第7章 三 相 电 路

第7章 三 相 电 路

- 7.1三相电路的基本概念
- 7.2 对称三相电路的功率计算与测量

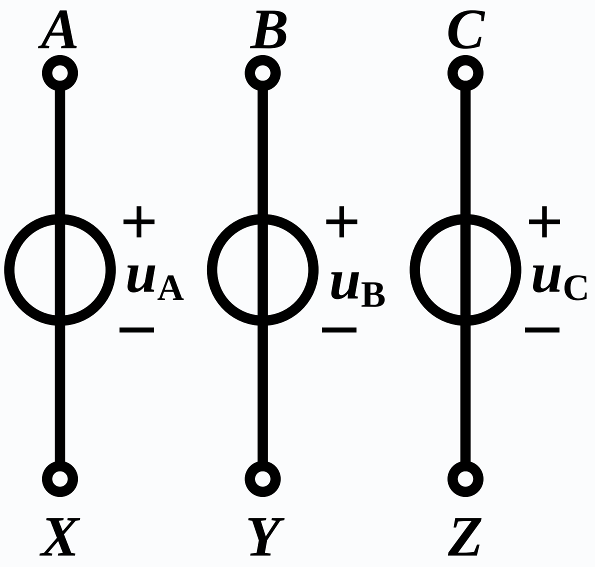
7.1 三相电路的基本概念

7.1.1三相电源

三相电源是由三相同步交流发电机产生的三个同频率、等振幅而相位依次相差**120°**的正弦电压源组成。

各电压源电压分别为u_A、u_B和u_C，称为 A 相、B 相和 C 相，如图(a)所示。

其中A、B、C 称为该相的始端，X、Y、Z 称为末端。



(a)

7.1 三相电路的基本概念

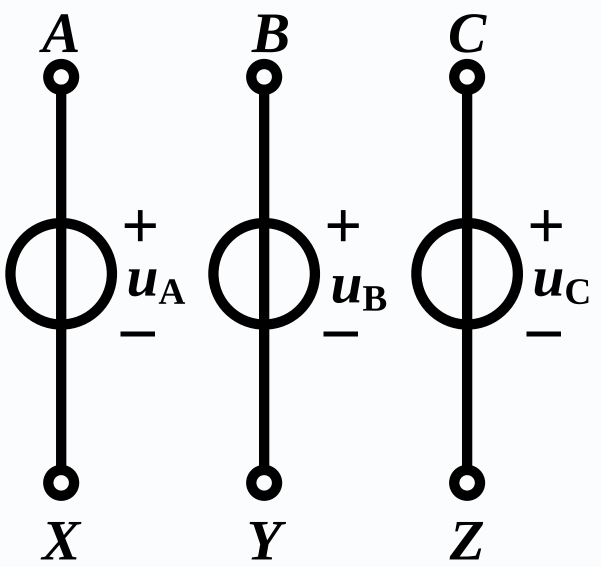
若以 A相为参考相量, 它们的瞬时值表示式分别为

$$u_A = U_m \sin\omega t$$

$$u_B = U_m \sin(\omega t-120°)$$

$$u_C = U_m \sin(\omega t-240°)$$

$$= U_m \sin(\omega t+120°)$$



(a)

