

# 同学们好！

## 欢迎学习《电路与电子技术》

殷文斐



# 第1章 电路的基本概念与基本定律

电路的基本概念与基本定律是分析电路和计算电路的重要基础，必须很好的掌握。

## 1.1 电路与电路模型

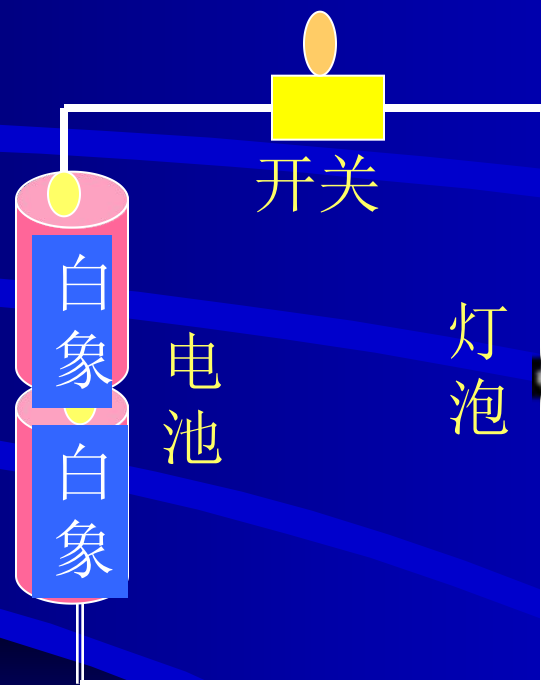
### 1.1.1 电路

各种电器元件(电源、开关、负载等)，按一定的方式连接起来，所构成的电流通路。

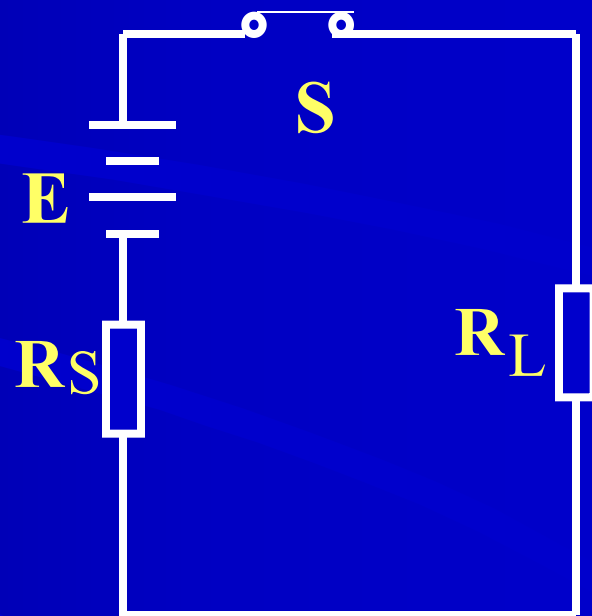
它能传送、处理及放大信号；存贮信息、数据；测量及提供电能等。

## 1.1.2 电路模型

- 各种实际部件都可以用模型来近似表示它的性能。



实际模型

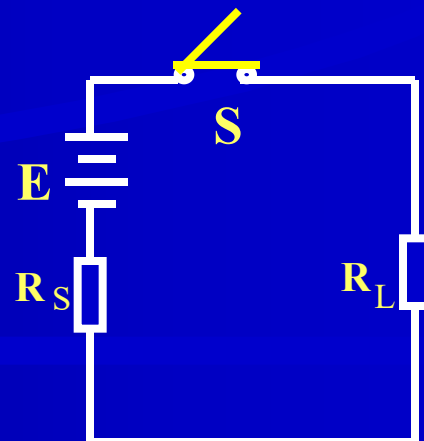


电路模型

# 1.2 电路的基本变量

## 1.2.1 电流及其参考方向

电流产生的必要条件是电路必须是闭合路径。

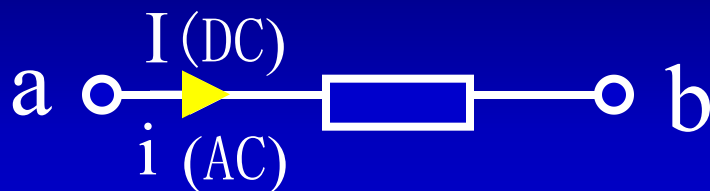


单位时间内通过导体截面的电量为电流。
$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$

电流方向：正电荷移动的方向。

电流的单位：安培(A)  $1\text{A}=1000\text{mA}$   $1\text{mA}=1000\mu\text{A}$

电流参考方向





参考方向与真实方向的关系

计算	{	>0 一致
结果		<0 相反

例：如何表示1A的电流从a点流向b点。

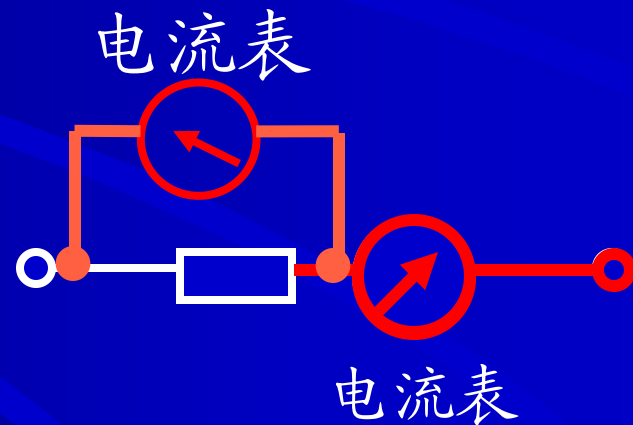


解： a o  $\xrightarrow{I_1}$   o b  $I_1=1A$

a o  $\xleftarrow{I_2}$   o b  $I_2=-1A$

## 电流的测量

电流表要 **串联** 接入  
被测量支路



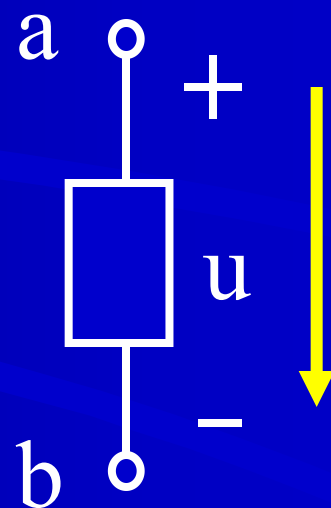
## 1.2.2 电压及其参考方向

单位正电荷从 a 点移到 b 点所获得的能量  $u(t) = \frac{dw}{dq}$

电压极性：高电位指向低电位，  
即电压降方向。

电压的单位：伏特 (V)

1V=1000mV    1mV=1000uV




参考方向与真  
实方向的关系

计算  
结果  $\begin{cases} >0 & \text{一致} \\ <0 & \text{相反} \end{cases}$

例：如何表示出正电荷由a点移到b点，

a~b两点间的电压为1V。

a o  o b

解：a o  o b

$U_1 = 1V$

+  $U_1$  -

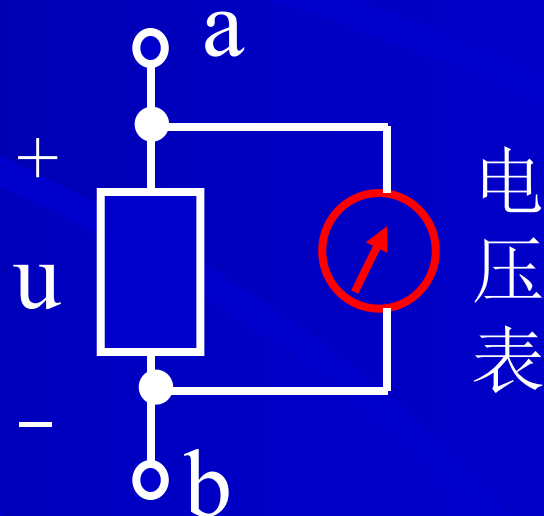
a o  o b

$U_2 = -1V$

-  $U_2$  +

## 电压的测量

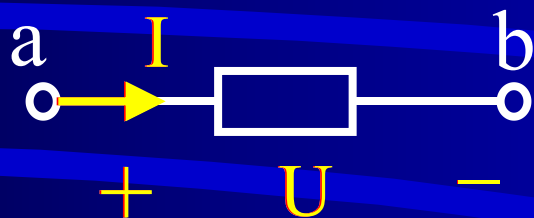
电压表应**并联在**被测元件两端



# 1.2.3 关联参考方向

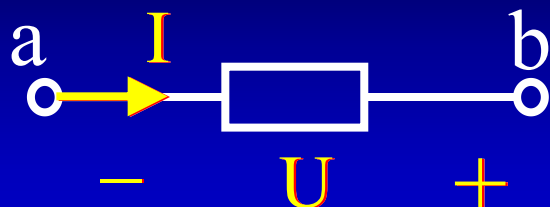
## 1. 关联参考方向

电流与电压降的参考方向一致

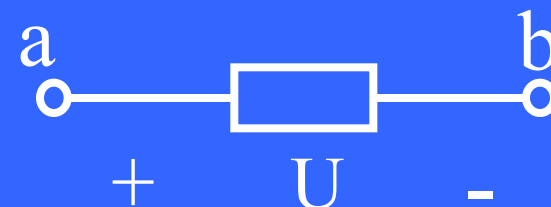


## 2. 非关联参考方向

电流与电压降的参考方向相反



## 关联参考方向





## 1.2.4 功率和效率

单位时间内吸收或产生的电能  $p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = u \times i$

