



JINGJIA CIRCUIT

电路基础

空间科学与技术学院
贾 静



1.3 电路变量

为了定量地描述电路的性能，电路中引入一些物理量作为电路变量；通常分为两类：基本变量和复合变量。

基本变量：电流变量 i 、电压变量 u

易测的物理量 (有时电荷和磁链也可作为基本变量)。

复合变量：功率 P 、能量 E 等。

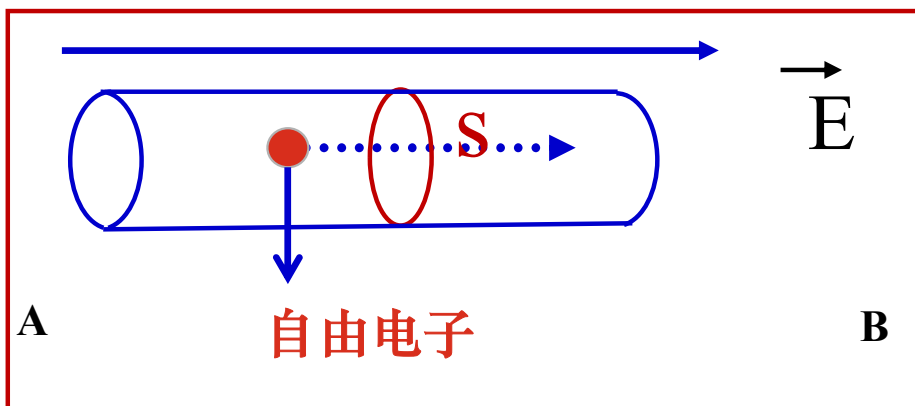
电路变量通常是时间 t 的函数。



1.3.1 电流变量

一、电流的形成

在电场力作用下，电荷有规则的定向移动形成电流，用 $i(t)$ 或 i 、 I 表示。



二、电流的大小---电流强度，简称**电流**

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

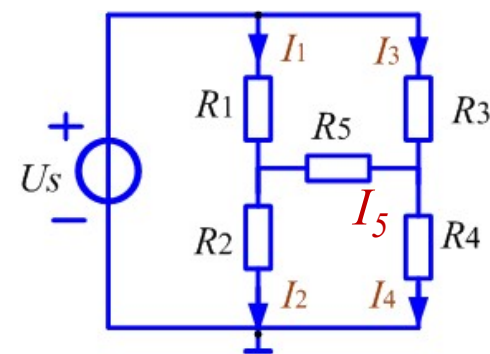
即单位时间内通过导体横截面的电荷量。

电荷的单位：**库[仑]** (C)

电流的单位：**安[培]** (A)、**微安**(μA)、**毫安**(mA)

三、电流的方向

如图所示电路，电阻 R_5 的电流 I_5 的方向是



- ☐ A 由左流向右
- ☐ B 由右流向左
- ☒ C 由 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 电阻大小决定
- ☐ D 电流为零

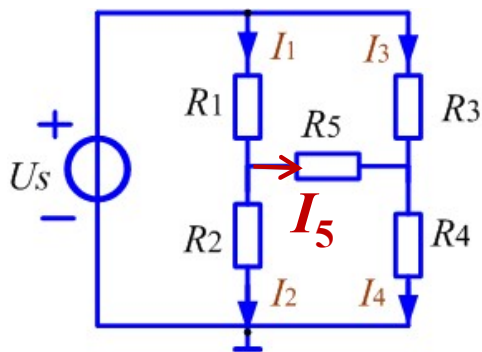
提交



三、电流的方向

如果电路复杂或电源为交流电源，则电流的实际方向难以标出。而且，交流电路中电流方向是随时间变化的。

判断 R_5 上电流 I_5 的方向



实际方向——规定为正电荷运动的方向。

参考方向——假定正电荷运动的方向。

若参考方向与实际方向方向一致，电流为正值，反之，电流为负值。

参考方向的假设：

- 1) 可任意设定；
- 2) 习惯上：A. 可看出电流方向的，将此方向为参考方向；B. 对于看不出方向的，可任意设定。



说明:

- 1) 以后在电路图上只标参考方向。电流的参考方向是任意指定的，一般用箭头在电路图中标出，也可以用双下标表示；如 i_{ab} 表示电流的参考方向是由a到b。
- 2) 电流是个既具有大小又有方向的代数量。在没有设定参考方向的情况下，讨论电流的正负毫无意义。

$I_{ab} = -1\text{A}$ 说明真实电流方向是

A

从a到b

B

从b到a

提交

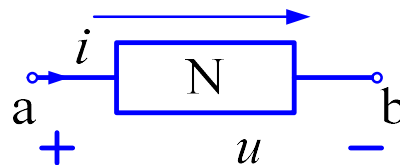


1.3.2 电压变量

一、电压的定义

电路中，电场力将单位正电荷从某点a移到另一点b所做的功，称为两点间的电压。常用 $u(t)$ 、 u 或 U 表示。

$$u(t) = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta q} = \frac{dW}{dq}$$



