



## ● 三相电路

由三相电源、三相线路和三相负载组成的电路整体总称为**三相电路**，是一种**特殊的正弦稳态电路**。

三相供电系统1988年问世，电路结构特殊，有明显规律性；

对于三相电路特别是对称**三相电路**，可采用简化的正弦稳态电路分析方法。





三相供电系统具有很多优点，为各国广泛采用：

三相异步电动机在结构、体积、价格及性能、维护等方面有优势；

三相输电系统比单相输电系统，在输出距离、输送功率、功率因数、功率损失等在相同条件下经济得多。

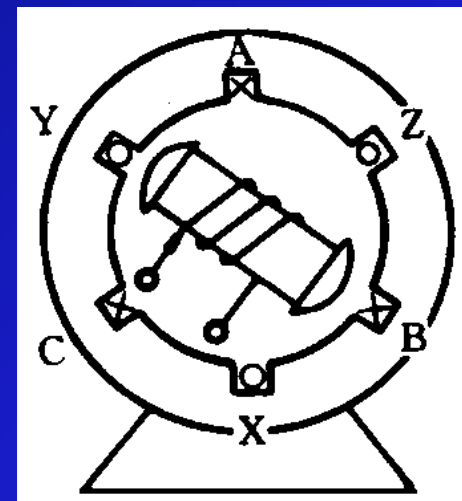




## ● 三相电源

能同时产生三个频率相同、振幅相同但相位不同的正弦电压电源总体。

若三相电源的三个同频同幅的正弦电压的相位彼此相差 $120^\circ$ ，称为对称三相电源。



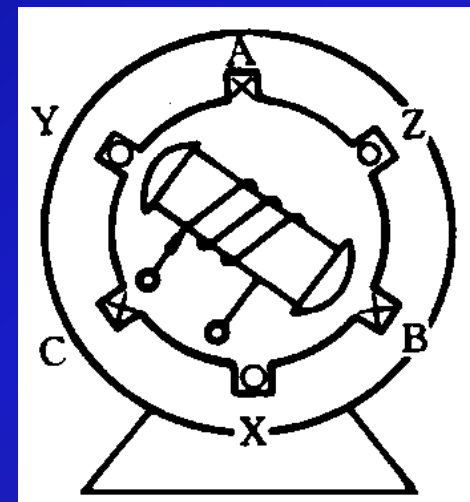
三相发电机

三相供电系统的三相电源是三相发电机，它包括定子和转子两大部分。



定子铁心的内圆周的槽中**对称地安放**着**三个绕组**AX、BY和CZ。A、B、C为首端；X、Y、Z为末端。三绕组在空间上彼此间隔 $120^\circ$ 。转子是电磁铁。它的铁心上绕有励磁绕组。

三绕组在N、S磁极间绕转轴旋转时，由于穿过三绕组中的**磁通量的变化**，使三个绕组中都有**正弦交流电压产生**。



三相发电机





当转子恒速旋转时，AX、BY、CZ三绕组的两端将分别感应**振幅相等、频率相同，相位不同的三个正弦电压** $u_A(t)$ 、 $u_B(t)$ 、 $u_C(t)$ ；

