

第5章 三相电路

5.1 三相电路

5.2 对称三相电路的计算

5.3 不对称三相电路的概念

5.4 三相电路的功率

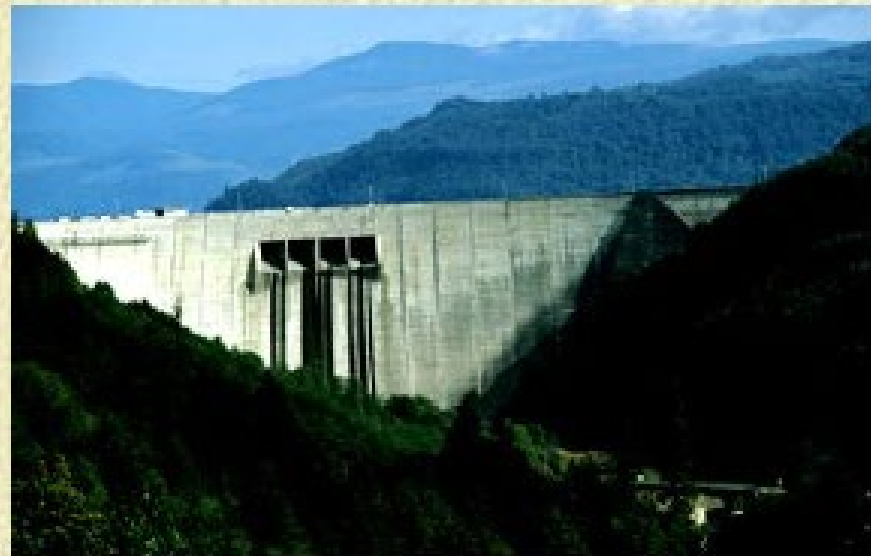
目前，我国和世界各国的电力系统中电能的生产、传输和供电方式绝大多数采用三相制。

所谓三相制就是由三个满足一定要求的正弦电源进行供电的体制。三相制之所以得到广泛的应用，是因为这种电能的生产、传输、分配及应用等方面具有十分显著的优越性。

采用三相制供电的电路，叫做三相电路。三相电路仍是正弦电路，采用相量法分析。同时，和一般的正弦电路相比，又有自己的特点，利用这些特点，可以使三相电路的分析得到简化。



