

第十二章 三相电路

主要内容:

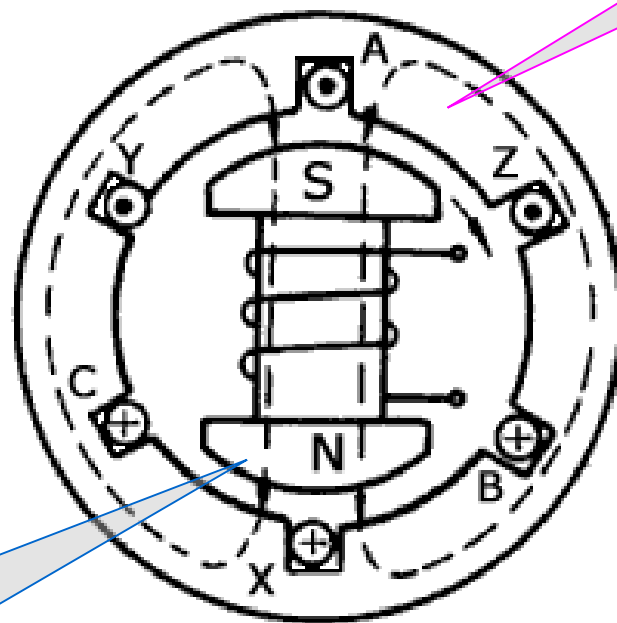
三相电源和三相电路的组成

三相电压的产生

三相电压由三相交流发电机产生

其发电原理是电磁感应（变化的磁场产生变化的电场）

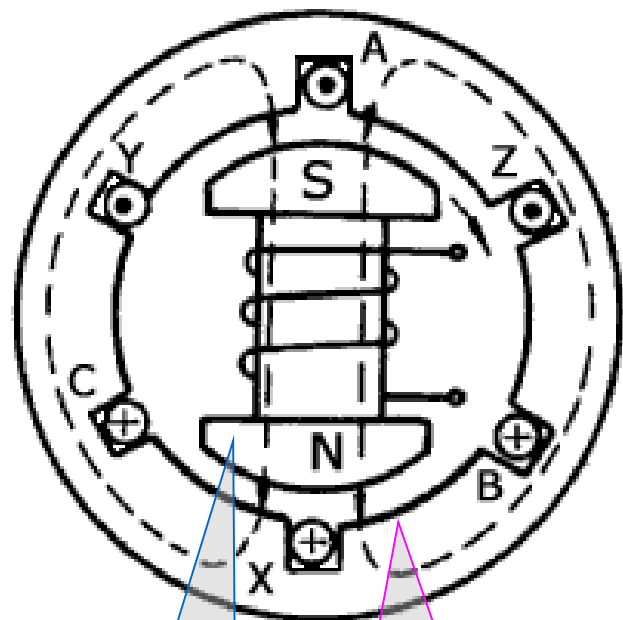
转子是一个磁极，当转子以角速度 ω 顺时针旋转时，产生变化的磁场，将在三相绕组产生感应电压



定子

定子的槽中嵌有三组绕组，每组称为一相，分别称为A相、B相和C相

工艺上保证定子与转子之间磁感应强度沿定子内表面按正弦规律分布。在各相绕组的始端和末端间产生随时间按正弦规律变化的感应电压



转子

定子

绕组的始端之间或末端之间彼此相隔 120° 。当转子以角速度 ω 顺时针旋转时，将在三相绕组产生频率相同、幅值相同，彼此间的相位相差 120° 的三相电压

三相电压的时间表达式

$$u_A = \sqrt{2}U \sin \omega t$$

$$u_B = \sqrt{2}U \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_C = \sqrt{2}U \sin(\omega t + 120^\circ)$$

三个频率相同、幅值相同、彼此相位相差 120° 的电压，称为对称三相电压

三相电压的相量表达式

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

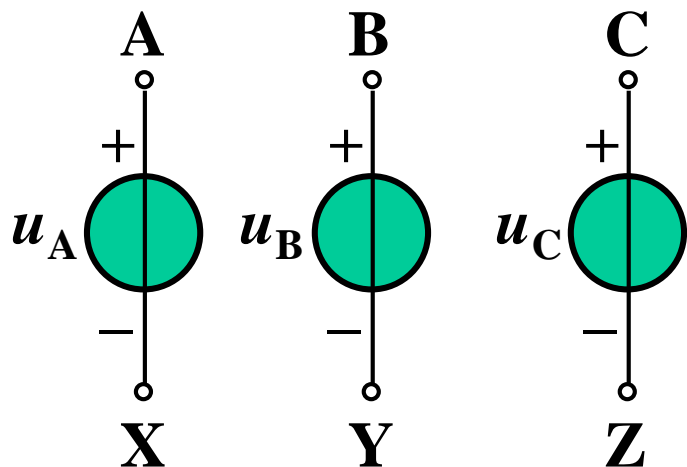
$$\dot{U}_B = U \angle -120^\circ = U \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$\dot{U}_C = U \angle 120^\circ = U \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

