

第1章 电路元件和电路定律

(Circuit Elements and Circuit Laws)

本章重点

1. 电压、电流的参考方向
2. 电路元件及特性 (元件约束)
3. 基尔霍夫定律 (拓扑约束)
4. 功率

{ 电阻
电感
电容 }

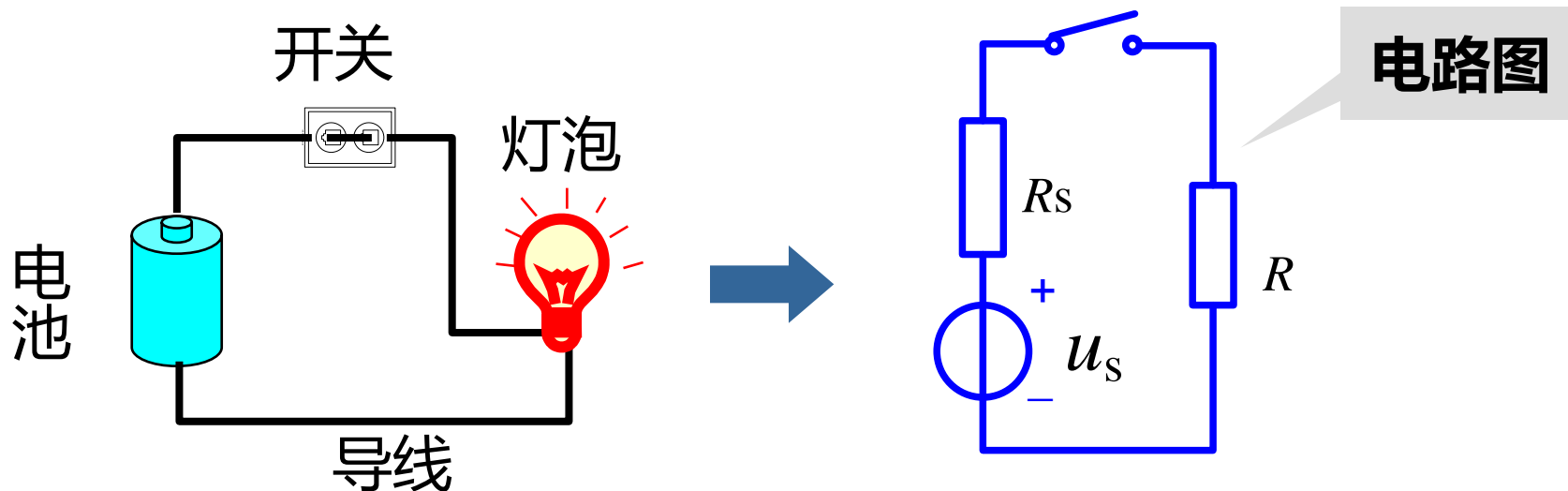
{ 电压源
电流源 }

{ 独立源
受控源 }

1.1 电路和电路模型 (model)

1. 实际电路 → 由电工设备和电气元件按预期目的用导线连接构成的电流的通路。

2. 电路模型 (circuit model)



电路模型

反映实际电路部件的主要电磁性质的理想电路元件及其组合。

1.1 电路和电路模型 (model)

理想电路元件



在一定条件下的理想化模型，反映实际元件**某种确定的电磁性能**的理想元件，并用规定的模型元件符号来表示。

比如：

线性定常电阻元件



任何时刻端电压与其电流成正比的电阻元件。

集总（参数）元件



任何时刻，流入二端元件的一个端子的电流一定等于从另外一个端子流出的电流，两个端子之间的电压为单值量。

集总参数与分布参数

集总电路 → 由集总元件构成的电路

集总元件 → 假定发生的电磁过程都集中在元件内部进行

集总条件 → $d \ll \lambda$ $C = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ $\lambda = \frac{C}{f}$

f (Hz)	50	25k	500M	30G
λ (m)	6×10^6	12k	0.6	0.01

注意

集总参数的特点是电路中任意两点间电压和任意支路上的电流是**完全确定**的，可以是时间的函数，但与元件的**几何尺寸和空间位置无关**。

音频信号

f : 20Hz~25kHz, $\lambda=3 \times 10^8/25 \times 10^3=12000\text{m}$

实验室仪器：可不必考虑分布参数

实验室电子仪器的尺寸 l : 3~30cm, 允许信号
波长 $\lambda=300\sim 3000\text{cm}$, 则 $f = c/\lambda = 3 \times 10^{10}/\lambda$

