

Sujet de thèse: Convertisseur basse consommation dédié à la récupération d'énergie ultrasonore par transducteur cMUT

Laboratoire d'accueil : GREMAN <https://greman.univ-tours.fr/> site de Tours nord

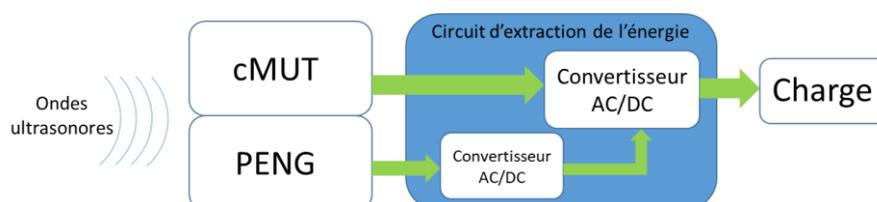
Equipe encadrante: Guylaine Poulin-Vittrant (DR CNRS), Jean-Charles Lebunetel (PU), Sébastien Jacques (MCF)

Contexte

Les transducteurs capacitifs micro-usinés (cMUT) sont capables de convertir une énergie mécanique, apportée par des ondes ultrasonores, en énergie électrique susceptible d'alimenter des dispositifs électroniques de très faible consommation. Ce domaine est appelé couramment AET pour Acoustic Energy Transfer. Ce transfert d'énergie peut se faire sur une distance de 0 à 15 cm, à l'aide d'ondes ultrasonores dans une gamme de fréquence comprise entre 40 kHz et 400 kHz. L'AET apparaît comme une piste prometteuse pour alimenter des Dispositifs Médicaux Implantés (DMI). La première étude rapportée de l'utilisation de l'AET pour une application biomédicale date de 1985 (stimulation osseuse) [1]. Aujourd'hui, le rendement maximum relevé, mesuré à travers des tissus, est de 39% (onde continue mono fréquence à 650kHz, à travers un échantillon de muscle de porc, à 50mm de profondeur) [2]. Les voies d'amélioration des performances concernent principalement l'optimisation des transducteurs (géométrie, structure, adaptation d'impédance, focalisation) et la modélisation numérique (réduction des pertes par diffraction et réflexion, impactant notamment l'AET aérien).

Les solutions commerciales actuelles, pour recharger les DMI, utilisent un transfert d'énergie électromagnétique, donc par induction, et sont trop gros pour le petit animal. Au contraire, l'AET présente l'avantage d'être non nocive pour les tissus humains, et ce sans interférences électromagnétiques, ce qui fait de cette technologie la candidate idéale pour l'interfaçage de DMI. De plus, l'AET permet une meilleure pénétration dans les tissus biologiques, et par la mise en jeu de plus petites longueurs d'onde, d'obtenir une puissance plus importante avec de plus petits dispositifs.

Or cette puissance électrique, récupérée grâce au récepteur cMUT, doit encore être convertie afin de la mettre sous une forme adaptée à la charge électronique ciblée. Ceci se traduit par un cahier des charges précis en termes de formes et de niveaux de tension et de courant. Un convertisseur électronique doit donc être intercalé entre le récupérateur et la charge, et doit être très basse consommation. De plus, les cMUT doivent être polarisés par une tension continue en début de cycle sans quoi le déplacement relatif des électrodes ne s'accompagne pas d'une conversion d'énergie mécano-électrique. Une source d'énergie (de quelques μ J) est donc nécessaire pour amorcer le fonctionnement.



Pour cet apport d'énergie initial, une piste consiste à intégrer une couche piézoélectrique composite à base de nanofils ZnO sur la membrane des cMUTs. En effet, les nanogénérateurs piézoélectriques (PENG) composites à base de nanofils ZnO ont été étudiés et optimisés au GREMAN depuis 2008 en vue de la récupération d'énergie vibratoire. Le GREMAN a abordé tous les aspects, de la modélisation à la fabrication des PENG, en passant par la caractérisation dédiée, aboutissant à un design original sur substrat souple et étirable en PDMS [3]. La conception d'une électronique dédiée aux PENG a également fait l'objet de travaux, dans le cadre du projet H2020 ECSEL-JU EnSO [4].

Les cMUT étant des convertisseurs électrostatiques, il est possible de s'inspirer de la littérature sur les récupérateurs électrostatiques développés depuis une vingtaine d'années pour la récupération d'énergie vibratoire, c'est-à-dire issue de vibrations basse fréquence (inférieures au kHz) rencontrées dans l'environnement humain ou industriel [5]. Mais ici l'énergie est apportée à des fréquences bien plus élevées, ce qui va avoir des répercussions sur les architectures employées.

