

第12章 三相电路

12.1

三相电路

12.2

线电压(电流)与相电压(电流)的关系

12.3

对称三相电路的计算

12.4

不对称三相电路的概念

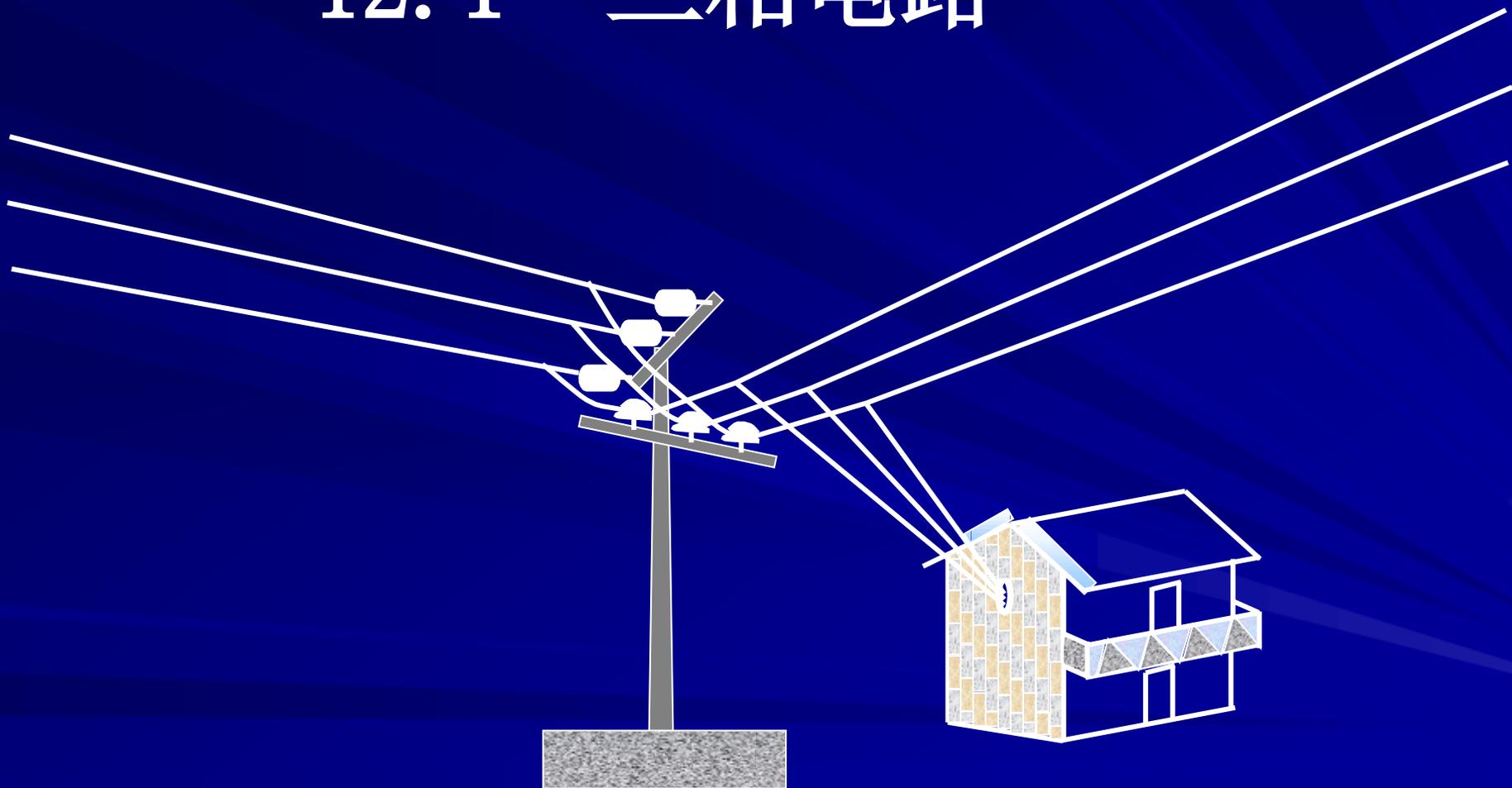
12.5

三相电路的功率

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 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：比单项电源可提高功率50%；
- ② 输电方面：比单项输电节省钢材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。

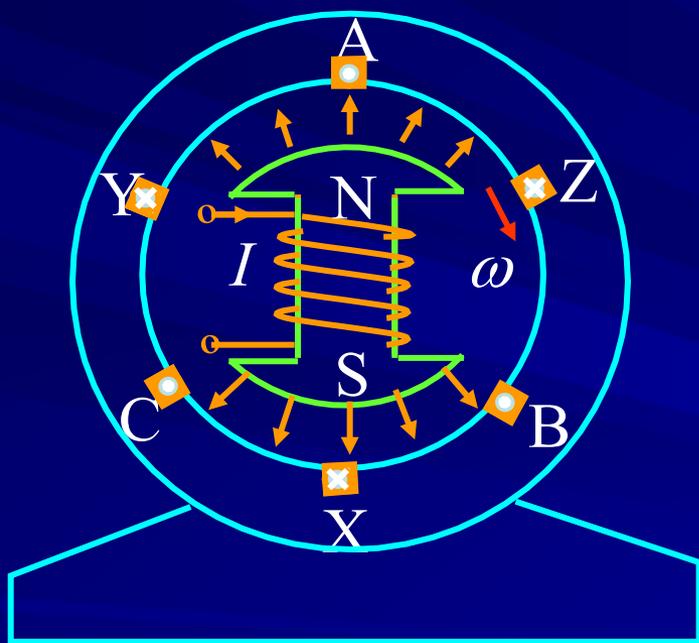
以上优点使三相电路在动力方面获得了广泛应用，是目前电力系统采用的主要供电方式。研究三相电路要注意其特殊性。