$\Rightarrow f$: $10^7\text{Hz} \sim 10^8\text{Hz}$ (10MHz~100MHz)

在实验室，一般情况下50MHz的信号，可作
集总参数电路来处理。

1.1 电路和电路模型 (model)

3. 几种基本的电路元件：

电阻元件：表示消耗电能的元件；

电感元件：表示产生磁场，储存磁场能量的元件；

电容元件：表示产生电场，储存电场能量的元件；

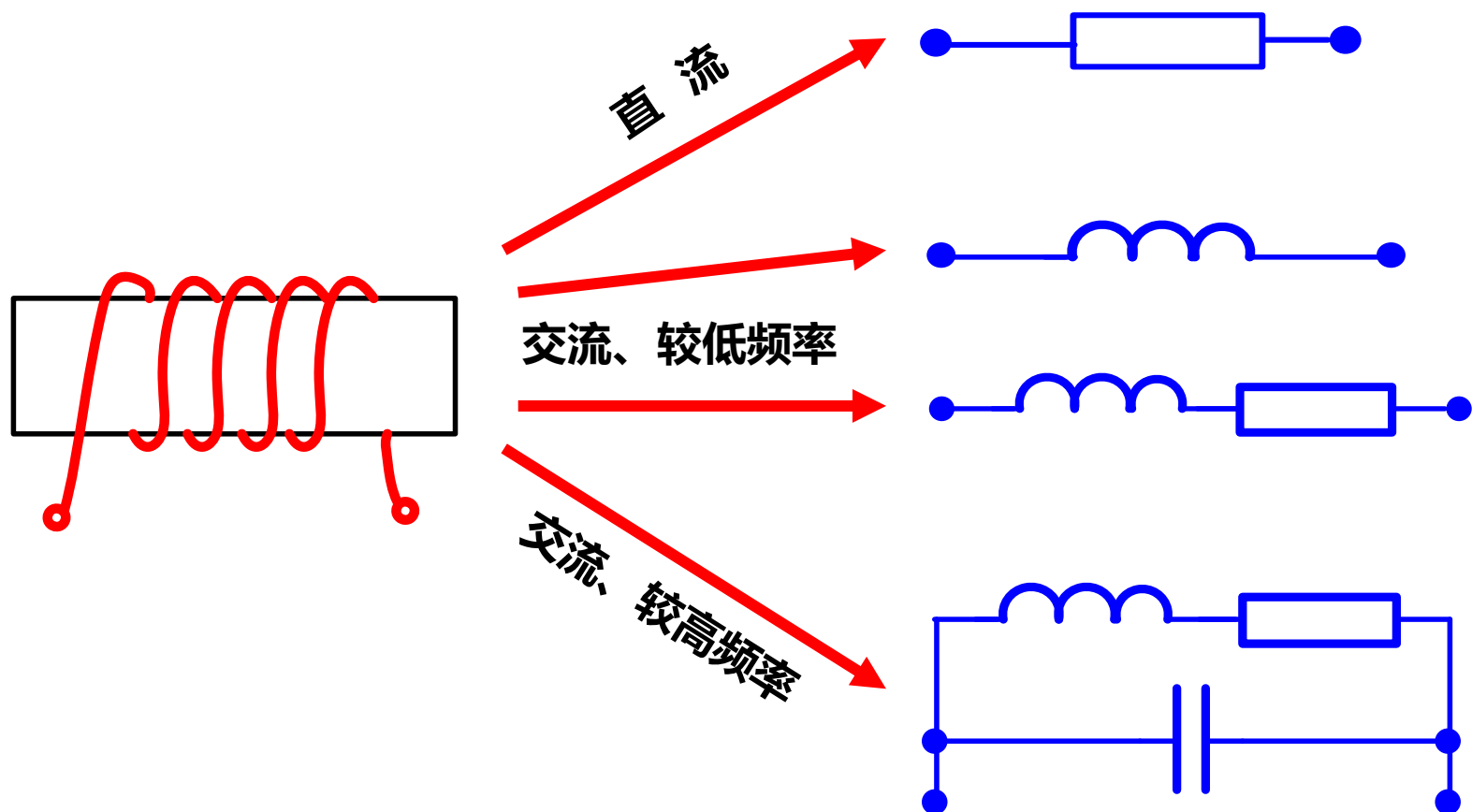
电源元件：表示各种将其它形式的能量转变成电能的元件。

其他元件：运算放大器、变压器、负阻抗变换器、回转器等。

注 意

- 具有相同的主要电磁性能的实际电路部件，在一定条件下可用同一模型表示；
- 同一实际电路部件在不同的应用条件下，其模型可以有不同的形式。

【例】 线圈在不同的工作情况下的理想模型



1.1 电路和电路模型 (model)

4. 电路分类

线性
非线性

激励与响应满足**叠加性**和**齐次性**的电路?

