

第5章 三相电路

开课教师： 王灿

开课单位： 机电学院--电气工程学科



第5章 三相电路

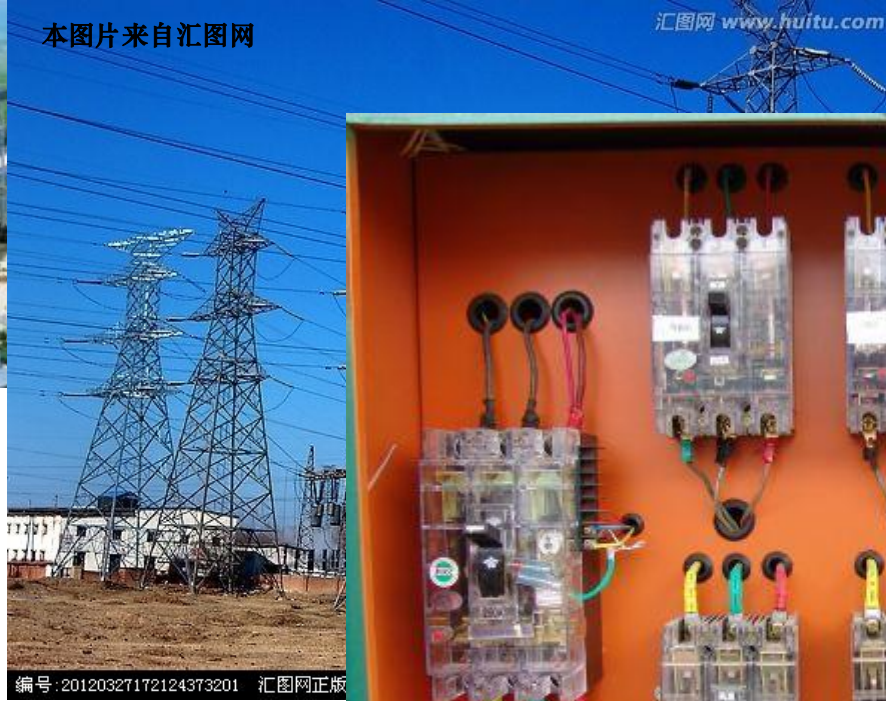
本图片来自新华网



发电

本图片来自汇图网

汇图网 www.huitu.com



编号: 20120327172124373201 汇图网正版

输电

本图片来自筑龙论坛



zhulong.com

配电

第5章 三相电路

提要：本章重点介绍三相电路的星形和三角形联结方式，对称三相电路中相电压与线电压、相电流与线电流的关系，对称三相电路的计算和三相电路的功率。并扼要介绍不对称三相电路。

重点：对三相电路特殊规律的认识。

本章目次

5.1 三相电源和三相电路

5.2 星形联结和三角形联结

5.3 对称三相电路的计算

5.4 不对称三相电路示例

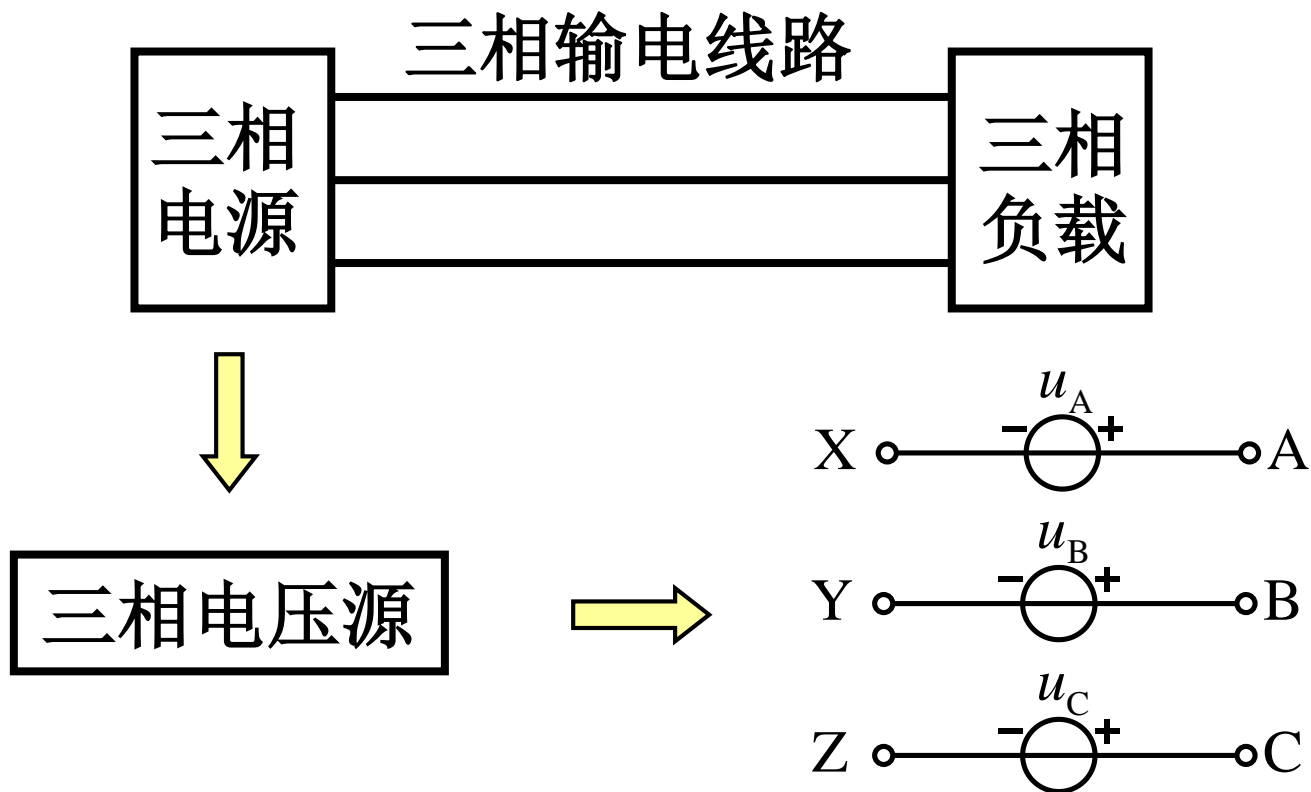
5.5 三相电路的功率



5.1 三相电源和三相电路

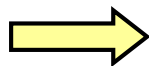
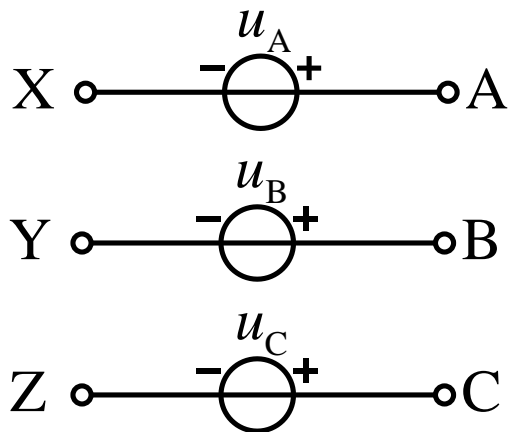
基本要求：熟练掌握对称三相电源每相间的关系及相序的确定。

