

Analyse de réseaux électro- mécano- acoustiques

PIERRICK LOTTON, HERVÉ LISSEK ET MANUEL MELON

Table des matières



Objectifs	7
I - Exercice : QUESTIONNAIRE D'ENTRÉE (1)	9
II - Exercice : QUESTIONNAIRE D'ENTRÉE (2)	11
III - Exercice : QUESTIONNAIRE D'ENTRÉE (3)	13
IV - Exercice : QUESTIONNAIRE D'ENTRÉE (4)	15
V - Exercice : QUESTIONNAIRE D'ENTRÉE (5)	17
VI - Système électro-mécanique : le pot vibrant	19
A. Présentation générale.....	19
B. Principe de fonctionnement.....	20
C. Modélisation.....	20
D. Mise en équations - schéma électro-mecanique.....	21
E. Mise en équations - schéma équivalent électrique.....	21
F. Mise en équations - schéma équivalent mécanique.....	22
G. CALCUL DE LA FONCTION DE TRANSFERT v_M/u_G	23
VII - Système mécano-acoustique : la membrane suspendue	25
A. Présentation générale.....	25
B. Présentation détaillée : la membrane suspendue excitée par une force extérieure	25
C. Mise en équations - schéma mécano-acoustique.....	26
D. Mise en équations - schéma équivalent mécanique.....	27
E. Mise en équations - schéma équivalent acoustique.....	28
F. CALCUL DE L'ADMITTANCE MÉCANIQUE v/F	29
VIII - Système électro-mecano-acoustique : le haut parleur electrodynamique	31
A. Présentation générale.....	32
B. Description détaillée.....	32
C. Mise en équations - schéma électro-mécano-acoustique.....	33
D. Mise en équations - schéma équivalent électrique.....	34
E. Mise en équations - schéma équivalent acoustique.....	35
F. Mise en équations - schéma équivalent mécanique.....	35

G. CALCUL DE L'IMPÉDANCE ÉLECTRIQUE D'ENTRÉE $u_{HP/i}$ DU HAUT-PARLEUR ÉLECTRODYNAMIQUE.....	36
--	----

Solution des exercices	37
-------------------------------	-----------

Contenus annexes	43
-------------------------	-----------

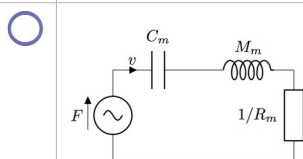
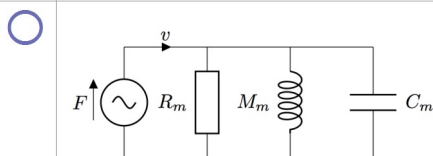
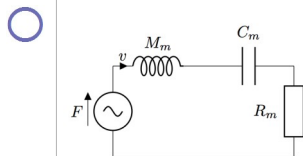
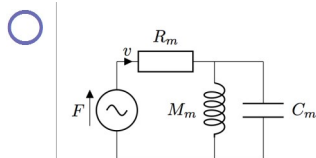
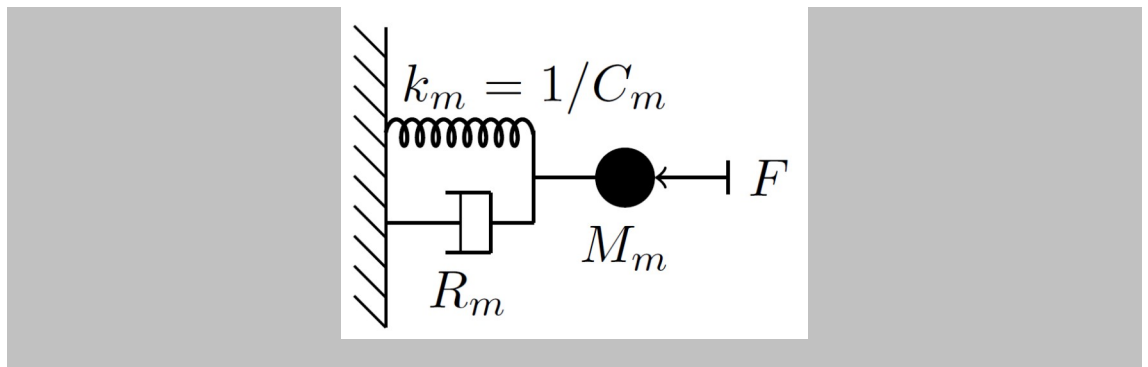
Objectifs

- L'objectif de ce grain est de modéliser - simplement - des systèmes électro-mécano-acoustiques à partir des outils de modélisation présentés aux modules 2 et 3.
- Trois systèmes sont étudiés dans ce grain :
 - un premier système électro-mécanique : le pot vibrant,
 - un deuxième système mécano-acoustique : la membrane suspendue,
 - un troisième système électro-mécano-acoustique : le haut-parleur électrodynamique.

Exercice : QUESTIONNAIRE D'ENTRÉE (1)

[Solution n°1 p 37]

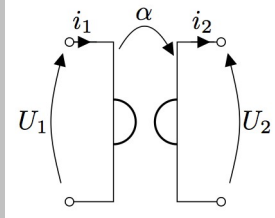
Quel schéma électrique est équivalent au système Masse-Ressort-Amortisseur représenté ci-dessous ?



Exercice : QUESTIONNAIRE D'ENTRÉE (2)

[Solution n°2 p 37]

Quelles relations relient les grandeurs électriques aux bornes du gyrateur représenté ci-dessous ?



$\begin{cases} i_1 = \alpha u_1 \\ i_2 = \alpha u_2 \end{cases}$

$\begin{cases} u_1 = \alpha i_2 \\ i_1 = \alpha u_2 \end{cases}$

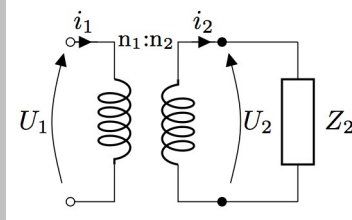
$\begin{cases} u_1 = \alpha i_2 \\ u_2 = \alpha i_1 \end{cases}$

$\begin{cases} u_2 = \alpha u_1 \\ i_2 = \alpha i_1 \end{cases}$

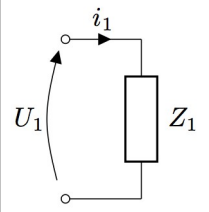
Exercice : QUESTIONNAIRE D'ENTRÉE (3)

[Solution n°3 p 38]

Soit le transformateur représenté ci dessous, chargé par une impédance Z_2 .



Ce schéma est équivalent au schéma suivant



Donner l'expression de Z_1 .

$Z_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 Z_2$

$Z_1 = \frac{n_1}{n_2} Z_2$

$Z_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \frac{1}{Z_2}$

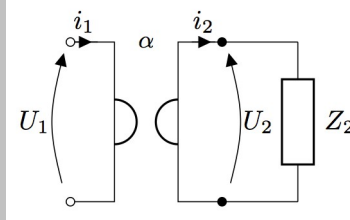
$Z_1 = \frac{n_2}{n_1} Z_2$

Exercice : QUESTIONNAIRE D'ENTRÉE (4)

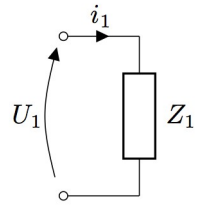
IV

[Solution n°4 p 38]

Soit le gyrateur représenté ci dessous, chargé par une impédance Z_2 .



Ce schéma est équivalent au schéma suivant



Donner l'expression de Z_1

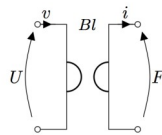
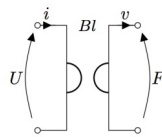
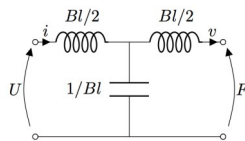
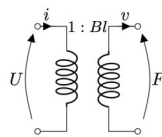
- $Z_1 = \alpha^2 Z_2$
- $Z_1 = \frac{\alpha}{Z_2}$
- $Z_1 = \frac{Z_2}{\alpha^2}$
- $Z_1 = \frac{\alpha^2}{Z_2}$

Exercice : QUESTIONNAIRE

V

[Solution n°5 p 38]

Quel schéma électrique représente le couplage électrodynamique ?



