



# 第1章 电路分析基本概念



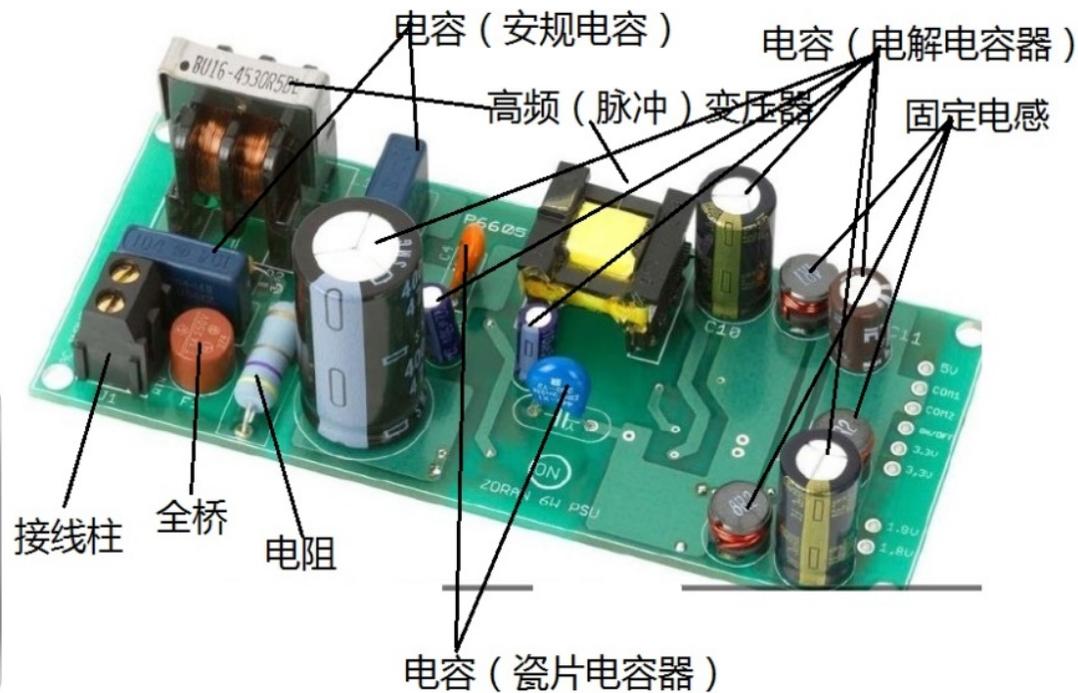
# 实际电路和电路模型

# 1-1 实际电路和电路模型

实际电路是由一定的电工、电子器件按照一定的方式相互联接起来，构成电流通路，并具有一定功能的整体。



电器



实际电路

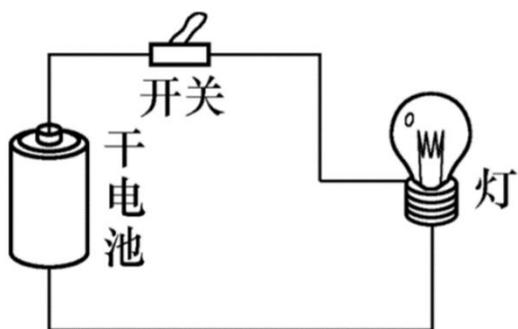
电路模型是实际电路的抽象化，理想化，近似化。

电路模型（电路）：是指由各种**理想电路元件**按一定方式连接组成的总体。

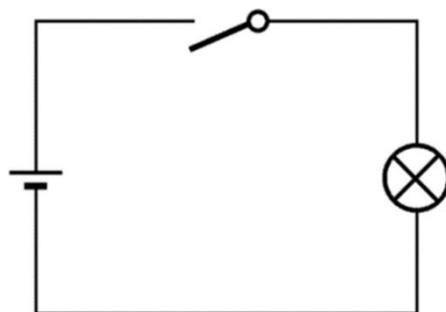
**理想电路元件**：数学关系式严格定义的假想元件，代表了实际电路器件所具有的一种主要电磁性能。

实际器件	理想元件	符号	图形	反映特性
电阻器	电阻元件	$R$		消耗电能
电容器	电容元件	$C$		存储\释放电场能
电感器	电感元件	$L$		存储\释放磁场能

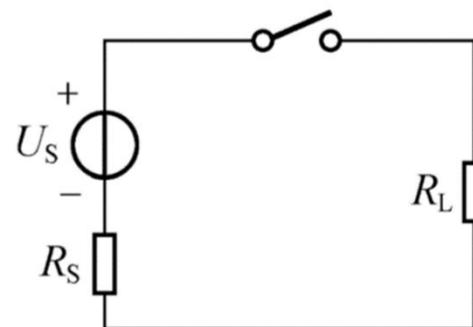
# 手电筒及其电路模型



(a) 实际电路



(b) 电气图



(c) 电路模型(电路图)

## 实际器件与理想元件的区别：

实际器件——有大小、尺寸，代表多种电磁现象；

理想元件——是一种假想元件，没有大小和尺寸，

即它的特性表现在空间的一个点上，

仅代表一种电磁现象。

**集总（中）参数电路**：电器器件的几何尺寸远远小于其上通过的电压、电流的波长时，其元件特性表现在一个点上。

有时也称为集中参数电路。

**分布参数电路**：电器器件的几何尺寸与其上通过的电压、电流的波长属同一数量级。

【例】晶体管调频收音机最高工作频率约108MHz。问该收音机的电路是集总参数电路还是分布参数电路？

解：频率为108MHz周期信号的波长为

$$\longrightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{108 \times 10^6} = 2.78 \text{ m}$$

几何尺寸 $d \ll 2.78\text{m}$ 的收音机电路应视为集总参数电路。

思考：工作频率改为**1.08GHz**？



# 电路分析的变量

**电路变量：** 描述电路工作状态或元件工作特性的物理量。

电流  $i(t)$  与 电压  $u(t)$  ；

电荷  $q(t)$  与 磁链  $\psi(t)$  ；

功率  $p(t)$  与 能量  $w(t)$  。

$i, u$  为常用基本变量，

# 一、电流及其参考方向

电流

→ 带电粒子有规则的定向运动

电流强度

→ 单位时间内通过导体横截面的电荷量

$$i(t) \stackrel{\text{def}}{=} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

单位

→ A (安培)、kA、  
mA、 $\mu$ A

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\ \mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

方向

→ 规定正电荷的运动方向为电  
流的**实际**方向

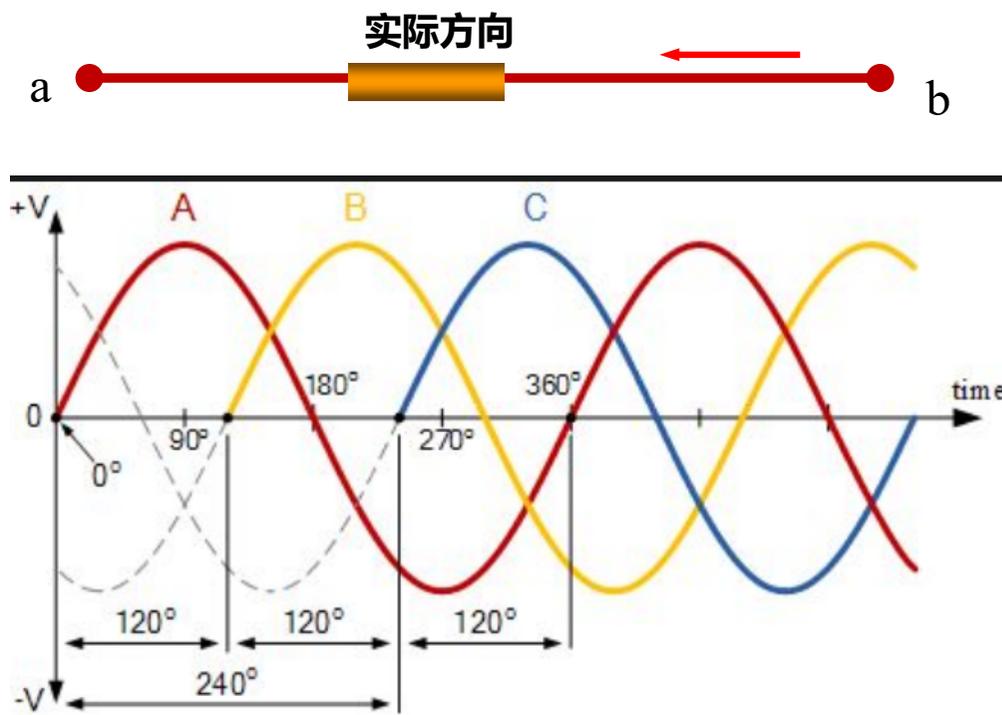
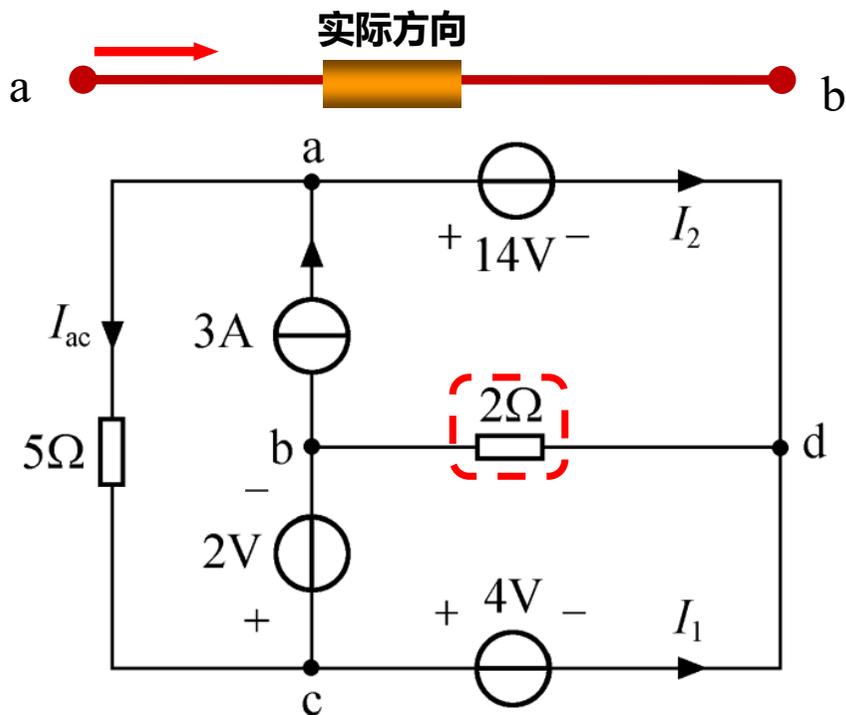
## 直流电流与时变电流

**直流电流**——大小、方向恒定，不随时间而变化；用大写字母  $I$  表示。

**时变电流**——大小、方向随时间而变化，用小写字母  $i(t)$  表示。

◆ 电路分析的变量

元件(导线)中电流流动的实际方向只有两种可能:



一眼看出 $2\Omega$ 电阻的真实电流方向? 交流电的电流方向固定吗?