功（能量）的单位：焦[耳](J)；电压的单位：伏[特](V)，常见的还有毫伏(mV)、千伏(kV)等。



二、电压的极性（方向）

实际极性：规定两点间电压的高电位端为“+”极，低电位端为“-”极。

两点电位降低的方向也称为电压的方向。

参考极性：假设的电压“+”极和“-”极。

若参考极性与实际极性一致，电压为正值，反之，电压为负值。

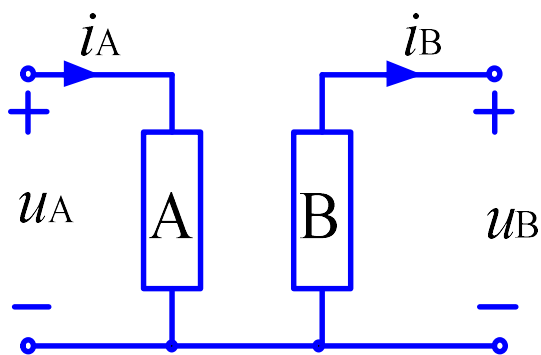
今后，电路图中一定要标电压的参考极性。在没有标参考极性的情况下，电压的正、负无意义。



三、关联参考方向

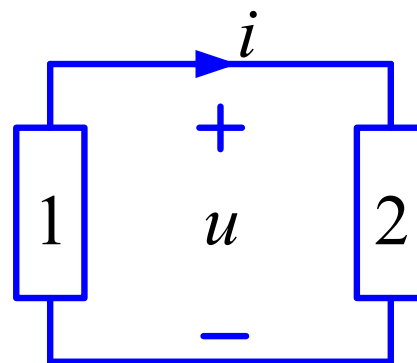
电流和电压的参考方向可任意假定，而且二者是相互独立的。

若选取电流 i 的参考方向与电压 u 的压降方向一致，则称电压 u 与电流 i 对该元件是**参考方向关联的**。否则，称 u 与 i 对A**是非关联的**。



u_A 与 i_A 的参考方向____(关联\非关联)

u_B 与 i_B 的参考方向____(关联\非关联)



图中 u 与 i 的
参考方向____(关联\非关联)



四、关于电压的说明

1) 电压的参考极性可任意指定，一般用“+”、“-”号在电路图中标出，

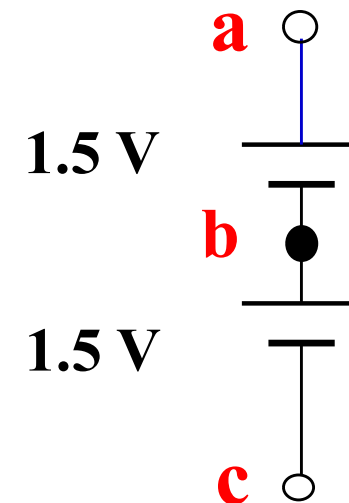
有时也用双下标表示，如 u_{ab} 表示a端为“+”极，b端为“-”极。

2) 电路图中不标示电压参考方向时，默认电流参考方向与电压参考方向关联，反之亦然。

3) 大小和方向均不随时间变化的电流或电压称为直流电流和直流电压，可用大写字母 I 和 U 表示。

下面描述中正确的是

- A $u_{ab} = -1.5V$
- B $u_{bc} = -1.5V$
- C $u_{ac} = -3V$
- D $u_{ac} = 3V$**



提交



1.3.3 功率

一、功率定义

单位时间电场力所做的功：简称功率，单位是瓦[特] (W)

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = \frac{dw(t)}{dq} \frac{dq}{dt} = u(t)i(t)$$

