

La mesure des puissances électriques

Puissance électrique instantanée, moyenne, active, réactive, apparente, facteur de puissance...

Voici quelques rappels sur ces paramètres fondamentaux en électronique et sur les méthodes de mesure en triphasé.

Définition de la puissance électrique

A un instant donné, lorsqu'un courant i circule du générateur G vers le récepteur R dans le sens défini par la tension v délivrée par le générateur (figure 1), la **puissance instantanée** fournie au récepteur R est égale au **produit** $v \times i$. S'il s'agit de tension et de courant continus, la puissance moyenne $V \times I$ est égale à la puissance instantanée $v \times i$.

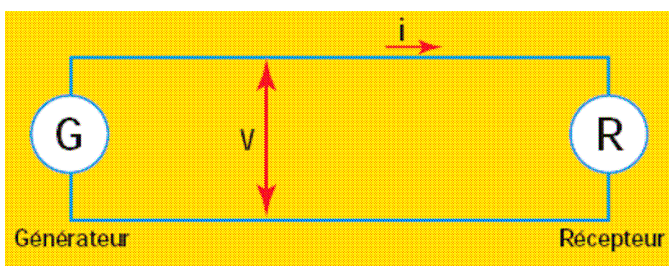


Figure 1

Dans le cas de tension et de courant alternatifs sinusoïdaux, il existe généralement un **déphasage** φ entre la tension et le courant (figure 2). Les valeurs instantanées de la tension v et du courant i , sont de la forme :

$$v = V_{\max} \cos \omega t$$

$$i = I_{\max} \cos (\omega t - \varphi)$$

Où ω , la pulsation, est proportionnelle à la fréquence F ($\omega = 2\pi F$)

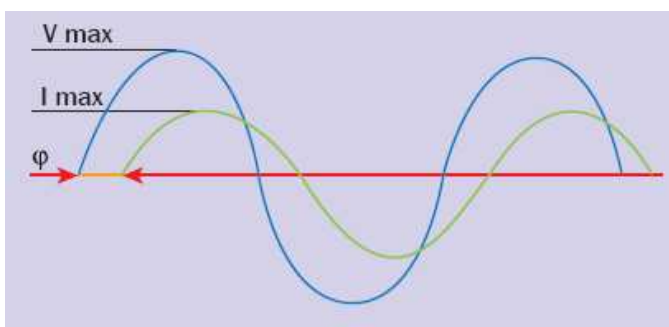


Figure 2

Le **déphasage** φ est, par convention, compté positivement quand le courant est en retard par rapport à la tension. La puissance instantanée a pour valeur : $V_{\max} \times I_{\max} \times \cos \omega t \times \cos (\omega t - \varphi)$.

Il faut prendre la valeur moyenne, durant une période, de ce produit pour obtenir l'expression de la puissance fournie par le générateur G au récepteur R . Cette puissance est appelée **puissance active** et s'exprime par la formule :

$$P = \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \cos \varphi = V_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \cos \varphi$$

Les **wattmètres** fournissent l'expression de ce produit, soit en provoquant la déviation d'une aiguille dans le cas d'un appareil à cadre mobile électrodynamique ou ferrodynamique, soit en fournissant un courant ou une tension continue proportionnelle à ce produit dans le cas de wattmètres électroniques; ce courant ou cette tension étant alors lui-même appliqué à un dispositif d'affichage analogique ou numérique.

L'existence d'un déphasage φ entre le courant et la tension conduit à introduire, pour les courants alternatifs, 3 grandeurs complémentaires :

- **La puissance apparente $S = V_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}}$** , en VA (voltampères), qui définit la tension V_{eff} à ne pas dépasser (claquage d'isolants, augmentation des pertes fer) ainsi que l'intensité I_{eff} circulant dans les récepteurs.

- **Le facteur de puissance :**

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}}$$

lorsque courants et tensions sont des grandeurs sinusoïdales.

