

# 第 1 章 直流电路

**1.1 电路的作用和组成**

**1.2 电路的基本物理量**

**1.3 电路的状态**

**1.4 电路中的参考方向**

**1.5 理想电路元件**

**1.6 基尔霍夫定律**

☆ **1.7 支路电流法**

☆ **1.8 叠加定理**

☆ **1.9 等效电源定理**

# 1.1 电路的作用和组成

## 一、什么是电路

电路就是电流流通的路径。

是由某些元、器件为完成一定功能、按一定方式组合后的总称。

## 二、电路的作用

一是实现能量的输送和转换。

二是实现信号的传递和处理。

## 三、电路的组成

电源+负载+导线等

内电路、外电路？  
有源，无源？  
直流，交流电路？  
电路、网络、系统？

## 1.2 电路的基本物理量

1. 电流  $i = \frac{dq}{dt}$  电流的实际方向：规定为正电荷运动的方向。
2. 电位 对参考点而言。
3. 电压 电压就是两点之间电位差。
4. 电动势 由低电位指向高电位。
5. 电功率 单位时间内所转换的电能
6. 电能 在时间  $t$  内转换的电功率称为电能

**每个物理量的符号，单位！**

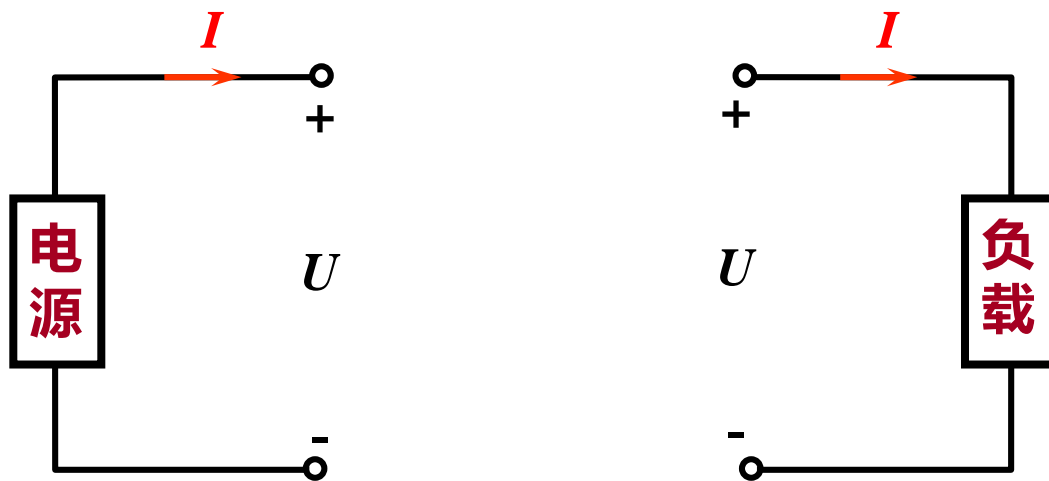
## 1.3 电路的状态

一、通路 二、开路 三、短路

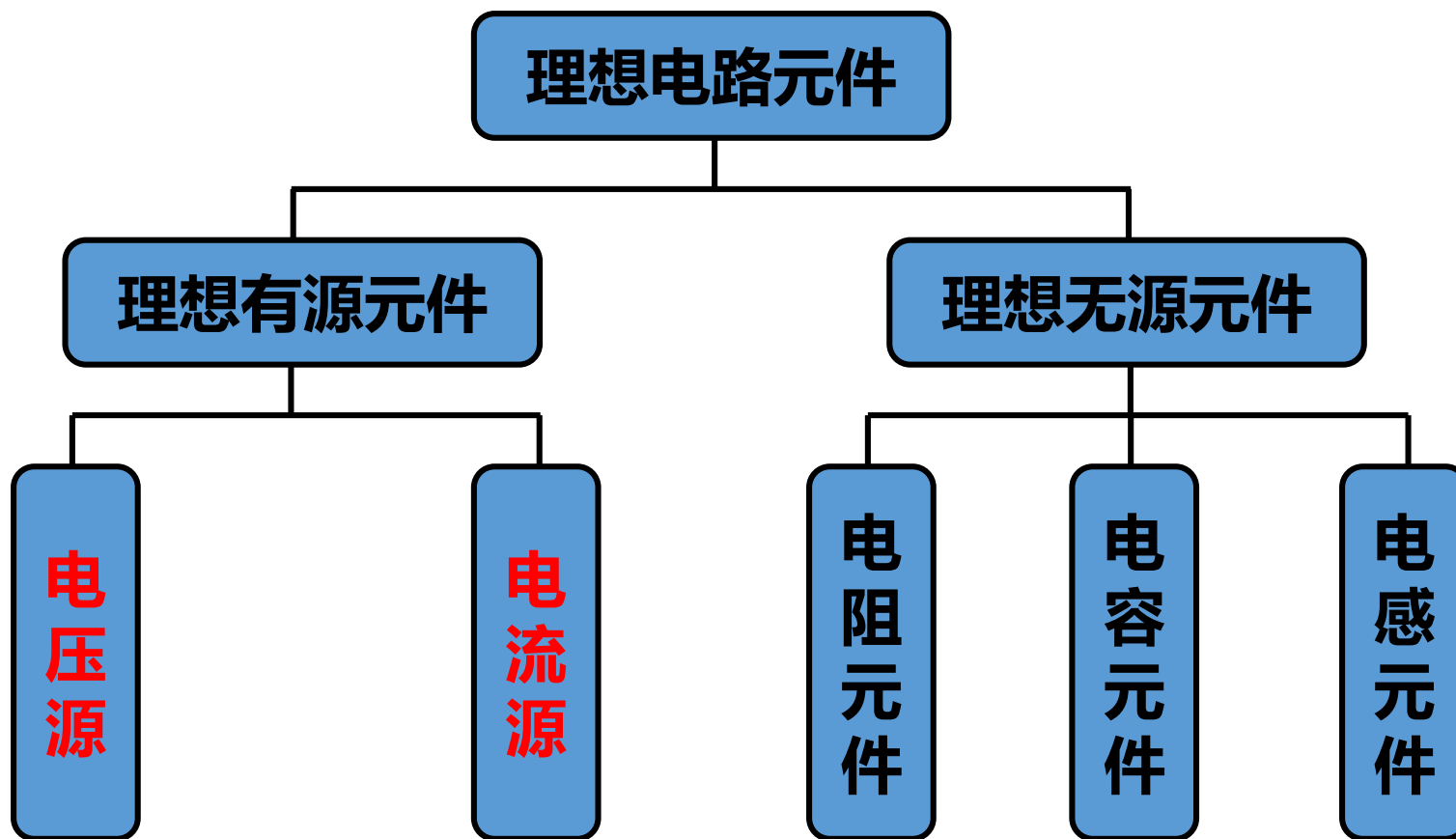
## 1.4 电路中的参考方向

原则上参考方向可任意选择。

在分析某一个电路元件的电压与电流的关系时，需要将它们联系起来选择，这样设定的参考方向称为**关联参考方向**。



## 1.5 理想电路元件



## 1.6 基尔霍夫定律

### 一、基尔霍夫电流定律 (KCL)

**结点**

**闭合面 —— 广义结点**

**形式1：流入任一结点的  
电流之和等于流出该结点  
