

# 第一章 电路模型和电路定律

---

§ 1-1 电路和电路模型

§ 1-2 电流和电压的参考方向

§ 1-3 电功率和能量

§ 1-4 电路元件

§ 1-5 电阻元件

§ 1-6 电容元件

§ 1-7 电感元件

§ 1-8 电压源和电流源

§ 1-9 受控电源（非独立源）

§ 1-10 基尔霍夫定律

# § 1-1 电路和电路模型

---

一、电路	电源	负载
三个对应关系：	激励源	响应
	输入	输出

**电源或信号源：** 电能或电信号的发生器

**负载：** 电路中吸收电能并将电能转换为既定的非电能或电信号（电压、电流）的部件

**激励源：** 由电源或信号源输入给电路的电压、电流以及能引起电路中电压、电流变化的物理量

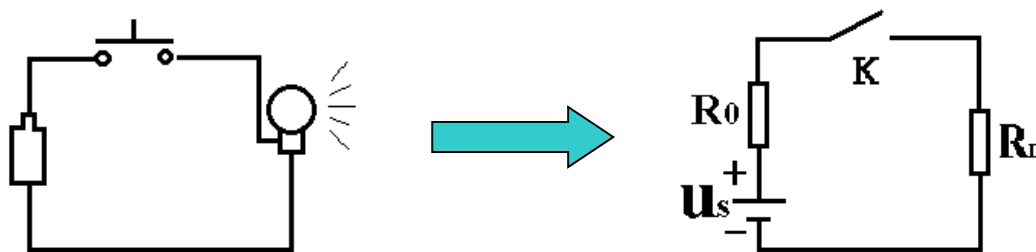
**响应：** 由激励在电路中的负载或任何其它部分所引起的电压、电流以及输出的电信号

# § 1-1 电路和电路模型

## 二、理想电路与电路模型

**1、实际电路：**指某些电气设备、元器件、开关、导线等按一定方式联接后，为电流提供的流通过径的总体。是为完成某种预期的目的而设计、安装、运行的，具有传输电能、处理信号、测量、控制、计算等功能。

### 2、电路模型



实际器件→理想器件→电路模型（具有计算意义）！

# § 1-1 电路和电路模型

一些实际电路的例子：



# § 1-1 电路和电路模型

---

## 3、电路元件

发生在实际电路器件中的电磁现象按性质可分为：

- 1) 消耗电能；**
- 2) 供给电能；**
- 3) 储存电场能量；**
- 4) 储存磁场能量**



基本的理想电路元件：

- 1) 电阻**
- 2) 电源元件**
- 3) 电容**
- 4) 电感**

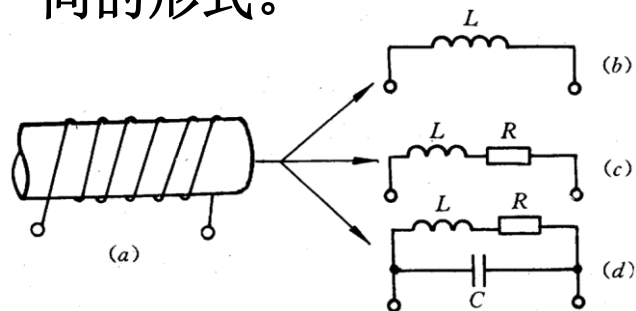
# § 1-1 电路和电路模型

需要注意的是：

1、具有相同主要电磁性能的实际电路部件，在一定条件下可用同一模型表示；

如灯泡、电炉、电阻器这些不同的实际电路部件在低频电路里都可用电阻 $R$ 表示。

2、同一实际电路部件在不同的工作条件下，其模型可以有不同的形式。



直流：一个线圈的模型可以是一个电阻元件

低频：电阻元件和电感元件的串联组合模拟

高频：还应考虑导体表面的电荷作用，即电容效应，其模型还需要包含电容元件。

实际电感元件

电感元件之不同模型

## § 1-2 电流和电压的参考方向

---

### 一、电路中的物理量

电流	<b>I</b>
电压	<b>U</b>
电荷	<b>Q</b>
磁通	<b><math>\Phi</math></b>
磁通链	<b><math>\Psi</math></b>
电功率	<b>P</b>
电能量	<b>W</b>

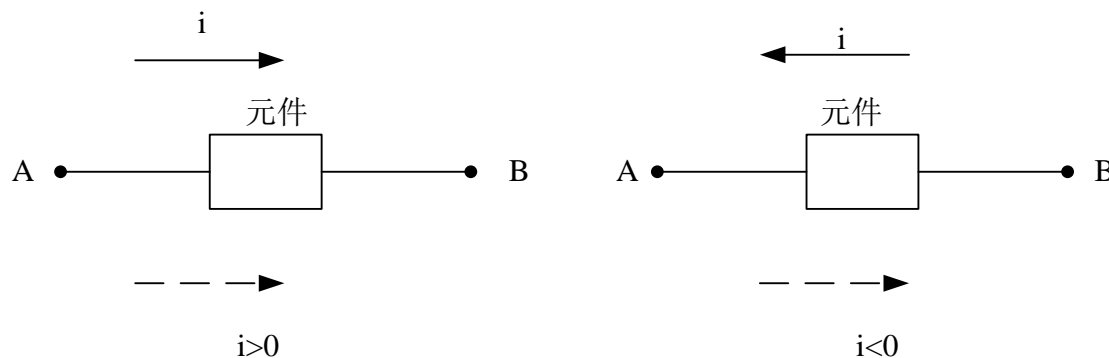
## § 1-2 电流和电压的参考方向

### 二、电流和电压的参考方向

#### 1、电流：

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

#### 2、电流的方向：



图中 实线箭头表示电流的参考方向  
虚线箭头表示电流的实际方向

**$i > 0$**  实际方向与参考方向一致，正电荷由 **a** → **b**

**$i < 0$**  实际方向与参考方向相反，正电荷由 **a** → **b**



## § 1-2 电流和电压的参考方向

---

电流参考方向的表示：

- 1) 用箭头表示：箭头的指向为电流的参考方向。
- 2) 用双下标表示：如  $i_{AB}$ ，电流的参考方向由**A**指向**B**。

注：指定参考方向的用意是把电流看成**代数量**；

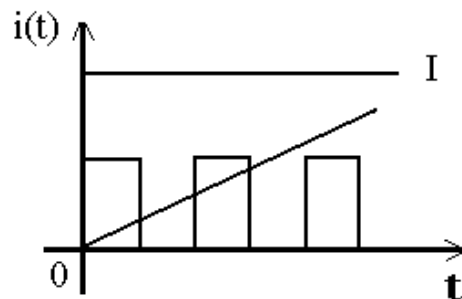
**电路图中标注的电流方向恒为参考方向！**

**电路图中标注的电流方向恒为参考方向！**

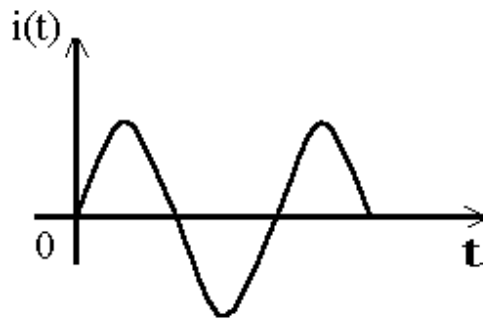
**电路图中标注的电流方向恒为参考方向！**

## § 1-2 电流和电压的参考方向

3、直流DC(direct current):



4、交流AC (alternating current) :



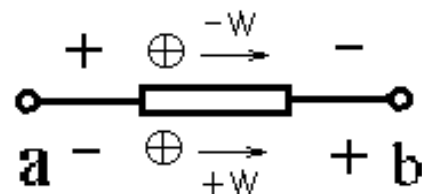
## § 1-2 电流和电压的参考方向

### 三、电压和电压的参考方向

1、电位与电压

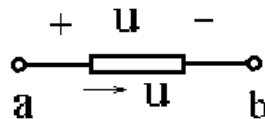
$$u = \frac{dw}{dq} (V)$$

2、电压的方向



正电荷由**a**→**b**失去能量，则**a**点为高电位“+”，**b**点为低电位“-”；  
正电荷由**a**→**b**获得能量，则**a**点为低电位“-”，**b**点为高电位“+”。

电压实际方向：



由高电位“+”到低电位“-”为正方向。

参考方向：

**任意**假设一个方向为电压的正方向，“+”为高，“-”为低。

## § 1-2 电流和电压的参考方向

---

### 3、表示方法

#### 1) 用箭头表示:

箭头的指向为电压的参考方向。

#### 2) 用双下标表示:

如  $U_{AB}$  , 表示电压参考方向由**A**指向**B**。

#### 3) 用正负极性表示:

表示电压参考方向由“+”指向“-”。

**电路图中标注的电压方向恒为参考方向!**

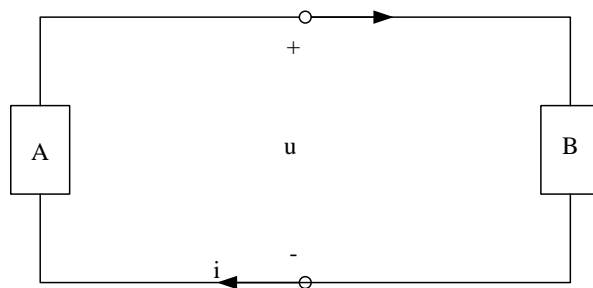
**电路图中标注的电压方向恒为参考方向!**

**电路图中标注的电压方向恒为参考方向!**

## § 1-2 电流和电压的参考方向

### \* 四、电流与电压的关联参考方向

对一个确定的电路元件或支路而言，若电流的参考方向是从电压参考极性的“+”流向“-”，则称电流与电压为关联参考方向，简称关联方向，否则即为非关联方向。



对电路A而言， $u$ 与 $i$ 为非关联方向；  
对电路B而言， $u$ 与 $i$ 为关联方向。

简言之关联方向就是电流的参考方向与电压的参考方向一致。

## § 1-3 电功率和能量

---

### 一、电功率

1、定义：电场力在单位时间内所作的功称为电功率，即

$$P(t) = \frac{dw(t)}{dt} \qquad [W] = \frac{[J]}{[S]}$$

式中 $dw(t)$ 为 $dt$ 时间内电场力所作的功， $p(t)$ 为电功率，简称功率。电功率 $p(t)$ 式描述电场力做功快慢的物理量。

电功率的国际单位为瓦（W）。

### 2、电功率与电压电流的关系：

$$P(t) = u \cdot i$$

$$w(t_1) - w(t_0) = \int_{t_0}^{t_1} u \cdot i \cdot dt$$

## § 1-3 电功率和能量

---

### 二、电功与电能量

电场力在时间区间  $t \in [0, t]$  内所作的功称为电功，也称电能量，用  $w(t)$  或  $w$  表示，其计算公式为

$$w(t) = w = \int_0^t P(\tau) d\tau$$

电功的国际单位为焦耳（J）。

## § 1-3 电功率和能量

---

### 三、电路吸收或发出功率的判断

当正电荷从元件上电压的“+”极经元件运动到电压的“-”极时，与此电压相应的电场力要对电荷作功，这时，元件吸收能量；反之，正电荷从电压的“-”极经元件运动到电压的“+”极时，电场力作负功，元件向外释放能量。

