TP02 : Mesure de Puissance en Triphasé (Partie I)

I- Rappel théorique

I- 1 Définition

I- 1- 1 Installation triphasée

Le transport de l'énergie électrique en triphasé est le plus économique car il requiert une quantité minimale de câble métallique pour transporter une puissance donnée ; les moteurs triphasés sont simples et efficaces, le redressement est aisé. Une installation triphasée comporte trois fils de phases et, éventuellement, un fil de neutre (Fig.1).

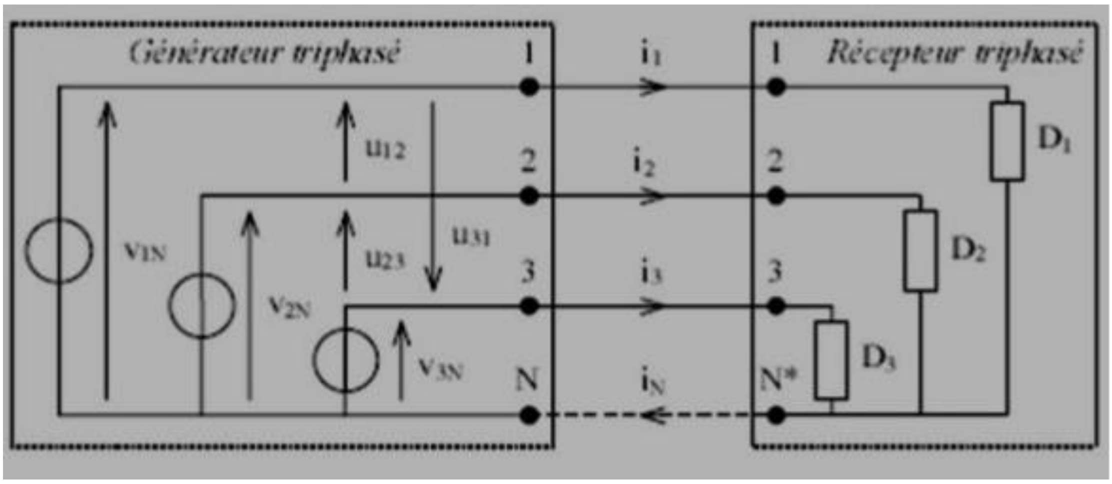


Figure. 1

a. **Tensions simples – Tensions composées.** Les tensions simples V_{1N}, V_{2N} et V_{3N} sont prises entre une des phases et le neutre, et les tensions composées U_{12}, U_{23} et U_{31} sont prises entre deux phases (voir Fig.1).

b. **Système triphasé équilibré.** Trois grandeurs sinusoïdales de même fréquence, déphasées entre elles de 2p/3, et ayant même valeur efficace, forment un système triphasé équilibré.

c. **Système direct – Système inverse.** Le système triphasé (g_1, g_2, g_3) est dit direct si g_3 est en retard d'un angle 2p/3 sur g_2 qui est en retard d'un angle 2p/3 sur g_1. Autrement, le système est dit inverse.

d. **Réseau de distribution électrique.** Il est basé sur un système triphasé de tensions. On peut généralement considérer que (V_{1N}, V_{2N}, V_{3N}) est un système de tensions triphasé équilibré direct. Il en est de même pour (U_{12}, U_{23}, U_{31}). On a :

$$\begin{cases} U_{12} = V_{1N} - V_{2N} \\ U_{23} = V_{2N} - V_{3N} \\ U_{31} = V_{3N} - V_{1N} \end{cases} \quad \begin{cases} V_{1N} = V_{max}\, sin(\omega\, t) \\ V_{2N} = V_{max}\, sin\left(\omega\, t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ V_{3N} = V_{max}\, sin\left(\omega\, t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{cases} \quad \begin{cases} \overline{V_{1N}} = V_{max} \\ \overline{V_{2N}} = V_{max}\, e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ \overline{V_{3N}} = V_{max}\, e^{-j\frac{4\pi}{3}} \end{cases}$$

Diagramme temporel des tensions simples : (Fig.2)

