

第9章 三相电路

●重点

1.三相电路的基本概念

对称三相电路中线电压(电流)和
相电压(电流)的关系

2.熟练掌握对称三相电路的分析

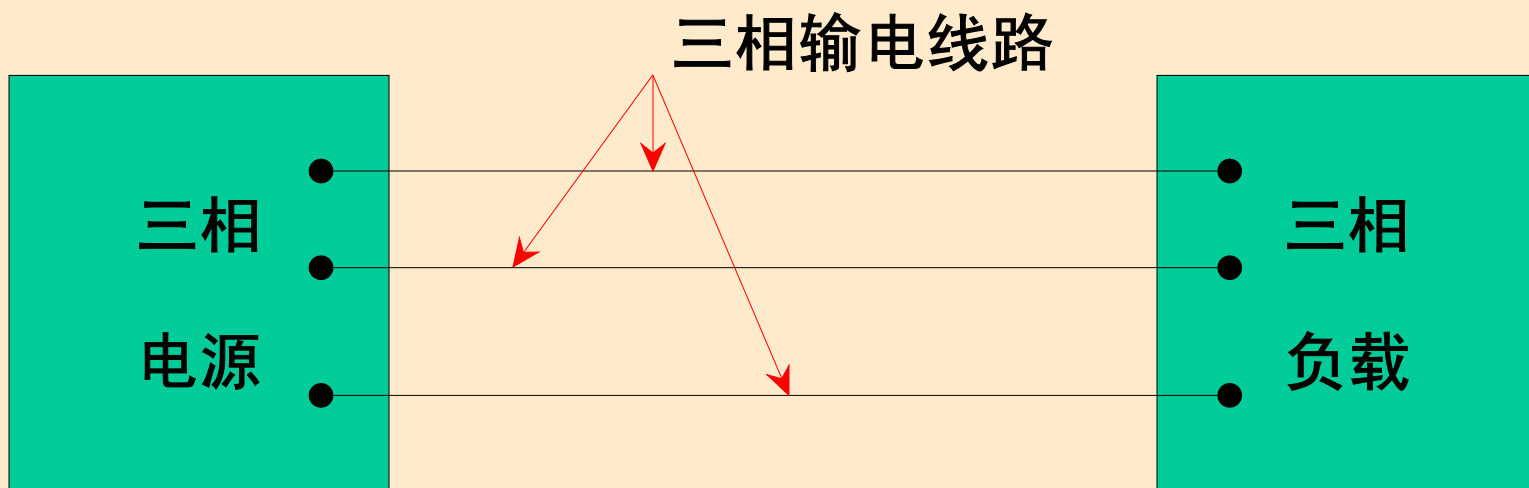
对称三相电路归结为一相的计算方法

3.不对称三相电路的概念

§9-1 三相电路

三相电路实际上是一种特殊的交流电路。正弦交流电路的分析方法对三相电路完全适用。由于三相电路的对称性，可**采用一相电路分析**，以简化计算。

目前，世界各国的电力系统所采用的供电方式绝大多数属于三相制，日常用电是取自三相制中的一相。



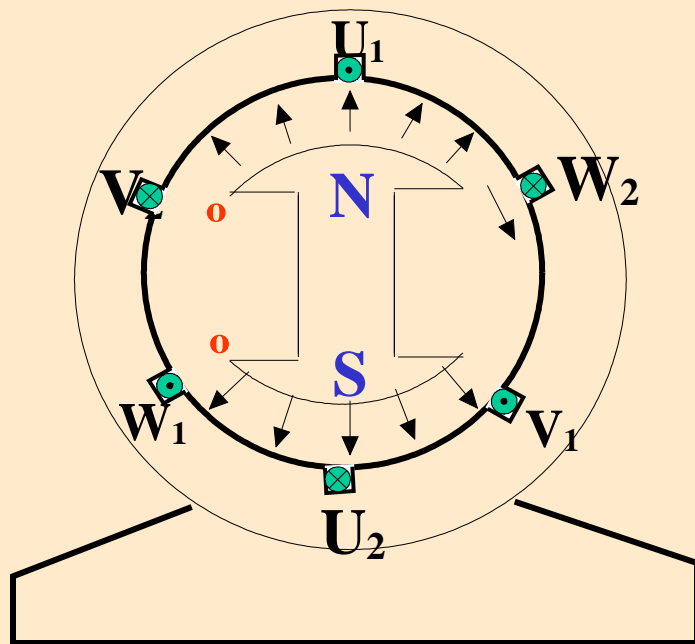
对称三相电路：由对称三相电源、对称三相负载和三相输电线路（线路阻抗相等）三部分组成。

对称三相电源：三个幅值相等、频率相同、相位互差 120° 的正弦交流电源按一定方式联接而构成的一个整体的激励电源。

对称三相负载(均衡三相负载)：三个相同负载(负载阻抗模相等，阻抗角相同)以一定方式联接而构成的一个整体的负载。

一、对称三相电源的产生

三相平衡绕组在空间互差 120° ，在外动力作用下转子转动，在三相绕组中产生感应电压，从而形成对称三相电源。



三相发电机示意图



火力发电站



水力发电站

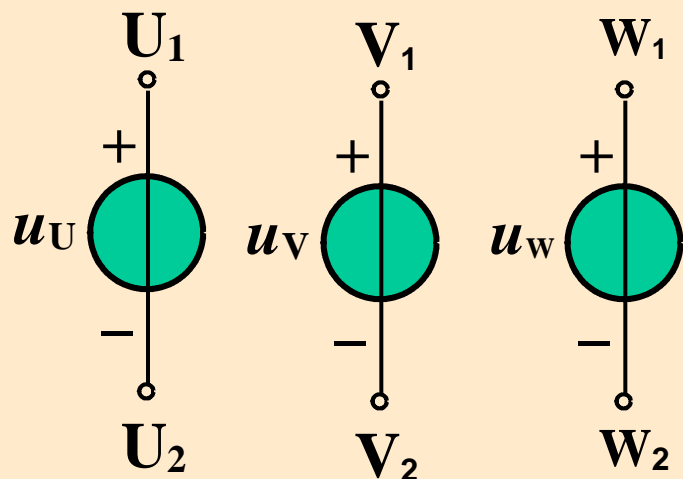


秦山核电站



发电机组

1. 瞬时值表达式



$$u_U(t) = 220\sqrt{2}\cos(\omega t)$$

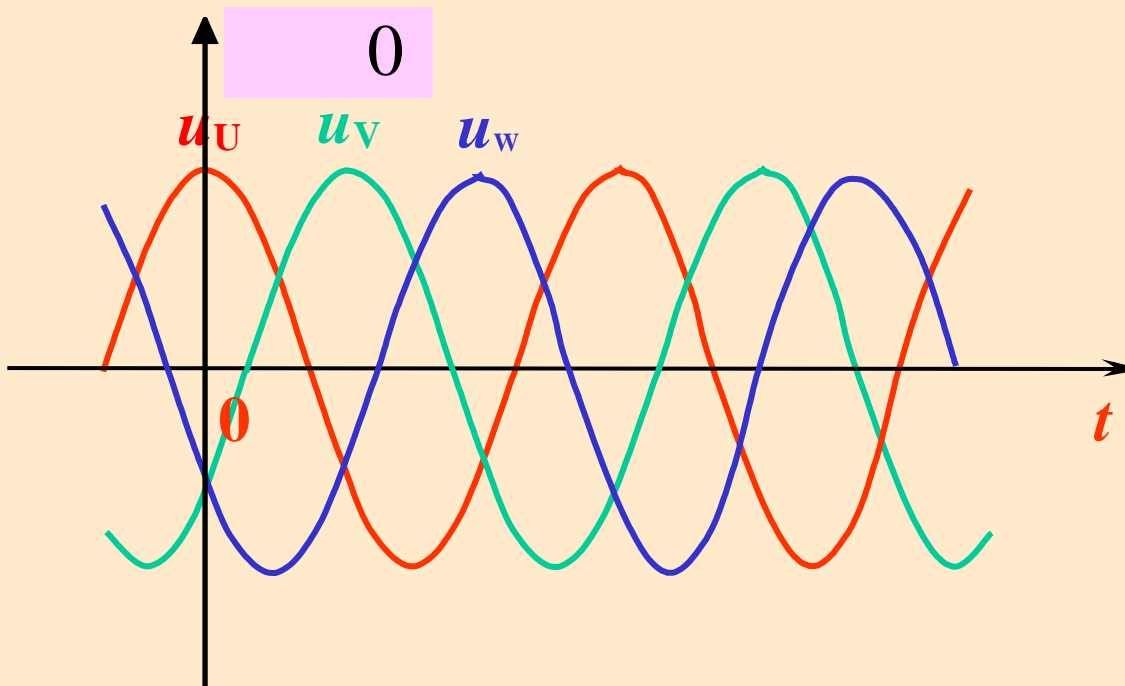
$$u_V(t) = 220\sqrt{2}\cos(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_W(t) = 220\sqrt{2}\cos(\omega t + 120^\circ)$$

0

0

2. 波形图



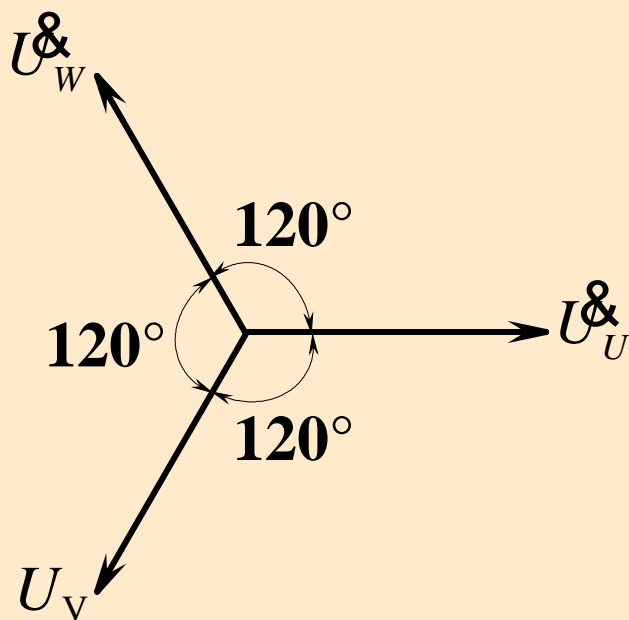
3. 相量表示

$$U_U \quad 0^\circ$$

$$U_V \quad 120^\circ$$

$$U_W \quad 120^\circ$$

(0)



4. 对称三相电源的特点

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{UV} \\ U_{VW} \\ U_{WU} \end{array} \right.$$

$$U_{UVW}$$

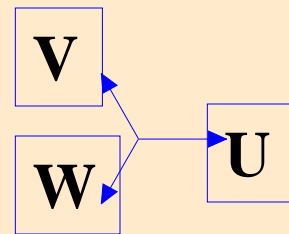
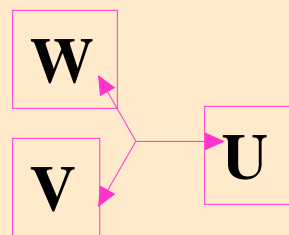
$$0$$

5. 对称三相电源的**相序**：三相电源中各相电源经过同一值

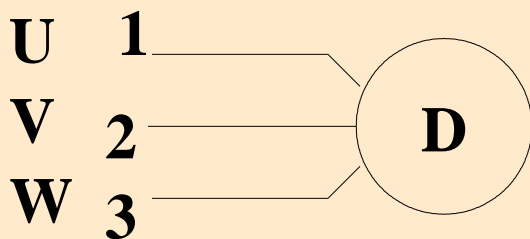
(如最大值)的先后顺序

正序(顺序)：U—V—W—U

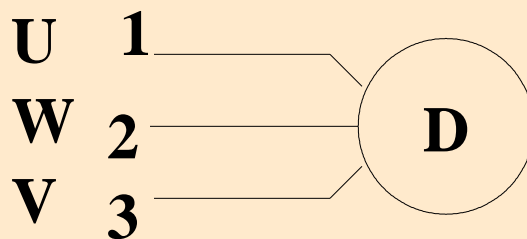
负序(逆序)：U—W—V—U



相序的**实际意义**：对三相电动机，如果相序反了，就会反转。



正转

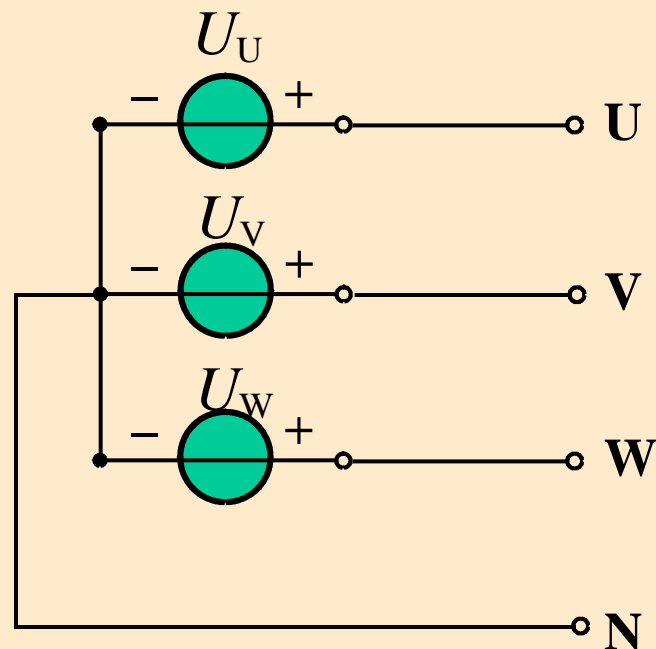
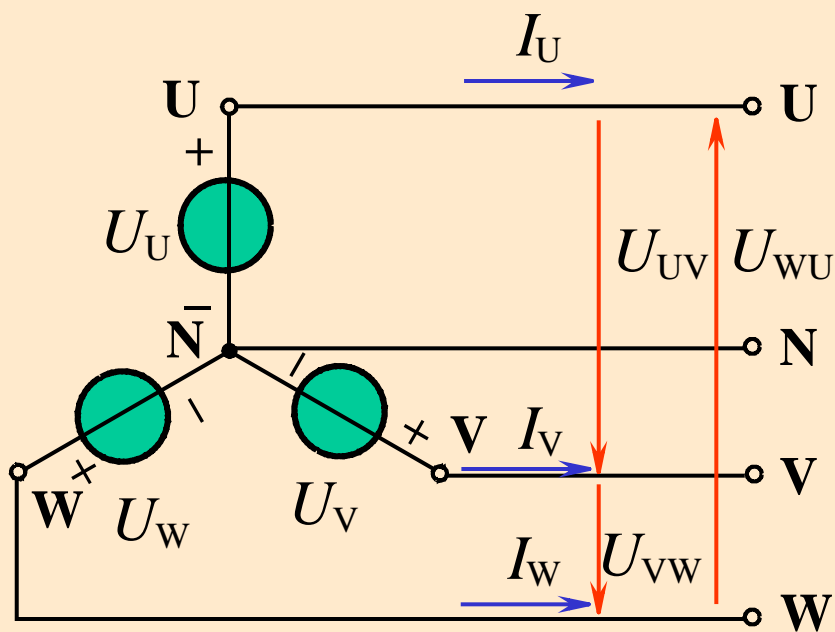