●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

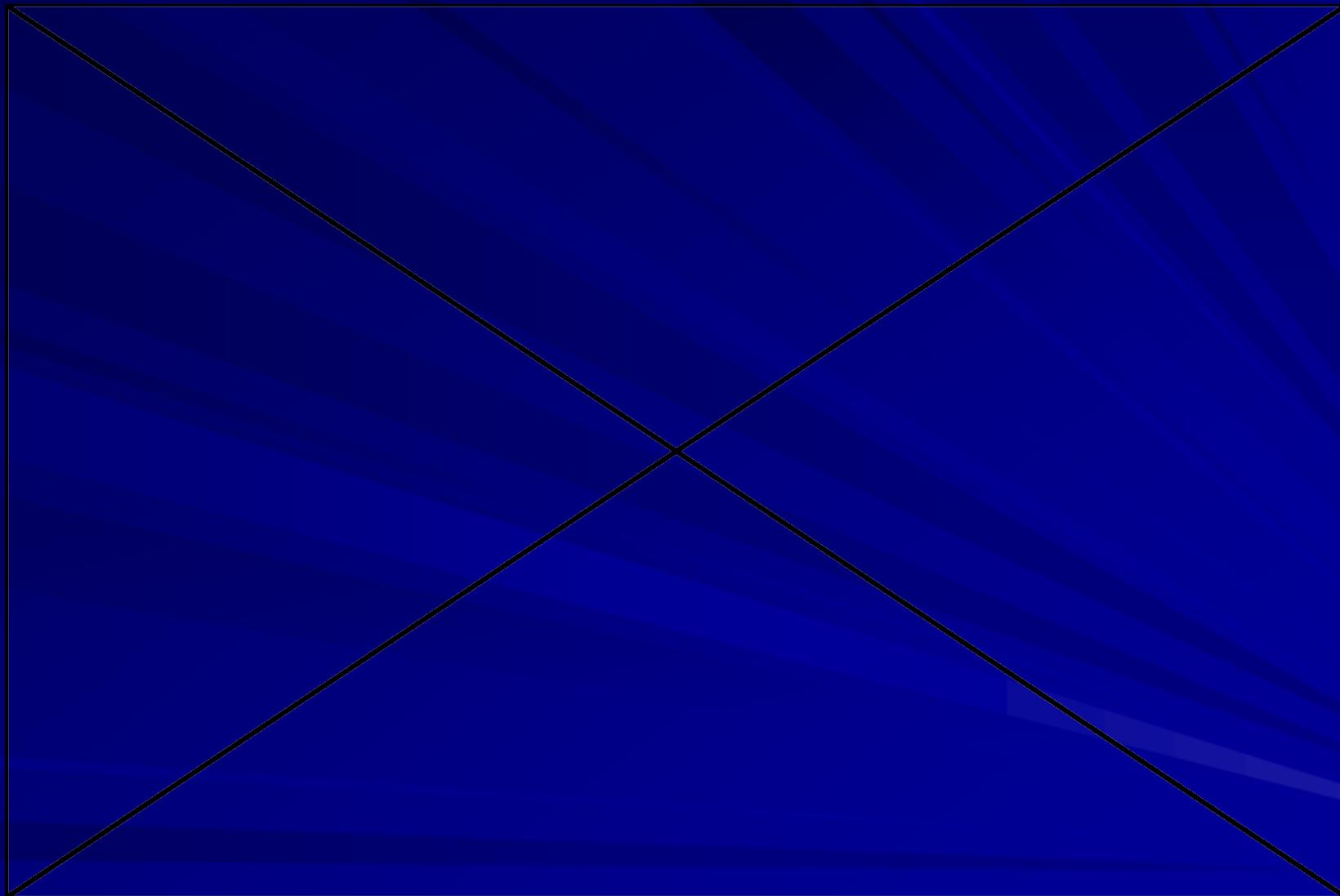
1. 对称三相电源的产生

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。



三相同步发电机示意图

通常由三相同步发电机产生，三相绕组在空间互差 120° ，当转子以均匀角速度 ω 转动时，在三相绕组中产生感应电压，从而形成对称三相电源。

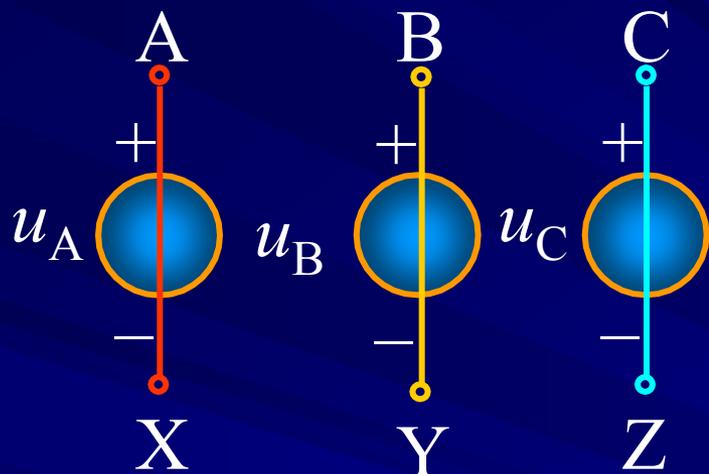


①瞬时值表达式

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

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

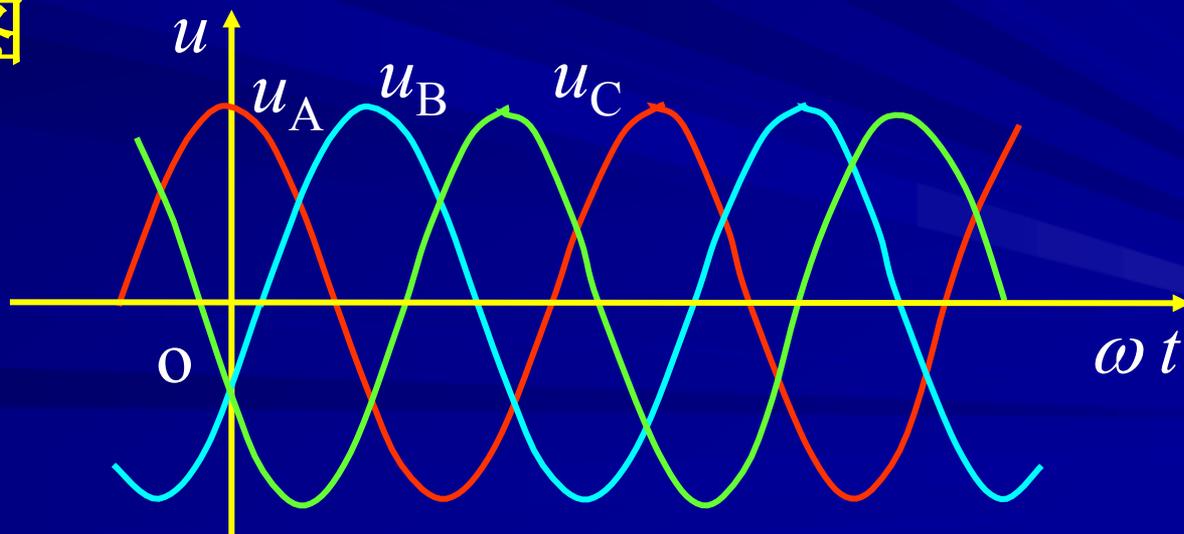
$$u_C(t) = \sqrt{2}U \cos(\omega t + 120^\circ)$$



A、B、C 三端称为始端，

X、Y、Z 三端称为末端。

②波形图

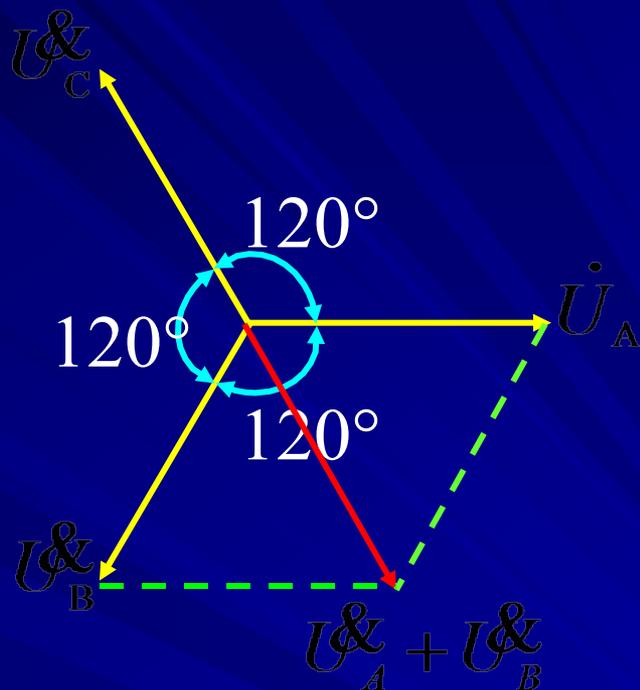


③相量表示

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

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

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



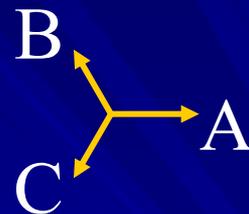
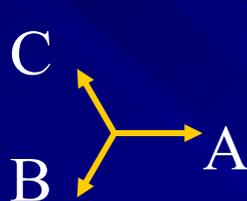
④对称三相电源的特点

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

⑤对称三相电源的相序

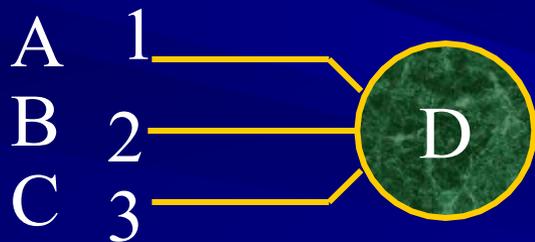
三相电源各相经过同一值(如最大值)的先后顺序。

正序(顺序): A—B—C—A

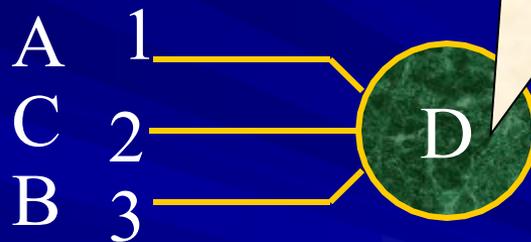


负序(逆序): A—C—B—A

相序的实际意义:



正转



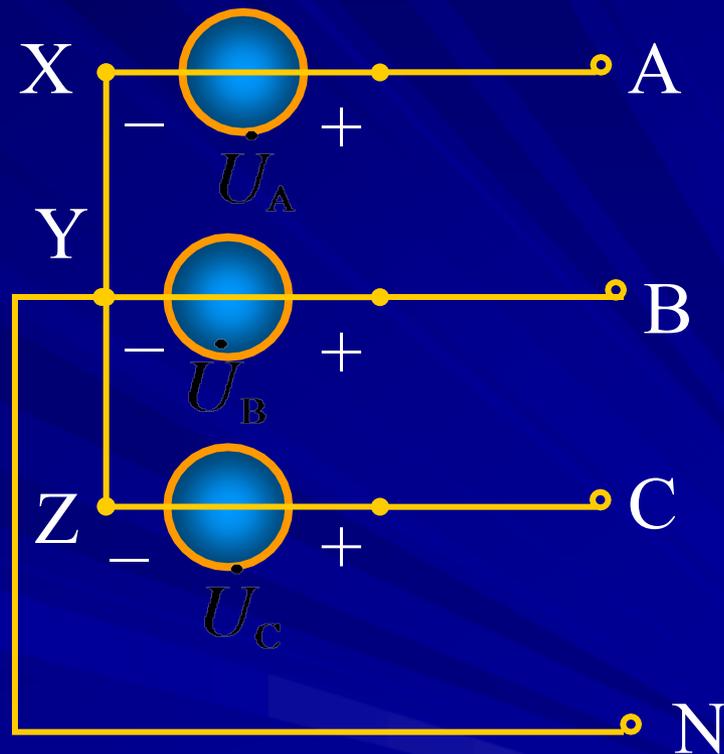
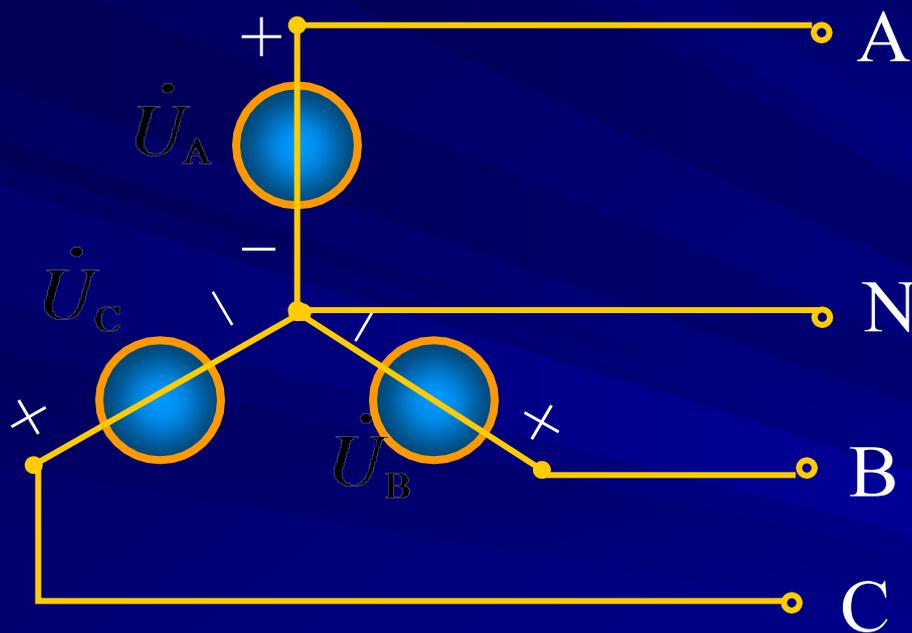
反转

