

Etude d'un haut-parleur

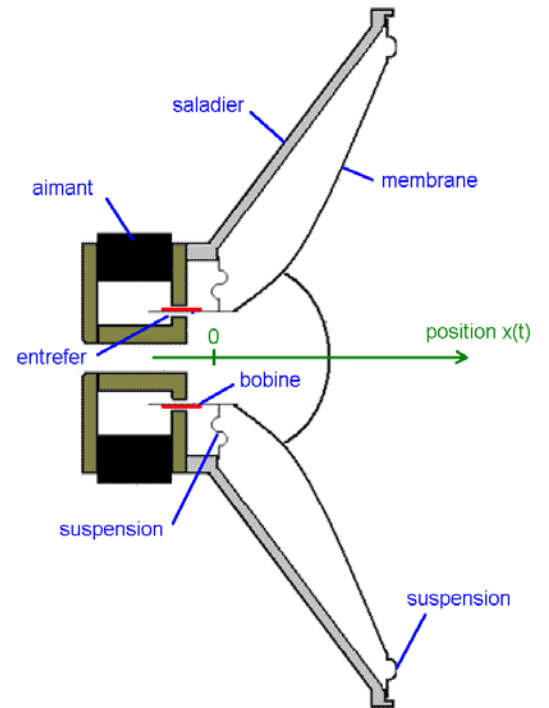
Le haut-parleur électrodynamique, dont l'invention remonte à plus de cent ans, n'a pas évolué dans son principe.

Il a été amélioré d'année en année par l'utilisation de nouvelles matières et par une conception plus judicieuse de la forme de ses éléments.

L'équipage mobile se compose d'une membrane conique solidaire d'une bobine cylindrique qui lui communique son mouvement.

La bobine mobile est placée dans le champ magnétique existant dans l'entrefer annulaire d'un aimant permanent.

Pour maintenir l'équipage mobile et créer une force de rappel, l'ensemble membrane + bobine est relié au saladier par deux suspensions souples situées l'une à la base du cône, l'autre au sommet.

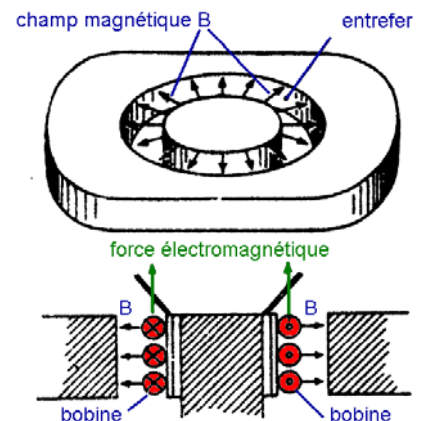


Lorsque la bobine placée dans un champ magnétique est parcourue par un courant i , elle est soumise à une force électromagnétique f qui fait varier sa position $x(t)$.

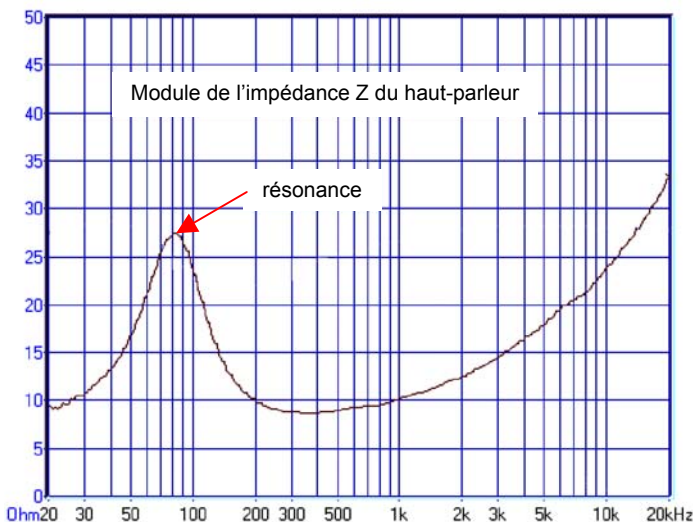
Cette force f a pour expression : $f(t) = Bli(t)$

avec :

