

电路和电路模型

1. 实际电路

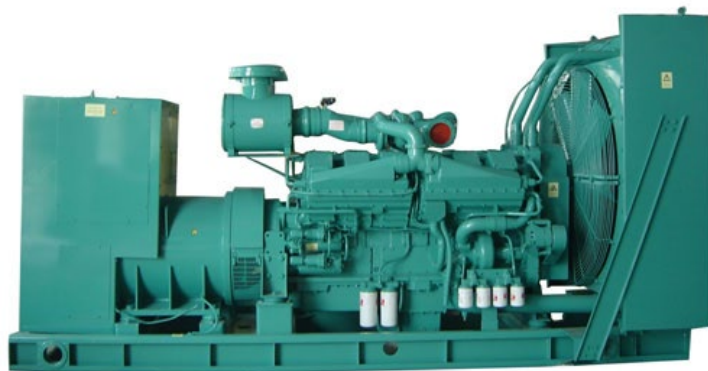
由电工设备和电气器件按预期目的连接构成的**电流的通路**。

作用 → a 能量的传输、分配与转换；
b 信息的传递、控制与处理。

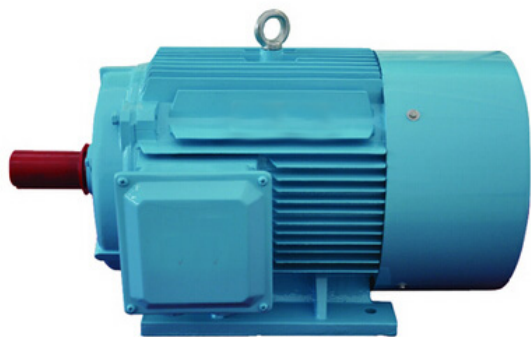
共性 → 建立在同一电路理论基础。

电路的组成：

电源：产生电能和电信号的设备。 电源也称为 **激励**。



负载：用电的设备。 负载上的电压、电流称为 **响应**。

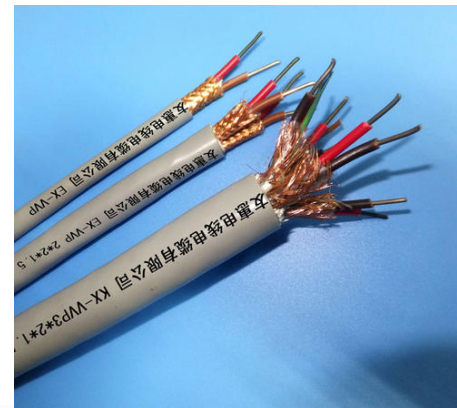


电路的组成：

电源：产生电能和电信号的设备。也称为 **激励**。

负载：用电的设备。负载上的电压、电流称为 **响应**。

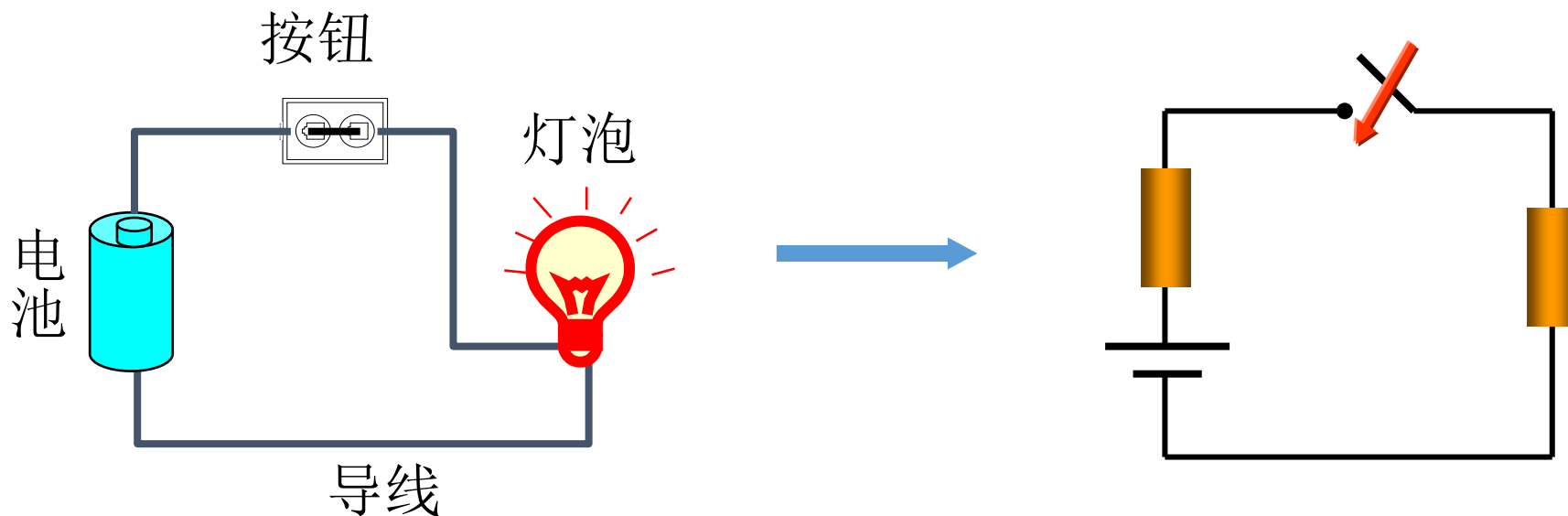
中间环节：



2. 电路模型

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。

理想电路元件：有某种确定的电磁性能的理想元件



5种基本的理想电路元件

电阻元件：表示消耗电能的元件



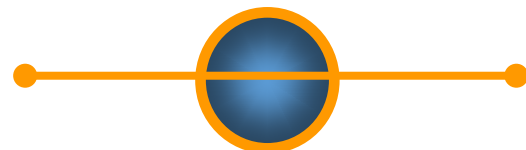
电感元件：表示产生磁场，储存磁场能量的元件



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。



5种基本理想电路元件有三个特征：

- (a) 只有两个端子；
- (b) 可以用电压或电流按数学方式描述；
- (c) 不能被分解为其他元件。

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；

热得快，电烙铁，电炉，烤箱，电线

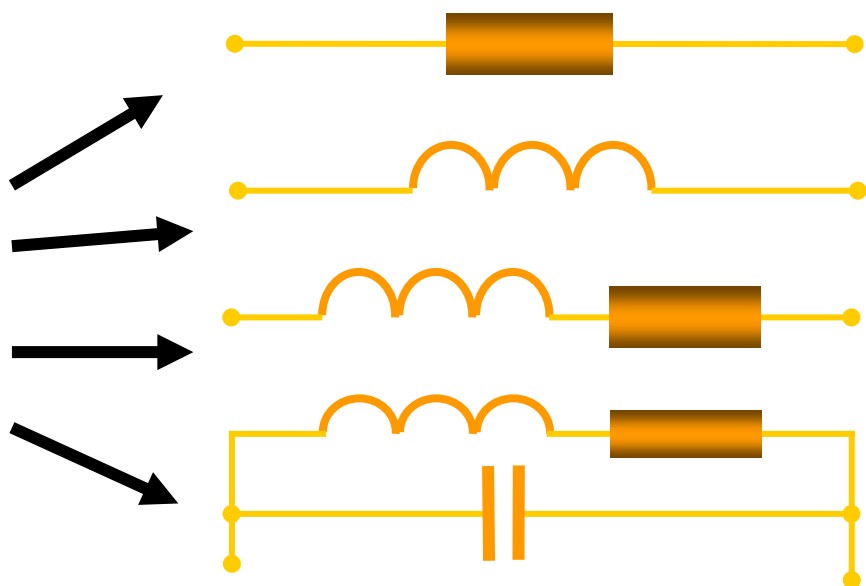
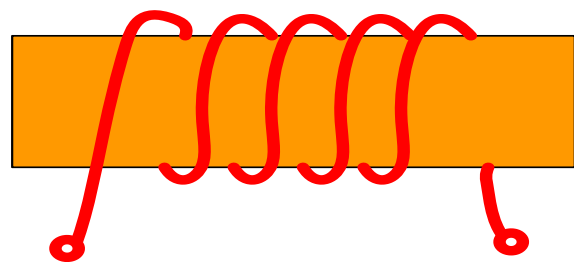
干电池，蓄电池，手摇发电机，柴油发电机，充电器

电力传输线，拉长的焊接点，集成电路上的数据线，

.....

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。

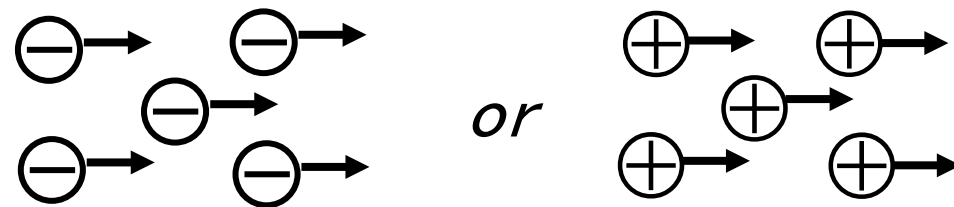
电感线圈的电路模型



电流和电压的参考方向

1. 电流的定义

- 电流： 带电粒子有规则的定向运动。



单位时间内通过导体横截面的电荷量

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

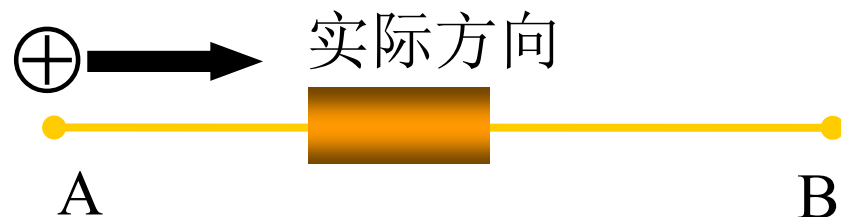
(A、kA、mA、 μ A)

i ——泛指电流或交流电流

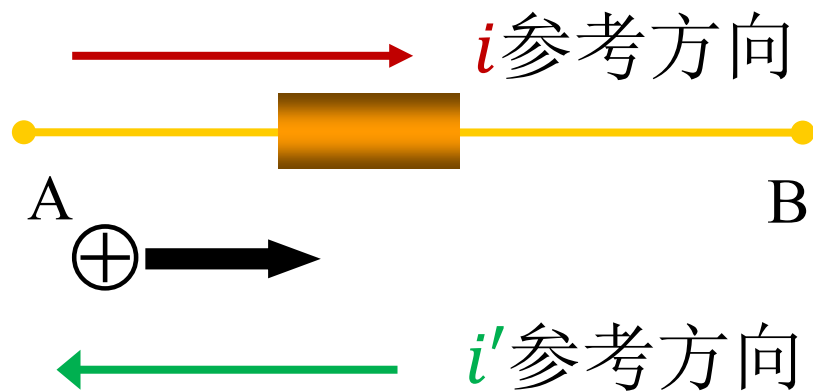
I ——直流电流

2. 电流的方向

正电荷的运动方向为电流的**实际方向**



由于实际方向往往很难事先判断，所以采用**参考方向**



$$i > 0$$

$$i' < 0$$

2. 电流的方向

参考方向的两种表示形式：

- 用箭头表示



常用（直观）

- 用双下标表示,如 i_{AB}



3. 电压的定义

- 电压： 单位正电荷 q 从电路中一点移至另一点时做的功。

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

(V、kV、mV、 μ V)