的电流之和。**

**形式2：在电路的任何一个  
结点上，同一瞬间  
电流的代数和为零。**

## 二、基尔霍夫电压定律 (KVL)

### 回路

1. 由于电位的单值性, 从 a 点出发沿回路环行一周又回到 a 点, 电位的变化应为零。
2. 在电路的任何一个回路中, 沿同一方向循行, 同一瞬间电压的代数和为零。

### 网孔

3. 基尔霍夫电压定律不仅适用于电路中任一闭合的回路, 而且还可以推广应用于任何一个假想闭合的一段电路
4. 电位升=电位降

## 1.7 支路电流法

### ● 支路电流法解题的一般步骤

(1) 确定支路数，选择各支路电流的参考方向。

(2) 确定结点数，列出独立的结点电流方程式。



$n$  个结点只能列出  $n - 1$  个独立的结点方程式。

(3) 确定余下所需的方程式数，列出独立的回路电压方程式。



全部的网孔

(4) 解联立方程式，求解。



## 1.8 叠加定理

- **叠加定理**是分析**线性电路**最基本的方法之一。

在含有多个有源元件的线性电路中，任一支路的电流和电压等于电路中各个有源元件分别**单独作用**时在该支路产生的电流和电压的**代数和**。

## ● 应用叠加定理时要注意：

(1) 在考虑某一有源元件单独作用时，应令其他有源元件中的  $U_S = 0$ ， $I_S = 0$ 。即应将其他电压源代之以短路，将其他电流源代之以开路。

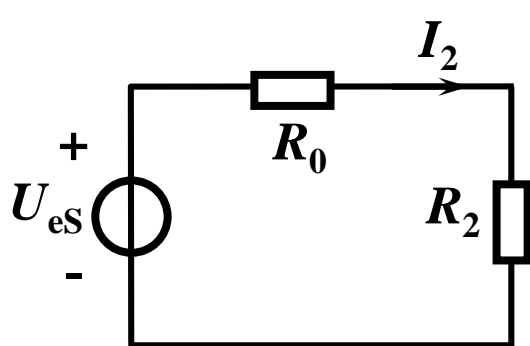
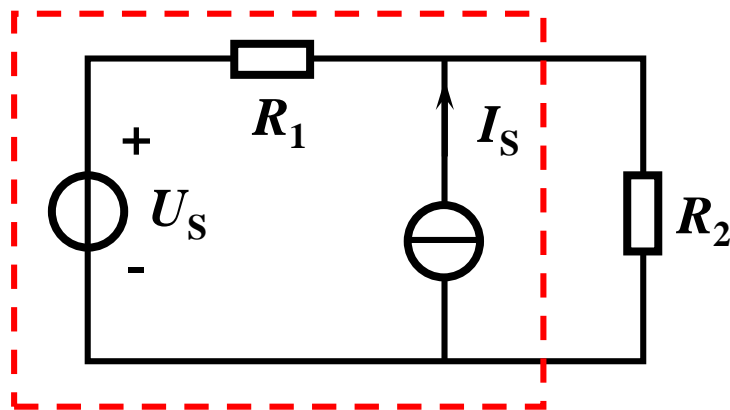
(2) 最后叠加时，一定要注意各个有源元件单独作用时的电流和电压分量的参考方向是否与总电流和电压的参考方向一致，一致时前面取正号，不一致时前面取负号。