三相制：



5.1 三相电源和三相电路

1. 对称三相电压



频率相同、波形相同、幅值相同、变动进程的时间差相等，则称为对称三相电压

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

$$u_B = \sqrt{2}U \cos\left[\omega\left(t - \frac{kT}{3}\right) + \varphi\right] = \sqrt{2}U \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2k\pi}{3}\right)$$

$$u_C = \sqrt{2}U \cos\left[\omega\left(t - \frac{2kT}{3}\right) + \varphi\right] = \sqrt{2}U \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{4k\pi}{3}\right)$$

5.1 三相电源和三相电路

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

$$u_B = \sqrt{2}U \cos\left[\omega\left(t - \frac{kT}{3}\right) + \varphi\right] = \sqrt{2}U \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2k\pi}{3}\right)$$

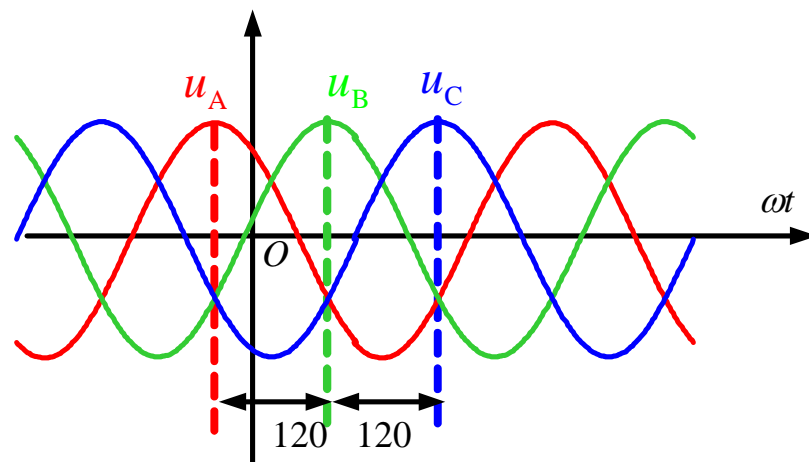
$$u_C = \sqrt{2}U \cos\left[\omega\left(t - \frac{2kT}{3}\right) + \varphi\right] = \sqrt{2}U \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{4k\pi}{3}\right)$$

(1). $k=1$ — 正序或顺序

$$u_A = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \varphi) \text{ V}$$

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

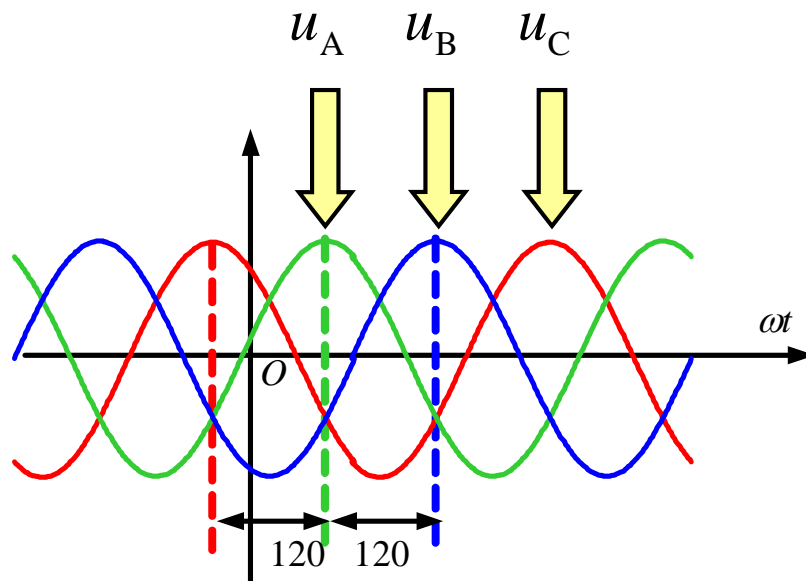
$$u_C = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \varphi + 120^\circ) \text{ V}$$



对称正弦三相电压正序波形图

5.1 三相电源和三相电路

(1). $k=1$ — 正序或顺序



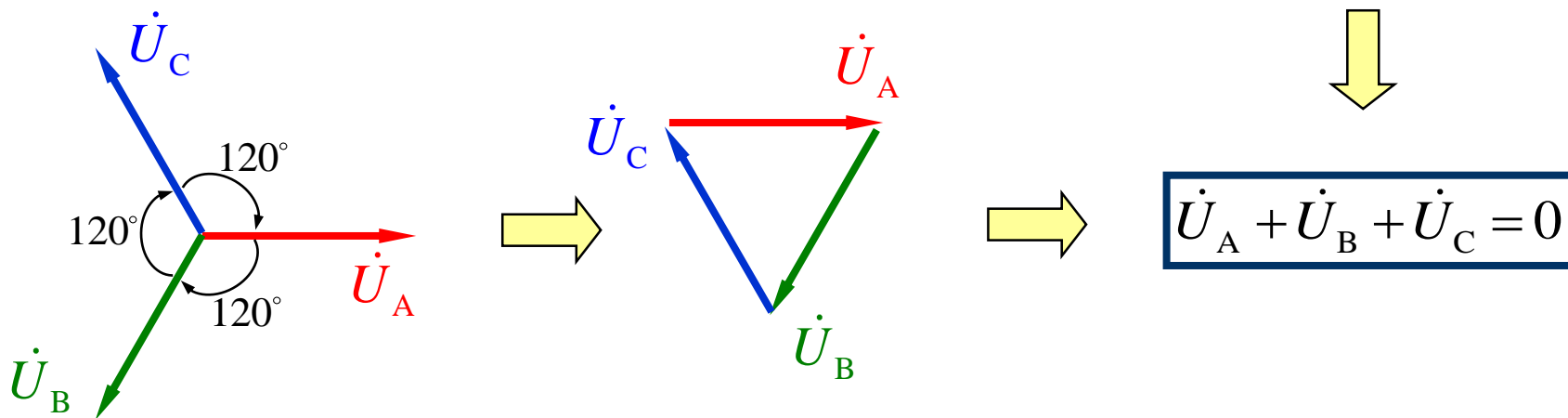
对称正弦三相电压正序波形图

5.1 三相电源和三相电路

(1). $k=1$ — 正序或顺序

令 $\varphi=0^\circ$

$$\left. \begin{aligned} u_A &= \sqrt{2}U \cos(\omega t) \text{ V} \\ u_B &= \sqrt{2}U \cos(\omega t - 120^\circ) \text{ V} \\ u_C &= \sqrt{2}U \cos(\omega t + 120^\circ) \text{ V} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= U \angle 0^\circ \text{ V} \\ \dot{U}_B &= U \angle -120^\circ \text{ V} \\ \dot{U}_C &= U \angle 120^\circ \text{ V} \end{aligned} \right\}$$



5.1 三相电源和三相电路

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

$$u_B = \sqrt{2}U \cos\left[\omega\left(t - \frac{kT}{3}\right) + \varphi\right] = \sqrt{2}U \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2k\pi}{3}\right)$$

$$u_C = \sqrt{2}U \cos\left[\omega\left(t - \frac{2kT}{3}\right) + \varphi\right] = \sqrt{2}U \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{4k\pi}{3}\right)$$

(2). $k=2$ — 负序或逆序

(3). $k=3$ — 零序

$$u_A = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \varphi) \text{ V}$$

$$u_A = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \varphi) \text{ V}$$

$$u_B = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \varphi + 120^\circ) \text{ V}$$

$$u_B = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \varphi - 360^\circ) \text{ V}$$

