



HAL
open science

Synthèse d'un module énergétique en vue d'alimenter à distance des dispositifs électroniques

Samuel Rivière, Alexandre Douyère, Frédéric Aicalapa, Jean-Daniel Lan Sun Luk

► To cite this version:

Samuel Rivière, Alexandre Douyère, Frédéric Aicalapa, Jean-Daniel Lan Sun Luk. Synthèse d'un module énergétique en vue d'alimenter à distance des dispositifs électroniques. Journées Nationales Microondes, May 2011, Brest, France. hal-01138600

HAL Id: hal-01138600

<https://hal.science/hal-01138600v1>

Submitted on 2 Apr 2015

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.

Synthèse d'un module énergétique en vue d'alimenter à distance des dispositifs électroniques

Samuel Rivière, Alexandre Douyère, Frédéric Alicalapa et Jean-Daniel Lan Sun Luk.

Laboratoire LE2P, Université de La Réunion, 15, avenue René Cassin, BP 7151, 97715 Saint Denis Messag. Cedex 9
samuel.riviere@univ-reunion.fr : correspondant principal

Résumé

Cet article présente la synthèse d'une rectenna pouvant être utilisée comme module énergétique dans le cadre d'applications de types RFID, ou des réseaux de capteurs. Pour une densité de puissance de $17\mu\text{W}/\text{cm}^2$, un rendement optimal de 34% est obtenu pour une charge de $9,2\text{k}\Omega$, et à $f_0=2,45\text{GHz}$. L'assemblage de cette rectenna avec un circuit de type pompe charge, permet d'alimenter séquentiellement à distance des dispositifs électroniques ayant une tension d'alimentation de $1,3\text{V}$, à partir d'une densité de puissance égale à $17\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

1. Introduction

Convertir une onde électromagnétique en une grandeur électrique continue, demande l'emploi d'une rectenna [1]. La principale caractéristique d'une rectenna est sa capacité à convertir une onde radio fréquence (RF) en une grandeur électrique continue (DC). Cette capacité est traduite par son rendement en conversion RF/DC (Rapport de la puissance P_{DC} sur la puissance P_{RF}). La littérature recense bon nombre de travaux dédiés à la synthèse de la rectenna. Cette synthèse est principalement effectuée pour des niveaux de densités de puissance relativement grands (S_{RF} quelques mW/cm^2) à la surface de l'antenne [2, 3, 4].

Il est présenté dans cet article la synthèse d'une rectenna qui tend à réduire S_{RF} à des niveaux de l'ordre du $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. L'objectif visé par cette problématique concerne l'alimentation de dispositifs électroniques, à l'exemple de badges RFID [5] ou les nœuds d'un réseau de capteurs [6]. La source d'alimentation de ces dispositifs n'utiliserait pas une source d'alimentation dédié, mais plutôt l'électromagnétique ambiante (onde WIFI par exemple). Ce travail nécessite le couplage de la rectenna à un convertisseur conditionneur d'énergie.

La première partie de cet article est consacrée à la synthèse de la rectenna, les confrontations entre théories et pratiques témoignent de la validité de notre démarche. Dans une seconde partie, la caractérisation du canal de propagation permet l'évaluation du rendement en conversion de la rectenna. Il s'ensuivra, une troisième partie dans laquelle l'assemblage d'un convertisseur DC/DC à la rectenna, porte la tension de sortie du module énergétique (rectenna & convertisseur DC/DC) à

une tension de plus de $1,3\text{V}$ de manière séquentielle. Enfin, dans une dernière partie, seront abordées les conclusions ainsi que les perspectives de cette étude.

2. Synthèse de la rectenna

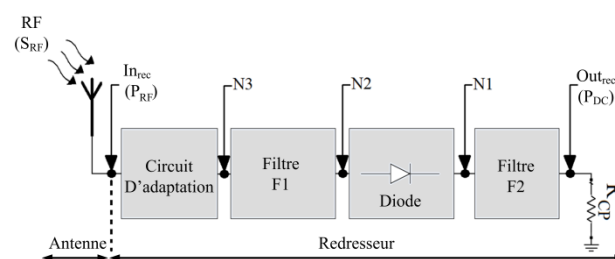


Figure 1. Illustration du synoptique de base d'une rectenna.

