

第5章 三相电路

杨旭强

哈尔滨工业大学电气工程系



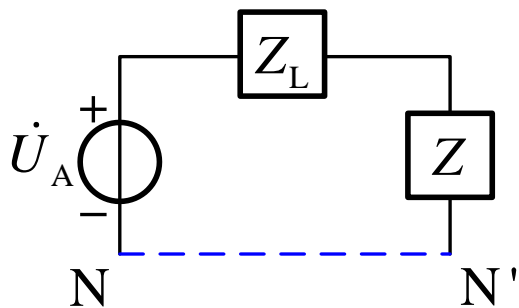
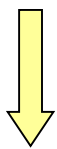
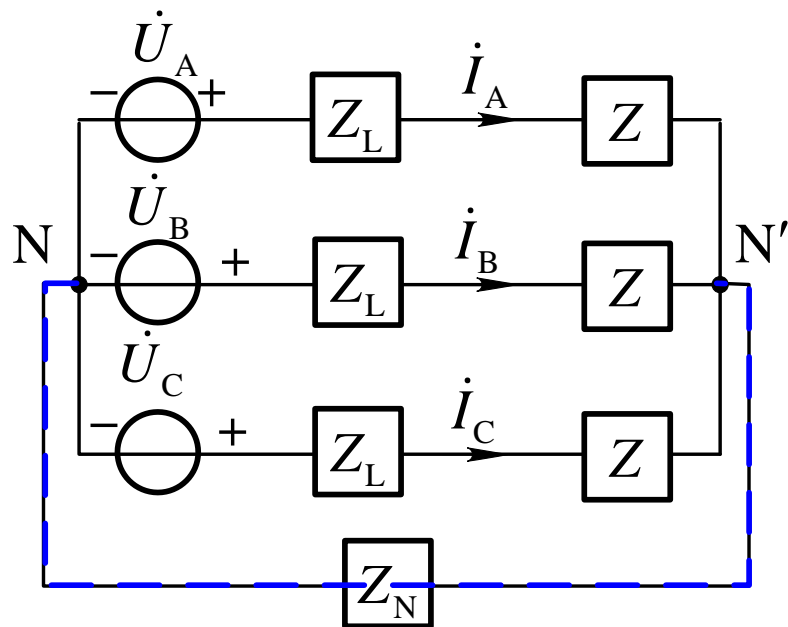
5.3 对称三相电路的计算

基本要求：熟练掌握对称三相电路的单相计算方法。

主要内容

- 一、对称三相Y-Y联结正弦电流电路求解
- 二、复杂对称三相正弦电流电路求解

一、对称三相Y-Y联结正弦电流电路(1)



对 N' 点列节点电压方程

$$\left(\frac{3}{Z_L + Z} + \frac{1}{Z_N}\right)\dot{U}_{N'N} = \frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C}{Z_L + Z}$$

三相电源对称, 则 $\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$

所以 $\dot{U}_{N'N} = 0$

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{(Z_L + Z)}$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{(Z_L + Z)} = \dot{I}_A \angle -120^\circ$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{(Z_L + Z)} = \dot{I}_A \angle +120^\circ$$

对称性

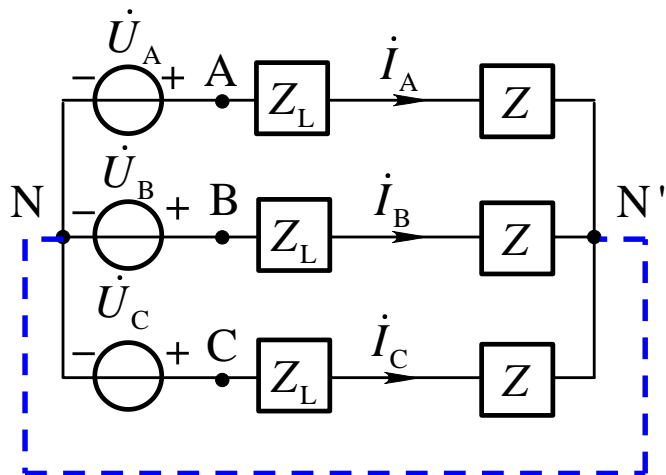
一、对称三相Y-Y联结正弦电流电路(2)

