

1.1 电路基本概念

① 常用单位

Multiplier	Prefix	Symbol	
10^{18}	exa	E	艾拍太吉
10^{15}	peta	P	
10^{12}	tera	T	
10^9	giga	G	
10^6	mega	M	
10^3	kilo	k	
10^2	hecto	h	
10	deka	da	
10^{-1}	deci	d	
10^{-2}	centi	c	
10^{-3}	milli	m	
10^{-6}	micro	μ	
10^{-9}	nano	n	
10^{-12}	pico	p	
10^{-15}	femto	f	
10^{-18}	atto	a	

- 大写字母+大写下标：直流量 (V_B)
- 大写字母+小写下标：交变信号的幅度 (V_b)
- 小写字母+大写下标：总的瞬时量 (v_B)
- 小写字母+小写下标：增量信号 (交变信号) (v_b)

斜体：变量 正体：单位。 $e \rightarrow -1.602 \times 10^{-19} C$

② 电流：

直流：单一方向流动 I 。

交流：电流方向随时间变化 i

△ 计算： $Q = \int_{t_0}^t i dt$ 。 $i = \frac{dq}{dt}$

③ 电压： $U_{ab} = \frac{dw}{dq} \rightarrow$ 消耗的能量。

④ 电流参考方向 (某些支路无法确定?)

SEE

39

电流的参考方向

参考方向：任意选定的一个方向作为电流的参考方向。

i

参考方向

$i > 0$

表示电流的参考方向与实际方向相同

$i < 0$

表示电流的参考方向与实际方向相反

电流参考方向的两种表示：

用箭头表示 (常用)

i

i

i

用双下标表示

i_{ab}

i_{ab}

i_{ab}

元件

i

A

B

$- \rightarrow$

$i > 0$

元件

i

A

B

$- \rightarrow$

$i < 0$

图中电路下方虚线箭头为实际电流方向；

电路中标示的箭头为电流参考方向

电阻： 尽量取关联的参考方向 / 电源： 取非关联

⑤ 功率和能量

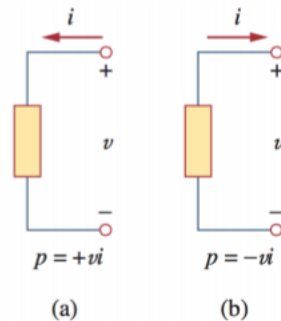
- 功率：单位时间内消耗或吸收的能量
- 功率与电压、电流的关系：

$$p = vi$$

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = vi$$

$$p \triangleq \frac{dw}{dt}$$

下图中电压电流为实际方向



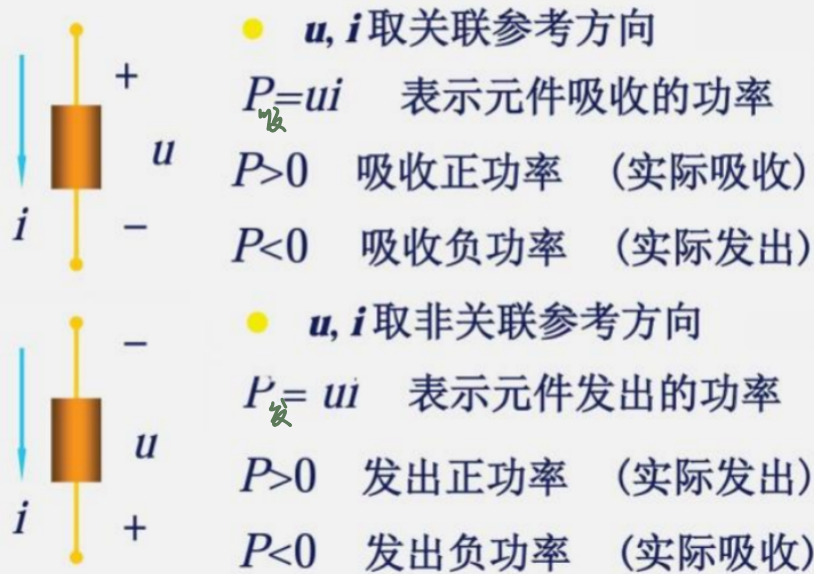
- 功率正负的约定

– 电压电流为关联参考方向时，

- $p > 0$ ，表示吸收能量（消耗能量），比如电阻
- $p < 0$ ，表示提供能量，比如电源
- 注意：英文教材中称为“passive sign convention”