三相电机

以后如果不加说明,一般都认为是正相序。

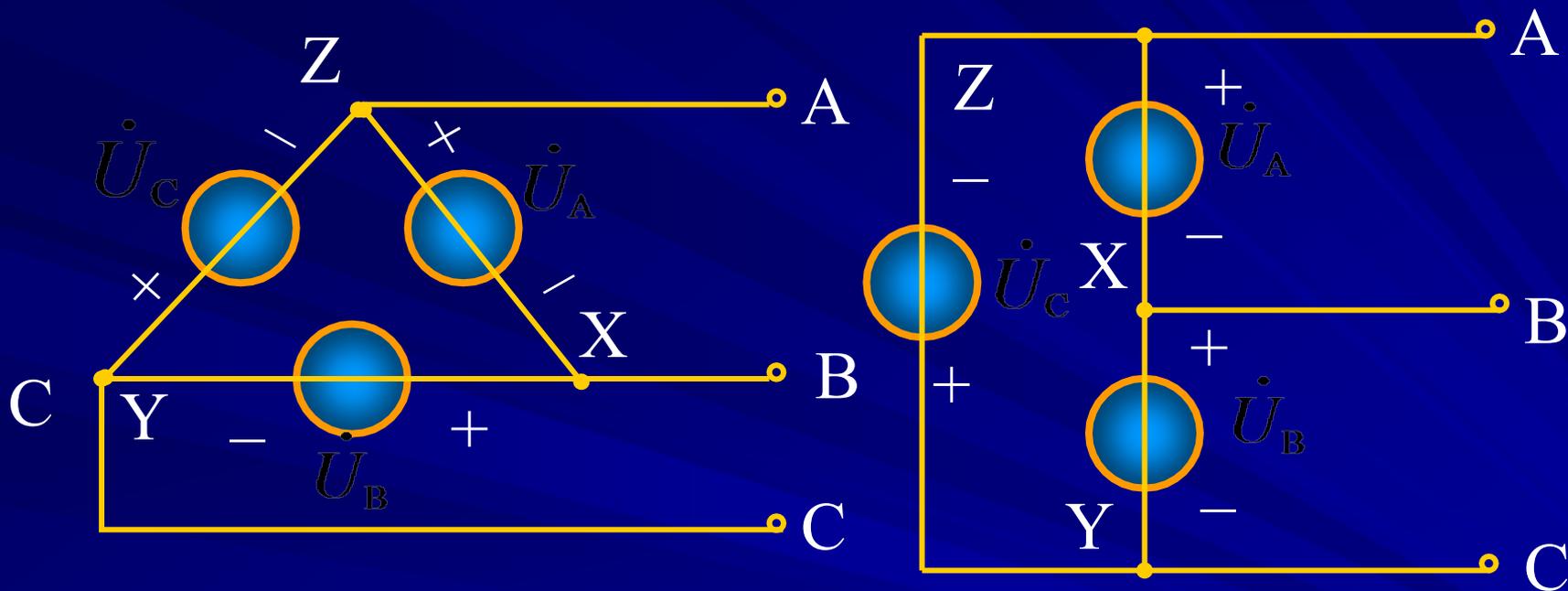
2. 三相电源的联接

(1) 星形联接(Y联接)



X, Y, Z 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 (Δ 联接)



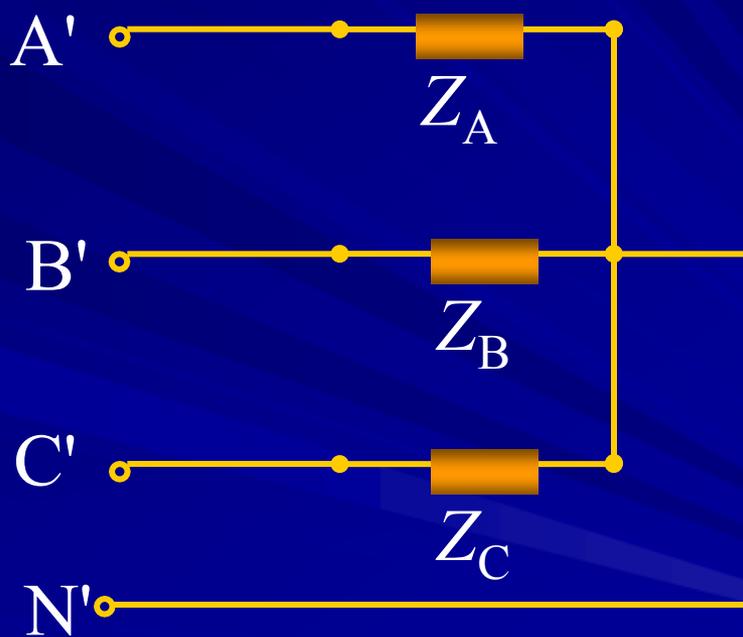
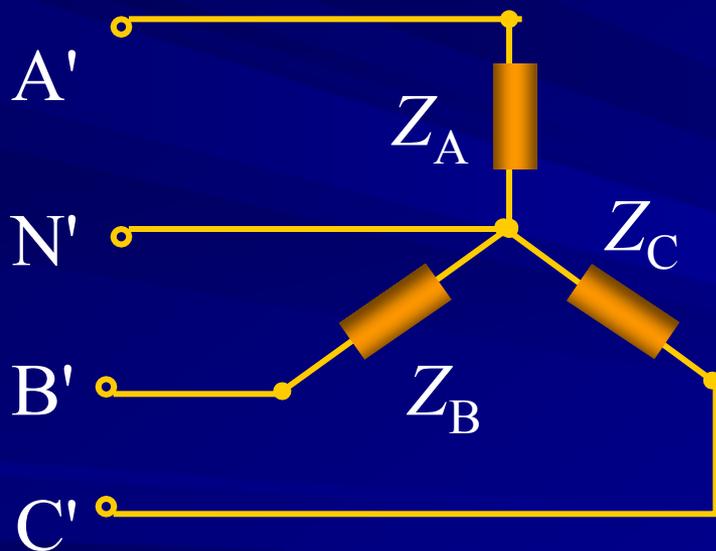
注意

三角形联接的对称三相电源没有中点。

3. 三相负载及其联接

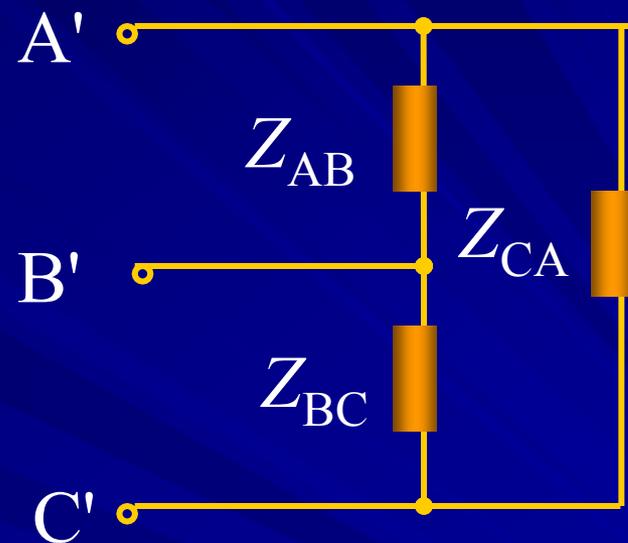
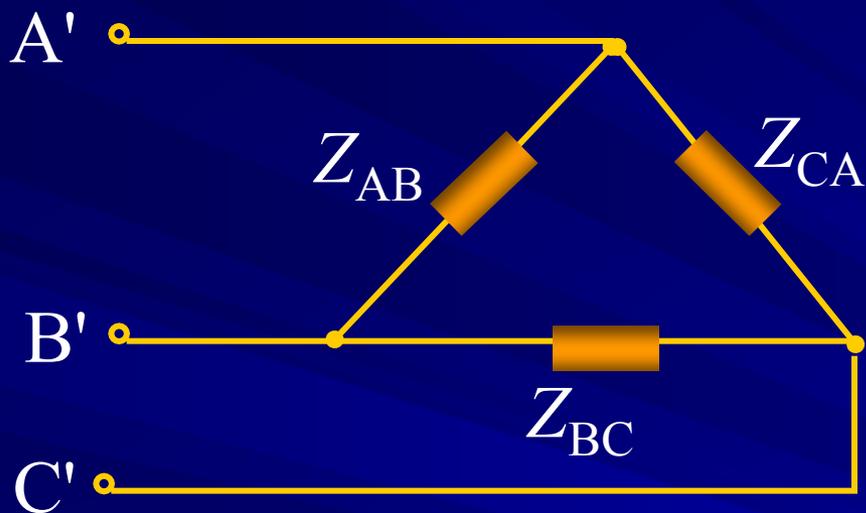
三相电路的负载由三部分组成，其中每一部分称为一相负载，三相负载也有二种联接方式。