Y-Y联结对称三相电路特点：

1. Y形联结的各中性点是等电位的，中性线电流恒为零，中性线阻抗对各相、线电压和电流的分布无影响；
2. 由于中性点等电位，各相电流仅决定于各自相电压和相阻抗值，各相计算具有独立性。在计算时，可把各中性点用理想导线相连组成单相图，任取一相电路进行计算；
3. 因为电路中任一组相、线电压和电流是对称的，所以当用单相图计算出一组相电压和电流之后，其余两相可由对称性直接得到。

【补充5.7】

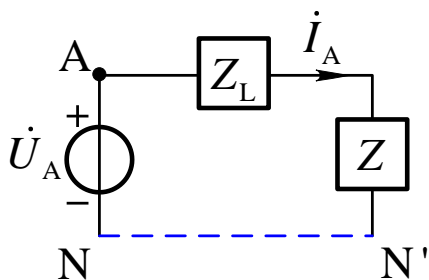
图示对称三相电路，已知 $Z = (5 + j6)\Omega$ ， $Z_L = (1 + j2)\Omega$ ， $u_{AB} = 380\sqrt{2} \cos(\omega t + 30^\circ) \text{ V}$ ，试求负载中各电流相量。



【解】 图为对称三相电路，故可以取出一相，按单相电路来计算。

$$\text{已知 } \dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ \text{ V}$$

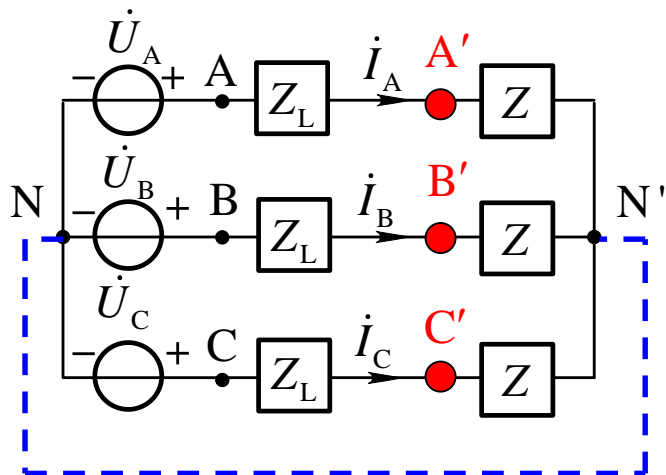
$$\text{则 } \dot{U}_A \approx 220\angle 0^\circ \text{ V}$$



$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_L + Z} \approx \frac{220\angle 0^\circ}{6 + j8} = 22\angle -53.1^\circ \text{ A}$$

【补充5.7】

图示对称三相电路，已知 $Z = (5 + j6)\Omega$ ， $Z_L = (1 + j2)\Omega$ ， $u_{AB} = 380\sqrt{2} \cos(\omega t + 30^\circ) \text{ V}$ ，试求负载中各电流相量。



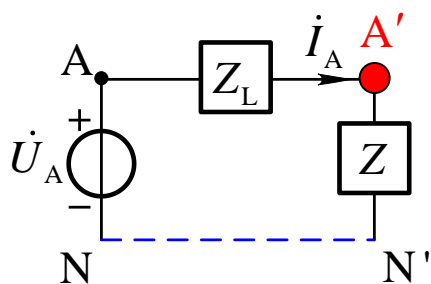
【解】 $\dot{I}_A \approx 22 \angle -53.1^\circ \text{ A}$

根据各相间的对称性可得

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \angle -120^\circ \approx 22 \angle -173.1^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_B \angle -120^\circ \approx 22 \angle 66.9^\circ \text{ A}$$

