VIIA – Le haut-parleur

Objectifs :

- Analyser/Raisonner : Les différentes situations suivant les conditions opératoires.
- Réaliser : Deux capteurs de position.
- S'approprier : Utilisation d'un système ultra-sonore.
- Valider/Communiquer : Valider les modèles proposés sur le haut-parleur.

L'objectif de ce TP consiste à étudier les différentes caractéristiques d'un haut-parleur de puissance modérée. On confrontera notre modèle aux résultats expérimentaux en mesurant : l'inductance propre L et la résistance R de la bobine, le produit Bl (champ magnétique de l'aimant permanent, longueur du fil embobiné), la raideur k de la membrane, la masse m de l'équipage mobile…

Matériel à disposition :

- 1 Oscilloscope numérique Keysight avec câbles coaxiaux, et T…
- 1 interface Sysam-SP5 avec PC équipé de Latis-Pro.
- 1 GBF
- 1 alimentation RAD 88.
- 1 émetteur et 1 récepteur US montés sur potence et noix.
- 2 multimètres.
- Un jeu de masse de 10 à 100g (Possibilité de monter à 300g)
- Les différentes notices des appareils de mesure.
- 1 Support élévateur

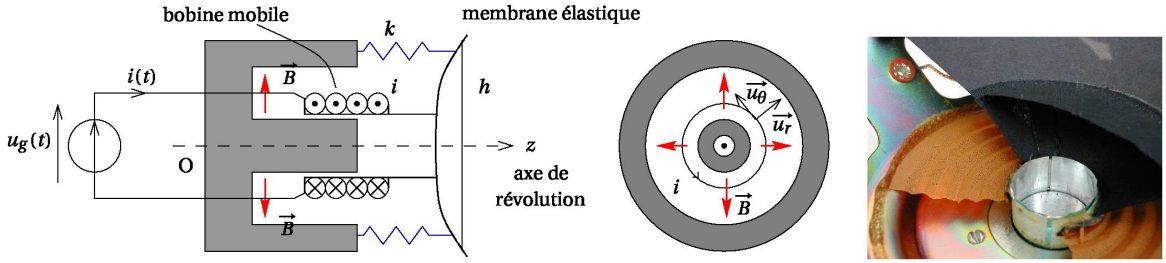
I – Présentation

I-1) Modèle du haut-parleur

Lorsque la bobine d'un haut-parleur est alimentée par une source de tension $u_g(t)$, elle est traversée par un courant i(t). La bobine parcourue par un courant i(t) plongé dans un champ magnétique B est donc soumise aux forces de Laplace : $\overrightarrow{F_l} = -Bli\,\overrightarrow{u_z}$ qui la met mouvement.

La mise en mouvement de l'ensemble équipage mobile {bobine + membrane} engendre une onde sonore par déplacement de l'air au voisinage de la membrane. C'est l'action de l'air sur la membrane qui est représentée par la force de frottement visqueux : $\overrightarrow{F_f} = -\lambda\,\vec{v}$.

Le circuit électrique qui constitue la bobine et qui est en mouvement $(\vec{v} = \frac{dz}{dt}\overrightarrow{u_z})$ dans un champ magnétique permanent $\vec{B}$ est le siège d'un phénomène d'induction ; une force électromotrice induite e(t) apparait.

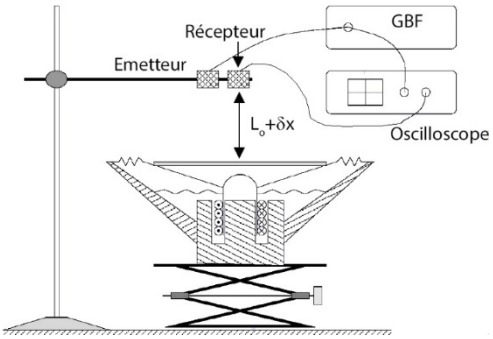


Un haut-parleur est un dispositif fonctionnant sur le principe d'un couplage électromagnétique : l'énergie électrique fournie par le générateur est transformée en énergie mécanique, puis en énergie sonore. Selon le modèle étudié, le comportement d'un haut-parleur électrodynamique est régi par deux équations électromagnétiques couplées :