时变
时不变

电路元件参数不随**时间**变化?

集总参数
分布参数

电路几何**尺寸**远小于最小工作**波长**的电路?

静态
动态

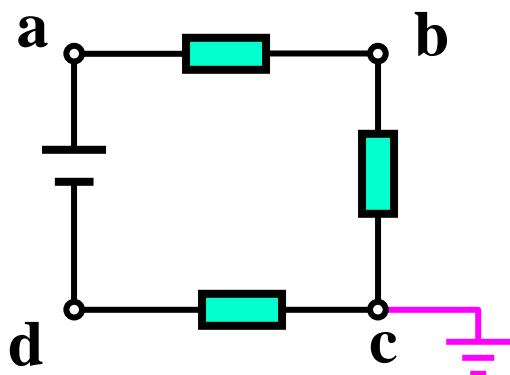
含有动态元件的电路?

含有电容、电感的电路?

1.2 电流和电压的参考方向 (reference direction)

电位的概念

取恒定电场中的任意一点 (O点), 设该点的电位为**零**, 称O点为参考点。则电场中一点A到O点的电压 U_{AO} 称为A点的电位, 记为 φ_A 。单位 **V(伏)**。



设c点为电位参考点, 则 $\varphi_c = 0$

$$\varphi_a = U_{ac}, \quad \varphi_b = U_{bc}, \quad \varphi_d = U_{dc}$$

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

1.2 电流和电压的参考方向 (reference direction)

2. 电流的参考方向 (current reference direction)

方向  规定正电荷的运动方向为电流的实际方向

元件(导线)中电流流动的实际方向只有两种可能:



问题

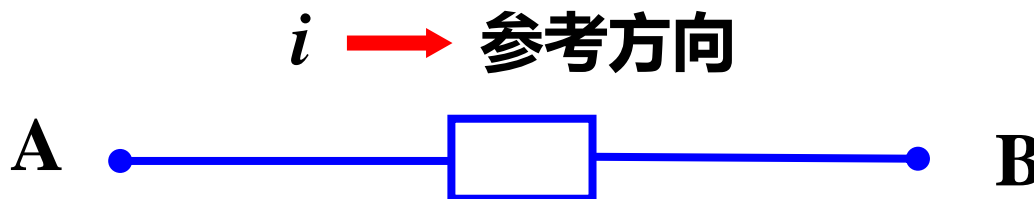
复杂电路或交变电路中的电流随时间变化时, 电流的实际方向往往很难事先判断

参考方向

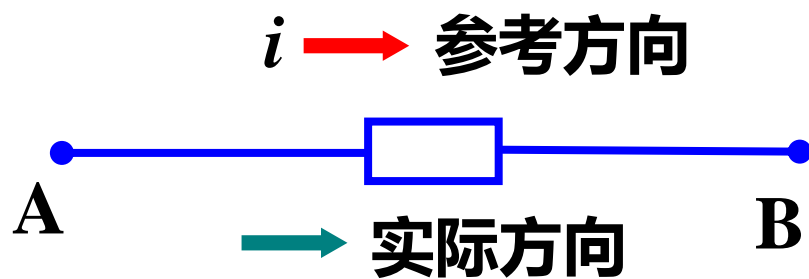
任意假定一个正电荷运动的方向即为
电流的参考方向

电流(代数量)

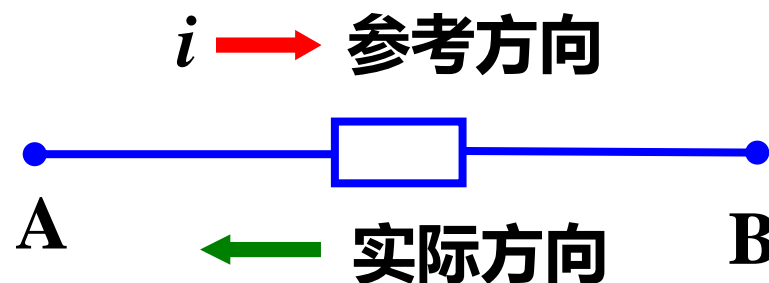
{ 大小
方向 (正负)



