

第五章

三相交流电路



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

电工基础教研室

电工
电子学

2020/12/14

本章内容

一. 三相电源

二. 负载星形连接的三相电路

三. 负载三角形连接的三相电路

四. 三相功率

本章重点

- 三相交流电路线、相电流和电压的关系。
- 三相负载电流、电压及功率的计算。



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

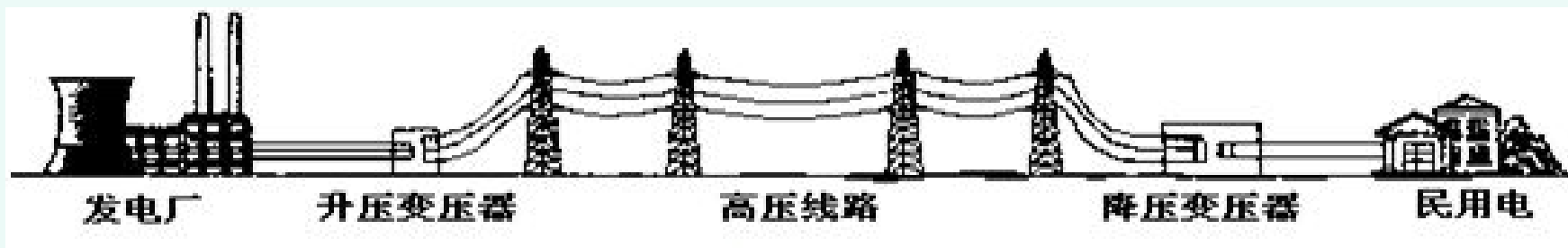
概述

1.什么是三相制？

由三相对称电动势构成的供电系统称为三相制。

2.三相制的优点

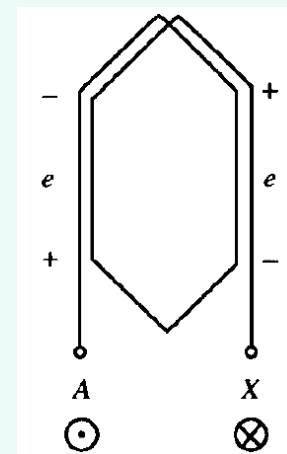
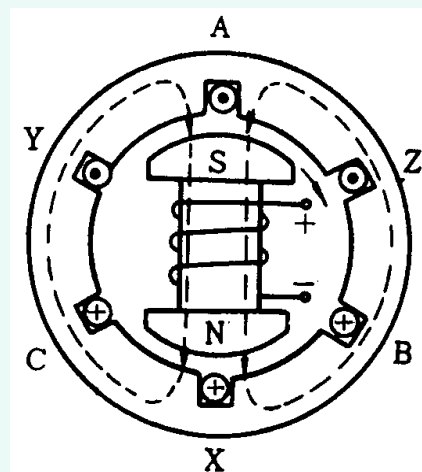
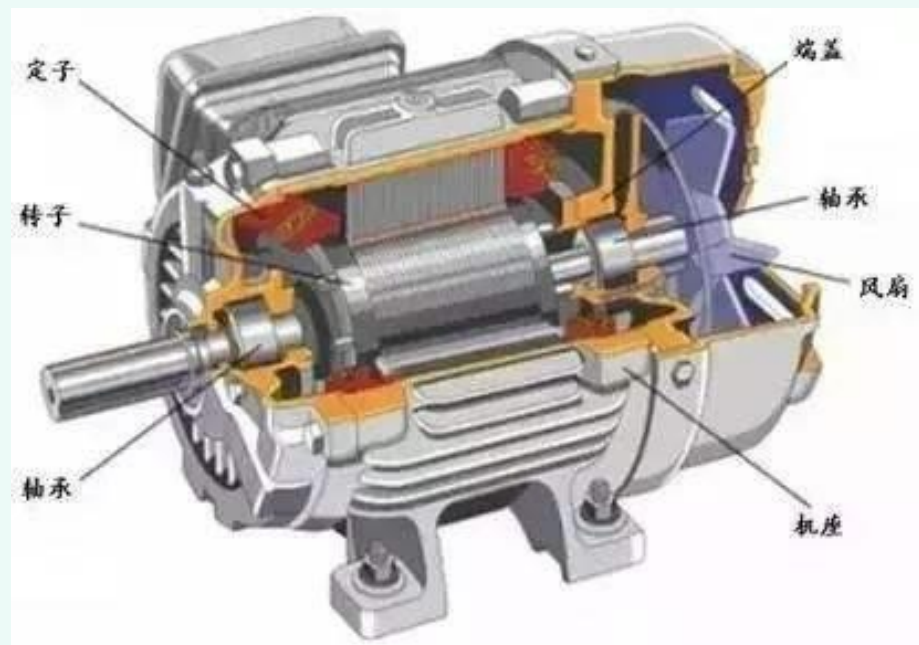
- (1) 同样的结构尺寸，三相发电机发电功率大
- (2) 输电更经济
- (3) 三相电动机结构简单，运行性能好。



§ 5.1 三相电源

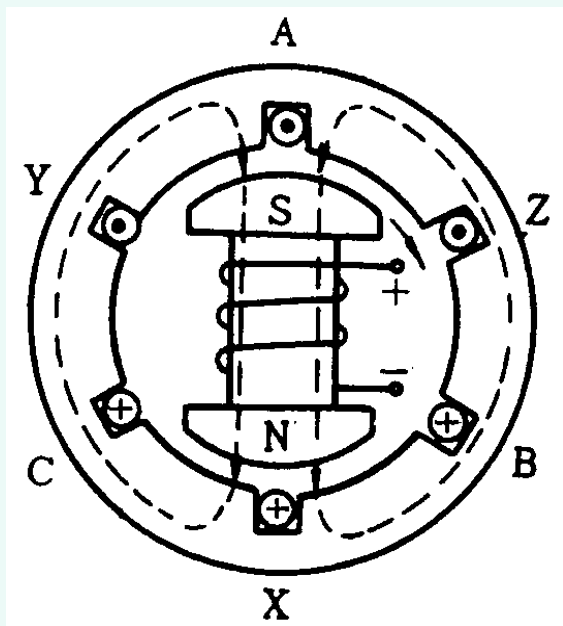
一、三相对称电动势的产生

1. 三相发电机的结构

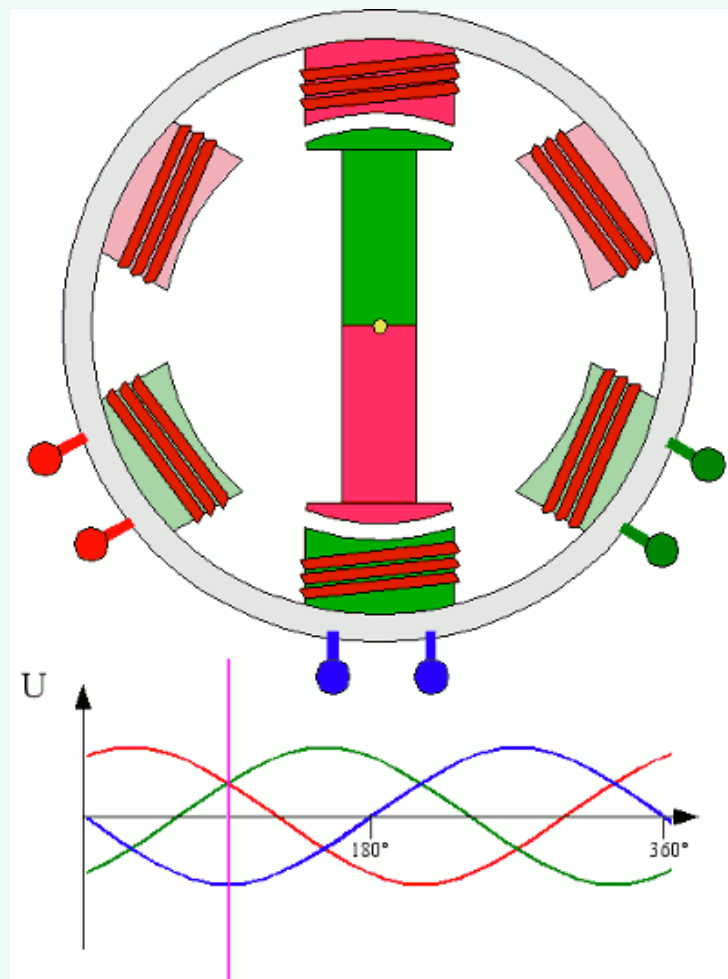


一、三相对称电动势的产生

2. 三相发电机的工作原理

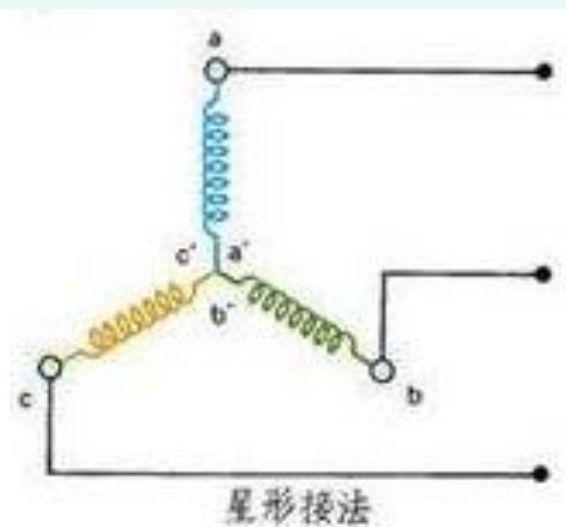
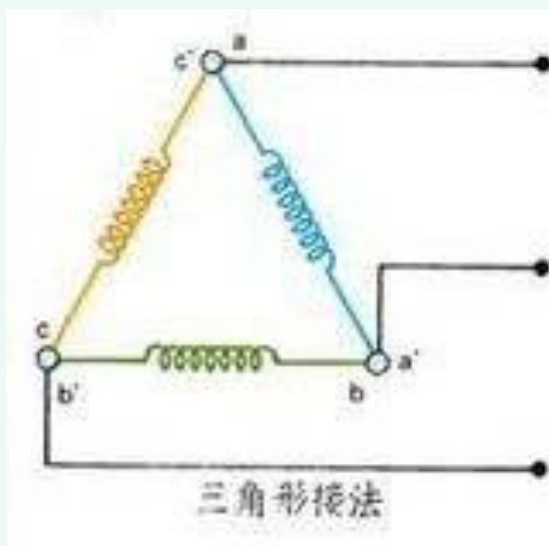
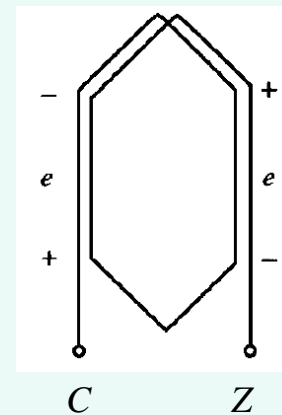
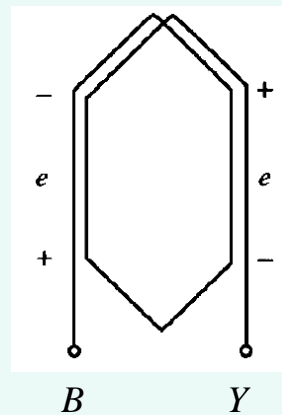
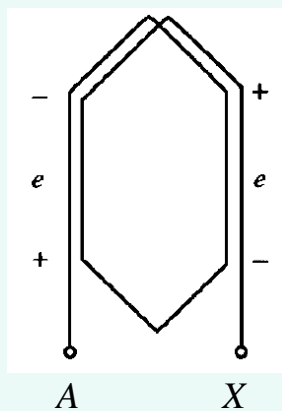
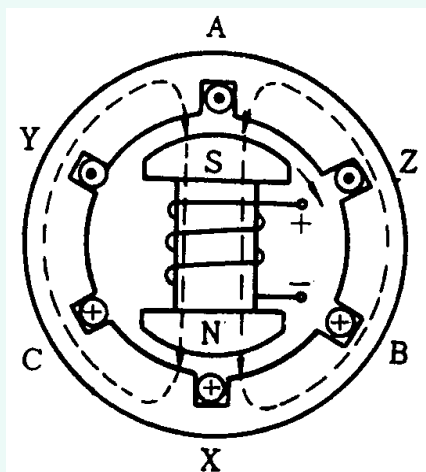