(1) 星形联接



当 $Z_A = Z_B = Z_C$ 称三相对称负载

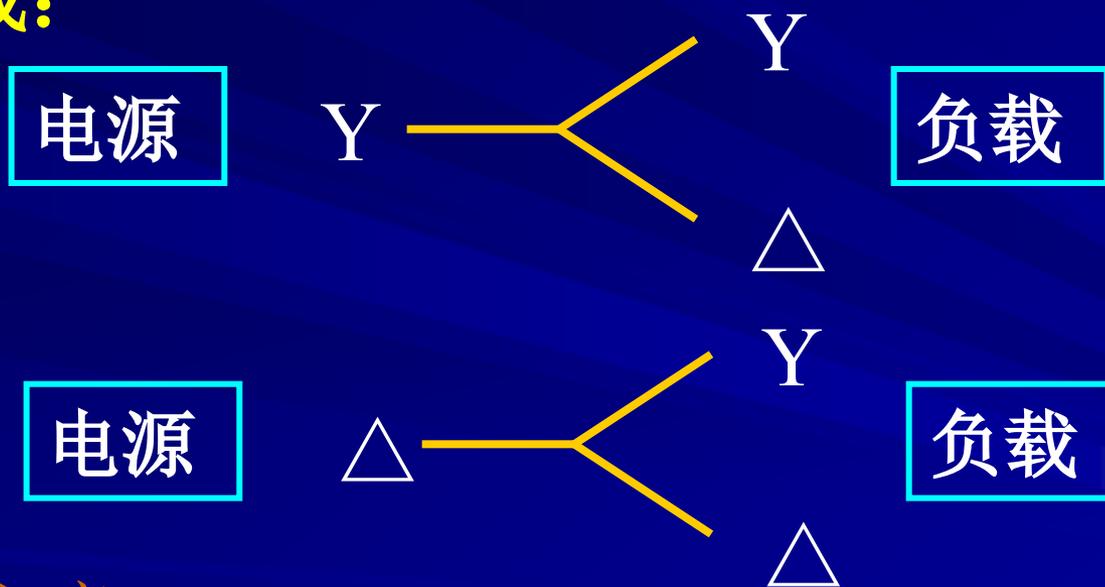
(2) 三角形联接



当 $Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA}$ 称三相对称负载

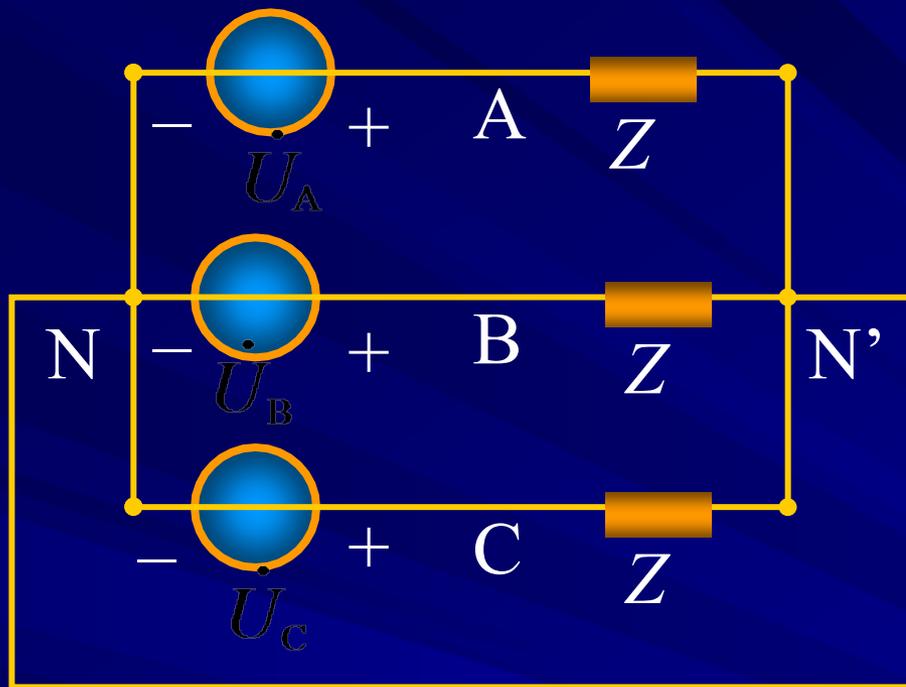
4. 三相电路

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：



注意

当电源和负载都对称时，称为对称三相电路。

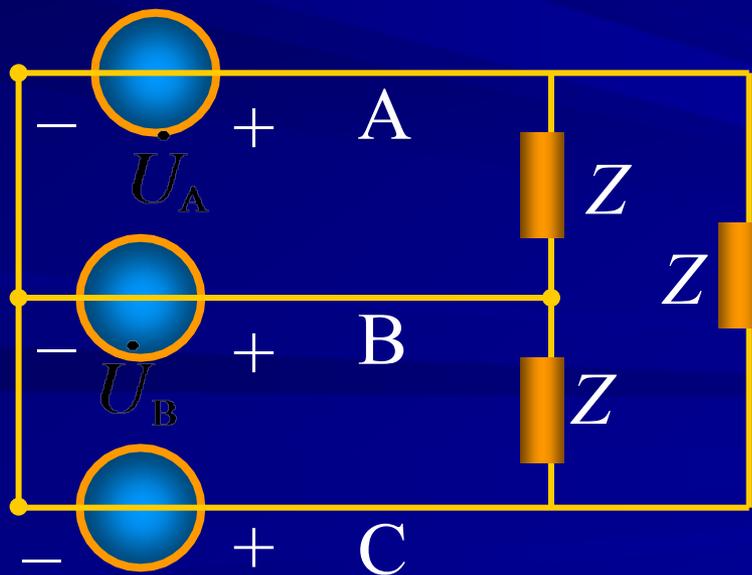


三相四线制

Y — Y

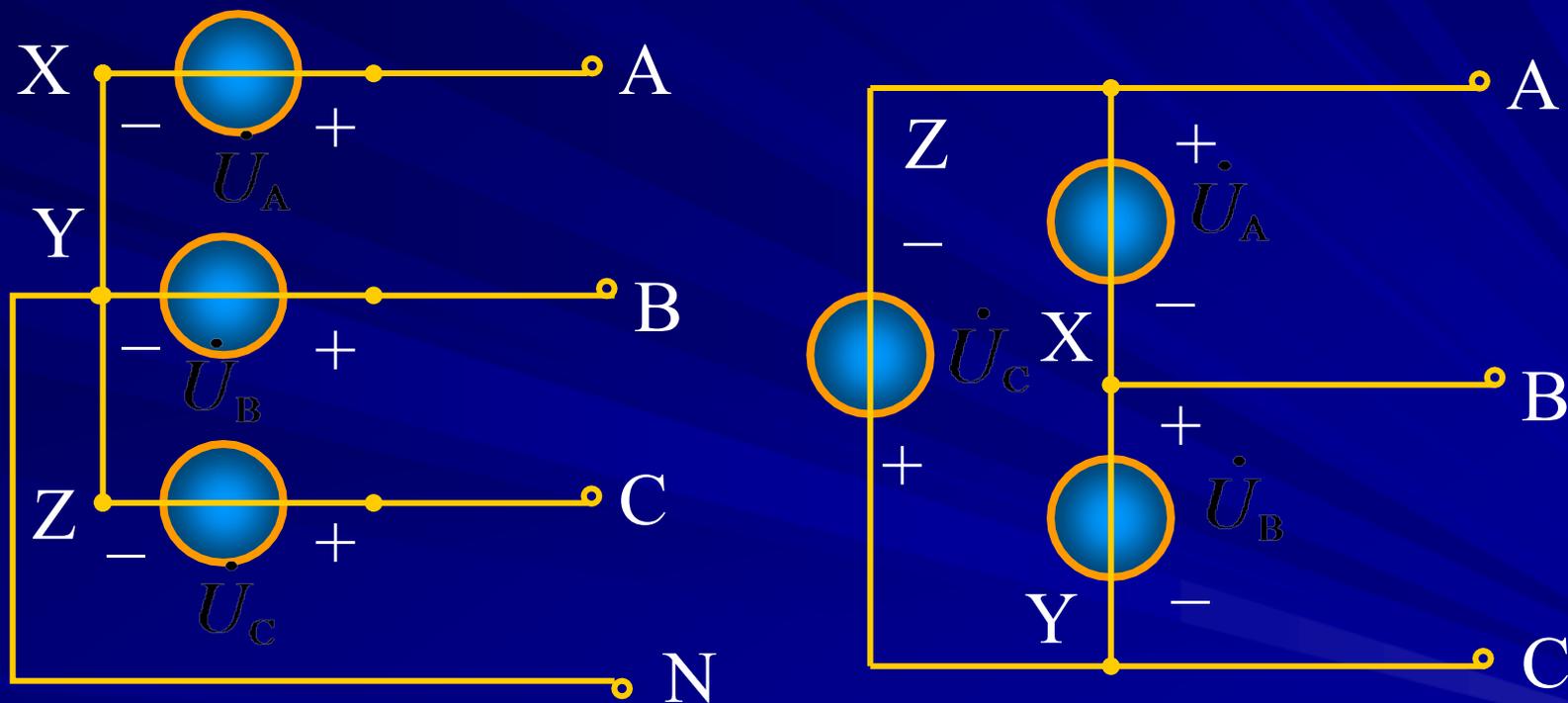
三相三线制

Y — Δ



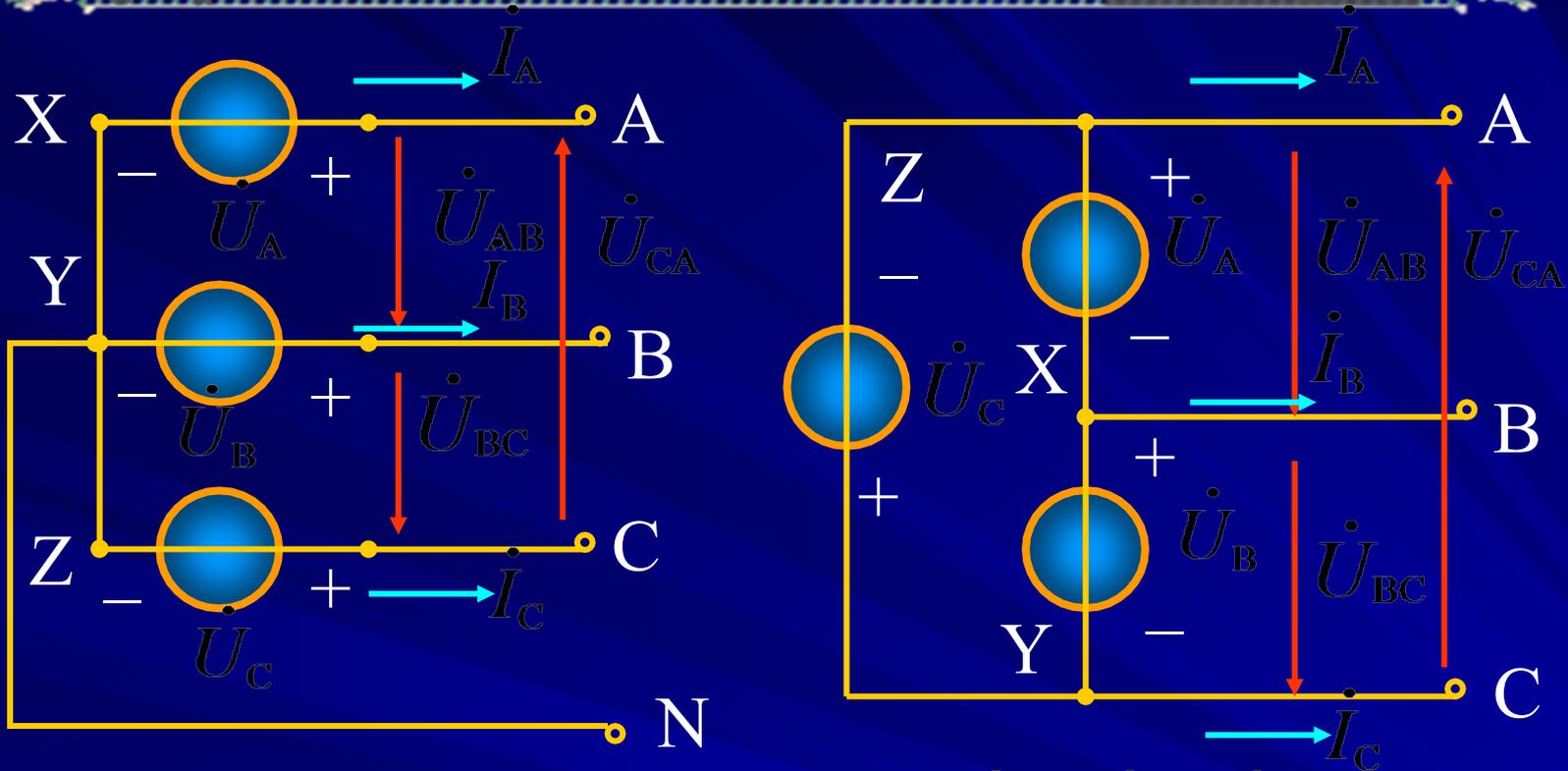
12.2 线电压(电流)与相电压(电流)的关系

1. 名词介绍



①端线(火线): 始端A, B, C 三端引出线。

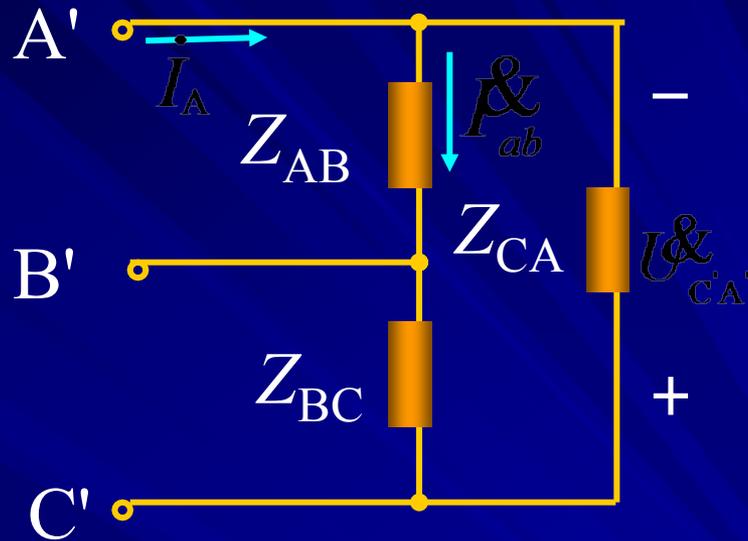
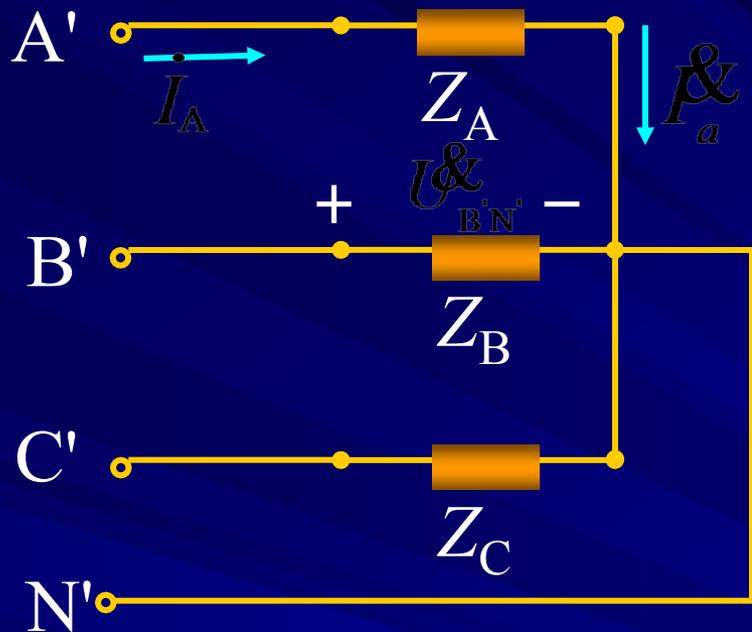
②中线: 中性点N引出线, Δ 连接无中线。



③相电压：每相电源的电压。 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$

④线电压：端线与端线之间的电压。 $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$

⑤线电流：流过端线的电流。 $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$



负载的相电压：每相负载上的电压。

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_{A'N'}, \dot{U}_{B'N'}, \dot{U}_{C'N'} \\ \dot{U}_{A'B'}, \dot{U}_{B'C'}, \dot{U}_{C'A'} \end{array} \right.$$