Les fréquences obtenues étant proches de celles des alimentations à découpage, les convertisseurs sans pont de diode deviennent adaptés pour ce transducteur. Ce type de topologie de convertisseur, appelé Totem-pole, est aujourd'hui utilisé pour des convertisseurs de forte puissance afin de maximiser le rendement du fait de la suppression de l'étage redresseur.

Description du sujet

Dans le cadre de cette thèse, il s'agira de proposer des structures originales de conversion basse consommation dédiées aux cMUT utilisés pour la conversion d'énergie issue d'ondes ultrasonores dans la gamme [40 kHz, 400 kHz]. Parmi les pistes possibles, les convertisseurs non linéaires de type SECE (Synchronous Electric Charge Extraction) [6], conçus initialement pour les récupérateurs d'énergie piézoélectriques, donnent également de bonnes performances sur les récupérateurs électrostatiques [7].

Par ailleurs, les convertisseurs Totem-pole permettent d'élever la tension de façon similaire aux convertisseurs de type SECE, mais avec l'avantage d'un meilleur rendement par le remplacement de l'étage redresseur par la cellule de commutation. La source vibratoire étant stable de fréquence élevée, des transformateurs RF, à impédance d'entrée adaptée aux impédances de sortie des cMUT, peuvent aussi être envisagés pour élever la tension. Un soin particulier sera apporté au développement de l'électronique de commande qui devra être à très faible consommation.

En conclusion, les objectifs de la thèse seront :

- Définition du cahier des charges : énergies électriques issues du cMUT et du PENG, énergie consommée par l'implant, niveaux de tension, courant, bandes passantes.
- Conception d'un convertisseur basse consommation dédiés aux cMUTs : simulation (PSPICE ou LTSPICE), réalisation, test sur prototype.
- Conception d'un convertisseur basse consommation dédié aux PENG : simulation (sous PSPICE et Matlab), réalisation, test sur prototype.
- Couplage des 2 convertisseurs et test d'autonomie : le circuit récupérant l'énergie des PENG servira de circuit de démarrage pour la chaîne de conversion issue du cMUT.

Ce sujet de recherche se fera dans le cadre d'un partenariat avec la société VERMON et le laboratoire iBRAIN (Projet Région APR-IR 2021 déposé par le GREMAN, par Samuel Callé et Dominique Certon).

Profil du candidat

Le (la) candidat(e) doit être titulaire d'un diplôme de master recherche (BAC+5) ou d'ingénieur dans l'une des spécialités suivantes :

- Sciences de l'ingénieur spécialité Electronique
- Sciences de l'ingénieur spécialité Génie Electrique

Au cours de son cursus, le (la) candidat(e) aura eu une expérience en électronique, acoustique, traitement du signal et instrumentation. Une bonne connaissance de ce domaine est essentielle à la réussite du travail proposé. Une compétence complémentaire dans un des domaines suivants serait grandement appréciée :

- Expérience des logiciels : PSpice ou LTSpice ; Matlab ou Scilab ; Octave
- Expérience en instrumentation

Références

[1] G. V. B. Cochran et al., "Piezoelectric internal fixation devices: A new approach to electrical augmentation of osteogenesis," *J. Orthop. Res.*, vol. 3, no. 4, pp. 508–513, 1985.

[2] S. Ozeri et al., "Ultrasonic transcutaneous energy transfer using a continuous wave 650 kHz Gaussian shaded transmitter," *Ultrasonics*, vol. 50, no. 7, pp. 666–674, 2010

[3] G. Poulin-Vittrant et al., "Challenges of low-temperature synthesized ZnO nanostructures and their integration into nano-systems," *Materials Science in Semiconductor Processing* 91 (2019) 404-408

[4] EnSO, "Energy for Smart Objects," financement ECSEL-JU 2016-2020, <http://enso-ecsel.eu/>

[5] S. Boisseau et al., "Microstructures électrostatiques de récupération d'énergie vibratoire pour les microsystèmes," *Techniques de l'ingénieur Innovations en énergie et environnement*, RE160, 10 octobre 2010

[6] A. Morel et al., "A unified N-SECE strategy for highly coupled piezoelectric energy scavengers," *Smart Materials and Structures*, IOP Publishing, 2018, 27 (8), pp.4002

[7] M. Perez et al., "Trieboelectret-based aeroelastic flutter energy harvesters," *Journal of Physics: Conference Series* 773 (2016) 012021