

成都航空职业技术学院  
CHENGDU AERONAUTIC POLYTECHNIC



# 三相电路

工程实训中心

电工电子教研室



# 三相电路?



同时提供三相电源

正弦稳态电路每个电源只有两个输出端钮，输出一个电压或电流，习惯上称这种电路为**单相电路**

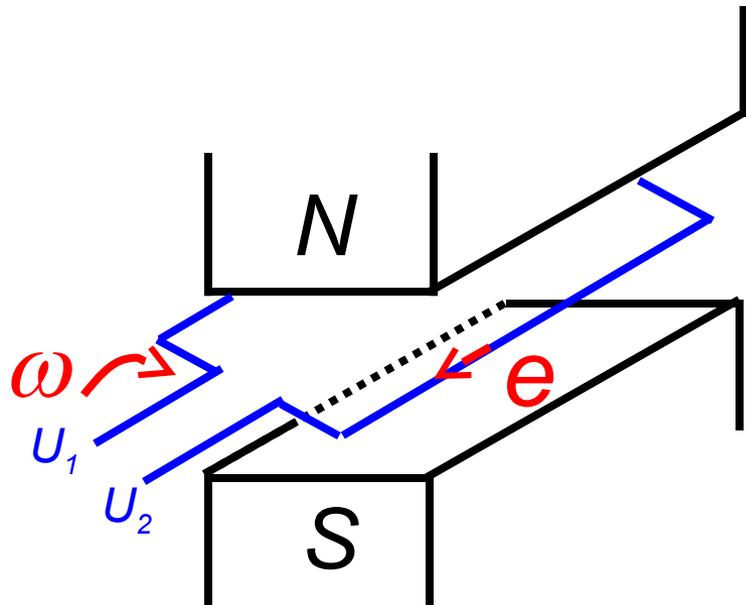
。现代电力系统中的供电方式几乎全部采用**三相正弦交流电**。

- 三相输电比单相输电节省导线材料
- 三相交流电机比单相交流电机性能好、经济效益高。

# 1. 电动势的产生

在两磁极中间，放一个线圈。让线圈以  $\omega$  的速度顺时针旋转。

根据右手定则可知，线圈中产生感应电动势，其方向由  $U_1 \rightarrow U_2$ 。



合理设计磁极形状，使磁通按正弦规律分布，线圈两端便可得到**单相**交流电动势。

$$e_U = \sqrt{2}E \sin \omega t$$

## 2. 三相交流电动势的产生

三相交流电



三相交流发电机

**定子:** 定子铁心内圆周表面有槽，三相定子绕组**对称**嵌放在定子铁心槽中。

**转子:** 又称磁极。

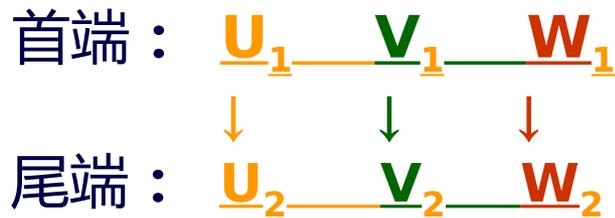
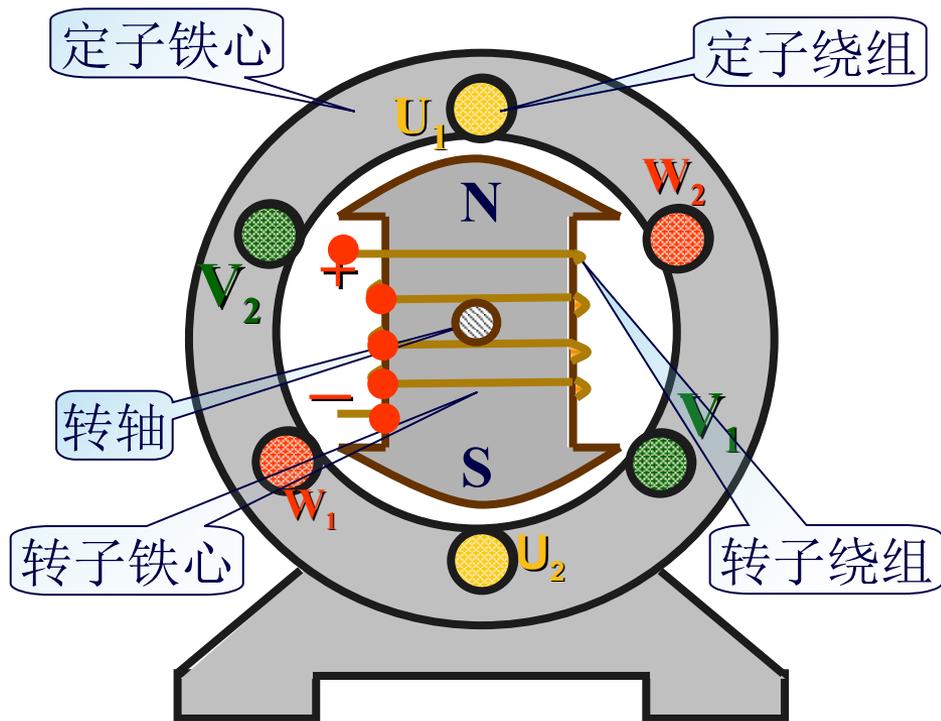
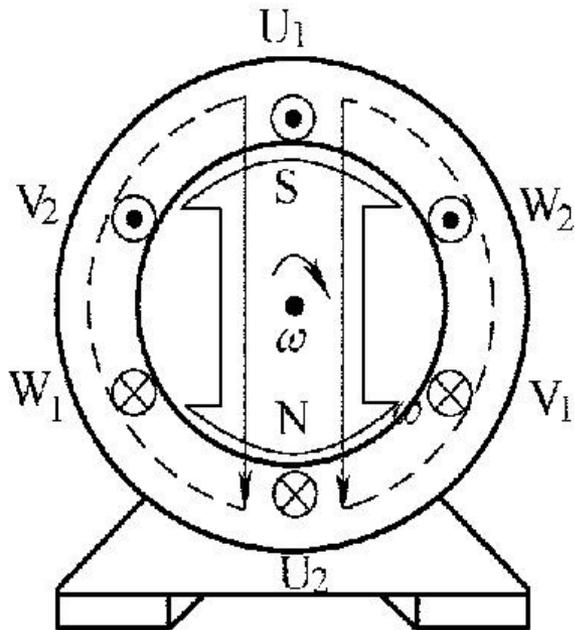
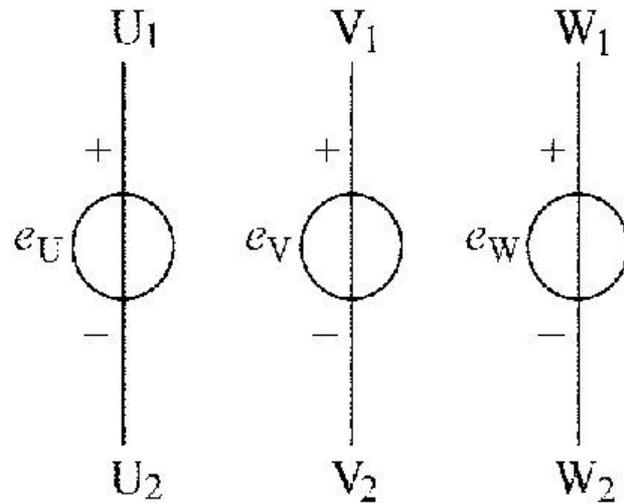


图 a 是三相交流发电机的原理图。其本质是由三个频率相同、幅值相等、相位依次互差  $120^\circ$  的交流电势组成的三相对称正弦交流电源，如图 (b)。



a) 三相交流发电机原理图



b) 三相绕组所产生的等效电源

### 三相交流发电机原理



分别用  $u$ 、 $e_U$ 、 $e_W$  来表示三相  
正弦电势，它们的电动势瞬时值表达式可写为

$$\begin{aligned} e_U &= E\sqrt{2} \sin \omega t \text{V} \\ e_V &= E\sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ) \text{V} \\ e_W &= E\sqrt{2} \sin(\omega t - 240^\circ) \text{V} = E_m \sqrt{2} \sin(\omega t + 120^\circ) \text{V} \end{aligned} \quad (1)$$

其相量表达式为

$$\begin{aligned} \square & E_U = E \angle 0^\circ \text{V} \\ \square & E_V = E \angle -120^\circ \text{V} \\ \square & E_W = E \angle 120^\circ \text{V} \end{aligned} \quad (2)$$



$$e_U = E_m \sqrt{2} \sin \omega t \text{V}$$

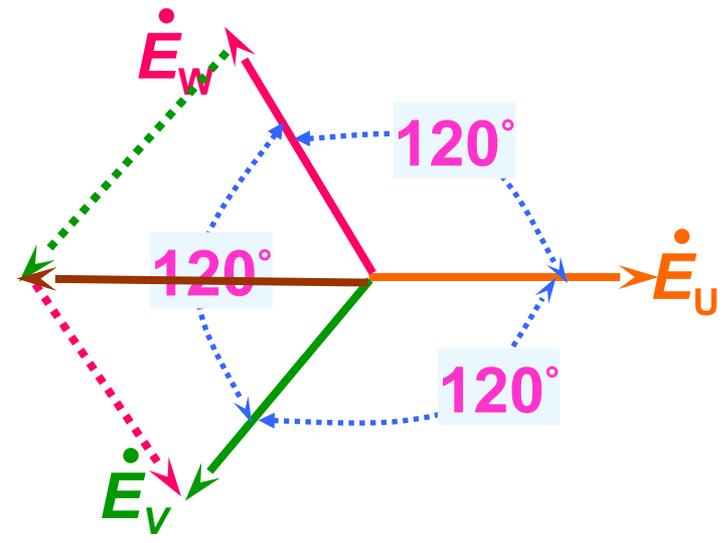
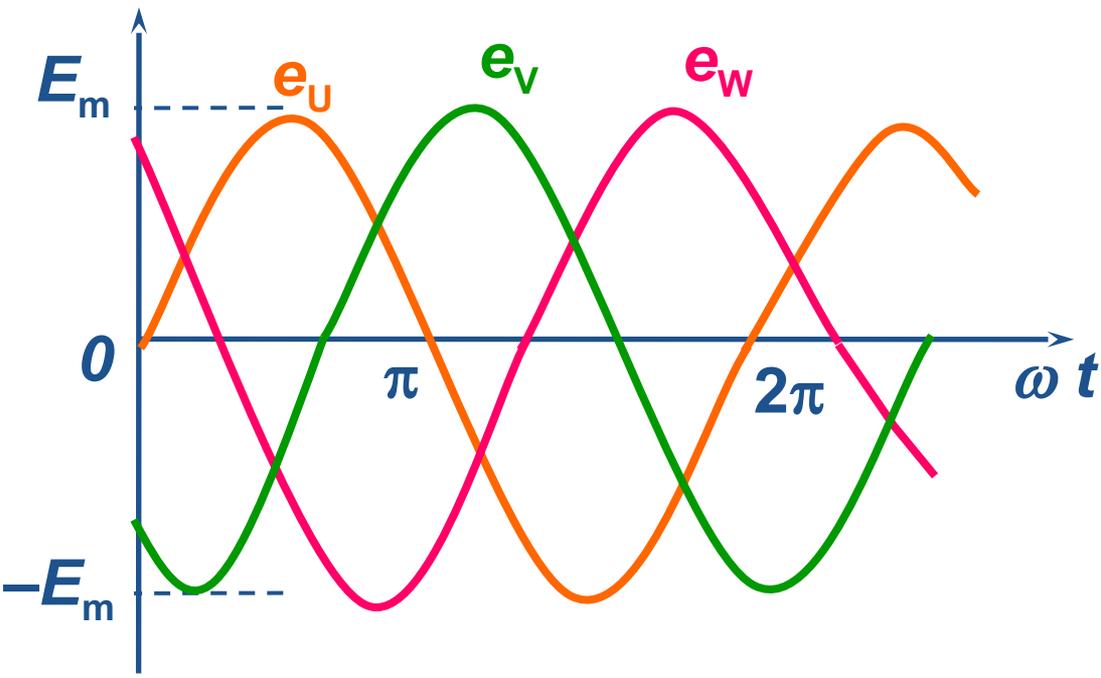
$$e_V = E_m \sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ) \text{V}$$

