Comment ça marche ?

Les circuits réactifs

1 - La réactance

Par le radio-club F6KRK

Nous nous donnerons pour but, en analysant le comportement des composants réactifs fondamentaux que sont les condensateurs et les bobines, d'arriver à la notion de réactance sans recourir à de savantes mathématiques.

Le condensateur en continu.

La charge d'un condensateur connecté à une source de tension est régie par l'équation suivante : **Q = C × U**, avec **Q** = charge en Coulombs, **C** = capacité en Farads et **U** = tension de la source en Volts.
Nous avons par ailleurs, **I = Q / t**, c'est-à-dire que l'intensité d'un courant en ampères est égal à son débit en coulombs par seconde.
En combinant ces égalités et en connectant notre condensateur à une source de courant constant, la tension **U** en volts développée à ses bornes sera égale à : **I × t / C**.
Tout ceci est résumé graphiquement sur la figure 1.

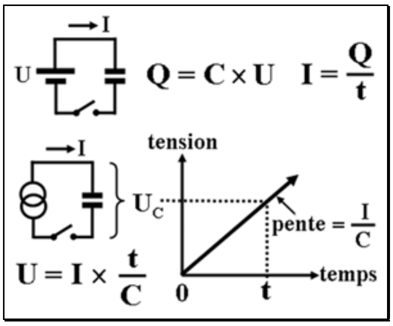

Figure 1

Le condensateur en alternatif.

Supposons que notre courant continu change de signe à chaque multiple d'un temps ***t*** **= T/2**. Nous obtenons un signal alternatif de période **T = 2*t***. L'allure de la tension aux bornes du condensateur est montrée sur la figure 2.

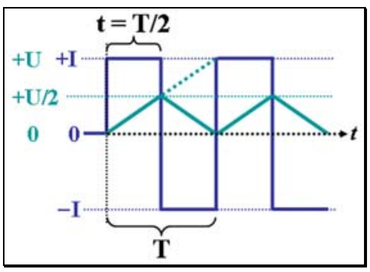

Figure 2

En considérant les valeurs crêtes à crêtes pendant la durée T, nous remarquons que :

- la valeur crête à crête de la tension est **2** fois plus faible que celle qu'elle aurait si le courant ne changeait pas de sens (elle correspond à une durée de **T/2**).
- par ailleurs la valeur du courant crête est multipliée par **2** (**± I**).

La formule donnant **U** crête à crête est alors la suivante :

$$U_{càc} = \frac{I_{càc}}{2} \times \frac{T}{2} \times \frac{1}{C} = I_{càc} \times \frac{T}{4C}$$

Et en remplaçant **T** par **1/F** (la fréquence étant l'inverse de la période), on obtient :

$$U_{càc} = I_{càc} \times \frac{1}{4FC}$$

Maintenant, prenons un courant sinusoïdal au lieu d'un courant à crête constante. Il va falloir prendre en compte le courant moyen pendant la durée ***t*** (demie période). Le rapport entre le courant moyen et le courant crête d'une demie sinusoïde inscrite dans un rectangle est égal à **2/π**, soit **0,636**. Voir la figure 3.

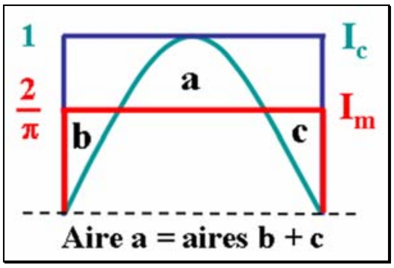

Figure 3

La formule donnant la tension crête à crête devient alors :

$$U_{càc} = I_{càc} \times \frac{2}{\pi} \times \frac{1}{4FC}$$

$$\text{Soit : } U_{càc} = I_{càc} \times \frac{1}{2\pi FC}$$

Q : Quelle est l'allure de la tension ?
R : Pour répondre, il faudra quand même faire un peu de maths.
Un matheux aura vu que dans la formule donnant la tension **U**, celle-ci est en fait obtenue par intégration du courant par rapport au temps. Autrement dit, la fonction de **U** est la primitive de la fonction de **I**. Quand **I** est une constante, **U** est une fonction du 1er degré, c'est-à-dire une droite oblique. Quand **I** est une fonction sinusoïdale, sa primitive **U** est une fonction cosinusoïdale car la primitive de **sin(x)** est **-cos(x)**. Voir la figure 4.

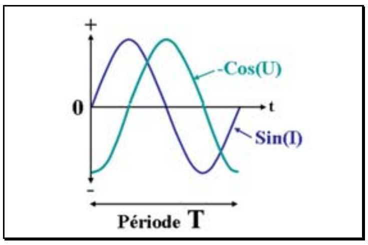

Figure 4

Avec un courant sinusoïdal, la formule reliant **U** à **I** a l'avantage d'être invariable, que l'on considère les valeurs crêtes, moyennes ou efficaces.
Nous obtenons alors la formule générique suivante :

$$U = I \times \frac{1}{2\pi FC}$$

Par analogie avec la loi d'Ohm, le terme **1/2πFC** a la dimension d'une résistance. Mais c'est une résistance apparente qui est appelée "réactance". Dans le cas d'un condensateur, c'est une "réactance capacitive" qui est caractérisée par le fait que la tension aux bornes d'un condensateur est en retard de 90° sur le courant le traversant. Nous rappellerons que dans une résistance pure, le courant est en phase avec la tension.