- B : induction magnétique dans l'entrefer (en Tesla)
- l : longueur du fil constituant la bobine (en mètres)
- i : intensité du courant dans la bobine (en ampères)
- f : force électromagnétique (en Newton)



On montre que l'impédance complexe $Z(j\omega)$ du haut-parleur s'écrit : $Z(j\omega) = R + jL\omega + Z_m$



Z_m est liée au mouvement de la membrane

Z_m s'appelle : **impédance motionnelle** (du latin motere = bouger)

Z_m présente une résonance aux basses fréquences

la résistance R existe à toutes les fréquences

aux fréquences élevées, $Z(j\omega)$ augmente à cause de l'inductance $L\omega$

Activité 1 : mouvement de la membrane

A l'aide d'un GBF, appliquer une tension sinusoïdale de fréquence $f = 1 \text{ Hz}$ et observer les variations de la position $x(t)$ de la membrane. Estimer l'amplitude maximale X_{\max} de ce mouvement.

Activité 2 : effet microphonique

A cause de son déplacement dans un champ magnétique, il apparaît dans la bobine une **tension $e(t)$** ou **force contre-électromotrice** induite (loi de Lenz) qui a pour expression :

$$e(t) = Blv(t) \quad \text{où } v \text{ est la vitesse de déplacement de la membrane en m/s}$$

Cette tension traduit les vibrations de la membrane, elle est utilisée si on utilise le haut-parleur en microphone.

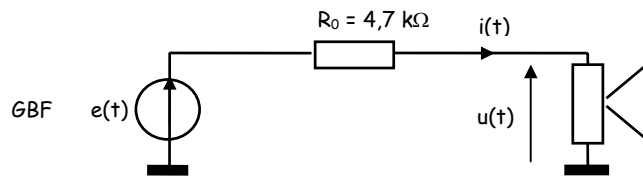
Relier le haut-parleur à un oscilloscope et observer le signal $e(t)$ obtenu lorsqu'on tapote **légèrement** la membrane. Relever un oscillogramme de $e(t)$. Est-il possible de relever une tension $e(t)$ si on parle simplement devant la membrane ? que faudrait-il changer, à votre avis, pour obtenir un bon microphone fonctionnant sur ce principe ?

Activité 3 : résistance R du haut-parleur

Mesurer à l'ohmmètre la résistance R de la bobine en continu et la comparer à la valeur donnée par le fabricant.

Activité 4 : inductance L de la bobine

Réaliser le montage suivant :



NB : $e(t)$ et $u(t)$ sont visualisées à l'oscilloscope

Sachant que l'impédance du haut-parleur reste toujours inférieure à 40 ohms, on pourra donc négliger son impédance dans ce circuit et utiliser les résultats suivants :

- le courant est constant $I \approx E/R_0 = I_0$
- la tension $e(t)$ est en phase avec le courant $i(t)$
- la tension $U = Z \cdot I_0$ aux bornes du haut-parleur varie comme l'impédance Z du haut-parleur

A $f = 10 \text{ kHz}$, mesurer les valeurs efficaces E de $e(t)$ et U de $u(t)$ et calculer la valeur efficace I_0 du courant $i(t)$. En déduire la valeur du module Z de l'impédance du haut-parleur cette fréquence puis une détermination de son inductance L_1 .

Refaire une mesure à $f = 20 \text{ kHz}$ et en déduire une deuxième détermination de son inductance L_2 .

Conclure en faisant une moyenne des 2 valeurs d'inductance trouvées. Comparer cette valeur à la donnée constructeur.

Activité 5 : fréquence de résonance du haut-parleur

On appelle m (en g ou kg) la masse de l'équipage mobile et k (en N/m) la raideur de la suspension.

