



**HAL**  
open science

## **Antenne reconfigurable basée sur une technologie de commutateurs non volatile potentiellement imprimables**

Methapettyparambu Purushothama Jayakrishnan, Arnaud Vena, Brice Sorli,  
Etienne Perret

### ► **To cite this version:**

Methapettyparambu Purushothama Jayakrishnan, Arnaud Vena, Brice Sorli, Etienne Perret. Antenne reconfigurable basée sur une technologie de commutateurs non volatile potentiellement imprimables. 21èmes Journées Nationales Micro-Ondes (JNM2019), May 2019, Caen, France. hal-02555110

**HAL Id: hal-02555110**

**<https://hal.science/hal-02555110>**

Submitted on 8 Jul 2020

**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.

# Antenne reconfigurable basée sur une technologie de commutateurs non volatile potentiellement imprimables

M.P. Jayakrishnan<sup>1</sup>, Arnaud Vena<sup>2</sup>, Brice Sorli<sup>2</sup>, and Etienne Perret<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, Grenoble INP, LCIS, 26000 Valence, France

<sup>2</sup>Institut d'Electronique et des Systèmes, Université de Montpellier, 34095 Montpellier, France

<sup>3</sup>Institut Universitaire de France, 75005 Paris, France

*jayakrishnan.mp@lcis.grenoble-inp.fr*

**Résumé** – Cette étude présente un principe d'antenne reconfigurable basée sur l'utilisation de commutateurs MIM dont leur intégration ne fait pas appel à l'utilisation d'une salle blanche. Nous nous intéressons au design d'une antenne dipôle fonctionnant à 2.23GHz dont le diagramme de rayonnement peut être modifié à l'aide d'un élément parasite reconfigurable. La charge de cet élément peut évoluer entre deux états d'impédances distincts suivant l'état du commutateur. Ce concept est validé par des simulations EM tenant compte du modèle électrique et des performances du commutateur non-volatile utilisé ainsi que des mesures.

## 1. Introduction

L'agilité ou la reconfigurabilité des antennes par commande électronique est une méthode courante et de plus en plus utilisée notamment pour des applications militaires (radars) ou encore pour des applications civiles avec l'avènement de la 5G. Des systèmes très performants ont été développés, notamment pour la formation de faisceaux multidirectionnels [1], [2]. Cependant, dans la plupart des cas, des dispositifs de commutation actifs et volatiles, tels que des diodes PIN sont utilisés pour obtenir cette agilité nécessitant une alimentation permanente pour conserver leur état, ce qui limite leur utilisation dans des appareils autonomes à faible consommation. Dans la grande majorité des cas, ces éléments actifs sont des composants électroniques en boîtier, rapporté par soudure sur le dispositif RF, ce qui engendre des coûts mais aussi de pertes en termes d'efficacité non négligeable pour les applications évoquées. Nous présentons ici une preuve de concept de l'utilisation de commutateurs MIM (Metal-Insulator-Metal) non volatiles [3],[4] pour une application d'antenne à faisceau reconfigurable, où le commutateur est directement réalisé sur l'antenne, le tout avec des moyens de fabrication extrêmement simples. Les commutateurs MIM sont dérivés du concept de la technologie CBRAM (Conductive Bridging Random Access Memory) [3]. Une cellule MIM a une géométrie similaire à celle d'un condensateur plan, l'une de ses électrodes étant un métal donneur d'ions électrochimiquement actif tel que l'argent ou le cuivre et l'autre étant un accepteur d'ions relativement inerte tel que l'aluminium ou l'or (voir Figure 1). L'électrolyte du condensateur est remplacé par un conducteur ionique comme les chalcogénures ou des polymères comme le PMMA[5] ou le Nafion[6]. Lors de l'application d'une

tension positive par rapport à l'électrode active, les ions de l'électrode active migrent à travers le conducteur ionique pour former un filament métallique qui touche l'électrode inerte et crée ainsi un état de faible impédance. Une tension négative du même ordre de grandeur permet d'inverser le processus et de casser le filament pour revenir sur l'état d'impédance élevée. Les états de commutation ainsi formés sont non volatils et ne nécessitent pas d'alimentation pour les maintenir.

