
电路理论

——电路理论（基础篇）

主讲人：陈昌松

华中科技大学·电气学院

ccsfm@hust.edu.cn

一、课程的性质、任务及地位

(1) 电在人们的生产、生活中几乎无处不在，电的作用是通过具体的电路实现的。电路理论研究电路中的普通规律，根据电路模型探讨各种电路的一般分析计算方法和设计方法。

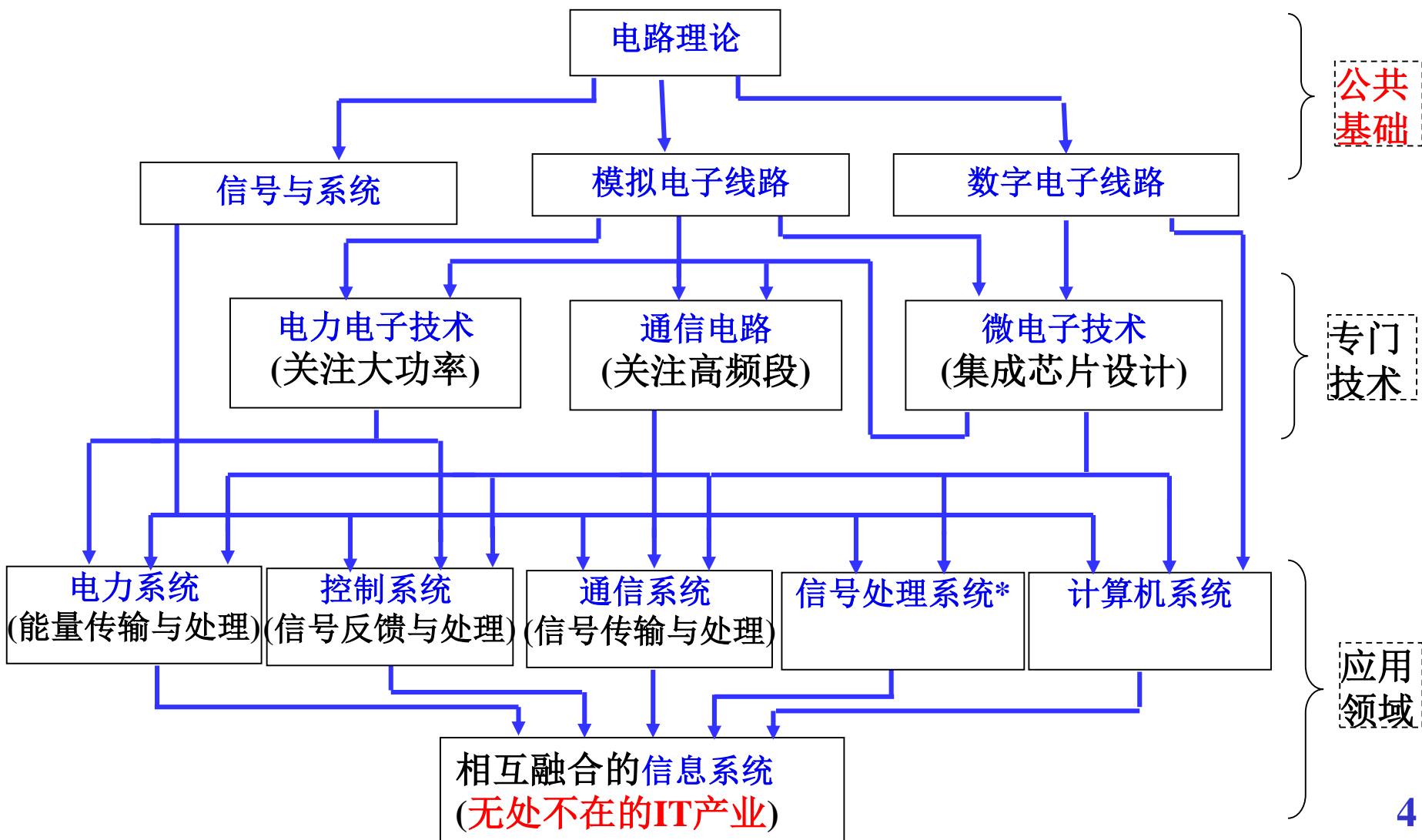
(2) 构建系统的理论体系，形成科学的思维方法，培养解决复杂工程问题的能力。

(3) 它不同于理论基础课，也不同于专业课，**电路理论课是一门既有理论性，又有实践性的课程**，是一门技术基础课。

二、为什么要学习电路？

- 从学术的观点来看
 - 电路理论是电气、电子、信息、自动化、计算机等专业的专业基础课，是从数学、物理等基础课程学习，过渡到专业课程学习的一门承上启下的课程。
 - 电路分析是电路理论的基础。
- 从实际情况来看
 - 电路理论是许多高级课程的先修课程。
 - 熟练掌握电路理论对现实生活有帮助。

三、电路理论的后续课程



四、电路理论的学习内容

主要包括电路分析和电路综合两方面内容

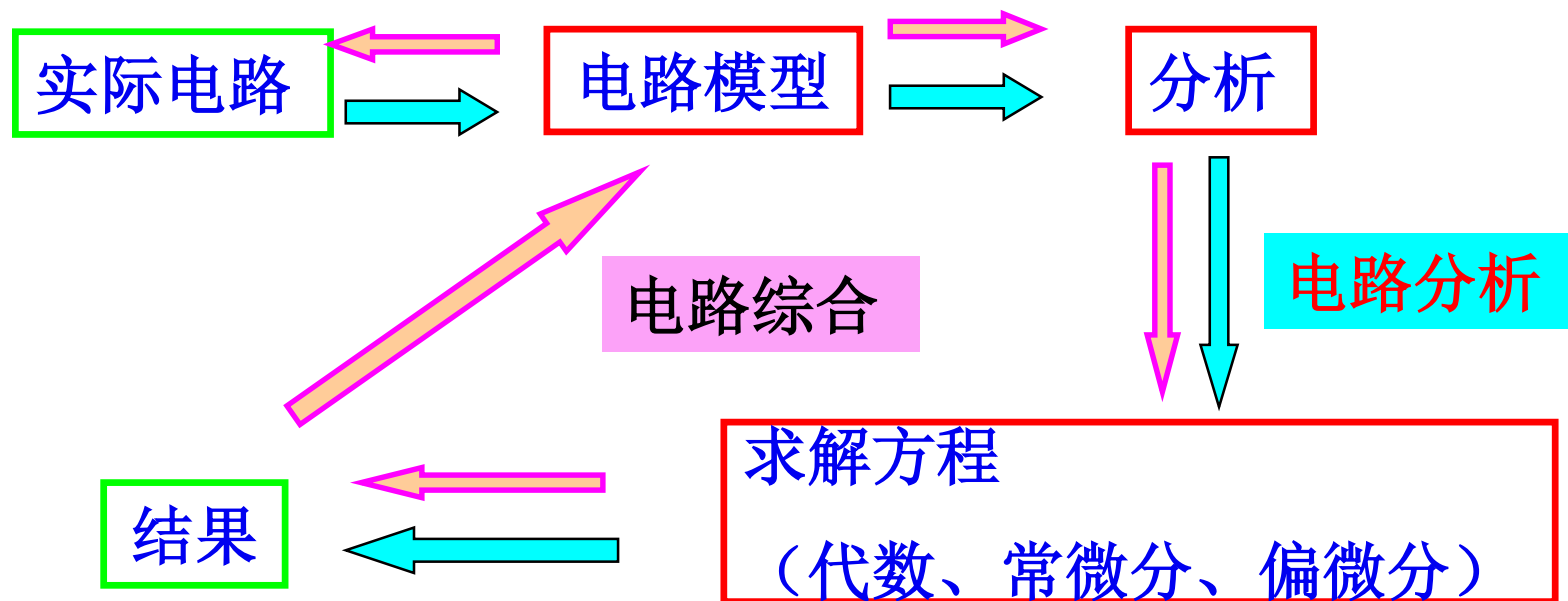


电路分析：已知 已知 求解

电路综合：已知 求解 已知

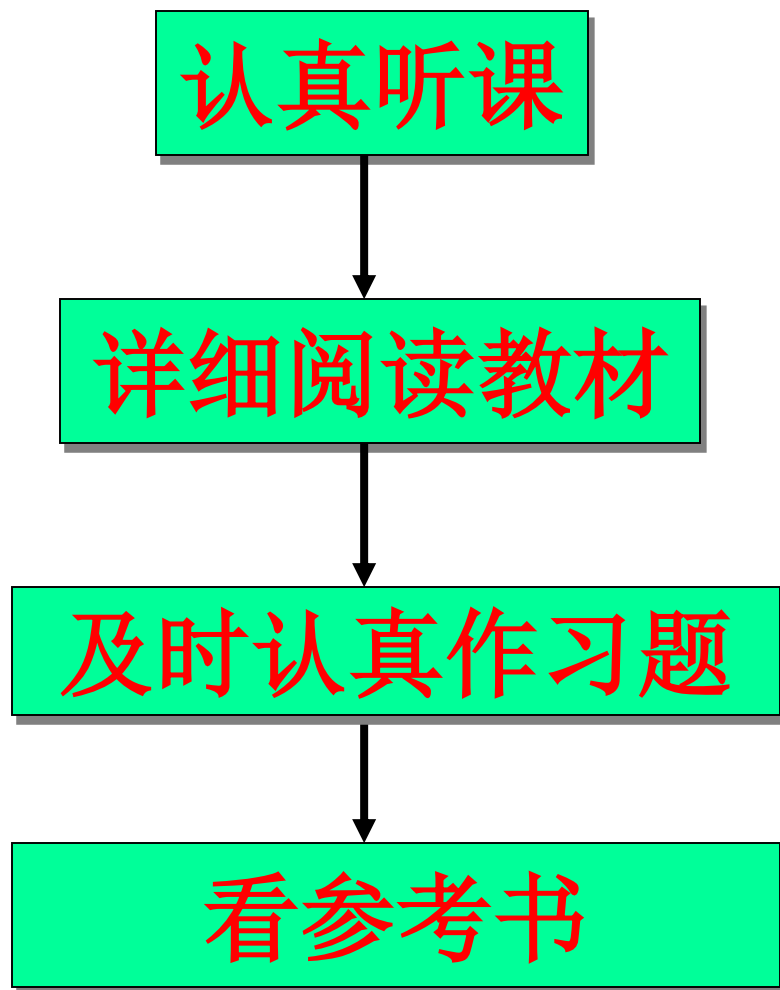
显然，电路分析是电路综合的基础。

电路分析与电路综合示意图



五、学习方法

预习，听讲，
笔记，复习，
独立完成作业
（仔细订正），
答疑，总结。



五、学习方法-续

中国大学MOOC

听课，

独立作业，

复习，测试，

总结。



六、参考书目

- ◆ 《电路理论-基础篇》，高等教育出版社，2017. 颜秋容主编.
- ◆ 《电路理论-高级篇》，高等教育出版社，2018. 颜秋容主编.
- ◆ 邱关源. **电路(第五版)**，高等教育出版社
- ◆ 周守昌. **电路原理**，高等教育出版社
- ◆ **Fundamentals of Electric Circuits** （《电路基础》）. 北京：清华大学出版社，2000年. Charles K. Alexander, Matthew N. O. Sadiku.

第1章 电路模型与基本定律

1.1 概述

1.2 电路模型

1.3 电路变量

1.4 电路元件

1.5 基本定律

1.6 拓展与应用

习题1

● 重点:

1. 电压、电流的参考方向
2. 受控电源
3. 基本定律-基尔霍夫定律

电路



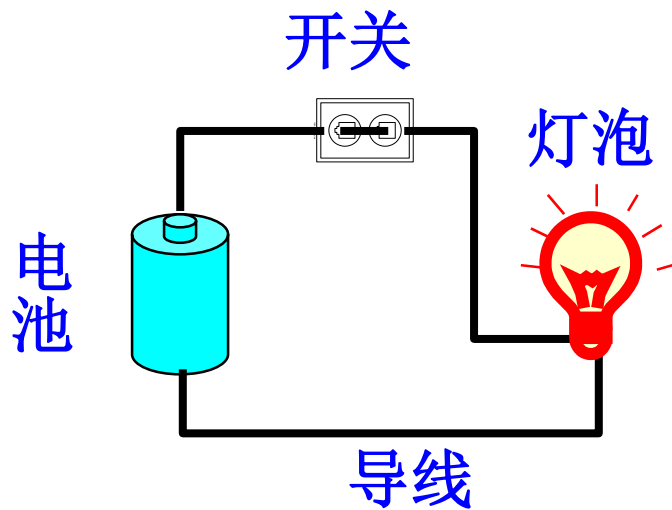
是由电器件互相连接、能够实现电能变换的系统

实际电路的组成

- (1) 电源（信号源）
- (2) 负载
- (3) 中间环节(连接和控制)

