

HAUT-PARLEURS ET ENCEINTES ACOUSTIQUES

Les systèmes piézoélectriques et magnétostrictifs

Les haut-parleurs exploitant l'effet d'électrostriction ou de magnétostriction n'ont pas connu un grand succès en raison de leur inaptitude à fournir une grande puissance acoustique aux basses fréquences. Ceux du premier type présentent sur les modèles électrostatiques l'avantage de fonctionner sans source de polarisation. Surtout utilisés comme sources ultrasonores en acoustique sous-marine (sonars), ils connaissent quelques applications dans le domaine audio comme haut-parleurs d'aigu.

Les améliorations incessantes apportées aux matériaux piézoélectriques de synthèse connus sous le nom de céramiques blanches (1), en particulier celles apportées à la stabilité de leurs caractéristiques en température et dans le temps, expliquent quelques succès commerciaux récents.

Après l'abandon progressif du sel de Seignette, du quartz, du phosphate d'ammonium, puis du titanate de baryum introduit en 1948, on utilise aujourd'hui des composés au plomb couramment désignés par les sigles PZT et PXE (zirconates - titanates de plomb) avec substitution d'atomes de même valence (calcium, baryum, strontium) qui optimisent les paramètres critiques, en particulier le coefficient de couplage électromécanique (k), le facteur de

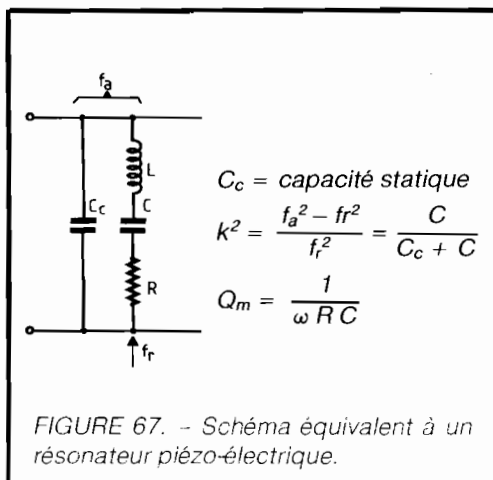


FIGURE 67. - Schéma équivalent à un résonateur piézo-électrique.

qualité mécanique (Q_m) et le facteur de qualité diélectrique (Q_e) [20].

Ces paramètres interviennent dans la définition d'un facteur de mérite, à savoir, pour un transducteur fonctionnant en émetteur :

$$\eta \text{ (rendement maxi)} \simeq 1 - \frac{2}{\sqrt{k^2 Q_m Q_e}}$$

avec k (coefficient de couplage électromécanique)

$$\simeq \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{f_a - f_r}{f_r}$$

f_a = fréquence d'antirésonance

f_r = fréquence de résonance

f_a et f_r sont définis dans le schéma équivalent de la figure 67

$k = 0,1$ à $0,5$ selon compositions

Q_m (facteur de surtension mécanique) = $1/\omega RC$

$Q_m = 500$ à $2\,000$ selon céramiques
 Q_e = facteur de qualité diélectrique (50 à 250 selon céramiques).

Compte tenu de la sensibilité de ces différents facteurs à la température de fonctionnement, le fabricant de céramique est toujours tenu de rechercher des compromis où entre en ligne de compte la température de Curie (250 °C à 550 °C selon les compositions).

Le processus de fabrication de tels matériaux s'apparente beaucoup à la fabrication des ferrites : après mélange, broyage et frittage, l'isotropie est rompue par application d'un champ électrique sous forte pression hydrostatique (opération de polarisation). On obtient ainsi une orientation privilégiée des dipôles élémentaires, qui sera à l'origine de la déformation élastique également orientée et induite par application d'une tension électrique aux bornes d'électrodes à couches d'or ou d'argent déposées sous vide ou sérigraphiées.

