

清华大学2021春季学期

电路原理C

第2讲

电阻电路的基本分析方法

目录

CONTENTS

01 电阻

02 独立电源

03 受控元件

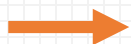
04 基尔霍夫定律

05 2b法求解电路

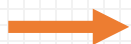
1. 电阻
2. 独立电源
3. 受控元件
 - 受控电阻
 - 受控电源

元件约束

难点



重点



4. 基尔霍夫定律
5. $2b$ 法求解电路

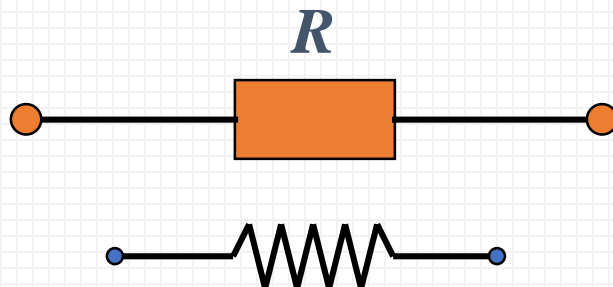


拓扑约束



一、电阻器 (Resistor)

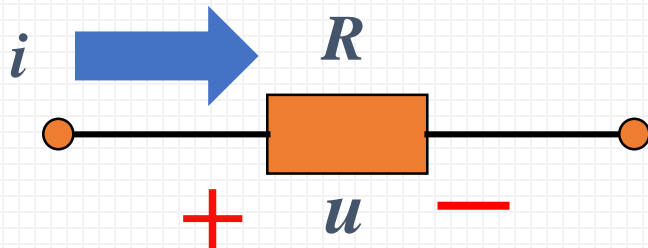
1、电路符号



2、欧姆定律

(1) 电压电流采用关联参考方向

$$u = R \cdot i$$



R 电阻(resistance)

Unit: Ω (欧姆)



$$\text{令 } G = 1/R$$

G **电导**(Conductance)

Unit: S (西) (Siemens, 西门子)

欧姆定律(关联参考方向下): $i = G \cdot u$

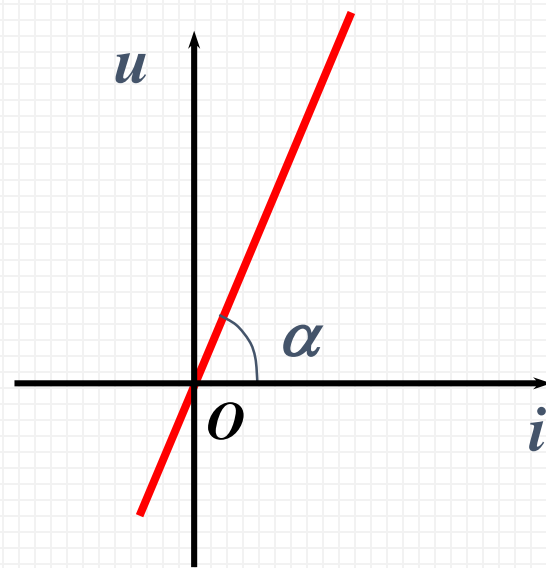
关联参考方向下线性电阻器的 u - i 关系:



$$u = R \cdot i$$

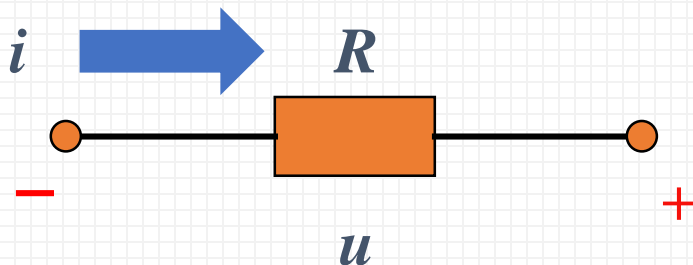
$$R = \tan \alpha$$

$\alpha=0^\circ$ 和 $\alpha=90^\circ$ 代表什么物理意义?





(2) 电压电流非关联参考方向

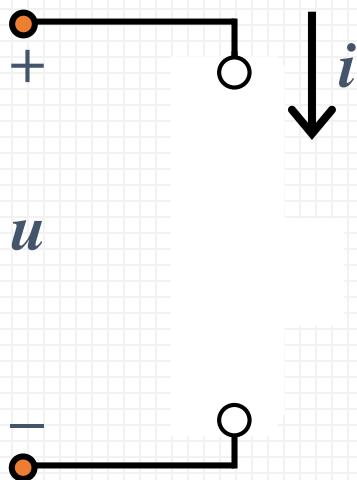


欧姆定律: $u = -R \cdot i$ or $i = -G \cdot u$



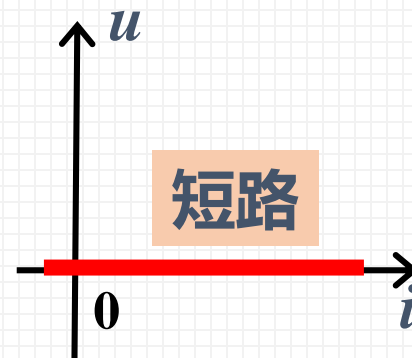
公式的列写必须根据参考方向!