请思考负载端的线电压是多少？

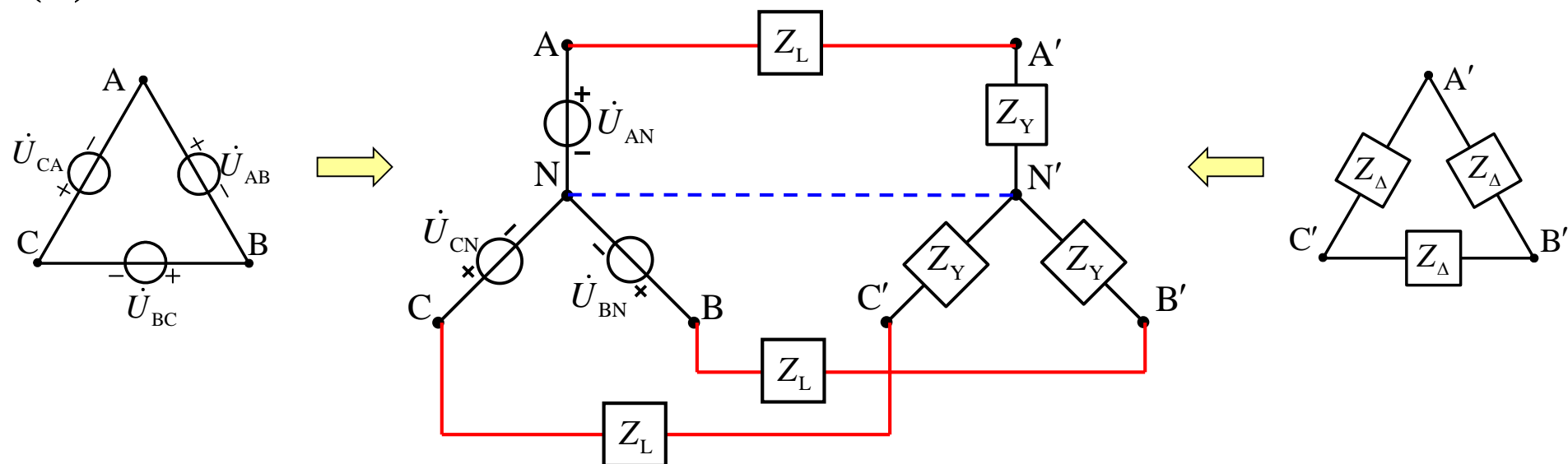


$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{A'B'} &= \sqrt{3} \dot{U}_{A'N'} \angle 30^\circ \\ \dot{U}_{A'N'} &= \dot{I}_A Z = \frac{Z}{Z_L + Z} \dot{U}_A \end{aligned} \right\} \Rightarrow \dot{U}_{A'B'}$$