高中电学学习误区: 电流并不一定从电压源正极流出, 负极流入。

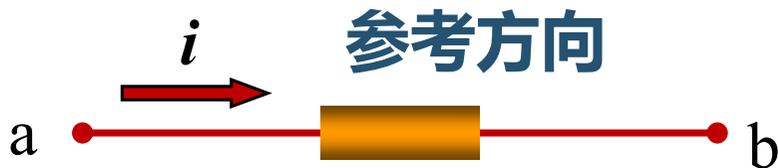
条件: 只有1个电压源情况成立。

参考方向!

● 参考方向



任意假定一个正电荷运动的方向即为电流的参考方向。一经设定，不能改变。

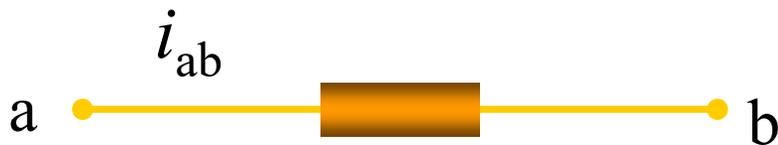


电流参考方向的两种表示：

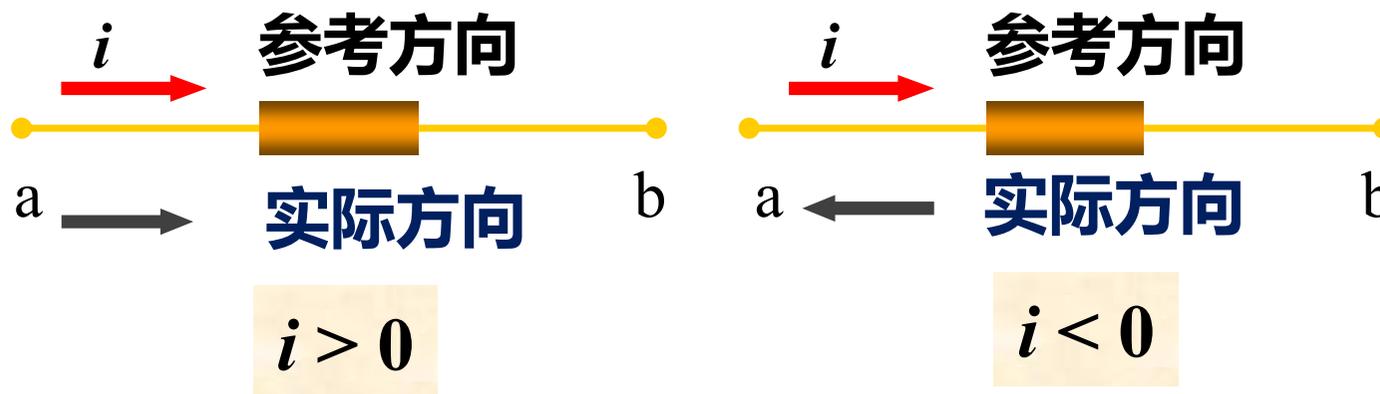
- 用箭头表示（常用）：箭头的指向为电流的参考方向。



- 用双下标表示：如  $i_{ab}$ ，电流的参考方向由a指向b。



## 电流的参考方向与实际方向的关系:



表明 电流(代数量)

{ 大小  
方向(正负)

例：在图示参考方向下，已知  $i(t) = 4 \cos(2\pi t + \pi/4) \text{ A}$

求  $i(0)$ ,  $i(0.5)$  真实方向。



解：  $i(t) = 4 \cos(\pi/4) = 2\sqrt{2} \text{ A}$

表明此时真实方向与参考方向一致，从a指向b；

$$i(t) = 4 \cos(5\pi/4) = -2\sqrt{2} \text{ A}$$

表明此时真实方向与参考方向相反，从b指向a；

注意

计算前，一定要标明电流的参考方向；

参考方向可任意选定，但一旦选定，便不再改变。

- 1.若没有确定参考方向，计算结果是没有意义的。
- 2.之后课程中我们不需要写出电流真实方向，所有电流都以参考方向表示，即以正负号表示即可。



问题

复杂电路或六亦中收中 所占问由压的定

实际方向往往  
分析计算带



表明

电压(代数量)

大小

方向(正负)

电压的参考方向

电压的参考方向与实际方向的关系:

参考方向

$U$



实际方向

$$U > 0$$

参考方向

$U$

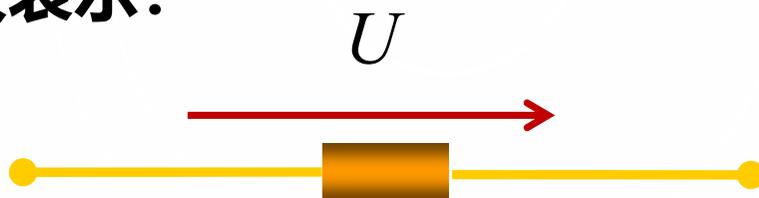


实际方向

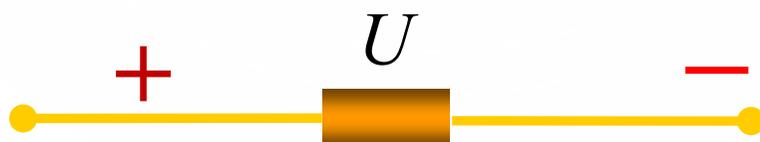
$$U < 0$$

## 电压参考方向的三种表示方式:

(1) 用箭头表示:



(2) 用正负极性表示(最常用)



(3) 用双下标表示(也重要)



## 二、电压及其参考方向

电位  $V$  或  $\varphi$

→ 单位正电荷  $q$  从电路中一点移至参考点 ( $V=0$ ) 时电场力做功的大小。

电压  $U$

→ 单位正电荷  $q$  从电路中一点移至另一点时电场力做功 ( $W$ ) 的大小。

$$U \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dW}{dq}$$

实际电压方向

→ 电位真正降低的方向。高电位端标 “+”，低电位端标 “-”。

单位

V (伏)、kV、mV、 $\mu$ V

直流电压——大小、方向恒定，用大写字母  $U$  表示



问题

复杂电路或六亦中收中 所占问由压的实

实际方向往往  
分析计算带



表明

电压(代数量)

大小

方向(正负)

电压的参考方向

电压的参考方向与实际方向的关系:



$$U > 0$$



$$U < 0$$

注意

1. 计算前，一定要标明电压极性；

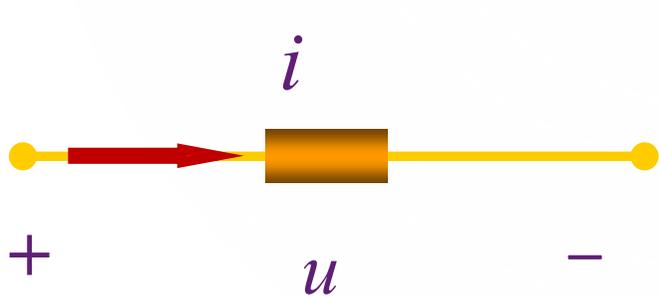
参考方向可任意选定，但一旦选定，便不再改变。

若没有确定参考方向，计算结果是没有意义的。

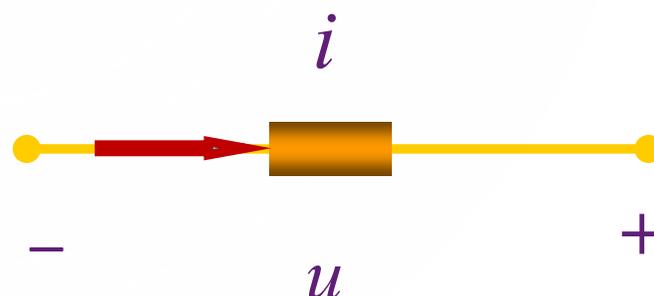
2. 之后课程中我们不需要写出电压真实方向，所有电压都以参考方向表示，即以正负号表示即可。

## 1-2-3 关联参考方向

二端电路上电压参考方向和电流参考方向之间的关系

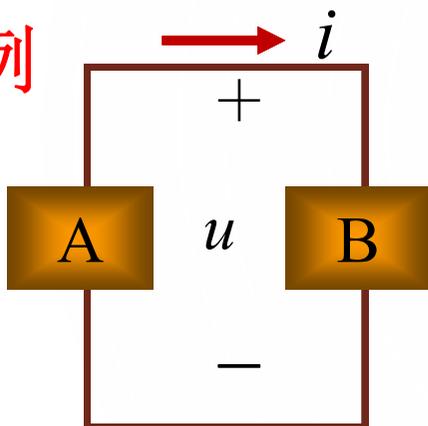


关联参考方向



非关联参考方向

例



电压电流参考方向如图中所标，问：对A、B两部分电路电压电流参考方向关联否？

答：A电压、电流参考方向非关联；  
B电压、电流参考方向关联。

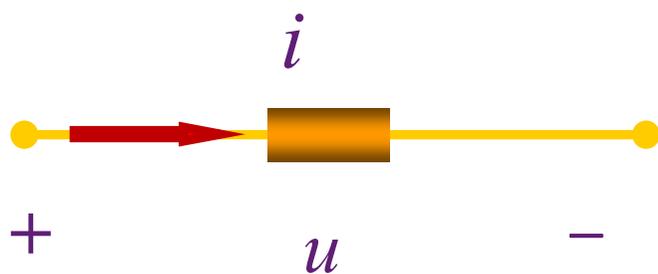


注意

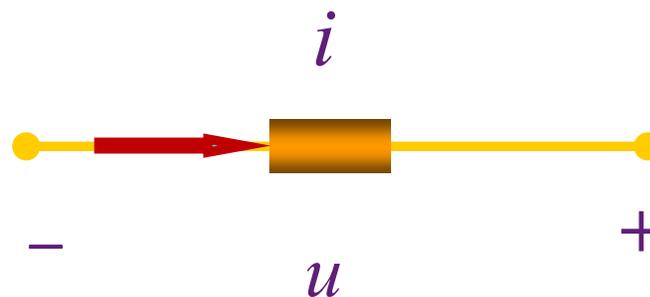
- ① 分析电路前必须选定电压和电流的参考方向
- ② 参考方向一经选定，必须在图中相应位置标注（包括方向和符号），在计算过程中不得任意改变
- ③ 参考方向不同时，其表达式相差一负号，但电压、电流的实际方向不变。