Systeme électro-mécanique : le

VI

Présentation générale	19
Principe de fonctionnement	20
Modélisation	20
Mise en équations - schéma électro-mecanique	21
Mise en équations - schéma équivalent électrique	21
Mise en équations - schéma équivalent mécanique	22
CALCUL DE LA FONCTION DE TRANSFERT v_M/u_G	23

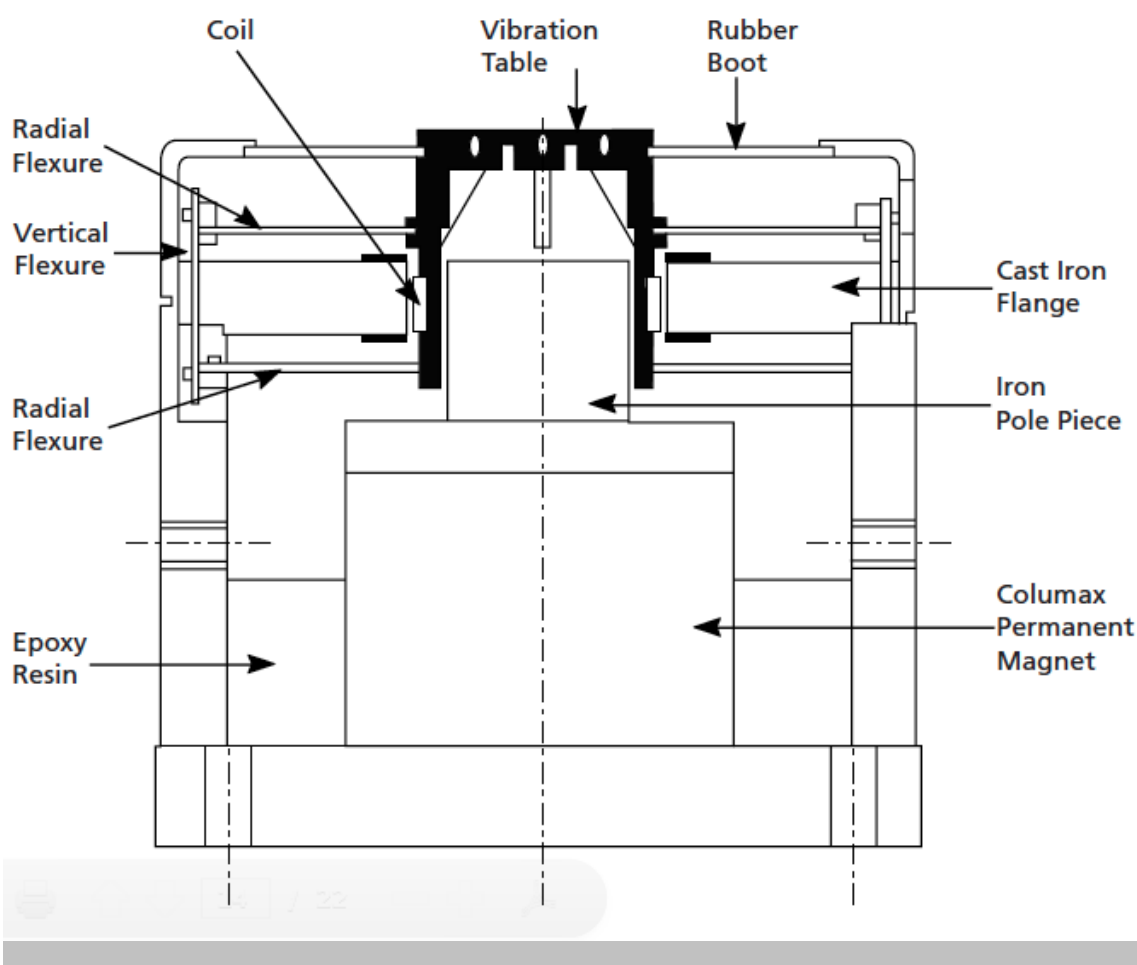
A. Présentation générale

- Le pot vibrant (cf figure) est un dispositif permettant d'appliquer une force oscillatoire à un objet susceptible d'être mis en vibration.
- Par sa conception, il peut être utilisé pour faire vibrer des structures relativement massives, pour des mesures vibratoires (transparence de cloisons par exemple).
- Il est utilisé généralement pour des mesures normalisées en acoustique du bâtiment.



B. Principe de fonctionnement

- Le pot vibrant est constitué d'un moteur électrodynamique et d'une partie mécanique mobile, elle-même constituée d'un piston rigide, attaché à un boîtier rigide via un ensemble de fixations flexibles. Une pièce en caoutchouc sur la partie supérieure du pot vibrant assure l'étanchéité du dispositif.
- Le piston rigide est directement couplé (fixé, collé, vissé, etc.) à la structure que l'on souhaite faire vibrer.
- Le pot vibrant est excité électriquement par un générateur de signaux électriques associé à un amplificateur.
- Lorsque la bobine électrique du moteur électrodynamique est parcourue par un courant électrique délivré par l'amplificateur, la force induite F_m (Force de Laplace, cf. module 3 grain 2) est alors appliquée au piston qui peut la communiquer à la structure vibrante à laquelle il est couplé.



C. Modélisation

Dans ce qui suit, nous supposons que le pot vibrant n'est couplé à aucune structure (fonctionnement à vide).

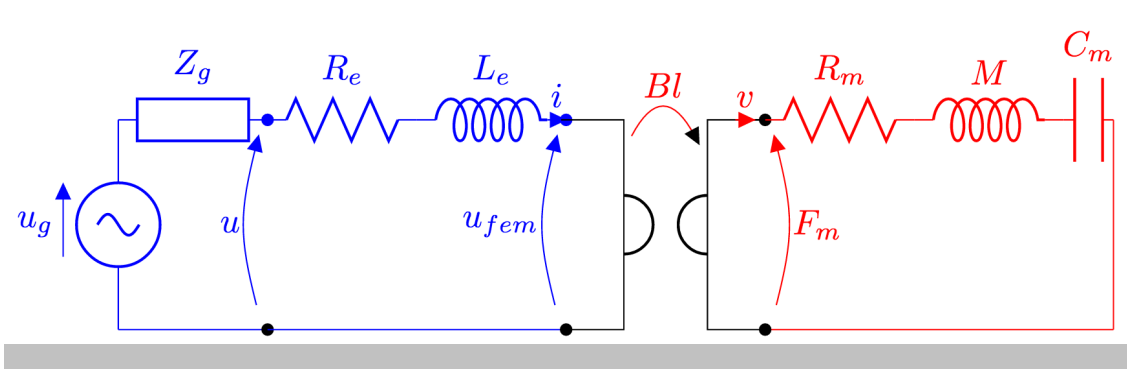
- Le moteur est constitué d'un circuit magnétique créant un champ magnétique B dans lequel est placée une bobine de longueur ℓ , de résistance électrique R_e et d'inductance électrique L_e .

- La transduction électro-mécanique est caractérisée par le facteur de force $B\ell$.
- La partie mécanique peut être représentée par l'association d'une masse M , correspondant à la masse de l'ensemble mobile (piston rigide + bobine électrique mobile + suspensions + pièces d'assemblage), d'une souplesse mécanique C_m correspondant à la suspension élastique, et d'une résistance mécanique R_m qui traduit l'ensemble des pertes mécaniques du dispositif (frottement dans l'entrefer du circuit magnétique, pertes dans les suspensions, etc.).
- Le système électrique d'excitation (générateur de fonction + amplificateur) peut être représenté par un générateur de Thévenin équivalent dont la tension à vide est notée U_g et l'impédance interne Z_g .

D. Mise en équations - schéma électro-mécanique

SCHÉMA ÉLECTRIQUE ÉQUIVALENT

- Le schéma électrique équivalent décrivant le fonctionnement du pot vibrant est le suivant :



- Les équations décrivant le comportement mécano-électrique du pot vibrant peuvent être obtenues en écrivant la loi des mailles de part et d'autre du gyrateur, ainsi que les équations de couplage du gyrateur :

$$u_g = (Z_g + R_e + j\omega L_e) i + u_{fem}$$

$$u_{fem} = B\ell v$$

$$B\ell i = F_m$$

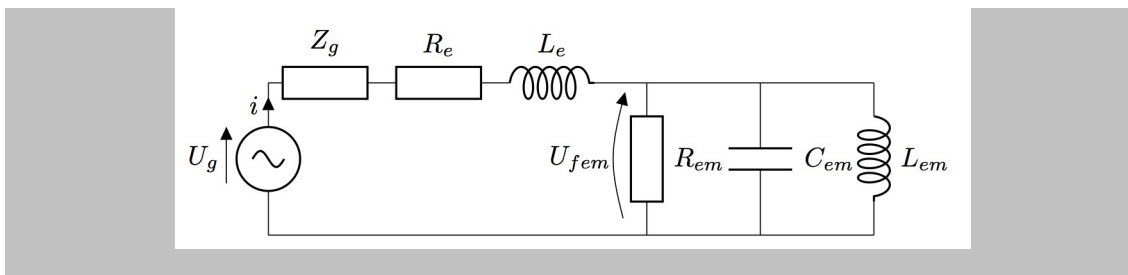
$$F_m = \left(R_m + j\omega M + \frac{1}{j\omega C_m} \right) v$$

E. Mise en équations - schéma équivalent électrique

SCHÉMA ÉQUIVALENT RAMENÉ DU CÔTÉ ÉLECTRIQUE

Système électro-mécanique : le pot vibrant

- Le schéma décrivant le fonctionnement du système du point de vue électrique est obtenu en ramenant les éléments "mécaniques" au primaire du gyrateur :



- avec
 - $R_{em} = \frac{B\ell^2}{R_m}$,
 - $L_{em} = C_m B\ell^2$,
 - $C_{em} = \frac{M}{B\ell^2}$.