火力发电站



水力发电站



秦山核电站



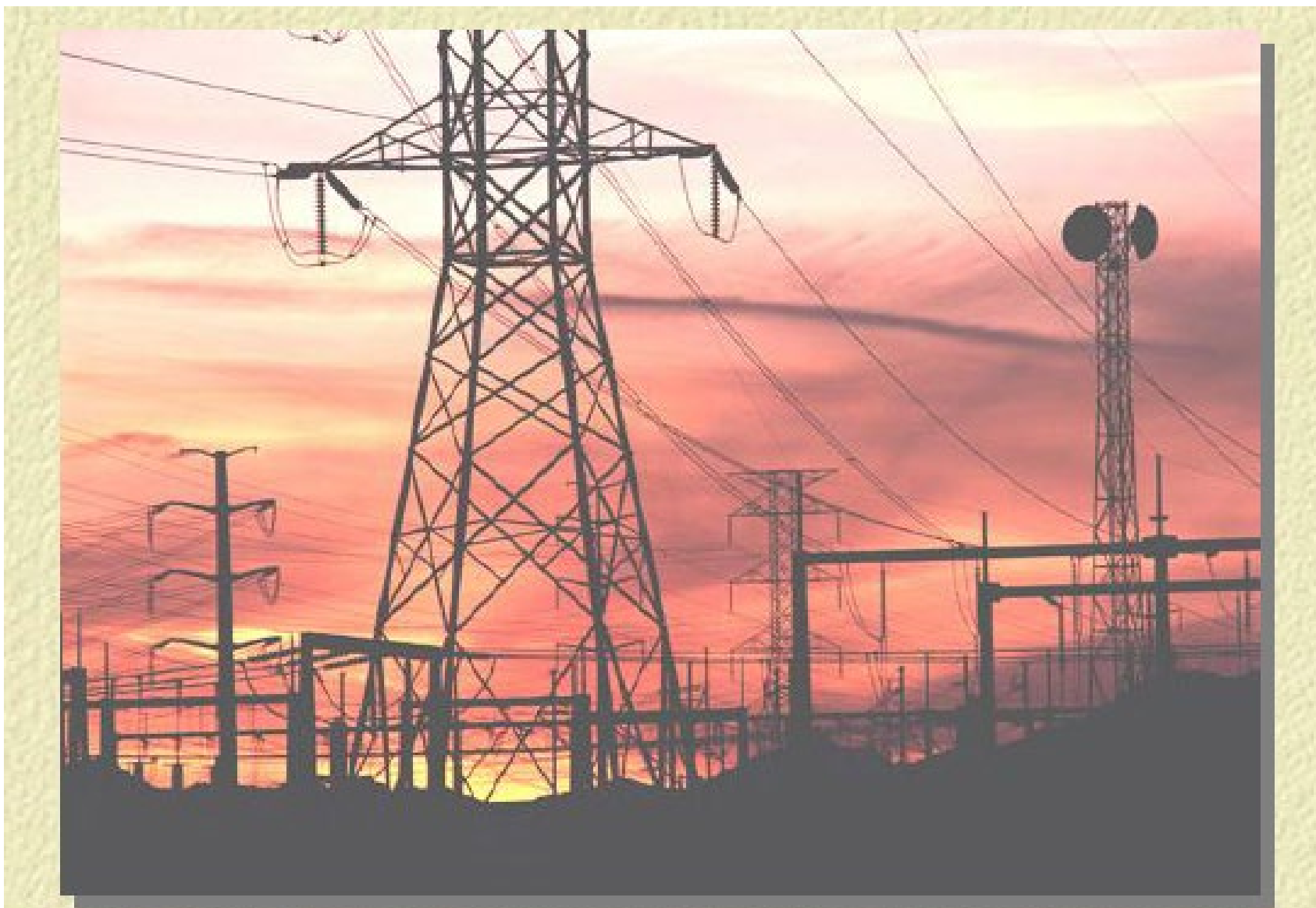
发电机组



控制中心



变电所

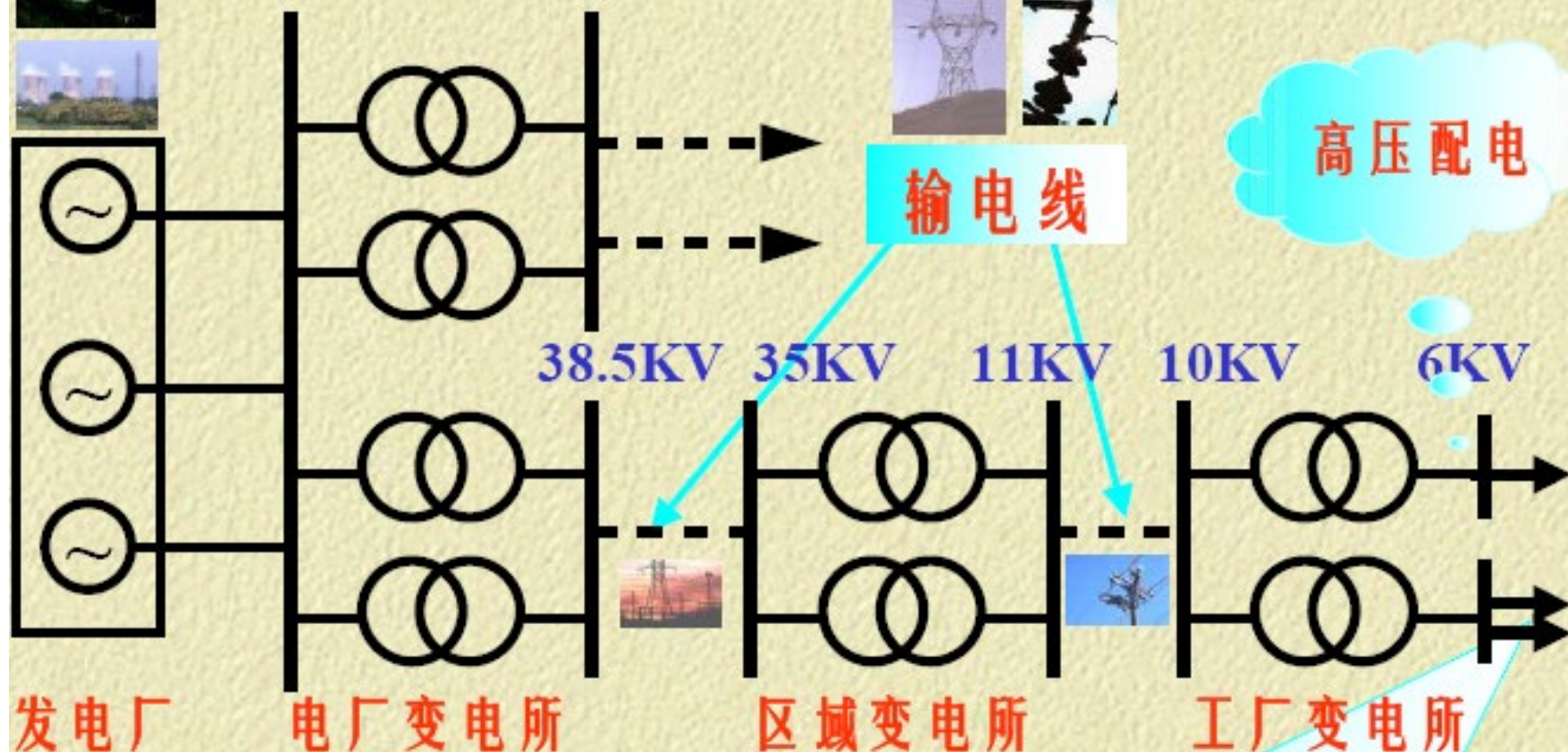


输电线

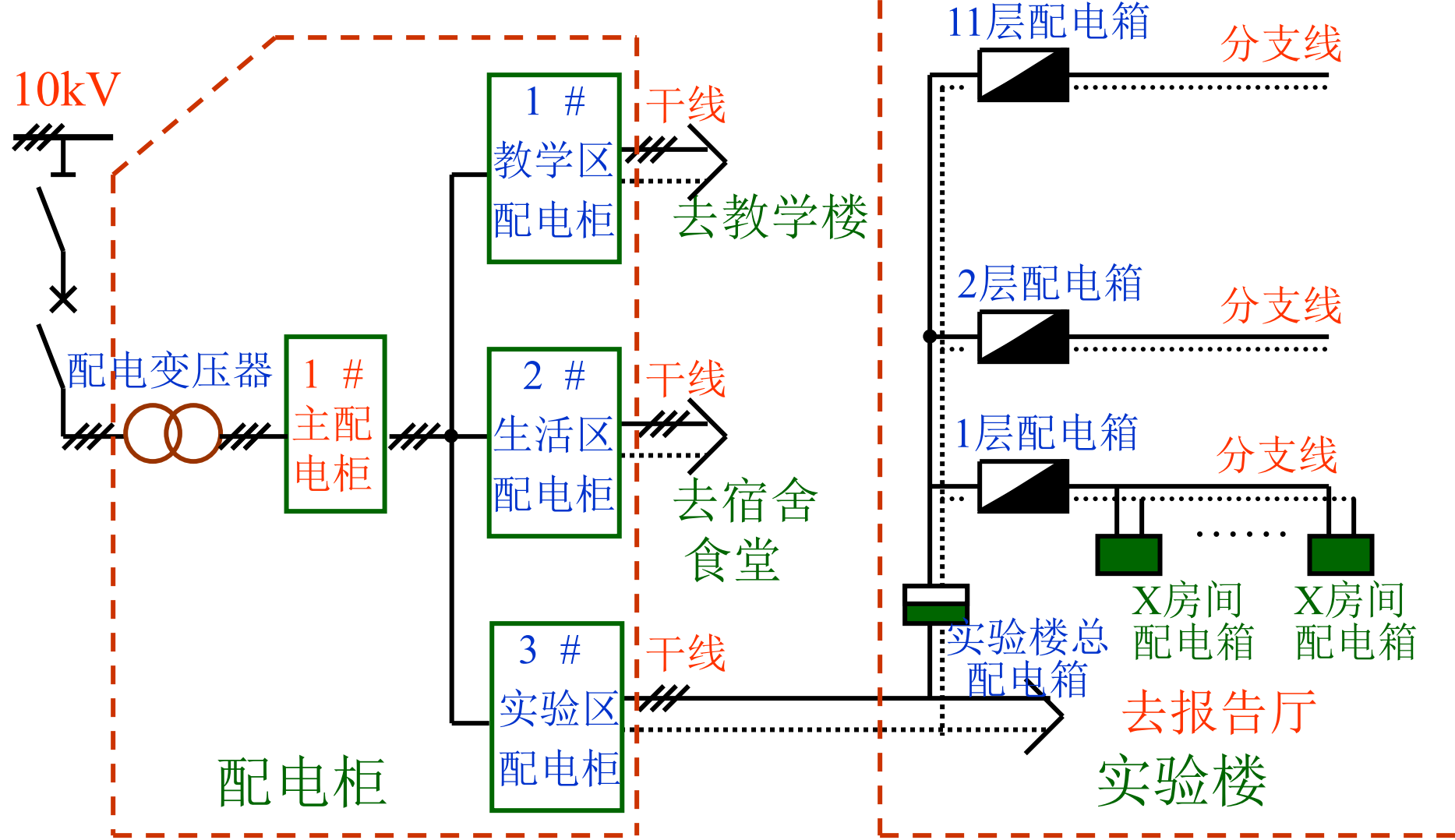


发电、输电、配电系统图

10.5KV 121KV



某校实验楼树形供电线路示意图



5.1 三相电路

三相电路由三相电源、三相负载和三相输电线路三部分组成。

●三相电路的优点

- ① 发电方面：比单相电源可提高功率50%；
- ② 输电方面：比单相输电节省钢材25%；
- ③ 配电方面：三相变压器比单项变压器经济且便于接入负载；
- ④ 运电设备：结构简单、成本低、运行可靠、维护方便。