u ——泛指电压或交流电压

U ——直流电压

- 电位： 单位正电荷 q 从电路中一点移至参考点时做的功。

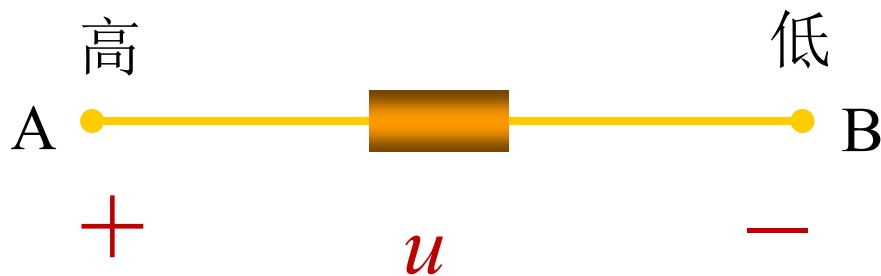
电压=电位差

4. 电压的方向

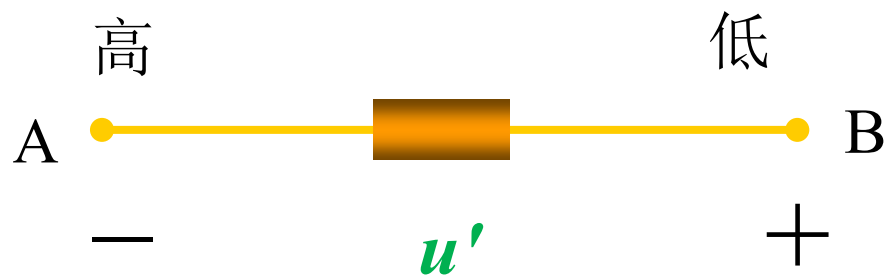
电压的**实际方向**：电位降低的方向，即从高电位指向低电位。



电压的**参考方向**：



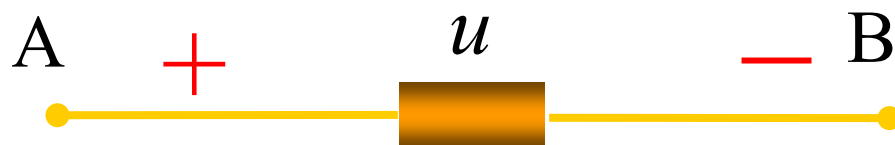
$$u > 0$$



$$u' < 0$$

4. 电压的方向

用正负极性表示

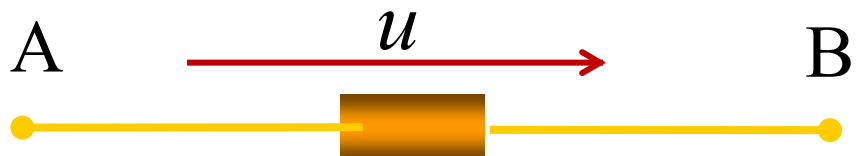


常用（直观）

用双下标表示

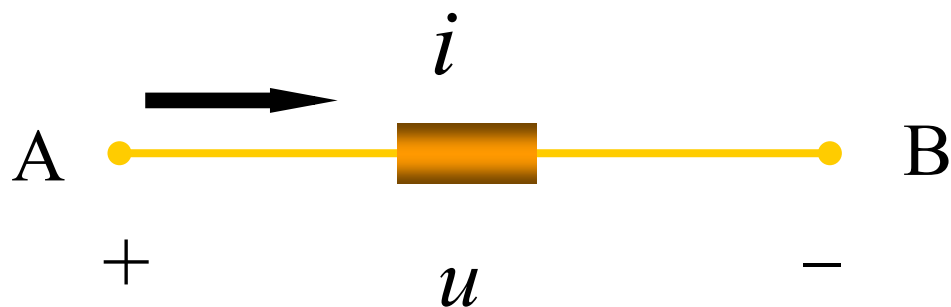


用箭头表示：

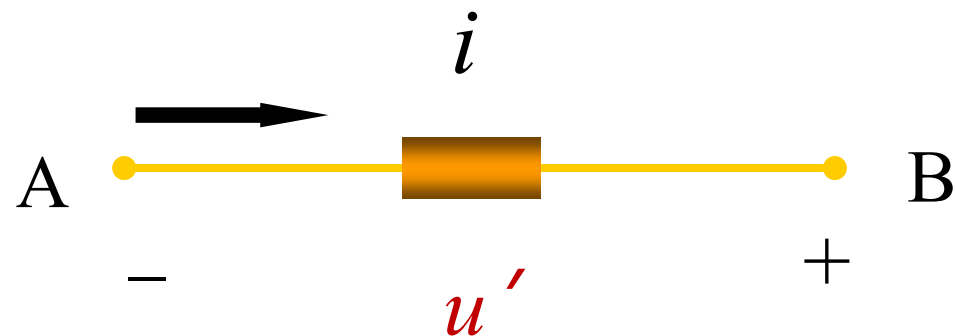


5. 关联参考方向

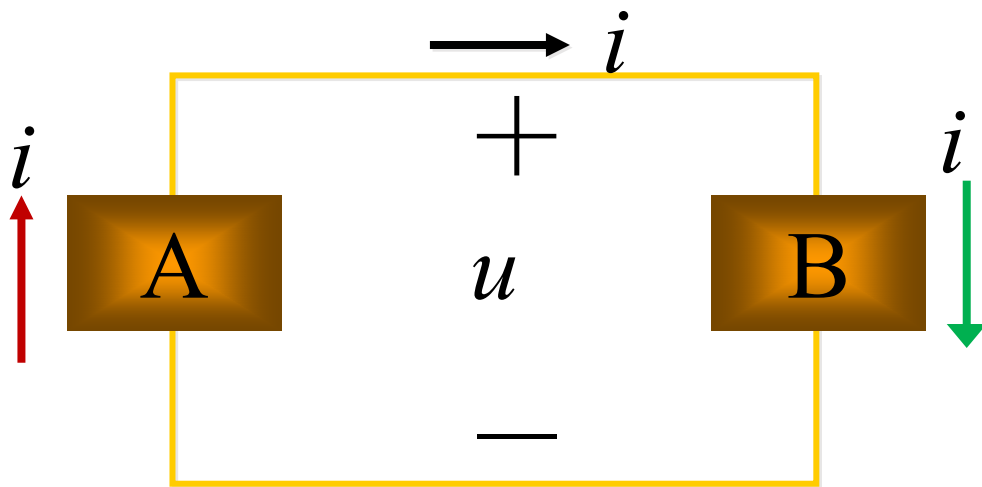
元件或支路的 u , i 采用相同的参考方向称为关联参考方向。
反之, 称为非关联参考方向。



关联参考方向



非关联参考方向



答：A: 电压、电流参考方向非关联

B: 电压、电流参考方向关联

功率和能量

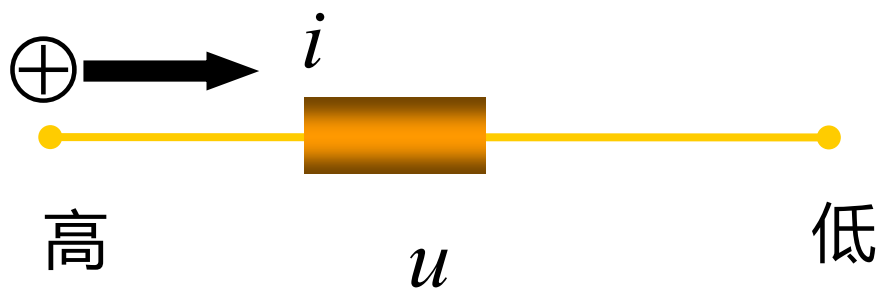
1. 功率和能量

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

功率的单位：W（瓦）

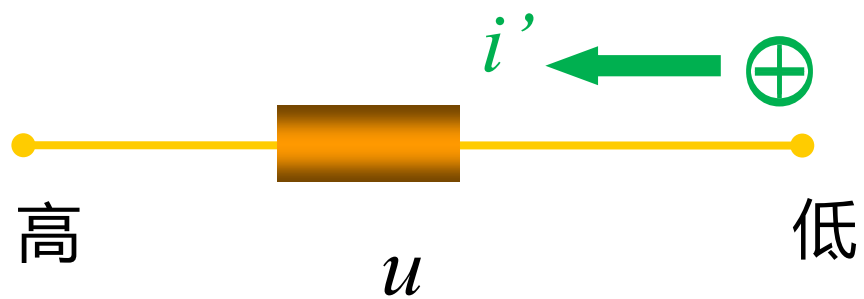
$$w = \int p dt = \int u i dt$$

能量的单位：J（焦），kwh



电场力做功

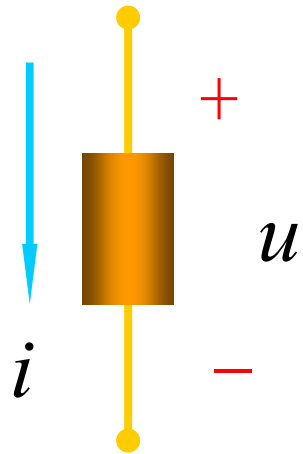
吸收能量



电场力做负功

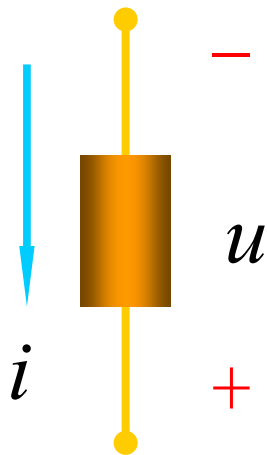
发出能量

2. 电路吸收或发出功率的判断



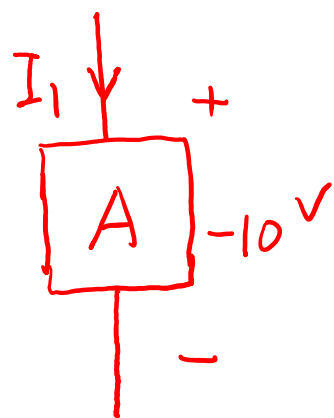
● u, i 取关联参考方向—— $p=ui$ 定义为吸收功率

$P>0$ 吸收正功率 (实际吸收) $P<0$ 吸收负功率 (实际发出)

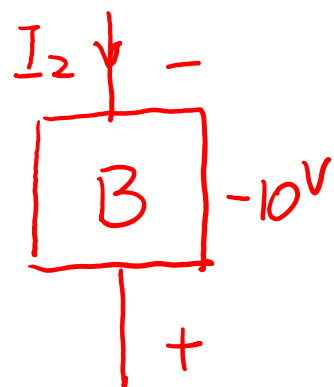


● u, i 取非关联参考方向—— $p=ui$ 定义为发出功率

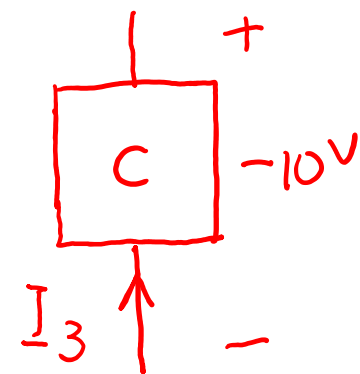
$P>0$ 发出正功率 (实际发出) $P<0$ 发出负功率 (实际吸收)



已知: A 吸收 10W 功率, 求 I_1 ?