负载的线电压：负载端线间的电压。

$$\dot{U}_{A'B'}, \dot{U}_{B'C'}, \dot{U}_{C'A'}$$

线电流：流过端线的电流。

$$\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$$

相电流：流过每相负载的电流。

$$\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c \quad \dot{I}_{ab}, \dot{I}_{bc}, \dot{I}_{ca}$$

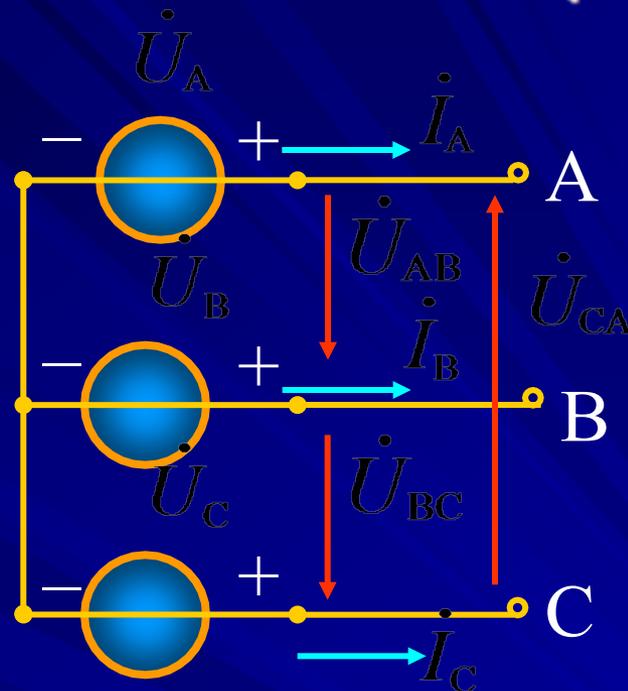
2. 相电压和线电压的关系

① Y 联接

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

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

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

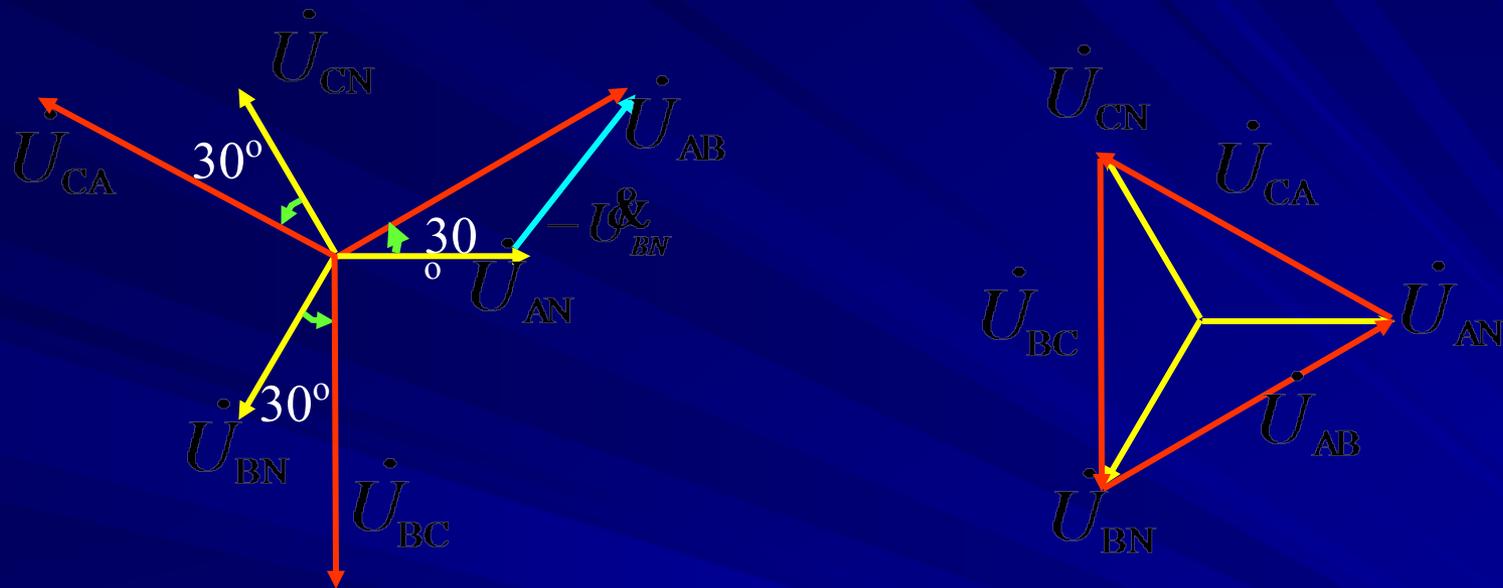


$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN} = U \angle 0^\circ - U \angle -120^\circ = \sqrt{3}U \angle 30^\circ$$

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

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

利用相量图得到相电压和线电压之间的关系:



一般表示为:

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

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

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

线电压对称 (大小相等,
相位互差120°)