三个振幅相等、频率相同、相位差 120° 的正弦电源，分别称为A相、B相和C相，为对称三相正弦电源



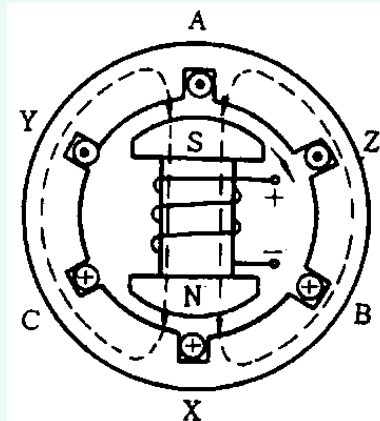
石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

三相电源接法



三、三相电源的星形（Y形）连接

将三相绕组的末端接成一点，称为中点（或零点），用N表示，从中点引出的导线称为**中线**（或**零线**）；从绕组的首端A、B、C引出的三根导线称为**相线**或**端线**。



◆ **相电压**：端线与中线之间的电压。

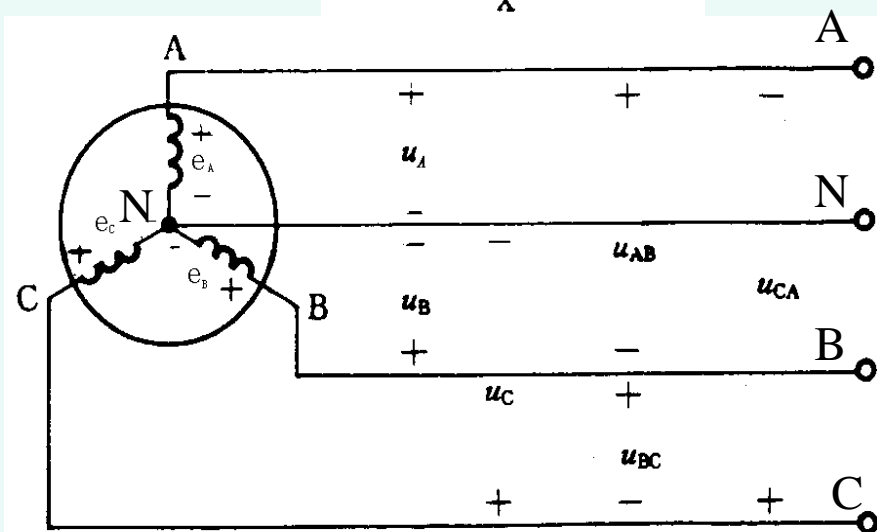
相量： \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C

相电压有效值可用 U_P 表示

◆ **线电压**：端线与端线之间的电压

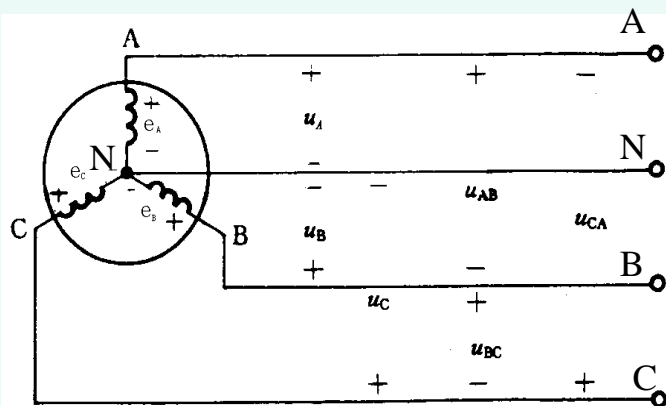
相量： \dot{U}_{AB} 、 \dot{U}_{BC} 、 \dot{U}_{CA}

线电压有效值可用 U_L 表示



三、三相电源的星形（Y形）连接

将三相绕组的末端接成一点，称为中点（或零点），用N表示，从中点引出的导线称为**中线**（或**零线**）；从绕组的首端A、B、C引出的三根导线称为**相线**或**端线**。



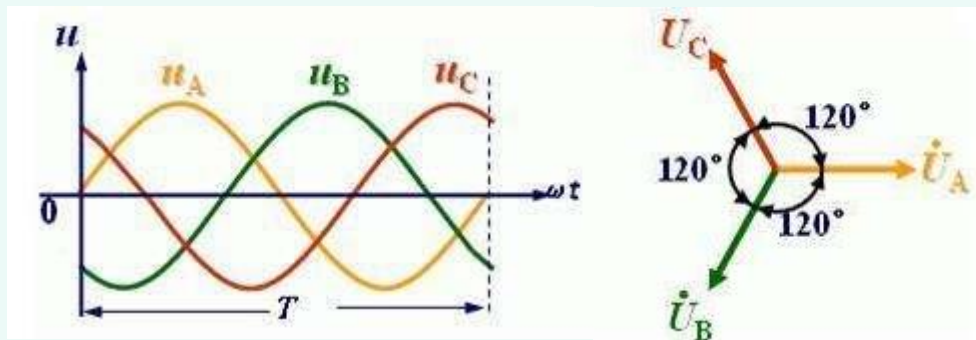
石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

二、三相电动势的表示方法

取A相为参考相量

(1) 用瞬时值函数式表示

$$\begin{cases} e_A = E_m \sin \omega t \\ e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{cases}$$



(2) 用相量表示

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

三相对称电动势的瞬时值或相量之和等于零

$$\begin{cases} e_A + e_B + e_C = 0 \\ \dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \end{cases}$$



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

三、三相电源的星形连接

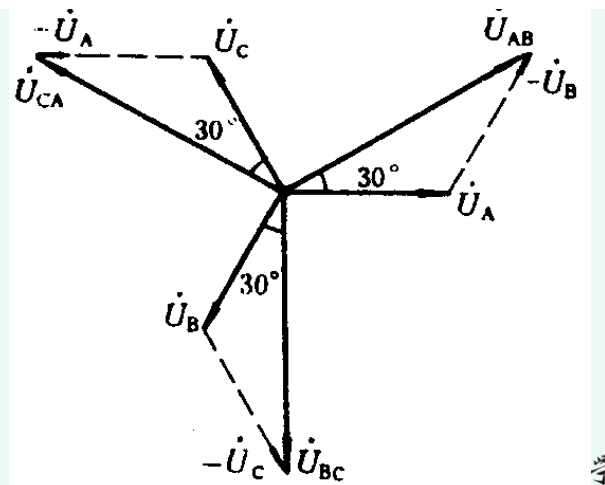
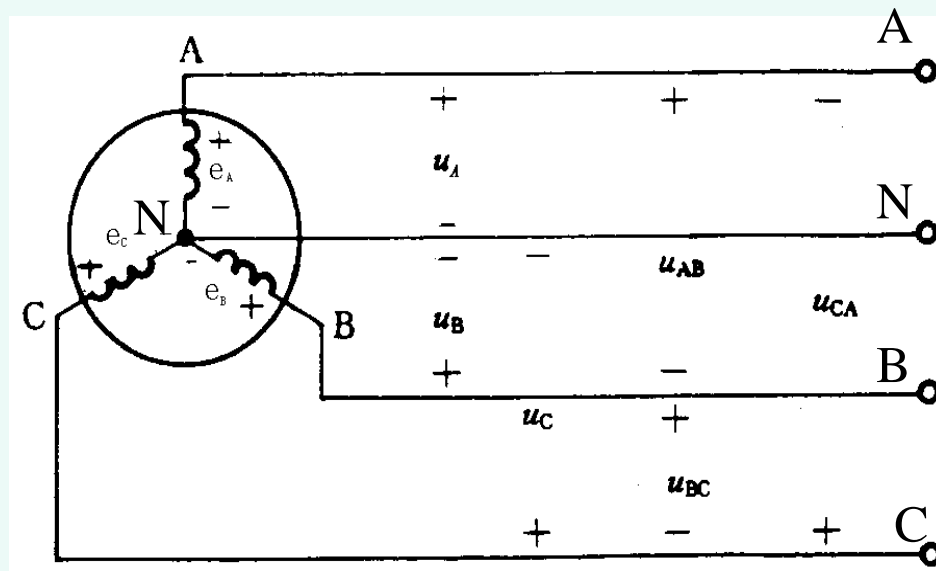
◆ 线电压与相电压的关系

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B \\ \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C \\ \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \end{cases}$$

结论:

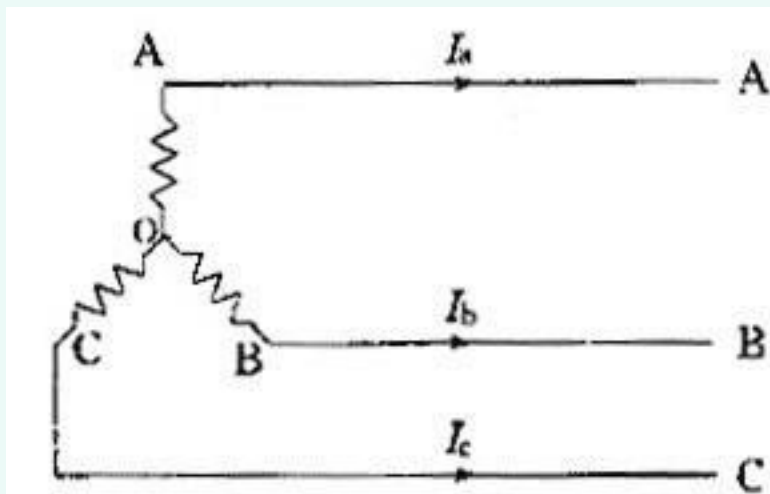
$$(1) U_L = \sqrt{3}U_P$$

(2) 线电压在相位上超前于对应的相电压 30° 。

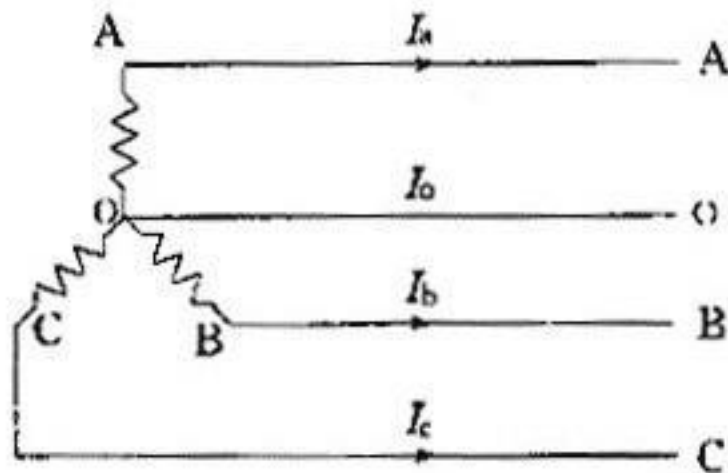


三、三相电源的星形连接

◆ 星形接法



三相三线制

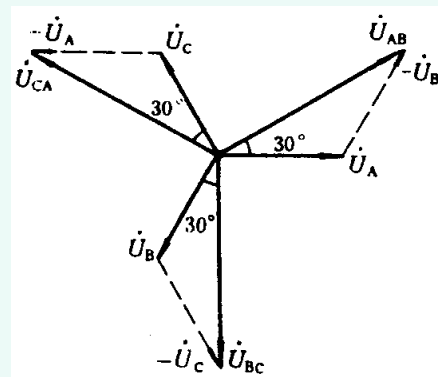


三相四线制

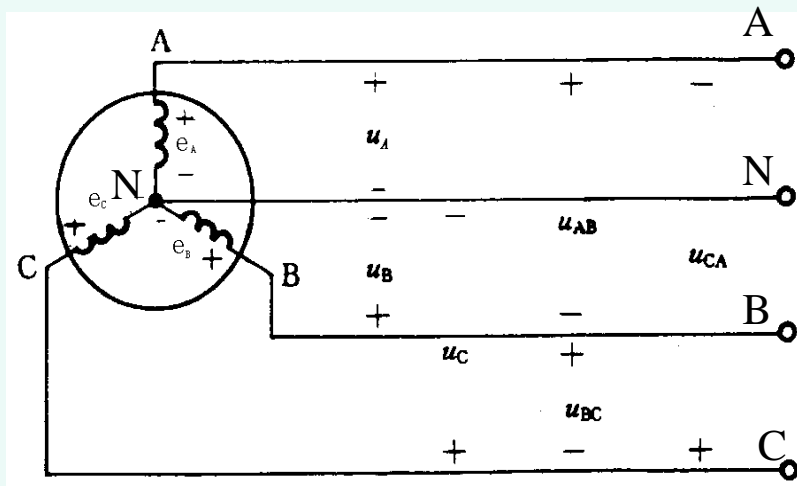
注意：

星形连接的三相电源，引出中线为三相四线制，
输出相电压220V， 线电压380V。

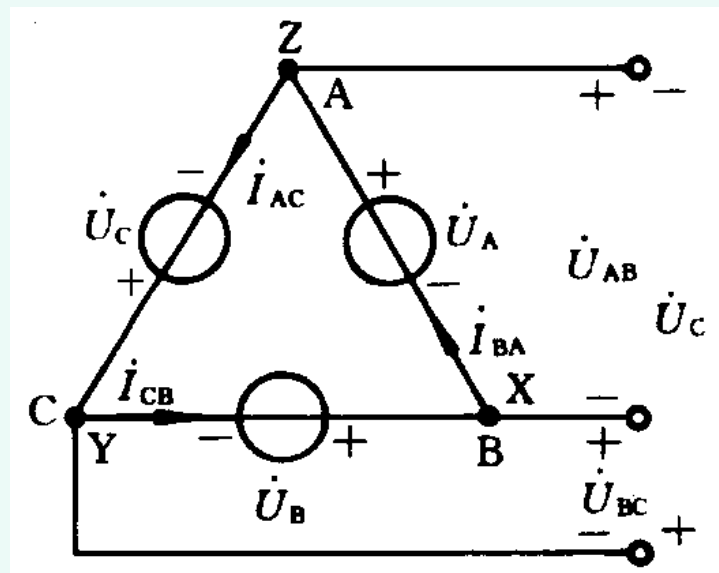
不引出中线，为三相三线制，只输出380 V线电压。



四、三相电源三角形接法



星形联接(Y形联接)



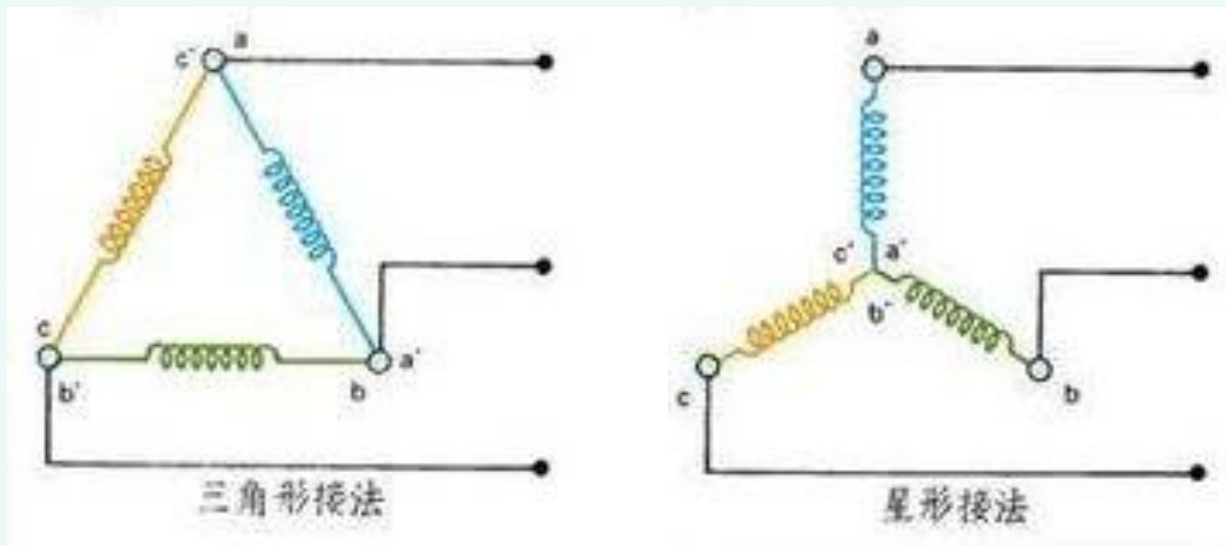
三角形联接(Δ形联接)

将三相绕组的首、末端依次相接，构成一闭合回路，并从三个联接点引出三条供电线，称为**三角形接法**

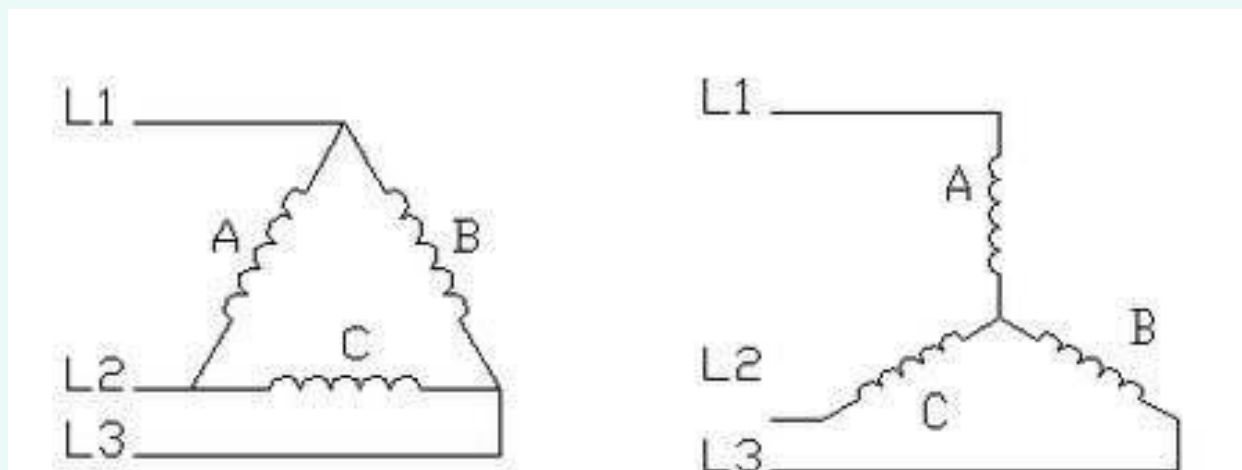
线电压=相电压

$$U_L = U_P$$

三相电源与负载接法



三相电源

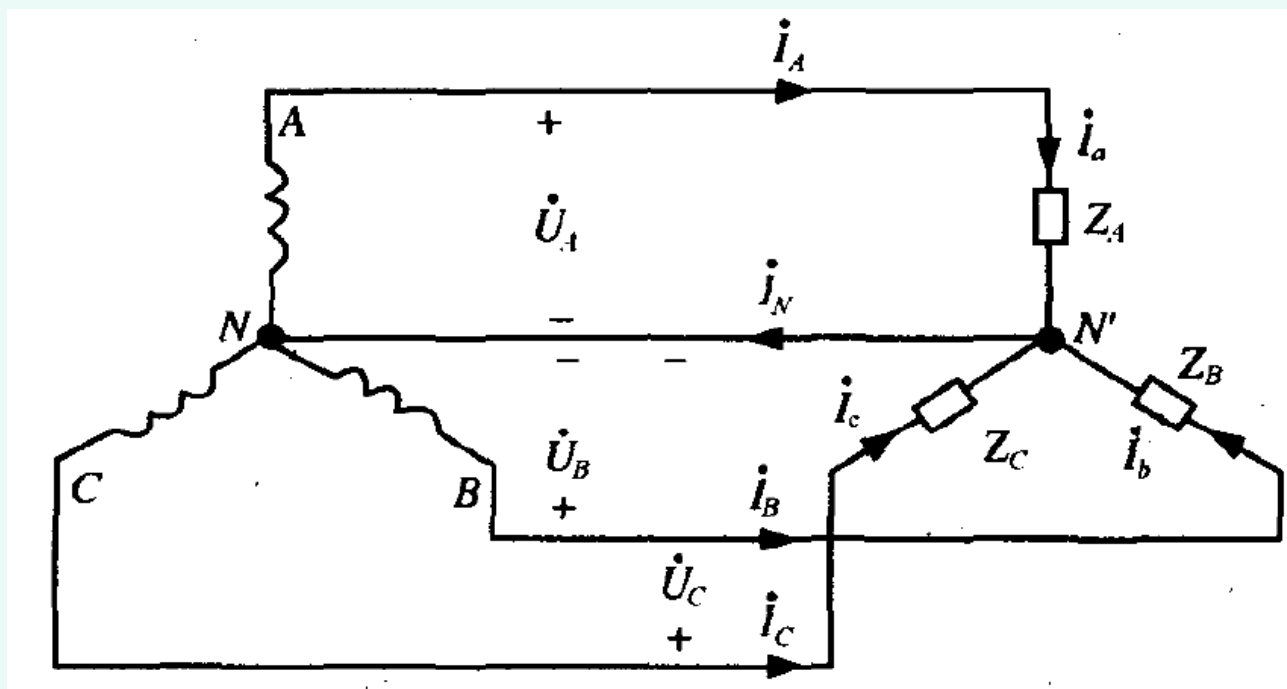


三相负载

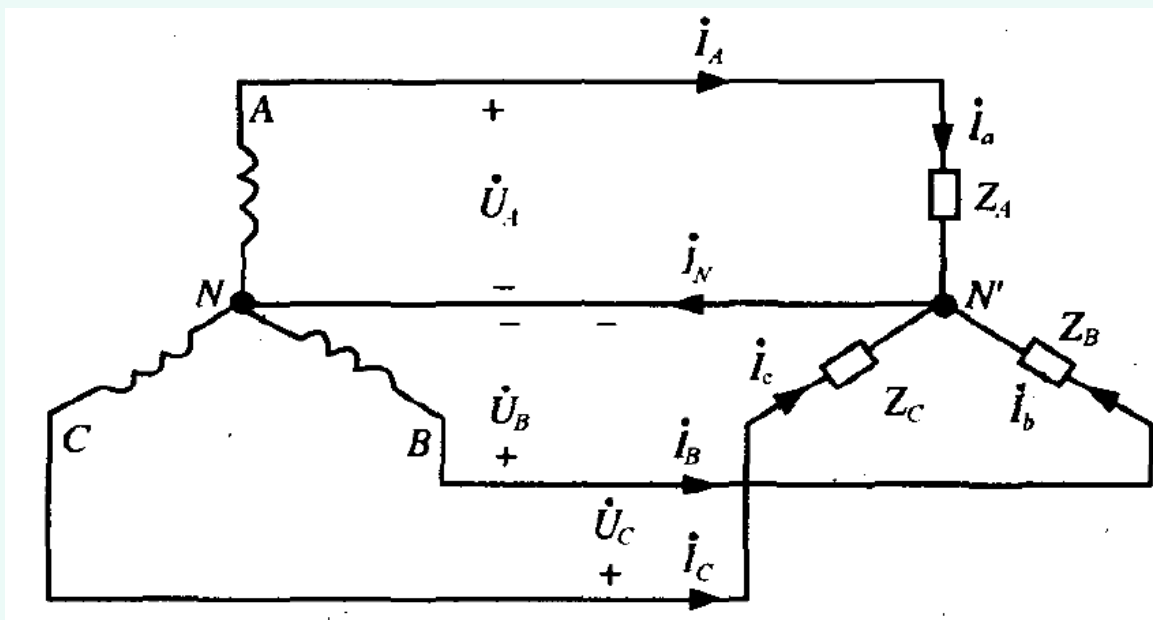
§ 5.2 负载星形连接的三相电路

一、负载的星形接法

将三个负载 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 的一端连成一点，接在电源的中线上，另一端分别与三根端线相接。



二、相电流与线电流



1.相电流：流过每相负载的电流，如：

$$\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$$

2.线电流：流过每相端线的电流，如：

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

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a, \dot{I}_B = \dot{I}_b, \dot{I}_C = \dot{I}_c$$