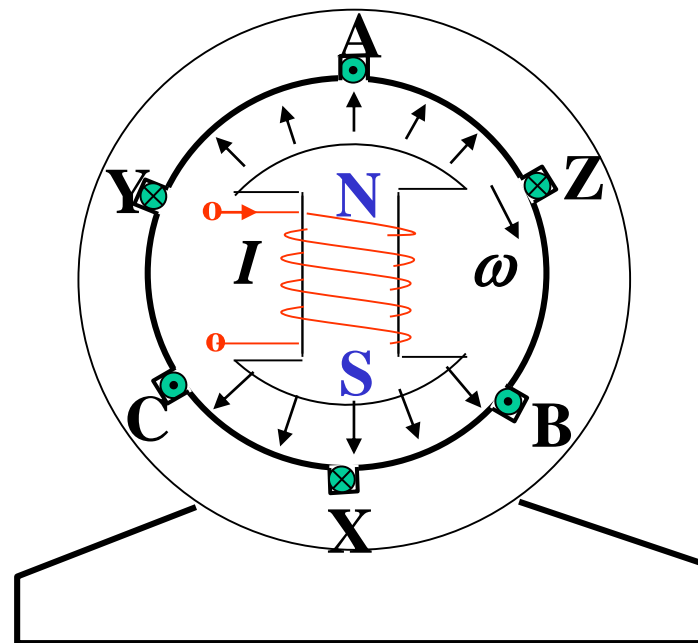
三相电路中的电源一般都是对称的

§ 11-1 三相电源

一、对称三相电源



对称三相电源的表示及其特点：



三相同步发电机示意图

a. 瞬时值表达式

A相

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

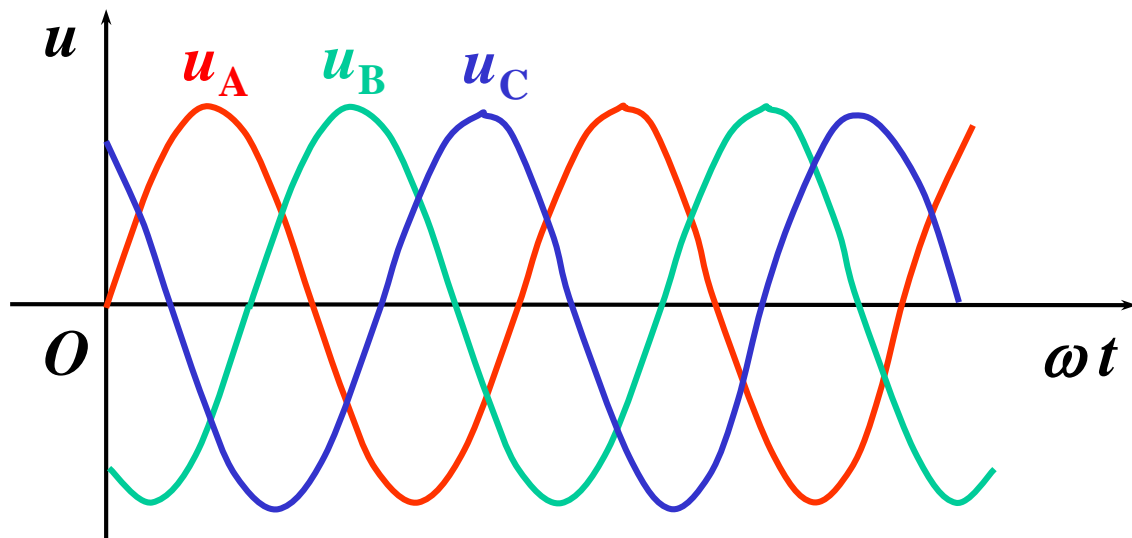
B相

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

C相

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

波形图



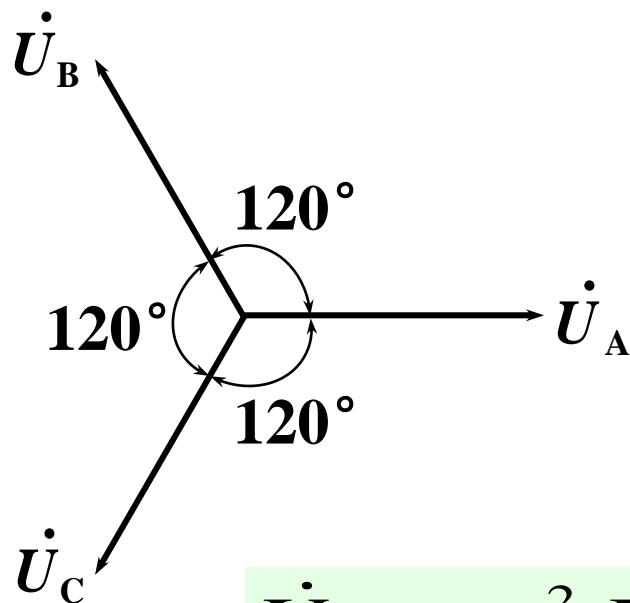
b. 相量表示 以A相为参考

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

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

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

$a = 1 \angle 120^\circ$ 单位相量算子



$$\dot{U}_B = a^2 \dot{U}_A$$

$$\dot{U}_C = a \dot{U}_A$$

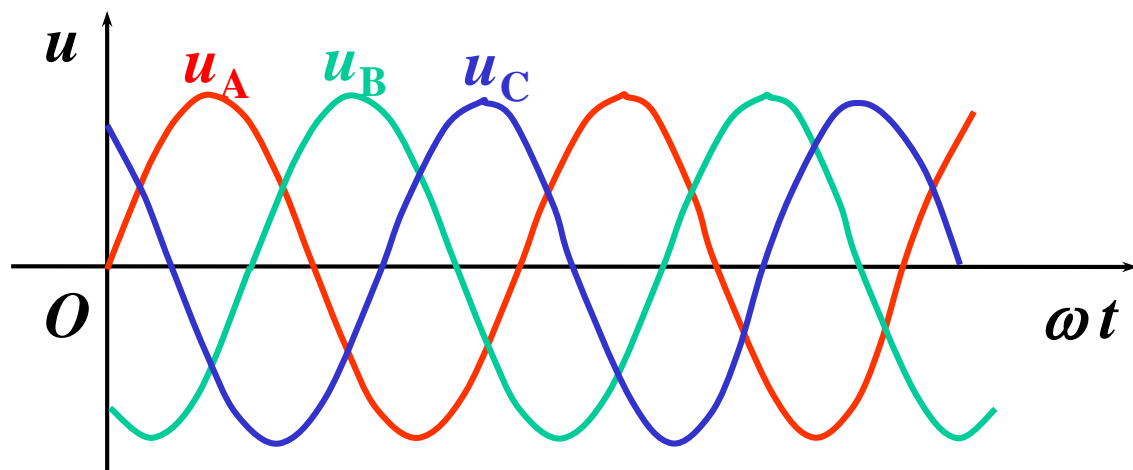
c. 对称三相电源的特点

$$u_A + u_B + u_C = 0$$

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

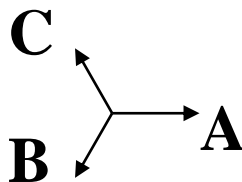
d. 对称三相电源的相序

三相电源中各相电源经过同一值(如最大值)的先后顺序

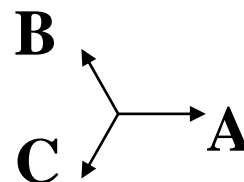


正序(顺序): A—B—C—A

