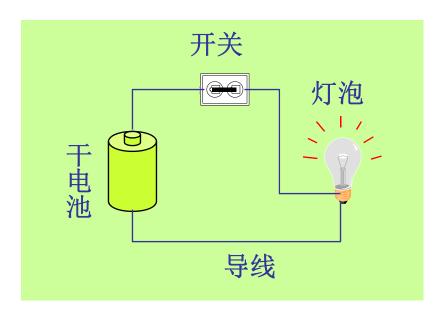


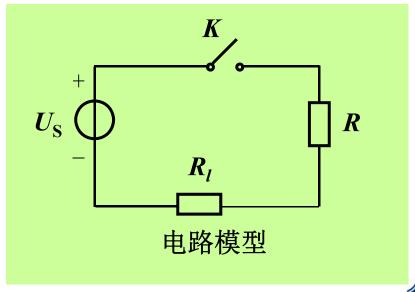
# 第一章电路的基本概念及定律

## § 1-1 实际电路与电路模型

实际电路:是由电工设备与器件联接组成的。

实际电路举例1: 手电筒





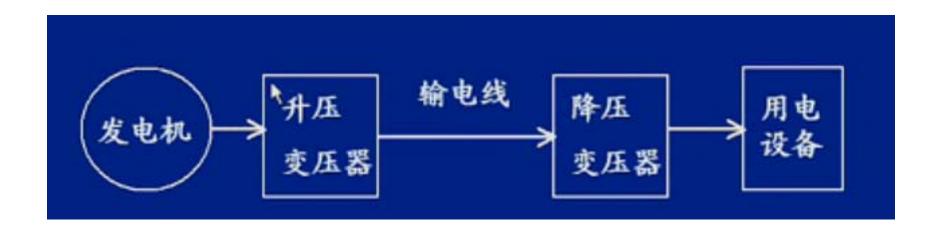








## 实际电路举例2: 电力系统



实际电路 的功能 a 能量的传输、分配与转换;

b 信息的传递与处理。



# 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

注:本课程内分析的电路都是电路模型,模型中的元件都是理想元件。



# 电路的构成

- ■源(能量的源-电源,信号源)
- 负载
- 开关和线路
- 能量或信号的处理器(变压器、滤波器、运算放大器)













#### 元件的分类:

线性元件与非线性元件

有源元件与无源元件

二端元件与多端元件

静态元件与动态元件

集中参数元件与分布参数元件

用集中参数表示的条件:实际电路的尺寸必须远小于电路工作频率下的电磁波的波长。

集中参数电路:由集中参数元件构成的电路。





#### 例 已知电磁波的传播速度 $v=3\times10^5$ km/s

(1) 若电路的工作频率为 f=50 Hz,则

周期 
$$T=1/f=1/50=0.02$$
 s

波长 
$$\lambda = 3 \times 10^5 \times 0.02 = 6000 \text{ km}$$

若电路尺寸远小于1,为集中参数电路。

(2) 若电路的工作频率为f=50 MHz,则

周期 
$$T = 1/f = 0.02 \times 10^{-6} \text{ s} = 0.02 \text{ ns}$$

波长 
$$\lambda = 3 \times 10^5 \times 0.02 \times 10^{-6} = 6 \text{ m}$$

此时一般电路尺寸均与*λ* 可比,所以电路视为分布参数电路。







# § 1-2 基本物理量与参考方向

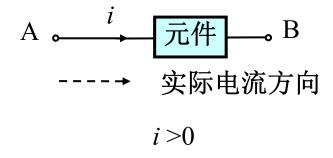
## 基本物理量(基本变量):

电流 i,电压 u,电量q

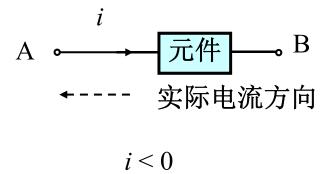
磁链 $\psi$ ,能量W,功率p

## 电流的参考方向:

电流参考方向



电流参考方向









电流的大小:

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

直电电流

$$i(t) = I = \frac{q}{t}$$

电流的单位:安培,简称安(A)

千安(kA)、毫安(mA)、微安(µA)、纳安(nA)

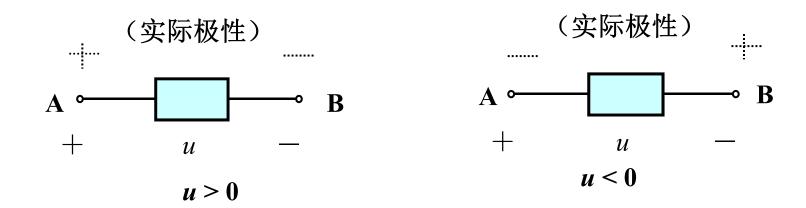
$$1kA = 10^{3} A$$
  $1mA = 10^{-3} A$   
 $1\mu A = 10^{-6} A$   $1nA = 10^{-9} A$ 







## 电压的参考方向: 又称参考极性



电压的大小: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

$$u_{AB} = \frac{dA}{dq} = \frac{W_A - W_B}{dq} = \frac{W_A}{dq} - \frac{W_B}{dq} = \varphi_A - \varphi_B$$

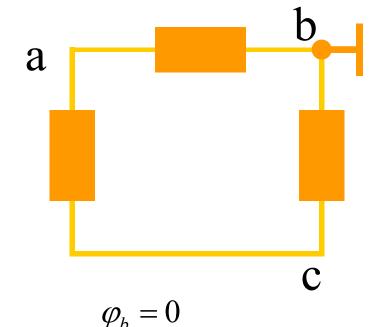
电压单位: 伏特(V)

常用的有:千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)









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<sub>ab</sub>、U<sub>bc</sub>;
- (2) 若以c点为参考点,再求以上各值

解: (1) 以b点为电位参考点

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

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

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = 2 - 0 = 2V$$

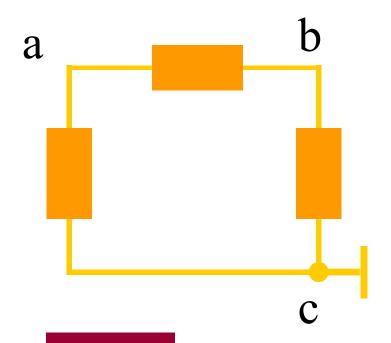
$$U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c = 0 - (-3) = 3V$$





#### (2) 以c点为电位参考点

$$\varphi_c = 0$$



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

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

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = 5 - 3 = 2V$$

$$U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c = 3 - 0 = 3V$$

## 结论

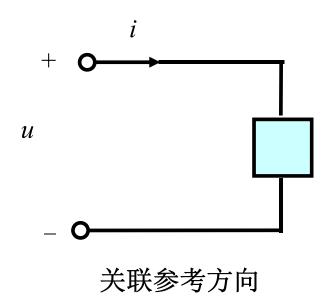
电路中电位参考点可任意选择;参考点一经选定,电路中各点的电位值就是唯一的;当选择不同的电位参考点时, 电路中各点电位值将改变,但任意两点间电压保持不变。