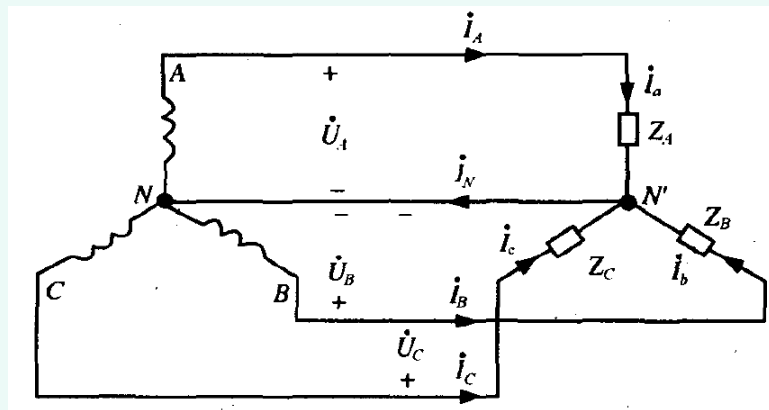


石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

三、电流的计算

★ 各相负载电流的有效值分别为

$$I_A = \frac{U_A}{|Z_A|}, I_B = \frac{U_B}{|Z_B|}, I_C = \frac{U_C}{|Z_C|}$$



★ 各相负载的电压与电流之间的相位差分别为

$$\varphi_A = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_A}{R_A}, \varphi_B = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_B}{R_B}, \varphi_C = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_C}{R_C}$$



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

三、电流的计算

★ 用相量计算，设电源电压

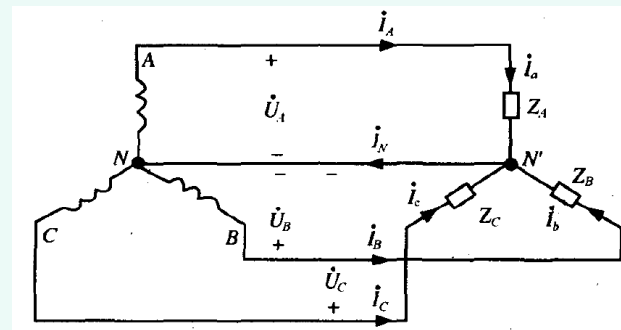
$$\dot{U}_A = U_A / 0^\circ; \quad \dot{U}_B = U_B / -120^\circ; \quad \dot{U}_C = U_C / 120^\circ$$

各相负载中的电流相量为

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A} = \frac{U_A / 0^\circ}{|Z_A| / \varphi_A} = I_A / -\varphi_A$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B} = \frac{U_B / -120^\circ}{|Z_B| / \varphi_B} = I_B / -120^\circ - \varphi_B$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} = \frac{U_C / 120^\circ}{|Z_C| / \varphi_C} = I_C / 120^\circ - \varphi_C$$



★ 根据基尔霍夫结点电流定律，中线电流为：

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

四、对称负载

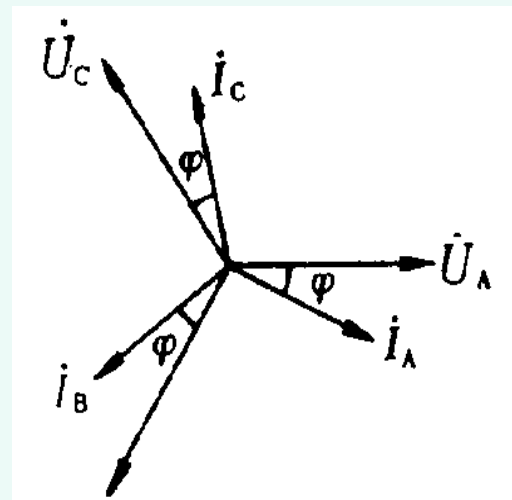
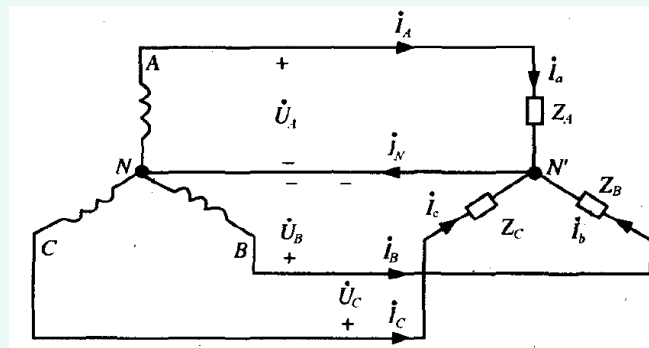
三相负载相同。

$$\text{即: } Z_A = Z_B = Z_C$$

由于三相电压对称，所以三相负载相电流也是对称的

$$I_A = I_B = I_C = I_P = \frac{U_P}{|Z|}$$

$$\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X}{R}$$



中线电流:

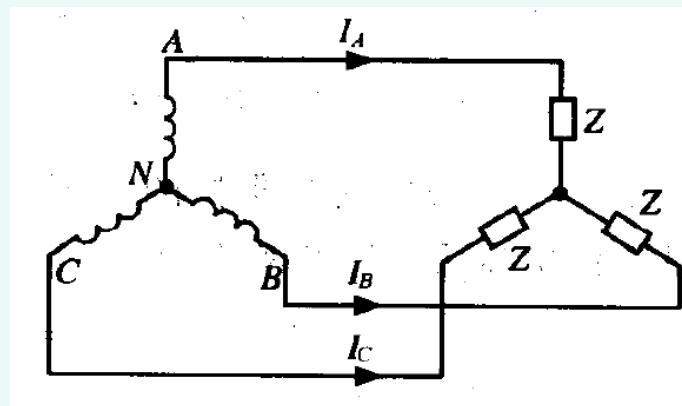
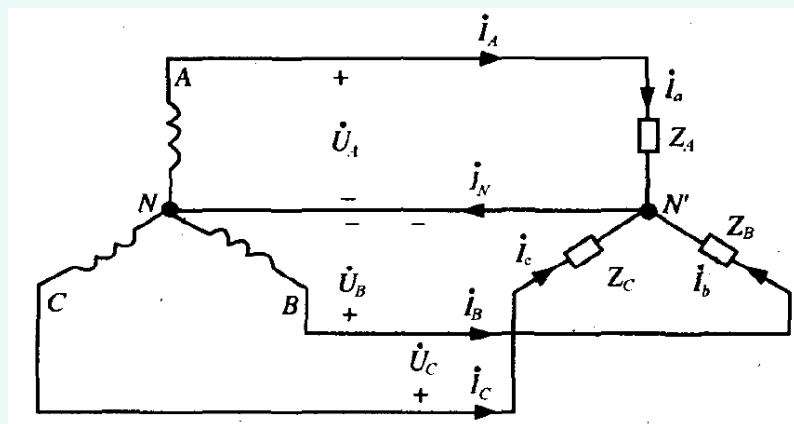
$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

四、对称负载

对称负载时，中线上总电流为0，所以中线可以省去。
各相电流的计算方法与有中线时一样。



三相负载星形连接有中线，也称 Y_0 接法。
三相负载星形连接没有中线，也称Y接法。

对于对称负载，只需要计算一相电流，另外两相可直接写出



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

四、对称负载

【例5—1】有一星形连接的三相负载，每相的电阻 $R = 8\ \Omega$ ，感抗 $X_L = 6\ \Omega$ ，电源电压对称，已知 $u_{AB} = 380\sqrt{2} \sin(\omega t + 60^\circ)\text{ V}$ ，求各相电流？

【解】三相负载对称，只需计算一相（如A相）即可

$$U_A = \frac{U_{AB}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220\text{ V}$$

$$u_A \text{ 比 } u_{AB} \text{ 滞后 } 30^\circ \quad u_A = 220\sqrt{2} \sin(\omega t + 30^\circ)\text{ V}$$

$$\text{A相电流的有效值为} \quad I_A = \frac{U_A}{|Z_A|} = \frac{220}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 22\text{ A}$$



四、对称负载

$$i_A \text{ 滞后于 } u_A \varphi \text{ 角} \quad u_A = 220\sqrt{2} \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ V}$$

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_L}{R} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{6}{8} = 37^\circ$$

$$\begin{aligned} i_A &= 22\sqrt{2} \sin(\omega t + 30^\circ - 37^\circ) \\ &= 22\sqrt{2} \sin(\omega t - 7^\circ) \text{ A} \end{aligned}$$

因为负载对称，其它两相电流则为

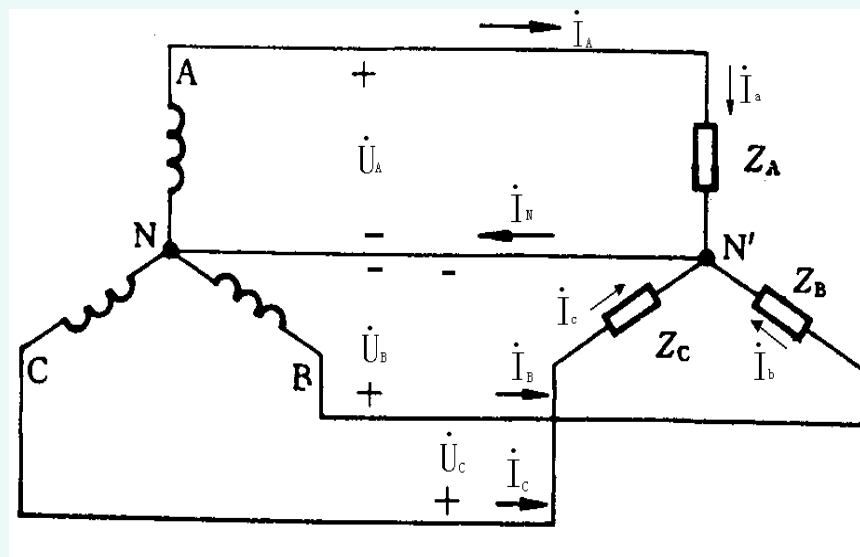
$$i_B = 22\sqrt{2} \sin(\omega t - 127^\circ) \text{ A}$$

$$i_C = 22\sqrt{2} \sin(\omega t + 113^\circ) \text{ A}$$

五、不对称负载

1. 有中线存在：负载不对称时，只要有中线存在，负载的相电压总是对称的，各相负载都能正常工作，此时三相电流不对称，中线电流不为零。

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{\dot{U}_A}{Z_A} = \frac{U_A / 0^\circ}{|Z_A| / \varphi_A} = I_A / -\varphi_A \\ \dot{I}_B &= \frac{\dot{U}_B}{Z_B} = \frac{U_B / -120^\circ}{|Z_B| / \varphi_B} = I_B / -120^\circ - \varphi_B \\ \dot{I}_C &= \frac{\dot{U}_C}{Z_C} = \frac{U_C / 120^\circ}{|Z_C| / \varphi_C} = I_C / 120^\circ - \varphi_C \end{aligned} \right\}$$



$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$



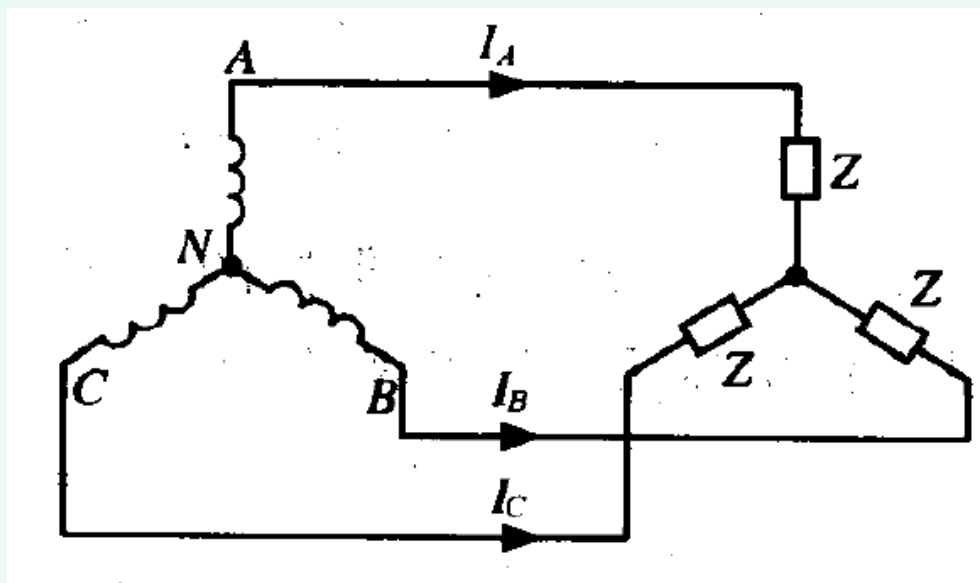
石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