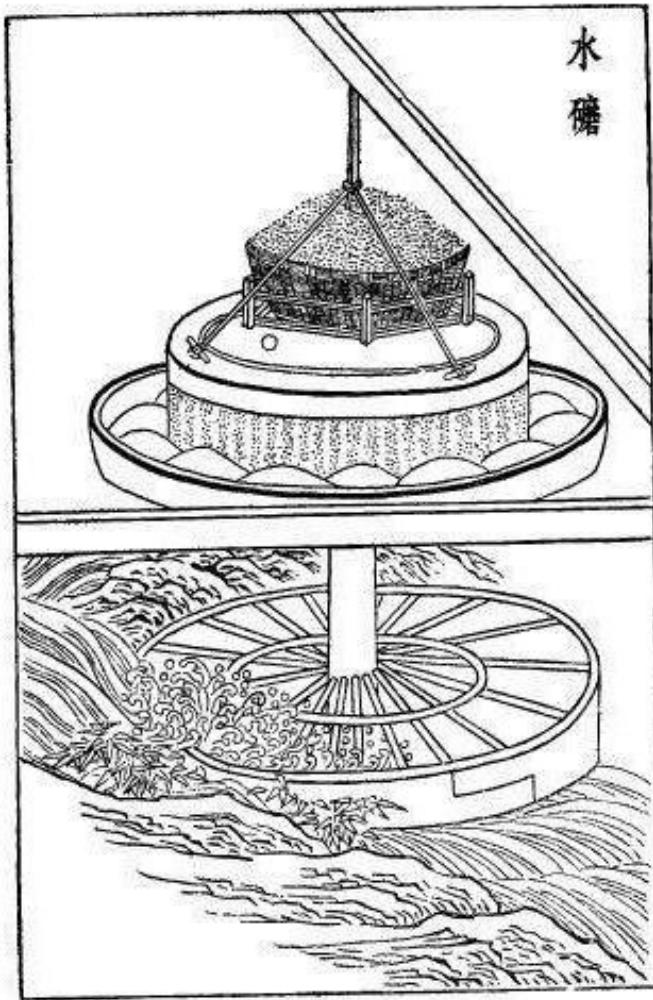
二、功率计算

$$p(t) = u(t) i(t)$$

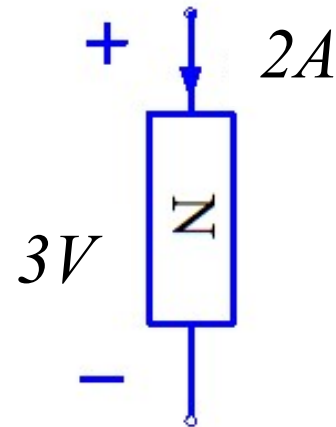
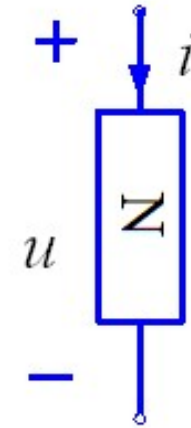
其中， $p(t)$ 是电路的吸收功率？还是发出功率？



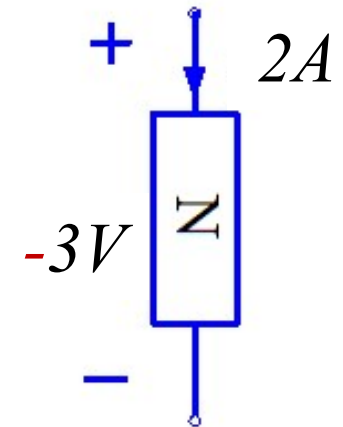
若 u 和 i 参考方向**关联**, $p(t) = u(t) i(t)$ 计算**吸收功率**



水从高处流向低处，水提供功率，石磨**吸收功率**



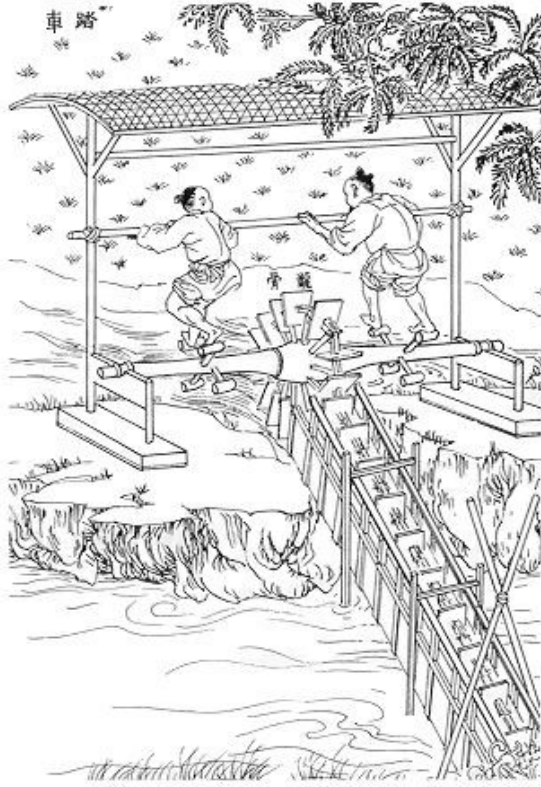
N的吸收功率
6W



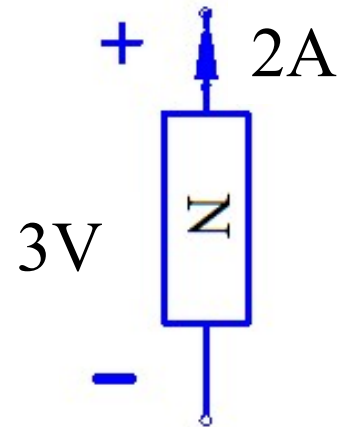
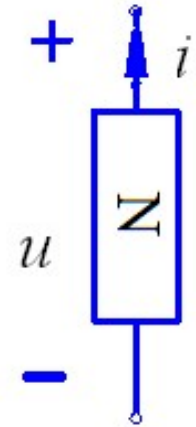
N的吸收功率
-6W