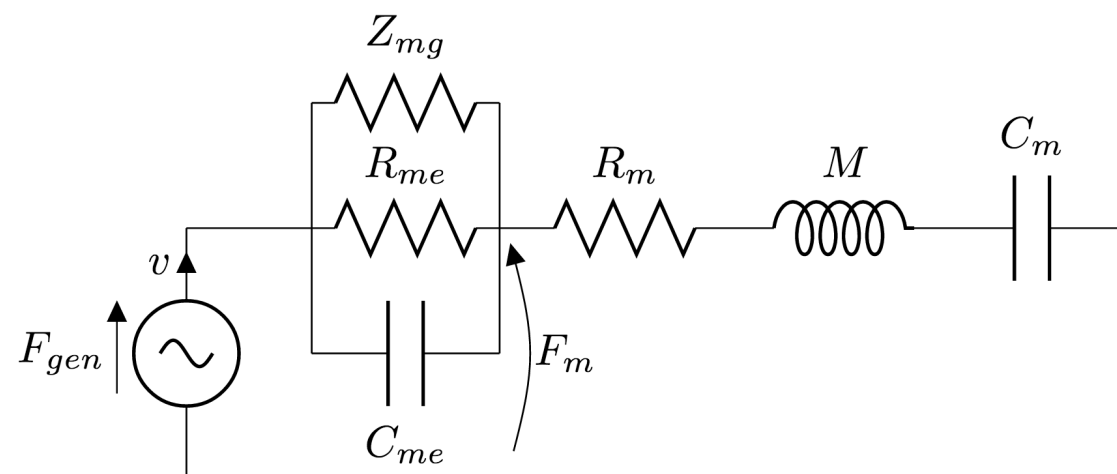
Les équations couplées précédentes se réduisent à une seule équation, dans le domaine électrique :

$$u_g = \left(Z_g + R_e + j\omega L_e + \frac{j\omega L_{em}}{1 + j\omega \frac{L_{em}}{R_{em}} - L_{em} C_{em} \omega^2} \right) i \quad (1)$$

F. Mise en équations - schéma équivalent mécanique

SCHÉMA ÉQUIVALENT RAMENÉ DU CÔTÉ MÉCANIQUE

- Le schéma décrivant le fonctionnement du système du point de vue mécanique est obtenu en ramenant les éléments "électriques" au secondaire du gyrateur :



- avec,
 - $F_{gen} = \frac{B\ell}{Z_g + R_e + j\omega L_e} u_{gen}$

$$\begin{aligned} Z_{mg} &= \frac{B\ell^2}{Z_g} \\ R_{me} &= \frac{B\ell^2}{R_e} \\ C_{me} &= \frac{L_e}{B\ell^2} \end{aligned}$$

- Les équations couplées précédentes se réduisent à une seule équation, dans le domaine mécanique :

$$F_{\text{gen}} = \left(\frac{\frac{R_{me}Z_{mg}}{R_{me} + Z_{mg}}}{1 + j\frac{R_{me}Z_{mg}}{R_{me} + Z_{mg}}C_{me}\omega} \right) v$$

G. CALCUL DE LA FONCTION DE TRANSFERT v_M/u_G

Question

[Solution n°6 p 39]

- En vous appuyant sur les éléments de théorie exposés précédemment, donnez l'expression de la fonction de transfert $v_m(\omega)/u_g(\omega)$ du pot vibrant.
- Tracez l'allure du module de cette fonction de transfert en fonction de la fréquence.
- 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.

Systeme mécano-acoustique : la membrane suspendue

VII

Présentation générale	25
Présentation détaillée : la membrane suspendue excitée par une force extérieure	25
Mise en équations - schéma mécano-acoustique	26
Mise en équations - schéma équivalent mécanique	27
Mise en équations - schéma équivalent acoustique	28
CALCUL DE L'ADMITTANCE MÉCANIQUE v/F	29

A. Présentation générale

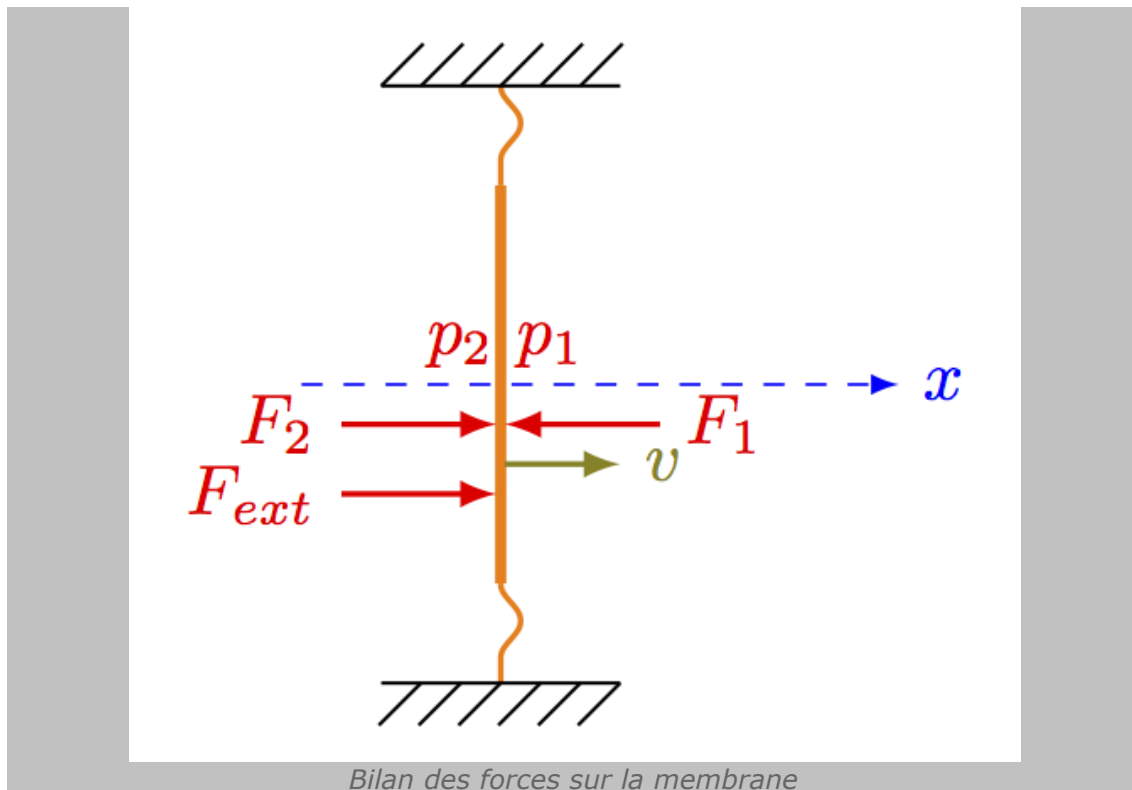
- On considère ici le comportement d'une membrane vibrante chargée par de l'air sur ses deux faces.
- Cette configuration correspond, par exemple, au cas d'un radiateur passif montée sur une enceinte acoustique, ou encore au cas de la membrane d'un absorbeur à membrane de type "bass-trap".

B. Présentation détaillée : la membrane suspendue excitée par une force extérieure

DESCRIPTION DE LA MEMBRANE ÉTUDIÉE

- Considérons le cas d'une membrane circulaire fixée à un support rigide via une suspension élastique périphérique.
- Cette membrane, soumise à une force mécanique extérieure F_{ext} , est animée d'une vitesse et susceptible de rayonner du son par ses deux faces.
- Pour des fréquences situées en dessous de son premier mode de vibration, cette membrane peut être vue comme un système masse-ressort constitué de l'association d'un piston circulaire rigide et d'une suspension élastique

- périphérique.
- Les éléments mécaniques décrivant la membrane sont alors la masse totale mobile M , la souplesse C_m des suspensions, et la résistance mécanique R_m due principalement aux pertes visqueuses localisées dans la suspension.
- Les pressions devant les faces avant (par convention à droite ici) et arrière (à gauche) de la membrane sont notées p_1 et p_2 . Les forces de pression correspondantes sont notées F_1 et F_2 . Ces forces qui agissent de part et d'autre de la membrane correspondent aux forces de réaction de l'air sur la membrane mise en mouvement par la force F_{ext} .