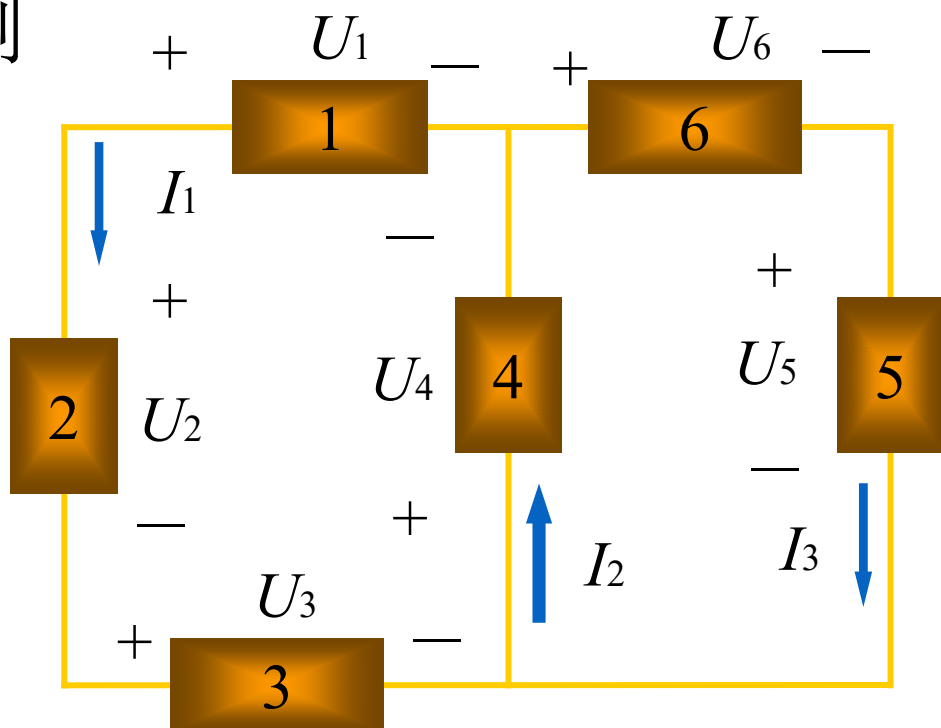


已知: B 发出 10W 功率, 求 I_2 ?



已知: C 吸收 10W 功率, 求 I_3 ?

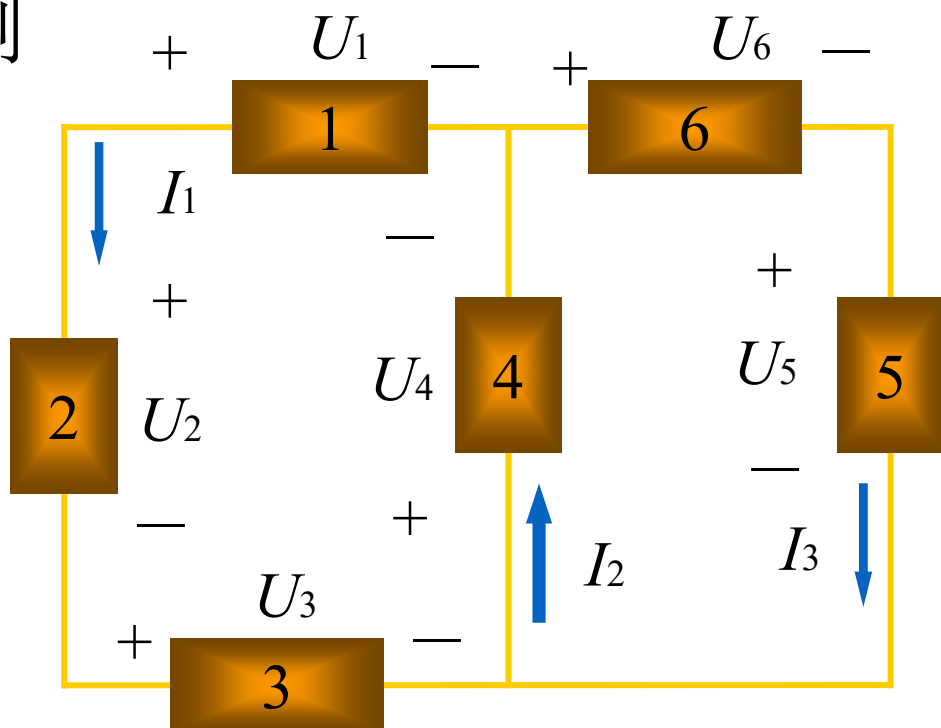
例



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

计算图示电路中各方框所代表的元件吸收或发出的功率。

例



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

元件1: 非关联, 发出 $P_1 = U_1 I_1 = 2\text{W}$

元件2: 关联, 吸收 $P_2 = U_2 I_1 = (-3) \times 2 = -6\text{W}$
实际发出6W

元件3: 关联, 吸收 $P_3 = U_3 I_1 = 8 \times 2 = 16\text{W}$

元件4: 关联, 吸收 $P_4 = U_4 I_2 = (-4) \times 1 = -4\text{W}$
实际发出4W

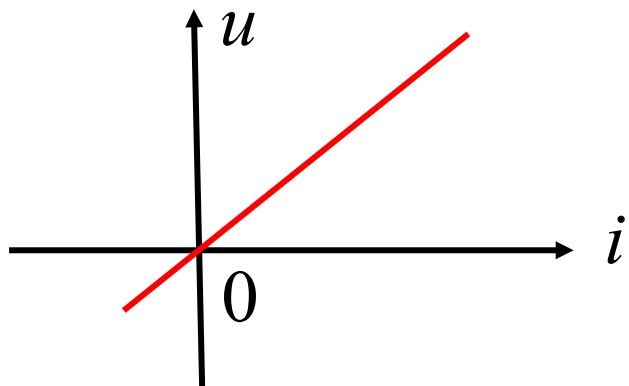
元件5: 关联, 吸收 $P_5 = U_5 I_3 = 7 \times (-1) = -7\text{W}$
实际发出7W

元件6: 关联, 吸收 $P_6 = U_6 I_3 = (-3) \times (-1) = 3\text{W}$

$$\begin{aligned} \text{发出功率} &= \text{吸收功率} \\ 2 + 6 + 4 + 7 &= 16 + 3 \end{aligned}$$

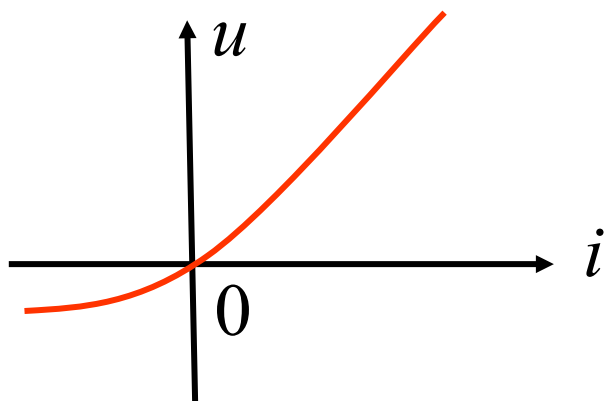
电阻元件 欧姆定律

元件的特性 $f(u, i)$ 可用 $u \sim i$ 平面上的一条曲线来描述:

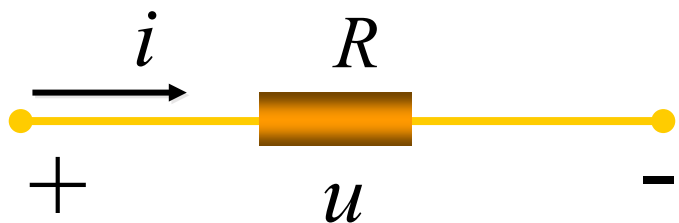


任何时刻端电压与电流成正比

——线性时不变电阻元件



端电压与电流成不正比——非线性电阻



$$\frac{u}{i} = R$$

——欧姆定律
——电阻, (Ω)

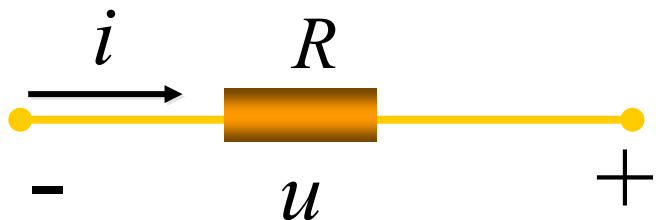
$$u = Ri$$

$$i = Gu$$

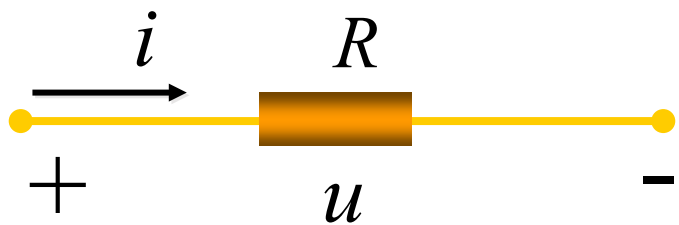
$$\frac{i}{u} = \frac{1}{R} = G$$

——电导, (S)

当元件的电压与电流参考方向非关联时，公式中应冠以负号：



$$u = -Ri \quad i = -Gu$$



$$\frac{u}{i} = R$$

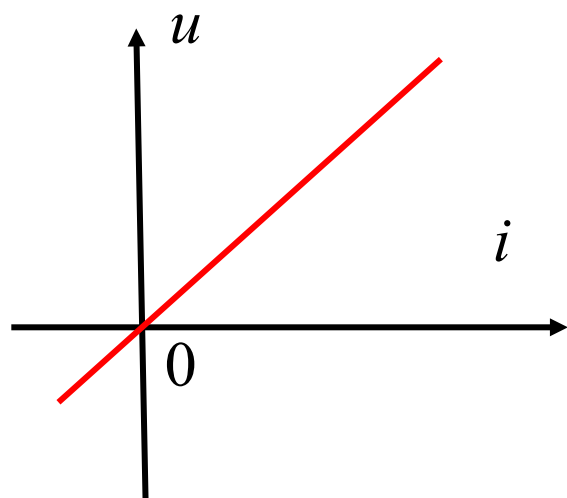
——欧姆定律
——电阻, (Ω)

$$u = Ri$$

$$i = Gu$$

$$\frac{i}{u} = \frac{1}{R} = G$$

——电导, (S)

