

## Chapitre 4 - Systèmes électroacoustiques

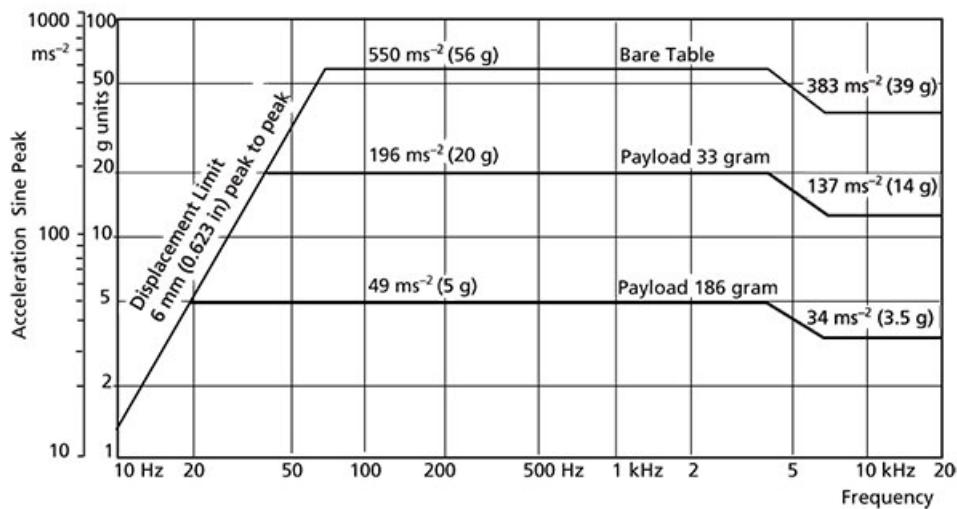
Hervé Lissek

Electroacoustique (BA5)

### Exercice 1. Fonction de transfert $v/u_g$ d'un pot vibrant

Considérons le pot vibrant présenté dans le chapitre 4.1. On désigne sa résistance électrique  $R_e$ , son inductance électrique  $L_e$ , et ses paramètres mécanique ( $M, R_m, C_m$ ).

- Donnez l'expression de la fonction de transfert  $v(\omega)/u_g(\omega)$  du pot vibrant.
- Tracez l'allure du module de cette fonction de transfert en fonction de la fréquence.
- Quelle est la fréquence de résonance du pot vibrant "à vide" (sans l'attacher à une structure vibrante) ? Que devient cette fréquence de résonance si on attache un objet de masse 186 g sur le pot vibrant ? Est-ce cohérent avec les données du constructeur ?



Dans le cadre de cet exercice, on considère que la gamme de fréquence de travail est telle que l'impédance électrique  $j\omega L_e$  de l'inductance de la bobine mobile est négligeable devant la résistance  $R_e$  de cette même bobine mobile.

On considère également que l'impédance électrique interne du générateur  $Z_g$  est négligeable par rapport à la résistance  $R_e$  de la bobine.

Application numérique :

$$M = 18 \text{ g}, C_m = 0.5 \text{ mm/N}, R_e = 3.5\Omega.$$

### Exercice 2. Calcul de l'admittance mécanique $v/F_{ext}$ d'une membrane suspendue

Considérons la membrane suspendue, de masse  $M$ , compliance mécanique  $C_m$ , résistance mécanique  $R_m$  et surface de rayonnement (par face)  $S$ . Cette membrane est fixée sur un écran rigide de grandes dimensions, telle que présenté dans le chapitre 4.1.

- En considérant que les impédances de rayonnement chargeant les deux faces d'une membrane suspendue sur sa périphérie se réduisent chacune à une simple masse de rayonnement, donnez l'expression de l'admittance mécanique  $Y_m = v(\omega)/F_{ext}(\omega)$  présentée par cette membrane.

On admettra que, aux basses fréquences, l'impédance acoustique de rayonnement est une masse de rayonnement  $M_{ar} = \rho \frac{8}{3\pi^2 a}$ , où  $a$  est le rayon de la membrane.

- Tracez l'allure du module de cette admittance en fonction de la fréquence.

