MODÉLISATION DU COMPORTEMENT D'UN ÉLÉMENT VIBRANT PIÉZOÉLECTRIQUE UTILISÉ EN TÉLÉPHONIE

A. Zoghdani, M. Brissaud, G. Grange, C. Cognasse

► To cite this version:

A. Zoghdani, M. Brissaud, G. Grange, C. Cognasse. MODÉLISATION DU COMPORTEMENT D'UN ÉLÉMENT VIBRANT PIÉZOÉLECTRIQUE UTILISÉ EN TÉLÉPHONIE. Journal de Physique Colloques, 1990, 51 (C2), pp.C2-551-C2-554. 10.1051/jphyscol:19902129 . jpa-00230423

HAL Id: jpa-00230423

<https://hal.science/jpa-00230423>

Submitted on 1 Jan 1990

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1er Congrès Français d'Acoustique 1990

MODÉLISATION DU COMPORTEMENT D'UN ÉLÉMENT VIBRANT PIÉZOÉLECTRIQUE UTILISÉ EN TÉLÉPHONIE

A. ZOGLDANI, M. BRISSAUD, G. GRANGE et C. COGNASSE*

INSA, L.G.E.F., 20 Avenue Albert-Einstein, F-69621 Villeurbanne Cedex, France

*HPF, BP. 29, ZI La Bergerie, F-74131 Bonneville Cedex, France

Résumé : Les transducteurs électroacoustiques mettant en oeuvre des diaphragmes piézoélectriques sont, du fait de leur simplicité, largement utilisés dans de nombreuses applications et en particulier en téléphonie. Ils sont généralement constitués d'une membrane circulaire passive sur laquelle est collé un disque piézoélectrique mince. Les approches classiques supposent que le boîtier maintient parfaitement la membrane. Cependant, pratiquement ces conditions sont difficiles à réaliser et l'encastrement est imparfait. Dans cet article nous montrons qu'il est possible de concevoir un modèle prenant en compte non seulement la structure du capteur, mais également les conditions d'encastrement. Le logiciel que nous avons développé permet de modifier à volonté les caractéristiques de la fixation de la membrane ainsi que les paramètres de construction du capteur.

Abstract : Electroacoustic transducers using piezoelectric diaphragms are widely used in various kinds of electronic applications, particularly in telephone thanks to their simplicity. Generally they consist of a thin piezoelectric disk glued on a passive circular membrane. In the classical approaches it is assumed that the membrane vibrates with clamped edges. However, in practice, these conditions cannot be perfectly realized. This paper describes a new model which takes into account both the transducer structure and the edge clamping conditions. The developed program allows the users to change both the edge fixing and the transducer building parameters.

I- INTRODUCTION

En téléphonie, la réalisation des microphones et des écouteurs fait de plus en plus appel aux matériaux piézoélectriques. L'élément vibrant est généralement constitué d'une membrane métallique sur laquelle est collé un disque piézoélectrique très mince. L'ensemble est ensuite enfermé dans un boîtier servant à maintenir la membrane et à corriger sa bande passante. Les caractéristiques du transducteur ainsi formé dépendent beaucoup du mode de fixation de la membrane dans son boîtier et de la constitution de celui-ci. En particulier lors de l'encapsulation, l'élément vibrant est inséré entre deux matériaux élastiques qui modifient les caractéristiques de l'encastrement et donc les propriétés du capteur. De nombreux auteurs ont étudié les modes de vibration d'une membrane parfaitement encadrée [1]-[5] ou dont les bords sont totalement libres [6][7]. Les conditions aux limites de ces modèles étant incompatibles, il n'est pas possible de passer de manière continue d'un mode à l'autre.

Le but de ce travail est de montrer que l'on peut, à partir du fonctionnement correspondant à l'encastrement parfait, passer à un fonctionnement pour lequel les conditions d'encastrement se dégradent et évoluent vers un mode semi-libre. Le modèle proposé prend en compte les caractéristiques de l'encastrement et les différents paramètres de fabrication. Un logiciel, écrit en Turbo-Pascal, permet de modifier à volonté la configuration électroacoustique du transducteur et de vérifier la validité de notre modèle.