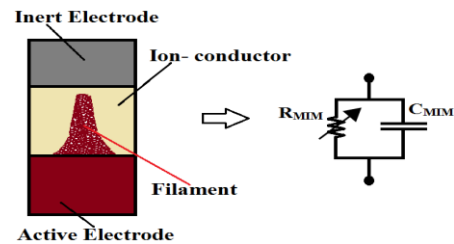


Figure 1. Modélisation d'une cellule MIM

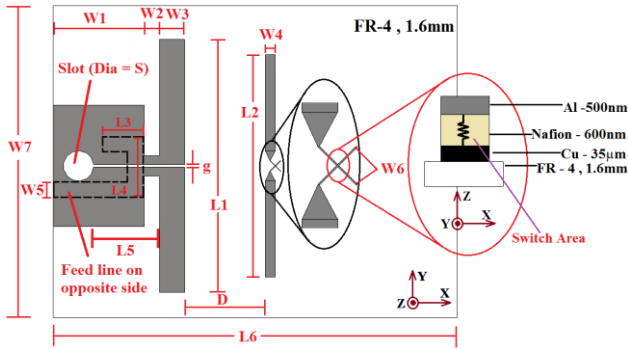
Des études précédentes ont montré tout le potentiel de la technologie CBRAM pour réaliser des commutateurs RF ainsi que des tags RFID sans puce reconfigurables, sur papier, pour des applications potentiellement jetables [6], [7]. Un procédé de fabrication a été optimisé pour l'intégration directe de ces commutateurs sur des circuits microondes avec des techniques industrialisables hors salle blanche.

Dans cet article, nous présentons les premiers résultats d'une antenne de type dipôle associé à un élément parasite chargé par un commutateur RF CBRAM dans le but de générer un faisceau agile. L'objectif étant de poser les bases d'une technologie compatible avec le concept d'étiquettes intelligentes, sans puce sur papier et bas coût.

## 2. Principe et géométrie proposée

Nous proposons ici d'intégrer un commutateur MIM dans un élément parasite à proximité d'une antenne dipôle demi-onde (voir Figure 2). Le commutateur MIM est ajouté au centre de l'élément parasite.

L'antenne dipôle est alimentée à l'aide d'un balun basé sur une ligne à fente. L'ensemble est simulé à l'aide de CST Microwave Studio afin d'obtenir dans un premier temps l'allure du coefficient de réflexion (S11) présenté dans la Figure 4.

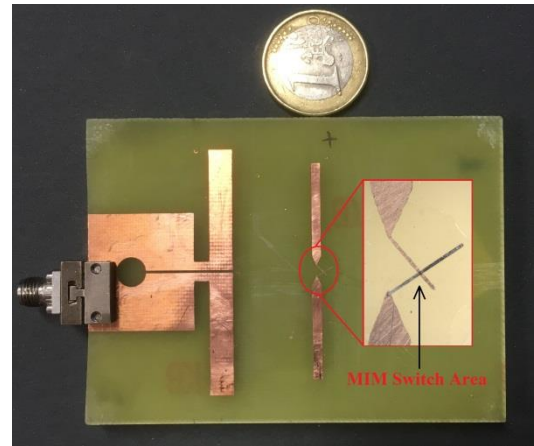


**Figure 2. Géométrie de l'antenne reconfigurable proposée.** ( $W4 = 2\text{mm}$ ,  $W5 = 3\text{mm}$ ,  $W6 = 0.1\text{mm}$ ,  $W7 = 60\text{mm}$ ,  $L1 = 50\text{mm}$ ,  $L2 = 44\text{mm}$ ,  $D = 16\text{mm}$ ).

Les paramètres  $g$ ,  $D$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$  et  $S$  ont été ajusté pendant l'optimisation. Le commutateur MIM illustré en Figure 1 peut être modélisé comme un circuit parallèle RC [6], [7]. Nous avons pu constater que l'élément parasite de longueur  $L_2$  agit en tant que réflecteur ou directeur, respectivement pour les états de faible impédance et haute impédance du commutateur RF. Ce phénomène peut être expliqué en se basant sur le modèle électrique d'un commutateur MIM [6]. En effet ce type de commutateur peut être modélisé par une capacité  $C_{\text{MIM}}$  en parallèle avec une résistance  $R_{\text{MIM}}$  programmable comme le montre la Figure 1. Suivant l'état de commutation la résistance  $R_{\text{MIM}}$  modélisant le filament peut passer d'une résistance de qq.  $\Omega$  à l'état faible impédance vers une résistance de qq.  $\text{M}\Omega$  à l'état haute impédance. Lorsque  $R_{\text{MIM}}$  a une valeur de qq.  $\Omega$ ,  $C_{\text{MIM}}$  peut être négligée, et la longueur électrique de l'élément parasite est proche de sa longueur physique totale. À l'inverse, lorsque  $R_{\text{MIM}}$  présente une valeur d'impédance élevée, la majeure partie du courant circule dans  $C_{\text{MIM}}$ , ce qui a pour effet de réduire la longueur électrique de l'élément parasite qui agit cette fois comme un élément directeur.