### 三、 关联参考方向

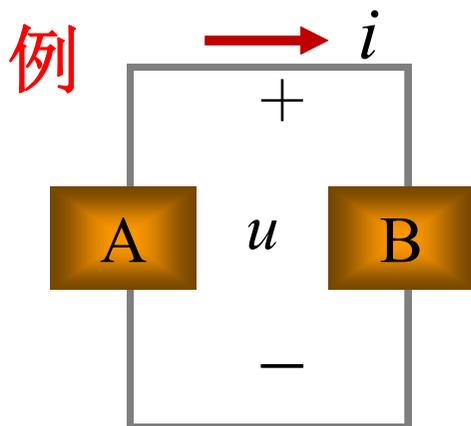
二端电路上电压参考方向和电流参考方向之间的关系



关联参考方向



非关联参考方向



电压电流参考方向如图中所标，问：对A、B两部分电路电压电流参考方向关联否？

答：A电压、电流参考方向非关联；  
B电压、电流参考方向关联。



- ① 分析电路前必须选定电压和电流的参考方向
- ② 参考方向一经选定，必须在图中相应位置标注（包括方向和符号），在计算过程中不得任意改变
- ③ 参考方向不同时，其表达式相差一负号，但电压、电流的实际方向不变。

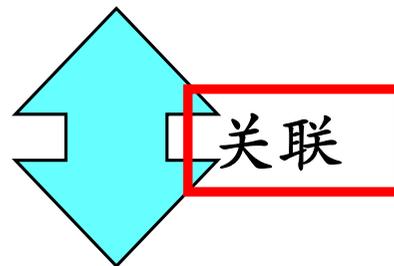
## 四、功率与能量

1. 功率 → 单位时间内电场力所做的功。

单位时间内从A到B的正电荷量

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$u = \frac{dw}{dq}$$



电场力将单位正电荷从A移动到B所作的功

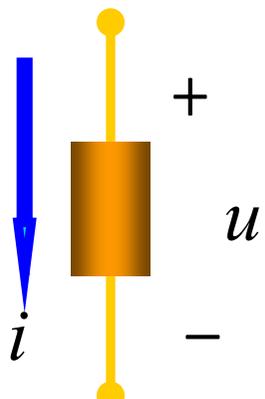
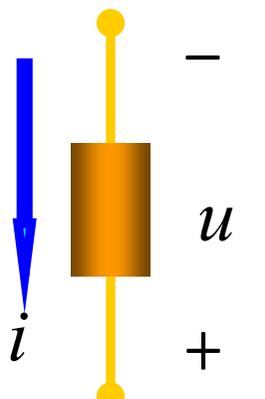
单位时间内电场力  
从A到B所作的功

电路吸收的功率

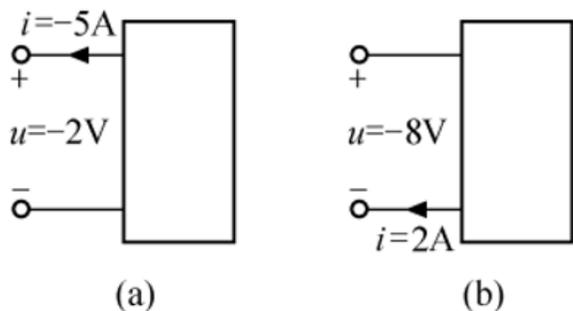
$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = ui$$

功率单位：瓦（W）， $1\text{W} = 1\text{J/S} = 1\text{VA}$

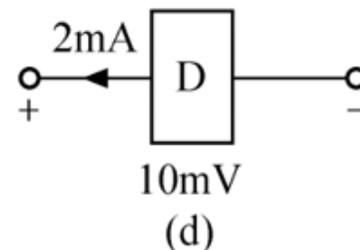
## 2. 电路吸收或发出功率的判断

- $u, i$  取关联参考方向
  -  $P = ui$  表示电路**吸收**的功率表达式
  - $P > 0$  吸收**正**功率 (实际吸收)
  - $P < 0$  吸收**负**功率 (实际发出)
- $u, i$  取非关联参考方向
  -  $P = - ui$  表示电路**吸收**的功率表达式
  - $P > 0$  吸收**正**功率 (实际吸收)
  - $P < 0$  吸收**负**功率 (实际发出)

例 已知图1-7端子上的电压和电流，求a,b电路吸收的功率。



元件 D 产生功率  $P$  为多少?



解: (a),  $u$ 、 $i$ 非关联,  $P = -ui = -(-2) \cdot (-5) = -10W$   
图(a)电路吸收-10W,或者说,图(a)产生10W

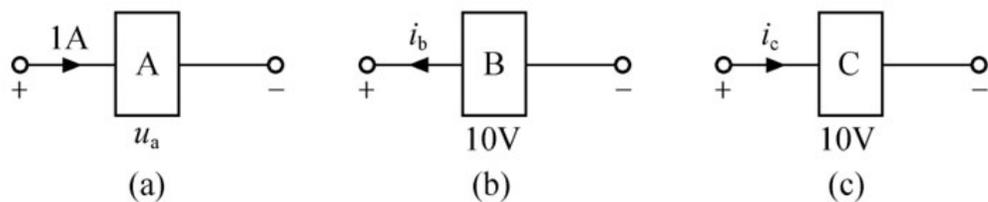
(b),  $u$ 、 $i$ 关联,  $P = ui = (-8) \cdot 2 = -16W$   
图(b)电路吸收-16W,或者说,图(b)产生16W

- 1.判断关联, 非关联, 选取公式
- 2.计算出 $P$ (永远是吸收功率).
- 3.根据 $P$ 正负, 判断吸收还是产生。

## ◆ 电路分析的变量

【例 1-1】 各元件的电压或电流数值如图 1-6 所示，试问

- (1) 若元件 A 吸收功率 10W，则电压  $u_a$  为多少？
- (2) 若元件 B 吸收功率 10W，则电流  $i_b$  为多少？
- (3) 若元件 C 供出功率 10W，则电流  $i_c$  为多少？



**能量：** 从  $-\infty$  到  $t$  时间内电路吸收的总能量。

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p(\lambda) d\lambda = \int_{-\infty}^t u(\lambda) i(\lambda) d\lambda$$



# 电阻元件

# 1.电路元件

电路元件 → 是电路中最基本的组成单元。

根据作用效果不同 { 无源元件:电阻元件、电感元件、电容元件

有源元件: 独立电源、受控电源

二端元件

根据与外电路相连  
端子不同

{ 三端元件

四端元件

.....