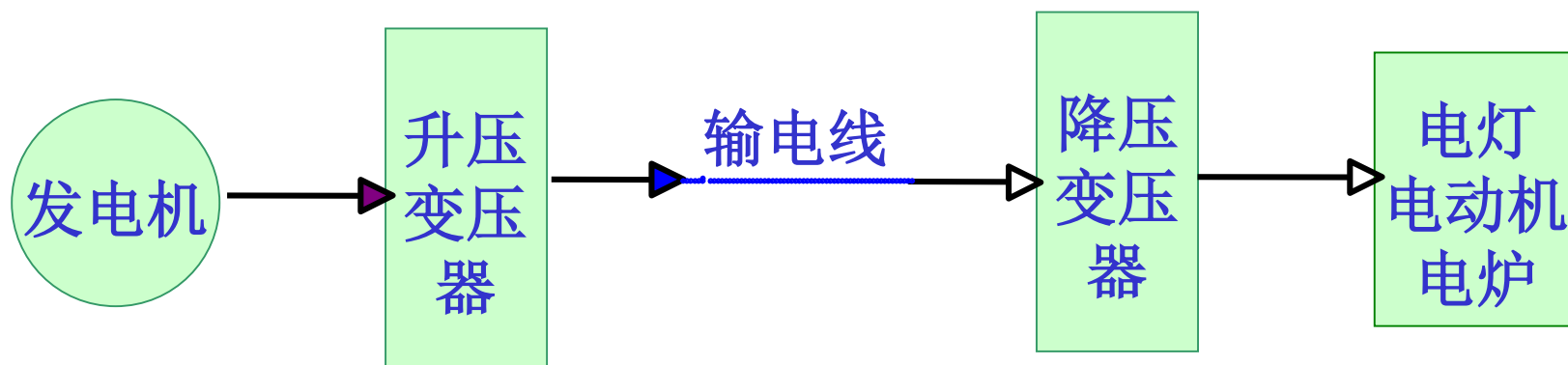
实际电路的功能

- (1) 能量的传输、分配与转换；
- (2) 信息的传递、控制与处理。



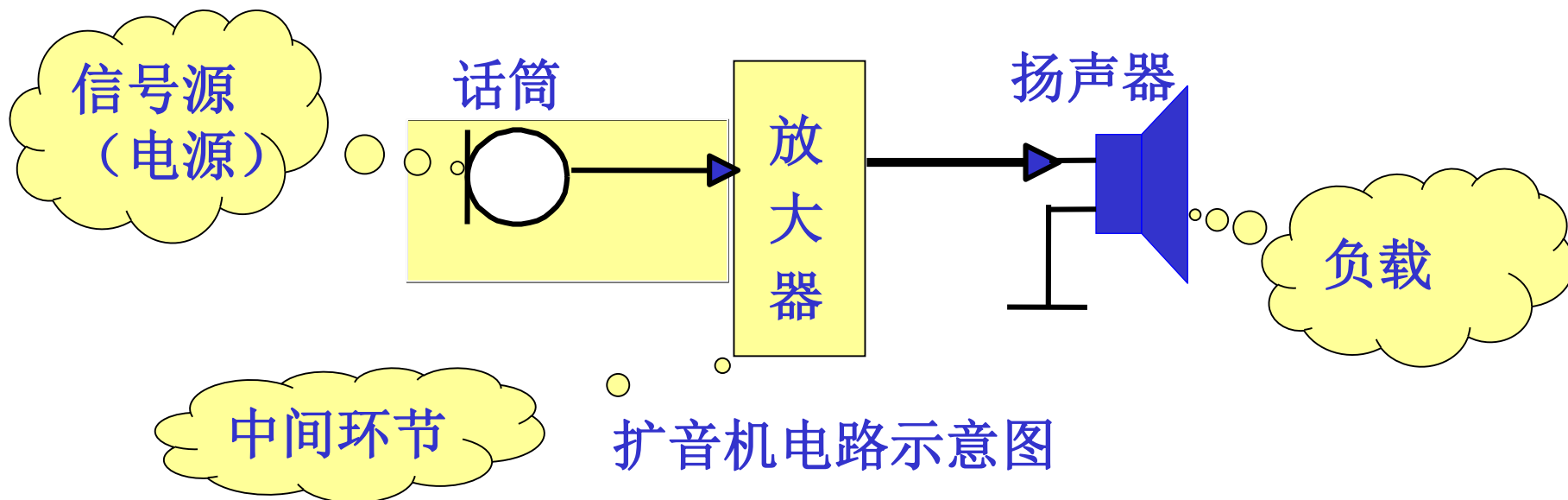
手电筒电路示意图

能量的传输、分配与转换



电力系统电路示意图

信息的传递、控制与处理



理想电路元件

在一定条件下突出实际器件主要的电磁性质，忽略次要因素，把它近似地看作理想电路元件。

为什么电路元件要理想化？

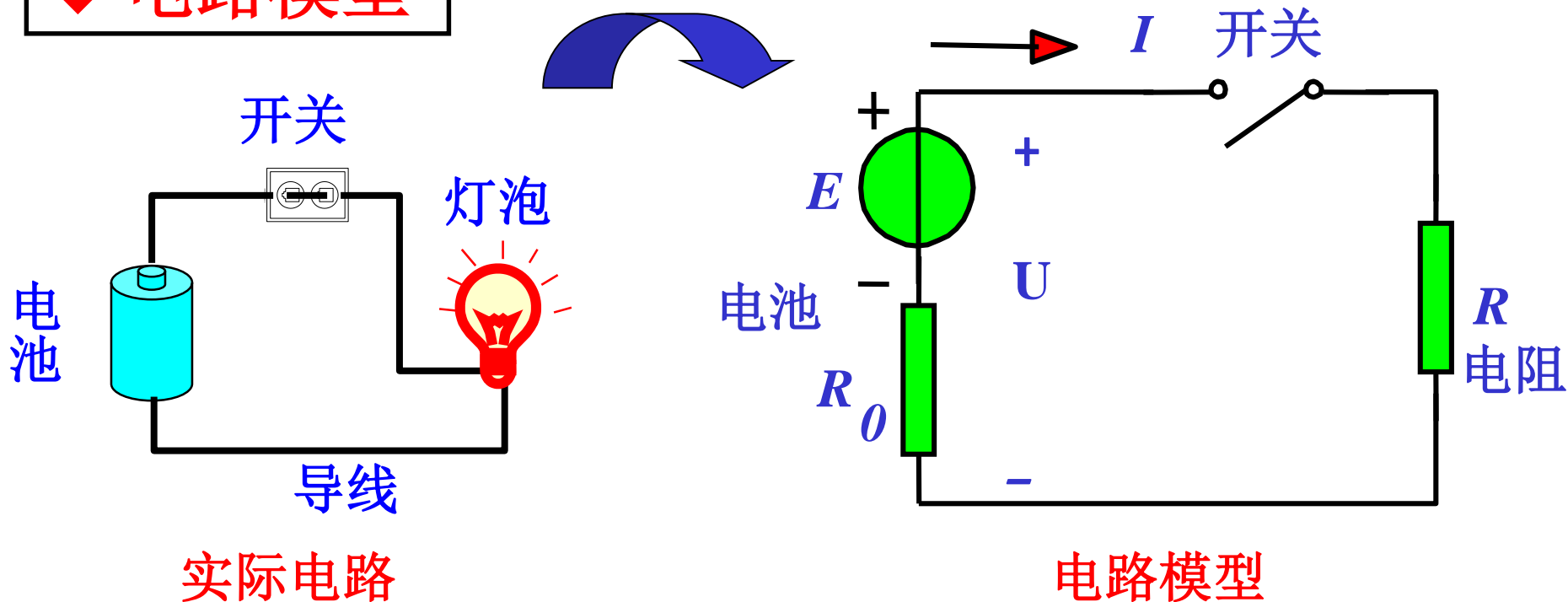
便于对实际电路进行分析和用数学描述，将实际元件理想化（或称模型化）。



目的：通过对电路模型的分析计算来预测实际电路的特性，从而改进实际电路的电气特性和设计出新的电路。

1.2 电路模型

◆ 电路模型



- 电路模型 \rightarrow 由理想电路元件构成的电路模型
- 理想电路元件 \rightarrow 具有一种电磁性质的电路元件

5种基本的理想电路元件：

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

电压源和电流源：表示将其它形式的能量转变成电能的元件。

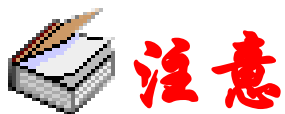


注意

①理想电路元件的三个主要特征：

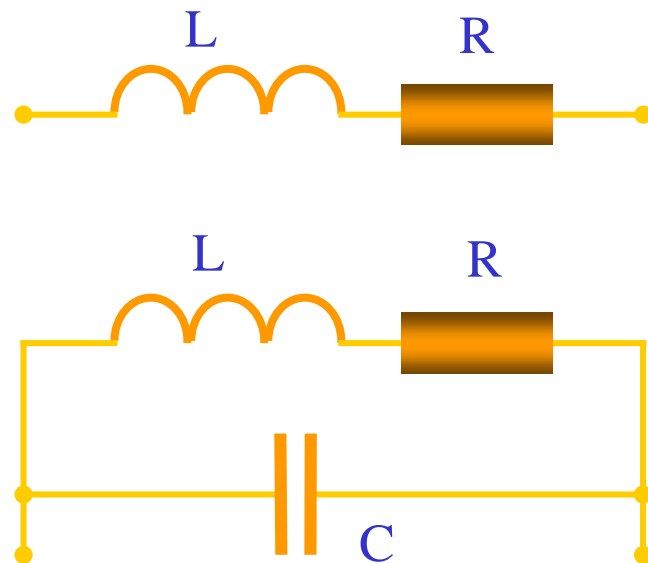
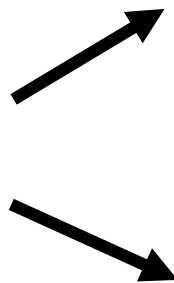
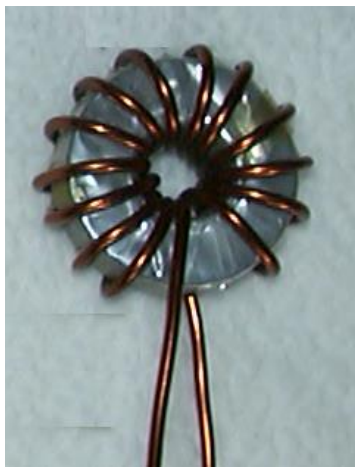
- (a) 没有空间大小；
- (b) 表征单一电磁现象；
- (c) 有精确的特性方程。

1.2 电路模型



- ①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电路模型表示；
- ②同一实际电路部件在不同的应用条件下，其电路模型可以有不同的形式。

例 电感线圈的电路模型



◆ 集中参数电路模型

→ 由理想电路元件互联而成的电路模型

集中参数电路 → 满足 $d \leq 0.01\lambda$ 的电路。

分布参数电路

$$\lambda = vT = \frac{c}{f}$$



注意

当电路的几何尺寸 d 远小于电路中信号的波长时，信号与空间坐标的关系可以忽略，使用没有空间大小的理想元件构成电路模型，称其为集中参数模型。

第1章 电路模型与基本定律

1.1 概述

1.2 电路模型

1.3 电路变量

1.4 电路元件

1.5 基本定律

1.6 拓展与应用

习题1

1.3.1 国际单位制

表 1-3-2 本书中用到的 SI 导出单位

物理量	单位名称(符号)	导出公式	物理量	单位名称(符号)	导出公式
频率	赫[兹](Hz)	s^{-1}	电阻	欧[姆](Ω)	V/A
力	牛[顿](N)	$kg \cdot m/s^2$	电导	西[门子](S)	A/V
能量或功	焦[耳](J)	$N \cdot m$	电容	法[拉](F)	C/V
功率	瓦[特](W)	J/s	磁通量	韦[伯](Wb)	$V \cdot s$
电荷量	库[仑](C)	A/s	电感	亨[利](H)	Wb/A
电位或电压	伏[特](V)	W/A			

表 部分国际单位制词头

因数	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
名称	吉	兆	千	毫	微	纳	皮
符号	G	M	k	m	μ	n	p

1.3.2 电荷与电流

电路中的主要物理量有电压、电流、电荷、磁链、能量、电功率等。在线性电路分析中人们主要关心的物理量是电流、电压和功率。

1. 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

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

①直流电流:

量值和方向均不随时间变化的电流，称为恒定电流，简称为直流(dc或DC)，一般用符号 I 表示。

②时变电流:

量值和方向随时间变化的电流，称为时变电流，一般用符号 i 表示。时变电流在某一时刻 t 的值 $i(t)$ ，称为瞬时值。

③交流电流:

量值和方向作周期性变化且平均值为零的时变电流，称为交流电流，简称为交流(ac或AC)。

电流及其参考方向

●单位



A（安培）、
kA、mA、 μ A

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

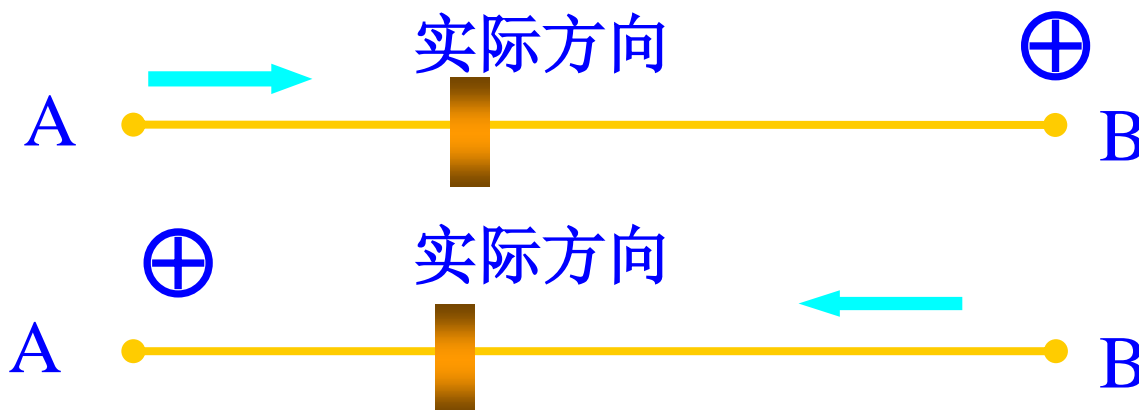
$$1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$$

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

●方向

规定正电荷的运动方向为电流的实际方向

元件(导线)中电流流动的实际方向只有两种可能:



问题

对于复杂电路或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。

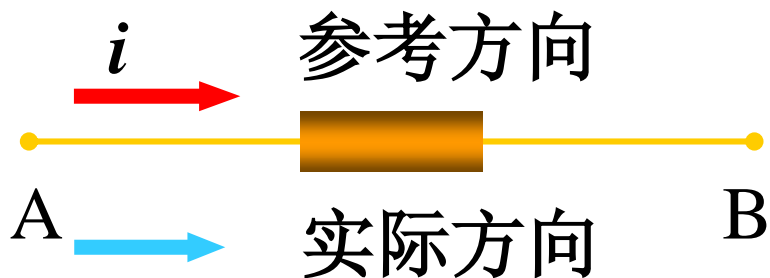
电流及其参考方向

●参考方向

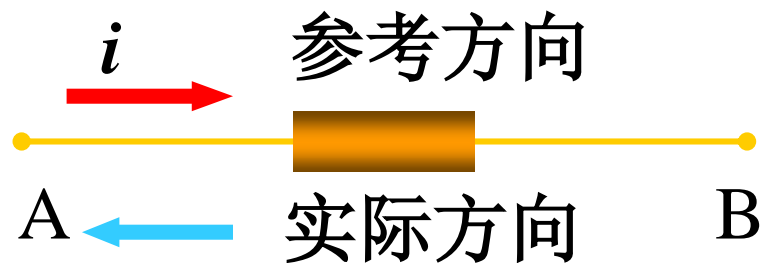
任意假定一个正电荷运动的方向即为电流的参考方向。



电流的参考方向与实际方向的关系:



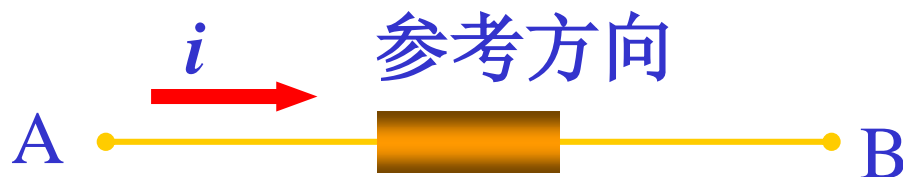
$$i > 0$$



$$i < 0$$

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。



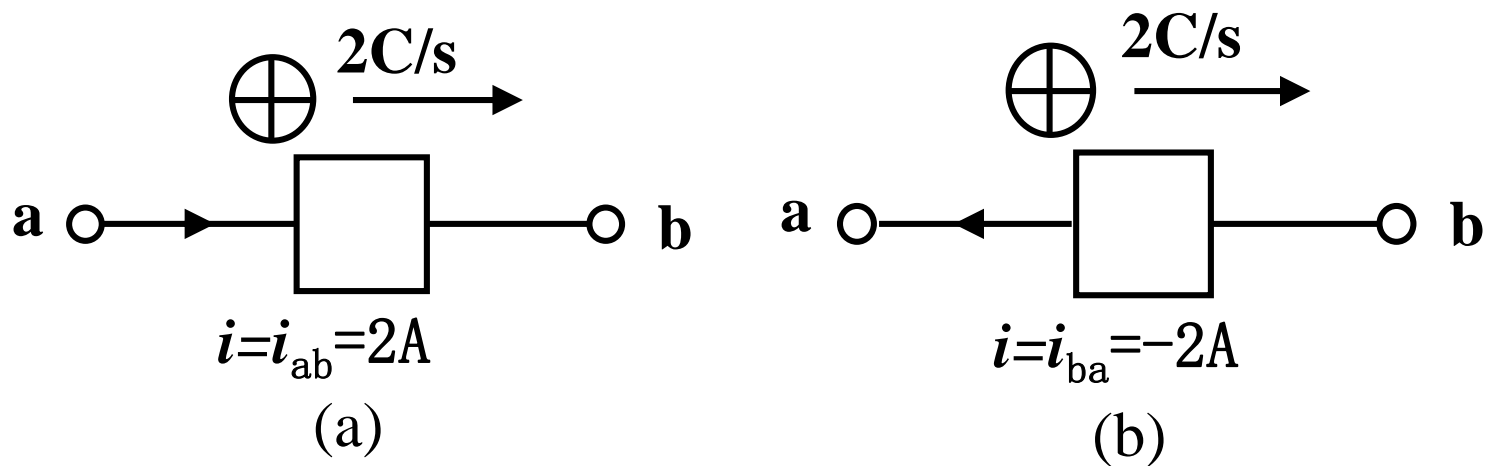
- 用双下标表示：如 i_{AB} ，电流的参考方向由A指向B。



注意：今后，在分析电路时，必须事先规定电流变量的参考方向。

电流及其参考方向

例如：在图示的二端元件中，每秒钟有2C正电荷由a点移动到b点。



当规定电流参考方向由a点指向b点时，如图(a)所示，则该电流 $i=2A$ ；若规定电流参考方向由b点指向a点时，如图(b)所示，则电流 $i=-2A$ 。

若采用双下标表示电流参考方向，则写为 $i_{ab}=2A$ 或 $i_{ba}=-2A$ 。

1.3.3 电压与电位

1. 电压是用来表征电场力移动电荷时做功能力的物理量。单位正电荷由电路中a点移动到b点所获得或失去的能量称为ab两点的电压，即：

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

其中 dq 为由a点移动到b点的电荷量，单位为库[仑](C)， dW 为电荷移动过程中所获得或失去的能量，单位为焦[耳](J)，电压的单位为伏[特](V)。

1、直流电压

★ 量值和方向均不随时间变化的电压，称为**恒定电压或直流电压**，一般用符号 U 表示。

2、时变电压

★ 量值和方向随时间变化的电压，称为**时变电压**，一般用符号 u 表示。

3、交流电压

★ 量值和方向作周期性变化且平均值为零的时变电压，称为**交流电压**。

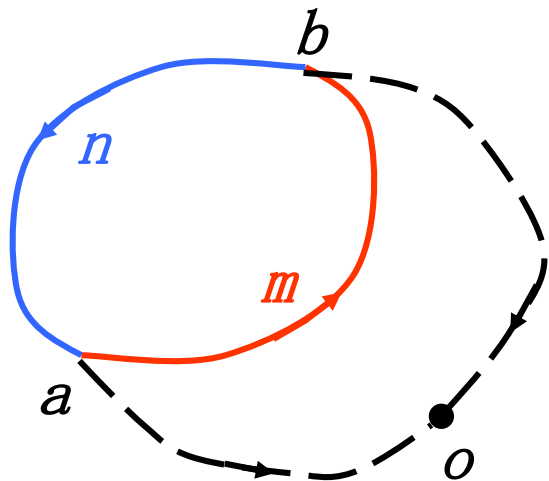
1.3.3 电压与电位

■ 电位

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

● 电压

→ 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。



$$\begin{aligned} u_{ab} &= u_{ao} + u_{ob} = u_{ao} + (-u_{bo}) \\ &= u_{ao} - u_{bo} = \varphi_a - \varphi_b \end{aligned}$$

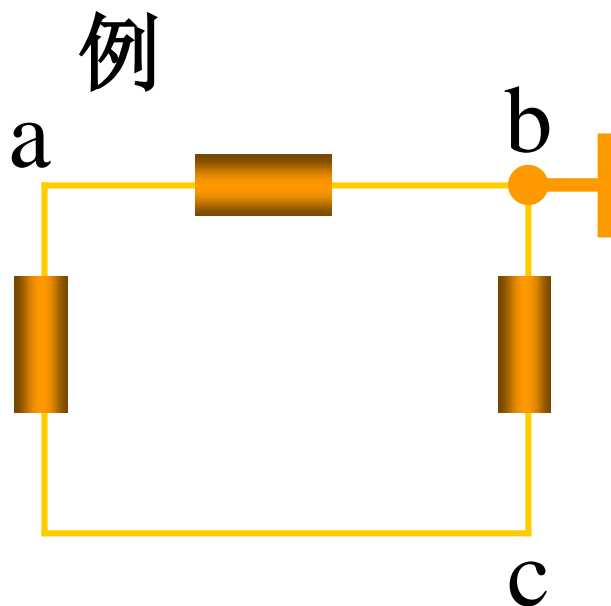
$$u_{ab} = \int_{alb} E dl$$

➤ 两点间电压与所经过的路径无关

● 实际电压方向

→ 正电荷在电场力作用下移动的方向

电压及其参考方向



已知：4C正电荷由a点均匀移动至b点电场力做功8J，由b点移动到c点电场力做功为12J，

- ①若以b点为参考点，求a、b、c点的电位和电压 U_{ab} 、 U_{bc} ；
- ②若以c点为参考点，再求以上各值。

解： (1) $\phi_b = 0$

$$U_{ab} = \phi_a - \phi_b = 2 - 0 = 2 \text{ V}$$

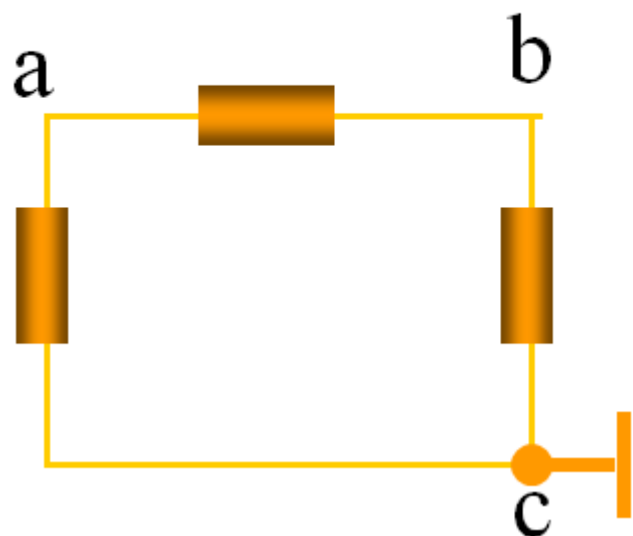
$$\phi_a = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{8}{4} = 2 \text{ V}$$

$$U_{bc} = \phi_b - \phi_c = 0 - (-3) = 3 \text{ V}$$

$$\phi_c = \frac{W_{cb}}{q} = -\frac{W_{bc}}{q} = -\frac{12}{4} = -3 \text{ V}$$

电压及其参考方向

解: (2) $\phi_c = 0$



$$\phi_a = \frac{W_{ac}}{q} = \frac{8+12}{4} = 5 \text{ V}$$

$$\phi_b = \frac{W_{bc}}{q} = \frac{12}{4} = 3 \text{ V}$$

$$U_{ab} = \phi_a - \phi_b = 5 - 3 = 2 \text{ V}$$

$$U_{bc} = \phi_b - \phi_c = 3 - 0 = 3 \text{ V}$$



结论 电路中电位参考点可任意选择；参考点一经选定，电路中各点的电位值就唯一确定；当选择不同的电位参考点时，电路中各点电位值将改变，但任意两点间电压保持不变。

电压及其参考方向



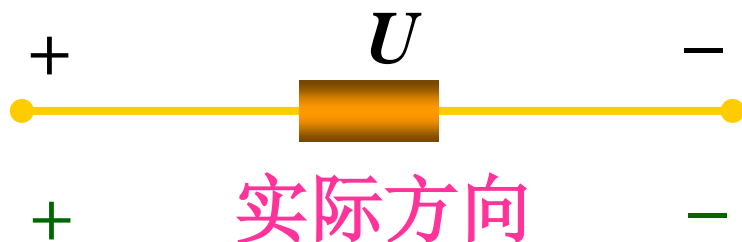
问题

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。

● 电压(降)的参考方向

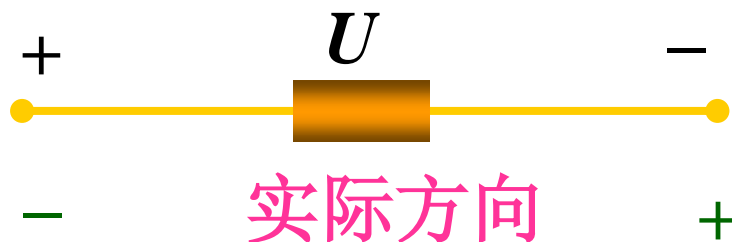
→ 假设高电位指向低电位的方向。

参考方向



$$U > 0$$

参考方向



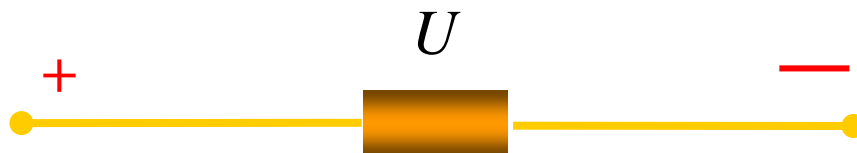
$$U < 0$$

电压参考方向的两种表示方式:

(1) 用双下标表示



(2) 用正负极性表示

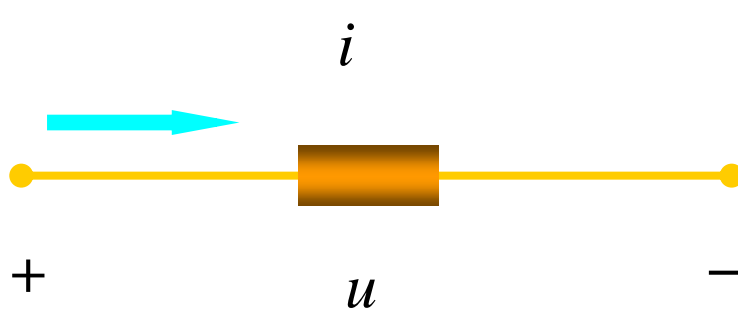


3. 关联参考方向

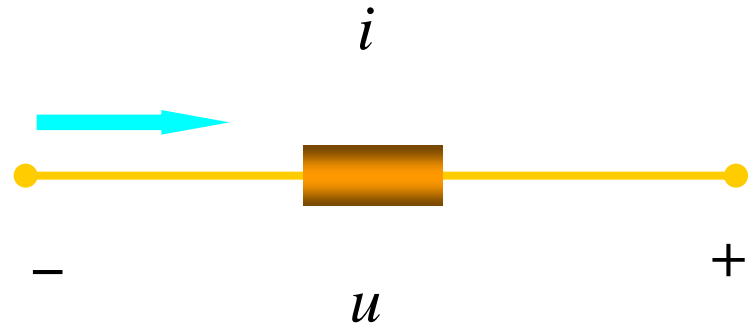
为了电路分析和计算的方便，常采用电压电流的关联参考方向，也就是说，当电压的参考极性已经规定时，**电流参考方向从“+”指向“-”**，当电流参考方向已经规定时，电压参考极性的“+”号标在电流参考方向的进入端，“-”号标在电流参考方向的流出端。