以上优点使三相电路在动力方面获得了广泛应用，是目前电力系统采用的主要供电方式。

- **三相电路的特殊性**

- (1) 特殊的电源

- (2) 特殊的负载

- (3) 特殊的连接

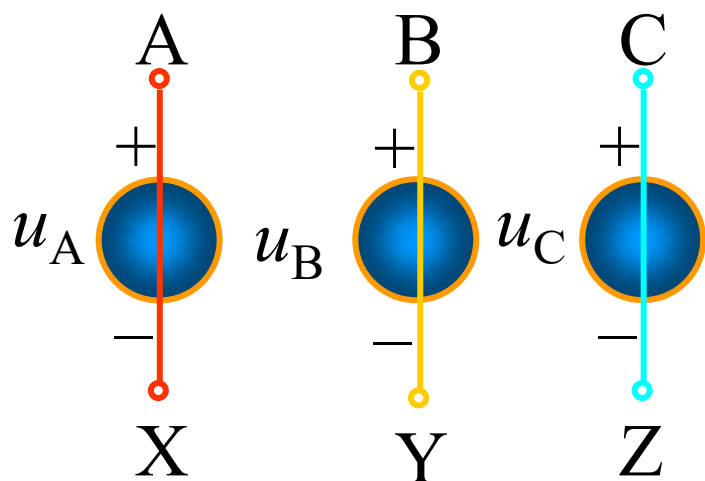
- (4) 特殊的求解方式

研究三相电路要注意其特殊性。

1.对称三相电源的产生

三相电源是三个频率相同、振幅相同、相位彼此相差 120° 的正弦电源。

①瞬时值表达式



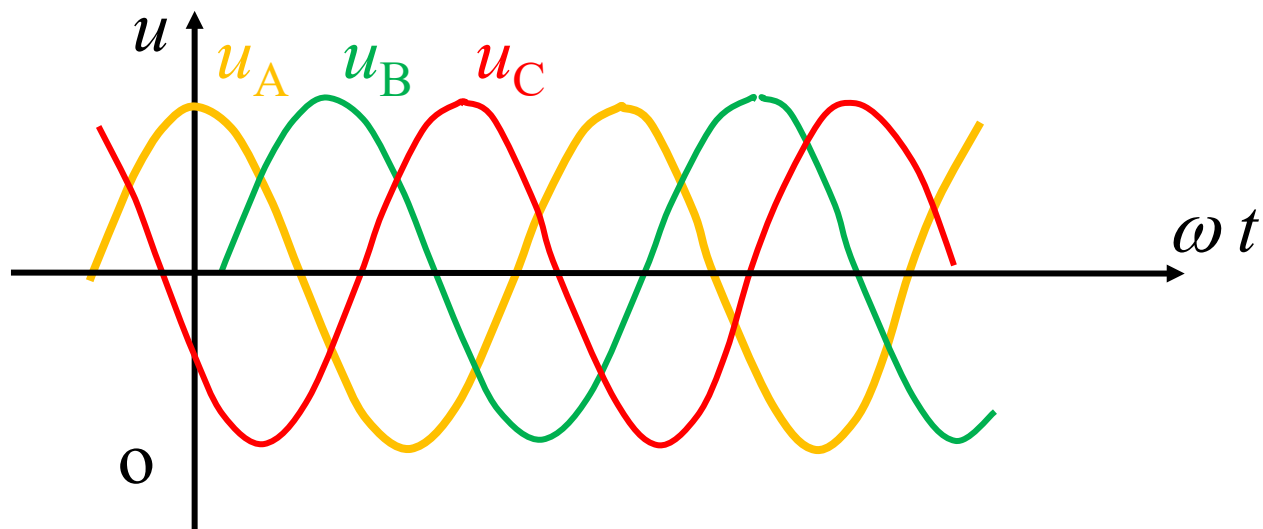
A、B、C 三端称为始端，X、Y、Z 三端称为末端。

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

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

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

②波形图



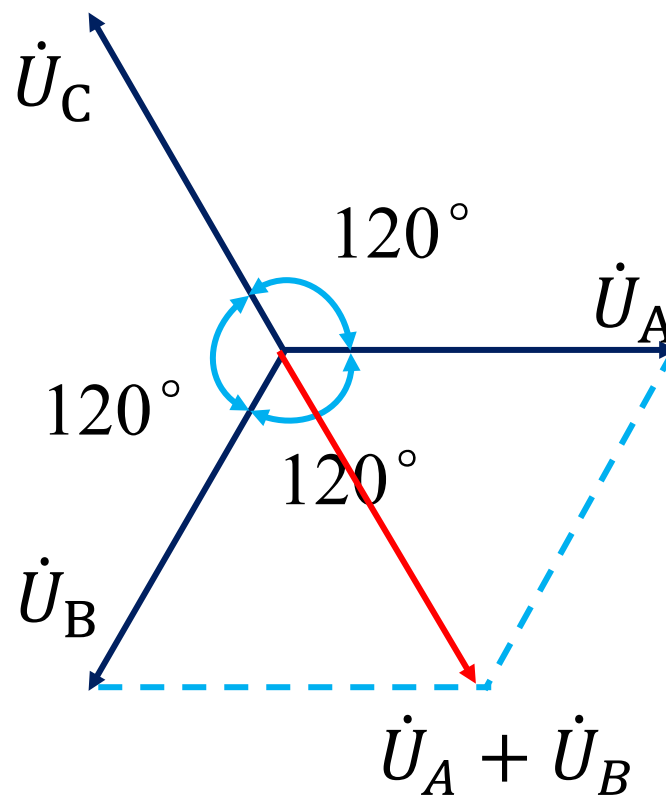
③相量表示

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

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

$$\dot{U}_3 = U \angle 120^\circ$$

对称电压



④对称三相电源的特点

$$u_1 + u_2 + u_3 = 0$$

$$\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 = 0$$

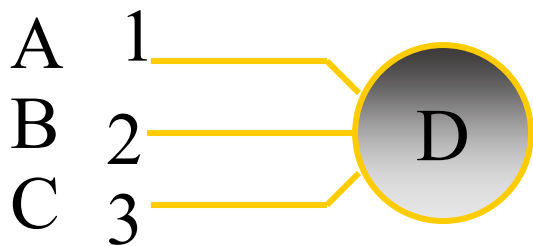
⑤对称三相电源的相序

三相电源各相经过同一值(如最大值)的先后顺序。

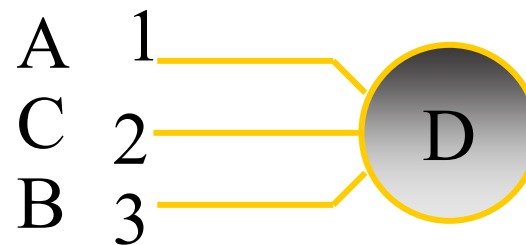
正序(顺序): A—B—C—A

负序(逆序): A—C—B—A

相序的实际意义:



正转

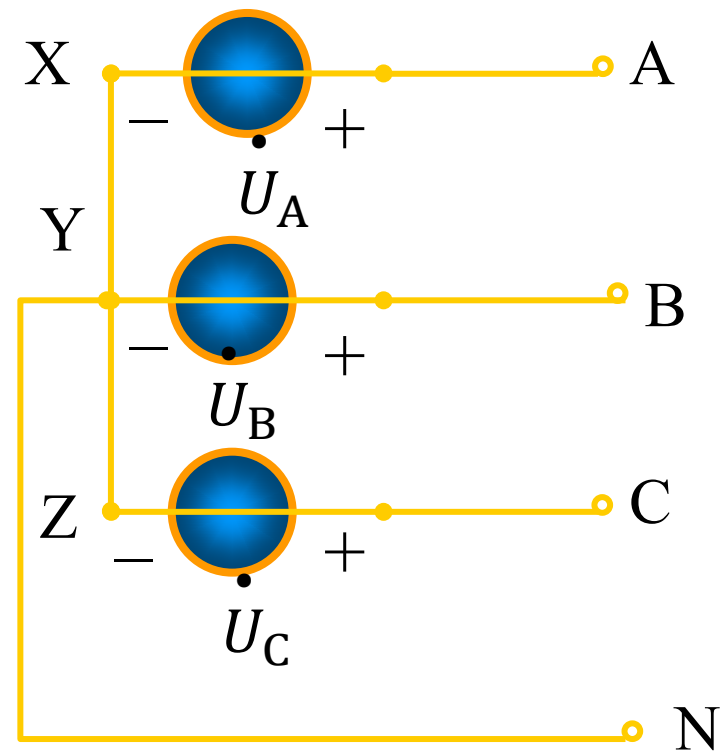
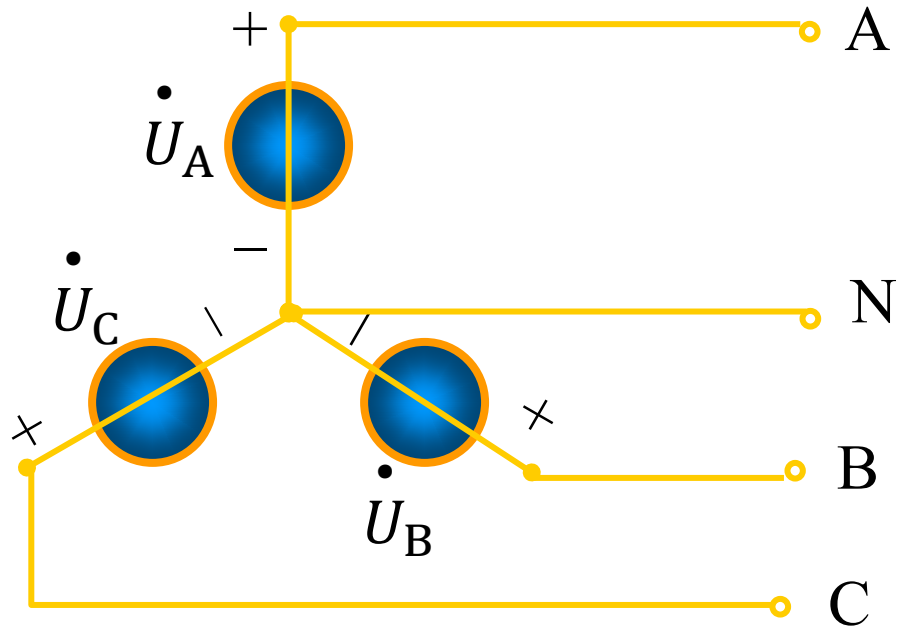


反转

以后如果不加说明,一般都认为是正相序。

2. 三相电源的联接

(1) 星形联接(Y联接) ——三相四线制



A、B、C--相线（火线、端线）

N--中性点、中线（零线）

相电压和线电压的关系

设： $\dot{U}_{AN} = U \angle 0^\circ$

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

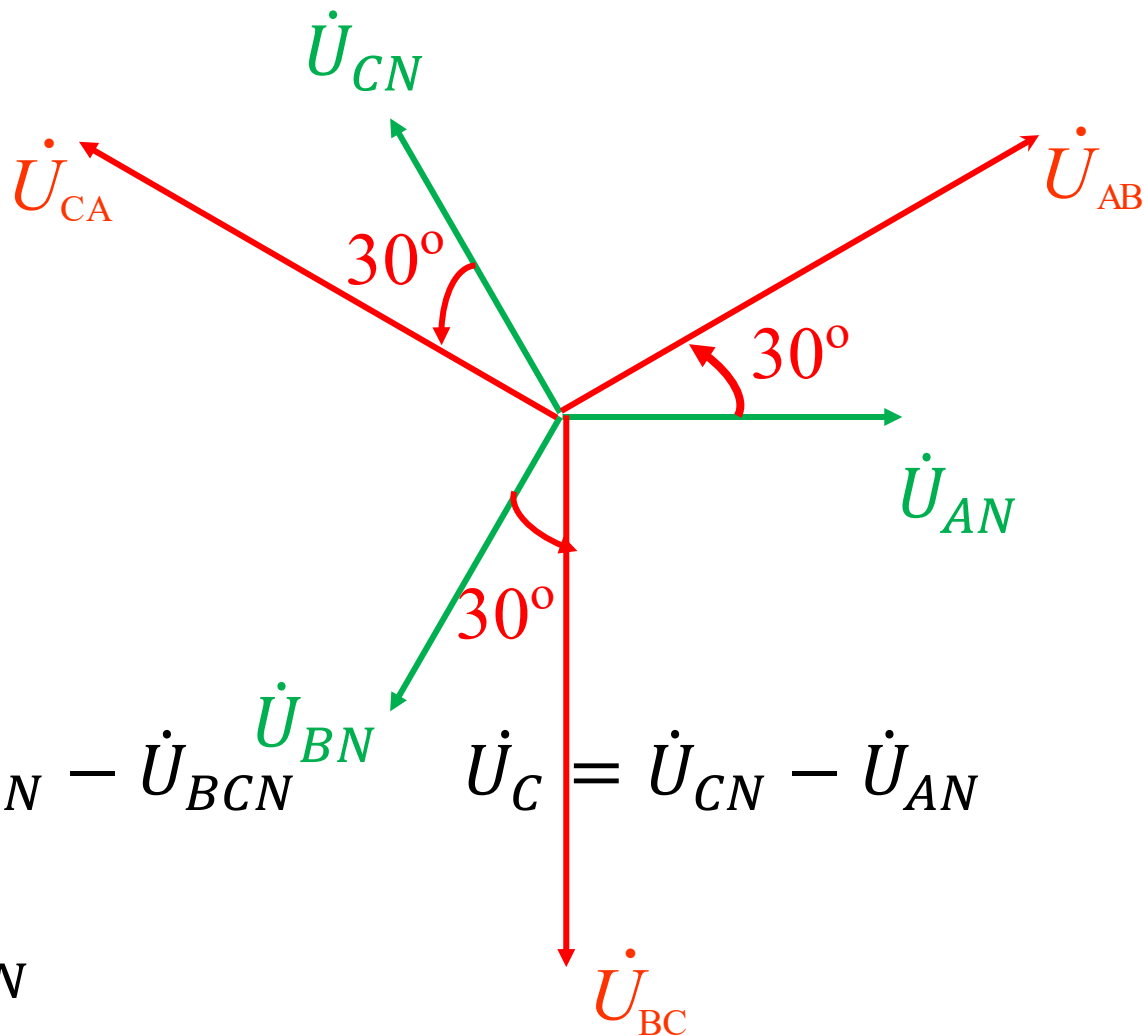
$$\dot{U}_{CN} = U \angle 120^\circ$$

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN} \quad \dot{U}_B = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{BCN} \quad \dot{U}_C = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN}$$

