

# 电路理论

## Principles of Electric Circuits

---

### 第四章 电路定理

#### (Circuit Theorems)

2024年10月



# 电路理论

## Principles of Electric Circuits

---

### 第四章 电路定理

#### § 4.1 叠加定理和齐性定理



## § 4.1 叠加定理和齐性定理

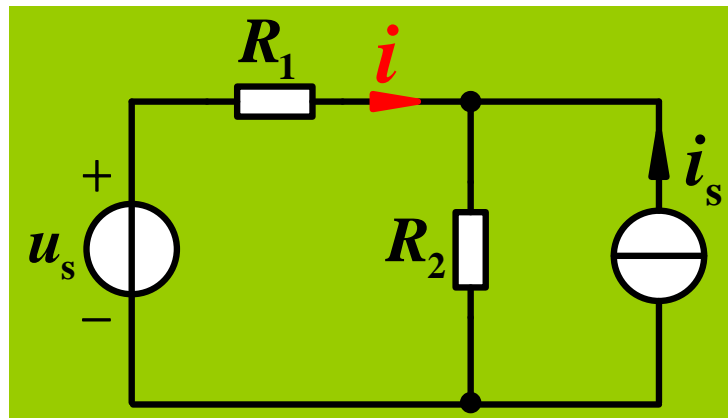
### 一、叠加定理

【引例】求如图所示电路中电流  $i$ 。

$$i = \frac{1}{R_1 + R_2} u_s - \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s$$

电流  $i$  构成分析: 
$$i = \frac{1}{R_1 + R_2} u_s - \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s$$
$$= i' + i''$$

电流分量  $\left\{ \begin{array}{l} i' = \frac{1}{R_1 + R_2} u_s \\ i'' = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s \end{array} \right.$



仅与电压源电压  
有关，且成正比

仅与电流源电流  
有关，且成正比

## § 4.1 叠加定理和齐性定理——叠加定理

电流分量

$$\left\{ \begin{array}{l} i' = \frac{1}{R_1 + R_2} u_s \\ i'' = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s \end{array} \right.$$

仅与电压源电压有关，且成正比

仅与电流源电流有关，且成正比

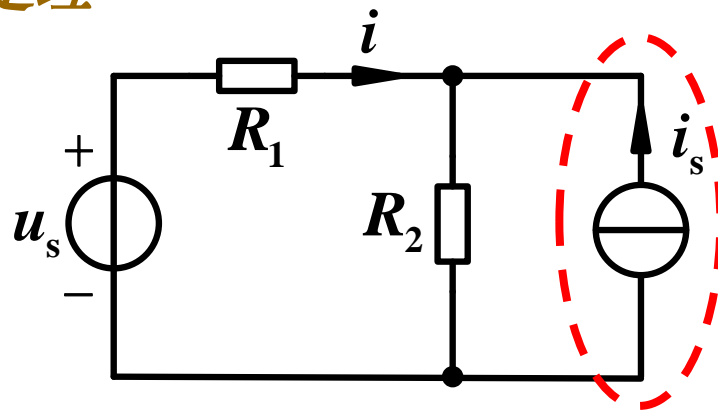
是否可以认为电流  $i$  是电压源  $u_s$  和电流源  $i_s$  分别单独作用在电路上得到的响应之和呢？



## § 4.1 叠加定理和齐性定理——叠加定理

### a. 电压源单独作用

(电流源置零, “开路”)

