

Projet de fin d'étude (Bac + 5)

Excitation passive de résonateur acoustique par voie numérique, banc numérique de mesure de bruit

Lieu : Institut FEMTO-ST département Temps-Fréquence CNRS UMR6174
26, rue de l'épithaphe 25000 Besançon dans les locaux de l'ENSMM

Responsables : Joël IMBAUD et Fabrice STHAL (joel.imbaud@femto-st.fr)

Durée : 5 mois minimum

Contexte :

Le bruit est un phénomène aléatoire présent dans tout dispositif électronique dont un signal électrique véhicule une information. Ce concept est d'autant plus vrai dans les dispositifs servant de référence de temps du type oscillateur. Dans ces derniers, à l'état de l'art, le bruit global du dispositif est limité par l'élément supposé le plus bruyant qui se trouve être le résonateur dans une électronique optimisée en termes de bruit.

Le département Temps-Fréquence et plus particulièrement l'équipe ACéPI (ACoust-électronique et PIézoélectricité) est historiquement leader dans l'étude de résonateurs et capteurs hautes performances à ondes de volume en matériaux piézoélectriques naturel ou de synthèse. Le savoir-faire en conception/modélisation, optimisation et réalisation de résonateurs et développement d'électroniques associées permet d'exploiter au mieux les différents modes de vibration des résonateurs acoustiques. Ce département est donc plus que bien placé pour étudier les mécanismes et la modélisation du bruit propre des résonateurs et autres capteurs résonnants.

Il existe des types de résonateurs acoustiques aussi variés que nombreux dans le domaine du temps-fréquence (BAW, SAW, MEMS...), les variations se trouvent être autour de la fréquence de fonctionnement, du partiel de vibration, du type d'onde et autres. La mise en oscillateur est souvent laborieuse et unitaire lorsque la performance ultime en bruit et/ou en vieillissement est souhaitée. Il existe des moyens de mesurer la limite de bruit avec une méthode passive [1], méthode nécessitant de longues heures d'expérimentations et bien souvent une paire de résonateurs proches en fréquence (10 Hz maxi).

L'évolution des composants digitaux tels que générateurs de signaux intégrés (DDS), phasemètre, convertisseur analogique/numérique... [2] permet d'envisager une excitation passive de résonateur entièrement contrôlée par voie numérique. Il est aujourd'hui imaginable de générer un signal d'excitation contrôlé en amplitude, phase et fréquence et de l'injecter dans un résonateur conditionné dans un circuit passif (adaptation d'impédance) et régulé thermiquement, de mesurer la phase aux bornes du résonateur et de corriger le signal injecté en fonction cette dernière. Dans un circuit parfait, le signal de sortie serait alors essentiellement le reflet des limites imposées par le circuit passif intégrant le résonateur. Un tel outil permettrait, entre autres, d'exciter des modes de vibrations et autres anharmoniques qui jusque-là n'étaient pas accessibles à la mesure de bruit, car difficile à mettre en oscillateur classique et impossible à mesurer en banc passif. De plus, le contrôle fin de l'amplitude serait une possibilité pour tester l'impact de la puissance d'excitation du résonateur sur le bruit résultant. Le résonateur pourrait être déporté de son électronique « d'oscillateur numérique », ce qui permettrait des tests dans des environnements particuliers (four à haute température, enceinte à vide, cryogénérateur...).

Objectifs :

Une partie de ce projet portera sur le test de générateurs de signaux numériques pour l'excitation de résonateurs acoustiques disponibles au laboratoire (typiquement résonateurs quartz à ondes de volume à 5 et 10 MHz). Un environnement thermique fonctionnel est existant au laboratoire, il pourra faire l'objet d'évolutions et/ou d'adaptation pour ce projet. Cette partie consistera à développer une/des cartes filles compatibles avec l'Objet Connecté Personnel (ObCP) de l'option Conception Réalisation d'Objets Connectés (CROC) de l'ENSMM. La carte fille intégrera les fonctions de générations de signaux est de mesure de phase, différentes méthodes de régulation pourront alors être testées. Une première version déjà existante pourra servir de démarrage de projet (voir Fig. 1).

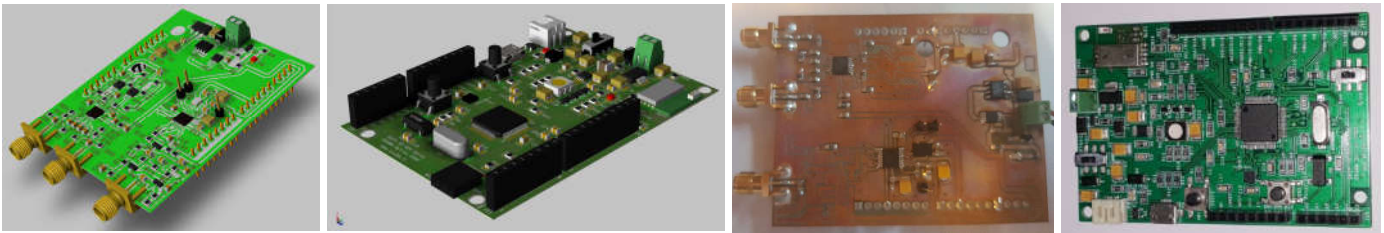


Fig. 1 : Carte fille générateur de signaux + phasemètre existante et carte de développement ObCP de l'option CROC.