电流的参考方向与实际方向的关系:



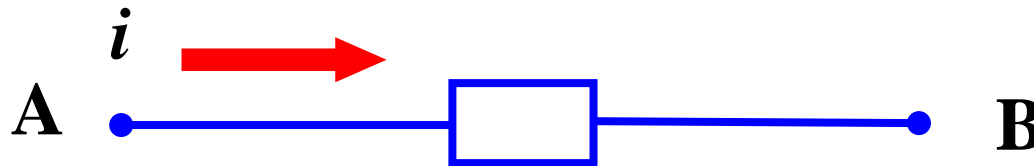
$$i > 0$$



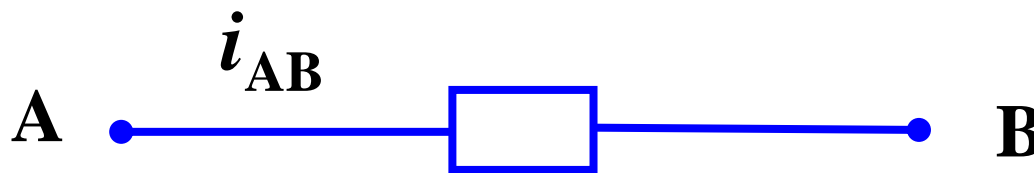
$$i < 0$$

电流参考方向的两种表示：

- 用箭头表示：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



1.2 电流和电压的参考方向 (reference direction)

3. 电压的参考方向 (voltage reference direction)

实际电压方向  **电位真正降低的方向**

问题

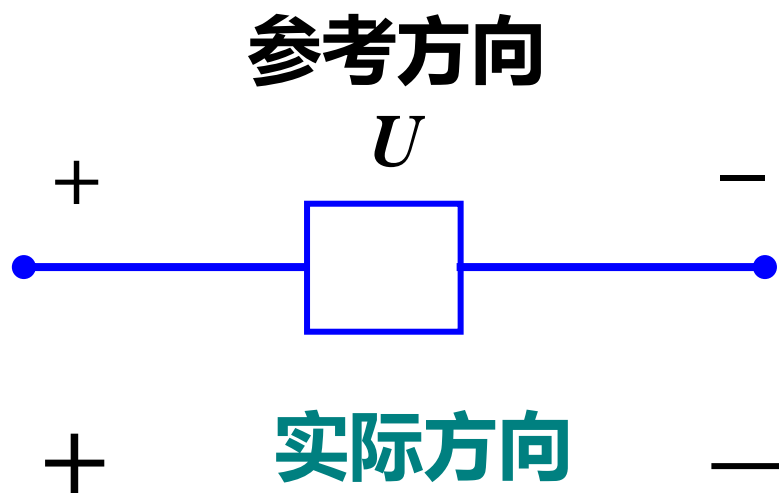
复杂电路或交变电路中，两点间电压的实际方向往往不易判别，给实际电路问题的分析计算带来困难

1.2 电流和电压的参考方向 (reference direction)