(3) 叠加定理只适用于线性电路。

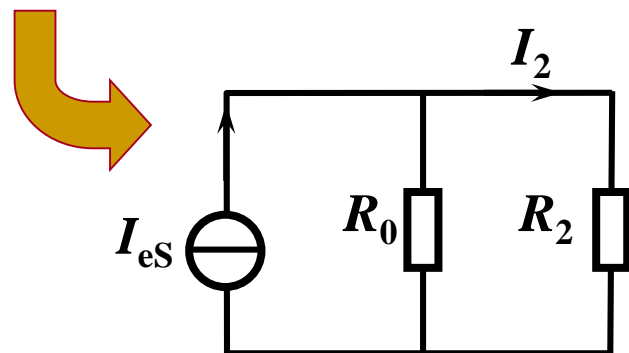
(4) 叠加定理只能用来分析和计算电流和电压，不能用来计算功率。

## 1.9 等效电源定理

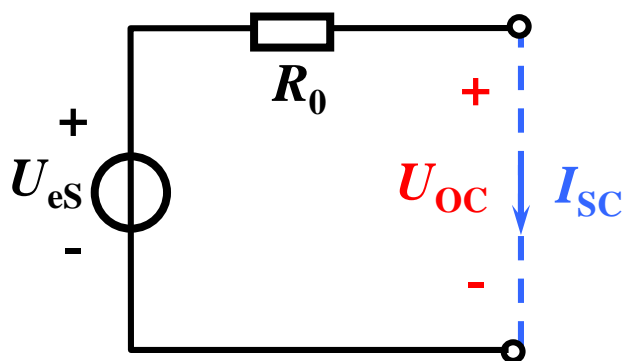
**等效电源定理**是将有源二端网络用一个等效电源代替的定理。



用戴维宁定理  
简化的电路



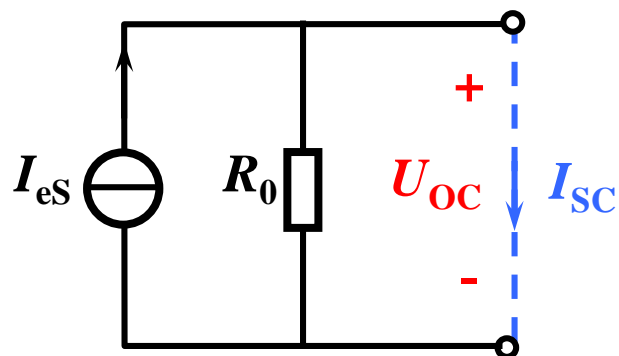
用诺顿定理  
简化的电路



戴维宁等效电源

$$U_{eS} = U_{OC}$$

$$R_0 = \frac{U_{eS}}{I_{SC}} = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

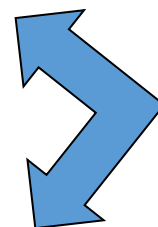


诺顿等效电源

$$I_{eS} = I_{SC}$$

$$R_0 = \frac{U_{eS}}{I_{SC}} = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

变换时内电阻  $R_0$  不变,  
 $I_{eS}$  方向应由  $U_{eS}$  的负  
 极流向正极。



$$I_{eS} = \frac{U_{eS}}{R_0}$$

# 第 2 章 电路的瞬态分析

2.1 瞬态分析的基本概念

2.2 储能元件

2.3 换路定律

2.4  $RC$  电路的瞬态分析

2.5  $RL$  电路的瞬态分析

☆ 2.6 一阶电路瞬态分析的三要素法

## 2.1 瞬态分析的基本概念

### 一、稳态和瞬态

### 二、激励和响应

**在线性电路中：全响应 = 零输入响应 + 零状态响应**

## 2.2 储能元件

### 一、电容

$$i = C \frac{du}{dt} \quad W_e = \frac{1}{2} CU^2$$

**电容的电压  $u$  不可能发生突变**

$$\text{串联时} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{并联时} \quad C = C_1 + C_2$$

### 二、电感

$$u = L \frac{di}{dt} \quad W_L = \frac{1}{2} LI^2$$

**电感的电流  $i$  不可能发生突变**

$$\text{串联时} \quad L = L_1 + L_2 \quad \text{并联时} \quad \frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

## 2.3 换路定律

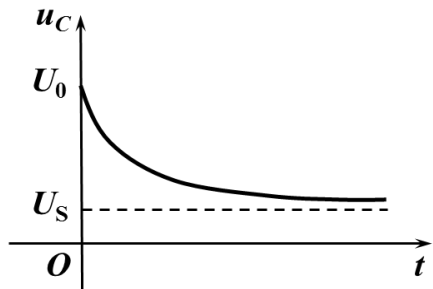
电容电压和电感电流在换路后的初始值应等于换路前的终了值。

$$\left. \begin{aligned} u_C(0_+) &= u_C(0_-) \\ i_L(0_+) &= i_L(0_-) \end{aligned} \right\}$$

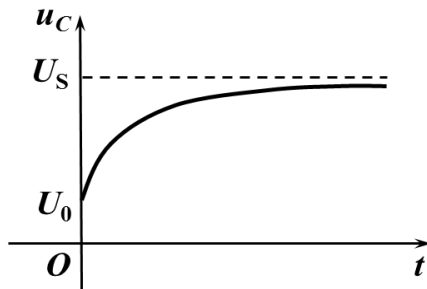


## 2.4 RC 电路的瞬态分析

当  $U_0 > U_S$  ,  
电容放电



当  $U_0 < U_S$  ,  
电容充电



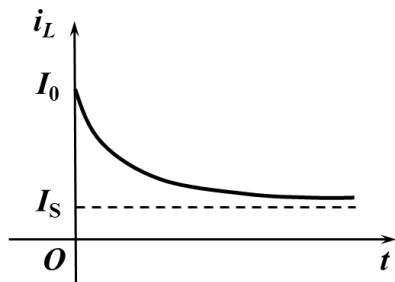
$$u_C = U_S + (U_0 - U_S) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = RC$$

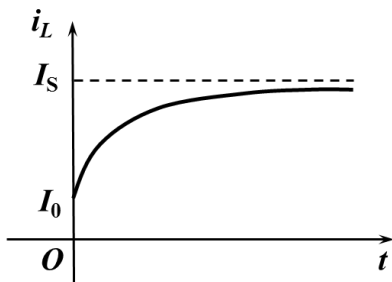
时间常数

## 2.5 RL 电路的瞬态分析

当  $I_0 > I_S$



当  $I_0 < I_S$



$$i_L = I_S + (I_0 - I_S) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = L/R$$

