INFLUENCE DES CONDITIONS D'ENCASTREMENT SUR LES CARACTÉRISTIQUES D'UN CAPTEUR UTILISÉ EN TÉLÉHONIE

A. Zoghdani, M. Brissaud, G. Grange

► To cite this version:

A. Zoghdani, M. Brissaud, G. Grange. INFLUENCE DES CONDITIONS D'ENCASTREMENT SUR LES CARACTÉRISTIQUES D'UN CAPTEUR UTILISÉ EN TÉLÉHONIE. Journal de Physique IV Proceedings, 1992, 02 (C1), pp.C1-357-C1-360. 10.1051/jp4:1992176 . jpa-00251248

HAL Id: jpa-00251248

<https://hal.science/jpa-00251248>

Submitted on 1 Jan 1992

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.

INFLUENCE DES CONDITIONS D'ENCASTREMENT SUR LES CARACTÉRISTIQUES D'UN CAPTEUR UTILISÉ EN TÉLÉPHONIE

A. ZOGHDANI, M. BRISSAUD et G. GRANGE

*INSA, Lab. Génie Electrique et Ferroélectricité (Bât. 504), 20 avenue A. Einstein,
F-69621 Villeurbanne cedex, France*

Résumé : La réalisation de microphones et d'écouteurs fait, actuellement, de plus en plus appel aux matériaux céramiques piézoélectriques. L'élément moteur, généralement constitué d'un diaphragme métallique en laiton sur lequel est collé un disque céramique mince piézoélectrique est enfermé dans un boîtier en matière plastique qui assure le maintien du diaphragme et une insertion simple dans le combiné. Du fait de l'élasticité du boîtier le diaphragme n'est pas rigidement bridé. Il s'ensuit des modifications importantes des performances du capteur. Le but de ce travail est l'établissement d'un modèle général incluant les éléments acoustiques du capteur et les conditions de fixation du diaphragme dans le boîtier. Nous avons pu ainsi mettre en évidence la dispersion naturelle due à la fabrication et au montage des éléments dans le boîtier qui se traduit par une perte d'efficacité et un décalage des fréquences de résonance.

Abstract : Piezoelectric microphones and earsets are now often used in the telephone field. Generally they consist of a thin piezoceramic disk glued on a passive circular diaphragm and inserted into a plastic case. Due to the case elasticity, the diaphragm edges are not perfectly clamped. This paper is devoted to the description of a general modelling including both the transducer structure and the edge clamping conditions. In practice, the slight variations of the sensor sensitivity and the resonance frequency shifts are linked to the component machining. The experimental and the simulated results are in good agreement and the proposed model can determine the actual clamping conditions.

I - INTRODUCTION

L'amélioration des performances des postes téléphoniques nécessite la réalisation de capteurs (microphones et écouteurs) plus légers, plus simples à réaliser et présentant de meilleures caractéristiques électroacoustiques. Les matériaux céramiques piézoélectriques possédant de grands coefficients de couplage répondent bien à ces exigences. L'élément actif est constitué d'un disque piézoélectrique collé sur un diaphragme métallique dont les bords sont fixés dans un boîtier en matière plastique. De nombreux auteurs ont étudié les modes de vibration d'un diaphragme bridé [1]. Nous avons établi [2] un modèle simplifié incluant les conditions d'encastrement qui permettait le calcul exact des fréquences de résonance. Bien que l'allure de la courbe d'efficacité soit conservée, les valeurs simulées étaient plus faibles que celles trouvées expérimentalement.

Le but de cette étude est la modélisation d'un capteur piézoélectrique à partir des résultats généraux de la théorie de la déformation de flexion des plaques minces en incluant les conditions de fixation ou d'encastrement des bords de celles-ci dans le boîtier. Le modèle proposé prend également en compte les éléments acoustiques (trous et cavités) de construction qui modifient sensiblement les caractéristiques finales du capteur.

II - MODÈLE ANALYTIQUE DU CAPTEUR

Le problème général de la déformation d'une plaque soumise à une pression uniforme est à trois dimensions. Il devient à deux dimensions dans le cas des plaques minces c'est-à-dire lorsque son épaisseur est très petite devant ses dimensions latérales. La déformation ou la flèche n'est plus fonction que de deux coordonnées. Si de plus la flèche est très petite devant l'épaisseur, il y a conservation du plan neutre et les points de la plaque situés dans un plan normal au plan neutre restent dans ce plan après déformation. Il s'ensuit que les contraintes normales à la plaque peuvent être négligées [3].