3、开路与短路



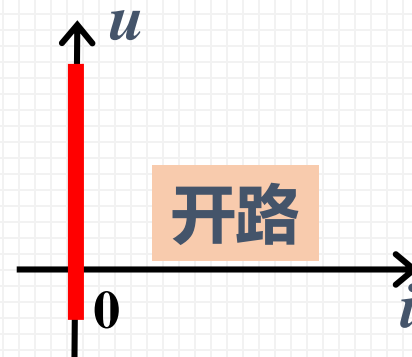
当 $R = 0$ ($G = \infty$), 定义其为**短路**。

$u = 0$, i 由外电路决定。



当 $R = \infty$ ($G = 0$), 定义其为**开路**。

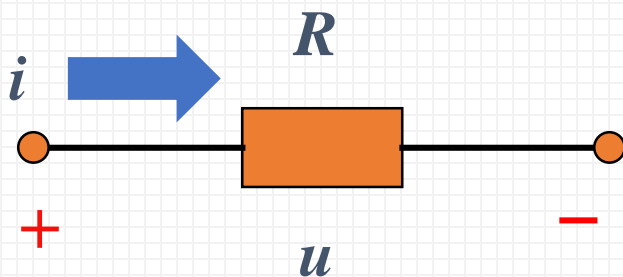
$i = 0$, u 由外电路决定。



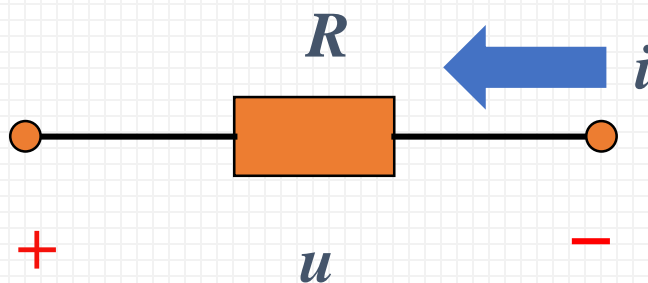


4、电阻消耗的功率

Power:



$$p_{\text{吸}} = ui = i^2 R = u^2 / R$$



$$\begin{aligned} P_{\text{发}} &= ui = (-Ri)i = -i^2 R \\ &= u(-u/R) = -u^2 / R \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{或 } p_{\text{吸}} &= u(-i) = (-Ri)(-i) \\ &= i^2 R = u^2 / R \end{aligned}$$



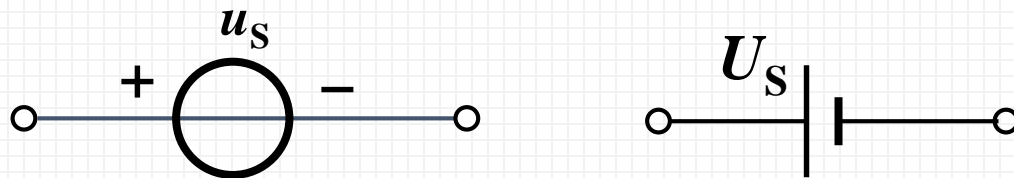
无论参考方向如何选取，电阻始终消耗电功率。



二、独立电源 (independent source)

1、理想独立电压源 (ideal independent voltage source)

电路符号:



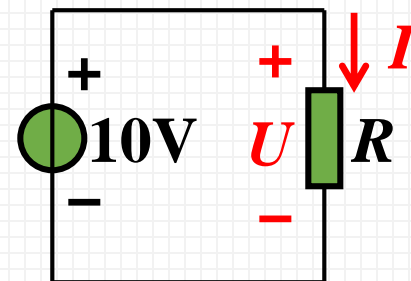
1) 特性

(a) 独立电压源两端的电压与电路其余部分无关

直流: U_S 为常数

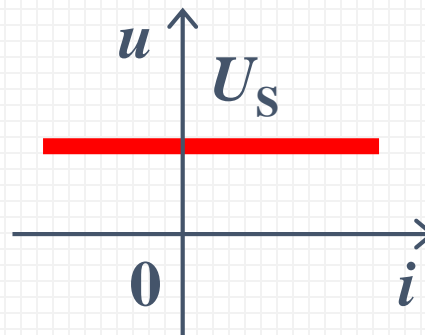
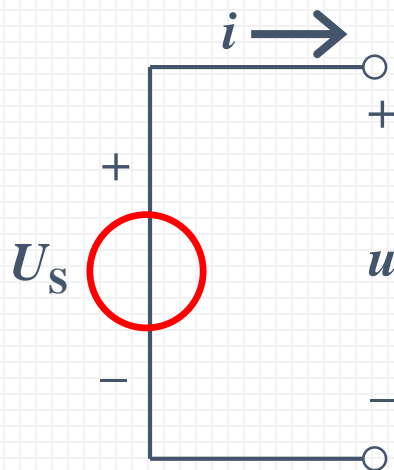
正弦交流: u_S 随时间变化, 可以表示为 $u_S = U_m \sin \omega t$

(b) 流经独立电压源的电流由外电路决定





2) u - i 特性



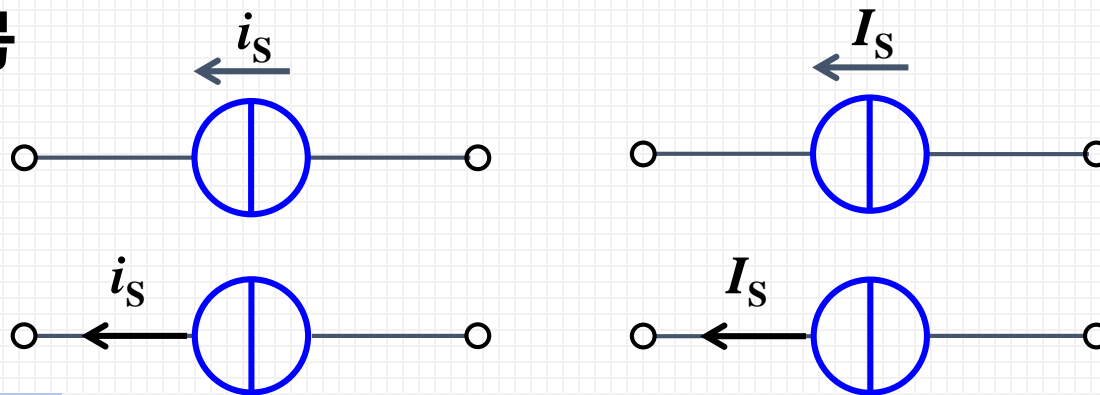
$U_s=0$ 和本节课前面提到的什么等效?