3个电压到达最大值的先后次序称为相序

相序为A、B、C，称为正序（或顺序）

电力系统常用

相序为C、B、A，称为反序（或逆序）

7.1 三相电路的基本概念

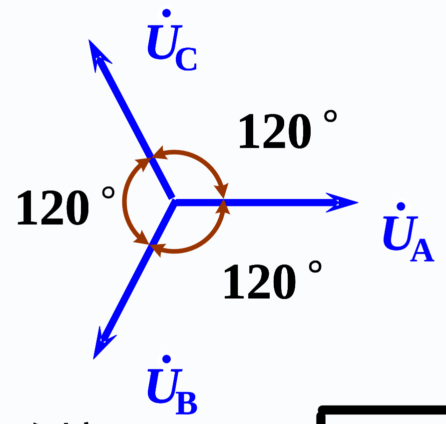
它们的相量形式为

$$\dot{U}_{A} = U\angle 0°$$

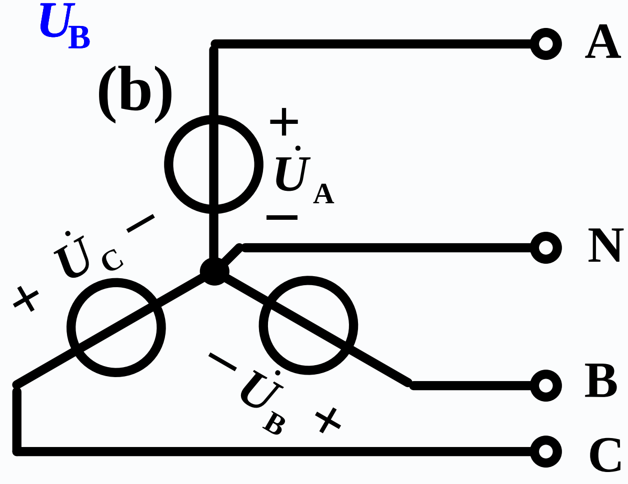
$$\dot{U}_{B} = U\angle -120°$$

$$\dot{U}_{C} = U\angle -240° = U\angle 120°$$

相量图见图（b）7.1.2 三相电源的连接



(b)