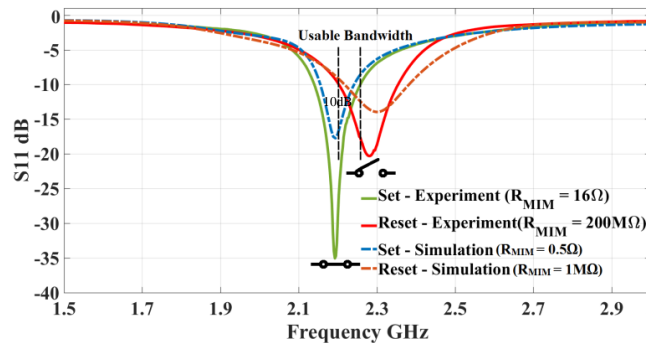
### 3. Résultats et discussion

L'antenne présentée sur la Figure 3 est réalisée à l'aide de la technique décrite dans [6], sur un substrat FR-4 classique, avec du cuivre et de l'aluminium, respectivement, en tant qu'électrodes active et inerte. Sur cette figure nous pouvons observer une image zoomée sur le commutateur MIM. Le Nafion d'une épaisseur de 600nm est un électrolyte permettant la conduction ionique. L'état d'impédance du commutateur MIM est programmée à partir d'un signal en tension appliqué à ses bornes. Le passage d'un état haute impédance à faible impédance est déclenché par l'application d'une impulsion triangulaire positive de 16V avec un courant de limitation de 500 $\mu\text{A}$ . Pour revenir à un état haute impédance, une tension négative de 20V est appliquée avec un courant de limitation de 150mA.



**Figure 3. Photo de l'antenne reconfigurable réalisée sur substrat FR-4.**

Les résultats de mesure et de simulation de l'antenne proposée sont présentés dans la Figure 4 pour le coefficient de réflexion. On peut noter une largeur de bande à -10 dB utilisable dans les deux états de commutations de 54 MHz à 2.23GHz.



**Figure 4. S11 de l'antenne reconfigurable dans les deux états de commutations**

Les Figures 5 (a) et (b) présentent les diagrammes de rayonnement normalisés à la valeur maximale du lobe principal, obtenus en mesure pour les deux état d'impédances. Une orientation de 180° est atteinte pour le lobe principal dans le plan perpendiculaire (le long de la direction des  $X$  dans la Figure 2), entre les deux états de commutation. Pour l'état haute impédance, le diagramme de rayonnement dans le plan H montre le maxima du faisceau à 0dB suivant  $X$ , avec une amplitude du lobe arrière de -8dB. Pour l'état faible impédance, nous observons un maxima dans le sens opposé d'amplitude -3dB et une amplitude du lobe arrière de -5,4dB. Un comportement similaire est observable dans le plan E avec une différence supérieure à 3,5dB, entre les lobes avant et arrière. L'antenne affiche un gain réalise maximal de 3,23 dBi et de 4,5 dBi respectivement dans les états faible impédance et haute impédance du commutateur MIM. Les Figure 6 (a) et (b) montrent les diagrammes de rayonnement simulés sous CST MWS en guise de comparaison. Nous pouvons voir que l'allure globale du diagramme de rayonnement est proche dans les deux cas. Les distorsions observées sur les résultats de mesures sont dues à la perturbation des câbles d'alimentation et du support de rotation de l'antenne.

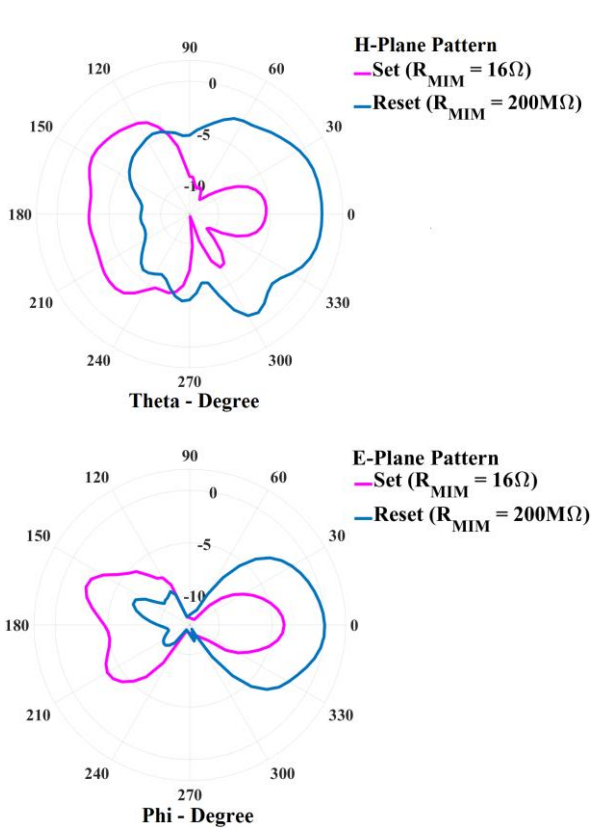


Figure 5. Diagramme de rayonnement de l'antenne reconfigurable mesurée dans les deux états de commutations. (a) Plan H (b) Plan E