此处可以有弹幕



2、理想独立电流源 (independent current source)

电路符号



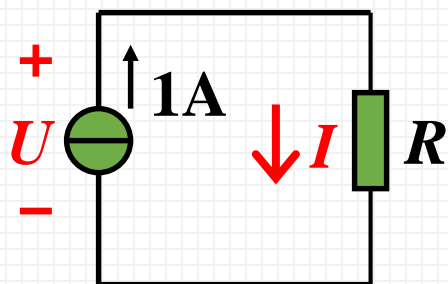
1) 特性:

(a) 流经独立电流源的电流与电路的其余部分无关

直流: I_S 是常数

正弦交流: i_S 随时间变化, 可以表示为 $i_S = I_m \sin \omega t$

(b) 电流源上的电压由外电路决定

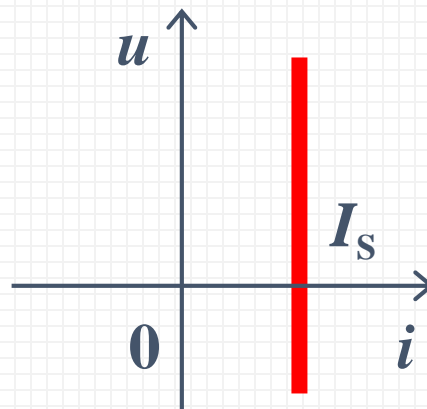
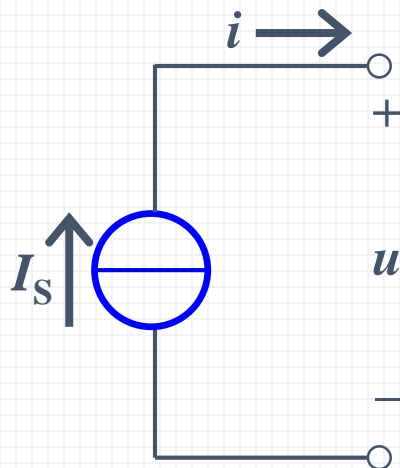


$$R = 1\Omega, I = 1A \quad \longrightarrow \quad U = 1V$$

$$R = 10\Omega, I = 1A \quad \longrightarrow \quad U = 10V$$

(b) 电流源上的电压由外电路决定.

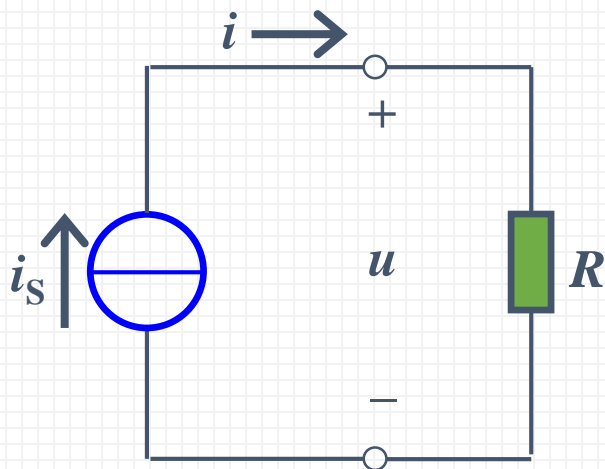
2) u - i 特性



$I_s=0$ 和本节课前面提到的什么等效?

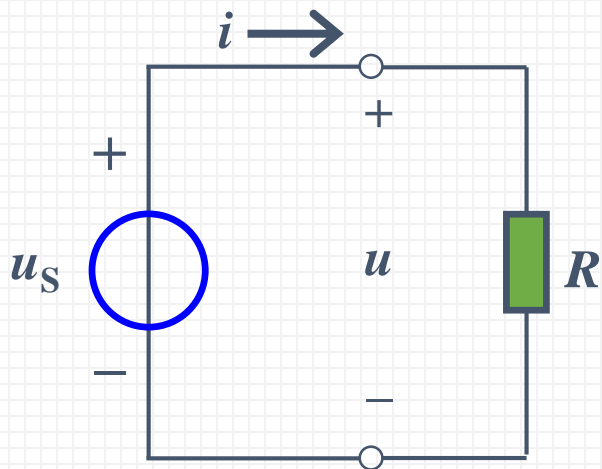


3、独立电源的短路与开路



开路会怎么样?

短路: $R=0 \rightarrow i=i_S, u=0$

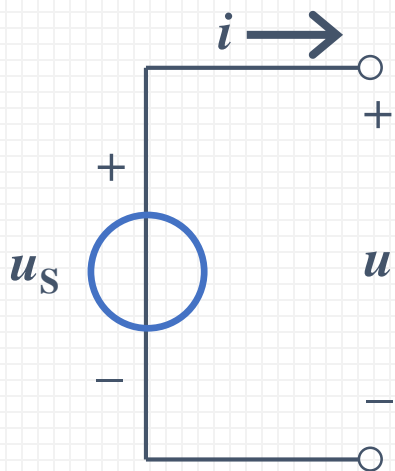


短路会怎么样?