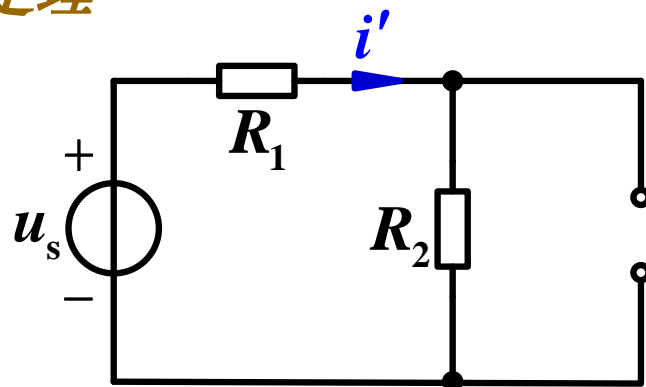


## § 4.1 叠加定理和齐性定理—叠加定理

### a. 电压源单独作用

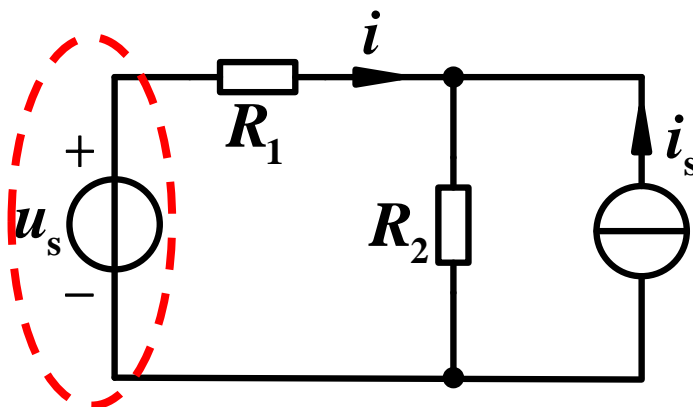
(电流源置零, “开路”)

$$i' = \frac{1}{R_1 + R_2} u_s$$



### b. 电流源单独作用

(电压源置零, “短路”)

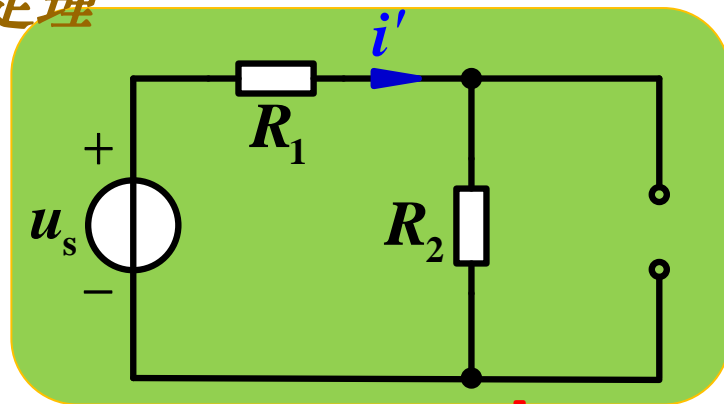


## § 4.1 叠加定理和齐性定理——叠加定理

### a. 电压源单独作用

(电流源置零, “开路”)

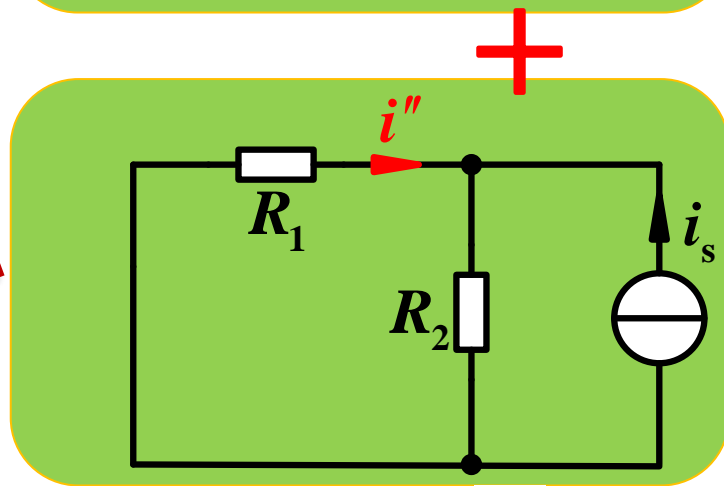
$$i' = \frac{1}{R_1 + R_2} u_s$$



### b. 电流源单独作用

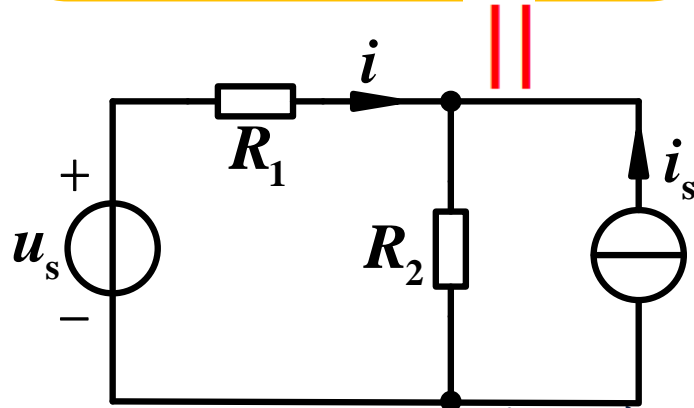
(电压源置零, “短路”)

