

1. INTRODUCTION

La puissance électrique consommée par un récepteur a pour expression:

- En courant continu : $P = U I$.
- En courant alternatif monophasé : $P = U I \cos\phi$.
- En courant alternatif triphasé : $P = \sqrt{3}U I \cos\phi$.

Avec :

I : Valeur efficace de $i(t)$

U : Valeur efficace de $u(t)$

ϕ : Déphasage entre $u(t)$ et $i(t)$

2. MESURE DE PUISSANCE EN COURANT CONTINU

2.1. Méthode directe du Wattmètre

2.1.1. Qu'est-ce qu'un wattmètre ?

Le wattmètre utilisé est de type électrodynamique. Il est constitué d'un circuit inducteur fixe, formé de deux bobines connectés en série ou en parallèle.

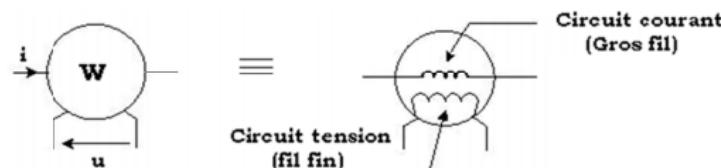


Fig4.1 : schéma de principe du wattmètre.

2.1.2. Branchement d'un wattmètre :

Pour mesurer la puissance consommée par un récepteur, on branche le wattmètre selon deux méthodes par la figure 4.2.

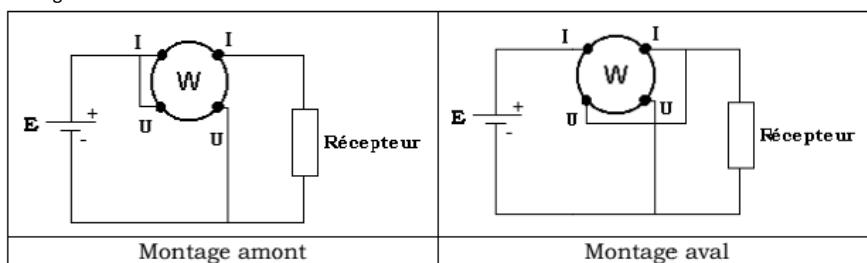


Fig 4.2 : Schéma de branchement d'un wattmètre.

2.1.3. La constante du wattmètre

Comme la déviation est proportionnelle au produit $U.I$, les graduations sont disposées sur une échelle dilatée ainsi, la lecture est appréciable à $\frac{1}{4}$ de division.

On définit la constante du wattmètre est n'est autre que le coefficient de lecture :

Pour déterminer la valeur de puissance, on multiplie la lecture par la constante du wattmètre k définie par l'expression suivante :

$$k = \frac{\text{calibre } U \cdot \text{calibre } I}{\text{Echelle}}$$

Exemple : calibre $U = 300V$; calibre $I = 0.5A$; $L = 60\text{div}$; $N = 150\text{div}$.

$$\rightarrow k = \frac{300 \cdot 0.5}{150} = 1 \rightarrow p = k \cdot L = 1 \cdot 60 = 60W.$$

2.2. Méthode indirecte voltampèrmétrique.

Elle se base sur le principe de la détermination de la de P en mesurant U et I et selon la mise en place du voltmètre et de l'ampèremètre par rapport à la charge, on distingue deux montages :

2.2.1. Montage amont

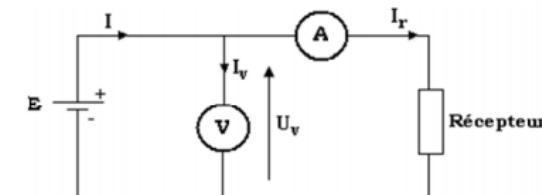


Figure 4.3 : Montage voltampèrmétrique amont.

P_{mes} : puissance mesurée ($P_{mes} = U_V \cdot I_r$) avec $U_V = Ur + r_a \cdot I_r$

- L'erreur de méthode est : $\delta P = P_{mes} - P_r = r_a \cdot I_r^2$

Si on admet que le récepteur possède une résistance interne R , on obtient l'erreur relative systématique suivante :

$$\frac{\delta P}{P} = \frac{r_a}{R}$$

Par conséquent, l'erreur systématique est d'autant plus faible que r_a est plus petit que R ($R \gg r_a$).