**三相电压源的电路模型：**

用**三个独立的正弦电压源**按一定的方式连接而成，每一个正弦电压源称为**一相**，分别称为A相、B相和C相。

习惯上将独立正弦电压源的“+”端标记为首端，“-”端标记为末端。





这样三个**振幅相等、频率相同、相位差 $120^\circ$** 的一组正弦电压源称为**对称三相正弦电源**。

若以 $\dot{U}_A$ 作为参考相量，三个电压相量为：

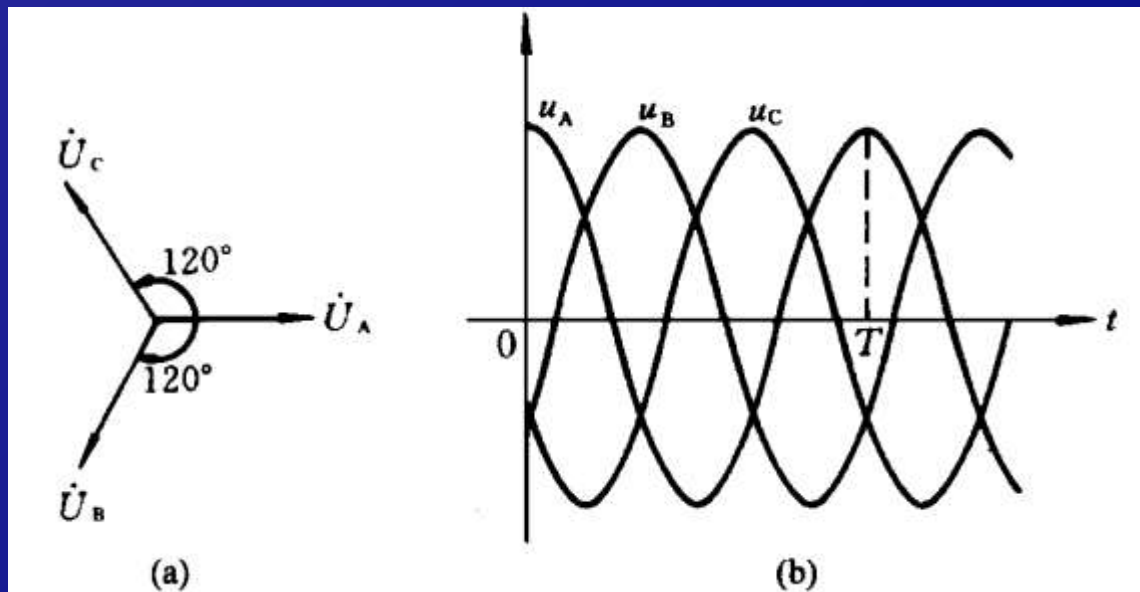
$$\dot{U}_A = U_p \angle 0^\circ \quad \dot{U}_B = U_p \angle -120^\circ \quad \dot{U}_C = U_p \angle 120^\circ$$

$$u_A(t) = \sqrt{2}U_p \cos \omega t$$

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

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





画相量图时，相量的方向是**从末端指向始端**。

由对称三相电源的相量图和波形图可知：

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

即：**对称三相电源的电压相量的代数和为零**

$$u_A + u_B + u_C = 0$$





按照各相电压经过正峰值的先后次序来说，它们的**相序**是A、B、C（或B、C、A；C、A、B）称为**正序**（顺序）；如果各相电压到达正峰值的次序为A、C、B（或C、B、A；B、A、C）则称为**负序**（逆序）。