五、不对称负载

2.没有中线:

当负载不对称而又没有中线时，负载的相电压不对称。

- 有的相电压高，高于额定电压，烧坏用电设备；
- 有的相电压低，低于额定电压，负载不能正常工作。

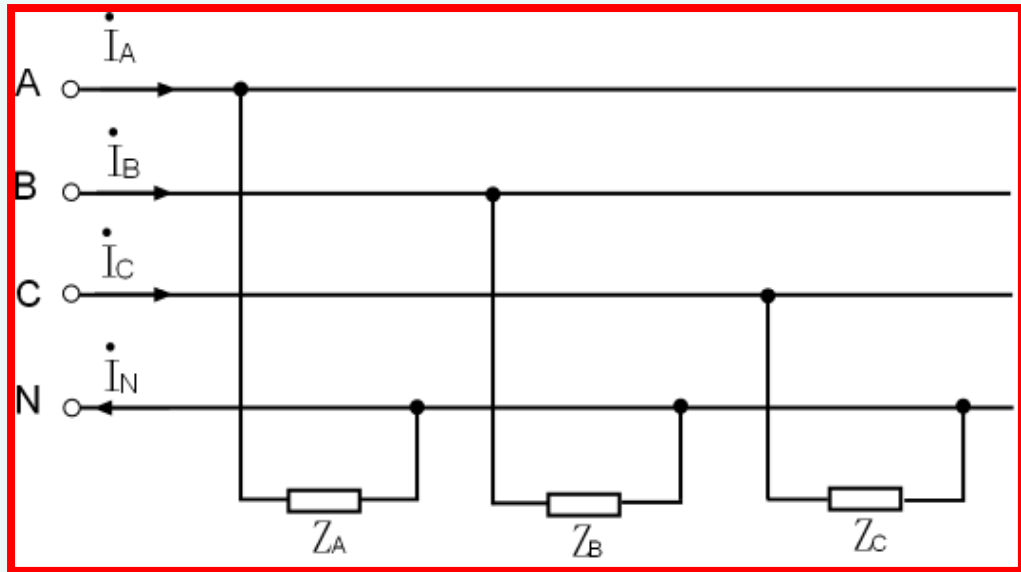


石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

【例5—2】

某住宅楼有30户居民，设计每户最大用电功率为 2.4kW ， $\cos\phi = 0.8$ ，额定电压为 220V ，采用三相电源供电，线电压 $U_L = 380\text{V}$ ，试将用户均匀分配在三相电源上组成三相对称负载。要求：画出供电线路；记算线路电流及中线电流；每相负载阻抗、电阻及电抗；以及三相变压器的总容量（视在功率）

解：将30户均匀分配在三相电源上，每相10户（并联）组成星形接法三相四线制供电线路。



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

【例5—2】三相对称负载-Y₀连接

设每相总功率 $P = 10 \times 2.4 = 24\text{kW}$ ， $\cos \phi = 0.8$ ，线电压 $U_L = 380\text{ V}$ ，相电压 $U_P = 220\text{ V}$ ，符合用户额定电压，每相总电流即为线路总电流，即：

$$I_L = I_P = \frac{P}{U_P \cos \phi} = \frac{24 \times 10^3}{220 \times 0.8} = 136.4\text{ A}$$

由于三相负载对称

所以中线电流 $\dot{I}_N = 0$



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

【例5—2】三相对称负载-Y₀连接

每相总阻抗为：

$$|Z| = |Z_A| = |Z_B| = |Z_C| = \frac{U_P}{I_P} = \frac{220}{136.4} = 1.61\Omega$$

$$\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \arccos 0.8 = 36.9^\circ$$

$$R_A = R_B = R_C = |Z| \cos \varphi = 1.29\Omega$$

$$X_A = X_B = X_C = |Z| \sin \varphi = 0.97\Omega$$

供电变压器容量

$$S = 3U_P I_P = \sqrt{3}U_L I_L = \sqrt{3} \times 380 \times 136.4 = 89.8\text{kVA}$$

可选一台 100kVA 三相变压器供电



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

【例5—3】三相不对称负载-Y₀连接

在例5—2中，若A相满负荷，B相60%负荷，C相40%负荷，各相负载的功率因数不变，求各线电流及中线电流。

解：对于三相四线制不对称负载，由于有中线，各相负载电压仍然为220V，各相负载都能正常工作，各相电流为：

$$I_A = 136.4\text{A}$$

$$\varphi_A = 36.9^\circ \text{滞后 } U_A$$

$$I_B = 136.4 \times 60\% = 81.8\text{A}$$

$$\varphi_B = 36.9^\circ \text{滞后 } U_B$$

$$I_C = 136.4 \times 40\% = 54.6\text{A}$$

$$\varphi_C = 36.9^\circ \text{滞后 } U_C$$



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

【例5—3】三相不对称负载-Y₀连接

取 $\dot{I}_A = 136.4 / \underline{0}^\circ \text{A}$ 为参考相量

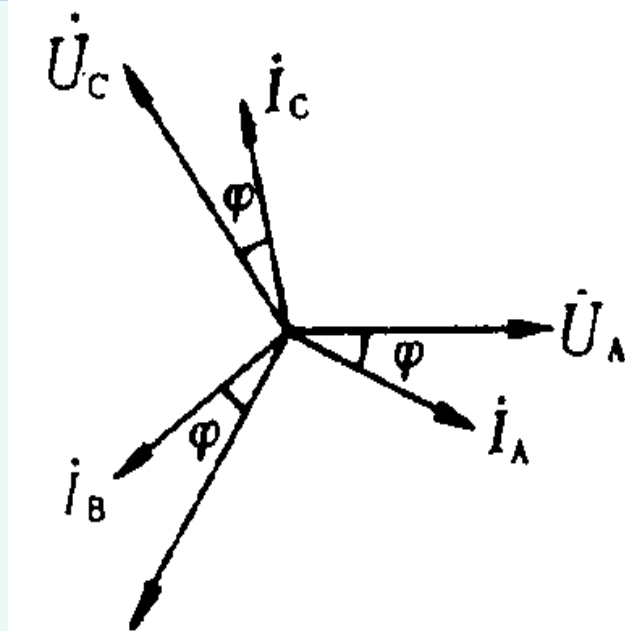
$$\begin{aligned}\dot{I}_N &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \\ &= 136.4 / \underline{0}^\circ + 81.8 / \underline{-120}^\circ + 54.6 / \underline{120}^\circ \\ &= 72.2 / \underline{-19.1}^\circ\end{aligned}$$

各相负载为:

$$Z_A = \frac{U_p}{I_A} \angle \varphi_A = \frac{220}{136.4} \angle 36.9^\circ = 1.61 \angle 36.9^\circ \Omega$$

$$Z_B = \frac{U_p}{I_B} \angle \varphi_C = \frac{220}{136.4 \times 0.6} \angle 36.9^\circ = 2.69 \angle 36.9^\circ \Omega$$

$$Z_C = \frac{U_p}{I_C} \angle \varphi_C = \frac{220}{136.4 \times 0.4} \angle 36.9^\circ = 4 \angle 36.9^\circ \Omega$$



【例5—4】三相不对称负载-Y连接

在例5—3中，若中线因故断开，求中性点电压及各相负载电压，后果如何？讨论中线的重要作用。

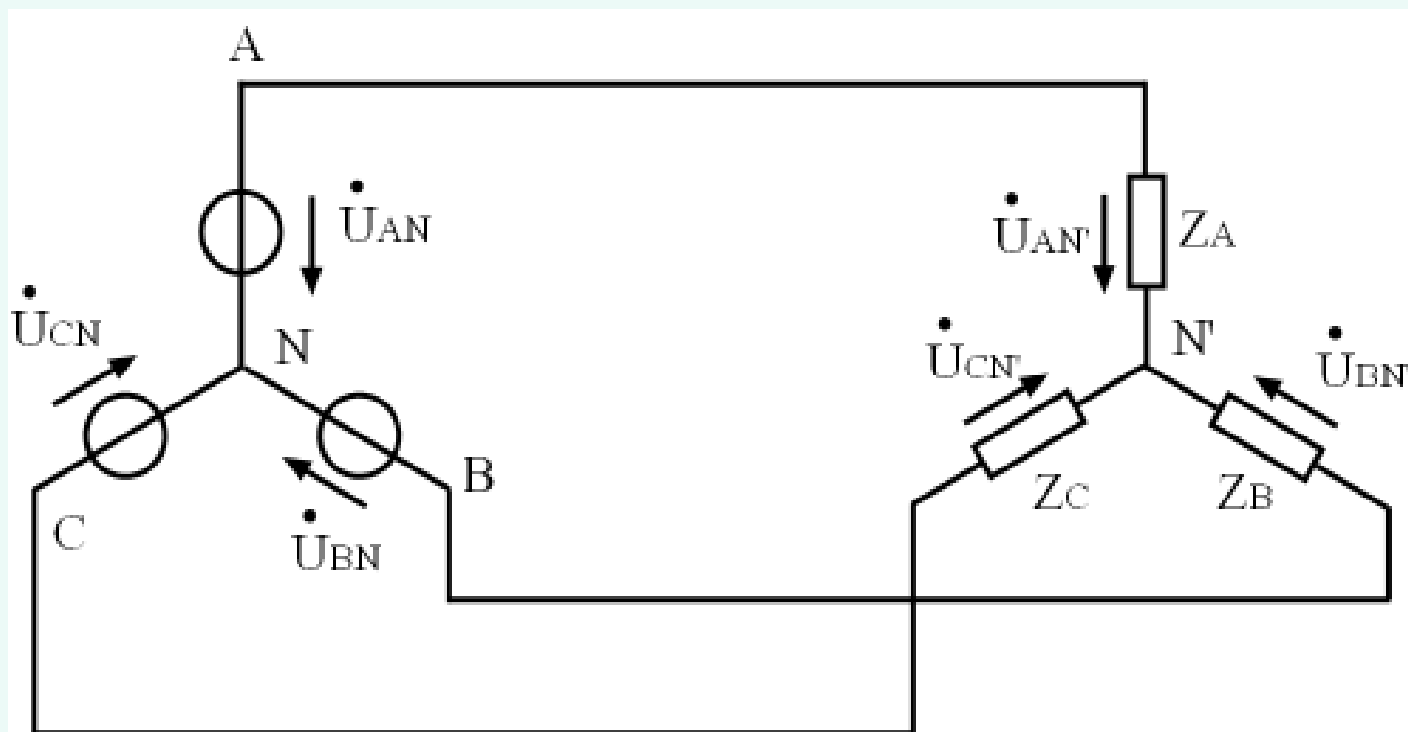
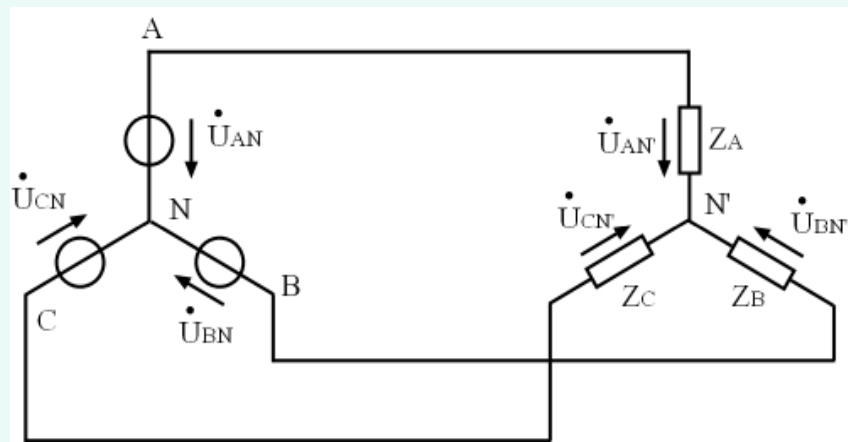


