

清华大学2022春季学期

电路原理C

第17讲 三相交流电路

内容

1 三相电源与三相电路

相线关系

2 对称三相电路的分析

抽单相

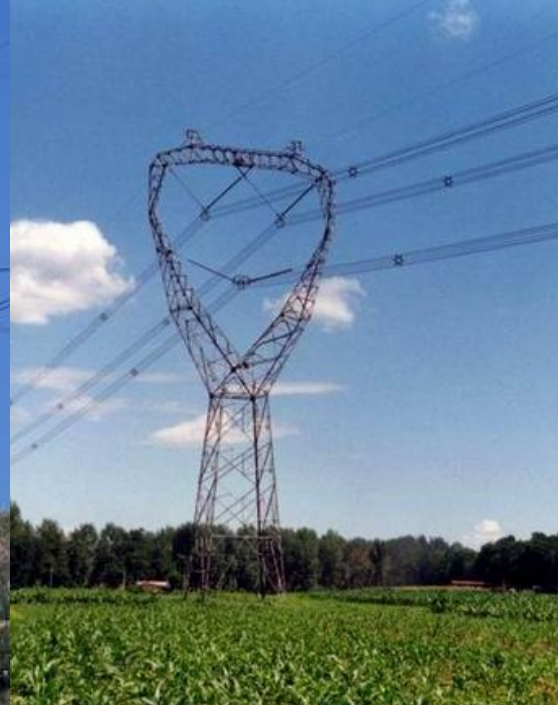
3 不对称三相电路分析简介

4 三相电路的功率

三相功率的计算

本讲重难点

- Y 接和 Δ 接对称三相电路的相 — 线关系
- 对称三相电路的抽单相法
- 测量三相电路有功功率的两表法









复合绝缘子

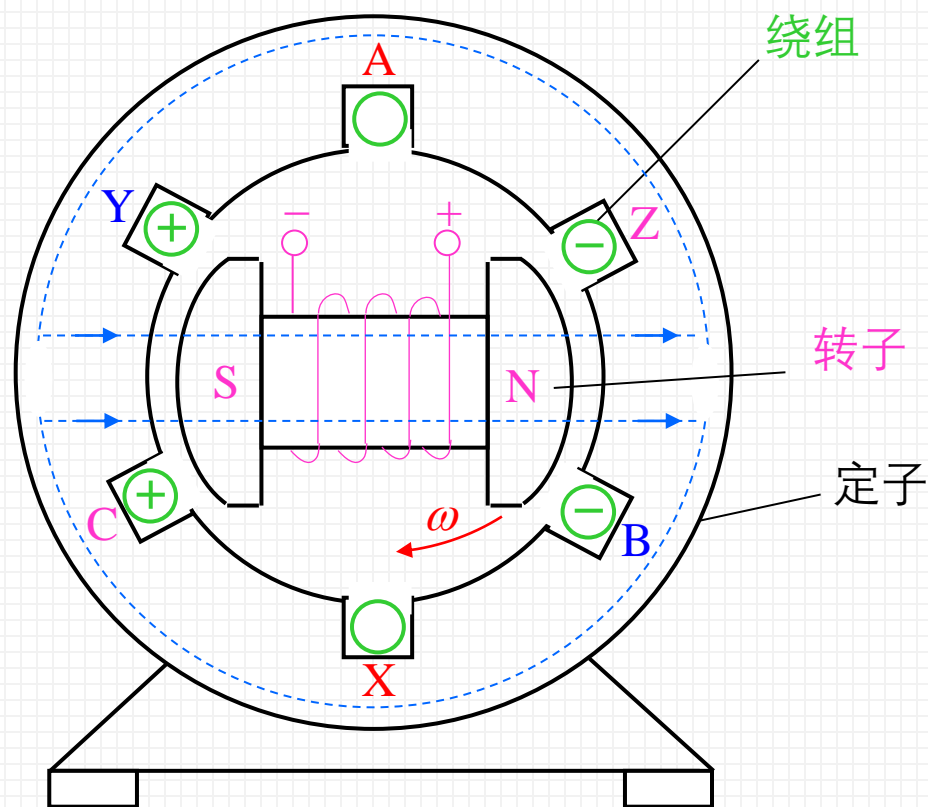


三相电动势的产生

- 定子中放三个线圈
- 三线圈空间位置相间 120°

首端	末端
A	X
B	Y
C	Z

转子装有磁极并以 ω 的角速度旋转。三个线圈中便产生三个单相正弦电动势。



三相交流发电机原理示意图

三相电动势的三角函数表示式

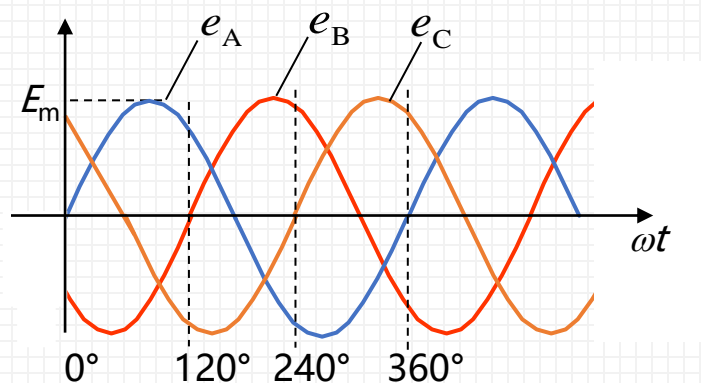
$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) \\ = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

三相电动势的特征：

大小相等，频率相同，相位互差 120°

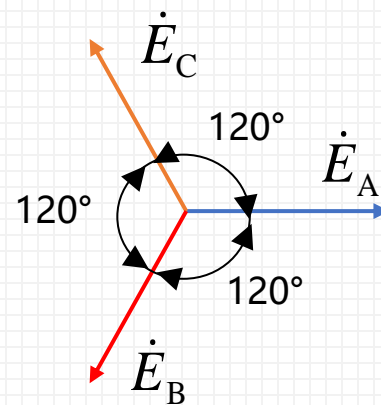


三相电动势波形图

三相电动势的相量表示式

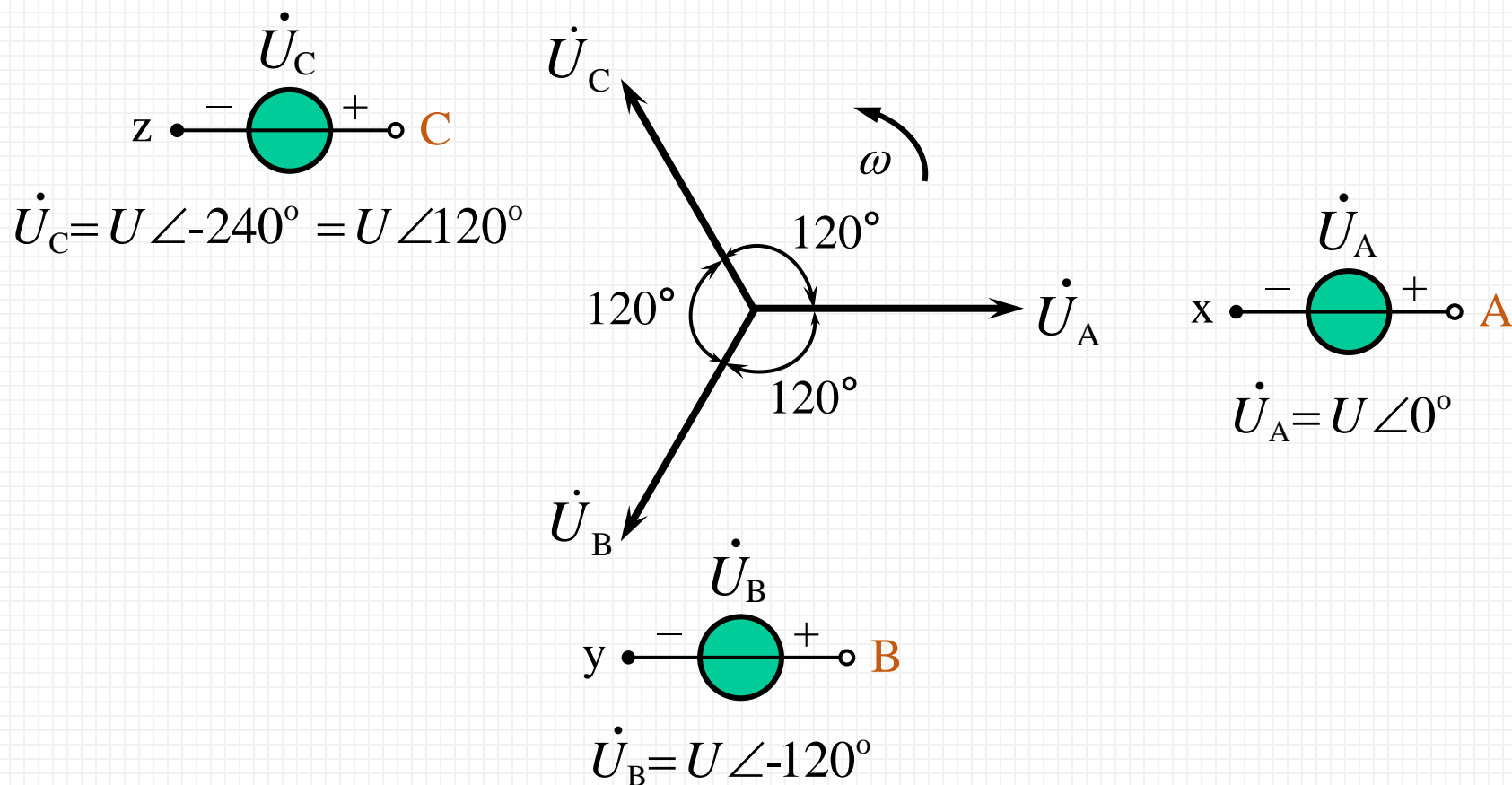
$$\begin{cases} \dot{E}_A = E \angle 0^\circ \\ \dot{E}_B = E \angle -120^\circ \\ \dot{E}_C = E \angle 120^\circ \end{cases}$$

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



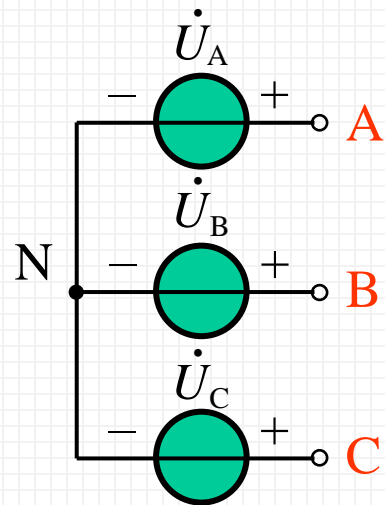
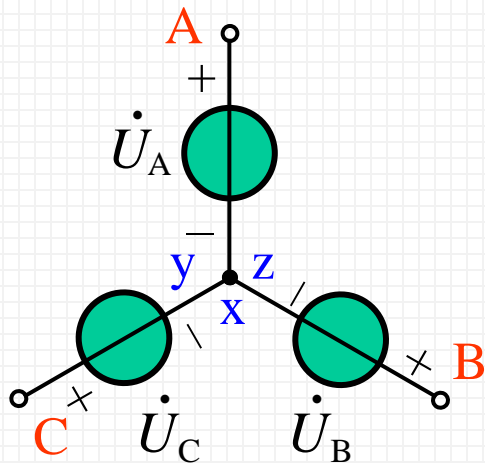
1、三相电源与三相电路

(1) 对称三相电源

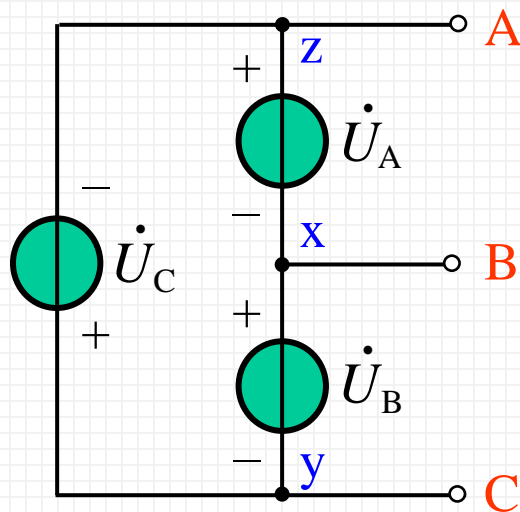
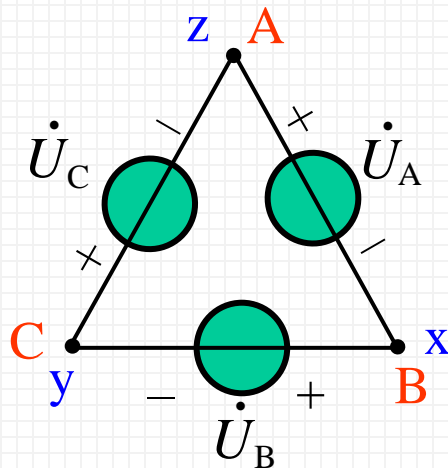


