电路分析与电子线路

课程要点复习

第1章：电路基本元器件

- 理解分布参数和集总参数关系
- 理解场到路的简化
- 电路元件和电路模型（电阻、独立电压源、独立电流源）
- 掌握元件约束（数学表达式）
- 计算电压、电流、电功率

课程内容框架

- 电路元器件模型
- 电阻电路基本分析方法
- 非线性电路（二极管、三极管）
- 放大器基础（单管、运算放大器）
- 动态电路分析
- 正弦稳态电路分析
- 滤波器基础

线性电路

非线性电路

动态电路

稳态电路

基本物理参数：电流

- 起因：带电粒子(电子、离子)的定向移动
- 定义：单位时间内通过导体横截面的电荷
- 数学表达式：

$$\boxed{i = \frac{dQ}{dt}}$$

- 单位：安培（A）= 库仑（C）/ 秒（s）

基本物理参数：电压

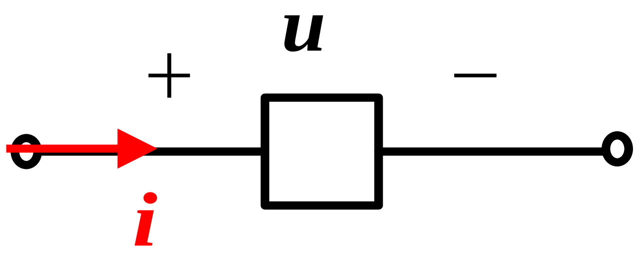
- 起因：电荷的移动导致能量的交换
- 定义：单位正电荷从a点移动到b点时能量的改变
- 数学表达式：

$$\boxed{u = \frac{dW}{dq}}$$

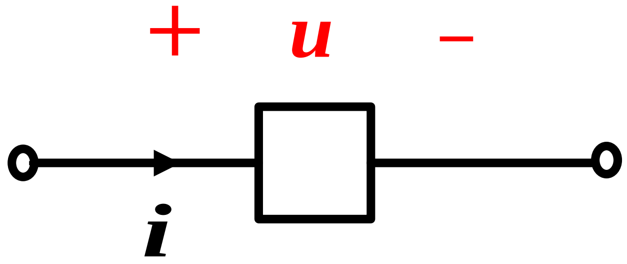
- 单位：伏特（V）= 焦耳（J）/ 库仑（C）

电压和电流的关联参考方向（容易出错）

➢ 当电压参考方向已确定，则电流参考方向从+指向-



➢ 当电流参考方向已确定，则电压参考方向从电流流入端指向电流流出端



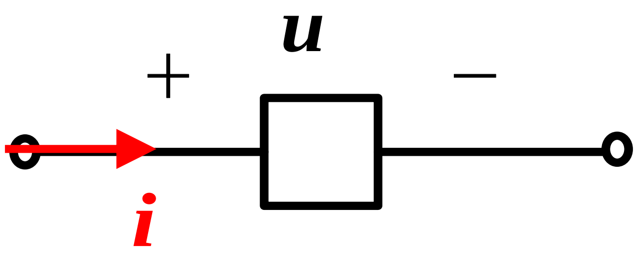
基本物理参数：电功率

- 起因：电流通过电阻导致电能量消耗
- 定义：当电压和电流采用关联参考方向时，二端元件在单位时间内吸收（或释放）的能量
- 数学表达式：

$$\boxed{p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq}\frac{dq}{dt} = ui}$$

- 单位：瓦特（W）= 伏特（V）× 安培（A）

正负电功率的物理意义



$$p = ui \begin{cases} > 0 & \text{吸收功率} \\ < 0 & \text{输出功率} \end{cases}$$

- 已知元件两端的电流和电压，即可确定元件是吸收或输出功率。

例：当u=1V，i=2A时

$$p = ui = 1 \times 2 = 2W > 0$$

例：当u=-1V，i=2A时

$$p = ui = (-1) \times 2 = -2W < 0$$

基本物理参数：电能

- 起因：电流通过电阻导致电能量消耗
- 定义：在t_1到t_2的时间段内元件吸收或输出的电能量
- 数学表达式：

$$\boxed{W=\int_{t_1}^{t_2} p\,dt}$$

- 单位：千瓦时（kWh）= 1000（W）×3600（s）

=3.6×10^6（J）= 度

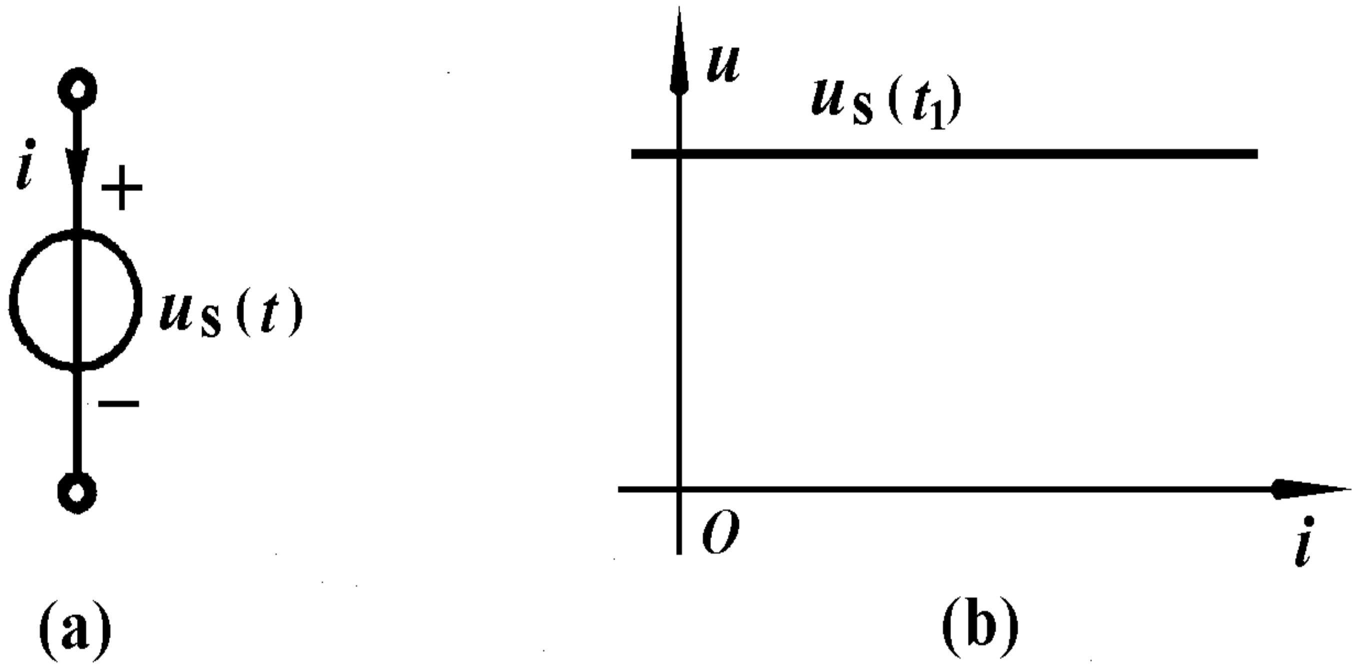
表 1.2 电气工程量、单位及其符号

量	符号	单位	符号
时间	T	秒	s
频率	F	赫兹	Hz
电流	I	安培	A
电压	U	伏特	V
功率	P	瓦特	W
能量	W	焦耳	J
电阻	R	欧姆	Ω
电导	G	西门子	S

表 1.3 用于构成十进倍数和分数单位的词头

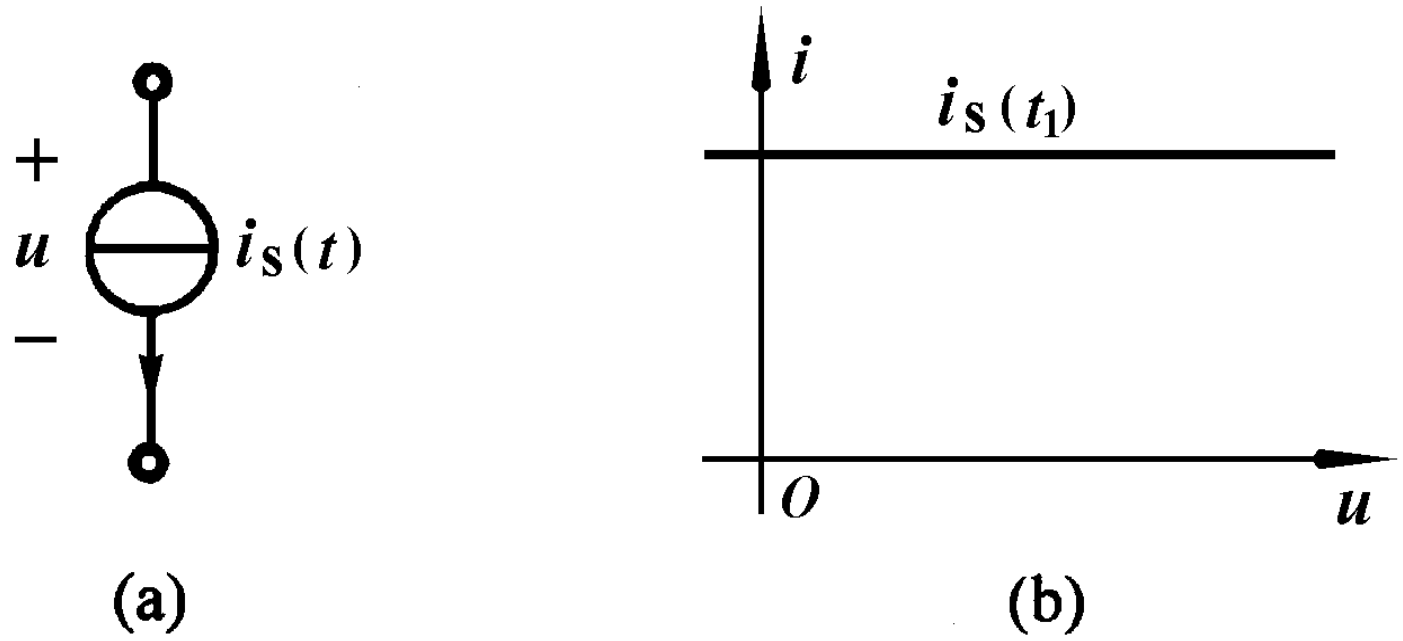
词头名称	词头符号	所表示的因数
拍（它）(peta)	P	10^{15}
太（拉）(tera)	T	10^{12}
吉（咖）(giga)	G	10^{9}
兆(mega)	M	10^{6}
千(kilo)	k	10^{3}
毫(milli)	m	10^{-3}
微(micro)	μ	10^{-6}
纳（诺）(nano)	n	10^{-9}
皮（可）(pico)	p	10^{-12}
飞（母托）(femto)	f	10^{-15}