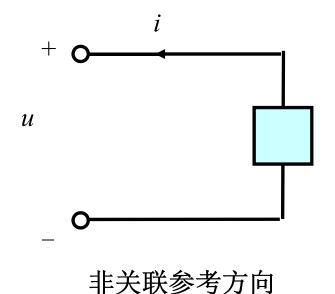




## ■ 关联参考方向:

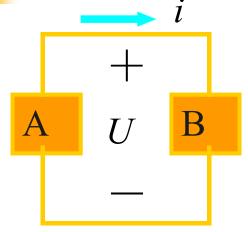
电流从 "+"极性流入、从 "一"极性流出。 否则为非关联参考方向。











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。

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。





## 元件吸收的功率:

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

关联参考方向

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

非关联参考方向

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

p(t) > 0 :元件实际在吸收功率 < 0 :元件吸收的是负功率,

即元件实际释放功率

## 元件发出的功率:

非关联参考方向 p(t) = u(t)i(t)

关联参考方向 p(t) = -u(t)i(t)







## 功率的单位: 瓦特简称瓦(W)、千瓦(kW)

$$t_0$$
到 $t$  吸收的电能:  $W = \int_{t_o}^t p dt$ 

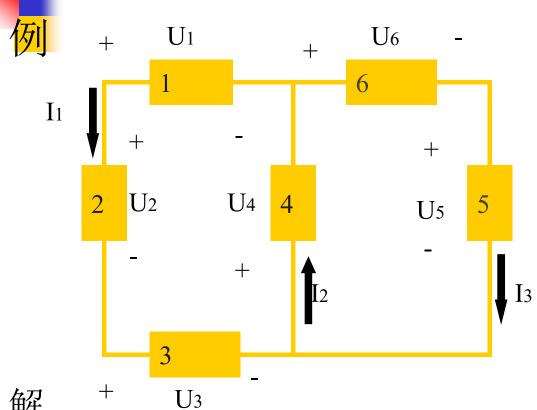
直流情况下 
$$W = P(t - t_0)$$

电能的单位: 焦耳(力)

$$1 (J) = 1 (W) \times 1 (s)$$







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: U1=1V, U2=-3V,

 $U_3=8V$ ,  $U_4=-4V$ ,

 $U_5=7V$ ,  $U_6=-3V$ 

I1=2A, I2=1A,

I3 = -1A

解

$$P_1 = -U_1I_1 = -1 \times 2 = -2W$$
 (发出)

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

$$P_3 = U_3 I_1 = 8 \times 2 = 16W$$
 (消耗)

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

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

$$P_6 = U_6 I_3 = (-3) \times (-1) = 3W$$
 (消耗)

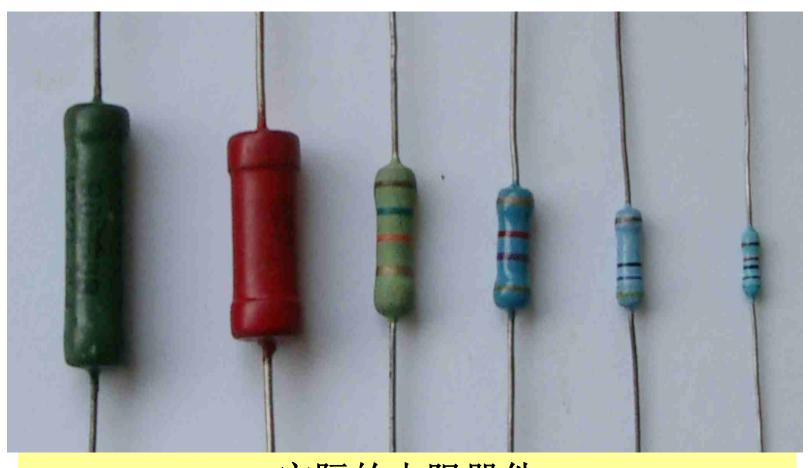
对一完整的电路,发出的功率=消耗的功率





# § 1-3 电阻、电感和电容元件

## 一、电阻元件

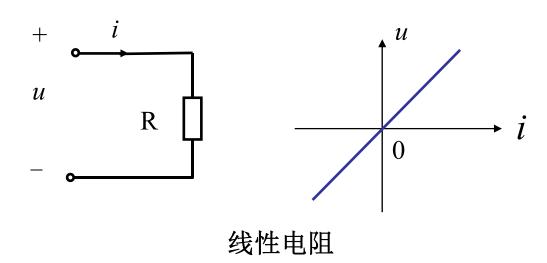


实际的电阻器件









线性电阻满足欧姆定律: 关联参考方向时

$$u(t) = Ri(t)$$
  $i(t) = Gu(t)$ 

R: 线性电阻元件的电阻。单位: 欧姆  $(\Omega)$ 

G: 线性电阻元件的电导。单位: 西门子(S)





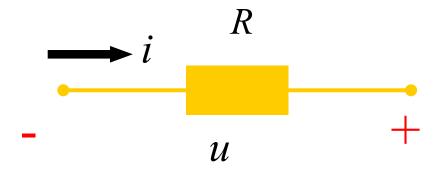


## 注

(1) 只适用于线性电阻,(R为常数)

#### 欧姆定律

- (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) 说明线性电阻是无记忆、双向性的元件



则欧姆定律写为 u = -R i i = -G u

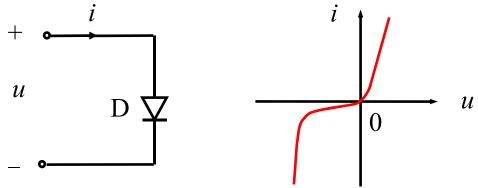
$$i = -G u$$

公式和参考方向必须配套使用!









