

25

PUISSANCES ACTIVE, RÉACTIVE ET APPARENTE

En électrotechnique, le concept des puissances active, réactive et apparente est d'une importance capitale. Nous verrons que, bien souvent, il est plus facile d'expliquer les phénomènes électriques en travaillant avec les puissances plutôt qu'avec les tensions et les courants.

Dans les explications qui suivent, on doit se rappeler que les termes puissances active, réactive et apparente s'appliquent seulement aux circuits à courant alternatif fonctionnant en régime permanent et dont les formes d'ondes sont sinusoïdales.

Le lecteur aurait avantage à revoir brièvement le chapitre 22 traitant des circuits à c.a. simples. On y a vu qu'une puissance active nécessite une consommation d'énergie électrique. Par contre, une puissance réactive n'est associée à aucune dépense d'énergie.

25.1 Notions préliminaires

Le circuit de la figure 25-1a représente un système à courant alternatif comprenant une source et une charge raccordées par deux fils conducteurs. La charge consomme une puissance active P . Si ce réseau fonctionne à 60 Hz, la tension change de polarité et le courant change de sens 60 fois par seconde. Par contre, la puissance active se dirige constamment de

la source vers la charge. La direction de la puissance active est montrée par une flèche P .

Cette puissance est transportée par l'ensemble des deux fils conducteurs, c'est-à-dire par le câble reliant la source et la charge. Pour cette raison, lorsqu'on s'intéresse au transport de puissance, il est préférable (et plus simple) de dessiner une seule ligne entre la source et la charge, cette ligne pouvant représenter

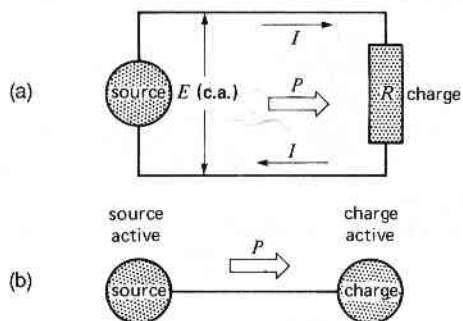


Figure 25-1
a. La puissance active est transportée par les deux conducteurs;
b. Une seule ligne représente le câble entre la source et la charge.

deux ou plusieurs fils conducteurs (figure 25-1b).

On peut, de la même façon, montrer le transport d'une puissance réactive Q entre une source et une charge. La source et la charge sont alors nommées respectivement «source réactive» et «charge réactive» et une flèche Q se dirige de la source vers la charge (figure 25-2).

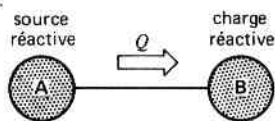


Figure 25-2
La puissance réactive est transportée par le câble.

Il arrive souvent qu'une charge absorbe simultanément une puissance active et une puissance réactive; dans ce cas, les flèches P et Q se dirigent dans le même sens (figure 25-3). Dans d'autres cas, les puissances active et réactive se dirigent en sens inverses, comme indiqué sur la figure 25-4; dans ces circonstances, A est à la fois une source active et une charge réactive. Il peut paraître surprenant que deux puissances puissent circuler en sens inverse dans un même câble, mais il faut se rappeler qu'une puissance active P n'est pas de même nature qu'une puissance réactive Q et que l'une et l'autre peuvent être traitées séparément.

25.2 Sources et charges actives

La plupart des *sources actives* sont des générateurs à

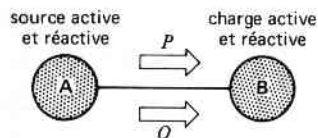


Figure 25-3
Puissances active et réactive circulant dans le même sens.

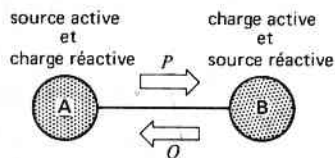


Figure 25-4
Puissance active et réactive circulant dans le sens contraire.

courant alternatif, ou alternateurs. Une prise de courant constitue aussi, en quelque sorte, une source active car elle est effectivement branchée à un alternateur, si éloigné soit-il.

La plupart des charges actives sont des moteurs électriques à courant alternatif fournissant une puissance mécanique, et des éléments résistifs dégageant de la chaleur. À ceux-ci, il faut ajouter les convertisseurs électroniques servant à transformer le courant alternatif en courant continu.