$$e_W = E_m \sqrt{2} \sin(\omega t + 120^\circ) \text{V}$$

$$\dot{E}_U = E \angle 0^\circ \text{V}$$

$$\dot{E}_V = E \angle -120^\circ \text{V}$$

$$\dot{E}_W = E \angle 120^\circ \text{V}$$



$$e_U + e_V + e_W = 0$$

$$(3) \quad \dot{E}_U + \dot{E}_V + \dot{E}_W = 0$$

$$(4)$$



三相电动势的特征：

大小相等，频率相同，相位互差  $120^\circ$  称为**对称电动势**。

同理可知，对称正弦电流、对称正弦电压

三相交流电压出现正幅值（或相应零值）的顺序称为**相序**。在此相序为 **1-2-3-1**（**U-V-W-U**）称为**顺相序**。

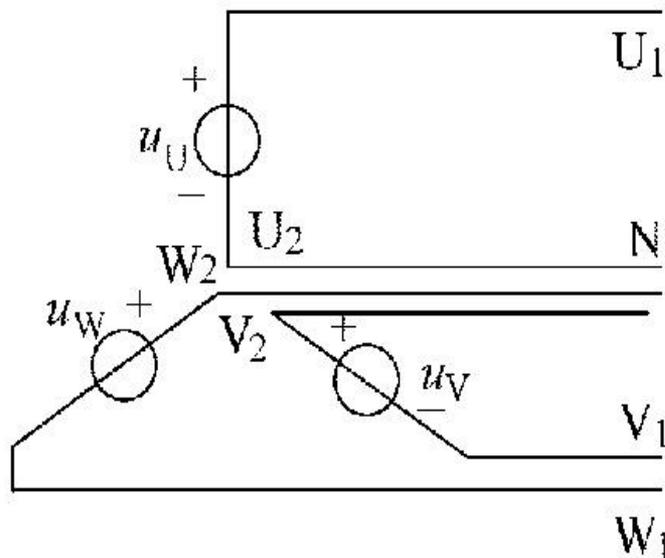
在电力系统中一般用**黄、绿、红**区别

**1** 电源连接方式：星形连接（Y形连接）、三角形连接

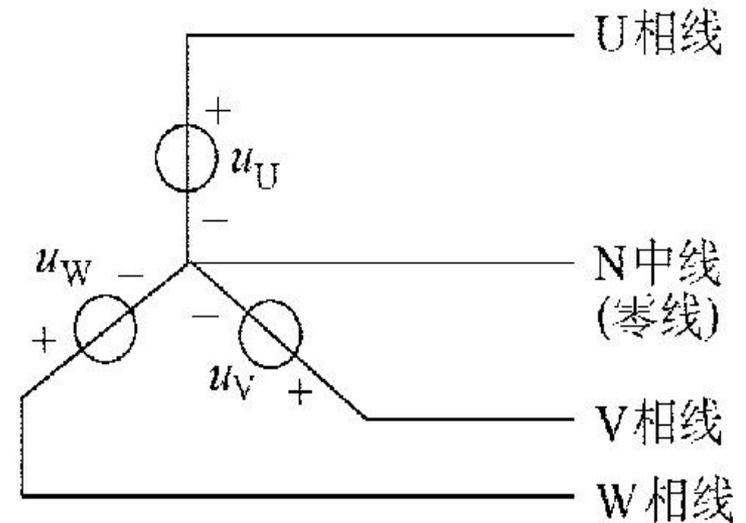
。



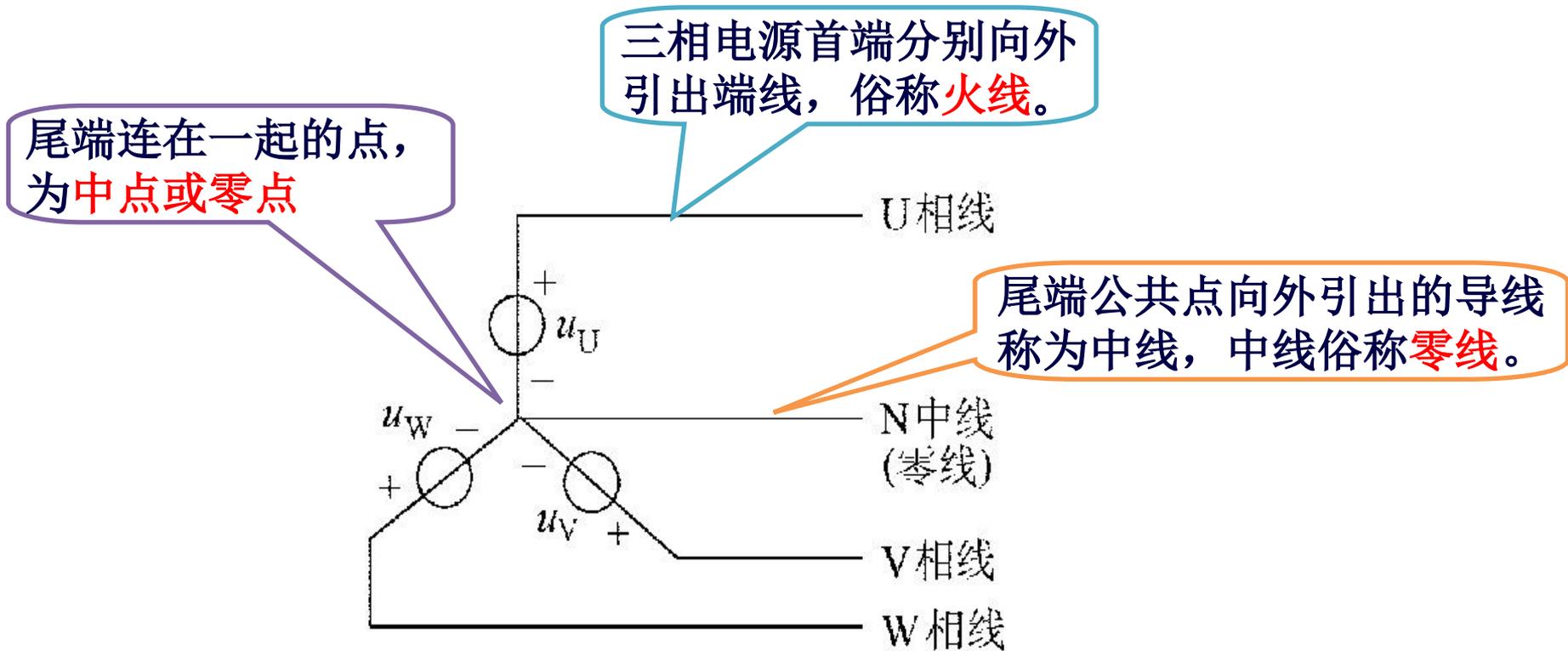
### 3. 三相电源的 Y 形联结



a) 三相六线制

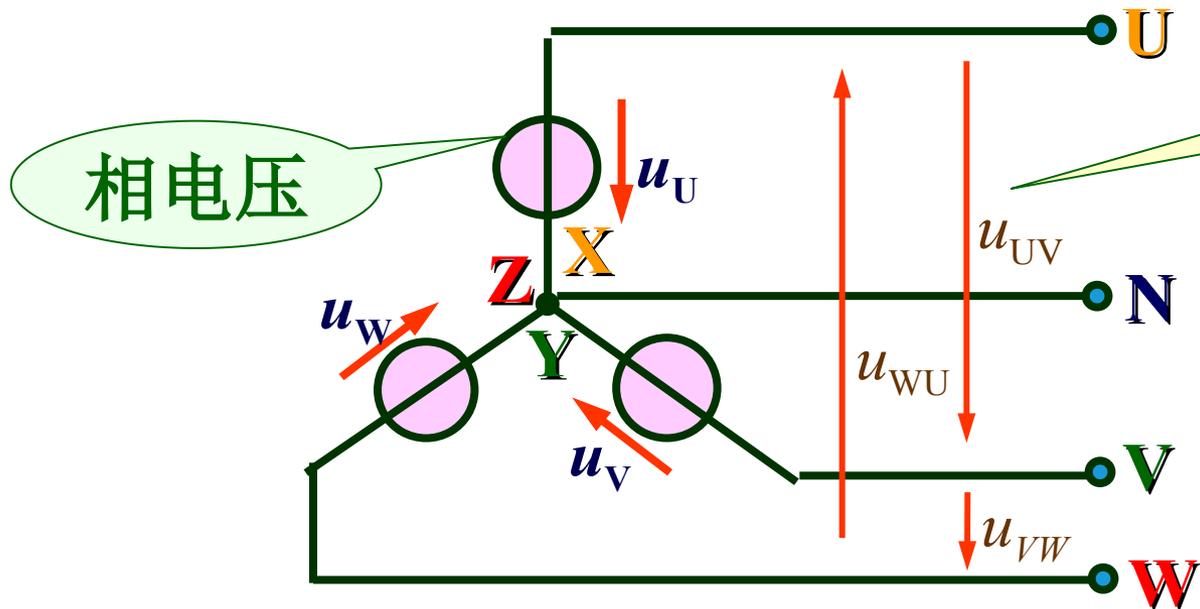


b) 三相四线制



## 三相四线制

电源连接方式：星形连接，又叫做 **Y** 形连接



线电压

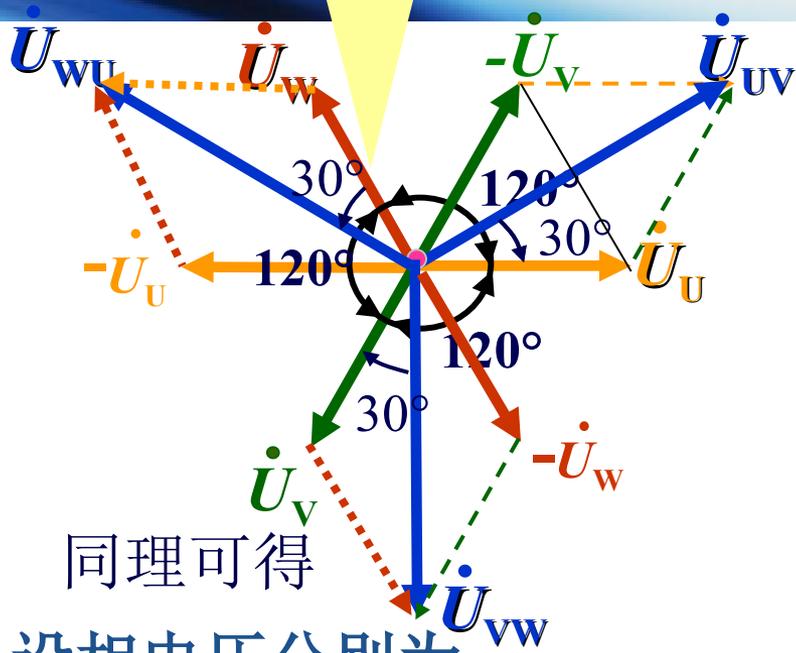
相电压

$$\begin{cases} u_{UV} = u_U - u_V \\ u_{VW} = u_V - u_W \\ u_{WU} = u_W - u_U \end{cases}$$

火线和中性线之间的电压称为**相电压**，有效值分别用  $U_U$ 、 $U_V$ 、 $U_W$  来表示，一般用  $U_p$  来表示；任意两个火线之间的电压称为**线电压**，有效值分别用  $U_{UV}$ 、 $U_{VW}$ 、 $U_{WU}$  来表示，一般用  $U_l$  来表示。



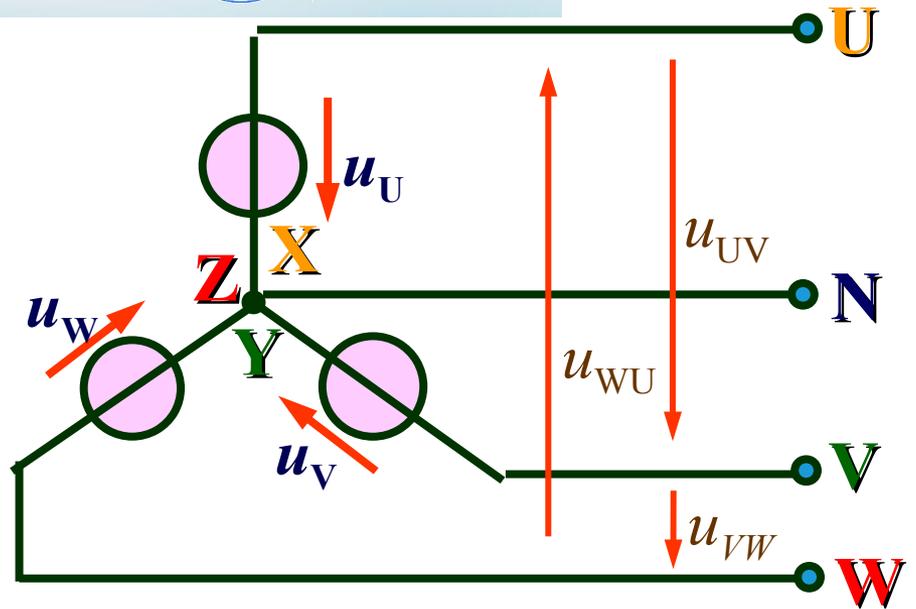
### 三个相电压对称



同理可得

设相电压分别为:

$$\begin{cases} \dot{U}_U = U_U \angle 0^\circ \\ \dot{U}_V = U_V \angle -120^\circ \\ \dot{U}_W = U_W \angle 120^\circ \end{cases}$$



$$\dot{U}_{UV} = \dot{U}_U - \dot{U}_V = \dot{U}_U + (-\dot{U}_V) = \sqrt{3} \dot{U}_U \angle 30^\circ$$

