



HAL
open science

Capteurs passifs sans fil à transduction électromagnétique

Patrick Pons, Hervé Aubert, Philippe Menini, Manos Tentzeris

► **To cite this version:**

Patrick Pons, Hervé Aubert, Philippe Menini, Manos Tentzeris. Capteurs passifs sans fil à transduction électromagnétique. Journées Nationales Microondes, May 2013, Paris, France. 2p. hal-00878282

HAL Id: hal-00878282

<https://hal.science/hal-00878282>

Submitted on 29 Oct 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Capteurs passifs sans fil à transduction électromagnétique

Patrick PONS^{1,2}, Hervé AUBERT^{1,2}, Philippe MENINI^{1,2}, Manos TENTZERIS³

¹ CNRS, LAAS, 7 avenue du colonel Roche, F-31400 Toulouse, France

² Univ de Toulouse, LAAS, F-31400 Toulouse, France

³ School of ECE, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, U.S.A

ppons@laas.fr : correspondant principal

1. Introduction

Depuis la fin des années 1990, l'« Intelligence Ambiante » fait l'objet d'intenses recherches dans le monde avec l'objectif d'interconnecter (sans fil) de très nombreux objets intelligents comme des capteurs, des tags, des téléphones mobiles, Dans ce contexte, les réseaux de capteurs sans fils émergent comme une technologie clé pour de très nombreuses applications (domestiques, santé, environnement, industrie, militaire, ...). Le plus souvent la communication sans fil entre les capteurs et la station de base utilise des ondes radio ce qui permet d'obtenir des distances d'interrogation de plusieurs kilomètres.

Il existe deux grandes familles de capteurs sans fil utilisant les ondes radio: des capteurs actifs qui utilisent un circuit d'émission (intégré au transducteur) pour envoyer l'information au lecteur et des capteurs passifs basés sur l'analyse de l'onde électromagnétique rétrodiffusée par le transducteur (capteurs RFID et SAW). Les premiers ont une très grande distance d'interrogation mais avec une autonomie énergétique limitée alors que les seconds possèdent une autonomie illimitée mais une faible distance d'interrogation (< 10m).

Afin de remédier aux inconvénients des capteurs passifs SAW, des capteurs à transduction électromagnétique ont été étudiés à partir du début des années 2000. Le remplacement du résonateur acoustique par un dispositif résonant électromagnétique permet ainsi de supprimer les pertes de conversion et donc d'augmenter considérablement la distance d'interrogation. Un autre avantage des transducteurs électromagnétiques concerne la possibilité d'utiliser des fréquences plus élevées (plusieurs dizaines de GHz) ce qui permet de réaliser des antennes de plus petite taille et de plus grande directivité. Enfin la seule limitation sur l'utilisation des matériaux porte sur des matériaux à faibles pertes ce qui permet d'envisager une large gamme de principe de détection.

Dans cet article, nous présentons une vue d'ensemble sur les capteurs à transduction électromagnétiques que nous avons développés dans notre laboratoire depuis 2005.

2. Transducteurs électromagnétiques

Le concept général choisi consiste à modifier les couplages électromagnétiques qui existent dans un dispositif RF (impédance ou résonateur) par la grandeur

à mesurer. Ce concept permet d'obtenir une très grande sensibilité. Le couplage variable peut se faire en modifiant (globalement ou localement) l'environnement autour des lignes de champ électromagnétique par déplacement d'une microstructure mécanique ou d'un liquide, ou directement par modification des propriétés électromagnétiques des matériaux utilisés. Les fréquences utilisées sont centrées autour de 3GHz ou 30GHz.

Le premier capteur développé concerne un capteur de pression [1] basé sur une technologie classique Silicium/Verre utilisée pour réaliser des capteurs capacitifs. Un résonateur co-planaire est structuré au fond d'une cavité usinée dans le substrat de verre. Une membrane de silicium est ensuite reportée par soudure anodique. La déflexion de la membrane entraîne une modification du couplage entre les ondes évanescentes provenant du résonateur et la membrane de silicium ce qui modifie la fréquence de résonance du résonateur. Les dispositifs fabriqués ont montrés une excellente sensibilité avec une variation de fréquence de résonance pleine échelle estimée à 27%. Le LAAS a été le premier laboratoire au monde à publier des résultats sur les capteurs de pression à transduction électromagnétique.

Le second capteur étudié concerne les capteurs de gaz [2]. Le transducteur est constitué de deux guides d'onde coplanaire (CPW) couplé à un Résonateur Diélectrique cylindrique (RD), ce qui permet l'excitation des modes de galeries à l'intérieur du résonateur diélectrique. Le principe de détection est basé sur l'effet de relaxation diélectrique (qui correspond à la modification de permittivité diélectrique de résonateur avec une absorption de gaz), ce qui conduit à la variation de la fréquence de résonance. Les simulations effectuées avec un RD en TiO₂ ont montré que les fréquences de résonance sont très sensibles à la modification de la permittivité diélectrique du résonateur.

Le troisième type de capteur porte sur l'étude des contraintes. Le capteur est basé sur deux résonateurs planaires couplés (une antenne patch et une boucle ouverte) dont les fréquences de résonance sont proches de 2.4 GHz. La boucle est fermée par une capacité variable qui change avec la déformation. Cette capacité est formée par une poutre métallique libre et le métal de la boucle, séparés par un isolant. Une déformation du support entraîne alors un déplacement du point d'ancrage de la poutre. La surface de la capacité est alors modifiée avec une sensibilité dépendante de la longueur de la poutre. Les résultats de simulation montrent une sensibilité maximale de 4.5ppm/ $\mu\epsilon$. Des démonstrateurs ont été fabriqués et la sensibilité mesurée est de

1.3ppm/ $\mu\epsilon$. Cette valeur, nettement inférieure à celle simulée, est liée à la précision de position de la poutre. Néanmoins la valeur obtenue est déjà aussi grande que ce qui a été publié à ce jour.