La propriété unique d'une puissance *active* est de faire un travail. Par définition, une charge absorbe une puissance active lorsque le courant est en *phase* avec la tension. La figure 25-5 montre la relation entre la tension et le courant pour une source et une charge

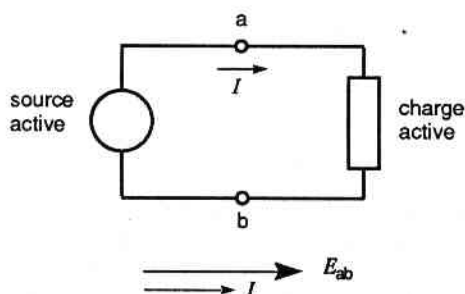


Figure 25-5
Définition d'une source et d'une charge actives.

actives. Le même diagramme vectoriel s'applique à la source et à la charge. Par convention, en ce qui concerne la source, le courant sort de la borne a. De même, en ce que concerne la charge, le courant entre par la borne a.

La puissance active se mesure en watts (W), en kilowatts (kW) ou en mégawatts (MW).

25.3 Sources et charges réactives

Les principales *sources* de puissance réactive sont les alternateurs et les condensateurs. Il n'est pas surprenant qu'un alternateur qui tourne soit capable de fournir ce genre de puissance, mais il est tout à fait inattendu qu'un élément passif comme un condensateur puisse se comporter comme une source. Rappelons, cependant, qu'une puissance réactive ne requiert aucune énergie électrique (joules). Elle représente en effet de l'énergie qui oscille sur une ligne de transport tantôt dans un sens, tantôt dans le sens inverse. Par conséquent, l'énergie fournie par le

condensateur est, en moyenne, nulle. Toutefois, même si l'énergie change de sens périodiquement, il est utile de conserver les concepts de "source" et de "charge" pour la puissance réactive. En électrotechnique, les condensateurs sont toujours considérés comme des sources de puissance réactive.

La plupart des charges réactives sont des enroulements qui produisent un champ magnétique alternatif. Tout comme une puissance active fait un travail, une puissance réactive produit un champ magnétique alternatif. C'est dire que tout dispositif nécessitant un champ alternatif comme les bobines, les moteurs, les relais, les électro-aimants, absorbe une puissance réactive.

Par définition*, une charge absorbe une puissance réactive lorsque le courant est 90° en arrière de la

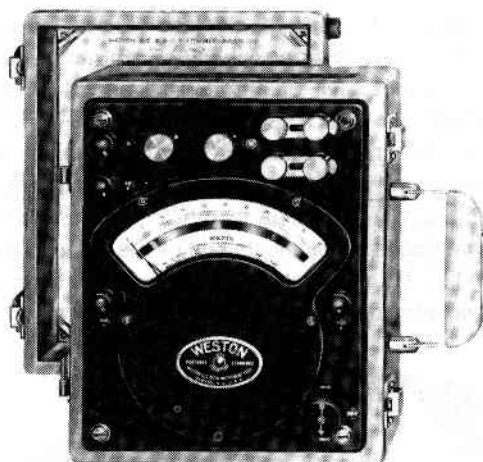


Figure 25-7
Wattmètre de haute précision à échelles multiples; tensions: 50 V, 100 V, 200 V; courants: 1 A, 5 A. Echelles de puissance: 0 à 50 W jusqu'à 0 à 1000 W. (Weston Instruments).

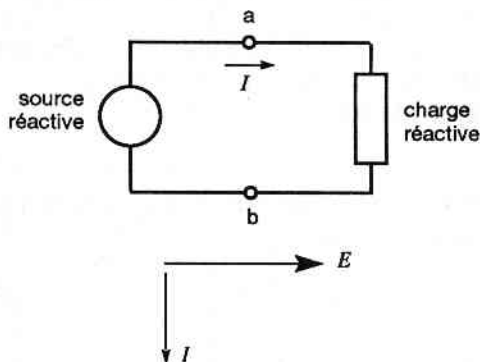


Figure 25-6
Définition d'une source et d'une charge réactives.

tension. La figure 25-6 montre la relation entre la tension et le courant pour une source et une charge réactives. Le même diagramme vectoriel s'applique à la source et à la charge. Par convention, en ce qui concerne la source, le courant sort par la borne a. De même, en ce qui concerne la charge, le courant entre par la borne a.

La puissance réactive se mesure en vars (var), en kilovars (kvar) ou en mégavars (Mvar).