理想独立电压源



- 一个二端元件的电流无论为何值，其电压保持常量u_S或按给定的时间函数$u_S(t_1)$变化。

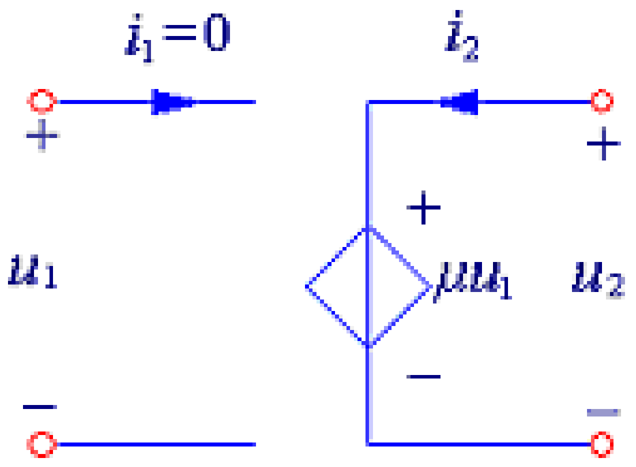
理想独立电流源



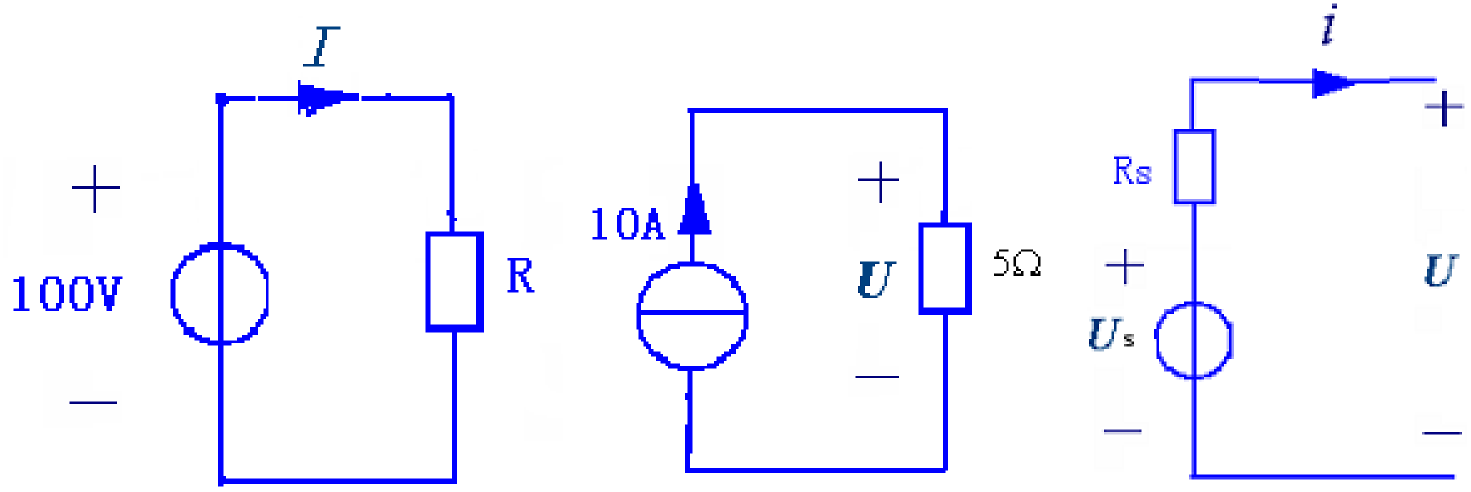
➢ 一个二端元件的电压无论为何值，其电流保持常量i_S或按给定的时间函数$i_S(t_1)$变化。

