

第5章 三相电路

杨旭强

哈尔滨工业大学电气工程系



5.2 星形联结和三角形联结

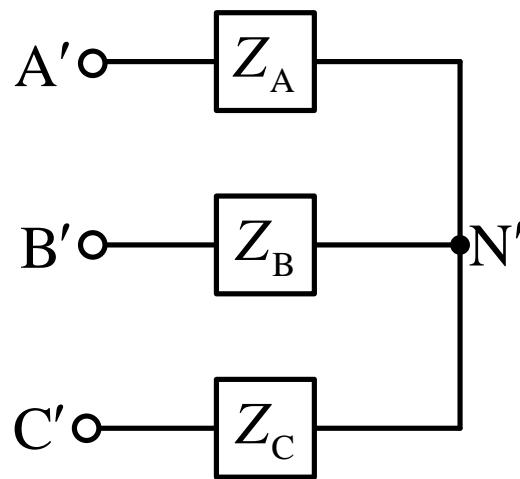
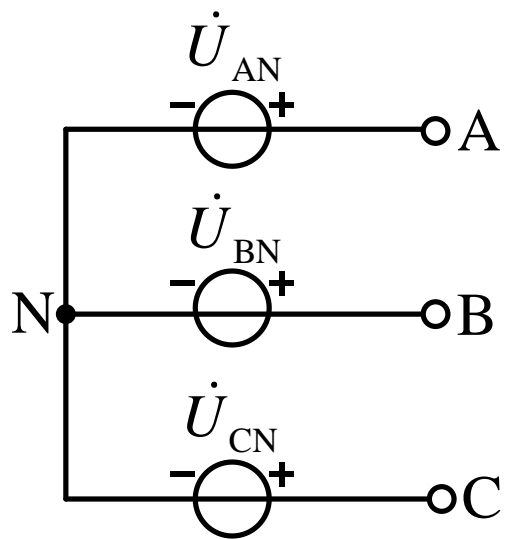
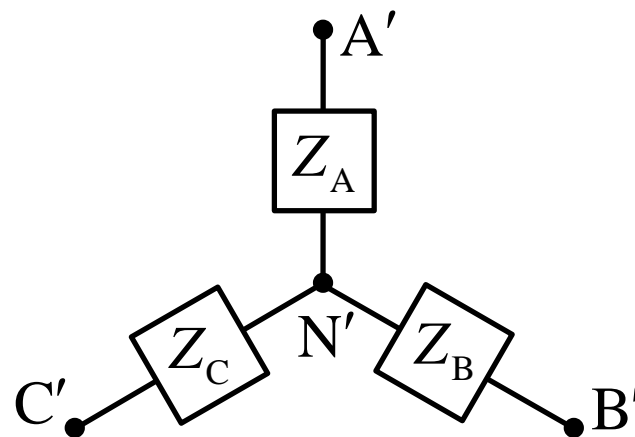
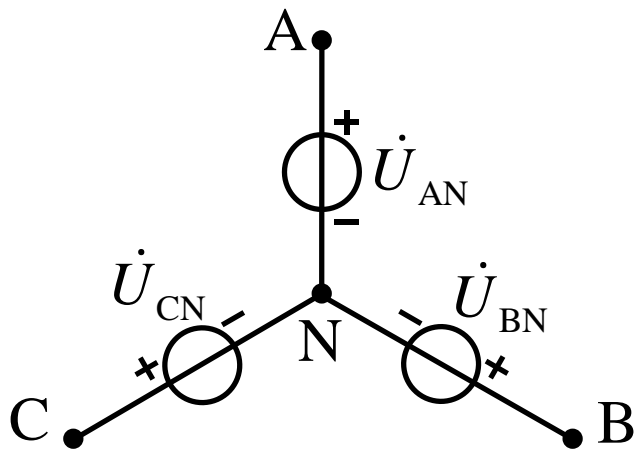
基本要求：熟练掌握对称三相电路的星形和三角形联结中电压、电流相值与线值的关系及其相量图。