反转

以后如果不加说明，一般都认为是正相序。

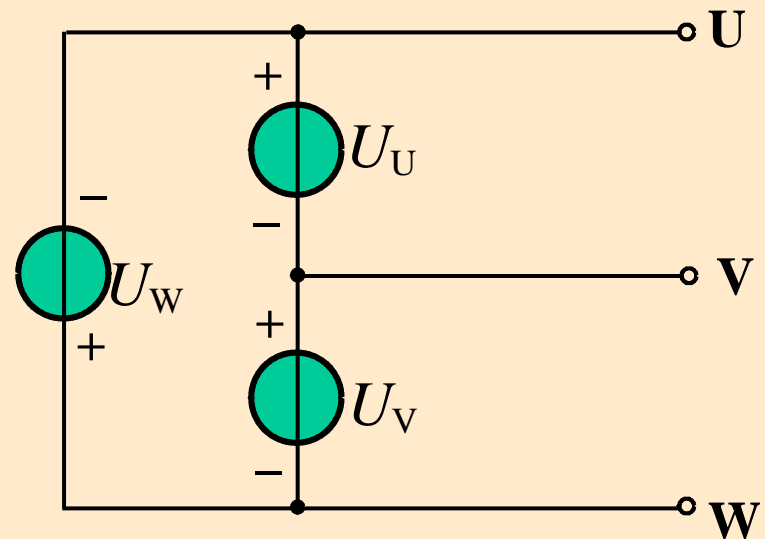
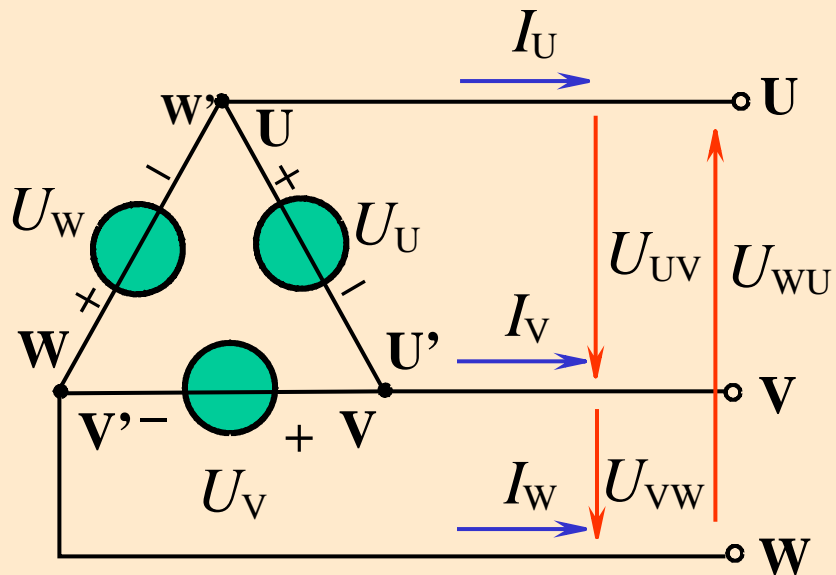
二、对称三相电源的联接

1. 星形联接(Y接)：把三个绕组的末端 U_2, V_2, W_2 接在一起，把始端 U, V, W 引出来。



U_2, V_2, W_2 接在一起的点称为Y联接对称三相电源的中性点，用N表示。

2. 三角形联接(接): 三个绕组始末端分别对应相接。



三角形联接的对称三相电源没有中点。

名词介绍

① 端线(火线): U, V, W 三端引出线。

② 中线: 中性点N引出线(接地时称地线), 接无中线。

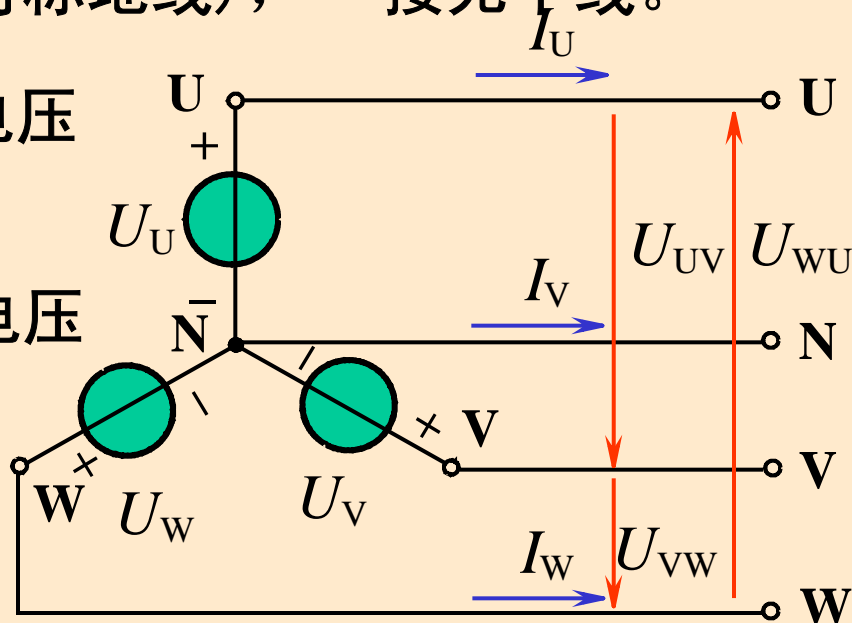
③ 线电压: 端线与端线之间的电压

$$U_{UV}, U_{VW}, U_{WU}$$

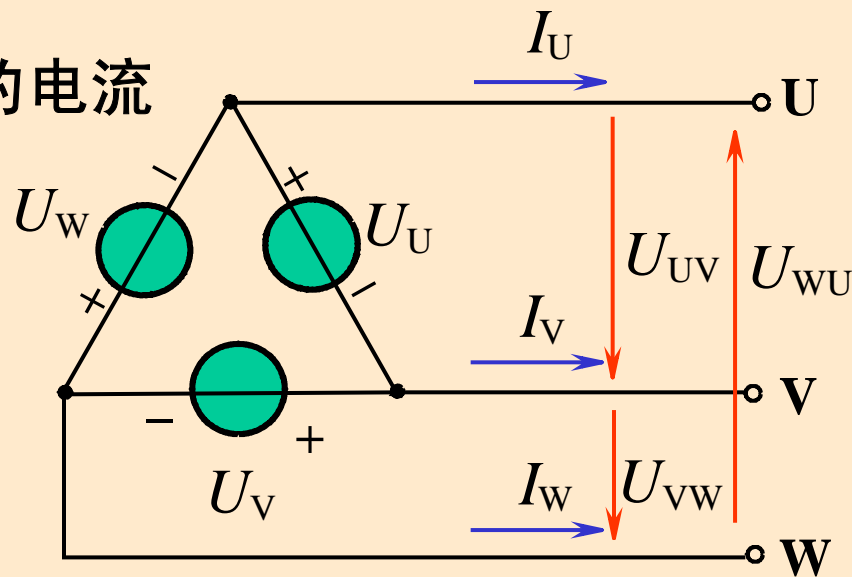
④ 相电压: 每相电源(负载)的电压

$$U_U, U_V, U_W$$

⑤ 线电流: 流过端线的电流

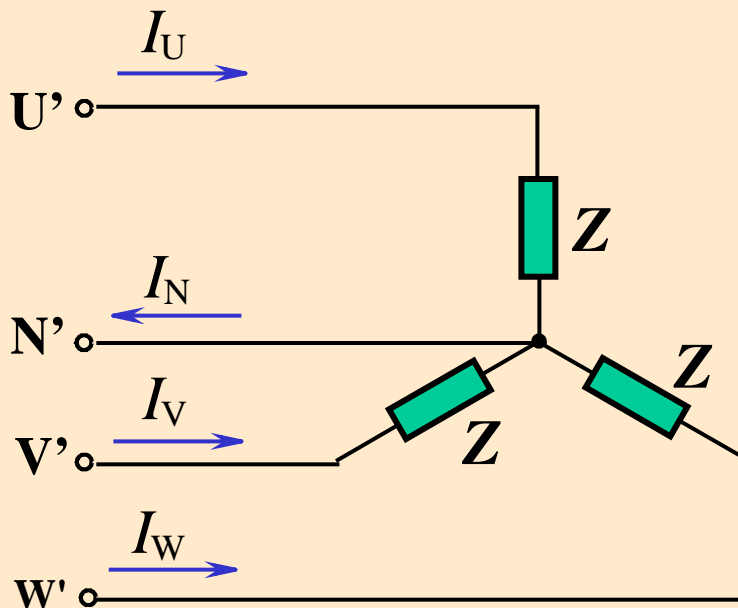


⑥ 相电流: 流过每相电源(负载)的电流

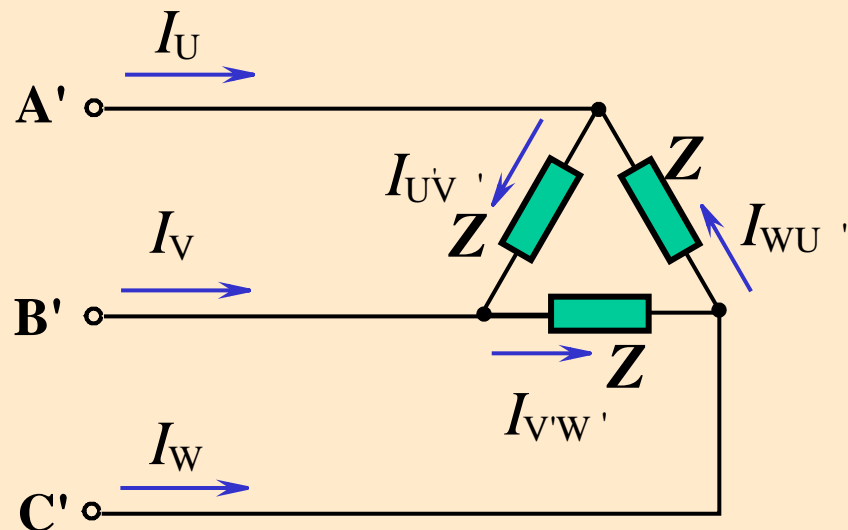


三. 对称三相负载的联接：两种基本联接方式

1. 星形联接(Y接)：



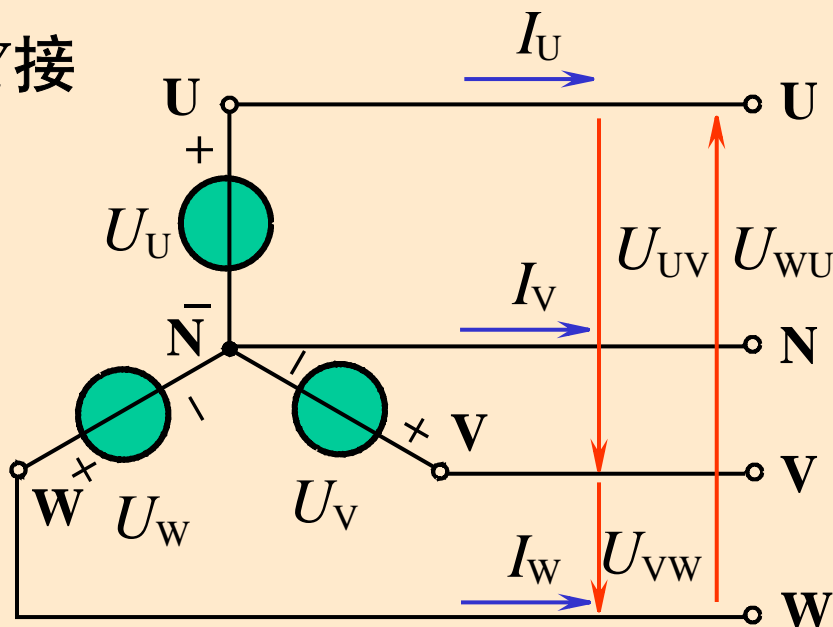
2. 三角形联接(接):



§11-2 对称三相电源线电压(电流)与相电压(电流)的关系

一. 线电压与相电压, 线电流与相电流的关系

1. Y接



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

设 $\dot{U}_U = U_U \angle 0^\circ$

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

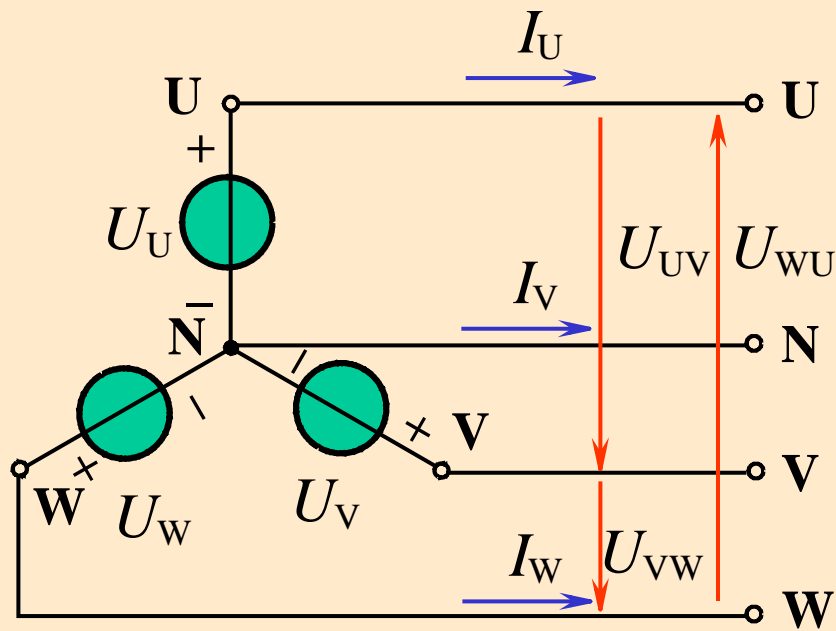
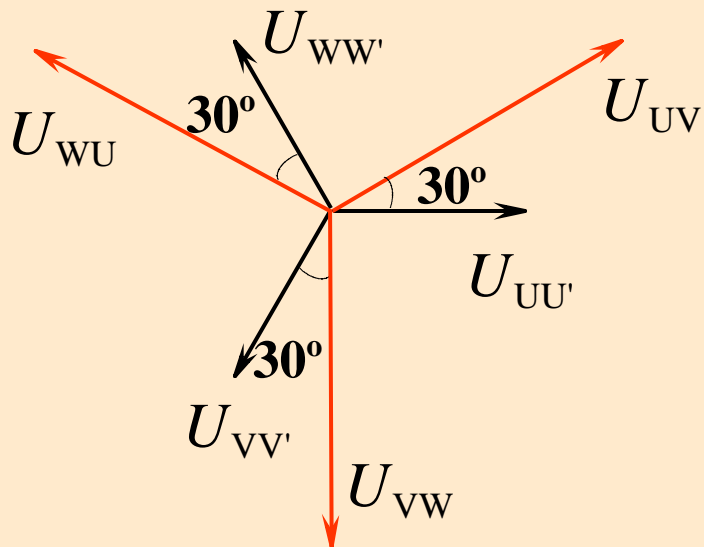
$$\dot{U}_W = U_U \angle 120^\circ$$

$$\dot{U}_{UV} = \dot{U}_U - \dot{U}_V = U_U [1 - (-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2})] = \sqrt{3}U_U \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{VW} = \dot{U}_V - \dot{U}_W = U_U [-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} - (\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2})] = \sqrt{3}U_U \angle -90^\circ$$

$$\dot{U}_{WU} = \dot{U}_W - \dot{U}_U = U_U [\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} - (-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2})] = \sqrt{3}U_U \angle 150^\circ$$

利用相量图得到相电压和线电压之间的关系：



一般表示为：

$$U_{UV} = \sqrt{3} U_U$$

$$U_{VW} = \sqrt{3} U_V$$

$$U_{WU} = \sqrt{3} U_W$$

°
°
°

线电压对称(大小相等,
相位互差120°)