II- SCHEMA EQUIVALENT DE L'ELEMENT VIBRANT

La structure interne du capteur est donnée figure 1. Le disque piézoélectrique (D) est collé sur une membrane circulaire de laiton (M) insérée dans le boîtier (B). Des trous T_{AV} et une cavité C_{AV} à l'avant ainsi que des trous T_{AR} et une cavité C_{AR} disposés à l'arrière de la partie vibrante assurent l'égalisation de la bande passante du capteur.

Dans un souci de simplicité, l'ensemble membrane-céramique est transformé en une membrane unique équivalente dont l'épaisseur est corrigée en fonction des élasticités respectives des deux constituants [1].

Figure 1 - Structure interne du capteur

Soit $W = W(r) \exp j\omega t$ (1) l'expression de la déformation du diaphragme. En supposant que la déformation est axi-symétrique, les composantes non nulles du tenseur des contraintes, en coordonnées cylindriques s'écrivent :

$$\begin{cases} T_{rr} = - \frac{z Y_m}{1 - \sigma_m^2} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{\sigma_m}{r} \frac{\partial W}{\partial r} \right) \\ T_{\theta\theta} = - \frac{z Y_m}{1 - \sigma_m^2} \left(\sigma_m \frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r} \right) \end{cases} \quad (2)$$

où Y_m et σ_m sont respectivement le module d'Young et le coefficient de Poisson de la membrane équivalente.

A cette expression il faut ajouter la relation de la piézoélectricité liant l'induction électrique à la déformation et au champ électrique [5][6] soit :

$$D_z = - \frac{z d_{31}}{s_{11}^E (1 - \sigma_c^E)} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 W}{\partial r} \right) + \epsilon_{33}^T E_z \quad (3)$$

où s_{11}^E , σ_c^E et ϵ_{33}^T sont respectivement la constante élastique, le coefficient de Poisson et la permittivité à contrainte nulle du disque céramique de constante piézoélectrique d_{31} .

Lorsque les bords sont parfaitement encastres, l'équation d'équilibre conduit à une déformation de la forme [1]

$$w_{EP} = \frac{p_0 b_m^4}{64 D} \left(1 - \left(\frac{r}{b_m} \right)^2 \right)^2 \quad (4)$$

$$D = \frac{E_m h'^3}{12 (1 - \sigma_m^2)} \quad (5)$$

est la rigidité équivalente à l'ensemble membrane-disque piézoélectrique, p_0 la pression acoustique appliquée, et $h' = h + e_c E_c / E_m$ l'épaisseur corrigée du diaphragme.

Si les bords de la membrane ne sont plus rigidement encastres, la déformation et le moment de flexion ne sont plus nuls au niveau de l'encastrement, soit [1] :

$$\left(\frac{dw}{dr} \right)_{r=b} = - \beta M_0 \quad (6)$$

où β est la constante d'encastrement et M_0 , le moment maximal aux bords de l'élément.

En supposant que la constante β est petite devant l'unité, on peut exprimer la déformation sous la forme :

$$w_{sc} = w_{ep} + w_e \quad (7)$$

où w_e est uniquement fonction de β , soit :

$$w_e = \beta M_0 \frac{b_m}{2} \left(1 - \left(\frac{r}{b_m} \right)^2 \right) \quad (8)$$

Dans ces conditions la f_{em} qui apparait aux bornes de la céramique s'écrit :

$$u_c = \frac{I}{j C_0 \omega} + \frac{p}{k_{ep}} + \frac{p}{k'} \quad (9)$$

où C_0 est la capacité de l'élément céramique ($C_0 = \pi a^2 \epsilon_{33}^T / e$)

$$\frac{1}{k_{ep}} \quad \text{et} \quad \frac{1}{k_{sc}} = \frac{1}{k_{ep}} + \frac{1}{k'} \quad (10)$$

sont respectivement les constantes de transformation électroacoustique lorsque l'encastrement est parfait et imparfait (semi-encastrement) :

$$\frac{1}{k_{ep}} = \frac{3}{4} \frac{E_c}{E_m} \frac{1 - \sigma_m^2}{1 - \sigma_c} \frac{d_{31}^2 e^2 b_m^2}{\epsilon_{33}^T h^3} \left(1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2\right) \quad (11)$$

$$\frac{1}{k'} = \frac{d_{31}^2 e^2 b^2 \beta}{8 \epsilon_{33}^T (1 - \sigma_c) (\beta D + b) s_{11}^E}$$