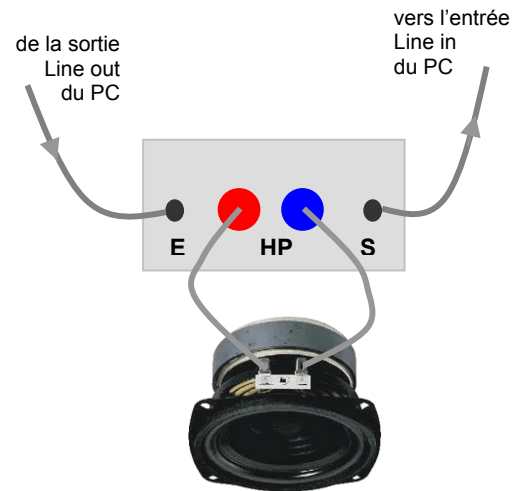
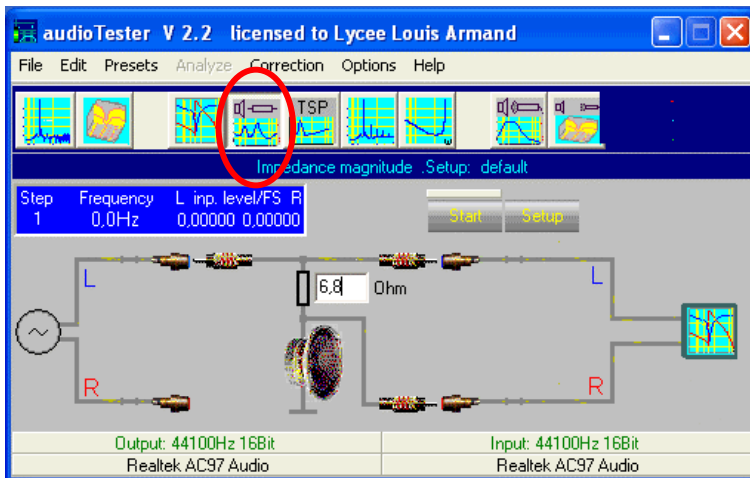
On montre que la résonance de l'impédance motionnelle se produit à la fréquence f_0 telle que : $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$

A cette fréquence f_0 , l'impédance et donc aussi la tension $u(t)$ passent par un maximum. Chercher à l'oscilloscope ce maximum et déterminer la valeur de f_0 . Comparer à la donnée constructeur.

NB : pour une mesure plus précise de f_0 , on pourra utiliser le fait qu'à la résonance $u(t)$ et $e(t)$ sont en phase, l'ellipse qui s'affiche sur l'oscilloscope en mode XY se réduit donc à un segment de droite.

Activité 6 : courbe d'impédance du haut-parleur

Le logiciel Audiotester permet de relever de manière automatique la courbe du module de l'impédance $|Z(j\omega)|$ en fonction de la fréquence grâce au boîtier adaptateur fourni.



Réaliser le montage, entrer dans Audiotester la bonne valeur pour la résistance en série avec le haut-parleur (6,8 Ω) et relever une première courbe d'impédance avec une résistance connue $R_c = 10 \Omega$ à la place du haut-parleur. Dans quelle plage de fréquence l'erreur sur l'impédance est-elle inférieure à 1 Ω ?

Remplacer la résistance R_c par le haut-parleur et relever sa courbe d'impédance.

Retrouver sur cette courbe :

- la résistance en continu R
- la fréquence de résonance f_0
- le module de l'impédance $|Z(j\omega)|$ à 10 kHz et 20 kHz

Comparer avec les valeurs mesurées précédemment.

Activité 7 : masse de l'équipage mobile

Placer une pièce de 10 centimes de masse $m' = 2,995g$ sur la membrane et relever la nouvelle courbe d'impédance. En déduire la nouvelle fréquence de résonance f'_0 .

Expliquer pourquoi elle a été déplacée vers les fréquences graves.

A partir des valeurs de f_0 et f'_0 , calculer les valeurs de k et m . Comparer aux données du fabricant.