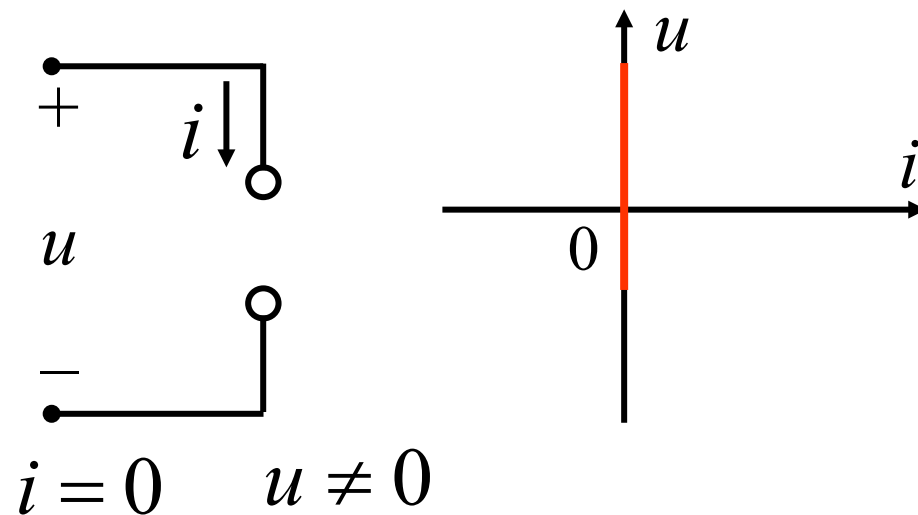


无记忆元件

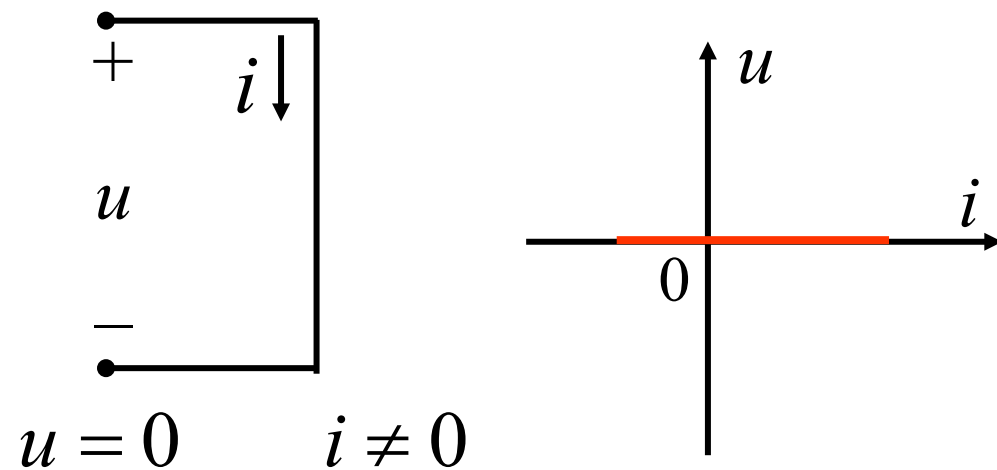
伏安特性曲线 (VCR)

两种特殊情况

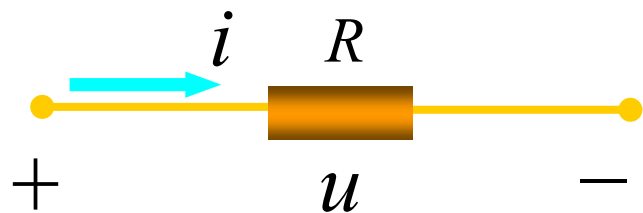
1. $R = \infty$ or $G = 0$ ——开路



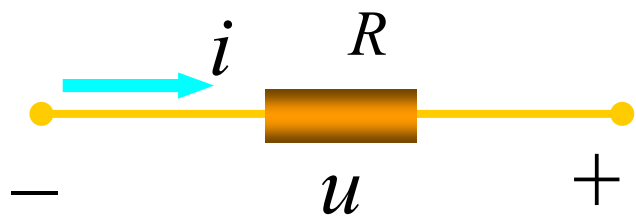
2. $R = 0$ or $G = \infty$ ——短路



电阻的功率：



$$p = u i = i^2 R = u^2 / R$$

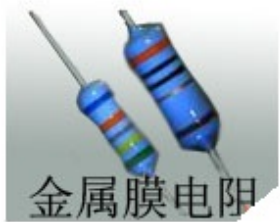


$$p = u i = (-R i) i = -i^2 R = -u^2 / R$$

电阻元件在任何时刻总是消耗功率的。



碳膜电阻



金属膜电阻



贴片电阻



柱形贴片电阻



电阻排



光敏电阻



压敏电阻



水泥电阻



功率电阻

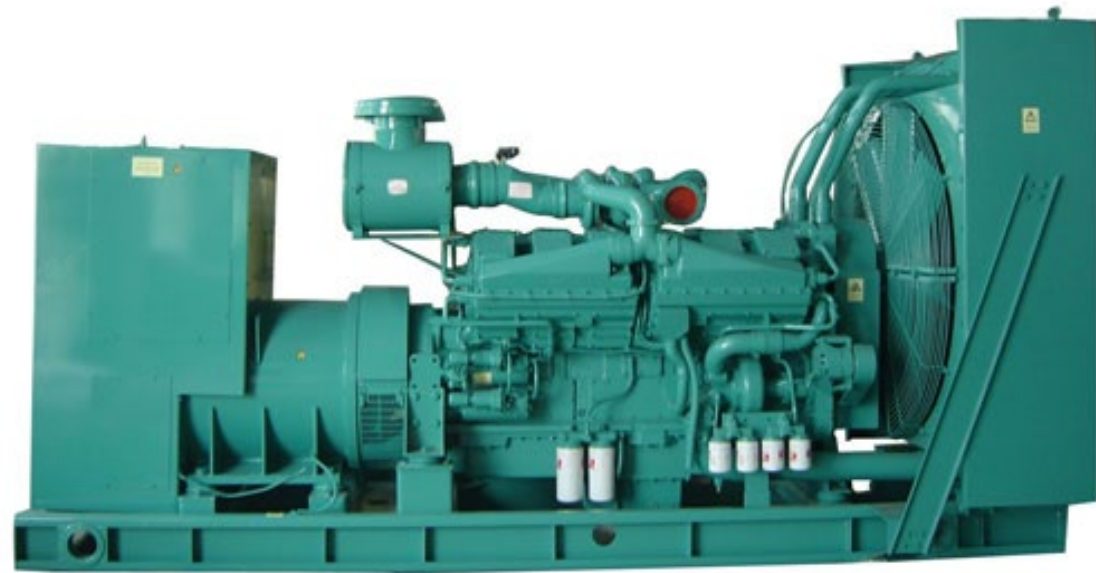
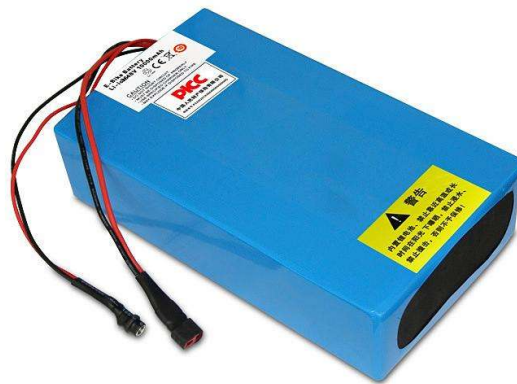


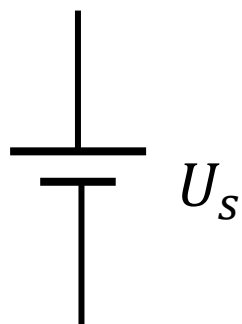
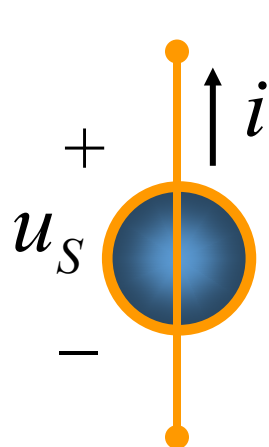
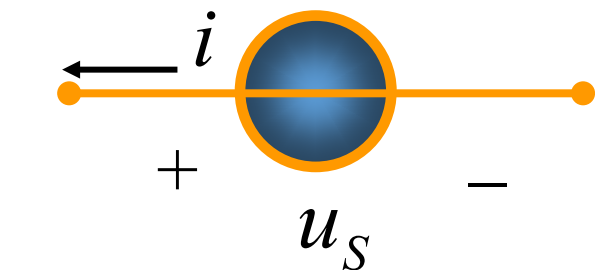
线绕陶瓷电阻



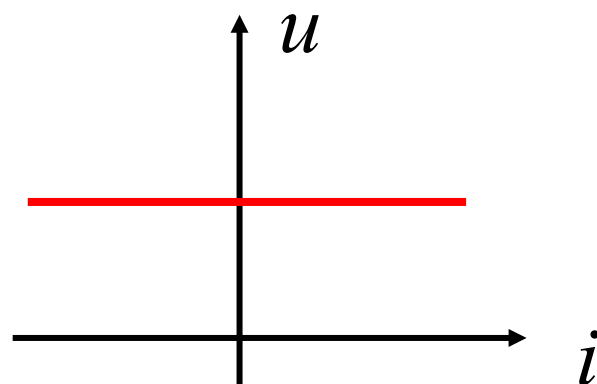
电压源和电流源

1. 理想电压源



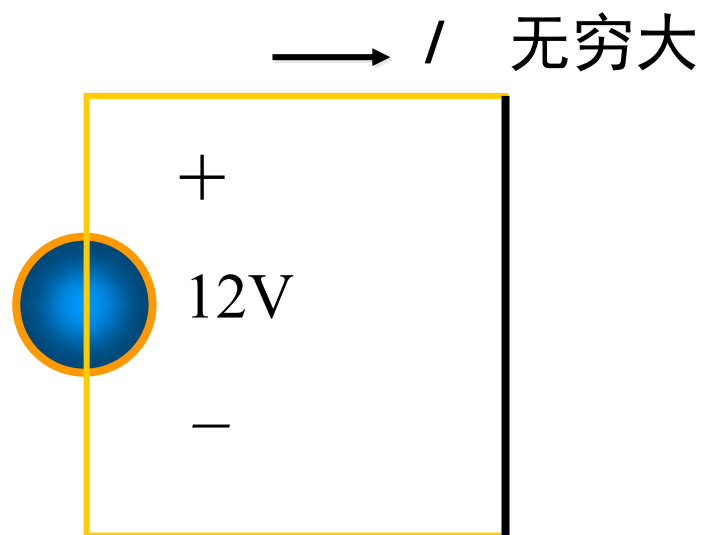
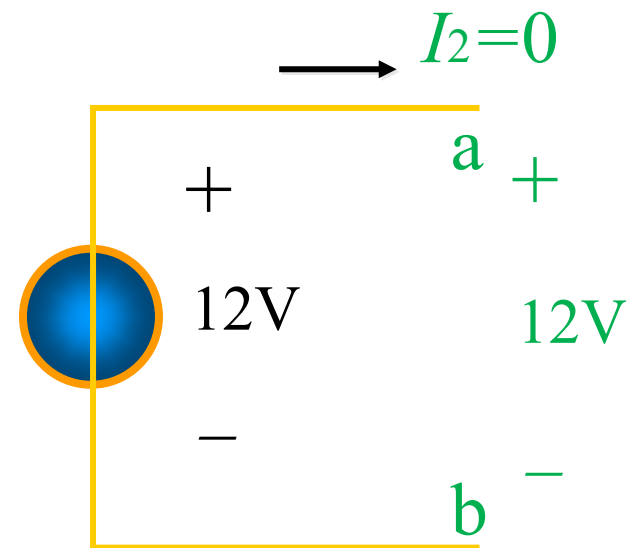
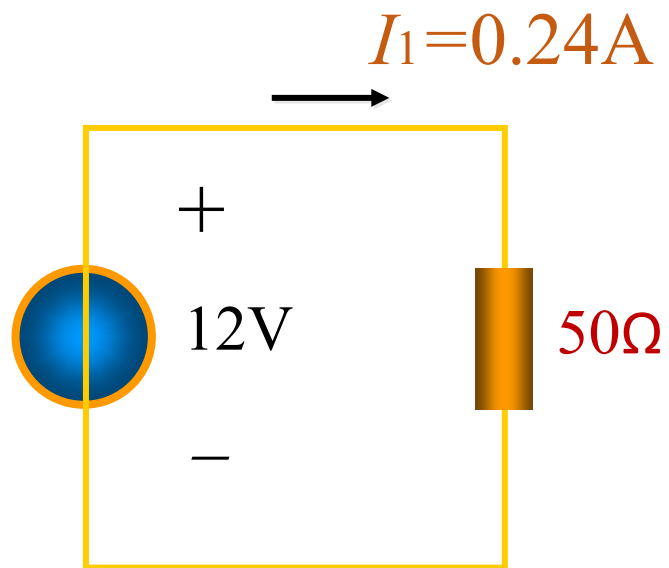
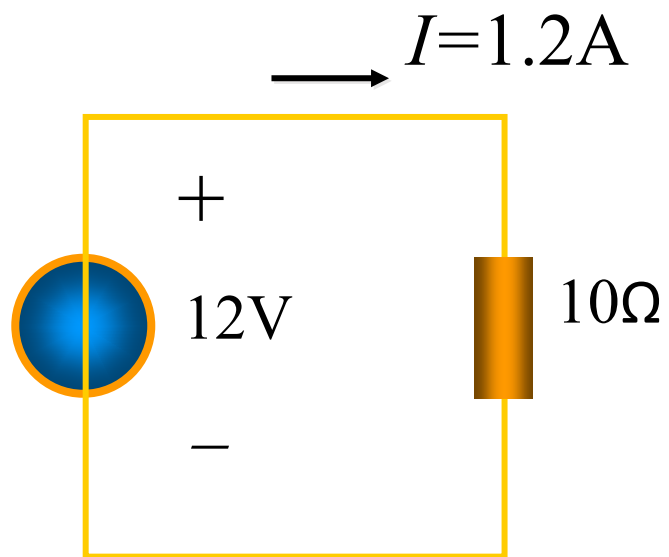