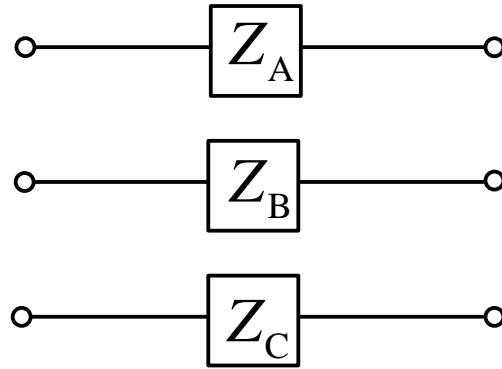
$$u_C = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \varphi - 120^\circ) \text{ V}$$

$$u_C = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \varphi - 720^\circ) \text{ V}$$

5.1 三相电源和三相电路

2. 三相负载

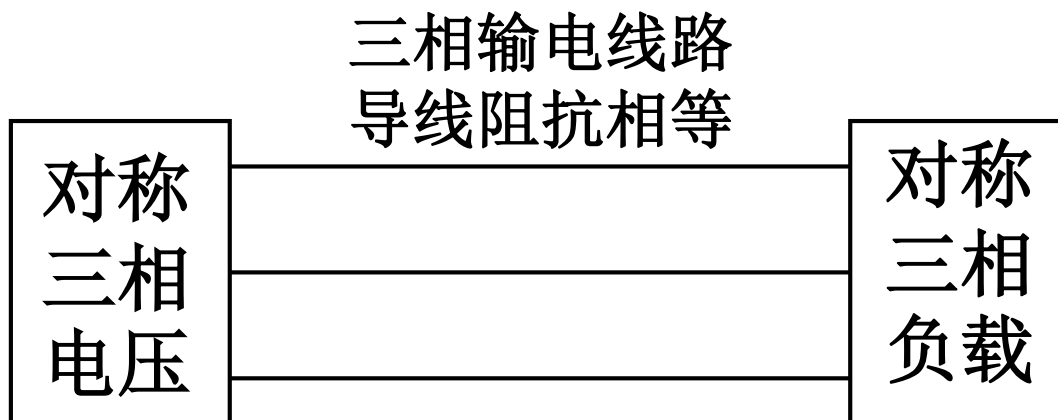
三相负载通常由三个单相负载组成



在三相制中，若各相的参数都相同，即三相阻抗的大小和相位均相等， $Z_A = Z_B = Z_C = Z$ ，则称为对称三相负载。

5.1 三相电源和三相电路

3. 对称三相电路



【补充5.1】 已知 $\dot{U}_B = 110\angle 30^\circ \text{V}$ ，对称三相电源相序为正序，试确定 u_A 、 u_C 的相量。

【解】 因为三相电源相序为正序，且 $\dot{U}_B = 110\angle 30^\circ \text{V}$

$$\dot{U}_A = 110\angle(30^\circ + 120^\circ) = 110\angle 150^\circ \text{V}$$

$$\dot{U}_C = 110\angle(30^\circ - 120^\circ) = 110\angle -90^\circ \text{V}$$

5.1 三相电源和三相电路

【补充5.2】 确定下列电源的相序。

$$\left. \begin{aligned} u_A &= 200 \cos(\omega t + 10^\circ) \\ u_B &= 200 \cos(\omega t - 230^\circ) \\ u_C &= 200 \cos(\omega t - 110^\circ) \end{aligned} \right\}$$

【解】

$$\left. \begin{aligned} u_A &= 200 \cos(\omega t + 10^\circ) \\ u_B &= 200 \cos(\omega t + 130^\circ) \\ u_C &= 200 \cos(\omega t - 110^\circ) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{相序为逆序}$$

电力系统一般采用正序。

5.2 星形联结和三角形联结

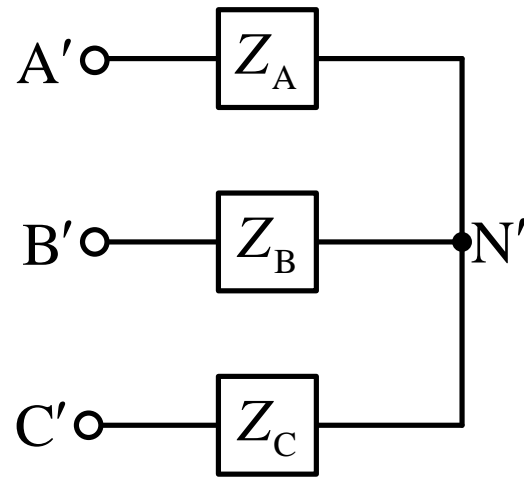
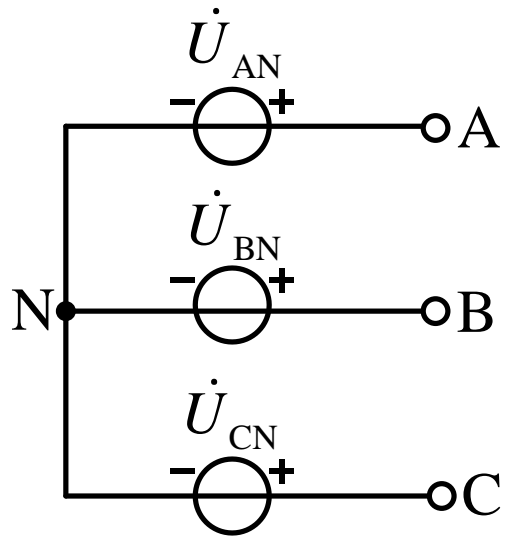
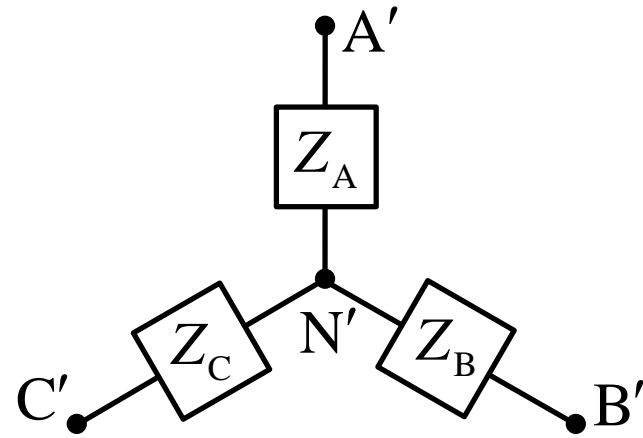
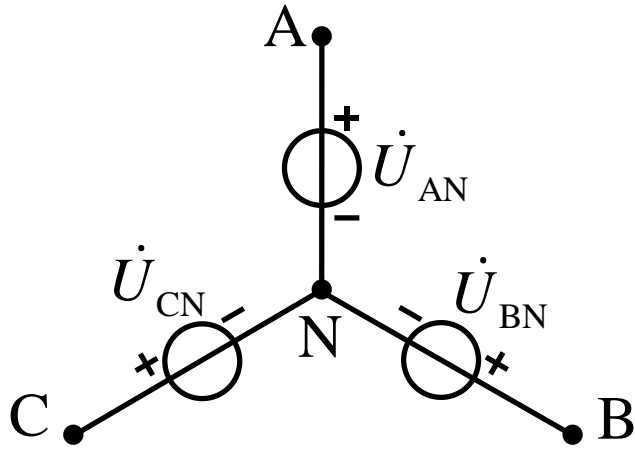
基本要求：熟练掌握对称三相电路的星形和三角形联结中电压、电流相值与线值的关系及其相量图。