$$Equation\ mécanique : m\frac{dv}{dt} + \lambda v + kz = -Bli \Leftrightarrow \frac{d^2z}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q}\frac{dz}{dt} + \omega_0^2 z = -\frac{Bli}{m}\ \text{où}\ Q = \frac{\sqrt{km}}{\lambda}$$

$$Equation\ électrique : L\frac{di}{dt} + Ri + e_{ind} = u(t)\ avec\ e_{ind} = -blv$$

II - Mesures



II-1) Mesure de k

Le haut-parleur est posé sur un support élévateur, pavillon vers le haut. Afin de mesurer précisément le déplacement de la membrane on utilise une paire Émetteur-Récepteur d'ultrasons à 40 kHz. L'émetteur (alimenté par le GBF en sinusoïdal à 40 kHz) émet une onde sonore harmonique, détectée par le récepteur. Notons c = 340 m/s la célérité de l'onde sonore. Lorsque le haut-parleur se déplace de δx les signaux de l'émetteur et du récepteur s'en trouve décalés dans le temps de :

$$\delta\tau = 2\frac{\delta x}{c}$$

Il s'agit de mesurer le déplacement δx de l'équipage mobile à l'équilibre lorsqu'on place une surcharge de masse m sur le haut-parleur. À l'équilibre, la force de rappel du ressort équivalent doit compenser le poids de la surcharge :

$$k\delta x = mg$$

- Mettre en œuvre le montage proposé dédié à la mesure du déplacement δx.
- Ajuster la fréquence du GBF autour de 40 kHz afin d'avoir un signal d'amplitude maximale au niveau du récepteur.
- Adapter la sensibilité horizontale et verticale de l'oscilloscope afin de maximiser la précision de vos mesures.
- Compléter le tableau suivant : on effectuera les mesures en deux séries. Entre les deux séries modifier la position du récepteur et la hauteur du support élévateur d'au moins une longueur d'onde.
- Donnez la valeur moyenne de k avec son incertitude.

m (g)	100	150	200		100	150	200
δt (s)							
δx (m)							
k (N/m)							

Q4) Quel nom de capteur peut-on donner au système ultra-sonore.

II-2) Mesures de Bl

Lorsque l'on dépose une surcharge m sur l'équipage mobile, celui-ci s'abaisse. L'idée est de faire circuler un courant continu I dans le haut-parleur qui va créer une force de Laplace proportionnelle à Bl. Cette force fait remonter l'équipage mobile jusqu'à la position initiale. À l'équilibre la force de Laplace compense le poids de la surcharge : $mg = IBl$ où $l = 2\pi aN$. On parle de méthode par compensation.

La mesure de l'intensité sera faite à l'aide d'un ampèremètre (calibre A/mA). On commencera par le calibre 10A puis si nécessaire on passera sur celui en mA.

La méthode de mesure est la même que précédemment

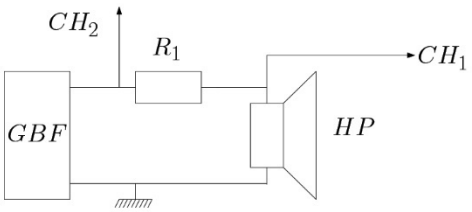
- Déposer successivement les masses proposées puis compenser à l'aide du courant adéquat. Vérifier que le courant tende à soulever la membrane, sinon inverser les branchements.
- Compléter le tableau suivant : couper le courant et retirer la masse dès que vous avez pris la mesure.

m (g)	100	150	200
I (A)			
Bl (Tm)			

- Calculer la moyenne Bl de ces 3 valeurs puis l'incertitude-type sur la mesure de Bl.