u_S 总能保持定值或一定的时间函数，其值与流过它的电流 i 无关。

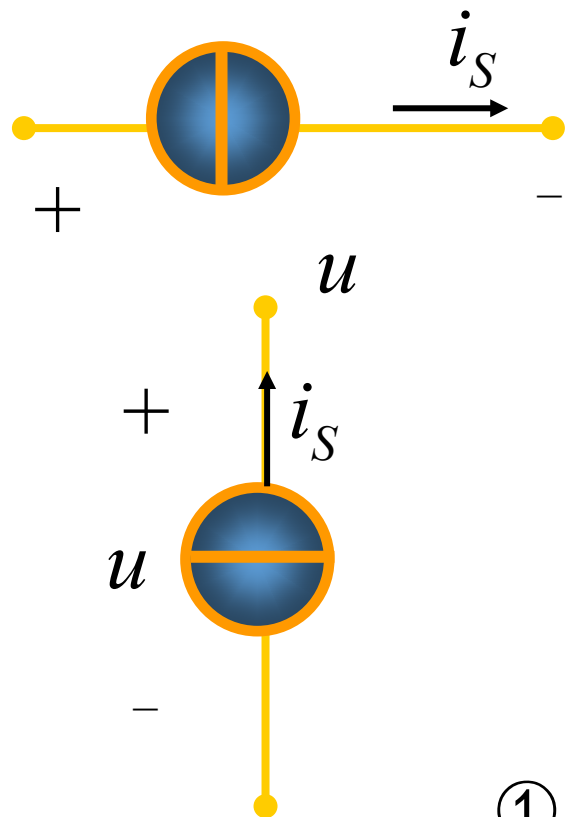


伏安特性曲线 (VCR)

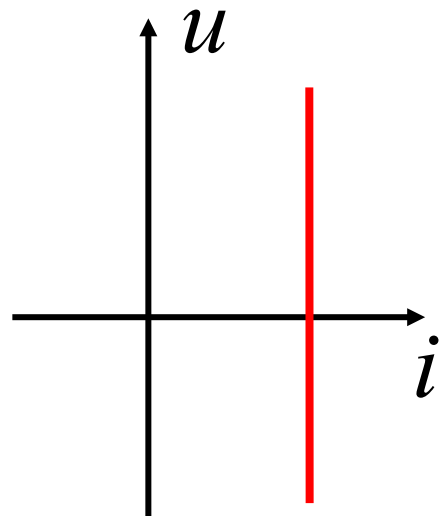
- ① 电压源两端电压由电源本身决定，与外电路、与流经它的电流方向、大小无关。
- ② 通过电压源的电流由电源及外电路共同决定。



2. 理想电流源



i_S 总能保持定值或一定的时间函数，其值与它两端的电压 u 无关。



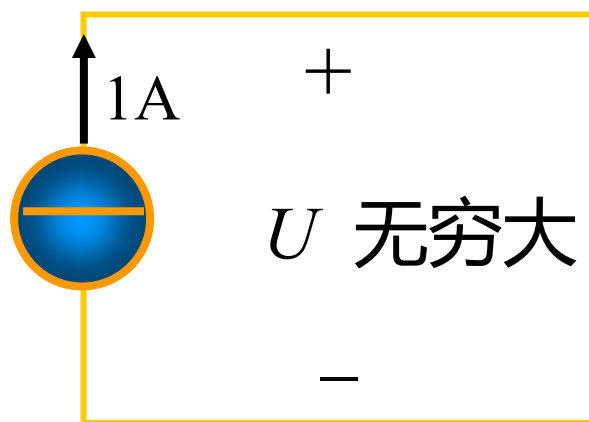
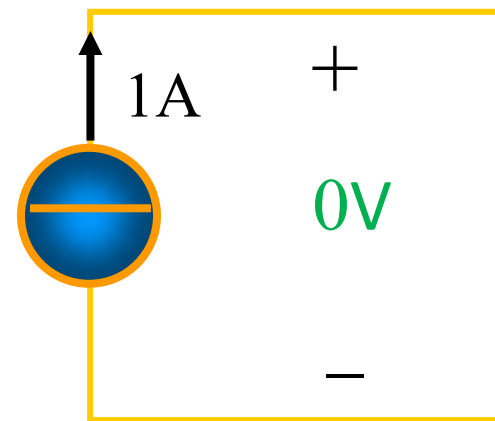
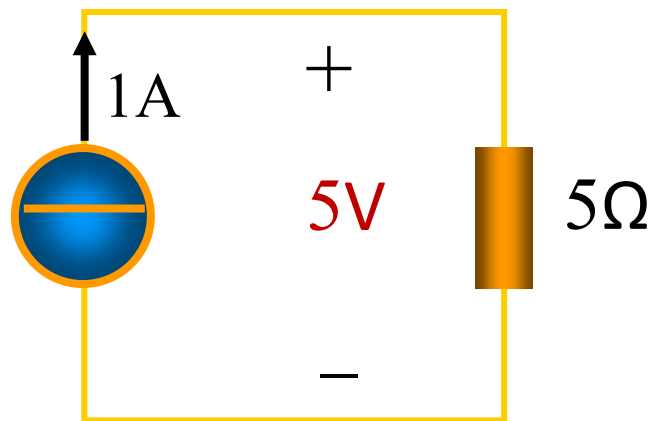
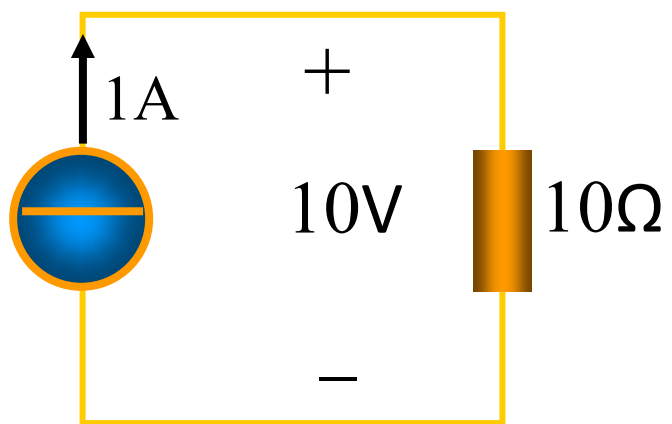
- ① 电流源的输出电流由电源本身决定，与外电路、它两端电压方向、大小无关。
- ② 电流源两端的电压由电源及外电路共同决定。

实际电流源：

可由稳流电子设备产生，如晶体管的集电极电流与负载无关；
光电池在一定光线照射下，光电子被激发产生一定值的电流等。

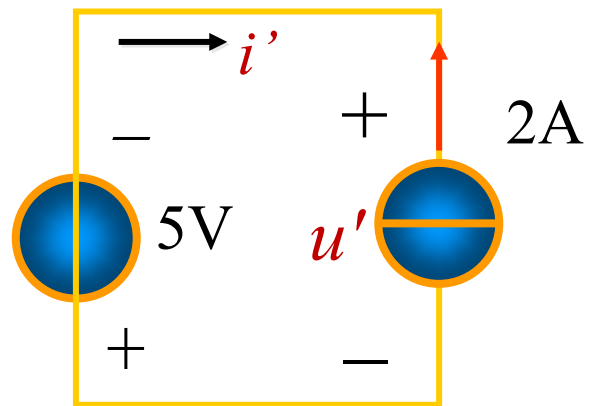
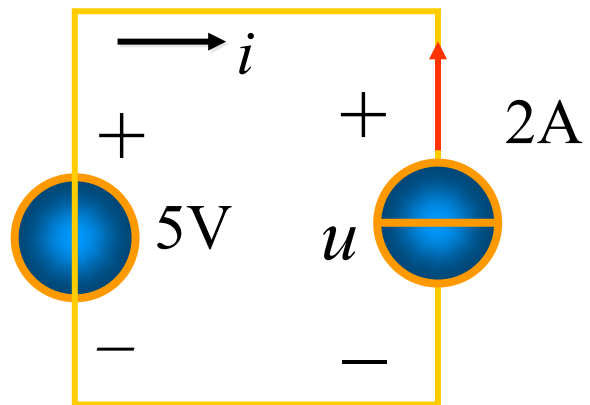


.....