## 2.6 一阶电路瞬态分析的三要素法

$$f(t) = f(\infty) + [f(0) - f(\infty)] e^{-\frac{t}{\tau}}$$

待求响应

待求响应的  
初始值

待求响应的  
稳态值

电路的  
时间常数

$f(0)$ 、 $f(\infty)$  和  $\tau$  是确定任何一个一阶电路阶跃响应的三要素。

$$f(t) = f(\infty) + [f(0) - f(\infty)] e^{-\frac{t}{\tau}}$$

三要素法

# 第 3 章 交流电路

**3.1 正弦交流电的基本概念**

**3.2 正弦交流电的相量表示法**

**3.3 单一参数交流电路**

☆ **3.4 串联交流电路**

☆ **3.5 并联交流电路**

**3.6 交流电路的功率**

**3.7 电路的功率因数**

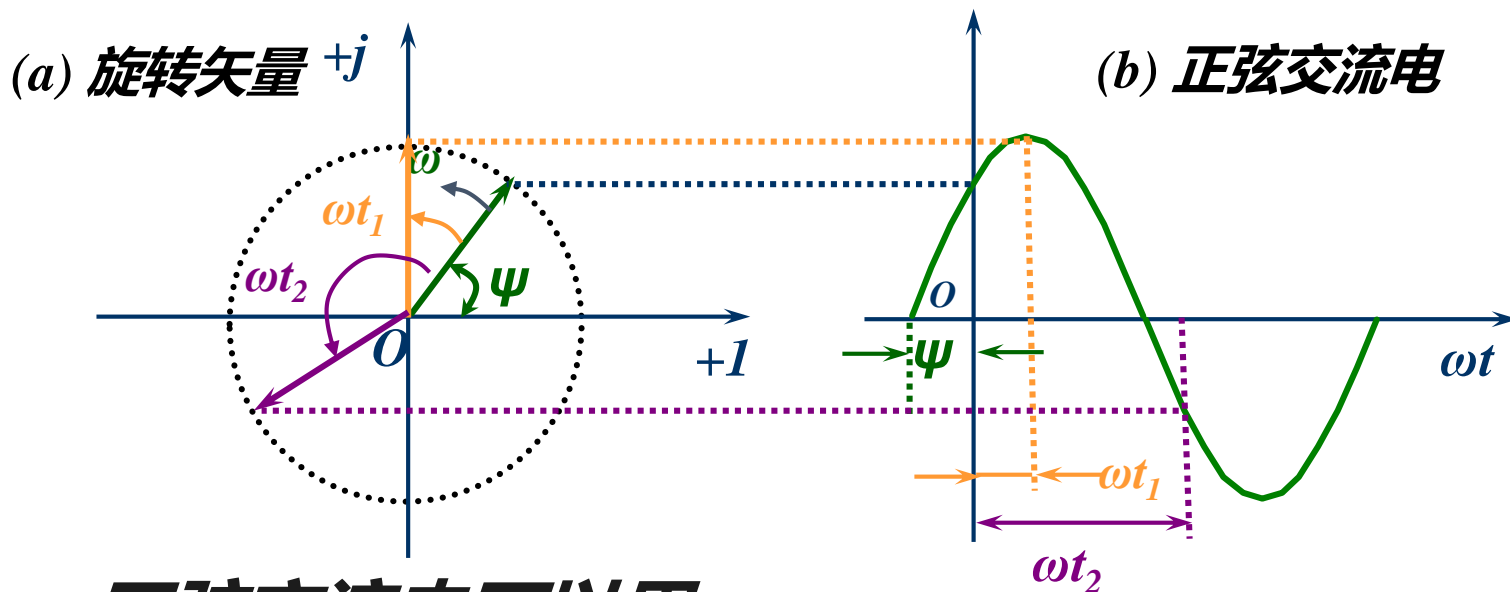
## 3.1 正弦交流电的基本概念

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi)$$

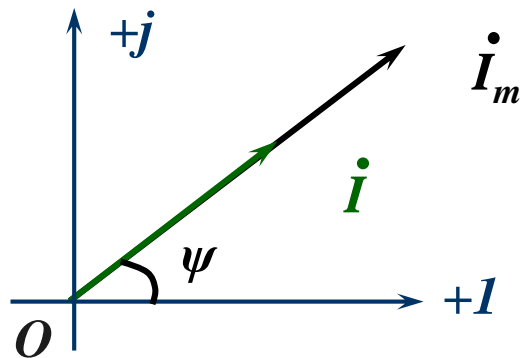
周期 $T$  频率 $f$  角频率 $\omega$

交流电瞬时值、最大值、有效值

## 3.2 正弦交流电的相量表示法

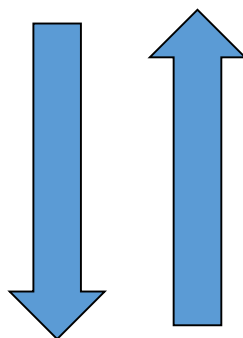


- 正弦交流电可以用一个**固定矢量**表示
- **最大值相量**  $\dot{I}_m$
- **有效值相量**  $\dot{I}$



**交流量**  $i = I_m \sin(\omega t + \psi)$

**相量 (最大值)**



$$= I_m \cos\psi + j I_m \sin\psi$$

**代数式**

$$= I_m (\cos\psi + j \sin\psi)$$

**三角式**

$$= I_m e^{j\psi}$$

**指数式**

$$= I_m \underline{\angle\psi}$$

**极坐标式**

### 3.3 单一参数交流电路

**电阻:**  $U = R I$   $\dot{U} = R \dot{I}$

**容抗:**  $X_C = \frac{1}{\omega C}$   $U = X_C I$   $\dot{U} = -j X_C \dot{I}$

$$P = 0 \quad Q = U I = X_C I^2 = \frac{U^2}{X_C} \text{ (var)}$$