La figure 1 montre la structure interne du transducteur. L'élément assurant la conversion électroacoustique est un disque céramique collé sur un diaphragme passif en laiton fixé dans un boîtier en matière plastique. Des trous percés sur les faces avant et arrière du boîtier et des cavités ménagées de chaque côté du diaphragme permettent de modifier la courbe de réponse du capteur.

Le module d'Young du matériau piézoélectrique étant plus faible que celui du laiton, l'ensemble diaphragme-céramique est réduit à un diaphragme unique équivalent dont l'épaisseur est corrigée en fonction des constantes élastiques des deux constituants [3].

En supposant la déformation axisymétrique, $W = W(r) \exp j\omega t$ (1), le tenseur des contraintes se réduit à T_r et T_θ . Sous l'influence de la pression uniforme p , la déformation en flexion du diaphragme est régit par une équation aux dérivées partielles du quatrième ordre que l'on peut écrire symboliquement [3] :

$$D \Delta^2 W + \rho h \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = p \quad (2)$$

avec $\Delta^2 W = \Delta \Delta W = \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right]^2 (W)$ où Δ est le Laplacien (3)

et $D = \frac{Y h^3}{12(1-\nu)}$ (4) est la rigidité en flexion du transducteur.

Y , ν et ρ sont respectivement le module d'Young, le coefficient de Poisson et la masse volumique du diaphragme équivalent d'épaisseur corrigée h en fonction de celle, e , du disque céramique et du module d'Young, Y_c , de celui-ci soit $h = h_d + e Y_c/Y$ (h_d est l'épaisseur du diaphragme seul).

La solution générale de l'équation (2) est de la forme [4]

$$W = A J_0(kr) + B I_0(kr) - \frac{p}{j\rho h \omega^2} \quad (5)$$

où k est donné par $k^4 = \rho h \omega^2 / D$ et où J_0 et I_0 sont respectivement les fonctions de Bessel de première et de seconde espèce d'ordre zéro.

Les deux constantes A et B sont déterminées par les conditions aux limites que l'on peut énoncer ainsi [3] :

- la déformation est nulle sur les bords ($r = b$) du diaphragme soit $W(b) = 0$ (6)

- au niveau de l'encastrement la pente de la déformée est

. nulle si les bords sont bridés soit : $\frac{\partial W(b)}{\partial r} = 0$ (6')

. proportionnelle au moment de flexion M_0 si l'encastrement est imparfait soit :

$$\frac{\partial W(b)}{\partial r} = -\beta M_0 \quad (8)$$

où β est la constante d'encastrement et où M_0 est donné par :

$$M_0 = -\frac{\partial^2 W(b)}{\partial r^2} \quad (9)$$

Finalement on peut mettre $W(r)$ sous la forme [2] :

$$W(r) = W_{ep} + W_e \quad (10)$$

où W_{ep} et W_e correspondent respectivement à l'encastrement parfait et à la contribution apportée par le semi-encastrement :

$$W_{ep} = \frac{p}{\rho h \omega^2} \left[\frac{I_1(kb) J_0(kr) + J_1(kb) I_0(kr)}{\Sigma} - 1 \right] \quad (10')$$

$$W_e = \frac{\beta M_0}{k} \frac{I_0(kb) J_0(kr) - J_0(kb) I_0(kr)}{\Sigma} \quad (10'')$$

avec : $\Sigma = I_1(kb) J_0(kb) + J_1(kb) I_0(kb)$ (11)

L'induction électrique créée par la déformation de la céramique piézoélectrique s'exprime par :

$$D_z = -\frac{z d_{31} Y_c}{(1-\sigma^E)} \left[\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r} \right] + \epsilon_{33}^T E_z \quad (12)$$

où d_{33} , ϵ_{33}^T et σ^E sont, respectivement, le coefficient piézoélectrique, la permittivité et le coefficient de Poisson du disque céramique.