Le quatrième type de capteur concerne un capteur de température à MEMS. Le capteur est constitué par deux résonateurs planaires en anneau couplés. Chaque anneau est fermé par une capacité variable constituée par une poutre bilame et le métal de l'anneau. Le bilame permet de transformer la variation de température en une déflexion hors plan de la poutre à partir de la dilatation thermique différentielle des deux matériaux constituant la poutre. La variation de capacité entraîne une variation de la fréquence de résonance de la structure. L'excitation du résonateur est réalisée par une ligne coplanaire située sur la face inférieure du substrat. Les caractérisations effectuées pour deux températures différentes (32°C et 60°C) ont validé la grande sensibilité du design de résonateur choisi (variation pleine échelle de la fréquence de résonance de 10%).

Le cinquième type de capteur utilise la microfluidique. Le mouvement de fluides conducteurs ou diélectriques au voisinage de résonateur peut en effet fortement modifier les couplages électromagnétiques. Ce couplage a été mis en œuvre pour un capteur de température dans lequel la dilation thermique du fluide entraîne la progression du fluide à l'intérieur d'un micro-canal. Le premier principe utilisé est basé sur la modification de la longueur d'une antenne obtenue en court-circuitant les deux brins d'une antenne dipôle $\lambda/2$ à l'aide d'un fluide conducteur. Le principe a été validé avec un réseau de 5 dipôles et en remplissant manuellement les canaux en SU8 avec de la laque d'argent. La variation de SER obtenue pleine échelle est de 9 dBsm. Plus récemment nous avons étudié une capacité planaire variable à l'aide d'un fluide diélectrique (eau désionisée). La longueur de la capacité est de 400 μm et permet d'obtenir une variation du coefficient de réflexion S11 de 9dB pleine échelle.

3. Interrogation radar

Nous avons choisi un RADAR FMCW (Frequency Modulated Continuous-Wave) pour réaliser l'interrogation des capteurs. Les signaux d'émission et de réception du Radar sont mélangés afin d'obtenir un signal de battement qui est liée au temps de propagation de l'onde électromagnétique. L'analyse spectrale de ce signal basse fréquence permet d'obtenir des informations sur la réponse du capteur. Si le design du capteur est correct, la variation d'impédance du capteur dans la bande fréquence du radar est suffisante pour modifier le niveau de signal de battement. Les premiers travaux ont porté sur la conception, la fabrication et la caractérisation de deux Radar FMCW de ce type (à 3GHz et 30GHz). Pour le Radar à 30GHz, nous avons montré qu'il était possible d'interroger une cible métallique de 1cm² à 14m avec une puissance d'émission de 13dBm et des gains d'antenne d'émission et de réception de 35dBi et 15dBi respectivement. Ces Radars ont également permis de valider l'interrogation sans fil (à plusieurs mètres) des

différents transducteurs décrits précédemment. Dans la plupart des cas, un port du transducteur est connecté à une antenne à travers les pointes RF du banc de test et un câble coaxial de 1m de long. Le second port du transducteur est relié à une charge 50 Ω . Le câble RF qui constitue la ligne à retard permet de séparer l'écho associé au transducteur de celui associé à l'antenne.

4. Remerciements

Ces travaux ont été en partie supportés par le pôle de compétitivité AESE dans le cadre du projet SACER (Système Autonome Communicant En Réseau) (SACER). Ces études ont été menées avec les doctorants suivants : Mehdi JATLAOUI, Hamida HALLIL, Franck CHEBILA, Thai TRANG, Sofiène BOUAZIZ, Anya TRAILLE.

5. Bibliographie

- [1] M. Jatlaoui et al. "Working Principle Description of the Wireless Passive EM Transduction Pressure Sensor" European Physical Journal - Applied Physics, Vol 56, N°1, oct 2011
- [2] H.Hallil et al; "Feasibility of passive Gas sensor based on whispering gallery modes and its RADAR interrogation: theoretical and experimental investigations" Sensors & Transducers Journal, Vol.116, N°5, Mai 2010
- [3] Trang et al. "Design and Development of a Novel Passive Wireless Ultrasensitive RF Temperature Transducer for Remote Sensing" IEEE Sensor Journal Volume12, Issue 8, sept 2012
- [4] A.Traille et al. "A Novel Wireless Passive Temperature Sensor Utilizing Microfluidic Principles in Millimeter-Wave Frequencies" IEEE Sensors, 28-31 October 2011, Limerick, Ireland
- [5] S. Bouaziz et al. "A New millimeter-wave microfluidic Temperature sensor for wireless passive radar interrogation" IEEE Sensors 2012, October 28-31 2012, Tapei, Taiwan
- [6] T Thai et al. "A Newly Developed Radio Frequency Wireless Passive Highly Sensitive Strain Transducer" IEEE Sensors, 28-31 October 2011, Limerick, Ireland
- [7] F. Chebila et al. "Reconfigurable Multi-band Scatterers for Micro-Sensors Identification" IEEE International Symposium on Antennas & Propagation, June 1-5 2009, Charleston, USA