同理可有

$$\begin{cases} \dot{U}_{VW} = \sqrt{3} \dot{U}_V \angle 30^\circ \\ \dot{U}_{WU} = \sqrt{3} \dot{U}_W \angle 30^\circ \end{cases}$$





## 总结：

1) 若忽略发电机绕组上的内阻抗电压降，相电压与对应的电源电动势相等，故相电压是对称的。

2) 线电压也是对称的，且在相位上比相应的相电压超前  $30^\circ$  且

$$U_l = \sqrt{3}U_p$$

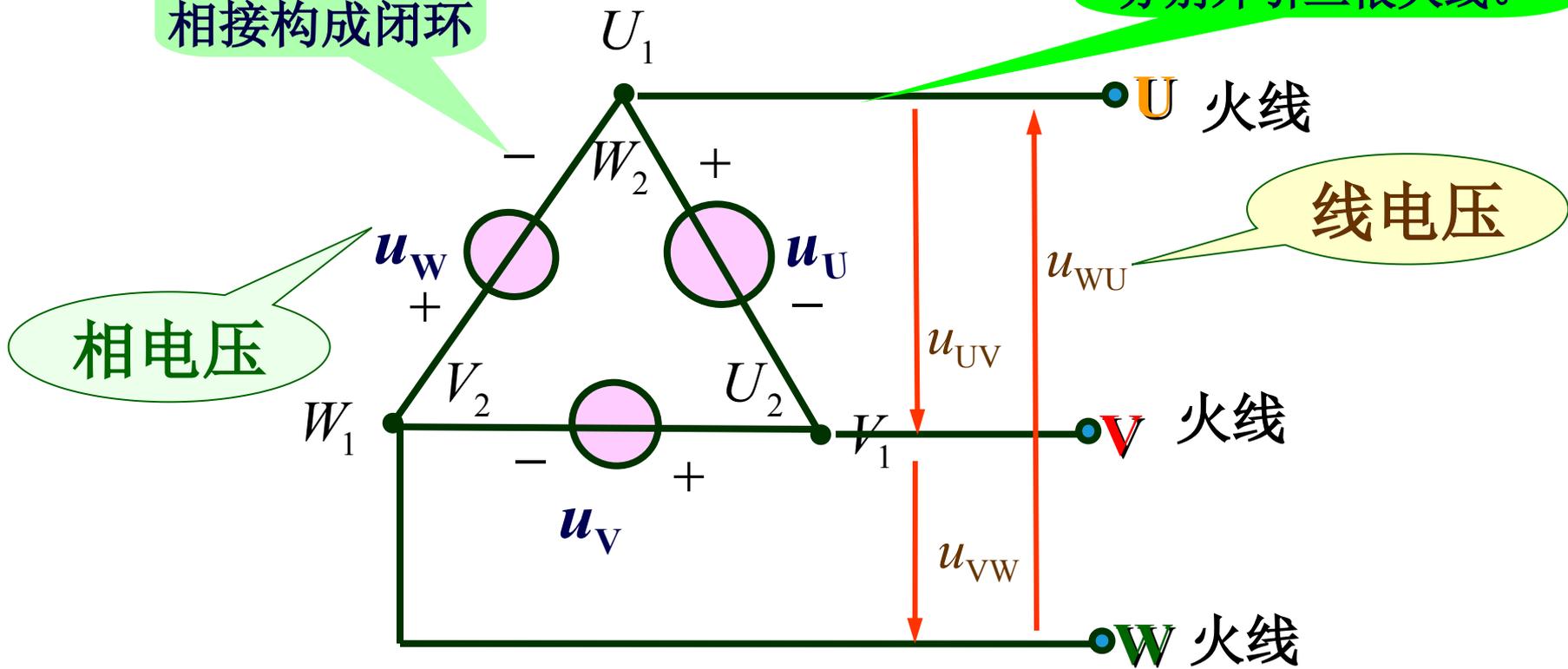
在日常的供电系统中：

$$U_p = 220V、U_l = 380V$$

## 4. 三相电源的三角形联结

三相电源首尾相接构成闭环

在电源的三个连接点处分别外引三根火线。

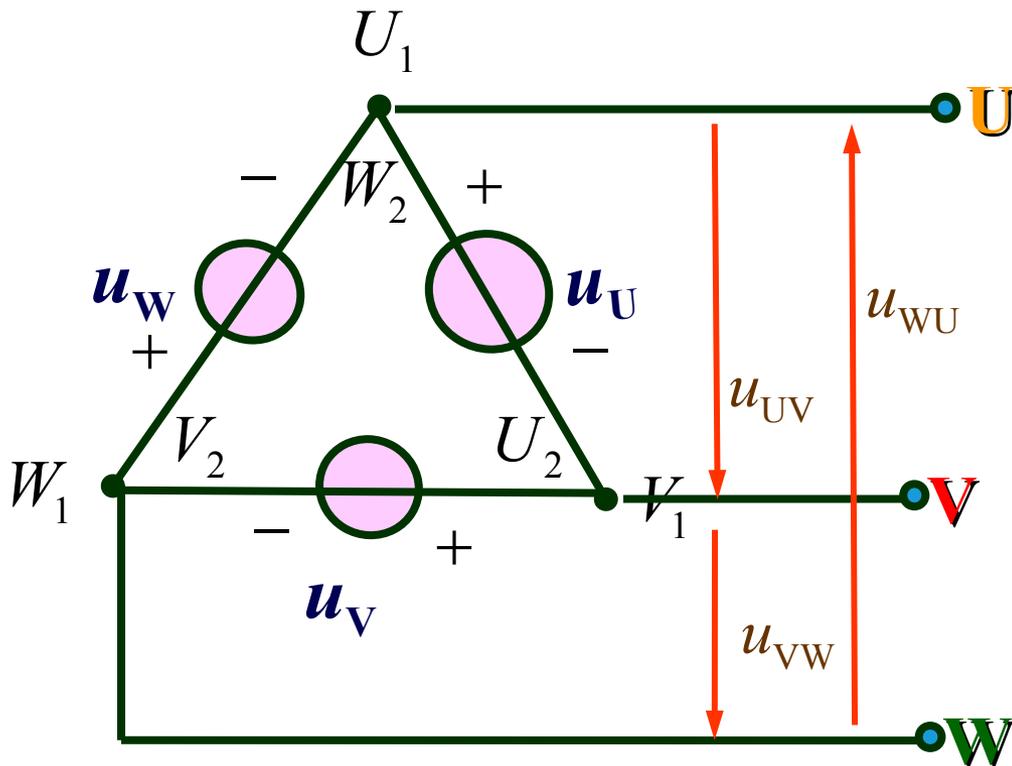


相电压

线电压

三相三线制

图示参考方向：



$$\begin{cases} u_{UV} = u_U \\ u_{VW} = u_V \\ u_{WU} = u_W \end{cases}$$

相量表示为

$$\begin{cases} \dot{U}_{UV} = \dot{U}_U \\ \dot{U}_{VW} = \dot{U}_V \\ \dot{U}_{WU} = \dot{U}_W \end{cases}$$



## 总结：

1) 若忽略发电机绕组上的内阻抗电压降，相电压与对应的电源电动势相等，故相电压是对称的。

2) 线电压也是对称的，且在相位上与相应的相电压同相，即： $U_l = U_p$ 。



# 检验学习结果

如何用验电笔测出  
三相四线制  
供电线路上的火线和零线？

三相四线制供电体制  
中，你能说出线、相  
电压之间的数量关系  
及相位关系吗？

数量上，线电压  $u_L$  是相电  
压  $u_P$  的  $\sqrt{3}$  倍；相位上，线电  
压超前与其相对应的相电压  
 $30^\circ$