En fonction des résultats des premiers tests d'exploitation de résonateurs, une version plus aboutie sera développée. Cette version mettra à profit la plateforme de prototypage électronique de l'ENSMM. L'utilisation de cette dernière sera l'occasion de mettre en place une procédure de développement de circuits multicouches et de développer les compétences de réalisations de cartes dédiées aux radios fréquences (RF).

Une autre partie consistera au développement d'un banc de mesure de bruit « open source » développé par A. Holme [3] basé sur une carte de développement Xilinx SP605 FPGA evaluation kit et une carte ADC Linear Technology DC1525A-A quad ADC evaluation board. Ce banc est déjà existant au laboratoire à l'état de prototype fonctionnel, le travail consistera à intégrer une première version en boîtier pour permettre l'évaluation des performances de la première partie, puis à développer une carte multicouche dédiée à ce banc de mesure. Cette dernière intégrera uniquement les composants utiles au fonctionnement du banc et optimisera la partie mise en forme des signaux d'entrée. Ce développement de circuit multicouche permettra le test et la mise en place d'une procédure au niveau de la plateforme de prototypage électronique de l'ENSMM.

La dernière partie concernera l'assemblage des deux premières parties en vue d'une réalisation de banc de mesure de bruit entièrement numérique. Le programme du banc de mesure serait alors détourné pour être adapté au besoin et couplé à une commande de la partie génération de signaux pour obtenir une version « automatisé » du banc existant.

Résultats attendus :

Dans un premier temps, il est attendu une première maquette « d'oscillateur numérique » capable de générer un signal de sortie à partir d'un système de synthèse de signaux numériques et d'un résonateur acoustique. En fonctions des difficultés et verrous

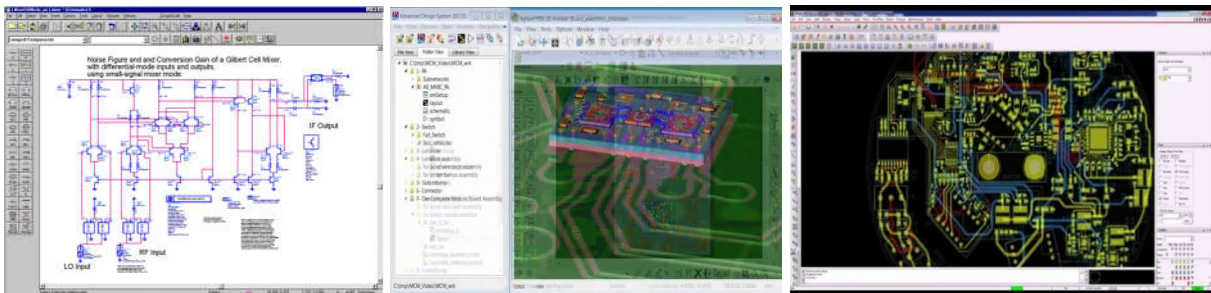
rencontrés, l'étape suivante sera l'optimisation de la maquette pour générer un signal de qualité supérieure (typiquement $\mathcal{L}(f) < -130$ dBc/Hz à 1Hz de la porteuse).

Pour la partie banc de bruit, il sera intégré dans un premier temps sous sa forme cartes de développement dans un seul et même boîtier comprenant l'ordinateur de contrôle sous forme de PC industriel, lui aussi intégré, à cette occasion une mise en forme des signaux d'entrée sera prototypée sous la forme de cartes additionnelles, ajoutées à la carte de conversion analogique/numérique. Dans un deuxième temps, uniquement l'ensemble des fonctions nécessaires au banc de mesure, parmi celles présentes sur les cartes de développement, seront regroupées sur un seul et même circuit. Au moins un prototype sera réalisé, une procédure de réalisation de circuit multicouche sera mise en place à la plateforme de prototypage d'électronique à cette occasion.

Profil recherché : Étudiant H/F, compétences en électronique vivement recommandées, ayant un intérêt pour l'électronique, la programmation, aussi bien l'aspect « théorique » avec la simulation que l'aspect pratique avec la réalisation et l'instrumentation associée. Des compétences sur la suite ORCAD (Capture +PCBEditor), la programmation C/C++ sous MBED et STM32CubeIDE sont des plus.

Qualités personnelles : Dynamisme, autonomie, curiosité, persévérance...

Rémunération : 504€ /mois



Références :

- [1] A. Pokharel, E. Vaillant, J. Imbaud, J. J. Boy, F. X. Esnault, and F. Sthal, "Carrier suppression system to measure phase noise of acoustic resonators with low motional resistance", Review of Scientific Instruments, Volume 91, Issue 8, Aug. 2020, <https://doi.org/10.1063/5.0011131>.
- [2] Claudio E. Calosso, Yannick Gruson, E. Rubiola, "Phase noise in DDS", International Frequency Control Symposium (IFCS) Baltimore, MD, USA, 21-24 May 2012.
- [3] A. Holme website, visited 09/2020, <http://www.aholme.co.uk/PhaseNoise/Main.htm>