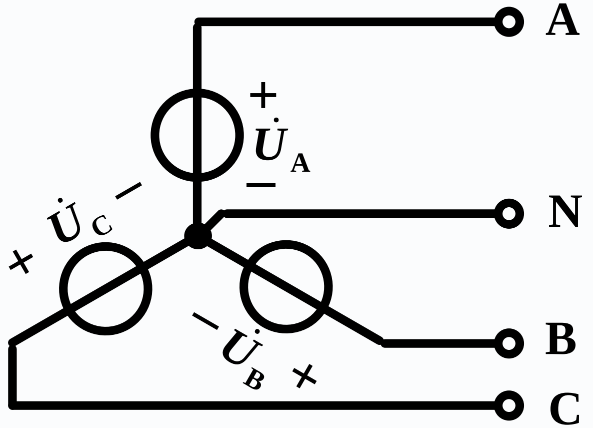


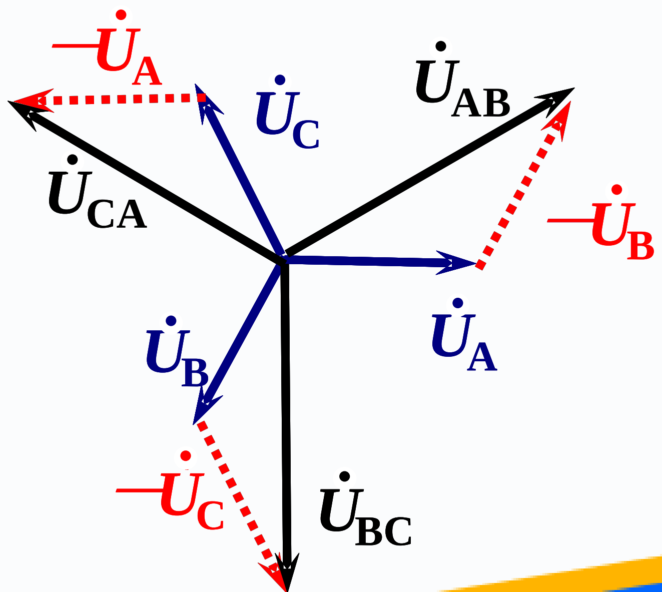
三相电源的连接方式

1、Y形(星形)连接

A、*B*、*C* 三条线称为端线或相线，俗称火线。*N*称为中线或零线。

7.1 三相电路的基本概念





（1）每条相线与中线之间的电压称为相电压U_P。可以看出。

$$\dot U_{AN}=\dot U_A=U\angle 0°$$

$$\dot U_{BN}=\dot U_B=U\angle -120°$$

$$\dot U_{CN}=\dot U_C=U\angle -240°=U\angle 120°$$

(2) 每两条相线之间的电压称为线电压，U_L 用表示。由上图的到

$$\dot U_{AB}=\dot U_{AN}-\dot U_{BN}$$

$$=U\angle 0°-U\angle -120°$$

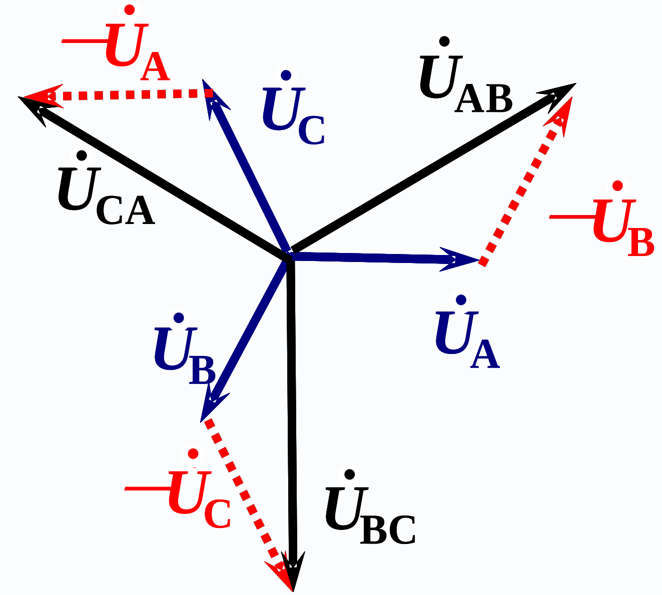
7.1 三相电路的基本概念

由复数运算或者几何关系都可以得到

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3}\dot{U}_{AN}\angle 30°$$

$$\dot{U}_{BC} = \sqrt{3}\dot{U}_{BN}\angle 30°$$

$$\dot{U}_{CA} = \sqrt{3}\dot{U}_{CN}\angle 30°$$

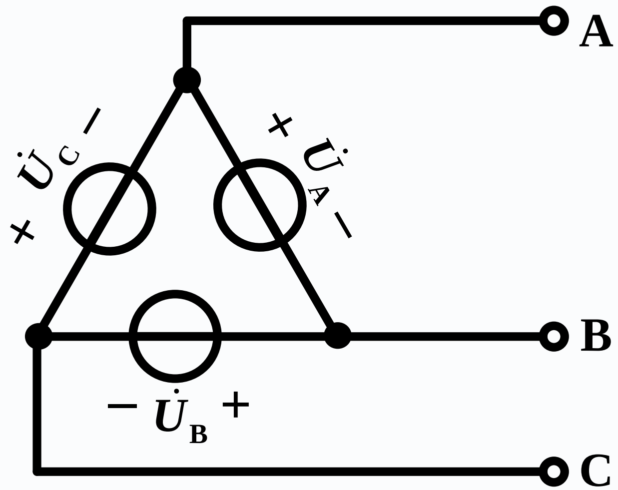


