

# 第12章 三相电路

## ●重点

### 1.三相电路的基本概念

对称三相电路中电压(电流)和  
相电压(电流)的关系

### 2.熟练掌握对称三相电路的分析

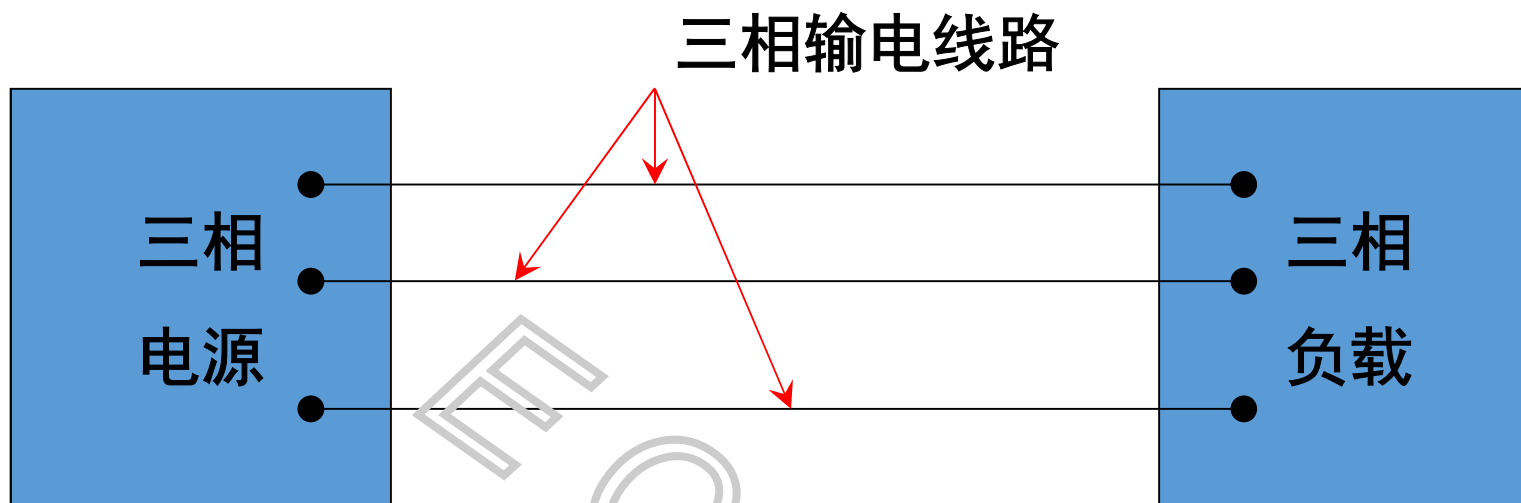
对称三相电路归结为一相的计算方法

### 3.不对称三相电路的概念

## § 12-1 三相电路

三相电路实际上是一种特殊的交流电路。正弦交流电路的分析方法对三相电路完全适用。由于三相电路的对称性，可采用一相电路分析，以简化计算。

目前，世界各国的电力系统所采用的供电方式绝大多数属于三相制，日常用电是取自三相制中的一相。



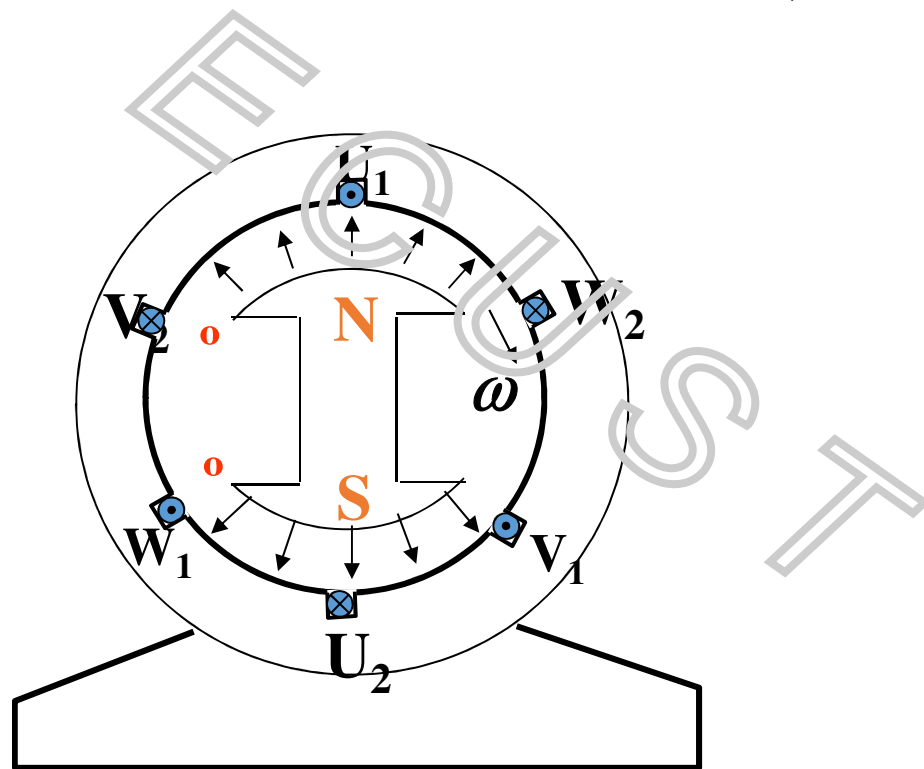
**对称三相电路：**由对称三相电源、对称三相负载和三相输电线路（线路阻抗相等）三部分组成。

**对称三相电源：**三个幅值相等、频率相同、相位互差 $120^\circ$ 的正弦交流电源按一定方式联接而构成的一个整体的激励电源。

**对称三相负载(均衡三相负载)：**三个相同负载(负载阻抗模相等，阻抗角相同)以一定方式联接而构成的一个整体的负载。

## 一、对称三相电源的产生

三相平衡绕组在空间互差 $120^\circ$ ，在外动力作用下转子转动，在三相绕组中产生感应电压，从而形成对称三相电源。



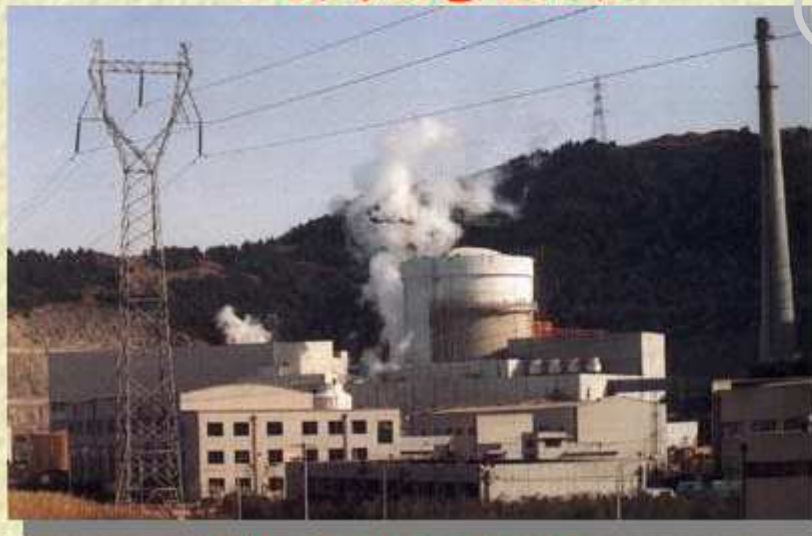
三相发电机示意图



火力发电站



水力发电站

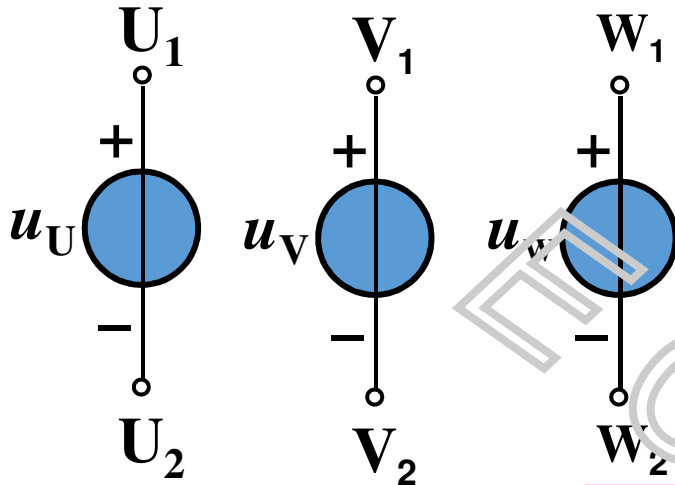


秦山核电站



发电机组

## 1. 瞬时值表达式

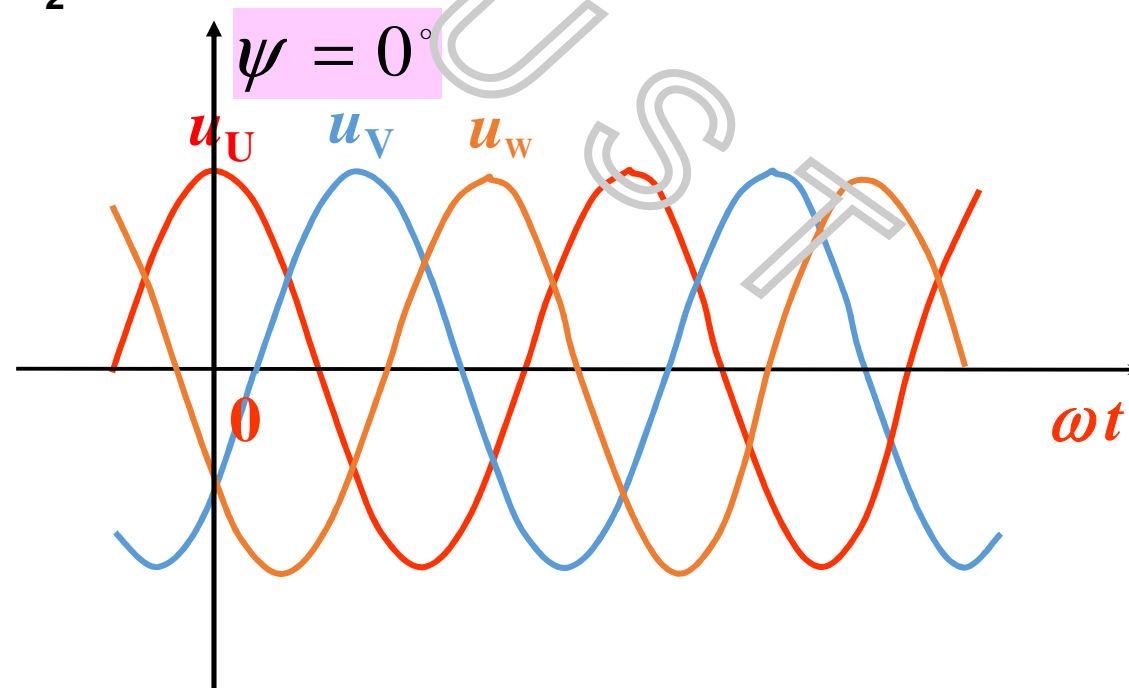


$$u_U(t) = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \psi)$$

$$u_V(t) = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \psi - 120^\circ)$$

$$u_W(t) = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \psi + 120^\circ)$$

## 2. 波形图



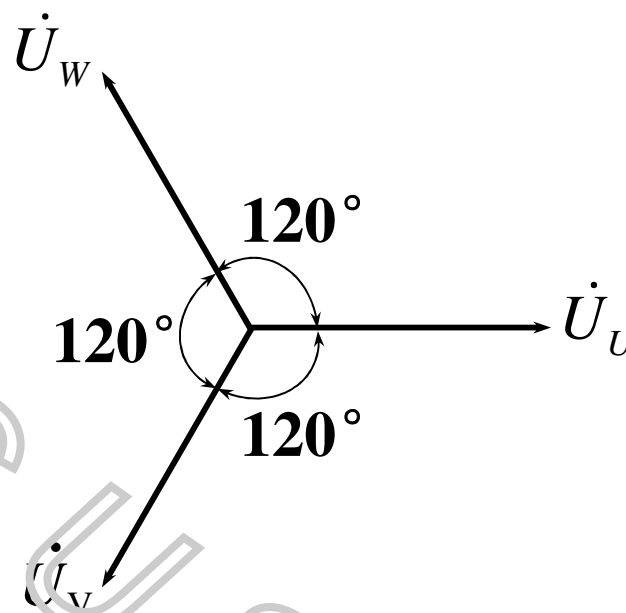
### 3. 相量表示

$$\dot{U}_U = U \angle 0^\circ$$

$$\dot{U}_V = U \angle -120^\circ$$

$$\dot{U}_W = U \angle 120^\circ$$

$$(\psi = 0)$$



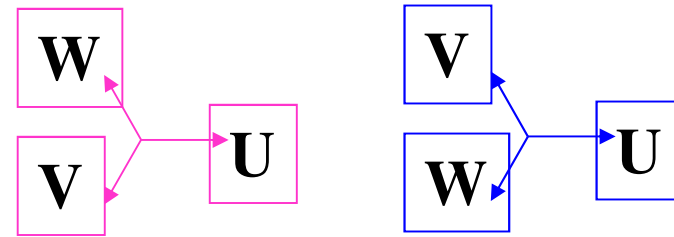
### 4. 对称三相电源的特点

$$\left\{ \begin{array}{l} u_U + u_V + u_W = 0 \\ \dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W = 0 \end{array} \right.$$

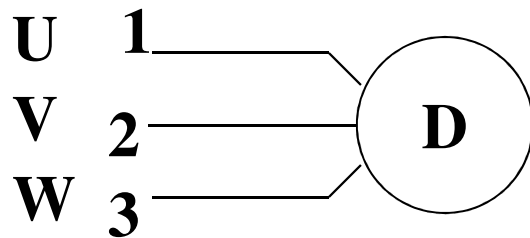
5. 对称三相电源的**相序**：三相电源中各相电源经过同一值  
(如最大值)的先后顺序