功率的单位：瓦特 (w)

$$1\text{w} = 1000\text{mw} \quad 1\text{mw} = 1000\mu\text{w}$$

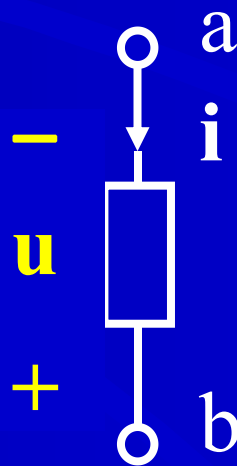
根据关联方向判定功率的吸收和产生

关联：

$$p = u \times i = \begin{cases} >0 & \text{吸收功率} \\ <0 & \text{产生功率} \end{cases}$$

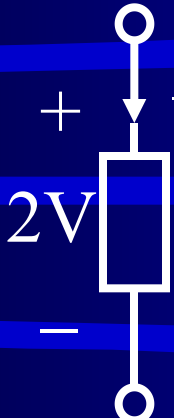
非关联：


$$p = -u \times i = \begin{cases} >0 & \text{吸收功率} \\ <0 & \text{产生功率} \end{cases}$$



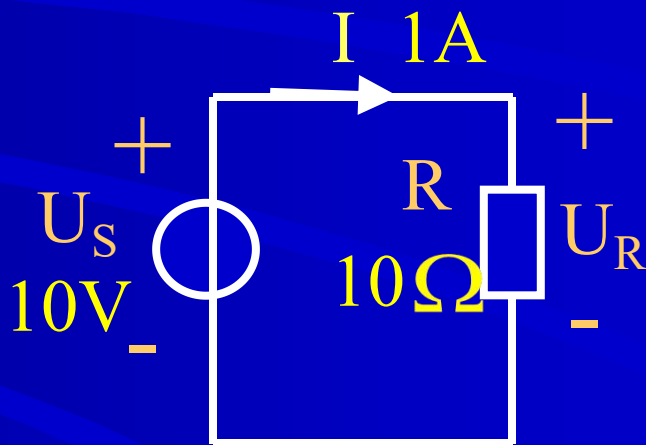
**例：**求各元件的功率。

**解：**


$$p = U \times I$$
$$= 2 \times (-3)$$
$$= -6\text{W}$$


$$p = -U \times I$$
$$= -2 \times 3$$
$$= -6\text{W}$$

**例：**在同一个电路中吸收的功率和产生的功率总是平衡的。



**解：**电阻元件  $P_R = U_R \times I = 10 \times 1 = 10\text{W}$  (吸收)

电压源  $P_S = -U_S \times I = -10 \times 1 = -10\text{W}$  (产生)

$$\therefore P_S + P_R = 0$$

# 1.3 基尔霍夫定律

## 名词介绍

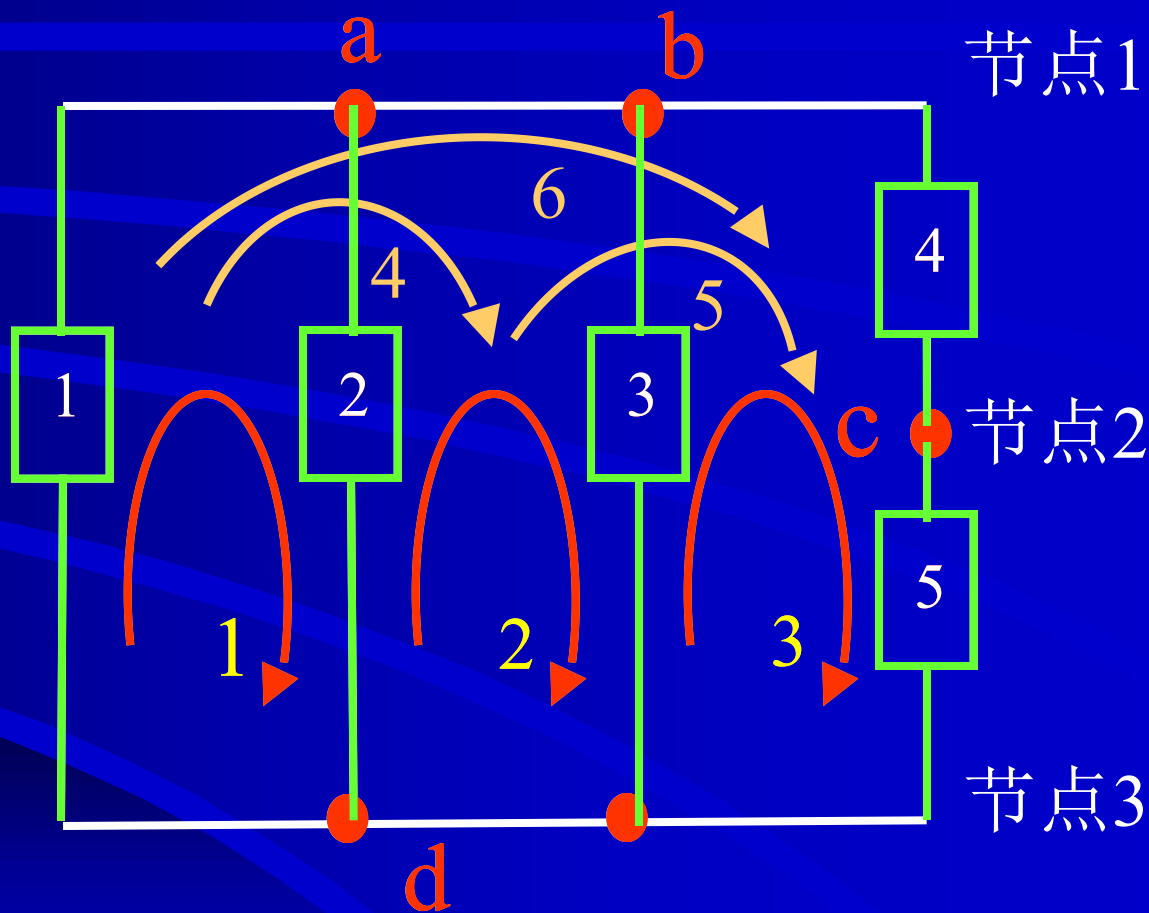
1. 支路

2. 节点

3. 回路

4. 网孔

5. 网络



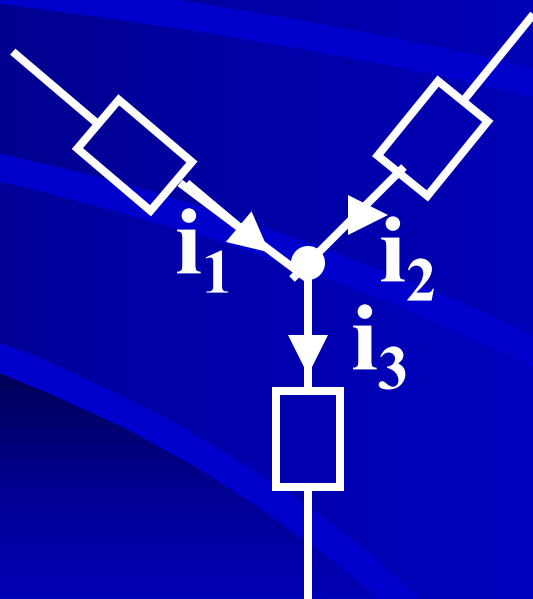
6个回路

3个网孔

## 1.3.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)

对于任一电路中的任一节点，在任一时刻，流出（或流入）该节点的所有支路电流的代数和为零。

$$\sum_{K=1}^K i_k = 0$$

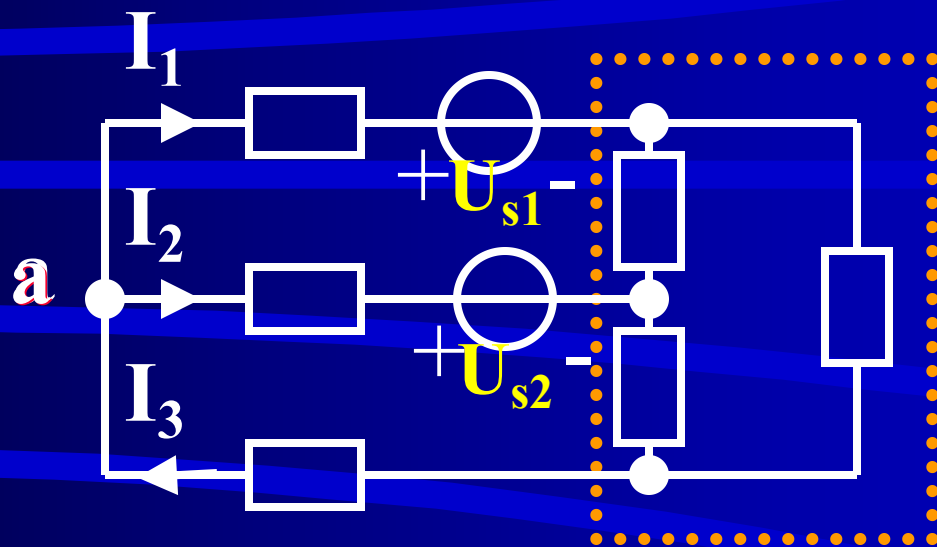


$$i_1 + i_2 - i_3 = 0$$

$$\sum i_{\text{进}} = \sum i_{\text{出}}$$

$$i_1 + i_2 = i_3$$

**KCL**适用于节点，也适用于封闭面。



节点 **a**:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

节点 **b**:

$$I_3 - I_2 - I_1 = 0$$

列KCL方程时应注意:

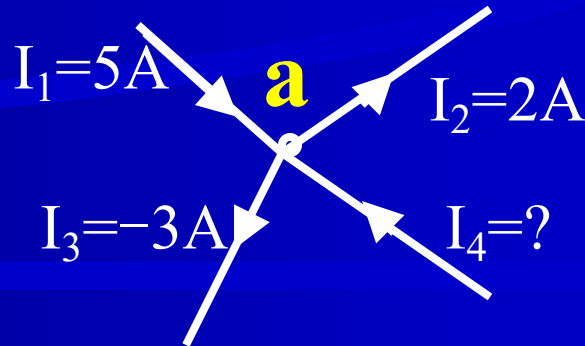
1. 先标出所有电流的参考方向;
2. 若取流入的电流为正, 则流出的电流为负;  
若取流入的电流为负, 则流出的电流为正;
3. 定律与元件的性质无关。

例：求  $I_4 = ?$

解：根据KCL定律：

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 = 0$$

$$\therefore I_4 = I_2 + I_3 - I_1 = 2 + (-3) - 5 = -6\text{A}$$

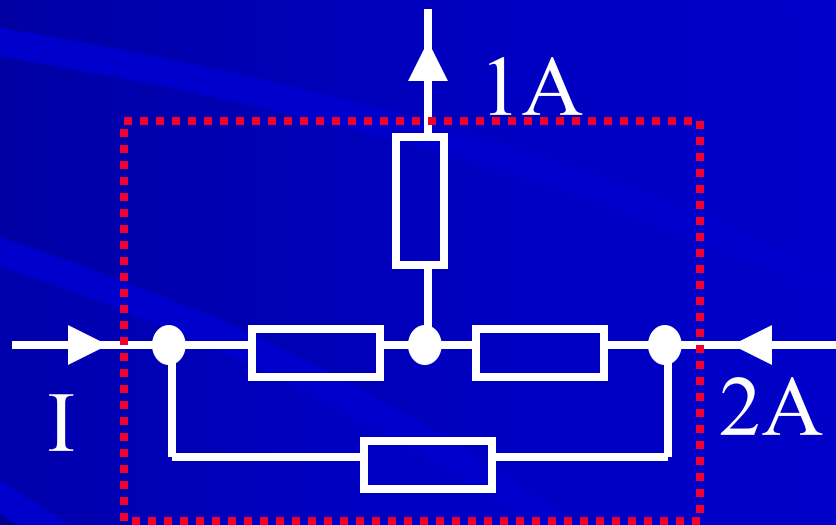


例7：求  $I = ?$

解：根据KCL定律：

$$I + 2 - 1 = 0$$

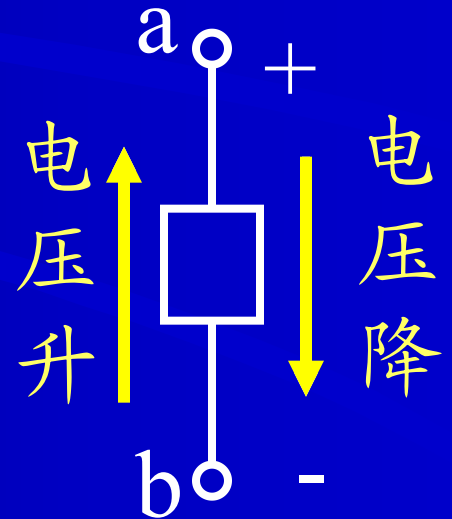
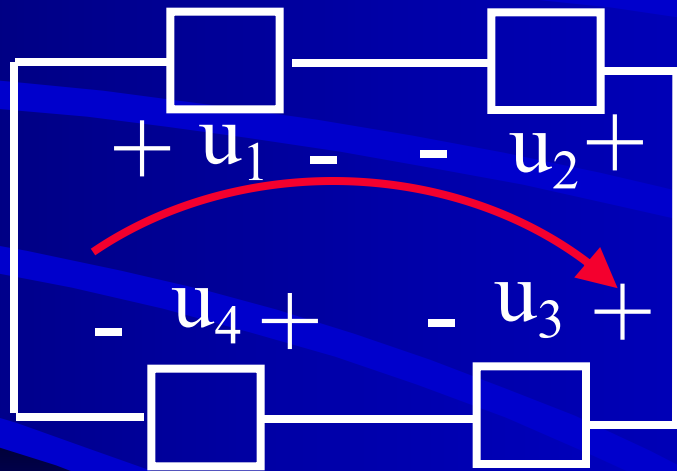
$$\therefore I = -1\text{A}$$



## 1.3.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)

对于任一电路中的任一回路，在任一时刻，沿着该回路的所有支路电压降的代数和为零。

$$\sum_{K=1}^K u_k = 0$$



$$\sum_{K=1}^K \text{电压降} - \text{电压升} = 0 \text{ 或: } \sum_{K=1}^K \text{电压降} = \sum_{K=1}^K \text{电压升}$$

例8: 求 $U_5$ 的值。

解: 先画绕行方向

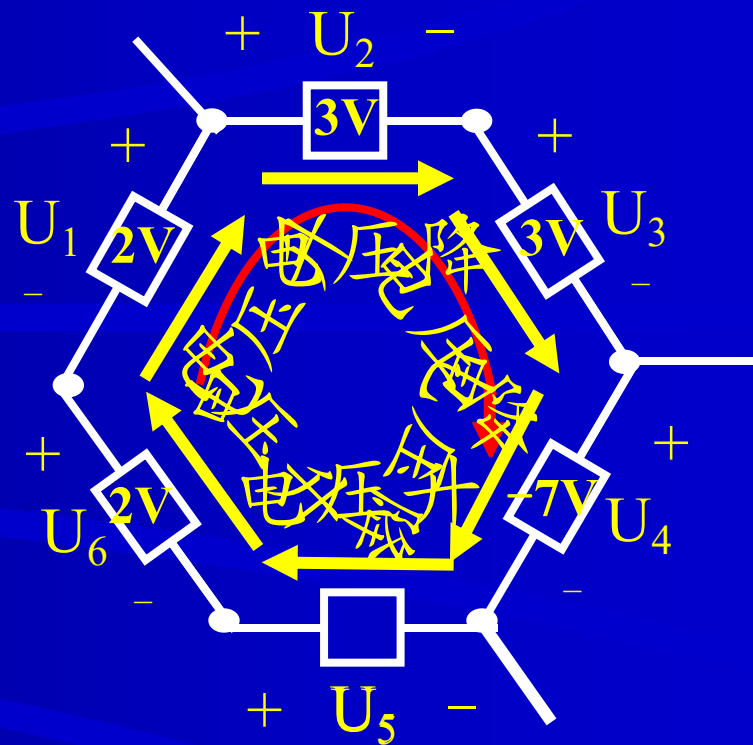
根据KVL:

$$-U_1 + U_2 + U_3 + U_4 - U_5 - U_6 = 0$$

$$-(2) + (3) + (3) + (-7) - U_5 - (2) = 0$$

$$\therefore U_5 = -5V$$

$$\text{或: } \underbrace{U_2 + U_3 + U_4}_{\text{电压降}} = \underbrace{U_1 + U_5 + U_6}_{\text{电压升}}$$