受控源的定义

- 受控源的电压(或电流)依赖于电路中另一支路的电压或电流。



(a)电压控电压源



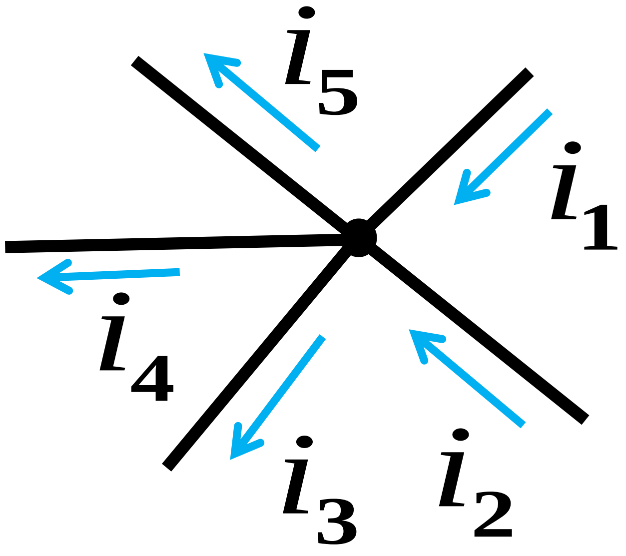
- 独立电源是电路的输入或激励，它为电路提供按给定时间函数变化的电压和电流。

第2章：电阻网络

- 掌握拓扑约束（KVL、KCL）
- 掌握电阻电路基本分析方法
- 掌握电路分析法：2B分析法、能量守恒定理
- 掌握串并联等效变换法

基尔霍夫电流定律 （KCL）

- 流出任一节点的电流等于流入该节点的电流。
- 流入节点的支路电流代数和为零。



$$\sum i_{in} = \sum i_{out}$$

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5$$

等效

$$\sum_{n=1}^{k} i_n = 0$$

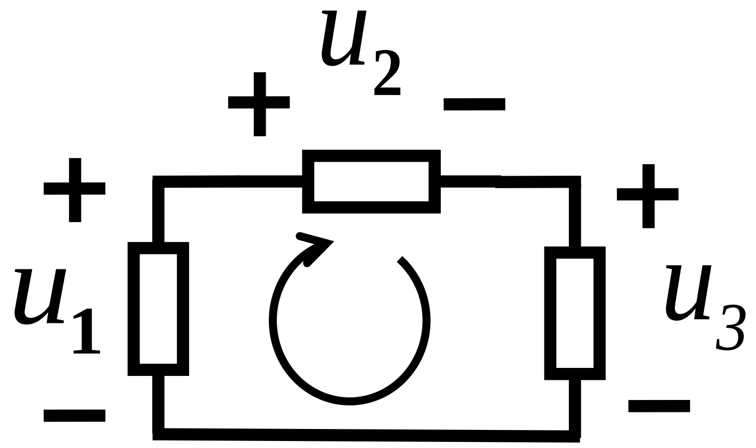
假设流出为正

物理意义：电荷守恒

$$-i_1 - i_2 + i_3 + i_4 + i_5 = 0$$

基尔霍夫电压定律（KVL）

- 任一回路中支路电压的代数和为零。



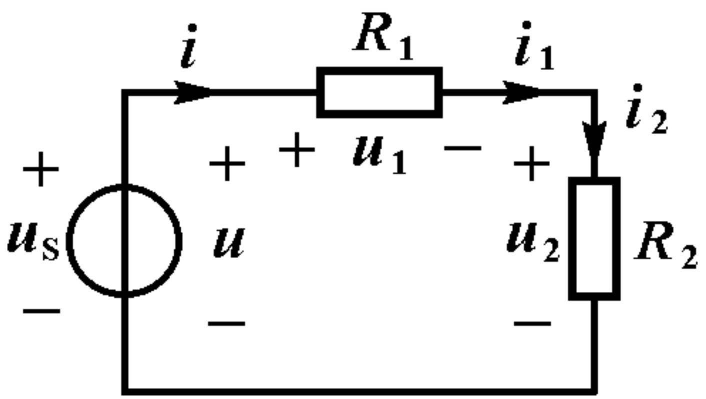
物理意义：能量守恒

$$-u_1+u_2+u_3=0$$

等效

$$u_1-u_2-u_3=0$$

电阻分压公式



列出KCL和KVL方程：

$$i = i_1 = i_2 \qquad u = u_1 + u_2$$

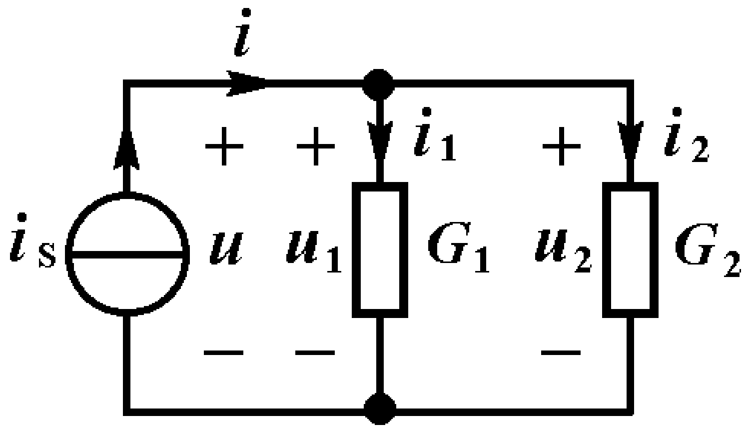
列出VCR方程：

$$u = u_S \qquad u_1 = R_1 i_1 \qquad u_2 = R_2 i_2$$

求解得到： $u_1 = \dfrac{R_1}{R_1 + R_2} u_S \qquad u_2 = \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} u_S$

➢ 当n个电阻串联时，第k个电阻分得电压为： $\boxed{u_k = \dfrac{R_k}{\sum_{k=1}^{n} R_k} u_s}$

电阻分流公式



列出KCL和KVL方程：

$$u = u_1 = u_2 \qquad i = i_1 + i_2$$

列出VCR方程：

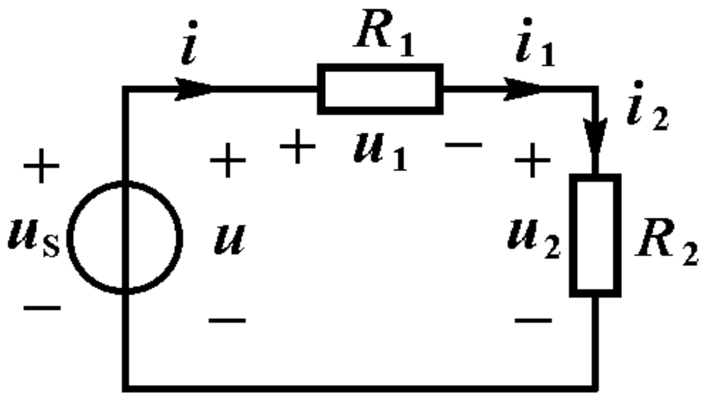
$$i = i_S \qquad i_1 = G_1 u_1 \qquad i_2 = G_2 u_2$$

求解得到：$i_1 = \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} i_S \qquad i_2 = \dfrac{R_1}{R_1 + R_2} i_S$

➢ 当n个电阻并联时，第k个电阻中电流为：

$$\boxed{i_k = \frac{G_k}{\sum_{k=1}^{n} G_k} i_s}$$

电阻串联



电压源"看到的" 总电阻为：

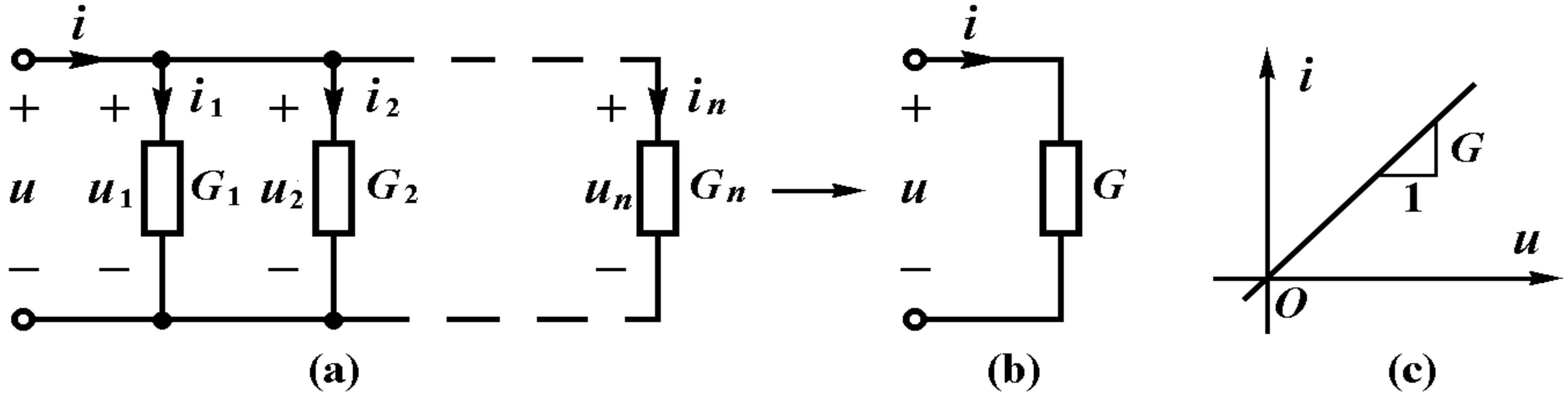
$$R = R_1 + R_2$$

➢ 当n个电阻串联时，总电阻为：

$$\boxed{R = \frac{u}{i} = \sum_{k=1}^{n} R_k}$$

电阻并联

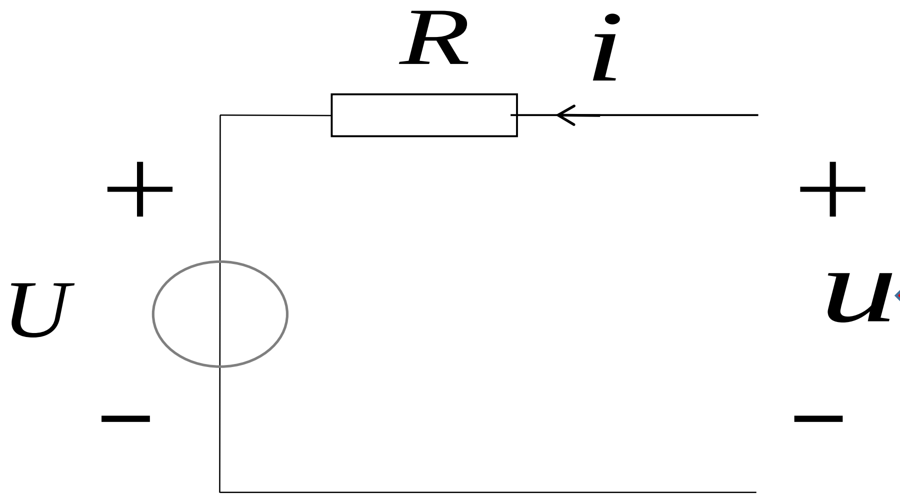
当n个电阻两端分别相连时，称为n个电阻的并联，各电阻两端的电压相同。



➢ 当n个电阻并联时，总电导为：$\boxed{G = \dfrac{i}{u} = \sum_{k=1}^{n} G_k}$

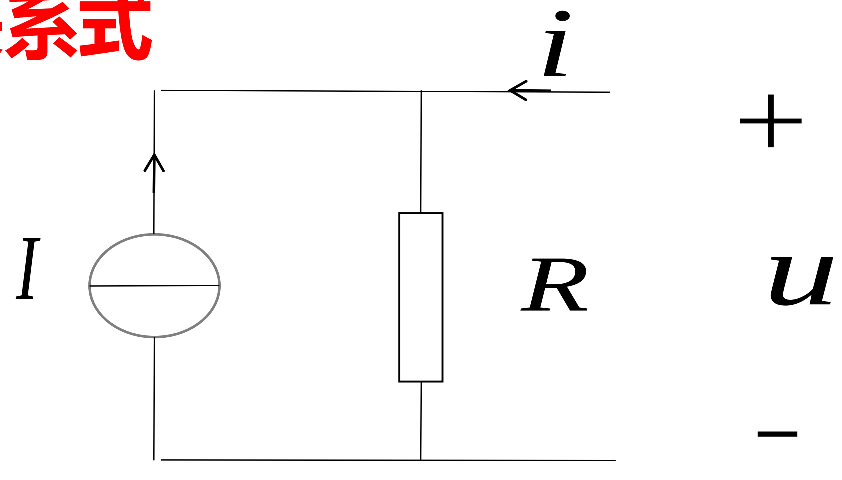
➢ 当2个电阻并联时，总电导为：$G = G_1 + G_2 \Leftrightarrow R = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

含源单口网络的一个重要等效转换（重点）



当U=IR时u和i关系式

相同（电路等效）



KVL: $u = \boxed{U} + iR$

KCL: $i = \dfrac{u}{R} - I \Rightarrow u = \boxed{IR} + iR$

- 独立电压源和电阻串联可以转换为独立电流源与电阻并联
- 等效时需满足：$U = IR$
- 注意独立电压源和独立电流源方向

电路分析基本方法

➢ 集总参数电路中的电压和电流必须同时满足两类约束。

两类约束
- 拓扑约束
  - 支路电流受到 KCL约束
  - 节点电压受到 KVL约束
- 元件约束
  - 电压源和电流源：U_s，I_s
  - 电阻：欧姆定律$u=Ri$
  - 电容、电感

