

# 第12章 三相电路



# 第12章 三相电路

## • 三相电路的意义

- 发电机组都是三相的，能量传输、电力系统大都是三相的，可输出三相电源两个不同等级的电压；
- 三相电好处：两个不同等级电压；瞬时功率常值；三相四线制，节省电线；
- 三相电路具有对称性，便于计算。

# 第12章 三相电路

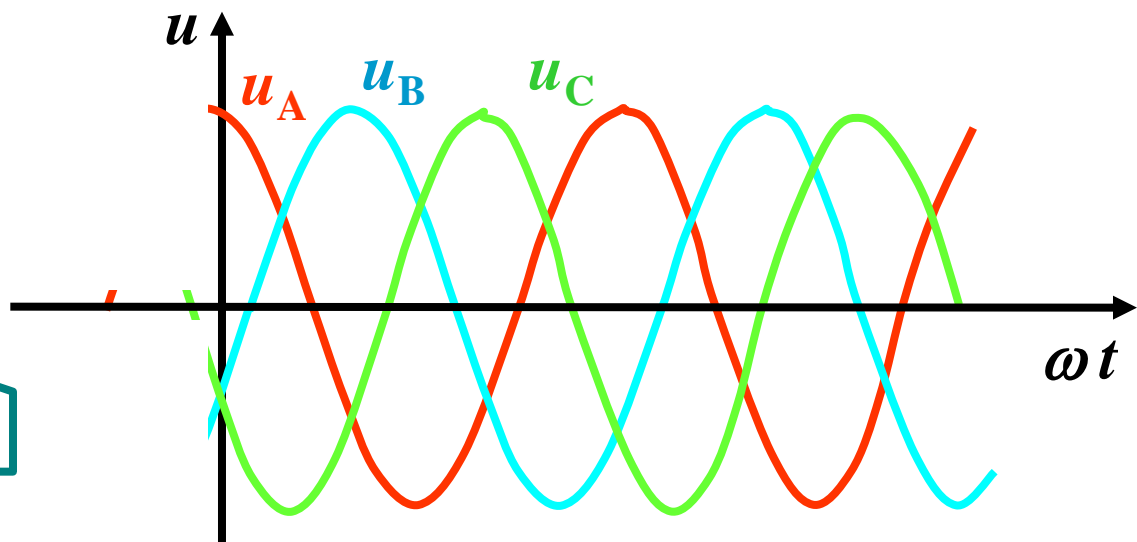
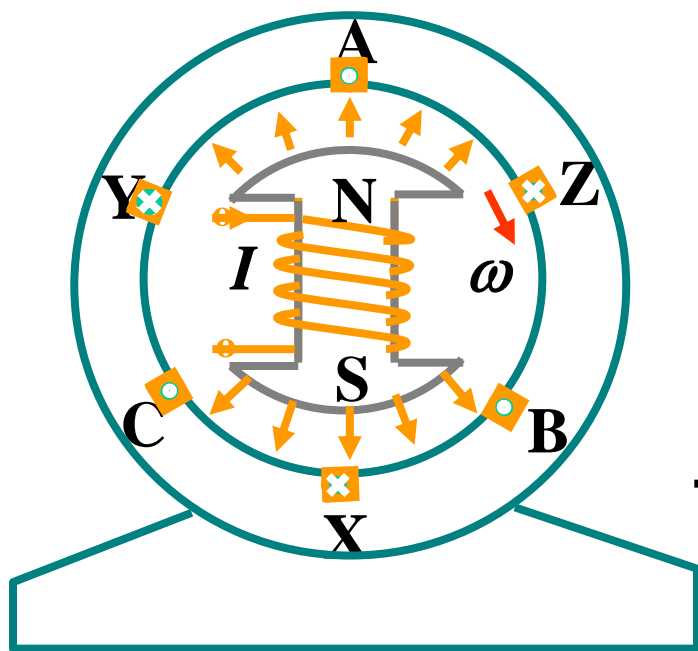
## 本章重点

- 1.三相电路的基本概念
- 2.对称三相电路的分析
- 3.不对称三相电路的概念
- 4.三相电路的功率

# 12.1 对称三相电路

## 1. 对称三相电压源

(1) 如何产生？及时域波形。

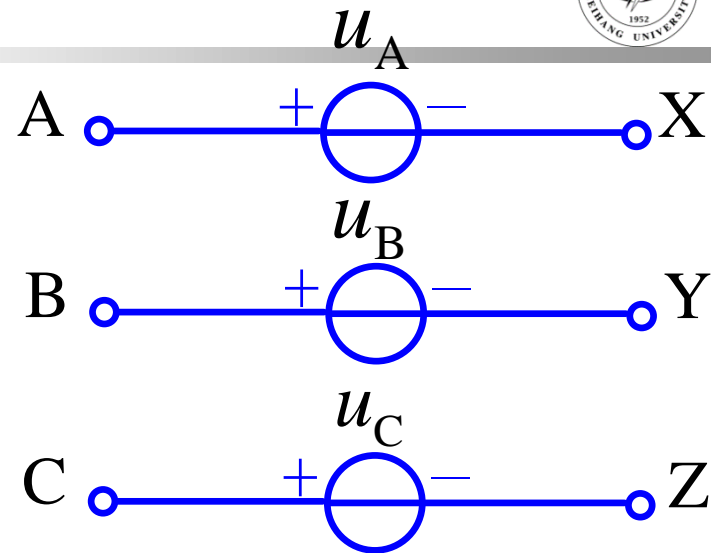


三相同步发电机示意图

波形图

## (2) 对称三相电压源表示方法

$$\begin{cases} u_A = \sqrt{2}U \cos \omega t \\ u_B = \sqrt{2}U \cos(\omega t - 120^\circ) \\ u_C = \sqrt{2}U \cos(\omega t + 120^\circ) \end{cases}$$



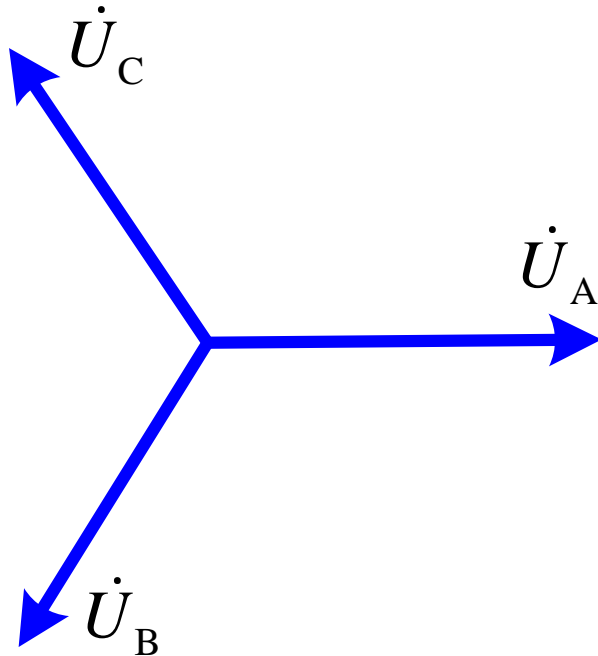
$$\begin{cases} \dot{U}_A = U \angle 0^\circ \\ \dot{U}_B = U \angle -120^\circ \\ \dot{U}_C = U \angle 120^\circ \end{cases}$$

## (3) 特点

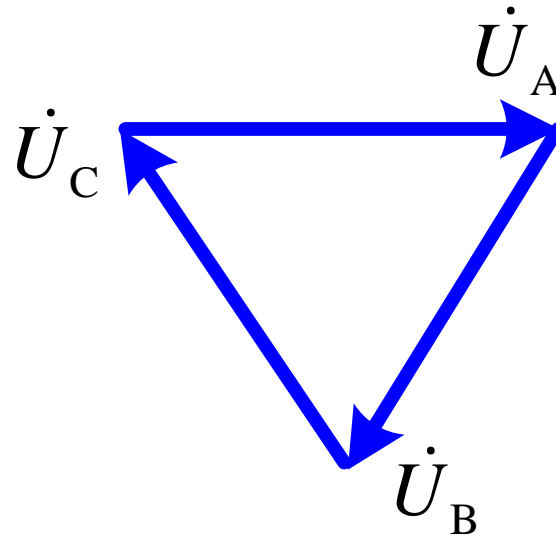
$$\begin{cases} \dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0 \\ u_A + u_B + u_C = 0 \end{cases}$$

## (4) 特性相量图

$$\begin{cases} \dot{U}_A = U \angle 0^\circ \\ \dot{U}_B = U \angle -120^\circ \\ \dot{U}_C = U \angle 120^\circ \end{cases}$$



$$\begin{cases} \dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0 \\ u_A + u_B + u_C = 0 \end{cases}$$