电流从电势高处流向低处，电流提供功率，负载N**吸收功率**

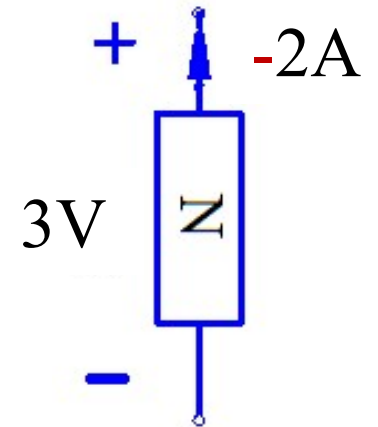
若 u 和 i 参考方向**非关联**, $p(t) = u(t) i(t)$ 计算**发出功率**



人发出功率，使得水从低处流向高处



N的发出功率
6W



N的发出功率
-6W

电路N**发出功率**，使得电流从电势低处流向高处，N**提供功率**



1.3.4 能量

根据功率的定义 $p(t) = \frac{dw(t)}{dt}$ ，两边从 $-\infty$ 到 t 积分，
并考虑 $w(-\infty) = 0$ ，得
(设 u 和 i 关联)

$$\begin{aligned} w(t) &= \int_{-\infty}^t p(\xi) d\xi \\ &= \int_{-\infty}^t u(\xi) i(\xi) d\xi \end{aligned}$$

对于一个二端元件（或电路），如果 $w(t) \geq 0$ ，则称该元件（或电路）是**耗能元件或是无源的（或电路）**。如电阻。

能量的单位是焦耳 [焦] (J)

1度=1千瓦·时

1.3.5 常用国际单位制 (SI) 词头

基本单位

电流--安 (A);

电压--伏 (V);

功率--瓦 (W);

能量--焦耳 (J)

/度 (kW.h)

国际单位制 (SI)

因数	原文名称 (法)	中文名称	符号
10^9	giga	吉	G
10^6	mega	兆	M
10^3	kilo	千	k
10^{-3}	milli	毫	m
10^{-6}	micro	微	μ
10^{-9}	nano	纳	n
10^{-12}	pico	皮	p



1.4 基尔霍夫定律

基尔霍夫两大定律是德国物理学家基尔霍夫(G.R.Kirchhoff)1845年提出的，他将物理学中的“**液体流动的连续性**”和“**能量守恒定律**”用于电路中，总结出了他的第一定律：基尔霍夫电流定律(KCL)；根据“**电位的单值性原理**”又创建了他的第二定律：基尔霍夫电压定律(KVL)，从而解决了电路结构上整体的规律，具有普遍性。

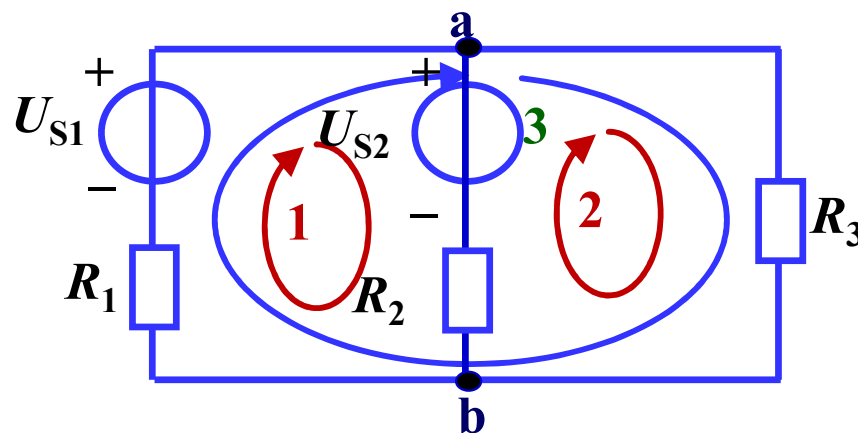
基尔霍夫两大定律概括了**集总参数**电路中**电流**和**电压**分别遵循的基本规律，和**欧姆定律**合称为电路的三大基本定律。

为了叙述方便，先介绍电路图中有关的几个名词术语。



1.4.1 几个常用的电路术语

- 1) **支路**：电路中流过同一电流的几个元件串联的分支。（支路数： b ）
- 2) **节点**：两条以上支路的汇集点（连接点）。（节点数： n ）
- 3) **回路**：由支路构成的电路中的任意闭合路径。（回路数： l ）
- 4) **网孔**：指不包含任何支路的单一回路。网孔是回路，回路不一定是网孔。平面电路的每个网眼都是一个网孔。（网孔数： m ）



$$b=3$$

$$n=2$$

$$l=3$$

$$m=2$$

1.4.2 基尔霍夫电流定律 (KCL)