你能说出对称  
三相交流电的  
特征吗？

频率相同、幅值相等、相位互差  
 $120^\circ$  的正弦交流电

利用一块电压表的  
测量，你能正确判断出  
火线和零线吗？

验电笔的正确握法如下图所示



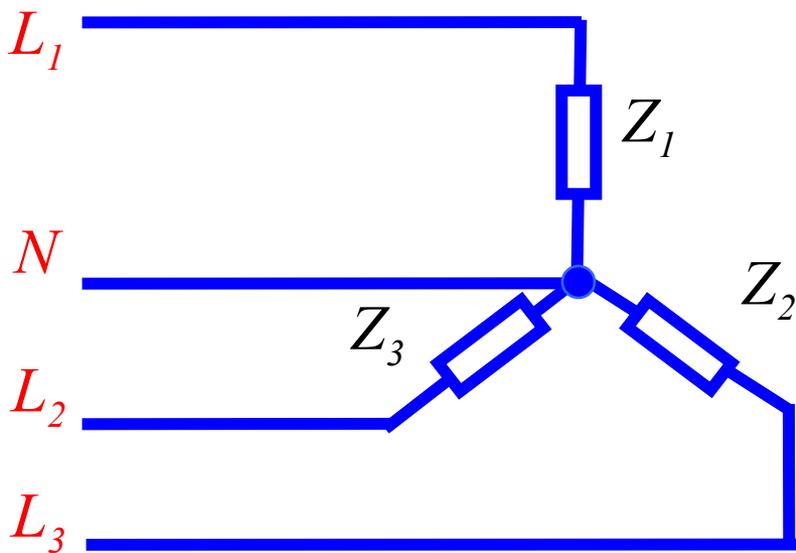
电笔头与被测导线接触时，  
使氖管发光的是火线，不发  
光的是零线。

## 你会做吗？

电表利用火线与零线之间的数量关系  
判断出火线与零线。

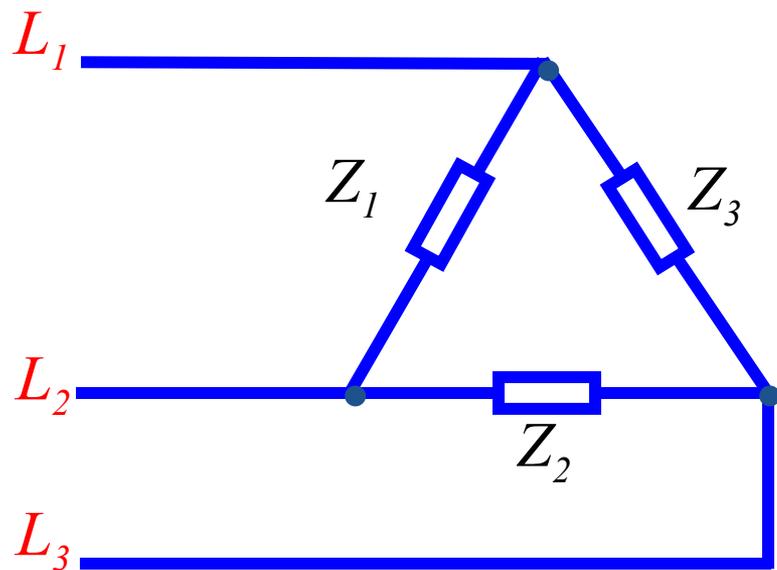
## 三相负载的连接

三相对称负载也有两种接法，如图所示。



星形接法

负载接在火线和中线之间

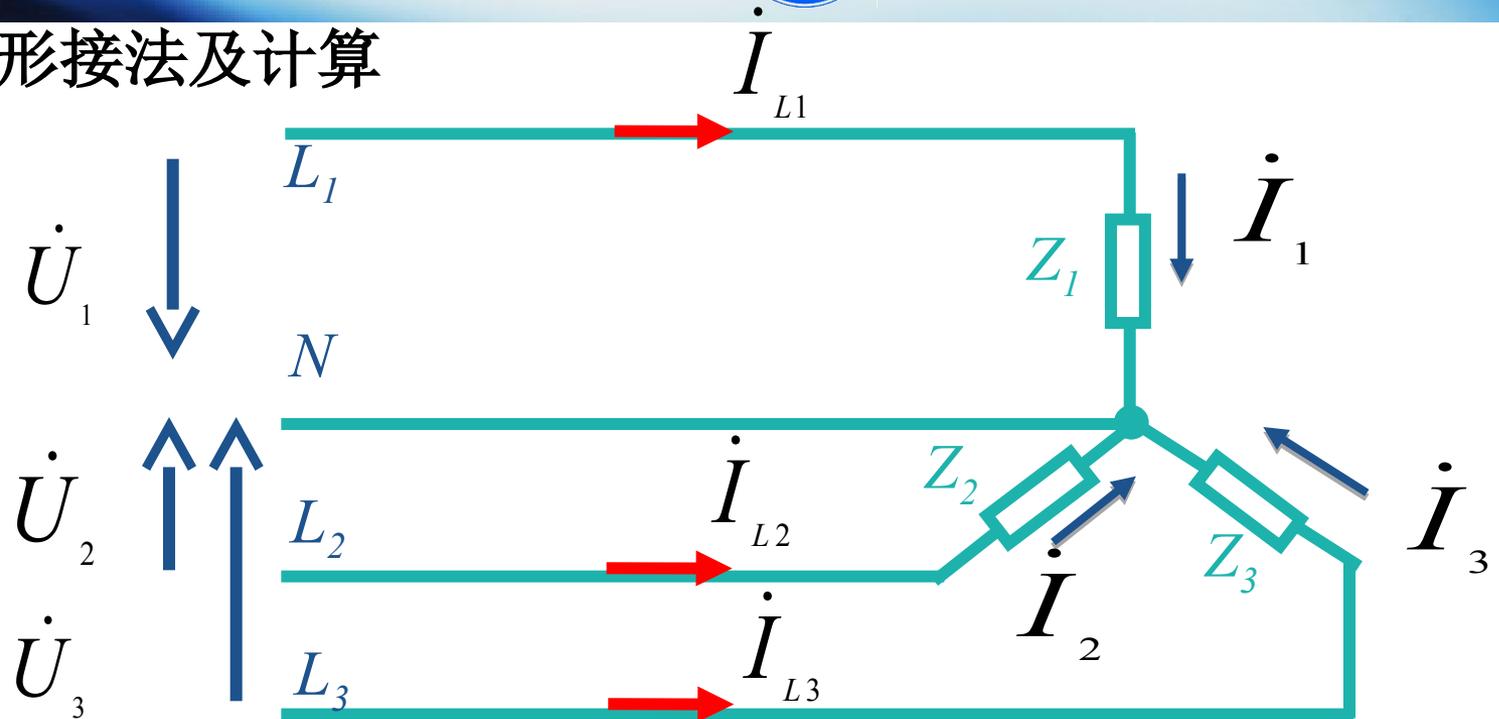


三角形接法

负载接在火线和火线之间



# 一、星形接法及计算



线电流 (相线上的电流):

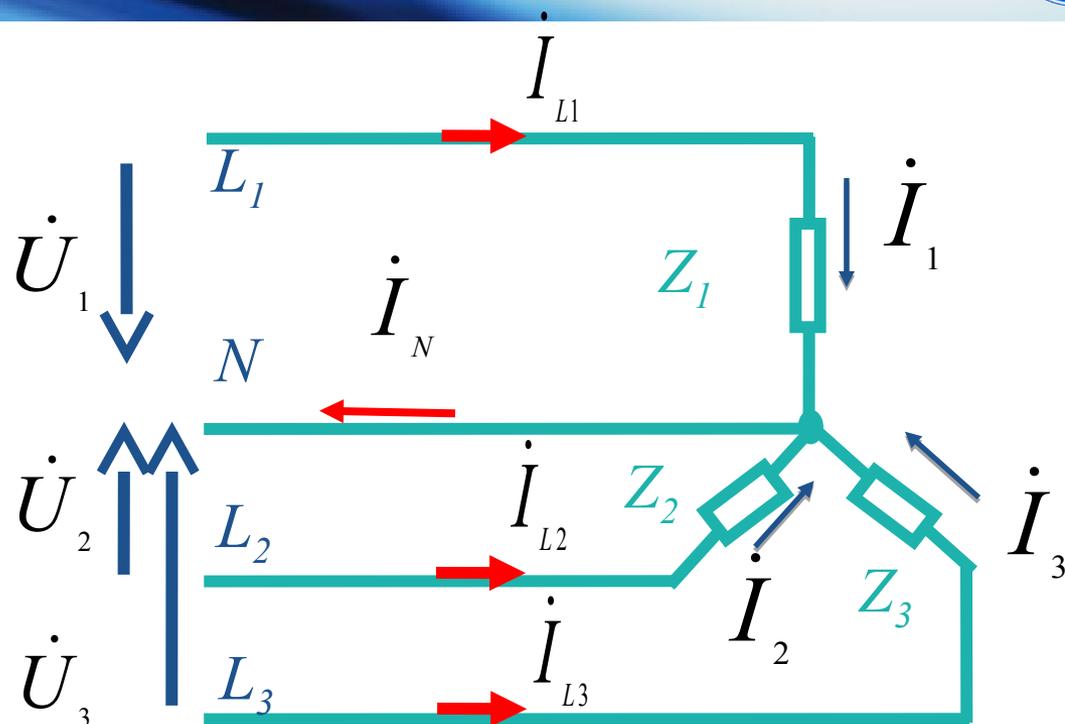
$$I_{L1}、I_{L2}、I_{L3}$$

相电流 (负载上的电流):

$$I_1、I_2、I_3$$



# 1. 星形接法特点



\* 相电流 = 线电流

$$I_{L1} = I_1$$

$$I_{L2} = I_2$$

$$I_{L3} = I_3$$

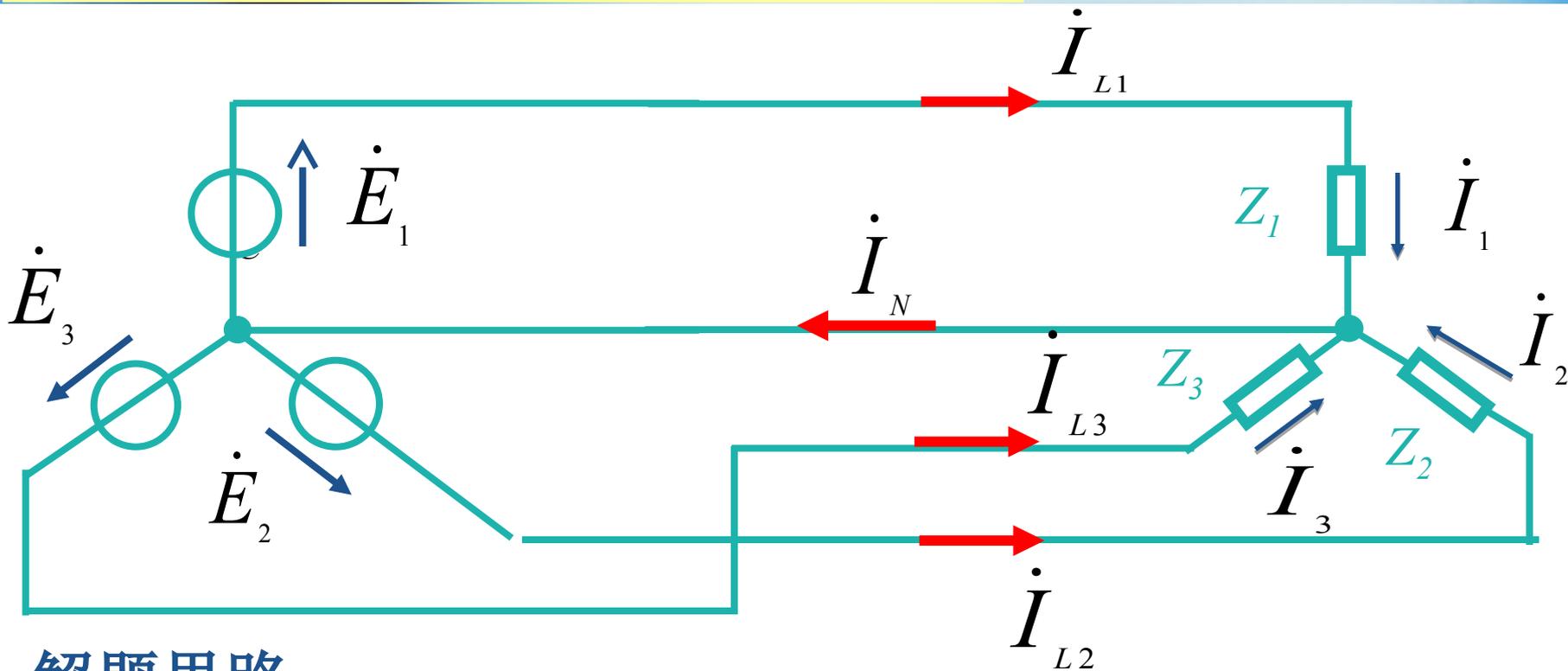
$I_N$  : 中线电流

$$I_N = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_l = I_p$$

\* 每相负载电压 = 电源相电压

## 2. 负载星形接法时的一般计算方法



解题思路:

一般线电压  $u_l$  为已知, 然后根据电压和负载求电流。

$$U_l \rightarrow U_p \longrightarrow I_l = I_p = \frac{U_p}{Z}$$



(1) 负载不对称时，各相单独计算。如：

**例** 已知三相负载  $R$ 、 $L$

、 $C$  以及三相对称电压。求

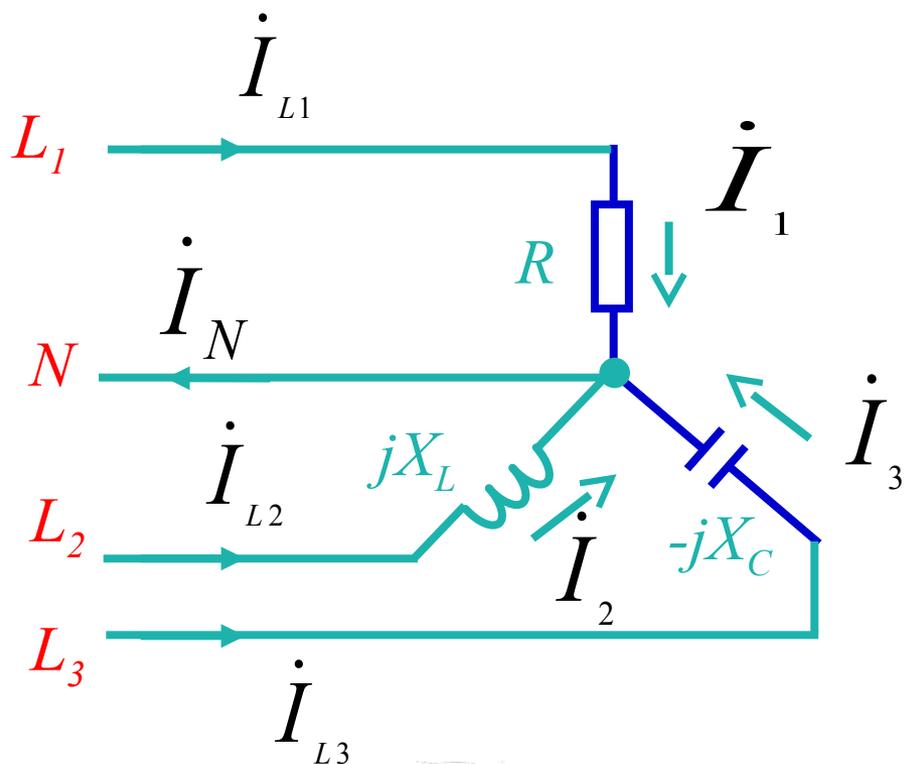
：各线及中线电流。

设：

$$\dot{U}_1 = U_P \angle 0^\circ$$

$$\dot{U}_2 = U_P \angle -120^\circ$$

$$\dot{U}_3 = U_P \angle 120^\circ$$





## (2) 负载对称时，只需计算一相。

如： $Z_1 = Z_2 = Z_3 = |Z| \angle \varphi$

则： $\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z} = \dot{I}_{L1}$

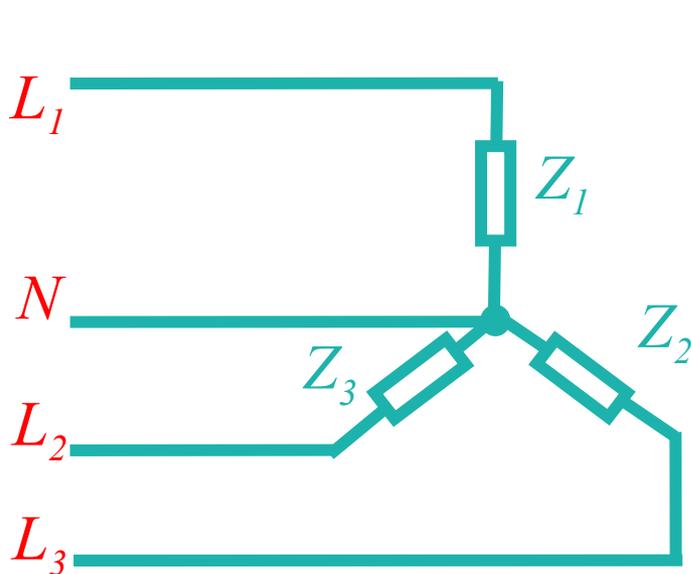
据此可直接得出另两相电流：

$$\dot{I}_{l2} = \dot{I}_2 = \dot{I}_1 \angle -120^\circ$$

$$\dot{I}_{l3} = \dot{I}_3 = \dot{I}_1 \angle 120^\circ$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$$