3. 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**。

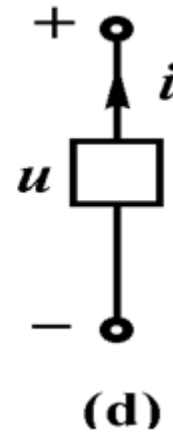
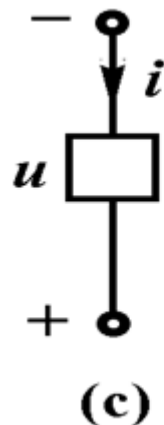
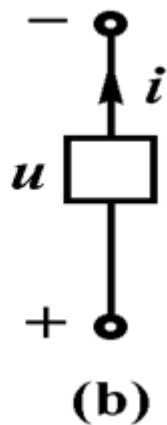
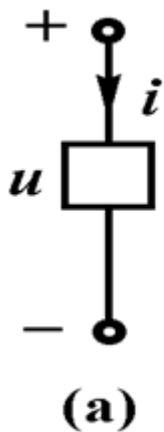


关联参考方向



非关联参考方向

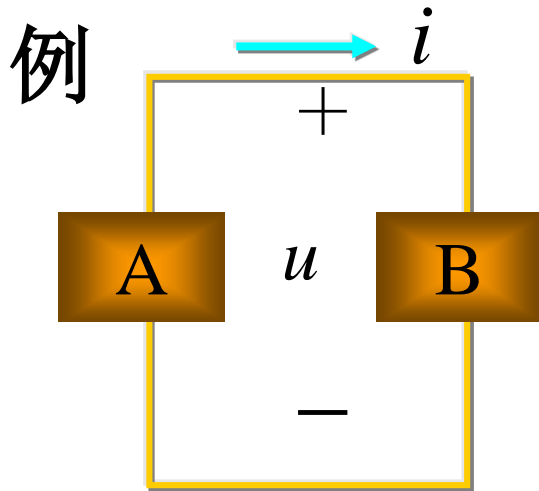
关联参考方向



(a)、(b) 关联参考方向

(c)、(d) 非关联参考方向

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

1. 电功率 电路元件吸收电能的速率

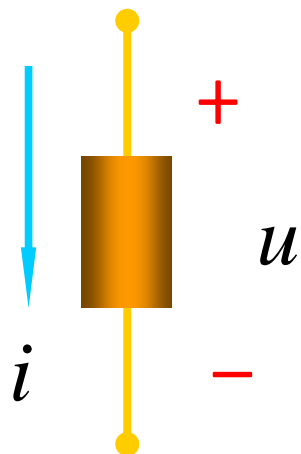
$$p = \frac{dw}{dt} \quad u = \frac{dw}{dq} \quad i = \frac{dq}{dt}$$

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

功率的单位：W（瓦）（Watt，瓦特）

能量的单位：J（焦）（Joule，焦耳）

2. 电路吸收或发出功率的判断

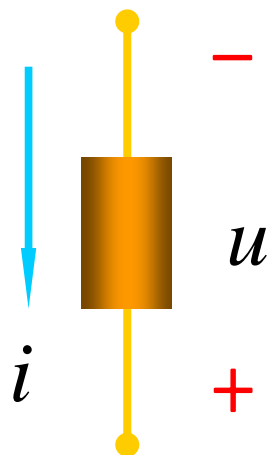


- u, i 取关联参考方向

$P=ui$ 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

$P = -ui$ 表示元件吸收的功率

$P>0$ 吸收正功率

$P<0$ 吸收负功率

1.3.4 功率和能量

由于能量必须守恒，对于一个完整的电路来说，在任一时刻，所有元件吸收功率的总和必须为零。若电路由 b 个二端元件组成，且全部采用关联参考方向，则：

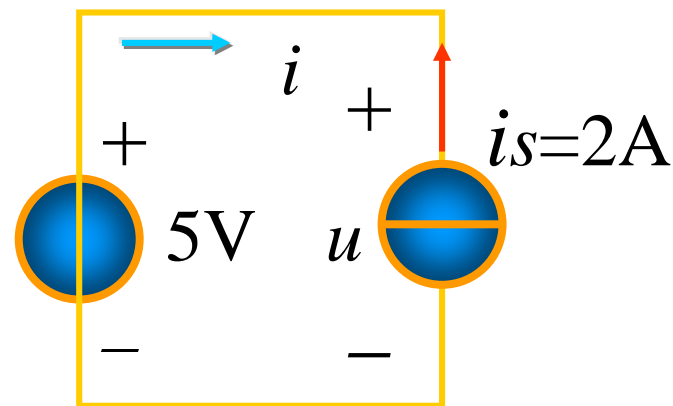
$$\sum_{k=1}^b u_k i_k = 0$$

1.3.4 功率和能量

例 计算图示电路各元件的功率

解: $i = -i_s = -2\text{ A}$

$$u = 5\text{ V}$$



$$P_{2A} = u i = -2 \times 5 = -10\text{ W}$$

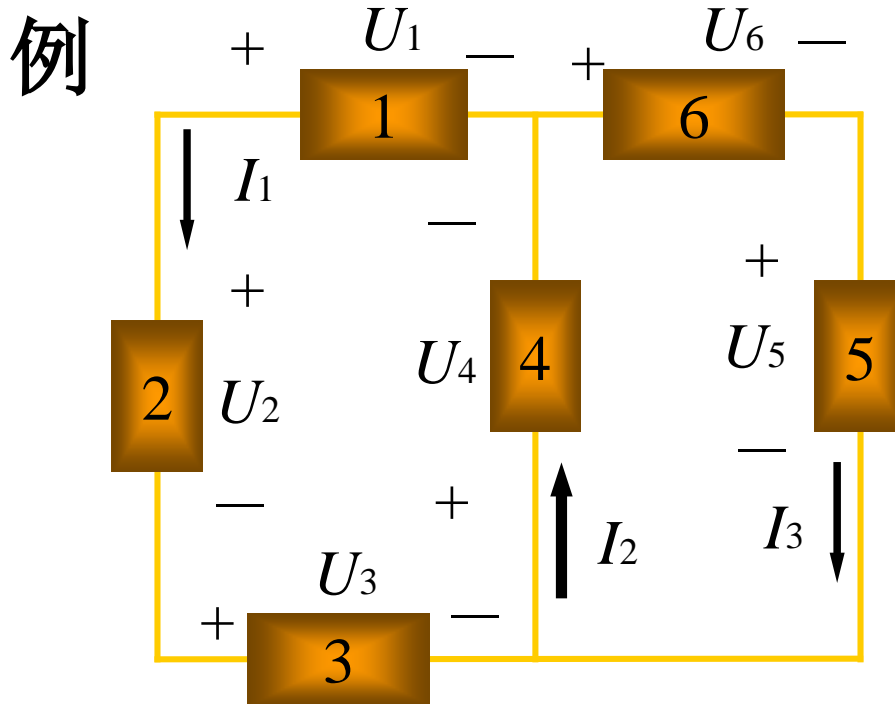
发出10W

$$P_{5V} = -u i = -5 \times (-2) = 10\text{ W}$$

吸收10W

满足: $P(\text{发}) = P(\text{吸})$

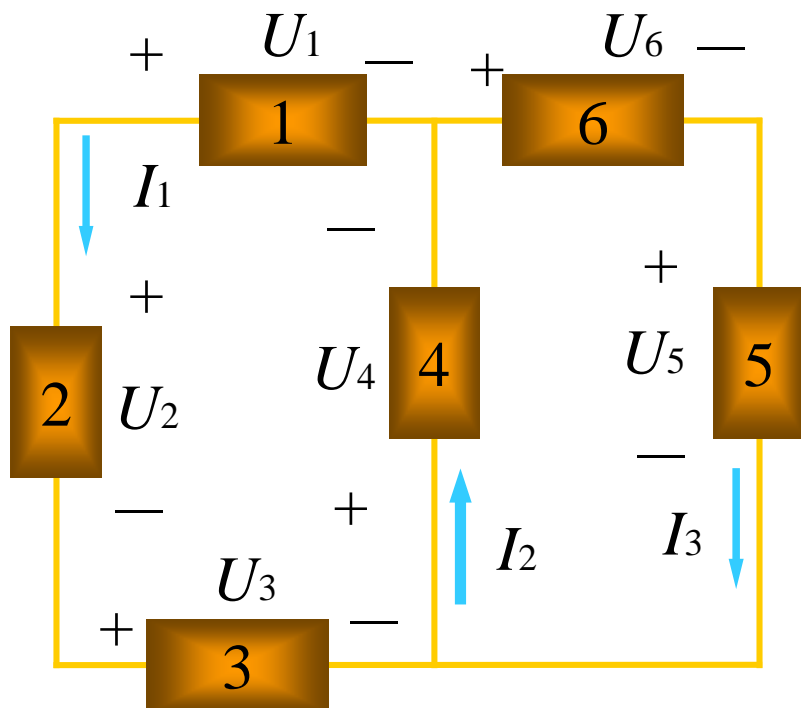
1.3.4 功率和能量



求图示电路中各方框所代表的元件吸收或产生的功率。

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

1.3.4 功率和能量



解:

$$P_1 = -U_1 I_1 = -1 \times 2 = -2\text{W} \text{ (发出)}$$

$$P_2 = U_2 I_1 = (-3) \times 2 = -6\text{W} \text{ (发出)}$$

$$P_3 = U_3 I_1 = 8 \times 2 = 16\text{W} \text{ (吸收)}$$

$$P_4 = U_4 I_2 = (-4) \times 1 = -4\text{W} \text{ (发出)}$$

$$P_5 = U_5 I_3 = 7 \times (-1) = -7\text{W} \text{ (发出)}$$

$$P_6 = U_6 I_3 = (-3) \times (-1) = 3\text{W} \text{ (吸收)}$$



注意

对一完整的电路，满足：发出的功率=吸收的功率

第1章 电路模型与基本定律

1.1 概述

1.2 电路模型

1.3 电路变量

1.4 电路元件

1.5 基本定律

1.6 拓展与应用

习题1

电路元件 → 组成电路模型的基本单元

5种基本的理想电路元件：

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

电压源和电流源：表示将其它形式的能量转变成电能的元件。

◆ 无源元件与有源元件

$$w = \int_{t_1}^{t_1+T} p(t)dt \geq 0$$

电路元件 → 组成电路模型的基本单元

1. 线性非时变元件

2. 线性时变元件

3. 非线性非时变元件

4. 非线性时变元件



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。

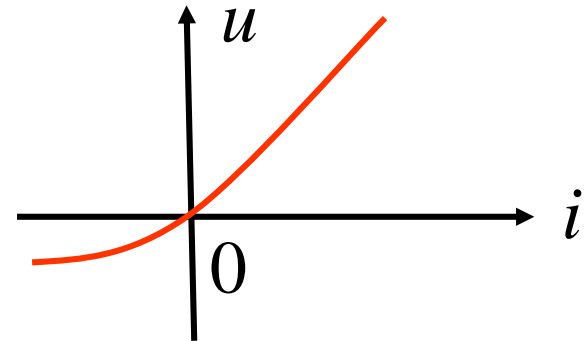
1. 定义

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



2. 线性非时变电阻元件

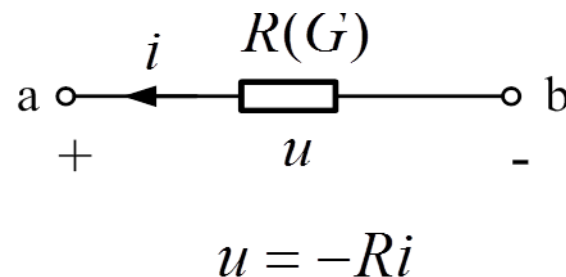
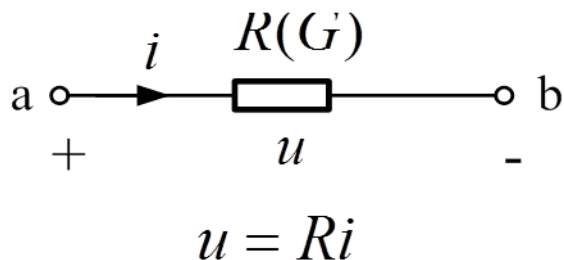
任何时刻端电压与电流成正比的电阻元件。

● 电路符号



1.4.1 电阻元件

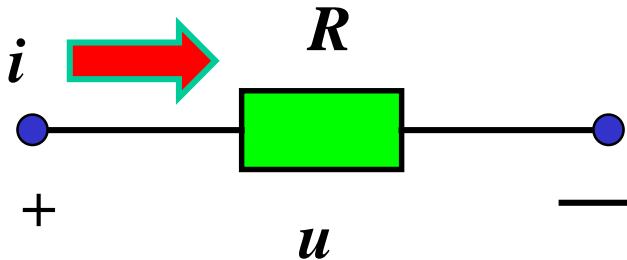
◆ 电阻的 u - i 关系



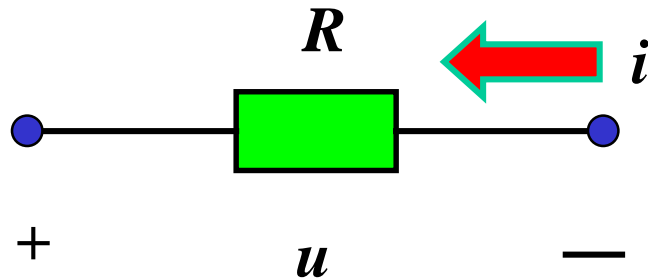
电阻的类型	非时变电阻 time-invariant resistors	时变电阻 time-varying resistors
线性电阻 linear resistors	$u = Ri$	$u = R(t)i$
非线性电阻 nonlinear resistors	$f(u, i) = 0$	$f(u, i, t) = 0$

1.4.1 电阻元件

◆ 功率：



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



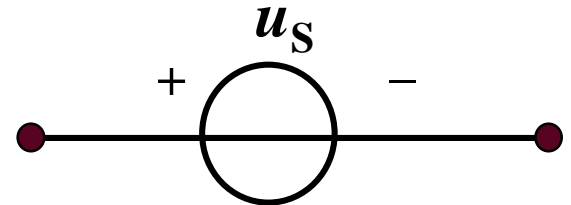
$$\begin{aligned} p_{\text{吸}} &= -ui = -(-Ri)i = i^2 R \\ &= -u(-u/R) = u^2 / R \end{aligned}$$

上述结果说明电阻元件在任何时刻总是消耗功率的。

一、独立电压源

1. 特点:

电路符号



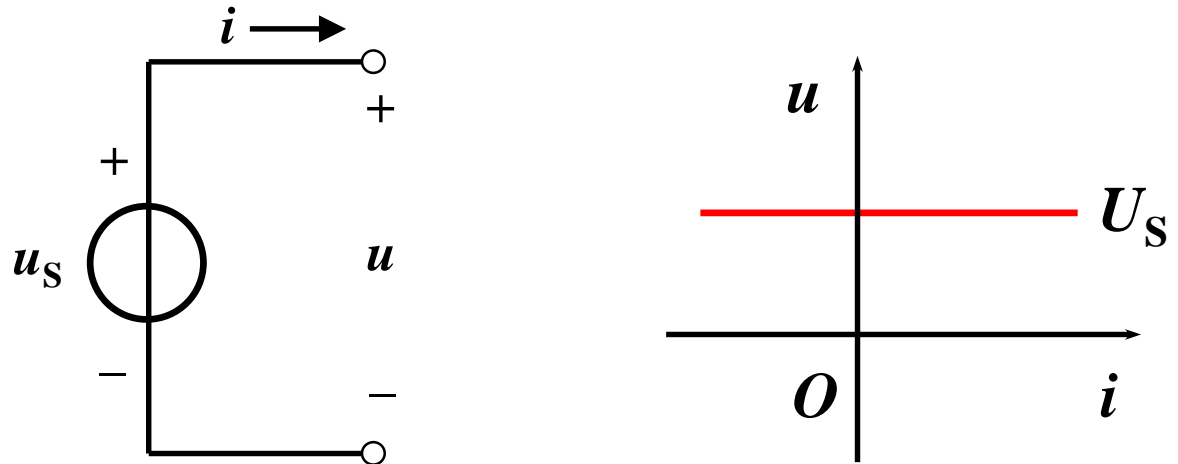
(a) 电源两端电压由电源本身决定，与外电路无关；

直流： u_S 为常数

交流： u_S 是确定的时间函数，如 $u_S = U_m \sin \omega t$

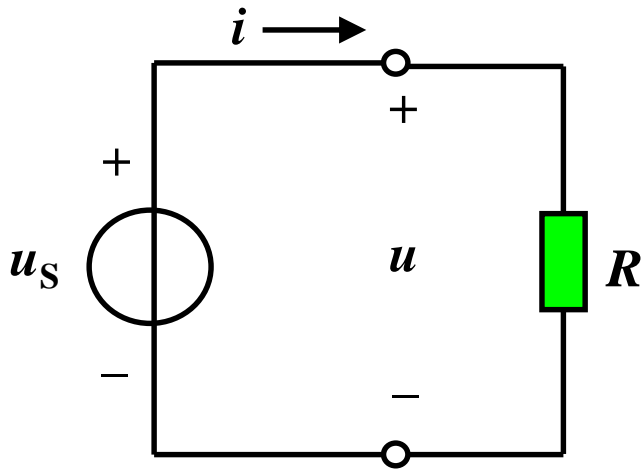
(b) 通过它的电流可能为任意值，由电源本身和外电路共同决定。

2. 伏安特性



- (1) 若 $u_S = U_S$ ，即直流电源，则其伏安特性为平行于电流轴的直线，反映输出电压与电源中的电流大小和方向无关。
- (2) 若 u_S 为随时间 t 变化的电源，即 $u_S = u_S(t)$ ，则其变化规律由其本身决定，与外电路无关。电压为零的电压源，伏安曲线与 i 轴重合，相当于短路线。

3. 独立电压源的开路与短路



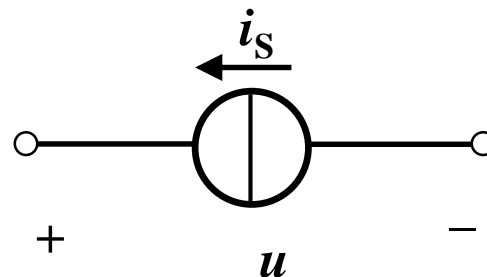
(1) 开路: $R \rightarrow \infty$, $i = 0$, $u = u_S$ 。

(2) 短路: $R = 0$, $i \rightarrow \infty$, 理想电源出现病态, 因此理想电压源不允许短路。

◆ 实际电压源也不允许短路。因其内阻小, 若短路, 电流很大, 可能烧毁电源。

二、独立电流源

电路符号



1. 特点:

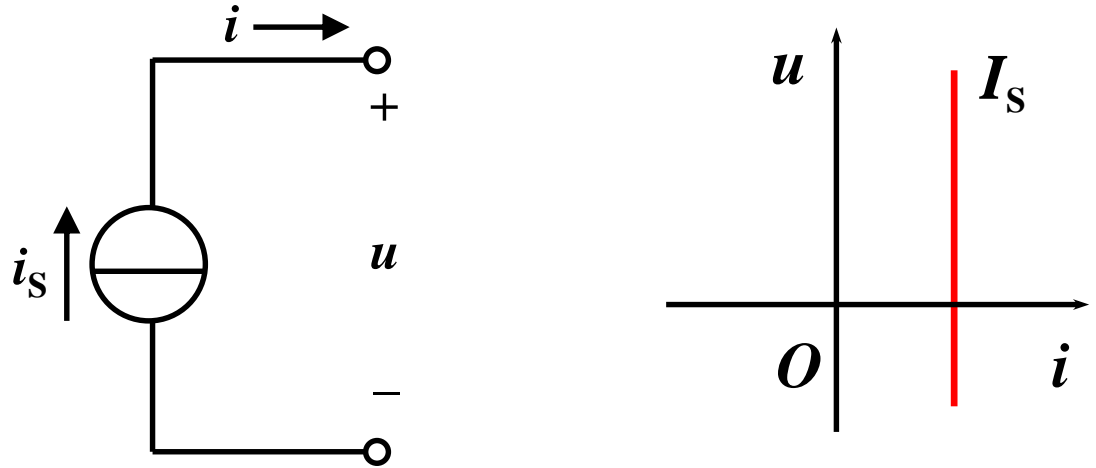
(a) 电源电流由电源本身决定，与外电路无关；

直流电流源： i_S 为常数

交流电流源： i_S 是确定的时间函数，如 $i_S = I_m \sin \omega t$

(b) 电源两端电压可能为任意值，由电流源和外电路共同决定。

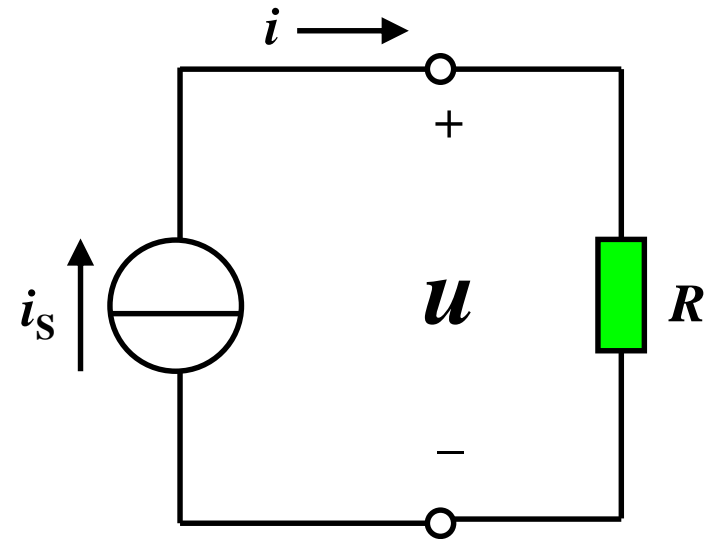
2. 伏安特性



- (1) 若 $i_s = I_s$ ，即直流电流源，则其伏安特性为平行于电压轴的直线，反映输出电流与端电压无关。
- (2) 若 i_s 为随时间变化的电流源，则 $i_s(t)$ 的变化规律由其本身决定，与外电路无关。电流为零的电流源，伏安曲线与 u 轴重合，相当于开路元件。

3. 独立电流源的短路与开路

(1) 短路: $R=0$, $i=i_S$, $u=0$,
电流源被短路。

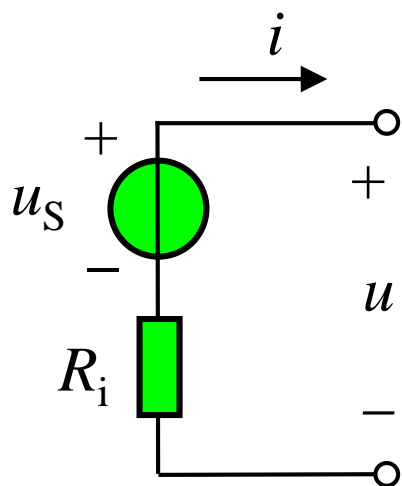


(2) 开路: $R \rightarrow \infty$, $i=i_S$, $u \rightarrow \infty$ 。若强迫断开电流源回路, 电路模型为病态, 独立电流源不允许开路。

1.4.2 独立电源

◆ 实际电压源模型

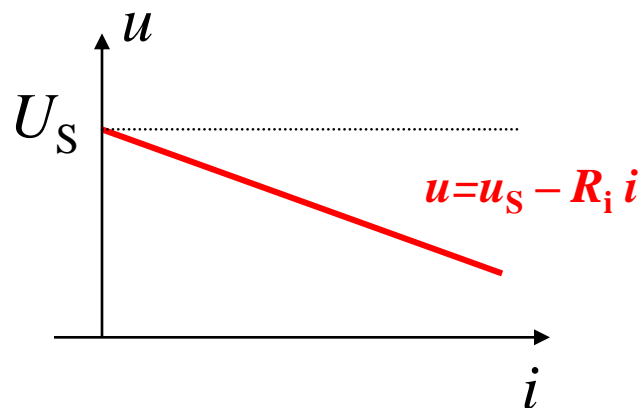
一个实际电压源，可用一个独立电压源 u_S 与一个电阻 R_i 串联的支路模型来表征其特性。当它向外电路提供电流时，它的端电压 u 总是小于 u_S ，电流越大端电压 u 越小。



$$u = u_S - R_i i$$

R_i : 电源内阻, 一般很小。

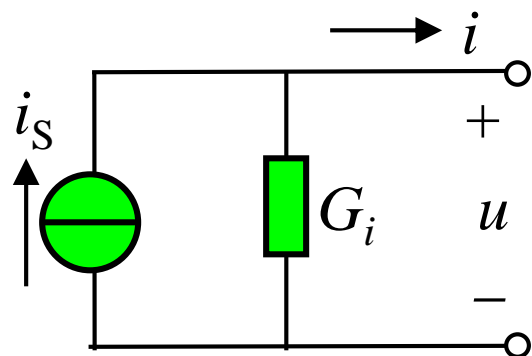
$u_S = U_S$ 时，其外特性曲线如下：



1.4.2 独立电源

◆ 实际电流源模型

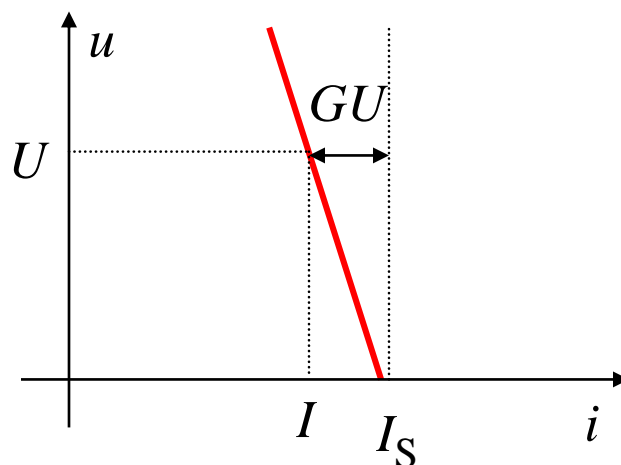
一个实际电流源，可用一个电流为 i_S 的独立电流源和一个内电导 G_i 并联的模型来表征其特性。当它向外电路供给电流时，并不是全部流出，其中一部分将在内部流动，随着端电压的增加，输出电流减小。



$$i = i_S - G_i u$$

G_i : 电源内电导, 一般很小。

$i_S = I_S$ 时，其外特性曲线如下：



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。

● 电路符号



受控电压源

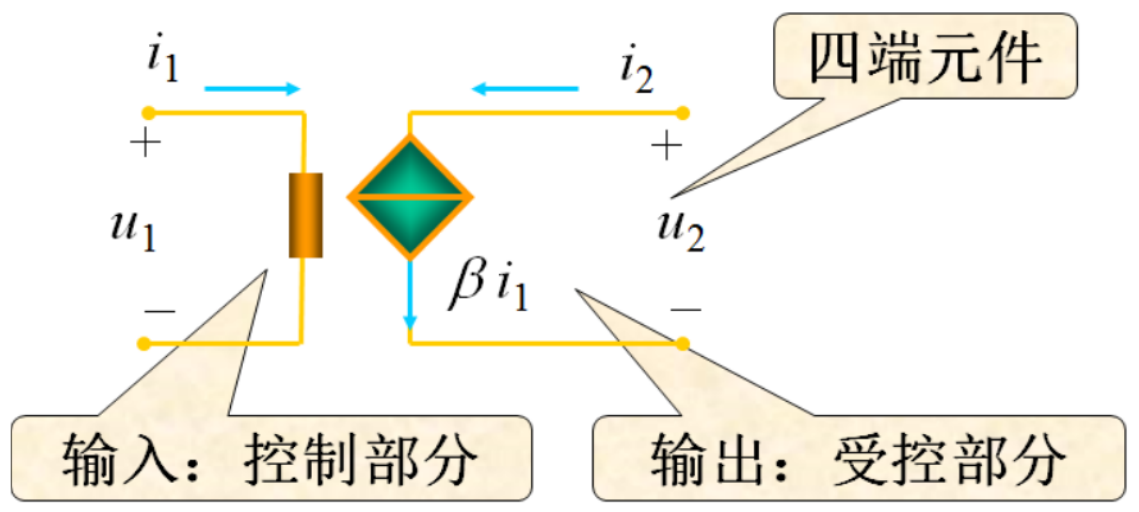


受控电流源

2. 分类

根据控制量和被控制量是电压 u 或电流 i ，受控源可分四种类型：当被控制量是电压时，用受控电压源表示；当被控制量是电流时，用受控电流源表示。

① 电流控制的电流源 (CCCS)