**注意** 如果表征元件端子特性的数学关系式是线性关系, 该元件称为线性元件, 否则称为非线性元件。

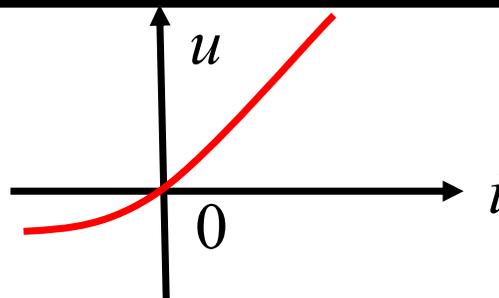
# 1.定义

电阻元  
件

对电流呈现阻力的二端元件。其特性可用 $u \sim i$ 平面上的一条曲线来描述：

$$f(u, i) = 0$$

伏安  
特性



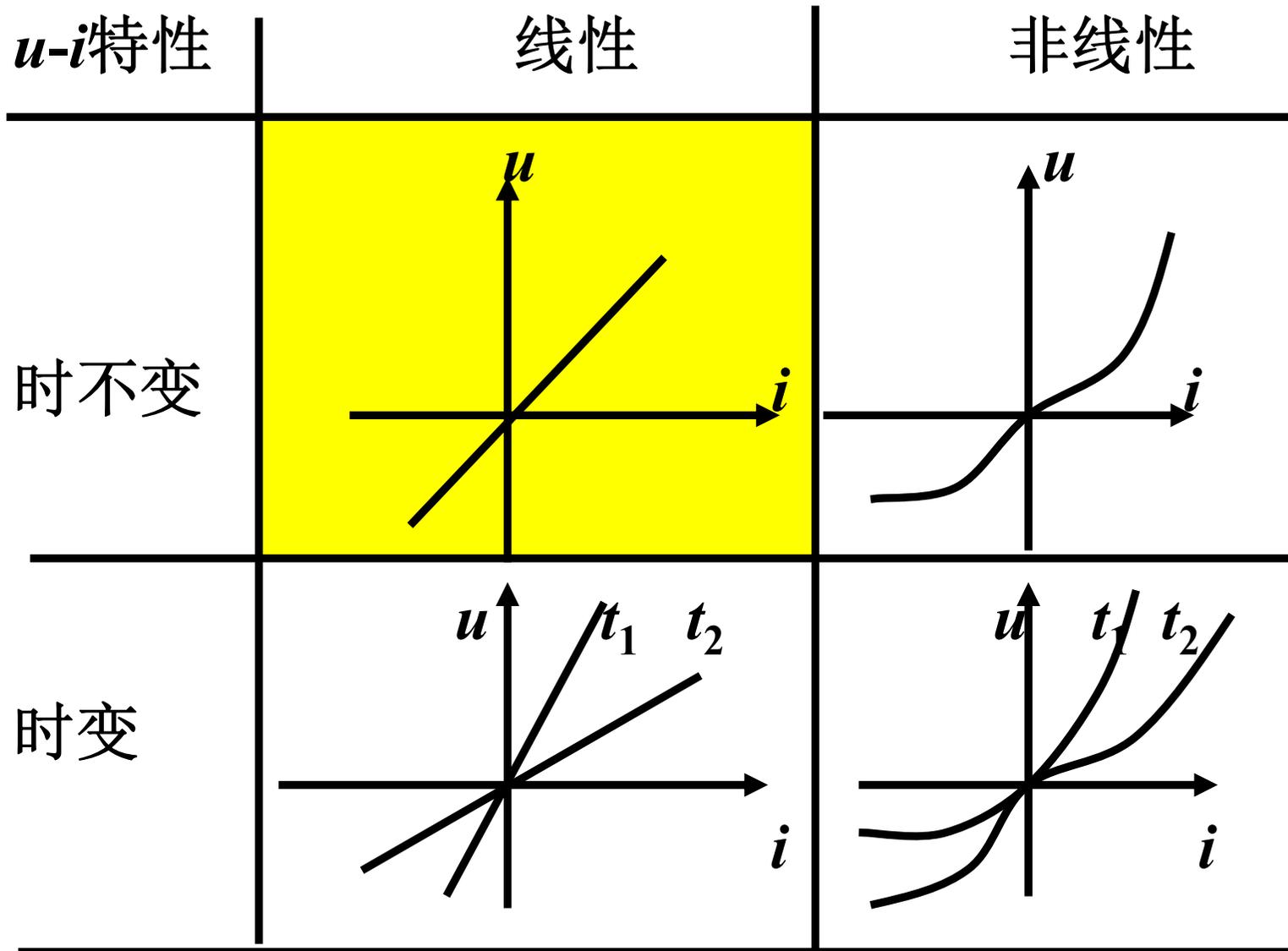
**线性：** VCR曲线为通过原点的直线。否则为**非线性**。

**时变：** VCR曲线随时间变化而变化。

**非时变：** VCR曲线不随时间变化而变化

电路元件**特性描述**：伏安关系（VCR, Voltage Current Relation）

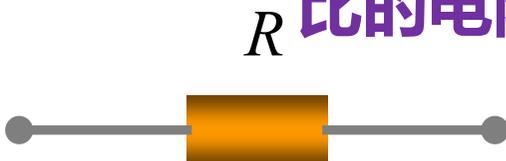
◆ 电阻元件



## 2.线性时不变电阻元件

任何时刻端电压与电流成正比的电阻元件。

● 电路符号



●  $u \sim i$  关系

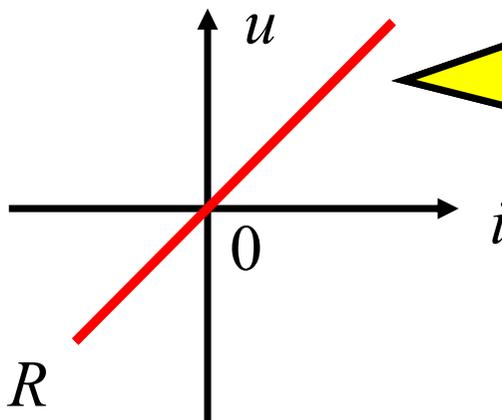
→ 满足欧姆定律

$$u = Ri$$

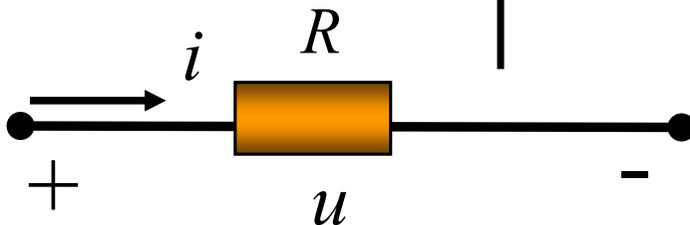
$$R = u/i$$

$$i = u/R = Gu$$

$u$ 、 $i$  取关联参考方向



伏安特性为一条过原点的直线



● 单位

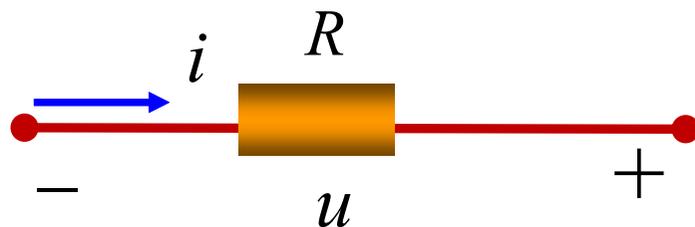
→  $R$  称为电阻, 单位:  $\Omega$  (Ohm)  
 $G$  称为电导, 单位: S (Siemens)



注意

欧姆定律

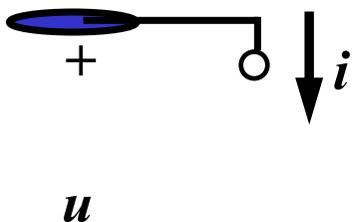
- ①只适用于线性电阻( $R$ 为常数)；
- ②如电阻上的电压与电流参考方向非关联，公式中应冠以负号；
- ③线性电阻是无记忆、双向性的元件。



则欧姆定律写为  $u = -R i$       $i = -G u$

公式和参考方向必须配套使用!

### 3. 开路与短路



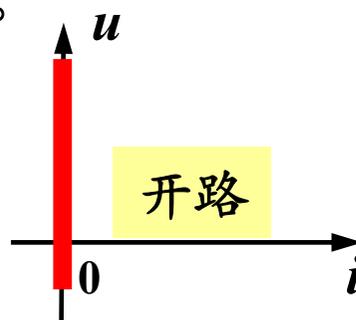
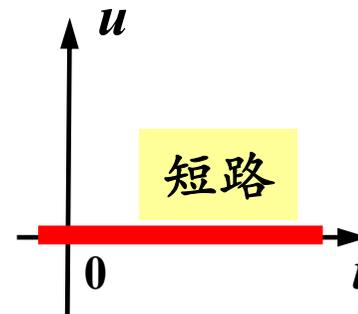
当  $R = 0$  ( $G = \infty$ ), 视其为短路。

$u = 0$ ,  $i$  由外电路决定。



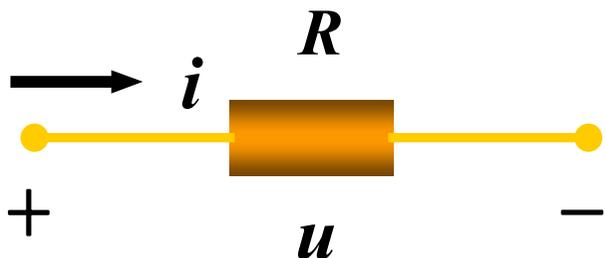
当  $R = \infty$  ( $G = 0$ ), 视其为开路。

$i = 0$ ,  $u$  由外电路决定。

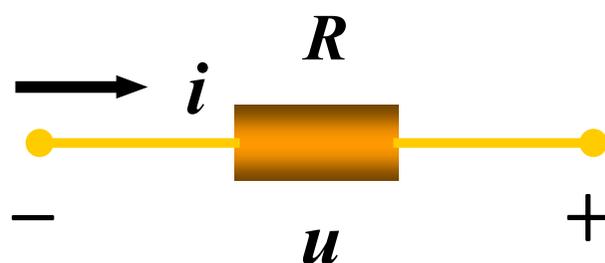


## 4.功率和能量

### ● 功率



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



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



电阻元件在任何时刻总是消耗功率(耗能元件)的,与参考方向的选择无关。



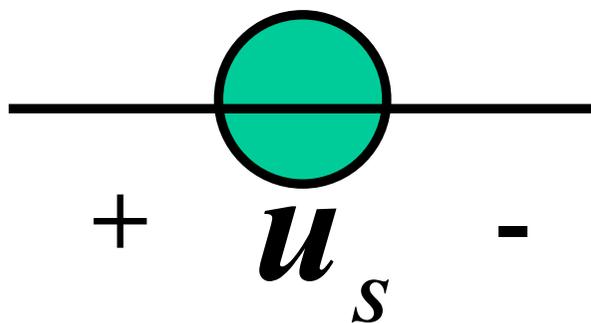
# 独立源和受控源

## 一、独立电源

- 是有源元件，能独立对外提供能量。

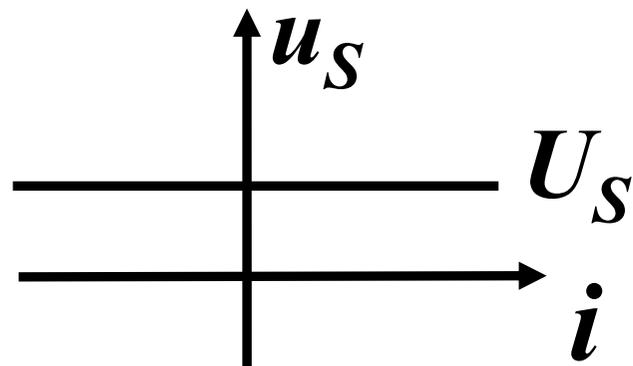
- **1 电压源**

- 符号：

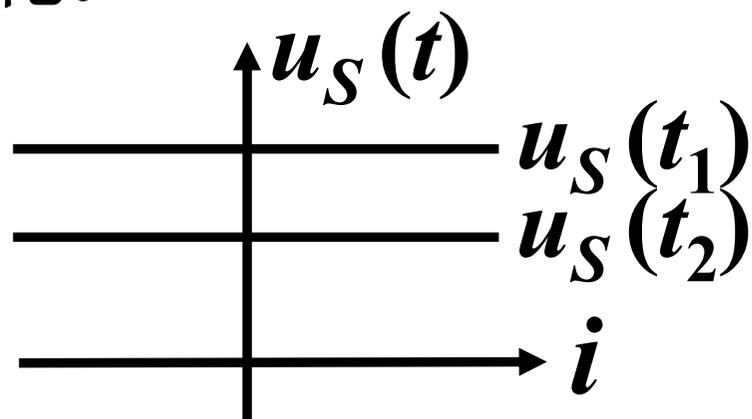


- 特性：
- ① 端电压由元件本身确定，与流过的电流无关；
  - ② 流过的电流由外电路确定；
  - ③ 若  $u_s = 0$ （电压源置零），相当于一条短路线；
  - ④ 注意不能短接（电流为无穷大）；**?**

⑤  $u_S$ 为常数时，称为直流电压源。VCR曲线——平行于*i*轴的直线。

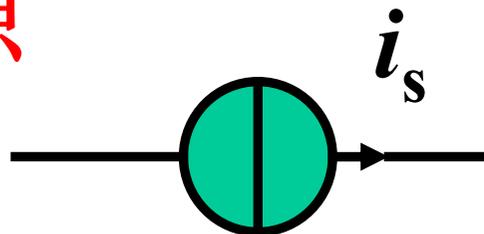


⑥  $u_S$ 为给定时间函数时，称为时变电压源。VCR曲线：平行于*i*轴的直线，随时间变化。



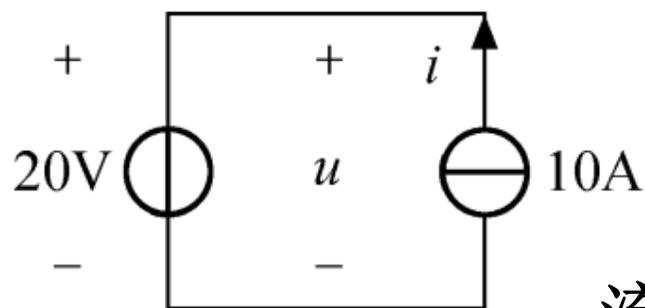
## 2. 电流源

符号:



特性:

- ① 流过的电流由元件本身确定，与端电压无关；
- ② 端电压由外电路确定；
- ③ 若  $i_s = 0$  (电流源置零)，相当于开路；
- ④ 注意不能开路（电压为无穷大）；?
- ⑤  $i_s$  为常数时，称为直流电流源；
- ⑥  $i_s$  为时间函数时，称为时变电流源。



求左图电路中电压源和  
电流源的功率。

流经电压源的电流由外电路决定，  
此题中即由电流源决定，即 $i=10\text{A}$

电流源的端电压由外电路决定，  
此题中即由电压源决定，即 $u=20\text{V}$

电压源:电压和电流为关联参考,

$$P_{\text{电压源}} = u \times i = 20 \times 10 = 200 \text{ W}$$

电流源:电压和电流为非关联参考,

$$P_{\text{电流源}} = -u \times i = -20 \times 10 = -200 \text{ W}$$

## 二、受控电源

可对外提供能量

### 1. 定义

电压或电流的大小和方向不是给定的时间函数，而是受电路中某个地方的电压(或电流)控制的电源，称受控源。是四端元件。

### 2. 受控源的分类

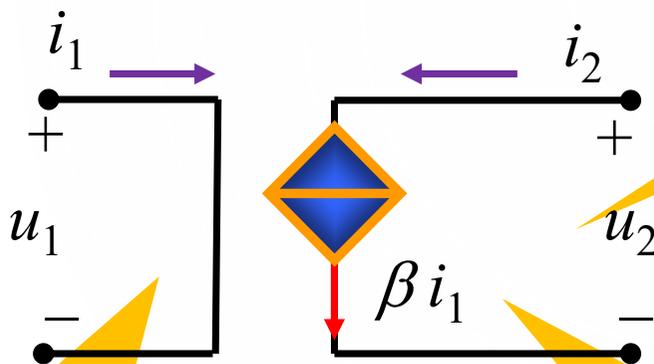
受控电压源：电压源的电压由电路中某电压或电流控制

受控电流源：电流源的电流由电路中某电压或电流控制

有四种形式

## 四种线性受控源

### ① 电流控制的电流源 ( CCCS )



四端元件

$$u_1 = 0$$

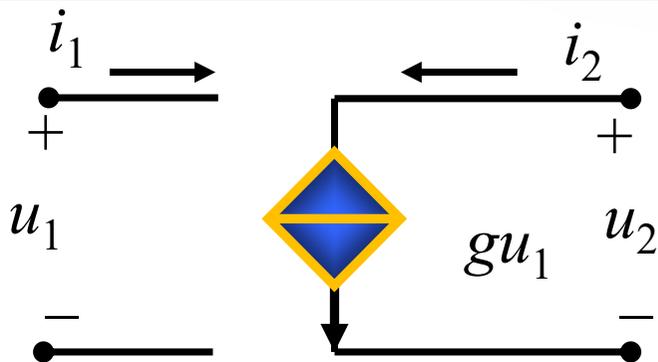
$$i_2 = \beta i_1$$

$\beta$ : 电流放大倍数

输入：控制部分

输出：受控部分

### ② 电压控制的电流源 ( VCCS )

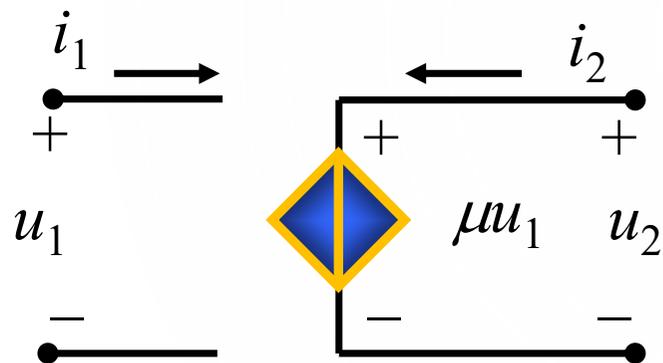


$$i_1 = 0$$

$$i_2 = g u_1$$

$g$ : 转移电导

### ③电压控制的电压源 (VCVS)

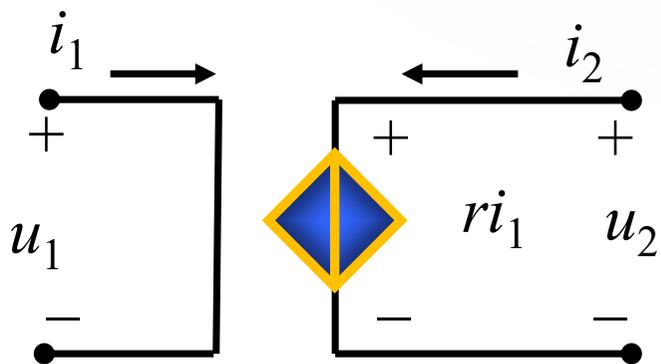


$$i_1 = 0$$

$$u_2 = \mu u_1$$

$\mu$ : 电压放大倍数

### ④电流控制的电压源 (CCVS)



$$u_1 = 0$$

$$u_2 = r i_1$$

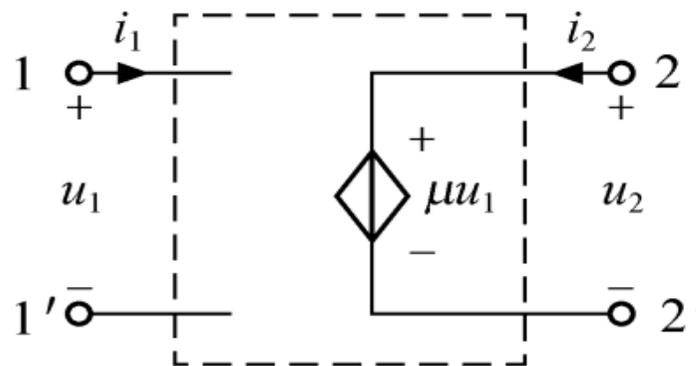
$r$ : 转移电阻

# 瞬时功率:

$$p = u_1 i_1 + u_2 i_2$$

$$u_1 = 0 \text{ or } i_1 = 0$$

$$p = u_2 i_2$$



(a) VCVS

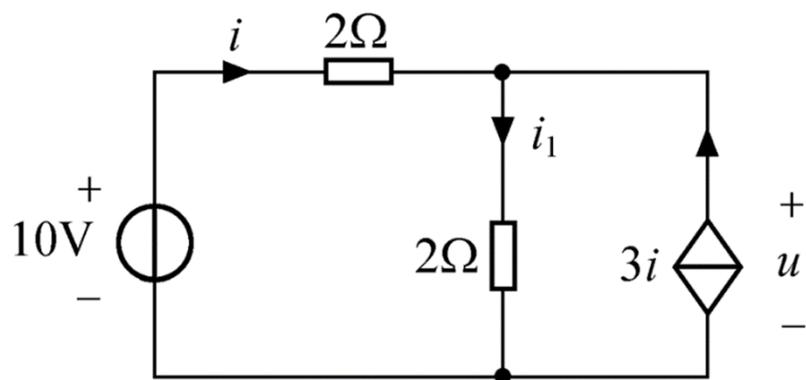
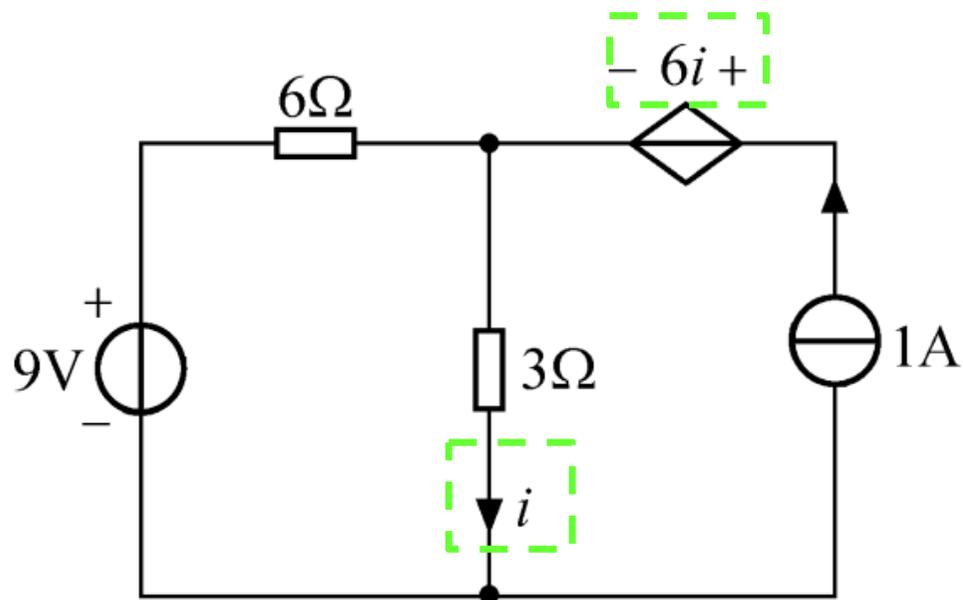
受控源 和独立源一样为有源元件。