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

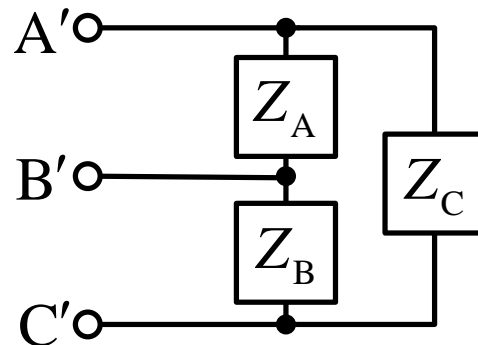
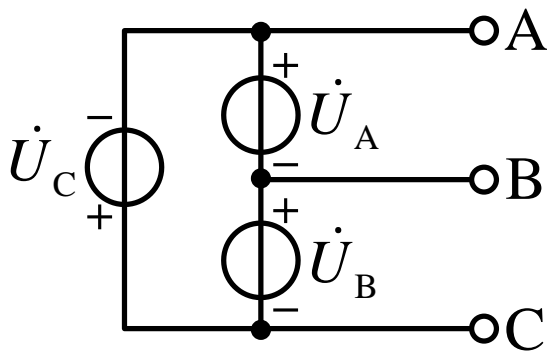
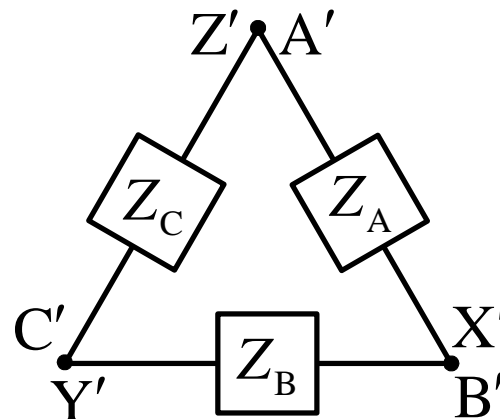
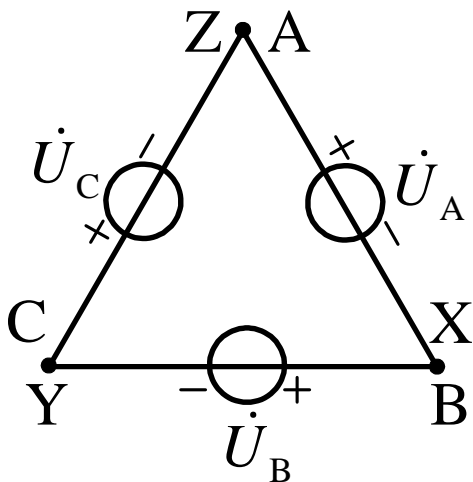
一、电源和负载的连接方式(1)

1. 星形联结 (Y形)



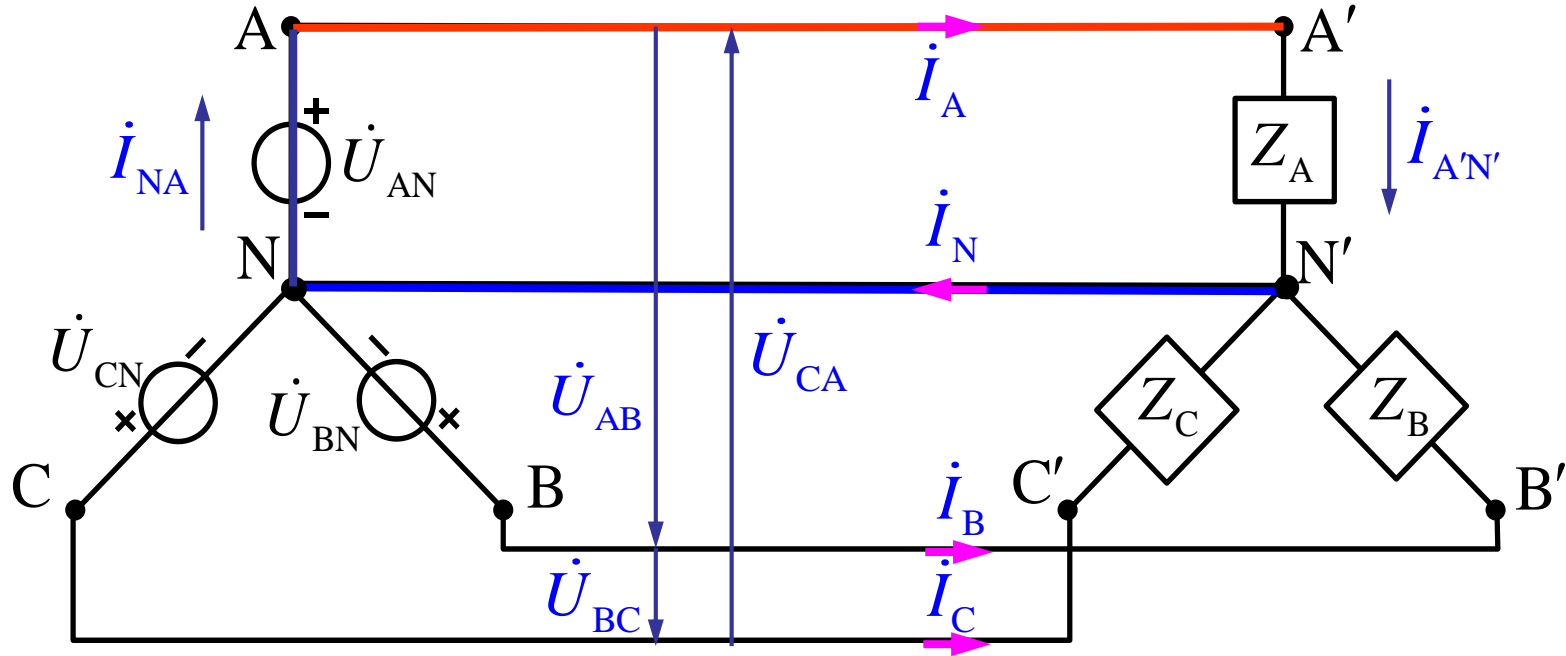
一、电源和负载的连接方式(2)