例9: 求a、b两点间的电压。

解: (1) 沿上边路径

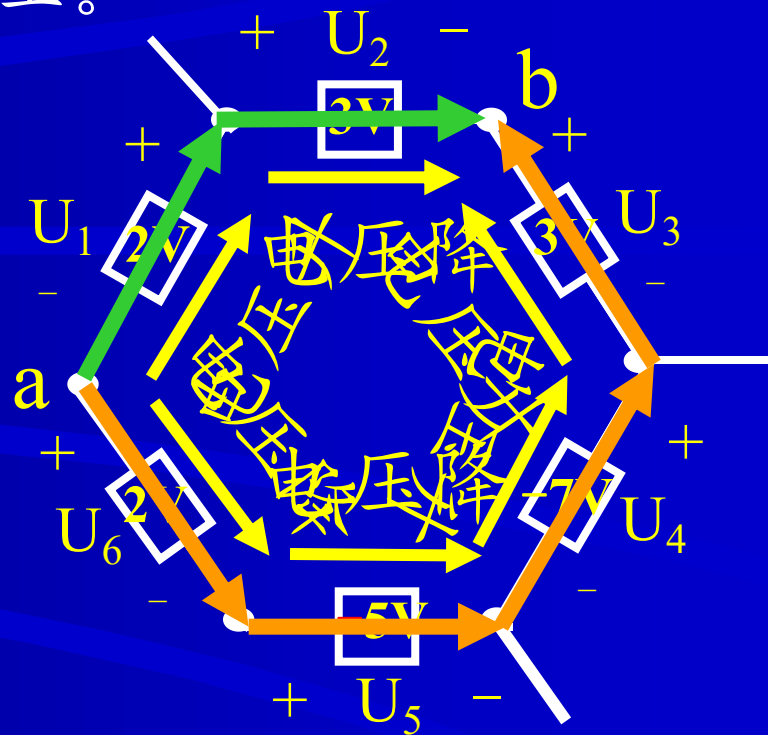
$$U_{ab} = -U_1 + U_2$$

$$= -(2) + (3) = 1V$$

(2) 沿下边路径

$$U_{ab} = U_6 + U_5 - U_4 - U_3$$

$$= (2) + (-5) - (-7) - (3) = 1V$$

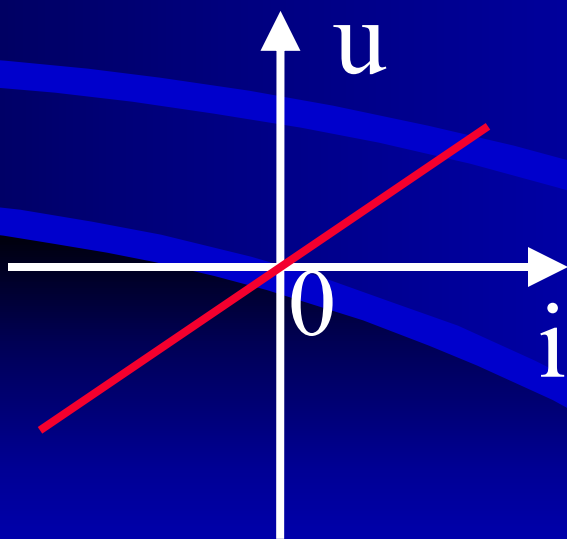


电压和路径无关

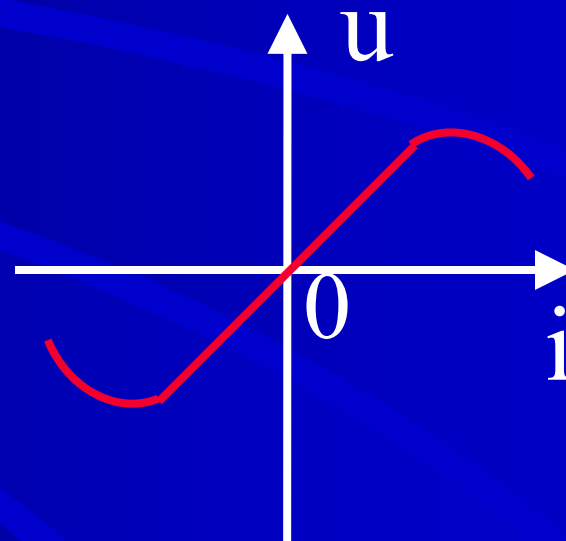
# 1.4 电阻元件

## 1.4.1 电阻元件定义

任何一个二端元件，如果在任一时刻电压和电流之间的关系可以由 $u$ - $i$ 平面上一条曲线所决定，不论电压或电流的波形如何，则此二端元件为电阻。



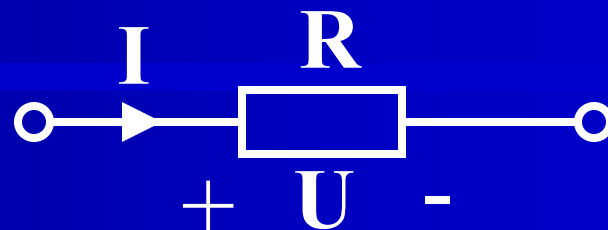
线性电阻



非线性电阻

# 电阻元件的特性

1. 耗能元件



2. 无记忆元件

$$U = R \times I \quad \text{关联}$$

3. 电阻的单位是欧姆 ( $\Omega$ )

$$1\text{k}\Omega = 1000\Omega; \quad 1\text{M}\Omega = 1000\text{k}\Omega$$

4. 电导:  $G = 1/R$ , 单位 (S),  $U = I/G$

## 1.4.2 电阻元件的功率

单位:

$$P_R = U \times I = I^2 \times R = U^2 / R \quad (1)$$

W V A  $\Omega$

$I \times R$     $U/R$

**电阻额定值** (工作时不能超过的值)

**例10:** 已知:  $R=100 \Omega$  ,  $P=1\text{w}$

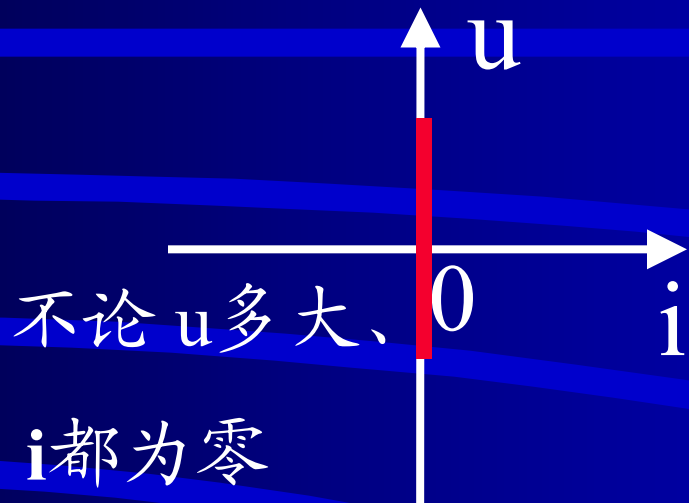
求: 额定值  $U$ 、 $I$ 。

**解:** 由(1)式:  $I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{100}} = 0.1\text{A} = 100\text{mA}$

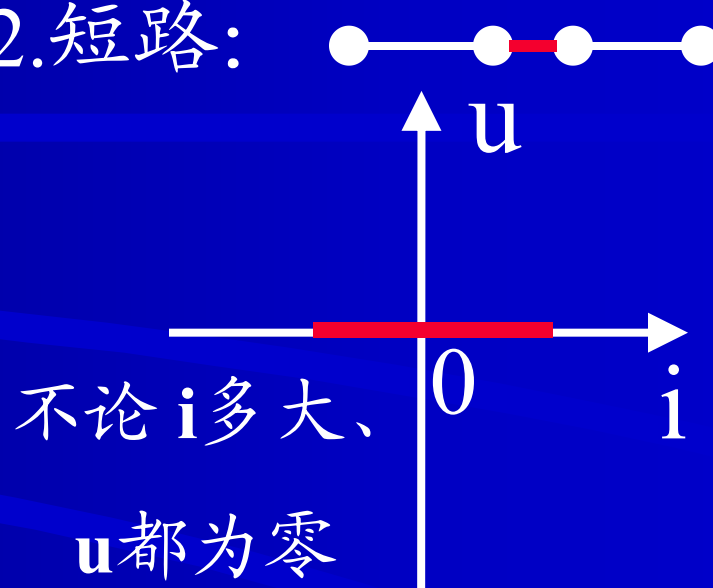
$$U = I \times R = 0.1 \times 100 = 10\text{V}$$

# 1.4.3 开路和短路

1.开路:



2.短路:



电路

开路

电路

短路

# 1.5 独立电源

## 1.5.1 理想电压源

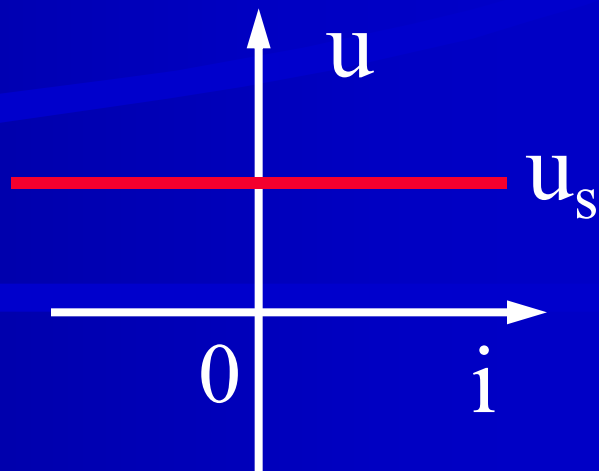
一个元件在其两端总能保持一定的电压而不论流过的电流为多少。(理想)电压源

### 性质

1. 它的端电压是定值 $U_s$ 或是一定的时间函数 $u_s(t)$ , 与流过的电流无关。
2. 电压源的电压是由它本身确定, 流过它的电流是任意的。

# 伏安特性: (VAR)

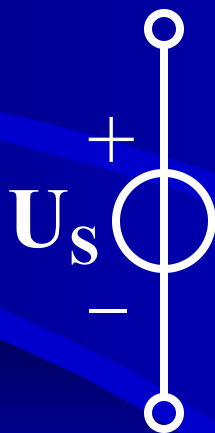
(电压与电流之间的关系)



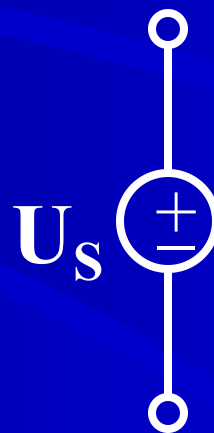
## 符号



直流电源



一般电源

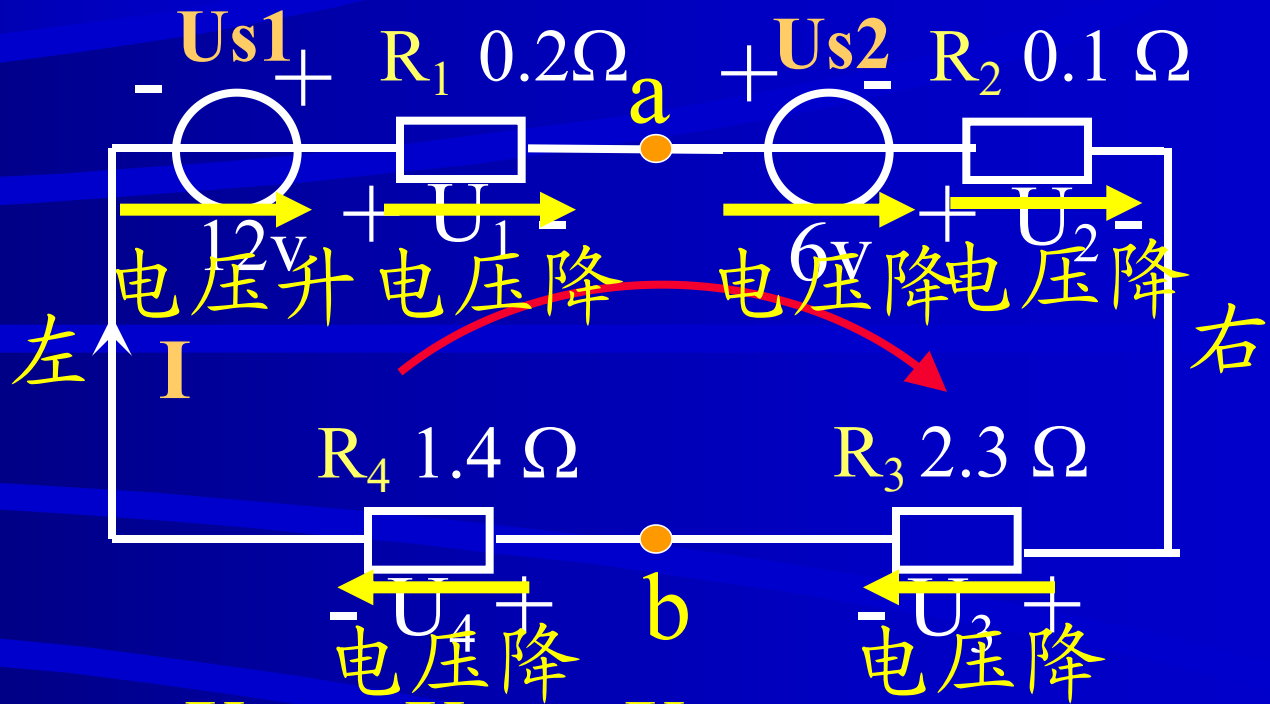


老式符号

例11:

求(1)电流  $I$ ;

(2)电压  $U_{ab}$ 。



解: (1) 由KVL:

$$-U_{S1} + U_1 + U_{S2} + U_2 + U_3 + U_4 = 0$$

$$R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I + R_4 \cdot I = U_{S1} - U_{S2}$$

$$I (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = U_{S1} - U_{S2}$$

$$I = \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 1.5 A$$

(2) 右边路径:  $U_{ab} = U_{S2} + U_2 + U_3 = 9.6 V$

电压和路径无关

左边路径:  $U_{ab} = -U_1 + U_{S1} - U_4 = 9.6 V$

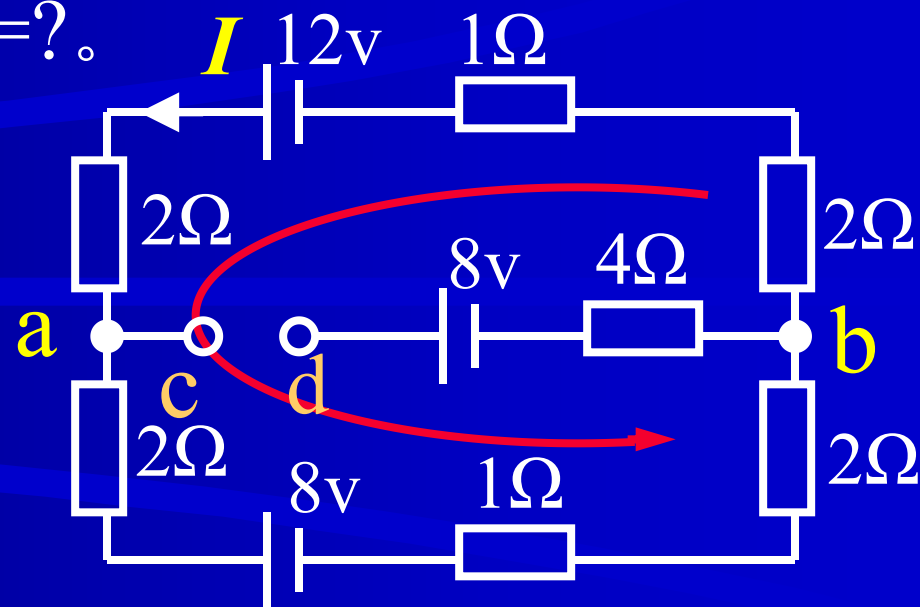


例12: 求 $I=?$ 、 $U_{ab}=?$ 、 $U_{cd}=?$ 。

解: (1). 由KVL:

$$\sum \text{电压降} = \sum \text{电压升}$$

$$\sum I \times R = \sum U_s$$



$$(1+2+2+1+2+2)I=12-8; \rightarrow 10I=4; \rightarrow I=0.4A$$

$$(2). U_{ab\text{下}}=2I+8+1I+2I=5I+8=5(0.4)+8=10V$$

$$U_{ab\text{上}}=-2I+12-1I-2I=12-5I=12-5(0.4)=10V$$

$$(3). U_{cd}=U_{ab}+U_{bd}=10+(-8)=2V$$

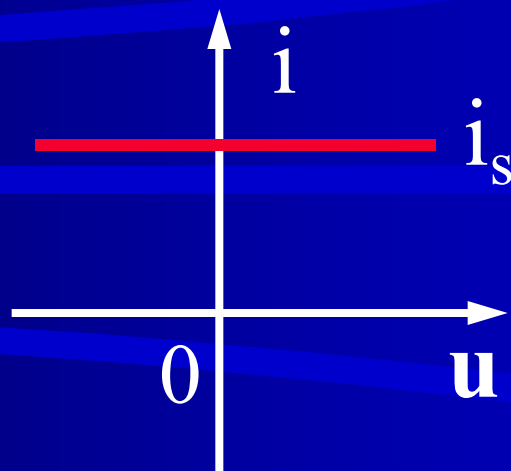
## 1.5.2 理想电流源

一个元件不论其端电压是多少，其输出电流总能保持定值。

### 性质

1. 它发出的电流是定值  $I_S$ , 或是一定的时间函数  $I_S(t)$ , 与两端的电压无关。
2. 电流源的电流是由它本身确定，它的端电压是任意的, 由外电路决定。

伏安特性: (VAR)



符号:



新式符号

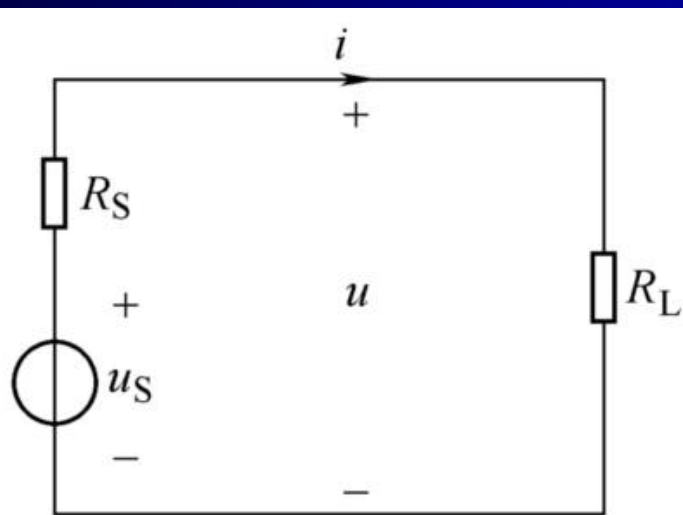


老式符号

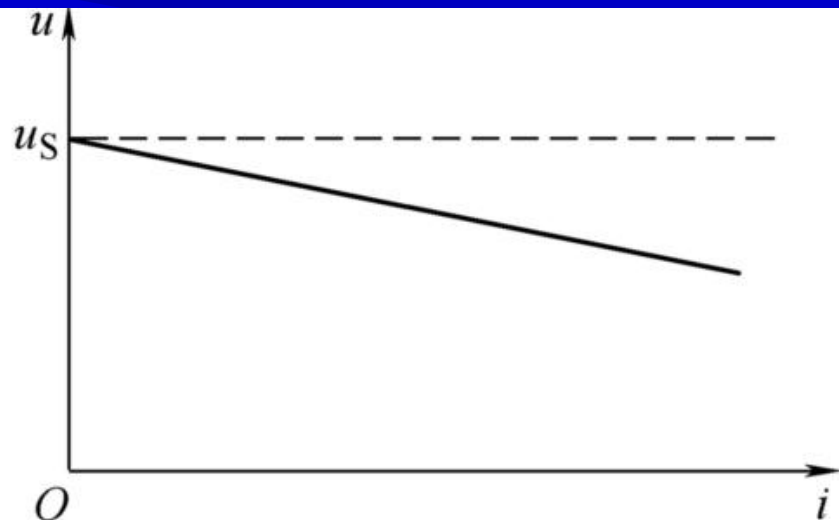
## 1.5.3 实际电源模型

电源都有内阻，所以理想的电压源和理想的电流源并不存在。当实际电源接入负载后，电压源两端的电压、电流源支路上的电流都会有所变化。

### 实际电压源模型

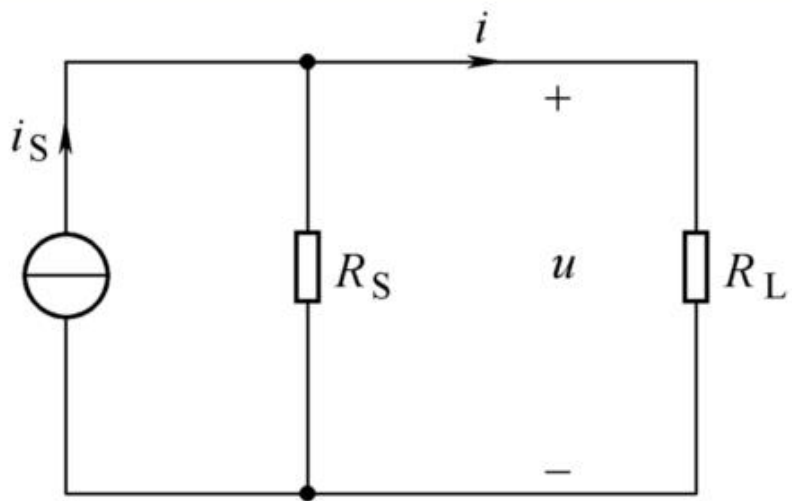


a) 实际电压源模型

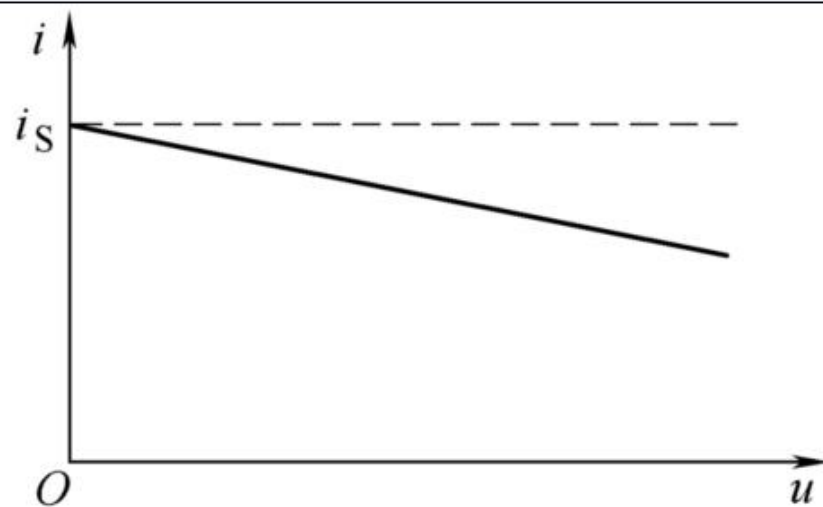


b) 伏安特性曲线

# 实际电流源模型

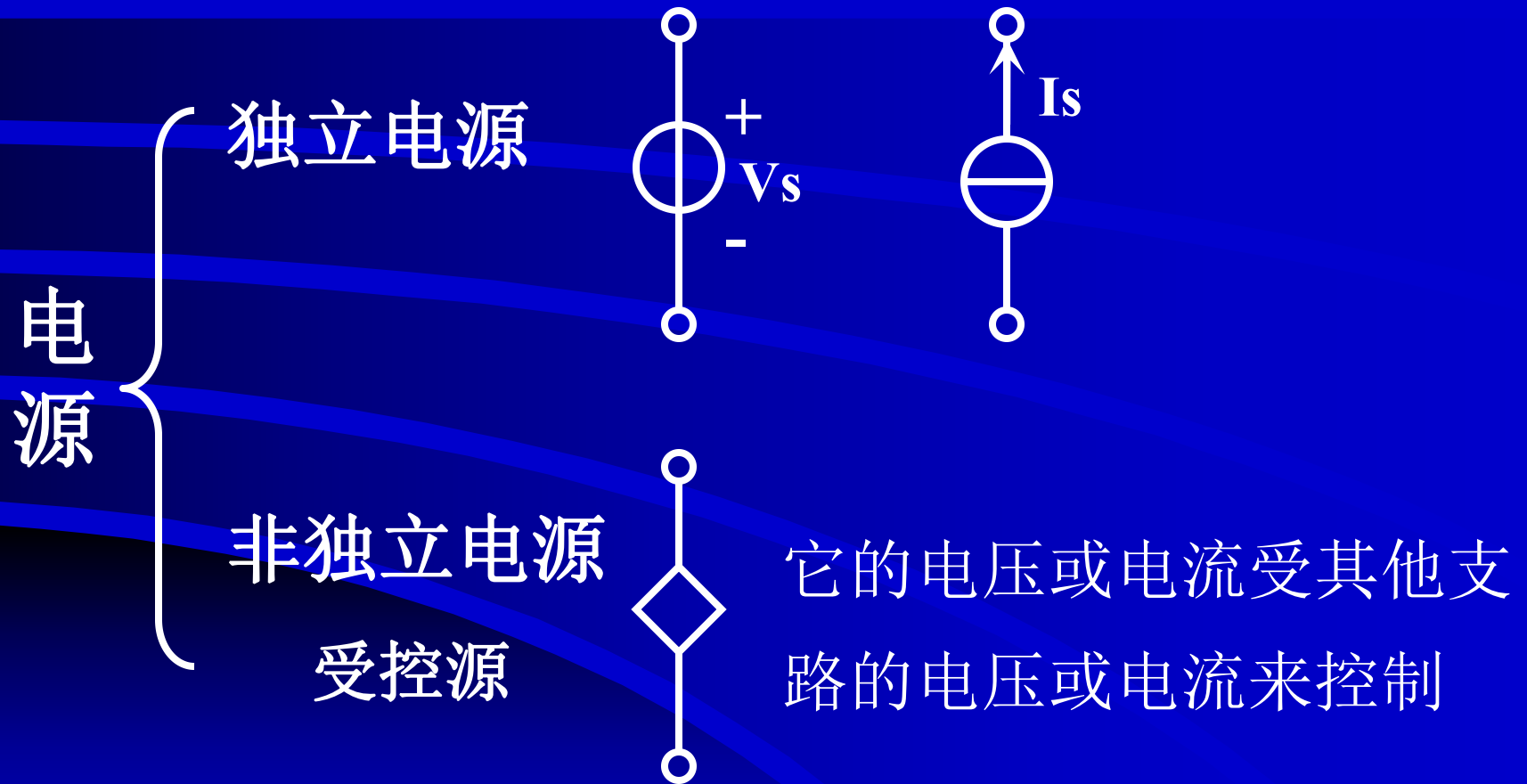


a) 实际电流源模型



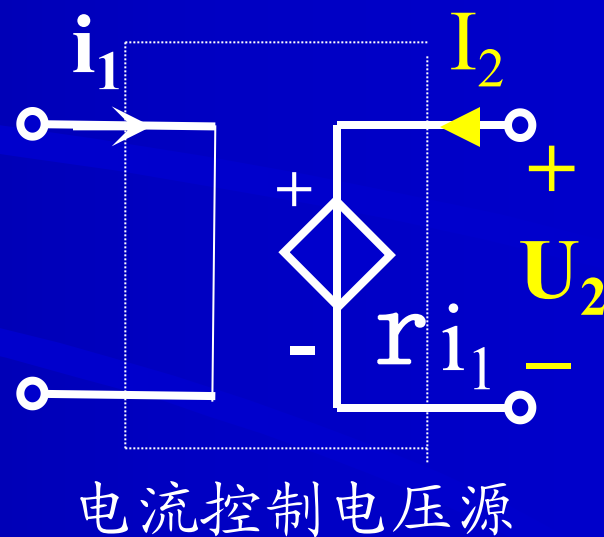
b) 伏安特性曲线

## 1.6 受控电源

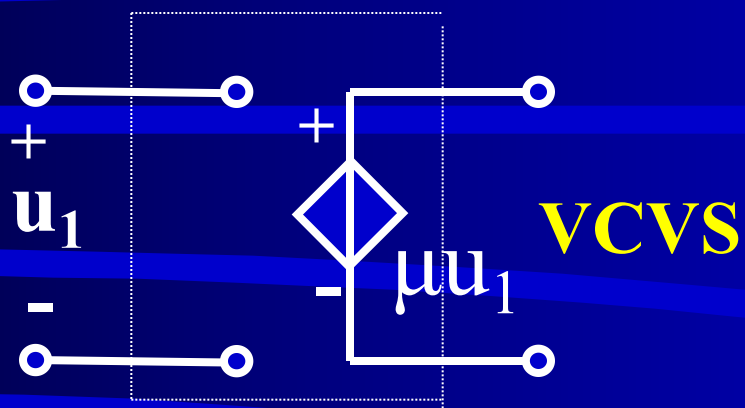


## 1.6.1 受控源的性质

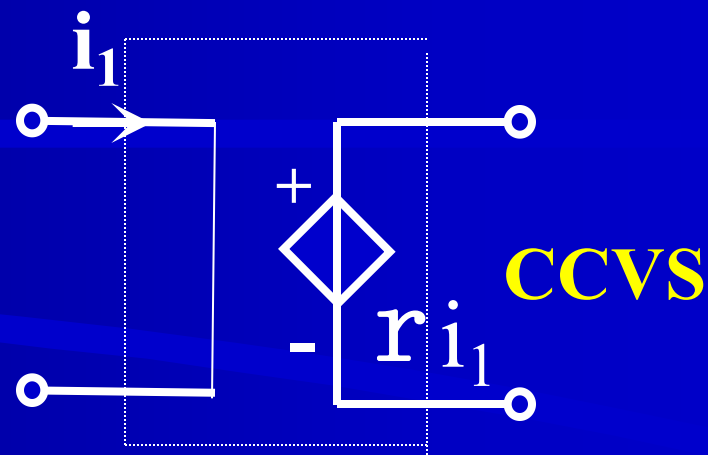
1. 受控源是双口元件，由控制支路、受控支路组成。
2. 受控源不能独立存在，若控制量为零，输出也为零。
3. 控制量改变方向时，受控源输出也改变方向。
4. 受控源的功率由受控支路计算。  
$$P = I_2 \cdot U_2$$



