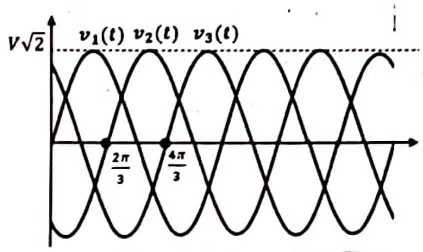
V. Distribution triphasée

L'énergie électrique distribuée en triphasé concerne principalement les entreprises. Les puissances mises en jeu sont parfois considérables, avec des conséquences économiques importantes. Son intérêt est multiple :

- Pour fournir la même puissance à deux charges équivalentes, le réseau triphasé nécessite paradoxalement deux fois moins de cuivre que le réseau monophasé ;
- Les machines électriques qui produisent et utilisent ces tensions fonctionnent de façon optimale en régime triphasé.

1. Définition

Un système triphasé équilibré de tensions (ou de courants) est formé de 3 grandeurs sinusoïdales de même valeur efficace, de même fréquence et déphasées de 120° les unes par rapport aux autres. Le réseau de distribution publique délivre un système triphasé équilibré de tensions.



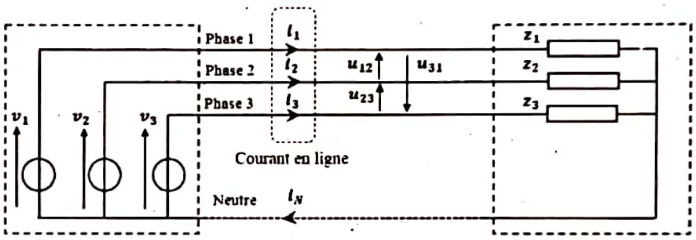
Tel que

$\boxed{v_1(t) = V\sqrt{2}.sin(\omega t)}$ $\boxed{v_2(t) = V\sqrt{2}\ \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)}$ $\boxed{v_3(t) = V\sqrt{2}\ \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)}$

2. Tension simples et composées

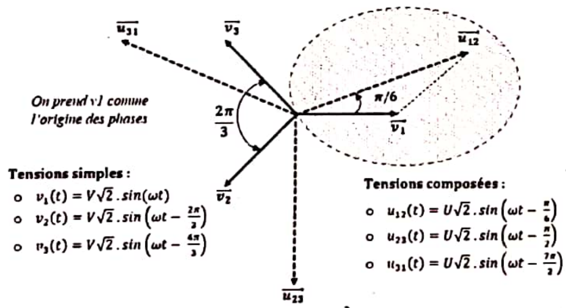
2.1. Définition

Une installation triphasée comporte trois (3) fils de ligne identiques appelés phases et un quatrième fil appelé neutre.



- La tension simple v_i est la différence de potentiel entre la phase i et le neutre.
- La tension composée $u_{ij} = v_i - v_j$ est la différence de potentiel entre deux phases i et j.

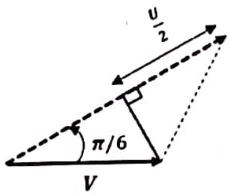
2.2. Représentation de Fresnel



Les sommes vectorielles étant nulles, on peut écrire en valeurs instantanées que :

$\vec{v_1} + \vec{v_2} + \vec{v_3} = 0$

Les tensions composées forment un système triphasé équilibré en avance de $\frac{\pi}{6}$ sur celui des tensions simples



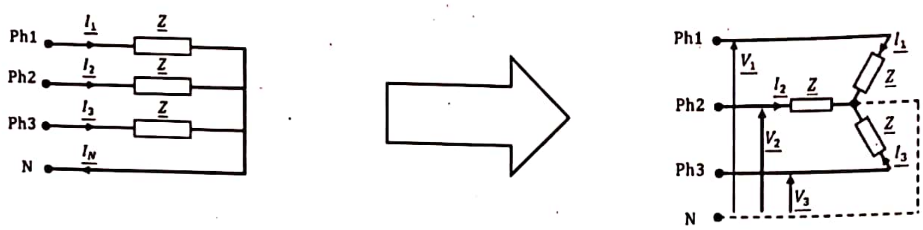
la valeur efficace : $\boxed{U = \sqrt{3}\ V}$