2. 三角形联结 (Δ 形)



思考：为什么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 i_N

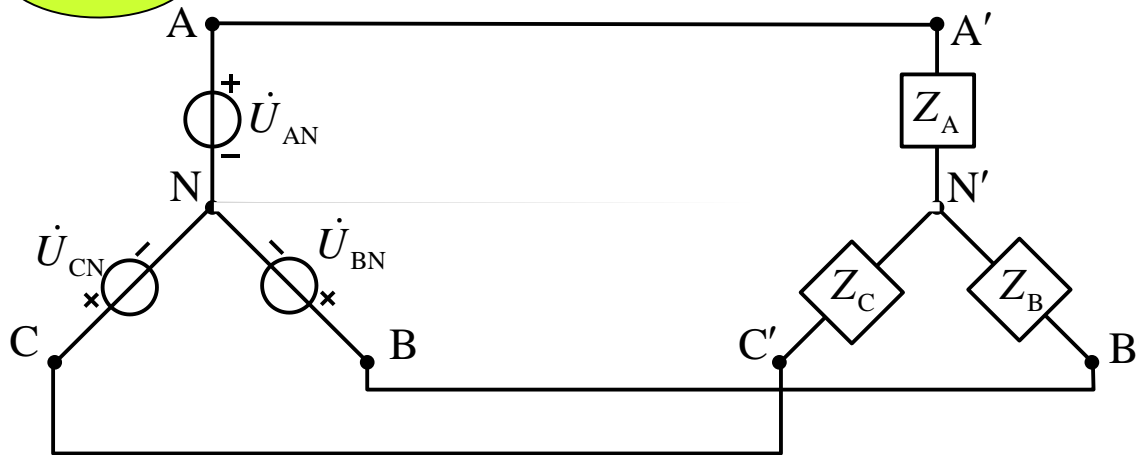
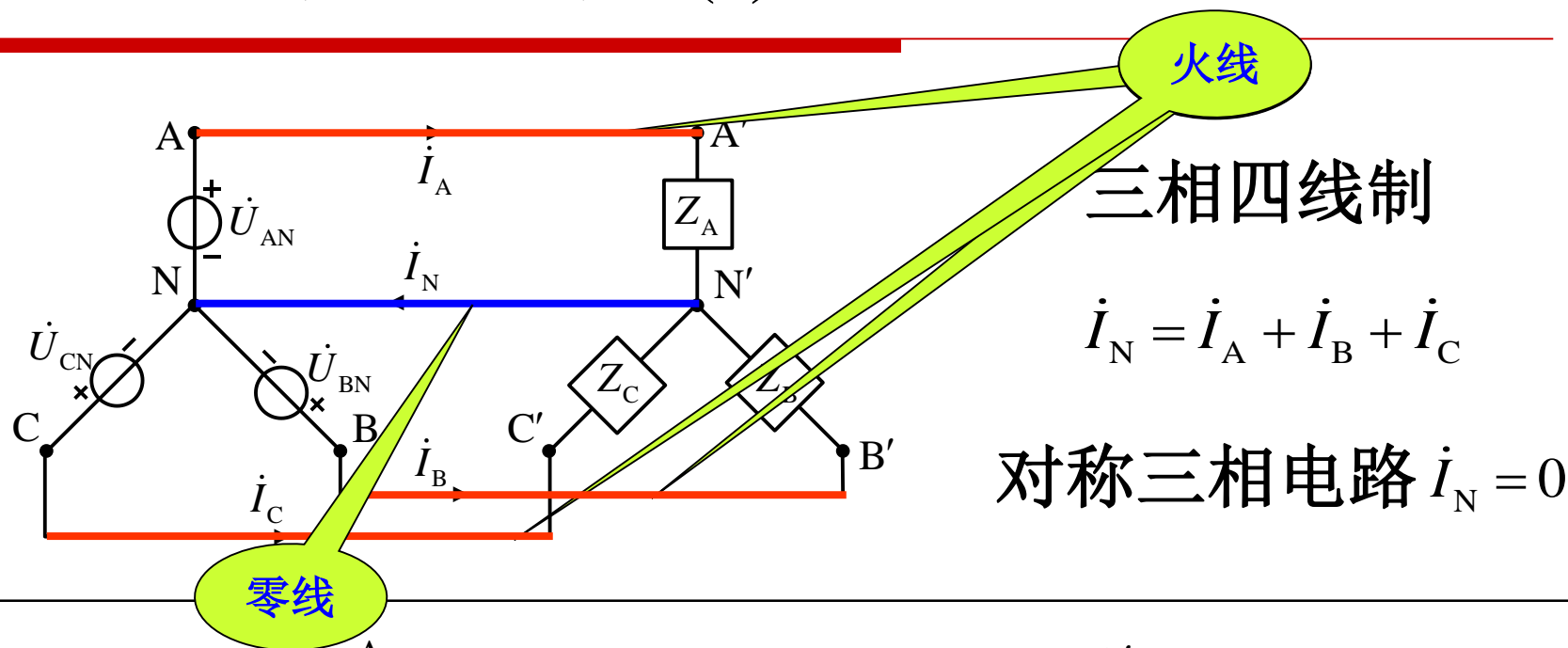
线电流: 流过端线的电流, i_A 、 i_B 、 i_C

