

IDENTIFICATION DES PARAMETRES MODAUX DE LA MEMBRANE D'UNE CELLULE CMUT

Joseph Lardiès, Gilles Bourbon, Patrice Le Moal, Najib Kacem, Vincent Walter
Université de BFC ; Institut FEMTO-ST ; DMA ; UMR-CNRS 6174
Rue de l'Épitaphe – 25000 Besançon

Résumé

Le développement de la microélectronique a permis de faire émerger de nouveaux transducteurs dans le domaine des ultrasons : les CMUTs (Capacitive Micromachined Ultrasound Transducers) [1]. Ces transducteurs sont des microsystèmes et constituent une bonne alternative aux sondes piézoélectriques en termes de répétabilité de fabrication, de robustesse inhérente au matériau utilisé : le silicium et de meilleure intégration avec l'électronique de commande. En outre ils possèdent une grande bande passante, une meilleure sensibilité et peuvent être plus facilement mis en forme afin de les rendre compatibles avec des sondes curvilignes.

Une cellule CMUT est formée d'une électrode inférieure, d'une membrane suspendue au-dessus d'une cavité et d'une électrode supérieure. L'ensemble s'apparente donc à un condensateur, comme le montre la Figure 1. Lorsqu'on applique une tension continue aux bornes de ce microsystème, une force électrostatique est créée, ce qui engendre la déflexion de la membrane. Par la suite, en superposant à cette tension de polarisation une tension alternative la membrane va osciller et émettre des ondes ultrasonores.

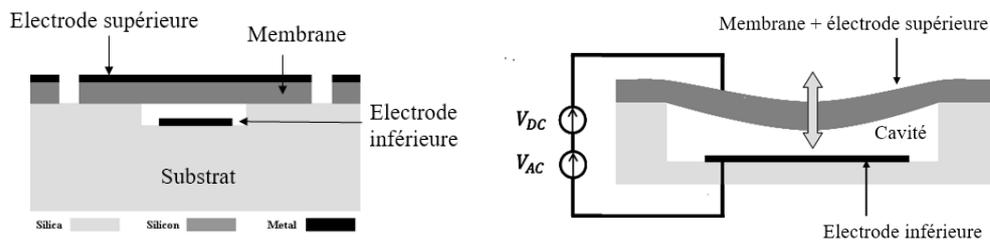


Figure 1. Schéma d'une cellule élémentaire CMUT

L'un des paramètres fondamentaux qui régit le comportement d'une cellule CMUT est la fréquence de résonance : lors de la génération des ultrasons elle représente la fréquence optimale de fonctionnement de la membrane. On se propose de déterminer la fréquence de résonance et le coefficient d'amortissement de la membrane d'une cellule CMUT à partir uniquement des données temporelles qui représentent le mouvement du centre de la membrane (voir Figure 2). Cette membrane a pour rayon $60 \mu\text{m}$ et pour épaisseur $2,3 \mu\text{m}$.

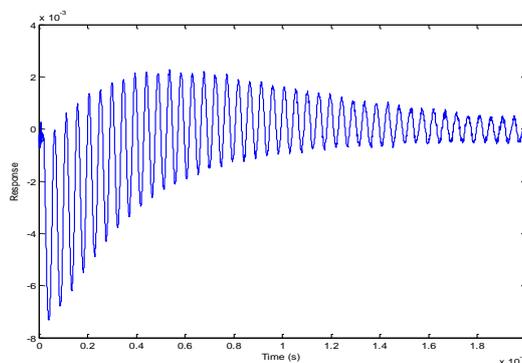


Figure 2. Réponse temporelle de la membrane

La première méthode utilisée pour identifier les paramètres modaux est la méthode sous espaces qui consiste à estimer la matrice de transition du modèle espace d'état discret [2]. Cette matrice de transition contient toute l'information modale de la membrane et son estimation s'effectue en formant d'abord la matrice de Hankel des covariances des données temporelles. Par la suite on réalise un décalage des lignes de cette matrice et on exploite les propriétés de décalage de la matrice de Hankel pour estimer la matrice de transition. Nous augmentons progressivement l'ordre du modèle espace d'état, car celui-ci est inconnu, afin d'obtenir le diagramme de stabilité. Ceci conduit à des modes parasites qui sont éliminés automatiquement grâce à des indicateurs de cohérence modale introduits dans la communication. La Figure 3 montre le diagramme de stabilité de la membrane de la cellule CMUT. A partir de ce diagramme on déduit la fréquence propre de la membrane qui est de 2,12 MHz ainsi que le coefficient d'amortissement qui est de 1,06%.