正序(顺序)：U—V—W—U

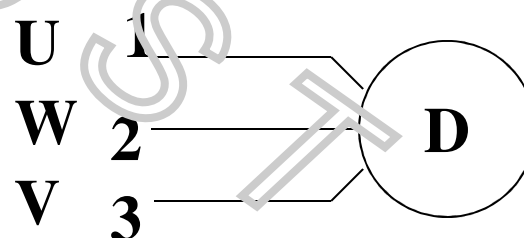
负序(逆序)：U—W—V—U



相序的**实际意义**：对三相电动机，如果相序反了，就会反转。



正转



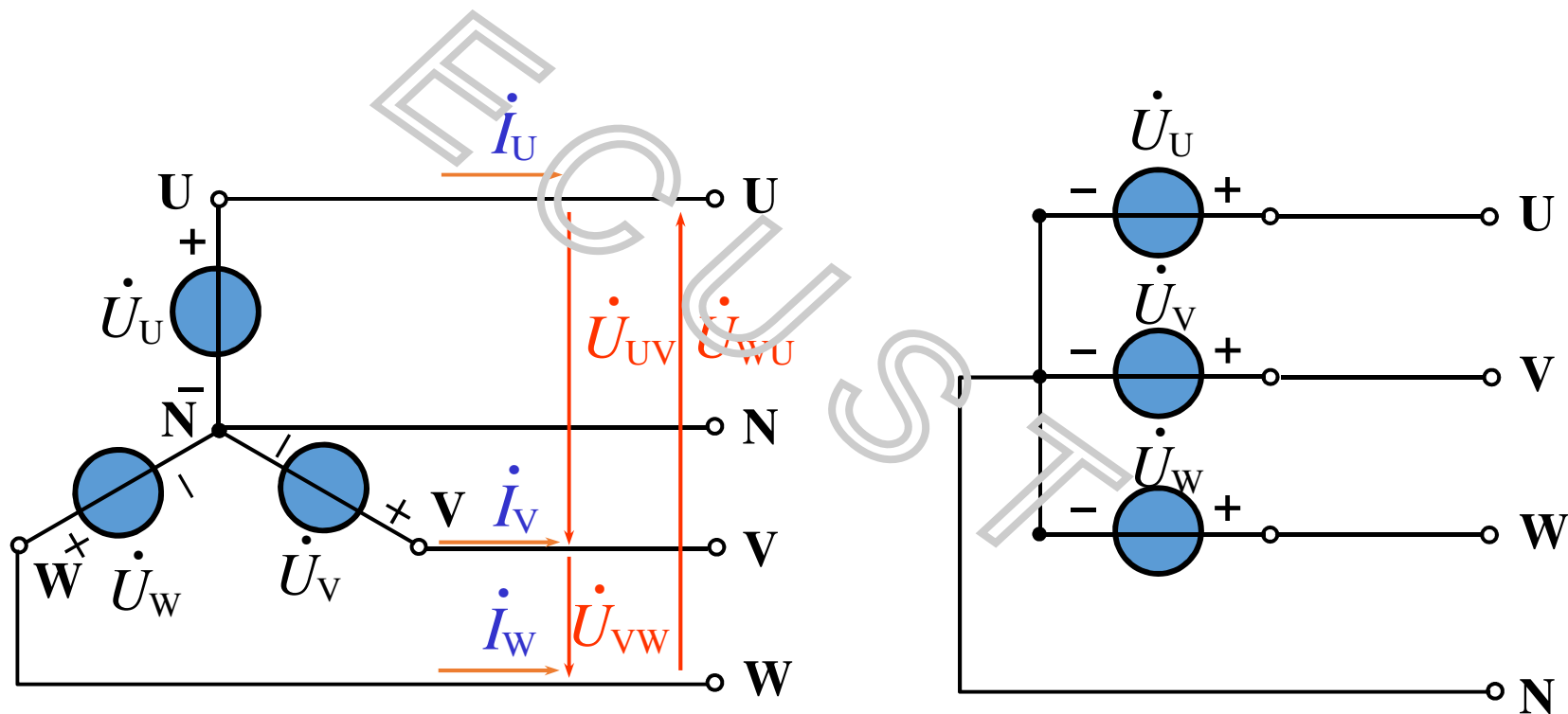
反转

以后如果不加说明，一般都认为是正相序。



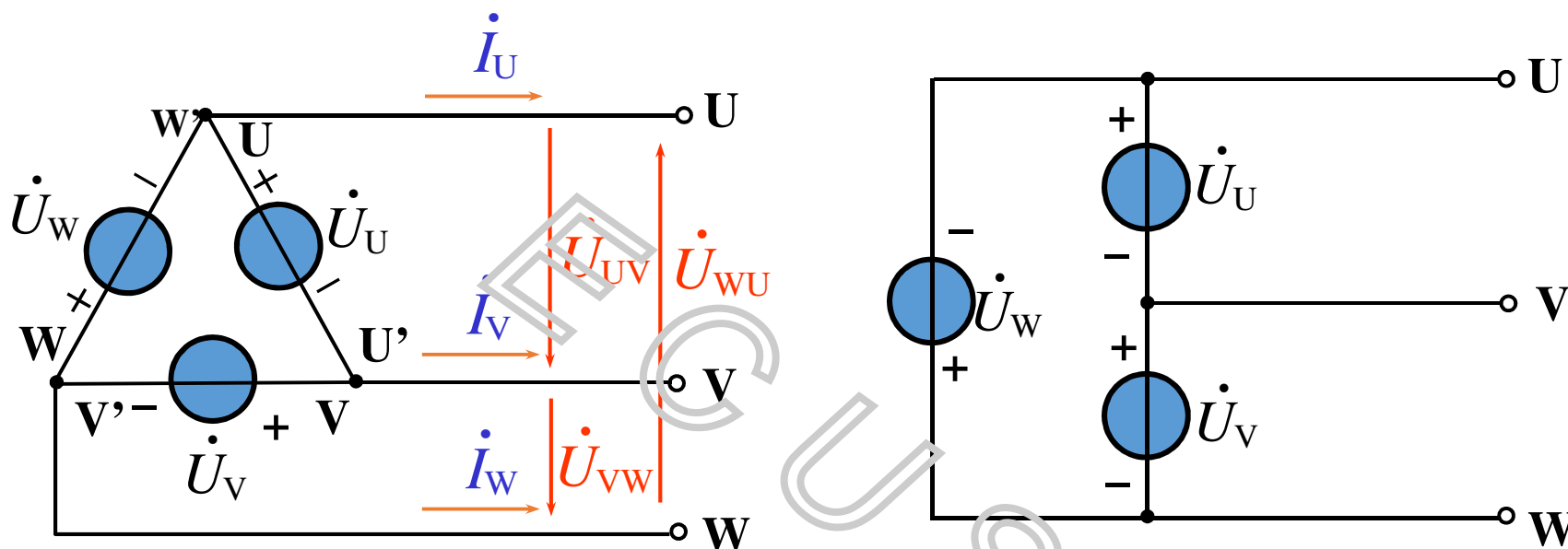
## 二、对称三相电源的联接

1. 星形联接(Y接): 把三个绕组的末端  $U_2, V_2, W_2$  接在一起, 把始端  $U, V, W$  引出来。



$U_2, V_2, W_2$  接在一起的点称为Y联接对称三相电源的中性点, 用N表示。

2. 三角形联接( $\Delta$  接): 三个绕组始末端分别对应相接。



三角形联接的对称三相电源没有中点。

## 名词介绍

① 端线(火线): U, V, W 三端引出线。

② 中线: 中性点N引出线(接地时称地线),  $\Delta$ 接无中线。

③ 线电压: 端线与端线之间的电压

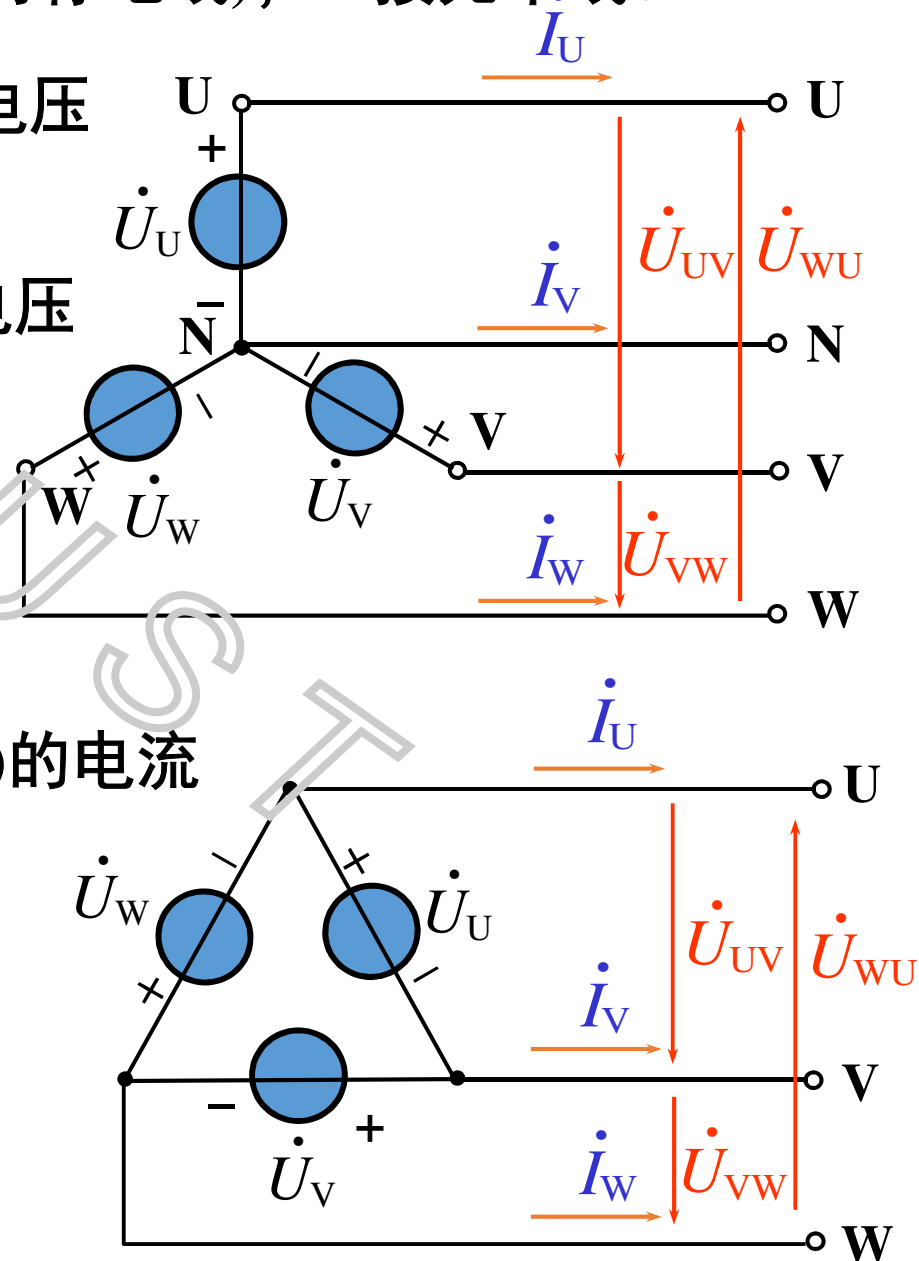
$$\dot{U}_{UV}, \dot{U}_{VW}, \dot{U}_{WU}$$

④ 相电压: 每相电源(负载)的电压

$$\dot{U}_U, \dot{U}_V, \dot{U}_W$$

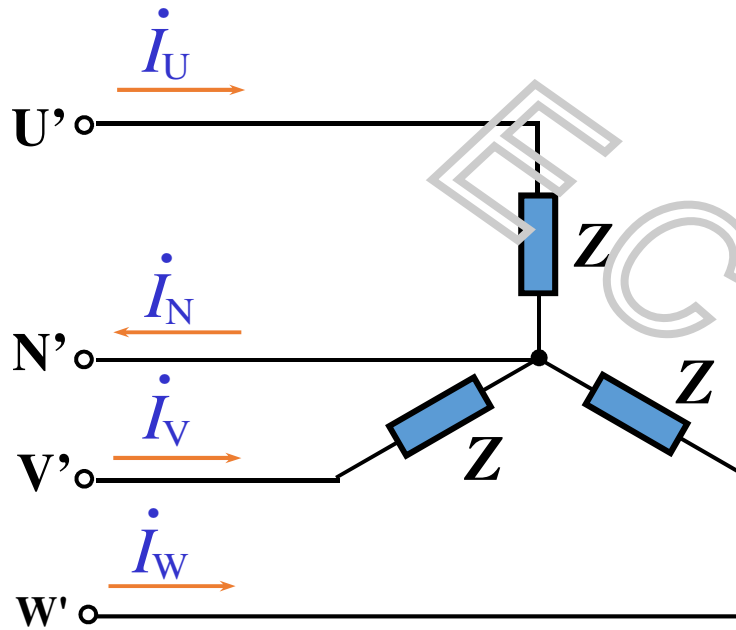
⑤ 线电流: 流过端线的电流

⑥ 相电流: 流过每相电源(负载)的电流

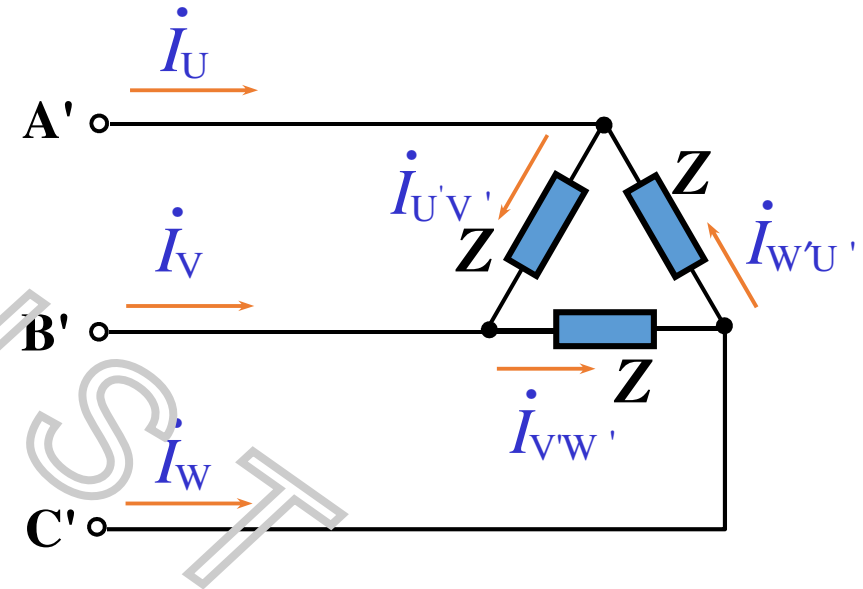


### 三. 对称三相负载的联接：两种基本联接方式

#### 1. 星形联接(Y接):



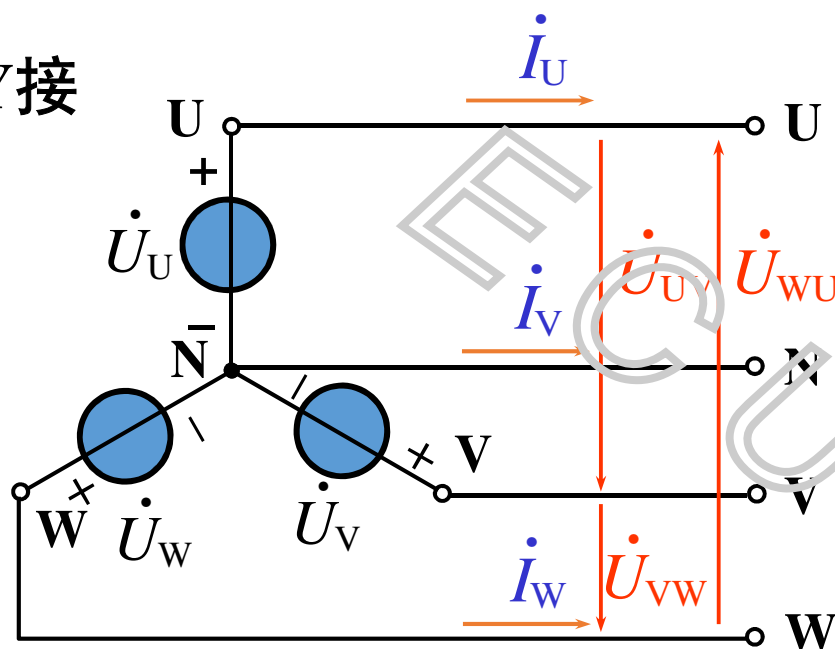
#### 2. 三角形联接( $\Delta$ 接):



## § 12-2 线电压(电流)与相电压(电流)的关系

### 一.对称三相电源线电压与相电压, 线电流与相电流的关系

#### 1. Y接



线电流=相电流

设  $\dot{U}_U = U \angle 0^\circ$

$$\dot{U}_V = U \angle -120^\circ$$

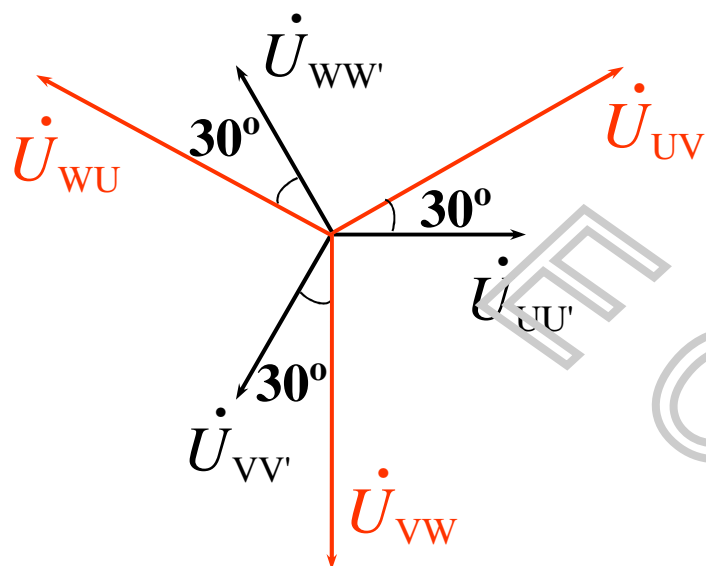
$$\dot{U}_W = U \angle 120^\circ$$

$$\dot{U}_{UV} = \dot{U}_U - \dot{U}_V = U \angle 0^\circ - U \angle -120^\circ = \sqrt{3}U \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{VW} = \dot{U}_V - \dot{U}_W = U \angle -120^\circ - U \angle 120^\circ = \sqrt{3}U \angle -90^\circ$$

$$\dot{U}_{WU} = \dot{U}_W - \dot{U}_U = U \angle 120^\circ - U \angle 0^\circ = \sqrt{3}U \angle 150^\circ$$

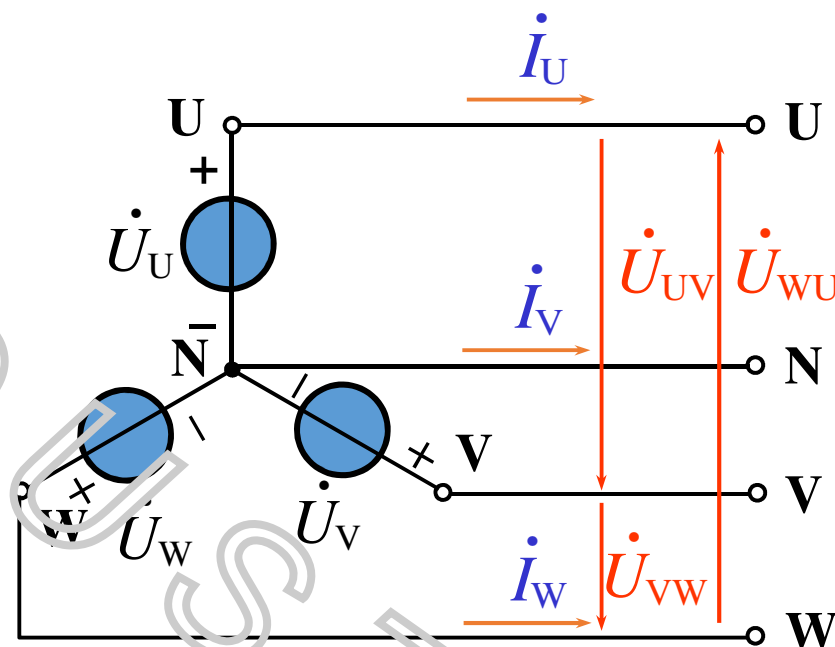
利用相量图得到相电压和线电压之间的关系：



一般表示为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{UV} &= \sqrt{3} \dot{U}_U \angle 30^\circ \\ \dot{U}_{VW} &= \sqrt{3} \dot{U}_V \angle 30^\circ \\ \dot{U}_{WU} &= \sqrt{3} \dot{U}_W \angle 30^\circ \end{aligned} \right\}$$

线电压对称(大小相等,  
相位互差 $120^\circ$ )



## 结论：Y接法的对称三相电源

- (1) 线电流等于相应的相电流。
- (2) 相电压对称，则线电压也对称。

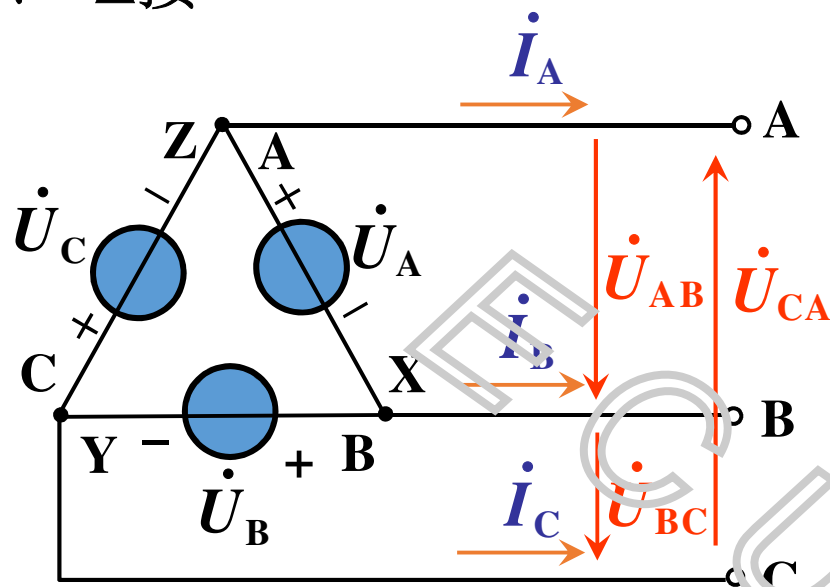
线电压大小等于相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $U_l = \sqrt{3}U_p$ 。

- (3) 线电压相位超前对应相电压 $30^\circ$ 。

所谓的“对应”：对应相电压用线电压的第一个下标字母标出。

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{UV} \rightarrow \dot{U}_U \\ \dot{U}_{VW} \rightarrow \dot{U}_V \\ \dot{U}_{WU} \rightarrow \dot{U}_W \end{array} \right.$$