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} 、 $\dot{U}_{A'N'}$ 、 $\dot{U}_{B'N'}$ 、 $\dot{U}_{C'N'}$

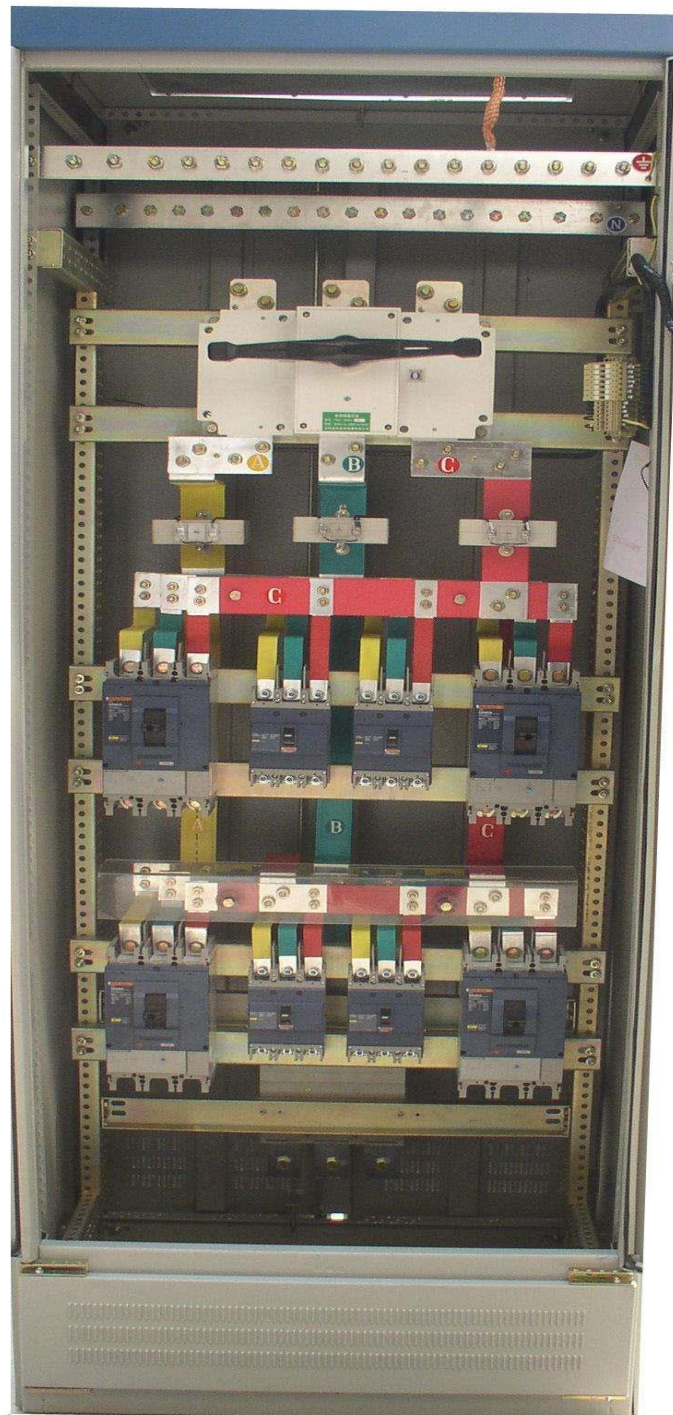
相电流: 电源或负载各相中的电流, i_{NA} 、 i_{NB} 、 i_{NC} 、 $i_{A'N'}$ 、 $i_{B'N'}$ 、 $i_{C'N'}$