$$i'' = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s$$



$$i = i' + i''$$

$$= \frac{1}{R_1 + R_2} u_s - \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s$$



## § 4.1 叠加定理和齐性定理—叠加定理

### 1. 叠加定理 (Superposition Theorem)

线性电阻电路中所有独立电源共同作用产生的响应（支路电压、支路电流或节点电压等）等于各个（各组）独立电源单独作用所产生响应的叠加（代数和）。

### 2. 定理应用—解题步骤

(1) 令各个（各组）独立电源分别单独作用，其余电源“置零”，求相应的响应（节点法、网孔法、等效化简等）；



(2) 将所有独立电源共同作用的响应叠加，求得总响应。

$$y = \sum_{i=1}^{\alpha} K_i U_{si} + \sum_{j=1}^{\beta} H_j I_{sj}$$

电源可分组进行叠加

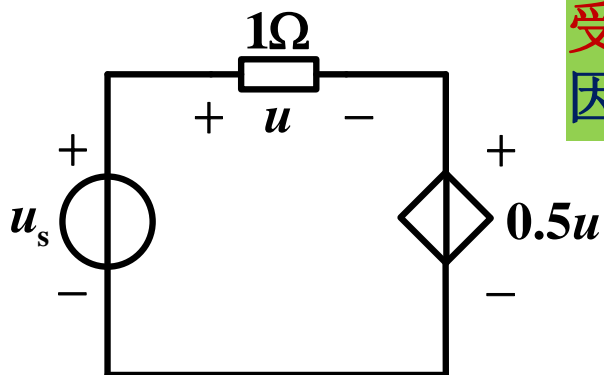




## § 4.1 叠加定理和齐性定理——叠加定理

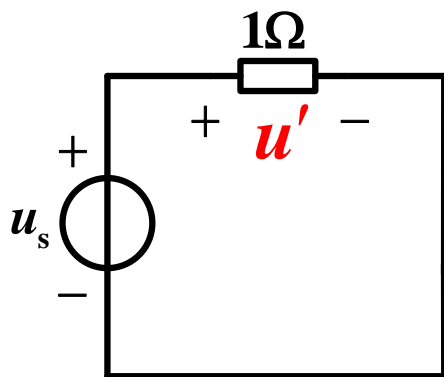