图5—12

【例5—4】三相不对称负载-Y连接

【解】如图5—12所示, 无中线时可采用**结点电压法**求出中性点电压 $\dot{U}_{N'N}$ (负载中点与电源中点之间的电压), 取电源中性点N为参考电位点, $\dot{U}_A = 220 / 0^\circ \text{V}$ 为参考相量, 则

$$\begin{aligned}\dot{U}_{N'N} &= \frac{\frac{\dot{U}_A}{Z_A} + \frac{\dot{U}_B}{Z_B} + \frac{\dot{U}_C}{Z_C}}{\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C}} = \frac{\frac{220 / 0^\circ}{1.61 / \underline{36.9}^\circ} + \frac{220 / -120^\circ}{2.69 / \underline{36.9}^\circ} + \frac{220 / 120^\circ}{4 / \underline{36.9}^\circ}}{\frac{1}{1.61 / \underline{36.9}^\circ} + \frac{1}{2.69 / \underline{36.9}^\circ} + \frac{1}{4 / \underline{36.9}^\circ}} \\ &= 58.2 / \underline{-19.1}^\circ \text{V}\end{aligned}$$



【例5—4】三相不对称负载-Y连接

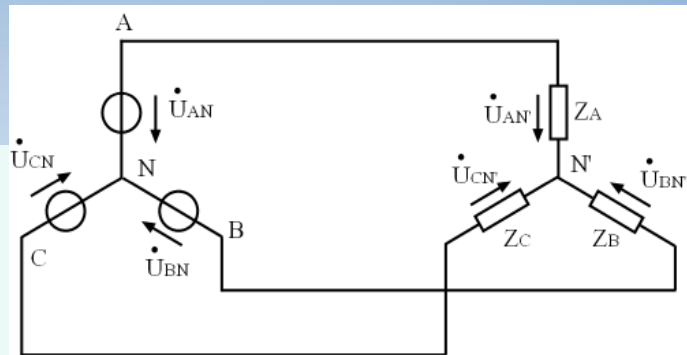
每相负载两端电压为

$$\begin{aligned}\dot{U}_a &= \dot{U}_{AN'} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{N'N} \\ &= 220 / \underline{0}^0 - 58.2 / \underline{-19.1}^0 = 166.1 / \underline{6.58}^0 \text{V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_b &= \dot{U}_{BN'} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{N'N} \\ &= 220 / \underline{-120}^0 - 58.2 / \underline{-19.1}^0 = 238 / \underline{-128.2}^0 \text{V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_c &= \dot{U}_{CN'} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{N'N} \\ &= 220 / \underline{120}^0 - 58.2 / \underline{-19.1}^0 = 266.7 / \underline{134}^0 \text{V}\end{aligned}$$

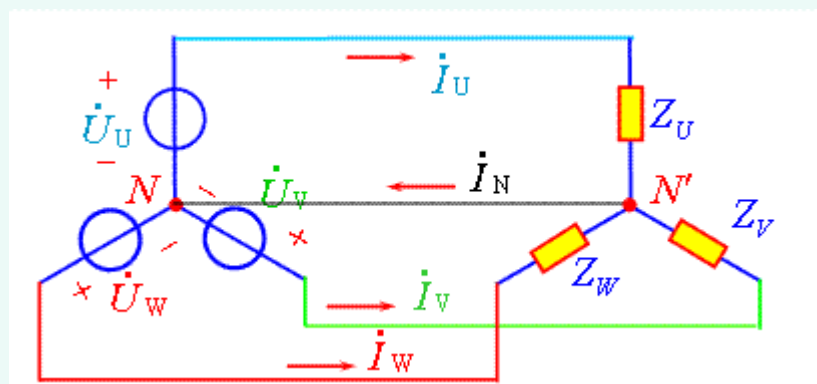
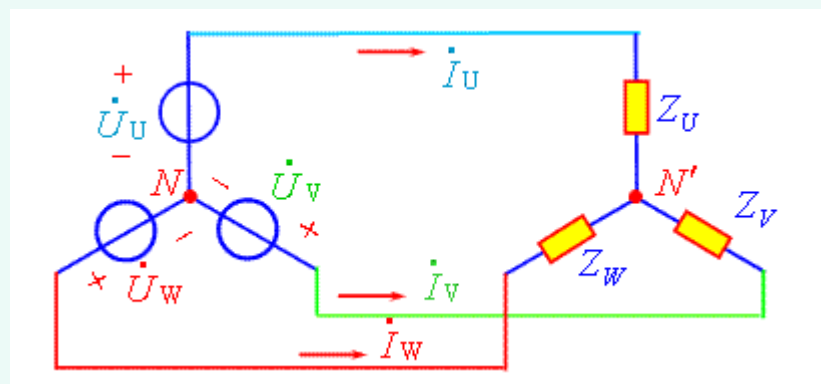
由以上计算可知，**B相和C相电压均超过额定值**，特别是C相，将因电压过高而烧坏用电器，而**A相负载则因电压不足而无法正常工作**，如是日光灯将不能启动。



三相不对称负载-中线的作用

(1) 负载不对称而又没有中线时，负载的相电压不对称，有的相电压过高，高于负载的额定电压；有的相电压过低，低于负载额定电压。负载不能正常工作。

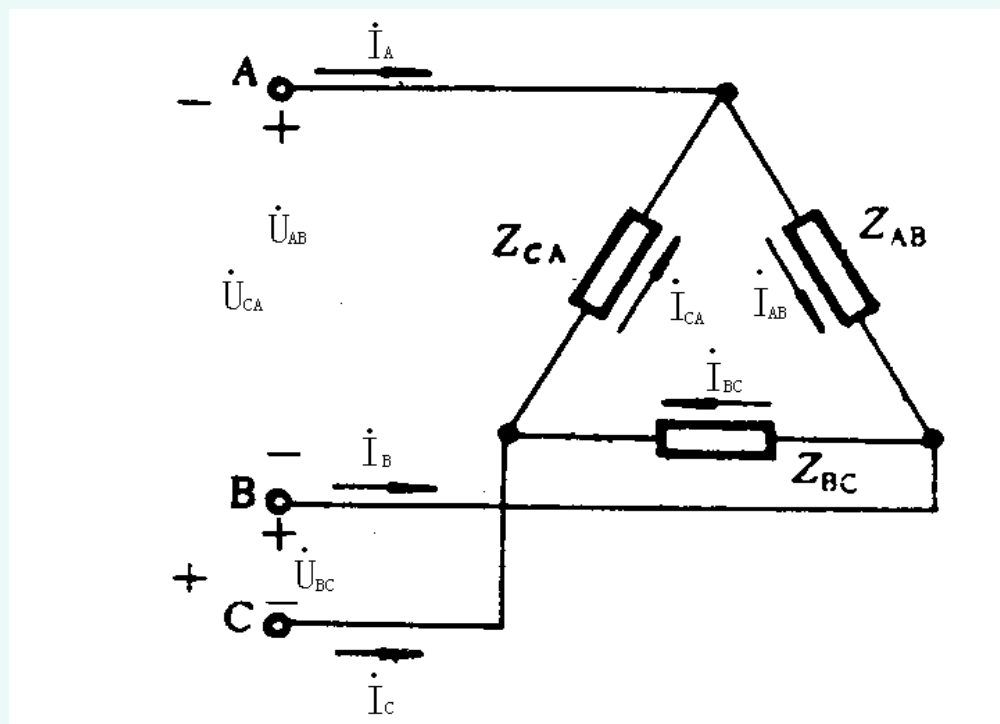
(2) 中线的重要作用在于平衡三相负载的相电压，为保证三相负载的相电压对称，**中线在任何时候都不能断开**，故在中线上不能装开关，也不许装熔断器。



§ 5.3 负载三角形连接的三相电路

一、负载三角形连接

- 负载两端的相电压等于电源的线电压。
- 不论负载对称与否，其相电压总是对称的。



$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L = U_P$$

二、相电流与线电流

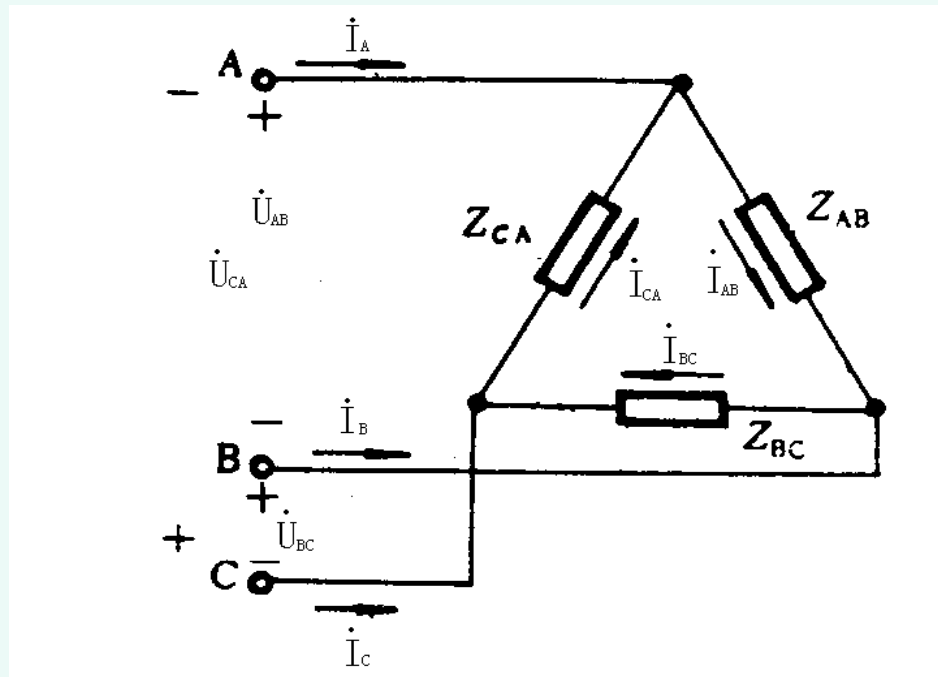
1. 相电流（负载）

相量：

$$\begin{aligned}\dot{I}_{AB} &= \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}} \\ \dot{I}_{BC} &= \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{BC}} \\ \dot{I}_{CA} &= \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{CA}}\end{aligned}$$

有效值：

$$\begin{aligned}I_{AB} &= \frac{U_{AB}}{|Z_{AB}|} \\ I_{BC} &= \frac{U_{BC}}{|Z_{BC}|} \\ I_{CA} &= \frac{U_{CA}}{|Z_{CA}|}\end{aligned}$$



各相负载电压与电流的相位差为：

$$\varphi_{AB} = \arctan \frac{X_{AB}}{R_{AB}}, \varphi_{BC} = \arctan \frac{X_{BC}}{R_{BC}}, \varphi_{CA} = \arctan \frac{X_{CA}}{R_{CA}}$$



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

三、三相对称负载

如果三相负载对称，即

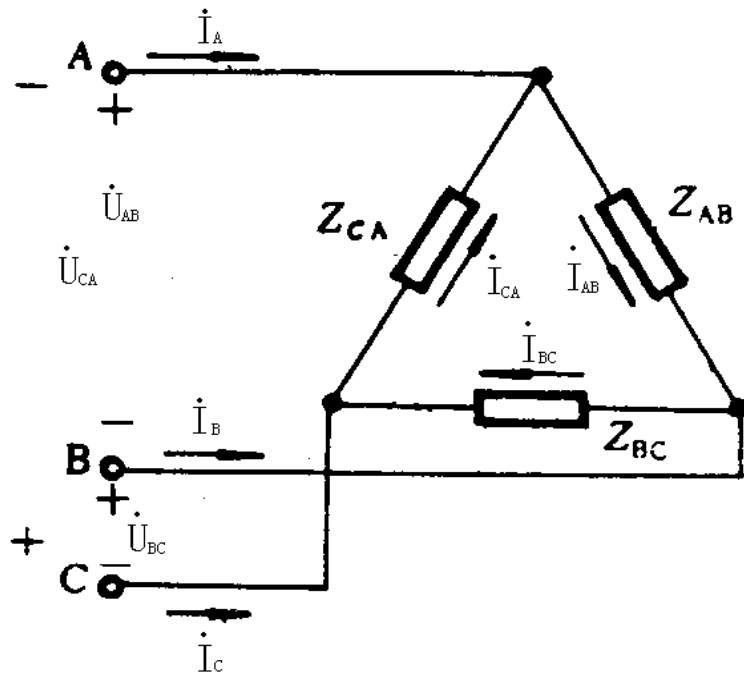
$$|Z_{AB}| = |Z_{BC}| = |Z_{CA}| = |Z|$$

$$\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \arctan \frac{X}{R} = \varphi$$