## 2、 $\Delta$ 接



设  $\dot{U}_A = U \angle 0^\circ$

$\dot{U}_B = U \angle -120^\circ$

$\dot{U}_C = U \angle 120^\circ$

$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A = U \angle 0^\circ$

$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B = U \angle -120^\circ$

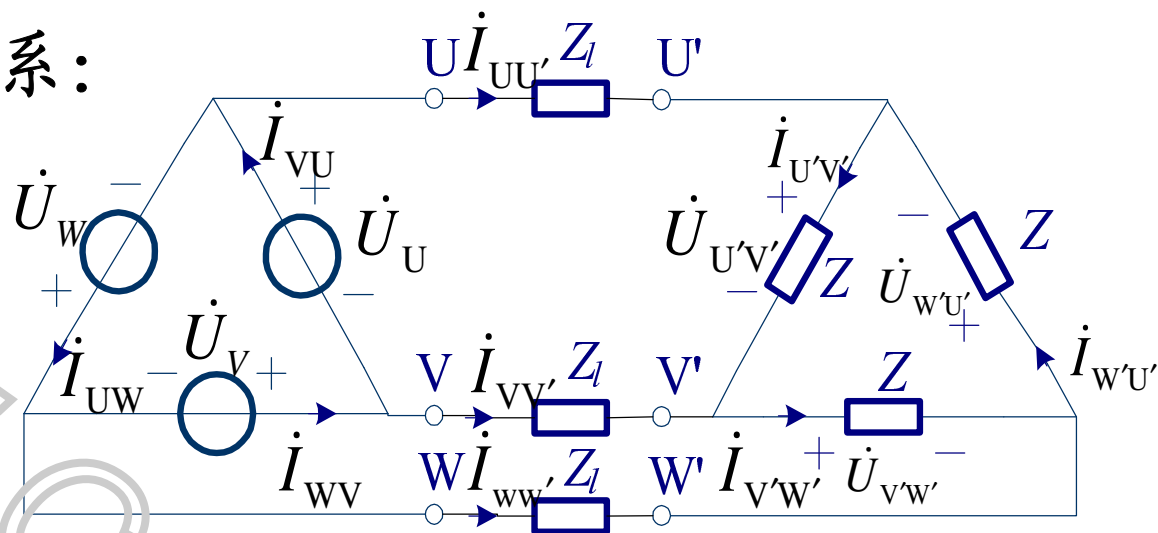
$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C = U \angle 120^\circ$

线电压等于对应的相电压。



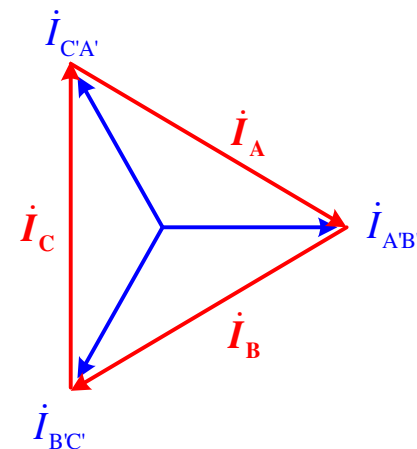
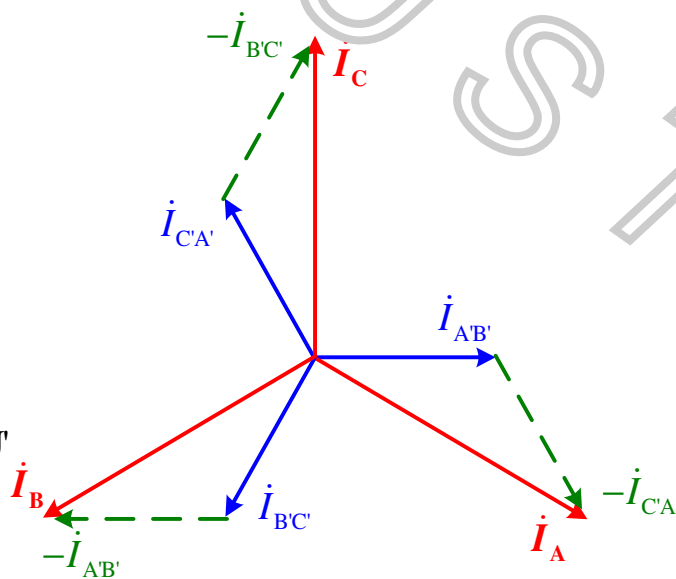
线电流与相电流的关系:

$$\begin{cases} \dot{I}_{UU'} = \dot{I}_{UV'} - \dot{I}_{WU'} \\ \dot{I}_{VV'} = \dot{I}_{VW'} - \dot{I}_{U'V'} \\ \dot{I}_{WW'} = \dot{I}_{WU'} - \dot{I}_{V'W'} \end{cases}$$



线电流可表示为

$$\begin{cases} \dot{I}_U = \sqrt{3} \angle -30^\circ \dot{I}_{UV'} \\ \dot{I}_V = \sqrt{3} \angle -30^\circ \dot{I}_{VW'} \\ \dot{I}_W = \sqrt{3} \angle -30^\circ \dot{I}_{WU'} \end{cases}$$



**结论：**  $\Delta$ 接法的对称三相电源

(1) 线电压等于对应的相电压。

(2) 线电流的大小等于相电流大小的  $\sqrt{3}$  倍： $I_l = \sqrt{3}I_p$

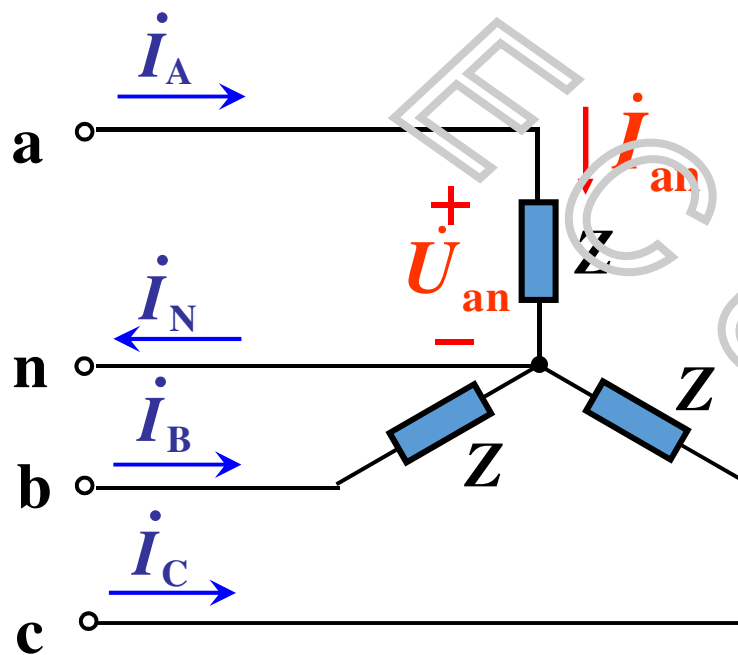
(3) 线电流相位~~滞后~~对应相电流 $30^\circ$ 。

所谓的“对应”：对应相电流用线电流的第一个下标字母标出。

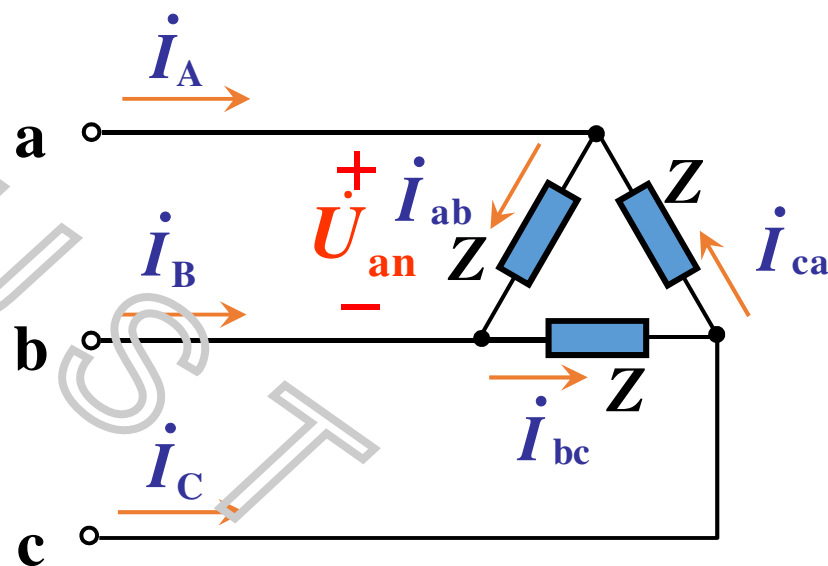
$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{I}_U \rightarrow \dot{I}_{U'V'} \\ \dot{I}_V \rightarrow \dot{I}_{V'W'} \\ \dot{I}_W \rightarrow \dot{I}_{W'U'} \end{array} \right.$$

## 二.对称三相负载线电压与相电压，线电流与相电流的关系

### 1. 对称三相负载 三相负载阻抗模相等，阻抗角相同



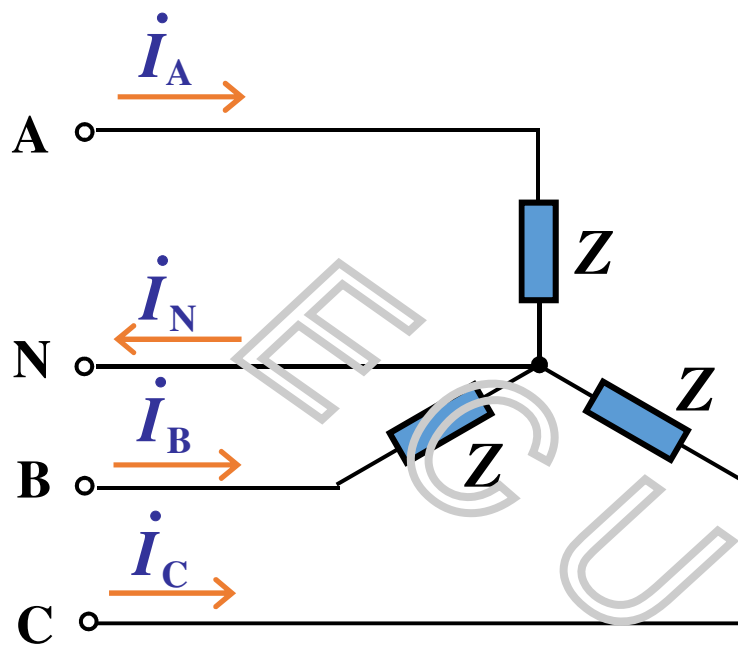
星形联接



三角形联接

对称三相负载的相线关系：

(a) Y接



$$\text{设 } \dot{U}_{AN} = \dot{U}_A = U \angle 0^\circ$$

$$\dot{U}_{BN} = \dot{U}_B = U \angle -120^\circ$$

$$\dot{U}_{CN} = \dot{U}_C = U \angle 120^\circ$$

对Y接法的对称电源讨论得出的结论对Y接法的对称负载一样成立。

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN} = \sqrt{3}U \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN} = \sqrt{3}U \angle -90^\circ$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN} = \sqrt{3}U \angle 150^\circ$$

线电流 = 相电流

线电压对称

$$U_l = \sqrt{3}U_p$$

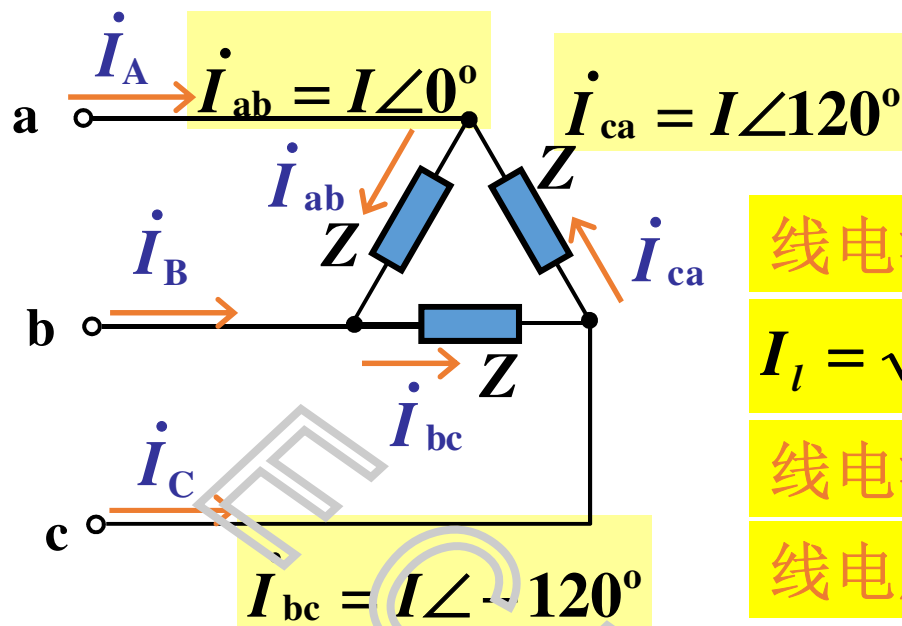
线电压领先对应相电压 $30^\circ$

(b)  $\Delta$ 接

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z}$$

$$\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z}$$

$$\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z}$$



线电流对称

$$I_l = \sqrt{3} I_p$$

线电流落后对应相电流 $30^\circ$

线电压=相电压

相电流对称

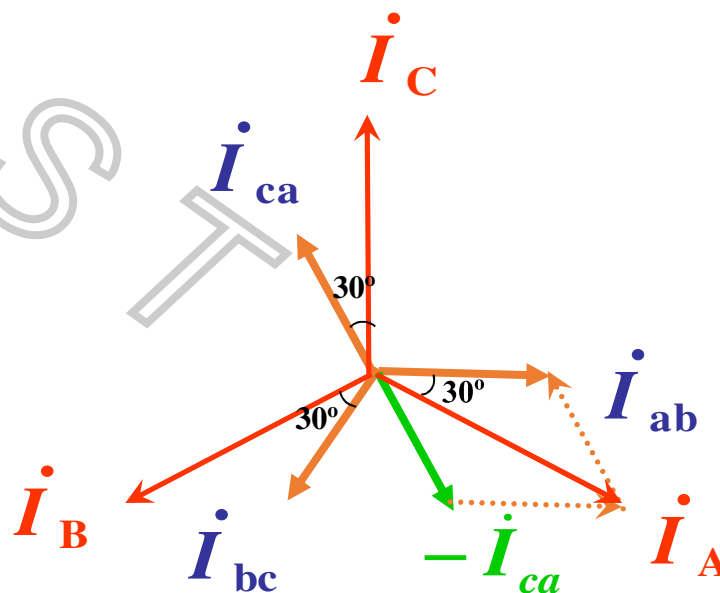
线电流:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca} = \sqrt{3} \dot{I}_{ab} \angle -30^\circ$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab} = \sqrt{3} \dot{I}_{bc} \angle -30^\circ$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc} = \sqrt{3} \dot{I}_{ca} \angle -30^\circ$$

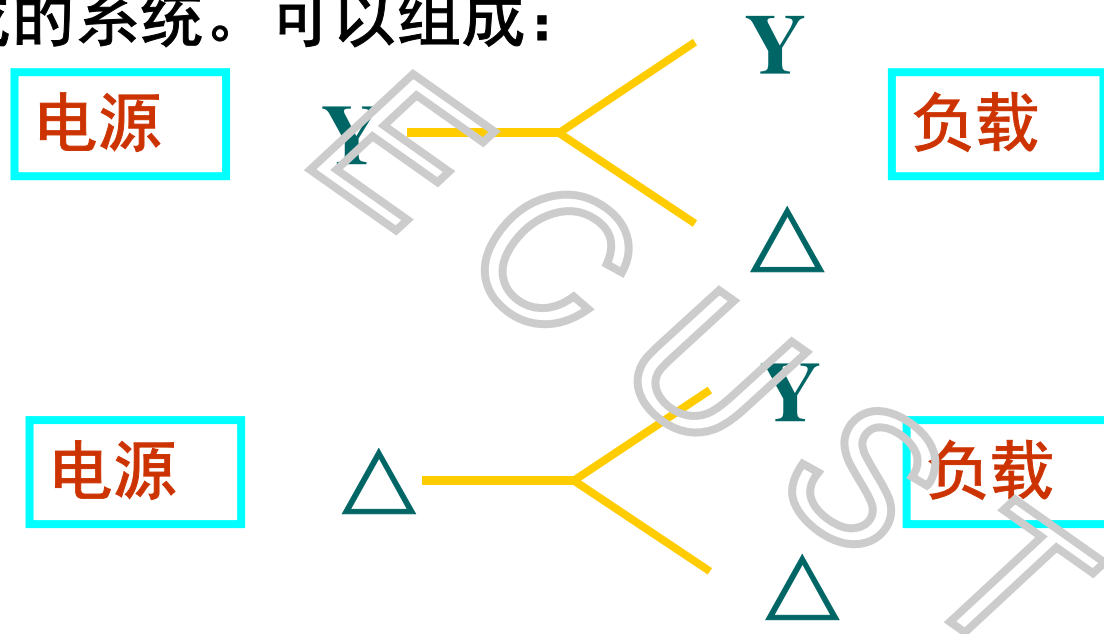
线电流也对称



对 $\Delta$ 接法的对称负载讨论得出的结论对 $\Delta$ 接法的对称电源一样成立。

## § 12-3 对称三相电路的计算

三相电路就是由对称三相电源和三相负载联接起来所组成的系统。可以组成：



当组成三相电路的电源和负载都对称时，称对称三相电路

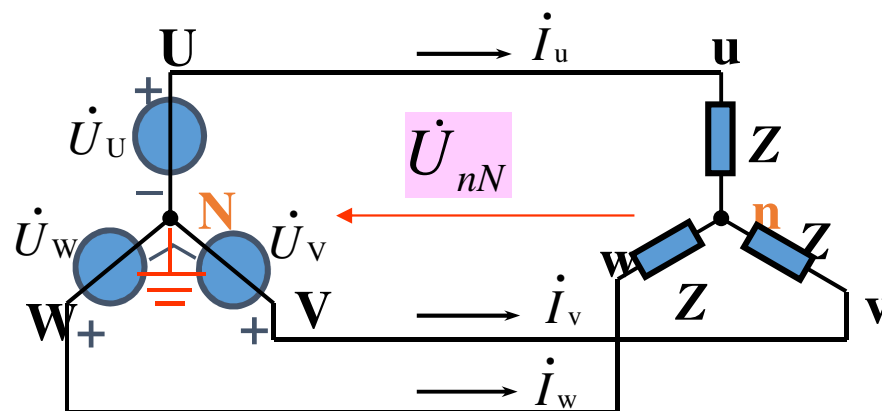
电源和负载联接方式： $Y-Y$ ， $Y-\Delta$ ， $\Delta-Y$ ， $\Delta-\Delta$ ，和  $Y_0-Y_0$ 。

三相三线制

三相四线制

## 1. Y-Y接(三相三线制):

以N点为参考点，对n点列  
写节点方程：



$$\left(\frac{1}{Z} + \frac{1}{Z} + \frac{1}{Z}\right) \dot{U}_{nN} = \frac{1}{Z} \dot{U}_U + \frac{1}{Z} \dot{U}_V + \frac{1}{Z} \dot{U}_W$$