(2) 对称三相电源连接

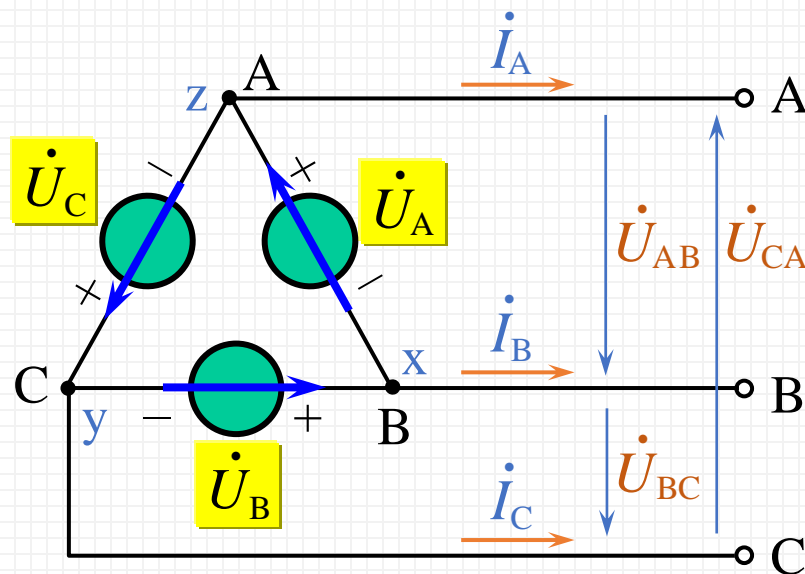
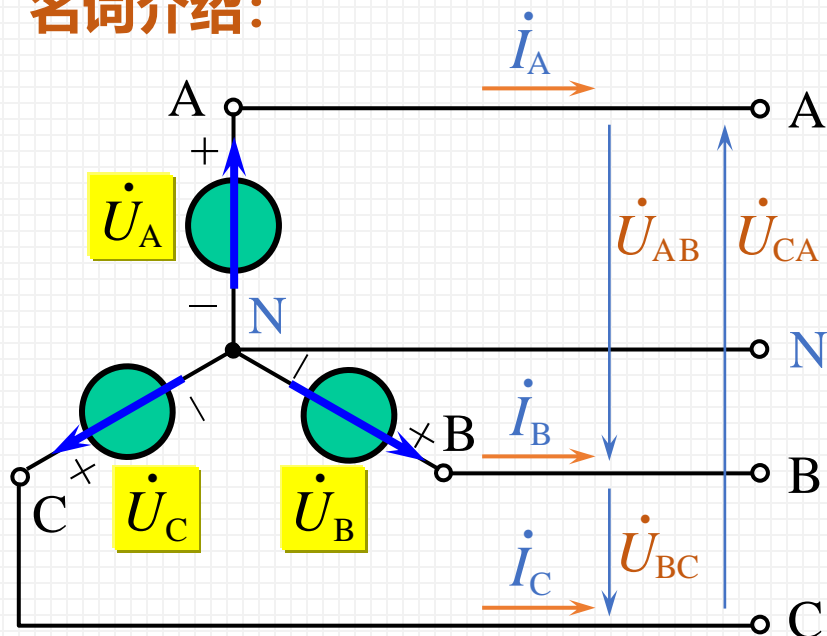
星形联接(Y接)



三角形联接(Δ 接)



名词介绍:



(1) 端线(火线、相线) (2) 中线(零线)

(3) 三相三线制与三相四线制。

(4) 线电流 $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$

(5) 线电压 $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$

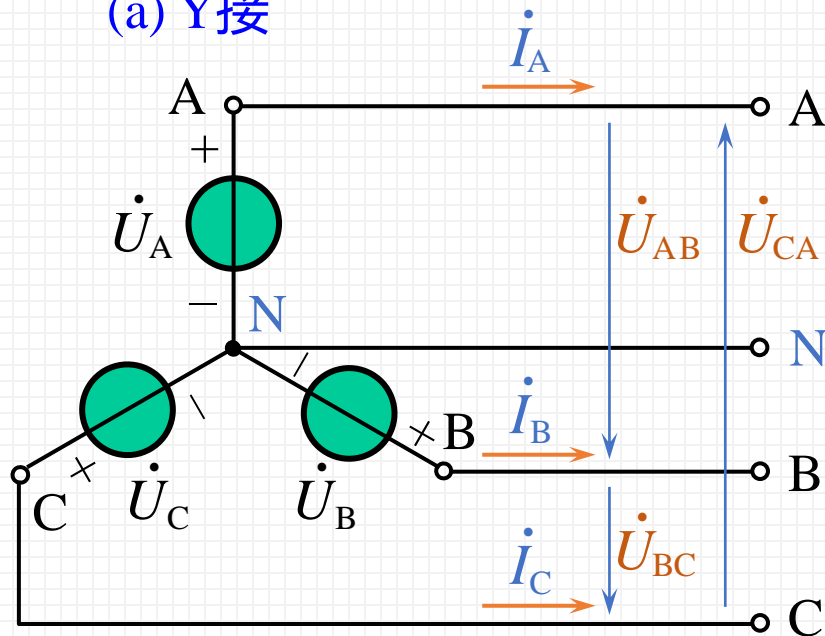
(6) 相电流

(7) 相电压 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$



(3) 对称三相电源的相线关系

(a) Y接



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

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

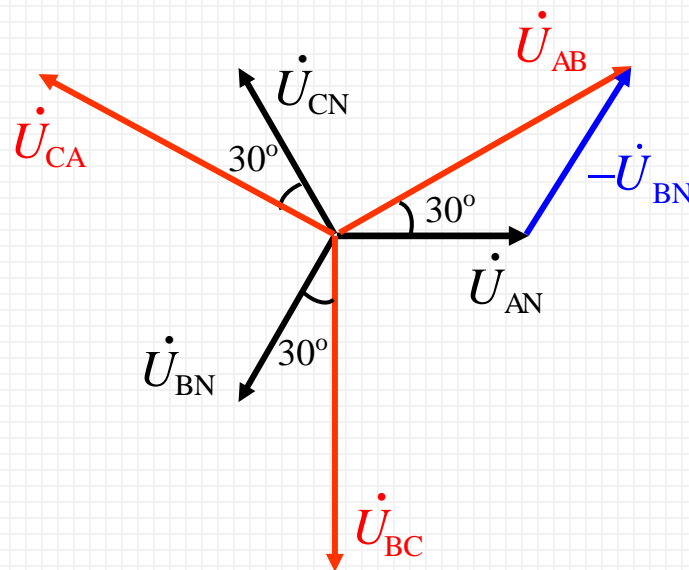
$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN} = \sqrt{3}U \angle 150^\circ$$

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

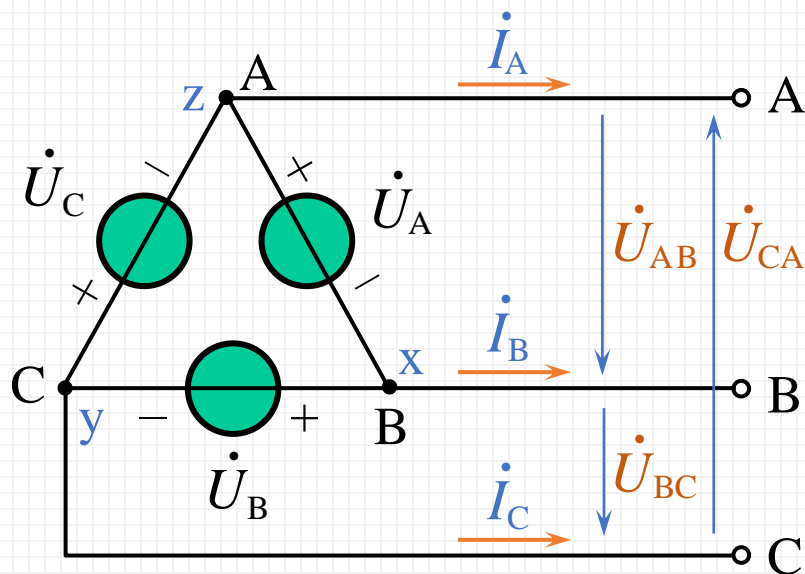
$$\dot{U}_{BN} = \dot{U}_B = U \angle -120^\circ$$

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

- 线电压对称
- $U_L = \sqrt{3}U_P$
- 线电压相位领先对应相电压 30°
- 线电流 = 相电流



(b) Δ 接 (x与B相连)



设 $\dot{U}_A = U \angle 0^\circ$

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

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

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

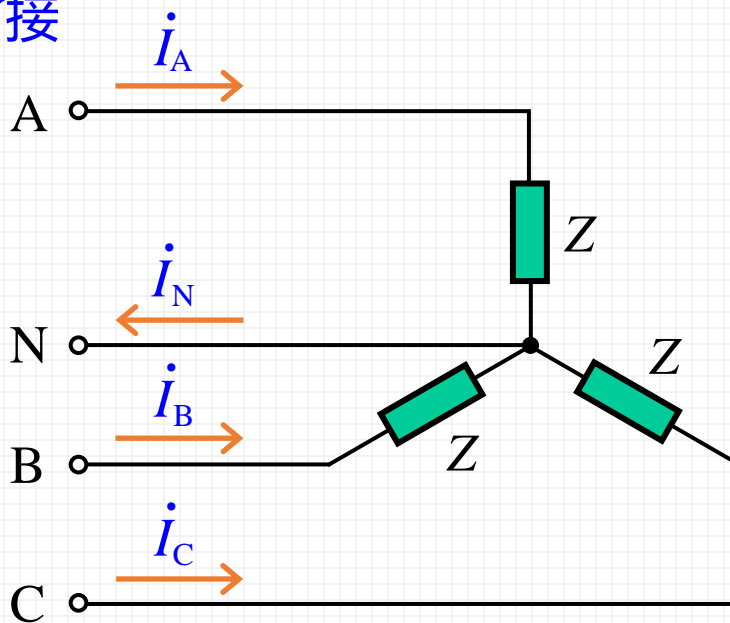
$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B = U \angle -120^\circ$

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

线电压 = 相电压

(4) 对称三相负载的相线关系

(a) Y接



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

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

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

对 **Y** 接法的对称电源讨论得出的结论对 **Y** 接法的对称负载一样成立。

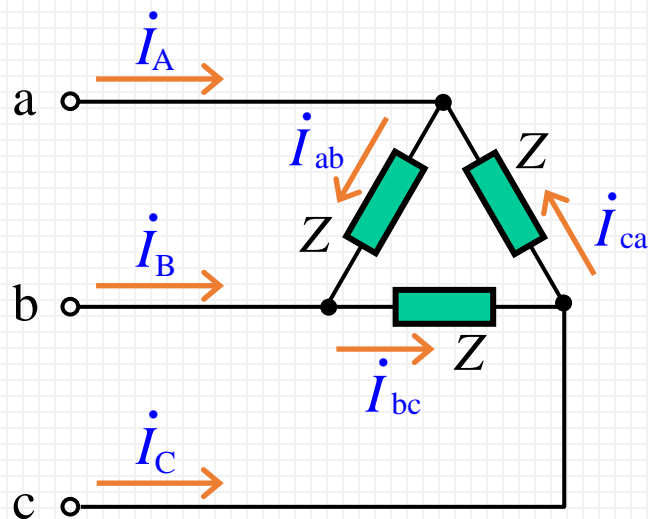
$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN} = \sqrt{3}U \angle 30^\circ$$

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

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

- 线电压对称
- $U_L = \sqrt{3}U_P$
- 线电压相位领先对应相电压 30°
- 线电流 = 相电流

(b) Δ 接



线电压(即相电压)对称

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z} \quad \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z} \quad \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z}$$

相电流对称

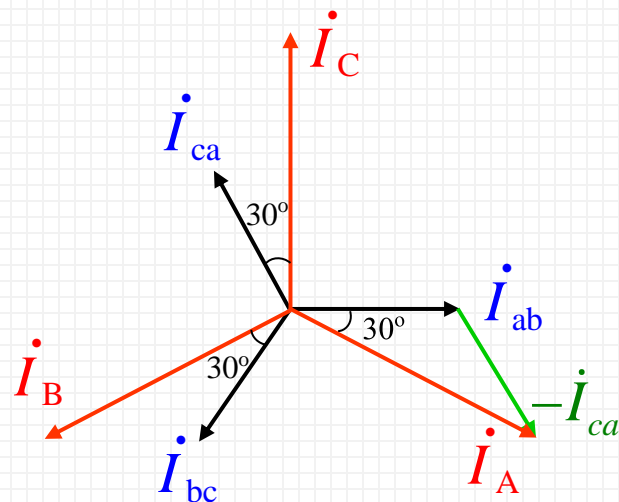
$$\dot{I}_{ab} = I \angle 0^\circ \quad \dot{I}_{bc} = I \angle -120^\circ \quad \dot{I}_{ca} = I \angle 120^\circ$$