- **La puissance réactive $Q = V_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \sin \varphi$** , en var (volt-ampères réactifs). Cette dernière peut être directement mesurée par un wattmètre si l'on substitue à la tension $V_{\max} \times \cos \omega t$ une tension

$$\text{déphasée de } \frac{\pi}{2}, \text{ soit } V_{\max} \times \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Le produit moyen mesuré sera celui de $V_{\max} \times I_{\max} \times \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \times \cos (\omega t - \varphi)$ qui a pour expression :

Dossier Puissance, Energie & Perturbations

$$Q = \frac{V_{MAX} \times I_{MAX}}{2} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = V_{eff} \times I_{eff} \times \sin \varphi$$

Connaissant P et Q, on peut calculer la puissance apparente et le facteur de puissance :

$$\text{puissance apparente : } S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\text{facteur de puissance : } FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

La connaissance des paramètres définis ci-dessus : puissance active, puissance réactive, puissance apparente, facteur de puissance, est fondamentale en électrotechnique et permet de calculer avec précision les caractéristiques du matériel utilisé : rendement, charge, $\cos \varphi$, limites d'utilisation. Les wattmètres utilisés pour ces mesures se classent en trois grandes familles : électrodynamiques, ferrodynamiques et électroniques.

Mesure des puissances actives

Mesure en triphasé équilibré 4 fils (3 phases + neutre)

Les intensités circulant dans les trois phases sont égales en valeurs efficaces $I_1 = I_2 = I_3$ et présentent le même déphasage φ vis-à-vis des tensions respectives des 3 phases.

En désignant par U_{1N} la tension simple mesurée entre la phase 1 et le neutre, la puissance P_1 fournie par la phase 1 sera obtenue en branchant un wattmètre comme indiqué en figure 3.

Elle aura pour valeur : $P_1 = U_{1N} \times I_1 \times \cos \varphi$

La puissance totale fournie P sera égale à $3 P_1$.

Nota : L'expression $P_1 = U_{1N} \times I_1 \times \cos \varphi$ n'est autre que le produit scalaire des 2 vecteurs

\vec{U}_{1N} et \vec{I}_1 ce qui permet d'utiliser la notation

$$P_1 = \vec{U}_{1N} \times \vec{I}_1$$

et en triphasé :

$$P = \vec{U}_{1N} \times \vec{I}_1 + \vec{U}_{2N} \times \vec{I}_2 + \vec{U}_{3N} \times \vec{I}_3$$

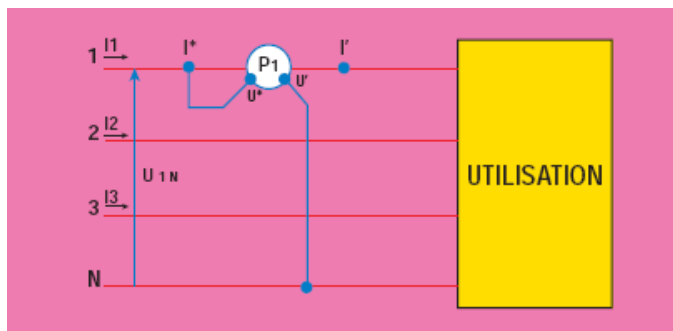


Figure 3

Mesure en triphasé équilibré 3 fils (3 phases sans neutre)

Les intensités circulant dans les trois phases sont égales $I_1 = I_2 = I_3$. On crée un neutre artificiel à l'aide de trois résistances R, R et R'. La somme $R' + r$ doit être égale à R (r est la résistance interne du circuit tension de l'appareil).

On se retrouve ainsi dans le cas précédent avec U_{1N} entre la phase 1 et le neutre artificiel (figure 4).

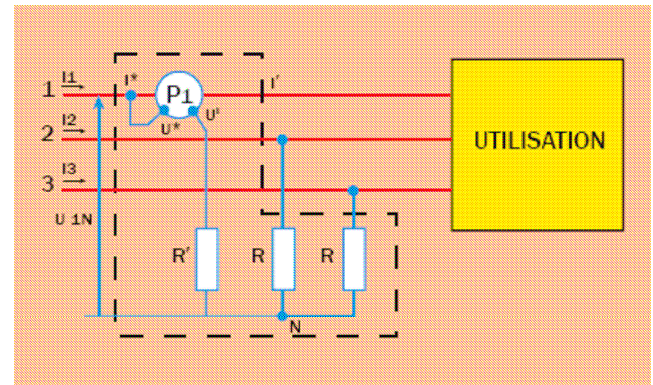


Figure 4

$P_1 =$ Puissance fournie sur la phase 1

P totale fournie = $3 U_{1N} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi = 3 P_1$.

Avec beaucoup de wattmètres, les mesures en triphasé équilibré (3 phases sans neutre) sont effectuées directement, le point neutre artificiel recréé par les résistances R, R et R' étant inclus dans l'appareil (wattmètre astatique, wattmètre CdA 778 par exemple). Cette disposition est matérialisée sur le schéma par l'ensemble en pointillé.