第3章：电路网络定理

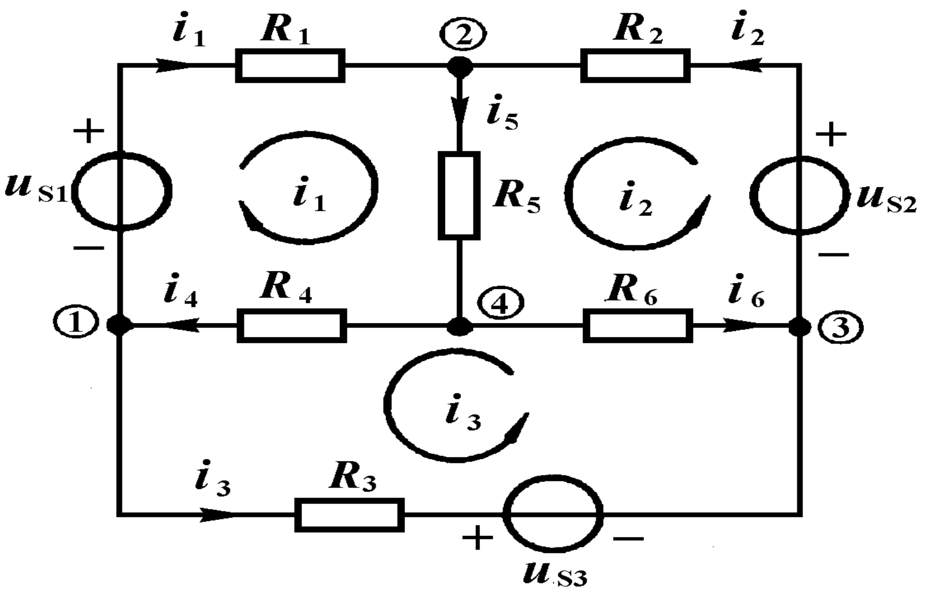
- 基尔霍夫电压、电流定律（KVL、KCL）
- 2B分析法（ KVL、KCL 、VCR）
- 电阻电路简化分析方法（电阻分压、分流、串联、并联）
- 回路分析法（设定回路电流，利用KVL建立回路方程）
- 节点分析法（设定节点电压，利用KCL建立节点方程）
- 叠加定理（拆分成单个独立源工作，求解代数和）
- 戴维宁定理（电压源和电阻串联，开路电压，等效电阻）
- 诺顿定理（电流源和电阻并联，短路电流，等效电阻）
- 最大功率传输定理

2B分析法

- 具有B条支路N个节点的连通电路，可以列出2B个方程。

2B个方程
- （N-1）个KCL方程
- （B-N+1）个KVL方程
- B个VCR方程

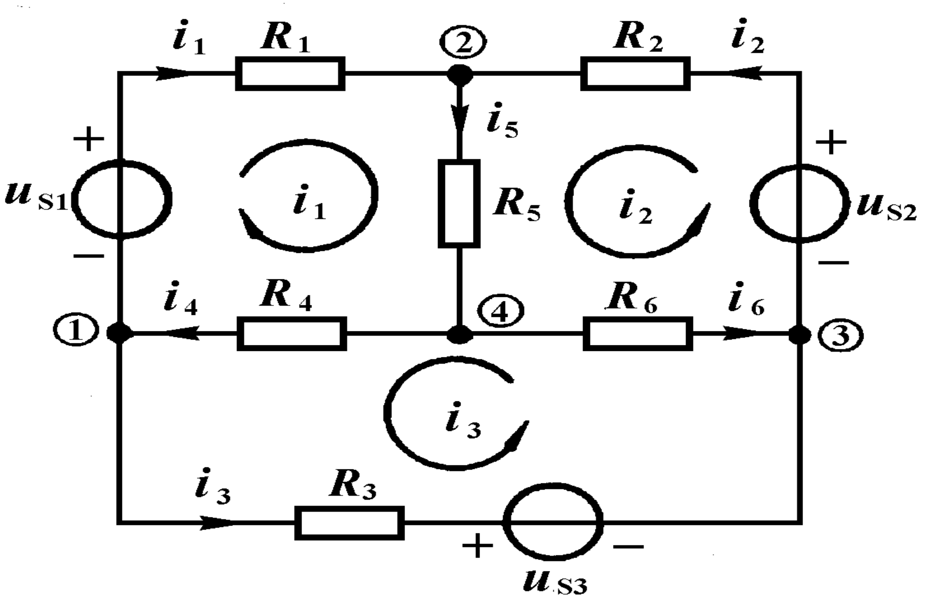
网孔分析法



$$\begin{cases} R_{11}i_1 + R_{12}i_2 + R_{13}i_3 = u_{S11} \\ R_{21}i_1 + R_{22}i_2 + R_{23}i_3 = u_{S22} \\ R_{31}i_1 + R_{32}i_2 + R_{33}i_3 = u_{S33} \end{cases}$$

- R_{11}, R_{22}和R_{33}称为网孔自电阻，是各网孔内全部电阻的总和。
- R_{kj}：网孔k与网孔j的互电阻，是两网孔公共电阻的正值或负值。
- R_{kj}取正号：两网孔电流以相同方向流过公共电阻。
- R_{kj}取负号：两网孔电流以相反方向流过公共电阻。

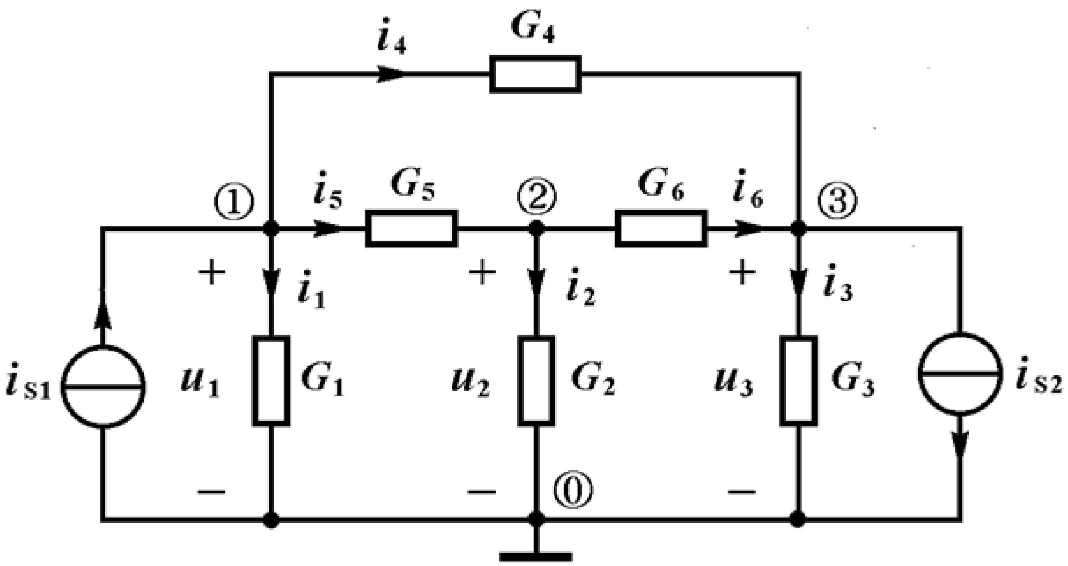
网孔分析法



$$\begin{cases} R_{11}i_1 + R_{12}i_2 + R_{13}i_3 = \boxed{u_{S11}} \\ R_{21}i_1 + R_{22}i_2 + R_{23}i_3 = \boxed{u_{S22}} \\ R_{31}i_1 + R_{32}i_2 + R_{33}i_3 = \boxed{u_{S33}} \end{cases}$$

- u_{S11}, u_{S22}, u_{S33}分别为各网孔中全部电压源电压升的代数和。
- 电压源电压取正号：绕行方向由 - 极到 + 极。
- 电压源电压取负号：绕行方向由 + 极到 - 极。

节点分析法



$$\begin{cases} G_{11}u_1 + G_{12}u_2 + G_{13}u_3 = i_{S11} \\ G_{21}u_1 + G_{22}u_2 + G_{23}u_3 = i_{S22} \\ G_{31}u_1 + G_{32}u_2 + G_{33}u_3 = i_{S33} \end{cases}$$