结论: Y接法的对称三相电源

(1) 线电流等于相应的相电流。

(1) 相电压对称, 则线电压也对称。

(2) 线电压大小等于相电压的 $\sqrt{3}$ 倍, 即 $U_l = \sqrt{3}U_p$ 。

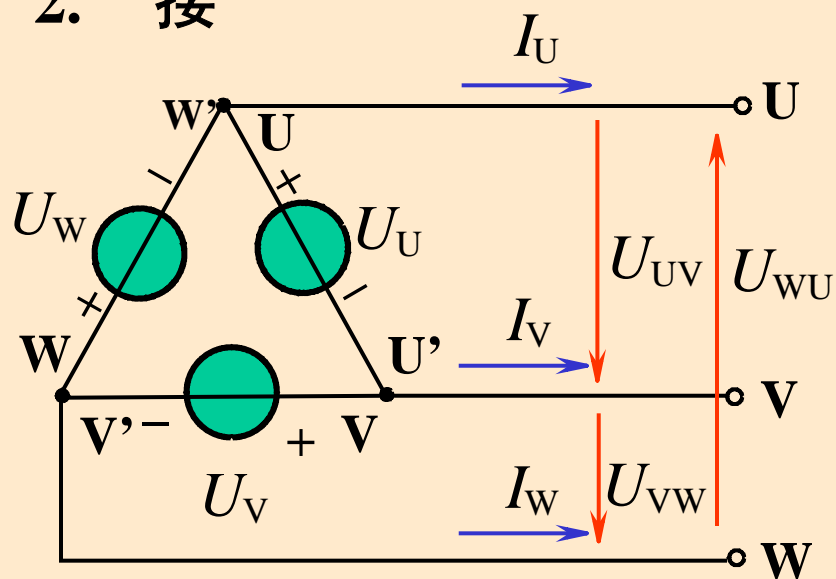
(3) 线电压相位超前对应相电压 30° 。

所谓的“对应”: 对应相电压用线电压的

第一个下标字母标出。

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{UV} \\ U_{VW} \\ U_{WU} \end{array} \right.$$

2. 接



$$\begin{aligned} \dot{U}_{UV} &= \sqrt{3} \dot{U}_U \quad 0^\circ \\ \dot{U}_{VW} &= \sqrt{3} \dot{U}_V \quad -120^\circ \\ \dot{U}_{WU} &= \sqrt{3} \dot{U}_W \quad 120^\circ \end{aligned}$$

设 $\dot{U}_U = 120\angle 0^\circ$

$$\dot{U}_U = 120\angle 0^\circ$$

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

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

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

$$\dot{U}_{VW} = \sqrt{3} \dot{U}_V \angle -90^\circ$$

$$\dot{U}_{WU} = \sqrt{3} \dot{U}_W \angle -150^\circ$$

即 接线电压等于对应的相电压。

结论： 接法的对称三相电源

(1) 线电压等于对应的相电压。

(2) 线电流的大小等于相电流大小的 $\sqrt{3}$

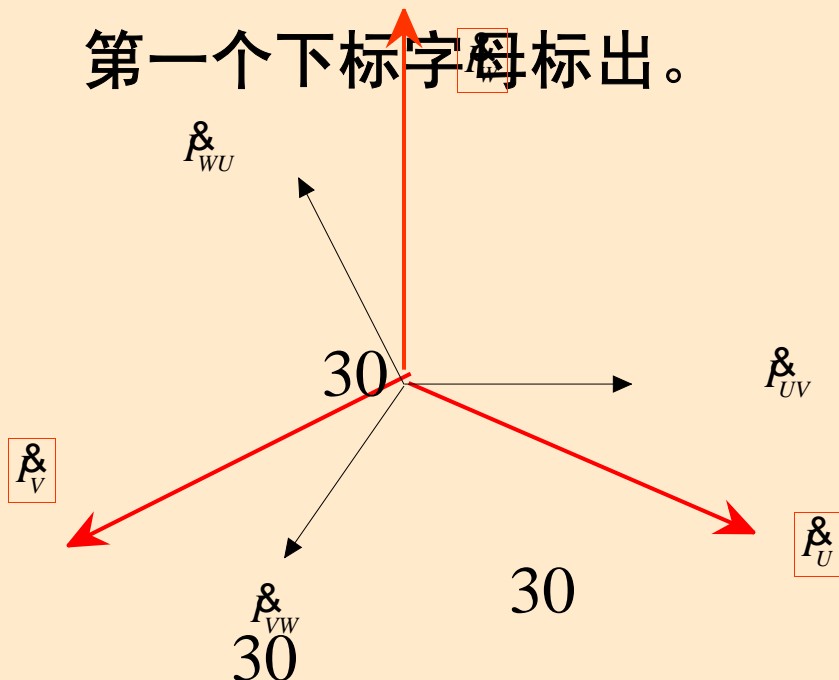
$$\text{倍: } \sqrt{3}I_P$$

(3) 线电流相位**滞后**对应相电流 30° 。

所谓的“对应”： 对应相电流用线电流的

第一个下标字母标出。

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{UV} \\ I_{VW} \\ I_{WU} \end{array} \right.$$

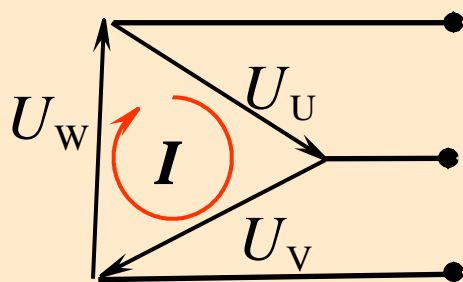


上面讨论的是电源侧线电压与相电压的情况，对于

负载端来说，如果负载相电压对称，则情况完全类似。

注意： 关于 接还要强调一点：始端末端要依次相连。

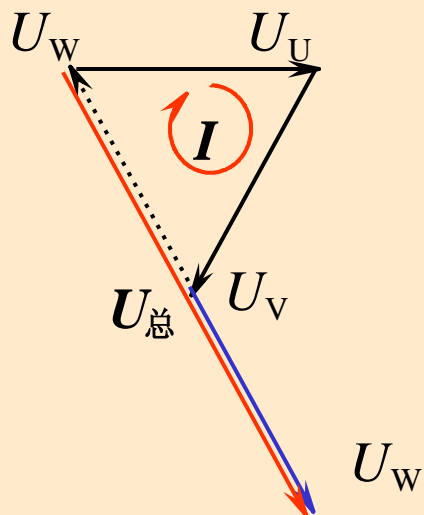
正确接法



UVW端开路时 由于 $U_{UVW} = 0$

$I = 0$ ，接电源中不会产生环流。

错误接法

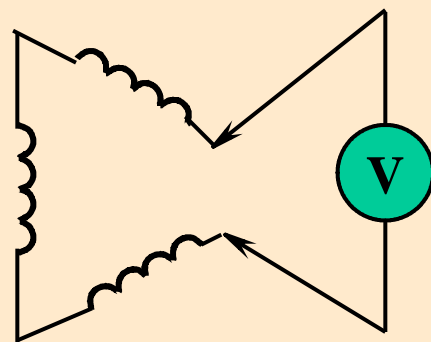


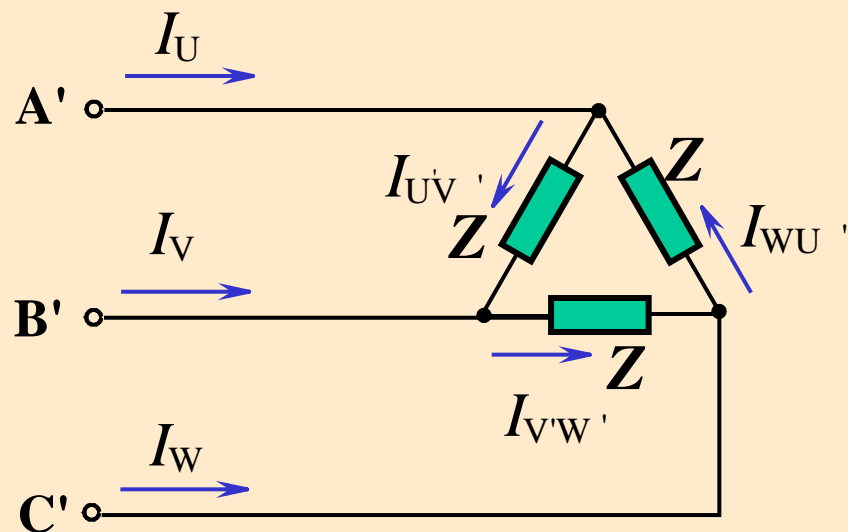
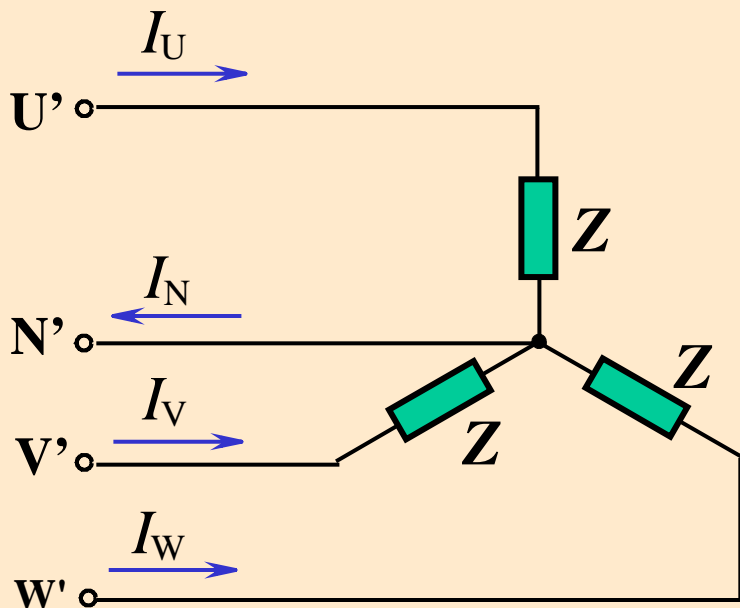
UVW端开路时，三相电源内阻很小，

$U_{UVW} = 2U_U$

$I \neq 0$ ，接电源中将会产生环流。

为此，当将一组三相电源连成三角形时，应先不完全闭合，留下一个开口，在开口处接上一个交流电压表，**测量回路中总的电压是否为零**。如果电压为零，说明连接正确，然后再把开口处接在一起。

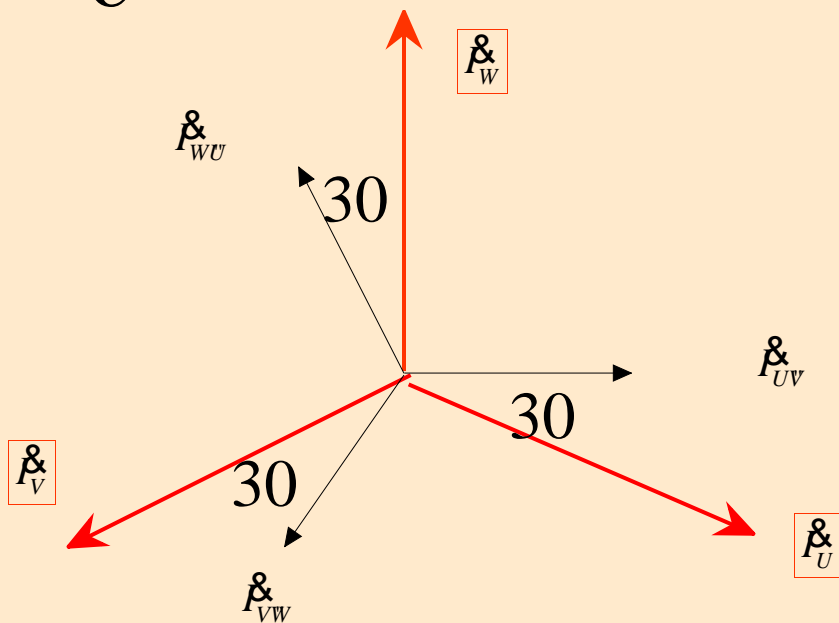




Y接: 线电流等于对应的相电流

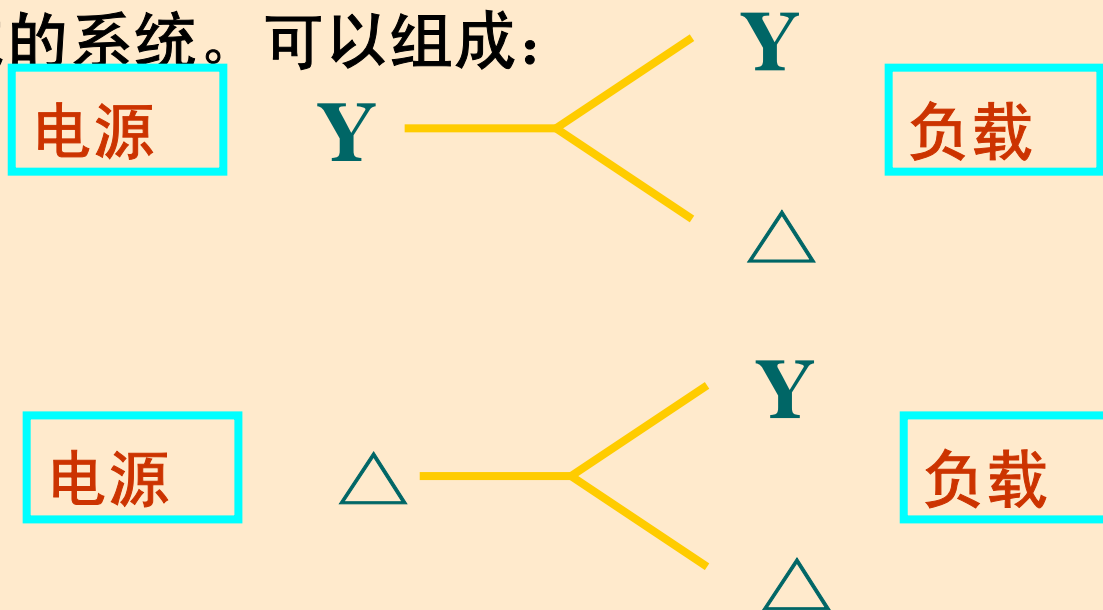
△接:

I_{UV}	$\sqrt{3}I_{U'V'}$	0°
I_{VW}	$\sqrt{3}I_{V'W'}$	0°
I_{WU}	$\sqrt{3}I_{W'U'}$	0°



§11-3 对称三相电路的计算

三相电路就是由对称三相电源和三相负载联接起来所组成的系统。可以组成：



当组成三相电路的电源和负载都对称时，称对称三相电路

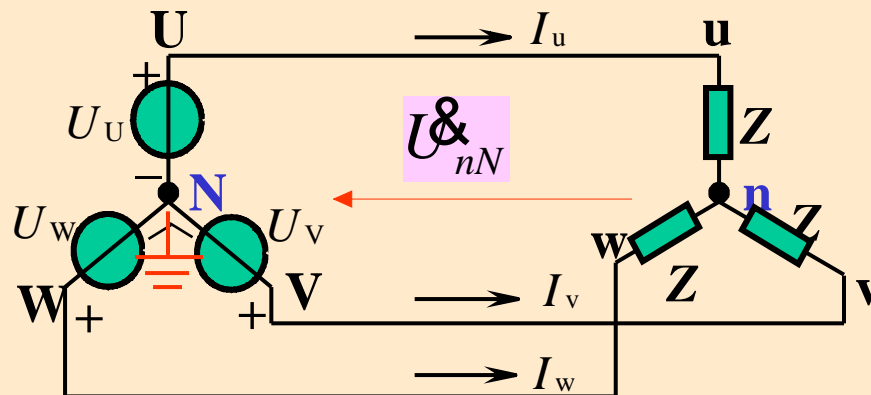
电源和负载联接方式： Y-Y ， $\text{Y-}\Delta$ ， $\Delta\text{-Y}$ ， $\Delta\text{-}\Delta$ ，和 $\text{Y}_0\text{-Y}_0$ 。

三相三线制

三相四线制

1. Y-Y接(三相三线制):

以N点为参考点, 对n点列
写节点方程:



$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_U \\ U_V \\ U_W \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_n \\ U_n \\ U_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