二、复杂对称三相正弦电路

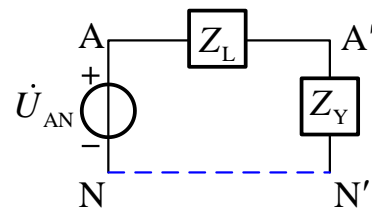
基本思路：化为单相电路进行计算。其步骤为：

(1) 把各三角形联结的电源和负载都等效为星形联结；



(2) 画一条无阻抗的假想中线把电源和负载的中性点连接起来，原有中线上的阻抗均被假想中线短路；

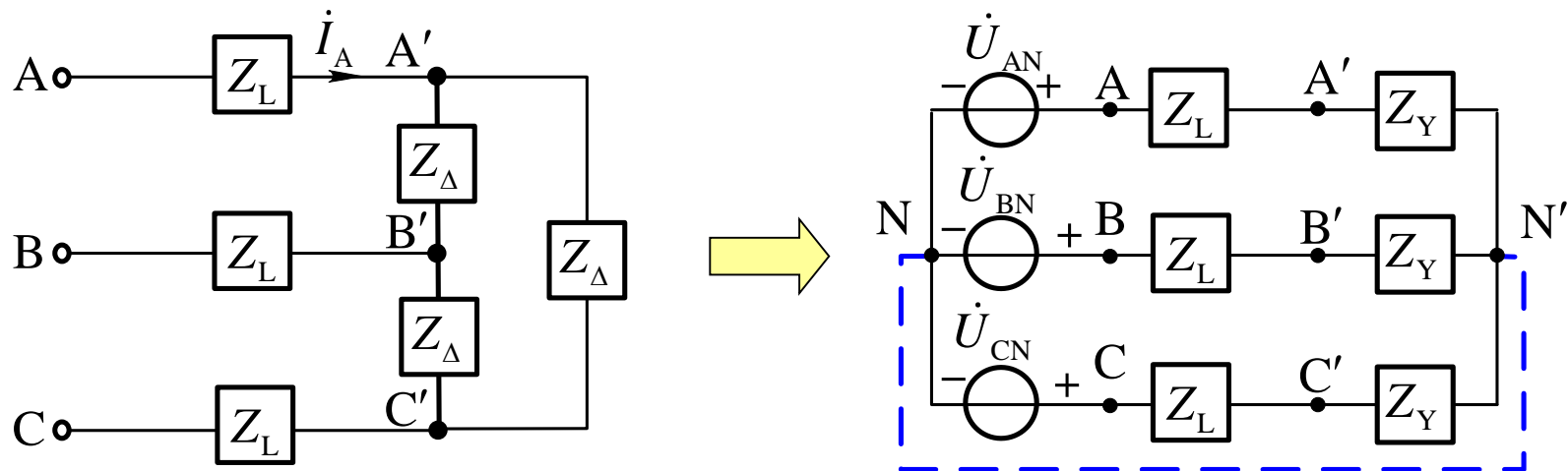
(3) 取出一相进行计算；



(4) 根据对称关系推算其它相(线)电压、电流。

【补充5.8】

如图所示已知对称电源线电压为 380V ，线阻抗 $Z_L = j2\Omega$ ，负载 $Z_\Delta = (24 + j12)\Omega$ ，求负载的相电压和相电流有效值。



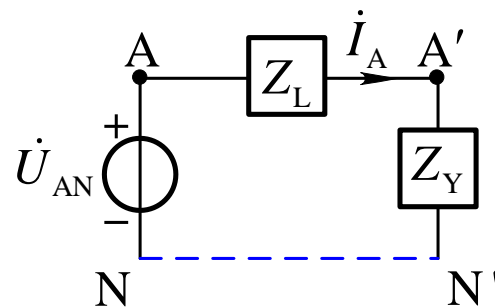
基本思路： (1) 将电源和负载均用等效星形电路表示，

$$Z_Y = \frac{1}{3} Z_\Delta = (8 + j4)\Omega$$

(2) 作辅助中线，连接各中性点

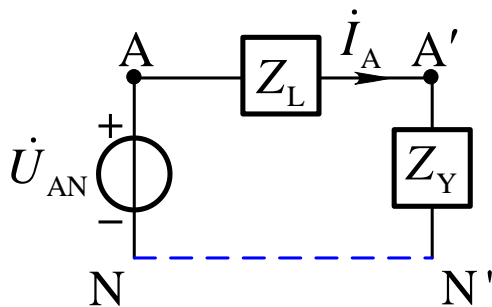
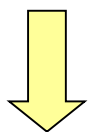
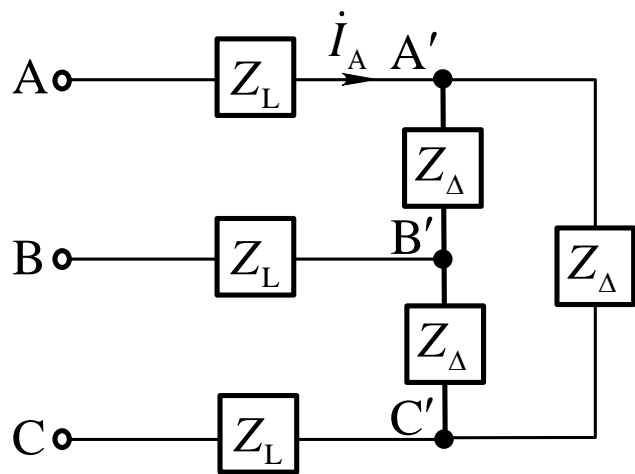
(4) 由角形连接的相、线关系，求负载的相电压和相电流

(3) 取出A相计算



【补充5.8】

如图所示已知对称电源线电压为 380V ，线阻抗 $Z_L = j2\Omega$ ，负载 $Z_\Delta = (24 + j12)\Omega$ ，求负载的相电压和相电流有效值。