主要内容

- 一、电源和负载的连接方式
- 二、三相电路的常用术语
- 三、对称三相电路中电流和电压的关系

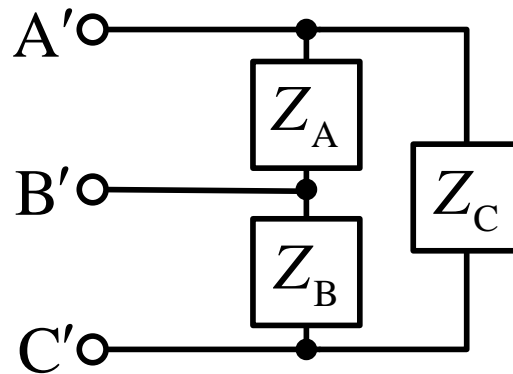
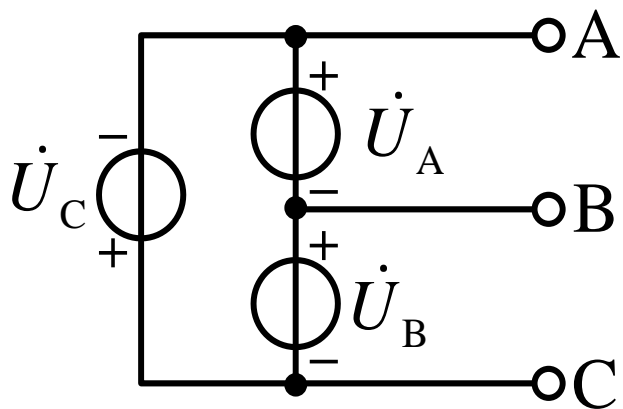
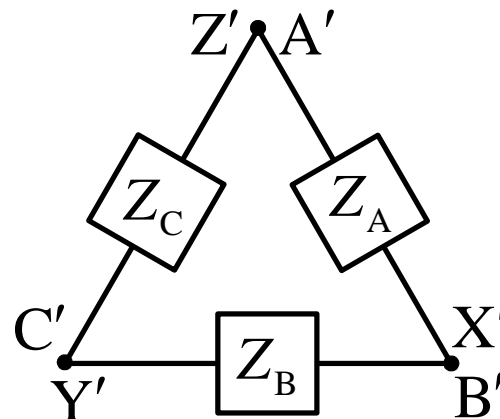
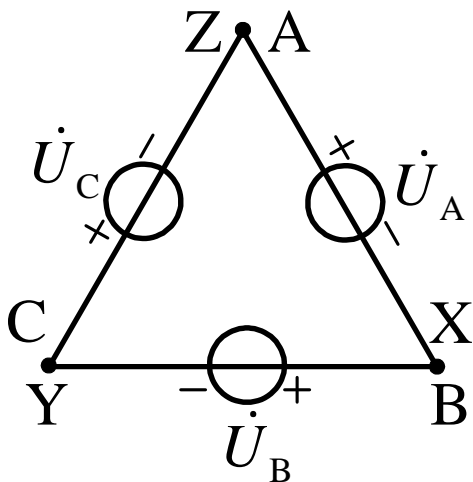
一、电源和负载的连接方式(1)

1. 星形联结 (Y形)



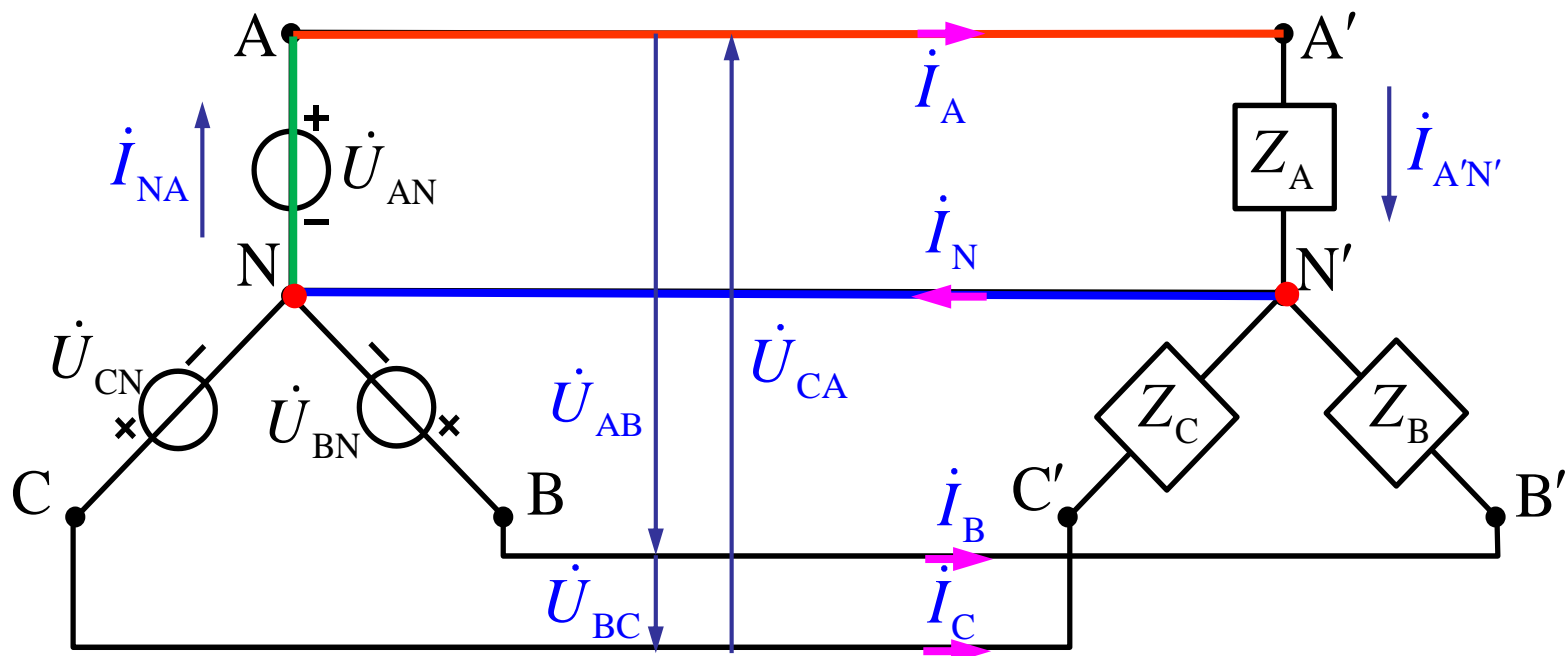
一、电源和负载的连接方式(2)

2. 三角形联结 (Δ 形)



注意：只有对称三相电源才可以接成三角形，并且要保证各相首尾相接？

二、三相电路的常用术语(1)



中性点: N, N'

中线: N-N'

端线: A-A', B-B', C-C'