非线性电阻

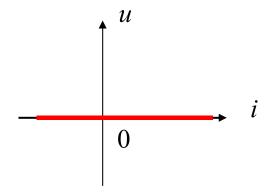




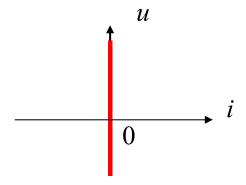


R=0 时,称其为"短路";

 $R = \infty$  时,称其为"开路"或"断路"。



R=0 的伏安特性



R=∞的伏安特性







## 电阻吸收的功率: 关联参考方向条件下

$$p(t) = u(t)i(t) = Ri^{2}(t) = \frac{u^{2}(t)}{R} = Gu^{2}(t)$$

非关联参考方向时:

$$p(t) = -u(t)i(t) = Ri^{2}(t) = \frac{u^{2}(t)}{R} = Gu^{2}(t)$$

## to到t内电阻消耗的能量

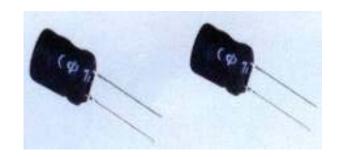
$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t Ri^2 dt$$

上述结果说明电阻元件在任何时刻总是消耗功率的。

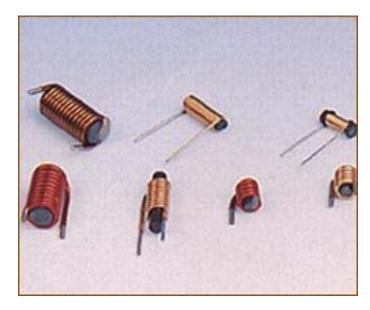




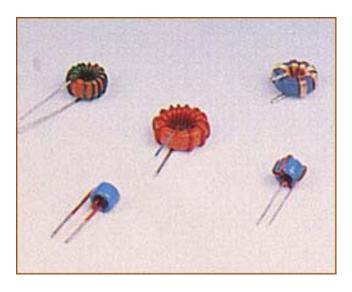
## 二、电感元件



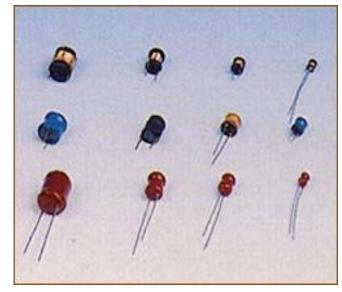
固定电感



棒状线圈



环形电感



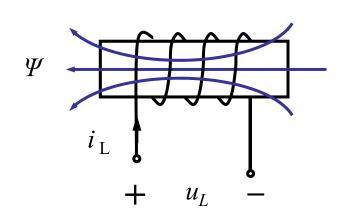
工字形电感

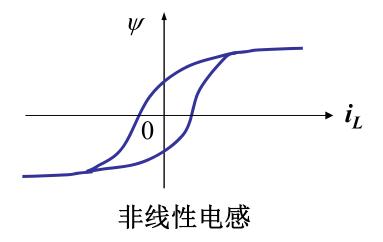






## 电感: 是一种储存磁场能量的元件

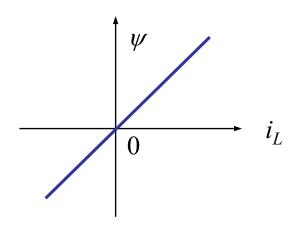




磁链:  $\psi = N\varphi$  N—线圈匝数

若 Y-i<sub>L</sub>曲线是过原点的直线, 则此电感为线性电感,且定义

$$L = \frac{\psi}{i_L}$$



线性电感







## 2、电感上电压与电流的关系:

$$u_L$$
与 $i_L$ 取关联参考方向时  $u_L(t) = \frac{d\psi}{dt} = \frac{dLi_L}{dt} = L\frac{di_L}{dt}$  取非关联参考方向时  $u_L(t) = -L\frac{di_L}{dt}$ 

## 表明

- (1) 电感电压u 的大小取决于i 的变化率,与i 的大小无关,电感是动态元件;
- (2) 当i为常数(直流)时,u = 0。电感相当于短路;
- (3)实际电路中电感的电压 u为有限值,则电感电流i 不能跃变,必定是时间的连续函数.







直流电路中,电感两端电压为零,电感相当于短路;当电流变化剧烈时,电感两端出现高电压。

$$i_{L} = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^{t} u_{L} d\tau = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^{0} u_{L} d\tau + \frac{1}{L} \int_{0}^{t} u_{L} d\tau$$
$$= i_{L}(0) + \frac{1}{L} \int_{0}^{t} u_{L} d\tau$$

 $i_{L}(0): 初始值。$ 

电感是记忆元件。







## 3、功率和能量

关联参考方向下, 电感吸收的功率

$$p = u_L i_L = L \frac{di_L}{dt} i_L$$

- (1)当电流增大*,i*>0,d *i*/d *t*>0,则  $u>0,_{\psi} \uparrow p>0$ ,电感吸收功率。
- (2)当电流减小,i>0,d i/d t<0,则u<0, $\psi \downarrow$ ,p<0,电感发出功率。

## 表明

电感能在一段时间内吸收外部供给的能量转化 为磁场能量储存起来,在另一段时间内又把能 量释放回电路,因此电感元件是无源元件、是 储能元件,它本身不消耗能量。



#### ●电感的储能

$$W_{L} = \int_{-\infty}^{t} Li \frac{di}{d\xi} d\xi = \frac{1}{2} Li^{2}(\xi) \Big|_{-\infty}^{t} = \frac{1}{2} Li^{2}(t) - \frac{1}{2} Li^{2}(-\infty)$$

$$\stackrel{\stackrel{\scriptstyle \pm}{}}{=} \frac{i^{(-\infty)=0}}{2} \frac{1}{2} L i^{2}(t) = \frac{1}{2L} \psi^{2}(t) \ge 0$$

从 $t_0$ 到 t 电感储能的变化量:

$$W_{L} = \frac{1}{2}Li^{2}(t) - \frac{1}{2}Li^{2}(t_{0}) = \frac{1}{2L}\psi^{2}(t) - \frac{1}{2L}\psi^{2}(t_{0})$$

表明

- (1) 电感的储能只与当时的电流值有关,电感电流不能跃变,反映了储能不能跃变;
- (2) 电感储存的能量一定大于或等于零。

## 三、电容元件



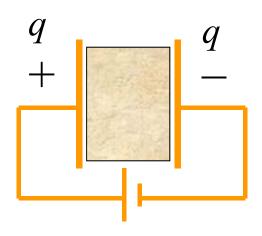




电容器

→ 在外电源作用下

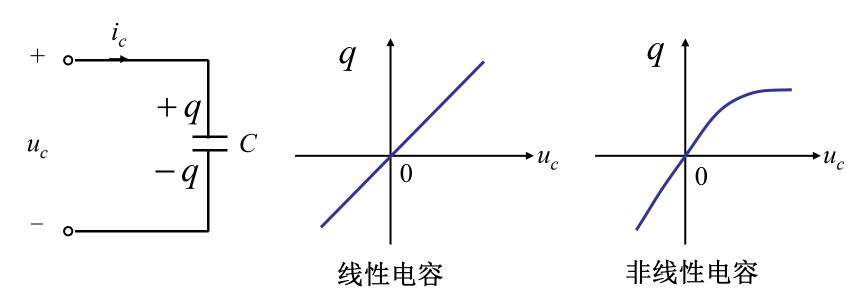
两极板上分别带上等量异号电荷, 撤去电源,板上电荷仍可长久地集 聚下去,是一种储存电能的部件。







