

Comment ça marche ?

Les lignes HF

9 - Impédances (1)

Par le radio-club F6KRK

Après avoir étudié le fonctionnement d'une ligne en mode permanent (signal constant), nous avons abordé le comportement en mode transitoire (signal modulé) avec une charge résistive pure. Avant de voir ce qui se passe avec une charge réactive, nous allons examiner les relations entre une ligne et l'impédance de charge.

Impédance complexe.

L'impédance caractérise le comportement d'une charge (dipôle) vis-à-vis d'une source. Celui-ci est résumé sur la figure 1.

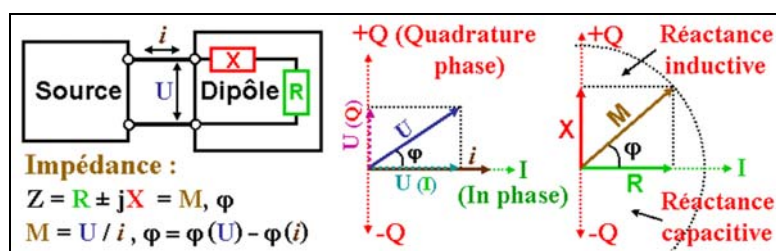


Figure 1 : Impédance complexe

L'impédance en un point d'une ligne caractérise le comportement de la ligne en ce point en considérant le côté charge comme une charge virtuelle et le côté source comme une source virtuelle. Nous avons trois mesures possibles pour caractériser l'impédance à une fréquence donnée :

- Mesure de la d.d.p. U en ce point
- Mesure de l'intensité i du courant en ce point
- Mesure de l'écart de phase φ entre U et i

Noter que les valeurs de U et de i mesurées correspondent aux modules des vecteurs U et i .

Éléments constitutifs de l'impédance

Résistance pure (Ω) : $Z = R = U / i$, sachant que $\varphi = 0$ (vecteurs U et i en phase).

Réactance capacitive pure (Ω) : $Z = -X = U / i$, avec le vecteur i en **avance** de phase de 90° sur le vecteur U ($\varphi = -90^\circ$).

Réactance inductive pure (Ω) : $Z = X = U / i$, avec le vecteur i en **retard** de phase de 90° sur le vecteur U ($\varphi = 90^\circ$).

Impédance complexe : $Z = R \pm jX$ avec :

- \mathbf{R} = partie réelle = résistance pure
- \mathbf{X} = partie imaginaire = réactance pure
- \mathbf{j} = nombre imaginaire = racine de $\{-1\}$.

Cas particulier : $\mathbf{Z} = \mathbf{R} \pm \mathbf{j0}$. A ne pas confondre avec une résistance pure. Ici nous avons un circuit réactif à la résonance ($\mathbf{X}_L = -\mathbf{X}_C$).

Impédance vectorielle : $\mathbf{Z} = \mathbf{M}$, φ avec :

- \mathbf{M} = Module de l'impédance (Ω) = U/i
- φ = Déphasage de U par rapport à i (compris entre -90° et $+90^\circ$ ou entre $-\pi/2$ et $+\pi/2$ radians)

Impédance en un point d'une ligne

Les calculs d'impédance se faisant habituellement pour des longueurs de lignes inférieures à la demi-onde, nous admettrons pour simplifier que la ligne est sans pertes.

L'impédance en un point peut se calculer à partir de l'impédance de la charge et de l'impédance caractéristique de la ligne grâce aux équations de propagations rappelées ci-dessous (ligne sans pertes) :

$$U = U_0 \cos \alpha L - jZ_C i_0 \sin \alpha L$$

$$i = i_0 \cos \alpha L - j \frac{U_0}{Z_C} \sin \alpha L$$

$$Z_C = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \quad \alpha = \frac{2\pi}{\lambda}$$

L est la longueur électrique depuis l'extrémité où nous avons mesuré U_0 et i_0 .

Soit U_0 et i_0 les valeurs aux bornes d'une charge $\mathbf{Z} = U_0 / i_0$, et soit \mathbf{Z}_L l'impédance ramenée à une distance L de la charge. A partir des équations de propagation, nous obtenons :

$$\mathbf{Z}_L = Z_C \frac{\mathbf{Z} + jZ_C \operatorname{tg} \alpha L}{Z_C + j\mathbf{Z} \operatorname{tg} \alpha L}$$

On remarquera que si $\alpha L = n\pi$ ($L=n\lambda/2$), on a $\mathbf{Z}_L = \mathbf{Z}$, et si $\alpha L = (2n+1)\pi/2$, ($L=\{2n+1\}\lambda/4$), on a $\mathbf{Z}_L = Z_C^2 / \mathbf{Z}$. Autrement dit, une ligne (sans pertes) recopie la même impédance toutes les demies ondes et pour les autres quarts d'ondes une impédance "miroir" par rapport à son impédance caractéristique. Cet effet "transformateur d'impédance" se produit pour toutes les longueurs de ligne et fera l'objet des prochains "Comment ça marche".

Nous terminerons celui-ci avec l'équivalence électrique d'une ligne selon le modèle des télégraphistes.

Modèle des télégraphistes

Nous avons vu les notions de constantes linéiques (inductance, capacitance, résistance et perdite) qui ont conduit aux équations de propagation des télégraphistes. On peut modéliser électriquement ce concept avec une mise en série de circuits L-C en pi, modélisant chacun une unité de longueur. Exemple sur la figure 2 pour une ligne sans pertes, $Z_C=50\Omega$.

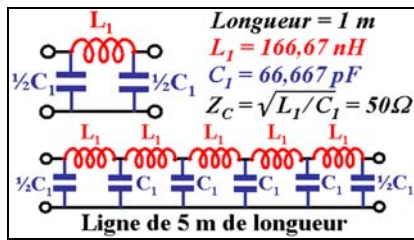


Figure 2 : Modèle des télégraphistes

La modélisation sera d'autant plus précise que le nombre de cellules par longueur d'onde sera important. On peut y inclure des résistances en série avec les bobines pour tenir compte des pertes ohmiques et des résistances en parallèle avec les condensateurs pour les pertes diélectriques, mais cela ne sera valable que pour une seule fréquence ^[1].

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@orange.fr".

Bibliographie.

[1] Revoir dans Radio-REF les précédents "Comment ça marche ?". Ils sont également consultables et téléchargeables sur le site de F6KRK : "www.blog.f6krk.org", catégories "Bulletins et Gazettes" puis "Comment ça marche ?".