【解】以 \dot{U}_{AN} 为参考正弦量，则

$$\dot{U}_{AN} \approx 220\angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_L + Z_Y} \approx \frac{220\angle 0^\circ}{8 + j6} = 22\angle -36.9^\circ \text{ A}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_{A'N'} &= Z_Y \dot{I}_A \approx (8 + j4) \times 22\angle -36.9^\circ \\ &= 196.7\angle -10.3^\circ \text{ V}\end{aligned}$$

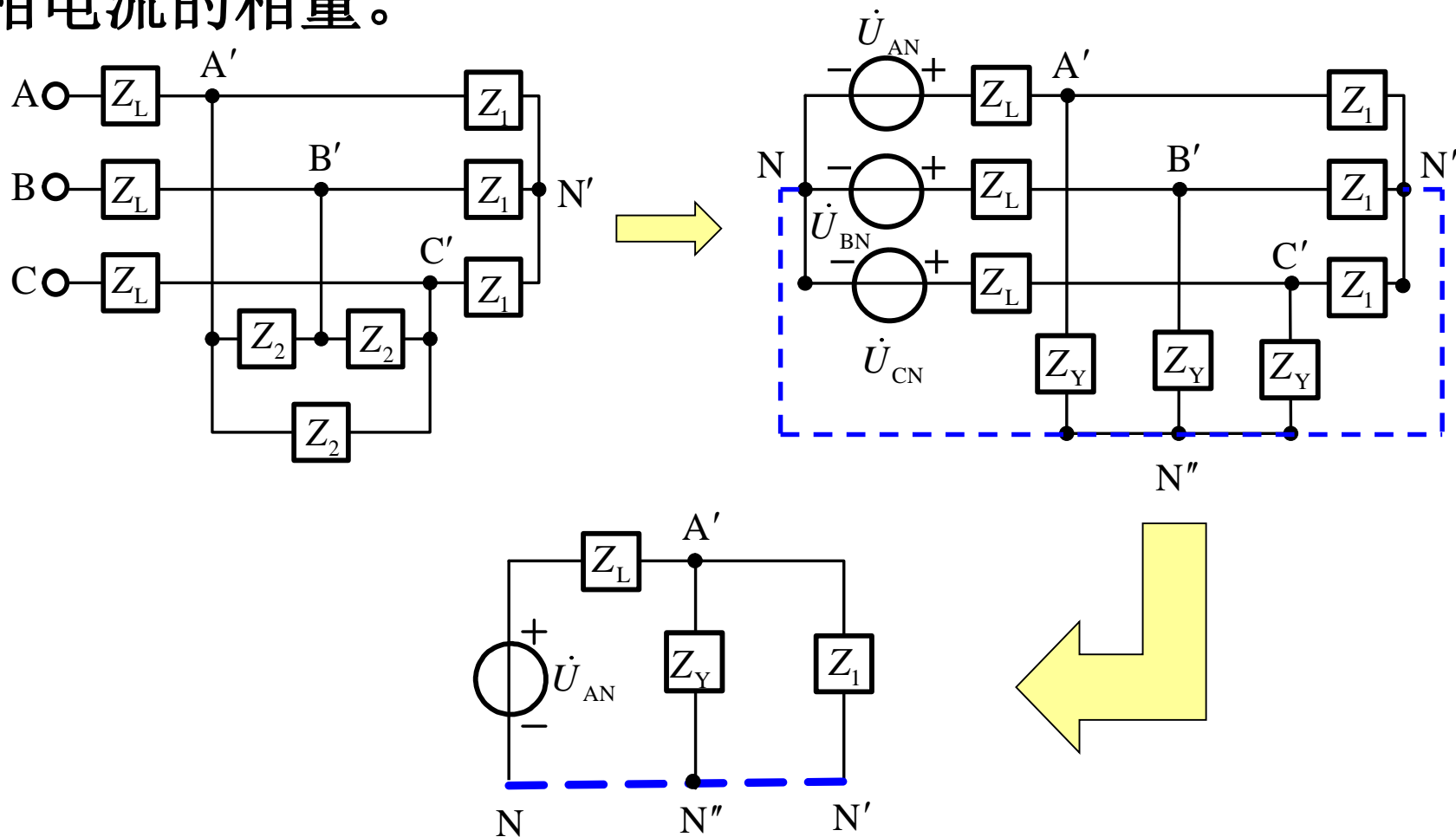
由相线关系求角形负载的相电压和相电流

$$U_P = \sqrt{3}U_{A'N'} \approx \sqrt{3} \times 196.7 = 340.7 \text{ V}$$

$$I_P = I_A / \sqrt{3} = 22 / \sqrt{3} \approx 12.7 \text{ A}$$

