



Convertisseur RF/DC sans polarisation et à très large bande, pour des applications d'autonomie énergétique de capteurs

Jérôme Tissier*, Mohamed Latrach**

*ESEO-IETR, 10 Bd Jeanneteau CS90717, 49107 Angers cedex 2, jerome.tissier@eseo.fr

** ESEO-IETR, 10 Bd Jeanneteau CS90717, 49107 Angers cedex 2, mohamed.latrach@eseo.fr

Mots clés : récupération d'énergie ; redresseur large bande ; diode Schottky ; energy harvesting ; broadband rectifier ; MMIC ; voltage doubler.

Résumés

Cet article présente la réalisation d'un circuit de redressement très large bande pour des applications de transfert et de récupération d'énergie. Le circuit de redressement, réalisé en technologie MMIC sur substrat d'AsGa et basé sur une topologie d'une diode simple en série, a été validé expérimentalement sur des bandes de fréquences allant de 434 MHz jusqu'à 20 GHz, ce qui lui permet s'adapter à n'importe quelle bande de fréquences d'utilisation des dispositifs concernés (capteurs, objets connectés, ...). Des pistes d'augmentation du niveau de tension redressé par des circuits élévateurs sont également proposées.

This article deals with the design of a high-broadband zero-bias rectifier for energy transfer and harvesting applications. The rectifier circuit, realized in MMIC technology on GaAs substrate and based on a single serial diode topology, has been validated in measurements for frequency bands from 434 MHz up to 20 GHz, which allows it to adapt to any frequency band of use of devices involved (sensors, connected objects, ...). Some ways for increasing the voltage level by voltage multipliers have also been explored and are presented.

Introduction

De nos jours, les concepts de transfert et de récupération d'énergie électromagnétique deviennent des sujets de recherche majeurs. Les applications sont multiples : approvisionnement en électricité de zones isolées ou accidentées, télé-alimentation de capteurs, de systèmes d'identification sans contact et bien d'autres encore [1]. En fonction de l'application visée, on peut utiliser soit des sources existantes (téléphonie mobile, WIFI...) ou soit une source propre et dédiée, ce qui sera plus particulièrement notre cas d'étude. Il est important que le système de récupération d'énergie réalisé soit large bande pour pouvoir s'adapter à n'importe quelle bande de fréquences d'utilisation des dispositifs concernés (capteurs, objets connectés, ...). Les travaux que nous présentons dans cet article s'inscrivent dans ce cadre, par la réalisation d'un circuit de conversion RF-DC fonctionnant dans une très large bande fréquentielle et sans source continue de polarisation. Ce circuit, basé sur une topologie de diode simple en série, a été réalisé en technologie MMIC sur substrat d'AsGa. Des pistes d'augmentation du niveau de tension redressé par des circuits élévateurs sont également proposées et discutées dans la deuxième partie de l'article.

1. Circuit de redressement réalisé en technologie intégrée MMIC

Le circuit étudié est constitué d'une diode Schottky série sans polarisation, d'une résistance, d'une capacité jouant le rôle de filtre passe-bas et d'une résistance de charge pour récupérer la tension redressée [2]. Il a été réalisé sur substrat d'AsGa avec la technologie ED02AH de OMMIC et a pour dimensions 1.5 mm *0.5 mm (Cf. figure 1).

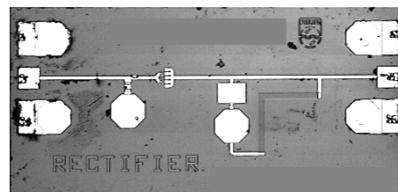
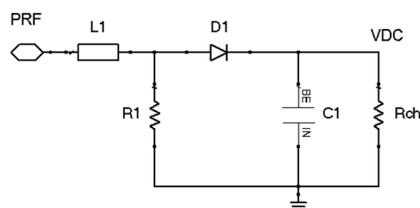


Figure 1. Schématique et photographie du circuit redresseur MMIC réalisé

Nous avons mesuré sous pointes l'adaptation en entrée (paramètre S_{11}) et la tension continue de sortie redressée en fonction de la puissance et de la fréquence (Cf. figure 2).