2.a. Dimensionnement de l'antenne

La fonction de l'antenne consiste à collecter l'onde électromagnétique pour la véhiculer vers le redresseur. Dans cette étude, est proposée une antenne qui intègre en son sein une fonction de filtrage des harmoniques générées par la diode lors du processus de redressement de l'onde. Cette double fonction est réalisée par une forme circulaire de l'élément rayonnant.

En effet, l'antenne imprimée de forme circulaire confère au coefficient de réflexion des propriétés qui sont intéressantes dans le cadre d'une rectenna. La forme circulaire de l'élément rayonnant amène des désadaptations d'impédance aux fréquences multiples d'entiers de la fréquence de résonance. La détermination de la fréquence de résonance d'une antenne imprimée circulaire est dictée par la relation suivante [7] :

$$j_n(a_e \cdot \omega_r \cdot \sqrt{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \mu_0}) = 0 \quad (1)$$

Où :

- $J_n(x)$: fonction de Bessel d'ordre n ,
- a_e : rayon effectif de l'élément rayonnant,
- ω_r : pulsation de résonance,
- ϵ_r : permittivité relative du substrat,
- ϵ_0 : permittivité du vide ($8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$),
- μ_0 : perméabilité du vide ($4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$).

La résolution de cette équation donne des résonances aux multiples non entiers de la fréquence de résonance f_0 de : $1,66 \cdot f_0$, $2,08 \cdot f_0$, $2,9 \cdot f_0$, $3,64 \cdot f_0$, etc... Ainsi une telle

antenne nous permet alors de nous affranchir du filtre d'entrée du redresseur (voir la figure 1).

D'autre part, la technique d'alimentation de cette antenne imprimée circulaire utilise une fente rectangulaire dans le plan de masse. Le positionnement central de cette fente par rapport au centre de l'élément rayonnant circulaire de rayon effectif a_e , donne une symétrie qui privilégie le rayonnement fondamental de l'antenne de fréquence $f_0=2,45\text{GHz}$.

Sur la figure 1, sont reportées la mesure ainsi que la simulation des paramètres S_{11} , qui confirment l'intégration de la fonction de filtrage des harmoniques.

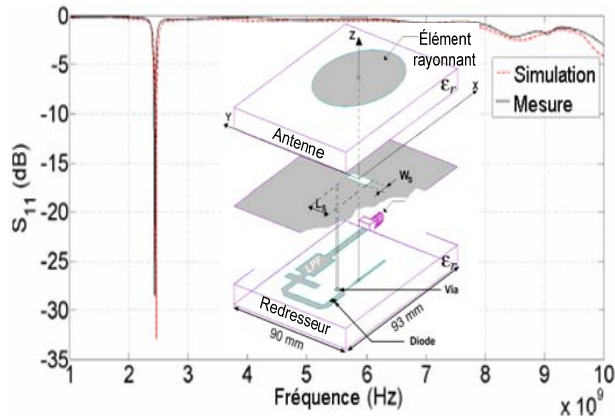


Figure 2. Confrontation de S_{11} simulé et mesuré de l'antenne.

2.b. Dimensionnement du redresseur

Le redressement de l'onde électromagnétique en une grandeur électrique continue, est réalisé par l'ensemble diode Schottky, filtre d'entrée, et filtre de sortie du redresseur. Ici, l'élimination du filtre d'entrée, ainsi que les pertes qui lui sont associées (conduction, rayonnement, et désadaptation) est retenue pour améliorer le rendement en conversion RF/DC de la rectenna. La figure 2 représente l'évolution du rendement en conversion du redresseur en fonction de la fréquence. Le décalage entre la simulation et la mesure expérimentale est de l'ordre de 10 points. Cette écart découle de l'étape de modélisation, ainsi que des contraintes de réalisation du via, qui assure la polarisation de la diode en continu.