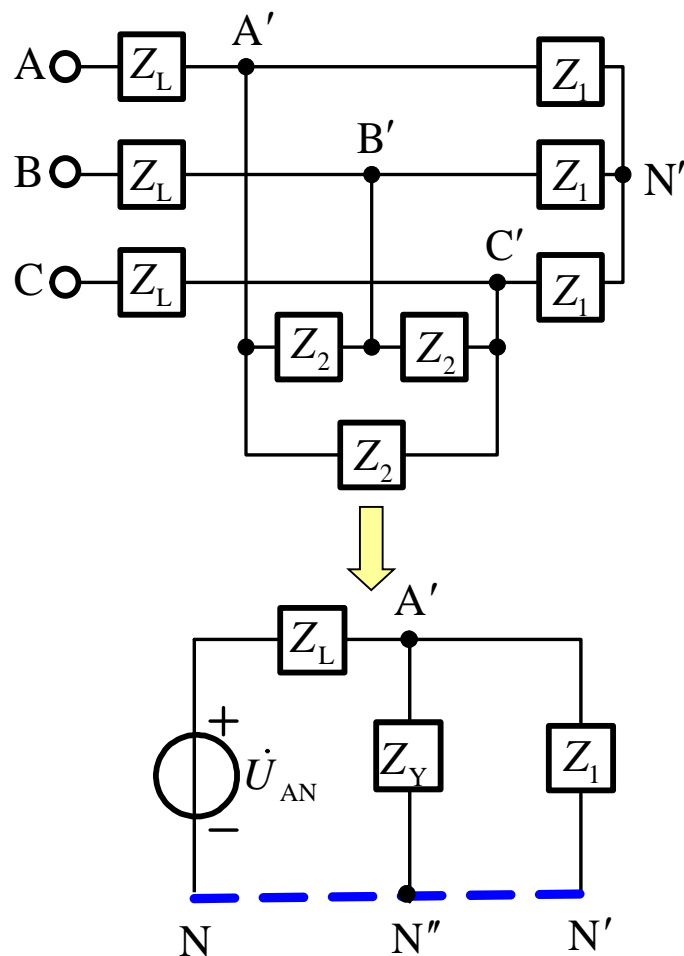
【例题5.2】

对称三相电路如图所示，其中 $Z_1 = 50\Omega$ ， $Z_2 = (90 + j120)\Omega$ ， $Z_L = j5\Omega$ ，设电源电压 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{V}$ ，试求各负载的相电压和相电流的相量。



【例题5.2】

对称三相电路如图所示，其中 $Z_1 = 50\Omega$ ， $Z_2 = (90 + j120)\Omega$ ， $Z_L = j5\Omega$ ，设电源电压 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{ V}$ ，试求负载电压和相电流的相量。



【解】图中A相的相电压和等效星形联结负载的阻抗分别为

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AN} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{AB} \angle -30^\circ \\ &\approx 220 \angle -30^\circ \text{ V}\end{aligned}$$