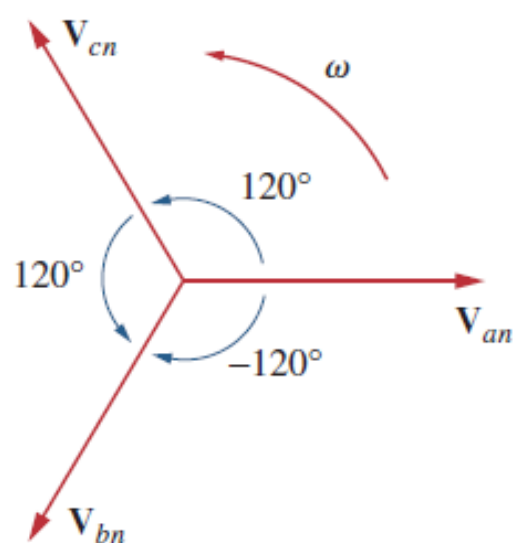
负序(逆序): A—C—B—A



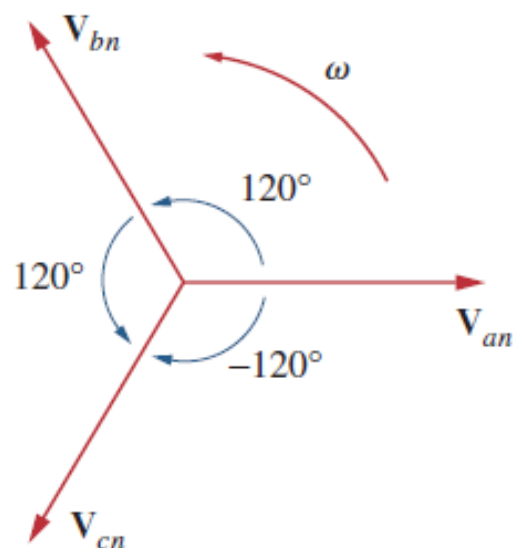
正序 (顺序)



负序 (逆序)



(a)



(b)

$$\mathbf{V}_{an} + \mathbf{V}_{bn} + \mathbf{V}_{cn} = 0$$

$$|\mathbf{V}_{an}| = |\mathbf{V}_{bn}| = |\mathbf{V}_{cn}|$$

$$\mathbf{V}_{an} = V_p \angle 0^\circ$$

$$\mathbf{V}_{bn} = V_p \angle -120^\circ$$

$$\mathbf{V}_{cn} = V_p \angle -240^\circ = V_p \angle +120^\circ$$

$$\mathbf{V}_{an} = V_p \angle 0^\circ$$

$$\mathbf{V}_{cn} = V_p \angle -120^\circ$$

$$\mathbf{V}_{bn} = V_p \angle -240^\circ = V_p \angle +120^\circ$$

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_{an} + \mathbf{V}_{bn} + \mathbf{V}_{cn} &= V_p \angle 0^\circ + V_p \angle -120^\circ + V_p \angle +120^\circ \\ &= V_p(1.0 - 0.5 - j0.866 - 0.5 + j0.866) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Figure 12.7

Phase sequences: (a) *abc* or positive sequence, (b) *acb* or negative sequence.