Dem : $\frac{U}{2} = V.\cos\frac{\pi}{6} \Rightarrow \frac{U}{2} = V.\frac{\sqrt{3}}{2}$

3. Couplage en ETOILE et en TRIANGLE

2.3. Couplage étoile (Y)

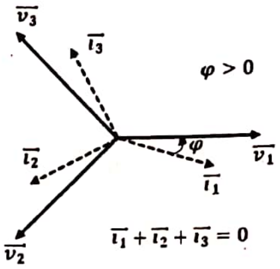
Un récepteur triphasé équilibré couplé en étoile correspond aux représentations suivantes :



- **Représentation de Fresnel des courants en ligne**

On suppose le récepteur triphasé de nature inductive.

- $i_1(t) = \frac{V\sqrt{2}}{Z} \cdot \sin(\omega t - \varphi)$
- $i_2(t) = \frac{V\sqrt{2}}{Z} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \varphi\right)$
- $i_3(t) = \frac{V\sqrt{2}}{Z} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3} - \varphi\right)$



Dans un couplage en étoile équilibré, on peut écrire :

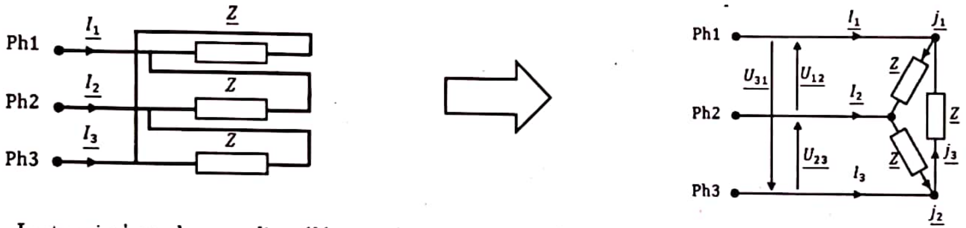
$$i1 + i2 + i3 = iN = 0$$

Remarques importantes :

Si les courants en ligne forment un système triphasé équilibré, alors le conducteur de neutre ne joue aucun rôle et peut être supprimé.

2.4 Couplage Triangle (Δ)

Un récepteur triphasé équilibré couplé en triangle correspond aux représentations suivantes :



- La tension aux bornes d'un élément du récepteur est la tension composée
- Le courant qui traverse chaque élément n'est plus le courant en ligne I. Il est noté j

- **Représentation de Fresnel des courants**

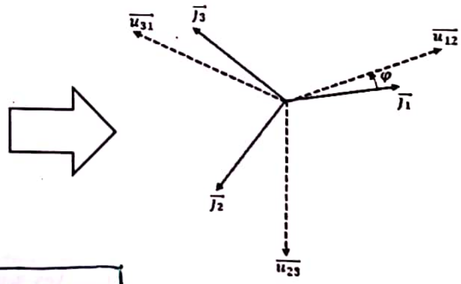
On suppose le récepteur triphasé de nature inductive.