有源性

受控源也可等效电阻元件。

电阻性

◆ 独立源和受控源



题图 1-11

虽然受控源是四端元件，但是在实际电路中，并不需要明确标出两个端口（11', 22'端），只需标出输出量和控制量即可，可当作二端元件来计算求解。

1 受控电**压**源的电**流**由外电路决定；

受控电**流**源的电**压**由外电路决定。

2 能对外提供能量（有源）。

与独立源**不同**之处：

受控源**不能**独立作为电路的激励。即：电路中若没有独立电源，仅有受控源，电路中任意元件的电压、电流为零。



# 基尔霍夫定律

# 一、电路分析的基本依据

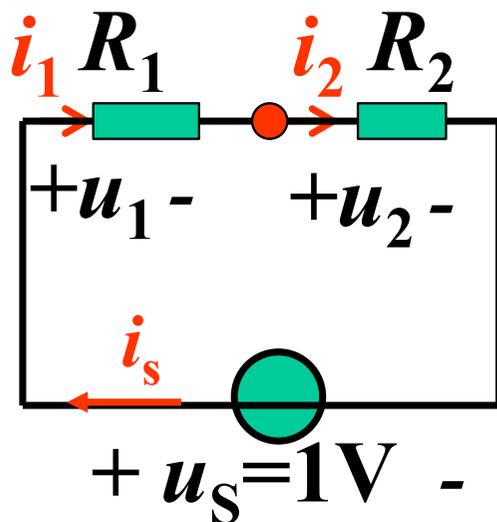
拓扑约束

两类约束

元件约束

基尔霍夫定律  
(**KCL**、**KVL**)

$$i_1 = i_2$$
$$u_1 + u_2 = u_S$$



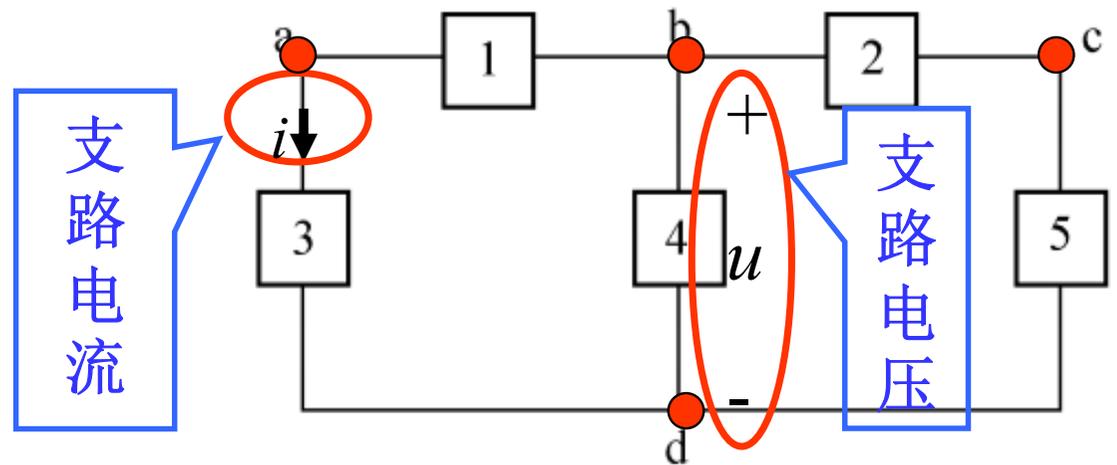
元件伏安关系  
(**VCR**)

$$u_1 = R_1 i_1$$
$$u_2 = R_2 i_2$$
$$u_S = 1V$$

## 二、术语

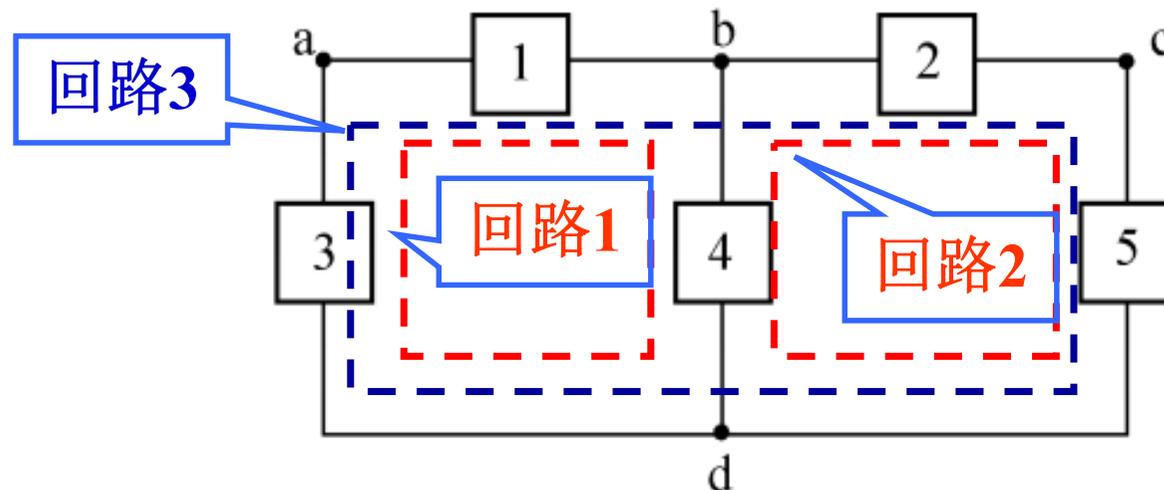
- **支路**: 一个二端元件称为一条支路。5条支路。
- **节点**: 两条或以上支路的联结点。

4个节点。



为方便，可把几个串联元件或并联元件当作一条支路处理，则如图有3条支路：1-3, 4, 2-5。节点**b和d**

- **回路**: 电路中任一**闭合**的路径 (3个)



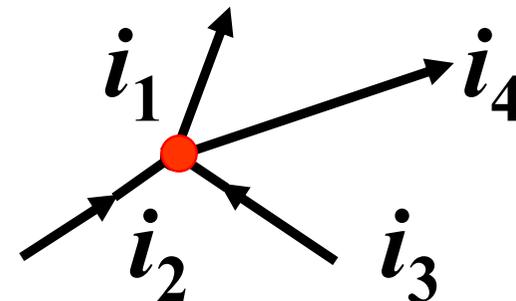
- **网孔**: **内部不含有支路**的回路 (前2个红色回路)  
注意: 平面网络才有网孔的定义。

### 三、基尔霍夫电流定律(KCL)

在集总参数电路中，任一时刻，任一节点的所有支路电流的代数和为零。

说明：

$$\sum_{k=1}^{n_1} i_k = 0$$



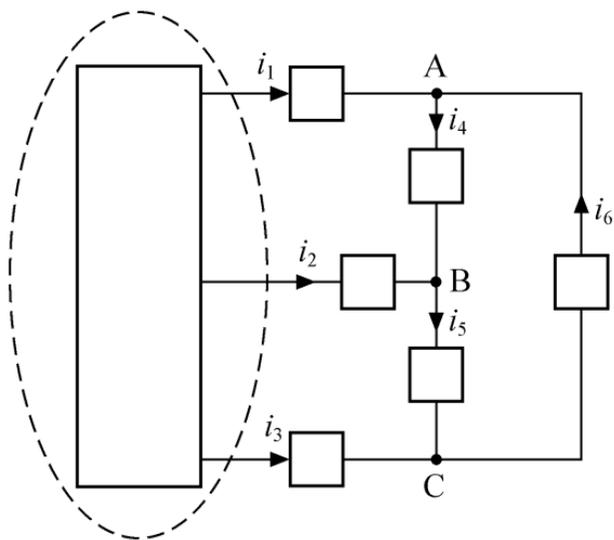
①先选定参考方向，习惯上取流出该节点的支路电流为正，流入为负。

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

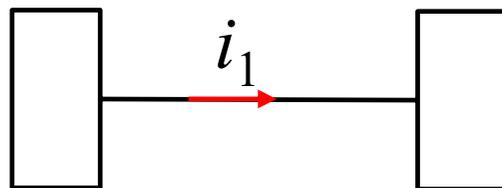
②另一形式： $\sum i_{\text{出}} = \sum i_{\text{入}}$  ( $i_1 + i_4 = i_2 + i_3$ )