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

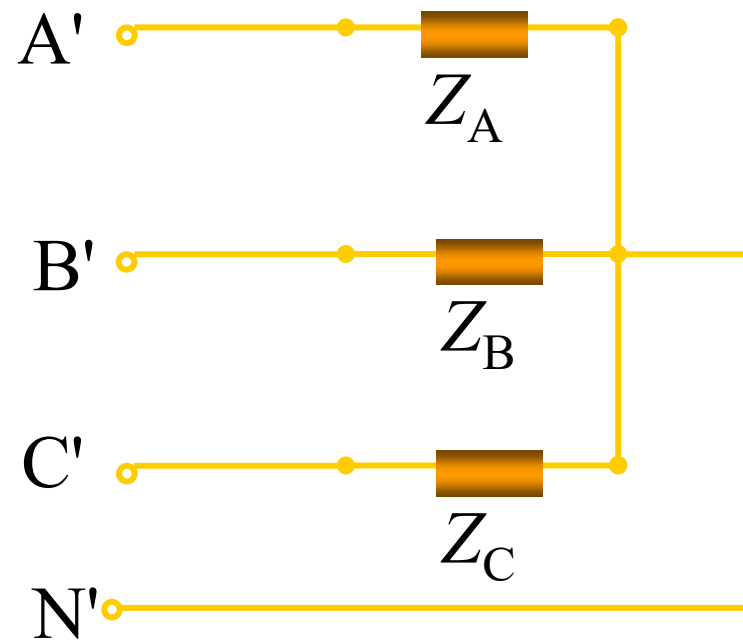
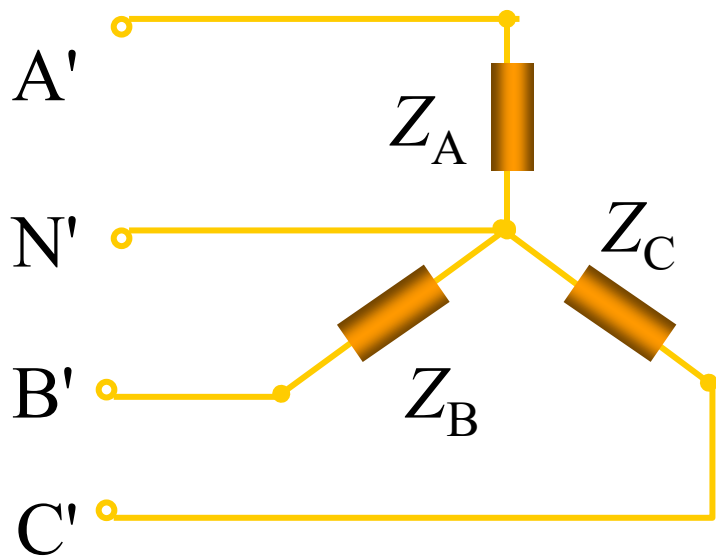
$$\dot{U}_{BC} = \sqrt{3}U \angle -90^\circ = \sqrt{3} \angle 30^\circ \dot{U}_{BN}$$

$$\dot{U}_{CA} = \sqrt{3}U \angle 150^\circ = \sqrt{3} \angle 30^\circ \dot{U}_{CN}$$

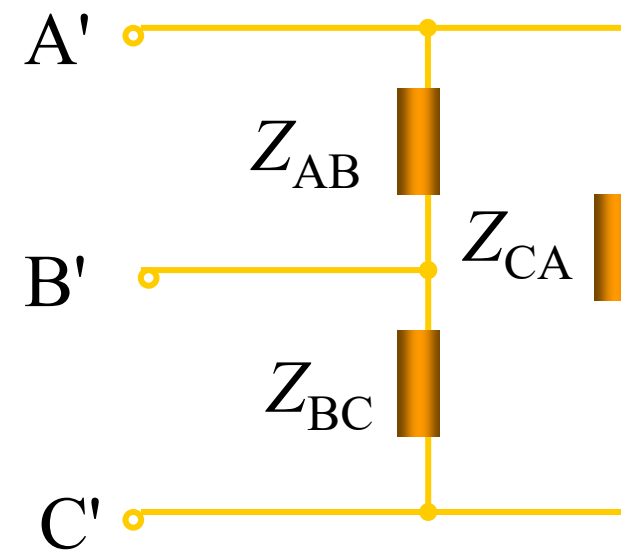
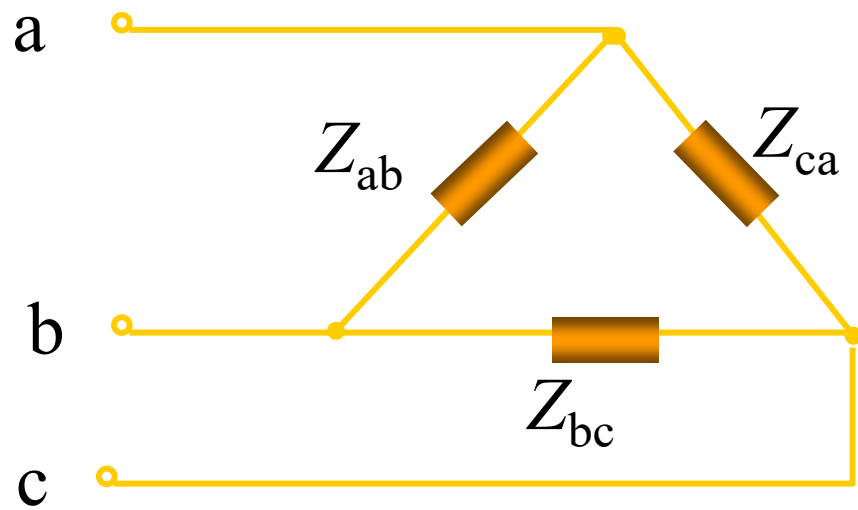


3. 三相负载及其联接

(1) 星形联接

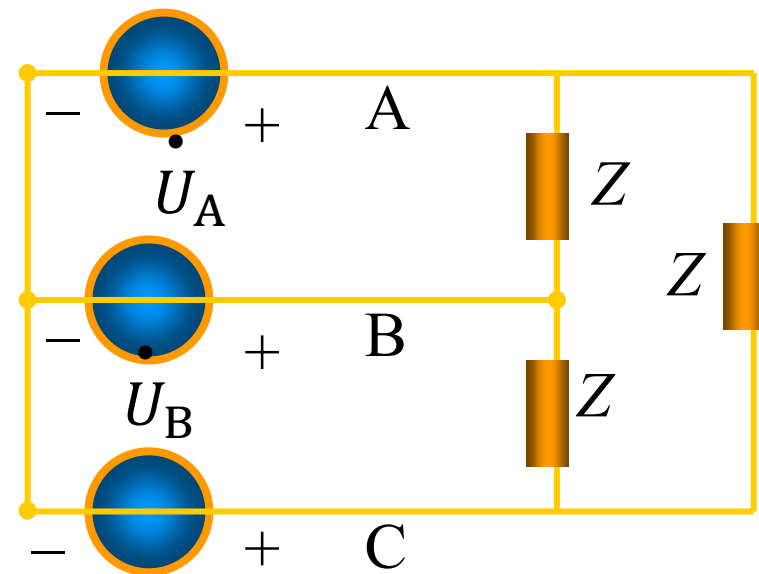
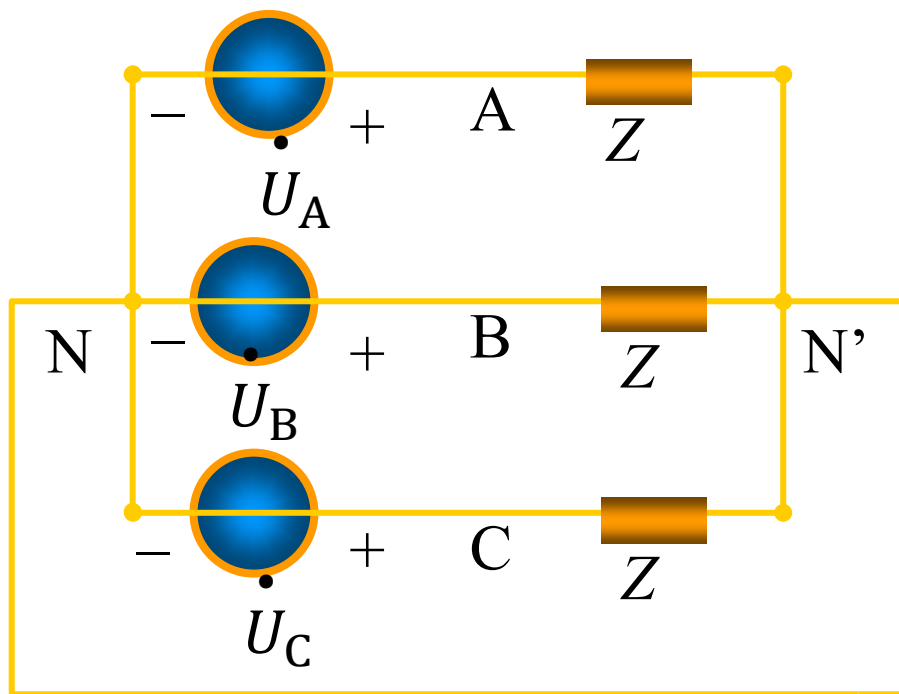