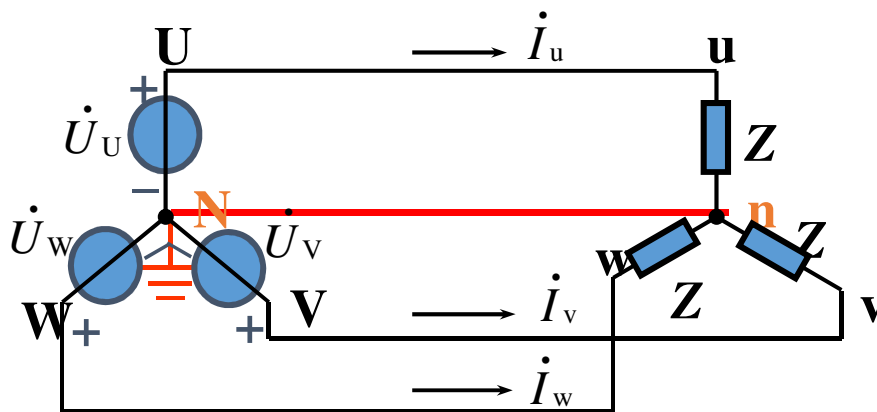
$$\frac{3}{Z} \dot{U}_{nN} = \frac{1}{Z} (\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W) = 0 \quad \therefore \dot{U}_{nN} = 0$$

负载侧相电压：

$$\begin{cases} \dot{U}_{un} = \dot{U}_{UN} - \dot{U}_{nN} = \dot{U}_U = U \angle \psi \\ \dot{U}_{vn} = \dot{U}_{VN} - \dot{U}_{nN} = \dot{U}_V = U \angle \psi - 120^\circ \\ \dot{U}_{wn} = \dot{U}_{WN} - \dot{U}_{nN} = \dot{U}_W = U \angle \psi + 120^\circ \end{cases}$$

计算电流：

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{I}_U &= \frac{\dot{U}_{un}}{Z} = \frac{\dot{U}_U}{Z} = \frac{U}{|Z|} \angle \psi - \varphi \\ \dot{I}_V &= \frac{\dot{U}_{vn}}{Z} = \frac{\dot{U}_V}{Z} = \frac{U}{|Z|} \angle \psi - 120^\circ - \varphi \\ \dot{I}_W &= \frac{\dot{U}_{wn}}{Z} = \frac{\dot{U}_W}{Z} = \frac{U}{|Z|} \angle \psi + 120^\circ - \varphi \end{aligned} \right.$$

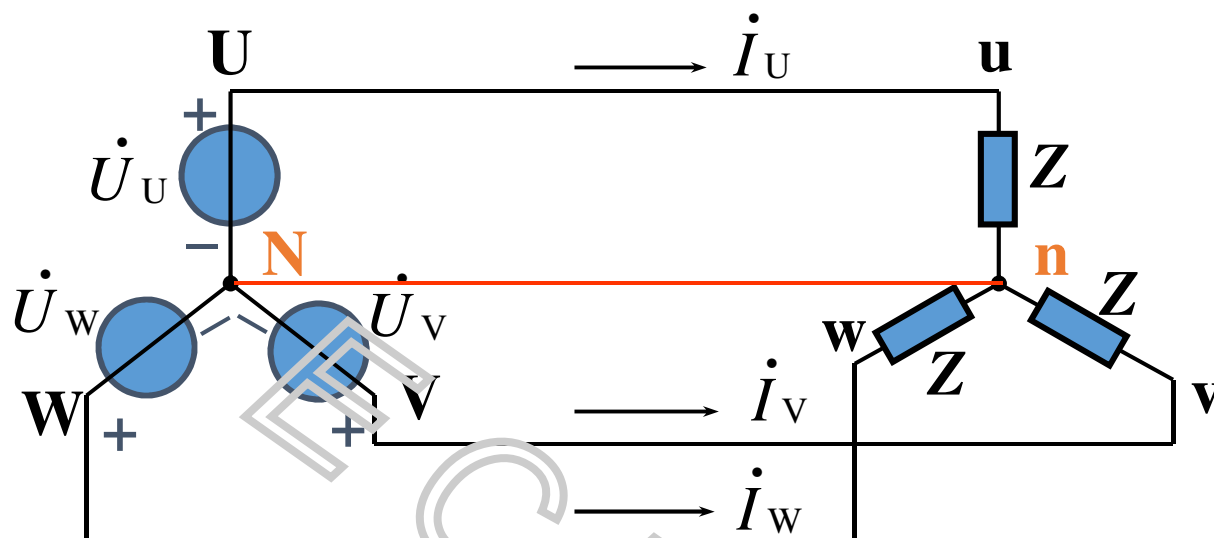


流过每相负载的电流与流过相应端线的线电流是同一电流，且三相电流也是对称的。

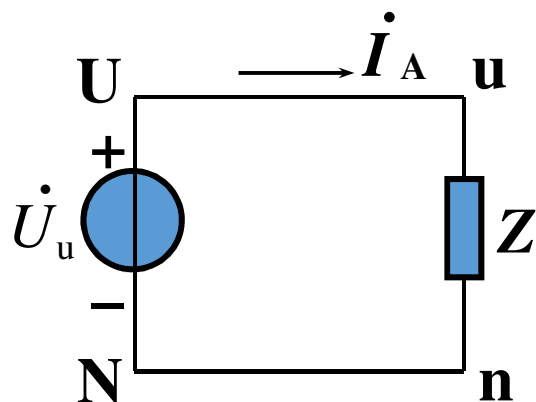
因N，n两点等电位，可将其短路，且其中电流为零。这样便可将三相电路的计算化为一相电路的计算。当求出相应的电压、电流后，再由对称性，可以直接写出其它两相的结果。



## 2. $Y_0 - Y_0$ (三相四线制):



一相计算电路:



由一相计算电路可得:

$$\dot{I}_U = \frac{\dot{U}_{un}}{Z} = \frac{\dot{U}_U}{Z} = \frac{U}{|Z|} \angle \psi - \varphi$$

由对称性  
可写出:

$$\dot{I}_V = \frac{U}{|Z|} \angle \psi - 120^\circ - \varphi, \quad \dot{I}_W = \frac{U}{|Z|} \angle \psi + 120^\circ - \varphi$$

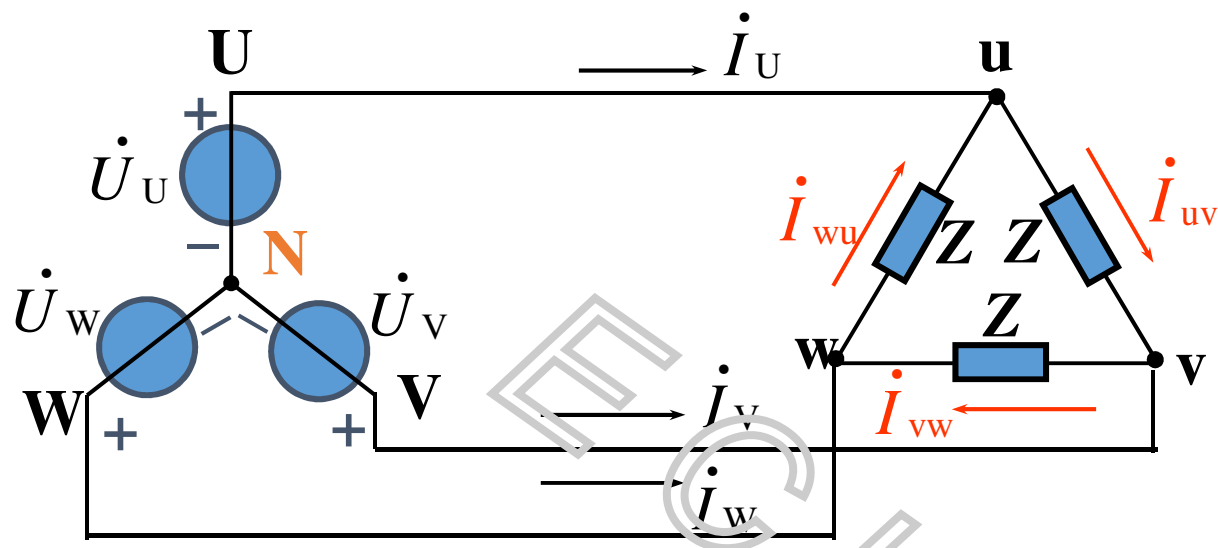
## 结论：

①  $U_{nN}=0$ ，中线电流为零。

**有无中线对对称三相电路没有影响。** 没有中线(Y-Y接，三相三线制)，可将中线连上。因此，Y-Y接电路与 $Y_0-Y_0$ 接(有中线)电路计算方法相同。且中线有阻抗时可短路掉。

② 对称情况下，各相电压、电流都是对称的，只要算出某一相的电压、电流，则其他两相的电压、电流可直接写出。

### 3. Y-Δ接



设  $\dot{U}_U = U \angle \psi$

$$\dot{U}_V = U \angle \psi - 120^\circ$$

$$\dot{U}_W = U \angle \psi + 120^\circ$$

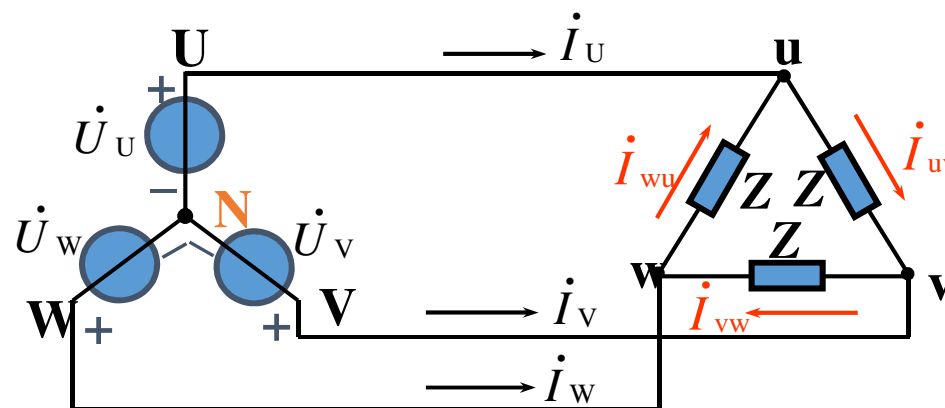
$$Z = |Z| \angle \varphi$$

负载上相电压与线电压相等：

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{uv} = \dot{U}_{UV} = \sqrt{3} U \angle \psi + 30^\circ \\ \dot{U}_{vw} = \dot{U}_{VW} = \sqrt{3} U \angle \psi - 90^\circ \\ \dot{U}_{wu} = \dot{U}_{WU} = \sqrt{3} U \angle \psi + 150^\circ \end{array} \right.$$

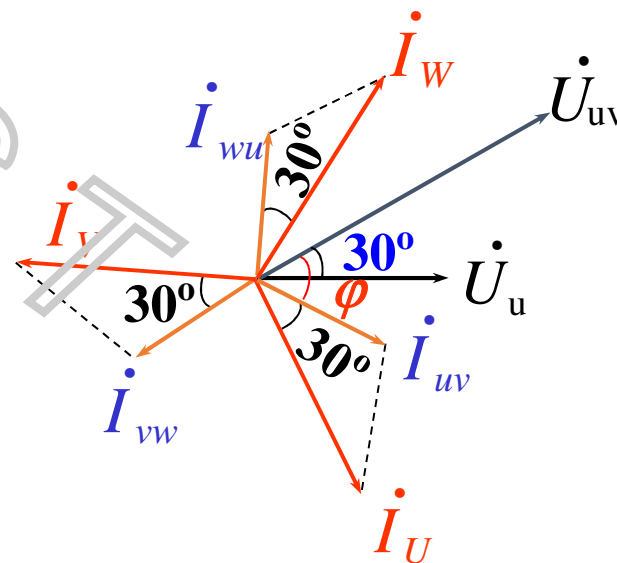
计算相电流：

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{I}_{uv} &= \frac{\dot{U}_{uv}}{Z} = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle \psi + 30^\circ - \varphi \\ \dot{I}_{vw} &= \frac{\dot{U}_{vw}}{Z} = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle \psi - 90^\circ - \varphi \\ \dot{I}_{wu} &= \frac{\dot{U}_{wu}}{Z} = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle \psi + 150^\circ - \varphi \end{aligned} \right.$$



线电流：

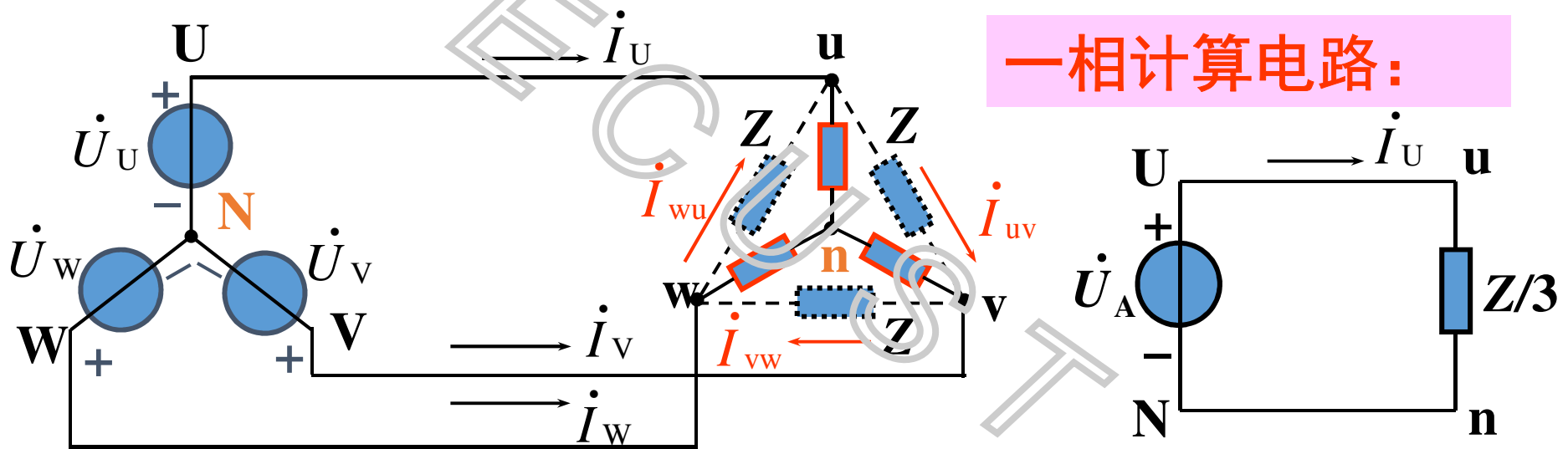
$$\left\{ \begin{aligned} \dot{I}_U &= \sqrt{3} \dot{I}_{uv} \angle -30^\circ \\ \dot{I}_V &= \sqrt{3} \dot{I}_{vw} \angle -30^\circ \\ \dot{I}_W &= \sqrt{3} \dot{I}_{wu} \angle -30^\circ \end{aligned} \right.$$



## 结论:

- (1)  $\Delta$ 负载上相电压与线电压相等, 且对称。
- (2) 线电流与相电流也是对称的。线电流大小是相电流的  $\sqrt{3}$  倍, 相位落后相应相电流  $30^\circ$ 。

故上述电路也可只计算一相, 根据对称性即可得到其余两相结果。



$$\dot{I}_U = \frac{\dot{U}_u}{Z/3} = \frac{3\dot{U}_U}{Z} = \frac{3U}{|Z|} \angle \psi - \varphi$$

$$\dot{U}_{uv} = \sqrt{3} \dot{U}_u \angle 30^\circ = \sqrt{3}U \angle \psi + 30^\circ$$

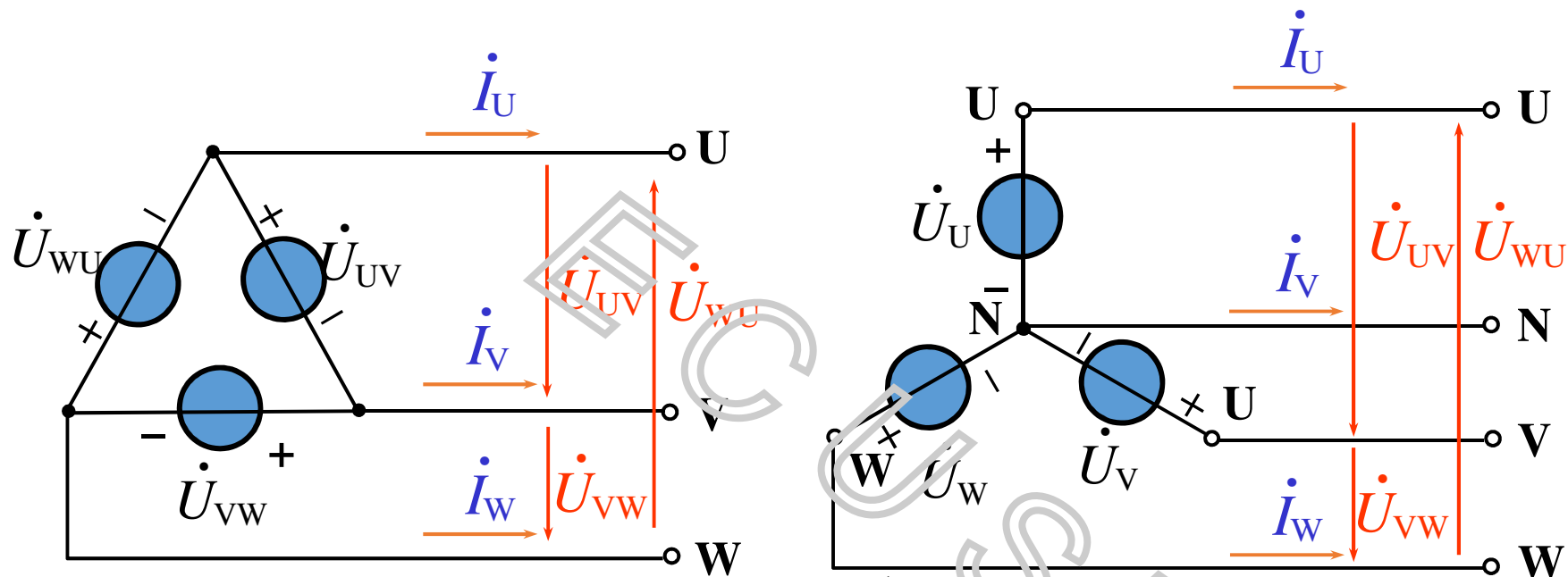
$$\dot{I}_{uv} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{I}_U \angle 30^\circ = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle \psi + 30^\circ - \varphi$$