Les relations entre i et j :

- $i_1 = j_1 - j_3$
- $i_2 = j_2 - j_1$
- $i_3 = j_3 - j_2$

Les expressions temporelles

- $j_1(t) = \frac{U\sqrt{2}}{Z} \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{6} - \varphi)$
- $j_2(t) = \frac{U\sqrt{2}}{Z} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \varphi\right)$
- $j_3(t) = \frac{U\sqrt{2}}{Z} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{7\pi}{6} - \varphi\right)$

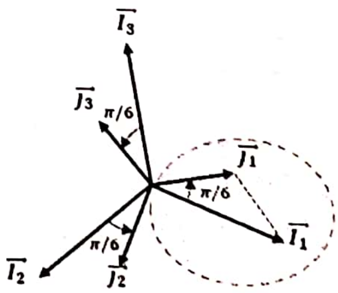


Dans un couplage en triangle équilibré, on peut écrire : $\boxed{\vec{J_1} + \vec{J_2} + \vec{J_3} = 0}$

Les courants dans les éléments forment un système triphasé équilibré en avance de $\frac{\pi}{6}$ sur celui des courants en ligne. Avec I est la valeur efficace des courants en ligne, et J est la valeur efficace des courants dans les récepteurs,

- **La relation entre I et J est :**

$\boxed{I = \sqrt{3}\, J}$



4. Puissance en régime triphasé équilibré

Un récepteur triphasé équilibré peut être considéré comme l'association de 3 récepteurs monophasés identiques.

Le couplage étoile (Y):

- La puissance active Py: $\boxed{P_Y = 3V.I.\cos\varphi}$ unité : $\boxed{W}$
- La puissance réactive Qy: $\boxed{Q_Y = 3VI\sin\varphi}$ unité : $\boxed{VAR}$
- La puissance apparente Sy : $\boxed{S_Y = 3VI}$ unité : $\boxed{VA}$

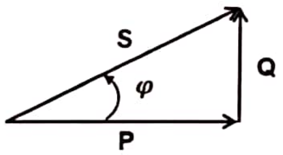
Le couplage triangle (Δ):

- La puissance active P_Δ: $\boxed{P_\Delta = 3UJ\cos\varphi}$ unité : $\boxed{W}$
- La puissance réactive Q_Δ: $\boxed{Q_\Delta = 3UJ\sin\varphi}$ unité : $\boxed{VAR}$
- La puissance apparente S_Δ: $\boxed{S_\Delta = 3UJ}$ unité : $\boxed{VA}$

Quel que soit le couplage du récepteur :

- La puissance active P: $\boxed{P = \sqrt{3}U.I.\cos\varphi}$ unité : W
- La puissance réactive Q: $\boxed{Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi}$ unité : VAR
- La puissance apparente S : $\boxed{S = \sqrt{3}U}$ unité : VA

5. Triangle de puissances



$\boxed{S = \sqrt{P^2 + Q^2}}$ $\boxed{\cos(\varphi) = \frac{P}{S}}$

$\boxed{\sin(\varphi) = \frac{Q}{S}}$ $\boxed{\tan(\varphi) = \frac{Q}{P}}$

6. Facteur de puissance

C'est un critère pour évaluer grossièrement la qualité (sous l'angle économique) d'une transmission de puissance électrique :

$f_p = \frac{P}{S} = \cos\varphi$ regime alternatif sinusoïdale

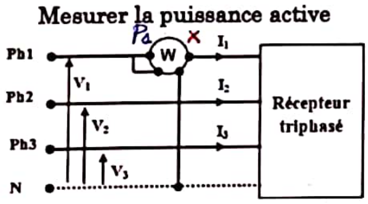
7. Mesure des puissances en triphasé

Le wattmètre est un appareil de mesure dont la déviation est proportionnelle à :

