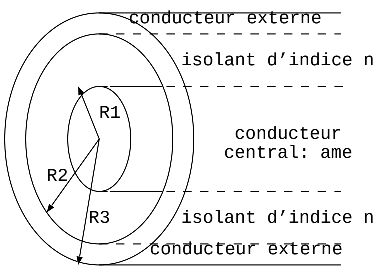
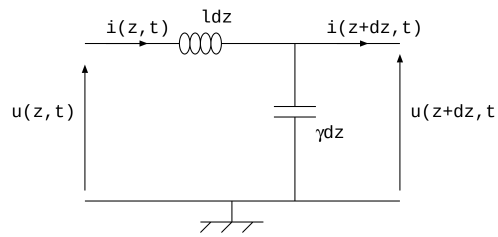
TP câble coaxial

Le câble coaxial désigne une ligne de transmission utilisée en basses ou hautes fréquences, composée de deux conducteurs: le conducteur central en cuivre appelé âme et le conducteur externe appelé gaine. Les deux conducteurs sont séparés d'un isolant. Quand on alimente le câble coaxial, un GBF relié à l'entrée du câble, délivre une tension entre l'âme (relié au signal) et le conducteur externe (relié à la masse).

Le conducteur central est modélisé par un cylindrique de rayon R_1 (appelé l'âme), entouré d'un isolant d'indice n et d'un conducteur externe compris entre les cylindres de rayons R_2 et R_3 (appelé la gaine). On modélise le câble coaxial par une ligne électrique de capacité par unité de longueur $\gamma = \dfrac{2\pi\epsilon_0 n^2}{\ln(\frac{R_2}{R_1})}$ et d'inductance par unité de longueur $l = \dfrac{\mu_0}{2\pi}\ln(\dfrac{R_2}{R_1})$. La ligne est modélisée par une succession de tronçons élémentaires composés d'une association d'inductance $dL = ldz$ et de capacité $dC = \gamma dz$.

Données: $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}\ SI$ et $\dfrac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.10^9\ SI$.

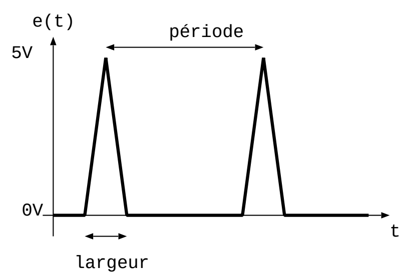




I. Câble alimenté par des impulsions

1. *Tension d'entrée*

Régler les paramètres du générateur pour qu'il délivre des impulsions variant entre 0 et 5 V avec des pics de largeur 40 ns et de fréquence $f = 300\ kHz$. Observer cette tension en voie 1 de l'oscilloscope.



2. *Mesure de la vitesse de propagation des ondes*

Alimenter le câble coaxial par la tension impulsionnelle précédente. Observer le signal à l'entrée du câble coaxial en voie 1 de l'oscilloscope et la sortie du câble en voie 2 de l'oscilloscope.

Interpréter la différence observée entre le signal à l'entrée du câble et le signal délivré par le GBF.

Augmenter la fréquence du signal impulsionnelle et commenter. Déterminer expérimentalement la fréquence critique (en utilisant le bouton de réglage "fréquence fine") à partir de laquelle l'impulsion réfléchis en bout du câble arrive en même temps que l'impulsion suivante émise.

Déterminer un protocole pour mesurer la vitesse des ondes dans le câble.

En ligne ouverte, la réflexion ne modifie pas l'amplitude de l'onde. L'amplitude des impulsions diminue au cours de la propagation à cause du phénomène d'absorption. Calculer numériquement le coefficient d'atténuation défini par $20\log(\dfrac{U(z=2l)}{U(z=0)})$. Donner la valeur numérique en dB par kilomètre et la comparer à l'atténuation d'une fibre optique de l'ordre de $0,1\ dB/km$. On comprend aisément pourquoi les câbles coaxiaux ont été remplacés par les fibres optiques.

3. *Etude de la réflexion des ondes en bout de câble*

Le câble est encore alimenté en entrée par la tension impulsionnelle de fréquence 500 kHz. Brancher une résistance variable de 1 $k\Omega$ à la sortie du câble.

Déterminer expérimentalement R_c, la valeur de la résistance pour laquelle il n'y a pas d'onde réfléchie.

Observer l'onde réfléchie pour $R < R_c$ et pour $R > R_c$.

Le coefficient théorique de réflexion de l'onde s'écrit $r = \dfrac{R - Z_c}{R + Z_c}$ où Z_c est l'impédance du câble et R la résistance en bout de câble. Déduire des mesures précédentes, la valeur numérique de Z_c et vérifier la cohérence avec les observations précédentes.

