

ETUDE D'UN HAUT PARLEUR

Le travail consiste à déterminer quatre des cinq paramètres caractérisant l'impédance d'un haut-parleur.
Problèmes de référence : Centrale MPI 25, E3A PSI 21, E3A MP 20, CCP TSI 20, CCP PC 20.

1. Préparation

1.1. Impédance complexe du haut-parleur

Un haut-parleur est un dipôle permettant la transduction d'un signal électrique en onde sonore ; cette transduction est réalisée par induction, et l'onde est émise par une membrane mobile.

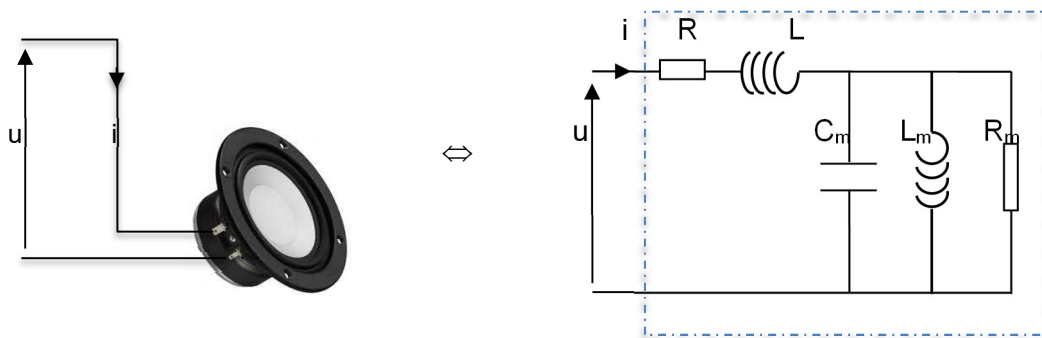
Le comportement d'un haut-parleur est décrit par 5 paramètres : R , résistance et L coefficient d'auto-inductance d'un bobinage solidaire de la membrane, R_m , C_m et L_m , caractérisant le couplage électro-mécanique.

En régime permanent sinusoïdal, l'impédance du bobinage s'exprime par :

$$\underline{Z} = R + jL\omega + \underline{Z}_m \text{ avec } \underline{Z}_m = \frac{1}{\frac{1}{R_m} + j\left(C_m\omega - \frac{1}{L_m\omega}\right)}$$

$\underline{Z}_m$ est appelée impédance mécanique du haut-parleur.

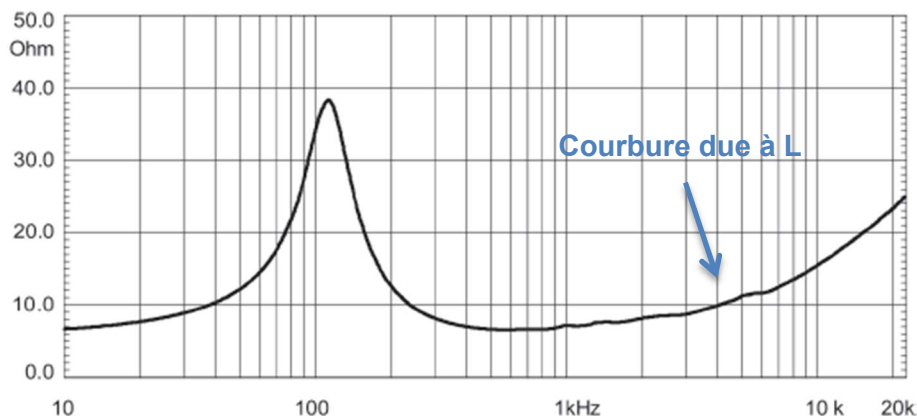
Le haut-parleur peut donc être modélisé par le circuit ci-contre :



1.2. Courbe d'impédance

On donne ci-dessous un exemple de courbe d'impédance $Z(f)$ pour un haut-parleur quelconque : on constate que l'influence de l'inductance L est faible : elle n'apparaît qu'après la résonance due à l'impédance mécanique (ici après 1 kHz environ). Nous ne la déterminerons pas.