实际计算中：

电路吸收或发出功率的判断



$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t vi dt; \quad p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = vi$$

1.2 基本电路元件

- 有源元件 & 无源元件

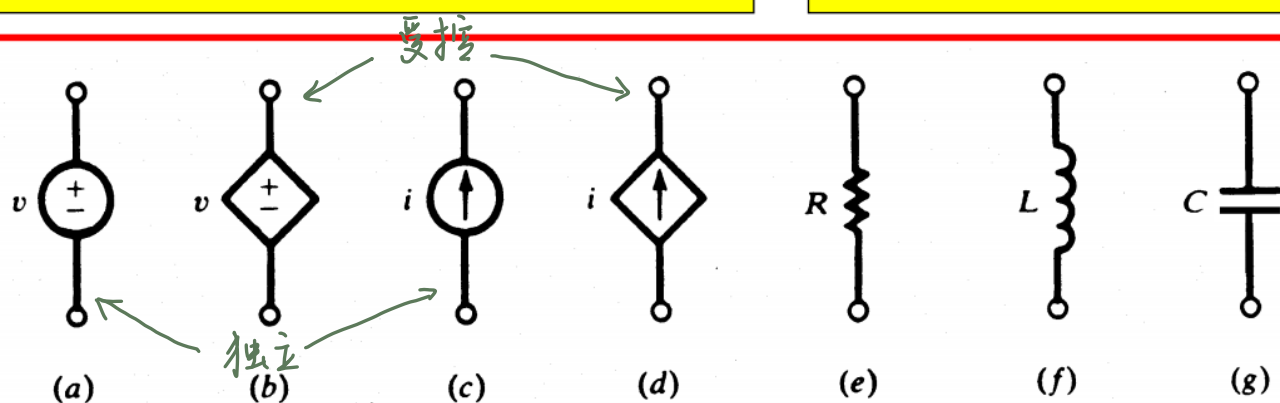
- 有源元件（active element）：“产生能量”的元件，如电源等
- 无源元件（passive element）：不能产生能量的元件，如电阻，电容，电感件等

- 独立源 & 受控源

- 独立源：有源元件，产生电压或电流，且不依赖于电路中的其他元件；
- 受控源：有源元件，产生电压或电流，但其值依赖于电路中的其他元件的电压或电流；

Active Elements 有源元件

Passive Elements 无源元件



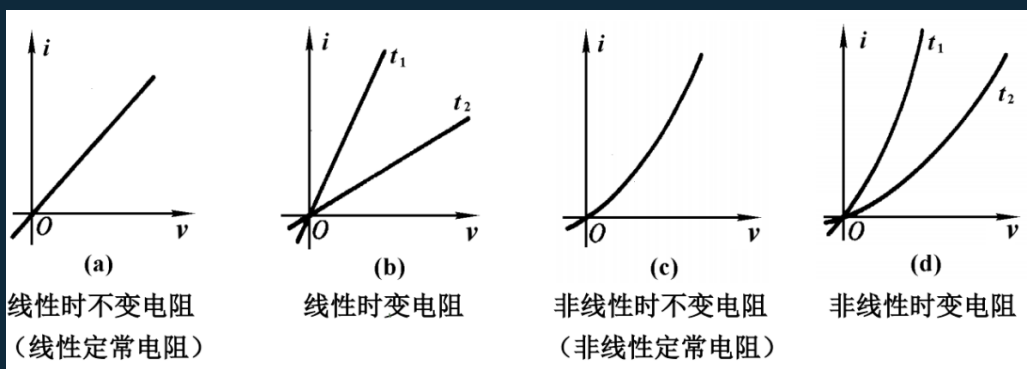
◇ : 受控 ○ : 独立

符号规范:

- 电压源用±; 电流源用箭头;
- 独立源用圆圈; 受控源用菱形;
- 大写字母 (V 、 I) 表示不随时间变化的直流量;
- 小写字母 (v 、 i) 表示时变量 (也适用于直流量);

电阻、电容和电感

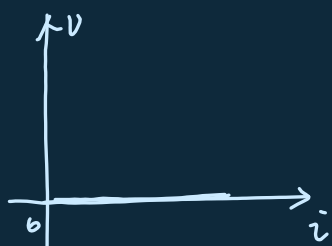
电阻:



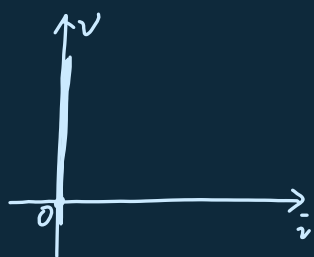
令 $G = \frac{1}{R}$. G 为电导 单位: 西门子 符号: S 则 $i = Gv$

$$P_{\text{吸}} = v i = i^2 R = v^2 / R$$

短路: $R = 0$. $G = \infty$ $v = 0$. i 由外部决定



开路: $R = \infty$ $G = 0$. $i = 0$, v 由外部决定



电容: 动态元件

$$q = Cv \quad C \triangleq \frac{q}{v} \quad \text{单位: F (法拉), } \mu\text{F}, \text{ pF}$$

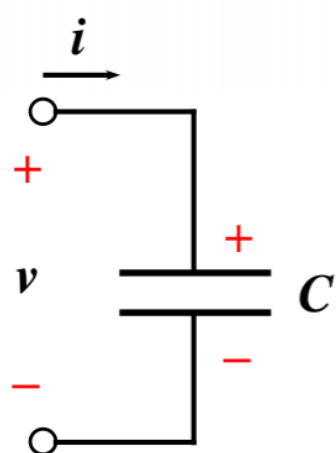
$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dv}{dt}$$

$$\Rightarrow v(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = \frac{1}{C} \left(\int_{-\infty}^{t_0} i dt + \int_{t_0}^t i dt \right)$$

$$= v(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i dt$$

$$\therefore q(t) = q(t_0) + \int_{t_0}^t i dt$$

2、线性电容的电压、电流关系



当 v, i 为关联方向时, $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dv}{dt}$

v, i 为**非**关联方向时, $i = -C \frac{dv}{dt}$

(a) i 的大小与 v 的**变化率成正比**,

与 v 的大小无关;

当 v 为常数时, $dv/dt = 0 \rightarrow i = 0$ 。

电容在直流电路中相当于开路, 电容有**隔直**作用;

电流电容可以跃变

电感: 储存磁能

$$\underline{L} \triangleq \frac{\psi_L}{i} \quad \psi_L = N\phi_L, \text{ 为电感线圈磁链}$$

\downarrow 单位: 亨利 (H) \downarrow 匝数 单位: 韦伯 (Wb)



由电磁感应/楞次定律.

$$v = \frac{d\psi_L}{dt} = \frac{d\psi_L}{di} \cdot \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

记忆元件:

$$i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t v d\tau = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^{t_0} v d\tau + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v d\tau = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v d\tau$$

$$\psi_L = \psi_L(t_0) + \int_{t_0}^t v d\tau$$

(c) 电感电流的连续性质

当电压 v 为有限值时, 电感中电流不能跃变。

因为电流跃变需要一个无穷大的电压。

但电压可以跃变。

电感的储能.

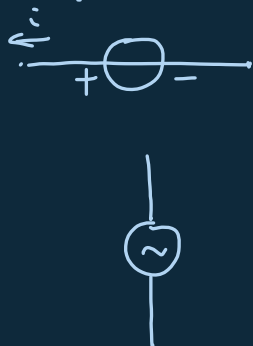
$$p_L = vi = i L \frac{di}{dt}$$

$$w_L = \int_{-\infty}^t Li \frac{di}{d\tau} d\tau = \frac{1}{2} Li^2 \Big|_{i(-\infty)}^{i(t)} = \frac{1}{2} Li^2(t) - \frac{1}{2} Li^2(-\infty)$$

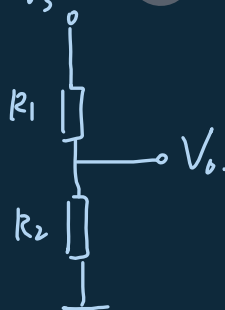
$$\text{若 } i(-\infty)=0 \quad = \frac{1}{2} Li^2(t) \geq 0$$

独立电源

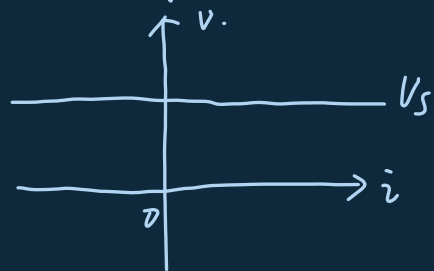
电压源: 理想电压源, 内阻为0. 电压为定值或时间 t 的函数



模电中:

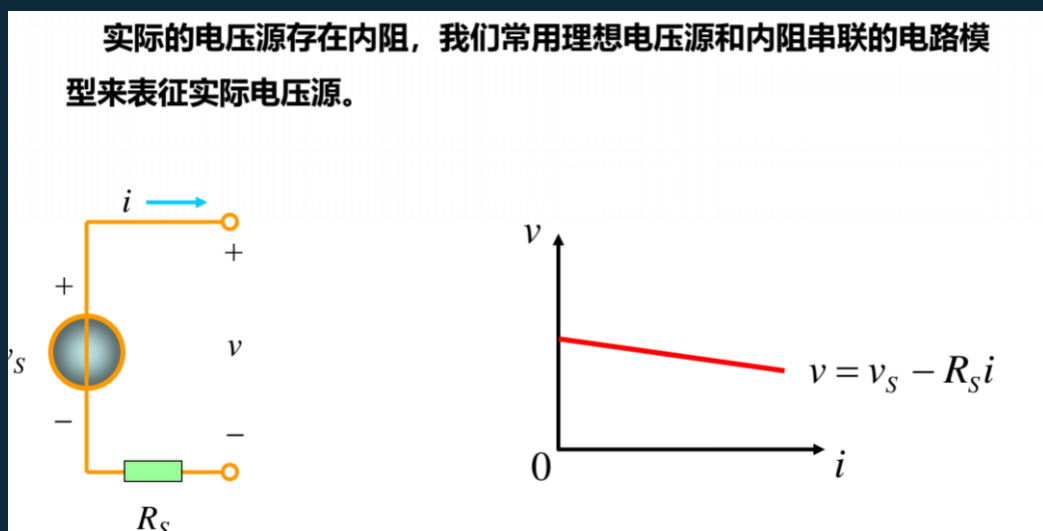


伏安关系:

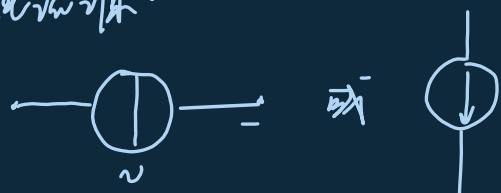


电压、电流参考方向都关联，电源发出功率。

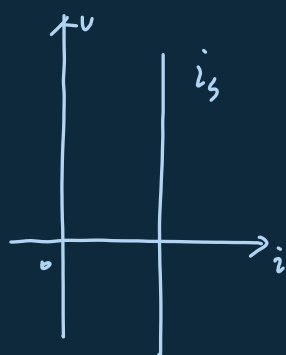
实际电压源



电流源:



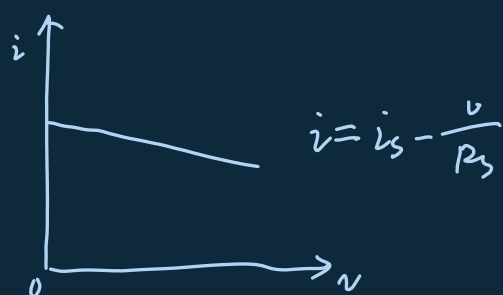
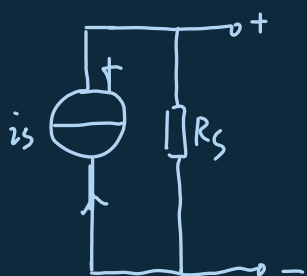
电压: 由电源及外电路共同决定



实际电流源:

一部分电流给 R_s , 剩下的给外电路

(内阻, 无穷大)