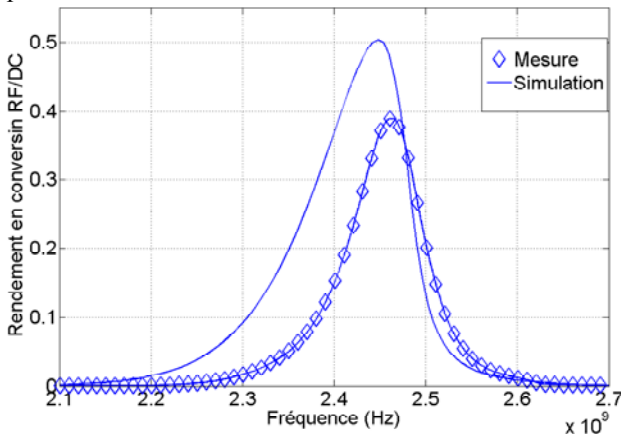


Figure 3. Rendement mesuré et simulé du redresseur sur une charge optimale de $9.2\text{k}\Omega$.

3. Performances de la rectenna

3.a. Equation de Friis

L'équation de Friis corrigée (1) est utilisée dans ce travail afin d'évaluer le rendement en conversion RF/DC de la rectenna. Avec P_r et P_t , respectivement la puissance reçue et la puissance transmise. G_t et G_r , respectivement le gain de l'antenne émettrice et réceptrice. R la distance entre les deux antennes, λ la longueur d'onde, $\alpha=2,021$ traduit les réflexions multiples du faisceau, et $\gamma=0,7$ l'ensemble des pertes dans la chaîne de mesure.

$$\frac{P_r}{P_t} = G_r \cdot G_t \cdot \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{1}{R^\alpha} \cdot \gamma \quad (2)$$

Le calcul de la densité de puissance (S_{RF}) à la surface de la rectenna, se fait alors avec le rapport de P_r et de la surface effective de l'antenne réceptrice (A_{eff}).

3.b. Rendement en conversion de la rectenna

L'assemblage de l'antenne avec le redresseur pour former la rectenna est représenté sur la figure 2. Cet assemblage permet le découplage de l'antenne et du redresseur par rapport au plan de masse. L'évolution du rendement mesuré en conversion RF/DC de la rectenna ainsi obtenu est illustrée sur la figure 4. Le rendement optimal est alors de 34% pour $S_{RF}=17\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Soit 8% en moins par rapport au rendement optimal du redresseur seul. Cette différence découle là encore des contraintes de réalisation. La présence du via entre l'antenne et le redresseur induit un espace entre ces deux substrats lorsque la rectenna est assemblée.

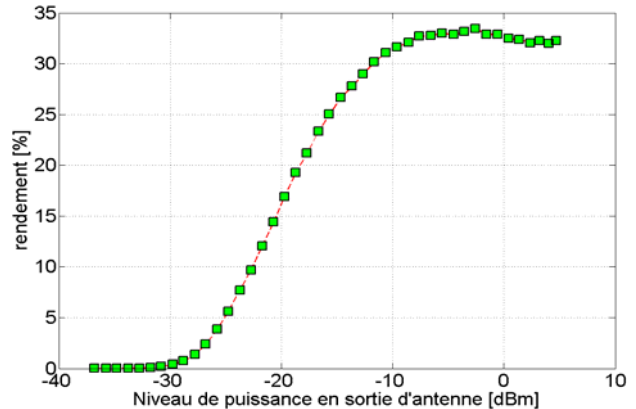


Figure 4. Rendement de la rectenna pour une charge résistive de $9.2\text{k}\Omega$.

4. Module énergétique

4.a. Circuit de pompe charge

Un circuit de type pompe de charge est connecté en sortie de la rectenna. Sur la figure 5, est représentée la mesure de la tension en sortie du circuit de pompe charge, sur une résistance de $1\text{k}\Omega$ (choisie de manière arbitraire). Ce résultat a été obtenu pour une puissance à l'émission de 75mW , et d'une distance entre les deux antennes de 2.17m . Dans cette configuration, le seuil de fonctionnement est atteint. Ainsi il est possible d'alimenter avec cette limite de fonctionnement du module énergétique, un dispositif électronique pendant 8ms , et sur une fréquence d'alimentation de $62,5\text{MHz}$.