2.2.2. Montage aval

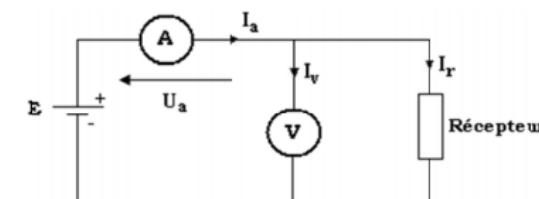


Figure 4.4 : Montage voltampèrmétrique aval.

On a :

$$I_a = I_r + I_v = I_r + \frac{U_r}{R_V}$$

$$P_{mes} = U_V \cdot I_a \text{ avec } U_V = U_r$$

$$\text{d'où: } P_{mes} = U_r \cdot I_a = U_r \cdot I_r + \frac{U_r^2}{R_V}$$

Ou encore :

$$P_{mes} = P_r + \frac{U_r^2}{R_V}$$

- L'erreur de méthode est :

$$\delta P = P_{mes} - P_r = \frac{U_r^2}{R_V}$$

L'erreur systématique est d'autant plus faible que R_V est plus grand que R ($R \ll R_V$).

La correction est en général plus sûre avec le montage aval, car R_V est habituellement mieux définie que r_a .

2.2.3. Choix du montage

Comme on cherche toujours à connaître la puissance consommée par le récepteur et non fournie par la source, on choisit le montage aval. Ajoutons à cela que la connaissance de r_a est mal définie par suite de l'influence des contacts de connexion alors que la mesure R_V est très bonne.

3. Meure de puissance en courant alternatif monophasé.

En courant alternatif monophasé, si la charge est purement résistive, la puissance est encore donnée par le produit $U.I$. Si le circuit comporte une charge ayant une partie réactive le courant n'est plus en phase avec la tension et on détermine les trois puissances suivantes :

- Puissance active : $P=U.I.\cos\phi$ [W]
- Puissance réactive : $Q=U.I.\sin\phi$ [VAR]
- Puissance apparente : $S=\sqrt{P^2 + Q^2} = U.I.$ [VA]

3.1. Mesure de la puissance apparente S

Pour mesurer S , il faut utiliser un ampèremètre et un voltmètre afin de déterminer les valeurs efficaces du courant et de la tension selon le montage suivant :

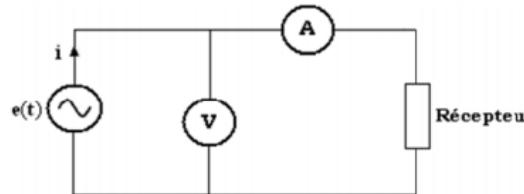


Figure 4.5 : Schéma de principe de mesure de la puissance apparente.

3.2. Mesure de la puissance active.

3.2.1. Méthode du Wattmètre.

En monophasé, on ajoute nécessairement au schéma du montage en continu un ampèremètre. En effet, si $\cos\phi$ est faible, le calibre de courant peut être largement déphasé. L'ampèremètre sert pour le choix du calibre courant du wattmètre. Le schéma de principe est donné par la figure suivante:

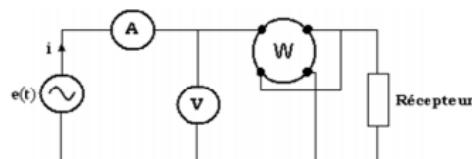


Figure 4.5 : Schéma de branchement d'un Wattmètre.

3.2.2. Méthodes indirectes

Pour mesurer la puissance, sans utilisation d'un Wattmètre, on peut faire recours à l'une des deux méthodes :

- Méthode de trois Wattmètres;
- Méthode de trois voltmètres.

▪ Méthode de trois ampèremètres

Il est possible d'utiliser trois ampèremètres (pour mesurer les valeurs efficaces) et une résistance auxiliaire R (qui est une résistance étalon de valeur connue et d'incertitude très faible). Le schéma de principe de cette méthode est donné par la figure suivante :

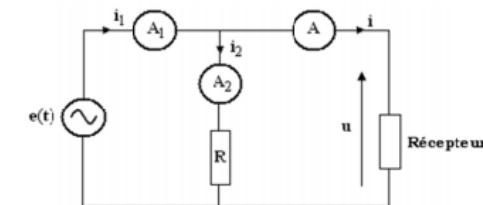


Figure 4.6 : Schéma de principe de la méthode de trois ampèremètres

Avec i_1 , i_2 et i désignent les valeurs instantanées des courants circulants dans les trois ampèremètres.