#### 4. 电源为 $\Delta$ 接时的对称三相电路的计算( $\Delta$ -Y, $\Delta$ - $\Delta$ )

电源 $\Delta$ 接

等效变换为

Y接电源



保证其线电压相等

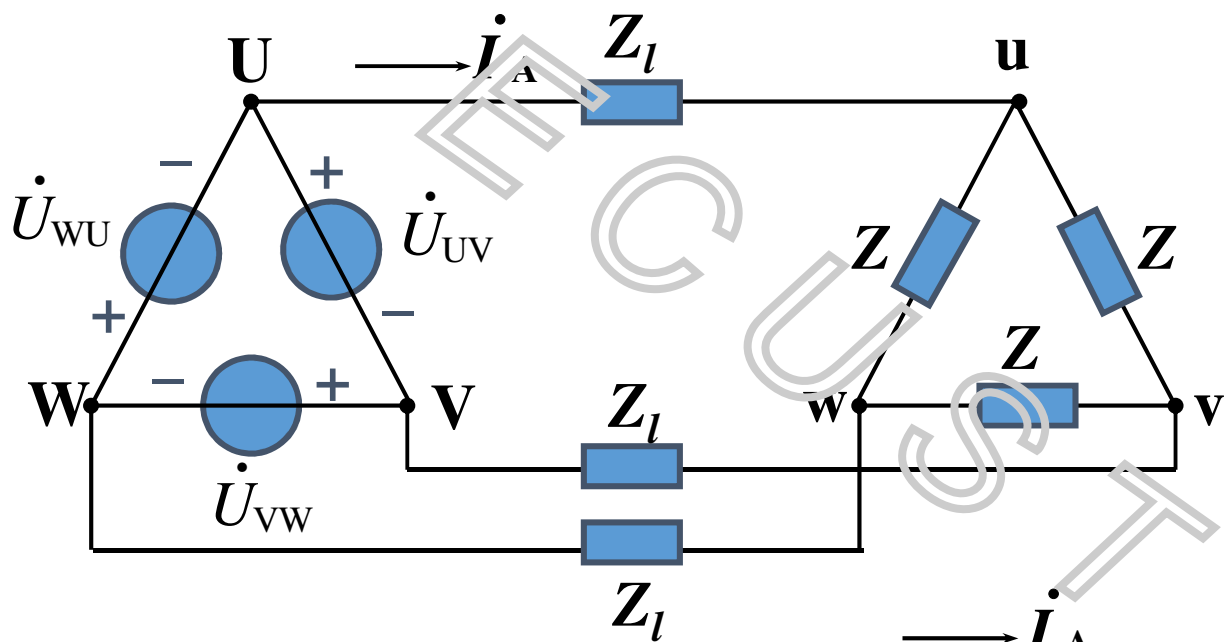
$$\dot{U}_U = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{UV} \angle -30^\circ$$

$$\dot{U}_V = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{VW} \angle -30^\circ$$

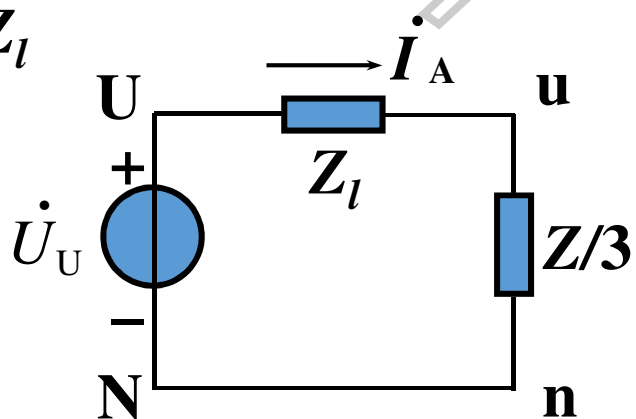
$$\dot{U}_W = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{WU} \angle -30^\circ$$

将 $\Delta$ 接电源用Y接电源替代，保证其线电压相等，再根据上述Y-Y，Y- $\Delta$ 接方法计算。

### 5. 一般对称三相电路的计算：



一相计算电路：



## 对称三相电路的一般计算方法：

- (1) 将所有三相电源、负载都化为等值Y—Y接电路；
- (2) 连接各负载和电源中点，中线上若有阻抗不计；
- (3) 画出单相计算电路，求出一相的电压、电流：  
一相电路中的电压为Y接时的相电压。  
一相电路中的电流为线电流。
- (4) 根据 $\Delta$ 、Y接 线量、相量之间的关系，求出原电路的电流电压。
- (5) 由对称性，得出其它两相的电压、电流。



**例1.** 已知正相序三相电路的负载为对称三角形连接方式,

$\dot{U}_{UV} = 500\angle 0^\circ \text{ V}$ ,  $Z = 20\angle 45^\circ \Omega$ , 试求负载相电流和线电流。

**解:** 根据已知条件可得U相电流为

$$\dot{I}_{UV} = \dot{U}_{UV} / Z = 500\angle 0^\circ / 20\angle 45^\circ \text{ A} = 25\angle -45^\circ \text{ A}$$

根据相序, 其它两相电流为

$$\dot{I}_{VW} = 25\angle (-45^\circ - 120^\circ) \text{ A} = 25\angle -165^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{WU} = 25\angle (-45^\circ + 120^\circ) \text{ A} = 25\angle 75^\circ \text{ A}$$

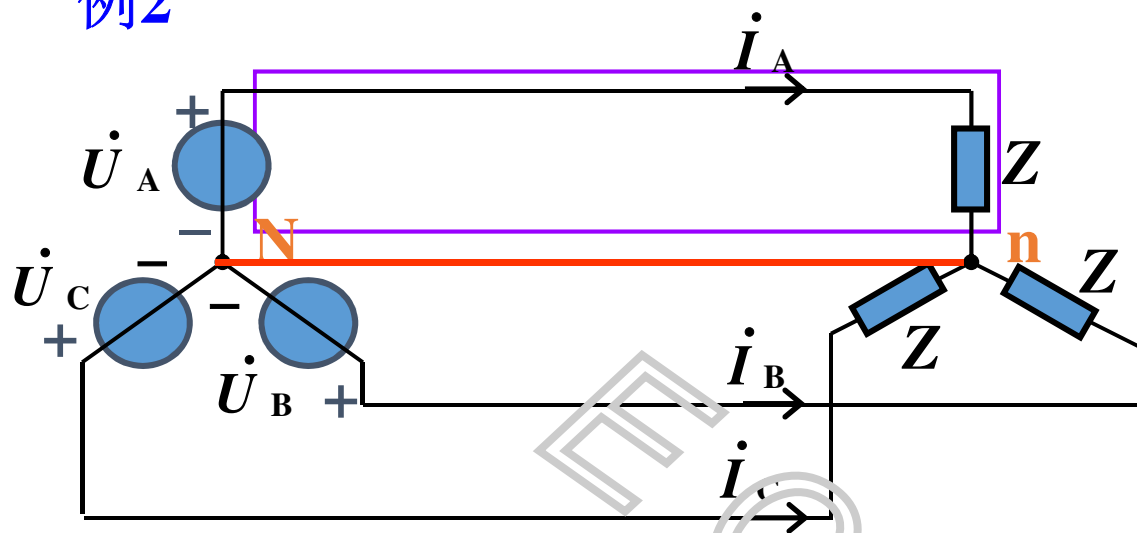
则线电流为

$$\dot{I}_{UU'} = \sqrt{3}\angle -30^\circ \dot{I}_{UV} = 43.30\angle -75^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{VV'} = \sqrt{3}\angle -30^\circ \dot{I}_{VW} = 43.30\angle -195^\circ \text{ A}$$

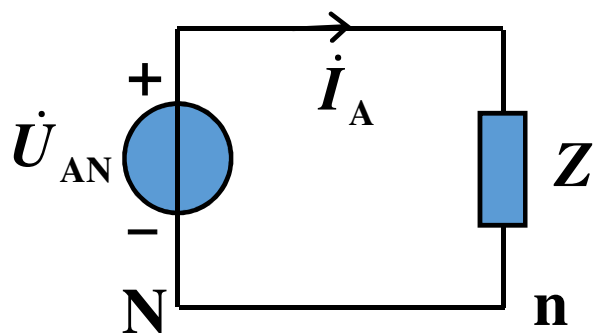
$$\dot{I}_{WW'} = \sqrt{3}\angle -30^\circ \dot{I}_{WU} = 43.30\angle 45^\circ \text{ A}$$

## 例2



已知对称三相电源的  
线电压为**380V**，对称  
负载  $Z = 100 \angle 30^\circ \Omega$   
求线电流。

解：连接中线Nn，取A相为例计算

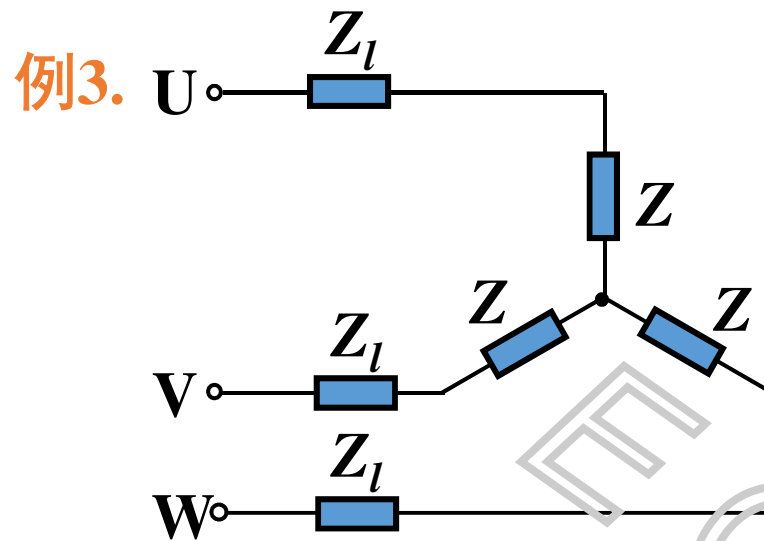


设  $\dot{U}_{AB} = 380 \angle 30^\circ \text{ V}$      $\dot{U}_{AN} = 220 \angle 0^\circ \text{ V}$

$$\dot{i}_A = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z} = \frac{220 \angle 0^\circ}{100 \angle 30^\circ} = 2.2 \angle -30^\circ \text{ A}$$

由对称性，得  $\dot{i}_B = 2.2 \angle -150^\circ \text{ A}$

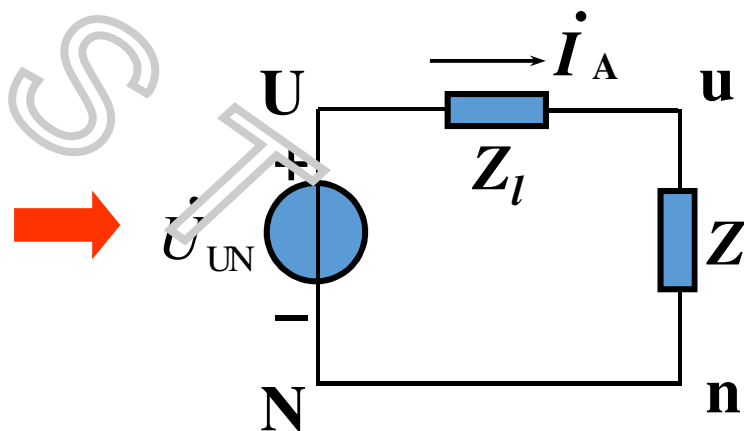
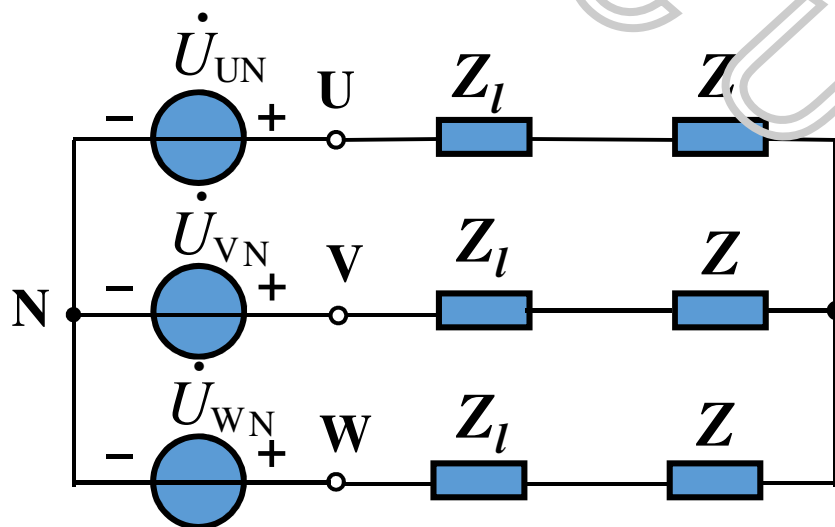
$$\dot{i}_C = 2.2 \angle 90^\circ \text{ A}$$



已知对称三相电源线电压为380V,  
 $Z=6.4+j4.8\Omega$ ,  $Z_l=6.4+j4.8\Omega$ 。

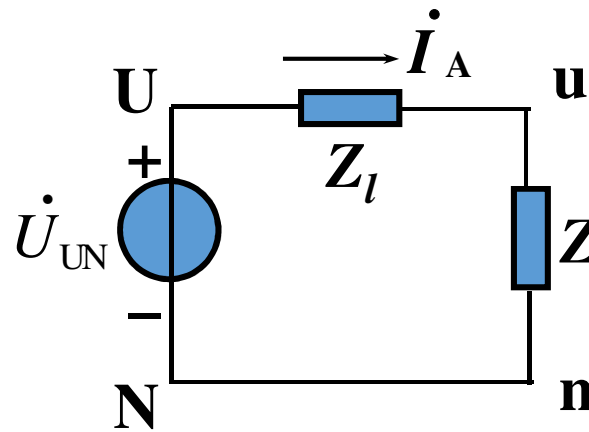
求负载 $Z$ 的相电压、线电压和线电流的有效值。

解:



设  $\dot{U}_{UV} = 380\angle 0^\circ \text{ V}$

则  $\dot{U}_{UN} = 220\angle -30^\circ \text{ V}$



$$\dot{I}_U = \frac{\dot{U}_{UN}}{Z + Z_l} = \frac{220\angle -30^\circ}{9.4 + j8.8} = \frac{220\angle -30^\circ}{12.88\angle 43.1^\circ} = 17.1\angle -73.1^\circ \text{ A}$$

$$\dot{U}_{un} = \dot{I}_U \cdot Z = 17.1\angle -73.1^\circ \cdot 8\angle 36.9^\circ = 136.8\angle -36.2^\circ \text{ V}$$

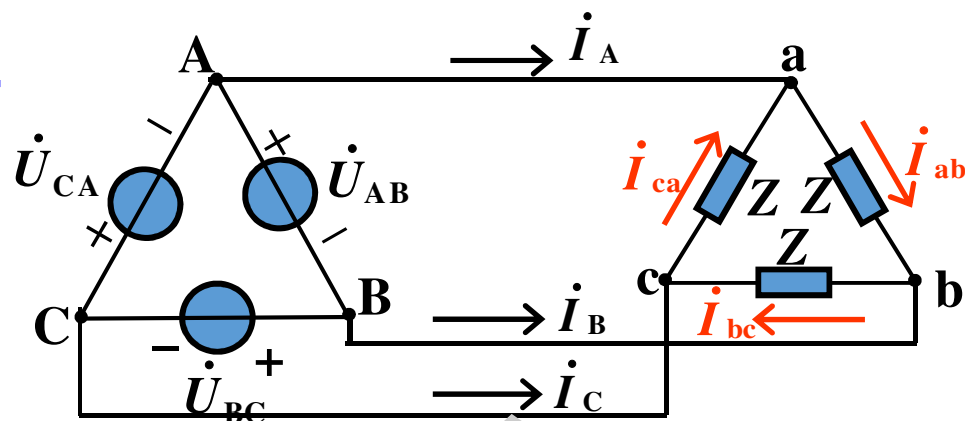
$$\dot{U}_{uv} = \sqrt{3} \dot{U}_{un} \angle 30^\circ = \sqrt{3} \times 136.8\angle -6.2^\circ \text{ V} = 236.9\angle -6.2^\circ \text{ V}$$

负载Z的相电流=负载Z的线电流，即： $I_P = I_l = 17.1\text{A}$

负载Z的相电压： $U_P = 136.8\text{V}$

$U_l = 236.9\text{V}$

例4

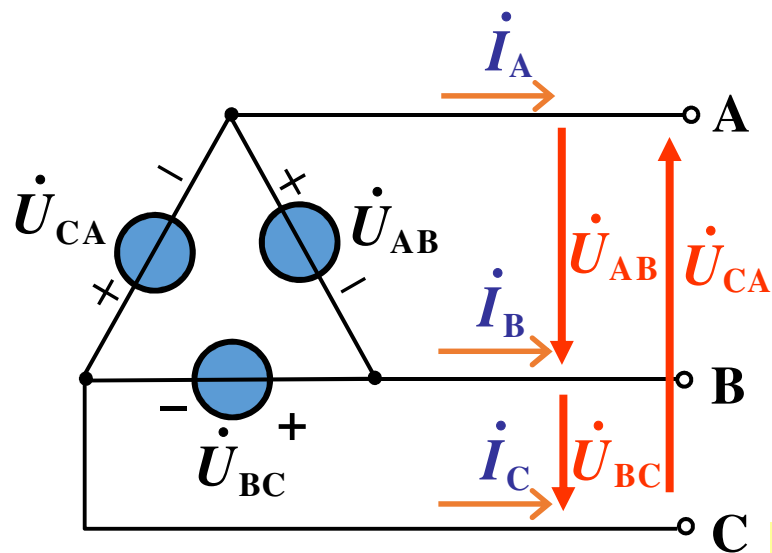


已知对称三相电源的  
线电压为380V，对称  
负载 $Z=100\angle 30^\circ\Omega$   
求线电流。

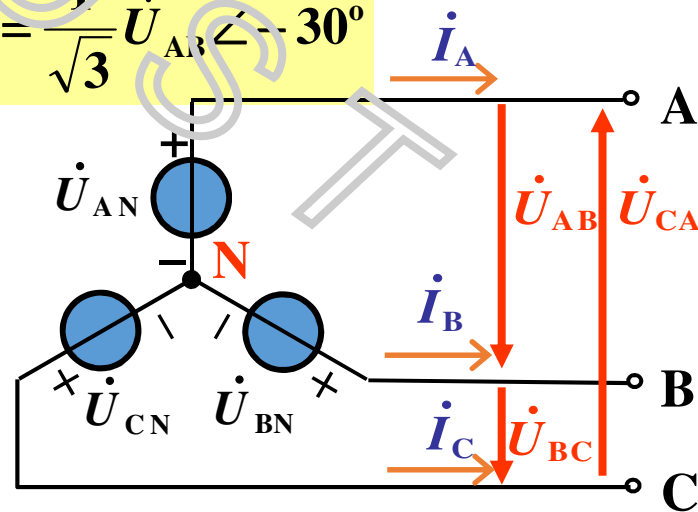
解：

化为Y-Y

将 $\Delta$ 接电源用Y接电源替代，保证其线电压相等。

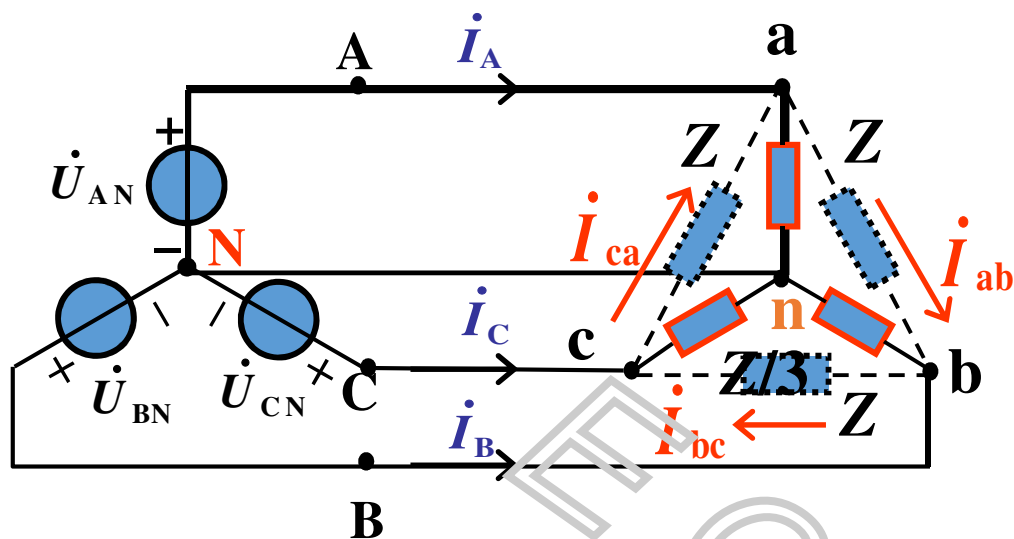


$$\dot{U}_{AN} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{AB} \angle -30^\circ$$



