

démarrer en électronique... (10)

...est moins difficile qu'on ne l'imagine !
 Passons aux bobines (ou inductances)

Eric Bogers (Elektor)

Dans ce dernier numéro de l'année, nous allons voir qu'il y a bien des choses intéressantes à faire avec les inductances. Pas convaincu ? Lisez la suite et vous verrez !



L'inductance comme résistance en courant alternatif

Tout comme un condensateur, une bobine se comporte comme une résistance en courant alternatif, mais « en sens opposé ». Pour comprendre, examinons un circuit composé d'une bobine et d'une résistance en série.

Prenons une bobine d'inductance 10 mH et une résistance de 50 Ω, à une fréquence de 1 kHz. À cette fréquence, la réactance de la bobine s'élève à :

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 1000 \text{ Hz} \cdot 0,01 \text{ H} = 62,8 \Omega$$

Là encore, il n'est pas correct de « simplement » additionner cette impédance à la résistance. Cela doit être fait de manière vectorielle :

$$X_{tot} = \sqrt{X_L^2 + R^2} = \sqrt{(62,8 \Omega)^2 + (50 \Omega)^2} = 80,3 \Omega$$

Comme pour le condensateur, il existe un déphasage entre le courant et la tension. Le déphasage s'élève ici à :

$$\varphi = \arctan \frac{X_L}{R} = \arctan \frac{62,8 \Omega}{50 \Omega} = 51,5^\circ$$

Nous vous faisons grâce du calcul pour le circuit d'une bobine et d'une résistance en parallèle ; en utilisant ces mêmes valeurs de composants, l'impédance totale est de $39,1 \Omega$ avec un angle de phase de $-38,5^\circ$ (vérifiez par vous-même).

Filtres passe-haut et passe-bas

Les filtres passe-haut et passe-bas peuvent être réalisés non seulement à partir de condensateurs et de résistances, mais aussi à partir d'inductances et de résistances (fig. 1).

Pour les caractéristiques de fréquence et de phase, on procède comme pour les filtres constitués de condensateurs et de résistances. À la fréquence de coupure, l'impédance est égale à la résistance :

$$R = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \rightarrow f_{\text{transition}} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

Il va de soi qu'on peut réaliser des circuits de filtrage comprenant à la fois des inductances et des condensateurs. C'est d'ailleurs précisément ce que nous ferons plus tard. Mais penchons-nous sur autre chose.

Compensation et puissance réactive

Une application remarquable est la compensation de la puissance réactive. Mais de quoi s'agit-il précisément ?

L'énergie consommée par une résistance « ohmique » (purement résistive) est dissipée sous forme de chaleur par cette résistance. En revanche, l'énergie absorbée par un condensateur ou une inductance est stockée dans ces composants sous la forme d'une charge électrique ou d'un champ magnétique puis restituée à la première occasion. En moyenne, sur une longue période, les condensateurs et les inductances ne consomment donc absolument aucune énergie, ce que traduit la formule suivante (qu'il est inutile de retenir) :

$$p = \int_0^{2\pi} U_0 \cdot \sin \varphi \cdot I_0 \cdot \cos \varphi = U_0 \cdot I_0 \cdot \sin^2 \varphi \Big|_0^{2\pi} = 0$$

$$p = \int_0^{2\pi} U_0 \cdot \sin \varphi \cdot I_0 \cdot -\cos \varphi = U_0 \cdot I_0 \cdot -\sin^2 \varphi \Big|_0^{2\pi} = 0$$

Cela s'explique par le fait que dans ces composants le courant et la tension ne sont pas en phase, mais sont décalés exactement de 90° l'un par rapport à l'autre, en avance pour le condensateur et en retard pour l'inductance. La puissance instantanée est tantôt positive et tantôt négative – lorsqu'elle est intégrée sur une période entière, elle est égale à zéro. À l'inverse, dans une résistance ohmique, le courant et la tension sont toujours en phase, de sorte que la puissance est toujours positive. L'énergie électrique absorbée par une résistance ohmique est convertie dans une autre forme – en chaleur par exemple – on parle alors de *puissance active*. En revanche, celle que les inductances et les condensateurs stockent temporairement est qualifiée de *puissance réactive*. Dans les formules, on la désigne par la lettre Q .

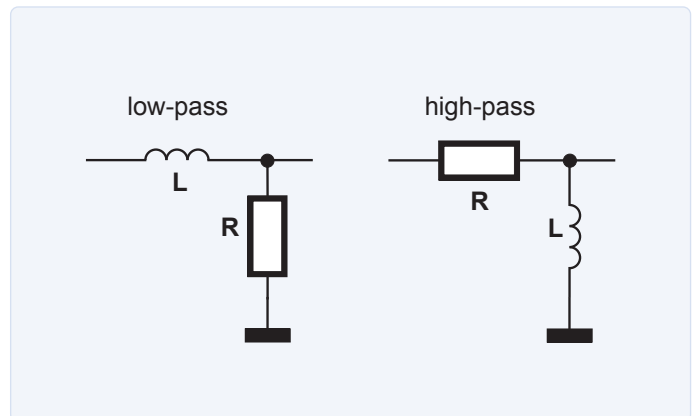


Figure 1. Filtres RL.