En calculant la charge totale induite sur la surface de la céramique de rayon a , et en intégrant ensuite le champ électrique suivant l'épaisseur e de la céramique on obtient la force électromotrice, U , produite sous l'effet de la pression uniforme p soit :

$$U = \frac{-i}{j C_c \omega} + N p \quad (13)$$

avec $N = N_{ep} + N_e$ (14), N et N_{ep} sont respectivement les constantes de transformation du diaphragme imparfaitement et parfaitement encastré. N_e est la contribution due seulement au semi-encastrement. Ces constantes s'écrivent :

$$N_{ep} = d_{31} e^2 Y_c [I_1(ka) J_1(kb) - I_1(kb) J_1(ka)] / a \epsilon_{33}^T (1 - \sigma^E) \Sigma D k^3 \quad (15)$$

$$N_e = \beta M_o d_{31} e^2 Y_c [I_1(ka) J_o(kb) + I_o(kb) J_1(ka)] / a \epsilon_{33}^T (1 - \sigma^E) \Sigma \quad (15')$$

et $M_o = (J_1(kb) I_o(kb) - I_1(kb) J_o(kb)) p / [1 - \beta D (1/b - 2J_o(kb) I_o(kb))] \Sigma k^2 \quad (16)$

La constante de transformation N représente la constante de transformation d'un transformateur fictif réalisant la conversion réversible électrique-acoustique. L'impédance acoustique du diaphragme est branchée aux bornes de l'entrée acoustique du transformateur. La capacité propre du disque céramique est connectée en série avec la sortie électrique du transformateur. On se ramène à une structure de type Mason [2] pour laquelle la capacité est en parallèle sur le transformateur, en utilisant les équations de transformation série-parallèle des circuits équivalents [5]. La capacité devient alors C'_c et la constante de transformation N' . L'impédance acoustique du diaphragme est alors en série avec le secondaire et devient z .

A partir des relations précédentes et compte-tenu des équivalences électriques des composants acoustiques [6] on déduit le schéma électrique complet équivalent du capteur (figure 2). Les trous et les cavités avant et arrière sont représentés respectivement par des résistances en série avec des selfs et des capacités. Les fuites possibles entre les deux faces sont également prises en compte. Le rapport η entre la pression acoustique p et la tension électrique disponible u est l'efficacité du capteur. En prenant comme référence le niveau de pression correspondant au seuil d'audibilité l'efficacité du transducteur devient :

$$\eta_{dB} = 20 \log \frac{p}{u} + 94 \quad (17)$$

III - RÉSULTATS

Les évolutions pratiques de l'efficacité et de l'impédance électrique du transducteur en fonction de la fréquence sont données figures 3a et b. Les courbes simulées correspondantes sont tracées figures 4a et b. Dans les deux cas le nombre de trous avant est de 16. On constate que les valeurs de l'efficacité et les fréquences de résonance sont identiques et que l'allure générale des courbes est respectée.

IV - CONCLUSION

Le modèle général que nous avons développé permet de retrouver avec une bonne précision les fréquences de résonance ainsi que l'allure et les valeurs pratiques de l'efficacité du capteur complet. Il fournit, également, pour un transducteur donné les conditions réelles d'encastrement sous la forme d'un paramètre noté β égale à zéro si le diaphragme est bridé et qui varie jusqu'à la valeur 0,13 correspondant au cas où les bords sont libres [2]. Les résultats théoriques sont confirmés expérimentalement ce qui valide notre modélisation.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 A. ZOGHDANI, M. BRISSAUD, G. GRANGE, C. COGNASSE. 1er Congrès Français d'Acoustique S.F.A. Lyon avril 1990.
- 2 A. ZOGHDANI. Thèse de Doctorat. INSA Lyon. Juin 1991.
- 3 S. TIMOSHENKO. Théorie de l'élasticité. Béranger Paris 1948.
- 4 Y. JULLIEN. Vibration des systèmes élastiques. Nat et Biol Galf 1971.
- 5 C. GERMANO. IEEE Trans. Audio and Electroacoust. AU19,1 March 1971, 6-12.
- 6 M. ROSSI. Electroacoustique, Dunod, Paris 1986.

Fig. 1 : Structure interne du capteur piézoélectrique.

Fig. 2 : Schéma électrique équivalent au capteur piézoélectrique complet.

Fig. 3 : Courbes expérimentales d'impédance a) et de l'efficacité b).

Fig. 4 : Courbes simulées de l'impédance a) et de l'efficacité b) du capteur piézoélectrique.