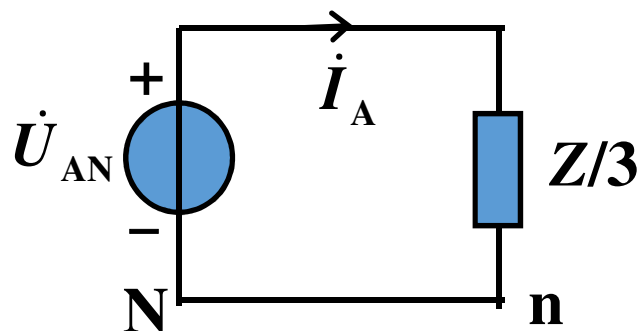
$$\dot{U}_{BN} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{BC} \angle -30^\circ$$

$$\dot{U}_{CN} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{CA} \angle -30^\circ$$



将负载 $\Delta$ -Y变换

连接中线Nn，取A相为例计算



设  $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{ V}$      $\dot{U}_{AN} = 220\angle -30^\circ \text{ V}$

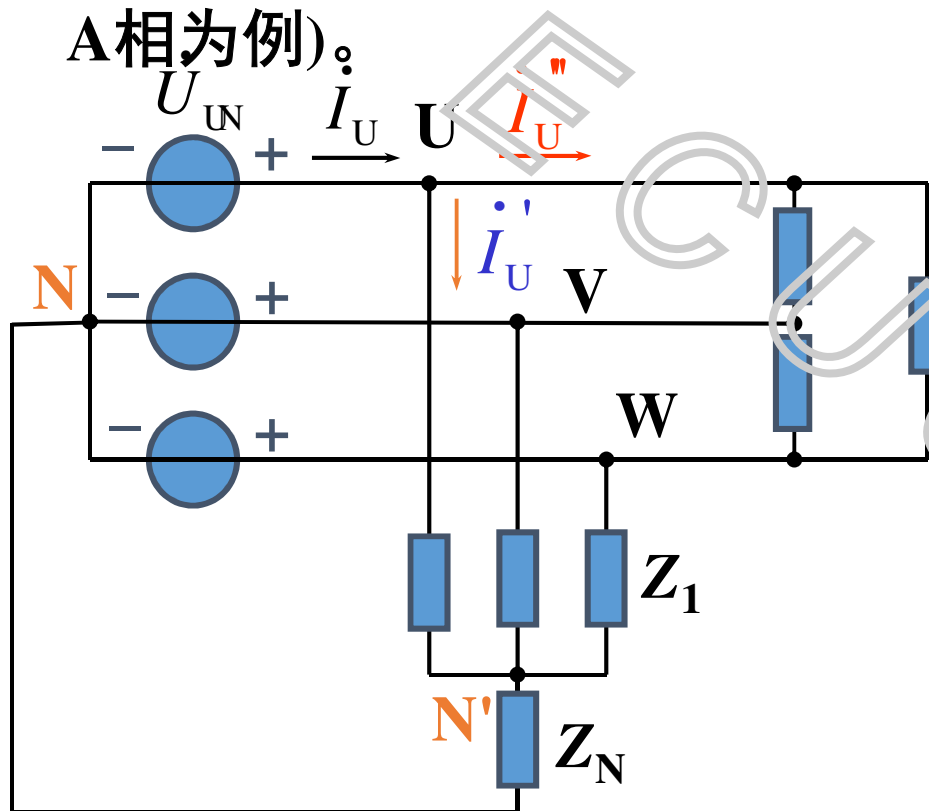
$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z/3} = \frac{220\angle -30^\circ}{100\angle 30^\circ / 3} = 6.6\angle -60^\circ \text{ A}$$

由对称性，得  $\dot{I}_B = 6.6\angle -180^\circ = -6.6 \text{ A}$

$$\dot{I}_C = 6.6\angle 60^\circ \text{ A}$$

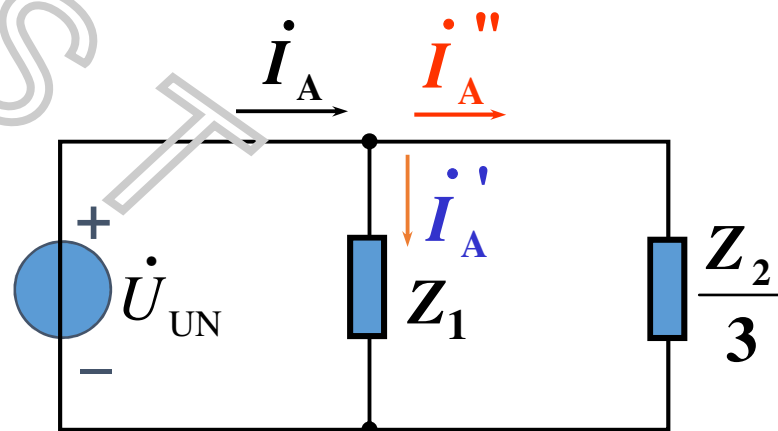
**例5.** 如图对称三相电路，电源线电压为380V， $|Z_1|=10\Omega$ ， $\cos\varphi_1=0.6$ (感性)， $Z_2=-j50\Omega$ ， $Z_N=1+j2\Omega$ 。

求：两组负载中的线电流、相电流，并定性画出相量图(以A相为例)。



**解：** 设  $\dot{U}_{UN} = 220\angle 0^\circ \text{V}$

$$\dot{U}_{UV} = 380\angle 30^\circ \text{V}$$



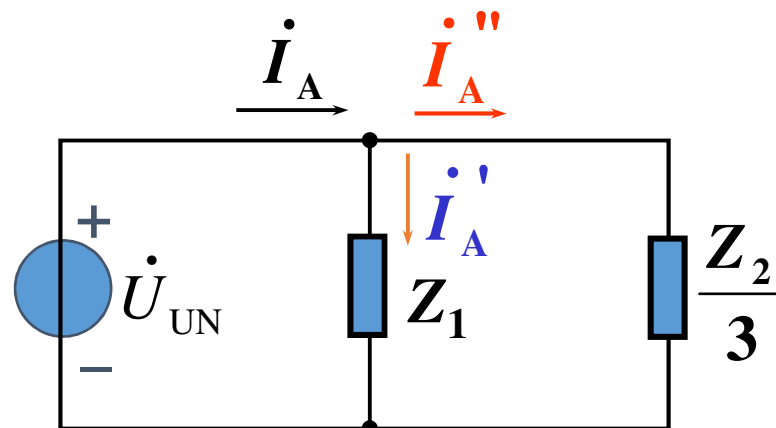
$$Z_1 = 10\angle\varphi_1 = 6 + j8\Omega$$

$$Z_2' = \frac{1}{3}Z_2 = -j\frac{50}{3}\Omega$$

$$\dot{I}_U' = \frac{\dot{U}_{UN}}{Z_1} = \frac{220\angle 0^\circ}{10\angle 53.13^\circ} = 22\angle -53.13^\circ \text{ A} = 13.2 - j17.6 \text{ A}$$

$$\dot{I}_U' = \frac{\dot{U}_{UN}}{Z_2'} = \frac{220\angle 0^\circ}{-j50/3} = j13.2 \text{ A}$$

$$\dot{I}_U = \dot{I}_U' + \dot{I}_U'' = 13.9\angle -18.4^\circ \text{ A}$$



根据对称性，得V、W相的线电流、相电流：

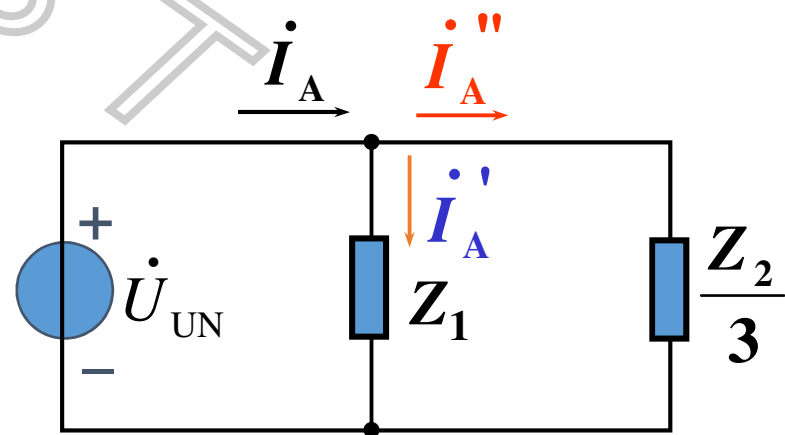
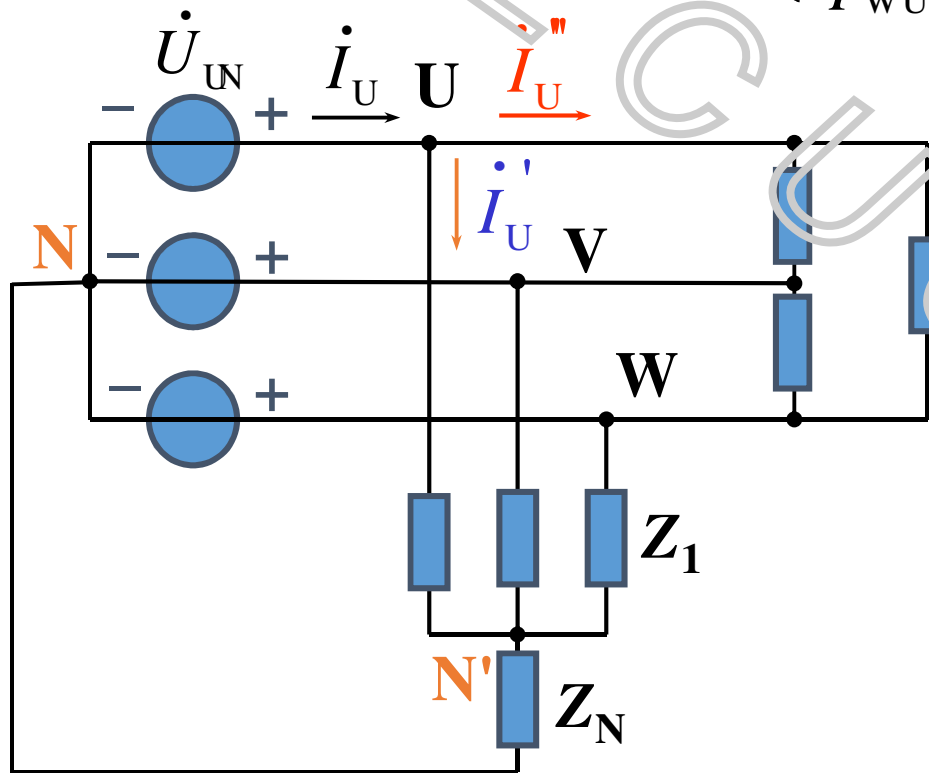
$$\dot{I}_V = 13.9\angle -138.4^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_W = 13.9\angle 101.6^\circ \text{ A}$$



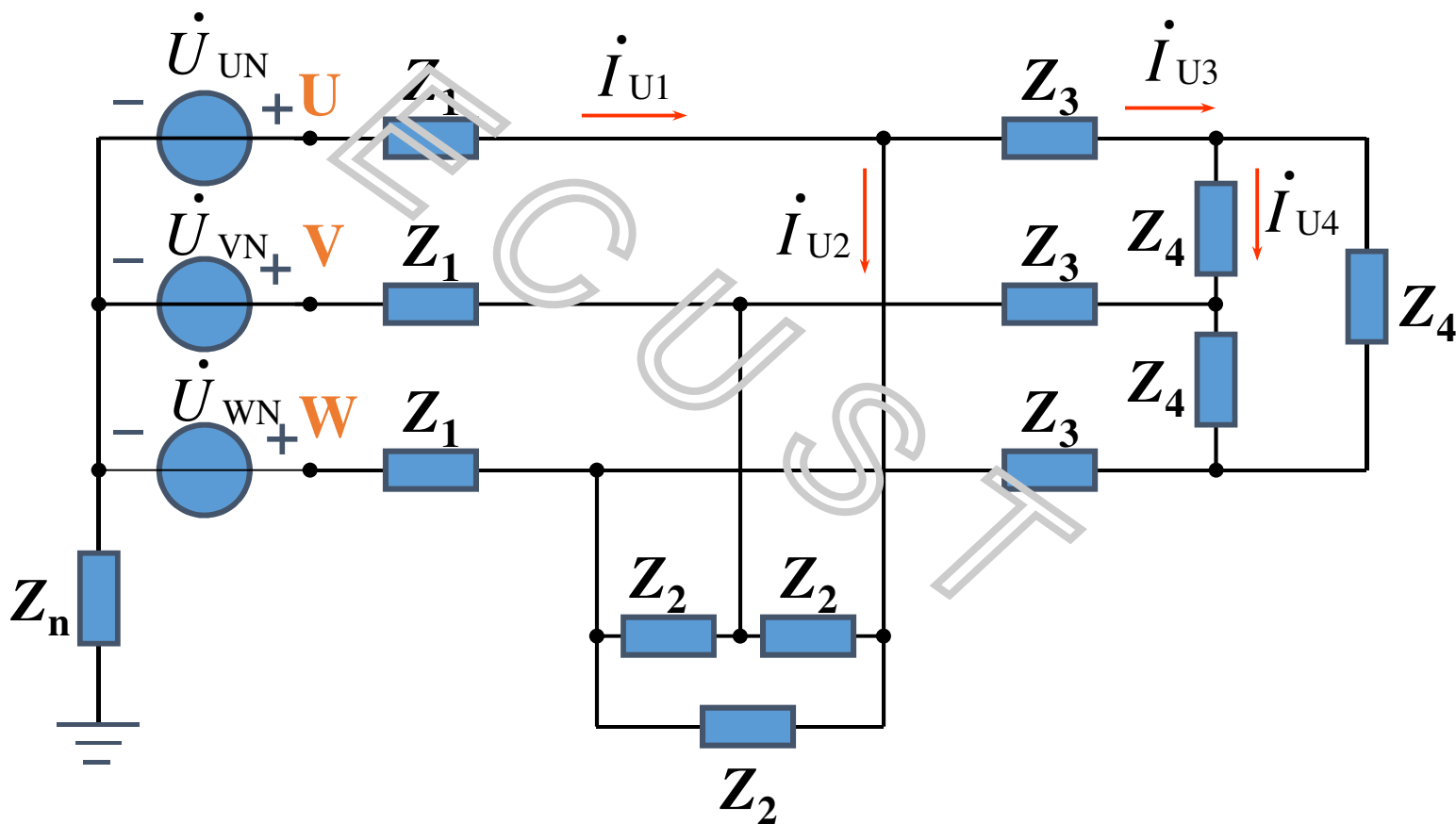
第一组负载的三相电流： 第二组负载的相电流：

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{I}'_U = 22 \angle -53.1^\circ \text{ A} \\ \dot{I}'_V = 22 \angle -173.1^\circ \text{ A} \\ \dot{I}'_W = 22 \angle 66.9^\circ \text{ A} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \dot{I}_{UV2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{I}'_A \angle 30^\circ = 7.6 \angle 120^\circ \text{ A} \\ \dot{I}_{VW2} = 7.6 \angle 0^\circ \text{ A} \\ \dot{I}_{WU2} = 7.6 \angle -120^\circ \text{ A} \end{array} \right.$$



例6. 已知  $\dot{U}_{UV} = \sqrt{3}U \angle 0^\circ \text{ V}$ , 各负载如图所示.

求:  $\dot{I}_{U1}$ ,  $\dot{I}_{U2}$ ,  $\dot{I}_{U3}$ ,  $\dot{I}_{U4}$ .