中线电流: 流过中线的电流 \dot{I}_N

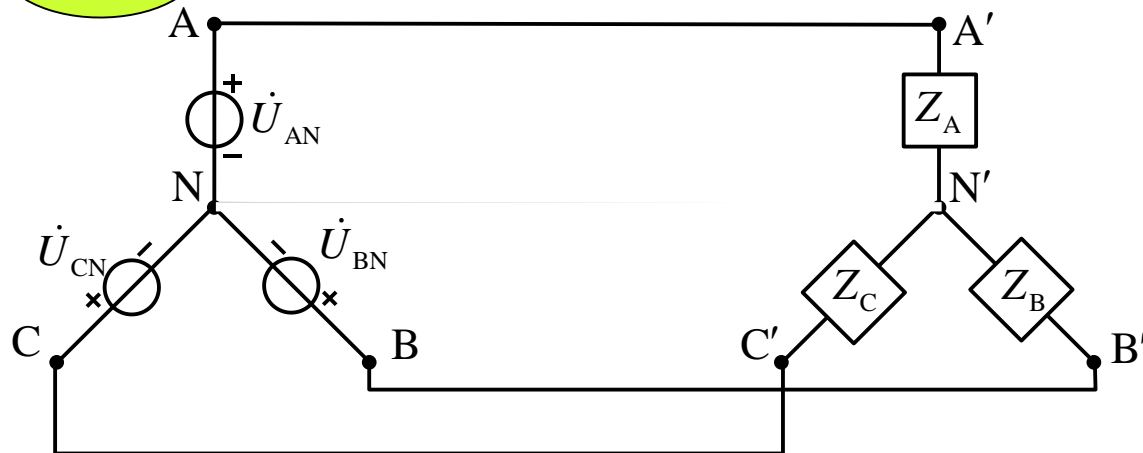
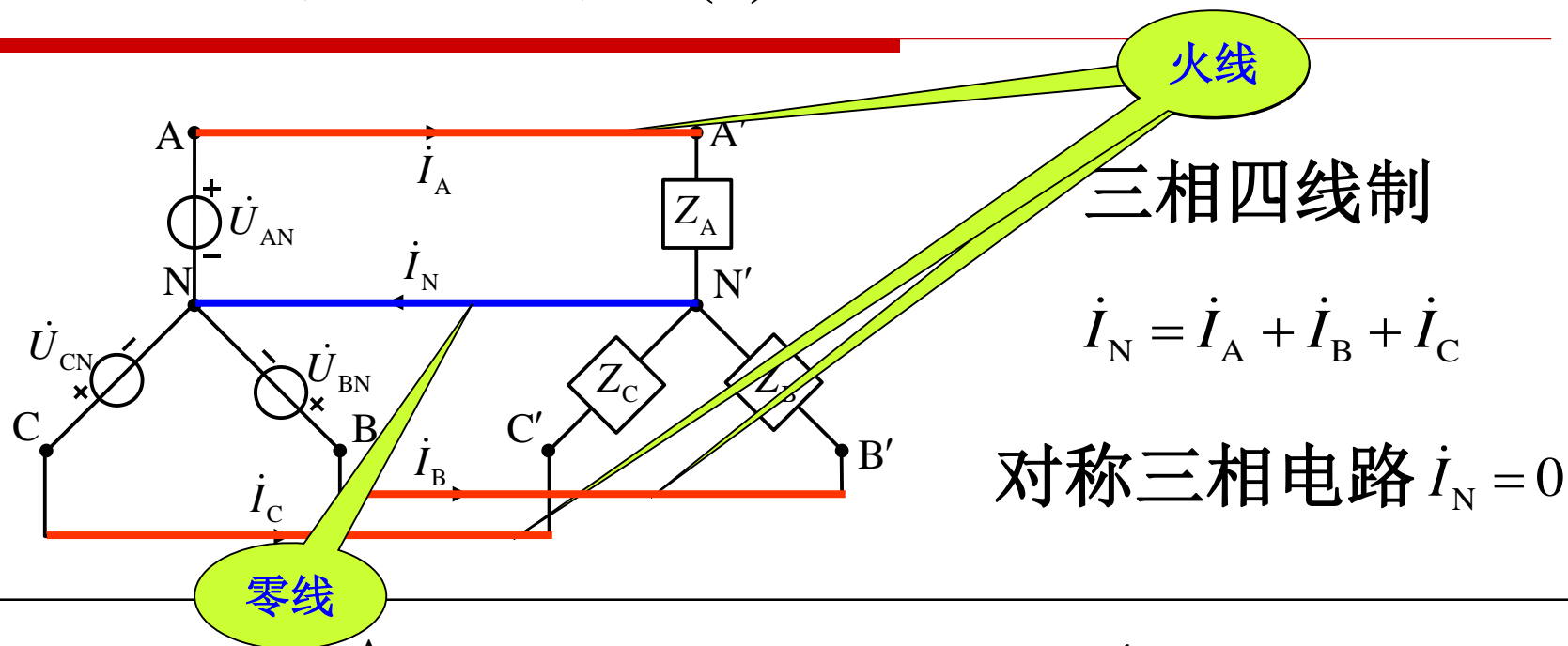
线电流: 流过端线的电流, \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C

线电压: 每两条端线之间的电压, \dot{U}_{AB} 、 \dot{U}_{BC} 、 \dot{U}_{CA}

相电压: 电源或负载各相中的电压, \dot{U}_{AN} 、 \dot{U}_{BN} 、 \dot{U}_{CN} 、 $\dot{U}_{A'N'}$ 、 $\dot{U}_{B'N'}$ 、 $\dot{U}_{C'N'}$

相电流: 电源或负载各相中的电流, \dot{I}_{NA} 、 \dot{I}_{NB} 、 \dot{I}_{NC} 、 $\dot{I}_{A'N'}$ 、 $\dot{I}_{B'N'}$ 、 $\dot{I}_{C'N'}$

二、三相电路的常用术语(2)



注：根据新国家标准低压供电系统应采用三相五线制，也就是三火一零一地。该地线是从低压变压器二次侧中性点接地后引出主干线，根据标准每间隔20-30米重复接地。

二、三相电路的常用术语(3)



配电

二、三相电路的常用术语(4)