(2) 三角形联接



4. 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。
工程上根据实际需要可以组成：



不论是那种三相电路，都可以转换成Y-Y形电路：

\triangle 形负载 \longrightarrow Y形负载： $Z \longrightarrow Z / 3$

5.2 对称三相电路的计算

名词介绍

线电压：端线与端线之间的电压。

线电流：流过端线的电流。

相电压：① 每相负载上的电压。

② 火线与中线之间的电压。

相电流：流过每相负载的电流。

1、Y-Y形联接：

负载Y形联接时，线电流为相电流。

若：

$$Z_A = Z_B = Z_C = Z = R + jX = |Z| \angle \varphi$$

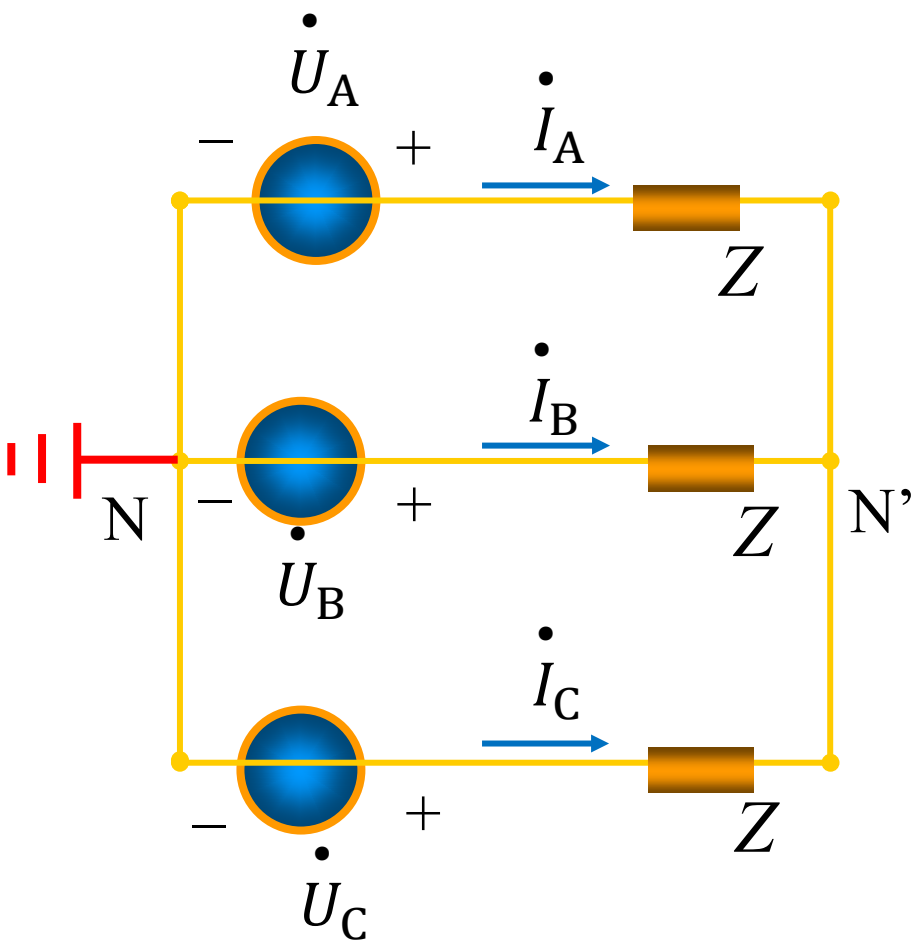
——对称负载

以N点为参考点，对N'点列写结点方程：

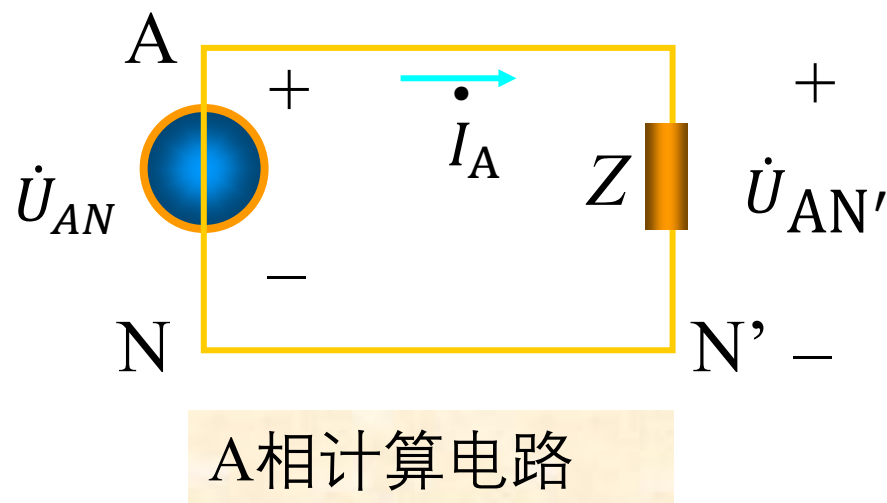
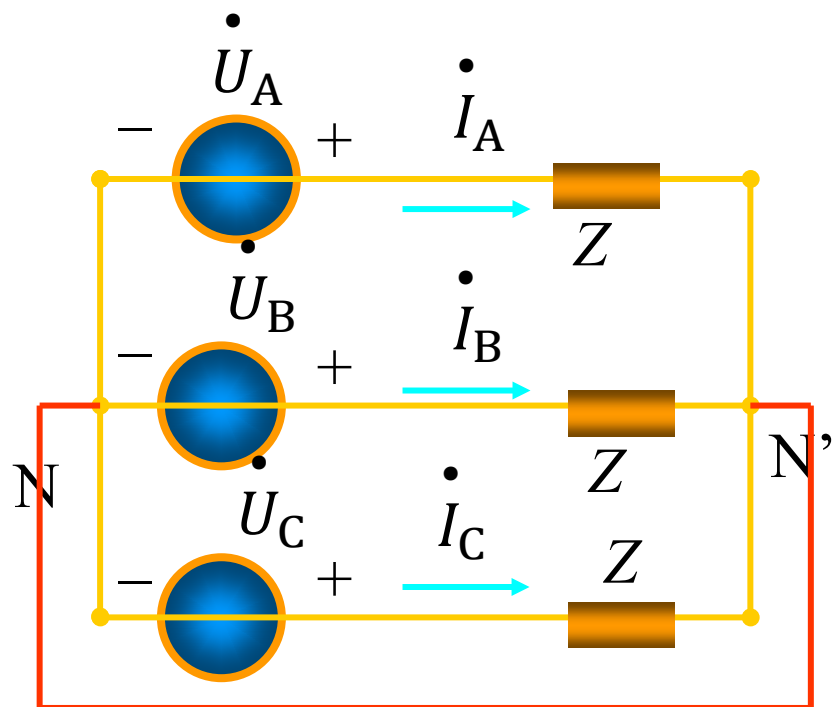
$$\left(\frac{1}{Z} + \frac{1}{Z} + \frac{1}{Z}\right) \dot{U}_{N'N} = \frac{1}{Z} \dot{U}_A + \frac{1}{Z} \dot{U}_B + \frac{1}{Z} \dot{U}_C$$

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

$$\therefore \dot{U}_{N'N} = 0$$

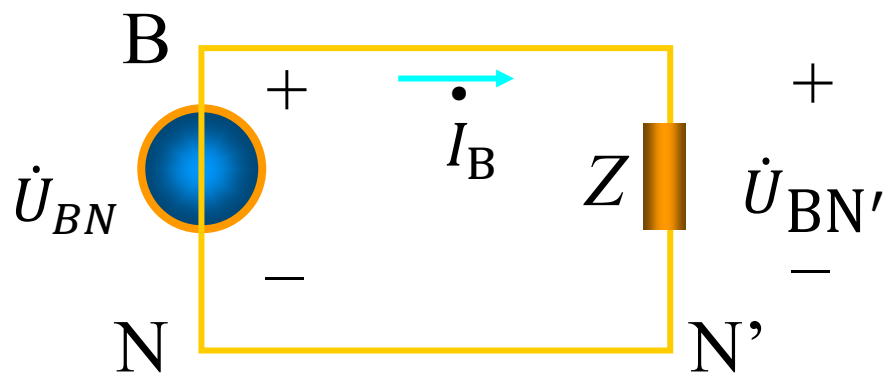


因N, N'两点等电位, 可将其短路, 可将三相电路的计算化为单相电路的计算。



负载侧相电压: $\dot{U}_{AN'} = \dot{U}_A = U \angle 0^\circ$

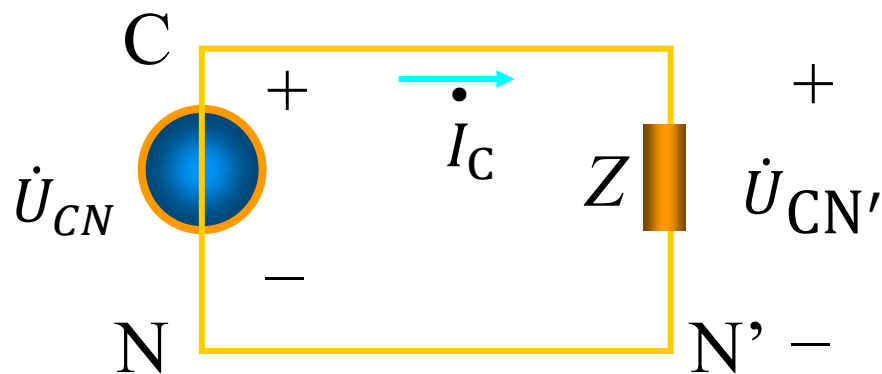
线电流、相电压: $\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN'}}{Z} = \frac{\dot{U}_A}{Z} = \frac{U}{|Z|} \angle -\varphi$