开路: $R \rightarrow \infty \rightarrow i=0, u=u_S$

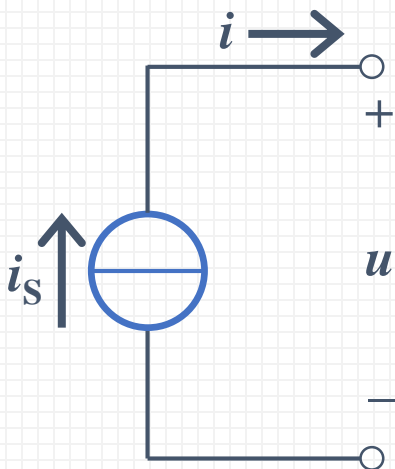


4、独立电源的功率



$$p_{\text{发}} = ui = u_S i$$

$$p_{\text{吸}} = -ui = -u_S i$$



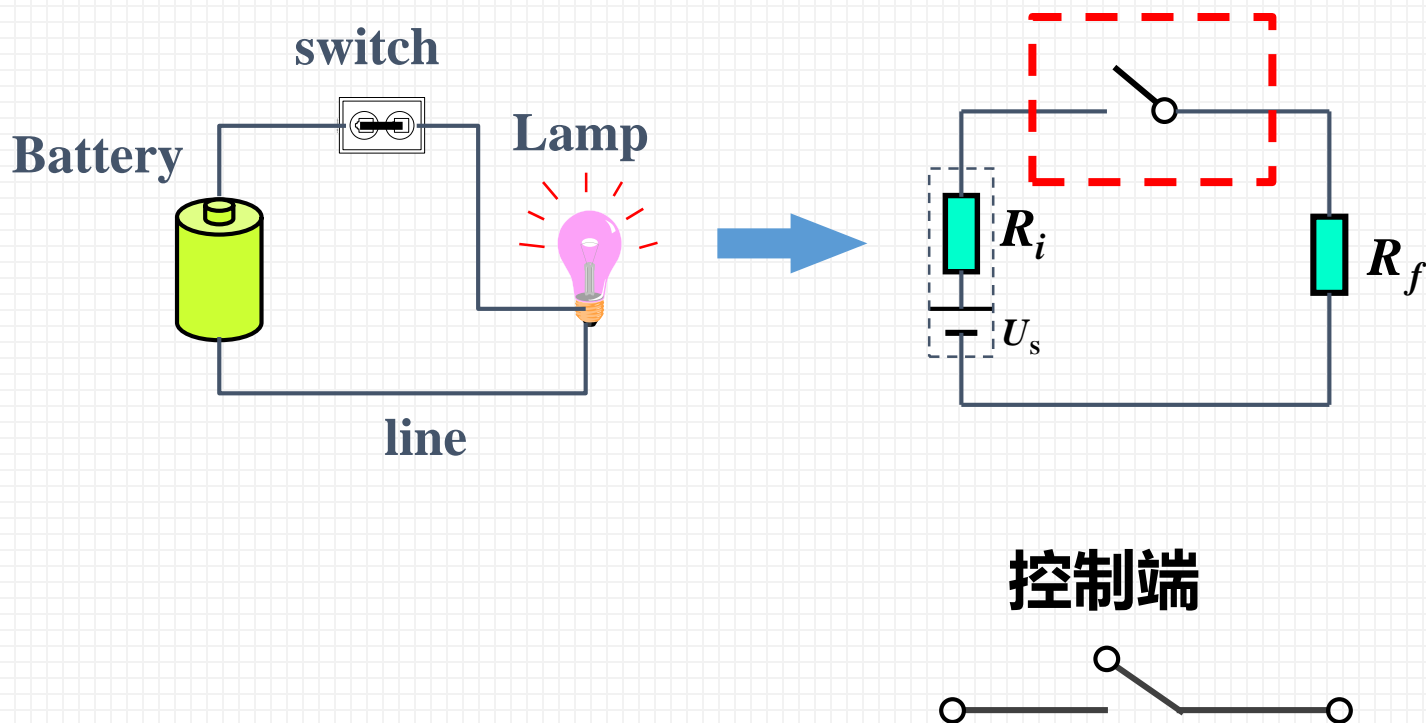
$$p_{\text{发}} = ui = u i_S$$

$$p_{\text{吸}} = -ui = -u i_S$$



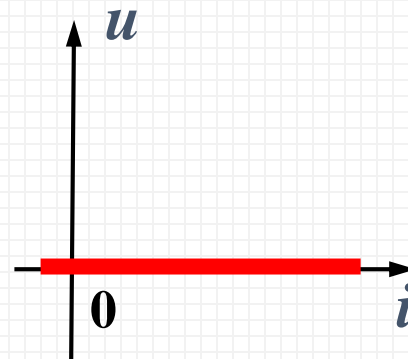
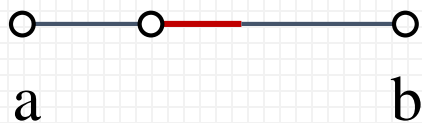
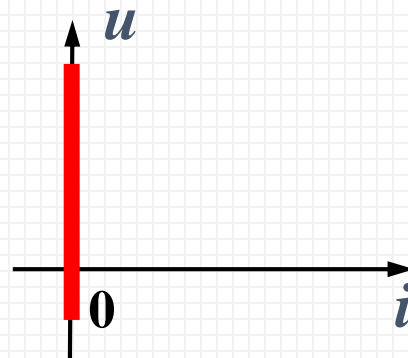
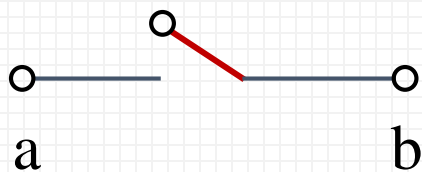
三、受控元件(dependent elements)

1、受控电阻 - 开关





理想开关的 $u-i$ 特性



非理想力控开关的 $u-i$ 特性?

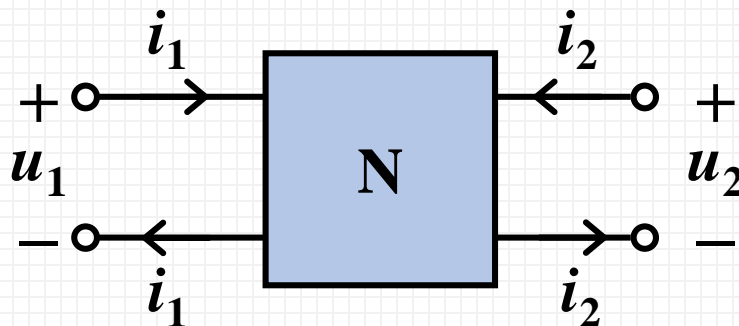
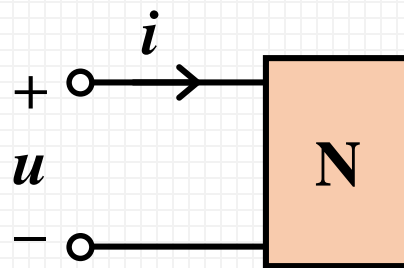
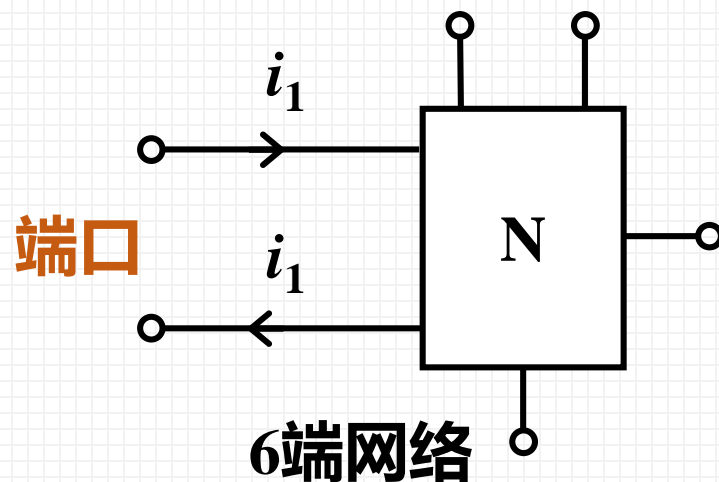
端口 (port)

