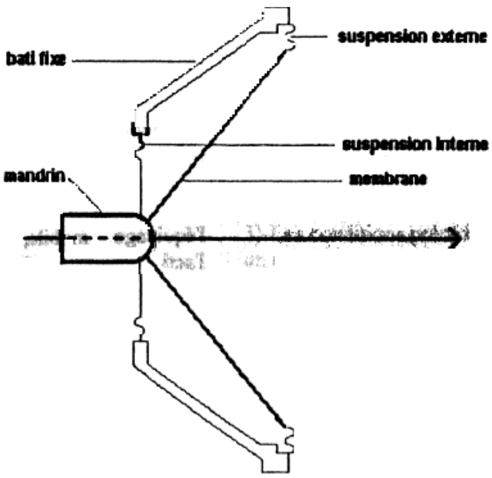
fonctionnement d'un Haut-Parleur

Un haut parleur a pour fonction de transformer un signal électrique en signal acoustique. Le but de ce problème est de faire une étude simplifiée des différentes parties de cette transformation, en adoptant des modélisations.
On étudiera tout d'abord le fonctionnement de la partie mécanique, puis on s'intéressera à la relation électrique - mécanique, avant d'aborder l'étude de la puissance acoustique.

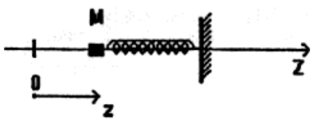


<u>A- Etude mécanique:</u>
La partie mécanique d'un haut-parleur est constituée d'une membrane mobile en forme de cône, solidaire d'un mandrin cylindrique sur lequel sera enroulé le fil du bobinage. L'ensemble est maintenu en place par des suspensions élastiques, externe et interne, qui jouent à la fois un rôle:
- de guidage limitant le mouvement de l'équipage mobile à une translation le long de l'axe Oz;
- de ressort maintenant le système dans une position d'équilibre stable.

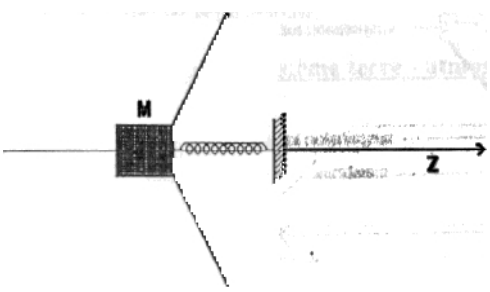
Dans tout le problème, on n'envisagera que des déplacements horizontaux de cette membrane, et on ne tiendra pas compte du rôle joué par le poids de l'équipage mobile.

1-Oscillations libres
La partie mobile peut, en première approximation, être représentée par une masse m, assimilable à un point matériel M, mobile sans frottement sur une tige horizontale Oz. Elle est rappelée dans sa position d'équilibre (le point O) par un ressort de masse négligeable, de raideur k, pouvant travailler en compression comme en extension. On repère la position du point M par son abscisse z sur l'axe Oz.

A-1-1)- On écarte M de sa position d'équilibre et on le lâche à l'instant t = 0, sans vitesse initiale, à l'abscisse z_0.



a) Écrire l'équation différentielle du mouvement de M.
b) En déduire (expression de la pulsation w0 et de la période To du mouvement.
c)- On donne m = 8g et k=1536 N.m^{-1}. Déterminer les valeurs de T_0 et de la fréquence N_0 des oscillations



Le modèle précédent constitue une approximation assez grossière de la réalité: la forme du solide (la membrane) est conçue pour interagir avec l'atmosphère ambiante afin d'en mettre les molécules en mouvement pour émettre un son. Pour affiner le modèle précédent, on considèrera que M est le centre d'inertie de l'équipage mobile, et que l'action de l'air ambiant sur la membrane se résume à une force que l'on écrira: $\vec{F} = -f.\vec{v}$ avec f>0.
$\vec{v}$ est la vitesse de M, f est considéré comme constant.

a)- Ecrire la nouvelle équation différentielle du mouvement.
b)- Déterminer, en fonction de k et m, la valeur f_c à donner à f pour que le système fonctionne en régime critique. Donner la valeur numérique de fc.

c)- Ecrire l'équation différentielle du mouvement m fonction de ω_0 et de $\alpha = \dfrac{f}{f_c}$.

d)- L masse M étant abandonnée sans vitesse initiale en z_0 à l'instant t = 0, donner sans résoudre l'équation différentielle, l'allure des graphes x = f(t) lorsque α est supérieur, inférieur ou égal à 1.