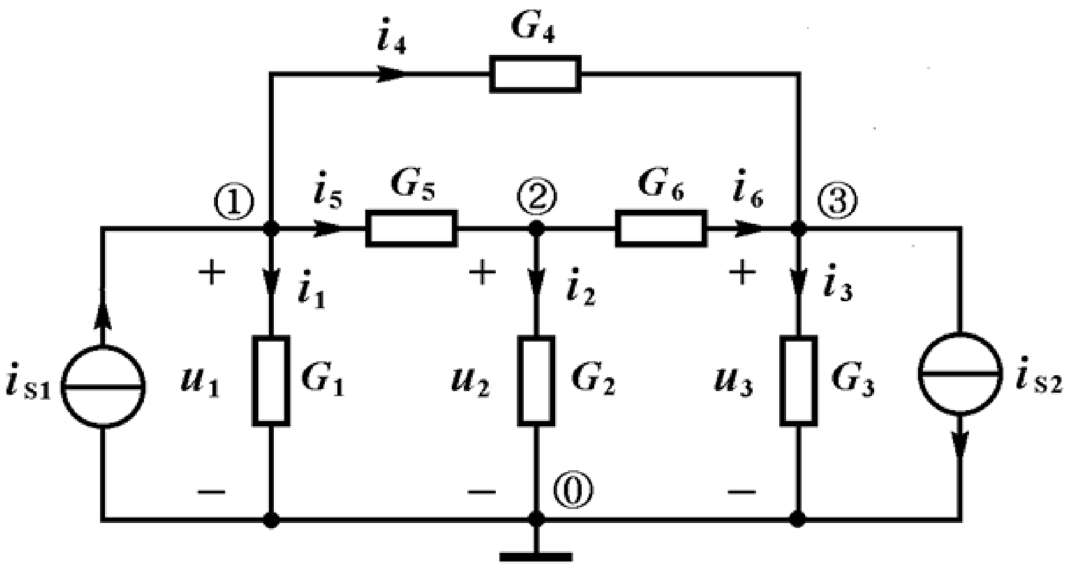
$G_{11}= G_1+ G_4+ G_5$ $G_{12}= -G_5$

$G_{22}= G_2 + G_5+ G_6$ $G_{13}= -G_4$

$G_{33}= G_3+ G_4+ G_6$ ……

- G_{11}, G_{22}和G_{33}称为节点自电导，是各节点全部电导的总和
- G_{kj}：节点k与节点j的互电导总和的负值

节点分析法



$$\begin{cases} G_{11}u_1 + G_{12}u_2 + G_{13}u_3 = \boxed{i_{S11}} \\ G_{21}u_1 + G_{22}u_2 + G_{23}u_3 = \boxed{i_{S22}} \\ G_{31}u_1 + G_{32}u_2 + G_{33}u_3 = \boxed{i_{S33}} \end{cases}$$

$i_{s11} = i_{s1}$ $i_{s22} = 0$ $i_{s33} = -i_{s2}$

- i_{S11}, i_{S22}, i_{S33}分别为该节点全部电流源电流的代数和
- 电流流入节点取正号
- 电流流出节点取负号

叠加定理

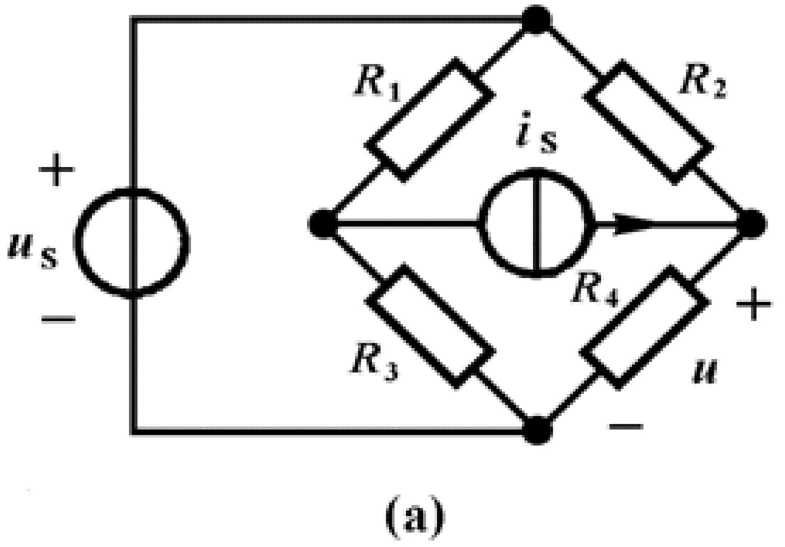
- 定义：所有独立源在线性电路中产生的任一电压或电流，等于每一个独立源单独作用所产生的相应电压或电流的代数和。
- 独立源单独作用：

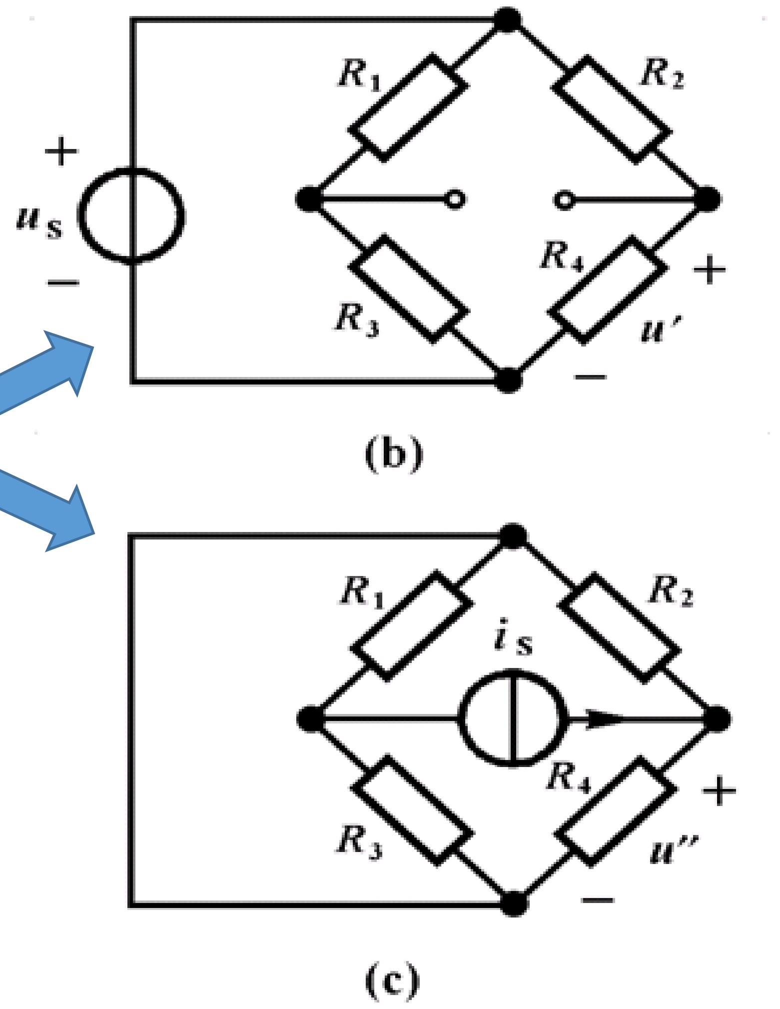
（1）其它独立电压源短路($u_S=0$)

（2）其它独立电流源开路($i_S=0$)

叠加定理举例

若i_s和u_s为已知量，求u。





$$u' = \frac{R_4}{R_2 + R_4} u_S$$

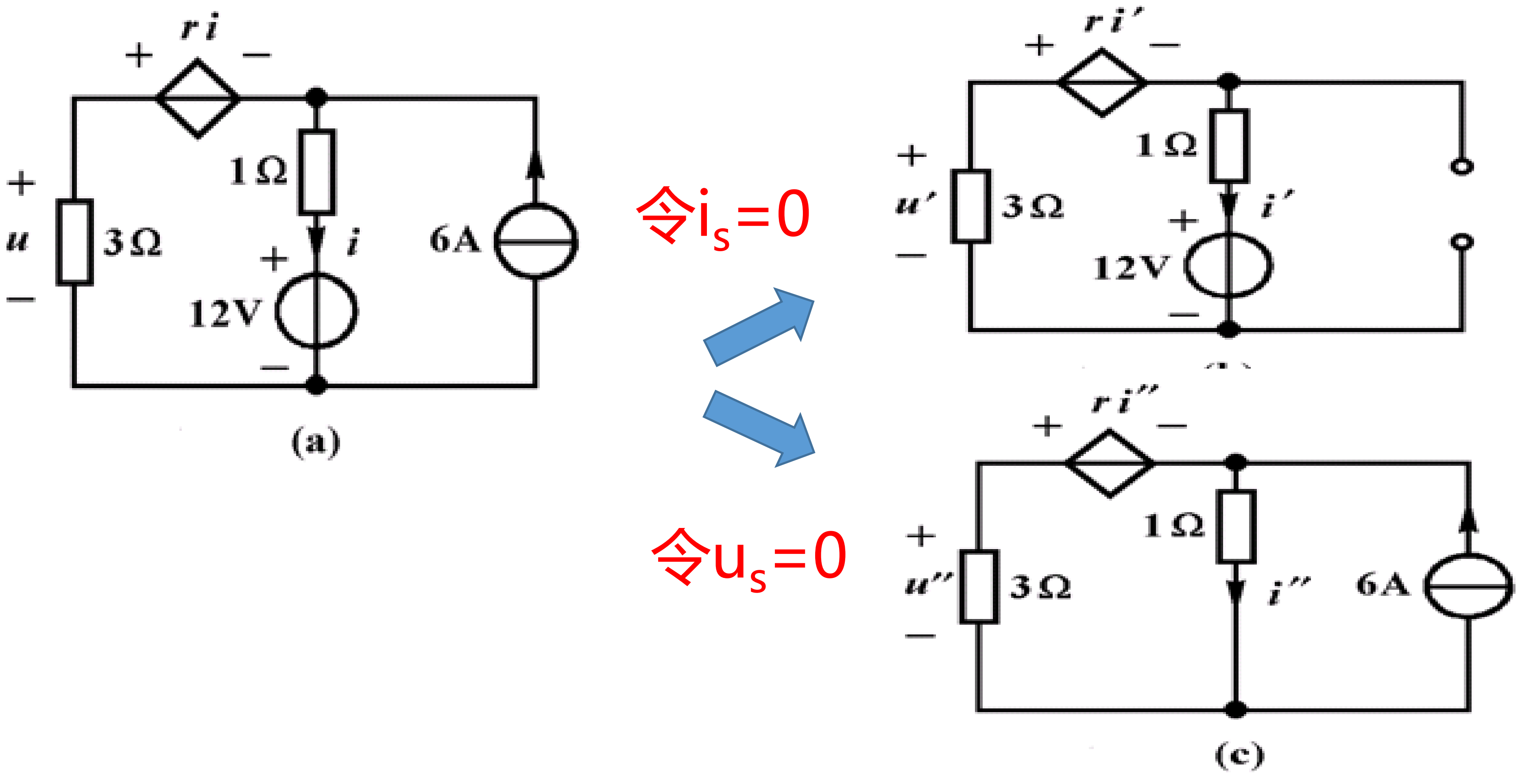
$$u'' = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} i_S$$