Un circuit qui, outre des éléments ohmiques, contient également des condensateurs et/ou des inductances, consomme de la puissance active et de la puissance réactive. Comme ces composantes de la puissance sont déphasées, il faut les additionner vectoriellement en appliquant la formule suivante (fig. 2) :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

dans laquelle S est la puissance apparente et P la puissance active. Afin de la distinguer de la puissance active, S n'est pas exprimée en watts (W) mais en voltampères (VA). Pour les puissances active et réactive, on peut maintenant écrire :

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

La valeur du $\cos \varphi$ est souvent indiquée sur la plaque d'identification d'un moteur électrique, ce qui permet de déduire la puissance active de la puissance apparente. Supposons que pour un moteur donné soient indiqués une tension de 230 V, un courant de 2 A et un $\cos \varphi$ de 0,8. Pour la puissance active, on a :

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 230 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} \cdot 0,8 = 368 \text{ W}$$

Et de la formule

$$\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1 \rightarrow \sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - (0,8)^2} = 0,6$$

on déduit la puissance réactive :

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 230 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} \cdot 0,6 = 276 \text{ VA}$$

Vous pensez peut-être, qu'en tant qu'utilisateur de ce moteur, que la puissance réactive ne vous concerne pas – après tout, votre compteur électrique ne mesure que la puissance active. Mais

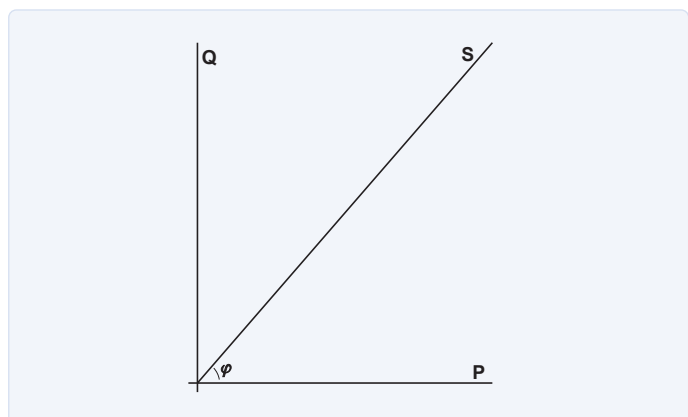
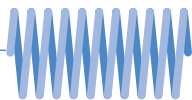


Figure 2. Puissance apparente, puissance active et puissance réactive.

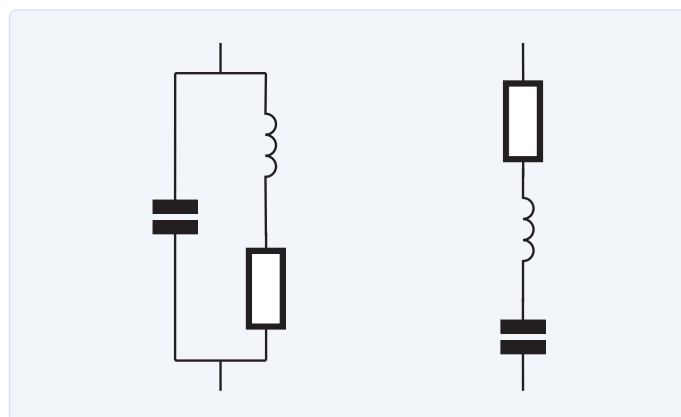


Figure 3. Compensation en parallèle (à gauche) et en série (à droite).

en raison de cette puissance réactive, un courant inutile circule dans les câbles d'alimentation, qui doivent être dimensionnés en conséquence ; en outre, ce courant « inutile » entraîne des pertes réelles dans la résistance des câbles. Une raison suffisante pour compenser la puissance réactive. Pour cela, il suffit de connecter un condensateur de valeur appropriée en parallèle ou en série avec la charge (fig. 3).

Commençons par la compensation en parallèle (c'est en général celle qu'on préfère). La puissance réactive globale est complètement compensée lorsque la puissance réactive du condensateur est égale à celle de la bobine. Dans ce cas, le condensateur cède sa puissance réactive à la bobine et inversement, et l'ensemble du circuit se comporte (vu de l'extérieur) comme une charge ohmique (à la fréquence d'utilisation, bien sûr). Pour le courant à travers le condensateur, on a :

$$I = \frac{Q_c}{U} = \frac{276 \text{ VA}}{230 \text{ V}} = 1,2 \text{ A}$$

Ce qui donne pour l'impédance :

$$X_c = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{1,2 \text{ A}} = 191,67 \Omega$$

Et donc pour la capacité :

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 191,67 \Omega} = 16,6 \mu\text{F}$$

Grâce au condensateur, le courant total passe de 2 A à 1,6 A, tandis que la résistance équivalente du circuit passe de 115 Ω à 143,75 Ω. (Elle augmente ? En effet, cela est dû à l'opposition de phase entre le condensateur et l'inductance).

Nous avons mentionné que la compensation en parallèle est généralement préférée. Si nous devons utiliser la compensation en série dans l'exemple ci-dessus, le condensateur devrait avoir une valeur de 46,1 μF, soit presque le triple. La compensation en parallèle est

donc plus économique à mettre en œuvre dans la pratique. De plus, avec la compensation en série, le courant total augmente au lieu de diminuer. ◀

210374-04

La série d'articles « démarrer en électronique » est basée sur le livre « Basic Electronics Course » de Michael Ebner, publié par Elektor.

Des questions, des commentaires ?

Contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

Contributeurs

Idée et illustrations : Michael Ebner

Texte et rédaction : Eric Bogers

Traduction : Helmut Müller

Mise en page : Giel Dols



PRODUITS

➤ **B. Kainka, Initiation à l'électronique et programmation de montages pour débutants**

www.elektor.fr/19339

➤ **R. Mallard, L'électronique pour les débutants**

www.elektor.fr/15662