

TP 6

Propagation dans un câble coaxial

Travail préliminaire.

Commencez par lire le TP entier en diagonal, en prenant en note les informations qui vous paraissent importantes. La théorie de ce TP a été faite dans le TD O2-04. Utilisez ce TD pour répondre aux questions suivantes.

- Quelle type d'onde se propage dans le câble coaxial ? Quelle est leur célérité, en ordre de grandeur ?
- Rappeler l'expression de la célérité c des ondes et l'impédance caractéristique Z_c du câble en fonction des inductances et capacité linéiques Λ et Γ . En déduire l'expression de Λ puis Γ en fonction de c et Z_c .

Pour être explicite, les situations décrites dans ce TP concernent un régime **hors ARQS** : il ne s'agit pas d'électrocinétique ! Notamment, la tension et le courant ne sont pas uniformes le long du câble.

- Qu'est-ce que l'ARQS ? Nous reviendrons sur cette approximation dans les chapitres d'électromagnétisme.

1 Présentation du câble coaxial

Attention ! Les câbles sont fragiles, notamment au niveau des raccords. Il faut les manipuler avec précaution.

Un câble coaxial est généralement utilisé pour le transport de signaux informatiques (donc basse puissance). On peut citer les câbles $75\ \Omega$ des téléviseurs et certains câbles téléphones ou internet. Leur intérêt réside dans la possibilité de transporter des signaux de fréquence plus élevées que les fils électriques communs. On présente une coupe d'un câble ci-dessous.



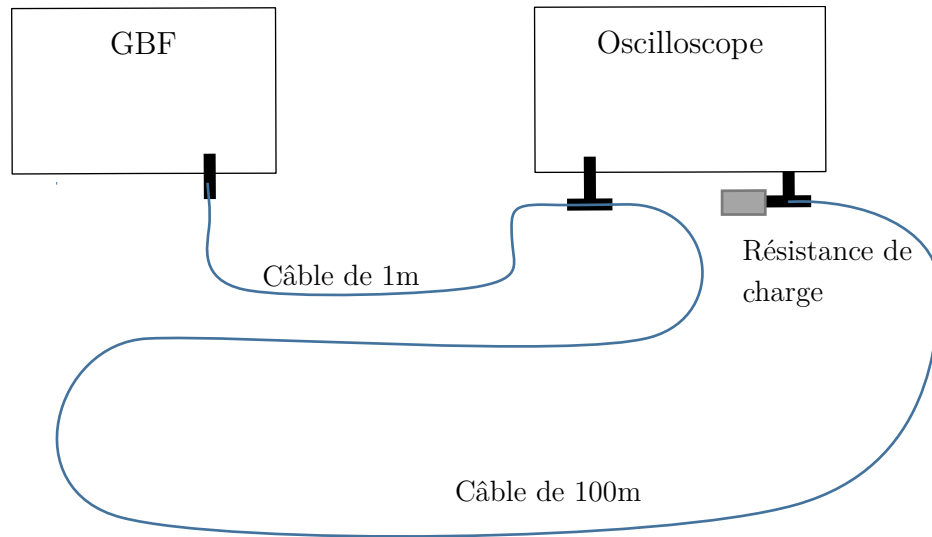
Ils sont constitués, de l'intérieur vers l'extérieur, d'une tresse en cuivre (appelée l'âme), d'un isolant électrique (appelé diélectrique), d'une deuxième tresse de cuivre (la gaine) et enfin d'une enveloppe plastique isolante pour protéger l'ensemble.

2 Étude de la propagation des ondes dans le câble

On propose dans cette partie de visualiser la propagation d'une onde dans le câble, et de la décrire en obtenant d'une part la célérité des ondes c , et d'autre part le facteur d'atténuation β , défini plus loin. Ce facteur d'atténuation n'apparaît pas dans l'exercice O2-04 car nous avons alors supposé le câble idéal, c'est-à-dire sans perte, ce qui n'est pas exactement vrai dans la réalité. On pourrait théoriquement rendre compte de ce facteur d'atténuation en ajoutant une résistance $r\,dx$ en série de l'inductance $\Lambda\,dx$.

