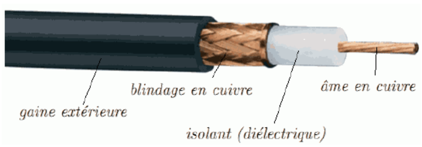
TP COAXIAL

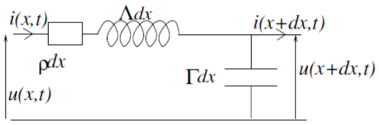
L'objectif de ce TP est d'étudier la propagation du signal dans un câble coaxial. En étudiant la vitesse de propagation du signal, ainsi que l'éventuelle réflexion du signal en bout de ligne, on cherchera à remonter aux caractéristiques du modèle utilisé (inductance linéique, capacité linéique) ainsi qu'à ses limites.

I - Rappels théoriques

Un câble coaxial est constitué de deux conducteurs de même axe Ox : un cylindre plein (l'âme, de rayon $r_1 = 0,3\ mm$) et une tresse cylindrique d'épaisseur négligeable (de rayon $r_2 = 1,8\ mm$), séparés par un diélectrique (isolant). Le conducteur central sert à amener un courant électrique et la tresse extérieure en assure le retour (jouant le rôle de masse).

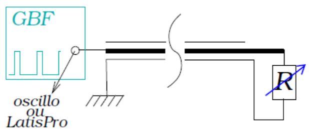


La longueur de câble utilisée (une centaine de mètres) fait qu'on ne peut plus négliger le temps de propagation du signal le long de la ligne : on adopte alors un modèle dit à constantes réparties, où le câble est caractérisé par sa capacité linéique Γ, son inductance linéique Λ et sa résistance linéique ρ.



Dans le modèle le plus simple, on néglige la résistance linéique ($\rho \to 0$), ce qui permet d'obtenir une équation de D'Alembert pour la propagation de la tension u et de l'intensité i, avec une célérité $\boxed{v = \frac{1}{\sqrt{\Gamma\Lambda}}}$. Dans cette situation sans dispersion, on a alors $v_\varphi = v_g = v$.

Par ailleurs, on a vu en exercice que lorsqu'on ferme la ligne de longueur ℓ sur une impédance R (prise réelle pour simplifier), alors le coefficient de réflexion en tension vaut $r_u = \dfrac{R - R_c}{R + R_c}$, où la résistance critique vaut $\boxed{R_c = \sqrt{\frac{\Lambda}{\Gamma}}}$.
On pourra vérifier que le coefficient de réflexion en courant vaut $r_i = -r_u$.



Enfin, en considérant le câble comme un condensateur cylindrique, formé de deux conducteurs de même axe, de rayons r_1 et r_2, et séparés par un diélectrique de permittivité relative ε_r, on peut montrer que la capacité linéique s'écrit : $\Gamma = \dfrac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{\ln(r_2/r_1)}$.
Du point de vue des propriétés magnétiques, on peut montrer que l'inductance linéique s'écrit : $\Lambda = \dfrac{\mu_0}{2\pi}\ln(r_2/r_1)$.

II - Étude expérimentale

2.1 Réalisation du montage

À l'aide d'une bobine de câble de longueur ℓ environ $100\ m$ (longueur exacte indiquée sur la bobine), relier une extrémité à un GBF (avec une fiche BNC, et fermer l'autre sur une résistance variable R (réalisée avec des boîtes AOIP $\times 1$, $\times 10$ et $\times 100\ \Omega$) **avec des fils les plus courts possibles**.
Envoyer également la sortie du GBF vers l'oscilloscope. Afin d'envoyer une impulsion de très courte durée, préparer un signal en créneaux dissymétriques, à fronts hauts les plus courts possibles (modifier pour cela le rapport cyclique du créneau ainsi que l'offset) et valant plusieurs volts, et de fréquence telle que l'on puisse distinguer sur l'oscilloscope le signal émis en tête de ligne ainsi que la réflexion en bout de ligne. Montrer par un rapide calcul d'ordre de grandeur qu'une fréquence autour de 450 kHz convient, et indiquer le rapport cyclique retenu.

2.2 Observation du signal réfléchi

▶ Donner l'allure de l'oscillogramme obtenu pour $R = 0$, puis pour $R = \infty$.
Commenter les résultats obtenus : évaluer la vitesse de propagation du signal dans le câble, le signe du signal réfléchi, l'atténuation et la dispersion éventuelles induites par le câble...

▶ Ajuster la valeur de la résistance R pour ne plus observer de signal réfléchi. En déduire la valeur de la résistance critique R_c.

À l'aide des valeurs de la célérité et de la résistance critique, donner les valeurs des inductance et capacité linéique du câble.
Vérifier la cohérence avec les dimensions du câble données dans la première partie. Évaluer la permittivité relative ε_r de l'isolant.

▶ À l'aide d'un capacimètre, effectuer une autre détermination de la capacité linéique Γ. Commenter.

2.3 Prise en compte de l'atténuation

Pour pouvoir expliquer l'atténuation du signal réfléchi, il faut prendre en compte un phénomène dissipatif tout au long du câble, que l'on modélise par une résistance linéique ρ représentée sur le schéma de la partie I.
Réécrire les lois des nœuds et des mailles sur un tronçon dx de câble pour obtenir les nouvelles équations couplées entre courant et tension. En déduire l'équation de propagation pour la tension dans ce cas.
Écrire la relation de dispersion pour une OPPM complexe se propageant selon les x croissants.
En notant $\underline{k} = k' - j\ k''$, et en supposant ρ petit, montrer qu'on a alors $\underline{k' \simeq \frac{\omega}{v}}$ et $\underline{k'' \simeq \frac{\rho v \Gamma}{2} = \frac{\rho}{2R_c}}$.
▶ Avec la sortie ouverte ($R = \infty$), mesurer l'atténuation du signal réfléchi, et évaluer la valeur de la résistance linéique ρ.
▶ Trouver un autre moyen, très simple, d'évaluer cette résistance linéique. Comparer.

2.4 Ondes stationnaires

On se place ici avec une sortie en court-circuit ($R = 0$) qui permet d'avoir un nœud de tension en bout de câble. Le GBF émet désormais un signal sinusoïdal.
▶ Retrouver qu'en l'absence d'atténuation, les fréquences f_n permettant d'observer un nœud de tension en $x = 0$ (branchement de l'oscillo) vérifient $\underline{2 f_n \ell = n v}$, avec n entier.
▶ Augmenter progressivement la fréquence du GBF, depuis 450 kHz jusqu'à plusieurs MHz : observer successivement des maxima et des minima de tension. Noter les fréquences correspondant à des minima de tension. Effectuer une nouvelle détermination de la vitesse de propagation du signal.