## 1、电容: 是一种储存电场能量的元件。



线性电容器的电容量:

$$C = \frac{q}{u_c}$$

单位: 法拉简称法 (F)

$$1F = 10^6 \, \mu F = 10^9 \, nF = 10^{12} \, pF$$





# 2、电容上电压与电流的关系

$$i_c(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{dCu_c}{dt} = C\frac{du_c}{dt}(\cancel{\sharp}\cancel{\sharp})$$

非关联参考方向时: 
$$i_c(t) = -C \frac{du_c}{dt}$$

- (1) i 的大小取决于 u 的变化率,与 u 的大小无 关, 电容是动态元件:
- (2) 当  $u_c$  为常数(直流)时, $i_c$ =0。电容相当于开路,电 容有隔断直流作用:
- (3)实际电路中通过电容的电流i。为有限值,则电容电压u。 必定是时间的连续函数.







$$u_{c} = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t} i_{c} d\tau = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{0} i_{c} d\tau + \frac{1}{C} \int_{0}^{t} i_{c} d\tau$$
$$= u_{c}(0) + \frac{1}{C} \int_{0}^{t} i_{c} d\tau$$
$$u_{c}(0) \quad -$$
初始值

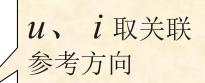
电容元件有记忆电流的作用,故称电容为记忆元件。 上式中 $u_c(0)$ 称为电容电压的初始值,它反映电容初始时刻的储能状况,也称为初始状态。



## 3、功率和能量

● 功率

$$p = ui = u \cdot C \frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$$



- (1)当电容充电,u>0,du/dt>0,则i>0, $q\uparrow$ ,p>0,电容吸收功率。
- (2)当电容放电,u>0,d u/d t<0,则i<0, $q\downarrow$ ,p<0,电容发出功率.

#### 表明:

电容能在一段时间内吸收外部供给的能量转化为电场能量储存起来,在另一段时间内又把能量释放回电路,因此电容元件是无源元件、是储能元件,它本身不消耗能量。





#### ● 电容的储能

$$W_{C} = \int_{-\infty}^{t} Cu \frac{du}{d\xi} d\xi = \frac{1}{2} Cu^{2}(\xi) \Big|_{-\infty}^{t} = \frac{1}{2} Cu^{2}(t) - \frac{1}{2} Cu^{2}(-\infty)$$

$$\stackrel{\stackrel{\text{\vec{\Xi}}u(-\infty)=0}}{=} \frac{1}{2} C u^2(t) = \frac{1}{2C} q^2(t) \ge 0$$

从 $t_0$ 到 t 电容储能的变化量:

$$W_C = \frac{1}{2}Cu^2(t) - \frac{1}{2}Cu^2(t_0) = \frac{1}{2C}q^2(t) - \frac{1}{2C}q^2(t_0)$$

表明

- (1) 电容的储能只与当时的电压值有关,电容 电压不能跃变,反映了储能不能跃变;
- (2) 电容储存的能量一定大于或等于零。

## 电容元件与电感元件的比较:

	电容 C	电感 L
变量	电压 <i>u</i> 电荷 <i>q</i>	电流 <i>i</i> 磁链 <b>ψ</b>
关系式	$q = Cu$ $i = C \frac{du}{dt}$ $W_C = \frac{1}{2}Cu^2 = \frac{1}{2C}q^2$	$\psi = Li$ $u = L \frac{di}{dt}$ $W_L = \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2L}\psi^2$

- (1) 元件方程的形式是相似的;
- (2) 若把 u-i, q- $\psi$ , C-L, i-u互换,可由电容元件的方程得到电感元件的方程;
- (3) C和 L称为对偶元件,  $\psi$ 、q等称为对偶元素。

例 求电流i、功率P(t)和储能W(t)

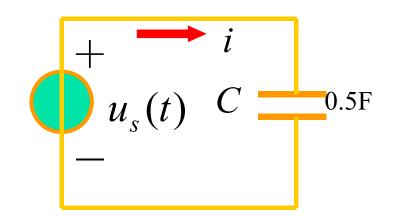
解

 $u_{\rm S}(t)$ 的函数表示式为:

$$u_s(t) = \begin{cases} 0 & t \le 0 \\ 2t & 0 \le t \le 1s \\ -2t + 4 & 1 \le t \le 2s \\ 0 & t \ge 2s \end{cases}$$

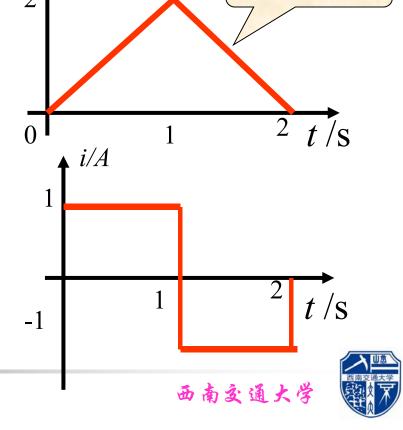
解得电流

$$i(t) = C \frac{du_s}{dt} = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & 0 \le t < 1s \\ -1 & 1 \le t < 2s \\ 0 & t \ge 2s \end{cases}$$



电源波形

u/V

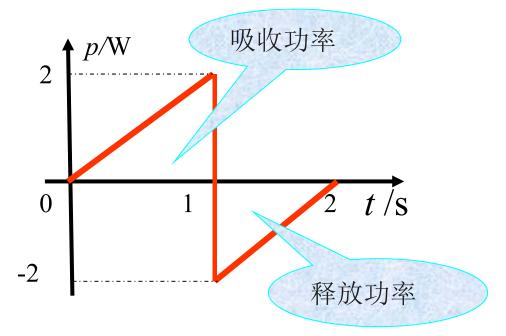


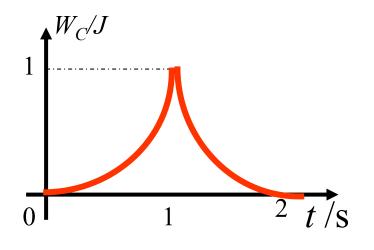
$$p(t) = u(t)i(t) =$$

$$= \begin{cases} 0 & t \le 0 \\ 2t & 0 \le t \le 1s \\ 2t - 4 & 1 \le t \le 2s \\ 0 & t \ge 2s \end{cases}$$

$$W_C(t) = \frac{1}{2}Cu^2(t) =$$

$$= \begin{cases} 0 & t \le 0 \\ t^2 & 0 \le t \le 1s \\ (t-2)^2 & 1 \le t \le 2s \\ 0 & t \ge 2s \end{cases}$$