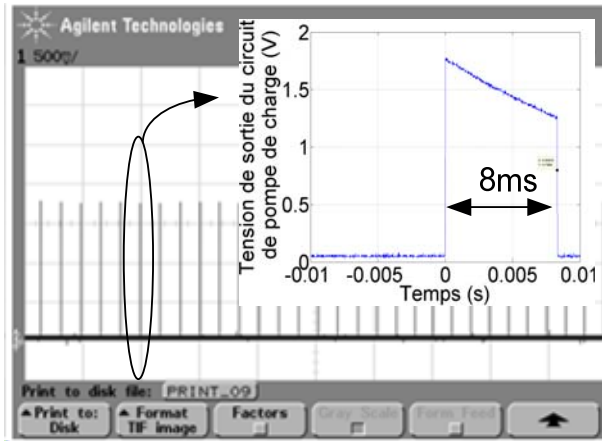


Figure 5. Mesure de la tension en sortie du circuit de pompe de charge sur une résistance de 1kΩ. La période du signal est de 17s

4.b. Caractérisation du redresseur et du circuit de pompe de charge.

Le module énergétique présenté dans cet article, propose d'alimenter séquentiellement un ou des dispositifs électroniques suivant un cahier des charges. Les deux principales contraintes de ce cahier des charges seront : premièrement le temps de fonctionnement T_{ON} du dispositif, et deuxièmement le temps (T_E) d'attente nécessaire pour rendre effectif l'alimentation durant T_{ON} .

Le paramètre T_{ON} est surtout fonction de la capacité de C_{CPOUT} du circuit de pompe de charge. Concernant T_E ce dernier est fonction de C_{CPOUT} ainsi que de la puissance P_{RF} (voir Fig. 1) à l'entrée du redresseur (donc de la puissance à l'émission, de la distance entre les deux antennes, des caractéristiques des antennes).

Sur la figure (6), sont représentées l'évolution de la tension en sortie du circuit de pompe de charge aux bornes d'une résistance de 1kΩ, et pour quatre valeurs de capacités C_{CPOUT} (100μF, 22μF, 10μF, et 1μF). Plus la valeur de cette capacité est importante, plus grand est le temps T_{ON} .

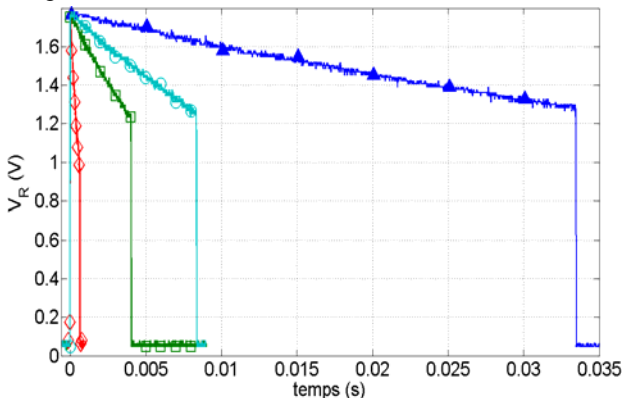


Figure 6. Mesure de la tension en sortie du circuit de pompe de charge sur une résistance de 1kΩ pour quatre valeurs de capacités C_{CPOUT} . (▲) $C_{CPOUT} = 100\mu F$, (□) $C_{CPOUT} = 22\mu F$, (○) $C_{CPOUT} = 10\mu F$, et (◇) $C_{CPOUT} = 1\mu F$

Durant le temps T_{ON} , le module énergétique peut produire une certaine quantité d'énergie, qui elle aussi

dépend de la capacité C_{CPOUT} . L'évolution de cette énergie suit une équation linéaire de forme suivante :

$$J = \alpha \cdot C_{CPOUT} + \beta \quad (3)$$

avec :

- J : l'énergie (en Joule),
- $\alpha = 0,75$ (en Joule/Farad),
- $\beta = 1,2 \cdot 10^{-6}$ (en Joule).