II-3) Mesures de R et L

Pour mesurer $\underline{Z_e}$, il faut utiliser un HP bloqué (dont la membrane ne bouge plus). Le montage donné par la figure permet de déterminer $\underline{Z_e}$ à l'aide de Latis-Pro ou du menu mathématiques de l'oscilloscope.



- Proposer un protocole permettant de déterminer R et L

Noter, que l'on peut mesurer $\underline{Z_e}$ sans bloquer la membrane, en veillant à ce que le signal envoyé au HP soit suffisamment faible pour que la membrane ne bouge pas.

II-4) Mesures de m et λ

a) Impédance motionnelle

L'impédance du haut-parleur, est par définition : $\underline{Z} = \frac{\underline{E}}{\underline{I}}$. Les équations mécanique et électrique, en représentation complexe, s'écrivent :

$$\begin{cases} \underline{E} = (R + jL\omega)\underline{I} - j\omega Bl\underline{z} \\ \underline{z}\left(-\omega^2 + \frac{j\omega\omega_0}{Q} + \omega_0^2\right) = -\frac{Bl}{m}\underline{I} \end{cases}$$

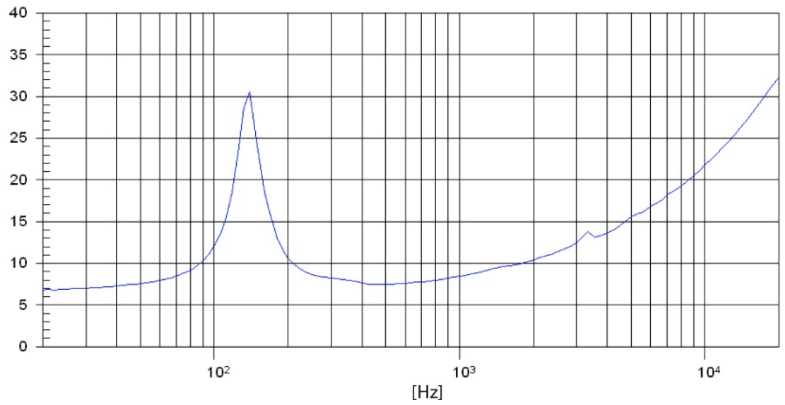
$$\Rightarrow \underline{E} = (R + jL\omega)\underline{I} + \frac{j\omega B^2 l^2}{m\left(-\omega^2 + \frac{j\omega\omega_0}{Q} + \omega_0^2\right)}\underline{I} \Rightarrow \underline{Z} = R + jL\omega + \frac{\frac{j\omega B^2 l^2}{m\omega_0^2}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + \frac{j\omega}{Q\omega_0}}$$

$$\Rightarrow \underline{Z} = R + jL\omega + \frac{\frac{j\omega B^2 l^2}{\lambda Q\omega_0}}{1 + \frac{j\omega}{Q\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \Rightarrow \underline{Z} = \underline{Z_e} + \underline{Z_m} \text{ où } \begin{cases} \underline{Z_e} = R + jL\omega \\ \underline{Z_m} = \frac{B^2 l^2}{\lambda}\frac{\frac{j\omega}{Q\omega_0}}{1 + \frac{j\omega}{Q\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \end{cases}$$

L'impédance du haut-parleur est donc la somme d'une impédance électrique $\underline{Z_e}$ et d'une impédance due au mouvement de la bobine, appelée impédance motionnelle $\underline{Z_m}$.

La figure (3), représente l'évolution de l'impédance d'un haut-parleur électromécanique (Beyma CM-6).