On a :

$$i_1 = i_2 + i \Rightarrow i_1^2 = (i_2 + i)^2 = i_2^2 + i^2 + 2i_2i$$

Or :

$$p = u \cdot i \text{ et } i_2 = \frac{u}{R}$$

D'où :

$$i_1^2 = i_2^2 + i^2 + 2 \frac{u}{R} i = i_2^2 + i^2 + 2 \frac{p}{R} \Rightarrow p = \frac{p}{R} - (i_1^2 - i_2^2 - i^2)$$

La puissance active d'un récepteur est par définition :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt \Rightarrow P = \frac{R}{2T} \int_0^T (i_1^2 - i_2^2 - i^2) dt$$

Par conséquent :

$$P = \frac{R}{2} (i_1^2 - i_2^2 - I^2)$$

On remarque que cette relation ne dépend que de la résistance R et des valeurs efficaces des courants mesurés par les ampèremètres.

- Calcul d'incertitude :

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{|I_1^2 - I_2^2 - I^2|}{2} \cdot \Delta R + R \cdot I_1 \cdot \Delta I_1 + |-R \cdot I_2| \cdot \Delta I_2 + |-R \cdot I| \cdot \Delta I \\ &= \frac{|I_1^2 - I_2^2 - I^2|}{2} \cdot \Delta R + R(I_1 \cdot \Delta I_1 + I_2 \cdot \Delta I_2 + I \cdot \Delta I) \\ \frac{\Delta P}{P} &= \frac{\Delta R}{R} + \frac{2I_1^2}{|I_1^2 - I_2^2 - I^2|} \cdot \frac{\Delta I_1}{I_1} + \frac{2I_2^2}{|I_1^2 - I_2^2 - I^2|} \cdot \frac{\Delta I_2}{I_2} + \frac{2I}{|I_1^2 - I_2^2 - I^2|} \cdot \frac{\Delta I}{I} \end{aligned}$$

Cette méthode permet la mesure de la puissance en haute fréquence des charges de faible facteur de puissance.

▪ Méthode de trois voltmètres

Il est possible d'utiliser trois voltmètres (pour mesurer les valeurs efficaces) et une résistance auxiliaire R (qui est une résistance étalon de valeur connue et d'incertitude très faible). Le schéma de principe de cette méthode est donné par la figure suivante.

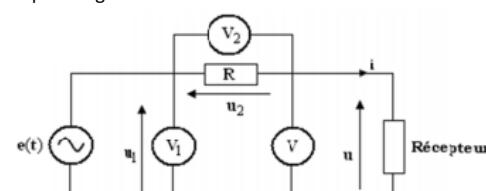


Figure 4.7 : Schéma de principe de la méthode de trois ampèremètres.

On a :

$$u_1 = u_2 + u \Rightarrow u_1^2 = (u_2 + u)^2 = u_2^2 + u^2 + 2u_2u \Rightarrow u_2 \cdot u = \frac{1}{2}(u_1^2 - u_2^2 - u^2)$$

Or :

$$p = u \cdot i \text{ et } i = \frac{u_2}{R} \quad p = u \cdot \frac{u_2}{R}$$

On obtient donc :

$$p = \frac{1}{2R}(u_1^2 - u_2^2 - u^2)$$

La puissance active d'un récepteur est par définition :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt \Rightarrow P = \frac{1}{2RT} \int_0^T (u_1^2 - u_2^2 - u^2) dt$$

Par conséquent :

$$P = \frac{1}{2R}(U_1^2 - U_2^2 - U^2)$$

On remarque que cette relation ne dépend que de la résistance R et des valeurs efficaces des courants mesurés par les ampèremètres.

