

ARCHIMÈDE PHYSIQUE PC 1998

Première partie : haut-parleur électrodynamique

1. Analyse préliminaire

1.a.

On est en présence d'un circuit électrique mobile dans un champ magnétique stationnaire. Il apparaît donc une f.e.m d'induction. Si correspond à un mouvement sinusoïdal de fréquence f , il apparaît une f.e.m d'induction de même fréquence et donc une d.d.p. de même fréquence aux bornes de la bobine.

Le cas considéré ici correspond à une conversion d'énergie mécanique en énergie électrique : on a affaire à un microphone.

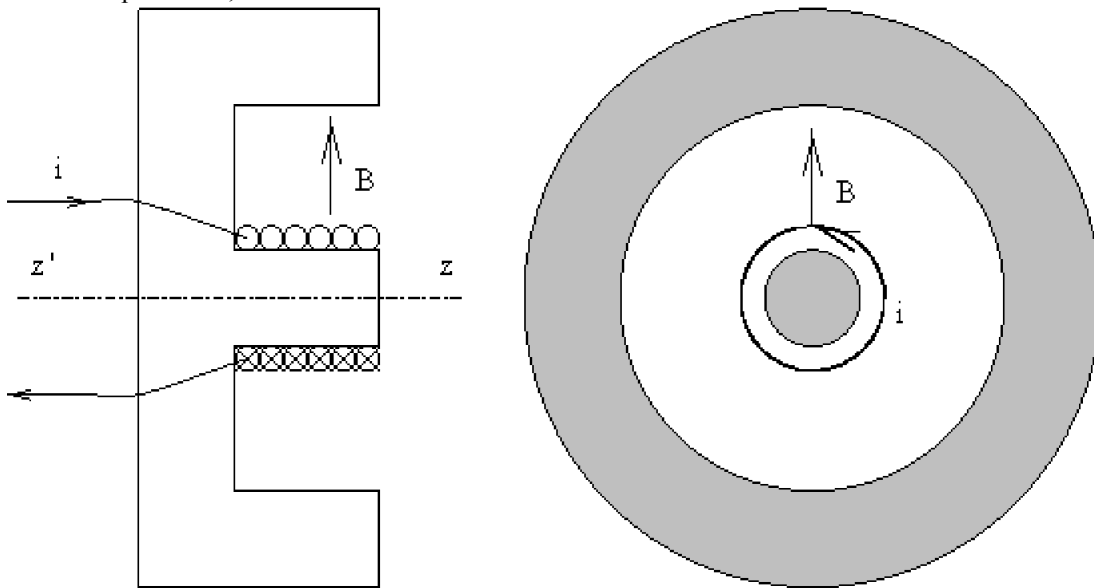
1.b.

On est en présence d'un conducteur parcouru par un courant plongé dans un champ magnétique. Ce conducteur est donc soumis à une force de Laplace qui va mettre en mouvement la bobine et la membrane qui lui est solidaire et cette dernière met en mouvement les masses d'air qui lui sont voisines. On a maintenant affaire à un haut-parleur.

2. Étude du dispositif mobile : bobine-membrane

2.a.

La force élémentaire de Laplace est ; d'où avec l'orientation du schéma ci-dessous :



2.b.

La f.e.m élémentaire est d'où . Soit pour la bobine tout entière $i.e$.

2.c.

Le théorème de la résultante cinétique pour l'équipage mobile est : (eq. M)

L'équation électrique est, compte tenu du schéma électrique équivalent : (eq. E)

2.d.

Puisque , et sont des fonctions sinusoïdales de pulsation ω , les équations (M) et (E) deviennent :

(eq. M') et (eq. E')

2.e.

À l'aide de l'équation (M') on obtient d'où

2.f.