即：流出电流之和=流入电流之和。

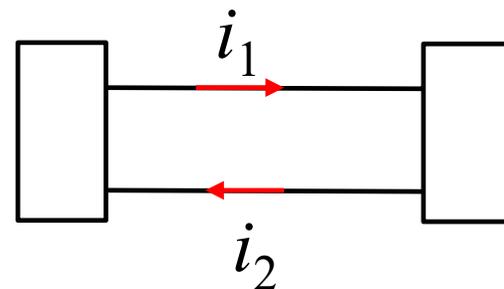
### ③可以扩大到**广义节点**（封闭面）



$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$



$$i_1 = 0$$



$$i_1 = i_2$$

### ④实质是电流连续性或电荷守恒原理的体现

**【例1】** 已知： $i_1 = -1\text{ A}$ ， $i_2 = 2\text{ A}$ ， $i_4 = 4\text{ A}$ ， $i_5 = -5\text{ A}$ 。  
求其余支路电流。

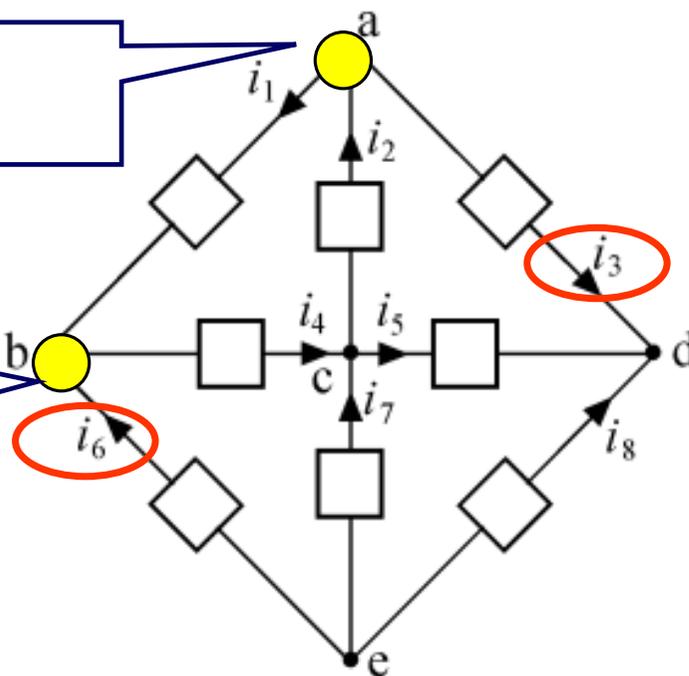
**解：** 应用KCL求取各支路电流

$$i_1 - i_2 + i_3 = 0$$

$$\text{得 } i_3 = 3\text{ A}$$

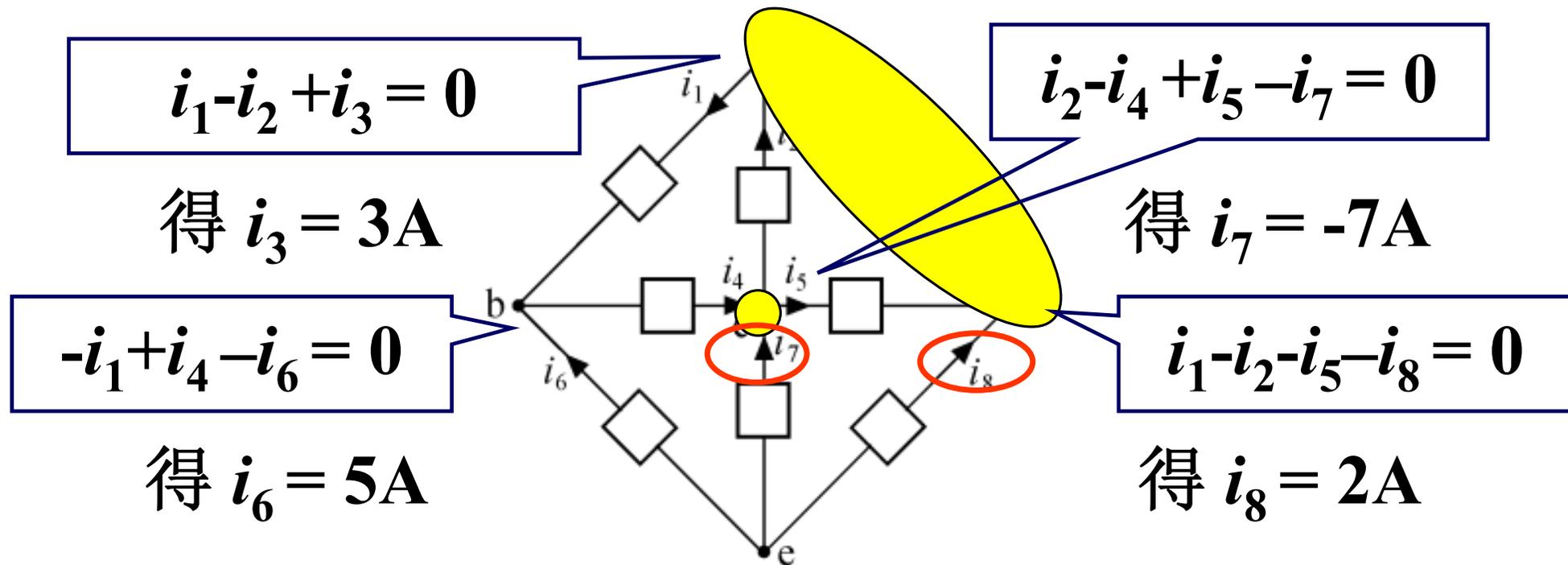
$$-i_1 + i_4 - i_6 = 0$$

$$\text{得 } i_6 = 5\text{ A}$$



**【例1】** 已知： $i_1 = -1\text{ A}$ ， $i_2 = 2\text{ A}$ ， $i_4 = 4\text{ A}$ ， $i_5 = -5\text{ A}$ 。  
求其余支路电流。

**解：** 应用KCL求取各支路电流



### 三、基尔霍夫电压定律(KVL)--基尔霍夫第二定律

在集总参数电路中，任一时刻，任一回路的各支路电压的代数和等于零。即

$$\sum_{k=1}^{n_2} u_k = 0$$

**说明：** ①先选定回路的绕行方向。支路电压参考方向与绕行方向一致（沿着绕行方向**电压降**）时取正，相反（沿着绕行方向**电压升**）时取负。

若选定回路的绕行方向为**顺时针**，

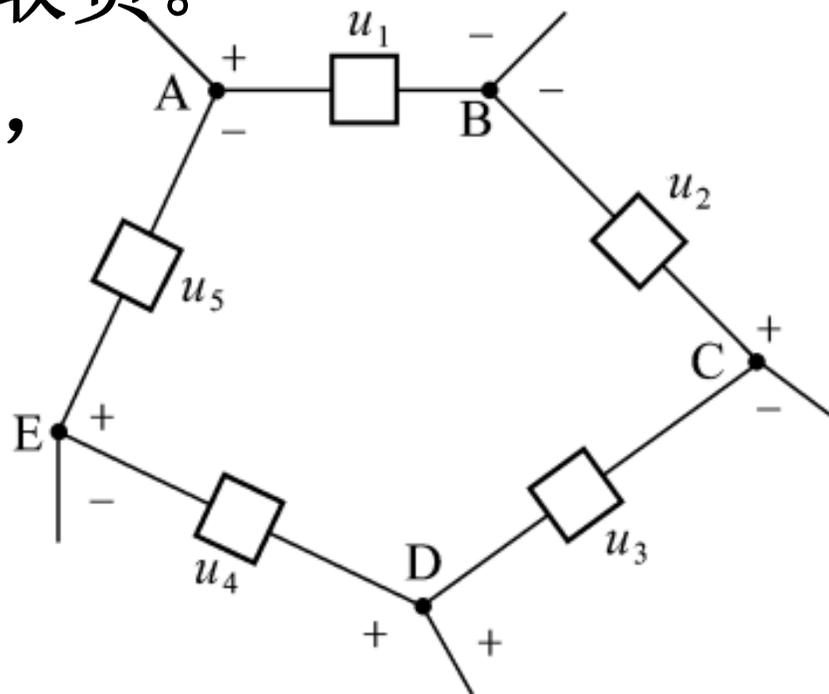
则：
$$u_1 - u_2 - u_3 + u_4 + u_5 = 0$$

②另一形式：
$$\sum u_{\text{降}} = \sum u_{\text{升}}$$

电压降之和=电压升之和。

③推广到广义回路（假想回路）

④实质是能量守恒原理在电路中的体现



**【例2】** 试求电压 $u_{bd}$ 和 $u_{ab}$ 。

**解：** 选回路绕行方向为顺时针，列KVL方程

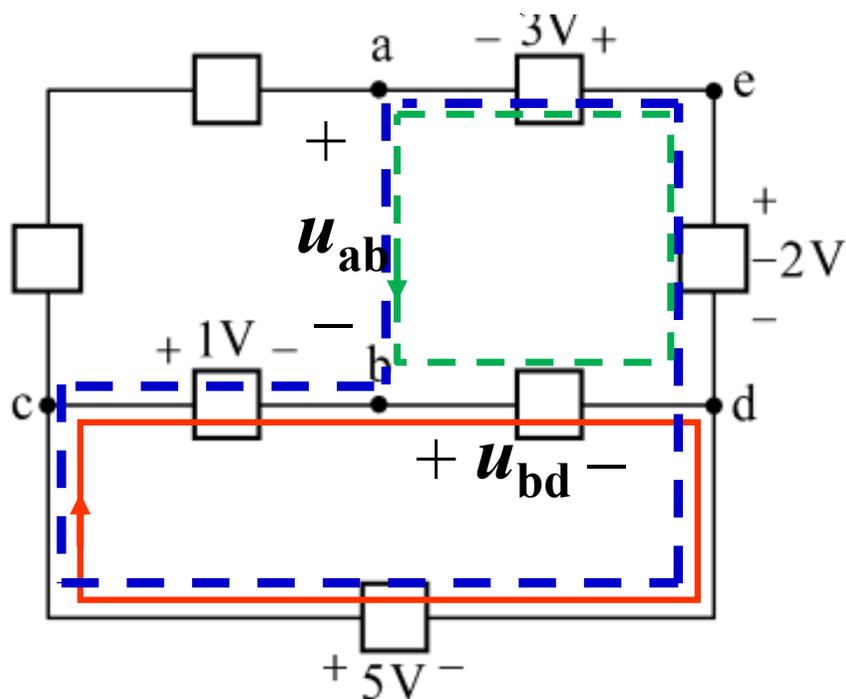
$$u_{bd} - 5 + 1 = 0$$

$$\text{解得 } u_{bd} = 4\text{V}$$

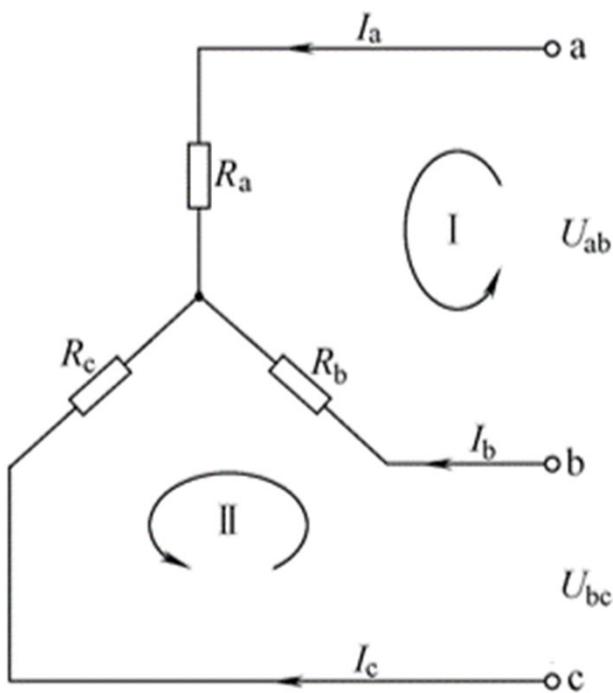
沿假想回路，按**逆时针**列KVL：

$$u_{ab} + u_{bd} - (-2) + 3 = 0 \quad \text{解得 } u_{ab} = -9\text{V}$$

回路（广义回路）的选取是不唯一的，同样可以选取蓝色回路求解 $u_{ab}$



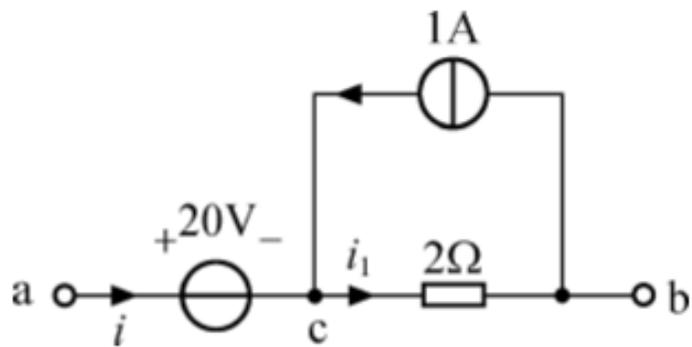
# 广义回路 例3



KVL推广形式

回路 I:  $I_a R_a - I_b R_b - U_{ab} = 0$

回路 II:  $I_b R_b - I_c R_c - U_{bc} = 0$



例4  $u_{ab}$  为30V, 求  $i_1$  和  $i$

解: 根据广义KVL

$$20 + u_{cb} - u_{ab} = 0$$

根据欧姆定律  $u_{cb} = 2i_1$ ,  $u_{ab} = 30$  代入

$$20 + 2i_1 - 30 = 0 \quad \text{得 } i_1 = 5\text{A}$$

对c点列写kcl方程  $i_1 - i - 1 = 0$  得  $i = 4\text{A}$