Maintenant, focalisons notre attention sur la fréquence avec laquelle le module énergétique peut produire cette énergie caractérisée par l'équation (3). Une étude paramétrique est alors entreprise sur la période T_E , P_{RF} , et C_{CPOUT} . Le résultat de cette étude est illustré sur la figure (7). Nous avons identifié une relation mathématique qui relie les points de mesure aux trois variables T_E , P_{RF} , et C_{CPOUT} , est donnée par (4) :

$$(T_E)_{dBs} = A \cdot \log_{10}(C_{CPOUT}) + B \cdot P_{RF} \cdot (1 + C \cdot P_{RF}) \quad (4)$$

Avec :

- A = 9,
- B = 2,2,
- C = 0.0625.

Ce modèle analytique de prédiction de la période T_E en fonction de P_{RF} et C_{CPOUT} donne une erreur relative moyenne de 0.8% par rapport à la mesure.

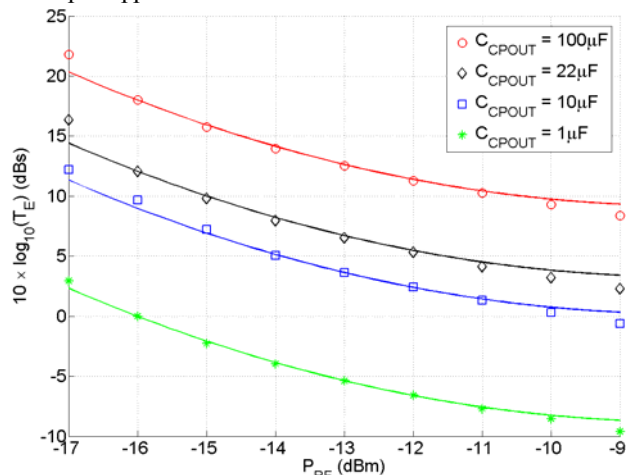


Figure 7. Mesure et caractérisation de T_E en fonction de la puissance P_{RF} en entrée du redresseur.

5. Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons montré qu'il était possible par le biais d'une rectenna couplée à un convertisseur DC/DC d'alimenter séquentiellement des dispositifs électroniques avec de faibles densités de puissance. Notre dispositif a été optimisé pour une fréquence fixe de fonctionnement ($f_0 = 2,45$ GHz) et pour une puissance P_{RF} disponible à l'entrée du circuit de conversion RF/DC (redresseur) comprise entre -17 dBm à 0 dBm. Il conviendra également de travailler à la diversité de la polarisation des antennes de réception pour une utilisation en milieu non contrôlé. Le dispositif devra être complété par un système de stockage et de gestion de l'énergie pour permettre un fonctionnement continu du dispositif.

6. Bibliographie

- [1] Brown, W. C., "The history of power transmission by radio waves", IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol. 32, (9), 1230-1242, September 1984.
- [2] Ren, Y. J. and K. Chang, "5.8 GHz circular polarized dual-diode rectenna and rectenna array for microwave power transmission", IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol. 54, (4), 1495-1502, April 2006.
- [3] Yo, T.-C. Lee, C.-M. Hsu, C.-M. and Luo, C.-H., "Compact Circularly Polarized Rectenna With Unbalanced Circular Slots", IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 56, (3), 882-886, March 2008.
- [4] Takhedmit, H. Cirio, L. Merabet, B. Allard, B. Costa, F. Vollaire, C. and Picon, O "Efficient 2.45 GHz rectenna design including harmonic rejecting rectifier device", Electronics Letters, Vol. 46, (12), 811-812, June 2010.
- [5] Weinstein, R., "RFID: A technical overview and its application to the enterprise", IT Professional, Vol. 7, (3), 27-33, May-June 2005.
- [6] Farinholt, K.M., Gyuhae Park, Farrar, C.R., "RF Energy Transmission for a Low-Power Wireless Impedance Sensor Node" IEEE Sensors Journal, Vol. 9, (7) pp. 793-800, July-2009
- [7] Itoh, K., T. Ohgane, and Y. Ogawa, "Rectenna composed of a circular microstrip antenna", Proceeding of ISAP'85, Vol. 6, No. 3, 193-198, 1986.]