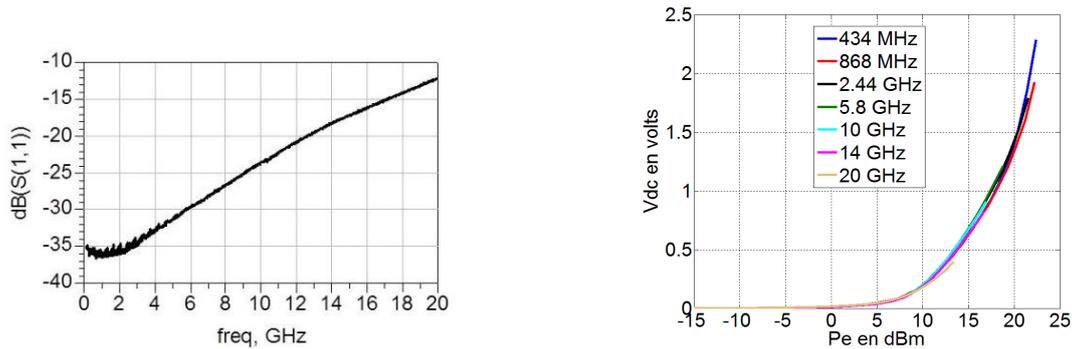


Figure 2. Mesures sous pointes de l'adaptation en entrée et de la tension continue redressée en sortie

Nous obtenons une bonne adaptation ($S_{11} < -10$ dB) sur 20GHz de bande. Ce caractère très large bande est confirmé par la mesure de la tension continue redressée. On remarque en effet que la tension continue obtenue pour les différentes fréquences utilisées (de 434 MHz à 20 GHz) est très proche. Le niveau de tension redressé n'étant cependant pas suffisant, nous avons envisagé plusieurs pistes d'amélioration possibles de notre circuit redresseur.

2. Pistes d'amélioration du circuit de redressement

2.1. Utilisation d'un circuit élévateur en sortie du redresseur

Ces travaux s'inspirent de ceux réalisés par L. H. Trinh et al. dans [3]. Le circuit élévateur (topologie de « Villard cascade ») présenté figure 3 a été placé directement en sortie du redresseur MMIC. Il a été réalisé avec des composants du commerce basse fréquence (4 diodes 1N4148 et 4 capacités céramiques) donc il a l'avantage d'être très bas coût. Les résultats de mesure de la tension redressée avec ou sans l'élévateur (Cf. figure 3) nous montrent l'amélioration importante de la tension redressée en sortie de ce circuit élévateur, surtout pour des puissances élevées.

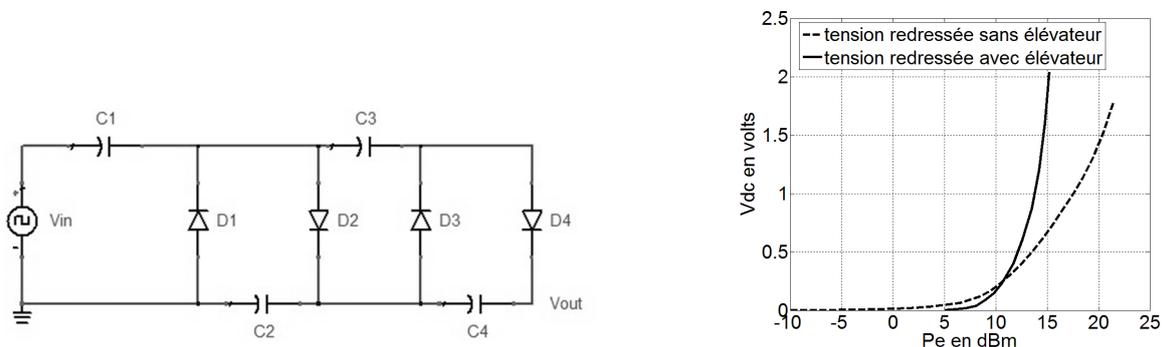


Figure 3. Circuit élévateur utilisé et comparaison de la tension redressée avec ou sans élévateur à 2.44 GHz