可以看到，线电压的有效值U_L与相电压有效值U_p之间

$$U_L = \sqrt{3}U_p$$ 相位超前相电压30°。

一组电压220V的三相电源接成三相四线制，其相电压U_p=220V，其线电压U_L=380V。

7.1 三相电路的基本概念



2、△形(三角形)连接

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C$$

线电压的有效值U_L 与相电压有效值U_p 相等

$$U_L = U_p$$

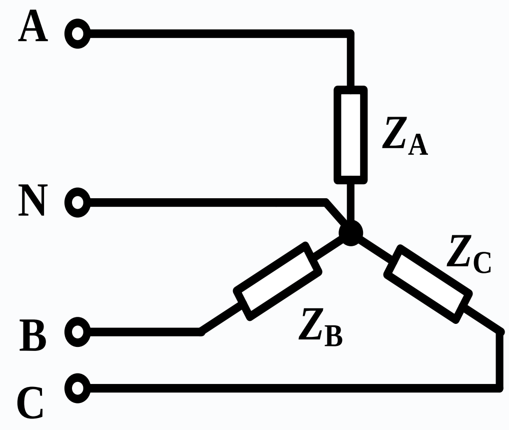
7.1.3 负载星形连接的三相电路分析

1. 3个负载按图示的方式连接，称为三相星形负载。

流过每相负载上的电流称为相电流

流过相线上的电流称为线电流

显然在Y形连接时，线电流等于相电流



星形负载

$$\dot{I}_A=\frac{\dot{U}_A}{Z_A},\quad \dot{I}_B=\frac{\dot{U}_B}{Z_B},\dot{I}_C=\frac{\dot{U}_C}{Z_C}$$

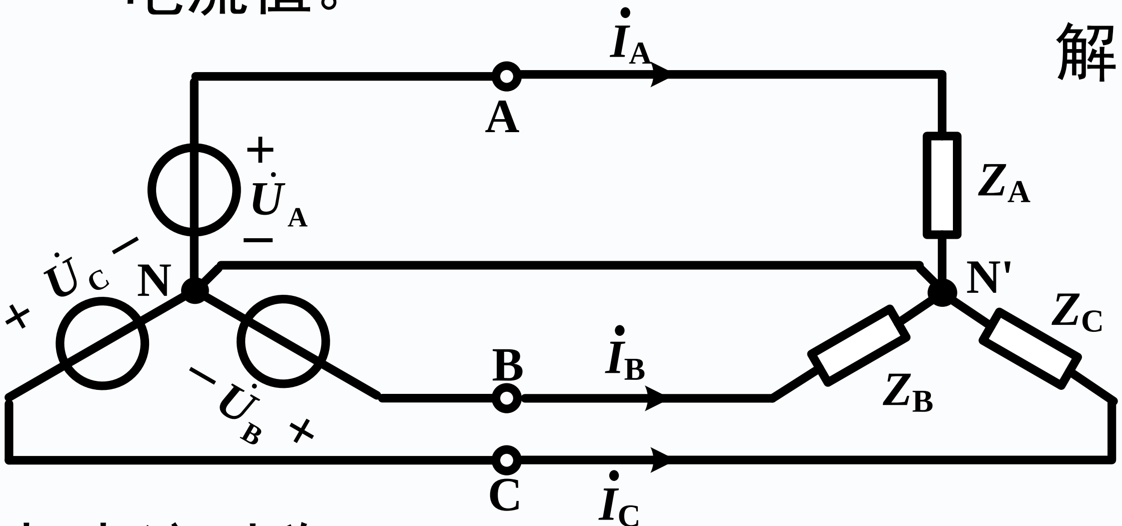
三相负载阻抗相等时，即$Z_A=Z_B=Z_C=Z$

$$I_p=I_L=\frac{U_p}{|Z|}$$

中线电流 $\dot{I}_N=0$ 对称负载时中线可以不接(三相三线制)

2、三相对称星形负载

【例7.1.1】 在图示的对称三相电路中，已知电源正相序且 $\dot{U}_{AB}=380\angle 0°\text{V}$ ，每相阻抗 $Z=(40+\text{j}30)\Omega$ ，求各相电流值。