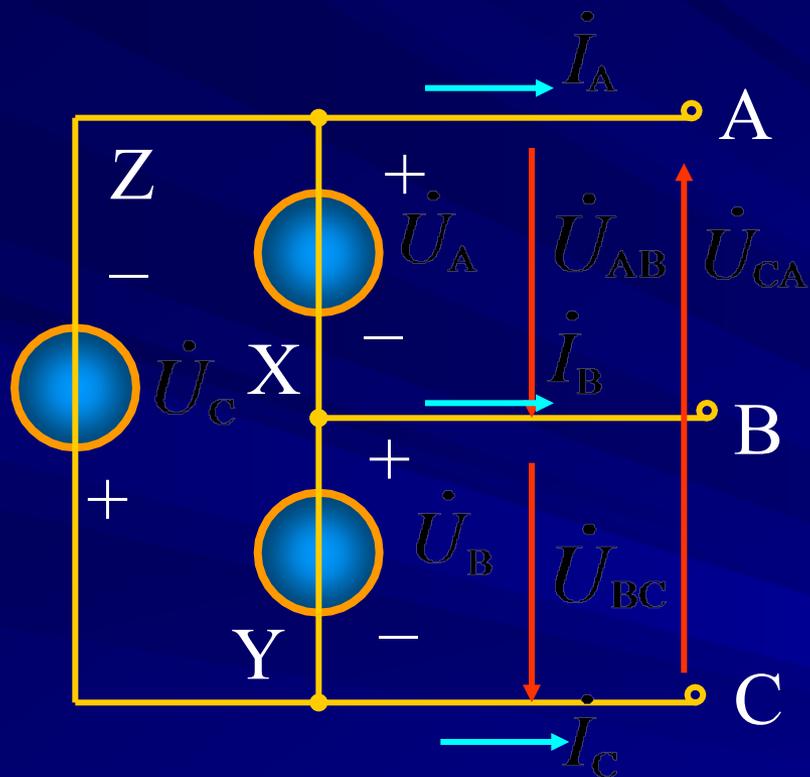
结论 对Y联接的对称三相电源

- (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。

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

② Δ 联接



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

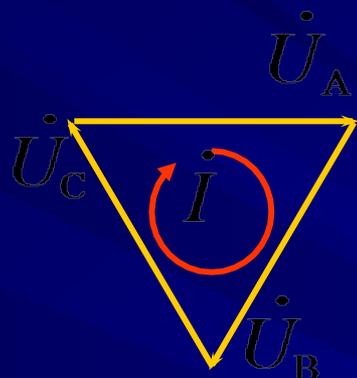


注意

① 以上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。

② Δ 联接电源始末端要依次相连。

正确接法



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

$$I = 0$$

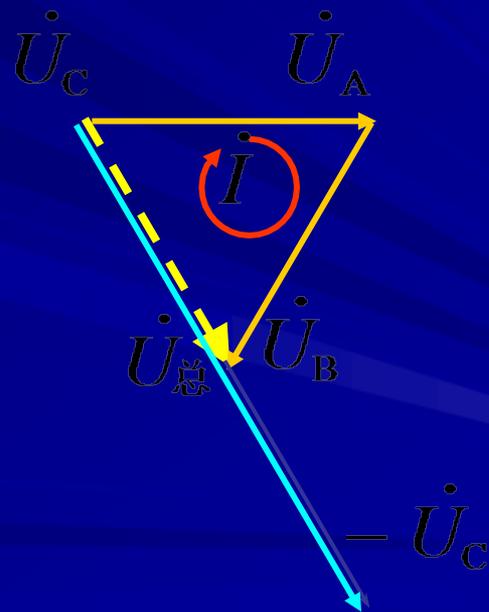
电源中不会产生环流

错误接法

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

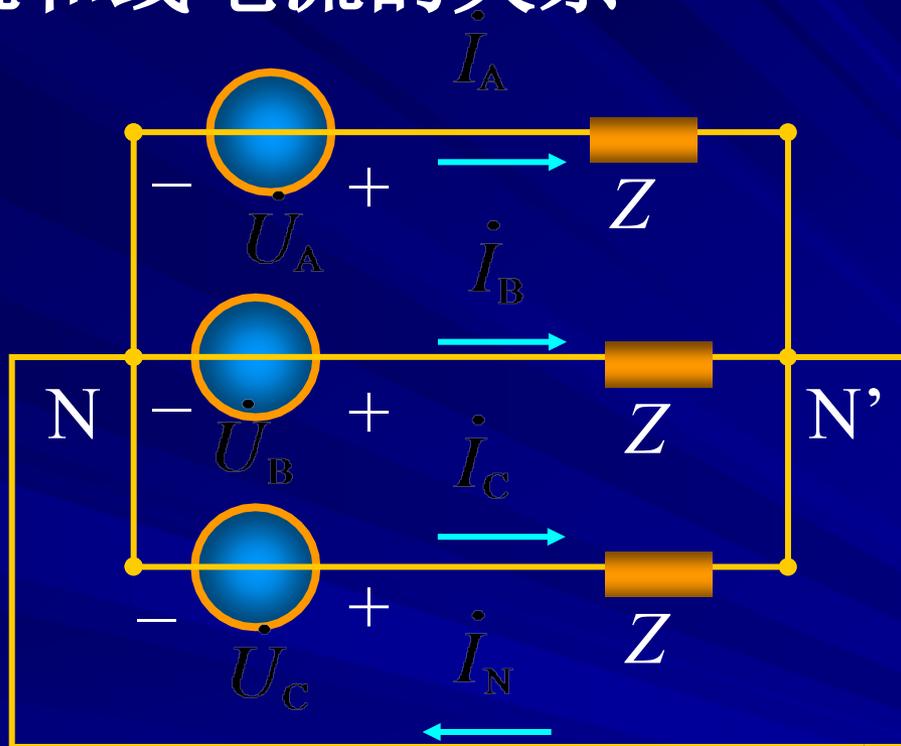
$$I \neq 0$$

电源中将会产生环流



2. 相电流和线电流的关系

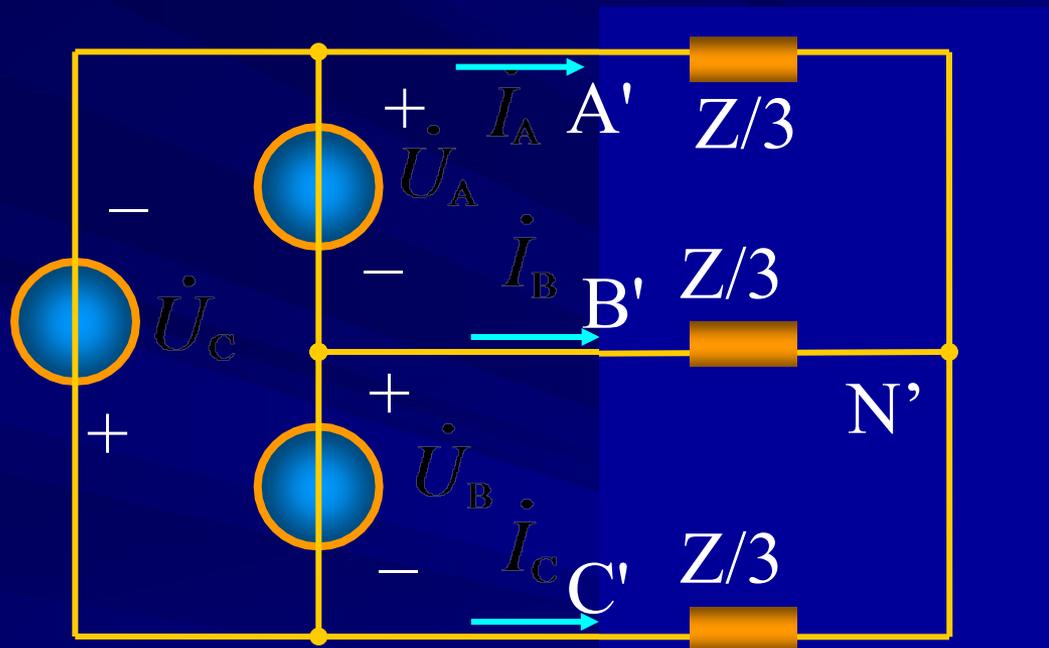
① Y 联接



结论

Y 联接时，线电流等于相电流。

② Δ 联接



$$\begin{aligned}
 \dot{I}_{ab} &= \frac{\dot{U}_A}{Z} \\
 \dot{I}_A &= \frac{\dot{U}_{A'N'}}{Z/3} = \frac{3\dot{U}_{A'N'}}{Z} \\
 &= \frac{3(\dot{U}_{A'B'}/\sqrt{3})\angle -30^\circ}{Z} \\
 &= \sqrt{3} \frac{\dot{U}_A}{Z} \angle -30^\circ \\
 &= \sqrt{3} \dot{I}_{ab} \angle -30^\circ
 \end{aligned}$$

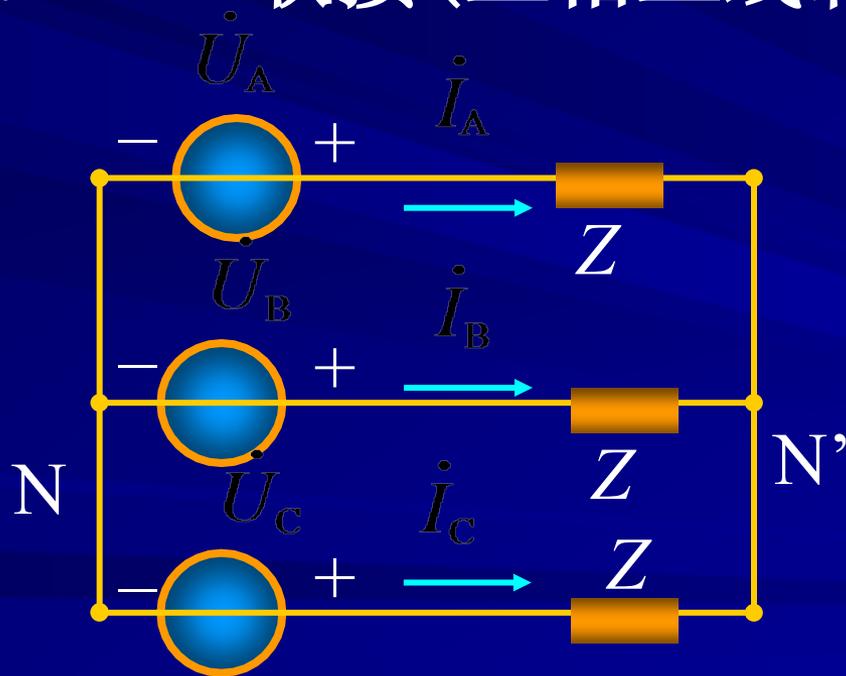
 **结论 Δ 联接的对称电路:**

- (1) 线电流大小等于相电流的 $\sqrt{3}$ 倍, 即 $I_l = \sqrt{3}I_p$.
- (2) 线电流相位滞后对应相电流 30° 。

13.3 对称三相电路的计算

对称三相电路由于电源对称、负载对称、线路对称，因而可以引入一特殊的计算方法。

1. Y-Y联接(三相三线制)



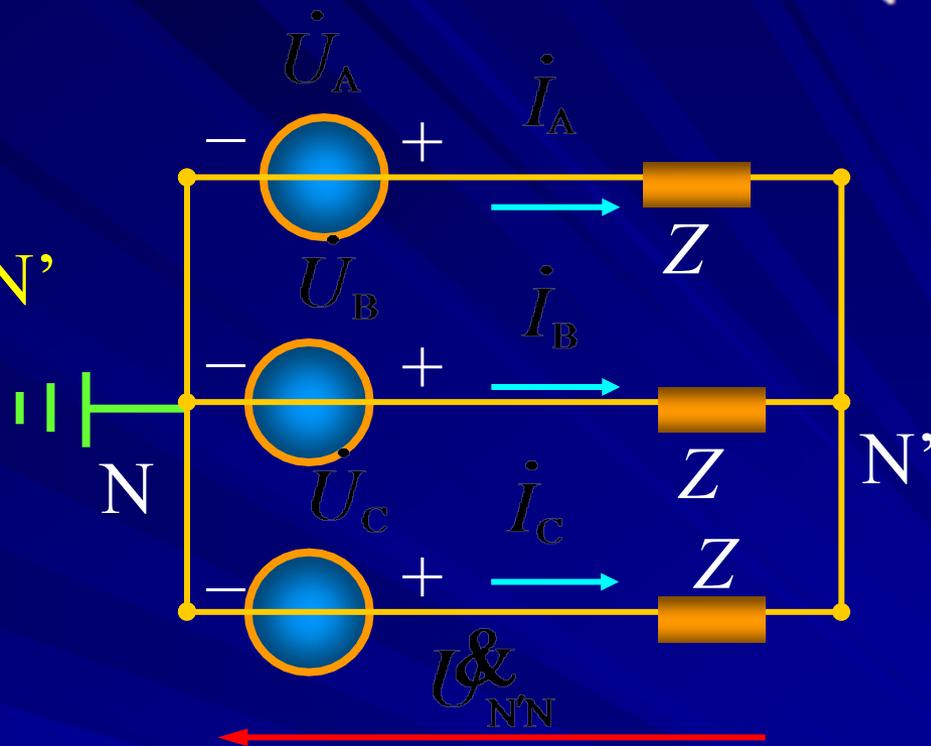
$$\text{设 } \dot{U}_A = U \angle 0^\circ$$