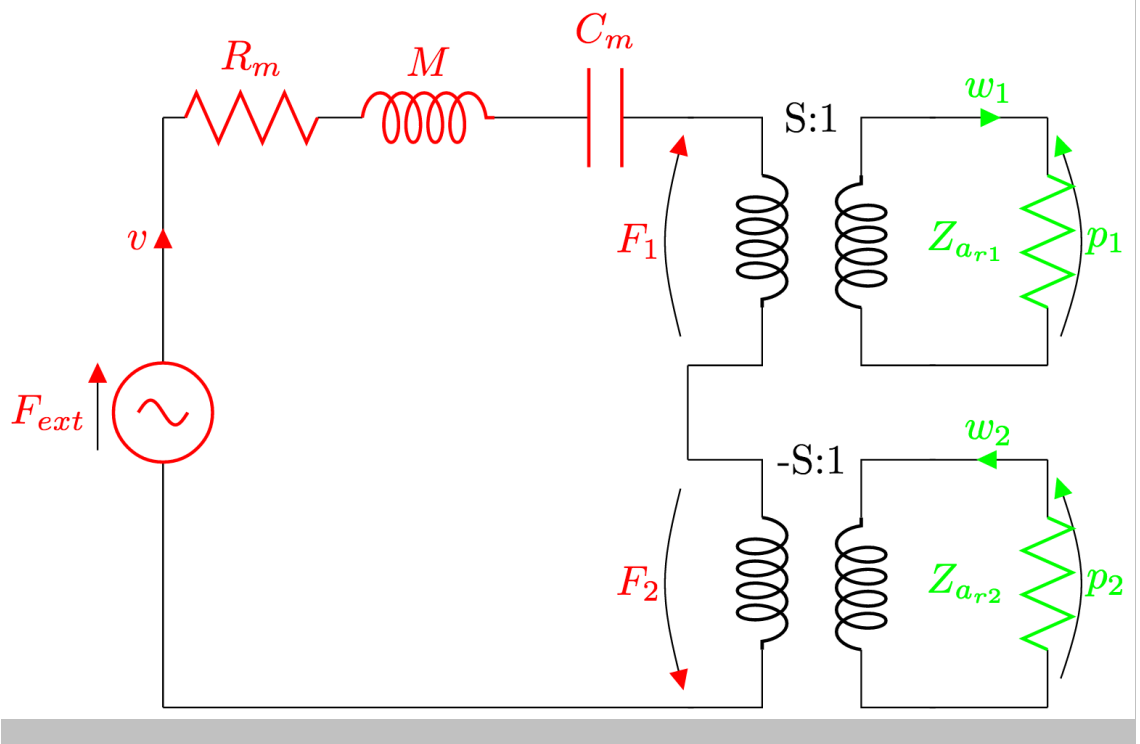


Bilan des forces sur la membrane

C. Mise en équations - schéma mécano-acoustique

SCHÉMA MÉCANO-ACOUSTIQUE

- Compte tenu des orientations choisies pour la force F et la vitesse v de la membrane, le schéma électrique équivalent au système mécano-acoustique étudié est le suivant :



- Les impédances Z_{ar1} et Z_{ar2} sont les impédances de rayonnement qui traduisent la réaction du milieu extérieur sur la membrane (cf. grain 3.1 "couplage mécano-acoustique"). *En savoir plus...* - p.43
- Les équations décrivant le comportement mécano-acoustique de la membrane suspendue peuvent être obtenues en écrivant la loi des mailles de part et d'autre des transformateurs :

$$F_m = \left(R_m + j\omega M + \frac{1}{j\omega C_m} + F_1 - F_2 \right) v$$

$$F_1 = S p_1 \quad v = \frac{w_1}{S}$$

$$F_2 = S p_2 \quad v = -\frac{w_2}{S}$$

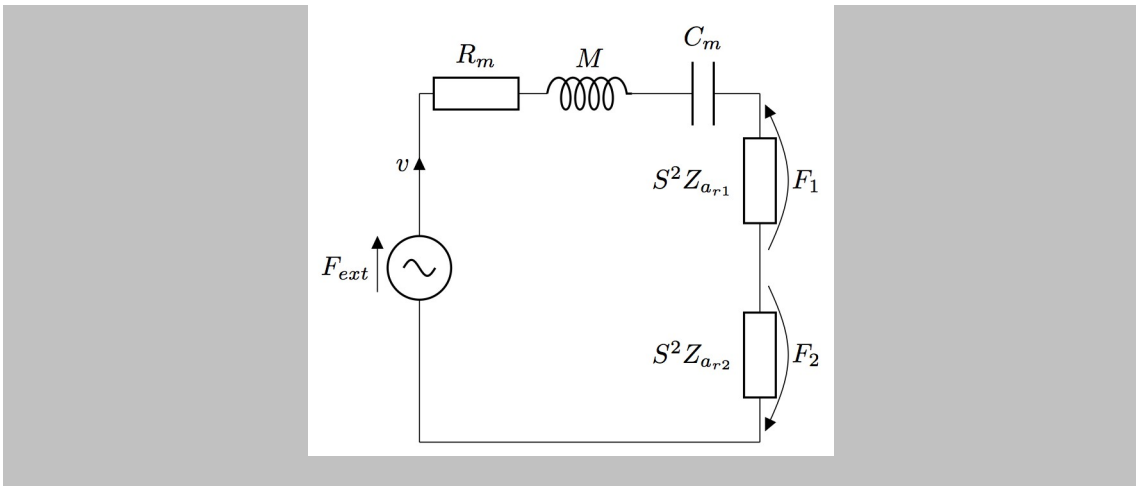
$$p_1 = Z_{ar1} w_1$$

$$p_2 = Z_{ar2} w_2$$

D. Mise en équations - schéma équivalent mécanique

SCHÉMA ÉQUIVALENT MÉCANIQUE

- Le schéma électrique équivalent décrivant le fonctionnement du système du point de vue mécanique est obtenu en ramenant les éléments "acoustiques" aux primaires des transformateurs.



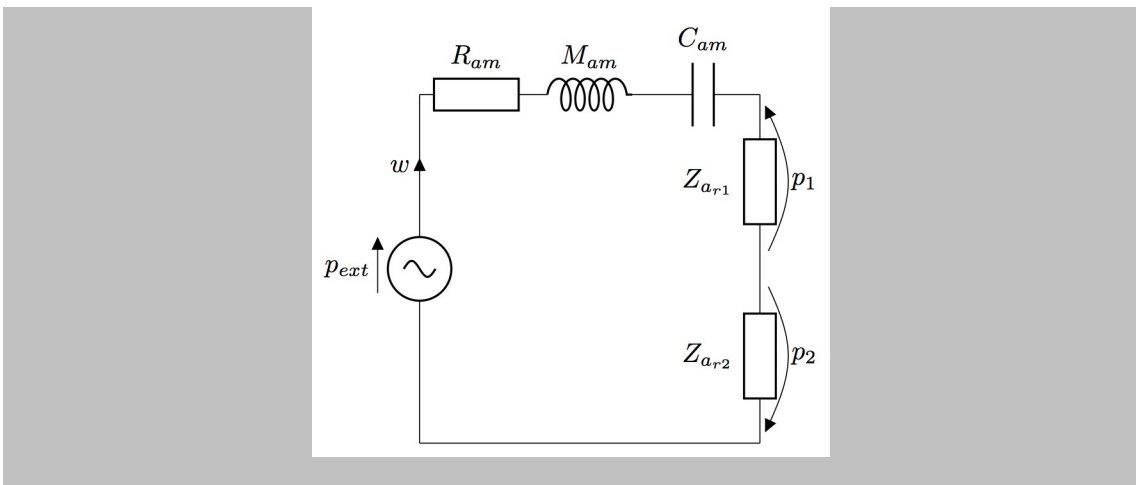
- Les équations couplées précédentes se réduisent à une seule équation, dans le domaine mécanique :

$$F_{ext} = \left(j\omega M + \frac{1}{j\omega C_m} + R_m + S^2 Z_{ar1} + S^2 Z_{ar2} \right) v .$$

E. Mise en équations - schéma équivalent acoustique

SCHÉMA ÉQUIVALENT ACOUSTIQUE

- Le schéma électrique équivalent décrivant le fonctionnement du système du point de vue acoustique est obtenu en ramenant les éléments "mécaniques" au secondaire d'un des transformateurs.



- avec
 - $p_{ext} = F/S$
 - $M_{am} = M/S^2$
 - $R_{am} = R_m/S^2$
 - $C_{am} = C_m S^2$
- Les équations couplées précédentes se réduisent à une seule équation, dans le domaine acoustique :

$$p_{ext} = \left(j\omega M_{am} + \frac{1}{j\omega C_{am}} + R_{am} + Z_{ar1} + Z_{ar2} \right) w .$$

F. CALCUL DE L'ADMITTANCE MÉCANIQUE v/F

Question

[Solution n°7 p 39]

- 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 $Y_m = v/F$ présentée par cette membrane.
- Tracez l'allure du module de cette admittance en fonction de la fréquence.