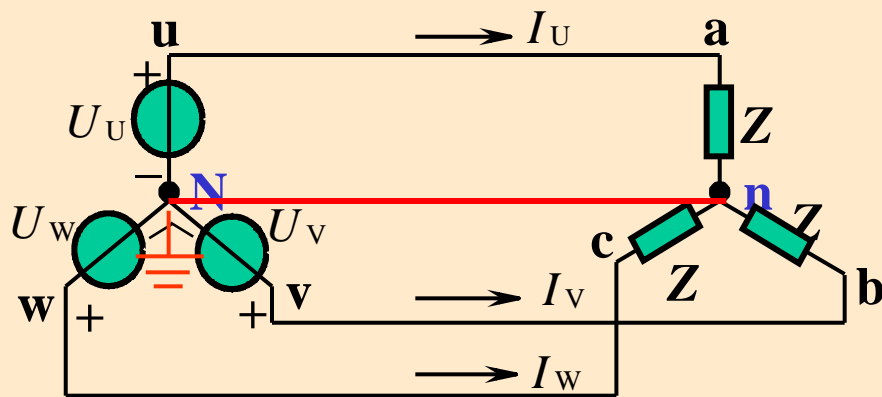
$$\frac{3}{Z} U_{nN} = 0$$

负载侧相电压:

$$\begin{cases} U_{nN} \\ U_{nN} \\ U_{nN} \end{cases} \begin{matrix} 120^\circ \\ 120^\circ \\ 120^\circ \end{matrix}$$

计算电流：

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{I}_U = \frac{\dot{U}_{unU}}{Z} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad 120^\circ \\ \dot{I}_V = \frac{\dot{U}_{vnV}}{Z} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad 120^\circ \\ \dot{I}_W = \frac{\dot{U}_{wnW}}{Z} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad 120^\circ \end{array} \right.$$

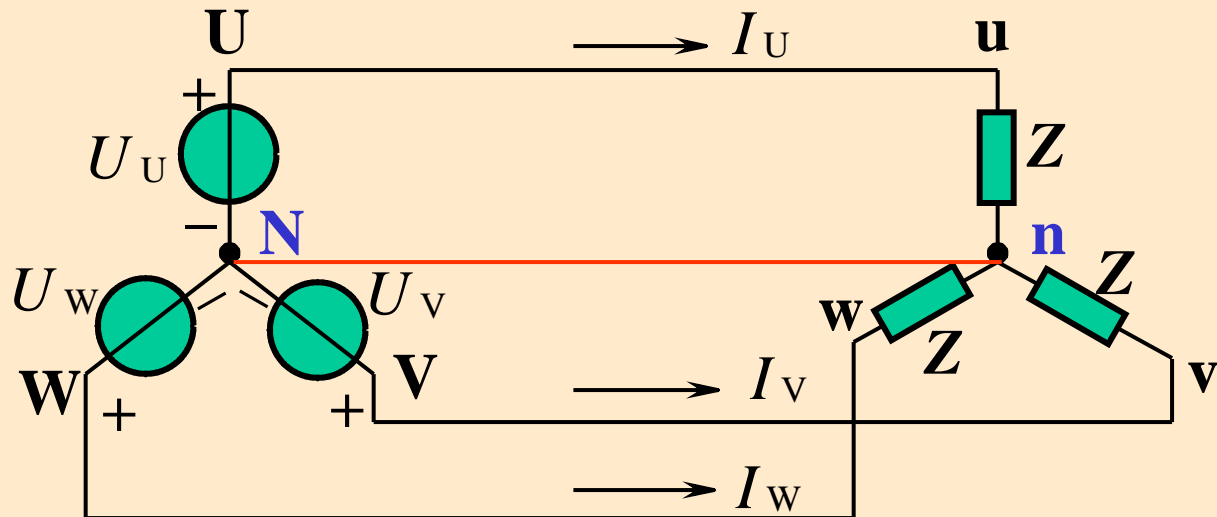


流过每相负载的电流与流过相应端线的线电流是同一电流，且三相电流也是对称的。

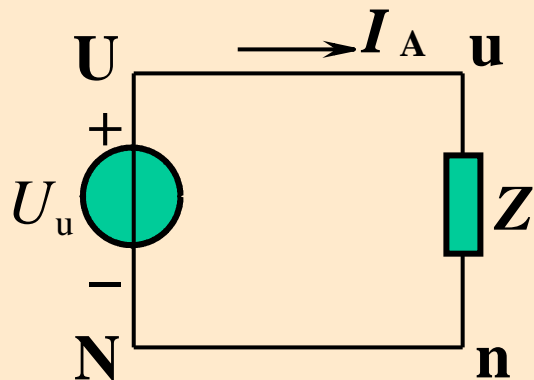
因N，n两点等电位，可将其短路，且其中电流为零。这样便可将三相电路的计算化为一相电路的计算。

当求出相应的电压、电流后，再由对称性，可以直接写出其它两相的结果。

2. $Y_0 - Y_0$ (三相四线制):



一相计算电路:



由一相计算电路可得:

$$I_U = \frac{U_U}{Z}$$

由对称性
可写出:

$$I_{VW} = \frac{U}{Z}$$

$$120^\circ, 120^\circ$$

结论:

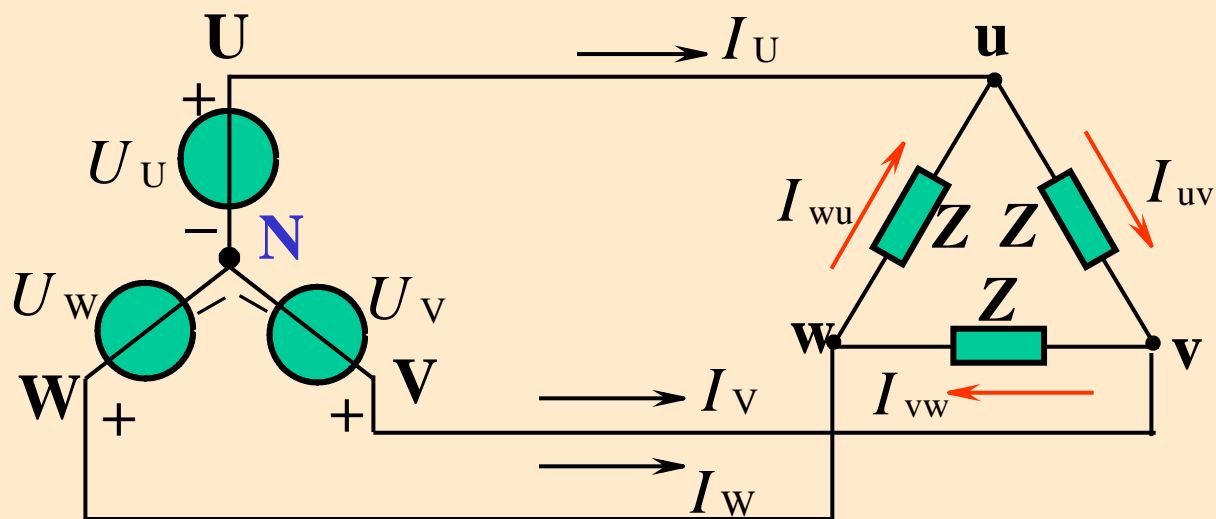
① $U_{nN}=0$ ，中线电流为零。

有无中线对对称三相电路没有影响。没有中线(Y-Y接，三相三线制)，可将中线连上。因此，Y-Y接电路与Y₀-Y₀接(有中线)电路计算方法相同。且中线有阻抗时可短

路掉。

② 对称情况下，各相电压、电流都是对称的，只要算出某一相的电压、电流，则其他两相的电压、电流可直接写出。

3. Y- 接



设 U_U

$120V$

$120V$

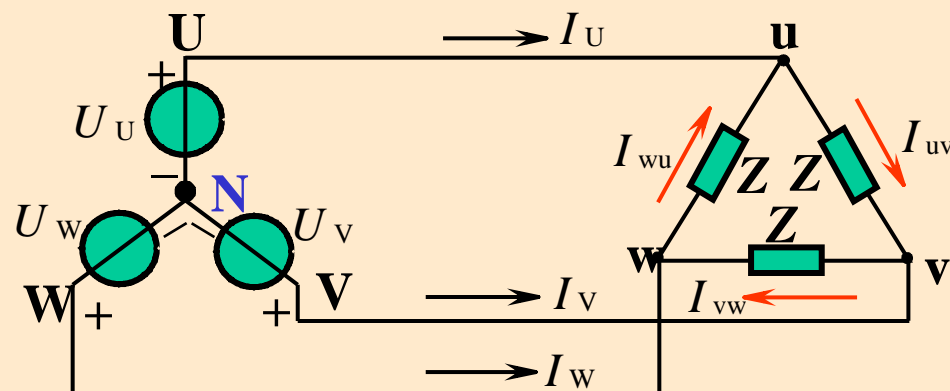
$\sqrt{3}Z$

负载上相电压与线电压相等：

$$\begin{cases} U_{UV} & \sqrt{3}30 \\ U_{VW} & \sqrt{3}90 \\ U_{WU} & \sqrt{3}150 \end{cases}$$

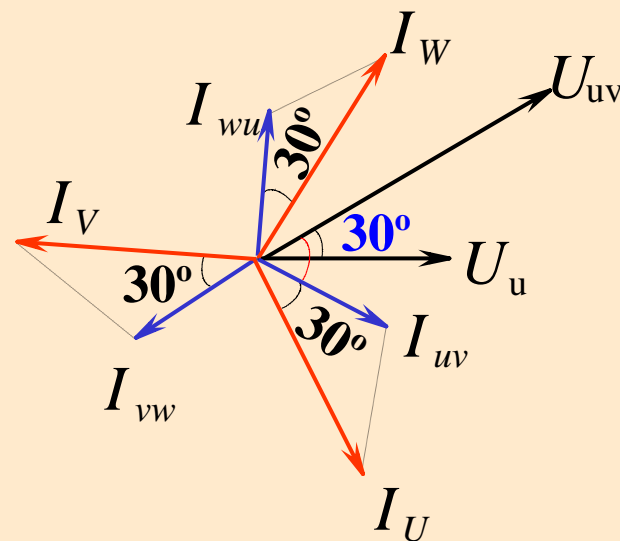
计算相电流:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{I}_{uv} = \frac{\dot{U}_{uv}}{Z} \\ \dot{I}_{vw} = \frac{\dot{U}_{vw}}{Z} \\ \dot{I}_{wu} = \frac{\dot{U}_{wu}}{Z} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 30^\circ \\ 90^\circ \\ 150^\circ \end{array}$$



线电流:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{Uuv} = \sqrt{3} I_{uv} \\ I_{Vvw} = \sqrt{3} I_{vw} \\ I_{Wwu} = \sqrt{3} I_{wu} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 0^\circ \\ 120^\circ \\ 240^\circ \end{array}$$

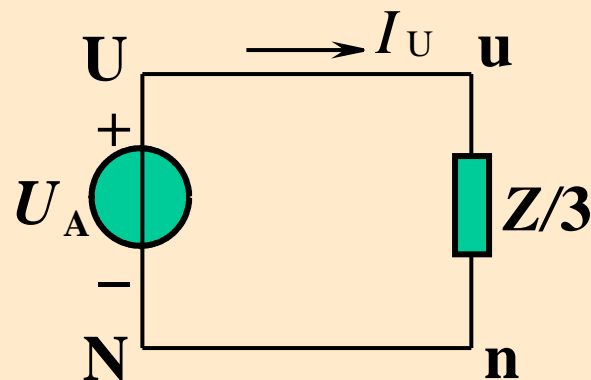
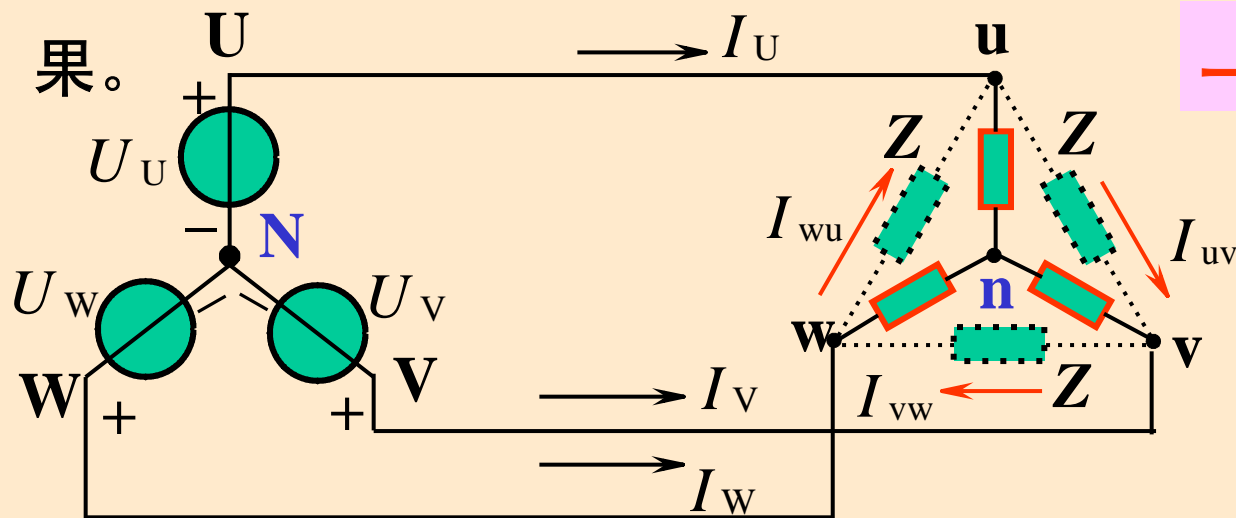


结论:

- (1) 负载上相电压与线电压相等, 且对称。
- (2) 线电流与相电流也是对称的。线电流大小是相电流的 $\sqrt{3}$ 倍, 相位落后相应相电流 30° 。

故上述电路也可只计算一相, 根据对称性即可得到其余两相结果。

一相计算电路:



$$I_U = \frac{U_U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{3}Z} = \frac{\sqrt{3}U}{3Z}$$

$$I_{UV} = \frac{U_{UV}}{\sqrt{3}Z} = \frac{\sqrt{3}U}{3Z}$$

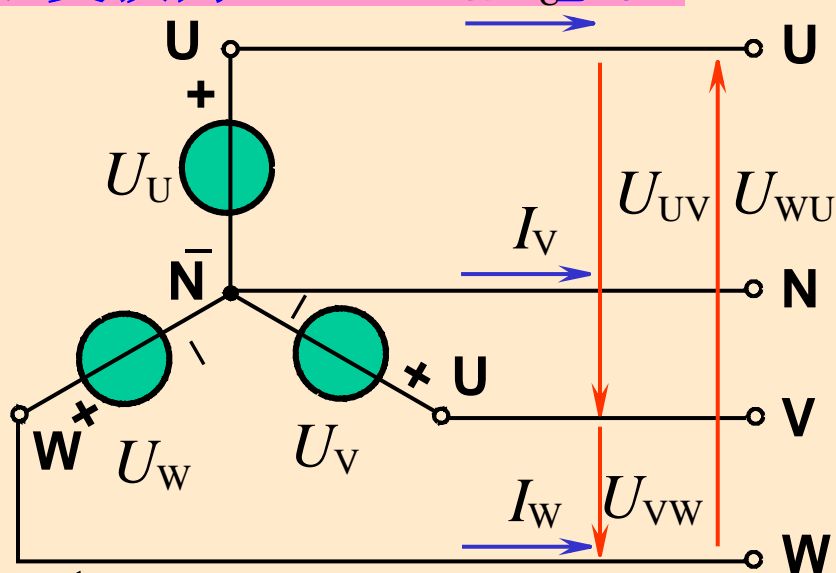
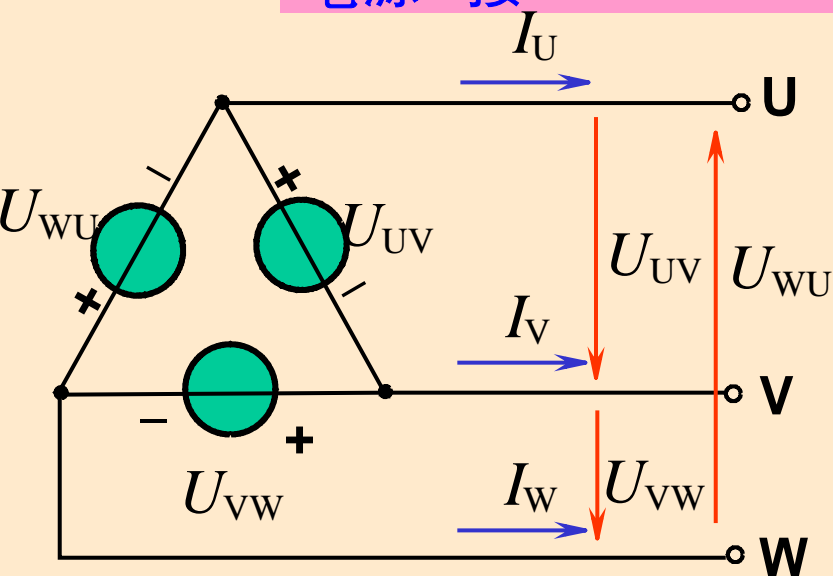
$$I_U = \frac{\sqrt{3}U}{3Z}$$