25.4 Mesure de la puissance active et réactive

Pour mesurer la puissance active dans un circuit on utilise un wattmètre. Cet instrument (figure 25-7)

possède 4 bornes: deux pour mesurer la tension et deux pour mesurer le courant. Une des bornes de tension est marquée d'un signe (\pm), de même qu'une des bornes de courant. Un wattmètre peut donc être considéré comme un voltmètre et un ampèremètre combinés dans le même boîtier. La résistance entre les bornes de courant est très faible, tandis que celle entre les bornes de tension est très élevée. La tension et le courant maximal que l'instrument peut supporter sont toujours indiqués.

La figure 25-8 montre comment on doit raccorder le wattmètre dans un circuit monophasé. Lorsque la puissance active circule des bornes 1, 2 (côté source) vers les bornes 3, 4 (côté charge) l'aiguille dévie dans le bon sens. Par contre, si la puissance circule dans le

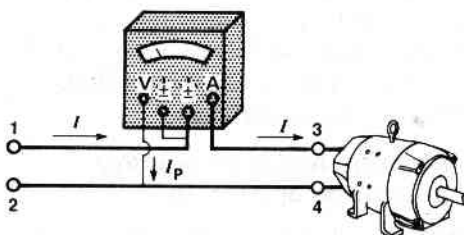


Figure 25-8
Méthode de raccordement d'un wattmètre (ou d'un varmètre) dans un circuit monophasé.

* Note: L'interprétation que nous donnons ici de la puissance réactive est conforme à la définition donnée par l'IEEE.

sens inverse, l'aiguille se déplace vers la gauche, ce qui rend la lecture impossible. On peut mesurer cette puissance négative en intervertissant les deux fils connectés aux bornes de tension.

Pour mesurer la puissance réactive dans un circuit, on utilise un *varmètre* (figure 25-9). Sa construction est similaire à celle d'un wattmètre et il est raccordé dans un circuit exactement de la même manière (figure 25-8). Si l'aiguille se déplace vers la droite, cela indique que la puissance réactive circule des bornes 1,

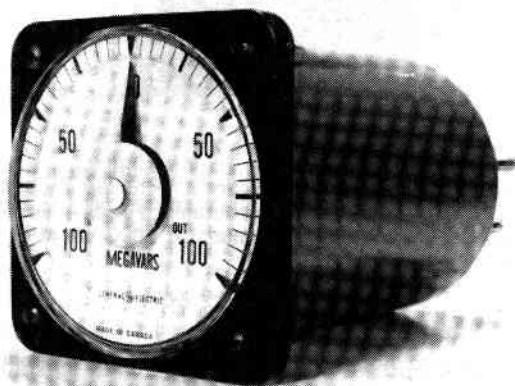


Figure 25-9
Varmètre pouvant afficher une puissance réactive positive et négative. (Cie Générale Electricque du Canada)

2 vers les bornes 3, 4. Par contre, si la puissance circule dans le sens inverse, on doit intervertir les deux fils raccordés aux bornes de tension, afin de prendre la lecture négative. Dans certains modèles, le zéro de l'échelle se trouve au centre du cadran, ce qui permet une lecture de la puissance réactive circulant dans une direction ou l'autre.

De nos jours, il existe plusieurs modèles de wattmètres et de varmètres. Quelques-uns mesurent la puissance par un procédé électromécanique à l'aide d'un enroulement fixe et d'un enroulement mobile et utilisant un cadran à affichage analogique. D'autres modèles contiennent des composants électroniques et un cadran à affichage numérique.

25.5 Charges active et réactive - puissance apparente

En général, les charges, comme un moteur, absorbent à la fois une puissance active P et une puissance réactive Q .

Considérons, par exemple, le circuit monophasé de la figure 25-10a composé d'une source, d'une charge et des instruments de mesure. Supposons que les instruments donnent les lectures suivantes:

- voltmètre: E volts;
- ampèremètre: I ampères;
- wattmètre: $+P$ watts;
- varmètre: $+Q$ vars;

Puisque les puissances P et Q sont positives, il s'ensuit que la charge absorbe de la puissance active et réactive. Par conséquent, le courant I dans la ligne est en arrière de la tension par un angle θ .

On peut décomposer ce courant en deux composantes, soient les vecteurs I_p et I_q , que sont respectivement en phase, et 90° en arrière du vecteur E_{12} (figure 25-10b). On peut donc représenter la charge par une résistance en parallèle avec une réactance inductive (figure 25-10c). La résistance tire un courant I_p tandis que l'inductance tire un courant I_q .