Activité 8 : conclusions

Observer les courbes d'impédance et de niveau sonore émis données en Annexe :

- la courbe de réponse d'un HP descend-elle en-dessous de sa fréquence de résonance ?
- comment doit être la fréquence de résonance d'un haut-parleur destiné à reproduire les fréquences graves ?
- un bon haut-parleur pour « graves » doit-il avoir une suspension souple (k faible) ou rigide (k élevé) ?
- quel défaut présente la courbe de réponse du haut-parleur aux fréquences aiguës ?
- comment pourrait-on faire pour éviter que le haut-parleur ne soit utilisé dans cette zone ?
- un haut-parleur « graves » a une fréquence de résonance entre 30 et 50 Hz, un « médium » vers 150-200 Hz et un « tweeter » vers 1000-2000 Hz : quelles seront les plages de fréquences reproduites par ces haut-parleurs ?

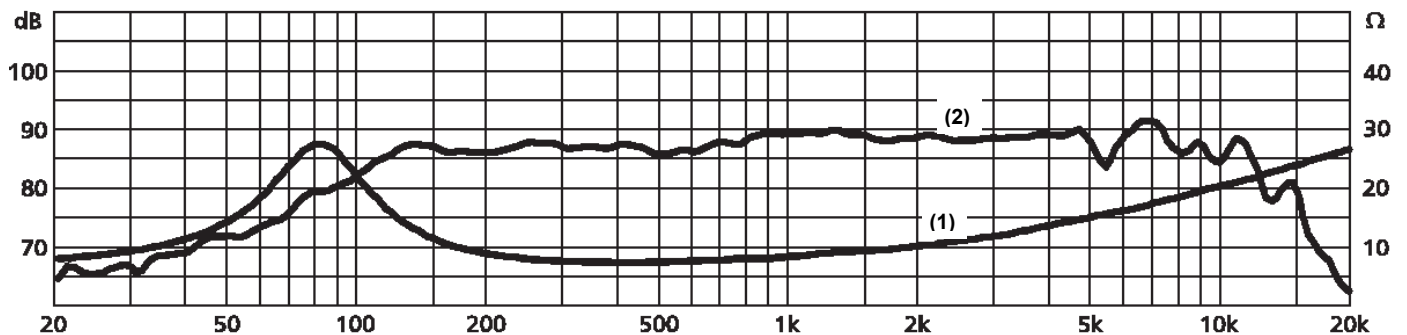
Annexe : caractéristiques du haut-parleur Monacor SP-60/8

Haut-parleurs de grave-médium Hi-Fi, 60 W_{MAX}, 8 Ω

- large bande passante
- décompression et refroidissement par le noyau
- pour enceintes miniatures ou en Hi-F



Courbes : impédance (1) et niveau sonore (2)



Caractéristiques électromécaniques :

Impédance nominale (Z)	8 Ω
Fréquence résonance	$f_0 = 65 \text{ Hz}$
Bande passante	120-8000 Hz
Puissance maximale	60 W _{MAX}
Puissance nominale (P)	30 W _{RMS}
Pression sonore moyenne (1 W/1 m)	90 dB
Raideur suspension	$k = 1250 \text{ N/m}$
Masse mobile	$m = 4 \text{ g}$
Surtension mécanique	$Q_{ms} = 2,10$
Surtension électrique	$Q_{es} = 0,64$
Facteur de surtension total	$Q_{ts} = 0,49$
Volume équivalent	VAS = 6 l
Résistance en continu	$R = 6,5 \text{ Ω}$
Facteur de force	$B \times L = 4,1 \text{ Tm}$
Inductance	$L = 0,3 \text{ mH}$
Diamètre bobine	25,5 mm
Support bobine	aluminium
Excursion linéaire	$X_{MAX} = \pm 2 \text{ mm}$
Surface d'émission	$S_d = 55 \text{ cm}^2$
Masse totale	0,9 kg



Etude d'un haut-parleur : réponses

Rédacteur :

Binôme :

Date :

Activité 1 : mouvement de la membrane

Pour une tension appliquée d'amplitude $E = \dots\dots\dots$ crête-crête, le mouvement de la membrane a une amplitude :

$A = \dots\dots\dots$ mm crête-crête

Activité 2 : effet microphonique

⇒ Oscillogramme de $e(t)$: voir courbe n° :

Commentaires :
.....