端口由两个接线端构成，且满足如下条件：**从一个接线端流入的电流等于从另一个接线端流出的电流。**

端口条件

一端口网络：对外只有一个端口的网络，即**二端网络**

二端口网络：对外有二个端口的网络(L7)





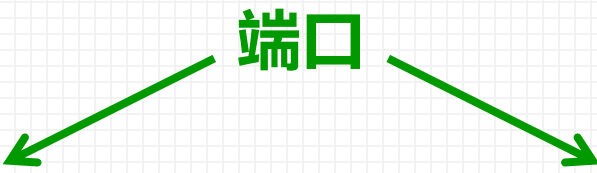
2、受控电源 (Dependent source)

1) 定义:

受控电压源:

端口

对外表现为**电压源**，其电压由电路中**某电压或电流**控制



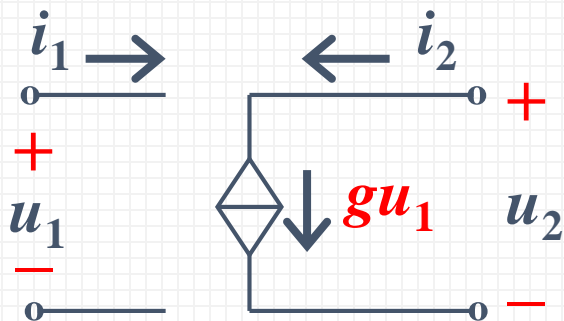
受控电流源

对外表现为**电流源**，其电流由电路中**某电压或电流**控制



2) 线性受控源的分类

(a) **压控电流源** Voltage Controlled Current Source (**VCCS**)

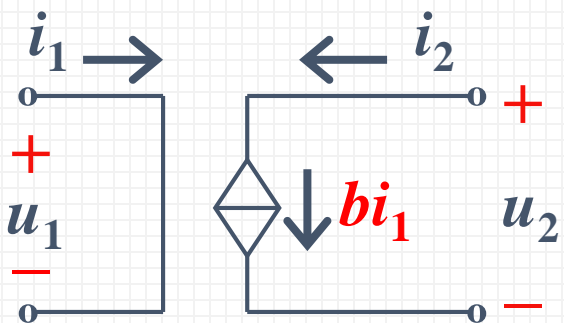


VCCS

$$\begin{cases} i_1=0 \\ i_2=gu_1 \end{cases}$$

g : 转移电导

(b) **流控电流源** Current Controlled Current Source (**CCCS**)



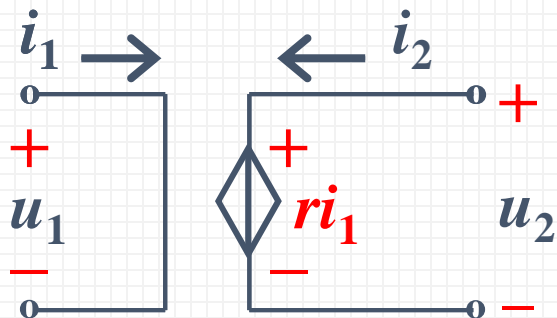
CCCS

$$\begin{cases} u_1=0 \\ i_2=bi_1 \end{cases}$$

b : 转移电流比



(c) **流控电压源** Current Controlled Voltage Source (**CCVS**)

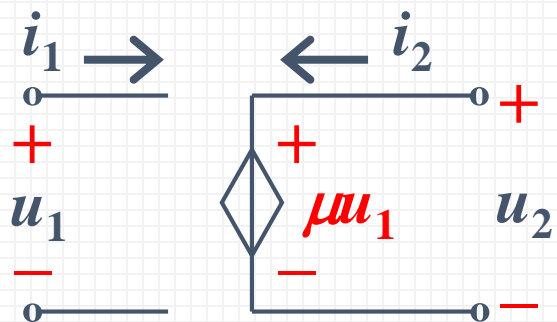


CCVS

$$\begin{cases} u_1=0 \\ u_2=ri_1 \end{cases}$$

r : 转移电阻

(d) **压控电压源** Voltage Controlled Voltage Source (**VCVS**)