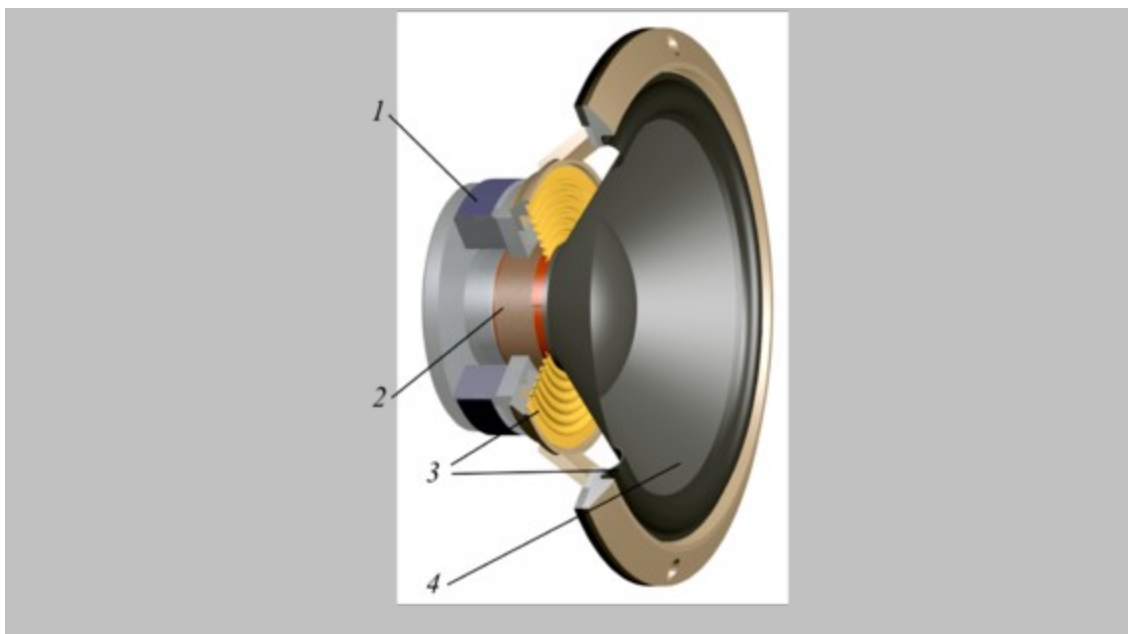
Systeme électro- mecano-

VIII

Présentation générale	32
Description détaillée	32
Mise en équations - schéma électro-mécano-acoustique	33
Mise en équations - schéma équivalent électrique	34
Mise en équations - schéma équivalent acoustique	35
Mise en équations - schéma équivalent mécanique	35
CALCUL DE L'IMPÉDANCE ÉLECTRIQUE D'ENTRÉE uHP/i DU HAUT-PARLEUR ÉLECTRODYNAMIQUE	36

A. Présentation générale

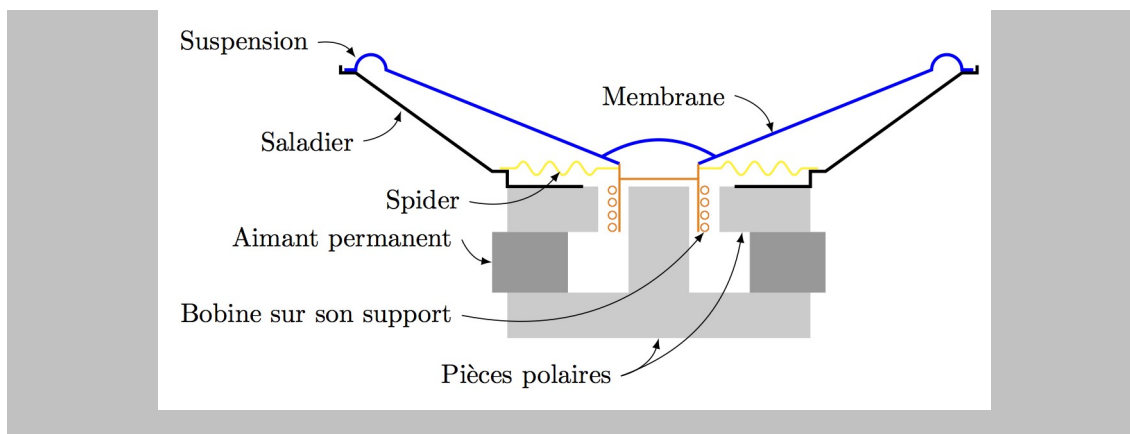
Présentation générale



- On considère ici le cas d'un haut-parleur électrodynamique à bobine mobile.
- Le haut-parleur électrodynamique est un système électro-mécano-acoustique classiquement constitué
 - d'un support, supposé rigide, appelé **saladier**,
 - d'une **membrane suspendue** au saladier par l'intermédiaire de suspensions élastiques périphériques,
 - d'un **moteur électrodynamique**, lui-même constitué d'un circuit magnétique et d'une bobine électrique mobile.

B. Description détaillée

DESCRIPTION DÉTAILLÉE



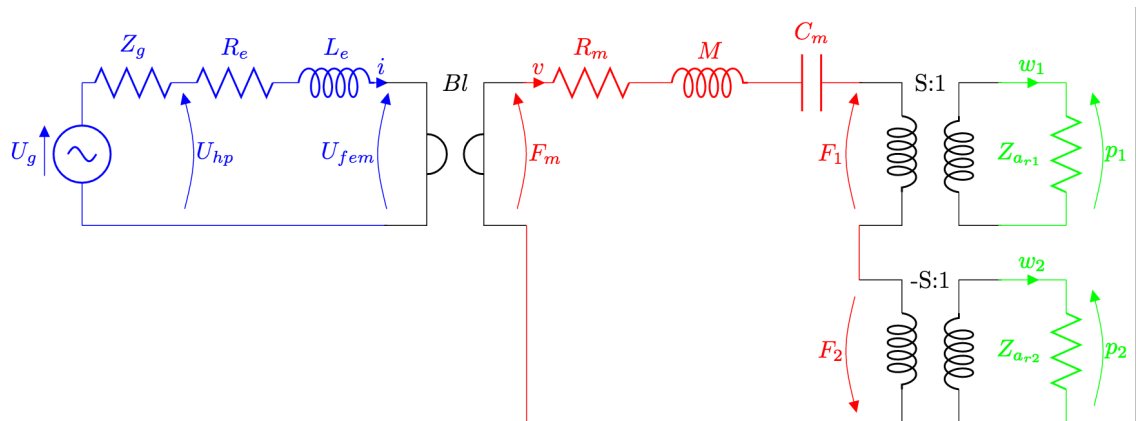
Système électro-mecano-acoustique : le haut parleur électrodynamique

- Le moteur du haut-parleur est constitué d'un circuit magnétique créant un champ magnétique B dans lequel est placée une bobine de longueur ℓ , de résistance électrique R_e et d'inductance électrique L_e .
- La transduction électro-mécanique est caractérisée par le facteur de force Bl .
- La partie mécanique vibrante peut être représentée par l'association d'une masse M , correspondant à la masse de l'ensemble mobile (membrane + bobine électrique mobile + suspensions), d'une souplesse mécanique C_m correspondant aux suspensions élastiques, et d'une résistance mécanique R_m qui traduit l'ensemble des pertes mécaniques du dispositif (frottement dans l'entrefer du circuit magnétique, pertes dans les suspensions, etc.).
- Le haut-parleur rayonne dans l'espace infini par ses deux faces. Chacune de ses faces, de surface notée S est alors chargée par une impédance acoustique de rayonnement Z_{ar} .

C. Mise en équations - schéma électro-mécano-acoustique

SCHÉMA ÉLECTRO-MÉCANO-ACOUSTIQUE

- Le schéma électrique équivalent décrivant le fonctionnement du haut-parleur électrodynamique est le suivant :



- Sur ce schéma, u_g et Z_g représentent respectivement la tension à vide et l'impédance interne du générateur de Thévenin équivalent au dispositif électrique d'excitation.