Application numérique :

$$M = 13 \text{ g}, C_m = 0.8 10^{-3} \text{ m/N}, R_m = 0.92 \text{ kg/s}, S = 133 \text{ cm}^2.$$

### Exercice 3. Calcul de l'impédance électrique d'entrée $u_{hp}/i$ du haut-parleur électrodynamique

Considérons le haut-parleur électrodynamique monté sur écran infini présenté dans le chapitre 4.1.

- En considérant que les impédances de rayonnement chargeant les deux faces de la membrane du haut-parleur se réduisent chacune à une simple masse de rayonnement  $M_{ar} = \rho \frac{8}{3\pi^2 a}$  (où  $a$  désigne le rayon de la membrane du haut-parleur), donnez l'expression de l'impédance électrique d'entrée du haut parleur  $Z_{hp} = u_{hp}(\omega)/i(\omega)$ .

- Tracez l'allure du module de cette impédance en fonction de la fréquence.

Applications numériques :

$$Z_g = 0\Omega, R_e = 6\Omega, L_e = 0.6 \text{ mH}$$

$$M = 27 \text{ g}, C_m = 0.8 10^{-3} \text{ m/N}, R_m = 2.91 \text{ kg/s}, Bl = 9.24 \text{ N/A}, S = 2.21 10^{-2} \text{ m}^2$$

### Exercice 4. Rayonnement d'une membrane de haut-parleur

Quelle est l'expression de la résistance de rayonnement d'un haut-parleur circulaire de rayon  $a$  :

1. monté sur un écran infini ?
2. monté dans une enceinte close (on suppose que la dimension du haut-parleur est du même ordre que celle de la face de l'enceinte sur laquelle il est monté) ?
3. monté dans une enceinte close, l'enceinte étant placée dans le coin d'une salle (contre 3 parois) et rayonne donc dans un huitième de sphère ?

Inscrivez le numéro de la question dans les réponses proposées ci-dessous :

- $R_{ar} = 2Z_c(ka)$
- $R_{ar} = 2Z_c(ka)^2$
- $R_{ar} = Z_c(ka)$
- $R_{ar} = Z_c(ka)^2$
- $R_{ar} = Z_c \frac{(ka)}{2}$
- $R_{ar} = Z_c \frac{(ka)^2}{2}$
- $R_{ar} = Z_c \frac{(ka)}{4}$
- $R_{ar} = Z_c \frac{(ka^2)}{4}$

## Exercice 5. Réponse en pression d'un haut-parleur

Quel est le type de réponse en pression acoustique, aux basses fréquences :

1. d'un haut-parleur monté sur enceinte close ?
2. d'un haut-parleur monté sur enceinte à événement (bass-reflex) ?

Inscrivez le numéro de la question dans les réponses proposées ci-dessous :

- un filtre passe bas de pente 6 dB/ octave
- un filtre passe bas de pente 12 dB/ octave
- un filtre passe bas de pente 24 dB/ octave
- un filtre passe bande de pente 6 dB/ octave
- un filtre passe bande de pente 12 dB/ octave
- un filtre passe bande de pente 24 dB/ octave
- un filtre passe haut de pente 6 dB/ octave
- un filtre passe haut de pente 12 dB/ octave
- un filtre passe haut de pente 24 dB/ octave

## Exercice 6.

Un haut-parleur possède une fréquence de résonance  $f_s = 50Hz$ , un  $V_{as} = 20\ell$  et un facteur de qualité  $Q_{ts} = 0,5$ . Ce haut-parleur est monté dans une enceinte close de volume  $V_b = 30\ell$ . Calculez la fréquence de résonance et le facteur de qualité du système complet.

## Exercice 7. Paramètres mécaniques d'un haut-parleur

Lorsqu'on achète un haut-parleur dans le commerce, on dispose en général du tableau de valeurs suivant.