线电流

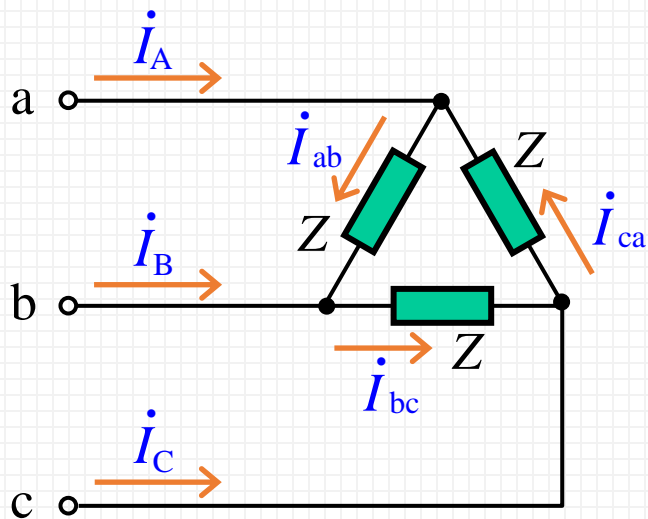
$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca} = \sqrt{3} \dot{I}_{ab} \angle -30^\circ$$

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

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc} = \sqrt{3} \dot{I}_{ca} \angle -30^\circ$$



(b) Δ 接

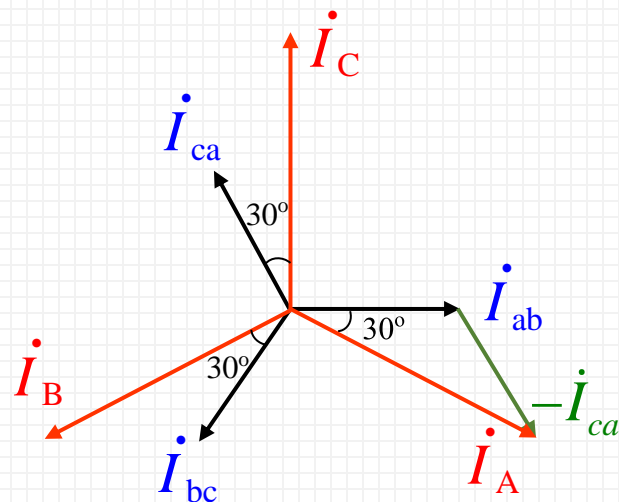


- 线电流对称
- $I_L = \sqrt{3} I_P$
- 线电流落后对应相电流 30°
- 线电压 = 相电压

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

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

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc} = \sqrt{3} \dot{I}_{ca} \angle -30^\circ$$



(5) 三相电路

三相制电力系统：由三个频率相同、相位互差 120° 的正弦交流电源供电的系统。

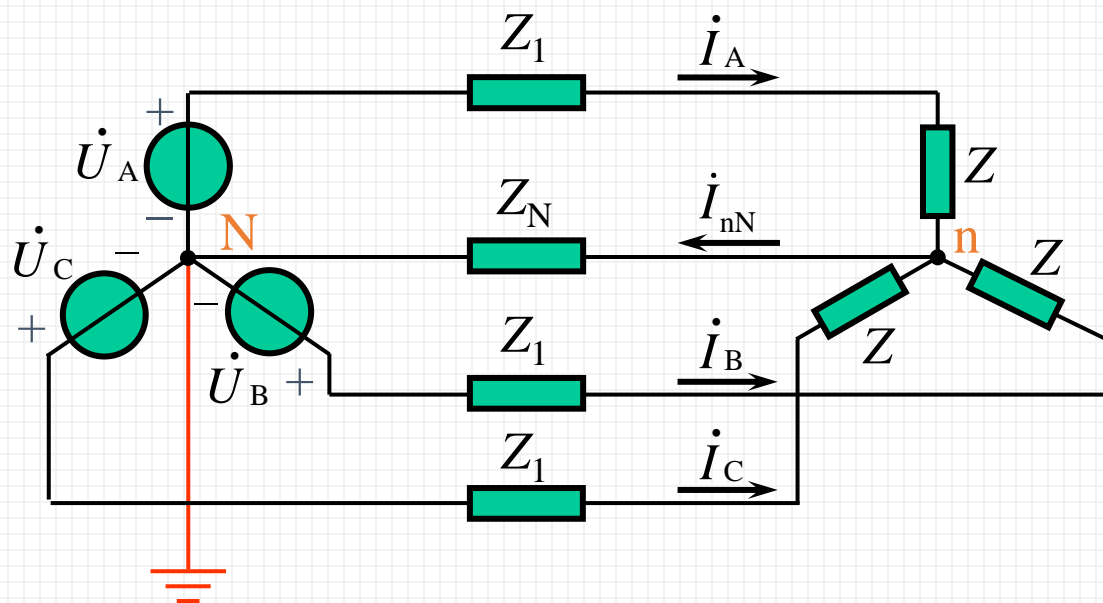
三相制优点：见课后推送的补充材料

对称三相电路：由对称三相电源和对称三相负载联接而成

对称三相负载：三相负载阻抗模相等，阻抗角相同

不对称 { 电源不对称 — 程度小 (由系统保证)
负载不对称 — 情况很多

2 对称三相电路的分析

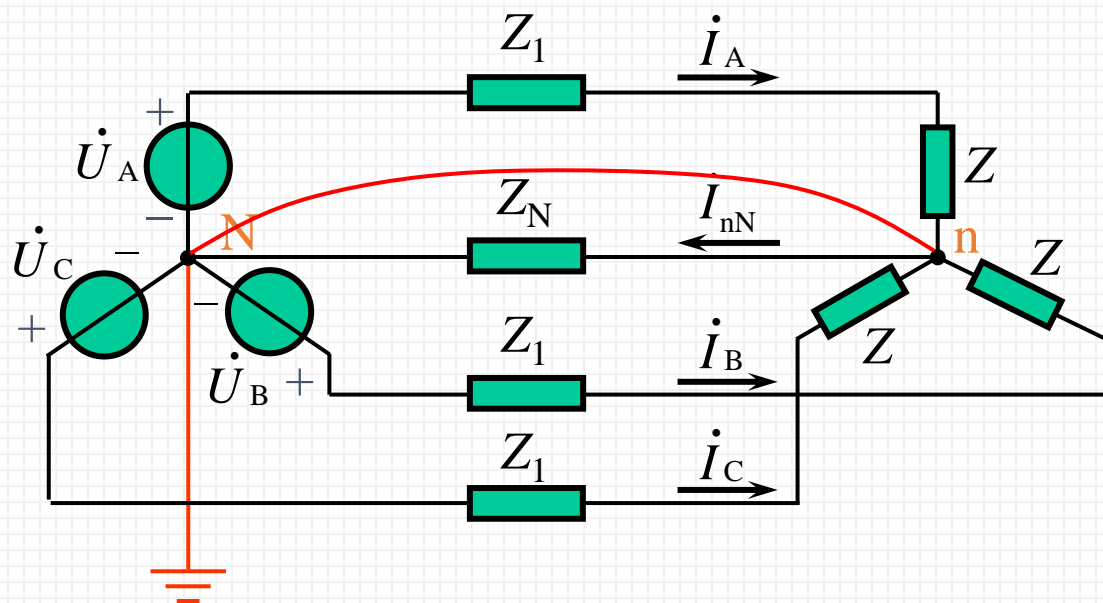


设: $\dot{U}_A = U \angle 0^\circ$
 $\dot{U}_B = U \angle -120^\circ$
 $\dot{U}_C = U \angle +120^\circ$

$$\left(\frac{3}{Z + Z_1} + \frac{1}{Z_N} \right) \dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C}{Z + Z_1} = 0$$

$$\Rightarrow \dot{U}_{nN} = 0$$

2 对称三相电路的分析



设: $\dot{U}_A = U \angle 0^\circ$
 $\dot{U}_B = U \angle -120^\circ$
 $\dot{U}_C = U \angle +120^\circ$

$$\left(\frac{3}{Z + Z_1} + \frac{1}{Z_N} \right) \dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C}{Z + Z_1} = 0$$

$$\rightarrow \dot{U}_{nN} = 0$$

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z + Z_1} \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z + Z_1} \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z + Z_1}$$

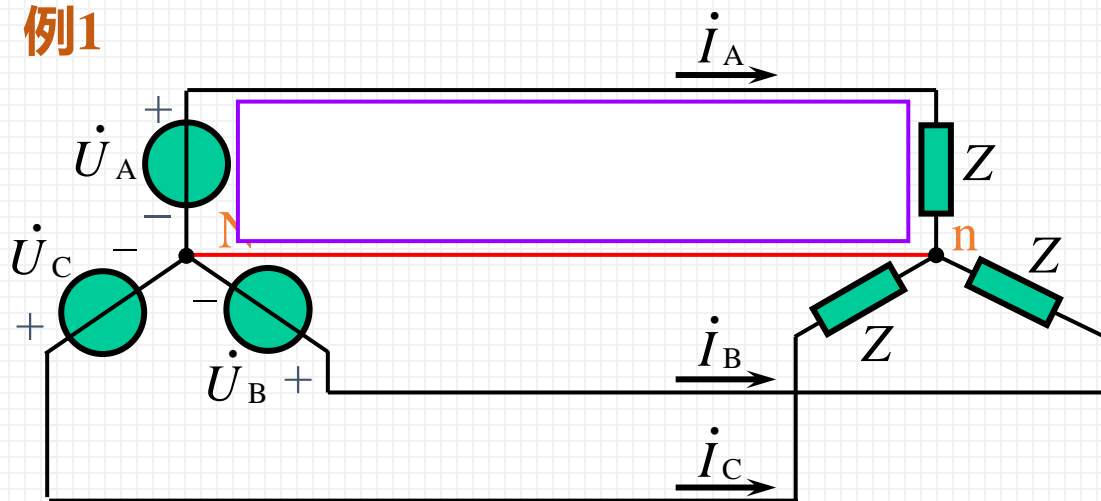
电源中点与负载中点等电位

(1) 三个单相可单独计算

(2) \dot{I}_A , \dot{I}_B , \dot{I}_C 对称

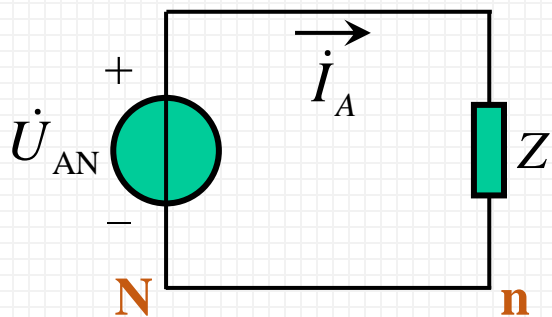
因此可只抽A相计算抽单相

例1



已知对称三相电源的
线电压为380V，对称
负载 $Z = 100\angle 30^\circ \Omega$
求线电流。

解： 连接中线 **N-n**，取A相为例计算



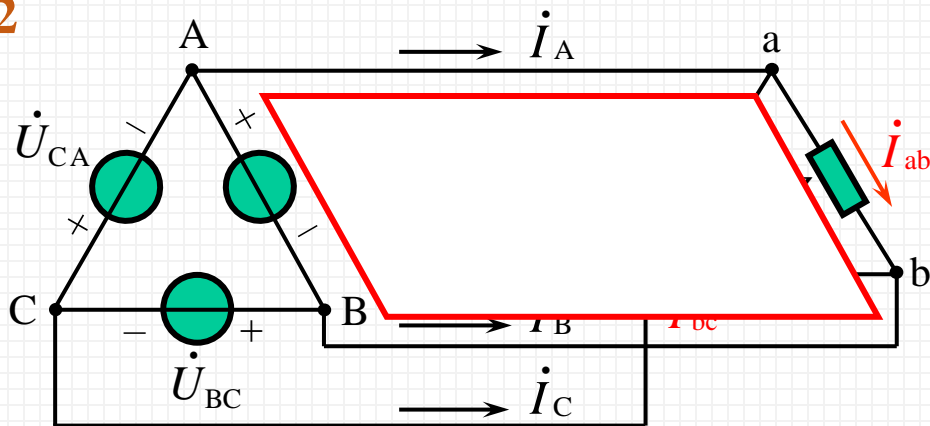
设 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ \text{ V}$ 则 $\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{ V}$

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z} = \frac{220\angle 0^\circ}{100\angle 30^\circ} = 2.2\angle -30^\circ \text{ A}$$

由对称性，得

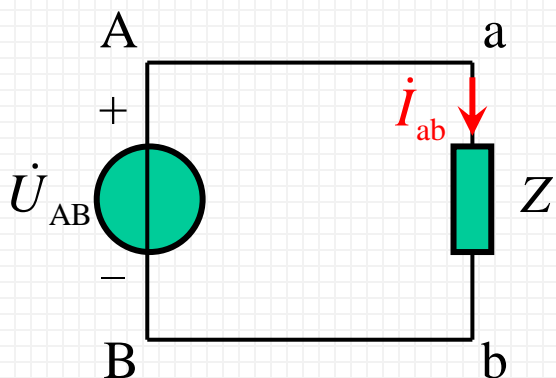
$$\begin{cases} \dot{I}_B = 2.2\angle -150^\circ \text{ A} \\ \dot{I}_C = 2.2\angle 90^\circ \text{ A} \end{cases}$$