A la base des applications piézoélectriques : des structures planes vibrant en flexion, d'une part pour améliorer le rendement par une bonne adaptation à la basse impédance acoustique de l'air, d'autre part pour accepter une puissance électrique importante. Il est presque toujours fait appel à des résonateurs composites en forme de disques, soit constitués d'un sandwich céramique/métal, soit d'une structure bimorphe composée de deux céramiques collées (fig. 68). Sans précautions spéciales, ces structures ont un rendement faible, dû à l'existence d'opposition de

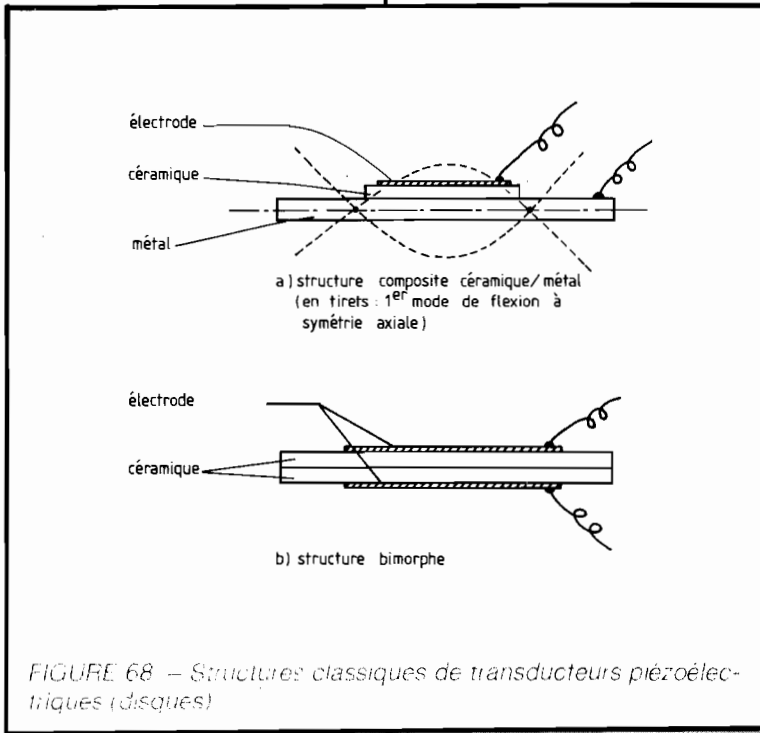


FIGURE 68 – Structures classiques de transducteurs piézoélectriques (disques)