(中线电流为0)



负载对称，求电流、电压时，仅算一相，其余即可直接写出。

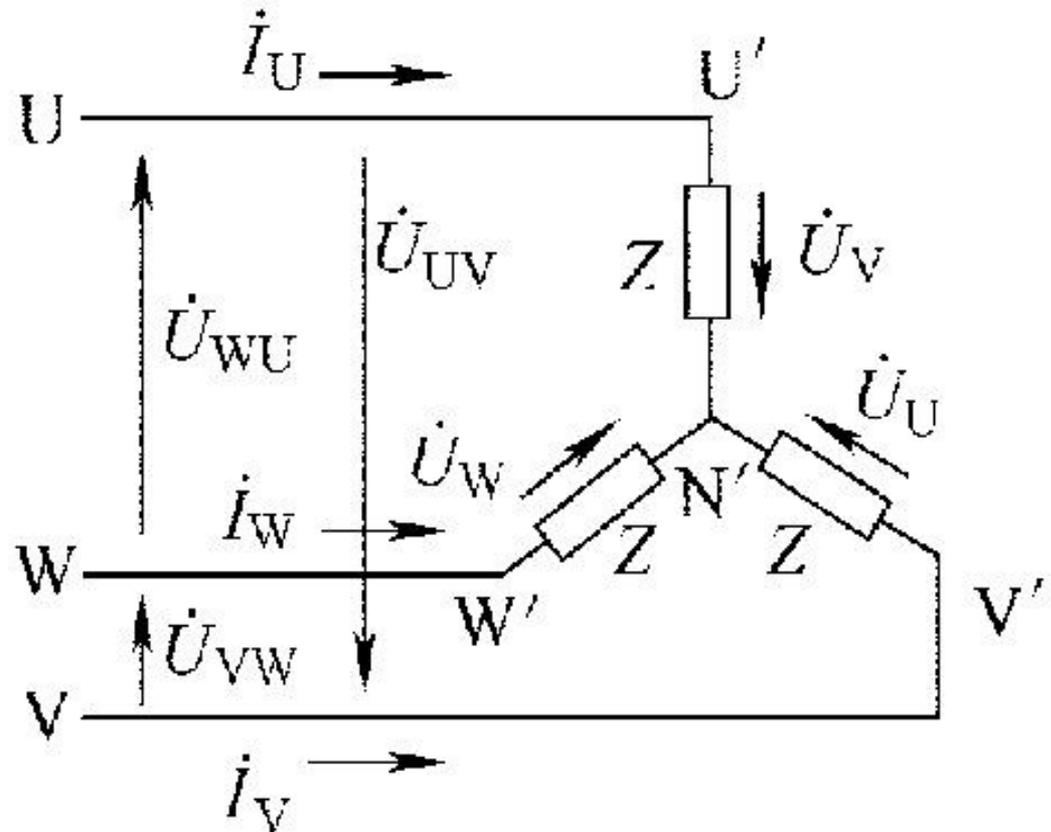
【例 1】某对称三相负载接成星形，如图所示。每相负载为  $5\Omega$ ，接在线电压为  $380V$  的对称三相电源上，求

解：由于对称，只取一相计算，设线电压为

$$\dot{U}_{UV} = 380/0^\circ V$$

则对应的相电压为

$$\dot{U}_U = 220/-30^\circ V$$

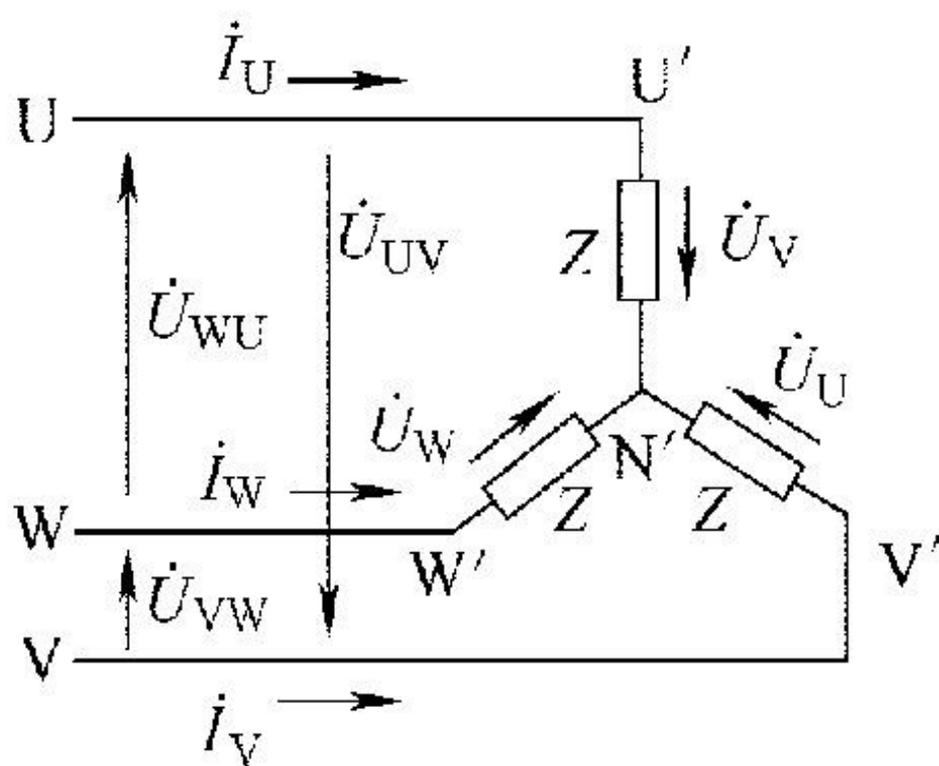


相电流为

$$\begin{aligned} \dot{I}_U &= \frac{\dot{U}_U}{Z} \\ &= \frac{220 / -30^\circ}{5 / 45^\circ} = 44 / -75^\circ A \end{aligned}$$

根据对称性可知

$$\dot{I}_V = \dot{I}_U / -120^\circ = 44 / 165^\circ A \quad \dot{I}_W = \dot{I}_U / 120^\circ = 44 / 45^\circ A$$





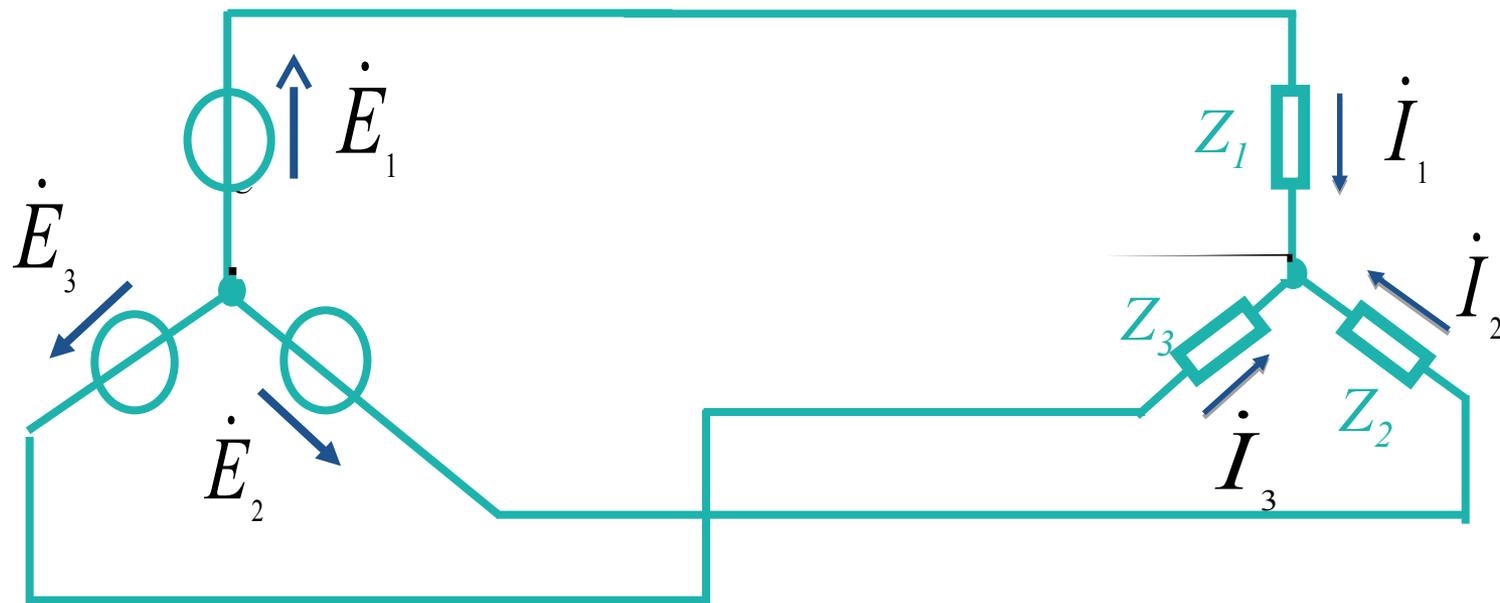
# 问题及讨论

## 负载对称时

$$(Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z)$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$$