例2



已知对称三相电源的
线电压为380V，对称
负载 $Z = 100\angle 30^\circ \Omega$
求线电流。

解1 取A相求相电流 \dot{I}_{ab} 设 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{ V}$



$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z} = \frac{380\angle 0^\circ}{100\angle 30^\circ} = 3.8\angle -30^\circ \text{ A}$$

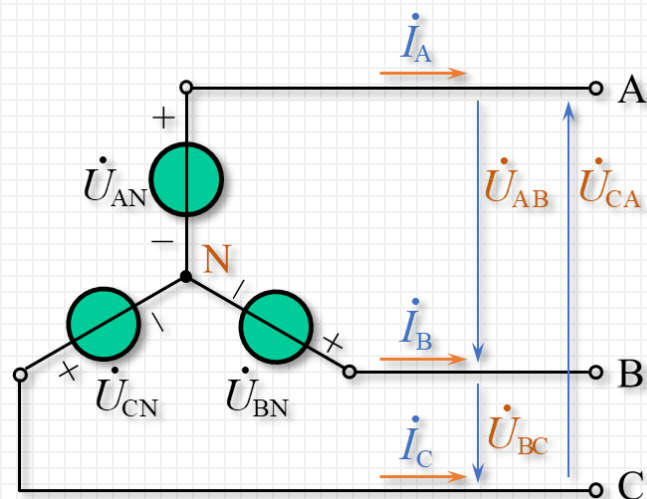
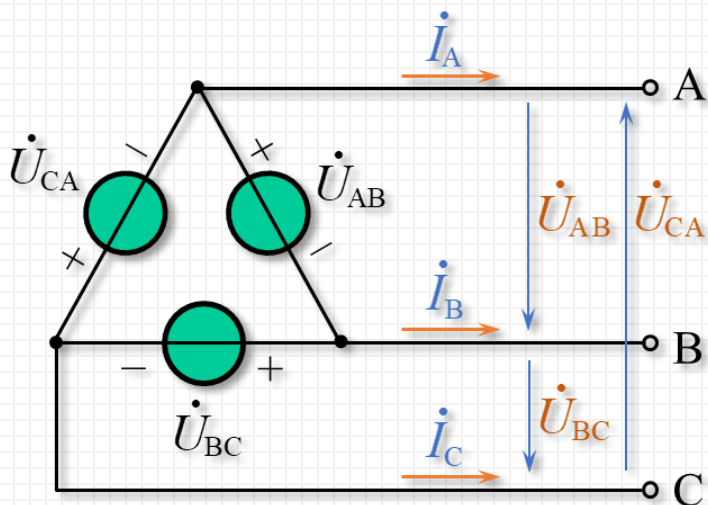
$$\dot{I}_A = \sqrt{3} \times 3.8\angle -30^\circ - 30^\circ = 6.58\angle -60^\circ \text{ A}$$

由对称性，得

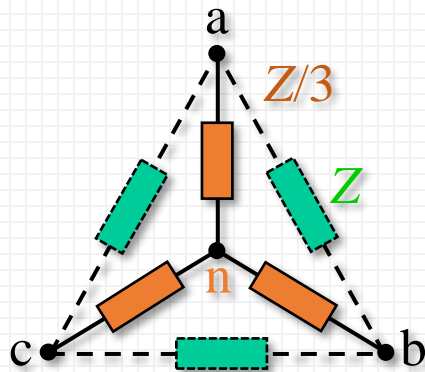
$$\begin{cases} \dot{I}_B = 6.58\angle -180^\circ = -6.58 \text{ A} \\ \dot{I}_C = 6.58\angle 60^\circ \text{ A} \end{cases}$$

解2 化为Y - Y

将 Δ 接电源用Y接电源替代，保证其线电压相等



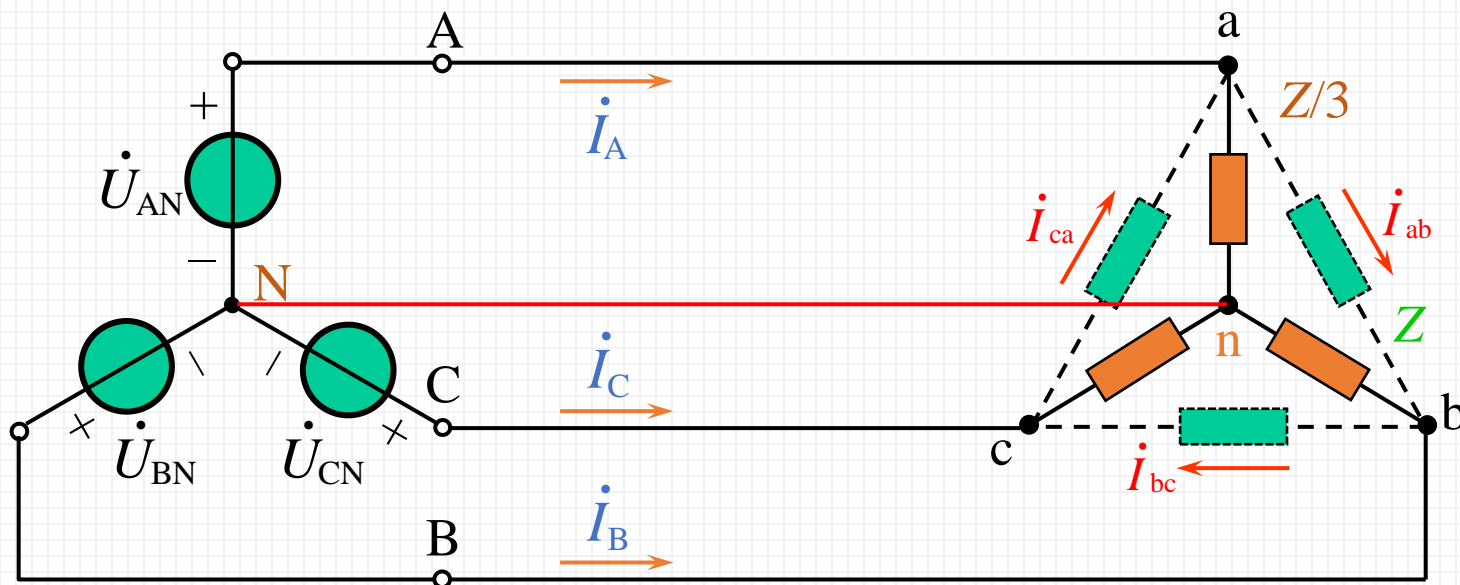
将负载 Δ - Y变换



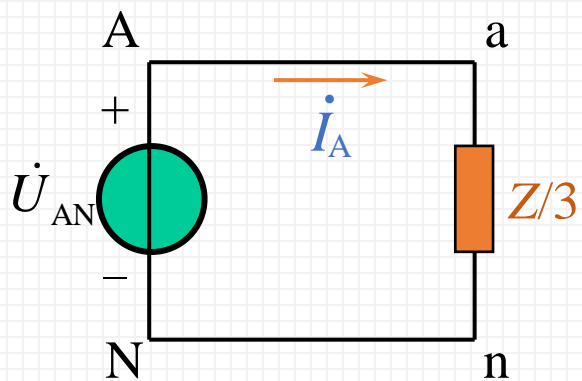
$$\dot{U}_{AN} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{AB} \angle -30^\circ$$

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

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



解：连接中线N-n，取A相为例计算

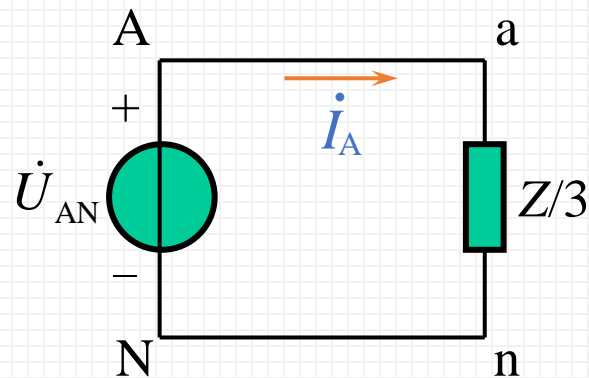
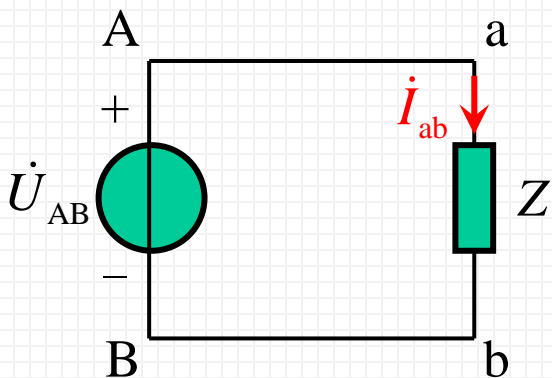
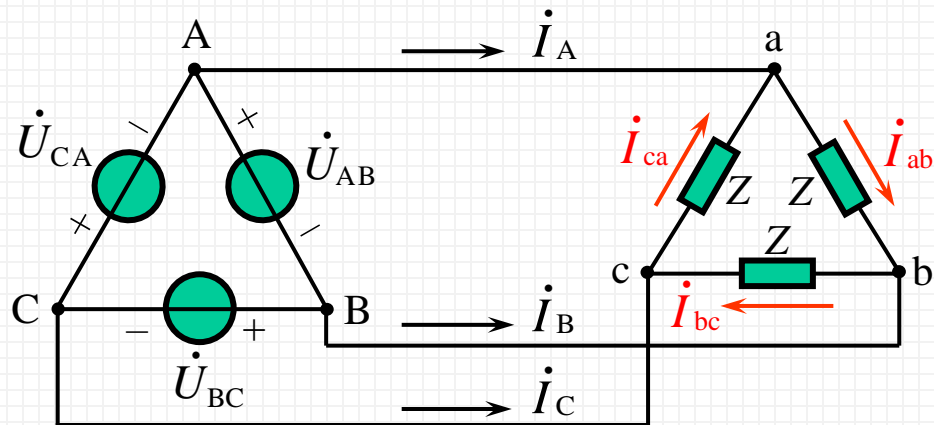


$$\text{设 } \dot{U}_{AB} = 380 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\text{则 } \dot{U}_{AN} = 220 \angle -30^\circ \text{ V}$$

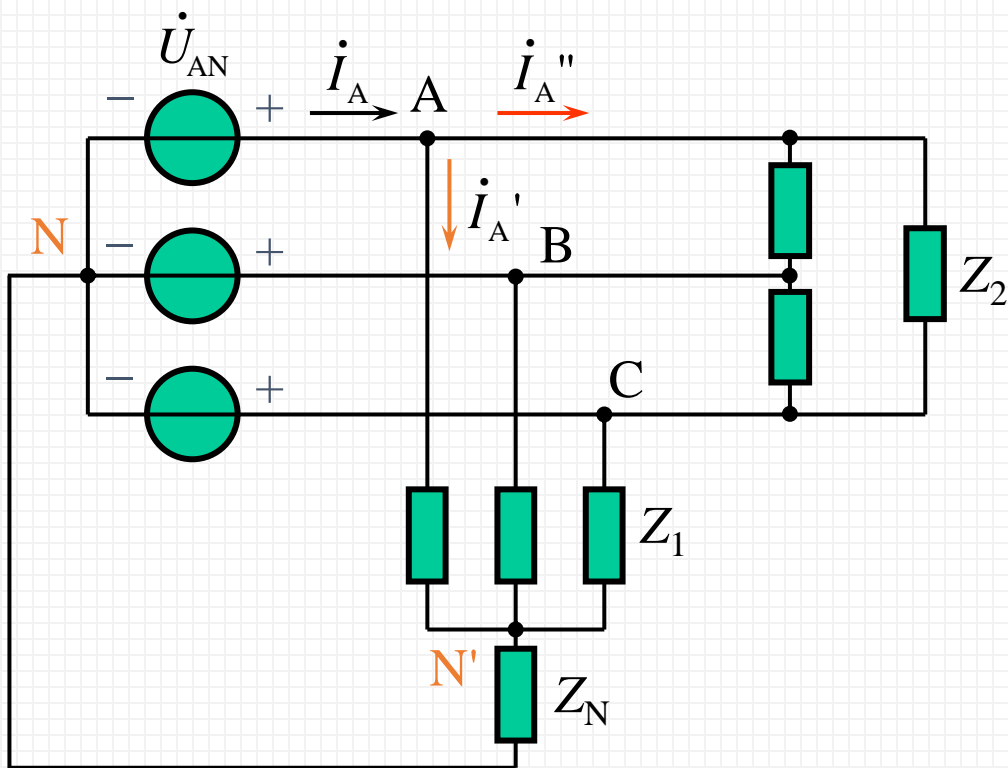
$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z/3} = \frac{220 \angle -30^\circ}{100 \angle 30^\circ / 3} = 6.6 \angle -60^\circ \text{ A}$$