Remarque : la courbe précédente est logarithmique (abscisse : $\log(f)$).



1.3. Questions

Q1. A l'aide du matériel fourni, élaborer un circuit et un protocole permettant de mesurer l'impédance $Z = |\underline{Z}|$ du haut-parleur en fonction de la fréquence (plusieurs possibilités !).

Q2. Quelle est la valeur limite de Z à basse fréquence ?

Q3. Calculer le module Z_m de $\underline{Z_m}$. Pour quelle pulsation est-il maximal ? Quelle est alors sa valeur $Z_{m_{max}}$?

Q4. Montrer que pour les pulsations ω_1 et ω_2 telles que $Z_m = \frac{Z_{m_{max}}}{\sqrt{2}}$, on a $R_m C_m = \frac{1}{|\omega_1 - \omega_2|}$.

2. Matériel

Vous disposez : d'un petit haut-parleur VISATON, d'une carte Sysam, d'un ordinateur avec LatisPro, Python et Excel, d'un GBF, de résistances, d'un oscilloscope, de multimètres Fluke (bande passante de 20 kHz), du fichier TP_HautParleurElevés.py.

3. Manipulations et compte-rendu

Mettre en œuvre le protocole proposé, réaliser un tableau Excel des valeurs $Z(f)$ dans la gamme de fréquences $0 \leq f \leq 1$ kHz, et tracer la courbe $Z(f)$.

Calculer les paramètres du haut-parleur en s'aidant de la préparation.

Valider à l'aide du script Python (à compléter), ou d'un tracé sous Excel.

Le compte-rendu devra faire apparaître dans l'ordre :

- les réponses aux questions de préparation.
- Les mesures effectuées (manuscrites ou copie d'un tableau Excel), en prenant garde aux chiffres significatifs et aux unités.
- La courbe $Z(f)$ et un commentaire.
- Les calculs des paramètres du haut-parleur. Les résultats doivent être mis en évidence.

4. Réponse indicielle (pour 5/2)

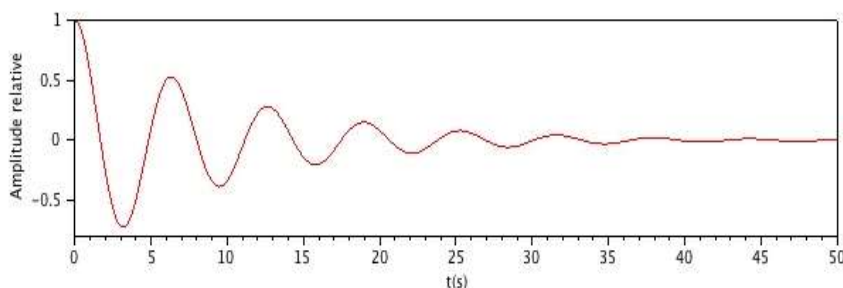
Lorsque le haut-parleur est utilisé en sortie ouverte (par exemple simplement branché sur un oscilloscope, sans aucun générateur), on a $i = 0$: R et L n'interviennent pas.

L'équation différentielle vérifiée par $u(t)$ est alors celle d'un oscillateur harmonique amorti :

$$\frac{d^2 u(t)}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{du(t)}{dt} + \omega_0^2 u(t) = 0 \text{ avec } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_m C_m}} ; Q = R_m \sqrt{\frac{C_m}{L_m}}$$

Pour $Q > 1/2$ (amortissement faible pour les HP en général), le régime est pseudo-périodique :

$$u(t) = e^{-\frac{\omega_0}{2Q}t} (A \cos(\Omega t) + B \sin(\Omega t)) \text{ avec } \Omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}} \text{ pseudopulsation}$$



Allure du régime pseudo-périodique : le nombre d'oscillations donne une estimation de Q (ici $Q \approx 5$)

A et B sont déterminés par les conditions initiales. Ce régime libre peut être excité par une impulsion mécanique sur la membrane, donnée avec un crayon par exemple.

Acquérir la courbe $u(t)$ en régime indicial avec Latis-Pro, et en déduire trois des paramètres du haut-parleur.