**感抗:**  $X_L = \omega L = U / I$   $U = X_L I$   $\dot{U} = j X_L \dot{I}$

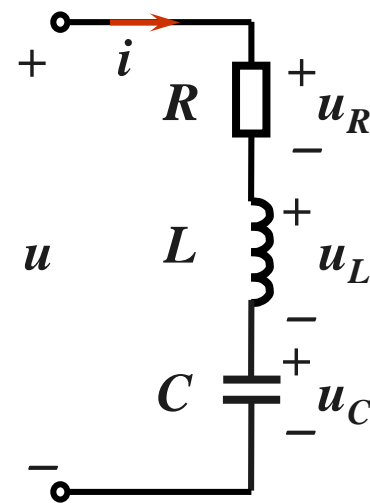
$$P = 0 \quad Q = U I = X_L I^2 = \frac{U^2}{X_L} \text{ (var)}$$

## 3.4 /3.5 串联/并联交流电路

$$Z = R + j(X_L - X_C) \quad \text{复数阻抗: } Z$$

$$= R + jX \quad \text{电阻} + j \text{电抗}$$

$$= \sqrt{R^2 + X^2} / \arctan(X / R)$$



$$\begin{aligned} \text{阻抗: } |Z| &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ &= \frac{U}{I} \end{aligned}$$

$$\text{串联 } Z = Z_1 + Z_2$$

$$\begin{aligned} \text{阻抗角: } \varphi &= \arctan(X / R) \\ &= \psi_u - \psi_i \end{aligned}$$

$$\text{并联 } Z = Z_1 // Z_2$$



## 3.6 交流电路的功率

### 一、瞬时功率

$$p = u i$$

### 三、无功功率

$$Q = U I \sin \varphi$$

### 二、有功功率

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_0 dt = U I \cos \varphi$$

### 四、视在功率

$$S = U I \text{ (V}\cdot\text{A)}$$

$$= \sqrt{P^2 + Q^2}$$

## 3.7 电路的功率因数

### 一、什么是功率因数

有功功率与视在功率的比值

$$\frac{P}{S} = \cos \varphi$$

功率因数

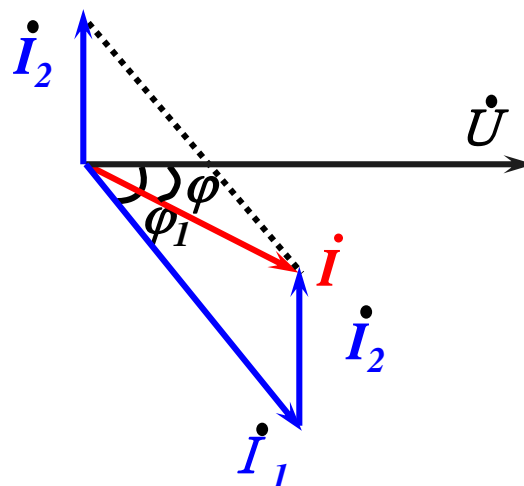
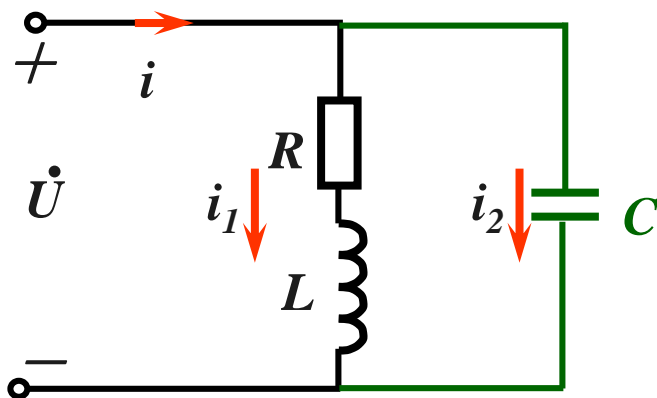
功率因数角