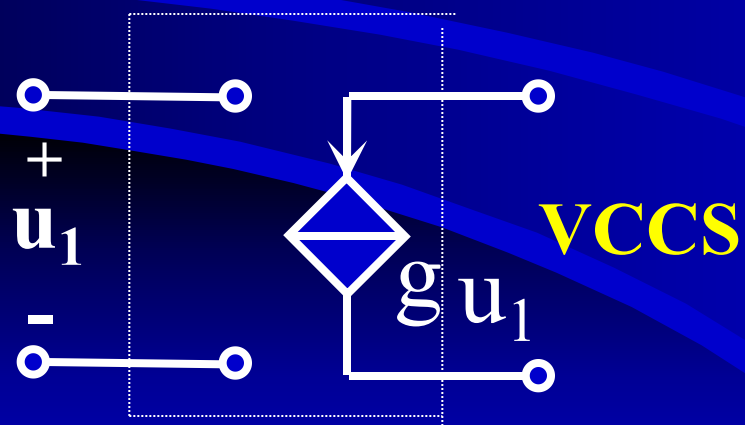
# 受控源的分类



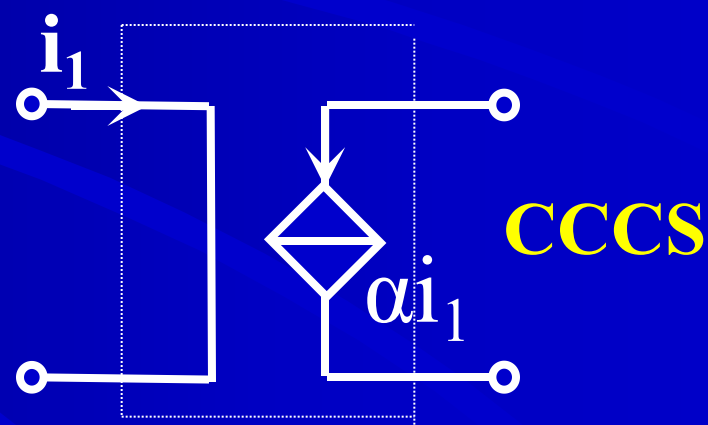
电压控制电压源



电流控制电压源



电压控制电流源



电流控制电流源



**例13:** 求各支路电流和各元件的功率。

**解:** 由KVL:

回路 1:  $5I_1 - 10I_1 - 1 = 0$

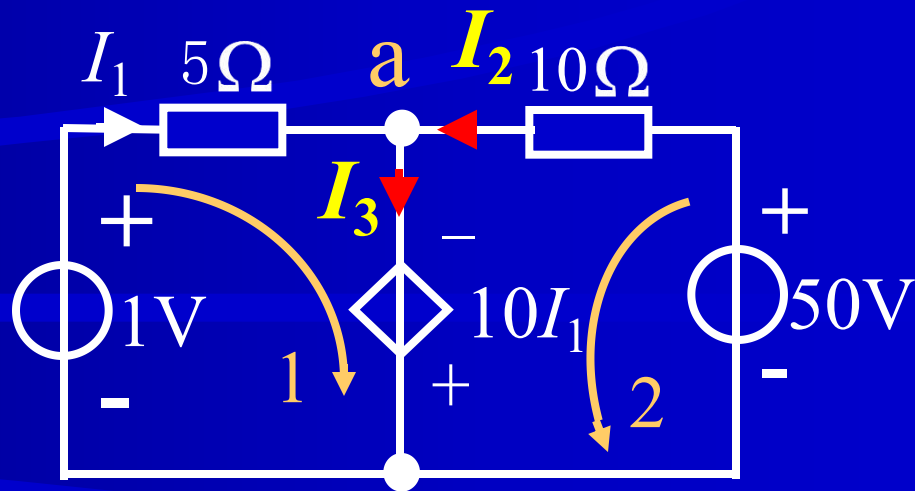
所以:  $I_1 = -0.2\text{A}$

回路 2:  $10I_2 - 10I_1 - 50 = 0$

所以:  $I_2 = 4.8\text{A}$

由KCL:

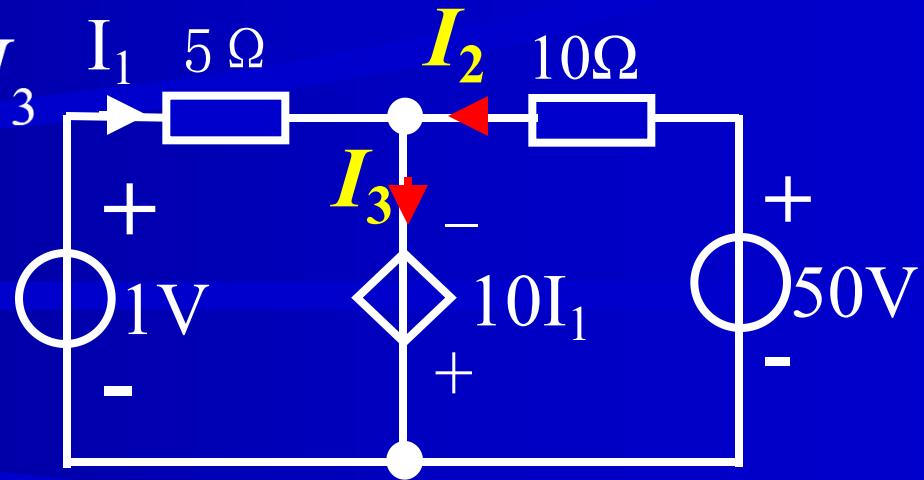
节点 a:  $I_3 = I_1 + I_2 = 4.6\text{A}$



$$P_{50V} = -UI = -50 \cdot 4.8 = -240\text{W} \text{ (产生)}$$

$$P_{1V} = -UI = -1 \cdot (-0.2) = 0.2\text{W} \text{ (吸收)}$$

$$\begin{aligned}
 P_{10I_1} &= -U \cdot I = -10I_1 \cdot I_3 \\
 &= -10 \cdot (-0.2) \cdot 4.6 \\
 &= 9.2\text{W} \quad (\text{吸收})
 \end{aligned}$$



$$P_{5\Omega} = 5I_1^2 = 5(-0.2)^2 = 0.2\text{W} \quad (\text{吸收})$$

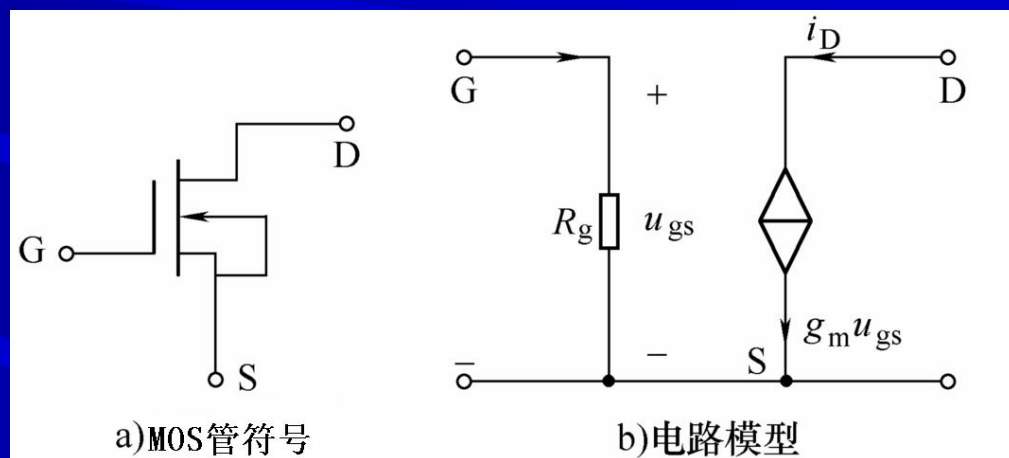
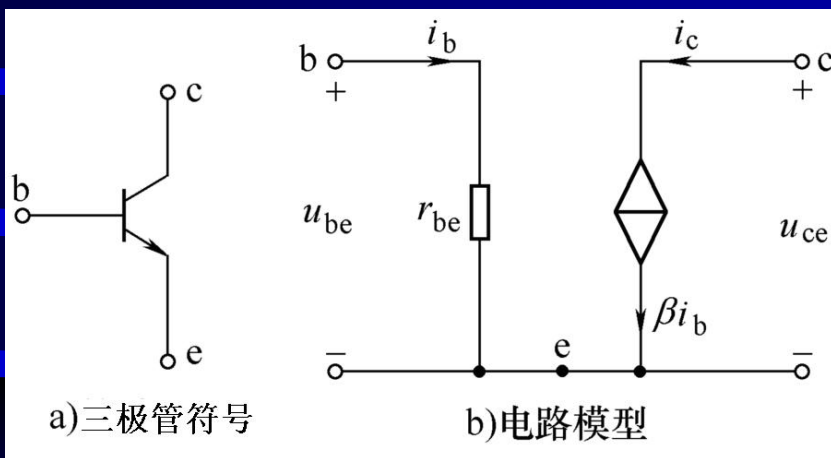
$$P_{10\Omega} = 10I_2^2 = 10(4.8)^2 = 230.4\text{W} \quad (\text{吸收})$$

能量守恒:  $P_{50V} = -240\text{W} \quad (\text{产生})$

$$P_{1V} + P_{10I_1} + P_{5\Omega} + P_{10\Omega} = 240\text{W} \quad (\text{吸收})$$