用户可以改变**三相电源与三相电动机的连接方式**来改变相序，从而改变三相电动机的旋转方向。

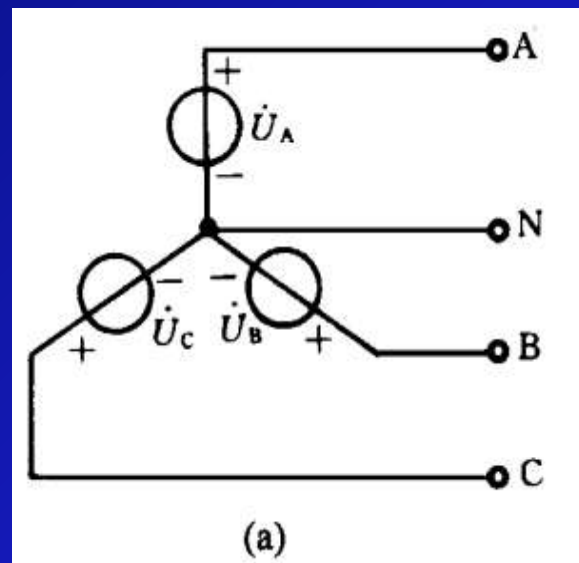
通常，非特别说明，三相电源均为**正序连接**。





## ● 星形联接 (Y形联接)

三相电源的末端 X、Y、Z 接在一起形成一个公共节点，记为 N，称为中性点或中点；

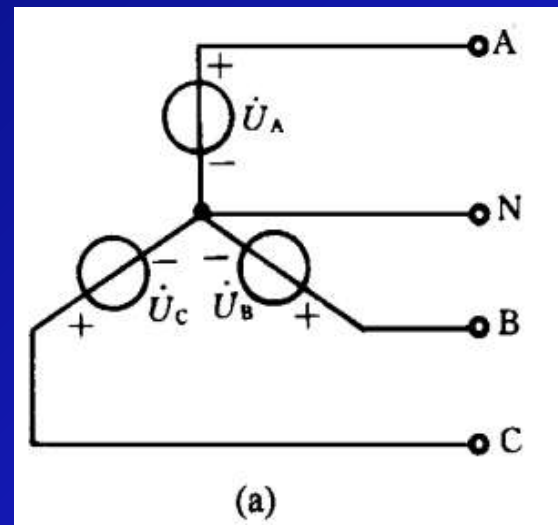


将各相的首端 A、B、C 以及中点 N 与四根输电线联接，分别称为火线和中线。





**相电压：**各元件两端间的电压，即每相电源或负载两端的电压，如  $\dot{U}_A$ ；



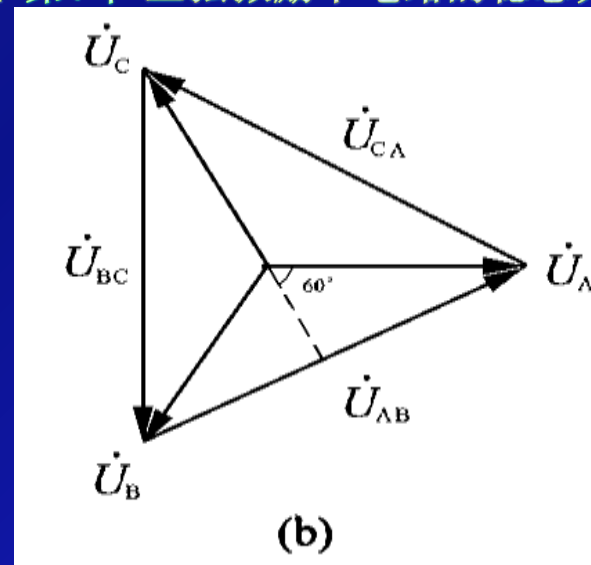
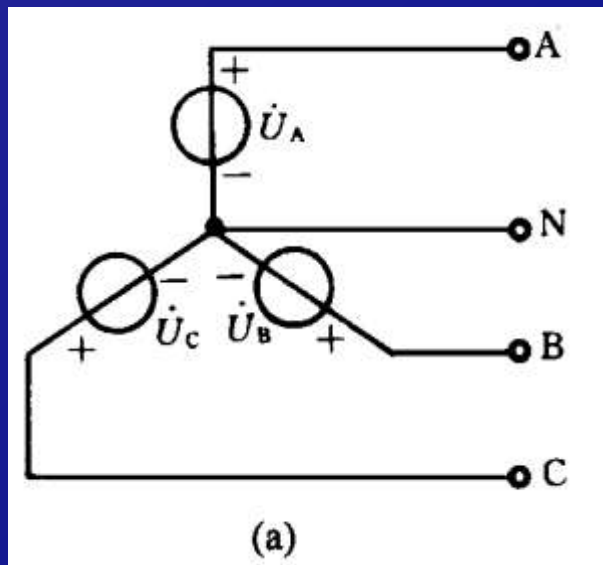
**相电流：**流经每个元件的电流，即流过每相电源或负载的电流，如  $\dot{I}_{AB}$ ；