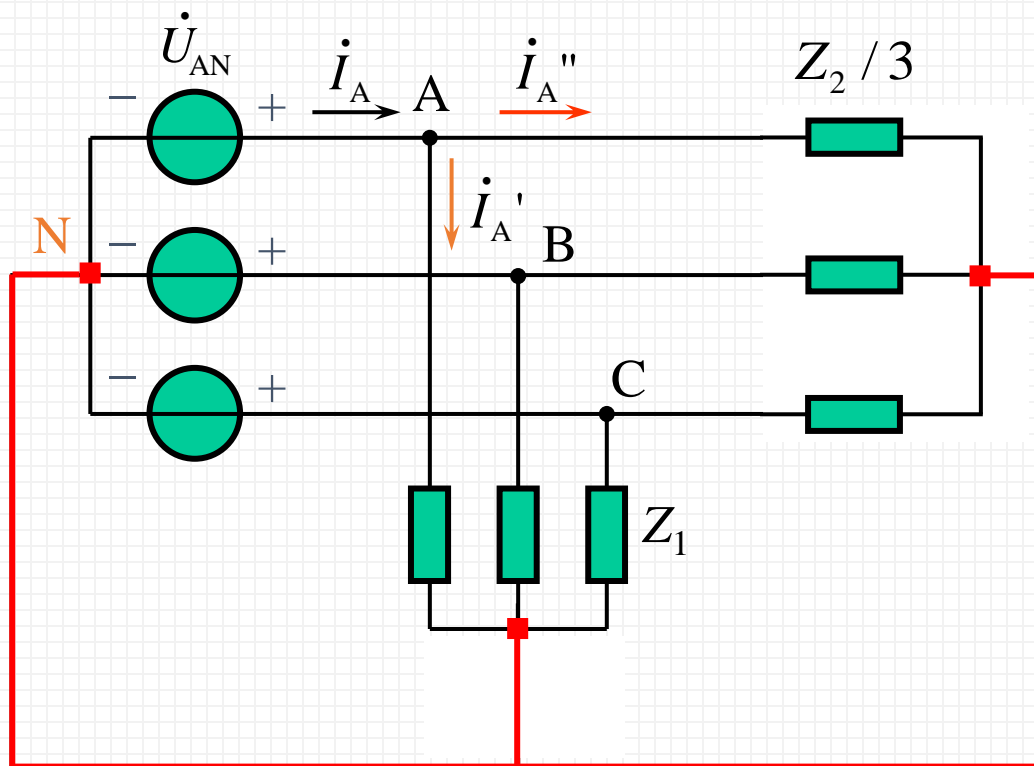
$$\text{由对称性, 得 } \begin{cases} \dot{I}_B = 6.6 \angle -180^\circ = -6.6 \text{ A} \\ \dot{I}_C = 6.6 \angle 60^\circ \text{ A} \end{cases}$$



哪种方法好？为什么？

例3 如图对称三相电路，电源线电压为380V， $|Z_1|=10\Omega$ ， $\cos\varphi_1=0.6$ (滞后)， $Z_2=-j50\Omega$ ， $Z_N=1+j2\Omega$ 。求 \dot{I}_A



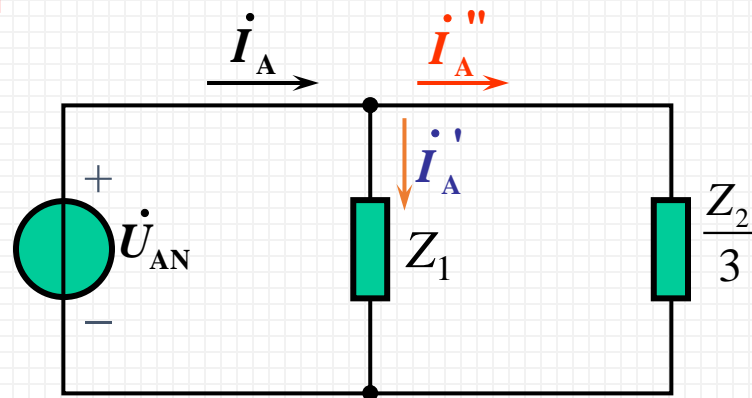


负载进行 Δ —Y变换

短路中线阻抗 Z_n

连接电源和负载中点

画A相计算电路



设 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ \text{ V}$
 $\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{ V}$
 $\dot{I}_A = 13.9\angle -18.4^\circ \text{ A}$

其余课后计算



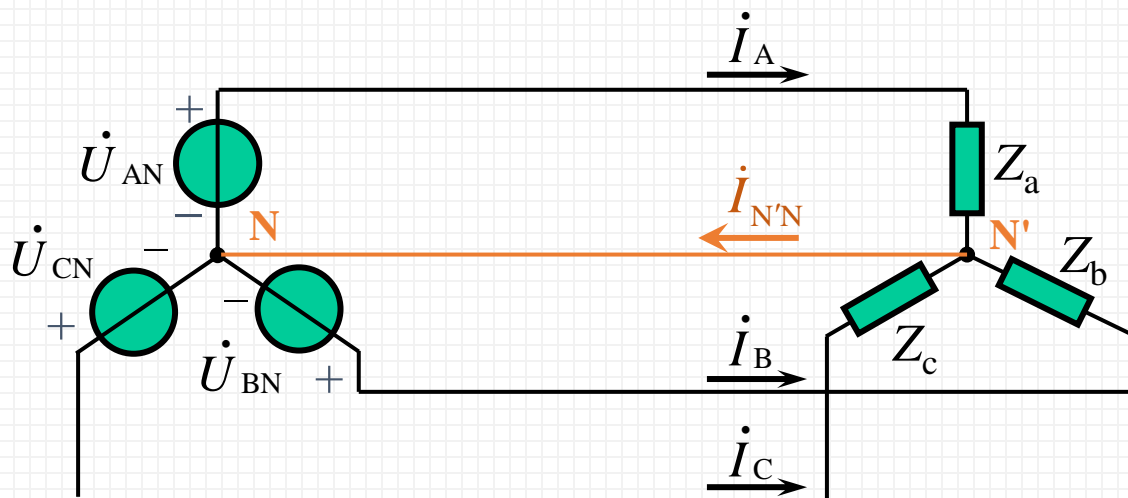
对称三相电路的一般计算方法

- 1) 将所有三相电源、负载都化为等值 Y 连接;
- 2) 连接各负载和电源中点, 中线上若有阻抗则不计;
- 3) 画出 A 相计算电路, 求出 A 相的电压、电流;
- 4) 根据 Δ 接、 Y 接时线量、相量之间的关系和对称性, 求出原电路其他相的电流、电压。



3、不对称三相电路分析简介

(1) 有中线



1) 负载上的相电压仍为对称三相电压;

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_a} \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_{BN}}{Z_b} \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{CN}}{Z_c}$$

各相可分别计算

2) 由于三相负载不对称, 则三相电流不对称;

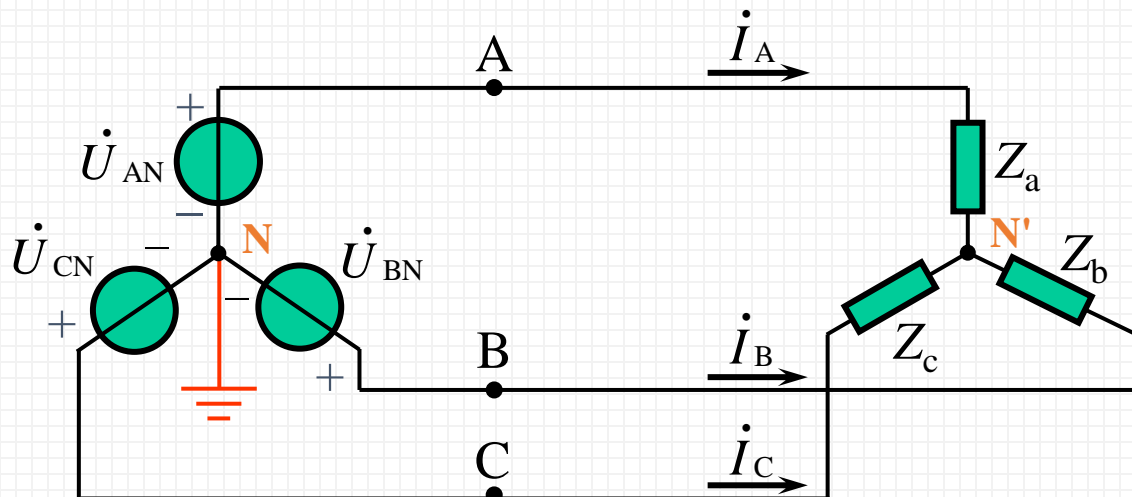
$$\dot{I}_{N'N} = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_a} + \frac{\dot{U}_{BN}}{Z_b} + \frac{\dot{U}_{CN}}{Z_c} \neq 0$$

不能只抽A相

3) 中线电流一般不为零。



(2) 无中线 三相负载 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 不相同。



无法分别计算各相

节点电压法

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

负载各相电压：

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

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

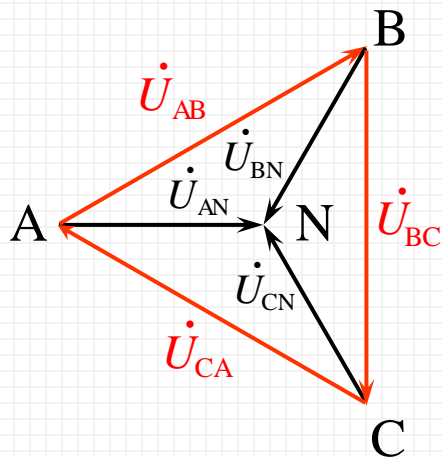
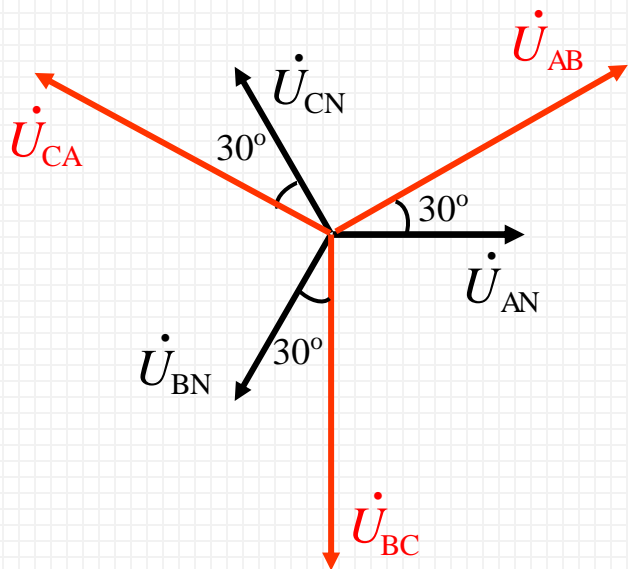
$$\dot{U}_{CN'} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{N'N}$$

相电压不对称

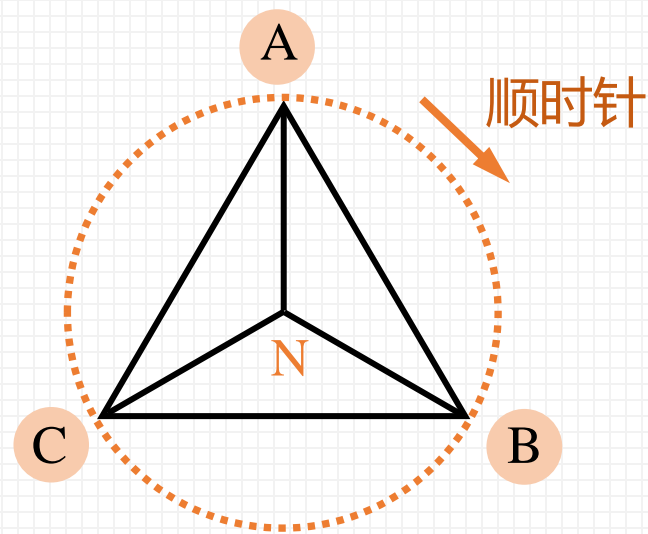
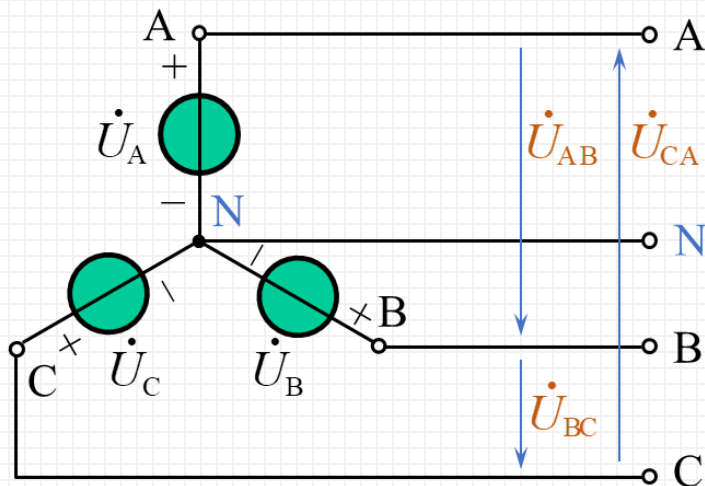
线(相)电流也不对称