D'après l'équation précédente on peut faire apparaître les deux contributions suivantes :

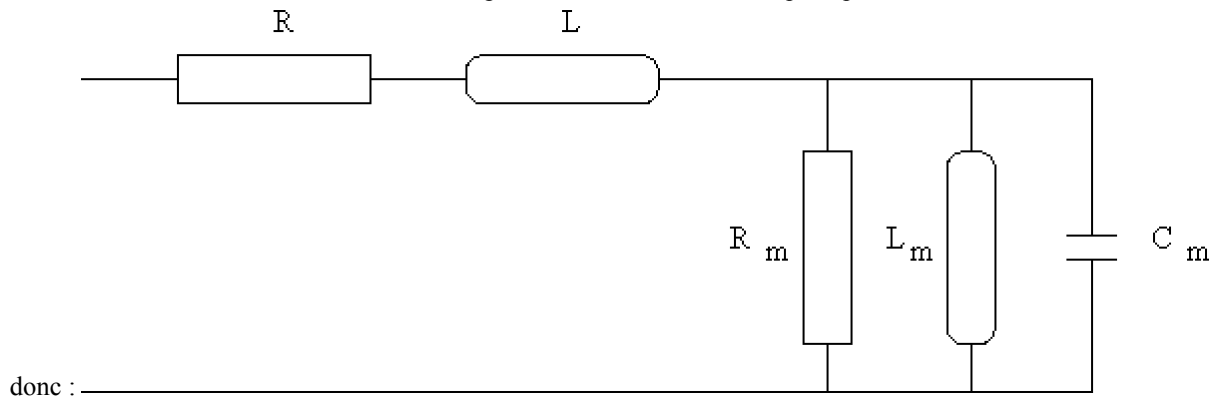
- qui ne contient que des termes relatifs au circuit électrique d'où le nom d'impédance propre.
- qui ne dépend que des caractéristiques mécaniques du système d'où le nom d'impédance motionnelle.

2.g.

On a donc et et

2.h.

On peut écrire sous la forme *i.e.* trois éléments , , en parallèle. Le schéma électrique équivalent est



2.i.

On a et donc est du signe de d'où le graphe de

Pour on a : et donc est du signe de . On a deux racines réelles positives et d'où le graphe de:

D'autre part on a :

- pour
- pour
-

d'après les résultats précédents montrons que l'affixe de décrit un cercle de rayon et de centre :
c.q.f.d.

D'après le schéma le module de est maximal en et

2.j.

Le module de vaut pour les 2 points qui ont pour abscisse (on a alors un triangle rectangle isocèle d'hypothénuse), *i.e.* quand est extrémal et donc pour les deux valeurs et de définit au 2.i *i.e.*

et . On a alors :

qui correspond au facteur de qualité du filtre. A.N.

2.k.

Comme , son affixe décrit une demi-droite parallèle à l'axe des ordonnées, d'où le graphe ci-dessous pour les fréquences 300-3400 Hz.

2.l.

D'après les valeurs numériques on a :

-
-
-

2.m.

Compte tenu de l'intervalle de fréquence 300-3400 Hz la contribution de l'impédance motionnelle à l'impédance totale est négligeable, on a d'où le graphe :

De plus dans cet intervalle de fréquence d'où le graphe ci-dessous :

L'impédance est constante et égale à dans la gamme des fréquences vocales.

3. **Bande passante acoustique**

3.a.

Après élimination de entre les équations (M') et (E') on obtient :

Pour les fréquences vocales d'après le graphe de on constate bien que . On a alors :

3.b.

On a alors

3.c.

On en déduit que .

- Quand le terme dominant est celui en d'où d'où une pente de +2 unités par décade.
- Quand le terme dominant est celui en d'où d'où une pente de -2 unités par décade.
- Les asymptotes se coupent alors au point d'abscisse et d'ordonnée

On a alors le graphe suivant :

3.d.

Pour on a :

- si
- si

d'où le graphe :

3.e.

On a . On a donc compte tenu du fait que :

- si , et ont une pente de 2 unités par décade d'où une pente de +4 unités par décade pour .
- si , a une pente de -2 unités par décade et une pente de +2 unités par décade d'où une pente nulle pour .
- si , a une pente de -2 unités par décade et une pente nulle d'où une pente de -2 unités par décade pour .