### 3. 问题思考

(a) 受控源是否可以像独立源一样参与叠加

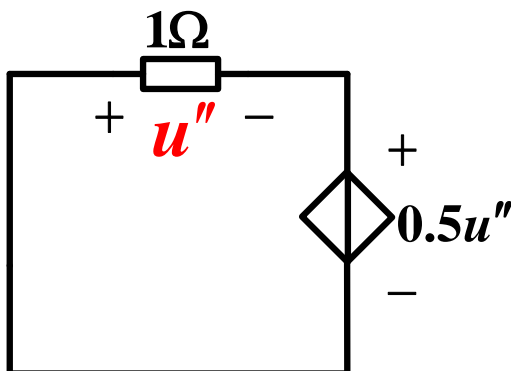


受控源不能像独立源一样参与叠加，  
因为受控源本质上并不是能量和信号的“源”。

$$u + 0.5u = u_s \Rightarrow u = 0.667u_s$$



+



$$u = u' + u'' = u_s$$

$$u' = u_s$$

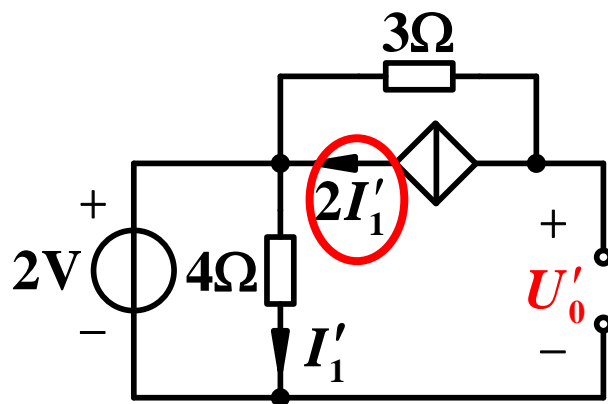
$$u'' = 0$$



## § 4.1 叠加定理和齐性定理——叠加定理

【例】求图所示电路中电压 $U_0$ 及  
电流源提供的功率。

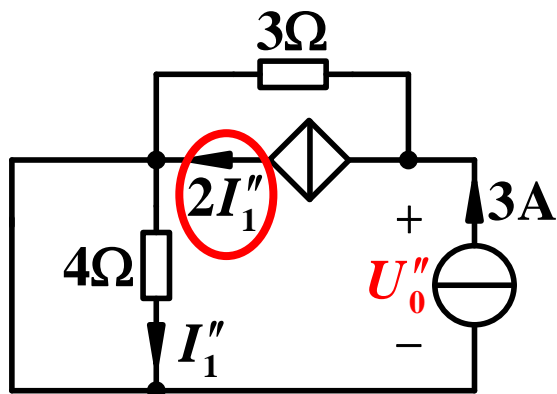
解：(1) 2V电压源单独作用



$$I'_1 = \frac{2}{4} = 0.5\text{A}$$

$$U'_0 = 2 - 2I' \times 3$$

(2) 3A电流源单独作用  $= 2 - 3 = -1\text{V}$



$$I''_1 = 0\text{A}$$

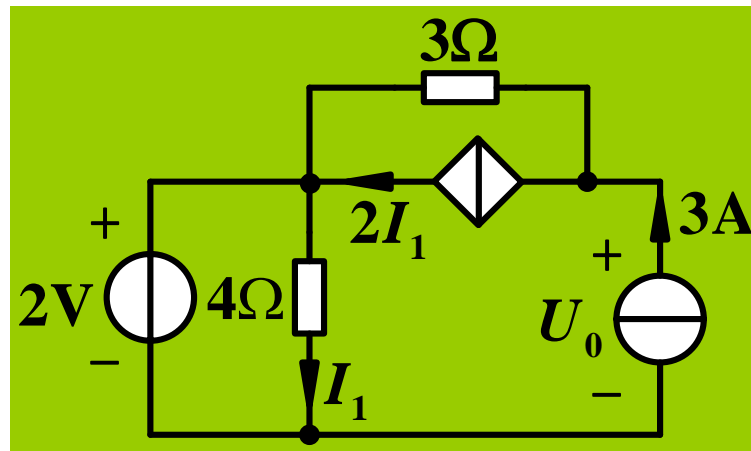