零线是否可以取消？



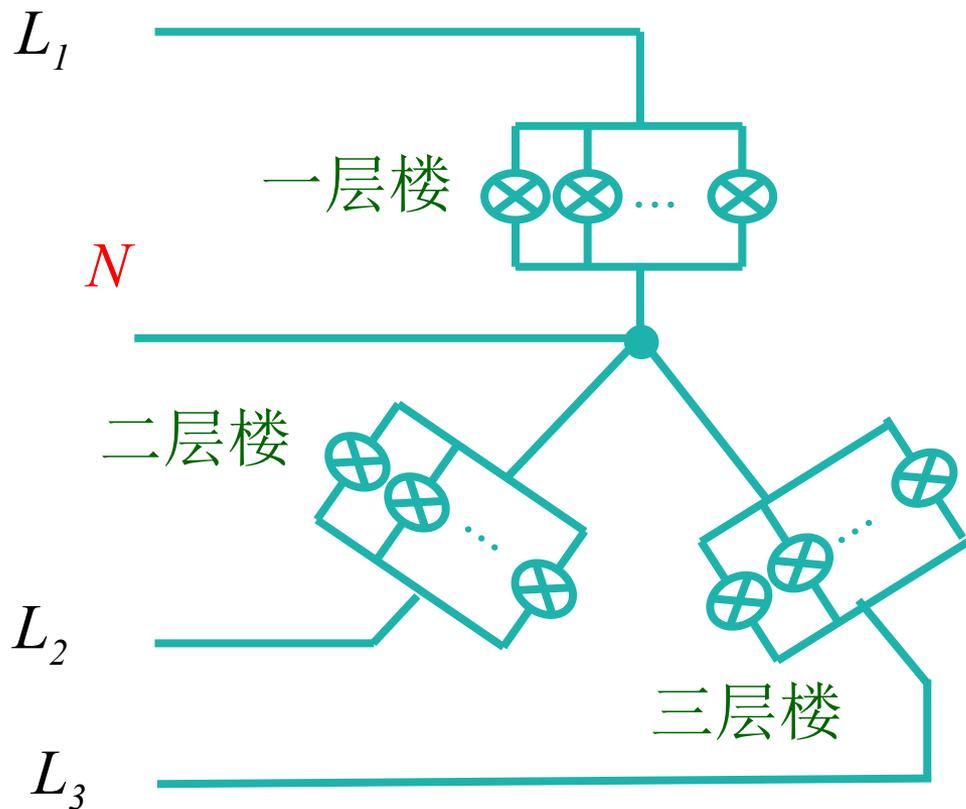
三相完全对称时，零线可以取消，称为三相三线制。



## 应用实例 - - - - 照明电路

正确接法：  
每层楼的灯相互  
并联，然后分别  
接至各相电压上。  
设电源电压为：

$$\frac{U_l}{U_P} = 380 / 220 \text{ V}$$

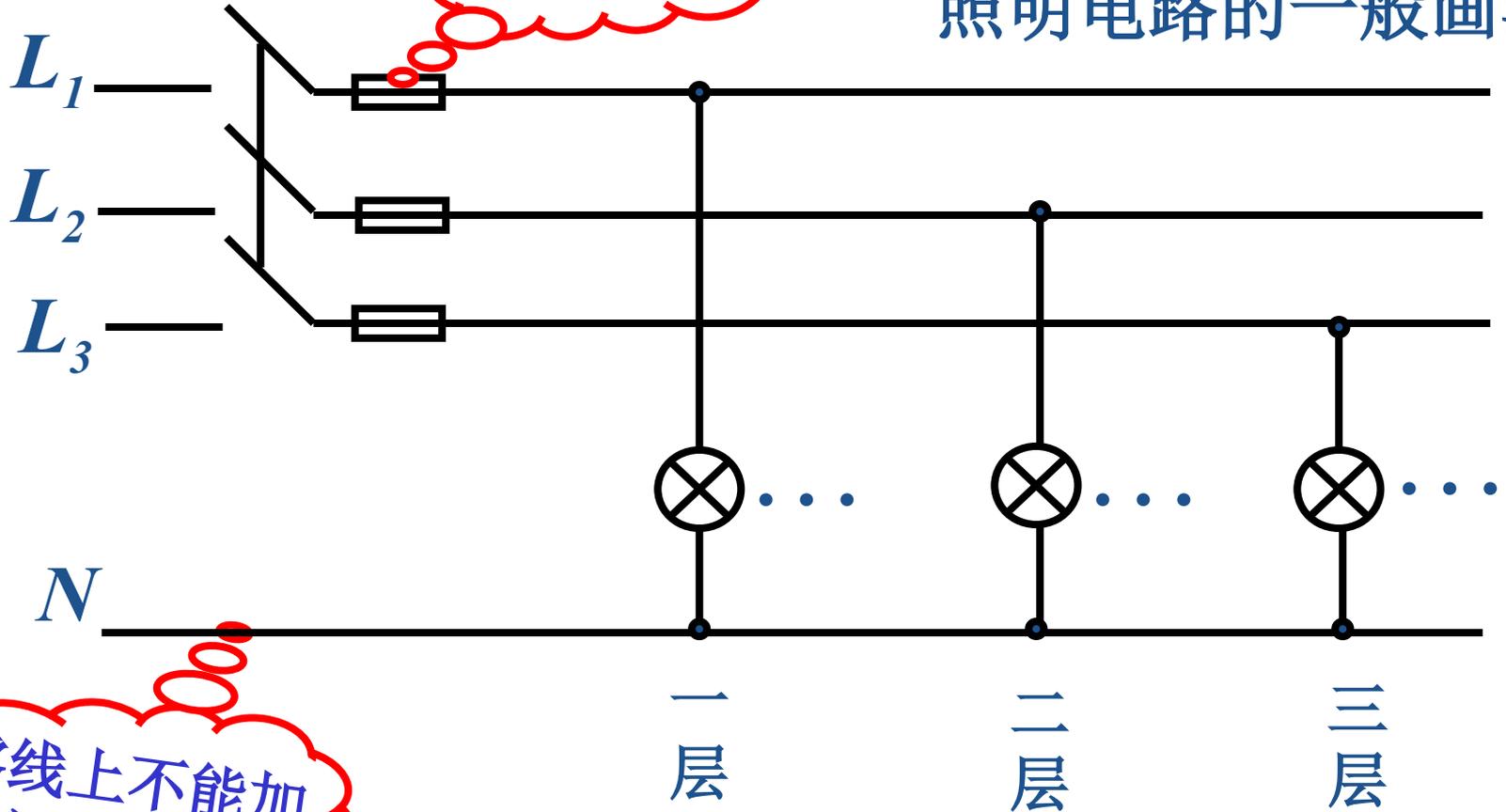


则每盏灯上都**可得到额定的工作电压 220V**。



熔断器

# 照明电路的一般画法



零线上不能加刀闸和保险

思考：若有一相发生故障，会出现什么情况？



## 关于中线的讨论

如果有中线，当一相发生故障时，其它无故障负载相仍能正常工作。

因此，对通常工作在不对称情况下的三相电路而言，**中线绝对不允许断开！而且必须保证中线可靠。**

**同时，为确保中线在运行中不断开**

**中线上不允许接开关或熔断器！**



## 二、三角形接法及计算

特点：  
每相负载电压 = 电源线电压

### 2. 各电流的计算

相电流

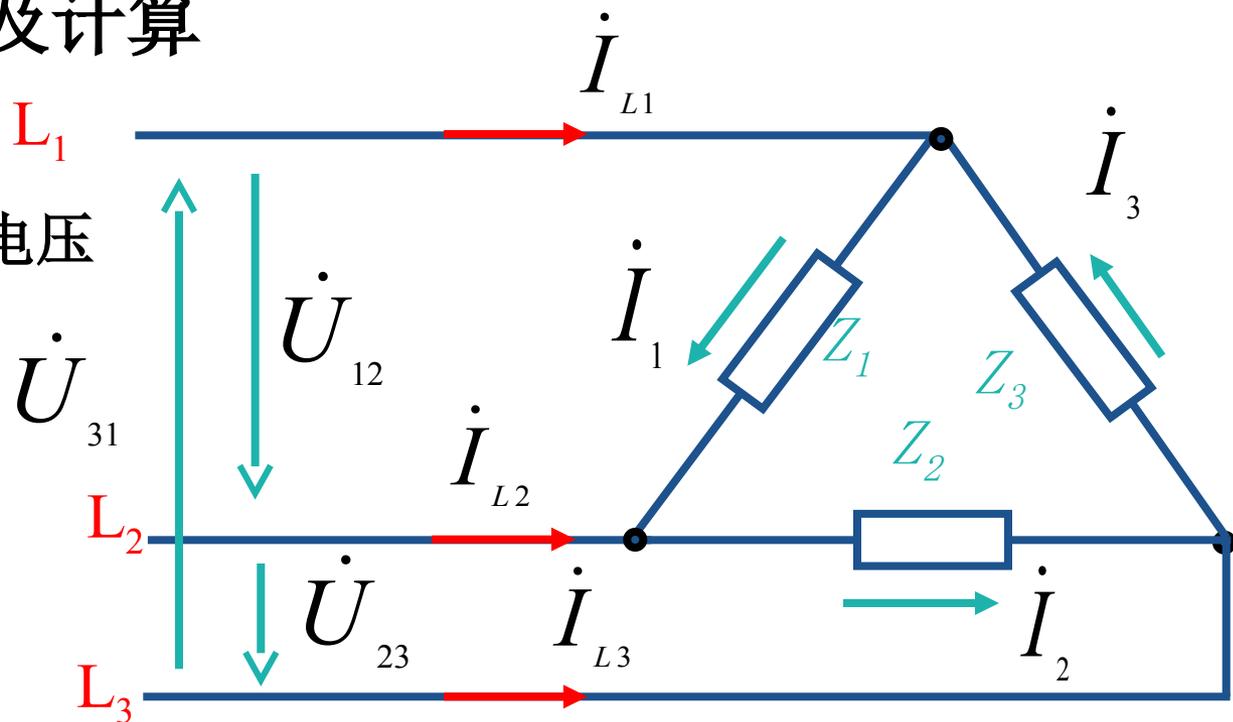
$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{12}}{Z_1}$$

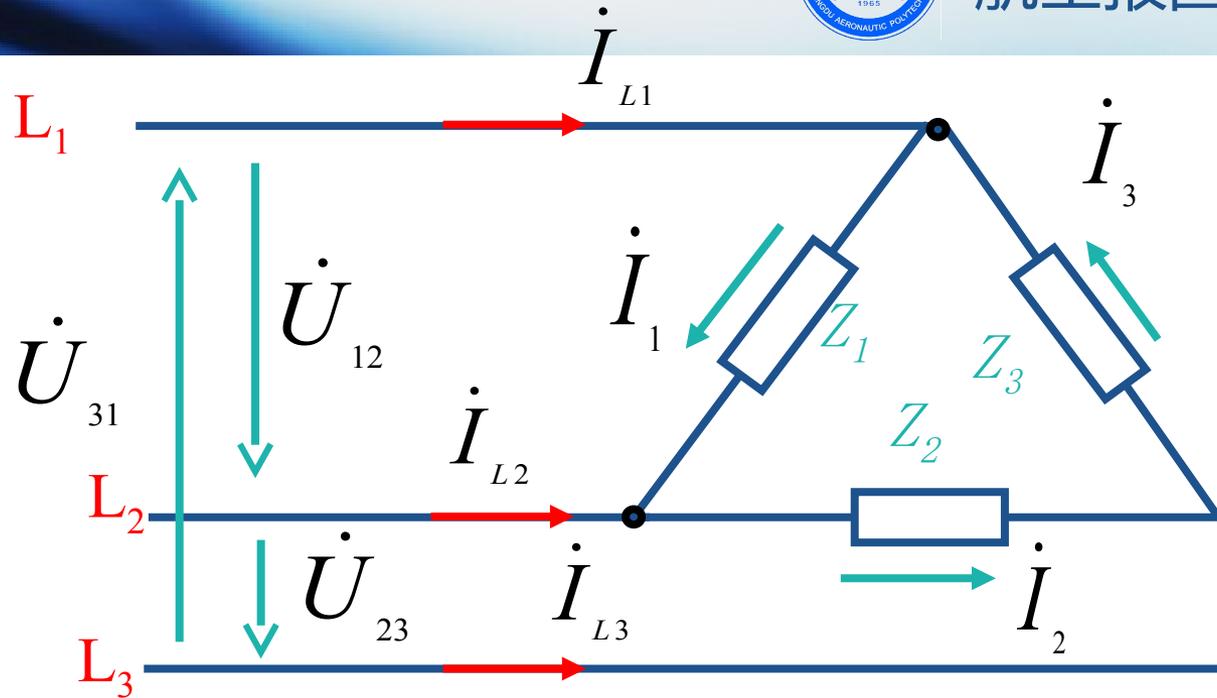
$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{23}}{Z_2}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{31}}{Z_3}$$

线电流

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{I}_{L1} &= \dot{I}_1 - \dot{I}_3 \\ \dot{I}_{L2} &= \dot{I}_2 - \dot{I}_1 \\ \dot{I}_{L3} &= \dot{I}_3 - \dot{I}_2 \end{aligned} \right.$$