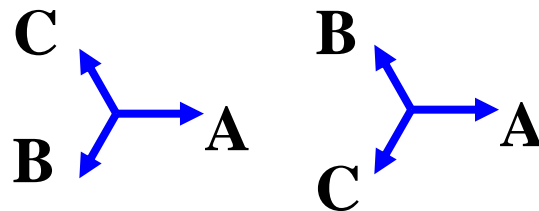


## (5) 对称三相电源的相序

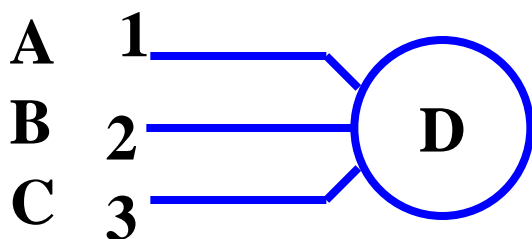
三相电源中各相电源经过同一值的先后顺序

正序(顺序): A—B—C—A

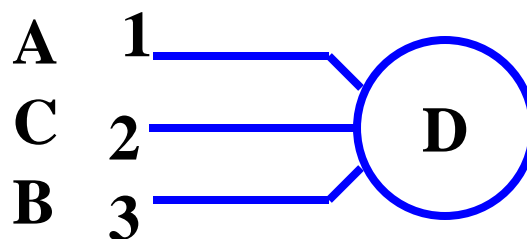
负序(逆序): A—C—B—A



意义: 对三相电动机, 如果相序反了, 就会反转。



正 转



反 转

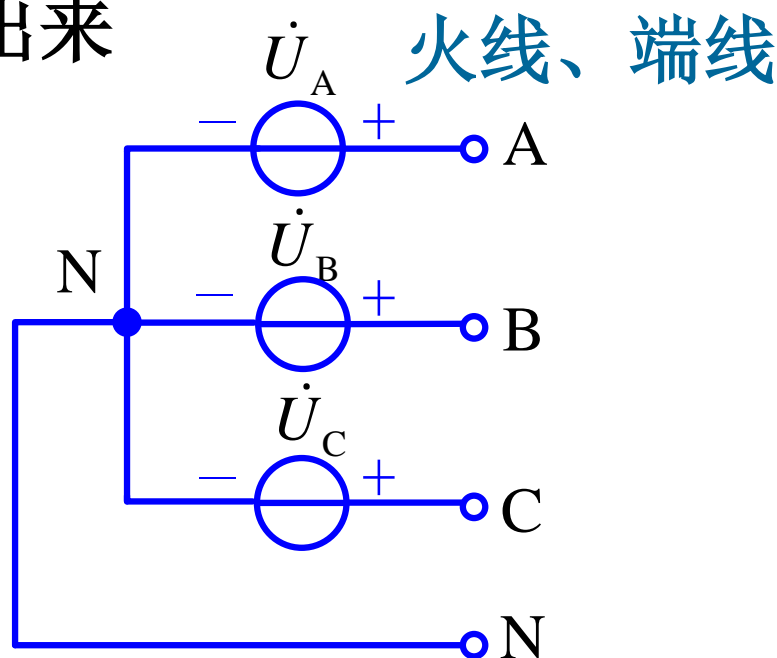
如果不特别说明, 一般都认为是正相序。

工业上用色标来表示, 黄绿红为正序。

## 2. 三相电源的联接

### (1) 星形联接(Y联接)

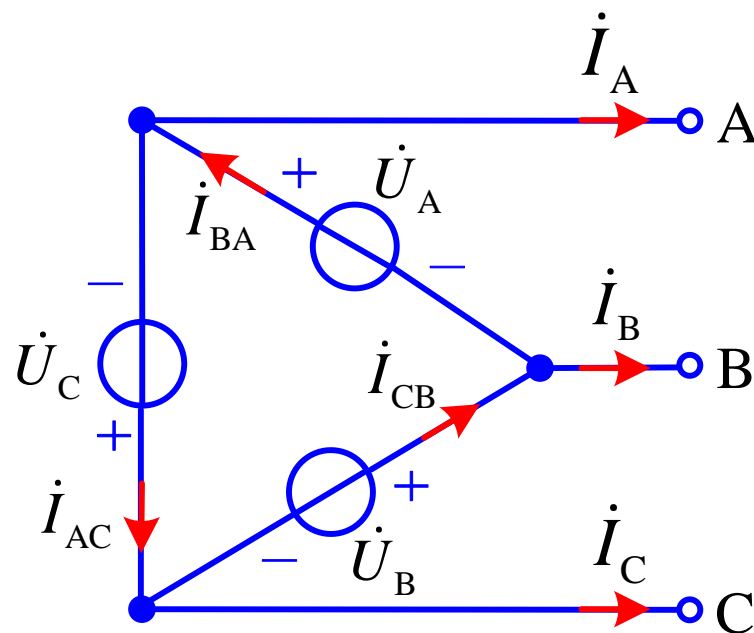
把三个绕组的末端 **X, Y, Z** 接在一起, 把始端 **A, B, C** 引出来



中性点、零线  
提供两种电压

### (2) 三角形联接( $\Delta$ 联接)

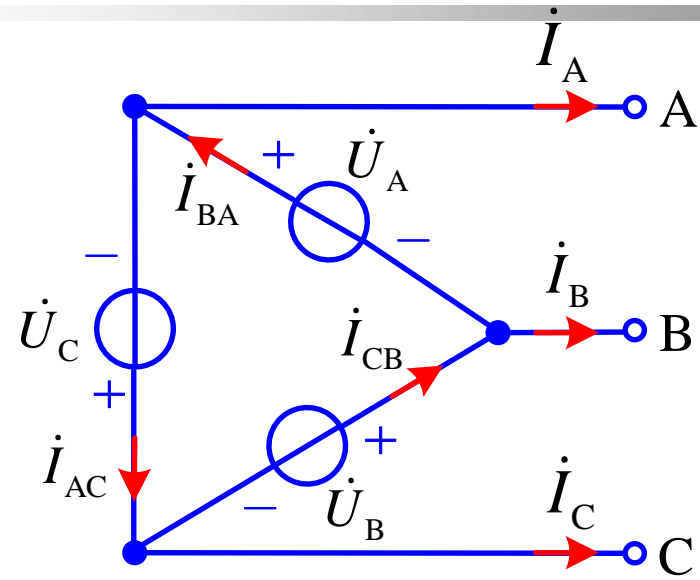
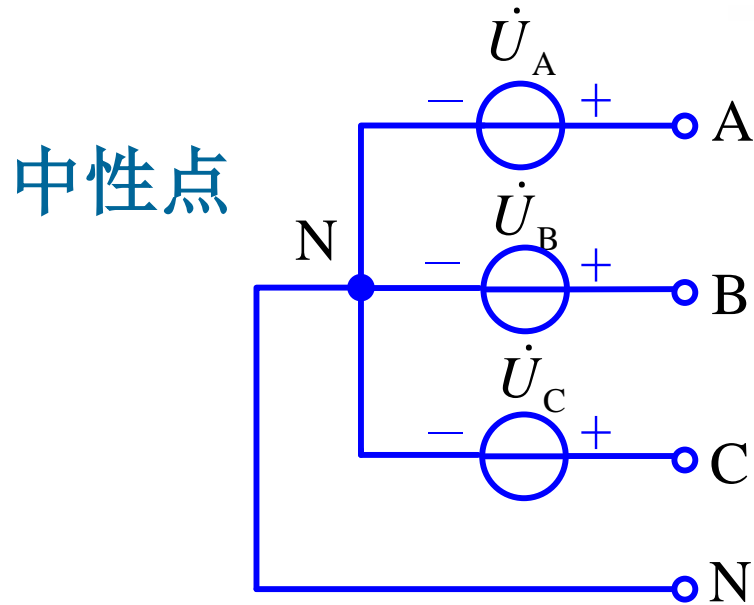
三个绕组始末端顺序相接。