$$U''_0 = 3 \times 3 = 9\text{V}$$

(3) 共同作用

$$\begin{aligned} U_0 &= U'_0 + U''_0 \\ &= -1 + 9 = 8\text{V} \end{aligned}$$

(4) 电流源提供的功率

$$\begin{aligned} P &= 3U_0 \\ &= 3 \times 8 = 24\text{W} \end{aligned}$$



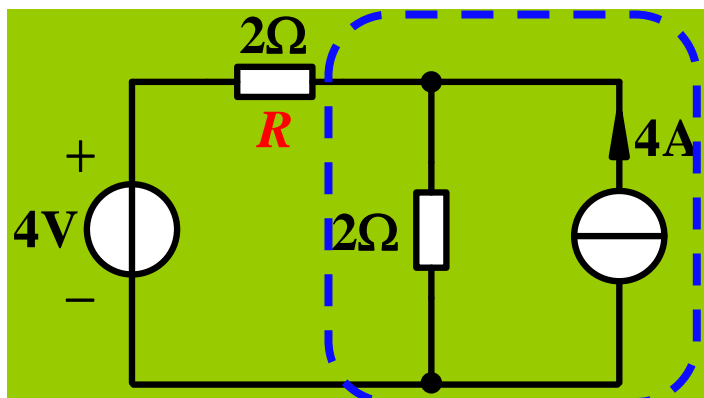
控制量随独立电源的不同而相应改变



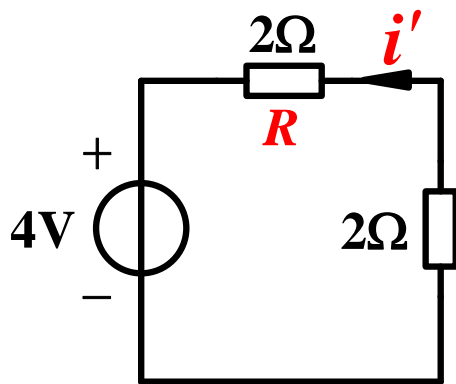
## § 4.1 叠加定理和齐性定理——叠加定理

### 3. 问题思考

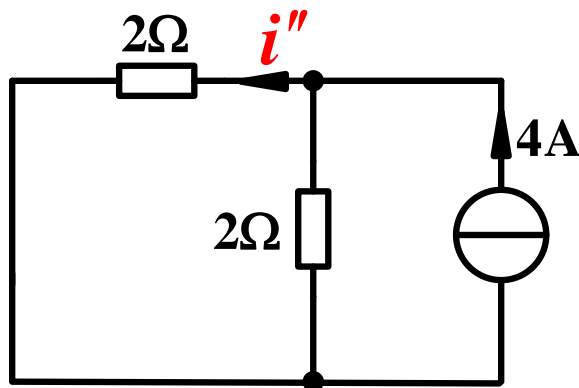
(b) 利用叠加定理可以直接用于求解功率吗？



【例】求解电阻 $R$ 吸收的功率。  
利用电源等效变换



$$i' = -1\text{A} \quad P' = 2\text{W}$$



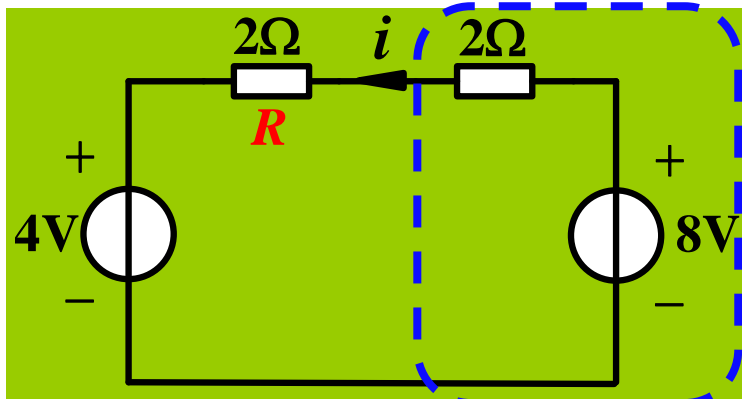
$$i'' = 2\text{A} \quad P'' = 8\text{W}$$