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

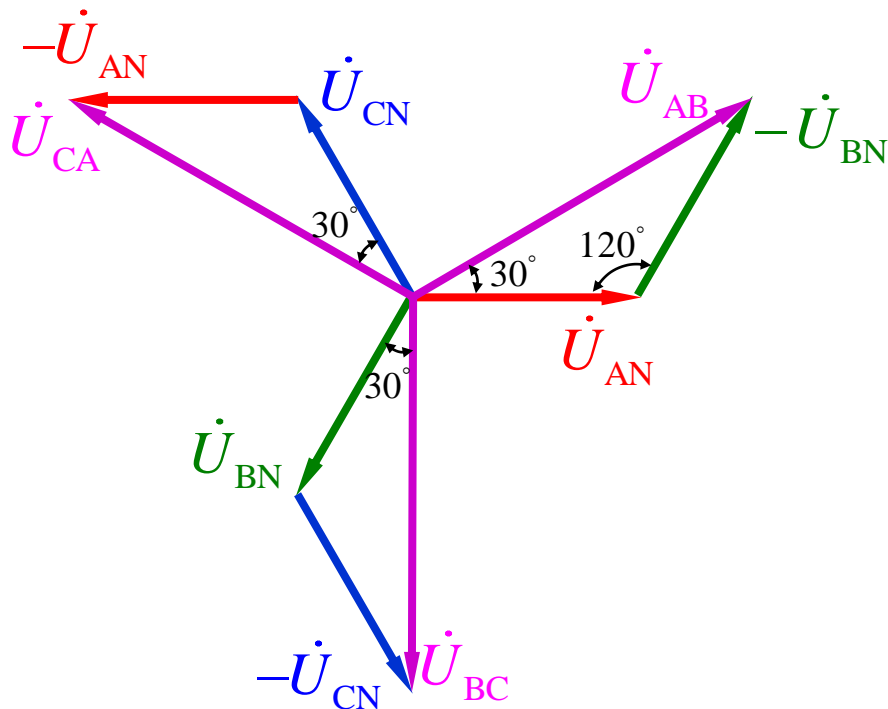
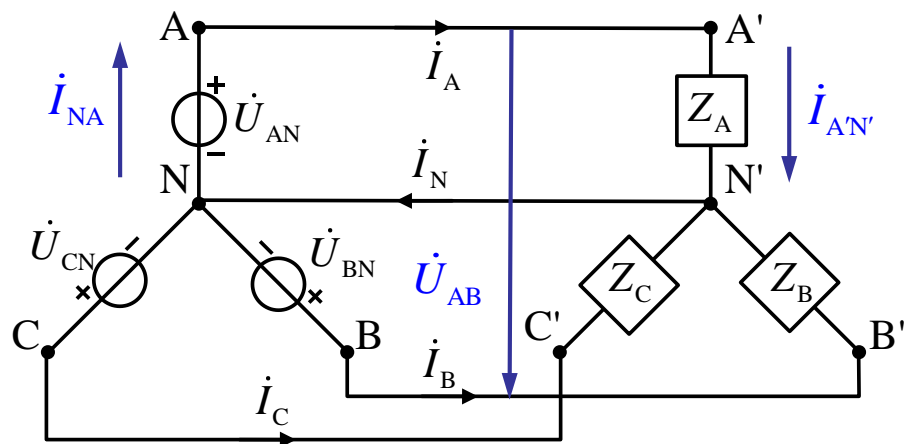


二、三相电路的常用术语(4)