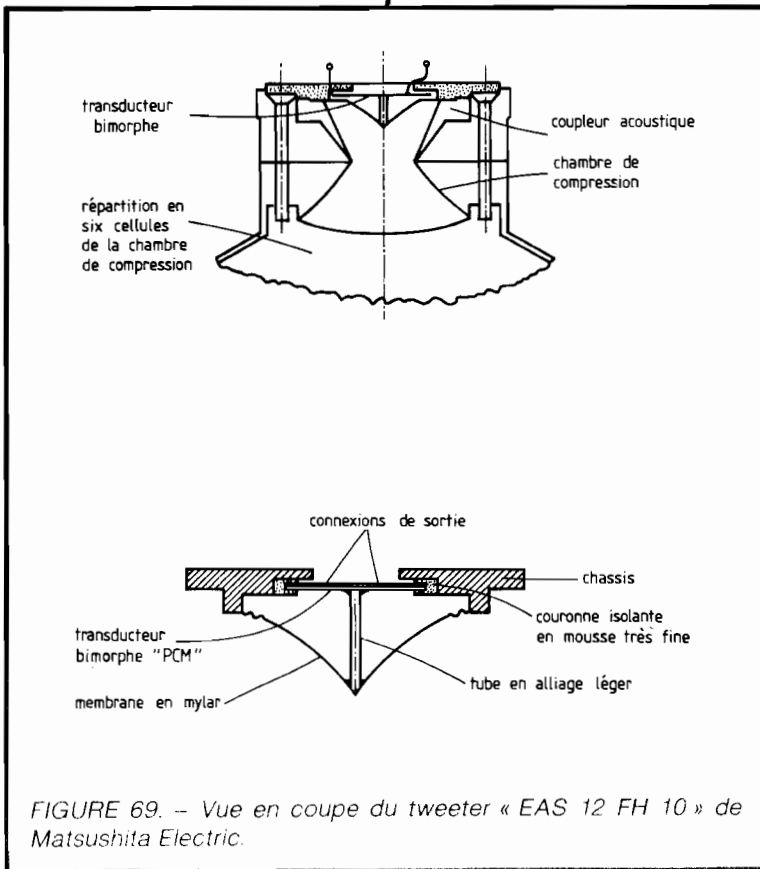


FIGURE 69. – Vue en coupe du tweeter « EAS 12 FH 10 » de Matsushita Electric.

phase dans les déplacements des zones centrale et périphérique. C'est pourquoi on adjoint toujours un diaphragme solidaire de la partie centrale, qui connaît une amplitude de déplacement maximale. Tel est le cas d'une première réalisation de tweeter conçu vers les années 50 par Teppaz, reprise plus tard par Matsushita, puis Pioneer, avec une membrane en forme de parapluie mue en son centre par une tige, elle-même fixée à son autre extrémité au centre du dispositif moteur piézoélectrique (fig. 69). Cette forme de membrane s'adapte bien à une trompe faisant office de chambre de compression dont on attend de bonnes caractéristiques de rendement et de directivité.

Au-delà d'une fréquence d'antirésonance située ici au voisinage de 700 Hz, l'ensemble se comporte comme une charge capacitive (rôle de C_0).

La réalisation récente décrite en figure 70 constitue une amélioration du dispositif précité, avec un sandwich à deux disques céramiques de 1/10 mm d'épaisseur réunis par un disque de cuivre mince gaufré ; ce dernier assurant l'amortissement optimal du dispositif exciteur de type push-pull.

Avec une fréquence de résonance située au voisinage de 4 kHz, un tel haut-parleur d'aigu accepte des niveaux de puissance élevée (150 W) avec une distorsion inférieure à 1,5 %. Du point de vue impédance, il se comporte comme une capacité de 0,15 μ F (1 000 Ω à 1 kHz – 60 Ω à 20 kHz), ce qui dispense d'ajouter un élément de protection contre les surcharges à basse fréquence.

Le rendement est amélioré par une chambre de compression et un pavillon.

Comme applications sonores à transducteur piézoélectrique, signalons enfin les sources d'alarme (buzzers) dont la figure 71 montre un principe de conception combinant en un seul boîtier l'électronique (oscillateur 3 kHz) + le transducteur + la charge acoustique en forme de résonateur de Helmholtz.

La modélisation de ce type de haut-parleur n'est pas d'un grand secours aux concepteurs, car fortement conditionnée par l'assemblage (2), et en particulier par la nature des liaisons mécaniques moteur-diaphragme mal identifiables. C'est également le cas

des transducteurs magnétostrictifs dont il ne semble pas exister aujourd'hui d'autres applications que comme sources ultrasonores pour l'industrie (nettoyage, soudage, tri de pièces).

Bien connus déjà dans leurs applications pour microphones, les films plastiques piézoélectriques peuvent constituer des éléments rayonnants de mise en œuvre particulièrement simple.

La mise au point de polymères à fort isolement (Mylar, Teflon, polypropylène), à bon amortissement intrinsèque (voir chapitre II, tableau IV) et à bonne stabilité thermique, a permis d'envisager de nouvelles applications, mais il restait à donner aux matériaux des propriétés mécaniques permettant d'obtenir industriellement des formes variées différentes de la structure plane tendue habituelle. C'est chose faite avec un nouveau polyfluore de vinylidène (PVF2) susceptible d'être thermoformé (à 230 °C environ), mis au point par le Laboratoire central de recherche de Thomson-CSF (Corbeville).