Mesure en triphasé non équilibré 3 fils (3 phases sans neutre) – Méthode de deux wattmètres.

Que le circuit soit équilibré ou non en l'absence de neutre, on a toujours

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0.$$

Dans ce cas, l'expression générale de la puissance donnée plus haut se simplifie

$$P = (\vec{U}_{1N} - \vec{U}_{3N}) \times \vec{I}_1 + (\vec{U}_{2N} - \vec{U}_{3N}) \times \vec{I}_2$$

$$\text{soit } P = \vec{U}_{13} \times \vec{I}_1 + \vec{U}_{23} \times \vec{I}_2$$

et la mesure de la puissance totale peut être réalisée avec deux wattmètres (figure 5).

U_{13} et U_{23} sont les tensions composées (ou "entre fils") mesurées respectivement entre, d'une part, la phase 1 et la phase 3 et, d'autre part, entre la phase 2 et la phase 3.

Dossier Puissance, Energie & Perturbations

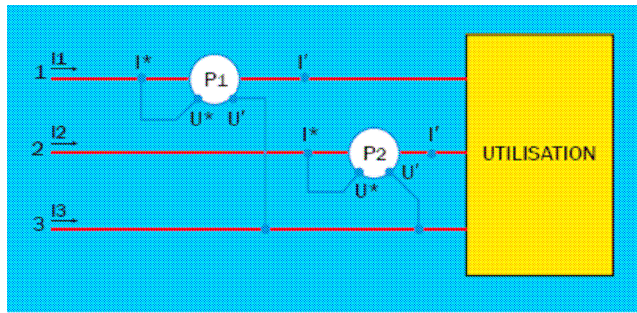


Figure 5

Deux cas peuvent se présenter :

- a) $P_1 \geq 0$ et $P_2 \geq 0$, alors $P_{\text{totale}} = P_1 + P_2$
- b) un wattmètre dévie à droite et l'autre est en butée à gauche. Pour effectuer la lecture du second; permuter les fils d'arrivée sur le circuit tension : $U^*.U'$ devient $U'.U^*$.

La valeur sera considérée négative et nous aurons :
 $P_{\text{totale}} = P_1 - P_2$

S'il s'agit d'un wattmètre numérique l'on effectuera la somme des valeurs algébriques affichées.

Remarque : il est possible d'utiliser un seul wattmètre successivement connecté aux 2 emplacements, à l'aide d'un commutateur inverseur. Ce type de commutateur comporte des contacts auxiliaires assurant la mise en court-circuit des plots non utilisés.

Mesure en triphasé non équilibré 4 fils (3 phases + neutre)

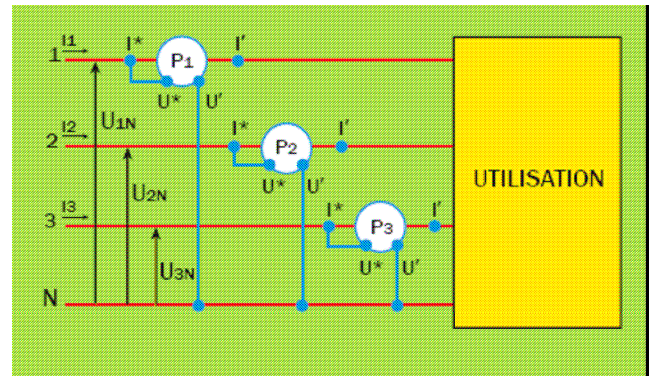


Figure 6

Nous aurons $P_{\text{totale}} = P_1 + P_2 + P_3$ (figure 6).

Dans ce cas, il faut utiliser 3 wattmètres et faire la somme des lectures. Si la mesure est stable on peut faire successivement 3 mesures avec un seul wattmètre. Attention, il est recommandé d'utiliser un dispositif évitant la coupure des circuits intensités lors de leur commutation.

Appareils Chauvin-Arnoux destinés aux mesures de puissances



Article déjà paru dans Contact N°54

FRANCE
Chauvin Arnoux
Tél : +33 1 44 85 44 85
info@chauvin-arnoux.fr
www.chauvin-arnoux.fr

SCHWEIZ
Chauvin Arnoux AG
Tel: +41 1 727 75 55
info@chauvin-arnoux.ch
www.chauvin-arnoux.ch

MOYEN-ORIENT
Chauvin Arnoux Middle East
Tél : +961 1 890 425
camie@chauvin-arnoux.com
www.chauvin-arnoux.com

**CHAUVIN
ARNOUX**
GROUP