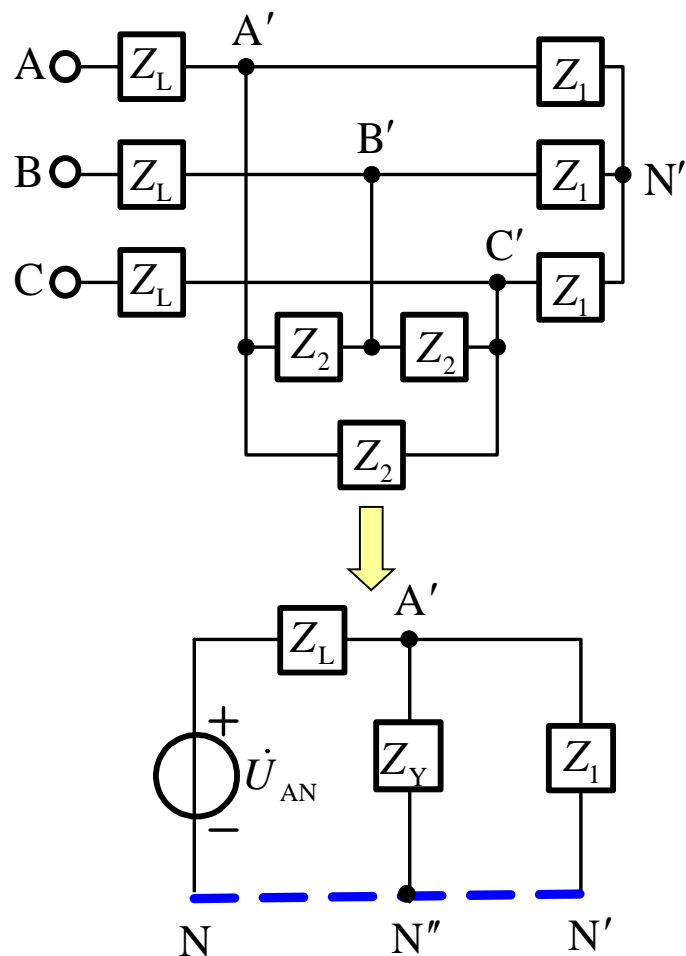
$$Z_Y = \frac{1}{3} Z_2 = (30 + j40)\Omega$$

星形联结负载的相电压为

$$\dot{U}_{A'N''} = \frac{\dot{U}_{AN} / Z_L}{1/Z_1 + 1/Z_Y + 1/Z_L} \approx 202 \angle -38.4^\circ \text{ V}$$

【例题5.2】

对称三相电路如图所示，其中 $Z_1 = 50\Omega$ ， $Z_2 = (90 + j120)\Omega$ ， $Z_L = j5\Omega$ ，设电源电压 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{ V}$ ，试求负载电压和相电流的相量。



【解】 $\dot{U}_{A'N'} \approx 202\angle -38.4^\circ \text{ V}$

待求的负载电压是指线电压，即

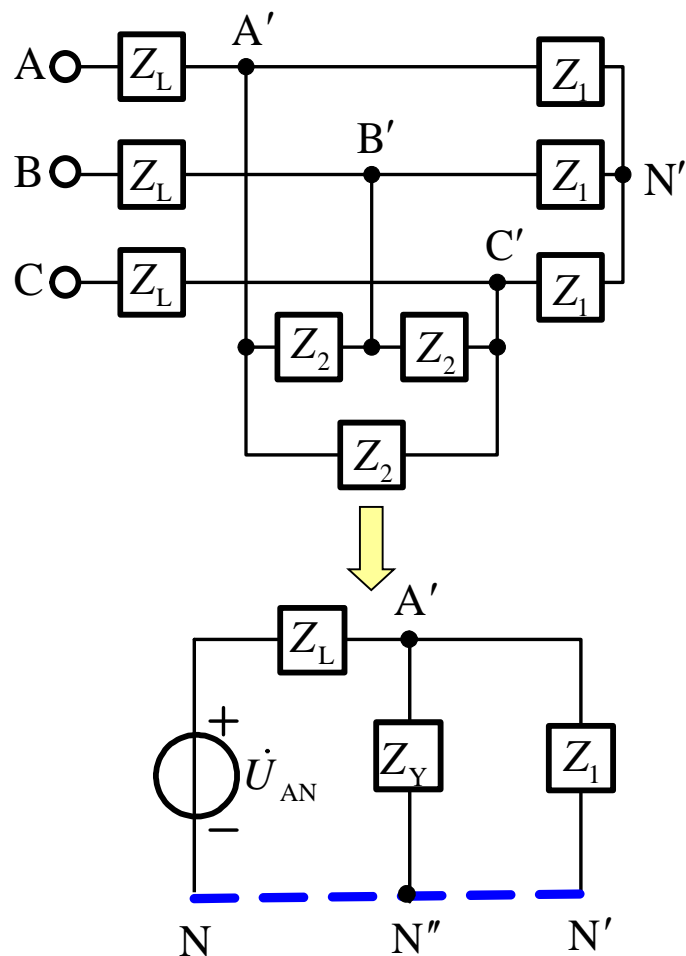
$$\dot{U}_{AB'} = \sqrt{3}\dot{U}_{A'N'}\angle 30^\circ \approx 350\angle -8.4^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_{B'C'} \approx 350\angle -128.4^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_{C'A'} \approx 350\angle 111.6^\circ \text{ V}$$