4. 电源为 接时的对称三相电路的计算(Y,)

电源 接

等效变换为

Y接电源

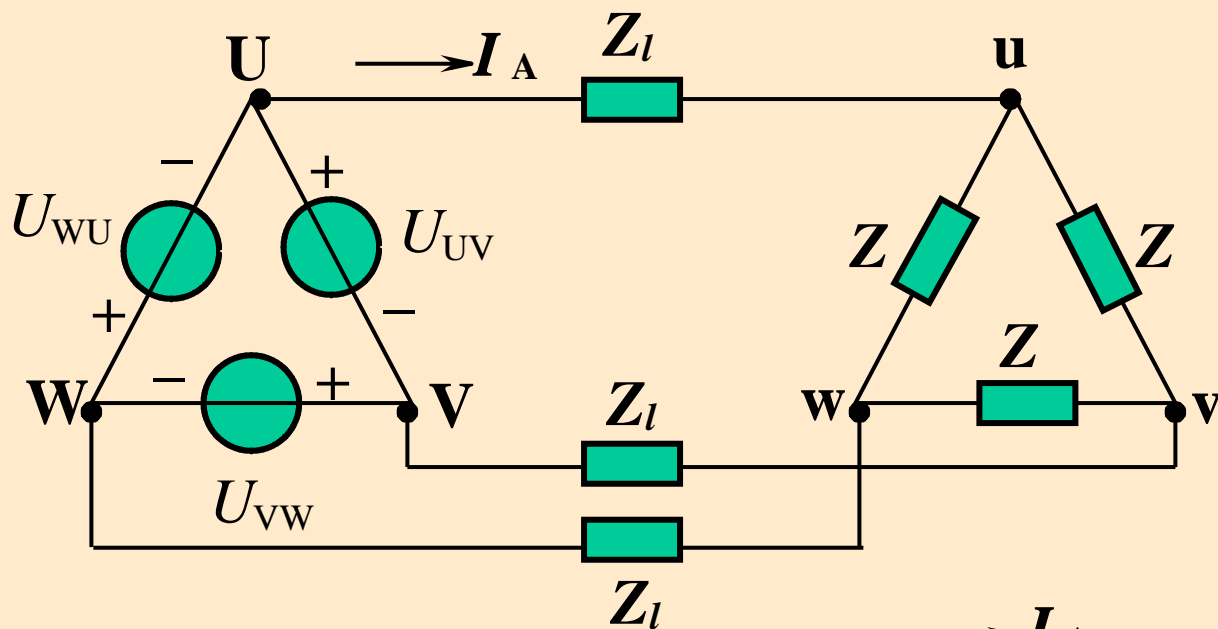


保证其线电压相等

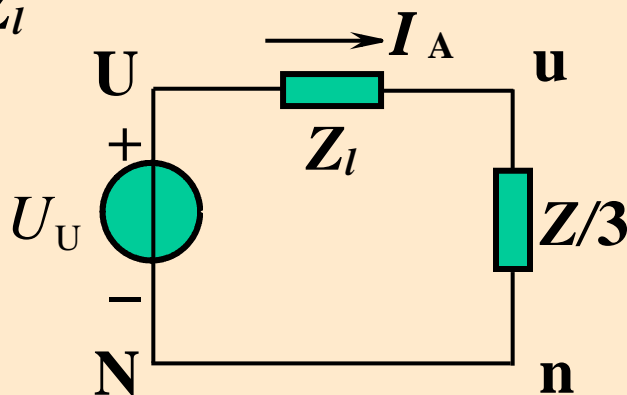
$$\left\{ \begin{array}{l} U_{UV} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_{\text{phase}} \quad 30^\circ \\ U_{VW} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_{\text{phase}} \quad 30^\circ \\ U_{WU} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_{\text{phase}} \quad 30^\circ \end{array} \right.$$

将 接电源用Y接电源替代，保证其线电压相等，再根据上述Y-Y， Y- 接方法计算。

5. 一般对称三相电路的计算：

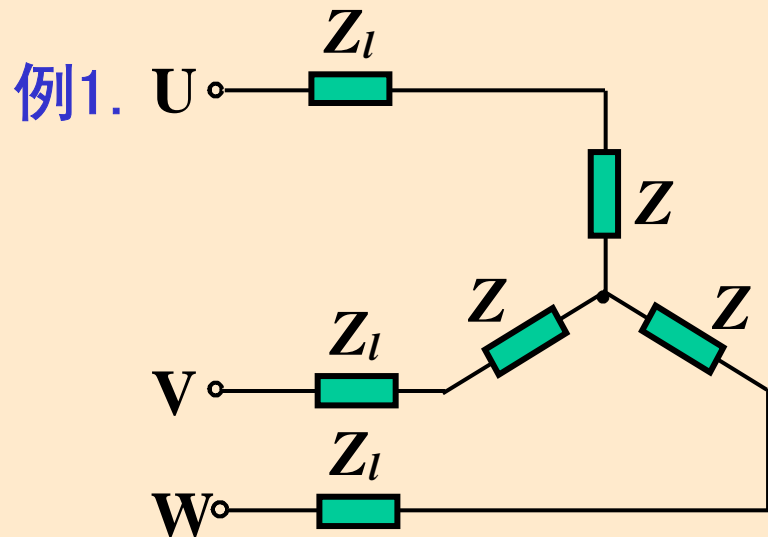


一相计算电路：



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—Y接电路；
- (2) 连接各负载和电源中点，中线上若有阻抗不计；
- (3) 画出单相计算电路，求出一相的电压、电流：
一相电路中的电压为Y接时的相电压。
一相电路中的电流为线电流。
- (4) 根据 、Y接 线量、相量之间的关系，求出原电路的电流电压。
- (5) 由对称性，得出其它两相的电压、电流。

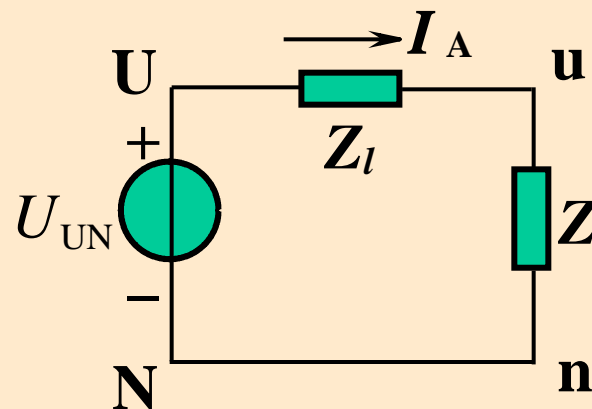
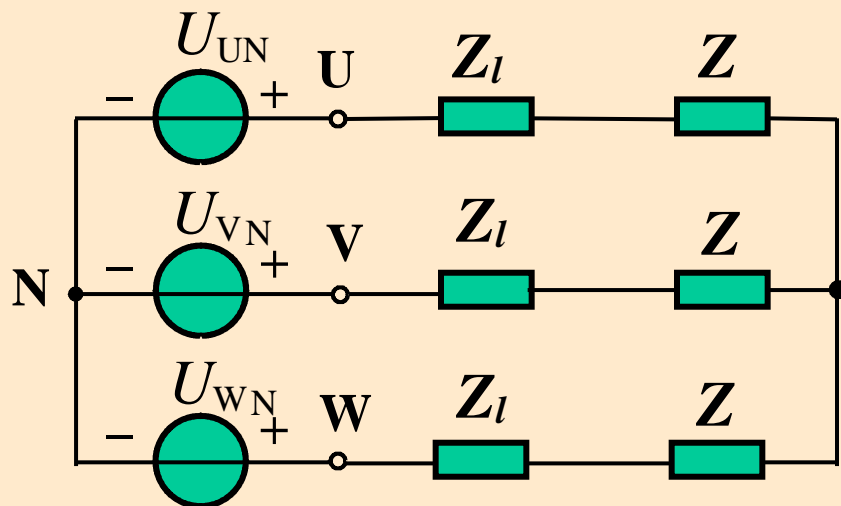


已知对称三相电源线电压

为380V, $Z=6.4+j4.8$, Z_l
 $=6.4+j4.8$ 。

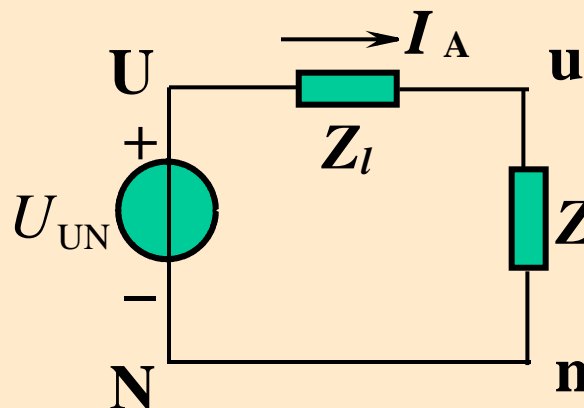
求负载Z的相电压、线电压和线电流的有效值。

解:



设 $U_{UV} = 3800 \text{ V}$

则 $U_{UN} = 22030 \text{ V}$



$$I_U = \frac{U_{UN}}{Z_l} = \frac{22030 \angle 220^\circ}{9.4j8.812.8843.1} = 17.173.1 \text{ A} \angle 0^\circ$$

$$U_{UN} = I_U Z = 17.173.1 \angle 0^\circ \times 136.836.2 \angle 90^\circ = 236.96.2 \text{ V} \angle 90^\circ$$

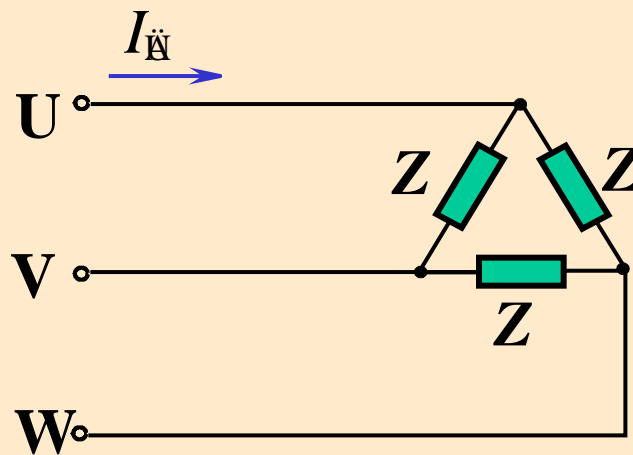
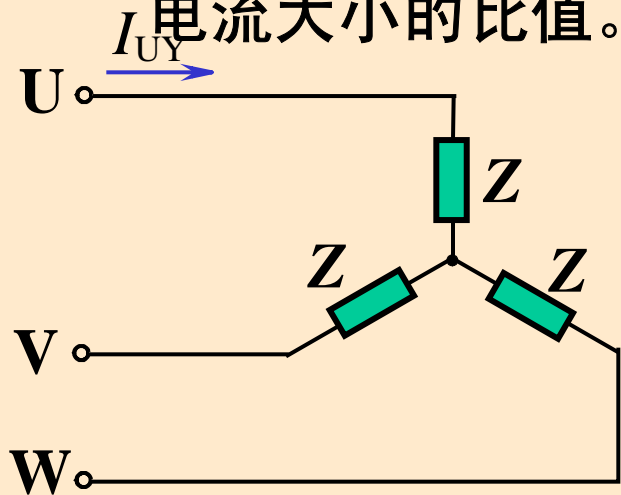
$$U_{UV} = \sqrt{3} U_{UN} = \sqrt{3} \times 236.96.2 = 410.3136.8 \text{ V}$$

负载Z的相电流=负载Z的线电流，即： $I_P = I_l = 17.1 \text{ A}$

负载Z的相电压： $U_P = 136.8 \text{ V}$

$U_l = 236.9 \text{ V}$

例2. 一对称三相负载分别接成Y接和 Δ 接。求两种接法中线电流大小的比值。

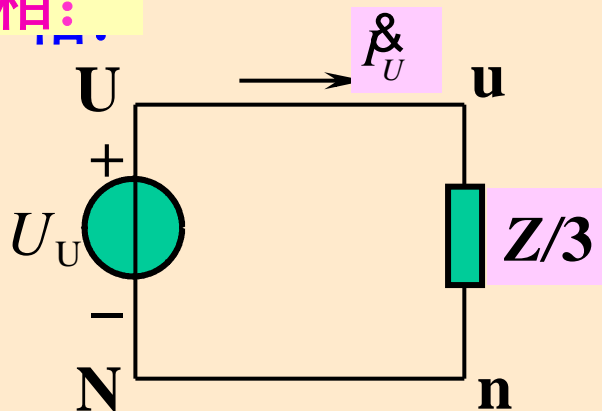


解:

$$I_{UY} = \frac{U_{UN}}{Z}$$

接简化一相:

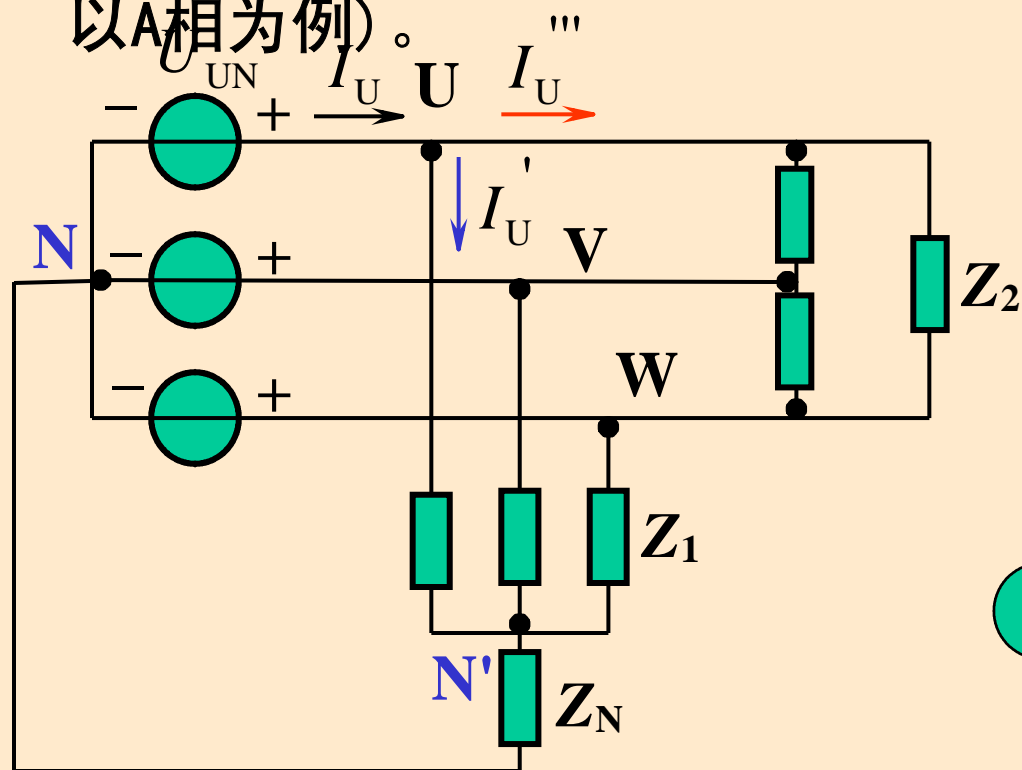
$$I_{\Delta} = \frac{U}{Z/3} = 3 \frac{U}{Z}$$