提供一种电压,  
提供更大电流。

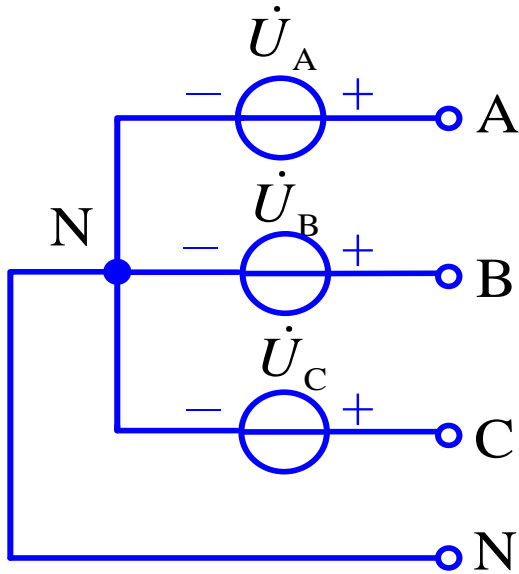


### (3) 几个名词

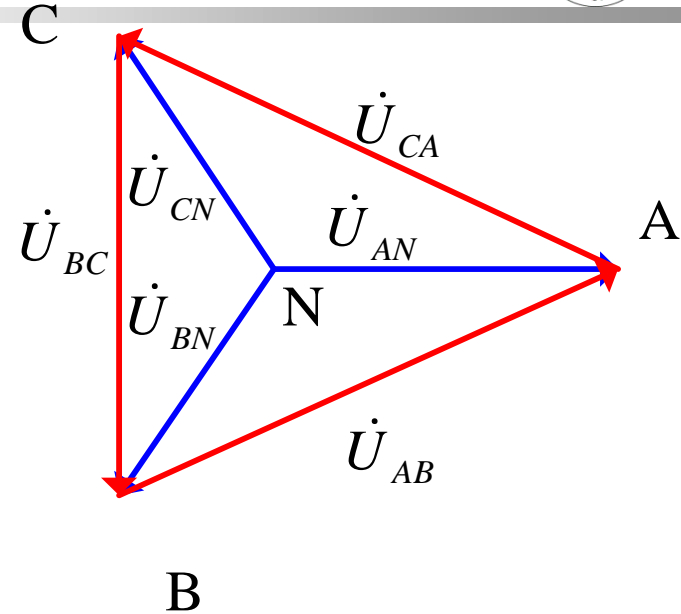


- (1) 端线(火线): 始端A, B, C 三端引出线。
- (2) 中线(零线): 中性点N引出线,  $\Delta$ 接无中线。
- (3) 三相三线制与三相四线制。
- (4) 线电压: 端线与端线之间的电压。  $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$
- (5) 相电压: 每相电源的电压。  $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$

### 3. 三相电压源的星形联接



$$\begin{cases} \dot{U}_{AN} = U \angle 0^\circ \\ \dot{U}_{BN} = U \angle -120^\circ \\ \dot{U}_{CN} = U \angle 120^\circ \end{cases}$$



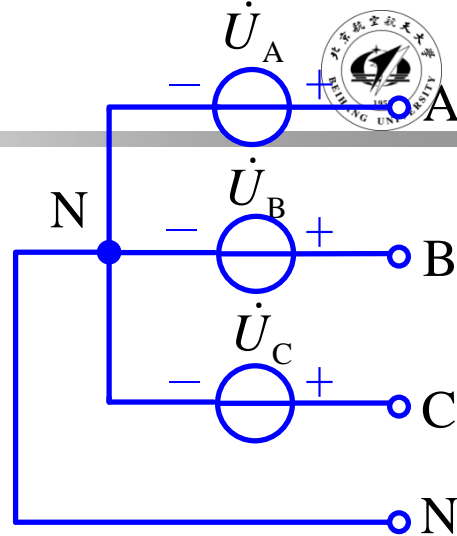
$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN} = U \angle 0^\circ - U \angle -120^\circ = \sqrt{3} \dot{U}_{AN} \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN} = U \angle -120^\circ - U \angle 120^\circ = \sqrt{3} \dot{U}_{BN} \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN} = U \angle 120^\circ - U \angle 0^\circ = \sqrt{3} \dot{U}_{CN} \angle 30^\circ$$

### 3. 三相电压源的星形联接

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{AN} = U \angle 0^\circ \\ \dot{U}_{BN} = U \angle -120^\circ \\ \dot{U}_{CN} = U \angle 120^\circ \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{AB} = \sqrt{3} \dot{U}_{AN} \angle 30^\circ \\ \dot{U}_{BC} = \sqrt{3} \dot{U}_{BN} \angle 30^\circ \\ \dot{U}_{CA} = \sqrt{3} \dot{U}_{CN} \angle 30^\circ \end{array} \right.$$



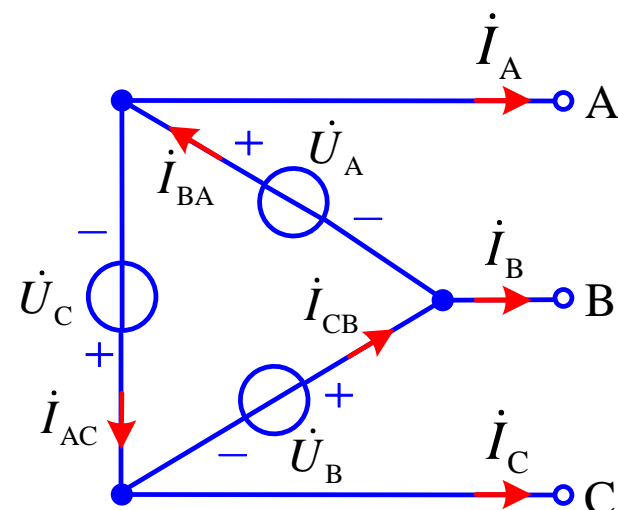
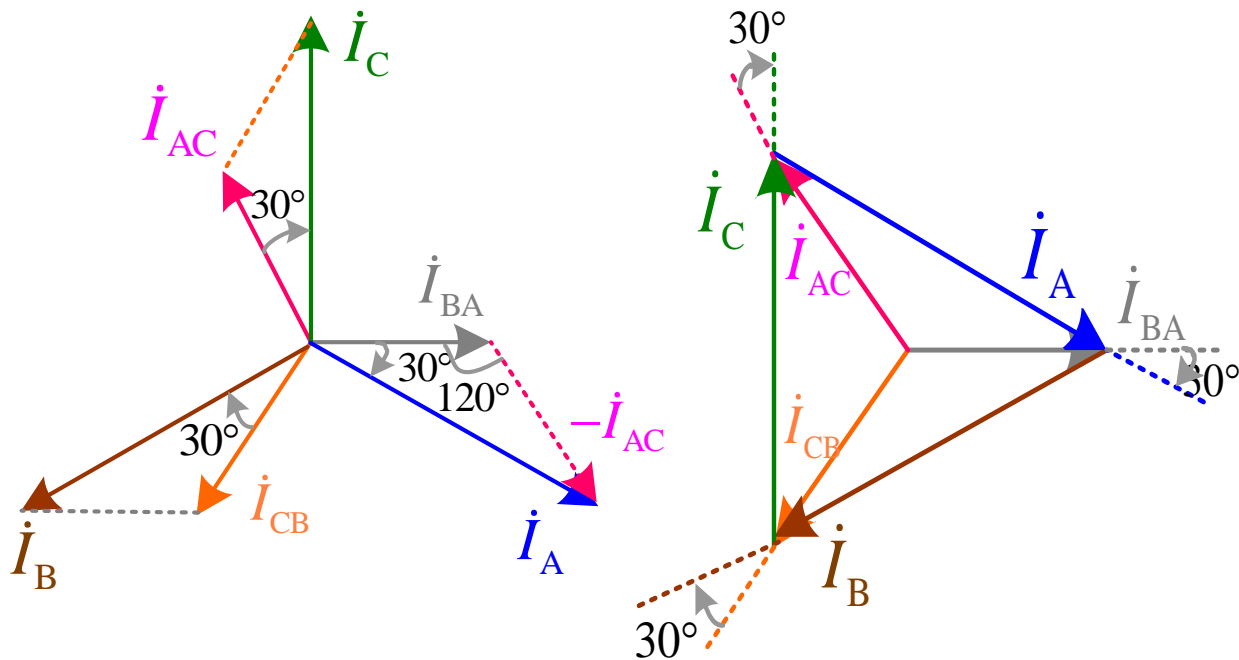
相电压对称，则线电压也对称，有效值（幅值）相等，相角差 $120^\circ$ 。