A partir de l'équation de la déformée $w(r)$ on peut déterminer les expressions des composants M et C équivalents. On en déduit ensuite la structure du schéma électrique équivalent au capteur pour lequel tous les éléments, trous, cavités, membrane sont remplacés par leurs analogues électriques correspondants. La figure 2 montre la structure du schéma obtenu. Les éléments C_m , M_m , R_m se rapportent au diaphragme, alors que les éléments C_{CAR} , M_{CAR} , R_{CAR} et C_{TAV} , M_{TAV} et R_{TAV} , M_f et R_f , M_{tar} et R_{tar} caractérisent respectivement la cavité, la masse et la résistance des trous avant et arrière, les fuites éventuelles à l'avant et à l'arrière du boîtier.

Figure 2 - Schéma électrique équivalent au capteur piézoélectrique

Le rapport $\eta = p/u$ (12) est appelé efficacité du transducteur et s'exprime en décibels. En prenant comme référence le niveau de pression correspondant au seuil d'audibilité, l'efficacité du transducteur devient :

$$\eta = 20 \log \frac{p}{u} + 94 \quad (12')$$

III- RESULTATS

La figure 3 montre la variation de l'efficacité en fonction de la fréquence mesurée sur un capteur parfaitement encastrement et connecté à une oreille artificielle standard (Bruel et Kjaer 4153). la figure 4 représente les résultats d'une simulation effectuée à partir du modèle de la figure 2 et correspondants à un encastrement parfait (1) et imparfait (2). Dans chaque cas les résultats sont proches des courbes expérimentales. En particulier, en simulation on retrouve que la fréquence de résonance de la membrane diminue lorsque l'on passe d'un fonctionnement bridé à un fonctionnement semi-libre.

Le logiciel écrit en Pascal permet de faire varier à volonté les différents paramètres du schéma équivalent ainsi que la valeur de β qui ne peut excéder 0,1 pour rester dans les limites de validité du modèle décrit précédemment.

Figure 3 - Courbe expérimentale de l'efficacité :
semi-encastrement proche de l'encastrement parfait

Figure 4 Courbe simulée de l'efficacité : **c2** encastrement parfait, **c1** semi-encastrement

IV- CONCLUSION

Nous avons développé une modélisation simple du comportement fréquentiel d'un transducteur utilisé en téléphonie. Le modèle utilisé prend en compte les caractéristiques de fixation du diaphragme dans son boîtier et permet de retrouver correctement l'évolution de l'efficacité du transducteur jusqu'à la première fréquence de résonance de la membrane. Une seconde version, utilisant l'approche exacte par fonction de Bessel est en cours de développement pour obtenir une meilleure concordance entre les résultats pratiques et théoriques au-delà de la première résonance du diaphragme.

Bibliographie :

- 1 S. TIMOSHENKO, Théorie de l'élasticité, Béranger, Paris 1948
- 2 L. LEHMANN, Les transducteurs électro et mécanoacoustiques, CNET, Chinon, Paris 1963
- 3 C. GERMANO, Flexural mode piezoelectric transducers, IEEE Trans. Audio. and Electro-acoust., AU19.1, March 1971, 6-12
- 4 N.T. ADELMAN and Y. STAVSKY, Flexural-extensional behavior of composite piezoelectric circular plates, J. Acoust. Soc. Am. 67-3, March 1980, 819-822
- 5 E.S. BRAILOV and M.E. VASSERGISER, Estimation of the characteristics of a disk-shaped flexural-mode bimorph cell. Sov. Phys. Acoust. 26, 4, July-August 1980, 325- 328
- 6 Yu.T. ANTONIAK and M.E. VASSERGISER, Calculation of the characteristics of a membrane-type flexural-mode piezoelectric transducer. Sov. Phys. Acoust. 28, 3, May-June 1982, 176-180
- 7 J.G. SMITS, Equivalent circuit for end-loaded piezoelectric bimorph actuators, Ferro-electrics 60, 1984, 141-148
- 8 M. ROSSI, Electroacoustique, Dunod, Paris 1986
- 9 M. BRISSAUD et D. NOTERMAN, Etude d'un haut-parleur piézoélectrique assurant la conversion numérique-analogique, ACUSTICA 60, 1986, 81-83
- 10 Y. ICHINOSE, Piezoelectric diaphragm characteristics, 13th Congress, Acoust. Belgrade Yugoslavia, 1989, 455-458