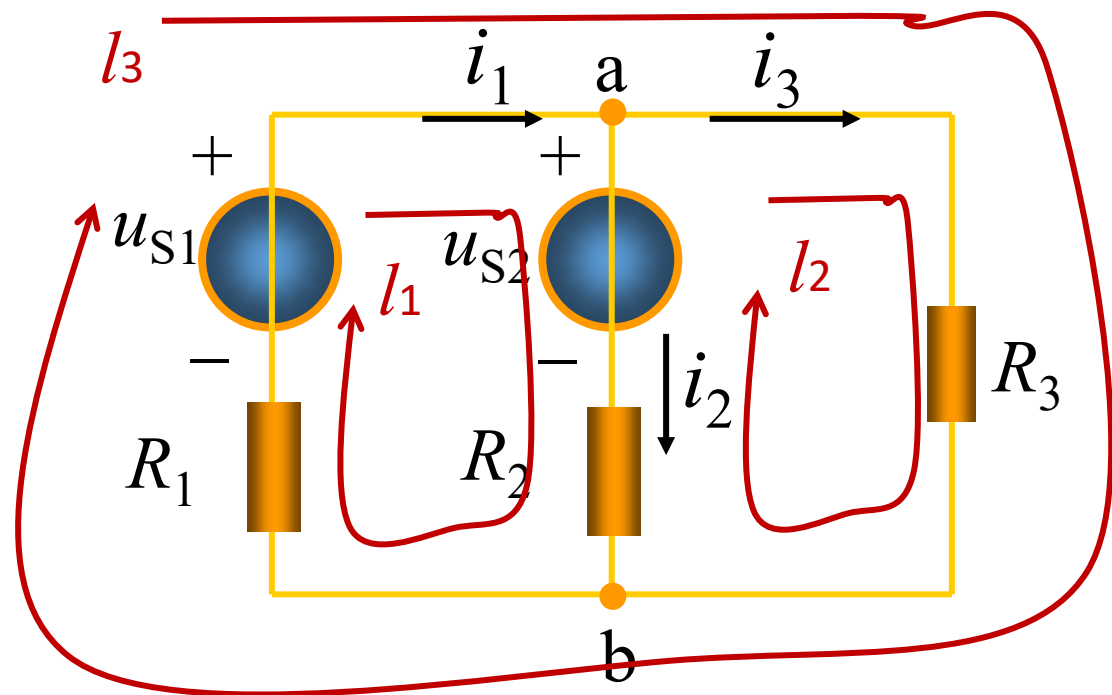
电源的功率：

发出功率时，起电源作用；吸收功率时，充当负载



基尔霍夫定律

1. 几个名词



① 支路

电路中每一个两端元件就叫一条支路。 $b=5$

电路中通过同一电流的分支。 $b=3$

② 结点

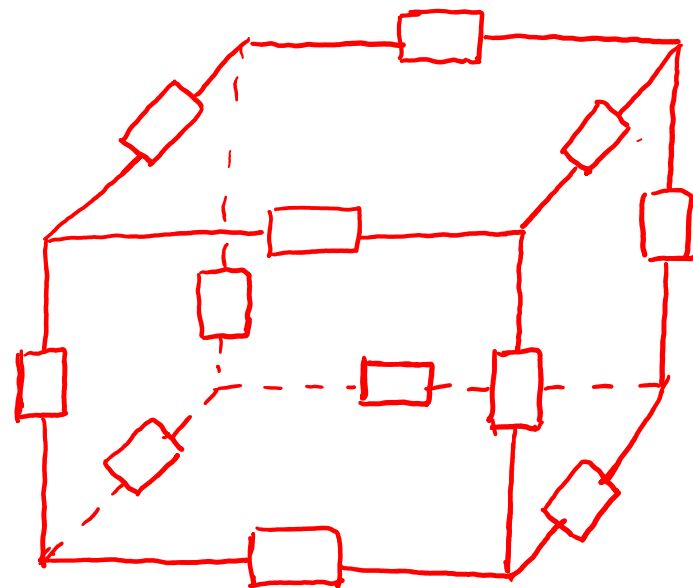
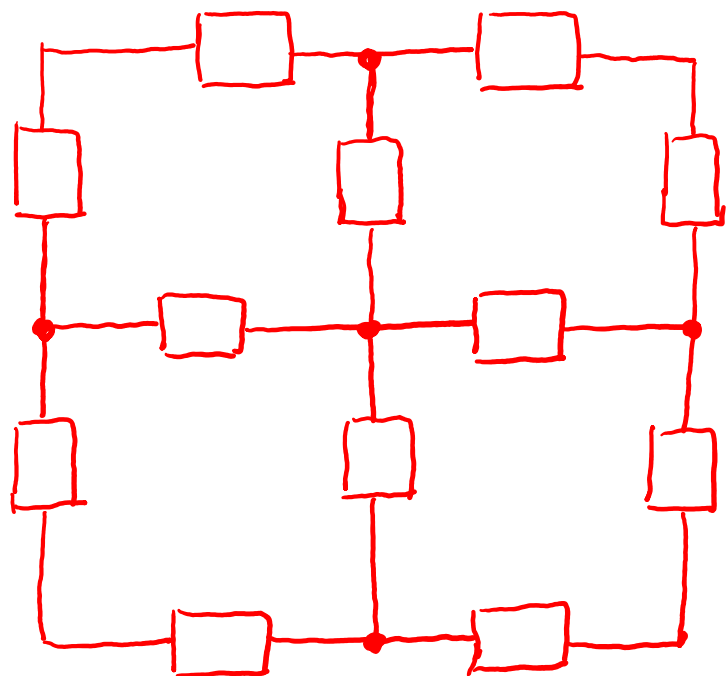
元件的连接点称为结点。 $n=4$

或三条以上支路的连接点称为结点。 $n=2$

③ 路径 两结点间由支路构成的一条通路。

④ 回路 由支路组成的闭合路径。 $l=3$

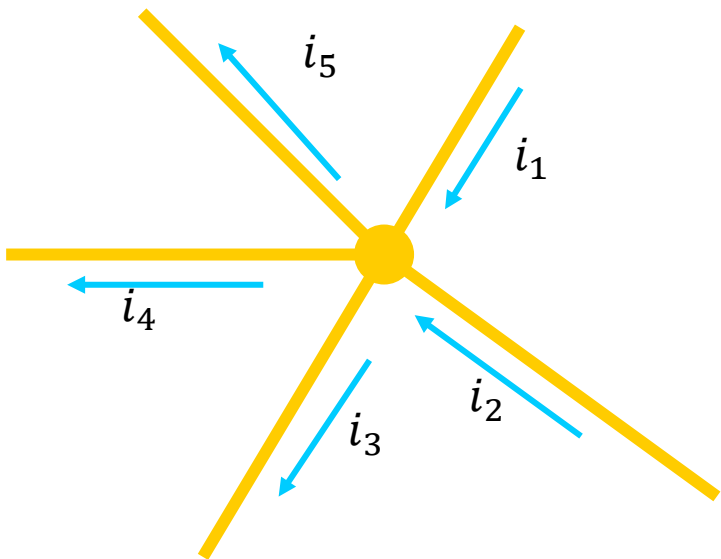
⑤ 网孔



2. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

在集总参数电路中，任意时刻，流出任意结点的电流等于流入该结点的电流。

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



对任意结点，流出（或流入）该结点电流的代数和等于零。

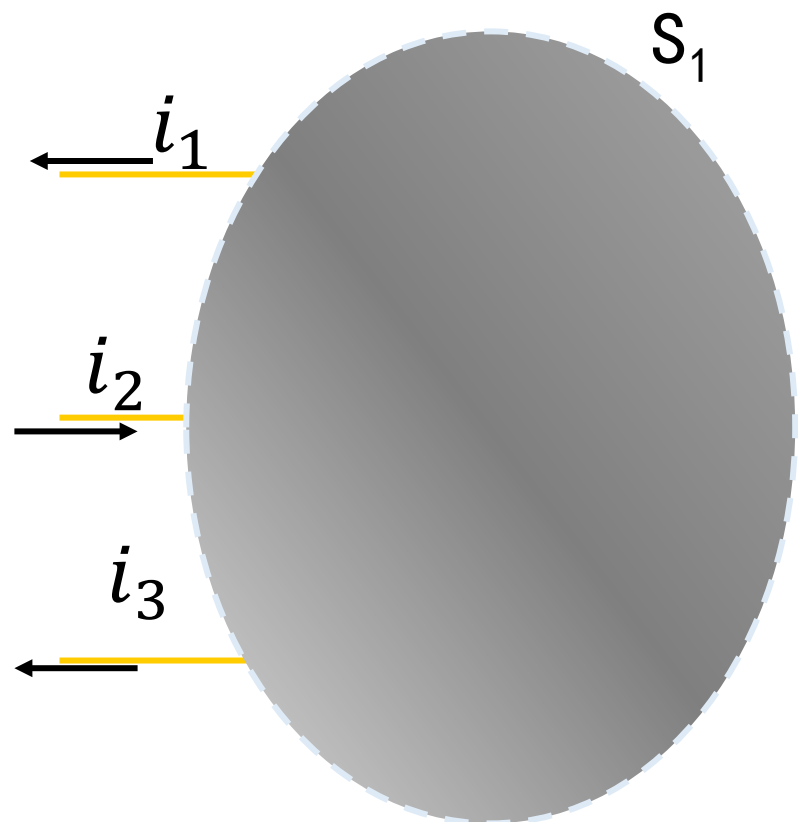
$$\sum i = 0$$

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5$$

$$-i_1 - i_2 + i_3 + i_4 + i_5 = 0$$

代数和：

如果取流出的电流为“+”，则流入的电流为“-”。反过来定义也可以。



$$\textcircled{1} \quad i_1 + i_4 + i_6 = 0$$

$$\textcircled{2} \quad -i_2 - i_4 + i_5 = 0$$

$$\textcircled{3} \quad i_3 - i_5 - i_6 = 0$$

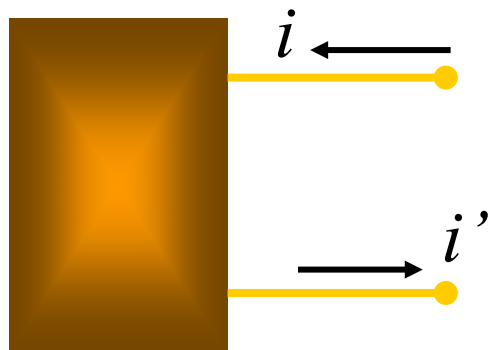
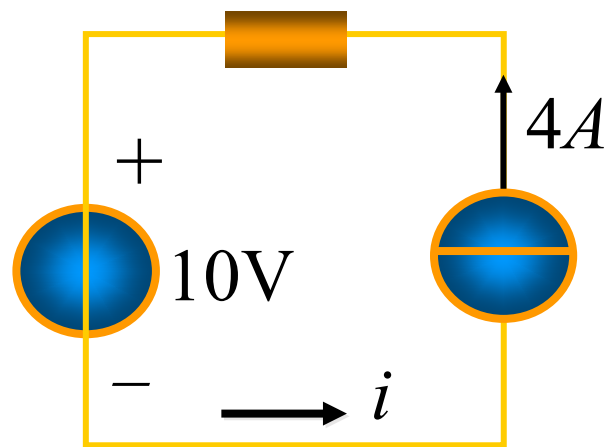
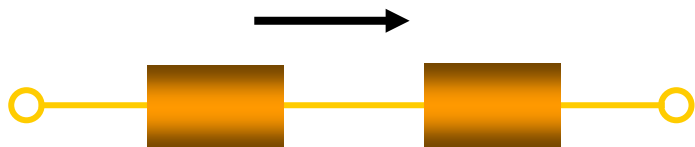
三式相加得：