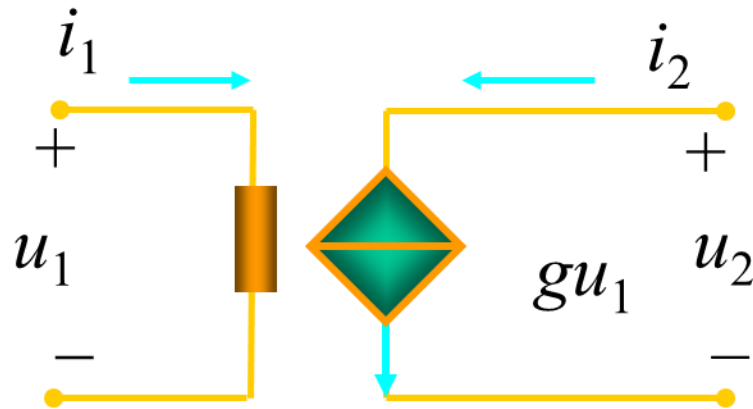


$$i_2 = \beta i_1$$

β : 电流放大倍数

1.4.3 受控电源

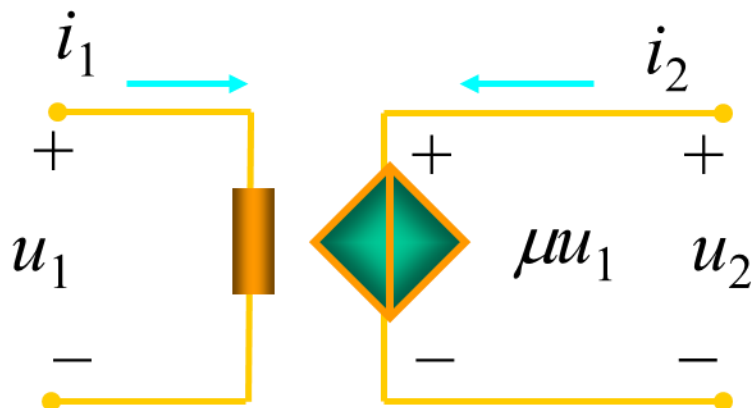
②电压控制的电流源（VCCS）



$$i_2 = g u_1$$

g : 转移电导

③电压控制的电压源（VCVS）

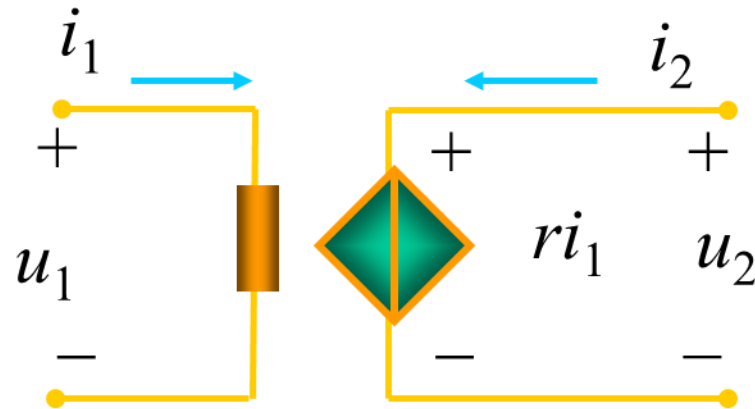


$$u_2 = \mu u_1$$

μ : 电压放大倍数

1.4.3 受控电源

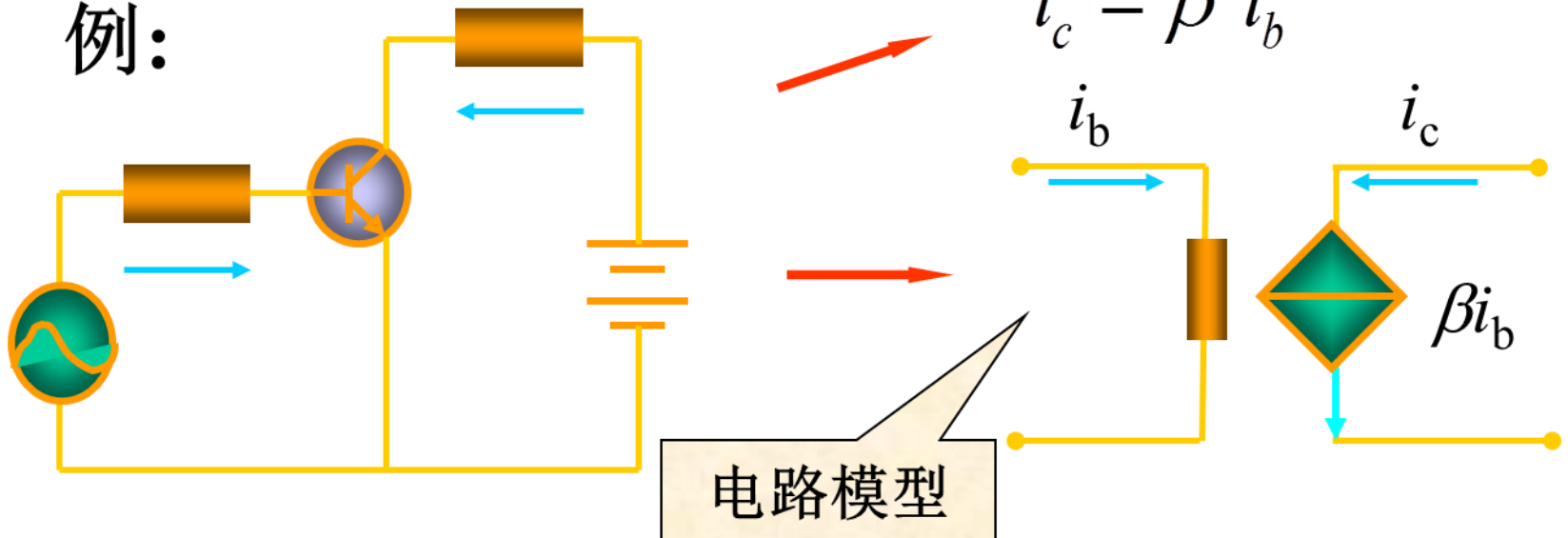
④ 电流控制的电压源 (CCVS)



$$u_2 = ri_1$$

r : 转移电阻

例:



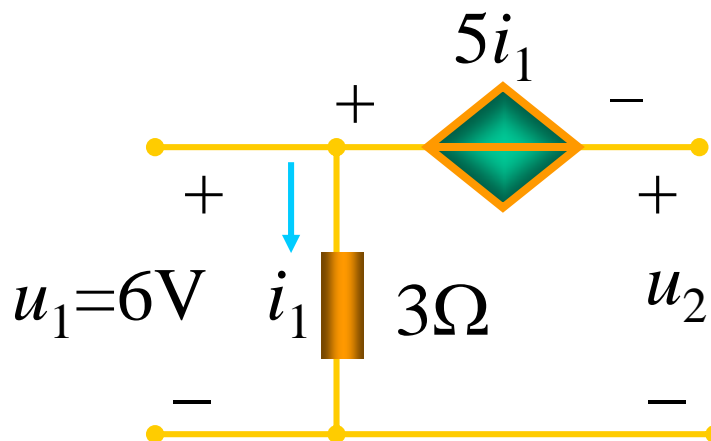
1.4.3 受控电源

例 求电压 u_2

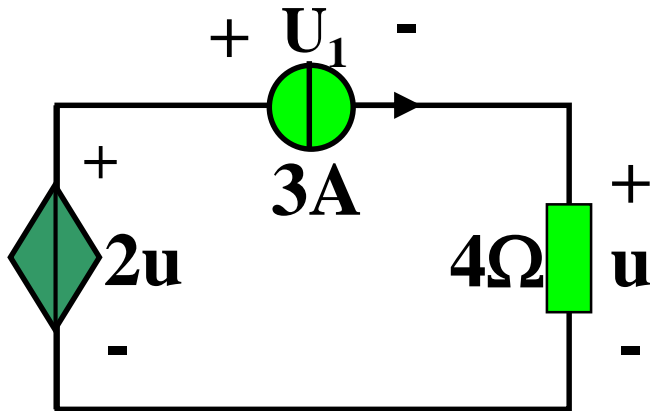
解

$$i_1 = 6 \div 3 = 2 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} u_2 &= -5i_1 + 6 \\ &= -10 + 6 = -4 \text{ V} \end{aligned}$$



1.4.3 受控电源



如图电路，求各元件的功率。

解： $u = 4 \times 3 = 12V$

$$U_1 = 2u - u = u = 12V$$

电流源吸收功率 $P_1 = U_1 \times 3 = 12 \times 3 = 36W$ (关联)

受控源吸收功率 $P_2 = -2u \times 3$ (非关联)

$$= -2 \times 12 \times 3 = -72W < 0 \quad (\text{实为产生})$$

电阻吸收功率 $P_R = u \times 3 = 36W$ (关联)

注： 功率平衡： $P_1 + P_2 + P_3 = 0$

3. 受控源与独立源的比较

- ①独立源电压(或电流)由电源本身决定, 与电路中其它电压、电流无关, 而受控源电压(或电流)由控制量决定。
- ②独立源在电路中起“激励”作用, 在电路中产生电压、电流, 而受控源是反映电路中某处的电压或电流对另一处的电压或电流的控制关系, 在电路中不能作为“激励”。

第1章 电路模型与基本定律

1.1 概述

1.2 电路模型

1.3 电路变量

1.4 电路元件

1.5 基本定律

1.6 拓展与应用

习题1

电路的行为（各支路的电流和电压）受到两类约束：

元件自身的特性造成的约束。

如：欧姆定律

电路结构关系造成的约束。

→ 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律 体现的是电路结构关系的电路基本定律

- 基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's Current Law—**KCL**)
- 基尔霍夫电压定律 (Kirchhoff's Voltage Law—**KVL**)

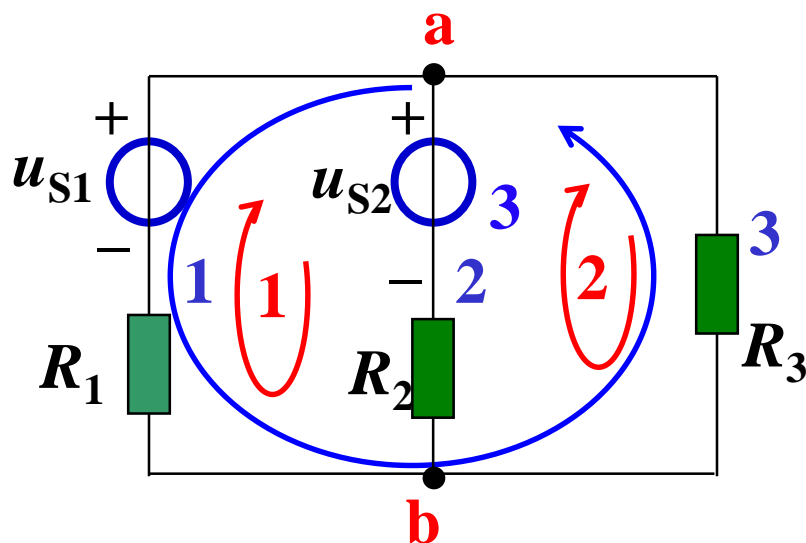
基尔霍夫定律是整个
电路理论的基础



Gustav Robert Kirchhoff
(1824-1887)

电路中的几个术语

1. 支路 (branch): 电路中的每一个分支称为一条支路 (b)



$$b=3$$

$$b=5$$

$$n=2$$

$$n=4$$

$$l=3$$

$$M=2$$

2. 结点 (node): 电路中两条或两条以上支路的连接点被称为结点 (n)

3. 回路 (loop): 电路中从任一点出发, 经过某些支路和结点, 又回到原来的起始结点的任一闭合路径被称为回路 (l)

4. 网孔 (mesh): 是指在回路内部不含有支路的回路 (M)

基尔霍夫电流定律(KCL)

1、集中参数电路中，任何时刻流入一个结点（或一个闭合面）的支路电流之代数和为零。即

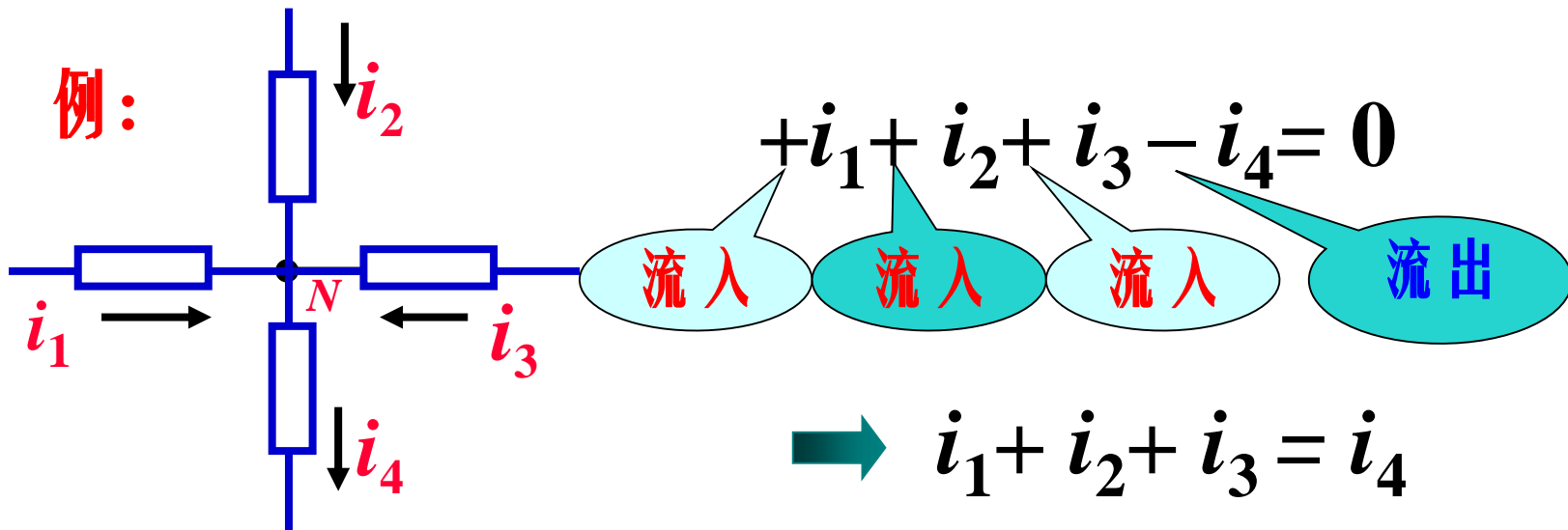
$$\sum_{k=1}^b i_k = 0$$

基准方向

b为相关联的支路数

-若以流入闭合面（或结点）的电流为正，则流出电流为负；

-若以流出闭合面（或结点）的电流为正，则流入电流为负



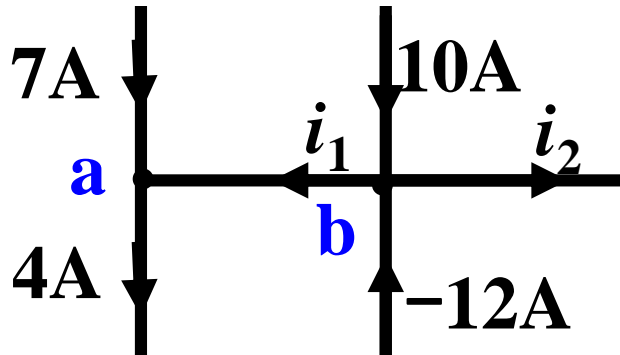
基尔霍夫电流定律(KCL)