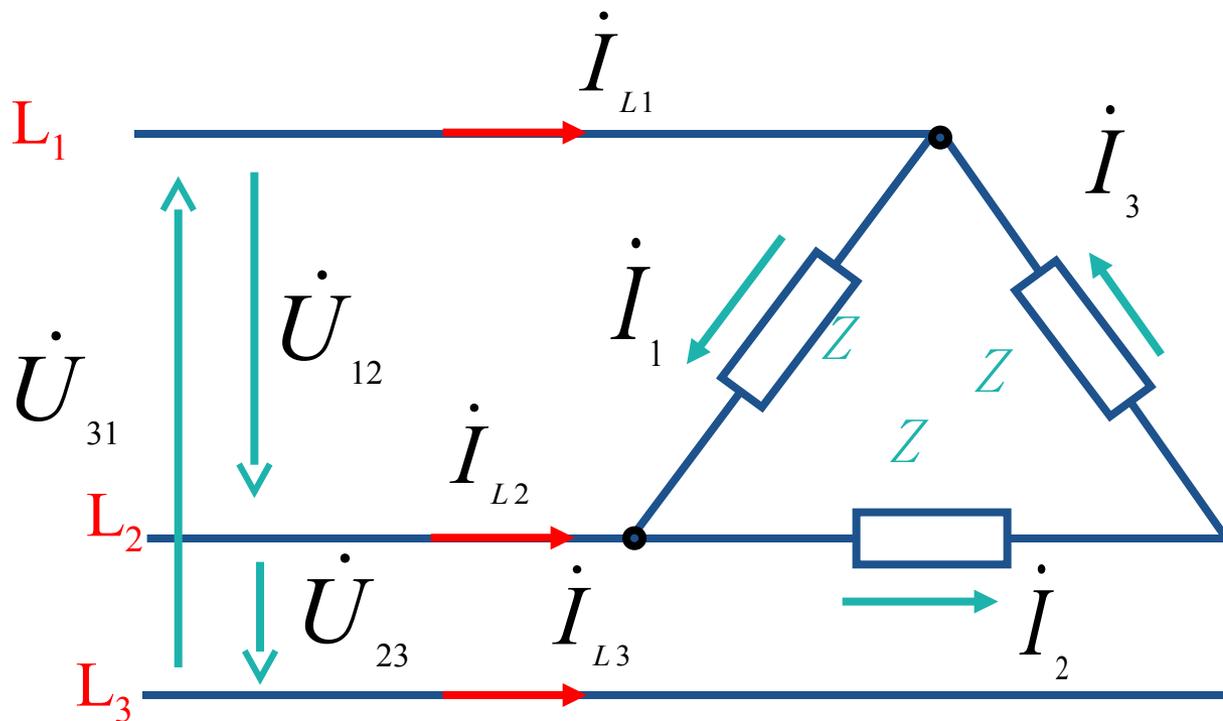


(1) 负载不对称时，先算出各相电流，然后计算线电流。

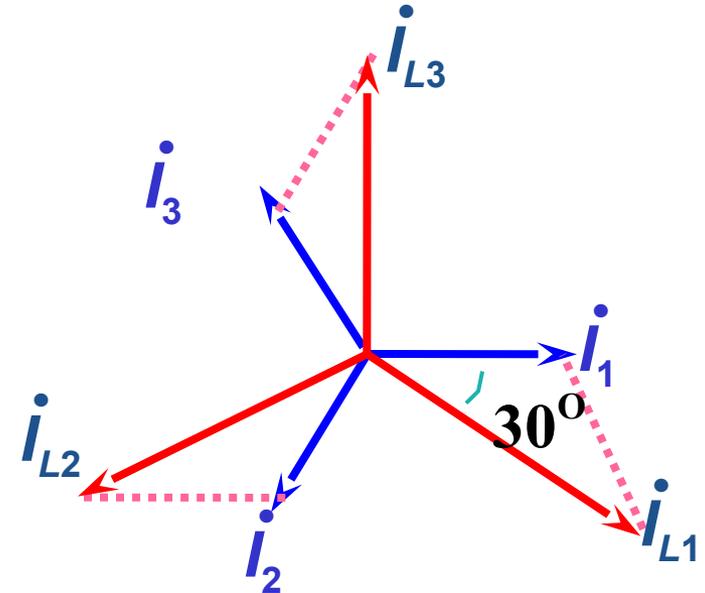
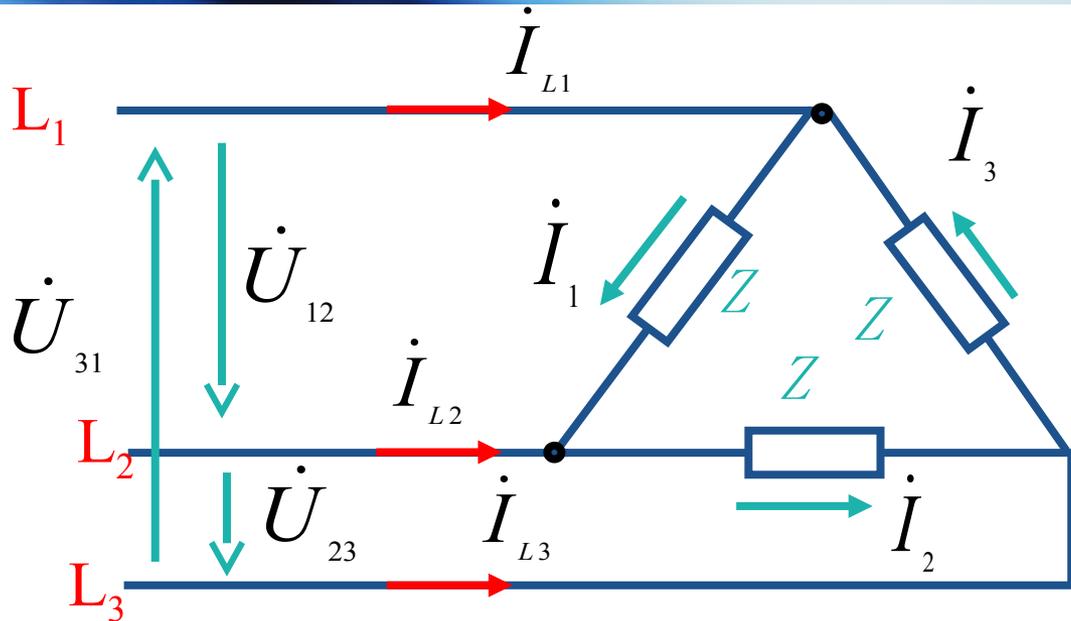
(2) 负载对称时 ( $Z_1=Z_2=Z_3=Z$ )，各相电流有效值相等，相位互差  $120^\circ$ 。有效值为：

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_P = \frac{U_l}{|Z|}$$

# 负载对称时三角形接法的特点



每相负载电压 = 电源线电压



每相负载中的电流为：

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{12}}{Z} \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{23}}{Z} \quad \dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{31}}{Z}$$

各线电流为：

$$\dot{I}_{L1} = \dot{I}_1 - \dot{I}_3 \quad \dot{I}_{L2} = \dot{I}_2 - \dot{I}_1 \quad \dot{I}_{L3} = \dot{I}_3 - \dot{I}_2$$

对称负载相量图

♣  $I_l = \sqrt{3}I_p$

各线电流滞后于相应各相电流  $30^\circ$



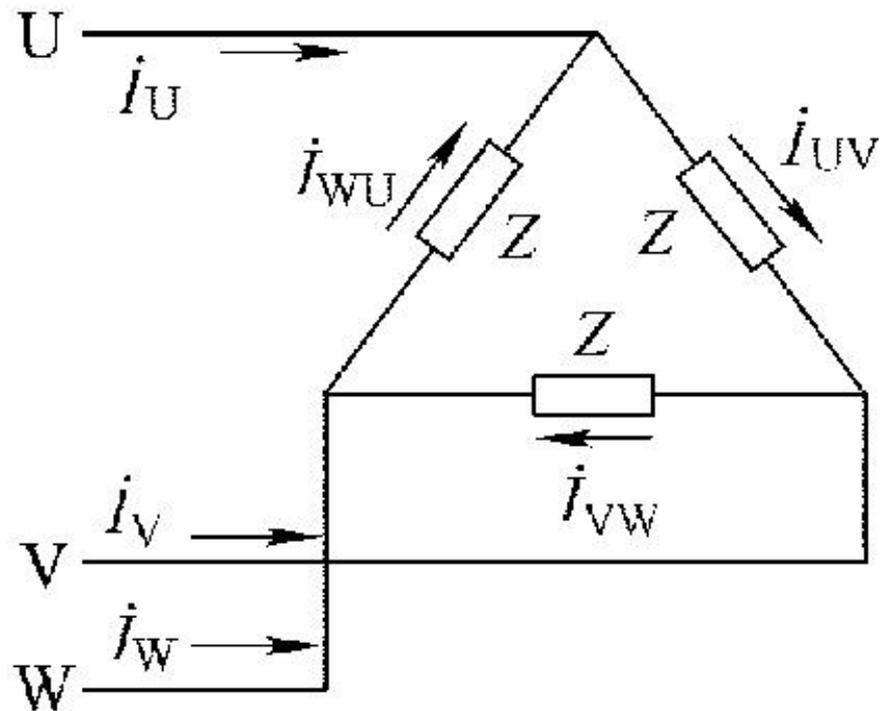
**【例 2】** 某对称三相负载接成三角形，如图所示。  
每相负载为  $Z = 5/45^\circ \Omega$ ，接在线电压为 **380V** 的对称三相电源上，求  $\dot{I}_U$ 、 $\dot{I}_V$ 、 $\dot{I}_W$ 。

**解：** 由于对称，只取一相计算，设线电压为

$$\dot{U}_{UV} = 380/0^\circ V$$

则相电流为

$$\dot{I}_{UV} = \frac{\dot{U}_{UV}}{Z} = \frac{380/0^\circ}{5/45^\circ} = 76/-45^\circ A$$





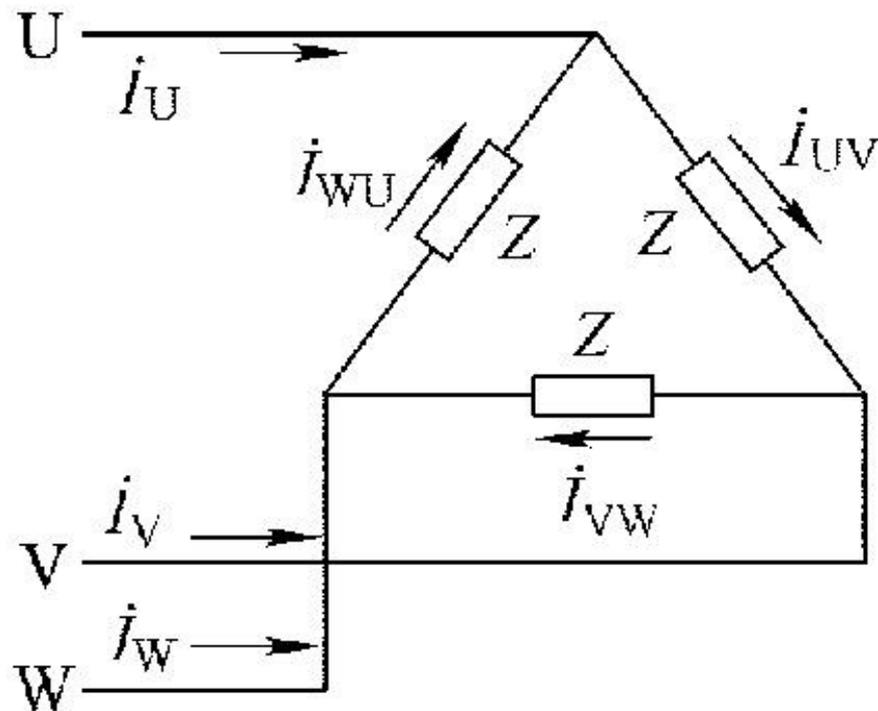
故线电流为

$$\dot{I}_U = \sqrt{3} \dot{I}_{UV} / -30^\circ = 131.63 / \underline{-75^\circ} \text{ A}$$

由对称性可知

$$\dot{I}_V = 131.63 / \underline{165^\circ} \text{ A}$$

$$\dot{I}_W = 131.63 / \underline{45^\circ} \text{ A}$$





## 注意

三相负载采用何种联接方式由**负载的额定电压**决定。  
当负载额定电压等于电源**线**电压时采用**三角形**联接；  
当负载额定电压等于电源**相**电压时采用**星形**联接。



# 三相电路的功率

## 一、三相电路的总功率：

$$\begin{cases} P = P_1 + P_2 + P_3 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 \\ Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = U_1 I_1 \sin \varphi_1 + U_2 I_2 \sin \varphi_2 + U_3 I_3 \sin \varphi_3 \end{cases}$$

总的视在功率为

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

回顾：

$\varphi$ 都是相电压与相电流的相位差

单位

P- W/ Q Var; S- VA



## 二、负载对称时：

每相负载  
电压电流

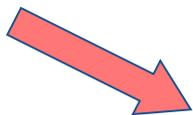
$\varphi$  由负载  
性质决定

$$P = 3U_p I_p \cos \varphi$$

$\varphi$ 是相电压与  
相电流的相位差

Y

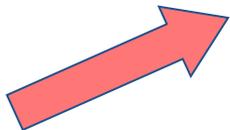
$$\begin{cases} U_p = \frac{1}{\sqrt{3}} U_l \\ I_p = I_l \end{cases}$$



$$P = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$$

$\Delta$

$$\begin{cases} U_p = U_l \\ I_p = \frac{1}{\sqrt{3}} I_l \end{cases}$$



$$Q = 3U_p I_p \sin \varphi = \sqrt{3} U_l I_l \sin \varphi$$

同理，可得出对称三相电路无功功率及视在功率

$$S = 3U_p I_p = \sqrt{3} U_l I_l$$





**【例1】** 有一个对称三相负载，接在线电压为 **380V** 的三相对称电源上，每相的阻抗为  $Z = 10/\underline{53.1^\circ}\Omega$ ，求：三个负载分别作星形联结和三角形联结时的总有功功率  $P_Y$ 和 $P_\Delta$ 各为多少？