线电压有效值是相电压有效值的  $\sqrt{3}$  倍,  $U_L = \sqrt{3}U_P$

线电压的相位超前对应相电压 $30^\circ$

线电流等于对应相电流  $I_L = I_P$

## 4. 三相电压源的三角形联接



三相三线制，提供一种电压，可向负载提供更大电流。

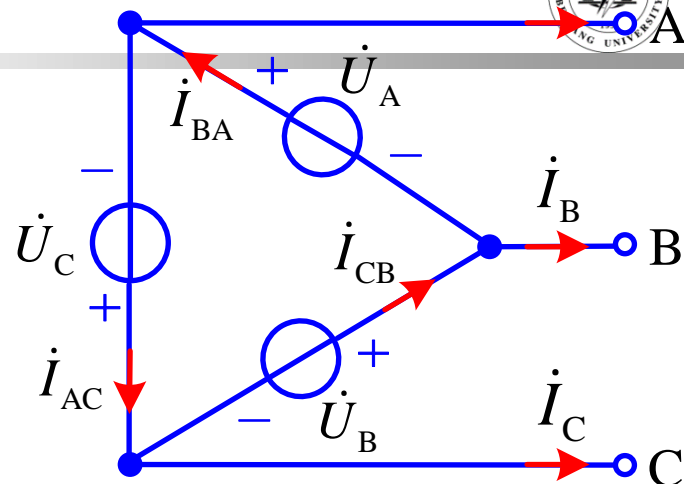
$$\dot{i}_A = \dot{i}_{BA} - \dot{i}_{AC} = \sqrt{3}\dot{i}_{BA} \angle -30^\circ$$

$$\dot{i}_B = \dot{i}_{CB} - \dot{i}_{BA} = \sqrt{3}\dot{i}_{CB} \angle -30^\circ$$

$$\dot{i}_C = \dot{i}_{AC} - \dot{i}_{CB} = \sqrt{3}\dot{i}_{AC} \angle -30^\circ$$

## 4. 三相电压源的三角形联接

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \sqrt{3}\dot{I}_{BA} \angle -30^\circ \\ \dot{I}_B = \sqrt{3}\dot{I}_{CB} \angle -30^\circ \\ \dot{I}_C = \sqrt{3}\dot{I}_{AC} \angle -30^\circ \end{cases}$$



三个线电流对称，有效值（幅值）相等，相角差 $120^\circ$ 。

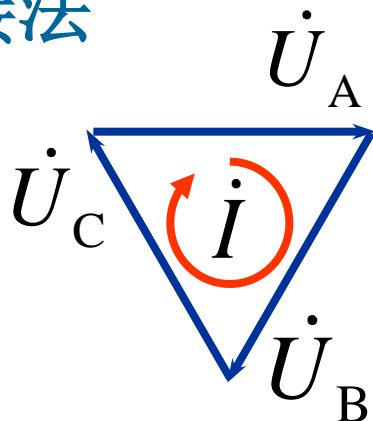
线电压等于对应相电压  $U_L = U_P$

线电流有效值是相电流有效值的  $\sqrt{3}$  倍， $I_L = \sqrt{3}I_P$

线电流的相位滞后对应相电流 $30^\circ$ 。

**注意**  $\Delta$ 联接电源需要始端末端要依次相连。

**正确接法**

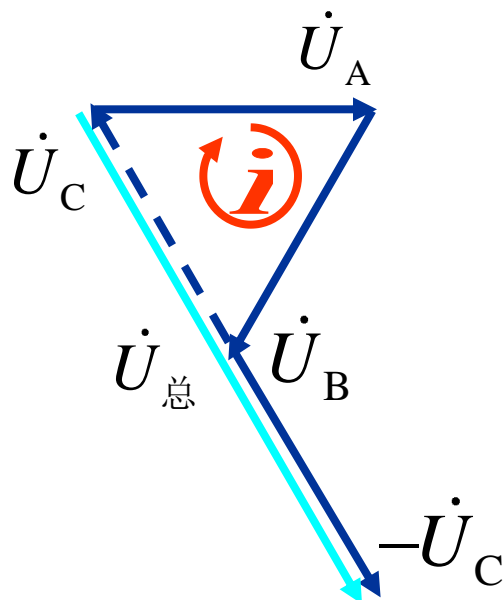


$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$$

$$\dot{I} = 0$$

$\Delta$ 联接电源中不会产生环流。

**错误接法**

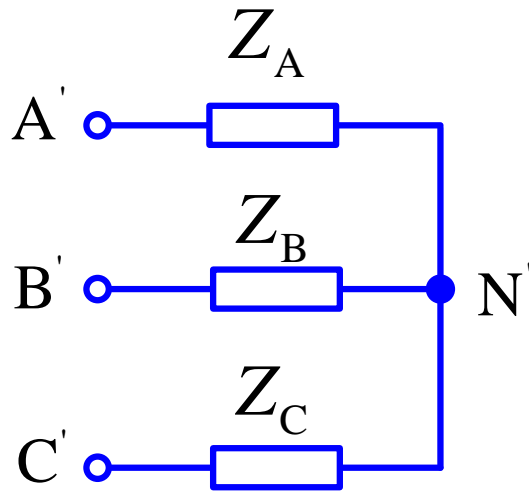


$$\dot{U}_A + \dot{U}_B - \dot{U}_C = -2\dot{U}_C$$

$$\dot{I} \neq 0$$

$\Delta$ 接电源中将会产生环流。

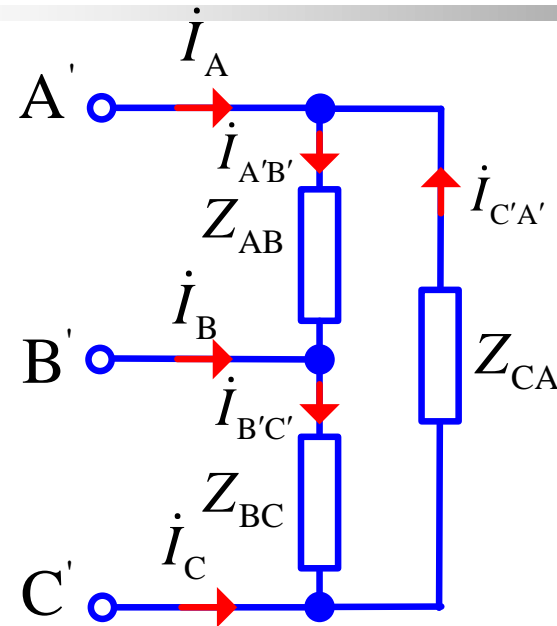
## 5. 三相负载的联接



对称三相负载

$$Z_A = Z_B = Z_C$$

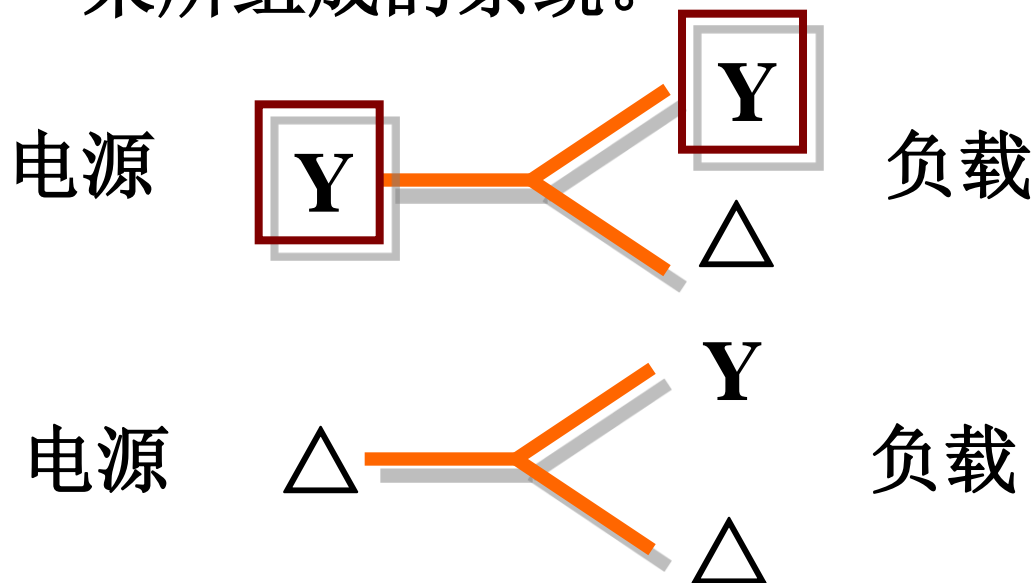
$$Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA}$$