对同一个电路元件而言，“吸收的功率”与“发出的功率”互为相反数，满足功率平衡，即

$$P_{\text{吸}} = -P_{\text{发}} \quad \text{或} \quad P_{\text{发}} = -P_{\text{吸}}$$



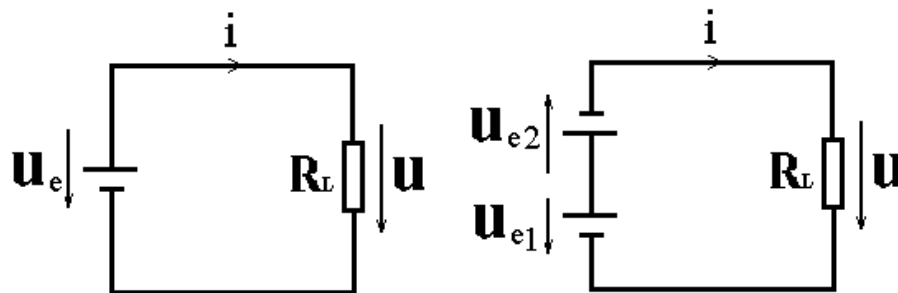
## § 1-3 电功率和能量

电路吸收或发出功率的判断方法：

方法**1**：依据实际方向判断

**(1)**当 $\mathbf{u}$ 、 $\mathbf{i}$ 实际方向一致时，消耗电能（负载）。

**(2)**当 $\mathbf{u}$ 、 $\mathbf{i}$ 实际方向不一致时，提供电能（电源）。



## § 1-3 电功率和能量

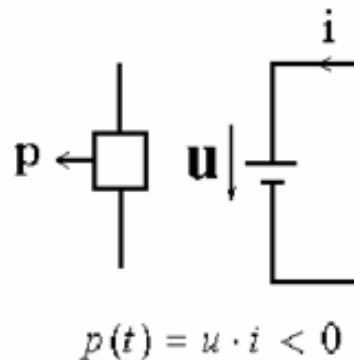
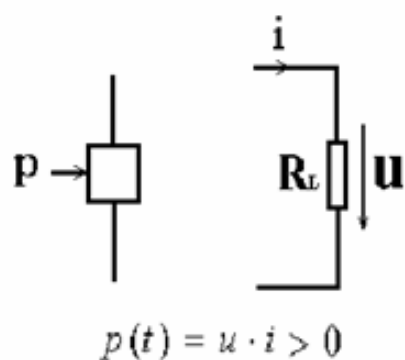
方法2：依据参考方向判断

(1)  $u, i$  取关联参考方向时  
 $P=ui$  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)

(2)  $u, i$  取非关联参考方向时  
 $P=ui$  表示元件**发出**的功率

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

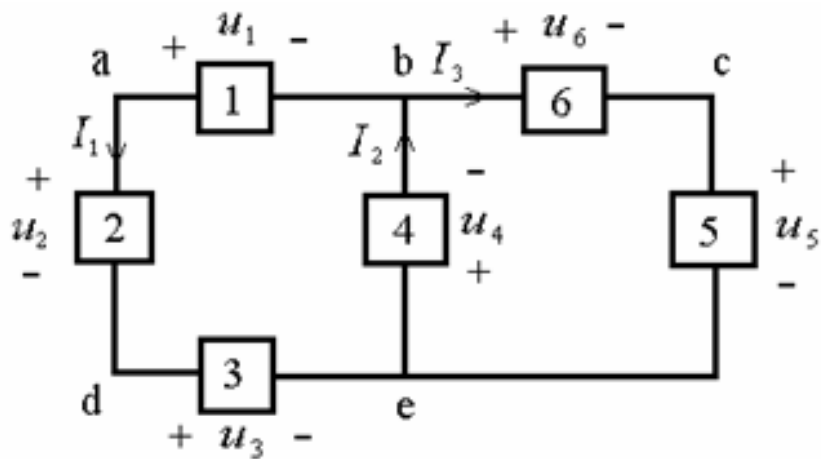


## § 1-3 电功率和能量

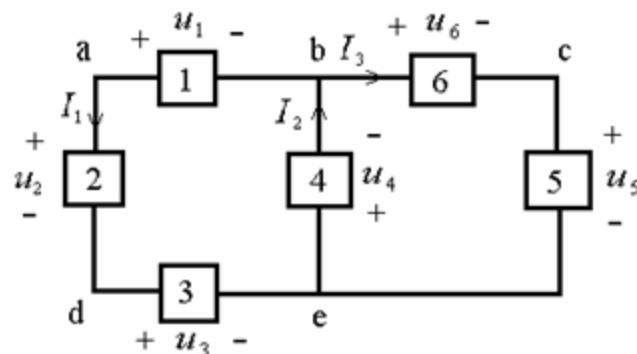
例1： 已知：

$$I_1 = 2A, I_2 = 1A, I_3 = -1A, u_1 = 1V, u_2 = -3V, u_3 = 8V, u_4 = -4V, u_5 = 7V, u_6 = -3V$$

求：  $u_{bd}, u_{ca}, u_{ae}$  及各块的功率。



## § 1-3 电功率和能量



解:

$$u_{bd} = -u_1 + u_2 = -1 + (-3) = -4V \quad \text{降正升负}$$

$$u_{ca} = -u_6 - u_1 = -(-3) - 1 = 2V$$

$$u_{ae} = u_2 + u_3 = -3 + 8 = 5V$$

$$p_1 = u_1 \cdot I_1 = 1 \cdot 2 = 2W \quad \text{非关联为正, 提供能量, 电源}$$

$$p_2 = u_2 \cdot I_1 = (-3) \cdot 2 = -6W \quad \text{关联为负, 提供能量, 电源}$$

$$p_3 = u_3 \cdot I_1 = 8 \cdot 2 = 16W \quad \text{关联为正, 消耗能量, 负载}$$

$$p_4 = u_4 \cdot I_2 = (-4) \cdot 1 = -4W \quad \text{关联为负, 提供能量, 电源}$$

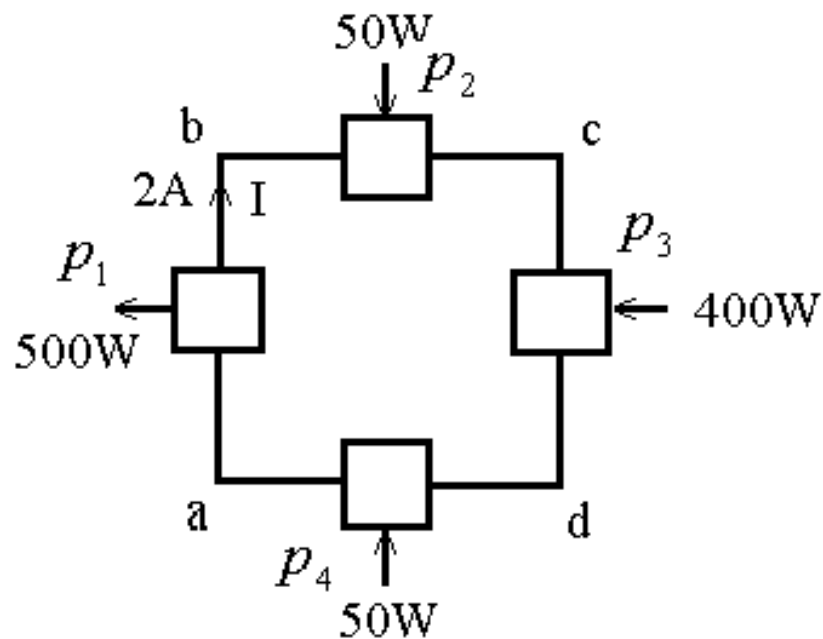
$$p_5 = u_5 \cdot I_3 = 7 \cdot (-1) = -7W \quad \text{关联为负, 提供能量, 电源}$$

$$p_6 = u_6 \cdot I_3 = (-3) \cdot (-1) = 3W \quad \text{关联为正, 消耗能量, 负载}$$

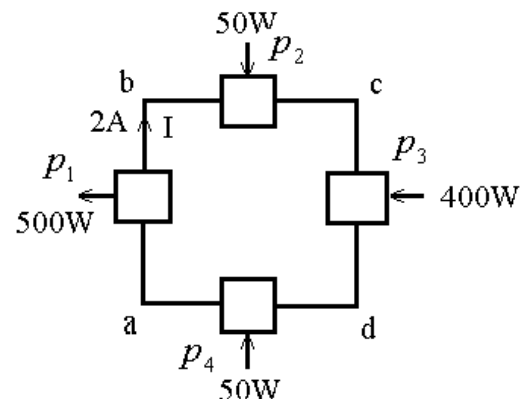
能量守恒:  $P_{\text{提}} = P_{\text{消}} = 19W$  (各组绝对值相加)

## § 1-3 电功率和能量

例2：标出各段电压的极性，计算各段电压大小，总结能量守恒。



## § 1-3 电功率和能量



解：↵

电压、电流取关联方向：↵

$$p_1 = u_{ab} \cdot I \cdots \text{提供能量} \cdots p_1 = -500W \cdots u_{ab} = \frac{p_1}{I} = \frac{-500}{2} = -250V \quad \swarrow$$

$$p_2 = u_{bc} \cdot I \cdots \text{消耗能量} \cdots p_2 = 50W \cdots u_{bc} = \frac{p_2}{I} = \frac{50}{2} = 25V \quad \swarrow$$

$$p_3 = u_{cd} \cdot I \cdots \text{消耗能量} \cdots p_3 = 400W \cdots u_{cd} = \frac{p_3}{I} = \frac{400}{2} = 200V \quad \swarrow$$

$$p_4 = u_{da} \cdot I \cdots \text{消耗能量} \cdots p_4 = 50W \cdots u_{da} = \frac{p_4}{I} = \frac{50}{2} = 25V \quad \swarrow$$