叠加定理中的受控源

- 当每一个独立源单独作用时，受控源的处理与电阻元件相同，须保留
- 控制变量随激励不同而改变
- 受控源一般是放大器的简化模型，不是输入信号
- 输入信号：独立电压源和独立电流源

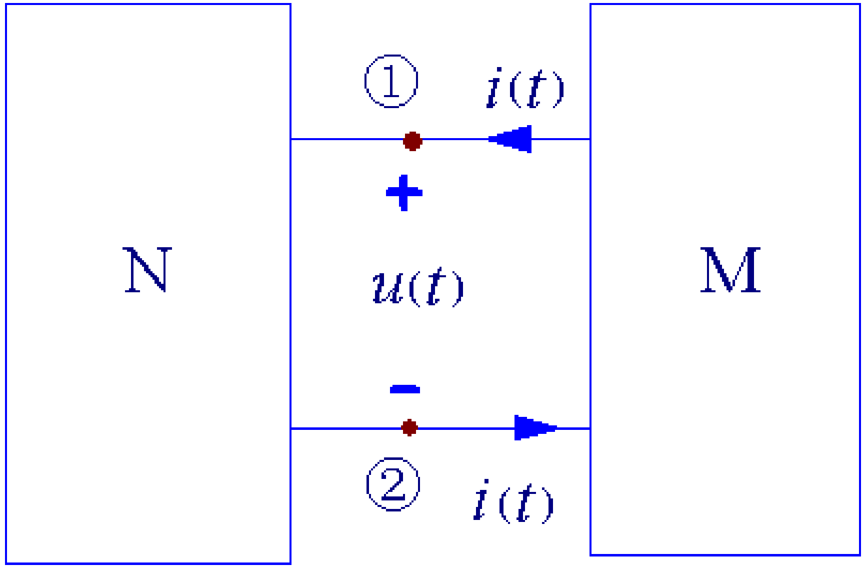
叠加定理举例

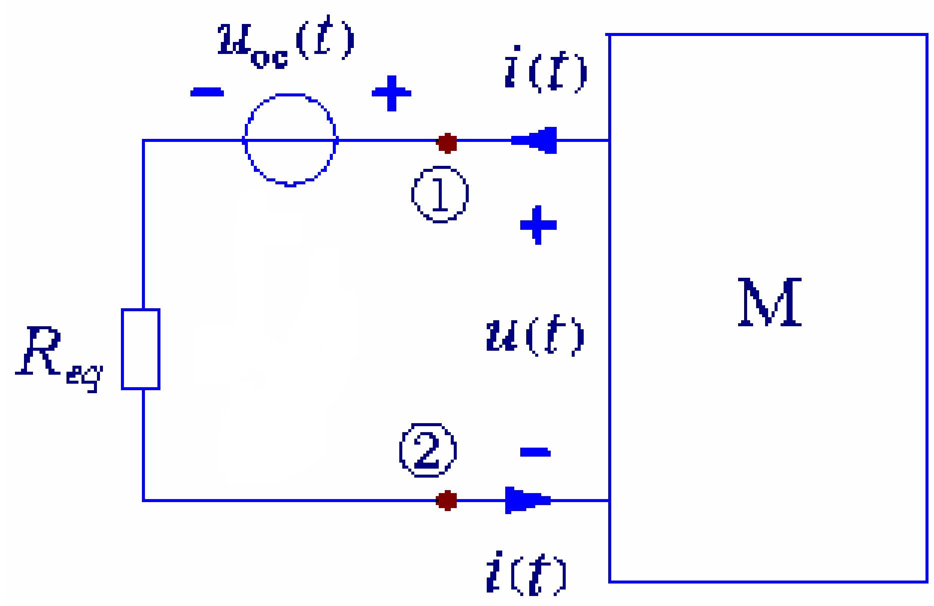
若r=2Ω，试用叠加定理求电流i和电压u。



戴维宁（Thevenin′s theorem）定理

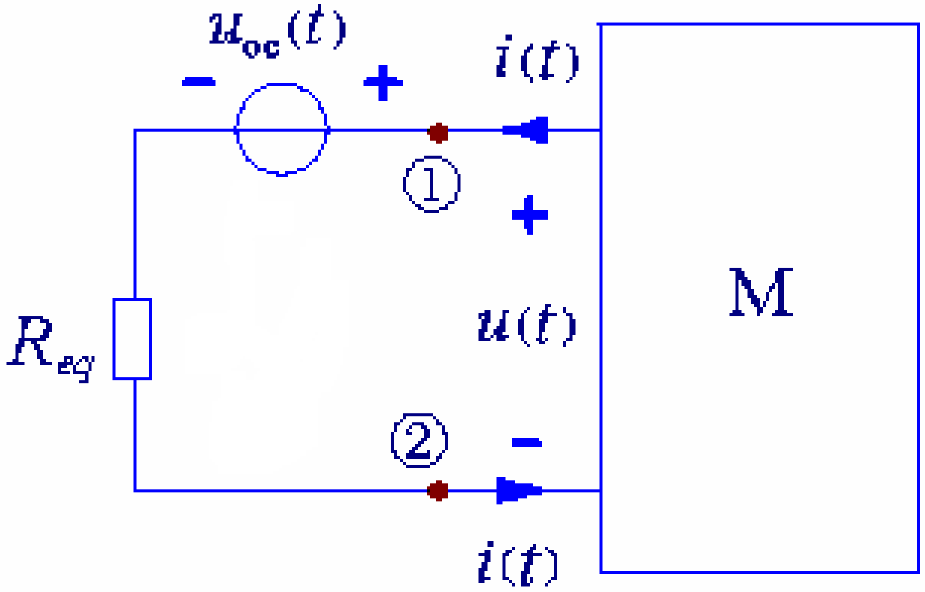
➢ 一个线性含源单口网络N，对于外部电路M而言，可以用电压源u_{oc}和电阻R_{eq}串联组成的等效电路来代替