3、4中关于线电压和相电压的关系也适用于对称星型负载和三角型负载。

## 6. 三相电路

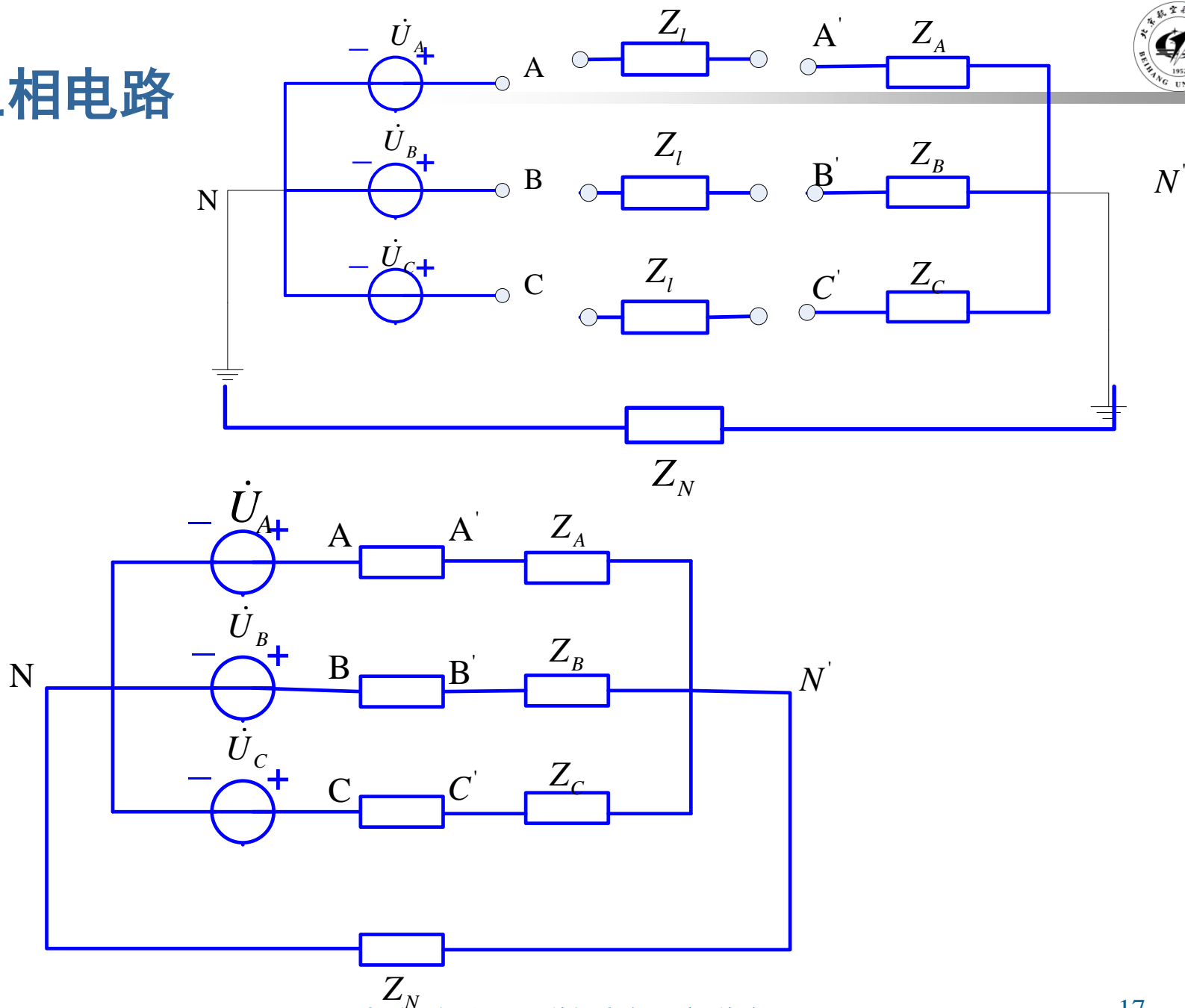
三相电路就是由对称三相电源和三相负载联接起来所组成的系统。



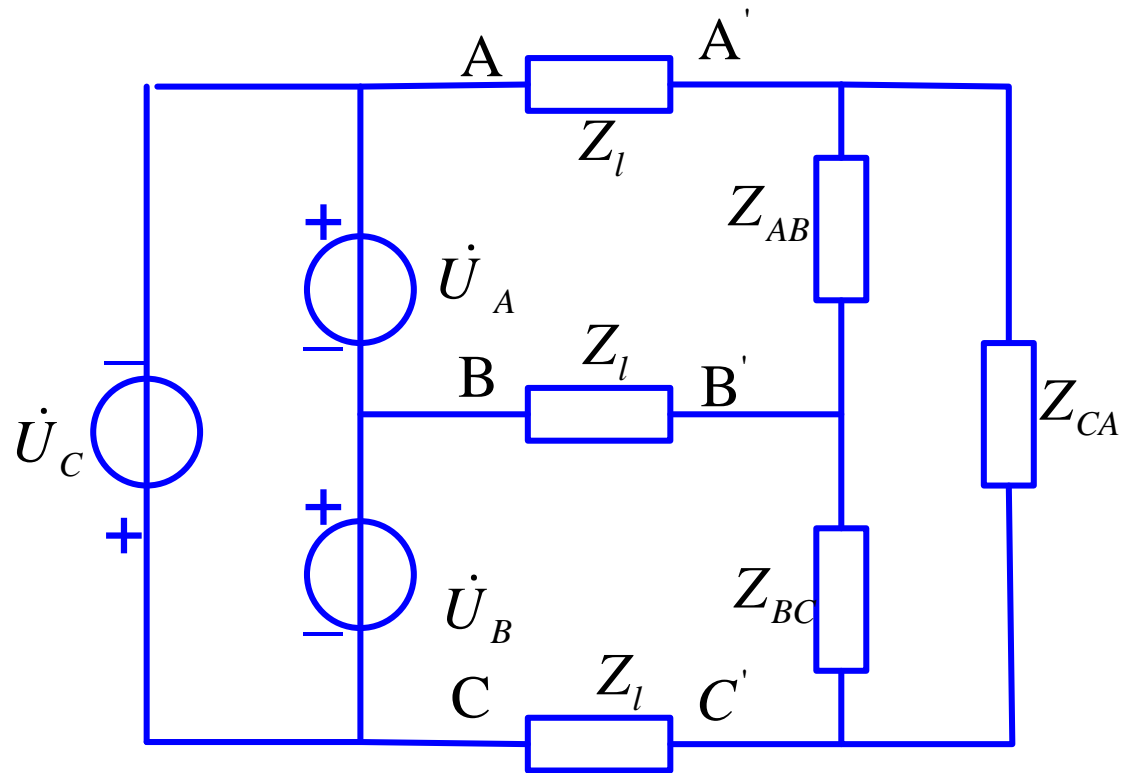
当组成三相电路的电源、负载阻抗和端线阻抗都对称时，称对称三相电路



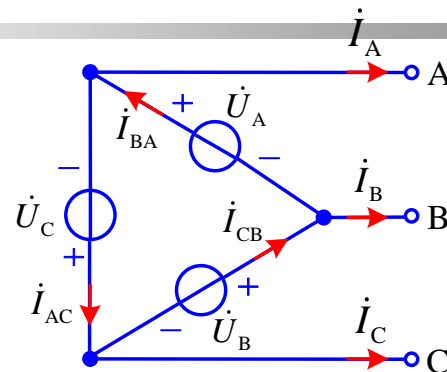
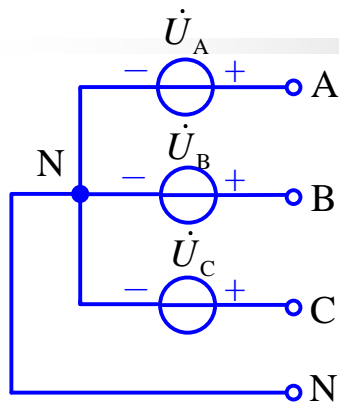
# 6. 三相电路



## 6. 三相电路



下列说法正确的有：



A

负载端负载的变化，不会影响星型联接电压源的对成性；

B

负载端负载的变化，不会影响三角型联接电压源的对成性；

C

负载端负载的变化，不会影响星型联接线电压间的对成性；

D

负载端负载的变化，不会影响星型联接端线电流间的对成性。

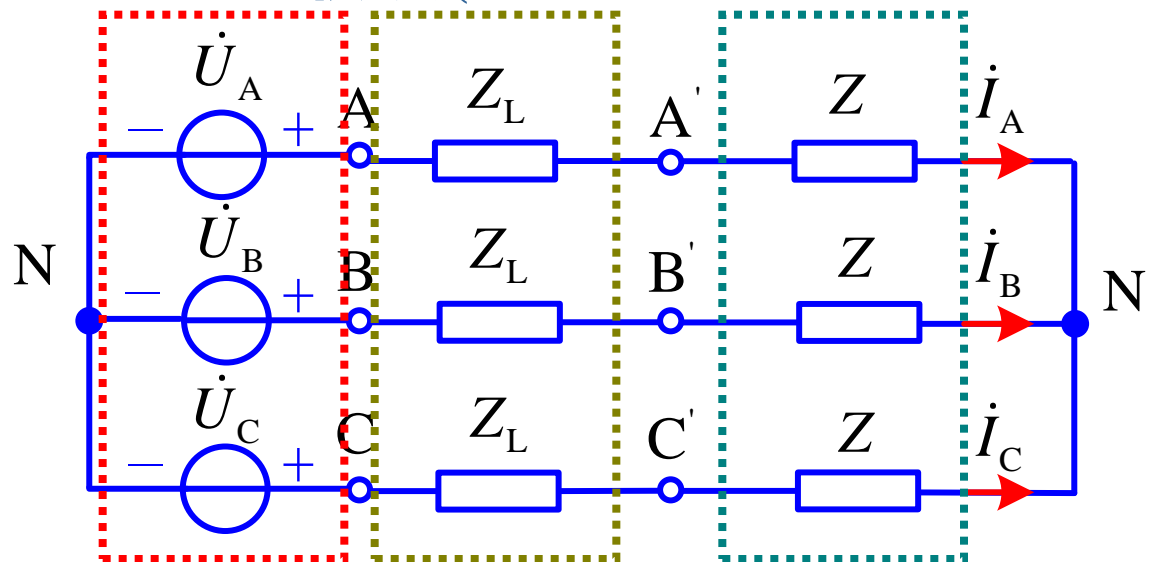
提交

## 12.2 对称三相电路的计算

- 三相电路对称：三相电源、端线阻抗、负载阻抗对称
- 计算方法：三相电路是复杂正弦电流电路的一种特殊类型，正弦电流电路的分析方法完全适用于三相电路
- 特殊性：由对称性引起的一些特殊规律