- Les équations décrivant le comportement électro-mécano-acoustique du haut-parleur peuvent être obtenues en écrivant la loi des mailles de part et d'autre du gyrateur et des transformateurs, ainsi que les équations de couplage du gyrateur et des transformateurs :

$$u_{\text{gen}} = (Z_{\text{gen}} + R_e + j\omega L_e) i + u_{\text{fem}}$$

$$u_{\text{fem}} = B\ell v$$

$$B\ell i = F_m$$

$$F_m = \left(R_m + j\omega M + \frac{1}{j\omega C_m} + F_1 - F_2 \right) v$$

$$F_1 = S p_1 \quad v = \frac{w_1}{S}$$

$$F_2 = S p_2 \quad v = -\frac{w_2}{S}$$

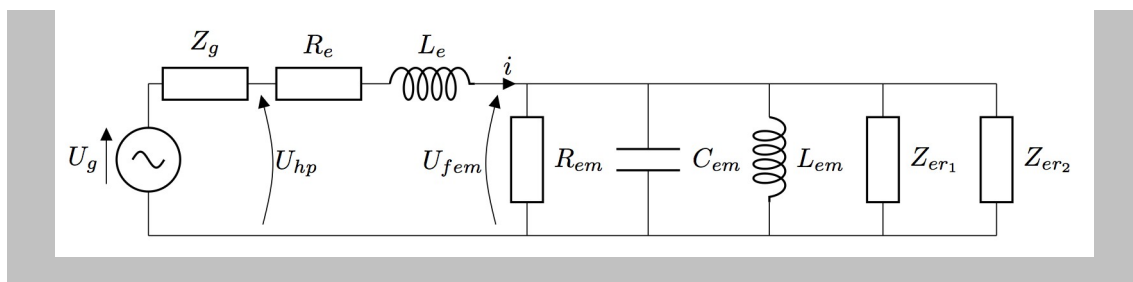
$$p_1 = Z_{ar1} w_1$$

$$p_2 = Z_{ar2} w_2$$

D. Mise en équations - schéma équivalent électrique

SCHÉMA ÉQUIVALENT ÉLECTRIQUE

- Le schéma décrivant le fonctionnement du haut-parleur du point de vue électrique est obtenu en ramenant les éléments "mécaniques" et "acoustiques" au primaire du gyrateur:



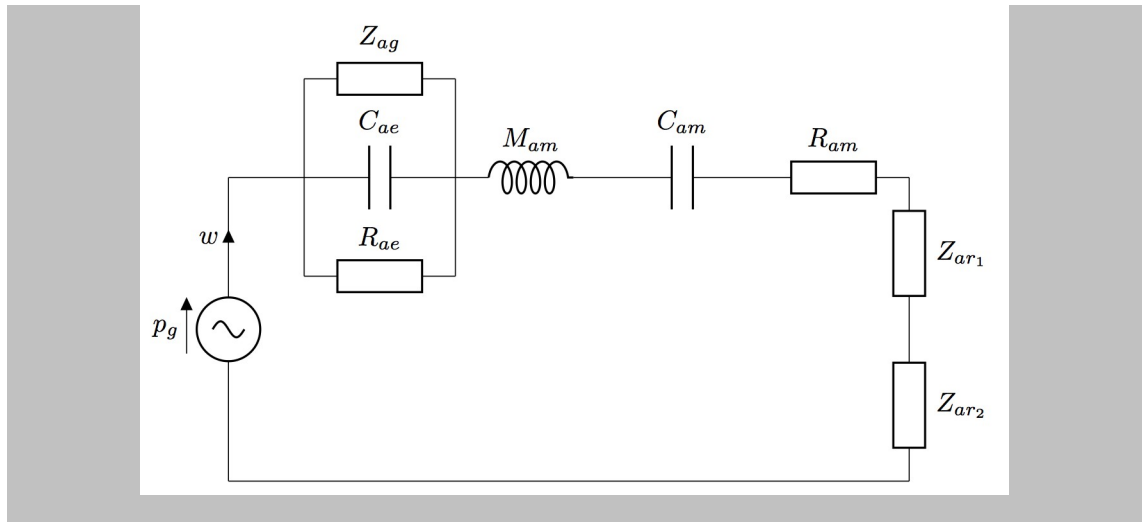
- avec
 - $R_{em} = \frac{B\ell^2}{R_m}$
 - $L_{em} = C_m B\ell^2$
 - $C_{em} = \frac{M}{B\ell^2}$
 - $Z_{er1} = \frac{B\ell^2}{S^2 Z_{ar1}}$
 - $Z_{er2} = \frac{B\ell^2}{S^2 Z_{ar2}}$
- Les équations couplées précédentes se réduisent à une seule équation, dans le domaine électrique :

$$u_g = \left(Z_g + R_e + j\omega L_e + \frac{1}{\frac{1}{R_{em}} + j\omega C_{em} + \frac{1}{j\omega L_{em}} + \frac{1}{Z_{er1}} + \frac{1}{Z_{er2}}} \right) i$$

E. Mise en équations - schéma équivalent acoustique

SCHÉMA ÉQUIVALENT ACOUSTIQUE

- Le schéma électrique équivalent décrivant le fonctionnement du haut-parleur du point de vue acoustique est obtenu en ramenant les éléments "électriques" et "mécaniques" au secondaire d'un des transformateurs.



- avec

$$p_g = \frac{B\ell}{S(Z_g + R_e + j\omega L_e)} u_g$$

$$Z_{ag} = \frac{B\ell^2}{S^2 Z_g}$$

$$C_{ae} = \frac{L_e S^2}{B\ell^2}$$

$$R_{ae} = \frac{B\ell^2}{S^2 R_e}$$

$$M_{am} = \frac{M}{S^2}$$

$$R_{am} = \frac{R_m}{S^2}$$

$$C_{am} = C_m S^2$$

- Les équations couplées précédentes se réduisent à une seule équation, dans le domaine acoustique :

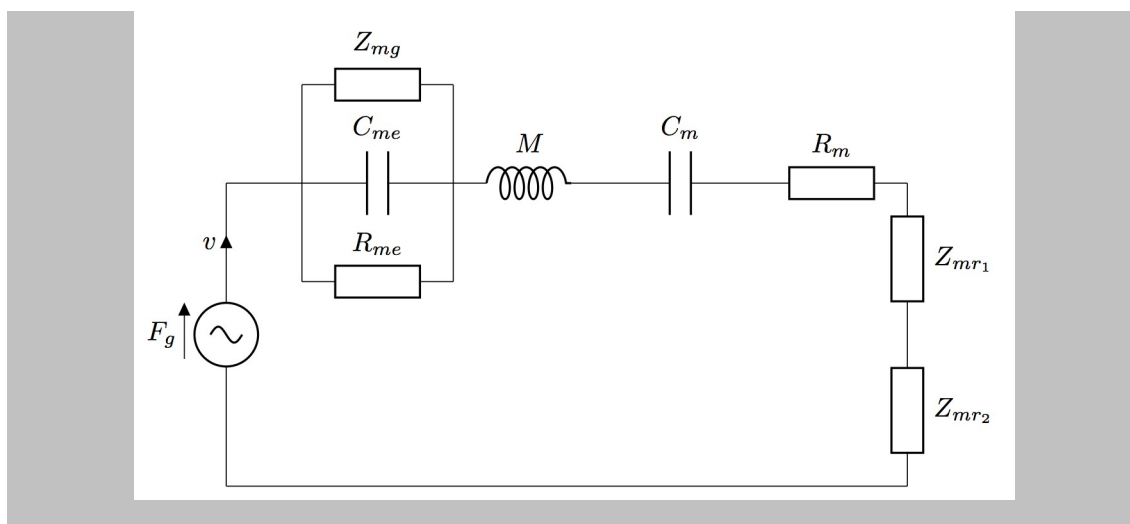
$$p_g = \left[\left(\frac{1}{\frac{1}{Z_{ag}} + j\omega C_{ae} + \frac{1}{R_{ae}}} \right) + j\omega M_{am} + \frac{1}{j\omega C_{am}} + R_{am} + Z_{ar1} + Z_{ar2} \right] w$$

F. Mise en équations - schéma équivalent mécanique

SCHÉMA ÉQUIVALENT MÉCANIQUE

- Le schéma électrique équivalent décrivant le fonctionnement du haut-parleur

du point de vue mécanique est obtenu en ramenant les éléments "électriques" au secondaire du gyrateur et les éléments "acoustiques" aux primaires des transformateurs.



- avec
 - $F_g = \frac{B\ell}{Z_g + R_e + j\omega L_e} u_g$
 - $Z_{mg} = \frac{B\ell^2}{Z_g}$
 - $C_{me} = \frac{L_e}{B\ell^2}$
 - $R_{me} = \frac{B\ell^2}{R_e}$
 - $Z_{mr1} = Z_{ar1} S^2$
 - $Z_{mr2} = Z_{ar2} S^2$
- Les équations couplées précédentes se réduisent à une seule équation, dans le domaine mécanique :

$$F_g = \left[\left(\frac{1}{\frac{1}{Z_{mg}} + j\omega C_{me} + \frac{1}{R_{me}}} \right) + j\omega M + \frac{1}{j\omega C_m} + R_m + Z_{mr1} + Z_{mr2} \right] v$$

G. CALCUL DE L'IMPÉDANCE ÉLECTRIQUE D'ENTRÉE u_{HP}/i DU HAUT-PARLEUR ÉLECTRODYNAMIQUE

Question

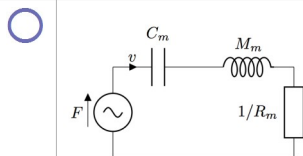
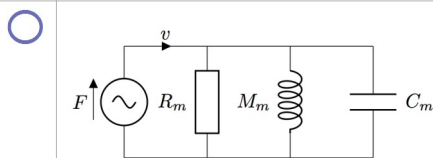
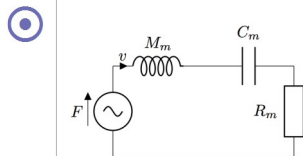
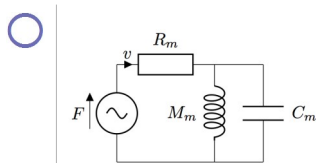
[Solution n°8 p 40]

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} , donnez l'expression de l'impédance électrique d'entrée du haut parleur $Z_{hp} = u_{hp}/i$.