解：

$$\dot{U}_{AB}=\sqrt{3}\dot{U}_A\angle 30°$$

$$\dot{U}_A=\frac{\dot{U}_{AB}}{\sqrt{3}}\angle -30°$$

$$=220\angle -30°\text{V}$$

$$\dot{I}_A=\frac{\dot{U}_A}{Z_A}=4.4\angle -66.87°\text{A}$$

相电流对称：

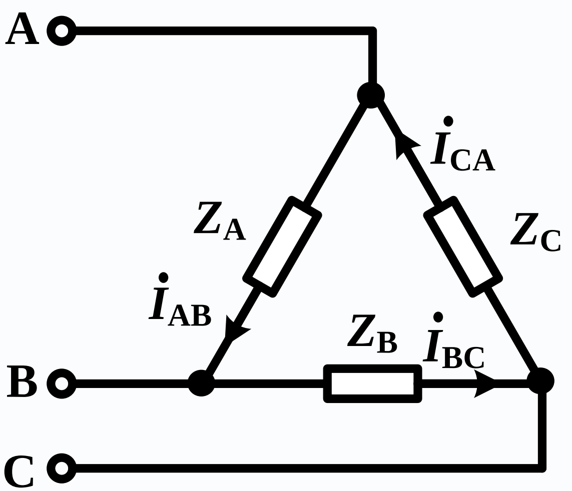
$$\dot{I}_B=\dot{I}_A\angle -120°=4.4\angle 173.13°\text{A} \qquad \dot{I}_C=\dot{I}_A\angle 120°=4.4\angle 53.13°\text{A}$$

3、负载三角形连接的三相电路分析

3个负载按图示的方式连接，称为三角形负载。

对称三相电源与三角形负载形成Y-△连接(三相三线制)

每相负载的电压就是三相交流电源的线电压。



三角形负载

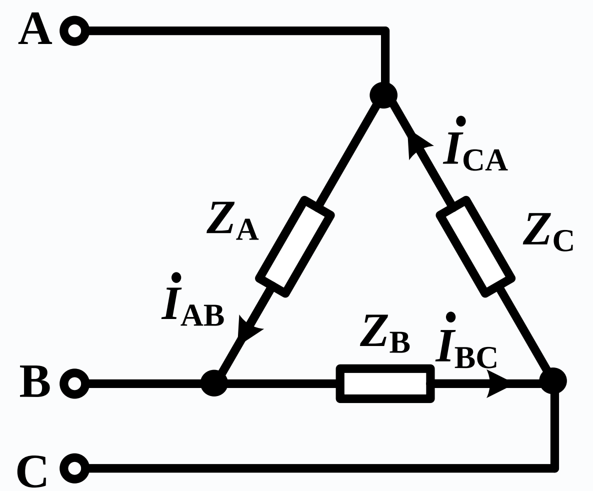
$$\dot{I}_{AB}=\frac{\dot{U}_{AB}}{Z_A},\quad \dot{I}_{BC}=\frac{\dot{U}_{BC}}{Z_B},\quad \dot{I}_{CA}=\frac{\dot{U}_{CA}}{Z_C}$$

三相负载对称时　3个相电流对称，3个线电流也对称

3、负载三角形连接的三相电路分析

三相负载对称时　　3个相电流对称

$$\dot{I}_{BC}=\dot{I}_{AB}\angle-120^\circ \qquad \dot{I}_{CA}=\dot{I}_{AB}\angle 120^\circ$$



三角形负载

3个线电流也对称

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

$$\dot{I}_B=\dot{I}_A\angle-120^\circ \qquad \dot{I}_C=\dot{I}_A\angle 120^\circ$$

线电流的有效值I_L 与相电流有效值I_p 之间

$$I_L=\sqrt{3}I_P$$　　相位滞后相电流30°

3、负载三角形连接的三相电路分析

【例7.1.2】 Y－△连接的对称三相电路，已知电源线电压 $\dot{U}_{AB}=380\angle 0°V$，每相阻抗 $Z=10\angle 60°\Omega$，求各相电流和线电流的大小

解：相电流

$$\dot{I}_{AB}=\frac{\dot{U}_{AB}}{Z}=38\angle -60°A$$

$$\dot{I}_{BC}=\dot{I}_{AB}\angle -120°=-38\ \ A \qquad \dot{I}_{CA}=\dot{I}_{AB}\angle 120°=38\angle 60°A$$

线电流

$$\dot{I}_{A}=\sqrt{3}\dot{I}_{AB}\angle -30°=65.82\angle -90°A$$

$$\dot{I}_{B}=\dot{I}_{A}\angle -120°=65.82\angle 150°A \qquad \dot{I}_{C}=\dot{I}_{A}\angle 120°=65.82\angle 30°A$$