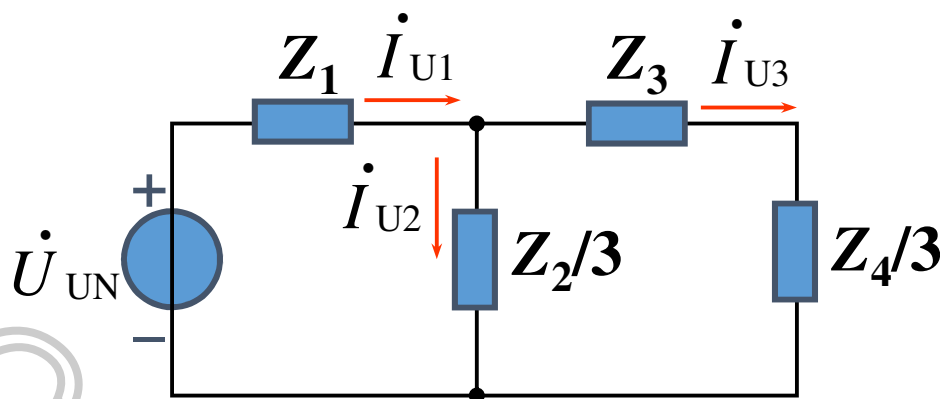


**解：**首先进行 $\Delta$ —Y变换，然后取A相计算电路：

$$\begin{aligned}\dot{U}_{\text{UN}} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{\text{UV}} \angle -30^\circ \\ &= U \angle -30^\circ \text{ V}\end{aligned}$$

负载化为Y接。

根据对称性，中性电阻  $Z_n$  短路。



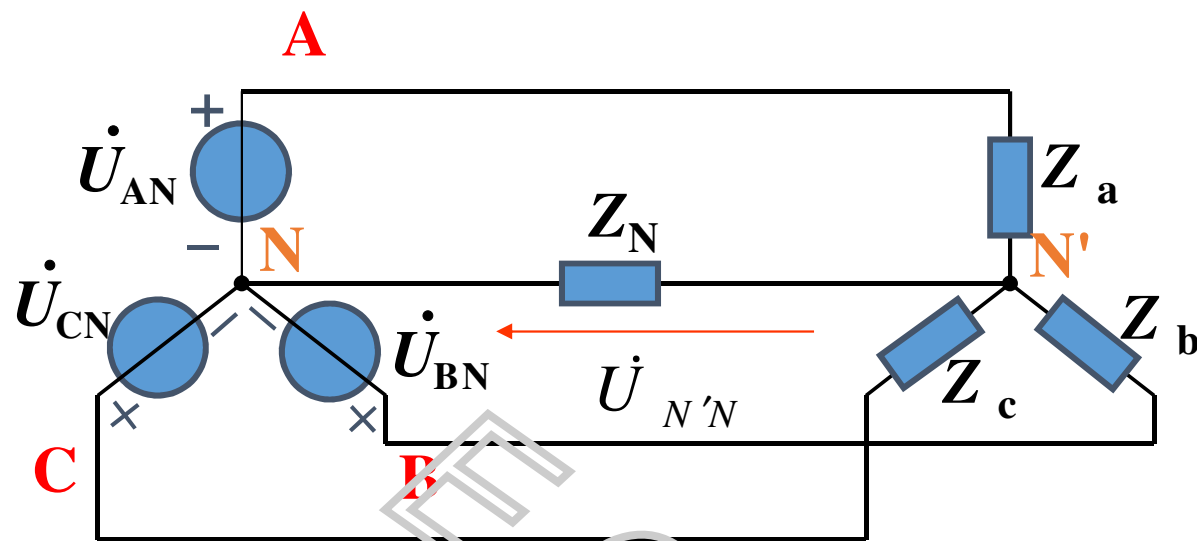
$$\dot{I}_{\text{U1}} = \frac{\dot{U}_{\text{UN}}}{Z_1 + \frac{1}{3} Z_2 \parallel (Z_3 + \frac{1}{3} Z_4)}, \quad \dot{I}_{\text{U2}}, \dot{I}_{\text{U3}} \text{ 可由分流得到.}$$

则相电流

$$\dot{I}_{\text{U4}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{I}_{\text{U3}} \angle 30^\circ.$$

## 12-4 不对称三相电路的概念

- 讨论对象：电源对称(由系统保证)，负载不对称。
- 分析方法：
  - 不能简化为一相计算电路。
  - 利用节点电压法进行求解
- 主要了解：中性点位移。



三相负载  $Z_a$ 、 $Z_b$ 、 $Z_c$  不相同。

$$\dot{U}_{N'N} = \frac{\dot{U}_{AN}/Z_a + \dot{U}_{BN}/Z_b + \dot{U}_{CN}/Z_c}{1/Z_a + 1/Z_b + 1/Z_c + 1/Z_N} \neq 0$$

负载各相电压：  $\dot{U}_{AN'} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{N'N}$

$$\dot{U}_{BN'} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{N'N}$$

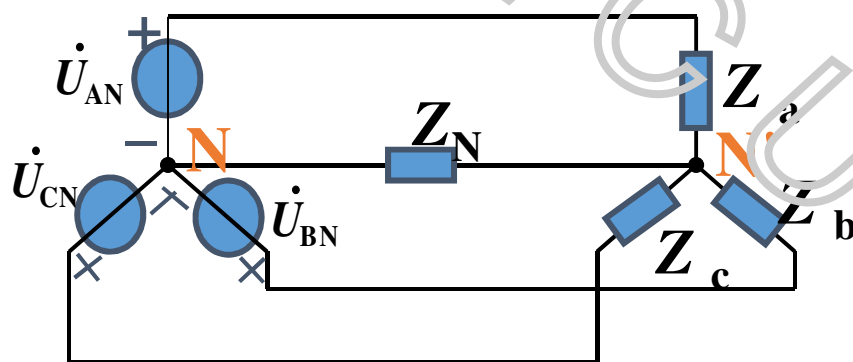
$$\dot{U}_{CN'} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{N'N}$$

不对称

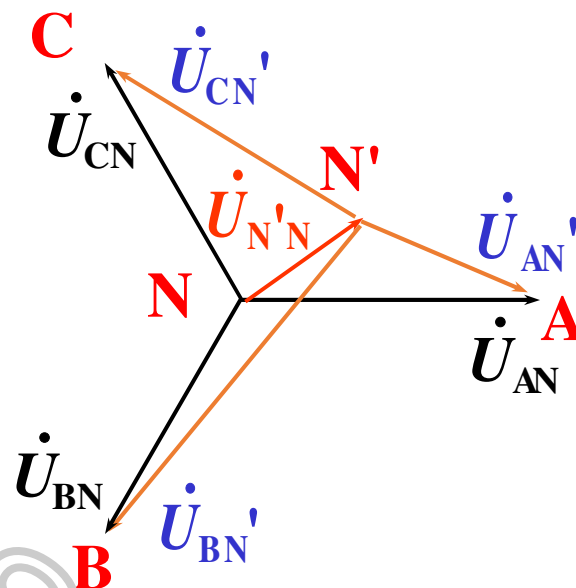
$$\dot{U}_{AN'} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{N'N}$$

$$\dot{U}_{BN'} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{N'N}$$

$$\dot{U}_{CN'} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{N'N}$$



位形图：



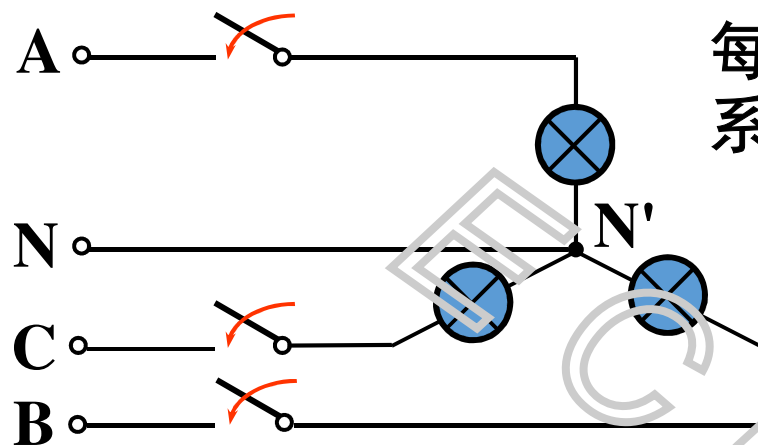
负载中点与电源中点不重合，这个现象称为**中点位移**。

在电源对称情况下，可以根据中点位移的情况来判断负载端不对称的程度。当中点位移较大时，会造成负载相电压严重不对称，可能使负载的工作状态不正常。

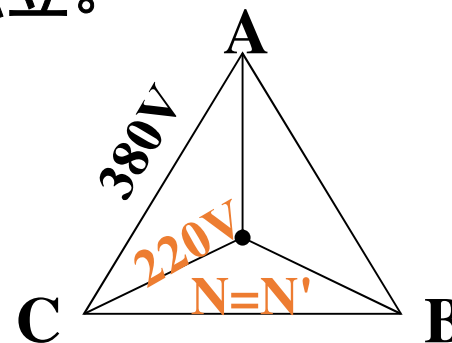
## 不对称电路利用电压源性质进行分解

### 例1. 照明电路:

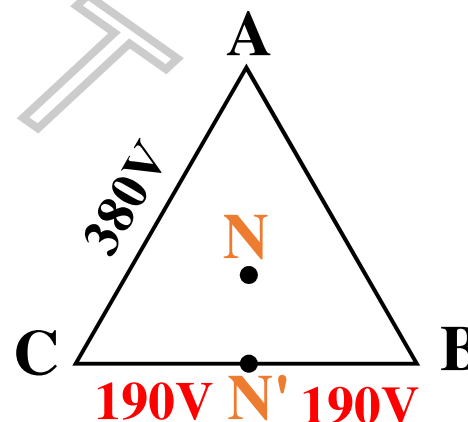
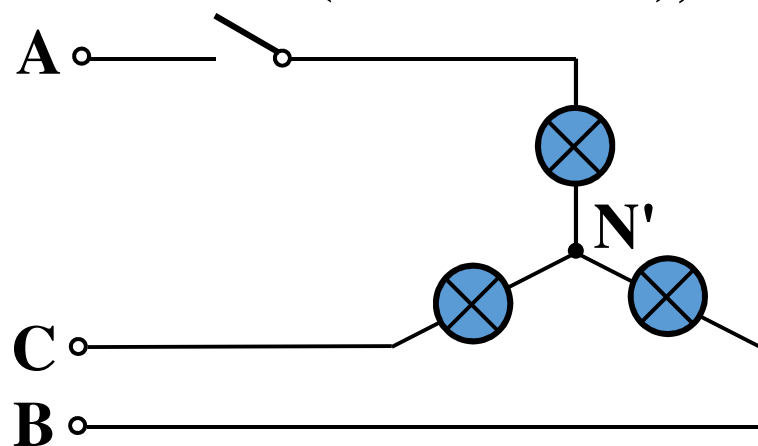
(1) **正常情况下**, 三相四线制, 中线阻抗约为零。



每相负载的工作情况没有相互联系, 相对独立。

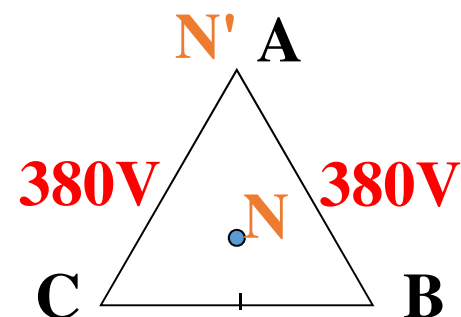
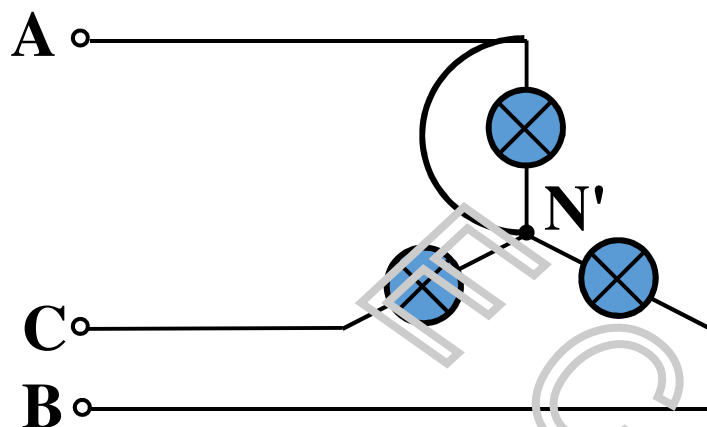


(2) 假设**中线断了**(三相三线制), A相电灯没有接入电路(三相不对称)



灯泡未在额定电压下工作, 灯光昏暗。

### (3) A相短路



超过灯泡的额定电压，灯泡可能烧坏。

- 结论：** (a) **照明中线不装保险**，并且中线较粗。一是减少损耗，二是加强强度(中线一旦断了，负载就不能正常工作)。
- (b) 要消除或减少中点的位移，**尽量减少中线阻抗**，然而从经济的观点来看，中线不可能做得很粗，应适当调整负载，使其接近对称情况。



## 12-5 三相电路的功率

### 1. 对称三相电路的平均功率 $P$

一相负载的功率  $P_p = U_p I_p \cos \varphi_p$

三相总功率  $P = 3P_p = 3U_p I_p \cos \varphi_p$

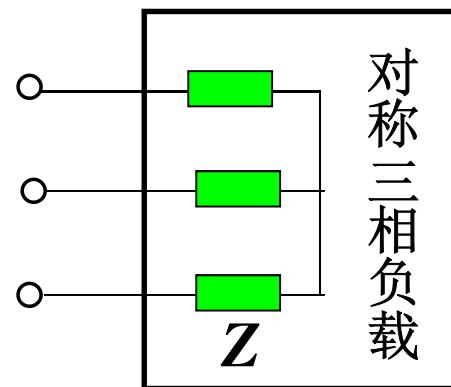
Y接:  $U_l = \sqrt{3}U_p, I_l = I_p$

$$P = 3 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} U_l I_l \cos \varphi_p = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi_p$$

$\Delta$ 接:  $U_l = U_p, I_l = \sqrt{3}I_p$

$$P = 3U_l \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} I_l \cos \varphi_p = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi_p$$

对称三相电路平均功率:  $P = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi_p$



对称三相负载  $Z = |Z| \angle \varphi$

**注意:**  $\varphi_p$  为相电压与相电流的相位差角(Y接负载单相阻抗角)。

## 2. 无功功率

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = 3Q_p$$

$$Q = 3U_p I_p \sin \varphi_p = \sqrt{3} U_l I_l \sin \varphi_p$$

## 3. 视在功率

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_p I_p = \sqrt{3} U_l I_l$$

功率因数也可定义为：

$$\cos \varphi = P/S \quad (\text{不对称时 } \varphi \text{ 无意义})$$

一般来讲， $P$ 、 $Q$ 、 $S$  都是指三相总和。

## 4. 对称三相负载的瞬时功率

$$\text{设} \quad u_A = \sqrt{2} U_p \sin \omega t \quad i_A = \sqrt{2} I_p \sin(\omega t - \varphi)$$

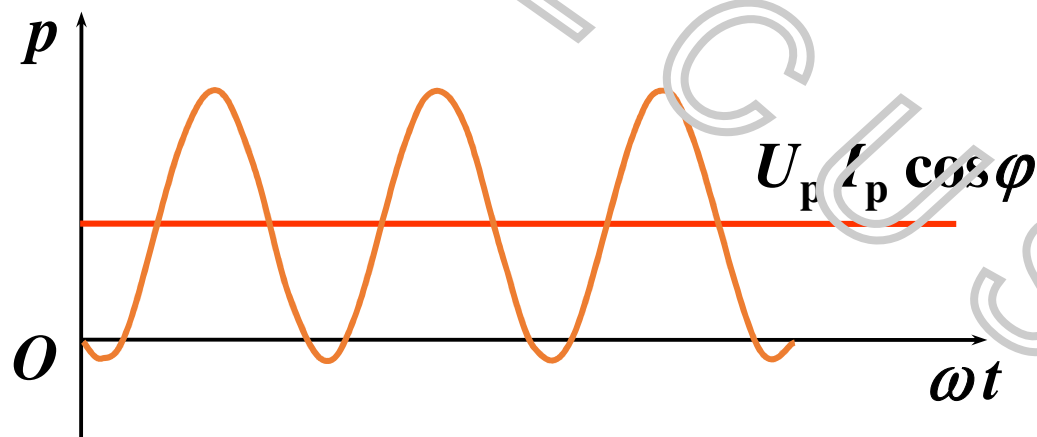
$$\begin{aligned} \text{则} \quad p_A &= u_A i_A = 2U_p I_p \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi) \\ &= U_p I_p [\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)] \end{aligned}$$

$$p_A = u_A i_A = U_p I_p \cos \varphi - U_p I_p \cos(2\omega t - \varphi)$$

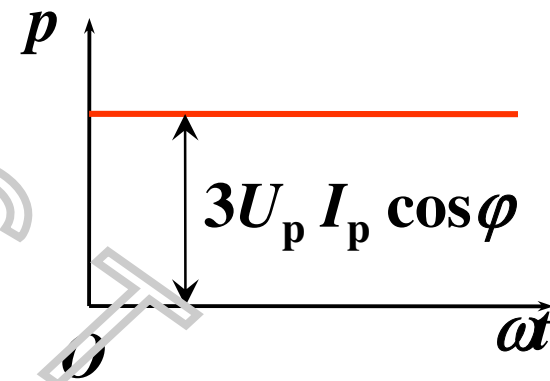
$$p_B = u_B i_B = U_p I_p \cos \varphi - U_p I_p \cos[(2\omega t - 240^\circ) - \varphi]$$

$$p_C = u_C i_C = U_p I_p \cos \varphi - U_p I_p \cos[(2\omega t + 240^\circ) - \varphi]$$