2、在任何时刻，流入电路中任一闭合面（或结点）的电流必等于流出闭合面（或结点）的电流

$$\text{即} \quad \sum i_{\text{入}} = \sum i_{\text{出}}$$

KCL是电荷守恒原理在电路中的具体表现

例：

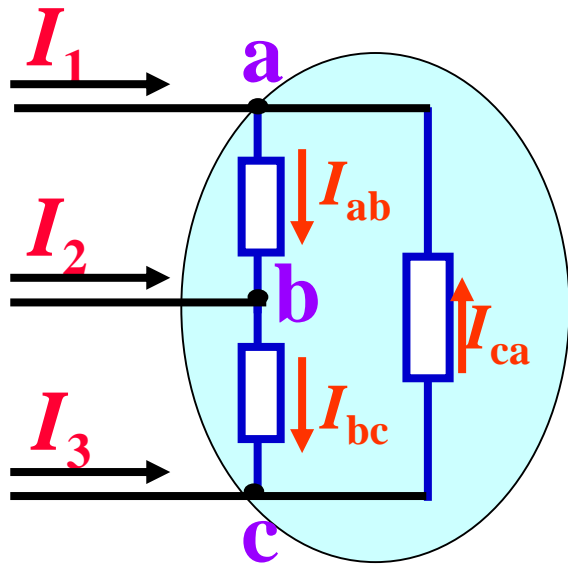


$$4 = 7 + i_1 \rightarrow i_1 = -3\text{A}$$

$$i_1 + i_2 = 10 + (-12) \rightarrow i_2 = 1\text{A}$$

基尔霍夫电流定律(KCL)

KCL适用于电路中的任一闭合面



$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

证明：

a: $I_1 = I_{ab} - I_{ca}$

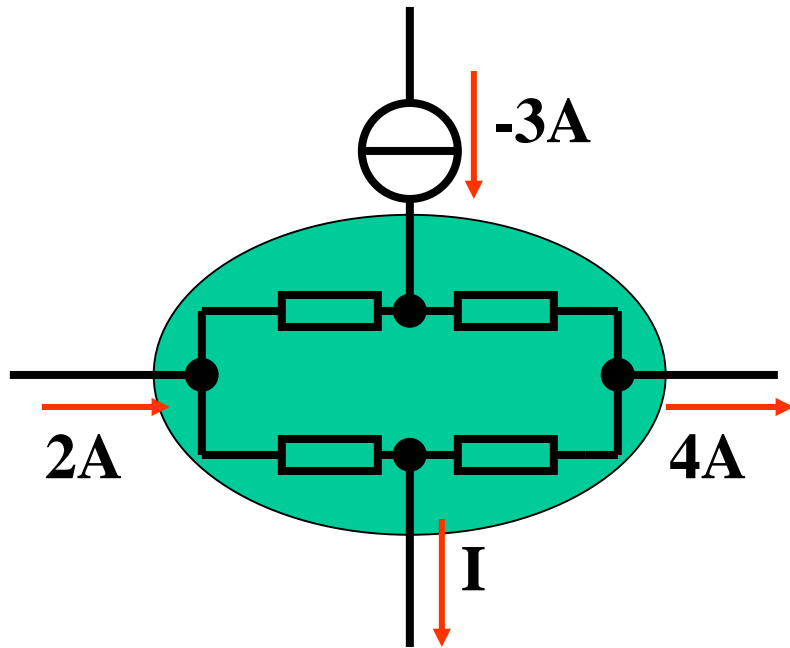
b: $I_2 = I_{bc} - I_{ab}$

c: $I_3 = I_{ca} - I_{bc}$

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_{ab} - I_{ca} + I_{bc} - I_{ab} + I_{ca} - I_{bc} = 0$$

基尔霍夫电流定律(KCL)

例：计算图示电路中的未知电流 I 。

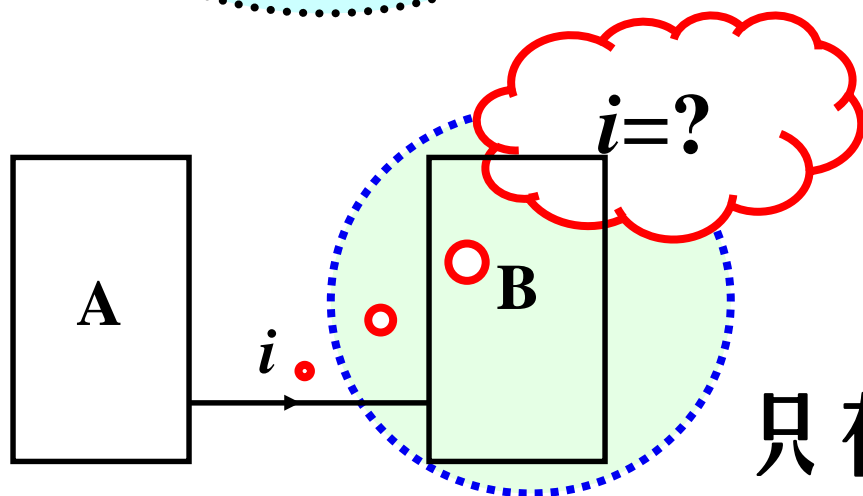
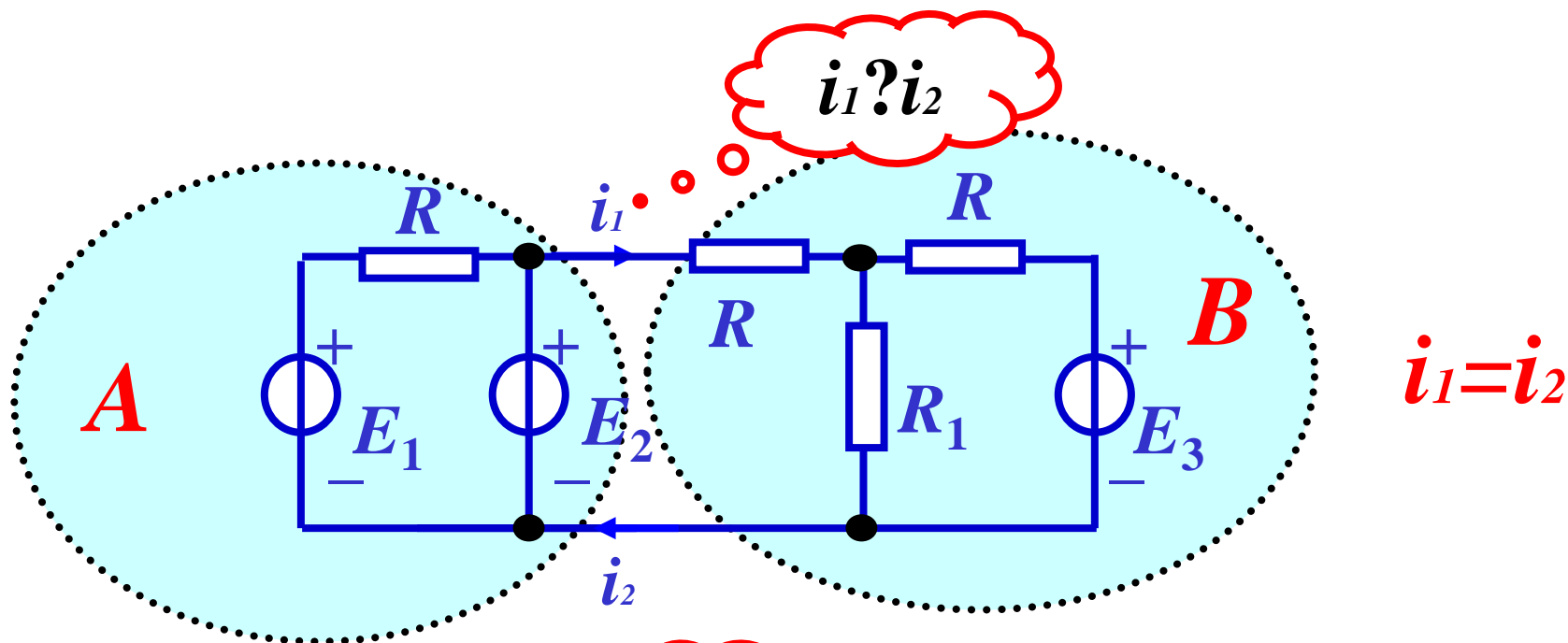


解：列写KCL列方程：

$$2 + (-3) - 4 - I = 0$$

$$I = 2 - 3 - 4 = -5\text{A}$$

基尔霍夫电流定律(KCL)



只有一条支路相连，则 $i=0$ 。

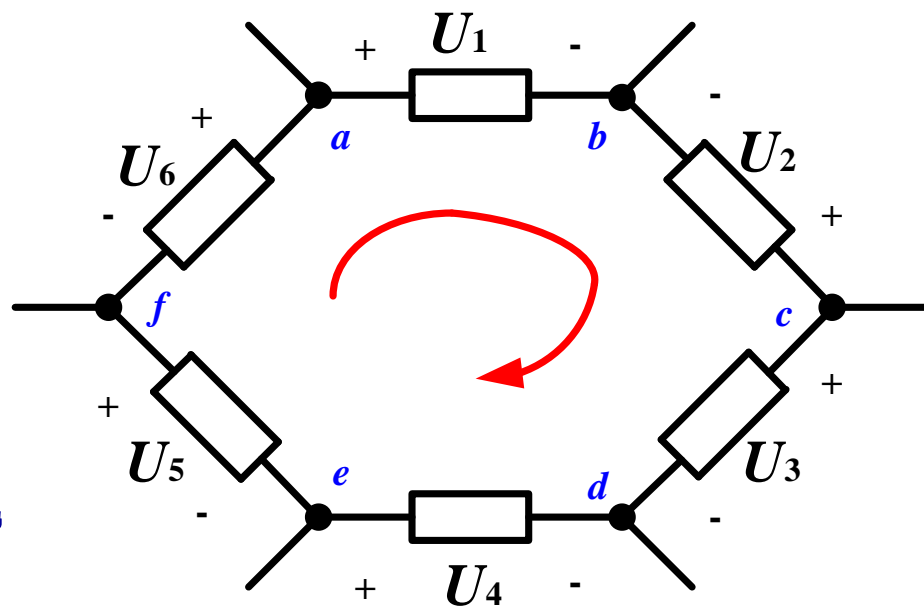
基尔霍夫电压定律(KVL)

1、集中参数电路中，任何时刻，任意一个回路中所有支路电压之代数和为零。即：

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

首先给定支路电压的参考方向

- 选定回路的绕行方向
- 与回路绕行方向一致的支路电压取正号，反之则取负号。



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

$$\Rightarrow U_1 = U_2 - U_3 + U_4 + U_5 + U_6$$

基尔霍夫电压定律(KVL)

2、电路中任意两点间的电压等于两点间任一条路径经过各元件电压的代数和。

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

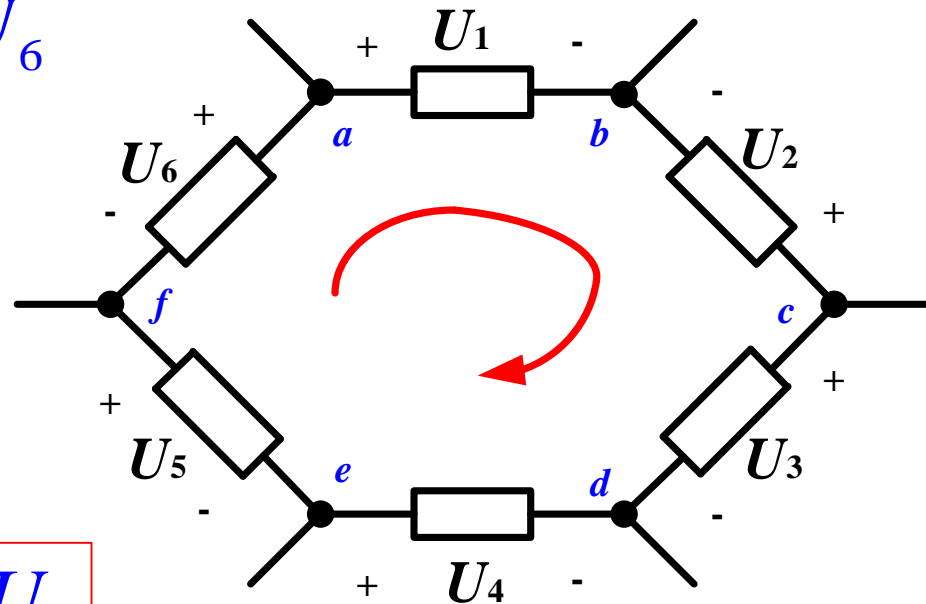


路径1: ab

$$u_{ab} = U_1$$

路径2: afedcb

$$u_{ab} = U_2 - U_3 + U_4 + U_5 + U_6$$



**KVL实质上是电压与路径无关这一性质的反映，
是能量守恒原理在电路中的具体表现**

基尔霍夫电压定律(KVL)