B相计算电路

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

$$\dot{i}_B = \frac{\dot{U}_{BN'}}{Z} = \frac{\dot{U}_B}{Z} = \frac{U}{|Z|} \angle -120^\circ - \varphi$$



C相计算电路

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

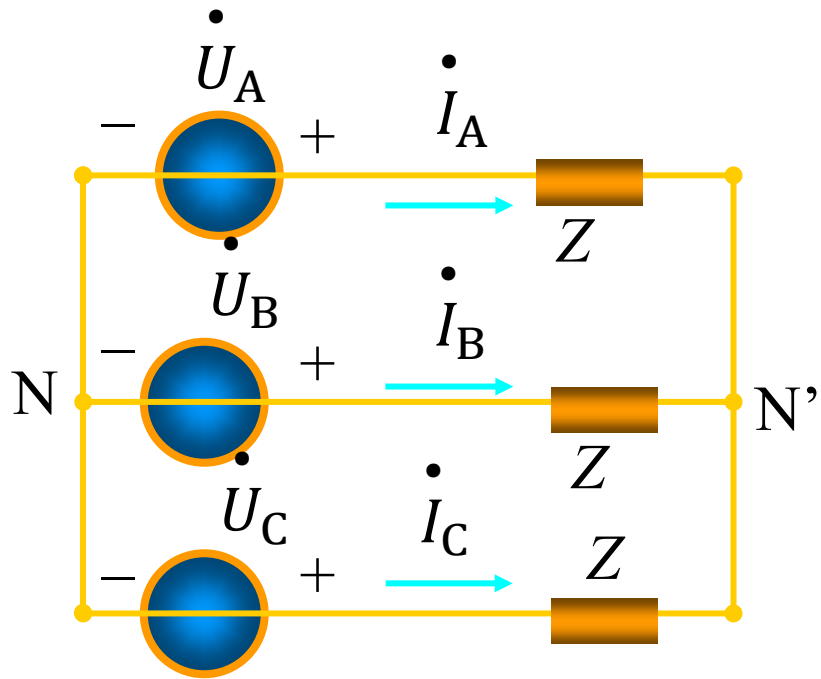
$$\dot{i}_C = \frac{\dot{U}_{CN'}}{Z} = \frac{\dot{U}_C}{Z} = \frac{U}{|Z|} \angle 120^\circ - \varphi$$

线电流、相电流：

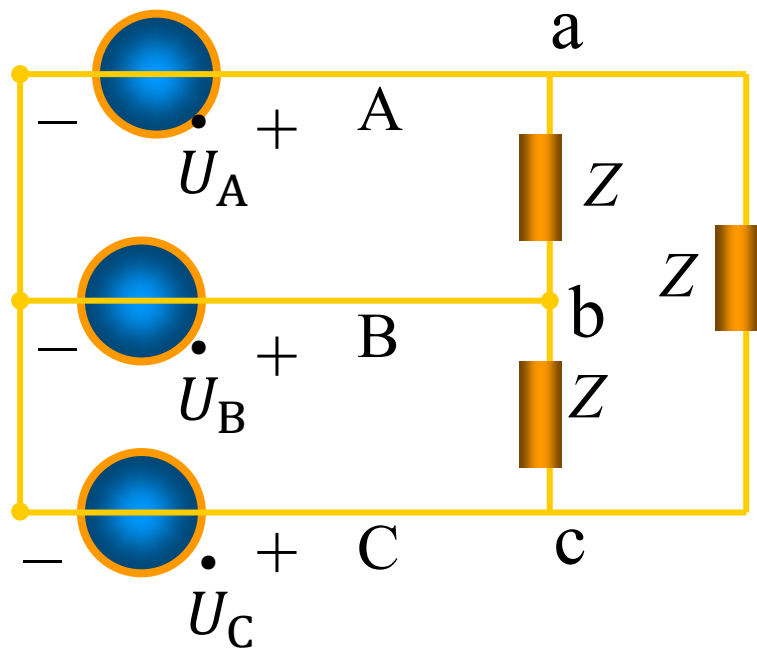
$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{U}{|Z|} \angle -\varphi \\ \dot{I}_B &= \frac{U}{|Z|} \angle -120^\circ - \varphi \\ \dot{I}_C &= \frac{U}{|Z|} \angle 120^\circ - \varphi \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{aligned}} \right\} \begin{array}{c} \text{也为} \\ \text{对称电流} \end{array}$$

对称情况下，各相电压、电流都是对称的，可采用**一相（A相）等效电路计算法**。其它两相的电压、电流可按对称关系直接写出。

例： 已知电源线电压为380V，三相对称负载阻抗 $Z = 30 + j40\Omega$ 作星形连接，求线电流和负载相电流。



2、Y-Δ形联接：



解法1： 负载上相电压与线电压相等：

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{AB} = \sqrt{3}U \angle 30^\circ$$

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

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{CA} = \sqrt{3}U \angle 150^\circ$$

相电流：

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z} = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle 30^\circ - \varphi$$

$$\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z} = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle -90^\circ - \varphi$$

$$\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z} = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle 150^\circ - \varphi$$

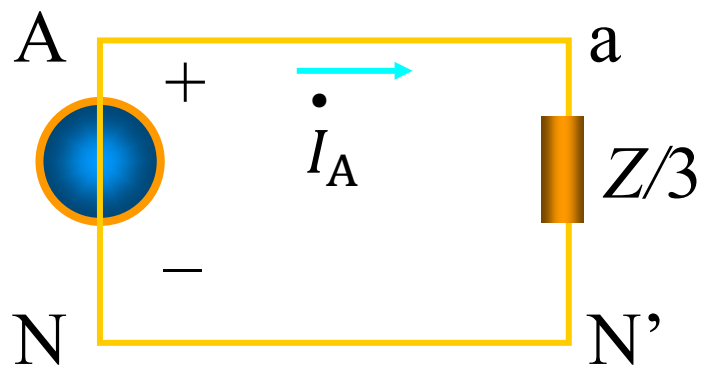
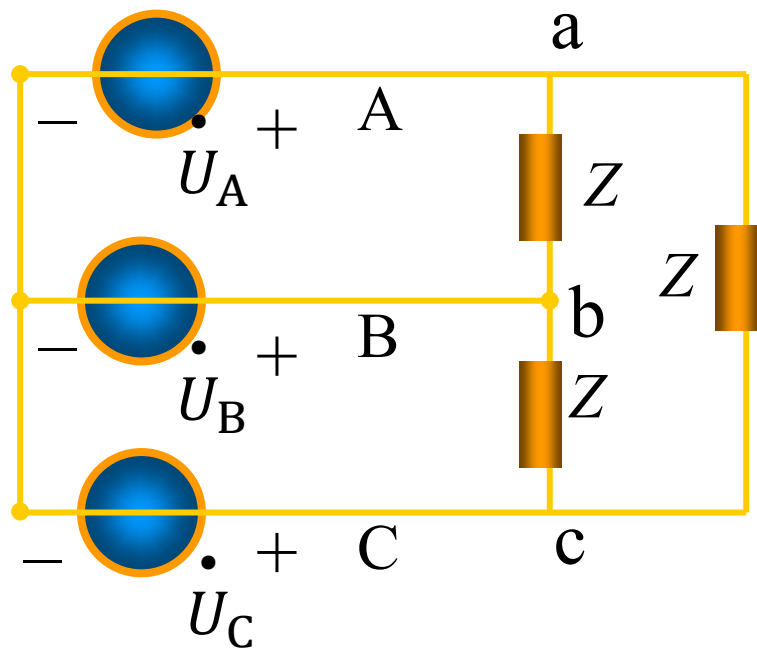
△形对称负载电路：

- ① 线电流与相电流对称。线电流是相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，相位落后相应相电流 30° 。