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

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

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

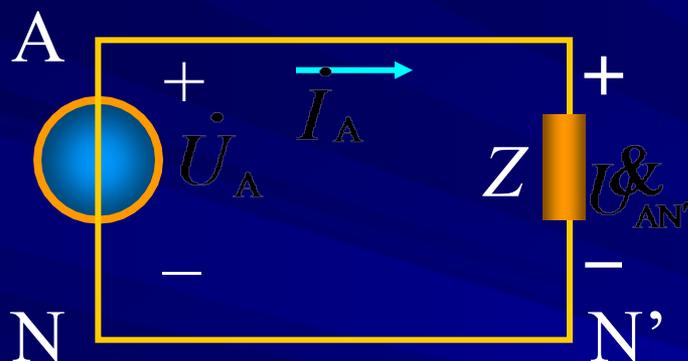
以N点为参考点，对N'点列写结点方程：



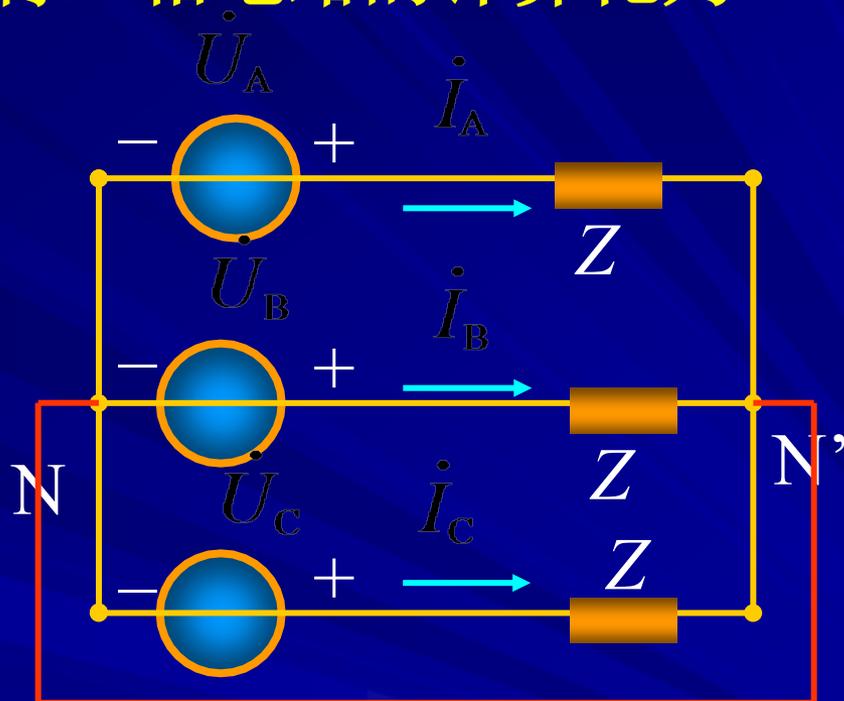
$$\left(\frac{1}{Z} + \frac{1}{Z} + \frac{1}{Z}\right) U_{N'N} = \frac{1}{Z} U_A + \frac{1}{Z} U_B + \frac{1}{Z} U_C$$

$$\frac{3}{Z} U_{N'N} = \frac{1}{Z} (U_A + U_B + U_C) = 0 \quad \therefore U_{N'N} = 0$$

 **结论** 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单相电路的计算。



A相计算电路



负载侧相电压:

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

也为对称电压

计算电流:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN'}}{Z} = \frac{\dot{U}_A}{Z} = \frac{U}{|Z|} \angle -\varphi$$

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

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

为对称
电流



结论

- ① 电源中点与负载中点等电位。有无中线对电路情况没有影响。
- ② 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。其它两相的电压、电流可按对称关系直接写出。

③ Y形联接的对称三相负载，根据相、线电压、电流的关系得：

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3}U_{AN'} \angle 30^\circ, \quad \dot{I}_A = \dot{I}_a$$

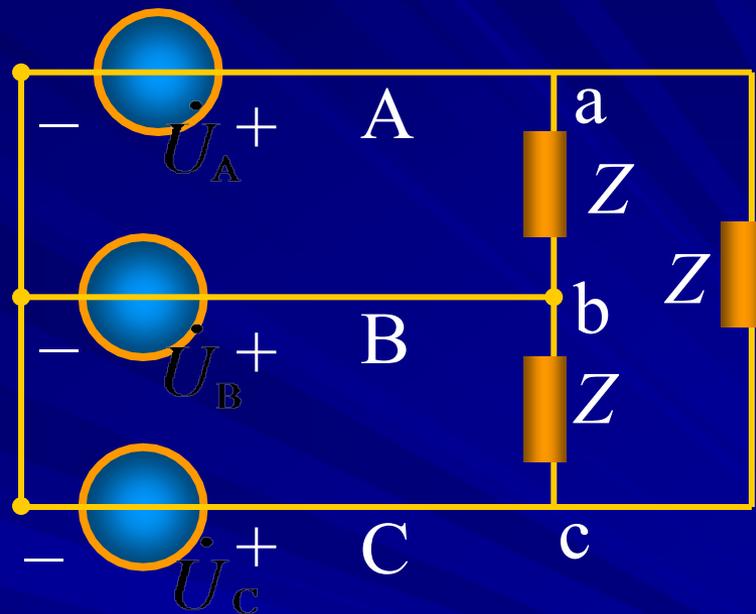
2. Y-Δ联接

设 $\dot{U}_A = U \angle 0^\circ$

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

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

$Z = |Z| \angle \varphi$



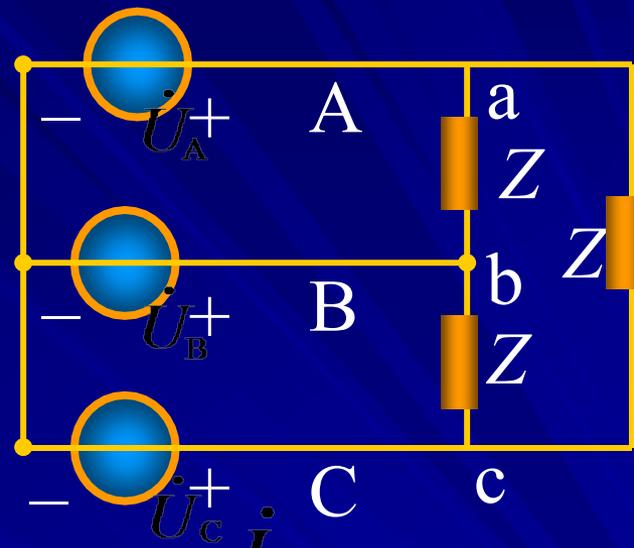
解法1

负载上相电压与线电压相等：

$$\begin{cases} U_{ab} = U_{AB} = \sqrt{3}U \angle 30^\circ \\ \dot{U}_{bc} = \dot{U}_{BC} = \sqrt{3}U \angle -90^\circ \\ \dot{U}_{ca} = \dot{U}_{CA} = \sqrt{3}U \angle 150^\circ \end{cases}$$

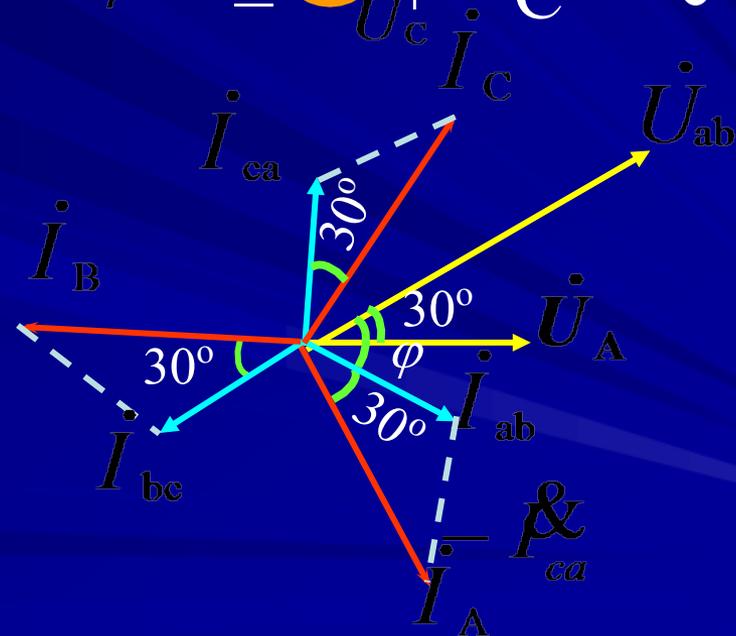
相电流:

$$\begin{cases} \dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z} = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle 30^\circ - \varphi \\ \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z} = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle -90^\circ - \varphi \\ \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z} = \frac{\sqrt{3}U}{|Z|} \angle 150^\circ - \varphi \end{cases}$$



线电流:

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca} = \sqrt{3} \dot{I}_{ab} \angle -30^\circ \\ \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab} = \sqrt{3} \dot{I}_{bc} \angle -30^\circ \\ \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc} = \sqrt{3} \dot{I}_{ca} \angle -30^\circ \end{cases}$$