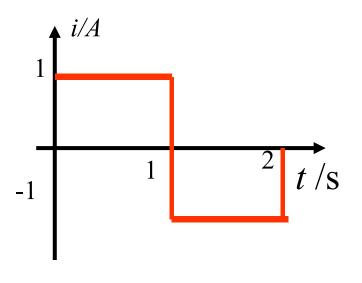






#### 若已知电流求电容电压,有

$$i(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & 0 \le t < 1s \\ -1 & 1 \le t < 2s \\ 0 & t \ge 2s \end{cases}$$





# § 1-4 独立电源

独立电源: 电压源和电流源

独立电源所提供的电压或电流完全由电源本身来决定。

独立电源(又称激励、输入):可向电路提供净能量负载:用电设备

响应(又称输出):激励作用下电路中产生的电压和电流







# 电压源

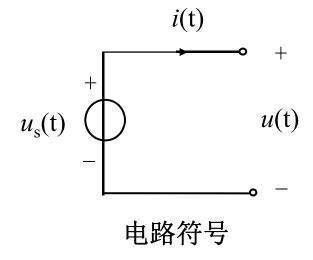


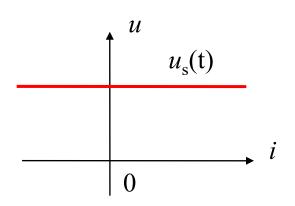




电 池

稳压电源





t时刻的伏安特性

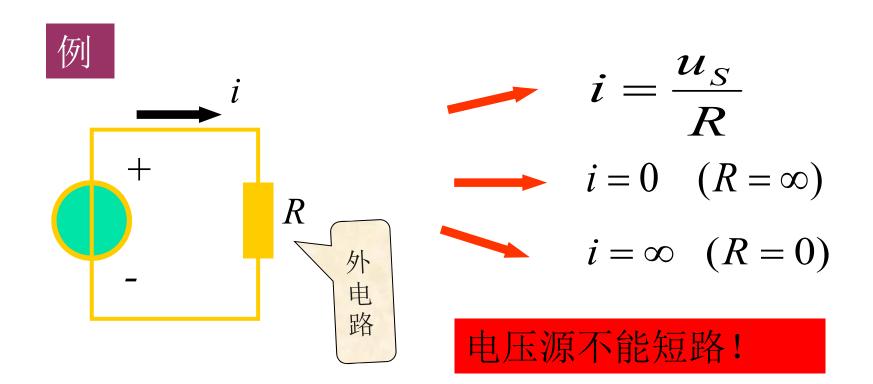






特性: 
$$u(t) = u_s(t)$$

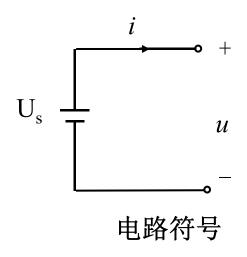
理想电压源两端电压由电源本身决定,与外电路无关;流过的电流取决于外电路.

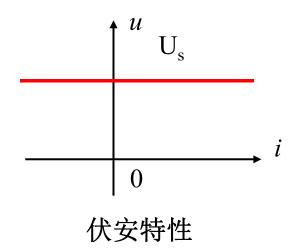






## 直流情况:





电压源发出的功率: (非关联)

$$p(t) = u_s(t)i(t)$$

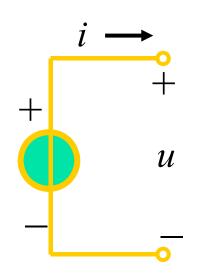




#### 电压源的功率



$$P = u_S i$$



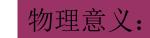
(1) 电压、电流的参考方向非关联;

#### 物理意义:

电流(正电荷)由低电位向 高电位移动,外力克服电场力作 功电源发出功率。

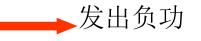
$$P=u_{S}i$$
 — 发出功率,起电源作用

(2) 电压、电流的参考方向关联;



电场力做功, 电源吸收功率。

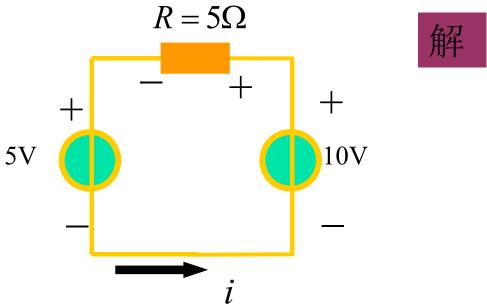
$$P = -u_S i$$



 $\mathcal{U}$ 



计算图示电路各元件的功率。

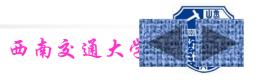


发出

发出

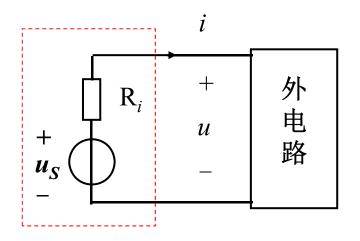
吸收

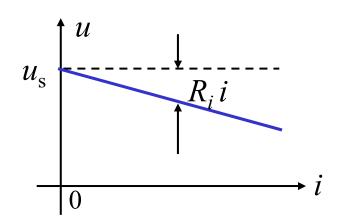
满足:  $P(\mathcal{L}) = P(\mathcal{L})$ 





#### 实际电压源:





$$u = u_s - R_i i$$
 一个好的电压源要求  $R_S \rightarrow 0$ 

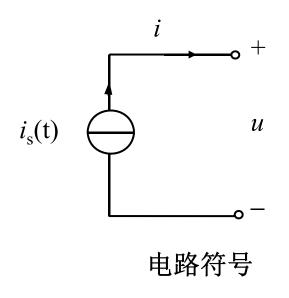
实际电压源也不允许短路。因其内阻小,若短路,电流很大,可能烧毁电源。

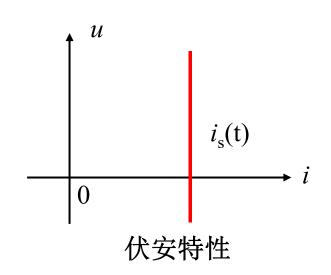






# 二、电流源





#### 电流源的特性:

$$i(t) = i_{s}(t)$$

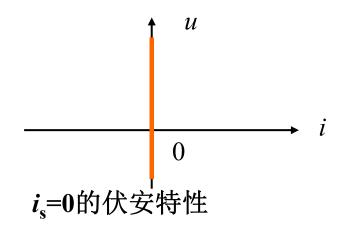
电流源的输出电流由电源本身决定,与外电路无关;其端电压取决于外部电路.







