

Aspects électriques :

Comme nous allons être amenés à introduire d'autres paramètres, il convient de renommer les valeurs précédemment rencontrées avec les oscillateurs mécaniques. Les grandeurs **M**, **R** et **C** seront donc désormais notées **M_{ms}**, **R_{ms}** et **C_{ms}**, avec "m" pour "mécanique" et disons "s" pour système, ce qui fera un bon moyen mnémotique.

En ce qui concerne le modèle mécanique précédemment développé, la force permettant de déplacer le système amorti du haut-parleur est (pour simplifier et en première approximation) proportionnelle au courant "**I(t)**" parcourant la portion de fil "**l**" plongée dans le champ magnétique "**B**".

$$F(t) = B l I(t)$$

B en T
l en m
I en A

Notons bien qu'il ne s'agit que de la portion de fil en immersion dans le champ magnétique, pas de la totalité du fil de la bobine.

Soit donc le bilan mécanique :

$$M_{ms} \ddot{x} = B l I(t) - R_{ms} \dot{x} - \frac{x}{C_{ms}}$$

Il faut également faire le bilan de ce qui se passe électriquement. En première approximation, la bobine présente une résistance électrique **R_e** et une composante selfique **L_e**. Cette dernière sera pour le moment négligée en limitant le domaine d'étude aux basses fréquences où la composante selfique est négligeable.

Notons ici le difficile exercice intellectuel à venir qui consiste à ne pas mettre sur un même plan, ni confondre **R_e**, résistance électrique et **R_{ms}**, coefficient d'amortissement. Ils ne sont pas apparentés et s'expriment dans des unités totalement différentes.

Mis à part le déplacement de la bobine sous l'action du courant et du champ, le phénomène des plus importants pour le haut-parleur est la génération d'une tension due au déplacement de la bobine conductrice dans le champ magnétique:

$$U_{cem}(t) = B l \dot{x}$$

Cette tension est proportionnelle au facteur de force Bl et à la vitesse de déplacement. La force qui en résulte s'oppose au mouvement et peut-être considérée comme le contraire de la force motrice dont nous avons besoin pour exciter le système. C'est une force contre-électromotrice (abréviation "c.e.m.") et au lieu donc d'être utilisé comme un moteur, le haut-parleur devient un générateur qui s'oppose au mouvement de la membrane exactement comme un micro.

Le courant total parcourant la bobine de résistance R_e est donc

$$I_{total}(t) = I(t) + I_{cem}(t) = \frac{U(t)}{R_e} + \frac{Bl \dot{x}}{R_e}$$

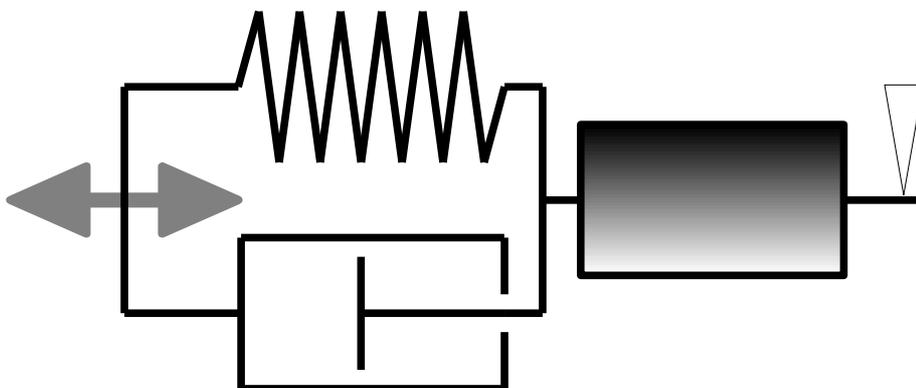
R_e en Ohm

Soit donc le bilan global des forces en multipliant I_{total} par Bl :

$$M_{ms} \ddot{x} = \frac{Bl}{R_e} U(t) - \frac{B^2 l^2}{R_e} \dot{x} - R_{ms} \dot{x} - \frac{x}{C_{ms}}$$

Où l'on voit que la force contre-électromotrice qui est dépendante de la vitesse de la membrane, implique un terme amortissant égal à $\frac{B^2 l^2}{R_e}$ que divise R_e . Ce terme se trouve être en parallèle avec l'amortissement mécanique de la membrane R_{ms} .