7.2 对称三相电路的功率计算与测量

7.2.1三相四线制

在三相电路的 $Y-Y$ 联接中接有中线。则有三根火线，一根中线。这种三相电源四根线的形式称为三相四线制。从前面的学习中已知，三相四线制中电源总是对称的，而负载则可能对称也可能不对称。

（1）如果负载对称，则每相功率相等，只需测量其中一相的功率$P_{相}$，然后乘以3即可求得总功率。即 $P_{总}=3P_{相}$ 将功率表的电流线圈串在任一相（线）中，将电压线圈跨接（并联）在此相负载的两端，即如果是A相，则跨接在AO之间。如图7-7所示。功率表的读数为$P_{相}$，则总功率$P_{总}=3P_{相}$即可这种方法称为一表法。

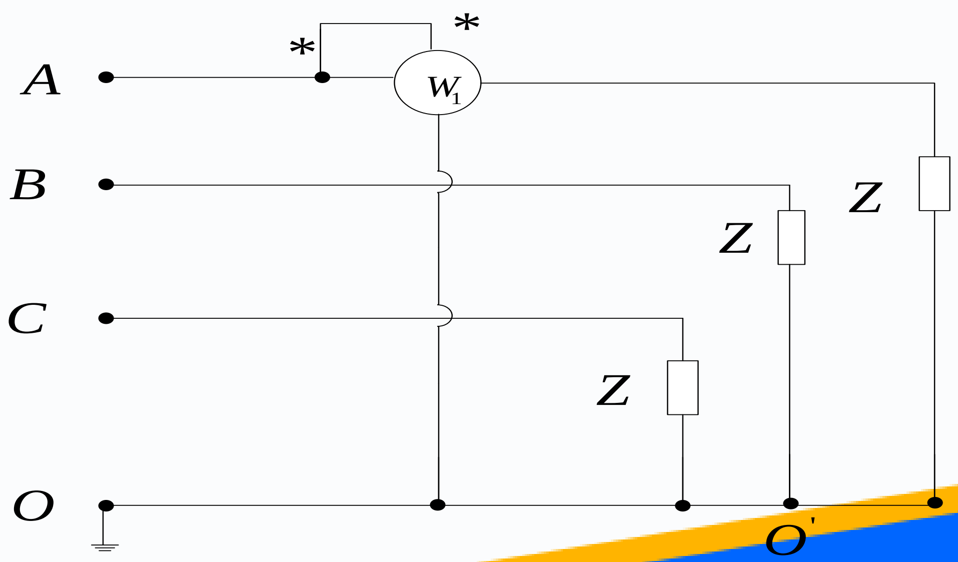


图 7-7 对称三相四线制一表法测总功率

（2）如果负载不对称，则三相负载的功率都不同，这时就需要用三只功率表，测出三相的功率，然后相加，这种方法称为三表法。其接法还是各表的电流线圈串在各线中，电压线圈分别跨在AO，BO，CO之间，如图 7-8所示。