# 当 $i_s(t)=0$ 时,相当于"开路"。



电流源发出的功率: (非关联)

$$p(t) = u(t)i_s(t)$$

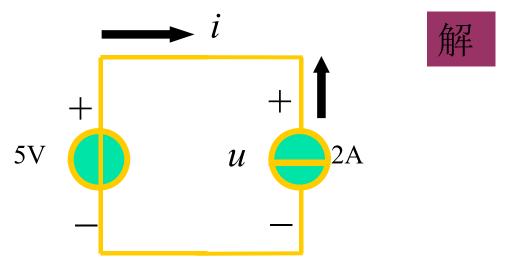
电流源吸收的功率:  $p(t) = -u(t)i_s(t)$ 







计算图示电路各元件的功率。



发出

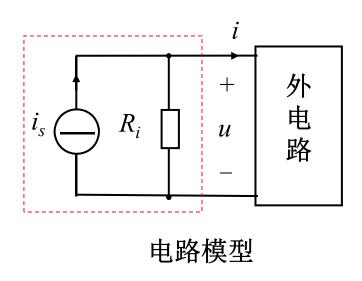
发出

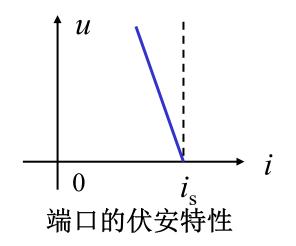
满足: P (发) =P (吸)



# 实际电流源:

$$i = i_{s} - \frac{u}{R_{i}}$$





### 一个好的电流源要求

$$R_S \to \infty$$

实际电流源也不允许开路。因其内阻大,若开路,电压很高,可能烧毁电源。





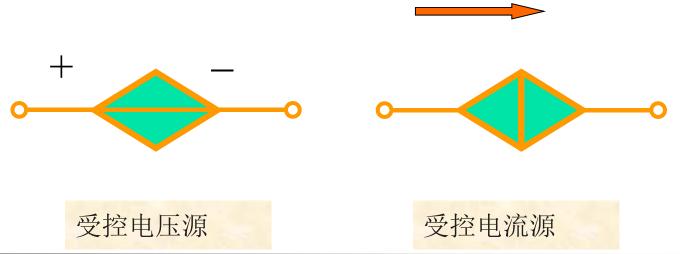


# § 1-5 受控电源

# 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

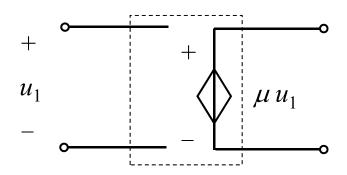
#### • 电路符号



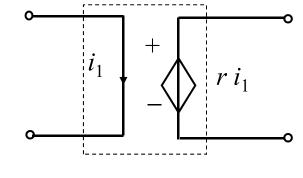
西南交通大学

# 2. 分类

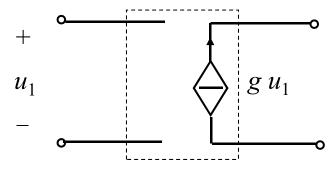
## 受控电源是多端元件, 有四种类型



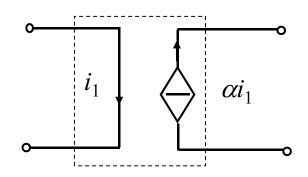
电压控制电压源 (VCVS)



电流控制电压源 (CCVS)



电压控制电流源 (VCCS)



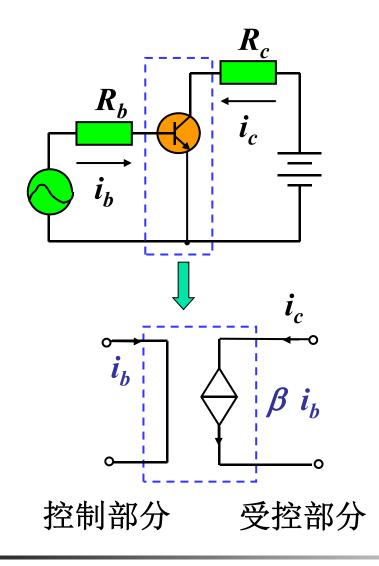
电流控制电流源(CCCS)







# 例: 电路如图



$$i_c = \beta i_b$$

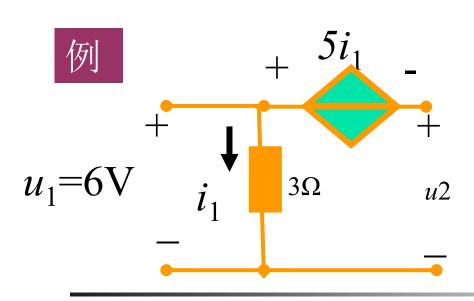
电流控制的电流源





#### 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,而受控源只是反映输出端与输入端的受控关系,在电路中不能作为"激励"。



#### 求: 电压*u*<sub>2。</sub>

$$i_1 = \frac{6}{3} = 2A$$

$$u_2 = -5i_1 + 6$$

$$=-10+6=-4V$$





# § 1-6 基尔霍夫定律

基尔霍夫电流定律简称KCL 基尔霍夫电压定律简称KVL

#### 一、名词介绍

支路 在电路中,一般可以把一个二端元件当成一条支路。但为了方便起见,通常把流过同一电流的分支称为一条支路。

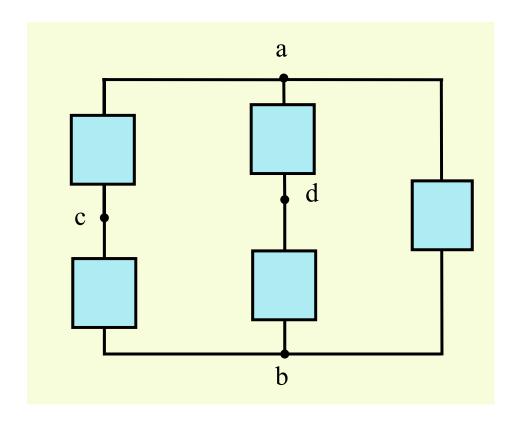






支路:

acb, adb, ab



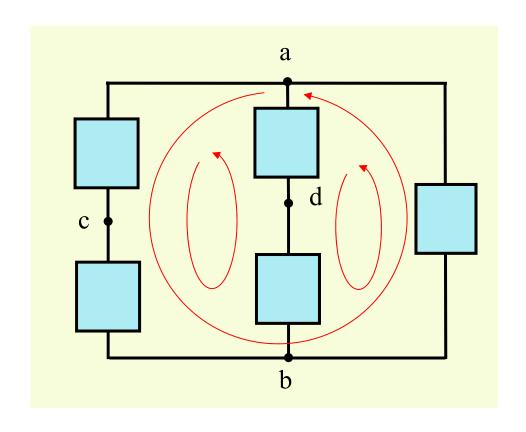
结点:一般认为支路间的联接点即为结点。为简便起见,今后则定义三条及三条以上支路的联接点称为结点。 如结点a、b。