【例题5.2】

对称三相电路如图所示，其中 $Z_1 = 50\Omega$ ， $Z_2 = (90 + j120)\Omega$ ， $Z_L = j5\Omega$ ，设电源电压 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{ V}$ ，试求负载电压和相电流的相量。



【解】 $\dot{U}_{A'N'} \approx 202\angle -38.4^\circ \text{ V}$

星形联结负载 Z_1 的相电流

$$\dot{I}_{A'N'} = \frac{\dot{U}_{A'N'}}{Z_1} \approx \frac{202\angle -38.4^\circ \text{ V}}{50\Omega}$$

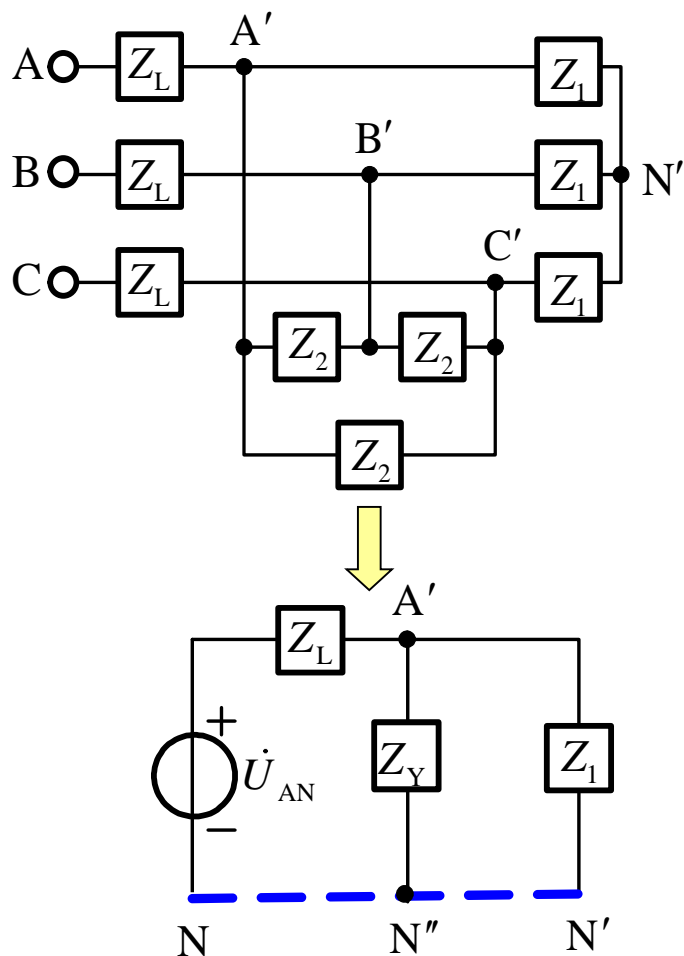
$$\dot{I}_{A'N'} \approx 4.04\angle -38.4^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{B'N'} \approx 4.04\angle -158.4^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{C'N'} \approx 4.04\angle 81.6^\circ \text{ A}$$

【例题5.2】

对称三相电路如图所示，其中 $Z_1 = 50\Omega$ ， $Z_2 = (90 + j120)\Omega$ ， $Z_L = j5\Omega$ ，设电源电压 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{ V}$ ，试求负载电压和相电流的相量。



【解】 $\dot{U}_{A'B'} \approx 350\angle -8.4^\circ \text{ V}$

三角形联结负载 Z_2 的相电流

$$\dot{I}_{A'B'} = \frac{\dot{U}_{A'B'}}{Z_2} \approx \frac{350\angle -8.4^\circ \text{ V}}{(90 + j120)\Omega}$$

$$\dot{I}_{A'B'} \approx 2.33\angle -61.5^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{B'C'} \approx 2.33\angle 178.5^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{C'A'} \approx 2.33\angle 58.5^\circ \text{ A}$$