

Paul ROCHE

ÉTUDE THEORIQUE ET EXPERIMENTALE D'UNE INTERFACE DE CONVERSION D'ENERGIE ELECTRIQUE ADAPTÉE AUX CMUT POUR UNE APPLICATION DE TRANSFERT D'ENERGIE ACOUSTIQUE

Le transfert d'énergie sans fil est un domaine essentiel de l'ingénierie biomédicale. D'une part, il réduit le besoin de dispositifs de stockage d'énergie dans les implants médicaux et d'autre part, il permet d'accroître leur consommation et donc leur performance. Pour recharger une batterie implantée sous la peau, le transfert d'énergie acoustique est une méthode performante car elle est peu limitée en puissance et permet d'accéder à des profondeurs élevées. Les Transducteurs Ultrasonores Micro-usinés Capacitifs (CMUT) sont compétitifs par rapport aux technologies piézoélectriques, notamment car ils sont sans plomb, large bande et ils bénéficient des procédés d'industrialisation à grande échelle de la technologie MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems).

C'est dans ce contexte et sur la base de l'expérience de notre laboratoire sur cette technologie que s'est inscrit ce travail de thèse. À partir d'une mesure de l'impédance d'un dispositif CMUT polarisé et immergé dans l'eau, un modèle de type circuit est conçu pour permettre d'étudier l'architecture électronique la plus adaptée à un transfert d'énergie sous la peau avec un CMUT polarisé. Ainsi, nous avons pu simuler les effets de différents circuits électroniques de transfert d'énergie sur un dispositif réel de notre laboratoire et déterminer la nature du circuit le plus optimal. Pour prendre en compte le dispositif CMUT dans sa globalité, la méthode de modélisation a été réitérée successivement pour différentes tensions de polarisation du dispositif CMUT que nous utilisons. Ainsi, un modèle de type circuit électrique plus complet a pu être créé. Ce modèle a ensuite été utilisé pour valider une méthode originale de mesure de l'efficacité d'un transducteur CMUT à convertir une énergie ultrasonore en énergie électrique.

Enfin, l'un des freins majeurs à l'utilisation de dispositifs CMUT pour du transfert d'énergie ultrasonore est la nécessité de les polariser à une tension proche de leur tension de collapse (20-150 V) alors qu'ils sont implantés. Pour relever ce défi, nous avons proposé un circuit électrique fait de composants discrets qui, à partir d'un procédé de rétroaction et d'une tension initiale minimale (0.5-2 V), permet au dispositif de s'auto-polariser à une tension proche de la tension de collapse, tout en transférant de l'énergie au système de stockage d'énergie de l'implant médical. Ainsi, cette thèse aboutit à la compréhension des caractéristiques clefs des CMUT pour la conversion d'énergie acoustique en énergie électrique, et à un circuit électronique complet qui permet d'élever les performances de la technologie CMUT au niveau de la technologie piézoélectrique pour le transfert d'énergie acoustique sous la peau.

Mots clés : CMUT, transducteur ultrasonore, transfert de puissance sans contacts, adaptation d'impédance inductive, modèle analytique, circuit électrique équivalent

Wireless energy transfer is an essential field of biomedical engineering. Not only does it reduce the need for energy storage devices in medical implants, but it also increases their power consumption and hence, their performances. To recharge a battery implanted under the skin, acoustic energy transfer is a high-performance method because it is less power-limited than inductive methods and allows access to great depths of power transfer. Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers (CMUTs) are competitive with piezoelectric technologies, particularly because they are lead-free, broadband and benefit from the large-scale industrialisation process of MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) technology.

It is in this context, and on the basis of our laboratory's experience with the CMUT technology, that this PhD thesis was carried out. Based on a measurement of the impedance of a biased CMUT device immersed in water, a circuit-type model was designed to allow us to study the electronic architecture most suited to an energy transfer under the skin with a biased CMUT. As a result, we were able to simulate the effects of different electrical energy transfer circuits on a real device from our laboratory and determine the nature of the optimum circuit. To consider the CMUT device in its globality, the modelling method was successively repeated for different bias voltages of our CMUT device. This enabled a more complete circuit model to be created. This model was then used to validate an original method of measurement of the efficiency of a CMUT transducer in converting ultrasonic energy into electrical energy.

Finally, one of the major obstacles to the use of CMUT devices for ultrasonic energy transfer is the need to bias them at a voltage close to their collapse voltage (20-150 V) when they are implanted. To meet this challenge, we have proposed an electrical circuit made up of discrete components which, using a feedback process and a minimal initial voltage (0.5-2 V), enables the CMUT device to self-bias to a value close to the collapse voltage while transferring electrical energy to the implanted battery. The result of this thesis is an understanding of the key characteristics of CMUTs for acoustic-to-electric energy conversion and a complete electronic circuit that raises the performance of CMUT technology for acoustic energy transfer, to the level of piezoelectric technology.

Keywords: CMUT, ultrasonic transducer, wireless power transfer, inductive impedance matching, analytical model, equivalent electrical circuit