相量图 以N为参考点，图中各点的电位由该点与N点的距离决定

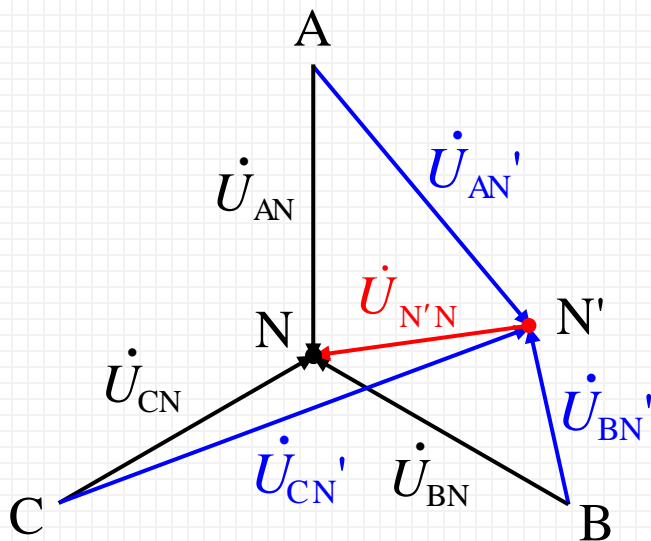
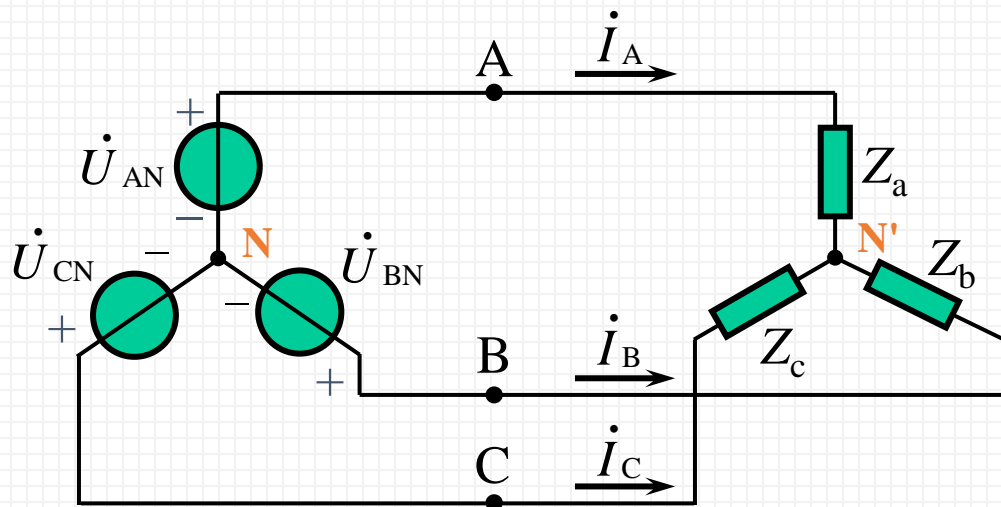


位形图：用图形方式表示电位的相量图





有的用户电压高
有的用户电压低



$$\dot{U}_{N'N} \neq 0$$

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

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

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

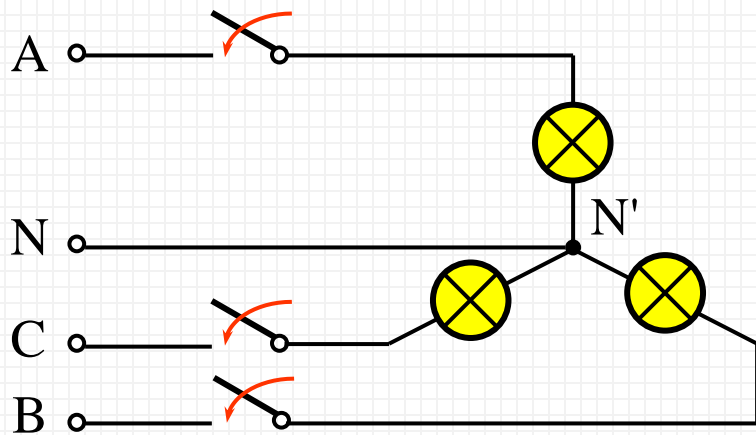
负载中点与电源中点不重合，这个现象称为**中(性)点位移**。

$\dot{U}_{N'N}$ 称为中(性)点位移电压

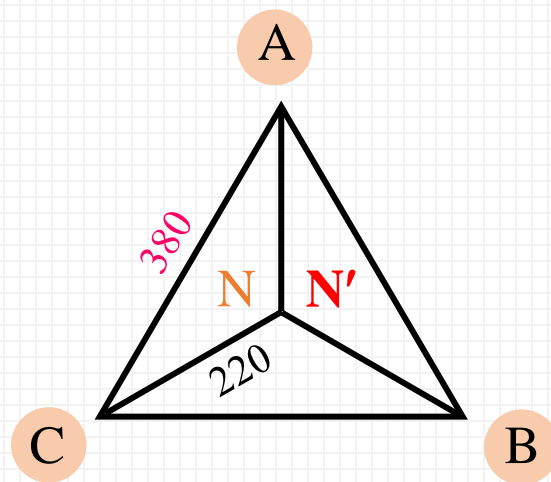


例1 照明电路。

(1) 正常情况下，三相四线制，中线阻抗为零。



位形图

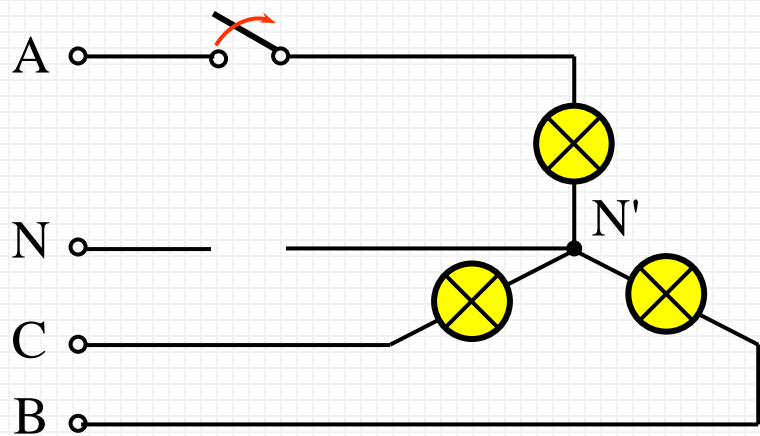


N' 在哪里?

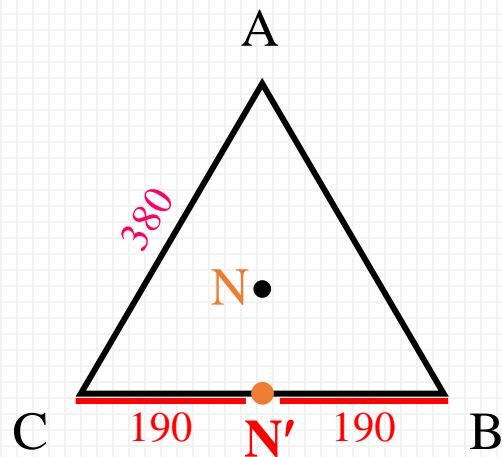


(2) 假设**中线断了**(三相三线制), A相电灯没有接入电路(三相不对称)

位形图



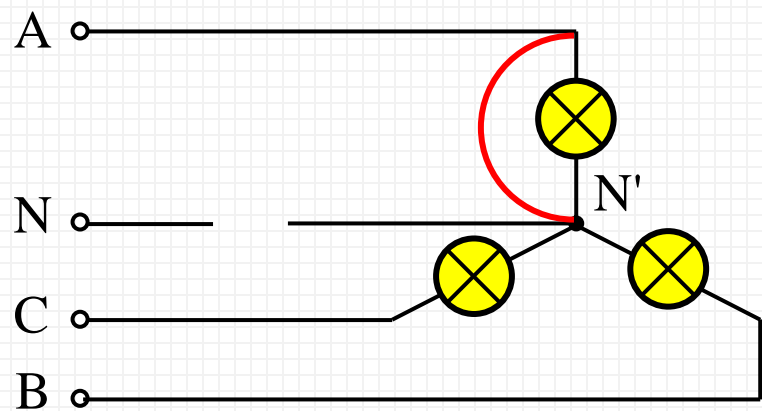
灯泡未在额定电压下工作, 灯光昏暗。



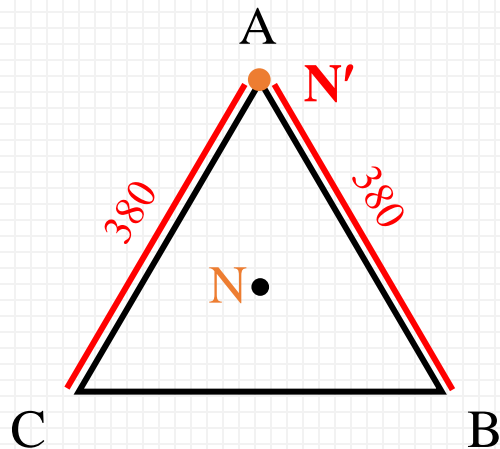
N' 在哪里?



(3) 中线断了且A相短路

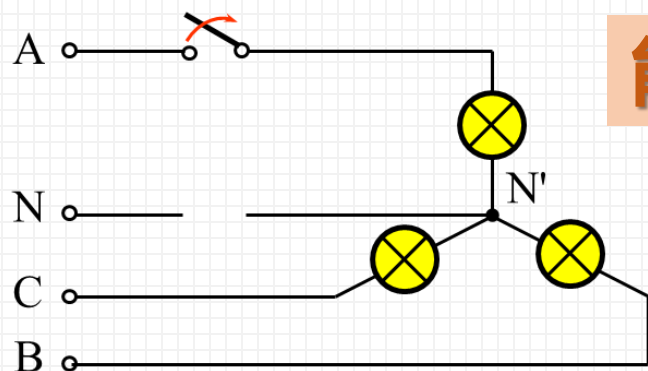
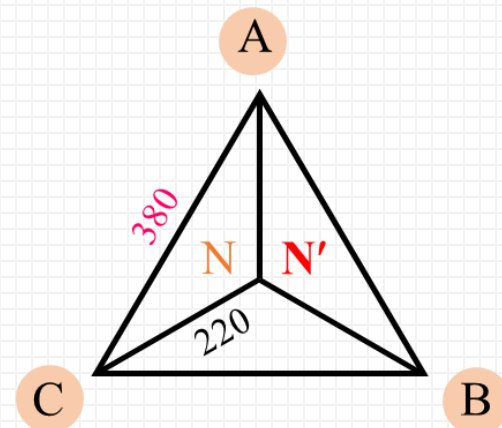
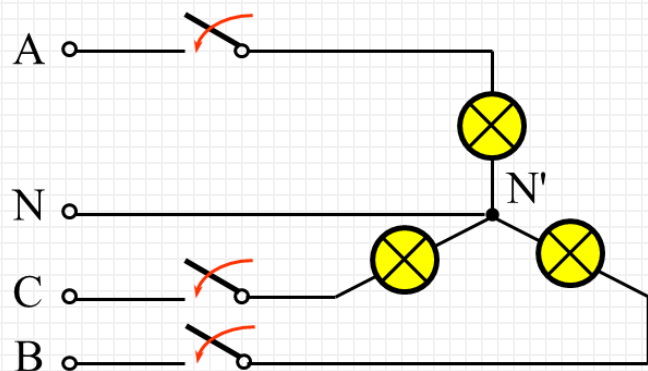


位形图

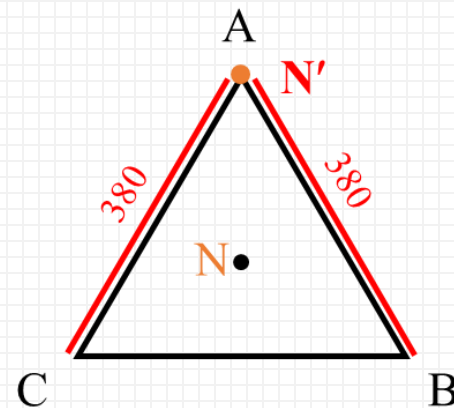
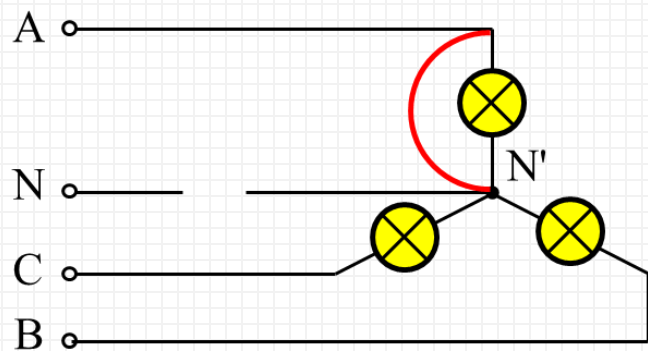
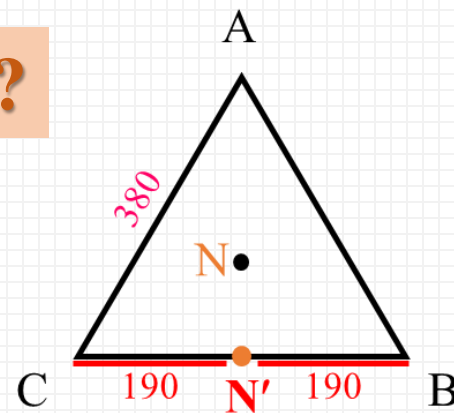


灯泡电压超过额定工作电压，烧坏了。

N' 在哪里？



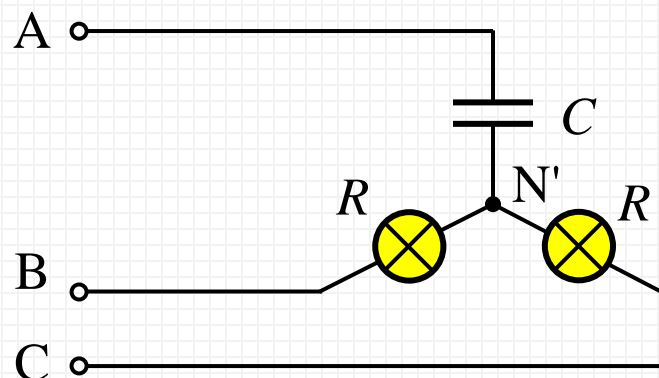
能得出什么结论?