$$\varphi = \arctan \frac{X}{R}$$

# 功率因数补偿

$\varphi_1$  : 补偿前

$\varphi$  : 补偿后



$$C = \frac{P}{\omega U^2} ( \tan \varphi_1 - \tan \varphi )$$

# 第4章 供电与用电

☆ 4.1 三相电源

☆ 4.2 三相负载

4.3 三相功率

4.4 电力系统

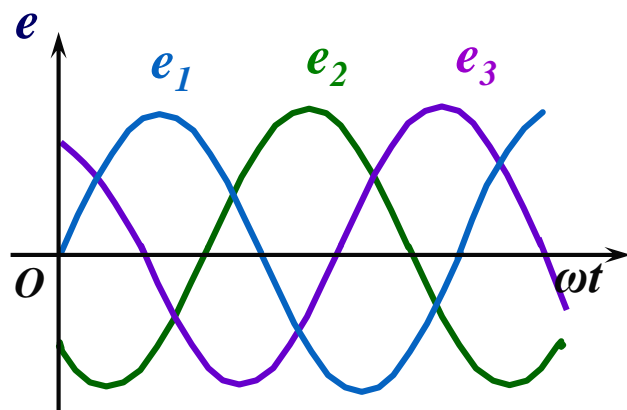
4.5 触电事故

4.6 触电防护

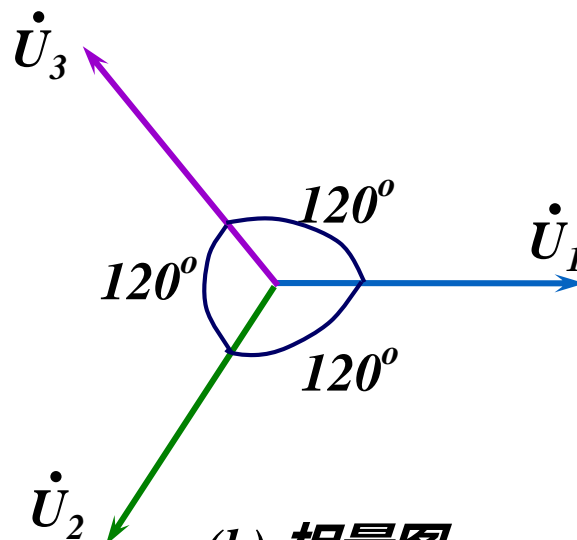
4.7 静电防护

## 4.1 三相电源

### 三相交流电动势的表达式



(a) 波形图



(b) 相量图

$$e_1 = E_m \sin \omega t$$

$$e_2 = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$

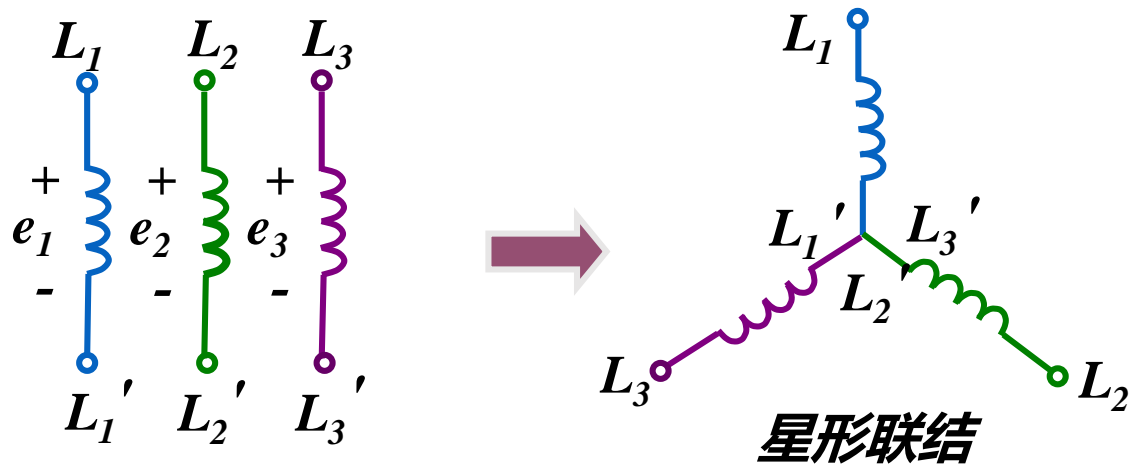
$$\begin{aligned} e_3 &= E_m \sin (\omega t - 240^\circ) \\ &= E_m \sin (\omega t + 120^\circ) \end{aligned}$$

$$\dot{E}_1 = E \angle 0^\circ$$

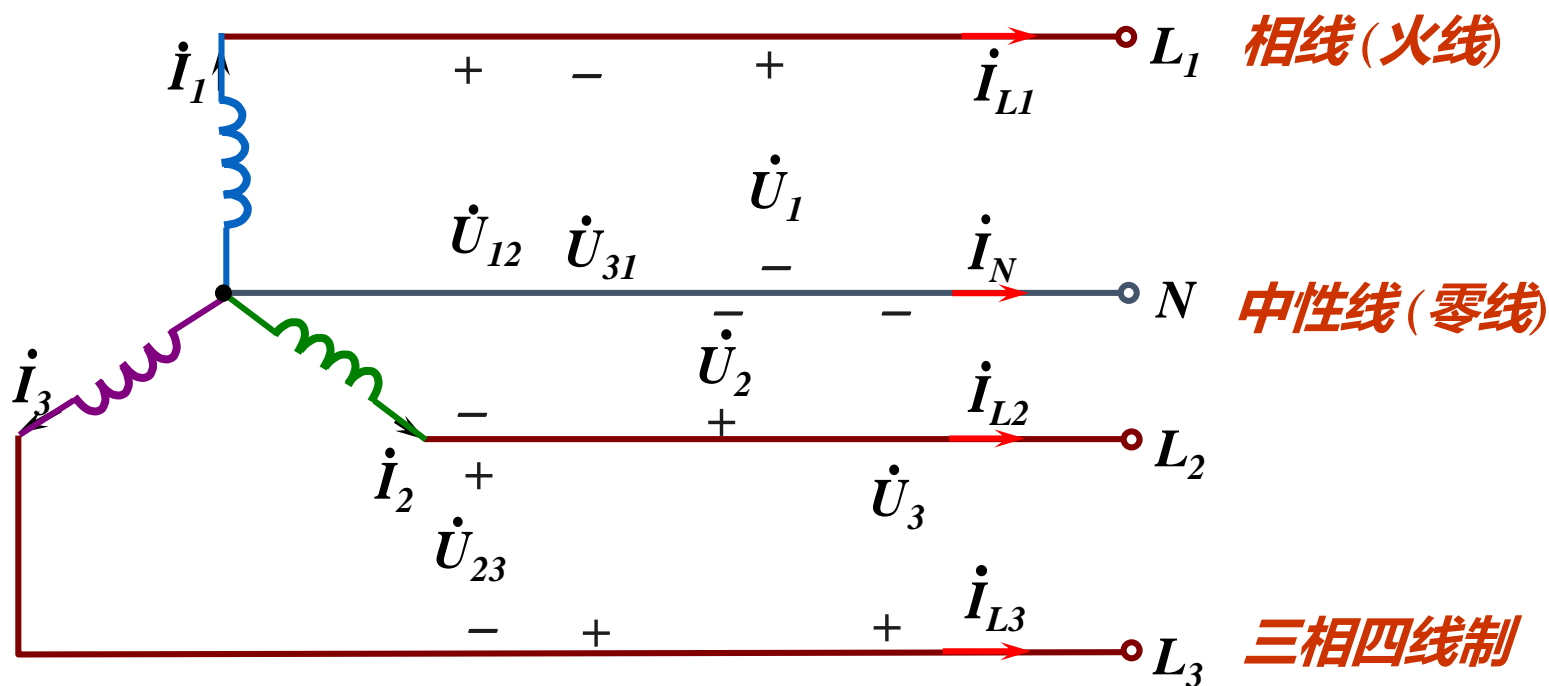
$$\dot{E}_2 = E \angle -120^\circ$$

$$\dot{E}_2 = E \angle 120^\circ$$

# 三相电源的星形联结



- 发电机三相绕组通常将三个末端接在一起。
- 三个绕组末端的连接点称为**中性点** ( $N$ )。
- 三个首端 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 称为**端点**。
- 由中性点 $N$ 引出的供电线称为**中性线**或**零线**。
- 由三个首端引出的供电线称为**相线**或**火线**。