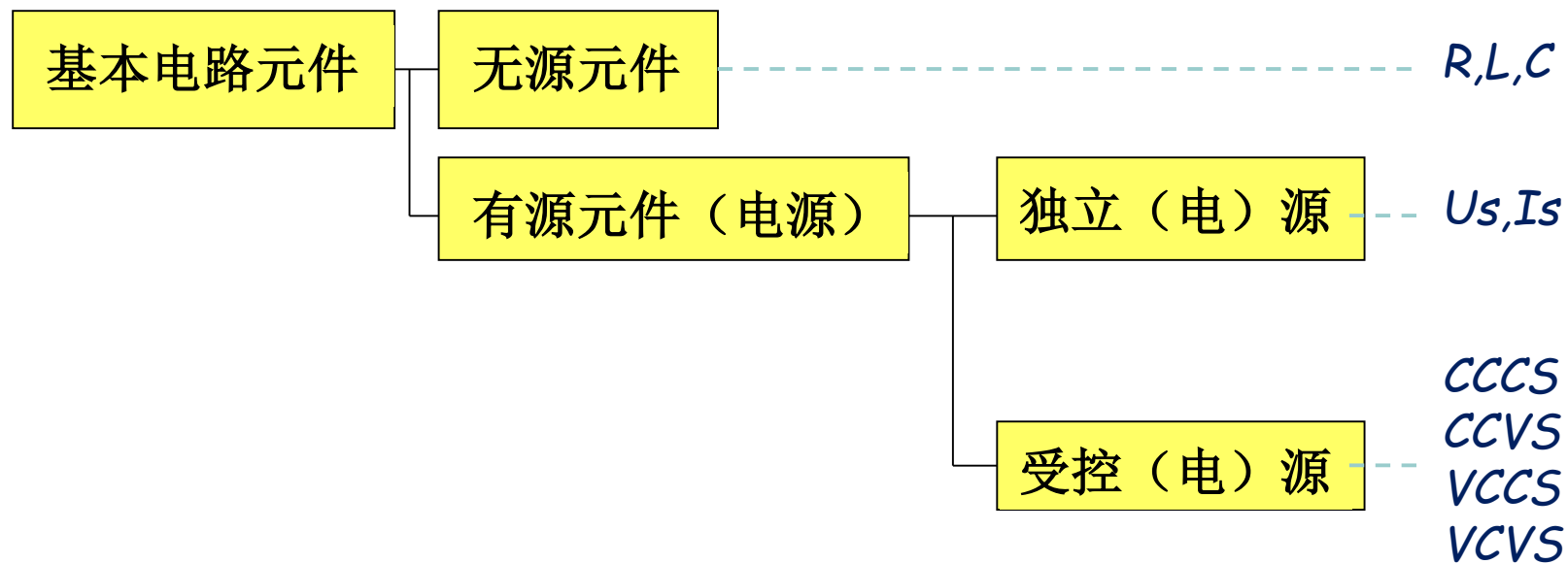
$$\text{功率平衡: } p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = -500 + 50 + 400 + 50 = 0 \quad \swarrow$$

回路电压平衡：↵

$$u_{ab} \cdot I + u_{bc} \cdot I + u_{cd} \cdot I + u_{da} \cdot I = 0 \quad \swarrow$$

$$u_{ab} + u_{bc} + u_{cd} + u_{da} = 0 \quad \swarrow$$

## § 1-4 电路元件



## § 1-4 电路元件

---

### 一、电路元件分类：

- 1、** 电路元件按与外部连接的端子数目可分为二端、三端、四端元件等。
- 2、** 电路元件按是否给电路提供能量分为**无源元件**和**有源元件**。
- 3、** 电路元件的参数如不随端子上电压或电流数值变化称线性元件，否则称非线性元件。
- 4、** 电路元件的参数如不随时间变化称时不变元件，否则称时变元件。



# § 1-4 电路元件

---

## 二、集总元件

集总元件——假定发生的电磁过程都集中在元件内部进行。在任何时刻，流入二端元件的一个端子的电流一定等于从另一端子流出的电流，两个端子之间的电压为单值量。

集总参数电路——满足集总化条件、由集总元件构成的实际电路模型。

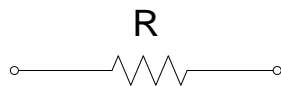
集总化条件——实际电路的尺寸 $d$ 远小于电路工作时电磁波的波长 $\lambda$ ，即

$$d \ll \lambda$$

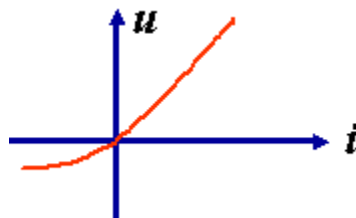
## § 1-5 电阻元件

### 一 定义

对于实际的电阻器，若只考虑它的热效应而不考虑它的磁场效应和电场效应，即可视为理想电阻元件，简称电阻元件，其电路模型如下图所示，它是一个二端电路元件。



$$f(u, i) = 0$$



## § 1-5 电阻元件

---

### 二、线性电阻元件

当元件的电压和电流取关联参考方向时，若在任何时刻都服从欧姆定律：

$$u = R \cdot i \quad (R > 0)$$

则定义该元件为线性电阻，电阻值为常系数**R**（欧姆 **Ω**）。

定义常系数**G**（**G**>**0**）为线性元件的电导（西门子**S**）。

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

## § 1-5 电阻元件

---

### 三、线性电阻元件的功率与能量

#### 1、功率：

当 $u$ 与 $i$ 为关联方向时，电阻 $R$ 吸收的功率为

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

当 $u$ 与 $i$ 为非关联方向时，电阻 $R$ 吸收的功率为

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

## § 1-5 电阻元件

---

### 2、能量：

电阻元件在时间区间  $t \in [0, t]$  内吸收的能量为

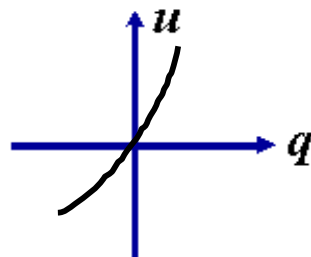
$$w(t) = \int_0^t P(\tau) d\tau = \int_0^t R[i(\tau)]^2 d\tau = R \int_0^t [i(\tau)]^2 d\tau$$

## § 1-6 电容元件

### 一、定义

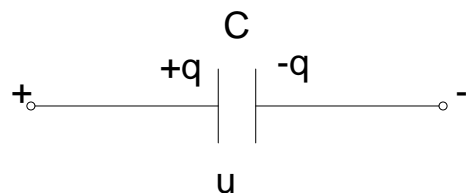
在外电源作用下，电容器两极板上分别带上等量异号电荷，撤去电源，板上电荷仍可长久地集聚下去，其特性可用 $u \sim q$ 平面上的一条曲线来描述，称为库伏特性。

$$f(u, q) = 0$$

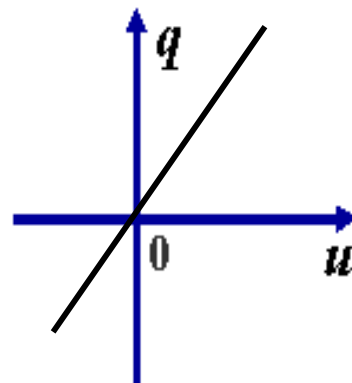


## § 1-6 电容元件

### 二、线性电容元件



$$q = Cu \quad \text{or} \quad C = \frac{q}{u} \propto \tan \alpha$$



## § 1-6 电容元件

---

### 三、线性电容元件的伏安关系

微分形式：

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

积分形式：

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i d\xi = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_0} i d\xi + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i d\xi = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i d\xi$$

或者

$$u(t) = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i d\xi$$



## § 1-6 电容元件

---

### 四、电容的功率和储能

$$p(t) = u(t)i(t) = u(t) \cdot C \frac{du(t)}{dt}$$

(1)当电容充电时， $u > 0$ ， $du/dt > 0$ ，则 $i > 0$ ，电容器极板上的电荷 $q$ 增加， $p > 0$ ，电容吸收功率。

(2)当电容放电时， $u > 0$ ， $du/dt < 0$ ，则 $i < 0$ ，电容器极板上的电荷 $q$ 减小， $p < 0$ ，电容发出功率。

## § 1-6 电容元件

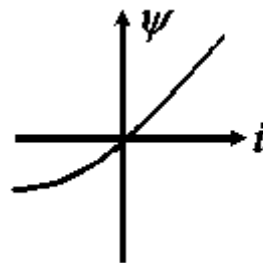
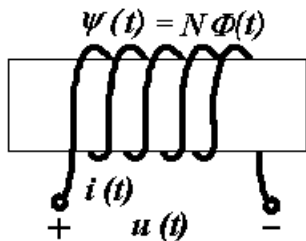
---

$$\begin{aligned} W_c &= \int_{-\infty}^t u(\xi) i(\xi) d\xi = \int_{-\infty}^t C u(\xi) \frac{du(\xi)}{d\xi} d\xi \\ &= C \int_{u(-\infty)}^{u(t)} u \xi du(\xi) \\ &= \frac{1}{2} C u^2(t) - \frac{1}{2} C u^2(-\infty) \end{aligned}$$

# § 1—7 电感元件

## 一、定义

对于实际的电感器，若只考虑它的磁场效应而不考虑它的热效应与电场效应，即可视为理想的电感元件，简称电感元件，其特性可用 $\Psi \sim i$ 平面上的一条曲线来描述，称为韦安特性。



$$f(\psi, i) = 0$$

# § 1—7 电感元件

---

## 二、磁通与磁通链

$$\psi(t) = N\phi(t)$$

# § 1—7 电感元件

---

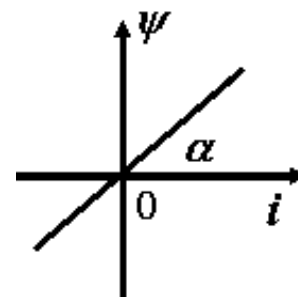
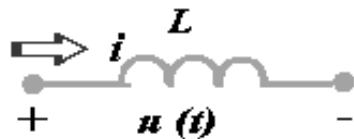
## 三、电感L

线圈中单位电流产生的磁通链称为自感，也称电感，用L表示，即

$$L = \frac{\psi(t)}{i(t)} = N \frac{\phi(t)}{i(t)}$$

# § 1—7 电感元件

## 四、线性电感元件



$$\tan \alpha = \frac{\psi(t)}{i(t)} = L$$

## § 1—7 电感元件

---

### 五、线性电感元件的伏安关系

微分形式:

$$u(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = L \frac{di(t)}{dt}$$

积分形式:

$$i(t) = \frac{1}{L} \int u(t) dt$$

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

## § 1—7 电感元件

---

### 六、电感的功率和储能

$$P = ui = Li \frac{di}{dt}$$

(1)当电流*i*增大时， $i > 0$ ， $di/dt > 0$ ，则 $u > 0$ ，线圈中的磁通链 $\Psi$ 增加， $p > 0$ ，电感吸收功率。