Que faut-il mettre en bout de câble pour avoir un coefficient de réflexion égale à 1 en valeur absolue?

Conclusion: déduire d'une analyse dimensionnelle, les expressions de l et γ en fonction de Z_c et v. Calculer l et γ.

II. Câble alimenté par une tension sinusoïdale

1. *OPPH sur le câble*

Le câble est alimenté par une tension sinusoïdale d'amplitude crête à crête 5 V sans offset.

On souhaite qu'il n'y ait pas d'onde réfléchie en bout de câble. Que faut-il faire pour cela?

Observer l'onde de tension en entrée du câble et en sortie du câble en voie 1 et 2 de l'oscilloscope.

Etablir le protocole pour mesurer la vitesse de l'onde dans le câble. Vérifier la cohérence avec les manipulations en tension impulsionnelle.

2. *OS sur le câble (analogue à la corde de Melde)*

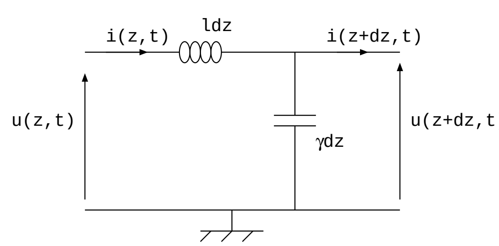
Le générateur délivre une tension sinusoïdale d'amplitude crête à crête 10 mV sans offset et de fréquence variable. Sur le câble on observe la superposition de multiples ondes réfléchies. Pour certaines fréquences appelées fréquences de résonance, l'onde résultante est une OS de grande amplitude. On cherche les fréquences de résonance du câble en ligne ouverte et en ligne fermée.

- Le câble est ouvert en fin de ligne: l'onde stationnaire qui se forme présente un noeud de tension en entrée du câble et un ventre de tension en fin de câble. La théorie prévoit que les fréquences de résonance sont de la forme $f_n = (2n-1)\dfrac{c}{4L}$. Mesurer expérimentalement avec précision ces fréquences.
- Le câble est fermé par un fil de court-circuit: l'onde stationnaire qui se forme présente un noeud de tension en entrée du câble et un noeud de tension en fin de câble. La théorie prévoit que les fréquences de résonance sont de la forme $f_n = n\dfrac{c}{2L}$. Mesurer expérimentalement avec précision ces fréquences.

Etablir un protocole pour mesurer la vitesse des ondes dans le câble.

III. Etude théorique d'un câble coaxial

1. On modélise une longueur dz d'un câble coaxial par le schéma ci-contre comportant une bobine d'inductance $l.dz$ et un condensateur de capacité $\gamma.dz$ où l et γ sont respectivement les inductance et capacité linéiques du câble.



1.a. Déduire de la loi des noeuds, la relation entre $\dfrac{\partial u}{\partial t}(z,t)$ et $\dfrac{\partial i}{\partial z}(z,t)$.

1.b. Déduire de la loi des mailles, la relation entre $\dfrac{\partial u}{\partial z}(z,t)$ et $\dfrac{\partial i}{\partial t}(z,t)$.

1.c. En déduire l'équation de propagation vérifiée par $u(z,t)$. On rappelle que $\frac{\partial}{\partial z}(\frac{\partial i}{\partial t}) = \frac{\partial}{\partial t}(\frac{\partial i}{\partial z})$.

1.d. Le câble est le siège d'une onde de tension caractérisée en notation complexe par $\underline{u}(z,t) = u_0 e^{j(\omega t - kz)}$. Préciser le type d'onde dont il s'agit, justifier ce choix et déterminer l'expression de $\underline{i}(z,t)$. En déduire que $Z = \frac{\underline{u}(z,t)}{\underline{i}(z,t)} = \sqrt{\frac{l}{\gamma}}$. Quelle est l'unité de cette grandeur? Que devient Z pour une onde qui se propage dans l'autre sens?

2. Le GBF émet une onde incidente qui se propage dans le câble (l'onde vient de $z \to -\infty$. Le câble est fermé par une résistance de charge notée R_c placée en $z = 0$. Cela génère une onde réfléchie. On note $\underline{u}(z,t) = u_0 e^{j(\omega t - kz)} + u_0 \underline{r} e^{j(\omega t + kz)}$ l'onde de tension dans le câble.

2.a. Déduire de la question précédente l'expression de l'onde d'intensité $i(z,t)$ et déduire de la condition aux limites en $z = 0$ l'expression de $\underline{r}$ en fonction de Z et R_c.

2.b. On étudie les cas particuliers suivants: cas 1: $R_c = Z$, cas 2: le câble est ouvert en bout de ligne et cas 3: le câble est fermé par un fil de court circuit. Déterminer dans chacun de ces cas les expressions en notation réelle des ondes de tension et d'intensité résultantes. Commenter les résultats.