例2 已知 $1/(\omega C)=R$, 三相电源对称。

求：灯泡承受的电压。



解

设 $\dot{U}_{AN} = U \angle 0^\circ \text{V}$, $\dot{U}_{BN} = U \angle -120^\circ \text{V}$, $\dot{U}_{CN} = U \angle 120^\circ \text{V}$

$$\dot{U}_{N'N} = \frac{j\omega C \dot{U}_{AN} + \dot{U}_{BN}/R + \dot{U}_{CN}/R}{j\omega C + 1/R + 1/R} = \frac{j\dot{U}_{AN} + \dot{U}_{BN} + \dot{U}_{CN}}{2 + j1} \rightarrow -\dot{U}_{AN}$$

$$= \frac{(-1 + j)\dot{U}_{AN}}{2 + j1} = 0.632 \angle 108.4^\circ \dot{U}_{AN} = 0.632U \angle 108.4^\circ \text{V}$$

$$\dot{U}_{BN'} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{N'N} = U \angle -120^\circ - 0.632U \angle 108.4^\circ = 1.5U \angle -101.5^\circ \text{V}$$

$$\dot{U}_{CN'} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{N'N} = U \angle 120^\circ - 0.632U \angle 108.4^\circ = 0.4U \angle 138.4^\circ \text{V}$$

假设灯泡承载 $1.5U$ 电压不会坏这个电路什么实际应用功能？

4、三相电路的功率

(1) 对称三相电路的平均功率

一相负载的功率: $P_p = U_p I_p \cos \varphi_p$ phase

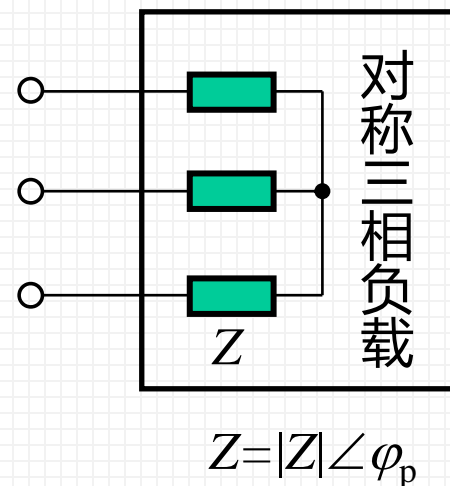
三相总功率: $P_3 = 3P_p = 3U_p I_p \cos \varphi_p$

Y接: $U_L = \sqrt{3}U_p, I_L = I_p$ line

$$P_3 = 3 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} U_L I_L \cos \varphi_p = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_p$$

Δ 接: $U_L = U_p, I_L = \sqrt{3}I_p$

$$P_3 = 3U_L \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} I_L \cos \varphi_p = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_p$$



注意: φ_p 为相电压与相电流的相位差角 (Y接负载单相阻抗角)。



(2) 对称三相电路的无功功率

$$Q_3 = 3U_P I_P \sin \varphi_P = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi_P$$

(3) 对称三相电路的复功率

$$\bar{S}_3 = 3\dot{U}_P \dot{I}_P^*$$

(4) 对称三相电路的瞬时功率

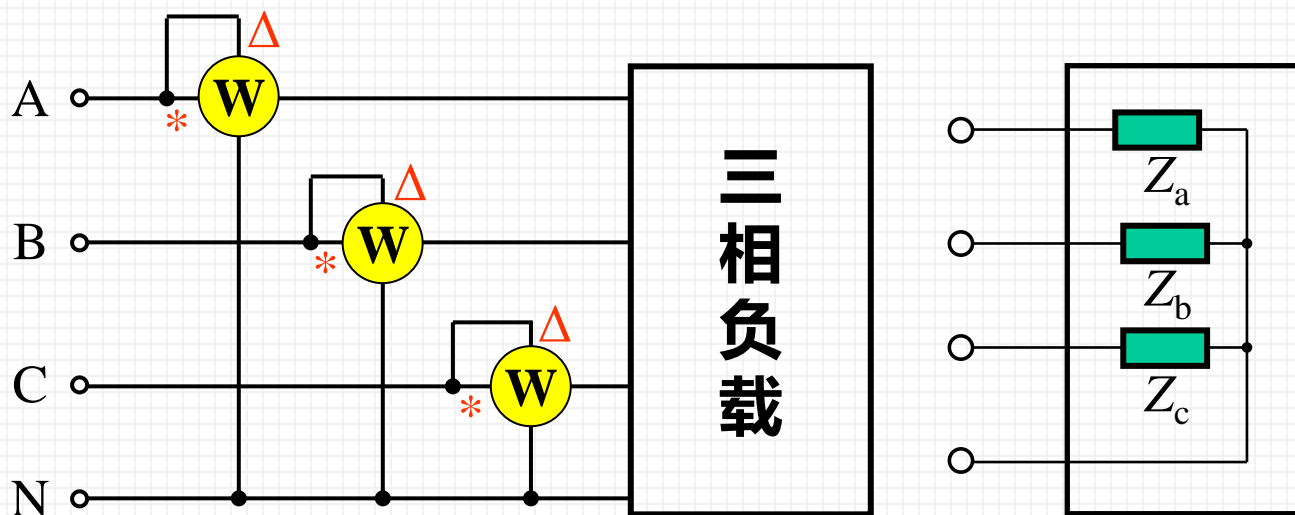
$$p = p_A + p_B + p_C = 3U_p I_p \cos \varphi_p = P$$

(5) 三相电路功率的测量 (可以不对称)

(a) 三表法:

$$P_{\text{总}} = P_A + P_B + P_C$$

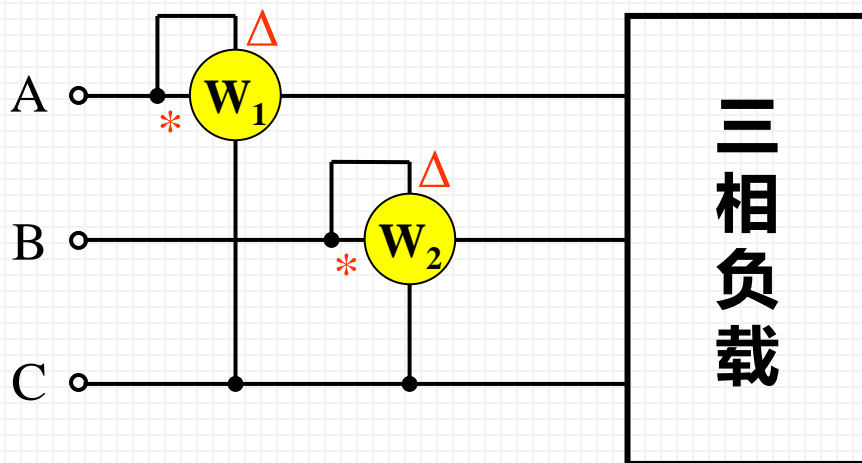
适用于
三相四线制



若负载对称, 则需一块表, 读数乘以 3。

(b) 二表法:

如果是三相三线制怎么办?



若 W_1 的读数为 P_1 , W_2 的读数为 P_2 ,

则 $P_{\text{总}} = P_1 + P_2$ 即为三相总功率。



证明：(设负载为Y接)

$$p_{\text{总}} = u_{AN} i_A + u_{BN} i_B + u_{CN} i_C$$

$$i_C = -(i_A + i_B)$$

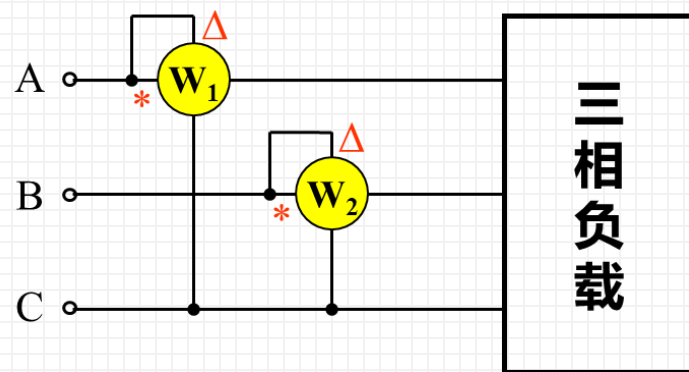
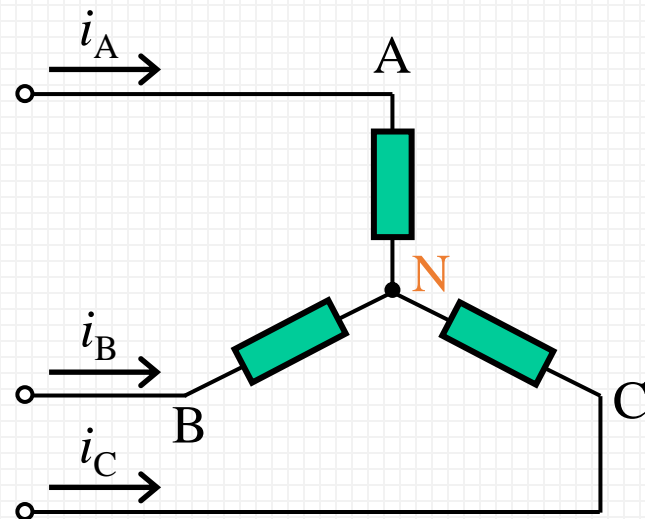
$$p_{\text{总}} = (u_{AN} - u_{CN}) i_A + (u_{BN} - u_{CN}) i_B$$

$$= u_{AC} i_A + u_{BC} i_B$$

$$P_{\text{总}} = U_{AC} I_A \cos \varphi_1 + U_{BC} I_B \cos \varphi_2$$

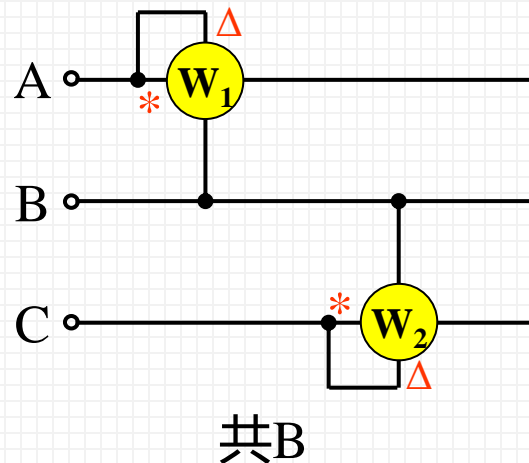
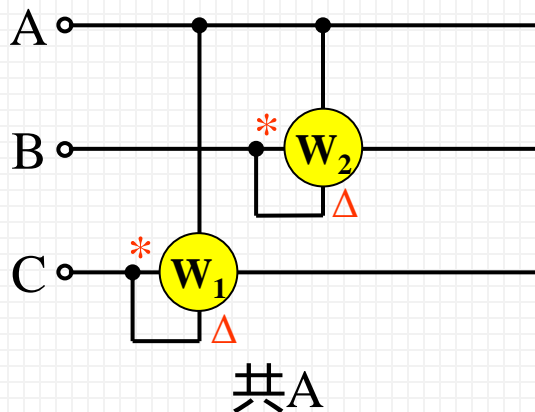
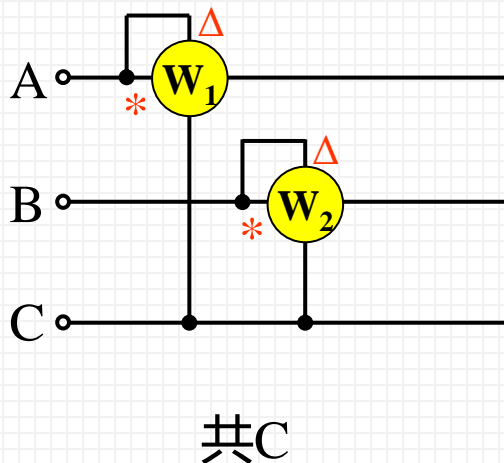
φ_1 : u_{AC} 领先 i_A 的相位角,