(2)当电流*i*减小时， $i > 0$ ， $di/dt < 0$ ，则 $u < 0$ ，线圈中的磁通链 $\Psi$ 减小， $p < 0$ ，电感发出功率。



## § 1—7 电感元件

---

$$W_L(t) = \int_{-\infty}^t P d\xi = \int_{-\infty}^t Li \frac{di}{d\xi} d\xi = \int_0^{i(t)} Lidi$$

$$= \frac{1}{2} Li^2(t) = \frac{1}{2} \frac{\psi_L^2(t)}{L}$$

$$W_L = L \int_{i(t_1)}^{i(t_2)} idi = \frac{1}{2} Li^2(t_2) - \frac{1}{2} Li^2(t_1)$$

$$= W_L(t_2) - W_L(t_1)$$

## § 1—8 电压源和电流源

---

### 一、电源的定义

由于电路的功能有两种，所以电源的定义也有两种。

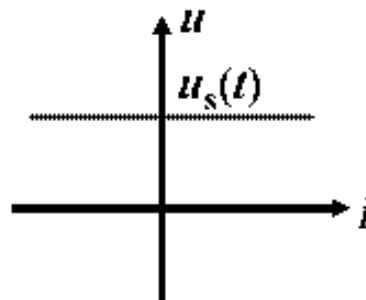
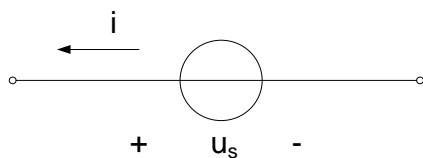
**1、**产生电能或储存电能的设备称为电源，例如发电机、蓄电池等，均为电源。

**2、**产生电信号的设备也称为“电源”，这种“电源”实际上是信号源，也称信号发生器，例如实验室中应用的正弦波信号发生器，脉冲信号发生器等。

# § 1—8 电压源和电流源

## 二、电压源

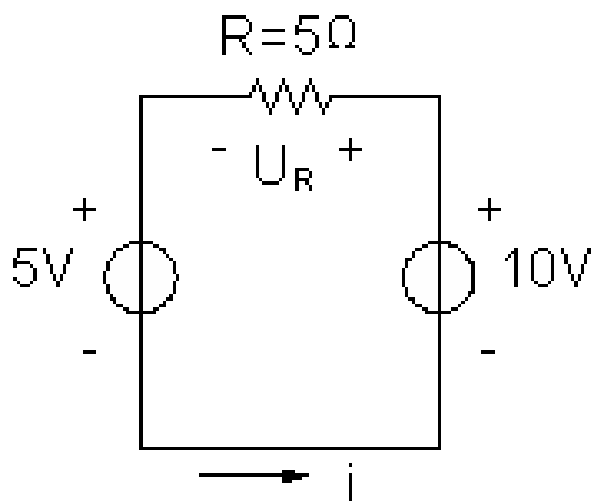
### (一)、理想电压源



$$P = u_s \cdot i$$

## § 1—8 电压源和电流源

例、计算图示电路各元件的功率。



解：  $\rightarrow u_R = (10 - 5) = 5V \downarrow$

°  $\rightarrow i = u_R / R = 5 / 5 = 1A \downarrow$

°  $\rightarrow P_{10V} = u_S i = 10 \times 1 = 10W$  (发出)  $\downarrow$

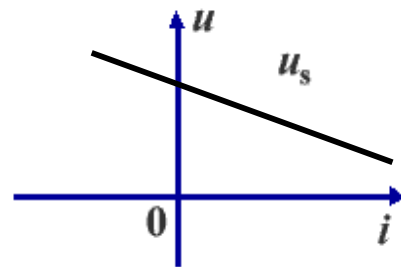
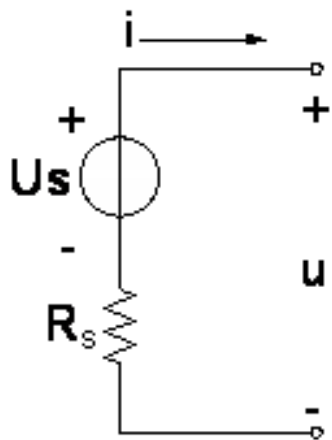
°  $\dots\dots P_{5V} = u_S i = 5 \times 1 = 5W$  (吸收)  $\downarrow$

°  $\dots\dots P_R = Ri^2 = 5 \times 1 = 5W$  (吸收)  $\downarrow$

□  $\dots$  满足：  $P(\text{发}) = P(\text{吸}) \downarrow$

## § 1—8 电压源和电流源

### (二)、实际电压源

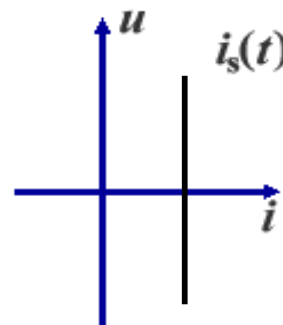
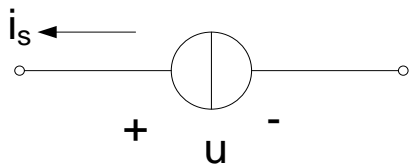


$$u = u_s - R_s i$$

# § 1—8 电压源和电流源

## 三、电流源

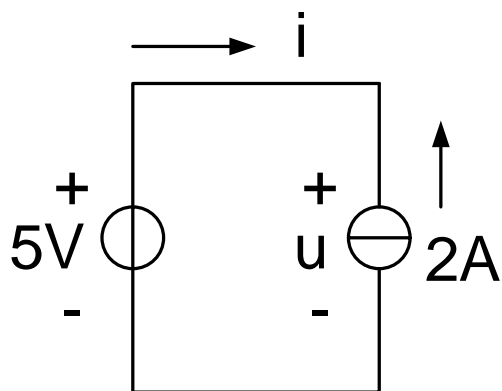
### (一)、理想电流源



$$P = ui_s$$

## § 1—8 电压源和电流源

例4、计算图示电路各元件的功率。



解：  $i = -2A$

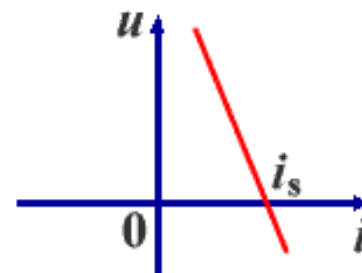
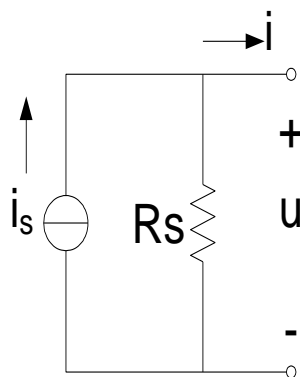
$$P_{2A} = i_S u = 2 \times 5 = 10W \quad (\text{发出})$$

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

满足：  $P(\text{发}) = P(\text{吸})$

## § 1—8 电压源和电流源

(二)、实际电流源:



$$i = i_s - \frac{u}{R_s}$$



# § 1—9 受控电源 (非独立源) (controlled source or dependent source)

---

## 一、定义

电压(或电流)的大小和方向受电路中其他地方的电压(或电流)控制的电源，称为受控源。

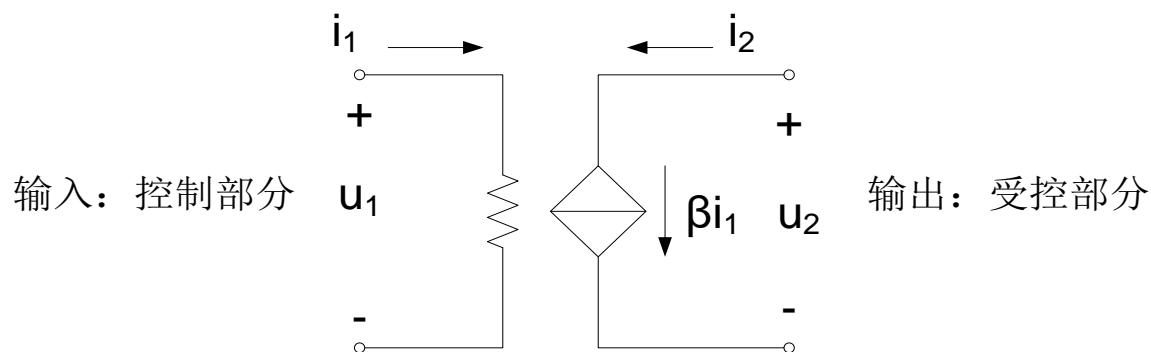
## 二、符号



# § 1—9 受控电源 (非独立源)

## 三、分类

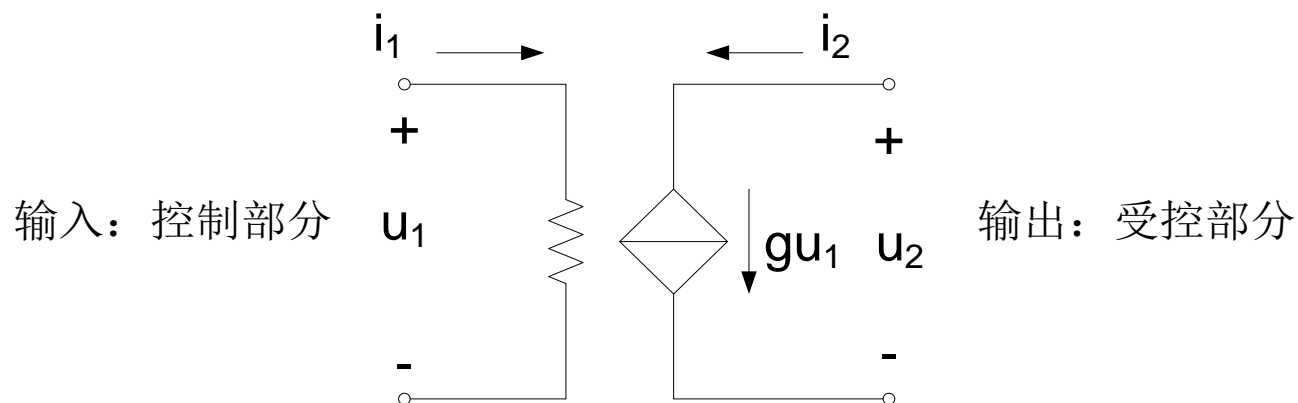
### 1、电流控制的电流源(CCCS)