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

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

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

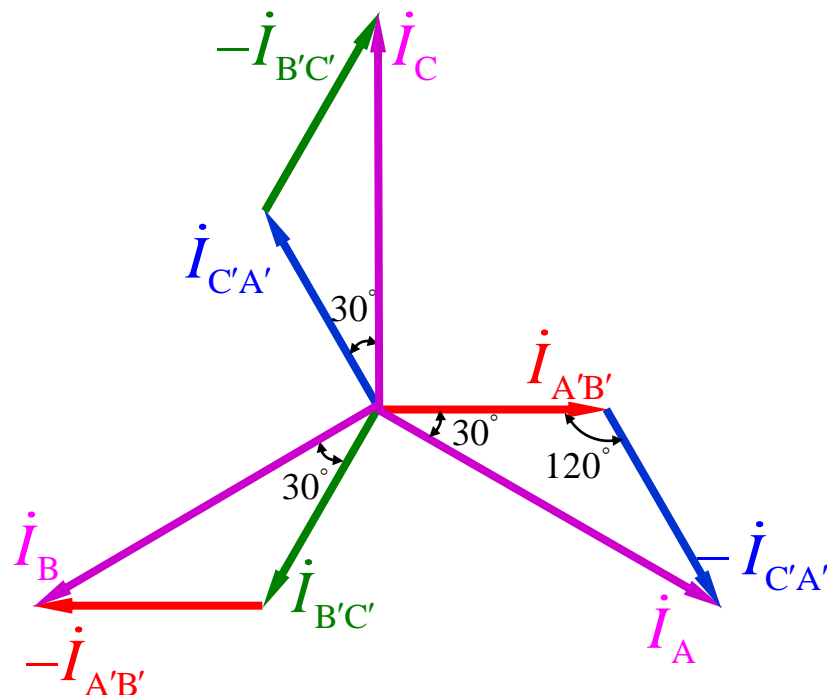
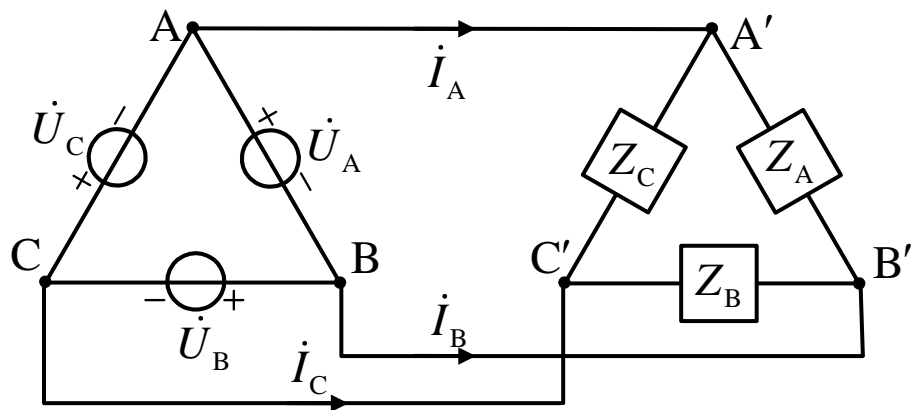
$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN} = \sqrt{3} \dot{U}_{CN} \angle 30^\circ$$

(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**超前**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(与Y-Y 联结对偶)



(1) 相线电压

线电压=相电压 $U_L = U_P$

(2) 相线电流

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A'B'} - \dot{I}_{C'A'} = \sqrt{3} \dot{I}_{A'B'} \angle -30^\circ$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B'C'} - \dot{I}_{A'B'} = \sqrt{3} \dot{I}_{B'C'} \angle -30^\circ$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C'A'} - \dot{I}_{B'C'} = \sqrt{3} \dot{I}_{C'A'} \angle -30^\circ$$

(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电流关系小结

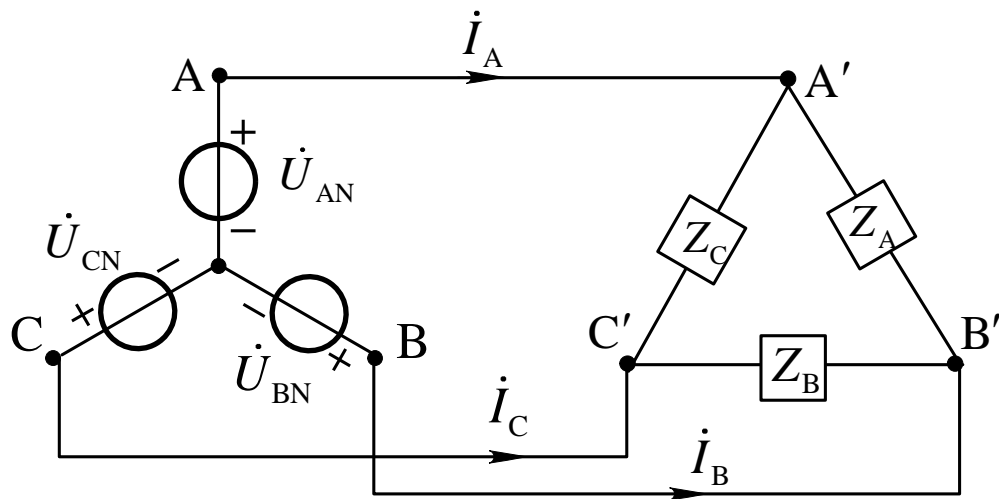
	相线电压关系	相线电流关系
星形接法	<p>(a)在星形接法中，线电压是相电压有效值的$\sqrt{3}$倍，即$U_L = \sqrt{3}U_P$</p> <p>(b)在相位上，线电压超前于先行相电压30°</p>	<p>线电流=相电流</p> $I_L = I_P$
三角形接法	<p>线电压=相电压</p> $U_L = U_P$	<p>(a)在三角形接法中，线电流是相电流有效值的$\sqrt{3}$倍，即$I_L = \sqrt{3}I_P$</p> <p>(b)在相位上，线电流滞后于后续相电流30°</p>