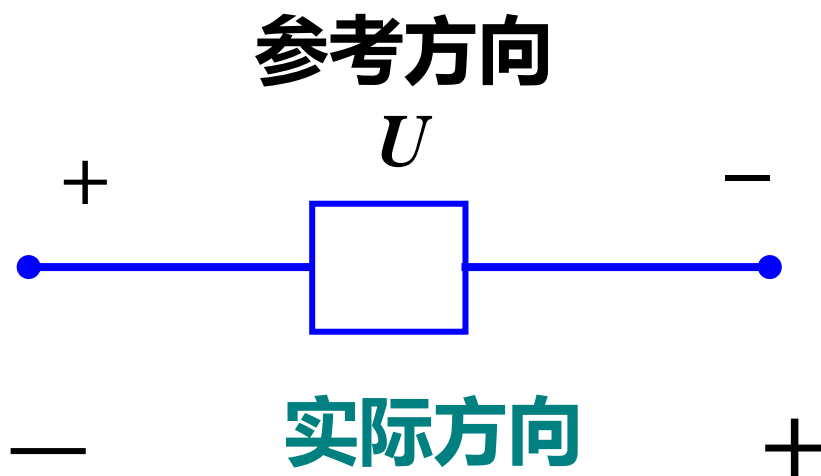
电压(降)的参考方向



假设的电压降低之方向



$$U > 0$$



$$U < 0$$

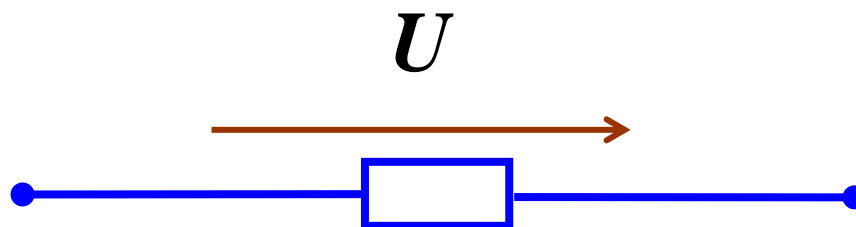
电压(代数量)

{ 大小
方向(正负)

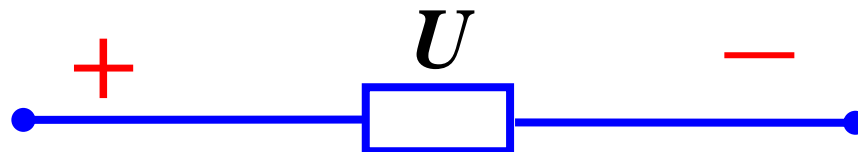
1.2 电流和电压的参考方向 (reference direction)

电压参考方向的三种表示方式:

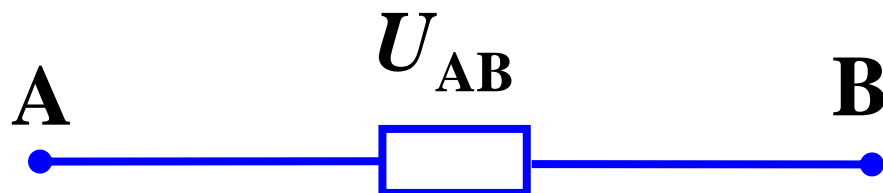
(1) 用箭头表示



(2) 用正负极性表示



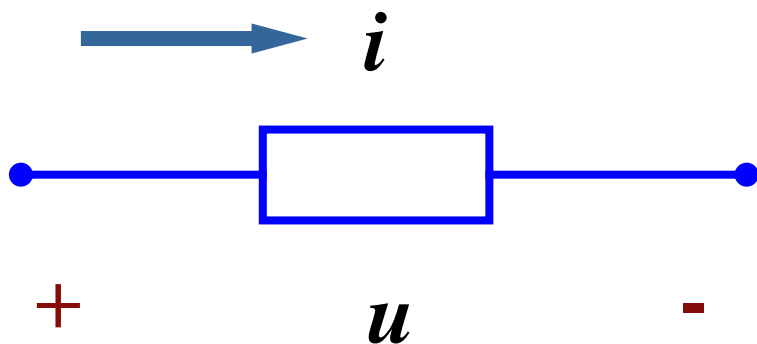
(3) 用双下标表示



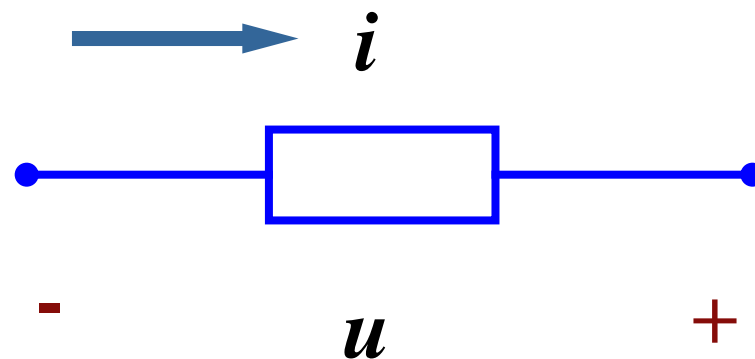
1.2 电流和电压的参考方向 (reference direction)