VCVS

$$\begin{cases} i_1=0 \\ u_2=\mu u_1 \end{cases}$$

μ : 转移电压比

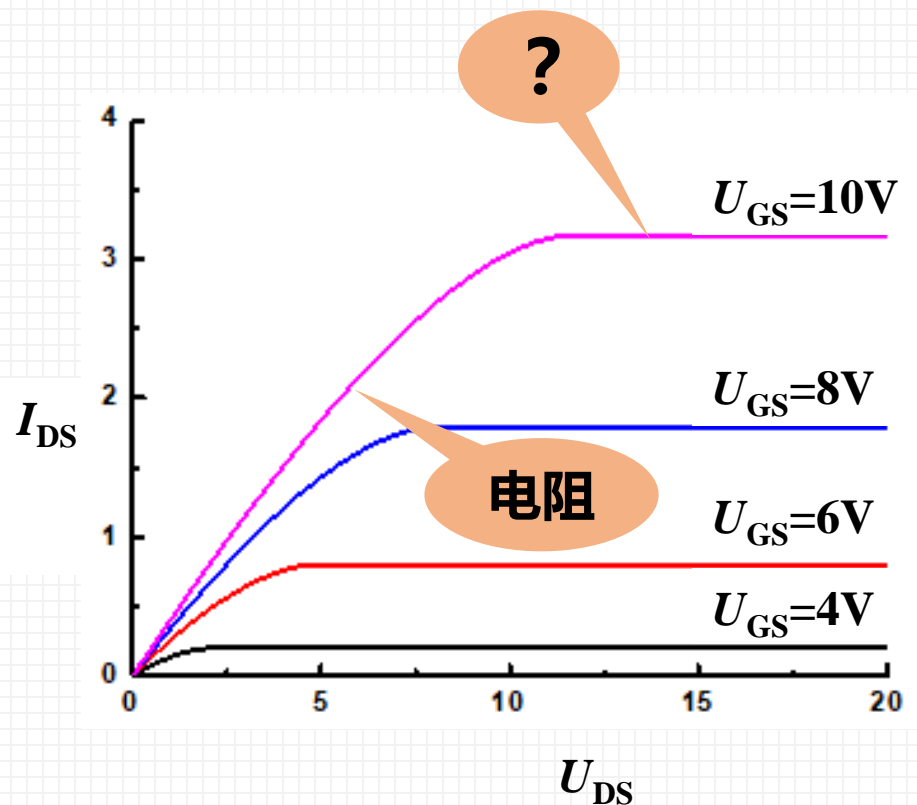
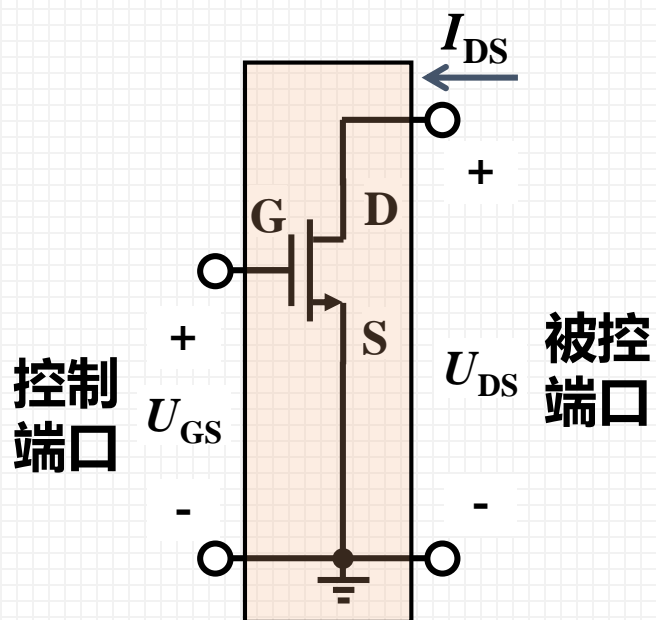


受控源与独立源的比较

- (a) **独立源**电压(或电流)由**电源本身**决定，而**受控源**电压(或电流)直接由**控制量**决定。
- (b) **独立源**是真正电路中的“**源**”，**受控源**在电路中是能量或信号处理**元件**。

一个压控电流源的实例：MOSFET

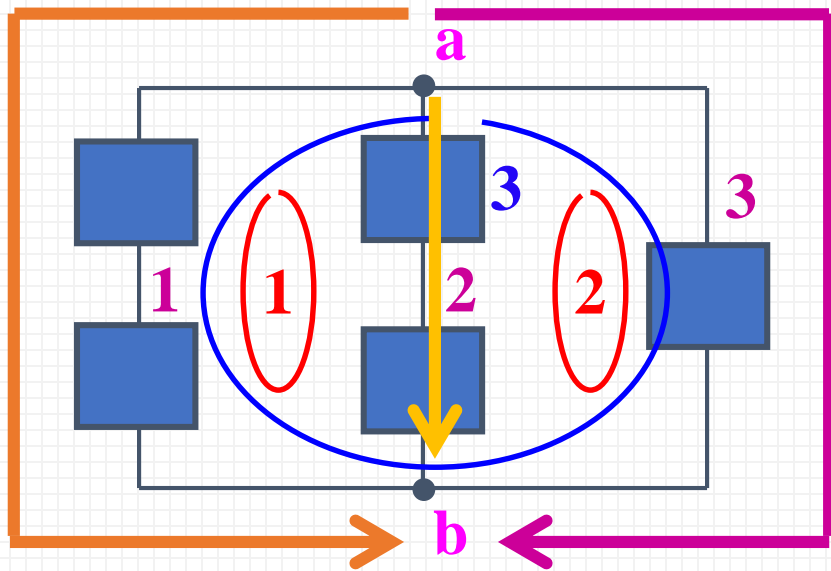
MOSFET (metal–oxide–semiconductor field-effect transistor)



四、基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Laws)

I. 术语

1. **支路branch**: 若干元件无分叉地首尾相连构成一个支路 (b)



$$b=3$$

$$n=2$$

$$l=3$$

也有教材认为

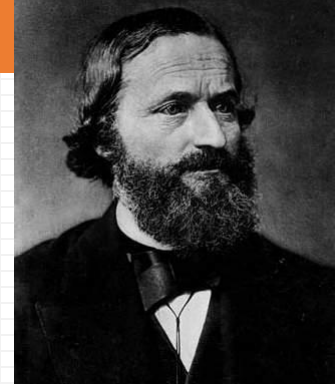
- 每个二端元件构成1条支路
- 每两个元件间的接线端构成1个节点

2. **节点node**: 3个或更多支路的连接点 (n)

3. **路径path**: 两个节点间包含的支路

4. **回路loop**: 由支路组成的闭合路径 (l)

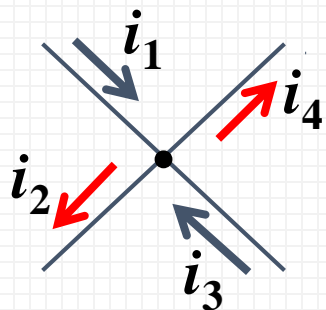
5. **网孔mesh**: 平面电路中不与其他支路相交的回路 (“网中的孔”)



Gustav Robert Kirchhoff 1845年提出

II. Kirchhoff's Current Laws **KCL**:

$$\sum i(t) = 0$$



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

$$i_1 + i_3 = i_2 + i_4$$

流出节点的电流的**代数和**为零

“**代数和**”：

流出节点电流的符号为**+**

流入节点电流的符号为**-**

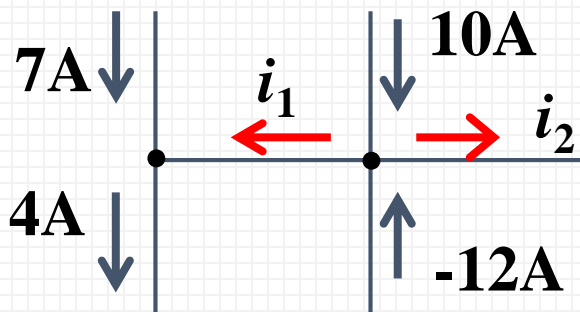
$$\sum i_{\text{in}}(t) = \sum i_{\text{out}}(t)$$