$W = V.I.\cos(\widehat{\vec{I},\vec{V}}) = \vec{V}.\vec{I}$

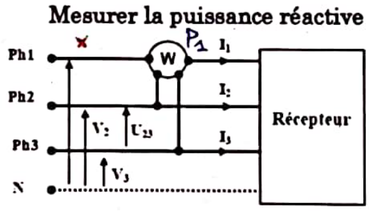
7.1. Méthode d'un seul wattmètre

Mesurer la puissance active



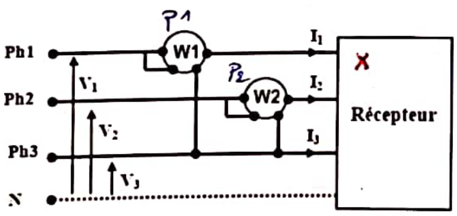
P = $3P_1$

Mesurer la puissance réactive



Q= $\sqrt{3}P_1$

7.2. Méthode de deux wattmètres

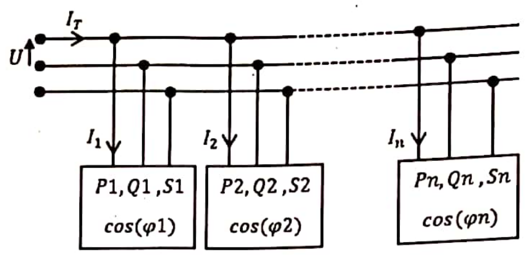


Puissance active P : $\boxed{P = P_1 + P_2}$ Sans unité P_1 et P_2

Puissance réactive Q : $\boxed{Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2)}$

4. Théorème de Boucherot

La puissance active d'un système est la somme des puissances actives des éléments le constituant, de même pour la puissance réactive et la puissance apparente complexe. En revanche, c'est faux en ce qui concerne la puissance apparente



- La puissance active totale : $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$
- La puissance réactive totale : $Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots + Q_n$
- La puissance apparente totale : $S_T = \sqrt{P_T{}^2 + Q_T{}^2}$

Donc :

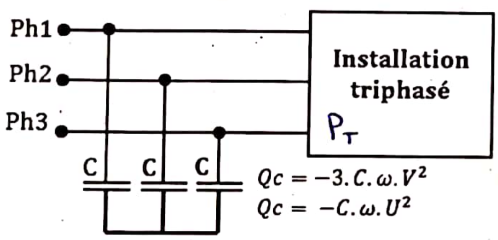
- Le courant total de ligne I_T : $I_T = \dfrac{S_T}{\sqrt{3}U}$
- Le facteur de puissance de l'installation $\cos(\varphi_T)$: $\cos\varphi_T = \dfrac{P_T}{S_T}$

Application de théorème Boucherot : relèvement du facteur de puissance

Lorsque le facteur de puissance fp est inférieur à un facteur de puissance minimal, ONE taxe ce mauvais facteur de puissance. Pour relever le facteur de puissance de fp1 à fp2 (plus fp2 s'approche de 1, meilleur c'est), il faut placer une batterie de condensateurs C en tête de l'installation. On détermine la capacité C d'un condensateur en utilisant la relation ci-dessous :