Activité 3 : résistance R du haut-parleur

La résistance R de la bobine en continu vaut : $R = \dots\dots\dots$

Commentaire :
.....

Activité 4 : inductance L de la bobine

⇒ à $f = 10$ kHz :

$E = \dots\dots\dots$ $U = \dots\dots\dots$ $I_0 = \dots\dots\dots$ $Z = \dots\dots\dots$

Calcul de L_1 :

⇒ à $f = 20$ kHz :

$E = \dots\dots\dots$ $U = \dots\dots\dots$ $I_0 = \dots\dots\dots$ $Z = \dots\dots\dots$

Calcul de L_2 :

Valeur moyenne : $L =$

Commentaire :
.....

Activité 5 : fréquence de résonance du haut-parleur

La fréquence de résonance du haut-parleur vaut : $f_0 = \dots\dots\dots$ Hz

Commentaire :

.....

Activité 6 : courbe d'impédance du haut-parleur

⇒ **Courbe d'impédance de R_c** : voir courbe n° :

Commentaire :

.....

⇒ **Courbe d'impédance du haut-parleur** : voir courbe n° :

- résistance en continu : $R = \dots\dots\dots$
- fréquence de résonance : $f_0 = \dots\dots\dots$
- module de l'impédance : - à 10 kHz , $Z = \dots\dots\dots$ - à 20 kHz , $Z = \dots\dots\dots$

Commentaire :

.....

Activité 7 : masse de l'équipage mobile

⇒ **Courbe d'impédance du haut-parleur avec surcharge** : voir courbe n° :

Nouvelle fréquence de résonance : $f_0 = \dots\dots\dots$

Elle a été déplacée vers les fréquences graves parce que

.....

Calcul des valeurs de k et m :

Commentaire :

.....

Activité 8 : conclusions

Question : la courbe de réponse d'un HP descend-elle en-dessous de sa fréquence de résonance ?

Réponse :

.....

Question : comment doit être la fréquence de résonance d'un haut-parleur destiné à reproduire les fréquences graves ?

Réponse :

.....

Question : un bon haut-parleur pour « graves » doit-il avoir une suspension souple (k faible) ou rigide (k élevé) ?

Réponse :

.....

Question : quel défaut présente la courbe de réponse du haut-parleur aux fréquences aiguës ?

Réponse :

.....

Question : comment pourrait-on faire pour éviter que le haut-parleur ne soit utilisé dans cette zone ?

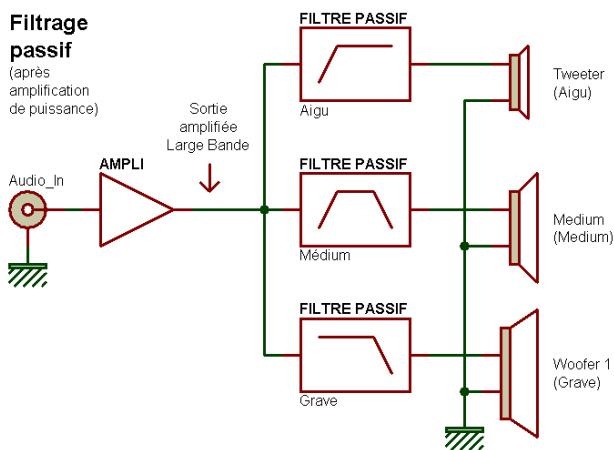
Réponse :

.....

Question : un haut-parleur « graves » a une fréquence de résonance entre 30 et 50 Hz, un « médium » vers 150-200 Hz et un « tweeter » vers 1000-2000 Hz : quelles seront les plages de fréquences reproduites par ces haut-parleurs ?

Réponse :

.....



Principe du filtrage à 3 voies