$$P' + P'' = 2 + 8 = 10\text{W}$$

## § 4.1 叠加定理和齐性定理——叠加定理

### 3. 问题思考

(b) 利用叠加定理可以直接用于求解功率吗？

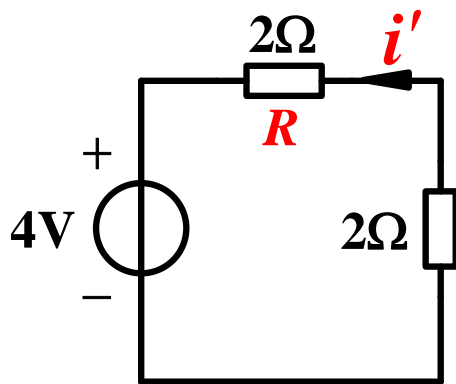


【例】求解电阻 $R$ 吸收的功率。

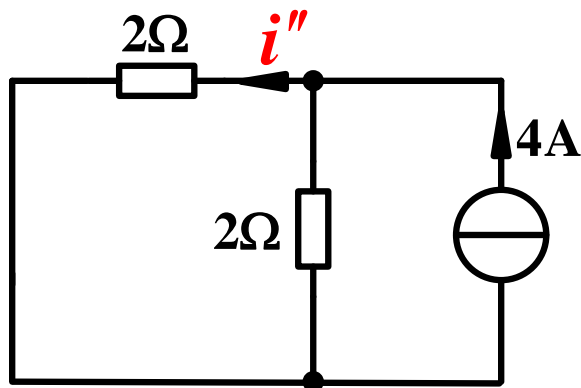
利用电源等效变换

$$i = \frac{8-4}{2+2} = 1\text{A}$$

$$P_{\text{吸收}} = Ri^2 = 2\text{W}$$



$$i' = -1\text{A} \quad P' = 2\text{W}$$



$$i'' = 2\text{A} \quad P'' = 8\text{W}$$

$$P' + P'' \neq P_{\text{吸收}}$$

$$P' + P'' = 2 + 8 = 10\text{W}$$

## § 4.1 叠加定理和齐性定理——叠加定理

### 3. 问题思考

(b) 利用叠加定理可以直接用于求解功率吗



一般情况下，不能用叠加定理直接求解功率。

功率为电压和电流的乘积，为电压或电流的二次函数

$$\begin{aligned} P &= Ri^2 = R(i' + i'')^2 \\ &= R(i'^2 + 2i'i'' + i''^2) \neq Ri'^2 + Ri''^2 \end{aligned}$$

从数学本质上如何解释？



## § 4.1 叠加定理和齐性定理—叠加定理



### 4. 注意事项

- (1) 叠加定理只适用于**线性电路**；
- (2) 应用叠加定理时，除独立源外，电路中其它元件及电路结构保持不变；
- (3) 独立电源的**置零处理**；电压源用短路代替，电流源用开路代替
- (4) 叠加时要注意响应的**各分量**和**总响应**的**参考方向**；
- (5) 含受控源(线性)电路亦可用叠加，但受控源应始终保留，**控制量随独立电源的不同而相应改变**；
- (6) 一般情况下功率**不能**采用叠加定理求取；
- (7) 应用叠加定理时，独立电源可“**分组作用**”。

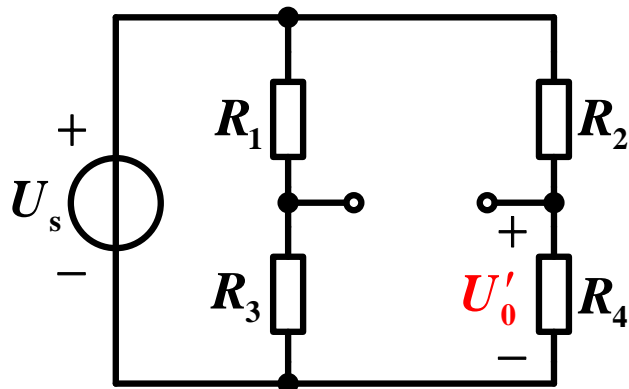


## § 4.1 叠加定理和齐性定理—叠加定理

【例】用叠加定理求图所示电路中的电压 $U_0$ 。

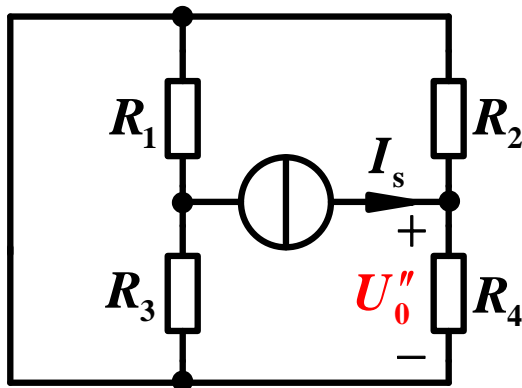
解：

1) 电压源单独作用



$$U'_0 = \frac{R_4}{R_2 + R_4} U_s$$

2) 电流源单独作用



$$U''_0 = \frac{R_2 R_4}{R_4 + R_2} I_s$$

3) 应用叠加定理

$$\begin{aligned} U_0 &= U'_0 + U''_0 \\ &= \frac{R_4}{R_2 + R_4} U_s + \frac{R_2 R_4}{R_4 + R_2} I_s \end{aligned}$$