- Calcul d'incertitude :

$$\Delta P = \frac{|U_1^2 - U_2^2 - U^2|}{2R^2} \cdot \Delta R + \frac{U_1}{R} \cdot \Delta U_1 + \left| -\frac{U_2}{R} \right| \cdot \Delta U_2 + \left| -\frac{U}{R} \right| \cdot \Delta U$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{2U_1^2}{|U_1^2 - U_2^2 - U^2|} \cdot \frac{\Delta U_1}{U_1} + \frac{2U_2^2}{|U_1^2 - U_2^2 - U^2|} \cdot \frac{\Delta U_2}{U_2} + \frac{2U}{|U_1^2 - U_2^2 - U^2|} \cdot \frac{\Delta U}{U}$$

3.3. Mesure de la puissance réactive

Pour mesurer la puissance réactive Q, il suffit de brancher un ampèremètre, un voltmètre et un wattmètre, puis calculer : $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ en tenant compte du type du récepteur :

- $Q=0$ récepteur résistif
- $Q>0$ récepteur inductif
- $Q<0$ récepteur capacitif.

4. Mesure de puissance en courant alternatif triphasé

Quelque soit le couplage du récepteur triphasé, les puissances en triphasé s'expriment :

- Puissance active : $P=v3U.I.\cos\phi = 3V.I.\cos\phi$ [W]
- Puissance réactive : $Q=v3U.I.\sin\phi = 3V.I.\sin\phi$ [VAR]
- Puissance apparente : $S=\sqrt{P^2 + Q^2} = v3U.I = 3V.I$ [VA].

4.1. Mesure de la puissance apparente S

Pour mesurer S, on utilise un voltmètre et un ampèremètre pour mesurer la tension simple ou composée et le courant qui traverse une ligne selon les deux montages de la figure suivante.

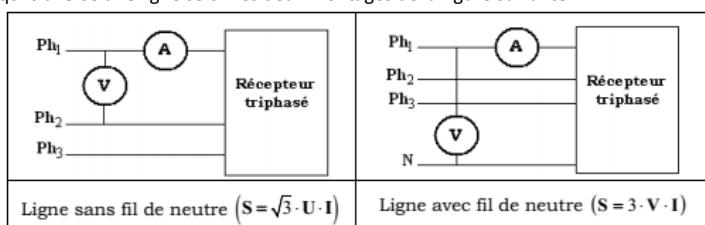


Figure 4.8 : Mesure de la puissance apparente en triphasé.

4.2. Mesure de la puissance active P.

4.2.1. Méthode d'un seul wattmètre avec fil du neutre.

Lorsque le récepteur est équilibré, un seul wattmètre permet de mesurer la puissance active absorbée selon le schéma de principe de la figure suivante :

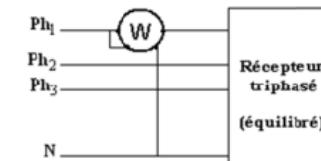


Figure 4.9 : Méthode d'un seul wattmètre avec fil du neutre.

Le wattmètre mesure : $P_1=V.I.\cos\phi$; la puissance totale absorbée est : $P=3P_1=3V.I.\cos\phi=v3U.I.\cos\phi$.

4.2.2. Méthode des deux wattmètres.

Pour un système déséquilibré ou un système équilibré où le fil du neutre n'est pas accessible, on utilise deux wattmètres selon le schéma de principe de la figure suivante :

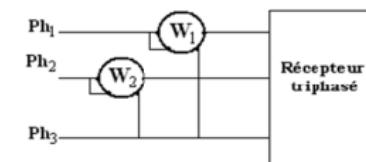


Figure 4.10 : Méthode des deux wattmètres.

Si P_1 et P_2 sont les mesures de W_1 et W_2 , alors on peut montrer que $P=P_1+P_2$.

4.3. Mesure de la puissance réactive Q.

4.3.1. Méthode d'un seul wattmètre.

On utilise le schéma de principe de la figure suivante :

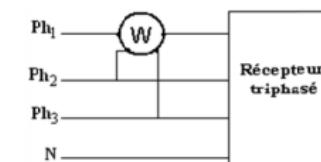


Figure 4.11 : Mesure de la puissance réactive par la méthode d'un seul wattmètre.

La puissance réactive est donnée par l'expression : $Q=v3P_1$.

4.3.2. Méthode de deux wattmètres.

C'est la même méthode utilisée pour la mesure que la puissance active, mais on peut déterminer la puissance réactive par l'expression : $Q=v3(P_1 - P_2)$.