A-1-3)- On se place maintenant dans le cas où a est inférieur à 1
a)- M étant abandonné en zo sans vitesse initiale, déterminer l'expression de la pseudo-période T en fonction de To et de α.
b)- Calculer la valeur numérique de T, puis de $\dfrac{T - T_0}{T_0}$ pour α=0,1. Quelle conclusion en tirez vous?

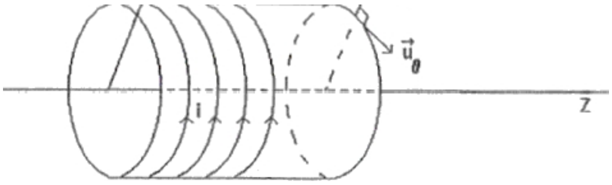
c)- Lorque α est nettement inférieur à 1, on peut considérer que pendant une période, l'oscillation est quasi sinusoïdale et de période T_0 : 0n peut alors la décrire par l'équation: $z = a.\cos(\omega_0 t + \varphi)$.

Exprimer l'énergie E de cet oscillateur en fonction de k et a, puis en fonction de m, ω_0 et α.
Calculer la valeur du travail W de la force de frottement mis en jeu air cours de la période en fonction de m, α, ω_0 et α.

En déduire l'expression du rapport $Q = -2\pi \dfrac{E}{W}$ en fonction de α, puis en fonction de m, f et ω_0.

Quel nom donne-t-on habituellement à Q ?

2. Oscillations forcées



Sur le mandrin cylindrique de l'équipage mobile, on enroule sous forme de spires jointives une longueur l de fil conducteur, et l'ensemble du cylindre est plongé dans un champ magnétique radial de norme constante B: $\vec{B} = B.\overrightarrow{u_r}$.

A- Il- l)- Déterminer l'expression de la force magnétique exercée sur l'enroulement lorsque ce dernier est parcouru par le courant i. On considérera que le courant positif circule dans le sens opposé au vecteur orthoradial $\overrightarrow{u_\theta}$ et on notera sur un croquis clair le sens de la force exercée sur un courant positif.

On impose, dans l'enroulement, un courant sinusoïdal de la forme $i(t)=I_0 \cos\omega t$.
Ecrire la nouvelle équation différentielle du mouvement de M , en fonction de ω_0, α, i, B, l et m.
Quelle est la signification physique de la solution de l'équation sans second membre ?
Qu'appelle-t-on régime forcé ?

On cherche, en régime forcé, une solution de la forme: $z = a.\cos(\omega_0 t + \varphi)$. Pour cela, on pose :

$\bar{i} = I_0\ e^{j\omega t}$ et $\bar{z} = a\ e^{j(\omega t+\varphi)}$

Déterminer a et φ en fonction de I_0, ω, ω_0, α, m, B et l.

Tracer l'allure de la courbe $\frac{a}{I_0} = f(\omega)$ dans les deux cas suivants: $\alpha<<1$ et $\alpha>>1$. On fera apparaître si possible la grandeur Q sur le graphique

B- Etude énergétique

Bilan électro-mécanique

La bobine du haut parleur, qui a une résistance r et une inductance propre L, est alimentée par une tension u quelconque.

B- 1- 1)- L'équipage mobile étant animé d'une vitesse $\vec{v} = v.\overrightarrow{u_z}$. Calculer la valeur du champ électromoteur en tout point de l'enroulement. En déduire la f.e.m. d'induction aux bornes de la bobine.
B-1- 2)- Ecrire l'équation des mailles relative au circuit de l'enroulement
B 8- 3) En combinant cette équation à l'équation mécanique établie précédemment, déterminer l'expression du produit $u.i$.
Montrer qu'il se met sous la forme d'une somme de cinq termes dont on donnera les significations.

Puissance acoustique;
Pour faire un bilan de puissance du fonctionnement du haut-parleur- le constructeur effectue des mesures électriques et acoustiques
La puissance acoustique est mesurée à l'aide d'un sonomètre dans les conditions suivantes :
-Le haut-parleur eau monté sur un baffle: on peut alors considérer qu'il rayonne de façon isotrope dans le demi espace face au haut-parleur.
-Le sonomètre est placé à 1 mètre du haut-parleur: on peut alors considérer que la source est quasi ponctuelle.
Le haut parleur est alimenté par une tension sinusoïdale de fréquence variable, et de valeur efficace U constante. L'intensité sonore est mesurée en décibels.