**解：** 因为线电压  $U_l = 380V$   $\varphi = 53.1^\circ$

(1) 将负载接成 Y 时,  $U_p = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = 220V$

相电流为  $I_p = \frac{U_p}{|Z|} = \frac{220}{10} = 22A$

$$P_Y = 3U_p I_p \cos \varphi = 3 \times 220 \times 22 \times \cos 53.1^\circ = 8.7kW$$





(2) 将负载接成 $\Delta$ 时,  $U_p = U_l = 380V$

相电流为

$$I_P = \frac{U_P}{|Z|} = \frac{380}{10} = 38A$$

因  
此

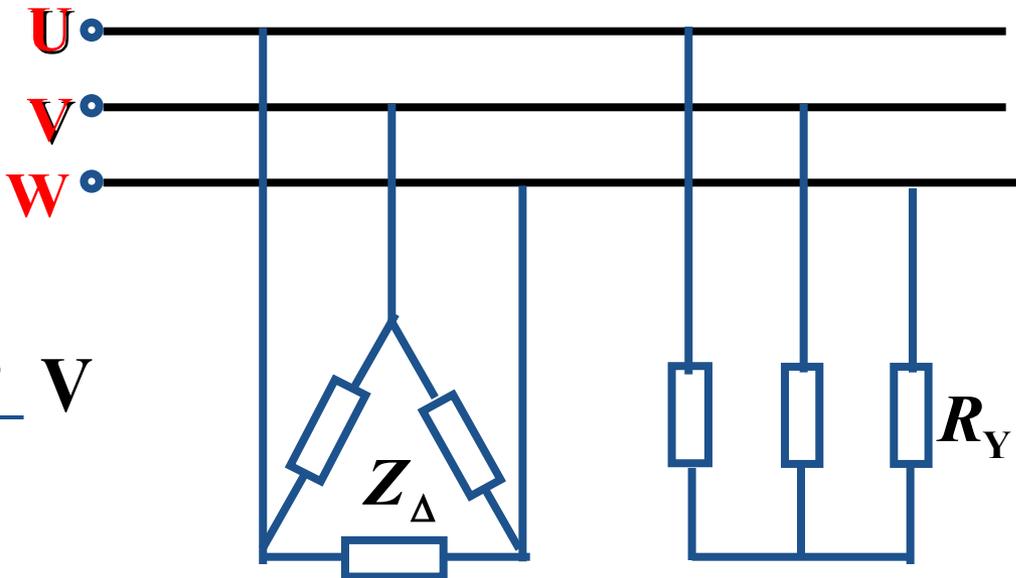
$$P_{\Delta} = 3U_P I_P \cos \varphi = 3 \times 380 \times 38 \times \cos 53.1^{\circ} = 26kW$$



**【例 2】** 线电压  $U_l$  为 380 V 的三相电源上，接有两组对称三相电源：一组是三角形联结的电感性负载，每相阻抗  $Z_{\Delta} = 36.3 \angle 37^{\circ} \Omega$ ；另一组是星形联结的电阻性

负载，每相电阻  $R = 10\Omega$ ，如图所示。试求：

- (1) 各组负载的相电流；
- (2) 电路线电流；
- (3) 三相有功功率。



**解：** 设  $U_{UV} = 380 \angle 0^{\circ} \text{ V}$

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

**(1) 各电阻负载的相电流**

由于三相负载对称，所以只需计算一相，其它两相可依据对称性写出。



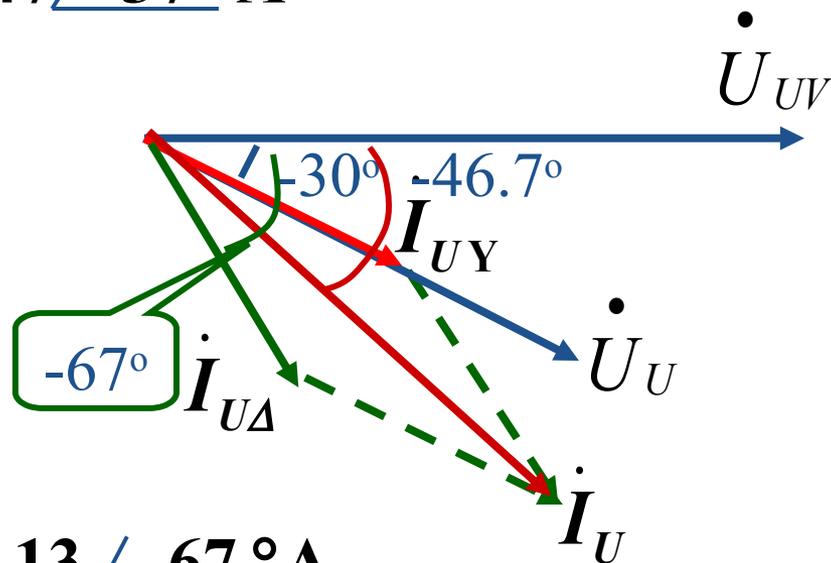
负载三角形联接时，其相电流为

$$\dot{I}_{UV\Delta} = \frac{\dot{U}_{UV}}{Z_{\Delta}} = \frac{380\angle 0^{\circ}}{36.3\angle 37^{\circ}} \text{ A} = 10.47\angle -37^{\circ} \text{ A}$$

一相电压与电流的相量图如图所示

负载星形联接时，其线电流为

$$\dot{I}_{UY} = \frac{\dot{U}_U}{R_Y} = 22\angle -30^{\circ} \text{ A}$$



(2) 电路线电流

$$\dot{I}_{U\Delta} = 10.47\sqrt{3}\angle -37^{\circ} - 30^{\circ} = 18.13\angle -67^{\circ} \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_U &= \dot{I}_{U\Delta} + \dot{I}_{UY} = 18.13\angle -67^{\circ} + 22\angle -30^{\circ} \\ &= 38\angle -46.7^{\circ} \text{ A} \end{aligned}$$

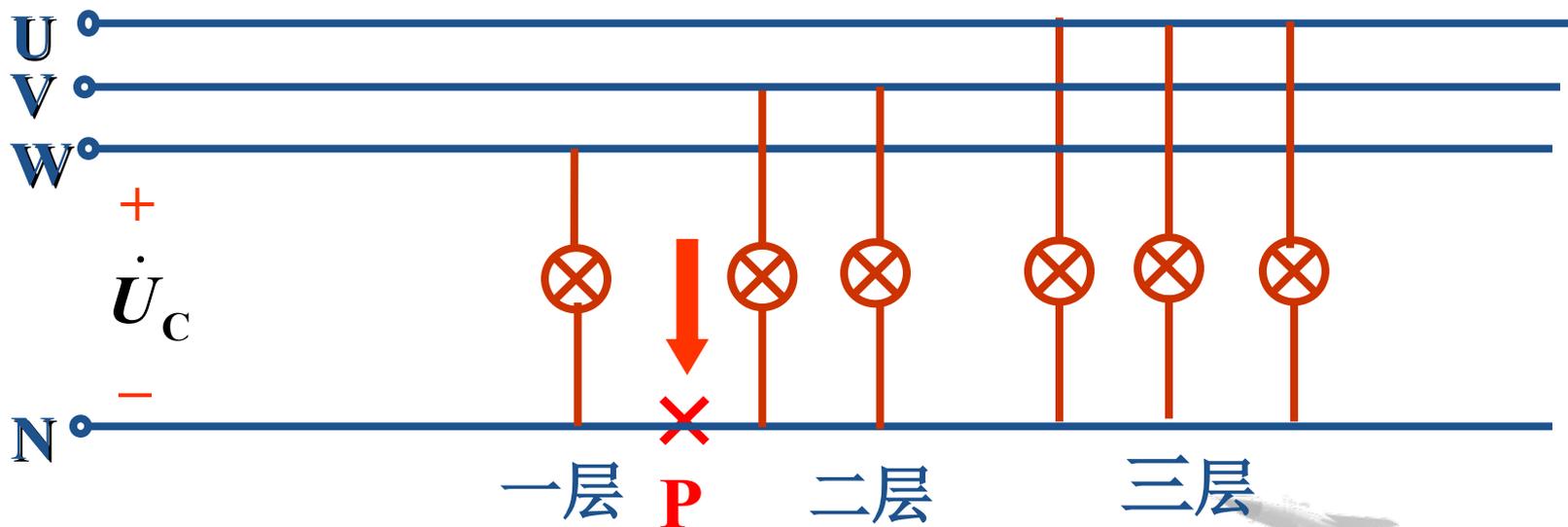


### (3) 三相电路的有功功率

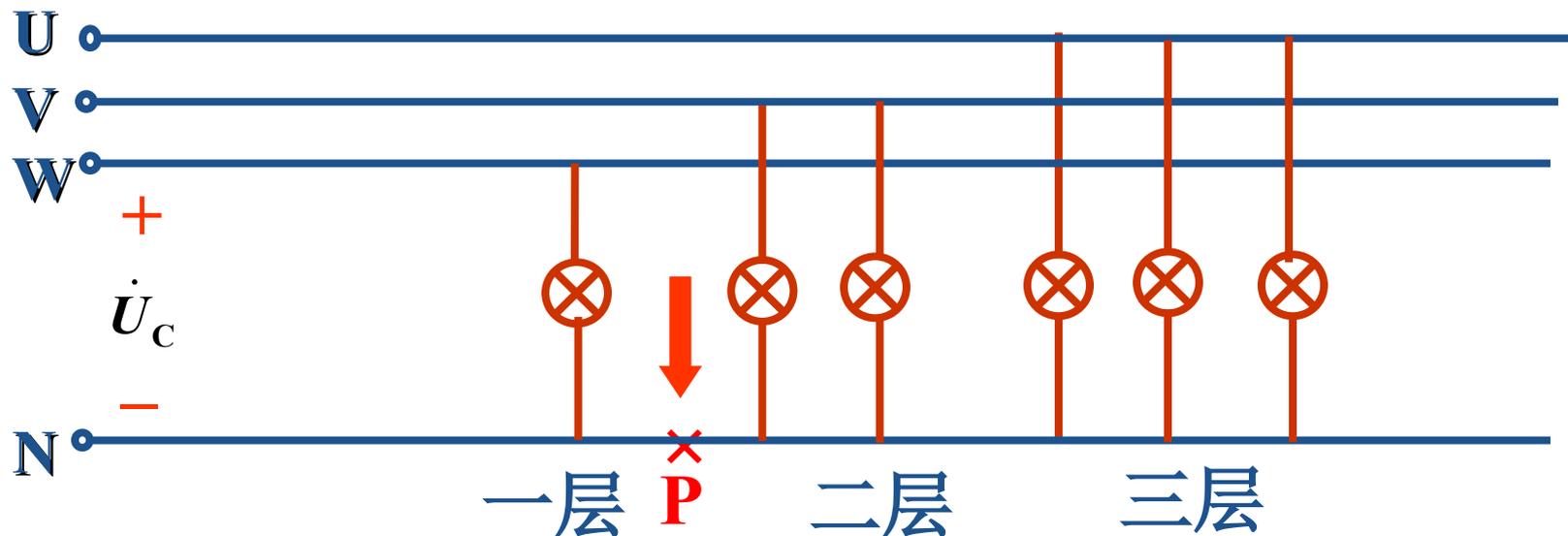
$$\begin{aligned} P &= P_Y + P_\Delta \\ &= \sqrt{3}U_L I_L \cos\varphi_\Delta + \sqrt{3}U_L I_L \cos\varphi_Y \\ &= \sqrt{3} \times 380 \times 18.13 \times 0.8 \text{ W} + \sqrt{3} \times 380 \times 22 \text{ W} \\ &= 9546 + 14480 \\ &\approx 2.4 \text{ kW} \end{aligned}$$

**【例3】**某大楼电灯发生故障，第二层楼和第三层楼所有电灯都突然暗下来，而第一层楼电灯亮度不变，试问这是什么原因？这楼的电灯是如何联接的？同时发现，第三层楼的电灯比第二层楼的电灯还暗些，这又是什么原因？

**解：(1) 本系统供电线路图**



## 解：(1) 本系统供电线路图



(2) 当 P 处断开时，二、三层楼的灯串联接 380V 电压，所以亮度变暗，但一层楼的灯仍承受 220V 电压亮度不变。

(3) 因为三楼灯多于二楼灯即  $R_3 < R_2$ ，所以三楼灯比二楼灯暗。

# THANK YOU !



[http:// www.cap.edu.cn](http://www.cap.edu.cn)