L'inconvénient majeur de ce type d'élévateur est qu'il a besoin d'une tension sinusoïdale ou carré en entrée pour fonctionner, générée ici à l'aide d'une modulation d'amplitude ASK/OOK de la porteuse. Cela impose donc d'avoir une source avec une modulation bien définie, ce qui va à l'encontre du système universel que l'on cherche à obtenir. Voilà pourquoi nous avons orienté notre recherche vers un autre type de redresseur, basé sur la topologie à pompe de charge de Dickson [4].

2.2. Redresseur avec élévateur de tension intégré

Le circuit étudié et présenté sur la figure 4, est composé d'une inductance spirale et d'une résistance en entrée pour l'adaptation, de 4 diodes Schottky et de 4 capacités MIM connectées en circuit à pompe de charge de Dickson et d'une résistance de charge pour récupérer la tension redressée. Tous les modèles de composants utilisés dans les simulations à venir sont des modèles complets du procédé monolithique ED02AH de OMMIC, afin de simuler un comportement du circuit le plus proche possible de la réalité.

Les résultats de simulation de l'adaptation en entrée en fonction de la fréquence et de la tension continue redressée de sortie en fonction de la puissance RF incidente (pour différentes fréquences) sont présentés sur la figure 5.

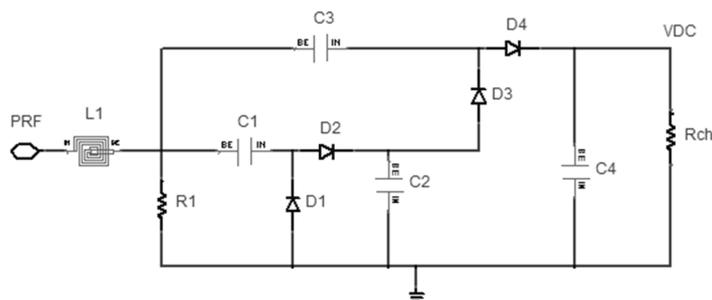


Figure 4. Nouveau redresseur étudié avec élévateur de tension intégré (topologie à pompe de charge de Dickson)

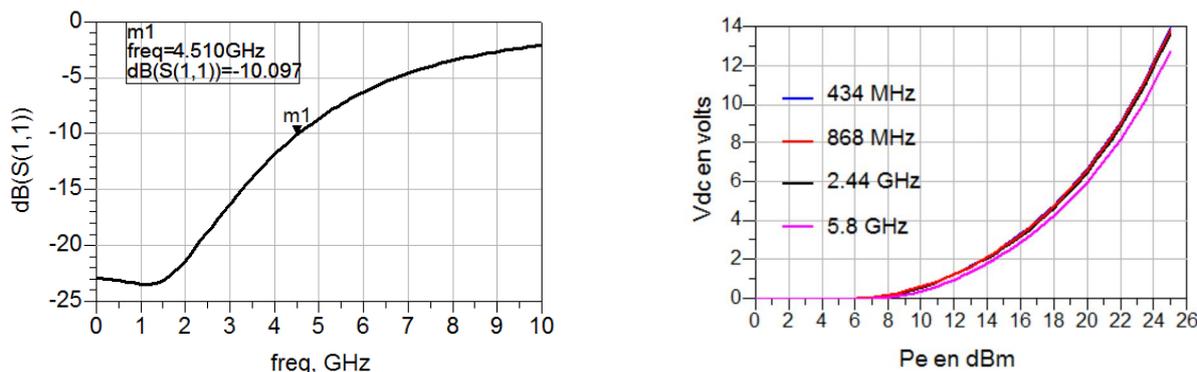


Figure 5. Résultats de simulation de l'adaptation en entrée en fonction de la fréquence et de la tension continue redressée de sortie en fonction de la puissance en entrée, sur différentes bandes de fréquence.

