

## TD2 Haut-parleur Électrodynamique à Bobine Mobile

### Principe physique

Les **haut-parleurs électrodynamiques à bobine mobile** sont des transducteurs fonctionnant en source. On fabrique un haut-parleur électrodynamique en utilisant un champ magnétique dans une bobine. Le dispositif est présenté dans la figure suivante :

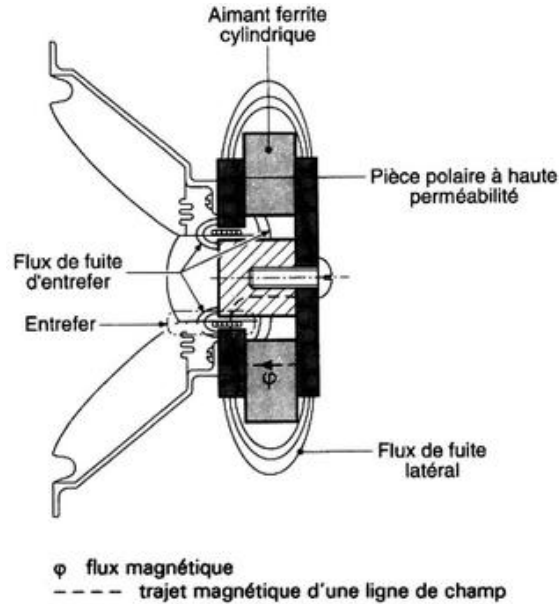


Figure 1 – Coupe transversale montrant la disposition classique du circuit magnétique d'un haut-parleur à bobine mobile (Image Jacques JOUHANEAU).

Une bobine mobile constituée de  $N$  spires circulaires de longueur  $L$  (longueur totale  $l = NL$ ), placée dans l'entrefer d'un aimant permanent subit une *force de Laplace*  $\vec{F}_L$  perpendiculaire aux lignes de champ quand elle est traversée par un courant  $i$  :

$$\vec{F}_L = l \cdot \vec{i} \wedge \vec{B}$$

Sous l'action de cette force, la bobine se déplace en coupant les lignes de flux à la vitesse  $\vec{v}$ , d'où génération d'une *force électromotrice* (f.e.m) induite :

$$e = l \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$$

Cette f.e.m s'oppose au courant qui lui a donné naissance (*loi de Lenz*). Elle diffère de la tension  $u(t)$  de sortie de l'amplificateur qui alimente le haut-parleur.

Du point de vue mécanique, la *membrane* du haut-parleur est fixée solidaire à la bobine mobile (*équipage mobile*). La liaison avec le châssis et le rappel vers la position d'équilibre est assurée par le spider (toile près du centre) et sur le pourtour par une suspension périphérique. Il en résulte une force élastique  $\vec{F}_r$  modélisée par un ressort de raideur  $k$  :

$$\vec{F}_r = -kz\vec{u}_z$$

Enfin, les frottements sont modélisés par une force  $\vec{F}_{fr} = -m\Gamma \frac{dz}{dt} \vec{u}_z$ , avec  $m$  la masse de l'équipage mobile et  $\Gamma$  le facteur d'amortissement par unité de masse ( $s^{-1}$ ).

## Questions

1. Donner le schéma électrique équivalent du système.
2. Établir les équations différentielles (électrique et mécanique) caractérisant le système.
3. On admet des solutions en régime harmonique. Donner les expressions des équations sous forme complexe. Préciser les impédances électrique  $Z_e$  et mécanique  $Z_m$  du système.
4. En déduire l'impédance électrique libre du système  $Z_e^*(\omega) = \frac{u}{i}$ .
5. Cette impédance  $Z_e^*(\omega)$  correspond à la mise en série de deux impédances : l'impédance électrique et l'impédance motionnelle. Préciser l'expression de cette dernière.
6. Montrer que l'admittance motionnelle peut s'écrire sous la forme :

$$Y(\omega) = j\omega C_m + \frac{1}{j\omega L_m} + \frac{1}{R_m}$$

en fonction de  $l$ ,  $B$ ,  $k$ ,  $m$  et  $\alpha$ .

7. Proposer un schéma électrique équivalent de l'impédance  $Z_e^*(\omega)$ .
8. Établir l'expression cartésienne de l'impédance du haut-parleur composée d'une partie réelle  $R_T$  et d'une partie imaginaire  $X_T$ .
9. **Application numérique :** Le circuit magnétique est uniforme ( $B = 1,05$  T) dans l'entrefer. La longueur totale du bobinage vaut  $l = 3,81$  m et la masse de l'équipage mobile vaut  $m = 4$  g. On donne :
  - coefficient de raideur :  $k = 1250$  N.m<sup>-1</sup>.
  - coefficient de frottement :  $\alpha = m\Gamma = 1$  kg.s<sup>-1</sup>.
  - (a) Que valent  $C_m$ ,  $L_m$  et  $R_m$  ?
  - (b) Montrer que la fréquence de résonance de la courbe  $R_T(\omega)$  vaut  $f_0 = 89$  Hz avec  $R = 8 \Omega$ .