Q : Et l'énergie ?
R : Nous savons que l'énergie dissipée dans une résistance pure est égale à la tension multipliée par la quantité de courant la traversant : **W = U × Q**, (**Q = I × t**). En se référant à la seconde, nous obtenons une puissance **P = U × I**, (**I = Q / t**). Cette dernière formule n'est valable que si **U** et **I** sont en phase.
Que deviennent l'énergie et la puissance avec un condensateur ? Examinons la figure 5.

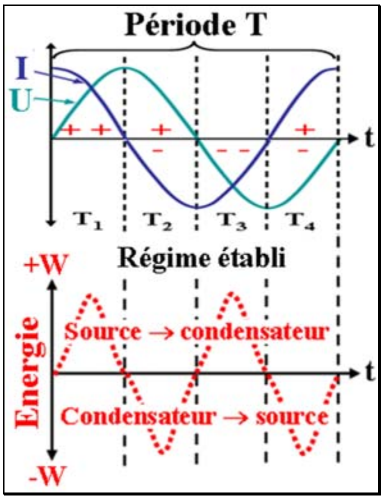

Figure 5

Pour que le signal fourni par le générateur reste sinusoïdal, celui-ci doit pouvoir absorber pendant un quart de période, les charges qu'il a fournies le quart de période précédent. Sur la durée d'une demi période, le bilan est nul, et donc aussi sur la durée d'une seconde. Le condensateur ne consomme aucune puissance. L'énergie échangée entre la source et le condensateur est appelée "énergie réactive capacitive". Elle est caractérisée par un retard de phase de 90° de la tension sur le courant. La résistance apparente {**1/2πFC**} est appelée "**réactance capacitive**".

En résumé, avec un signal sinusoïdal :
- Un condensateur présente une résistance apparente qui diminue quand sa capacité et la fréquence augmentent. Elle est appelée "réactance capacitive".
- La tension aux bornes d'un condensateur est en retard de 90° sur le courant le traversant.
- Quand il constitue la charge d'un générateur, il échange alternativement une énergie réactive avec celui-ci sur la durée d'une demie période.
- Un condensateur (parfait) ne dissipe aucune puissance.

La bobine en continu.

Nous avons sur la figure 6 la charge d'une bobine quand on applique à ses bornes une tension continue.

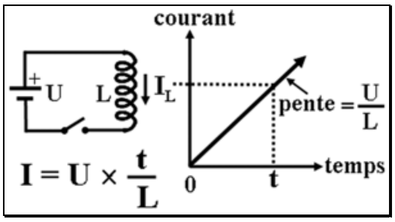

Figure 6

En comparant la figure 6 avec la figure 1, nous avons un comportement similaire à celui du condensateur, mais en inter changeant courant et tension, capacité et self induction, source de courant et source de tension.

La bobine en alternatif.

Pour le comportement en alternatif, nous relirons la description faite pour celui du condensateur, mais en faisant les mêmes interversions qu'avec le continu. La formule qui permet d'aboutir à la résistance apparente devient :

$$\mathbf{I = U \times \frac{1}{2\pi FL}}$$

$$\textbf{(condensateur : } \mathbf{U = I \times \frac{1}{2\pi FC}}\textbf{)}$$

En prenant U pour premier terme, comme pour le condensateur, la formule se transforme en :

$$\mathbf{U = I \times 2\pi FL}$$

$$\mathbf{(si\ a = \frac{c}{b},\ c = a \times b)}$$

La résistance apparente {**2πFL**} est appelée "**réactance inductive**".

En résumé, avec un signal sinusoïdal :
- Une bobine présente une résistance apparente qui augmente quand son inductance et la fréquence augmentent. Elle est appelée "réactance inductive".
- Le courant traversant une bobine est en retard de 90° sur la tension à ses bornes.
- Quand elle constitue la charge d'un générateur, elle échange alternativement une énergie réactive avec celui-ci sur la durée d'une demie période.
- Une bobine (parfaite) ne dissipe aucune puissance.

Expressions des réactances.

Nous avons vu qu'une réactance capacitive est égale à **1/2πFC,** et qu'une réactance inductive est égale à **2πFL**. Ce sont des résistances apparentes. Aussi pour les différencier des "vraies" résistances, on les nomme "**X**", avec le signe "+" pour la réactance inductive, et le signe "–" pour la réactance capacitive (signe du déphasage tension/courant). Cette notation nous permettra d'effectuer des opérations sur les réactances. Ce sera l'objet du prochain "Comment ça marche ?".

La Rubrique "Comment ça marche ?" est une activité collective du radio-club F6KRK (http://www.f6krk.org). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@ref-union.org".