5.2 星形联结和三角形联结

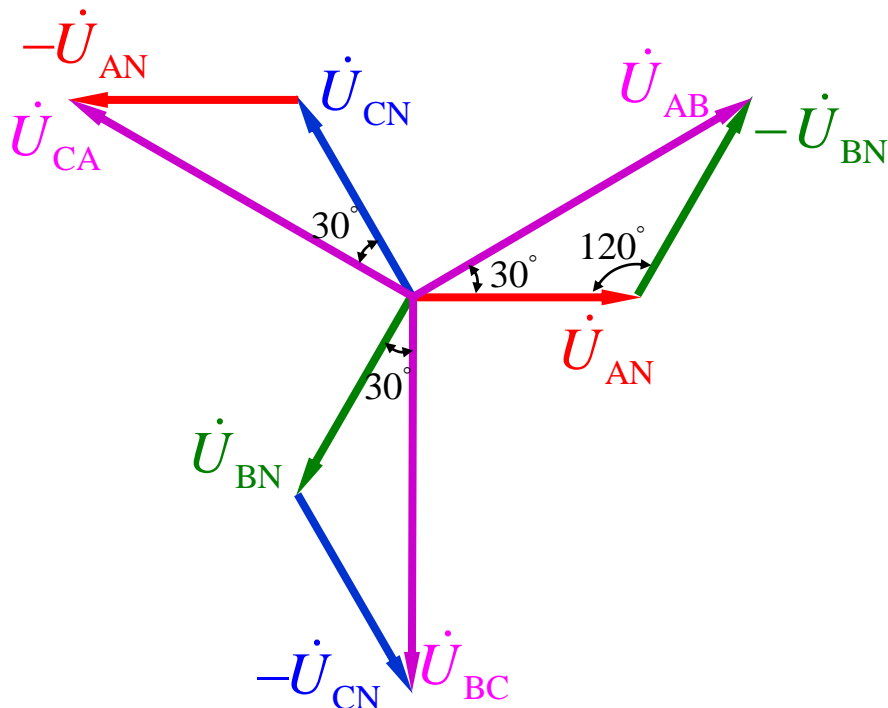
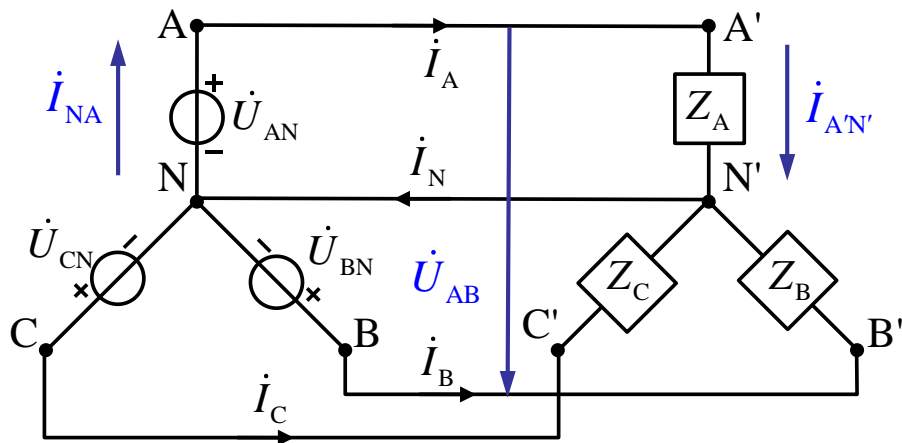
基本要求：熟练掌握对称三相电路的星形和三角形联结中电压、电流相值与线值的关系及其相量图。

主要内容

- 一、电源和负载的连接方式
- 二、三相电路的常用术语
- 三、对称三相电路中电流和电压的关系

三、对称三相电路电压和电流的关系(1)

1. Y-Y 联结



(1) 相、线电流

线电流=相电流 $I_l = I_p$

(2) 相、线电压

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

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

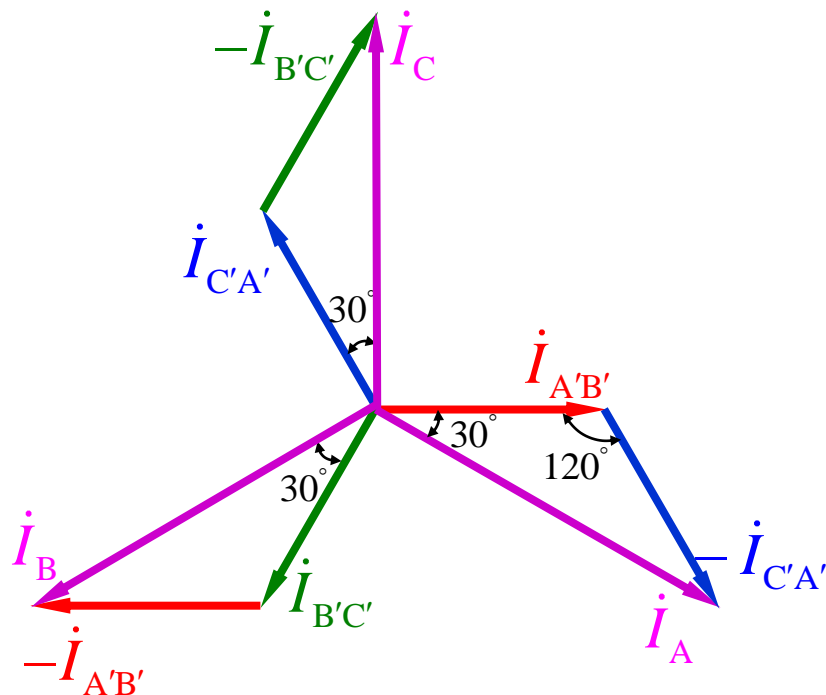
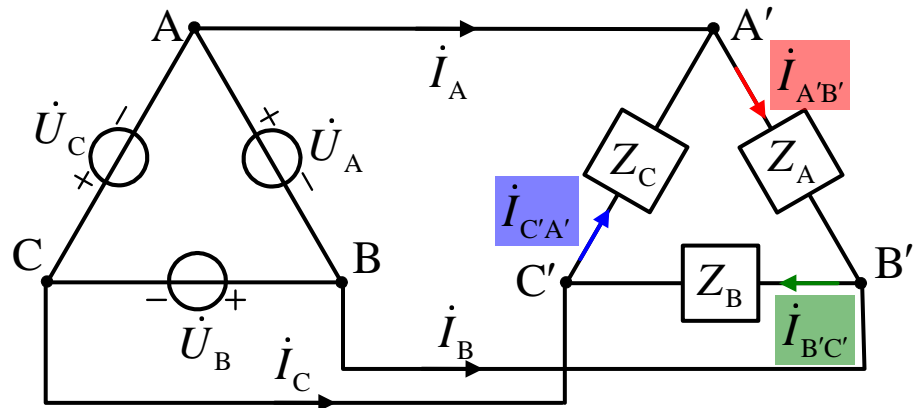
$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN} = \sqrt{3} \dot{U}_{CN} \angle 30^\circ$$

(a) 在星形接法中，线电压是相电压有效值的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $U_l = \sqrt{3}U_p$

(b) 在相位上，线电压越前于先行相电压 30° 。

三、对称三相电路电压和电流的关系(2)

2. Δ - Δ 联结



(1) 相、线电压

线电压=相电压 $U_l = U_p$

(2) 相、线电流

$$i_A = i_{A'B'} - i_{C'A'} = \sqrt{3} i_{A'B'} \angle -30^\circ$$

$$i_B = i_{B'C'} - i_{A'B'} = \sqrt{3} i_{B'C'} \angle -30^\circ$$

$$i_C = i_{C'A'} - i_{B'C'} = \sqrt{3} i_{C'A'} \angle -30^\circ$$

(a) 在三角形接法中，线电流是相电流有效值的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $I_l = \sqrt{3} I_p$

(b) 在相位上，线电流滞后于后续相电流 30° 。

三、对称三相电路电压和电流的关系(3)