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

Solution des exercices

> Solution n°1 (exercice p. 9)



> Solution n°2 (exercice p. 11)

$$\begin{cases} i_1 = \alpha u_1 \\ i_2 = \alpha u_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = \alpha i_2 \\ i_1 = \alpha u_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = \alpha i_2 \\ u_2 = \alpha i_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_2 = \alpha u_1 \\ i_2 = \alpha i_1 \end{cases}$$

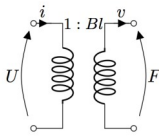
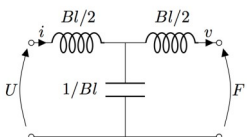
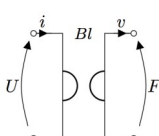
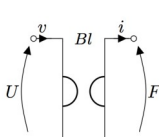
> **Solution n°3** (exercice p. 13)

- $Z_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 Z_2$
- $Z_1 = \frac{n_1}{n_2} Z_2$
- $Z_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \frac{1}{Z_2}$
- $Z_1 = \frac{n_2}{n_1} Z_2$

> **Solution n°4** (exercice p. 15)

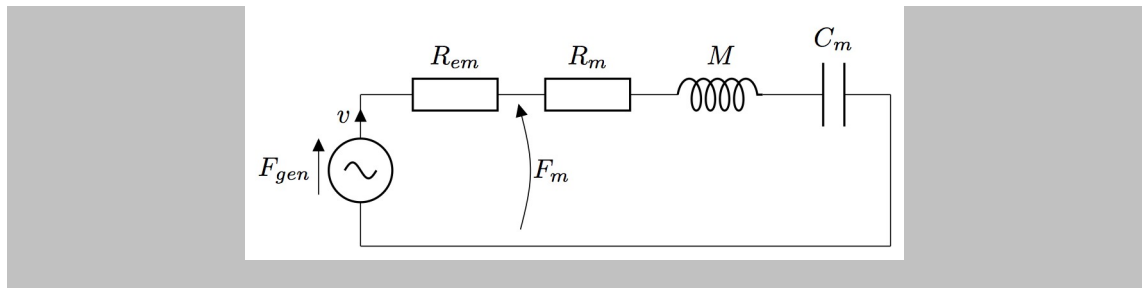
- $Z_1 = \alpha^2 Z_2$
- $Z_1 = \frac{\alpha}{Z_2}$
- $Z_1 = \frac{Z_2}{\alpha^2}$
- $Z_1 = \frac{\alpha^2}{Z_2}$

> **Solution n°5** (exercice p. 17)

- 
- 
- 
- 

> Solution n°6 (exercice p. 23)

Compte tenu des hypothèses formulées, le schéma électrique équivalent au pot vibrant ramené dans le domaine mécanique devient



$$\text{Avec } F_g = \frac{B\ell}{R_e} u_g$$

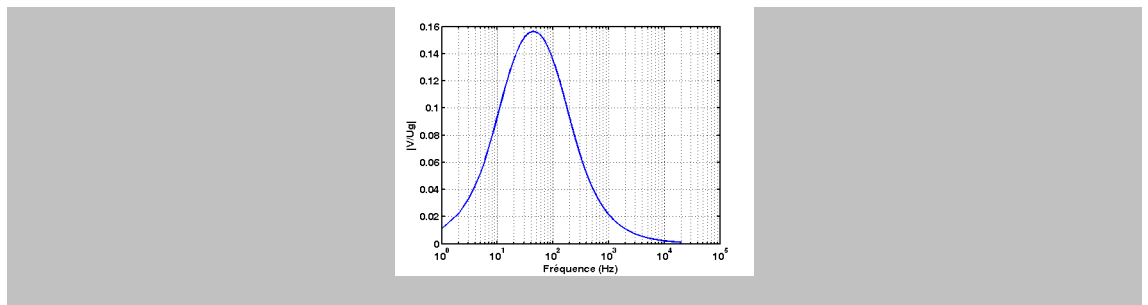
La loi des mailles appliquée à ce schéma conduit à l'expression suivante :

$$\frac{v_m}{F_g} = \frac{jC_m\omega}{1 + j(R_m + R_{em})C_m\omega - MC_m\omega^2},$$

soit encore

$$\frac{v_m}{u_g} = \frac{R_e}{B\ell} \frac{jC_m\omega}{1 + j(R_m + R_{em})C_m\omega - MC_m\omega^2}.$$

L'allure du module de cette réponse en fonction de la fréquence est alors la suivante :



Le comportement du pot vibrant est un comportement résonant : pour une amplitude de tension d'excitation donnée, la vitesse de l'équipage mobile est

$$\text{maximale à la fréquence de résonance } f_r = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{MC_m}}.$$

> Solution n°7 (exercice p. 29)

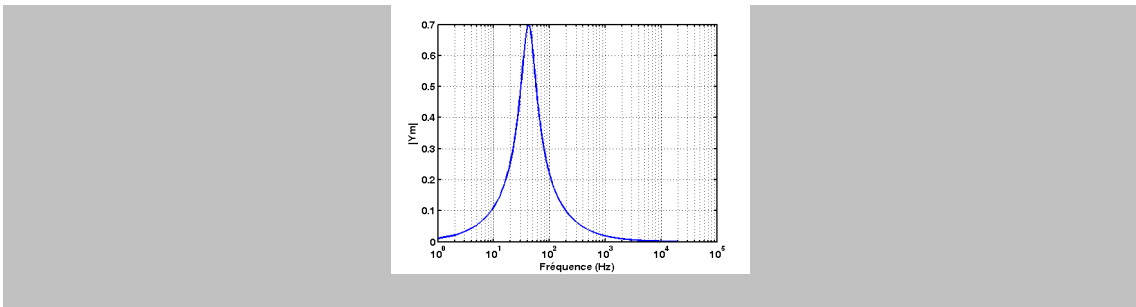
L'admittance électrique $Y_m = v/F$ s'écrit

$$Y_m = v/F = \frac{1}{j\omega(M + M_{ar1}S^2 + M_{ar2}S^2) + \frac{1}{j\omega C_m} + R_m}$$

Soit encore :

$$Y_m = v/F = \frac{j\omega C_m}{1 + j\omega C_m R_m - \omega^2 (M + M_{ar1}S^2 + M_{ar2}S^2) C_m}$$

L'allure du module de l'admittance en fonction de la fréquence est le suivant :



> **Solution n°8** (exercice p. 36)

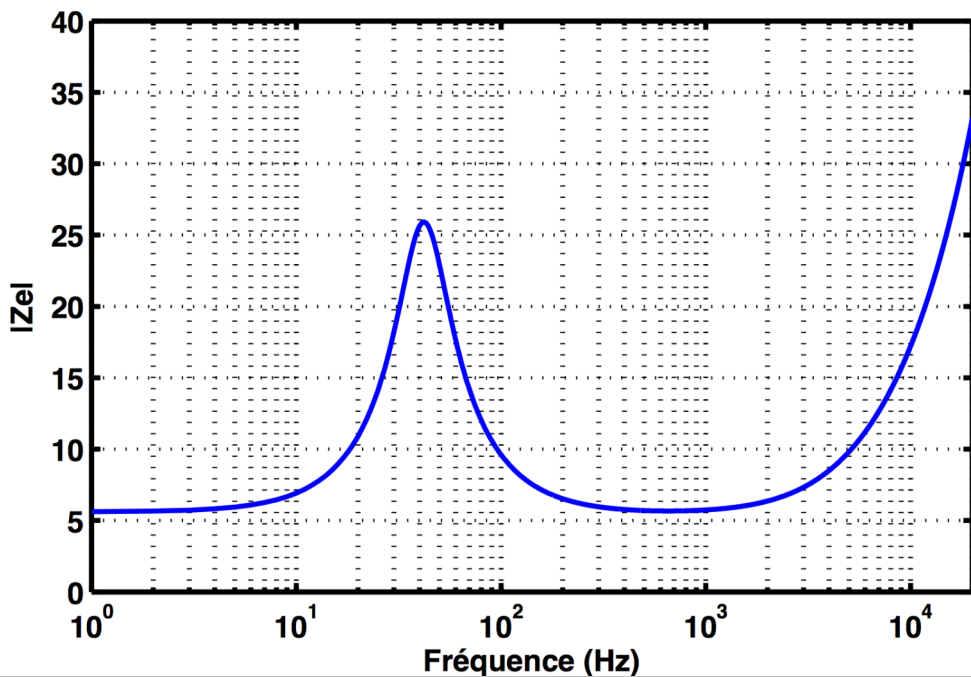
L'impédance électrique d'entrée du haut-parleur électrodynamique s'écrit :

$$Z_{hp} = R_e + j\omega L_e + \frac{j\omega L_{em}}{1 + j\omega \frac{L_{em}}{R_{em}} - (C_{em} + C_{er1} + C_{er2}) L_{em} \omega^2}$$

avec

$$C_{er} = \frac{B\ell^2}{S^2 M_{ar}}$$

L'allure du module de cette impédance en fonction de la fréquence est le suivant :