D'où le graphe de :

On constate donc que pour la puissance acoustique est constante en fonction de la fréquence. C'est dans cette gamme de fréquence qu'il faudra utiliser le haut-parleur. Numériquement ceci correspond à l'intervalle 70-3300 Hz c'est-à-dire les fréquences vocales. On peut l'utiliser comme haut-parleur sur une ligne téléphonique.

Deuxième partie : étude d'une ligne téléphonique

1. **Ligne sans perte**

1.a.

En appliquant la loi des mailles et en se limitant aux termes d'ordre le plus bas on obtient : (1)

En appliquant la loi des noeuds et en se limitant aux termes d'ordre le plus bas on obtient : (2)

1.b.

À partir des deux équations ci-dessus on trouve et de même

On reconnaît deux équations de propagation du type équation de d'Alembert. Les solutions sont des ondes qui se propagent à la vitesse . Les solutions de ces équations sont du type : *i.e.* la superposition d'une onde se propageant vers les croissants et d'une onde se propageant vers les décroissants .

1.c.

est bien de la forme ci-dessus. À partir de l'équation (2) on obtient . Soit après intégration . La constante d'intégration étant choisie nulle puisque l'on ne s'intéresse qu'aux solutions qui se propagent et puisque les équations sont linéaires. Si l'on pose l'impédance caractéristique de la ligne , on a alors

1.d.

La ligne étant fermée sur un résistance Z_c . On a donc . Soit après simplification par : d'où

1.e.

Comme on ne veut pas d'onde réfléchi *i.e.* il faut que , d'où et .

A.N. : ;

2. **Ligne avec pertes**

2.a.

En tenant compte de pertes , les équations (1) et (2) deviennent : (3) et (4).

On a alors , soit : (équation des télégraphistes).

2.b.

En remplaçant par dans l'équation des télégraphistes on obtient, après simplification par : qui est bien de la forme demandée avec

2.c.

est donc de la forme . On ne s'intéresse donc qu'aux solutions qui se propagent. Le fait que dépende de la pulsation traduit le fait que le milieu de propagation est dispersif. Une solution générale sous forme d'ondes progressives est : *i.e.* de la somme d'une onde se propageant vers les décroissants et d'une onde se propageant vers les croissants. est donc lié à l'atténuation du signal au cours de sa propagation, tandis que est lié la vitesse de phase *i.e.* à la propagation de l'onde progressive sinusoïdale.

2.d.

On a donc d'où :

au second ordre, et donc : et .

2.e.

Par définition la vitesse de phase est : d'où : . On a donc une vitesse de phase qui dépend de la pulsation : le milieu est donc dispersif. Il y a donc déformation des signaux au cours de leur propagation dans la ligne. De plus la vitesse de phase dans la ligne avec perte est toujours plus petite que dans la ligne sans perte.

2.f.

On ne veut pas déformation du signal, donc la vitesse de phase doit être indépendant de la pulsation, *i.e.* d'où (condition de Heaviside). On a alors ; ; .

2.g.

D'après les données numériques relatives à une ligne aérienne on a : et : la condition de Heaviside n'est pas vérifiée. On a alors et à . La distance au bout de laquelle l'amplitude est divisée par est . A.N. . L'atténuation est importante si l'on veut se servir d'une telle ligne pour transporter des signaux sur de longues distances. Il est alors nécessaire d'amplifier le signal régulièrement. Elle reste acceptable sur de courtes distances (à l'intérieur d'une ville par exemple).

2.h.

La question ne précisant pas comment les bobines sont mises sur la ligne, la réponse à la question n'est pas possible. Après consultation d'ouvrages sur le sujet les bobines sont mises comme sur la figure ci-dessous :

La ligne n'est plus alors à constante répartie. Elle est alors équivalente au schéma ci-dessous :

La ligne se comporte alors comme un filtre passe-bas.

L'auteur du sujet voulait peut-être que l'on conclue que l'inductance de la ligne était augmentée artificiellement de . On se rapproche alors de la condition de Heaviside. La vitesse de phase est donc diminué et la distance d'atténuation augmenté