对称三相电路相、线电压和相、线电流关系小结

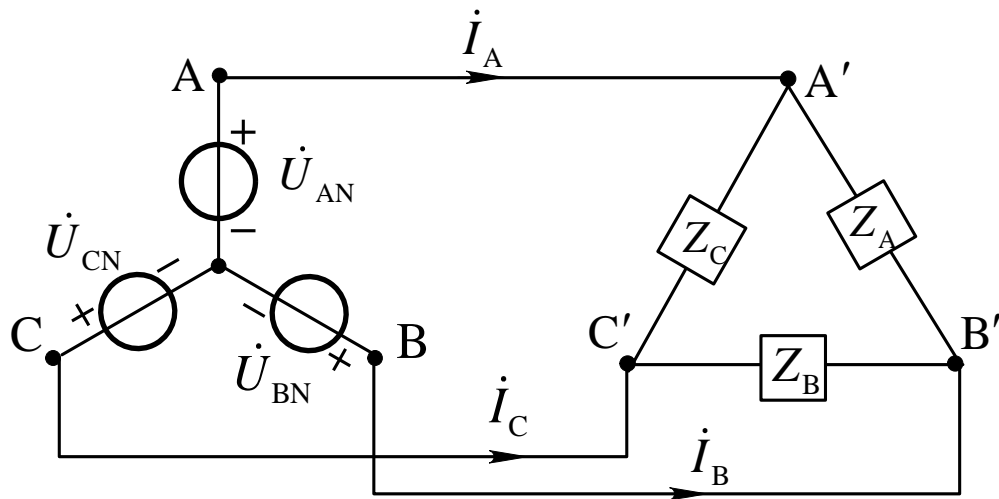
	相线电压关系	相线电流关系
星形接法	(a)在星形接法中，线电压是相电压有效值的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $U_l = \sqrt{3}U_p$ (b)在相位上，线电压 超前 于 先行 相电压 30°	线电流 = 相电流 $I_l = I_p$
三角形接法	线电压 = 相电压 $U_l = U_p$	(a)在三角形接法中，线电流是相电流有效值的 $\sqrt{3}$ 倍，即 $I_l = \sqrt{3}I_p$ (b)在相位上，线电流 滞后 于 后续 相电流 30°

三、对称三相电路电压和电流的关系(4)

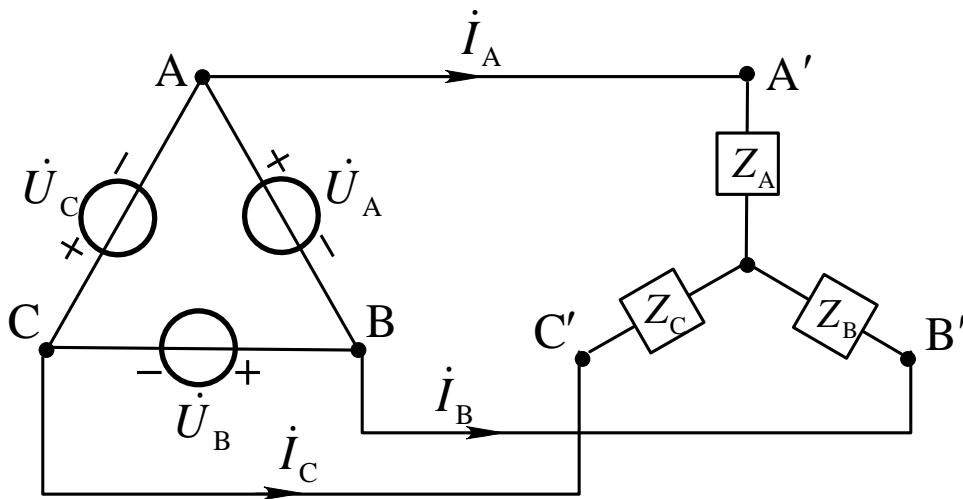
□ 注意：所有关于电压、电流的对称性以及对称相值和对称线值之间关系的论述，只能在指定的顺序和参考方向的条件下，才能以简单有序的形式表达出来，而不能任意设定（理论上可以），否则将会使问题的表述变得杂乱无序。

三、对称三相电路电压和电流的关系(5)

Y-Δ接法



Δ-Y接法



【补充5.3】

1. 在一个Y-Y联结系统中，220V的线电压所对应的相电压是__。

- (a) 381V (b) 220V (c) 156V (d) 127V



2. 在一个 Δ - Δ 联结系统中，100V的相电压所对应的线电压是__。

- (a) 58V (b) 100V (c) 173V (d) 141V



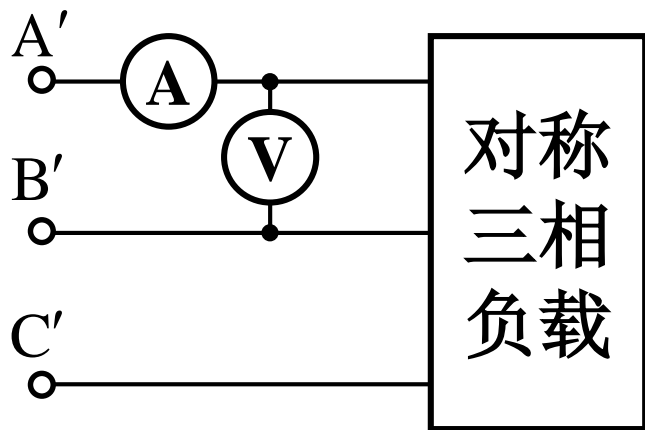
【补充5.4】

图示对称三相电路中，电压表和电流表的示数分别为380V和10A，

(1) 若三相负载接为Y形，求负载的 U_P 和 I_P 。

(2) 若三相负载接为 Δ 形，求负载的 U_P 和 I_P 。

【解】(1)Y接法



$$I_1 = I_p = 10 \text{ A}$$

$$U_1 = \sqrt{3}U_p \Rightarrow U_p = 380 / \sqrt{3} \approx 220 \text{ V}$$

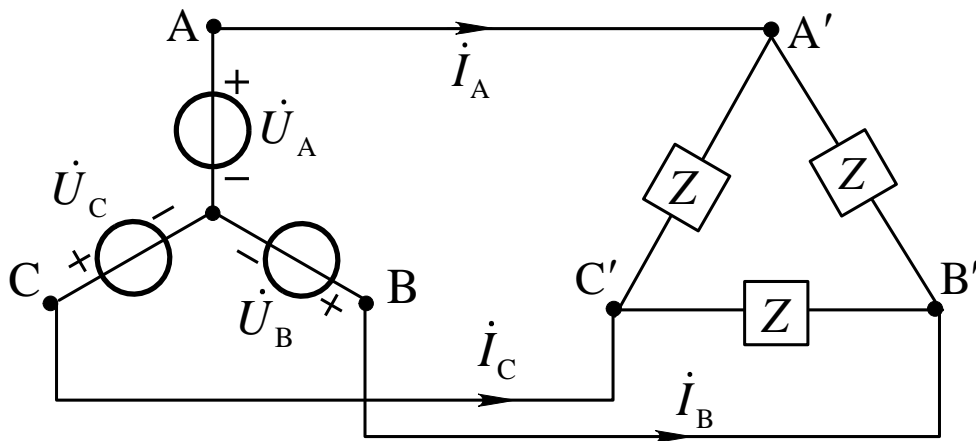
(2) Δ 接法

$$U_p = U_1 = 380 \text{ V}$$

$$I_1 = \sqrt{3}I_p \Rightarrow I_p = 10 / \sqrt{3} \approx 5.77 \text{ A}$$

【例题5.1】

图示对称三相电路已知 $\dot{U}_A = 220\angle 0^\circ \text{V}$ ，负载阻抗 $Z = (3 + j4)\Omega$ ，求负载每相电压、电流及线电流的相量值。



【解】由星形联结相电压与线电压的关系得

$$\dot{U}_{A'B'} = \dot{U}_{AB} = \sqrt{3}\dot{U}_A \angle 30^\circ \approx 380\angle 30^\circ \text{V}$$

由对称性得其它线电压

$$\dot{U}_{B'C'} \approx 380\angle (30^\circ - 120^\circ) \text{V} = 380\angle -90^\circ \text{V}$$

$$\dot{U}_{C'A'} \approx 380\angle (30^\circ + 120^\circ) \text{V} = 380\angle 150^\circ \text{V}$$