# 12.2 对称三相电路的计算

## 1. Y-Y联接(三相三线制)



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

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

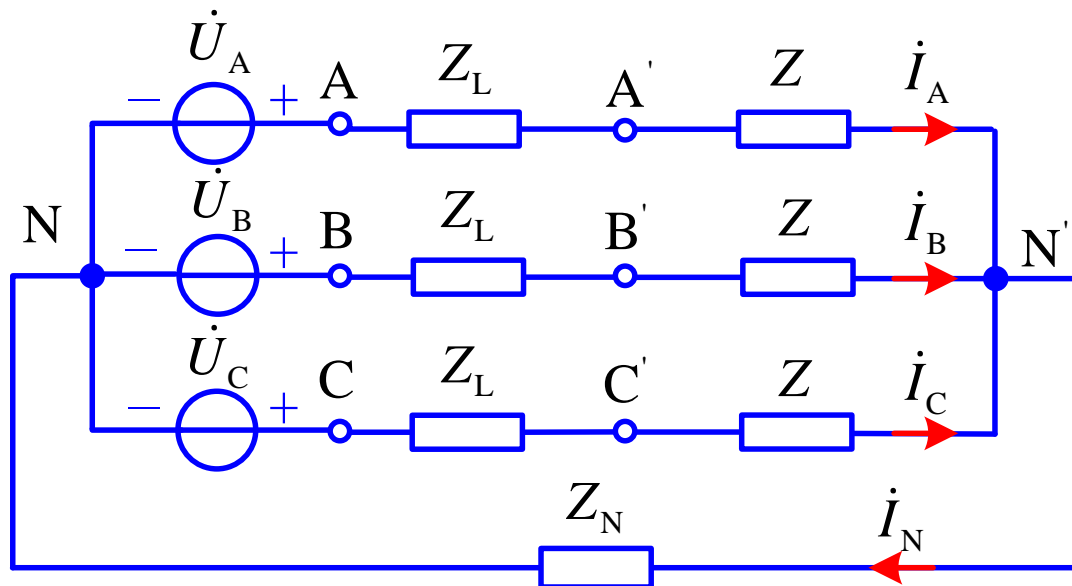
$$\dot{U}_C = U \angle 120^\circ$$

$$\left( \frac{1}{Z + Z_L} + \frac{1}{Z + Z_L} + \frac{1}{Z + Z_L} \right) \dot{U}_{N'N} = \frac{1}{Z + Z_L} \dot{U}_A + \frac{1}{Z + Z_L} \dot{U}_B + \frac{1}{Z + Z_L} \dot{U}_C$$

$$\frac{3}{Z + Z_L} \dot{U}_{N'N} = \frac{1}{Z + Z_L} (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) = 0 \quad \therefore \dot{U}_{N'N} = 0$$

# 12.2 对称三相电路的计算

## 2. Y-Y联接(三相四线制)



$$\left(\frac{1}{Z_N} + \frac{1}{Z_L + Z} + \frac{1}{Z_L + Z} + \frac{1}{Z_L + Z}\right)\dot{U}_{N'N} = \frac{\dot{U}_A}{Z_L + Z} + \frac{\dot{U}_B}{Z_L + Z} + \frac{\dot{U}_C}{Z_L + Z}$$

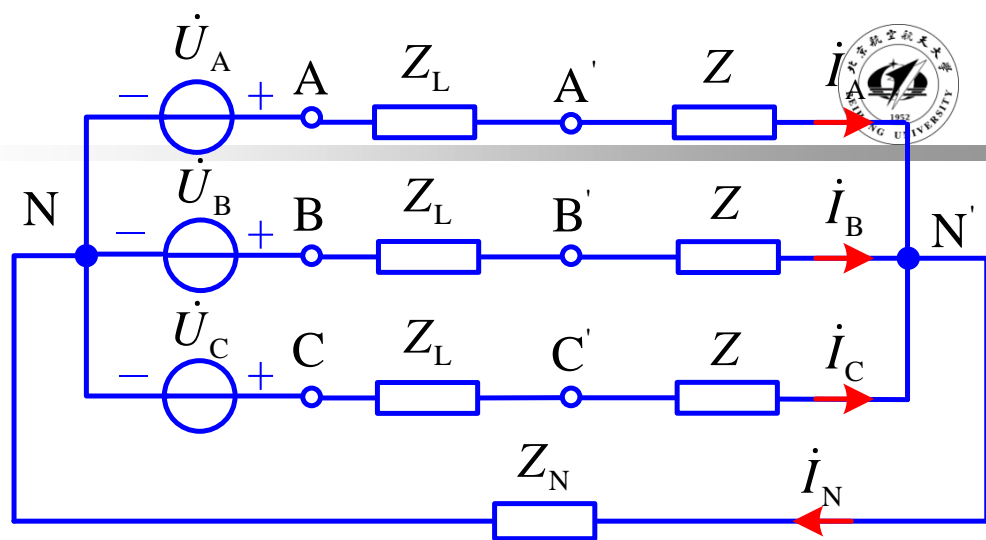
$$\dot{U}_{N'N} = \frac{(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) \frac{1}{Z_L + Z}}{\frac{3}{Z_L + Z} + \frac{1}{Z_N}}$$

$$\because \dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$$

$$\therefore \dot{U}_{N'N} = 0 \quad \text{负载中点与电源中点等电位。}$$

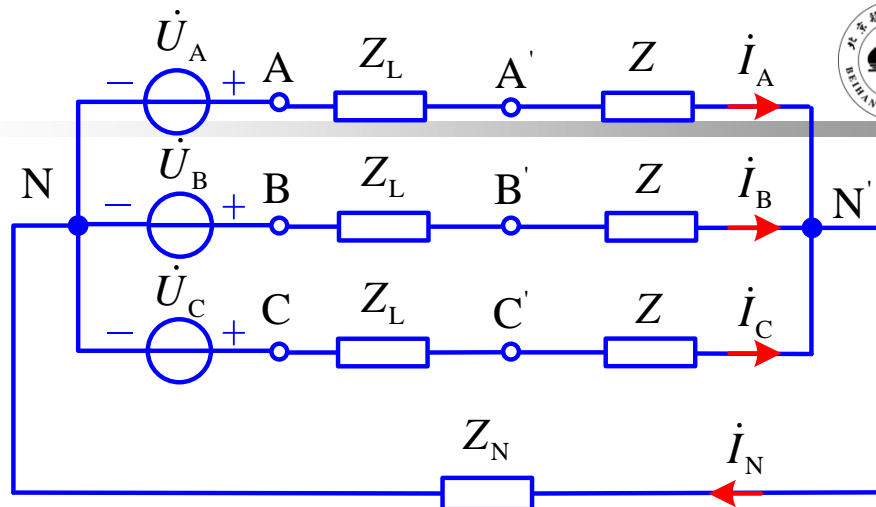
$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_L + Z} \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_L + Z} \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_L + Z}$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