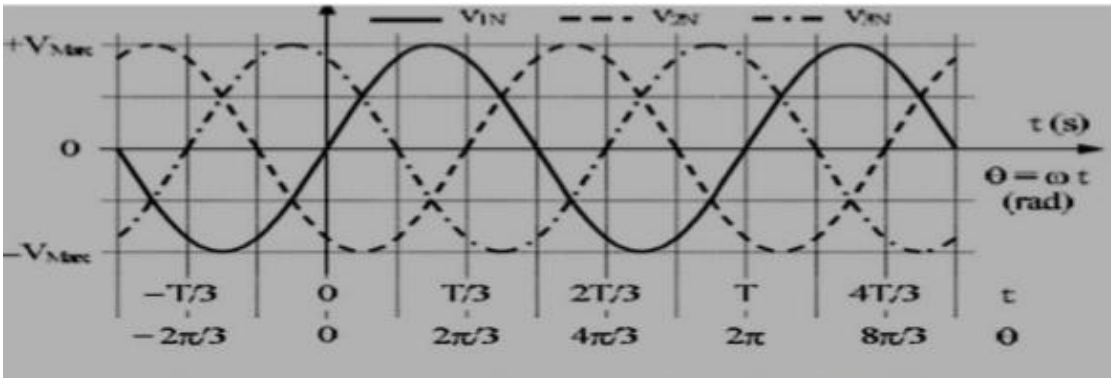


Figure. 2

Remarque :

- Dans ces conditions, si les trois récepteurs sont identiques, alors (i_1, i_2, i_3) est un système de courants triphasé équilibré.
- Dans ces conditions, si le neutre du récepteur est relié au neutre du générateur (V_{1N^*}, V_{2N^*} et V_{3N^*}) est un système de tensions triphasé équilibré.

I- 1-2Couplage en étoile

Dans un couplage en étoile, chaque dipôle est relié entre le neutre et une phase du réseau (Fig. 3).

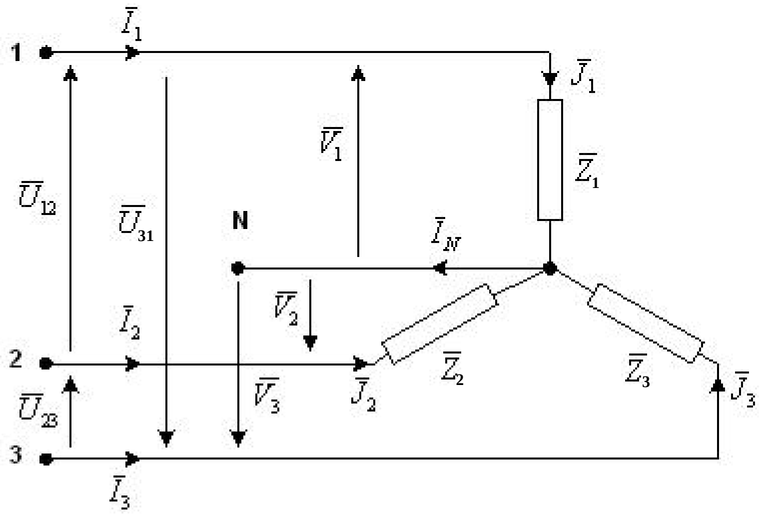


Figure. 3

Le point N étant relié au neutre du réseau, les tensions appliquées aux bornes des dipôles sont les tensions simples du réseau, et les courants en ligne sont les mêmes que les courants dans les récepteurs.

$$i_N = i_1 + i_2 + i_3$$

Soit, en complexe :

$$\overline{I_N} = \overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3}$$