三、对称三相电路电压和电流的关系(4)

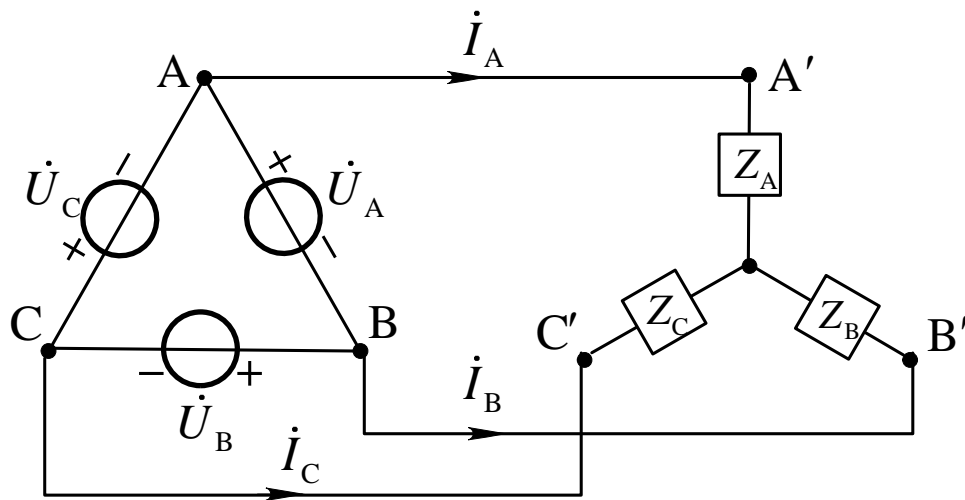
□ 注意：所有关于电压、电流的对称性以及对称相值和对称线值之间关系的论述，只能在指定的顺序和参考方向的条件下，才能以简单有序的形式表达出来，而不能任意设定（理论上可以），否则将会使问题的表述变得杂乱无序。