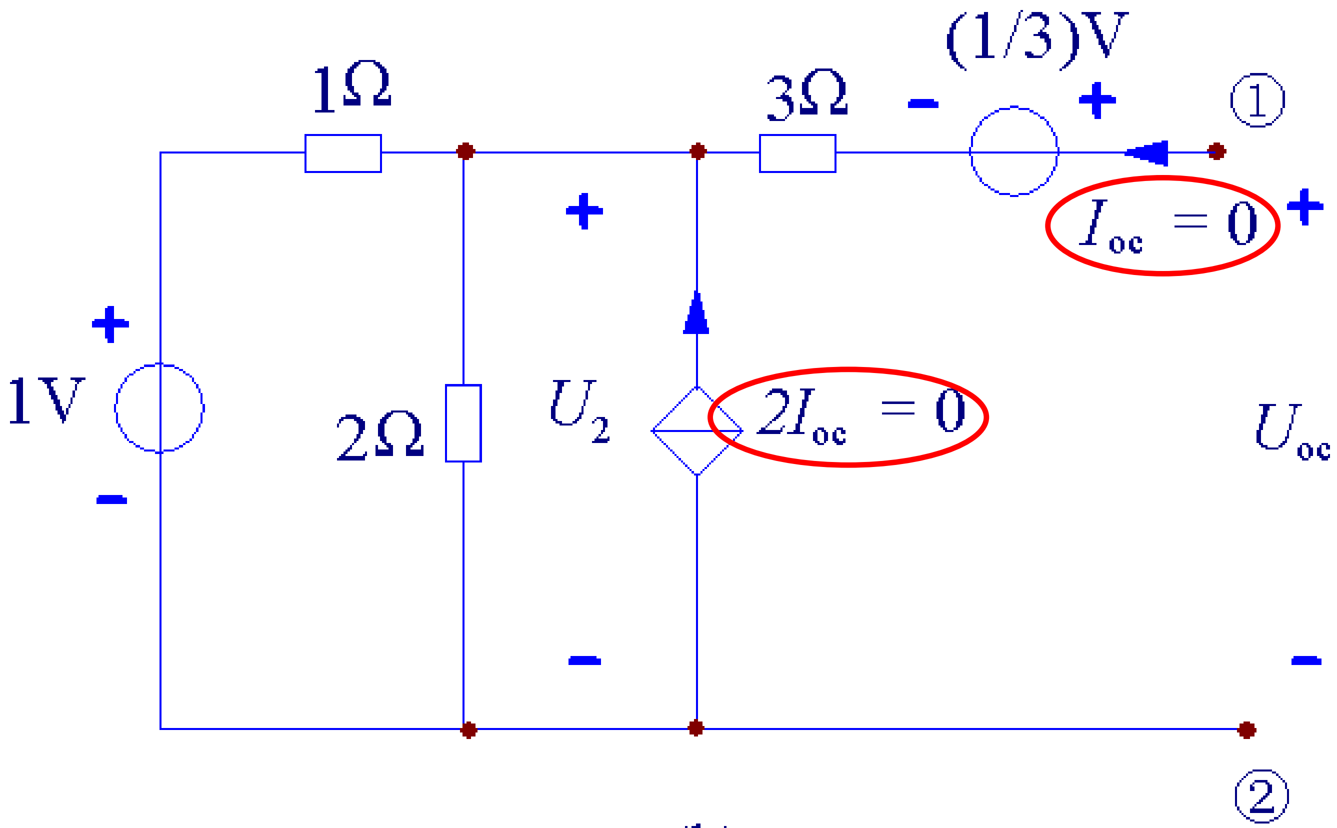
戴维宁定理

- 电压源u_{oc}：单口网络端口开路时的电压
- 电阻R_{eq}：单口网络所有独立源为0时端口视入的电阻



戴维宁定理（含受控源）

1）求开路电压

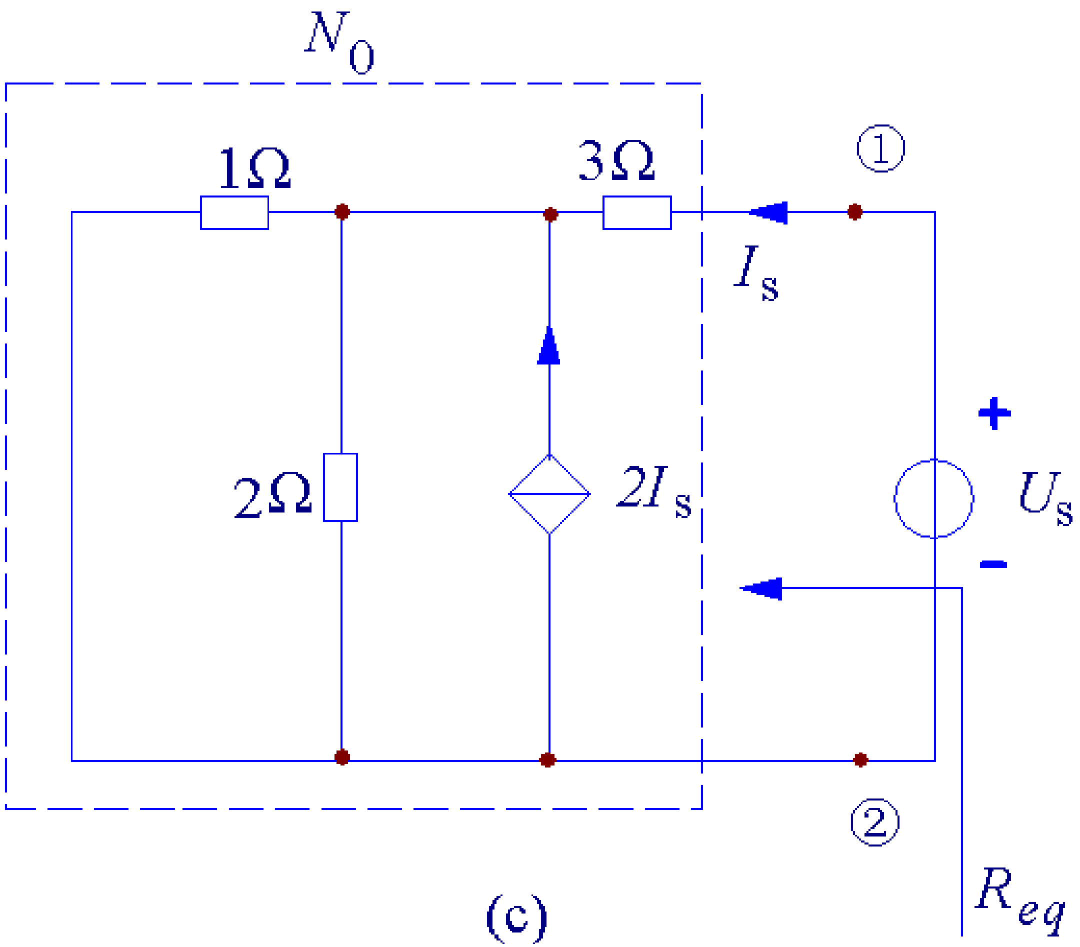


(b)

$$U_{oc}=(\frac{1}{3}+\frac{2}{3})\,\mathrm{V}=1\mathrm{V}$$

戴维宁定理（含受控源）

2）求等效电阻



(c)

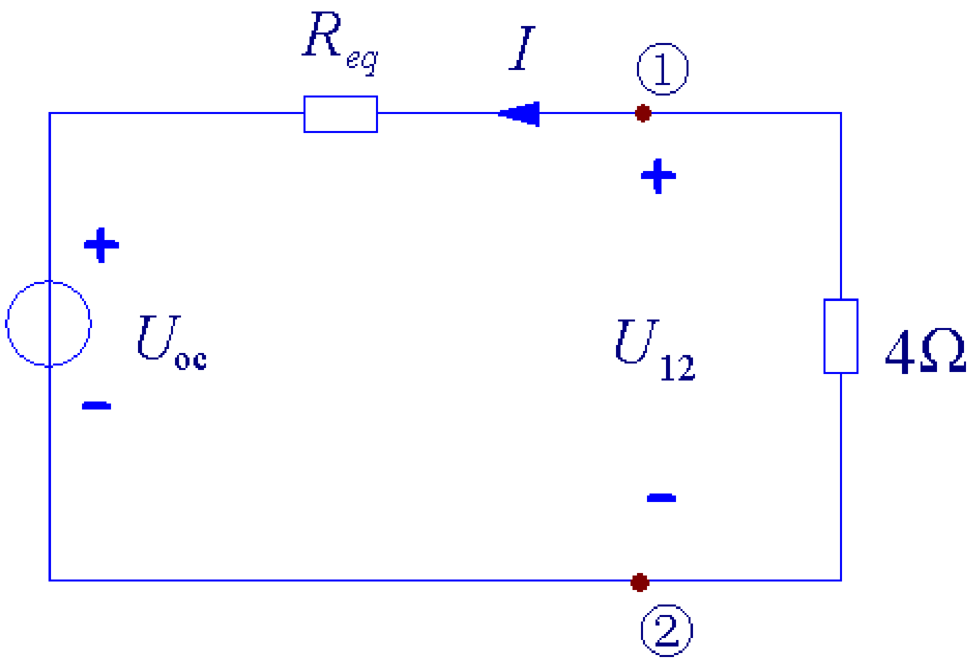
$$3I_s + \frac{2}{3} \times 3I_s = U_s$$