4. 关联参考方向

元件或支路的 u , i 采用相同的参考方向称之为**关联参考方向**。反之, 称为**非关联参考方向**。

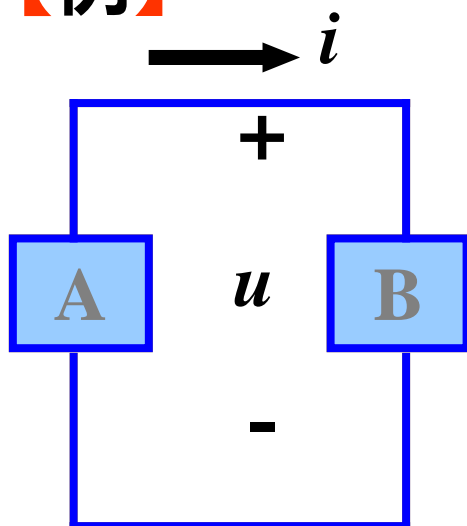


关联参考方向



非关联参考方向

【例】



电压电流参考方向如图中所标，问：对A、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

- (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，但实际方向不变。

1.3 功率 (power)

1. 电功率 → 单位时间内电场力所做的功

$$dW = u \cdot dq$$

$$p = \frac{dW}{dt}$$

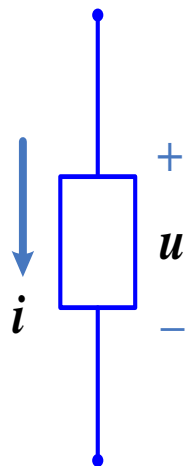
$$p = \frac{u \cdot dq}{dt} = u \cdot i$$

功率的单位: W (瓦) (Watt, 瓦特)

能量的单位: J (焦) (Joule, 焦耳)

1.3 功率 (power)

2. 电路吸收或发出功率的判断



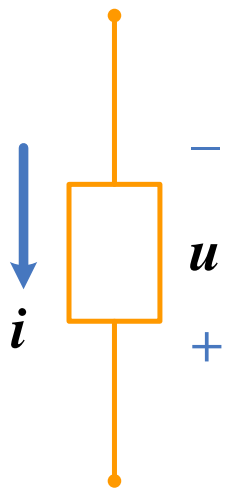
- u, i 取关联参考方向

吸收功率计算?

$p = ui$ 表示元件吸收的功率

$p > 0$ 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

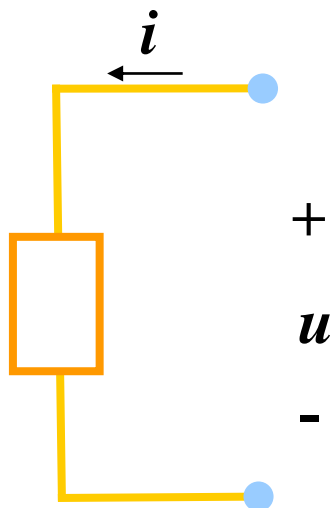
发出功率计算?

$p = ui$ 表示元件发出的功率

$p > 0$ 发出正功率 (实际发出)

$p < 0$ 发出负功率 (实际吸收)