On obtient une bonne adaptation ($S_{11} < -10$ dB) sur une large bande (4.5 GHz de bande). La bande est cependant réduite par rapport à celle obtenue avec la topologie à une seule diode (Cf. figure 2). On pourrait élargir la bande d'adaptation en améliorant et complexifiant le circuit d'adaptation en entrée. Cependant, les bandes de fréquences d'utilisation que nous visons sont principalement inférieures à 3 GHz, de telle sorte que nous n'avons pas jugé nécessaire et primordial de développer ce point pour l'instant. La figure 5 nous montre également la faible dispersion de la tension redressée en fonction de la fréquence qui confirme le caractère large bande de ce redresseur à élévateur de tension intégré.

Sur la figure 6, nous comparons le niveau de tension continue redressée obtenue à 2.44 GHz avec celui obtenu au paragraphe 1 (circuit MMIC à une seule diode série sans élévateur) et celui obtenu au paragraphe 2.1 (circuit élévateur en sortie du circuit redresseur MMIC).

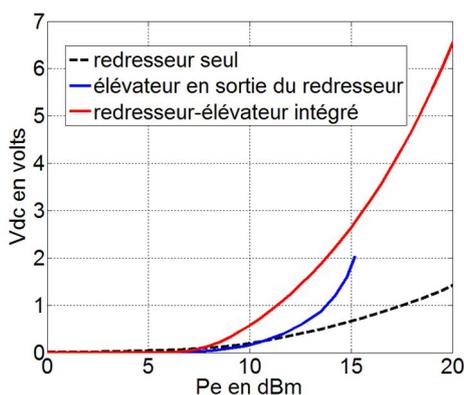


Figure 6. Comparaison de la tension continue redressée en fonction de la puissance d'entrée, à 2.44 GHz, avec les différentes topologies de redresseur.

La tension continue redressée est là encore beaucoup plus importante avec cette topologie de redresseur à élévateur, comparée à une topologie à base d'une simple diode. Ceci est d'autant plus vrai à puissances élevées (à partir de 8 dBm). De plus, ce redresseur à l'avantage de ne pas nécessiter de modulation particulière pour fonctionner, contrairement à celui présenté en 2.1. On peut également remarque, grâce à la figure 6, que la tension continue redressée est plus importante avec ce redresseur qu'avec celui présenté en 2.1.

Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté un convertisseur RF/DC sans polarisation et à très large bande, pour des applications d'autonomie énergétique de capteurs. Des résultats de mesure sous pointes de ce circuit, réalisé en technologie intégrée AsGa MMIC, ont également été présentés et discutés. Des pistes d'amélioration de la tension redressée ont également été explorées et devront l'être encore, pour améliorer la tension redressée à faible puissance (changement de technologie, autre topologie de redresseur). Il restera également à intégrer le redresseur sur une antenne 50Ω pour réaliser un rectenna (rectifier+antenna) complet et d'intégration aisée au capteur envisagé.

Références bibliographiques

- 1- C. Mikeka, H. Arai, "Design issues in Radio Frequency energy harvesting system," Sustainable Energy Harvesting Technologies –Past, Present and Future, pp. 235-256, Dec 2011.
- 2- J. Zbitou, M. Latrach, and S. Toutain "Hybrid Rectenna and Monolithic Integrated Zero-Bias Microwave Rectifier," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. 54, no. 1, pp. 147-152, January 2006.
- 3- L. H. Trinh, T. Q. V. Hoang, F. Perret and F. Ferrero, "Improving wake-up receiver's sensitivity by using novel architecture," IEEE Electronic Letters, vol. 48, no. 11, pp. 659-660, May 2012.
- 4- U. Olgun, C C. Chen, J. L. Volakis, "Wireless power harvesting with planar rectennas for 2.45 GHz RFIDs," URSI International Symposium on Electromagnetic Theory, pp. 329-331, August 2010.