$$i_1 + i_3 = i_2 \quad \text{or} \quad i_1 - i_2 + i_3 = 0$$

对任意**广义结点**有：流出（或流入）广义结点电流的代数和等于零。

任意封闭曲面都可视为广义结点。

串联支路电流：



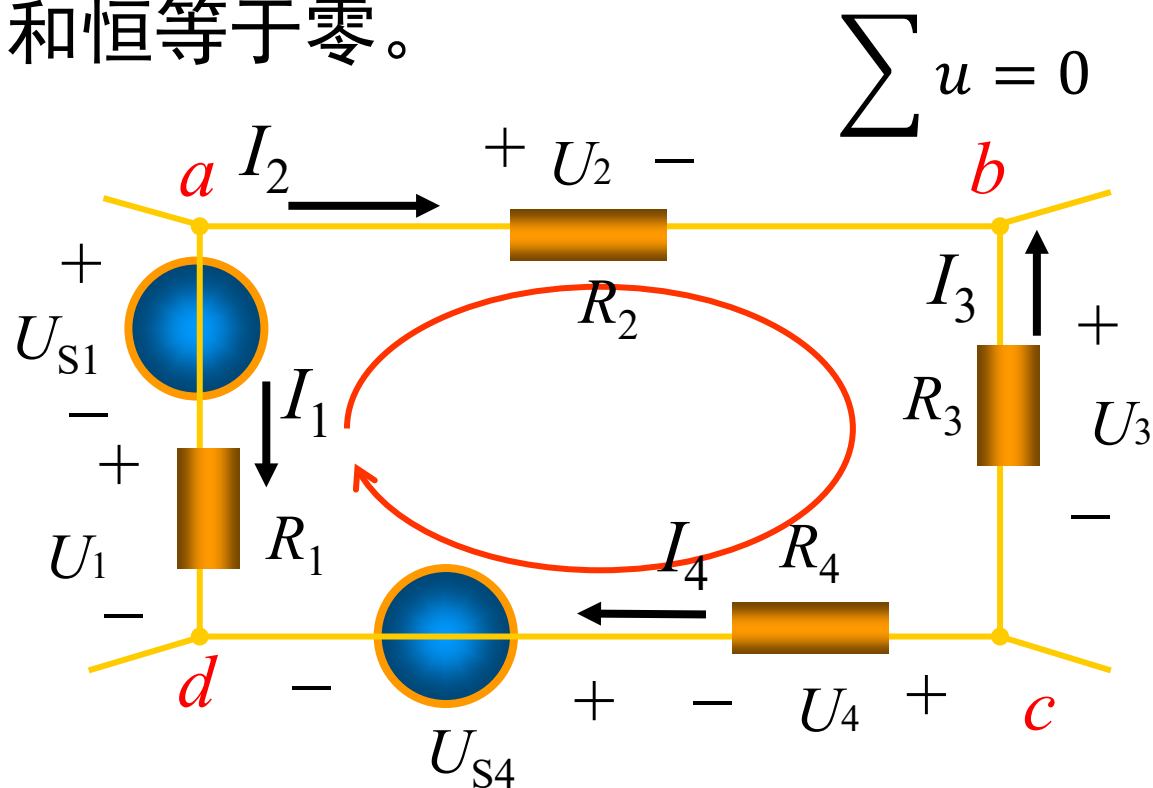
KCL是电荷守恒和电流连续性原理在电路中任意结点处的反映。

KCL方程是按**电流参考方向列写**的，与电流实际方向无关。电流有正负之分。

KCL是对结点处支路电流加的约束，**与支路上接的是什么元件无关**，与电路是线性还是非线性无关。

3. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

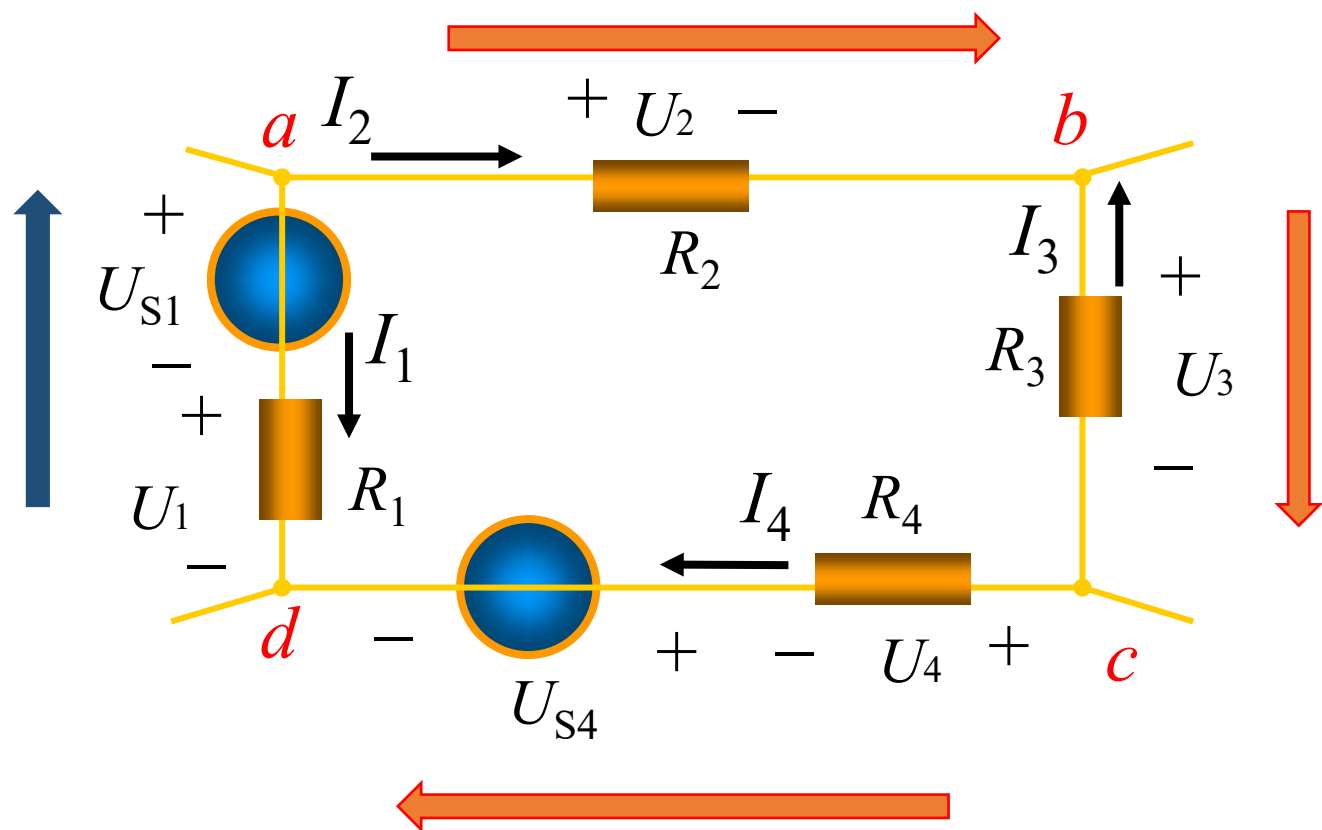
在集总参数电路中，任一时刻，沿任一回路，所有支路电压的代数和恒等于零。



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

如果电压的参考方向与绕行方向相同为“+”，则相反为“-”。

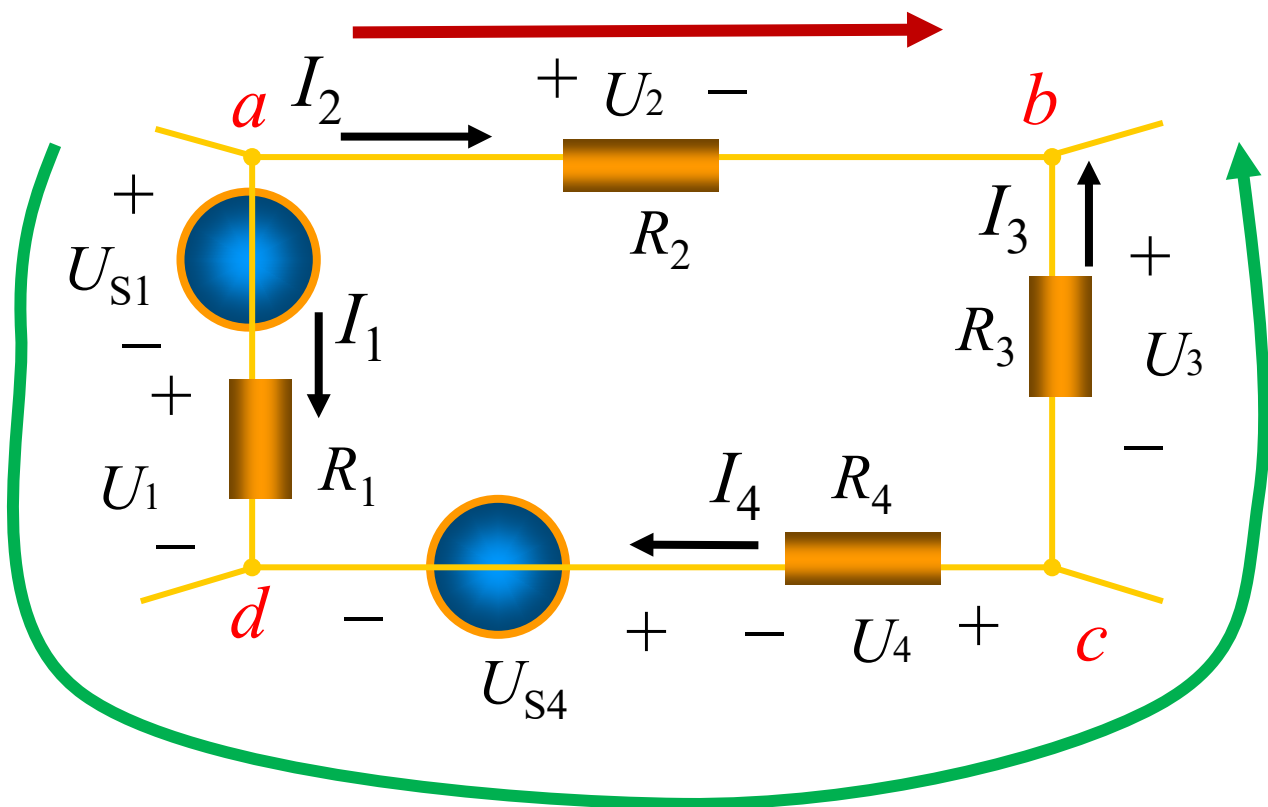
（先经过正极取“+”，先经过负极取“-”。）反过来定义也可以。



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

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

电位降 = 电位升



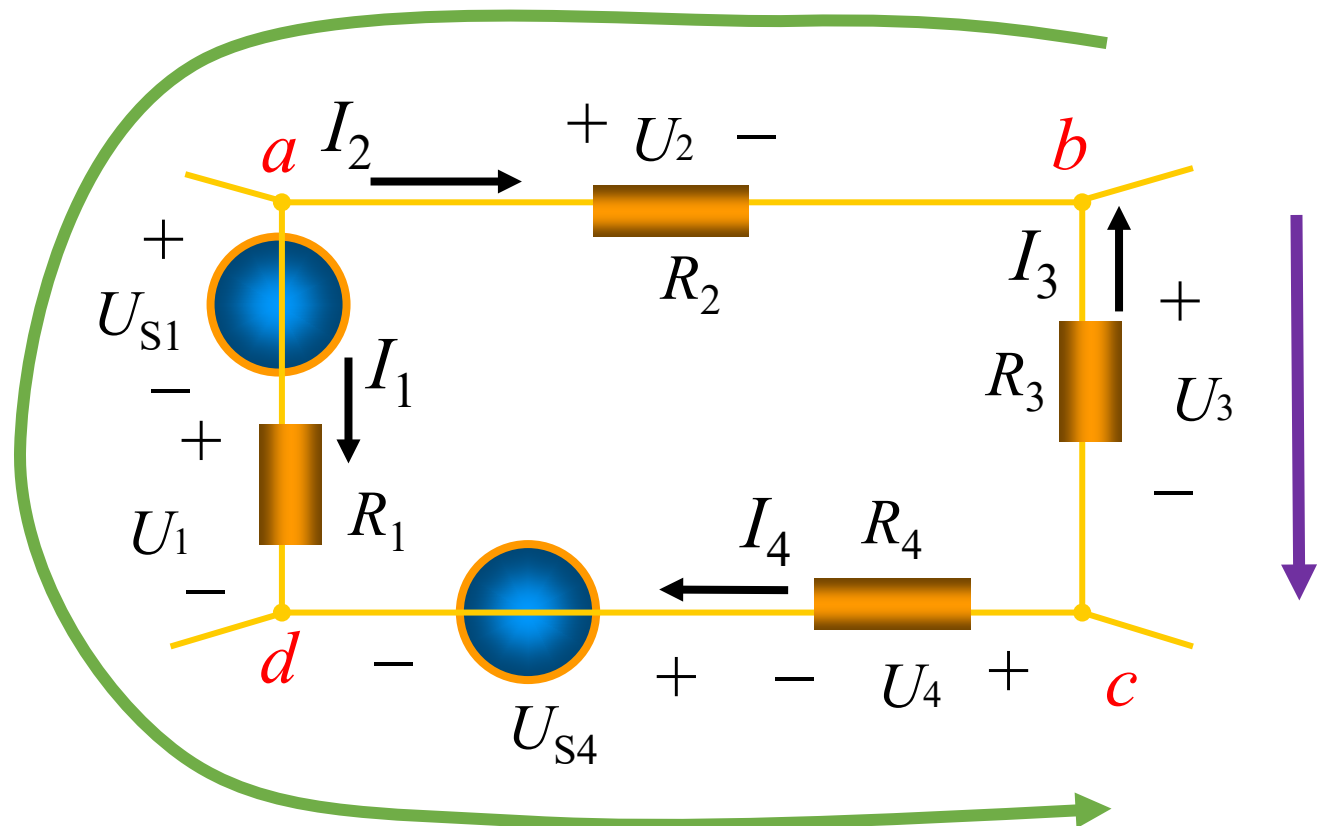
$$-U_1 - U_{S1} + U_2 + U_3 + U_4 + U_{S4} = 0$$