#### 4. Conclusion

Ces résultats de simulation valident le concept proposée d'antenne reconfigurable à base de commutateurs non volatiles. Le prototype d'antenne reconfigurable a été validé pour au moins 50 cycles de programmation et est aujourd'hui toujours fonctionnelle. Les prochaines étapes consistent à réaliser une antenne reconfigurable sur un substrat flexible par un procédé d'impression. Nous nous intéresserons également à optimiser le design actuel afin d'augmenter les performances d'agilité en faisceau.

#### Remerciements

Ce projet est financé par l'union européenne via l'ERC « Consolidator Grant » No 772539. Ce travail est également financé par l'Université Grenoble Alpes et l'Institut Universitaire de France. Les auteurs remercient également les moyens mis à disposition par le laboratoire IES via la plateforme HERMES.

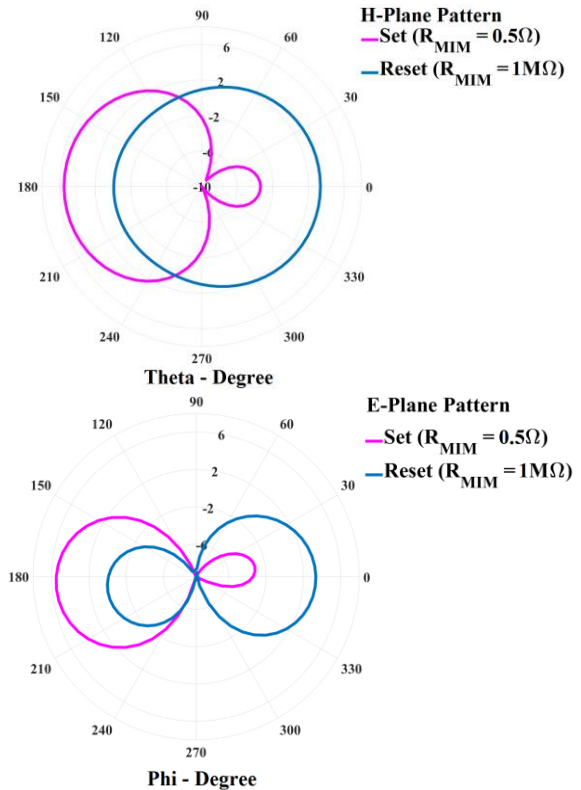


Figure 6. Diagramme de rayonnement de l'antenne reconfigurable simulée sous CST-MWS dans les deux états de commutations. (a) Plan H (b) Plan E

#### Références

- [1] S. L. Chen, P. Y. Qin, W. Lin, and Y. J. Guo, "Pattern Reconfigurable Antenna with Five Switchable Beams in Elevation Plane," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2018.
- [2] X. Ding and B. Z. Wang, "A Novel Wideband Antenna With Reconfigurable Broadside and Endfire Patterns," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp. 995–998, 2013.
- [3] S. Pi, M. Ghadiri-Sadrabadi, J. C. Bardin, and Q. Xia, "Nanoscale memristive radiofrequency switches," *Nature Communications*, vol. 6, p. 7519, Jun. 2015.
- [4] James Nessel and Richard Lee, "Chalcogenide nanoionic-based radio frequency switch," US 7.923,715 B2, 12-Apr-2011.
- [5] J. Jian, H. Chang, A. Vena, and B. Sorli, "Study and design of resistive switching behaviors in PMMA-based conducting-bridge random-access memory (CBRAM) devices," *Microsyst Technol*, vol. 23, no. 6, pp. 1719–1725, Jun. 2017.
- [6] M. P. Jayakrishnan, A. Vena, A. Meghit, B. Sorli, and E. Perret, "Nafion-Based Fully Passive Solid-State Conductive Bridging RF Switch," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 27, no. 12, pp. 1104–1106, Dec. 2017.
- [7] M. P. Jayakrishnan, A. Vena, B. Sorli, and E. Perret, "Solid-State Conductive-Bridging Reconfigurable RF-Encoding Particle for Chipless RFID Applications," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 28, no. 6, pp. 506–508, Jun. 2018.