$$i_2 = \beta i_1$$

## § 1—9 受控电源 (非独立源)

### 2、电压控制的电流源(VCCS)

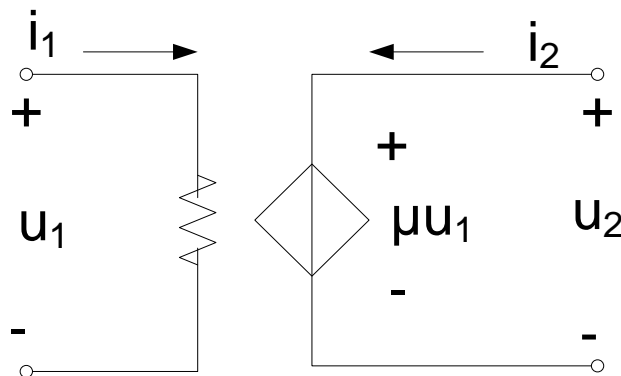


$$i_2 = gu_1$$

$g$ ——转移电导

## § 1—9 受控电源 (非独立源)

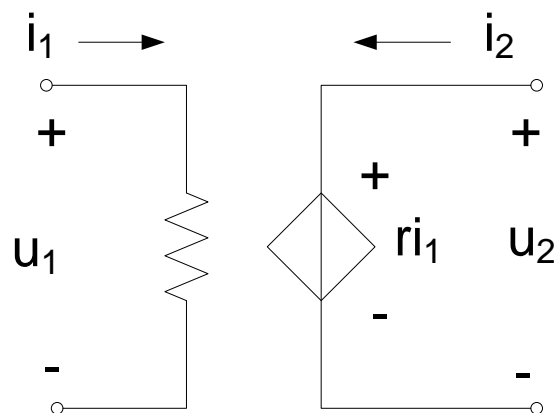
### 3、电压控制的电压源(VCVS)



$$u_2 = \mu u_1$$

## § 1—9 受控电源 (非独立源)

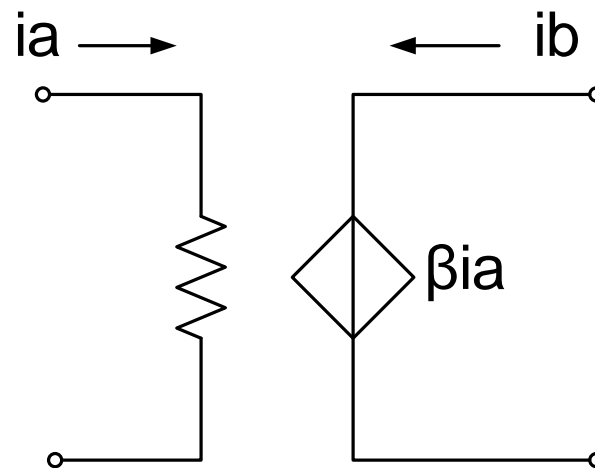
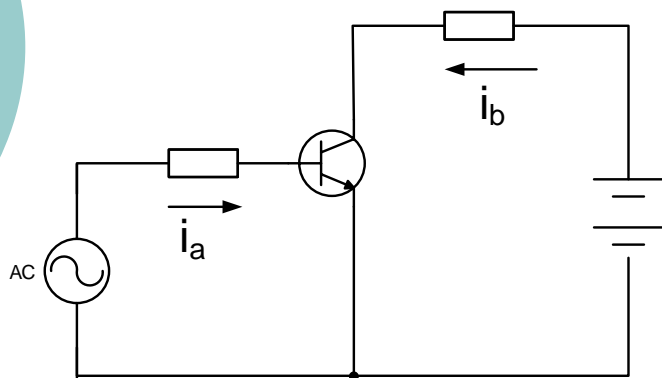
### 4、电流控制的电压源(CCVS)



$$u_2 = ri_1$$

$r$ ——转移电阻

## § 1—9 受控电源 (非独立源)



## § 1—9 受控电源 (非独立源)

---

### 四、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，而受控源的电压(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”。