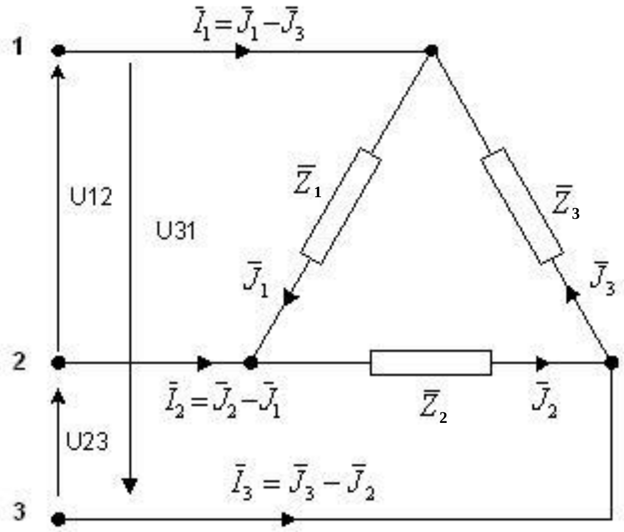
Avec $\overline{\boldsymbol{I_1}} = \frac{\overline{V_{1N}}}{\overline{Z_1}}$ $\overline{\boldsymbol{I_2}} = \frac{\overline{V_{2N}}}{\overline{Z_2}}$ $\overline{\boldsymbol{I_3}} = \frac{\overline{V_{3N}}}{\overline{Z_3}}$

Où $\overline{\boldsymbol{Z_1}}, \overline{\boldsymbol{Z_2}}$ ***et*** $\overline{\boldsymbol{Z_3}}$ sont respectivement les impédances des dipôles D_1, D_2 et D_3

Remarque :
Pour un récepteur équilibré couplé en étoile $\overline{Z_1} = \overline{Z_2} = \overline{Z_3}$, le courant dans le neutre est nul.

I- 1-3Couplage en triangle

Dans un couplage en triangle, chaque dipôle est relié entre deux phases du réseau (Fig.4). Le neutre est inutilisé.



Les tensions appliquées aux bornes des dipôles sont les tensions composées du réseau, et les courants en ligne sont différents des courants dans les récepteurs.

$$\begin{cases} \boldsymbol{i_1 = j_1 - j_3} \\ \boldsymbol{i_2 = j_2 - j_1} \\ \boldsymbol{i_3 = j_3 - j_2} \end{cases} \qquad \text{et} \qquad \boldsymbol{i_1 + i_2 + i_3 = 0}$$

Avec, en complexe :

$$\overline{J_1} = \frac{\overline{U_{12}}}{\overline{Z_1}} \qquad \overline{J_2} = \frac{\overline{U_{23}}}{\overline{Z_2}} \qquad \overline{J_3} = \frac{\overline{U_{31}}}{\overline{Z_3}}$$

Où $\overline{Z_1}, \overline{Z_2}$ *et* $\overline{Z_3}$ sont respectivement les impédances des dipôles D_1, D_2 et D_3

Remarque :
Le récepteur est équilibré si les dipôles sont identiques. Ce qui s'écrit :

$$\overline{Z_1} = \overline{Z_2} = \overline{Z_3}$$

D'où : $\overline{J_1} + \overline{J_2} + \overline{J_3} = 0$

I- 1-4 La puissance active totale *P*

Soit le récepteur triphasé monté en étoile de la figure ci-dessous.

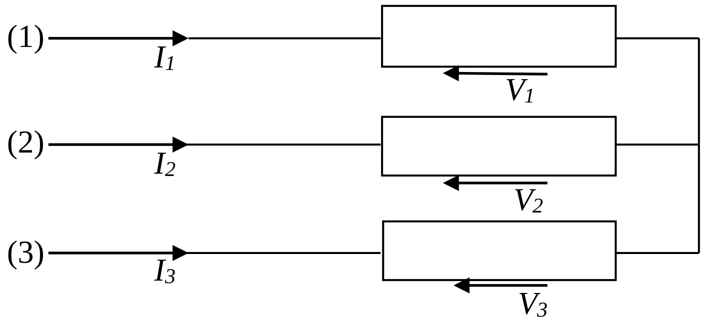


Figure. 4

La puissance active totale consommée par ce récepteur triphasé est la somme des puissances actives consommées par ses trois éléments :

$$P = V_1 I_1 cos\varphi_1 + V_2 I_2 cos\varphi_2 + V_3 I_3 cos\varphi_3$$

Ou V_i et I_i ($i = 1 \ldots 3$) sont les valeurs efficaces des tensions et des courants simples.