△箭头所指端为+

受控电源：受某个支路电压(或电流)控制

类型：

符号：受控电压源：



受控电流源：

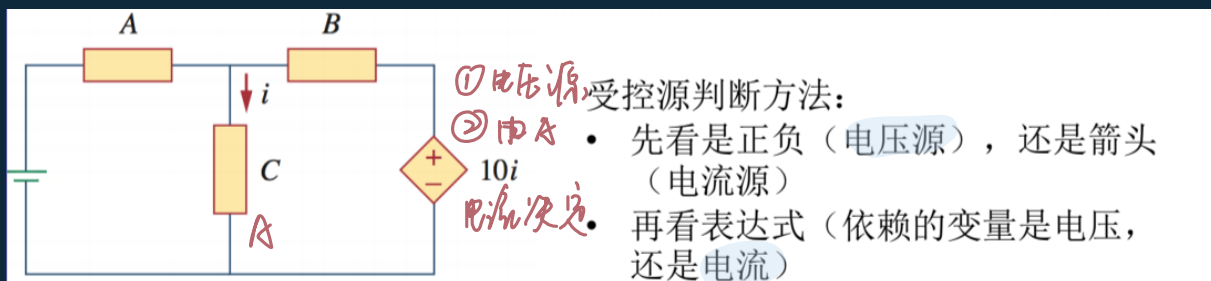


(VCVS). 电压控制电压源

(CCVS). 电流控制电压源

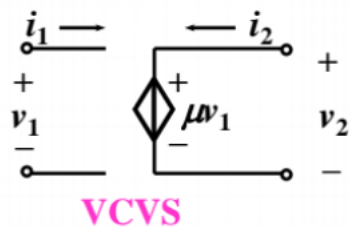
(VCCS). 电压控制电流源

(CCCS). 电流控制电流源



四种类型

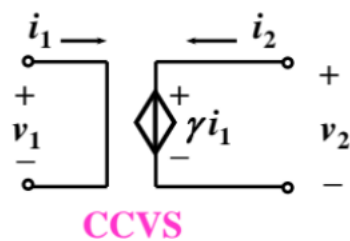
(1) 电压控制的电压源 (Voltage Controlled Voltage Source)



$$\begin{cases} i_1=0 \\ v_2=\mu v_1 \end{cases}$$

μ : 电压放大倍数

(2) 电流控制的电压源 (Current Controlled Voltage Source)



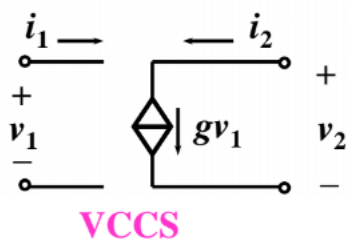
$$\begin{cases} v_1=0 \\ v_2=r i_1 \end{cases}$$

r : 转移电阻

浙江大学 信息与电子工程学院
College of Information Science & Electronic Engineering, Zhejiang University

36

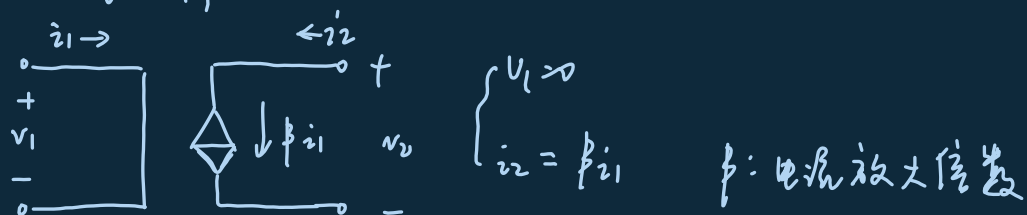
(3) 电压控制的电流源 (Voltage Controlled Current Source)



$$\begin{cases} i_1=0 \\ i_2=g v_1 \end{cases}$$

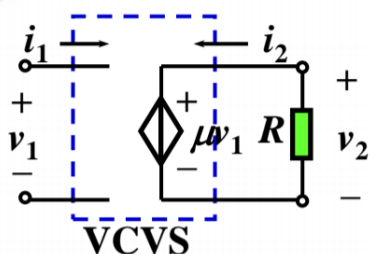
g : 转移电导

④ 电流控制的电流源



3、受控源的有源性和无源性

3



$$\begin{aligned}
 p_{\text{吸}} &= v_1 i_1 + v_2 i_2 \\
 &= v_2 i_2 \\
 &= v_2 (-v_2/R) < 0
 \end{aligned}$$

受控源是有源元件

4、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）直接由控制量决定。
- (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”。

激励: 电源或信号源向电路输入的电压和电流起推动电路工作的作用。简单说是输入，再具体一点就是电路的独立电源（电压源或电流源），但是不包括受控的电压源和受控的电流源。

响应: 指的是电路在激励的作用下所产生的电压和电流。简单说是输出。