$$Qc = Q2 - Q1 \Rightarrow Qc = P.(\tan\varphi 2 - \tan\varphi 1) < 0$$

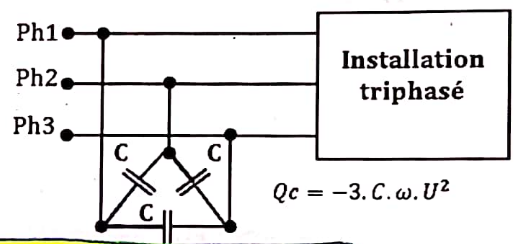
Couplage étoile



$Qc = -3.C.\omega.V^2$
$Qc = -C.\omega.U^2$

$$C = P_T \frac{tg\varphi_1 - tg\varphi_2}{\omega U^2}$$

couplage triangle



$Qc = -3.C.\omega.U^2$

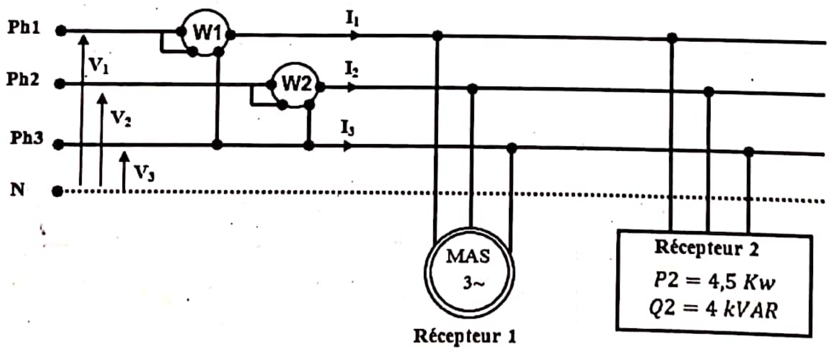
$$C = P_T \frac{tg(\varphi_1) - tg(\varphi_2)}{3\omega U^2}$$

utilisé de préférence car C est plus faible, alors cela coûte moins cher ainsi on évite le surdimensionnement de l'installation

Exercice d'application :

Une installation triphasée 230 V / 400 V ; 50 Hz est composée :

- D'un moteur asynchrone triphasé 230 V/ 400 V (MAS) de puissance utile Pu= 3 kW, η= 91 % et de facteur de puissance de 0,86 *AR*.
- D'un récepteur triphasé équilibré qui absorbe la puissance active P2 = 4,5 kW et la puissance réactive Q2= 4 KVAR.



1. Citer deux avantages de distribution triphasée par rapport à la distribution monophasée.

- Pour même puissance de deux charges, le triphasé nécessite paradoxalement deux fois moins de cuivre que le réseau monophasé
- les machines électrique qui produise ou utilise ces tension fonctionnent de façon optimale en régime triphasé.

2. Calculer la puissance électrique *Pa* absorbée par le moteur.

On a le rendement : $\eta = \frac{P_u}{P_a} \Rightarrow \boxed{P_a = \frac{P_u}{\eta}}$

$\Rightarrow \boxed{P_a = 3{,}296 \text{ kW}}$

3. Calculer la puissance réactive *Qm* absorbée par le moteur.

$\boxed{Q_m = P_a \, tg\,\varphi}$ où $\varphi = \arccos(0{,}86) \Rightarrow \varphi = 0{,}535$ rad

$\boxed{Q_m = 1{,}953 \text{ kVAR}}$

4. Calculer la puissance active totale *P* absorbée par l'installation.

$P = P_m + P_2 \Rightarrow \boxed{P = 7{,}796 \text{ kW}}$

5. Calculer la puissance réactive totale *Q* absorbée par l'installation.

$Q = Q_m + Q_2 \Rightarrow \boxed{Q = 5{,}953 \text{ kVAR}}$

6. En déduire la puissance apparente totale *S* de l'installation.

$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \Rightarrow \boxed{S = 9{,}808 \text{ kVA}}$

7. En déduire l'intensité en ligne *I* dans un fil de phase.

$S = \sqrt{3}\, U.I \Rightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3}\, U} \Rightarrow \boxed{I = 14{,}15 \text{ A}}$

8. Calculer le facteur de puissance **fp** de l'installation.

$f_p = \cos\varphi = \frac{P}{S} \Rightarrow \boxed{\cos\varphi = 0{,}794 \text{ AR } Q > 0}$

9. Qu'indiquent les wattmètres **1** et **2** (on demande les valeurs de **W1** et **W2**).

$\begin{cases} P = W_1 + W_2 \\ Q = \sqrt{3}(W_1 - W_2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} W_1 + W_2 = P \\ W_1 - W_2 = Q/\sqrt{3} \end{cases}$

Donc : $\boxed{W_1 = 5616{,}48}$, $\boxed{W_2 = 2179{,}51}$

10. Quelle doit-être la valeur de la capacité *C* d'une batterie de condensateurs *C* couplés en triangle pour relever le facteur de puissance de **fp** = 0,796 à **fp'** = 0,95 ?

$C = P \frac{tg(\varphi) - tg\,\varphi'}{3\,\omega\,U^2} \Rightarrow \boxed{C = 22{,}32\ \mu F}$