例 在右图所示的电路中，已知 $U_1=3V$ ， $U_2=-3V$ ， $U_3=-8V$ ，求 U 。

解： 首先列写代数形式的KVL方程

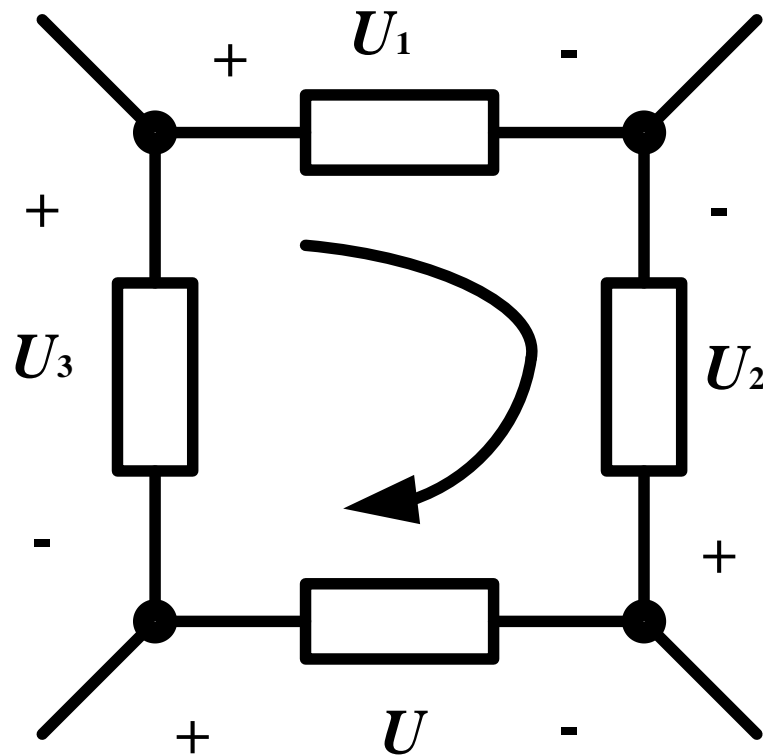
$$U_1 - U_2 - U - U_3 = 0$$

则

$$U = U_1 - U_2 - U_3$$

再将给定的电压值代入

$$\begin{aligned} U &= [3 - (-3) - (-8)]V \\ &= (3 + 3 + 8)V \\ &= 14V \end{aligned}$$



关于基尔霍夫定律的说明

对于任意一个网络，
如何确定独立的KCL
和KVL方程的数目？



关于基尔霍夫定律的说明

1、对任一网络，可对所有的结点写出KCL方程

解：如右图所示，共有四个结点

$$N_1: i - i_1 - i_2 = 0 \quad (1)$$

$$N_2: i_2 - i_3 - i_4 = 0 \quad (2)$$

$$N_3: i_1 + i_4 - i_5 = 0 \quad (3)$$

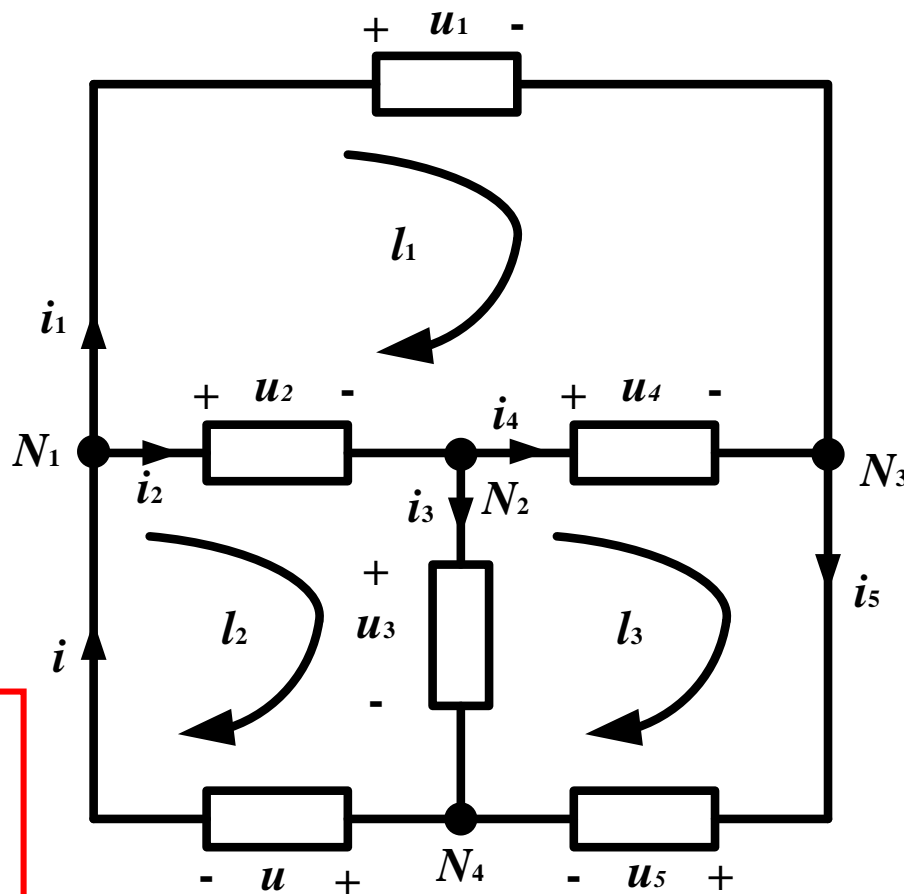
$$N_4: i_3 + i_5 - i = 0 \quad (4)$$

但是，有一个是不独立的

$$(4) = -(1) - (2) - (3)$$

若某网络有 n 个结点

➤ 独立的KCL方程数为 $n-1$



关于基尔霍夫定律的说明

2、对任一网络，可对所有的回路写出KVL方程

解：如右图所示，三个网孔和外回路的KVL方程为

$$l_1: u_1 - u_2 - u_4 = 0 \quad (5)$$

$$l_2: u_2 + u_3 + u = 0 \quad (6)$$

$$l_3: u_4 + u_5 - u_3 = 0 \quad (7)$$

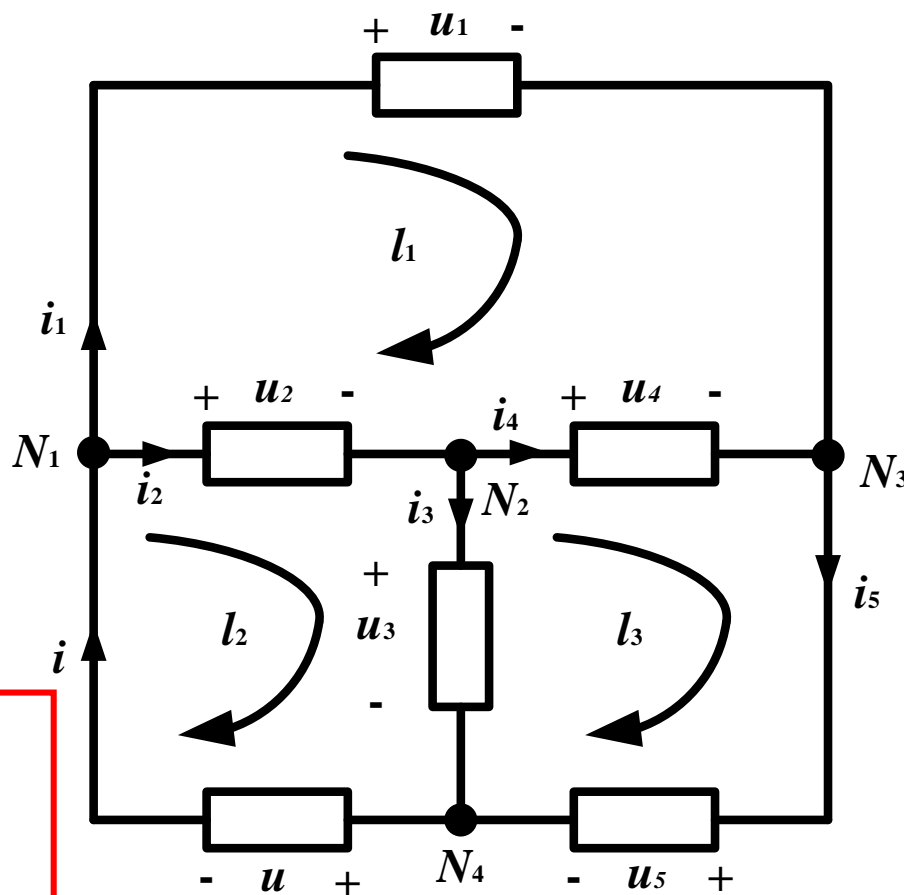
$$\text{外回路: } u_1 + u_5 + u = 0 \quad (8)$$

同样，有一个是不独立的

$$(8) = (5) + (6) + (7)$$

若某网络有 n 个结点， b 条支路

➤ 独立的KVL方程数为 $b - (n - 1)$

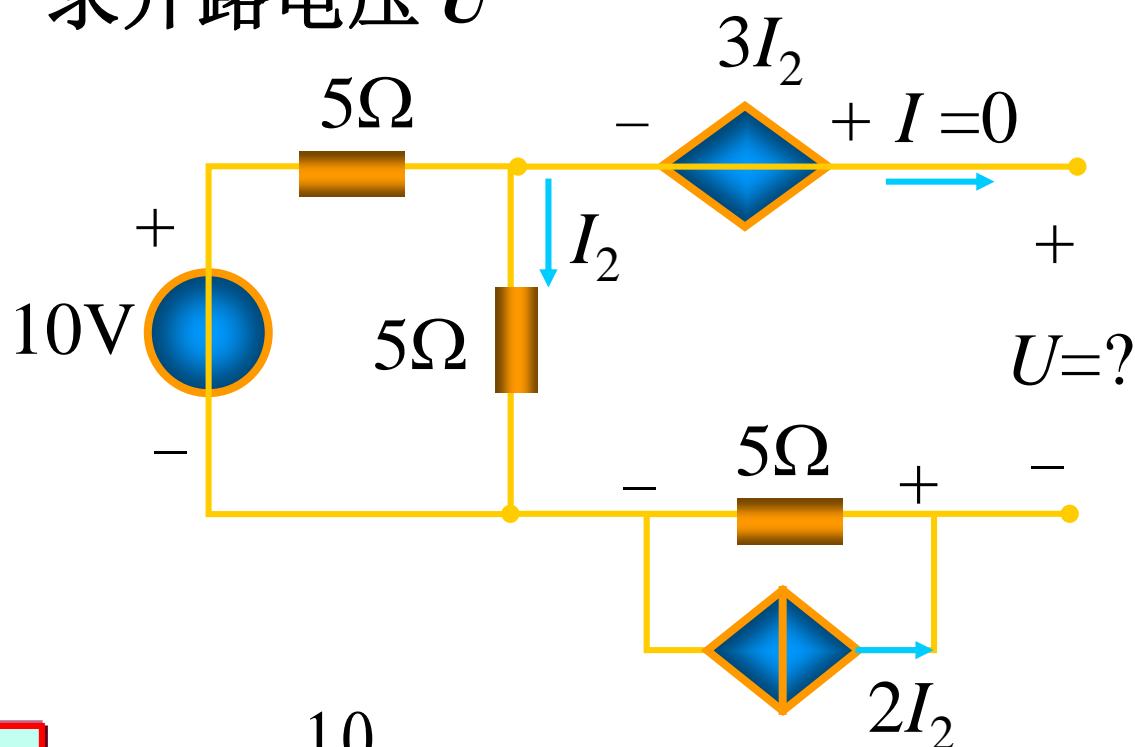


(1) KCL是对集中参数电路中支路电流的线性约束，KVL是对集中参数电路中支路电压的线性约束。

(2) KCL、KVL的应用只决定于网络的具体结构，而与各支路元件的电特性无关。

(3) 电路分析中的任一方程式均对应着一定的参考方向，故在列写KCL和KVL方程时，必须给定“参考方向”、选定“基准方向”。

例：求开路电压 U



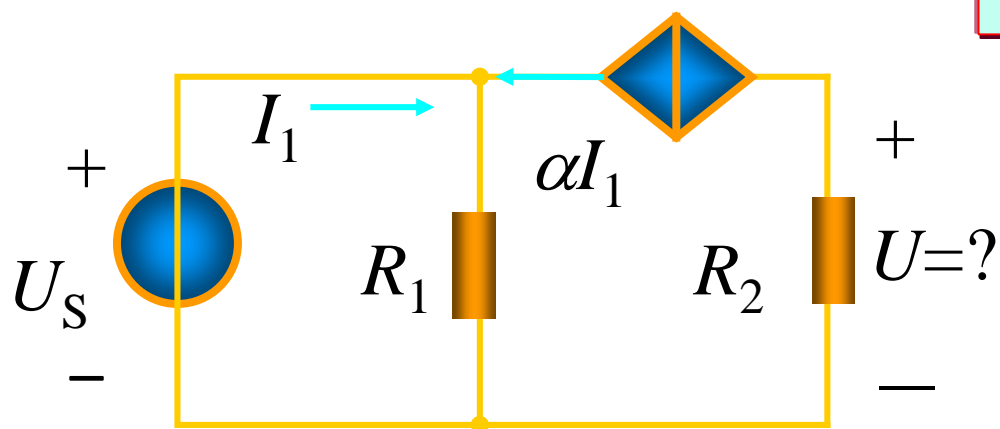
解

$$I_2 = \frac{10}{5 + 5} = 1\text{A}$$

$$U = 3I_2 + 5I_2 - 5 \times 2I_2 = -2I_2 = -2\text{V}$$

例：求输出电压 U

解



$$I_1 + \alpha I_1 = U_s / R_1$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{U_s}{R_1(1 + \alpha)}$$

$$U = -R_2 \alpha I_1$$

$$\Rightarrow U = -\frac{\alpha R_2 U_s}{R_1(1 + \alpha)}$$

选择参数可以得到
电压和功率放大。

● 重点:

1. 电压、电流的参考方向
2. 受控电源
3. 基本定律-基尔霍夫定律

谢谢!