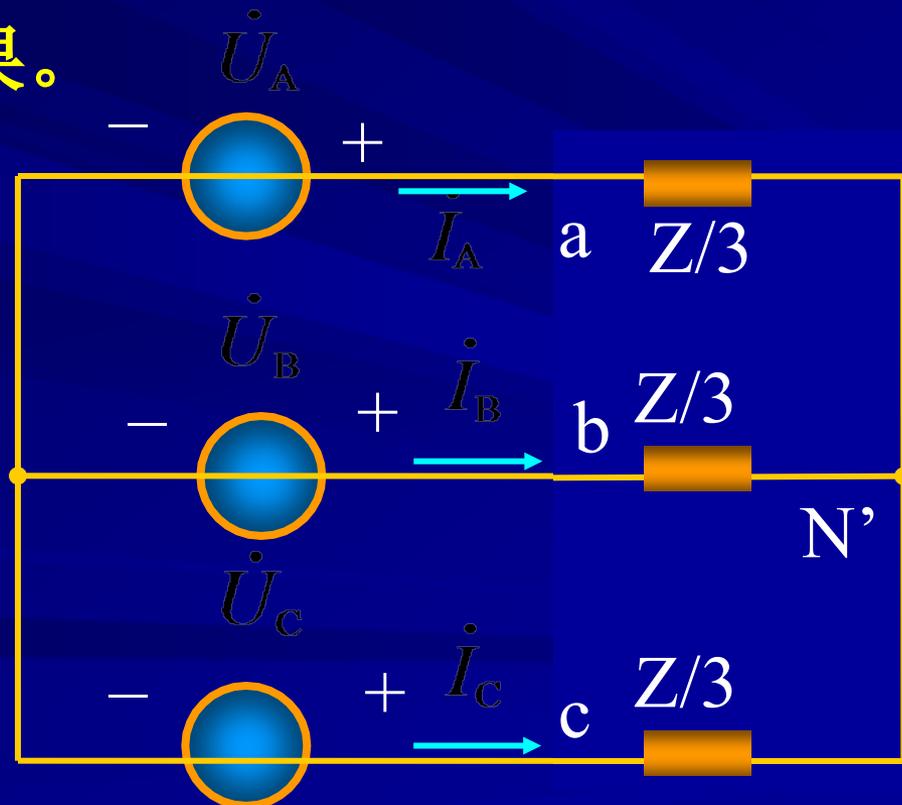
结论 ①负载上相电压与线电压相等，且对称。

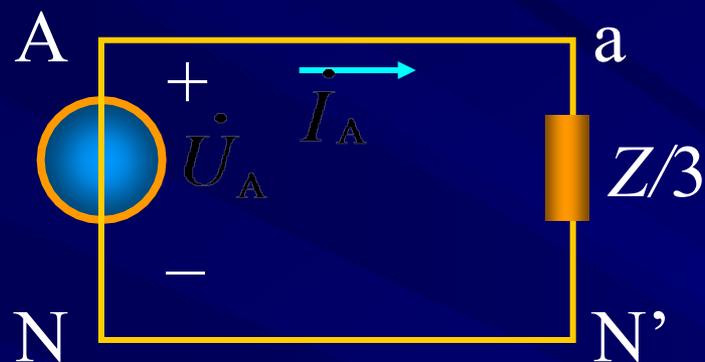
②线电流与相电流对称。线电流是相电流的 $\sqrt{3}$

③ 倍，相位落后相应相电流 30° 。

③根据一相的计算结果，由对称性可得到其余两相结果。

解法2





A相计算电路

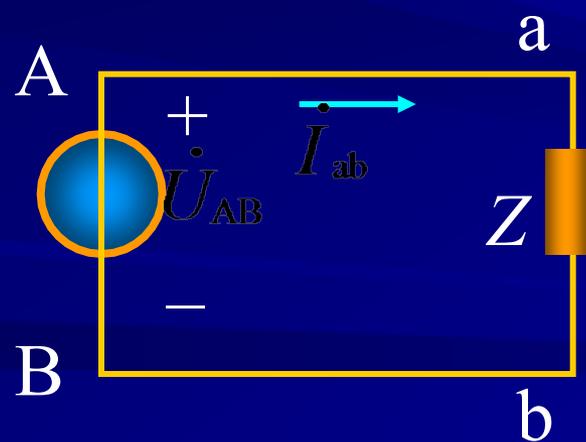
$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{aN'}}{Z/3} = \frac{3\dot{U}_A}{Z} = \frac{3U}{|Z|} \angle -\phi$$

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

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

解法3

利用计算相电流的一相等效电路。



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

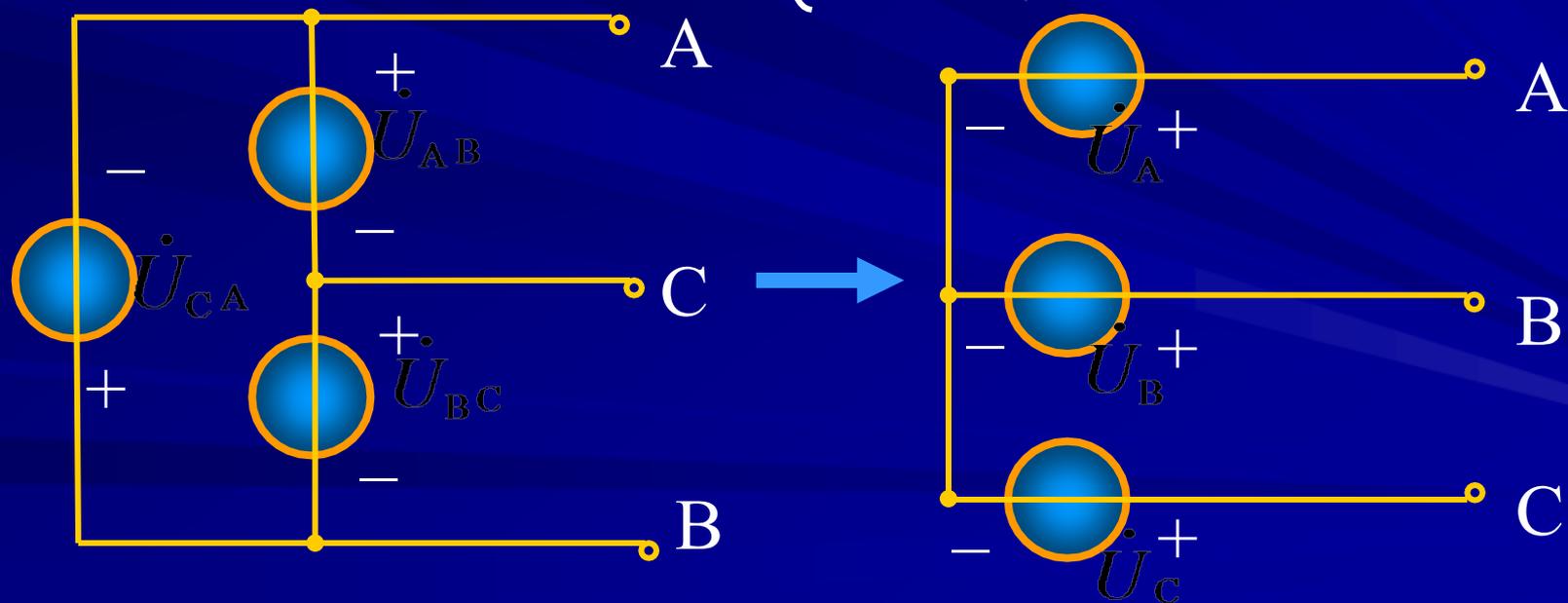
$$\dot{I}_A = \sqrt{3} \dot{I}_{ab} \angle -30^\circ = \frac{3U}{|Z|} \angle -\phi$$

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

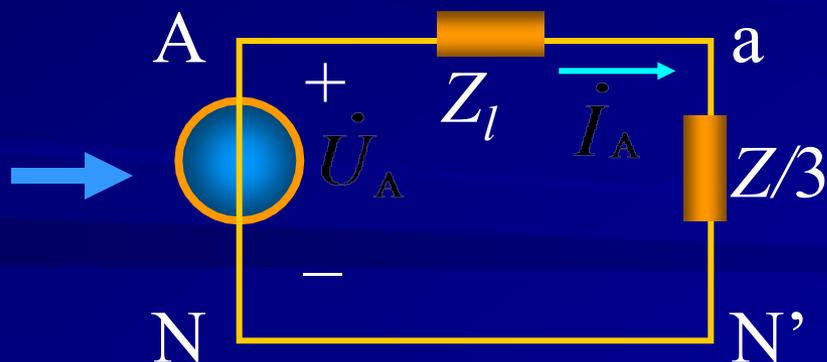
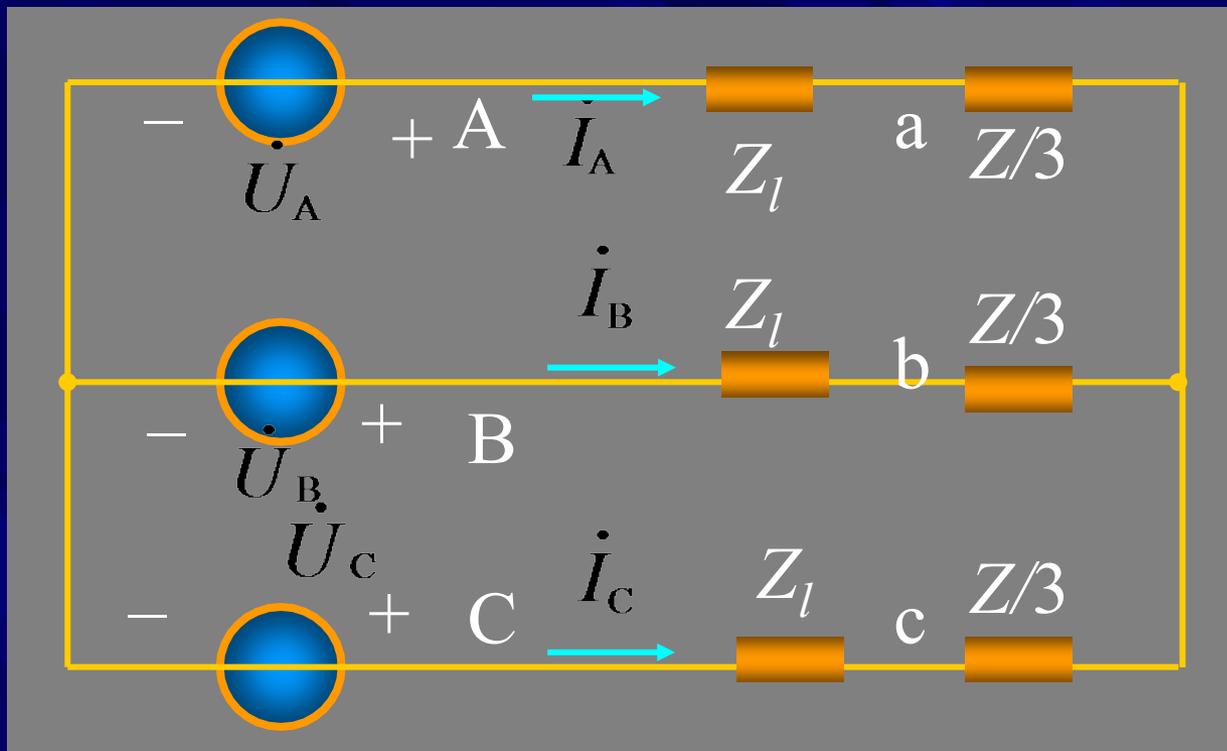
3. 电源为 Δ 联接时的对称三相电路的计算

将 Δ 电源用Y电源替代，保证其线电压相等。

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{U}_A &= \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{AB} \angle -30^\circ \\ \dot{U}_B &= \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{BC} \angle -30^\circ \\ \dot{U}_C &= \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{CA} \angle -30^\circ \end{aligned} \right.$$



例



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

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/448055134124006072>