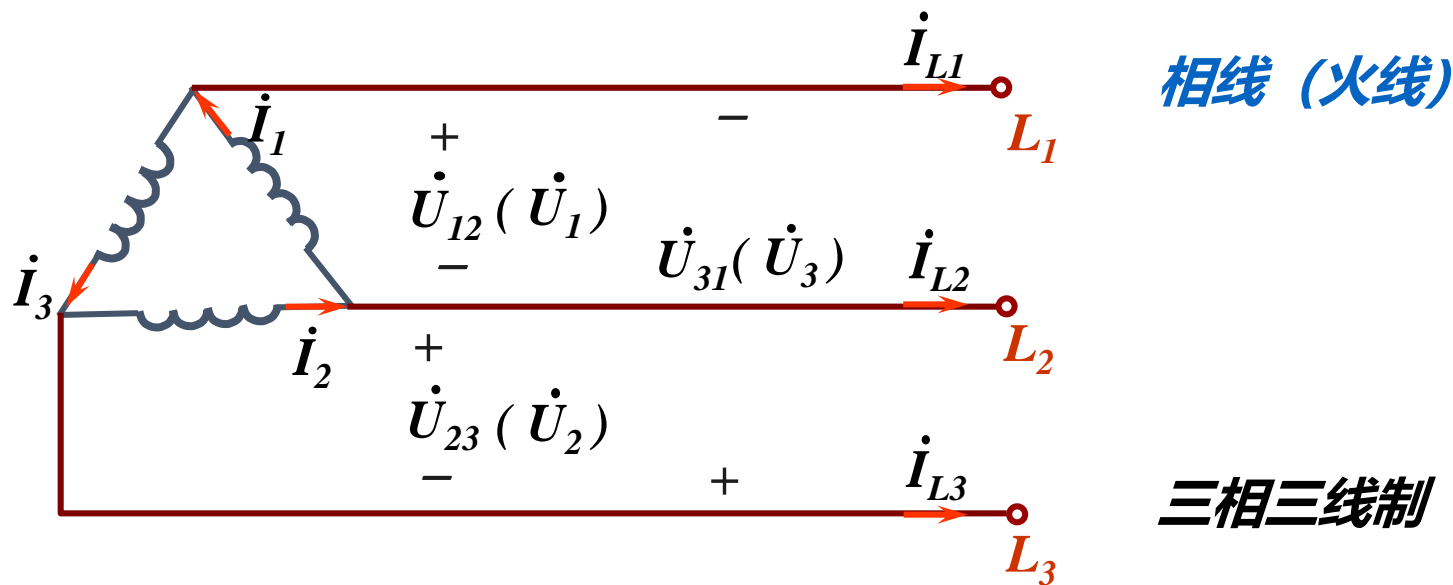
## 1. 线电流与相电流的有效值关系

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{L1} \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{L2} \quad \dot{I}_3 = \dot{I}_{L3} \quad I_L = I_P$$

## 2. 线电压与相电压的有效值关系

$$\dot{U}_{12} \neq \dot{U}_1 \quad \dot{U}_{23} \neq \dot{U}_2 \quad \dot{U}_{31} \neq \dot{U}_3 \quad U_L = \sqrt{3} U_P$$

# 三相电源的三角形联结



## 1. 线电压与相电压的有效值关系

$$\dot{U}_{12} = \dot{U}_1 \quad \dot{U}_{23} = \dot{U}_2 \quad \dot{U}_{31} = \dot{U}_3 \quad U_L = U_P$$

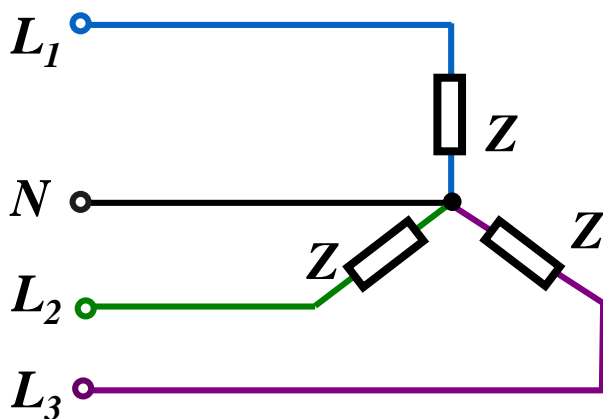
## 2. 线电流与相电流的有效值关系

$$\dot{i}_{L1} = \dot{i}_1 - \dot{i}_3 \quad \dot{i}_{L2} = \dot{i}_2 - \dot{i}_1 \quad \dot{i}_{L3} = \dot{i}_3 - \dot{i}_2 \quad I_L = \sqrt{3} I_P$$