**线电压：**火线两两之间的电压，如  $\dot{U}_{AB}$ ；

**线电流：**流过每根火线上的电流，如  $\dot{I}_A$ ；

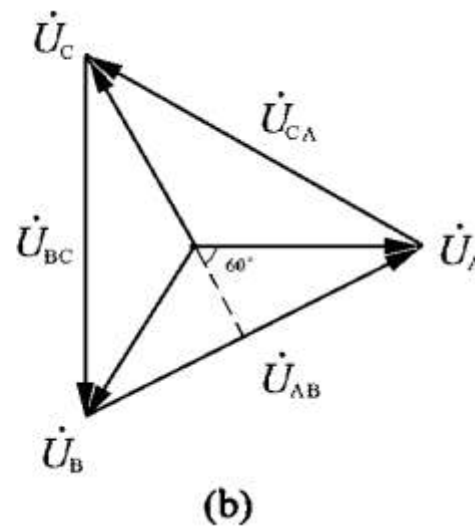
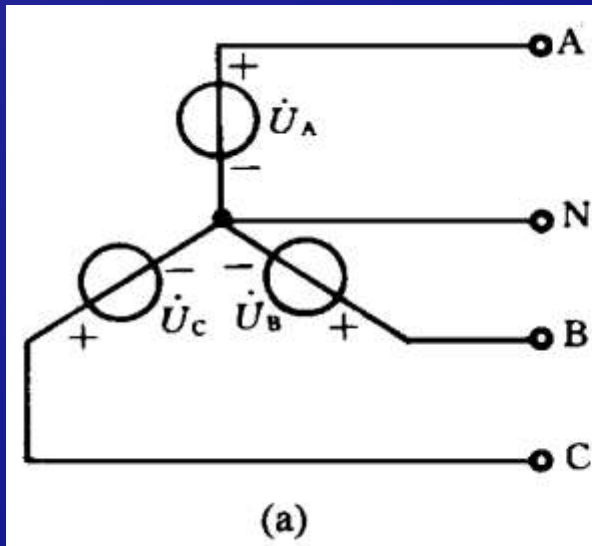
通常，不特别说明都是指的相电压；





与传输线相联接的负载，可以从**火线与中线之间**得到**三个相电压**，用 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 表示，也可以从**三根火线之间**得到**三个线电压**，用 $\dot{U}_{AB}$ 、 $\dot{U}_{BC}$ 、 $\dot{U}_{CA}$ 表示。

线电压与相电压之间的关系可以从7.7-1(b)相量图中计算出来。



$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = \sqrt{3}U_p \angle 30^\circ = \sqrt{3}\dot{U}_A \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C = \sqrt{3}U_p \angle -90^\circ = \sqrt{3}\dot{U}_B \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A = \sqrt{3}U_p \angle 150^\circ = \sqrt{3}\dot{U}_C \angle 30^\circ$$

其中， $U_p$ 表示相电压的有效值；同理，分别用 $U_l$ 、 $I_l$ 、 $I_p$ 表示线电压、线电流和相电流的有效值。





故，可见，对**星形连接**：

- (1) 若相电压对称，则其线电压也对称；
- (2) **线电压值是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍**，即  $U_l = \sqrt{3}U_p$   
且**相位超前  $30^\circ$** ；
- (3) **线电流等于相电流**，即：  $I_l = I_p$

例如日常生活用电的220V电压是指的**相电压**，相应的**线电压**则是380V。





从相量图上可以看出，三个对称相电压以及三个对称线电压之间存在以下关系：

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

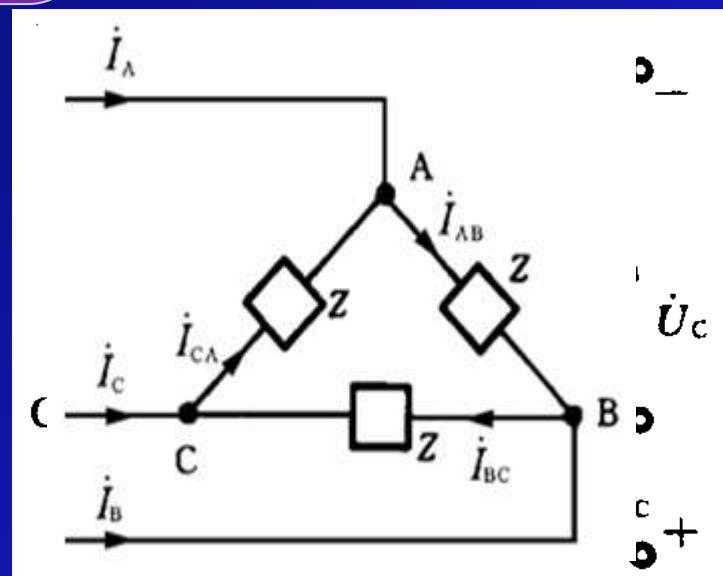
$$\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$$