电压源的连接方式

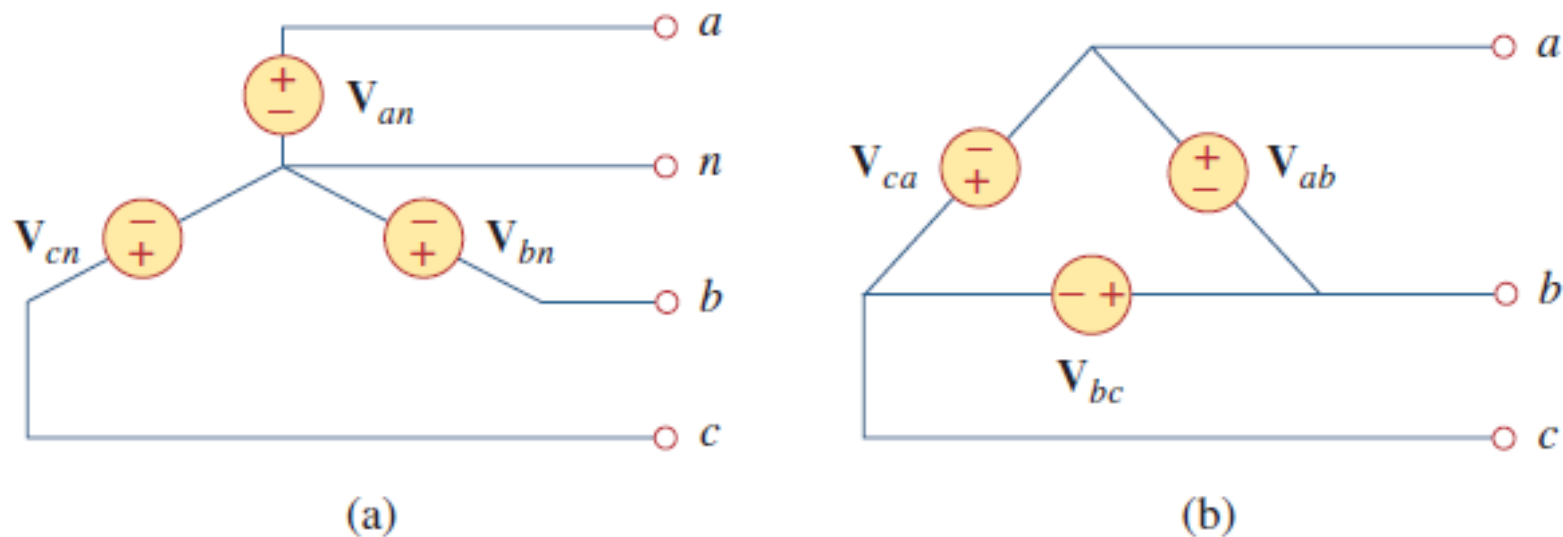


Figure 12.6

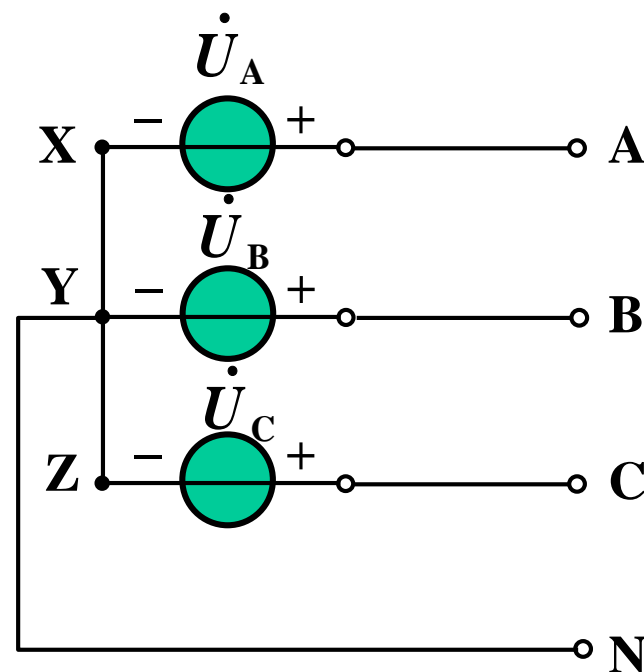
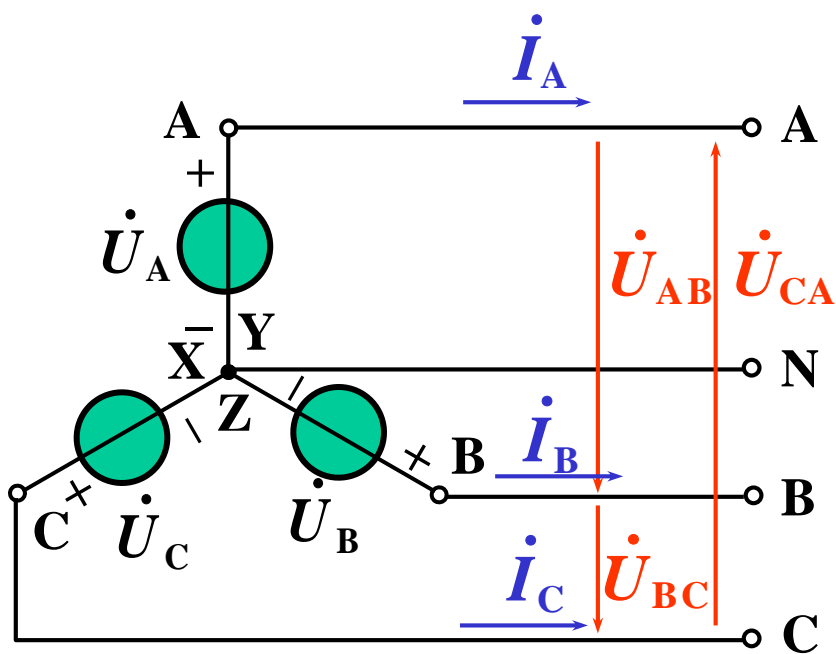
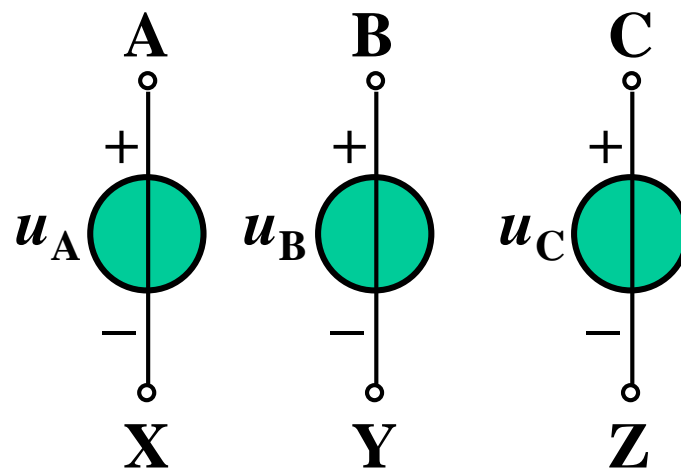
Three-phase voltage sources: (a) Y-connected source, (b) Δ -connected source.

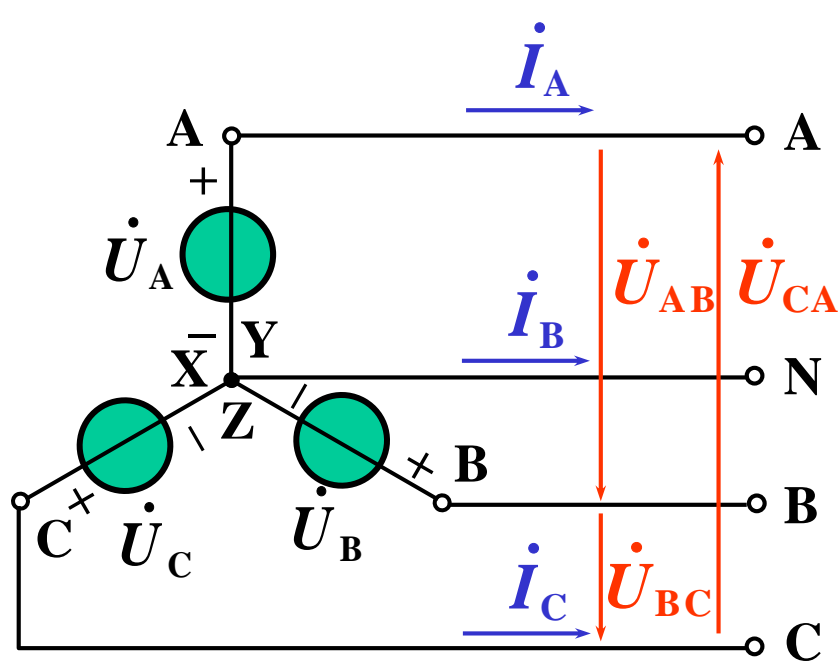
二、对称三相电源的连接

1. 连接:

A, 星形联接(Y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。





① 端线(火线): A, B, C 三端引出线。

② 中线: 中性点引出线
(接地时称地线)

③ 线电压: 火线与火线之间的电压

$$\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$$

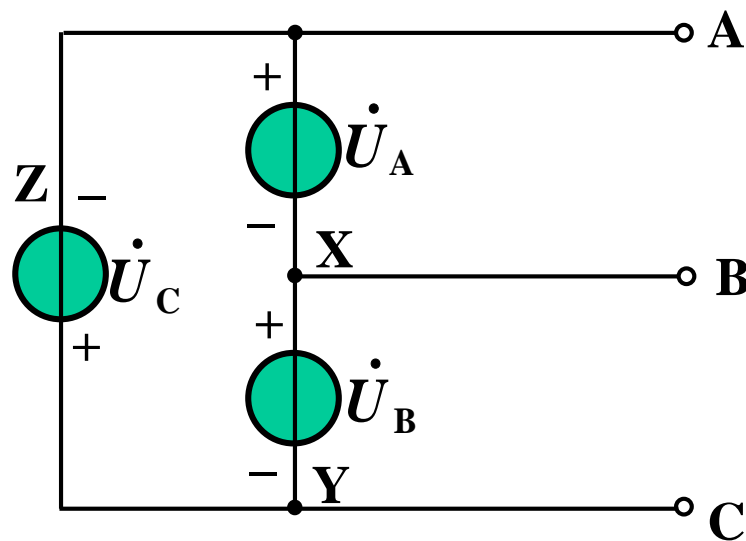
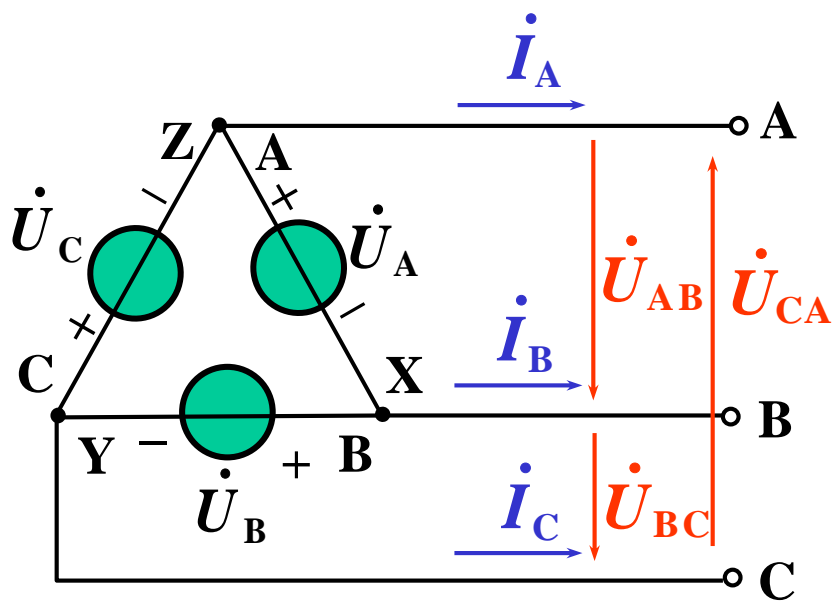
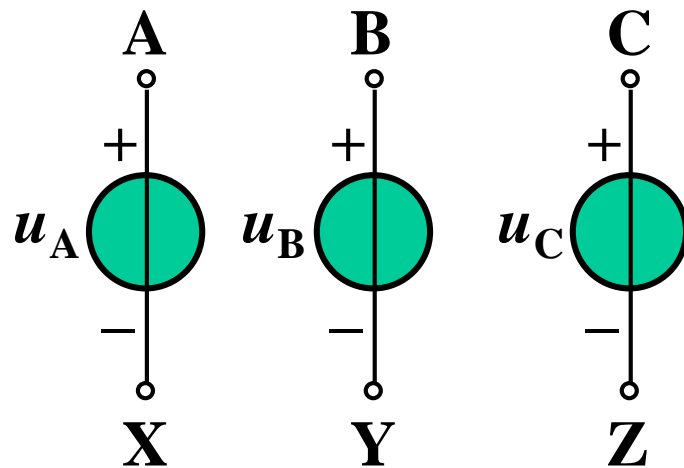
④ 相电压: 每相电源(负载)的电压 Y接: $\dot{U}_{AN}, \dot{U}_{BN}, \dot{U}_{CN}$