一、KCL的内容

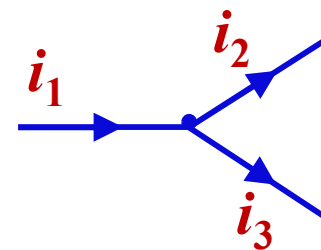
对于任一**集总参数**电路中的任一节点，在任一瞬间，流入节点的**电流代数和**恒等于零。

数学表达式为：

$$\sum_{k=1}^n i_k(t) = 0$$



-进水+出水=0
进水-出水=0
进水=出水



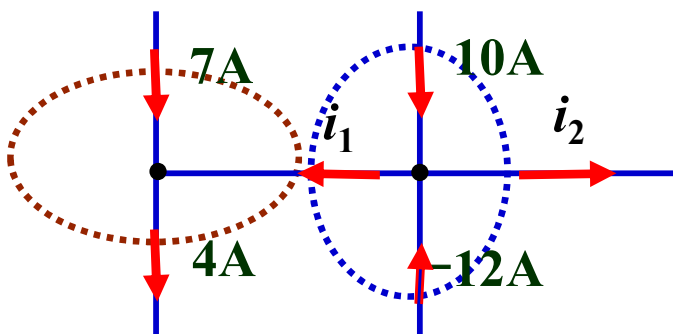
$-i_1 + i_2 + i_3 = 0$ (流出取正)

$i_1 - i_2 - i_3 = 0$ (流入取正)

or $i_1 = i_2 + i_3$ (流入=流出)



例 求图示电路中电流 i_1 、 i_2 。



解：由KCL，得

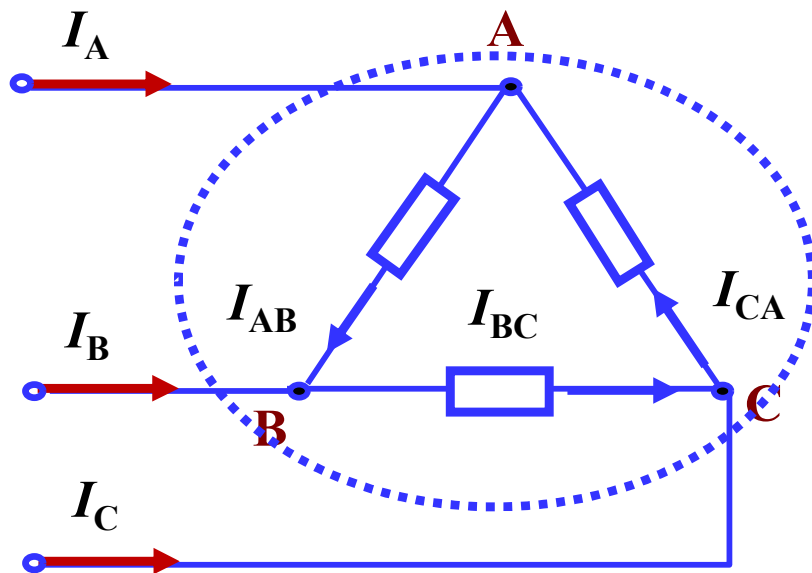
$$-4+7+i_1=0 \rightarrow i_1=-3\text{A}$$

$$-i_1-i_2+10+(-12)=0 \rightarrow i_2=1\text{A}$$

其中 i_1 得负值，说明它的实际方向与参考方向相反。

二、广义KCL

在任一瞬间通过任一封闭面的电流的代数和也恒等于零。



$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

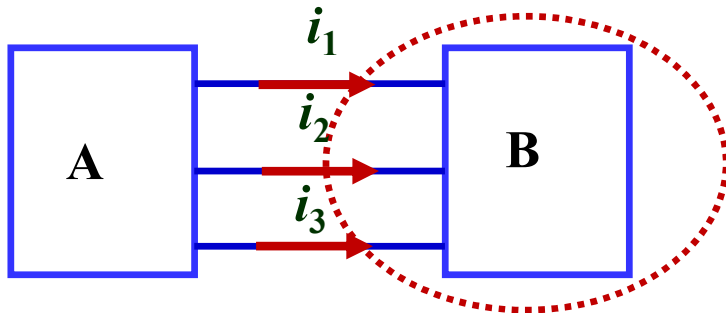
$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