Pour un récepteur équilibré on a : $V_1 = V_2 = V_3 = V$, $I_1 = I_2 = I_3 = I$ et $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$

La puissance active totale peut être exprimée par la relation :

$$P = 3\ V\ I\ cos(\varphi) = \sqrt{3} U\ I\ cos(\varphi) \qquad \text{(W)}$$

Avec *U* est la tension composée entre deux phases et *V* est la tension simple entre phase et neutre.

I- 1-5 La puissance réactive totale *Q*

De la même façon, la puissance réactive totale de ce système triphasé peut s'exprimer par :

$$Q = 3V\ I\ sin(\varphi) = \sqrt{3} U\ I\ sin(\varphi) \qquad \text{(VAR)}$$

I- 1-6 La puissance apparente *S*

Par conséquence la puissance apparente d'un système triphasé est donnée par :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3\ V\ I = \sqrt{3}\ U\ I \qquad \text{(VA)}$$

La connaissance des différentes puissances définies ci-dessus est fondamentale en électrotechnique, puisque elle permet de calculer avec précision les caractéristiques du matériel utilisé : rendement, charge, facteur de puissance, limites d'utilisation.

II- 1 Méthodes de mesure de puissances en triphasé

II- 1- 1 Méthode de trois wattmètres

Lorsque le système triphasé est non équilibré est avec neutre branché (système non équilibré à 4 fils), on doit utiliser trois wattmètres pour mesurer la puissance totale

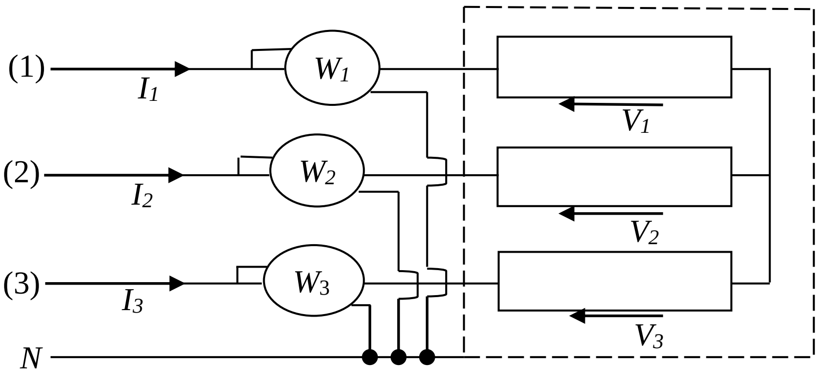


Figure. 5

Dans ce cas, la puissance active totale est :

$$\boldsymbol{P = W_1 + W_2 + W_3}$$

II- 1- 2Méthode d'un seul wattmètre

Cette méthode est valable lorsque le système triphasé est équilibré et avec neutre branché (système équilibré à 4 fils)

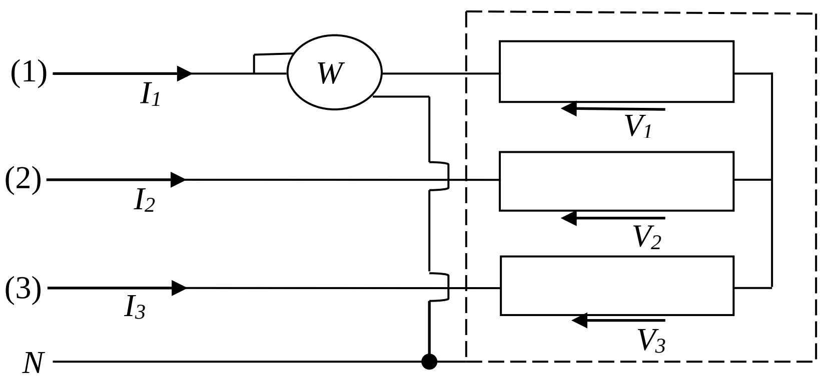


Figure. 6

La bobine courant est branchée sur la ligne (1), elle est donc traversée par le courant I_1. La bobine tension du même wattmètre est branchée entre les lignes (1) et le neutre, elle mesure donc la tension simple V_1.
L'indication du wattmètre est donc :

$$\boldsymbol{W = (V_1 I_1)_{moy} = V\, I\, cos(\varphi)}$$

Par conséquent, on peut déduire que la puissance active totale de ce système est :

$$\boldsymbol{P = 3\, V\, I\, cos(\varphi) = 3W}$$

III- Partie Pratique

III- 1 But de la manipulation

Apprendre la mesure de la puissance pour des circuits triphasés et déterminer les puissances actives, réactives et apparentes ainsi que le facteur de puissance pour les charges étudiées.