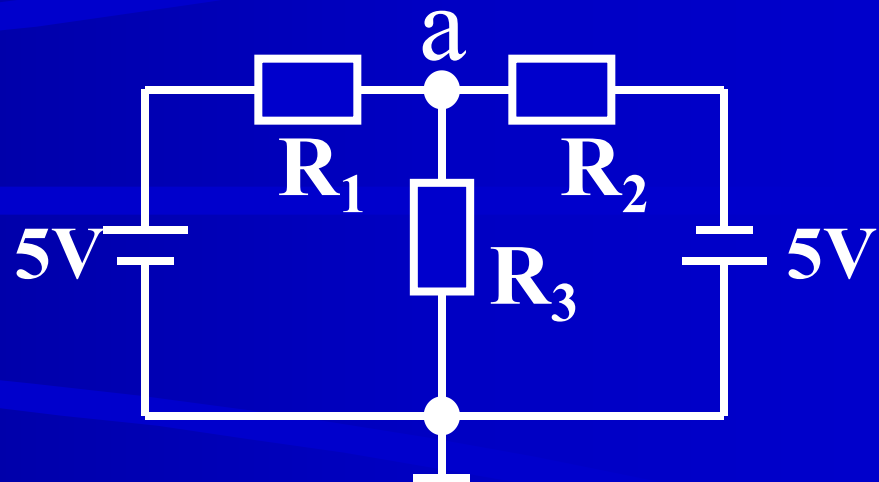
## 1.6.2 受控源的应用

受控源是不存在的，受控源只是用来表示某些实际器件的模型。



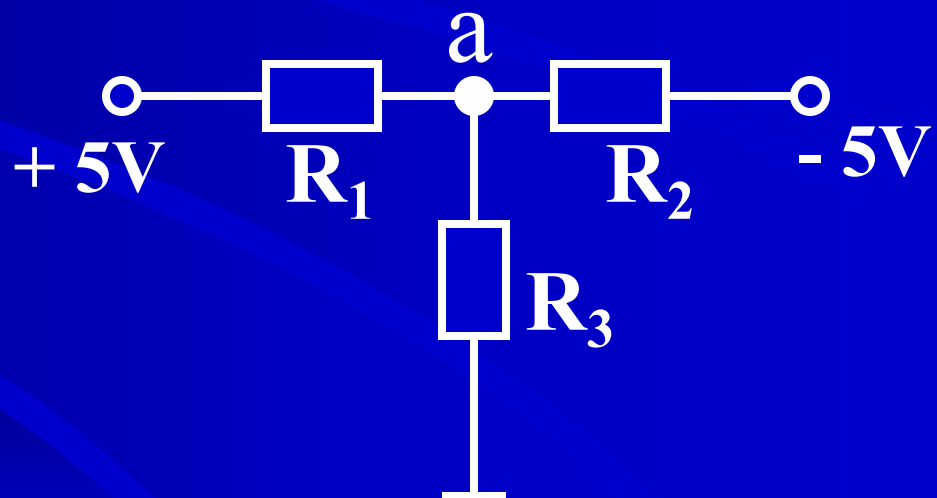
## 1.6.3 电位及其计算

在电路中任选一个参考点，电路中各节点到参考点的电压降就叫做该点的节点电压。（或电位）



闭合型电路

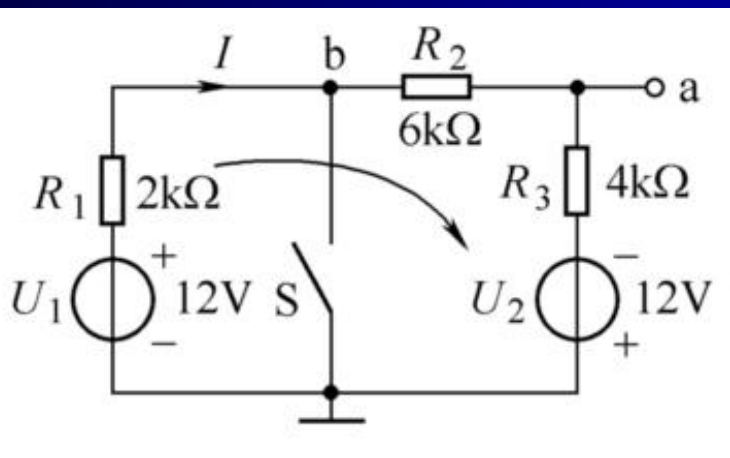
使用电位，可以把闭合型电路画成开口型电路。



开口型电路

**例14:** 分别计算开关S打开与闭合时a点和b点的电位。

**解** 开关S打开时



根据KVL

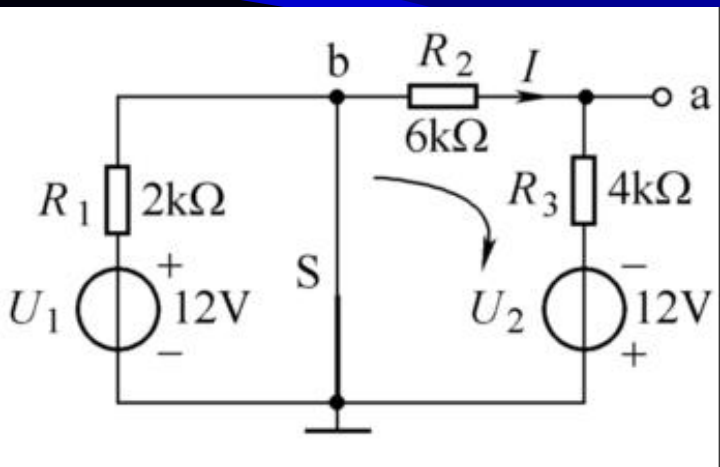
$$(R_1 + R_2 + R_3)I = U_2 + U_1$$

$$I = \frac{U_2 + U_1}{(R_1 + R_2 + R_3)} = \frac{24}{12 \times 10^3} = 2 \times 10^{-3} \text{ A} = 2 \text{ mA}$$

$$U_a = I R_3 - U_2 = 2 \times 10^{-3} \times 4 \times 10^3 - 12 = -4 \text{ V}$$

$$U_b = -I R_1 + U_1 = -2 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^3 + 12 = 8 \text{ V}$$

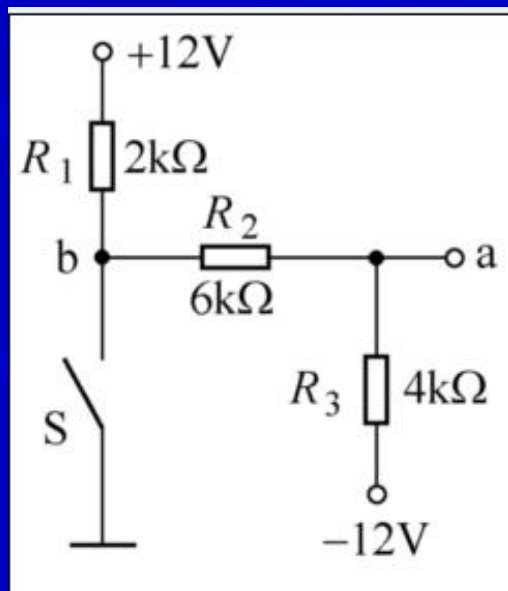
开关S闭合时



根据KVL  $(R_2 + R_3)I = U_2$

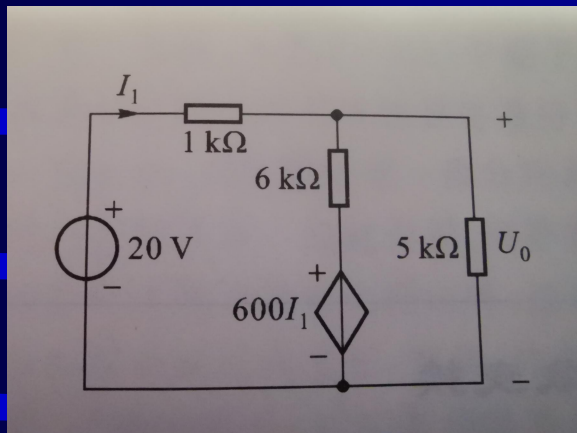
$$I = \frac{U_2}{(R_2 + R_3)} = \frac{12}{10 \times 10^3} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ A} = 1.2 \text{ mA}$$

$$U_a = I R_3 - U_2 = 1.2 \times 10^{-3} \times 4 \times 10^3 - 12 = -7.2 \text{ V}$$



**例15:** 试求图中所示电路中控制量 $I_1$ 及电压 $U_0$

**解** 由KCL、KVL:



$$U_S = I_1 R_1 + I_2 R_2 + 600 I_1$$

$$U_S = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

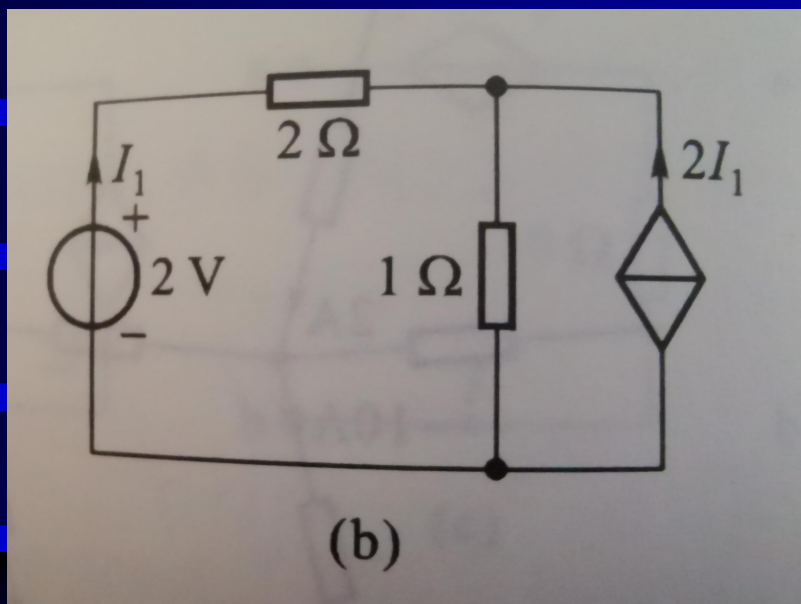
$$I_1 = I_2 + I_3$$

**例16:** 试求每个元件发出或者吸收的功率

**解** 由KCL、KVL:

$$2 = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

$$I_2 = I_1 + 2I_1$$





谢谢大家!

再见

再见!