Il est évident que

$$I^2 = I_p^2 + I_q^2 \quad (25-1)$$

On peut calculer les valeurs de I_p et de I_q à partir des lectures des instruments:

$$I_p = \frac{P}{E} \quad (25-2)$$

$$I_q = \frac{Q}{E} \quad (25-3)$$

Par définition, la *puissance apparente* du circuit est donnée par $S = EI$ (Eq. 24-2), d'où

$$I = \frac{S}{E} \quad (25-4)$$

Sachant que

$$I^2 = I_p^2 + I_q^2$$

On peut écrire:

$$\left[\frac{S}{E}\right]^2 = \left[\frac{P}{E}\right]^2 + \left[\frac{Q}{E}\right]^2$$

soit

$$\boxed{S^2 = P^2 + Q^2} \quad (25-5)$$

où

S = puissance apparente, en volt-ampères [VA];

P = puissance active, en watts [W];

Q = puissance réactive, en vars [var].

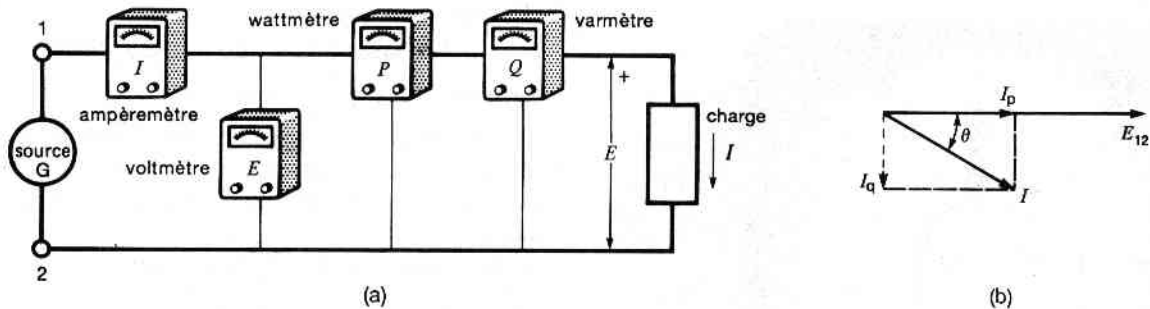


Figure 25-10

a. Instruments utilisés pour mesurer les valeurs de E , I , P , Q dans un circuit;

b. Diagramme vectoriel des tensions et courants décollant de la lecture des instruments;

c. La charge industrielle peut être représentée par une résistance en parallèle avec une réactance inductive.

On peut représenter la relation entre P , Q , S et θ par les vecteurs de la figure 25-11. Lorsque Q est positif, on trace le vecteur vertical vers le haut. Par contre, si Q est négatif (cas d'une source capacitive), le vecteur est dirigé vers le bas.

Exemple 25-1:

Un moteur à courant alternatif absorbe une puissance active de 40 kW et une puissance réactive de 30 kvar. Calculer la valeur de la puissance apparente fournie au moteur.

Solution:

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{P^2 + Q^2} \\ &= \sqrt{40^2 + 30^2} \\ &= 50 \end{aligned}$$

La puissance apparente est de 50 kVA.

25.6 Facteur de puissance

Le facteur de puissance d'un circuit alternatif est donné par l'expression:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (25-6)$$

où

- FP = facteur de puissance, exprimé par un simple nombre sans dimension, ou en pourcent;
- P = puissance active du circuit, en watts [W];
- S = puissance apparente du circuit, en volt-ampères [VA].

Étant donné que la puissance active P ne peut jamais être supérieure à la puissance apparente, il s'ensuit que le facteur de puissance ne peut pas excéder une valeur de 1 (ou 100%). Le FP d'une résistance est de 100% car sa puissance apparente est égale à sa puissance active. Le FP d'une bobine idéale est nul car elle ne consomme aucune puissance active.

En somme, le facteur de puissance d'un circuit est simplement un nombre indiquant le pourcentage de la puissance apparente qui est active.

Le facteur de puissance donne également une autre information utile. Puisque le rapport $P/S = \cos \theta$ (voir figure 25-11), il s'ensuit que:

$$\begin{aligned} FP &= \cos \theta \\ \text{d'où } \theta &= \arccos FP \end{aligned} \quad (25-7)$$

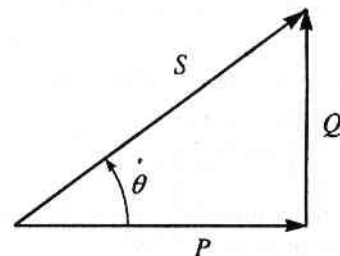


Figure 25-11
Relation entre les vecteurs de puissance.