⑤ 线电流: 流过火线的电流: $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$

⑥ 相电流: 流过每相电源(负载)的电流

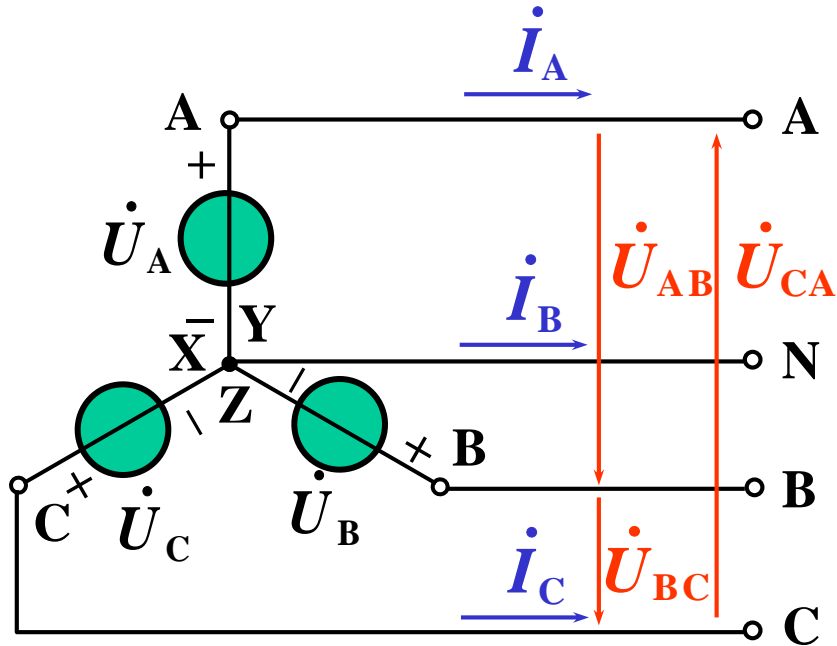
$$\text{Y接: } \dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$$

B, 三角形联接(Δ 接):
三个绕组始末端分别对应相接。



2. 对称三相电源，线电压与相电压的关系：

A, 星形连接(Y连接)



相电压

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

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

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

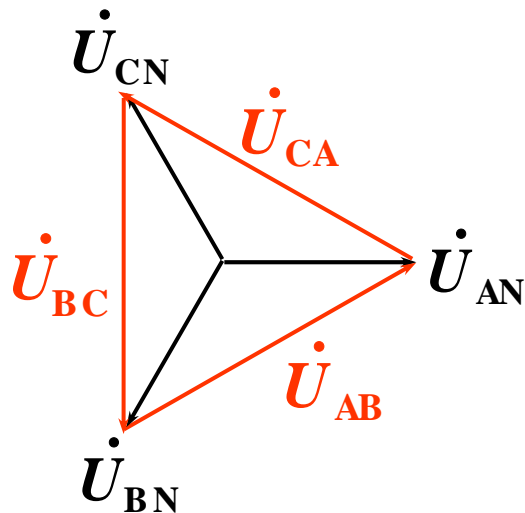
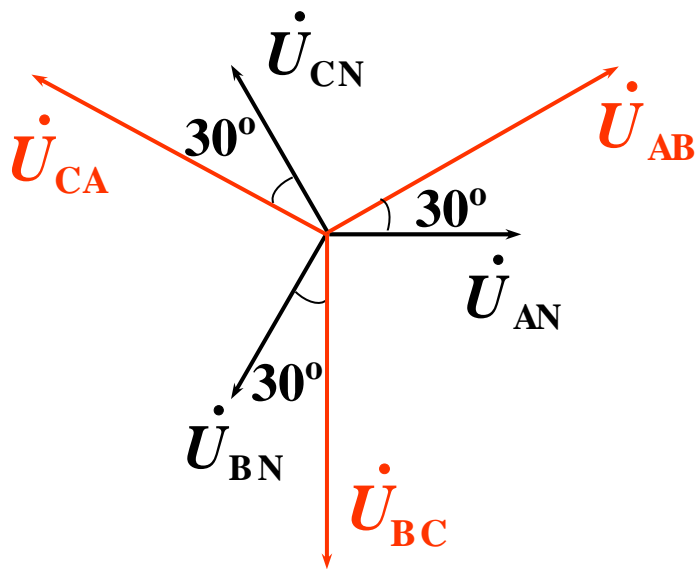
线电压

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

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN} = U \angle -120^\circ - U \angle 120^\circ = \sqrt{3}U \angle -90^\circ$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN} = U \angle 120^\circ - U \angle 0^\circ = \sqrt{3}U \angle 150^\circ$$

利用相量图得到相电压和线电压之间的关系：



一般表示为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \sqrt{3} \dot{U}_{AN} \angle 30^\circ \\ \dot{U}_{BC} &= \sqrt{3} \dot{U}_{BN} \angle 30^\circ \\ \dot{U}_{CA} &= \sqrt{3} \dot{U}_{CN} \angle 30^\circ \end{aligned} \right\}$$

线电压对称(大小相等,
相位互差120°)

结论: 对Y接法的对称三相电源

(1) 相电压对称, 则线电压也对称。

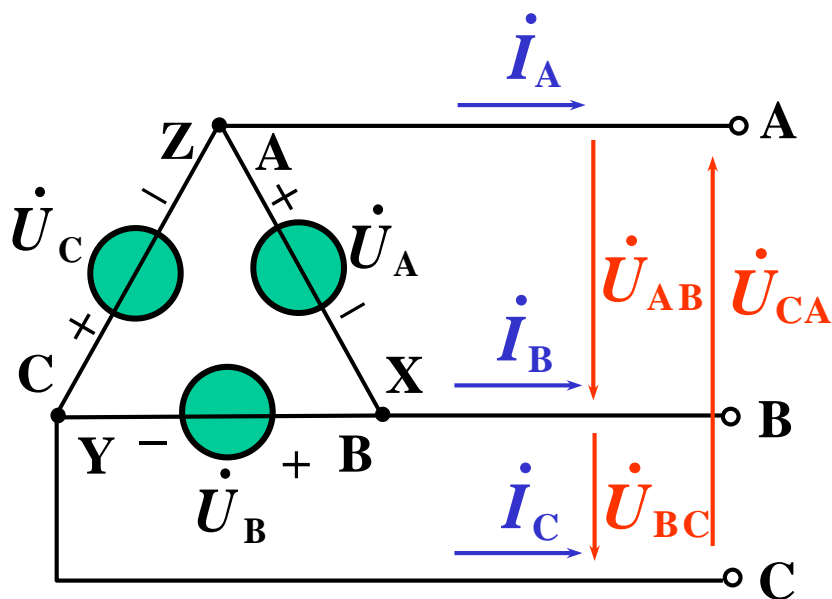
(2) 线电压大小等于相电压的 $\sqrt{3}$ 倍, 即 $U_l = \sqrt{3}U_p$ 。

