

Comment ça marche ?

Les circuits réactifs

3 - L'impédance (Magnitude)

Par le radio-club F6KRRK

Nous avons vu dans des précédents "Comment ça marche", la réactance et la résonance, considérées comme parfaites. En réalité les circuits ont toujours des pertes. La résistance apparente qu'ils présentent est appelée "magnitude" ou "impédance" tout court, car son expression mathématique (un seul nombre réel) ne laisse aucun doute.

Les pertes dans un circuit.

Prenons une bobine. Si celle-ci est construite avec un fil qui n'est pas un conducteur parfait, elle va présenter une résistance en courant continu, que l'on pourra mesurer avec un ohmmètre. On constate par ailleurs, que cette résistance augmente avec la fréquence d'un courant alternatif (effet de peau). La résistance apparente que présentera notre bobine "réelle" sera donc une combinaison de sa réactance et de sa résistance.

Prenons un condensateur avec un diélectrique de basse qualité. Si nous lui appliquons une tension continue, nous allons constater qu'un courant le traverse. Le condensateur va présenter une résistance ($R=U/I$) qui va diminuer avec la fréquence d'une tension alternative. Comme pour la bobine, la résistance apparente de notre condensateur "réel" résultera de la combinaison de sa réactance et de sa résistance.

Tout ceci est montré sur la figure 1. Noter que les opérations sont vectorielles.

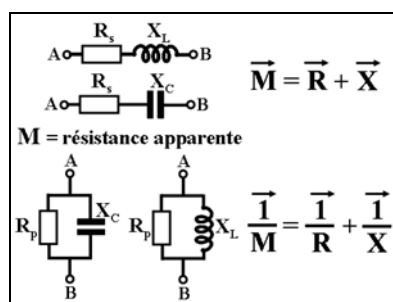


Figure 1.

La magnitude.

La résistance apparente que présente le circuit est appelée "**Magnitude**". Elle est désignée par la lettre **M** et est exprimée en Ohms. Comme pour la réactance, elle doit être spécifiée pour une fréquence donnée.

N-B : Lorsqu'une impédance (**Z**) est exprimée avec un seul nombre réel, il s'agit de sa magnitude. Alors **Z** se substitue à **M**, sans confusion possible.

Sur la figure 1, si nous remplaçons les composants par une "boîte noire", la mesure de sa magnitude ne nous renseignera nullement sur son contenu. Il y a une infinité de combinaisons

de réactances et de résistances qui donnent cette même magnitude. C'est pourquoi la magnitude est une impédance "indéfinie".

Nous allons voir plus loin que sous certaines conditions, on peut quand même savoir ce qu'il y a dans la boîte, en faisant plusieurs mesures de magnitudes à plusieurs fréquences.

Facteur de qualité.

Le facteur de qualité, noté Q , est le quotient entre la réactance et la résistance série (cas de la bobine de la fig. 1), ou entre la résistance parallèle et la réactance (cas du condensateur de la fig.1). Dans les deux cas, c'est le rapport entre l'énergie réactive et l'énergie dissipée dans les pertes. Nous avons ainsi pour un même Q les égalités remarquables de la figure 2.

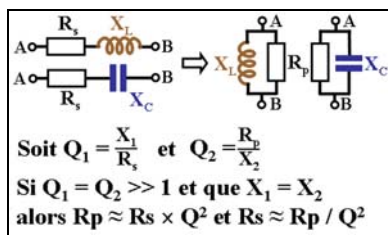


Figure 2.

Si Q est supérieur à quelques dizaines, ces égalités permettent d'effectuer des transformations simples pour calculer le comportement des circuits résonants, comme montré sur la figure 3 (nous traiterons plus tard le cas des faibles Q).

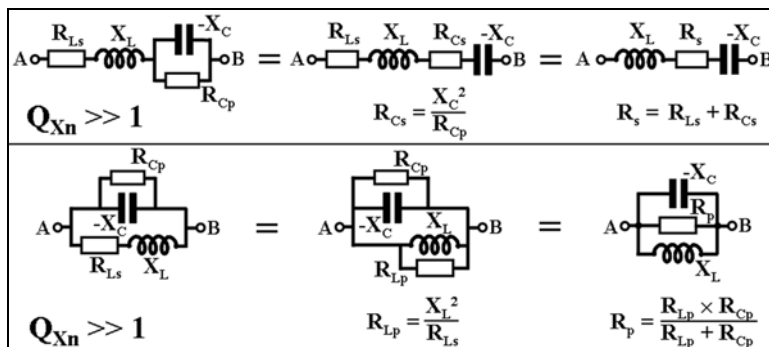


Figure 3.