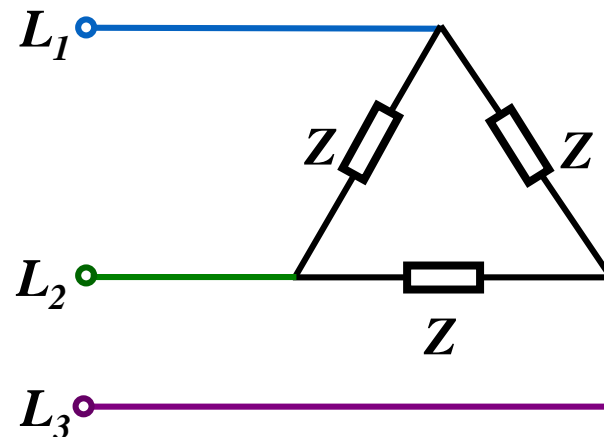


## 4.2 三相负载

### ● 三相负载也有两种接法:



星形联结

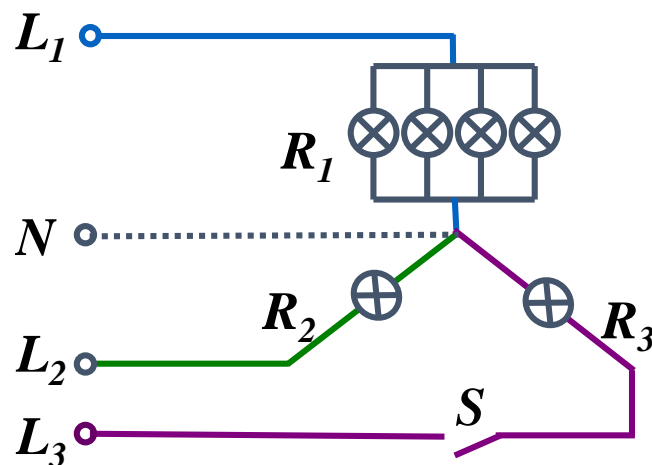


三角形联结

- 具体采用何种接法, 应根据电源电压和负载额定电压的大小来决定。
- 原则上应使负载的实际电压等于其额定相电压。

**三相负载不对称而又没有中性线时，三相负载的相电压不会对称，导致有的相电压超过负载的额定相电压，有的低于额定相电压，致使负载不能正常工作，甚至损坏。**

**因此，在三相四相制电路中，中性线不允许断开，也不允许安装熔断器等短路或过电流保护装置。**



## 4.3 三相功率

### 一、三相功率的计算

三相总有功功率

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

三相总无功功率

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

三相总视在功率

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

### ● 三相对称负载功率表达式

\* 相电压、相电流：

$$P = 3 U_P I_P \cos \varphi$$

$$Q = 3 U_P I_P \sin \varphi$$

$$S = 3 U_P I_P$$

\* 线电压、线电流：

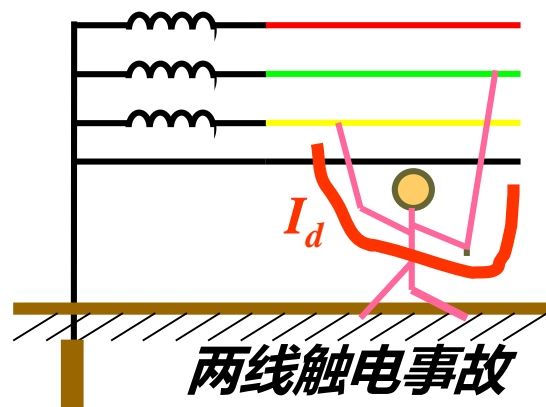
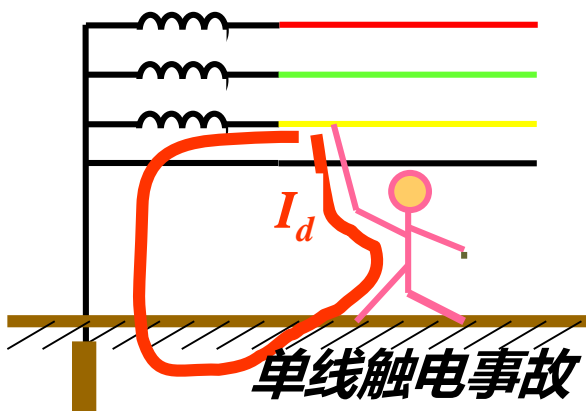
$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi$$

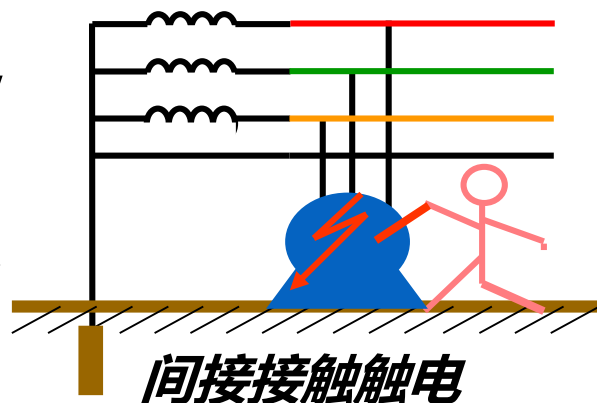
$$S = \sqrt{3} U_L I_L$$

## 4.5 触电事故

### 1. 直接接触电 { 单线触电事故 两线触电事故



### 2. 间接接触触电 人体接触到正常情况下 不带电、仅在事故情况 下才会带电的部分而发 生的触电事故。



## 4.6 触电防护

一、安全电压 二、保护接地和保护接零 三、漏电开关

## 4.7 静电防护

### 静电的形成

摩擦起电、破断起电、感应起电。

### 静电的应用

静电除尘、静电复印、静电喷漆、静电选矿、静电植绒等。

### 静电的危害

影响生产、危及人身安全、引起火灾和爆炸。

### 静电的防护

限制静电的产生  
防止静电的积累  
控制危险的环境

## 4.8 电气防火和防爆

### 预防措施