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

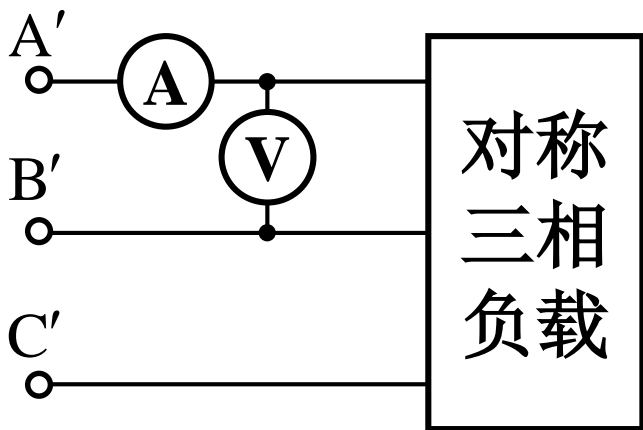
【补充5.4】

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



$$I_L = I_P = 10A$$

$$U_L = \sqrt{3}U_P \Rightarrow U_P = 380 / \sqrt{3} \approx 220V$$

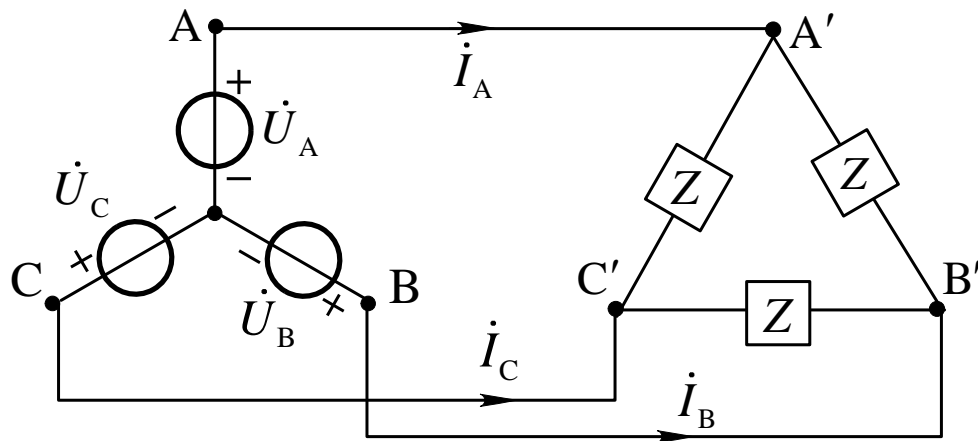
(2) Δ 接法

$$U_P = U_L = 380V$$

$$I_L = \sqrt{3}I_P \Rightarrow I_P = 10 / \sqrt{3} \approx 5.77A$$

【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

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

由对称性得其它相电流

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

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

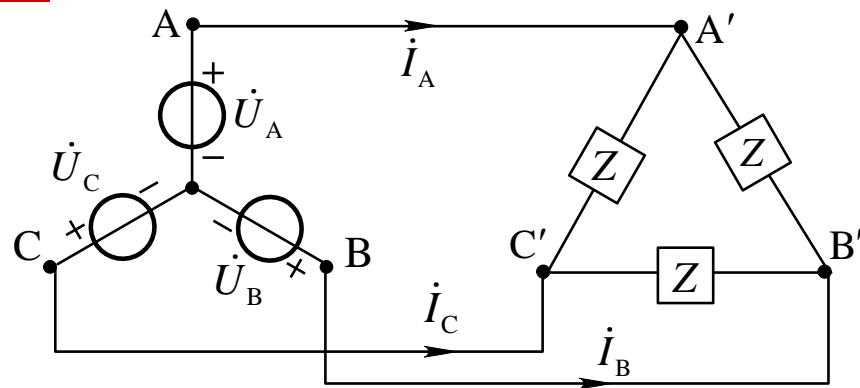
由三角形联结线电流与相电流的关系得

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

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 $\dot{i}_{AB} =$ _____ , 阻抗 $Z =$ _____

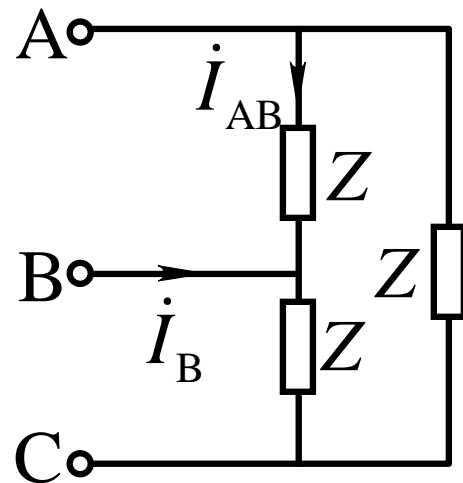
【解】 方法一

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

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

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

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



【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 $Z =$ _____

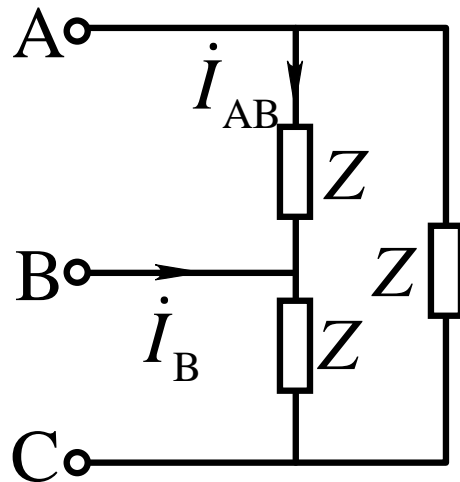
【解】 方法二

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

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

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

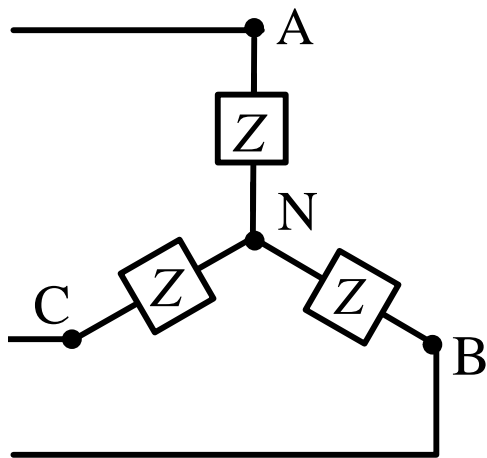
$$Z = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{i}_{AB}} = \frac{380\angle 30^\circ}{10\angle 0^\circ} = 38\angle 30^\circ \Omega$$



【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 $\dot{I}_A = 5\angle 10^\circ \text{ A}$ ，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



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

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

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