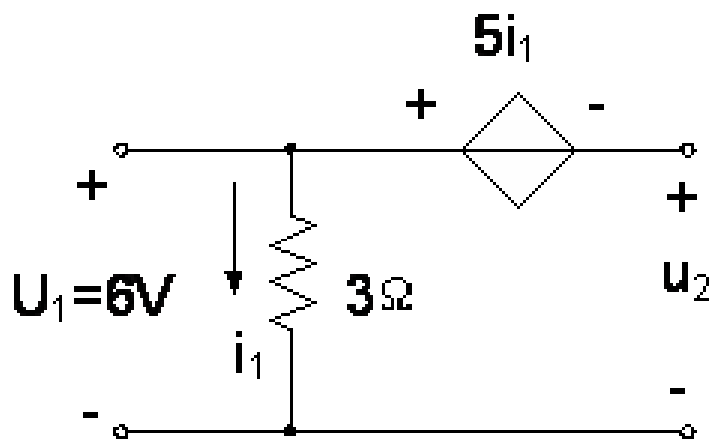
### 五、受控源在电路分析中的处理原则：

将受控源与独立源同样对待和处理；

把控制量用待求的变量表示，作为辅助方程。

## § 1—9 受控电源 (非独立源)

例：如图所示电路，求：电压 $u_2$ 。



解：

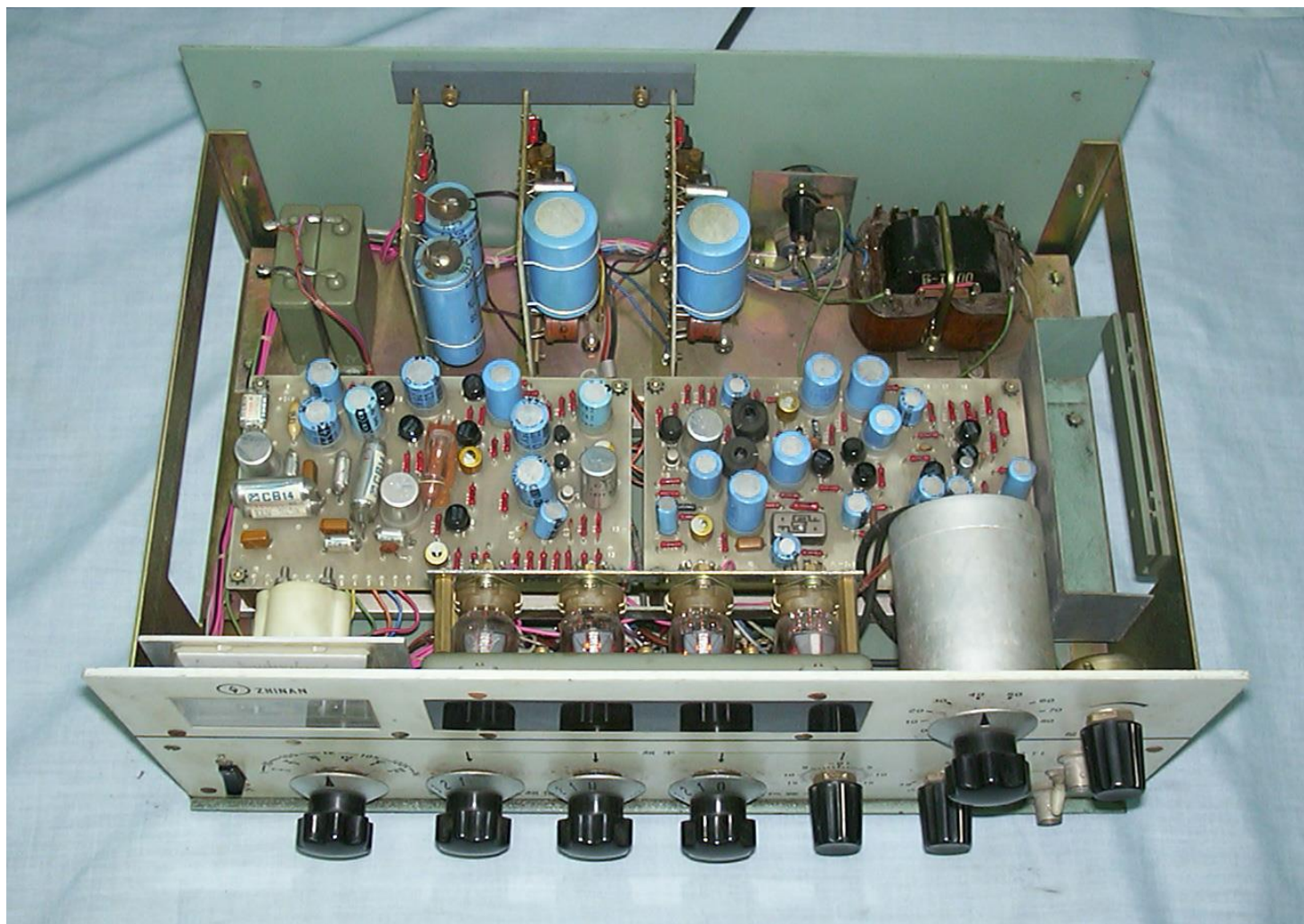
↓

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

$$u_2 = -5i_1 + 6 = -10 + 6 = -4V$$



# 实际电子元器件

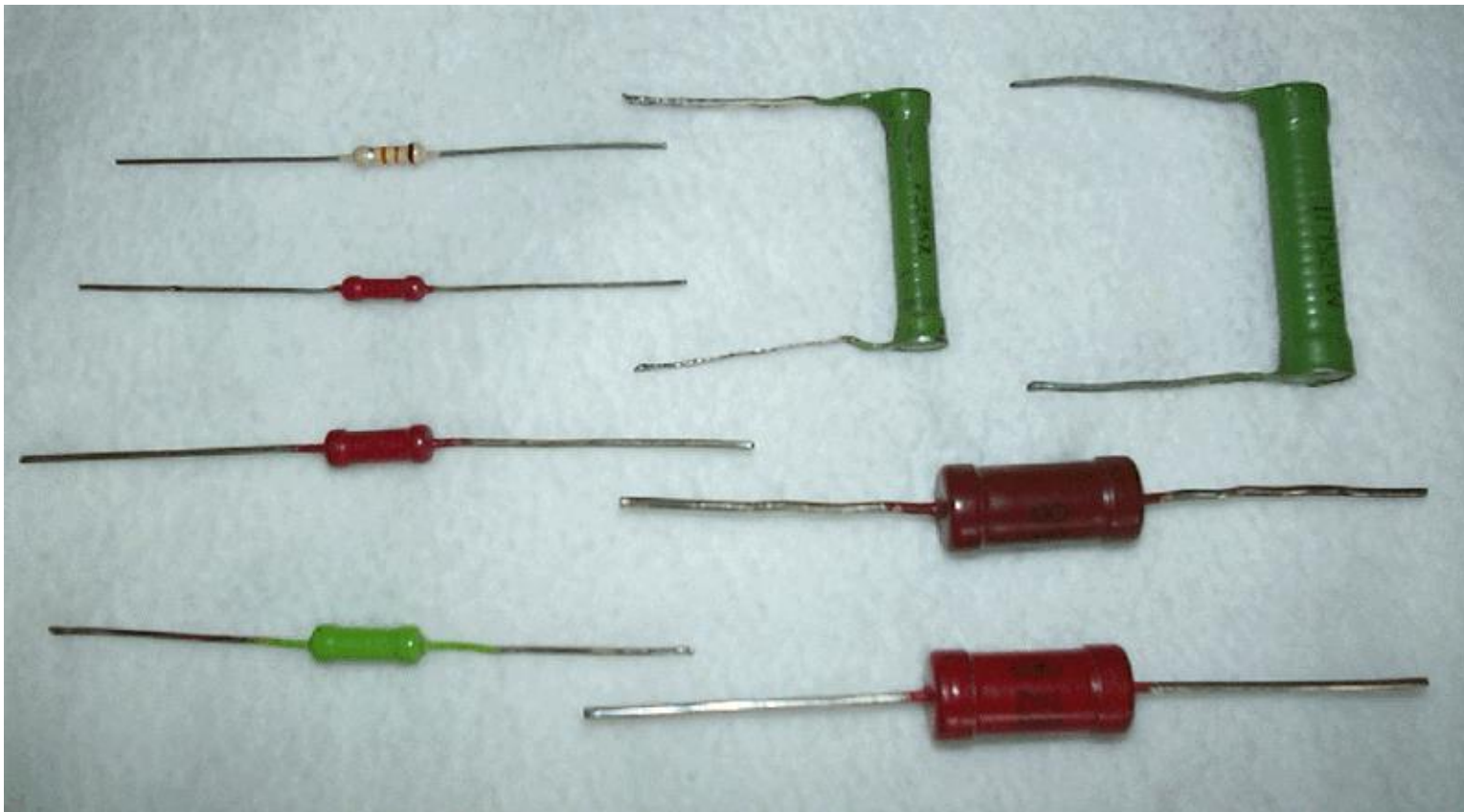


# 实际电子元器件



# 实际电子元器件

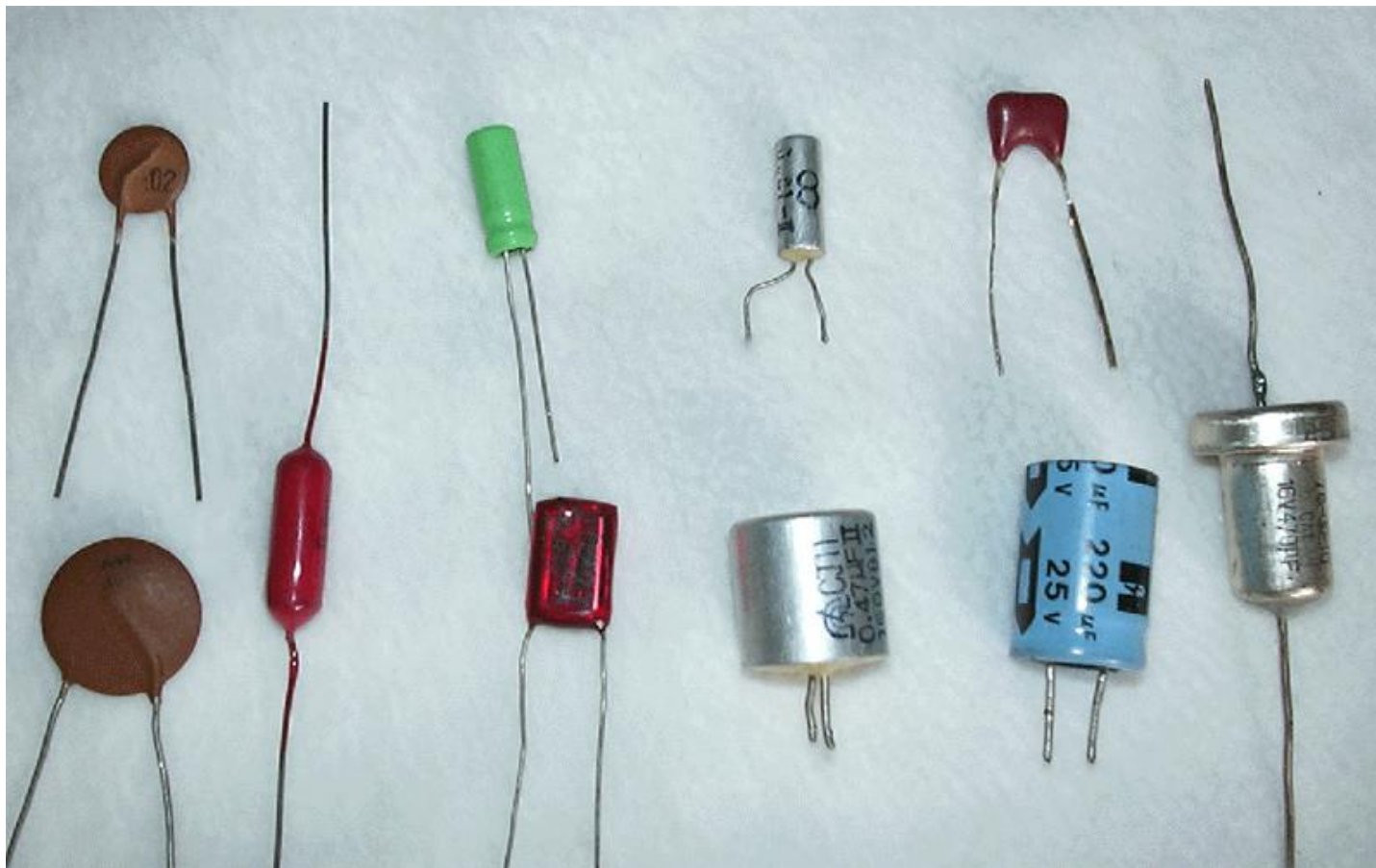
## 电阻器 (Resistor)





# 实际电子元器件

## 常用的各种电容器（Capacitor）



# 常用的晶体管和集成电路



# 实际电子元器件

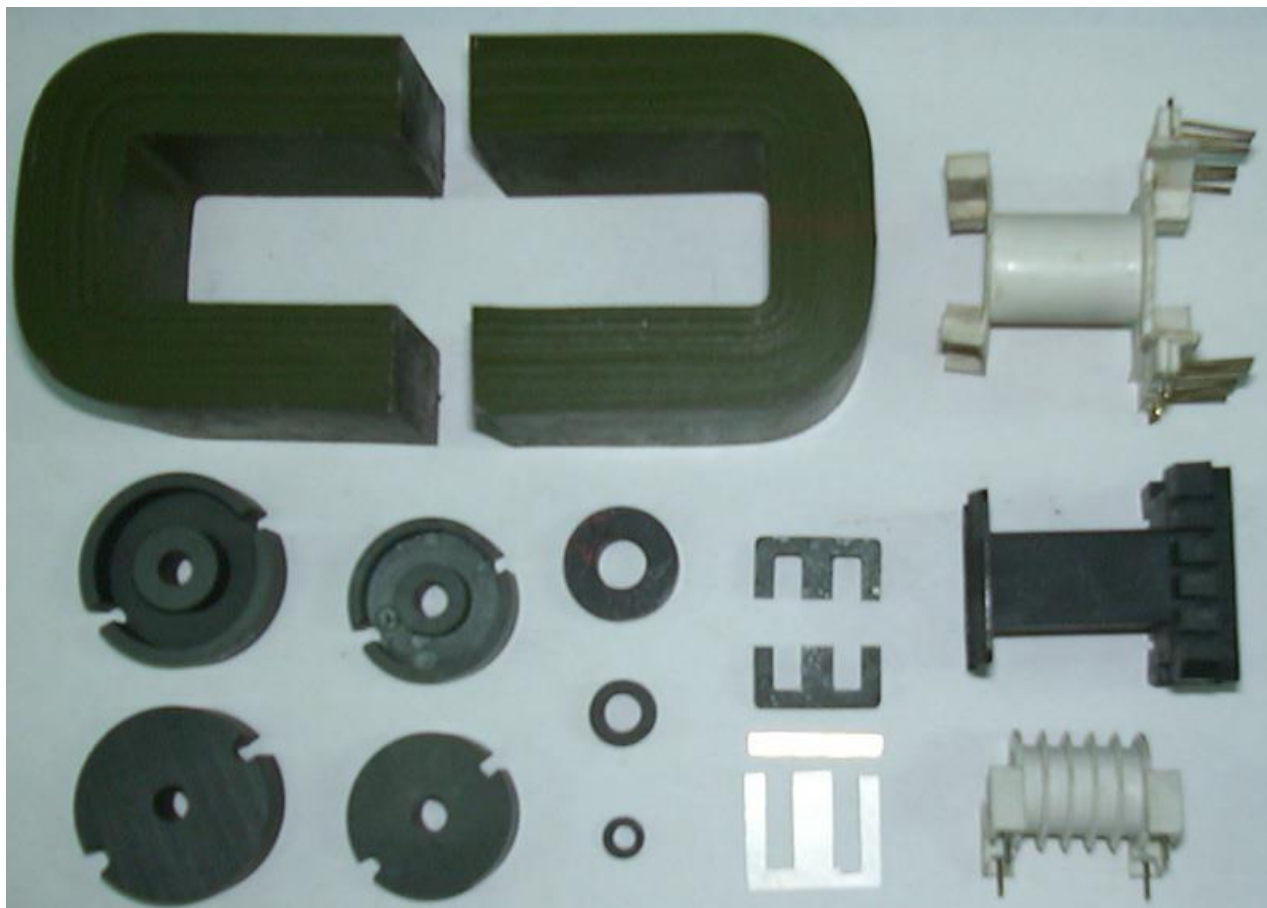
---

## 小功率电源变压器



# 实际电子元器件

绕制变压器的磁心和铁心以及线圈的骨架



# § 1—10 基尔霍夫定律 ( Kirchhoff's Laws )

## 一、电路图

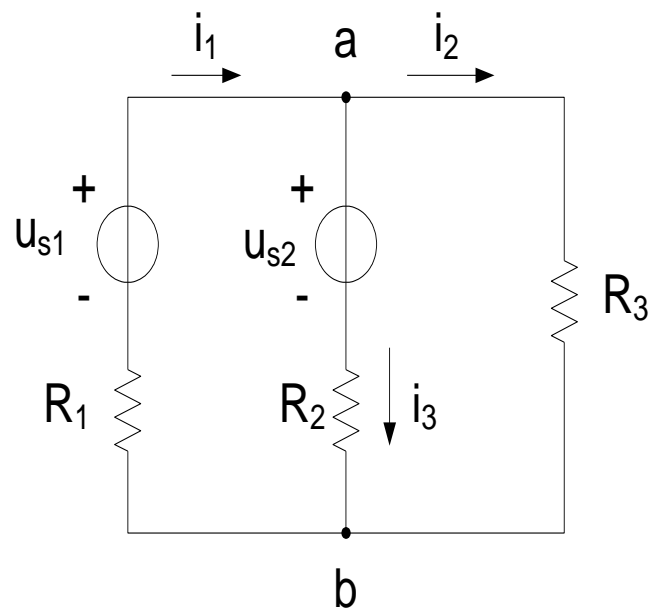
1、支路 (**b**ranch)