此结论可以推广到任意对称多相电路的（线、相）电压和电流之和为零。



## ● 三角形联接 ( $\Delta$ 联接)

将三相电源各相的始端和末端依次相连构成一闭合回路，再由A、B、C引出三根火线与负载相连



线电压:  $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A$   $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B$   $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C$

线电流:  $\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = \sqrt{3}\dot{I}_{AB} \angle -30^\circ$

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

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



故可见，对三角形连接：

(1) 若相电流对称，线电流也对称；

(2) 线电压等于相电压，即： $U_l = U_p$

(3) 线电流是相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，即  $I_l = \sqrt{3}I_p$

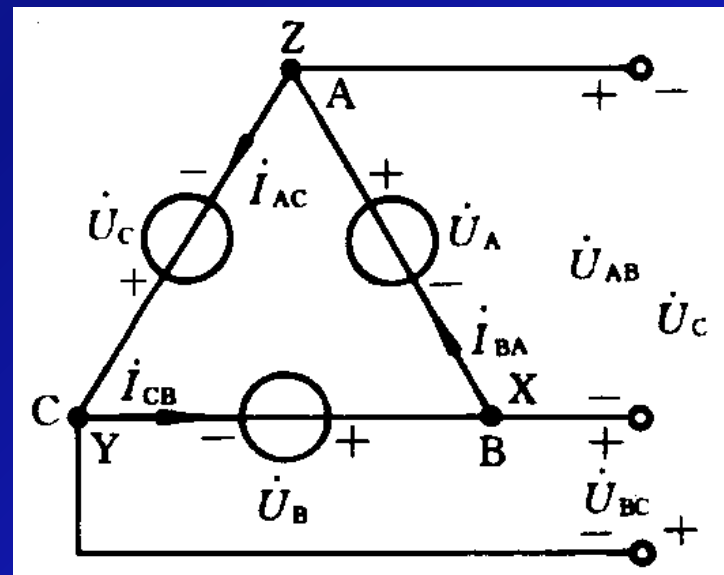
且相位滞后  $30^\circ$ ；







作三角形联接时，要求三绕组的电压必须对称，否则构成的闭合回路中会产生环路电流；



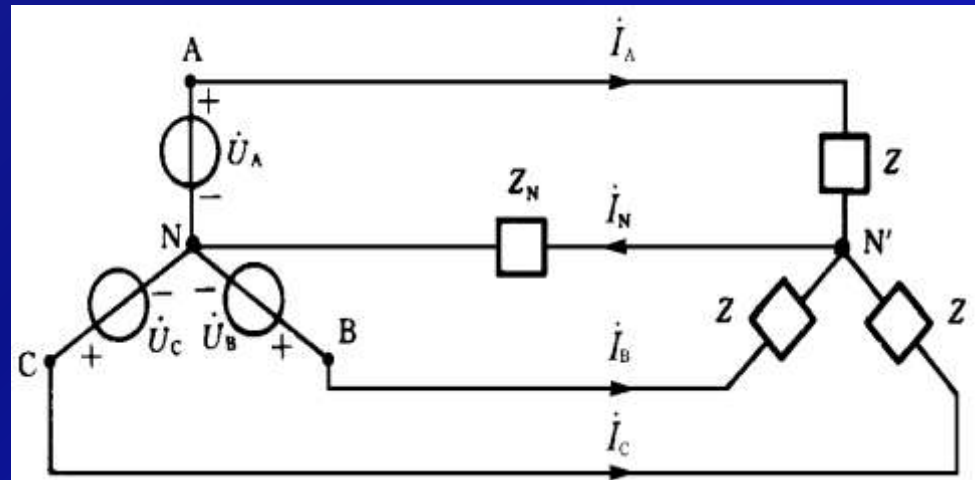
如不对称程度比较大，所产生的环路电流将烧坏绕组。

对称三相电源在 $\Delta$ 联接时，不能将各电源的始末端接错，否则将烧坏绕组。





三相负载也有Y和 $\Delta$ 两种连接方式，故三相电路有四种连接方式图7-37



三相电路中，将每相电源或负载上的电压和流过的电流分别称为电源或负载的相电压和相电流；

而将火线间的电压和流过的电流分称为线电压和线电流。