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

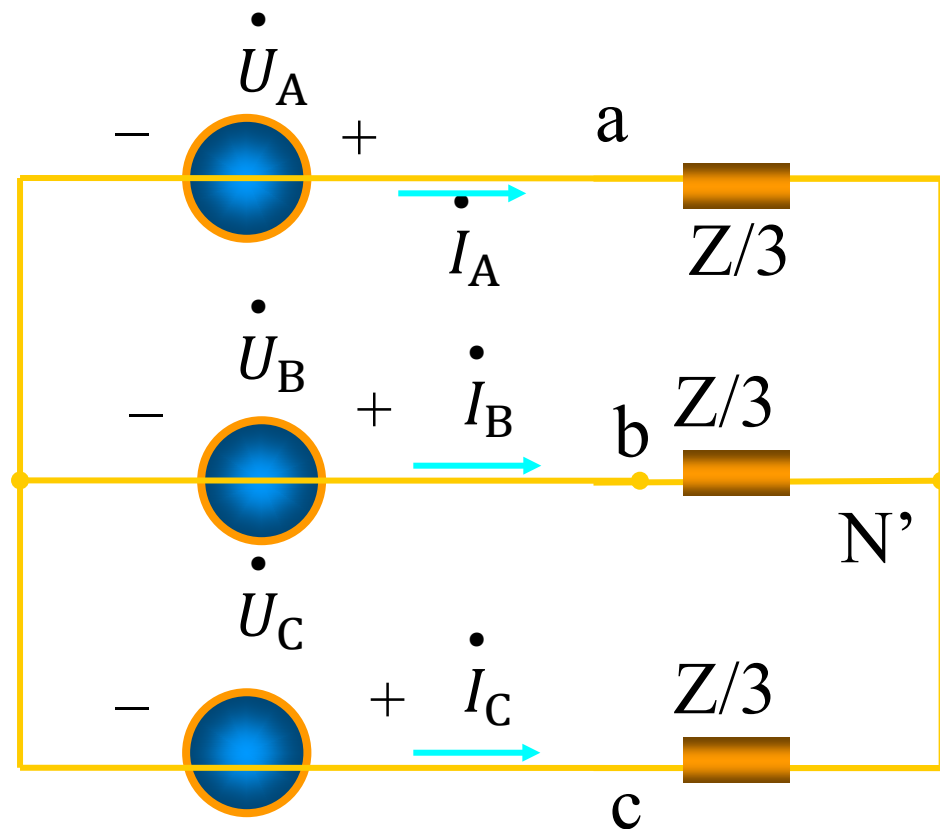
- ② 根据一相计算的结果，由对称性可得到其余两相结果。

2、Y-Δ形联接：



A相计算电路

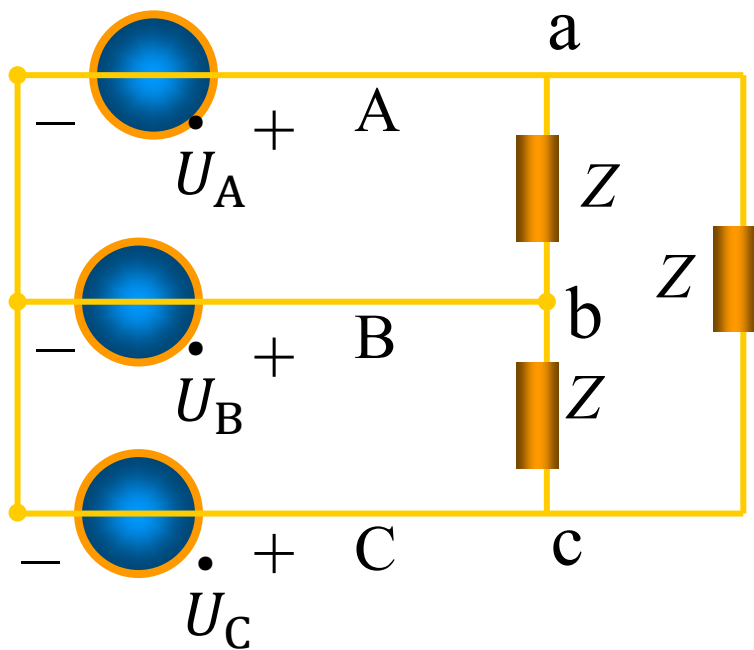
解法2：



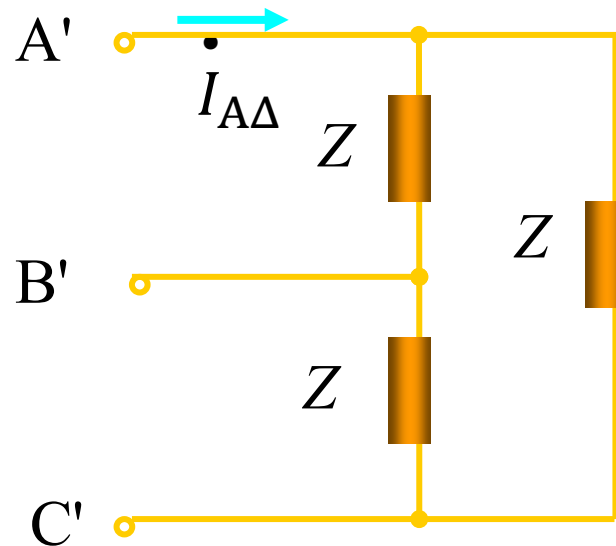
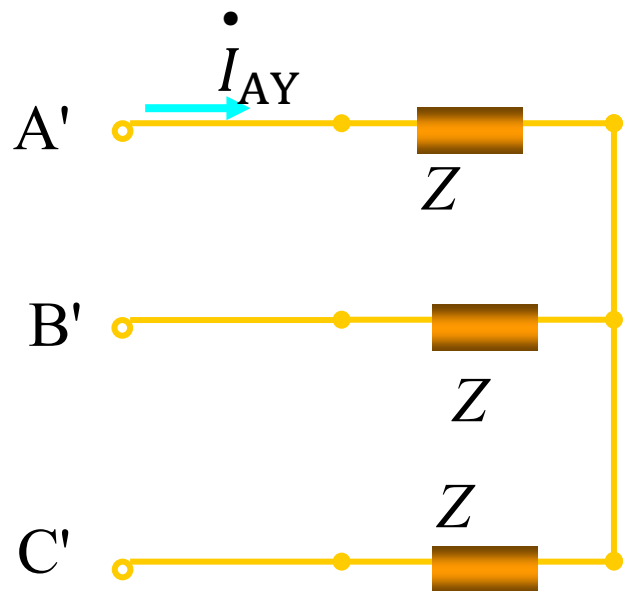
$$\dot{i}_A = \frac{\dot{U}_{aN'}}{Z/3} = \frac{3\dot{U}_A}{Z} = \frac{3U}{|Z|} \angle -\varphi$$

$$\dot{i}_{ab} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{i}_A \angle 30^\circ = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle 30^\circ - \varphi$$

例： 已知电源线电压为380V，三相对称负载阻抗 $Z = 30 + j40\Omega$ 作三角形连接，求线电流和负载相电流。



例2 对称三相负载分别接成Y和 Δ 型。求线电流。



解: $\dot{I}_{AY} = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z}$

$$\dot{I}_{A\Delta} = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z/3} = 3 \frac{\dot{U}_{AN}}{Z}$$

$$\therefore I_{\Delta} = 3I_Y$$

应用: Y- Δ 降压起动。

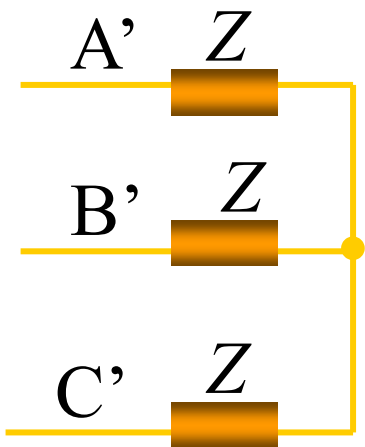
5.4 三相电路的功率

1. 对称三相电路功率的计算

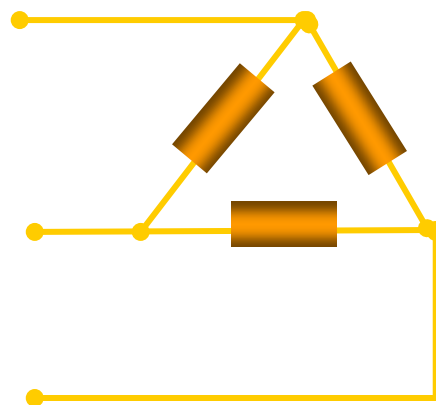
①平均功率

每相负载功率: $P_p = U_p I_p \cos \varphi$

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



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



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

三相总功率: $P = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$

②无功功率

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

③视在功率

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

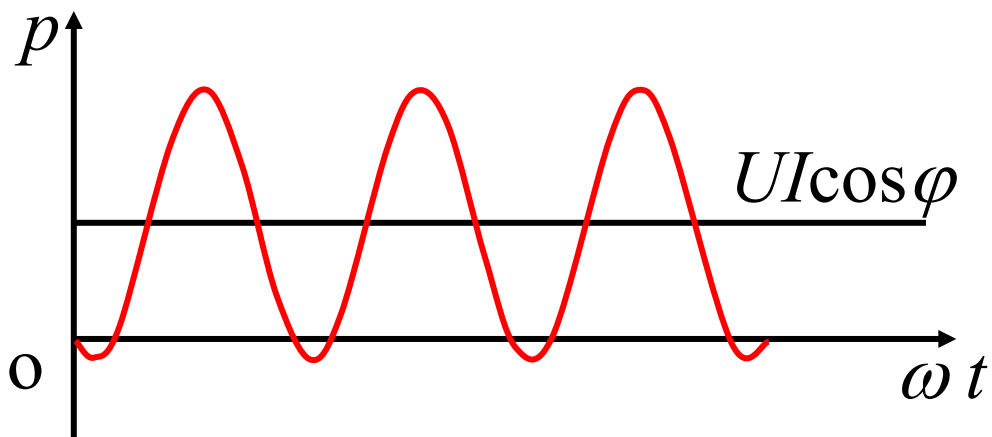
④对称三相负载的瞬时功率

$$p_A = u_A i_A = UI \cos \phi + UI \cos[2\omega t - \phi]$$

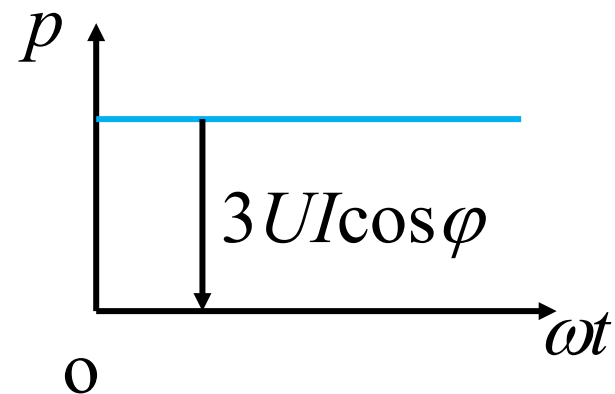
$$p_B = u_B i_B = UI \cos \phi + UI \cos[(2\omega t - 240^\circ) - \phi]$$