Cette courbe permet d'identifier certains paramètres électromécaniques du haut-parleur. En particulier :

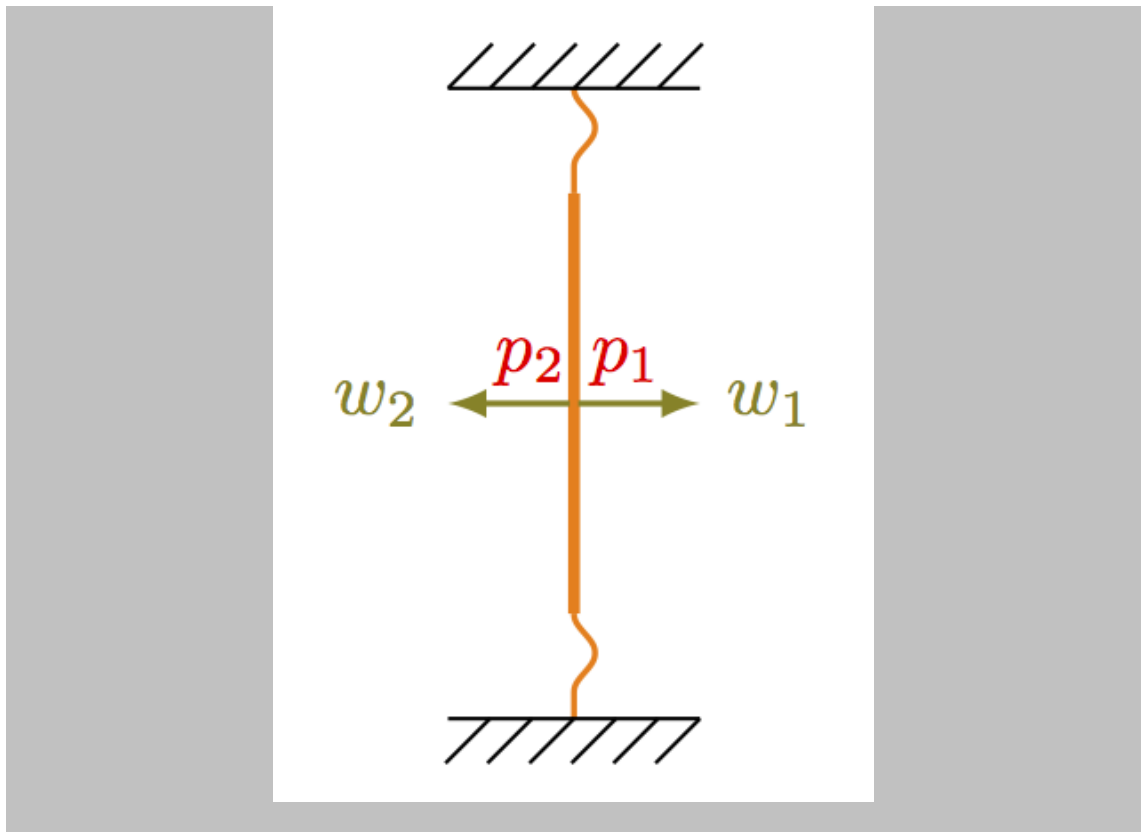
- Le module de l'impédance tend en très basses fréquences vers la valeur de la résistance R_e
- La pente de la courbe en hautes fréquences correspond à la valeur de l'inductance L_e .
- La fréquence du pic de résonance correspond à la fréquence de résonance mécanique de l'équipage mobile

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{L_{em} (C_{em} + C_{er1} + C_{er2})}} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{C_m (M + M_{ar1} S^2 + M_{ar2} S^2)}}$$

Contenus annexes

- EN SAVOIR PLUS : IMPÉDANCES DE RAYONNEMENT

Par définition, l'impédance acoustique de rayonnement d'un piston vibrant est le rapport entre la pression P s'exerçant sur la surface S du piston et le débit acoustique sortant w normal à cette surface.

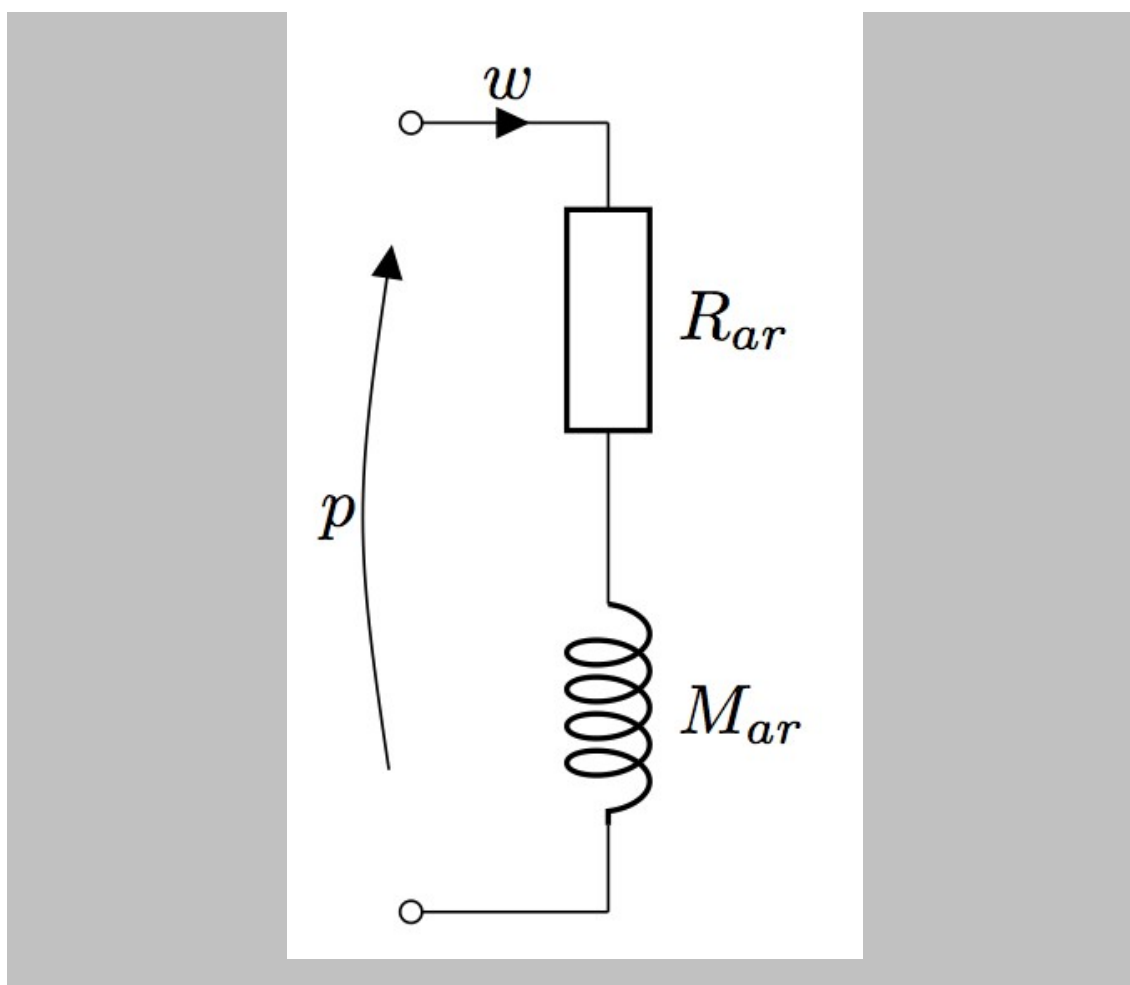


- Les impédances de rayonnement avant et arrière chargeant les faces de la membrane s'écrivent donc :

$$Z_{ar1} = \frac{p_1}{w_1} \quad (1)$$

$$Z_{ar2} = \frac{p_2}{w_2} \quad (2)$$

En basses fréquences, la représentation électrique équivalente d'une impédance de rayonnement est la suivante



où M_{ar} représente la masse de rayonnement et où R_{ar} représente la résistance de rayonnement.