上列三式相加，便得

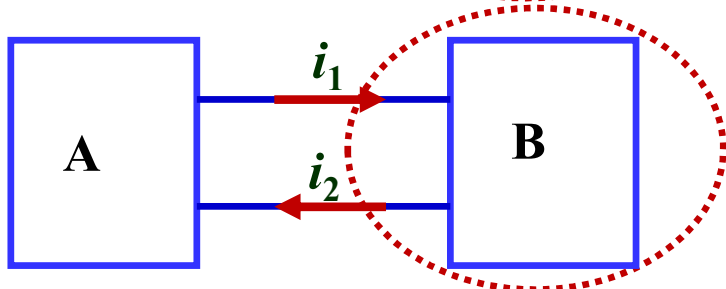
$$I_A + I_B + I_C = 0$$

仍有： $\Sigma I = 0$

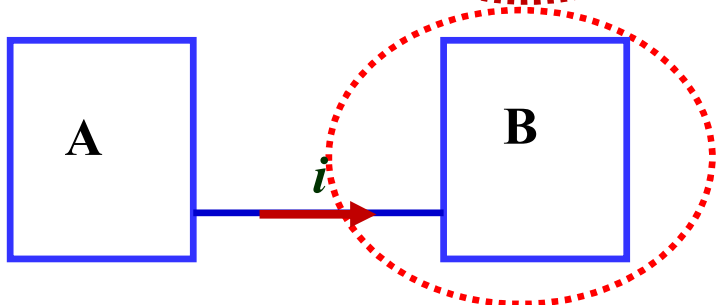
例1



$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

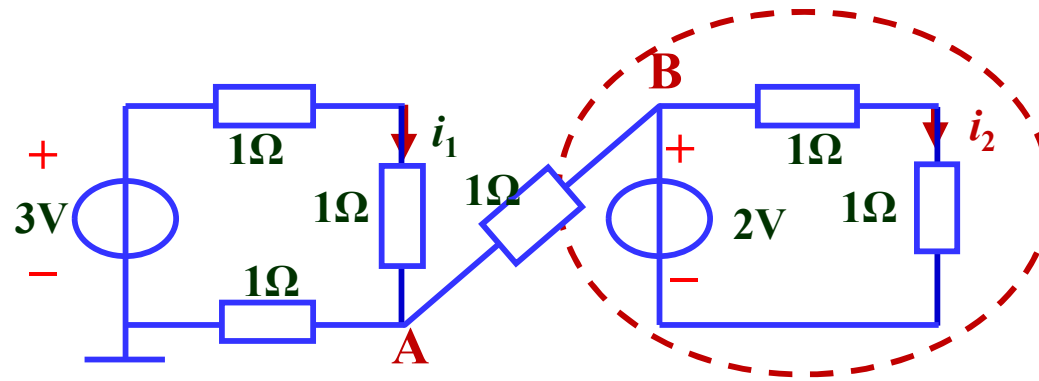


$$i_1 = i_2$$



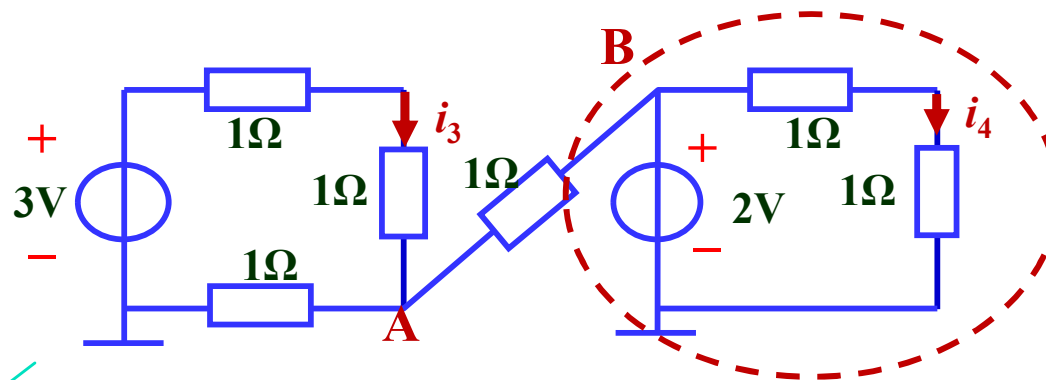
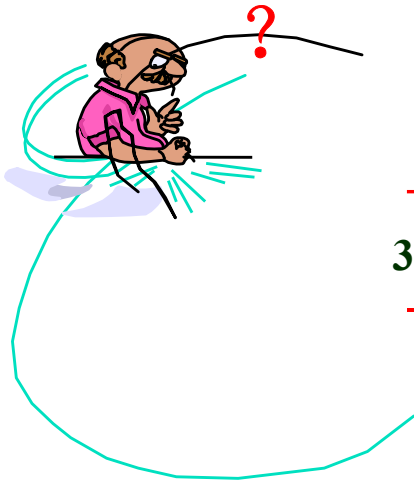
$$i = 0$$

例2



$$i_1 = ? \quad i_2 = ?$$

右封闭曲面可视为广义节点?



$$i_3 = i_1 ?$$

$$i_4 = i_2 ?$$

右封闭曲面能否视为广义节点?