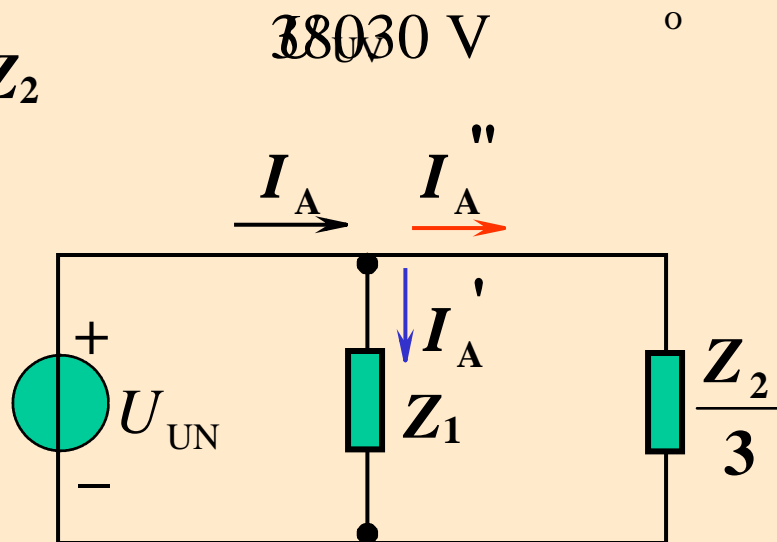
$$I_{\Delta} = 3I_Y$$

例3. 如图对称三相电路，电源线电压为380V， $|Z_1|=10$ ， $\cos \phi_1=0.6$ (感性)， $Z_2=-j50$ ， $Z_N=1+j2$ 。

求：两组负载中的线电流、相电流，并定性画出相量图(以A相为例)。



解：设 $U_{UN} = 220V^{\circ}$



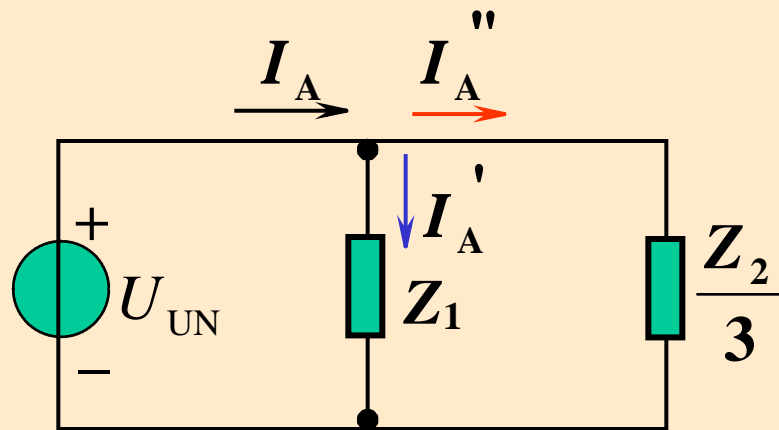
$$Z_1 = 10 \angle 0^\circ + j8 \Omega$$

$$Z_2' = \frac{1}{3} Z_2 = j\frac{50}{3} \Omega$$

$$I_U' = \frac{U_{UN}}{Z_1} = \frac{2200 \angle 0^\circ}{1053.13 \angle 0^\circ} = 2.25313 \angle -13.2^\circ \text{ A}$$

$$I_U'' = \frac{U_{UN}}{Z_2'} = \frac{2200 \angle 0^\circ}{j50/3} = j13.2 \text{ A}$$

$$I_U = I_U' + I_U'' = 13.9184 \angle 0^\circ \text{ A}$$



根据对称性，得V、W相的线电流、相电流：

$$I_V = 13.9138.4 \angle 0^\circ$$

$$I_W = 13.9101.6 \angle 0^\circ$$

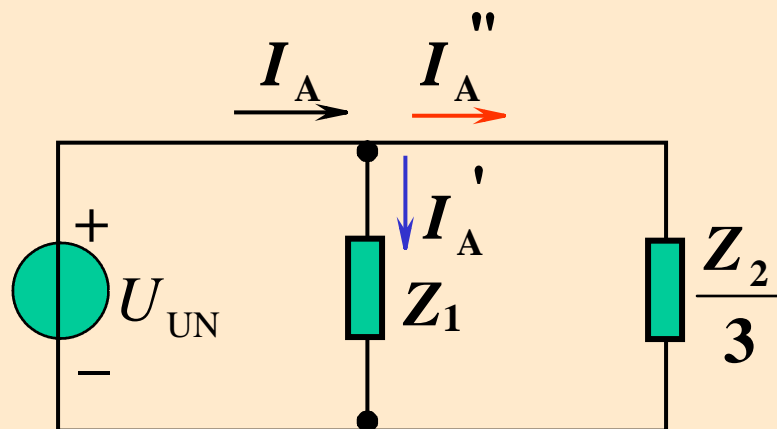
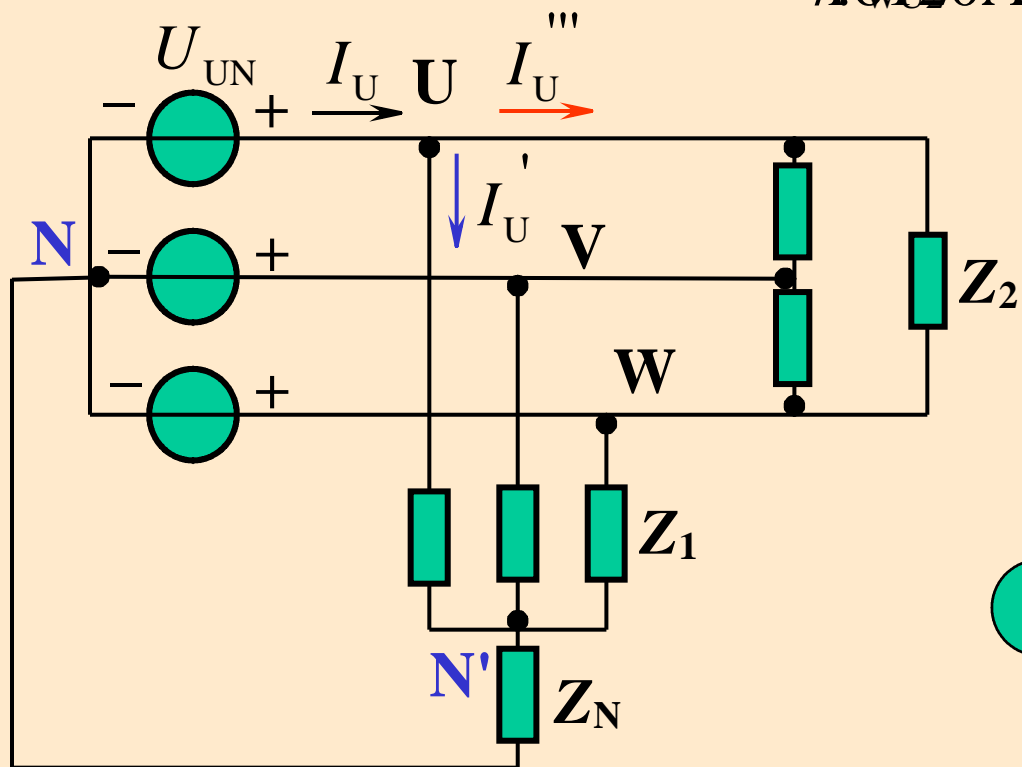


:



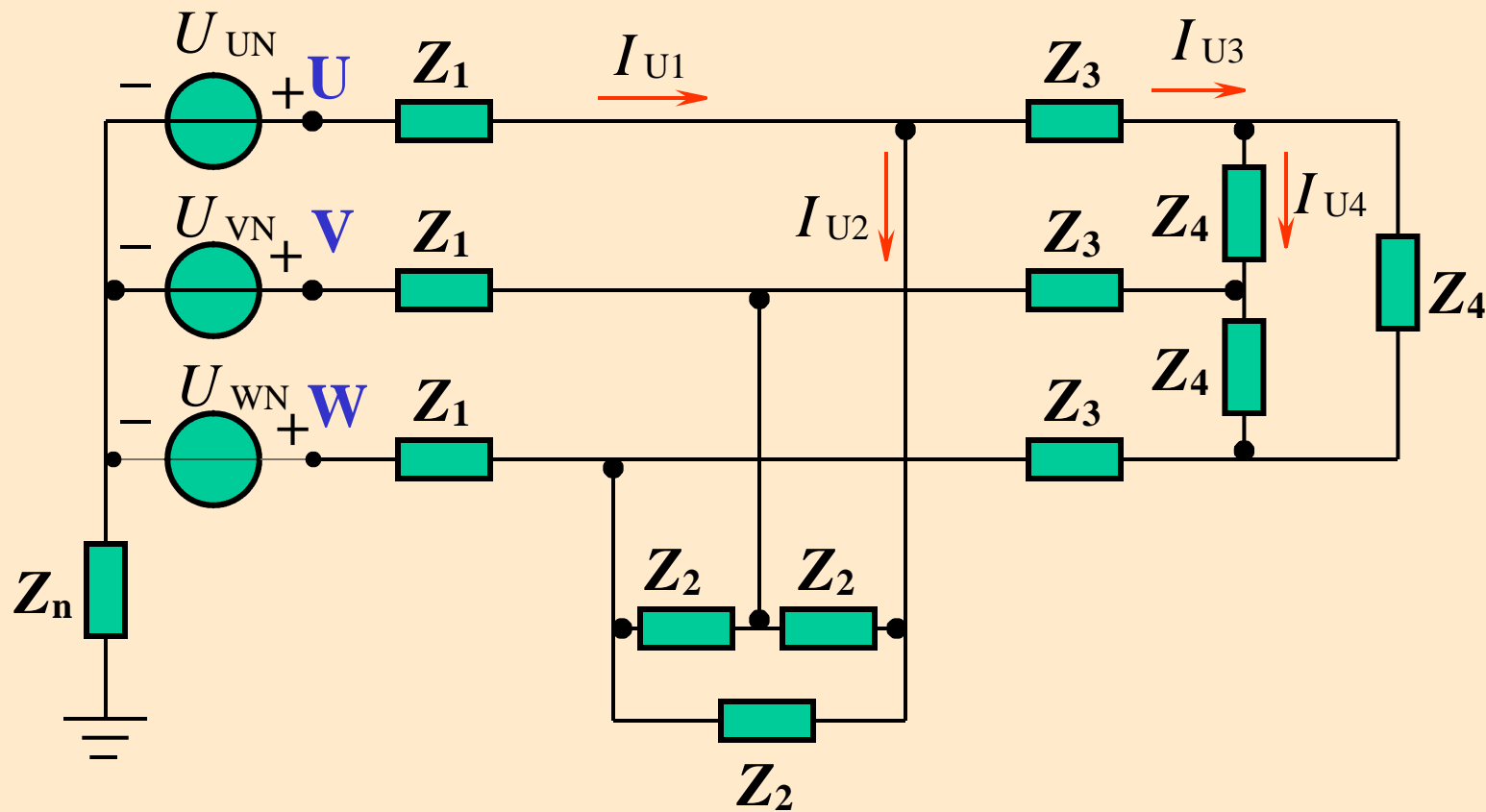
:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_U' = 53.1\text{A} \\ I_V' = 173.1\text{A} \\ I_W' = 66.9\text{A} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} I_U'' = 120\text{A} \\ I_V'' = 120\text{A} \\ I_W'' = 120\text{A} \end{array} \right.$$



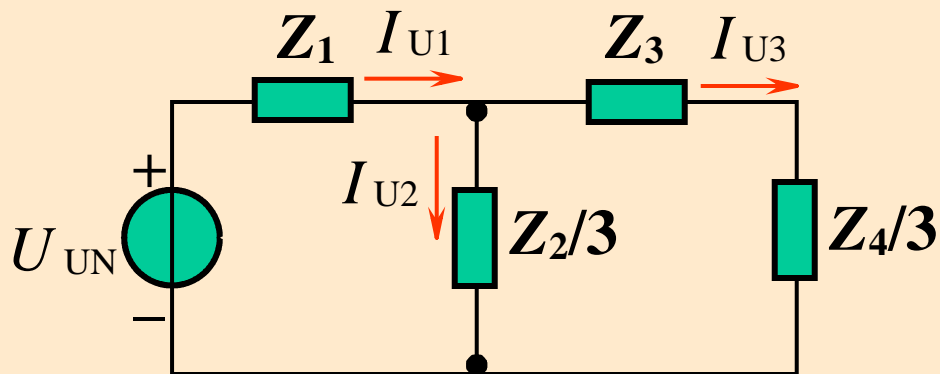
例4. 已知 $U_{UN} = \sqrt{30} \text{ V}, \angle 0^\circ$.