(a) 只适用于**集总参数**电路(阅读教材1.6节)

(b) 对于用参考方向表示的电流依然有效



例



$$4 - 7 - i_1 = 0$$

$$4 = 7 + i_1$$

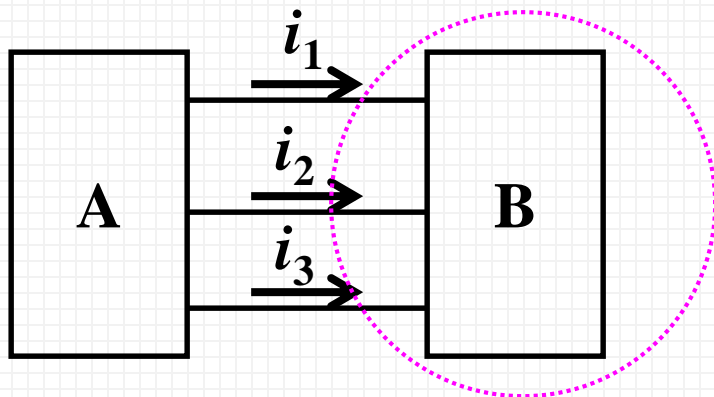


$$i_1 = -3\text{A}$$



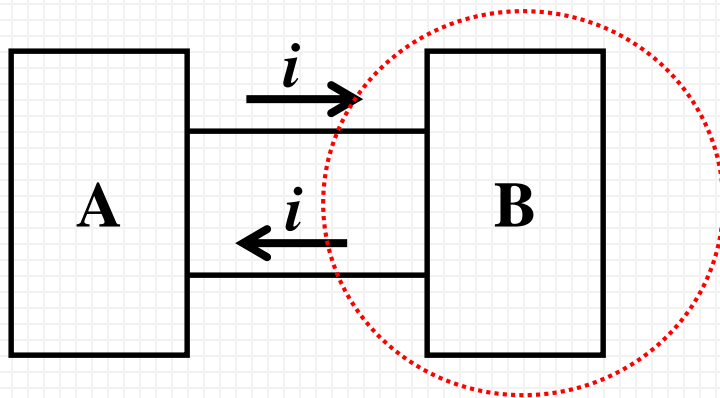
广义 KCL

3端网络

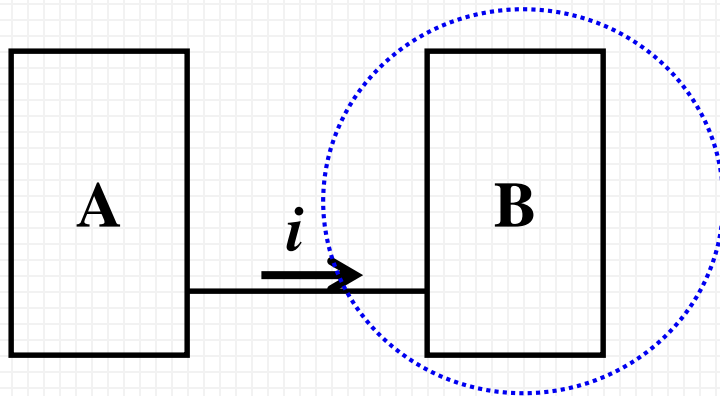


$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

2端网络



1端网络

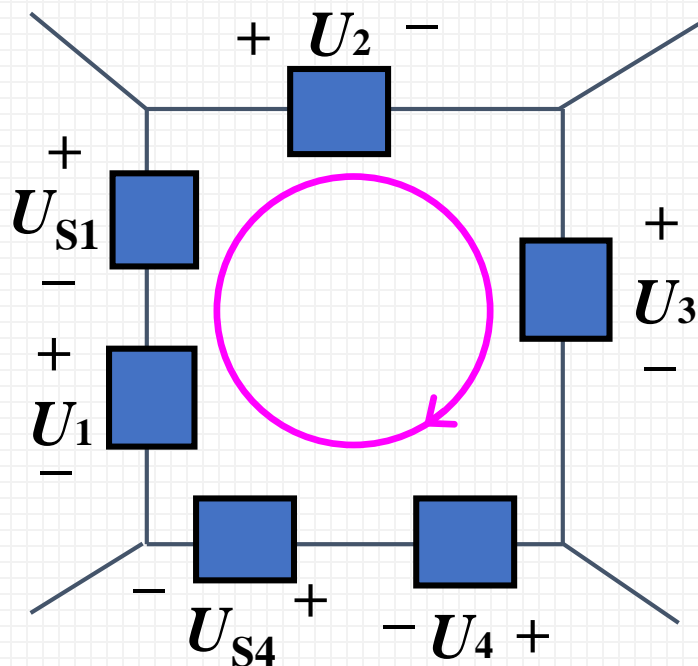


$$i = 0$$

III. Kirchhoff's Voltage Laws **KVL**: 回路中所有电压(降)的**代数和**为零。

$$\sum u(t) = 0$$

例



“代数和”：

沿着某方向(顺/逆时针)走，

先遇到 **+** 号则该电压为 **+**

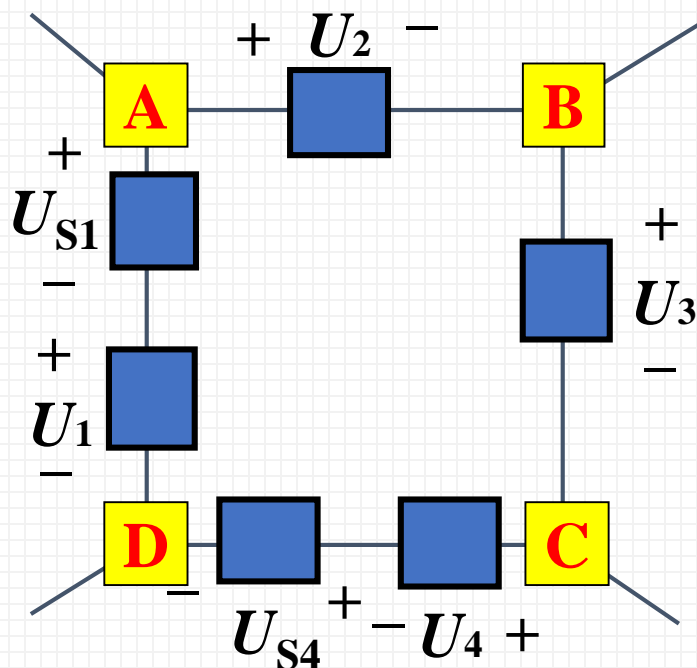
先遇到 **-** 号则该电压为 **-**

从 U_1 开始**顺时针**：

$$-U_1 - U_{S1} + U_2 + U_3 + U_4 + U_{S4} = 0$$

$$+U_2 + U_3 + U_4 + U_{S4} = U_1 + U_{S1}$$

$$\sum u_{\text{drop}}(t) = \sum u_{\text{rise}}(t)$$



$$-U_1 - U_{S1} + U_2 + U_3 + U_4 + U_{S4} = 0$$

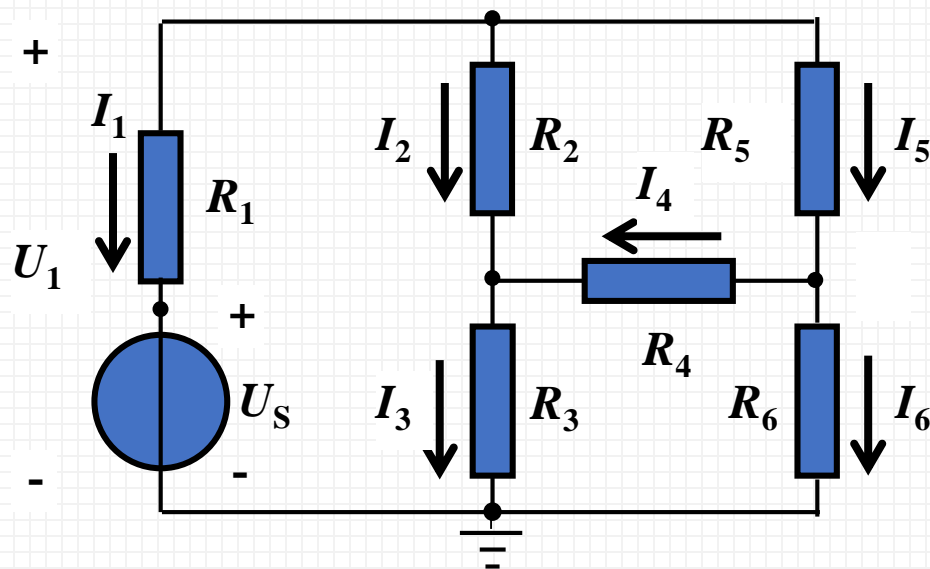
考虑某两点之间的电压降