【例】

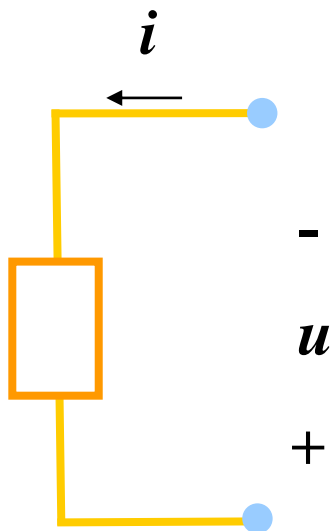


求图示电路的功率,
已知: $u = -2\text{V}$, $i = 1\text{A}$ 。

解: $p = ui = -2 \text{ (W)}$

关联参考方向, $p < 0$

表示元件发出2W功率



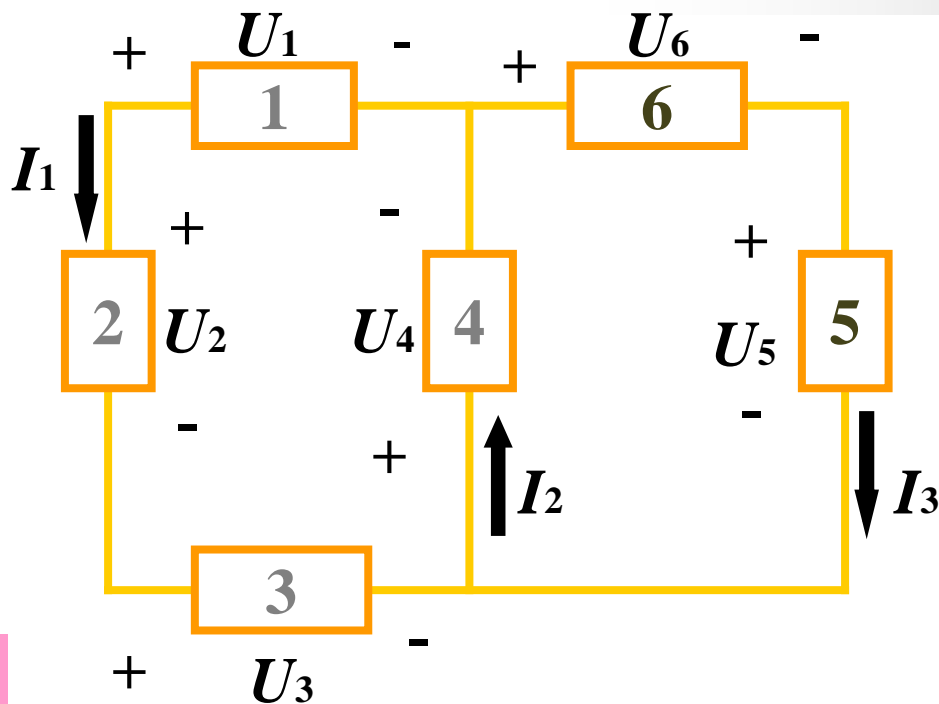
求图示电路的功率,
已知: $u = -3\text{V}$, $i = 2\text{A}$,

解: $p = ui = -6 \text{ (W)}$

非关联参考方向, $p < 0$

表示元件吸收6W功率

【例】



求图示电路中各方框所代表的元件消耗或产生的功率。已知：

$$\begin{aligned} U_1 &= 1\text{V}, & U_2 &= -3\text{V}, \\ U_3 &= 8\text{V}, & U_4 &= -4\text{V}, \\ U_5 &= 7\text{V}, & U_6 &= -3\text{V} \\ I_1 &= 2\text{A}, & I_2 &= 1\text{A}, \\ I_3 &= -1\text{A} \end{aligned}$$

解

$$P_{1\text{发}} = U_1 I_1 = 1 \times 2 = 2\text{ W}$$

$$P_{4\text{吸}} = U_4 I_2 = (-4) \times 1 = -4\text{ W}$$

$$P_{2\text{吸}} = U_2 I_1 = (-3) \times 2 = -6\text{ W}$$

$$P_{5\text{吸}} = U_5 I_3 = 7 \times (-1) = -7\text{ W}$$

$$P_{3\text{吸}} = U_3 I_1 = 8 \times 2 = 16\text{ W}$$

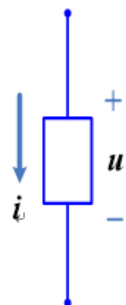
$$P_{6\text{吸}} = U_6 I_3 = (-3) \times (-1) = 3\text{ W}$$

注 对一完整的电路，发出的功率 = 消耗的功率

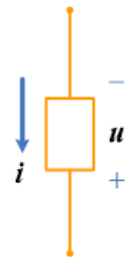
作业



- 1-1、电路电压与电流参考方向如图所示，已知 $u = -10\text{V}$ 。
- 求：(1) 给出电压的实际方向，并判断电压电流是否为关联参考方向；
(2) 已知 $i = 2\text{A}$ ，求该电路的功率 P ，并判断该电路实际是吸收功率还是发出功率。

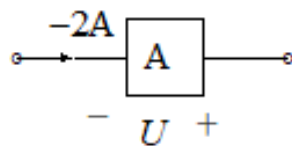


(a)

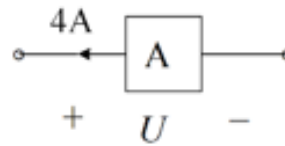


(b)

- 1-2、电路如图所示，若已知元件A吸收功率 10 W ，求电压 U 。



(a)



(b)

作业



- 1—3、试求图示电路各元件的功率，并验证功率平衡关系。