三、对KCL的说明

- 1) 适用于节点，也适用于任何一个封闭曲面。
- 2) 列些方程时：设出每一支路电流的参考方向后，流出和=流入和。
- 3) 注意KCL方程中的正负号与电流本身的正负号的区别。
- 4) KCL实质上是电荷守恒原理在集中电路中的体现。即，到达任何节点的电荷既不可能增生，也不可能消失，电流必须连续流动。
- 5) KCL只与电路的结构有关，而与构成电路的元件性质无关。



四. 思考

KCL与器件
的参数有关
吗?

KCL中的节点可是
一个封闭曲面吗?

KCL体现电荷和
电流的什么特征?

什么是支路、回
路、节点和网孔?



KCL推广应
用如何理解
和掌握?

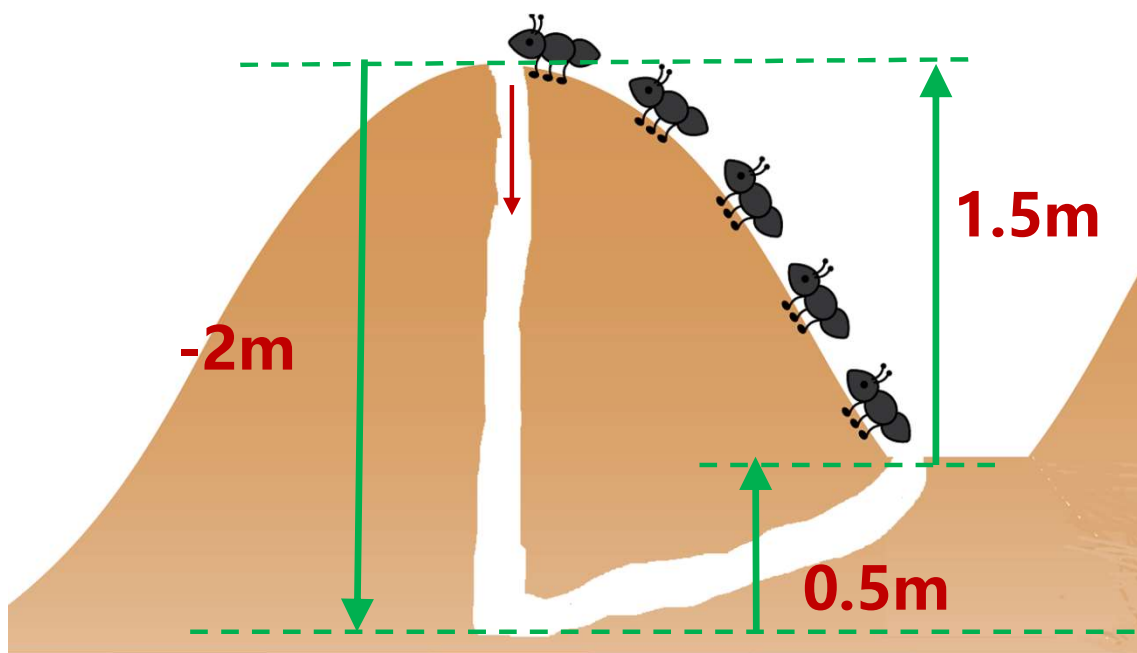
1.4.3 基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律 (KVL) 是用来确定回路中各段电压之间关系的电路定律。