则负载的三相电流也对称：

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_P = \frac{U_P}{|Z|}$$

且相位上滞后于相应的相电压 φ 角。



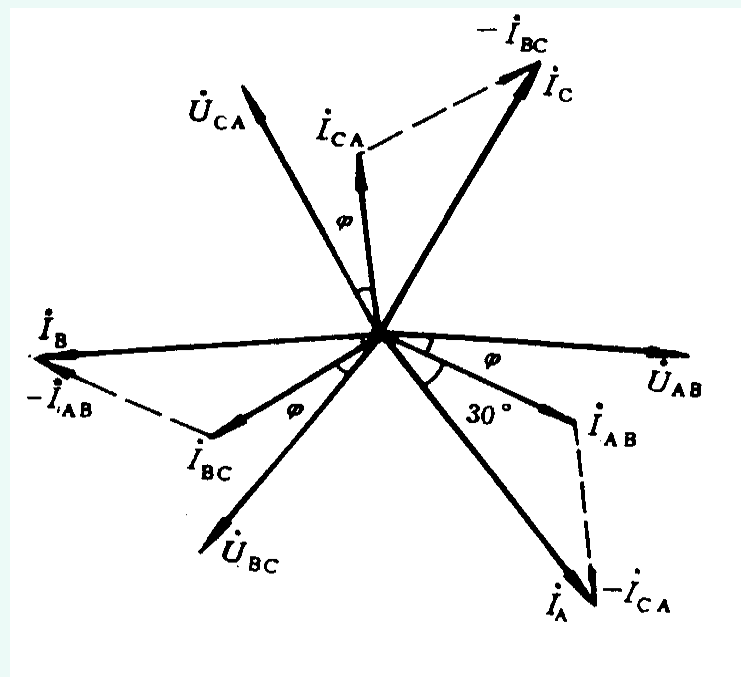
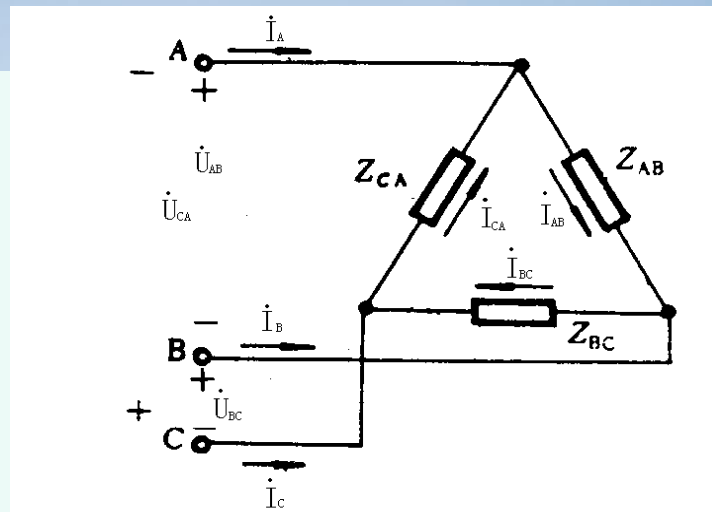
三、三相对称负载

2. 线电流

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} \end{aligned} \right\}$$

1. $I_L = \sqrt{3}I_P$

2. 在相位上，线电流滞后于相应的相电流 30° 。



§ 5.4 三相功率

不论负载是星形联接或是三角形联接，电路总的有功功率和无功功率分别等于各相有功功率和无功功率之和。即

$$\begin{aligned} P &= P_a + P_b + P_c \\ &= U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= Q_a + Q_b + Q_c \\ &= U_a I_a \sin \varphi_a + U_b I_b \sin \varphi_b + U_c I_c \sin \varphi_c \end{aligned}$$

其中 U_a, U_b, U_c 及 I_a, I_b, I_c 分别是三相负载的相电压、相电流有效值。

φ_A 、 φ_B 、 φ_C 分别是各相负载电压与电流的相位差。

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

三相对称负载

当三相负载对称时，三个负载的功率相等，则有

$$P = 3U_P I_P \cos \varphi_p \quad Q = 3U_P I_P \sin \varphi_p$$

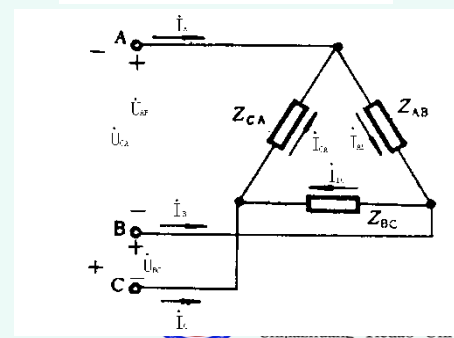
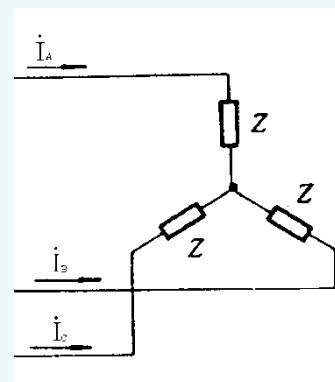
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_P I_P$$

当对称负载为**星形**接法时

$$U_L = \sqrt{3}U_P \quad I_L = I_P$$

当对称负载为**三角形**接法时

$$U_L = U_P \quad I_L = \sqrt{3}I_P$$



三相对称负载

可见，不论对称负载是星形接法或是三角形接法均有

$$P = 3U_P I_P \cos \varphi_p = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi_p$$

$$Q = 3U_P I_P \sin \varphi_p = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi_p$$

$$S = 3U_P I_P = \sqrt{3}U_L I_L$$

注意：式中的 φ_p 仍为相电压与相电流之间的相位差角。

例题

【例5—5】某三相异步电动机，定子每相绕组的等效复阻抗为 $Z = 32.9 + j19 \Omega$ ，试求在下列两种情况下电动机的相电流、线电流大小以及从电源输入功率。（1）绕组联接成星形接于 $U_L = 380 \text{ V}$ 的三相电源上；（2）绕组联成三角形接于 $U_L = 220 \text{ V}$ 的三相电源上。

$$\text{【解】 (1) } I_P = \frac{U_P}{|Z|} = \frac{380/\sqrt{3}}{\sqrt{32.9^2 + 19^2}} = 5.8 \text{ A}$$

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_p \qquad I_L = I_P = 5.8 \text{ A}$$

$$= \sqrt{3} \times 380 \times 5.8 \times \frac{32.9}{\sqrt{32.9^2 + 19^2}} = 3.3 \text{ kW}$$



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

例题

$$(2) \quad I_P = \frac{U_P}{|Z|} = \frac{220}{\sqrt{32.9^2 + 19^2}} = 5.8A$$

$$I_L = \sqrt{3}I_P = 10A$$

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3}U_L I_L \cos \phi_P \\ &= \sqrt{3} \times 220 \times 10 \times \frac{32.9}{\sqrt{32.9^2 + 19^2}} = 3.3 \text{ kW} \end{aligned}$$

在两种联接法中，相电压、相电流及功率均相同。

例题

【例5—6】线电压为 380V 的三相电源上接有两组对称三相负载：一组是三角形联接的电感性负载，每相阻抗 $Z_{\Delta} = 36.3 / \underline{37}^{\circ} \Omega$ ；另一组是星形联接的电阻性负载 $R_Y = 10\Omega$ ，如图5—15所示。试求：（1）各组负载的相电流及线电流；（2）电路线电流：（3）三相有功功率。

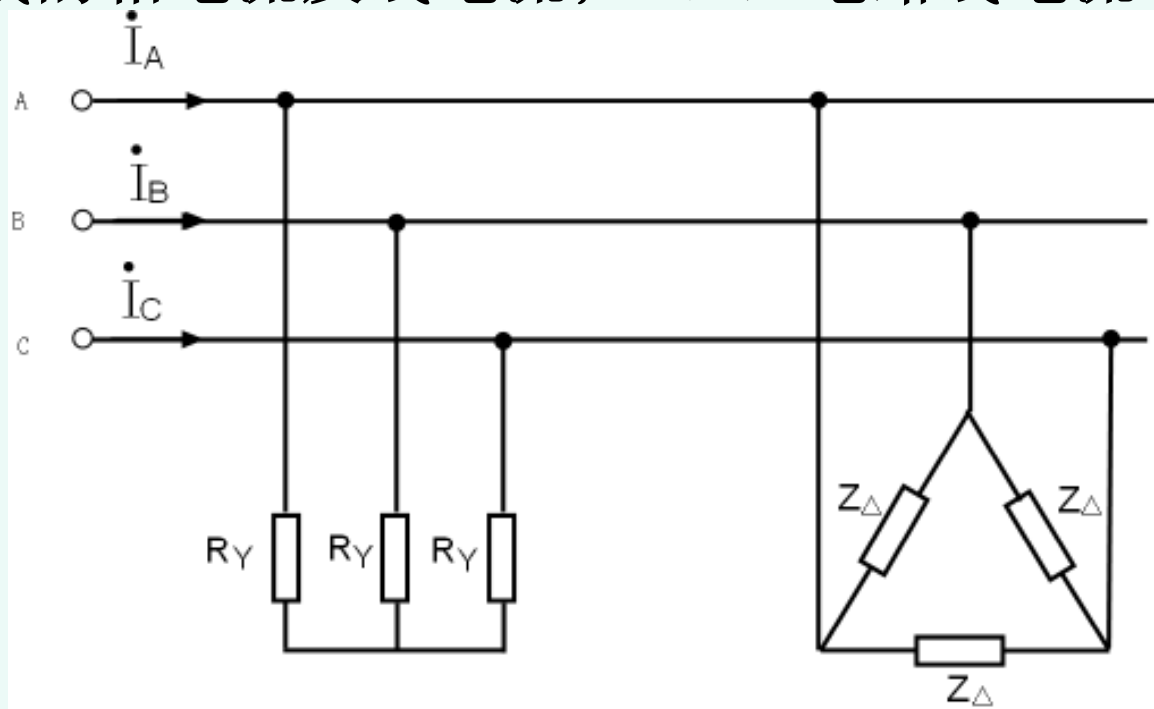


图5—15



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

例题

【解】取线电压 $\dot{U}_{AB} = 380 / \underline{0}^0 \text{V}$ 为参考相量，则相电压 $\dot{U}_A = 220 / \underline{-30}^0 \text{V}$ 。

(1) 由于三相负载对称，所以计算一相即可推出其它两相。

对于三角形联接的负载，其相电流为

$$\dot{I}_{AB\Delta} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{\Delta}} = \frac{380 / \underline{0}^0}{36.3 / \underline{37}^0} = 10.47 / \underline{-37}^0 \text{A}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_{BC\Delta} &= \dot{I}_{AB\Delta} / \underline{-120}^0 \\ &= 10.47 / \underline{-37}^0 - 120^0 = 10.47 / \underline{-157}^0 \text{A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_{CA\Delta} &= \dot{I}_{AB\Delta} / \underline{120}^0 \\ &= 10.47 / \underline{-37}^0 + 120^0 = 10.47 / \underline{83}^0 \text{A}\end{aligned}$$

例题

三角形联接负载的线电流为

$$\dot{I}_{A\Delta} = \sqrt{3} \dot{I}_{AB\Delta} / \underline{-30^\circ}$$

$$= 10.47\sqrt{3} / \underline{-37^\circ - 30^\circ} = 18.13 / \underline{-67^\circ} \text{ A}$$

$$\dot{I}_{B\Delta} = \dot{I}_{A\Delta} / \underline{-120^\circ}$$

$$= 18.13 / \underline{-67^\circ - 120^\circ} = 18.13 / \underline{173^\circ} \text{ A}$$

$$\dot{I}_{C\Delta} = \dot{I}_{B\Delta} / \underline{-120^\circ}$$

$$= 18.13 / \underline{173^\circ - 120^\circ} = 18.13 / \underline{53^\circ} \text{ A}$$