$$p_C = u_C i_C = UI \cos \phi + UI \cos[(2\omega t + 240^\circ) - \phi]$$

$$p = p_A + p_B + p_C = 3UI \cos \varphi$$



单相：瞬时功率脉动



三相：瞬时功率恒定

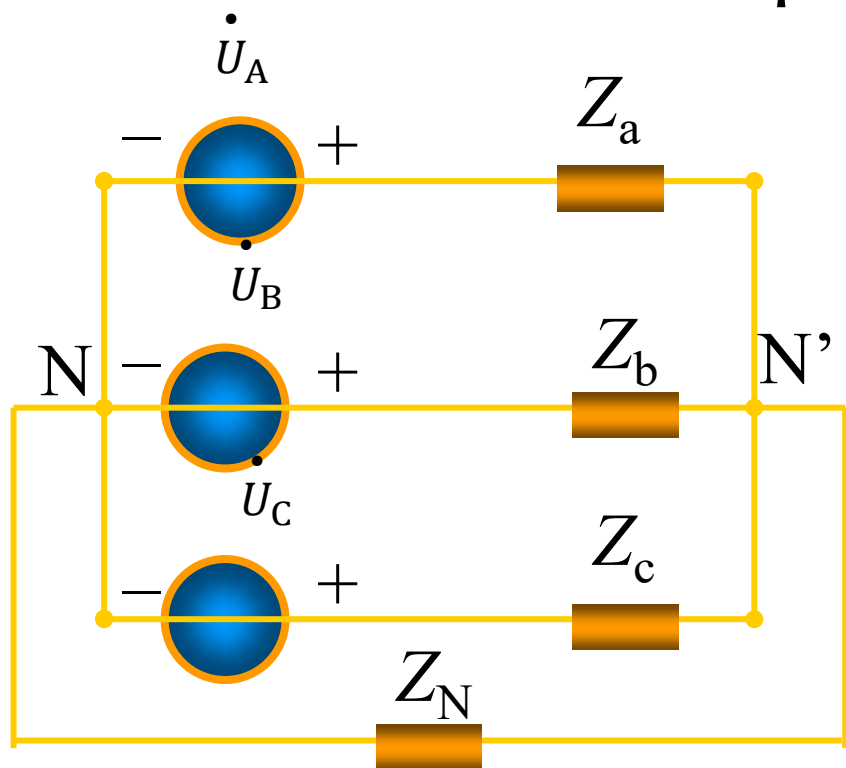
电动机转矩： $m \propto p$

可以得到均衡的机械力矩。避免了机械振动。

1、对称三相负载 $Z = 15 + j20\Omega$ ，分别接成Y和 Δ 型，接于线电压 $U_l = 380V$ 的三相电源上，求两种情况下的相电流、线电流和三相有功功率P。

2、对称三相负载（ $\cos\varphi=0.8$ ，电感性负载）分别接成Y型和 Δ 型，接于线电压 $U_l = 380V$ 的三相电源上，获得的有功功率为3800W和11400W，求两种情况下电路的线电流。

5.3 不对称三相电路的概念



三相负载 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 不相同。

负载各相电压：

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

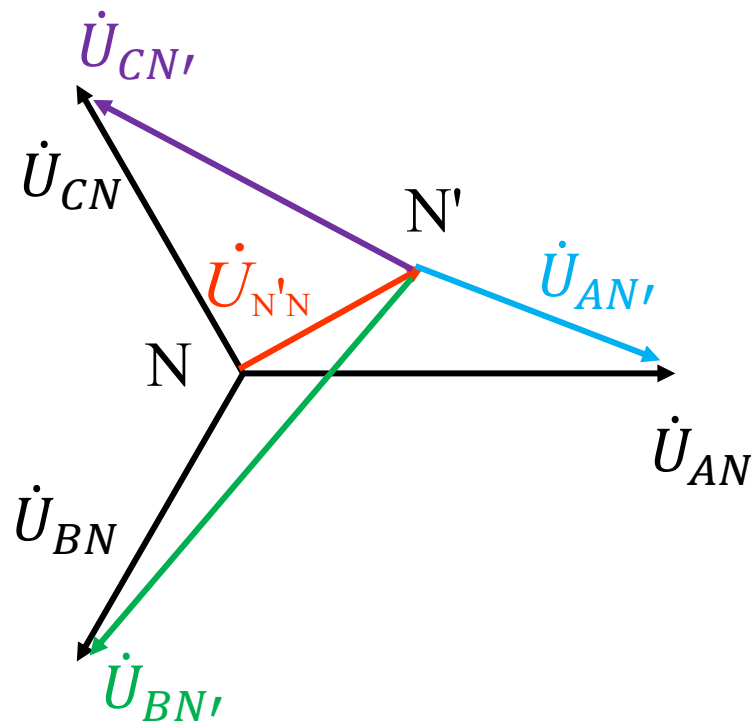
$$\dot{U}_{BN'} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{N'N}$$

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

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

中性点位移

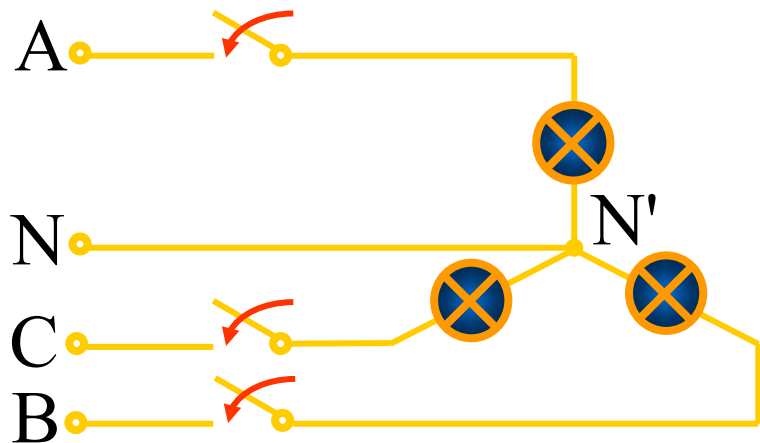
- ① 负载中点与电源中点不重合;
- ② 负载电压不对称。



当中点位移较大时，会造成负载相电压严重不对称，使负载的工作状态不正常。

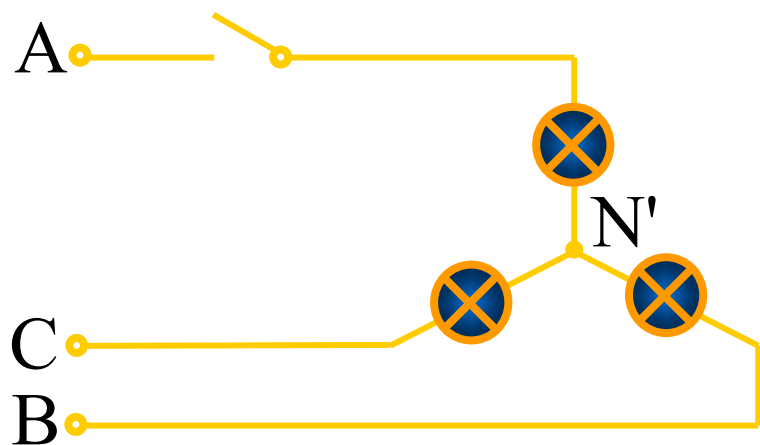
例1 照明电路：

(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相对独立。

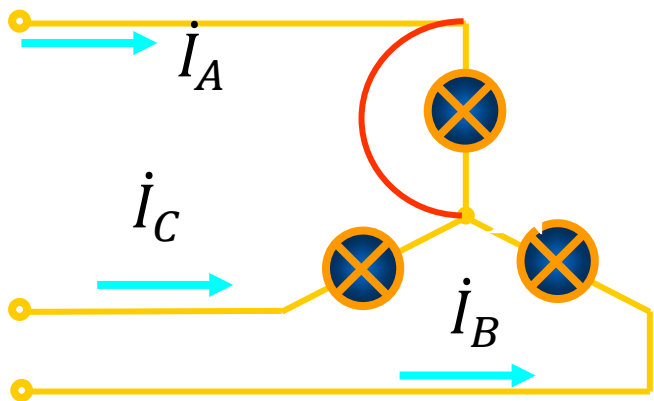
(2) 若三相三线制，设A相断路(三相不对称)



$$U_{CN'} = U_{BN'} = U_{BC}/2$$

灯泡电压低，灯光昏暗。

(3) A相短路



$$U_{CN'} = U_{BN'} = U_{AB} = U_{AC}$$

超过灯泡的额定电压，灯泡可能烧坏。

- ①负载不对称，电源中性点和负载中性点不等位，中线中有电流，各相电压、电流不存在对称关系；
- ②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，负载不能正常工作)。