Description	Grandeur	Valeur	Unité
Resonance frequency	$f_s$	36	Hz
D.C. resistance	$R_e$	5.9	$\Omega$
Mechanical Q factor	$Q_{ms}$	2.43	
Electrical Q factor	$Q_{es}$	0.66	
Total Q factor	$Q_{ts}$	0.52	
Equivalent volume	$V_{as}$	38	l
Effective piston area	$S_d$	129	$cm^2$
Dynamically moved mass	$M_{ms}$	13	g
Force factor	$B\ell$	5.4	T.m
Inductance of the voice coil	$L_e$	1.2	mH

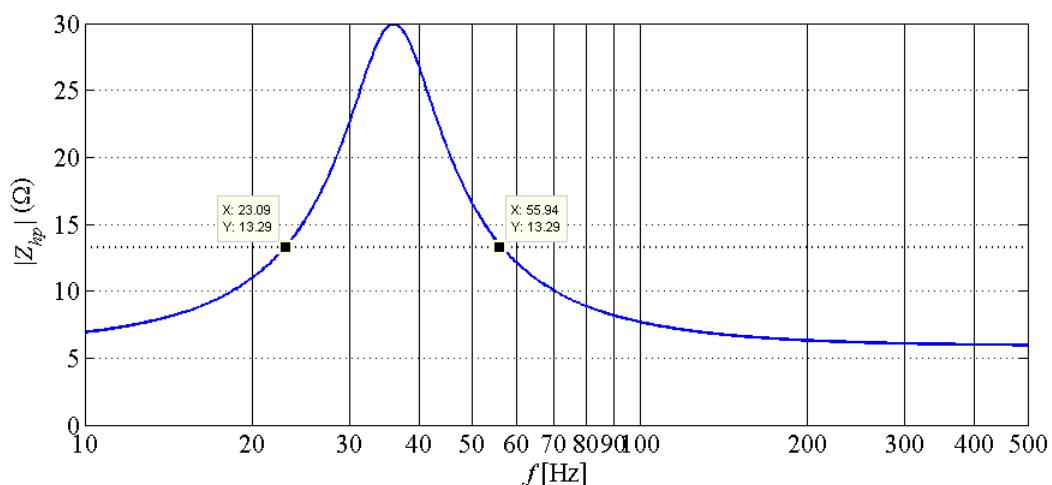
Connaissant les paramètres constructeur du haut-parleur (ici le VISATON 170S), proposez une méthode pour calculer la valeur de la compliance  $C_{ms}$  et de la résistance mécanique  $R_{ms}$ .

## Exercice 8. Impédance électrique d'entrée d'un haut-parleur

En reprenant le schéma électrique équivalent d'un haut-parleur sur écran infini (cours 4.1, slide 33 et suivantes),

1. donnez l'expression de l'impédance électrique d'entrée mesurée aux bornes du haut-parleur :  $Z_{hp}(f) = \frac{u_{hp}}{i}$ , à l'aide des paramètres  $R_e$ ,  $B\ell$ ,  $R_{ms}$ ,  $f_s$  et  $Q_{ms}$ .
2. D'après l'expression de l'impédance électrique d'entrée, retrouver les expression des résistance, inductance et capacité électriques ( $R_s, C'_s, L_s$ ) représentant la partie mobile du haut-parleur ( $R_{ms}, M'_{ms}, C_{ms}$ ).

On mesure l'impédance électrique d'entrée d'un haut-parleur VISATON 170S sur écran CEI (normalisé), et on obtient les résultats suivants :



Pour retrouver la valeur de  $f_s$  (difficile à estimer précisément sur la courbe, en raison de la largeur de la résonance), on va mesurer deux fréquences  $f_1$  et  $f_2$  vérifiant  $|Z_{hp}(f_1, f_2)| = R_0$ .

Pour simplifier les calculs, on va choisir  $R_0 = \sqrt{1 + \frac{(B\ell)^2}{R_e R_{ms}}} R_e$ .

3. Montrez que  $f_s = \sqrt{f_1 f_2}$ . Retrouver la valeur numérique du tableau précédent, en observant que  $f_1 = 23,1\text{Hz}$  et  $f_2 = 55,9\text{Hz}$ .

## Exercice 9. Absorbeur électroacoustique

On dispose d'un haut-parleur VISATON 170S, que l'on souhaite utiliser comme absorbeur électroacoustique.

1. Calculez la valeur d'absorption acoustique optimale réalisée par la membrane lorsque le haut-parleur est en circuit ouvert du côté électrique, puis en court-circuit.
2. Quelle résistance électrique  $R_{shunt}$  doit-on choisir pour obtenir un absorption totale à la résonance ?