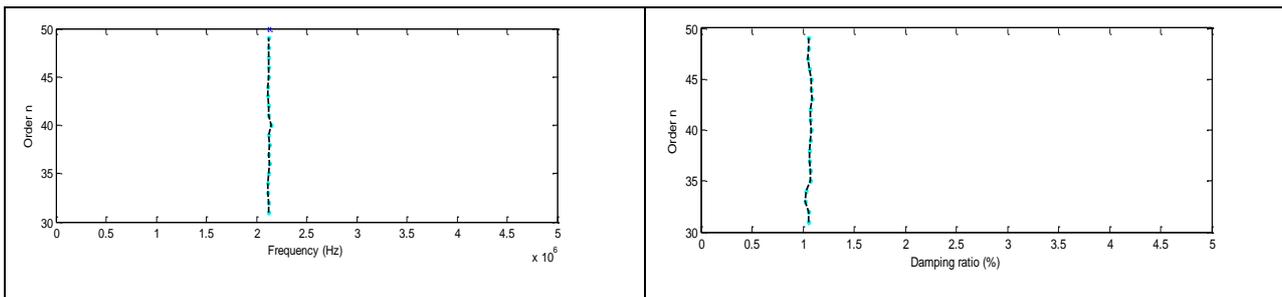


Figure 3. Diagramme de stabilité en fréquence et en amortissement

La deuxième méthode d'identification modale consiste à utiliser la transformée en ondelettes de la réponse temporelle de la membrane [3]. Rappelons qu'une ondelette est un signal utilisé pour analyser un autre signal : on choisit un signal bien connu, qui est l'ondelette, et on va chercher la similitude qu'il y a entre le signal à étudier et notre ondelette. La transformée en ondelettes se résume au produit scalaire entre le signal à étudier et l'ondelette analysante. La transformée en ondelettes est à valeurs complexes et on montre dans la communication que son module et sa phase sont liés respectivement au coefficient d'amortissement et à la fréquence propre de la membrane. La Figure 4 montre le module et la phase de la transformée en ondelettes de la réponse temporelle de la membrane. A partir des pentes de ces droites on déduit la fréquence propre de la membrane qui est de 2,12 MHz ainsi que le coefficient d'amortissement qui est de 0,91%.

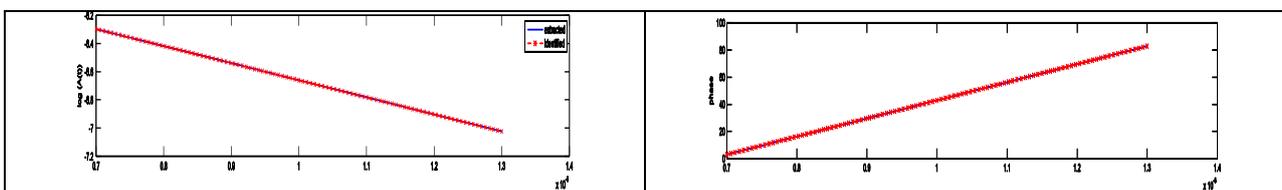


Figure 4. Module et phase de la transformée en ondelettes

Une analyse des résultats obtenus par la méthode sous espaces et par la transformée en ondelettes sera effectuée dans la communication.

Références

- [1] Berthillier M., Le Moal P., Lardiès J. (2011) Dynamic and acoustic modelization of capacitive micromachined ultrasonic transducers, *IEEE International Ultrasonics Symposium 2011*, Orlando, USA
- [2] Lardiès J. (2015) Modal parameter identification of perforated microplates from output data only, *Nano-Tech France 2015*.
- [3] Torrèsani B. (1995) Analyse continue par ondelettes, *Inter Editions/CNRS*