$I_{dB} = 10\ \log\frac{I}{I_0}$, I représente l'intensité acoustique mesurée et I_0 l'intensité acoustique de référence. $I_0=10^{-12}$ W.m^{-2}.

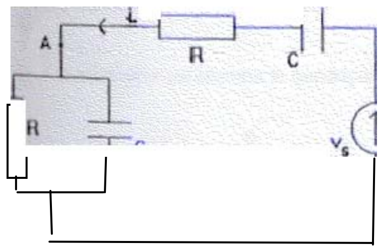
Les résultats expérimentaux obtenus sont les suivants:

Fréquence (Hz)	Puissance Electrique (W)	Intensité acoustique (dB)
60	0.196	89
200	0.847	99

Calculer la valeur de l'intensité acoustique en W.m^{-2} pour les deux fréquences données.
En déduire, pour ces deux fréquence, la puissance acoustique P_a émise par le haut-parleur, et son rendement acoustique.
Que devient la puissance électrique non transformée en puissance acoustique ?

Alimentation du haut-parleur:
Pour réaliser l'étude expérimentale précédente, on alimente le haut parler par une tension sinusoïdale de fréquence variable. On se propose d'étudier le fonctionnement d'une telle alimentation.

On considère le circuit représenté ci-contre; v_s est une tension de forme quelconque, fournie par une source supposée parfaite. On désigne par i le courant qui circule dans l'assoriation R-C série, et par v_e la tension V_A-V_B.



Etablir la relation qui existe entre i, v_e et $\frac{dv_e}{dt}$.

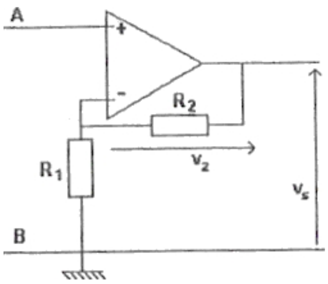
En utilisant la relation établie précédemment, établir l'équation différentielle du second ordre en $v_e(t)$.

Le générateur de tension v_s est en fait une source commandée par v_e de telle façon que l'on ait: V_s=G.V_e où G est une constante.

Ecrire l'équation différentielle vérifiée par v_e. Pour quelle valeur de G cette équation admet-elle une solution sinusoïdale ?

Donner l'expresion de la pulsation , puis de la fréquence de cette solution.

Calculer la valeur de la fréquence de l'oscillation pour: C=100 nF; R=4,7kΩ. On admet que, lorsque les conditions précédentes sont réalisées, il y a oscillation spontanée du circuit à la suite des transitoires consécutifs à la mise sous tension.



3)-Les conditions précédentes sont assurées par un amplificateur de tension dont l'entrée d'impédance infinie est branchée en AB; la sortie, d'impédance nulle, constitue la source de tension vs. L'amplificateur est réalisé suivant le schéma ci-contre par un amplificateur opérationnel supposé parfait, qui fonctionne de façon linéaire dans le domaine:

$-14V<v_s<14V$. On donne R_1=55kΩ

Quelle doit être la valeur de R_2?

Que se passe-t-il si accidentellement, G devient légèrement inférieur, puis supérieur à la valeur trouvée plus haut?

Pour stabiliser l'oscillateur, on remplace la résistance R_2 par une varistance VDR, dont la résistance diminue lorsque la différence de potentiel v_2 à ses bornes augmente. Les couples de valeurs numériques caractérisant la V.D.R sont regroupés dans le tableau ci-dessous:

R en kΩ	238	185	150	126	106	90	74	51	37
V_2 enV	4	5	6	7	8	9	10	12	14

a)- Déterminer l'expression de v_s en fonction de G et de v_2.

b)- En déduire les valeurs numériques de G et de v_s pour les différentes valeurs numériques de v_2 données.

c)- Tracer la courbe G(v_s). En déduire la valeur de l'amplitude de l'oscillation fournie par la montage; montrer que le système est bien stabilisé par la présence de la V.D.R

Un tel montage constitue seulement le point de départ d'une alimentation pour haut-parleur: il faut bien entendu insérer un amplificateur de puissance entre le circuit oscillant et le haut-parleur.