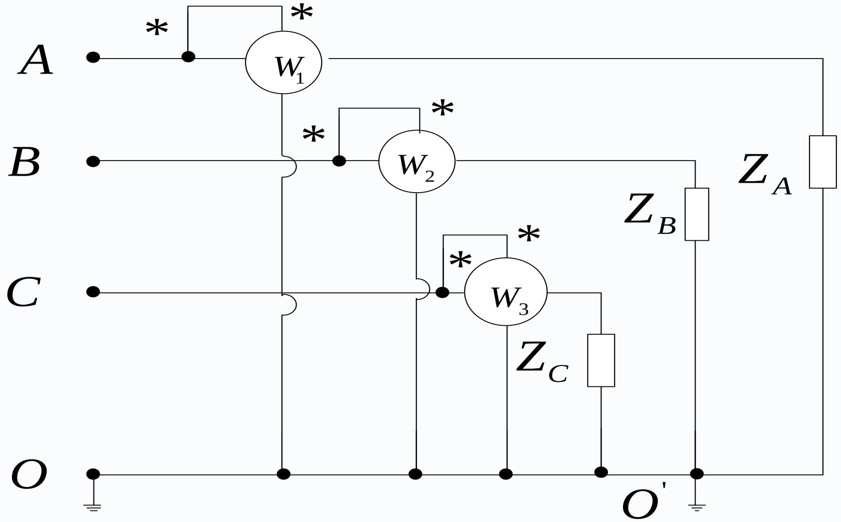


图 7-8 不对称三相四线制三表法测总功率

其总功率为 $P_{总}=P_1+P_2+P_3$，在实际操作中，接好三表后注意同时读数。

7.2.2三相三线制

三相电路中，电源与负载相联只有三根火线时的联结方式称为三相三线制。$Y-\Delta$形联接，$\Delta-\Delta$形联接，$\Delta-Y$形联接均为三相三线制，如果$Y-Y$形联接时无中线，也为三相三线制。三相三线制电路的功率测量用两表法，不管电路是什么联接方式，也不管是否为对称电路，一律适用。其表的联接方式如图7-9所示，功率表1和功率表2的电流线圈分别串在A线，B线中，电压线圈跨接在AC之间与BC之间同时测量，则总功率$P_{总}=P_1+P_2$。

