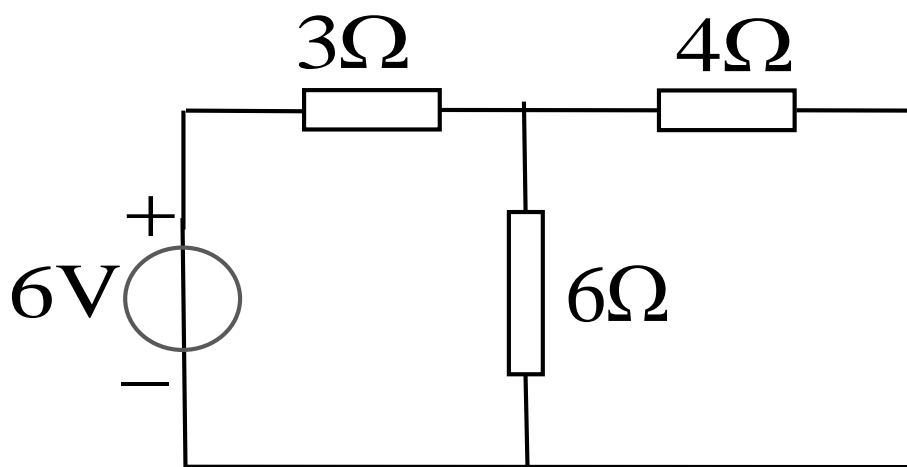
$$\text{效率} = \frac{P_L}{P_s} = \frac{U_s i}{2 U_s i} = 50\%$$

为什么? 有什么启发?

最大功率传输:

练习

例：能向外输出的最大功率？



1 电路模型及电路网络



戴维宁, Léon Charles

Thévenin(1857 — 1926)，法国电报工程师和教育家。他在**1883**年提出了戴维宁定理。

戴维宁出生在法国**Meaux**，**1876**年毕业于巴黎**Ecole Polytechnique** 学校，在基尔霍夫定律和欧姆定律的基础上，他提出了戴维宁等效公式。

1883年(**26岁**)，发表在法国科学院刊物上，文仅一页半，是在直流电源和电阻的条件下提出的。目前已成为一个重要的电路定理。当电路理论进入以模型为研究对象后，出现该定理的适用性问题。

定理的对偶形式五十余年 (**1926**) 后始由美国贝尔电话实验室工程师 **E.L.Norton** 提出，即诺顿定理。



电路基本分析方法

1 电路模型及电路网络

练习3.1, 3.4, 3.22, 问题3.10, 3.12

欢迎大家讨论交流！