【例题5.1】

根据欧姆定律求得负载相电流

$$\dot{I}_{A'B'} = \frac{\dot{U}_{AB'}}{Z} = \frac{380\angle 30^\circ}{5\angle 53.13^\circ} \approx 76\angle -23.13^\circ \text{ A}$$

由对称性得其它相电流

$$\dot{I}_{B'C'} \approx 76\angle(-23.13^\circ - 120^\circ) \text{ A} = 76\angle -143.13^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{C'A'} \approx 76\angle(-23.13^\circ + 120^\circ) \text{ A} = 76\angle 96.87^\circ \text{ A}$$

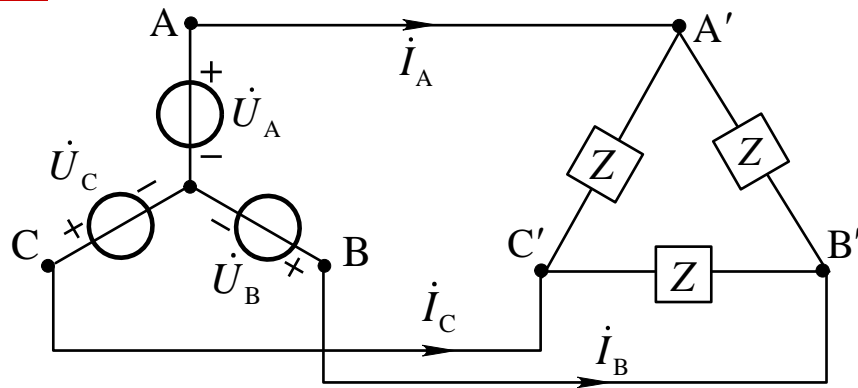
由三角形联结线电流与相电流的关系得

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A'B'} - \dot{I}_{C'A'} = \sqrt{3}\dot{I}_{A'B'}\angle -30^\circ \approx 131.6\angle(-23.13^\circ - 30^\circ) \text{ A} = 131.6\angle -53.13^\circ \text{ A}$$

由对称性求得其它线电流

$$\dot{I}_B \approx 131.6\angle(-53.13^\circ - 120^\circ) \text{ A} = 131.6\angle -173.13^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_C \approx 131.6\angle(-53.13^\circ + 120^\circ) \text{ A} = 131.6\angle 66.87^\circ \text{ A}$$



【补充5.5】

图示对称三相电路已知 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ \text{ V}$, $\dot{i}_B = 10\sqrt{3}\angle -150^\circ \text{ A}$
则相电流 $\dot{i}_{AB} = \underline{\hspace{2cm}}$, 阻抗 $Z = \underline{\hspace{2cm}}$

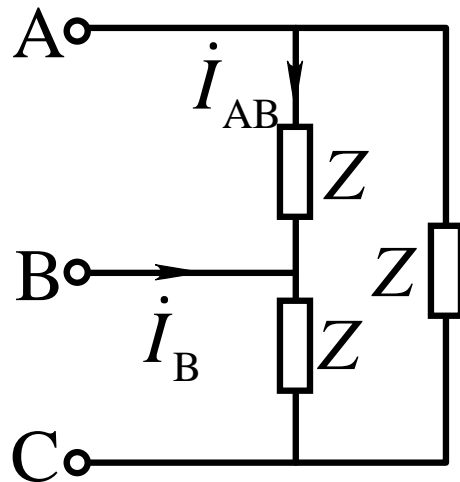
【解】方法一

$$\dot{i}_B = 10\sqrt{3}\angle -150^\circ \text{ A} \quad (\text{各相间的对称性})$$

$$\dot{i}_A = 10\sqrt{3}\angle (-150^\circ + 120^\circ) \text{ A} = 10\sqrt{3}\angle -30^\circ \text{ A}$$

$$\dot{i}_{AB} = \frac{\dot{i}_A}{\sqrt{3}} \angle 30^\circ = 10\angle 0^\circ \text{ A} \quad (\text{相线电流的关系})$$

$$Z = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{i}_{AB}} = \frac{380\angle 30^\circ}{10\angle 0^\circ} = 38\angle 30^\circ \Omega$$



【补充5.5】

图示对称三相电路已知 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ \text{ V}$, $\dot{i}_B = 10\sqrt{3}\angle -150^\circ \text{ A}$
则相电流 $\dot{i}_{AB} =$ _____ , 阻抗 $Z =$ _____

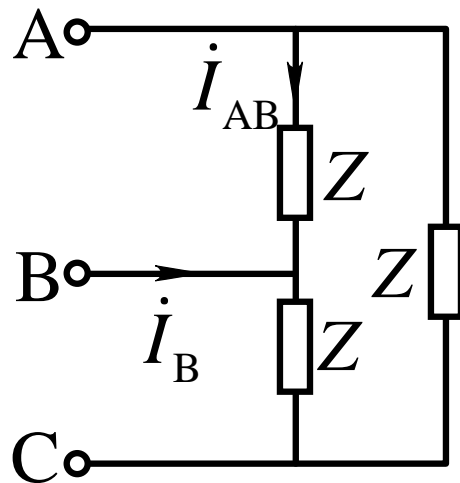
【解】方法二

$$\dot{i}_B = 10\sqrt{3}\angle -150^\circ \text{ A} \quad (\text{相线电流的关系})$$

$$\dot{i}_{BC} = \frac{\dot{i}_B}{\sqrt{3}} \angle 30^\circ = 10\angle -120^\circ \text{ A}$$

$$\dot{i}_{AB} = \dot{i}_{BC} \angle 120^\circ = 10\angle 0^\circ \text{ A} \quad (\text{各相间的对称性})$$

$$Z = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{i}_{AB}} = \frac{380\angle 30^\circ}{10\angle 0^\circ} = 38\angle 30^\circ \Omega$$



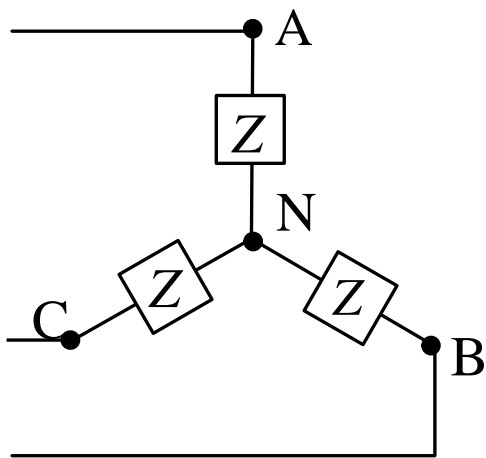
【补充5.6】

某对称星形负载与对称三相电源相连接，已知线电流

$$\dot{I}_A = 5 \angle 10^\circ \text{ A}, \text{ 线电压 } \dot{U}_{AB} = 380 \angle 75^\circ \text{ V}$$

试求此负载每相阻抗。

【解】 因为负载对称星形连接



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

$$\dot{U}_{AN} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\sqrt{3} \angle 30^\circ} \approx 220 \angle 45^\circ \text{ V}$$

$$Z = \frac{\dot{U}_{AN}}{\dot{I}_A} = \frac{220 \angle 45^\circ}{5 \angle 10^\circ} = 44 \angle 35^\circ \Omega$$