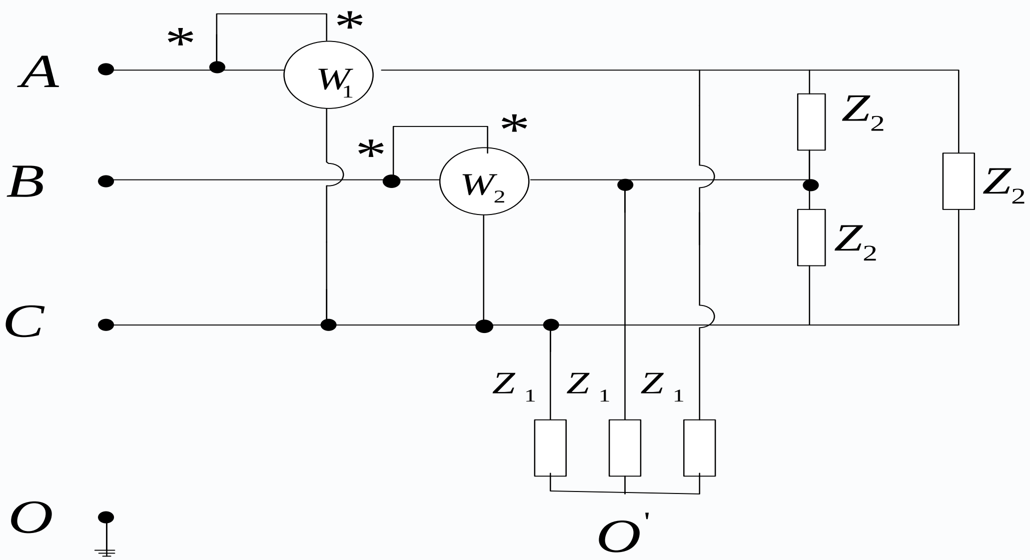


图 7-9 三相三线制用两表法测总功率

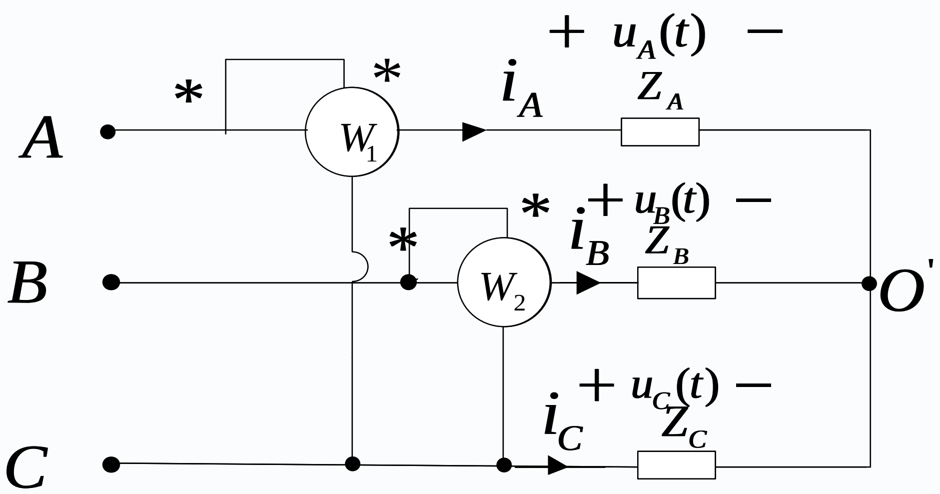


图 7-10 三相三线制用两表法测总功率

证明：假设负载为对称 Y 形联接的感性负载，如图7-10所示，则每相的阻抗为$Z_A = Z_B = Z_C = Z\angle\phi$。

$$P(t) = P_A(t) + P_B(t) + P_C(t)$$
$$= u_A(t)i_A(t) + u_B(t)i_B(t) + u_C(t)i_C(t)$$

将 $i_C(t) = -i_A(t) - i_B(t)$ 代入上式，有

$$P(t) = u_A(t)i_A(t) - u_C(t)i_A(t) + u_B(t)i_B(t) - u_C(t)i_B(t)$$
$$= [u_A(t) - u_C(t)]i_A(t) + [u_B(t) - u_C(t)]i_B(t)$$
$$= u_{AC}(t)i_A(t) + u_{BC}(t)i_B(t)$$

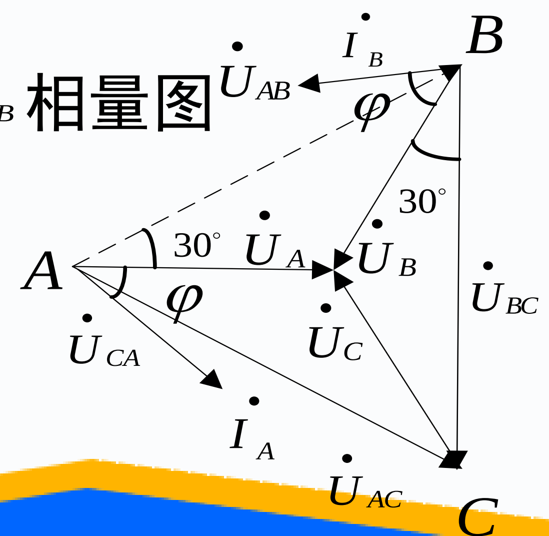


图 7-11 电路的各电压位形相量图及 $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ 相量图

平均功率

$$P = U_{AC}I_{A\cos\dot{U}\,AC\,\dot{I}\,A} + U_{BC}I_{B\cos\varphi\dot{U}\,BC\,\dot{I}\,B}$$

由图7-11可知 $\varphi_{\dot{U}_{AC}\dot{I}_A}=\varphi-30^\circ$ $\varphi_{\dot{U}_{BC}\dot{I}_B}=\varphi+30^\circ$

（设$Z_A=Z_B=Z_C$且为感性负载则$\dot{I}_A$的相位滞后于$\dot{U}_A\varphi$角）

所以

$$P=U_{AC}I_A\cos(\varphi-30^\circ)+U_{BC}I_B\cos(\varphi+30^\circ)$$

$$=U_{线}I_{线}\left[\cos\varphi\cos30^\circ+\sin\varphi\sin30^\circ+\cos\varphi\cos30^\circ-\sin\varphi\sin30^\circ\right]$$

$$=U_{线}I_{线}\left[2\times\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\varphi\right]$$

$$=\sqrt{3}U_{线}I_{线}\cos\varphi_{相}$$

故得证。

在两表法测量时，如果在测量时发现功率表反转，假设功率表2反转则立即调换该表的电流线圈的接法，在取得正偏转读数后总功率为：

P＝功率表1的读数－功率表2的读数。