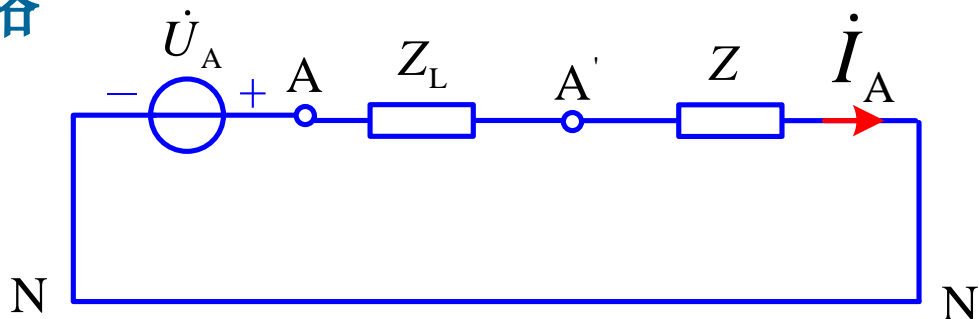


$$\begin{cases} \dot{U}_{A'N'} = \dot{I}_A Z \\ \dot{U}_{B'N'} = \dot{I}_B Z \\ \dot{U}_{C'N'} = \dot{I}_C Z \end{cases}$$

对称



一相计算电路



负载中点与电源中点等电位，三相互不影响，可求出其中一项，直接写出其他项。

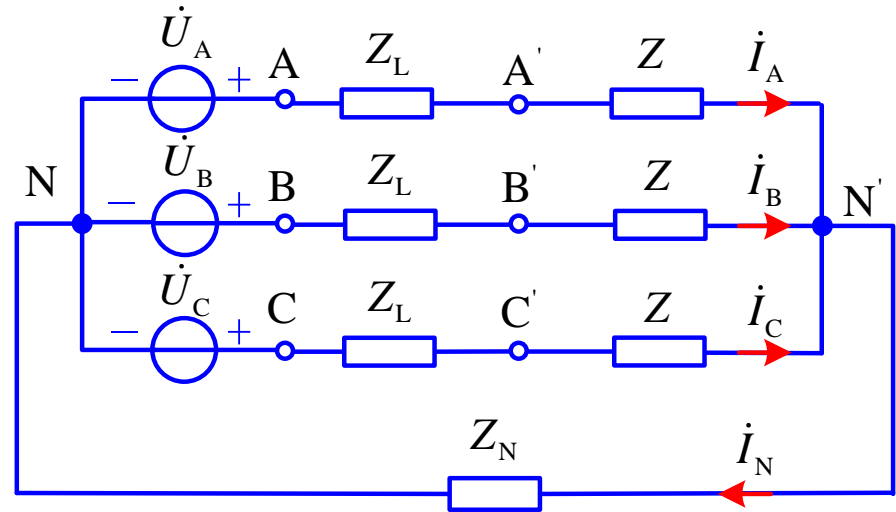
中线阻抗不起作用。





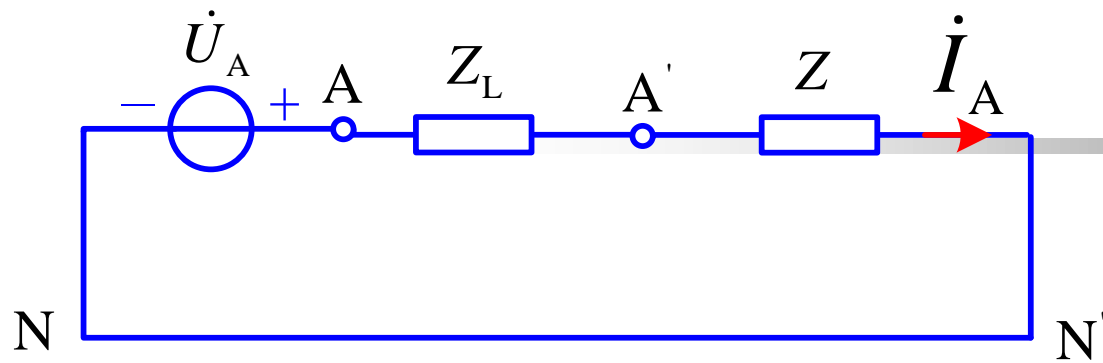
【例】 对称三相电源线电压为381V，接对称星形负载，每相阻抗为 $Z=11+j14\ \Omega$ ，端线阻抗 $Z_L=0.2+j0.1\Omega$ ，中线阻抗 $Z_N=0.2+j0.1\Omega$ ，求 负载相电流和相电压。

解



$$U_P = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{381}{\sqrt{3}} = 220\text{V}$$

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



$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_L + Z} = \frac{220\angle 0^\circ}{0.2 + j0.1 + 11 + j14} = \frac{220\angle 0^\circ}{18\angle 51.5^\circ} = 12.22\angle -51.5^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_B = 12.22\angle -171.5^\circ \text{ A}$$

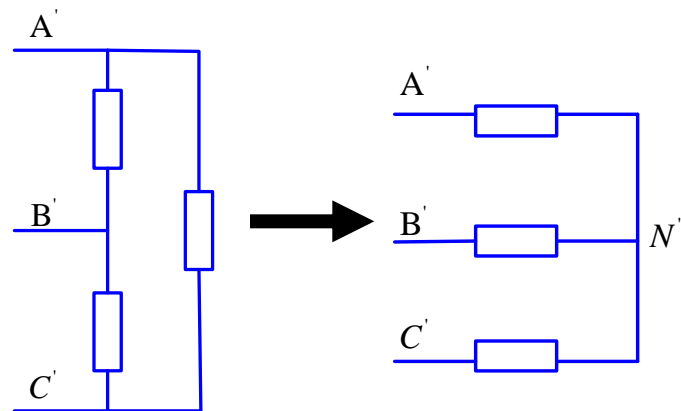
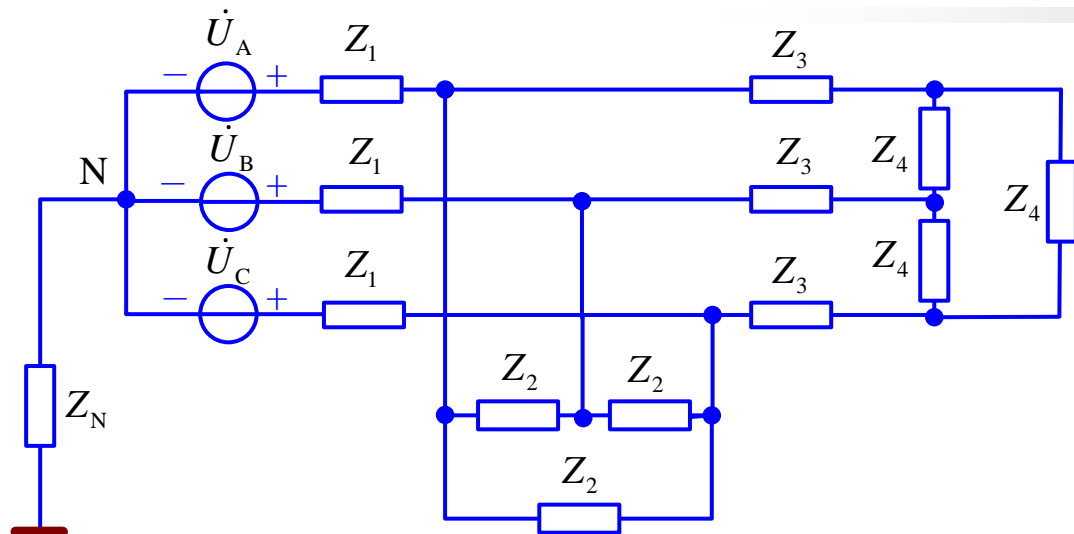
$$\dot{I}_C = 12.22\angle 68.5^\circ \text{ A}$$

$$\dot{U}_{A'N'} = Z\dot{I}_A = (11 + j14)12.22\angle -51.5^\circ = 218\angle 0.3^\circ \text{ V}$$

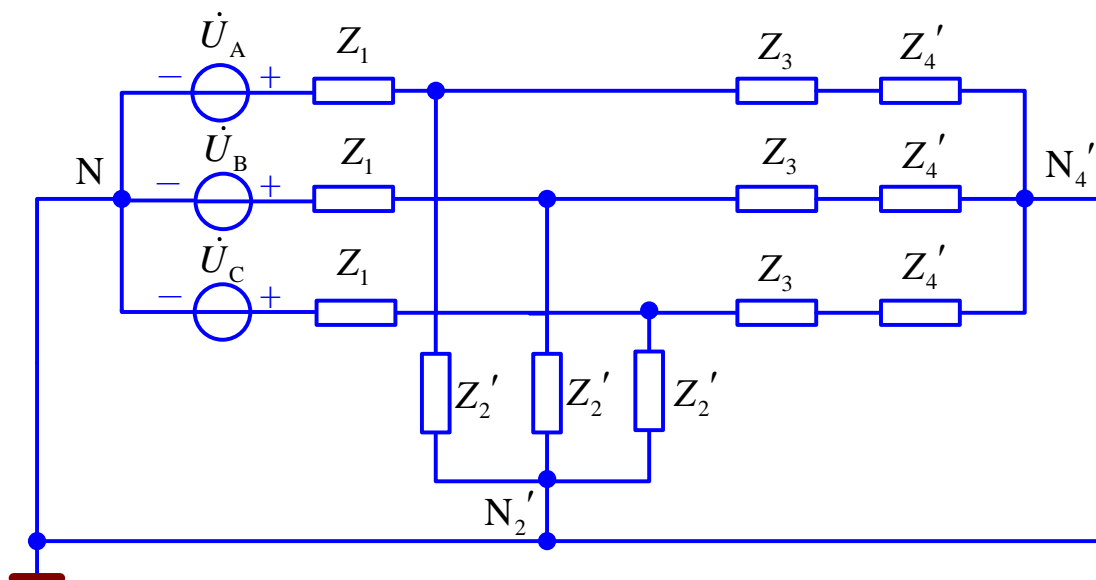
$$\dot{U}_{B'N'} = 218\angle -119.7^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_{C'N'} = 218\angle 120.3^\circ \text{ V}$$