回路 电路中的任何一条闭合路径称为回路。 如acbda、acba和 adba。



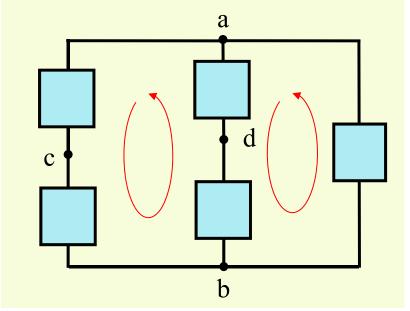






网孔 在回路内部如果不 含任何支路时,则称该回 路为网孔。

如acbda、adba。



#### 二、基尔霍夫电流定律(KCL)

在集中参数电路中,对于任意一个结点来说,任何时刻流出该结点的各支路电流的代数和等于零。即

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

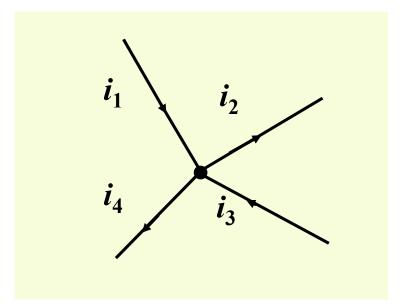






假设流出该结点的电流为正, 那么流入即为负,于是有:

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



KCL又描述为:在集中参数电路中,对于任意一个结点来说,任何时刻流入该结点的电流之和等于流出的电流之和。







#### 对KCL的总结:

- (1) 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;
- (2) KCL是对支路电流加的约束,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) KCL方程是按电流参考方向列写,与电流 实际方向无关。





# 引申到一个闭合面(又称高斯面、广义结点):

在任何瞬间,流入闭合面的电流等于流出闭 合面的电流。

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

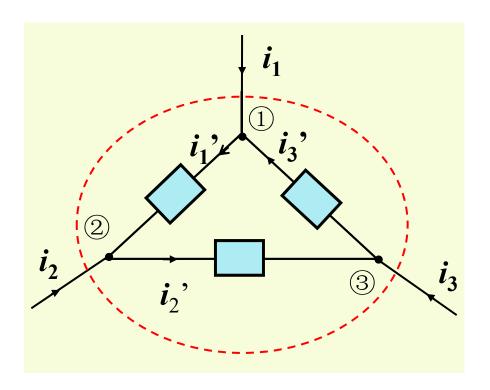
$$i_1 = i_1' - i_3'$$

$$i_2 = i_2' - i_1'$$

$$i_3 = i_3' - i_2'$$

三等式相加

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$



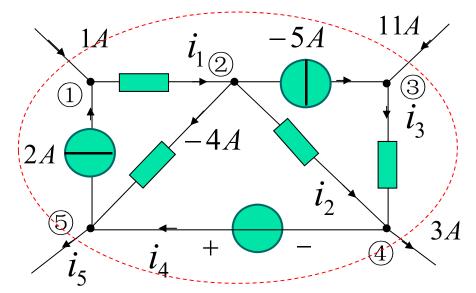




# 例1: 电路如图,

求各支路电流。

### 解: 根据KCL



结点①: 
$$i_1 = 1 + 2 = 3A$$

结点②: 
$$i_2 = i_1 - (-5) - (-4) = 12 A$$

结点③: 
$$i_3 = 11 + (-5) = 6A$$

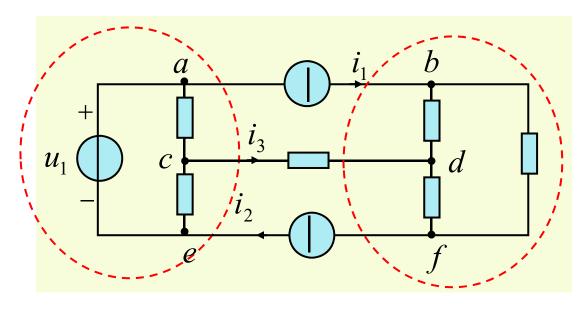
结点④: 
$$i_4 = i_2 + i_3 - 3 = 15A$$

结点⑤: 
$$i_5 = i_4 + (-4) - 2 = 9A$$

另依高斯面得 
$$i_5 = 1 + 11 - 3 = 9A$$



例2: 已知  $i_1 = 3e^{-t}$   $i_2 = 2\sin t$  ,求  $i_3$ 

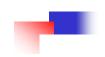


解:  $i_1 - i_2 + i_3 = 0$ 

$$i_3 = i_2 - i_1 = 2\sin t - 3e^{-t}$$







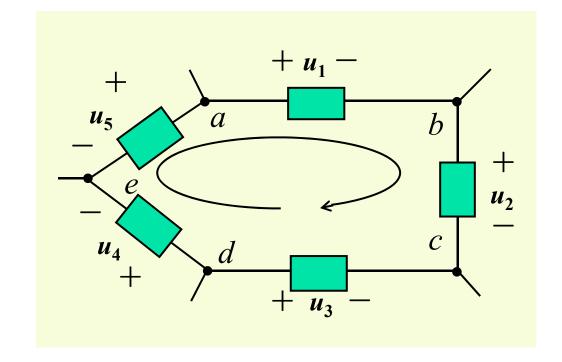
#### 三、基尔霍夫电压定律(KVL)

对于集中参数电路来说,在任何时刻,沿任一闭合回路绕行一周,各支路电压的代数和等于零。

即:

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

假设电压的参考方向与绕行的方向一致时取"十",反之取"一"。



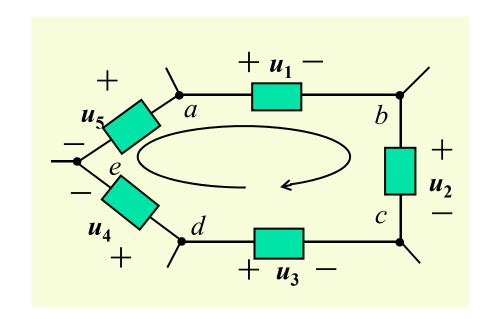
$$KVL$$
:  $u_1 + u_2 - u_3 + u_4 - u_5 = 0$ 







$$u_1 + u_2 - u_3 = u_{ad}$$
 $u_{ad} + u_4 - u_5 = 0$ 
 $u_{ad} = u_5 - u_4$ 



#### 即:两点间的电压与路径无关。

#### 对KVL的总结:

- (1) KVL的实质反映了电路遵从能量守恒定律;
- (2) KVL是对回路电压加的约束,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;
  - (3) KVL方程是按电压参考方向列写,与电压实际方向无关