$$p = p_A + p_B + p_C = 3U_p I_p \cos \varphi = P$$



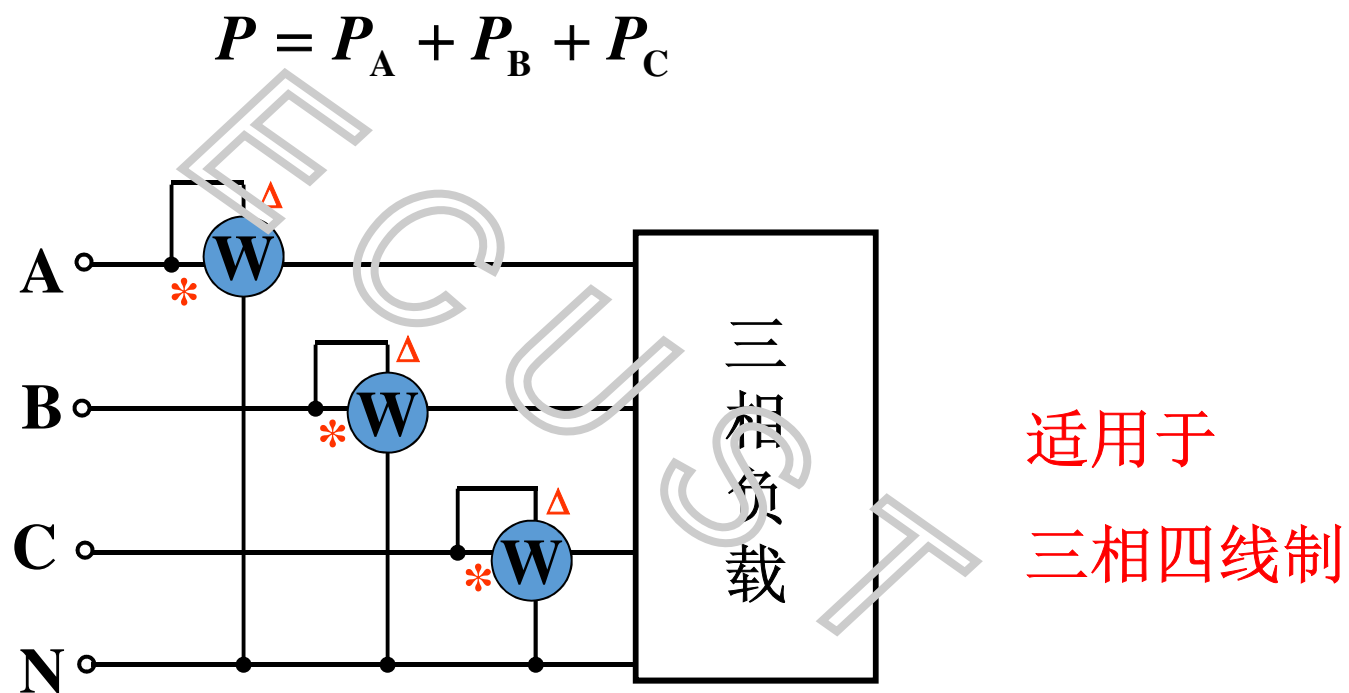
单相：瞬时功率脉动



三相：瞬时功率恒定，  
转矩  $m \propto p$   
可以得到均衡的机械力矩。

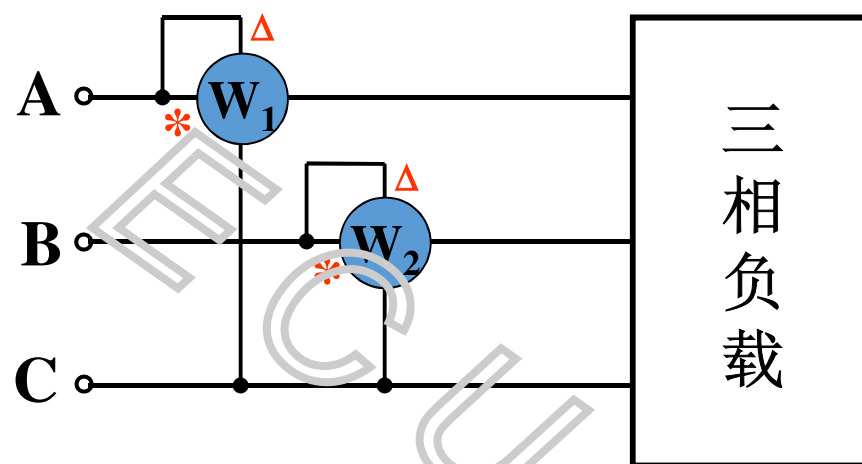
## 5. 三相电路功率的测量

### (1) 三表法



若负载对称，则需一块表，读数乘以 **3**。

## (2) 两表法



若 $W_1$ 的读数为 $P_1$ ， $W_2$ 的读数为 $P_2$ ，则  $P=P_1+P_2$   
即为三相总功率。

证明：(设负载为Y接)

$$p = u_{an} i_A + u_{bn} i_B + u_{cn} i_C$$

$$i_A + i_B + i_C = 0 \quad (\text{KCL})$$

$$i_C = -(i_A + i_B)$$

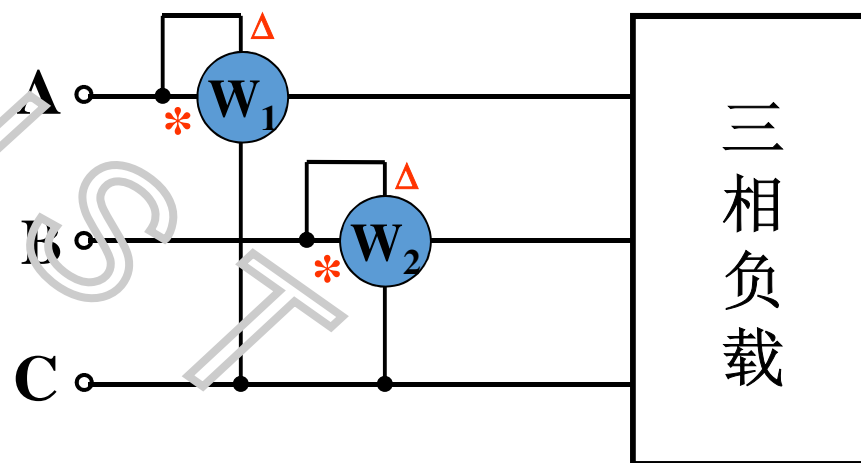
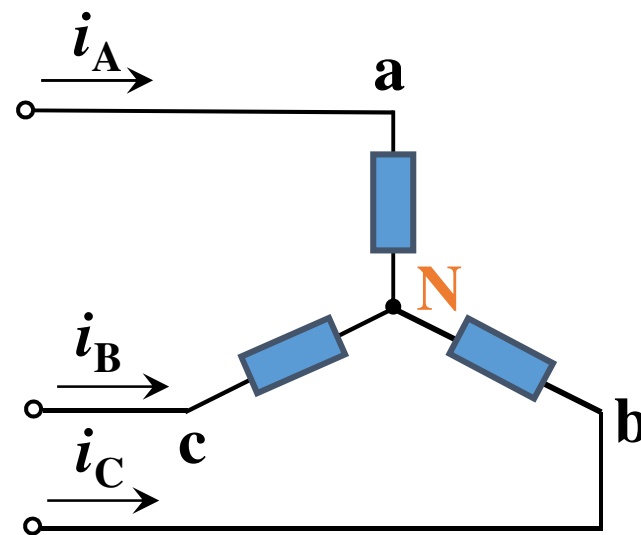
$$p = (u_{an} - u_{cn}) i_A + (u_{bn} - u_{cn}) i_B$$

$$= u_{ac} i_A + u_{bc} i_B$$

$$P = U_{ac} I_A \cos \varphi_1 + U_{bc} I_B \cos \varphi_2$$

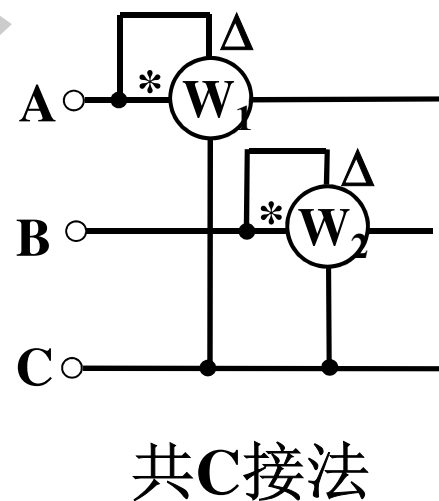
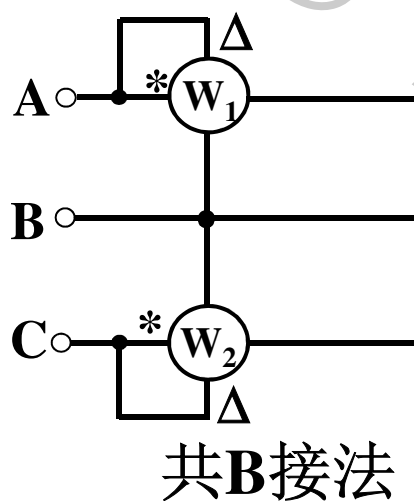
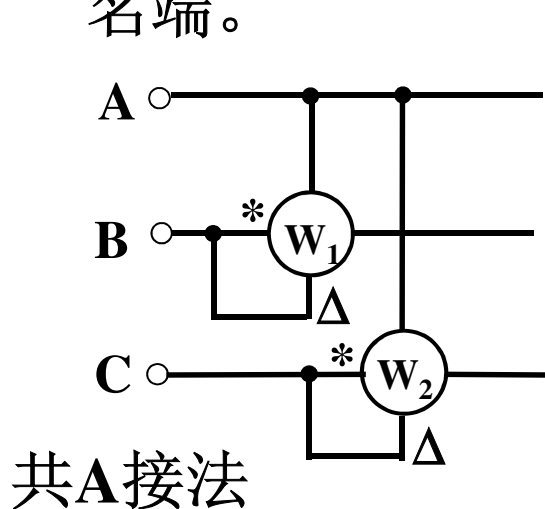
$\varphi_1$ :  $u_{ac}$  与  $i_A$  的相位差,  $\varphi_2$ :  $u_{bc}$  与  $i_B$  的相位差。

最后表达式仅与线电压有关, 所以也适用 $\Delta$ 接。



注意：

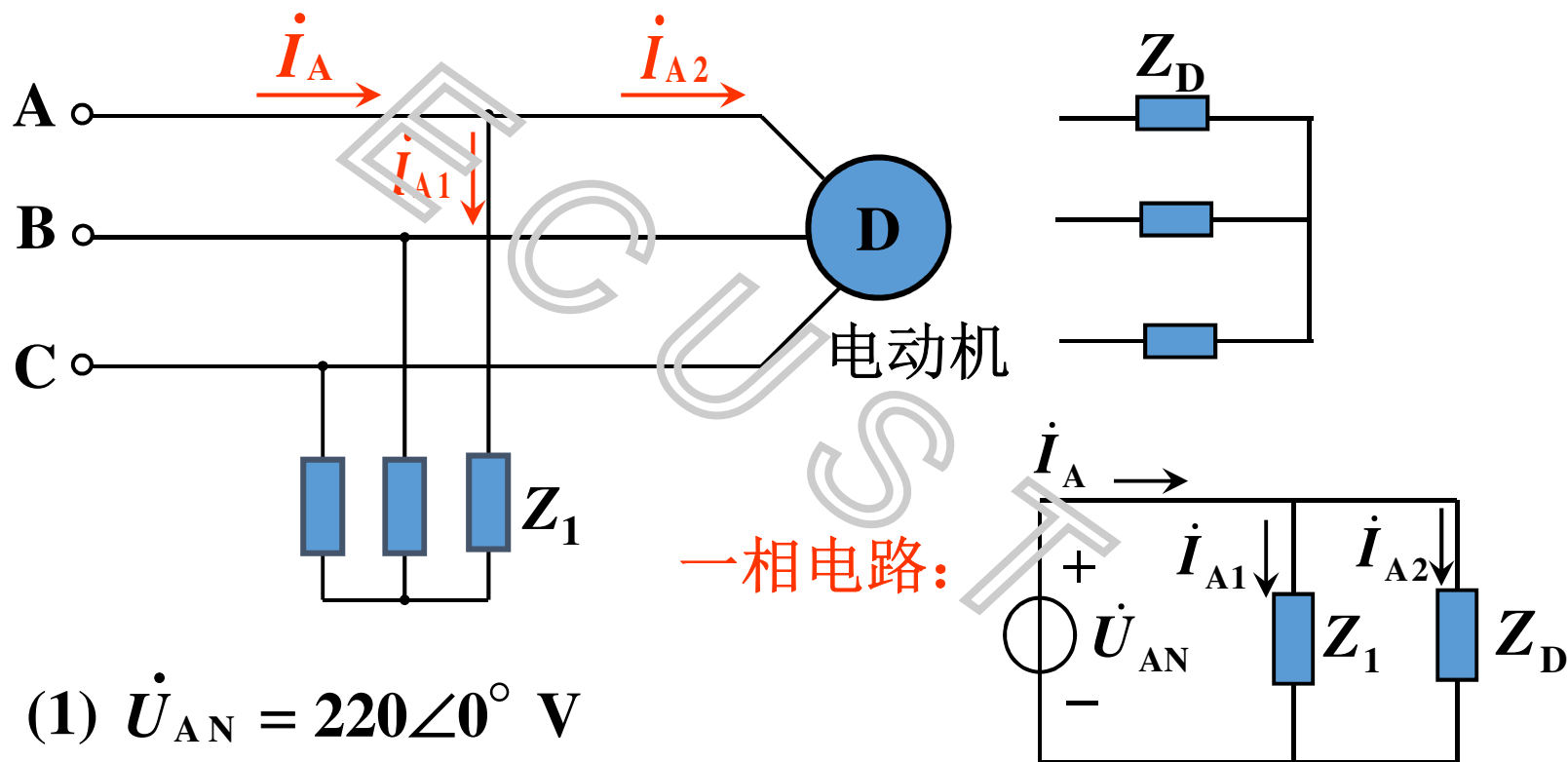
- (1) 只有在  $i_A + i_B + i_C = 0$  这个条件下，才能用二表法(Y接,  $\Delta$ 接)，因此不能用于不对称三相四线制。
- (2) 两块表读数的代数和为三相总功率，每块表的单独读数无意义。
- (3) 按正确极性接线时，二表中可能有一个表的读数为负，此时功率表指针反转，将其电流线圈极性反接后，指针指向正数，但此时读数应记为负值。
- (4) 两表法测三相功率的接线方式有三种，注意功率表的同名端。



**例7**  $U_l = 380\text{V}$ ,  $Z_1 = 30 + j40\Omega$ , 电动机  $P_D = 1700\text{W}$ ,  $\cos\varphi = 0.8$ (滞后)。

求：(1) 线电流和电源发出总功率；

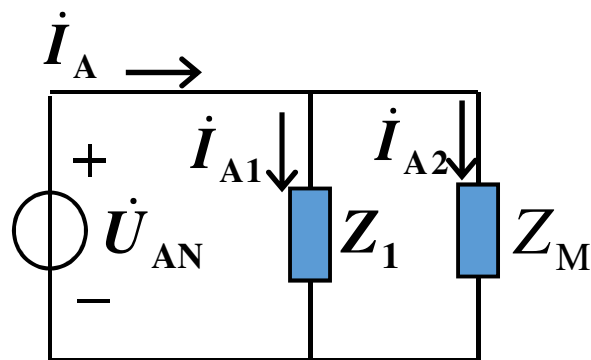
(2) 用两表法测电动机负载的功率，画接线图，求两表读数。



**解：** (1)  $\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{ V}$

$$\dot{I}_{A1} = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_1} = \frac{220\angle 0^\circ}{30 + j40} = 4.41\angle -53.1^\circ \text{ A}$$





电动机负载:

$$P_M = \sqrt{3} U_L I_{A2} \cos \varphi = 1700 \text{ W}$$

$$I_{A2} = \frac{P_M}{\sqrt{3} U_L \cos \varphi} = \frac{1700}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} = 3.23 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = 0.8 (\text{滞后}), \varphi = 36.9^\circ$$

$$\dot{I}_{A2} = 3.23 \angle -36.9^\circ \text{ A}$$

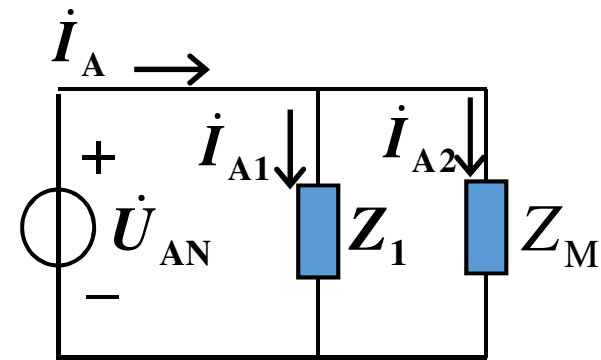
Y接阻抗单相阻抗角

A相电压电流相位差

$$\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{ V} \quad \dot{I}_{A1} = 4.41\angle -53.1^\circ \text{ A}$$

总电流:

$$\dot{I}_{A2} = 3.23\angle -36.9^\circ \text{ A}$$



$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} \\ &= 4.41\angle -53.1^\circ + 3.23\angle -36.9^\circ = 7.56\angle -46.2^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{总}} &= \sqrt{3} U_L I_A \cos \varphi_{\text{总}} \quad \varphi_{\text{总}} = \psi_{u_{AN}} - \psi_{i_A} = 46.2^\circ \\ &= \sqrt{3} \times 380 \times 7.56 \times \cos 46.2^\circ = 3.44 \text{ kW} \end{aligned}$$

另解:

$$P_{Z1} = 3 \times I_{A1}^2 \times R_1 = 3 \times 4.41^2 \times 30 = 1.74 \text{ kW}$$

$$P_{\text{总}} = P_{Z1} + P_D = 1.74 + 1.7 = 3.44 \text{ kW}$$

(2) 两表的接法如图。

$$\dot{I}_{A2} = 3.23 \angle -36.9^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{B2} = 3.23 \angle -156.9^\circ \text{ A}$$

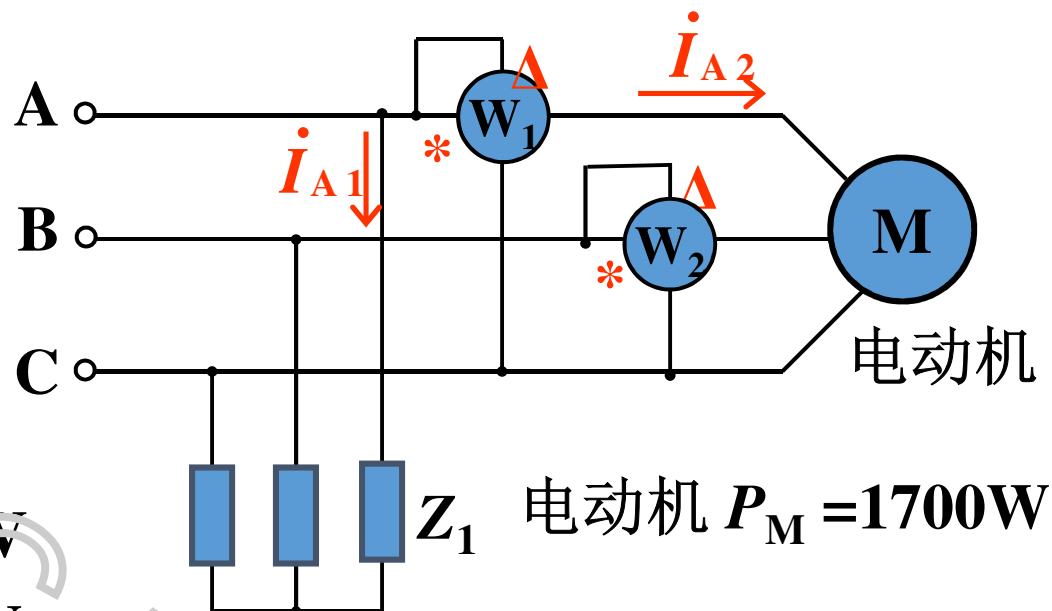
$$\dot{U}_{AB} = 380 \angle 30^\circ \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AC} = -\dot{U}_{CA} &= -380 \angle 150^\circ \text{ V} \\ &= 380 \angle -30^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

$$\dot{U}_{BC} = 380 \angle -90^\circ \text{ V}$$

表  $W_1$  的读数:  $P_1 = U_{AC} I_{A2} \cos \varphi_1 = 380 \times 3.23 \cos(-30^\circ + 36.9^\circ)$   
 $= 380 \times 3.23 \cos(6.9^\circ) = 1219 \text{ W}$

表  $W_2$  的读数:  $P_2 = U_{BC} I_{B2} \cos \varphi_2 = 380 \times 3.23 \cos(-90^\circ + 156.9^\circ)$   
 $= 380 \times 3.23 \cos(66.9^\circ) = 481 \text{ W}$



1700W