# 单回路电路与单节偶电路分析

## 二、单回路电路分析

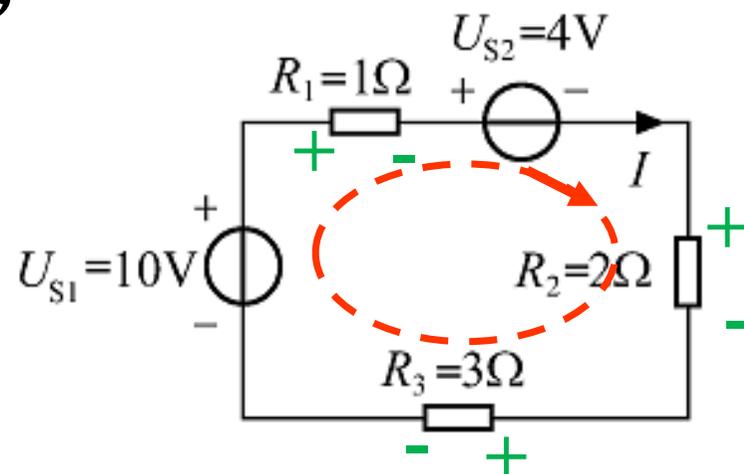
【例1】图示单回路电路，求元件电流及电源的功率。

解：(1) 选变量 $I$ ，回路方向同 $I$ 方向，电阻元件电压与电流取**关联**方向。

(2) 列方程（单回路只需列些**1个KVL**）

$$\text{KVL: } U_{R1} + U_{S2} + U_{R2} + U_{R3} - U_{S1} = 0$$

$$\text{VCR: } U_{R1} = R_1 I, \quad U_{R2} = R_2 I, \quad U_{R3} = R_3 I$$



**【例1】** 图示单回路电路，求元件电流及电源的功率。

$$\text{KVL: } U_{R1} + U_{S2} + U_{R2} + U_{R3} - U_{S1} = 0$$

$$\text{VCR: } U_{R1} = R_1 I, \quad U_{R2} = R_2 I, \quad U_{R3} = R_3 I$$

(3) 联立求解，求出变量的解：

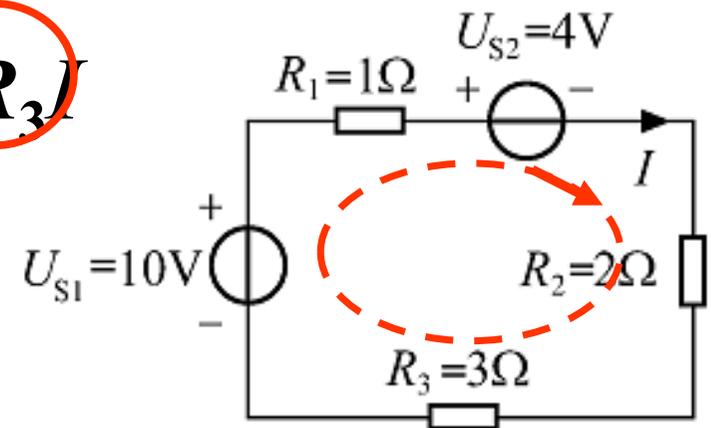
$$\text{得 } R_1 I + U_{S2} + R_2 I + R_3 I - U_{S1} = 0$$

$$I = \frac{U_{S1} - U_{S2}}{R_1 + R_2 + R_3} = 1 \text{ A}$$

(4) 求其他变量

$$P_{US1} = -U_{S1} I = -10 \text{ W (供出 10 W)}$$

$$P_{US2} = U_{S2} I = 4 \text{ W (吸收)}$$

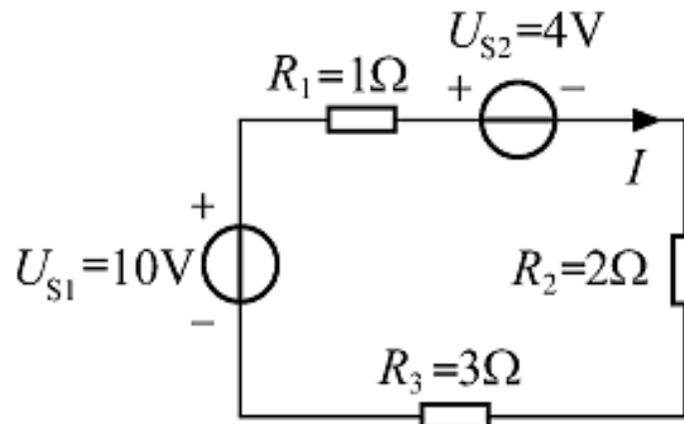


## 进一步可求得

$$P_{R1} = I^2 R_1 = 1\text{W}$$

$$P_{R2} = I^2 R_2 = 2\text{W}$$

$$P_{R3} = I^2 R_3 = 3\text{W}$$



$\sum P=0$ ，即电路中所有元件的功率相加为0。

**功率平衡**是能量守恒定律的体现。

电路中元件吸收的功率等于元件供出功率：

$$\sum P_{\text{吸收}} = \sum P_{\text{供出}}$$

### 三、单节偶电路的分析

**【例2】**  $i_{S1}=6A$ ,  $i_{S2}=3A$ , 求元件电流及电压。

**解:** (1) 选变量  $u$ , 电阻元件电压与电流取**关联**方向。

(2) 列方程 (单节偶电路, 只需列些**1**个**KCL**)

$$\text{KCL: } -i_{S1} + i_{S2} + i_{R1} + i_{R2} = 0$$

$$\text{VCR: } i_{R1} = u/R_1, \quad i_{R2} = u/R_2$$

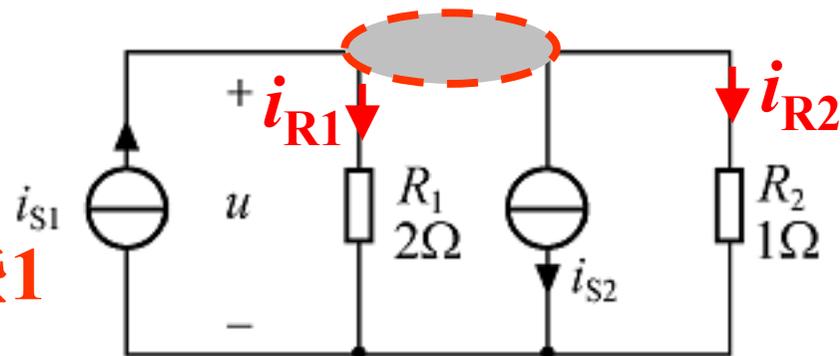
$$(3) \text{ 联立, 得 } -6 + 3 + \frac{u}{2} + \frac{u}{1} = 0$$

$$u = 2V$$

(4) 求其他

$$i_{R1} = \frac{u}{R_1} = 1A$$

$$i_{R2} = \frac{u}{R_2} = 2A$$



### 例3 求电流I及电源吸收的功率。

解：

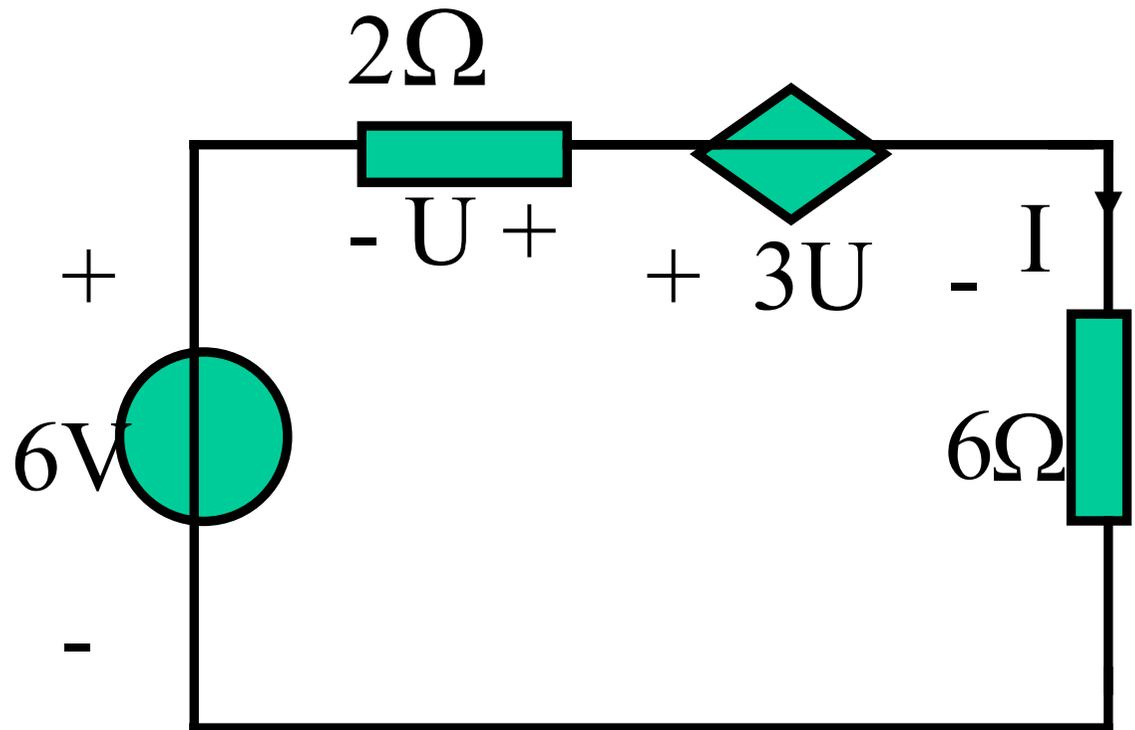
$$-6 - U + 3U + 6I = 0$$

$$\text{又 } U = -2I$$

$$\text{故 } U = -6\text{V}, I = 3\text{A}$$

$$P_{6\text{V}} = -6I = -18\text{W};$$

$$P_{3U} = 3IU = -54\text{W}$$



## 四、电路的分析一般步骤

- (1) 选分析变量；
- (2) 按两类约束关系列方程；
- (3) 求解方程，得到分析变量的解；
- (4) 求其他变量；
- (5) 对结果验证。