2、节点(**n**ode)

3、路径(**p**ath)

4、回路(**l**oop)

5、网孔(**m**esh)





# § 1—10 基尔霍夫定律

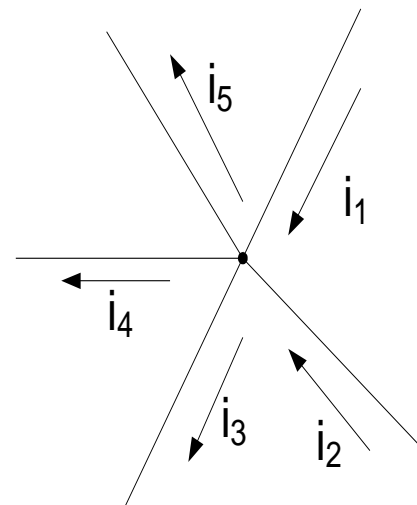
## 二、基尔霍夫电流定律(KCL)

**KCL**是描述电路中与结点相连的各支路电流间相互关系的定律。它的基本内容是：“在集总电路中，任何时刻，对任一结点，所有流出结点的支路电流的代数和恒等于零。”

$$\sum_{k=1}^m i(t) = 0$$

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

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



## § 1—10 基尔霍夫定律

$$i_1 + i_4 + i_6 = 0$$

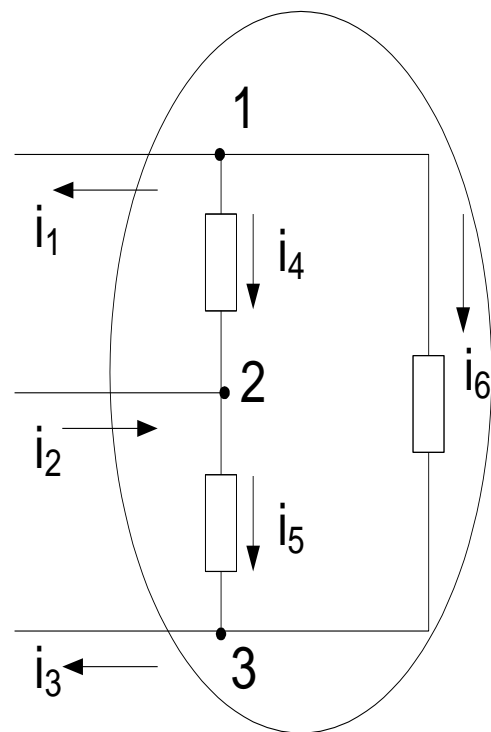
$$-i_2 - i_4 + i_5 = 0$$

$$i_3 - i_5 - i_6 = 0$$

三式相加得：

$$i_1 + i_3 = i_2$$

$$\sum i_{\lambda} = i_{\text{外}}$$



# § 1—10 基尔霍夫定律

---

## 三、基尔霍夫电压定律(KVL)

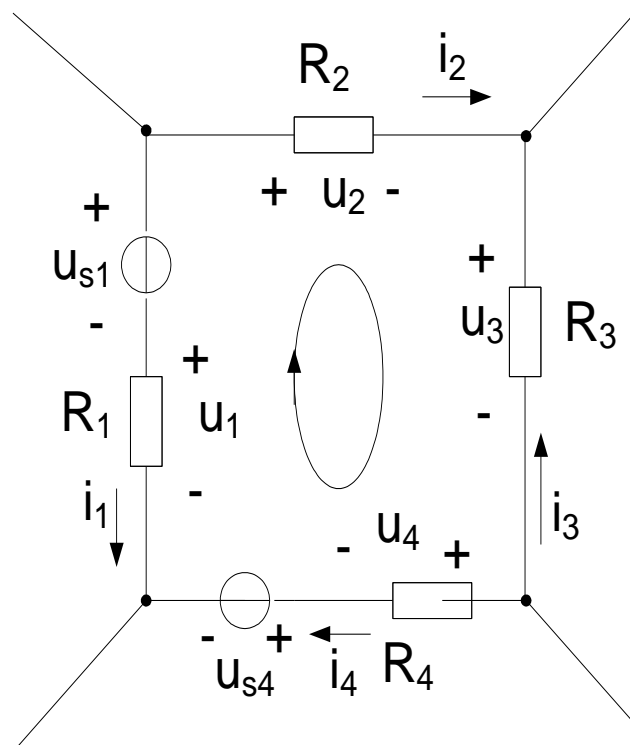
**KVL**是描述回路中各支路（或各元件）电压之间关系的定律。它的基本内容是：“在集总电路中，任何时刻，沿任一回路，所有支路电压的代数和恒等于零”。

$$\sum_{k=1}^m u(t) = 0$$

## § 1—10 基尔霍夫定律

$$-U_1 - U_{s1} + U_2 + U_3 + U_4 + U_{s4} = 0$$

$$U_2 + U_3 + U_4 + U_{s4} = U_1 + U_{s1}$$



# § 1—10 基尔霍夫定律

---

## 四、KCL、KVL小结

**(1)KCL**是对支路电流的线性约束，**KVL**是对回路电压的线性约束。

**(2)KCL、KVL**与组成支路的元件性质及参数无关。

**(3)KCL**表明每一节点上电荷是守恒的；**KVL**是能量守恒的具体体现(电压与路径无关)。

**(4) KCL、KVL**只适用于集总参数的电路。

# § 1—10 基尔霍夫定律

---

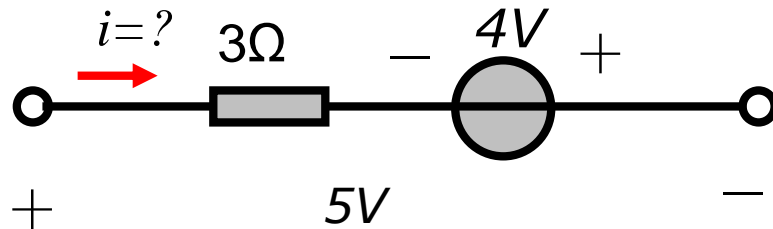
## 五、两种约束的概念

**KCL、KVL**描述了电路中各支路电流（电压）之间的约束关系，它们都与电路元件的性质无关，而只取决于电路的连接关系，所以称为连接方式约束或拓扑约束；

电路的另一种约束是电路元件电流与电压关系的约束，即电路元件伏安关系的约束，这种约束与电路的连接方式无关，而只取决于电路元件的性质，称为电路元件约束，简称元件约束。

## § 1—10 基尔霍夫定律

例1：求图示电路中的电流*i*。

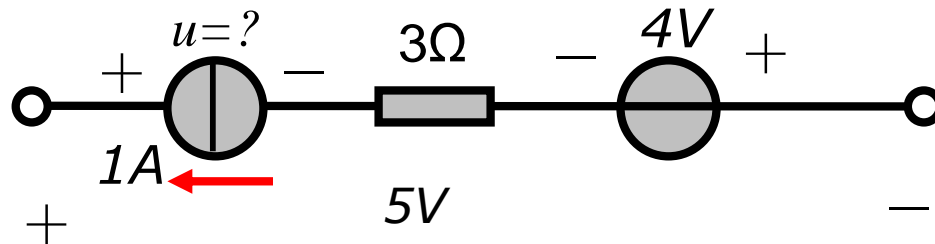


解：列写支路上的**KVL**方程（也可设想一回路）

$$3i - 4 = 5 \rightarrow i = 3A$$

## § 1—10 基尔霍夫定律

例2：求图示电路中电流源的端电压 $u$ 。



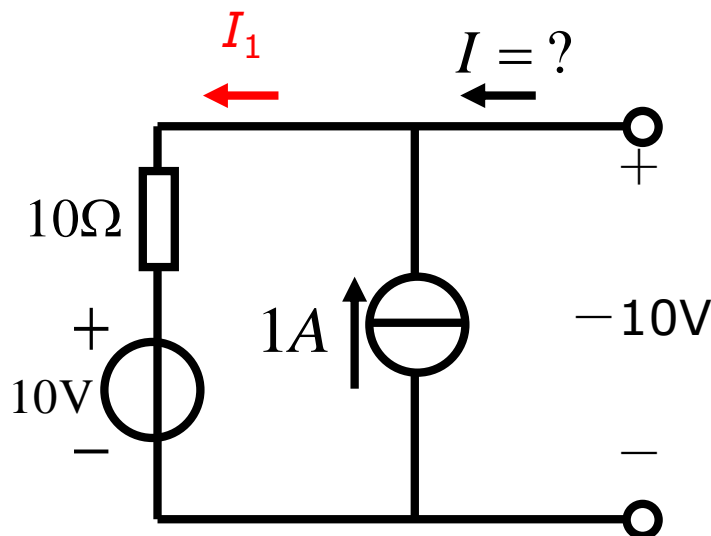
解： 列写支路上的**KVL**方程 （也可设想一回路）

$$u = 5 + 7 = 12V$$



## § 1—10 基尔霍夫定律

例3：求图示电路中的电流 $I$ 。



解：设 $10\Omega$ 电阻所在支路的电流为 $I_1$

根据KVL,

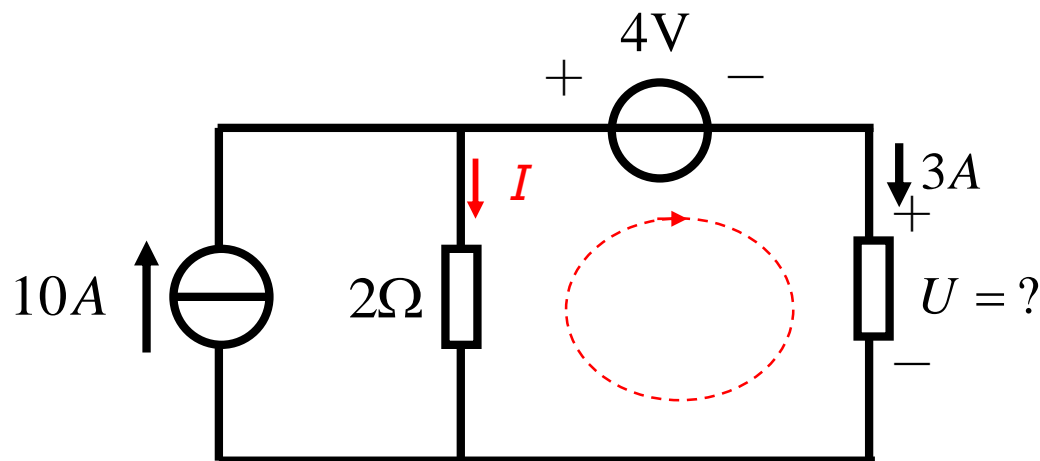
$$10I_1 + 10 = -10 \rightarrow I_1 = -\frac{20}{10} = -2A$$