(Vous avez la notice de ce Haut-parleur sur le site pcjoffre.fr)



Cette courbe permet d'identifier certains paramètres électromécaniques du haut-parleur. En particulier :

- Le module de l'impédance tend en très basses fréquences vers la valeur de la résistance R.
- La pente de la courbe en hautes fréquences correspond à la valeur de l'inductance L
- La fréquence du pic de résonance correspond à la fréquence de résonance mécanique de l'équipage mobile c'est à dire à $f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$

En pratique, les constructeurs indiquent, dans les caractéristiques d'un haut-parleur, la valeur nominale de l'impédance, c'est à dire la valeur de l'impédance du haut-parleur pour des fréquences situées entre le pic de résonance et les hautes fréquences (l'impédance et alors quasiment constante). Le haut-parleur décrit ci-dessus a donc une impédance nominale de 8Ω.

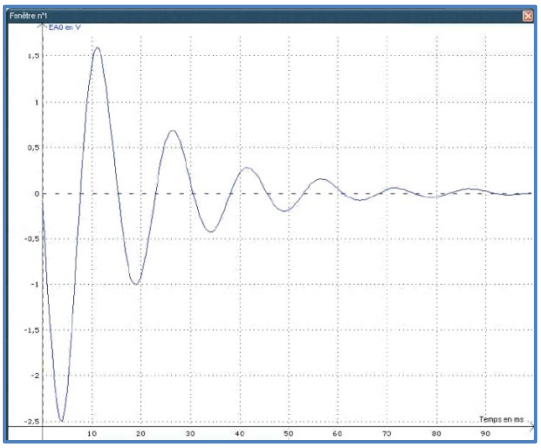
b) Mesures

Pour mesurer $|\underline{Z}|$, on utilise le montage précédent le HP étant débloqué.

- Proposer un protocole pour déterminer la réponse fréquentielle de l'impédance du HP, et plus précisément déterminer $|\underline{Z(f)}|$ en fonction de f.
- Représenter graphiquement $|\underline{Z(f)}|$.
- A partir du graphe obtenu déterminer :
  - La pulsation de résonance, en déduire la masse m de l'équipage.
  - La bande passante du pic de résonance Δf, en déduire le facteur de qualité Q ainsi que le coefficient de frottements λ.

II-5) Réponse indicielle

Lorsqu'on excite l'équipage mobile (par exemple en le frappant délicatement avec un stylo), il se met à osciller. Le mouvement pseudopériodique amorti peut-être relevé par l'intermédiaire de la force électromotrice induite qui apparait aux bornes de la bobine lors de son mouvement dans le champ magnétique de l'aimant.



- Démonter le dispositif de mesure précédent.
- Relier le haut-parleur à l'interface Sysam.
- Faire un premier test puis ensuite optimiser les réglages à l'aide d'une synchronisation.
- À l'aide des curseurs mesurer la pseudo-période du mouvement et le décrément logarithmique.
- En déduire la valeur des paramètres de l'oscillateur ω_0 et Q, puis la valeur de m et λ à l'aide de la valeur de k déterminée précédemment.

Remarque : Vous pouvez aussi utiliser le modèle « Sinus amorti » sous Latis-Pro.

Q5) Le décrément logarithmique est défini par : $\delta = Ln\left(\frac{x(t)}{x(t+T)}\right)$, démontrer que : $Q = \sqrt{\frac{\pi^2}{\delta^2} + \frac{1}{4}} \sim \frac{\pi}{\delta}\ si\ Q \gg 1$

III - Conclusion sur l'étude électrique et mécanique du HP

Rassemblez dans un tableau les différentes valeurs obtenues pour votre haut-parleur. Comparez-les aux valeurs « théoriques » de la fiche constructeur de votre haut-parleur (A trouver sur le net).

	$k\ (N\ m^{-1})$	$Bl\ (Tm)$	$Q_{méca}$	$\omega_{0,m}\ (s^{-1})$	$\Delta\omega\ (s^{-1})$	$m\ (g)$	$\lambda\ (kg\ s^{-1})$	$R(\Omega)$	$L\ (mH)$
Mesures									
Fiche technique									