Coefficient de surtension (circuit à la résonance).

Le coefficient de surtension Q d'un circuit résonant est une combinaison des coefficients de qualité de ses composantes. Sur la figure 3, Q_S est égal à $(X_L \text{ ou } X_C) / R_S$. De même Q_P est égal à $R_P / (X_L \text{ ou } X_C)$. Pour un circuit série, il correspond au rapport des tensions qui existent aux bornes des réactances (de signes opposés) avec celle qui existe aux bornes de la résistance série, d'où son nom. Pour un circuit parallèle, il correspond au rapport entre les courants qui circulent dans les réactances (de signes opposés) et celui qui circule dans la résistance parallèle. Logiquement, on devrait l'appeler "coefficient de surcourant", mais on a conservé la dénomination du circuit série (ce qui ne facilite pas la compréhension).

Magnitude et résonance.

Nous avons vu qu'à la résonance, la réactance s'annulait pour un circuit série et nous allons voir qu'elle s'annule aussi pour un circuit parallèle. Alors, la magnitude d'un circuit résonant série est égale à la résistance série équivalente des pertes et la magnitude d'un circuit résonant parallèle à la résistance parallèle équivalente des pertes. Tout ceci, ainsi que la variation de la

magnitude et de la réactance en fonction de la fréquence des circuits résonants est montré sur la figure 4, à comparer avec la fig. 5 du "Comment ça marche" sur la résonance.

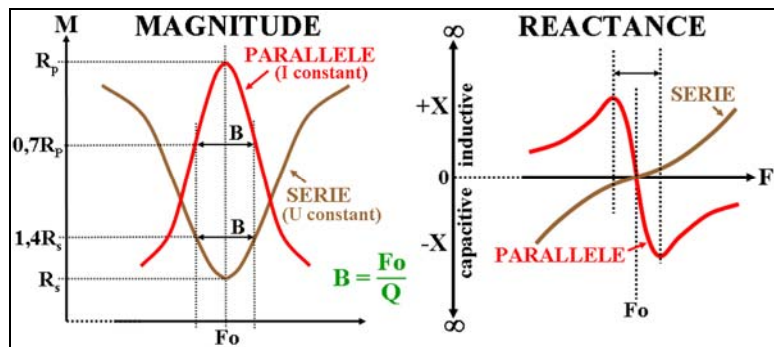


Figure 4.

On remarquera que pour un circuit série la courbe de la magnitude se confond avec la courbe de réponse en courant puisque U est constant (source de tension) et inversement pour un circuit parallèle (source de courant). Dans les deux cas, la puissance maximum dissipée dans la résistance équivalente de pertes a lieu à la fréquence de résonance ⁽¹⁾.

Bande passante.

La bande passante **B** de la fig. 4 est la bande de fréquence à l'extérieur de laquelle la puissance dissipée par les pertes est inférieure à la moitié (-3 dB) de la puissance maximum (source constante). Pour un circuit série les extrémités de la bande correspondent à une magnitude multipliée par 1,414, et par 0,707 pour un circuit parallèle. Il se trouve que cette bande est égale à la fréquence de résonance divisée par le coefficient de surtension. $B = F_0 / Q$ et $Q = F_0 / B$.

Nature d'un dipôle (boîte noire) en fonction de sa magnitude.

Une seule mesure à la fréquence F_0 ne suffit pas puisque l'on a une infinité de possibilités. Avec trois mesures à trois fréquences successives, on peut s'en faire une idée, comme montré sur la figure 5.

| | $-\Delta F$ | F_0 | $+\Delta F$ | Nature de l'impédance |
|------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|-----------------------|
| Magnitude | M | M | M | Résistance pure |
| | $+\Delta M$ | M | $-\Delta M$ | Réactive capacitive |
| | $-\Delta M$ | M | $+\Delta M$ | Réactive inductive |
| | $-\Delta M$ | M | $-\Delta M$ | Résonance parallèle |
| | $+\Delta M$ | M | $+\Delta M$ | Résonance série |

Figure 5.

En admettant que la résistance de pertes ne change pas avec la fréquence, on peut même calculer la partie réactance et la partie résistance, mais nous débordons du cadre de cette série d'articles.

Dans le prochain "Comment ça marche", nous verrons l'impédance définie, encore appelée "impédance complexe".

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".

Notes.

- 1) Si ces pertes sont le fait du rayonnement d'une antenne, ou d'un effet Joule dans un calorifère, elles ne sont pas perdues pour tout le monde (il y a aussi certaines antennes qui se prennent pour des calorifères).*