求: $I_{U1}, I_{U2}, I_{U3}, I_{U4}$



解：首先进行 Y 变换，然后取 A 相计算电路：

$$U_{UN} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_{UV} \angle 30^\circ$$



负载化为 Y 接。

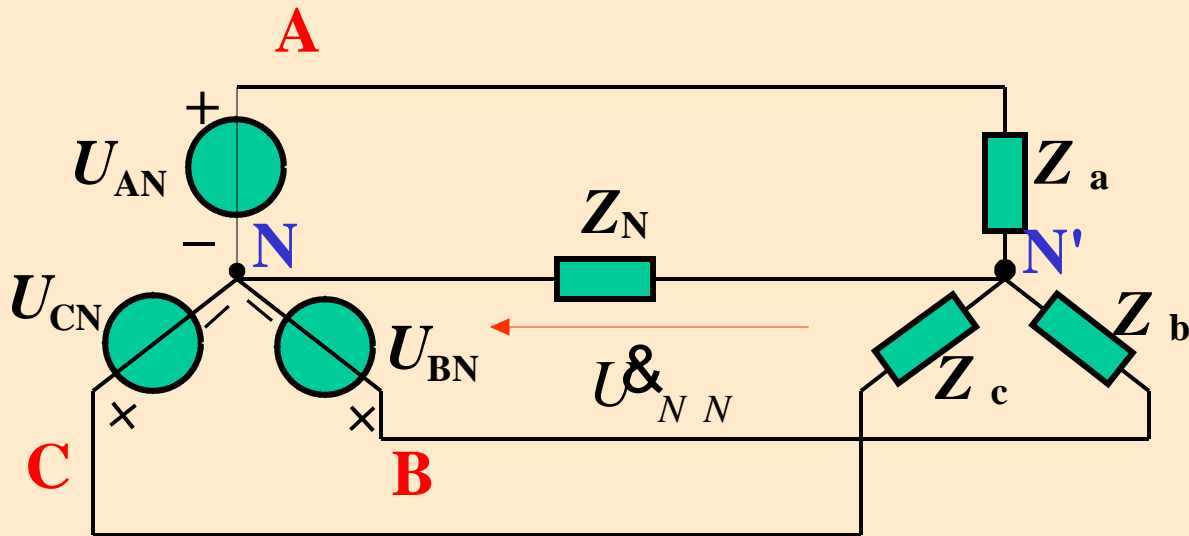
根据对称性，中性电阻 Z_n 短路。

$$I_{U1} = \frac{U_{UN}}{Z_1 + \frac{1}{\frac{1}{Z_2/3} + \frac{1}{Z_3 + Z_4/3}}}$$

$$I_{U4} = \frac{I_{U3}}{\sqrt{3}}$$

11-4 不对称三相电路的概念

- 讨论对象：电源对称（由系统保证），负载不对称。
- 分析方法：
 - 不能简化为一相计算电路。
 - 利用电压源性质进行分解
- 主要了解：中性点位移。



三相负载 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 不相同。

$$U_{N'N} = \frac{U_{AN}/Z_a \quad U_{BN}/Z_b \quad U_{CN}/Z_c}{1/Z_a \quad 1/Z_b \quad 1/Z_c \quad 1/Z_N} \quad 0$$

负载各相电压：

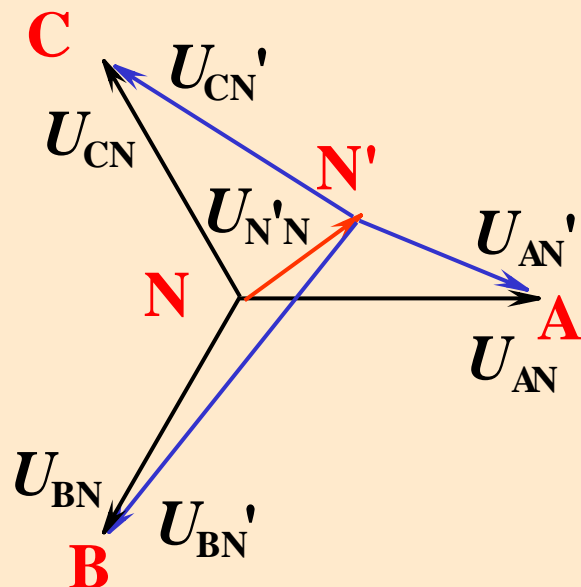
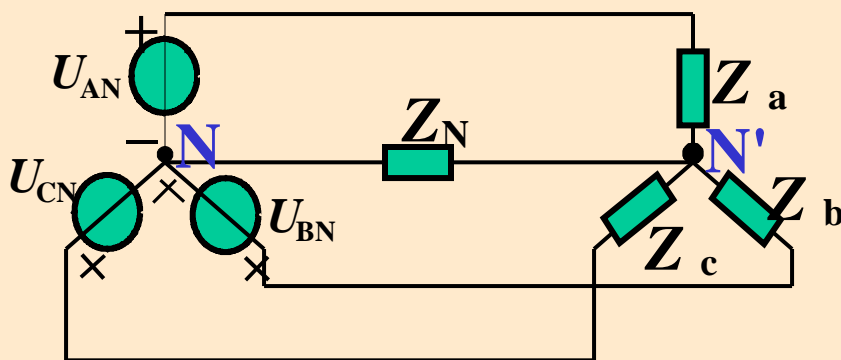
$U_{AN'}$	U_{AN}	$U_{N'N}$	} 不对称
$U_{BN'}$	U_{BN}	$U_{N'N}$	
$U_{CN'}$	U_{CN}	$U_{N'N}$	

位形图:

$$U_{AN'} \quad U_{AN} \quad U_{N'N}$$

$$U_{BN'} \quad U_{BN} \quad U_{N'N}$$

$$U_{CN'} \quad U_{CN} \quad U_{N'N}$$



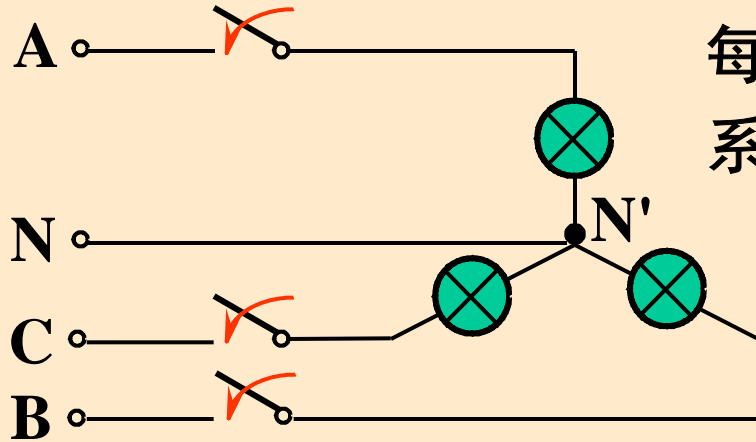
负载中点与电源中点不重合，这个现象称为**中点位移**。

在电源对称情况下，可以根据中点位移的情况来判断负载端不对称的程度。当中点位移较大时，会造成负载相电压严重不对称，可能使负载的工作状态不正常。

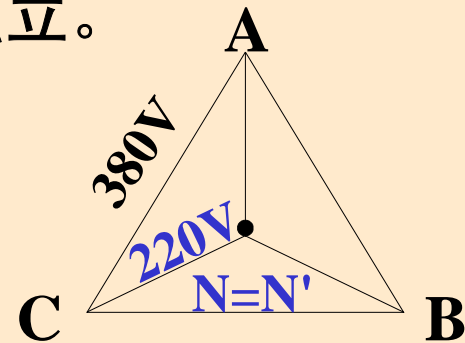
不对称电路利用电压源性质进行分解

例1. 照明电路:

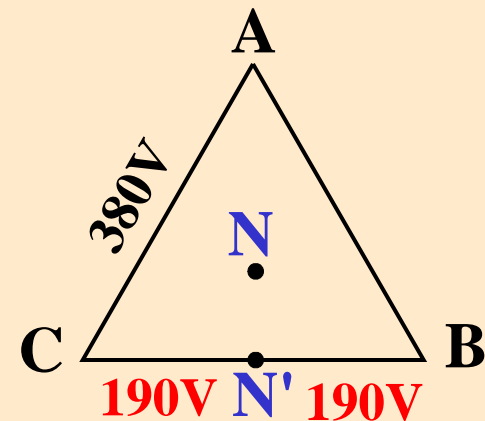
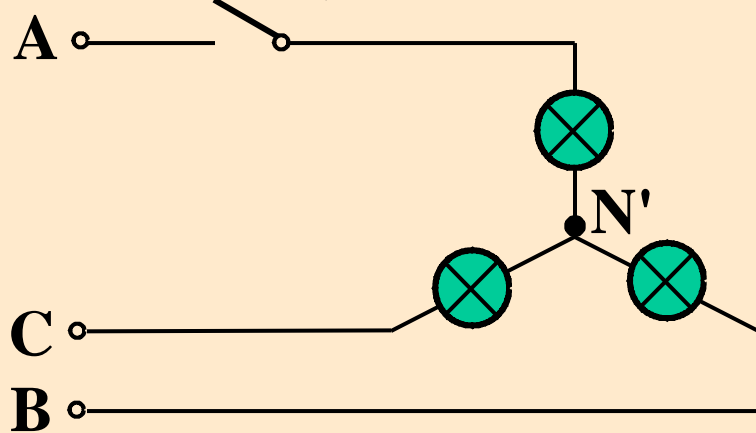
(1) **正常情况下**, 三相四线制, 中线阻抗约为零。



每相负载的工作情况没有相互联系, 相对独立。

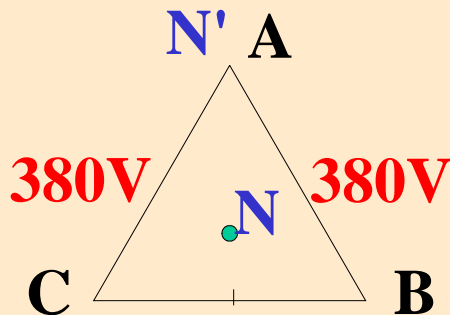
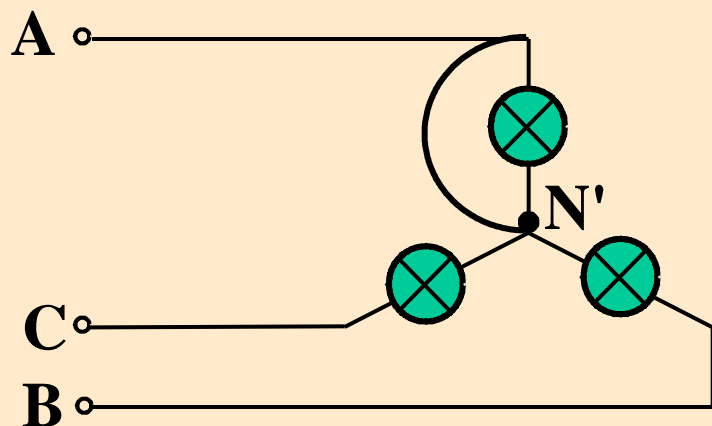


(2) 假设**中线断了**(三相三线制), A相电灯没有接入电路(三相不对称)



灯泡未在额定电压下工作, 灯光昏暗。

(3) A相短路



超过灯泡的额定电压，灯泡可能烧坏。

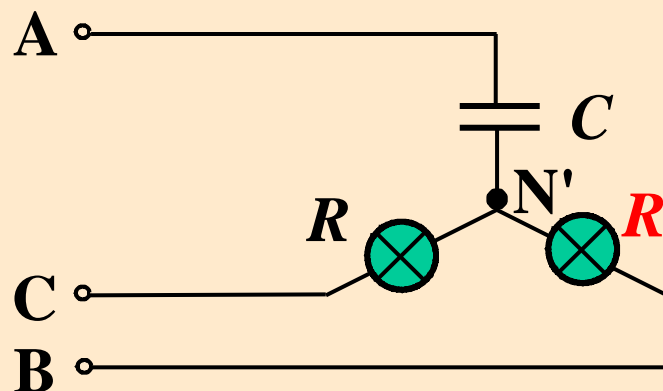
结论： (a) **照明中线不装保险**，并且中线较粗。一是减少损耗，二是加强强度(中线一旦断了，负载就不能正常工作)。

(b) 要消除或减少中点的位移，**尽量减少中线阻抗**，然而从经济的观点来看，中线不可能做得很粗，应适当调整负载，使其接近对称情况。

例2. 相序仪电路。已知 $1/(\omega C)=R$,
三相电源对称。

求：灯泡承受的电压。

解：



设 $U_{AN} = U \angle 0^\circ \text{ V}$, $U_{BN} = U \angle 120^\circ \text{ V}$, $U_{CN} = U \angle 120^\circ \text{ V}$ (正序)

$$U_{N'N} = \frac{j\omega C U_{AN} + U_{BN} + U_{CN}}{j\omega C + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \frac{j\omega C U_{AN} + U_{BN} + U_{CN}}{j\omega C + \frac{2}{R}}$$

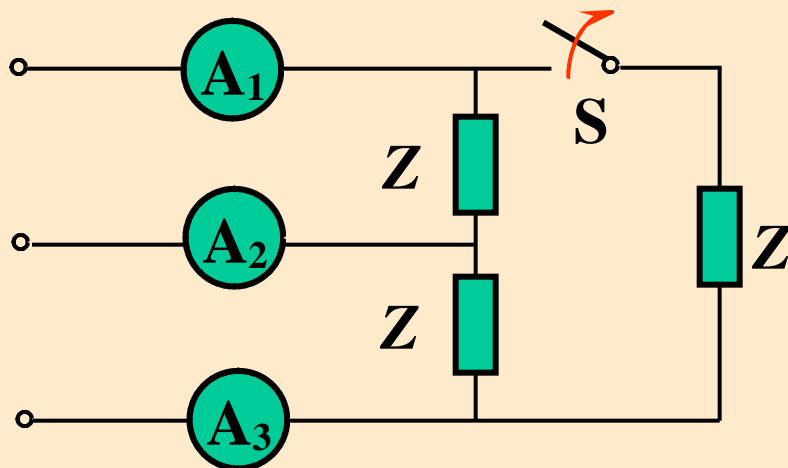
$$0.632108 \angle 4^\circ \text{ V}$$

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

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

若以接电容一相为A相，则B相电压比C相电压高。B相等较亮，C相较暗(正序)。据此可测定三相电源的相序。

例3.



如图电路中，电源三相对称。当开关S闭合时，电流表的读数均为5A。
求：开关S打开后各电流表的读数。

解：开关S打开后，电流表A₂中的电流与负载对称时的电流相同。

开关打开 $A_1 = \frac{U_{AN}}{\frac{Z}{3}} = 3 \frac{U_{AN}}{Z}$

开关S打开 $I_1 = \frac{U_{AB}}{Z} = \sqrt{3} \frac{U_{AN}}{Z}$

电流表A₂的读数=5A

电流表A₁、A₃的读数=

$$5/\sqrt{3} \quad 2.89A$$

#11-2,11-5

11-5 三相电路的功率

1. 对称三相电路的平均功率 P

对称三相负载 $|Z|$

单相平均功率 $P_p = U_p I_p \cos$

三相总功率 $P = 3P_p = 3U_p I_p \cos$

Y接: $U_l = \sqrt{3}U_p, I_l = I_p$

$$P = 3 \frac{1}{\sqrt{3}} U_l I_l \cos\phi = \sqrt{3} U_l I_l \cos\phi$$

Δ接: $U_l = U_p, I_l = \sqrt{3}I_p$

$$P = 3U_l \frac{1}{\sqrt{3}} I_l \cos\phi = \sqrt{3} U_l I_l \cos\phi$$

注意:

(1) 为相电压与相电流的相位差角(相阻抗角), 不要误以为是线电压与线电流的相位差。

(2) \cos 为每相的功率因数, 在对称三相制中即三相功率因数:

$$\cos \varphi = \cos \varphi_0 = \frac{P}{\sqrt{3}U_l I_l} = \frac{P}{3U_p I_p}$$

(3) P 亦为电源发出的有功功率。

2. 无功功率 Q

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = 3Q_p$$

$$Q = 3U_p I_p \sin \varphi_0 = \sqrt{3}U_l I_l \sin \varphi_0$$

3. 复功率

$$\bar{S} \quad \bar{S}_A \quad \bar{S}_B \quad \bar{S}_C \quad 3\bar{S}_A \quad P \quad jQ$$

$$\bar{S} \quad \bar{S}_A \quad \bar{S}_B \quad \bar{S}_C \quad \dot{U}_{AN} \dot{I}_A \quad \dot{U}_{BN} \dot{I}_B \quad \dot{U}_{CN} \dot{I}_C$$