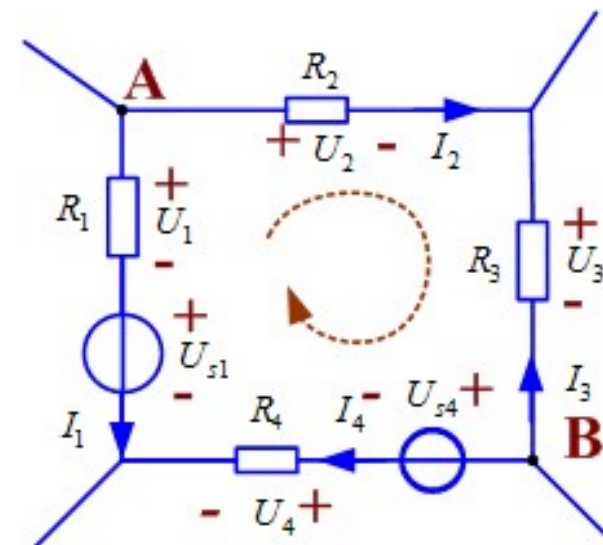
一、KVL的内容

电路中，环绕任意回路的所有电压的代数和等于零。

$$\sum U = 0$$



蚂蚁绕行一周，做功为零

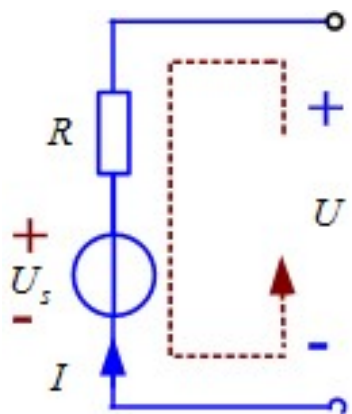


$$-U_{S1} - U_1 + U_2 + U_3 + U_{S4} + U_4 = 0$$

单位电荷绕行一周，做功为零

二、广义KVL

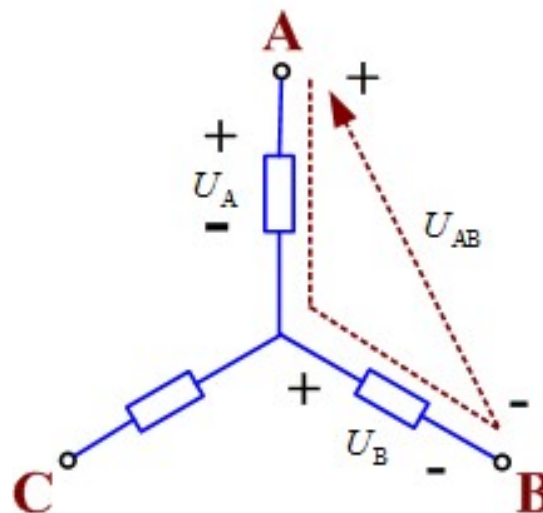
KVL可以应用于假想的闭合回路。即：在假想回路中KVL同样满足。



根据 KVL可列出

或
$$U_s - IR - U = 0$$

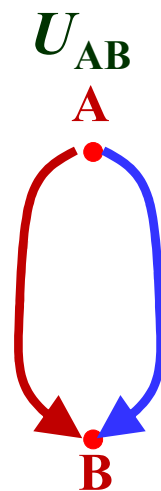
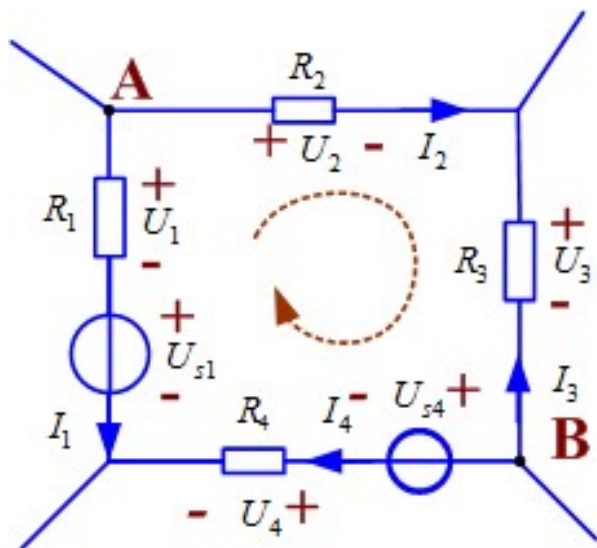
$$U = U_s - IR$$



根据 $\sum U = 0$

$$U_A + U_B - U_{AB} = 0$$

$$U_{AB} = U_A + U_B$$



U_{AB} 沿左
和沿右计
算结果相
同。

$$U_{AB} = U_{S1} + U_1 - U_4 - U_{S4}$$

$$U_{AB} = U_2 + U_3$$

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

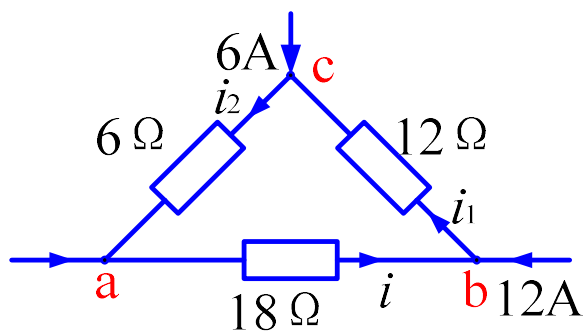
电路中任意两点间的电压 U_{AB} = 从A点出发任一条路径到达B点经过的各元件电压的代数和。

注：电路中任意两点间的电压，与绕行路径无关。



三、应用举例

例 如图所示部分电路，求电流 I 和 18Ω 电阻消耗的功率。



解：在b点列KCL有： $i_1 = i + 12$

在c点列KCL有： $i_2 = i_1 + 6$

在回路abc中，由KVL和OL有：

$$18i + 12i_1 + 6i_2 = 0$$

解得

$$i = -7(\text{A})$$

$$P_R = i^2 \times 18 = 882(\text{W})$$



四. 思考

试述基尔霍夫电压定律的内容，说明应用条件范围，结合自己的体会归纳应用基尔霍夫电压定律时应注意的问题。