三角形连接

$$I_L = \sqrt{3} I_P$$

I_L 滞后 I_P 30°



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

例题

对于星形联接的负载，其相电流等于线电流，即为

$$I_{AY} = \frac{U_A}{R_Y} = \frac{220 / -30^\circ}{10} = 22 / -30^\circ \text{ A}$$

$$I_{BY} = I_{AY} / -120^\circ = 22 / -150^\circ \text{ A}$$

$$I_{CY} = I_{BY} / -120^\circ = 22 / 90^\circ \text{ A}$$

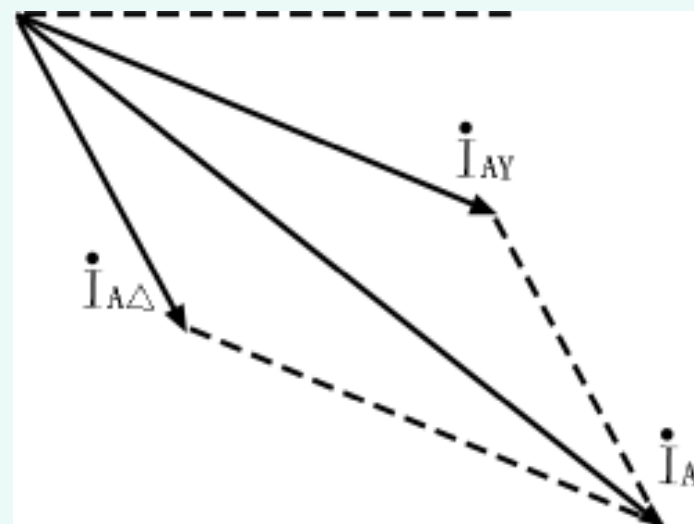
(2) 电路线电流为

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A\Delta} + \dot{I}_{AY} = 18.13 / -67^\circ + 22 / -30^\circ = 38 / -46.7^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A / -120^\circ = 38 / -46.7^\circ - 120^\circ = 38 / -166.7^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_B / -120^\circ = 38 / -166.7^\circ - 120^\circ = 38 / 73.3^\circ \text{ A}$$

注意： $\dot{I}_{A\Delta}$ 与 \dot{I}_{AY} 相位不同，因此两者相量相加才等于线路电流。相量图如图所示。



(3) 三相电路有功功率为

$$\begin{aligned}
 P &= P_{\Delta} + P_Y = \sqrt{3}U_L I_{A\Delta} \cos \phi_{\Delta} + \sqrt{3}U_L I_{AY} \\
 &= \sqrt{3} \times 380 \times 18.3 \times 0.8 + \sqrt{3} \times 380 \times 22 \\
 &= 9546 + 14480 = 24026\text{W} \approx 24\text{kW}
 \end{aligned}$$

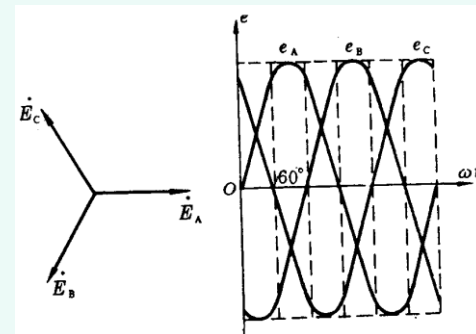
三相电源的总结

○ 三相电动势的表示方法:

瞬时值: e_A, e_B, e_C

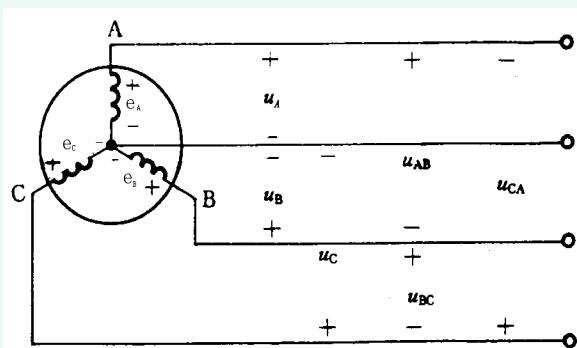
相量: $\dot{E}_A = E \angle 0^\circ$ $\dot{E}_B = E \angle -120^\circ$ $\dot{E}_C = E \angle 120^\circ$

相量图和波形图:



三相电动势满足: $e_A + e_B + e_C = 0$ $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$

○ 三相电源的星形连接:

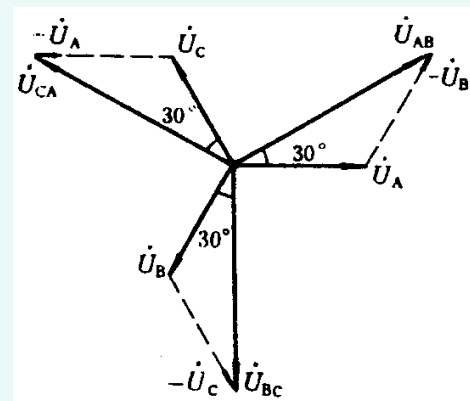


相电压: $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$

线电压: $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$

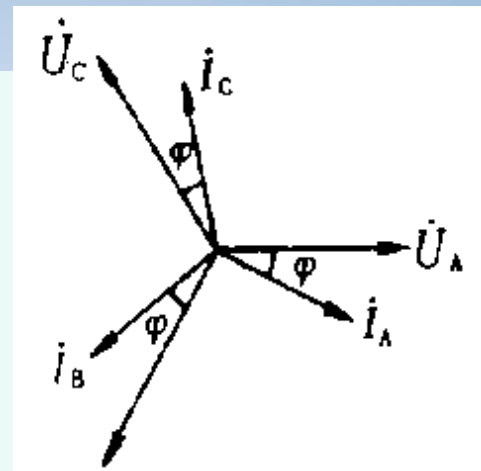
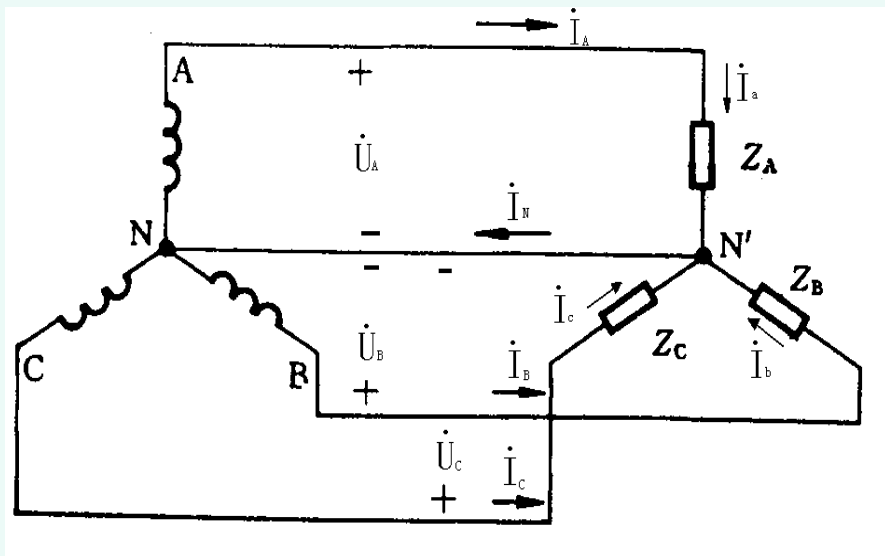
$$(1) U_L = \sqrt{3} U_P$$

(2) 线电压在相位上超前于对应的相电压 30° 。



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

三相负载星形连接



1. 三相对称负载:

相电压、相电流对称。

有中线: $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$

无中线: 相电压、相电流仍然对称。

2. 三相不对称负载:

有中线: $U_a = U_b = U_c = U_P$ $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \neq 0$

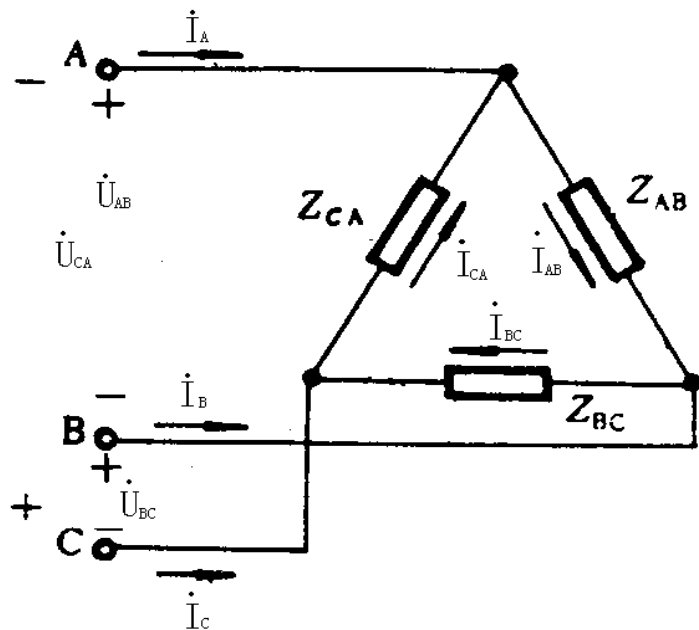
无中线: $U_{N'} \neq U_N$ 利用结点电压法, 求 $U_{N'}$ 负载相电压不再对称。

中线的作用: 保证三相负载的相电压对称。



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

三相负载三角形连接

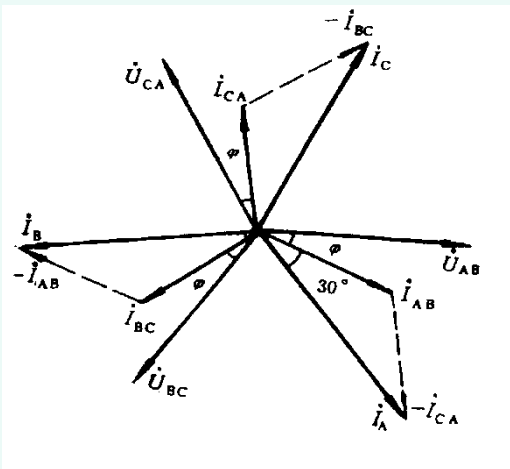


相电压永远对称:

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L = U_P$$

相电流: $\dot{I}_{AB}, \dot{I}_{BC}, \dot{I}_{CA}$

线电流:
$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} \end{aligned} \right\}$$



1. 三相对称负载:

相电压、相电流对称。

$I_L = \sqrt{3}I_P$ 线电流滞后于相应的相电流 30° 。

2. 三相不对称负载:

只有相电压对称。



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

三相功率

1. 三相对称负载:

$$P = 3U_P I_P \cos \varphi_p = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi_p$$

$$Q = 3U_P I_P \sin \varphi_p = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi_p$$

$$S = 3U_P I_P = \sqrt{3}U_L I_L$$

2. 三相不对称负载:

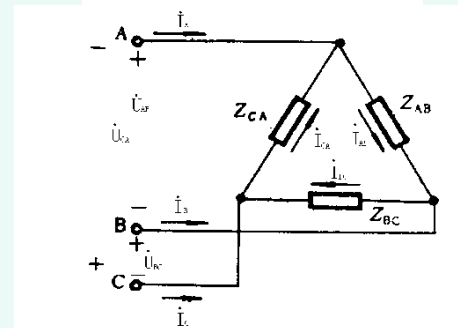
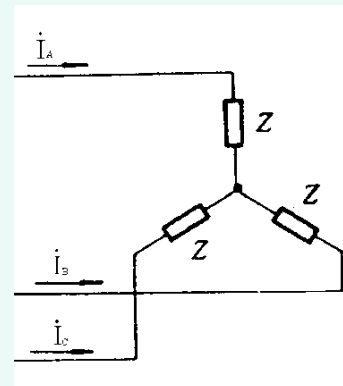
$$P = P_a + P_b + P_c$$

$$= U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c$$

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c$$

$$= U_a I_a \sin \varphi_a + U_b I_b \sin \varphi_b + U_c I_c \sin \varphi_c$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



石家庄铁道大学
Shijiazhuang Tiedao University

第五章

结 束

石家庄铁道学院

电工基础教研室

电工
电子学