4. 视在功率S

$$S \quad \sqrt{P^2 + Q^2} \quad 3U_p I_p \quad \sqrt{3}U_l I_l$$

功率因数也可定义为：

$$\cos \varphi = P/S \quad (\text{不对称时 无意义})$$

一般来讲， P 、 Q 、 S 都是指三相总和。

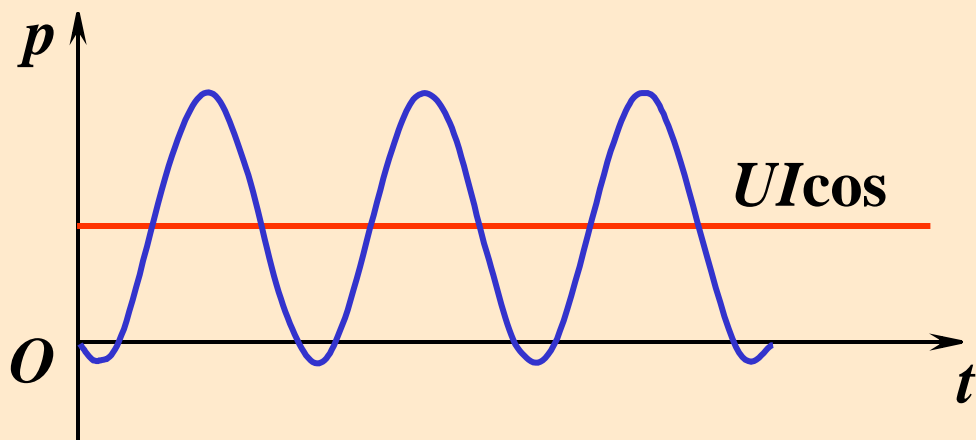
4. 瞬时功率 P

$$p_A = u_A i_A = UI \cos \varphi + UI \cos(2\omega t)$$

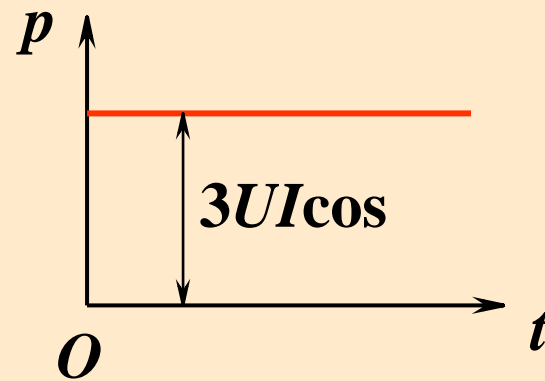
$$p_B = u_B i_B = UI \cos \varphi + UI \cos[(2\omega t - 120^\circ)]$$

$$p_C = u_C i_C = UI \cos \varphi + UI \cos[(2\omega t + 120^\circ)]$$

$$p = p_A + p_B + p_C = 3UI \cos \varphi$$



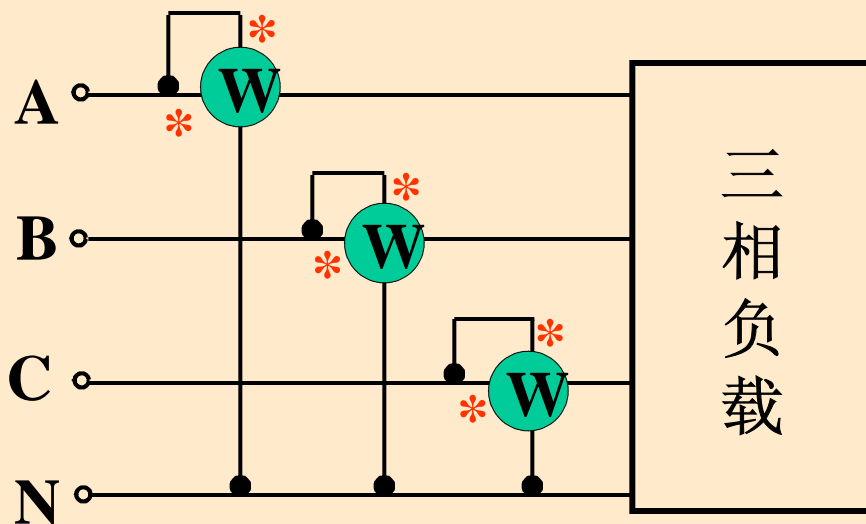
单相：瞬时功率脉动



三相：瞬时功率平稳

5. 三相功率的测量(对称, 不对称)

(1) 三表法:

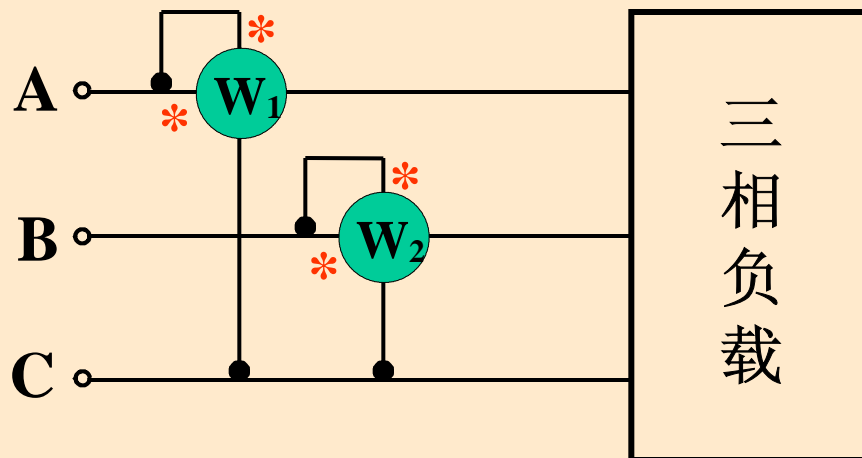


$$p \quad u_{AN} i_A \quad u_{BN} i_B \quad u_{CN} i_C$$

$$P \quad P_A \quad P_B \quad P_C$$

若负载对称, 则需一块表, 读数乘以 **3**。

(2) 二表法:



这种量测线路的接法是将两个功率表的电流线圈接到任意两相中，而将其电压线圈的公共点接到另一相没有功率表的线上。

若 W_1 的读数为 P_1 ， W_2 的读数为 P_2 ，则 $P=P_1+P_2$
即为三相总功率。

证明：（设负载为Y接）

$$p = u_{AN} i_A + u_{BN} i_B + u_{CN} i_C$$

$$i_A + i_B + i_C = 0 \quad (\text{KCL})$$

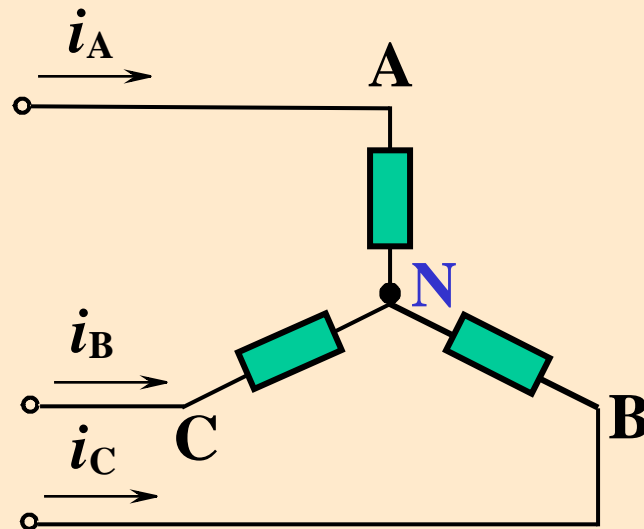
$$i_C = -(i_A + i_B)$$

$$p = (u_{AN} - u_{CN}) i_A + (u_{BN} - u_{CN}) i_B$$

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

$$P = U_{AC} I_A \cos \varphi_1 + U_{BC} I_B \cos \varphi_2$$

φ_1 : u_{AC} 与 i_A 的相位差； φ_2 : u_{BC} 与 i_B 的相位差。



上面两块表的接法正好满足了这个式子的要求，所以两个功率表的读数的代数和就是三相总功率。

最后表达式仅与线电压有关，所以**也适用** **接**。

注意:

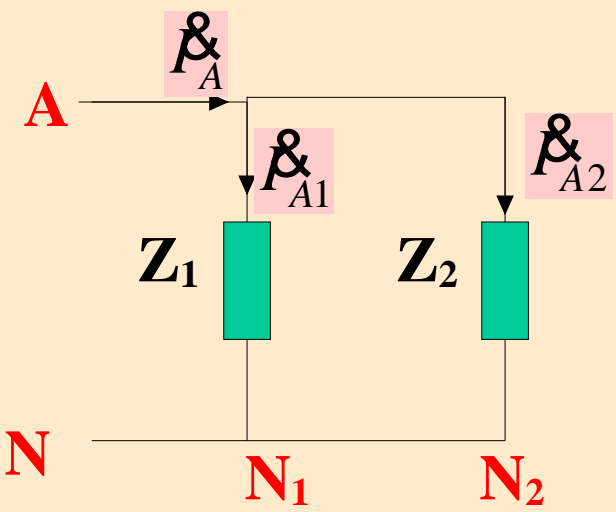
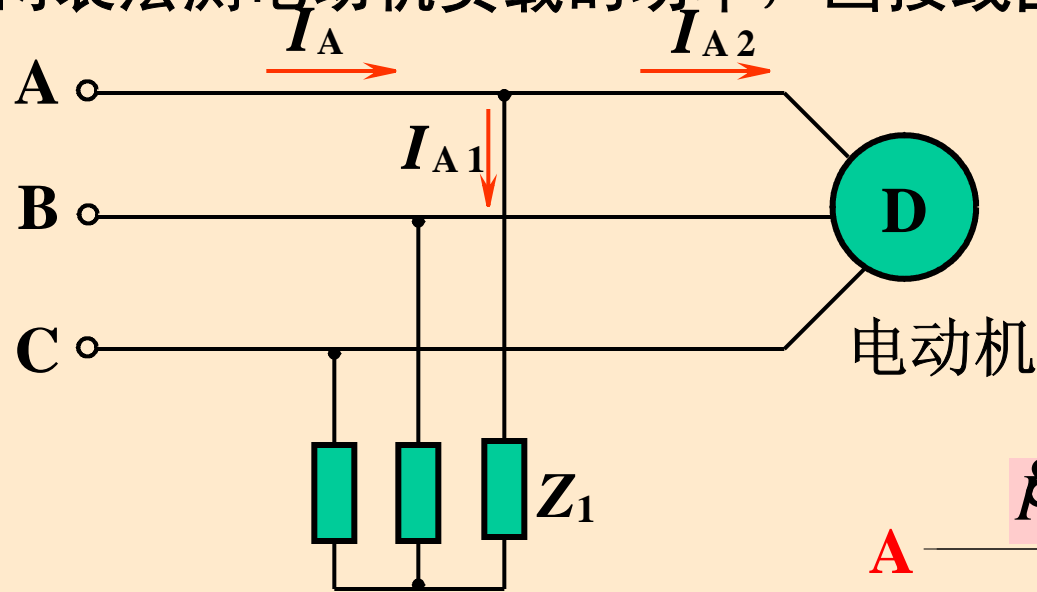
1. 只有在 $i_A+i_B+i_C=0$ 这个条件下, 才能用二表法(即Y接, 接)。不能用于不对称三相四线制。
2. 两块表读数的代数和为三相总功率, 每块表的单独读数无意义。
3. 按正确极性接线时, 二表中可能有一个表的读数为负, 此时功率表指针反转, 将其电流线圈极性反接后, 指针指向正数, 但此时读数应记为负值。
4. 两表法测三相功率的接线方式有三种, 注意功率表的同名端。

例: $U_l = 380\text{V}$, $Z_l = 30 + j40$, 电动机 $P = 1700\text{W}$, $\cos\phi = 0.8$ (感性)。

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。

数。



解:

(1) $U_{AN} = 220 \angle 0^\circ \text{ V}$

$I_{A1} = \frac{U_{AN}}{Z} = \frac{220 \angle 0^\circ}{30 + j40} = 4.41 \angle -53.1^\circ \text{ A}$

$I_A = 53.1 \text{ A}$

电动机负载:

$$P_{AN} = 1700 \text{ W}$$

$$I_{AZ} = \frac{P_{AN}}{3 I_{AN} \cos \phi}$$

$$\cos \phi = 0.8, \quad 36.9^\circ$$

$$I_{A2} = 3.2336.9 \text{ A}$$

$$I_{B2} = 3.23 \quad 156.9 \text{ A}$$

总电流:

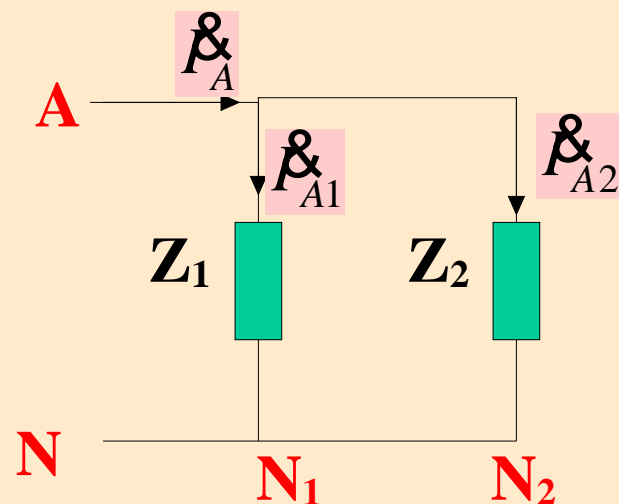
$$I_A = I_{A1} + I_{A2}$$

$$4.41 + 53.1 + 3.23 + 36.9 + 7.56 + 46.2 \text{ A}$$

$$P_{AN} = 3 I_{AN}^2 R_A$$

$$32207.56 \cos 46.23.44 \text{ kW}$$

$$P_{Z1} = 3 I_{A1}^2 R_1 = 3 \times 4.41^2 \times 30 = 1.74 \text{ kW}$$



(2) 两表的读数如图。

$$U_{AB} \quad 380 \quad 30 \quad V$$

$$I_{A2} \quad 3.23 \quad 36.9 \quad A$$

$$U_{AC} \quad U_{CA} \quad 380 \quad 150 \quad V$$

$$380 \quad 30 \quad V$$

$$I_{B2} \quad 3.23 \quad 156.9 \quad A$$

$$U_{BC} \quad 380 \quad 90 \quad V$$

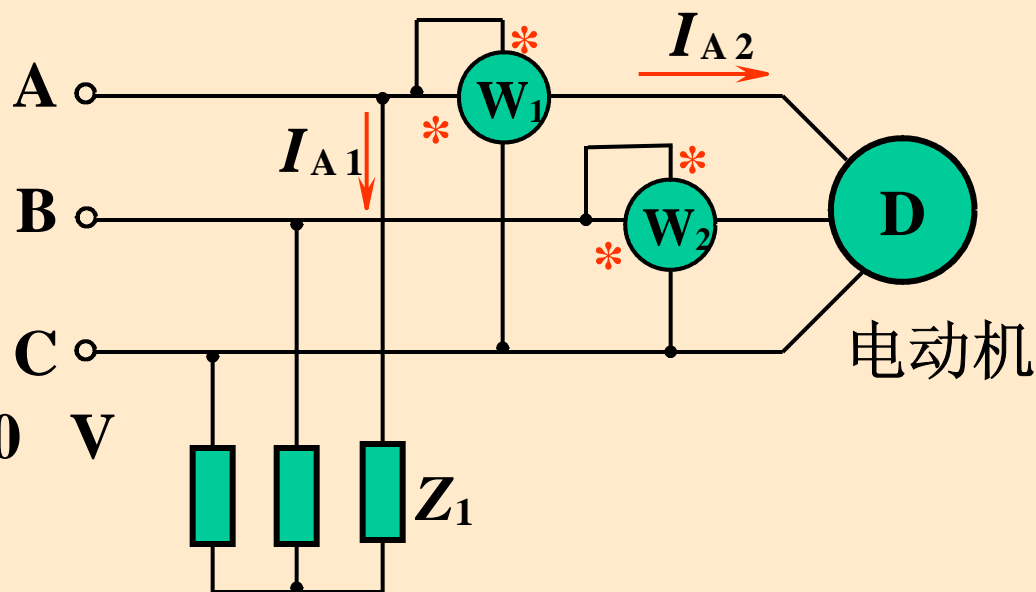


表 W_1 的读数 P_1 :

$$P_1 = U_{AC} I_{A2} \cos \varphi_1 = 380 \times 3.23 \cos(-30^\circ + 36.9^\circ) = 1218.5W$$

表 W_2 的读数 P_2 :

$$P_2 = U_{BC} I_{B2} \cos \varphi_2 = 380 \times 3.23 \cos(156.9^\circ - 90^\circ) = 481.6W$$

$$P_1 + P_2 = 1700W$$

#11-7,11-14