根据KCL,

$$I = I_1 - 1 = -2 - 1 = -3A$$

## § 1—10 基尔霍夫定律

例4：求图示电路中的电压 $U$ 。



解：设 $2\Omega$ 电阻所在支路的电流为 $I$

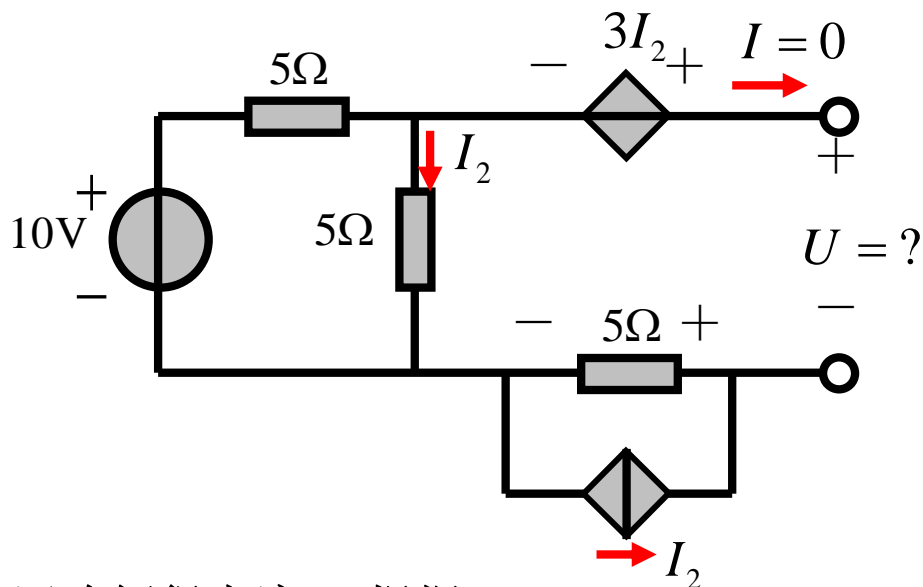
根据KCL: 
$$I = 10 - 3 = 7A$$

根据KVL:

$$4 + U - 2I = 0 \rightarrow U = 2I - 4 = 2 \times 7 - 4 = 10V$$

## § 1—10 基尔霍夫定律

例5：求图示电路中的开路电压 $U$ 。



解：由左边回路解得电流 $I_2$  根据KVL：

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

根据KVL：

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

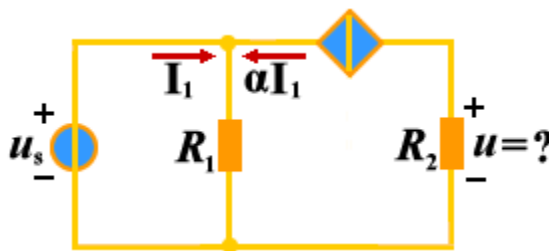
## § 1-10 基尔霍夫定律

例6：求图示电路中的输出电压U。

解：由电阻元件**VCR** 知  $U = -R_2 \alpha I_1$

根据**KCL**：  $I_1 + \alpha I_1 = U_s / R_1$

从而解得：  $I_1 = \frac{U_s}{R_1(1+\alpha)}$  所以



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

电源发出的功率为：

$$P_s = U_s I_1 = \frac{U_s^2}{R_1(1+\alpha)}$$

输出功率为：

$$P_{out} = R_2 \alpha^2 \frac{U_s^2}{R_1^2(1+\alpha)^2}$$

输出电压与电源电压的比值为：

$$\left| \frac{U_{out}}{U_s} \right| = \frac{R_2}{R_1} \frac{\alpha}{(1+\alpha)}$$

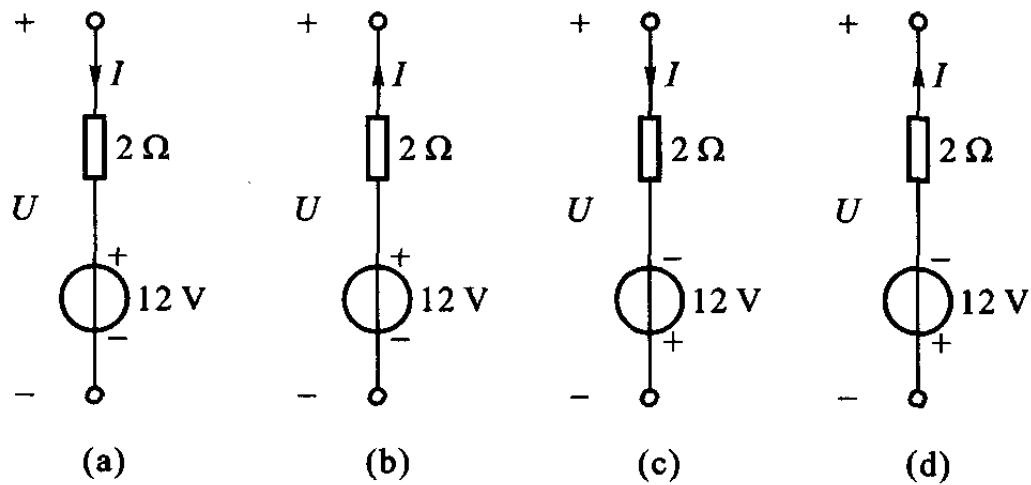
输出功率与电源发出功率的比值为

$$\left| \frac{P_{out}}{P_s} \right| = \frac{R_2}{R_1} \frac{\alpha^2}{(1+\alpha)}$$

# 作业

**1-7** 题 1-7 图中各元件的电流  $I$  均为 2A。

- (1) 求各图中支路电压；
- (2) 求各图中电源、电阻及支路的功率，并讨论功率平衡关系。

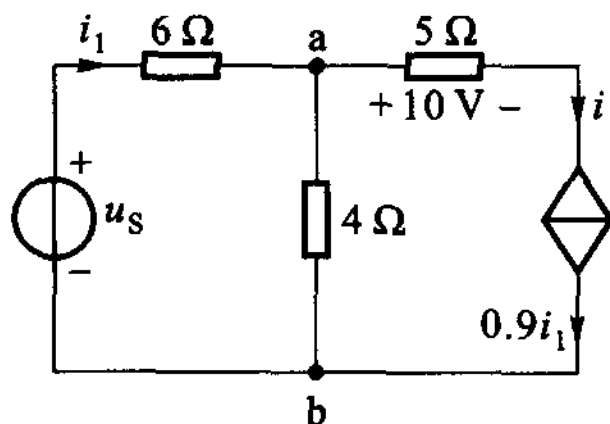


题 1-7 图

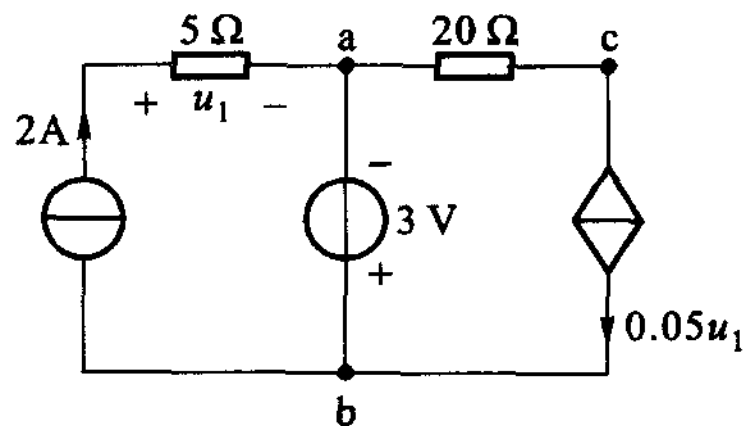
# 作业

1-10 电路如题 1-10 图所示,试求:

- (1) 图(a)中,  $i_1$  与  $u_{ab}$ ; (2) 图(b)中,  $u_{cb}$ 。



(a)



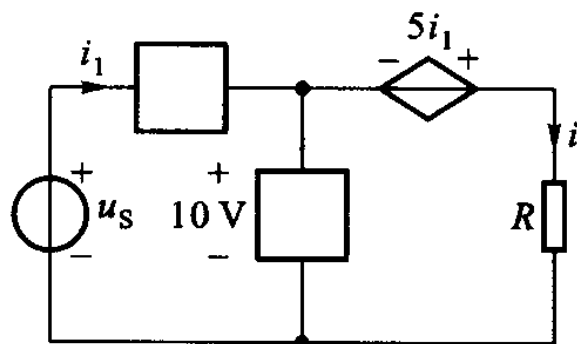
(b)

题 1-10 图

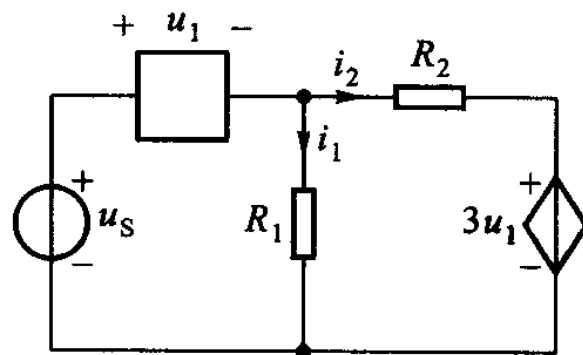
# 作业

1-18 (1) 已知题 1-18 图(a)中,  $R = 2\ \Omega$ ,  $i_1 = 1\ \text{A}$ , 求电流  $i$ ;

(2) 已知题 1-18 图(b)中,  $u_s = 10\ \text{V}$ ,  $i_1 = 2\ \text{A}$ ,  $R_1 = 4.5\ \Omega$ ,  $R_2 = 1\ \Omega$ , 求  $i_2$ 。



(a)



(b)

题 1-18 图