D'où le système suivant, approximation pour les fréquences basses du haut-parleur. C'est le même que pour un oscillateur amorti entretenu, mais avec une composante d'amortissement dissociée :



Dans ce système, l'amortissement total est déterminé par la somme de l'amortissement électrique et de l'amortissement mécanique. Soit donc :

$$R_{total} = R_{ms} + \frac{B^2 l^2}{R_e} = R_{ms} + R_{es}$$

R_{ms} détermine le facteur de qualité mécanique Q_{ms} comme déjà vu avec les oscillateurs et le second terme R_{es} détermine un nouveau facteur de qualité lié aux aspects électriques que l'on note Q_{es} . Disons pour se le remémorer que le "e" est pour "électrique" et "s" pour "système".

Nous voyons que R_{es} ne s'écrit pas en rouge: Il peut être déterminé à partir d'éléments considérés comme plus fondamentaux: B , l et R_e

Si l'on s'intéresse au facteur de qualité électrique, il peut se déterminer en enlevant l'amortissement mécanique du bilan des forces. On trouve:

$$Q_{es} = \frac{R_e}{B^2 l^2} \sqrt{\frac{M_{ms}}{C_{ms}}}$$

Comme le facteur de qualité est fonction de l'inverse de l'amortissement, pour trouver l'inverse du facteur de qualité total Q_{ts} , il faut additionner l'inverse des facteurs de qualité. Ou autrement dit, le facteur de qualité total s'exprime comme l'inverse de la somme des inverses des deux facteurs de qualité mécanique Q_{ms} et électrique Q_{es} . Soit :

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} \cdot Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}} = \frac{1}{R_{ms} + \frac{B^2 l^2}{R_e}} \cdot \sqrt{\frac{M_{ms}}{C_{ms}}}$$

Nous retrouvons donc ici le même comportement que celui trouvé au chapitre des oscillateurs. La seule différence est que le terme d'amortissement est la résultante de deux termes. On voit bien que pour l'amortissement aux basses fréquences vient se rajouter à l'amortissement mécanique un terme électromagnétique, résultat d'une relation où interviennent flux du champ magnétique, longueur du fil plongé dans le flux et résistance de ce fil. Soit grossièrement, uniquement de l'aimant, des plaques de champs et de la bobine.

On peut dire aussi ici que dans la réalité, l'amortissement purement mécanique R_{ms} est généralement très faible, il vient souvent des propriétés viscoélastiques des matériaux utilisés dans le spider et les suspensions du haut-parleur car il n'est pas facile d'introduire dans celui-ci un amortisseur mécanique dédié, cela implique donc un Q_{ms} généralement

très fort et, dans une grande majorité des cas, il est souvent compris entre 2 et 10. Néanmoins, pour certains haut-parleurs l'usage de ferro-fluide dans l'entrefer permet d'augmenter le terme assimilable à un amortissement mécanique, donc de permettre des facteurs de qualité beaucoup plus faibles.

L'amortissement total est donc principalement contrôlé par le Q_{es} qui est usuellement de 0.2 à 0.8. Pour les constructeurs, cela revient à contrôler l'amortissement par les paramètres B , I et R_e qui sont en réalité des paramètres géométriques bien plus faciles à maîtriser par l'ingénierie mais aussi bien plus faciles à reproduire lors de la fabrication et de moindre coûts que la réalisation d'un mécanisme particulier pour introduire mécaniquement un amortissement .

En contrepartie d'un Q_{es} faible, le système global sera plus sensible aux apports de termes résistifs dans le circuit, par exemple des résistances introduites par les câbles, le filtrage ou l'amplificateur. Car dans la réalité, le haut-parleur, l'amplificateur, les filtres, les câbles et tutti quanti constituent un tout et il faut en réalité rajouter à R_e bien d'autres résistances électriques.

Bibliographie

[1] Le haut-parleur: Manipulations et mesures électro-acoustiques. Par J. d'Appolito aux éditions Publitrone/Elector ISBN 286661114-4

[2] Enceintes acoustiques et haut-parleurs. Par V. Dickasson aux éditions Publitrone/Elector ISBN 286661073-3

[3] Traité d'Électricité Volume XXI / Electroacoustique. Par M.Rossi. Presse Polytechnique Romande

[4] R. H. Small, "Direct Radiator Loudspeaker System Analysis", *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 20, No. 6, 1972.

... et d'autres bribes glanées sur la toile sans conservation du lien ...