(3) 线电压相位领先对应相电压 30° 。

所谓的“对应”：对应相电压用线电压的
第一个下标字母标出。

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{AB} \rightarrow \dot{U}_{AN} \\ \dot{U}_{BC} \rightarrow \dot{U}_{BN} \\ \dot{U}_{CA} \rightarrow \dot{U}_{CN} \end{array} \right.$$

B, 三角形联接(Δ 接)



相电压

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

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

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

线电压

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

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

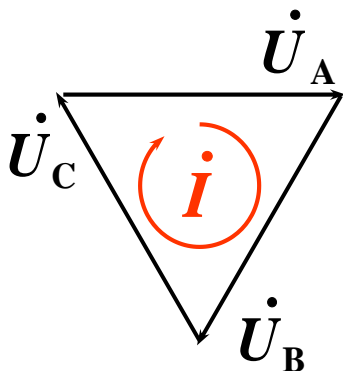
$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C = U \angle 120^\circ$$

即线电压等于对应的相电压。

注意：

关于 Δ 接还要强调一点：始端末端要依次相连。

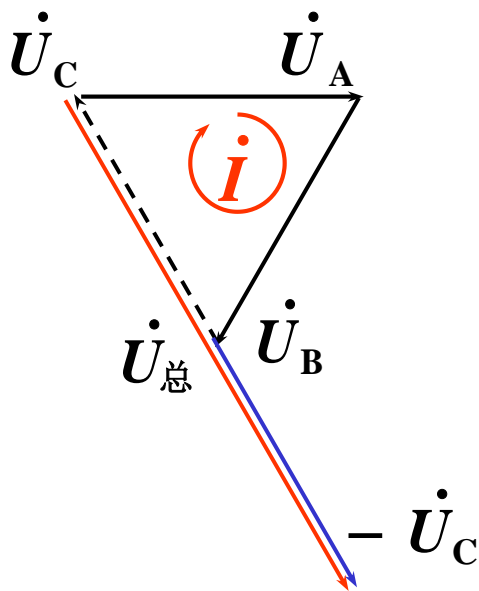
正确接法



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

$I = 0$ ， Δ 接电源中不会产生环流。

错误接法



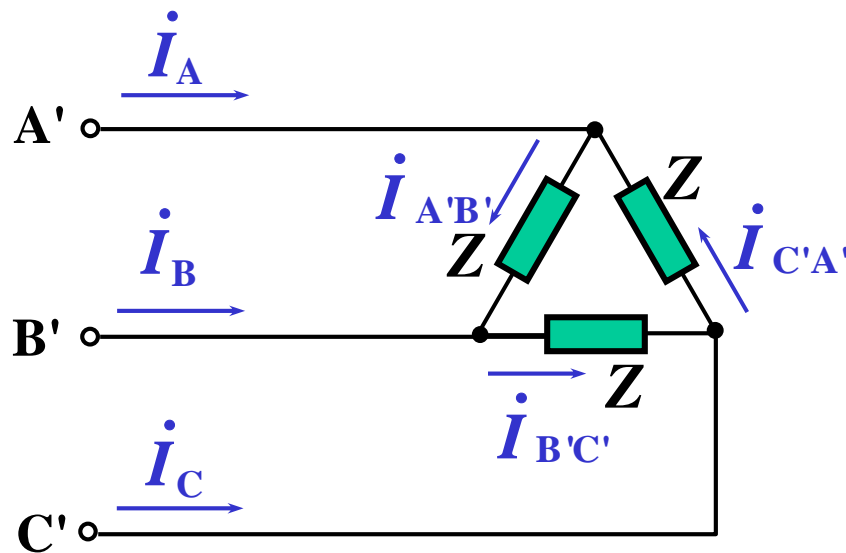
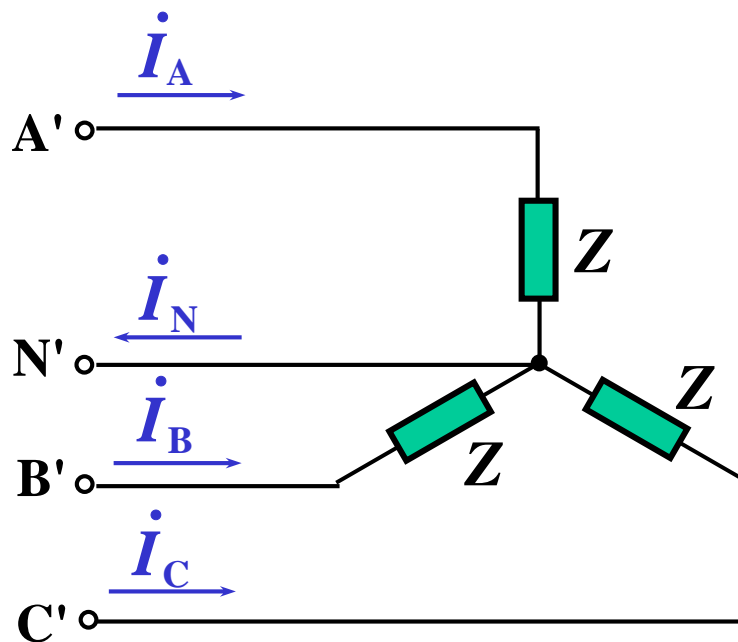
$$\dot{U}_A + \dot{U}_B - \dot{U}_C = -2\dot{U}_C$$