# 【例】画出一相计算电路。



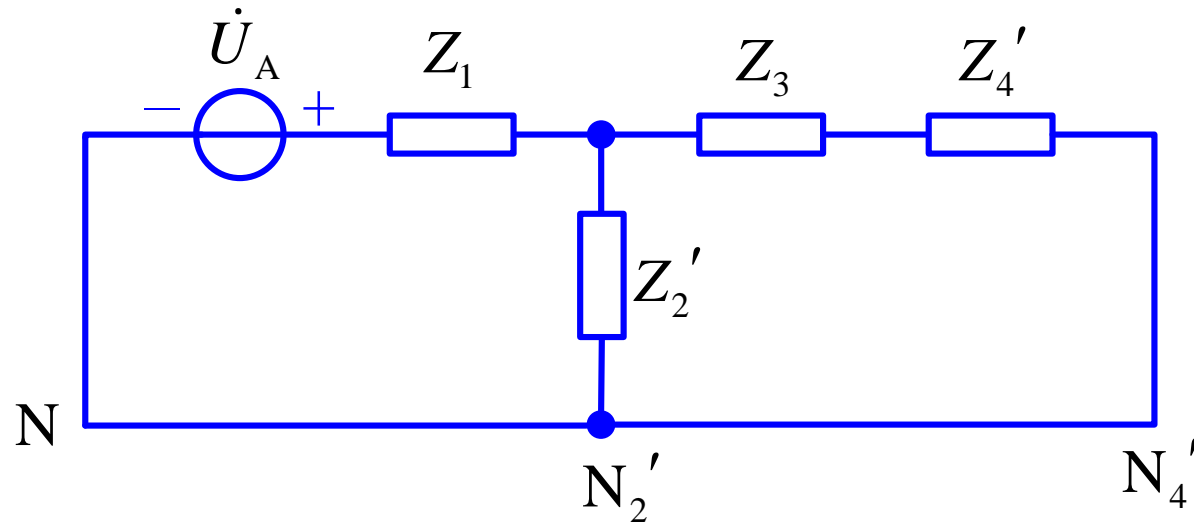
解



$$Z_2' = \frac{1}{3} Z_2$$

$$Z_4' = \frac{1}{3} Z_4$$

# 一相计算电路

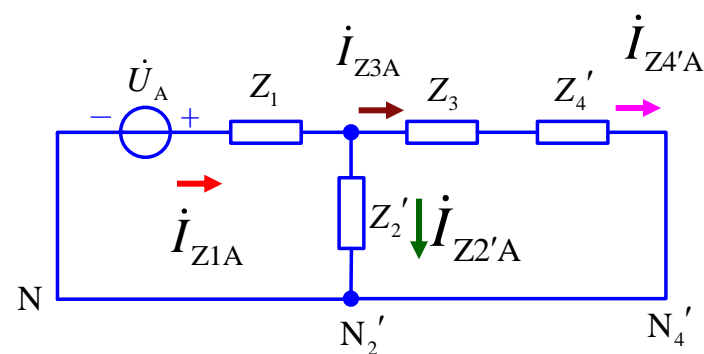
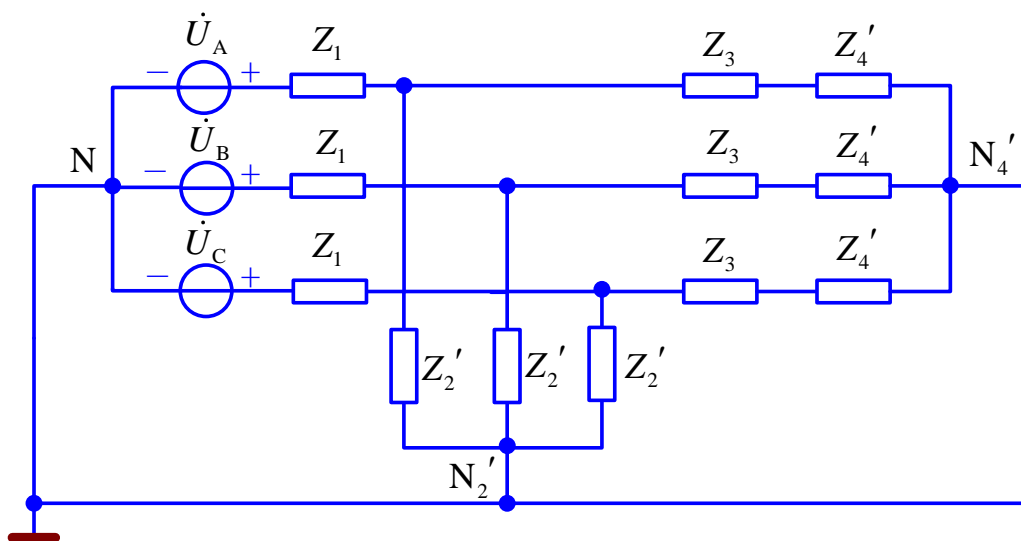
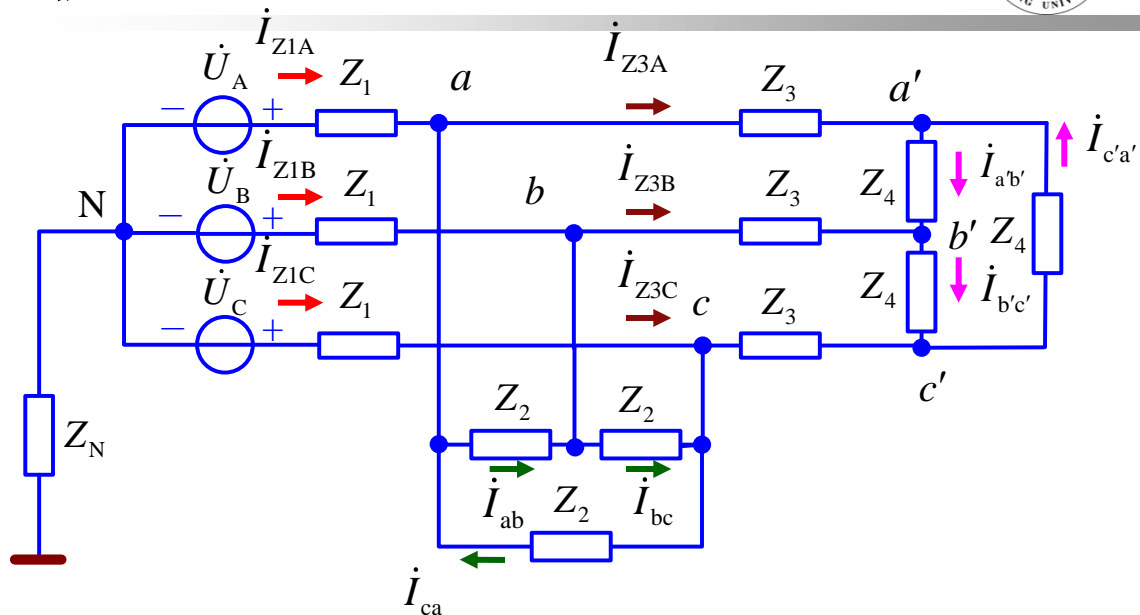


# 思考：如何求各负载阻抗的电流？

解

$$\dot{I}_{Z1A} \rightarrow \begin{cases} \dot{I}_{Z2'A} \rightarrow \dot{I}_{Z2A} \\ \dot{I}_{Z3A} - \dot{I}_{Z4'A} \rightarrow \dot{I}_{Z4A} \end{cases}$$

其他变量根据对称性写。



## 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，中线上若有阻抗可不计；
- (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 $\Delta$  接、Y接时 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。

# 作业



【12-1】

【12-2】