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

两点之间的电压与路径无关

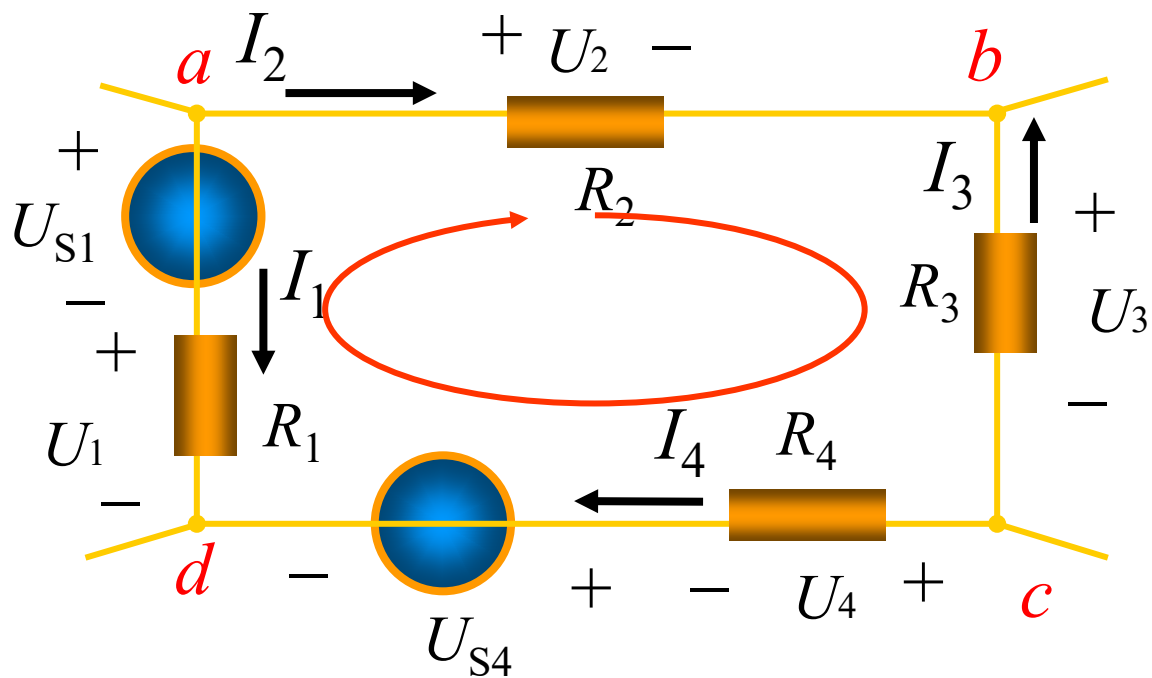
两点之间的电压等于两点之间路径上电压之和。

电压的参考方向与路径方向相同为“+”，相反为“-”。



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

$$= U_{bc}$$

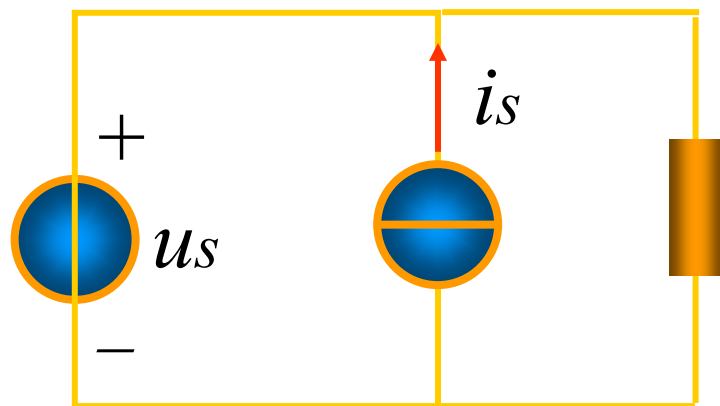
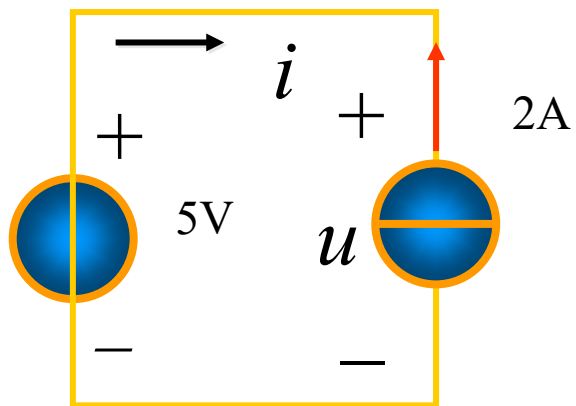
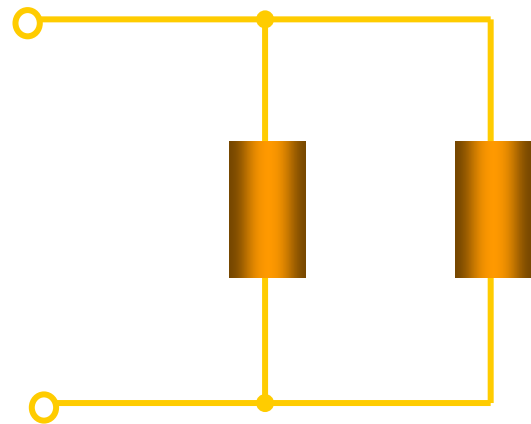


$$-U_1 - U_{S1} + U_2 + U_3 + U_4 + U_{S4} = 0$$

$$-R_1 I_1 - U_{S1} + R_2 I_2 - R_3 I_3 + R_4 I_4 + U_{S4} = 0$$

电阻上的电流可以用 $R_2 I_2$ 表示，
其中电流参考方向与绕行方向相同取 “+”，相反取 “-”。

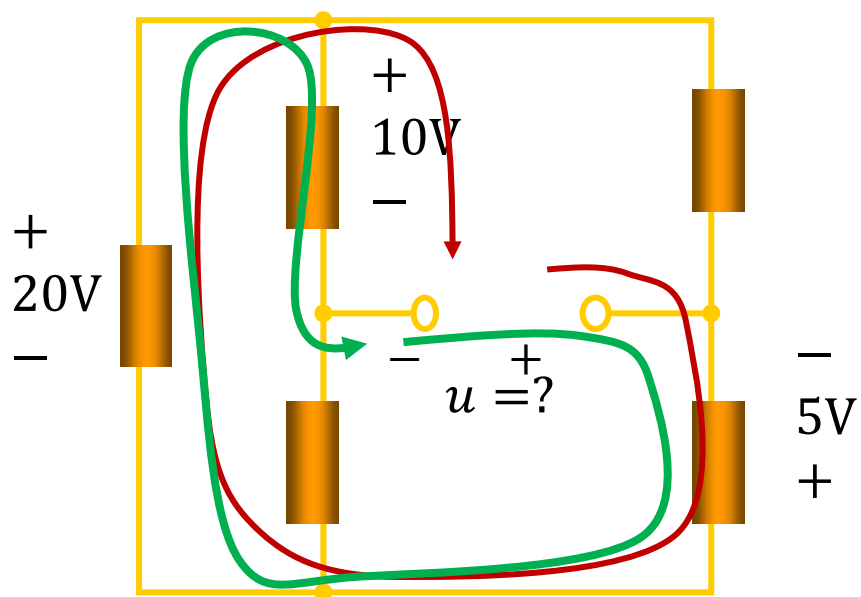
并联支路电压：



KVL的实质反映了电路遵从能量守恒定律。

KVL方程是按电压参考方向列写的，与实际方向无关。电压有正负之分。

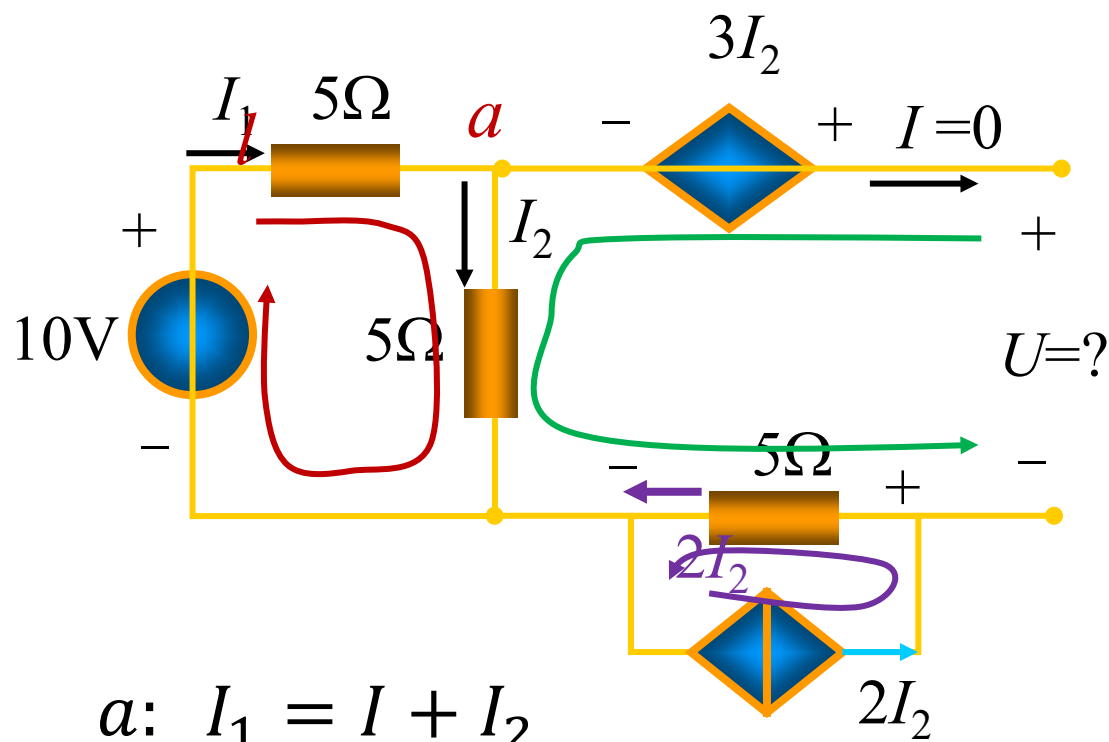
KVL是对回路中的支路电压加的约束，与回路各支路上接的是什么元件无关，与电路是线性还是非线性无关。



$$-u - 5 - 20 + 10 = 0$$

$$u = -5 - 20 + 10 = -15V$$

已知 $I=0$, 求开路电压 U ?



$$a: I_1 = I + I_2$$

$$l: 5I_1 + 5I_2 - 10 = 0 \quad I_2 = 1$$

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