2.1 Montage

- Réalisez le montage ci-dessous. Vous disposez d'un câble coaxial de 100 m.
- Combien de temps, en ordre de grandeur, met l'onde pour parcourir le câble de 100 m ? En déduire la durée de l'émission de l'onde incidente sous laquelle les ondes en entrée et en sortie soient facilement distinguables.
- On propose d'utiliser comme onde incidente le signal suivant : impulsions carrées (« Pulse ») de fréquence 100 kHz, de valeur basse 0 V, de valeur haute 10 V, et de rapport cyclique 1 %. Régler pour cela les paramètres du GBF (Offset et Duty Cycle) et visualiser le signal sur l'oscilloscope.
- Visualiser aussi l'onde en sortie de câble. On placera une impédance (résistance de charge) de $50\ \Omega$ sur l'ouverture libre du « T », afin d'annuler les ondes réfléchies (en réalisant ainsi une adaptation d'impédance, voir le TD O2-04).



2.2 Mesure de la célérité des ondes

- Commenter la forme de l'onde en sortie du câble. Sa déformation provient d'un phénomène de dispersion et d'atténuation (voir le chapitre O5).
- Obtenir le temps de propagation de l'onde et en déduire la célérité c_{exp} de l'onde dans le câble. Comment évalueriez-vous l'incertitude sur cette mesure?

2.3 Mesure du facteur d'atténuation

On définit le facteur d'atténuation β (en dB/m) comme l'atténuation logarithmique et linéique de la tension. Elle dépend des propriétés intrinsèques du câble mais pas de sa longueur L . Si v_e est la tension en entrée et v_s celle en sortie, alors

$$\beta L = -20 \log \left(\frac{v_s}{v_e} \right) \quad \text{soit} \quad \beta = -\frac{20}{L} \log \left(\frac{v_s}{v_e} \right)$$

- Mesurer v_e et v_s , et en déduire β .
- Pour quelle longueur de câble l'amplitude du signal a-t-elle été réduite d'un facteur 5?

3 Étude de la réflexion des ondes en bout de câble

À nouveau, cette partie a été étudiée théoriquement dans l'exercice O2-04. Le coefficient de réflexion en bout de câble est

$$r_{\text{théo}} = \frac{\underline{Z} - Z_c}{\underline{Z} + Z_c}$$

avec Z_c l'impédance caractéristique du câble et $\underline{Z}$ l'impédance en bout de câble.

3.1 Observations qualitatives

En observant seulement la tension en entrée de câble (et plus à la sortie de celui-ci), et en enlevant l'impédance terminale de 50Ω , il y aura une réflexion en bout de câble et donc une onde réfléchie visible à l'entrée.

- Pouvez-vous anticiper la forme de l'onde réfléchie lorsqu'on ouvre la sortie du câble? Lorsqu'on la court-circuite? Faites l'expérience pour vérifier votre idée.

3.2 Mesure de l'impédance caractéristique Z_c

- (Travail non guidé) Pour quelle valeur de $\underline{Z}$ annule-t-on l'onde réfléchie? À l'aide d'un potentiomètre de 100Ω , obtenir expérimentalement une valeur approchée de Z_c .

3.3 Obtention des impédances linéiques du câble

- Ayant obtenu c et Z_c , déduire l'inductance linéique Λ et la capacité linéique Γ du câble.

3.4 Mesure expérimentale du coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion est par définition

$$r = \frac{v_r(x=L)}{v_i(x=L)}$$

Or nous n'observons pas les ondes en $x=L$, mais en $x=0$. En prenant en compte l'atténuation le long du câble, on a

$$r_{\text{exp}} = \frac{v_r(x=0)}{v_i(x=0)} \times 10^{-(\beta L / 10)}$$

► D'où provient cette formule?

► À partir de votre valeur de β obtenue précédemment, obtenir le coefficient de réflexion r_{exp} pour les valeurs suivantes d'impédance terminale Z .

$Z \text{ (}\Omega\text{)}$	∞	0	10	20	50	80	100
$r_{\text{théo}}$							
r_{exp}							

Tableau : Tableau à reproduire et à compléter.

► Commenter et conclure.