$I \neq 0$ ， Δ 接电源中将会产生环流。

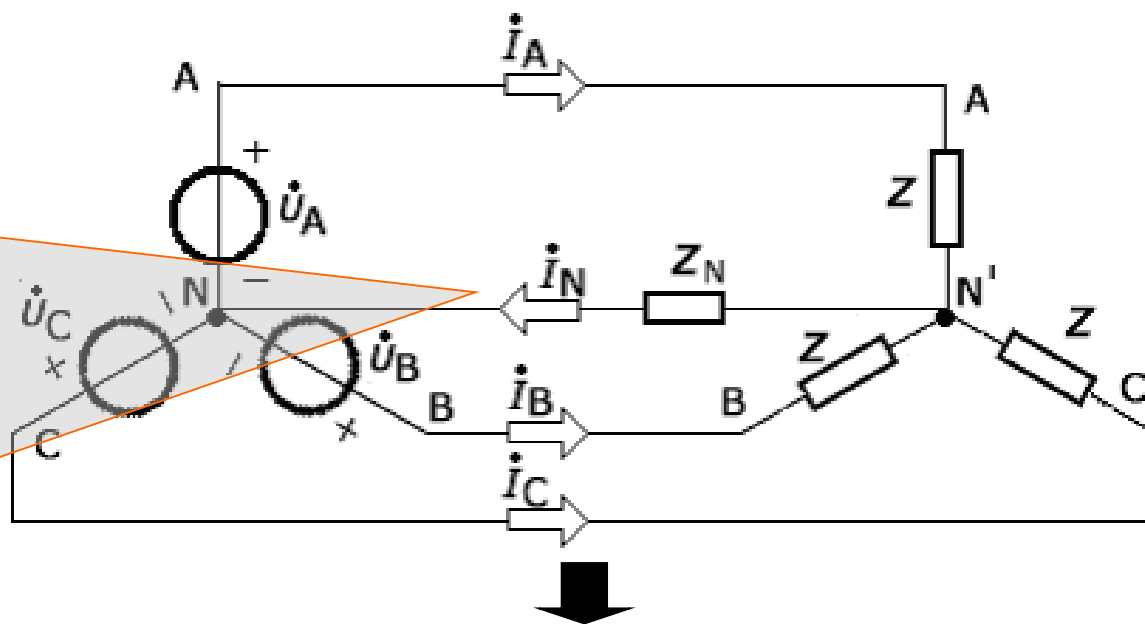
§ 11-2 对称三相电路

一、对称三相负载及其连接

1. 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)以一定方式联接起来。
2. 对称三相负载的联接: 两种基本联接方式



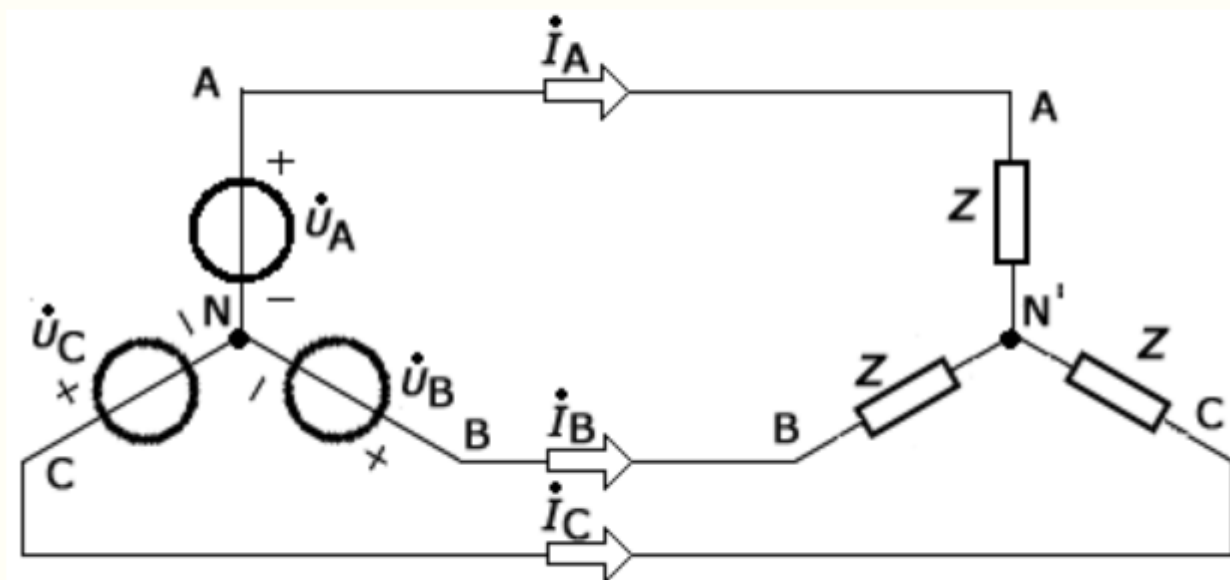
在对称Y-Y电路中，负载中点与电源中点是等电位点，各相电路相互独立，三相电路可归结为单相（通常为A相）的计算



因为负载中点与电源中点是等电位点，所以在对称Y-Y电路中，流过中线的电流为0，如同开路，中性线在许多场合下可以不要。

这种输电方式称为三相三线制

【例附4.2.1】有一星形联接的三相负载如下图所示，每相电阻 $R=6\ \Omega$ ，感抗 $X_L=8\ \Omega$ 。电源电压对称，设： $u_{AB}=380\ \sqrt{2}\ \sin(\omega t+30^\circ)\ \text{V}$ ，试求电流 i_A 、 i_B 、 i_C 。



根据三相三线制电路特点，只须计算一相即可。三相电路各相电压相量图如图4-1-5

所以： $U_A=U_{AB}/\sqrt{3}=220\text{V}$ ， u_A 比 u_{AB} 滞后 30° ，故有： $u_{AB}=220\sqrt{2}\ \sin \omega t\ \text{V}$

A相电流有效值： $I_A=U_A/|Z_A|=22\text{A}$

i_A 比 U_A 滞后 $\varphi_A = \arctan \frac{X_A}{R_A} = \arctan (8/6) = 53^\circ$

$i_A=22\sqrt{2}\ \sin(\omega t-53^\circ)\ \text{A}$ （同学们请思索为何为-）

$i_B=22\sqrt{2}\ \sin(\omega t-153^\circ)\ \text{A}$