φ_2 : u_{BC} 领先 i_B 的相位角。



注意：

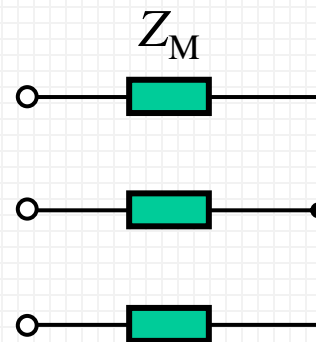
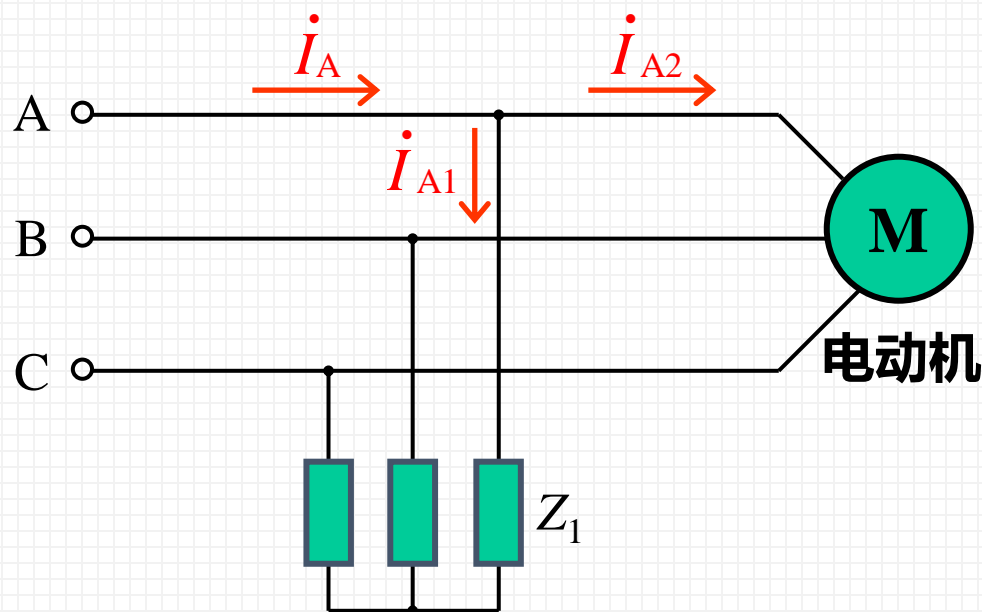
1. 只有在 $i_A + i_B + i_C = 0$ 这个条件下，才能用二表法。二表法不能用于不对称三相四线制，但对称三相四线制可用。
2. 两块表读数的代数和为三相总功率，单块表的单独读数无意义。
3. 按正确极性接线时，二表中可能有一个表的读数为负。
4. 两表法测三相功率的接线方式有三种。



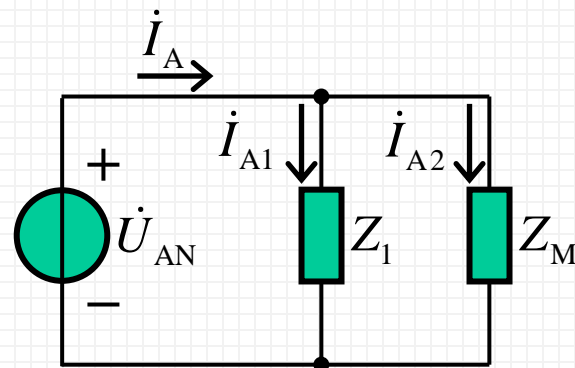
例： $U_L=380\text{V}$, $Z_1=30+j40\Omega$, 电动机 $P_M=1700\text{W}$, $\cos\varphi=0.8$ (滞后)。

求：(1) 线电流和电源发出总功率；

(2) 用两表法测电动机负载的功率，画接线图，求两表读数。



一相电路：



$U_L = 380\text{V}$, $Z_1 = 30 + j40\Omega$, 电动机 $P_M = 1700\text{W}$, $\cos\varphi = 0.8$ (滞后)。

解

(1) 设 $\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{ V}$

$$\dot{I}_{A1} = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_1} = \frac{220\angle 0^\circ}{30 + j40} = 4.41\angle -53.1^\circ \text{ A}$$

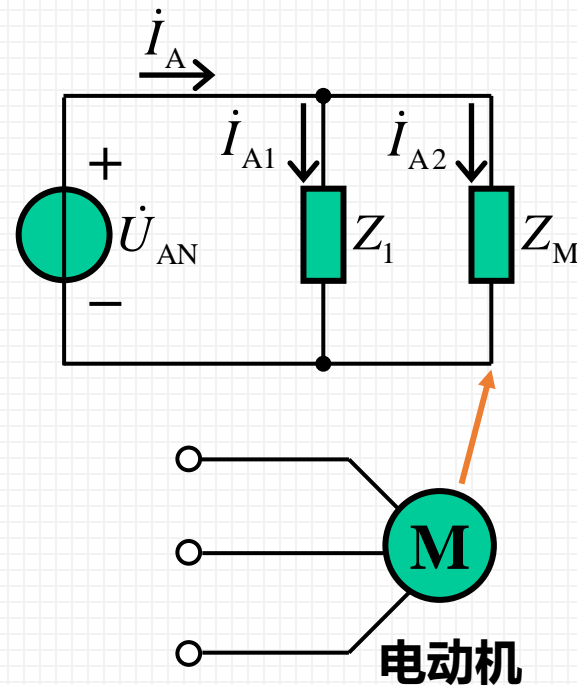
电动机负载:

$$P_M = \sqrt{3}U_L I_{A2} \cos\varphi = 1700\text{W}$$

$$I_{A2} = \frac{P_M}{\sqrt{3}U_L \cos\varphi} = \frac{P_M}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} = 3.23\text{A}$$

$$\cos\varphi = 0.8(\text{滞后}), \quad \varphi = 36.9^\circ \longrightarrow$$

$$\dot{I}_{A2} = 3.23\angle -36.9^\circ \text{ A}$$



Y接模型单相阻抗角

A相电压电流相位差



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

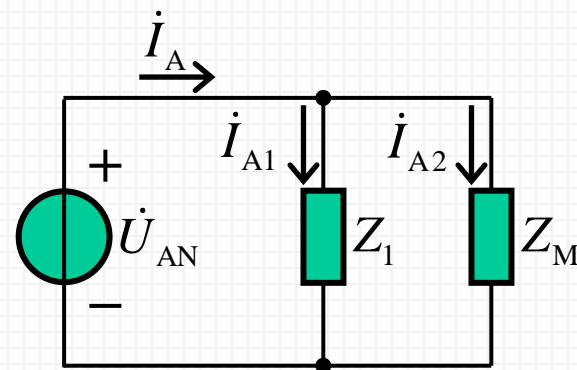
$$\dot{I}_{A1} = 4.41\angle -53.1^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{A2} = 3.23\angle -36.9^\circ \text{ A}$$

总电流:

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} \\ &= 4.41\angle -53.1^\circ + 3.23\angle -36.9^\circ = 7.56\angle -46.2^\circ \text{ A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{总}} &= \sqrt{3}U_L I_A \cos \varphi_{P_{\text{总}}} & \varphi_{P_{\text{总}}} &= \psi_{\dot{U}_{AN}} - \psi_{\dot{I}_A} = 46.2^\circ \\ &= \sqrt{3} \times 380 \times 7.56 \times \cos 46.2^\circ = 3.44 \text{ kW}\end{aligned}$$



(2) 两表的接法如图。

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

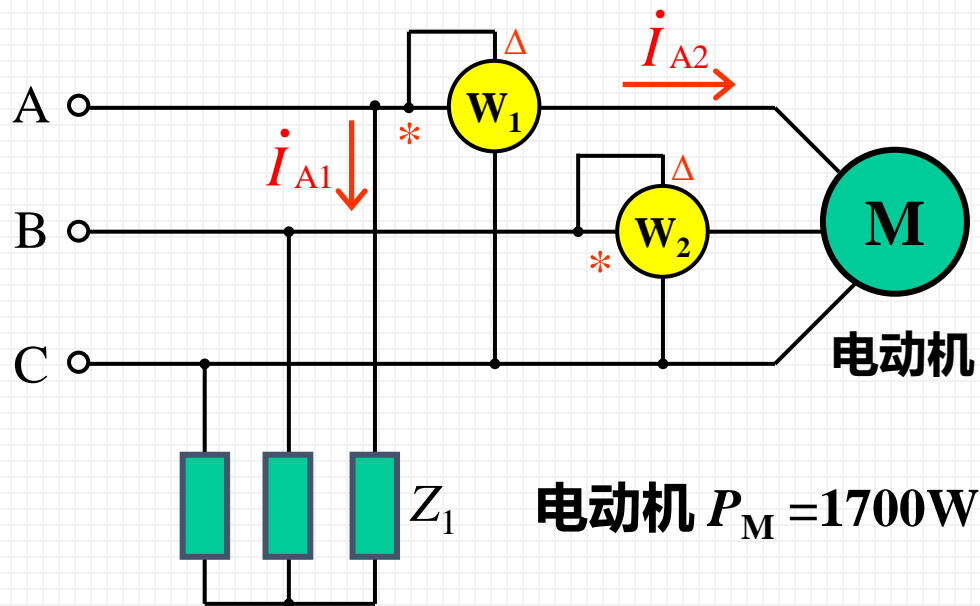
$$\dot{I}_{A2} = 3.23\angle -36.9^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{B2} = 3.23\angle -156.9^\circ \text{ A}$$

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

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AC} &= -\dot{U}_{CA} = -380\angle 150^\circ \text{ V} \\ &= 380\angle -30^\circ \text{ V}\end{aligned}$$

$$\dot{U}_{BC} = 380\angle -90^\circ \text{ V}$$



(2) 两表的接法如图。

$$\dot{I}_{A2} = 3.23 \angle -36.9^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{B2} = 3.23 \angle -156.9^\circ \text{ A}$$

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

$$\dot{U}_{AC} = -\dot{U}_{CA} = 380 \angle -30^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_{BC} = 380 \angle -90^\circ \text{ V}$$

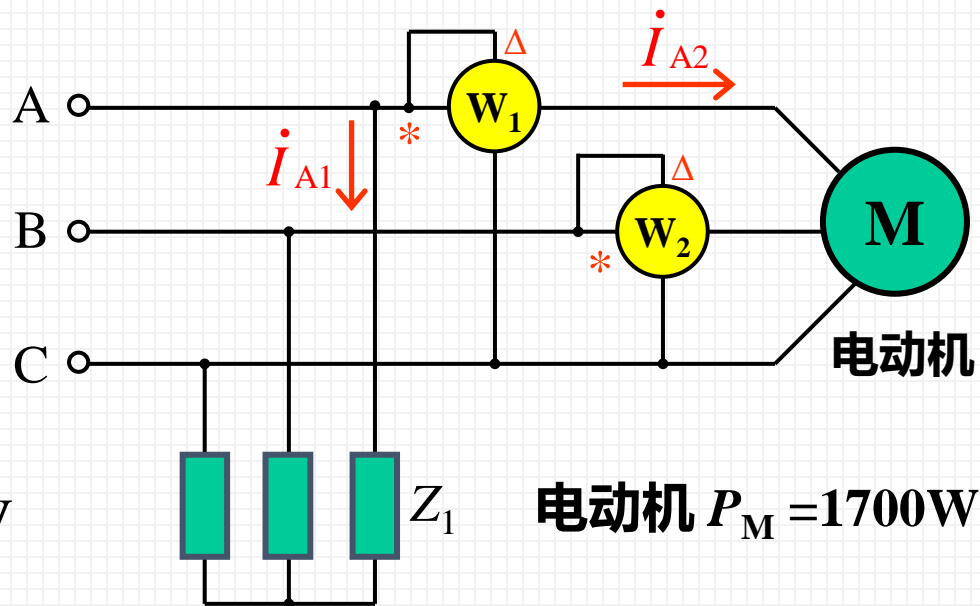


表 W_1 的读数: $P_1 = U_{AC} I_{A2} \cos \varphi_1 = 380 \times 3.23 \cos(-30^\circ + 36.9^\circ)$

$$= 380 \times 3.23 \cos(6.9^\circ) = 1219 \text{ W}$$

1700W

表 W_2 的读数: $P_2 = U_{BC} I_{B2} \cos \varphi_2 = 380 \times 3.23 \cos(-90^\circ + 156.9^\circ)$

$$= 380 \times 3.23 \cos(66.9^\circ) = 481 \text{ W}$$