$$U_{ABCD} = +U_2 + U_3 + U_4 + U_{S4} = U_1 + U_{S1} = U_{AD}$$

广义KVL: 电路中任意两点间的电压等于两点间任意一条路径经过的各元件电压的代数和。

五、2b法求解电路

所有支路电压与电流采用**关联**参考方向。求电流 $I_1 \sim I_6$ 。



$$b = 6$$

$$U_1 = R_1 I_1 + U_s$$

$$U_2 = R_2 I_2$$

$$U_3 = R_3 I_3$$

$$U_4 = R_4 I_4$$

$$U_5 = R_5 I_5$$

$$U_6 = R_6 I_6$$

原则上12个变量

待求解(每个支路的电压电流)

元件约束有6个方程

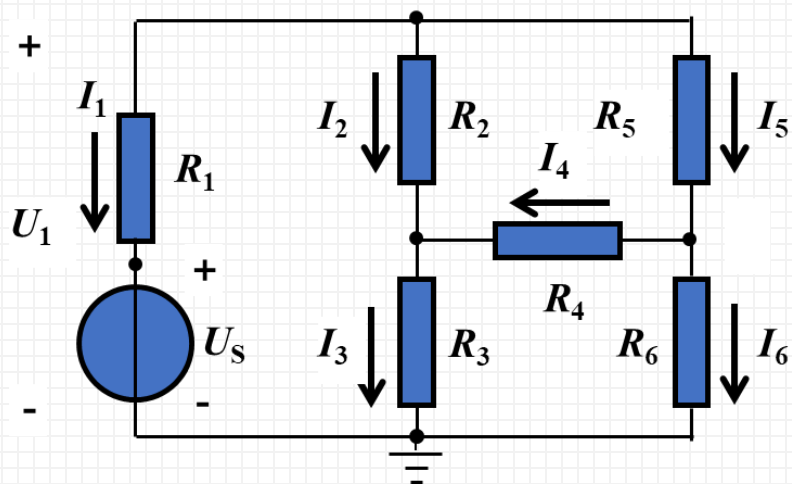


原则上需要12个独立方程

$$n=4$$

$$b=6$$

$$l=7$$



n 节点 b 支路电路

$2b$ 个未知量

$2b$ 个方程

b 个独立元件约束

$n-1$ 个独立KCL

$b-n+1$ 个独立KVL

$2b$ 法

$$I_1 + I_2 + I_5 = 0$$

$$-I_2 + I_3 - I_4 = 0$$

$$I_4 - I_5 + I_6 = 0$$

$$U_1 - U_2 - U_3 = 0$$

$$U_2 - U_4 - U_5 = 0$$

$$U_3 + U_4 - U_6 = 0$$

$$U_1 = R_1 I_1 + U_s$$

$$U_2 = R_2 I_2$$

$$U_3 = R_3 I_3$$

$$U_4 = R_4 I_4$$

$$U_5 = R_5 I_5$$

$$U_6 = R_6 I_6$$

元件约束6个方程



讨论一下2b法

- 这是一颗定心丸
- 看起来很low
- 其实并不那么low
 - 计算机的存储计算能力在飞速提升
- 后面内容的必要性
 - 手算
 - 若干对电路的认识和理解