Un prototype de haut-parleur d'aigu développé par Audax se présente comme une calotte émissive à rayon de courbure variable dont le principe de fonctionnement s'apparente au modèle de la sphère pulsante. Il s'agit d'un dôme de 70 mm de diamètre constitué d'un film piézoélectrique d'épaisseur 25 microns métallisé à l'aluminium sur ses deux faces (voir figure 72). Ce dôme est serré sur son pourtour et amorti par une mousse polyamide maintenue en forme par une grille perforée. La cavité arrière est elle-même amortie par de la mousse. Un tel transducteur présente une capacité de 25 nF dont l'adaptation aux amplificateurs habituels se fait par l'intermédiaire d'un transformateur de rapport 1/5 à 1/12. Avec une surface rayonnante de 45 cm² et une masse mobile de 100 mg, ce haut-parleur rejoint les performances des systèmes à rubans, sans en avoir le coût, avec une sensibilité nominale de 93 dB/1 W/1 m.

(A suivre)
P. LOYEZ

(1) Par opposition aux céramiques noires, terme réservé aux ferrites.

(2) Celui-ci réagit en effet fortement sur les modes propres du disque transducteur, dont la théorie laisse prévoir seulement le comportement dans les deux cas limites : disque encastré ou complètement libre.

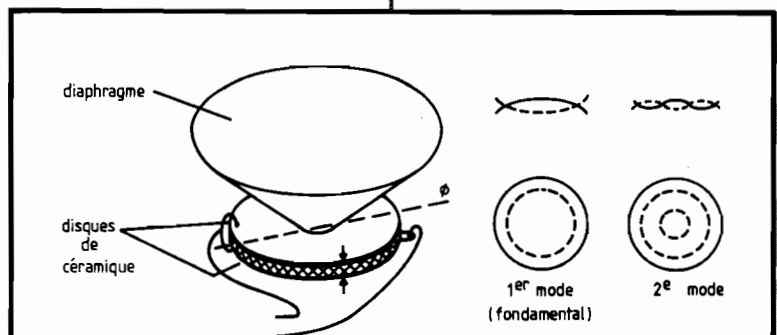


FIGURE 70. – Principe de réalisation du tweeter Motorola avec indication des modes de vibration. (Dimension des disques : $\varnothing = 23 \text{ mm}$, $e = 0,5 \text{ mm}$.)

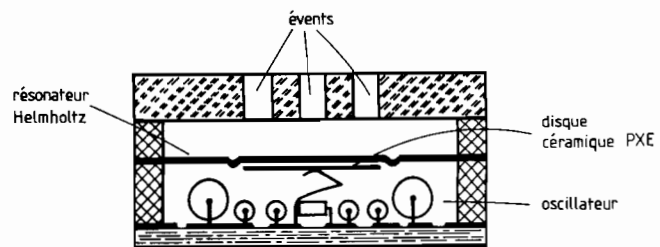
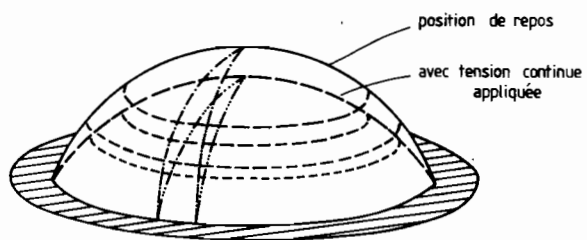
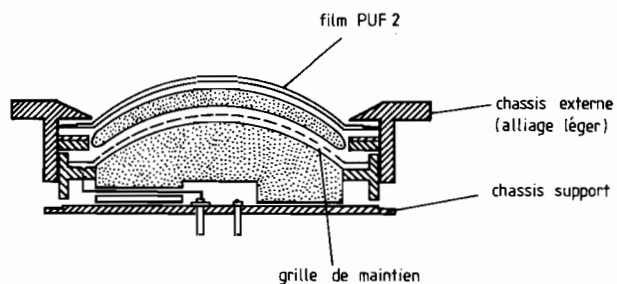


FIGURE 71. – Buzzer piézoélectrique.



a) détail du déplacement mécanique subi par une portion de dôme encastré à sa périphérie



b) vue en coupe

mousse polymère d'amortissement

FIGURE 72. – Vue en coupe du haut-parleur d'aigu à dôme piézoélectrique Thomson-CSF-Audax (1980).