$$5I_s = U_s$$

$$R_{eq} = \frac{U_s}{I_s} = 5\Omega$$

课堂练习5

3）画出戴维宁等效电路，求电压U_{12}

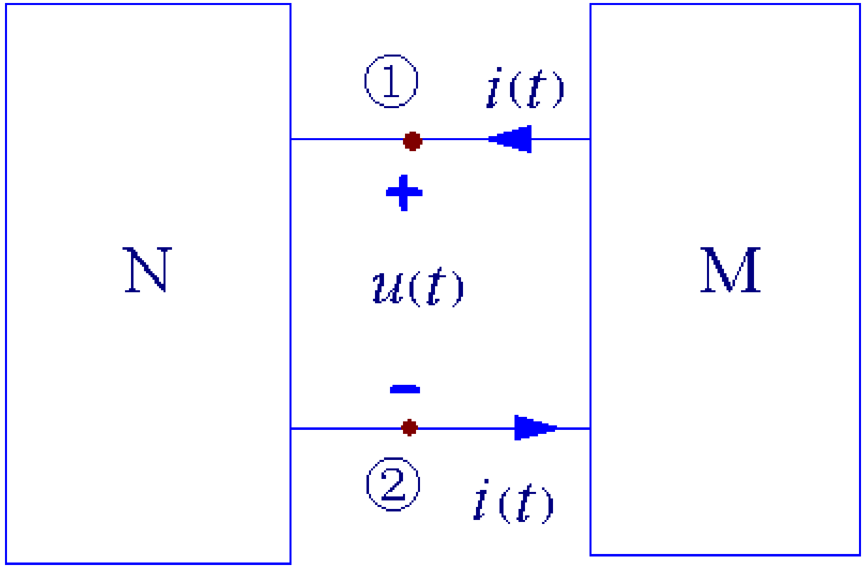


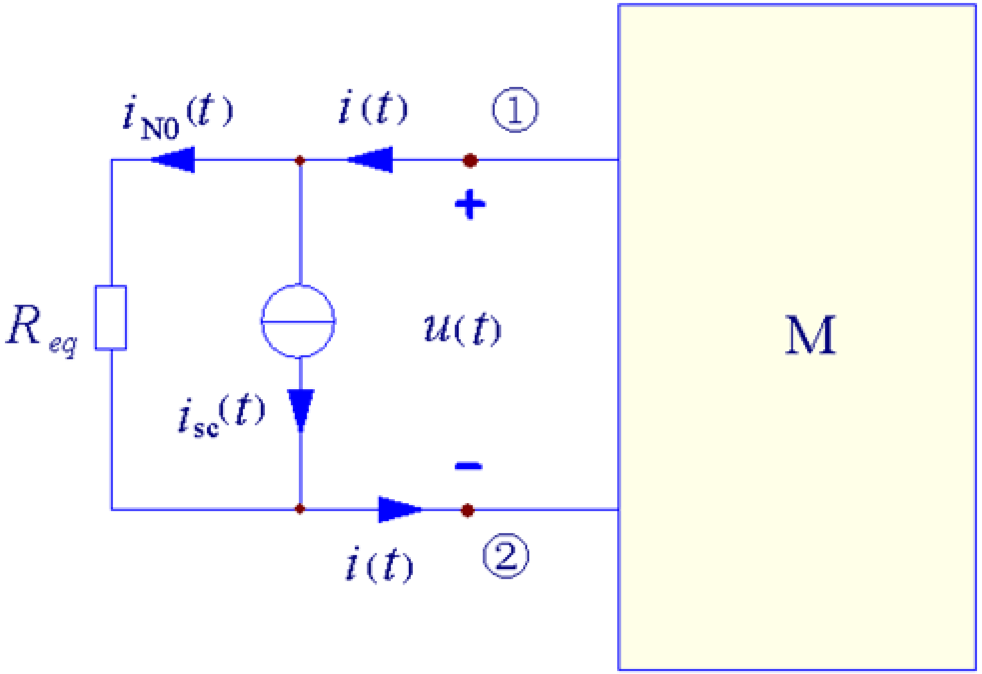
(d)

$$U_{12}=\frac{4}{4+R_{eq}}U_{oc}=(\frac{4}{4+5}\times 1)\ \mathrm{V}=\frac{4}{9}\ \mathrm{V}$$

诺顿定理

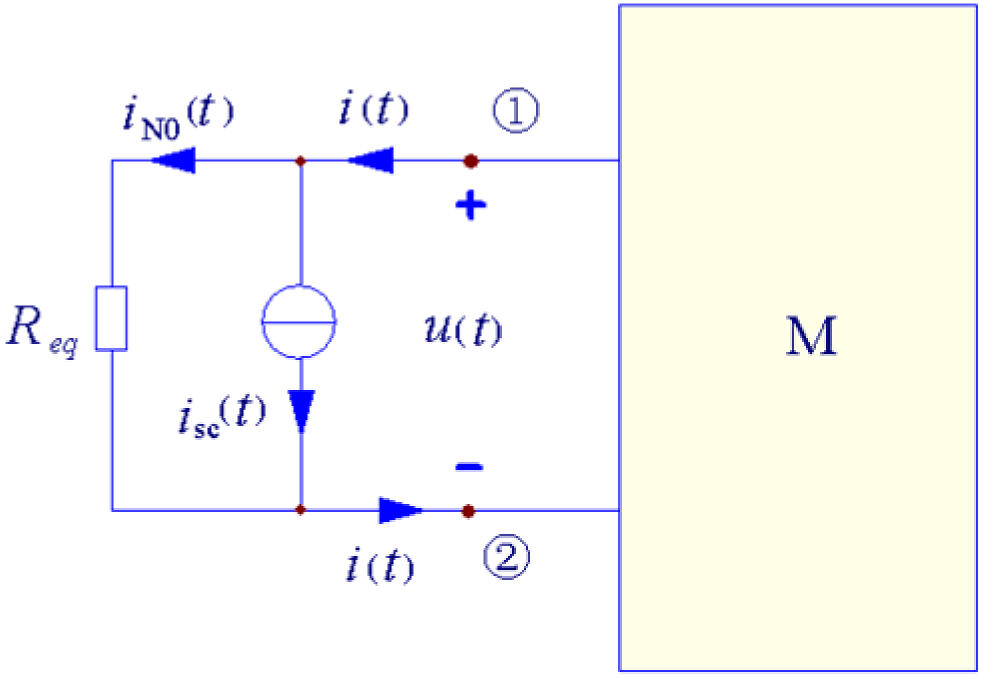
- 一个线性含源单口网络N，对于外部电路M而言，可以用电流源i_{sc}和电阻R_{eq}并联组成的等效电路来代替



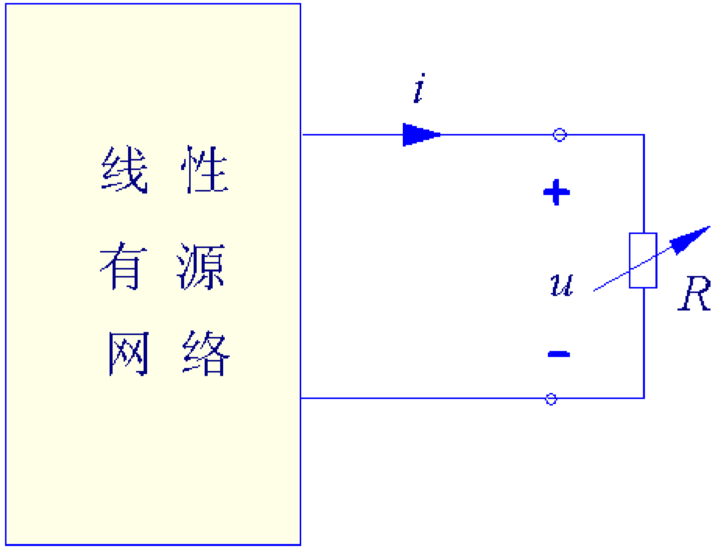


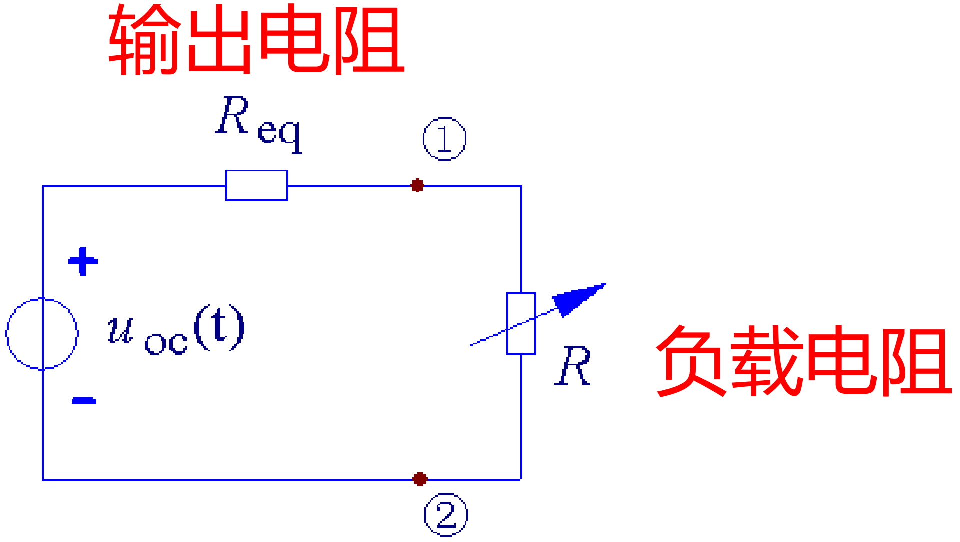
诺顿定理

- 电流源i_{sc}：单口网络端口短路时的电流
- 电阻R_{eq}：单口网络所有独立源为0时端口视入的电阻



最大功率传输问题



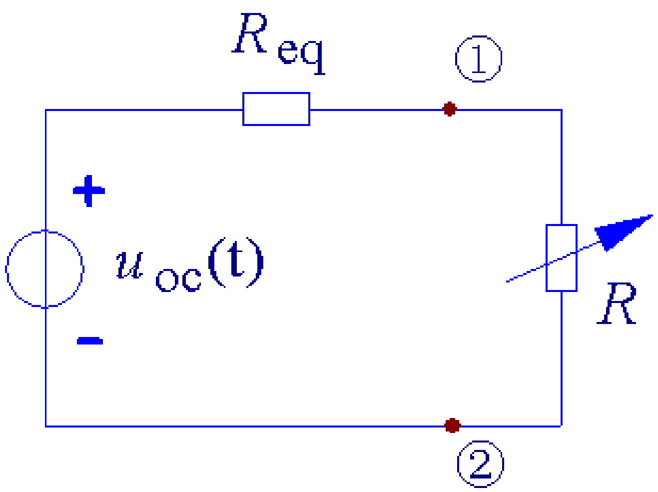


问题：当线性有源单口网络外接电阻R可变时，

1）R为何值时可以获得最大功率?

2）满足最大功率条件后，P_{max}等于多少?

最大功率传输问题



$$P = I^2 R = \left(\frac{u_{oc}}{R_{eq}+R}\right)^2 R = \frac{u_{oc}^2 R}{(R_{eq}+R)^2}$$

$$\frac{dP}{dR} = \frac{u_{oc}^2 (R_{eq}-R)}{(R_{eq}+R)^3} = 0$$

最大功率传输条件为 $R = R_{eq}$ 最大功率匹配条件

此时获得最大功率为 $P_{\max} = \frac{u_{oc}^2}{4R_{eq}}$ $P_{\max} = \frac{i_{sc}^2 R_{eq}}{4}$

最大功率传输问题的一般求解步骤

1）求解含源线性电阻单口网络的戴维宁等效电路

2）利用最大功率传输定理，确定获得最大功率的负载电阻值

$$R_L = R_o > 0$$

3）计算最大功率值

$$p_{\max} = \frac{u_{oc}^2}{4R_o}$$