III- 2 Mesure de puissance en triphasé

Lors des essais, nous considérons un récepteur purement résistif.
Le récepteur est constitué de 3 résistances (3 rhéostats de résistance $R=1000\Omega$ chacun, courant maximal admissible $I_{max} = 0.57A$) identiques. La charge est équilibrée.

a. Réaliser le montage suivant :

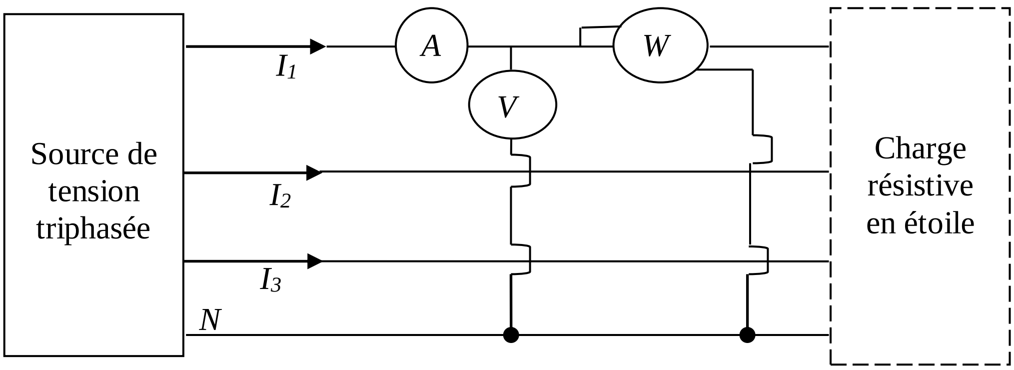


Figure. 7

b. Complétez le tableau suivant :

Valeurs à mesurer			Valeurs à calculer			
V (V)	*I (A)*	W_1	*S(VA)*	*P (W)*	*Q (VAR)*	$\boldsymbol{cos(\varphi)}$

c. Réaliser le montage suivant :

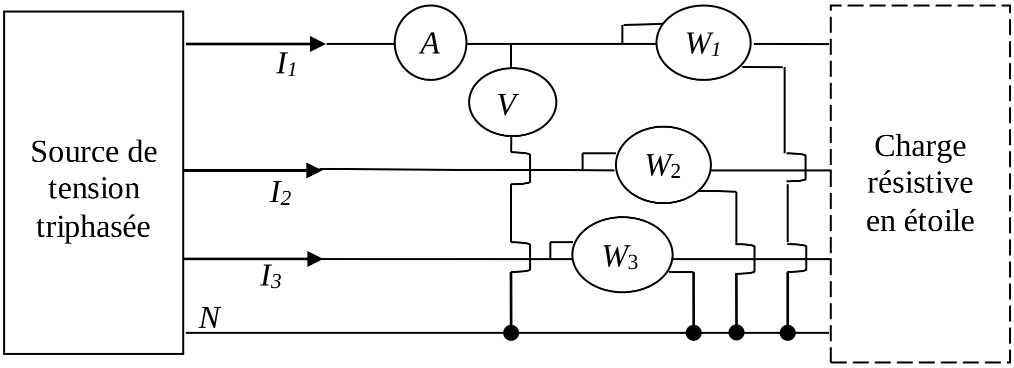


Figure. 8

d. Complétez le tableau suivant :

Valeurs à mesurer					Valeurs à calculer			
V (V)	*I (A)*	W_1 *(W)*	W_2 *(W)*	W_3 *(W)*	*S(VA)*	*P (W)*	*Q (VAR)*	$\cos(\varphi)$

e. Comparer les résultats obtenus et qu'est ce que vous constatiez