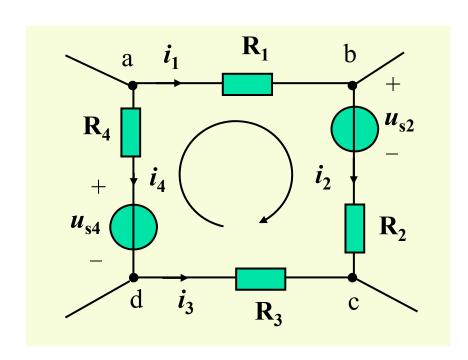


#### 注意:

- (1) KCL、KVL只用在集中参数电路中(分布参数不适用)
- (2) KCL、KVL与元件的性质无关。所以线性、非线性电路均适用。



# 例3: 支路电流如图所标,列出该回路的KVL方程。



解:根据KVL可列出:

$$\begin{split} R_1 i_1 + u_{s2} + R_2 i_2 \\ - R_3 i_3 - R_4 i_4 - u_{s4} &= 0 \\ \\ \mathbb{RP} \quad R_1 i_1 + R_2 i_2 \\ - R_3 i_3 - R_4 i_4 &= -u_{s2} + u_{s4} \end{split}$$

电阻上电压的代数和等于电动势的代数和。

$$P \sum R_k i_k = \sum u_{sk}$$

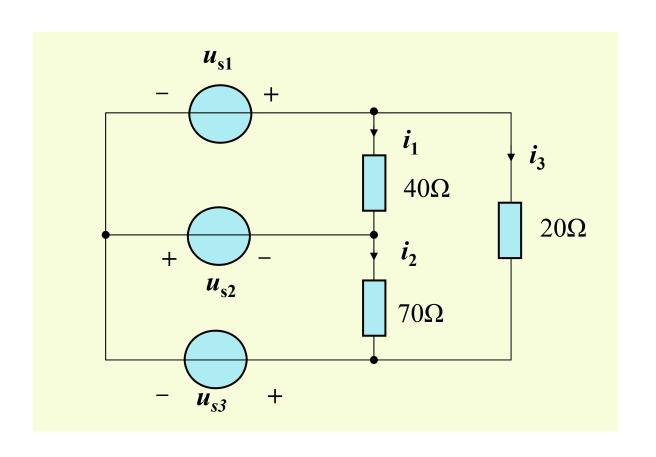






例4: 求支路电流 $i_1$ 、 $i_2$ 、 $i_3$ 以及电压源发出的功率。

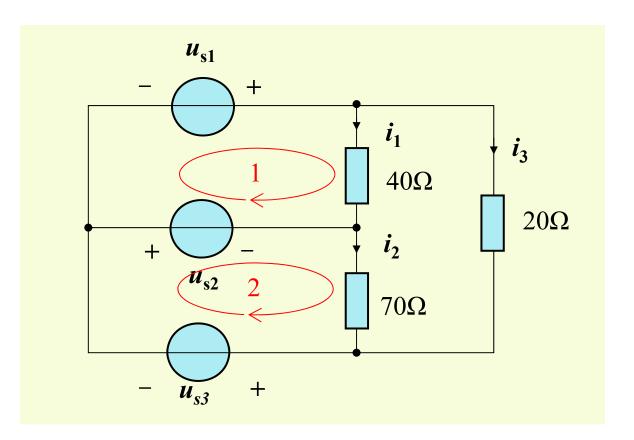
已知 
$$u_{s1} = 10V$$
、 $u_{s2} = 10V$ 、 $u_{s3} = 60V$ 。











# 解: 列写KVL方程

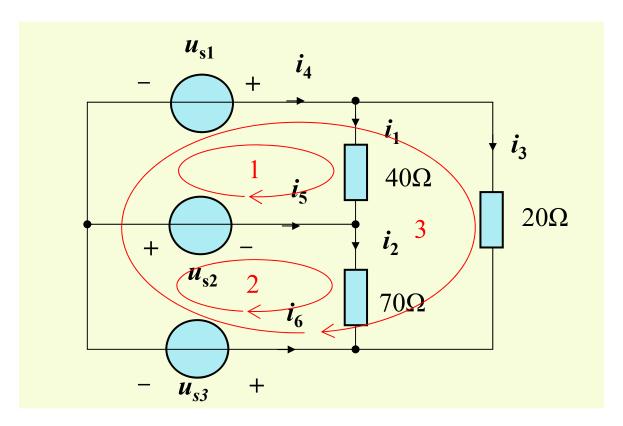
回路1 
$$-u_{s1} + 40i_1 - u_{s2} = 0 \implies i_1 = 0.5A$$

回路2 
$$u_{s2} + 70i_2 + u_{s3} = 0 \implies i_2 = -1A$$









回路3 
$$-u_{s1} + 20i_3 + u_{s3} = 0 \implies i_3 = -2.5A$$

#### 依KCL知

$$i_4 = i_1 + i_3 = -2A$$
  
 $i_5 = i_2 - i_1 = -1.5A$   
 $i_6 = -i_2 - i_3 = 3.5A$ 

# 电源发出的功率

$$p_{us1} = u_{s1}i_4 = -20W$$
$$p_{us2} = -u_{s2}i_5 = 15W$$

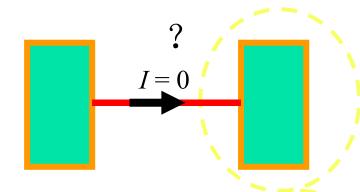
$$p_{us3} = u_{s3}i_6 = 210W$$

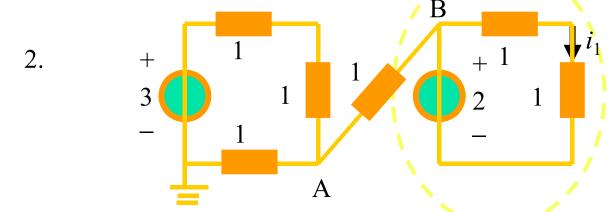




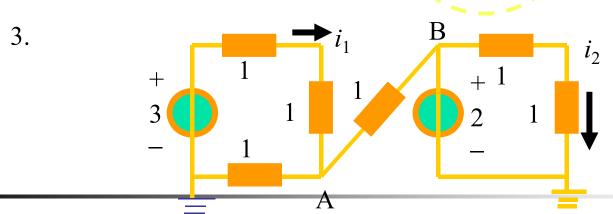
思考:

1.





$$U_A = U_B$$



$$i_1 = i_2$$

